# บทที่ 5

## สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปการวิจัย

ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งเป็นการนำเสนอกระบวนการการพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณทางด้านทฤษฎีระบบควบคุม สำหรับคุณสมบัติของโปรแกรมที่ได้จากการพัฒนา สามารถสรุปเป็นหัวข้อดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษา C++ ในการพัฒนา

2. ทำงานบนสภาพแวดล้อมของโปรแกรม Microsoft Windows รุ่น 3.1 ขึ้นไป

3. สำหรับรับข้อมูลระบบที่เป็นระบบควบคุมแบบเชิงเส้น ซึ่งไม่แปรตามเวลา ได้ใน 4 รูปแบบ คือ
   - 3.1 ฟังก์ชันถ่ายโอน
   - 3.2 สมการสถานะ
   - 3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบพัลส์
   - 3.4 สมการสถานะแบบไม่ต่อเนื่อง

4. โปรแกรมสามารถรับระบบที่มีขนาดได้ถึง 20 ตัวแปร ซึ่งมีขนาดที่พอเพียงต่อการใช้งานทั้งด้านการเรียนการสอน และการวิจัย

5. ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมตามทฤษฎีระบบควบคุม 3 แบบ โดยมีขอบเขตของหน้าที่การทำงานดังนี้
   - 5.1 ทฤษฎีควบคุมแบบคลาสสิก
     - 5.1.1 การสร้าง Routh Table
     - 5.1.2 การหาตำแหน่งเสาและศูนย์ของฟังก์ชัน
     - 5.1.3 การหาค่า Gain Margin และ Phase Margin
     - 5.1.4 การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID
     - 5.1.5 การออกแบบตัวชดเชยทั้ง 3 แบบ ในเชิงความถี่

5.2 ทฤษฎีควบคุมสมัยใหม่

5.2.1 การหาค่า Eigenvalue

5.2.2 การตรวจสอบ Controllability และ Observability

5.2.3 การออกแบบระบบป้อนกลับ ด้วยเทคนิคกำหนดตำแหน่งเสา

5.2.4 การออกแบบ Observer ด้วยเทคนิคกำหนดตำแหน่งเสา

5.2.5 การออกแบบระบบป้อนกลับ ด้วยเทคนิคเล็งเลิศ

5.2.6 การออกแบบ Kalman Filter

5.3 ทฤษฎีควบคุมแบบดิจิตัล ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

5.3.1 ข้อมูลของระบบ อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนแบบพัลส์

5.3.1.1 การสร้าง Jury Table

5.3.1.2 การหาตำแหน่งเสาและศูนย์ของฟังก์ชัน

5.3.1.3 การหาค่า Gain Margin และ Phase Margin

5.3.1.4 การออกแบบตัวชดเชยทั้ง 3 แบบ ในเชิงความถี่

5.3.2 ข้อมูลระบบ อยู่ในรูปสมการสถานะแบบไม่ต่อเนื่อง

5.3.2.1 การหาค่า Eigenvalue

5.3.2.2 การตรวจสอบ Controllability และ Observability

5.3.2.3 การออกแบบระบบป้อนกลับ ด้วยเทคนิคกำหนดตำแหน่งเสา

5.3.2.4 การออกแบบ Observer ด้วยเทคนิคกำหนดตำแหน่งเสา

5.3.2.5 การออกแบบระบบป้อนกลับ ด้วยเทคนิคเล็งเลิศ

5.3.2.6 การออกแบบ Kalman Filter

5.4 การจำลองผลตอบ

5.4.1 การจำลองผลตอบเชิงเวลา

5.4.2 การจำลองผลตอบเชิงความถี่ ในรูป Nyquist Plot

5.4.3 การจำลองผลตอบเชิงความถี่ ในรูป Bode Plot

5.4.4 การจำลองผลตอบเชิงความถี่ ในรูป Nichols Chart

5.4.5 การสร้างกราฟแบบ Root Loci Plot

6. ภายในโปรแกรมได้พยายามเลือกใช้อัลกอริทึมที่มีเสถียรภาพในการทำงาน เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

7. ระบบติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรม ได้ถูกออกแบบให้ปรับการใช้งานให้คล่องตัว และสะดวกต่อการป้อนข้อมูล ด้วยการใช้หลักการ Desktop

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในขณะที่กำลังพัฒนาโปรแกรมนี้อยู่ ภาษา C++ ยังอยู่ในช่วงการเสนอร่างมาตรฐาน ANSI C++ ดังนั้นผู้ที่ทำการพัฒนาต่อควรปรับเปลี่ยนโครงสร้างของภาษาให้ตรงกับมาตรฐาน

2. ในช่วงเวลาท้ายของการพัฒนา บริษัท Microsoft ได้แนะนำโปรแกรม Microsoft Windows NT ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท Windows ที่พัฒนาโครงสร้างการทำงานให้มีความสามารถมากขึ้น แต่เนื่องจากระบบโครงสร้างของ Microsoft Windows 3.1 มีความแตกต่างจาก Microsoft Windows NT พอสมควร ดังนั้นจึงยังไม่ได้มีการพัฒนาความสามารถให้สามารถทำงานบนระบบ Microsoft Windows NT อย่างเต็มที่ ดังนั้น การพัฒนาต่อจึงควรเพิ่มเติมการทำงานของโปรแกรมในการเรียกใช้ความสามารถของ Windows ทั้งสองแบบ ให้เต็มที่

3. ในการพัฒนาครั้งนี้ ทางผู้พัฒนาได้ทำการวางโครงสร้างของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ไว้แล้วในระดับหนึ่ง โครงสร้างนี้ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้คลอบคลุมการคำนวณทั่วไปทางด้านวิศวกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากต่อการพัฒนาโปรแกรมทางด้านวิศวกรรม

4. ในโปรแกรมยังไม่มีการเรียกใช้ความสามารถของ Windows ในการใช้ระบบโครงสร้างแบบ DLL เนื่องจากโปรแกรมยังไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่เมื่อพัฒนาโปรแกรมต่อไปเรื่อยๆ ควรมีการแยกส่วนของการทำงานพื้นฐานออกไป เพื่อให้ขนาดของโปรแกรมเล็กลง รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในโปรแกรมอื่นได้ด้วย

5. ฟังก์ชันในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม ที่มีการนำเสนออยู่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ยังไม่คลอบคลุมเนื้อหาในทฤษฎีควบคุมทั้งหมด เนื่องจากในบางฟังก์ชันมีรายละเอียดที่สูงเกินกว่าส่วนที่ใช้งานทั่วไป และในบางส่วนก็ไม่สามารถพัฒนาออกเป็นโปรแกรมได้ สำหรับเนื้อหาบางส่วนที่ได้ข้ามไป ได้แก่

5.1 Root Contour

5.2 Partial Feedback

5.3 Reduced-order Observer

5.4 Model Reduction

6. ขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้ จำกัดไว้ที่ระบบแบบเชิงเส้น ที่ไม่แปรตามเวลาเท่านั้น โดยอิงบนรากฐานทฤษฎีระบบควบคุม 3 แบบ คือ ทฤษฎีควบคุมแบบคลาสสิก แบบสมัยใหม่ และแบบดิจิตัล แต่ทฤษฎีควบคุมยังมีอยู่อีกมาก โดยในบางทฤษฎีจะมีความสามารถมากกว่าทฤษฎีทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงควรขยายความสามารถของทฤษฎีที่ใช้ ประเภทของระบบ เพื่อให้สามารถครอบคลุมการใช้งานได้ สำหรับทฤษฎีควบคุมที่น่าสนใจ ได้แก่

6.1 Stochastic Control Theory

6.2 Nonlinear Control Theory

6.3 Adaptive Control Theory

6.4 Robust Control Theory

6.5 Predictive Control Thory

6.6 Large-scale Control Theory