# การออกแบบโรงงานทางวิศวกรรม : การสังเคราะห์และวิเคราะห์กระบวนการผลิต

Chemical Engineering Plant Design: Process Synthesis and Analysis

ฉัตรชัย กันยาวุธ[1]

## 1. บทนำ

กว่าศตวรรษที่ผ่านมาวิทยาการทางด้านวิศวกรรมกระบวนการได้รับการพัฒนาทั้งนี้เพื่อเป็นการแสวงหาแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการสร้างสรรค์วัสดุใหม่ที่มีคุณค่าเพิ่มขึ้นต่อมวลมนุษยชาติ (ถึงแม้ว่าจะมีหลายส่วนของการพัฒนาความรู้ไปในเพื่อการสร้างอาวุธเพื่อการทำลายล้าง) สำหรับวิทยาการทางด้านวิศวกรรมเคมีนั้นการบรรลุถึงเป้าหมายในการสร้างวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ นี้ถูกทำให้เกิดขึ้นได้โดยการทำให้มีการเปลี่ยนแปลงหรือการแยกทางเคมีหรือโดยกระบวนการทางชีววิทยาการออกแบบกระบวนการผลิตเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากแนวความคิดที่ได้รับการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาในเชิงพาณิชย์ ซึ่งต่อมาวิศวกรเคมีได้ถ่ายทอดแนวความคิดนี้ไปสู่การเลือกใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตที่กำลังถูกออกแบบ การทุ่มเทพยายามสร้างแนวความคิดใหม่ๆ ขึ้นมาในองค์กรหรือบริษัทผู้ผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ นั้นก็เพื่อที่จะ

- ผลิตวัตถุดิบให้กับกระบวนการอื่นๆ
- เปลี่ยนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่า
- ผลิตวัสดุชนิดใหม่ๆ เช่น อาหารเส้นใยสังเคราะห์ ฯลฯ
- พัฒนากระบวนการผลิตใหม่ เช่น กระบวนการผลิตทางเทคโนโลยีชีวภาพ
- แสวงหาวิธีการใหม่ๆ เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้ว เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการผลิตทางชีววิทยาที่เป็นแนวทางเลือกใหม่ๆ
- ค้นหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น วิทยาการทางด้านพันธุวิศวกรรม และระบบอัจฉริยะในกระบวนการผลิต
- ค้นหาวัสดุใหม่เพื่อรองรับเทคโนโลยีการก่อสร้างใหม่ๆ และผลิตวัสดุสำหรับใช้งานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่มีเงื่อนไขในการปฏิบัติงานที่อุณหภูมิและความดันสูง เช่น พอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดพิเศษ ฯลฯ

ถึงแม้ว่ามีกระบวนการผลิตจำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่อำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีวิตของมนุษยชาติ แต่ในความเป็นจริงแล้วการออกแบบกระบวนการผลิตที่จะได้รับการพิจารณาเพื่อนำไปสู่การออกแบบให้มีความเหมาะสมเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์นั้นมีอัตราการประสบความสำเร็จน้อยมาก มีเพียง 1-3% เท่านั้นที่กระบวนการผลิตที่อยู่ในขั้นตอนของการวิจัยที่จะประสบความสำเร็จในการนำไปพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ ส่วนกระบวนการผลิตที่อยู่ในขั้นตอนการพัฒนากระบวนการที่ประสบความสำเร็จในการนำไปใช้เป็นกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์นั้นมีเพียง 10-20% เท่านั้น และกระบวนการผลิตที่

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

โทรศัพท์ : 0-2549-4603 โทรสาร : 0-2549-4600 E-mail : s_kchat@access.rit.ac.th

อยู่ในขั้นตอนการออกแบบการผลิตในโรงงานทดลอง แล้วประสบความสำเร็จในการนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์มีเพียง 40-60% เท่านั้น

จากข้อมูลที่กล่าวในข้างต้นจะเห็นว่าไม่มีแนวความคิดใหม่ทุกแนวความคิดที่จะประสบความสำเร็จถึง 100% สำหรับการที่แนวความคิดใด ๆ จะถูกพิจารณาเลือกไปพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไปนั้นแนวความคิดนั้นจะผ่านการประเมินคุณค่าในทางเศรษฐศาสตร์ก่อน ดังนั้นขั้นตอนการประเมินคุณค่า (Evaluation) ของแนวความคิดจึงเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบกระบวนการผลิตและโรงงาน บทความนี้จะได้นำเสนอการสังเคราะห์และการวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คุณค่าของแนวความคิดหรือกระบวนการผลิตในเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อการออกแบบโรงงานอุตสาหกรรมเคมี

## 2. การสังเคราะห์และวิเคราะห์กระบวนการผลิต

การสังเคราะห์กระบวนการผลิต คือ การเลือกเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิต และการกำหนดลักษณะการทำงานที่เกี่ยวข้องและต่อเนื่องกันภายในกระบวนการผลิตของเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิตที่เลือกมา การออกแบบกระบวนการผลิตนั้นเป็นปัญหาที่มีความแตกต่างจากปัญหาทางวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ กล่าวคือ การออกแบบกระบวนการผลิตเป็นโจทย์หรือปัญหาที่ไม่มี (หรือไม่สามารถกำหนด) ขอบเขตที่ชัดเจน กล่าวคือ ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิตมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นยกตัวอย่างเช่น การทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นนักเคมีอาจจะค้นพบปฏิกิริยาเคมีใหม่ ๆ ที่สามารถใช้ในการสังเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้ว หรือค้นพบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่สำหรับปฏิกิริยาที่ใช้สังเคราะห์ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่มีอยู่แล้ว การนำเอาสิ่งที่ค้นพบในห้องปฏิบัติการนี้มาพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตแบบใหม่ ๆ นั้น ข้อมูลที่มีอยู่ในขณะนี้ คือ เงื่อนไขของการเกิดปฏิกิริยาที่ได้จากห้องทดลอง และอาจจะพอมีข้อมูลเสริมเกี่ยวกับวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากฝ่ายการตลาดของบริษัท ดังนั้นวิศวกรเคมีในฐานะที่เป็นวิศวกรกระบวนการผลิตจะต้องเป็นผู้ที่ระบุ (หรือกำหนด) ข้อมูลเพิ่มเติมที่จำเป็นให้เพียงพอสำหรับการกำหนดคุณลักษณะและขอบเขตของการออกแบบกระบวนการผลิต ข้อมูลที่จำเป็นต้องระบุเพิ่มเติมนั้นได้แก่

- เครื่องมือและอุปกรณ์การผลิตชนิดใดที่ควรจะถูกนำมาใช้ในการกระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบนี้
- ลักษณะและวิธีการเชื่อมต่อกันภายในของเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิต
- ความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหลของสารเคมีต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการทำงานที่กล่าวมาในข้างต้นนี้เรียกว่าการสังเคราะห์กระบวนการ เป็นกิจกรรมที่ค่อนข้างยากลำบากเนื่องจากข้อมูลที่ถูกกำหนดขึ้นมานั้นอาจจะมีมากถึง $10^4$-$10^6$ ชุดข้อมูลที่สามารถจะทำให้บรรลุเป้าหมายตามที่ต้องการ ดังนั้นการออกแบบกระบวนการผลิตจึงถือได้ว่าเป็นปัญหาหรือโจทย์ที่มีคำตอบที่ถูกต้องมากกว่าหนึ่ง และหลาย ๆ ครั้งที่ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นข้อยุติได้เลย โดยทั่วไปแล้ววิศวกรเคมีและฝ่ายออกแบบกระบวนการผลิตต้องการที่จะได้กระบวนการผลิต (ที่เลือกมาจากกระบวนการผลิตหลาย ๆ กระบวนการที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากข้อมูลมีจำนวนมากถึง $10^4$-$10^6$ ชุดข้อมูล) ที่มีประสิทธิภาพมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่มาก และให้ความมั่นใจได้ว่ากระบวนการผลิตที่เลือกมานั้นมีความปลอดภัย โดยไม่ถูกจำกัดจากผลกระทบของส่วนใด ๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อการทำลายสิ่งแวดล้อม มีบางกรณีที่อาจจะใช้กฎเกณฑ์การคิดลัดมาช่วยในการคัดเลือกแนวทางหรือกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสมทิ้งไปได้ แต่ก็มีหลายกรณีเช่นกันที่ต้องออกแบบกระบวนการผลิตให้มากกว่าหนึ่งกระบวนการ (ซึ่งได้มาจากหลายแนวความคิดและหลายชุดข้อมูล) จากนั้นเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละกระบวนการผลิตเพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป โดยทั่วไปแล้ววิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการผลิตที่มี

ประสบการณ์มากจะสามารถประเมินค่าใช้จ่ายหรือราคาของกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็วโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบราคาของหน่วยการผลิตหรือกลุ่มของหน่วยการผลิตของกระบวนการผลิต (ที่กำลังออกแบบ) กับราคาของหน่วยการผลิตของกระบวนการผลิตอื่นที่มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบอยู่ ในขณะที่วิศวกรเคมีที่มีประสบการณ์ไม่มากอาจจะต้องออกแบบกระบวนการผลิตขึ้นมาหลาย ๆ กระบวนการจากหลายแนวความคิด จากนั้นประเมินราคาของกระบวนการผลิตเหล่านี้เพื่อหากระบวนการผลิตที่ดีที่สุด

เนื่องจากการออกแบบกระบวนการเป็นปัญหาที่มีคำตอบที่สามารถยอมรับได้มากกว่าหนึ่งคำตอบและมีอัตราการถูกนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นกระบวนการผลิตจริงนั้นมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดยุทธศาสตร์ในการออกแบบกระบวนการผลิตให้เหมาะสมเพื่อที่จะใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการออกแบบกระบวนการผลิต วิศวกรเคมีที่มีประสบการณ์ไม่มากมักจะต้องสร้างกระบวนการตัวเลือกให้มีมาก ๆ ไว้ก่อน จากนั้นจึงทำประเมินราคาค่าใช้จ่ายของกระบวนการตัวเลือกเหล่านั้น ในขณะที่วิศวกรเคมีที่มีประสบการณ์มากนั้นจะออกแบบกระบวนการเพื่อให้มีกระบวนตัวเลือกน้อยที่สุด

**3. วิธีการออกแบบทางวิศวกรรม**

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบกระบวนการผลิตสามารถที่เปรียบเทียบได้กับการวาดภาพ กล่าวคือการวาดภาพจะเริ่มต้นด้วยการวาดเค้าโครงของภาพที่ต้องการอย่างคร่าว ๆ ขึ้นมาก่อน การทำเช่นนี้เพื่อที่จะวิเคราะห์ได้ว่าส่วนไหนของภาพที่กำลังวาดอยู่นั้นมีความสำคัญมากที่สุดที่ควรจะต้องวาดลายละเอียดเพิ่มเติมก่อน สำหรับการออกแบบกระบวนการผลิตนั้นขั้นตอนเริ่มแรกวิศวกรเคมีจะต้องค้นหาหรือวิเคราะห์ให้ได้ว่าส่วนใดของกระบวนการผลิตมีราคาหรือค่าใช้จ่ายมากที่สุดโดยที่มีความลงตัวหรือการผสมผสานร่วมกันของหลายปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากในทางเศรษฐศาสตร์ (Economic trade-off) ที่ยอมรับได้มากที่สุดจากนั้นวิศวกรเคมีจะทำการประเมินว่าส่วนของกระบวนการผลิตที่เลือกมานั้นมีคุณค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากน้อยเพียงไร (ในขั้นตอนการเลือกส่วนที่คิดว่าสำคัญที่สุดของกระบวนการนี้อาจจะพบว่ามีหลายส่วนที่สามารถจะเป็นตัวเลือกที่เป็นต้นแบบที่นำไปสู่การปรับปรุงหรือสร้างเป็นกระบวนการตัวเลือกเพิ่มขึ้นในภายหลังได้) ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นกิจกรรมที่ทำเพื่อหาคุณลักษณะของกระบวนการผลิตที่ยอมรับได้จากการร่างหรือพิจารณากระบวนการผลิตโดยคร่าว ๆ ก่อนที่จะมีการออกแบบในรายละเอียดทางวิศวกรรมเพิ่มเติมสำหรับขั้นตอนต่อมาของการวาดรูปจิตรกรจะเพิ่มรายละเอียดของแบบที่ร่างไว้ เช่น การระบายสี การแรเงา ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้ภาพที่กำลังวาดนี้มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อวิศวกรเคมีพบ (หรือเลือก) ว่าส่วนใดของกระบวนการผลิตที่มีราคาแพงที่สุดและสำคัญที่สุด (หลังจากการประเมินคุณค่าส่วนของกระบวนการผลิตนี้ในทางเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่ามีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่จะนำไปพัฒนาเพื่อให้เป็นกระบวนการผลิตที่สมบูรณ์ต่อไป) การออกแบบในรายละเอียดทางวิศวกรรมของส่วนที่เลือกมานี้ก็จะถูกเริ่มต้นขึ้นในขั้นตอนนี้จะมีพิจารณาทั้งในแง่ของการประเมินราคาของกระบวนการผลิตให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีการคำนวณหารายละเอียดทางด้านวิศวกรรมเพิ่มเติมของส่วนของกระบวนการผลิตที่เลือกมานี้ เช่น การทำสมดุลมวลและพลังงาน รอบ ๆ อุปกรณ์การผลิตส่วนนี้ มีหลายกรณีที่วิศวกรเคมีจำเป็นต้องเพิ่มเติมรายการคำนวณหรือกำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีราคาไม่แพงแต่มีการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ส่วนที่สำคัญที่กำลังถูกออกแบบอยู่ในขณะนี้ (โดยทั่วไปแล้วราคาของอุปกรณ์ขนาดเล็กเหล่านี้ไม่ค่อยมีผลกระทบอย่างมากต่อราคารวมของโรงงาน) อุปกรณ์ขนาดเล็กเหล่านี้ได้แก่ ปั๊ม ถังแยกสารแบบลดความดัน (Flash drum) ฯลฯ

**4. ระดับของการออกแบบทางวิศวกรรม**

การประเมินราคาและค่าใช้จ่ายของกระบวน

การผลิตนั้นจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับข้อมูลและรายละเอียดของกระบวนการผลิตว่ามีมากน้อยเพียงใดเช่นกัน การประเมินค่าใช้จ่ายและราคาของกระบวนการผลิตนั้นสามารถทำได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบอย่างง่ายและรวดเร็วแต่มีผลทำให้ความแม่นยำในการประเมินราคากระบวนการมีน้อยมากไปจนถึงการประเมินค่าใช้จ่ายและราคาของกระบวนการผลิตจากการออกแบบที่มีขั้นตอนการคำนวณในรายละเอียดมากแต่ทำให้มีความแม่นยำในแง่ของการประเมินราคาสูง

การประเมินค่าใช้จ่ายและราคาของกระบวนการผลิตจากระดับหรือปริมาณของรายละเอียดของการคำนวณเพื่อการออกแบบนั้นมีดังต่อไปนี้

1. Order-of-Magnitude (Ratio estimate) การประเมินโดยวิธีการนี้จะเป็นการเปรียบเทียบราคาโดยอาศัยพื้นฐานของความคล้ายคลึงกันของกระบวนการผลิตที่มีอยู่แล้วกับกระบวนการผลิตใหม่ที่กำลังออกแบบ จากนั้นใช้ราคาข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีอยู่แล้วเป็นเกณฑ์ในการประเมิน การประเมินราคากระบวนการผลิตในลักษณะ เช่นนี้จะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า $\pm$ 40%
2. Study estimate (factor estimate) เป็นการประเมินราคาโดยการใช้ข้อมูลราคาของอุปกรณ์หลัก ๆของส่วนที่สำคัญและมีราคาแพงที่สุดของกระบวนการผลิต เป็นเครื่องกำหนดราคารวมของกระบวนการผลิต การประเมินราคากระบวนการผลิตในลักษณะ เช่นนี้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงถึง $\pm$ 25%
3. Preliminary estimate (budget authorization estimate; scope estimate) เป็นการประเมินราคาที่อยู่บนพื้นฐานของการมีข้อมูลที่ค่อนข้างมากเพียงพอที่จะยอมรับให้ราคากระบวนการผลิตที่ประเมินแล้วถูกนำมาใช้กำหนดเป็นงบประมาณที่ต้องการสำหรับการลงทุนในกระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบนี้ การประเมินราคากระบวนการผลิตในลักษณะเช่นนี้จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm$ 12%
4. Definitive estimate (project control estimate) เป็นการประเมินราคาจากรายละเอียดและข้อมูลของกระบวนการผลิตที่มีอยู่แล้วเกือบสมบูรณ์ เพียงแต่ยังไม่ได้มีการเขียนแผนภาพแสดงรายละเอียดของการไหลกระบวนการและการกำหนด คุณลักษณะของอุปกรณ์การผลิต การประเมินราคากระบวนการผลิตในลักษณะเช่นนี้จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm$ 6%
5. Detailed estimate (contractor's estimate) เป็นการประเมินราคาจากรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแผนภาพที่แสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและข้อมูลของการกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์การผลิต การประเมินราคากระบวนการผลิตในลักษณะเช่นนี้จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm$3%

การประเมินราคาแบบ Order-of-Magnitude นั้นอาจจะดูแล้วไม่สามารถจะกระทำได้ในกรณีที่กระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบอยู่นั้นเป็นกระบวนการใหม่ที่ยังไม่เคยมีการออกแบบและใช้งานจริงในการผลิตมาก่อน เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน อย่างไรก็ตามวิศวกรเคมีที่มีประสบการณ์จะสามารถประเมินค่าใช้จ่ายและราคากระบวนการผลิตโดยใช้วิธีการแบบนี้ได้โดยการเขียนแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Process Flow Diagram, PFD) ที่กำลังออกแบบนี้ให้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันระหว่างกระบวนการผลิตใหม่ (ที่กำลังออกแบบ) กับกระบวนการผลิตที่มีอยู่แล้ว (ข้อมูลของกระบวนการผลิตเก่านี้ยังคงถูกเก็บรักษาไว้ในสำนักงานออกแบบของบริษัท)

**5. ลำดับความสำคัญในการออกแบบกระบวนการผลิต**

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น การออกแบบ

กระบวนการผลิตนั้นมีลักษณะเหมือนกับการวาดรูปของจิตรกร กล่าวคือจะต้องเริ่มต้นด้วยการแก้ปัญหาโดยการสร้างคำตอบที่มีลักษณะที่ง่ายจากนั้นเพิ่มเติมระดับของรายละเอียดข้อมูล ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงแนวทางการเข้าถึงวิธีการออกแบบกระบวนการผลิต การทำความเข้าใจระดับชั้นของรายละเอียดของข้อมูลกระบวนการผลิตที่จะได้อธิบายต่อไปนี้จะทำให้ทราบว่าถึงแนวความคิดที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบกระบวนการเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

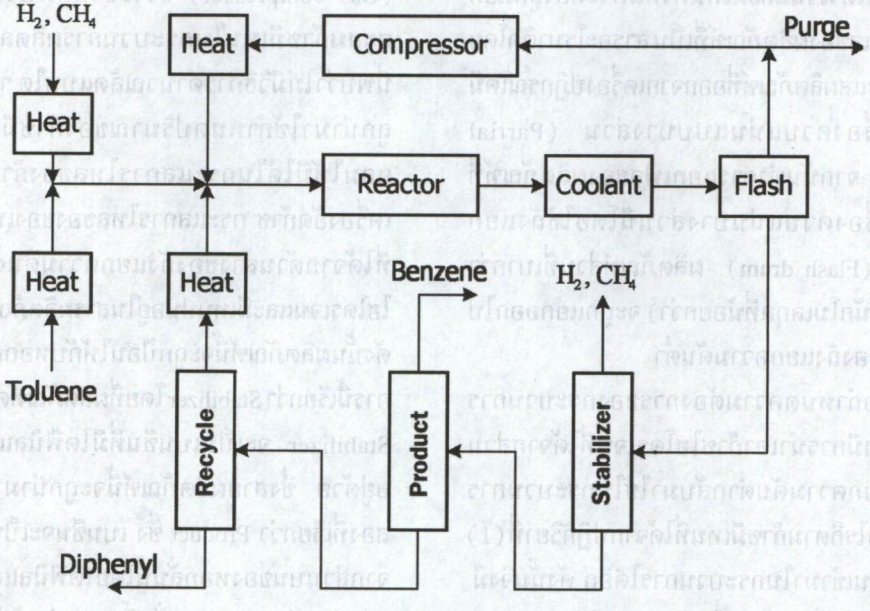
**การผลิตเบนซินวิธีการไฮโดรดีอัลคีเลชันของโทลูอีน (Hydrodealkylation of Toluene Process)**

ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเบนซีนจากโทลูอีนสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

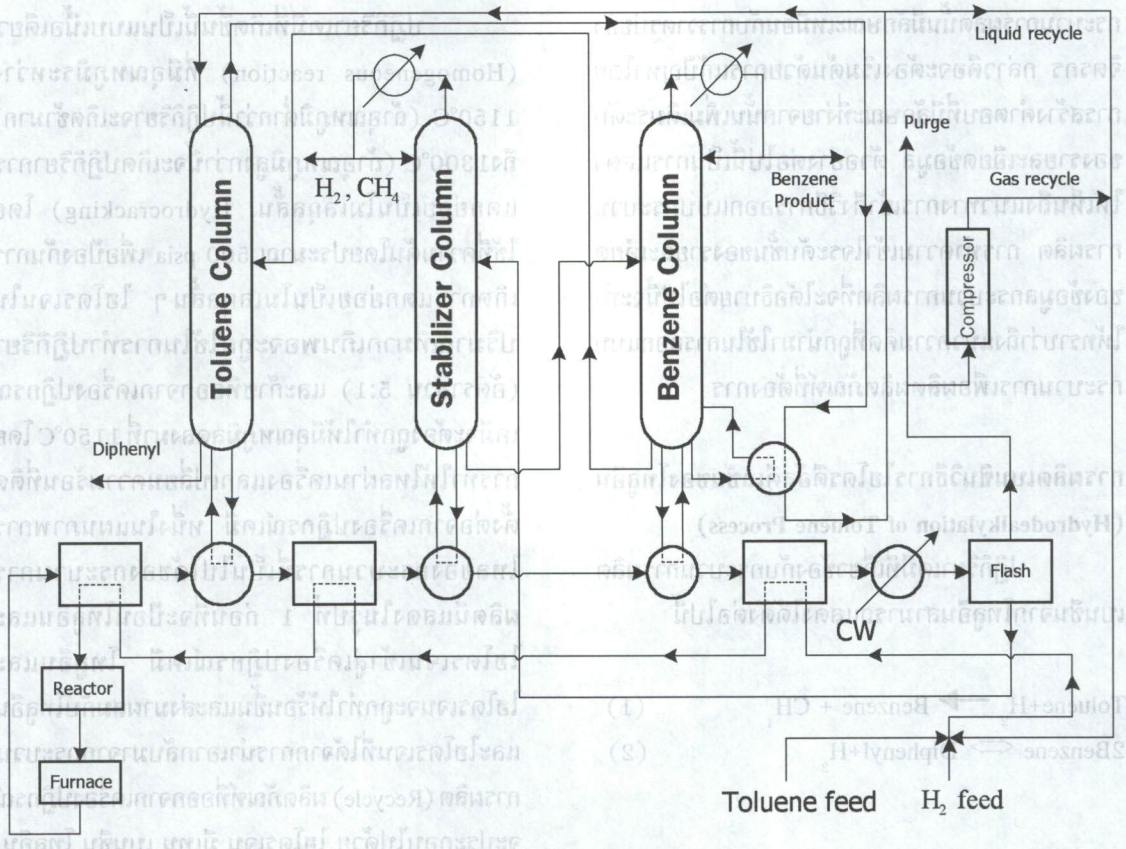
$$Toluene + H_2 \longrightarrow Benzene + CH_4 \quad (1)$$

$$2Benzene \Longleftrightarrow Diphenyl + H_2 \quad (2)$$

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนี้เป็นแบบเนื้อเดียว (Homogeneous reaction) ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 1150°C (ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก) ถึง1300°C (ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเกิดปฏิกิริยาการแตกย่อยเป็นโมเลกุลสั้น, Hydrocracking) โดยใช้ที่ความดันโดยประมาณ 500 psia เพื่อป้องกันการเกิดการแตกย่อยเป็นโมเลกุลสั้น ๆ ไฮโดรเจนในปริมาณที่มากเกินพอจะถูกใช้ในการทำปฏิกิริยา (อัตราส่วน 5:1) และก๊าซที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะต้องถูกทำให้มีอุณหภูมิลดลงมาที่ 1150°C โดยการทำให้ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งต่อจากเครื่องปฏิกรณ์เคมี หนึ่งในแผนภาพการไหลของกระบวนการที่เป็นไปได้ของกระบวนการผลิตนี้แสดงในรูปที่ 1 ก่อนที่จะป้อนโทลูอีนและไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมี โทลูอีนและไฮโดรเจนจะถูกทำให้ร้อนขึ้นและส่งมาผสมกับโทลูอีนและไฮโดรเจนที่ได้จากการนำเอากลับมาจากกระบวนการผลิต (Recycle) ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะประกอบไปด้วย ไฮโดรเจน มีเทน เบนซีน โทลูอีน และไดฟีนิล โดยข้อกำหนดความต้องการของกระบวน




รูปที่ 1 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตเบนซินจากโทลูอีน (HDA Process)




**รูปที่ 2** แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตเบนซีนจากโทลูอีนที่แสดงการทำ Energy Integration

การผลิตนี้ ไฮโดรเจนและมีเทนทั้งหมดจะต้องถูกแยกออกจากกระแสของผลิตภัณฑ์ที่เป็น สารอะโรมาติกโดยการนำเอากระแสผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมีนี้ไปผ่านเครื่องควบแน่นแบบบางส่วน (Partial Condenser) จากนั้นทำการแยกเฟสของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องควบแน่นบางส่วนนี้โดยใช้ถังแยกความดันต่ำ (Flash drum) ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เบากว่า (สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่า) จะถูกแยกออกไปทางด้านบนของถังแยกความดันต่ำ

ตามข้อกำหนดความต้องการของกระบวนการผลิตที่จะต้องมีการนำเอาก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากส่วนบนของถังแยกความดันต่ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีก อย่างไรก็ตามก๊าซมีเทนที่ได้จากปฏิกิริยาที่ (1) ยังคงปนเปื้อนเข้ามาในกระบวนการได้อีก ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้มีการเป่าไล่ก๊าซบางส่วนออกจากกระแสก๊าซที่ป้อนกลับก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องอัดก๊าซ (Gas compressor) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของการสะสมก๊าซมีเทนในกระบวนการผลิตลงได้บ้าง ในที่นี้พบว่าไม่มีวิธีการคำนวณลัดแบบใด ๆ ที่สามารถจะถูกนำมาใช้กำหนดปริมาณของก๊าซมีเทนที่ควรจะยอมให้มีได้ในกระแสการไหลของก๊าซที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอัดก๊าซ กระแสการไหลของของเหลวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากด้านล่างของถังแยกความดันต่ำยังคงมีก๊าซไฮโดรเจนและมีเทนปนอยู่ในสารผลิตภัณฑ์ อะโรมาติก ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จะถูกป้อนให้กับหอกลั่นในกระบวนการนี้เรียกว่า Stabilizer โดยที่ผลิตภัณฑ์ด้านล่างของหอ Stabilizer จะเป็นเบนซีนที่มีไดฟีนิลและโทลูอีนปนอยู่ด้วย ซึ่งสายผลิตภัณฑ์นี้จะถูกนำมาเข้าหอกลั่นที่สองที่เรียกว่า Product ซึ่ง เบนซีนจะเป็นผลิตภัณฑ์ได้จากส่วนบนของหอกลั่นนี้โดยไดฟีนิลและโทลอีนที่ได้จากส่วนล่างของหอกลั่นนี้จะถูกส่งเข้าไปที่หอกลั่นที่สามเพื่อแยกออกจากโทลูอีน

เมื่อพิจารณาแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตเบนซีนจากโทลูอีนที่แสดงในรูปที่ 1 จะพบว่ากระบวนการผลิตนี้ไม่มีประสิทธิภาพในแง่ของการพิจารณาเรื่องการประหยัดพลังงานเนื่องจากต้องใช้ระบบทำความเย็นและให้ความร้อนจากภายนอกทุกขั้นตอนในกระบวนการผลิต ปัจจุบันนี้มีเทคนิคการประหยัดพลังงานโดยวิธีการรวมพลังงาน (Energy Integration) ได้ถูกมาใช้ในการออกแบบกระบวนการผลิต โดยที่การทำความเย็นและการทำให้ร้อนในกระบวนการจะถูกกำหนดให้เกิดขึ้นโครงข่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger Network)

การที่จะสามารถออกแบบให้มีการประหยัดการใช้พลังงานโดยวิธีการรวมพลังงานนั้นข้อมูลกระบวนการที่จะต้องทราบคือ อัตราการไหลและองค์ประกอบของสาร อุณหภูมิเข้าและออก สายการไหลแต่ละสายในกระบวนการ รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพการไหลของกระบวนการอีกรูปแบบหนึ่ง ออกแบบให้มีการประหยัดพลังงานโดยการรวมพลังงาน จากแผนภาพนี้จะพบว่ากระแสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะถูกนำไปใช้เป็นสารให้ความร้อนบางส่วนแก่กระแสวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์เคมี จากนั้นกระแสของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์เคมีจะถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อนแก่กระแสการไหลของวัตถุดิบของกระบวนการ และที่หม้อต้มซ้ำ (Reboiler) ของหอกลั่นแยกโทลูอีน รวมทั้งหอกลั่นแยกเบนซีน และให้ความร้อนแก่ก๊าซก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องกลั่นแยกบางส่วน นอกจากการเพิ่มความดันในหอกลั่นแยกโทลูอีนจะทำให้อุณหภูมิในการกลั่นตัวของโทลูอีนมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนล่างของหอกลั่นแยกเบนซีน ซึ่งจะทำให้โทลูอีนที่กลั่นได้นั้นสามารถนำมาใช้ในการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำของหอกลั่นแยกเบนซีนแทนที่จะต้องใช้ไอน้ำอิ่มตัวและน้ำทำเย็นจากระบบอัตถบริการภายนอก (External utilities)

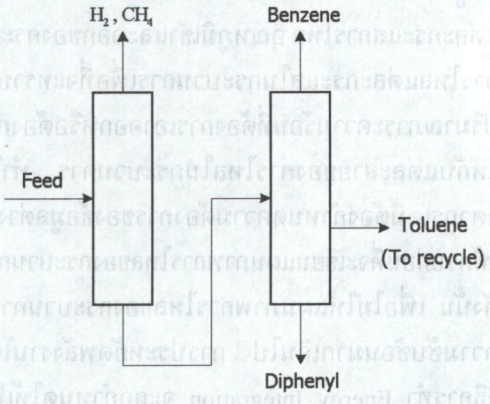
ถ้าเปรียบเทียบแผนภาพการไหลของกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 2 กับรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าแผนภาพการไหลของกระบวนการที่มีการรวมพลังงานจะมีความซับซ้อนกว่ากรณีแรกซึ่งเห็นได้จากการที่มีจุดเชื่อมกันภายในกระบวนการค่อนข้างมาก จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยวิธีการรวมพลังงานนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลของอัตราการไหลและองค์ประกอบของสารของแต่ละกระแสการไหล อุณหภูมิเข้าและออกของกระแสการไหลแต่ละกระแสในกระบวนการเพื่อที่จะทราบว่าปริมาณภาระความร้อนที่ต้องการเอาออกหรือต้องการให้กับแต่ละสายของการไหลในกระบวนการ ทำให้วิศวกรเคมีต้องกำหนดความต้องการของข้อมูลต่าง ๆ ให้ครบก่อนที่จะเขียนแผนภาพการไหลของกระบวนการ ดังนั้น เพื่อไม่ให้แผนภาพการไหลของกระบวนการมีความซับซ้อนมากเกินไป การประหยัดพลังงานโดยวิธีการทำ Energy Integration จะถูกกำหนดให้เป็นกิจกรรมที่ทำในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบกระบวนการผลิต

**6. อนุกรมของหอกลั่นที่วางเรียงกันเป็นแบบตู้รถไฟ**

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาหอกลั่นแยกจำนวนสามหอที่มีลำดับการทำงานต่อเนื่องกันเป็นอนุกรมในลักษณะที่คล้ายกับตู้โบกี้ของขบวนรถไฟที่แสดงในรูปที่ 1 เนื่องจากไดฟีนิลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการและสามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ดังแสดงในสมการที่ (2) ดังนั้นถ้าสามารถนำเอาไดฟีนิลมาปฏิกิริยาร่วมกับกับโทลูอีนและทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่สภาวะสมดุล จะสามารถลดจำนวนหอกลั่นแยกลงได้หนึ่งหอถึงแม้ว่าจะทำให้อัตราการไหลผ่านเครื่องปฏิกรณ์เคมีของกระแสต่าง ๆ ในกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้น

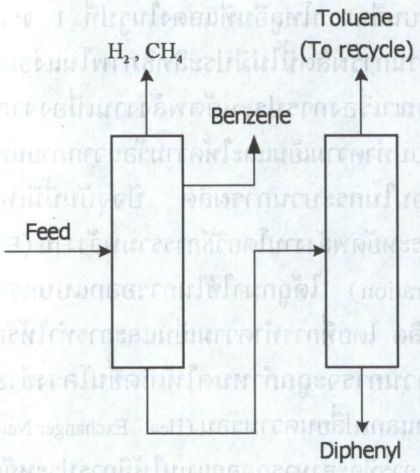
ในกรณีที่ความต้องการที่จะได้ไดฟีนิลดังที่แสดงในแผนภาพการไหลของกระบวนการ (รูปที่ 1) สิ่งแรกที่จะต้องคาดหวัง (กำหนด) ไว้ก่อนคือ ไดฟีนิลและโทลูอีนจะต้องสามารถถูกแยกออกจากกันได้ง่าย ซึ่งวิศวกรเคมีจะออกแบบหอกลั่นให้สามารถแยกสายผลิตภัณฑ์ออกได้หลายสายทั้งทางด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างของหอกลั่น เพื่อที่จะให้การแยกของ เบนซีน-โทลูอีน-ไดฟีนิล สามารถเกิดขึ้นได้ภายในหอเดียว โดยเบนซีนจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ส่วนบนของหอกลั่น การกำจัดโทลูอีนในลักษณะที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกดึง

ออกทางด้านข้างของหอกลั่นและไดฟีนิลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ด้านล่างของหอกลั่นดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** หอกลั่นแยกที่จัดเรียงใหม่โดยลดจำนวนลงจาก 3 เป็น 2 หอ (เปรียบเทียบกับรูปที่ 1)

ถ้าโทลูอีนถูกดึงออกจากหอกลั่นที่ถาดต่ำกว่าถาดของสายที่ป้อนเข้า (Feed tray) จะทำให้ได้เบนซีนที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามความบริสุทธิ์ของโทลูอีนที่ได้จากการดึงออกทางด้านข้างของหอกลั่นจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่การกลั่นแยกโดยที่โทลูอีนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนบนของหอกลั่นของการกลั่นตามปกติ เนื่องจากไม่มีข้อกำหนดความต้องการในเรื่องความบริสุทธิ์ของโทลูอีนในกระบวนการนี้ ดังนั้นการลดจำนวนหอกลั่นลงอาจช่วยให้ประหยัดในเรื่องราคาของอุปกรณ์การผลิตได้อย่างมาก นอกจากนี้แล้วถ้าหากว่าการแยกเอามีเทนออกจากเบนซีนที่เกิดขึ้นในหอกลั่นที่เรียกว่า Stabilizer นั้นเกิดขึ้นได้ง่ายวิศวกรเคมีอาจจะออกแบบหอกลั่นให้สามารถที่จะแยกเอาเบนซีนออกมาได้ในลักษณะที่เป็นสายผลิตภัณฑ์ด้านข้างของหอกลั่นที่ใช้แยกระหว่างไฮโดรเจน/มีเทน-เบนซีน-โทลูอีน และไดฟีนิล (ในหอกลั่นที่เรียกว่า Pasteurization column) ดังแสดงในรูปที่ 4 การทำเช่นนี้อาจจะ ช่วยลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการผลิตในส่วนของราคาอุปกรณ์ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดลำดับการกลั่นแยกผลิตภัณฑ์ดังที่แสดงในแผนภาพการไหลของกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 4** หอกลั่นแยกที่กำหนดชนิดของผลิตภัณฑ์ที่กลั่นแยกใหม่ในแต่ละหอ

การออกแบบระบบการแยกสารในกระบวนการผลิตนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลขององค์ประกอบของสายที่ถูกป้อนเข้าสู่หอกลั่นแยกหลายหอที่ติดตั้งต่อเนื่องกันแบบโบกี้รถไฟ ดังนั้น ก่อนที่ออกแบบระบบการกลั่นแยกแบบต่อเนื่องที่มีหอกลั่นหลายหอต่อกันเป็นอนุกรมนั้น วิศวกรเคมีจะต้องกำหนดส่วนที่เหลือของแผนภาพการไหลของกระบวนการให้ได้ก่อนและจะต้องมีการประเมินลักษณะการไหลโดยรวมของกระบวนการด้วย ดังนั้น จะต้องออกแบบระบบการกลั่นแยกแบบต่อเนื่องที่มีหอกลั่นหลายหอต่อกันเป็นอนุกรมก่อนที่จะออกแบบระบบโครงข่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

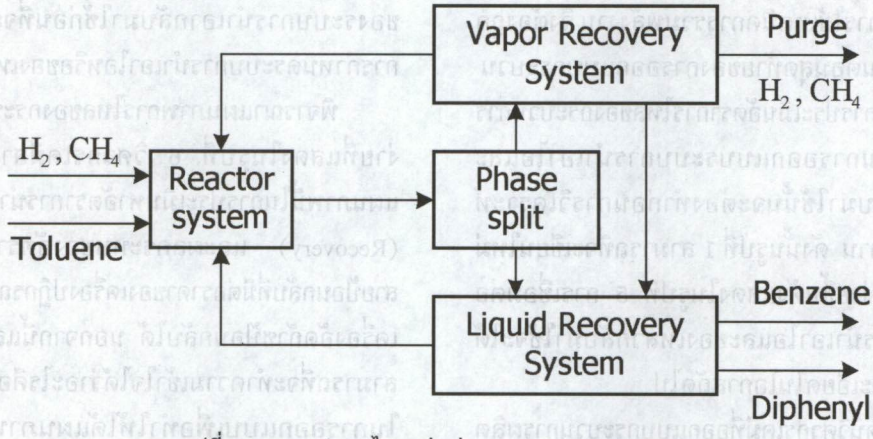
เมื่อพิจารณารูปที่ 1 อีกครั้ง จะพบว่ามีกระแสของไอที่ไหลออกจากส่วนบนของถังแยกความดันต่ำโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์แยกประเภทนี้ไม่สามารถแยกสารออกจากกันที่มีความบริสุทธิ์มาก ๆ ได้ ดังนั้นจะมีสารอะโรมาติกปนออกไปกับไอที่ไหลออกทางด้านส่วนบนของถังแยกความดันต่ำ นอกจากนี้แล้วสารอะโรมาติกก็จะสูญเสียไปในการเป่าไล่ไอบางส่วนทิ้งไปด้วย การติดตั้งระบบการนำไอกลับมาใช้ (Vapor recovery system) กับสายของไอที่ออกจากส่วนบนของถังแยกความดันต่ำหรือกับสายของไอที่เป่าทิ้งไป

จะสามารถแยกเอาสารอะโรมาติกเหล่านี้กลับมาได้ ระบบการนำเอาไอกลับมาใช้สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการดังต่อไปนี้

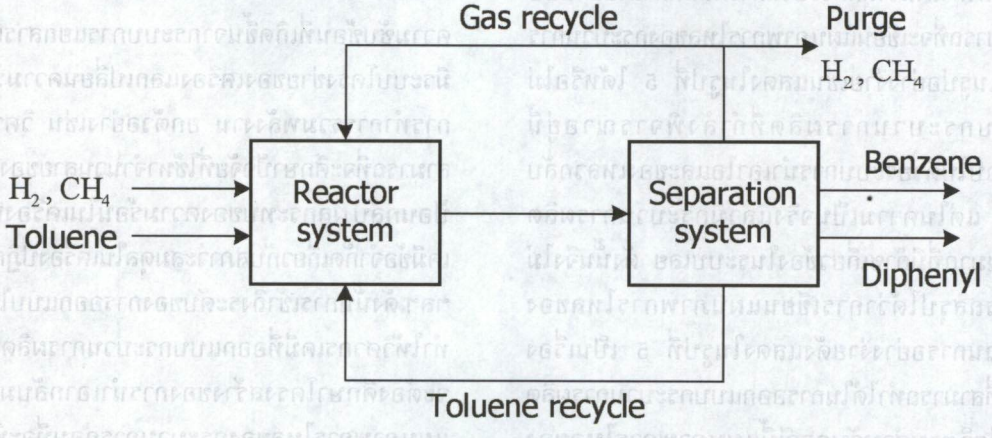
- กระบวนการทำให้มีการกลั่นตัว (ที่ใช้ความดันสูง ๆ หรืออุณหภูมิต่ำ ๆ หรือทั้งสองกรณีพร้อมกัน)
- กระบวนการดูดซับ (Adsorption)
- กระบวนการดูดซึม (Absorption)
- กระบวนการแยกโดยใช้ Membrane

การประเมินว่าระบบการนำไอกลับมาใช้จะมีคุณค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากน้อยเพียงใดนั้น วิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการผลิตจะต้องสามารถประเมินหาปริมาณของสารอะโรมาติก ไฮโดรเจน และมีเทนที่สูญเสียในสายไอที่เป่าทิ้งให้ได้ก่อน ดังนั้นก่อนที่จะพิจารณาถึงความจำเป็นในการออกแบบระบบการนำเอาไอกลับมาใช้ วิศวกรเคมีจะต้องกำหนดส่วนที่เหลือของแผนภาพการไหลของกระบวนการ และจะต้องประเมินการอัตราการไหลของแต่ละสายของสารในกระบวนการผลิตด้วย ดังนั้น การที่ต้องพิจารณาการออกแบบระบบการนำเอาไอกลับมาใช้ก่อนการออกแบบระบบการแยกของเหลวนั้น เพราะว่าสายการไหลที่เป็นตัวเลือกสำหรับระบบการนำเอาไอกลับมาใช้ (โดยวิธีการที่แจกแจงไปแล้วในข้างต้นนั้น เช่น การดูดซับก๊าซ) นั้นโดยปกติจะถูกรวมอยู่กับสายของเหลวที่ส่งไปที่ระบบแยกของเหลว

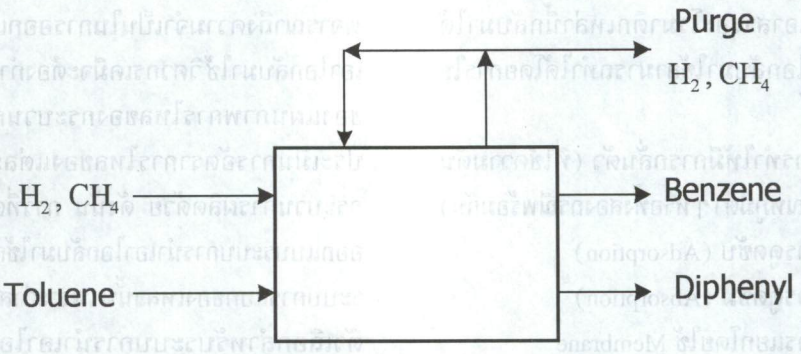
## 6. การทำแผนภาพการไหลของกระบวนการให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย




รูปที่ 5 แผนภาพการไหลอย่างง่ายของกระบวนการ HDA




รูปที่ 6 แผนภาพการไหลของกระบวนการHDA แสดงโครงสร้างของระบบการนำสารเคมีกลับมาใช้




รูปที่ 7 แผนภาพการไหลของกระบวนการ HAD แสดงโครงสร้างของกระแสป้อนเข้าและกระแสไหลออก

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงวิธีการเขียนแผนภาพการไหลของกระบวนการให้มีรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแผนภาพการไหลของกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 1 มีรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจมากกว่ารูปที่ 2 ดังนั้นการประหยัดพลังงานโดยการใช้เทคนิคการรวมพลังงาน จึงต้องถูกพิจารณาในขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบกระบวนการผลิต และการประเมินอัตราการไหลของกระบวนการเพื่อที่จะใช้ในการออกแบบระบบการนำเอาไอและของเหลวกลับมาใช้นั้นจะต้องทำก่อนการวิเคราะห์การรวมพลังงาน ดังนั้นรูปที่ 1 สามารถที่จะเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 การเชื่อมต่อของระบบการนำเอาไอและของเหลวกลับมาใช้จะได้กล่าวในรายละเอียดในโอกาสถัดไป

มาถึงจุดนี้วิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการผลิตจะต้องตั้งคำถามว่าทุกกระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบนั้นสามารถที่จะเขียนแผนภาพการไหลของกระบวนการให้อยู่ในรูปอย่างง่ายเช่นแสดงในรูปที่ 5 ได้หรือไม่ สำหรับกระบวนการผลิตที่กำลังพิจารณาอยู่นี้ประกอบไปด้วยระบบการนำเอาไอและของเหลวกลับมาใช้ แต่ในความเป็นจริงแล้วมีกระบวนการผลิตจำนวนมากที่มีก๊าซเกี่ยวข้องในระบบเลย ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการเขียนแผนภาพการไหลของกระบวนการอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นเรื่องทั่วไปที่สามารถทำได้ในการออกแบบกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีนี้แผนภาพการไหลของกระบวนการอย่างง่ายที่แสดงในรูปที่ 5 สามารถที่จะเขียนใหม่ได้โดยการยุบรวมเอาระบบการนำเอาไอและของเหลวกลับมาใช้ให้เป็นบล็อกเดียวกันได้ดังแสดงในรูปที่ 6 ดังนั้น ในการออกแบบกระบวนการผลิตจะต้องมีการระบุหรือกำหนดโครงสร้างทั่วไปของระบบการนำเอากลับมาใช้ก่อนที่จะพิจารณาถึงการกำหนดระบบการนำเอาไอหรือของเหลวกลับมาใช้

พิจารณาแผนภาพการไหลของกระบวนการอย่างง่ายที่แสดงในรูปที่ 6 วิศวกรเคมีสามารถที่จะใช้แผนภาพนี้ในการประเมินหาอัตราการนำเอากลับมาใช้ (Recovery) และผลกระทบของอัตราการไหลของสายป้อนกลับที่มีต่อราคาของเครื่องปฏิกรณ์เคมีและราคาเครื่องอัดก๊าซป้อนกลับได้ นอกจากนี้แล้ววิศวกรเคมีสามารถที่จะทำความเข้าใจได้ว่าอะไรคือปัญหาสำคัญในการออกแบบเพื่อทำให้ได้แผนภาพการไหลของกระบวนการที่มีลักษณะที่ง่ายโดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากระบบการแยกสารและการมีระบบโครงข่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการทำการรวมพลังงาน ยกตัวอย่างเช่น วิศวกรเคมีสามารถที่จะศึกษาปัจจัยที่ใช้หาจำนวนสายของการไหลป้อนกลับ ผลกระทบของความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์เคมีข้อจำกัดเกี่ยวกับสภาวะสมดุลในเครื่องปฏิกรณ์เคมี ฯลฯ ดังนั้นการเข้าถึงระดับของการออกแบบในขณะนี้ทำให้วิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการผลิตทราบว่าจะต้องศึกษาโครงสร้างของการนำเอากลับมาใช้ของแผนภาพการไหลของกระบวนการก่อนที่จะพิจารณา

รายละเอียดของระบบการแยกสารในกระบวนการผลิต

แผนภาพการไหลของกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 6 เป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ แต่ในตอนนี้จะพิจารณารูปแบบการแสดงการไหลของกระบวนการโดยวิธีการที่ง่ายยิ่งขึ้นไปกว่าที่ได้จากรูปที่ 6 ถ้าเขียนกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบกระบวนการทั้งหมดเอาไว้ จะเห็นได้อย่างชัดเจนที่สุดว่ามีเหลือเฉพาะสายที่ป้อนเข้าและสายผลิตภัณฑ์ที่ออก การพิจารณารูปที่ 7 อย่างคร่าว ๆ จะพบว่ารูปนี้จะให้ความรู้สึกที่ค่อนข้างง่าย ในการแสดงระบบกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้การทำความเข้าใจตัวแปรในการออกแบบที่มีผลกระทบที่มีต่อการทำสมดุลมวลรวมของกระบวนการผลิตนี้ได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มเติมตัวแปรกระบวนการอื่น ๆ อีก เนื่องจากราคาของวัตถุดิบโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ระหว่าง 33-85% ของราคาผลิตภัณฑ์โดยรวม ซึ่งสิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าการทำสมดุลมวลรอบ ๆ ระบบกระบวนการเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบกระบวนการผลิต ดังนั้น การออกแบบกระบวนการผลิตจะต้องทำการพิจารณาหาโครงสร้างของการป้อนเข้า-การไหลออกของแผนภาพการไหลของกระบวนการ และการตัดสินใจใด ๆ ที่จะมีผลต่อโครงสร้างนี้ก่อนที่จะพิจารณาระบบการนำเอากลับมาใช้

**8. ข้อจำกัดที่เป็นไปได้ในการออกแบบกระบวนการ**

แผนภาพการไหลของกระบวนการที่แสดงในรูปที่1 นั้นได้ให้ข้อมูลในเรื่องของความต่อเนื่องของกระบวนการไอ-ของเหลวที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เดี่ยวและเกี่ยวข้องเฉพาะกับสารเคมีที่ง่าย (ไม่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์และไฮโดรคาร์บอน) มีหลายกระบวนการที่มีลักษณะที่เป็นไปในรูปแบบที่มีความจำกัดขอบเขตเช่นนี้ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตที่เป็นแบบกะ (Batch process) นั้นจะมีโครงสร้างที่ค่อนข้างแตกต่างกัน (โดยทั่วไปแล้วหน่วยการผลิตสามารถที่จะปฏิบัติการในลักษณะต่าง ๆ ในถังใบเดียวได้) และจะทำให้กระบวนการแบบกะเหล่านี้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในขั้นตอนแรก การตัดสินใจควรจะเป็นการพิจารณาและแยกให้เห็นว่ากระบวนการผลิตจะเป็นแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง

**9. ลำดับความสำคัญในการตัดสินใจ**

จากแนวทางต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นนั้น เมื่อถูกรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันแล้วจะสามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นแนวทางในการเข้าถึงวิธีการออกแบบกระบวนการผลิตได้ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่ต้องเผชิญในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบกระบวนการผลิตโดยวิธีการกำหนดให้เป็นการจัดลำดับความสำคัญของการตัดสินใจ (ดูตารางที่ 1 ประกอบ)

ประโยชน์อย่างมากของวิธีการนี้คือวิศวกรเคมีสามารถที่จะคำนวณหาขนาดของเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิตและสามารถประเมินราคาจากการที่มีลำดับขั้นความสำคัญในการออกแบบ ซึ่งถ้าพบว่าผลกำไรที่คาดการไว้จะมีแนวโน้มไปในทางที่จะติดลบในระหว่างขั้นตอนการออกแบบขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งแล้ว จะทำให้วิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการทราบว่าการเลือกกระบวนการที่เป็นตัวเลือกอื่นแทนนั้นมีความจำเป็น หรืออาจจะยุติการออกแบบกระบวนการโดยไม่ต้องหาคำตอบที่สมบูรณ์ของปัญหาในการออกแบบนี้ต่อไป

**ตารางที่ 1** ลำดับความสำคัญของการตัดสินใจในขั้นตอนการออกแบบกระบวนการ

| | |
|---|---|
| 1. | กระบวนการแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง |
| 2. | โครงสร้างการป้อนเข้า-ไหลออกของแผนภาพการไหลของกระบวนการ |
| 3. | โครงสร้างการไหลของการนำเอากลับมาใช้ของแผนภาพการไหลของกระบวนการ |
| 4. | โครงสร้างทั่วไปของระบบการแยกสารในกระบวนการ |
| | 4.1 ระบบการนำเอาไอกลับมาใช้ |
| | 4.2 ระบบการนำของเหลวกลับมาใช้ |
| 5. | โครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน |

ประโยชน์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจัดลำดับความสำคัญของขั้นตอนการตัดสินใจในการออกแบบคือ การตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดลักษณะโครงสร้างของแผนภาพการไหลของกระบวนการในแต่ละระดับ

ของการออกแบบจะทำให้ทราบว่าในการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการออกแบบหรือเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจนั้นจะทำให้ได้แนวทางหรือกระบวนการที่เป็นตัวเลือกเพิ่มขึ้นมาในลักษณะอย่างไร ดังนั้นการออกแบบโดยการใช้แนวทางนี้จะลดโอกาสที่จะพลาดในการมองข้ามตัวเลือกที่มีคำสำคัญไป ซึ่งวัตถุประสงค์ของการสร้างแนวความคิดหลักในการออกแบบก็คือการหากระบวนการตัวเลือกที่ดีที่สุด

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะมีจำนวนกระบวนการตัวเลือกมากถึง $10^4$-$10^6$ ตัวเลือกถ้าหากว่าทุกแนวทางที่เป็นไปได้นั้นถูกนำมาพิจารณา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่วิศวกรเคมีจะต้องหาแนวทางที่จะช่วยให้สามารถลดจำนวนกระบวนการตัวเลือกได้อย่างรวดเร็ว โดยปกติแล้ววิศวกรเคมีที่มีประสบการณ์มากมักจะใช้การประเมินราคาแบบ order-of-magnitude เพื่อความง่ายในการทำสมดุลมวลของกระบวนการ หาสมการสำหรับการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิต การคำนวณราคาและค่าใช้จ่ายของกระบวนการผลิต และเป็นเครื่องช่วยในการลดจำนวนกระบวนการที่เป็นตัวเลือก

วิธีการคำนวณลัดแบบนี้ค่อนข้างจะมีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้กำจัดกระบวนการหรือแนวทางที่เป็นตัวเลือกที่มีแนวโน้มที่จะไม่สอดคล้องกับกำไรที่ต้องการได้เกือบ 90% ต่อมาการสังเคราะห์และวิเคราะห์แนวทางการออกแบบกระบวนการผลิต จะช่วยให้วิศวกรเคมีสามารถเลือกกระบวนการผลิตที่คาดว่าจะมีกำไรได้ถ้ามีการคำนวณหาข้อมูลเหล่านี้ซ้ำหลาย ๆ ครั้งการทำเช่นนี้จะทำให้ทราบว่าจะต้องเพิ่มเติมข้อมูลทางวิศวกรรมในระหว่างการออกแบบได้มากขึ้นในขั้นตอนใด ๆ ของการออกแบบกระบวนการผลิต

การใช้วิธีการคำนวณลัดเพื่อหาคำตอบในการออกแบบและการใช้แนวทางการจัดลำดับความสำคัญในการตัดสินใจในการออกแบบนั้นจะช่วยให้วิศวกรเคมีที่ออกแบบกระบวนการสามารถตรวจสอบกับนักเคมีผู้ที่พัฒนากระบวนการขั้นต้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจจะพบว่ามีสารเคมีตัวเลือกอื่นที่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวเดียวกันได้ และอาจจะสามารถช่วยให้มีแนวทางการพัฒนาแผนภาพการไหลของกระบวนการได้หลายแผนภาพ ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ควรจะเป็นเท่าไร (หรือทราบสัดส่วนของโมลการในการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น) จึงจะทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการตัวเลือกหลายกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้นักเคมีทดลองและเก็บข้อมูลในช่วงหรือขอบเขตที่จะสามารถได้มาซึ่งข้อมูลที่จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการที่จะทำให้ได้ผลกำไรมากที่สุดและจะช่วยให้นักเคมีไม่ต้องทดลองในช่วงที่ให้ข้อมูลที่เมื่อใช้ในการออกแบบแล้วทำให้กระบวนการที่กำลังออกแบบนั้นมีกำไรน้อย

## 10. การแยกย่อยข้อมูลจากกระบวนการ

แนวทางและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนั้นสามารถที่จะนำมาใช้ในการศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการที่มีอยู่แล้วได้โดยการแยกย่อยข้อมูลจากกระบวนการนั้น การทำเช่นนี้ก็เพื่อที่จะทราบถึงเหตุผลของการตัดสินใจในการพัฒนกระบวนการนั้น หรือเพื่อที่พัฒนาระบบการหากระบวนการที่เป็นตัวเลือก วิธีการแยกย่อยข้อมูลจากกระบวนการนั้นสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำจัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถังต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตและถังเก็บสาร
2. จัดกลุ่มหอกลั่นแยก (บล็อกของระบบแยกของเหลว)
3. ทำให้โครงสร้างทั่วไปของระบบการแยกสารมีรูปแบบอย่างง่าย (เช่น รูปที่ 5)
4. จัดกลุ่มทุกหน่วยของระบบการแยกสารในกระบวนการโดยเขียนเป็นบล็อกเดี่ยว (เหมือนรูปที่ 6)
5. เขียนกระบวนการในอยู่ในรูปบล็อกเดี่ยว

วิธีการการแยกย่อยข้อมูลนี้จะแตกต่างจากการแบ่งแยกแต่ละส่วนของแผนภาพการไหลของกระบวนการเพราะแต่ละส่วนที่แบ่งแยกออกมานั้นยังคงที่ลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของมันอยู่ เหมือนกับการเป็นหน่วยปฏิบัติการ

ในการพัฒนาเพื่อหากระบวนการตัวเลือกเราจะต้องทำงานโดยอาศัยกรอบเช่นนี้โดยจะต้องพิจารณาโรงงานทั้งหมด (ทุกหน่วยปฏิบัติงาน) อยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มเติมข้อมูลที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในหลายระดับ

## 11. สรุป

การวิเคราะห์กระบวนการและการออกแบบกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการจัดลำดับความสำคัญในการตัดสินใจตามขั้นตอนที่แสดงในตารางที่ 1 นั้น จะช่วยให้ประเมินได้ว่า กระบวนการผลิตที่กำลังออกแบบอยู่นั้นมีแนวโน้มที่จะเป็นกระบวนการที่มีความเป็นไปได้ที่จะมีกำไรหรือไม่ ซึ่งจะช่วยให้วิศวกรเคมีสามารถตัดสินใจได้ว่าควรจะแสวงหาหรือเลือกกระบวนการตัวเลือกใหม่ หรือหยุดการออกแบบกระบวนการนั้นก่อนที่จะดำเนินการออกแบบในรายละเอียดทางวิศวกรรมในขั้นตอนต่อไป

## เอกสารอ้างอิง


1. J. M. Douglas, **Conceptual Design of Chemical Process** Singapore.McGraw-Hill Inc., 1988.
2. C. M. Thatcher. **The Fundamental of Chemical Engineering** . Merrill, Columbus, Ohio, 1962. Chapter 3.
3. A. Pikulik and H. E. Diaz, " Cost Estimating Major Process Equipment."**Chem. Eng.**, 84 (2) : 106, 1977.



**ประวัติผู้เขียนบทความ**

**ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ**
**Ph.D.,DIC**
สอนวิชา Chemical Engineering Plant Design และวิชาProcess Dynamic and Control เป็นเวลากว่า 5 ปี ผ่านการฝึกอบรมด้าน Petrochemical Engineering Technology ที่ NAIT ประเทศแคนนาดา ในระหว่างศึกษาที่ Imperial College of Science Technology and Medicine University of London ได้เคยศึกษาวิชา Dynamic Behavior of Process Systems และวิชา Flexible Plant Operation โดยวิจัยเกี่ยวผลกระทบของสภาวะการผลิตที่มีต่อจุลโครงสร้างของเนื้อพลาสติกผสม