

## บทที่ 5

### การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

#### 5.1 บทนำ

จากการเขียนโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยเมื่อมีตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ ที่เลือกไว้เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. และผลการตรวจสอบโปรแกรมการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่เขียนขึ้น โดยเปรียบเทียบผลการตอบสนองของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่ได้ในงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา (Cheung, 1978) ดังได้แสดงไว้ในบทที่ 4 จะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นมีความน่าเชื่อถือสามารถนำมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ได้ โดยให้โปรแกรมดังกล่าวสามารถเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวควบคุมได้ และกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลองให้เหมือนกัน ในบทนี้ได้กล่าวถึงความหมายของเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้งแสดงขั้นตอนและผลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการตรวจสอบให้เห็นจริงถึงการใช้งานตัวควบคุมแบบช่วงกว้างโดยเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมให้ได้ตามข้อกำหนดของตัวควบคุมแบบช่วงกว้างกับตัวควบคุมแบบพี, พีไอและพีแอล (Cheung และ Luyben, 1980) โดยเลือกข้อกำหนดจากค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่ต้องการไว้ 5 กรณีและทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตามข้อกำหนดที่เลือกไว้โดยอ่านจากแผนภาพการปรับจูนตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ พบว่ามีเฉพาะตัวควบคุมแบบพีไอและตัวควบคุมแบบช่วงกว้างเท่านั้นที่สามารถให้ค่า MPH และ MRCO ได้ตามข้อกำหนดทั้ง 5 กรณี

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเพิ่มเติมจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา โดยได้เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยที่สนใจศึกษา รวมทั้งสิ้น 10 ชนิด และได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยเพิ่มเติมดังนี้

- ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด
- ความง่ายในการปรับจูน
- เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออก
- ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว
- การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรไหล
- ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน

โดยความหมายของเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยมีดังนี้

## 5.2 เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย

จากที่กล่าวมาไว้ในบทที่ 3 พบว่าการควบคุมระดับแบบเฉลี่ยจะพิจารณาถึงข้อสำคัญ 2 ประการ คือ

1. ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกจากถังพัก (Surge tank) ราบเรียบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2. ควบคุมระดับของเหลวภายในถังพักไม่ให้แตกต่างจากระดับที่ใช้งานในสภาวะปกติมากเกินไป

ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่ได้จากผลการตอบสนองของระบบ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (Maximum rate of change in outflow: MRCO) และระดับของเหลวสูงสุด (Maximum peak height: MPH) ซึ่งตัวแปรทั้งสองดังกล่าวได้อธิบายไว้ในรูป 3.7

โดยค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) เป็นตัวบอกระดับความสูงของของเหลวในถังพักอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่ ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ทำให้เราทราบถึงความเร็วของการไหลขาออกที่ได้จากผลการตอบสนองของระบบว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการที่อยู่ถัดไปหรือไม่ โดยจากวิธีการปรับจูนที่ได้กล่าวมาต้องกำหนดค่า MPH และ MRCO ที่ต้องการหลังจากนั้นสังเกตผลการควบคุมที่ได้จากโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยเมื่อมีตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ

ที่สนใจศึกษาว่าค่า MPH และ MRCO ที่ได้เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้มากน้อยเพียงไร

เพื่อทดสอบความสามารถในการควบคุมให้ได้ตามค่า MPH และ MRCO ที่กำหนดไว้ของตัวควบคุมแต่ละชนิด ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการกำหนดสมการสำหรับหาค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance index) ของตัวควบคุมชนิดนี้

$$\text{Performance Index} = W1 (\text{MPHs} - \text{MPH}) + W2 (\text{MRCOs} - \text{MRCO}) \quad (5-1)$$

โดย W1 = น้ำหนักความสำคัญของระดับของเหลวสูงสุด (MPH) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการ

เปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO)

W2 = น้ำหนักความสำคัญของอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) เมื่อ

เปรียบเทียบกับระดับของเหลวสูงสุด (MPH)

MPHs = ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่กำหนดไว้

MPH = ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่ได้จากการทดลองของตัวควบคุมแต่ละชนิด

MRCOs = ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่กำหนดไว้

MRCO = ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่ได้จากการทดลอง

ของตัวควบคุมแต่ละชนิด

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุดมีความสำคัญกว่าระดับของเหลวสูงสุดในอัตราส่วน 2:1 เนื่องจากในการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยจะให้ความสำคัญของอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกมากกว่าระดับของเหลว ในการกำหนดอัตราส่วนน้ำหนักความสำคัญของอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุดต่อ

ความสำคัญของระดับของเหลวสูงสุด (W2:W1) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม และความต้องการของผู้ใช้งาน

จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance Index) ที่ได้จากตัวควบคุมแต่ละชนิดควรให้ค่าเป็นบวกเนื่องจากแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองไม่เกินค่าที่กำหนดไว้หรือได้ค่าที่เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าในการพิจารณาถึงสมรรถนะในการควบคุมของตัวควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ เกณฑ์ที่สำคัญอันหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ คือ

ก. ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดของค่าระดับของเหลวสูงสุดและอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุดที่ต้องการ (MPH and MRCO specification) โดยพิจารณาจากค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance Index) ที่ได้จากตัวควบคุมแต่ละชนิด ในกรณีที่ค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance Index) ที่ได้มีค่าเป็นบวกจะพิจารณาว่าตัวควบคุมชนิดนั้นสามารถควบคุมได้ตามข้อกำหนดของค่าระดับของเหลวสูงสุดและอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุดที่ต้องการ

นอกจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาถึงความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดของอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และระดับของเหลวสูงสุด (MPH) เป็นปัจจัยสำคัญแล้ว ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาถึงเกณฑ์อื่น ๆ ดังนี้

ข. ความง่ายในการปรับจูน คือ เมื่อทำการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวควบคุม สามารถทำการปรับจูนให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่กำหนดไว้ได้ยากหรือง่ายอย่างไร

ค. ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว คือ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย ตัวควบคุมสามารถปรับระดับของเหลวให้เข้าสู่สภาวะคงตัวได้ดีมากน้อยอย่างไรหรือที่สภาวะคงตัวระดับของเหลวจะเกิดอ็อปเพอร์ชันมากน้อยเพียงใดรวมถึงใช้เวลามากน้อยเท่าไรในการเข้าสู่สภาวะคงตัว

ง. เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออก คือ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยโดยเพิ่มอัตราการไหลขาเข้า 100% สติเฟจากสภาวะคงตัว ตัวควบคุมสามารถปรับระดับของเหลวให้ได้ค่าที่ต้องการโดยส่งผลให้สัญญาณไหลขาออกเกิดโอเวอร์ชูทได้มากน้อยเพียงไร

จ. ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน คือ เมื่อทำการสร้างสัญญาณรบกวนขึ้นในระบบ ตัวควบคุมสามารถให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) แตกต่างจากค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่ได้ในกรณีไม่มีสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงไร โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น

- ผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MPH
- ผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MRCO

จ. การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด คือ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด ในการไหลขาเข้าให้มากขึ้นจาก 100% สตีฟ เป็น 200% สตีฟ โดยไม่ต้องทำการปรับจูนค่า พารามิเตอร์ของตัวควบคุมใหม่ ตัวควบคุมสามารถควบคุมให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ใกล้เคียงกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) ที่กำหนดไว้ มากน้อยเพียงใด โดยสังเกตจากค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) เมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดเป็น 200% แบ่งการพิจารณาออกเป็น

- ผลกระทบต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH
- ผลกระทบต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MRCO

การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ชนิดต่าง ๆ ในงานวิจัย นี้ได้กำหนดให้ระบบที่ใช้เป็นระบบถังพักมาตรฐาน แสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบถังพักมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองได้ในรูป 4.1 ได้แสดงการทดลองการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนี้

### 5.3 การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจาก ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดและความง่ายในการปรับจูน

#### 5.3.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด

ข. เพื่อสังเกตความง่ายในการปรับจูนให้ได้ตามข้อกำหนดของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ

#### 5.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ก. เลือกข้อกำหนด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสถานะคงตัวที่ต้องการศึกษาในระบบการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยขึ้นทั้งสิ้น 10 กรณี เพื่อสามารถทดลองได้ในช่วงกว้างและครอบคลุมโดยกรณีต่าง ๆ ที่เลือกศึกษามีดังนี้

กรณีที่ 1 กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 1.0 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 2 กำหนดให้ค่า MPH = 25 % และค่า MRCO = 2.0 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 3 กำหนดให้ค่า MPH = 20 % และค่า MRCO = 2.0 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 4 กำหนดให้ค่า MPH = 20 % และค่า MRCO = 2.5 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 5 กำหนดให้ค่า MPH = 15 % และค่า MRCO = 2.5 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 6 กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 2.0 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 7 กำหนดให้ค่า MPH = 25 % และค่า MRCO = 1.0 (m<sup>3</sup>/min)/min



กรณีที่ 8 กำหนดให้ค่า MPH = 20 % และค่า MRCO = 1.5 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 9 กำหนดให้ค่า MPH = 10 % และค่า MRCO = 3.5 (m<sup>3</sup>/min)/min

กรณีที่ 10 กำหนดให้ค่า MPH = 30 % และค่า MRCO = 1.5 (m<sup>3</sup>/min)/min

ข. หาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด จากเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) และอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่กำหนดไว้ในข้อ ก โดยใช้วิธีการปรับจูนดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 พร้อมทั้งสังเกตความยากง่ายในการปรับจูนให้ได้ตามข้อกำหนดของตัวควบคุมแต่ละชนิด

ค. หาค่าเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่ได้จากการทดลองของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี จากโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเคลื่อนที่ได้เขียนขึ้นและจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับจูนในข้อ ข.

ง. หาค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance Index) ของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณีจากสมการดัชนีสมรรถนะที่แสดงไว้ในสมการที่ (5-1) โดยใช้ค่า MPH และค่า MRCO ที่ได้จากข้อ ค.

จ. เปรียบเทียบความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด โดยนับจำนวนกรณีที่ให้ค่าดัชนีสมรรถนะเป็นบวกของตัวควบคุมแต่ละชนิดจากค่าดัชนีสมรรถนะที่คำนวณได้ในข้อ ง. โดยถ้าดัชนีสมรรถนะ (Performance Index) ที่ได้มีค่าเป็นบวกจะพิจารณาว่าตัวควบคุมสามารถปรับได้ตามข้อกำหนด

ข. เปรียบเทียบความง่ายในการปรับจูนของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด โดยแบ่งความง่ายในการปรับจูนออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- ตัวควบคุมที่มีความง่ายในการปรับจูนอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่มีความง่ายในการปรับจูนอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเท่ากับ 7.5
- ตัวควบคุมที่มีความง่ายในการปรับจูนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีค่าเท่ากับ 5.0
- ตัวควบคุมที่มีความง่ายในการปรับจูนอยู่ในเกณฑ์พอใช้ มีค่าเท่ากับ 2.5

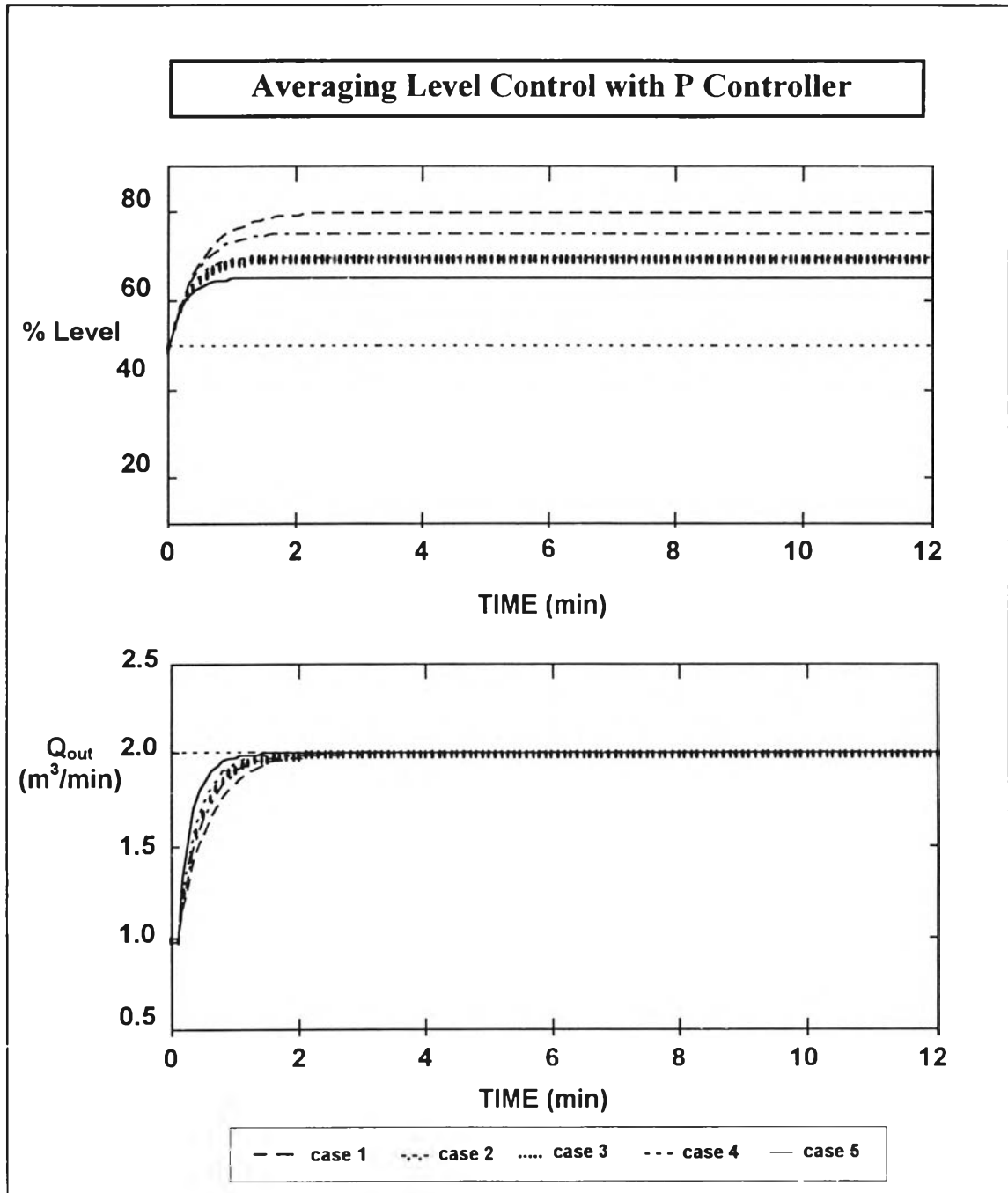
### 5.3.3 ผลการทดลอง

เมื่อปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพร้อมทั้งหาค่า MPH และ MRCO ที่ได้จากการทดลองจะทราบค่าดัชนีสมรรถนะ (Performance index) ของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ดังได้แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน, ค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะของตัวควบคุมแต่ละชนิดได้ในตารางที่ 5.1 ถึง 5.10 พร้อมทั้งแสดงภาพผลการตอบสนองที่ได้จากตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี ได้ในรูปที่ 5.1a, b ถึง 5.10a, b จากค่าดัชนีสมรรถนะที่เป็นบวกของตัวควบคุมแต่ละชนิดสามารถสรุปความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดของตัวควบคุมแต่ละชนิดได้ โดยตัวควบคุมให้ค่าดัชนีสมรรถนะเป็นบวกในกรณีใดพิจารณาว่าตัวควบคุมนั้นสามารถปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณีนั้น สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดจากจำนวนกรณีที่ให้ค่าดัชนีสมรรถนะเป็นบวกดังแสดงในตารางที่ 5.11

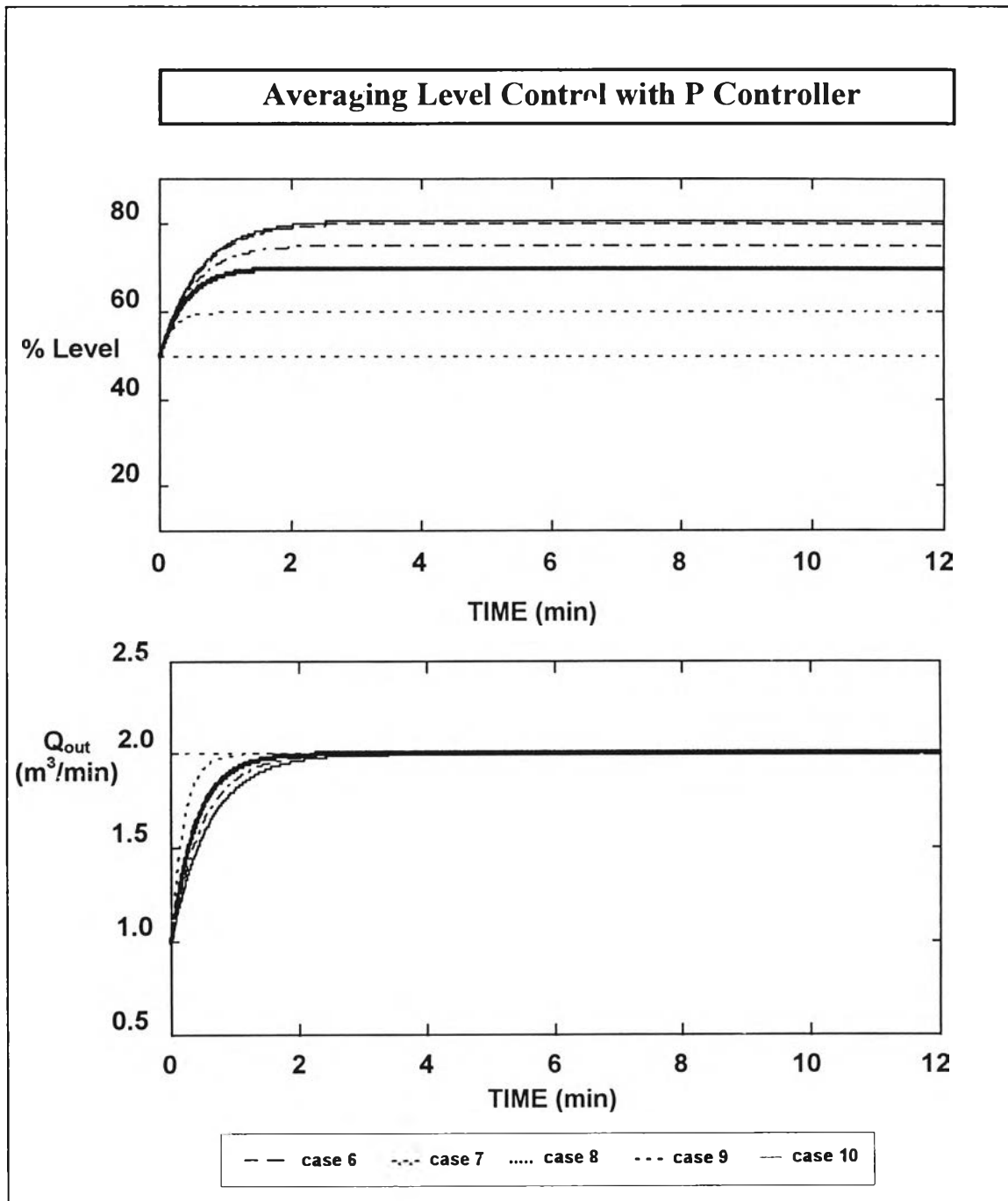
ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีที่ที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้ง

ค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน K <sub>c</sub>	ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนี สมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min		MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.833	30.01	1.67	-1.33
2	25.00	2.00	1.000	25.00	2.00	0.00
3	20.00	2.00	1.250	20.00	2.50	-0.50
4	20.00	2.50	1.250	20.00	2.50	0.00
5	15.00	2.50	1.650	15.15	3.30	-0.65
6	30.00	2.00	0.830	30.01	1.67	0.33
7	25.00	1.00	1.000	25.00	2.00	-2.00
8	20.00	1.50	1.250	20.00	2.50	-1.33
9	10.00	3.50	2.500	10.00	5.00	-0.86
10	30.00	1.50	0.830	30.01	1.67	-0.22



รูปที่ 5.1a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี  
ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพี



รูปที่ 5.1b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

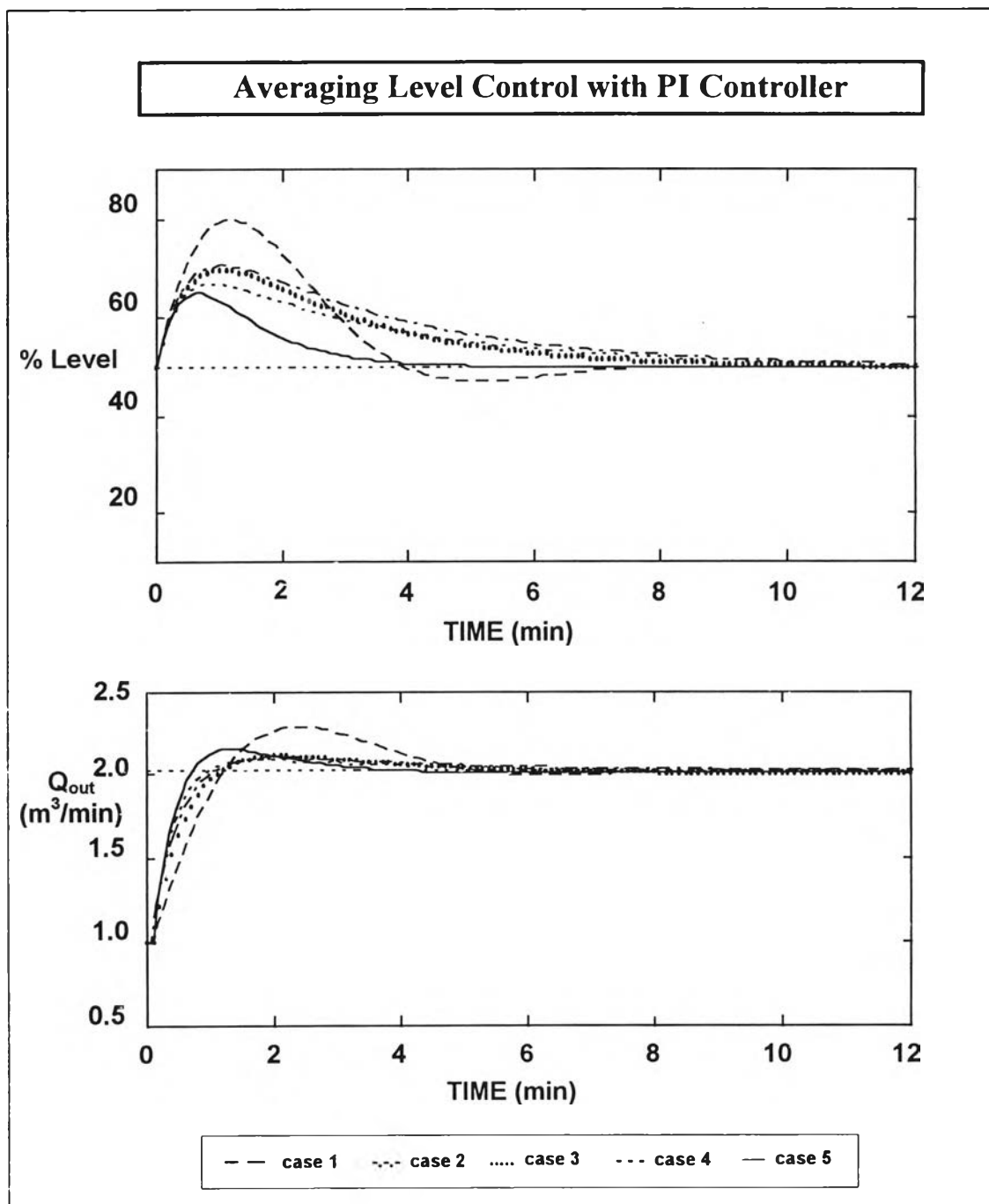
แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพี

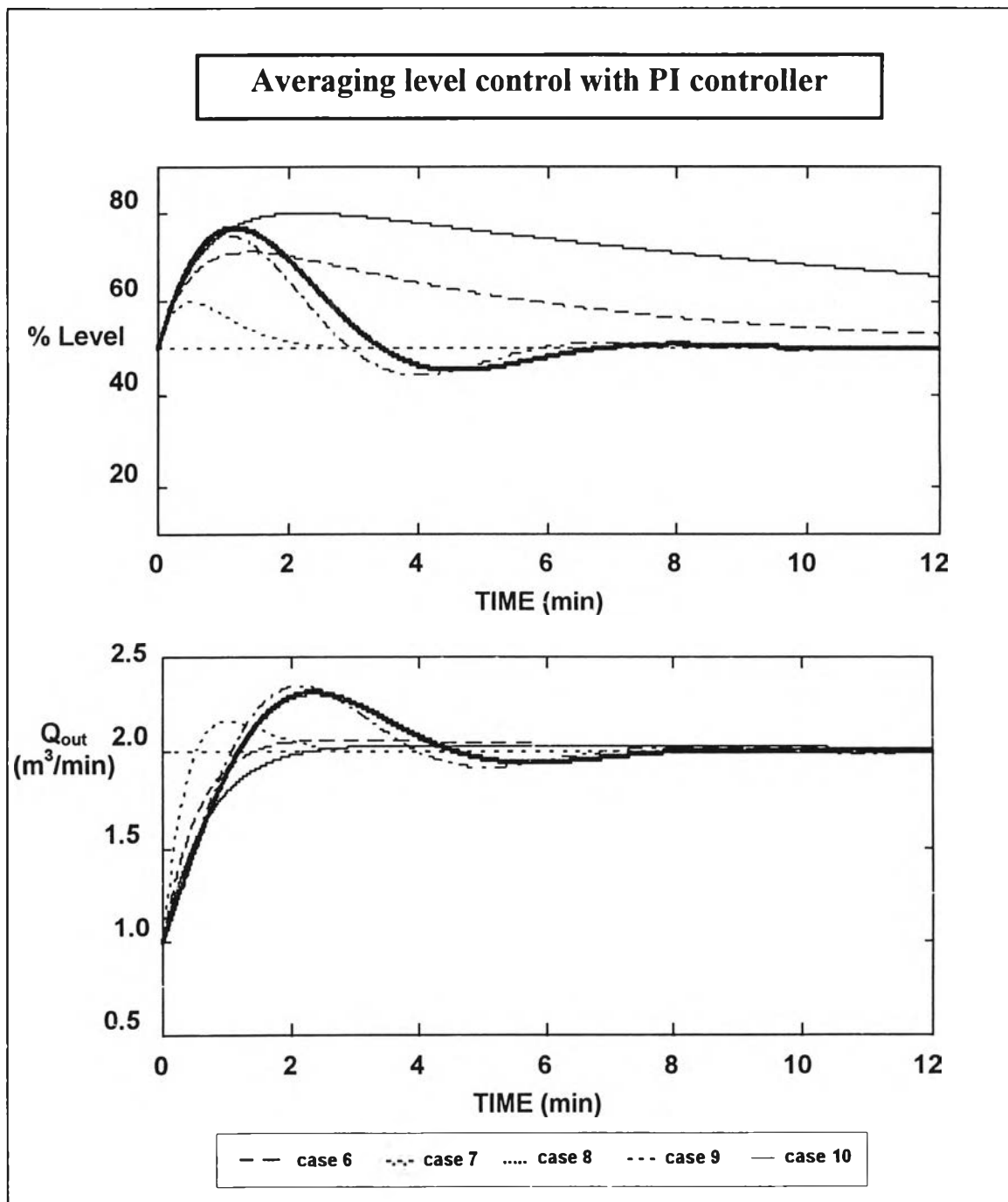
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้ง

ค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน (เมื่อξ=1)		ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K <sub>c</sub>	τ <sub>i</sub>	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.500	1.45	30.00	1.00	-0.01
2	25.00	2.00	1.000	18.00	23.13	2.00	0.07
3	20.00	2.00	1.000	3.500	20.00	2.00	0.00
4	20.00	2.50	1.250	10.00	18.10	2.50	0.09
5	15.00	2.50	1.250	1.750	14.95	2.51	0.00
6	30.00	2.00	1.000	5.750	21.19	2.00	0.29
7	25.00	1.00	0.500	0.72	24.97	1.05	-0.10
8	20.00	1.50	0.750	0.920	19.77	1.51	0.00
9	10.00	3.50	1.750	0.85	9.99	3.52	-0.01
10	30.00	1.50	0.750	15.00	29.95	1.50	0.00



รูปที่ 5.2a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



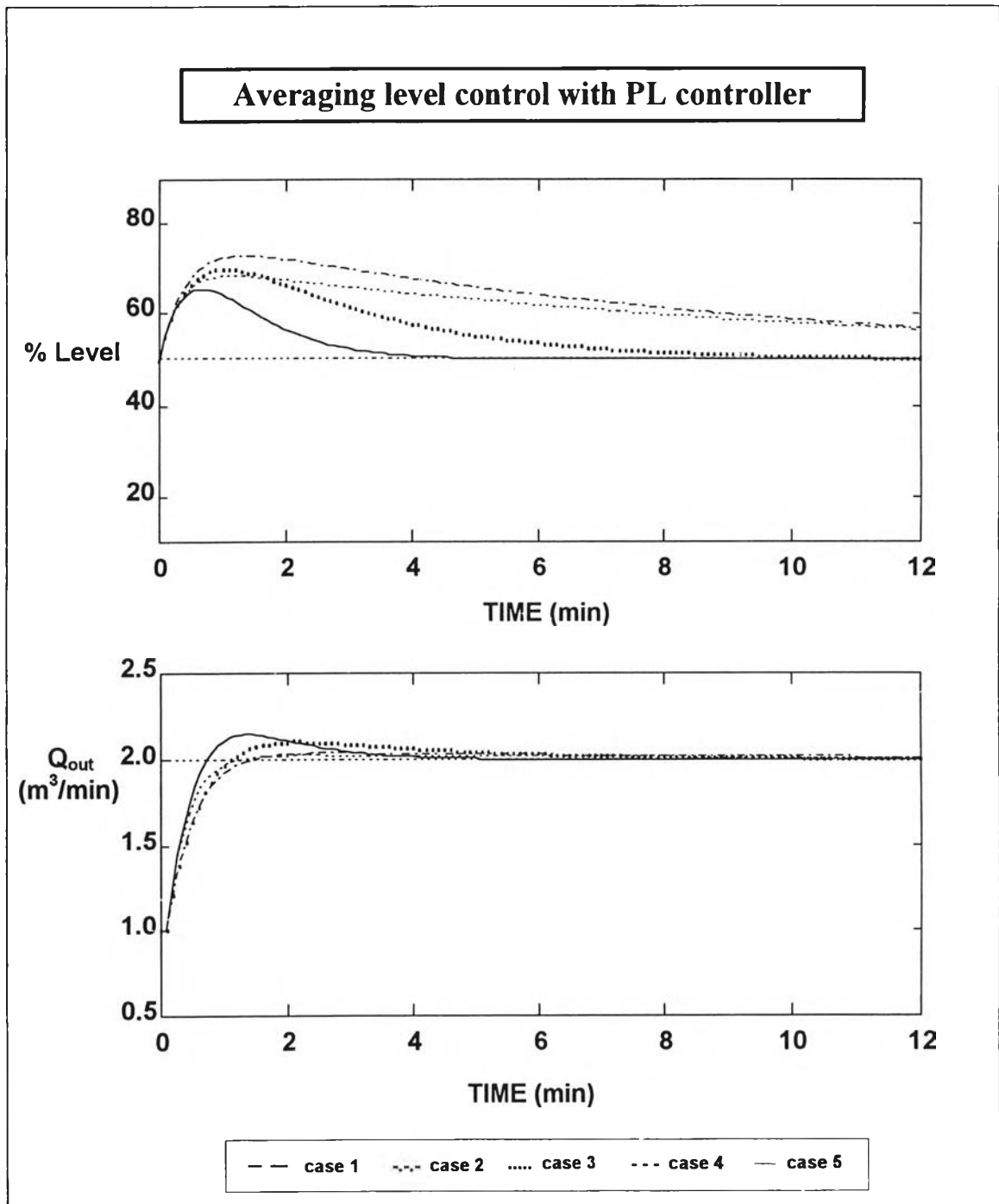
รูปที่ 5.2b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



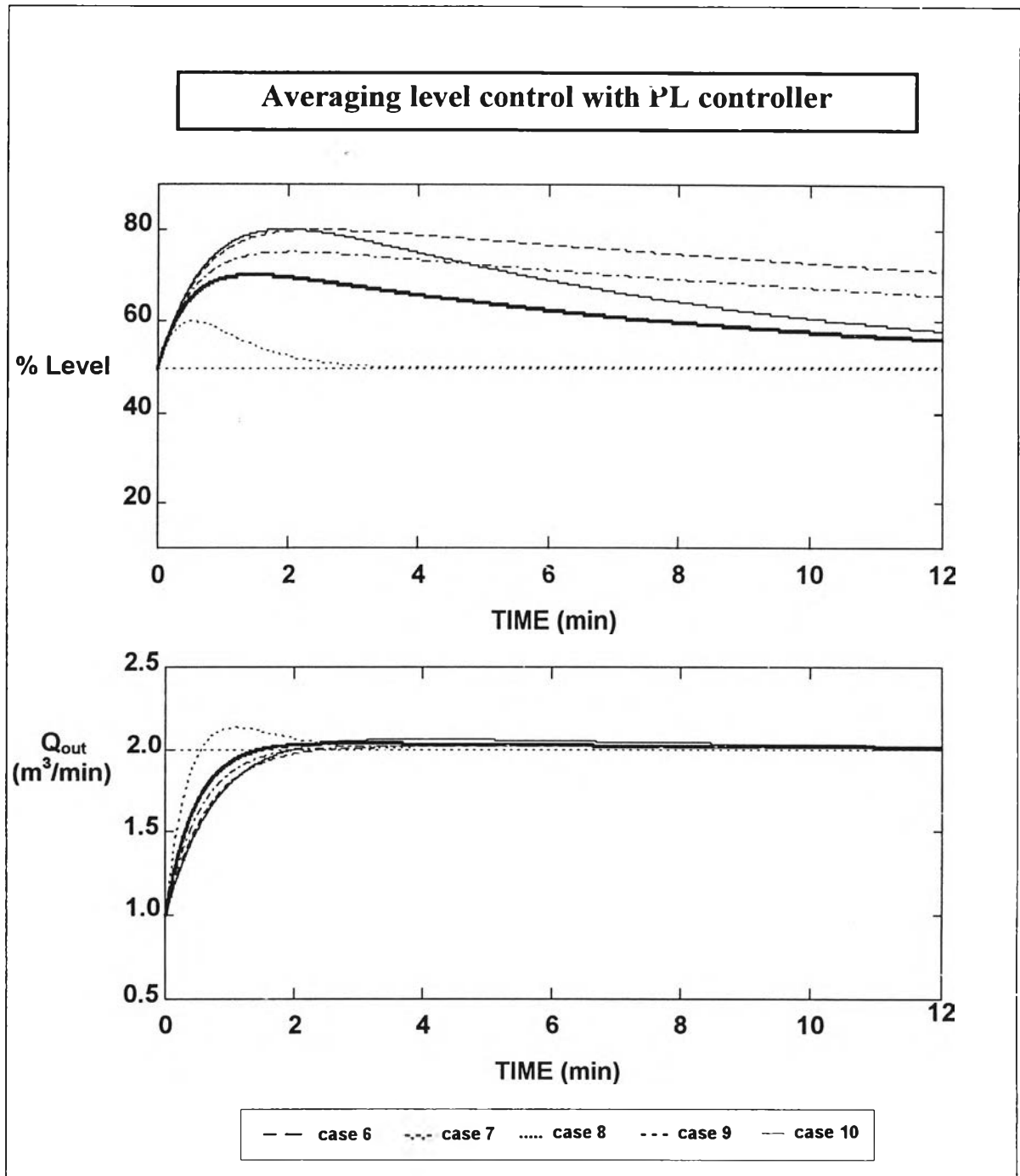
ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีแอลที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้ง

ค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณี	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน ( $K_F = 1$ )		ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	$K_C$	$\tau_F$	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.63	7.00	30.07	1.40	-0.81
2	25.00	2.00	0.838	10.000	24.97	1.78	0.23
3	20.00	2.00	0.78	2.5	20.09	1.96	0.04
4	20.00	2.50	1.118	13.500	19.91	2.31	0.16
5	15.00	2.50	0.74	1.000	14.99	2.48	0.02
6	30.00	2.00	0.755	25.000	30.01	1.55	0.45
7	25.00	1.00	0.9	20.00	25.09	1.85	-1.70
8	20.00	1.50	1.050	8.5	20.09	2.22	-0.96
9	10.00	3.50	0.850	0.50	10.03	3.69	-0.11
10	30.00	1.50	0.63	7.000	30.07	1.40	0.13



รูปที่ 5.3a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมพีแอล



รูปที่ 5.3b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

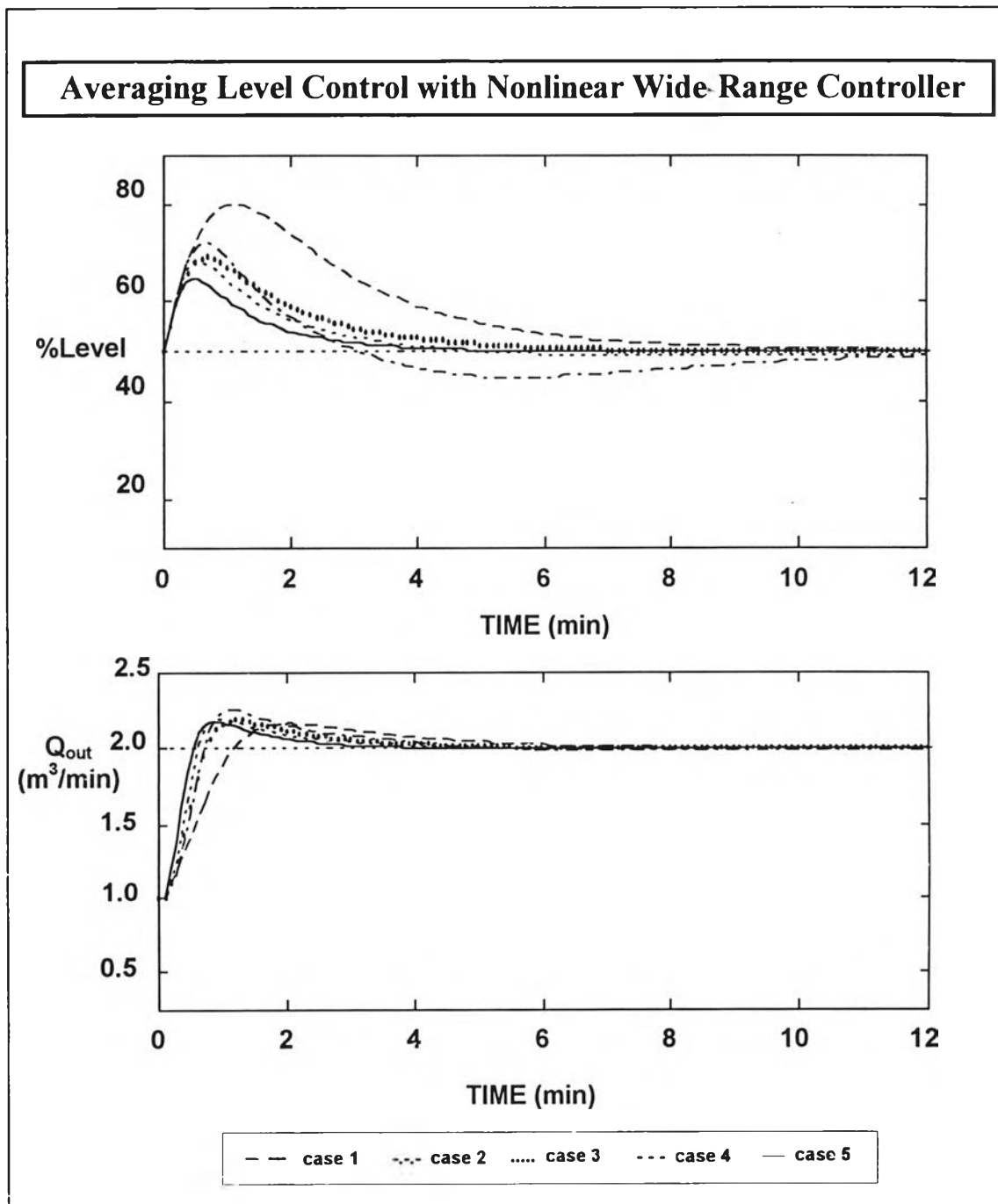
แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมพีแอล

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบช่วงกว้างที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อม

ทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

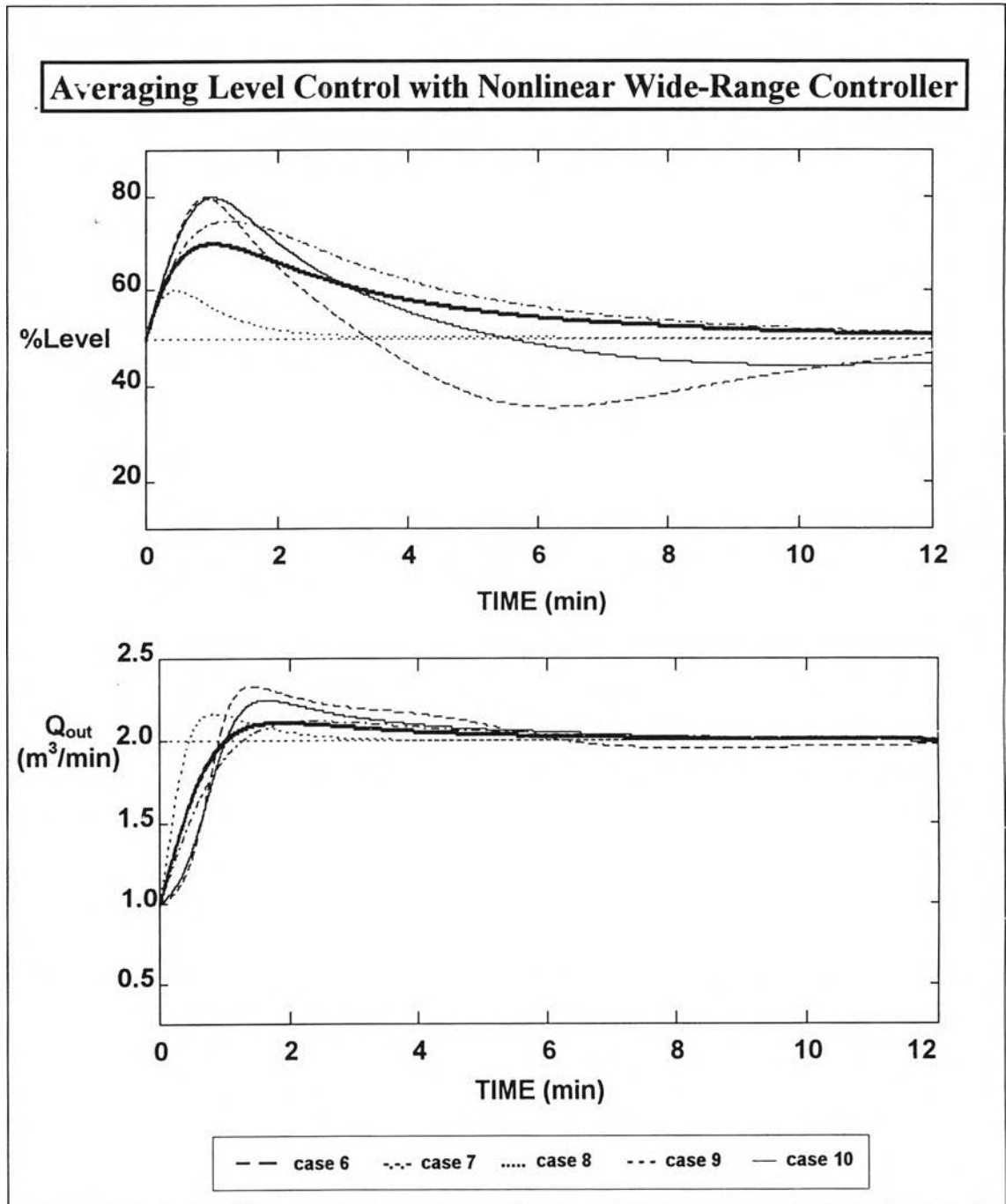
กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน			ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K	K <sub>co</sub>	τ <sub>IO</sub>	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.250	0.350	5.600	30.29	0.91	0.17
2	25.00	2.00	0.675	0.200	6.500	24.94	1.59	0.41
3	20.00	2.00	0.750	0.330	8.750	20.16	1.63	0.36
4	20.00	2.50	1.00	0.212	8.300	20.05	2.06	0.35
5	15.00	2.50	0.850	0.530	5.800	14.99	2.04	0.37
6	30.00	2.00	0.900	0.076	13.500	29.96	1.95	0.05
7	25.00	1.00	0.150	0.600	5.000	24.98	1.21	-0.41
8	20.00	1.50	0.240	0.713	5.000	20.00	1.45	0.06
9	10.00	3.50	0.500	1.270	1.500	9.99	2.74	0.44
10	30.00	1.50	0.680	0.137	12.000	29.93	1.41	0.12



รูปที่ 5.4a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

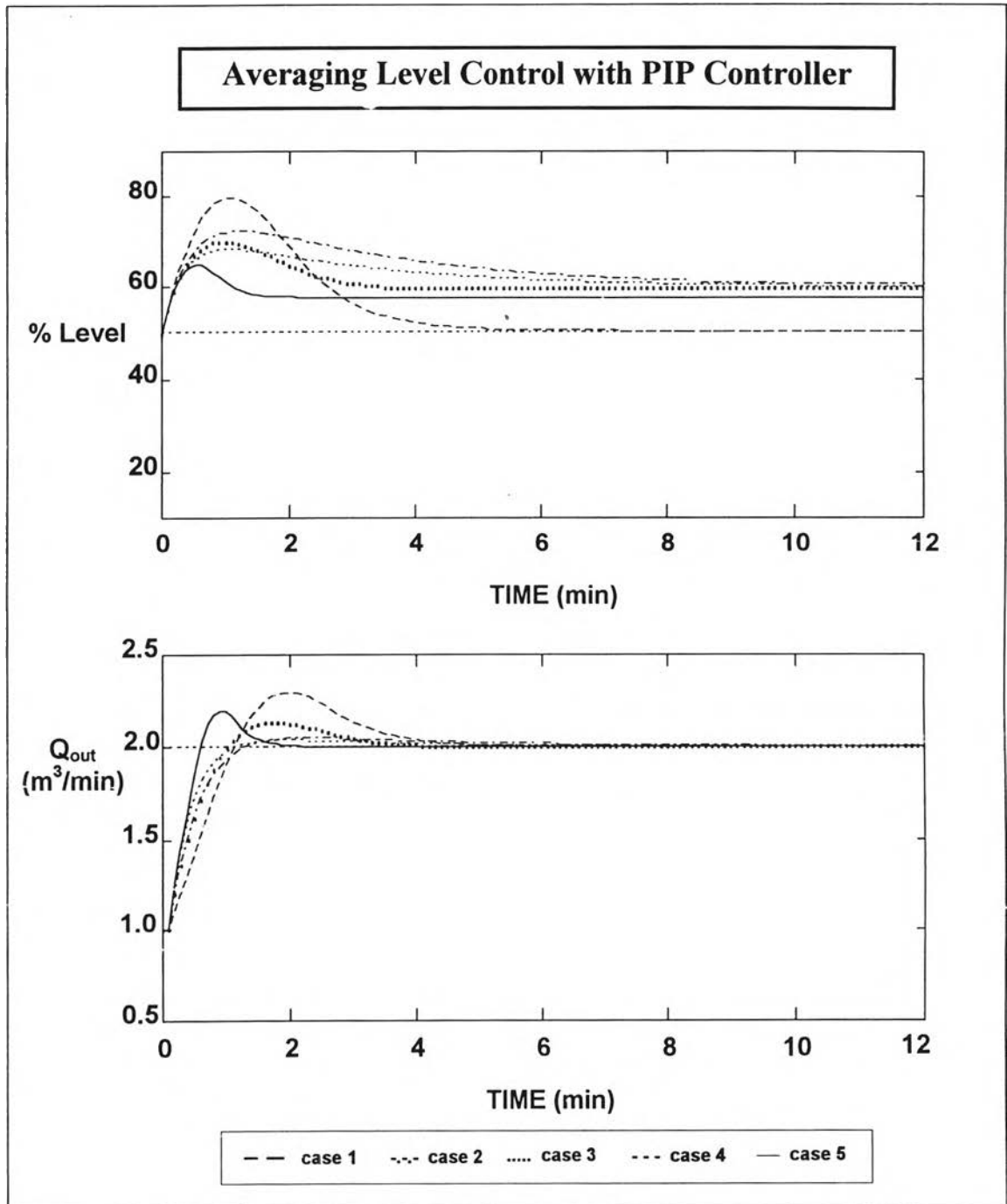


รูปที่ 5.4b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี  
ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอพีที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อม

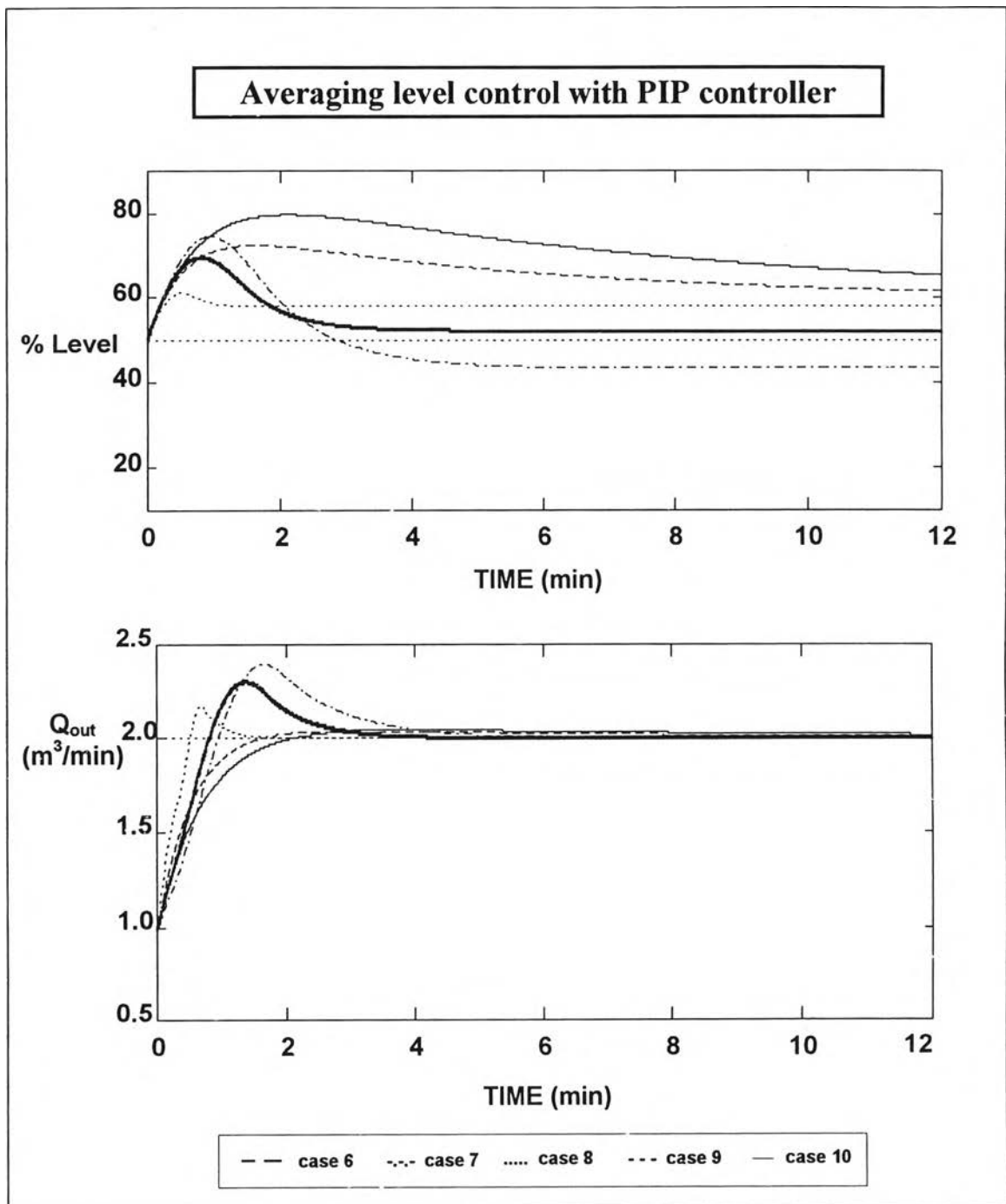
ทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน		ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K <sub>c</sub>	τ <sub>1</sub>	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.500	0.725	30.02	1.00	0.00
2	25.00	2.00	1.000	4.20	22.28	2.00	0.11
3	20.00	2.00	1.000	1.150	19.97	2.00	0.00
4	20.00	2.50	1.250	3.95	18.34	2.50	0.08
5	15.00	2.50	1.250	0.280	14.96	2.50	0.00
6	30.00	2.00	1.000	5.500	22.66	2.00	0.24
7	25.00	1.00	0.500	0.28	24.82	1.23	-0.45
8	20.00	1.50	0.750	0.28	19.90	1.50	0.01
9	10.00	3.50	1.750	0.050	11.34	3.50	-0.13
10	30.00	1.50	0.750	8.000	29.86	1.50	0.00



รูปที่ 5.5a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอพี

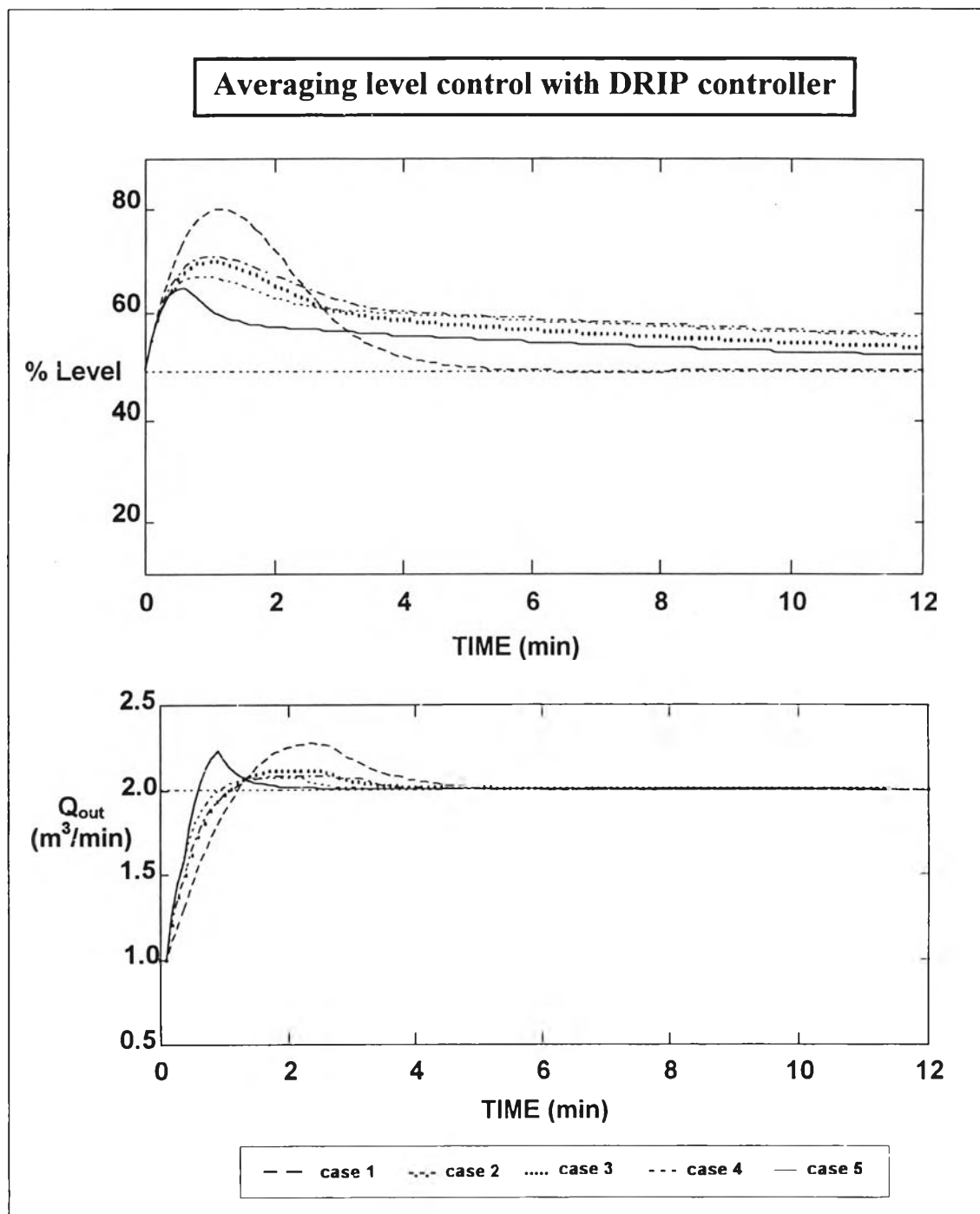




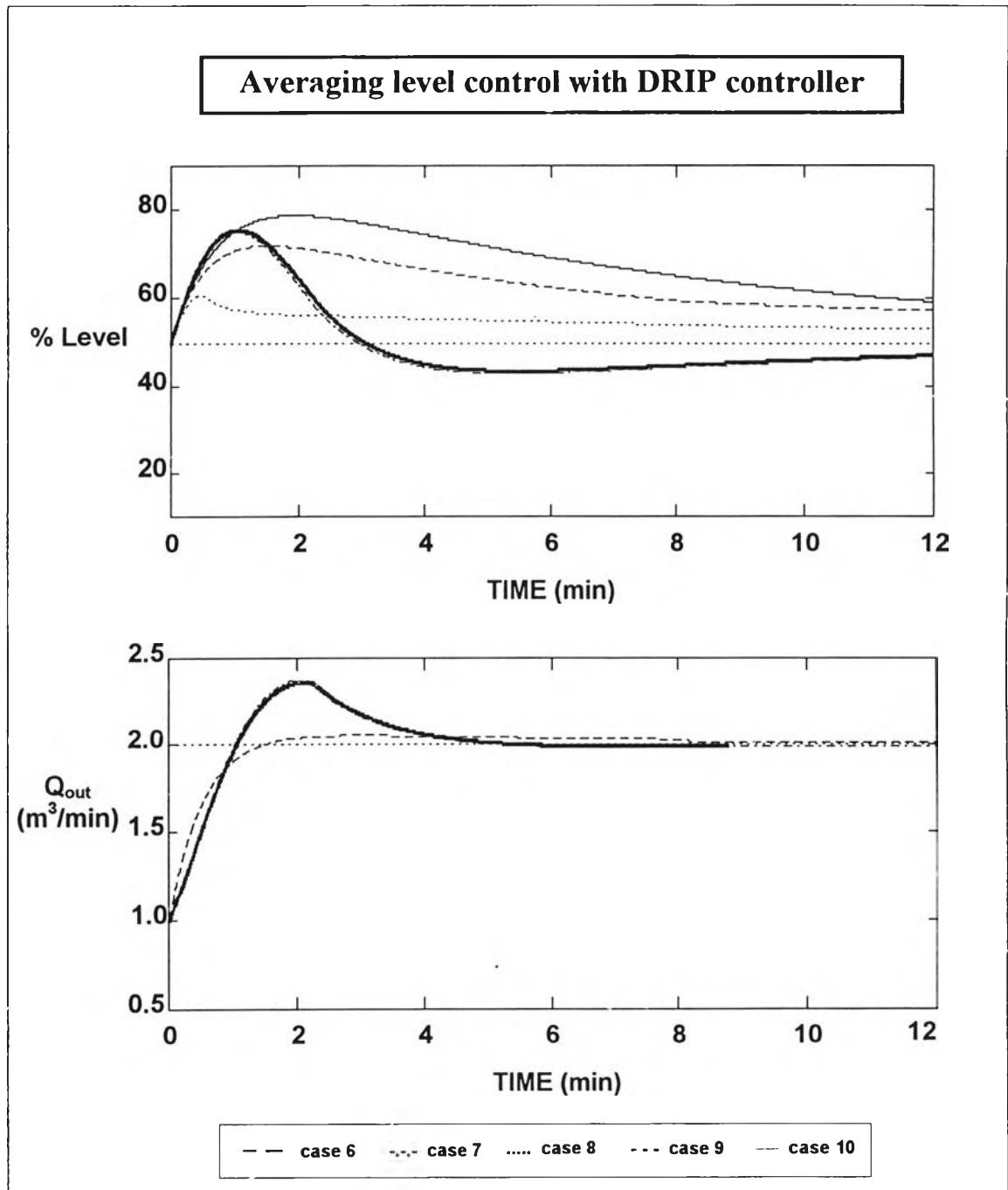
รูปที่ 5.5b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอพี

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณี	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน			ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K <sub>c</sub>	$\tau_{11}$	$\tau_{12}$	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.500	1.400	2.880	30.00	1.00	0.00
2	25.00	2.00	1.000	4.150	15.00	20.63	2.00	0.17
3	20.00	2.00	1.000	3.25	10.000	20.03	2.00	0.00
4	20.00	2.50	1.250	3.85	19.00	16.90	2.50	0.15
5	15.00	2.50	1.250	1.36	10.000	15.00	2.50	0.00
6	30.00	2.00	1.000	7.650	18.000	21.87	2.00	0.29
7	25.00	1.00	0.500	0.65	8.000	25.02	1.11	-0.23
8	20.00	1.50	0.750	0.7	9.500	19.36	1.50	0.03
9	10.00	3.50	1.750	0.350	14.200	10.76	3.50	-0.08
10	30.00	1.50	0.750	9.000	20.20	28.77	1.50	0.04



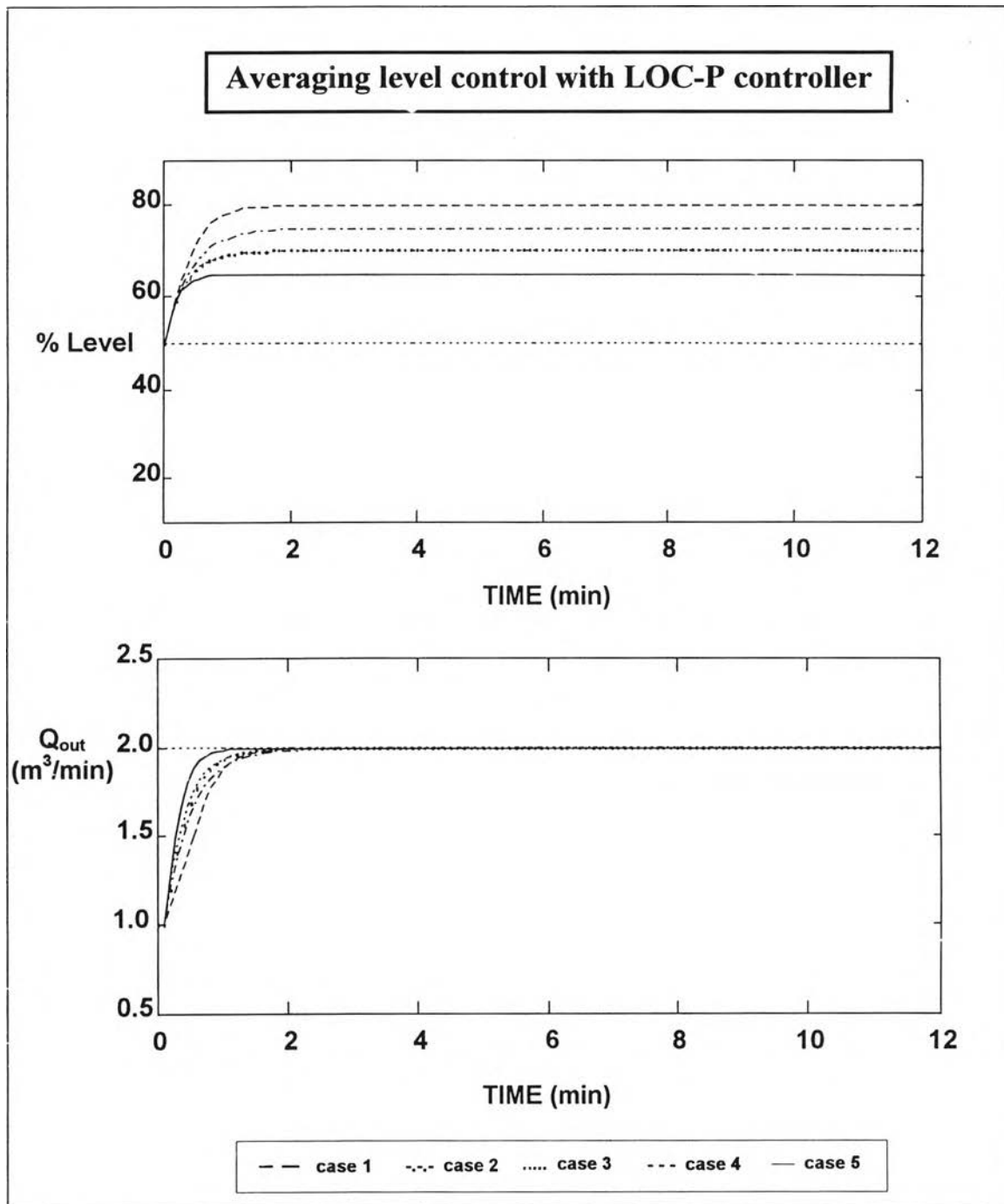
รูปที่ 5.6a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี



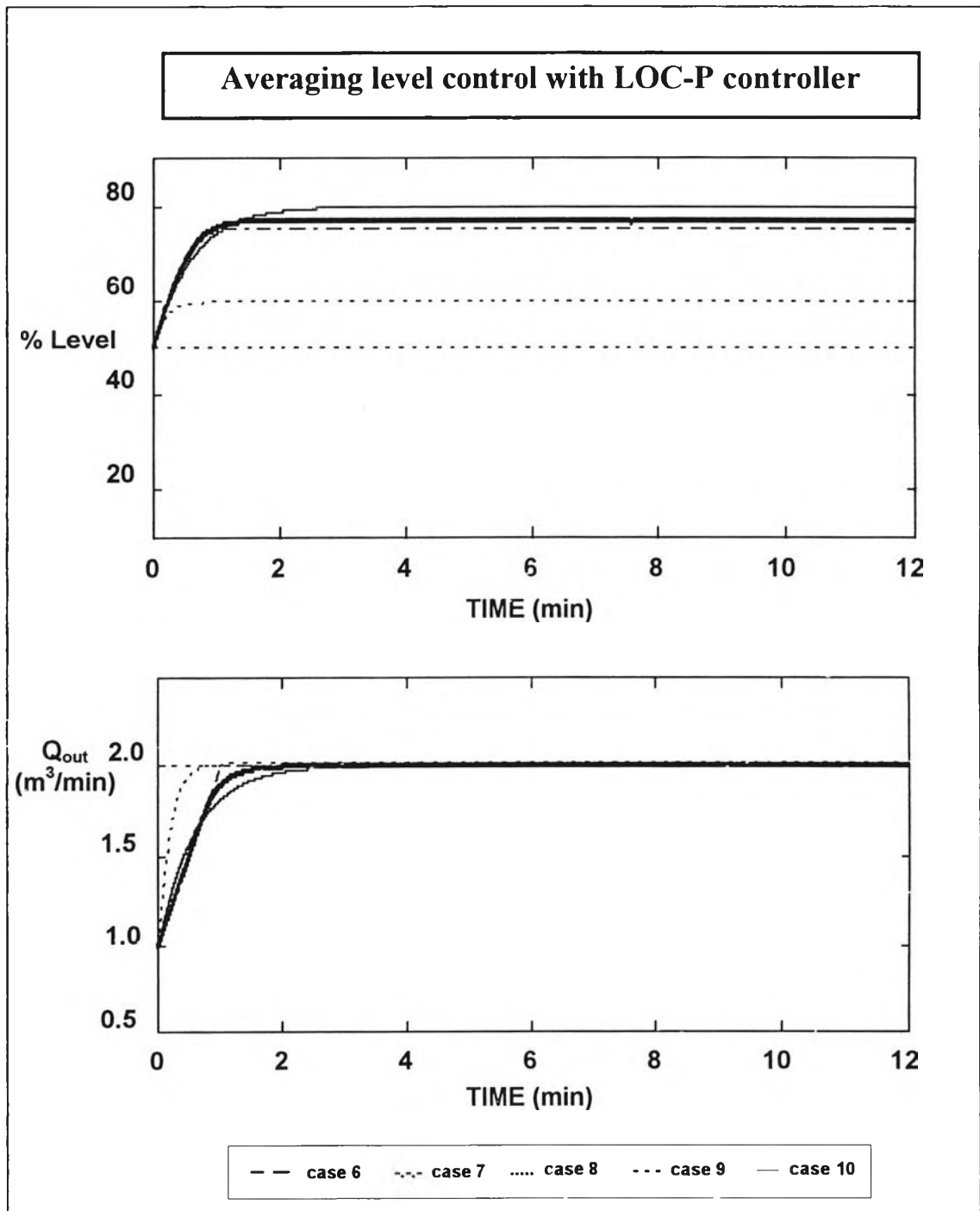
รูปที่ 5.6b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี

ตารางที่ 5.7 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน K <sub>c</sub>	ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min		MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	1.125	30.01	1.00	0.00
2	25.00	2.00	1.000	25.00	2.00	0.00
3	20.00	2.00	1.290	20.04	2.00	0.00
4	20.00	2.50	1.250	20.00	2.50	0.00
5	15.00	2.50	1.770	15.02	2.50	0.00
6	30.00	2.00	0.833	30.01	1.67	0.33
7	25.00	1.00	13.950	25.15	1.00	-0.10
8	20.00	1.50	1.700	19.98	1.50	0.00
9	10.00	3.50	2.8	9.98	3.50	0.00
10	30.00	1.50	0.840	29.97	1.50	0.00



รูปที่ 5.7a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก



รูปที่ 5.7b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

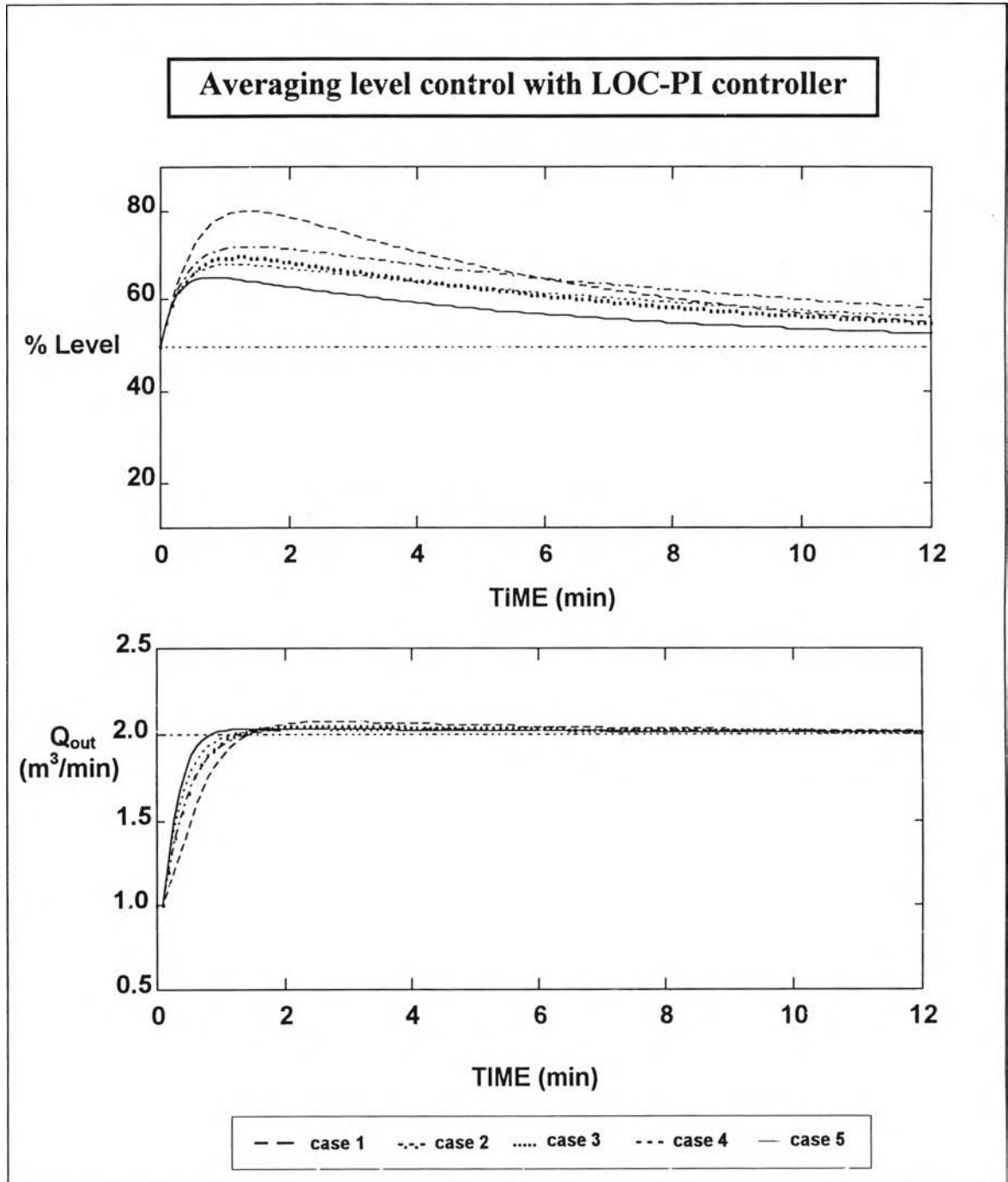
แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

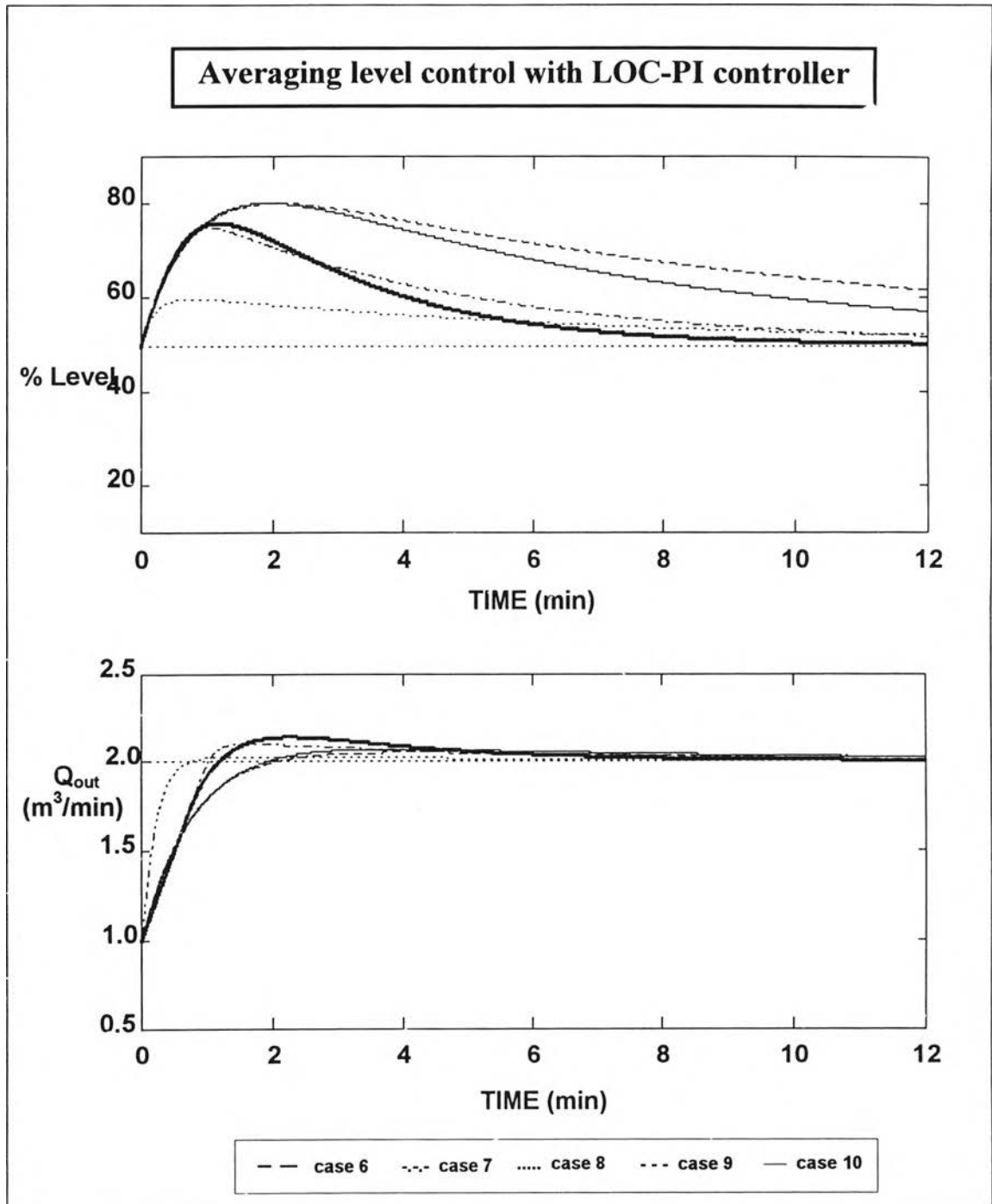
ตารางที่ 5.8 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน		ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K <sub>c</sub>	τ <sub>i</sub>	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.785	7.000	30.08	1.00	0.00
2	25.00	2.00	0.910	15.00	25.01	1.82	0.18
3	20.00	2.00	1.110	8.000	20.00	2.00	0.00
4	20.00	2.50	1.140	12.000	19.97	2.28	0.18
5	15.00	2.50	1.53	7.500	15.04	2.50	0.00
6	30.00	2.00	0.725	10.50	30.02	1.45	0.55
7	25.00	1.00	3.000	4.500	25.13	1.00	-0.01
8	20.00	1.50	1.080	3.000	19.90	1.50	0.00
9	10.00	3.50	2.500	7.500	9.93	3.50	0.01
10	30.00	1.50	0.695	7.250	30.06	1.39	0.14





รูปที่ 5.8a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณีที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

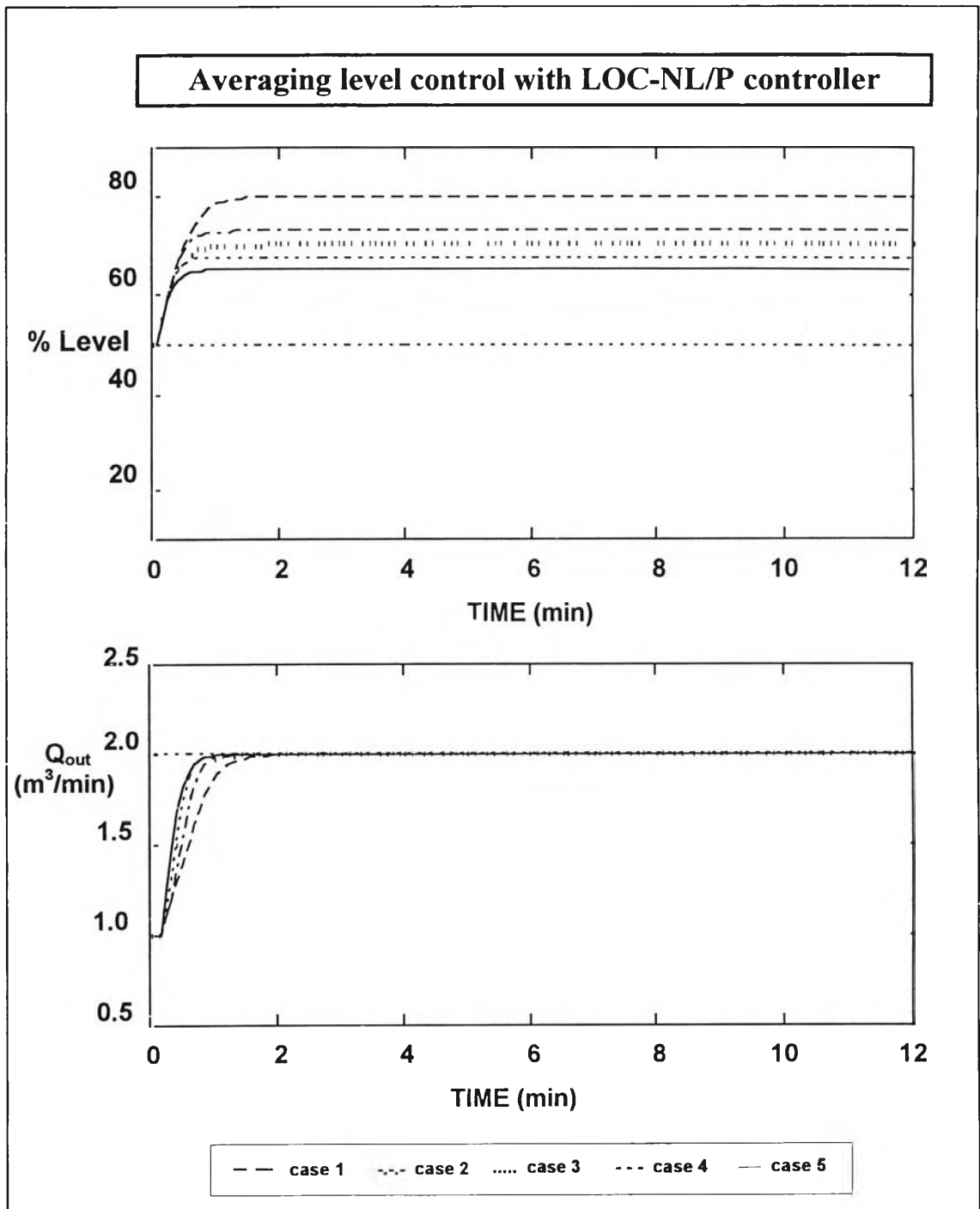


รูปที่ 5.8b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี  
ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

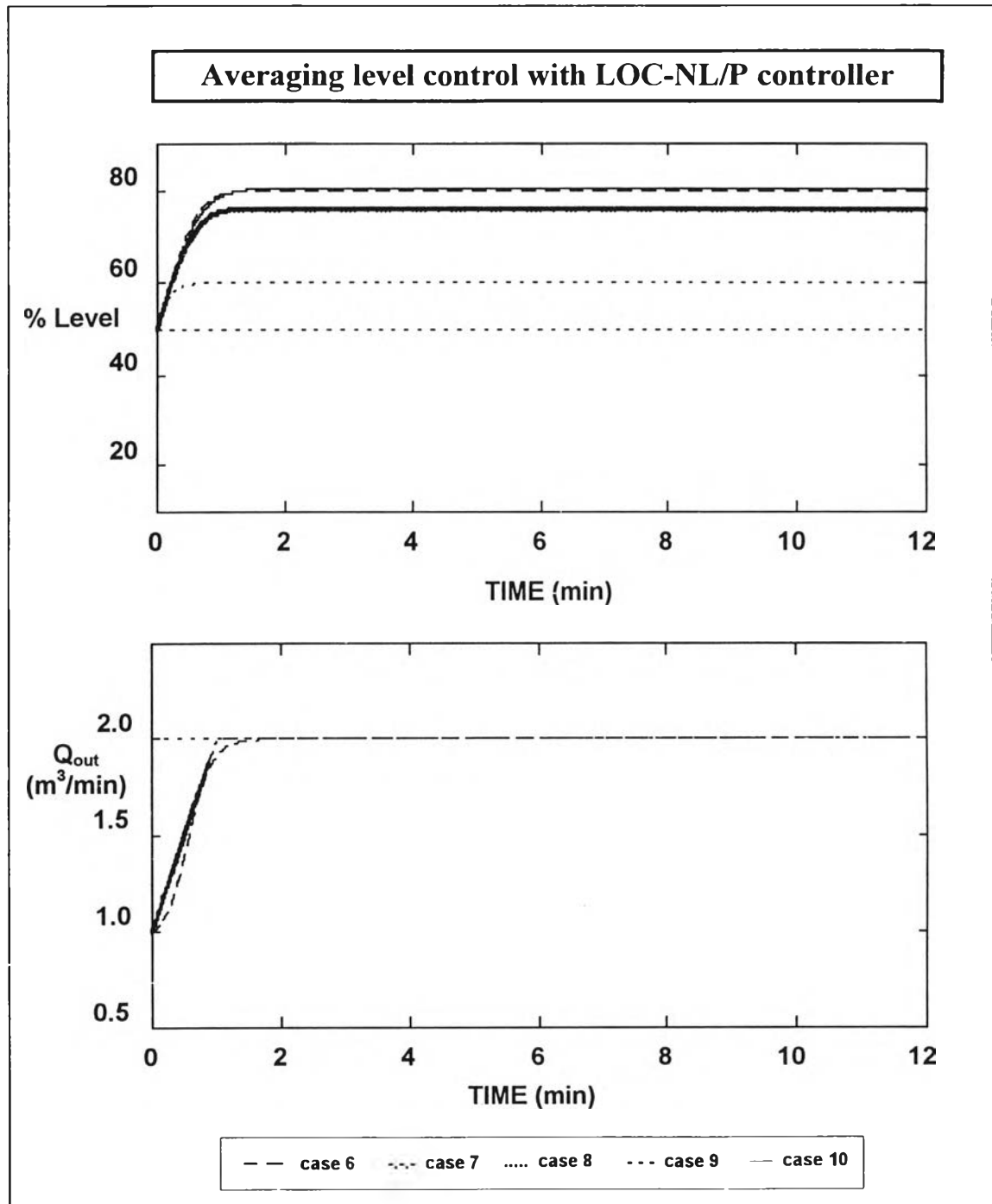
ตารางที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนดค่า MPH

และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณีที่	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน		ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K	K <sub>co</sub>	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.90	0.18	30.01	1.00	0.00
2	25.00	2.00	1.000	0.200	24.94	1.50	0.5
3	20.00	2.00	0.800	0.445	19.97	1.63	0.38
4	20.00	2.50	1.130	0.290	19.99	1.80	0.50
5	15.00	2.50	1.000	0.630	15.00	2.14	0.29
6	30.00	2.00	1.090	0.100	30.08	1.42	0.58
7	25.00	1.00	1.520	0.625	25.13	1.00	0.56
8	20.00	1.50	0.450	0.720	19.92	1.50	0.00
9	10.00	3.50	1.000	1.300	10.02	3.14	0.02
10	30.00	1.50	0.780	0.185	29.92	1.22	0.38



รูปที่ 5.9a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก



รูปที่ 5.9b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

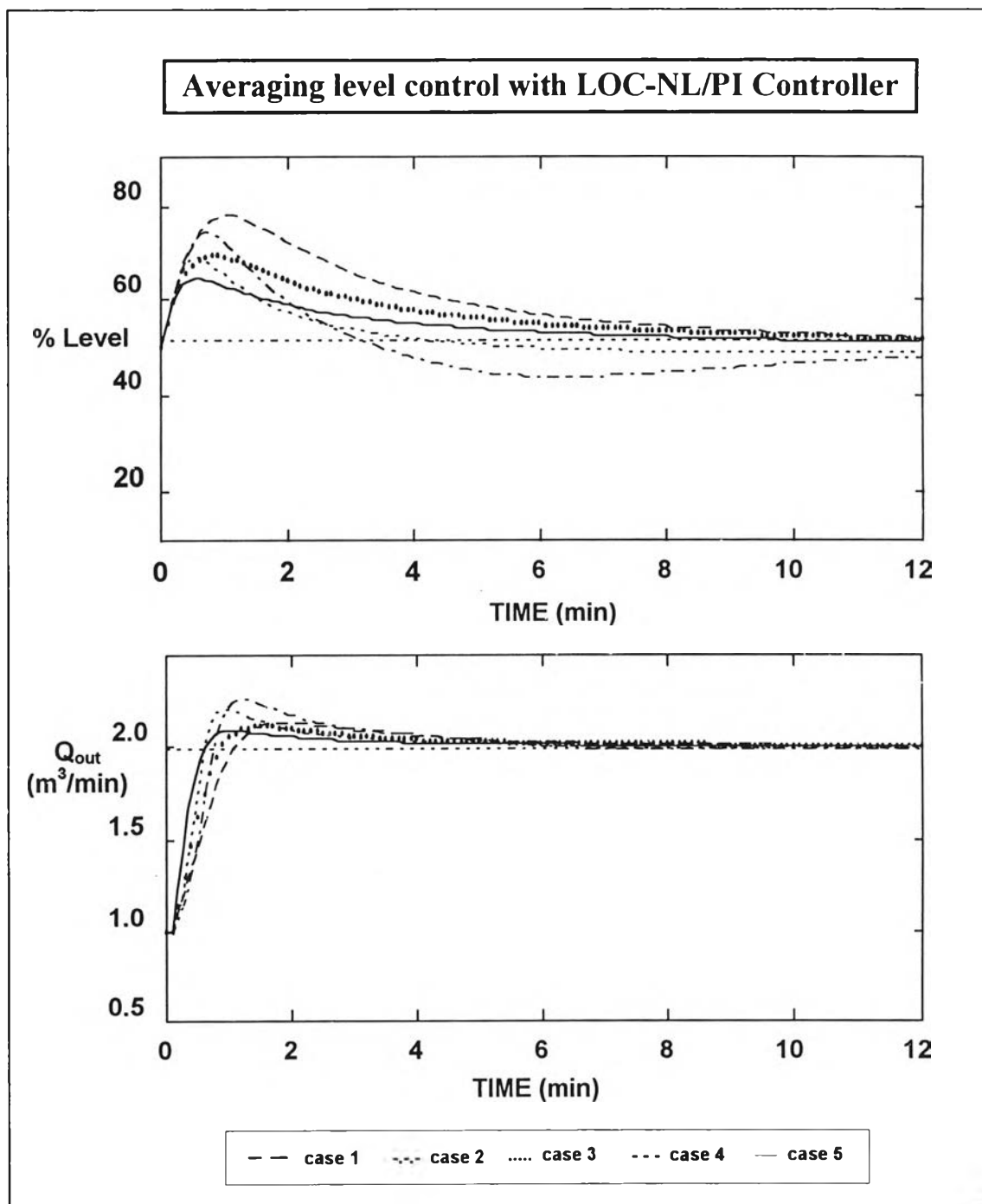
แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมที่แบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

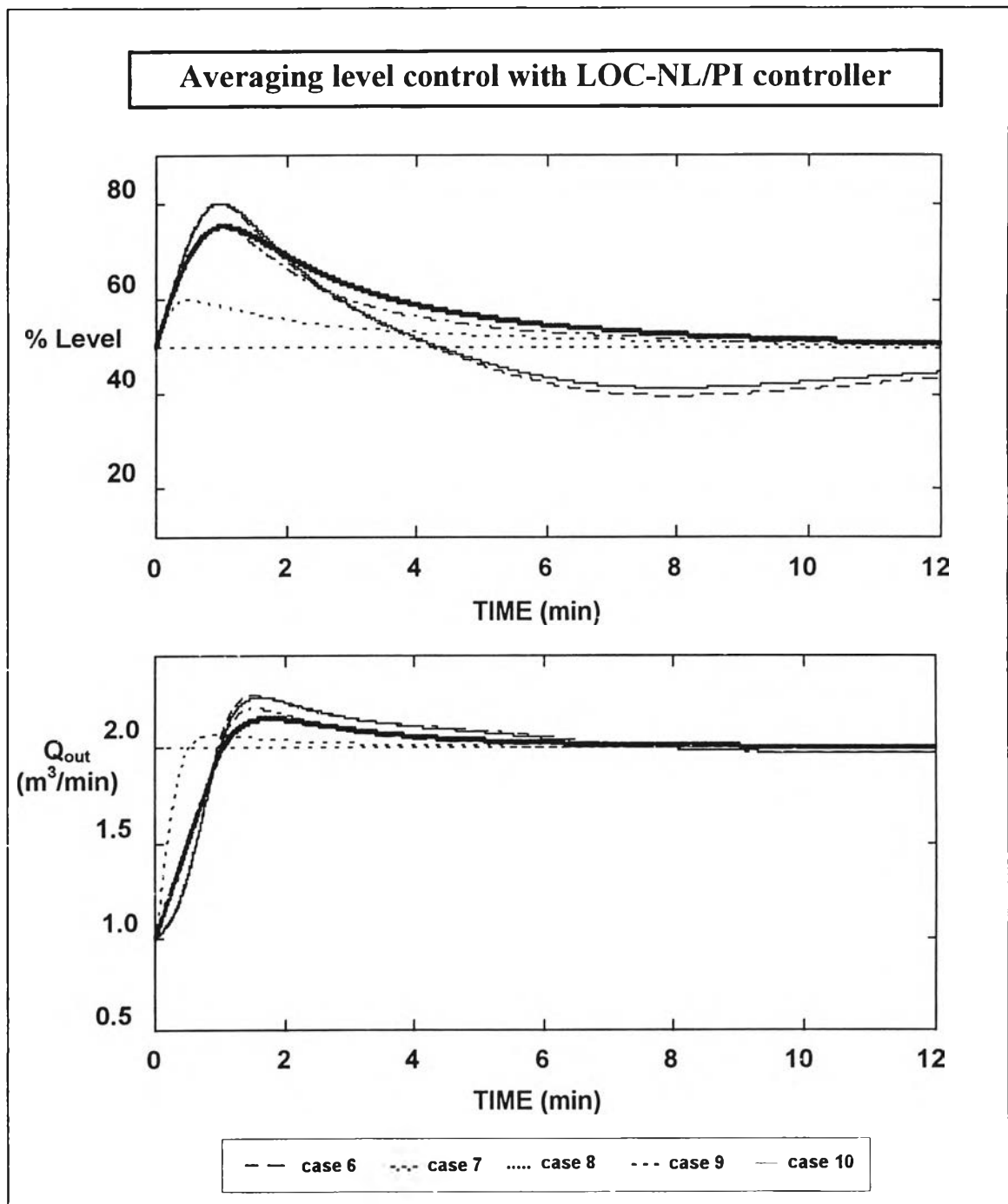
ตารางที่ 5.10 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกที่ใช้ในการทดลองเมื่อทำการกำหนด

ค่า MPH และค่า MRCO ในกรณีต่าง ๆ พร้อมทั้งค่า MPH, ค่า MRCO และค่าดัชนีสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

กรณี	ค่าที่กำหนด		พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจูน			ค่าที่ได้จากการทดลอง		ดัชนีสมรรถนะ
	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	K	K <sub>co</sub>	$\tau_{10}$	MPH (%)	MRCO (m <sup>3</sup> /min)/min	
1	30.00	1.00	0.400	0.265	8.500	30.02	1.00	0.00
2	25.00	2.00	0.850	0.145	8.500	24.90	1.87	0.14
3	20.00	2.00	0.500	0.500	8.000	20.06	1.43	0.57
4	20.00	2.50	1.080	0.200	10.950	19.99	2.07	0.34
5	15.00	2.50	0.650	0.705	7.200	14.99	1.91	0.47
6	30.00	2.00	0.800	0.100	13.500	30.07	1.66	0.34
7	25.00	1.00	0.380	0.630	5.000	25.13	1.00	-0.01
8	20.00	1.50	0.250	0.700	5.000	20.02	1.44	0.08
9	10.00	3.50	0.780	1.250	5.500	10.02	2.88	0.35
10	30.00	1.50	0.680	0.128	10.000	30.03	1.50	0.00



รูปที่ 5.10a ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี ที่ 1 ถึง 5 เมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก



รูปที่ 5.10b ผลการตอบสนองที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับ

แบบเฉลี่ยโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดในกรณี

ที่ 6 ถึง 10 เมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก



ตารางที่ 5.11 ผลสรุปการเปรียบเทียบความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดจากจำนวน

กรณีที่ให้ค่าดัชนีสมรรถนะเป็นบวกของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ชนิดของตัวควบคุม	ความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนด
ตัวควบคุมแบบพี	3
ตัวควบคุมแบบพีไอ	7
ตัวควบคุมแบบพีแอล	6
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	9
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	8
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	8
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	9
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	9
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	9
ตัวควบคุมแบบพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	9

จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมที่ทำการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกทั้ง 4 ชนิดและตัวควบคุมแบบช่วงกว้างมีความสามารถในการปรับให้ได้ตามข้อกำหนดดีที่สุด รองลงมา คือ ตัวควบคุมแบบพีไอพีและตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี ตามด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอล และตัวควบคุมแบบพีตามลำดับ

จากการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในกรณีต่าง ๆ สามารถสรุปผลเปรียบเทียบความง่ายในการปรับจูนตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลสรุปการเปรียบเทียบความง่ายในการปรับจูนตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ชนิดของตัวควบคุม	ความง่ายในการปรับจูน	ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ
ตัวควบคุมแบบพี	ปานกลาง	5.0
ตัวควบคุมแบบพีไอ	ปานกลาง	5.0
ตัวควบคุมแบบพีแอล	ปานกลาง	5.0
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	พอใช้	2.5
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	ดี	7.5
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	ดี	7.5
ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	ดีมาก	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	ดีมาก	10.0
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	ดี	7.5
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	ดี	7.5

จากตารางที่ 5.12 พบว่าการนำเอาคุณสมบัติจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกมาใช้กับตัวควบคุมแบบพื้นฐานสามารถช่วยให้การปรับจูนทำได้ง่ายขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก โดยตัวควบคุมที่สามารถทำการปรับจูนได้ง่ายที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก รองลงมา คือ ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบพีไอพี และตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี ตามด้วยตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอล สุดท้ายตัวควบคุมที่ทำการปรับจูนได้ยากที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

#### 5.4 การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาค่า

##### เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออก

##### 5.4.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออกของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้

ข. เพื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออกของตัวควบคุมแต่ละชนิดมาใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 10 ชนิด

##### 5.4.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ก. หาค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณการไหลขาออกของตัวควบคุม 10 ชนิด ใน

กรณีต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.3 ทั้ง 10 กรณี จากโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ได้เขียนขึ้น และจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.2

ข. ปรับค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ ที่ได้จากข้อ ก. ให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 10 โดย

- ตัวควบคุมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ค. เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด โดยหาค่าเฉลี่ยของค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ทั้ง 10 กรณี ที่ได้ในข้อ ข.

#### 5.4.3 ผลการทดลอง

จากการขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.4.2 สามารถแสดงค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกและค่าที่ได้จากการปรับเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี ในตารางที่ 5.13 เมื่อนำค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุมแต่ละชนิดทั้ง 10 กรณีมาหาค่าเฉลี่ย สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุม 10 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.13 ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกและค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ	25.42	1.07	2.41	9.14	9.40	3.99	3.34	8.53	13.33	2.95
ตัวควบคุมแบบพีแอล	6.70	7.65	4.29	8.47	10.73	3.14	2.69	8.82	14.84	2.15
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	17.29	3.92	25.75	0.81	15.64	0.00	22.78	0.00	14.25	2.46
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	28.46	0.00	4.91	8.25	12.03	2.31	3.63	8.41	18.90	0.00
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	26.19	0.80	7.51	7.32	10.05	3.57	7.51	6.70	16.50	1.27
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	7.61	7.33	3.07	8.90	4.58	7.07	3.08	8.65	3.83	7.97
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	19.31	3.57	28.03	0.00	11.35	2.74	20.49	1.00	9.37	5.04

ตารางที่ 5.13 (ต่อ) ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกและค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหล

ขาออกของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ	โอเวอร์ชูท (%)	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ	6.39	8.04	35.73	1.19	26.51	1.75	17.72	1.33	3.63	8.69
ตัวควบคุมแบบพีแอล	2.20	9.33	2.30	9.43	4.11	8.72	13.45	3.42	6.70	7.58
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	32.63	0.00	11.84	7.08	10.81	6.64	16.82	1.77	26.93	1.34
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	3.97	8.78	40.54	0.00	31.41	0.23	20.44	0.00	4.29	8.45
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	5.06	8.45	38.80	0.43	32.15	0.00	17.10	1.63	5.59	7.78
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	5.04	8.46	11.42	7.18	11.36	6.47	2.74	8.66	7.04	7.45
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	27.79	1.48	26.37	3.50	11.59	6.40	7.73	6.22	27.63	0.00

ตารางที่ 5.14 ผลสรุปการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ย โดยพิจารณา

จากค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ซูทของสัญญาณไหลขาออก

ชนิดของตัวควบคุม	ค่าจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ซูทของสัญญาณไหลขาออก
ตัวควบคุมแบบพี	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ	4.66
ตัวควบคุมแบบพีแอล	6.87
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	2.40
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	3.64
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	3.81
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	7.81
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	10.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	2.98

จากผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ซูทของสัญญาณไหลขาออก ดังแสดงในตารางที่ 5.13 พบว่าตัวควบคุมที่ไม่เกิดโอเวอร์ซูทของสัญญาณไหลขาออก คือ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก รองลงมา คือ ตัวควบคุมแบบพีแอลและตัวควบคุมแบบพีไอ

โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตามด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีไอพีและตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี ส่วนตัวควบคุมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทของสัญญาณไหลขาออกสูงสุด คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างและตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

## 5.5 การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณา

### ความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว

#### 5.5.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อหาค่าระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้

ข. เพื่อนำค่าระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวที่ได้มาใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยทั้ง 10 ชนิด

#### 5.5.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ก. หาค่าเปอร์เซ็นต์อ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุม 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.3 ทั้ง 10 กรณี จากโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ได้เขียนขึ้น และจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.3



ข. ปรับค่าเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ ที่ได้จากข้อ ก. ให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 10 โดย

- ตัวควบคุมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ในทำนองเดียวกัน

- ตัวควบคุมที่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ค. หาค่าเฉลี่ยของค่าจากการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและค่าเฉลี่ยของค่าจากการปรับเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ทั้ง 10 กรณี ที่ได้ในข้อ ข. จะได้จากค่าจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและค่าจากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ง. เปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด จากค่าจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว

และค่าเฉลี่ยของค่าจากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวที่ได้ในข้อ ค. เมื่อพิจารณาให้สำคัญของค่าออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวมากกว่าเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวในอัตราส่วน 2:1 โดยนำค่าจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวคูณด้วย 2 และนำมาบวกด้วยค่าจากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวจากนั้นหารด้วย 3 จะได้ค่าจากการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของตัวควบคุมแต่ละชนิด

### 5.5.3 ผลการทดลอง

จากการขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.5.2 สามารถแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวพร้อมทั้งค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและค่าจากการปรับเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี ในตารางที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับจากผลที่ได้ในตารางที่ 5.15 และ 5.16 สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.15 ค่าเปอร์เซ็นต์อีออฟเซ็ทระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและค่าจากการปรับระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวของตัวควบคุม

ทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	อีออฟเซ็ท (%)	ค่าจากการปรับ	อีออฟเซ็ท (%)	ค่าจากการปรับ	อีออฟเซ็ท (%)	ค่าจากการปรับ	อีออฟเซ็ท (%)	ค่าจากการปรับ	อีออฟเซ็ท (%)	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีแอล	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	4.29	9.57	44.60	5.54	48.41	5.16	54.17	4.58	52.29	4.77
ตัวควบคุมแบบดิอาร์ไอพี	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00

ตารางที่ 5.15 (ต่อ) ค่าเปอร์เซ็นต์อีพซีทระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวและค่าจากการปรับระดับของเหลวที่สภาวะคงตัวของตัวควบคุม

ทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	อีพซีท (%)	ค่าจากการปรับ	อีพซีท (%)	ค่าจากการปรับ	อีพซีท (%)	ค่าจากการปรับ	อีพซีท (%)	ค่าจากการปรับ	อีพซีท (%)	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีแอล	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	44.08	5.59	25.88	7.41	12.11	8.79	69.26	3.07	34.94	6.51
ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00

ตารางที่ 5.16 เวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวและค่าจากการปรับเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของ  
 ตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่างๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	4.00	9.64	3.50	9.87	3.00	9.82	3.00	9.86	2.20	9.87
ตัวควบคุมแบบพีไอ	18.50	7.37	140.50	0.00	30.50	6.10	7.80	9.45	12.70	8.55
ตัวควบคุมแบบพีแอล	65.50	0.00	87.50	3.82	25.50	6.77	117.50	0.00	10.50	8.83
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	21.50	6.90	38.50	7.35	48.50	3.66	35.50	7.06	33.50	5.93
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	8.00	9.01	26.50	8.21	5.80	9.44	29.50	7.58	3.80	9.67
ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี	19.80	7.16	36.50	7.49	75.50	0.00	6.80	9.53	80.50	0.00
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	3.20	9.76	3.40	9.88	2.70	9.86	2.70	9.89	1.90	9.91
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	56.50	1.41	126.50	1.01	66.50	1.22	98.50	1.64	62.50	2.27
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	1.70	10.00	1.70	10.00	1.70	10.00	1.40	10.00	1.20	10.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	38.50	4.23	60.50	5.76	52.50	3.12	52.50	5.60	51.50	3.657

ตารางที่ 5.16 (ต่อ) เวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวและค่าจากการปรับเวลาที่ให้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวของ  
 ตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่างๆ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ	เวลา (นาทีก)	ค่าจาก การปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	4.00	9.90	3.50	9.86	3.00	9.85	1.30	9.95	4.50	9.86
ตัวควบคุมแบบพีไอ	42.50	8.21	17.80	9.06	12.80	8.58	4.70	9.67	120.80	1.73
ตัวควบคุมแบบพีแอล	229.50	0.00	179.50	0.00	79.50	0.00	8.50	9.35	68.50	5.38
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	92.50	6.02	35.80	8.05	36.20	5.57	9.50	9.26	62.50	5.80
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	29.50	8.78	8.50	9.58	5.80	9.48	2.50	9.85	29.50	8.11
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	78.50	6.63	60.50	6.67	50.50	3.73	120.50	0.00	145.50	0.00
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	4.50	9.88	1.10	10.00	2.20	9.95	1.20	9.96	4.30	9.87
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	95.50	5.88	38.50	7.90	24.50	7.08	65.50	4.59	63.50	5.73
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	1.80	10.00	1.10	10.00	1.80	10.00	0.70	10.00	2.50	10.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	66.50	7.16	32.50	8.24	35.50	5.66	40.50	6.68	58.50	6.08

ตารางที่ 5.17 ผลสรุปการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับ  
ของเหลวของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ชนิดของตัวควบคุม	ค่าจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว	ค่าจากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัว	ค่าจากการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัว
ตัวควบคุมแบบพี	0.00	9.85	3.28
ตัวควบคุมแบบพีไอ	10.00	6.87	8.96
ตัวควบคุมแบบพีแอล	10.00	3.42	7.81
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	10.00	6.56	8.85
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	6.10	8.97	7.06
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	10.00	4.12	8.04
ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	9.90	3.30
ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออก	10.00	3.87	7.96
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	3.33
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	10.00	5.62	8.54

จากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์อ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว พบว่าตัวควบคุมสามารถเข้าสู่เซ็ทพอยน์ของระดับของเหลวโดยไม่เกิดอ็อพเซ็ท คือ ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอล, ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง, ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี, ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก รองลงมา คือ ตัวควบคุมแบบพีไอพีซึ่งให้ค่าอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวประมาณ 60% ส่วนตัวควบคุมให้ค่าอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว 100% คือ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

จากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลวพบว่าตัวควบคุมที่ให้ค่าอ็อพเซ็ทของระดับของเหลว 100% จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตามด้วยตัวควบคุมที่ให้ค่าอ็อพเซ็ทของระดับของเหลว 60% จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมากขึ้น ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอพี และสุดท้ายตัวควบคุมที่ใช้เวลามากที่สุดในการเข้าสู่สภาวะคงตัว คือ ตัวควบคุมที่ไม่เกิดอ็อพเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง และตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ซึ่งใช้เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยกว่า กลุ่มที่สอง คือ ตัวควบคุมแบบพีแอล, ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพีและตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ซึ่งใช้เวลาในเข้าสู่สภาวะคงตัวมากที่สุด



จากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ออฟเซ็ทของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว และค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว จะได้ค่าจากการเปรียบเทียบความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของระดับของเหลว โดยพบว่าตัวควบคุมที่ไม่ให้ค่าออฟเซ็ทของระดับที่สภาวะคงตัวและใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยจะมีความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ดีที่สุด ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง และตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก รองลงมา คือ ตัวควบคุมที่ไม่ให้ค่าออฟเซ็ทของระดับที่สภาวะคงตัวแต่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมาก ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีแอล, ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี และตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ถัดมา คือ ตัวควบคุมที่ให้ค่าออฟเซ็ทของระดับของเหลวปานกลางแต่ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อย ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีไอพี และสุดท้ายตัวควบคุมที่มีความสามารถในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยที่สุด คือ ตัวควบคุมที่ให้ค่าออฟเซ็ทของระดับ 100% ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อย ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

## 5.6 การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยโดยพิจารณาการ

### ตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด

#### 5.6.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ของตัวควบคุมแต่ละชนิดเมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดจาก 100% (1 m<sup>3</sup>/min) เป็น 200% สเต็ป (2 m<sup>3</sup>/min) ในกรณีต่าง ๆ

ข. เพื่อนำเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ของตัวควบคุมแต่ละชนิดที่ได้จากข้อ ก. มาใช้ในการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อค่าการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของตัวควบคุมแต่ละชนิด

#### 5.6.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ก. ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลดในโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ได้เขียนไว้ให้มากขึ้นจาก 100% สเต็ป (1 m<sup>3</sup>/min) เป็น 200% สเต็ป (2 m<sup>3</sup>/min)

ข. หาค่าเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรโหลดของการไหลขาเข้าจาก 100% สเต็ป เป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับจูนในหัวข้อ 5.3

ค. หาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH และค่า MRCO เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรโหลดจาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ป โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่ได้จากข้อ ข. จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH} = (\text{MPH}_r - \text{MPH}) / \text{MPH} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MRCO} = (\text{MRCO}_r - \text{MRCO}) / \text{MRCO} \times 100$$

เมื่อ MPH = ค่า MPH เมื่อการไหลขาเข้าเท่ากับ 100% สเต็ป

MPH<sub>r</sub> = ค่า MPH เมื่อเพิ่มการไหลขาเข้าเป็น 200% สเต็ป

MRCO = ค่า MRCO เมื่อการไหลขาเข้าเท่ากับ 100% สเต็ป

MRCO<sub>r</sub> = ค่า MRCO เมื่อเพิ่มการไหลขาเข้าเป็น 200% สเต็ป

ง. ปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH และค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ ที่ได้จากข้อ ค. ให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 10 โดย

- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ในทำนองเดียวกัน

- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MRCO น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MRCO มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

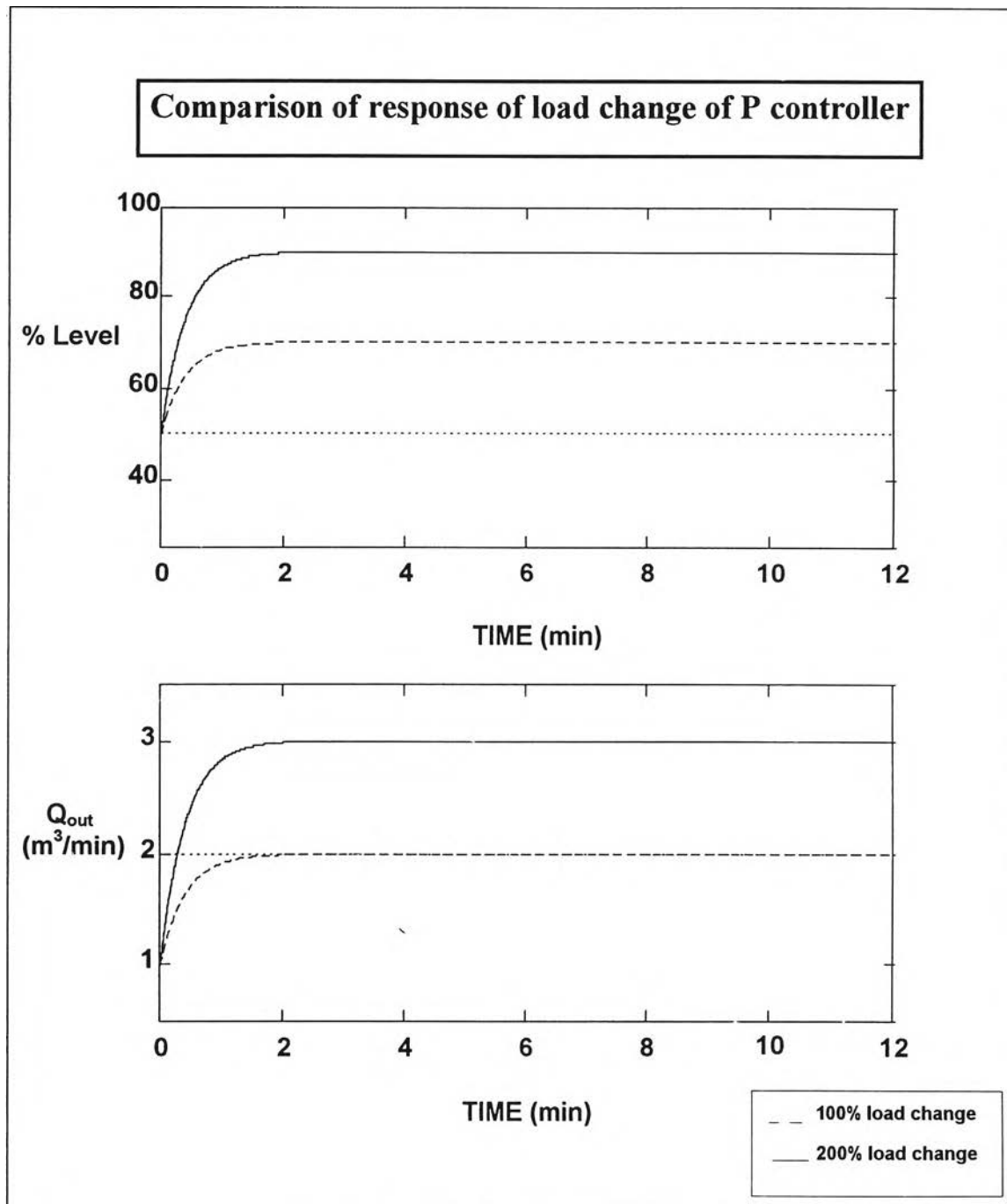
จ. หาค่าเฉลี่ยของค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO

เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดจาก 100% สเต็พ เป็น 200% สเต็พ ของตัวควบคุมแต่ละชนิด ในกรณีต่าง ๆ ทั้ง 10 กรณี ที่ได้ในข้อ ง. จะได้ค่าจากการเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

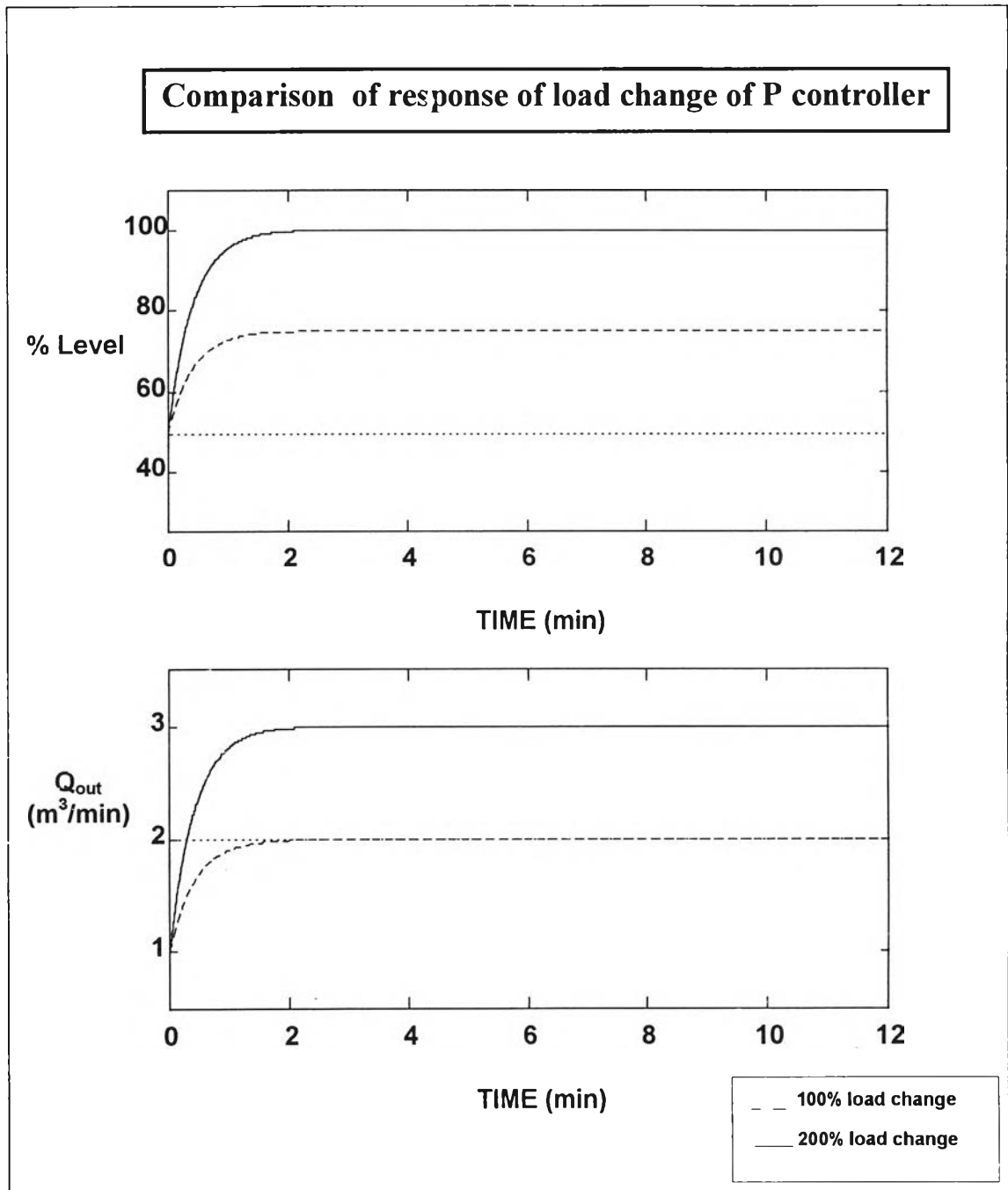
จ. เปรียบเทียบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด จากค่าการเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO ที่ได้ในข้อ ค. เมื่อพิจารณาให้ถึงความสำคัญของผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MRCO มากกว่าผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH ในอัตราส่วน 2:1 โดยนำค่าจากการเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MRCO คูณด้วย 2 และนำมาบวกด้วยค่าจากการเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MRCO จากนั้นหารด้วย 3 จะได้ค่าจากการเทียบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของตัวควบคุมแต่ละชนิด

### 5.6.3 ผลการทดลอง

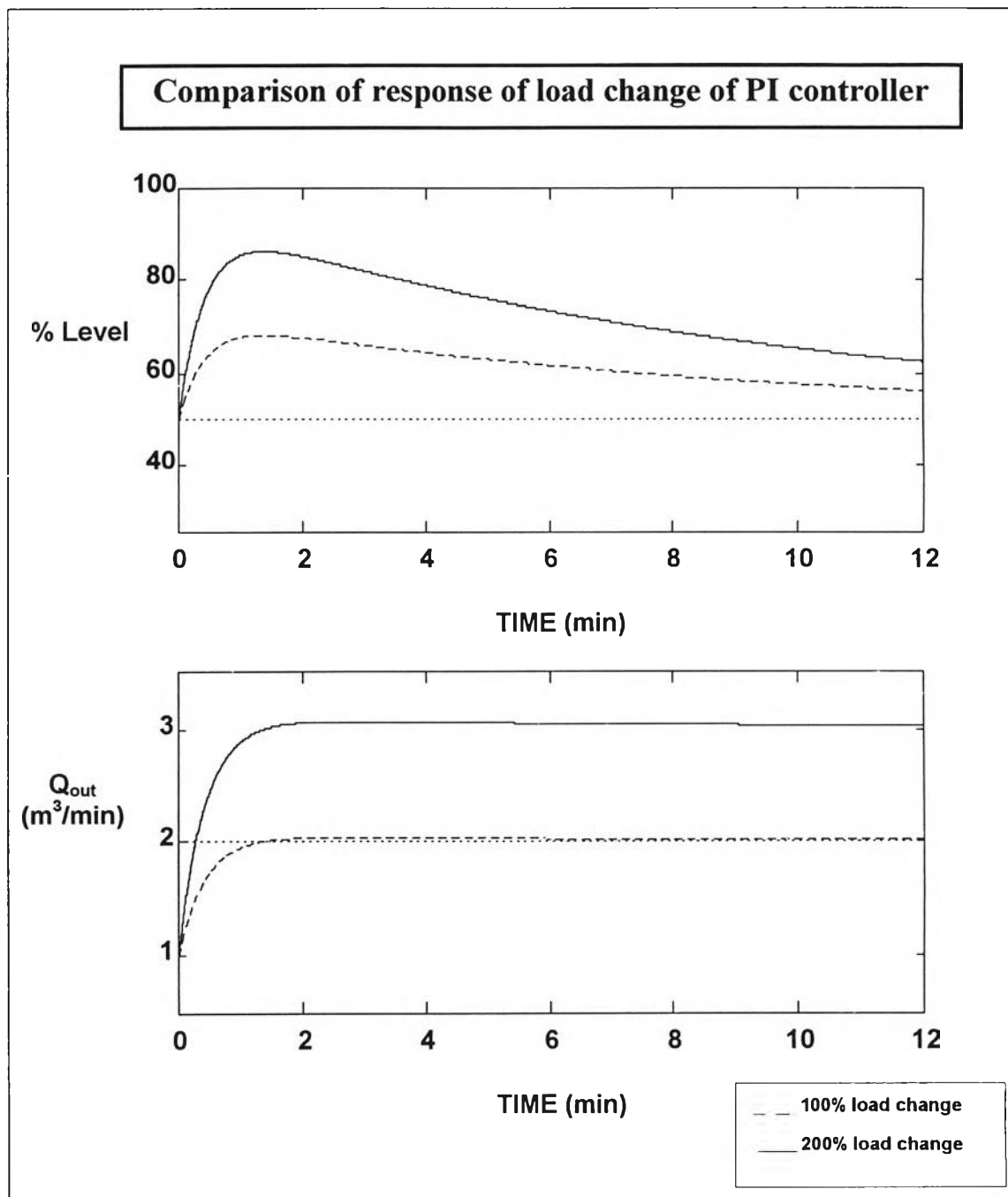
จากขั้นตอนการทดลองดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.6.2 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO เมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดในการไหลขาเข้าจาก 100% สเต็พเป็น 200% สเต็พของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี ในตารางที่ 5.18 และ 5.19 พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดในรูปที่ 5.11a, b ถึง 5.20a, b จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.18 และ 5.19 สามารถสรุปผลเปรียบเทียบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.20



รูปที่ 5.11a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบพีในกรณีี่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



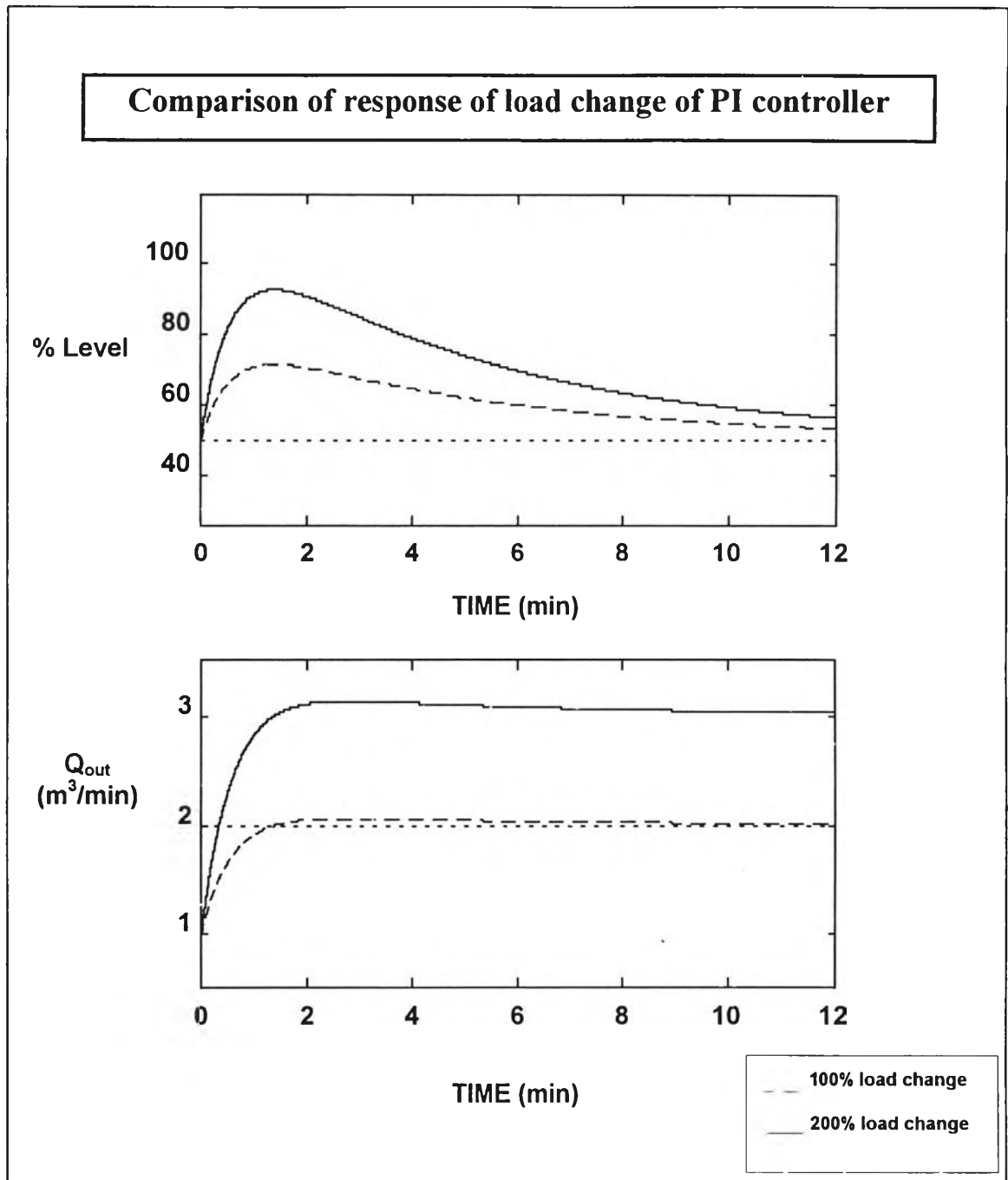
รูปที่ 5.11b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สदैพเป็น 200% สदैพของตัวควบคุมแบบพีในกรณีที 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.12a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด

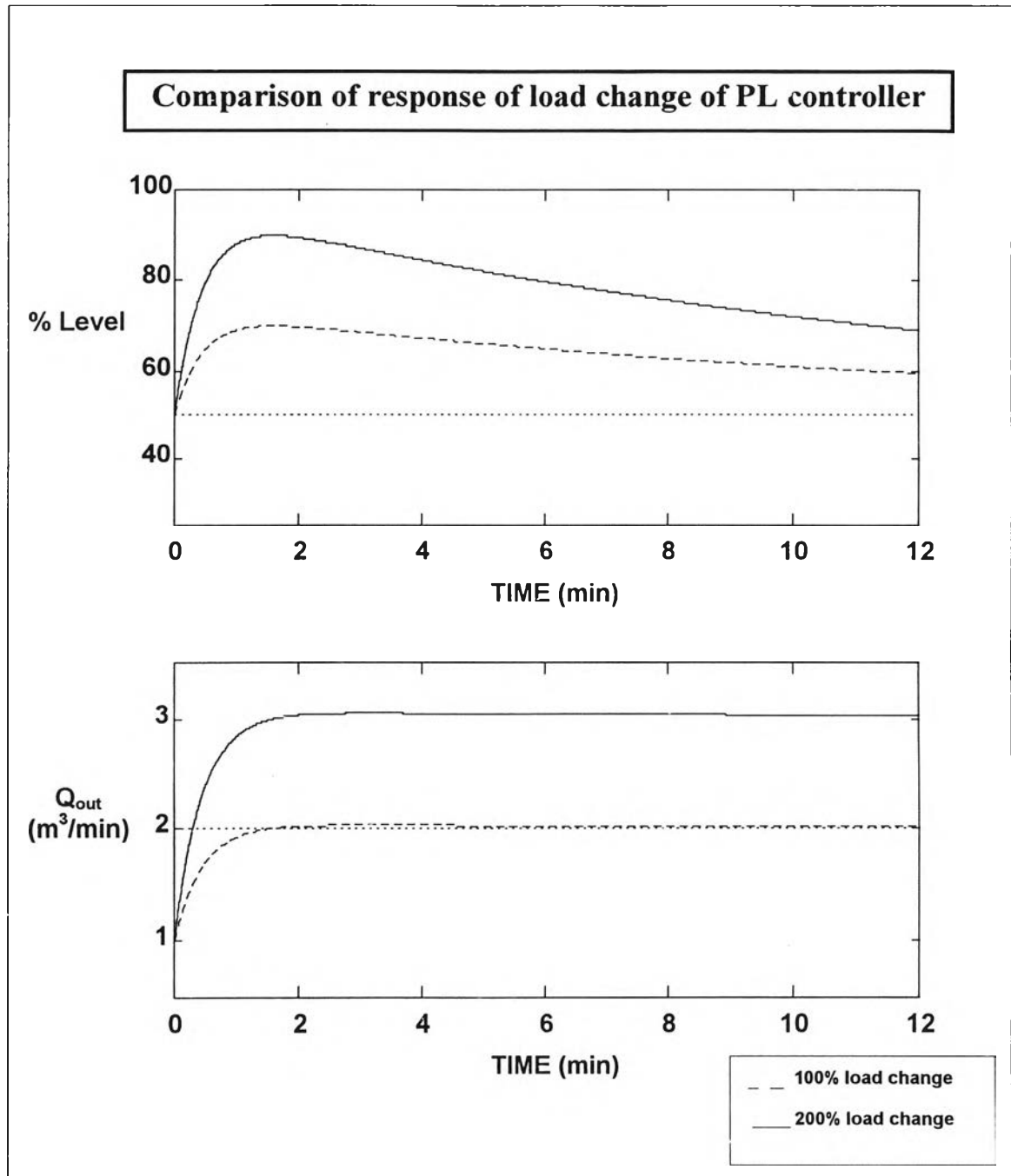
จาก 100% สติ้พเป็น 200% สติ้พของตัวควบคุมแบบพีไอในกรณีนี้ 4 (MPH

= 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )

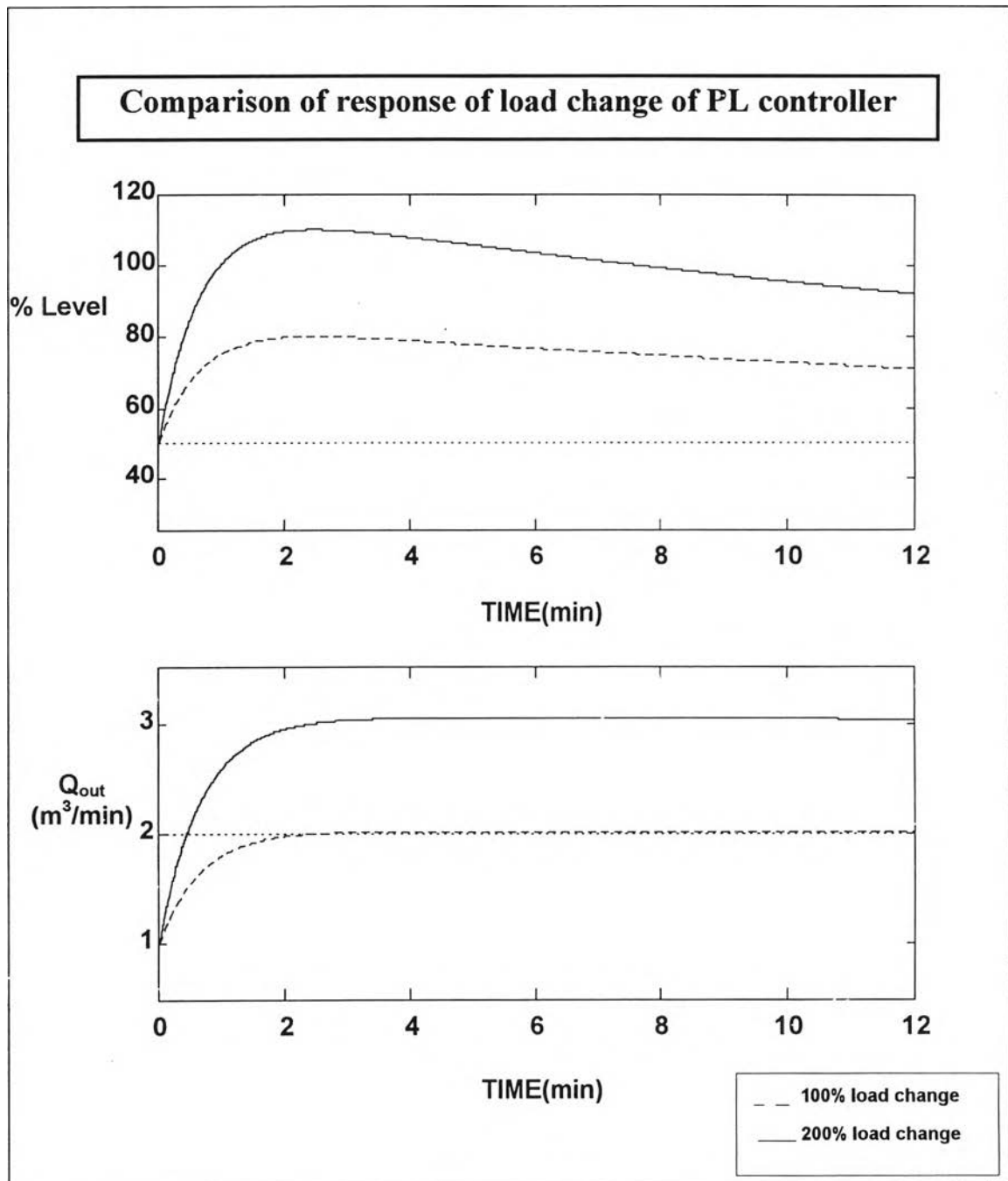


รูปที่ 5.12b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบพีไอในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )

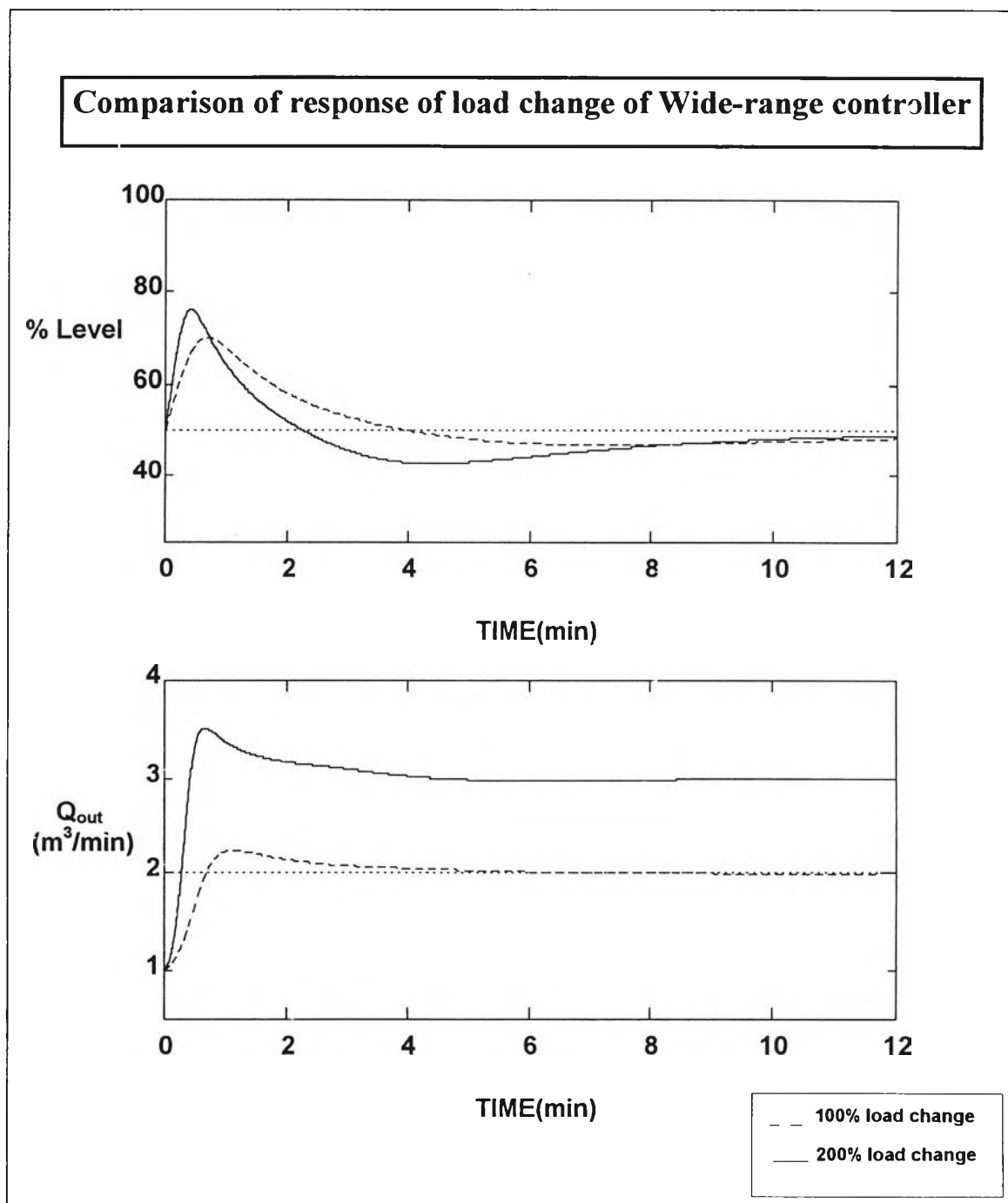




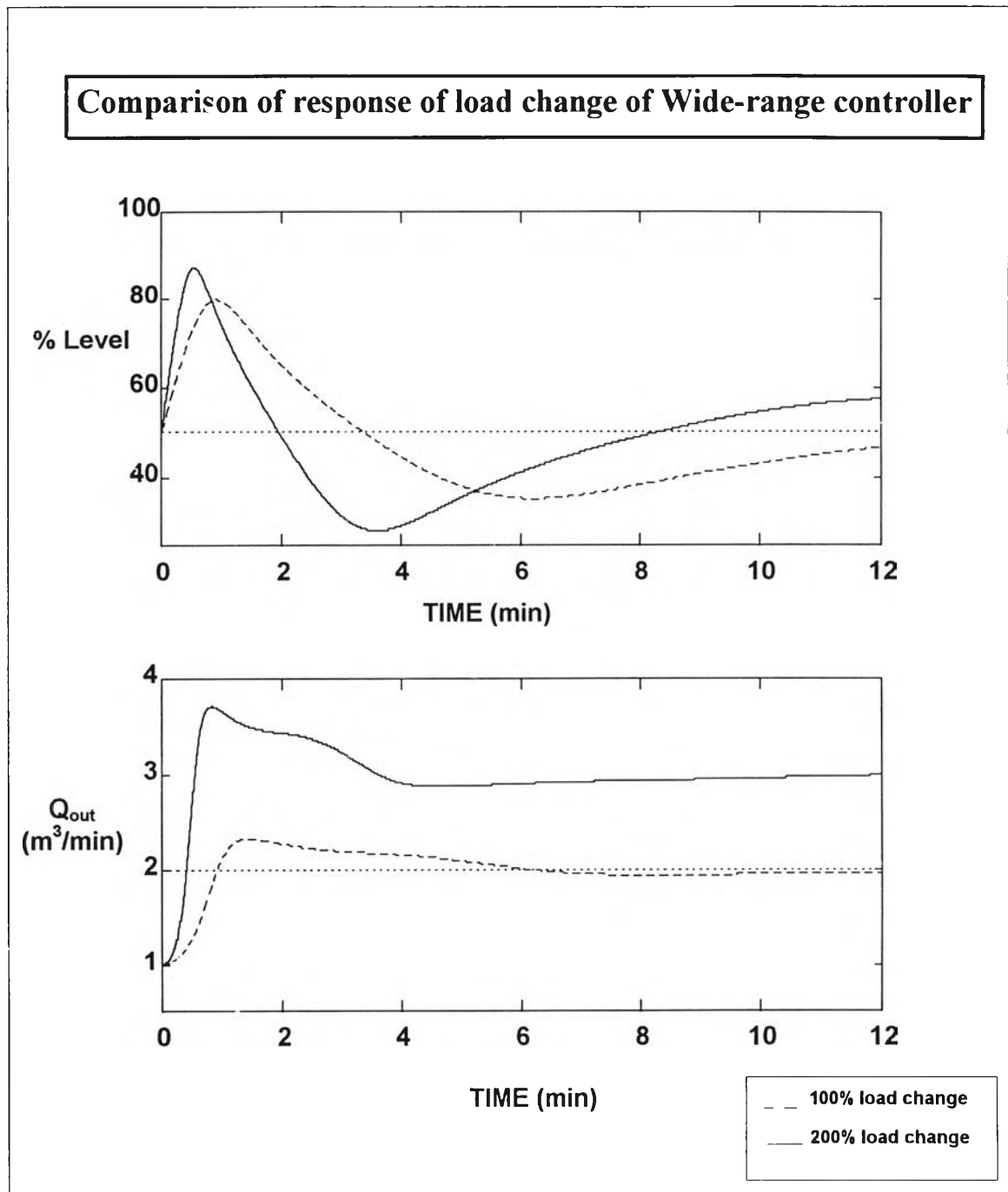
รูปที่ 5.13a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบพีแอลในกรณีนี้ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50 m<sup>3</sup>/min/min)



รูปที่ 5.13b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สติ้พเป็น 200% สติ้พของตัวควบคุมแบบพีแอลในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



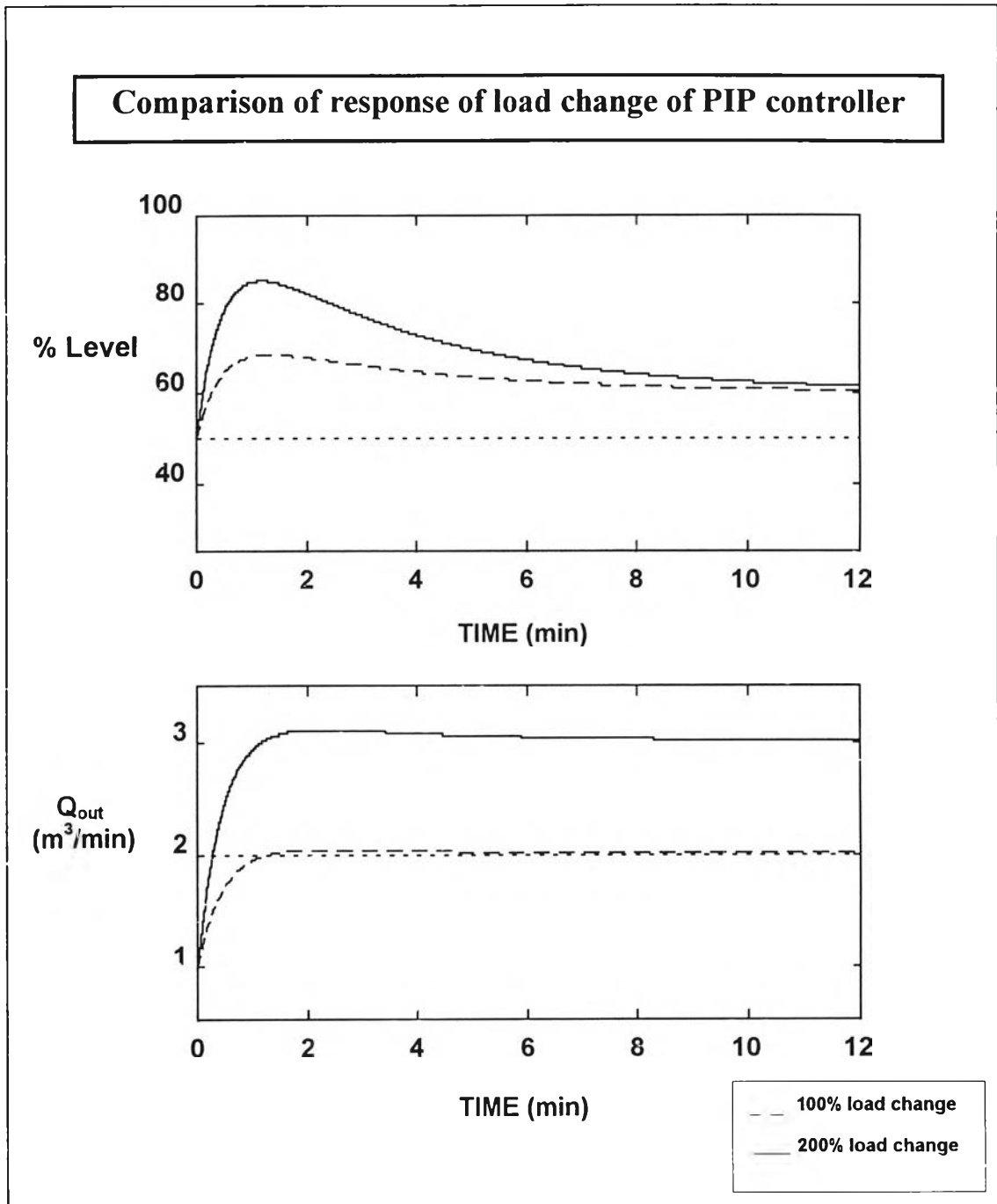
รูปที่ 5.14a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบช่วงกว้างในกรณีนี้ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



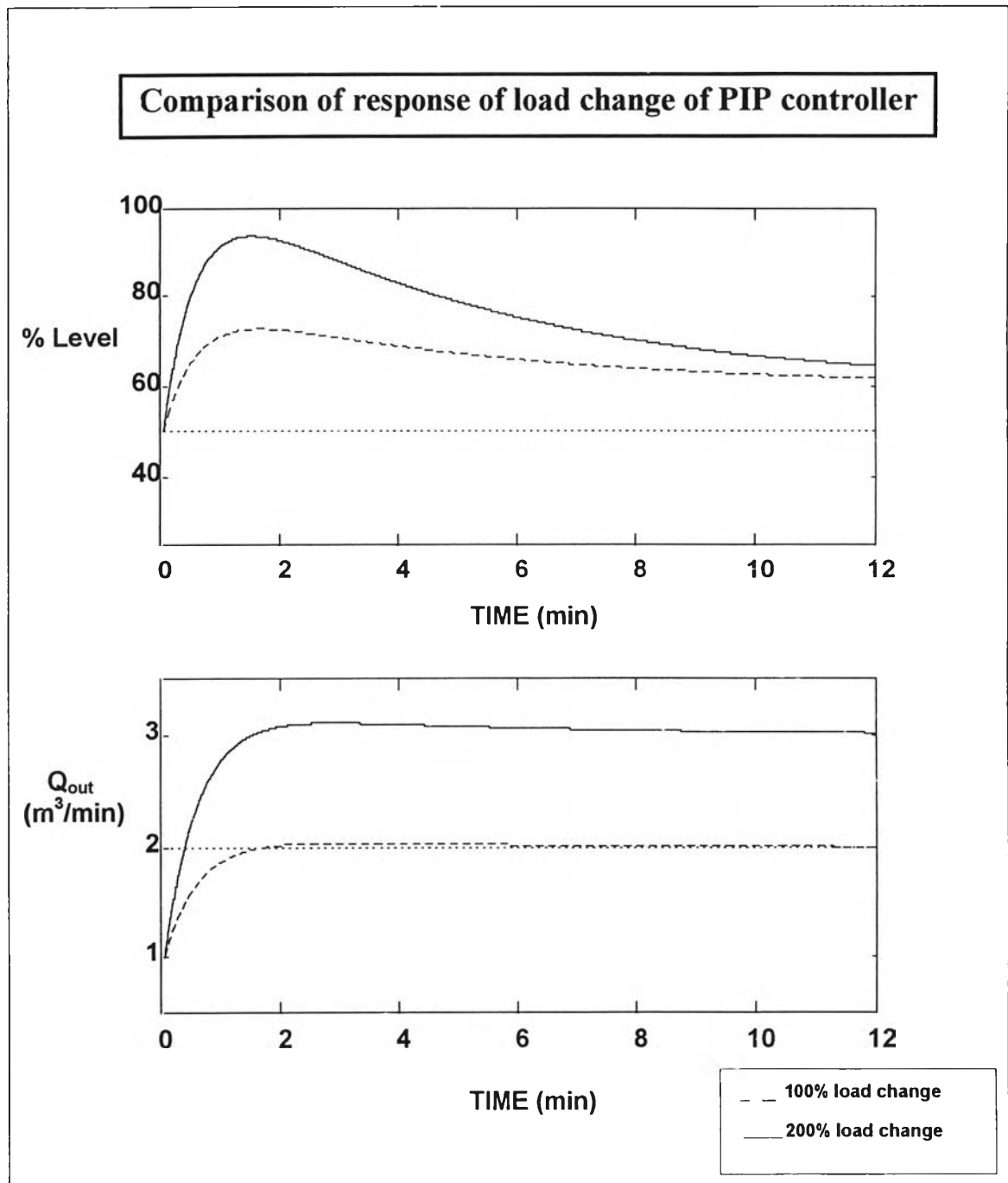
รูปที่ 5.14b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด

จาก 100% สลับเป็น 200% สลับของตัวควบคุมแบบช่วงกว้างในกรณีนี้ 6

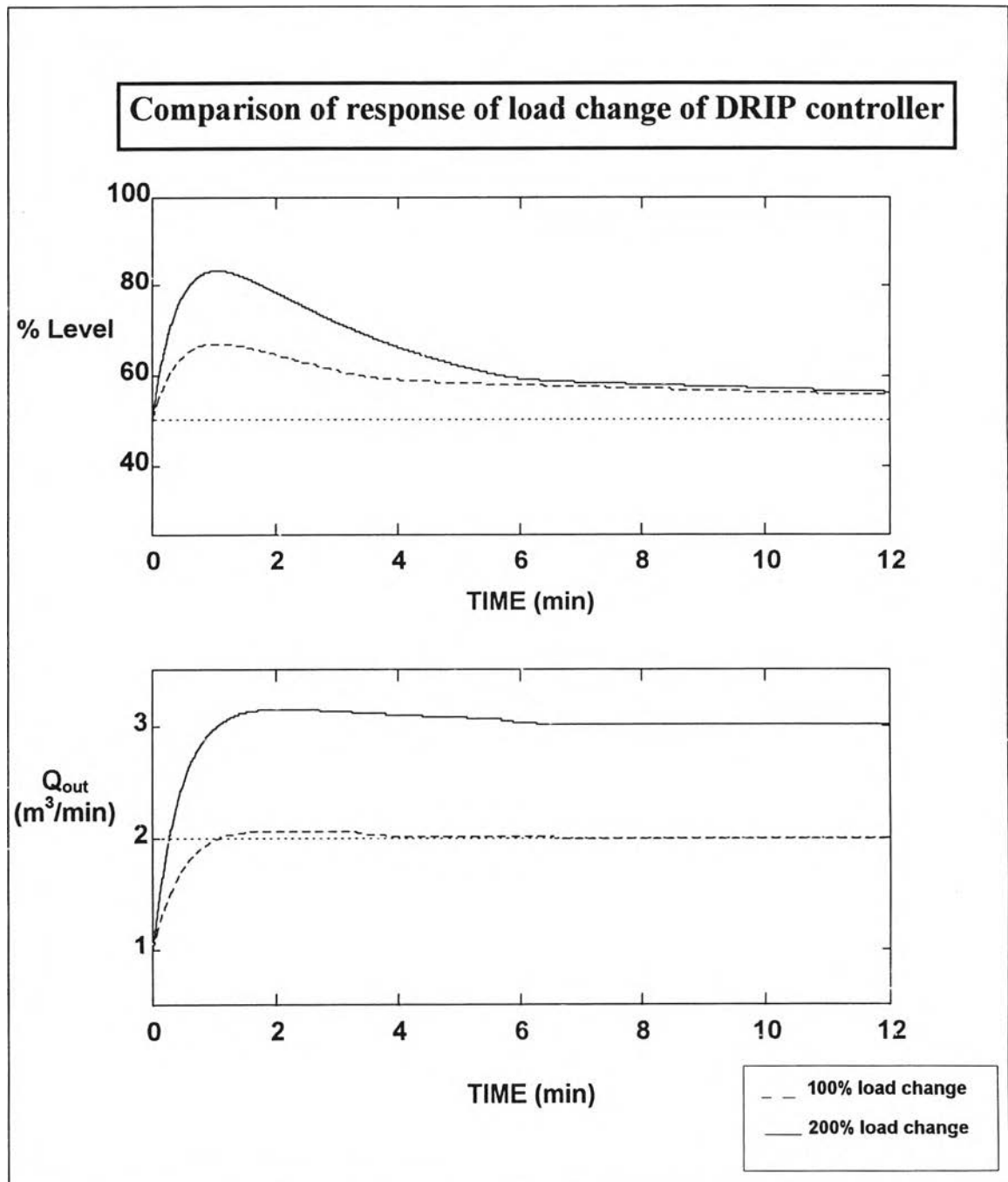
(MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)



รูปที่ 5.15a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สติ้พเป็น 200% สติ้พของตัวควบคุมแบบพีไอพีในกรณีที 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



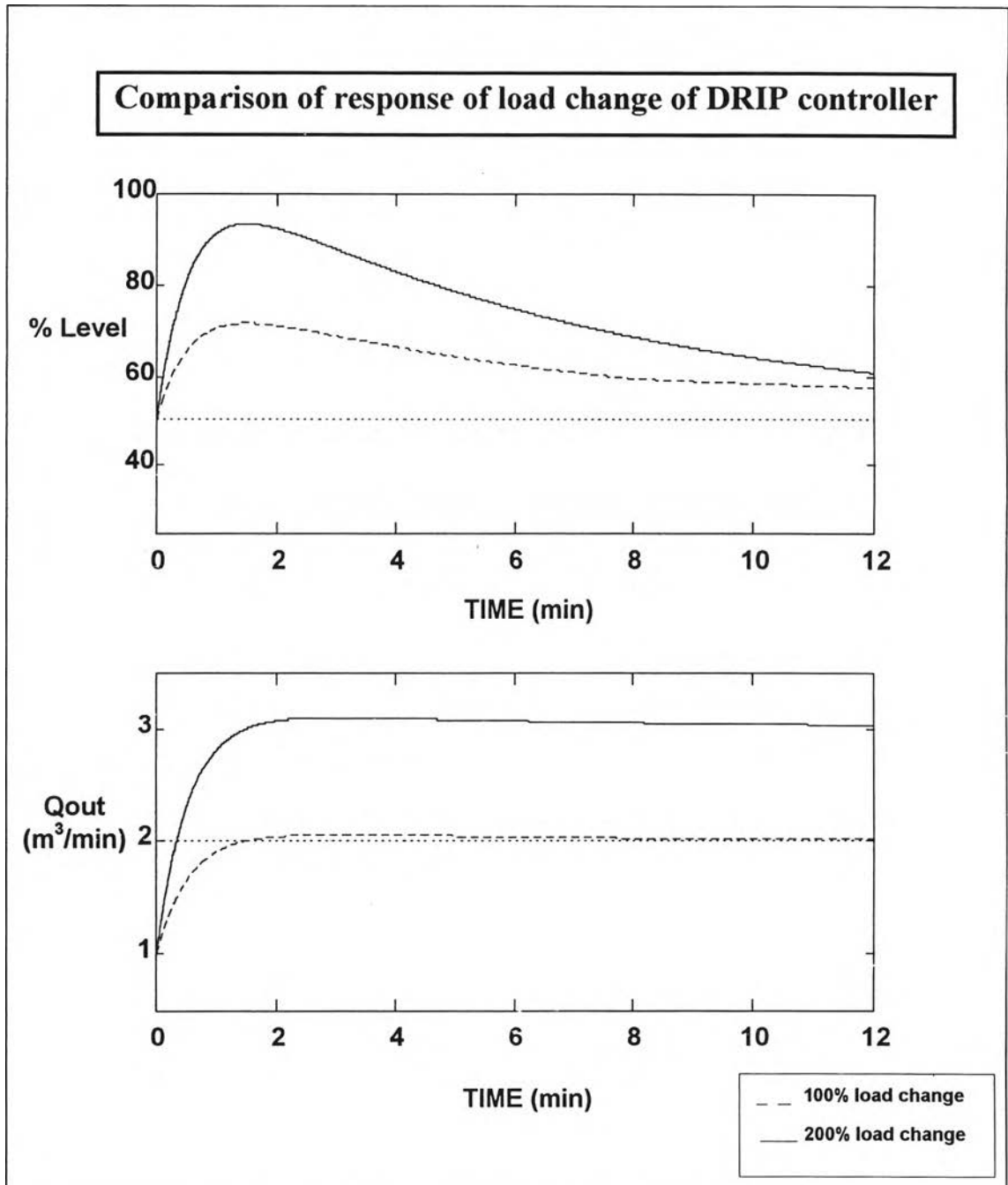
รูปที่ 5.15b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สदैพเป็น 200% สदैพของตัวควบคุมแบบพีไอพีในกรณีที 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)



รูปที่ 5.16a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด

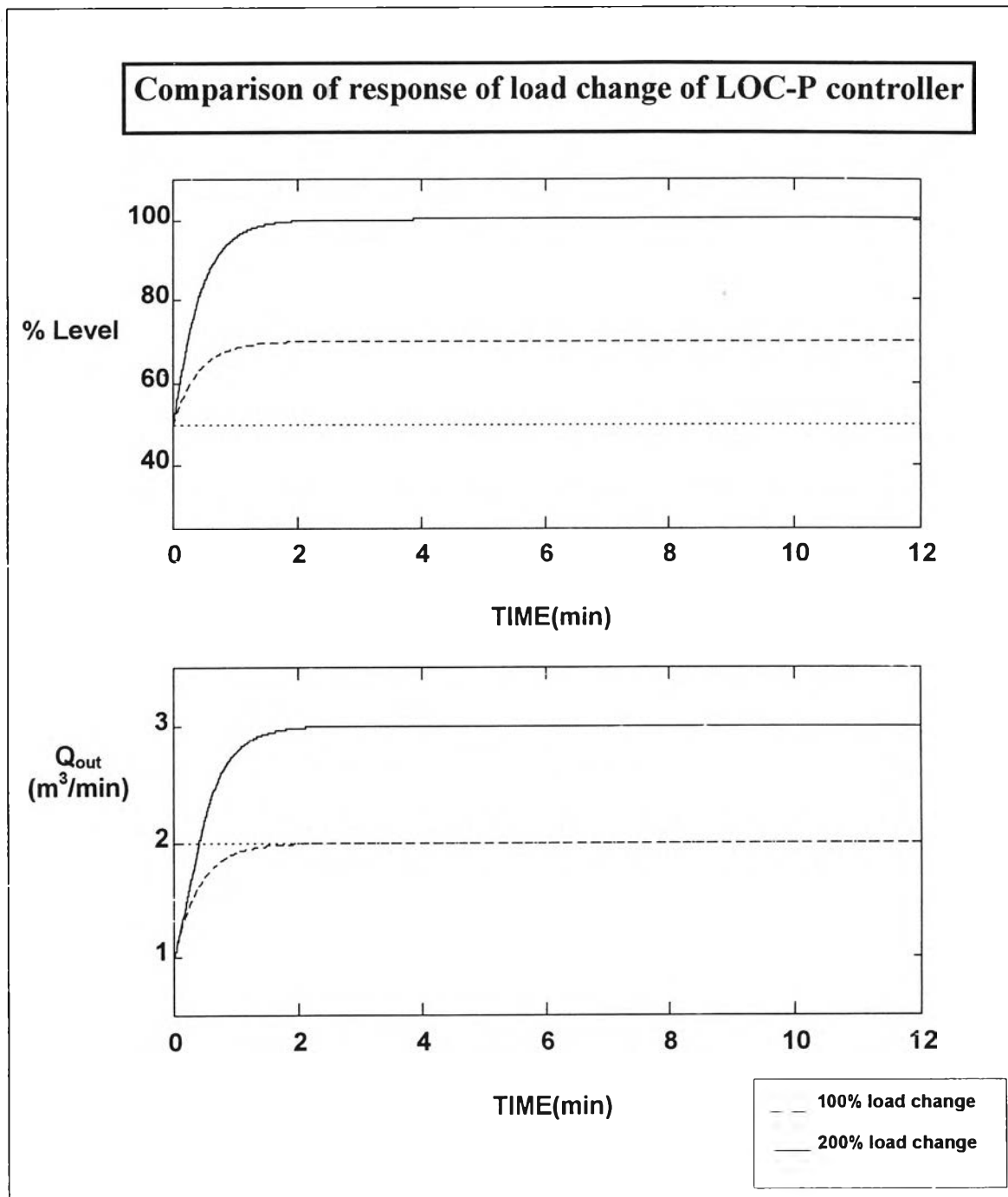
จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพีในกรณีที่ 4

(MPH = 20%, MRCO =  $2.50 m^3/min/min$ )

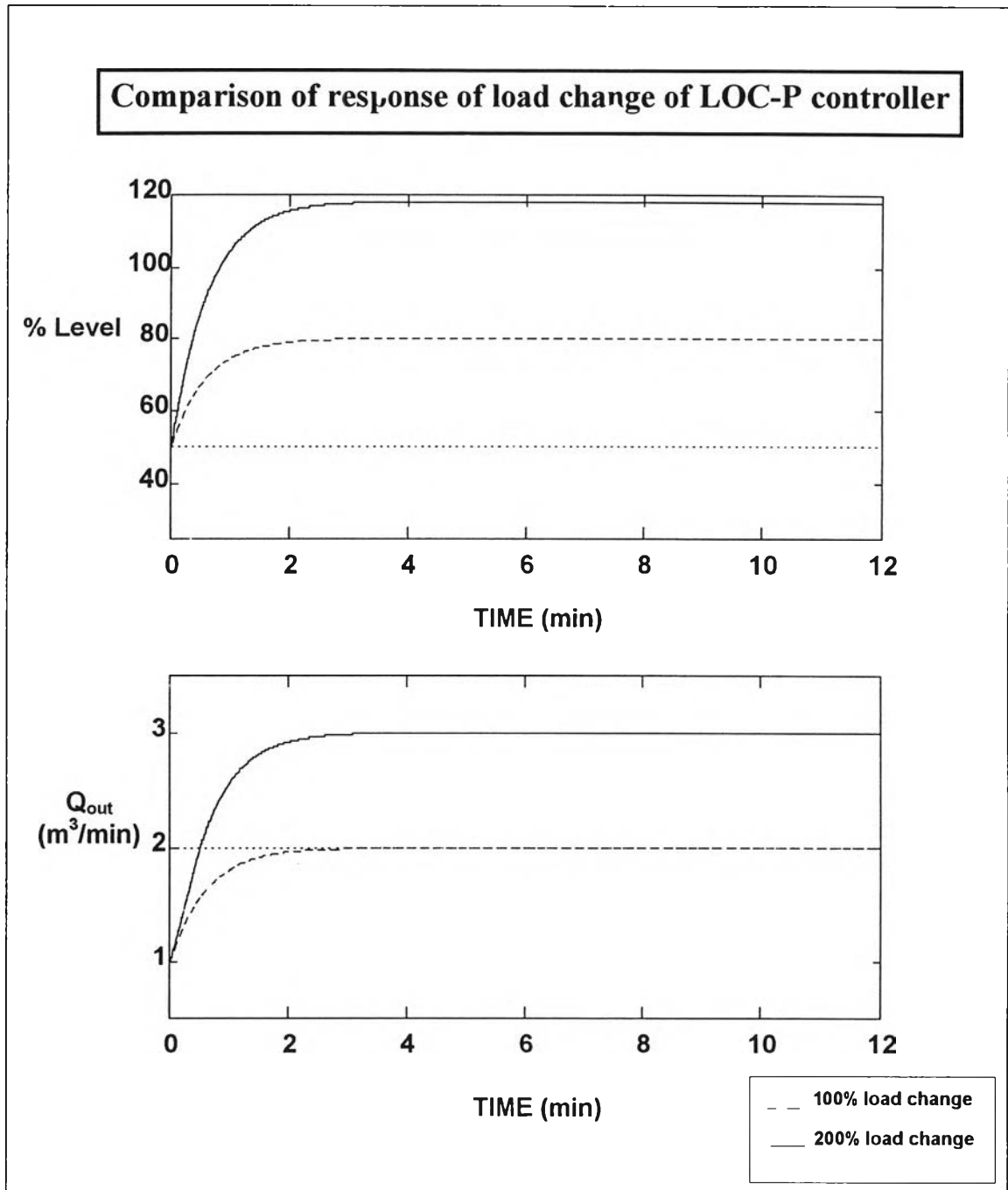


รูปที่ 5.16b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพีในกรณีนี้ที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)

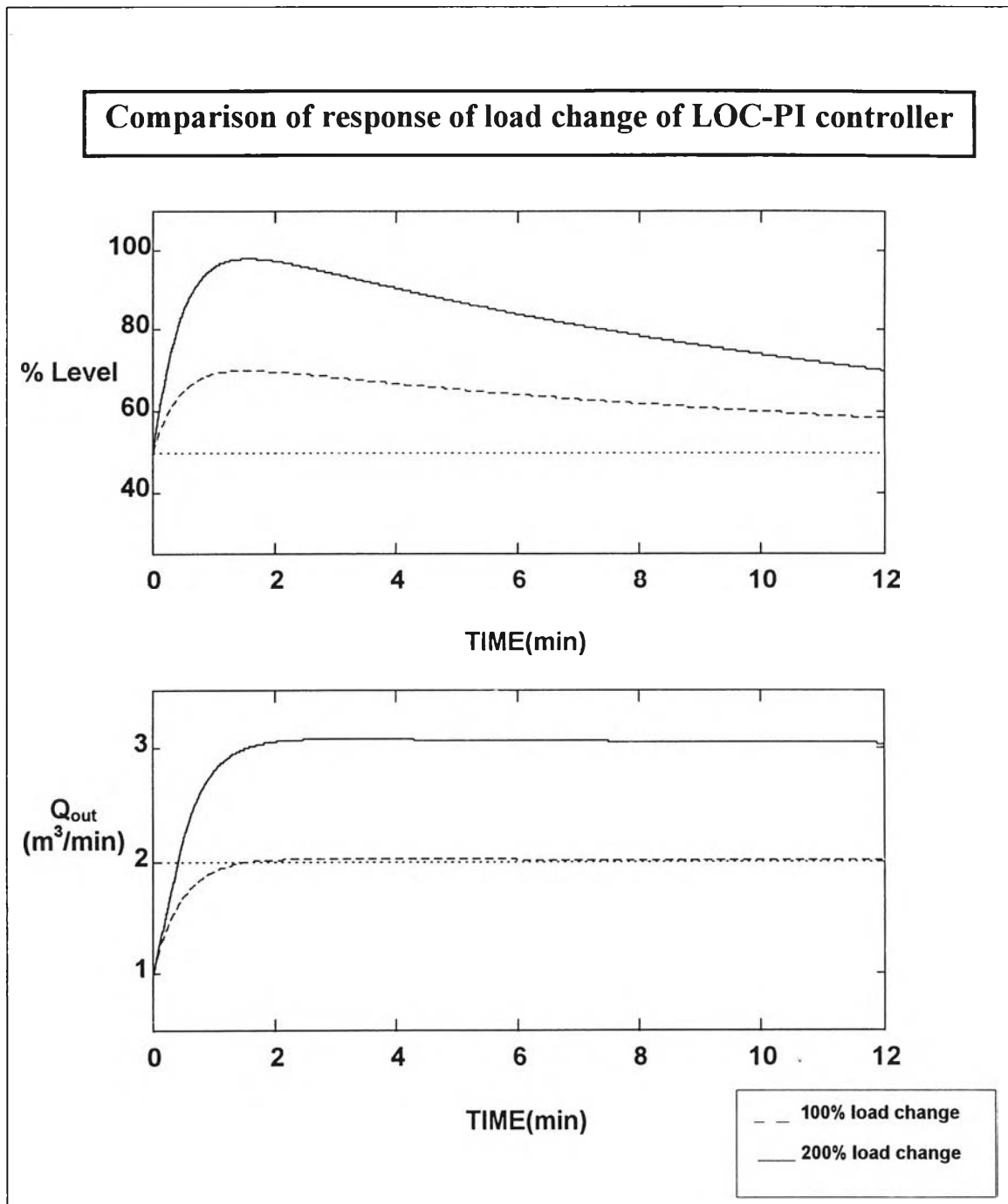




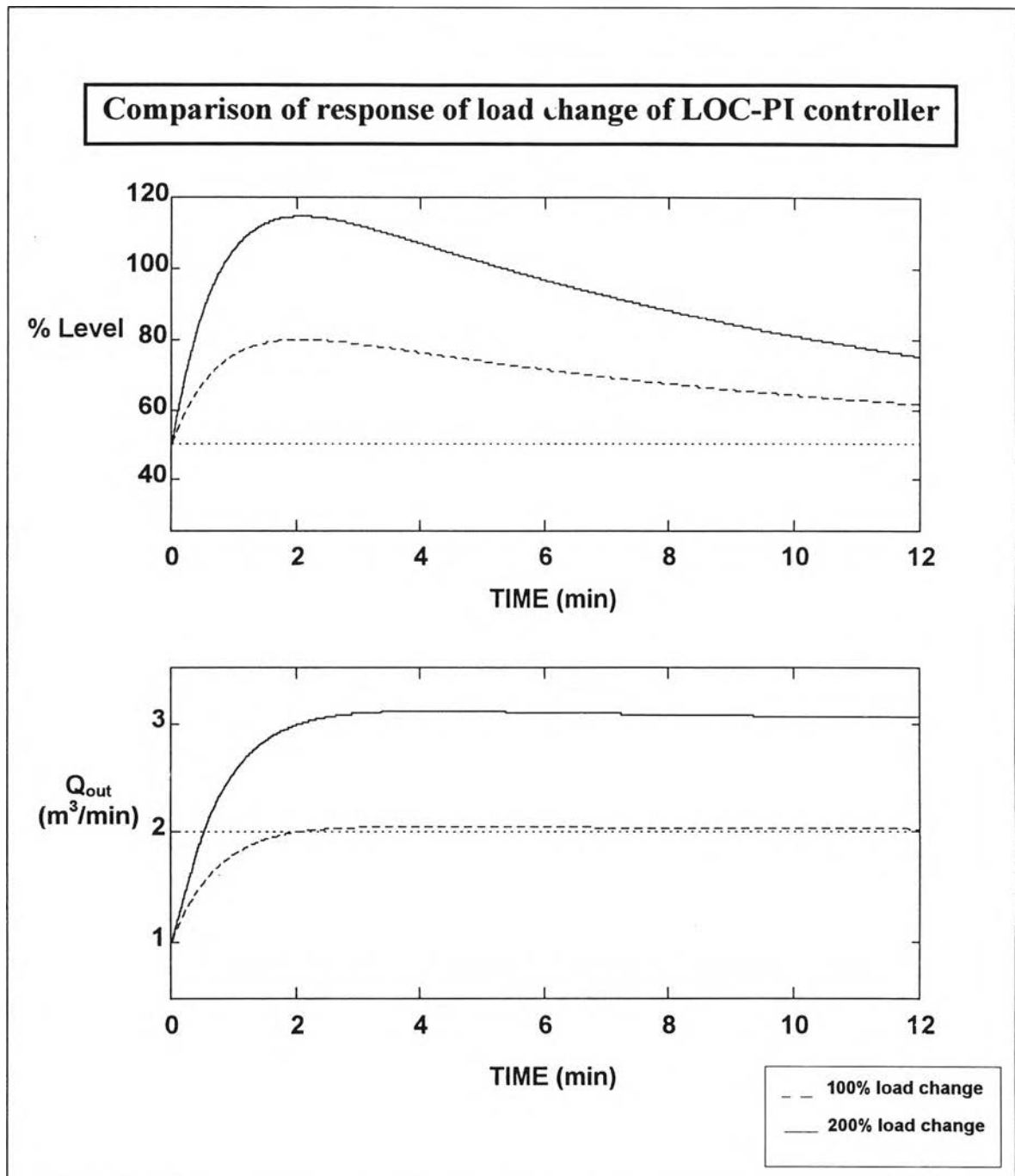
รูปที่ 5.17a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สदैพเป็น 200% สदैพของตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



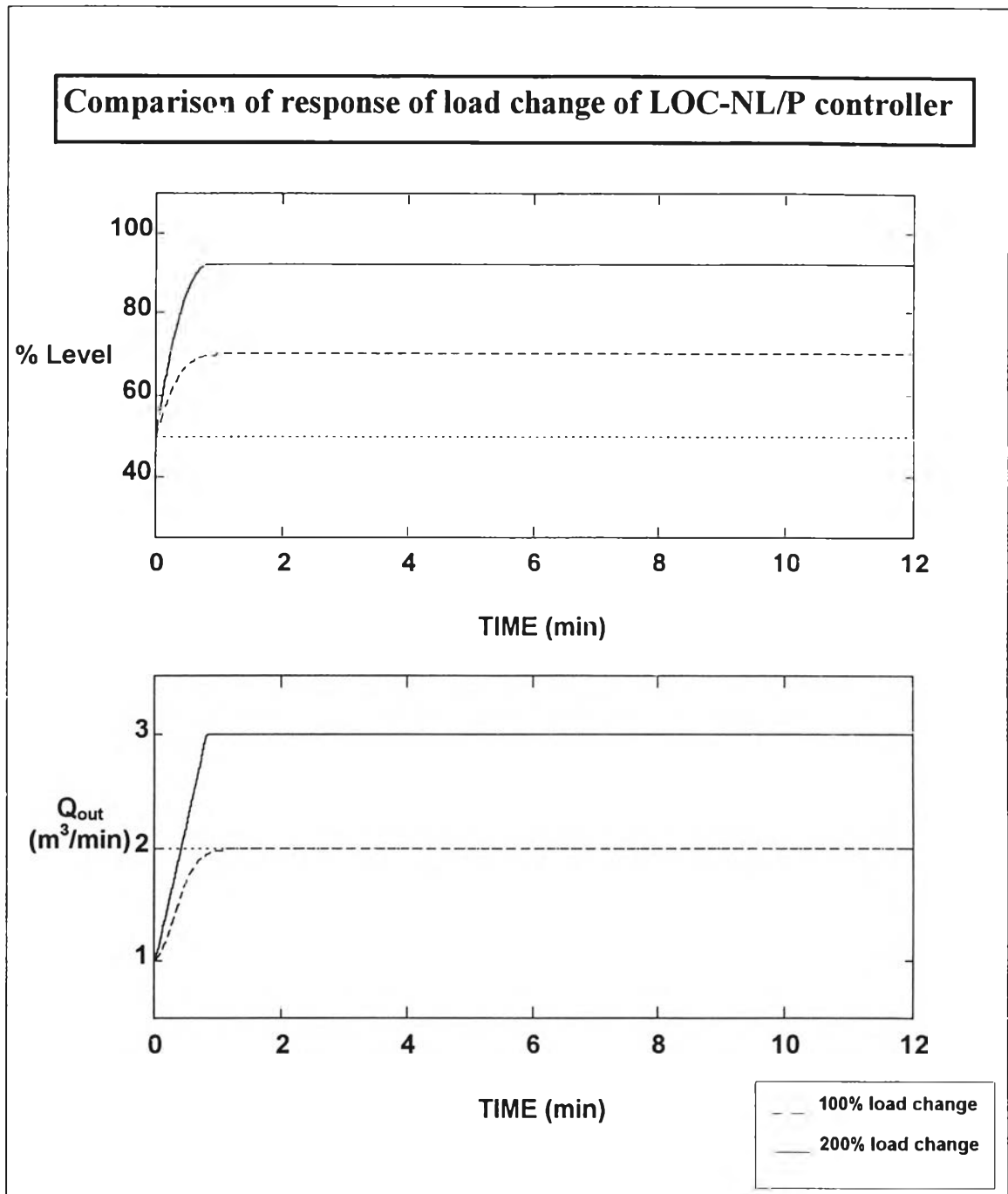
รูปที่ 5.17b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สदैพเป็น 200% สदैพของตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยน ขาออกในกรณีที 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)



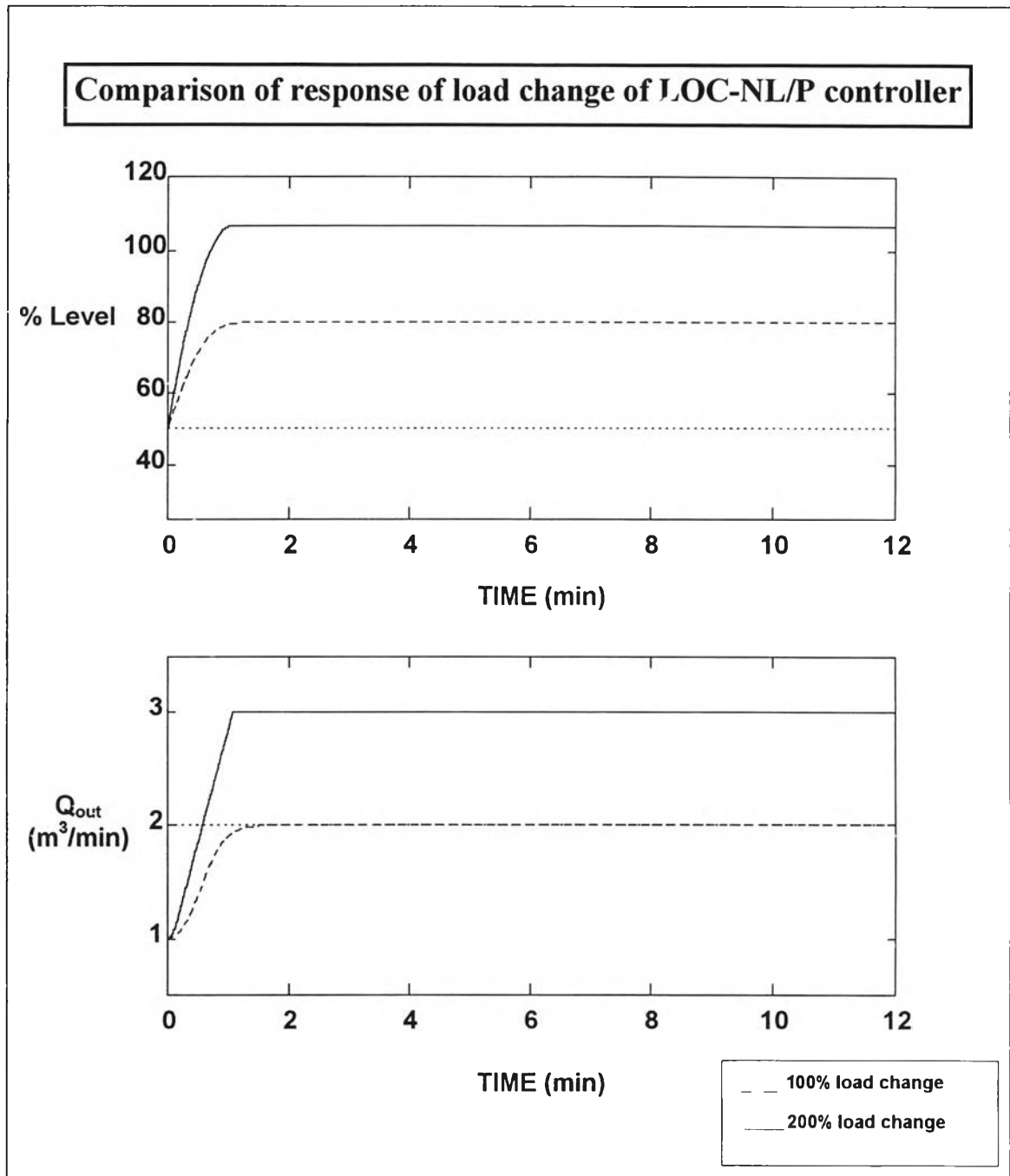
รูปที่ 5.18a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีี่ที่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



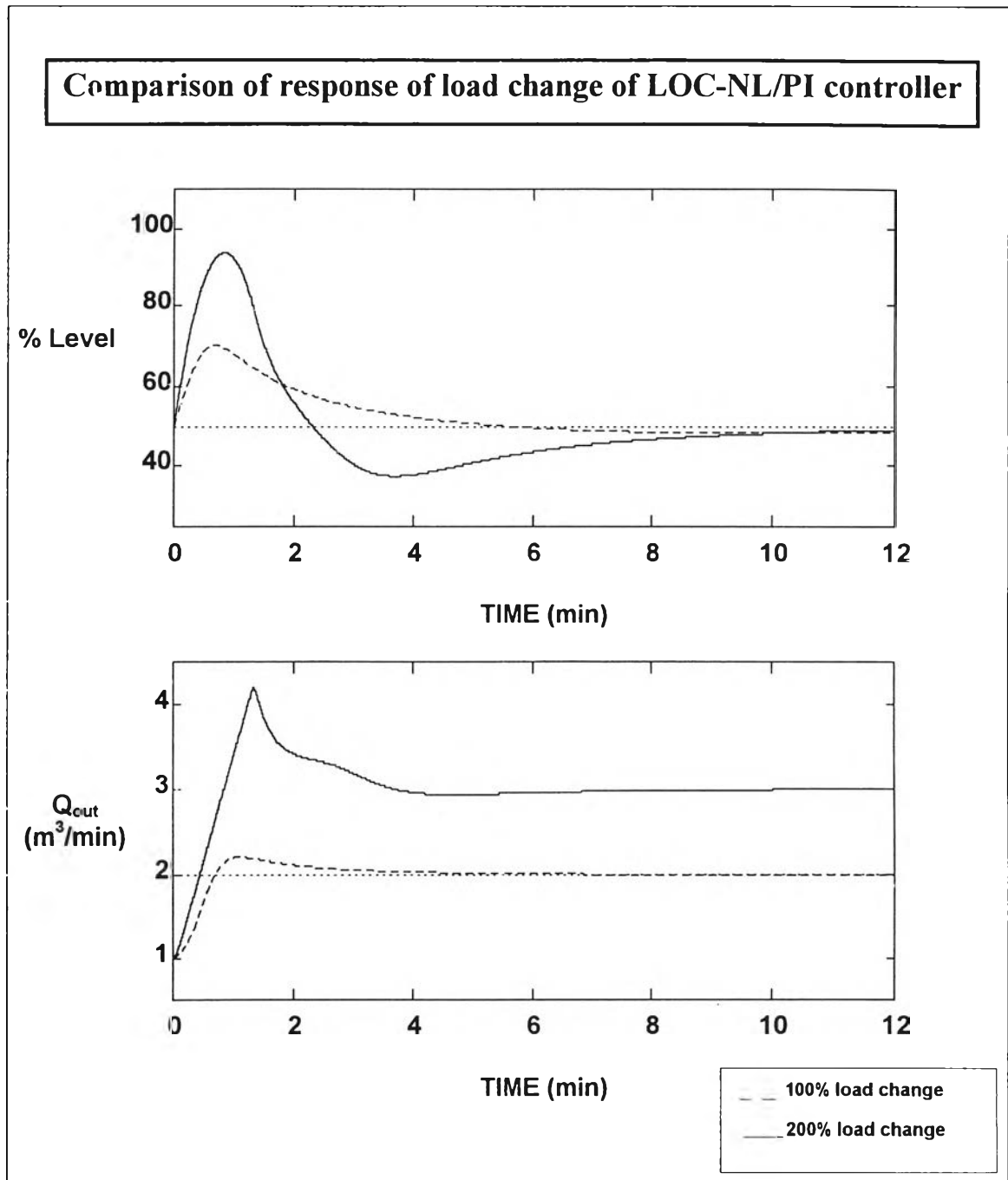
รูปที่ 5.18b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)



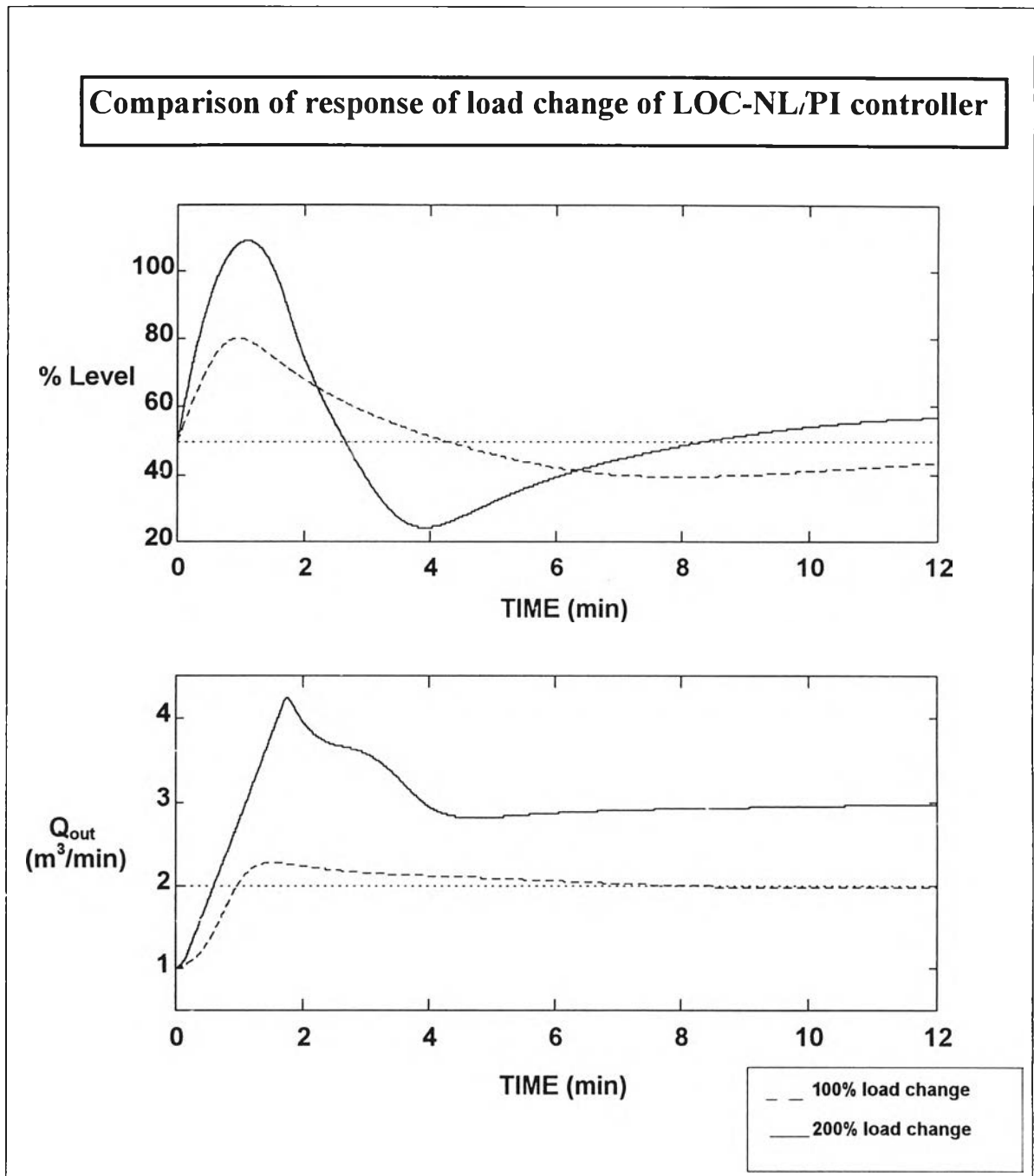
รูปที่ 5.19a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สเต็ปเป็น 200% สเต็ปของตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัด การเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีนี้ที่ 4 (MPH = 20%, MRCO =  $2.50 m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.19b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สदैพเป็น 200% สदैพของตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัด การเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.20a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปร โหลด จาก 100% สติ้พเป็น 200% สติ้พของตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัด การเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที 4 (MPH = 20%, MRCO =  $2.50 m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.20b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลด จาก 100% สติ้พเป็น 200% สติ้พของตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัด การเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00 m<sup>3</sup>/min/min)



ตารางที่ 5.18 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH ของตัวควบคุม

ทั้ง 10 ชนิดในกรณีต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหดจาก 100 % สเต็ป เป็น 200% สเต็ป

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MFH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00*	7.55	100.00	4.32	100.00	5.79	100.00	4.20	100.00	6.25
ตัวควบคุมแบบพีไอ	100.00*	7.55	100.00	4.32	100.00	5.79	100.00	4.20	100.00	6.25
ตัวควบคุมแบบพีแอล	100.00*	7.55	100.00	4.32	100.00	5.79	100.00	4.20	100.00	6.25
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	51.30	10.00	33.50	10.00	36.13	10.00	30.20	10.00	39.80	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	83.36*	8.39	97.86	5.01	83.21	6.89	90.96	4.95	66.31	8.35
ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี	98.74*	7.62	98.54	4.44	98.27	5.90	97.47	4.41	92.70	6.71
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	250.35*	0.00	150.50*	0.00	187.75*	0.00	150.62*	0.00	200.50	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	236.00*	0.72	139.50*	0.94	172.81*	0.98	139.92	0.89	187.07	0.84
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	239.68*	0.54	112.09*	3.28	151.90*	2.36	109.76	3.39	168.37	2.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	233.93*	0.82	122.87*	2.36	150.48*	2.46	119.20	2.61	168.43	2.00

ตารางที่ 5.18 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH ของตัวควบคุม  
ทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่างๆ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดจาก 100 % สเต็พ เป็น 200% สเต็พ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00*	2.64	100.00	8.58	100.00	7.99	100.00	6.57	100.00*	4.90
ตัวควบคุมแบบพีไอ	100.00	2.64	100.00	8.58	100.00	7.99	100.00	6.57	100.00*	4.90
ตัวควบคุมแบบพีแอล	100.00*	2.64	100.00*	8.58	100.00	7.99	100.00	6.57	100.00*	4.90
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	24.69	10.00	67.18	10.00	62.01	10.00	60.54	8.81	29.92	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	93.11	3.31	74.63	9.70	71.06	9.52	39.50	10.00	95.02*	5.26
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	99.36	2.70	95.33	8.79	92.82	8.37	62.63	8.69	99.64*	4.92
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	126.96*	0.00	298.67*	0.01	250.87*	0.00	215.96	0.00	167.27*	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	115.50*	1.21	298.86*	0.00	237.01*	0.73	307.31	0.49	146.31*	1.53
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	88.98*	3.71	298.89*	0.00	236.08*	0.78	188.01	1.58	130.65*	2.67
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	96.55*	2.97	299.00*	0.00	234.21*	0.88	187.65	1.60	139.88*	1.99

หมายเหตุ \* หมายถึง ของเหลวเกิดการไหลล้นจากถังพัก

ตารางที่ 5.19 เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ  
ค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรไหลจาก 100 % สเต็พ เป็น 200% สเต็พ

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00	4.83	100.00	6.19	100.00	5.91	100.00	6.29	100.00	5.65
ตัวควบคุมแบบพีไอ	100.00	4.83	100.00	6.19	100.00	5.91	100.00	6.29	100.00	5.65
ตัวควบคุมแบบพีแอล	100.00	4.83	100.00	6.19	100.00	5.91	100.00	6.29	100.00	5.65
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	193.32	0.00	262.74	0.00	244.27	0.00	269.57	0.00	229.81	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	100.00	4.3	100.00	6.19	100.00	5.91	100.00	6.29	100.00	5.65
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	100.00	4.83	100.00	6.19	100.00	5.91	100.00	6.29	100.00	5.65
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	9.85	9.62	9.85	9.60	9.60	9.64	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	33.42	8.73	22.98	9.06	38.98	8.55	16.64	9.28
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	7.02	9.73	40.10	8.34	20.68	9.23	30.81	8.66

ตารางที่ 5.19 (ต่อ) เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ  
 ค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ในกรณีต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดจาก 100 % สเต็ป เป็น 200% สเต็ป

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ	%MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจาก การปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	100.00	6.98	100.00	2.00	100.00	2.71	100.00	3.65	100.00	6.31
ตัวควบคุมแบบพีไอ	100.00	6.98	100.00	2.00	100.00	2.71	100.00	3.65	100.00	6.31
ตัวควบคุมแบบพีแอล	100.00	6.98	100.00	2.00	100.00	2.71	100.00	3.65	100.00	6.31
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	285.08	0.00	119.71	0.42	137.20	0.00	156.74	0.05	270.84	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	100.00	6.98	125.00	0.00	116.26	1.53	157.53	0.00	100.00	6.31
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	100.00	6.98	95.33	2.37	100.00	2.71	100.00	3.65	100.00	6.31
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	20.05	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	37.86	9.33	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	7.84	9.71
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	40.98	9.21	0.00	10.00	0.00	10.00	11.37	9.28	23.46	9.13
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	20.78	9.97	0.00	10.00	4.37	9.68	21.35	8.64	0.21	9.99

ตารางที่ 5.20 ผลสรุปการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของ  
ตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ชนิดของตัวควบคุม	ค่าจากการเปรียบเทียบ ผลกระทบของ การเปลี่ยนค่า ตัวแปรโหลดที่มี ต่อค่า MPH	ค่าจากการเปรียบเทียบ ผลกระทบของ การเปลี่ยนค่า ตัวแปรโหลดที่มี ต่อค่า MRCO	ค่าจากการเปรียบเทียบ การตอบสนอง ต่อการเปลี่ยน ค่าตัวแปร โหลด
ตัวควบคุมแบบพี	5.88	5.05	5.33
ตัวควบคุมแบบพีไอ	5.88	5.05	5.33
ตัวควบคุมแบบพีแอล	5.88	5.05	5.33
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	9.88	0.05	3.63
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	7.14	4.37	5.29
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	6.25	5.39	5.68
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.01	9.93	6.62
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.82	9.79	6.80
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	2.03	9.32	6.89
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	1.77	9.42	6.87

จากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรโหลดของการไหลขาเข้าจาก 100% สู่เป็น 200%

สเด็จพระ พบว่าผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH จะแปรผกผันกับผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MRCO โดยตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH มากจะให้ผลกระทบต่อค่า MRCO น้อย ส่วนตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH น้อยจะเกิดผลกระทบต่อค่า MRCO มาก

โดยตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH มากที่สุด แต่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO น้อยที่สุด คือ ตัวควบคุมที่ทำการจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

ตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH น้อยที่สุดแต่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO มากที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง ในขณะที่ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอล และตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี ให้ผลกระทบของค่า MPH และค่า MRCO ใกล้เคียงกัน ส่วนตัวควบคุมแบบพีไอพีให้ผลกระทบของค่า MPH มากกว่าผลกระทบของค่า MRCO ในอัตราส่วน 7 : 4

จากผลกระทบของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO จะทราบค่าการเปรียบเทียบการตอบสนองของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดพบว่าตัวควบคุมที่ให้การตอบสนองของการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดดีที่สุด คือ ตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH มากแต่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO น้อย ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีโดย

จำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ส่วนตัวควบคุมที่ทำให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้ดีรองลงมา คือ ตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH และค่า MRCO ใกล้เคียงกัน ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพีแอล, ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี รวมทั้งตัวควบคุมแบบพีไอพี ส่วนตัวควบคุมที่ทำให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าตัวแปรโหลดได้น้อยที่สุด คือ ตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MPH น้อย แต่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO มาก ได้แก่ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

## 5.7 การทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยโดย

### พิจารณาความทนทานต่อสัญญาณรบกวน

#### 5.7.1 วัตถุประสงค์

ก. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ของตัวควบคุมแต่ละชนิด เมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบการควบคุม

ข. เพื่อนำเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ของตัวควบคุมแต่ละชนิดที่ได้จากข้อ ก. มาเปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมแต่ละชนิด

### 5.7.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ก. สร้างสัญญาณรบกวนขึ้นในโปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่เขียนขึ้น โดยให้สัญญาณรบกวนมีขนาด 10% ของระดับของเหลวที่สภาวะคงตัว

ข. หาค่าเปอร์เซ็นต์ระดับของเหลวสูงสุด (MPH) จากสภาวะคงตัวและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) ที่ได้เมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี โดยใช้โปรแกรมการควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยเมื่อสร้างสัญญาณรบกวนขึ้นและใช้พารามิเตอร์ในการปรับจูนที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.2

ค. จากข้อ ข. ทดลองซ้ำ 5 ครั้งสำหรับตัวควบคุมแต่ละชนิดในทุกกรณี หลังจากนั้นหาค่า MPH และค่า MRCO เฉลี่ยจากการทดลองซ้ำ 5 ครั้งของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ จะได้ค่า MPH และค่า MRCO เฉลี่ยในกรณีมีสัญญาณรบกวนของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี

ง. หาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO จากค่า MPH และค่า MRCO ที่ได้ในกรณีไม่มีสัญญาณรบกวนของตัวควบคุม 10 ชนิด ในทั้ง 10 กรณี จากค่า MPH และค่า MRCO เฉลี่ยในกรณีมีสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดที่ได้ในข้อ ค. โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH} = ((\text{MPH}_n - \text{MPH}) / \text{MPH}) \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MRCO} = ((\text{MRCO}_n - \text{MRCO}) / \text{MRCO}) \times 100$$

เมื่อ MPH = ค่า MPH เมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน



$MPH_n$  = ค่า MPH เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบ

MRCO = ค่า MRCO เมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน

$MRCO_n$  = ค่า MRCO เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบ

จ.ปรับค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH และค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ในกรณีต่าง ๆ ที่ได้จากข้อ ง. ให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 10 โดย

- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MPH มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ในทำนองเดียวกัน

- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MRCO น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 10
- ตัวควบคุมที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของค่า MRCO มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0

ฉ. หาค่าเฉลี่ยของค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO

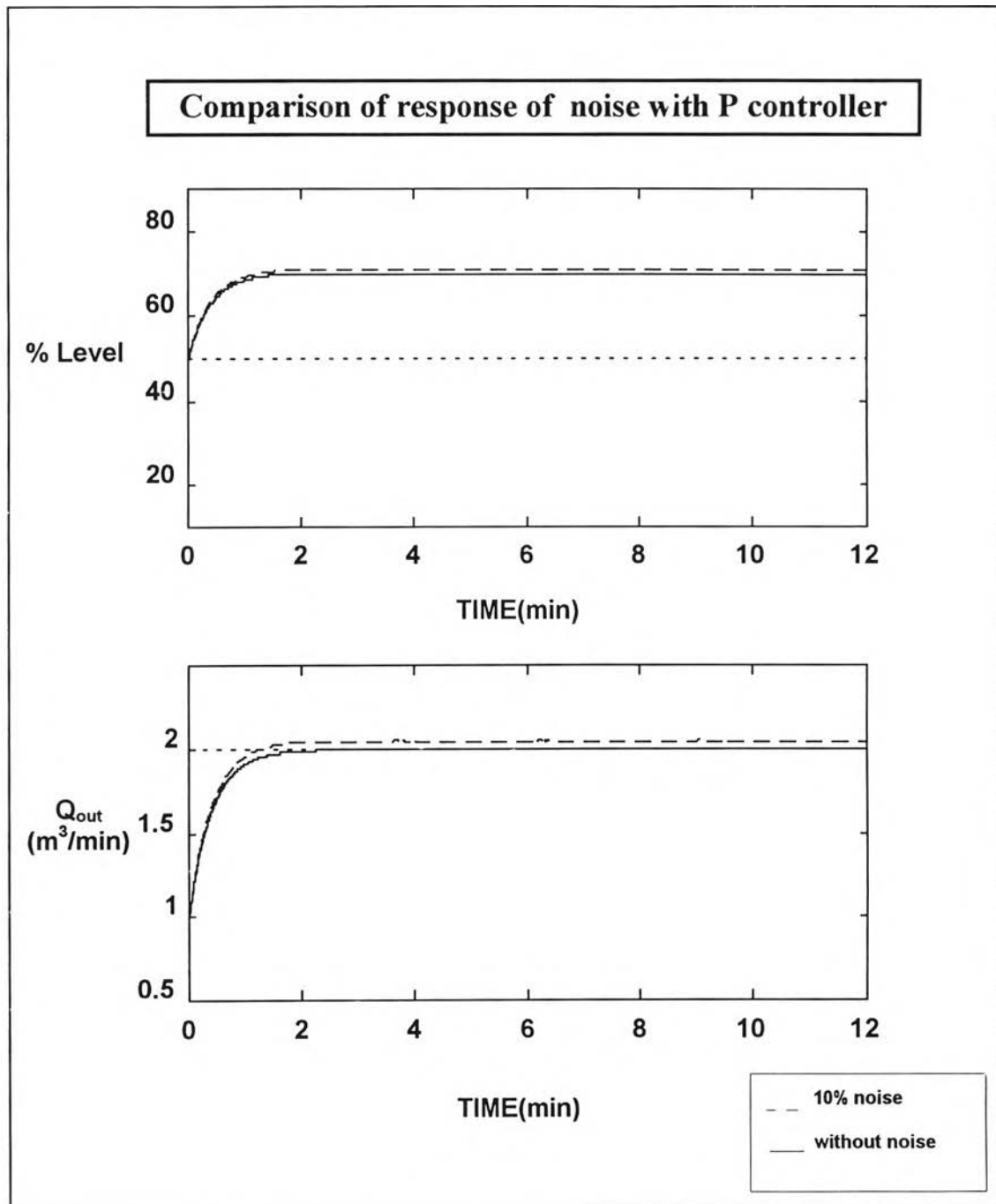
ของตัวควบคุมแต่ละชนิดในกรณีต่าง ๆ ทั้ง 10 กรณี ที่ได้ในข้อ ง. จะได้อัตราจากการเปรียบเทียบผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด

ช. เปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด จากค่าการเปรียบเทียบผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MPH และค่า MRCO ที่ได้ในข้อ จ. เมื่อพิจารณาให้สำคัญของผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MRCO มากกว่าผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MPH ในอัตราส่วน 2:1 โดยนำค่าจากการเปรียบเทียบผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MRCO คูณด้วย 2 และนำมาบวกด้วยค่าจากการเปรียบเทียบ

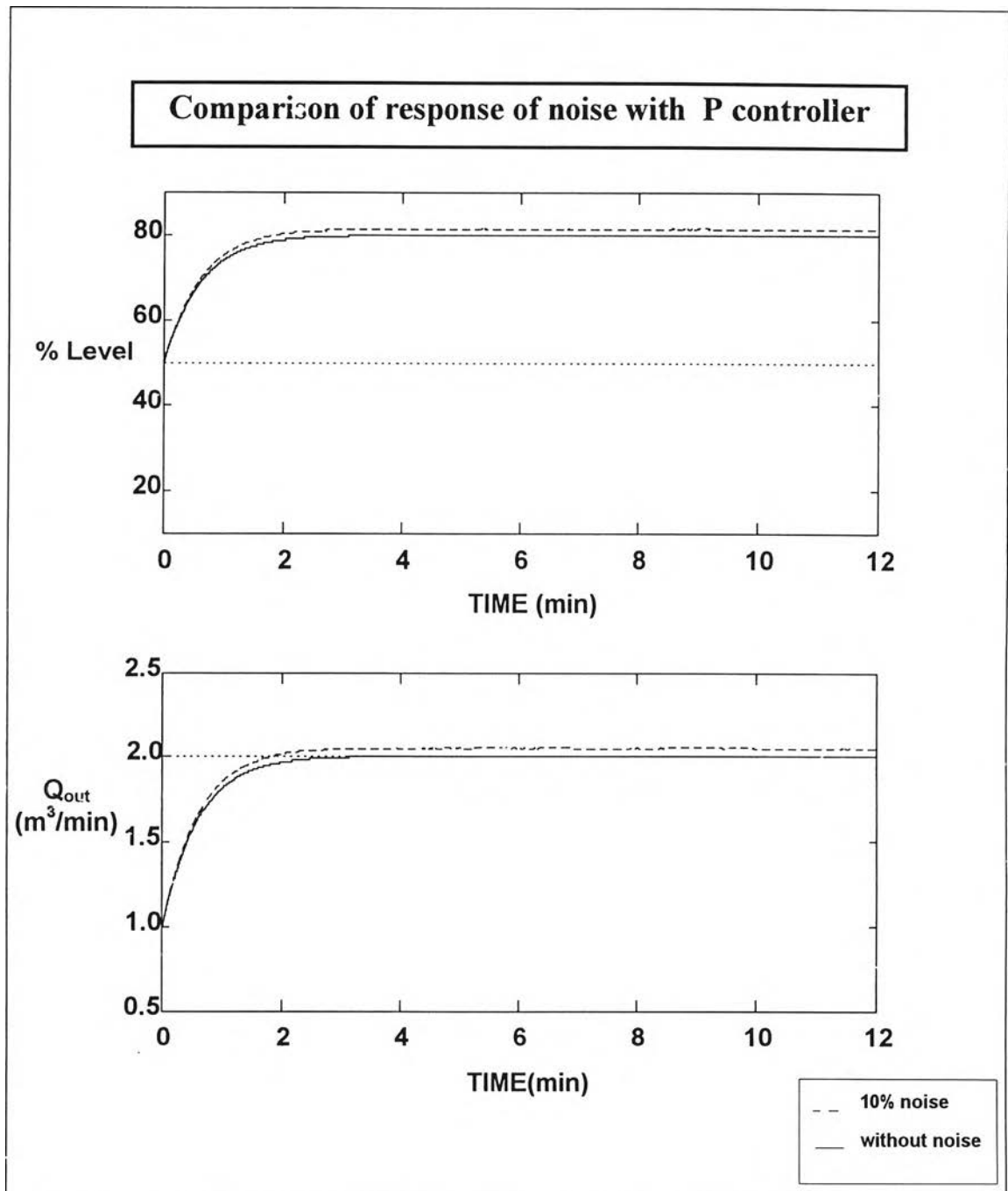
เทียบผลกระทบของการสัญญาครบวงที่มีต่อค่า MRCO จากนั้นหารด้วย 3 จะได้ค่าจากการเปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาครบวงของตัวควบคุมแต่ละชนิด

### 5.7.3 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.7.2 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH และค่า MRCO เมื่อสร้างสัญญาครบวงขึ้นในระบบของตัวควบคุม 10 ชนิด ทั้ง 10 กรณี ในตารางที่ 5.21 และ 5.22 พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาครบวงขนาด 10% เกิดขึ้นในระบบในรูปแบบที่ 5.21a, b ถึง 5.30a, b จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5.21 และ 5.22 สามารถสรุปผลเปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาครบวงของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.23



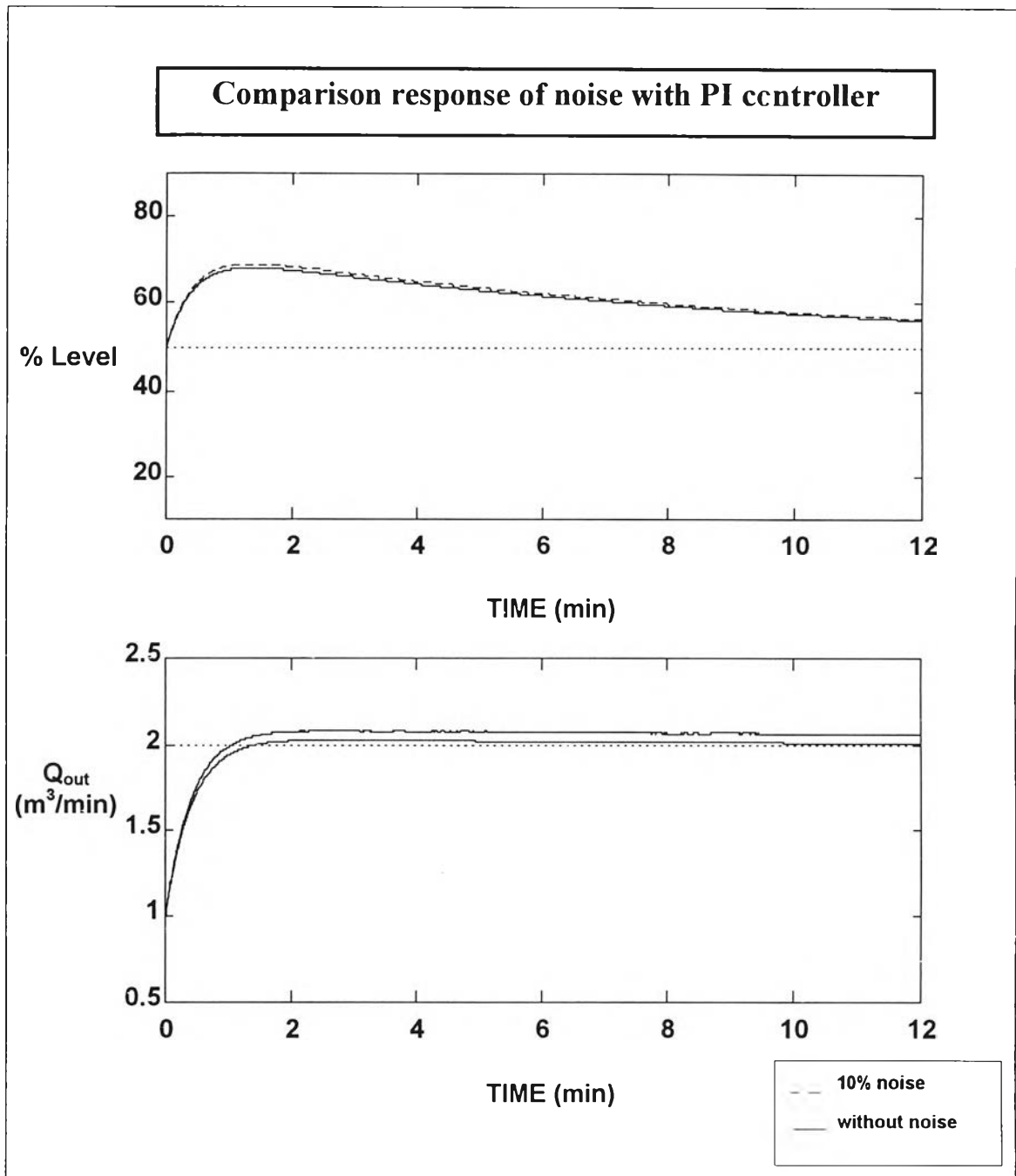
รูปที่ 5.21a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีในกรณีที่ 4 (MPH = 20%, MRCO  
= 2.50  $m^3/min/min$ )



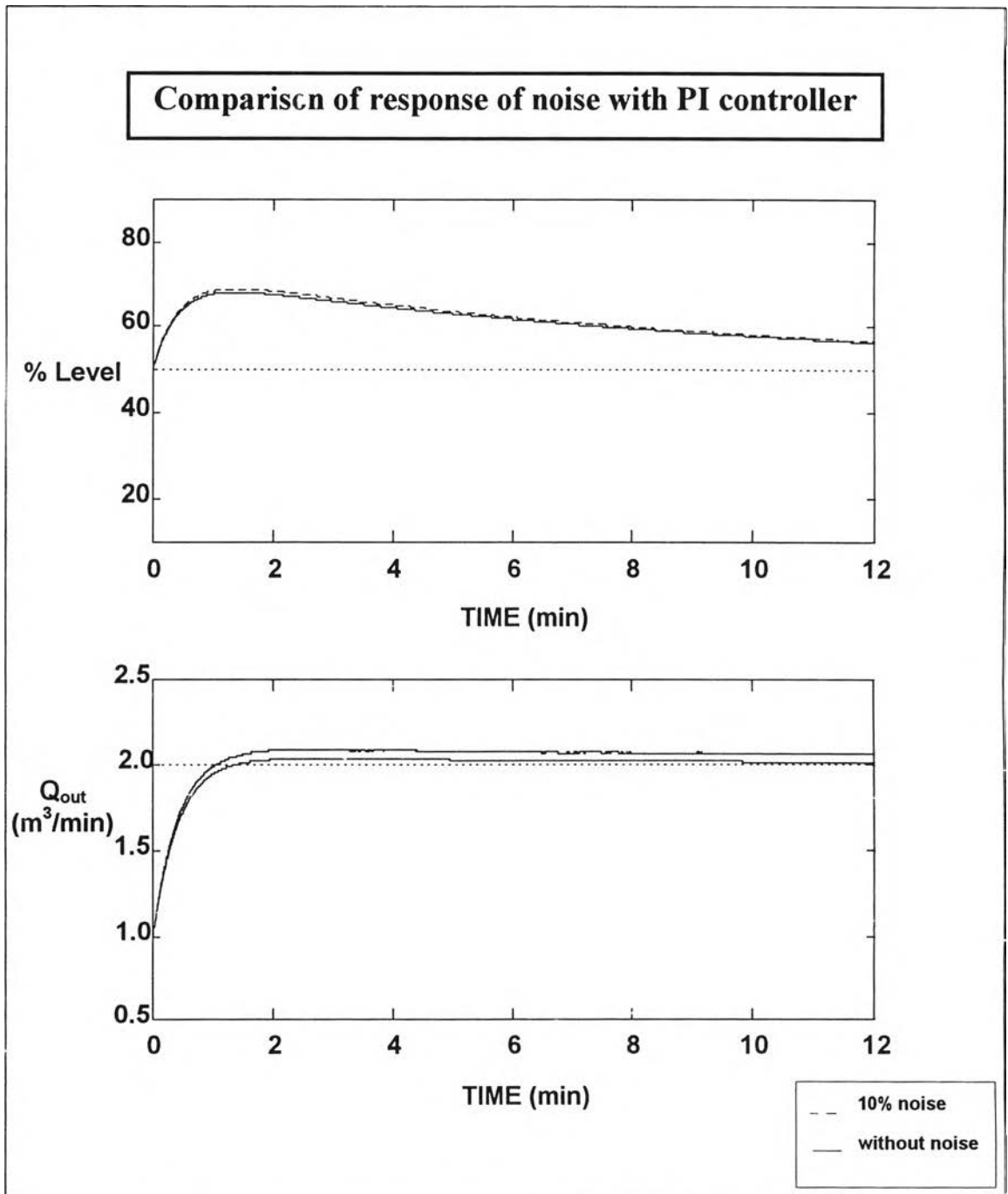
รูปที่ 5.21b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO

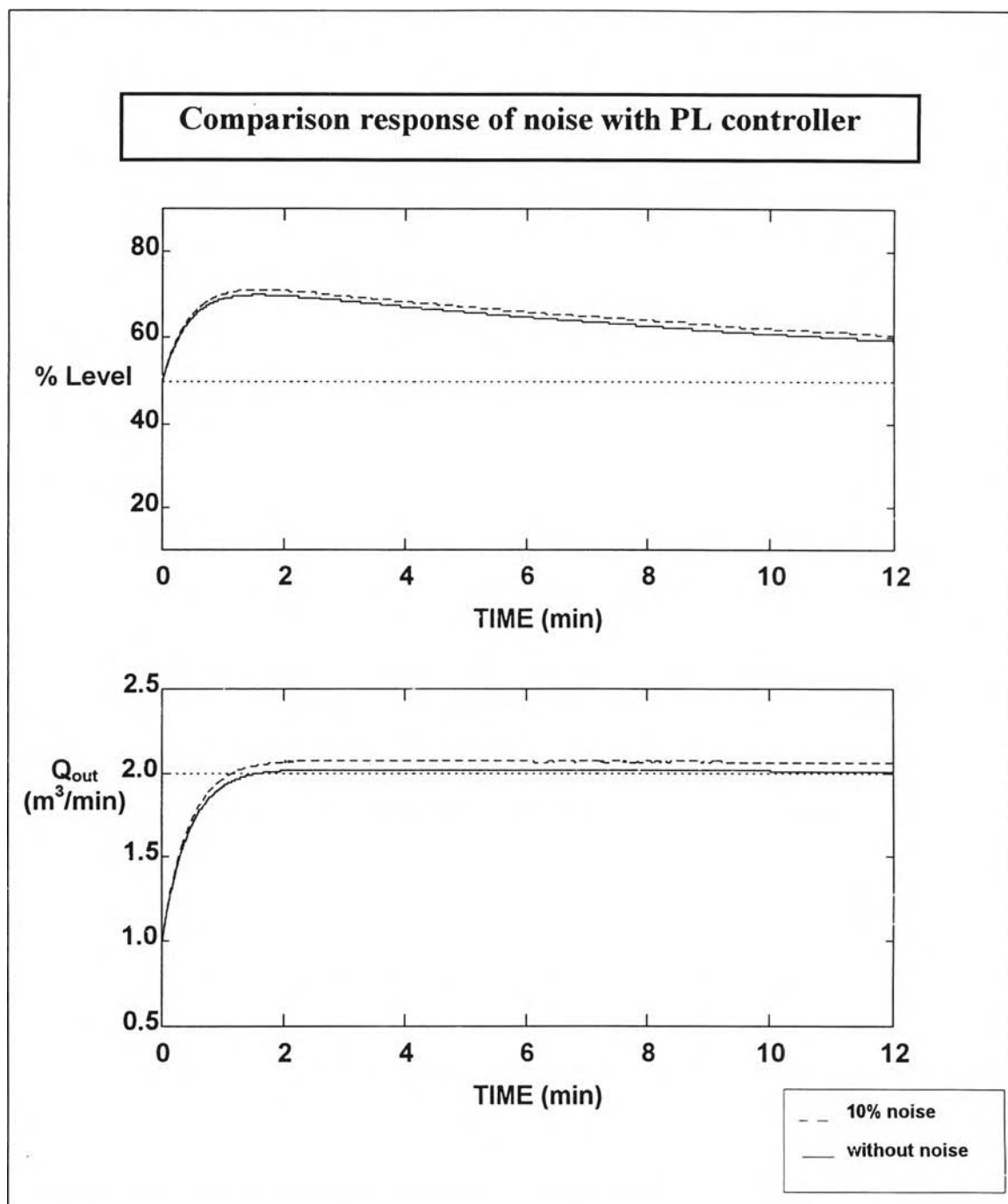
= 2.00  $m^3/min/min$ )



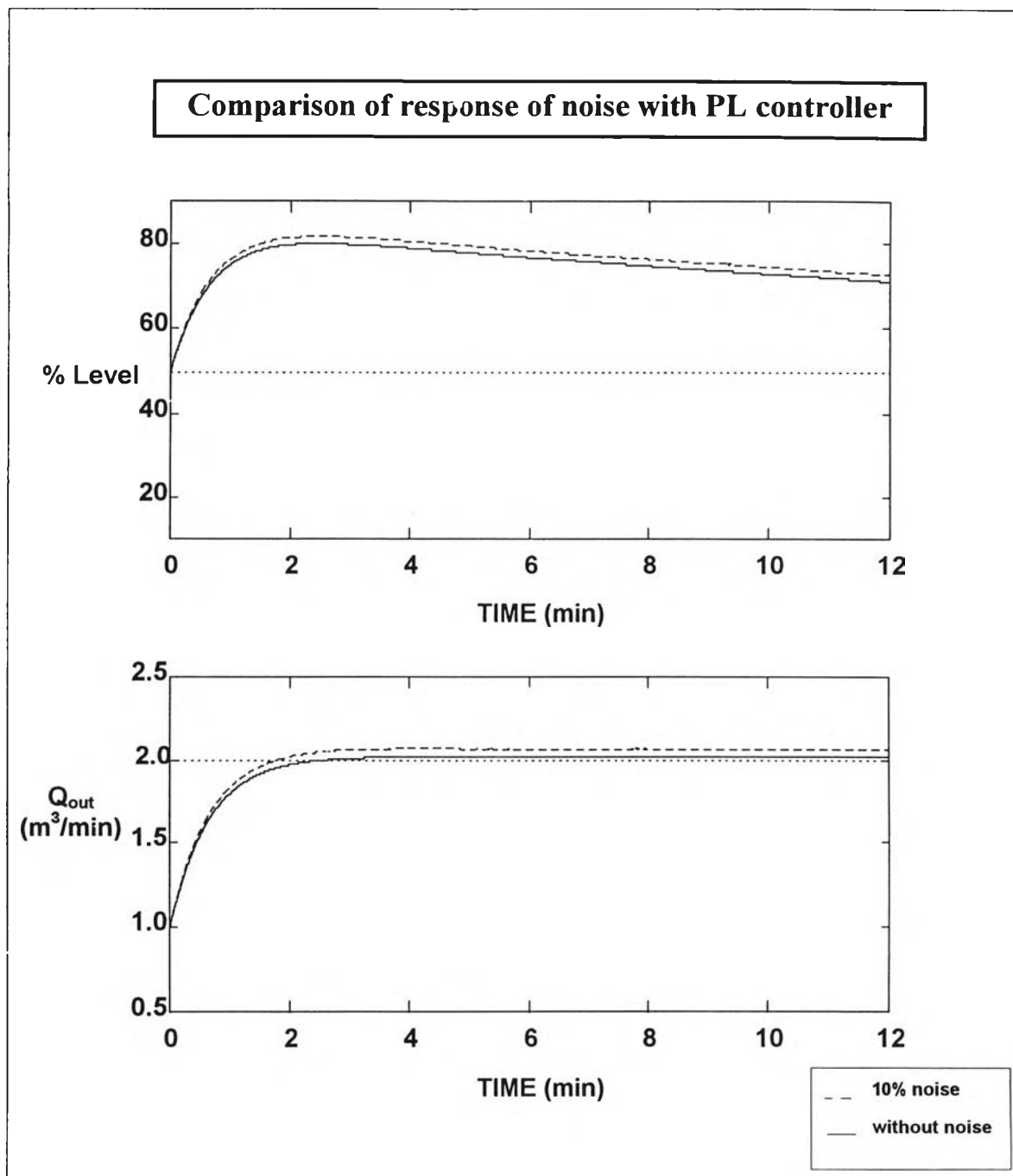
รูปที่ 5.22a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10% เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอในกรณีนี้ที่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.22b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO  
= 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.23a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีแอลในกรณีนี้ที่ 4 (MPH = 20%, MRCO  
= 2.50 m<sup>3</sup>/min/min)

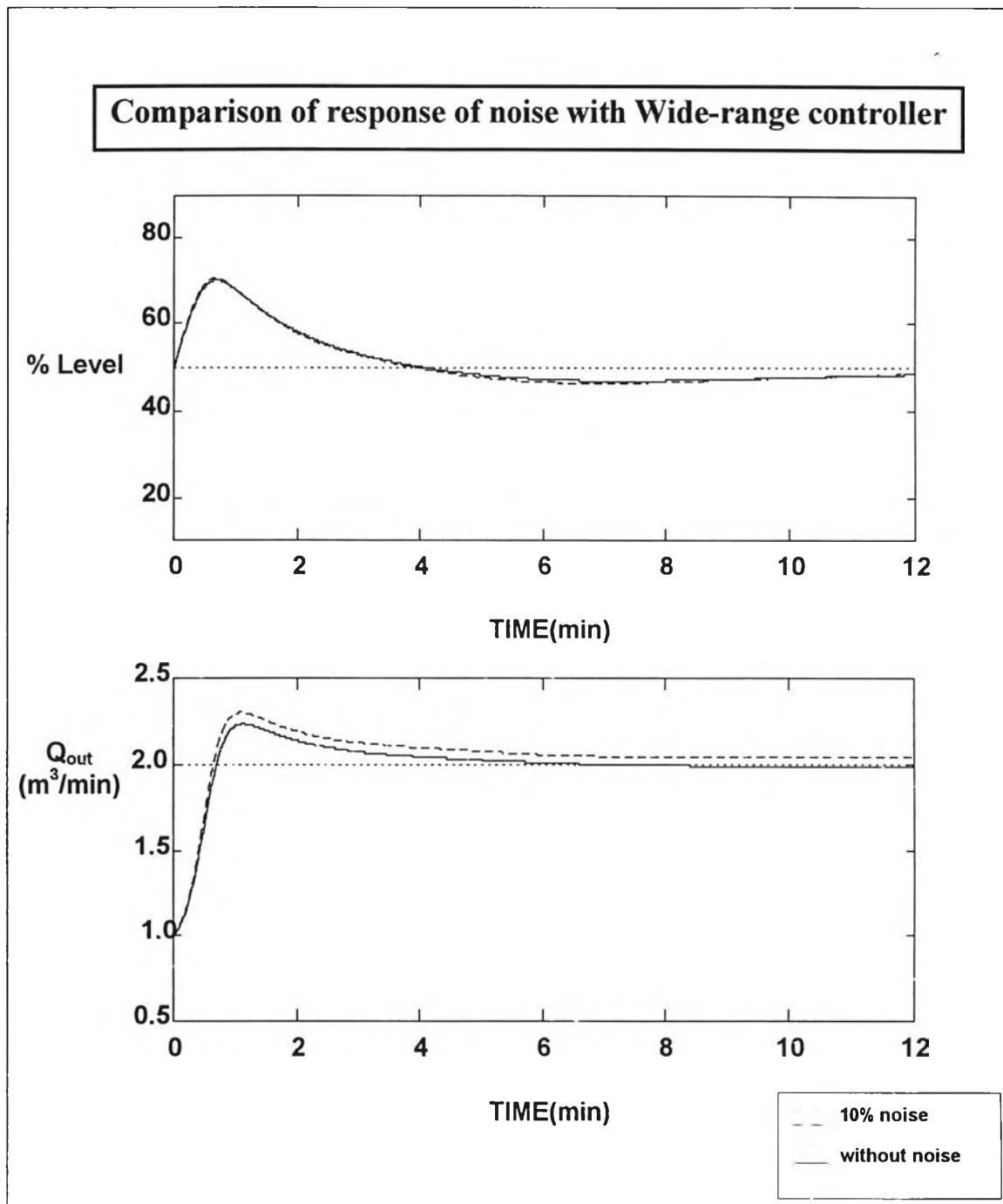


รูปที่ 5.23b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

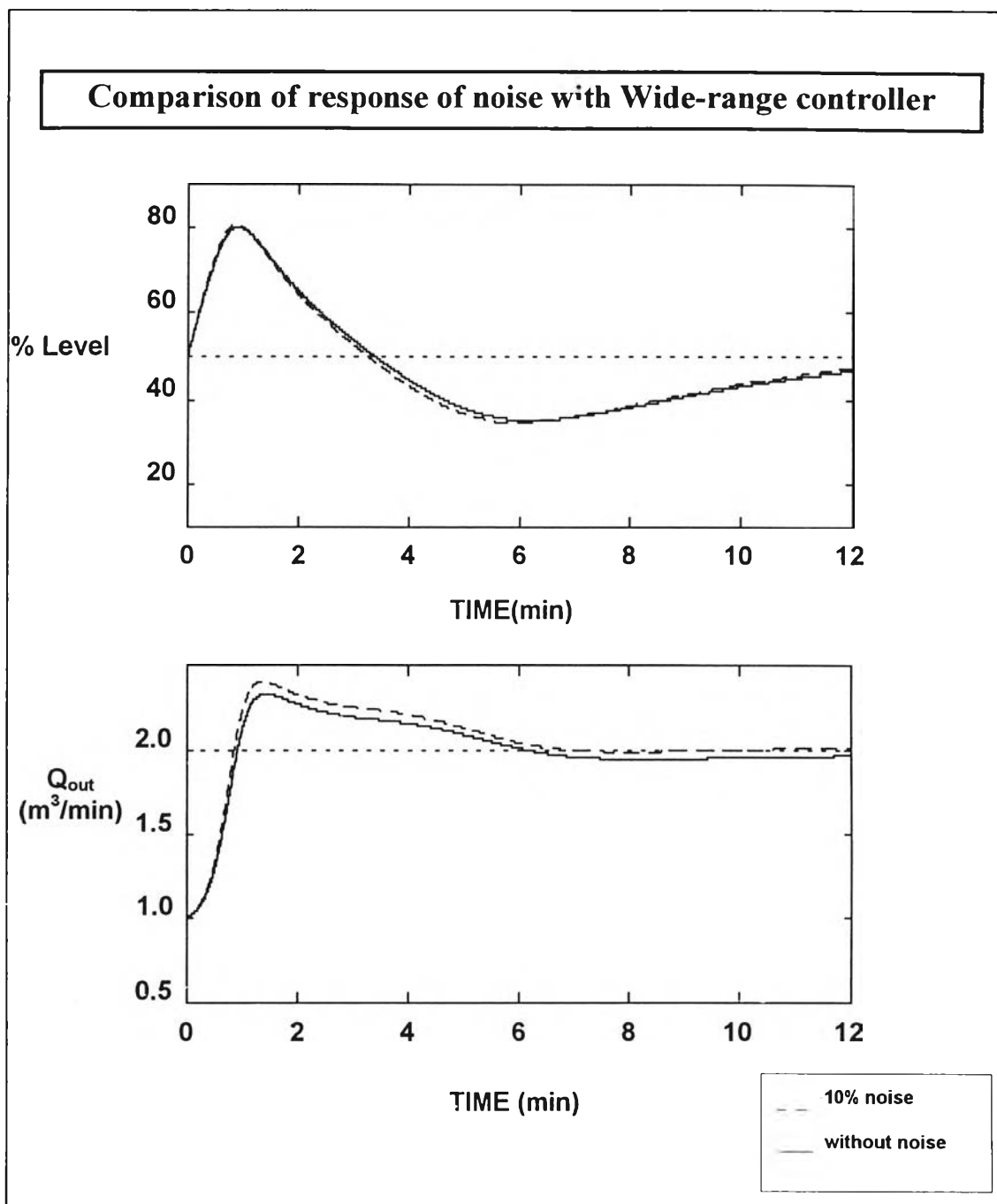
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีแอลในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO

= 2.00  $m^3/min/min$ )





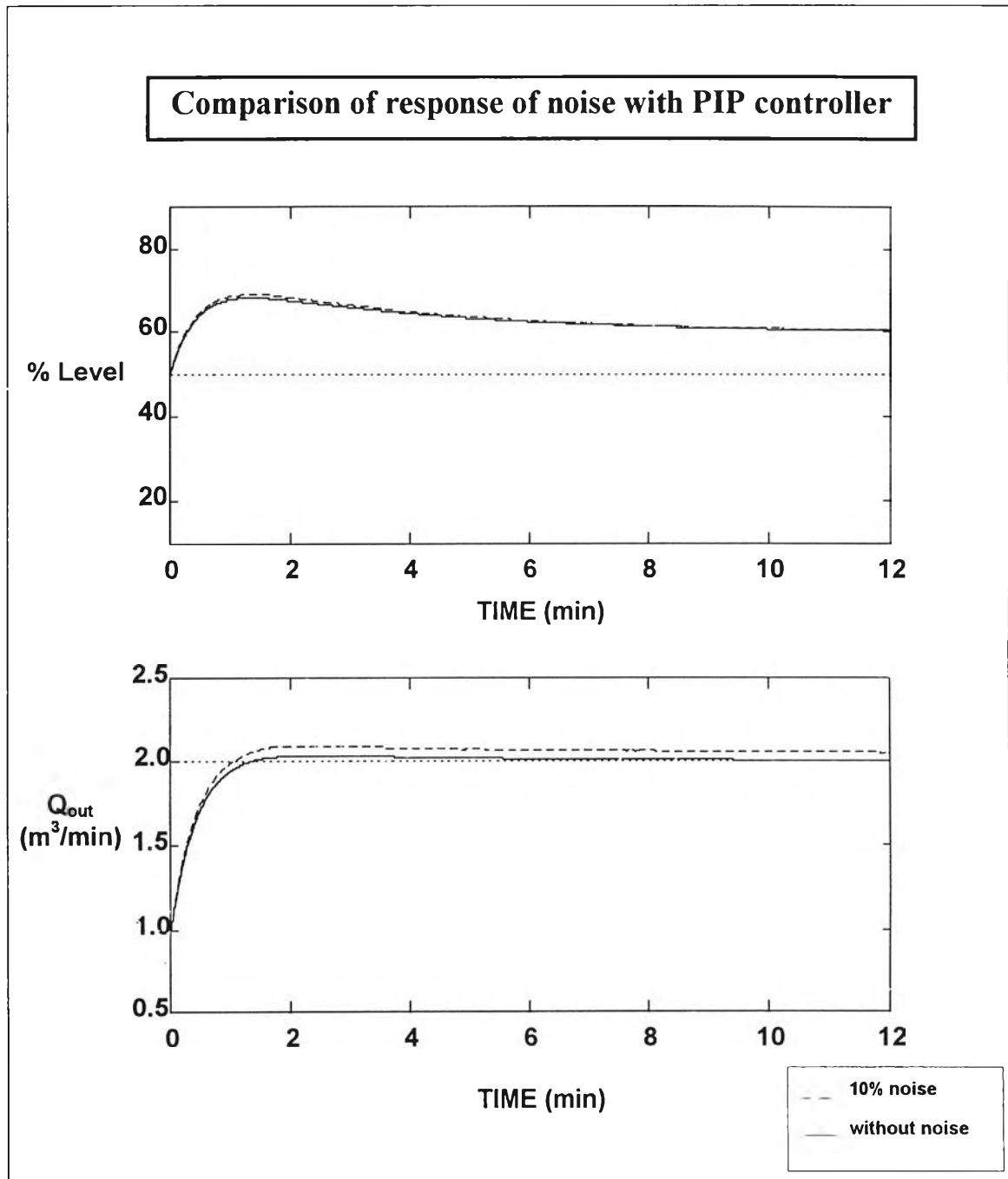
รูปที่ 5.24a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างในกรณีที่ 4 (MPH = 20%,  
MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



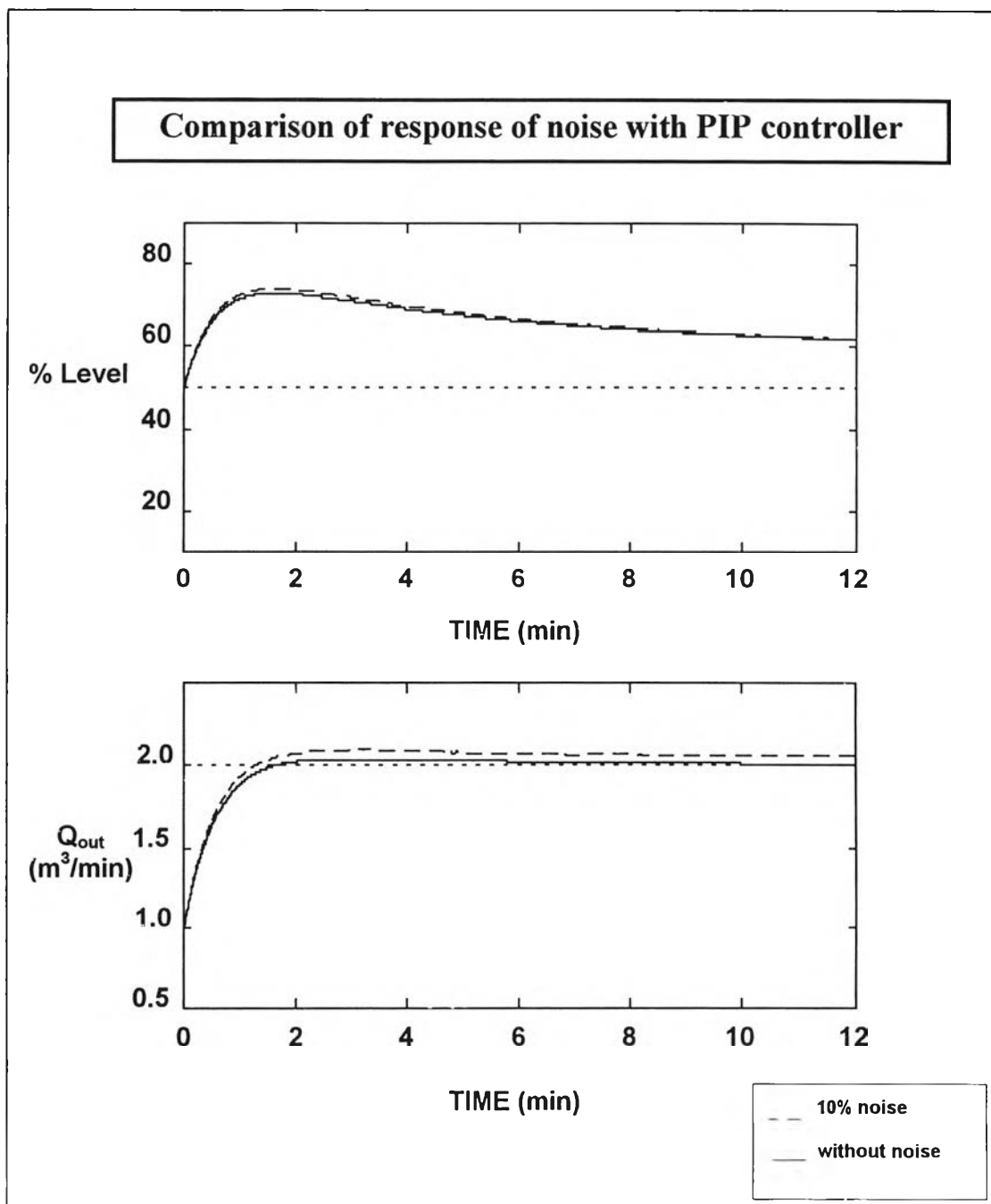
รูปที่ 5.24b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบช่วงกว้างในกรณีที่ 6 (MPH = 30%,

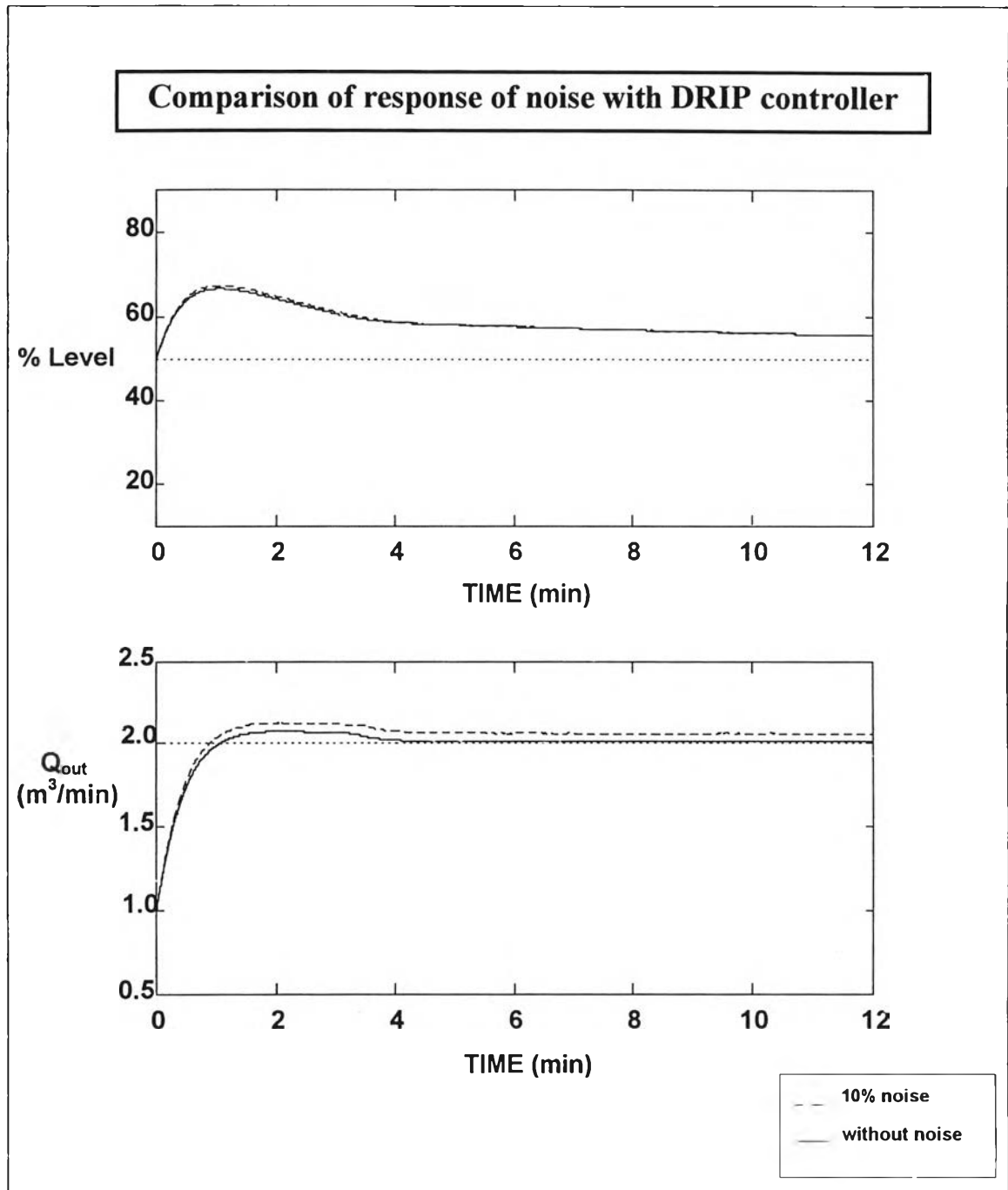
MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



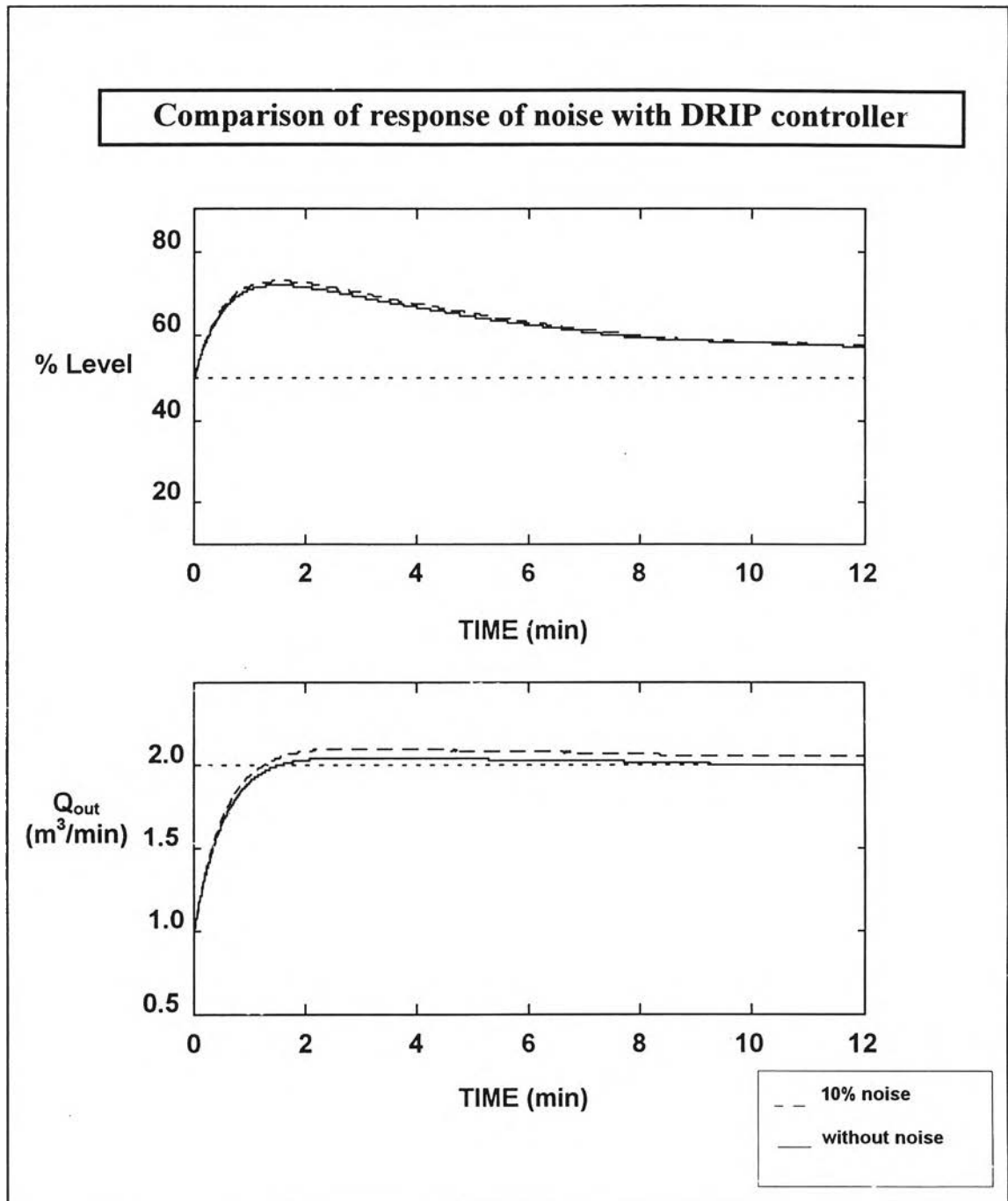
รูปที่ 5.25a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบของตัวควบคุมแบบพีไอพีในกรณีที่ 4 (MPH = 20%, MRCO  
= 2.50  $m^3/min/min$ )



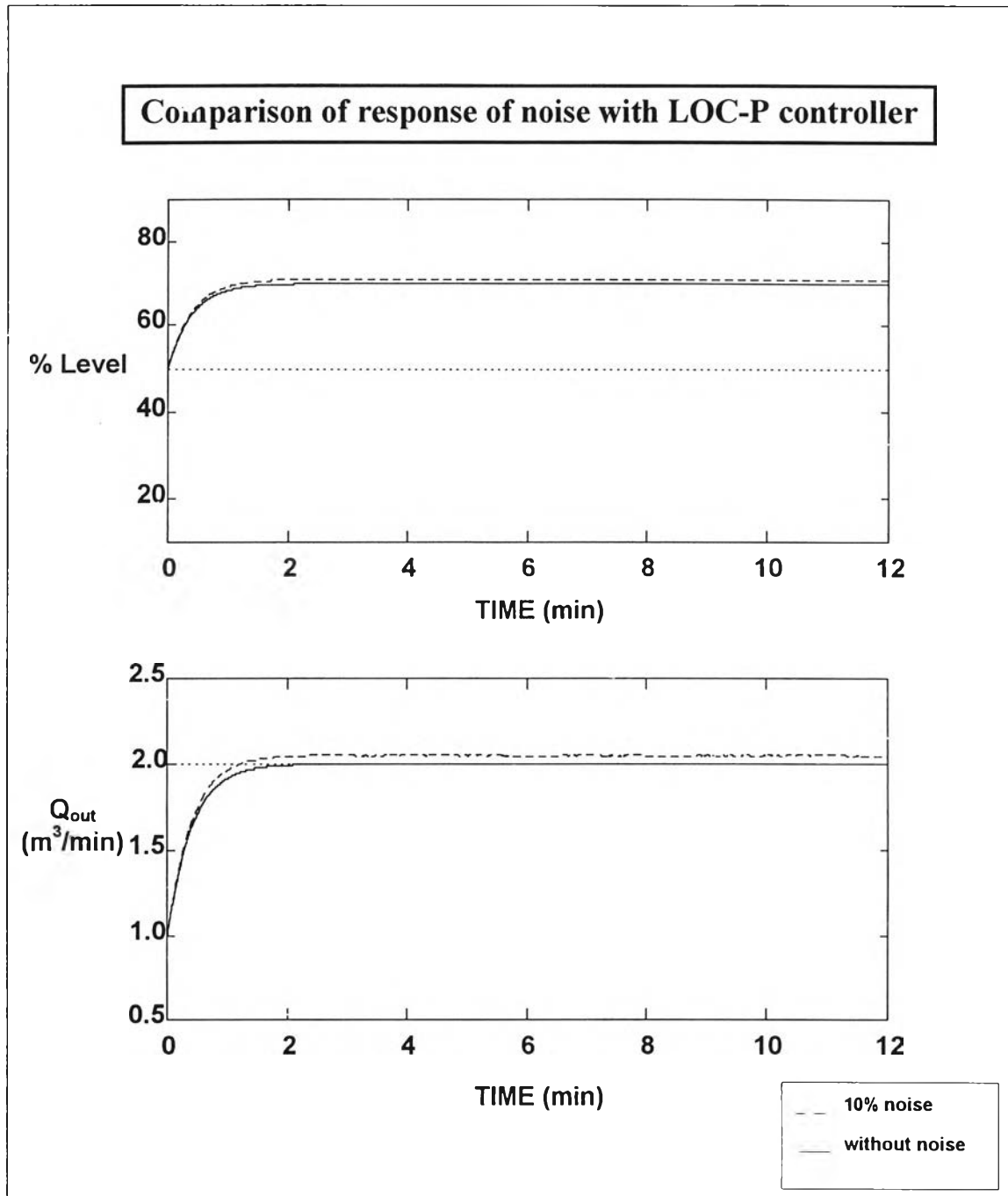
รูปที่ 5.25b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบของตัวควบคุมแบบพีไอพีในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO  
= 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.26a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
 เกิดขึ้นในระบบของตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพีในกรณีที่ 4 (MPH = 20%, MRCO  
 = 2.50  $m^3/min/min$ )



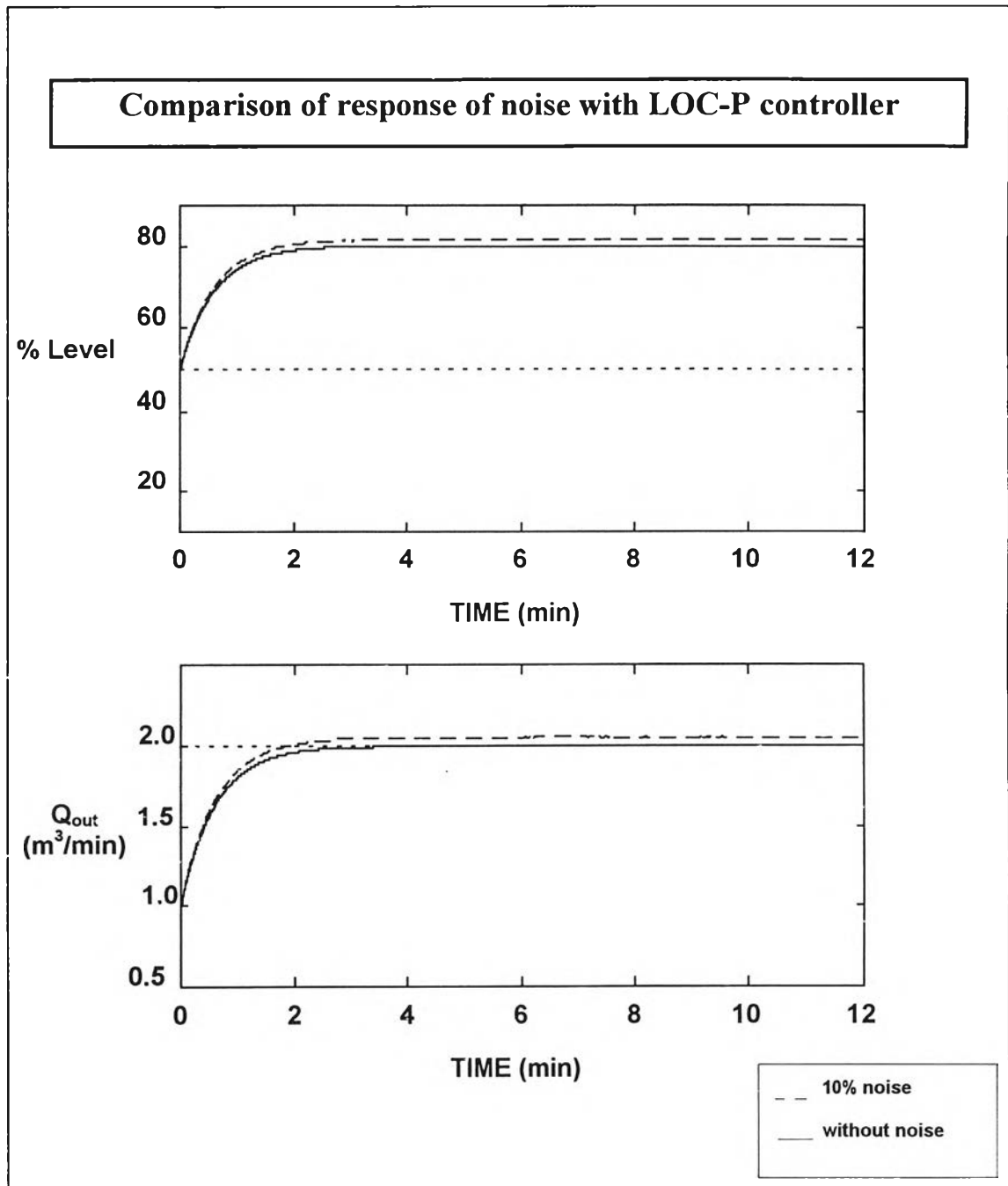
รูปที่ 5.26b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพีในกรณีนี้ 6 (MPH = 30%,  
MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.27a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงสขาออกใน

กรณีนี้ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50 m<sup>3</sup>/min/min)

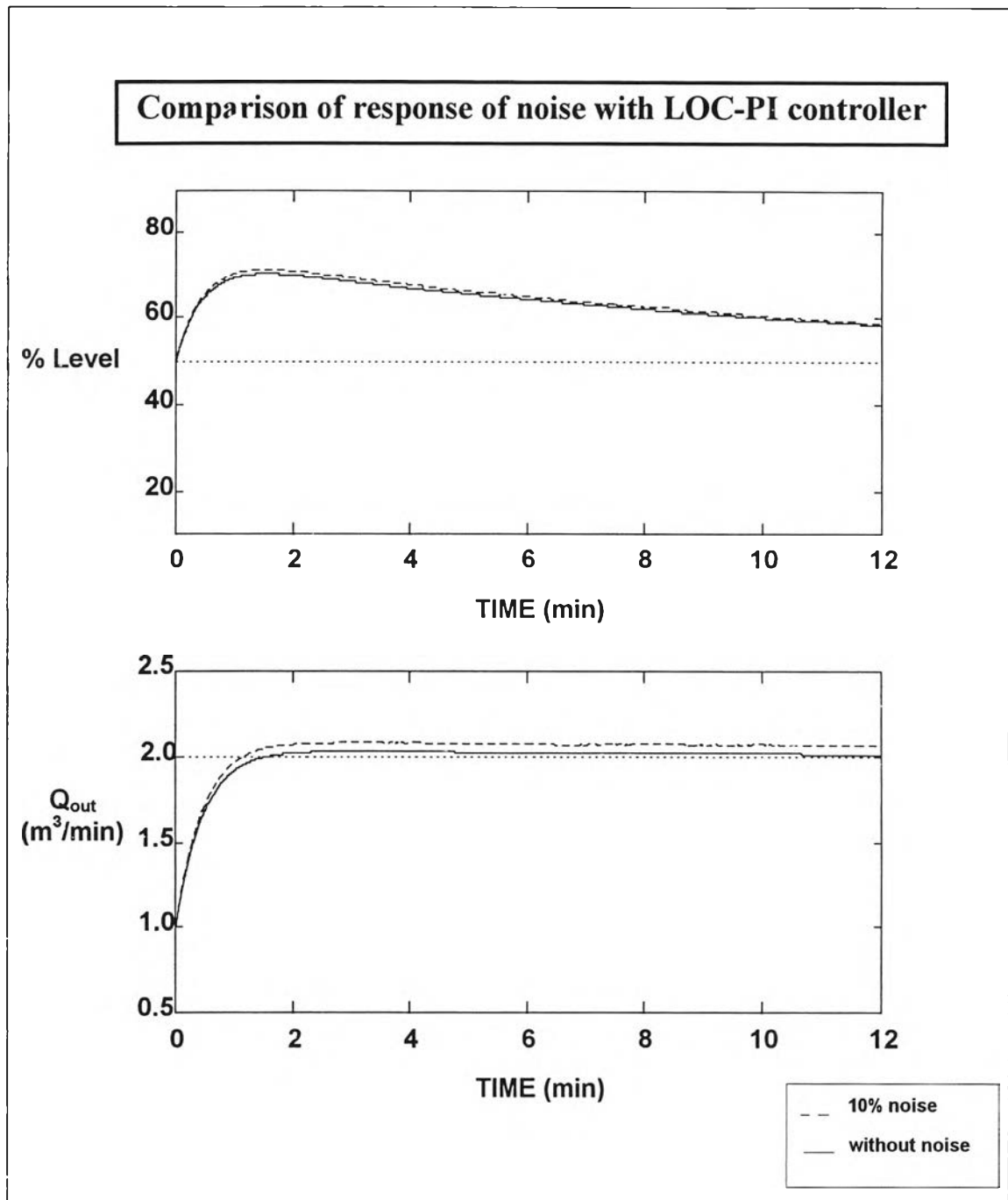


รูปที่ 5.27b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกใน

กรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )

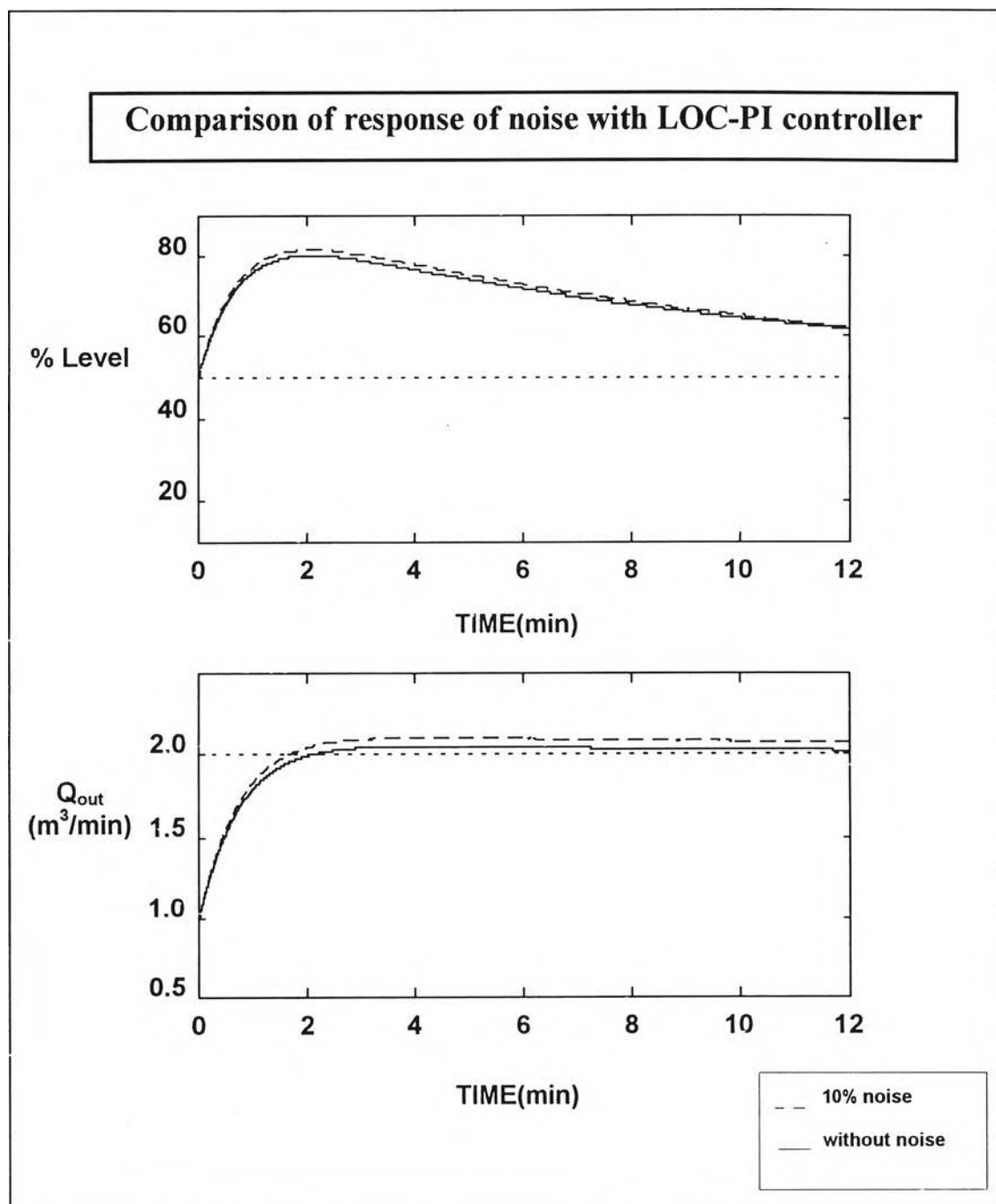




รูปที่ 5.28a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

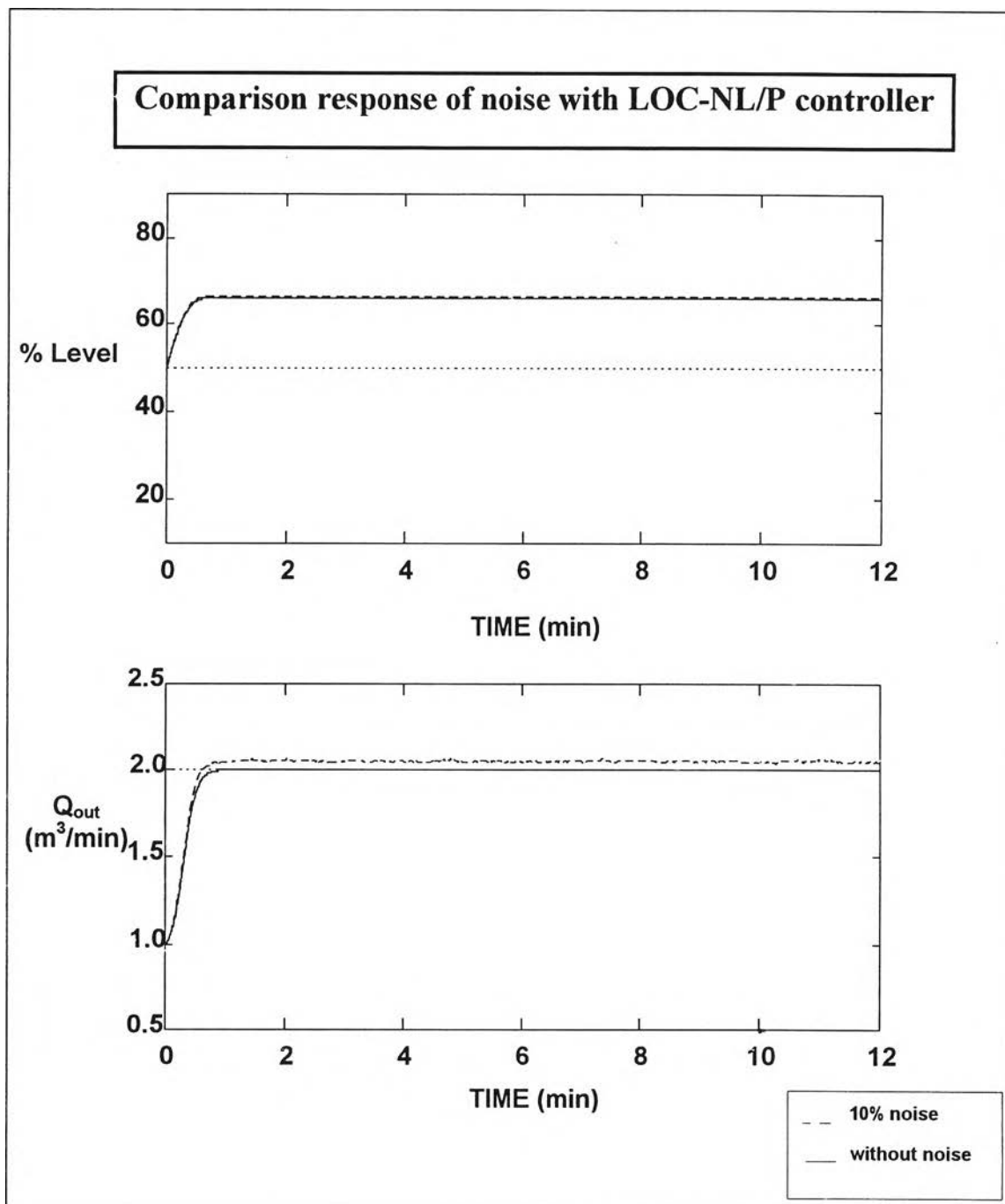
ในกรณีที่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.28b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก

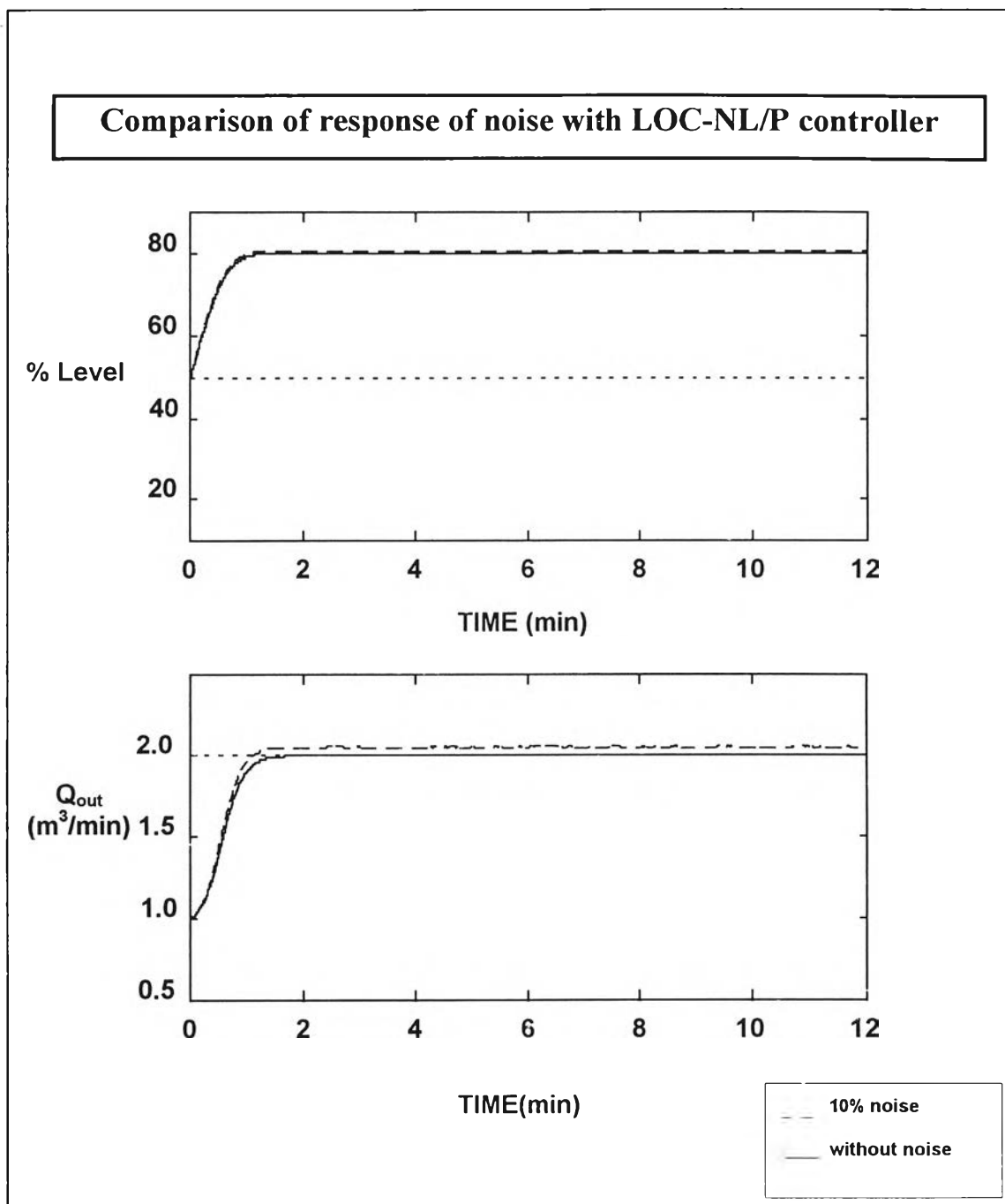
ในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



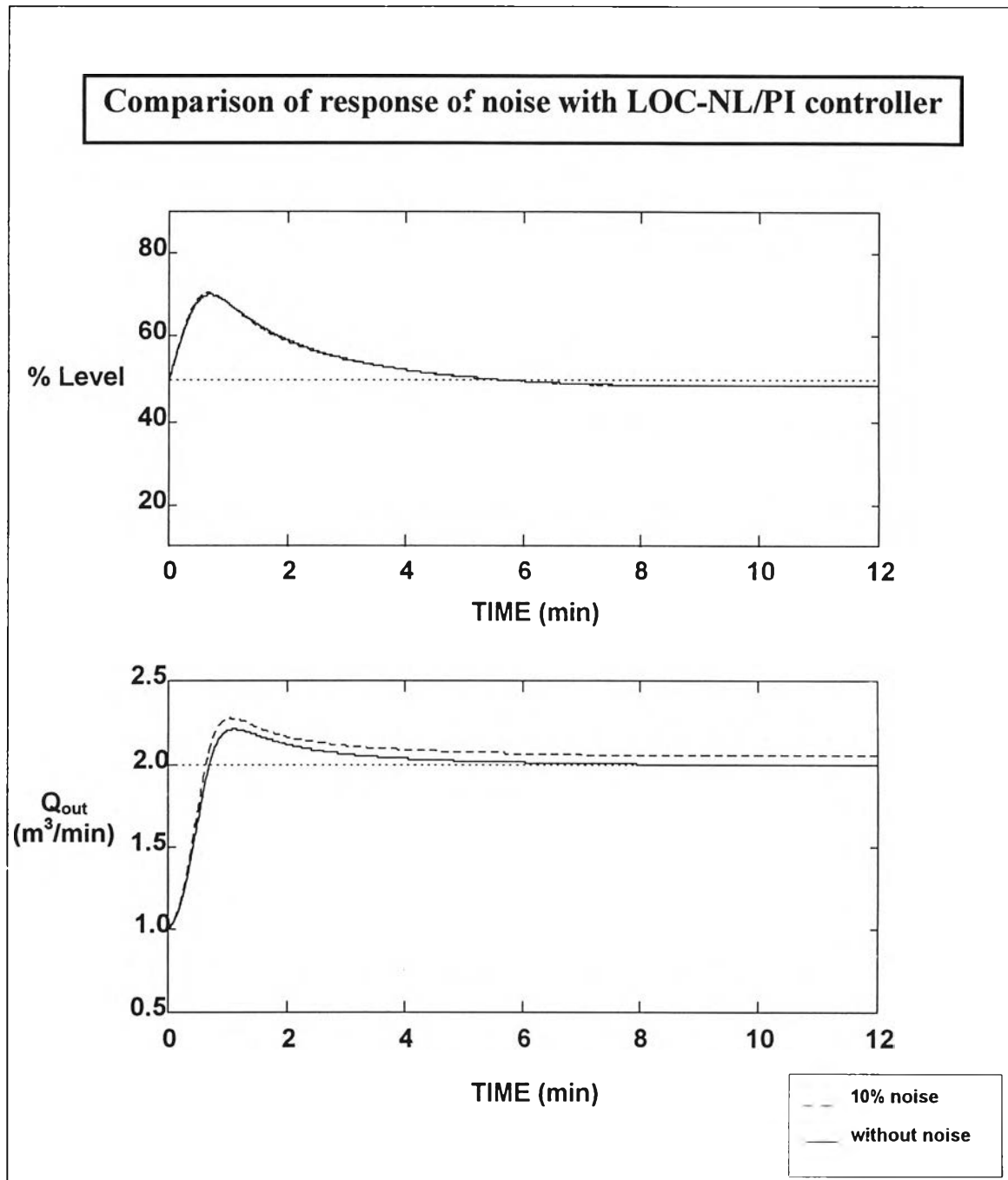
รูปที่ 5.29a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลง

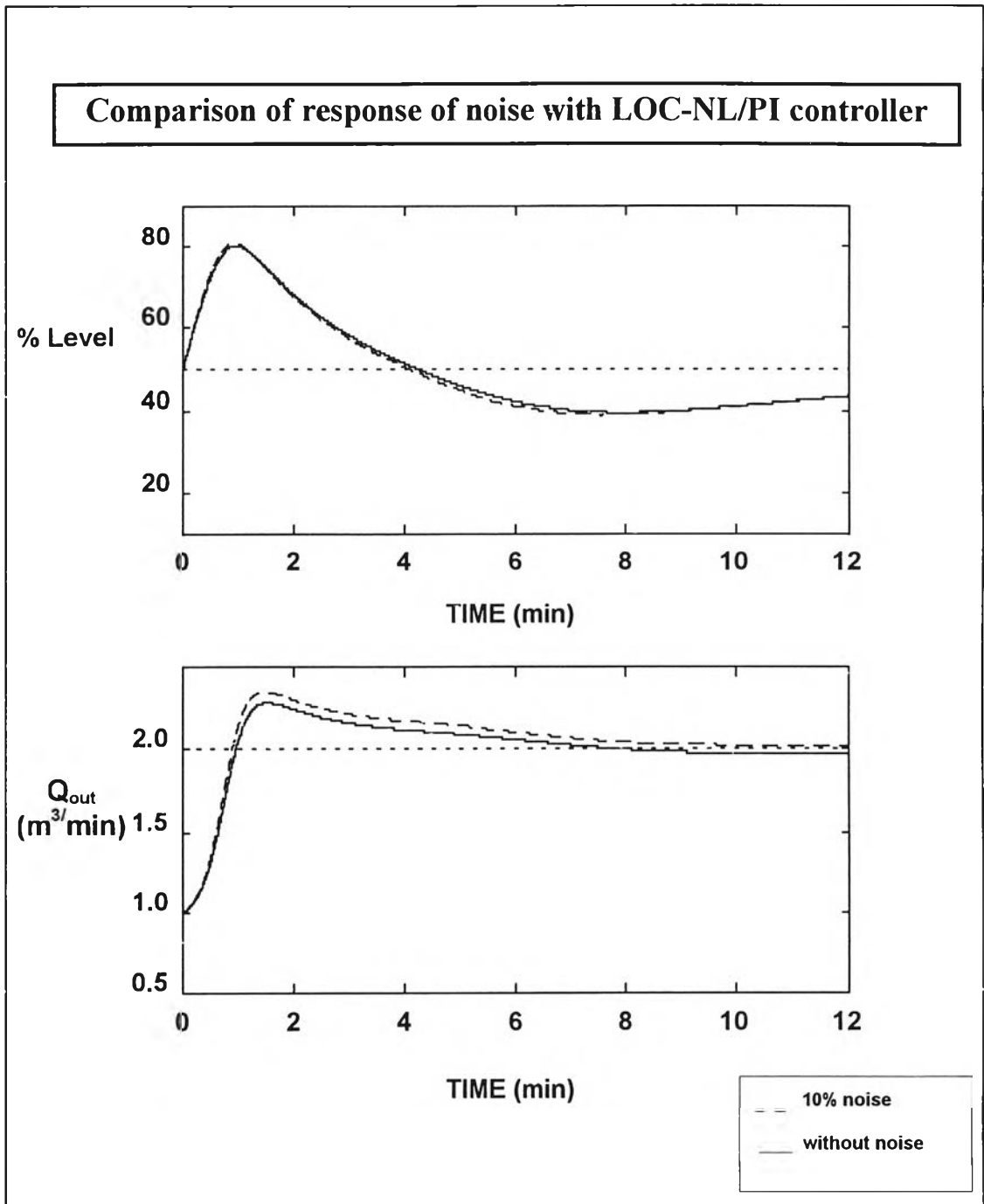
ขาออก ในกรณีนี้ที่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.29b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10% เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO = 2.00  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.30a ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%  
เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกในกรณีที่ 4 (MPH = 20%, MRCO = 2.50  $m^3/min/min$ )



รูปที่ 5.30b ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนขนาด 10%

เกิดขึ้นในระบบ เมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลง

แปลงขาออกในกรณีที่ 6 (MPH = 30%, MRCO =  $2.00 \text{ m}^3/\text{min}/\text{min}$ )

ตารางที่ 5.21 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดในกรณีต่างๆ เมื่อทำการสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ขึ้นในระบบการควบคุม

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	5.38	5.62	5.49	0.76	5.61	2.63	5.68	0.33	5.64	3.65
ตัวควบคุมแบบพีไอ	4.60	6.46	4.51	2.77	4.61	4.41	4.63	2.49	4.43	5.51
ตัวควบคุมแบบพีแอล	6.07	4.20	5.86	0.00	6.63	0.82	5.52	0.66	8.02	0.00
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	3.20	8.62	2.30	7.30	2.42	8.31	2.05	7.80	2.80	8.01
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	4.32	6.89	4.72	2.34	4.20	5.14	4.67	2.41	3.44	7.02
ตัวควบคุมแบบดิอาร์ไอพี	4.96	5.91	4.94	1.88	5.01	3.70	4.89	1.96	4.52	5.37
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	8.8	0.00	5.77	0.18	7.09	0.00	5.84	0.00	7.53	0.75
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	7.72	1.66	4.96	1.84	5.95	2.03	4.96	1.81	6.48	2.36
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	6.73	3.18	2.21	7.48	2.92	7.42	2.33	7.22	3.00	7.70
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	2.30	10.00	0.98	10.00	1.47	10.00	0.98	10.00	1.50	10.00

ตารางที่ 5.21 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าระดับของเหลวสูงสุด (MPH) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MPH ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดในกรณีต่างๆ เมื่อทำการสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ขึ้นในระบบการควบคุม

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MPH ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	5.49	0.00	5.41	9.64	5.62	4.87	5.86	4.08	5.34	1.82
ตัวควบคุมแบบพีไอ	4.50	2.21	4.60	9.81	4.41	6.49	4.29	6.33	4.47	3.60
ตัวควบคุมแบบพีแอล	5.43	0.13	5.60	9.60	5.78	4.65	8.70	0.00	6.15	0.16
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	1.69	8.48	3.85	9.96	3.85	7.24	3.56	7.37	1.98	8.69
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	4.81	1.52	3.66	10.00	3.61	7.57	2.05	9.54	4.67	3.19
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	4.91	1.30	4.76	9.78	4.54	6.32	2.31	9.17	4.69	3.15
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	5.47	0.04	13.79	7.94	9.24	0.00	8.46	0.34	6.23	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	5.03	1.03	10.20	8.67	7.65	2.14	7.13	2.25	4.93	2.66
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	1.86	8.10	52.74	0.00	6.67	3.45	3.68	7.20	2.26	8.12
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	1.01	10.00	5.22	9.68	1.80	10.00	1.73	10.00	1.34	10.00



ตารางที่ 5.22 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดในกรณีต่าง ๆ เมื่อทำการสร้างสัญญาณรบกวนขนาด 10% ขึ้นในระบบการควบคุม

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	6.12	5.61	6.59	6.19	5.35	6.68	6.60	6.24	5.75	6.29
ตัวควบคุมแบบพีไอ	7.85	4.36	6.42	6.28	5.59	6.53	6.25	6.44	6.80	5.61
ตัวควบคุมแบบพีแอส	6.95	5.01	5.97	6.54	5.08	6.85	6.89	6.08	2.93	8.11
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	13.93	0.00	15.30	1.15	15.91	0.12	16.17	0.79	15.50	0.00
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	7.12	4.89	6.95	5.98	7.82	5.14	7.33	5.83	6.12	6.05
ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี	8.00	4.26	7.84	5.46	7.44	5.38	7.03	6.00	6.42	5.86
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	7.15	5.86	0.00	10.00	7.28	5.85	0.00	10.00
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	17.28	0.00	16.10	0.00	17.56	0.00	15.31	0.12
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.00	10.00	6.96	5.97	6.88	5.73	8.19	5.34	6.63	5.72

ตารางที่ 5.22 (ต่อ) แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลขาออกสูงสุด (MRCO) และค่าจากการปรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MRCO ของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิดในกรณีต่าง ๆ เมื่อทำการสร้างสัญญาณรอบวงขนาด 10% ขึ้นในระบบการควบคุม

ชนิดตัวควบคุม	กรณีที่ 6		กรณีที่ 7		กรณีที่ 8		กรณีที่ 9		กรณีที่ 10	
	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ	% MRCO ที่เพิ่มขึ้น	ค่าจากการปรับ
ตัวควบคุมแบบพี	7.17	8.90	7.77	2.11	7.23	3.20	7.39	3.50	7.46	5.64
ตัวควบคุมแบบพีไอ	5.83	10.00	8.52	1.35	8.03	2.45	6.22	4.53	6.33	6.30
ตัวควบคุมแบบพีแอล	6.02	9.84	5.45	4.47	5.72	4.62	2.58	7.73	6.84	6.00
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	15.16	2.32	9.56	0.29	10.64	0.00	11.23	0.12	15.70	0.819
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	7.83	8.35	9.85	0.00	7.07	3.35	6.03	4.70	7.54	5.59
ตัวควบคุมแบบคิอาร์ไอพี	6.64	9.33	9.00	0.86	8.22	2.27	5.69	4.99	7.04	5.88
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	6.64	9.33	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	6.67	9.31	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	6.09	6.44
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	17.98	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	11.37	0.00	17.10	0.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	7.50	8.63	0.00	10.00	4.37	5.89	6.31	4.45	0.21	9.88

ตารางที่ 5.23 ผลสรุปการเปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาณรบกวนของตัวควบคุม

ทั้ง 10 ชนิด

ชนิดของตัวควบคุม	ค่าจากการเปรียบเทียบ ผลกระทบของ สัญญาณรบกวน ที่มีต่อค่า MPH	ค่าจากการเปรียบเทียบ ผลกระทบของ สัญญาณรบกวน ที่มีต่อค่า MRCO	ค่าจากการเปรียบเทียบ ความทนทาน ต่อสัญญาณ รบกวน
ตัวควบคุมแบบพี	3.30	5.43	4.72
ตัวควบคุมแบบพีไอ	5.10	4.73	4.82
ตัวควบคุมแบบพีแอล	2.02	6.52	5.02
ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง	8.17	0.56	3.10
ตัวควบคุมแบบพีไอพี	5.56	6.82	6.40
ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี	4.85	5.03	4.97
ตัวควบคุมแบบพี โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	0.93	9.93	6.93
ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	2.64	8.75	6.71
ตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	5.99	3.01	4.00
ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก	9.96	7.16	8.09

จากการเปรียบเทียบผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่า MRCO และค่า MPH ของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ พบว่า ตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO ต่ำสุด จะให้ผลกระท

หบทต่อค่า MPH สูงสุด ได้แก่ ตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตามด้วยตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก และตัวควบคุมที่ให้ผลกระทบต่อค่า MRCO สูงสุด จะให้ผลกระทบต่อค่า MPH ต่ำสุด ได้แก่ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง ส่วนตัวควบคุมชนิดอื่น ๆ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า MRCO และค่า MPH ในลักษณะไม่แน่นอนทำให้ไม่สามารถแบ่งแยกออกได้ชัดเจน

จากค่าการเปรียบเทียบความทนทานต่อสัญญาณรบกวน พบว่าของตัวควบคุมทั้ง 10 ชนิด พบว่าตัวควบคุมที่สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีที่สุด ได้แก่ ตัวควบคุมพีไอแบบไม่เชิงเส้นโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ตามด้วยตัวควบคุมแบบพีโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก, ตัวควบคุมแบบพีไอโดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออกและตัวควบคุมแบบพีไอพี ถัดมาคือ ตัวควบคุมแบบดีอาร์ไอพี, ตัวควบคุมแบบพีแอล, ตัวควบคุมแบบพีไอ, ตัวควบคุมแบบพี และตัวควบคุมพีแบบไม่เชิงเส้น โดยจำกัดการเปลี่ยนแปลงขาออก ส่วนตัวควบคุมที่ทนต่อสัญญาณรบกวนได้น้อยที่สุด คือ ตัวควบคุมแบบช่วงกว้าง

จากผลการทดลองที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแต่ละชนิดมีสมรรถนะแตกต่างกัน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมระดับแบบเฉลี่ยชนิดต่าง ๆ ต่อไปนี้ในบทที่ 6