

การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้วัสดุพรุน

**EFFICIENCY IMPROVEMENT OF A SOLID FUEL
COMBUSTOR USING POROUS MEDIUM**

ชิตมงคล พงษ์สิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้วัสดุพูน

ชิตมงคล พงษ์สิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้วัสดุพรุน
Efficiency Improvement of Solid Fuel Combustor Using Porous Medium
ชื่อ - นามสกุล นายชิตมงคล พงษ์สิงห์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์มนูศักดิ์ จานทอง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค, D.Eng.)


..... กรรมการ
(อาจารย์สโรชา เจริญวัย, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 8 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้วัสดุพูน
ชื่อ – นามสกุล	นายชิตมงคล พงษ์สิงห์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนโดยใช้วัสดุพูนมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านทางความร้อนระหว่างปฏิกิริยาการเผาไหม้และกลุ่มท่อน้ำร้อน นอกจากนี้อากาศที่จะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงมากขึ้นกว่าเตาเผาแบบดั้งเดิม วัสดุพูนที่ใช้ในการศึกษานี้คือ นอตตัวเมียที่มีขนาดต่างๆกัน คือ 8, 10, และ 12 mm โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาแบบดั้งเดิม กับ แบบบรรจุวัสดุพูน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน โดยใช้สภาวะการทำงานของเตาเผาแบบดั้งเดิมที่ให้ค่าสมรรถนะที่สูงที่สุดมาเป็นกรณีเบื้องต้นและได้ทำการบรรจุวัสดุพูนเข้าไปภายในกลุ่มท่อน้ำ เพื่อทดลองด้วยสมมุติฐานที่ว่าวัสดุพูนช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุพูน เพื่อหาค่าของวัสดุพูนที่ดีที่สุด ที่ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำร้อนที่สูงที่สุด

ผลการทดลองพบว่า การใช้วัสดุพูนสามารถส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำร้อนได้จริงและขนาดของวัสดุพูนที่นำมาใช้มีผลต่อการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนโดยการศึกษาวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ขนาด คือ 8, 10 และ 12 mm พบว่าวัสดุพูนขนาด 10 mm สามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องเผาไหม้สูงถึง 1,020 °C มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 60% และความร้อนที่ได้อยู่ที่ 45 kw

คำสำคัญ : เตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง วัสดุพูน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Thesis Title Efficiency Improvement of Solid Fuel Combustor Using Porous Medium
Name – Surname Mr. Chitmongkol Pongsing
Program Mechanical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Boonrit Prasartkraw, D.Eng
Academic Year 2014

ABSTRACT

This thesis presents a method for improving the efficiency of a solid fuel-fired water heater. In the proposed system, the porous materials were used to improve the heat transfer coefficient between the combustion zone and water tube bank. In addition, the combustion air was pre-heated to reach higher temperature. For this reason, the combustion efficiency of this combustor outperforms the conventional one. The porous medium used in this study are nuts with three different sizes: 8, 10 and 12 mm. The solid fuel used in this study is wood charcoal.

In this experimental study, the performance of combustor with and without (conventional combustor) were compared. The best performance of the conventional combustor was used as the base case of study, then, the porous medium was installed to test the hypothesis that porous materials can improve the thermal efficiency. To figure out the best property of porous medium which suit well with this combustor, the pore sizes of porous materials were varied to determine the most appropriate size for maximizing the efficiency of the water heating system.

The results indicate that using of porous material can improve the efficiency of the proposed system. The results also demonstrate that, among 3 sizes of porous medium: 8, 10 and 12 mm, using 10 mm nut size yields the highest thermal efficiency. An average combustion temperature of 1,020 °C, thermal efficiency about 60% and the maximum heating power about 45 kW were obtained using 10 mm nut size of porous medium.

Keywords: solid fuel combustor, porous medium, thermal efficiency

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ มาโดยตลอดทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย ผศ.ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว ดร.สโรชา เจริญวัย ดร.มนุศักดิ์ งานทอง และผู้ทรงคุณวุฒิ ผศ.ดร.กนกกาญจน์ จิรกุลสมบัติ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่อง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยมาโดยตลอด ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้มีพระคุณ ตลอดจนผู้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ทุกท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ชิตมงคล พงษ์สิงห์



สารบัญ

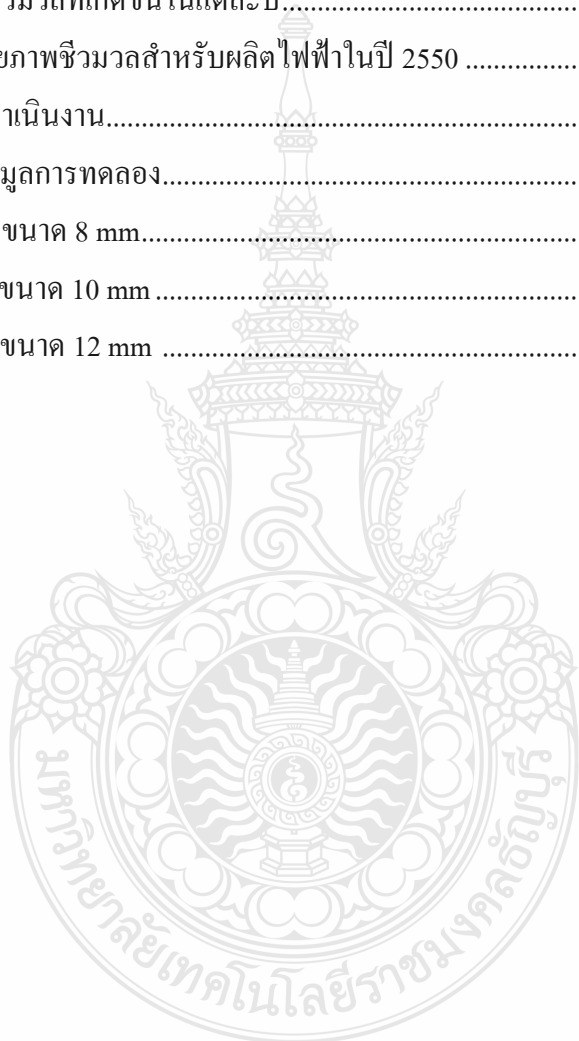
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพ.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	14
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 พลังงานชีวมวล.....	16
2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้วัสดุพอรุน.....	29
2.3 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง.....	40
2.4 การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Efficiency).....	45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	47
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	47
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	47
3.3 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุพอรุนและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเผาไหม้รวมถึงกระบวนการ ทางความร้อน.....	48
3.4 ออกแบบระบบการทำงานของระบบเชื้อเพลิงแข็งและออกแบบการทดลอง.....	50

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง โดยมีวัสดุพูนเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพ ทางความร้อน	54
3.6 การหาประสิทธิภาพของเตาเผา(Efficiency)	56
3.7 ขั้นตอนการทดลอง	56
บทที่ 4 ผลการทดลอง	57
4.1 ผลการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง แบบใหม่ชนิดอาศัยวัสดุพูนเพื่อช่วยส่งเสริมความร้อน	57
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนขนาดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ เตาเผาเชื้อเพลิงแข็งภายใต้การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพูน	65
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	71
5.1 สรุปผลการทดลอง	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก ภาพวิธีการทดลอง	77
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการทดลอง	83
ภาคผนวก ค ตารางวัสดุพูนขนาด 8 mm	109
ภาคผนวก ง ตารางวัสดุพูนขนาด 10 mm	124
ภาคผนวก จ ตารางวัสดุพูนขนาด 12 mm	143
ภาคผนวก ฉ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	167
ประวัติผู้เขียน	175

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย	19
ตารางที่ 2.2 ศักยภาพทางพลังงานของชีวมวลในประเทศไทยในปี 2550	20
ตารางที่ 2.3 พลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี.....	20
ตารางที่ 2.4 แสดงศักยภาพชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าในปี 2550	23
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน.....	47
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการทดลอง.....	83
ภาคผนวก ค วัสดุพรมขนาด 8 mm.....	109
ภาคผนวก ง วัสดุพรมขนาด 10 mm	124
ภาคผนวก จ วัสดุพรมขนาด 12 mm	167



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1	หลักการทำงานของวัสดุพอรุน 30
ภาพที่ 2.2	ลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุพอรุน 31
ภาพที่ 2.3	อุปกรณ์การทดลองของ Kaplan และ Hall..... 31
ภาพที่ 2.4	ลักษณะของการจัดวาง porus Ceramic ที่ใช้ในการทดลองของ Kaplan และ Hall 32
ภาพที่ 2.5	แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) ของบุญยัถุทธิ์ ประสาทแก้ว..... 33
ภาพที่ 2.6	อุปกรณ์การทดลองของ Takami และคณะ 34
ภาพที่ 2.7	อุปกรณ์การทดลองของ Jugjai และคณะ..... 36
ภาพที่ 2.8	อุปกรณ์การทดลองของ Fuse และคณะ..... 37
ภาพที่ 2.9	อุปกรณ์การทดลองของ Hoffman และคณะ..... 39
ภาพที่ 2.10	เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข็งแบบไหลขึ้น 41
ภาพที่ 2.11	เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข็งแบบไหลลง 42
ภาพที่ 2.12	เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข็งแบบไหลขวาง 43
ภาพที่ 2.13	เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด 44
ภาพที่ 2.14	เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบเอนเทรนเบด..... 45
ภาพที่ 3.1	วัสดุพอรุนตามธรรมชาติ 48
ภาพที่ 3.2	หลักการทำงานของวัสดุพอรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี 49
ภาพที่ 3.3	ชุดทดสอบเตาเผา 50
ภาพที่ 3.4	เชื้อเพลิงแข็งขนาด 10 ลบ.ซม. 51
ภาพที่ 3.5	หลักการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง 51
ภาพที่ 3.6	การทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง..... 52
ภาพที่ 3.7	ชุดสร้างอัตราการไหลของน้ำแบบปรับอัตราการไหล 52
ภาพที่ 3.8	อุปกรณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพอรุนในการเพิ่มประสิทธิภาพ 53
ภาพที่ 3.9	วัสดุพอรุนที่บรรจุในกลุ่มท่อน้ำ 54
ภาพที่ 3.10	วัสดุพอรุนที่ใช้ในการทดลอง..... 54
ภาพที่ 3.11	แสดงน้ำร้อนที่ไหลออกจากเตาเผา..... 55

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.12	ขั้นตอนการทดลอง..... 56
ภาพที่ 4.1	ตำแหน่งการติดตั้ง Themocouple type k 57
ภาพที่ 4.2	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 318 (m ³ /h)..... 58
ภาพที่ 4.3	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 254 (m ³ /h)..... 59
ภาพที่ 4.4	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 190 (m ³ /h)..... 59
ภาพที่ 4.5	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 127 (m ³ /h)..... 60
ภาพที่ 4.6	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 4 (m ³ /h)..... 61
ภาพที่ 4.7	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 3.5 (m ³ /h)..... 62
ภาพที่ 4.8	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m ³ /h)..... 62
ภาพที่ 4.9	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 2.5 (m ³ /h)..... 63
ภาพที่ 4.10	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์นที่อัตรา การไหลของน้ำ 3 m/s และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m ³ /h) 64
ภาพที่ 4.11	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์นขนาด 8 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m ³ /h) และอัตราการไหลของอากาศ 318 (m ³ /h) 65
ภาพที่ 4.12	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์นขนาด 10 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m ³ /h)และอัตราการไหลของอากาศ 318 (m ³ /h) 66
ภาพที่ 4.13	อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์นขนาด 12 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m ³ /h)และอัตราการไหลของอากาศ 318 (m ³ /h) 67
ภาพที่ 4.14	โครงสร้างอุณหภูมิของแก๊ส 67
ภาพที่ 4.15	โครงสร้างอุณหภูมิของน้ำร้อน 68
ภาพที่ 4.16	อัตราความร้อนที่ถูกดูดกลืนไปใช้ประโยชน์ 69
ภาพที่ 4.17	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา 69
ภาพที่ 4.18	ข้อมูลค่าเฉลี่ยที่เก็บบันทึกจากการทดลองและคำนวณได้ 70
ภาพที่ ก.1	การบรรจุเชื้อเพลิงแข็ง..... 78
ภาพที่ ก.2	วัสดุพอร์นที่นำมาใช้ในการทดลอง 78

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ก.3	ห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการบรรจุวัสดุพูน 79
ภาพที่ ก.4	การบรรจุวัสดุพูนลงไปในห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ 79
ภาพที่ ก.5	การให้ความร้อนในการเริ่มคิดเตา 80
ภาพที่ ก.6	ขณะเชื้อเพลิงแข็งภายในเตาเผาเกิดการลุกไหม้ 80
ภาพที่ ก.7	การทำงานของชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำ 81
ภาพที่ ก.8	น้ำร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนของเตาเผา 81
ภาพที่ ก.9	การเก็บข้อมูลโดยใช้ datataker 82
ภาพที่ ก.10	วัสดุพูนที่ผ่านการใช้งานกับเตาเผาแล้ว 82



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ และเป็นปัจจัยในการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วยหลักการพัฒนาด้านวิทยาการและเทคโนโลยี ตลอดจนการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน มีผลให้ความต้องการใช้พลังงานของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามทิศทางของเศรษฐกิจโลก จากรายงานการคาดการณ์อนาคตพลังงานโลกในระยะยาวของเอ็กซอน โมบิล ความต้องการพลังงานทั่วโลกในปี 2040 จะเพิ่มขึ้นประมาณ 30% เมื่อเทียบกับปี 2010 [1] ประเด็นด้านพลังงาน เป็นที่จับตาของทุกประเทศทั่วโลกในสถานการณ์ที่ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่แหล่งผลิตพลังงานยังไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วยอย่างพอเพียงในปัจจุบันทั่วโลกใช้พลังงานในรูปแบบเชื้อเพลิงฟอสซิล (หรือไฮโดรคาร์บอน) ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินมากที่สุด รวมกันแล้วใช้มากถึง 95 เปอร์เซ็นต์ อีก 2 เปอร์เซ็นต์มาจากพลังงานนิวเคลียร์ส่วนอีก 3 เปอร์เซ็นต์มาจากพลังงานอื่น ๆ เช่นพลังน้ำจากเขื่อน แสงอาทิตย์ พลังลม ชีวมวล คลื่นลมในทะเล และความร้อนใต้ดินเป็นต้น [2] ทั้งนี้แหล่งพลังงานดังกล่าวกำลังจะหมดไปในเวลาอันใกล้ หากมีการใช้เชื้อเพลิงในอัตราเดียวกับปัจจุบัน น้ำมันจะหมดในเวลา 42 ปี ก๊าซธรรมชาติ 64 ปี และถ่านหิน 220 ปี [3] การหาพลังงานทางเลือกอื่น ๆ (Alternative energy) จึงเป็นสิ่งที่ต้องทำควบคู่กันไปเพื่อนำมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่อไปในอนาคต [4]

ความต้องการใช้พลังงานของไทยเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ จากผลการสำรวจประเทศไทยมีพลังงานสำรองไม่มากนักจึงต้องนำพลังงานเข้าจากต่างประเทศสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ [2] ประเทศไทยนั้นถือว่ามีแหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์จำนวนน้อยและไม่เพียงพอต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลสำนักงานคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช) รายงานว่า ในปี 2556 ไทยมีมูลค่าการนำเข้าพลังงานถึง 1.42 ล้านล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 20 ของ GDP ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานสูง[3]

จึงเป็นความจำเป็นที่ประเทศไทยต้องให้ความสำคัญในการใช้พลังงานทดแทน(Renewable Energy) อย่างจริงจังเพื่อจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยหาแนวทางในการพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีปริมาณเพียงพอและยั่งยืนแน่นอนร่วมกับระบบที่มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยให้มีทางเลือกในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) คือพลังงานที่สะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตที่เราสามารถนำมาใช้ทำงานได้ เช่น ต้นไม้ กิ่งไม้ หรือเศษวัสดุจากการเกษตร หรืออุตสาหกรรม เช่น แกลบ ฟาง ชานอ้อย จี๊เลื่อย เศษไม้ เปลือกไม้ มูลสัตว์ รวมทั้งของเหลือหรือขยะจากครัวเรือนมนุษย์ [5] ประเทศไทย นับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรมผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กากใย และทะลายปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงแข็ง หรือแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตได้จากการปลูกพืชพลังงานที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องและเพียงพอ หากมีการวางแผนอย่างเป็นระบบ การใช้พลังงานชีวมวลมีศักยภาพค่อนข้างสูง [6] เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมในการปลูกพืชพลังงานอีกทั้งยังมีเศษสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรมากอีกด้วย การใช้พลังงานชีวมวลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการใช้พลังงานหมุนเวียนจากแหล่งพลังงานภายในประเทศ เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล ปัจจุบันมีการนำมาใช้ผลิตพลังงานทั้งในรูปของพลังงานความร้อนและไฟฟ้า ทำให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลายเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมีราคา พลังงานที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ในปัจจุบันมีบทบาทที่สำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์มาก

การเผาไหม้ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง ต่างก็ต้องการให้เกิดการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนต่ำ อีกทั้งรัฐบาลได้ให้การสนับสนุนการใช้ชีวมวลผลิตพลังงาน โดยมีแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 – 2564) [7] จากเหตุผลดังกล่าว นักวิจัยจึงพยายามหาแนวทางการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนเพื่อประหยัดพลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง คือ การนำวัสดุพรุน (Porous Medium) มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดแก๊สพิษในไอเสียของเตาเผา ลักษณะเด่นของวัสดุพรุนซึ่งเป็นของแข็งที่มีความพรุนภายใน มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและแผ่รังสีความร้อนก่อให้เกิดการหมุนเวียนความร้อน ช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน และการเผาไหม้ได้เป็นอย่างดี [8]

จากการทบทวนบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีงานนำวัสดุพรุนมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลวเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุพรุนมาใช้กับเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ตลอดจนศึกษาสมรรถนะของเตาเผาดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างเตาเผาแบบที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูนสำหรับใช้กับเชื้อเพลิงแข็ง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะและอิทธิพลของวัสดุพูนขนาดต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเตาเผาที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้วัสดุพูนขนาดต่าง ๆ
- 1.3.2 ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง
- 1.3.3 ทำการทดลองโดยใช้ถ่านตัวเมียโลหะเป็นวัสดุพูน
- 1.3.4 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง กรณีที่มีและไม่มี การติดตั้งวัสดุพูนภายใน

1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

- 1.4.1 ตัวแปรต้น คือ วัสดุพูนขนาดต่าง ๆ จำนวน 3 ขนาด ดังนี้ ขนาด 8 mm, 10 mm ,12 mm
- 1.4.2 ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการติดตั้งวัสดุพูนอยู่ภายใน

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็งและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้รวมถึงกระบวนการทางความร้อน
- 1.5.2 ออกแบบการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาเชื้อเพลิงแข็งด้วยวัสดุพูน
- 1.5.3 ศึกษาคุณสมบัติและขนาดของวัสดุพูนสำหรับการทดลอง
- 1.5.4 ศึกษาและเลือกใช้อุปกรณ์
- 1.5.5 ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพูนเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน
- 1.5.6 ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.5.7 สรุปผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถพัฒนาเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งให้มีสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต เพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.6.2 ทำให้ทราบถึงขนาดวัสดุพูนที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน

1.6.3 เพื่อเป็นแนวทางในการนำวัสดุพูนไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งต่อไปในอนาคต



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ลำดับหัวข้อการศึกษาเอกสารงานวิจัยและงานเขียนที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการออกแบบและการสร้างชุดทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาเชื้อเพลิงแข็งด้วยวัสดุพูนดังนี้

2.1 พลังงานชีวมวล

2.1.1 ความหมายของพลังงานชีวมวล

Biomass เป็นการผสมคำระหว่าง Bio หมายถึง สิ่งมีชีวิตกับ mass ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้ [9]

ชีวมวล เป็นพลังงานที่ได้จากพืช และสัตว์ โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้ความร้อนหรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์ [10]

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานธรรมชาตินำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร [11]

ชีวมวล คือ สารทุกรูปแบบ ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต (นอกจากที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลไปแล้ว) ซึ่งรวมถึงการผลิตจากการเกษตร และป่าไม้ของเสียจากสัตว์ เช่น มูลสัตว์และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร ขยะ และน้ำเสีย [12]

พลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้มาจากชีวมวลโดยอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา [13]

สรุปได้ว่า พลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้จากพืชและซากสัตว์ หรืออินทรีย์สารต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ในรูปของพลังงานได้ โดยอาศัยกระบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของอินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลและผลิตพลังงานออกมา

2.1.2 ความสำคัญของพลังงานจากชีวมวล

จากปัญหาความร่อยหรอของทรัพยากรประเภทใช้แล้วหมดไป เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันมาก ประกอบกับการเกิดวิกฤตการณ์พลังงานทำให้มนุษย์หาทางประหยัดการใช้พลังงานและพัฒนาารูปแบบขึ้นมาทดแทน โดยเฉพาะประเภทที่ไม่มีวันหมดสิ้นไปหรือเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากแหล่งน้ำ พลังงานลม และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น [10]

ชีวมวลสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น นำไม้มาทำฟืนหรือเผาถ่านนำมาผลิตก๊าซชีวมวลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ นำมูลสัตว์มาหมักหรือย่อยสลายโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพใช้ในการหุงต้ม เดินเครื่องยนต์หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เราได้ใช้พลังงานจากชีวมวลมาเป็นเวลานานแล้วจนถึงปัจจุบัน ก็ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในสัดส่วนที่ไม่น้อยเลย โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาตามชนบท ก็ยังมีการนำ ฟืน หรือถ่านมาใช้ในการหุงหาอาหาร ชีวมวลเป็นอินทรีย์สารที่ได้จากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่หาได้ในประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อาทิ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กาก และกะลาปาล์มเป็นต้น ชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการนำชีวมวลมาผลิตพลังงานยังมีข้อจำกัดอยู่ บางชนิดใช้ได้ทั้งเป็นอาหารและพลังงานได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ถ้าจะนำมาใช้เป็นพลังงานต้องไม่ทำให้อาหารขาดแคลน โดยอาจใช้ส่วนที่เหลือหรือปลูกพืชเหล่านี้ให้มากขึ้น การนำไม้ในป่ามาเป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตพลังงานย่อมทำให้ไม้หมดไปเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมจึงควรปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นพลังงาน โดยตรงเพื่อลดปัญหาการทำลายป่าลง

2.1.3 แหล่งกำเนิดพลังงานชีวมวล

ชีวมวล ได้มาจากสิ่งมีชีวิตทั้ง พืช และสัตว์ พืชจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง จากกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ มาสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ (แป้ง+น้ำตาล) และออกซิเจน มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสารประกอบอินทรีย์ที่สร้างขึ้น พืชจะใช้ในการดำรงชีวิต บางส่วนที่เหลือจะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก ผล และเมล็ด เช่น มันสำปะหลังเก็บสะสมแป้งไว้ที่ราก อ้อยสะสมน้ำตาลไว้ที่ลำต้นเป็นต้น ดังนั้นถ้านำอินทรีย์สารที่พืชสะสมไว้มาใช้จะทำให้ได้พลังงานมาใช้ต่อไป แหล่งพลังงานที่ได้จากพืชที่สำคัญมีทั้ง พืชบก และพืชน้ำ [10]

2.1.3.1 พืชบก ได้แก่ ไม้ยืนต้น มีทั้งไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้ยูคาลิปตัส ไม้โกกงาง ไม้ยางพารา ไม้แสม พืชล้มลุก เช่น ฟางข้าว หญ้า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืช เช่น น้ำมันสน น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันเมล็ดกระหู่ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เศษไม้ ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกและซังข้าวโพด ชานอ้อย เปลือกผลไม้อีก กากน้ำตาล น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง

2.1.3.2 พืชน้ำ ได้แก่ ผักตบชวา จอก แหนสับ (ที่สับเป็นชิ้น ๆ ผสมกับมูลสัตว์หมัก ทำก๊าซชีวภาพ) ส่วนการสร้างชีวมวลของสัตว์นั้น สัตว์มิได้สร้างขึ้นโดยตรงเพียงแต่สัตว์กินพืชเป็นอาหารและได้รับการถ่ายทอดพลังงานจากพืชไปตามข่ายใยอาหาร (Food Web) สัตว์จะนำสารอินทรีย์จาก

พืชไปใช้ประโยชน์ ส่วนกากที่เหลือซึ่งสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ก็จะถูกขับถ่ายออกมาเป็นมูล ในการเผาผลาญอาหารของสัตว์นั้นมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ออกมากับกระบวนการหายใจด้วย ซึ่งพืชสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้หากสัตว์ตายลงก็จะเน่าเปื่อยผสมกับซากพืชและมูลสัตว์ กลายเป็นปุ๋ยให้พืชนำกลับมาใช้ได้ อีก จะเห็นได้ว่าชีวมวลสามารถหมุนเวียนอยู่ได้โดยไม่มีวันหมดไป ถ้าองค์ประกอบต่างๆในวงจรคงอยู่ จึงกล่าวได้ว่าพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียน พลังงานจากชีวมวลที่มนุษย์ได้จากสัตว์ ได้แก่ มูลของสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น โค กระบือ สุกร เป็ด และไก่ ซึ่งนำไปตากแห้งแล้ว นำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือนำมาผลิตไปหมักเป็นก๊าซชีวภาพได้ [10]

2.1.4 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลักที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้แก่ แกลบ และ ฟางข้าว ชานอ้อย กากและกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว ฯลฯ จากการประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ประมาณ 63 ล้านตัน ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ ประมาณ 16 ล้านตัน ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนที่ยังไม่ได้ใช้เท่ากับ 42 ล้านตัน เทียบเท่ากับพลังงาน 604.82 เพตาจูล (6.04 X 10¹⁷ จูล) [14]

กระบวนการผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย อันได้มาซึ่งผลผลิตต่างๆที่ส่งออกไปยังต่างประเทศมีมูลค่าปีละหลายพันล้านบาท เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตพลังงานทดแทนจากอุตสาหกรรมเกษตรได้ เช่น แกลบจากโรงสี กากอ้อย จากโรงงานน้ำตาล กากปาล์ม เปลือกปาล์ม และกะลาปาล์ม จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กาบและกะลามะพร้าว จากโรงงานแปรรูปเนื้อมะพร้าวจืดเหลือจากโรงงานแปรรูปไม้เป็นต้น ศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร จากรายงานการใช้เชื้อเพลิงในปี 2542 มีปริมาณการใช้ฟืน 6.7 ล้านตัน ถ่านไม้ 3.3 ล้านตัน โดยมีการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมอาหารอบแห้ง ใช้กับเตาในอุตสาหกรรมเซรามิกการผลิตอิฐและการผลิตปูนขาว ใช้หุงต้มประกอบอาหารในครัวเรือนชนบท ส่วนถ่านไม้ใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน ใช้หุงต้มประกอบอาหารทั้งครัวเรือนในชนบทและในเมือง จากรายงานกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานในปี 2539 มีแหล่งผลิตฟืนและถ่านเหลือเพียง 25.6 % โดยปริมาณการใช้ฟืนและถ่านคิดเป็น 16.7% เทียบกับการใช้พลังงานอื่นๆ ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนสำหรับการหุงต้มประกอบอาหารหรือในอุตสาหกรรมครัวเรือนซึ่งเป็นที่ทำได้ง่ายมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้า หรือก๊าซธรรมชาติ ยังก่อให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าต่อชุมชนช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานการแปรรูปจากซังข้าวโพดเป็นถ่านจึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่เกษตรกรสามารถจะทำได้เองโดยอาศัย

ความรู้พื้นฐานทางธรรมชาติของวัสดุเหลือใช้และกระบวนการรีไซเคิลที่เป็นเทคโนโลยีจากนักวิชาการที่ภาครัฐส่งเสริมเพื่อนำไปสู่ชุมชนที่เข้มแข็งและพึ่งตนเองได้ในที่สุด [15]

2.1.5 ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

ในปี 2550 กระทรวงพลังงานได้ทำการประเมินศักยภาพของชีวมวลในประเทศไทยที่สามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 3,000 MW แบ่งเป็นชีวมวลที่มาจากแกลบ 700 MW ฟางข้าว 650 MW ชานอ้อย 900 MW ยอดอ้อย และใบอ้อย 570 MW เส้นใย กะลา และทะเลสาบปาล์มเปล่า 70 MW เศษไม้ 40 MW เหง้ามันสำปะหลัง 70 MW และซังข้าวโพด 70 MW

ตารางที่ 2.1 ประเภทและศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย (2550)

ประเภทของชีวมวล	กำลังไฟฟ้า (MW)
แกลบ	700
ฟางข้าว	650
ชานอ้อย	900
ยอดและใบอ้อย	570
เส้นใย กะลา และทะเลสาบปาล์มเปล่า	70
เศษไม้	40
เหง้ามันสำปะหลัง	70
ซังข้าวโพด	70

ที่มา : สำนักนโยบายและแผนพลังงาน [14]

ความเชื่อมั่นศักยภาพของพลังงานจากชีวมวลในประเทศไทยทำให้กระทรวงพลังงานตั้งเป้าหมายว่า ในปี พ.ศ.2554 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจะต้องส่งเสริมให้ได้จำนวน 2,800 MW หรือคิดเป็นพลังงานได้ประมาณ 940 พันตันน้ำมันดิบ (Kilotons of oil equivalent: ktoe) สามารถใช้ผลิตพลังงานความร้อนเชิงพาณิชย์ได้ 3,660 ktoe จากเดือนพฤศจิกายน 2550 ที่สามารถผลิตได้จำนวน 1,977 MW อย่างไรก็ตามข้อมูลจากบริษัท เอ.ที.ไบโอเพาเวอร์ จำกัด เจ้าของไฟฟ้าชีวมวลรายใหญ่ตั้งอยู่ที่จังหวัดพิจิตร ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ได้มีการศึกษาและสำรวจถึงศักยภาพของชีวมวลเมื่อต้นปี 2550 ระบุว่าประเทศไทยยังมีศักยภาพชีวมวลเหลือพอที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 2,070–3,130 MW ส่วนศักยภาพของชีวมวลจากแกลบและชานอ้อยนั้น ไม่มีศักยภาพเหลือเพียงพอสำหรับ

โรงไฟฟ้าที่ตั้งใหม่แล้ว เนื่องจากที่ผ่านมา ภาครัฐได้มีการส่งเสริมให้เกิดโรงไฟฟ้าชีวมวลจำนวนหลายแห่งและส่วนใหญ่ต่างเลือกใช้แกลบและชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ทำให้ศักยภาพที่มีอยู่ของชีวมวลทั้งสองประเภทดังกล่าวแทบไม่มีเหลืออยู่

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพทางพลังงานของชีวมวลในประเทศไทยในปี 2550

ประเภทของชีวมวล	วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน (MJ/Kg)	ศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงาน(PJ)
อ้อย	ชานอ้อย	16.21	130-199
	ใบและยอด	16.15	
ข้าว	แกลบ	13.98	77-87
	ฟางข้าว	14.35	
ข้าวโพด	ซังข้าวโพด	16.12	6-8
	และใบ	15.05	
มันสำปะหลัง	เหง้ามันสำปะหลัง	14.56	

หมายเหตุ : MJ = Mega joules คือ 1 ล้านจูล

PJ = Pet joules คือ 10^{15} หรือ 1 พันล้านล้านจูล

ที่มา : สำนักนโยบายและแผนพลังงาน [14]

ศักยภาพพลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ประเมินโดยอ้างอิงจากผลผลิตทางการเกษตรเฉลี่ยในแต่ละปี อัตราส่วนชีวมวลต่อผลผลิตโดยเฉลี่ยและค่าความร้อนที่ได้จากการวัดในสภาพสดหรือที่ระดับความชื้นที่ระบุไว้

ตารางที่ 2.3 พลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

ลำดับ	ชีวมวล	ความชื้น%	ค่าความร้อนต่อเมกะจูล/กก	อัตราส่วนชีวมวลต่อผลผลิต% ตัน/ไร่	ปริมาณล้านตัน	พลังงานกิกะจูล $\times 10^6$
1	แกลบ	12.00	13.52	21.00	5.25	70.96
2	ฟางข้าว	10.00	12.33	49.00	12.25	151.04

ตารางที่ 2.3 พลังงานชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (ต่อ)

ลำดับ	ชีวมวล	ความชื้น%	ค่าความร้อน ต่อเมกะจูล/กก	อัตราส่วนชีวมวล ต่อผลผลิต% ต้น/ ไร่	ปริมาณ ล้านตัน	พลังงาน กิกะจูล $\times 10^6$
3	ชานอ้อย	50.73	7.37	28.00	14.00	103.15
4	ใบและยอด อ้อย	9.20	15.48	17.00	8.50	131.57
5	จี้เลื่อย	55.00	6.57	3	0.75	4.93
6	ปีกไม้	55.00	6.57	12	3.00	19.71
7	ปลายไม้	55.00	6.57	12	3.00	19.71
8	รากไม้	55.00	6.57	5	1.25	8.21
9	ใยปาล์ม	38.50	11.40	19.00	0.95	10.83
10	กะลาปาล์ม	12.00	16.90	4.00	0.20	3.38
11	ทะลายเปล่า ปาล์ม	58.60	7.24	32.00	1.60	11.58
12	ทางปาล์ม	78.00	1.76	141.00	7.05	12.41
13	ลำต้นปาล์ม	48.40	7.54	10	0.1	0.75
14	เหง้ามัน สำปะหลัง	59.40	5.49	20.00	3.40	18.68
15	ซังข้าวโพด	40.00	9.62	24.00	1.20	11.54
16	ซังข้าวโพด	42.00	9.83	82.00	4.10	40.30
17	เปลือกไม้ ยูคาลิปตัส	63.00	4.92	3	1.80	8.85
รวม					633	
เทียบเท่าน้ำมันดิบ					15,000	

ที่มา : ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล [15]

ชีวมวลที่เกิดขึ้นในแต่ละปีนั้นบางส่วนได้ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานแล้ว ดังนี้

2.1.5.1 กระบวนการผลิตของผู้ผลิตชีวมวลเอง

- 1) โรงงานน้ำตาลใช้ขานอ้อยประมาณ 80% ของส่วนที่เกิดขึ้น เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อกระบวนการผลิต คิดเป็นพลังงาน 82.50 ล้านกิกะจูล
- 2) โรงงานสีข้าวโรงสีไฟและโรงสีข้าวหนึ่งใช้เกลบเป็นพลังงานในการอบข้าวเปลือกสีข้าวและนึ่ง คิดเป็นพลังงานรวม 21.30 ล้านกิกะจูล
- 3) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบใช้ใบปาล์มประมาณ 90% ของส่วนที่เกิดขึ้น เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อกระบวนการผลิต คิดเป็นพลังงาน 9.75 ล้านกิกะจูล
- 4) โรงเลื่อยไม้ยางพาราใช้ปีกไม้ยางพาราประมาณ 40% ของส่วนที่เกิดขึ้น เป็นเชื้อเพลิงอบไม้ยางพาราคิดเป็นพลังงาน 7.88 ล้านกิกะจูล
- 5) โรงงานผลิตเยื่อกระดาษใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส และฝุ่นไม้ประมาณ 50% ของส่วนที่เกิดขึ้นเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อกระบวนการผลิต คิดเป็นพลังงาน 4.43 ล้านกิกะจูล คิดเป็นพลังงานรวม 125.86 ล้านกิกะจูล หรือ 2,900 kto

2.1.5.2 โรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เกลบ ขานอ้อย น้ำมันยางดำ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบ คิดเป็นหน่วยไฟฟ้าเท่ากับ 1,764 ล้านกิโลวัตต์-ชม. (สถิติปี พ.ศ.2548)

2.1.5.3 โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ชีวมวลผลิตความร้อนเพื่อกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น

- 1) โรงงานแป้งมัน โรงงานผลิตผงชูรสและ โรงงานผลิตน้ำมันพืชใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา
- 2) โรงงานผลิตถลุงมือยางใช้เศษไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา
- 3) โรงงานปูนซีเมนต์ใช้เกลบ และเศษไม้ยางพาราทดแทนถ่านหิน
- 4) โรงงานปลาป่นและ โรงงานผลิตปุ๋ยขาวใช้เศษไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง
- 5) โรงงานเผาอิฐใช้เกลบและเศษไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น

สถิติการใช้พลังงานส่วนนี้ยังไม่มีตัวเลขที่แน่ชัดจากการสำรวจและประเมินเบื้องต้นของศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลคาดว่าอยู่ที่ 2,000 ktoe

2.1.5.4 ภาคที่อยู่อาศัย เช่น ฟืนและถ่านไม้ ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานในครัวเรือนตามชนบทซึ่งยังไม่ทราบปริมาณที่แน่ชัด

ชีวมวลบางชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นพลังงานเนื่องจากความชื้นสูง เช่น กาก และเปลือก

มันสำปะหลัง บางชนิดเหมาะนำมาเป็นเชื้อเพลิงแต่อยู่ในท้องไร่ท้องนาต้องหาวิธีการจัดเก็บรวบรวมให้ต้นทุนถูกที่สุดเช่นฟางข้าว ใบและยอดอ้อย รากไม้อย่างพารา เหง้ามันสำปะหลัง

2.1.6 ศักยภาพของก๊าซชีวภาพในประเทศไทย และการส่งเสริมจากรัฐ

การที่ก๊าซชีววมวลสามารถผลิตได้จาก มูลสัตว์ ขยะเสียด่างๆ หรือน้ำเสีย จากโรงงานส่งผลให้ประเทศไทยมีศักยภาพสูง ในการผลิตก๊าซชีวภาพเพราะเป็นประเทศที่มีทั้งภาคเกษตร และอุตสาหกรรมค่อนข้างที่จะมีศักยภาพ ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบุว่าไทยมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนี้

2.1.6.1 มูลสัตว์ 6 ชนิด คือ มูลโค กระบือ สุกร ไก่ เป็ด และมูลช้างในปี พ.ศ.2543 มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้ 560 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นพลังงาน ประมาณ 11.75 เพตาจูล

2.1.6.2 การพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้เก็บข้อมูลปริมาณขยะพบว่าในปี 2548 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยชุมชนเกิดขึ้น 14.3 ล้านตัน หรือวันละ 38,221 ตัน มาจากกรุงเทพมหานครวันละ 8,291 ตัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งประเทศ อีกร้อยละ 32 เป็นขยะเทศบาล และเมืองพัทยาประมาณ 12,636 ตัน และร้อยละ 47 เป็นขยะนอกเทศบาลในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลประมาณ 18,295 ตัน ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวันถูกนำมาใช้ประโยชน์ 3.1 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 22 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นเท่านั้น

2.1.6.3 ในปี พ.ศ.2543 นำเสียด่างจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูง ในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพมี 11 ประเภทอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น มีศักยภาพที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 435.33 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับพลังงาน 10.45 เพตาจูล

ตารางที่ 2.4 แสดงศักยภาพชีววมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าในปี (2550)

ประเภท	วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	กำลังไฟฟ้า (MW)
อ้อย	ชานอ้อย	-
	ใบและยอด	1,220 - 1,860
ข้าว	แกลบ	-
	ฟางข้าว	702 - 1,100
ข้าวโพด	ชังข้าวโพด	60 - 70
ปาล์ม	ทะลายปาล์มเปล่า	70-700

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน [14]

ข้อดีข้อเสียของชีวมวล

ชีวมวล เป็นพลังงานที่มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวล คือ วงจรของพืชที่มีระยะสั้นต่างจากน้ำมันหรือถ่านหินที่ต้องอาศัยการทับถมกันเป็นเวลาหลายล้านปี นอกจากนี้ชีวมวลสามารถผลิตได้ภายในประเทศ เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายชีวมวลสู่ผู้ใช้ และยังช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย

ข้อดีที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อม คือ การใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อน หรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก ในกรณีที่เรามีการผลิตชีวมวลขึ้นมาเพื่อทดแทนชีวมวลที่ได้ใช้ไปเพราะจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกหมุนเวียนมาใช้ในชีวมวลที่ผลิตใหม่เท่ากับปริมาณก๊าซที่ถูกผลิตจากการเผาไหม้ชีวมวลนั้นๆ เนื่องจากพืชต้องหายใจเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใช้ในการเจริญเติบโตอีกทั้งชีวมวลยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก นั่นหมายถึงการใช้ชีวมวลจะลดโอกาสในการปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งตรงข้ามกับการใช้น้ำมันในภาคขนส่งหรือถ่านหินในโรงไฟฟ้า แต่เมื่อมีข้อดีชีวมวลก็ย่อมมีข้อเสียดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ชีวมวลมีการเก็บรักษาและการขนส่งที่ยากและมีความเสี่ยงสูงในการจัดการหรือรวบรวมปริมาณชีวมวลที่ต้องการใช้ให้คงที่ตลอดปี เพราะชีวมวลบางประเภท เช่น กากอ้อย มีจำกัดเพียงบางเดือน อีกทั้งชีวมวลทุกประเภทต่างต้องการพื้นที่ในการเก็บรักษานานกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น หากต้องการปริมาณความร้อนที่เท่ากัน จะต้องใช้แกลบในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันเตาเป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาระบบวิธีการจัดเก็บและขนส่งจึงสำคัญและจำเป็นมากนอกจากนี้ ราคาไฟฟ้าที่รัฐบาลรับซื้อมาจากโรงไฟฟ้าหรือเรียกว่าผู้ผลิตรายเล็ก (SPP: Small Power Producers) นั้นยังไม่ดึงดูดใจในการลงทุนมากนัก เรื่องนี้สามารถจัดการได้ด้วยการรณรงค์ให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าด้านารับซื้อที่ดึงดูดให้นำลงทุนมากขึ้น โดยใช้หลักการคำนวณต้นทุนทางสังคมและสิ่งแวดล้อม (Social and Environmental Cost) เข้าไปในราคาซื้อไฟฟ้าด้วยและสร้างระบบประกันราคาชีวมวลเพื่อลดความเสี่ยงของการขาดแคลนชีวมวลในบางฤดูให้ลดต่ำลง ไม่จำเป็นเสมอไปที่ประเทศจะต้องพึ่งพาเทคโนโลยีพลังงานลมหรือแสงอาทิตย์ที่ยังคงมีต้นทุนต่อหน่วยสูงหรือการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากถ่านหินแห่งใหม่ที่ปล่อยมลพิษในระดับที่สูงขณะผลิตไฟฟ้า ในปัจจุบันพลังงานจากชีวมวลที่ประเทศมีเหลือใช้อยู่อย่างมกนั้นสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนและผลิตไฟฟ้าได้ด้วยราคาที่ต่ำลงจนเกินไปนักส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำมากและยังสามารถเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่นได้อีกด้วย [16] ด้วยศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิด

ชีวมวลมีแนวโน้มจะผลิตได้เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เพราะปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น การเพิ่มจำนวนพื้นที่เพาะปลูกและการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตรเป็นต้น

ตั้งแต่ปี 2535 เป็นต้นมา สพข.ได้นำเงินจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมาสนับสนุนทุนดำเนินงานให้กับหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อร่วมกันพัฒนาเทคโนโลยีชีวมวลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้ได้สะดวกขึ้น ส่งเสริมให้มีการสาธิตเทคโนโลยีที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้สร้างความเชื่อมั่นการใช้งานได้จริงตลอดจนการส่งเสริมให้ใช้ มีการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้าโดยการทำให้ราคาซื้อขายไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producers : SPP) ที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับต้นทุนในการผลิตจะเป็นแรงจูงใจให้มีผู้สนใจลงทุนผลิตและขายไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการประสานกับการไฟฟ้าทั้ง 3 ฝ่าย เพื่อแก้ไขระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP ขนาดเล็กมาก (ที่มีปริมาณพลังไฟฟ้าที่ขายเข้าระบบ น้อยกว่า 1 MW) เพื่อลดต้นทุนค่าเชื่อมโยงระบบเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ก่อให้เกิดบรรยากาศที่จูงใจให้มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวลได้มากขึ้นพร้อมทั้ง สพข.จะรณรงค์ประชาสัมพันธ์ถึงข้อดีของพลังงานจากชีวมวลเพื่อสร้างความเข้าใจและเกิดภาพลักษณ์ที่ดีในการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานให้มากขึ้นหากความพยายามของ สพข. ในการเร่งให้มีการพัฒนาพลังงาน จากเชื้อเพลิงที่เป็นชีวมวลและพลังงานทดแทนอื่น ๆ เพื่อให้มีส่วนช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงและพลังงานนำเข้านั้น สามารถดำเนินงานไปอย่างมีประสิทธิภาพก็จะเป็นการกระตุ้นให้มีการผลิตไฟฟ้า จากแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในปัจจัยในการผลิตถ่านอัดแท่ง

2.1.7 การผลิตชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ทำการเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น มันสำปะหลัง ข้าว น้ำตาล ยางพารา และน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ผลผลิตส่วนหนึ่งได้ทำการส่งออกไปยังต่างประเทศมีมูลค่าปีละหลายพันล้านบาทอย่างไรก็ตามในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้จะมีวัสดุเหลือใช้ออกมาจำนวนหนึ่งด้วย [14]

2.1.7.1 ชีวมวลปริมาณ ไม่นแน่นอนเนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดปลูกเพียงตามฤดูกาลเท่านั้น และผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ

- 1) เกษตรกรเปลี่ยนชนิดของผลผลิตไปตามความต้องการของตลาด
- 2) พื้นที่การเกษตรลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพไปสู่เมือง
- 3) ชีวมวลมีอยู่มากแต่อยู่อย่างกระจัดกระจาย ทำให้รวบรวมได้ยาก เช่น กล้วยไม้ เศษไม้ ชังข้าวโพด ขอดอ้อยที่อยู่ตามท้องไร่ท้องนา และแถบตามโรงสีเล็ก ๆ

2.1.7.2 ปริมาณชีวมวลที่ใช้อยู่ในโรงงานและพื้นที่ใกล้เคียงมีไม่เพียงพอที่จะนำไป

ผลิตไฟฟ้า ที่ให้ผลตอบแทนในการลงทุนดีพอ และเมื่อต้องหาชีวมวลแหล่งอื่นมาเสริมก็จะมีปัญหาในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่าขนส่งจากแหล่งชีวมวลมาโรงงานถ้ายังอยู่ไกลพื้นที่ตั้งของโรงงานก็ยิ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง
- 2) มีความเสี่ยงสูงจากการรวบรวมชีวมวลจากแหล่งต่างๆ ให้ได้ปริมาณตามต้องการ

2.1.7.3 ค่าใช้จ่ายสูงที่จะลงทุนเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้า ระหว่างโรงงาน สู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ค่าอุปกรณ์เชื่อมต่อค่าก่อสร้างระบบสายส่ง โรงงานขาดความเชื่อมั่นที่จะลงทุนเนื่องจากขาดการสนับสนุนจากสถาบันการเงิน เนื่องจากความไม่แน่นอนของปริมาณ

- 1) ชีวมวล
- 2) ขาดความมั่นใจด้านเทคโนโลยี ด้วยยังขาดการสาธิตเทคโนโลยี
- 3) ไม่มีผู้ให้คำปรึกษาด้านเทคนิค
- 4) ขาดบุคลากรที่จะเป็นผู้ดำเนินการและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า

ราคาซื้อขายและราคาขายของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานสิ้นเปลืองยังต่ำมาก เมื่อเทียบกับไฟฟ้าที่ได้จากชีวมวลจึงไม่เกิดแรงจูงใจในการผลิต แต่ถ้าราคาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานสิ้นเปลืองสูงขึ้นในอนาคตจะเป็นแรงจูงใจให้ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของ โรงสีข้าว และ โรงงานน้ำตาลจนทำให้มีไฟฟ้าเหลือมากพอจำหน่ายคืนเข้าระบบของการไฟฟ้าฯ ได้

2.1.8 พลังงานหมุนเวียนและพลังงานชีวมวล

พลังงานหมุนเวียนในโลกนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

2.1.8.1 พลังงานหมุนเวียนที่มาจากแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งคือ พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.8.2 พลังงานหมุนเวียนที่มาจากแสงอาทิตย์โดยอ้อม เช่น พลังงานลม คลื่นหรือชีวมวล (และชีวภาพ)

2.1.8.3 พลังงานหมุนเวียนที่ไม่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์ เช่น น้ำขึ้น-น้ำลง พลังงานใต้พิภพ พลังงานทั้งสามประเภทต่างมีศักยภาพที่แตกต่างกันออกไป ตามลักษณะภูมิประเทศ และภูมิอากาศ สำหรับในประเทศไทยนั้นนอกเหนือจากพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้ว พลังงานชีวมวลจัดได้ว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และสำคัญคือ มีศักยภาพสูงมากอีกด้วย

ชีวมวล (Biomass) คือ สารทุกรูปแบบที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต โดยไม่นับการกลายเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลไปแล้ว เช่น สิ่งที่ได้จากการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย ฟางข้าว ขยะมูลฝอย น้ำเสียจากโรงงาน หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ต่าง ๆ มีรายงานว่าพลังงานชีวมวลนี้มีสัดส่วนการใช้คิดเป็นร้อยละ 14.7 ของ

พลังงานรวมของโลก ประมาณกันว่าประชากรกว่าร้อยละ 40 ของประชากรโลกอาศัย ชีวมวลในการ หุงต้มและให้ความอบอุ่น และหากพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้ในประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลกนั้น การใช้พลังงานชีวมวลจะมีสัดส่วนที่ ร้อยละ 37.1 ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยมี จีน และอินเดีย เป็นประเทศผู้ใช้หลัก

สำหรับในประเทศไทยนั้น ข้อมูลล่าสุด คือ ปี พ.ศ.2545 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงาน ได้รายงาน ว่า สัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของพลังงานเชิงพาณิชย์ต่อพลังงาน ชีวมวลอยู่ประมาณ 83.17 ซึ่งลดลงจาก 10 ปีก่อน ซึ่งมีสัดส่วนอยู่ที่ประมาณ 70.30 นั้น หมายความว่า เรามีการใช้พลังงานชีวมวลในสัดส่วนที่น้อยลงอย่างมาก แต่กลับไปใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ ซึ่งส่วน ใหญ่แล้วต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ในสัดส่วนที่มากขึ้นเป็นสาเหตุให้มูลค่าการนำเข้าพลังงาน ของประเทศสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2545 คิดเป็นมูลค่าถึง 336,388 ล้านบาท (ร้อยละ 85 ใช้จ่ายกับการ ชื้อนํ้ามันดิบ)

2.1.9 ประโยชน์ของชีวมวล

ประโยชน์ของชีวมวลใช้เป็นพลังงานตั้งแต่สมัย โบราณแล้วต่อมาโลกได้มีการพัฒนา เจริญมากขึ้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจึงได้นำเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน และก๊าซ ธรรมชาติมาทดแทนทำให้พลังงานจากชีวมวลมีบทบาทน้อยลงมากในปัจจุบันนี้ [17] การนำชีวมวล มาเป็นเชื้อเพลิงมีข้อดีหลายประการ ดังนี้

2.1.9.1 การเผาไหม้สารทุกชนิดจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งลอยขึ้นไป ในอากาศและห่อหุ้มโลกไว้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องลงมาถึง โลกครึ่งปีบางส่วนจะไม่สามารถสะท้อนกลับ ออกไปได้ทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกแต่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาชีวมวลจะถูกหมุนเวียน ไปใช้โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสง ดังนั้นการเผาชีวมวลไม่ถือว่าเป็นการเกิดก๊าซเรือนกระจก

2.1.9.2 การไม่นำชีวมวลมาใช้ปล่อยให้ย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติ เช่น มูลสัตว์ จะเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งถือเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และมีอันตรายมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

2.1.9.3 ชีวมวลจะมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมา เผาไหม้จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (นํ้ามันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถ่านหิน มีประมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน

2.1.9.4 ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นต่าง จึงเหมาะสมที่จะนำไปเพาะปลูกหรือปรับ

สภาพดินที่เป็นกรด ก็เฝ้าจากการเผาถ่านหินจะมีสภาพเป็นด่างแต่จะมีสารโลหะหนักปะปนอยู่ ดังนั้นต้องนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธี เช่น มีฝ้ายกรองรับด้านล่าง

2.1.9.5 ช่วยลดภาระในการกำจัด เช่นนำไปฝังกลบ และเผาทิ้ง เป็นต้น

2.1.9.6 ก่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่น ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น มีการประเมินว่าการนำชีวมวลในท้องถิ่นมาใช้ทำให้เงินหมุนเวียนในระบบเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่า และรายได้ประชาชาติสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อชาวไร่ชาวนามีรายได้เพิ่มขึ้นจากชีวมวลจะนำเงินส่วนนี้ไปใช้จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่น เช่น จ้างคนเก็บและรวบรวมชีวมวลคนเหล่านั้นจะนำเงินส่วนนี้ไปใช้จ่ายอีกทอดหนึ่งเป็นอย่างนี้เรื่อยไป

2.1.9.7 ประหยัดเงินตราต่างประเทศ เพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เช่นน้ำมันเตา และถ่านหิน เป็นต้น

นอกจากนี้ชีวมวลยังมีประโยชน์ในรูปอื่นๆเช่นใช้เป็นวัตถุดิบผลิตสินค้าปุ๋ยและกิจกรรมทางการเกษตรยกตัวอย่าง เช่น

- 1) แปลงรูปเป็นปุ๋ยโดยการนำเศษไม้ใบหญ้าและฟางข้าวมาหมัก 2-3 เดือนหรือปล่อยให้ย่อยสลายในสวนในไร่ตามธรรมชาติก็ได้เช่นกัน
- 2) เป็นวัตถุดิบ เช่นการนำเศษไม้ยางพาราจากโรงเลื่อยมาย่อยและอัดเป็นแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ดจากการนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ
- 3) เพาะเห็ดจากขี้เลื่อย และทะเลสาปลาต้มปลา
- 4) ใช้ในกิจกรรมปศุสัตว์ เช่น โรยเกลบใต้โรงเลี้ยงไก่เพื่อรองรับมูลของไก่ เป็นต้น

ความต้องการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต เนื่องจากชีวมวล มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงสมัยใหม่ในปริมาณความร้อนที่เท่ากัน และจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกและทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ในขณะที่การนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานในเชิงพาณิชย์นั้น จะช่วยบรรเทาปัญหาการในการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ให้กับบรรยากาศ แต่เนื่องจากชีวมวลบางชนิดมีการผลิตเฉพาะตามฤดูกาลหรือมีเฉพาะบางภูมิภาค ดังนั้นการนำชีวมวลมาใช้ผลิตพลังงานในแต่ละโรงงานต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นประกอบ ได้แก่ แหล่งชีวมวล ปริมาณรวมของชีวมวล และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานชีวมวล แม้ว่าในขณะที่การใช้พลังงานชีวมวลและเทคโนโลยีบางด้านยังไม่สามารถดำเนินการในเชิงพาณิชย์และไม่มีคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่การเตรียมพร้อมก็อาจจะเป็นประโยชน์อย่างมากหากเกิดวิกฤติพลังงานขึ้นในอนาคต ขณะเดียวกันก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีบาง

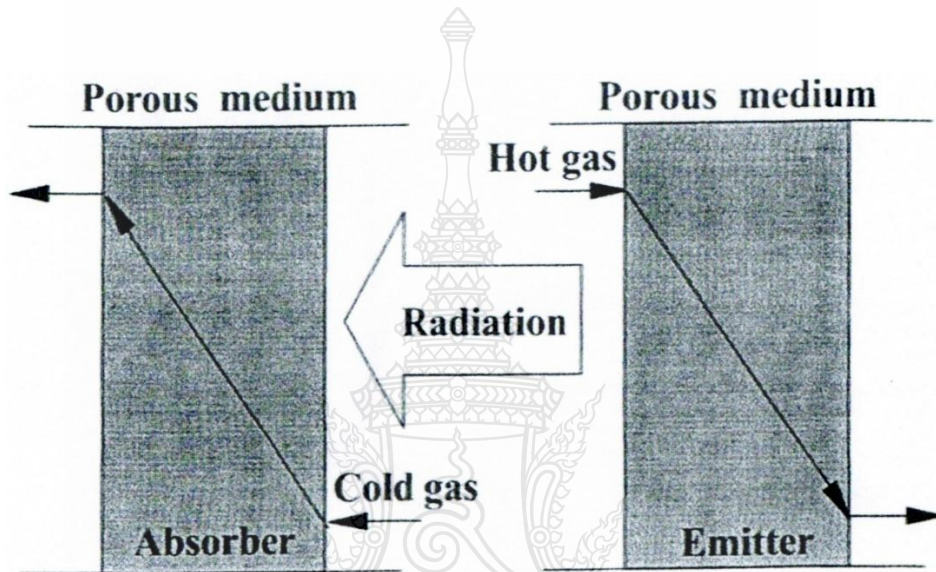
สาขาไปถึงขั้นที่สามารถลดต้นทุนลงจนกลายเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้เช่นกัน ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของชีวมวลเนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ใช้ไม่มีวันหมด ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีแหล่งพลังงานชนิดนี้อยู่ภายในประเทศเป็นจำนวนมาก พลังงานชีวมวลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้ในอนาคต

2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้วัสดุพรุน

2.2.1 หลักการทำงานของวัสดุพรุน

วัสดุพรุนเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวต่อปริมาตรสูงทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนสูงจากการศึกษาทดลองที่ผ่านมาเป็นที่ยอมรับกันว่าวัสดุพรุนก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อนด้วยตัวเอง มีข้อดีคือทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติ (Convention Open Premixed Flame) [18] ความเร็วในการเผาไหม้สูงขึ้น (Burning Verosity) สูงขึ้นอีกทั้งยังสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำๆที่ไม่สามารถเผาไหม้ในอุปกรณ์การเผาไหม้แบบปกติได้ (Conventional Burner) ให้ค่าความเข้มการเผาไหม้สูง (High Combustion Intensity) รวมถึงค่าความเข้มของการแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Flux) ที่สูงขึ้นและทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆได้ ซึ่งทำให้สามารถออกแบบให้เตาเผาไหม้มีขนาดกะทัดรัดได้ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพรุนคือสามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานกลับไปกลับมา ระหว่างเอนทาลปีของแก๊สและการแผ่รังสีความร้อนได้ เนื่องจากวัสดุพรุนมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก (Surface Area to Volume Ratio) ดังนั้นในการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงถือได้ว่าวัสดุพรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีหลักการทำงานดังนี้คือ เมื่อแก๊สร้อนไหลผ่านวัสดุพรุนอันหนาว ดังแสดงในภาพที่ 2.1 วัสดุพรุนดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนเอนทาลปีของแก๊สร้อนเอาไว้ส่วนหนึ่งแล้วเปลี่ยนพลังงานส่วนที่ดูดกลืนมานี้ไปเป็นการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเรียกลักษณะเช่นนี้ว่าเป็นตัวแผ่รังสี (Emitter) แผ่รังสีสวนทางกับการไหลของแก๊สร้อนมายังวัสดุพรุนอีกด้านหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี (Absorber) ดังนั้นอากาศร้อนที่ไหลผ่านตัวแผ่รังสีจะมีอุณหภูมิลดลงและเมื่อมีอากาศเย็นไหลผ่านตัวรับรังสี อากาศเย็นก็จะดูดเอาความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้ทำให้อากาศมีค่าเอนทาลปีและอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากหลักการดังกล่าวถ้านำตัวแผ่รังสีและตัวรับรังสีมาอยู่ชิดกัน แล้วให้อิเสียซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีแล้วเอาอากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้ให้ไหลผ่านวัสดุพรุน ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี ส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมายังอากาศเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยวัสดุพรุนเป็นตัวกลาง (ดูภาพที่ 2.1 ประกอบ) ซึ่งคาดว่าระบบดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพส่งผล

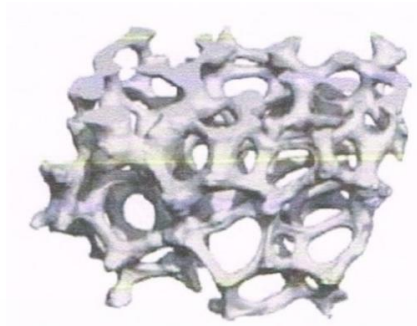
ให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเนื่องมาจากผลของการอุ่นอากาศ (Preheat) ที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังทำให้ได้ค่าของความเร็วในการเผาไหม้ (Burning Velocity) และให้ความเข้มการเผาไหม้สูง (High Combustion Intensity) ทำให้สามารถออกแบบให้เตาเผาไหม้มีขนาดกะทัดรัดนอกจากนี้ยังช่วยขยายขอบเขตการเผาไหม้ได้ (Flammability Limits) กว้างขึ้น



ภาพที่ 2.1 หลักการทำงานของวัสดุพรุน [8]

2.2.2 คุณสมบัติของวัสดุพรุน

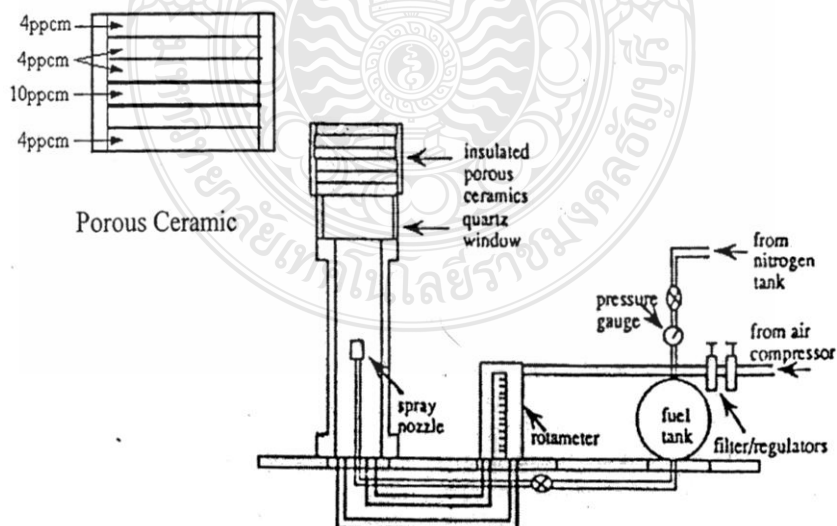
วัสดุพรุน คือ วัสดุที่มีอากาศหรือช่องว่างแทรกกระจายปะปนอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งอย่างสม่ำเสมอ เป็นโครงข่ายทั่วทั้งวัสดุ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพรุน คือ มีความพรุน (Porosity) หรือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Area to Volume ratio) ที่สูง และสามารถทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆ ได้ โดยโครงสร้างภายในของวัสดุพรุนมีลักษณะ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในหลากหลายรูปแบบ [19] มีคุณสมบัติโดดเด่น ด้านการพาความร้อน เมื่อความเร็วของไหล ไหลผ่านมีค่าสูงๆ ในขณะที่เดียวกันจะแสดงคุณสมบัติโดดเด่น ด้านการแผ่รังสีความร้อนที่อุณหภูมิสูง



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุพรุน [19]

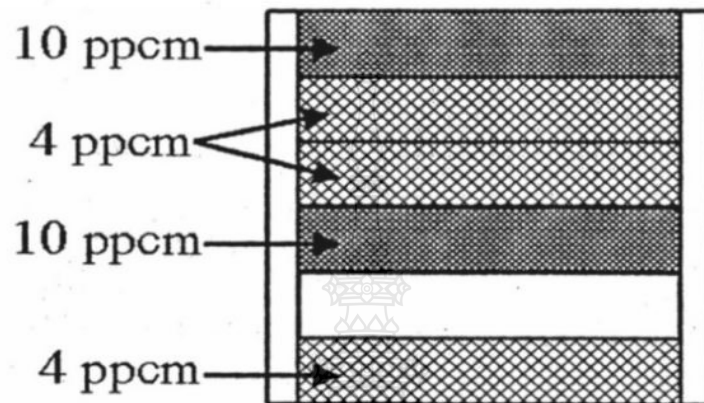
ปัจจุบันการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน สามารถทำได้หลายวิธีและหลายรูปแบบโดยอาศัย การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน หรือทั้งสองอย่างในเวลาเดียวกัน โดยวัสดุพรุนจะทำหน้าที่เป็น ห้องเผาไหม้และเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปพร้อมๆ กัน ผลที่ได้รับคือสามารถออกแบบ เตาเผาไหม้ให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดอีกทั้งอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เผาไหม้ ภายใต้อุณหภูมิการเผาไหม้แบบธรรมดา (Ordinary flame) จากข้อได้เปรียบนี้ทำให้นักวิจัยหลายท่าน ได้ทำการศึกษาในหลายๆ เทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพ การเผาไหม้โดยใช้วัสดุพรุน (Porous Medium) มีรายละเอียด ดังนี้

Kaplan และ Hall [20] ได้ทำการทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดย การสเปรย์เข้าไปในวัสดุพรุนในทิศทาง Up Flow โดยใช้ n-Heptane เป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง



ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์การทดลองของ Kaplan และHall [20]

จากภาพที่ 2.3 แสดงห้องเผาไหม้ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีชั้น ๆ การหุ้มฉนวนรอบนอกแต่ภายในจะประกอบด้วยแผ่นวัสดุพอร์ซันทำด้วยเซรามิกหลายๆ แผ่นเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.4

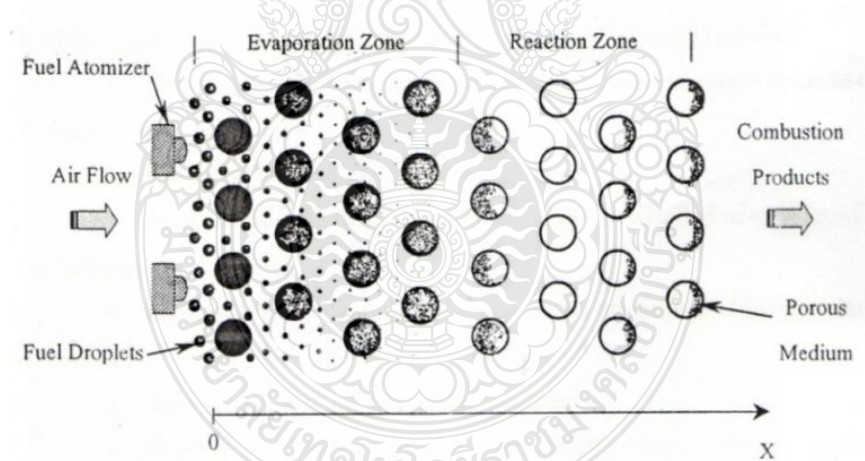


ภาพที่ 2.4 ลักษณะของการจัดวาง Porus Ceramic ที่ใช้ในการทดลอง ของ Kaplan และHall [20]

วัสดุพอร์ซันแต่ละแผ่นหนา 2.5 cm. มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 cm. และมีค่าความพอร์ซัน (Porosity) ต่างกันอยู่ 2 ขนาด คือ 4 ppcm (pores per cm) และ 10 ppcm วัสดุพอร์ซันแบบเซรามิกที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีสามชนิดคือ Magnesia –Stabized Zirconia โดย n-Heptane จะถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยการสเปรย์เชื้อเพลิงเข้าทางด้านล่างวัสดุแผ่นล่าง (4 ppcm) ทำหน้าที่เป็น Mixing Ceramic ซึ่งช่วยในการทำให้เกิด Prevaporization ของละอองน้ำมันและอากาศก่อนที่เข้าไปในวัสดุพอร์ซัน 4 แผ่นด้านบนซึ่งทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ โดยมีอัตราการไหล 0.025 lpm (Liters per Minute) และมีขนาดของละอองเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 50-100 μm มีมุมสเปรย์ 60 องศา และมีความดันในการฉีดประมาณ 600-700 kpa ส่วนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มาจากเครื่องอัดอากาศ โดยมีทิศทางการไหลของอากาศในแนวเดียวกับทิศทางการฉีดเชื้อเพลิงซึ่งทำการป้อนอากาศและฉีดเชื้อเพลิงพร้อมกันการวัดคุณลักษณะการเผาไหม้และมลภาวะทำโดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล เพื่อวัดอุณหภูมิในแนวแกนบริเวณห้องเผาไหม้และแนวรัศมีที่บริเวณหน้าตัดทางออกห้องเผาไหม้และ ติดตั้ง Sampling Probe ของอุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสียไว้บริเวณทางออกจากการทดลอง พบว่าละอองเชื้อเพลิงสามารถละลายผสมกับอากาศและเผาไหม้ภายในชั้นวัสดุพอร์ซันเซรามิกแบบ Magnesia – Stabized Zirconia และได้เปลวไฟที่เสถียร โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องจัดวางแผ่นวัสดุพอร์ซันอย่างเหมาะสมจึงจะได้สภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ภายในชั้นวัสดุพอรุนที่อัตราการไหล 0.025 lpm พบว่าช่วง Equivalence Ratio ที่ทำงานได้ประมาณ 0.57-0.67 ผลภาวะจากการเผาไหม้มีค่าต่ำมากโดยมีปริมาณ CO ประมาณ 3-7 ppm และ NO_x ประมาณ 15-20 ppm อย่างไรก็ตามระยะดังกล่าวยังมีข้อจำกัดหลายประการ อันได้แก่ความจำเป็นที่จะต้องใช้หัวฉีดความดันสูงเพื่อใช้ในการสเปรย์ให้ได้ฝอยละอองที่ละเอียด ช่วงการทำงานของระบบที่ค่อนข้างแคบไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้การเผาไหม้จะเสถียรอยู่ภายในวัสดุพอรุนได้ ยังต้องขึ้นกับปัจจัยหลายด้านที่ยุ่งยากต่อการควบคุม เช่น ชนิดของวัสดุพอรุน ลักษณะการจัดเรียงแผ่นวัสดุพอรุนที่เหมาะสม รวมไปถึงขนาดเริ่มต้นของละอองเชื้อเพลิง และระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับแผ่นวัสดุพอรุนที่เหมาะสม

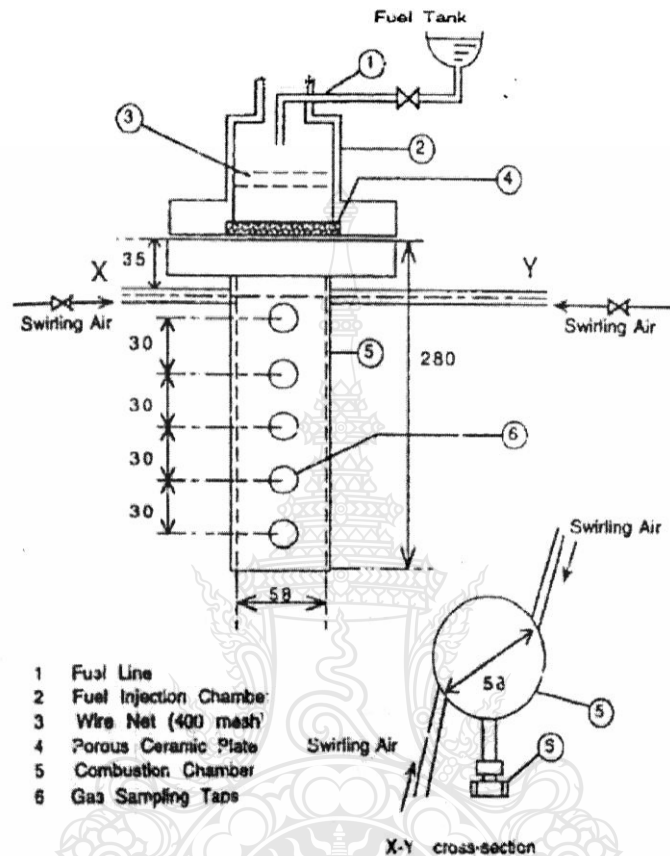
บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว [21] ได้แสดงแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) ของระบบการทำงานของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนโดยใช้หลักการหมุนเวียนพลังงานในระบบด้วยการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพอรุน ในทางปฏิบัติก่อนที่จะป้อนเชื้อเพลิงเหลวเข้าสู่ห้องเผาไหม้จำเป็นต้องมีการอุ่นระบบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นอาจทำได้โดยการป้อนเชื้อเพลิงแก๊สเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนกระทั่งถึงอุณหภูมิทำงานจึงเริ่มป้อนเชื้อเพลิงเหลวและหยุดป้อนเชื้อเพลิงแก๊ส การเผาไหม้อย่างต่อเนื่องด้วยตัวเองก็จะสามารถเกิดขึ้นได้



ภาพที่ 2.5 แสดงแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) ของบุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว [21]

Takami และคณะ [22] ได้เสนอเทคนิคการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบใหม่โดยการหยดน้ำมันก๊าด (Kerosene) ลงบนชั้นวัสดุพอรุนแทนการสเปรย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ของเทคนิคการเผาไหม้แบบดังกล่าว ซึ่งจะนำไปสู่ความพยายามในการขยายช่วงการเผาไหม้ได้ (Flammability

Limits) ของเชื้อเพลิงเหลวเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับ Stirling Engine ดังแสดงในภาพที่ 2.6



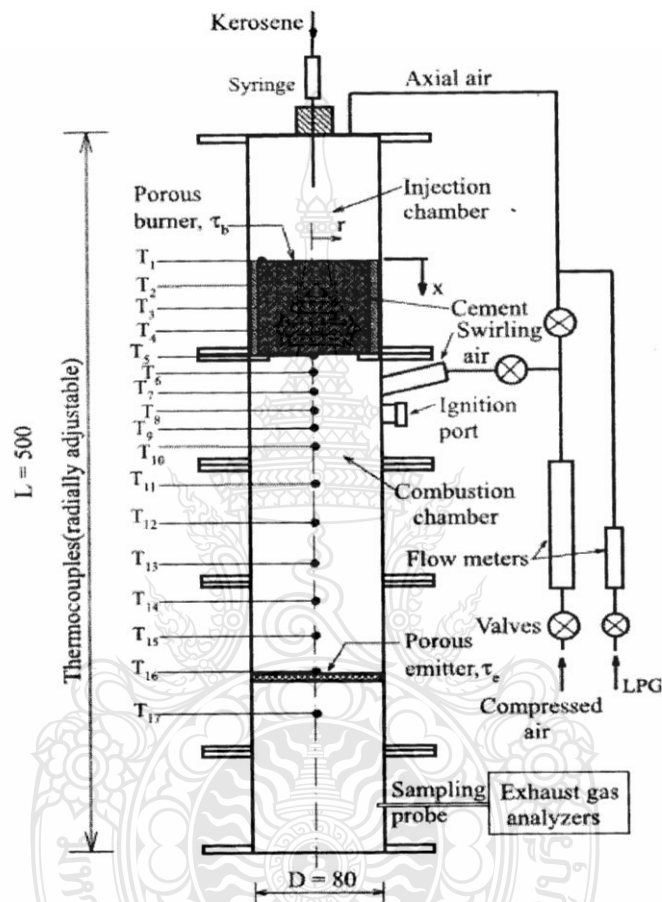
ภาพที่ 2.6 อุปกรณ์การทดลอง ของ Takami และคณะ [22]

จากภาพที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์การทดลอง ประกอบด้วย ชุดหยดเชื้อเพลิงเหลว และแผ่นวัสดุพอร์ซเลนแบบเซรามิกซึ่งบรรจุอยู่ในท่อรูปทรงกระบอก ประกอบด้วยห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นท่อรูปทรงกระบอกที่มีการต่อท่อป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทางด้านข้าง ในส่วนการวัดคุณลักษณะของการไหม้และมลภาวะกระทำโดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สไอเสีย เพื่อนำไปวิเคราะห์ไว้ที่บริเวณห้องเผาไหม้ 5 จุด โดยทำการวัดอุณหภูมิและเก็บตัวอย่างแก๊สไอเสียที่จุดศูนย์กลางหน้าตัดของห้องเก็บตัวอย่างแก๊สไอเสียเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่าระบบดังกล่าวสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้อย่างสมบูรณ์ในช่วง Equivalence Ratio ประมาณ 0.5-0.9 รวมไปถึงยังสามารถขยายขอบเขตการเผาไหม้ได้ (Lean Combustible Limits) โดยสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้

ที่ค่า Equivalence Ratio ประมาณ 0.1 และมีค่า Turndown Ratio ประมาณ 5.8 ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ในช่วง $670 - 3,880 \text{ kW/m}^2$ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาให้เข้าใจถึงอิทธิพลของค่า Equivalence Ratio และ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มีผลต่อโครงสร้างทางความร้อนและมลภาวะจากการเผาไหม้ พบว่าเมื่อเพิ่ม อัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นรวมถึงทำให้ความยาวของเปลวไฟ (Flame Length) และค่า NO_x มากขึ้น แต่ไม่ค่อยมีผลต่อระดับการเกิด CO และเมื่อเพิ่มค่า Equivalence Ratio จะส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นและความยาวของเปลวไฟยาวขึ้นเช่นกัน แต่ไม่ค่อย ส่งผลต่อการเกิด CO, NO_x จากผลของงานวิจัยดังกล่าว ซึ่งประสบความสำเร็จในการนำเทคนิคการ หยดเชื้อเพลิงเหลวลงบนวัสดุพอร์นเพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวแทนการพ่นเป็นฝอยละออง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังมีจุดอ่อนหลายประการกล่าวคือ มีการศึกษาโครงสร้างทางความร้อนด้วยการ วัดอุณหภูมิเฉพาะภายในบริเวณห้องเผาไหม้เท่านั้น ยังไม่มีการวัดอุณหภูมิภายในแผ่นวัสดุพอร์นแต่ ประการใด ทำให้ไม่สามารถทราบและเข้าใจอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างกลไกการระเหย ภายในวัสดุพอร์น กับปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ซึ่งอยู่ด้านล่างของแผ่นวัสดุ พอร์นแต่อย่างใด

Jugjai และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาด้านการทดลอง การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวลักษณะ คล้ายกับ Takami และคณะ [22] คือ ใช้การจ่าย Kerosene เป็นลักษณะหยด (แทนละอองสเปรย์) ลงบน วัสดุพอร์นที่ทำมาจากตาข่ายเสตนเลสวางซ้อนทับกันหนา 75 mm ซึ่งเป็นส่วน Porous Burner ดัง แสดงในภาพที่ 2.7 โดยเกิดการเผาไหม้ซึ่งได้เปลวไฟที่มีเสถียรภาพอยู่ในบริเวณช่องว่างใต้ชั้นวัสดุ พอร์นและมีลักษณะของเปลวไฟเป็นรูปวงแหวน ซึ่งเกิดจากไอน้ำมันที่ออกจากชั้นวัสดุพอร์นผสมกับ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่จ่ายเป็นแบบหมุนวน (Swirl Air) ซึ่งจ่ายเข้าไปในทิศทางสัมผัสกับผนัง ของห้องเผาไหม้ ในการศึกษาถึงคุณลักษณะของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในระบบเตาเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาถึงกลไกการระเหยจะตรวจสอบได้ โดยการวัดโครงสร้างของอุณหภูมิตาม แนวรัศมีและแนวแกนทั้งในห้องเผาไหม้และใน Porous Burner นอกจากนี้ยังวัดคุณลักษณะของ มลภาวะที่เกิดขึ้นในส่วนของกลไกการระเหยตัวน้ำมันเชื้อเพลิงจะระเหยตัวกลายเป็นไอจนหมดภายใน Porous Burner เพราะมีอุณหภูมิสูงกว่า Leidenfrost Temperature มาก ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากการแผ่ รังสีความร้อนจากเปลวไฟการเผาไหม้ด้านล่าง Porous Burner เป็นการช่วยส่งเสริมการระเหยตัว กลายเป็นไอของเชื้อเพลิง การเผาไหม้มีเสถียรภาพและให้ Emission ที่มีค่าต่ำจะพบที่ค่า Equivalence Ratio ระหว่าง 0.37-0.55 ที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 2.62-3.49 kW นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการติดตั้ง วัสดุพอร์นที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี (Porous Emitter) ยังให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอตลอด ความยาวเตาทั้งในแนวแกนและในแนวรัศมี และยังให้มลภาวะที่ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้ง Porous

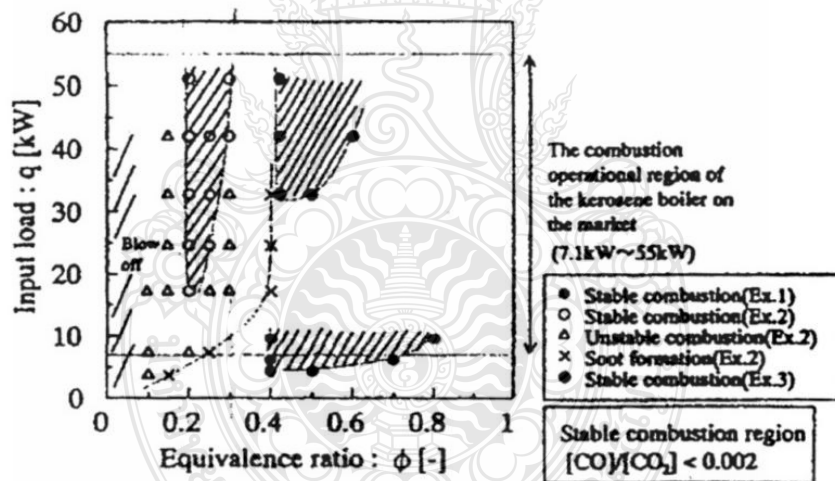
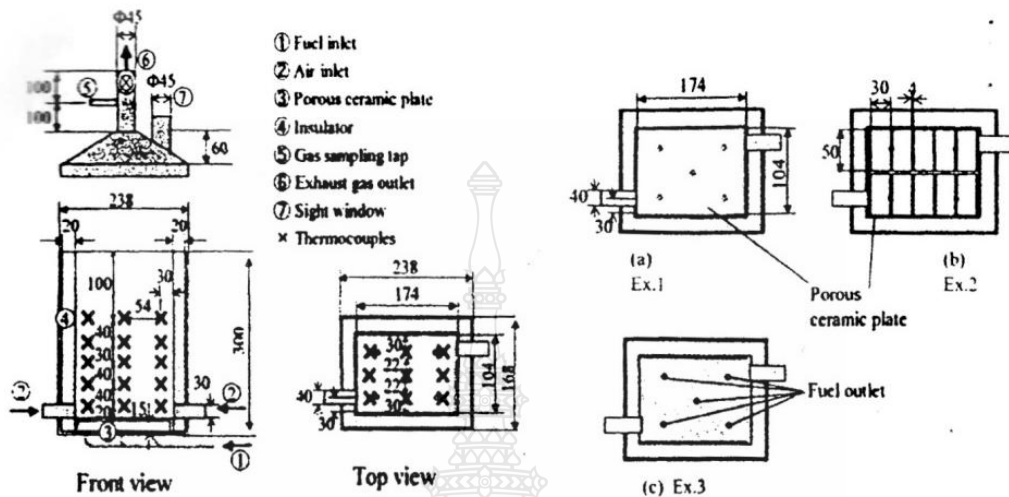
Emitter โดยอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย Equivalence Ratio อัตราการป้อนเชื้อเพลิง Equivalence Ratio และ Porous Emitter ที่มีผลต่อคุณลักษณะของการเผาไหม้ได้แสดงไว้อย่างละเอียดชัดเจน



ภาพที่ 2.7 อุปกรณ์การทดลอง ของ Jugjai และคณะ [23]

อย่างไรก็ตาม จากผลงานวิจัยดังกล่าวยังมีจุดด้อยคืองานวิจัยดังกล่าวเป็นการเผาไหม้ทิศทางเดียว (One Way Flow Combustion, OWFC) บริเวณการเผาไหม้จึงเกิดขึ้นที่ภายนอกใกล้ผิวด้านล่างของวัสดุพอรุน ทำให้การหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียทางด้านซ้ายไปสู่นส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงเหลวทางด้านต้นน้ำมีค่าต่ำ มีช่วงการทำงานของระบบที่ค่อนข้างแคบ แต่จากงานดังกล่าวได้จุดประกายแนวความคิด ที่จะพัฒนาคุณลักษณะการเผาไหม้และกลไกการระเหยตัวของเชื้อเพลิงเหลวให้ดียิ่งขึ้น โดยการใช้วัสดุพอรุนพร้อมทั้งการหยดแทนการพ่นเป็นละออง

Fuse และคณะ [24] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวภายในวัสดุพรุนในทิศทาง Up-Flow โดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.8



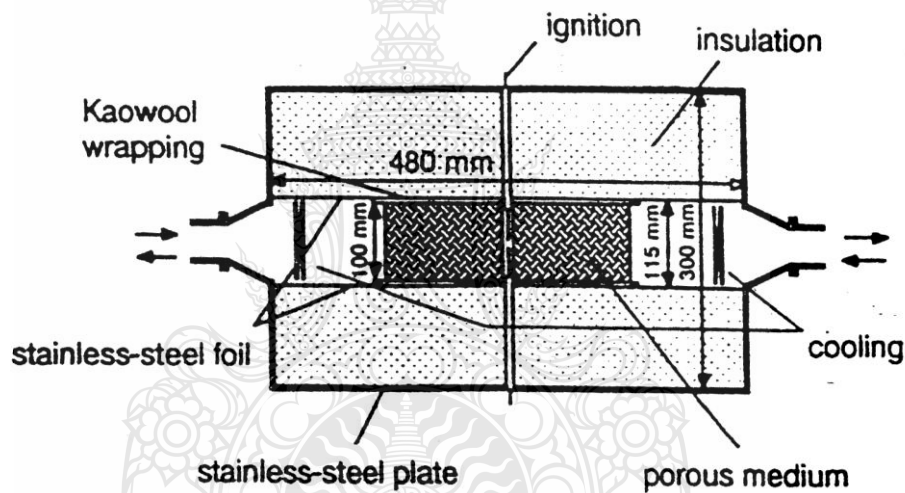
ภาพที่ 2.8 อุปกรณ์การทดลอง ของ Fuse และคณะ [24]

จากภาพที่ 2.8 แสดงห้องเผาไหม้ ที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมทรงสูงซึ่งมีขนาด กว้าง 168 mm ยาว 238 mm และสูง 300 mm ด้านล่างของห้องเผาไหม้จะเป็นแผ่นวัสดุพรุนซึ่งวางไว้บนถาดระเหยน้ำมันก๊าด (Kerosene Evaporating Dish) ซึ่งช่วยให้น้ำมันก๊าดระเหยผ่านวัสดุพรุนขึ้นมาด้านบนวัสดุพรุนได้วัสดุพรุนที่ใช้ทำมาจากอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มีค่าความพรุน (Porosity) 85% ในการศึกษาจะทำการทดลองสามแบบ คือ แบบแรก ใช้วัสดุพรุนแผ่นเดียว ขนาด 174 mm X 104 mm X

15 mm ดังแสดงในภาพที่ 2.8 a แบบที่สอง แบ่งวัสดุพอร์นออกเป็น 10 แผ่น ติดตั้งสองแถว แถวละ 5 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาด 50 mm X 30 mm X 15 mm ระหว่างแผ่นจะมีช่องว่าง 4 mm ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟไปยังถาดระเหยน้ำมันก๊าดได้มากกว่าแบบแรก ดังแสดงในภาพที่ 2.8 b แบบที่สามจะไม่มีติดตั้งแผ่นวัสดุพอร์นไว้บนถาดระเหยน้ำมันก๊าด ดังแสดงในภาพที่ 2.8 c ในการทดลองนี้จะมีตำแหน่งการจ่ายน้ำมันก๊าด 5 ตำแหน่งช่องจ่ายอากาศมี 2 ช่องอยู่ในตำแหน่งเหนือผิววัสดุพอร์น วัสดุพอร์นถูกวางสัมผัสกับถาดระเหยน้ำมันก๊าด เมื่อน้ำมันก๊าดได้รับความร้อนจากตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Zone) จะเกิดการระเหยมาผสมกับอากาศและถูกไอน้ำบนผิวหน้าวัสดุพอร์นการวัดคุณลักษณะการเผาไหม้และแก๊สมลภาวะ กระทำโดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิในแนวแกนและแนวหน้าตัดห้องเผาไหม้และติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสียไว้ที่บริเวณทางออก จากการทดลองพบว่าละอองเชื้อเพลิงสามารถระเหยผสมกับอากาศและเผาไหม้ที่ผิวบนวัสดุพอร์นและได้การเผาไหม้ที่เสถียร โดยมีเงื่อนไขที่ว่าต้องใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและค่า Equivalence Ratio ที่เหมาะสม โดยในการทดลองนี้จะไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใดๆ แต่จะประเมินคุณลักษณะการเผาไหม้ด้วยการใช้ขอบเขตความเสถียรการเผาไหม้ (Stable Combustion Region) ซึ่งได้นิยามขอบเขตความเสถียรการเผาไหม้ไว้ว่า เป็นช่วงการทำงานที่อัตราส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ ต่อความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าน้อยกว่า 0.002 หรือ $[CO]/[CO_2] < 0.002$ (แก้ไขค่าความเข้มข้นของแก๊สไปที่ 0%O₂) ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของค่าความพอร์น (Porosity) ของวัสดุพอร์น ลักษณะการติดตั้งวัสดุพอร์น ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและค่า Equivalence Ratio ที่มีต่อขอบเขตความเสถียรการเผาไหม้พบว่าช่วย Equivalence Ratio ที่อยู่ในขอบเขตความเสถียรมีค่าประมาณ 0.4-0.8 เมื่อแบ่งวัสดุพอร์นเป็น 10 แผ่น มีค่าประมาณ 0.4-0.6 และเมื่อไม่มีวัสดุพอร์น มีค่าประมาณ 0.2-0.3 ส่วน อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่อยู่ในขอบเขตความเสถียรการเผาไหม้เมื่อติดตั้งวัสดุพอร์นแผ่นเดียวมีค่าประมาณ 6-10 kW เมื่อแบ่งวัสดุพอร์นเป็น 10 แผ่น มีค่าประมาณ 17-51 kW และเมื่อไม่มีวัสดุพอร์นมีค่าประมาณ 33-51 kW ส่วนปริมาณ NO_x เมื่อติดตั้งวัสดุพอร์นแผ่นเดียวมีค่าประมาณ 100-150 ppm (0%O₂) เมื่อแบ่งวัสดุพอร์นเป็น 10 แผ่นมีค่าประมาณ 170-220 ppm (0%O₂) และเมื่อไม่มีวัสดุพอร์นมีค่าประมาณ 250-280 ppm (0%O₂) อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งสูงกว่าผิววัสดุพอร์น 10 mm โดยที่ไม่มีวัดอุณหภูมิภายในวัสดุพอร์นแต่ประการใด ทำให้ไม่สามารถเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างกลไกการระเหยภายในวัสดุพอร์นกับปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเหนือวัสดุพอร์นแต่อย่างใด อีกทั้งทำการศึกษาเฉพาะในช่วงที่ $[CO]/[CO_2] < 0.002$ ทำให้ได้ช่วงการทำงานที่แคบ

เกินไป จนไม่สามารถเปรียบเทียบปริมาณ NO_x ในช่วงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงหรือ Equivalence Ratio เดียวกันได้

Hoffmann และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส (Propane) กับอากาศใน วัสดุพอร์นชนิดสลับทิศทางการไหลของส่วนผสม (อากาศ + Propane) เข้าสู่วัสดุพอร์นอย่างเป็นจังหวะ (Cyclic Flow Reversal Combustion of Mixture in Porous Media) (CFRC) ด้วยคุณลักษณะการไหล ดังกล่าวก่อให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมาสู่ไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพราะผล จากการสะสมความร้อนของวัสดุพอร์น (Thermal Storage Effect) ทางด้านปลายน้ำของวัสดุพอร์นใน จังหวะคายไอเสียจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นการอุ่นไอดี ที่บริเวณเดียวกันเมื่อมีการสลับทิศทางการไหล ของไอดีเข้าสู่วัสดุพอร์นในอีกทิศทาง ดังแสดงใน ภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์การทดลอง ของ Hoffmann และคณะ [25]

จากภาพที่ 2.9 แสดงห้องเผาไหม้ ที่ทำจากสแตนเลสที่มีความยาว 480 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 115 mm มีการหุ้มฉนวนภายนอก เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ส่วนภายในบรรจุวัสดุพอร์นมีความยาว 200 mm ใช้วัสดุพอร์น 3 ชนิด ประกอบด้วยวัสดุพอร์นซึ่งทำจาก Cordirite ขนาด 6 ppi (Pores per Inch) และ 30 ppi และวัสดุพอร์นทำมาจาก Ceramicfoam ขนาด 13 ppi ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลา การสลับทิศทางการไหล (Half-Period) เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้น Reaction Zone ขยับลึกเข้าไปในวัสดุพอร์นแต่อุณหภูมิสูงสุดของก๊าซไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณา ถึงขอบเขตต่ำสุดที่สามารถติดไฟได้พบว่าวัสดุพอร์นขนาด 30 ppi จะให้ Equivalence Ratio ต่ำมาก เท่ากับ 0.026 ซึ่งต่ำกว่าประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกับของวัสดุพอร์นขนาด 6 ppi เนื่องจากมีค่าความหนา

เชิงแสงมากกว่า ปริมาณมลภาวะที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับอิทธิพลของความเร็วในการไหลของไอดี และชนิดของวัสดุพูน พบว่าในกรณีที่ใช้วัสดุพูนขนาด 6 ppi และ 13 ppi ค่า CO จะแปรผกผันกับค่าความเร็วในการไหลของไอดีแต่ไม่มากนัก โดยกรณีวัสดุพูนขนาด 6 ppi ปริมาณ CO อยู่ในช่วง 50-65 ppm สำหรับในกรณีที่ใช้วัสดุพูนขนาด 30 ppi ค่า CO จะแปรผันโดยตรงกับค่าความเร็วในการไหลของไอดี พบว่าบริเวณที่ค่าความเร็วในการไหลของไอดีมีค่าต่ำ ๆ การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จึงส่งผลให้ปริมาณ CO มีค่าสูงประมาณ 200 ppm และเมื่อทำการพิจารณาอิทธิพลของ Equivalence Ratio พบว่าค่า Equivalence Ratio มีค่าเข้าใกล้ Combustible Limits ปริมาณ CO จะเพิ่มขึ้นถึง 160 ppm ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สำหรับปริมาณ NO_x เผาไหม้พบว่ามีค่าต่ำกว่า 1 ppm สำหรับวัสดุพูนทั้ง 3 ชนิด นับได้ว่าเป็นเทคนิคการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงให้มลภาวะต่ำมากพร้อมให้ขอบเขตการจุดติดไฟที่กว้างดีมากแต่การศึกษาวิจัยจำกัดแต่เฉพาะเชื้อเพลิงแก๊สเท่านั้น

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา จึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้โดยพัฒนาประสิทธิภาพการเผาเชื้อเพลิงแข็งด้วยวัสดุพูน โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุพูนมาช่วยในการดูดซับอุณหภูมิความร้อน ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงเหมาะกับการใช้งานเพื่อที่จะนำไปสู่การพัฒนาเทคนิคการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งแนวใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิมนำไปใช้ประโยชน์เพื่อให้ความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรมต่อไป

2.3 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

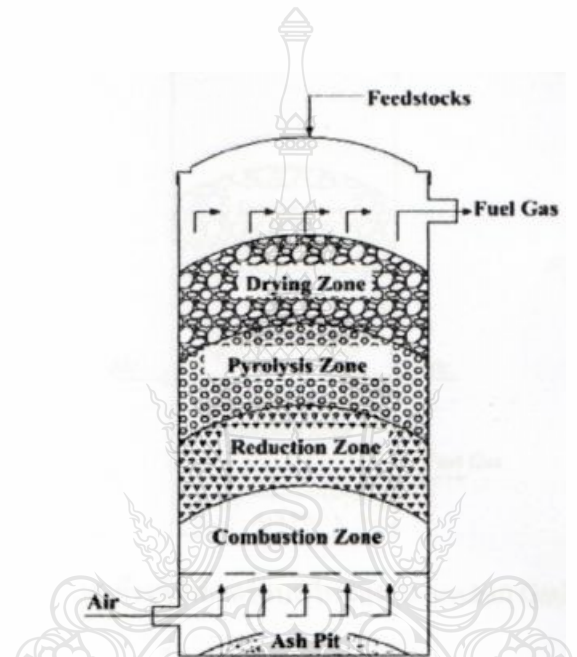
กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification process) คือกระบวนการทางความร้อนเพื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยกระบวนการเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง จากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารสองสถานะ คือ ของแข็งกับก๊าซและสถานะเดียวคือก๊าซกับก๊าซกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยกระบวนการ 4 กระบวนการ คือ กระบวนการอบแห้ง กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการรีดักชัน ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป โดยจะต้องเกิดขึ้นอย่างสมดุลกัน จึงจะทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจะมีองค์ประกอบของก๊าซที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประเภทและขนาดของเชื้อเพลิง อัตราการป้อนอากาศรวมไปถึงประเภทของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.3.1 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟิสิกซ์เบด (Fixed bed gasifiers)

เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟิสิกซ์เบด (Fixed bed gasifiers) แบ่งตามทิศทางของการไหลของ

อากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนของเชื้อเพลิง จำแนกได้ 3 ประเภท คือ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง (Downdraft gasifier) และเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขวาง (Crossdraft gasifier)

1) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นมีทิศทางการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงจากด้านล่างของเตาขึ้นไปสู่ด้านบนของเตาซึ่งสวนทางกับการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 2.10

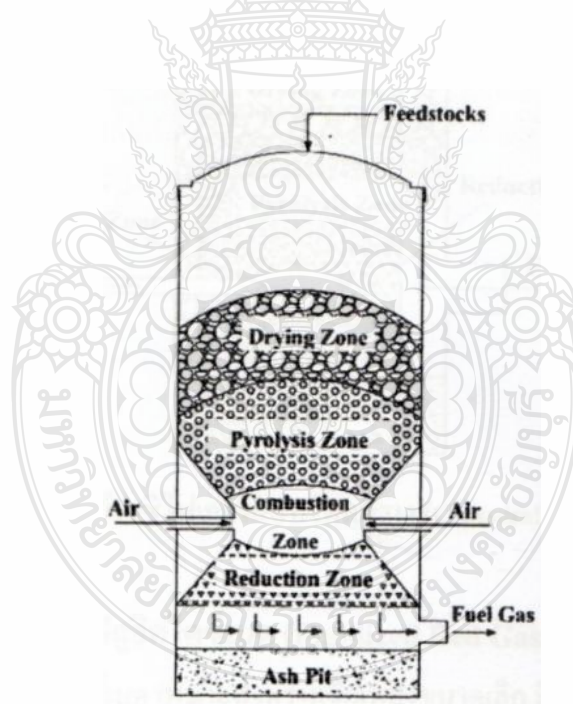


ภาพที่ 2.10 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น [26]

อากาศจะถูกจ่ายเข้าสู่โซนเผาไหม้ (Combustion zone) เพื่อเพิ่มความร้อนและก๊าซจะไหลขึ้นสู่ทางด้านบน ในขณะที่เชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ลงด้านล่างลักษณะสวนทางกันผ่านชั้นของปฏิกิริยาต่างๆ เป็นลำดับจากโซนเผาไหม้ ผ่านโซนรีดักชัน โซนไพโรไลซิส และโซนอบแห้ง ในระหว่างที่ก๊าซเชื้อเพลิงไหลผ่านโซนทั้ง 3 โซน ความร้อนจากก๊าซจะถ่ายเทไปยังเชื้อเพลิงแข็ง เพื่อนำไปใช้สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นในโซนนั้นๆ เนื่องจากก๊าซเชื้อเพลิงผ่านโซนอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดทาร์ซึ่งกลิ่นตัวเป็นของเหลวเป็นผลให้ก๊าซเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิต่ำและมีองค์ประกอบของทาร์สูง ดังนั้นหากต้องการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นจึงต้องการระบบทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง ก่อนนำเข้าสู่เครื่องยนต์เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในของเครื่องยนต์ การผลิตก๊าซด้วยวิธีนี้อาจจะป้อนไอน้ำช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณ H_2 และ CO

และช่วยควบคุมอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ กรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไม่จำเป็นต้องป้อนไอน้ำ พารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย วิธีการป้อนอากาศ ตำแหน่งของก๊าซเชื้อเพลิงไหลออก ชนิดและขนาดของตะแกรง การบดฉนวน ความหนาของชั้นเชื้อเพลิงและค่า Specification Gasification Rate (SGR) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาในการผลิตก๊าซในเวลา 1 ชั่วโมง (kg/hr) ต่อพื้นที่หน้าตัดของตะแกรง (m²) โดยค่า SGR ของการผลิตก๊าซด้วยเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้นนี้มีค่าระหว่าง 100 – 300 kg/hr.m²

2) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง ออกแบบมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ปนเปื้อนอยู่ในก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น โดยอากาศไหลลงทิศทางเดียวกับการไหลของเชื้อเพลิงโดยก๊าซเชื้อเพลิงจะผ่านโซนเผาไหม้และผ่านโซนรีดักชัน ซึ่งมีจุดประสงค์ให้ก๊าซเชื้อเพลิงผ่านส่วนที่มีอุณหภูมิก่อนออกจากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เพื่อให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูง ที่เกิดจากโซนลิงไฟโรไลซิสซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลเบา เช่น CH₄ ดังแสดงในภาพที่ 2.11

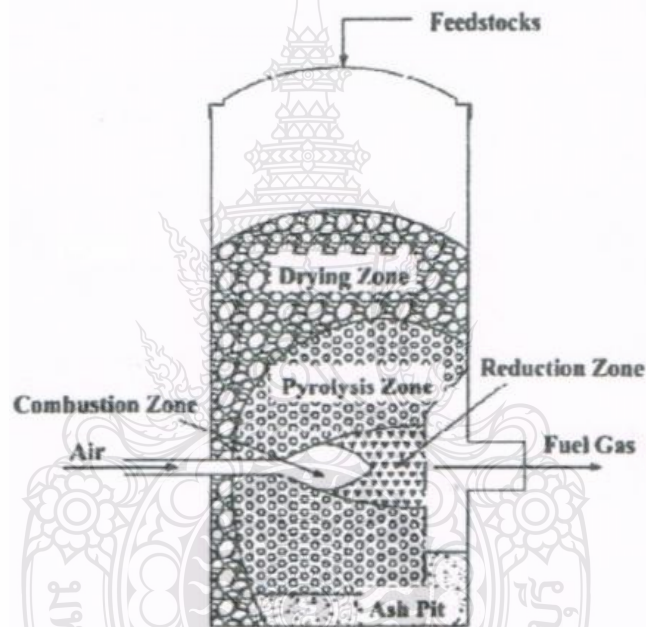


ภาพที่ 2.11 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง [26]

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะมีอุณหภูมิสูง 300–500 °C จุดสำคัญของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง คือ ลักษณะของห้องเผาไหม้ รูปแบบตะแกรงและวิธีการป้อนอากาศโดยบริเวณห้องเผาไหม้ จะออกแบบให้เล็กลง

โดยการลดพื้นที่หน้าตัด และปรับลักษณะการป้อนอากาศเพื่อทำให้อุณหภูมิภายในชั้นเผาไหม้มีค่าสูงเพียงพอในการสลายทาร์ โดยอัตราการผลิตก๊าซที่เหมาะสมมีค่า SGR อยู่ระหว่าง 2,900–3,900 kg/hr.m² ซึ่งการนำก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลงไปใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายในยังคงต้องมีระบบทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่น ความชื้น และทาร์บางส่วนที่หลุดออกมา ก่อนนำเข้าสู่เครื่องยนต์ เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซที่ซับซ้อนกว่าเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น จึงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดและองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้กับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชนิดนี้

3) เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขวาง เป็นแบบระบบที่อากาศไหลขวางกับทิศทางของการไหลเลื่อนเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 2.12



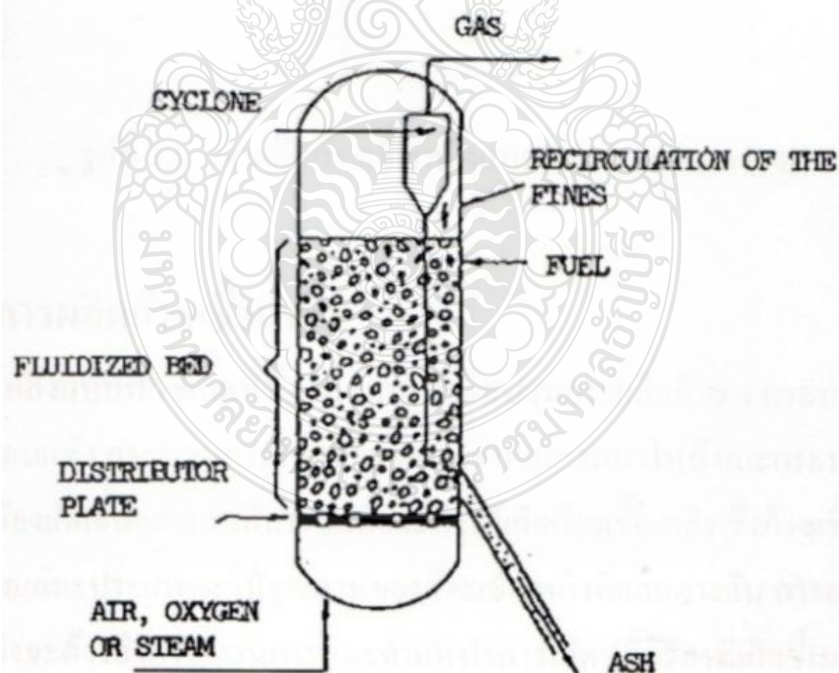
ภาพที่ 2.12 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขวาง [26]

ก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชนิดนี้ จะมีองค์ประกอบของทาร์น้อย เนื่องจากก๊าซเชื้อเพลิงผ่านโซนที่มีอุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลลง แต่จะมีโซนการเผาไหม้และโซนรีดักชันที่อยู่ใกล้ชิดกันมาก จึงส่งผลให้การเริ่มต้นทำงานของเตาผลิตก๊าซใช้เวลาสั้น ดังนั้นจึงสามารถผลิตก๊าซได้อย่างรวดเร็ว แต่แปรผันง่าย โดยปกติเวลาการเผาไหม้จะอยู่กึ่งกลางของเตาผลิตก๊าซ แต่ขอบเขตของการเผาไหม้อาจขยายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้นเนื่องจากโซนรี

ดักชั้นที่แคบ ส่งผลให้ก๊าซผ่านโซนรีดักชันมีความเร็วสูง ซึ่งส่งผลต่อปฏิกิริยาในโซนนี CO_2 จะมีเวลาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนแข็งได้น้อย ทำให้เชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนต่ำ

2.3.2 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed gasifiers)

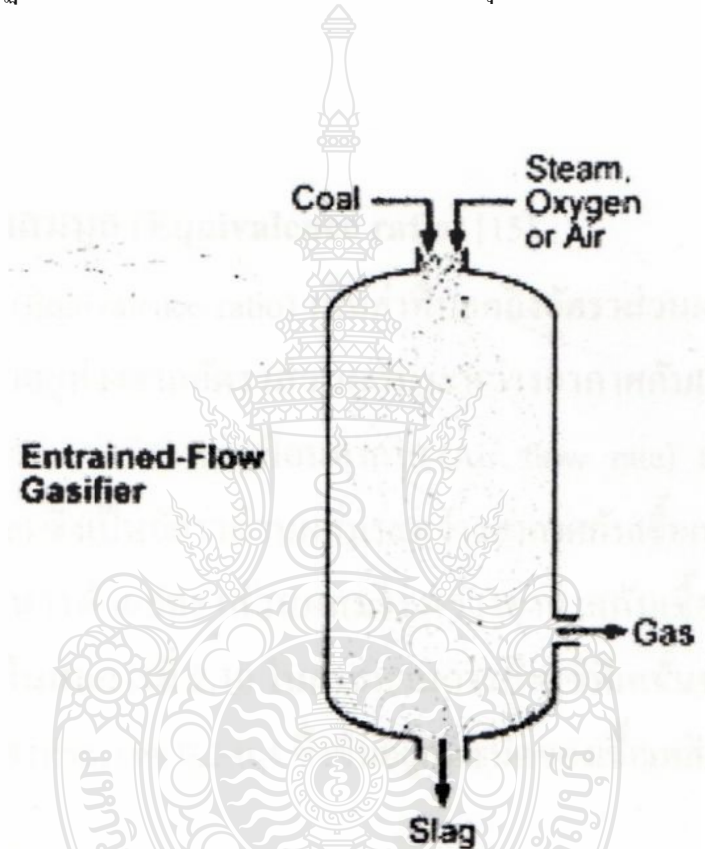
เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงขนาดเล็กบางชนิด เช่น เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กโดยธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำ ปริมาณของเถ้าสูงและอุณหภูมิการหลอมเหลวของเถ้าต่ำ ในระบบฟลูอิดไดซ์เบด การสัมผัสกับอากาศ สารตัวกลาง และเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง และการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้สำรอง ในสถานะการทำงานขณะ Steady state อุณหภูมิของสารตัวกลาง เช่น ทราย ถ่านหรือวัสดุอื่นๆ จะมีการกระจายตัวสม่ำเสมออย่างทั่วถึง การเผาไหม้และการผลิตก๊าซจะเกิดขึ้นพร้อมกับที่สถานะฟลูอิดไดซ์เบดของสารตัวกลาง แต่เนื่องจากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบดต้องการอากาศที่มีความเร็วสูง ดังนั้นจึงมีการสูญเสียเชื้อเพลิงไปกับอากาศบางส่วนและโปรคิวเซอร์ก๊าซจะมีอนุภาคฝุ่นปะปนสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิดไดซ์เบด [26]

2.3.3 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบเอนเทรนเบต (Entrained bed gasifiers)

หรืออาจเรียกว่าเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิโดไคซ์เบดเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงการทำงานในการถ่ายเทความร้อนคล้ายเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบฟลูอิโดไคซ์เบดโดยปกติจะควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 482-593 °C เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบเอนเทรนเบตมีประสิทธิภาพสูงในการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับก๊าซ ลักษณะเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เช่น ผงถ่านหินและชีวมวลที่มีขนาดเล็ก การทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในช่องหมุนวน ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบเอนเทรนเบต [26]

2.4 การหาประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Efficiency)

ปัจจัยที่สำคัญในการหาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิง คือ การหาประสิทธิภาพในการทำงานที่แท้จริงของเตาผลิตก๊าซ สามารถหาได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากเตาผลิตก๊าซซึ่งหมายถึงพลังงานที่ได้จากก๊าซที่ผลิตได้กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตซึ่งหมายถึงพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ สามารถหาได้ ดังสมการ

$$n_{\text{Gasifier}} = \frac{\text{HHV}_{\text{Gas}} \times Q_{\text{Gas}}}{\text{HHV}_{\text{Fuel}} \times M_{\text{Fuel}}} \times 100 \quad [27]$$

- โดยที่
- n_{Gasifier} = ประสิทธิภาพของเตา (%)
 - HHV_{Gas} = ค่าทางความร้อนสูงของก๊าซ (MJ/Nm^3)
 - Q_{Gas} = อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/h)
 - HHV_{Fuel} = ค่าทางความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (MJ/kg)
 - M_{Fuel} = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พ.ย. 55	ธ.ค. 55	ม.ค. 56	ก.พ.56	มี.ค. 56	เม.ย. 56	พ.ค. 56
1. ศึกษาสาระสำคัญและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→						
2. ทำการสรุปและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในการทดลองเบื้องต้น		←→					
3. ออกแบบการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาเชื้อเพลิงแข็งด้วยวัสดุพอรุน			←→				
4. ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพอรุนเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน				←→			
5. ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ผลที่ได้จากทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง				←→			
6. สรุปผลการวิจัย						←→	
7. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์							←→

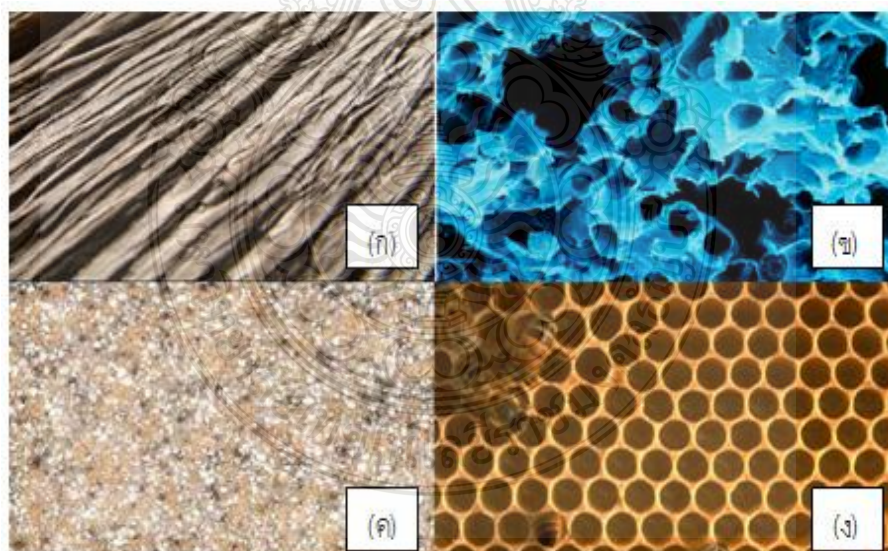
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 3.2.1 ศึกษาสาระสำคัญและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 3.2.2 ทำการสรุปและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในการทดลองเบื้องต้น
- 3.2.3 ออกแบบการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาเชื้อเพลิงแข็งด้วยวัสดุพอรุน
- 3.2.4 ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพอรุนเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน
- 3.2.5 ทำการรวบรวมและวิเคราะห์ผลที่ได้จากทฤษฎี มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง
- 3.2.6 สรุปผลการวิจัย
- 3.2.7 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3.3 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุพอรุณและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเผาไหม้รวมถึงกระบวนการทางความร้อนดังนี้

3.3.1 วัสดุพอรุณ (Porous medium)

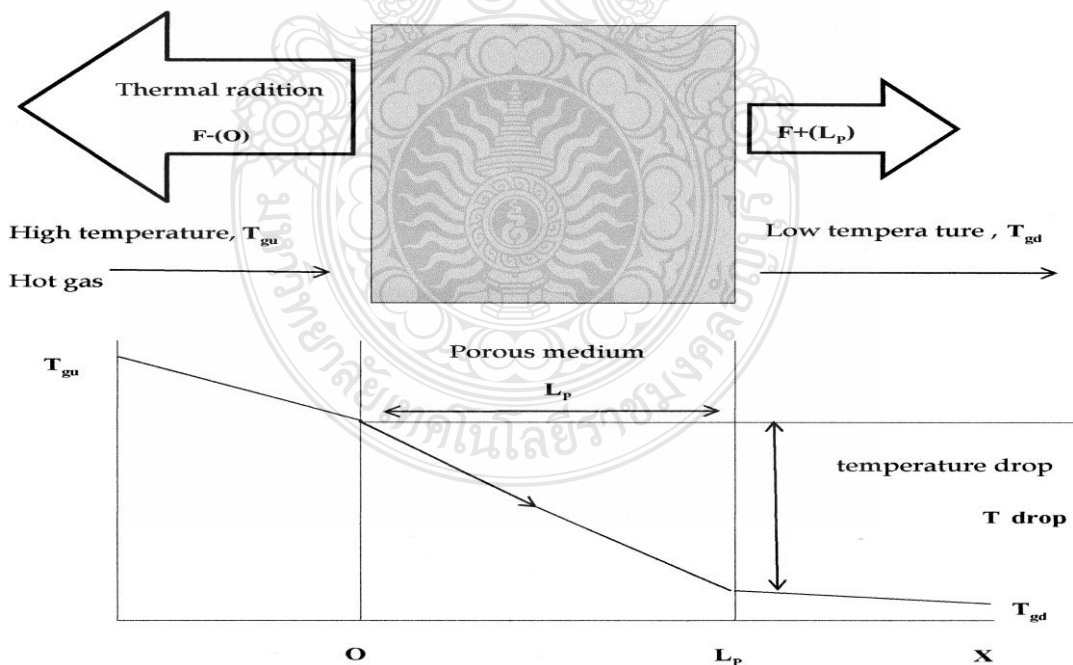
วัสดุพอรุณ คือ ของแข็งที่ภายในเนื้อของวัสดุมีช่องว่าง หรือมีรูพอรุณที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย [28] เช่น ไม้ เนื้อเยื่อปอดของมนุษย์ หินทราย โลหะและรังผึ้ง (แสดงดังภาพที่ 3.1) คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพอรุณ คือ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง (Area to volume ratio) ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสูงอีกทั้งวัสดุพอรุณเป็นของแข็งที่มีค่าการนำความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนสูง ทำให้วัสดุพอรุณสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างความร้อนในรูปของการพา และการแผ่รังสี จึงกล่าวได้ว่าวัสดุพอรุณเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัดอย่างไรก็ตามแม้ว่าวัสดุพอรุณจะมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่วัสดุพอรุณที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ต้องทำมาจากวัสดุที่มีความต้านทานอุณหภูมิสูง (High temperature resistant) และมีอายุการใช้งานยาวนานสามารถทนทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการยึดหรือหดของโครงสร้างวัสดุพอรุณในช่วงเริ่มทำงาน (Startup) และช่วงดับเตา (Shutdown)



ภาพที่ 3.1 วัสดุพอรุณตามธรรมชาติ ก) ไม้ ข) เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ ค) หินทราย ง) รังผึ้ง
ที่มา : Wongwatcharaphon,2011 [28]

3.3.2 หลักการแผ่รังสีความร้อนด้วยวัสดุพรุน

วัสดุพรุนสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างเอนทาลปีของก๊าซร้อน (Enthalpy of the hot gas) กับพลังงานในรูปของการแผ่รังสี (Thermal radiation) โดยผ่านกลไกของการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เนื่องจากวัสดุพรุนเป็นของแข็งที่มีรูพรุน ซึ่งของไหลสามารถไหลผ่านได้ ทำให้มีข้อดี คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก ทำให้มีความสามารถในการพาความร้อนได้ดี รวมทั้งลักษณะที่เป็นของแข็ง จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการแผ่รังสีสูงกว่าก๊าซมาก หลักการทำงานของวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี แสดงดังภาพที่ 3.2 เมื่อก๊าซร้อนไหลผ่านวัสดุพรุนที่ตำแหน่ง $X = 0$ ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากก๊าซร้อนไปให้กับวัสดุพรุนด้วยการพาความร้อน ทำให้อุณหภูมิของก๊าซลดลง เอนทาลปีจากก๊าซร้อนที่ถูกวัสดุพรุนดูดกลืนไว้จะถูกละเปลี่ยนเป็นพลังงาน ในรูปของการแผ่รังสีความร้อนออกทั้งทางด้าน Upstream และ Downstream กรณีดังกล่าวนี้วัสดุพรุนทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี (Emitter) หลักการข้างต้นจึงกล่าวได้ว่า วัสดุพรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัดอีกด้วย

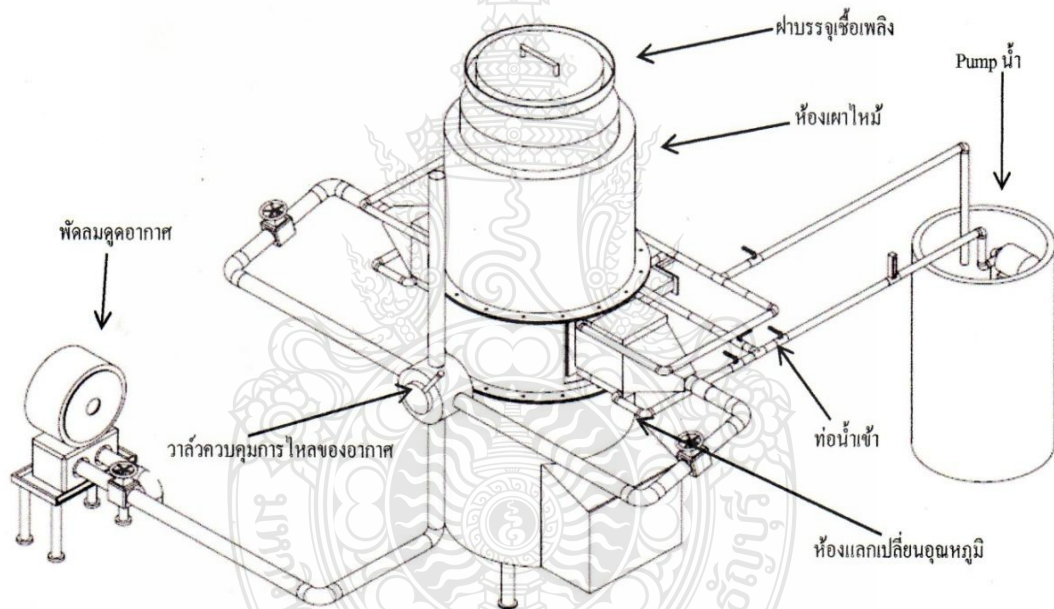


ภาพที่ 3.2 หลักการทำงานของวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี
ที่มา : Jugjai et al.,1998 [27]

3.4 ออกแบบระบบการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง และออกแบบการทดลอง

3.4.1 ออกแบบระบบการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง

ในชุดทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อนำเชื้อเพลิงแข็งมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้และนำค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปผลิตน้ำร้อน โดยหลักการการทำงานของชุดทดลองนี้ จะใช้ถ่านไม้ โกงกางเป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยมีการกำหนดปริมาตรของถ่านเพื่อให้การทดลองในแต่ละครั้งเชื้อเพลิงมีปริมาณที่เท่ากัน โดยมีพัดลมดูดอากาศช่วยหมุนวนพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับท่อน้ำ ซึ่งนำน้ำมาหมุนวนเพื่อรับความร้อน โดยมี pump ทำหน้าที่หมุนวนน้ำที่รับความร้อนจนมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นจะไหลกลับสู่ tank และน้ำที่อยู่ด้านล่าง tank ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะถูก pump ดูดเพื่อส่งน้ำเย็นไปรับพลังงานความร้อนต่อไป



ภาพที่ 3.3 ชุดทดลองเตาเผา

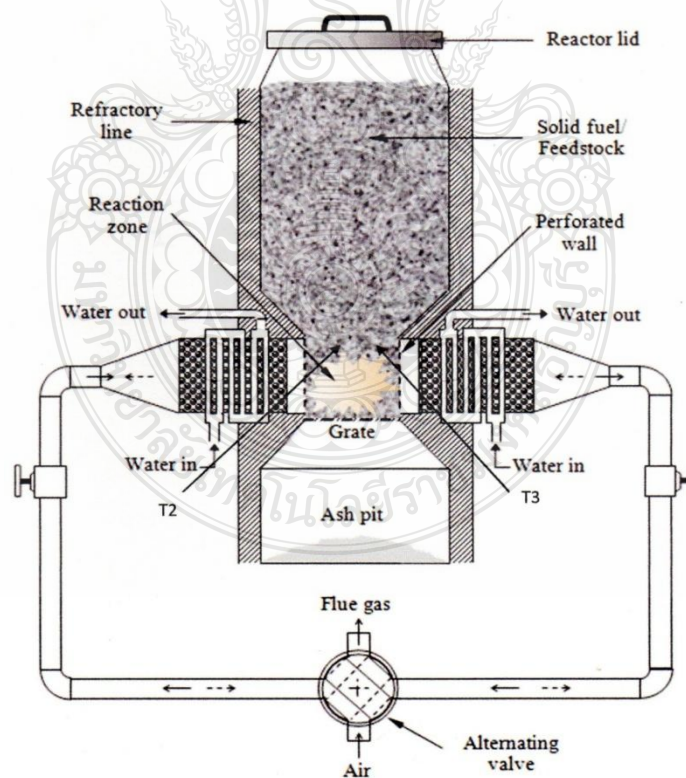
3.4.2 หลักการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง

บรรจุเชื้อเพลิงแข็งขนาด 10 ลบ.ชม. บริเวณด้านบนของเครื่องในการทดลองนี้จะใช้เชื้อเพลิง 40 kg ในการทดลองเปิดพัดลมดูดอากาศ ปรับวาล์วควบคุมการไหลของอากาศให้ไหลไปในทิศทางเดียว อากาศจะไหลตามท่อทางเดินอากาศและไหลผ่านเชื้อเพลิงแข็งและจะนำพาความร้อนมาบริเวณห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งภายในห้องดังกล่าวจะมีท่อทางเดินของน้ำบรรจุอยู่เพื่อรับพลังงาน

ความร้อนดังกล่าว และในขณะเดียวกันน้ำที่รับความร้อนจากไอเสียของการเผาไหม้ ก็ทำให้ไอลีเยมีอุณหภูมิต่ำลง น้ำที่รับพลังงานความร้อนแล้วจะถูก pump น้ำผลักดันให้กลับสู่ tank น้ำและน้ำใน tank น้ำที่มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าจะถูกวนเข้าไปภายในห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นวัฏจักร



ภาพที่ 3.4 เชื้อเพลิงแข็งขนาด 10 ลบ.ซม.



ภาพที่ 3.5 หลักการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง

3.4.3 หลักการและแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง

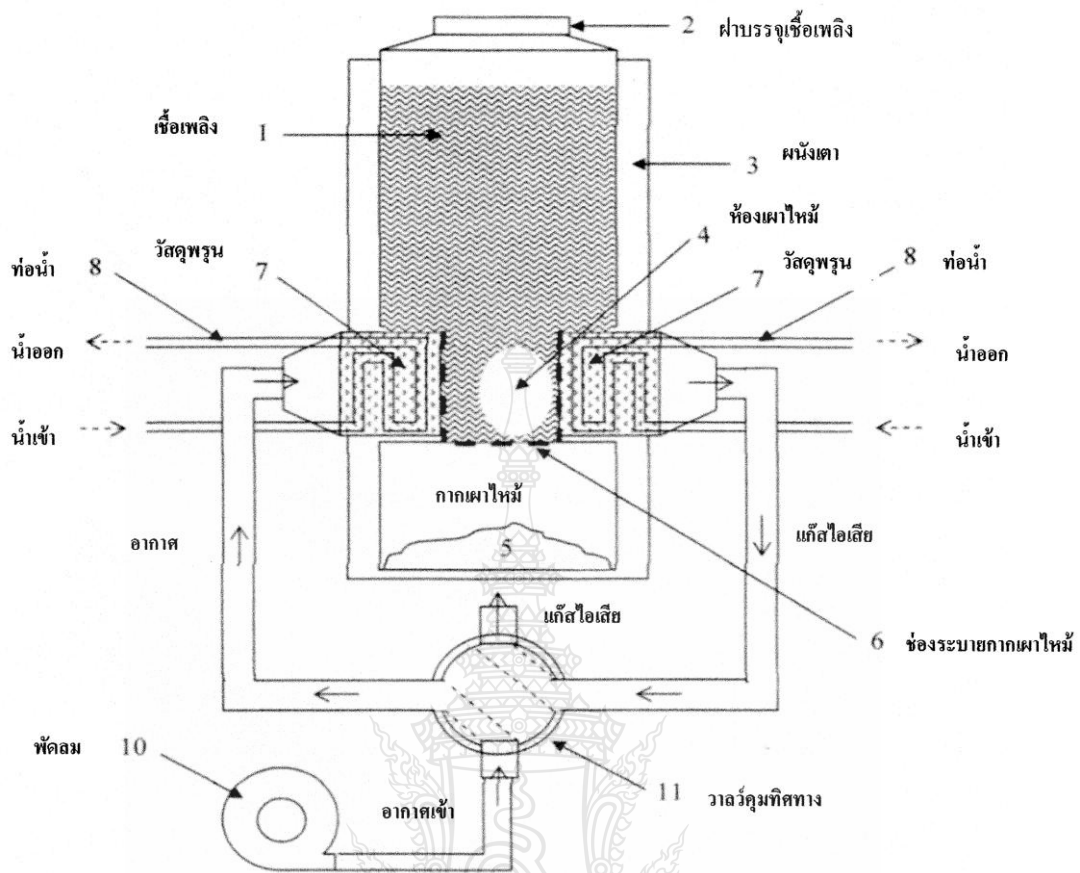
จากการที่ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าในชุดทดลองเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งยังให้ค่าความร้อนที่ไม่เพียงพอ กล่าวคือค่าความร้อนที่ได้ยังมีการสูญเสียออกมทางแก๊สไอเสียที่มีค่าอุณหภูมิ จึงหาวิธีการที่จะนำค่าความร้อนดังกล่าวมาใช้ ได้ศึกษาและพบว่าวัสดุพูนสามารถที่จะนำเอาค่าความร้อนที่ถูกทิ้งทางไอเสียมาใช้ได้ โดยอาศัยกระบวนการนำความร้อนให้กับท่อน้ำในการทดลองจึงนำวัสดุพูนมาบรรจุในห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิและทำการทดลองเพื่อจะพิสูจน์ว่าถ้านำเอาวัสดุพูนเข้ามาใช้ในการทดลองแล้วค่าความร้อนของน้ำที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นตามทฤษฎีหรือไม่



ภาพที่ 3.6 การทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง



ภาพที่ 3.7 ชุดสร้างอัตราการไหลของน้ำแบบปรับอัตราการไหล



ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพอรุนในการเพิ่มประสิทธิภาพ

อุปกรณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพอรุน มีหลักการ ดังนี้ เชื้อเพลิงแข็งจะถูกใส่ไว้ที่ห้องเผาไหม้ด้านล่างของเตาเผาซึ่งล้อมรอบด้วยวัสดุพอรุน เมื่อเชื้อเพลิงแข็งเกิดการลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากได้รับความร้อน จากการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ แล้วแผ่รังสีความร้อนไปที่วัสดุพอรุน ส่งผลให้วัสดุพอรุนดูดซับความร้อน โดยมีพัดลมช่วยในการหมุนเวียนความร้อนไปให้วัสดุพอรุน วัสดุพอรุนจะกักเก็บความร้อนไว้ ทำให้อุณหภูมิในชั้นวัสดุพอรุนสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศ และสูงกว่าอุณหภูมิเบื้องต้นของเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟและผนังห้องเผาไหม้ วัสดุพอรุนจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ และส่งถ่ายอุณหภูมิความร้อน ไปยังท่อน้ำที่วางเรียงตัวอยู่ในชั้นวัสดุพอรุน ส่งผลให้น้ำที่อยู่ในท่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจนมีค่าเอนทัลปีสูงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน



ภาพที่ 3.9 วัสดุพูนที่บรรจุในกลุ่มท่อน้ำ

3.5 ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยมีวัสดุพูนเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน

3.5.1 วัสดุพูนที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผา

การทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาด้วยวัสดุพูนครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีหลักการในการเลือกใช้วัสดุพูนดังนี้ วัสดุพูนจะต้องมีราคาถูก หาง่าย มีคุณสมบัติทางด้านการทนความร้อนได้ดี ไม่ผิรุปร่างง่าย สามารถใช้งานได้หลายครั้ง แต่ในการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะมีขม่าจากการเผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่ การเลือกใช้วัสดุพูนจึงมีความสำคัญถ้าเลือกใช้วัสดุพูนไม่เหมาะสมอาจจะก่อให้เกิดการอุดตันของแก๊สไอเสียได้ จากการศึกษาพบว่านอตที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีค่าความทนความร้อนได้สูงหาง่ายรูปร่างแน่นอนอีกทั้งนอตในส่วนตรงกลางยังมีช่องว่างที่ช่วยให้ลดการอุดตันของแก๊สไอเสียได้อีกด้วย จึงได้นำนอตขนาด 8 mm ,10 mm ,12 mm มาใช้ในการทำการทดลอง



ภาพที่ 3.10 วัสดุพูนที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาการเผาไหม้ของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ได้กำหนดให้มีตัวแปรต้นในการทดลองทั้งแบบไม่มีวัสดุพอรุนและแบบมีวัสดุพอรุน มีค่าตัวแปรควบคุมเหมือนกันซึ่งได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของน้ำและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้มีค่าเท่ากัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เที่ยงตรง และมีความแม่นยำมากที่สุด ผู้วิจัยได้วางแผนดำเนินการทดลองดังนี้

ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของเตาเผาโดยการกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงซึ่งเป็น “ ถ่านไม้โก่งกาง ” ที่มีการกำจัดความชื้นแล้ว 40 kg ทำการทดลองหาค่าอัตราการไหลของอากาศ และอัตราการไหลของน้ำ ที่ส่งผลให้ได้อุณหภูมิของน้ำที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด จากนั้นนำค่าของอัตราการไหลของอากาศ และอัตราการไหลของน้ำที่ได้ ตั้งเป็นตัวแปรควบคุมเพื่อดำเนินการทดลองในขั้นต่อไป



ภาพที่ 3.11 น้ำร้อนที่ไหลออกจากเตาเผา

3.5.2 ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทดลองโดยดำเนินการทดลองดังนี้

3.5.2.1 ทดลองโดยควบคุมตัวแปรควบคุมให้อยู่ในค่าที่กำหนดเพื่อวัดผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังใส่วัสดุพอรุน

3.5.2.2 ทำการทดลองโดยมีวัสดุพอรุนขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด

3.5.2.3 เก็บค่าผลการทดลองและหาขนาดของวัสดุพอรุนที่ส่งผลให้ได้ค่าความร้อนสูงที่สุด

3.6 การหาประสิทธิภาพของเตาเผา (Efficiency)

ปัจจัยที่สำคัญในการหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งสามารถทำการหาได้โดยอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งซึ่งหมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ต่อค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สามารถหาได้จากสมการ

$$n_{SFCH} = Q_u / (m_{fuel} \cdot LHV_{fuel}) \quad [20]$$

n_{SFCH} = ค่าประสิทธิภาพของเตา (%)

Q_u = อัตราการแลกเปลี่ยนพลังงาน

m_{fuel} = อัตราการใช้เชื้อเพลิง

LHV_{fuel} = ค่าทางความร้อนที่ได้

3.7 ขั้นตอนการทดลอง



ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการทดลอง

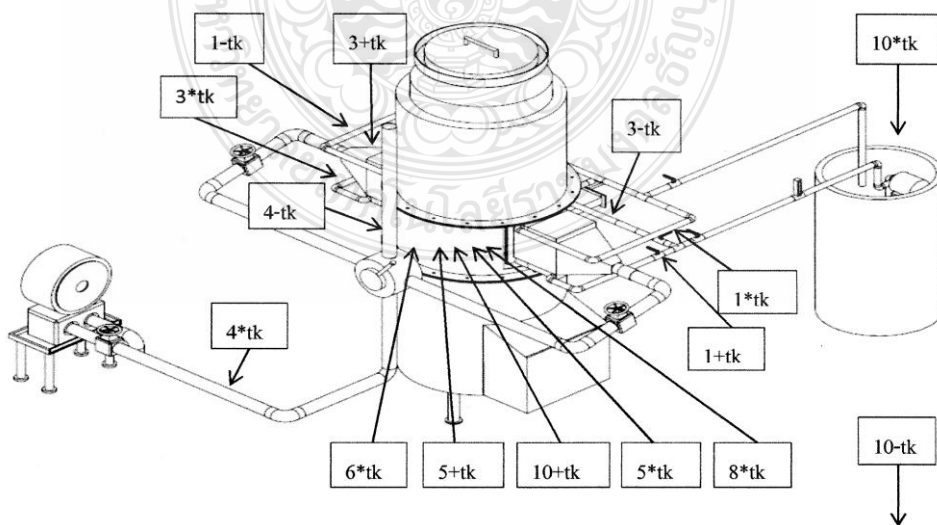
บทที่ 4

ผลของการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาทดลองประสิทธิภาพเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ที่มีการส่งเสริมประสิทธิภาพ โดยใช้วัสดุพูน โดยทำการทดลองเชิงเปรียบเทียบผลการศึกษาได้แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบใหม่ ชนิดอาศัยวัสดุพูนเพื่อช่วยส่งเสริมความร้อน

เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาเชื้อเพลิง ยังมีค่าทางความร้อนที่ไม่ดีเท่าที่ควร กล่าวคือพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ป้อนเข้ายังมีค่าที่ต่างกัน พลังงานบางส่วนสูญเสียไปกับแก๊สไอเสีย หากสามารถจัดการกับพลังงานที่สูญเสียไปนี้ได้จะทำให้ลดภาวะการสูญเสียพลังงานในส่วนนี้ลง จากการศึกษาพบว่า การนำวัสดุพูนมาบรรจุไว้ในบริเวณที่ใช้แลกเปลี่ยนอุณหภูมิทางความร้อนจะช่วยให้เกิดการส่งเสริมความร้อน เพื่อพิสูจน์ว่าข้อสันนิษฐานจะเป็นจริงตามทฤษฎีหรือไม่จึงได้ทำการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เตาเผาแบบดั้งเดิมสามารถทำได้ เพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลให้ได้ค่าทางความร้อนที่สูงที่สุด และการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาด้วยวัสดุพูน โดยใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากเตาเผาแบบดั้งเดิมมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าทางความร้อน โดยได้ทำการติดตั้ง Thermocouple type k ไว้ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิที่ต้องการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4.1

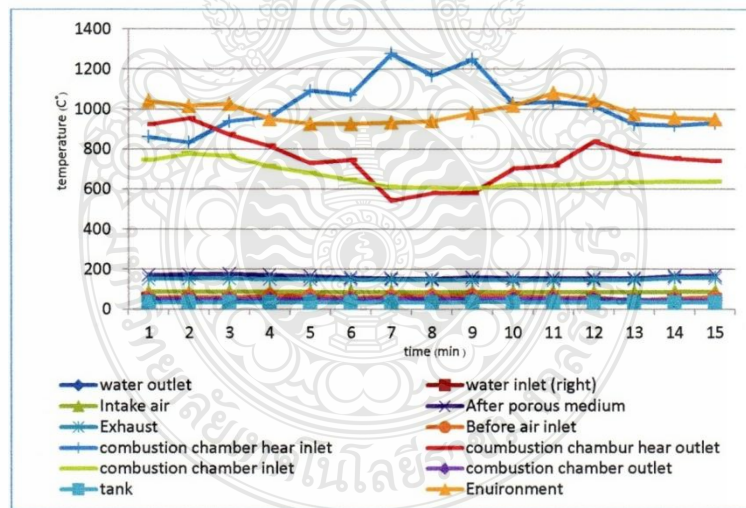


ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งการติดตั้ง Thermocouple type k

4.1.1 การหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของเตาเผาแบบดั้งเดิม

การทดลองหาค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เตาเผาแบบดั้งเดิมนั้นจำเป็นที่จะต้องหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่าในการเผาไหม้แบบสันดาปภายในองค์ประกอบที่มีผลต่ออุณหภูมิมียุ่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ อากาศ, เชื้อเพลิง, ความร้อน แต่เนื่องจากการทดลองเมื่อเริ่มติดเตาเผาจะใช้ความร้อนจากเปลวไฟในการส่งผลให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้และจะลุกไหม้เชื้อเพลิงแข็งต่อไปเรื่อยๆ โดยมีอากาศที่ถูกประจุโดยระบบอัดอากาศเป็นตัวกำหนดการลุกไหม้ว่าเร็วหรือช้าในการทดลอง จึงจำเป็นที่จะต้องทราบว่อัตราการไหลของอากาศที่ความเร็วเท่าใดที่จะทำให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าความร้อนสูงสุด โดยได้แบ่งการทดลองในการประจุอากาศด้วยระบบอัด ดังนี้ คือ อัตราการไหลของอากาศ 318 (m³/h) ,254 (m³/h) ,190 (m³/h) , 127 (m³/h) ตามลำดับ

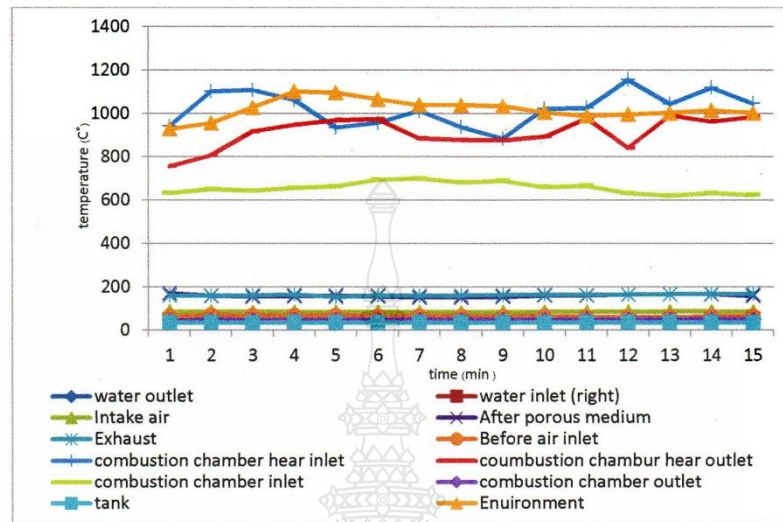
4.1.1.1 ภาพที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิม อัตราการไหลของอากาศ 318 (m³/h) จากการทดลองทำการประจุอากาศที่อัตราการไหล 318 (m³/h) ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่สูงที่สุด คิดเป็นการทำงาน 100 % ของเครื่องอัดอากาศ เข้าภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาพบว่าส่งผลให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงมากกว่า 1,200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมอัตราการไหลของอากาศ 318 (m³/h)

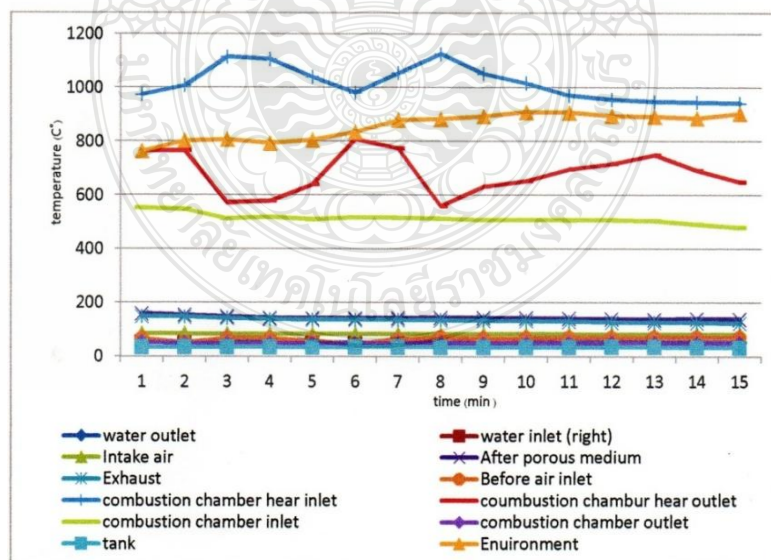
4.1.1.2 ภาพที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 254 (m³/h) จากการทดลองทำการประจุอากาศที่อัตราการไหล 254 (m³/h) ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ถูกปรับให้ลดลงจากค่าการทดลองแรกคิดเป็นการทำงาน 80 % ของเครื่องอัดอากาศ เข้าภายใน

ห้องเผาไหม้ของเตาเผาพบว่าส่งผลให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าอุณหภูมิสูงประมาณ 1,150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 254 (m³/h)

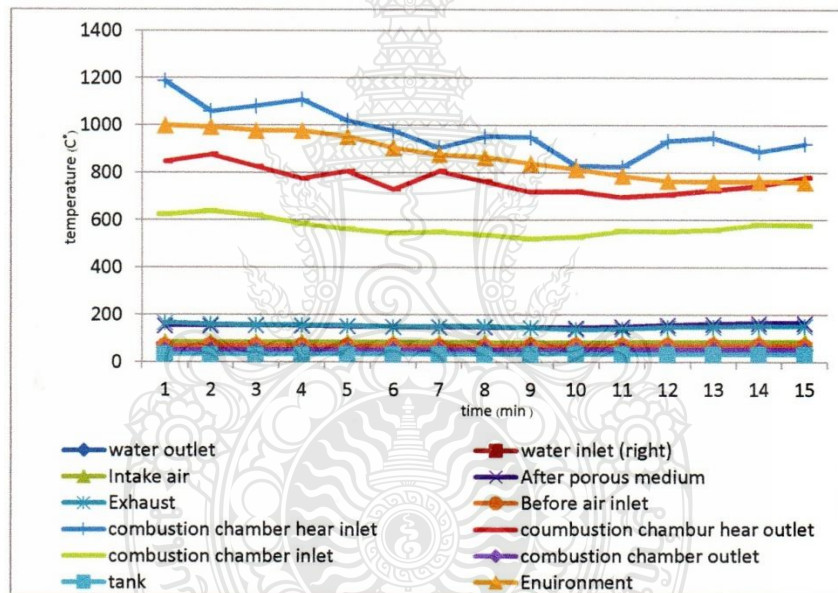
4.1.1.3 ภาพที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 190 (m³/h)



ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 190 (m³/h)

จากการทดลองทำการประจุอากาศที่อัตราการไหล 190 (m³/h) ซึ่งเป็นอัตราการไหล ที่ถูกปรับให้ลดลงจากค่าการทดลอง 80 % ให้เหลือ 60 % ของเครื่องอัดอากาศ เข้าภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาพบว่าส่งผลให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าอุณหภูมิสูงประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส

4.1.1.4 ภาพที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 127 (m³/h) จากการทดลองทำการประจุอากาศที่อัตราการไหล 127 (m³/h) ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่ถูกปรับให้ลดลงจากค่าการทดลอง 60 % ให้เหลือเพียง 40 % ของเครื่องอัดอากาศ เข้าภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาพบว่าส่งผลให้การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าอุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มต่ำลงเรื่อยๆ จนอาจมีผลทำให้ภายในห้องเผาไหม้เกิดการเสียดสีและเตาเผาอาจจะดับลงได้เนื่องจากขาดอากาศที่ทำให้เกิดการลุกไหม้

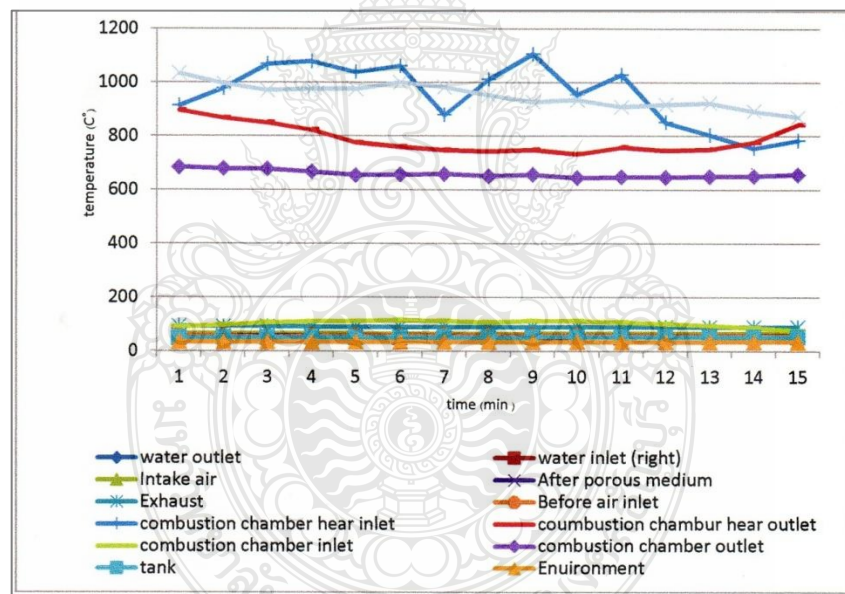


ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของอากาศ 127 (m³/h)

จากการศึกษาเชิงทดลองพบว่า ในช่วงที่อัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m³/h) อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ซึ่งถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล จำนวน 4 ตำแหน่ง พบว่าได้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงกว่าอัตราการไหลค่าอื่นๆ ส่งผลให้ได้ค่าพลังงานความร้อนที่ดีที่สุดจึงนำมาเป็นค่าตั้งต้นในการทดลองต่อไป เมื่อทราบแล้วว่าอัตราการไหลของอากาศในช่วงดังกล่าวทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ดีที่สุด ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้งาน โดยการนำอุณหภูมิในค่าที่ดีที่สุดดังกล่าวไปใช้งานนั้นจะใช้กลุ่มท่อน้ำซึ่งติดตั้งบริเวณช่องทางออกของห้องเผาไหม้และเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงโดยอาศัยหลักการนำพาความ

ร้อนจากแก๊สไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของห้องเผาไหม้ของเตาเผา ซึ่งภายในกลุ่มท่อน้ำจะมีน้ำไหลผ่านอยู่ภายในเพื่อแลกเปลี่ยนอุณหภูมิความร้อนดังกล่าวและจากการศึกษาถึงเรื่องการใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิยังพบอีกว่าอัตราการไหลของน้ำมีผลอย่างยิ่งในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ จึงทำการทดลองต่อโดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่ $318(\text{m}^3/\text{h})$ เป็นตัวแปรควบคุม และทำการทดลองปรับค่าอัตราการไหลของน้ำเพื่อหาค่าอัตราการไหลของน้ำที่ส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากที่สุด

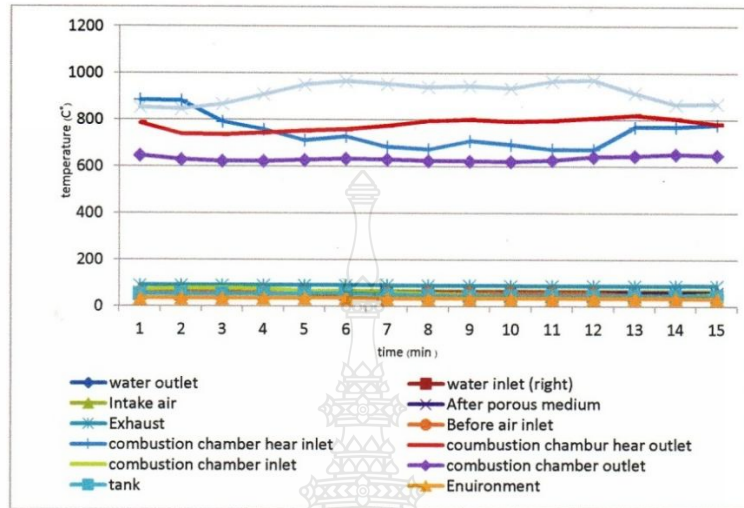
4.1.2.1 ภาพที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ $4(\text{m}^3/\text{h})$ จากการทดลองปรับอัตราการไหลของน้ำ $4(\text{m}^3/\text{h})$ ที่อัตราการไหลของอากาศ $318(\text{m}^3/\text{h})$ พบว่าอัตราการไหลของน้ำในช่วงดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้ากับน้ำออกอยู่ที่ 0.8 องศาเซลเซียส และส่งผลให้น้ำที่บรรจุอยู่ในถังซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้าๆ



ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ $4(\text{m}^3/\text{h})$

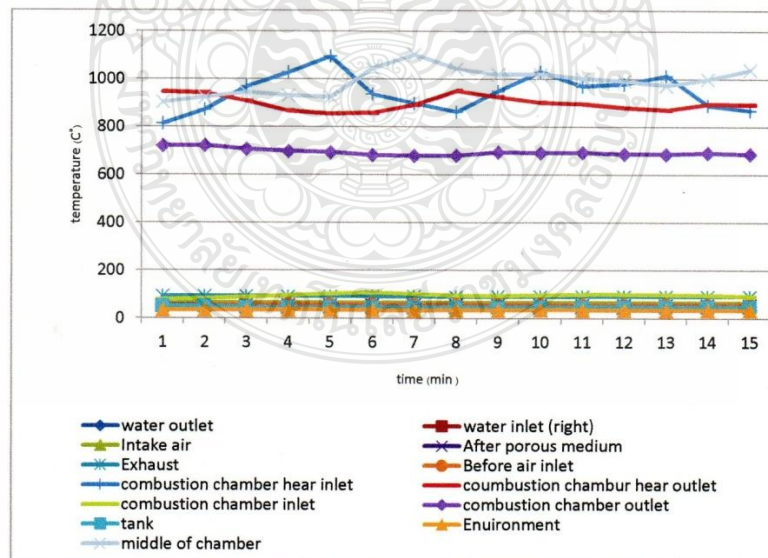
4.1.2.2 ภาพที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ $3.5(\text{m}^3/\text{h})$ จากการทดลองปรับอัตราการไหลของน้ำ $3.5(\text{m}^3/\text{h})$ ที่อัตราการไหลของอากาศ $318(\text{m}^3/\text{h})$ พบว่าอัตราการไหลของน้ำในช่วงดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้ากับน้ำออกอยู่ที่ 1

องศาเซลเซียส และส่งผลให้น้ำที่บรรจุอยู่ในถังซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิเป็นไปรวดเร็วกว่าแบบอัตราการไหลของน้ำ 4 (m³/h)



ภาพที่ 4.7 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 3.5 (m³/h)

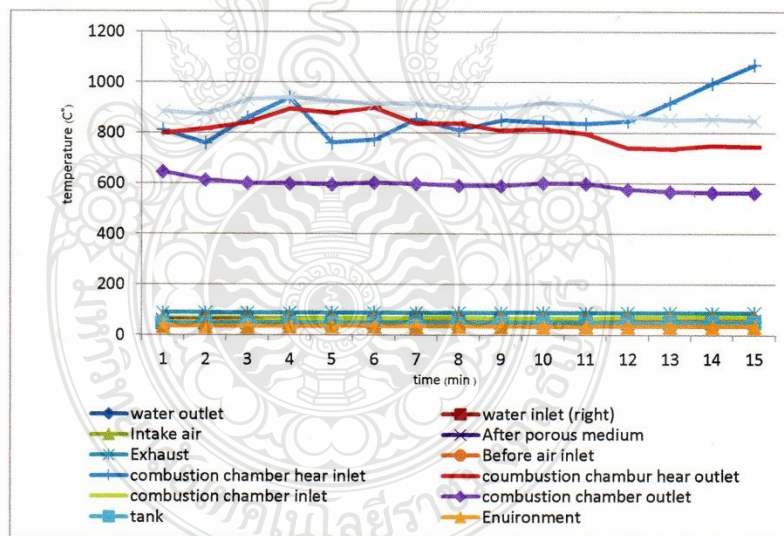
4.1.2.3 รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m³/h)



ภาพที่ 4.8 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ (m³/h)

จากการทดลองปรับอัตราการไหลของน้ำ (m^3/h) ที่อัตราการไหลของอากาศ $318 (\text{m}^3/\text{hr})$ พบว่าอัตราการไหลของน้ำในช่วงดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้ากับน้ำออกอยู่ที่ 1.3 องศาเซลเซียส และส่งผลให้น้ำที่บรรจุอยู่ในถังซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิเป็นไปรวดเร็วกว่า 2 อัตราการไหลแรก

4.1.2.3 ภาพที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ $2.5 (\text{m}^3/\text{h})$ จากการทดลองปรับอัตราการไหลของน้ำ $2.5 (\text{m}^3/\text{h})$ ที่อัตราการไหลของอากาศ $318 (\text{m}^3/\text{h})$ พบว่าอัตราการไหลของน้ำในช่วงดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้ากับน้ำออกอยู่ที่ 1.5 องศาเซลเซียส แต่กลับส่งผลให้น้ำที่บรรจุอยู่ในถังซึ่งมีปริมาตร 100 ลิตร มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุณหภูมิไม่ดีเท่าที่ควร โดยในขณะทำการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิในถังเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วมากแต่เมื่อน้ำในถังเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมน้ำในถังจะค่อยๆเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆและค่อยๆหยุดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้สันนิษฐานว่าเนื่องมาจากอัตราการไหลที่ช้าส่งผลให้การหมุนเวียนน้ำในถังไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ถูกรบกวนจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอก



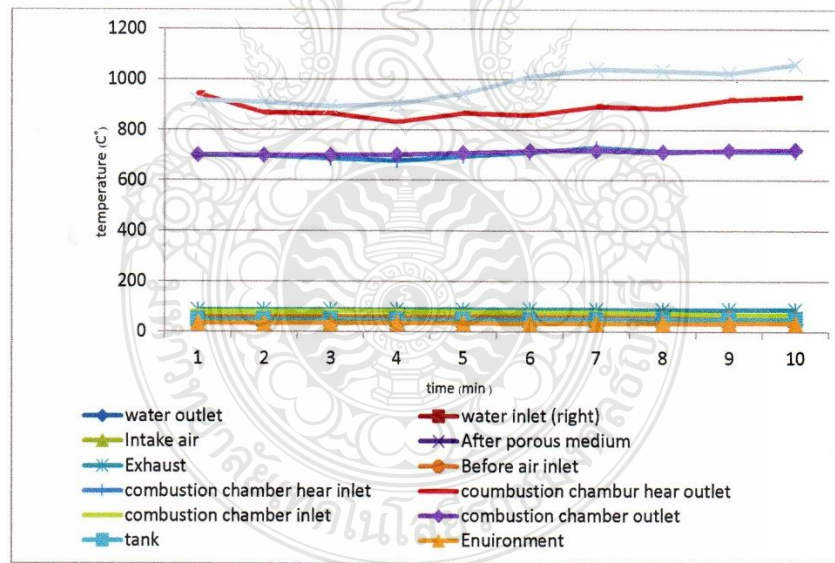
ภาพที่ 4.9 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งแบบดั้งเดิมที่อัตราการไหลของน้ำ $2.5 (\text{m}^3/\text{h})$

จากการศึกษาเชิงทดลองพบว่าในช่วงที่อัตราการไหลของน้ำ $3 (\text{m}^3/\text{h})$ มีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนได้ดีที่สุด จากการศึกษาผลของข้อมูลพบว่าในช่วงความเร็วน้ำดังกล่าวอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในถังบรรจุน้ำร้อนมีการเปลี่ยนแปลงดีที่สุดในค่าอัตราการไหลของน้ำ $3 (\text{m}^3/\text{h})$ มาเป็นค่าตั้งต้นในการ

ทดลองต่อไปโดยค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า กับอุณหภูมิน้ำออกมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.3 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองเก็บข้อมูลเตาเผาแบบดั้งเดิม พบว่าช่วงอัตราการไหลของน้ำ (m^3/h) และอัตราการไหลของอากาศ $318 (\text{m}^3/\text{h})$ ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดจึงนำมาเป็นตัวแปลควบคุมและเพื่อพิสูจน์ว่าการนำวัสดุพูนมาใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อน สามารถทำการส่งเสริมประสิทธิภาพได้จริงและน่าจะได้ค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำเพิ่มขึ้นจากเตาเผาแบบดั้งเดิม โดยทำการบรรจุวัสดุพูนลงไประหว่างกลุ่มท่อน้ำและทำการทดลอง

4.1.3.1 ภาพที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูนที่อัตราการไหลของน้ำ $3 (\text{m}^3/\text{h})$ และอัตราการไหลของอากาศที่ $318 (\text{m}^3/\text{h})$ จากการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูน พบว่าค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนสูงกว่าเตาเผาแบบดั้งเดิม โดยค่าอุณหภูมิน้ำเข้ามีความแตกต่างกับกับค่าอุณหภูมิน้ำออกมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่า โดยค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับอุณหภูมิน้ำออกมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ 2.1 องศาเซลเซียส จึงอาจกล่าวได้ว่าการนำวัสดุพูนมาใช้สามารถทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

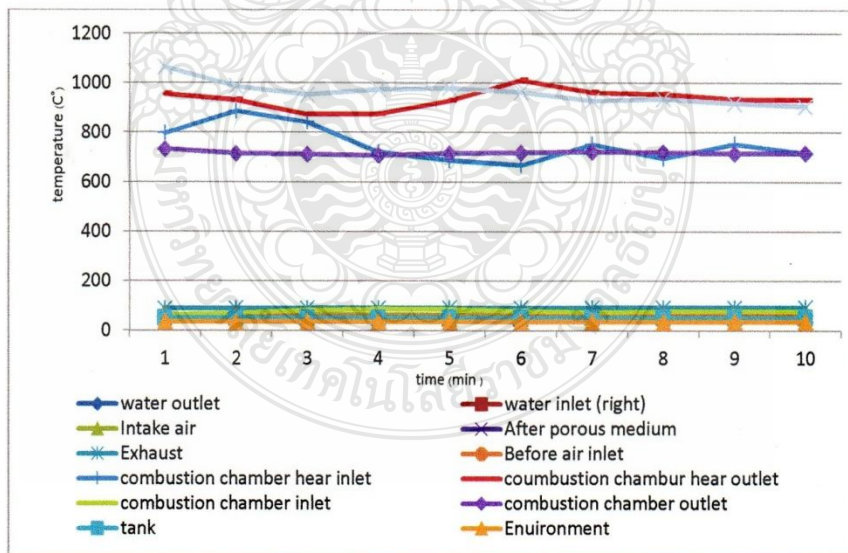


ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูน ที่อัตราการไหลของน้ำ $3 (\text{m}^3/\text{h})$ และอัตราการไหลของอากาศที่ $318 (\text{m}^3/\text{h})$

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนขนาดต่างๆที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผา เชื้อเพลิงแข็งภายใต้การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพูน

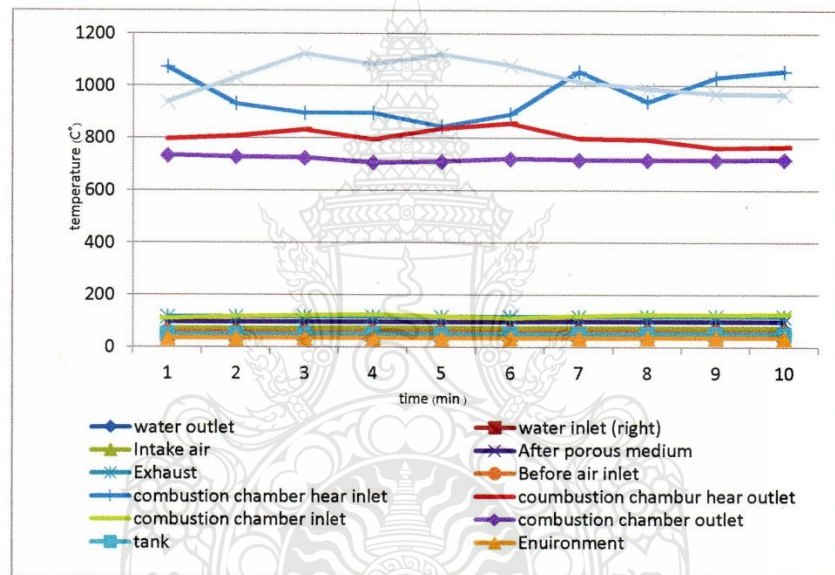
จากการทดลองในเบื้องต้น ในการนำวัสดุพูนมาใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนพบว่าได้ค่าทางความร้อนเพื่อนำไปใช้งานที่สูงขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความคิดเห็นต่อไปว่าถ้าวัสดุพูนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ ขนาดของตัววัสดุพูนน่าจะมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพได้เช่นกัน จึงได้ทำการทดลองโดยมีตัวแปลควบคุมเช่นเดียวกับก่อนเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาด้วยวัสดุพูน โดยใช้ค่าวัสดุพูน 3 ค่าคือ 8,10,12 mm ตามลำดับ

4.2.1 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูน ขนาด 8 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m^3/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m^3/hr) จากการทดลองใช้วัสดุพูนขนาด 8 mm แล้วพบว่ามีการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับท่อน้ำที่ถูกล้อมรอบด้วยวัสดุพูนเป็นอย่างดี แต่ด้วยขนาดของวัสดุพูนมีขนาดค่อนข้างเล็กจึงทำให้อัตราการไหลของแก๊สไอเสียค่อนข้างช้า จึงทำให้เศษขี้เถ้าที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้เกิดการสะสมที่บริเวณของชั้นวัสดุพูนและส่งผลให้เมื่อมีการสะสมมากขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ส่งผ่านไปยังกลุ่มท่อน้ำต่ำลง พบว่าวัสดุพูนส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนโดยทำให้เกิดความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับอุณหภูมิน้ำออก 2.1 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.11 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูนขนาด 8 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ (m^3/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m^3/h)

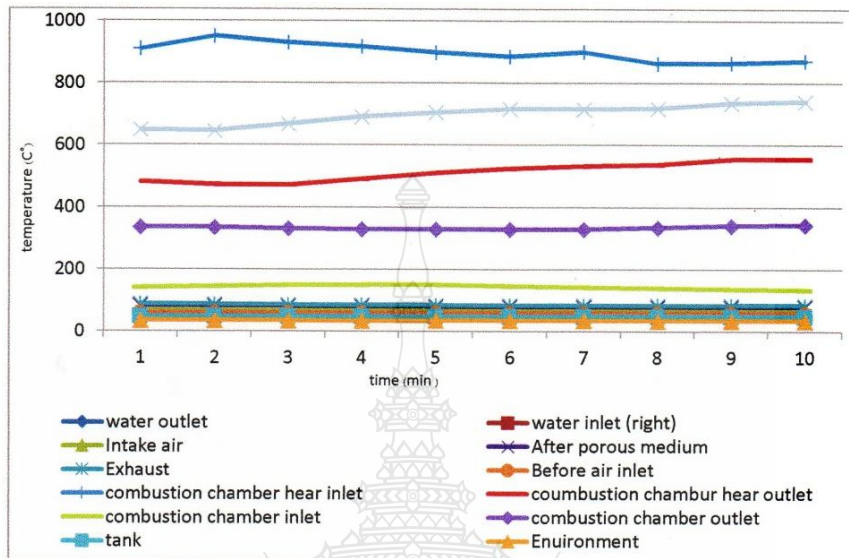
4.2.2 ภาพที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์ซเลนขนาด 10 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m³/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m³/h) จากการทดลองใช้วัสดุพอร์ซเลนขนาด 10 mm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าวัสดุพอร์ซเลนขนาดแรก แล้วพบว่ามีการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับท่อน้ำที่ถูกล้อมรอบด้วยวัสดุพอร์ซเลนเป็นอย่างดีและไม่มีปัญหาในด้านของจี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ไปอุดตันในชั้นวัสดุพอร์ซเลนทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ส่งผ่านไปยังกลุ่มท่อน้ำมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จากผลการทดลองในการบรรจุวัสดุพอร์ซเลน พบว่าวัสดุพอร์ซเลนส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อน โดยทำให้เกิดความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับอุณหภูมิน้ำออก 3.7 องศาเซลเซียส



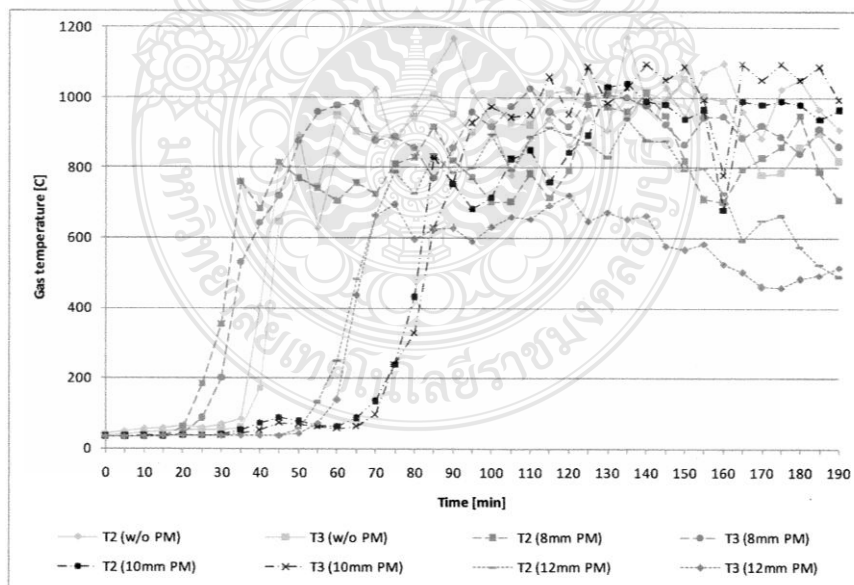
ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์ซเลนขนาด 10 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m³/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m³/h)

4.2.3 ภาพที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่ มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพอร์ซเลนขนาด 12 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m³/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m³/h) จากการทดลองใช้วัสดุพอร์ซเลนขนาด 12 mm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าวัสดุพอร์ซเลนขนาดแรกและขนาดที่สองพบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับท่อน้ำที่ถูกล้อมรอบด้วยวัสดุได้ในระดับหนึ่งแต่ค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้ากับน้ำที่ออกจากกลุ่มท่อน้ำที่ถูกล้อมรอบด้วยวัสดุพอร์ซเลนยังมีค่าน้อยกว่าวัสดุพอร์ซเลน

ขนาด 8,10 mm โดยพบว่าวัสดุพูนส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนโดยทำให้เกิดความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับอุณหภูมิน้ำออกมีอุณหภูมิอยู่ที่ 1.8 องศาเซลเซียส



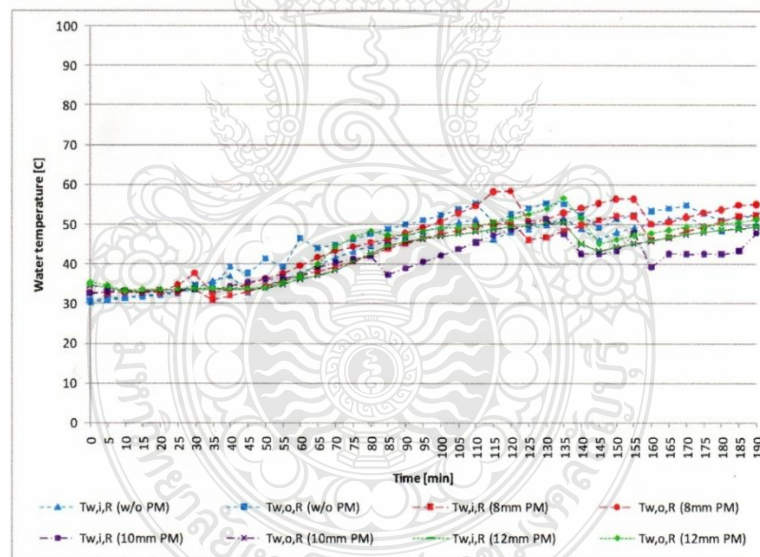
ภาพที่ 4.13 อุณหภูมิเตาเผาเชื้อเพลิงแข็ง ที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวัสดุพูน ขนาด 12 mm ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 (m³/h) และอัตราการไหลของอากาศที่ 318 (m³/h)



ภาพที่ 4.14 โครงสร้างอุณหภูมิของแก๊ส

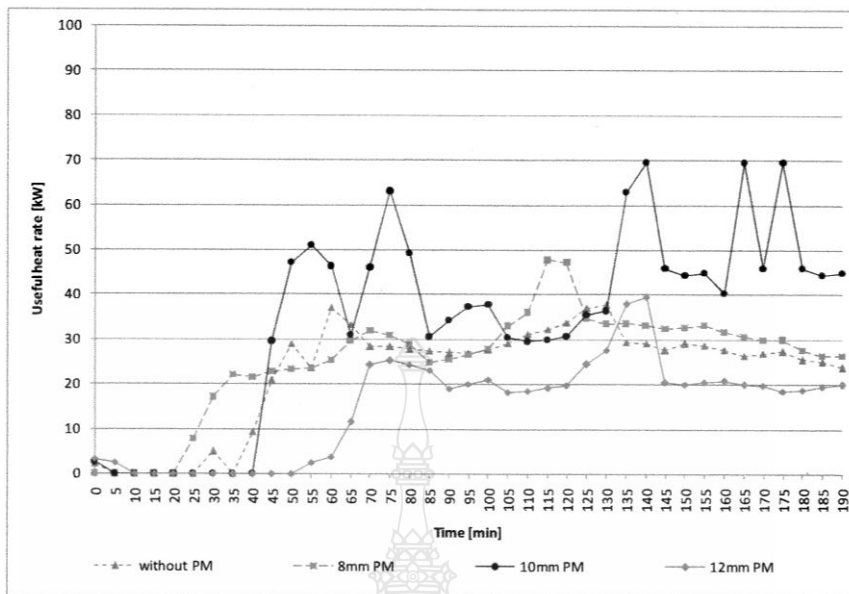
การเปรียบเทียบค่าผลรวมของการทดลองการนำวัสดุพอรุนมาใช้ส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อน พบว่าโครงสร้างอุณหภูมิของแก๊สที่เป็นผลรวมระหว่างการใช้วัสดุพอรุนที่มีขนาดต่างกัน 8,10,12 mm ตามลำดับพบว่า วัสดุพอรุนขนาด 10 mm มีค่าอุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะเกิดจากขนาดของวัสดุพอรุนขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่พอเหมาะจึงส่งผลให้การไหลของแก๊สไหลเสียเป็นไปอย่างสมดุล จึงส่งผลให้ค่าความร้อนในห้องเผาไหม้มีค่าสูงตามไปด้วย

จากการทดลองนำวัสดุพอรุนที่มีค่าความร้อนที่แตกต่างกันมาเขียนกราฟโครงสร้างอุณหภูมิของแก๊ส profiles แล้ว ในช่วงต้นของการทดลองพบว่าวัสดุพอรุน ขนาด 8 mm ให้ค่าการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี แต่เมื่อทำการทดลองต่อไปพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงที่ดีดังกล่าวกลับค่อยๆต่ำลง ซึ่งเมื่อเทียบกับวัสดุพอรุนขนาด 10 mm วัสดุพอรุนขนาด 10 mm ในช่วงต้นการทดลองจะให้ค่าความแตกต่างทางความร้อนที่น้อยกว่าวัสดุพอรุนขนาด 8 mm แต่ในช่วงกลางถึงช่วงปลายการทดลองกลับให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ดีกว่าและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนวัสดุพอรุนขนาด 12 mm ให้ค่าความแตกต่างทางอุณหภูมิน้อยที่สุด



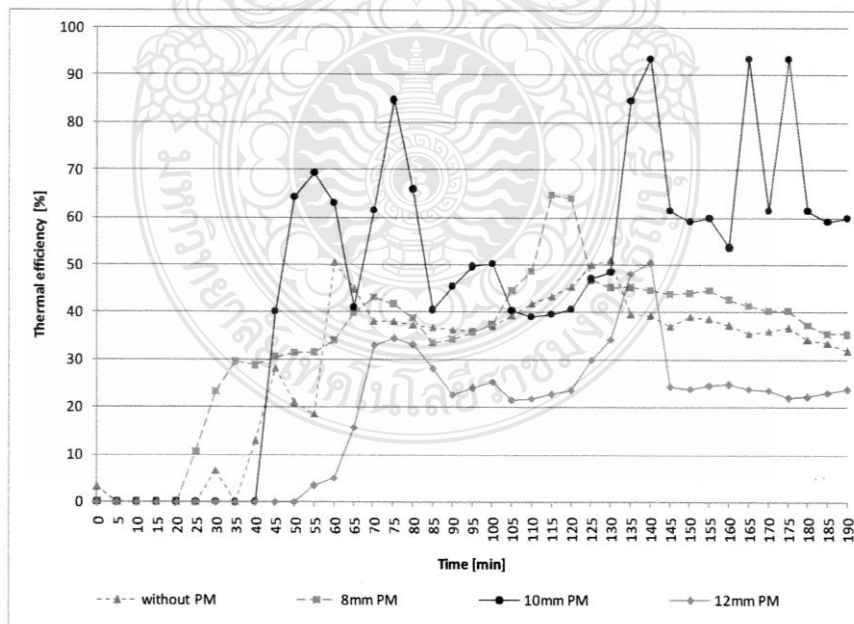
ภาพที่ 4.15 โครงสร้างอุณหภูมิของน้ำร้อน

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้นำมาใช้ในการหาค่าโครงสร้างอุณหภูมิของน้ำร้อนซึ่งจากข้อมูลจะพบว่าอัตราการดูดซึมความร้อนของวัสดุพอรุนขนาด 10 mm มีค่ามากกว่าวัสดุพอรุนขนาดอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดเจนจึงเป็นขนาดที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาแบบดั้งเดิม



ภาพที่ 4.16 อัตราความร้อนที่ถูกดูดกลืนไปใช้ประโยชน์

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา เพื่อยืนยันความถูกต้องในการทดลองว่าวัสดุพูนขนาด 10 mm ส่งผลดีที่สุดเมื่อนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อน



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา

จากผลการทดลองในการบรรจุวัสดุพอร์ขนาด 8, 10, 12 mm ตามลำดับ พบว่าวัสดุพอร์ส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนโดยทำให้เกิดความต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้ากับอุณหภูมิน้ำออก 2.1, 3.7, 1.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยแสดงเป็นตาราง ข้อมูลค่าเฉลี่ยที่เก็บบันทึกจากการทดลองและคำนวณได้ดังนี้

Porous medium	T2 [°C]	T3 [°C]	Qu [kW]	Eff. [%]
w/o PM	965.81	943.40	29.18	39.28
8 mm	828.50	935.07	33.05	44.54
10 mm	913.46	1019.19	45.18	60.32
12mm	767.27	588.54	22.32	27.04

ภาพที่ 4.18 ข้อมูลค่าเฉลี่ยที่เก็บบันทึกจากการทดลองและคำนวณได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง เพื่อศึกษาปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน โดยมีเชื้อเพลิงแข็งถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงทางความร้อน โดยนำวัสดุพอร์มาใส่เพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้กับกลุ่มท่อน้ำร้อน เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นกว่าเตาเผาแบบดั้งเดิมสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 สามารถนำวัสดุพอร์ (Porous Medium) มาใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนได้ตามที่คาดไว้จากการทดลองวัสดุพอร์ (Porous Medium) แสดงให้เห็นว่ามีความสำคัญในการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อนให้แก่ท่อน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนในอุณหภูมิสูงสุดของเตาเผาแบบดั้งเดิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนินทร์ โพธิยา ที่ได้ทำการศึกษาทดลองการเผาไหม้แบบซูเปอร์แอเดียบัติกของเชื้อเพลิงเหลวในวัสดุพอร์ ซึ่งแสดงว่าวัสดุพอร์สามารถนำมาใช้ส่งเสริมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุพอร์ (Porous Medium) มีศักยภาพทางการนำและการพาความร้อนให้แก่ท่อน้ำ ส่งผลให้ได้ค่าความร้อนของอุณหภูมิที่มากขึ้นกว่าแบบไม่มีวัสดุพอร์ ในการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อน โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงที่สุดที่ 60.32% [8] และบุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว ที่ได้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบกรณีเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวที่มีและไม่มีการติดตั้งวัสดุพอร์ พบว่าเตาเผาที่มีการติดตั้งวัสดุพอร์อุณหภูมิสูงสุดที่ได้สูงกว่า ใช้ระยะทางในการระเหยสั้นกว่านำมาซึ่งการเผาไหม้ที่รุนแรงและสมบูรณ์กว่า [20]

5.1.2 วัสดุพอร์ (Porous Medium) มีบทบาทที่สำคัญในการหมุนเวียนความร้อนโดยแก๊สไอเสียที่ออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งเมื่อมาสัมผัสกับวัสดุพอร์ก็จะไหลเวียนไปตามชั้นของวัสดุพอร์ซึ่งเป็นการส่งเสริมค่าทางความร้อนสอดคล้องกับผลการทดลองของกิตติศักดิ์ สุวรรณวิจิตร ที่พบว่าวัสดุพอร์ (Porous Medium) มีบทบาทที่สำคัญในการหมุนเวียนความร้อนจากการแผ่รังสี [30]

5.1.3 ขนาดของ วัสดุพอร์ (Porous Medium) มีผลต่อการส่งเสริมประสิทธิภาพทางความร้อน ขนาดของวัสดุพอร์ (Porous Medium) ที่เหมาะสม มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อน้ำ ขนาดของวัสดุพอร์ (Porous Medium) ที่เหมาะสมที่สุด ในการทดลองครั้งนี้ คือ ขนาด 10 mm. ที่ทำให้ได้ค่าความร้อนในกลุ่มท่อน้ำที่ดีที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชีระ คงกระพันธ์ ซึ่งทำการทดลองพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวชนิดวัสดุพอร์แบบสลับทิศทางการไหลอย่างเป็นจังหวะ พบว่า

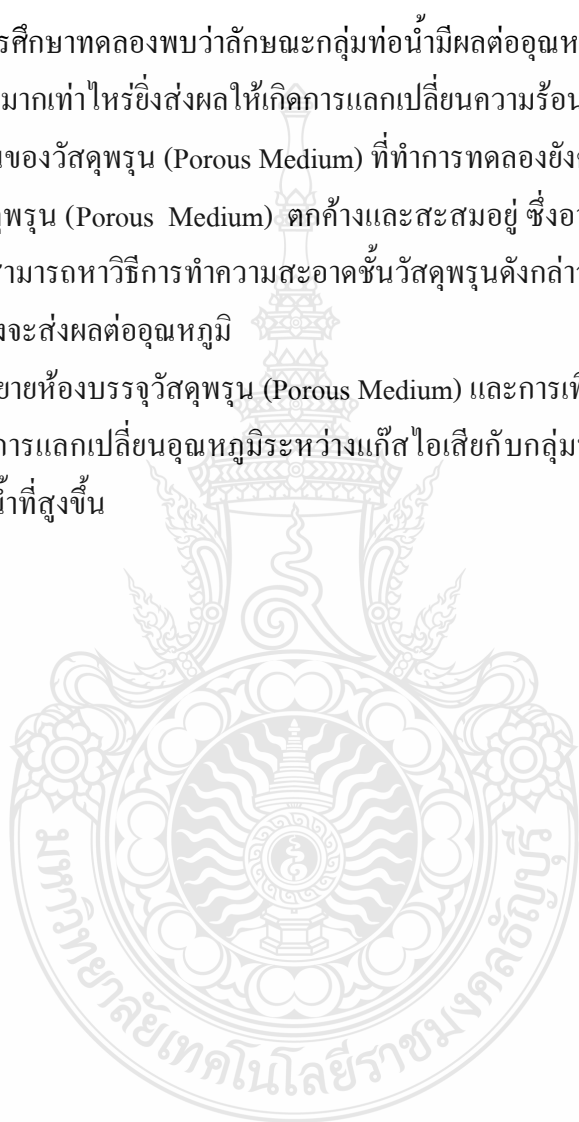
เมื่อวัสดุพอร์นขนาด 10 mm จะให้เปลวไฟที่เสถียรอยู่ภายในวัสดุพอร์นได้ดีกว่าขนาด 7 mm และ 4 mm [31]

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาทดลองพบว่าลักษณะกลุ่มท่อน้ำมีผลต่ออุณหภูมิ โดยถ้ากลุ่มท่อน้ำมีการสัมผัสกับชั้นวัสดุพอร์นมากเท่าไรยิ่งส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนดียิ่งขึ้น

5.2.2 ในชั้นของวัสดุพอร์น (Porous Medium) ที่ทำการทดลองยังคงมีเศษของเขม่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งวัสดุพอร์น (Porous Medium) ตกค้างและสะสมอยู่ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการไหลของแก๊สไอเสีย หากสามารถหาวิธีการทำความสะอาดชั้นวัสดุพอร์นดังกล่าวได้ จะทำให้การไหลเวียนของแก๊สไอเสียดีขึ้นซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิ

5.2.3 การขยายห้องบรรจุวัสดุพอร์น (Porous Medium) และการเพิ่มการบรรจุชั้นวัสดุพอร์น น่าจะส่งผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างแก๊สไอเสียกับกลุ่มท่อน้ำที่ยาวนานขึ้น อาจทำให้ได้ค่าของอุณหภูมิน้ำที่สูงขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] ฝ่ายกิจกรรมองค์กรและรัฐวิสาหกิจสัมพันธ์บริษัทเอสโซ่(ประเทศไทย)จำกัด (มหาชน), 2 แนวโน้มพลังงานโลก-ภาพรวมถึงปี 2040, 2555, มปท.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักงานนายกรัฐมนตรี,พลังงานเพื่อความเข้าใจใช้อย่างรู้ค่า พัฒนาสู่ความยั่งยืน(ออนไลน์), 2557,Available :<http://new.eppo.go.th/doc/doce/doc-energy.htm>, (14 ตุลาคม 2557).
- [3] คมสันต์ ศรีคงเพชร, พลังงานทดแทน...พลังงานเพื่ออนาคต(ออนไลน์), 2557, Available :http://www.bot.or.th/thai/EconomicConditions/thai/northeast/commodityArticle/Energy_Future.pdf, (14 ตุลาคม 2557).
- [4] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักงานนายกรัฐมนตรี,ทิศทางการจัดหาไฟฟ้าไทย (ออนไลน์),2557, Available :<http://www.eppo.go.th/power/220/powerplant/4-ng.thml>, (14 ตุลาคม 2557).
- [5] วันชนะ มาลีรัตน์,รักษ์โลกให้ถูก(ออนไลน์), 2557, Available :<http://www.siamtownus.com/new-1102000125-aspx/>, (14 ตุลาคม 2557).
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย(ออนไลน์), 2557,Available:http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=130%3A2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68&lang=th, (14 ตุลาคม 2557).
- [7] กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน,แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี(พ.ศ.2555-2564)(ออนไลน์),2557, Available :<http://www.enconfund.go.th/pdf/index/edp25.pdf>, (14 ตุลาคม 2557).
- [8] ชนินทร์ โพธิยา,“การเผาไหม้แบบซูเปอร์แอเดียติกของเชื้อเพลิงเหลวในวัสดุพอรุน”,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [9] กรกต พิมทะวงศ์, “พลังงานชีวมวล,”วารสารวิชาการราชภัฏอุตรดิตถ์,2546, (3):2, สิงหาคม2546-มกราคม 2547.
- [10] เสรีวัฒน์ สมิฤทธิ์ปัญญา,นิเวศวิทยา:สิ่งแวดล้อมกับการปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์, พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์, 2539.

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [11] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน,“ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม”,วารสารนโยบายพลังงาน, (59):11, มกราคม-มีนาคม2546.
- [12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,“พลังงานชีวมวล”2552, Available :<http://www2.dede.go.th/renew/bio-p.htm> (3 ตุลาคม พ.ศ.2557).
- [13] ชัยชาญฤทธิไกร, “พลังงานทดแทน:พลังงานชีวมวลกับศักยภาพในประเทศไทย,”วารสารโลกพลังงาน,2547,6(23), Available :<http://teenet.Chaingmai.ac.th/journal/2004/23/02.php>, (3 ตุลาคม พ.ศ.2557).
- [14] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, พลังงานกู้โลกร้อน เชื้อเพลิงทางเลือกทางรอดประเทศไทย ,กุมภาพันธ์2551. กรุงเทพฯ.
- [15] ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, “ชีวมวล,”พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: คิวพรีนท์แมเนจเม้นท์, 2549.
- [16] บริษัทไทยซุმიจำกัด,“การใช้ประโยชน์จากถ่านไม้,” 2557, Available :http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/charcoal_fun2.php, (20 ตุลาคม พ.ศ.2557).
- [17] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม,“ชีวมวล”. กรุงเทพฯ:ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิฯ, 2549.
- [18] Weinberg,F.J.,1986,“Heat-Recirculating Burners: Principles and Some Recent Developments”, Combustion Science and Technology, Vol. 121, pp. 33-22.
- [19] Kaplan, M. and Hall, M.J. , “The Combustion of Liquid Fuels Within a Porous Media Radiant Burner,” Experimental Thermal and Fluid Science,No.1,Vol. 11,pp.13-20, 1995.
- [20] บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว,“การระเหยและการเผาไหม้ของละอองเชื้อเพลิงเหลวในวัสดุพรุน,”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544.
- [21] Takami, H.,Suzuki, T., Itaya,Y. and Hasatani, M., “Performance of Flammability of Kerosene and No_x Emission in the Porous Burner ,” Fuels. Vol.77, , pp.165-171.1998,
- [22] Jugjai, S.,Wongpanit,N.,Laoketkan, T. and Nokkaew,S., “The Combustion of Liquid Fuels using a Porous Medium ,” Experimental thermal and Fluid Science, Vol.25/1, pp.15-23,2002.

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [23] Fuse, T., Araki, Y., Kobayashi, N. and Hasatani, M., "Combustion Characteristics in Oil-Vaporizing Sustained by Radiant Heat Reflux Enhanced with Higher Porous Ceramics," *Fuels*, Vol.82, pp.1411-1417, 2003.
- [24] Hoffmann, J.G., Echigo, R., Yoshida, H. And Tada, S., "Experimental Study on Combustion in Porous Media with a Reciprocating Flow System," *Combustion and Flame*, pp.181-195, 1997.
- [25] Reed, T.B. and Das, A. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*, 3rd ed. Colorado, pp.30-87, 1988.
- [26] Figliola, R.S. and Beasley, D.E., *Theory and Design for Mechanical Measurements*, 4th ed, Wiley, Singapore, pp.168-175, 2006,
- [27] Nield, D.A. & Bejan, A., *Convection in porous media* third edition. Springer, USA, 2006.
- [28] Wongwatcharaphon, "K. Numerical Simulation of High Efficiency Porous Burner for Liquid Fuel Combustion without Spray Atomization," D.Eng., Mechanical Engineering Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2011.
- [29] Jugjai, S., Sanitjai, S., Aimmanee, S., & Boonprasert, T., "Heat transfer enhancement to cooling water pipe by a surface combustor heater equipped with a convection radiation converter," *REREC International Energy Journal*, 20 (2), 91 – 105, 1998.
- [30] กิตติศักดิ์ สุวรรณวิจิตร, "การศึกษาอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับการพัฒนาการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวัสดุพอร์ซันชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นฝอยละออง," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
- [31] ชีระ คงกระพันธ์, "การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวชนิดวัสดุพอร์ซันแบบสลับทิศทางการไหลอย่างเป็นจังหวะ", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก
ภาพวิธีการทดลอง





ภาพที่ ก.1 การบรรจุเชื้อเพลิงแข็ง



ภาพที่ ก.2 วัสดุพูนที่นำมาใช้ในการทดลอง



ภาพที่ ก.3 ห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการบรรจุวัสดุพูน



ภาพที่ ก.4 การบรรจุวัสดุพูนลงในห้องแลกเปลี่ยนอุณหภูมิ



ภาพที่ ก.5 การให้ความร้อนในการเริ่มติดเตา



ภาพที่ ก.6 ขณะเชื้อเพลิงแข็งภายในเตาเผาเกิดการลุกไหม้



ภาพที่ ก.7 การทำงานของชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำ



ภาพที่ ก.8 น้ำร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนของเตาเผา



ภาพที่ ก.9 การเก็บข้อมูลโดยใช้ datataker



ภาพที่ ก.10 วัสดุพูนที่ผ่านการใช้งานกับเตาเผาแล้ว



ภาคผนวก ข
ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางข้อมูลการทดลองเตาเผาแบบดั้งเดิม

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
35.569	35.997	35.305	35.335	35.588	35.188	35.981	129.63	144.24	235.617	135.04	134.54	32.471	934.913	32.749
35.653	36.139	35.388	35.418	35.729	35.3	36.035	129.15	143.34	245.758	135.153	134.683	32.584	935.027	35.914
35.903	35.988	35.285	35.58	35.607	35.167	36.197	127.76	150.1	255.666	135.374	134.844	32.745	934.846	35.52
35.798	35.971	35.21	35.534	35.502	35.121	36.151	126.9	153.114	256.649	135.298	134.798	32.729	934.829	35.903
35.742	35.885	35.152	35.389	35.416	35.036	36.065	126.22	160.177	258.591	135.242	134.771	32.672	934.743	36.039
35.567	36.13	35.378	35.361	35.691	35.144	35.978	125	168.668	260.837	134.802	134.625	32.585	935.076	35.881
35.58	36.113	35.421	35.345	35.617	34.982	35.962	124.12	175.975	263.88	134.698	134.581	32.54	935.089	35.622
35.623	36.126	39.892	35.387	44.055	37.491	35.976	123.09	177.635	265.02	137.77	144.24	32.495	934.663	35.445
35.705	36.13	39.359	35.558	63.439	43.616	36.028	122.39	181.906	268.593	138.09	143.34	36.606	933.023	36.099
35.641	36.007	39.47	35.553	78.614	48.589	35.876	121.77	187.3824	270.561	138.556	150.1	32.424	931.224	36.223
35.684	35.874	45.173	35.173	89.106	52.517	35.919	121.08	186.1422	274.462	138.659	153.114	32.496	929.823	36.453
35.837	35.939	46.489	36.042	98.098	56.136	35.087	134.581	195.38	276.351	139.445	160.177	32.385	928.524	37.019
35.95	35.963	47.036	36.302	100.2	58.439	44.897	144.24	198.09	280.457	139.884	168.668	32.41	926.25	36.806
36.14	36.093	49.862	36.755	99.006	60.902	44.919	143.34	205.11	282.604	139.999	175.975	32.482	922.347	35.719
36.07	36.004	49.404	36.863	105.9	64.036	46.766	150.1	235.617	287.2	140.233	177.635	32.208	917.306	34.16
36.546	36.186	49.121	37.191	102.61	64.733	47.854	153.114	245.758	290.111	140.556	181.906	32.243	915.355	34.849

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
38.253	36.406	48.75	37.491	79.928	63.13	46.381	160.177	255.666	292.123	140.644	187.3824	32.162	910.126	34.643
39.817	36.705	48.612	37.791	67.432	65.864	45.723	168.668	256.649	293.57	141.567	186.1422	32.109	996.69	35.608
43.362	37.21	48.56	38.119	62.098	70.85	43.662	175.975	258.591	297.675	142.078	189.621	32.116	995.67	35.408
48.529	38.418	48.567	38.419	61.646	84.188	36.035	177.635	260.837	299.659	142.943	190.914	32.182	967.89	35.396
53.828	40.451	48.555	38.67	62.553	97.078	36.197	181.906	263.88	301.09	143.111	193.511	32.112	971.68	36.308
59.327	44.163	48.532	38.823	64.137	107.47	36.151	187.382	265.02	303.665	145.324	195.022	32.088	1000.9	36.766
65.55	48.116	48.648	39.144	65.775	115.86	36.065	202.152	268.593	305.567	146.09	200.089	32.177	987.35	35.955
73.624	51.413	48.898	39.483	67.886	124.7	35.978	121.579	270.561	306	146.765	202.152	32.136	986.34	36.55
82.873	60.081	49.019	39.674	69.293	129.12	35.962	216.52	274.462	308.546	149.304	121.579	32.114	986.66	36.351
91.692	53.694	49.326	39.868	70.537	132.6	35.976	220.38	289.02	310.113	152.565	216.52	32.102	984.08	35.997
100.13	54.928	50.145	40.788	72.734	138.73	36.028	230.46	285.8	315.744	154.333	220.38	32.026	988.46	34.833
97.13	55.268	50.864	40.607	74.211	141.92	35.876	238.49	284.97	317.889	155.6	230.46	32.021	977.12	35.005
101.88	60.461	51.3	40.987	76.095	144.77	35.919	241.22	286.99	322.678	156.58	238.49	32.08	974.67	34.989
102.05	95.386	52.873	41.056	77.155	147.92	44.897	245.55	290.77	325.06	164.51	241.22	32.002	976.14	35.055
102.32	101.49	55.923	41.572	78.938	152.57	44.919	249.07	301.11	327.335	168.61	245.55	31.962	996.44	35.426
102.71	102.03	54.533	41.975	80.359	157.81	46.766	252.567	306.61	329.565	178.94	249.07	32.102	976.62	35.983
102.78	102.15	56.126	42.273	81.958	163.49	47.854	263.88	308.84	331.722	195.38	252.567	32.254	984.08	36.001
102.74	102.11	59.265	42.966	83.199	166.23	46.381	265.02	303.06	338.72	198.09	257.8	32.042	988.46	35.86

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
102.94	102.44	61.845	43.218	84.347	168.46	45.723	268.593	313.45	340.076	205.11	237.53	32.088	977.12	36.319
102.78	102.11	63.292	43.784	85.323	170.87	43.662	270.561	308.28	342.008	178.69	234.68	33.398	974.67	36.466
102.67	102.06	63.467	44.021	86.263	173.44	55.938	274.462	311.84	345.089	165.8	244.41	33.643	976.14	36.32
103.05	102.49	66.777	44.143	87.208	175.26	56.4	289.02	311.62	354	192.37	256.67	33.801	996.44	36.084
103.08	102.72	73.419	44.265	87.978	176.58	56.267	285.8	311.77	357.88	196.25	264.75	33.842	976.62	36.731
104.15	102.69	89.694	43.495	88.207	173.71	56.343	284.97	311.48	359.343	155.38	246.09	34.355	981.57	36.298
50.153	34.286	50.573	34.922	87.17	166.3	56.532	286.99	307.96	361.785	157.15	232.33	35.259	950.27	36.681
40.115	34.261	38.087	34.427	84.938	159.84	57.319	290.77	313.35	364.235	155.82	223.15	35.716	940.47	36.471
39.931	35.211	36.644	35.272	83.476	156.33	39.727	301.11	327.335	369.07	154.02	222.95	35.364	945.4	36.368
39.924	35.086	36.404	35.177	82.787	154.85	60.851	301.09	329.565	372.362	152.03	221.08	35.001	944.2	36.352
39.753	35.062	36.233	35.124	82.422	154.4	69.802	303.665	331.722	374.255	224.33	234.4	35.052	953.81	36.294
40.2	35.622	36.256	35.685	82.629	155.04	64.333	305.567	338.72	376.667	157.25	232.35	35.104	963.49	36.462
40.083	35.715	36.494	35.836	82.433	153.82	58.069	306	340.076	378.567	228.43	229.5	35.981	1073.4	36.621
40.653	35.983	36.85	36.046	82.301	152.19	58.971	308.546	342.008	381.233	245.22	231.71	35.602	1042.8	36.517
40.514	36.233	36.837	36.268	82.175	150.95	59.073	310.113	345.089	385.347	250.96	222.01	35.622	1015.6	36.247
40.809	36.841	37.278	36.936	82.087	150.06	58.636	315.744	354	395.336	254.38	225.43	35.629	1035.5	36.183
41.59	36.844	37.543	36.723	82.175	149.61	59.838	317.889	357.88	408.33	262.44	225.76	35.783	1085.5	36.283
40.998	37.012	37.507	36.834	82.196	149.77	63.062	322.678	359.343	416.55	263.82	225.53	35.835	1113.2	35.881

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
41.178	37.162	37.629	37.043	82.456	150.13	66.173	325.06	361.785	436.454	262.84	226.15	35.486	1096.6	35.641
41.359	37.43	37.927	37.282	82.548	150.26	61.918	327.335	376.667	468.333	263.01	229.11	36.444	964.79	36.269
41.451	37.855	38.284	37.728	82.698	150.41	60.798	329.565	378.567	498.663	261.86	227.87	36.511	1089.88	36.014
42.177	38.023	38.512	37.839	82.95	150.91	59.265	331.722	381.233	503.399	260.656	230.43	36.58	1071.63	35.991
42.393	38.23	39.03	38.289	83.062	151.56	58.757	338.72	385.347	545.36	203.96	234.79	36.63	1076.1	35.793
42.444	38.223	38.994	38.282	83.222	152.12	54.085	300.13	395.336	587.339	190.38	232.24	36.639	997.35	35.77
42.566	38.491	39.262	38.52	83.514	152.81	51.28	288.7	408.33	607.775	204.56	240.36	37.231	1011.8	35.981
42.893	38.847	39.619	38.907	83.693	153.32	50.792	280.556	416.55	624.335	202.1	240.88	37.618	1016.4	35.608
42.927	39.058	39.858	39.087	83.414	151.51	51.698	255.45	436.454	660	226.62	238.68	37.828	1017	35.742
43.06	39.23	40.078	39.25	83.354	150.98	57.319	234.11	468.333	685.368	213.75	237.99	38.077	996.69	35.748
42.946	39.175	40.023	39.253	83.411	151.31	44.897	212.14	498.663	707.88	196.61	247.6	38.14	995.67	36.041
43.525	39.462	40.339	39.482	83.666	152.04	44.919	173.71	503.399	721.678	209.87	250.47	38.427	967.89	35.211
43.478	39.561	40.409	39.61	83.734	152.22	46.766	166.3	545.36	734.33	290.29	241.4	38.233	971.68	35.744
43.497	39.736	40.525	39.804	83.819	151.4	47.854	159.84	587.339	768.55	210.17	246.73	38.838	1000.9	35.615
43.577	39.728	40.401	39.739	83.412	149.49	46.381	156.33	607.775	798.22	293.11	254.91	38.861	987.35	35.764
43.466	40.055	40.698	40.065	82.653	145.49	45.723	154.85	624.335	812.339	292.38	256.73	39.217	986.34	35.963
43.81	40.341	40.955	40.322	82.136	142.8	43.662	154.4	660	876.556	291.02	255.22	39.299	986.66	36.265
43.997	40.411	41.171	40.45	82.233	143.51	55.938	155.04	685.368	899.33	289.02	258.28	39.398	984.08	36.158

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
44.125	40.627	41.27	40.667	82.188	144.11	56.407	153.82	707.88	930.558	285.8	249.24	39.643	988.46	35.758
44.224	40.538	41.427	40.649	82.256	144.71	56.267	152.19	721.678	980.679	284.97	253.64	39.801	977.12	35.665
44.439	41.089	41.897	41.069	81.985	143.1	56.343	150.95	734.33	1051.336	286.99	273.61	39.842	974.67	35.816
44.48	40.574	41.82	40.613	82.338	145.43	56.532	150.06	768.55	1194.778	285.84	263.17	39.355	976.14	36.131
51.803	43.605	103.86	59.485	89.488	164.1	57.319	136.76	782.56	1314.4	204.22	309.15	42.259	996.44	35.74
51.582	43.412	103.98	59.988	89.443	163.38	39.727	136.77	785.09	1325.6	202.59	302.52	41.716	976.62	36.149
51.204	43.062	104.01	60.508	89.5	163.69	60.851	137	795.45	1313.8	202.73	306.61	41.364	981.57	35.742
50.929	42.699	104.09	61.506	89.631	163.21	69.802	138.33	789.09	1355.5	200.47	308.84	41.001	950.27	35.824
51.01	42.867	104.05	61.99	89.853	163.96	64.333	138.74	790.23	1390.9	201.92	303.06	41.052	940.47	35.777
51.062	42.92	104.02	62.474	89.506	161.39	58.069	138.32	891.49	1361.5	203.59	313.45	41.104	945.4	36.128
50.997	42.913	103.98	62.842	89.271	159.76	58.971	138.33	900.03	1309.4	206.88	308.28	40.981	944.2	35.534
51.136	42.936	104.03	63.325	89.267	160.54	59.073	138.36	869.84	1295.4	208.03	311.84	41.004	953.81	35.539
51.148	43.006	104.11	63.799	89.451	161.31	58.636	138.94	840.48	1336.6	208.16	311.62	41.073	963.49	36.031
51.362	42.9	104.03	64.155	89.915	164.55	56.343	139.7	949.59	1234.1	207.75	311.77	40.967	962.57	35.486
51.357	42.952	104.08	64.639	90.167	166.28	56.532	139.67	786.48	1250.4	206.4	311.48	41.049	959.46	35.966
51.117	42.887	103.96	65.008	90.273	166.75	57.319	140.03	790.12	1283.5	206.74	307.96	41.042	980.68	35.861
51.325	42.833	104	65.33	90.249	166.47	60.851	140.2	790.96	1333.4	205.11	313.35	40.989	967.88	35.734
45.822	42.526	104.52	65.738	90.004	166.63	69.802	139.99	781.77	1340.6	204.08	309.48	41.05	959.34	35.827

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
45.717	42.625	104.59	66.182	90.045	166.9	64.333	140.2	782.4	1343.9	205.08	310.17	41.091	948.69	36.224
45.64	42.665	104.91	66.482	89.943	166.65	58.069	140.13	781.01	1339.3	205.2	308.62	41.102	937.44	36.042
46.663	44.97	109.08	66.973	89.634	165.05	58.971	139.44	776.65	1351.6	203.73	311.93	42.975	934.69	35.868
47.735	44.644	109.64	67.313	89.346	165.13	44.897	139.38	783.67	1350	204.03	313.11	43.347	944.51	35.861
47.192	44.217	110.71	67.639	89.551	167.59	44.919	138.88	785.27	1352.7	204.09	314.56	42.803	983.34	35.426
47.018	44.014	112.86	67.986	89.611	168.44	46.766	138.32	791.24	1311.4	200.39	317.53	42.336	970.63	38.045
46.784	43.78	114.74	68.329	89.637	168.99	47.854	137.68	822.37	1304.9	212.37	318.65	41.897	1069.1	36.112
46.62	43.528	107.61	68.6	89.225	167.24	46.381	136.83	792.62	1317.1	187.12	319.25	41.938	900.55	35.88
46.369	43.511	106.1	68.984	89.208	167.34	45.723	137.17	796.56	1364.1	220	310.6	41.774	922.93	35.51
46.614	43.376	105.46	43.743	89.164	167.52	43.662	136.26	797.72	1362.2	214.23	317.89	42.107	866.38	35.737
48.182	43.37	53.188	43.824	88.762	167.82	44.919	136.85	781.22	1362.8	219.26	311.43	41.955	894.05	35.917
48.865	44.052	47.447	44.392	88.547	166.8	46.766	137.2	779.38	1350.1	227.63	309.74	42.436	917.98	35.805
49.312	43.947	46.383	44.286	88.104	165.89	47.854	137.37	778.8	1315.4	253.14	310.68	42.535	979.26	35.898
49.376	44.039	46.098	44.379	87.942	165.6	46.381	137.16	784.24	1264.3	243.35	310.16	42.862	951.2	36.149
49.329	43.934	45.672	44.273	87.837	166.77	45.723	137.17	782.48	1255.7	242.47	316.4	42.873	919.73	35.742
49.573	43.945	45.567	44.285	87.566	166.37	43.662	136.85	786.72	1235.3	245.58	314.1	42.855	906.58	35.824
49.507	43.821	45.356	44.131	87.188	165.94	55.938	136.53	798.42	1262.6	247.56	313.54	42.993	913.96	35.777
49.218	43.88	45.356	44.22	86.566	162.49	56.407	134.69	845.88	1287.1	244.47	300.31	42.731	900.87	36.128

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
48.873	43.827	45.303	44.167	86.232	161.81	56.267	133.24	876.85	1260.9	241.65	302.02	42.824	906.38	35.534
48.779	43.849	45.122	44.189	85.941	161.34	56.343	132.73	836.6	1317.2	239.47	296.26	42.758	882.35	35.539
47.946	43.977	45.337	44.317	86.038	162.87	56.532	132.29	830.99	1319.2	236.89	302.45	42.77	885.82	36.031
47.17	43.989	47.965	44.328	85.908	162.51	57.319	132.03	789.93	1340.2	233.76	292.43	43.102	876.69	35.486
47.134	44.089	51.433	44.468	85.634	160.98	39.727	131.13	735.77	1357.8	231.03	299.9	42.891	881.58	35.966
47.227	44.269	56.162	44.793	85.528	159.84	60.851	131.4	720.06	1348.5	229.12	313.14	43.013	875.43	35.861
47.424	44.321	60.861	44.912	85.208	158.61	69.802	131.64	711.71	1352.4	224.98	310.62	42.919	884.52	35.833
47.253	44.412	64.927	45.092	84.272	152.88	64.333	128.68	738.05	1349.1	222.4	294.24	43.215	882.21	35.815
47.382	44.57	69.389	45.396	83.403	147.57	58.069	127.04	743.99	1348.7	223.29	290.82	43.315	885.17	35.92
47.201	44.476	73.567	45.594	82.714	143.96	58.971	126.36	752.07	1346.6	222.55	290.69	43.542	889.74	35.638
47.258	44.738	78.107	45.682	82.57	143.37	59.073	125.26	758.72	1332.5	221.04	289.17	43.775	897.11	35.844
47.748	45.14	83.06	46.026	82.369	142.14	58.636	124.98	769.76	1312.5	221.83	289.76	43.827	904.7	35.449
47.578	45.086	88.041	46.235	82.799	144.88	56.343	124.15	788.48	1286.9	220.56	295.9	44.328	907.54	36.294
47.805	45.284	93.651	46.58	82.71	143.99	56.532	123.11	788.56	1273.3	217.6	299.51	44.147	903.04	35.465
47.857	45.482	99.216	46.865	82.761	144.46	57.319	122.94	789.15	1275	220.45	293.49	44.811	873.08	35.165
48.14	45.618	102.68	47.177	83.037	146.12	60.851	122.14	789.45	1326.1	218.29	276.24	45.132	863.45	35.746
48.346	45.883	102.85	47.529	83.21	146.97	69.802	121.19	787.8	1333.9	219.29	271.06	45.037	860.08	35.493
48.55	45.941	103.22	47.85	82.982	146.35	64.333	121.61	823.73	1316.4	216.1	263.79	45.28	856.37	36.032

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
48.714	46.193	103.83	48.219	82.461	143.61	58.069	120.79	697.86	1315.6	214.74	268.28	45	847.64	36.144
48.879	46.584	104.43	48.646	82.648	143.93	58.971	120.35	698.29	1315.1	217.25	263.75	45.134	835.8	35.785
48.919	46.595	104.87	48.948	82.686	144.04	44.897	120.45	731.81	1314.6	214.79	255.91	45.768	826.44	35.848
48.995	46.642	105.34	49.315	82.817	144.95	44.919	120.55	776.72	1247.2	215.97	255.62	45.318	819.93	35.303
49.187	46.776	105.44	49.653	83.004	145.95	46.766	120.87	789.86	1256.6	213.17	257.5	45.863	822.46	35.638
49.252	46.986	105.44	50.037	83.522	148.47	47.854	120.96	719.28	1330.6	211.79	258.75	45.957	820.47	35.179
49.31	47.073	105.47	50.415	84.033	151.71	44.897	120.74	716.2	1308.4	210.92	268.25	45.956	813.1	35.796
49.689	47.335	105.53	50.88	84.406	153.36	44.919	121.05	705.19	1321.2	210.38	270.34	46.249	808.69	35.643
49.719	47.452	105.53	51.259	84.721	154.51	46.766	121.08	803.66	1342.4	208.34	271.34	46.337	807.31	35.213
49.863	47.48	105.47	51.548	84.604	154.14	47.854	120.49	825.82	1331.9	207.97	274.83	45.986	818.77	35.713
50.02	47.637	105.45	51.936	84.702	154.38	46.381	120.58	831.51	1319.4	209.95	279.53	46.319	828.41	35.242
49.903	47.608	105.51	52.32	84.872	154.88	45.723	120.39	815.98	1291.2	210.53	276.61	46.406	835.32	35.136
50.092	47.768	105.59	52.771	85.344	156.86	43.662	120.38	720.55	1346.4	211.26	277.89	46.916	855.12	35.559
50.112	47.789	105.46	52.994	84.877	154.55	44.919	119.13	679.68	1353.4	209.33	282.89	46.936	870.88	36.07
50.484	48.072	105.46	53.541	84.361	151.14	46.766	118.14	665.6	1325.9	206.94	275.7	47.047	872.13	35.711
50.629	48.217	105.54	53.918	83.989	148.96	47.854	117.22	669.21	1314.3	205.76	273.55	47.28	860.75	35.931
50.833	48.304	105.43	54.354	83.848	148.49	44.897	116.38	681.86	1300	205.11	267.56	47.106	864.46	36.148
50.909	48.438	105.56	54.778	83.837	148.31	44.919	116.87	687.94	1247	203.68	257.29	47.561	837.27	36.152

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
51.106	48.52	105.55	55.15	83.916	148.36	46.766	116.05	709.63	1212.6	202.79	259.55	47.381	826.19	36.78
51.17	48.642	105.44	55.562	84.063	149.06	47.854	115.72	722.73	1178.2	202.02	256.24	47.679	820.78	37.143
51.159	48.747	105.49	55.927	84.081	148.54	46.381	115.03	725.11	1126.6	203.08	252.23	47.726	823.87	37.195
51.364	48.899	105.49	56.421	84.168	148.44	45.723	114.64	740.26	1148.5	201.19	241.86	47.931	818.01	36.433
51.415	49.068	105.51	56.791	84.276	148.85	43.662	114.16	735.42	1129.4	200.69	238.33	48.099	817.18	36.525
51.54	49.251	105.58	57.234	83.859	146.48	27.754	113.75	748.41	1133.4	198.09	248.15	48.254	810.48	37.545
51.708	49.303	105.58	57.661	83.654	145.11	28.398	113.18	746.21	1138	196.97	255.36	48.364	813.92	36.705
51.565	49.334	105.52	57.952	83.2	143.16	32.342	112.75	761.35	1143.7	197.86	237.04	48.308	814.11	36.687
51.796	49.421	105.52	58.356	82.744	140.95	29.583	112.27	745.02	1177.9	196.99	233.92	48.657	808.17	36.251
51.951	49.605	105.44	58.77	83.096	142.97	29.031	111.86	742.51	1187.9	195.34	238.54	48.957	806.26	36.637
52.011	49.752	105.42	59.118	83.124	143.08	29.477	112.06	747.68	1179.5	194.89	252.9	48.726	806.74	36.66
52.319	49.909	105	59.51	83.25	142.73	25.994	111.37	760.33	1191.9	194.6	254.29	48.796	800.9	36.371
53.049	49.999	104.9	59.977	83.54	143.47	27.448	110.51	764.81	1224.9	194.86	237.63	49.236	791.77	36.44
53.186	49.946	104.93	60.402	83.711	144.64	27.825	110.39	854.98	1109.8	195.16	232.49	49.285	784.12	36.346
53.282	50.042	104.96	60.816	83.891	145.4	30.021	109.95	825.04	1145.6	192.83	233.22	49.381	778.84	36.346
53.226	49.957	104.88	61.165	83.893	145.57	19.082	109.47	794.89	1158.9	191.71	232.39	49.442	771.23	36.75
53.252	50.158	104.94	61.625	83.863	145.29	13.773	108.91	777.59	1151.4	190.98	233.59	49.497	767.93	36.167
53.367	50.272	104.96	61.941	84.002	145.87	31.537	108.46	707.63	1249.5	190.61	230.57	49.495	772.9	36.69

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
53.541	50.36	104.85	62.345	84.117	146.46	32.423	108.09	682.71	1323.4	189.94	221.21	49.699	784.96	36.83
53.491	50.426	104.97	62.7	84.153	146.6	30.589	107.76	680.2	1355.5	188.12	212.02	49.707	784.1	36.762
53.675	50.61	104.92	62.969	84.304	146.89	32.648	107.37	663.88	1321.7	190.46	224.85	49.687	786.6	36.911
53.722	50.628	104.94	63.332	84.179	146.49	33.669	107	656.34	1311.9	188.71	229.34	49.851	792.47	37.38
53.789	50.84	105.03	63.774	84.218	145.67	37.296	106.87	653.14	1301.6	191.41	227.51	50.209	778.01	36.019
53.78	50.889	104.94	63.966	83.98	144.7	35.877	106.4	641.86	1246	190.84	219.43	50.171	766.45	36.182
53.925	50.976	104.88	64.225	83.808	143.89	28.194	105.98	640.24	1214.1	190.39	219.29	50.2	761.67	36.663
53.884	51.08	104.89	64.501	83.71	143.38	27.709	105.37	646.69	1198.3	189.14	221.59	50.449	758.56	36.211
54.135	51.302	104.94	64.923	83.7	142.73	34.913	104.83	665.13	1215.1	188.21	224.12	50.7	752.47	35.847
54.261	51.37	104.92	65.104	83.566	142.76	37.686	104.27	654.21	1192.6	188.01	220.75	50.681	746.22	36.529
54.367	51.534	104.97	65.469	83.786	143.12	42.671	104.15	632.44	1205.7	185.23	218.19	51.165	741.03	36.06
54.553	51.72	104.95	65.826	83.684	141.96	41.424	103.52	644.32	1193.4	185.41	218.31	51.147	739.4	36.001
54.698	51.923	105.04	66.113	83.627	141.4	39.312	103.18	657.28	1205.2	183.84	218.91	51.002	742.46	37.498
54.668	51.864	104.9	66.346	83.427	141	41.921	102.78	666.91	1193	182.52	214.39	51.089	753.01	35.942
54.865	52.061	104.95	66.599	83.507	141.89	41.945	102.44	660.32	1191.8	181.87	212.73	51.083	746.92	36.218
55.001	52.052	105	66.849	83.64	142.42	46.296	80.176	682.92	1232.6	182.54	206.87	51.741	713.6	36.012
54.731	52.101	104.93	67.042	83.516	141.62	50.541	75.711	744.83	1158.9	182.1	205	51.471	709.66	35.908
54.984	52.382	105.04	67.409	83.425	140.89	50.62	79.988	754.61	1143.5	182.52	205.99	51.782	704.49	35.693

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
55.033	55.374	105	67.631	83.246	140.41	50.728	80.151	729.45	1165.1	180.78	202.25	52.035	698.94	35.599
54.975	52.606	104.89	67.89	83.359	140.71	57.35	85.387	606.98	1238.5	180.08	188.32	52.295	695.59	36.069
55.062	52.664	104.94	68.12	83.473	140.27	54.453	87.548	645.68	1152.6	180.39	172.62	52.035	687.86	36.157
55.024	52.771	105.05	68.37	83.323	139.2	52.17	89.837	675.16	1135.6	179.45	166.37	52.228	681.24	36.352
55.257	52.974	105.05	68.63	83.239	138.45	50.777	94.092	653.67	1185.2	179.85	173.43	52.316	675.48	36.024
55.218	52.878	104.98	68.793	83.257	138.21	51.088	92.124	647.4	1162	180.06	166.87	52.633	671.79	35.766
55.16	52.964	105.18	69.022	83.085	136.95	49.721	94.816	642.48	1144.6	181.35	160.82	52.778	668.99	36.077
55.288	53.092	105.67	69.264	82.927	136.1	50.256	95.196	633.36	1124	179.17	162.31	52.935	664.56	36.196
55.346	53.179	106.09	69.494	82.785	135.09	50.809	91.54	606.71	1071.4	177.85	174.27	52.673	665.24	36.072
55.451	53.37	106.37	69.77	82.802	135.3	51.465	93.146	556.04	1124.3	177.67	171.59	52.691	666.2	36.226
55.671	53.388	106.66	69.989	82.933	135.71	49.827	97.97	557.66	1141.9	176.85	168.9	52.767	665.7	35.75
55.631	53.521	106.62	70.207	83.12	136.09	50.222	98.412	546.01	1162.6	177.68	171.01	52.814	666.66	35.871
55.724	53.499	106.32	70.443	83.182	136.26	49.821	99.011	549.73	1194.6	175.92	170.06	53.14	667.34	36.135
55.84	53.557	106.49	70.672	83.07	136.15	49.676	99.238	560.36	1207.3	174.66	166.62	53.111	669.9	36.525
55.712	53.661	105.97	70.89	83.086	137.06	50.944	98.207	566.7	1153.7	172.74	167.06	53.187	671.49	35.999
56.011	53.786	106.29	71.129	82.925	136.26	51.359	98.189	578.48	1141.6	171.97	168.58	53.486	672.24	36.362
55.944	53.863	105.55	71.292	82.46	134.63	51.959	96.484	591.79	1118.4	168.62	167.08	53.478	673.43	36.571
56.06	59.921	105.83	71.493	82.09	132.86	51.205	96.907	602.81	1111.8	166.78	163.69	53.507	675.04	36.424

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
56.147	54.095	105.94	71.75	81.977	132.52	49.548	96.935	615.83	1046.3	163.5	161.85	53.594	679.75	36.286
56.222	54.083	106.07	71.91	81.794	131.62	50.641	96.132	624.36	1107.8	163.85	165.56	53.64	682.6	36.67
56.298	54.159	106.17	72.158	81.926	132.47	51.153	95.274	629.69	1078.4	163.84	168.21	53.688	681.27	35.727
56.357	54.246	106.03	72.387	81.557	130.29	50.921	94.54	633.32	1061.8	161.1	169.97	53.862	679.52	36.019
56.345	54.264	105.96	72.605	81.516	130.53	50.387	93.989	635.38	1065.3	161.76	168.14	53.822	675.89	35.902
56.45	54.339	106.29	72.794	81.363	129.63	49.474	93.015	637.13	1057.9	160.54	169.97	53.694	674.93	36.087
56.68	54.598	106.91	73.166	81.307	129.15	47.783	93.045	636.38	1069.9	158.7	168.22	54.215	679.04	36.272
56.486	54.52	106.92	73.261	80.744	127.76	46.508	92.2	636.56	1073.1	156.13	166.8	54.195	683.56	36.878
56.525	54.472	105.74	73.473	80.526	126.9	46.022	91.074	638.39	1069.2	154.74	161.62	54.148	689.84	36.945
56.728	54.646	105.57	73.731	80.412	126.22	47.044	91.245	642.06	1103.9	153.51	161.99	54.351	698.12	36.761
56.796	54.658	106.06	73.856	80.194	125	48.863	91.311	637.29	1096	153.24	167.82	54.332	697.15	37.963
56.871	54.933	106.87	74.16	80.211	124.12	47.859	91.045	633.5	1055	153.26	160.17	54.436	698.21	35.955
56.937	54.913	105.75	74.312	80.048	123.09	47.343	91.223	642.61	1044.2	156	168.6	54.387	691.33	36.679
56.884	54.917	105.36	74.402	79.994	122.39	47.348	87.596	632.45	1058.3	157.04	158.47	54.189	685.02	36.015
57.048	55.023	105.83	74.679	80.071	121.77	46.404	82.867	634.28	1027.3	156.44	155.55	54.643	679.8	36.15
57.035	55.097	106.04	74.781	79.972	121.08	43.813	88.142	629.32	1037.9	157.72	153.83	54.108	675.3	36.103
57.042	55.132	105.31	74.959	79.864	120.47	44.841	89.254	614.46	1045.5	159.57	158.17	54.695	670.85	36.249
57.239	55.011	104.71	75.01	79.742	120.37	48.114	88.679	626.21	980.21	158.21	151.05	54.602	670.18	36.103

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
57.461	55.32	104.93	75.346	79.936	120.93	48.104	88.248	611.41	1061.9	157.4	151.25	54.796	666.56	36.008
57.39	55.364	104.77	75.418	79.665	120.38	49.81	87.75	606.93	1029.2	157.61	155.48	54.435	662.53	36.439
57.465	55.353	104.76	75.52	79.509	119.75	50.379	87.312	603.07	1016.1	157.9	154.54	54.539	658.21	36.548
57.589	55.505	104.89	75.816	79.462	119.28	49.195	87.208	596.35	1011.3	156.93	150.78	54.78	654.46	35.981
57.589	55.568	105	75.96	79.377	119.06	45.49	86.67	596.26	1001.7	155.23	151.14	55.099	650.22	35.795
57.588	55.509	105.14	76.043	79.232	118.8	46.016	78.183	579.42	1029.5	155.73	144.76	54.395	645.01	36.09
57.565	55.544	109.2	76.135	79.351	119.68	43.21	77.216	576.63	1029.7	153.97	133.25	54.785	638.71	36.295
57.6	55.609	110.3	76.285	79.415	119.24	41.96	82.439	593.76	1011.6	154.53	133.31	54.908	635.74	36.521
57.579	55.703	113.46	76.406	78.966	117.5	40.21	83.983	585.33	1012.6	152.39	131.97	55.002	634.01	36.608
57.676	55.772	115.05	76.56	78.806	117.18	40.162	83.396	559.79	1024.1	153.07	128.5	55.245	633.54	35.983
57.607	55.848	116.47	76.664	78.566	115.99	41.997	75.83	565.97	993.04	153.34	126.22	55.176	628.42	35.777
57.711	55.864	118.47	76.708	78.667	116.65	60.954	60.492	565.66	1063.7	161.8	120.13	55.337	625.3	36.464
57.746	55.958	117.33	76.8	78.817	117.41	60.035	59.836	558.51	1070.3	159.15	119.64	55.025	621.42	35.642
57.706	55.946	120.66	76.96	79.176	118.86	58.14	57.978	563.46	1055.4	158.49	127.85	55.449	618.33	35.924
57.642	55.97	122.13	76.982	79.426	120.06	57.353	57.973	513.69	1048.8	160.08	132.25	55.327	615.61	36.295
58.042	56.09	123.25	77.294	79.89	122.13	56.943	58.212	510.71	1029.1	161.26	134.36	55.64	617.03	37.194
57.603	55.941	124.83	77.086	79.538	121.44	55.751	61.147	504.88	1021.5	160.15	130.08	55.287	616.91	63.202
57.841	55.977	123.38	77.237	79.461	120.52	53.496	69.435	510.23	1003.9	159.8	123.63	55.15	617.9	36.114

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
57.928	56.122	125.43	77.351	79.689	121.34	51.81	66.424	498.4	1001	158.34	117.73	55.469	618.95	36.103
57.975	56.14	126.06	77.484	79.764	122.11	54.791	59.992	504	976.82	156.51	114.14	55.632	619.54	36.434
57.974	56.081	127.29	77.482	79.534	121.04	54.21	58	510.55	958.41	154.83	119.99	55.544	620.16	35.985
57.946	56.082	128.08	77.597	79.422	120.48	53.775	56.815	519.07	937.66	152.15	115.49	55.689	621.48	36.073
57.964	56.186	129.27	77.758	79.239	119.63	52.802	56.341	530.23	916.66	152.16	114.64	55.678	623.14	36.044
58.039	56.233	129.8	77.861	79.2	119.06	57.721	61.064	546.23	890.62	149.6	113.42	55.725	625.49	35.709
57.94	56.308	130.9	77.848	79.044	118.42	47.367	64.078	553.68	878.8	148.64	114.58	55.684	625.98	35.668
58.102	56.297	131	77.951	78.663	116.34	52.684	62.626	559.65	866.89	146.84	116.91	55.731	626	35.816
58.033	56.285	132.1	77.997	78.194	114.28	52.236	67.588	567.83	851.26	144.87	115.86	55.806	625.14	35.922
57.847	56.272	132.79	78.011	78.038	114.35	53.038	63.725	573.34	837.3	143.95	109.51	55.707	625.4	35.764
57.894	56.319	133.51	78.086	77.77	113.63	54.797	66.44	572.57	832.21	139.49	117.32	55.782	626.36	36.349
58.056	56.395	134.14	78.219	77.388	111.54	55.743	63.675	577.02	829.71	141.24	121.7	55.888	627.76	36.417
58.045	56.471	134.66	78.293	77.091	110.15	56.947	66.481	573.64	828.85	138.15	123.94	55.818	629.48	35.958
58.121	56.518	134.9	78.34	76.995	109.35	56.531	67.044	571.91	826.33	139.85	119.94	55.952	628.74	36.314
58.109	56.534	135.45	78.327	76.525	107.51	56.75	62.084	567.53	821.75	138.02	118.18	55.795	627.22	35.94
58.11	56.565	136.15	78.443	76.612	107.99	56.838	63.757	568.74	812.78	134.32	113.99	55.97	625.41	36.19
58.129	56.801	136.59	78.489	76.676	106.98	55.96	67.207	568.08	808.95	133.19	116.9	55.931	624.93	35.7
58.145	56.731	137.89	78.419	76.434	105.95	56.093	66.764	567.76	805.76	133.62	121.08	55.832	619.39	35.707

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.058	56.759	137.86	78.446	76.204	104.71	54.673	71.123	568.31	800.41	132.86	122.34	55.918	618.88	35.695
58.365	56.807	137.07	78.551	75.995	103.6	54.865	70.913	569.44	794.85	130.19	125.42	55.995	618.48	35.742
58.279	56.894	137.85	78.637	75.967	103.4	54.605	70.799	569.36	787.04	129.97	119.78	56.053	617.99	35.632
58.416	56.64	138.34	78.682	75.783	102.54	53.606	69.898	583.06	769.94	128.49	116.02	56.041	618.8	35.539
58.196	56.811	138.71	78.611	75.941	103.85	52.723	69.54	588.89	761.71	127.72	113.61	55.942	620.05	35.881
58.146	56.819	136.88	81.048	76.206	104.68	40.294	69.404	587.46	748.94	127.67	106.94	56.007	619.83	35.399
58.291	56.935	138.47	79.819	76.263	104.68	36.966	68.627	592.25	736.38	125.8	115.4	56.152	611.45	35.329
58.324	56.935	138.92	79.876	76.035	103.6	38.005	68.083	594.88	728.35	125.32	118.41	56.177	610.77	36.834
58.192	56.923	139.94	80.122	75.851	102.95	40.868	67.556	594.41	723.59	125.47	113.36	56.196	601.31	35.453
58.26	56.929	139.52	80.126	75.626	101.68	41.226	66.844	594.33	718.52	125.36	114.26	56.117	597.37	35.423
58.336	56.975	139.71	80.258	75.587	101.33	43.64	66.575	593.6	714.38	124.96	120.35	56.25	594.47	35.195
58.266	56.905	139.89	80.246	75.489	101.01	49.091	66.19	594.16	709.04	123.71	121.63	56.209	591.89	35.496
58.336	56.975	140.3	80.315	75.472	100.57	51.288	65.713	594.53	704.65	124.4	117.01	56.25	591.95	35.709
58.342	56.981	140.58	80.35	75.307	99.786	52.777	65.346	595.59	701.02	124.18	117.7	56.285	589.97	35.602
58.279	57.025	140.63	80.519	75.296	99.661	53.237	65.071	596.62	696.7	120.53	115.41	56.367	589.19	35.591
58.179	56.924	141.03	80.302	74.994	99.275	55.05	64.539	597.03	691.5	118.82	113.25	56.122	588.68	35.58
58.313	57.03	141.05	80.437	74.843	98.335	56.344	64.328	597.25	684.95	119.55	110.51	56.199	587.41	35.909
58.371	57.001	141.41	80.522	74.558	96.722	56.083	63.897	597.27	683.85	119.63	109.47	56.141	593.75	35.133

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.343	57.059	141.39	80.608	74.128	95.169	57.471	63.782	598.29	683.85	117.86	112.6	56.314	597.82	35.099
58.371	57.03	141.78	80.655	73.822	94.377	57.037	63.493	597.42	683.82	116	116.97	56.372	589.97	35.779
58.302	57.018	142.29	80.682	73.86	94.337	56.708	53.252	596.9	684.36	117.62	117	56.361	586.96	35.072
58.331	57.105	142.24	80.739	73.889	94.592	55.869	63.021	598.34	692.95	119.17	121.19	56.361	584.49	36.137
58.232	57.064	142.7	80.755	73.791	94.239	54.466	62.635	597.34	704.51	119.18	110.85	56.291	581.03	35.96
58.25	57.052	143.02	80.829	73.751	93.889	53.817	62.364	595.65	704.78	117.04	113.88	56.338	578.73	35.861
58.232	57.093	143.03	80.926	73.734	93.956	52.841	62.173	583.2	779.12	118.31	106.93	56.32	574.83	36.507
58.306	56.969	143.39	81	73.724	94.993	59.724	55.437	593.74	708.57	117.51	105.57	56.509	569.03	35.42
58.306	57.027	143.64	81.172	73.925	95.898	60.823	56.334	588.23	702.5	120.13	104.33	56.596	564.79	35.468
58.342	57.034	143.84	81.149	73.845	95.537	53.764	55.907	587.02	701.37	119.97	103.01	56.603	566.56	35.486
58.429	57.15	143.93	81.265	73.864	95.227	48.847	54.252	572.25	700.01	118.9	98.906	56.603	563.94	35.886
58.319	57.127	114.35	81.27	73.766	95.062	42.659	57.965	566.16	699.96	121.32	96.846	56.58	561.63	35.845
58.401	57.035	143.11	81.349	73.76	95.451	46.766	55.271	563.14	699.35	120.58	96.612	56.564	559.88	35.745
58.283	57.001	144.08	81.318	73.843	95.814	47.854	60.149	599.75	695.38	120.44	99.917	56.458	599.23	35.852
58.417	57.05	144.6	81.393	73.974	96.423	46.381	59.907	555.84	693.43	120.93	96.201	56.446	560.03	35.487
58.394	57.086	144.75	81.455	74.265	97.42	45.723	60.633	522.56	691.19	119.22	90.506	56.482	599.54	35.712
58.343	57.034	144	81.547	74.329	97.963	43.662	60.84	553.06	688.68	115.46	89.12	56.459	559.83	35.582
58.32	57.098	144.76	81.639	74.306	98.167	37.357	60.732	552.56	688.38	117.32	87.932	56.378	561.53	35.336

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.286	57.122	144.97	81.719	74.357	98.33	45.061	60.669	552.68	687.24	126.05	89.12	56.431	552	35.765
58.432	57.3152	143.75	81.834	74.473	98.7	38.411	60.583	553.92	682.01	125.44	89.548	56.461	551.25	35.736
58.363	57.141	144.88	81.851	74.576	99.168	37.078	60.457	554.96	675.91	125.09	90.757	56.449	555.61	35.419
58.264	57.081	144.64	81.755	74.46	98.864	48.973	60.204	533.95	670.66	121.99	86.569	56.438	559.96	35.202
58.177	56.994	144.44	81.697	74.26	98.241	49.205	59.974	554.04	668.14	120.41	84.546	56.467	561.59	35.378
58.276	57.064	145.12	81.767	74.244	97.83	46.685	59.871	556.1	665.99	120.4	84.843	56.45	558.71	35.455
58.218	57.034	144.76	81.737	74.043	97.036	36.655	59.668	560.98	652.43	119.58	85.694	56.449	556.69	35.367
58.218	57.063	145.12	81.737	73.786	95.792	31.801	59.323	559.24	652.19	119.25	89.905	56.392	555.97	35.708
58.305	57.18	145.24	81.768	73.617	94.722	38.625	59.238	559.5	648.64	111.57	93.226	56.537	569.79	35.315
58.352	57.168	145.39	81.756	73.519	94.371	70.624	59.168	558.86	688.02	111.08	88.902	56.515	562.45	35.234
58.288	57.104	145.13	81.6622	73.451	94.418	69.901	59.018	548.39	702.95	110.34	88.808	56.432	555.93	35.234
58.387	57.087	145.39	81.588	73.38	94.061	68.649	58.77	536.95	716.99	111.95	90.693	56.329	548.52	35.677
58.394	57.181	145.62	81.71	73.502	94.183	69.203	58.72	518.8	740.72	113.45	90.872	56.452	543.69	37.78
58.635	57.415	145.89	81.921	73.685	94.281	69.357	58.787	506.55	746.15	113.16	92.385	56.693	540.38	35.375
58.413	57.171	145.86	81.727	73.376	93.549	68.905	58.45	483.31	837.92	114.85	92.844	56.268	535.47	36.128
58.333	57.206	145.92	81.733	73.383	93.61	68.94	58.37	473.74	866.44	114.99	90.695	56.419	531.48	35.206
58.367	57.182	146.2	81.709	73.387	93.756	68.6	58.173	442.05	910.61	116.37	89.847	56.309	527.59	34.953
58.479	57.323	146.45	81.849	73.441	93.866	68.913	58.112	423.34	915.25	117.47	91.263	56.392	522.17	34.959

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.403	57.219	146.48	81.772	73.365	93.817	69.41	57.863	414.13	908.23	117.59	88.661	56.287	518.24	35.409
58.63	57.363	146.79	81.946	73.423	93.812	69.47	57.912	395.9	928.39	117.12	87.271	56.49	513.77	35.044
58.525	57.339	146.88	81.951	73.285	93.392	69.274	57.686	380.17	948.77	117.34	86.079	56.409	509.66	36.149
58.52	57.363	147.15	81.974	73.222	93.471	69.154	57.595	377.55	944.68	119.02	85.161	56.404	505.48	35.445
58.497	57.369	147.12	81.979	73.17	93.504	69.015	57.456	370.49	1117.69	118.69	84.313	56.294	498.35	35.268
58.713	57.382	148.67	82.106	73.24	93.46	69.402	57.383	343.57	980.03	118.53	84.867	56.365	496.01	35.503
59.024	57.259	147.2	81.982	73.145	93.591	68.848	57.318	318.19	1017.6	120.74	85.084	56.213	492.1	35.345
59.112	57.348	147.57	82.071	73.262	93.961	69.51	57.377	399.25	883.71	119.59	85.999	56.273	489.34	35.903
59.111	57.202	147.76	82.096	73.26	94.127	69.795	57.26	406.85	857.47	120.54	84.601	56.271	486.93	34.952
59.1	57.307	148.01	82.201	73.364	94.457	70.071	57.249	411.13	841.95	119.75	84.364	56.209	405.43	34.823
59.089	57.237	148.16	82.16	73.266	94.444	70.145	57.93	416.41	828.04	118.75	78.791	56.22	483.66	36.478
59.095	57.359	148.39	82.166	73.272	94.422	70.266	57.042	418.67	821	117.94	76.112	56.284	482.41	35.084
59.119	57.354	148.63	82.218	73.182	94.388	70.003	56.951	424.43	810.54	116.11	75.45	56.106	481	35.467
59.211	57.273	148.83	82.165	72.986	93.94	69.635	56.783	423.82	808.48	116.17	79.969	56.169	479.68	35.473
59.277	57.309	149.12	82.316	72.995	93.553	69.299	56.79	427.03	799.56	115.7	77.461	56.148	478.36	35.679
58.992	57.14	149.24	82.06	72.797	93.454	69.502	56.574	402.75	835.09	114.8	78.063	56.123	476.84	35.304
59.057	57.263	149.56	82.268	72.948	93.547	69.195	56.524	314.48	979.29	114.44	76.386	56.101	473.33	35.299
58.999	57.263	149.7	82.297	72.719	92.472	68.908	56.351	291.28	1016.4	114.75	77.642	56.275	470.07	34.946

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.859	57.239	149.78	82.158	72.381	91.116	67.765	56.211	290.51	998.71	116.86	82.613	56.28	466.98	35.61
58.993	57.315	150.02	82.203	72.112	90.027	66.517	56.113	284.95	1004.8	116.37	83.285	55.922	463.96	35
59.017	57.368	150.24	82.227	71.908	88.859	67.634	55.964	290.92	1001	115.55	85.956	56.206	461.86	35.125
59.041	57.305	150.31	82.136	71.702	88.171	67.312	55.814	309.13	978.8	116.17	83.786	56.23	460.16	34.779
59.087	57.264	150.55	82.153	71.605	87.538	67.272	55.716	332.24	945.98	115.9	81.441	56.045	457.52	35.86
58.891	57.271	150.61	82.159	71.468	87.119	65.322	55.578	340.19	928.67	116.05	78.764	56.225	479.54	35.744
59.111	57.346	150.85	82.148	71.486	86.995	65.052	55.567	340.83	920.64	114.66	79.21	56.069	448.99	35.115
58.984	57.335	151.06	82.165	71.302	86.756	67.572	57.029	292.32	969.72	114.17	76.969	56.202	447.27	35.006
59.121	57.412	151.13	82.246	71.295	86.619	66.501	58.76	296.46	942.01	115.21	72.243	56.396	440.09	34.918
59.108	57.33	151.14	82.145	71.109	86.206	65.481	57.709	301.43	936.11	114.66	71.454	56.296	438.51	34.929
59.067	57.329	151.24	82.162	70.982	85.712	64.605	56.774	324.03	906.21	115.18	70.206	56.169	437.05	35.134
59.107	57.398	151.33	82.201	70.937	85.714	63.635	55.706	303.65	935.66	115.13	67.923	56.121	436.61	35.575
59.094	57.328	151.37	82.131	70.923	85.785	62.554	54.623	306.67	925.49	114.72	66.733	56.138	436.36	34.605
59.13	57.363	151.51	82.166	70.93	85.905	60.573	52.54	321.02	912.59	114.67	65.185	56.087	436.44	34.946
59.002	57.235	151.5	82.096	70.774	85.58	59.406	51.255	294.94	938.08	114.46	68.077	56.016	436.41	35.177
58.904	57.282	151.68	82.141	70.735	85.568	58.008	49.881	288.23	954.56	113.83	68.151	55.918	437.38	35.543
58.903	57.224	151.71	82.112	70.619	85.284	55.658	47.15	275.27	978.35	112.73	70.071	56.298	438.96	34.698
59.208	57.422	151.89	82.33	70.76	84.986	53.764	45.063	266.71	990.68	113.77	67.105	56.367	441.91	34.41

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.905	57.263	151.75	82.2	70.516	84.6	57.053	48.576	305.03	921.55	113.04	66.573	56.267	442.96	34.453
58.923	57.223	151.85	82.216	70.389	84.446	59.067	50.682	323.66	884.02	113.03	64.23	56.226	441.63	34.489
58.958	57.229	152	82.25	70.396	84.423	61.036	52.805	337.86	852.46	112.61	66.021	56.266	439.54	34.321
59.052	57.382	152.21	82.402	70.491	84.49	61.534	53.305	336.44	857.11	112.77	68.816	56.506	437.36	34.344
59	57.329	152.23	82.291	70.351	84.379	62.172	53.948	333.25	861.22	112.51	70.109	56.279	434.73	34.063
59.104	57.347	152.42	82.395	70.627	84.909	62.593	54.314	322.3	870.63	112.96	68.236	56.268	432.3	34.433
58.988	57.259	152.41	82.393	70.625	85.388	63.343	55.122	320.6	870.54	112.7	65.389	56.383	429.67	34.322
59.006	57.306	152.54	82.411	70.729	85.633	62.811	54.475	308.23	890.81	112.1	62.581	56.459	429.88	34.201
58.983	57.312	152.69	82.445	70.821	86.036	62.386	54.047	299.61	901.08	112.02	62.472	56.114	427.84	34.354
59.019	57.377	152.72	82.566	70.77	86.1	61.24	52.895	296.41	908.24	111.27	62.507	56.473	426.23	34.103
58.898	57.256	152.86	82.417	70.621	86.202	45.366	36.881	246.22	992.11	111.29	63.311	56.352	424.85	34.245
58.903	57.233	152.86	82.336	70.598	86.404	56.85	48.393	181.95	1011.3	109.63	63.172	56.271	423.54	34.628
58.95	57.221	153.04	82.438	70.586	86.648	55.56	46.87	219.82	954.49	108.49	61.171	56.259	422.39	34.098
58.859	57.275	153.18	82.548	70.639	86.843	53.386	44.299	227.29	936.01	108.12	61.311	56.284	421.81	34.469
58.934	57.291	153.27	82.507	70.627	86.801	51.75	42.511	215.35	937.38	107.38	61.242	56.214	421.99	34.34
59.045	57.287	153.27	82.589	70.68	87.137	55.829	46.937	263.77	873.56	107.23	61.237	56.123	422.43	33.759
58.855	57.328	153.36	82.571	70.777	87.402	55.783	46.804	281.46	847.97	106.59	60.529	56.077	422.56	33.843
58.977	57.334	153.45	82.549	70.84	87.834	47.921	38.191	305.06	814.92	106.8	59.526	56.257	422.65	33.996

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
58.877	57.263	153.49	82.505	70.655	87.336	52.216	42.921	371.78	730.9	105.99	60.983	55.955	422.78	34.033
48.964	57.293	153.6	82.591	70.798	87.678	57.75	49.035	379.5	703.96	105.43	61.012	56.158	422.8	34.136
59.011	57.252	153.75	82.58	70.787	87.965	59.646	51.139	381.61	697.32	103.44	61.231	56.204	422.54	34.231
58.925	57.274	153.89	82.724	70.837	87.915	60.137	51.681	383.4	695.97	102.46	61.204	56.177	421.89	34.026
58.925	57.273	153.97	82.666	70.894	88.283	61.117	52.814	378.14	705.6	103.5	62.642	56.234	421.03	34.062
58.971	57.32	154.04	82.74	70.997	88.187	61.509	53.237	376.58	715.69	104.56	56.918	56.281	420.53	33.815
58.785	57.249	154.03	82.67	70.898	87.776	61.611	53.341	378.55	712.59	104.26	56.356	56.211	419.52	33.869
58.832	57.267	154.13	82.659	70.887	87.878	61.197	52.836	376.92	711.93	103.66	58.485	56.171	418.44	33.836
58.862	57.383	154.33	82.774	70.974	87.795	63.823	55.818	368.22	726.34	103.69	57.908	56.056	417.17	33.853
58.861	57.382	154.32	82.773	70.916	87.623	64.081	56.134	370.23	728.07	102.56	52.055	56.316	417.73	33.949
58.803	57.266	154.57	82.715	70.886	87.678	63.85	55.932	365.43	743.14	102.98	53.127	56.257	415.72	33.996
58.832	57.267	154.63	82.83	70.888	87.396	64.484	56.625	355.04	758.97	103.58	50.719	56.316	422.04	34.014
59.005	56.633	141.52	56.46	71.001	87.48	64.714	56.827	356.41	754.63	102.76	49.992	56.373	415.73	34.1
61.301	56.765	71.212	58.329	70.247	87.128	63.81	55.805	371.05	724.93	92.961	50.156	56.42	412.12	33.735
66.545	56.536	63.673	58.388	69.647	86.395	64.128	56.153	383.79	705.16	86.464	51.319	56.479	409.47	33.872
62.422	56.938	61.86	58.3	68.9	85.54	63.636	55.689	375.75	716.93	83.441	51.404	56.304	406.8	34.165
65.238	56.996	60.812	58.289	68.587	84.906	63.164	55.099	379.18	709.86	81.128	52.843	56.292	405.15	33.83
61.777	57.254	61.386	58.115	68.041	84.393	62.036	53.884	371.9	713.53	79.245	57.796	56.205	404.16	33.837

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
61.071	57.383	61.486	58.156	67.71	83.896	59.283	50.823	379.06	688.63	77.916	59.283	56.333	404.15	34.12
60.336	57.167	61.213	57.94	67.15	83.454	58.143	49.564	387	669.97	76.014	54.116	56.175	405.2	33.755
60.18	57.125	61.056	57.841	66.764	83.128	57.523	48.856	390.04	660.4	74.03	55.815	56.105	409.11	34.255
60.151	57.125	60.711	57.899	66.506	82.958	55.202	46.328	387.46	658.14	73.515	60.871	56.105	418.89	33.946
59.996	57.114	60.671	57.888	66.236	82.804	55.047	46.2	396.59	645.11	71.327	60.917	56.065	427.54	33.758
60.002	57.063	60.36	57.807	65.781	82.355	55.375	46.526	403.53	630.44	68.606	62.452	56.071	442.77	33.57
59.99	57.109	60.262	57.825	65.626	82.202	54.781	45.816	405.23	627.39	66.357	60.106	56.089	448.17	33.429
60.094	57.069	60.279	57.813	65.414	81.934	54.683	45.717	409.29	623.27	65.598	59.2	56.106	452.58	33.672
59.975	57.151	60.131	57.867	65.066	81.048	55.257	46.354	411.66	622.19	64.386	64.875	56.218	457.77	33.737
60.02	57.226	60.09	57.884	64.825	80.38	55.54	46.546	416.25	620.81	63.394	70.118	56.235	459.9	34.02
59.969	57.203	60.183	57.89	64.601	79.701	58.237	49.601	414.52	643.21	60.948	70.153	56.241	455.31	33.462
60.119	57.208	60.044	57.839	64.291	78.598	62.019	53.839	401.3	684.13	59.831	73.94	56.247	437.42	33.744
60.266	57.317	60.144	57.957	64.114	77.36	62.109	53.909	380.67	713.06	61.418	73.916	56.337	426.62	33.574
59.994	57.247	59.987	57.829	63.785	76.235	61.435	53.231	372.7	721.21	58.349	74.56	56.441	419.89	34.462
60.097	57.321	59.945	57.875	63.6	75.709	63.01	54.954	366.76	732.15	58.481	69.505	56.92	414.83	33.479
60.115	57.627	59.963	58.21	63.503	75.327	63.287	55.232	368.66	715.12	58.21	73.25	57.314	410.43	33.545
60.26	57.887	60.166	58.5	63.418	74.814	63.576	55.608	372.19	704.06	56.012	72.22	57.546	406.46	33.356
60.48	58.279	60.299	58.893	63.264	74.29	64.458	56.578	362.8	712.46	55.19	74.784	57.535	403.12	33.616

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
60.536	58.306	60.529	58.892	63.147	73.916	64.86	57.067	368.95	704.96	56.782	73.353	57.65	400.41	33.017
60.927	58.439	60.69	59.025	63.107	73.504	65.078	57.343	370.01	698.03	57.465	72.797	57.436	398.35	33.483
60.916	58.456	60.592	59.071	63.038	73.207	64.29	56.41	368.93	695.13	57.28	74.273	57.772	397.65	33.79
61.1	58.525	60.863	59.141	63.05	73.076	63.553	55.642	381.29	677.95	55.931	72.77	57.61	397.64	33.503
61.042	58.554	60.891	59.169	62.992	73.018	64.301	56.507	393.26	659.08	56.394	73.884	57.754	397.8	33.109
61.025	58.537	61.018	59.239	63.061	73.259	64.313	56.519	385.36	660.58	54.664	73.439	57.881	397.24	33.109
61.248	58.45	61.012	59.26	63.09	73.597	63.816	56.051	384.72	652.09	54.107	74.661	58.076	396.6	33.186
61.16	58.362	60.981	59.171	63.001	73.537	63.987	56.222	388.76	628.38	52.831	76.316	58.103	397.49	33.382
61.102	58.419	61.211	59.229	63.001	73.623	62.343	54.345	397.63	604.77	53.034	72.313	57.814	397.78	32.764
61.062	58.437	61.027	59.189	62.99	73.583	61.609	53.494	394.83	603.12	51.254	70.984	57.889	399.34	32.9
61.31	58.541	61.102	59.293	63.008	73.715	61.253	53.049	393.19	601.12	49.092	70.6	57.936	401.13	33.065
61.287	58.492	61.223	59.241	63.071	74.063	61.201	52.997	390.89	601.91	49.506	64.488	57.855	402.39	33.171
61.305	58.539	61.183	59.288	63.146	74.167	61.219	52.957	389.83	600.88	48.213	65.973	58.162	403.44	33.29
61.265	58.499	61.287	59.277	63.135	74.07	62.013	53.901	389.43	599.37	48.05	67.942	57.949	405.76	33.377
61.149	58.469	60.999	59.276	62.99	73.754	62.015	53.901	391.28	591.63	46.451	66.736	57.774	403.05	32.731
60.965	58.573	61.419	59.38	63.237	74.886	61.828	53.6	386.25	591.36	46.818	64.771	57.937	397.7	33.084
61.3	58.591	61.293	59.398	63.198	74.447	61.415	53.067	386.4	588.12	46.894	67.202	57.955	396.58	33.318
61.335	58.713	61.357	59.462	63.233	74.539	61.306	52.987	387.27	585.07	46.203	63.787	57.932	396.49	33.19

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
61.532	58.796	61.296	59.43	63.171	74.048	62.14	53.823	393.68	572.45	42.906	66.401	58.218	401.91	33.749
61.51	58.861	61.417	59.494	63.149	73.797	62.291	54.004	401.45	567.32	41.567	66.206	58.138	405.77	33.571
61.662	58.946	61.627	59.618	63.148	73.692	62.415	54.069	400.94	571.64	40.455	65.784	58.03	407.32	33.206
61.454	58.852	61.361	59.524	63.112	73.598	62.985	54.699	398.97	576.01	39.982	66.581	58.081	405.89	33.53
61.632	58.8	61.54	59.472	63.002	73.375	63.308	55.138	396.75	581.29	39.579	67.074	57.856	401.01	33.248
61.31	58.852	61.217	59.61	62.738	72.339	63.388	55.103	376.32	604.23	36.32	68.358	58.11	381.91	32.794
60.131	58.739	60.182	59.641	62.223	70.313	71.174	57.642	348.77	635.06	33.401	68.59	58.487	369.91	32.93
59.931	58.971	60.126	59.873	62.311	70.229	67.129	56.78	340.3	623.8	33.853	69.426	58.662	371.28	32.665
59.769	58.982	60.138	59.913	62.265	69.926	65.705	56.791	341.54	614.15	32.473	70.642	58.644	369.26	32.625
59.885	59.04	60.138	59.914	62.208	69.641	64.123	55.234	340.37	619.06	31.884	67.628	58.616	367.86	32.925
59.85	59.063	60.132	59.994	62.144	69.177	61.463	52.334	340.7	614.45	33.67	65.728	58.61	366.84	33.12
59.684	58.925	59.966	59.77	61.202	65.051	63.49	54.541	330.6	595.92	34.485	54.446	58.588	349.26	32.961
59.731	58.748	59.924	59.903	60.909	64.638	63.738	54.644	326.89	598.76	31.754	53.22	58.778	346.22	32.487
59.729	58.63	59.894	59.844	60.763	64.378	62.959	53.804	324	604.38	32.9	51.102	58.604	344.13	32.887
59.601	58.503	59.766	59.716	60.664	63.992	64.847	55.9	326.58	609.42	33.781	50.8	58.504	341.73	32.393
59.584	58.543	59.778	59.757	60.704	63.946	66.381	57.584	320.05	618.54	33.547	50.114	58.545	338.89	32.665
59.62	58.637	59.871	59.764	60.769	64.069	67.106	58.4	315.49	621.99	34.152	47.351	58.581	335.82	32.469
59.654	58.614	59.848	59.741	60.746	64.131	67.226	58.521	305.96	626.88	32.913	44.417	58.558	332.49	32.634

1*tk	1+tk	1-tk	3*tk	3+tk	3-tk	4*tk	4-tk	5*tk	5+tk	6*tk	8*tk	10*tk	10+tk	10-tk
59.648	58.55	59.755	59.561	60.624	61.381	61.869	52.595	293.97	588.61	31.117	34.569	58.119	330.41	32.71
59.66	58.562	59.796	59.545	60.636	64.479	61.593	52.26	295.51	588.15	30.778	29.333	58.073	332.32	32.67
59.538	58.44	59.674	59.422	60.514	64.357	61.615	52.254	296.84	586.49	29.712	26.251	57.894	333.84	32.964
59.523	58.512	59.717	59.465	60.471	64.113	60.588	51.079	299.33	584.53	30.138	26.592	57.937	335.33	32.659
59.587	58.518	59.723	59.501	60.448	63.976	60.02	50.416	299.74	585.09	29.879	28.669	57.943	336.9	32.659
59.575	58.507	59.712	59.46	60.322	63.792	59.575	49.999	299.82	580.41	28.628	26.705	57.874	338.2	32.676
59.38	58.623	59.653	59.294	60.467	63.705	58.746	49.215	304.45	572.79	27.722	26.021	57.708	339.24	32.695
59.194	58.523	59.553	59.108	60.338	63.72	58.214	48.623	305.24	572.59	27.592	22.864	57.579	340.17	32.705
59.229	58.529	59.559	59.114	60.286	63.726	57.498	47.76	307.33	571.93	25.543	24.271	57.527	341.09	32.471
59.247	58.547	59.548	59.161	60.304	63.801	56.996	47.284	311.32	568.83	27.144	20.41	57.545	341.85	32.776
59.276	58.518	59.519	59.132	60.333	63.801	62.132	52.996	309.66	570.24	27.262	29.065	57.545	339.86	32.883
59.277	58.577	59.578	59.191	60.305	63.745	62.709	53.691	309.62	570.06	26.492	29.743	57.633	339.12	32.647
59.161	58.46	59.461	59.132	60.247	63.715	62.276	53.285	307.54	572.76	26.166	28.385	57.574	339.21	32.824
59.189	58.431	59.461	59.102	60.246	63.915	62.391	53.343	307.39	572.71	26.136	26.67	57.516	339.61	33.253



ภาคผนวก ก
วัสดุพรมขนาด 8 mm

ตารางข้อมูลการทดลองวัสดุพูนขนาด 8 mm

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
45.631	41.967	68.57	44.814	57.636	46.734	79.777	56.276	823.67	821.36	118.08	695.47	41.809	34.747	861.81
45.904	42.065	68.926	44.885	57.676	46.861	79.844	59.637	834.94	821.09	116.77	699.14	41.703	33.994	860.97
45.252	42.287	66.084	45.106	57.723	47.024	79.977	59.567	783.56	818.3	116.68	705.42	42.363	35.509	840.59
45.1	42.514	68.309	45.188	57.773	47.162	80.084	58.403	816.94	806.48	115.15	712.25	42.094	34.183	827.91
45.362	42.747	69.08	45.362	57.745	47.365	80.311	58.781	733.7	807.08	115.24	719.2	42.356	34.212	817.53
45.303	43.019	69.395	45.42	57.987	47.566	80.422	59.039	744.75	837.56	114.03	721.63	42.268	34.416	832.09
45.59	43.449	69.904	45.618	58.04	47.562	80.645	59.266	773.11	835.56	112.34	724.45	43.166	34.968	816.58
45.718	43.549	70.287	45.805	58.195	47.631	80.797	59.998	752.23	853.38	111.45	731.41	43.206	35.156	825.31
46.002	43.629	70.539	46.002	58.275	47.683	81.359	57.451	789.95	798.47	110.97	721.34	43.316	35.53	779.58
46.31	43.791	70.926	46.105	58.405	47.698	81.742	56.746	836.86	764.88	112.53	708.73	43.128	35.956	757.81
46.413	43.952	71.227	46.209	58.565	47.95	81.9	56.56	986.78	772.14	115.8	709.84	43.465	35.357	752.25
46.349	43.917	71.537	46.29	58.676	48.322	81.953	56.497	941.95	763.58	118.69	711.17	43.633	34.764	747.05
46.615	44.097	71.713	46.383	58.854	48.501	82.072	56.329	890.36	745.8	120.26	701.06	43.929	33.939	753.77
46.621	44.248	72.061	46.418	58.859	48.536	81.709	55.988	1015	738.52	123.69	702.25	43.936	33.954	752.88
46.792	44.563	72.516	46.646	59.144	48.532	81.648	55.753	1059.3	744.41	125.56	702.42	44.135	33.648	752.09

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
46.903	44.559	72.852	46.787	59.252	48.44	81.5	55.546	1115.8	749.34	129.44	700.34	44.188	33.702	765.95
47.055	44.681	73.227	46.968	59.287	48.476	81.365	55.234	1139.7	743.2	131.15	695.47	44.427	33.797	775.7
47.185	44.868	73.668	47.185	59.185	48.663	81.35	55.275	853.58	735.41	130.63	695.11	44.592	33.964	872.61
47.15	44.921	73.975	47.324	59.064	48.86	81.371	55.213	800.56	747.86	126.18	699.78	44.616	34.546	875.67
47.278	45.136	74.27	47.568	59.018	49.075	81.609	55.484	716.09	769.59	121.51	701.39	44.715	35.584	854.95
47.41	45.21	74.459	47.73	59.063	49.179	81.881	55.674	693.13	772.17	119.21	707.91	44.848	35.747	846.23
47.834	45.313	76.439	47.862	59.08	49.34	82.182	55.748	731.66	785.91	116.5	714.95	45.039	35.675	863.55
48.245	45.377	75.789	47.984	59.027	49.489	82.527	55.868	741.19	790.7	112.29	713.22	45.131	35.709	877.8
48.359	45.549	75.73	48.069	59.256	49.169	82.809	56.098	922.97	788.77	108.33	699.14	45.217	34.593	844.91
48.429	45.618	75.885	48.139	59.439	49.122	83.074	55.791	791.2	807.86	106.6	695.5	45.315	34.898	853.98
48.499	45.717	76.152	48.237	59.566	49.25	83.258	55.254	821.56	845.64	103.94	694.31	45.356	34.293	893.83
48.75	45.939	76.4	48.372	59.586	49.472	83.221	55.273	843.33	848.27	101.19	697.66	45.316	34.282	886.5
48.796	45.985	76.559	48.447	59.43	49.604	83.18	55.001	787.05	844.22	100.05	701.22	45.334	33.822	893.55
49.063	46.166	76.908	48.57	59.407	49.727	83.242	54.805	755.78	870.91	96.926	702.22	45.603	33.917	916.72
48.885	46.335	77.016	48.739	59.402	49.838	83.236	54.974	747.95	836.88	93.863	706.05	45.54	33.971	921.84
49.158	46.58	77.574	48.985	59.474	50.229	83.623	54.61	794.58	864.58	92.096	711	45.932	33.955	952.7
49.386	46.72	77.711	49.066	59.525	50.281	83.873	54.489	819.5	886.72	91.607	711.58	46.043	33.745	1007.6
49.555	46.772	77.877	49.265	59.606	50.45	84.295	54.601	781.61	866.78	90.584	713.53	46.038	34.003	1031.7

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
49.561	46.75	77.881	49.3	59.612	50.572	84.496	54.374	753.92	943.41	88.943	717.28	46.132	33.922	1021.1
49.834	46.994	78.035	49.37	59.682	50.613	84.48	54.387	731.63	979.86	86.654	719.42	46.465	33.847	998.7
50.032	47.018	78.086	49.626	59.791	50.84	84.701	54.556	717.98	1007	84.041	723.11	46.838	34.584	965.77
49.852	47.215	78.193	49.794	59.929	50.979	84.979	54.78	726.06	997.94	81.561	727.84	46.628	34.167	962.89
50.166	47.345	78.189	49.789	59.972	51.061	85.23	55.181	706.8	927.7	79.305	728.84	46.973	34.515	951.78
50.293	47.298	78.258	49.888	59.953	51.274	85.383	55.076	700.13	930.56	77.836	730.64	46.751	34.145	933.58
50.102	47.454	78.268	49.985	60.022	51.517	85.508	55.694	726.78	921.36	76.137	729.59	46.851	35.476	917.77
50.617	47.709	78.607	50.183	60.42	51.454	86.043	55.805	696.97	830.17	77.473	707.28	47.193	34.941	867.69
50.807	47.666	78.535	50.169	60.635	51.295	86.254	55.646	691.58	960.94	79.594	700.86	47.121	34.547	884.11
50.888	47.893	78.645	50.279	60.889	51.319	86.506	55.525	708.31	926.13	80.33	702	47.784	34.335	950.48
50.858	47.954	78.699	50.25	60.858	51.202	86.531	55.554	684.84	872.03	79.615	700.09	47.813	34.481	913.81
51.789	48.042	80.861	50.366	60.945	51.405	86.76	55.698	708.78	864.42	79.674	698.84	48.19	33.682	905.3
52.017	48.183	79.918	50.478	60.97	51.603	86.896	55.606	684.03	874.89	80.039	699.81	48.012	34.212	888.7
52.364	48.327	79.689	50.534	61.025	51.747	87.178	55.895	689.14	854.95	82.631	700.06	47.982	33.765	896.63
52.603	48.449	79.582	50.657	61.176	51.898	87.467	55.959	679.09	826.44	82.949	701.72	48.104	34.631	894.64
53.02	48.402	79.621	50.755	61.187	52.141	87.732	56.057	677.25	838.25	81.225	701.16	48.058	34.7	912.91
52.742	48.531	79.721	50.94	61.229	52.586	88.029	56.415	695.39	869.53	80.154	703.95	48.187	35.005	932.28
52.735	48.554	79.77	51.05	61.192	52.926	88.248	56.553	695.45	864.66	79.008	713.8	48.295	35.497	958.22

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
52.885	48.471	79.49	50.968	61.283	53.133	88.365	56.414	705.83	855.05	78.244	715.52	48.185	33.471	1000.2
53.03	48.616	79.834	51.084	61.428	53.249	88.17	56.299	717.59	863.33	77.535	718	48.185	33.061	1026.9
52.881	48.67	80.057	51.195	61.48	53.389	88.053	56.353	725.11	892.64	76.475	719	48.383	33.7	1023.4
53.213	48.761	80.074	51.323	61.655	53.236	87.785	56.335	734.02	895.77	75.488	717.52	48.367	33.957	1057.3
53.236	48.843	80.039	51.261	61.621	53.49	87.299	55.753	716.88	881.48	74.025	710.75	48.508	32.4	1034.8
53.25	49.029	80.279	51.505	61.521	53.907	87.566	55.275	714.8	889.47	72.121	713.38	48.55	33.557	1034
53.366	49.06	80.42	51.626	61.318	54.253	87.535	55.824	710.31	897.03	69.947	716.8	48.782	34.563	1017.9
53.373	49.385	80.455	51.749	61.469	54.52	87.826	55.86	724.66	943	68.465	720.63	49.138	33.477	1033.9
53.65	49.314	80.328	51.766	61.542	54.507	87.98	55.703	714.88	921.86	67.219	721.06	49.241	34.206	1046.2
53.628	49.641	80.334	51.831	61.52	54.775	88.045	55.508	714.88	940.02	67.111	723.39	49.335	33.734	1076.5
54.311	49.657	82.193	51.993	61.508	55.11	88.23	55.727	773.55	945.47	63.682	731.33	49.556	34.759	1058.3
55.412	49.718	80.773	52.142	61.685	55.278	88.566	56.077	822.14	966.89	64.029	733.81	49.674	35.074	1072.2
55.706	49.868	80.523	52.204	61.948	55.255	89.053	55.648	929.47	960.55	67.539	716.19	49.998	34.844	1004.6
55.879	50.04	80.41	52.29	62.321	55.022	89.336	55.937	844.56	901.89	73.09	714.75	50.112	34.432	969.69
57.488	50.006	80.916	52.284	62.689	54.668	89.529	56.017	893.19	876.86	78.992	713.05	50.251	35.451	945.44
57.608	50.098	80.752	52.376	63.039	54.385	89.676	55.993	792.06	870.06	84.148	710.7	50.198	34.812	961.38
57.845	50.306	80.701	52.439	63.188	54.448	89.795	55.623	731.61	858.48	85.941	708.19	50.378	35.842	970.42
57.918	50.234	80.773	52.484	63.09	54.752	89.922	56.477	709.14	891.78	85.703	705.94	50.162	35.302	979.44

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
58.09	50.32	80.83	52.453	62.974	55.302	90.289	56.446	692.59	906.38	85.447	712.25	50.421	34.742	975.39
58.412	50.325	80.92	52.488	62.922	55.653	90.664	56.221	682.64	953.94	84.035	718.39	50.484	35.069	984.19
58.188	50.389	81.07	52.58	63.158	55.688	90.955	56.486	690.69	996.77	80.227	721.69	50.605	35.016	981.66
58.123	50.411	81.063	52.603	63.122	55.71	91.088	56.595	647.95	1029.3	77.742	716.13	50.454	35.36	946.55
58.996	50.445	81.268	52.695	63.357	55.831	91.238	56.918	772.42	965.36	74.467	716.7	50.547	35.806	933.66
58.163	50.509	81.416	52.7	63.536	55.865	91.443	55.884	732.98	960.2	73.328	727.95	50.639	34.014	925.95
58.854	50.788	81.615	52.902	63.958	55.836	91.756	56.577	694.3	954.77	75.559	723.45	50.783	34.451	945.95
58.9	50.748	81.916	52.92	64.117	55.796	91.828	56.768	697.63	956.48	77.004	715.14	50.888	34.439	927.19
58.111	50.766	81.988	52.995	64.221	55.784	92.043	56.929	794.48	943.72	77.162	714.19	50.904	34.671	915.08
58.877	50.783	82.148	53.1	64.324	55.831	92.145	56.917	714.91	926.98	77.408	716.83	50.951	35.042	921.67
59.174	50.817	82.297	53.25	64.502	55.894	92.434	56.52	715.64	928.5	76.387	717.77	51.015	34.929	913.98
59.272	50.857	82.508	53.349	64.6	56.079	92.559	56.79	719.58	936.61	77.084	716.73	51.055	35.204	898.88
59.05	50.897	82.658	53.331	64.668	56.177	92.654	55.53	769.14	946.41	77.607	719.08	51.009	34.035	900.86
59.186	50.887	83.102	53.436	64.773	56.137	92.615	53.117	858.77	948.16	78.537	723.83	51.055	34.375	907.16
59.55	50.963	83.316	53.54	65.02	55.952	92.549	54.67	903.14	957.11	80.719	723.66	51.912	34.665	914.3
56.826	50.517	83.164	53.558	65.295	55.768	92.537	55.959	843.14	927.08	84.293	721.45	50.163	33.533	935.58
54.434	49.112	82.434	53.622	65.34	55.89	92.26	56.485	917.53	918.25	86.143	711	48.109	33.569	936.23
52.858	47.214	83.045	53.67	65.156	55.966	91.654	56.619	1022.9	897.84	90.84	703.86	46.965	33.736	954.33

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
50.932	45.812	83.686	53.775	65.174	55.927	91.443	56.811	1068.6	875.8	93.684	699.31	44.851	35.054	945.55
50.294	45.869	83.939	53.948	65.23	55.955	91.414	57.329	990.78	859.58	97.076	698.5	45.849	35.492	918.44
50.525	46.131	84.281	54.007	65.346	55.984	91.584	57.215	1048.4	855.06	100.41	695.28	45.527	35.171	932
50.479	46.112	84.633	54.018	65.355	55.938	91.482	57.052	1145.4	855.61	104.68	693.11	45.626	34.741	919.03
50.543	45.952	84.912	54.284	65.139	55.99	91.479	57.376	954.58	852.61	106.38	685.39	45.485	34.619	1034.6
50.571	45.952	85.252	54.227	65.023	56.077	91.307	57.145	920.53	865.92	106.82	680.94	45.515	33.732	1056.8
50.637	46.046	85.146	54.291	64.859	56.344	91.031	56.633	911.09	887.02	103.51	679.44	45.608	32.597	1092.3
50.725	45.988	85.854	54.437	64.572	56.373	90.465	55.622	886.75	899.2	99.813	679.67	45.64	33.507	1116.9
50.58	46.048	86.42	54.554	64.285	56.432	90.18	56.461	857.09	939.02	96.877	678.77	45.903	34.894	1044.5
50.563	46.175	86.742	54.709	64.182	56.616	90.334	56.646	870.73	963.89	93.662	684.41	45.914	35.491	1043
50.729	46.197	86.822	54.731	64.232	56.581	90.553	56.407	915.8	934.97	92.639	693.89	46.082	34.156	1029.7
50.666	46.307	87.213	54.754	64.313	56.459	90.689	56.026	986.64	916	93.791	697.03	46.629	35.038	1011.5
50.949	46.33	87.518	54.748	64.336	56.366	90.854	56.598	1026.3	906.88	95.824	692.61	46.536	35.442	1039.8
51.237	46.706	87.773	54.979	64.537	56.192	91.053	56.395	1037.8	898.67	96.844	692.16	46.651	35.938	1002.5
51.213	46.797	88.174	54.983	64.541	55.994	91.141	55.821	971.91	896.38	98.824	695.31	47.121	35.68	998.42
51.386	47.144	88.6	54.982	64.568	56.109	91.426	55.937	969.13	895.92	99.307	691.64	47.586	33.91	1007
51.646	47.433	88.908	54.981	64.512	55.907	91.453	55.704	900.52	887.58	99.248	688.77	47.672	34.231	992.64
52.096	47.589	89.117	54.993	64.551	55.745	91.576	57.505	1059.2	873.92	98.723	686.88	47.8	34.331	992.36

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
52.103	47.659	89.865	55.034	64.736	55.612	91.816	57.518	991.84	866.33	98.961	685.03	47.87	33.494	975.23
52.306	47.973	89.523	55.088	64.76	55.753	91.785	56.647	1038	876.02	97.998	689.03	48.068	33.021	972.94
52.231	48.077	90.721	55.244	64.543	55.938	91.682	56.891	875.22	901.06	97.756	694.5	48.256	33.034	984.52
52.639	48.107	91.314	55.361	64.514	55.795	91.568	56.025	905.92	891.27	95.605	690.31	48.286	34.89	1016
52.762	48.316	91.178	55.569	64.549	55.772	91.658	56.696	870.56	888.97	92.754	689.05	48.438	35.248	1031.6
52.976	48.386	91.783	55.639	64.445	55.928	91.924	57.803	869.69	898.64	89.963	685.67	48.449	34.702	1048.7
53.103	48.455	91.908	55.708	64.514	55.939	92.275	57.872	958.31	893.83	90.514	684.13	48.664	34.177	1019.6
53.144	48.67	92.428	55.748	64.582	55.777	92.004	57.134	934.36	868.5	94.994	679.02	48.878	33.925	1028.1
53.207	48.734	92.547	55.726	64.676	55.581	91.557	54.279	1021.6	866.2	98.449	680.39	48.942	34.078	963.81
53.313	48.897	93.695	55.858	64.809	55.454	91.293	48.786	1052.3	844.11	104.11	680.06	49.048	33.804	969.63
53.406	49.107	94.039	55.952	64.814	55.489	90.986	55.287	1085.1	856.27	106.7	676.14	49.229	34.044	972.2
53.47	49.2	93.932	55.93	64.619	55.785	90.539	56.593	1026.6	829.11	108.54	668.14	49.583	33.056	981.77
53.957	49.34	93.021	55.981	64.498	55.866	90.051	55.924	1130.1	816.95	110.08	667.58	49.52	32.815	967.77
53.733	49.493	94.326	56.134	64.334	55.932	89.465	57.316	1060.8	787.97	110.79	658.98	49.76	33.966	975.84
53.948	49.621	95.773	56.232	64.172	56.059	89.164	57.501	1017	764.67	111.67	652.02	49.685	34.251	974.56
54.105	49.837	96.488	56.331	64.1	56.216	89.063	57.601	1122.7	775.23	113.81	656.2	49.93	34.529	995.53
53.943	49.906	96.387	56.343	64.023	56.545	89.104	56.805	1000.5	746.3	115.25	658.53	50.144	33.302	1005.2
54.384	50.057	97.662	56.494	63.889	56.926	89.082	58.079	869.47	755.48	113.1	661.11	50.324	33.864	999.66

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
54.633	50.19	98.58	56.568	63.762	57.116	89.041	58.097	887.36	742.08	109.83	658.41	50.486	33.94	966.11
54.68	50.295	98.908	56.586	63.836	57.076	89.002	57.912	959.16	731.5	107.23	650.06	50.591	33.402	954.53
54.743	50.416	99.729	56.649	64.043	56.678	89.006	57.63	1064.1	755.66	107.51	654.03	50.625	34.237	951.3
54.674	50.463	99.604	56.695	64.316	56.263	88.965	57.215	1128.9	753.11	110.71	658.88	50.701	34.05	936.81
54.807	50.683	99.791	56.771	64.479	56.223	88.898	57.261	1085	746.73	113.7	656.31	50.893	33.972	919.28
55.183	50.856	99.705	56.886	64.477	56.366	89.039	57.751	968.02	723.34	113.25	648.22	51.123	35.211	924.13
55.021	50.926	99.941	56.955	64.488	56.436	89.191	57.618	941.14	743.66	109.41	642.59	51.366	34.313	945.77
55.263	51.081	100.09	56.995	64.615	56.389	89.146	57.543	1136.8	769	108.1	649.31	51.291	34.062	919.84
55.147	51.11	100.18	56.995	64.473	56.678	89.063	57.168	920.45	748.42	105.99	646.97	51.58	33.145	899.27
55.818	51.348	100.38	57.116	64.305	56.857	88.813	56.828	852.84	744.47	102.56	645.98	51.528	34.156	914.36
55.576	51.337	100.62	57.25	64.236	57.076	88.887	56.933	850.58	748.36	100.13	648.66	51.608	33.842	921.25
55.408	51.545	100.57	57.313	64.156	57.226	88.777	56.736	806.86	749.97	96.998	650.08	51.992	34.004	933
55.882	51.7	100.69	57.468	64.225	57.294	88.9	56.805	802.91	753.58	91.777	650.53	51.829	34.778	914.28
55.881	51.7	100.89	57.525	64.195	57.467	88.928	56.603	767.88	763.3	87.439	650.56	52.147	34.309	901.09
55.95	51.885	101.18	57.681	64.178	57.824	89.223	56.759	743.7	791.56	84.359	653.03	52.159	34.994	885.45
55.999	51.933	101.18	57.729	64.084	58.104	89.525	56.663	730.08	850.42	78.404	656.63	52.179	34.25	863.56
56.218	52.036	101.19	57.775	64.215	58.206	89.824	56.564	840.64	836.06	74.258	659.56	52.341	34.561	880.95
56.229	51.99	101.15	57.787	64.256	58.275	89.949	57.873	817.05	817.25	72.752	655.14	52.381	33.42	864.78

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
56.605	52.164	101.29	57.96	64.398	58.103	90.291	58.306	951.86	754.84	71.695	638.08	52.643	35.275	839.88
56.829	52.359	101.37	58.098	64.621	57.722	90.227	58.472	906.39	741.47	74.721	631.28	52.693	35.093	843.83
56.621	52.439	101.53	58.063	64.76	57.601	90.307	58.265	856.34	735.13	78.707	627.94	52.891	33.7	848.69
56.841	52.544	101.66	58.109	64.777	57.561	89.984	58.08	799.14	731.78	79.01	622.69	52.821	34.605	864
56.726	52.688	101.66	58.253	64.807	57.676	89.814	58.57	783.72	739.02	77.699	621.67	53.111	35.485	870.53
56.886	52.733	101.62	58.327	64.736	57.865	89.83	58.906	765.3	735.14	76.404	620.69	53.186	34.798	875.67
57.024	52.93	101.65	58.292	64.615	58.176	89.938	58.522	750.56	750.47	72.74	624.08	53.353	34.233	941.83
56.931	52.895	101.58	58.401	64.523	58.313	89.877	58.545	712.52	751.88	67.896	626.34	53.288	34.756	944.73
57.207	53.084	101.57	58.476	64.453	58.56	90.035	58.882	711.17	752.47	63.721	629.66	53.449	35.738	955.77
57.149	53.257	101.6	58.619	64.541	58.877	90.207	58.997	744.63	758.44	60.469	632.42	53.739	35.796	982.56
57.396	53.504	101.56	58.636	64.643	58.951	90.449	58.952	711.61	758.2	61.494	633.7	54.479	34.756	950.73
57.391	52.863	101.62	58.63	64.809	59.061	90.502	58.198	684.23	766.89	60.595	632.3	51.889	33.482	960.91
55.962	51.543	100.27	58.558	65.049	59.403	90.33	58.011	682.69	780.48	58.558	627.06	49.181	32.981	946.2
55.096	49.836	99.559	58.701	64.936	59.49	89.766	56.598	672.23	792.73	54.894	626.14	48.514	33.861	937.73
52.619	47.67	99.967	58.892	64.834	59.618	89.439	58.892	675.7	797.8	51.744	622.61	46.958	34.226	942.66
51.166	46.019	99.064	58.892	64.748	59.648	89.158	57.794	714.88	800.83	49.603	623.8	45.095	33.466	962.55
49.771	45.637	98.521	59.002	64.686	59.671	88.896	57.847	704.36	802.17	48.61	622.48	45.439	34.348	928.13
49.708	46.009	97.754	59.025	64.535	59.867	88.693	58.101	710.61	794	47.589	622.69	45.639	33.604	926.36

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
50.138	46.207	97.354	59.166	64.33	60.235	88.49	58.067	674.55	790.06	46.333	619.92	45.518	34.008	944.52
49.959	46.23	96.561	59.219	64.152	60.345	88.201	57.14	670.36	796.48	43.177	623	45.542	33.915	962.41
49.947	46.103	96.293	59.206	64.055	60.218	88.047	55.627	677.5	795.84	39.661	630.94	45.413	33.699	968.13
49.844	46.087	94.418	59.19	64.066	60.145	87.834	56.361	671	801.45	37.411	641.78	45.543	34.159	978.55
50.054	46.151	87.557	59.283	63.873	60.266	87.697	56.656	674.14	811.83	35.808	641.75	45.549	34.225	962
49.937	46.208	89.25	59.369	63.958	60.063	87.781	47.499	769.58	825.83	36.306	644.08	45.52	34.899	933.34
50.15	46.22	88.895	59.438	64.285	59.615	88.104	48.934	767.64	812.61	40.277	645.89	45.561	34.236	896.08
49.988	46.202	90.969	59.507	64.525	59.224	88.283	48.916	766.33	795.78	44.697	652.13	45.659	34.16	873.03
49.854	46.271	91.232	59.575	64.68	58.918	88.379	45.933	771.75	811.48	48.868	654.05	45.641	35.637	857.67
50.255	46.382	88.291	59.6	64.932	58.741	88.545	48.253	741.67	785.19	52.692	649.39	45.868	33.277	860.03
50.196	46.41	92.5	59.627	65.074	58.279	88.402	50.833	814.91	779.23	51.296	647.02	46.101	33.774	876.73
50.318	46.59	93.609	59.691	65.08	58.084	88.324	53.481	852.31	780.64	50.811	647	46.282	34.347	866.78
50.395	46.724	92.666	59.738	65.041	58.045	88.143	51.437	771.36	816.03	49.351	646.44	46.533	33.975	901.55
50.673	47.003	95.59	59.727	64.83	58.091	87.906	57.878	793.48	794.67	49.659	620.98	46.609	33.788	859.98
51.24	47.252	95.043	59.773	64.646	58.108	87.811	54.837	724.92	837.72	50.864	608.36	47.209	33.455	885.58
51.13	47.46	96.004	59.778	64.451	57.97	87.588	57.44	861.05	830.03	52.323	603.47	47.272	34.173	920.36
51.13	47.547	95.947	59.808	64.422	57.883	87.502	57.122	859.89	851.45	56.344	600.94	47.359	33.899	946.27
51.47	48.004	95.709	59.882	64.354	57.871	87.15	57.053	1038.5	888.08	58.032	599.38	47.377	34.103	945.66

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
51.633	47.935	96.178	60.016	64.428	57.803	87.111	57.445	843.14	900.94	61.255	600.56	47.599	34.912	934.7
51.644	47.975	96.721	59.997	64.496	57.641	87.121	57.254	784.34	857.91	64.109	595.75	47.464	35.276	915.38
51.631	48.136	97.922	60.1	64.568	57.57	87.25	56.896	736.98	898.63	63.266	597.78	47.771	35.116	938.14
51.785	48.184	99.992	60.196	64.617	57.609	87.432	57.137	726.81	929.14	62.759	602.03	47.868	34.92	924.42
51.871	48.27	101.23	60.195	64.76	57.405	87.602	57.913	819.03	868.88	63.82	605.31	48.186	35.534	906.09
51.985	48.326	101.65	60.165	64.902	57.231	87.799	58.258	859.75	836.36	66.461	601.22	48.213	34.027	913.58
51.951	48.465	101.68	60.246	64.982	57.082	87.736	53.169	851	835.84	69.896	597.03	48.381	33.67	915.94
52.125	48.61	101.71	60.275	65.07	56.996	87.682	58.339	809.92	843.23	70.242	591.94	48.673	34.021	905.69
52.189	48.675	101.65	60.31	64.959	56.886	87.518	58.953	811.81	832.16	67.611	592.72	48.62	34.916	893.63
52.618	48.9	101.68	60.448	64.896	57.111	87.625	58.947	818.33	821.52	64.934	587.69	48.875	35.525	887.97
52.663	48.946	101.69	60.465	64.914	57.156	87.813	59.368	884.31	797.67	63.572	594.63	48.717	34.573	906.56
52.442	49.132	101.68	60.39	64.953	57.168	87.795	58.396	876.94	816.5	64.072	602.45	48.845	33.288	924.08
52.873	49.33	101.76	60.472	65.035	57.163	87.508	58.65	806.89	811.19	65.762	601.03	49.159	32.902	918.92
53.105	49.639	101.71	60.616	65.055	57.036	87.041	58.507	822.55	804.11	64.441	601.05	49.392	33.332	912.25
52.816	49.582	101.63	60.731	64.939	57.065	86.699	58.798	849.23	787.72	65.559	598.83	49.247	34.543	906.42
53.442	49.773	101.67	60.807	65.1	56.824	86.973	60.201	816.55	747.55	67.877	579.45	49.295	33.937	874.8
53.373	49.616	101.54	60.736	65.201	56.407	86.957	59.987	876.97	733.27	69.211	575.52	49.485	33.808	852.27
53.524	49.711	101.61	60.802	65.295	56.357	86.938	59.734	934.27	729.16	71.678	570.5	49.464	33.464	845.25

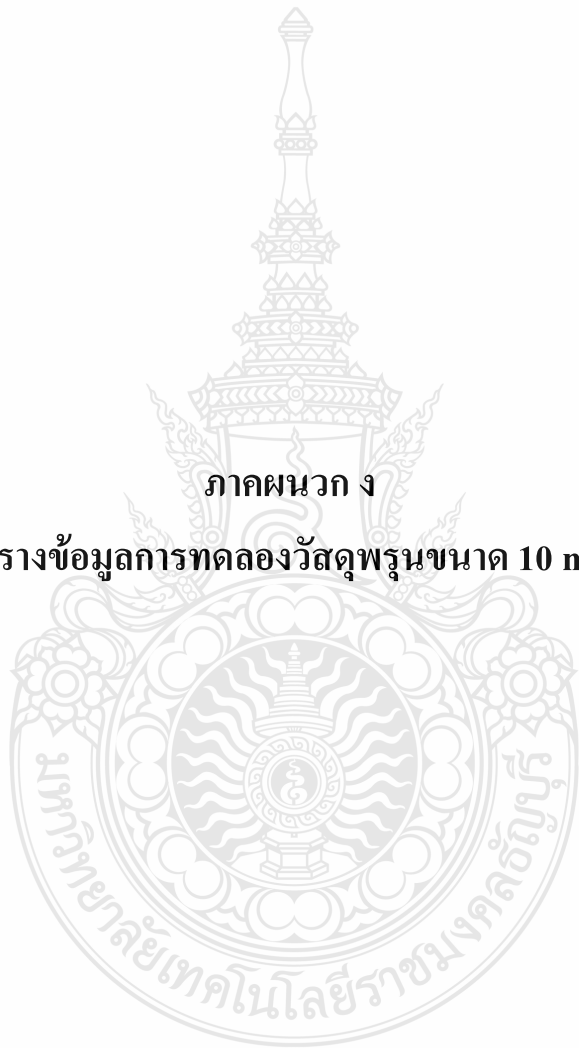
A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
53.554	50.029	101.7	60.975	65.324	56.357	86.883	59.446	904.14	742.53	71.193	566.34	49.754	33.961	856.89
53.444	50.035	101.64	61.009	65.215	56.392	86.857	59.654	975.56	747.73	71.883	566.48	49.73	34.445	859.08
53.386	50.064	101.62	61.038	65.158	56.536	86.801	59.74	1018.8	750.25	70.369	564.72	50.078	33.704	851.14
53.682	50.215	101.65	61.102	65.105	56.687	86.891	59.92	1090.3	746.33	70.002	564.05	50.084	34.07	851.97
53.942	50.36	101.68	61.16	65.135	56.802	87.035	60.122	1052.5	744.41	70.289	563.84	50.374	33.623	847.47
54.221	50.407	101.67	61.177	65.152	56.733	87.08	60.197	963.38	728.55	70.277	562.41	50.45	33.67	844.34
54.238	50.482	101.66	61.252	65.17	56.722	88.453	60.042	911.47	734.38	60.647	571.25	50.468	33.746	835.58
53.347	50.864	61.558	61.286	64.975	56.9	89.078	59.903	888.56	747.92	56.757	574.81	50.646	34.641	829.03
53.388	51.165	73.391	61.384	64.871	57.143	89.57	59.8	874.66	745.17	52.981	580.88	51.411	33.764	825.13
53.434	51.529	77.936	61.315	64.717	57.332	89.84	59.297	829.03	764.91	47.863	579.23	50.473	33.139	827.06
53.921	51.641	80.518	61.396	64.654	57.443	90.033	58.772	878.58	790.06	42.058	582.89	51.308	33.602	825.92
54.043	51.618	84.012	61.432	64.604	57.622	90.266	58.576	941.58	801.55	37.376	591.23	51.4	33.052	843.94
54.02	51.624	86.879	61.408	64.408	57.771	90.441	58.118	827.53	798.13	34.073	591.36	50.915	33.059	851.25
54.235	51.811	88.561	61.537	64.277	58.102	90.793	57.671	812.08	800.11	31.675	594.02	51.541	33.686	862.89
54.716	51.856	83.791	38.829	63.979	58.55	91.064	57.63	798.56	813.83	25.963	598.27	51.529	33.918	899
55.759	52.081	57.52	53.098	63.888	58.959	91.639	57.835	791.36	825.41	20.939	602.81	51.064	34.89	918.25
55.289	52.479	56.792	53.236	63.996	58.951	92.168	57.28	789.92	828.75	16.523	608.2	51.642	35.41	960.91
55.067	52.575	60.799	53.274	64.063	59.134	92.715	57.606	763.09	846.52	12.626	611.34	52.115	35.479	964.09

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
55.054	52.493	63.621	53.376	63.982	59.369	93.174	58.345	735.34	826.33	9.7175	615.8	52.217	35.482	946.83
54.931	52.4	64.59	53.514	64.119	59.506	93.732	57.932	727.64	823.31	6.0212	620.27	51.716	35.885	933.64
55.145	52.295	66.234	53.523	64.273	59.574	94.592	57.799	708.86	820.59	3.8327	638.38	51.374	35.016	919.06
55.218	52.484	67.709	53.396	64.262	59.677	94.975	57.959	700.58	835.86	2.2659	634.3	50.841	34.65	914.22
54.953	52.363	69.105	53.563	64.342	59.815	95.367	58.012	692.53	848.36	-2.588	643.69	52.085	35.083	912.02
55.143	52.408	70.123	53.695	64.416	59.89	95.721	57.624	696.08	846.95	-5.047	642.22	51.84	34.953	908.03
55.229	52.438	71.039	53.869	64.387	60.148	96.088	58.057	727.78	845.84	-7.2097	649.34	51.488	35.07	895.2
54.638	52.021	71.912	54.001	64.748	59.705	96.33	57.641	828.83	845.02	-5.6536	636.84	51.973	34.94	835.05
55.251	52.286	72.719	54.238	65.27	59.366	96.816	59.38	698.95	803.73	0.03534	628.95	50.555	35.648	817.69
54.978	52.389	73.361	54.226	65.572	59.008	97.111	58.585	683.23	784.39	6.2454	625.72	51.878	35.548	850.42
55.024	52.416	74.119	54.359	65.742	59.255	97.496	58.372	664.66	767.55	10.442	621.36	51.924	35.3	834.52
55.146	52.421	74.723	54.451	65.777	59.433	97.615	58.55	691.59	760.61	12.416	622.77	52.016	35.041	821.61
54.988	52.408	75.166	54.323	65.707	59.449	97.348	58.048	709.34	754.97	12.251	616.64	51.334	33.527	826.31
55.58	52.134	77.943	54.568	65.75	59.636	97.053	56.331	832.36	749.44	12.787	616.48	52.309	33.512	830.02
56.645	51.782	77.967	54.824	65.83	59.603	97.02	56.645	891.55	752.22	15.388	615.97	50.88	34.98	829.17
55.824	51.539	78.182	54.841	65.99	59.476	97.092	57.123	876.14	743.55	18.671	613.05	51.071	34.411	822.09
56.188	51.383	78.711	55.004	66.123	59.55	97.248	57.832	778.58	742.42	20.283	606.31	51.176	34.692	824.33
55.976	51.17	79.186	55.051	66.197	59.626	97.295	57.072	798.53	756.11	20.638	602.42	50.934	33.765	832.27

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
55.692	51.089	79.559	55.114	66.146	59.43	96.963	56.703	902.02	747.67	21.929	599.91	51.112	33.918	836.69
55.832	51.452	80.414	55.225	66.449	59.176	96.74	56.092	955.8	759.41	25.531	599.22	50.5	34.013	832.72
55.617	51.151	80.941	55.3	66.58	58.991	96.557	56.021	864.91	766.58	29.711	600.48	50.807	34.625	832.09
55.884	51.245	81.629	55.451	66.529	59.257	96.678	56.433	804	795.16	32.585	595.91	50.813	34.808	906.83
55.803	51.308	82.088	55.63	66.42	59.78	96.965	57.073	772.08	877.36	28.25	588	50.731	35.311	963.03
55.617	51.382	82.672	55.703	66.352	60.083	97.291	57.867	931.31	904.5	26.494	588.59	50.487	34.476	934.19



ภาคผนวก ง
ตารางข้อมูลการทดลองวัสดุพูนขนาด 10 mm



ตารางข้อมูลการทดลองวัสดุพูนขนาด 10 mm

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.205	32.59	32.892	33.469	36.363	35.352	36.402	38.048	35.371	35.558	34.736	35.118	33.321	34.796	34.376
33.145	32.822	32.979	33.76	36.392	35.35	36.46	37.695	35.34	35.526	34.97	35.087	33.291	34.882	34.727
33.174	32.882	32.979	33.907	36.362	35.35	36.519	37.608	35.37	35.557	34.881	35.087	33.35	35.233	34.814
33.068	32.775	32.842	33.918	36.14	35.098	36.325	37.385	35.264	35.45	34.62	34.951	33.097	35.595	34.327
33.061	32.827	32.865	34.116	36.017	35.063	36.318	37.378	35.403	35.591	34.614	35.092	33.061	36.348	34.438
32.957	33.124	33.036	33.982	36.197	35.086	36.489	37.128	35.817	35.486	34.694	35.047	32.869	35.291	34.823
32.933	33.1	33.011	33.987	36.026	34.915	36.436	37.045	35.852	35.551	34.632	35.052	32.873	35.822	34.857
33.037	33.146	33.057	34.121	35.984	34.814	36.511	37.032	35.955	35.654	34.706	35.185	32.92	36.014	34.99
32.965	33.161	33.103	34.107	35.855	34.714	36.527	37.02	36.089	35.787	34.84	35.318	32.877	35.387	35.123
32.923	33.118	33.029	33.948	35.637	34.555	36.455	36.713	35.958	35.687	34.894	35.246	32.746	34.671	35.081
33.033	33.171	33.053	34.03	35.689	34.489	36.508	36.706	36.011	35.738	34.908	35.357	32.798	35.396	35.221
33.139	33.276	33.052	34.224	35.678	34.342	36.477	36.87	36.146	35.962	35.043	35.551	32.904	35.513	35.415
33.044	33.183	32.957	34.275	35.467	34.218	36.383	36.864	36.139	35.984	34.92	35.573	32.956	36.061	35.438
33.089	33.257	33.003	34.351	35.395	34.176	36.428	36.909	36.302	36.146	35.111	35.766	32.854	35.932	35.63
33.029	33.226	32.971	34.26	35.247	34.056	36.368	36.819	36.329	36.145	35.08	35.793	32.853	35.842	35.628
33.074	33.242	32.987	34.306	35.176	33.985	36.413	36.806	36.433	36.278	35.271	35.896	32.78	35.39	35.761

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.091	33.316	33.032	34.322	35.133	33.972	36.488	36.822	36.537	36.411	35.317	36.03	32.768	35.934	35.923
33.106	33.244	32.99	34.28	35.032	33.841	36.445	36.839	36.553	36.398	35.4	36.047	32.754	36.037	36.027
33.413	33.463	33.442	34.586	35.222	34.264	36.897	37.115	36.858	36.764	35.854	36.47	33.061	35.64	36.333
33.307	33.387	33.336	34.304	34.969	34.157	36.82	36.628	36.636	36.569	35.748	36.275	32.896	34.685	36.109
33.414	33.463	33.413	34.47	35.016	34.146	36.868	36.646	36.684	36.588	35.699	36.353	32.974	35.317	36.216
33.336	33.444	33.365	34.451	34.91	34.069	36.791	36.628	36.606	36.54	35.651	36.335	32.866	34.89	36.197
33.359	33.438	33.388	34.415	34.874	34.033	36.814	36.475	36.542	36.504	35.674	36.327	32.978	34.298	36.191
33.518	33.28	33.367	34.604	34.688	33.983	36.764	36.604	36.384	36.662	35.774	36.486	32.99	34.804	36.092
33.519	33.251	33.338	34.633	34.629	33.954	36.676	36.545	36.413	36.604	35.627	36.486	33.048	35.535	36.062
33.512	33.332	33.39	34.655	34.621	33.919	36.67	36.597	36.436	36.686	35.768	36.597	33.013	34.622	36.144
33.581	33.284	33.372	34.667	34.575	33.93	36.682	36.521	36.447	36.668	35.779	36.58	33.111	35.365	36.914
33.505	33.296	33.354	34.648	34.498	33.882	36.634	36.444	36.4	36.679	35.673	36.591	32.947	35.317	36.166
33.534	33.296	33.384	34.707	34.469	33.854	36.664	36.444	36.488	36.767	35.702	36.649	33.035	35.523	36.81
33.575	33.337	33.396	34.719	34.451	33.835	36.646	36.455	36.528	36.778	35.714	36.69	32.871	35.418	37.055
33.451	33.271	33.3	34.624	34.298	33.682	36.552	36.331	36.521	36.771	35.707	36.684	32.893	35.234	37.077
33.544	33.307	33.363	34.57	34.332	33.687	36.586	36.336	36.585	36.865	35.859	36.776	32.722	34.859	37.111
33.573	33.336	33.393	34.541	34.332	33.716	36.645	36.248	36.615	36.895	35.918	36.806	32.986	34.918	37.199
33.396	33.188	33.217	34.394	34.156	33.54	36.439	36.072	36.438	36.747	35.741	36.659	32.692	35.005	37.081

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.59	33.322	33.41	34.558	34.319	33.645	36.632	36.265	36.689	36.939	35.905	36.852	32.885	35.286	37.244
33.643	33.462	33.521	34.492	34.372	33.727	36.684	36.258	36.742	37.021	36.162	36.991	32.938	33.873	37.385
33.521	33.628	33.55	34.372	34.508	33.755	36.713	36.012	36.791	36.812	35.866	36.783	32.816	35.191	37.521
33.48	33.529	33.479	34.39	34.438	33.685	36.643	36.067	36.779	36.801	35.707	36.771	32.863	35.355	36.721
33.521	33.481	33.49	34.313	34.45	33.667	36.654	36.167	36.879	36.93	35.719	36.842	32.64	35.659	36.762
33.332	33.351	33.331	34.124	34.349	33.565	36.612	36.086	36.953	36.887	35.823	36.887	32.45	35.5	36.836
33.337	33.327	33.336	34.071	34.383	33.6	36.646	36.217	37.075	37.068	35.917	37.039	32.396	36.12	36.93
33.118	33.226	33.205	33.94	34.341	33.527	36.604	36.196	37.12	37.143	36.021	37.085	32.413	35.434	37.004
33.27	33.349	33.298	34.033	34.404	33.592	36.727	36.318	37.302	37.324	36.084	37.265	32.418	36.404	37.214
33.315	33.364	33.313	33.815	34.392	33.607	36.772	36.188	37.347	37.34	36.393	37.34	32.552	34.254	37.259
33.309	33.387	33.308	33.72	34.385	33.631	36.795	36.006	37.224	37.275	36.387	37.246	32.486	34.012	37.165
33.519	33.586	33.341	33.988	34.613	33.635	36.799	36.128	37.423	37.396	36.448	37.366	32.783	34.574	37.276
33.36	33.486	33.212	33.858	34.484	33.535	36.642	36.058	37.265	37.325	36.262	37.267	32.685	35.588	37.177
33.43	33.469	33.224	33.87	34.438	33.488	36.594	36.127	37.363	37.365	36.243	37.308	32.755	35.54	37.306
33.464	33.503	33.229	33.875	34.472	33.463	36.599	36.22	37.427	37.43	36.249	37.399	32.612	35.984	37.397
33.44	33.508	33.234	33.763	34.446	33.439	36.633	36.137	37.49	37.464	36.458	37.434	32.764	34.612	37.403
33.403	33.472	33.257	33.609	34.47	33.462	36.598	35.954	37.338	37.369	36.48	37.398	32.729	34.137	37.367
33.517	33.555	33.31	33.692	34.465	33.517	36.622	35.92	37.216	37.247	36.389	37.335	32.605	34.454	37.304

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.446	33.544	33.299	33.74	34.482	33.534	36.61	35.909	37.205	37.177	36.261	37.324	32.741	34.414	37.292
33.541	33.608	33.305	33.864	34.519	33.599	36.646	36.003	37.27	37.271	36.267	37.359	32.718	35.3	38.059
33.465	33.503	33.229	33.67	34.442	33.493	36.511	35.897	37.164	37.166	36.307	37.253	32.7	34.49	37.952
33.512	33.579	33.745	33.776	36.422	34.068	35.036	36.062	39.021	41.279	88.328	39.702	32.777	34.919	38.087
33.453	33.58	34.273	33.835	41.243	35.328	35.358	36.12	40.338	43.23	91.723	42.27	32.659	34.918	38.262
33.552	33.591	35.838	33.788	45.442	36.628	35.75	36.22	42.041	47.877	234.55	48.254	32.672	35.37	39.09
33.586	33.597	39.143	33.704	46.201	36.867	35.872	36.195	42.716	46.167	202.37	50.785	32.588	34.025	39.677
33.646	33.655	45.989	33.91	49.368	37.918	36.019	36.254	44.083	46.051	153.62	50.728	32.793	35.11	40.208
33.557	33.596	50.023	33.851	49.859	38.035	35.931	36.195	45.418	46.138	130.89	51.395	32.558	35.55	40.646
33.591	33.571	63.543	33.855	50.848	38.419	36.023	36.142	46.992	46.782	147.64	53.398	32.681	34.03	41.205
33.504	33.541	66.779	33.973	51.107	38.535	36.082	36.142	48.531	47.857	166.53	55.422	32.563	35.32	41.788
33.607	33.616	68.828	34.254	52.339	38.989	36.303	36.274	50.229	48.483	146.3	56.334	32.638	35.337	42.504
33.648	33.6	76.883	34.235	53.359	39.321	36.285	36.169	51.686	49.51	152.76	57.44	32.709	34.645	43.068
33.607	33.616	94.547	34.458	54.736	39.805	36.391	36.246	53.175	49.875	162.11	57.343	32.667	35.718	43.755
33.624	33.663	97.496	34.71	56.687	40.44	36.465	36.233	54.984	50.735	159.46	59.873	32.684	35.412	44.47
33.705	33.715	103.32	34.908	58.035	40.96	36.605	36.285	56.682	51.746	167.19	59.089	32.735	34.995	45.276
33.758	33.679	103.71	35.106	59.122	41.332	36.658	36.308	58.346	53.044	171.68	60.985	32.699	34.842	45.851
33.77	33.69	54.888	34.063	60.023	41.665	36.728	36.289	59.881	53.171	163.57	59.526	32.652	36.23	46.615

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.773	33.666	38.134	34.037	61.032	41.873	36.762	36.382	61.552	54.391	164.66	60.396	32.745	36.176	47.349
33.878	33.857	36.251	34.171	60.848	42.006	36.836	36.398	63.092	54.783	144.62	61.133	33.202	35.93	48.12
34.158	34.138	37.028	34.54	60.492	41.965	37.028	36.503	64.744	56.475	158.23	63.765	33.072	36.237	48.979
34.486	34.319	36.623	34.691	60.699	42.202	37.15	36.479	66.725	58.501	190.69	66.559	33.37	36.301	49.854
34.513	34.258	36.709	34.572	61.358	42.609	37.411	36.564	68.754	60.117	212.11	69.453	33.545	36.212	50.836
34.5	34.274	40.934	34.734	61.923	42.917	37.486	36.521	70.859	61.372	230.23	70.156	33.737	35.613	51.691
34.781	34.379	48.048	34.751	62.831	43.399	37.707	36.393	73.246	63.459	237.86	72.805	33.725	34.192	52.662
34.781	34.435	59.704	34.928	63.831	43.968	37.986	36.217	75.574	64.518	241.21	74.375	33.725	33.945	53.58
35.028	34.536	69.094	35.469	64.504	44.359	38.233	36.23	78.236	65.855	244.66	76.273	33.562	35.776	54.548
34.695	34.759	80.451	35.721	64.92	44.608	38.367	36.247	80.695	67.449	261.04	77.4	33.551	35.443	55.518
36.138	35.382	93.963	36.605	65.645	45.08	38.491	36.226	83.568	68.805	260.41	78.262	33.587	34.16	56.679
34.749	35.985	99.982	37.393	66.289	45.563	38.713	36.243	86.277	69.852	251.95	78.959	33.486	34.999	57.819
40.087	35.927	98.994	38.419	56.839	43.092	40.489	39.736	88.172	72.082	140.53	78.049	33.457	35.497	68.549
41.856	35.651	96.727	37.704	46.381	40.188	41.127	42.906	90.846	73.129	89.35	78.918	33.534	35.983	73.508
42.055	35.294	95.398	37.016	43.384	39.424	41.5	44.624	93.244	72.551	72.98	78.004	33.557	35.567	75.494
43.562	35.229	93.473	37.251	42.62	39.213	40.997	45.957	93.18	71.227	65.438	75.717	33.403	34.593	75.943
43.842	35.188	89.025	37.65	42.842	39.377	41.336	47.169	91.672	69.873	61.318	73.992	33.422	35.9	75.648
44.297	35.463	83.262	38.102	43.291	39.593	41.114	47.85	90.271	68.914	59.198	72.689	33.521	34.711	75.035

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
44.753	35.54	80.443	38.471	43.774	39.756	41.133	48.825	88.396	68.014	57.425	71.334	33.539	34.934	74.598
45.12	35.528	78.639	38.664	44.14	39.773	41.471	49.045	86.602	67.084	56.086	70.092	33.469	35.948	74.043
45.568	35.657	77.455	38.998	44.588	39.901	41.103	49.926	85.053	66.52	55.115	68.959	33.48	35.959	73.6
46.01	35.72	76.576	39.236	44.94	39.993	40.933	50.567	84.008	66.295	54.513	67.902	33.426	35.964	72.891
46.405	35.883	75.967	39.575	45.364	40.127	41.3	50.874	83.006	65.996	54.038	67.146	33.53	35.805	72.51
46.835	35.964	75.193	39.744	45.706	40.207	40.528	51.597	81.496	65.531	53.685	66.277	33.523	35.622	71.934
47.148	36.075	74.334	39.913	45.961	40.289	40.878	51.388	79.875	65.121	53.359	64.92	33.488	34.619	71.443
47.48	36.145	73.719	40.101	46.176	40.329	40.708	51.951	79.146	64.645	53.053	63.813	33.499	34.484	70.512
47.643	36.162	73.109	40.352	46.309	40.318	40.463	52.259	77.598	64.145	52.403	62.939	33.43	35.85	70.014
47.894	36.238	72.443	40.75	46.472	40.22	39.433	52.886	76.533	63.619	51.957	61.865	33.477	36.775	69.488
48.043	36.243	71.732	40.93	46.505	40.078	39.408	52.629	74.744	62.876	51.729	61.208	33.51	36.137	68.689
48.223	36.336	71.139	41.198	46.598	40.055	39.414	53.098	72.842	62.192	51.619	60.867	33.485	35.936	67.781
48.332	36.388	70.533	41.425	46.736	40.194	39.873	53.729	71.58	61.726	51.496	60.718	33.479	36.105	67.061
48.436	36.404	69.949	41.646	46.984	40.326	40.151	54.295	70.566	61.311	51.426	60.503	33.525	36.093	66.449
48.557	36.468	69.295	41.854	47.222	40.506	40.477	54.561	69.6	60.883	51.368	60.162	33.559	35.219	65.795
48.626	36.449	68.59	41.953	47.319	40.604	40.313	54.773	68.551	60.26	51.119	59.74	33.423	35.435	65.061
48.731	36.556	68.182	42.204	47.599	40.769	40.448	55.197	67.713	59.817	50.964	59.441	33.618	34.983	64.506
48.778	36.545	67.541	42.31	47.731	40.873	40.466	55.301	66.701	59.286	50.662	58.969	33.548	34.855	63.807

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
48.918	36.69	67.072	42.654	47.904	41.044	40.571	55.672	65.898	58.935	50.513	58.674	33.659	34.903	63.288
48.937	36.737	66.574	42.848	48.015	41.208	40.59	55.748	65.113	58.487	50.271	58.344	33.736	34.569	62.731
49.012	36.785	65.99	42.982	48.119	41.313	40.666	55.736	64.271	57.986	50.027	57.871	33.726	34.821	62.145
49.105	36.879	65.51	43.134	48.213	41.466	40.701	55.714	63.474	57.561	49.802	57.503	33.761	34.065	61.604
49.119	36.95	65.094	43.438	48.284	41.566	40.743	55.785	62.797	57.17	49.409	57.084	33.745	35.105	61.044
48.963	36.853	64.564	43.603	48.244	41.527	40.238	56.178	62.181	56.754	48.934	56.523	33.706	35.77	60.428
49.021	36.882	64.02	43.573	47.896	41.382	39.656	53.576	62.612	56.148	50.007	54.473	33.795	34.157	59.251
48.976	36.896	63.545	43.79	47.851	41.395	39.464	52.255	61.935	55.439	51.355	53.24	33.749	35.432	58.284
48.93	36.965	63.384	43.977	48.994	41.756	39.534	50.929	61.86	55.913	74.871	53.947	33.79	35.735	56.567
48.209	36.795	65.625	44.156	51.663	42.52	39.424	49.949	62.066	56.668	120.92	55.658	33.679	35.596	56.082
48	36.936	71.514	44.856	53.16	43.242	39.127	49.017	62.321	56.433	135.55	57.5	33.789	34.063	56.771
47.455	37.06	78.645	44.863	54.148	43.715	38.9	48.211	62.674	56.21	136.71	56.815	33.943	35.244	56.259
47.078	36.974	80.83	44.923	54.871	43.948	38.639	47.718	63.333	56.209	134.44	55.343	33.799	35.715	56.171
46.652	36.955	82.795	44.934	55.748	44.337	38.416	47.554	64.146	56.018	124.99	54.833	33.722	35.169	56.643
46.489	36.938	87.596	45.062	55.326	44.319	38.602	47.245	65.59	57.124	171.83	54.786	33.85	35.15	56.711
43.427	36.998	91.617	45.561	57.262	45.135	39.829	47.364	73.396	74.787	399.13	63.182	33.794	35.944	57.319
38.737	39.199	99.357	47.057	59.633	46.047	40.015	46.562	70.211	63.826	205.76	63.911	33.746	35.34	56.898
38.994	39.658	100.14	48.908	61.693	46.677	40.299	45.826	76.104	72.846	235.89	63.875	33.799	35.802	58.245

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
44.479	39.507	100.5	52.646	65.479	48.125	40.613	45.675	81.164	78.352	237.89	65.65	33.646	35.327	59.706
45.365	39.255	100.42	52.338	68.375	49.18	40.565	45.161	84.746	81.551	240.63	67.699	33.833	33.931	61.008
43.349	39.255	100.79	54.915	71.523	50.427	40.806	44.49	87.75	83.031	237.15	69.793	33.892	34.957	62.677
41.396	39.284	101.01	53.931	74.543	51.438	41.039	44.192	92.697	88.85	258.75	71.764	33.833	35.279	64.627
40.859	39.448	101.34	57.069	77.068	52.411	41.203	44.123	96.463	92.662	252.04	74.158	33.969	35.854	66.766
44.069	39.453	101.63	56.67	80.543	53.714	41.471	44.157	101.34	96.09	287.48	76.961	33.914	35.566	68.887
44.36	39.68	101.79	60.33	83.545	54.749	41.61	43.859	106.09	100.37	286.34	79.545	33.819	35.325	71.225
45.043	39.603	101.83	59.562	86.164	55.713	41.796	43.58	109.72	103.74	268.84	81.75	33.802	35.337	73.461
43.883	39.849	102.21	63.347	88.131	56.505	42.158	43.185	114.89	108.06	275.48	84.379	33.959	35.816	74.699
42.613	39.947	102.45	64.965	90.289	57.266	42.228	43.138	119.16	112.4	278.63	86.119	33.854	35.975	76.988
44.125	40.295	111.94	80.32	92.24	58.07	42.43	43.02	124.05	115.26	278.02	88.674	33.822	35.797	79.52
47.98	40.3	131.88	77.621	93.771	58.854	42.668	42.908	128.42	118.41	288.01	90.977	33.798	36.241	82.307
45.901	40.637	140.66	88.244	94.918	59.732	42.918	42.778	133.04	122.41	298.79	93.313	33.755	36.199	85.049
48.1	40.623	142.18	96.555	91.885	59.576	42.963	42.94	134	119.74	239.61	98.361	33.712	36.654	87.756
50.578	40.693	140.05	91.479	68.852	53.59	44.313	47.065	141.11	126.84	136.21	114.28	33.87	35.729	111.51
51.353	40.6	137.93	89.857	54.246	49.708	46.253	49.76	160.74	148.19	98.682	138.72	33.894	35.459	134.16
52.721	40.425	136.5	89.006	49.592	48.81	48.229	51.267	185.58	177.64	84.295	162.59	33.864	36.22	163.8
56.023	40.139	134.22	88.555	48.291	49.074	50.205	51.912	201.57	197.35	77.979	186.34	33.751	34.525	182.32

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
58.831	40.322	132.6	88.051	48.619	50.059	52.461	52.761	219.33	218.63	74.018	214.02	33.701	36.136	205.22
62.863	40.263	130.61	87.25	48.908	51.042	54.19	53.021	229.98	232.45	72.098	238.11	33.555	35.491	219.23
66.555	40.566	129.26	86.471	49.559	52.442	56.428	53.584	236.43	242.09	70.453	260.23	33.653	36.411	230.4
70.703	40.647	126.91	85.727	50.16	53.85	58.41	53.924	241.44	250.95	69.473	277.84	33.529	35.994	240.86
73.318	40.455	118.11	85.057	50.896	55.45	60.435	54.399	247.37	261.22	68.855	289.98	33.511	36.649	253.75
80.523	40.907	117.82	84.393	51.607	57.084	62.434	54.733	251.88	269.33	68.326	295.98	33.557	36.313	258.88
86.102	41.087	114.36	84.029	52.335	58.645	64.307	54.912	254.17	272.58	67.844	301.24	33.532	36.524	261.94
91.551	41.711	113.38	83.324	53.033	60.087	66.002	54.859	255.79	276.92	67.705	301	33.714	34.624	267.41
100.05	47.689	99.041	73.736	53.831	61.57	67.709	54.936	258.5	280.27	68.098	302.3	33.761	35.932	269.22
100.31	55.312	99.953	81.787	54.505	63.105	69.406	55.062	260.65	285.19	67.533	302.02	33.713	35.854	272.91
100.31	52.803	99.193	80.592	55.283	64.828	71.295	55.294	261.04	285.77	67.506	305.48	33.625	36.089	280.83
100.38	50.616	99.74	73.473	56.078	66.445	73.191	55.508	261.5	287.3	67.488	303.66	33.813	36.365	275.1
100.39	49.148	99.498	66.811	56.753	67.6	74.627	55.547	267.47	293.84	67.326	296.6	33.648	35.233	276.03
99.119	37.988	85.055	36.457	57.382	68.652	76.016	55.57	270.2	300.23	67.063	294.15	33.788	35.783	278.54
42.317	35.03	40.342	34.61	57.209	69.453	74.537	55.542	272.42	302.48	65.137	295.35	33.7	34.492	281.43
39.126	34.791	37.097	34.488	56.828	69.504	76.236	55.564	438.74	334.97	65.273	395.38	33.578	36.277	326
38.58	34.861	36.171	34.441	56.927	69.574	76.879	55.866	780.2	332.68	69.307	422.83	33.647	34.315	372.73
38.588	34.809	35.826	34.477	57.049	69.008	77.111	57.056	815.92	328.59	75.148	440.38	33.86	35.914	407.16

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
38.323	35.073	36.021	35.035	57.309	68.805	77.992	56.712	697.78	388.59	82.877	458.91	33.684	35.816	512.72
39.185	36.023	36.561	36.043	57.607	68.529	78.686	57.3	692.72	461.45	87.4	475.54	33.577	36.766	658.41
39.675	36.368	36.846	36.388	57.6	68.32	79.447	57.379	742.95	437.59	90.713	476.87	35.303	36.993	549.77
39.769	36.813	37.056	36.832	57.925	68.529	80.793	57.097	924.45	444.95	95.08	482.45	36.979	36.002	551.95
40.347	37.157	37.664	36.942	58.119	68.58	81.494	56.484	739	456.26	99.029	480.22	35.8	34.375	580.19
40.727	37.157	37.664	36.825	58.177	68.723	81.75	56.311	719.55	469.83	100.41	483.09	37.001	34.14	612.88
40.828	37.551	37.94	37.395	58.188	69.105	82.328	56.006	1010.9	448.93	102.28	493.62	37.044	35.393	605.42
41.063	37.903	38.264	37.864	58.45	69.535	83.125	56.181	866.13	490.47	105.92	501.66	37.046	36.099	664.27
41.338	38.031	38.392	38.08	58.663	69.832	83.9	56.394	794.77	510.98	108.18	519.06	37.145	36.842	677.59
41.36	38.2	38.619	38.229	58.945	70.285	84.805	56.532	933.63	551.78	109.92	528.91	37.401	36.22	683.94
41.675	38.34	38.7	38.398	59.11	70.621	85.309	56.641	891.45	567.95	110.98	538.2	37.512	36.652	716.2
42.042	38.473	38.804	38.531	59.386	71.096	85.836	57.696	723.16	645.31	112.91	548.53	37.47	36.991	741.34
42.338	38.565	38.896	38.506	59.505	71.787	87.172	57.21	693.88	755.66	111.34	562.25	37.562	35.53	793.16
42.53	38.786	39.088	38.758	59.667	72.691	88.07	57.083	648.8	903.33	109.31	578.5	37.812	36.836	712.03
42.797	38.908	39.239	38.851	59.932	73.439	89.209	59.745	827.28	764.8	107.18	590.08	38.051	35.933	752.22
42.879	39.019	39.32	38.99	60.242	74.232	89.994	59.94	729.66	721.69	107.29	606.23	38.045	37.01	708.64
43	39.11	39.383	39.054	60.504	74.977	89.771	62.567	728.17	741.94	107.21	634.45	38.166	36.107	716.05
43.395	39.272	39.574	39.187	60.866	76.104	92.504	63.678	704.86	709.2	106.63	644.2	38.513	35.859	726.23

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
43.814	39.265	39.654	39.462	60.884	77.26	95.287	60.607	794.61	625.78	105.21	648.23	38.788	35.559	788.19
44.233	39.393	39.812	39.531	61.269	78.355	95.328	60.388	833.16	781.41	106.32	642.2	38.887	35.188	852.55
44.513	39.498	39.916	39.607	61.658	79.197	95.371	59.449	846.83	858.77	106.98	656.28	39.403	35.089	817.53
44.88	39.662	40.051	39.802	61.936	79.842	96.83	58.748	781.67	893	107.17	662.75	39.48	36.017	847.19
44.647	39.837	40.167	39.801	61.991	80.152	95.559	60.308	783.83	779.92	106.24	663.39	39.714	33.957	925.78
45.196	40.095	40.484	40.031	62.104	80.492	96.402	58.715	705.17	879.06	105.76	668.25	39.738	34.333	874.75
45.146	40.326	40.716	40.216	62.187	80.891	97.191	57.887	704.8	791.05	103.9	671.8	39.748	35.277	964.22
44.926	40.514	40.874	40.493	62.141	81.156	95.734	59.281	683.06	863.39	101.57	686.97	39.966	35.379	954.56
45.404	40.694	41.056	40.733	62.146	81.502	98.133	57.875	653.97	818.98	99.713	696.61	40.089	35.736	963.48
45.51	40.8	41.189	40.692	62.221	81.801	98.572	57.229	624.23	839.8	97.273	701.55	40.225	34.866	942.03
45.884	40.97	41.389	40.922	62.359	82.393	99.021	57.167	630.25	915.8	95.232	715.06	40.425	35.574	935.72
45.901	41.104	41.435	41.174	62.378	83.033	99.629	57.588	635.69	990.98	93.297	717.94	40.618	36.003	936.83
46.182	41.238	41.628	41.25	62.539	83.787	100.41	57.347	627.25	835.56	92.184	750.09	40.929	35.17	932.23
46.171	41.401	41.762	41.473	62.759	84.23	101.19	57.104	635.33	815.84	91.068	756.14	41.034	36.39	935.39
46.31	41.576	41.907	41.699	62.924	84.906	102.11	57.213	721.59	771.53	89.955	762.16	41.203	36.588	1010.4
47.001	41.657	42.046	41.78	63.205	85.494	102.83	57.379	623.55	796.97	89.211	764.44	41.4	35.967	972.08
47.083	41.885	42.273	42.008	63.631	86.258	103.84	58.009	717.66	833.36	88.271	785.66	41.512	35.784	1021
47.24	42.07	42.373	42.02	63.844	86.893	104.55	56.981	676.59	845.22	88.623	773.11	41.814	35.209	1017.8

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
47.811	42.234	42.536	42.3	64.033	87.59	105.08	57.028	680.75	973.02	88.271	764.86	41.628	35.579	981.2
47.596	42.34	42.758	42.463	64.252	88.342	105.74	57.564	735.66	1082.1	88.828	774.33	41.733	36.476	929.41
47.746	42.49	42.88	42.701	64.658	88.828	106.17	57.368	804.97	1121.8	90.563	789.34	42.03	36.569	954.83
47.814	42.733	43.064	42.944	65.041	89.377	107.33	57.436	753.89	1129.4	94.084	790.88	42.186	36.638	959.25
46.258	43.041	43.227	42.932	65.346	89.902	108.03	57.279	810.86	1087.9	98.117	796.92	42.318	35.568	974.66
46.116	42.987	43.785	42.819	65.637	89.965	108.42	57.485	705.5	1069.4	100.97	781.47	42.265	36.131	959.3
46.46	43.156	44.506	42.58	66.031	89.789	108.62	56.613	677.91	918.02	104.69	761.63	42.404	34.797	961.92
46.565	43.319	45.339	42.452	66.451	89.666	108.49	56.256	779.38	870.36	109.97	755.67	42.539	34.375	955.58
46.724	43.507	46.136	42.465	66.748	89.508	108.28	55.748	930.7	859.52	113.61	753.83	42.786	34.682	975.53
46.93	43.684	46.892	42.496	66.893	89.422	108.05	55.547	850.45	834.02	116.02	751.25	42.875	35.57	926.91
47.228	43.895	47.798	42.707	67.131	89.488	108.06	55.815	840.09	828.19	115.52	747.48	43.261	36.311	908.05
47.304	44.115	48.365	42.666	67.117	89.502	108.25	55.918	842.25	831.19	113.83	741.89	43.599	35.889	897.67
47.431	44.186	49.222	42.59	67.244	89.6	108.26	56.161	881.19	817.44	113.73	744.14	43.989	34.719	905.42
47.385	44.371	50.104	42.747	67.34	89.752	108.21	56.461	856.72	816	113.15	738.33	44.204	37.024	960.13
47.657	44.527	50.752	42.759	67.408	89.959	108.56	56.587	885.7	860.88	112.4	740.36	43.808	36.566	987.09
47.772	44.729	51.533	42.845	67.58	90.299	109.12	56.904	967.73	831.56	111.61	740.11	44.737	36.857	1047.4
47.934	44.862	52.302	42.773	67.883	90.262	109.7	56.574	1084.8	798.44	114.19	726.27	44.87	34.932	959.41
48.458	45.096	53.055	42.773	68.141	90.291	109.7	56.401	835.69	804.94	118.57	721.55	45.017	35.555	936.89

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
48.236	45.31	53.874	42.931	68.236	90.611	109.71	56.354	842.72	823.2	119.25	722.94	45.114	36.3	916.14
48.509	45.524	54.606	43	68.277	91.045	109.98	56.568	878.48	816.45	118.96	727.78	45.184	37.102	903.86
48.561	45.519	55.264	43.11	68.357	91.209	110.28	56.591	834.56	821.55	119.88	720.47	45.003	37.066	897.59
48.653	45.785	55.874	43.145	68.449	91.387	110.71	56.452	732.5	868.27	117.55	720.44	45.502	35.274	906.52
48.938	45.952	56.62	43.138	68.414	91.635	110.96	56.647	830.69	889.05	114.35	719.77	45.554	36.039	997.33
49.424	46.537	57.288	43.247	68.764	91.893	111.21	56.843	755.77	904.69	112.26	722.22	45.814	35.153	971.59
49.173	46.432	57.875	43.258	68.66	92.129	111.19	55.668	744.58	908.92	109.32	723.38	46.321	35.407	969.8
49.278	46.624	58.471	43.422	68.707	92.432	111.44	56.756	772.2	966.36	105.9	726.86	46.164	36.188	985.83
49.51	46.71	58.9	43.392	68.705	92.654	111.6	57.015	769.89	916.33	102.86	731.5	46.455	35.336	1020.3
50.034	47.147	59.624	43.568	69.023	93.17	111.86	56.873	791.33	889.92	101.31	736	46.428	34.422	1051.2
50.307	47.131	61.073	43.756	69.063	93.377	111.79	56.798	836.77	919.84	98.867	736.83	46.527	36.406	1086.3
50.236	47.176	61.203	43.859	68.99	93.559	111.88	57.016	789.13	908.25	97.127	743.83	46.661	35.515	1096.3
50.749	47.397	61.653	44.082	69.098	93.947	112.1	57.208	804.11	961.09	95.535	746.95	46.65	36.296	1168
50.847	47.524	61.923	44.239	69.279	93.93	112.7	57.594	834.73	924.08	98.033	745.72	47.012	36.072	1079
50.98	47.629	62.399	44.315	69.553	94.031	113.05	57.785	684.31	912.63	101.72	744.92	46.971	36.471	1011.8
50.991	47.844	62.727	44.53	69.68	94.439	113.34	57.738	666.77	911.48	101.81	744.97	47.187	36.688	1046
50.988	47.841	63.01	44.644	69.705	94.859	113.87	57.908	658.41	909.45	100.01	743.88	47.3	37.477	1043.9
51.255	48.05	63.333	44.766	69.883	95.176	114.33	57.771	668.14	902.95	98.576	744.81	47.597	36.456	1012.8

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
51.637	48.286	63.685	44.829	70.088	95.383	114.68	57.719	701.81	879.08	97.283	744.58	47.602	35.191	997.02
51.771	48.362	64.018	44.789	70.135	95.625	114.55	57.708	687.31	876.81	97.16	741.77	47.939	34.479	960.95
51.689	48.483	64.598	44.94	70.111	95.74	114.36	57.741	696.48	877.56	96.482	746.64	47.801	36.251	943.48
52.066	48.716	64.943	45.261	70.398	96.082	114.81	57.887	707.05	867.97	95.58	746.13	48.005	36.398	941.84
51.927	48.75	65.293	45.411	70.574	96.199	115.21	57.805	820.02	878.19	95.527	747.08	48.097	37.018	953.38
52.347	49.046	65.682	45.688	70.982	96.271	115.95	58.339	912.41	810.84	97.154	737.2	48.519	36.301	925.63
52.473	49.085	65.92	45.698	71.449	95.828	116.1	58.177	1090.1	809.39	101.4	734.61	48.587	36.518	906.08
52.594	49.379	66.299	45.878	71.855	95.863	116.33	58.325	1048.1	804.64	107.61	735.78	48.94	36.639	931.94
52.703	49.522	66.607	45.958	72.076	95.828	116.71	58.03	1097.6	790.88	112.63	731.44	48.963	36.574	945.78
52.932	49.545	66.801	45.864	72.355	95.877	116.79	57.36	937.95	792.25	116.22	729.38	49.131	34.45	1002.1
53.734	49.767	68.596	46.028	72.662	96.098	116.7	57.206	925.41	823.59	119.89	727.52	49.586	34.79	1062.7
54.31	49.937	68.707	46.321	72.715	96.318	116.73	56.451	946.48	828.41	121.91	724.7	49.755	36.171	1103.8
54.779	50.001	68.971	46.591	72.893	96.41	116.79	56.833	845.36	836.58	121.94	725.27	49.878	36.705	1145.8
54.392	50.163	69.186	46.608	73.08	96.115	117.22	57.918	927.97	781.69	125.52	708.97	49.924	35.872	1062.1
54.87	50.226	69.658	46.943	73.172	96.301	117.1	58.194	864.31	810.3	123.81	705.41	50.056	35.467	1105.6
55.136	50.202	69.891	46.832	72.975	96.67	116.85	58.604	829.98	831.58	120.22	706.75	50.206	34.068	1109.7
54.715	50.331	70.445	47.079	72.846	97.104	116.61	57.664	859.94	840.59	115.71	715.09	50.393	35.611	1133.8
55.114	50.441	70.727	47.307	72.668	97.377	116.77	57.773	876.03	865.7	112.16	715.75	50.358	36.136	1106.5

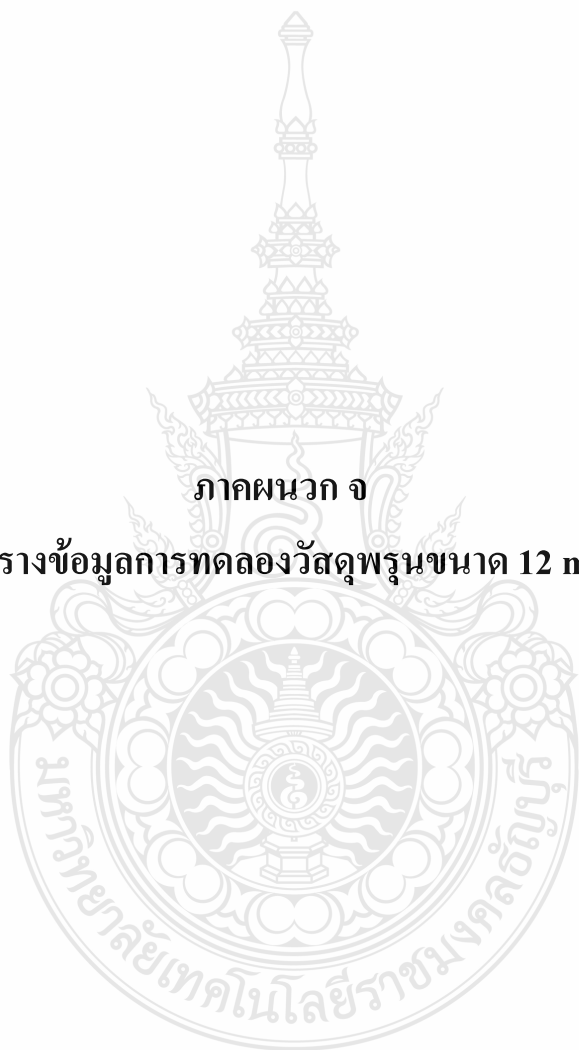
A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
55.231	50.529	71.271	47.424	72.898	97.578	116.61	58.006	908.94	848.78	111.63	727.81	50.766	34.751	1053.1
55.429	50.784	71.551	47.506	73.148	97.203	116.93	57.336	1052.4	801.08	115.53	716.88	50.817	35.39	1024.9
55.475	50.86	72.027	47.757	73.422	97.223	117.34	57.325	1057.5	796.61	121.69	716.72	50.749	35.884	1007.9
55.515	51.074	72.352	47.913	73.434	97.486	117.46	57.653	927.78	794.91	125.43	716.42	51.107	36.395	997.66
55.932	51.23	72.678	48.1	73.387	97.807	117.67	58.213	951.45	792.94	125.61	716.16	51.235	36.992	980.73
55.975	51.245	73.035	48.173	73.344	97.791	117.94	58.285	1016.1	761.02	123.97	712.95	51.366	37.154	967.89
55.97	51.414	73.4	48.341	73.568	97.9	118.3	57.991	1048.3	764.16	125.03	719.2	51.563	36.21	972.03
56.188	51.574	73.902	48.415	73.67	98	118.54	58.036	1018.8	754.97	126.95	717.28	51.84	36.695	971.77
56.413	51.858	74.383	48.584	73.75	98.279	118.73	57.627	1094.3	777.92	127.37	719.28	51.632	36.189	963.14
56.649	51.835	74.73	48.676	73.729	98.48	118.96	58.122	1069.5	782.7	127.6	725.5	51.521	35.901	988.73
56.534	51.864	75.188	48.821	73.871	98.85	119.46	57.921	1077.6	799.3	128.53	731.86	51.057	36.399	973.08
56.847	52.118	75.58	49.019	74.064	99.154	119.96	58.262	938.97	787.56	129.39	741.59	51.979	37.009	967.33
57.094	52.221	76.338	49.181	74.281	99.34	120.46	57.498	979.53	766.89	129.68	746.31	51.473	36.878	985.64
61.89	51.531	77.48	49.272	74.6	99.459	121.03	57.128	976.38	779.47	129.75	743.72	48.749	36.619	987.14
62.425	49.021	77.355	49.404	74.873	99.617	121.69	57.692	1211.7	868.31	131.5	732.86	47.076	37.339	973.52
60.866	47.397	77.525	49.606	75.188	99.76	122.25	58.096	1162.5	827.09	135.45	733.91	45.817	37.454	1036.9
58.919	46.106	77.654	49.622	75.344	100.23	122.54	57.794	1023.3	861	138.99	735.77	43.036	37.265	1104.6
57.488	45.361	78.068	49.895	75.502	100.89	122.96	56.158	1115	885.97	137.97	732.25	42.462	36.277	1136.8

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
57.775	44.603	78.381	50.01	75.672	101.09	122.93	58.267	1187.1	842.05	137.08	731.97	42.869	36.716	1031.9
56.339	44.166	79.02	50.076	75.875	101.3	123.05	58.159	930.75	892.56	135.71	725.23	42.324	36.93	1018.6
55.735	43.085	79.164	50.109	75.621	101.41	123	58.336	882.91	923.7	131.21	722.44	42.387	37.315	1052.2
55.469	42.672	79.416	50.248	75.473	101.66	123.22	58.128	923.55	943.66	125.86	721.36	41.824	36.957	1064.4
54.906	42.921	79.805	50.439	75.379	102.02	123.36	58.03	897.36	951.89	120.55	726.16	41.958	36.563	1109.5
55.831	42.803	80.002	50.467	75.205	102.16	123.41	58.864	866.28	918.13	114.43	730.73	41.926	36.824	1072.6
55.286	42.837	80.492	50.559	75.184	102.42	123.53	58.813	1028.8	945.59	111.12	735.55	41.902	36.527	1153.2
56.016	42.522	80.887	50.594	74.869	102.59	123.41	58.963	1092.3	945.53	109.57	742.17	42.055	35.735	1077.9
55.177	42.493	81.229	50.826	74.926	102.78	123.47	58.356	1203.8	996.94	109.69	747.78	41.908	36.467	1224.1
55.467	42.581	81.629	51.03	75.1	103.15	123.75	58.387	928.92	949.39	108.31	747.11	42.084	36.233	1127.7
54.546	42.472	82.004	51.095	75.047	103.47	123.73	58.134	846.2	916.22	105.22	751.17	41.944	36.27	1077.7
55.813	42.493	82.082	51.262	75.041	103.54	123.86	59.021	952.83	923.92	102.53	746.23	41.996	36.855	1043.8
53.134	42.512	81.162	51.396	75.457	102.89	124.02	58.808	1149.8	933.45	103.2	742.55	41.927	36.543	1009.9
50.158	42.348	82.311	51.522	75.525	102.98	124.11	58.992	919.94	911.03	105.24	740.63	41.967	37.354	1043.5
49.461	42.318	82.254	51.465	75.383	103.21	123.92	58.357	944.16	922.48	107.01	735.08	42.025	34.857	1063
49.341	42.344	82.76	51.663	75.406	103.03	123.38	58.035	1090.3	888.45	109.54	730	41.933	36.617	1000.5
49.563	42.391	83.459	51.942	75.482	102.91	123.4	57.765	1133.4	880.8	114.6	731.73	41.98	36.07	987.7
49.197	42.696	83.426	51.811	75.697	102.96	122.94	57.286	928.94	896.8	116.79	733.16	42.17	34.23	1031.8

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
49.216	42.628	83.838	52.061	75.371	103.14	122.33	56.61	872.17	906.92	115.88	733.06	42.014	35.772	1045.2
49.539	42.835	84.525	52.47	75.404	103.46	122.31	55.948	930.36	903.94	113.87	733.47	42.25	36.331	1091.5
49.399	42.782	84.756	52.591	75.238	103.46	122.32	56.07	1025.2	911	112.49	732.27	42.169	35.724	1096.2
49.649	42.713	84.912	52.665	75.139	103.5	122.47	56.694	1003.3	912.33	112.56	734.56	41.924	36.54	1048.4
49.417	42.771	85.111	52.811	75.168	103.73	122.81	56.781	948.69	930.16	113.07	734.63	42.07	36.804	1095.3
49.713	42.746	85.313	52.988	75.117	104.13	123.17	57.074	953.89	926.13	111.35	734.7	42.134	36.983	1068.3
49.174	42.663	85.75	53.205	75.008	104.56	123.61	56.858	943.64	916.05	109.4	741.98	42.089	37.809	1095.4
49.371	42.686	85.887	53.198	75	104.53	123.91	57.603	993.53	914.03	109.4	746.03	42.141	36.658	1068.2
49.436	42.866	86.238	53.408	75.125	104.85	124.43	58.477	849.25	916.83	107.44	745.83	42.292	36.78	1089.3
49.515	42.713	86.17	53.284	74.857	104.81	124.47	57.659	842.02	959.05	103.7	752.13	42.139	36.413	1153.5
49.573	42.801	86.369	53.429	75.086	104.67	124.81	57.544	967.16	922.72	100.72	762.92	42.313	37.271	1147.2
49.468	43.015	86.521	53.498	75.125	104.79	125.04	58.074	961.34	933.94	99.795	768.33	43.756	36.638	1134.1
49.928	43.686	86.748	53.783	75.295	105.02	125.27	59.455	904.78	920.02	98.637	766.27	47.04	36.507	1076.2
50.811	45.009	86.959	53.708	75.334	105.06	125.28	59.323	1059.2	916.61	96.639	766.38	47.903	34.968	1039.7
52.232	45.796	87.213	53.679	75.248	104.97	125.2	59.006	915.55	884.17	94.828	766.23	48.398	35.613	1009.5
52.921	46.546	87.205	53.673	75.098	105.3	125.07	58.826	858.44	887.2	93.121	777.91	48.394	35.257	989.2
53.86	47.112	87.502	53.977	75.197	105.77	125.2	58.783	913.78	900.11	93.166	788.69	48.378	36.654	1032.4
54.098	47.462	87.361	53.953	75.141	106.29	125.2	58.669	872.61	905.16	94.975	794.34	48.642	35.682	1010.3

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
54.26	47.71	87.631	54.144	75.385	106.34	125.32	58.339	1070.5	911.09	98.242	786.64	48.542	36.167	1051.2
54.847	48.182	87.809	54.296	75.705	106.57	125.72	57.913	1076.2	907.67	102.14	777.92	48.666	36.505	1013.1
55.119	48.396	87.707	54.511	76.174	106.39	125.76	58.387	1174	855.3	105.35	775.97	48.706	36.897	969.11
55.275	48.407	87.861	54.638	76.326	106.31	125.55	58.744	931.53	835.27	107.75	773.47	48.718	36.675	965.06
55.122	48.399	87.879	54.63	76.146	106.33	125.37	58.995	847.52	832.03	106.73	771.91	48.594	37.194	955.66
55.268	48.545	88.08	54.891	76.32	106.48	125.63	58.852	1034.8	857.06	104.62	775.13	48.651	37.516	980.8
55.021	48.589	88.209	54.964	76.393	106.21	125.67	58.693	876.36	840.38	102.32	766.73	48.638	37.941	963.64
55.543	48.704	88.494	55.021	76.451	106.44	125.68	59.011	859.17	837.42	100.4	771.33	48.928	36.554	955.11
55.876	48.777	88.904	54.949	76.266	106.59	125.66	58.91	764.11	839.92	95.92	782.84	48.71	36.219	900.7
55.976	48.848	89.031	55.049	76.193	106.66	125.79	59.816	824.14	906.22	91.094	787.13	48.838	36.669	958.88
55.795	48.898	89.365	55.071	76.186	106.57	125.84	59.781	866	931.48	87.426	776.73	48.978	35.609	1032
56.016	48.946	89.355	55.147	76.205	106.51	125.58	58.473	844.2	937.28	85.428	774.48	49.141	36.184	994.08
56.149	49.079	89.654	55.28	76.363	106.44	125.59	59.066	864.28	898.78	82.254	763.47	49.304	37.352	973.38
56.399	49.156	89.846	55.444	76.668	106.52	125.59	58.538	868.08	896.33	80.682	758.94	49.555	36.278	965.36
55.711	49.395	89.963	55.508	76.816	106.63	125.48	57.418	917.13	900.02	79.207	759.05	49.678	36.021	1015

ภาคผนวก จ
ตารางข้อมูลการทดลองวัสดุพูนขนาด 12 mm



ตารางข้อมูลการทดลองวัสดุพรมขนาด 12 mm

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
35.329	34.536	35.568	35.681	36.17	35.568	35.305	37.202	34.887	35.153	36.267	34.625	32.974	34.429	35.528
35.192	34.516	35.519	35.368	35.274	34.701	35.169	34.636	34.808	34.929	31.899	34.547	32.837	34.848	34.516
35.755	35.021	36.052	35.931	35.838	35.205	35.673	35.345	35.37	35.521	32.285	35.11	33.312	35.585	35.078
35.865	35.132	36.134	36.012	35.978	35.375	35.813	35.456	35.481	35.603	32.72	35.221	33.452	35.112	34.547
35.36	34.655	35.629	35.565	35.502	34.898	35.278	35.125	35.034	35.155	32.565	34.744	32.976	34.431	34.801
35.424	34.719	35.692	35.6	35.536	34.962	35.342	35.219	35.098	35.248	33.187	34.838	32.951	34.495	34.864
35.389	34.712	35.686	35.593	35.501	34.897	35.307	35.241	35.15	35.241	33.238	34.89	33.003	34.927	34.917
35.305	34.844	35.701	35.656	35.574	34.941	35.351	35.363	35.282	35.334	33.066	34.981	32.891	34.62	35.136
33.364	32.712	35.733	35.396	35.344	34.741	35.179	35.016	35.14	35.134	32.925	34.781	32.72	34.478	34.965
32.959	32.658	35.505	35.461	35.291	34.746	35.184	35.079	35.203	35.197	32.929	34.903	32.694	34.57	34.911
32.992	32.78	35.51	35.378	35.267	34.81	35.218	35.114	35.296	35.29	33.14	34.967	32.817	33.756	35.149
33.016	32.833	35.533	35.313	35.29	34.832	35.271	35.02	35.173	35.224	33.191	34.932	32.898	34.218	35.114
32.997	32.786	35.486	35.382	35.242	34.814	35.253	35.03	35.185	35.265	33.231	34.942	32.792	34.492	35.185
33.032	32.938	35.579	35.504	35.277	34.849	35.346	35.153	35.365	35.387	33.384	35.123	32.739	34.615	35.365
33.31	33.087	35.788	35.752	35.485	35.058	35.525	35.37	35.69	35.723	33.72	35.43	33.045	35.058	35.661
33.179	33.045	35.717	35.65	35.355	34.928	35.483	35.328	35.706	35.768	33.765	35.475	32.886	34.84	35.706

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.147	32.984	35.627	35.531	35.267	34.809	35.394	35.238	35.675	35.766	33.821	35.474	32.825	34.341	35.733
33.241	33.048	35.69	35.478	35.301	34.814	35.457	35.097	35.768	35.858	33.943	35.595	32.948	33.526	35.826
33.176	32.982	35.597	35.324	35.265	34.778	35.45	34.914	35.645	35.705	34.025	35.472	32.912	33.432	35.732
33.274	33.081	35.666	35.512	35.335	34.848	35.491	35.014	35.743	35.775	34.036	35.512	32.981	34.525	35.831
33.363	33.141	35.726	35.629	35.394	34.907	35.579	35.131	35.861	35.922	34.153	35.688	32.953	34.966	35.948
33.537	33.07	35.811	35.862	35.235	34.904	35.577	35.422	35.819	36.243	34.475	36.009	33.215	34.611	35.966
33.542	32.987	35.728	35.749	35.152	34.821	35.522	35.163	35.736	36.102	34.45	35.926	33.19	33.679	35.912
33.542	32.987	35.728	35.778	35.152	34.763	35.552	35.221	35.766	36.131	34.42	35.955	33.19	34.675	35.941
33.564	33.039	35.75	35.831	35.146	34.757	35.546	35.273	35.818	36.212	34.473	36.036	33.125	35.02	36.08
33.452	32.927	35.667	35.835	35.063	34.644	35.434	35.278	35.881	36.275	34.478	36.07	33.042	35.551	36.114
33.521	32.995	35.707	35.904	35.073	34.683	35.531	35.376	36.096	36.49	34.663	36.285	33.11	35.678	36.358
33.434	33.328	35.679	35.729	35.377	34.567	35.475	35.289	36.574	36.58	34.761	36.315	32.995	34.743	36.808
33.362	33.285	35.637	35.716	35.246	34.495	35.432	35.218	36.561	36.566	34.777	36.361	32.922	34.993	36.823
33.391	33.313	35.635	35.685	35.304	34.523	35.489	35.245	36.647	36.652	34.893	36.418	32.95	34.64	36.938
33.336	33.259	35.61	35.602	35.191	34.411	35.435	35.161	36.681	36.687	34.896	36.481	32.866	34.645	36.973
33.312	33.234	35.557	35.548	35.167	34.387	35.41	35.107	36.686	36.691	34.931	36.486	32.813	34.328	37.036
33.404	33.298	35.62	35.553	35.201	34.392	35.474	35.054	36.749	36.784	35.054	36.579	32.906	33.952	37.1
33.427	33.32	35.614	35.517	35.194	34.385	35.497	35.047	36.743	36.719	35.018	36.543	32.899	34.268	37.122

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.497	33.391	35.654	35.558	35.265	34.455	35.626	35.028	36.784	36.789	35.058	36.643	33.028	34.162	37.134
33.449	33.313	35.607	35.333	35.246	34.407	35.578	34.827	36.62	36.625	35.069	36.479	33.04	33.587	36.97
33.515	33.379	35.644	35.517	35.282	34.474	35.614	34.922	36.627	36.631	35.047	36.515	33.017	34.181	37.035
33.456	33.32	35.556	35.517	35.253	34.414	35.556	34.892	36.626	36.602	34.95	36.485	32.929	34.444	37.035
33.456	33.32	35.585	35.487	35.253	34.414	35.556	34.863	36.626	36.602	35.018	36.455	32.929	34.121	37.035
33.469	33.361	35.626	35.587	35.265	34.426	35.597	34.933	36.696	36.672	35.058	36.555	32.999	34.221	37.134
33.555	33.595	35.693	35.586	35.439	34.493	35.664	34.961	36.842	36.729	35.233	36.612	33.085	33.731	37.338
33.484	33.555	35.623	35.574	35.369	34.452	35.594	34.92	36.801	36.688	35.066	36.571	32.986	34.716	37.355
33.431	33.471	35.569	35.579	35.286	34.369	35.481	34.866	36.806	36.693	35.079	36.604	32.873	34.574	37.359
33.512	33.552	35.621	35.484	35.396	34.421	35.563	34.831	36.8	36.687	35.19	36.569	33.014	33.571	37.324
33.577	33.617	35.657	35.607	35.434	34.516	35.628	34.867	36.865	36.723	35.159	36.664	33.021	34.722	37.419
33.53	33.629	35.64	35.59	35.415	34.44	35.552	34.907	36.876	36.793	35.17	36.676	33.002	34.646	37.139
33.513	33.61	35.622	35.602	35.397	34.393	35.534	34.948	36.946	36.863	35.249	36.745	32.955	34.246	37.208
33.558	33.539	35.579	35.353	35.325	34.409	35.55	34.7	36.903	36.791	35.323	36.674	32.942	32.884	37.195
33.657	33.639	35.649	35.424	35.425	34.479	35.649	34.712	36.856	36.744	35.307	36.685	33.13	33.365	37.119
33.564	33.604	35.586	35.478	35.391	34.415	35.527	34.707	36.793	36.681	35.146	36.592	33.037	34.356	37.085
33.594	33.634	35.615	35.536	35.391	34.445	35.557	34.795	36.881	36.768	35.233	36.68	33.036	34.298	37.202
33.616	33.627	35.579	35.5	35.385	34.438	35.551	34.671	36.903	36.791	35.294	36.673	33.06	33.646	37.166

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.966	33.592	35.953	35.762	35.35	34.783	35.896	34.992	36.723	37.052	35.635	36.964	33.468	33.582	37.044
33.914	33.481	35.843	35.738	35.297	34.701	35.784	34.822	36.583	36.882	35.466	36.853	33.415	33.765	36.875
33.991	33.587	35.92	35.874	35.345	34.778	35.832	34.87	36.601	36.872	35.426	36.872	33.434	34.72	36.922
33.969	33.564	35.867	35.851	35.322	34.784	35.78	34.848	36.578	36.907	35.432	36.849	33.411	34.551	36.929
33.916	33.543	35.845	35.887	35.27	34.732	35.728	34.883	36.614	36.884	35.38	36.884	33.388	34.675	36.964
33.903	33.499	35.802	35.756	35.228	34.661	35.686	34.782	36.601	36.9	35.483	36.871	33.403	33.724	36.951
33.973	33.658	35.931	35.856	35.327	34.731	35.785	34.911	36.7	37.029	35.524	36.971	33.445	34.058	37.021
33.844	33.5	35.772	35.756	35.14	34.603	35.598	34.811	36.601	36.9	35.366	36.871	33.287	34.807	36.979
33.896	33.552	35.825	35.838	35.191	34.625	35.62	34.893	36.74	37.04	35.448	36.953	33.31	35.093	37.061
33.93	33.526	35.83	35.813	35.167	34.63	35.596	34.897	36.804	37.104	35.54	37.045	33.314	34.776	37.387
33.883	33.509	35.782	35.796	35.091	34.523	35.578	34.908	36.844	37.145	35.552	37.057	33.179	35.401	37.165
33.881	33.479	35.781	35.734	35.059	34.493	35.547	34.877	36.959	37.201	35.676	37.172	33.265	34.229	37.222
33.944	33.541	35.815	35.798	35.123	34.557	35.669	34.94	37.081	37.353	35.798	37.294	33.329	34.498	37.344
33.979	33.575	35.85	35.706	35.157	34.562	35.674	34.916	37.057	37.357	35.803	37.27	33.304	34.386	37.669
34.008	33.604	35.879	35.648	35.157	34.591	35.732	34.74	36.97	37.299	35.832	37.24	33.45	33.682	37.641
33.996	33.564	35.838	35.695	35.146	34.58	35.692	34.729	36.899	37.17	35.695	37.17	33.41	34.609	37.541
33.944	33.512	35.786	35.71	35.122	34.557	35.61	34.736	36.848	37.118	35.613	37.147	33.357	34.352	37.519
33.903	33.5	35.774	35.729	35.082	34.516	35.628	34.754	36.895	37.165	35.603	37.165	33.317	35.043	37.565

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.967	33.563	35.779	35.695	35.116	34.551	35.691	34.759	36.929	37.199	35.724	37.199	33.409	34.316	37.57
33.92	33.546	35.791	35.706	35.098	34.562	35.615	34.77	36.939	37.182	35.677	37.182	33.362	34.443	37.61
33.838	33.435	35.709	35.663	34.987	34.451	35.563	34.718	36.858	37.158	35.596	37.158	33.252	34.597	37.559
33.891	33.546	35.791	35.735	35.128	34.591	35.645	34.975	36.998	37.299	35.979	37.299	33.334	34.62	37.64
33.873	33.528	35.743	35.718	35.021	34.484	35.627	34.84	37.038	37.311	35.844	37.281	33.315	35.012	37.738
33.918	33.573	35.789	35.559	35.067	34.501	35.643	34.709	37.025	37.326	35.89	37.296	33.361	33.768	37.696
33.9	33.556	35.713	35.511	35.02	34.482	35.625	34.633	36.891	37.191	35.813	37.161	33.372	34.601	37.591
34.054	33.65	35.837	35.723	35.145	34.606	35.719	34.845	37.073	37.345	35.869	37.315	33.408	35.368	37.744
33.947	33.545	35.73	35.704	35.067	34.472	35.643	34.798	37.055	37.326	35.792	37.268	33.331	35.555	37.726
33.94	33.567	35.754	35.669	35.061	34.466	35.665	34.85	37.165	37.408	35.94	37.378	33.354	34.318	37.807
33.893	33.49	35.706	35.621	34.984	34.389	35.559	34.802	37.146	37.39	35.864	37.36	33.277	34.769	37.76
33.916	33.513	35.729	35.703	34.949	34.411	35.641	34.766	37.229	37.471	35.674	37.441	33.389	35.23	37.462
33.881	33.478	35.722	35.726	34.942	34.375	35.634	34.789	37.251	37.522	35.638	37.522	33.265	35.225	37.514
33.915	33.512	35.727	35.644	35.006	34.381	35.522	35.438	37.373	37.615	35.974	37.615	33.299	33.794	36.556
33.955	33.523	35.709	35.654	36.188	34.626	35.095	40.143	37.851	37.978	36.63	38.066	33.28	35.24	36.918
33.979	33.546	35.731	35.736	36.561	34.707	35.176	40.136	37.933	38.061	36.712	38.177	33.303	35.352	36.97
33.942	33.568	35.784	35.759	36.291	34.643	35.315	39.224	37.868	38.023	36.588	38.171	33.267	35.551	36.935
33.93	33.585	35.8	35.628	36.191	34.629	35.508	38.626	37.826	37.982	36.574	38.099	33.343	34.102	36.863

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
33.911	33.566	35.753	35.728	36.026	34.553	35.314	38.109	37.633	37.817	36.38	38.022	33.236	34.553	36.582
33.908	33.781	43.148	35.549	39.515	35.383	35.354	37.784	39.304	37.727	104.12	39.102	33.204	35.062	36.737
33.872	33.774	52.621	35.542	49.827	38.88	35.61	37.603	42.221	37.982	182.68	42.363	33.139	34.351	36.906
33.884	33.728	58.603	35.554	56.049	41.523	35.914	37.438	44.092	38.316	183.87	46.197	33.032	35.329	37.385
33.965	33.691	65.742	35.4	61.22	43.786	36.2	37.139	45.971	39.07	176	50.053	33.143	33.652	38.137
33.994	33.779	73.484	36.053	67.008	46.078	36.609	37.051	48.355	41.202	208.45	54.803	33.172	34.502	39.127
34.064	33.79	89.5	35.5	69.309	47.284	36.854	36.827	51.404	43.464	209.25	59.059	33.243	33.341	40.4
34.129	33.797	105.62	35.945	71.572	48.248	37.153	36.717	52.738	45.627	254.93	63.121	33.338	34.55	41.835
34.147	33.785	105.72	35.729	73.555	49.019	37.463	36.822	56.164	48.926	466.28	67.246	33.385	34.714	43.627
34.218	33.886	105.79	36.129	75.305	49.783	37.796	36.658	60.663	51.349	473.85	72.494	33.425	33.406	45.322
34.353	33.933	105.89	35.993	76.975	50.611	38.192	36.528	66.387	54.03	484.23	76.965	33.531	34.011	46.854
34.389	33.909	105.78	34.037	78.486	51.34	38.461	36.447	73.475	56.69	470.03	82.066	33.509	34.691	48.716
34.466	34.016	103.98	34.642	78.789	51.85	38.8	36.466	81.313	60.577	478.09	87.395	33.644	33.508	51.165
34.696	34.052	40.105	496.66	77.545	51.924	39.137	36.492	90.268	65.43	495.96	91.127	33.553	34.872	54.176
34.685	34.07	37.521	45.683	75.938	51.709	39.329	36.362	98.658	67.598	591.83	95.018	33.747	34.362	57.277
34.99	34.579	37.183	119.89	74.012	51.49	39.603	36.258	108.34	71.416	453.67	99.373	33.847	34.521	60.71
35.376	34.702	37.686	37.642	72.451	51.38	39.878	36.116	117.78	76.334	388.26	103.92	33.56	33.853	64.734
35.464	34.907	38.561	458.55	73.93	52.305	40.346	36.088	129.01	83.533	342.16	106.73	34.234	34.381	69.539

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
35.36	35.038	50.381	39.469	75.281	53.009	40.446	36.071	139.84	91.453	355.39	118.64	34.628	35.243	74.568
35.371	34.933	64.873	51.126	76.004	53.512	40.544	35.965	148.45	98.045	368.75	128.95	34.346	34.756	79.303
35.752	35.137	44.154	326.73	77.428	54.408	40.778	35.957	155.07	101.88	363.94	132.11	34.669	33.965	84.693
36.058	35.229	38.677	47.648	77.805	54.992	41.046	36.02	164.32	102.76	369.88	136.54	35.025	34.615	90.244
36.153	35.295	38.857	44.455	77.895	55.43	41.197	35.909	172.22	108.96	359.78	142.26	35.383	34.475	95.521
36.376	35.488	38.351	40.123	77.855	55.766	41.391	35.927	179.93	121.18	358.26	143.7	35.313	34.492	100.95
36.505	35.616	38.479	84.189	77.609	56.007	41.46	35.821	188.54	129.63	380.62	147.91	35.471	34.445	105.88
36.641	35.811	38.409	296.85	77.4	56.169	41.652	35.927	198.72	136.39	393.61	149.36	35.576	35.02	111
36.81	36.009	38.636	41.138	78.133	56.595	41.82	35.862	206.89	143.55	357.38	154.51	35.57	34.076	116.22
37.085	36.167	38.852	445.46	78.43	56.981	42.008	35.699	217.69	150.41	389.02	158.38	35.991	33.794	123.17
37.149	36.261	38.8	99999.9	78.775	57.274	42.188	35.705	224.76	154.64	377.72	167.19	35.938	34.855	129.51
37.221	36.389	39.276	99999.9	79.553	57.832	42.433	35.745	232.62	161.09	363.44	170.86	36.076	35.248	135.1
37.367	36.506	39.044	595.72	79.609	58.005	42.636	35.804	241.05	167.68	338.07	169.69	36.076	35.189	140.25
37.507	36.646	37.959	37.77	65.029	54.569	45.36	38.561	339.5	207.14	203.42	196.14	36.187	34.392	167.17
37.893	36.796	37.585	37.657	52.318	51.772	49.024	41.398	456.27	286.84	139.59	279.55	36.31	33.693	254.73
38.114	36.813	37.368	37.734	47.619	51.673	51.615	43.49	416.14	325.32	116.11	303.09	36.269	35.146	269.88
38.542	36.919	37.328	37.87	46.447	53.191	54.233	45.432	437.93	385.03	105.09	372.49	36.315	35.398	264.17
38.817	36.901	37.281	37.881	46.516	55.544	57.157	46.781	428.48	382.08	99.494	419.66	36.356	35.176	322.49

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
39.173	36.994	37.257	37.886	47.189	58.371	60.237	48.034	453.48	391.55	95.664	452.6	36.479	34.155	325.11
39.693	37.134	37.367	37.967	48.402	61.614	63.05	49.594	441.06	447.94	94.842	463.99	36.619	35.203	338.87
39.733	37.203	37.408	38.066	50.006	65.639	67.439	51.349	444.81	509.16	88.316	507.56	36.659	35.156	386.72
40.388	37.272	37.448	38.049	51.953	70.74	72.225	53.734	483.56	548.89	90.479	752.75	36.817	33.585	532.34
41.13	37.374	37.637	38.179	53.004	75.113	75.313	53.256	519.02	552.06	88.906	719.17	36.889	34.859	609.69
41.17	37.443	37.619	38.277	54.317	79.336	79.336	53.383	602.47	587.44	87.441	830.58	36.842	34.928	650.58
42.412	37.637	37.753	38.325	55.923	84.717	84.518	55.048	605.52	616.33	92.186	1038.8	37.095	34.654	663.08
42.627	37.765	37.911	38.424	56.942	88.969	87.783	53.586	616.69	627.73	91.689	970.81	37.281	33.902	706.89
42.848	37.811	37.928	38.472	57.938	92.941	88.559	54.094	610.11	683	95.438	926.81	37.329	34.858	669.13
43.105	38.063	38.121	38.694	59.851	97.695	91.887	56.536	637.66	650.03	97.291	1089.9	37.493	35.023	631.7
44.149	38.261	38.29	38.893	60.938	101.99	97.662	56.646	635.94	589.45	107.2	1089.4	37.78	35.397	660.58
44.824	38.353	38.411	38.955	62.122	106.1	103.32	56.016	625.44	570.11	111.42	1013.5	38.048	34.963	632.84
45.296	38.795	38.767	39.225	63.449	110.38	106.42	56.657	678.25	568.83	111.94	930.19	37.937	34.411	631.17
44.76	38.899	38.842	39.329	64.295	113.67	108.12	56.039	691.09	572.61	112.74	904.83	37.661	34.897	655.69
45.073	39.039	38.981	39.469	64.748	115.87	109.82	55.109	721.09	579.73	112.11	868.34	37.83	35.302	669.28
45.526	39.143	39.23	39.368	65.451	117.52	110.85	54.779	706.63	592.81	113.25	870.13	38.608	33.617	692.88
45.032	39.317	39.318	39.515	65.91	118.55	111.5	54.752	702.25	601.09	113.79	1026.6	39.018	34.645	687.31
45.847	39.521	39.552	39.689	66.111	119.2	114.24	54.116	707.53	613.44	112.78	1080.8	38.667	33.882	663.67

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
45.73	39.85	39.879	40.041	66.455	119.54	114.72	54.29	688.41	616.94	118	1054.9	38.813	34.293	673.41
46.313	40.171	40.2	40.188	66.826	119.84	117.07	54.29	694.2	616.84	117.02	1165.9	39.896	33.206	683.67
46.453	40.574	40.487	40.562	67.021	119.67	115.72	54.227	711.33	606.48	120.29	1111.8	39.364	33.76	724.27
46.488	40.552	40.64	40.626	67.084	119.17	116.96	54.117	749.38	601.31	121.64	1115.7	39.662	34.118	724.17
46.641	40.733	40.704	40.75	67.291	118.87	117.89	54.124	814.28	601.72	122.6	1080.6	39.903	34.33	726.05
46.774	40.955	40.868	41.001	67.479	118.88	120.2	54.257	815.09	612.67	122.53	1175	40.154	33.79	727.38
46.862	41.247	41.188	41.146	67.852	119.67	121.57	54.084	861.31	598.06	118.16	1110.2	40.476	33.057	700.09
48.011	41.429	41.36	41.367	68.201	119.99	122.15	54.188	944.88	589.13	122.91	1020.2	40.784	33.904	673.45
47.674	41.47	41.373	41.496	68.354	120.08	122.65	54.227	886.2	588.97	127.67	1004.1	40.65	34.123	652.2
48.018	41.727	41.659	41.782	68.75	120.41	123.74	53.817	805.91	575.59	135.07	1007	40.85	34.881	645.19
48.562	42.041	41.856	42.154	69.086	120.54	124.76	54.157	744.95	566.89	142.85	993.83	41.368	34.932	637.23
48.631	42.11	42.101	42.253	69.439	120.58	124.24	54.516	752.75	554.36	143.51	971.98	41.467	34.299	636.52
48.16	42.308	42.21	42.45	69.576	119.96	123.51	54.826	724.11	552.7	145.95	934.11	41.548	35.025	619.41
48.861	42.517	42.448	42.688	69.754	119.36	123.85	55.149	681.19	537.25	147.21	935.33	42.019	35.177	581.63
48.589	42.708	42.64	42.764	69.771	118.62	124.21	54.906	716.94	533.34	146.32	958.52	42.414	33.933	566.77
48.861	43.011	42.914	43.095	69.869	118.13	122.94	55.092	776.56	528.55	148.06	743.55	42.514	34.794	552
48.484	43.271	43.146	43.48	70.127	116.73	119.28	56.072	674.91	502.34	147.67	590.34	42.484	35.233	561.48
48.529	43.404	43.308	43.584	70.143	114.84	116.91	56.435	690.17	501.1	147.49	541.73	42.646	34.722	573.36

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
48.06	43.515	43.447	43.782	70.109	112.94	115.09	57.613	693.84	512.52	147.91	518.34	43.309	35.419	587.53
48.075	43.734	43.638	43.944	69.811	110.51	112.5	56.878	649.16	531.08	145.05	494.63	43.238	34.352	557.63
48.081	43.972	43.847	44.153	69.188	107.6	110.21	55.932	710.91	501.18	141.79	473.28	43.832	35.118	549.14
48.028	44.181	44.171	44.246	68.908	105.09	108.03	55.765	759.75	488.13	142.89	457.55	44.042	34.009	551.28
46.656	44.29	44.224	44.356	68.588	102.35	105.95	55.902	764.36	483.73	144.9	439.22	44.064	35.263	577.55
46.662	44.587	44.839	44.391	68.68	100.37	104.19	56.515	860.03	498.49	149.77	426.1	44.391	34.007	593.06
46.818	44.656	45.343	44.373	68.318	97.842	102.37	56.756	899.84	502.18	154.15	417.34	44.46	33.549	620.5
46.695	44.794	45.888	44.366	68.225	96.084	100.48	56.663	917.27	518.05	156.63	410.86	44.599	33.19	665.28
46.854	45.04	46.48	44.584	67.809	93.902	98.975	56.82	951.86	533.66	154.55	407.73	44.671	35.197	722.41
46.971	45.011	47.006	44.583	67.465	92.01	97.705	57.31	928.77	532.86	156.14	403.28	44.758	33.644	714.41
47.011	45.167	47.715	44.799	67.592	90.779	96.477	57.844	923.08	530.77	158.95	401.85	44.916	35.092	697.44
47.018	45.261	48.359	44.806	67.199	89.143	95.271	57.937	898.13	532.08	159.89	400.74	44.98	34.747	703.73
47.046	45.289	48.939	44.805	66.883	87.787	94.201	57.994	926.47	548.66	159.73	403.82	44.951	34.658	758.97
47.146	45.475	49.704	44.904	66.582	86.695	94.721	57.253	773.91	524.89	157.82	395.55	45.05	34.523	680.88
47.284	45.498	50.248	44.897	66.232	85.672	94.207	56.612	804.77	503.52	154.99	389.57	45.102	34.723	623.75
47.255	45.556	50.885	44.897	66.031	84.906	93.502	56.584	746.08	489.61	153.99	382.96	45.276	34.048	593.75
47.354	45.713	51.445	44.88	66.244	84.691	92.555	57.114	733.61	484.66	155.9	381.03	45.375	33.053	582.91
47.436	45.823	52.104	44.992	66.324	84.375	91.477	57.774	749.14	483.63	157.46	376.07	45.517	33.379	581.39

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
47.647	45.982	52.919	45.146	66.453	84.24	90.777	58.447	740.3	483.84	158.52	375.55	45.729	33.443	589.61
47.602	46.053	53.276	45.129	65.262	82.715	87.563	55.571	736.83	485.36	140.89	374.09	45.595	34.337	583.55
47.672	46.094	53.778	45.434	65.357	83.238	82.5	55.728	760.13	503.23	129.59	359.4	45.608	34.085	575.36
47.84	46.203	54.266	52.077	65.467	83.885	80.141	55.605	758.2	499.3	131.4	354.34	45.863	33.521	574.72
47.736	46.187	54.769	45.323	65.449	83.441	83.186	55.849	756.45	492.61	134.39	360.27	45.788	34.913	576.75
47.777	46.285	55.271	45.479	65.375	82.801	84.871	56.466	755.09	490.39	133.88	366.15	45.858	34.602	574.08
47.945	46.395	55.583	45.562	65.6	82.539	85.916	56.979	743.75	486.98	134.18	368.6	46.026	34.801	572.16
47.938	46.389	56.038	45.612	65.592	82.59	86.672	57.433	775.19	469.31	134.87	362.55	46.049	34.09	582.38
48.014	46.435	56.574	45.602	65.609	82.438	86.719	57.134	799.31	460.84	134.38	350.62	46.097	33.669	591.53
48.862	46.558	46.974	46.801	65.588	82.215	86.555	57.515	818.69	453.91	133.05	341.41	46.219	34.994	599.75
49.087	46.638	46.968	46.969	65.896	82.381	86.549	58.263	816.75	447.16	133.52	337.18	46.242	34.694	612.13
49.197	46.632	46.904	46.991	65.633	81.922	86.316	57.938	842.97	441.12	131.59	337.27	46.235	35.1	610.55
49.365	46.8	47.014	46.869	65.914	82.314	86.314	58.771	914.47	456.83	131.64	331.98	46.433	33.655	605.13
49.221	46.887	47.071	47.015	65.914	82.369	86.059	58.857	940.64	449.99	130.5	325.26	46.403	34.77	614.83
49.371	46.922	47.049	47.021	64.975	81.355	85.781	56.235	941.77	432.16	137.96	320.04	46.526	34.337	608.09
49.342	46.955	47.106	46.962	65.748	82.09	85.326	58.517	945.77	432.02	142.51	317.05	46.613	33.927	625.44
49.417	47.001	47.157	47.184	65.592	81.938	85.115	58.563	908.61	427.75	141.27	316.41	46.602	35.38	628.8
49.417	47.03	47.187	47.241	65.535	81.682	85.258	58.563	869.86	431.63	139.84	319.19	46.602	35.322	620.03

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
49.491	47.076	47.261	47.316	65.58	81.586	85.416	58.637	877.3	436.88	139.22	320.12	46.734	35.016	624.52
49.846	47.256	47.441	47.234	65.617	81.596	85.936	58.123	888.84	450.16	137.81	320.83	46.974	33.848	638.27
48.854	47.25	47.406	47.287	65.438	81.615	85.842	58.002	882.73	465.31	136.93	321.69	46.938	34.635	651.81
48.738	47.278	47.929	47.374	65.408	81.67	85.018	58.29	853.98	475.08	139.72	325.21	46.938	35.162	656
48.801	47.313	48.63	47.466	65.414	81.59	85.109	59.132	831.97	483.2	138.84	324.24	47.001	34.464	664.59
48.823	47.364	49.203	47.488	65.236	81.359	85.273	58.231	809.22	507.72	136.73	332.67	46.994	35.453	661.44
48.857	47.369	49.759	47.494	65.127	81.25	85.619	58.149	818.8	504.12	132.21	334.98	47.087	35.546	658.78
48.932	47.415	50.354	47.423	65.029	81.211	85.693	57.732	814.92	506.61	129.97	333.06	47.104	35.064	657.95
48.995	47.449	50.909	47.398	65.148	81.473	85.643	58.056	835.77	506.33	130.34	337.8	47.166	35.069	656.36
49.116	47.629	51.638	47.521	65.098	81.648	86.273	57.798	858.5	506.52	128.25	340.9	47.172	35.865	654.34
49.145	47.628	52.128	47.461	65.154	81.961	86.811	57.74	832.83	512.88	128.42	341.75	47.315	34.604	653.98
49.236	47.72	52.74	47.554	65.275	82.391	87.129	57.832	774.22	525.69	128	343.52	47.35	34.901	661.95
49.241	47.695	53.293	47.471	65.25	82.566	87.33	57.663	761.92	534.39	126.89	351.09	47.268	35.492	664.2
49.258	47.828	53.887	47.604	65.354	82.926	87.717	57.738	716.7	541.89	125.96	354.66	47.43	35.859	671.61
49.38	47.863	54.324	47.609	65.445	83.33	87.949	58.003	690.95	543.64	125.94	356.4	47.493	35.981	680.42
49.407	47.891	54.787	47.55	65.816	84.01	88.4	58.409	768.59	539.95	125.19	363.46	47.462	35.365	697.11
49.568	48.022	55.324	47.536	66.436	84.852	88.447	59.782	855.47	526.06	129.43	361.13	47.652	34.707	671.34
49.696	48.122	55.828	47.723	66.305	84.75	88.234	59.304	974.27	516.44	128.69	355.84	47.752	35.92	650.25

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
49.614	48.156	56.323	47.728	66.109	84.16	88.07	58.587	948.53	509.95	128.47	347.11	47.67	35.779	640.98
49.699	48.255	56.807	47.813	66.15	83.756	87.951	58.527	855.41	502.48	131.02	344.6	47.783	35.684	645.38
49.773	48.242	57.169	47.857	66.311	83.459	87.74	58.774	869.89	496.59	134.36	341.84	47.857	35.992	648.17
49.778	48.306	57.606	47.834	66.344	83.096	87.605	58.779	835.38	490.77	138.73	340.77	47.921	35.527	650.06
49.957	48.368	58.159	47.839	66.35	82.705	87.471	58.521	864.31	485.4	140.19	336.48	48.071	34.741	650.7
50.096	48.392	61.172	47.832	66.373	82.416	87.152	58.692	956.59	477.52	140.41	334.88	48.036	34.646	647.56
50.238	48.522	59.701	47.945	66.475	82.07	86.664	58.862	939.53	472.92	142.75	332.92	48.12	35.024	643.89
50.354	48.581	59.874	48.033	66.502	81.984	86.438	58.949	963.52	473.2	145.96	336.8	48.266	34.203	648.2
50.441	48.697	60.22	48.004	66.275	81.588	85.9	58.341	941.88	467.65	148.39	332.56	48.382	34.526	664.13
50.447	48.762	60.771	48.243	66.279	81.367	85.451	58.753	919.92	475.96	149.31	330.94	48.359	35.354	672.94
50.477	48.79	61.229	48.243	66.193	80.998	85.195	58.608	916.77	486.45	149.98	328.39	48.446	34.563	686.39
50.633	48.919	61.759	48.196	66.035	80.641	84.84	57.955	920.58	495.32	149.55	330.02	48.604	33.687	697.23
50.559	48.96	62.231	48.384	65.932	80.367	84.313	58.428	908.45	505.09	151.04	328.99	48.615	35.086	703.08
50.674	48.931	62.72	48.412	65.873	80.055	84.084	58.543	890.44	516.81	149.52	329.16	48.615	35.057	707.5
50.685	49	63.075	48.481	65.684	79.695	83.924	58.352	887.56	521.27	146.64	328.53	48.598	35.302	716.47
50.772	49	63.507	48.54	65.684	79.525	83.811	58.266	885.03	527.44	144.21	330.19	48.685	34.95	718.63
50.736	49.08	64.016	48.62	65.592	79.293	83.691	58.26	903.84	531.72	143.22	329.94	48.707	35.677	717.73
50.864	49.18	64.459	48.777	65.604	79.191	83.703	58.358	899.06	533.61	141.51	330.05	48.835	35.513	715.95

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
50.909	49.138	64.734	48.735	65.621	79.18	83.863	58.259	870.36	534.34	140.32	333.77	48.909	33.995	714.84
51.007	49.235	65.146	48.862	65.459	78.992	83.844	57.953	857.84	540.64	138.77	336.34	48.892	35.334	723.89
51.02	49.306	65.502	48.933	65.473	79.117	84.057	58.052	860.19	549.52	136.86	338.98	48.962	35.229	729.16
51.111	49.368	65.852	48.938	65.621	79.605	84.117	58.258	871.83	560.31	135.86	343.68	49.054	33.583	743.83
51.146	49.375	66.23	49.06	65.799	80.01	84.125	58.495	869.28	557.53	134.44	343.54	49.118	34.088	740.64
51.095	49.381	66.58	49.183	65.518	80.102	83.902	57.982	876.08	554.42	133.71	345.15	49.124	35.657	741.75
51.233	49.52	66.973	49.35	65.598	80.408	83.896	58.873	955.23	552.78	134.57	348.54	49.089	35.915	723.44
51.626	49.565	68.164	49.512	65.986	80.879	84.027	59.842	958.48	545.77	135.04	344.42	49.279	35.578	704.31
52.244	49.541	68.682	49.429	65.963	80.883	83.947	59.817	931.61	536.83	134.85	343.95	49.226	35.7	685.7
52.395	49.604	68.66	49.551	66.141	81.09	83.813	59.968	891.31	528.44	134.75	340.82	49.289	35.472	671.84
52.638	49.615	68.758	49.649	66.211	81.045	83.625	59.894	885.08	520.69	134.84	340.78	49.243	35.747	657.97
52.632	49.697	69.01	49.759	66.291	80.955	83.449	60.003	863.27	513.55	135.15	338.92	49.266	35.301	651.2
52.647	49.567	69.053	49.571	66.191	80.855	83.207	59.845	848.45	509.38	134.88	337.19	49.194	34.406	642.17
52.561	49.655	69.453	49.804	66.221	80.801	82.955	59.961	865.25	507.02	135.19	335.87	49.311	35.727	635.84
52.695	49.829	70.059	50.055	66.307	81.004	83.273	60.239	864.84	504.6	136.16	334.8	49.475	35.638	632.58
52.729	49.804	70.205	50.117	66.311	80.893	83.303	60.243	853.16	497.82	136.98	333.59	49.508	36.053	630.2
52.752	49.739	70.484	50.111	66.563	81.113	84.348	60.526	868.5	497.66	131.96	333.13	49.502	35.049	654.91
52.85	49.693	70.754	50.151	66.773	81.607	85.125	60.19	875.34	497.36	128.79	335.2	49.658	35.53	653.81

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
52.948	49.85	70.994	50.104	66.873	82.188	85.678	59.539	864.3	494.5	126.65	335.82	49.67	34.155	658.61
53.21	49.995	71.195	50.192	66.959	82.953	86.217	59.132	856.67	492.76	125	336.64	49.902	34.478	670.16
53.223	50.065	71.521	50.407	67	83.561	86.314	59.145	858.61	492.55	124.53	334.16	50.002	35.32	669.75
53.315	50.102	71.701	50.501	67.006	84.135	86.803	58.892	833.44	495.38	123.28	338	49.979	34.468	667.53
53.321	50.078	71.762	50.507	66.982	84.564	86.834	58.58	820.13	498.69	122.58	338.72	49.956	34.922	668.17
53.571	50.183	72.121	50.698	66.998	85.121	87.529	58.54	813.34	501.15	121.44	345.2	49.887	35.557	675.92
53.734	50.316	72.369	50.688	67.133	85.936	88.115	58.356	804.7	503.48	120.62	348.66	50.079	33.896	677.23
54.17	50.667	72.484	50.833	67.539	86.729	88.512	58.099	794.73	504.36	119.82	352.46	50.485	33.926	683.38
54.188	50.772	72.701	50.939	67.299	86.998	88.641	57.338	792.67	512.13	118.93	343.77	50.302	34.656	682.77
55.536	50.703	74.055	50.956	67.057	87.041	88.709	56.951	847.06	487.14	120.51	337.62	50.319	34.939	672.58
56.745	50.844	73.537	51.154	67.309	87.461	89.186	57.033	874.31	488.22	123.25	334.36	50.518	34.583	667.94
56.895	50.763	73.514	51.218	67.686	87.975	89.699	57.904	888.78	495	128.18	334.52	50.437	34.825	680.7
56.866	50.821	73.572	51.335	67.83	87.918	89.529	57.847	952.55	488.26	130.48	325.48	50.494	35.47	651.66
56.983	50.754	73.824	51.395	67.791	87.973	89.727	57.907	1012.8	489.66	135.4	320	50.322	35.931	643.92
56.873	50.614	74	51.398	67.738	87.666	89.531	57.882	996.08	485.66	136.97	317.16	50.327	35.584	643.92
56.896	50.607	74.078	51.334	67.73	87.432	89.496	57.559	965.22	482.24	138.67	316.15	50.35	34.453	642.75
56.89	50.688	74.104	51.415	67.727	87.23	89.182	56.89	911.66	482.34	139.29	315.32	50.431	34.954	643.42
56.792	50.706	74.49	51.607	67.744	86.965	88.832	57.052	919.14	495.27	140.64	310.91	50.507	35.413	649.86

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
56.838	50.55	74.678	51.624	67.619	86.613	88.594	57.098	948.22	483.96	140.99	309.8	49.654	34.22	656.44
56.758	50.556	74.883	51.775	67.566	86.336	88.402	56.988	893.63	470.34	141.7	310.65	49.399	35.437	666.81
56.557	50.47	75.111	51.833	67.568	86.109	88.346	57.162	907.94	467.49	141.36	307.71	49.139	34.109	675.09
56.631	49.617	75.271	51.821	67.498	85.758	88.08	57.237	906.45	478.29	138.53	303.52	45.666	34.897	675.2
55.927	48.329	75.516	52.018	67.486	85.52	88.041	57.457	915.61	471.16	137.34	302.31	44.076	36.235	676.17
54.972	46.99	75.686	52.104	67.486	85.262	88.152	57.628	911.05	477.13	136.45	301.16	43.899	36.408	670.11
53.557	45.806	75.744	52.021	67.316	84.895	88.098	57.603	889.55	485.82	135.19	299.98	43.233	36.384	676.59
52.298	44.603	75.904	52.095	67.307	84.688	88.314	57.793	882.83	486.47	133.28	300.46	42.813	35.492	685.02
51.847	43.338	76.121	52.141	67.295	84.449	88.391	57.781	810.81	491.85	132.13	300.87	41.984	34.95	692.86
50.353	43	76.275	52.181	67.078	84.092	88.26	58.081	809.14	482.92	131.97	311.7	42.258	35.167	672.91
49.378	43.129	76.459	52.309	66.977	83.764	87.848	58.006	847.77	480.84	129.18	307.59	42.357	35.707	644.16
45.946	42.982	73.838	52.338	66.832	83.365	87.648	57.891	896.92	479.47	127.9	306.16	42.328	35.648	629.14
45.427	42.987	74.842	52.43	66.752	82.918	87.484	58.184	902.7	467.82	129.58	303.94	42.333	36.033	614.78
45.238	42.975	75.059	52.446	66.596	82.396	87.135	57.854	890.75	467.35	129.01	302.74	42.378	35.111	603.83
45.127	43.074	75.242	52.429	66.236	81.615	85.701	57.405	882.86	459.31	136.1	299.48	42.507	34.792	593.48
44.965	42.999	75.764	52.586	65.904	80.746	84.746	58.022	875.34	455.84	138.49	297.14	42.402	36.016	589.09
45.081	42.999	76.02	52.673	65.789	80.063	84.32	58.08	861.7	452.61	138.66	295.91	42.373	36.016	583.78
45.063	43.011	76.26	52.742	65.715	79.42	84.02	58.466	865.97	450.1	139.06	295.13	42.414	36.114	577.72

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
45.021	43.026	76.502	52.787	65.645	78.838	83.75	58.827	883.34	448.56	140.7	294.86	42.43	36.688	575.11
45.254	43.434	76.789	52.99	65.703	78.557	83.67	59.174	886.66	449.3	139.78	292.32	42.487	36.892	570.97
45.439	43.496	76.85	52.82	65.621	78.189	83.418	58.947	886.63	442.6	138.86	295.71	42.492	35.02	565.38
45.579	43.636	77.158	52.931	65.529	77.928	82.846	58.597	864.78	437.77	138.95	293.61	43.244	35.277	557.2
45.774	43.86	77.457	53.038	65.494	77.826	82.35	58.618	848.19	435.59	140.42	291.83	43.41	34.87	558.06
45.897	43.954	77.547	53.132	65.385	77.576	81.844	58.768	850.41	436.48	140.93	291.77	43.621	35.411	561.94
45.944	44.059	77.535	53.149	65.258	77.422	81.406	58.843	841.34	438.91	140.3	293.02	43.959	34.777	567.47
46.126	44.123	77.883	53.271	65.178	77.256	81.24	59.021	832.27	443.69	137.06	290.81	43.937	35.349	570.64
46.097	44.269	78.084	53.329	65.094	77.256	81.043	58.906	815.7	450	134.1	296.66	44.14	35.612	570.23
46.365	44.392	78.262	53.336	65.014	77.32	80.766	58.855	803.34	454.2	129.88	298.77	44.176	34.176	570.75
46.419	44.445	78.455	53.477	64.893	77.43	80.504	58.793	770.53	466.63	126.21	303.5	44.287	35.174	570.05
46.421	44.563	78.654	53.622	64.75	77.516	80.049	59.662	752.08	467.6	123.07	311.21	44.26	35.704	565.31
46.496	44.61	78.842	53.785	64.738	77.703	80.293	59.968	744.25	470.03	119.61	309.74	44.277	35.868	564
46.577	44.72	78.949	53.837	64.791	77.924	80.543	59.933	735.94	476.74	116.15	311.81	44.387	36.097	563.94
46.705	44.789	79.047	53.79	64.83	78.164	80.725	59.886	776.05	469.02	114.06	320.29	44.369	35.463	570.28
46.84	44.865	79.121	53.808	64.848	78.408	80.826	60.077	847.14	455.38	113.18	322.22	44.416	35.51	558.39
46.892	44.829	79.256	53.888	64.898	78.486	80.934	60.156	806.56	447.62	113.4	322.99	44.468	35.973	551.52
46.983	44.95	79.234	53.95	65.105	78.635	81.053	60.306	826.03	449.77	114.55	322.93	44.618	35.919	558.17

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
47.151	45.031	79.398	53.915	65.242	78.688	81.189	60.387	818.73	454.88	115.92	325.73	44.67	35.237	576.61
47.035	45.09	79.313	53.944	65.357	78.658	81.246	60.357	770.5	459.88	116.09	327.91	44.699	35.502	586.11
47.232	45.199	79.307	54.025	65.408	78.709	81.213	60.322	766.91	466.38	116.76	326.48	44.81	35.26	597.14
47.349	45.286	79.336	53.852	65.408	78.738	81.07	59.89	773.86	469.18	115.83	328.17	44.867	33.876	604.25
47.326	45.322	79.484	54.061	65.414	78.828	81.133	59.953	784.48	472.88	113.12	328.17	44.902	35.736	614.09
47.42	45.415	79.49	54.183	65.506	79.148	81.848	59.988	774.09	481.92	109.66	328.64	45.025	35.273	610.55
47.646	45.438	79.398	54.176	65.586	79.568	82.268	59.779	825.73	457.13	109.01	331.69	45.164	35.031	580.69
47.658	45.595	79.582	54.361	65.77	79.895	82.508	59.85	754.94	446.78	108.88	326.09	45.146	35.66	562.16
47.745	45.624	79.438	54.304	65.797	80.178	82.422	59.589	805.53	439.2	108.96	315.52	45.351	34.685	555.28
47.751	45.63	79.557	54.425	65.775	80.381	82.342	59.537	802.67	436.23	109.08	310.16	45.065	35.549	553.16
47.763	45.758	79.711	54.523	65.871	80.592	82.721	59.693	795.95	425.64	108.39	311.7	45.432	35.883	534.52
47.896	45.891	79.701	54.627	66.063	80.895	83.137	59.769	723.27	424.91	109.56	300.44	45.536	35.694	521.25
47.953	45.861	79.756	54.54	66.117	80.951	83.164	59.768	712.69	433.33	110.61	297.41	45.297	35.812	510.59
47.965	45.959	79.711	54.58	66.1	80.904	83.23	59.634	712.67	425.3	113.4	299.68	45.664	36.146	503.55
48.046	45.924	79.705	54.632	66.209	80.926	83.084	59.888	688.61	418.8	113.62	307.73	45.687	36.021	498.55
48.12	46.115	79.893	54.734	66.313	80.973	83.016	59.645	644.27	414.98	114.11	310.85	45.521	35.685	511.25
48.16	46.155	79.932	54.688	66.18	80.756	82.629	59.54	624.98	415.43	111.43	309.38	45.504	36.283	519.31
48.241	46.207	80.068	54.74	66.145	80.693	82.426	59.649	609.42	417.38	107.93	311.99	45.526	35.544	524.66

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
48.281	46.131	80.195	54.78	66.156	80.621	82.268	59.69	599.06	419.91	103.97	312.7	45.777	35.194	525.97
48.282	46.219	80.281	54.868	66.072	80.82	82.582	60.124	637.59	401.41	101.83	317.72	45.923	36.229	488.34
48.468	46.521	80.35	54.937	66.227	81.4	82.82	59.73	576.92	387.2	98.967	322.07	46.168	36.124	492.58
48.323	46.744	76.822	54.851	66.42	81.576	82.369	59.439	582.8	381	96.789	316.49	46.285	34.427	495.61
48.736	46.838	78.68	54.915	66.398	81.666	81.979	59.475	587.88	376.66	94.5	310.02	46.525	35.613	495.13
48.714	46.961	78.545	55.066	66.348	81.701	81.615	59.396	587.14	374.71	93.803	311.73	46.531	34.353	501.46
49.006	47.136	79.086	55.212	66.262	81.701	81.445	59.569	581.05	372.51	91.795	310.34	46.242	35.974	491.13
48.82	47.066	79.529	55.2	66.25	81.66	81.406	59.618	584.06	370.58	90.025	311.04	46.289	34.694	502.12
48.867	47.025	79.576	55.275	66.211	81.707	81.252	59.546	576.58	368.46	87.855	311.52	46.22	35.248	516.16
49.001	47.102	79.648	55.265	66.199	81.723	81.07	59.508	564.05	369.26	85.631	316.18	46.324	35.119	490.3
49.024	47.328	79.898	55.433	66.135	81.773	81.148	59.706	550.94	369.74	83.779	312.95	46.407	35.847	478.32
49.396	47.381	80.096	55.514	66.16	81.629	81.799	59.553	606.09	380.36	81.783	303.07	46.926	35.812	468.13
49.379	47.393	80.135	55.525	66.172	81.498	81.895	59.507	620.56	380.41	81.311	296.29	46.646	35.383	459.56
49.291	47.421	80.303	55.554	66.17	81.355	81.723	59.624	634.48	377.5	81.309	290.93	46.878	35.706	457.67
49.391	47.606	80.346	55.624	66.326	81.51	81.936	59.724	639.59	376.8	81.637	290.35	46.978	35.6	458.05
49.313	47.529	80.326	55.634	66.25	81.404	81.773	59.675	674.83	374.75	82.328	285.55	46.813	35.64	446.13
49.528	47.628	80.223	55.559	66.318	81.387	81.699	59.424	750.48	366.61	83.734	282.91	47.058	34.324	446.38
49.651	47.722	80.43	55.681	66.354	81.281	81.594	59.489	732.86	366.05	83.258	281.55	47.006	35.453	450.66

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
49.559	47.833	80.451	55.763	66.32	81.105	81.275	59.396	709.77	368.24	84.361	278.15	46.972	35.154	455.72
49.583	47.799	80.588	55.815	66.143	80.361	79.508	59.799	688.41	368.54	88.84	279.52	47.083	35.854	457.7
49.362	47.752	80.742	55.855	65.982	79.49	78.949	60.243	679.34	369.1	89.93	273.77	47.095	35.865	459.91
49.402	47.85	80.639	55.896	65.906	78.848	78.732	60.601	675.42	369.79	90.223	270.52	47.223	35.993	460.64
49.39	47.953	80.711	55.94	65.865	78.236	78.408	60.905	685.34	367.76	90.041	270.15	47.413	35.863	460.59
49.44	47.976	80.703	55.876	65.83	77.602	78.172	61.071	673.28	367.23	89.438	270.13	47.522	35.739	459.84
49.8	48.131	80.916	56.031	65.928	77.244	78.043	61.544	659.61	366.68	88.998	271.01	47.795	36.95	458.68
49.611	48.06	80.986	55.988	65.77	76.689	77.771	61.703	646.36	366.02	88.557	268.86	47.432	36.409	457.16
49.681	48.187	81.314	56.174	65.926	76.504	77.559	62.118	652.48	364.7	86.982	271.1	47.85	36.741	457.17
49.639	48.115	81.357	56.016	65.912	76.178	77.201	62.307	643.69	368.72	85.863	269.55	47.72	36.201	461.07
49.811	48.229	81.441	56.043	65.883	75.922	77.002	62.536	620.05	376.75	84.215	268.7	47.98	35.994	469.56
49.864	48.428	81.668	56.125	65.994	75.805	76.914	62.561	590.52	389.65	82.705	269.54	48.063	35.635	477.67
50.02	48.38	81.904	56.165	65.891	75.645	76.725	62.687	590.11	394.24	80.861	269.06	47.812	36.409	477.88
50.043	48.374	81.785	56.217	65.914	75.611	76.748	62.997	583.36	396.01	79.264	266.85	47.922	36.521	481.57
50.036	48.426	81.951	56.123	65.936	75.605	76.572	62.847	572.89	399.14	77.119	266.74	48.177	35.332	486.63
50.135	48.495	82.02	56.222	65.803	75.502	76.242	62.743	574.67	406.36	75.93	268.86	48.275	35.344	489.79
50.135	48.582	82.359	56.338	65.805	75.418	76.129	63.031	573.86	408.09	74.357	268.55	48.159	36.76	497.68
50.164	48.611	82.246	56.366	65.832	75.389	76.129	63.29	573.41	405.3	73.299	266.24	48.275	35.88	490.66

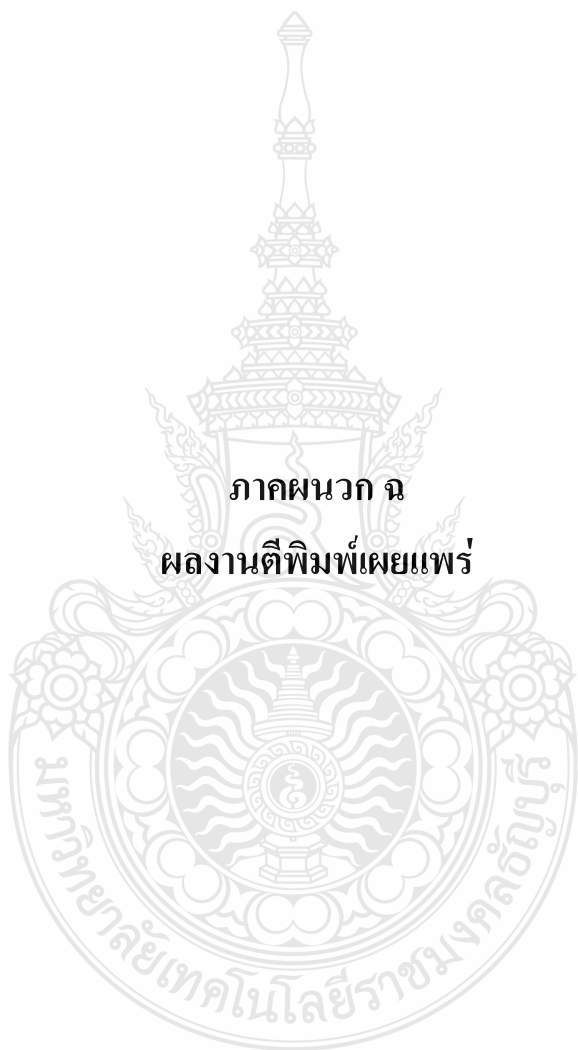
A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
50.216	48.663	82.27	56.332	65.885	75.469	76.123	63.169	564.02	404.73	72.123	266.42	48.327	34.956	479.48
50.456	48.738	82.529	56.455	65.727	75.672	76.07	63.034	559.05	402.8	70.5	266.62	48.685	35.569	475.34
50.41	48.721	82.824	56.612	65.652	75.598	75.939	63.305	560.22	401.71	69.078	263.58	48.581	36.412	479.84
50.363	48.674	82.807	56.652	65.664	75.58	75.893	63.46	543.69	403.84	67.768	263.71	48.476	36.306	485.93
50.59	48.842	82.914	56.733	65.715	75.66	75.803	63.655	542.66	404.05	66.527	267.81	48.586	37.53	486.99
50.514	48.737	83.039	56.744	65.727	75.643	75.842	63.724	533.72	414.54	64.959	269.01	48.393	36.428	489.2
50.594	48.817	83.004	56.795	65.807	75.664	76.006	63.861	531.88	429.5	64.119	268.02	48.474	36.598	489.41
50.616	48.84	83.055	56.788	65.828	75.715	76.113	63.826	530.86	442.53	62.502	269.84	48.671	36.619	490.77
50.639	48.891	83.16	56.811	65.879	75.793	76.221	63.935	530.02	435.13	60.967	270.02	48.867	36.378	486.95
50.702	48.896	83.254	56.99	65.971	76	76.654	64.17	523.61	442.97	59.27	267.13	49.047	36.911	491.73
50.783	48.949	83.477	57.071	66.168	76.365	76.992	64.336	502.63	465.46	58.168	267.31	49.128	36.582	509.13
50.765	48.931	83.26	57.053	66.207	76.631	77.172	64.232	492.84	475.85	56.186	267.31	49.023	36.535	517.06
50.799	49.022	83.406	57.059	66.412	77.064	77.434	64.295	496.59	465.82	55.265	270.84	49.058	36.451	499.11
50.897	49.092	83.447	57.156	66.51	77.359	77.473	64.652	501.29	468.16	53.856	271.22	49.185	36.551	504.98
50.968	49.133	83.516	57.254	66.465	77.43	77.6	64.635	494.34	475.13	51.779	272.43	49.226	37.09	504.08
51.07	49.207	83.561	57.271	66.395	77.617	77.814	64.393	485.23	476.52	50.549	275.25	49.067	36.783	500.81
51.116	49.281	83.635	57.316	66.498	77.748	77.975	64.697	498.59	481.69	49.374	275.79	49.316	36.771	507.17
51.196	49.42	83.545	57.31	66.52	77.912	78.225	64.691	508.77	488.38	47.972	277.59	49.571	36.382	512.77

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
51.341	49.42	83.602	57.339	66.691	78.254	78.396	65.035	509.69	496.32	47.127	278.41	49.601	36.471	513.53
51.248	49.442	83.596	57.332	66.658	78.248	78.59	64.887	480.16	508.57	45.717	275.27	49.507	36.259	512.61
51.382	49.46	83.557	57.351	66.676	78.436	78.807	64.789	473.81	513.09	45.299	278.34	49.408	36.276	516.61
51.633	49.565	83.52	57.455	66.779	78.77	79.141	64.691	469.71	516.94	43.511	283.39	49.514	36.471	522.39
51.567	49.587	83.625	57.448	66.945	79.219	79.389	64.771	475.91	526.39	42.745	283.51	49.478	36.161	570.48
51.522	49.581	83.242	57.316	66.938	79.291	79.377	64.266	476.99	552.19	41.181	286.68	49.695	34.869	546
51.78	49.723	83.467	57.486	67.107	79.744	79.574	64.436	477.71	558.11	40.415	288.8	49.662	35.246	542.92
51.823	50.03	83.566	57.732	67.18	80.072	79.73	64.709	472.98	549.36	39.278	289.43	49.879	36.585	524.23
52.013	49.902	83.553	57.546	67.08	80.287	79.945	64.436	467.12	545.95	38.361	289.26	50.012	35.189	515.58
51.932	49.908	83.559	57.667	67.057	80.604	80.32	64.414	464.59	551.59	37.049	293.05	49.931	36.463	516.36
52.142	50.06	83.535	57.76	67.205	81.15	80.951	64.938	463.95	551.97	36.294	290.99	49.705	35.729	521.84
52.258	50.09	83.594	57.646	67.293	81.635	81.408	64.42	462.65	533.73	34.914	291.68	49.997	34.616	535.03
52.316	50.206	83.621	57.791	67.35	82.459	82.516	64.307	461.35	501.01	34.563	307.2	50.143	36.061	514.23
52.595	50.225	83.383	57.722	67.539	83.439	83.27	64.238	461.64	510.17	33.463	314.05	50.276	34.753	510.04
52.51	50.342	83.553	57.896	67.713	84.404	83.836	64.584	459.25	526.45	32.817	319.67	50.394	35.905	510.34
52.7	50.359	83.344	57.855	67.873	85.299	84.617	64.658	460.31	535.89	32.452	330.01	50.324	34.832	509.46
52.764	50.424	83.291	57.919	67.934	86.014	85.133	64.549	460	542.77	31.244	335.91	50.156	35.93	507.09
52.911	50.542	83.549	58.008	68.139	86.953	85.848	64.521	457.3	549.84	30.451	336.83	50.217	35.777	507.24

A/1*TK	A/1+TK	A/1-TK	A/3*TK	A/3+TK	A/3-TK	A/4-TK	A/4*TK	A/5+TK	A/5*TK	A/6*TK	A/8*TK	A/10*TK	A/10-TK	A/10+TK
52.898	50.472	83.393	57.966	68.238	87.816	86.541	64.738	454.4	557.98	29.851	345.21	50.437	35.92	505.37
53.227	50.448	83.426	58.001	68.443	88.785	87.596	64.83	452.53	569.83	28.943	365.27	50.298	35.596	502.36
53.154	50.699	83.445	58.077	68.777	89.963	88.719	65.078	449.42	581.03	28.045	387.47	50.286	36.091	487.77
53.274	50.728	83.188	57.961	68.977	91.008	89.623	65.395	451.55	583.59	26.952	422.32	50.722	34.882	486.16
53.716	50.908	83.166	58.055	69.068	91.945	90.42	65.746	450.84	583.58	26.544	466.63	50.815	35.123	486.55
53.838	51.001	83.229	58.176	69.189	92.83	91.16	65.578	450.58	586.72	25.87	481.36	50.647	35.393	482.28
53.74	50.961	83.275	58.223	69.436	93.779	92.139	66.256	452	589.02	25.74	487.75	50.781	35.917	490.67
53.954	51.088	83.371	58.263	69.617	94.666	93.168	67.1	449.16	587.36	25.603	489.59	50.618	36.163	484.31
53.982	51	83.285	58.175	69.816	95.398	94.043	67.127	447.05	588.5	24.613	493.77	50.646	36.251	476.25



ภาคผนวก ฉ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



Experimental Investigation on the Performance of a Porous-Medium Combustor for Solid Feedstock

Chitmongkol Pongsing* and Boonrit Prasartkaew

Abstract

Nowadays, all of natural resources are extravagantly used for the global development of human civilization. Among these, energy resources become the most important for human activities. It can be said that human society is seemed to be using more natural energy resources than nature is courteous. Consequently, the serious issues, e.g.: energy crisis, global warming and climate change, are occurred. To mitigate these serious problems, not only energy preservation and energy efficiency measures but renewable energy utilization should also be encouraged. This work introduces a novel method to improve the performance of solid fuel/feedstock combustor using the porous media technology. The main objectives of this current paper are to describe the new concept of this proposed reactor system and to present the evaluation on the performance and feasibility of this high efficiency reactor when it was operated as a Solid-Fuel Combustor Heater (SFCH). The fabricated 30 kW prototype reactor was tested using wood charcoal as biomass solid fuel. As the useful heat output, heat of combustion product gas was extracted from the reactor to produce hot water via water tube heat exchanger which is installed inside the porous medium. The experimental results show that the porous medium technology can be feasibly applied for the solid fuel combustor. The experimental results demonstrate that combustion of solid fuels, as a fixed bed feeding; via porous medium heat recuperator is promising. However, the temperature and heat rate profiles are more fluctuate compared to the gas fuel. The various sizes of nuts, 8, 10 and 12 mm, were used as porous medium packed. It was revealed that the porous medium technique, using 10mm size of nuts, can improve the performance of the proposed solid fuel combustor. During quasi-steady state condition (when all of temperature profiles are not much fluctuating), the maximum average combustion temperature of 1,020 °C, average useful heat of 45 kW and thermal efficiency of 60%, were obtained.

Keywords : Porous media combustion, Combustor, Gasifier, Solid fuel combustion.

1. Introduction

This Energy and environmental problems are the most important issues and being dramatically increased by the human activities. These serious problems, mainly attributed to the fossil fuel based combustion [1], should be overcome urgently; otherwise, they may not be solved unless there is no human life on this planet. To address these problems, the measures of the energy- efficiency and -conservation should be implemented.

One of the best techniques widely used in the energy efficiency measure for improving the thermal efficiency of combustor is heat recovery augmentation using porous medium. As a pioneer of this technique Yumlu [2] has been started to study experimentally on the performance of a porous flat flame burner, with heat extraction, on hydrogen–oxygen and hydrogen–air flames. Regarding the porous medium combustors, there are many researches had attempted to improve its performance. They can be categorized by phase of fuels, gaseous, liquid and solid fuels. There are many researches focus on gas fuel porous combustor as presented in [3-18]. The investigations on the liquid fuel combustor in porous media were presented by [19-27].

As the fact that, there are not only gaseous and liquid fuels but solid fuels, e.g.: coal, biomass and municipal solid waste (MSW), etc., are also widely utilized in many combustion processes for many purposes. Regarding solid fuel combustor, Kayal and Chakravarty (2007) studied theoretically on the feasibility of burning solid fuels in the form of fine powder inside porous media. They study results revealed that the combustion of suspended carbon particles in porous medium is similar to premixed single phase gaseous fuel combustion except that the former has a shorter preheating temperature zone length.

This research aims at applying the advantages of porous

medium technique for the solid feedstock without pulverizing. Mean that this purposed combustor is a fixed bed of normal size of feedstock and working as a water fired heater. The main objectives of this research are to increase the thermal efficiency and to reduce the emission of the conventional systems.

2. Experimental setup

As aforesaid, the porous media and pulsation combustion technologies have not yet been applied for a fixed-bed solid-fuel combustor or gasifier. Fig. 1 and 2 show the schematic diagram and plan of a Solid-Fuel Combustor Heater (SFCH) proposed in this study. This concept aims at apply the good points of heat transfer enhancement via porous media technologies for a fixed-bed solid-fuel combustor or gasifier. Solid fuel/Feedstock can act as packed bed porous medium. This reactor can be operated either combustor (when the equivalent ratio is greater than or equal to one, $\Phi \geq 1$) or gasifier (when $\Phi < 1$) (or generated heat can be allocated).

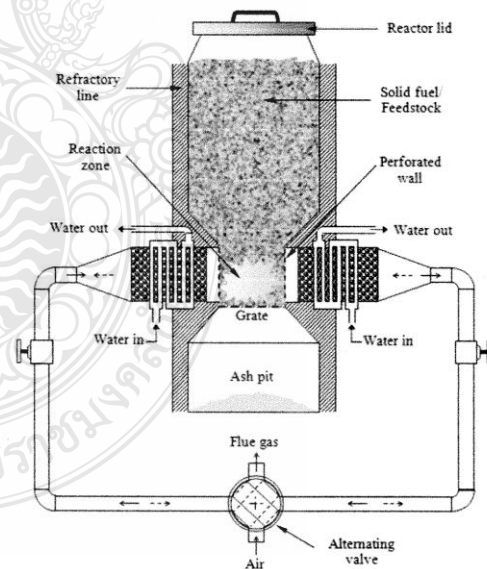


Fig. 1. Schematic diagram of a SFCH concept.

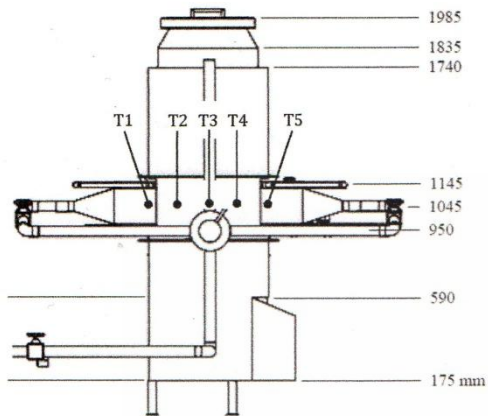


Fig. 2. Plan of SFCH used in this study.

As a combustor-heater system, the proposed SFCH system was set as a water heating system. The experimental system consists of a proposed reactor equipped with an air blower, a hot water pump, valves and other plumbing, and a 0.15 m³ hot water storage tanks. The flow rate of air and water are manually controlled by two flow control valves. During the test, the hot water was drawn off at the bottom of the storage tank. A pump circulated water through the 3-pass heat exchanger (water heater) inside the reactor. To avoid the water evaporation under atmospheric pressure, the water temperature at the middle level of the tank was manually controlled at about 50°C by means of draining hot water at the top and filling the tap water at the bottom of the tank. The water temperatures, at the inlet and outlet of heat exchangers are recorded using data logger (Datataker model DT605) equipped with type-K at every one-minute intervals. Water flow rate and fuel consumption rate were manually measured and recorded. The other gas temperatures were measured for another analysis.

Three sizes of nuts, 8, 10 and 12 mm, were used as porous medium as shown in Fig. 3. Regarding the porous

properties, e.g.: porosity, optical thickness and heat transfer capacity in all modes, are not taken into account for this current study.

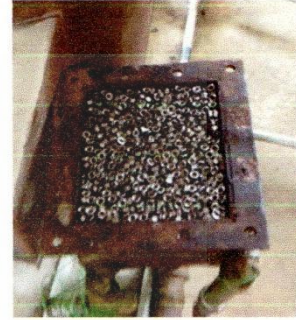


Fig. 3. Photo of nuts used as porous medium.

The combustor efficiency was calculated as:

$$\eta_{SFCH} = \dot{Q}_u / (\dot{m}_{fuel} LHV_{fuel}) \quad (1)$$

where, the useful heat (\dot{Q}_u) absorbed by water tubes inside the porous medium calculated as:

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_w c_p (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (2)$$

The solid fuel used in this research is wood charcoal (or cooking charcoal), as shown in Fig. 4, which is available in the market. The low heating value of fuel, $LHV_{fuel} = 27.7$ MJ/kg was used and the average solid fuel consumption rate (\dot{m}_{fuel}) was determined as:

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{\text{Total amount of fuel used per batch [kg]}}{\text{Total operating time per batch [s]}} \quad (3)$$



Fig. 4. Photo of charcoal used in this study

4. Results and discussion

Fig. 5 shows a plot of gas temperature profiles inside the combustion chamber (T2 and T3 mentioned in Fig. 2). The results show that when the gas flows from left to right, the highest temperature closed to the left side of combustion chamber. The maximum gas temperature was higher than 1,200 °C when the combustor was operated without porous medium. During quasi-steady state condition, the average gas temperatures of about 1,020 °C occurred when the 10mm nuts were used as porous medium. The lowest average gas temperature of 588 °C was obtained, when the 12mm nuts were used as porous medium.

Fig. 6 and 7 show the water temperature profiles of water inlet and outlet of water heater inside the porous medium (right hand side of system) and the absorbed heat rate calculated by Eq. (2), respectively. Regarding the water temperature, it was not much fluctuated due to the water temperature inside the storage tank was controlled to be constant at 50 °C. As shown in Fig. 6 and Table 1, the maximum absorbed useful heat rate during the quasi-steady state occurred when the 10 mm nuts were used as porous medium with the average value of 45 kW.

Fig. 8 shows the thermal efficiency of SFCH for four cases, without porous medium, 8-mm-, 10-mm- and 12-mm-porous medium sizes, respectively. The results show that the maximum and highest average value of thermal efficiency was obtained when using 10-mm size of nuts as porous medium. With this porous medium, the maximum and highest average values of 93 and 60% (as shown in Table 1), respectively, were achieved. Regarding the combustion stability, however, this solid fuel has high fluctuation rate, this may owing to the high combustion rate and flow of solid feedstock.

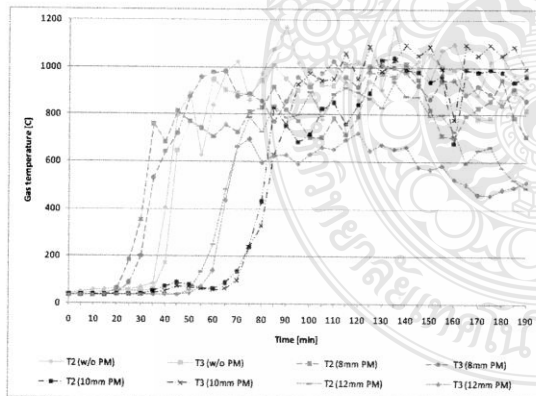


Fig. 5. Gas temperature profiles.

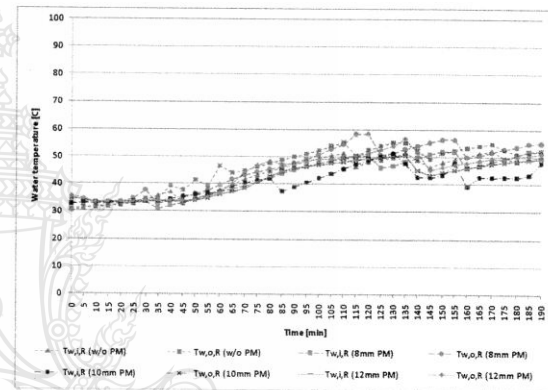


Fig. 6. Water temperature profiles.

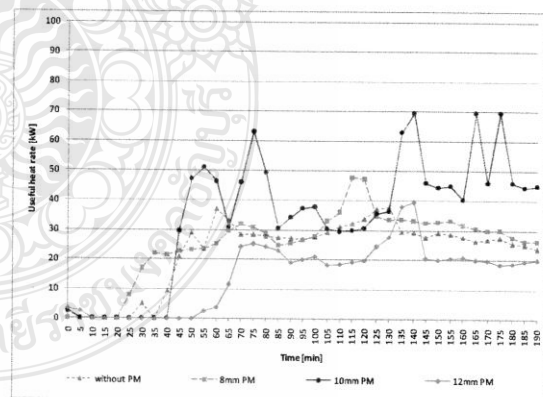
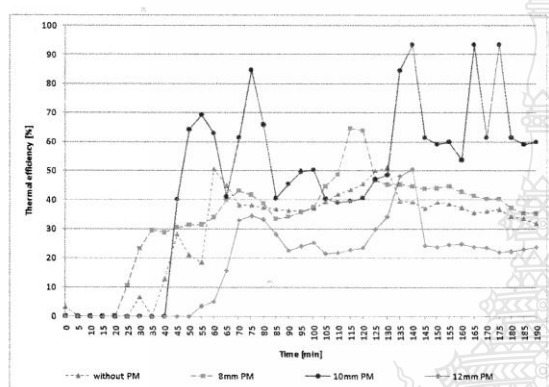


Fig. 7. Absorbed useful heat rate.

Table 1 Average values of collected and calculated data

Porous medium	T2 [°C]	T3 [°C]	Qu [kW]	Eff. [%]
w/o PM	965.81	943.40	29.18	39.28
8 mm	828.50	935.07	33.05	44.54
10 mm	913.46	1019.19	45.18	60.32
12mm	767.27	588.54	22.32	27.04

**Fig. 8.** Thermal efficiency of SFCH.

5. Conclusion

The new concept of high performance porous-medium combustor/gasifier was proposed and the prototype was fabricated and tested. This paper presents the evaluation on the performance and feasibility of the proposed system, when it was operated as a solid-fuel combustor heater. The experimental results demonstrate that combustion of solid fuels, as a fixed bed feeding; via porous medium heat recuperator is promising. However, the temperature and heat rate profiles are more fluctuate compared to the gas fuel. The various sizes of nuts, 8, 10 and 12 mm, were used as porous medium packed. It was revealed that the porous medium technique, using 10mm size of nuts, can improve the performance of the proposed solid fuel combustor. During quasi-steady state condition, the maximum average combustion temperature of 1,020 °C, average useful heat of 45 kW and thermal efficiency of 60%, were obtained.

6. Reference

- [1] B. Prasartkaew and S. Kumar, "Experimental Study on the Performance of a Solar-Biomass Hybrid Air-Conditioning System", *Renewable Energy* 57, 2013, pp. 86-93.
- [2] V.S. Yumlu, "Temperatures of flames on porous burners", *Combustion and Flame* 10(2), 1966, pp. 147-151.
- [3] Y. Yoshizawa, K. Sasaki and R. Echigo, "Analytical Study of Structure of Radiation Controlled Flame", *Internal Journal Heat and Mass Transfer* 31(2), 1988 pp. 311-319.
- [4] S.B. Sathe, R.E. Peck and T.W. Tong, "A Numerical Analysis of Heat Transfer and Combustion in Porous Radiant Burners", *International Journal Heat and Mass Transfer* 33(6), 1990, pp. 1331-1338.
- [5] K. Hanamura, R. Echigo and S. Zhdanok, "Superadiabatic combustion in a porous medium", *Int. J. Heat Mass Transfer* 36, 1993, pp. 3201-3209.
- [6] J.T. Chung and R.H. John, "Combustion of Liquid Fuels in a Porous Radiant Burner", *Combustion Science and Technology* 112, 1996, pp. 141-161.
- [7] K. Michele, J. H. Matthew, "The Combustion of Liquid Fuels within a Porous Media Radiant Burner", *Experimental Thermal and Fluid Science* 11, 1995, pp. 13-20.
- [8] V. Martynenko, R.Echigo, and H. Yashida, "Numerical Simulation of Self-sustaining Premixed Combustion with Simultaneous Evaporation of Fuel Droplets in inert Porous Medium", *The Collection Papers of Ryoze Echigo* 2, 1997.
- [9] J.S. Rafal, D. Ritsu and H. Toshiyuke, "Effect of Turbulence on Vaporization, Mixing, and Combustion of Liquid-fuel Sprays", *Combustion and Flame* 120, 2000, pp. 479-491.

- [10] S. Afsharvahid, P.J. Ashman and B.B. Dally, "Investigation of NO_x conversion characteristics in a porous medium", *Combustion and Flame*, 2007.
- [11] I.Y. Akkutlu and Y.C. Yortsos, "The dynamics of in-situ combustion fronts in porous media", *Combustion and Flame* 134, 2003, pp. 229-247.
- [12] S.K. Alavandi and A.K. Agrawal, "Experimental study of combustion of hydrogen-syngas/methane fuel mixtures in a porous burner", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008.
- [13] A.P. Aldushin and B.J. Matkovskii, "Rapid filtration combustion waves driven by convection", *Combustion Science and Technology* 140, 1999, pp. 259-293.
- [14] A.P. Aldushin and E.U. Rumanov, "Diffusion driven combustion waves in porous media", *Combustion Science and Technology* 156, 2000, pp. 221-250.
- [15] A.P. Aldushin, I.E. Rumanov and B.J. Matkovskii, "Maximal energy accumulation in a superadiabatic filtration combustion wave", *Combustion and Flame* 118, 1999, pp. 76-90.
- [16] Z. Al-Hamamre, S. Diezinger, P. Talukdar, I.F. Von and D. Trimis, "Combustion of low calorific gases from landfills and waste pyrolysis using porous medium burner technology", *Process Safety and Environmental Protection* 84(B4), 2006, pp. 297-308.
- [17] F. Andersen, "Heat transport model for fibre burners", *Progress in Energy and Combustion Science* 18, 1992, pp. 1-12.
- [18] V.S. Babkin, "Filtrational combustion of gases. Present state of affairs and prospects", *Pure and Applied Chemistry* 65(2), 1993, pp. 335-344.
- [19] M. Kaplan and M.J. Hall, "The combustion of liquid fuels within a porous media radiant burner", *Experimental Thermal Fluid Science* 11(1), 1995, pp. 13-20.
- [20] C.J. Tseng and J.R. Howell, "Combustion of liquid fuels in a porous radiant burner", *Combustion Science and Technology* 112, 1996, pp. 141-161.
- [21] S. Vijaykant and A.K. Agrawal, "Liquid fuel combustion within silicon-carbide coated carbon foam", *Experimental Thermal and Fluid Science* 32, 2007, pp. 117-125.
- [22] H. Takami, T. Suzuki, Y. Itaya and M. Hasatani, "Performance of flammability of kerosene and NO_x emission in the porous burner", *Fuel* 77, 1998, pp. 165-171.
- [23] S. Jugjai, W. Narongsak, L. Thawatchai and N. Sorawut, "The combustion of liquid fuels using a porous medium", *Experimental Thermal and Fluid Science* 26(1), 2002, pp. 15-23.
- [24] S. Jugjai and N. Polmart, "Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media", *Experimental Thermal and Fluid Science* 27, 2003, pp. 901-909.
- [25] T. Fuse, Y. Araki, N. Kobayashi and M. Hasatani, "Combustion characteristics in oil-vaporizing sustained by radiant heat reflux enhanced with higher porous ceramics", *Fuel* 82, 2003, pp. 1411-1417.
- [26] C. Periasamy, S.K. Sankara and S.R. Gollahalli, "An experimental evaluation of evaporation enhancement with porous media in liquid-fueled burners", *Journal of Porous Media* 10(2), 2007, pp. 137-150.
- [27] M.M. Kamal and A.A. Mohamad, "Investigation of liquid fuel combustion in a cross flow burner". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Part A - Journal of Power and Energy* 221 (A3), 2007, pp. 371-385.



KMUTNB



Certificate to Participation

This is to certify that

**Chitmongkol Pongsing
and Boorrit Pr artkaew**

have participated

The **1st** International Conference on

Engineering Science and Innovative Technology

April 8-10, 2014 Sheraton Krabi Beach Resort, Krabi, THAILAND

J. van der List

Prof. Dr. Jürgen van der List
Honorary Chair of the ESIT Conference 2014

P. G. aree

Asst. Prof. Preecha Ong-aree
Dean of College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Dr. Ratanakorn Phadungthin

Dr. Ratanakorn Phadungthin
Chair of the ESIT Conference 2014

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายชิตมงคล พงษ์สิงห์
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2530
ที่อยู่	90/185 หมู่ที่ 7 ตำบลสามพราน อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110
การศึกษา	ปริญญาตรีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	ครูอัตราจ้าง วิทยาลัยเทคนิคคอนเมือง พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2556 วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์ พ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-63340130
อีเมล	Chitke35@hotmail.com

