บทที่ 6

สรุป และ วิจารณ์ผลงานวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึง สรุปผลงานวิจัย ของการสร้างซอฟต์แวร์ PIM วิเคราะห์ผลของการใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้น จากกรณีตัวอย่าง 2 ตัวอย่างที่ได้เสนอไป ในบทที่ 5 และวิจารณ์ผลงานวิจัยในการสร้างโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ในการระบุหากระบวนการ

ซอฟต์แวร์ PIMที่สร้างขึ้น เป็นโปรแกรมที่สามารถอธิบายลักษณะของกระบวนการได้ โดย หาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมต่อไป การหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันในโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ ใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการทดลอง หรือจากกระบวนการจริง ซึ่งแบบจำลองที่ได้ เรียกว่า แบบจำลอง “แบบกล่องดำ (Black box model)” ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำวิจัยได้เสนอกรณีตัวอย่าง 2 กรณี ซึ่งผลของการระบุหากระบวนการ ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และภาคผนวก ค โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบตัวโปรแกรม เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลองจริงๆ ในกรณีตัวอย่างที่ 1 และ ได้จาก การเลียนแบบกระบวนการจากโปรแกรมซิมมูลิงค์ในกรณีตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งได้จากการทำการทดลองจากกระบวนการจริง และได้ตีพิมพ์ลงในวารสาร

ซอฟต์แวร์ PIM ที่สร้างขึ้น เป็นโปรแกรมที่สามารถ หาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของกระบวนการ จากข้อมูลอินพุท และเอาท์พุทของกระบวนการได้ ทั้งระบบที่ มีอินพุท และเอาท์พุท แบบหนึ่งต่อหนึ่ง และ ระบบที่มีอินพุท และเอาท์พุทหลายตัว (ระบบพลวัตหลายตัวแปร) โดยการคำนวณในโปรแกรมได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ตามจำนวนของเอาท์พุทคือ

ส่วนที่ 1 ในกรณีที่ระบบที่พิจารณามีเอาท์พุท 1 ตัวแปร และมีอินพุท หนึ่งตัวแปร หรือมากกว่าหนึ่งตัวแปร (Single Input Single Output, SISO or Multiple Input Single Input, MISO)

ส่วนที่ 2 ในกรณีที่ระบบที่พิจารณามีเอาท์พุทมากกว่า 1 ตัว และอินพุทมากกว่า 1 ตัว (Multiple Input Multiple Output, MIMO)

ในส่วนที่ 1 โครงสร้างของแบบจำลองที่ใช้มี 6 แบบคือ

(1) แบบจำลอง แบบ ARX (AutoRegressive with eXtra input)

(2) แบบจำลอง แบบ ARMA (AutoRegressive Moving Average)

(3) แบบจำลอง แบบ ARMAX (AutoRegressive Moving Average with eXtra input)

(4) แบบจำลอง แบบ OE (Output Error)

(5) แบบจำลองแบบ BJ (Box-Jenkins)

(6) แบบจำลอง แบบ PEM (Prediction Error Method)

ในส่วนที่ 2 โครงสร้างของแบบจำลองที่ใช้มี 2 แบบคือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(1) แบบจำลอง แบบ ARX

(2) แบบจำลอง แบบ State Space

6.1 วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากกรณีตัวอย่างทั้ง 2 กรณีที่ใช้ ในการทดสอบตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้น สามารถวิเคราะห์ผลการระบุหากระบวนการ แยกเป็น แต่ละกรณีได้ดังนี้

6.1.1 กรณีตัวอย่างที่ 1

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงที่มาของสมการ ของแบบจำลองในแต่ละแบบที่ใช้ว่ามาจากลักษณะของแนวคิด ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการระบุหากระบวนการได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

จากตารางที่ 5.1 เมื่อพิจารณาแบบจำลองของกระบวนการที่มี ลักษณะสมการแบบอย่างง่าย 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง แบบ ARX และ แบบจำลอง แบบ OE คือมีเวคเตอร์พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณหา 2 เวคเตอร์คือ

- แบบจำลอง แบบ ARX ต้องคำนวณหา เวคเตอร์พารามิเตอร์ a b และ ค่าดีเลย์ในการเก็บตัวอย่างของอินพุทกับเอาท์พุท

- แบบจำลอง แบบ OE ต้องคำนวณหา เวคเตอร์พารามิเตอร์ a f และค่ าดีเลย์ในการเก็บตัวอย่างของอินพุทกับเอาท์พุท

ผลปรากฏว่า แวเรียนซ์ของความผิดพลาดของแบบจำลอง แบบ ARX มีค่าเท่ากับ 0.03748 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า แบบจำลอง แบบ OE ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6266

กรณีพิจารณาแบบจำลอง แบบ ARX และ แบบจำลองแบบ ARMAX แวเรียนซ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น แบบจำลอง แบบ ARMAX มีค่าน้อยกว่า แบบจำลอง แบบ ARX

พิจารณา แบบจำลอง แบบ OE และ แบบจำลอง แบบ BJ แบบจำลอง แบบ BJ มีแวเรียนซ์ค่าความผิดพลาดรวมเท่ากับ 0.01668 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า แบบจำลอง แบบ OE

แบบจำลองที่ให้ค่าแวเรียนซ์ของความผิดพลาดน้อยที่สุด คือ แบบจำลอง แบบ PEM คือมีค่าเท่ากับ 0.01019 แต่ จำนวนพารามิเตอร์ของสมการ ก็มีมากที่สุดด้วยเช่นกัน คือประกอบด้วย พารามิเตอร์ a b c d f และ จำนวนดีเลย์ในการเก็บตัวอย่างของอินพุท และเอาท์พุท

ส่วนกรณีที่ใช้แบบจำลองแบบ ARMA ค่าความผิดพลาดรวมที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย คือมีค่าเท่ากับ 0.0171 แต่กรณีนี้เหมาะสมในกรณีที่ชุดของข้อมูล เป็นฟังก์ชั่นของเวลา คือ ข้อมูลเอาท์พุทมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแม้ว่าไม่มีการป้อนอินพุทเข้าสู่กระบวนการ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นแบบจำลองของ กระบวนการที่ไม่ขึ้นกับเวลา และทำให้ขาดความรู้ของกระบวนการ ทางด้านค่าเกน และค่าคงที่ของเวลา เนื่องจากไม่สามารถหาค่าเหล่านี้ได้ในกรณีที่ไม่มีอินพุทเข้าสู่กระบวนการ แต่เหมาะสมในกรณีหาแบบจำลองของสัญญาณรบกวน

การแสดงผล ของการระบุหากระบวนทำได้โดยการพลอตกราฟเปรียบเทียบ ระหว่างข้อมูลเอาท์พุทที่ได้จากกระบวนการ กับข้อมูลเอาท์พุทที่ได้จากแบบจำลองในการระบุหากระบวนการ ซึ่งได้แสดงกราฟการเปรียบเทียบเหล่านี้ไว้ในภาคผนวก ค รูปที่ ค.1 ถึง ค.9 จาก

กราฟการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง แบบ ARX ARMAX BJ และ PEM เหมาะสม สำหรับนำไปใช้เป็นแบบจำลองของกระบวนการ ถ้าพิจารณาจากค่าแวเรียนซ์ของความผิดพลาด กับกราฟเปรียบเทียบผลที่ได้จากการระบุกระบวนการกับข้อมูลที่ใช้ ในกรณีตัวอย่างที่ 1 นี้ค่าอันดับของสมการเท่ากับ 1 ก็เพียงพอสำหรับใช้เป็นแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งจากค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้สามารถเขียนอยู่ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันได้ดังนี้

แบบจำลองแบบ ARX "A01"

พารามิเตอร์ a คือ -0.965 พารามิเตอร์ b คือ 0.03859

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของแบบจำลอง คือ $G(q,\theta)=\dfrac{0.3859q^{-1}}{1-0.9653q^{-1}}$

แบบจำลองแบบ ARMAX "A_6"

พารามิเตอร์ a คือ -0.9605 พารามิเตอร์ b คือ 0.01907 พารามิเตอร์ c คือ 0.7906

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของแบบจำลอง คือ

$$G(q,\theta)=\frac{0.01907q^{-1}}{1-0.9609q^{-1}} \quad \text{และ} \quad H(q,\theta)=\frac{1+0.7906q^{-1}}{1-0.9609q^{-1}}$$

แบบจำลองแบบ BJ "A08"

พารามิเตอร์ b คือ 0.005897 พารามิเตอร์ f คือ 0.4911

พารามิเตอร์ c คือ 0.7928 พารามิเตอร์ d คือ -0.9648

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของแบบจำลอง คือ

$$G(q,\theta)=\frac{0.005897q^{-1}}{1+0.4911q^{-1}} \quad \text{และ} \quad H(q,\theta)=\frac{1+0.7928q^{-1}}{1-0.9648q^{-1}}$$

แบบจำลองแบบ PEM "A09"

พารามิเตอร์ a คือ -0.8367 พารามิเตอร์ b คือ 0.009544 พารามิเตอร์ f คือ 0.0069

พารามิเตอร์ c คือ 0.4928 พารามิเตอร์ d คือ -0.8124

ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของแบบจำลอง คือ

$$G(q,\theta)=\frac{0.009544q^{-2}}{1-0.22987q^{-1}-0.5078q^{-2}} \quad \text{และ} \quad H(q,\theta)=\frac{1+0.4928q^{-1}}{1-1.649q^{-1}+0.6797q^{-2}}$$

ได้ทำการเปรียบเทียบผล กรณีที่ใช้จำนวนข้อมูลเท่ากับ 100จุด โดยใช้ข้อมูล 50 จุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งผลจากกราฟการเปรียบเทียบผลของแบบจำลอง แบบ ARX ค่าอันดับเท่ากับ 1 กับเอาท์พุทจากกระบวนการ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค รูปที่ ค.8 โดยใช้ชื่อไฟล์ของแบบจำลอง "A_01" จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟของแบบจำลองแบบ ARX จะห่างจาก เส้นกราฟ ของกระบวนการ มากกว่าในกรณีที่ใช้ข้อมูล 1,000จุด (ใช้ข้อมูล 500 จุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการของแบบจำลอง)

ทดสอบ แบบจำลองแบบ ARX ชื่อไฟล์ของแบบจำลอง "A01" โดยการเปลี่ยน ชนิดของอินพุท เป็นข้อมูลของฟังก์ชั่นซายน์ ซึ่งได้จากการซิมมูเลทจากโปรแกรมซิมมูลิงค์ โดยเก็บข้อมูลไว้ในไฟล์ชื่อ "simdat2" ผลของการเปรียบเทียบกราฟ ของเอาท์พุทที่ได้จากกระบวนการจริง กับ เอาท์พุทซึ่งได้จากการซิมมูเลท จากแบบจำลองแบบ ARX โดยใช้ ข้อมูลอินพุทในไฟล์ "simdat2" ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ในรูปที่ ค.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟของข้อมูลเอาท์พุทจากแบบจำลอง แบบ ARX มีค่าใกล้เคียงกับเอาท์พุทของกระบวนการจริง

6.1.2 กรณีตัวอย่างที่ 2

การทดสอบความถูกต้องของซอฟต์แวร์ PIM ในการระบุหากระบวนการ ทำได้โดยเปรียบเทียบกับผลของกระบวนการจริงที่นำมาเลียนแบบกระบวนการเพื่อให้ได้ข้อมูลในการนำไปใช้ในการระบุหากระบวนการ ในซอฟต์แวร์ PIM และเปรียบเทียบกับ ผลของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่ได้จากแบบจำลองที่เสนอโดย Pronob Banerjee และคณะ โดยใช้ชื่อแบบจำลองว่า "AUDI" ซึ่ง AUDI มาจากคำว่า "Augmented Upper-Diagonal factorization Identification" โดยอัลกอริธึมของแบบจำลองนี้ได้มีการพัฒนาที่มหาวิทยาลัยของอัลเบอร์ต้า (University of Alberta) โดยในการทดลองจริงๆได้ใช้อินพุทเป็นสัญญาณแบบซูโดแรนดอมไบนารีซีเด็วนซ์

จากผลของการระบุหากระบวนการโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้น สามารถสรุปผลโดยการเปรียบเทียบกับค่าทรานส์เฟอร์ที่ได้จากกระบวนการจริง และจากแบบจำลองแบบ AUDI ได้ดังตารางที่ 6.1

6.2 สรุปผลการวิจัย

1. จากกรณีตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่า ถ้าเราไม่มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเลย ก่อนทำการระบุหากระบวนการ รูปแบบของแบบจำลองที่สามารถเลือกใช้ได้ มีหลายรูปแบบ ดังนั้นแบบจำลองที่เหมาะสม จึงขึ้นกับงานที่จะนำแบบจำลองเหล่านี้ไปใช้ เช่น ถ้านำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ในกรณีที่ต้องการออกแบบตัวควบคุม เพื่อให้การควบคุมที่ แบบจำลองที่เลือกใช้อาจเป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่สามารถบอกถึงไดนามิกของกระบวนการอย่างหยาบๆ ก็

ตารางที่ 6.1 ตารางการเปรียบเทียบผล ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันที่ได้จากการระบุหากระบวนการ โดยใช้แบบจำลองในซอฟต์แวร์ PIM กับ ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันจากกระบวนการจริง และ จากแบบลองแบบ AUDI

แบบจำลอง	ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน	
SISO PLANT	$\frac{-4.6928}{35.9s+1}$	$\frac{0.31}{12.02s+1}$
	0	$\frac{-0.5e^{-30s}}{62.8s+1}$
SISO AUDI	$\frac{-3.12}{30.5s+1}$	$\frac{0.24}{13.2s+1}$
	0	$\frac{-0.53e^{-30s}}{64.4s+1}$
SISO ARX	$\frac{-4.651}{36.67s+1}$	$\frac{0.3036}{11.94s+1}$
	0	$\frac{-0.5e^{-30s}}{64.87s+1}$
MISO AUDI	$\frac{-2.96}{20.2s+1}$	$\frac{0.26}{20.2s+1}$
	0	$\frac{-0.51e^{-30s}}{58.7s+1}$
MISO ARX	$\frac{-1.919}{14.91s+1}$	$\frac{0.2514}{14.91s+1}$
	0	$\frac{-0.475e^{-30s}}{58.42s+1}$
MIMO AUDI	$\frac{-3.15}{29.3s+1}$	$\frac{0.31}{15.7s+1}$
	0	$\frac{-0.49e^{-30s}}{63.2s+1}$
MIMO ARX	$\frac{-1.517}{110s+1}$	$\frac{0.1954}{110s+1}$
	0	$\frac{-0.2e^{-30s}}{110s+1}$

เพียงพอ แต่ถ้าต้องการออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้เกิดจุดที่ดีที่สุด (optimization) ของกระบวนการ ก็จำเป็นต้องใช้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากขึ้น ฉนั้นจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ก็จำเป็นต้องมากขึ้นเช่นกัน

2. กรณีตัวอย่างที่ 2 การเลียนแบบกระบวนจากค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ในตัวอย่างนี้มีส่วนของการออกแบบการทดลองในการป้อนสัญญาณอินพุทเข้าไปในกระบวนการ เพื่อให้ได้เอาท์พุทของกระบวนการ ในการที่จะนำไปประมวลผลหาค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ของกระบวนการ ซึ่งชนิดของอินพุทที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ สัญญาณแบบซูโดแรนดอมไบนารีซีเค็วนซ์ เนื่องจากสัญญาณเป็นลักษณะชุดของพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งจะทำให้ทราบไดนามิกของกระบวนการได้ดี ซึ่งลักษณะของความกว้างของพัลส์ และความสูงของพัลส์ขึ้นอยู่กับ ไดนามิกของกระบวนการว่าช้าหรือเร็ว และขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของกระบวนการในการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบสัญญาณอินพุทโดยใช้โปรแกรมซิมมูลิงค์ ขนาดความกว้างของสัญญาณที่เสนอในบทที่ 5 เป็นขนาดสัญญาณที่เหมาะสม และทำให้การระบุหากระบวนการใกล้เคียงกับกระบวนการจริง

ส่วนเหตุผลอื่นที่ทำให้การระบุหากระบวนการใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุดก็คือ วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยในซอฟต์แวร์ PIMใช้วิธี กำลังสองน้อยที่สุด ส่วนแบบ AUDI ที่เสนอในวราสารไม่ได้กล่าวถึง วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกันในแง่ของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

ดังนั้นจากที่กล่าวมาในข้อ 1 และ ข้อ 2 การระบุหากระบวนการเพื่อให้ผลใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุดขึ้นกับ

1. การออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูล ที่แทนไดนามิกของกระบวนการมากที่สุด ซึ่งต้องออกแบบ สัญญานอินพุทที่ใช้ในกระบวนการให้เหมาะสม ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการระบุหากระบวนการ

2. ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองของกระบวนการที่ใช้

3. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์

4. เงื่อนไขในการยอมรับแบบจำลองของกระบวนการ

ซอฟต์แวร์ PIM ที่เขียนขึ้น นอกจาก สามารถหาค่าทรานส์เฟอร์-ฟังก์ชันจากข้อมูลอินพุท และเอาท์พุทที่ได้จากกระบวนการแล้ว ในโปรแกรมได้มีการแสดงผลของการตอบสนองของเอาท์พุทต่อการเปลี่ยนแปลงอินพุทเป็นแบบฟังก์ชันสเต็พ และ การดูความเสถียรของกระบวนการ ที่ศึกษา โดยแสดงกราฟของ ซีโร่ (Zeros) และ ค่า โพว์ล (Poles) นอกจากนี้ ยังได้แสดงถึง การระบุหากระบวนการแบบไม่มีค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของความถี่ โดยแสดงด้วยไดอะแกรมของโบดส์ (Bode Diagrame) กราฟแสดงความเกี่ยวเนื่องกัน (cross correlation) ของค่าความผิดพลาดที่เกิดจาก เอาท์พุทของกระบวนการจริง และ เอาท์พุทที่ได้จากการประมาณค่า กับเอาท์พุทที่ใช้ในกระบวนการด้วย ซึ่งได้แสดงตัวอย่างของการแสดงผลในรูปแบบต่างๆในภาคผนวก ค

นอกจากนี้ ได้ออกแบบโครงสร้างการใช้งานของตัวซอฟต์แวร์ PIM เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน โดยออกแบบหน้าจอการใช้งานให้มีลักษณะที่รับค่าจากผู้ใช้ โดยการพิมพ์เป็นตัวอักษร การป้อนค่าเป็นตัวเลข และ ออกแบบเป็นลักษณะเมนู ปุ่มต่างๆ พร้อมทั้งคำ

อธิบายประกอบ สำหรับผู้ใช้ในการป้อนค่า ซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย สำหรับการเริ่มต้นใช้ซอฟต์แวร์เป็นครั้งแรก

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากที่กล่าวสรุปในหัวข้อที่ 6.2 ถึง ผลของการระบุหากระบวนการให้ใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด ดังนั้น ในซอฟต์แวร์ PIM ที่สร้างขึ้นจึงมีข้อจำกัดคือ

1. ใช้สำหรับกระบวนการที่เป็นระบบเปิด
2. กระบวนการเป็นกระบวนการเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นกับเวลา
3. วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และวิธีไอวี
4. การเก็บข้อมูลเป็นแบบ ออฟไลน์ (off-line)

ดังนั้นเพื่อทำให้ซอฟต์แวร์ ใช้ได้กว้างขวางกับหลายๆ กระบวนการมากขึ้น จึงควรมีการเพิ่มเติมวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ และสามารถให้ผู้ใช้เลือกใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ทางหน้าจอ ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี ออนไลน์ (on-line) ซึ่งทำให้สามารถระบุหากระบวนการแบบไม่เชิงเส้นได้ และเนื่องจากแนวโน้มการพัฒนางานทางด้านการระบุหากระบวนการ ในปัจจุบันคือมีการเก็บข้อมูลของการระบุหากระบวนการต่างๆ นำมาทำเป็นระบบฐานข้อมูล ซึ่งจะนำไปสู่ระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการออกแบบการควบคุมน้อยยิ่งขึ้น และสะดวกสำหรับวิศกรในการใช้งาน