บทที่ 2
ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

บทนี้จะกล่าวถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งจะเกี่ยวกับกระบวนการกลั่น การจำลอง โปรแกรมจำลองกระบวนการอื่นที่สามารถทำออปติไมเซชันได้

2.1 การออกแบบที่เหมาะสมของกระบวนการแยกอากาศโดยใช้โปรแกรมจำลอง OPTISIM

โปรแกรมจำลอง OPTISIM และการประยุกต์บน ออน-ไลน์ และ ออฟ-ไลน์ ออปติไมเซชัน โดย Peter S. Burr / Linde AG / Gemany โปรแกรมจำลอง OPTISIM ได้ถูกพัฒนาโดย Linde AG เพื่อใช้สำหรับประยุกต์การออกแบบโรงงานที่เหมาะสม สำหรับหลายกรณีที่จะทำออปติไมเซชันพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิต และออปติไมเซชันการดำเนินงานของกระบวนการจริง

โปรแกรมแบบจำลองตัวแรกที่ทาง Linde AG ได้พัฒนาขึ้นมาคือ DOP ในปี 1965 ซึ่งแบบจำลองในช่วงแรกนี้เป็นชนิดซีเควนเชียล โมดูลาร์ คือแต่ละหน่วยของกระบวนการจะถูกแทนที่ด้วย Subroutine แต่ละหน่วยนี้ถ้ามีการทำซ้ำไปซ้ำมาจะถูกคำนวณโดย การทำซ้ำ แต่ละครั้งจะนำผลที่ได้ไปแทนในการทำซ้ำครั้งต่อไป อย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ใช้งานมีเวลามากพอที่จะพิจารณาผลที่ได้ ความช้าของการคำนวณเป็นข้อเสียหลัก ได้มีวิธีการ 2 ข้อที่ใช้แก้ปัญหา วิธีการแรก คือ พัฒนากระบวนการแก้ปัญหาการลู่เข้าของการย้อนกลับ ซึ่งได้พัฒนาจากกระบวนการ "DOMINANT EIGENVALUE" และ "WEGSTEIN" จนได้วิธี ควอไซล์ นิวตัน ซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีที่สอง คือ สร้างสมการชุดขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายกระบวนการที่สมบูรณ์และทำการแก้สมการโดยใช้วิธีNewton

ความพยายามครั้งแรกได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม สปีดอัพ จาก Imperial College,London ค้นปี 1980 ซึ่งได้พัฒนา "อีคเวชัน ออเรียนท์" เพื่อที่จะทำให้การคำนวณที่จุดคงตัวเร็วขึ้น ซึ่งแบบจำลองนี้เหมาะกับจุดประสงค์ในการออปติไมซ์ อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีข้อเสียอย่างมาก คือ ต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก และข้อบกพร่องอีกอย่างคือ ทุกสิ่งในโปรแกรมถูกนิยามไว้อย่างแน่นอน สิ่งเหล่านี้เป็นผลเสียสำหรับผู้ใช้งาน

หลายปีต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆทางด้านคอมพิวเตอร์ขึ้นอย่างมาก ทำให้สามารถคำนวณ และแก้สมการได้อย่างรวดเร็ว ทาง Linde AG จึงได้พัฒนา อีคเวชัน ออเรียนท์ ขึ้น ชื่อว่า OPTISIM ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของผู้ใช้งานป้อนคำสั่ง, ส่วนคำสั่งคำนวณผล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ ส่วนของข้อมูลพื้นฐาน OPTISIM เป็นแบบจำลองซึ่งใช้ภาษาที่เป็นมาตรฐานเหมือนกับแบบจำลองอื่นๆ เช่น โฟลแพค และ แอสเพน พลัสโดยที่การกำหนดค่าป้อนเข้าจะเป็นรูปแบบที่สมบูรณ์ จะถูกแยกออกเป็นส่วนๆสำหรับใส่ข้อมูลโดยเฉพาะ ในฐานข้อมูลของ OPTISIM นั้นมีรูปแบบของอุปกรณ์ต่างๆให้เลือกมากมาย เช่น หอกลั่น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แยกเฟส เป็นต้น

การออปติไมเซชันโดยใช้แบบจำลองที่เป็น อีคเวชัน ออเรียนท์ จะให้ผลที่มีความถูกต้องสูง ทั้ง ออปเจคทีฟฟังก์ชัน และข้อจำกัดในการแก้ปัญหาของออปเจคทีฟฟังก์ชันให้ง่ายขึ้นได้มีการนำเอาสมการมาตรฐานเพื่อสนับสนุนการคำนวณดังนี้

$$\text{SUM}[\ C(i) \times V(i)\ ] \text{ for } i = 1 \text{ to } N$$

$$\text{SUM}[\ C(i) \times (V(i) - P(i)) \times (V(i) - P(i))\ ] \text{ for } i = 1 \text{ to } N$$

โดยที่ C(i) : เป็นค่าคงที่

P(i) : เป็นพารามิเตอร์

V(i) : เป็นตัวแปรปรับ

ความยากอย่างหนึ่งของการออกแบบ คือ การกำหนดจุดป้อนเข้า และดึงออกที่เหมาะสม ตัวโปรแกรมมีการรวมอัลกอริทึมที่สามารถออปติไมซ์ทุกเทรย์ในคอลัมน์ และตัวแปรต่างๆในกระบวนการ ในทางปฏิบัติพบว่ามีความจำเป็นที่จะต้องออปติไมซ์ค่าสัดส่วนรีฟลักซ์เพื่อที่จะให้ผลที่ได้ดีที่สุด อัลกอริทึมนี้มีประโยชน์อย่างมากกับการออปติไมซ์โรงงานแยกอากาศ เนื่องจากมีจุดเชื่อมต่อ จุดป้อนเข้า และจุดดึงออกหลายจุด

ออน-ไลน์ออปติไมเซชันเป็นการออปติไมซ์กระบวนการผลิตซึ่งจะเหมือนกับการออปติไมซ์การออกแบบแต่ง่ายกว่า อย่างไรก็ตามผลที่ได้ออกมาจะดีหรือไม่ ขึ้นกับการจูนแบบจำลอง อุปกรณ์การวัดและควบคุมต้องอยู่ในสภาพที่ดี และข้อมูลที่นำมาใช้เปรียบเทียบต้องเป็นข้อมูลที่ดำเนินงานของกระบวนการอย่างราบเรียบ

2.2 การออปติไมซ์ระบบการหล่อเย็นโดยใช้ แอสเพน พลัส

ทำการจำลอง และออปติไมเซชัน ระบบหล่อเย็นในโรงงานผลิตโอเลฟินส์ โดยใช้โปรแกรมจำลองแอสเพน พลัส รูปแบบของอุปกรณ์ที่เลือกใช้จากข้อมูลใน แอสเพน พลัส คือ RADFRAC และใช้คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิก โดยใช้สมการของ Redlich-Kwong ทำการจำลองกระบวนการเพื่อทำออปติไมเซชันหาจุดสภาวะการทำงานที่ดีที่สุด และมีต้นทุนการผลิตต่ำลง ออปเจคทีฟฟังก์ชันที่ใช้ คือ หอน้ำหล่อเย็นถ้าอุณหภูมิยอดหอสูง อัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอจะเพิ่มมาก

ขึ้น และไหลไปสู่คอมเพรสเซอร์มากขึ้นจึงทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำหล่อเย็นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำที่ใช้หล่อเย็นจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ต้องใช้ร่วมกับกระบวนการอื่นด้วย ดังนั้นถ้าสภาวะการดำเนินงานปรับเปลี่ยนไปจะมีผลต่อต้นทุนการผลิต ต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้น เกิดจากสองส่วนคือ คอมเพรสชัน และ น้ำหล่อเย็น ตัวแปรปรับสำหรับระบบนี้มีสองตัวคือ สัดส่วนโมลของน้ำหล่อเย็นส่วนแรกและส่วนที่สอง ข้อจำกัดคือ อุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นส่วนแรกที่ 60 และส่วนที่สองที่ 43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ผลออปติไมเซชันซึ่งทำโดยอัตราป้อนแก๊สเข้าคงที่ แล้วหาสภาวะที่ทำให้การดำเนินงานมีต้นทุนต่ำลง ผลที่ได้คือสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ 3.46% หรือประมาณ 3.86 ล้านบาทต่อปี

2.3 ออปติไมเซชันกระบวนการผลิตแอมโมเนียโดยใช้ แอสเพน พลัส

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อทำการจำลองกระบวนการเป็นเครื่องมือสำคัญของวิศวกร แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองกระบวนการนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำอัลกอริทึมของการออปติไมซ์ได้โดยอัตโนมัติ การทำออปติไมเซชันจึงได้มาจากการทำกรณีศึกษา จากการทำออปติไมเซชันของ Ballman และ Gaddy ของกระบวนการเมทานอล โดยใช้การสุ่มตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าที่เหมาะสมให้กับออปเจคทีฟฟังก์ชัน ซึ่งกระบวนการนี้ไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาออปติไมเซชันขนาดใหญ่ เนื่องจากใช้เวลามากเกินไป จึงได้มีวิธีการใหม่ที่จะใช้คำนวณทางออปติไมเซชันคือ Sucessive Quadratic Programming (SQP) ซึ่งสามารถที่จะแก้ปัญหาออปติไมเซชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ข้อจำกัดไม่จำเป็นต้องลู่เข้าในการคำนวณซ้ำแต่ละครั้ง และจะลู่เข้าหาคำตอบเมื่อออปเจคทีฟฟังก์ชันลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม ตัวอย่างการออปติไมเซชัน การผลิตแอมโมเนียโดยใช้ SQP อัลกอริทึม แบบจำลองกระบวนการที่ใช้คือ แอสเพน พลัส รูปแบบของอุปกรณ์ที่เลือกใช้ เลือกจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ในโปรแกรม ออปเจคทีฟฟังก์ชันที่ใช้คือ ต้องการผลิตแอมโมเนียให้มากที่สุด ซึ่งในตัวอย่างนี้ได้แสดงให้เห็นว่า การทำออปติไมเซชันของกระบวนการที่มีตัวแปร 10 ตัว โดยใช้ SQP นั้นสามารถที่จะคำนวณได้โดยไม่เสียเวลามาก ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่า การออปติไมเซชันโดยใช้ SQP อัลกอริทึม สามารถคำนวณผลได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาไม่มาก

2.4 ออปติไมเซชันกระบวนการผลิตแอมโมเนียโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

มีโรงงานผลิตแอมโมเนียประมาณ 400 แห่งทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แก๊สธรรมชาติ และเชื้อเพลิงเป็นหลัก และมีตัวแปรมากมายที่ทำให้โรงงานไม่สามารถดำเนินงานได้ที่จุดเหมาะสม

จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ที่จุดที่เหมาะสมให้ได้ กระบวนการผลิตโดยทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วย Natural gas desulfurization, primary reforming, secondary reforming, water-gas shift conversion, carbondioxide removal, methanation, synthesis gas compression, ammonia conversion ซึ่งในแต่ละหน่วยการทำงานจะมีตัวแปรที่มีผลกระทบต่อแต่ละหน่วยแตกต่างกันไป จึงต้องศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบของแต่ละหน่วยผลิต เพื่อที่จะตั้งออปเจคทีฟฟังก์ชันของแต่ละหน่วย ในการจำลองกระบวนการได้ใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละหน่วยผลิต และใช้ระบบควบคุมที่จะสามารถทำนายผล และสามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันเพื่อที่จะออปติไมซ์กระบวนการดำเนินงาน ในแต่ละหน่วยการ ผลิตจะมีระบบควบคุมแบบปิดของตัวเอง และจะส่งสัญญาณไปที่หน่วยผลิตส่วนอื่นได้ ผลของการออปติไมซ์โดยรวมของทุกหน่วยผลิต ใช้ออปเจคทีฟฟังก์ชันคือ ปริมาณการผลิตแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ต้นทุนแก๊สและเชื้อเพลิง ดังสมการ

Profit = NH_3 revenue + CO_2 revenue + steam revenue – feed cost – fuel cost

ข้อจำกัดที่ใช้คือ 1. Minimum steam – to – carbon ratio

2. Minimum steam export

3. Minimum ammonia production

ผลการทำออปติไมเซชันที่ได้ ทำให้ได้ค่าตัวแปรปรับใหม่ ซึ่งสามารถทำให้ได้ระบบดำเนินงานที่เหมาะสม และได้ผลกำไรสูงสุด

2.5 การออปติไมเซชันกระบวนการกลั่นแบบกะโดยใช้แบบจำลองไม่เชิงเส้น

กระบวนการกลั่นแบบกะ เป็นสิ่งที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถใช้งานได้หลากหลาย โรงงานมีความยืดหยุ่น และโรงงานที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนสภาวะการผลิตตามสภาวะเศรษฐกิจ การกลั่นชนิดเหมาะกับการกลั่นแยกหลายสัดส่วนซึ่งมีปัญหากับเวลาที่จำกัดในการกลั่นตัวแปรตัดสินที่ใช้คือ สัดส่วนไหลย้อนกลับ ในการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ มีหลายวิธี เช่น Euler-lagrange ซึ่งจะใช้เวลานาน วิธีที่สะดวกและง่ายกว่าคือ การใช้ NLP (Nonlinear Programming) ในการแก้ปัญหา ในตัวอย่างนี้ได้ทำการออปติไมซ์การกลั่นสารผสมสี่องค์ประกอบ โดยใช้ Runge-Kutta แก้สมการอนุรักษ์มวลและพลังงาน แล้วใช้ NLP ในการทำออปติไมเซชัน โดยเปรียบเทียบระหว่างใช้สัดส่วนไหลป้อนกลับคงที่ กับสัดส่วนไหลป้อนกลับเปลี่ยนแบบเส้นตรง และสัดส่วนไหลป้อนกลับเปลี่ยนแปลงแบบเอ็กส์โปเนนเชียล ผลปรากฏว่าใช้สัดส่วนไหลป้อนกลับเปลี่ยนแปลงแบบเส้นตรง และเปลี่ยนแปลงแบบเอ็กส์โปเนนเชียล จะสามารถทำให้ปริมาณดิสทิเลตมากกว่า สัดส่วนไหลป้อนกลับคงที่ 5% และ 10% ตามลำดับ