บทที่ 2

งานวิจัยที่ผ่านมา

การพัฒนาการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟได้เริ่มมีการพัฒนาตั้งแต่ปี 1970 และมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยในช่วงแรกแบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองแบบเชิงเส้น และเมื่อไม่สามารถใช้กับปัญหาการมีขอบเขตจำกัดอย่างมากได้ ต่อมาจึงได้พัฒนาอัลกอริธึมแบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการแบบไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก สามารถแก้ปัญหาขอบเขตจำกัดต่างๆได้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการแบบไม่เชิงเส้นที่มีขอบเขตจำกัดในการควบคุม การควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆได้เป็นอย่างดี และจากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบเชิงเส้นธรรมดา

2.1 ผลงานการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในอุตสาหกรรมเคมีโดยทั่วไป

Richalet (1976) ได้พัฒนาอัลกอริธึมการควบคุมแบบโมเดลฮิวริสติค (Model Predictive Heuristic Control, MPHC) หรือโมเดลอัลกอริธึม (Model Algorithm Control, MAC) โดยใช้ซอฟแวร์ IDCOM แบบจำลองการตอบสนองเป็นแบบอิมพัลส์ของกระบวนการ ซึ่งเป็นเชิงเส้นในตัวแปรอินพุทและตัวแปรภายใน สมรรถนะสามารถกำหนดผ่านแกนการทำนายพฤติกรรมของเอาท์พุทของกระบวนการในอนาคตกำหนดโดยเส้นอ้างอิง (Reference Trajectory) สามารถรวมขอบเขตจำกัดต่างๆเข้าไว้ในแบบจำลองสำหรับการควบคุม มีการนำอัลกอริธึมการประยุกต์ใช้กับหน่วยของฟลูอิดคะตะไลติกแครกกิ้ง (Fluid Catalytic Cracking Unit, FCCU) สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเทรย์ที่เป็นกุญแจสำคัญ (key tray) มีการประยุกต์ใช้กับการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีขอบเขตจำกัดต่างๆในการดำเนินงาน

Grosdidier (1987) มีการใช้อัลกอริธึมของควอดราติกโปรแกรม (Quadratic Program) แทนเทคนิคของการหาคำตอบโดยวิธีอิเทอเรชัน โดยถูกใช้กับปัญหาการควบคุมของบริษัทเชลล์

Cutler และ Ramaker (1979) ได้เสนอรายละเอียดของการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ (Dinamic Matric Control, DMC) โดย Prett และ Gillette (1979) ได้มีการประยุกต์ใช้ไดนามิก

เมตริกซ์กับเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดคะตะไลติก อัลกอริธึมของการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ ใช้แบบจำลองของการตอบสนองแบบสเต็บแบบเชิงเส้น พฤติกรรมของเอาท์พุทของกระบวนการในอนาคต ถูกกำหนดโดยความพยายามในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์ให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และค่าของอินพุทที่เหมาะสมสามารถคำนวณ โดยการหาคำตอบของปัญหาการหาค่าที่น้อยที่สุดกำลังสอง ในงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมโลหะ แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของการควบคุมที่ดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบพีไอดีธรรมดา ต่อใช้การควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์กับหน่วยของฟลูอิดคะตะไลติก โดยส่วนของการออปติไมซ์ขอบเขตจำกัดใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ต่อมา Prett และ Garcia (1988) ได้นำเสนออัลกอริธึมของการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ ในรูปของแบบจำลอง สเตทสเปซในเวลาดีสครีต เรียกว่าสเตทสเปซไดนามิกเมตริกซ์ (State Space Dinamic Matrix Control, DMCss)

โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟรุ่นแรกจะอยู่ในอัลกอริธึมโมเดลฮิวริสติกและไดนามิกเมตริกซ์ เป็นพื้นฐานในการออกแบบการควบคุมในอุตสาหกรรม ต่อมาวิศวกรของบริษัทเชลล์ พัฒนาอัลกอรึธึมของการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ ในรูปแบบควอดดราติกโปรแกรม (Quadratic Program, QP) เรียกว่าควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์ (Quadratic Dynamic Matric Control, QDMC) โดยขอบเขตจำกัดต่างๆจะปรากฏอย่างชัดเจนในอัลกอริธึมสำหรับการควบคุม รูปแบบเหมือนกับการควบคุมแบบไดนามิกเมตริกซ์ แตกต่างเพียงการคำนวณค่าอินพุทที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยคำตอบของควอดดราติกโปรแกรมเท่านั้น ซึ่ง Garcia ประยุกต์ใช้กับเตาไพโรไลซีส (Pyrolysis Furnace) ในการปรับความดันของก๊าซเชื้อเพลิงในเตาเผา (burners)

ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคการประมาณค่าสเตทใช้ร่วมกับการควบคุม (1992) ได้ประยุกต์ใช้ควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์ร่วมกับตัวกรองคาลมาน สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งพบว่าควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์แบบเชิงเส้นไม่สามารถใช้สำหรับกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพของลูปเปิดได้

Garcia (1982) เสนออัลกอริธึมการควบคุมแบบอินเทอนัลโมเดล กล่าวกันว่าการควบคุมแบบอินเทอนัลโมเดล ซึ่งเป็นการควบคุมสำหรับกระบวนการแบบเชิงเส้นที่มีตัวแปรเข้าออกตัวแปรเดียว (Single Input Single Output, SISO) หรือมีตัวแปรเข้าออกหลายตัวแปร (Multi Input Multi Output, MIMO) ในเบื้องต้นการควบคุมแบบอินเทอนัลโมเดล ถูกใช้ในการควบคุมระบบต่างๆที่มีเวลาหน่วง ต่อมา Clark พัฒนาอัลกอริธึมโมเดลเบสพรีดิกทีฟ (Model Based Predictive Control, MBPC) อัลกอริธึมที่ได้รับการยอมรับอย่างมากคือเจนเนอไรซ์พรีดิกทีฟ สามารถในระบบควบคุมมีความทนทาน และลดการคำนวณแอคชันของการควบคุม สามารถใช้กับปัญหาการควบคุมเป็นต้นว่า การควบคุมกระบวนการต่างๆที่เป็นกระบวนการที่ไม่มีเฟสต่ำสุด (non-

minimum phase) การควบคุมกระบวนการทีไม่มีเสถียรภาพในลูปเปิดได้ประยุกต์ใช้สำหรับกระบวนการแบบไม่เชิง 2 กระบวนการคือการควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ขัดชิ้นไม้และการควบคุมพีเอชโดยใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้น

Lee และ Sullivan (1988) เสนอการควบคุมเจเนริกโมเดล (Generic Model Control, GMC) สามารถใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้นในตัวควบคุมแบบเจเนริกโมเดลได้โดยตรง เพื่อที่จะกำหนดผลการตอบสนองที่ต้องการได้ ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้จึงไม่จำเป็นต้องทำให้เป็นเชิงเส้นก่อน สำหรับการปรับเครื่องควบคุมนั้นทำได้โดยการปรับจูนค่าพารามิเตอร์เพียง 2 ค่าเพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองของระบบที่ต้องการ ต่อมา Cott และ Macchietto (1989) ประยุกต์ใช้เจเนริกโมเดลของ Lee และ Sullivan ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์ที่มีปฏิกริยาคายความร้อน (Exothermic Batch Reactor) ร่วมกับการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกริยาของ Jutan และ Uppal (1984) ชื่อตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียล ผลการควบคุมสามารถควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการนี้ได้อย่างดี แต่เทคนิคการประมาณค่าความร้อนยังไม่ดีนัก ต่อมามีผู้เสนอเทคนิคการประมาณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาโดยตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ซึ่งถูกใช้ในงานวิจัยของ Bonvin และ Valliere (1989) และ Kershenbaum และ Kittisupakorn (1994) พบว่าสามารถประมาณได้ใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นจริง

การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟรุ่นต่อมา Qin (1997) มีพัฒนามาใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear model) เรียกว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Model Predictive Control, NMPC) โดยสามารถควบคุมโดยใช้ออปเจ็คทีฟฟังก์ชันได้มากกว่าหนึ่งฟังก์ชัน ซึ่งคำตอบหาได้ยากขึ้น การคำนวณแอคชันของการควบคุมทำได้ โดยการแก้ปัญหาออปติไมเซชันออนไลน์ โดยใช้แบบจำลองแบบไม่เชิงเส้นในการทำนายเอาท์พุทในอนาคต

เสนอการแก้ปัญหาโมเดลพรีดิกทีฟแบบไม่เชิงเส้นในบทความประสบ ความสำเร็จในการทดสอบและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจำนวนมาก ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ในกระบวนการผสมโลหะด้วยวิธีทางไฟฟ้าบริษัทอีสแมนโกดัก (Eastman Kodak) ได้ประยุกต์ใช้กับเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์ Arkun และ Zafiriou (1989) ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริธึมของ Bequette (1991) ร่วมกับตัวประมาณค่าตัวกรองคาลมานแบบยืดขยาย (Extended Kalman filter) โดยใช้ซอฟแวร์ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบการควบคุมกระบวนการที่มีไดนามิกส์ช้าและไม่มีเสถียรภาพในลูปเปิด

Loeblein และ Perkins (1999) ประยุกต์ใช้การควบคุมโมเดลพรีดิกทีฟ สำหรับการปรับปรุงการควบคุมและการออปติไมซ์หน่วยฟลูอิดคะตะไลติกของโรงงานแยกแก๊ส ซึ่งมีตัวแปรรบกวนและความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์มีผลต่อการการออปติไมซ์กระบวนการ ที่จุดปฏิบัติการ เช่น ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อน คุณภาพคะตะลิสต์ (Catalyst) คุณภาพของอัตราไหลสายป้อน

และความต้องการของตลาด เป็นต้น โดยเมื่อตัวแปรรบกวนเข้ามารบกวนในกระบวนการกระบวนการก่อนที่จะมีการออปติไมซ์ โมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานจะทำการออปติไมซ์และทำการปรับปรุงการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรรบกวน แบบจำลองของกระบวนการที่ใช้อยู่ในรูปสเตทสเปซ การแก้สมการหาผลเฉลยในรูปแบบโปรแกรมควอดราติก

ศราวุธ (2541) การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์ที่มีปฏิกิริยาคายความร้อน โดยเปรียบเทียบกับเจเนริกโมเดล ผลการวิจัยพบว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ สำหรับประมาณค่าความร้อนของปฏิกิริยา ให้ผลการควบคุมควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ได้ดีกว่าเจเนริกโมเดล รวมทั้งในกรณีมีความผิดพลาดของค่าคงที่พารามิเตอร์/กระบวนการได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่ามวลรวมในเครื่องปฏิกรณ์ ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่าความร้อนของปฏิกิริยา โมเดลพรีดิกทีฟสามารถปรับตัวเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วกว่า

ปริญญาพร (2542) ในผลงานวิจัยประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนอันดับหนึ่ง ซึ่งแสดงพฤติกรรมที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง พบว่าตัวควบคุมมีสมรรถนะในการควบคุมดีและสามารถรับประกันเสถียรภาพของระบบได้ภายใต้ขอบเขตจำกัดต่างๆของการดำเนินการเช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรรบกวนระบบ การติดตามเซ็ตพอยซ์ และในการควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์/กระบวนการทั้งในกรณีที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ และกรณีที่มีหลายสภาวะคงตัว

2.2 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมสำหรับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์

Takamatsu (1988) ได้เสนอการควบคุมแบบ Adaptive Internal Model Control (AIMC) สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของพอลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบแบตช์ ทั้งนี้เพื่อให้พอลิเมอร์ผลิตภัณฑ์มีสมบัติตามที่ต้องการ เมื่อสิ้นกระบวนการ ซึ่งพบว่าการประยุกต์ใช้ให้ผลดีและสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดี

Vassilios และคณะ (1989) ประยุกต์ใช้การควบคุมอะแดปทีฟโพล-แอสซายน์เม้นต์ (Adaptive Pole-Assignment Control) ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์ เนื่องมาจากการควบคุมสมบัติของพอลิเมอร์ผลิตภัณฑ์โดยตรงไม่สามารถทำได้ ตัวแปรวัดคือ ความหนืด (Viscosity) และความหนาแน่น (Density) ซึ่งค่าของคอนเวอร์ชันสามารถคำนวณได้โดยตรงจาก

ค่าความหนาแน่นที่วัดได้ พบว่าค่าคอนเวอร์ชันของการทดลองใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแก๊สโครมาโตกราฟี

Chang (1992) เสนอว่าเนื่องจากการปรับปรุงการกระจายของน้ำหนักของพอลิเมอร์ (Molecular Weight Distribution, MWD) มีผลต่อสมบัติทางกลและทางความร้อน (Mechanical and Thermal Properties) งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคสองขั้นตอน (Two step method) ในการประมาณอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ที่เกิดปฏิกิริยาฟรี-แรดิคัลพอลิเมอไรเซชัน งานวิจัยเสนอว่าเขาสามารถประมาณโปรไฟล์ของอุณหภูมิและความเข้มข้นของตัวริเริ่มได้และถ้าสามารถทำตามโปรไฟล์ของอุณหภูมิและตัวเริ่มได้ขณะทำปฏิบัติการแล้วจะให้ MWD ตามที่ต้องการ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะให้คอนเวอร์ชันตามที่ต้องการ ซึ่งถ้าเป็นพอลิเมอร์พอลิเมธิลเมธาคริเลตจะต้องคำนึงถึงส่วนของการถ่ายโอนสายโซ่ (Chain Transfer) ปริมาตรที่หด (Volume Contraction) และผลกระทบของการเกิดเจล (Gel effect) ด้วยเพราะมีความไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ไม่สามารถแก้สมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูงๆ ส่งผลให้การควบคุม MWDโดยสมการจลนพลศาสตร์ยากกว่า

Mosoud Soroush และ Costas Kravaris (1992) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมจีแอลซี (Globally Linearizing Control, GLC) สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีการเกิดพอลิเมอร์แบบแบตช์ของพอลิเมธิลเมธาคริเลต โดยทำละลายและตัวริเริ่มคือเอโซบิส-ไอโซบิวทิโลไนไตรล์ (Azobis-Isobutylonotrile, AIBN) และโทลูอีน (Toluene) มีตัวแปรปรับกระบวนการคือ อัตราไหลของน้ำเย็นและกำลังไฟฟ้าที่ให้ความร้อนมีตัวประมาณค่ารีดิวส์-ออเดอร์ออบเซิร์บเวอร์ ประมาณค่าของความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวริเริ่มและของโมโนเมอร์ ใช้เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์และแจ็คเก็ตผ่านควบคุมขนาดสภาวะและโปรไฟล์อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามต้องการ พบว่าค่า MWD ของพอลิเมอร์แคบและให้ค่าคอนเวอร์ชันมากกว่า 0.975 และ จีแอลซีสามารถจัดการกับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงได้ดีมาก โดยเฉพาะการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์

Yumoto และ Ohtani (1994) ได้ศึกษาการออกแบบประยุกต์ใช้ตัวควบคุมที่มีความทนทาน สำหรับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีการเกิดพอลิเมอร์แบบแบตช์ โดยศึกษาเรื่องของความว่องไวเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ ซึ่งในตัวควบคุมมีทั้งการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าและการควบคุมแบบป้อนกลับในตัวเดียวกัน

Crowley และ Choi (1996) เสนองานวิจัยการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบแบตช์ของพอลิเมธิลเมธาคริเลต โดยที่มีจุดประสงค์หลักคือ ทำให้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิเป้าหมายของเครื่องปฏิกรณ์เร็วที่สุดและเกิดโอเวอร์ชูตน้อยที่สุดโดยใช้วิธีการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control) เปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี โดยที่มีตัวประมาณค่า

คาลมานแบบยืดขยาย (Extended Kalman Filter, EKF) ในประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของผนัง ตัวแปรปรับคืออุณหภูมิแจ็คเก็ตเซ็ตพอยท์ โดยอาศัยสมการดุลพลังงานของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิแจ็คเก็ต โดยที่วิธีนี้ไม่สามารถหาคอนเวอร์ชันได้โดยตรง แต่จะสามารถทำนายได้จากการประมาณค่าความร้อนของปฏิกิริยา การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากการที่จะควบคุมสมบัติของพอลิเมอร์ออนไลน์โดยตรงนั้นไม่สามารถกระทำได้ ในบทความยังกล่าวอ้างว่าในบางงานวิจัยมีการคำนวณโปรไฟล์ของอุณหภูมิ โดยมีสมมุติฐานว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เป็นไปตามโปรไฟล์ของอุณหภูมิที่คำนวณได้อย่างดี แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โปรไฟล์ของอุณหภูมิที่คำนวณไม่สามารถจะทำการควบคุมได้ดี ทั้งนี้เพราะค่าอัตราส่วนของค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรของสารผสมในเครื่องปฏิกรณ์จะมีค่าลดลง เมื่อปริมาตรของสารพอลิเมอร์ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาฟรี-แรดิคัลพอลิเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อนสูงอยู่ในช่วงประมาณ 10–20 กิโลแคลอรีต่อโมล ค่าของความหนืดที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปฏิกรณ์ส่งผลให้การปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังของเครื่องปฏิกรณ์กับแจ็คเก็ตลดลง ทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนจากปฏิกรณ์ลดลง ดังนั้นการให้ความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายจึงต้องระมัดระวัง บางเทคนิคการควบคุมพื้นฐานนั้นใช้วิธีการ Detune เพื่อลดค่าโอเวอร์ชู๊ตระหว่างการให้ความร้อน นั้นเป็นเทคนิคที่มีความปลอดภัย แต่ทำได้โดยช้าและเพิ่มเวลาในการทำปฏิบัติการ ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อจากงานวิจัยของ Wu (1985) ซึ่งการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยตรงถ้าหากทำให้ผลการคำนวณค่าประมาณอื่นๆไม่ถูกต้อง การประยุกต์ใช้ตัวประมาณค่า EKF ในการประมาณออนไลน์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและสเตท อื่นๆ จะให้ผลที่ดีกว่า ในงานวิจัยจะวัดค่าของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของแจ็คเก็ตและความหนาแน่น วิธีนี้จะสามารถสังเกตค่าความเข้มข้นของโมโนเมอร์ ตัวเริ่ม อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของแจ็คเก็ตและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ส่วนค่าของมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ย สามารถคำนวณจากสมการของโมเมนท์ ซึ่งข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด พีไอ คือต้องทำที่สภาวะปฏิบัติการคงที่แต่ ผลของพีไอดีจะให้โอเวอร์ชู๊ตของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ถึง 5 องศาเซลเซียสซึ่งเกินช่วงอุณหภูมิที่ยอมรับได้

Crowley และ Choi (1997) เสนอการควบคุมค่าการกระจายของความยาวของสายโซ่ (Weight Chain Length Distribution) พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาฟรี-แรดิคัล พอลิเมอไรเซชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยตรงจากสมการ Finite molecular weight

moment ในงานวิจัยนี้ใช้ Nonlinear Programing ในการปรับอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์โดยวิธี Sequencial Quadratic Programming (SQP) เพื่อให้ได้ MWD ตามที่ต้องการและ

Gentric และ Pla (1997) ได้เสนอการออกแบบประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบสมัยใหม่คือ "การควบคุมแบบออปติมัลจีโอเมตริกซ์แบบไม่เชิงเส้น" สำหรับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีการเกิดอิมัลชันพอลิเมอร์ พบว่าการควบคุมส่งผลให้สามารถปรับปรุงสมบัติและคุณภาพของพอลิเมอร์ Kiparisssides (1997) ได้เสนอการจำลองแบบจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ของพีวีซี นอกจากนี้ยังทำการควบคุมด้วยคาสเคด ซึ่งทั้งนี้เพื่อการทำนายความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคอนเวอร์ชันและน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย

ธนากร (2541) ประยุกต์ใช้ตัวควบคุมเจเนริกโมเดลควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบเซมิแบตช์ กับกระบวนการของ Teymour เนื่องจากการปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน (Emulsion Polymerization) ของเกิดพอลิเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ไม่ได้ตามต้องการ ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ไม่ได้มาตรฐาน ประยุกต์ใช้เจเนริกโมเดลร่วมกับตัวประมาณค่าออนไลน์ประมาณค่าความร้อนของปฏิกิริยาให้ผลการควบคุมควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ได้ดีกว่าพีไอดี ทั้งในกรณีปกติและกรณีที่มีการมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์/กระบวนการ

นุศรา (2542) ประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบเจเนริกโมเดลควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องปฏิกรณ์การเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ ได้ประยุกต์ใช้เจเนริกโมเดลร่วมกับตัวประมาณค่าออนไลน์ประมาณค่าความร้อนของปฏิกิริยาให้ผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ได้ดีกว่าพีไอดี

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสำหรับการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์

Hidalgo และ Brosilow (1990) ได้เสนอการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแบบไม่เชิงเส้นสำหรับการควบคุมในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่องของพอลิสไตรีน เพื่อทำการควบคุมอัตราไหลของน้ำแจ็คเก็ตและอัตราไหลของของโมโนเมอร์ในเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องตัวแปรรบกวนที่มีผลต่อการทำนายพฤติกรรมของอุณหภูมิของในเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ยังศึกษาผลของความผิดพลาดของโมเดลที่มีต่อการควบคุม ซึ่งพบว่าระบบควบคุมในงานวิจัยสามารถทำการควบคุมได้ในวงกว้างกว่าการควบคุมแบบเดิม

Inglis และคณะ (1991) ได้เสนอเทคนิคการควบคุมเจเนอรัลไลซ์พรีดิกทีฟ ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของการควบคุมที่มีอัลกอริธึมแบบลองเรนจ์ โดย Inglis ได้เสนอโดยสามารถทำการควบคุมค่าคอนเวอร์ชันของพอลิเมธิลเมธาคริเลต ในเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนต่อเนื่อง และสำหรับการควบ

คุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องตัวแปรรบกวนที่มีผลต่อทั้งสองกรณีเมื่อมีตัวประมาณค่าร่วมด้วย

Peterson และคณะ (1992) ได้เสนอประยุกต์การปรับปรุงการควบคุมไดนามิกเมตริกซ์ ให้ดีขึ้นกว่าไดนามิกเมตริกซ์แบบเดิมๆ เครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์แบบเซมิแบตช์

Gattu and Zafirious(1992) ได้ประยุกต์ใช้ควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์ร่วมกับตัวกรองคาลมาน สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอร์ พบว่าควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์แบบเชิงเส้นไม่สามารถใช้สำหรับกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพของลูปเปิดได้

Chylla และ Haase (1993) ได้ศึกษากรณีศึกษาอุตสาหกรรม การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอไรเซชันแบบเซมิแบตช์ โดยการประยุกต์ใช้ควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์เนื่องมาจากสมบัติทางกายภาพของระบบ เช่นมวลค่าความจุความร้อนและสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนของระบบ เปลี่ยนแปลงตลอดรันการควบคุมโดยพีไอดี ไม่สามารถทำได้ดี

Choi และ Rhinehart (1997) ได้เสนอเทคนิคการใช้ยุทธวิธีการควบคุมแบบออปติไมซ์ร่วมกับการประมาณโปรไฟล์ของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ร่วมกับการควบคุมเจเนริกโมเดล ซึ่งในการทดลองเปรียบเทียบการทดลองจริงกบผลการจำลอง

Tor และ Peter (1998) ได้เสนอเทคนิคการใช้ยุทธวิธีการควบคุมแบบออปติไมซ์ร่วมกับการประมาณโปรไฟล์ของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ร่วมกับการควบคุมเจเนริกโมเดล ซึ่งในการทดลองเปรียบเทียบการทดลองจริงกบผลการจำลอง

2.4 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้การประมาณค่าโดยทั่วไป

Halmilton และ Scborg (1973) ในงานวิจัยนี้ต้องการแสดงให้เห็นว่า ข้อเด่นของคาลมานที่เหนือตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียลคือ สามารถประมาณค่าตัวแปรสเตทได้ดี แม้ในกรณีที่มีการรบกวนของสัญญาณการวัดและมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองกระบวนการก็ตาม และประสิทธิภาพของตัวกรองคาลมานจะขึ้นกับความถูกต้องของกระบวนการและค่าน้ำหนักของเมตริกซ์

Bonvin (1989)ในงานวิจัยเสนอการใช้ตัวประมาณค่าสเตทและพารามิเตอร์ ชนิดตัวกรองคาลมานแบบไม่เชิงเส้น สำหรับการประมาณค่าความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์ ที่มีการเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน เนื่องมาจากระบบไม่มีสภาวะคงตัว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความว่องไวว่ามีผลหรือไม่ อย่างไรในกรณีที่มีการรบกวนของสัญญาณการวัด

Lee และ Sullivan (1989) ประยุกต์ใช้เจเนริกโมเดลในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบแบตช์ที่มีปฏิกริยาคายความร้อน (Exothermic Batch Reactor) ร่วมกับการ

ประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกริยาของ Jutan และ Uppal (1984) ตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียล ผลการควบคุมสามารถควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการนี้ได้อย่างดีแต่เทคนิคการประมาณค่าความร้อนยังไม่ดีนัก ต่อมามีผู้เสนอเทคนิคการประมาณค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาโดยตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ซึ่งถูกใช้ในงานวิจัยของ Bonvin (1989) และ Kershenbaum และ Kittisupakorn (1994) พบว่าสามารถประมาณได้ใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นจริง

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้การประมาณค่าสำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์

Jo และ Bankoff (1976) เสนอการประยุกต์ใช้การประมาณค่าด้วยตัวกรองคาลมาน เมื่อสามารถวัดเอาท์พุทที่เป็นไปได้ของระบบถังกวนต่อเนื่องของพอลิเมอร์ไวนิลอะซิเตตเนื่องมาจากปฏิกิริยาแบบฟรี-แรดิคัลพอลิเมอไรเซชัน ที่เสนอมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีความซับซ้อน ดังนั้นซึ่งในงานนี้ใช้ตัวกรองคาลมานสำหรับการประมาณค่าของคอนเวอร์ชันและน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์การทดลอง นอกจากนี้ ยังมี Bankoff แสดงให้เห็นว่าตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียล ไม่สามารถทำการประมาณค่าได้ถูกต้องเท่าคาลมานฟิลเตอร์ เมื่อมีค่าเริ่มต้นของการประมาณค่าผิด หรือเมื่อมีการรบกวนสัญญาณการวัด

Ellis และคณะ (1988) เสนอการประมาณค่าของอุณหภูมิ ความเข้มข้น คอนเวอร์ชัน และการกระจายของน้ำหนักของโมเลกุลของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอไรเซชันของพอลิเมธิลเมธาคริเลต

Gattu และ Zafirious (1992) ได้ประยุกต์ใช้ควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์ร่วมกับตัวกรองคาลมาน สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งพบว่าควอดดราติกไดนามิกเมตริกซ์แบบเชิงเส้นไม่สามารถใช้สำหรับกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพของลูปเปิดได้

Srinivas Tatiraju และ Masoud Soroush (1997) เสนอการประยุกต์ใช้การประมาณค่าแบบไม่เชิงเส้น รีดิวซ์ออปเซิร์บเวอร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบถังกวนต่อเนื่องของพอลิเมธิลเมธาคริเลต เปรียบเทียบกับตัวกรองคาลมานแบบยืดขยาย เมื่อสามารถวัดเอาท์พุทที่เป็นไปได้ ของระบบถังกวนต่อเนื่องของพอลิเมอร์ไวนิลอะซิเตต สำหรับการประมาณค่าความร้อนสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ระบบถังกวนต่อเนื่อง

ธนากร (2541) ใช้ตัวกรองเอกซ์โพเนนเชียล สำหรับการประมาณค่าความร้อนสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เคมีพอลิเมอร์แบบเซมิแบตช์