เครื่องเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุนโดยระบบขับเคลื่อน

Rotary Boring Machine by Driving System

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี และ ประชุม คำพุฒ [1]

บทคัดย่อ

เครื่องเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุนโดยระบบขับเคลื่อน ได้พัฒนาเครื่องเจาะดินแบบเดิมให้สามารถเข้าไปเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างดิน ในสภาพพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันได้อย่างสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เครื่องเจาะสำรวจดินโดยระบบขับเคลื่อน ประกอบด้วยส่วนขับเคลื่อนและส่วนเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุน โดยในส่วนขับเคลื่อนจะใช้เครื่องยนต์ดีเซล ขนาดความจุ 2000 ซีซี และส่วนเจาะสำรวจดิน จะใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดความจุ 2200 ซีซี เป็นแหล่งขับดันไฮดรอลิกสำหรับเจาะสำรวจดิน จากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน สามารถเจาะสำรวจดินได้ลึกถึง 50 เมตร ด้วยอัตราความเร็วในการเจาะที่มีความสม่ำเสมอและคงที่ จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาขึ้นใช้งานได้แพร่หลายต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องเจาะสำรวจดิน, แบบหัวหมุน, ระบบขับเคลื่อน, ตัวอย่างดิน

1. บทนำ

เนื่องจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในปัจจุบันได้มีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคารโรงงาน ตึกสูง หรือบ้านพัก ที่อยู่อาศัย มีจำนวนเกิดขึ้นมากมาย ก่อนทำการก่อสร้างอาคารดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบว่าพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างเหล่านั้นมีสภาพคุณสมบัติของดินเป็นอย่างไร เพื่อจะได้นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์ และนำค่าคุณสมบัติของดินนั้นๆ ไปทำการออกแบบฐานรากต่อไป

ปัจจุบันเครื่องเจาะดินของภาควิชาวิศวกรรมโยธา เป็นเครื่องเจาะดินที่เคลื่อนย้ายลำบากและไม่สะดวกในการเจาะหลุมต่อๆ ไป เพราะว่าต้องใช้คนในการเคลื่อนย้ายถึงประมาณ 4-5 คน ในการช่วยกันเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกล บางครั้งในสถานที่เจาะดินหรือพื้นที่ที่ต้องการสำรวจเป็นดินเหนียว ก็ยิ่งทำให้การเคลื่อนย้ายลำบากมากขึ้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาต้นแบบเครื่องเจาะดินแบบใหม่ ให้มีการเคลื่อนย้ายที่สะดวกขึ้น โดยการเพิ่มระบบขับเคลื่อนให้สามารถเดินทางเคลื่อนย้ายเครื่องเจาะดินมาที่สนามเจาะด้วยความรวดเร็วและใช้คนเพียงคนเดียวก็พอ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์มีขั้นตอนโดยย่อดังนี้คือ

2.1 การคำนวณออกแบบ มีขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ออกแบบระบบรองรับน้ำหนักหน้า - หลัง

1.1) ระบบรองรับน้ำหนักหน้า ใช้ระบบรองรับน้ำหนักแบบอิสระ (Independent Suspension) โดยระบบรองรับน้ำหนักแบบนี้จะมีลักษณะของล้อด้านซ้าย ไม่ต่อร่วมกับเพลาโดยตรง ทำให้ชุดของระบบรองรับน้ำหนักจะติดอยู่กับตัวถังและโครงรถ ส่วนล้อทั้งสองด้านจะ

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทร/โทรสาร: (02)549-3412 E-mail: choomy_gtc@hotmail.com

เคลื่อนตัวอย่างเป็นอิสระจากกันโดยสิ้นเชิง โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1.1.1) คอยล์สปริง (Coil Spring) ใช้คอยล์สปริงทำจากเหล็กกล้าสปริงชนิดพิเศษ ขดขึ้นรูปเป็นคอยล์สปริง เมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้แกนของขดลวดบิดตัวและยุบลง พลังงานที่อยู่ภายนอกจะถูกสะสมและรองรับการสั่นสะเทือน

1.1.2) ทอร์ชันบาร์สปริง (Torsion Bar Spring) ใช้ทอร์ชันบาร์ที่ทำมาจากแผ่นเหล็กกล้าสปริง มีหน้าที่ในการยืดหยุ่นและต้านทานการบิดตัว โดยที่ปลายด้านหนึ่ง ของทอร์ชันบาร์ จะถูกยึดติดอยู่กับโครงรถหรือตัวถัง ส่วนปลายด้านหนึ่งจะยึดติดกับส่วนประกอบที่รับโหลดจากแรงบิด

1.1.3) เหล็กกันโครง (Stabilizer) ระบบรองรับน้ำหนักหน้า ออกแบบให้ใช้เหล็กกันโครงเพื่อทำหน้าที่ลดการโคลงของตัวถังรถ เนื่องจากลดแรงเหวี่ยงในขณะที่เลี้ยวรถทำให้การยึดเกาะถนนดีขึ้น เหล็กกันโครงจะติดตั้งอยู่กับปีกนกตัวล่างด้วยยางรองและก้านต่อ ส่วนตรงกลางของเหล็กกันโครงจะยึดติดกับตัวถังพร้อมบูชยาง

1.1.4) โช้กอัปซอร์บเบอร์ (Shock Absorber) ออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนก้านต่อในระบบรองรับ โดยทำหน้าที่เป็นตัวรองรับโหลดที่มากระทำในแนวตั้ง แต่ก็จะทำให้โช้กอัปซอร์บเบอร์ เกิดการคดงอเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อได้รับโหลดที่ถ่ายมาจากยางทำให้เกิดแรงเค้นด้านข้าง จึงต้องออกแบบเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นให้น้อยลง โดยการติดตั้งให้คอยล์สปริงเยื้องศูนย์จากเส้นผ่าศูนย์กลางของโช้คอัปซอร์บเบอร์ เป็นผลให้เกิดแรงปฏิกิริยาด้านในด้านตรงข้าม

1.1.5) ยางกันกระแทก (Rubber Spring) ใช้ยางที่ทำจากธรรมชาติ และวัสดุสังเคราะห์ ที่มีคุณภาพยืดหยุ่นสูง ทำหน้าที่ดูดกลืนการสั่นสะเทือนผ่านความฝืดภายในเมื่อรูปทรงเปลี่ยนแปลงไปเพราะแรงกระทำจากภายนอก

1.2) ระบบรองรับน้ำหนักหลัง ใช้ระบบรองรับน้ำหนักแบบแหนบคู่ขนาน (Parallel leaf Spring) โดยจะใช้แหนบรองรับชุดเพลาห้ามเอาไว้ ปลายของแหนบแต่ละข้างจะยึดกับจุดยึดที่โครงรถด้วยบูชยาง ซึ่งมีโตงเตงที่ยึดอยู่ที่ปลายด้านหลังของแหนบ เมื่อแหนบได้รับน้ำหนัก จะยืดตัวเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักนั้นๆ โตงเตงจะสามารถทำหน้าที่ทดแทนอาการเปลี่ยนแปลงไปของแหนบ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1.2.1) สปริงแหนบ (leaf Spring) การออกแบบระบบรองรับน้ำหนักหลัง ซึ่งเป็นตัวรับน้ำหนักบรรทุกจากเครื่องเจาะสำรวจดินโดยตรง จึงจำเป็นต้องออกแบบแหนบเป็น 2 ชุด คือ แหนบหลัก และแหนบช่วย โดยแหนบหลักจะทำหน้าที่รับน้ำหนักเครื่องเจาะสำรวจดิน ซึ่งจะส่งโหลดผ่านแหนบช่วยมาอีกทีหนึ่ง และเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างช่วงล่างกับตัวถังแหนบหลักจะช่วยดูดกลืนอาการสั่นสะเทือนของล้อไปยังตัวถัง ทำให้เครื่องเจาะสำรวจดินได้รับแรงสั่นสะเทือนน้อยลง ส่วนแหนบช่วยจะติดตั้งให้อยู่เหนือสปริงแหนบหลัก โดยขณะบรรทุกแหนบหลักจะทำงานปกติ แต่ถ้ามีน้ำหนักในการบรรทุกเกินพิกัดแหนบช่วยจะทำงานร่วมกับแหนบหลักทันที ส่วนประกอบของสปริงแหนบได้แก่ แผ่นเก็บเสียง (Silencer Pad) ช่วยลดความฝืดโดยสอดอยู่ระหว่างแผ่นแหนบแต่ละแผ่นที่บริเวณด้านปลายชุด ทั้งนี้ก็เพื่อจะทำให้การเคลื่อนที่ของแผ่นแหนบสนิทกันอยู่ดีขึ้น และโตงเตง (Spring Shackle) มีหน้าที่ส่งถ่ายน้ำหนักและการสั่นสะเทือนจากสปริงแหนบ เมื่อแหนบได้รับน้ำหนักโตงเตงจะยืดตัวออก แต่ถ้าหูแหนบถูกยึดตายจะทำให้การโค้งงอเป็นสปริงของแหนบหมดไป

1.2.2) แม่แรงยกตัวถังรถแบบมือหมุน ออกแบบให้ใช้แม่แรงแบบมือหมุน ติดตั้งบริเวณกลางตัวถังและด้านหลัง ทั้งหมด 4 จุด โดยทำหน้าที่ปรับระดับแนบราบสำหรับใช้เครื่องเจาะสำรวจดิน รับน้ำหนักเครื่องเจาะสำรวจดินขณะปฏิบัติงานเจาะสำรวจ และป้องกันการโคลงของตัวถังรถขณะเจาะสำรวจ โดยแม่แรง 1 ตัว รับน้ำหนักบรรทุกได้ 28,000 กก. รับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดได้ไม่เกิน 64,000 กก.

2) ออกแบบระบบเครื่องยนต์ เกียร์ และระบบเบรก

2.1) เครื่องยนต์ ใช้เครื่องยนต์ ดีเซล NISSAN 4 สูบ ความจุ 2,000 ซีซี กำลังสูงสุด 130 แรงม้า (BHP) ที่ 3,800 รอบ/นาที แรงบิด 33.72 กม.- ม. ที่ 1,800 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านเกียร์ธรรมดา 5 จังหวะอย่างเดียว เครื่องยนต์ออกแบบไว้สำหรับวางเครื่องด้านหน้าแล้วส่งกำลังผ่านเพลาขับเคลื่อนล้อหลัง

2.2) ห้องเกียร์ ใช้ห้องเกียร์แบบห้องเกียร์ธรรมดา โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.2.1) ตำแหน่งเกียร์ว่าง สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ และให้เครื่องยนต์ทำงานโดยไม่มีการถ่ายทอดกำลัง

2.2.2) ช่วงเกียร์ต่างๆ ซึ่งสามารถเลือกได้โดยผู้ขับขี่ เกียร์ต่ำสำหรับการออกตัวช้าๆ และราบเรียบ เกียร์ที่สูงขึ้นช่วยให้รถเพิ่มอัตราเร็วได้ตามต้องการ

2.2.3) เกียร์ถอยหลัง ช่วยให้รถสามารถถอยหลังได้

2.2.4) การเบรกด้วยเครื่องยนต์ ใช้เกียร์ต่ำเพื่อลดอัตราเร็วของรถโดยใช้เครื่องยนต์ ช่วงในการเบรกเหมาะสำหรับการขับขี่ลงทางชันมากๆ โดยไม่ต้องใช้เบรก

2.3) ระบบเบรก ใช้แบบดรัมเบรก (Drum Brake) โดยใช้หลักการทำงานพื้นฐานของการขยายตัวและหุบตัวของผ้าเบรกภายในจานดรัมเบรกโดยอาศัยแรงกลไกและไฮดรอลิก ดรัมเบรกประกอบด้วย

2.3.1) จานเบรกดรัม (Brake Drum) วัสดุที่ใช้ทำด้วยเหล็กหล่อที่ทดความร้อนสูง จานเบรกดรัมจะถูกออกแบบให้มีรูปร่างที่กลม อยู่ในตำแหน่งฝักเบรก ผิวด้านในจะเรียบทำให้มีประสิทธิภาพในการเบรกที่ดีและป้องกันฝุ่นละออง และน้ำที่จะเข้าไปข้างในได้ยาก

2.3.2) ฝักเบรก (Brake Shoe) วัสดุที่ใช้ทำด้วยเหล็กกล้า ลักษณะโครงสร้างออกแบบให้พอดีกับจานเบรกดรัม มีรูปร่างภาคตัดเป็นรูปตัวที (T-Shape) สันของฝักเบรกต้องมีความแข็งแรง ไม่คลอนขณะที่เสียดสีกับจานเบรกดรัม และต้องมีความกว้างยาวเท่ากับผ้าเบรก

2.3.3) ผ้าเบรก (Brake lining) วัสดุที่ใช้ทำจากโลหะผสมทองแดงและสังกะสี (Cu-Zn Alloy) ผสมกับฟิวเจอร์ แอสเบสตอส แกรไฟต์ หรือผงเหล็กเรซินผ่านความร้อนและแรงดันเพื่อทำให้แข็งตัวมีค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด 0.3 ถึง 0.5 ผ้าเบรกถูกยึดให้ติดกับฝักเบรกด้วยริเวตและกาว

2.3.4) กระบอกเบรกที่ล้อ (Wheel Cylinder) ทำหน้าที่รับแรงดันน้ำมันเบรก ที่เกิดขึ้นจากแม่ปั๊มเบรก ที่มากระทำต่อลูกยางเบรก ลูกสูบ และสลักดันที่จะผลักดันโดยตรงไปที่ผ้าเบรก ทำให้ผ้าเบรกมีแรงดันต้านการหมุนของจานดรัมเบรก

2.3.5) สปริงดึงกลับฝักเบรก (Return Spring) ทำหน้าที่ ดึงให้ฝักเบรกคืนกลับในตำแหน่งเดิมหลังจากปล่อยแป้นเหยียบเบรก

2.3.6) แผ่นหลังเบรก (Back Plate Brake) ทำจากแผ่นเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปแล้วยึดด้วยโบลต์เข้ากับเพลาท้ายของรถ ที่แผ่นหลังเบรกจะติดตั้งกระบอกเบรกที่ล้อและฝักเบรกโดยแรงที่เกิดจากการเบรก ทั้งหมดจะกระทำบนแผ่นหลังเบรก

3) เครื่องมือพร้อมส่วนประกอบต่างๆ ของระบบขับเคลื่อน

3.1) โครงรถ (Frame) ออกแบบใช้โครงรถแบบขั้นบันได (ladder Frame Type) โดยโครงรถแบบนี้จะไม่มีโครงยึดตรงกลาง แต่ก็จะเพิ่มโครงเหล็กขวางมีลักษณะคล้ายขั้นบันได เพื่อทำให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนโครงด้านข้างจะทำด้วยเหล็กรูปกล่องสี่เหลี่ยม

3.2) กะทะล้อ (Disc Wheel) ใช้กะทะล้อแบบเหล็กแผ่นอัดขึ้นรูป ทำจากเหล็กเหนียวอัดขึ้นรูป มีคุณสมบัติที่แข็งแรงทนทานสูง รักษารูปทรงได้ดี โดยจะทำแยกเป็นสองส่วนก็คือ ส่วนขอบและส่วนกลางที่เป็นแผ่นเหล็กอัดขึ้นรูปจะเชื่อมเข้าด้วยกัน ตรงกลางของกะทะล้อจะมี 4 รู และมีฐานน็อต

3.3) ยางรถ (Tire) การใช้ยาง จะเลือกใช้ยางแบบมียางใน (Tube) ส่วนดอกยางจะใช้แบบดอกยางหลัก (lug Pattern) ซึ่งลักษณะของดอกยางแบบนี้จะเป็น

ร่องหยาบๆ ขวางตัดหน้ายางไปตามเส้นรอบวงของดอกยาง โดยยางแบบนี้จะเหมาะกับรถที่ต้องบรรทุกน้ำหนัก และวิ่งบนสภาพถนนที่ไม่เรียบได้ดี

2.2 การประกอบติดตั้ง

1) ทำการประกอบชิ้นส่วนระบบเคลื่อนย้ายเครื่องเจาะดินทั้งในด้านโครงสร้างส่วนรับน้ำหนัก เครื่องยนต์ เกียร์ ระบบเบรก และอุปกรณ์ส่วนต่างๆ พร้อมแม่แรงรองรับน้ำหนักทั้ง 4 จุด

2) นำเครื่องเจาะดินมาทำการติดตั้งบนโครงสร้างรับน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักของเครื่องเจาะดินอยู่ตรงตำแหน่งจุดรองรับน้ำหนักพอดี

3) เมื่อทำการติดตั้งเครื่องเจาะดินเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ด้านหน้าส่งกำลังผ่านเพลาขับเคลื่อนล้อหลัง เปลี่ยนจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยโยกคันบังคับให้ระบบเกียร์ทำการขับเคลื่อน ในตำแหน่งเกียร์ 1, 2, 3, 4 และ 5

4) เมื่อถึงสถานที่ทำการเจาะสำรวจ ก็ทำการติดตั้งขายึดทั้ง 4 ตำแหน่ง ซึ่งจะใช้ในการปรับระดับเครื่องเจาะดินให้อยู่ในแนวระดับ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกเครื่องเจาะดินและรองรับน้ำหนักกดขณะทำการเจาะสำรวจ

5) เริ่มทำการเจาะสำรวจดินเพื่อเก็บตัวอย่างดินมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ หาคุณสมบัติของดินต่อไป

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการประดิษฐ์

จากการออกแบบและประดิษฐ์เครื่องเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุนโดยระบบขับเคลื่อนในข้างต้น ได้สิ่งประดิษฐ์ดังรูปที่ 1-7

รูปที่ 1 การประกอบระบบช่วงล่าง

รูปที่ 2 การติดตั้งแม่แรงเพื่อรองรับน้ำหนัก

รูปที่ 3 การประกอบตัวถังรถ

รูปที่ 4 เครื่องเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุนโดยระบบขับเคลื่อนที่ประกอบติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

รูปที่ 5 การตรวจสอบสิ่งประดิษฐ์จากผู้เชี่ยวชาญ

รูปที่ 6 การตรวจสอบสิ่งประดิษฐ์จากผู้เชี่ยวชาญ (ต่อ)

รูปที่ 7 การทดสอบความสะดวกรวดเร็วในการเคลื่อนที่

3.2 ปัญหาที่พบและการแก้ไข

1) ด้านโครงสร้างรับน้ำหนัก เรื่องของการประกอบจะไม่ค่อยพบปัญหาเท่าไร สำหรับโครงสร้างรับน้ำหนักสามารถรับน้ำหนักเครื่องเจาะดินได้ แต่เกิดปัญหาที่ตรงระบบช่วงล่างล้อหลังต้องทำการเสริมแหนบช่วยเป็น 2 ชุด ได้แก่ แหนบหลักและแหนบช่วย เพื่อช่วยผ่อนภาระการรับน้ำหนักทั้งเครื่องเจาะดินและการสั่นสะเทือนขณะเดินทางเคลื่อนย้ายเครื่อง

2) ด้านระบบขับเคลื่อน การขับเคลื่อนย้ายเครื่องเจาะดินจะไม่ค่อยพบปัญหาเท่าไร โดยเครื่องยนต์มีกำลังสูงสุด 130 HP สามารถขับเคลื่อนได้สะดวก แต่เกิดปัญหาเล็กน้อยเมื่อทำการขับเคลื่อนไปบนถนนที่ไม่เรียบหรือขรุขระ จะทำให้ระบบขับเคลื่อนล้อหลัง ซึ่งเป็นแบบแหนบคู่ขนาน เครื่องเจาะดินจะลดเสถียรภาพ เกิดมีการเอียงโคลงไปมาทางด้านซ้าย-ด้านขวาบ้าง

3) การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยรวมคือต้องจัดวางตำแหน่งของเครื่องเจาะให้น้ำหนักถ่ายลงเพลาหลังพอดีและยึดติดกับช่วงล่างให้แข็งแรงด้วยการยึดน็อตที่ฐานของเครื่องเจาะ

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

จากการประดิษฐ์เครื่องเจาะสำรวจดินแบบหัวหมุนโดยระบบขับเคลื่อนในครั้งนี้ สามารถประยุกต์เครื่อง

เจาะสำรวจดินแบบหัวหมุน เป็นระบบขับเคลื่อนเพื่อให้เดินทางไป ณ ตำแหน่งที่ต้องการเจาะสำรวจได้สะดวกยิ่งขึ้นสามารถขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนล้อหน้าแบบอิสระและล้อหลังแบบแหนบคู่ขนาน 2 ชั้น รวมถึงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดความจุ 2000 ซีซี ที่ให้กำลังแรงม้าสูงสุด 130 แรงม้า ช่วยลดจำนวนคนในการเคลื่อนย้ายและปฏิบัติการเจาะสำรวจ นอกจากนั้นยังเป็นการช่วยผ่อนแรงผู้ทำหน้าที่เจาะสำรวจในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีน้ำหนักมาก อีกทั้งการออกแบบให้มีไฟส่องสว่างทั้งด้านหน้า-หลังและบริเวณหัวเจาะนั้น ทำให้สามารถเจาะสำรวจดินได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืนอีกด้วย

4.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการพัฒนาเครื่องเจาะดินแบบขับเคลื่อนครั้งต่อไป ควรพัฒนาระบบช่วงล่างเป็นแบบระบบขับเคลื่อนสี่ล้อ และในส่วนของเครื่องยนต์ก็ต้องใช้สำหรับระบบขับเคลื่อนแบบสี่ล้อ เพื่อให้มีสมรรถนะในการขับเคลื่อนได้ดีขึ้น

2) ควรพัฒนาในส่วนของอุปกรณ์ที่จะต่อเข้ากับเครื่องยนต์สำหรับการใช้งานแบบเอนกประสงค์ เช่น เครื่องสูบน้ำสำหรับการเจาะสำรวจดินแบบฉีดล้าง เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2549 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณ นายทรงศักดิ์ วิชิตะกุล นางสาวปราณีต วิงวอน นายเสรี ศุภกำเนิด และนายสราวุธ สุภัณภพ สำหรับการออกแบบประกอบ ทดสอบ และเตรียมข้อมูลงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, 2547. เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

[2] ธีระยุทธ สุวรรณประทีป, 2542. ช่างรถยนต์มืออาชีพ.

[3] ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2540. ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องล่างรถยนต์. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพฯ.

[4] วรากร ไม้เรียง และคณะ, 2525. ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ฟิสิกส์เซนเตอร์. กรุงเทพฯ.

[5] วัฒนา ธรรมมงคล และ วินิต ช่อวิเชียร 2520. ปฐพีกลศาสตร์. ป. สัมพันธ์พาณิชย์. กรุงเทพฯ.

[6] สถาพร คูวิจิตรจารุ, 2542. ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพฯ.