บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 คำนำ

จากการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบคาสเคดกับการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยแยกวิเคราะห์เป็นกรณีต่างๆ 10 กรณี โดยเริ่มจากการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อกำหนดวิธีการทำเลียนแบบ การกำหนดวิธีการจูน รวมถึงเปรียบเทียบผลการควบคุมเมื่อเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการ ตลอดจนกำหนดการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระในลักษณะต่างๆ กันออกไป อาจกล่าวโดยรวมว่า การควบคุมแบบคาสเคดจะให้ผลการควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการ คือ เกนของกระบวนการ เวลาของกระบวนการ เดดไทม์ และการกำหนดค่าพีไอดีให้แก่ตัวควบคุม ซึ่งจะต้องทำการศึกษาโดยละเอียดเพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริงของโรงงานนั้นๆ ในเวลาต่อไป

5.2 บทสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบในทั้ง 10 กรณีนี้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.2.1 โปรแกรมในการศึกษา

โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม Matlab และโปรแกรม Simulink เป็นโปรแกรมที่มีคุณค่าอย่างมากสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานให้สอดคล้องกับความต้องการได้ง่าย มีความยืดหยุ่นสูง มีผลการคำนวนที่รวดเร็วและมีการแสดงผลที่น่าพอใจ และในการนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการทำเลียนแบบการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับในครั้งนี้ มีข้อสรุปที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเลือกวิธีการในการแก้สมการทรานสเฟอร์ฟังชัน เช่น พบว่า วิธีการแก้สมการแบบไดนามิคเชิงเส้น วิธีการของอดัมส์ และวิธีการของเกียร์นั้นให้ผลการคำนวนที่ดี แต่จะคำนวนช้ากว่าวิธีการของรั้งจ์-กัตตา อันดับ 3 และ อันดับ 5 ที่ให้ผลการคำนวนที่ด้อยกว่า แต่ใช้เวลาในการคำนวนที่เร็วกว่า ดังนั้น การเลือกใช้วิธีการแก้สมการจะต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวนของคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้ ความถูกต้องในการคำนวน และการแสดงผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการที่มีอันดับที่สูงขึ้น หรือ กระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อนและต้องการการควบคุมที่แม่นยำ และควรทำการทดสอบผลการคำนวนเปรียบเทียบกันเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมกับการทำเลียนแบบในแต่ละลักษณะที่ทำการศึกษาและวิจัย

5.2.2 หมวดการควบคุมกระบวนการ

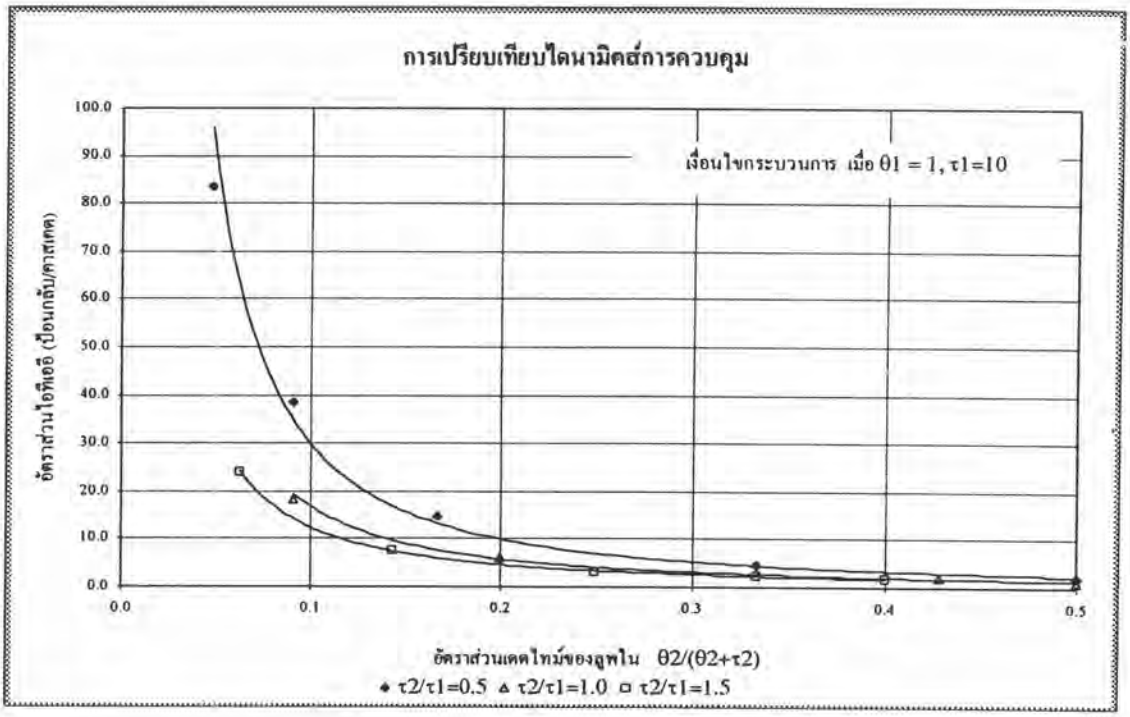
วิธีการจูนตัวควบคุมจะส่งผลถึงความสามารถในการควบคุมกระบวนการ ในการจูนตัวควบคุมของลูพในในการควบคุมแบบคาสเคด จะต้องจูนให้มีการตอบสนองที่รวดเร็วซึ่งการใช้หมวดการควบคุมพีจะให้ผลการตอบสนองที่เร็วที่สุด ในขณะที่อาจนำค่าอินทิกรัลเข้ามาช่วยแก้ค่าออฟเซทที่เกิดขึ้น ส่วนการจูนลูพนอกสามารถจูนแบบหลวมๆ ได้ ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า หากให้ลูพในมีการควบคุมแบบพีอย่างเดียวที่ค่าเดดไทม์ของกระบวนการมีค่าน้อยๆ เช่น θ_1 = 1-

10 และ θ_2 = 1 วินาที ช่วงอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีระหว่างการควบคุมแบบป้อนกลับต่อการควบคุมแบบคาสเคดจะมีค่าระหว่าง 50 - 11 เท่า ในขณะที่ลูพในที่ควบคุมแบบพีไอที่จูนโดยไอทีเออีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดของลูพในจะให้การควบคุมที่ช้าและด้อยกว่า คือ มีอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีอยู่ระหว่าง 18-14 เท่า ส่วนการควบคุมแบบพีไอที่จูนโดยไอทีเออีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเซทพอยท์ให้การควบคุมที่ด้อยกว่าลงไปอีก คือ มีอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีเพียง 5.25 เท่า เท่านั้น แต่ในขณะที่เดดไทม์ของลูพในสูงขึ้นวิธีการควบคุมแบบพีและพีไอของวิธีที่ 2 จะให้การควบคุมที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งต่างจากการควบคุมแบบพีไอของวิธีการสุดท้าย ที่ให้ผลการควบคุมที่มีแนวโน้มว่าด้อยกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับเสียอีก หากพิจารณาเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีและพีไอตามวิธีการที่ 2 โดยพิจารณาจากข้อดีและข้อเสียของการควบคุมแต่ละแบบ จะเห็นว่าในส่วนข้อดีของการใช้การควบคุมลูพในแบบพี คือ ให้การตอบสนองที่ดีกว่า ส่วนข้อเสีย คือ หากจำเป็นที่จะต้องปลดการควบคุมแบบคาสเคดออกและให้ลูพในมีการควบคุมแบบอัตโนมัติภายในลูพเองจะเกิดออฟเซทขึ้น และหากกระบวนการที่ควบคุมนั้นไม่สามารถยอมรับการเกิดออฟเซทได้แล้วอาจจะต้องมีการจูนตัวควบคุมดังกล่าวใหม่ ซึ่งจะต่างจากการควบคุมลูพในแบบพีไอ โดยที่หากจำเป็นจะต้องปลดการทำงานแบบคาสเคดออกแล้ว ลูพในจะยังคงสามารถควบคุมตัวเองได้ในหมวดควบคุมอัตโนมัติโดยไม่เกิดออฟเซท ซึ่งจะเหมาะที่จะใช้ในการควบคุมในขณะที่กำลังจะเริ่มเดินเครื่องโรงงานหรือในกรณีที่กระบวนการกำลังมีปัญหาในการผลิต และอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือในการควบคุมลูพในแบบพีที่จะให้มีการตอบสนองที่รวดเร็ว คือ จะต้องตั้งค่า k_c ที่มีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอของวาล์วหรืออุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายในอัตราสูง ถึงแม้ว่า การเลือกหมวดการควบคุมในแต่ละแบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันก็ตาม แต่ในการพิจารณาเลือกหมวดการควบคุมยังคงจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับแต่ละกระบวนการอยู่ดีนั่นเอง

5.2.3 ไดนามิคของการควบคุม

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของเวลาของกระบวนการของลูพในในการควบคุมแบบคาสเคดโดยกำหนดให้ τ_2 = 5, 10 และ 15 ในขณะที่ τ_1 = 10 วินาที โดยการเปลี่ยนเดดไทม์ของทั้งลูพนอกและลูพในให้มีค่าต่างๆ กันไป นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบโดยพิจารณาที่อัตราส่วนของ $\theta_2 : \tau_2$ เป็น 1 : 10 และอัตราส่วนของ $\theta_1 : \tau_1$ มีค่าระหว่าง 1 : 10 ถึง 10 : 10 จะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนไอทีเออีที่ τ_2 = 5, 10 และ 15 วินาที การควบคุมแบบคาสเคดจะดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับระหว่าง 38 - 22 เท่า, 18 - 14 เท่า และ 14 - 13 เท่า ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าคามผิดพลาดไอทีเออีของการควบคุมแบบคาสเคดตามตารางที่ 7.2.5, 7.2.3 และ 7.2.6 ค่าความผิดพลาดไอทีเออีของ τ_2 = 5 จะน้อยกว่า τ_2 = 10 และ τ_2 = 10 จะน้อยกว่า τ_2 = 15 ซึ่งสรุปได้ว่าเมื่อเวลาของกระบวนการในลูพในลดลงผลการควบคุมแบบคาสเคดจะดีกว่าลูพในที่มีเวลาของกระบวนการมากกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการลดลงของ τ_I ของลูพใน โดย τ_I จะมีค่าน้อยลงเมื่อเวลาของกระบวนการมีค่าน้อยลง ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนกลับของอินทิกรัลมีค่ามากขึ้น ($1/\tau_I$) และส่งผลให้ไดนามิคของลูพสูงขึ้นการควบคุมจึงตอบสนองได้เร็วขึ้น ส่วนในกรณีที่เดดไทม์ของลูพในเพิ่มมากขึ้น โดยพิจารณาที่สัดส่วน $\theta_2 : \tau_2$ เป็น 1 : 2 และอัตราส่วนของ $\theta_1 : \tau_1$ มีค่าระหว่าง 1 : 10 ถึง 10 : 10 จะพบว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนไอทีเออีที่ τ_2 = 5, 10 และ 15 วินาที ผลการควบคุมแบบคาสเคดจะดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับเป็น 6.1-4.7 เท่า, 4.5-2.8 เท่า และ 3.5-2.3 เท่า ตามลำดับ โดยความแตกต่างของอัตราส่วนเปรียบเทียบค่าไอทีเออีของการควบคุมแบบป้อนกลับต่อการควบคุมแบบคาสเคดจะไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อค่าเดดไทม์ของลูพในเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความผิดพลาดไอทีเออีที่เกิดขึ้นจากการควบคุมแบบคาสเคดและการควบคุมแบบป้อนกลับยังคงแสดงผลว่า ค่าความผิดพลาดไอทีเออีของกระบวนการที่มีเวลาของกระบวนการน้อยกว่าจะ

ยังคงมีค่าน้อยกว่ากระบวนการที่มีเวลาของกระบวนการที่มีค่ามากกว่า ตามรูปที่ 4.3, รูปที่ 4.5, รูปที่ 4.6, รูปที่ 5.1 ตารางที่ 7.2.3, 7.2.5 และ 7.2.6



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบไดนามิคการควบคุมระหว่างลูพในและลูพนอก

5.2.4 การเปรียบเทียบผลตัวแปรอิสระ

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระ คือ เซทพอยท์โหลดของลูพในและโหลดของลูพนอก โดยยึดหลักการพื้นฐานว่า การควบคุมแบบคาสเคดได้รับการจูนเพื่อให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดภายในได้ดีที่สุดหากเกิดมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดจากลูพนอกหรือการเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์ของกระบวนการออกไป การจูนค่าที่ได้ทำไว้จะยังสามารถควบคุมกระบวนการนั้นได้หรือไม่ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่ค่าเดดไทม์ของลูพนอกและลูพในมีต่ำๆ การจูนค่าตัวควบคุมด้วยวิธีการดังกล่าวยังคงสามารถควบคุมกระบวนการ

ได้ โดยเมื่อพิจารณาที่การเปลี่ยนแปลงโหลดที่ลูพใน การเปลี่ยนแปลงของเซทพอยท์ และการเปลี่ยนแปลงของโหลดในของลูพนอกเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง จากเงื่อนไข $\tau_1 = 10$, $\tau_2 = 10$, $\theta_1 = 1$ และ $\theta_2 = 1$ วินาที การควบคุมแบบคาสเคดยังให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับมีค่าเป็น 18 เท่า, 23 เท่า และ 17 เท่า ตามลำดับ และอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีจะลดลงเมื่อค่าเดดไทม์ของลูพในมีค่ามากขึ้น แต่จะเห็นว่าการจูนตัวควบคุมจากการเปลี่ยนแปลงโหลดของลูพในจะใช้ได้ผลไม่ดีเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดจากลูพนอกหรือเซทพอยท์ในกรณีที่เดดไทม์ของลูพนอกมีค่ามากโดยที่ค่าเดดไทม์ของลูพในนั้นมีค่าตั้งแต่ค่าต่ำๆ จนถึงมีค่ามากๆ เช่นที่ $\tau_1 = 10$, $\tau_2 = 10$, $\theta_1 = 10$ และ $\theta_2 = 1 - 10$ วินาที ผลการควบคุมแบบคาสเคดจะไม่แตกต่างจากการควบคุมแบบการป้อนกลับมากนัก คือ ให้อัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีระหว่าง 2.1-1.1 เท่า และ 3-1.3 เท่า ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากอัตราส่วนของการควบคุมแบบคาสเคดที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดของลูพในที่อัตราส่วนดังกล่าวจะมีค่าระหว่าง 14.8 - 2.3 เท่า ดังนั้นในการเลือกจูนตัวควบคุมต้องพิจารณาลักษณะของกระบวนการว่า ตัวแปรอิสระตัวใดมีผลหรือมีอิทธิพลในกระบวนการมากที่สุด และทำการจูนตัวควบคุมลูพนอกให้สอดคล้องกับตัวแปรนั้นๆ ตามรูปที่ 4.3, รูปที่ 4.7และรูปที่ 4.8

5.2.5 การตัดสินใจเลือกระบบการควบคุม

ถึงแม้ว่า จากผลการศึกษาในครั้งนี้จะมีแนวโน้มให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โดยทั่วไปแล้วการควบคุมแบบคาสเคดจะให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับ แต่ในการที่ตัดสินใจที่จะเลือกใช้ระบบการควบคุมแบบคาสเคดหรือการควบคุมแบบป้อนกลับจะต้องพิจารณาพารามิเตอร์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยหลายประการ เช่น กระบวนการที่จะควบคุมมีความยืดหยุ่นมากน้อยเพียงใด ตัวแปรอิสระต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องมีอิทธิพลมากน้อยเพียงใด ความสำคัญของกระบวน

การ เงินลงทุน เหล่านี้เป็นต้น ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคดจะต้องพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- การควบคุมลูพเดี่ยวเพียงอย่างเดียวให้ผลการควบคุมได้ไม่ดีเท่าที่ต้องการ
- จะต้องสามารถกำหนดตัวแปรของลูพควบคุมขึ้นมาได้อีกหนึ่งลูพเพื่อใช้เป็นลูพควบคุมลูพในของการควบคุมแบบคาสเคด

โดยในการออกแบบระบบควบคุมแบบคาสเคดจะต้องให้สอดคล้องกับเงื่อนไขดังต่อไปนี้คือ

- ลูพในที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะต้องแก้ไขสัญญาณรบกวนที่สำคัญได้ดี
- ตัวแปรของลูพในจะต้องมีความสัมพันธ์กับตัวแปรควบคุมของลูพนอก
- ลูพในจะต้องมีไดนามิคของการควบคุมที่เร็วกว่าลูพนอก
- หมวดการควบคุมของลูพในควรเป็นแบบพี หรือ พีไอ
- หมวดการควบคุมของลูพนอกควรเป็นแบบพีไอ หรือ พีไอดี

กราฟในรูปที่ 5.2, รูปที่ 5.3, รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 เป็นกราฟที่เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของเดดไทม์ต่อผลรวมของเดดไทม์และเวลาของกระบวนการของลูพใน (Dead Time Fraction , df_2)ในแกน X อัตราส่วนของเดดไทม์ต่อเวลาของกระบวนการของ ลูพนอกในกราฟแต่ละเส้น และอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีของการควบคุมแบบป้อนกลับต่อการควบคุมแบบคาสเคดในแกน Y ในเงื่อนไขของกระบวนการต่างๆ กัน กล่าวคือในรูปที่ 5.2 จะเป็นกระบวนการที่ลูพในมีไดนามิคของกระบวนการเร็วกว่าไดนามิคของลูพนอก ในรูปที่ 5.3 จะเป็นกระบวนการที่ลูพในมีไดนามิคของกระบวนการเท่ากับไดนามิคของลูพนอก ในรูปที่ 5.4 จะเป็นกระบวนการที่ลูพในมีไดนามิคของกระบวนการช้ากว่าไดนามิคของลูพนอก โดยที่เส้นกราฟแต่ละเส้นในแต่ละกราฟจะแสดงเงื่อนไขของกระบวนการที่สัมพันธ์กับลูพนอกคือ อัตราส่วนของเดดไทม์ต่อผลรวมของเดดไทม์และเวลา

ของกระบวนการของลูพนอก (df_1) และในรูปที่ 5.5 จะเป็นการพลอตกราฟเฉลี่ยอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีของการควบคุมแบบป้อนกลับต่อการควบคุมแบบคาสเคดจากกราฟในรูปที่ 5.2, รูปที่ 5.3, รูปที่ 5.4 โดยใช้ค่าอัตราส่วนของเดดไทม์ต่อผลรวมของเดดไทม์และเวลาของกระบวนการของลูพในที่เท่ากันเป็นจุดพลอตในแกน X และแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มเชิงสัมพัทธ์ในการเลือกใช้ระบบควบคุม โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก ดี ดีปานกลาง และ ไม่ดี โดยใช้อัตราส่วนระหว่างความผิดพลาดไอทีเออีของการควบคุมแบบป้อนกลับต่อการควบคุมแบบคาสเคดเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้ ที่ค่าอัตราส่วนไอทีเออีดังกล่าวมีค่ามากควรเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคด และเมื่ออัตราส่วนนั้นลดลงแนวโน้มในการเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคดจะลดลงและโดยการกำหนดอัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีจากค่าต่างๆ ที่ได้ศึกษามาโดยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เกณฑ์ดีมาก	เมื่ออัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีมีค่ามากกว่า 10 เท่า
เกณฑ์ดี	เมื่ออัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีมีค่าระหว่าง 5-10 เท่า
เกณฑ์ดีปานกลาง	เมื่ออัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีมีค่าระหว่าง 5-2.5 เท่า
เกณฑ์ไม่ดี	เมื่ออัตราส่วนเปรียบเทียบไอทีเออีมีค่าต่ำกว่า 2.5 เท่า

จะสามารถสร้างแถบแลเงาบนกราฟเพื่อเปรียบเทียบได้ตามกราฟในรูปที่ 5.5 ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

อัตราส่วนเดดไทม์	เกณฑ์การควบคุม
<0.16	ดีมาก : ควรเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคด
0.16-.325	ดี : ยังคงควรเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคด
0.225-0.5	ปานกลาง : ควรพิจารณาและทำการเลียนแบบการควบคุม ถ้าละเลือกใช้การควบคุมแบบคาสเคด
>0.5	ไม่ดี : ควรใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ เนื่องจากการควบคุมทั้งสองแบบให้ผลการควบคุมไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการเลือกใช้การควบคุม

อย่างไรก็ตาม ควรทดสอบยืนยันผลการเลือกระบบการควบคุมโดยการทำการเลียนแบบกระบวนการนั้นๆ โดยละเอียดอีกครั้ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่นๆ

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

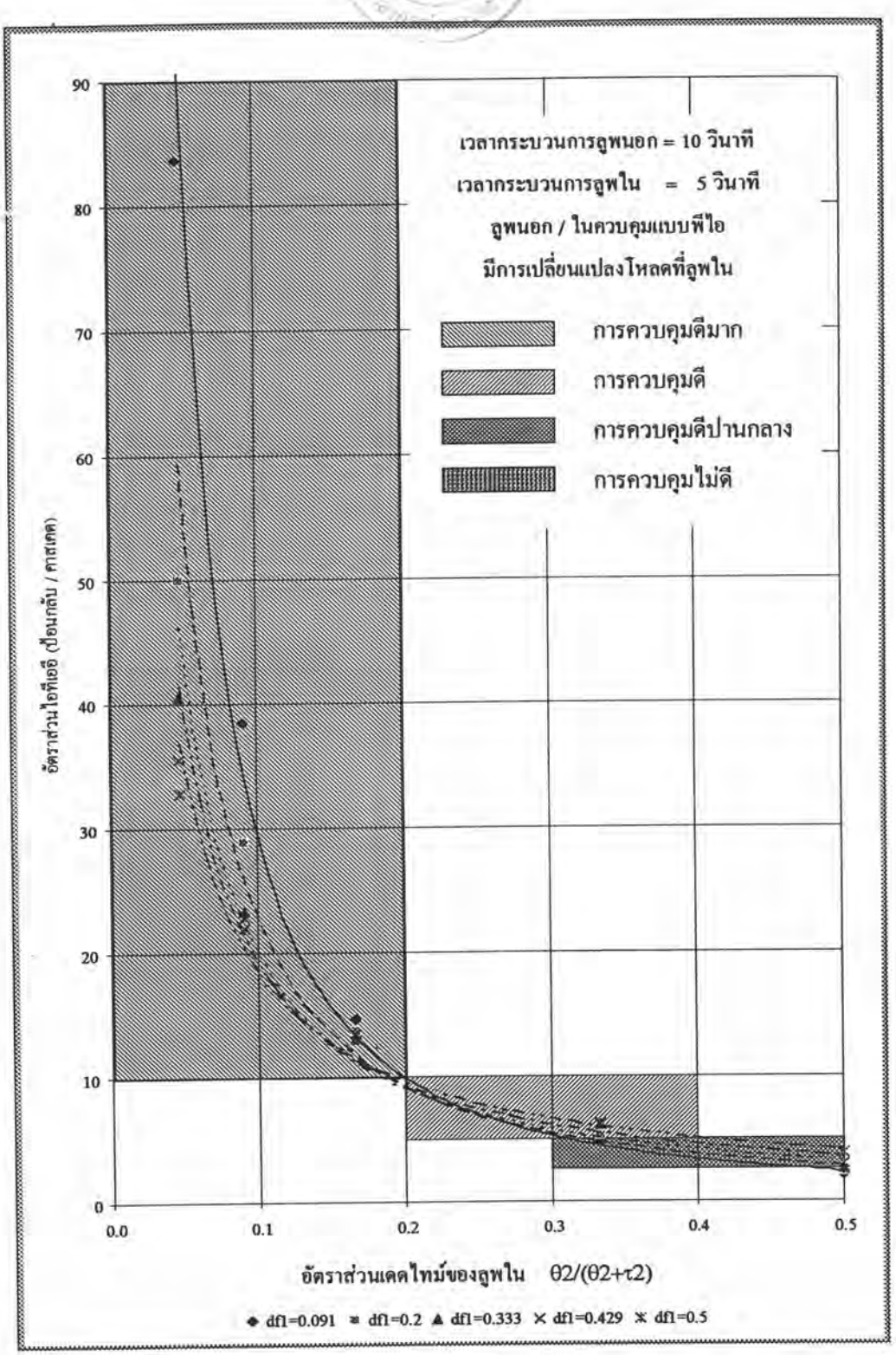
ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีปัญหาและอุปสรรคที่สรุปได้ดังนี้

5.3.1 ลักษณะของโปรแกรม

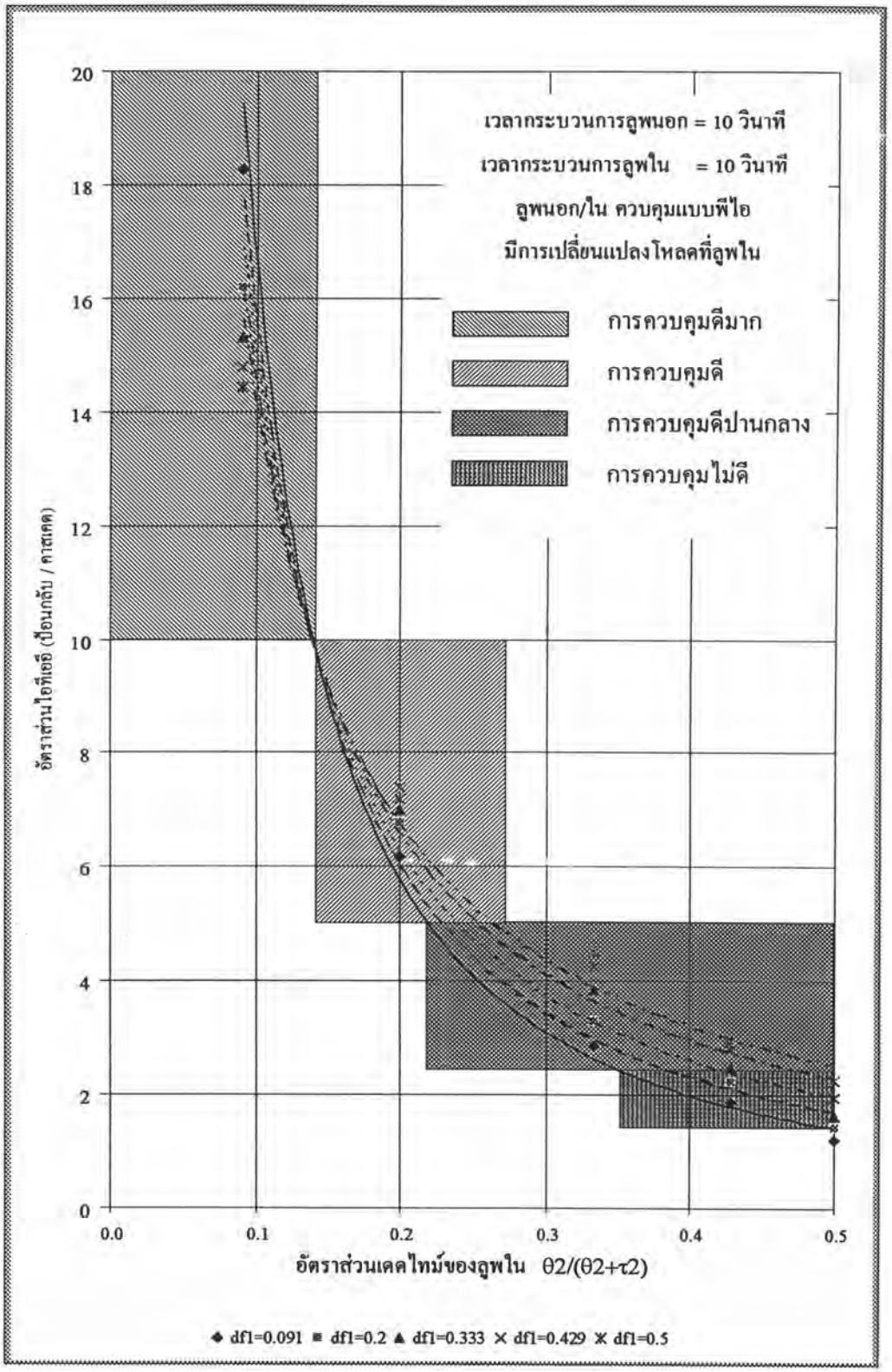
ถึงแม้ว่า โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม Matlab และโปรแกรม Simulink จะเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงโปรแกรมหนึ่ง แต่โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องมีการแสดงผลที่เป็นกราฟเปรียบเทียบหลายกราฟจะใช้เวลาในการแสดงผลและการทำเลียนแบบที่ค่อนข้างช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพไม่สูงนัก และยิ่งจะใช้เวลาในการแสดงผลช้ามากยิ่งขึ้นในกรณีที่กระบวนการในการควบคุมมีอันดับสูงๆ ดังนั้นคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานของโปรแกรมนี้ควรเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง

5.3.2 การแสดงผลทางด้านกราฟ

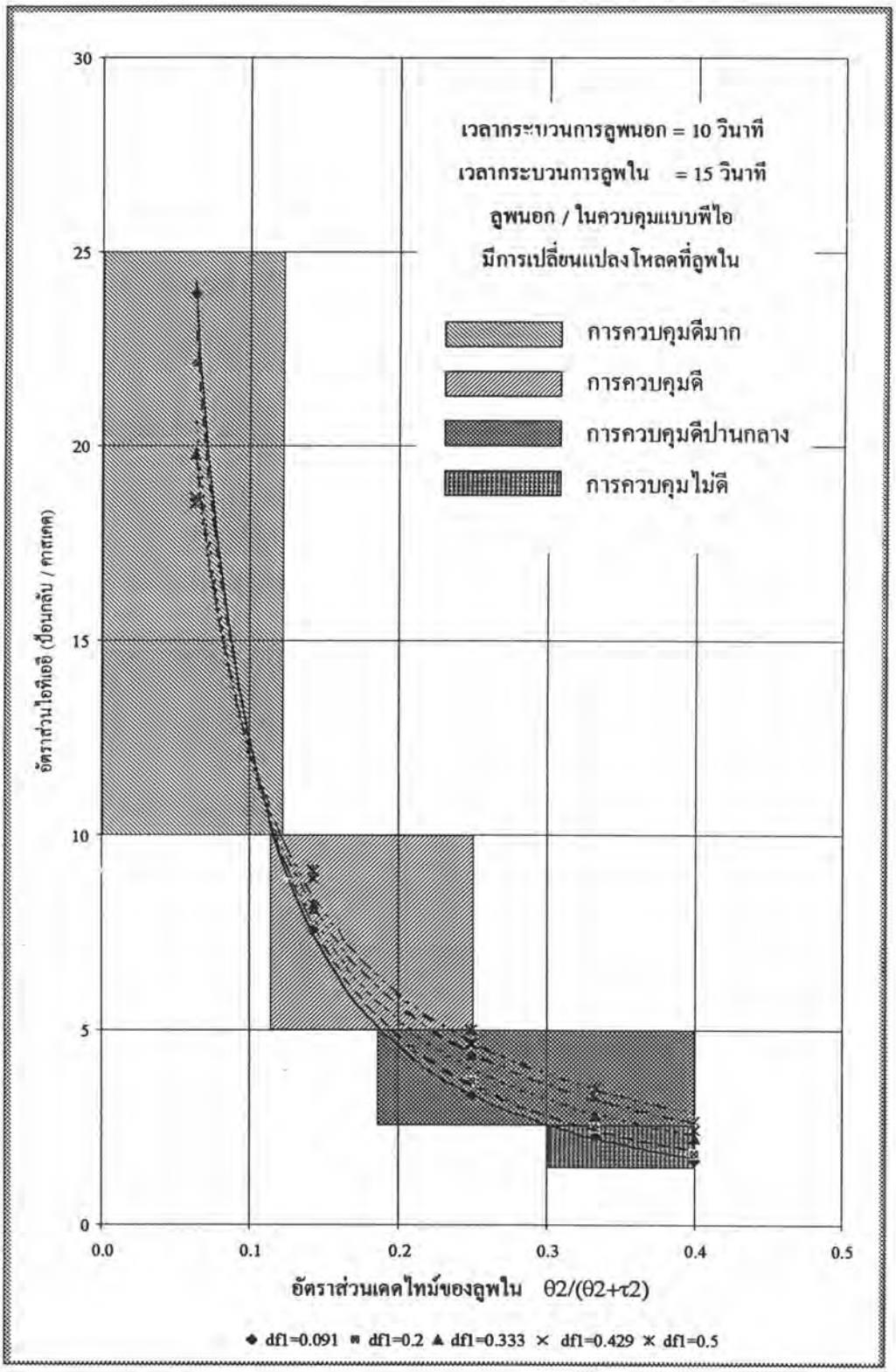
ในการแสดงผลด้วยกราฟโดยใช้สเกลแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะขยายช่วงของกราฟแกน Y โดยอัตโนมัติ ในบางครั้งได้สร้างความสับสนให้กับผู้ใช้งานที่จะตัดสินใจว่า การควบคุมได้มาถึงจุดที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวหรือยัง เพราะเมื่อกราฟถูกขยายขึ้นมาจะเหมือนระบบยังคงเป็นไซเคิลอยู่ ซึ่งอาจสร้างปัญหาให้กับผู้ใช้งานที่ยังไม่มีประสบการณ์ได้พอสมควร



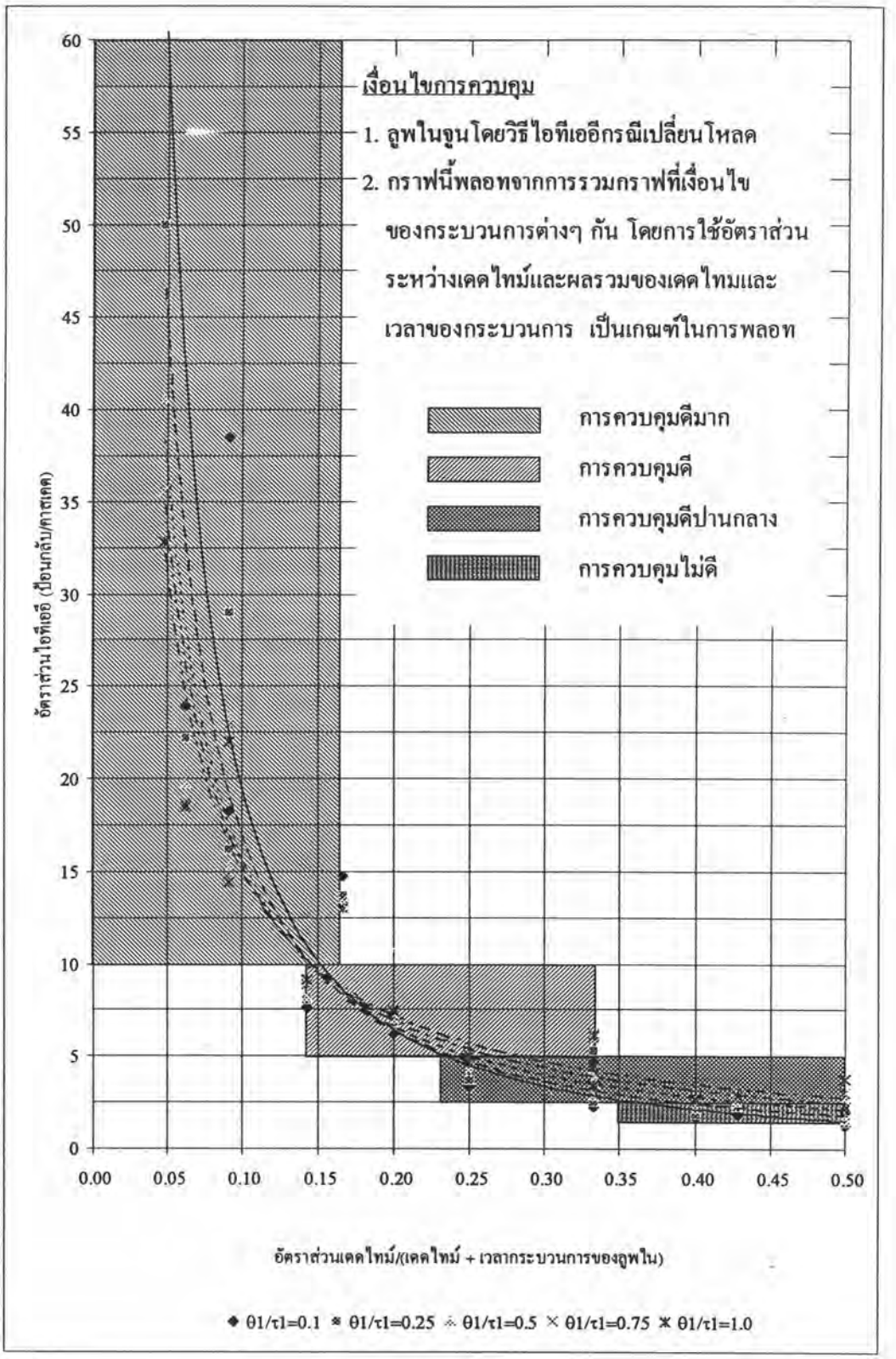
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูพในเร็วกว่าลูพนอก



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูพในเร็วเท่ากับลูพนอก



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกระบบควบคุมเมื่อลูพในช้ากว่าลูพนอก



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงแนวโน้มการเลือกใช้ระบบควบคุม

5.4 ข้อเสนอแนะในการทำการทดลองค้นคว้าต่อไป

5.4.1 การปรับปรุงโปรแกรม

ในการใช้งานโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบ Matlab และโปรแกรม Simulink ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนวินโดวส์ ซึ่งยังคงมีปัญหาในด้านการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับการทำงานในสิ่งแวดล้อมของวินโดวส์ลงสู่โปรแกรมอื่นๆ บ้างเล็กน้อย ซึ่งผู้วิจัยมีความเชื่อมั่นว่าบริษัทผู้ผลิตโปรแกรมนี้จะพัฒนาโปรแกรมนี้ให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น ดังนั้น หากมีผู้ที่สนใจจะศึกษาวิจัยในเรื่องอื่นๆ ที่จะนำโปรแกรมช่วยช่วยวิเคราะห์และออกแบบ Matlab มาใช้ควรจะจัดหาโปรแกรมที่มีเวอร์ชัน (Version) ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการวิจัยให้ดียิ่งขึ้น

5.4.2 การปรับปรุงแบบจำลอง

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ แบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นแบบจำลองอย่างง่าย คือ เป็นแบบจำลองอันดับที่หนึ่งที่มีเดดไทม์ในการควบคุมแต่ละลูพ หากจะใช้ให้สอดคล้องกับสภาพของกระบวนการจริงแล้วจะต้องสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งอาจจะพิจารณาเป็นทรานสเฟอร์ฟังชันของอุปกรณ์แต่ละชุด เช่น วาล์วควบคุม อุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ กระบวนการผลิตแต่ละชุด หรืออาจพิจารณาเป็นทราสเฟอร์ฟังชันรวมของทั้งระบบที่มีอันดับสูงขึ้น หรือประมาณการเป็นทรานสเฟอร์ฟังชันอันดับหนึ่ง โดยการทดลองจากกระบวนการจริงหรือทำการคำนวนจากการออกแบบ และเมื่อได้แบบจำลองที่ถูกต้องสอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริงแล้วจะทำให้สามารถนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ทำเลียนแบบมาปรับกระบวนการผลิตจริงได้ ซึ่งจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งในการควบคุมการผลิต

5.4.3 การจัดฝึกอบรม

การจัดให้มีการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการควบคุม หรือจัดฝึกอบรมความรู้พื้นฐานในเรื่องการควบคุมกระบวนการและการใช้งานโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบการควบคุม Matlab ให้แก่พนักงานปฏิบัติการและบำรุงรักษา รวมไปถึงวิศวกรที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เข้าใจถึงแก่นแท้ของความสัมพันธ์ต่างๆ ในระบบควบคุม รวมถึงการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Matlab ได้อย่างถูกต้อง จะเป็นส่วนหนึ่งของการเพิ่มผลผลิต รวมถึงสร้างความปลอดภัยให้แก่โรงงานนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี

5.4.4 งานวิจัยด้านอื่นๆ

จากความสามารถของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบการควบคุม Matlab ซึ่งทำให้เป็นสิ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาโปรแกรมนี้ไปใช้กับการควบคุมในงานด้านอื่นๆ เช่น วิเคราะห์เปรียบเทียบระบบควบคุมที่ก้าวหน้าอื่นๆ เช่น การควบคุมแบบป้อนหน้า การควบคุมแบบอะแดฟทีพ เป็นต้น เพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบระบบควบคุมว่ามีความเหมาะสมกับกระบวนการมากน้อยเพียงใด และการออกแบบระบบควบคุมอื่นๆ เช่น การควบคุมแบบอินพุทหมู่และเอาท์พุทหมู่ (MIMO - Multiple Input Multiple Output) สร้างแบบจำลองทำนายค่าแบบสมิธ (Smith Predictor Model) สร้างแบบจำลองวิเคราะห์ทำนายค่า (Analytical Model) เป็นต้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรมในลักษณะต่างๆ กัน

5.4.5 โปรแกรมวิเคราะห์อื่นๆ

นอกเหนือไปจากโปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบ Matlab ที่จะนำมาช่วยงานด้านวิศวกรรมแล้ว ยังมีโปรแกรมด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมที่น่าศึกษาและนำมาใช้งานอีกหลายๆ โปรแกรม เช่น โปรแกรม CLADP, PC-Parsel, Process Plus 3.0,

PROCOSP, SIM TUNE เป็นต้น ซึ่งหากมีการศึกษาในรายละเอียดของแต่ละโปรแกรมอาจจะเป็นแนวทางที่จะช่วยให้มีการเลือกใช้งานที่ถูกต้องเหมาะสมที่สุด