

## บทที่ 4

### วิธีการทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 คำนำ

ในการควบคุมแบบป้อนกลับที่จูนตัวควบคุมโดย Z-N และการควบคุมแบบไอเอ็มซีจะมีผลกระทบของการควบคุมที่ต่างกัน โดยการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะมีพื้นฐานมาจากกระบวนการจริง ( $G_p$ ) ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซีจะมีพื้นฐานจากความถูกต้องของแบบจำลอง ( $G_m$ ) ดังนั้นการควบคุมนี้จะได้ดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับการประเมินค่าแบบจำลอง ดังนั้นการนำผลการควบคุมของทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันจะทำให้ทราบสมรรถนะ และข้อจำกัดของการควบคุมทั้งสองแบบได้เป็นอย่างดี

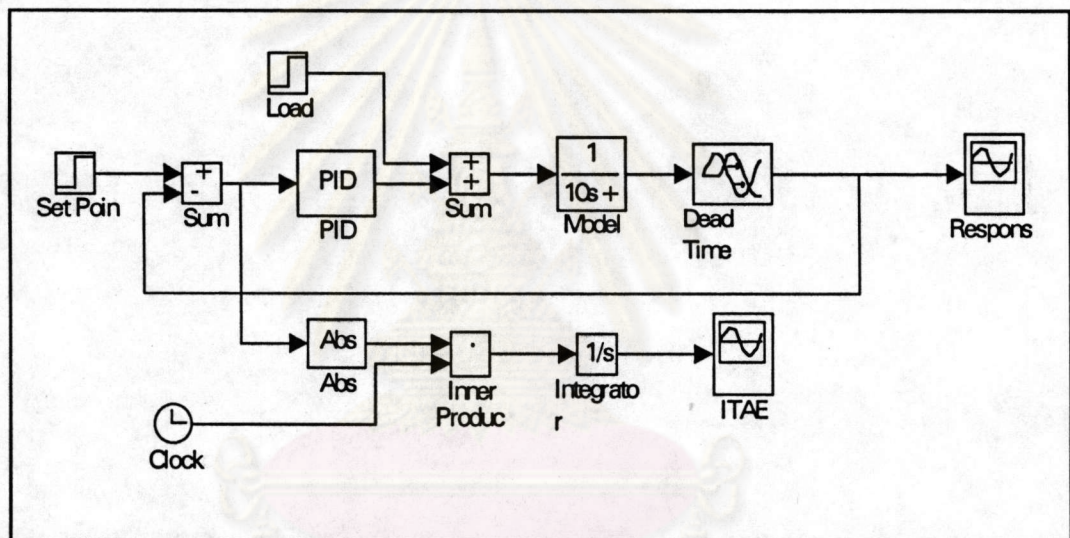
#### 4.2 วิธีการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

##### 4.2.1 การสร้างแบบจำลอง

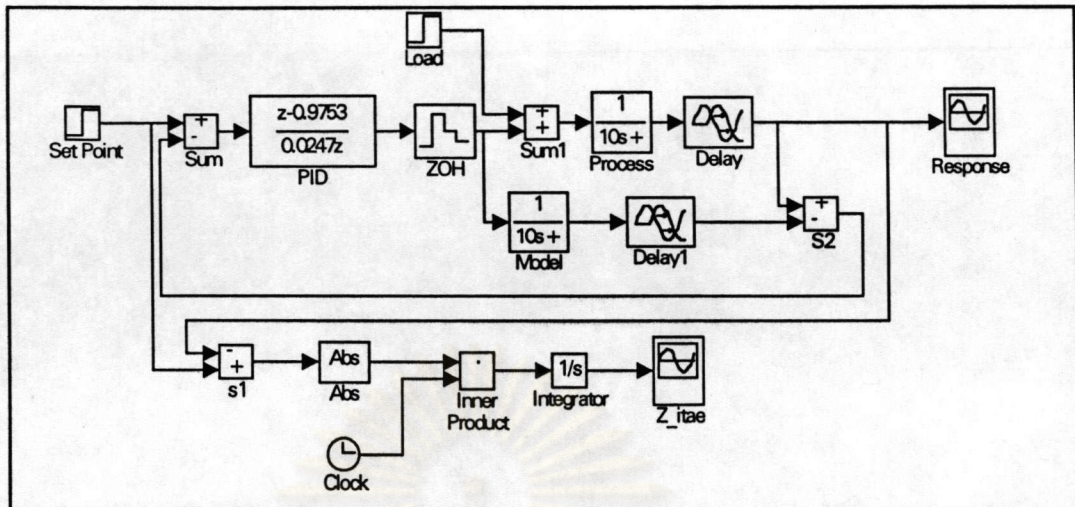
ขั้นตอนที่สำคัญในการทำการศึกษาลิขิตแบบกระบวนการ คือ การสร้างแบบจำลอง ในการสร้างแบบจำลองนั้นจะเริ่มต้นจากการเรียกใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบการควบคุม Matlab และเรียกใช้โปรแกรม Simulink ซึ่งจะเป็นโปรแกรมย่อยส่วนหนึ่งของโปรแกรม

Matlab ในโปรแกรม Simulink จะมีห้องสมุดบล็อกไดอะแกรมต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้สร้างแบบจำลองของการศึกษาวิจัย นำบล็อกไดอะแกรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทั้งหมดออกมาจากห้องสมุดโดยวางตำแหน่งบล็อกไดอะแกรมให้เป็นไปตามตรรกะของการควบคุม จากนั้นจึงลากเส้นเชื่อมโยงระหว่างบล็อกต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ให้เป็นไปตามแบบจำลองที่ต้องการ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม และการควบคุมแบบป้อนกลับแบบไอเอ็มซี โดยสร้างบล็อกไดอะแกรมให้เป็นไปตามรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบไอเอ็มซี

โดยกำหนดให้กระบวนการและแบบจำลองเป็นแบบกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีเดดไทม์และกำหนดให้กระบวนการมีค่าเวลาของกระบวนการเป็น 5, 10, และ 15 วินาที และมีเดดไทม์โดยตามตารางที่ 4.1 โดยที่เดดไทม์แปรคั่นอยู่ระหว่าง 0.06-0.7 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4 1 แสดงลักษณะของกระบวนการที่ศึกษาวิจัย

เวลากระบวนการ	เดดไทม์					
5	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	10.0
10	1.00	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0
15	1.00	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0

#### 4.2.2 การกำหนดกรณีการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยจะแบ่งออกเป็นกรณีศึกษาต่างๆ กัน 9 กรณี

- การศึกษากรณีที่ 1 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลการตอบสนองของเอาท์พุทของการควบคุมป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N กับการควบคุมแบบไอเอ็มซี
- การศึกษากรณีที่ 2 เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้กับการควบคุมแบบไอเอ็มซีที่ตัวควบคุมอยู่ในรูปของ z-ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน
- การศึกษากรณีที่ 3 เป็นการศึกษาหาค่าตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ ) โดยการเปลี่ยนการควบคุมแบบไอเอ็มซี กลับไปเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม
- การศึกษากรณีที่ 4 เป็นการศึกษาหาค่าตัวแปรการจูน ( $\alpha$ ) ของการควบคุมแบบไอเอ็มซี โดยกำหนดให้ค่าตัวควบคุมพีไอดี อยู่ในรูปของ z-ทรานส์ฟอร์ม
- การศึกษากรณีที่ 5 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N กับการควบคุมแบบไอเอ็มซี ทั้งในกรณีที่กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพอยท์ และการเปลี่ยนแปลงโหลด
- การศึกษากรณีที่ 6 เป็นการศึกษาผลการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N เมื่อกระบวนการที่ควบคุมเปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการที่ใช้จูนค่าตัวควบคุมพีไอดี
- การศึกษากรณีที่ 7 เป็นการศึกษาหาความทนทานของการควบคุมแบบไอเอ็มซี เมื่อแบบจำลองมีความผิดพลาดที่เวลาของกระบวนการ ( $\tau_m$ ) และมีความผิดพลาดที่เดดไทม์ ( $\theta_m$ )
- การศึกษากรณีที่ 8 เป็นการศึกษาหาความทนทานของการควบคุมแบบไอเอ็มซี เมื่อกระบวนการจริงมีความผิดพลาดที่เวลาของกระบวนการและมีความผิดพลาดที่เดดไทม์

- การศึกษากรณีที่ 9 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมแบบป้อนกลับดั้งเดิมที่มีความผิดพลาดจากกระบวนการกับการควบคุมแบบไอเอ็มซีที่กระบวนการมีความผิดพลาดเนื่องจากเวลาของกระบวนการและเดคไทม์

#### 4.2.3 การจูนตัวควบคุมกระบวนการ

วิธีการจูนตัวควบคุมมีอยู่หลายวิธี แต่เลือกวิธี Z-N มาใช้ในการศึกษาวิจัย เพื่อจูนตัวควบคุมพีไอดี สำหรับวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซีจะมี 2 วิธี คือ ค่าพีไอดีคำนวณมาจากรูปแบบ z-ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งจะมีค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูล  $\Delta t$  และตัวแปรการจูน ( $\alpha$ ) เป็นตัวแปรอยู่ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อหาค่า  $\Delta t$  และค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสม จะได้ค่า  $\Delta t$  เท่ากับ 0.1 และ  $\alpha$  เท่ากับ 0 ซึ่งจะหาค่าตัวควบคุมพีไอดีที่เหมาะสม โดยค่า  $\Delta t$  และค่า  $\alpha$  ที่เลือกได้มาจากการศึกษาพิจารณาค่าความผิดพลาดไอทีเออีต่ำสุด อีกวิธีคือ ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $G_c$  และ  $G_c^*$  เพื่อเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมแบบไอเอ็มซีมาเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม ซึ่งจะมีค่าตัวแปรการจูน  $\tau_c$  เป็นตัวแปรอิสระอยู่ในค่าตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งต้องหาค่าตัวแปรการจูนที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจูนเพื่อให้ได้ผลการควบคุมที่ดี

#### 4.2.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษาแต่ละกรณี

เมื่อทำการเลียนแบบการควบคุมตามแบบจำลองกระบวนการที่กำหนดไว้ผลของการควบคุมกระบวนการจะถูกกำหนดออกมาใน 2 ลักษณะ คือ เป็นกราฟของการตอบสนองของเอาต์พุต และเป็นกราฟแสดงค่าผลรวมของค่าความผิดพลาดแบบไอทีเออี ตามเวลาต่าง ๆ ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลการควบคุมจะใช้ทั้งสองกรณีที่กล่าวมา โดยในการเปรียบเทียบผลการศึกษาจะใช้ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ

- เปรียบเทียบโดยใช้กราฟการตอบสนองของเอาต์พุต

- เปรียบเทียบโดยใช้ค่าความผิดพลาดแบบไอทีเออี
- เปรียบเทียบโดยใช้อัตราส่วนของค่าความผิดพลาดไอทีเออีของการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N ต่อการควบคุมแบบไอเอ็มซี ซึ่งลักษณะของการเปรียบเทียบจะแสดงเป็นกราฟหรือเป็นตารางข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนั้น ๆ

#### 4.3 ผลการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะแบ่งออกทั้งสิ้น 9 กรณี ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

##### 4.3.1 การศึกษากรณีที่ 1

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของเอาต์พุตของการควบคุมแบบป้อนกลับที่ จูนโดยวิธีของ Z-N เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบไอเอ็มซี โดยมีเงื่อนไขของกระบวนการที่  $\tau = 5, 10$  และ  $15$  วินาที โดยที่เดดไทม์แปรคั่นอยู่ระหว่าง  $0.048-0.7$  ในการศึกษาจะมีเงื่อนไขการทำ การเขียนแบบดังนี้

การควบคุมแบบป้อนกลับจะจูนโดยวิธีการ Z-N โดยผลของการจูนกำหนดค่าตัวควบคุมจะเป็นไปตามตารางที่ 1 ถึง 3 และตารางที่ 16 ถึง 21 ในภาคผนวกที่ 3 กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เซ็ทพอยท์หรือโหลด ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซี จะทำโดยการกำหนดค่าตัวควบคุมเป็น ฟังก์ชันในรูปของ z-ทรานส์ฟอร์ม กำหนดให้ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล ( $\Delta t$ ) มีค่า = 1 วินาที และตัวแปรการจูน ( $\alpha$ ) มีค่าเป็นศูนย์ กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงที่เซ็ทพอยท์หรือโหลด และให้มีการ ประเมินแบบจำลองมีความถูกต้องเหมือนกับกระบวนการจริงทุกประการ และทำการเปรียบเทียบ กราฟการตอบสนองของเอาต์พุต

รูปที่ 1 ถึง 8 ในภาคผนวกที่ 2 จะเป็นตัวอย่างกราฟการตอบสนองของเอาต์พุตของการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N และการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่เซ็ทพอยท์ ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าโดยทั่วไปการจูนตัวควบคุมโดย Z-N จะให้ผลการควบคุมที่แกว่งจะเป็นไซเคิลโดยมีแอมพลิจูดลดลงจนการควบคุมเข้าสู่สภาวะคงที่หรือเข้าสู่เซ็ทพอยท์ใหม่ ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซีจะให้การตอบสนองของเอาต์พุตที่รวดเร็วโดยไม่แสดงว่ามีการแกว่งของการตอบสนองรอบเซ็ทพอยท์แต่จะวิ่งเข้าสู่เซ็ทพอยท์อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระบวนการที่มีเดดไทม์มากๆ การจูนโดย Z-N จะให้การแกว่งของการตอบสนองเอาต์พุตที่ยิ่งกว้าง ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซี ยังคงมีการตอบสนองที่รวดเร็วไม่มีการแกว่งรอบเซ็ทพอยท์เช่นเดิม เช่นที่  $\tau = 10$ ,  $\theta = 1$  การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ 37 วินาที ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซี จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์ในเกือบจะทันที คือที่ 1 วินาที ที่  $\tau = 10$ ,  $\theta = 10$  การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ 125 วินาที ส่วนการควบคุมแบบไอเอ็มซีจะเข้าสู่เซ็ทพอยท์เกือบทันทีที่เดดไทม์หมดไปคือที่ 12 วินาที เป็นต้น

ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่โพลเด้นั้น การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะให้การตอบสนองช้ากว่า คือที่  $\tau = 10$   $\theta = 1$  การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ 124 วินาที และที่  $\tau = 10$   $\theta = 10$  การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N จะเข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ 208 วินาที

#### 4.3.2 การศึกษากรณีที่ 2

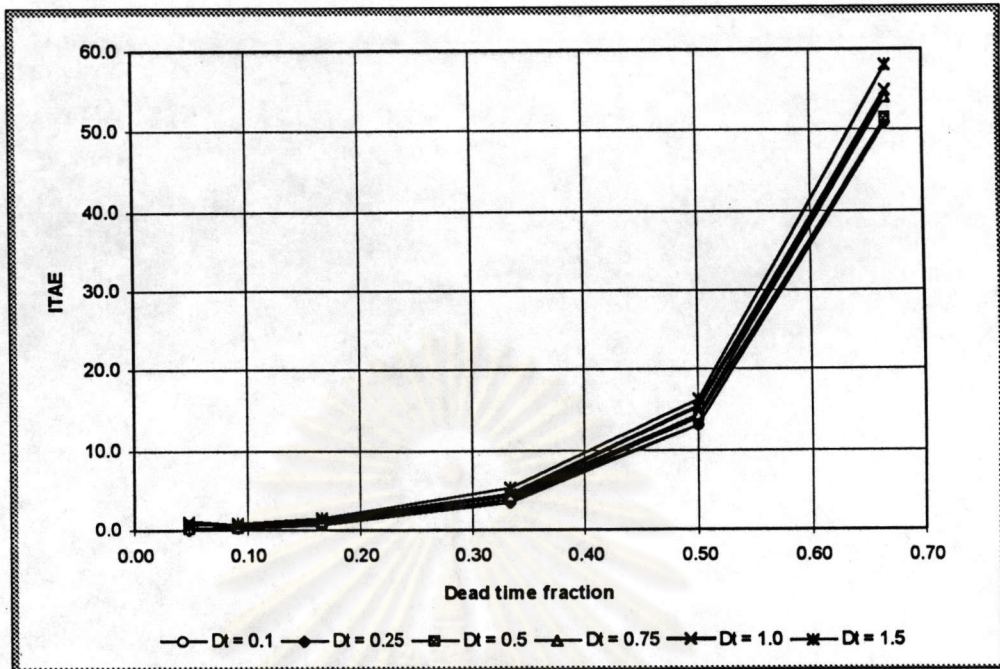
เป็นการศึกษาหาค่าช่วงเวลากลับข้อมูล ( $\Delta t$ ) ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบไอเอ็มซี โดยที่ค่า  $\Delta t$  ที่มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถทราบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในระหว่างช่วงเวลา ทำให้ระบบตอบสนองการเปลี่ยนแปลงได้ช้าลง แต่จะทำให้ระบบการควบคุมเก็บข้อมูลจำนวนน้อยครั้งลง ทำให้คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมระบบมีเวลาเหลือพอที่จะแบ่งไปทำงานด้าน

อื่นๆ ในขณะที่  $\Delta t$  มีค่าน้อยระบบจะทราบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้รวดเร็ว แต่ขบวนการของข้อมูลจะมีมากขึ้น ทำให้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบทำงานมากขึ้น และหากมีระบบการจับเก็บข้อมูลการผลิตก็จะทำให้ระบบจับเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่มากขึ้นตามไปด้วย ในกระบวนการที่ศึกษาได้กำหนดให้  $\tau = 5, 10$  และ  $15$  วินาที และเดดไทม์เฟรคชั่น อยู่ระหว่าง  $0.048-0.7$  และกำหนด  $\Delta t = 0.10$  ถึง  $1.5$  วินาที จากนั้นทำการเลียนแบบกระบวนการควบคุมโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\Delta t$  กับค่าตัวแปรควบคุมดังนี้

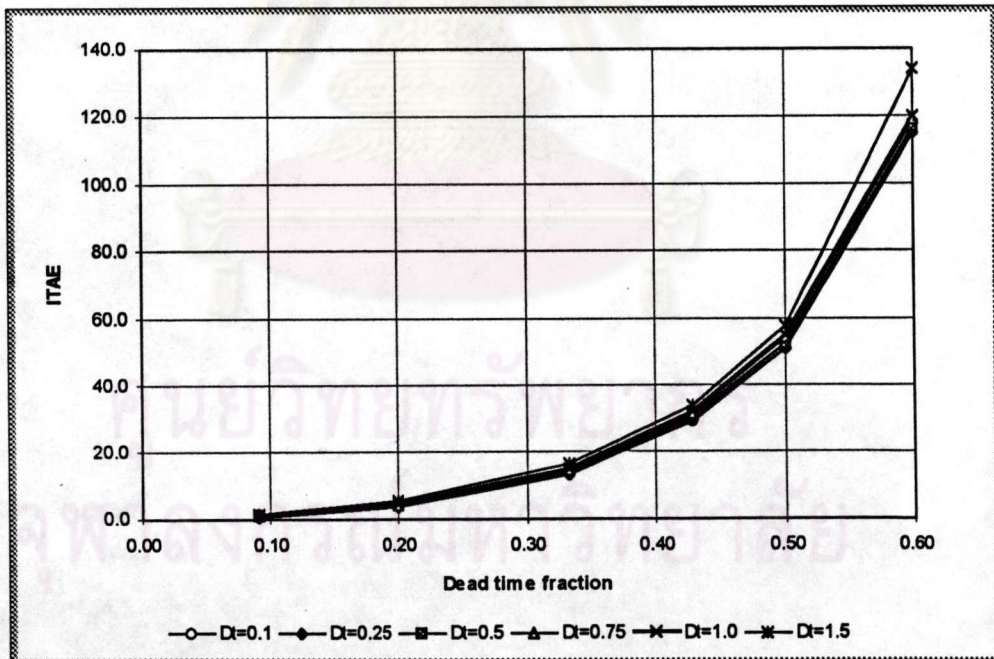
$$G_c^* = \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} Z^{-1}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}} \frac{(1 - \alpha)}{(1 - \alpha z^{-1})} \quad (4.1)$$

และกำหนดค่าตัวแปรการจูน  $\alpha$  เท่ากับ  $0$  โดยวัดผลการศึกษาโดยใช้ค่าความผิดพลาดไอทีเออี จากผลการศึกษาดูตามกราฟในรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 และตารางที่ 4 ถึง 6 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่า ค่า  $\Delta t = 0.1$  วินาที เป็นค่าที่ให้ผลการควบคุมโดยมีค่าความผิดพลาดไอทีเออีต่ำสุด และจากผลการศึกษาในครั้งนี้  $\Delta t = 1.50$  จะให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีสูงสุด แต่ทั้งนี้เนื่องจาก  $\Delta t = 0.1$  ถึง  $\Delta t = 1.0$  ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะใกล้เคียงกันมีความแตกต่างกันไม่มากยกเว้นที่  $\Delta t = 1.5$  จะให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีที่ค่อนข้างสูงขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ระหว่าง  $\Delta t = 0.1$  ถึง  $\Delta t = 1.0$  จะพบว่า เมื่อ  $\Delta t = 0.1$  จำนวนของข้อมูลที่ส่งเข้าประมวลผลจะมีจำนวนมากจนกระทั่งส่งผลให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานช้าลงมาก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดไอทีเออีของ  $\Delta t = 0.1$  ถึง  $\Delta t = 1.0$  จะมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่  $\Delta t = 0.1$  เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานช้ามาก ดังนั้นจึงเลือกใช้  $\Delta t = 1.0$  เป็นค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูล สำหรับการทำเลียนแบบในทุกกระบวนการของการควบคุมแบบไอเอ็มซี

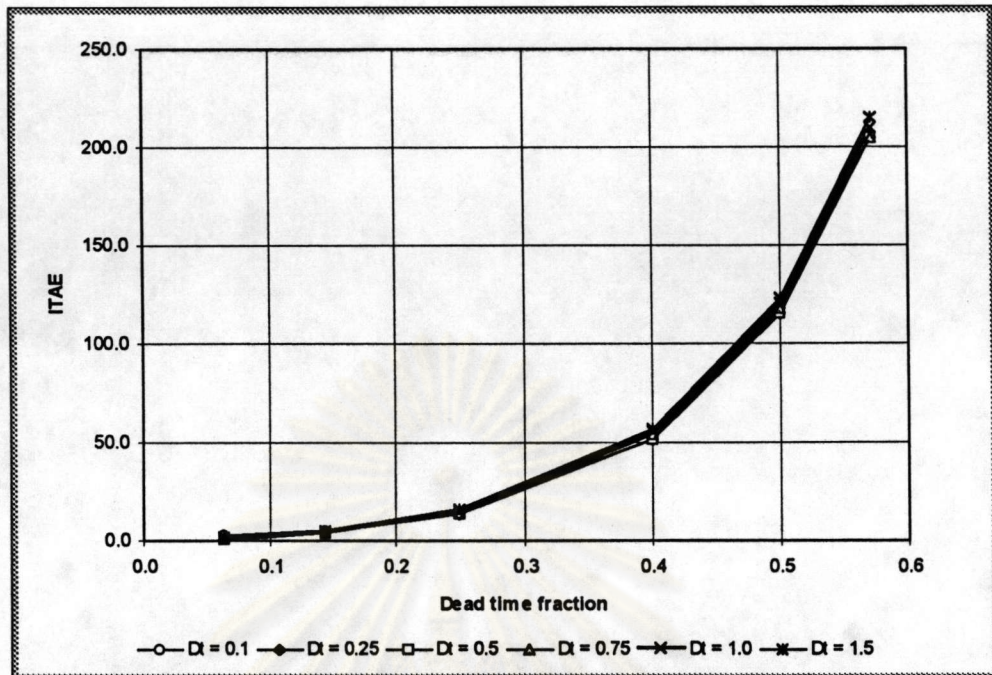




รูปที่ 4. 3 กราฟแสดงผลค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อ  $\tau = 5$



รูปที่ 4. 4 กราฟแสดงผลค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อ  $\tau = 10$



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลค่าความผิดพลาดไอทีเออีเมื่อ  $\tau = 15$

### 4.3.3 การศึกษากรณีที่ 3

เป็นการศึกษาหาความเหมาะสมของตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ ) ของการควบคุมแบบไอเอ็มซี ในกระบวนการควบคุมอันดับหนึ่งที่มีเดดไทม์ โดยการแปลงแบบจำลองการควบคุมแบบไอเอ็มซี ไปเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $G_c$  และ  $G_c^*$  ดังสมการที่ 4.2

$$G_c = \frac{G_c^*}{1 - G_c^* \tilde{G}} \quad (4.2)$$

โดยที่

$$G_c^* = \frac{(\tau_c s + 1)}{G_c} \quad (4.3)$$

และประมาณค่า

$$e^{-\theta s} = \frac{1 - \frac{\theta}{2}s}{1 + \frac{\theta}{2}s} \quad (4.4)$$

ทำการคำนวณค่าพีไอดี ซึ่งจะได้ดังนี้

$$K_c = \frac{\frac{\tau}{2(\frac{\tau}{\theta})+1}}{2(\frac{\tau_c}{\theta})+1} \quad (4.5)$$

$$\tau_I = \frac{\theta}{2} + \tau \quad (4.6)$$

$$\tau_D = \frac{\tau}{2(\frac{\tau}{\theta})+1} \quad (4.7)$$

ซึ่งจะเห็นว่า  $\tau_c$  เป็นตัวแปรอิสระตัวเดียวที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการควบคุมกระบวนการนอกเหนือไปจากค่าเวลาของกระบวนการและเดดไทม์ ซึ่ง  $\tau_c$  จะมีผลกำหนดค่า  $K_c$  ซึ่งจะส่งผลในการควบคุมโดยตรง

ในการทดลองจะกำหนดให้  $\tau_c$  มีค่าต่างๆ กันออกไปและดูผลการควบคุมกระบวนการที่  $\tau_c$  ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออน้อยที่สุด ซึ่งแต่ละกระบวนการจะให้ค่า  $\tau_c$  ที่ส่งผลให้ค่าไอทีเออดีต่ำสุด โดยจะพบว่าต้องกำหนดให้ ค่า  $\tau_c$  จะมีค่าน้อยลงเมื่อเดดไทม์เพิ่มมากขึ้น

ในการทดลองได้กำหนดให้  $\tau = 5, 10$  และ  $15$  วินาที และกำหนดให้ค่าเดดไทม์แปรคั่น มีค่าระหว่าง  $0.66$  ถึง  $0.75$  ทำการเปลี่ยนแปลงค่า  $\tau_c$  ในแต่ละกระบวนการที่มีเวลากระบวนการและเดดไทม์ต่างๆ กันซึ่งผลของการทำการศึกษาจะเป็นไปตามตารางที่ 7 ถึง 12 ในภาคผนวกที่ 3 และรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\tau_c$  กับ  $\tau$  และ  $\theta$  ของกระบวนการ



การจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ  $\tau_c$  ต่อผลรวมของ  $\theta$  และ  $\tau$  กับเดคไทน์แฟรคชัน มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงโดยสามารถหาความสัมพันธ์ในลักษณะกระบวนการต่างๆ ตามสมการที่ 4.8-4.10 ได้ดังนี้

$$\text{ที่ } \tau = 5, \quad \tau_c = -1.231 \theta + 1.123 (\theta + \tau) \quad (4.8)$$

$$\text{ที่ } \tau = 10, \quad \tau_c = -1.337 \theta + 1.106 (\theta + \tau) \quad (4.9)$$

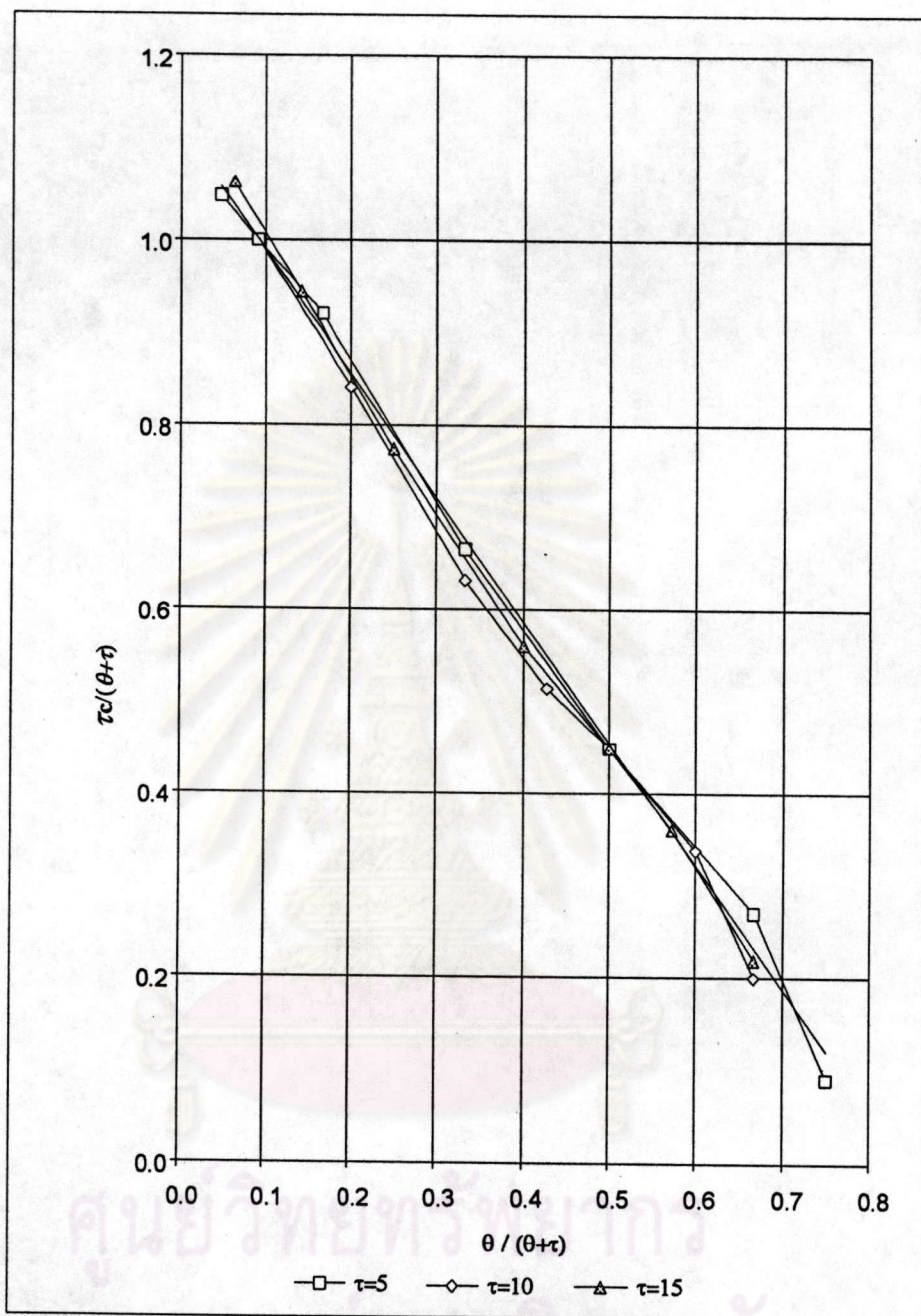
$$\text{ที่ } \tau = 15, \quad \tau_c = -1.378 \theta + 1.135 (\theta + \tau) \quad (4.10)$$

ซึ่งโดยเฉลี่ยจะหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.11 ดังนี้

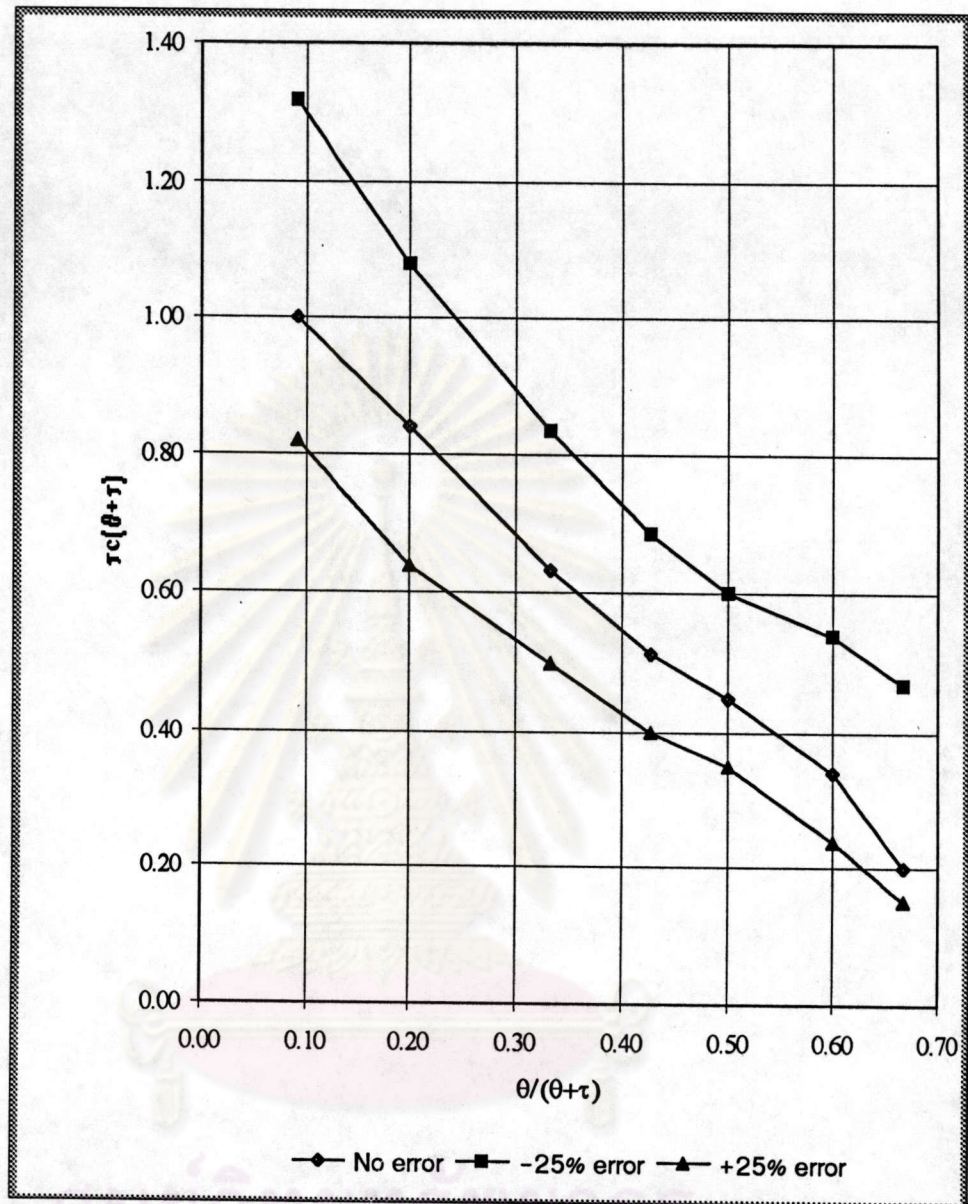
$$\tau_c = -1.315 \theta + 1.121 (\theta + \tau) \quad (4.11)$$

อีกกรณีหนึ่งเป็นการหาค่าตัวแปรการจูน ( $\tau_c$ ) เมื่อกระบวนการมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในส่วนของเวลาของกระบวนการหรือเดคไทน์เปลี่ยนแปลงไปเพิ่มขึ้นและลดลงจำนวน 25% ทำการทดลองหาค่า  $\tau_c$  ที่เหมาะสม คือให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีและไอเออีต่ำสุด ผลการศึกษาเป็นไปตามตารางที่ 13 ถึง 16 ในภาคผนวกที่ 3 และกราฟรูปที่ 4.7 เป็นกราฟที่สามารถเลือกค่า  $\tau_c$  ในช่วงที่เวลาของกระบวนการผิดพลาดเพิ่มขึ้นและลดลง 25% ส่วนกราฟรูปที่ 4.9 เป็นกราฟที่สามารถเลือกค่า  $\tau_c$  ในช่วงที่เดคไทน์ของกระบวนการผิดพลาดเพิ่มขึ้นและลดลง 25%

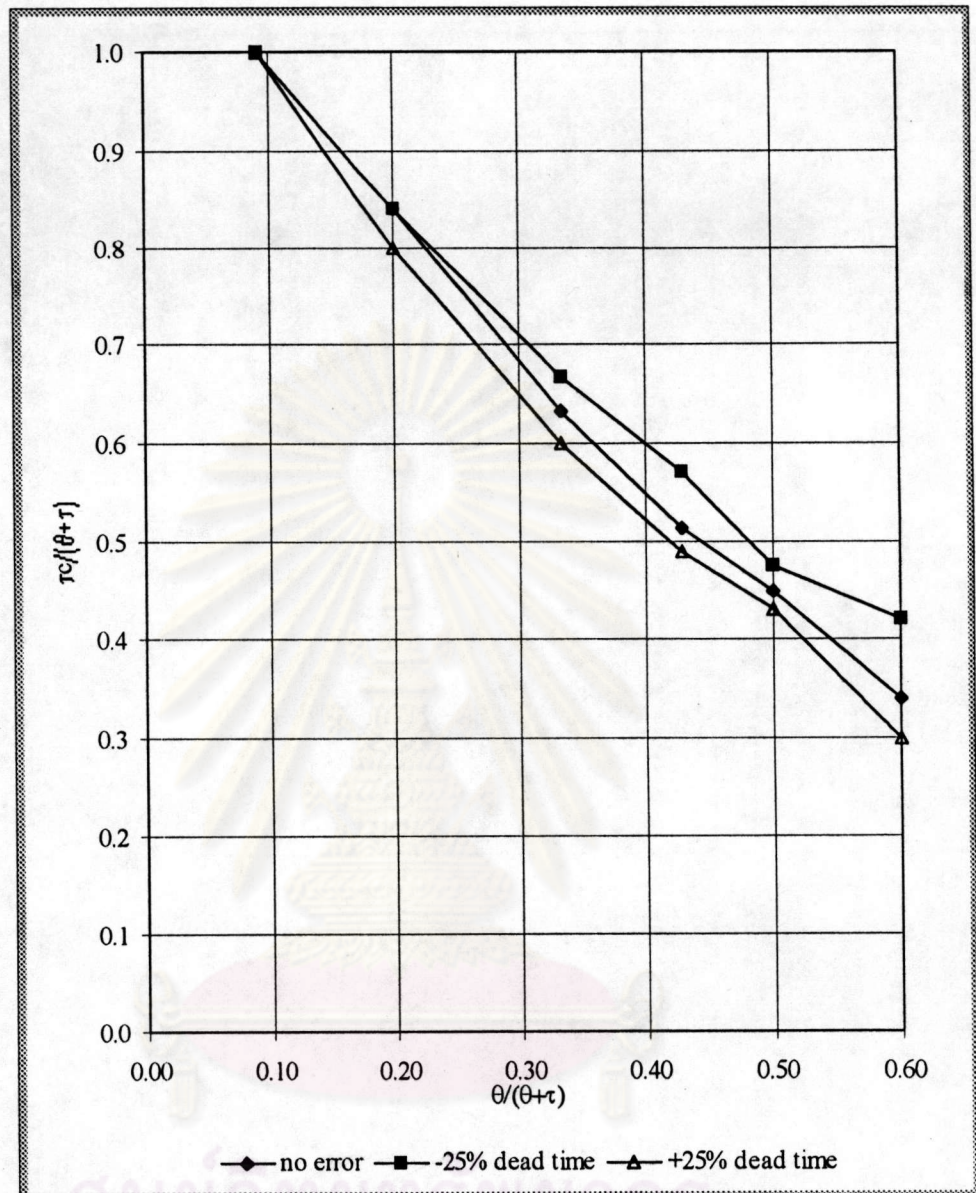
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการจูนและเคดไทม์



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการจูนและเดดไทม์เฟรคชั่น  
 เมื่อเวลาของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง 25% ที่ให้ค่าไอทีเออีและไอเออีต่ำสุด



รูปที่ 4. 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการจูนและเดดไทม์แปรคั่น

เมื่อเวลาของกระบวนการผิดพลาดเพิ่มขึ้นหรือลดลง 25% ที่ให้ค่าไอทีเออีและไอเออีต่ำสุด

#### 4.3.4 การศึกษากรณีที่ 4

เป็นการศึกษาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรการจูน ( $\alpha$ ) ของการควบคุมแบบไอเอ็มซี ในการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีเดดไทม์ โดยการกำหนดให้ค่าตัวแปรควบคุมพีไอดี อยู่ใน

รูปของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันในรูป z-ทรานส์ฟอร์ม โดยการใช้ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังสมการที่ 4.12 ดังต่อไปนี้

$$G_c^* = \frac{f(z)}{\bar{G}_-(z)} \quad (4.12)$$

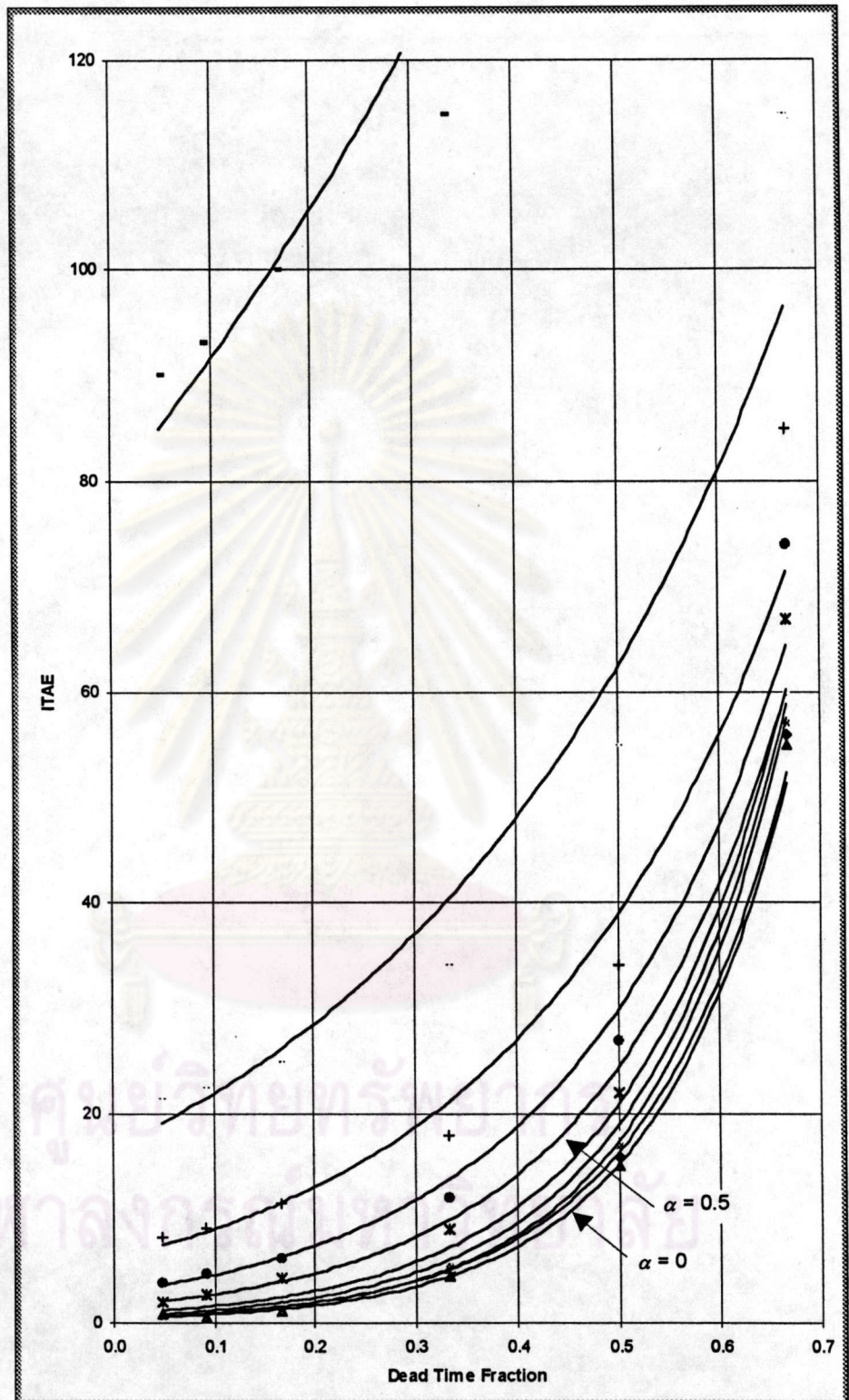
โดยที่  $f(z)$  เป็น โลว์พาสฟิลเตอร์ (Low pass filter) ที่มีค่าตามสมการที่ 4.13

$$f(z) = \frac{(1-\alpha)}{(1+\alpha z^{-1})} \quad (4.13)$$

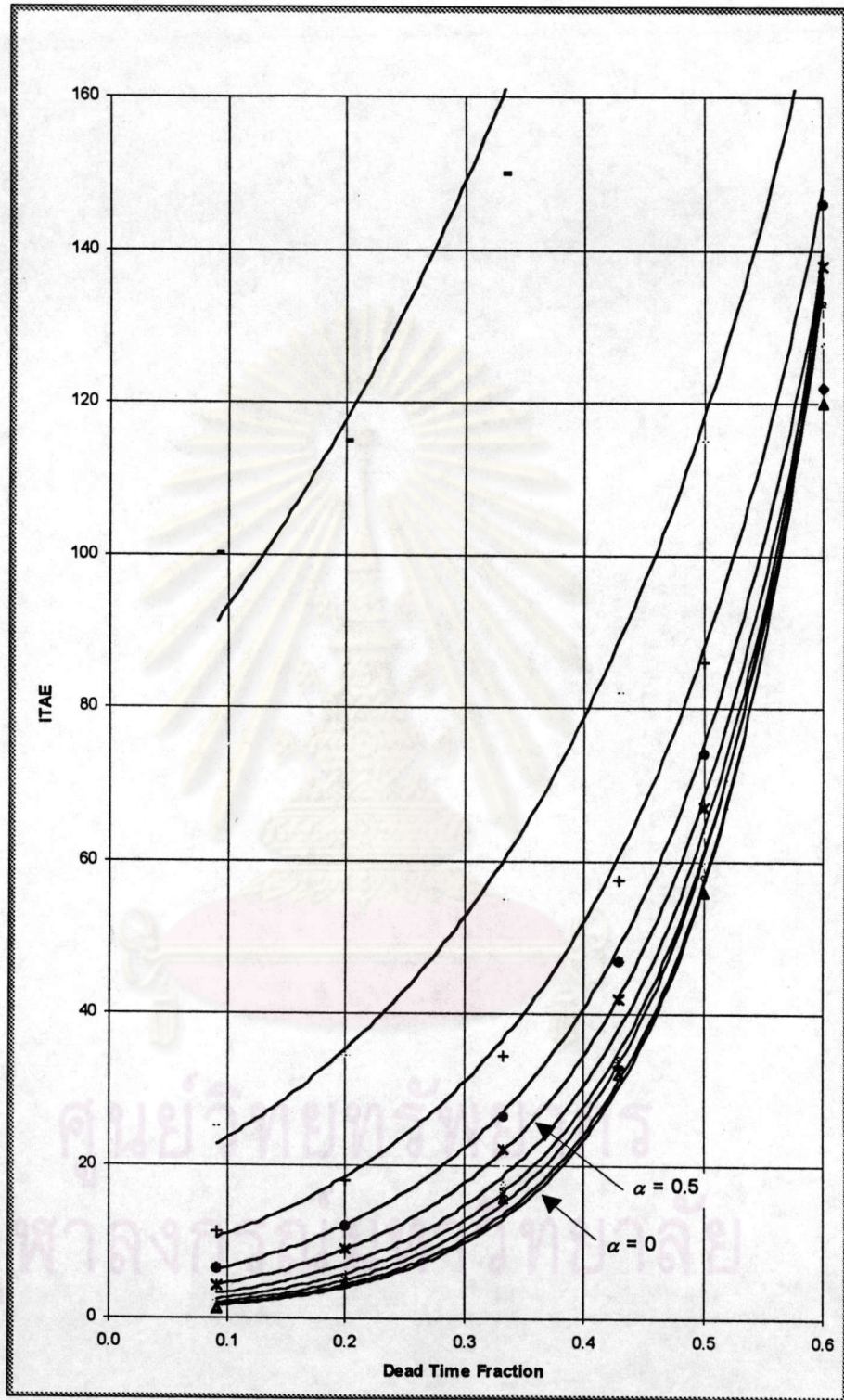
โดยที่  $\alpha$  จะเป็นตัวแปรการจูนที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ในการทำการศึกษาวิจัยจะทำโดยการกำหนดให้เวลาของกระบวนการมีค่าเป็น 5, 10 และ 15 วินาที และมีเดดไทม์แปรคั่นระหว่าง 0.06 - 0.7 โดยที่ในแต่ละกระบวนการจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการจูนตั้งแต่ 0 ถึง 0.9 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าตัวแปรควบคุมที่โอดีต่างๆ กัน ทำการเขียนแบบกระบวนการควบคุมและนำค่าตัวแปรการจูน และค่าความผิดพลาดไอทีเออีมาพลอตกราฟ จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.10 และตารางที่ 17 ถึง 19 ในภาคผนวกที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อค่าตัวแปรการจูนมีค่าน้อย ค่าความผิดพลาดจะมีค่าน้อยลงด้วย โดยจะพบว่าที่ค่าตัวแปรการจูนมีค่าศูนย์ทำให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีต่ำที่สุด ในขณะที่ค่าดังกล่าวระหว่าง 0.1-0.4 จะให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อค่าตัวแปรการจูนมีค่ามากกว่า 0.5 ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะที่ 0.8 ถึง 0.9 ค่าดังกล่าวจะให้ค่าไอทีเออีเพิ่มขึ้นอย่างมาก เช่นที่  $\tau = 10$ ,  $\theta = 1.0$   $\alpha = 0$  ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่า 1.2 และ เมื่อ  $\alpha = 0.1, 0.5$  และ  $0.9$  ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่า 1.4, 4.2 และ 100 เป็นต้น ดังนั้นจากการวิจัยในครั้งนี้ การกำหนดให้ตัวแปรการจูนมีค่าเป็นศูนย์ จะให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าและในการศึกษาวิจัยกรณีอื่น ๆ จะใช้ค่าตัวแปรการจูนมีค่าเป็น ศูนย์ ทำการศึกษาวิจัย

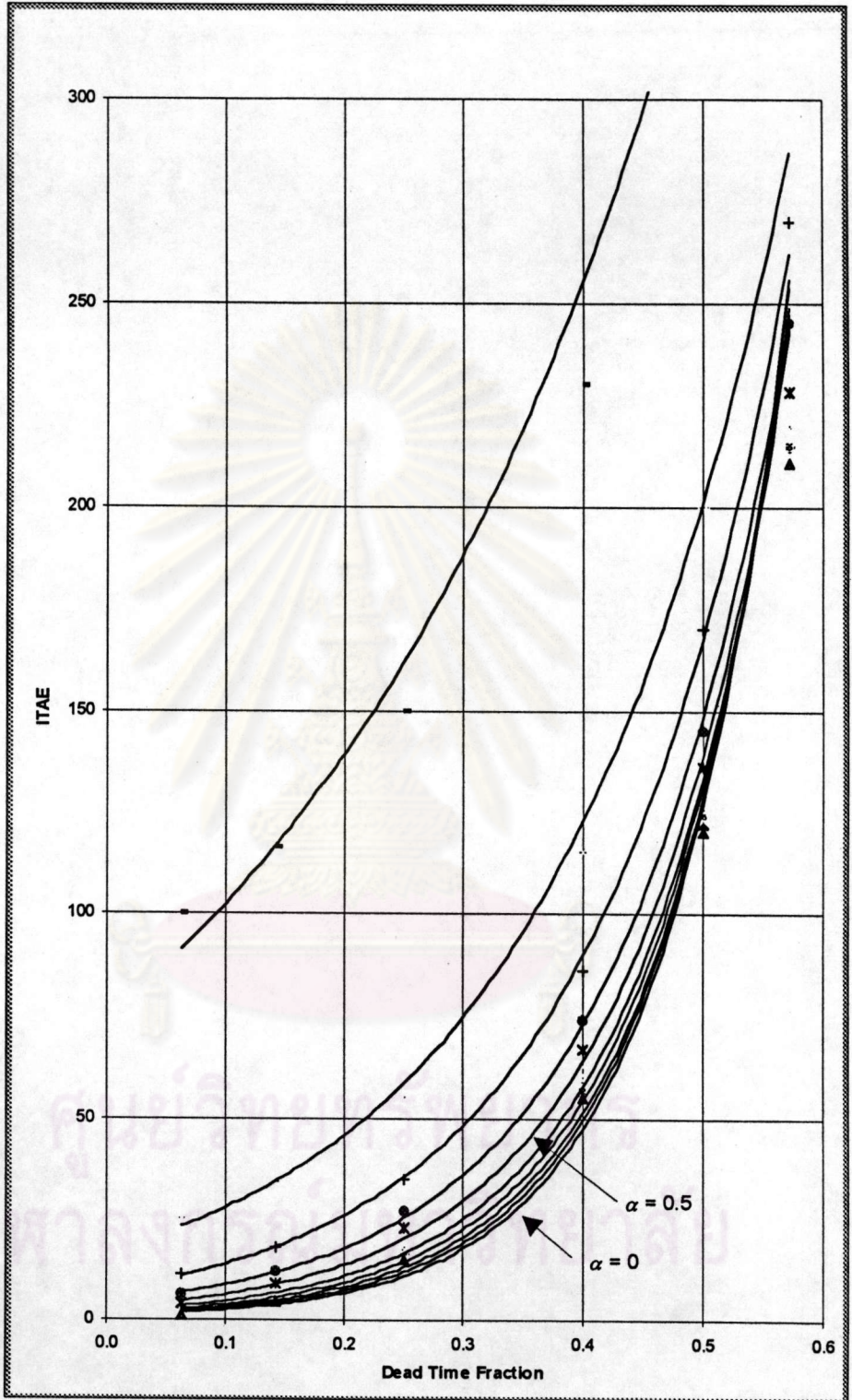




รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการจูนที่เวลากระบวนการ = 5



รูปที่ 4. 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการจูนที่เวลากระบวนการ = 10



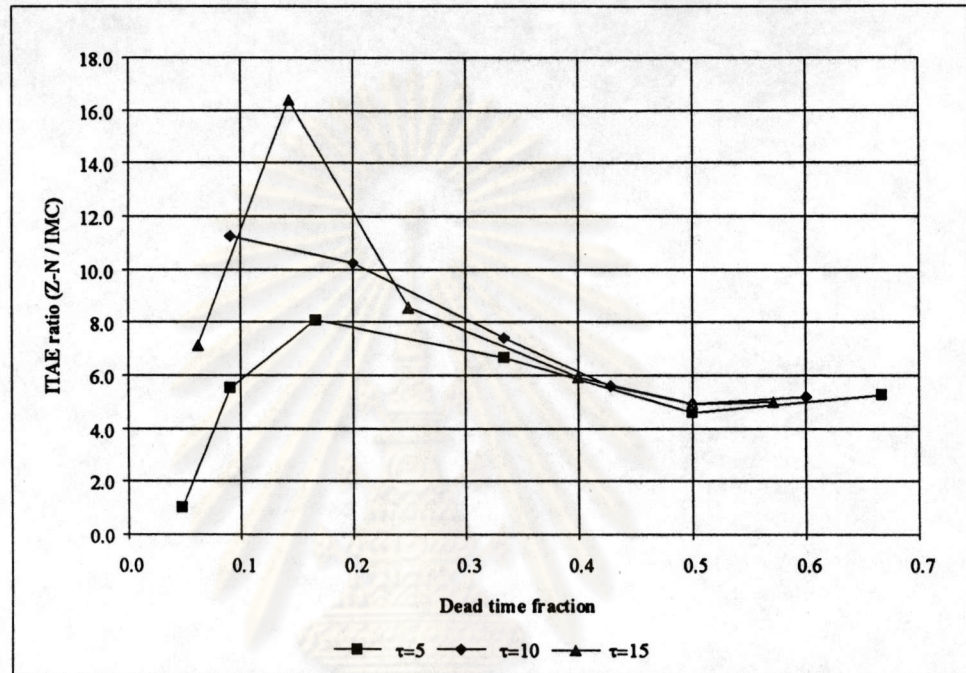
รูปที่ 4. 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการจูนที่เวลากระบวนการ = 15

#### 4.3.5 การศึกษากรณีที่ 5

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N และการควบคุมแบบไอเอ็มซี โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเอีระหว่างการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N ต่อการควบคุมแบบไอเอ็มซี ในลักษณะกระบวนการตามเงื่อนไขดังนี้  $\tau = 5, 10$  และ  $15$  โดยมีเดดไทม์แปรคชันระหว่าง  $0.05-0.7$  กำหนดให้แบบจำลองของไอเอ็มซี ไม่มีความแตกต่างจากกระบวนการจริง และกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงของเซ็ทพอยท์หรือเปลี่ยนแปลงที่โหลด ในแต่ละกระบวนการ ผลจากการการศึกษาในรูปแบบที่ 4.12 และ 4.13 และตารางที่ 20 ถึง 25 ในภาคผนวกที่ 3

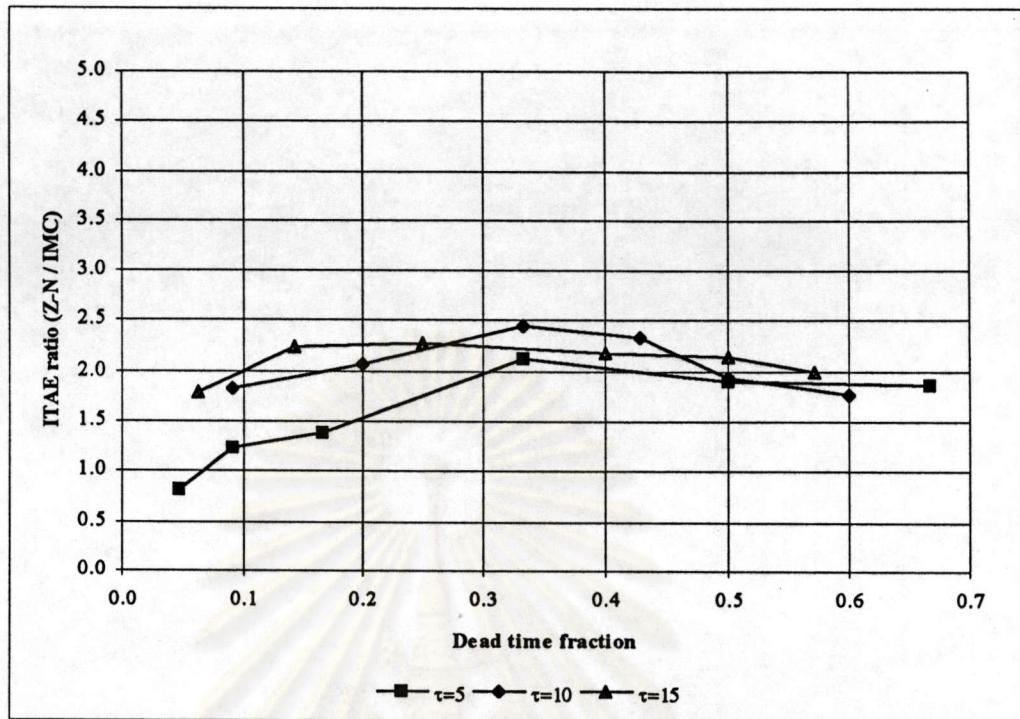
พิจารณากรณีที่กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงของเซ็ทพอยท์ จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 20 22 และ 24 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่า กระบวนการที่มีเดดไทม์แปรคชันต่ำกว่า  $0.09$  การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N มีความสามารถควบคุมกระบวนการได้ค่อนข้างดี ซึ่งแสดงให้เห็นชัดจากอัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเอีระหว่างการควบคุมโดย Z-N ต่อการควบคุมโดยไอเอ็มซี ลดลงแต่เมื่อเดดไทม์แปรคชันเพิ่มมากขึ้น การควบคุมแบบไอเอ็มซีจะควบคุมกระบวนการได้ดีกว่า การควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N ทำให้อัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเอีเพิ่มมากขึ้น โดยที่อัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเอีจะมีค่าลดลงเมื่อกระบวนการมีเดดไทม์แปรคชันมากขึ้น และเมื่อพิจารณาไดนามิกของการควบคุมกระบวนการที่  $\tau$  เท่ากับ  $5, 10$  และ  $15$  วินาที จะพบว่า เมื่อกระบวนการมีเดดไทม์แปรคชันสูงการควบคุมแบบป้อนกลับ Z-N มีการควบคุมกระบวนการที่แย่งมากกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบไอเอ็มซี ดังจะเห็นได้จากอัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเอีของกระบวนการที่มีเดดไทม์แปรคชันต่ำจะมีอัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเอีสูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเดดไทม์มีค่าต่ำๆ แต่เมื่อเดดไทม์แปรคชันของกระบวนการเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราส่วนดังกล่าวจะไม่แตกต่างกันมาก เช่นที่เดดไทม์แปรคชันประมาณ  $0.2$  อัตราส่วนค่าความผิดพลาดไอทีเอี ที่  $\tau$  เท่ากับ

15, 10 และ 5 จะมีค่าประมาณ 12, 10 และ 8 เท่าตามลำดับ แต่เมื่อเดดไทม์แฟรคชันเพิ่มขึ้นเป็น 0.4 อัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่าใกล้เคียงกับที่ประมาณ 6 เท่า เกือบทุก  $\tau$  เป็นต้น



รูปที่ 4. 12 กราฟเปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



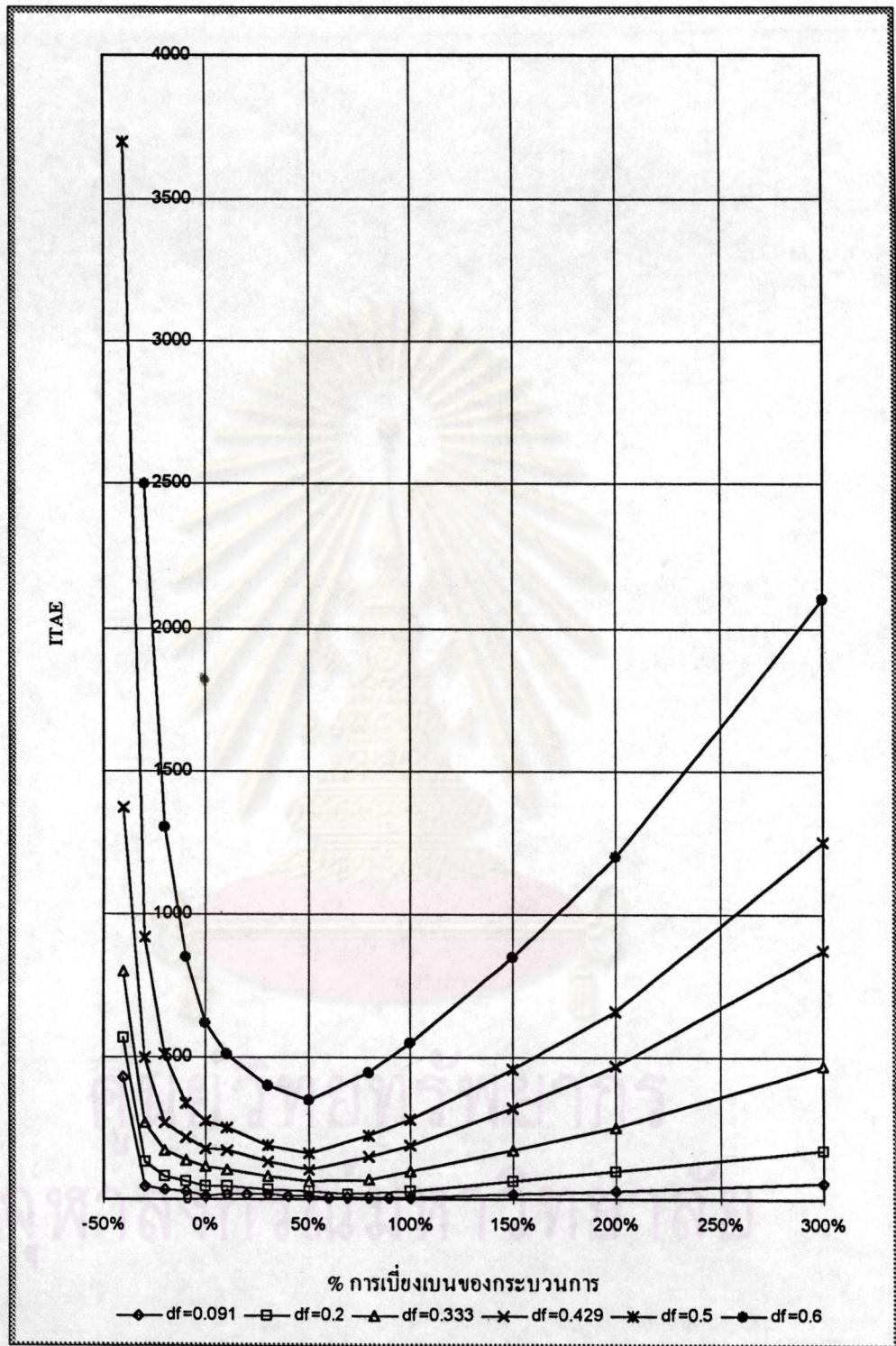
รูปที่ 4. 13 กราฟเปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด

พิจารณากรณีที่กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลด รูปที่ 4.13 และตารางที่ 21 23 และ 25 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่าการควบคุมแบบไอเอ็มซี จะควบคุมกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงที่โหลดได้ไม่ดีเท่าการเปลี่ยนที่เซ็ทพอยท์ ดังนั้นจะพบว่า ค่าอัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเออีระหว่างการควบคุมโดย Z-N ต่อการควบคุมโดยไอเอ็มซี ของการเปลี่ยนแปลงที่โหลดจะต่ำกว่าจากการเปลี่ยนแปลงที่เซ็ทพอยท์ โดยที่ค่าอัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเออี จะมีค่าระหว่าง 1-2.5 เท่า ในขณะที่การเปลี่ยนเซ็ทพอยท์จะให้ค่าอัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเออีระหว่าง 1-17 เท่า แต่ยังคงแสดงแนวโน้มของการควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความผิดพลาดไอทีเออี เช่นเดียวกับกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์

#### 4.3.6 การศึกษากรณีที่ 6

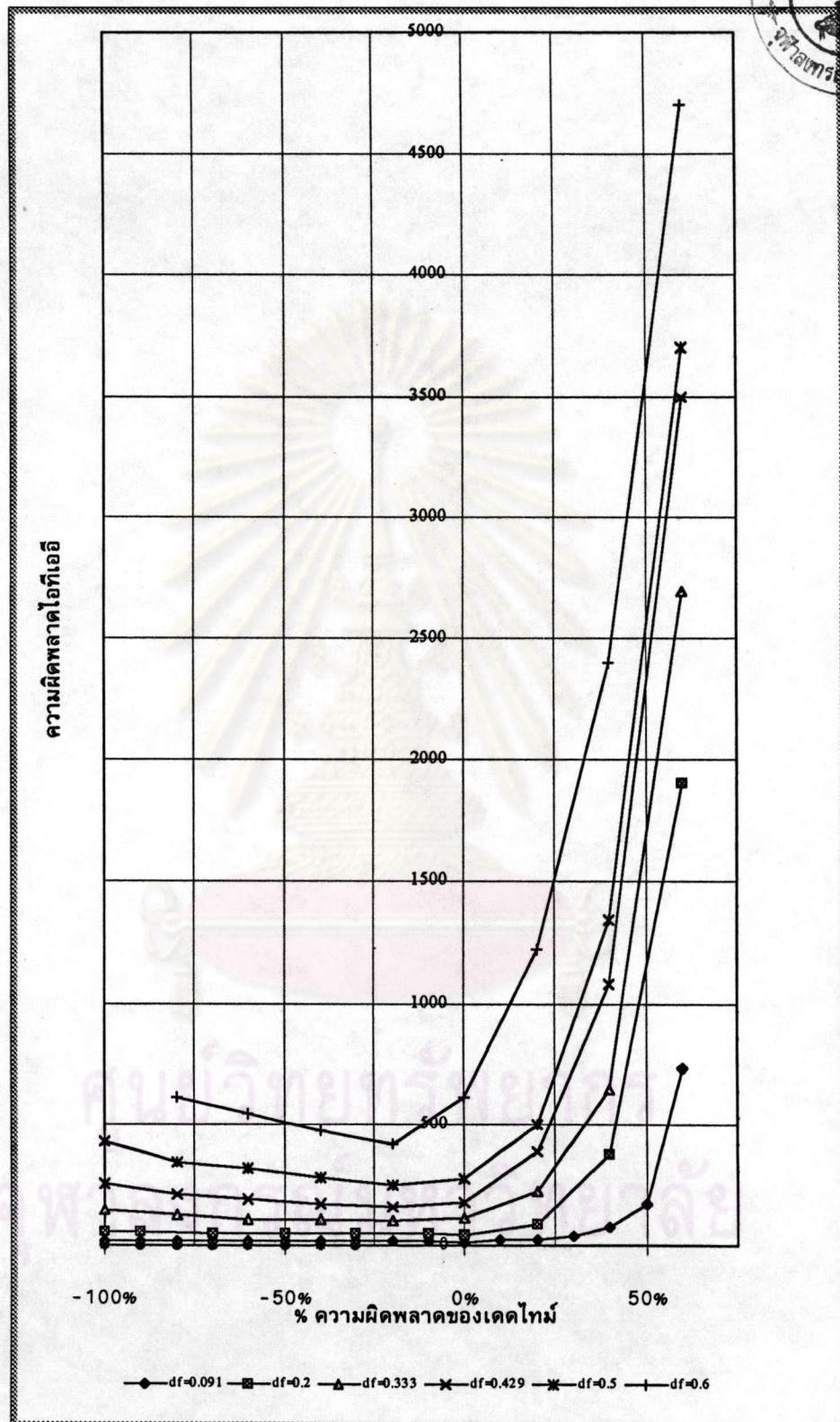
เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบความทนทานของตัวควบคุมฟีไอดีที่จูนโดยวิธีการของ Z-N โดยการคาดการณ์ว่าภายหลังที่จูนตัวควบคุมฟีไอดี และตั้งค่าควบคุมแล้วเสร็จกระบวนการจริงได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพื่อศึกษาว่าถ้ามีการผิดพลาดเวลาของกระบวนการหรือเดดไทม์แล้ว ตัวควบคุมที่กำหนดค่าไว้แล้วจะยังคงควบคุมกระบวนการได้หรือไม่ โดยจะพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของเวลาของกระบวนการและศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของเดดไทม์

การศึกษากรณีแรก กำหนดให้  $\tau = 10$  และเดดไทม์แปรคั่นมีค่าระหว่าง 0.09-0.6 และทำการเปลี่ยนแปลงค่า  $\tau$  ให้ผิดพลาดไปจากค่าแรกที่ใช้กำหนดค่าตัวควบคุมฟีไอดีและกำหนดให้ค่าฟีไอดีของแต่ละกระบวนการมีค่าคงที่ จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 26 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่ากระบวนการที่  $\tau$  ลดลงจะลดลงมาได้ถึง -40% ของกระบวนการที่ใช้กำหนดค่าฟีไอดี หากลดต่ำกว่านี้แล้วกระบวนการจะควบคุมไม่ได้ โดยที่แนวโน้มดังกล่าวนี้เป็นเช่นเดียวกันเมื่อเดดไทม์ของกระบวนการมากขึ้น ส่วนการเพิ่มขึ้นของ  $\tau$  ดูเหมือนจะไม่ได้สร้างปัญหาให้แก่ตัวควบคุมฟีไอดี แต่อย่างไร ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทำการเลียนแบบที่เพิ่มค่า  $\tau$  ขึ้นไปถึง 300% ตัวควบคุมฟีไอดีก็ยังคงสามารถควบคุมกระบวนการได้อยู่ เช่นที่เดดไทม์เท่ากับ 1.0 ค่า  $\tau$  มีค่า -40% จะมีค่าความผิดพลาดไอทีเออี เท่ากับ 430 ที่  $\tau$  เพิ่มขึ้น +40% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่าเพียง 13.5 และที่  $\tau$  มีค่าเพิ่มขึ้น 300% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีมีค่าเพียง 56 และที่เดดไทม์ 15 ค่า  $\tau$  มีค่า -30%, +30% และ + 300% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่า 2500, 400 และ 2100 ตามลำดับ



รูปที่ 4. 14 กราฟแสดงผลการควบคุมเมื่อเวลาของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง





รูปที่ 4. 15 กราฟแสดงผลการควบคุมเมื่อเดดโทมมีการเปลี่ยนแปลง

การศึกษากรณีที่สอง ทำการศึกษาคล้ายคลึงกับกรณีแรกแต่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของเดคโทม์ออกไปให้มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้น ในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน จากรูปที่ 4.15 และตารางที่ 27 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่า การลดลงของเดคโทม์ถึงแม้ว่าการควบคุมจะทำได้ง่าย ดังจะเห็นในช่วงแรกที่ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่าน้อยลง และเมื่อเดคโทม์ลดลงไปอีกค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะเพิ่มมากขึ้น โดยค่าเดคโทม์สามารถลดลงไปได้ถึง 100% นั่นคือกระบวนการไม่มีเดคโทม์เลย และในกรณีที่เดคโทม์เพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นได้เพียง +60% ก่อนที่การควบคุมจะไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ เช่นที่ค่าเดคโทม์ขณะจุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 1.0 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเดคโทม์ และเดคโทม์ลดไปเป็น -50 % และ -100% ความผิดพลาดจะมีค่า 13.5, 20 และ 22 เท่า นั้น แต่เมื่อเดคโทม์เพิ่มมากขึ้นเป็น 60% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะเพิ่มขึ้นเป็น 740 เป็นต้น

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปแนวโน้มว่าการจูนตัวควบคุมพีไอดี โดย Z-N มีขอบเขตความสามารถในการควบคุมกระบวนการที่ค่อนข้างกว้าง คือเวลาของกระบวนการเปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง -40% ถึง มากกว่า 300% และค่าเดคโทม์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง -100% ถึง 60% สำหรับกระบวนการที่มีค่า  $\tau = 10$

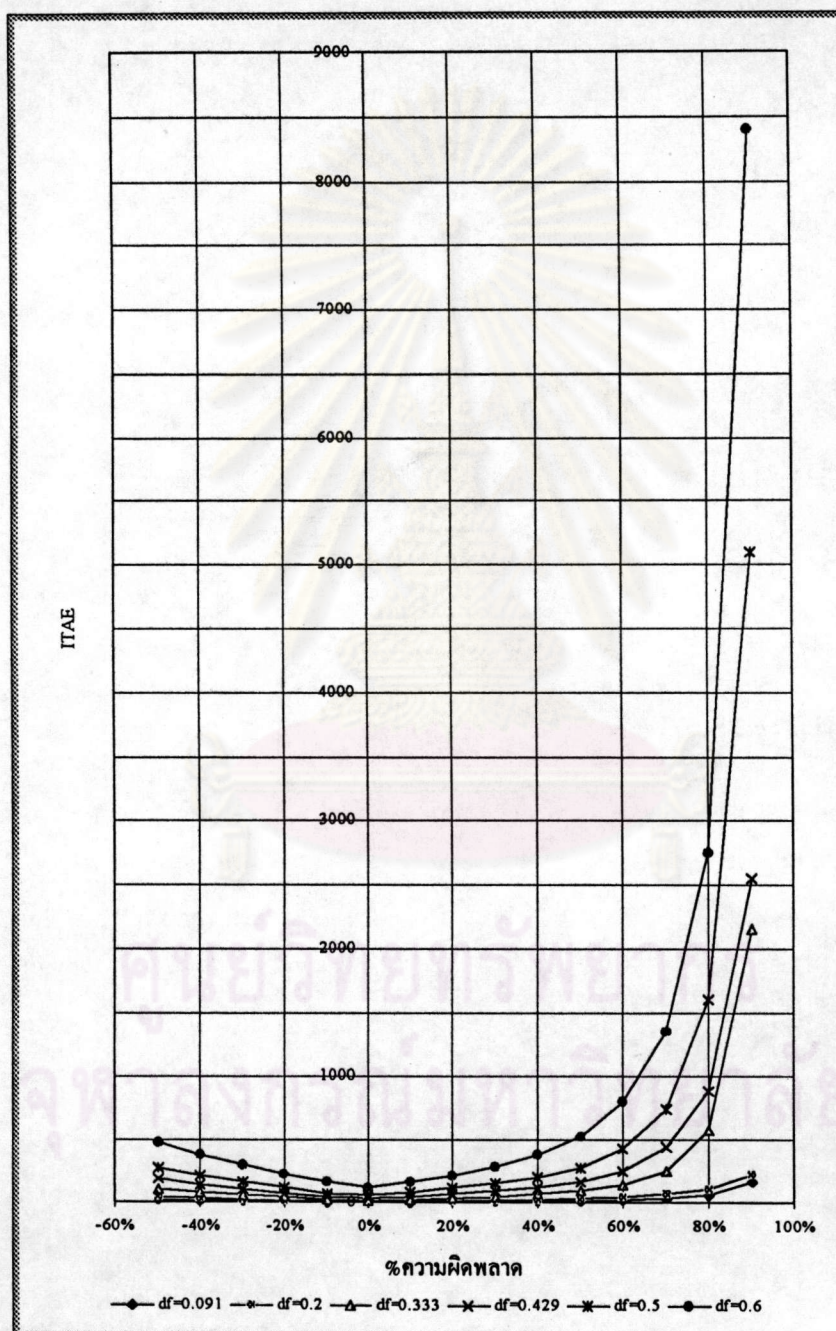
#### 4.3.7 การศึกษากรณีที่ 7

เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบความทนทานของกระบวนการที่ควบคุมแบบไอเอ็มซีในกรณีที่การประเมินแบบจำลองผิดพลาดไปจากกระบวนการจริง โดยจะพิจารณาความผิดพลาดของกระบวนการออกเป็น 2 กรณี คือ ในกรณีที่เวลาของกระบวนการของแบบจำลองผิดพลาด และอีกกรณี คือ เดคโทม์ของกระบวนการของแบบจำลองผิดพลาด เนื่องจากค่าของตัวควบคุม ( $G_c$ ) คำนวณจากเวลาของกระบวนการดังนั้นค่าดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาของกระบวนการออกไป ในการศึกษาได้กำหนดให้  $\tau_m = 10$  วินาที และ  $\theta_m$  มีค่าเปลี่ยน

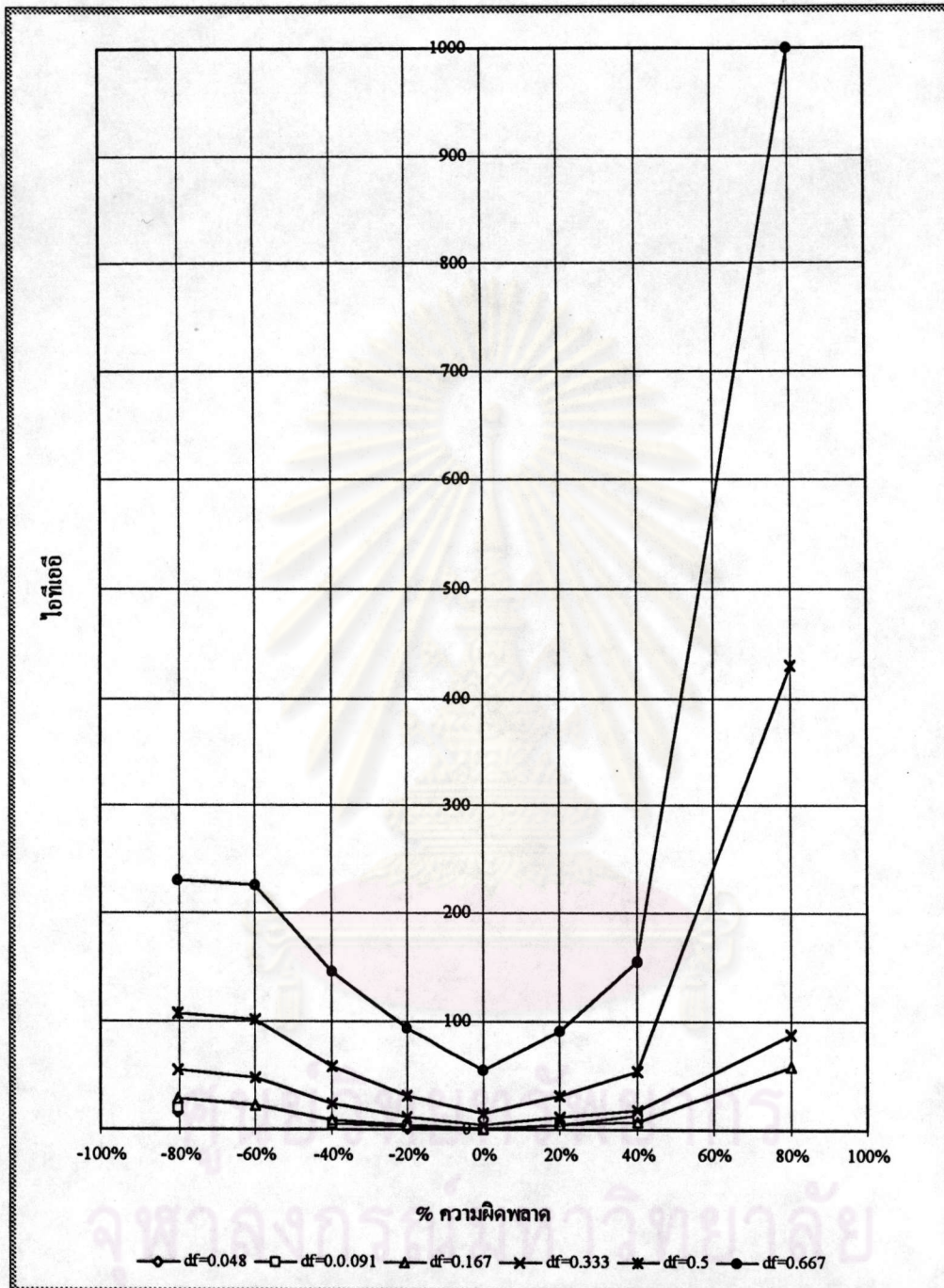
แปลงตั้งแต่ 1-15 วินาที.ทำการเลียนแบบการควบคุมและวัดความผิดพลาดไอทีเออี จะพบว่าแนว  
 โนม์โดยทั่วไป ค่าเวลาของกระบวนการของแบบจำลองสามารถจะเบี่ยงเบนไปจากกระบวนการได้  
 ในระหว่าง-50%ถึงประมาณ +90% ก่อนที่จะไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ พบว่า ค่าความผิด  
 พลาดไอทีเออีจะสูงมากเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบไอเอ็มซี ที่แบบจำลองไม่มีความผิดพลาด เช่น  
 ที่เดคไทน์แฟรคชันมีค่า 0.091ค่าเบี่ยงเบนของเวลาของกระบวนการจะอยู่ระหว่าง -50% ถึง +90%  
 เมื่อเดคไทน์แฟรคชันเพิ่มขึ้นเป็น 0.2-0.6 ระบบยังคงสามารถเบี่ยงเบนได้ในระหว่าง -50% ถึง 90%  
 อยู่ ส่วนค่าที่อยู่นอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กระบวนการไม่สามารถควบคุมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16  
 และตารางที่ 28 ในภาคผนวกที่ 3 จากรูปที่ 4.16 จะพบว่า กระบวนการที่มีค่าเดคไทน์แฟรคชันต่ำๆ  
 เช่นระหว่าง 0.90-0.2 ค่าไอทีเออีที่เกิดจากแบบจำลองผิดพลาดจะมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่เมื่อเดค  
 ไน์แฟรคชันของกระบวนการเพิ่มมากขึ้น ค่าไอทีเออีดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเช่น  
 ที่แบบจำลองผิดพลาด 80% และเดคไทน์แฟรคชัน 0.091 ถึง 0.2 ค่าไอทีเออีจะมีค่าตั้งแต่ 65 ถึง 106  
 และเมื่อเดคไทน์แฟรคชันเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 ค่าไอทีเออีจะสูงขึ้นไปถึง 2750 เปอร์เซนต์ความผิดพลาด  
 ทั้งทางด้านเพิ่มขึ้นและลดลงจะให้ค่าความผิดพลาดไอทีเออีที่เปลี่ยนแปลงเท่ากัน แต่การเปลี่ยน  
 แปลงเวลาของกระบวนการในแบบจำลองจะลดลงมาได้ไม่มาก คือได้ประมาณ -50% ส่วนการเพิ่ม  
 ขึ้นจะได้มากกว่า คือประมาณ +90% ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงที่ -50% ที่กระบวนการที่มีเดค  
 ไน์แฟรคชัน 0.091 ค่าไอทีเออีจะมีค่า 19.3 ส่วนเดคไทน์แฟรคชัน 0.6 จะให้ค่าไอทีเออีมีค่า 480  
 สำหรับกระบวนการที่เวลาของกระบวนการเป็น 5 และ 15 วินาที ความผิดพลาดของแบบจำลอง  
 ของกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงอยู่ในระหว่าง -80 ถึง +80% และ-90% ถึง +80% ค่าความผิดพลาด  
 ไอทีเออี ของกระบวนการที่มีเดคไทน์แฟรคชันน้อยจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเดคไทน์แฟรคชันเพิ่ม

มากขึ้น ค่าไอทีเออีจะสูงขึ้นอย่างชัดเจน ตามรูปที่ 4.17 และ 4.18 และตารางที่ 29 และ 30 ในภาค

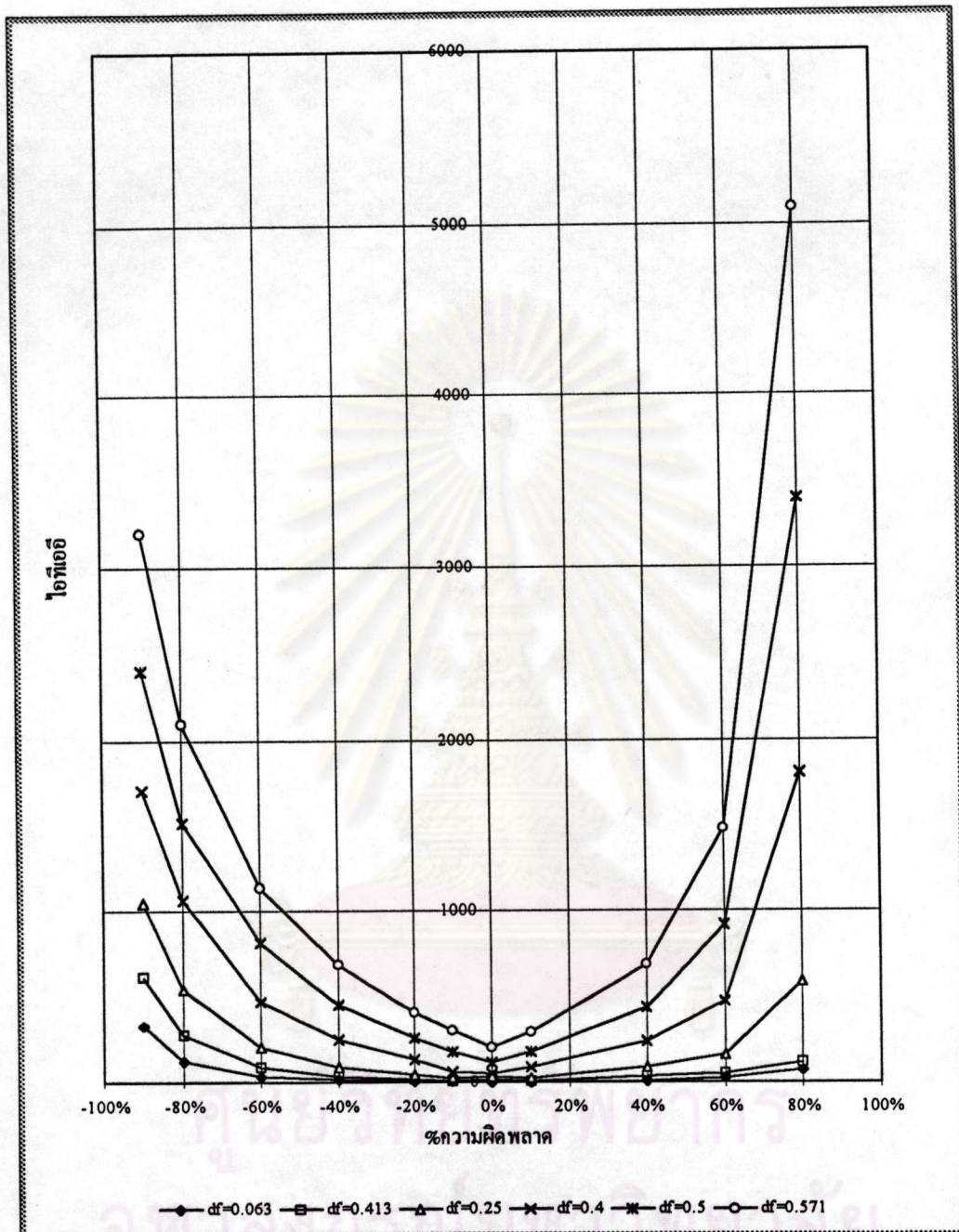
ผนวกที่ 3



รูปที่ 4. 16 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อ  $\tau_m$  มีความผิดพลาด



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อ  $\tau_m$  มีความผิดพลาดเมื่อ  $\tau = 5$



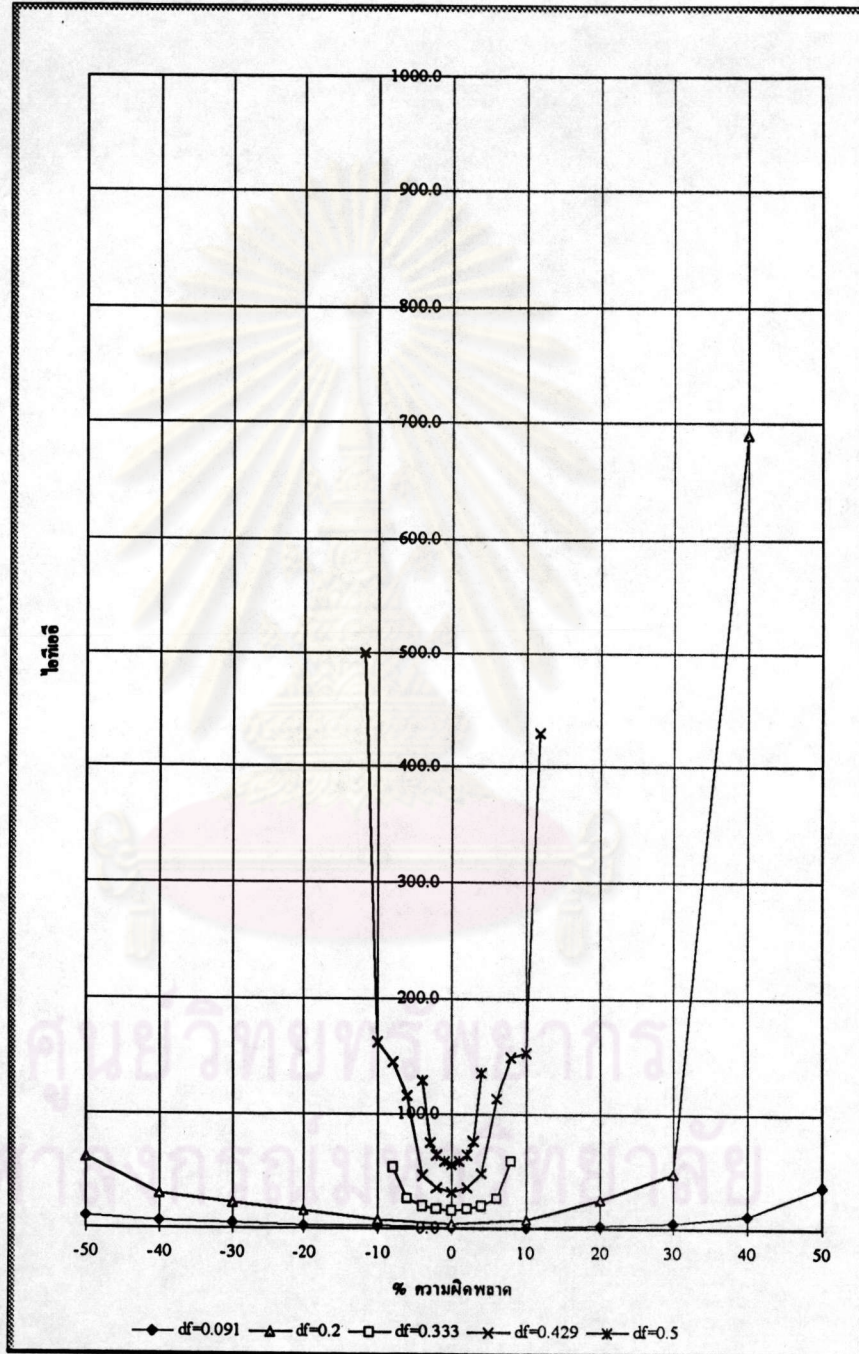
รูปที่ 4. 18 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อ  $\tau_m$  มีความผิดพลาดเมื่อ  $\tau = 15$

กรณีที่สองเป็นการศึกษาเพื่อทดสอบความทนทานของการควบคุมแบบไอเอ็มซี ในกรณีที่เป็นแบบจำลองของกระบวนการ มีค่าเดดไทม์เปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการจริงซึ่งในการทำการศึกษาก็จะทำโดยกำหนดให้ค่าเดดไทม์ของแบบจำลองมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดดไทม์ของ

กระบวนการจริง ในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน เนื่องจากในการวิจัยจะใช้การกำหนดค่าตัวควบคุมพีไอดี เป็นฟังก์ชันของ z-ทรานส์ฟอร์ม ซึ่งค่าเดดไทม์ของแบบจำลองจะไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวควบคุมพีไอดี เนื่องจากค่าเดดไทม์จะเป็นเทอมที่ไม่เสถียรและถูกกำหนดให้รวมอยู่ในเทอมของ  $G_+$  กำหนดให้กระบวนการที่ศึกษามีเวลาของกระบวนการเป็น 10 วินาที และเดดไทม์แปรคชันอยู่ระหว่าง 0.091-0.5 จากรูปที่ 4.19 และตารางที่ 31 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่าที่กระบวนการที่มีเดดไทม์แปรคชันต่ำๆ เช่นที่ 0.091 ความผิดพลาดของเดดไทม์ของแบบจำลองจะมีค่าระหว่าง -50% ถึง +50% และเมื่อเดดไทม์แปรคชันเพิ่มขึ้นค่าความผิดพลาดของเดดไทม์จะแคบลงเช่นที่เดดไทม์แปรคชัน 0.33 ถึง 0.50 ค่าความผิดพลาดของเดดไทม์จะมีค่าน้อยคือ ระหว่าง -8% ถึง +8% และ -4% ถึง +4%

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาว่าในกรณีที่เวลาของกระบวนการต่างออกไป เช่น  $\tau = 5$  และ 15 วินาที โดยยังคงมีเดดไทม์แปรคชันอยู่ในช่วงดังกล่าว จะพบว่าที่  $\tau = 5$  ที่เดดไทม์แปรคชันมีค่าน้อยเช่น ที่ 0.048 และ 0.09 ค่าความผิดพลาดของเดดไทม์ในแบบจำลองจะขยายช่วงออกไปเป็นระหว่าง -90% ถึง +90% และ ที่เดดไทม์มีแปรคชันเพิ่มมากขึ้น ค่าความผิดพลาดเดดไทม์จะแคบลง เช่นเดียวกัน เช่น ที่เดดไทม์แปรคชัน 0.33 และ 0.5 ความผิดพลาดของกระบวนการจะแคบจากช่วง  $\pm 40\%$  มาเป็น  $\pm 9\%$  และที่  $\tau = 15$  จะพบว่าช่วงความผิดพลาดของเดดไทม์ในแบบจำลองจะแคบลงเมื่อเทียบกับกระบวนการที่มี  $\tau = 10$  เช่นที่เดดไทม์แปรคชัน = 0.06 ค่าความผิดพลาดของเดดไทม์จะมีค่าระหว่าง -40% ถึง 50% และเมื่อเดดไทม์แปรคชันเพิ่มมากขึ้น เป็น 0.25 และ 0.50 ค่าความผิดพลาดของเดดไทม์จะแคบลงมาเหลือระหว่าง -8% ถึง +8% และ -2% ถึง +2% ตามลำดับตามตารางที่ 32 และ 33 ในภาคผนวกที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าการควบคุมป้อนกลับแบบไอเอ็มซี

ต้องการการประมาณค่าเดต้าใหม่ของแบบจำลองที่ถูกดองแมนยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการที่มี  
เวลาของกระบวนการมีค่ามากๆ



รูปที่ 4. 19 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อ  $\theta_m$  มีความผิดพลาดเมื่อ  $\tau_m=10$



#### 4.3.8 การศึกษากรณีที่ 8

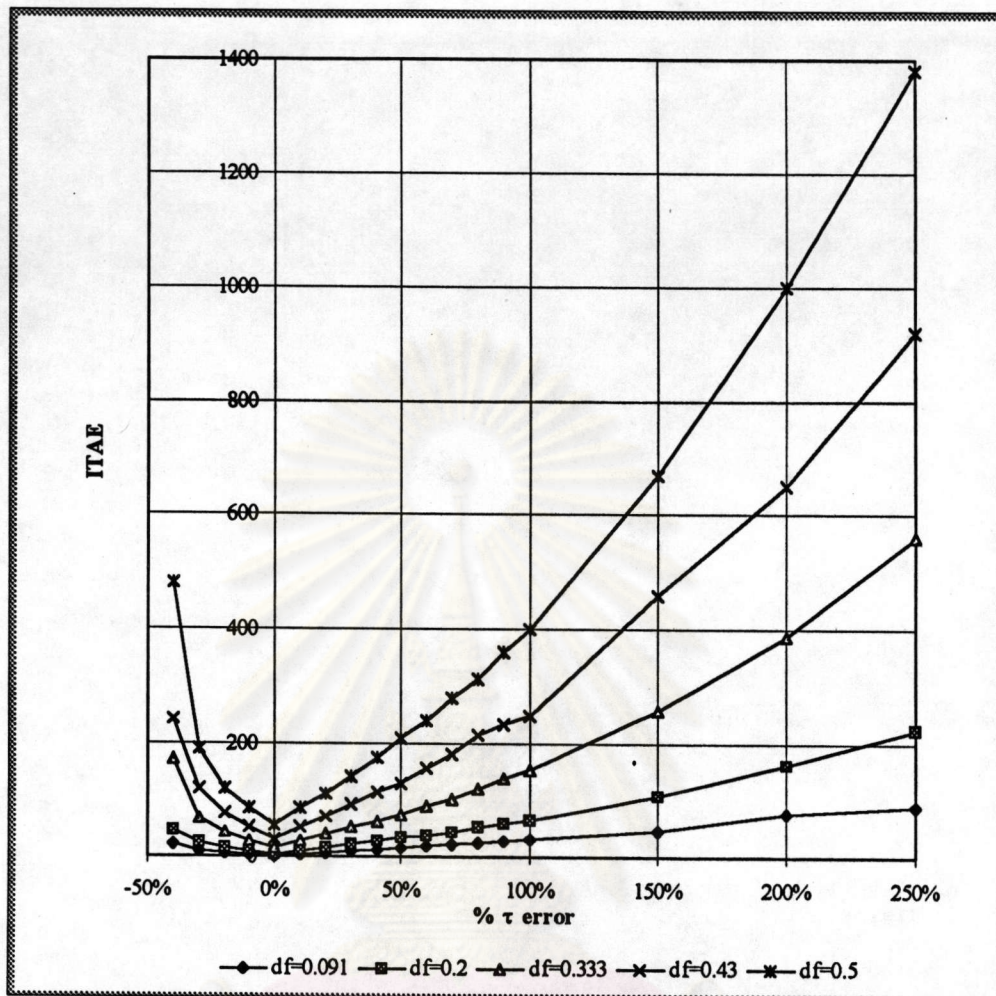
เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบความทนทานของตัวควบคุมฟีไอดีที่จูนโดยวิธีการแนวทางไอเอ็มซี โดยการคาดการณ์ว่าภายหลังที่จูนตัวควบคุมฟีไอดี และตั้งค่าควบคุมแล้วเสร็จกระบวนการจริงได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพื่อศึกษาว่าถ้ามีการผิดพลาดเวลาของกระบวนการหรือเดดไทม์แล้ว ตัวควบคุมที่กำหนดค่าไว้แล้วจะยังคงควบคุมกระบวนการได้หรือไม่ โดยจะพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงของเวลาของกระบวนการและศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของเดดไทม์

การศึกษากรณีแรก กำหนดให้  $\tau = 10$  และเดดไทม์แปรคชันมีค่าระหว่าง 0.09-0.6 และทำการเปลี่ยนแปลงค่า  $\tau$  ให้ผิดพลาดไปจากค่าแรกที่ใช้กำหนดค่าตัวควบคุมฟีไอดีและกำหนดให้ค่าฟีไอดีของแต่ละกระบวนการมีค่าคงที่ จากรูปที่ 4.20 และตารางที่ 34 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่ากระบวนการที่  $\tau$  ลดลงจะลดลงมาได้ถึง -40% ของกระบวนการที่ใช้กำหนดค่าฟีไอดี หากลดต่ำกว่านี้แล้วกระบวนการจะควบคุมไม่ได้ โดยที่แนวโน้มดังกล่าวนี้เป็นเช่นเดียวกันเมื่อเดดไทม์ของกระบวนการมากขึ้น ส่วนการเพิ่มขึ้นของ  $\tau$  ดูเหมือนจะไม่ได้สร้างปัญหาให้แก่ตัวควบคุมฟีไอดี แต่อย่างไร ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทำการเลียนแบบที่เพิ่มค่า  $\tau$  ขึ้นไปถึง +250% ตัวควบคุมฟีไอดีก็ยังคงสามารถควบคุมกระบวนการได้อยู่ เช่นที่เดดไทม์เท่ากับ 1.0 ค่า  $\tau$  มีค่า -40% จะมีค่าความผิดพลาดไอทีเออี เท่ากับ 22.5 ที่  $\tau$  เพิ่มขึ้น +40% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่าเพียง 12.4 และที่  $\tau$  มีค่าเพิ่มขึ้น 250% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีมีค่าเพียง 90 และที่เดดไทม์ 10 ค่า  $\tau$  มีค่า -30%, +30% และ + 250% ค่าความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่า 190, 142 และ 1380 ตามลำดับ

การศึกษากรณีที่สอง ทำการศึกษาคล้ายคลึงกับกรณีแรกแต่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของเดคไทน์ออกไปให้มีค่าลดลงและเพิ่มขึ้น ในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 35 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่า ที่กระบวนการที่มีเดคไทน์แปรคั่นต่ำๆ เช่น ที่เดคไทน์แปรคั่นมีค่าเท่ากับ 0.091 ความผิดพลาดของเดคไทน์ของกระบวนการจริงจะมีค่าระหว่าง -45% ถึง +45% และเมื่อเดคไทน์แปรคั่นเพิ่มขึ้น ค่าความผิดพลาดของเดคไทน์จะแคบลง เช่น ที่เดคไทน์แปรคั่นมีค่า 0.333 ถึง 0.5 ค่าความผิดพลาดของเดคไทน์จะมีค่าน้อยคือ -8% ถึง 8% และ -4% ถึง 4%

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปแนวโน้มว่าการจูนตัวควบคุมพีไอดี โดยใช้แนวทางไอเอ็มซีมีขอบเขตความสามารถในการควบคุมกระบวนการที่ค่อนข้างกว้าง คือเวลาของกระบวนการเปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง -40% ถึงมากกว่า +250% แต่ค่าเดคไทน์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับค่าเดคไทน์แปรคั่น ถ้าเดคไทน์แปรคั่นยิ่งสูงค่าความผิดพลาดของเดคไทน์ยิ่งมีช่วงแคบลง

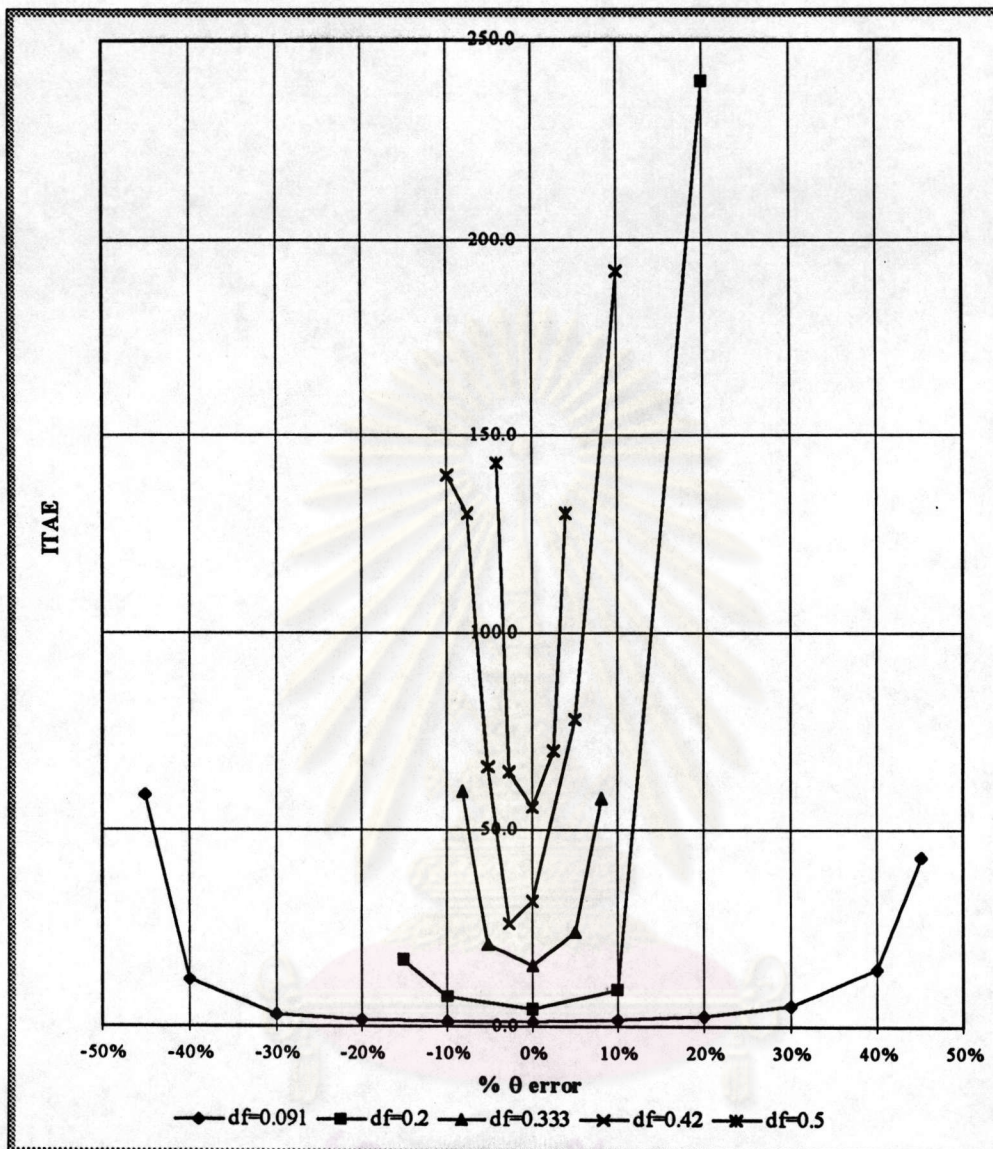
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 20 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเวลาของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4. 21 กราฟแสดงผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีเมื่อเดดไทม์ของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง

#### 4.3.9 การศึกษากรณีที่ 9

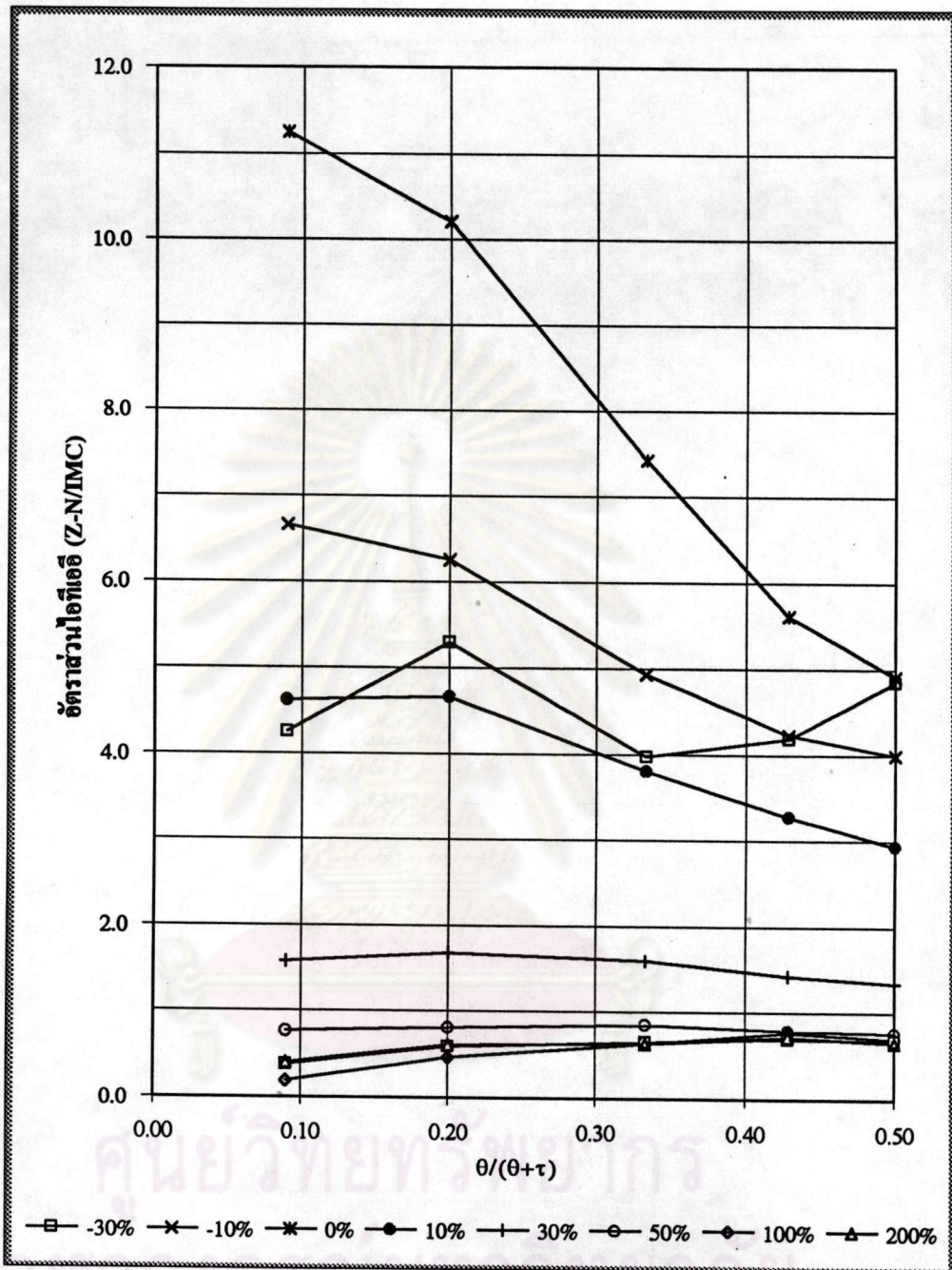
จะเป็นการเปรียบเทียบการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองกับการควบคุมแบบไอเอ็มซีที่แบบจำลองผิดพลาดทั้งกรณีผิดพลาดจากเวลาของกระบวนการและผิดพลาดจากเดดไทม์ โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเอระหว่างการ

ควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมต่อการควบคุมแบบไอเอ็มซี โดยที่อัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเออีมีค่าเป็นหนึ่งใน จะแสดงว่าการควบคุมของไอเอ็มซีจะไม่แตกต่างไปจากการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิมซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวจะบ่งชี้ให้ทราบถึงขีดจำกัดของการควบคุมว่าจะผิดพลาดได้มากน้อยเพียงใด กรณีแรกพิจารณาแบบจำลองผิดพลาดที่เวลาของกระบวนการ จากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 36 ในภาคผนวกที่ 3 จะพบว่า ที่กระบวนการถูกต้องผลการควบคุมแบบไอเอ็มซีดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N ระหว่าง 6-12 เท่า ที่  $\tau = 10$  และเมื่อเวลาของกระบวนการผิดพลาด 30% การควบคุมแบบ Z-N และแบบไอเอ็มซีไม่มีความแตกต่าง เมื่อเวลาของกระบวนการผิดพลาดมากกว่า +50% การควบคุมแบบไอเอ็มซีจะให้ผลการควบคุมแก่กว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N เช่น ที่ความผิดพลาดของกระบวนการเป็น +50% อัตราส่วนของความผิดพลาดไอทีเออีจะมีค่าประมาณ 0.8 เท่า หากความผิดพลาดของเวลาของกระบวนการอยู่ในช่วง 0 ถึง -30% การควบคุมแบบไอเอ็มซียังคงควบคุมได้ดีกว่าแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N สรุปว่า ถึงแม้เวลาของกระบวนการผิดพลาดถึง -30% และไม่เกิน +50% การควบคุมแบบไอเอ็มซีดีกว่าแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N จนกระทั่งถ้ากระบวนการผิดพลาดเนื่องจากเวลาของกระบวนการที่มากกว่า +50% การควบคุมแบบไอเอ็มซีจะแก่กว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N

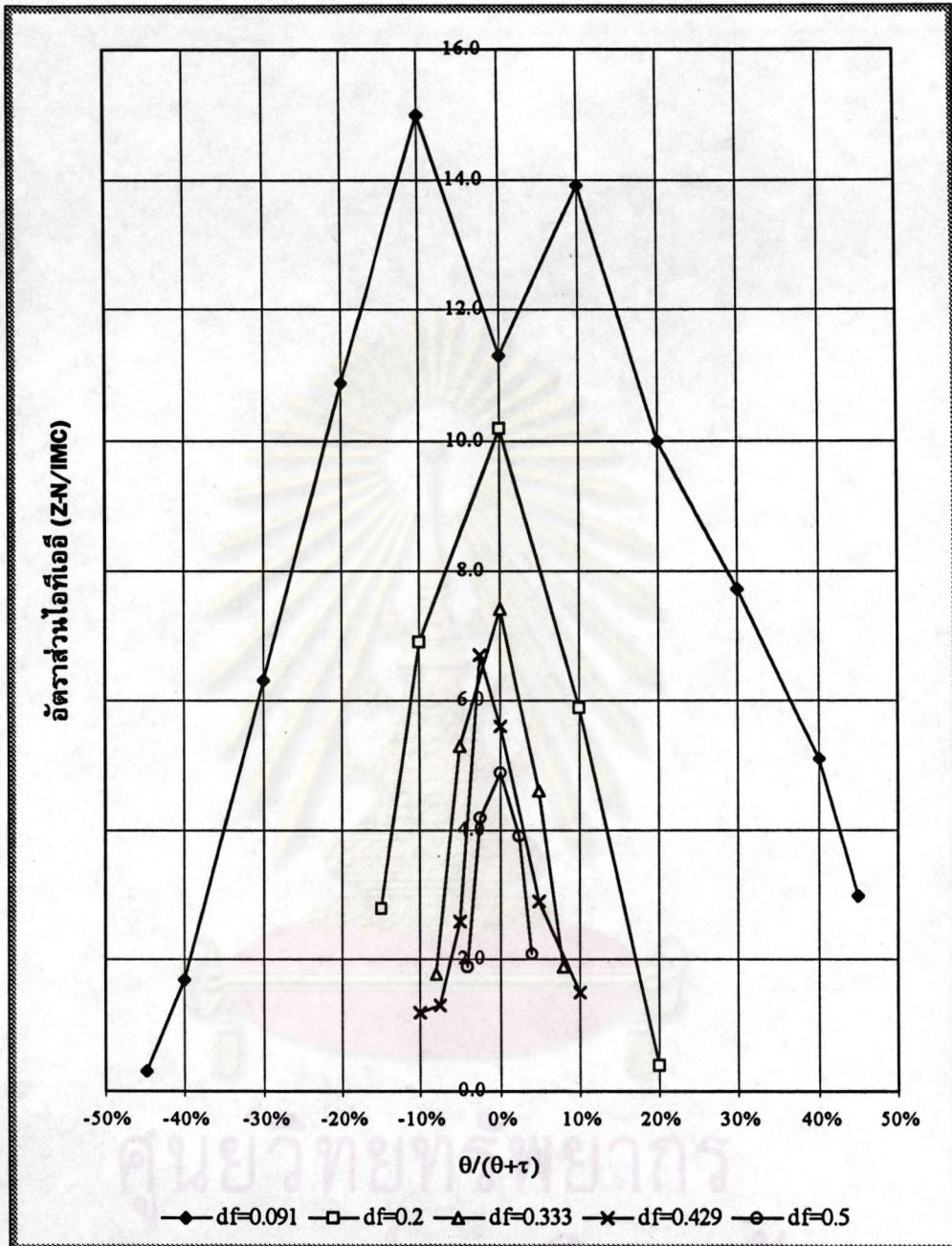
ส่วนกรณีที่สอง พิจารณากระบวนการผิดพลาดที่เดดไทม์จากรูปที่ 4.23 และตารางที่ 37 ในภาคผนวกที่ 3 ที่  $\tau = 10$  จะพบว่า เมื่อเกิดการผิดพลาดที่เดดไทม์ในกระบวนการขึ้น อัตราส่วนไอทีเออีระหว่างการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N ต่อแบบไอเอ็มซีมีช่วงที่แคบลงเมื่อเดดไทม์แปรผันเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมแบบไอเอ็มซี เมื่อเกิดความผิดพลาดที่เดดไทม์ของกระบวนการจะแคบลงเมื่อเดดไทม์แปรผันเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่า ที่เดดไทม์แปรผันมีค่า 0.091 การควบคุมแบบไอเอ็มซีดีกว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N จนเมื่อเดดไทม์ของ

กระบวนการผิดพลาดไปมากกว่า -40% จะให้ผลการควบคุมไม่ดีเท่าแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N เช่น ที่เดคโทม์ผิดพลาดไป -45% อัตราส่วนไอทีเออีระหว่างป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N ต่อแบบ ไอเอ็มซีมีค่าเท่ากับ 0.3 นั่นคือการควบคุมป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N ดีกว่าการควบคุมแบบ ไอเอ็มซี ที่เดคโทม์แปรคชันเท่ากับ 0.2 เดคโทม์ของกระบวนการผิดพลาดไป -15% ถึง +15% การควบคุมแบบ ไอเอ็มซียังควบคุมได้ดีกว่าการควบคุมป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N แต่หากเดคโทม์ผิดพลาดเพิ่มมากขึ้น เช่น +20% การควบคุมแบบ ไอเอ็มซีกลับแย่กว่าการควบคุมแบบป้อนกลับแบบดั้งเดิม Z-N และเมื่อเดคโทม์แปรคชันมากขึ้น เช่น ที่ 0.5 การควบคุมแบบ ไอเอ็มซีจะควบคุมได้ดีเฉพาะช่วงที่ เดคโทม์มีความผิดพลาดระหว่าง -4% ถึง +4% เท่านั้น

ศูนย์วิทยพัชยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 22 เปรียบเทียบการควบคุมไอเอ็มซีกับ Z-N เมื่อ  $\tau_p$  ผิดพลาด



รูปที่ 4. 23 เปรียบเทียบการควบคุมไอเอ็มซีกับ Z-N เมื่อ  $\theta_p$  ผิดพลาด