บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 1 มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับหอกลั่นมากมาย แต่ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ราคาของพลังงานได้สูงขึ้น จึงเกิดแนวโน้มการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ปัญหาที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ การเลือกโครงสร้างการควบคุมหอกลั่น ที่จะทำให้ระบบควบคุมมีสมรรถนะและมีเสถียรภาพ ให้ผลิตภัณฑ์ได้ตามที่กำหนด ที่ผ่านมาได้มีงานศึกษามากมายทั้งการทดลอง การเลียนแบบ หรือศึกษาเชิงวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ค.ศ.1965 J.E.Rijnsdorp ได้เสนอการใช้ตัวแปรปรับที่เป็นอัตราส่วนของตัวแปรกระแสไหล $L/(L+D)$ ในการควบคุมส่วนผสมผลิตภัณฑ์ยอดหอ แทนตัวแปรแบบเดี่ยว เช่น D หรือ L อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อลดการกระทบระหว่างลูพลง

ค.ศ.1972 W.Luyben กับ C.Vinante ได้ทดลองกลั่นแยกเมธานอลและน้ำ และได้หาแบบจำลองหอกลั่นของโครงสร้าง LV

ค.ศ. 1973 R.K.Wood กับ M.W.Berry ได้ทดลองกลั่นแยกของผสมเอธานอลกับน้ำ เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุมหอกลั่น 3 แบบ คือ LV, แบบไม่กระทบระหว่างลูพ (Non-interacting structure) ที่สังเคราะห์จากแบบจำลองไดนามิก และแบบอัตราส่วน

(Ratio structure หรือ [(*L*+*D*)/*L*,*V*]) ที่ประยุกต์จากข้อเสนอแนะของ J.E.Rijnsdorp เพื่อเปรียบเทียบการกระทบกันระหว่างลูพควบคุมเมื่อควบคุมทั้งผลิตภัณฑ์ยอดหอและฐานหอพร้อมกัน และความสามารถในการปัดผลกระทบจากอัตราการไหลกระแสป้อน (*F*) พบว่า รูปแบบโครงสร้างอัตราส่วน (*L*+*D*)/*L*,*V* และแบบไม่กระทบระหว่างลูพ มีการตอบสนองที่มีสมรรถนะการควบคุมได้ดีใกล้เคียงกัน สามารถลดการกระทบระหว่างลูพและปัดการรบกวนจากอัตราไหลกระแสป้อนได้ดีกว่ารูปแบบโครงสร้าง *LV* ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ J.E.Rijnsdorp นอกจากนี้ได้หาแบบจำลองไดนามิกของโครงสร้าง *LV* เพื่อเลียนแบบเปรียบเทียบผลกับการทดลองอีกด้วย

ค.ศ. 1980 C.J.Ryskamp ได้เสนอโครงสร้างการควบคุม *D*/(*L*+*D*),*V* ที่ได้ทดลองติดตั้งในโรงกลั่นน้ำมัน พบว่าสามารถลดการกระทบระหว่างลูพควบคุมได้ดีกว่าโครงสร้างแบบ *LV* หรือแบบสมดุลมวล เช่น ลูพส่วนผสมผลิตภัณฑ์ยอดหอกับฐานหอ และลูพผลิตภัณฑ์ยอดหอกับระดับถังรองรับของเหลวยอดหอ และสามารถปัดผลกระทบจากตัวแปรรบกวนได้ดีกว่าด้วย

ค.ศ.1981 T.J.McAvoy กับ K.Wieschedel ทดลองกลั่นแยกเบนซีนกับโทลูอีน แล้วใช้แบบจำลองไดนามิกเลียนแบบการกลั่นเปรียบเทียบการควบคุมระหว่างโครงสร้าง *LV* และ *DV* ที่สภาวะการควบคุมผลิตภัณฑ์และอัตราส่วนรีฟลักซ์ (*L*/*D*) 3 ช่วง พบว่า โครงสร้าง *DV* ควบคุมในช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์สูงและอัตราส่วนรีฟลักซ์สูงได้ดีกว่า แต่โครงสร้าง *LV* ควบคุมในช่วงผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์และอัตราสวนรีฟลักซ์ปานกลางได้ดีกว่า

ค.ศ. 1987 T.Takamutsu, I.Hashimoto และ Y.Hashimoto ได้เสนอรูปแบบโครงสร้าง *L*/(*L*+*D*),*V*/(*B*+*V*) และทดสอบกับด้วยการเลียนแบบ พบว่า สามารถลดการกระทบระหว่างลูพและปัดภาระจากตัวแปรรบกวนอัตราไหลกระแสป้อนได้อย่างดี

ค.ศ.1987 S.Stogastad และ M.Morari ได้เสนอข้อพิจารณาในการเลือกโครงสร้างการควบคุมหอกลั่น กล่าวคือ เมื่อควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง ต้องคำนึงถึงการกระทบระหว่างลูพควบคุม โดยใช้ค่าเกนอะเรย์สัมพัทธ์ (Relative gain array) เป็นพารามิเตอร์ตัดสินในการเลือกโครงสร้างการควบคุม ส่วนควบคุมแบบ 1 ตำแหน่ง ได้แนะนำว่าควรเลือกโครงสร้างการควบคุมแบบ *LV* หรือ (*L*/*D*)(*V*/*B*) เนื่องจากสามารถปัดการรบกวนจากตัวแปรรบกวนได้ดีกว่าแบบอื่นๆ แต่มีขีดจำกัดเมื่อไม่สามารถใช้ควบคุมได้ ถ้าอัตราส่วนรีฟลักซ์มีค่าสูงๆ

ค.ศ. 1988 K.V.Waller, D.H.Finnerman, P.M.Sandelin, K.E.Haggblom และ S.E. Gastafsson ได้ทดลองกลั่นแยกน้ำกับเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยหอกลั่นแบบไพล็อต ขนาด 15 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบการควบคุมของโครงสร้าง 4 แบบ คือ *LV*, *DV*, [*D*/(*L*+*D*),*V*] และ [*D*/(*L*+*D*), *V*/*B*] ในการลดการกระทบระหว่างลูพควบคุมและปัดตัวแปรรบกวน 2 แบบ คือ ส่วนผสมและอัตราไหลกระแสป้อน พบว่า โครงสร้าง *D*/(*L*+*D*),*V* และ *LV* สามารถปัดการรบกวนจากส่วนผสมสายป้อนได้ดีที่สุด ส่วนโครงสร้าง *D*/(*L*+*D*),*V*/*B* สามารถปัดการรบกวนจากอัตราการไหลสายป้อนได้ดีที่สุด ส่วนรูปแบบโครงสร้าง *DV* ไม่สามารถปัดการรบกวนจากตัวแปรรบกวนทั้งสองแบบได้ และที่สำคัญโครงสร้าง *DV* จะทำการควบคุมได้ ก็ต่อเมื่อลูพควบคุมผลิตภัณฑ์ยอดหอต้องอยู่ที่ตำแหน่งอัตโนมัติเท่านั้น โครงสร้าง *LV* สามารถใช้ควบคุมแบบ 1

ตำแหน่ง (One-point control) อย่างได้ผลดีกว่าโครงสร้างอื่นๆ อีกด้วย และได้แบบจำลองการกลั่นของทุกโครงสร้างการควบคุม เขาได้สรุปว่า การเลือกโครงสร้างการควบคุมหอกลั่นต้องพิจารณาทั้งความไวต่อตัวแปรรบกวน (Disturbance sensitivity) และการกระทบระหว่างลูพควบคุมร่วมกัน

ค.ศ. 1988 K.V.Waller, K.E.Haggblom, P.M.Sandelin และ D.H.Finnerman ได้ใช้แบบจำลองจากการทดลองเลียนแบบการกลั่น เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้าง 4 แบบ คือ *LV*, *DV* , *D*/(*L*+*D*),*V* และ *D*/(*L*+*D*),*V*/*B* ศึกษาความไวต่อตัวแปรรบกวน เมื่อทดสอบแบบลูพเปิด (Open-loop) ต่อตัวแปรรบกวน พบว่าโครงสร้างการควบคุมแต่ละแบบจะมีค่าเกน (Gain) แตกต่างกัน เมื่อทดสอบควบคุม 1 ตำแหน่ง (One-point control) พบว่าความแตกต่างจะขึ้นกับทั้งเกนและไดนามิก นั่นคือ คุณภาพการควบคุมขึ้นกับพารามิเตอร์ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างเกนกับไทม์คอนสแตนท์ เมื่อทดสอบควบคุม 2 ตำแหน่ง (Two-point control) พบว่ามีผลของการกระทบระหว่างลูพมามีผลต่อคุณภาพการควบคุม

ค.ศ.1988 K.V.Haggblom และ K.V.Waller ได้เสนอวิธีการหาแบบจำลองโครงสร้างการควบคุมหอกลั่นใดๆ โดยเพียงอาศัยแบบจำลองและข้อมูลที่สภาวะคงที่ (Steady-Sate) หรือเกนกระบวนการจากโครงสร้างการควบคุมเริ่มต้น เรียกว่า การแปลงโครงสร้างการควบคุมหอกลั่น (Transformation of Distillation Control Structures) แต่สามารถใช้วิธีการนี้แปลงไปสู่โครงสร้างอื่นๆ ในรูปแบบไดนามิกได้ โดยตั้งข้อสมมติฐานให้ควบคุมระดับของเหลวได้อย่างสมบูรณ์ (Perfect inventory control) หรือสมมติให้ทุกโครงสร้างควบคุมหอกลั่นมี

ระบบควบคุมระดับของเหลวเหมือนกันซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการแปลง

ค.ศ.1989 M.V.Finco, W.L.Luyben และ R.E.Pollect ได้รายงานความสำเร็จในการใช้รูปแบบโครงสร้าง *DB* ในการกลั่นแยกโพรพีลีนกับโพรเพน ซึ่งมีค่าการระเหยสัมพัทธ์ต่ำและจุดเดือดใกล้เคียงกัน ด้วยหอกลั่นขนาด 160 ชั้น ทำการเปรียบเทียบโครงสร้างการควบคุม *LV*, *RR-BR*, *DB*, *DV* และ *LB* ทั้งการทดลองและเลียนแบบ พบว่าโครงสร้างควบคุมที่ดีที่สุด คือ *RR-BR* และ *DB* แต่โครงสร้าง *DB* มีข้อจำกัด ถ้าตัววัด (Sensor) เสียหรือวาล์วควบคุมเกิดแซทเทอเรต (Saturated) จะไม่สามารถควบคุมได้ แต่สามารถป้องกันโดยนำระบบควบคุมโอเวอร์ไรด์ (Override control system) มาใช้ร่วม

ค.ศ.1990 S.Stogastad, E.W.Jacobsen และ M.Morari ได้ทดลองสนับสนุนผลการทดลองของ M.V.Finco กับคณะ ได้ให้เหตุผลอธิบายเพิ่มเติมที่โครงสร้าง *DB* สามารถนำมาควบคุมได้ เนื่องจากผลการตอบสนองเริ่มต้น (Initial response) ของโครงสร้าง *DB*, *LV* และ (*L*/*D*)(*V*/*B*) ใกล้เคียงกัน และการเลียนแบบก็ให้ผลสอดคล้องกับผลของ M.V.Finco กับคณะ ว่าโครงสร้าง *DB* ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าโครงสร้าง *LV*

ค.ศ. 1990 S.Stogastad, P.Lundstrom และ E.W.Jacobsen ได้เลียนแบบเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างการควบคุม *LV*, *DV*, *DB*, [*L*/*D*,*V*] และ [*L*/*D*,*V*/*B*] กับเงื่อนไขการทดลอง 3 ลักษณะ คือ แบบลูพเปิด, ควบคุม 1 ตำแหน่ง และควบคุม 2 ตำแหน่ง พบว่าเมื่อควบคุมแบบ 1 ตำแหน่ง โครงสร้างควบคุม *LV* ให้ผลดีที่สุด ส่วนควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง พบว่าโครงสร้างควบคุม (*L*/*D*)(*V*/*B*) ให้ผลการควบคุมดีที่สุด โครงสร้าง (*L*/*D*)*V* ให้ผลการ

ควบคุมอยู่ระหว่างโครงสร้าง *LV* และ *L/D,V/B* ส่วนโครงสร้างควบคุม *DV* ให้ผลที่แย่ที่สุด

ค.ศ. 1990 K.E.Haggblom, และ K.V.Waller ได้สังเคราะห์โครงสร้างการควบคุมหอกลั่น *DRD* (Disturbance Rejecting and Decoupling) ด้วยวิธีการแปลงรูปแบบโครงสร้างควบคุม (Control structure transformation) จากโครงสร้างการควบคุม *LV* มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการกระทบระหว่างลูพและปัดตัวแปรภาระให้ดีขึ้น จากการทดลองและเลียนแบบพบว่าโครงสร้างนี้สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างอีก 4 แบบ คือ *LV*, *DV*, [*D/(L+V),V*] และ [*D/(L+V),V/B*] อีกทั้งสามารถช่วยให้การควบคุมในส่วนไล่สาร (Stripping section) ได้ดีขึ้น

ค.ศ.1990 D.R.Yang, K.V.Waller, D.E.Seborg และ D.A.Mellichamp ได้เสนอวิธีการแปลงโครงสร้างการควบคุมในเชิงไดนามิก (Dynamic transformation of distillation control structures) โดยปรับปรุงจากวิธีของ K.V.Haggblom โดยไม่จำเป็นต้องมีข้อสมมติฐานให้ควบคุมระดับอย่างสมบูรณ์หรือให้ระบบควบคุมระดับเหมือนกันทุกโครงสร้างควบคุม

ค.ศ.1991 P.M.Sandelin, K.E.Haggblom และ K.V.Waller ได้แสดงความแตกต่างของโครงสร้างการควบคุมหอกลั่นด้วยเกนอะเรย์สัมพัทธ์ (Relative Gain Array หรือ RGA) และพารามิเตอร์ความไวต่อตัวแปรรบกวน (Disturbance sensitivity parameter) พารามิเตอร์ความไวต่อตัวแปรรบกวนนี้เป็นค่าสมบูรณ์ของอัตราส่วนระหว่างค่าเกนกับค่าไทม์คอนสแตนท์ หรือ $|K_W/\tau_W|$ ของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวแปรควบคุมกับตัวแปรภาระที่สัมพันธ์กัน พบว่า เมื่อควบคุม 1 ตำแหน่งด้วยโครงสร้าง *LV*, *DV*, [*D/(L+D),V*] และ [*D/(L+D),V/B*] ผล

การควบคุมจะสอดคล้องกับพารามิเตอร์ความไวต่อตัวแปรรบกวน แต่เมื่อควบคุม 2 ตำแหน่ง คุณภาพการควบคุมจะสอดคล้องกับพารามิเตอร์เฉพาะโครงสร้างที่มี RGA เข้าใกล้หนึ่ง เนื่องจากมีผลจากการกระทบระหว่างลูพจึงมี พฤติกรรมที่ซับซ้อนมากกว่าควบคุมแบบ 1 ตำแหน่ง

ค.ศ.1991 P.M.Sandelin, K.E.Haggblom และ K.V.Waller ได้แสดงความแตกต่างของโครงสร้างการควบคุมหอกลั่นแบบ *LV*, *DV*, [*D*/(*L*+*D*),*V*], [*D*/(*L*+*D*),*V*/*B*] และ *DRD* ด้วยคุณสมบัติปัดการรบกวน (Disturbance rejection properties) โดยสามารถทำนายได้โดยอาศัยเพียงเกนกระบวนการ (Process gain) และเกนรบกวน (Disturbance gain) คุณสมบัตินี้ สามารถใช้เลือกโครงสร้างการควบคุมในกรณีควบคุม 1 ตำแหน่ง แต่ควบคุมทั้งผลิตภัณฑ์ยอดหอและฐานหอ ทั้งจากการทดลองและเลียนแบบพบว่าโครงสร้างควบคุม *DRD* สามารถปัดการรบกวนทุกชนิดได้ดีทั้งการควบคุม 1 และ 2 ตำแหน่ง เมื่อให้โครงสร้าง [*D*/(*L*+*D*),*V*/*B*] ควบคุม 1 ตำแหน่ง สามารถปัดการรบกวนได้ดีที่สุด รองลงมาคือ [*D*/(*L*+*D*),*V*/*B*]