

การออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมเครื่องจักรกล

น.ต.ดร. กฤษฎา แสงเพชรส่อง
อาจารย์ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

๑. กล่าวนำ

การดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับระบบควบคุม (Control Systems) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า รถยนต์ หรือ อุปกรณ์เฉพาะที่มีความซับซ้อนสูง เช่น ระบบควบคุมการยิงของเรือรบ หรือ ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติของเครื่องบิน ล้วนต้องมีระบบควบคุมเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น

วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบควบคุมสามารถอาจแบ่งได้เป็น ๔ ข้อ ดังนี้ [๑]

๑. เพื่อขยายกำลัง (Power Amplification)
๒. เพื่อควบคุมระยะไกล (Remote Control)
๓. เพื่อใช้ฟอร์มของสัญญาณเข้าที่ง่ายต่อการจัดการ (Convenience of Input Form)
๔. เพื่อตอบสนอง / ชดเชยต่อสิ่งรบกวน (Compensation for Disturbances)

ตัวอย่างของการใช้ระบบควบคุมเพื่อขยายกำลัง และ ควบคุมระยะไกล เช่น การใช้ Joystick เพื่อควบคุมการหันปืนเรือจากภายในห้องศูนย์ยุทธการ ระบบควบคุมการยิงดังกล่าวต้องขยายสัญญาณจาก Joystick ซึ่งมีกำลังน้อย (ไม่เกิน ๑๒ โวลต์) ให้เป็นสัญญาณที่มีกำลังสูง (เป็นพันโวลต์) พอที่จะขับเคลื่อนระบบ Servo ของปืนให้หมุนได้ นอกจากนี้การที่พนักงานสามารถควบคุมปืนจากภายในห้องศูนย์ยุทธการมีประโยชน์คือ เป็นการป้องกันพนักงานจากอันตรายภายนอก เช่น อาวุธ นิวเคลียร์ เคมี ชีวะ และช่วยให้การอำนวยความสะดวกมีประสิทธิภาพ

การใช้ฟอร์มของสัญญาณเข้า (Input) ที่ง่ายต่อการจัดการ และ ตอบสนอง / ชดเชยต่อสิ่งรบกวน สามารถดูได้จากเครื่องปรับอากาศเป็นตัวอย่าง เช่น เมื่อผู้ใช้งานต้องการปรับอุณหภูมิ ก็สามารถทำได้โดยการหมุนปุ่มควบคุม (ฟอร์มของสัญญาณเข้าคือ ตำแหน่งของปุ่มควบคุม) จากนั้นระบบควบคุมอุณหภูมิจะแปลงสัญญาณเข้าดังกล่าว เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่ต้องการ (ลองจินตนาการถ้าผู้ใช้จำเป็นต้องให้สัญญาณเข้าคือ “อุณหภูมิ” เพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศ) นอกจากนี้ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน อาจมีคนเข้าออกห้องไม่แน่นอน หรือ แสงแดดอาจส่องเข้ามาในห้องในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน “สิ่งรบกวน” จากภายนอกเหล่านี้มีผลให้อุณหภูมิของห้องเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ระบบควบคุมสามารถตอบสนองและชดเชยต่อสิ่งรบกวนเหล่านี้โดยปรับการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อให้อุณหภูมิของห้องคงที่ตามที่ผู้ใช้ตั้งไว้ตลอดเวลา

ปัจจุบัน พัฒนาการของระบบควบคุมมีแนวโน้มที่จะเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) มากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่ม สมรรถนะ (Artificial Intelligence) ให้กับระบบควบคุม ทั้งนี้ เพื่อช่วย

อำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงาน เช่น เครื่องประกอบชิ้นส่วนตามสายการผลิต ในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น จะเห็นได้ว่า ระบบควบคุมเริ่มมีบทบาทอย่างมากต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นอาจถือได้ว่าการศึกษเกี่ยวกับระบบควบคุม (Control Systems Engineering) เป็นพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับผู้ที่จะจบการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาไฟฟ้า และ เครื่องกล)

ในส่วนของโรงเรียนนายเรือ ได้บรรจุหลักสูตรเกี่ยวกับระบบควบคุมไว้ ดังนี้ [๒]

๑. วิชาแกนเฉพาะสาขา

- ก. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มีวิชาระบบควบคุม (EE416) และ วิชาปฏิบัติการระบบควบคุม (EE417)
- ข. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มีวิชาระบบควบคุมเชิงกล (MR415)

๒. วิชาเลือกเฉพาะสาขา

- ก. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มีวิชาระบบควบคุมแบบดิจิทัล (EE934) และ วิชาระบบควบคุมขั้นสูง (EE935)
- ข. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และ สาขาวิชาวิศวกรรมการต่อเรือ มีวิชาระบบควบคุมอัตโนมัติ (MR912)

๒. Control Systems Engineering

๒.๑ Control Theory

การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม ไม่ว่าจะเป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อย เช่น เครื่องปิ้งขนมปัง หรือระบบที่มีความซับซ้อนสูง เช่น ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ ล้วนใช้ความรู้พื้นฐานเดียวกันคือ ทฤษฎีการควบคุม (Control Theory) ซึ่งเป็นการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม

Control Theory สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลัก ๆ คือ

- ๑. Classical Control Theory
- ๒. Modern Control Theory

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า Classical Control Theory หมายถึง การใช้เทคนิคด้านความถี่ (Frequency Domain) คือใช้ Laplace Transform สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ (Mathematical Model หรือ System Model) ในรูปของ Transfer Function เพื่อวิเคราะห์การตอบสนองของระบบในย่านความถี่ต่าง ๆ ในขณะที่ Modern Control Theory หมายถึงการใช้เทคนิคด้านเวลา (Time Domain) คือใช้ System Model ในรูปของ State Space และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบควบคุมที่เวลาต่างๆ

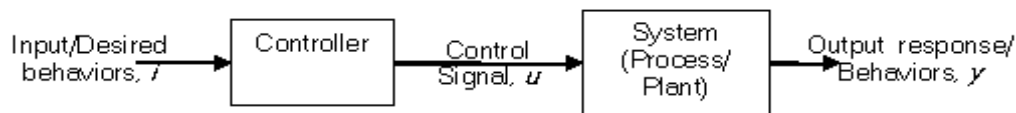
๒.๒ ประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถแบ่งได้เป็น ๒ ประเภท ตามการทิศทางการไหลของสัญญาณ ได้แก่

๑. Open Loop Control System
๒. Closed Loop Control System

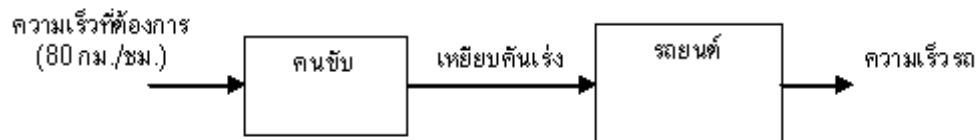
๒.๒.๑ Open Loop Control System

ใน Open Loop Control System ตัวควบคุม (Controller) จะรับสัญญาณเข้า (Input) เช่น การตอบสนองที่ต้องการ (Desired Behavior) และส่งสัญญาณควบคุม (Control Signal) ไปยังระบบที่ต้องการควบคุม^๑ ดังแสดงใน ภาพที่ ๑



ภาพที่ ๑ Open Loop Control System Block Diagram Representation

ภาพที่ ๒ แสดงตัวอย่าง Block Diagram ของระบบควบคุมความเร็วของรถยนต์แบบ Open Loop



ภาพที่ ๒ ระบบควบคุมความเร็วของรถยนต์แบบ Open Loop

จากระบบใน ภาพที่ ๒ คนขับเปรียบเสมือนเป็น Controller (ในระบบควบคุมอัตโนมัติ Controller อาจเป็น เครื่องคอมพิวเตอร์แทนคนขับ) Desired Behavior อาจถูกกำหนดจากความเร็วตามกฎหมายกำหนด เช่น ๘๐ กิโลเมตร / ชั่วโมง (กม./ชม.) ในกรณีนี้คนขับจะประมวลผลและเหยียบที่คันเร่งเพื่อเร่งเครื่องให้รถยนต์วิ่งไปด้วยความเร็วที่ต้องการ ซึ่งคนขับจำเป็นต้องรู้ล่วงหน้า เช่น จากคู่มือประจำ

^๑ ใน Control Systems Engineering คำว่า Plant, System, Process ใช้หมายถึงสิ่งเดียวกันคือ ระบบที่เราต้องการควบคุม

รถว่า ถ้าวิ่งทางเรียบที่ความเร็วรอบเครื่อง ๒๕๐๐ RPM รถจะวิ่งด้วยความเร็ว ๘๐ กม./ชม. เป็นต้น ใน Open Loop Control System มีข้อจำกัดที่เห็นได้ชัด คือ ไม่สามารถรักษาความเร็วของรถให้คงที่ได้ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น ชนกระช้านหรือลงเขา

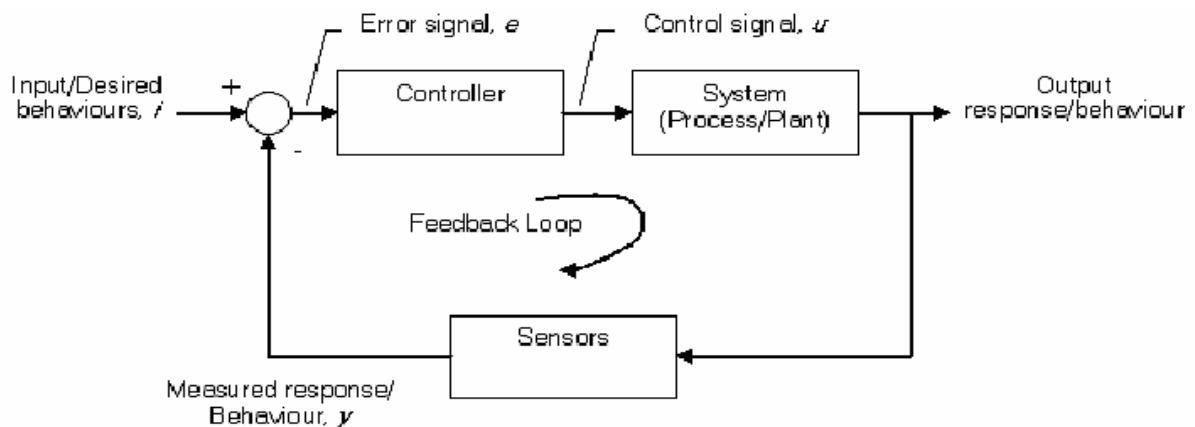
ความต้องการที่จะสามารถควบคุมระบบได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น จึงนำไปสู่การพัฒนากระบวนการควบคุมแบบ Closed Loop Control System

๒.๒.๒ Closed Loop Control System

ในระบบ Closed Loop Control System (หรือ Feedback Control System) ตามภาพที่ ๓ ตัว Controller จะใช้ Error Signal, e , เป็น Input ในการกำหนด Control Signal, u , ที่จะส่งไปยังระบบที่ต้องการควบคุม Error Signal ได้มาจากสมการ

$$e = i - y \quad \text{Eq. ๑}$$

ค่าที่วัดได้ (Measurement, y) อาจได้มาโดยตรง แต่ส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ Sensor ในการวัดค่า

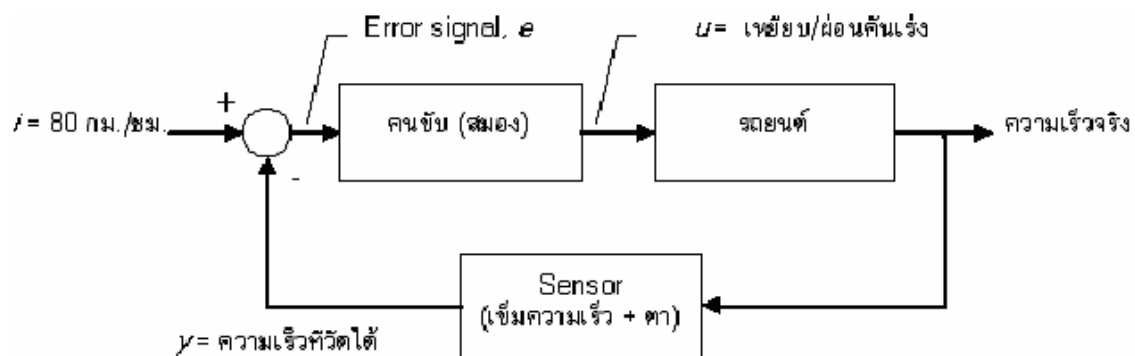


ภาพที่ ๓ Closed Loop Control System Block Diagram Representation

Closed Loop Control System มีข้อดีที่เด่นชัด ซึ่งได้มาจาก Feedback Loop กล่าวคือ สามารถที่จะตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า Open Loop Control System ภาพที่ ๔ แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมความเร็วรถแบบ Closed Loop

ระบบ Closed Loop Control System จะพยายามรักษาให้การตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการอยู่ตลอดเวลา ถ้ามีความแตกต่างระหว่าง Desired Behavior กับ Output Response มาก Error Signal ก็จะมีค่ามาก ทำให้ Controller ส่ง Control Signal ที่สูงออกมาเพื่อควบคุมระบบ แต่ในทางกลับกัน

ถ้ามีความแตกต่างระหว่าง Desired Behavior กับ Output Response น้อย Error Signal ก็จะมีค่าน้อย ทำให้ Controller ส่ง Control Signal ที่น้อยออกมาเพื่อควบคุมระบบ ในทางทฤษฎี ถ้า Output Response เท่ากับ Desired Behavior ดังนั้น Error Signal ก็มีค่าเท่ากับศูนย์ และ Controller ก็ไม่จำเป็นต้องส่ง Control Signal ออกมาเพื่อควบคุมระบบ



ภาพที่ ๔ ระบบควบคุมความเร็วของรถยนต์แบบ Closed Loop

จากตัวอย่างของระบบใน ภาพที่ ๔ เมื่อเริ่มต้นสตาร์ทรถ รถจะมีความเร็วเป็นศูนย์ ($y=0$ ใน Eq. ๑) สมมุติว่าคนขับต้องการทำความเร็ว ๘๐ กม./ชม. ($i=80$) ดังนั้น Error signal (ผลต่างระหว่าง Input และ Output, $e=i-y=80-0$) จะมีค่าเท่ากับ ๘๐ กม./ชม. ซึ่งคนขับรถจะต้องเหยียบคันเร่งมาก เพื่อให้ความเร็วรถเพิ่มขึ้น ณ จุดหนึ่งที่มีความเร็วรถมีค่าเท่ากับ ๗๙ กม./ชม. ($y=79$) Error signal จะมีค่าเท่ากับ ๑ กม./ชม. ($e=80-79$) ซึ่งคนขับต้องเหยียบคันเร่งเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย (เปรียบเทียบกับ $e=80$) และในกรณีที่ความเร็วรถมีค่าเท่ากับ ๘๐ กม./ชม. Error signal จะมีค่าเป็นศูนย์ ($e=80-80$) และคนขับเพียงแค่รักษาระดับของคันเร่งให้คงที่ไว้ ด้วยระบบควบคุมแบบ Closed Loop ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า Controller (คนขับ) จะคอยปรับแต่ง (เหยียบ/ผ่อน) คันเร่งโดยอัตโนมัติ อย่างต่อเนื่องเพื่อควบคุมความเร็วให้คงที่ แม้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น ขยะขึ้น / ลง เขา เป็นต้น

๒.๓ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุม (Design Process)

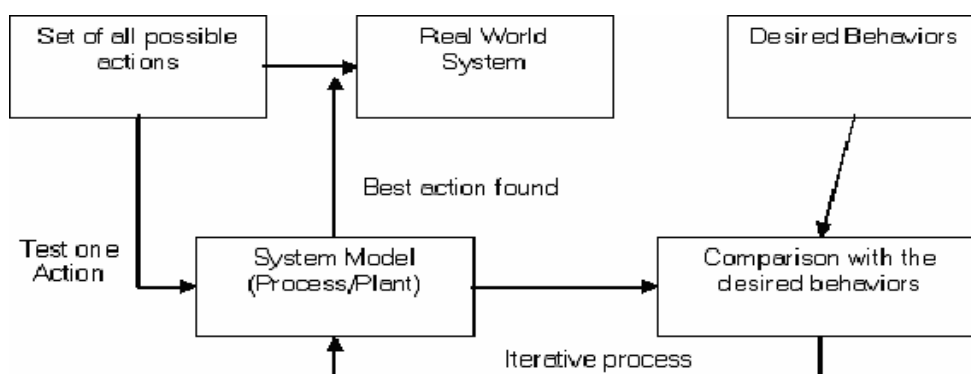
โดยปกติ เมื่อวิศวกรออกแบบระบบควบคุม สามารถทำตามกระบวนการ ๓ ขั้นตอน ดังนี้ [๓]

๑. กำหนด Desired Behaviors (ตั้งเป้าหมายว่า ต้องการให้ระบบมีขีดความสามารถอะไร)
๒. กำหนด Control Actions (ดูว่ามีวิธีการอะไรบ้างที่สามารถใช้ควบคุมระบบ)

๓. เลือก Control Actions ที่ดีที่สุด (Control Actions หมายถึงวิธีการที่จะใช้ควบคุมระบบ เช่น ในการควบคุมความเร็วของรถยนต์ มีทางเลือกหลายวิธีตั้งแต่ เร่งเครื่องหรือเหยียบเบรก, เลือกเครื่องยนต์ที่เล็กลงหรือใหญ่ขึ้น หรือใช้เกียร์ / เฟืองทด เป็นต้น)

ในการออกแบบตามกระบวนการข้างต้น วิศวกร อาจใช้ Iterative Process (การทำซ้ำๆ) ตามภาพที่ ๕ โดยเริ่มจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (System Model) เพื่อใช้วัดผลที่ได้จากการป้อน Control Actions ต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับขีดความสามารถของระบบที่ต้องการ (Desired Behaviors) วิศวกรอาจต้องลองผิดลองถูกหลายครั้งจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ (คือ Control Action) ที่ทำให้ระบบตอบสนองตามที่ต้องการได้ดีที่สุด ก่อนจะนำไปทดลองกับระบบจริงเพื่อเป็นการยืนยันความเหมาะสมของระบบควบคุม เป็นครั้งสุดท้าย

การใช้ System Model ช่วยให้สามารถทำการทดสอบได้ง่าย และหลีกเลี่ยงข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองกับระบบจริง (ลองจินตนาการถึงความยุ่งยากและข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้น หากวิศวกรจำเป็นต้องออกแบบระบบควบคุมการบินของเครื่องบินโดยทำการทดลองกับเครื่องบินจริงโดยไม่มีการจำลองด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เช่น เครื่องบินอาจตกและอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ นอกจากนี้การที่จะเปลี่ยนแปลงรายละเอียดของระบบควบคุมเล็ก ๆ น้อย ๆ เพื่อปรับแต่งระบบควบคุมจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมาก)



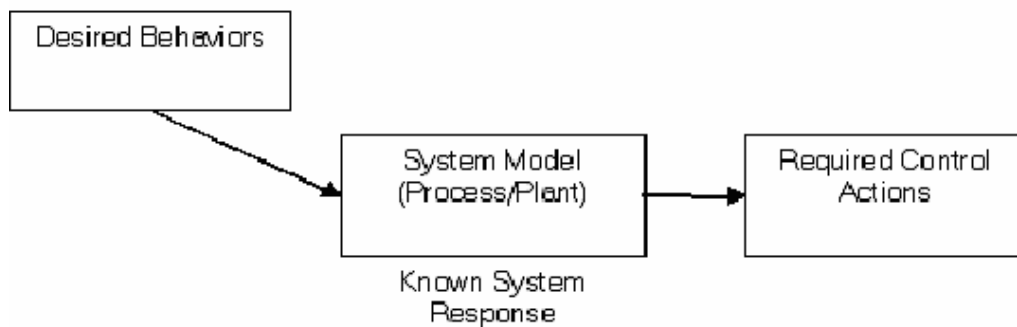
ภาพที่ ๕ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ Iteration Process

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการแบบ Iterative Process ก็ยังมีข้อจำกัดอื่น ๆ อีกเช่น

๑. จะใช้อะไรเป็นเกณฑ์กำหนดขีดความสามารถของระบบ
๒. จะมีเกณฑ์กำหนดขีดความสามารถของระบบที่เป็นมาตรฐานใช้เปรียบเทียบระบบต่าง ๆ ได้หรือไม่
๓. จะรู้ได้อย่างไรว่า System Model ที่ใช้มีความถูกต้องแม่นยำเพียงพอ

๔. จะรู้ได้อย่างไรว่า Control Actions ไหนดีที่สุด

สิ่งที่ Control Theory เข้ามามีส่วนช่วยในการออกแบบระบบควบคุมก็คือ แทนที่วิศวกรจะต้องออกแบบระบบควบคุมด้วยการใช้ Iterative Process คือ ทดลองซ้ำหลายๆครั้งจนหาพบว่า Control Action อะไรดีที่สุด Control Theory เริ่มต้นโดยใช้ Desired Behavior ที่ต้องการเป็นโจทย์ ประกอบกับ System Model แล้วคำนวณหา Control Action ที่จำเป็น ในลักษณะคล้ายๆกับการแก้สมการ คือ ถ้ารู้ Desired Behavior และ รู้ว่า System Response (การตอบสนองของระบบ) เป็นอย่างไร (ซึ่งรู้ได้จาก System Model) วิศวกรสามารถแก้สมการคำนวณหา Control Action เพื่อให้ได้ Desired Behavior



นั้นๆ ซึ่งมีขั้นตอนตามที่แสดงในภาพที่ ๖

ภาพที่ ๖ ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ Control Theory

๒.๔ การกำหนดขีดความสามารถของระบบ

โดยทั่วไปมีปัจจัยพื้นฐาน ๔ ปัจจัยที่วิศวกรคำนึงถึงในการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ถูกใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำหรับกำหนดขีดความสามารถของระบบควบคุม

๑. Stability (ความเสถียรของระบบ)
๒. Transient Response (การตอบสนองของระบบก่อนถึงจุดสมดุล)
๓. Steady State Error (ความคลาดเคลื่อนของระบบ ณ จุดสมดุล)
๔. Robustness (ความคงทนของระบบต่อการเปลี่ยนแปลง)

เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกำหนดขีดความสามารถของระบบควบคุมได้ง่าย จึงใช้ระบบควบคุมของลิฟต์เป็นตัวอย่างสาธิตแนวความคิดพื้นฐาน ภาพที่ ๗ แสดงตัวอย่างการตอบสนองของลิฟต์ ๔ ตัว เมื่อผู้ใช้กดปุ่มออกคำสั่งให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ๑ เมตร

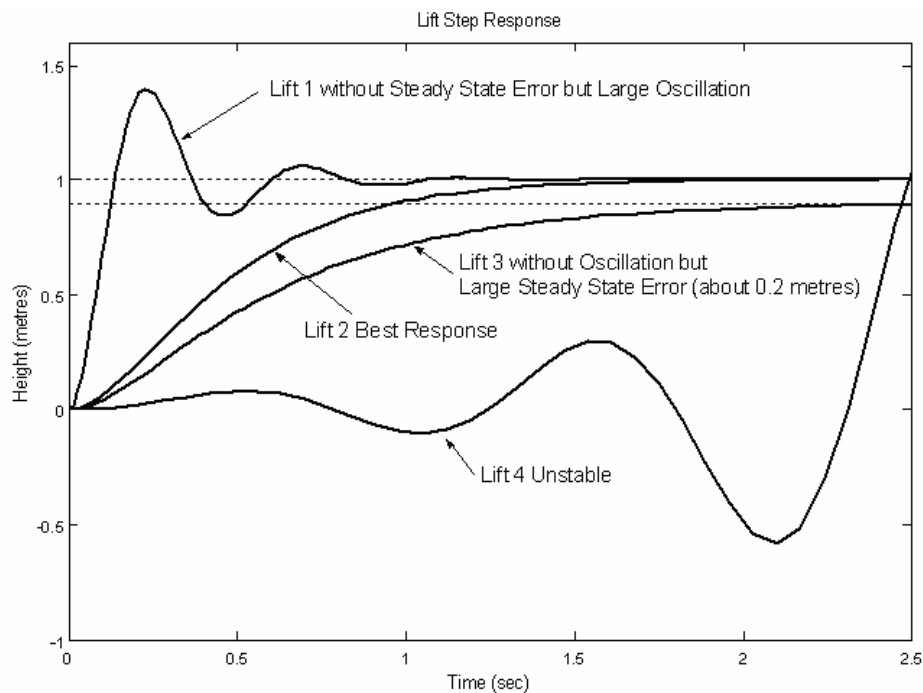
คนทั่วไปเมื่อใช้ลิฟต์ย่อมต้องการให้ลิฟต์เคลื่อนที่เร็วและนุ่มนวลที่สุด ลิฟต์ที่ไม่มีความเสถียร (Unstable) จะเคลื่อนที่ไม่ยอมหยุด ซึ่งลิฟต์อาจเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงจนทะลุเพดานหรือพื้นไปเลย ทำให้เป็นอันตรายถึงชีวิตได้

Transient Response ดูได้จากว่า กว่าที่ลิฟต์จะหยุด ณ ชั้นที่ต้องการนั้น ใช้เวลานานหรือไม่ มีอาการแกว่ง (Oscillation) ขึ้นลงมากน้อยเพียงไร โดยส่วนมาก ผู้ใช้ลิฟต์อาจรู้สึกได้ว่าลิฟต์มีอาการสั่นขึ้นลงเล็กน้อยก่อนที่ลิฟต์จะหยุด แปลว่ามีการแกว่งเล็กน้อย ลิฟต์บางเครื่องอาจเคลื่อนที่เร็วเกินไปทำให้ผู้ใช้ลิฟต์รู้สึกเหมือนตัวลอย วิศวกรจำเป็นต้องออกแบบลิฟต์ให้ Transient Response มีความพอดีเพื่อให้ผู้ใช้จะไม่รู้สึกไม่สบาย

Steady State Error ดูได้จากว่า เมื่อลิฟต์หยุด ณ ชั้นที่ต้องการนั้น (ถึงจุดสมดุล) หยุดตรงชั้นพอดีหรือไม่ พื้นลิฟต์กับพื้นอาคารอยู่ในแนวเดียวกันหรือไม่ ถ้า Steady State Error มาก เช่น ๐.๕ เมตร ผู้ใช้ลิฟต์อาจต้องปีนออกจากลิฟต์ แทนที่จะเดินออกได้ง่ายๆ ดังนั้นวิศวกร ควรออกแบบระบบควบคุมให้มี Steady State Error อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จาก ภาพที่ ๗ ลิฟต์ ๑ มี Steady State Error เท่ากับศูนย์ แต่มีอาการแกว่ง (Oscillation) ค่อนข้างสูง ในขณะที่ ลิฟต์ ๓ เคลื่อนที่นุ่มนวลที่สุด แต่มี Steady State Error ถึง ๒๐ เซนติเมตร และลิฟต์ ๔ ไม่เสถียร (Unstable) ดังนั้น ในกรณีนี้ ลิฟต์ ๒ จึงมีการตอบสนองที่ดีที่สุด เพราะแม้ว่าจะไม่สามารถตอบสนองได้เร็วเหมือนลิฟต์ ๑ แต่ก็ตอบสนองได้เร็วกว่าลิฟต์ ๓ โดยไม่มีการแกว่งและ Steady State Error เท่ากับศูนย์

Robustness ดูได้จากว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ลิฟต์ยังจะตอบสนองได้ดีอย่างที่ต้องการหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น วิศวกรอาจลืมไปและออกแบบลิฟต์ที่มีการตอบสนองที่ดีเมื่อรับน้ำหนักสูงสุดคือเมื่อมีคนอยู่ในลิฟต์ ๒๐ คน แต่เมื่อมีคนใช้ลิฟต์ ๕ คน (น้ำหนักเปลี่ยน) การตอบสนองของลิฟต์ไม่ดี อาจ เป็น Unstable หรือ Transient Response ไม่ดี เช่น แกว่งเกินไป เร็วเกินไป ทำให้ผู้ใช้ลิฟต์ตัวลอย หรืออาจมี Steady State Error มากเกินไป ดังนั้น วิศวกรควรออกแบบลิฟต์ที่ Robust กล่าวคือ การตอบสนองต่าง ๆ (Stability, Transient Response, Steady State Error) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แม้ว่าจะมีผู้ใช้ลิฟต์ตั้งแต่ ๑ ถึง ๒๐ คน

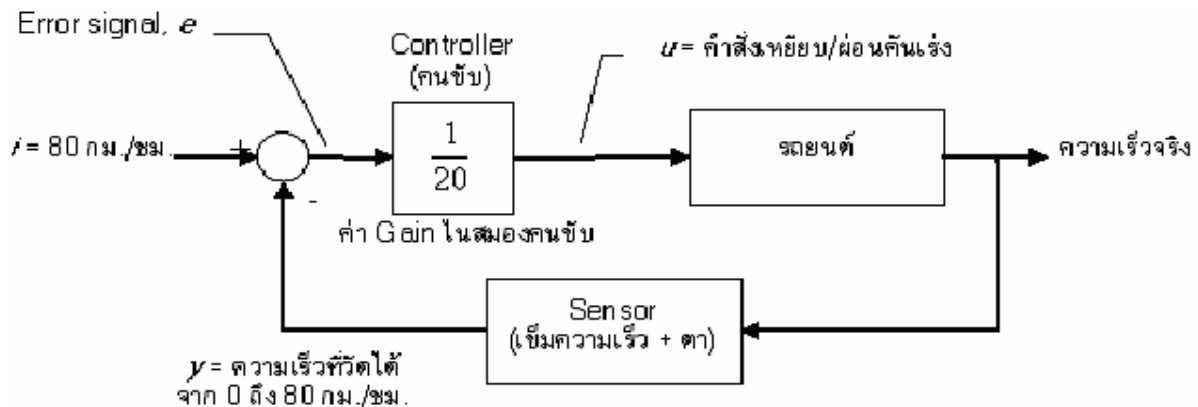


ภาพที่ ๗ การตอบสนองของระบบลิฟต์

การออกแบบระบบควบคุมไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะการปรับแต่งขีดความสามารถหนึ่งให้ได้อาจมีผลกระทบทางลบต่อขีดความสามารถอื่น ๆ ได้ด้วย ลองจินตนาการว่ามีคน (Controller) กำลังพยายามออกแรงเข็นตู้เสื้อผ้า (Plant) ที่มีน้ำหนักมากให้เคลื่อนย้ายไปในตำแหน่งที่ต้องการ หากคนเข็นตู้ ต้องการเข็นให้เสร็จเร็ว (Transient Response ดี – ตอบสนองเร็ว) ก็จำเป็นต้องออกแรงมาก แต่การออกแรงมากจะทำให้ควบคุมตู้ให้หยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้ยาก (Steady State Error ไม่ดี – ความคลาดเคลื่อนสูง) ในทางกลับกัน ถ้าคนเข็นตู้ต้องการควบคุมให้ตู้หยุดในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ (Steady State Error ดี – ความคลาดเคลื่อนน้อย) ก็ต้องออกแรงน้อยเพื่อให้ตู้เคลื่อนที่ช้า ๆ และสามารถควบคุมตำแหน่งของตู้ได้ง่าย (Transient Response ไม่ดี – ตอบสนองช้า) ในตัวอย่างนี้ การที่คนออกแรงมากหรือน้อยเปรียบเสมือนว่าคนคือ Controller ที่มีค่า Gain ที่ปรับได้ เมื่อต้องการออกแรงมากก็ปรับให้มีค่า Gain สูงๆ และถ้าต้องการออกแรงน้อยก็ปรับให้มีค่า Gain ต่ำๆ (อาจมองง่ายๆว่าค่า Gain คือตัวคูณสัญญาณเข้าให้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงตามที่เรต้องการ)

เพื่อให้เห็นภาพเกี่ยวกับการควบคุมระบบด้วยการปรับค่า Gain สามารถดูได้จากตัวอย่างของระบบควบคุมความเร็วรถแบบ Closed Loop ตามภาพที่ ๔ สมมติว่าในสมองคนขับรถได้กำหนดค่า Gain ไว้คือ ๘๐ กม./ชม. ดังนั้นเมื่อความเร็วรถเท่ากับ ๐ กม./ชม. สัญญาณ Error จะมีค่าเท่ากับ ๘๐ กม./ชม. ทำให้สมองสั่งการให้เท้าเหยียบคันเร่งลงไป ๔ ซม. ($80 \times \frac{1}{20} = 4$) และเมื่อความเร็วรถเท่ากับ

๗๙ กม./ชม. สัญญาณ Error จะมีค่าเท่ากับ ๑ กม./ชม. ทำให้สมองคนขับก็จะสั่งการให้เท้าเหยียบคันเร่งลงไป ๐.๐๕ ชม. ($1 \times \frac{1}{20} = 0.05$) ดังนั้นเราสามารถควบคุมว่าจะให้เท้าเหยียบคันเร่งมากน้อยเท่าไรได้ด้วยการปรับค่า Gain ใน Controller (สมองของคนขับ)



ภาพที่ ๘ ตัวอย่างการปรับค่า Gain ใน Controller เพื่อควบคุมความเร็วของรถยนต์

๓. สรุป

การออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมในชีวิตจริง ก็จะต้องพบกับข้อจำกัดเช่นนี้เช่นกัน และหน้าที่ของวิศวกรระบบควบคุมคือ ออกแบบระบบควบคุมที่สามารถตอบสนองได้ดีที่สุดโดยหาจุดสมดุล (Trades off) ระหว่างเกณฑ์ที่กำหนดขีดความสามารถต่างๆ (Stability, Transient Response, Steady State Error, และ Robustness) ดังนั้นวิศวกรจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ที่เพียงพอที่จะช่วยให้ออกแบบและวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปร (parameters) ต่าง ๆ ต่อการตอบสนองของระบบ ด้วยเหตุนี้คอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในฐานะเครื่องมือของวิศวกรในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุม (Computer Aided Design)

เอกสารอ้างอิง

๑. Nise, Norman. S., *Control Systems Engineering*, John Wiley & Sons, INC., 3rd Ed., 2000, ISBN. 0 471 36601-3
๒. หลักสูตรการศึกษาโรงเรียนนายเรือ พ.ศ. ๒๕๔๕
๓. Leigh, J. R., *Control theory : a guided tour*, P. Peregrinus on the behalf of the Institution of Electrical Engineers (IEE), 1992. ISBN 0863412416