บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดของทฤษฎีฟัซซีเริ่มขึ้นในปี 1965 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ Lofti A. Zadeh (Harris et al., 1993) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการประยุกต์ใช้งานในหลายแขนง เช่น ระบบควบคุมอัตโนมัติ ชีววิทยา การแพทย์ การตัดสินใจ เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมทั่วไป และสิ่งแวดล้อม

สำหรับการประยุกต์ใช้ในวิศวกรรมการควบคุมซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับกระบวนการผลิตหรือการควบคุมแบบอัตโนมัติต่างๆ ได้ริเริ่มทำการวิจัยโดย Mamdani และคณะที่มหาวิทยาลัยลอนดอน ในช่วงกลางทศวรรษที่ 1970 (Harris et al., 1993) และได้นำตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกมาใช้เป็นครั้งแรกในการควบคุมกลจักรไอน้ำ (Mamdani and Assilan, 1975) หลังจากนั้นต่อมาก็ได้มีการนำฟัซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมมากขึ้น เช่น ใช้ในระบบควบคุมกระบวนการทำน้ำอุ่น (Warm water plant) (Kickert and Van, 1976) ระบบนำร่องยานยนต์อัตโนมัติ (Harris et al., 1989) กระบวนการแยกสินแร่ (Rutherford, 1979) ระบบนำร่องเรือ (Van Amerongen, 1977) เตาเผาปูนซีเมนต์ (Umberg and King, 1980) จนกระทั่งฟัซซีลอจิกประสบความสำเร็จอย่างมากกับการประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมทางอุตสาห

กรรมนับตั้งแต่ ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา (Yan, 1994) การใช้งานเป็นไปในหลายแขนงโดยเฉพาะกับการแก้ปัญหาของการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น คลุมเครือ (Ill-defined) และมีความซับซ้อน เช่นการควบคุมเตาเผาในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement kiln control) รวมถึงการใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้าอิเล็คโทรนิคส์เช่น ควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ อิมเมจโปรเซสซิ่ง (Image processing) ควบคุมมอเตอร์ ควบคุมการทำงานรถไฟใต้ดินอัตโนมัติ กล้องถ่ายวิดีโอปรับโฟกัสเอง การควบคุมเซอร์โว (Servo control) อากาศยาน จนกระทั่งถึงการควบคุมตำแหน่งดาวเทียม (Yan, 1994) การประยุกต์ใช้งานดังกล่าวได้ขยายขอบเขตมาสู่การควบคุมกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีเช่นเดียวกัน เนื่องจากกระบวนการหรือหน่วยปฏิบัติการทางอุตสาหกรรมเคมี มักจะมีปัญหาของความไม่เชิงเส้นของกระบวนการหรือมีความซับซ้อน ทำให้ยากต่อการควบคุมโดยวิธีธรรมดา ผลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมทางวิศวกรรมเคมีได้รวบรวมไว้ดังนี้

Yamashita และ Matsumoto (1988) ได้นำตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเข้าไปใช้ในระบบควบคุมอุณหภูมิในช่วงการเริ่มเดินเครื่อง (Start-up) ของเครื่องปฏิกรณ์แบบคะตะไลติกแพคเบ็ด (Packed-bed catalytic reactor) ที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) แทนที่ระบบควบคุมโดยอิงแบบจำลอง (Model reference adaptive control (MRAC)) ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาการโอเวอร์ชูท (Overshoot) ของอุณหภูมิได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระบบในช่วงเริ่มเดินเครื่องนั้นรวดเร็วเกินกว่าที่จะปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ทันและถูกต้อง ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกได้ถูกนำมาใช้โดยวิธีการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกพื้นฐาน

ลักษณะของเอกภพเป็นแบบดีสกรีต (Discrete universe of discourse) ใช้อินพุทสองตัวคือ ความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด จำนวนกฎการควบคุมที่ใช้ทั้งหมด 49 กฎ พบว่าการควบคุมสามารถเป็นไปได้ดีโดยไม่มีปัญหาการโอเวอร์ชูทของอุณหภูมิ และได้ทำการปรับปรุงอัลกอริธึมฟัซซีลอจิกแบบเดิมโดยใช้เทคนิคของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ปรับจูนอัตโนมัติมาช่วย โดยอาศัยข้อมูลการปรับจูนจากความผิดพลาดในอดีต ผลการทดสอบพบว่าการควบคุมเป็นไปได้ดีโดยเฉพาะสามารถลดความผิดพลาดในการควบคุมที่สภาวะคงตัวได้ดีมากกว่าเดิม

Shah และ Rajamani (1988) พัฒนาตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับการควบคุมระดับของเหลวในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษซึ่งเป็นปัญหาของการควบคุมกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น และมีปัญหาในการวัดระดับเนื่องจากความไม่ชัดเจนของตัวแปรควบคุมคือความสูงของผิวหน้าเยื่อกระดาษ การออกแบบตัวควบคุมใช้หลักการของฟัซซีลอจิกแบบทั่วไปโดยใช้ข้อมูลของฟังก์ชันสมาชิกแบบดีสกรีตแบ่งระดับควอนไทซ์ (Quantization level) ของอินพุทเป็น 4 ระดับและเอาท์พุทเป็น 5 ระดับ ใช้กฎการควบคุมทั้งหมด 5 กฎ ผลการควบคุมแสดงให้เห็นว่าระบบยังสามารถทำงานได้โดยมีการแกว่งของระดับของเหลวและออฟเซ็ท (Offset) อยู่บ้าง เมื่อทำการปรับปรุงตัวควบคุมแบบเดิมโดยเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเป็นอินพุทที่สองโดยใช้กฎการควบคุมทั้งหมด 16 กฎ พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากขึ้น ทดสอบโดยการเปลี่ยนเซ็ทพอยท์และเปลี่ยนโหลด ซึ่งระบบก็ยังสามารถทำงานได้ดีโดยปราศจากออฟเซ็ทและการแกว่งของระดับควบคุม

Shah และ Rajamani (1990) พัฒนาตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบสามารถปรับตัวได้เอง (Self-organizing fuzzy logic controller) และนำไปใช้แก้ปัญหาการควบคุมระดับพีเอช ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่พบมากในอุตสาหกรรมเคมี ลักษณะของโครงสร้างตัวควบคุมจะเป็นการพัฒนารูปแบบของอัลกอริธึมตัวควบคุมฟัซซีเดิมที่มีจำนวนของกฎคงที่ให้สามารถปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมกฎการควบคุมได้เองแบบออนไลน์ (On-line) โดยเทคนิคการเรียนรู้และประเมินค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance index) การควบคุมไปใช้เป็นอัลกอริธึมเพื่อปรับเปลี่ยนกฎการควบคุมโดยอัตโนมัติ ทำให้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นนี้มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณ์ของกระบวนการที่ถูกควบคุมได้ดีกว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบธรรมดา โดยทำการทดสอบการควบคุมกับการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดี และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบมาตรฐาน ผลการควบคุมแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้อัลกอริธึมปรับตัวได้เอง มีสมรรถนะการควบคุมที่เหนือกว่าตัวควบคุมฟัซซีธรรมดาและตัวควบคุมพีไอดีอย่างมากโดยเฉพาะการควบคุมในย่านที่มีความไม่เชิงเส้นของกระบวนการสูง

Karr et al. (1990) พัฒนาตัวควบคุมฟัซซีลอจิกโดยผสมผสานเข้ากับอัลกอริธึมพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm) ทำให้ตัวควบคุมฟัซซีสามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกได้เองอัตโนมัติแบบออนไลน์ โดยเทคนิคของการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนตำแน่งที่เหมาะสมด้วยอัลกอริธึมแบบพันธุศาสตร์นี้ ทำให้ฟังก์ชันสมาชิกที่ได้จากการเรียนรู้และปรับเปลี่ยนช่วยให้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้อัลกอริธึมแบบเดิมที่มีตำแหน่งของฟังก์ชันสมาชิกคงที่ และนำตัวควบคุมดังกล่าวมาใช้ใน

การควบคุมระดับของเหลวในถังทรงกระบอกและประเมินผลการควบคุมโดยการทดสอบเปรียบเทียบกับการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกธรรมดา ผลการควบคุมแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้อัลกอริธึมแบบพันธุศาสตร์ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีแบบธรรมดา

Walter et al. (1990) ออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับจูนได้เองอัตโนมัติ (Self-tuning fuzzy logic controller) สำหรับการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนรูปด้วยคะตะลิสต์ ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน การควบคุมประกอบด้วยตัวควบคุมฟัซซีสองชุด ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมซูเปอร์ไวเซอรี (Supervisory control) และใช้ออพติไมซ์ระบบ (System optimization) กลไกการปรับจูนอัตโนมัติของตัวควบคุม เป็นไปโดยพารามิเตอร์ปรับจูนซึ่งอาศัยข้อมูลความผิดพลาดของการควบคุมไปเป็นอัลกอริธึมปรับเปลี่ยนแฟคเตอร์การสเกล (Scaling factors) ของตัวแปรฟัซซีอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการควบคุมที่สูงสุด การทดสอบทำโดยการทำจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีขึ้นของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สามารถปรับจูนได้อัตโนมัติ

Hunakuma et al. (1994) ออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับจูนได้เองเพื่อใช้ในระบบการควบคุมหอกลั่นซึ่งเป็นการควบคุมในหลายรูปแบบ คือการควบคุมแบบป้อนหน้า (Feed forward control) ป้อนกลับ (Feed back control) การปรับจูนอัตโนมัติทำได้โดยปรับเกนของตัวควบคุมฟัซซีแบบป้อนกลับ ด้วยกฎการเรียนรู้ซึ่งทำการเปรียบเทียบแนวโน้มของตัวแปรปรับจากตัวควบคุมแบบป้อนหน้าและจากตัวควบคุมป้อนกลับ และทดสอบการทำงานโดย

การควบคุมหอแยกมีเธน (Demethanizer column) ในกระบวนการผลิตเอทธิลีนในส่วนของลูพการควบคุมอุณหภูมิก้นหอ พบว่ากระบวนการสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้สามารถประหยัดพลังงานในการผลิตได้อย่างมาก

Koffman et al. (1989) ได้ประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมเครื่องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed combuster) ในการจำลองการควบคุมทำโดยใช้แบบจำลองของกระบวนการโดยอิงทฤษฎีฟลูอิดไดซ์เซชัน พบว่าได้ผลการควบคุมที่ดีซึ่งคล้ายคลึงกับการควบคุมด้วยมนุษย์เป็นอย่างมาก

Couillard และ Zhu (1992) ประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยการผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกและการควบคุมพีไอดี การควบคุมแบ่งเป็น 2 ระดับ ในส่วนแรกเป็นการควบคุมระดับสูง (Super level control) ควบคุมการทำงานโดยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อนำระบบให้เข้าสู่สภาวะการทำงานที่ดีที่สุด และในส่วนของการควบคุมระดับล่างจะทำโดยตัวควบคุมพีไอดี 2 ตัว เพื่อที่จะรักษาปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำและความสูงของตะกอนในส่วนล่างของถังตกตะกอน จากการทำจำลองพบว่าระบบทำงานได้ดีแม้กระทั้งกรณีของการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกระทันหัน

Tong (1976) ศึกษาและประเมินผลของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับกระบวนการไม่เชิงเส้นแบบเอ็มไอเอ็มโอ (MIMO nonlinear process) โดยกระบวนการตัวอย่างเป็นการควบคุมความดันรวมและระดับของเหลวภายในถังปิดซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ส่วนสำคัญของตัวควบคุมคือกฎฟัซซี จะเป็นการออกแบบโดยพิจารณาจากผลการกระ

ทบกัน (Interaction) ของตัวแปรควบคุมทั้งสองคือความดันรวมและระดับของเหลว ซึ่งมีค่าคงที่เวลาที่แตกต่างกัน กฎการควบคุมจะให้ความสำคัญของการนำระดับของเหลวให้เข้าสู่เซ็ทพอยท์ก่อนที่จะทำการควบคุมความดันรวมการทดสอบทำโดยการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างตัวควบคุมฟัซซีลอจิกกับตัวควบคุมต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยเทคนิคการประมาณสมการคณิตศาสตร์ของกระบวนการแบบเชิงเส้น

Stoll et al. (1992) เสนอวิธีการสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกโดยหลีกเลี่ยงวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากของทฤษฎีฟัซซี แต่ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นแทน หัวใจสำคัญของตัวควบคุมคือ กฎฟัซซีจะถูกแทนที่ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอินพุทคือความผิดพลาดและตัวแปรเอาท์พุทคือตัวแปรปรับ เรียกความสัมพันธ์นี้ว่าฟังก์ชันเบรคพอยท์ (Break point function) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำความเข้าใจได้โดยง่ายและนำมาสร้างได้โดยไม่ยาก การทดสอบตัวควบคุมที่สร้างขึ้นโดยทำการควบคุมระดับของน้ำภายในถังทรงกลมซึ่งเป็นกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี พบว่าตัวควบคุมฟัซซีมีสมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมโดยตัวควบคุมพีไอดี

Kuipers และ Astrom (1994) เสนอแนวทางพัฒนาตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นโดยวิธีการประกอบเข้าด้วยกันของกฎเฉพาะที่แบบวิวิทพันธ์ (Composition of heterogeneous local control law) ที่เป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปรับและตัวแปรควบคุม สำหรับแต่ละย่านปฏิบัติการที่นิยามด้วยฟัซซีเซ็ต เพื่อให้ได้เป็นกฎรวม (Global rules) ที่มีความไม่เชิงเส้นด้วยเทคนิคการเฉลี่ยค่าน้ำหนัก (Weight average) ของแต่ละกฎเฉพาะที่เข้าด้วย

กันโดยฟังก์ชันสมาชิกที่นิยามไว้ในแต่ละย่านปฏิบัติการ และทำการทดสอบตัวควบคุมที่ได้โดยการควบคุมระดับของน้ำในถัง และควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์เคมีที่มีความไม่เชิงเส้น

งานวิจัยในช่วงที่ผ่านมานั้นจะมีทั้งแนวทางการพัฒนาทฤษฎี แนวทางการควบคุมขั้นสูงของฟัซซีลอจิกซึ่งมีวิธีการที่แตกต่างกันไป แต่ละวิธีจะเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกรณีนั้นๆ โดยที่ในทางปฏิบัติจริงแล้วอาจไม่สะดวกในการพัฒนาขึ้นมาใช้งานเนื่องจากมีความซับซ้อนเกินไป สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งไปในแนวทางการพัฒนาตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและทดสอบการทำงานโดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี และนำไปใช้ในการแก้ปัญหาของการควบคุมระดับของเหลวในกระบวนการไม่เชิงเส้น เพื่อดูความเหมาะสมทั้งทางทฤษฎีและการปฏิบัติในการนำไปประยุกต์กับกระบวนการของอุตสาหกรรมเคมีที่เหมาะสมอื่นๆ ต่อไป