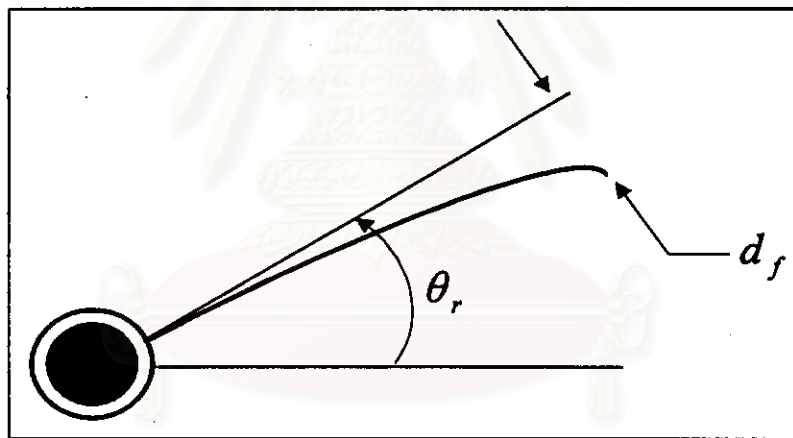


บทที่ 4

การควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว

ในบทนี้เป็นการแสดงผลการนำวิธีการควบคุมที่น่าเสนอในบทที่แล้วทดลองใช้กับแขนกลแบบอ่อนตัว ในตอนแรกจะกล่าวถึงแบบจำลองและการออกแบบตัวควบคุมของชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว จากนั้นเป็นผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ของวิธีการควบคุมทั้งสองวิธี คือ การควบคุมแบบไม่เชิงเส้นและวิธีที่น่าเสนอ โดยทดลองทั้งในสภาวะปกติและกรณีที่มีการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลายและการเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ ในส่วนนี้ได้ทำการศึกษามูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุม ต่อไปเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลอง และในสุดท้ายเป็นการทดลองกับระบบจริง

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว



รูปที่ 4.1 มุมของมอเตอร์ (θ_r) และระยะที่เบี่ยงเบนไป (d_f) จากแกนอ้างอิงของแขนกลแบบอ่อนตัว

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว ซึ่งมีส่วนประกอบหลักสองส่วนคือ 1. มอเตอร์กระแสตรงแบบควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ (armature-controlled DC motor) และ 2. คานอ่อนตัว (flexible beam) ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงมี 2 ส่วนคือส่วนของแขนกลแบบอ่อนตัวและส่วนของมอเตอร์กระแสตรง ในการหาแบบจำลองเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมจึงคิดว่าได้แบบจำลองจากระเบียบวิธีขึ้นประกอบอันดับโดยแบ่งส่วนอ่อนตัวเพียง 1 ท่อน ก็จะได้แบบจำลองของส่วนแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่มีตัวแปรสถานะดังนี้ $[\theta, \dot{\theta}, d_f, \dot{d}_f]$ ซึ่งจัดอยู่ในรูปแบบ (3-1) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_r \\ \ddot{d}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{rr} & h_{rf} \\ h_{fr} & h_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{d}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_r \\ d_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

สัญญาณเข้าของระบบตามสมการ (4-1) เป็นแรงบิดของมอเตอร์ แต่ในสัญญาณเข้าของชุดทดลอง คือแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์กระแสตรง ดังนั้นจึงต้องรวมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เข้าไปด้วย ดังนี้

$$\tau = K_t i_a \quad (4-2)$$

และเมื่อไม่คิดผลของตัวเหนี่ยวนำ (L_a)

$$V_m = R_a i_a + K_v \dot{\theta}_r \quad (4-3)$$

จาก (8) และ (9) จะได้

$$\tau = \frac{K_t}{R_a} V_m - \frac{K_t K_v}{R_a} \dot{\theta}_r \quad (4-4)$$

โดยที่

K_t คือ ค่าคงตัวของแรงบิด

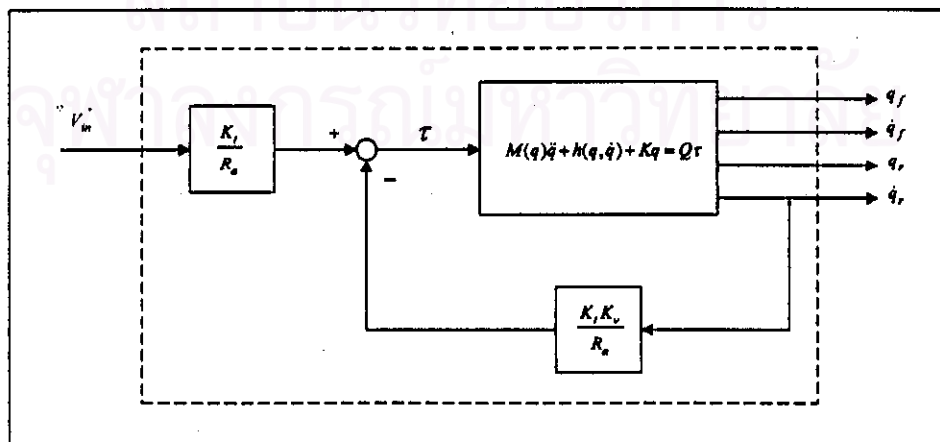
K_v คือ ค่าคงตัวของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับหลัง

R_a คือ ความต้านทานอาร์เมเจอร์

V_m คือ แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

แทน τ ตามสมการ (4-4) กลับเข้าไปใน (4-1) จะได้สมการใหม่ซึ่งมีสัญญาณเข้าเป็น แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V_m) และอยู่ในรูปของ (2-1) เหมือนเดิม แต่มี $\frac{K_t K_v}{R_a} \dot{\theta}_r$ เพิ่มเข้ามา ดังนี้

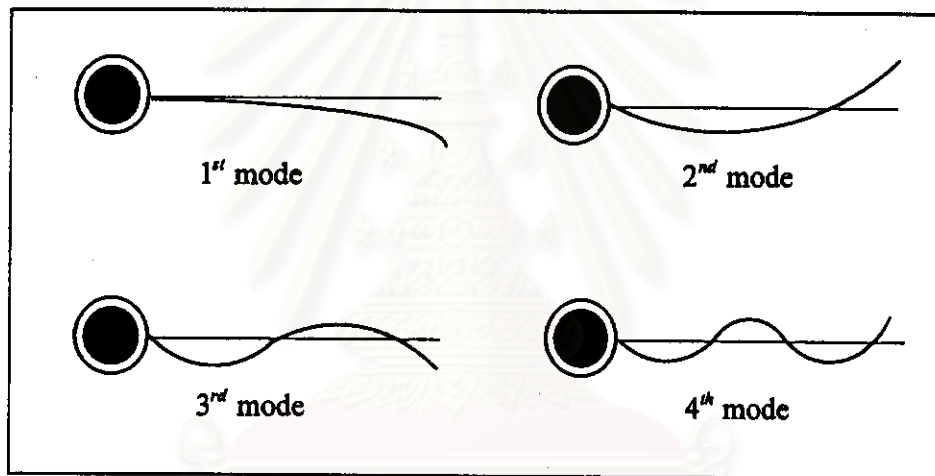
$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rf} \\ M_{fr} & M_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_r \\ \ddot{d}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{rr} & h_{rf} \\ h_{fr} & h_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{d}_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{K_t K_v}{R_a} \dot{\theta}_r \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_r \\ d_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K_t}{R_a} V_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4-5)$$



รูปที่ 4.2 แผนภาพการอบแสดงแกนกลแบบอ่อนตัวที่มีสัญญาณเข้าเป็นแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

4.2 การออกแบบตัวควบคุม

จากหัวข้อที่แล้วจะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวอยู่ในรูปแบบ (2-1) ดังนั้นจึงใช้กฎการควบคุมทั้งวิธีควบคุมแบบไม่เชิงเส้นและวิธีที่เสนอคือวิธีควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทที่อาศัยแบบจำลองในส่วนเชิงเกร็งได้ ถึงแม้ว่าในการออกแบบตัวควบคุมจะมองระบบตามสมการ (4-5) ซึ่งมีอันดับ 4 แต่ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ได้ใช้ตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบกับแบบจำลองที่อันดับมากกว่า 4 ซึ่งได้จากการใช้ระเบียบวิธีขั้นประกอบอันตะโดยทำตามขั้นตอนใน (Pota, 1992) และสามารถเลือกความละเอียดในการทำแบบจำลองได้โดยแบ่งจำนวนท่อนของแกนกลเพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้แบบจำลองที่อันดับสูงขึ้นด้วย ในที่นี้ใช้แบบจำลองอันดับ 12 รายละเอียดดูในภาคผนวก



รูปที่ 4.3 ลักษณะของแกนกลแบบอ่อนตัวโมดที่ 1 ถึง โมดที่ 4

รูปร่างของแกนกลแบบอ่อนตัวเมื่อมีการสั่นจะประกอบด้วยความถี่ธรรมชาติหลายๆ ความถี่ และเมื่อพิจารณาในแต่ละความถี่ จะส่งผลให้คานอ่อนตัวแกว่งโดยมีรูปร่างต่างๆ กัน ในรูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของคานอ่อนตัวโมดที่ 1 ถึง โมดที่ 4 โดยโมดที่สูงขึ้นหมายถึงความถี่ธรรมชาติที่สูงขึ้นด้วย ในกรณีทั่วไปเมื่อมอเตอร์มีการเคลื่อนที่ที่แกนกลแบบอ่อนตัวจะมีรูปร่างประกอบด้วยหลายๆ โมด แต่โดยทั่วไปโมดที่สูงขึ้นจะมีผลได้ยากขึ้น นอกจากเกิดการกระตุ้นด้วยสัญญาณเข้าความถี่สูง ในกรณีที่มีการควบคุมให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่เรียบ (smooth trajectory) ประกอบกับแกนกลมีความยาวไม่มาก การออกแบบตัวควบคุมจากแบบจำลองที่มาจากระเบียบวิธีขั้นประกอบอันตะ โดยแบ่งส่วนอ่อนตัวเพียง 1 ท่อนซึ่งเป็นการคิดโมดอ่อนตัวเพียงโมดแรกก็เพียงพอที่จะควบคุมได้ อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีข้อมูลของโมดอ่อนตัวมากขึ้นอาจจะเป็ระยะที่เบี่ยงเบนไปจากแกนอ้างอิงที่จุดต่างๆ หรือโมดการแกว่งที่สูงขึ้น การใช้ข้อมูลดังกล่าวในการออกแบบตัวควบคุมน่าจะได้ผลที่ดีขึ้น

4.3 ผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้เป็นผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ของการใช้กฎการควบคุมที่กล่าวถึงในบทที่ผ่านมา กับชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 4.1 โดยใช้โปรแกรม MATLAB

วิธีการที่ใช้คือวิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นและวิธีการใช้ขายงานระบบประสาทที่อาศัยแบบจำลองส่วนเชิงเกร็ง และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการปรับตัวของขายงานระบบประสาทจึงได้ทดลองเปลี่ยนสภาวะต่างๆ เช่น มวลที่ตำแหน่งปลายและเส้นทางที่ต้องการ เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวซึ่งมีผลต่อการควบคุม ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้แสดงให้เห็นผลของค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว โดยเปรียบเทียบผลตอบสนองจากกรณีที่ปรับไว้ดีแล้ว กับผลตอบสนองเมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์นั้น ส่วนต่อมาเป็นการศึกษาผลของค่าเริ่มต้นของขายงานระบบประสาทถึงผลที่มีต่อผลการควบคุมและเพื่อศึกษาแนวทางในการเลือกค่า

นอกจากนี้เพื่อแสดงความถูกต้องของการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ จึงได้ทดลองใช้ตัวควบคุมตัวเดิมกับแบบจำลองของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่ได้จากวิธีอื่นๆ เช่น ระเบียบวิธีขั้นประกอบ อันตะไน Ge et al. (1997) ซึ่งได้แบบจำลองไม่เชิงเส้น และ วิธีการสมมติโมด ใน Tomei and Tornambe (1988)

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ความเฉื่อยที่แกนหมุน	J _{hub}	0.002	Kgm ²
ความยาวของแขนกล	L	0.45	M
ความสูงของแขนกล	H	0.02	M
ความหนาของแขนกล	W	0.0008	M
มวลของแขนกล	MI	0.06	Kg
ความเฉื่อยของแขนกล	JI	0.0042	Kgm ²
มวลที่ตำแหน่งปลาย	Mb	0.05	Kg

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของแขนกลแบบอ่อนตัว

เส้นทางที่ต้องการ (Desired Trajectory)

ในการทดลองกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ตาม เป็น sinusoidal acceleration ซึ่งใช้ตามบทความ (Lin and Yih, 1996) มีสมการดังนี้

$$\ddot{\theta}_d = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (4-6)$$

ดังนั้น

$$\dot{\theta}_d = -\frac{aT}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + b \quad (4-7)$$

$$\theta_d = -\frac{aT^2}{4\pi^2} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + bt + c \quad (4-8)$$

โดยที่

T คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

และ ถ้าสมมติให้ ค่าเริ่มต้น และค่าสุดท้ายเป็น

$$\ddot{\theta}_d(0) = \dot{\theta}_d(0) = 0, \theta_d(0) = \theta_0$$

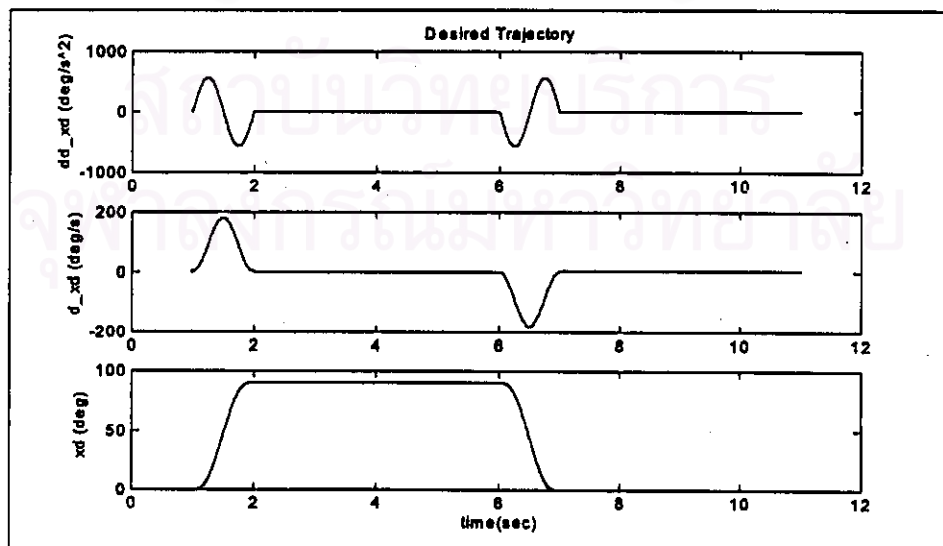
และ

$$\ddot{\theta}_d(T) = \dot{\theta}_d(T) = 0, \theta_d(T) = \theta_f$$

ดังนั้นจะได้

$$b = \frac{\theta_f - \theta_0}{T}, \quad a = \frac{2\pi b}{T}, \quad c = \theta_0 \quad (4-9)$$

ในที่นี้สมมติว่าต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 0° และตำแหน่ง 90° ภายในเวลา 1 วินาที ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 90^\circ, T = 1$) ซึ่งมีเส้นทางแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เส้นทางที่ต้องการที่ใช้ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

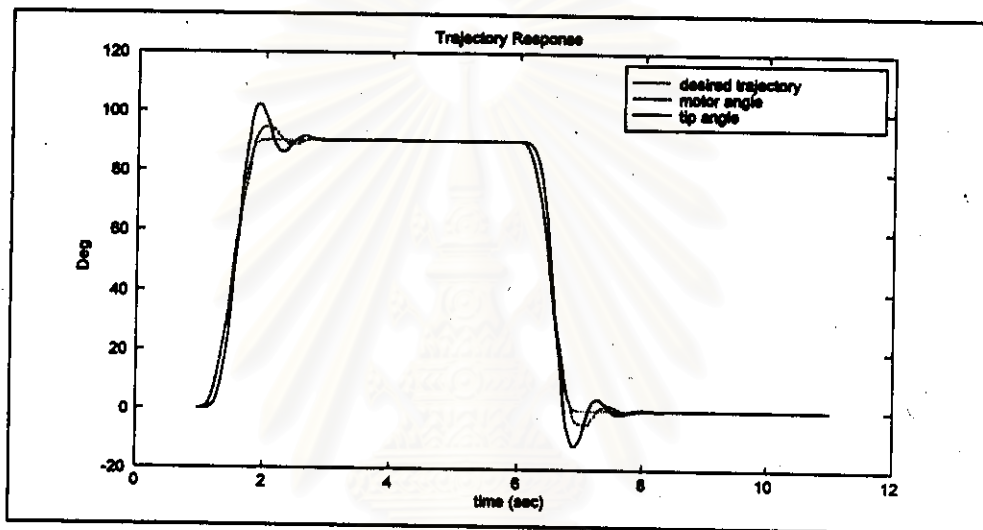
4.3.1 การควบคุมแบบไม่เชิงเส้น

(ก) ผลตอบสนองของระบบในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้ว

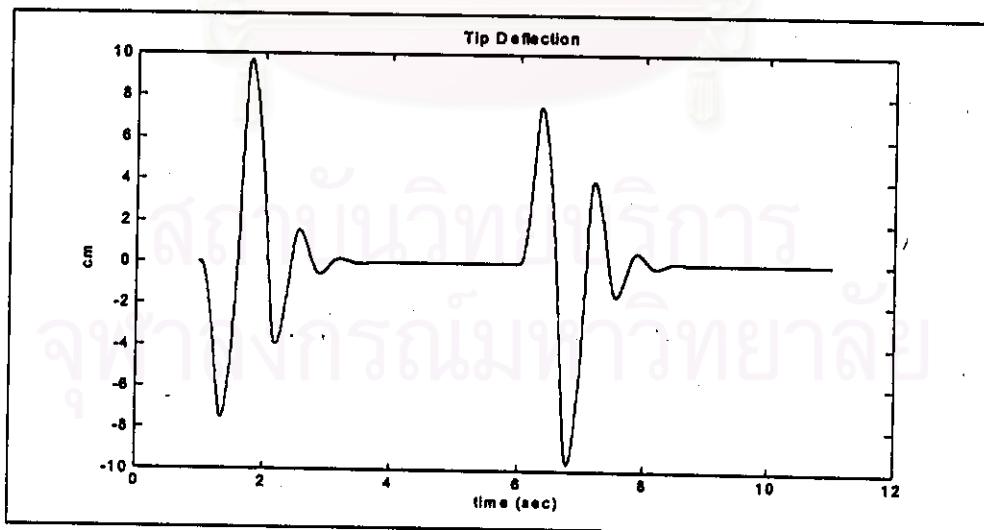
หลังจากที่ปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจนได้ผลตอบสนองที่ค่อนข้างดี ซึ่งก็คือมอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและตำแหน่งปลายหยุดคนก่วงในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์เป็นดังนี้

$$\lambda_r = 0.1, \lambda_f = 2, K_w = 0.2, K_v = 0.1, \varepsilon = 0.1$$

จะได้ผลตอบสนองของระบบตามรูปที่ 4.5



(ก)



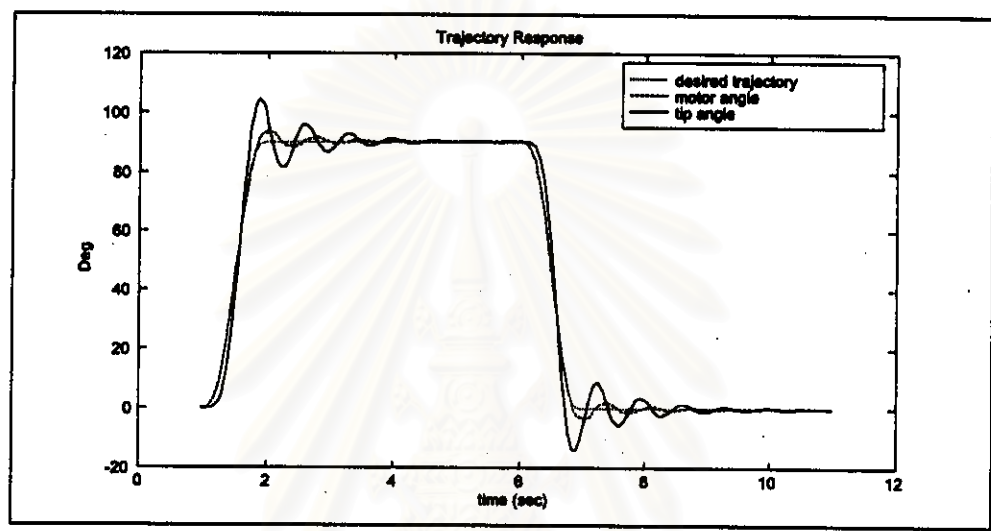
(ข)

รูปที่ 4.5 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ปรับแล้ว

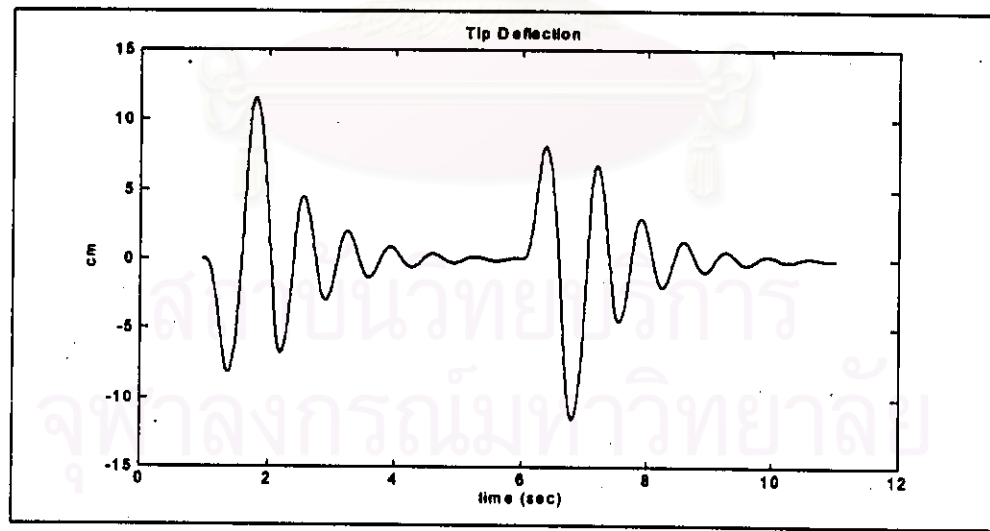
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเวลาเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

(ข) ผลของพารามิเตอร์ λ_r, K_{vr}

พารามิเตอร์ทั้งสองอยู่ในส่วนของการควบคุมส่วนเชิงเกร็ง ซึ่งก็คือมุมของมอเตอร์ ถ้าเลือกให้มีค่ามาก มุมของมอเตอร์ก็จะตามเส้นทางที่ต้องการได้ดีขึ้น แต่ในกรณีที่ใช้ค่ามากเกินไปจะเป็นผลให้เกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้ค่า $K_{vr} = 0.5$



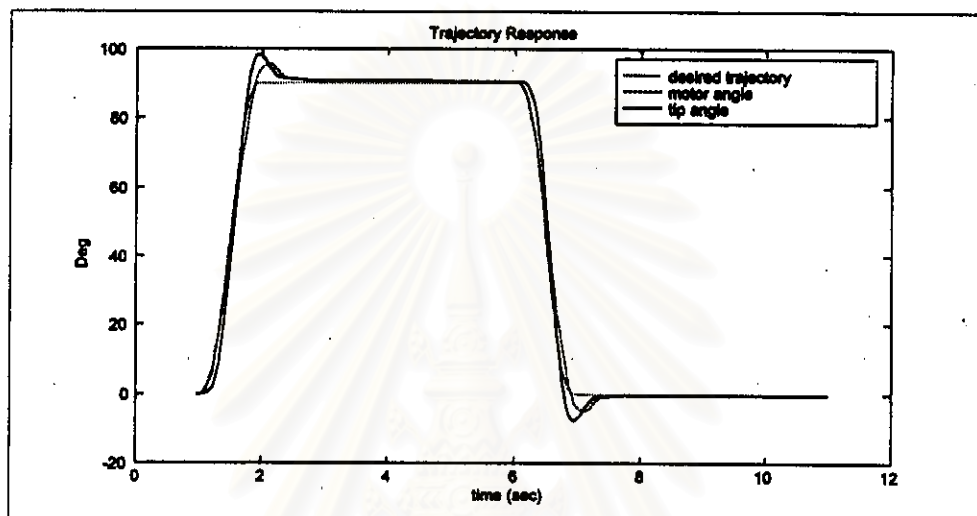
(ก)



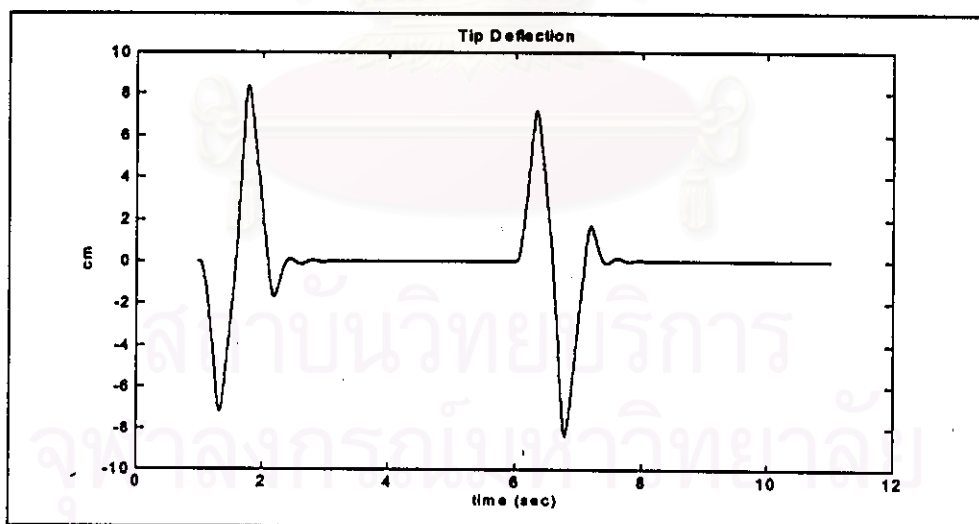
(ข)

รูปที่ 4.6 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ λ_r หรือ K_{vr} มาก
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

ในกรณีที่เลือกค่าน้อยการแกว่งของตำแหน่งปลายจะลดลงสู่ศูนย์แต่มุมของมอเตอร์จะไม่เป็นไปตามเส้นทางที่ต้องการ ซึ่งถ้าเลือกค่าน้อยมากก็จะทำให้มุมของมอเตอร์เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการค่อนข้างช้า ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ค่า $K_v = 0.08$



(ก)

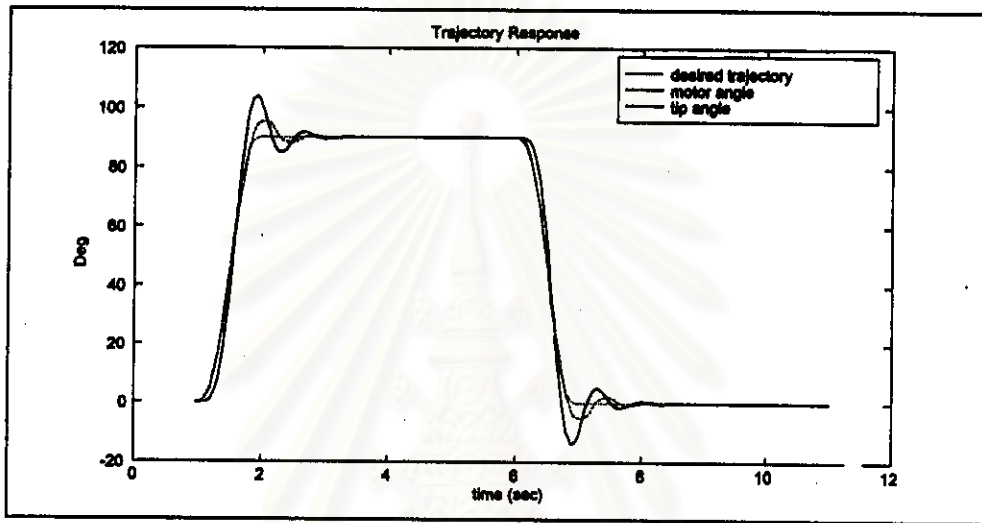


(ข)

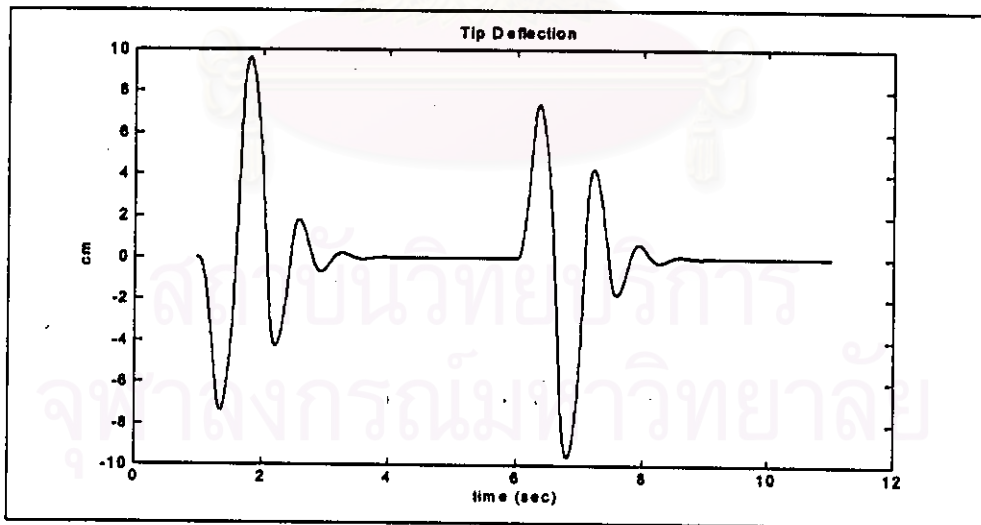
รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของระบบในกรณีที่ให้ค่าพารามิเตอร์ λ , หรือ K_v น้อย
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

(ค) ผลของพารามิเตอร์ λ_f, K_v

พารามิเตอร์ทั้งสองเป็นส่วนของการควบคุมส่วนอ่อนตัว ซึ่งก็คือตำแหน่งปลาย ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจะต้องเลือกให้เหมาะสม ในกรณีที่เลือกค่าน้อยซึ่งเป็นการให้ความสำคัญกับส่วนอ่อนตัวน้อย ผลก็คือจะเกิดการแกว่งของส่วนนี้ในขณะที่มุมของมอเตอร์ก็เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งใช้ค่า $\lambda_f = 0.8, K_v = 0.05$



(ก)

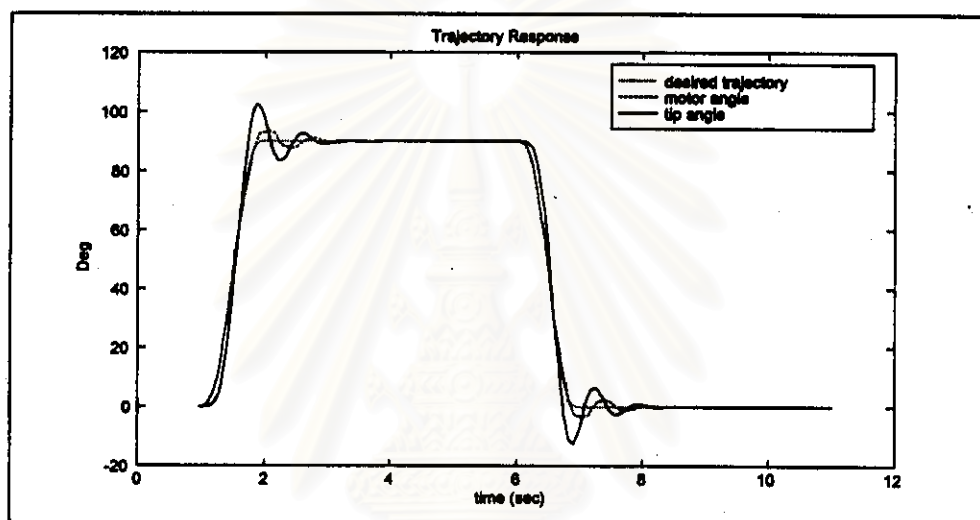


(ข)

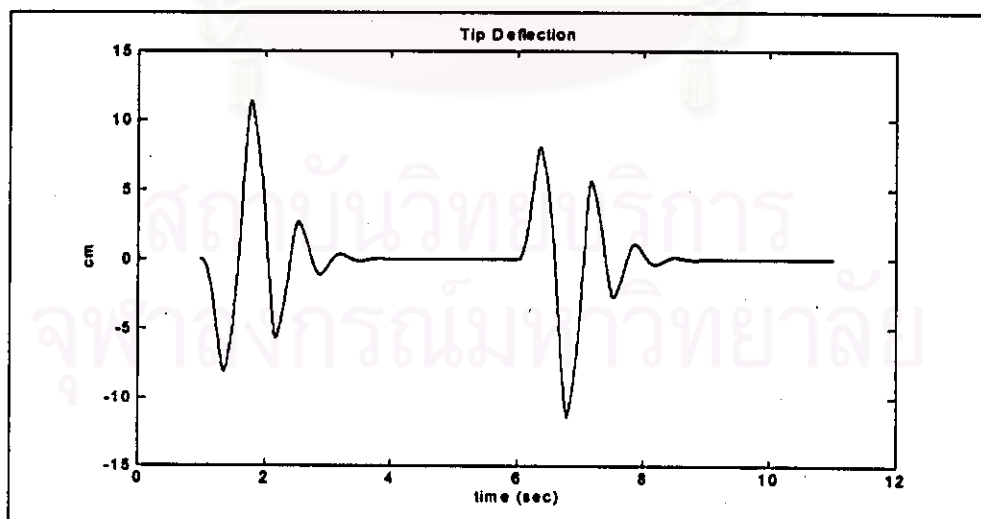
รูปที่ 4.8 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ λ_f หรือ K_v น้อย

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

ในกรณีที่เลือกค่ามากซึ่งเป็นการให้ความสำคัญกับส่วนอ่อนตัวมากเกินไปผลตอบสนองก็จะไม่ดีเช่นเดียวกัน เพราะส่วนที่ควบคุมมอเตอร์ก็พยายามที่จะลดค่าผิดพลาดของมุมมอเตอร์แต่ในขณะเดียวกันส่วนที่ควบคุมตำแหน่งปลายก็พยายามที่จะลดการแกว่ง ดังนั้นผลตอบสนองจึงอยู่ในลักษณะที่ว่ามุมของมอเตอร์ก็ไม่เป็นไปตามเส้นทางที่ต้องการและตำแหน่งปลายก็มีการแกว่งมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้ค่า $K_v = 0.5$



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ λ_f หรือ K_v มาก

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

4.3.2 การควบคุมด้วยขำงานระบบประสาทโดยอาศัยแบบจำลองส่วนแข็งเกร็ง

ในส่วนนี้จะศึกษาผลของพารามิเตอร์เพิ่มเติมจากส่วนที่แล้วซึ่งใช้วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น โดยส่วนที่จะศึกษาคือ ผลของขำงานระบบประสาทที่เพิ่มเติมเข้าไป ในส่วนของค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีผลเหมือนกับวิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น เพราะใช้โครงสร้างการควบคุมแบบเดียวกัน

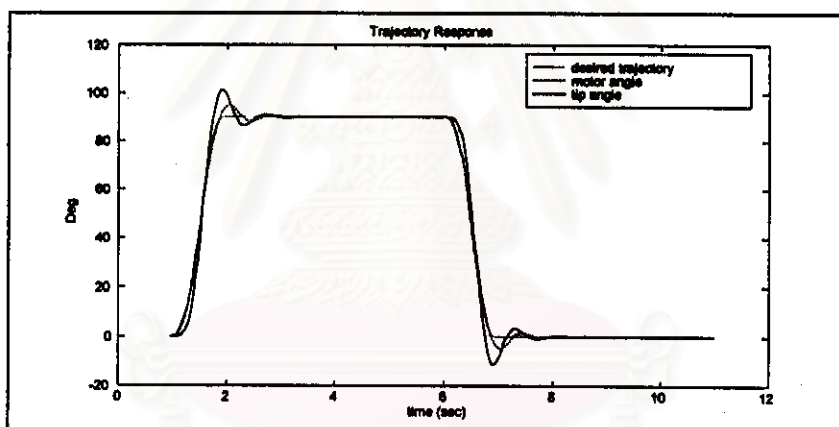
(ก) ผลตอบสนองของระบบในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้ว

หลังจากที่ปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจนได้ผลตอบสนองที่ค่อนข้างดี ซึ่งก็คือมอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและตำแหน่งปลายหยุดกว้างในเวลาที่เหมาะสม ผลตอบสนองแสดงในรูปที่ 4.10 และค่าพารามิเตอร์เป็นดังนี้

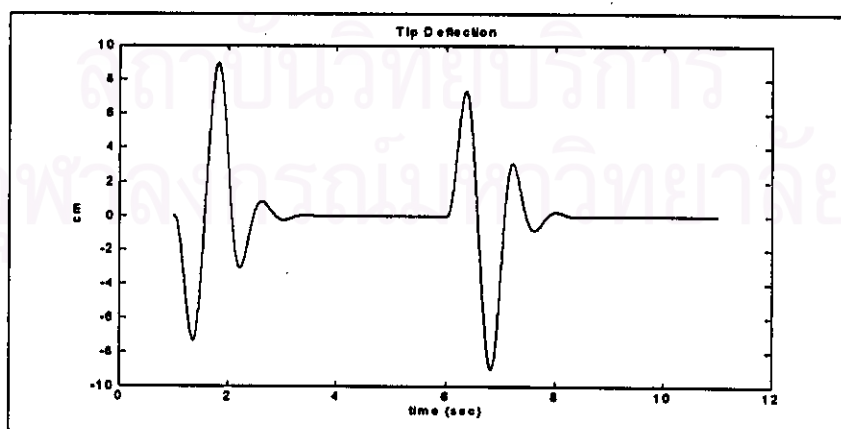
NNm : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 13 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 10 ปม, $K_{wa} = 0.1$, $K_{va} = 0.1$

$\lambda_r = 0.1$, $\lambda_f = 2$, $K_w = 0.2$, $\varepsilon = 0.1$



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยขำงานระบบประสาทในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

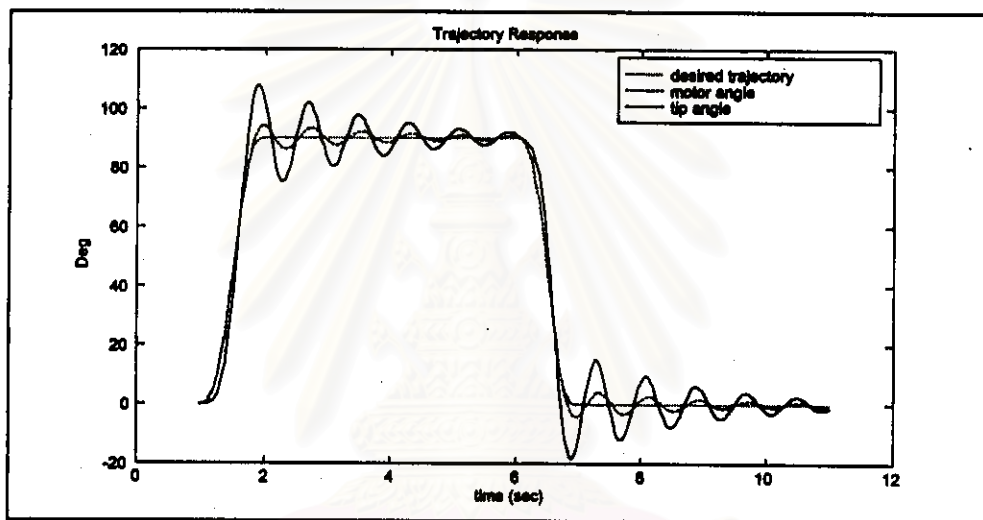
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

(ข) ผลของขำงานระบบประสาท

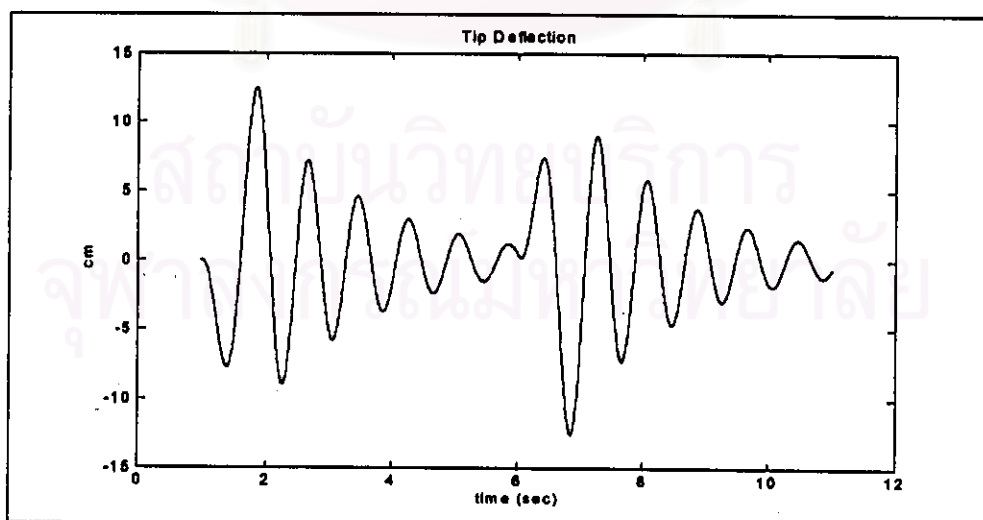
ในกรณีแรกแสดงผลของ NNm โดยใช้จำนวนปมที่ชั้นซ่อนที่มากขึ้น และใช้อัตราการเรียนรู้ที่มากขึ้น ส่วน NNa ใช้จำนวนปมที่ชั้นซ่อนที่ลดลง ผลตอบสนองแสดงในรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า NNm มีผลต่อการควบคุมส่วนแข็งเกร็ง ดังนั้นถ้าใช้จำนวนปมที่ชั้นซ่อนที่มากและอัตราการเรียนรู้ที่สูงจะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ต้องการได้ดีแต่จะเกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายมากขึ้น ในกรณีนี้ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

NNm : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 15 ปม, $K_{wm} = 0.8$, $K_{vm} = 0.8$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 5 ปม, $K_{wa} = 0.1$, $K_{va} = 0.1$



(ก)



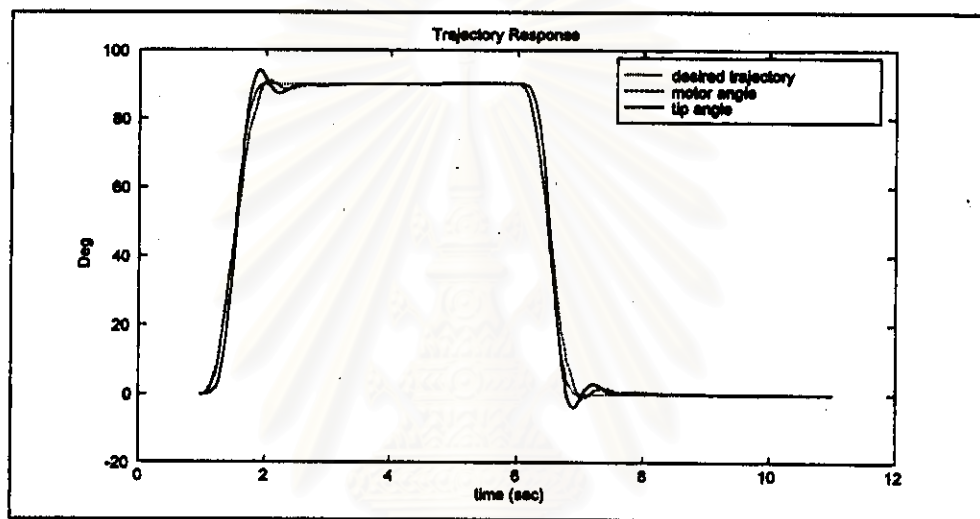
รูปที่ 4.11 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยขำงานระบบประสาทในกรณีศึกษาผลของ NNm

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

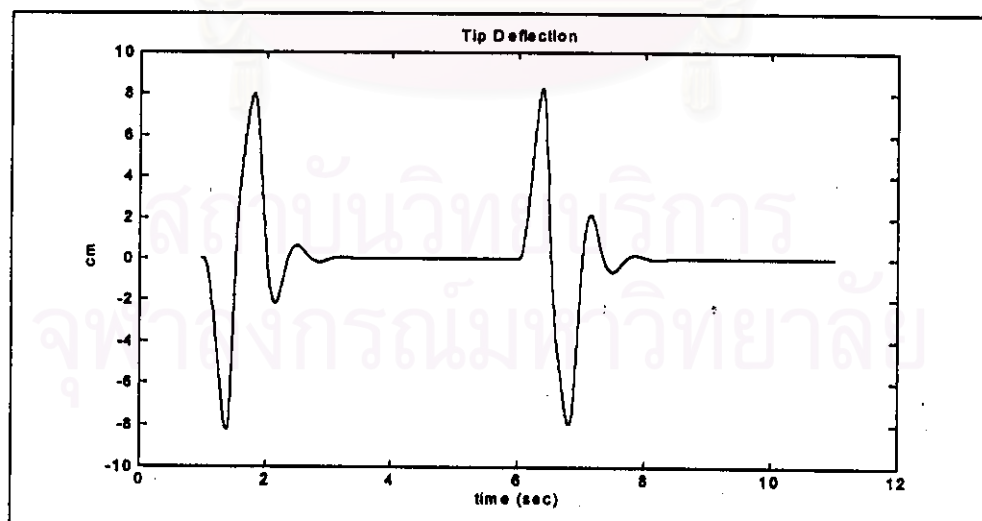
โมดกรณิของ NNa จะเป็นส่วนของการควบคุมตำแหน่งปลาย ซึ่งถ้าใช้จำนวนปมที่ชั้นซ่อนที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเรียนรู้ที่สูงขึ้น จะทำให้ลดการแกว่งได้ดีแต่ค่าผิดพลาดของตำแหน่งมอเตอร์ลัดข้ามลดตอบสนองแสดงในรูปที่ 4.12

NNm : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 5 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 15 ปม, $K_{wa} = 0.8$, $K_{va} = 0.8$



(ก)



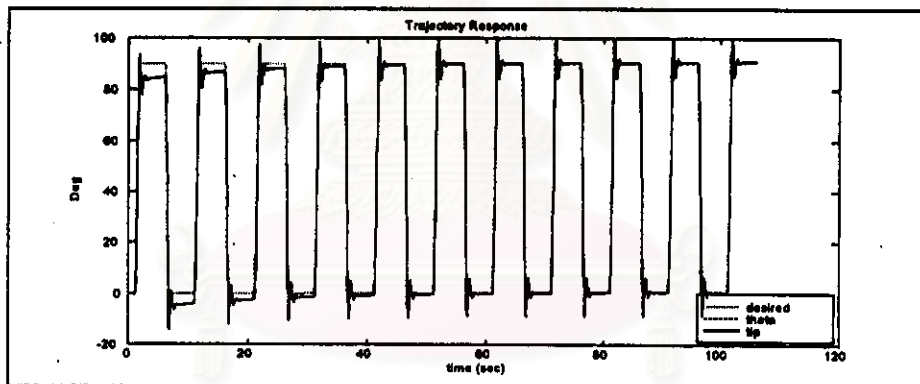
(ข)

รูปที่ 4.12 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทในกรณีศึกษาผลของ NNa

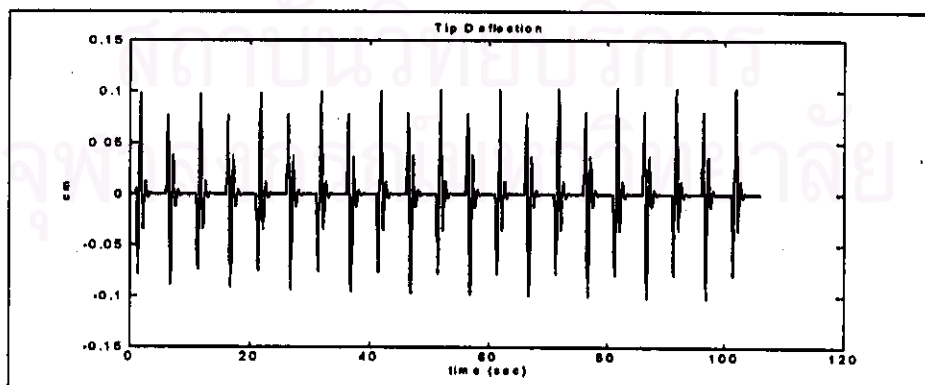
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

(ค) ค่าเริ่มต้นของข่ายงานระบบประสาท

การใช้ข่ายงานระบบประสาทในรูปแบบของการควบคุมแบบปรับตัวชนิดตรง โดยมีกฎการปรับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์เลียบูโนฟ ซึ่งไม่ต้องฝึกหัดข่ายงานล่วงหน้าและการเลือกค่าเริ่มต้นทำได้ไม่ยากโดยในบทความ (Lewis, Liu and Yesildirek; 1995) เลือกค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นจากศูนย์ทุกตัว ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ผ่านมามีทั้งหมดใช้จึงได้ทำการเลือกค่าเริ่มต้นจากศูนย์ อย่างไรก็ตามถ้าเลือกค่าเริ่มต้นไม่เหมาะสมอาจทำให้ต้องใช้เวลาในการปรับตัวจึงจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ ในรูปที่ 4.13 แสดงผลตอบสนองในกรณีที่เลือกค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นไม่เหมาะสมโดยเลือกจากการสุ่มในช่วง -0.1 ถึง 0.1 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นไม่เหมาะสมหมายความว่าถ้าเลือกค่าเริ่มต้นมีค่ามากจะทำให้สัญญาณออกจากข่ายงานระบบประสาทมีค่ามาก ซึ่งในช่วงแรกยังไม่ได้มีการปรับตัว สัญญาณควบคุมในส่วนนี้จึงเป็นค่าที่ไม่ถูกต้องและจะต้องส่งไปควบคุมระบบ ซึ่งถ้าเลือกไม่ถูกต้องมากก็จะทำให้ได้สัญญาณควบคุมเริ่มต้นที่ผิดพลาดมากและอาจจะทำให้ระบบขาดเสถียรภาพได้ ดังนั้นควรเริ่มจากค่าน้อยๆ ซึ่งอาจจะเริ่มจากศูนย์หรือสุ่มขึ้นมาในช่วงใกล้ศูนย์ เพื่อที่จะได้สัญญาณควบคุมในช่วงแรกที่ยังไม่ได้รับการปรับมีค่าไม่มากและค่อยๆ ปรับไปยังค่าที่เหมาะสมในภายหลัง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทในกรณีพารามิเตอร์เริ่มต้นไม่เหมาะสม

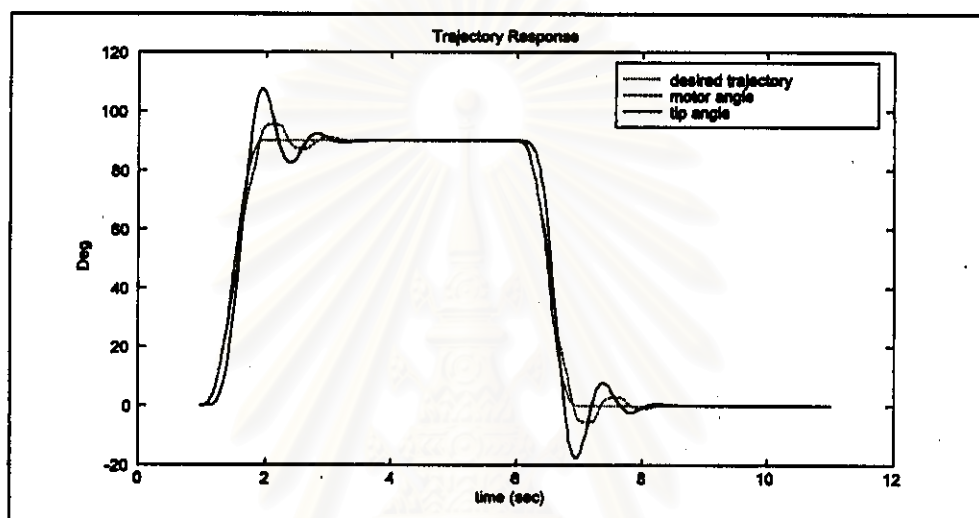
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

4.3.3 ผลตอบสนองของระบบเมื่อเปลี่ยนสภาวะการทำงาน

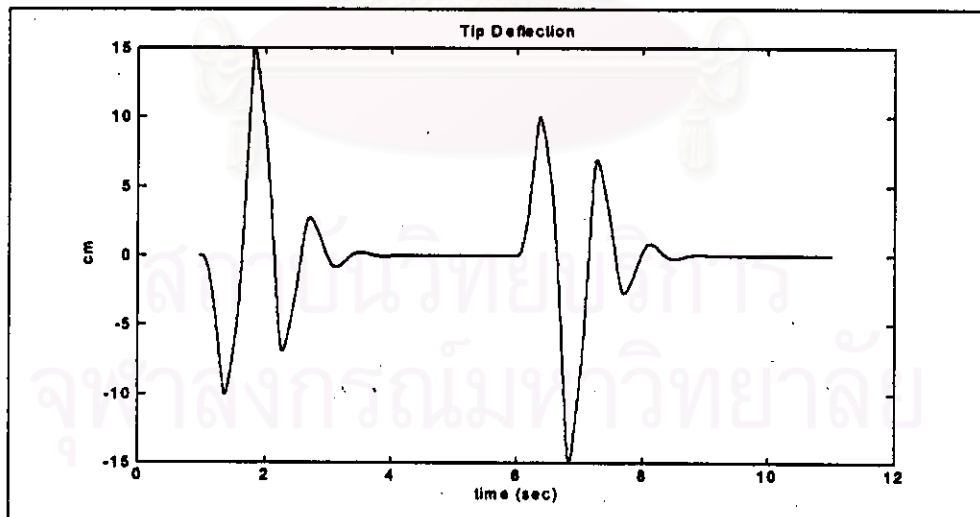
(ก) ผลตอบสนองของระบบในกรณีที่มีการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย

i. วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น

ในส่วนนี้จะแสดง 2 กรณี คือ เมื่อมีการเพิ่มมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 % แสดงในรูปที่ 4.14 และลดมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 % แสดงในรูปที่ 4.15



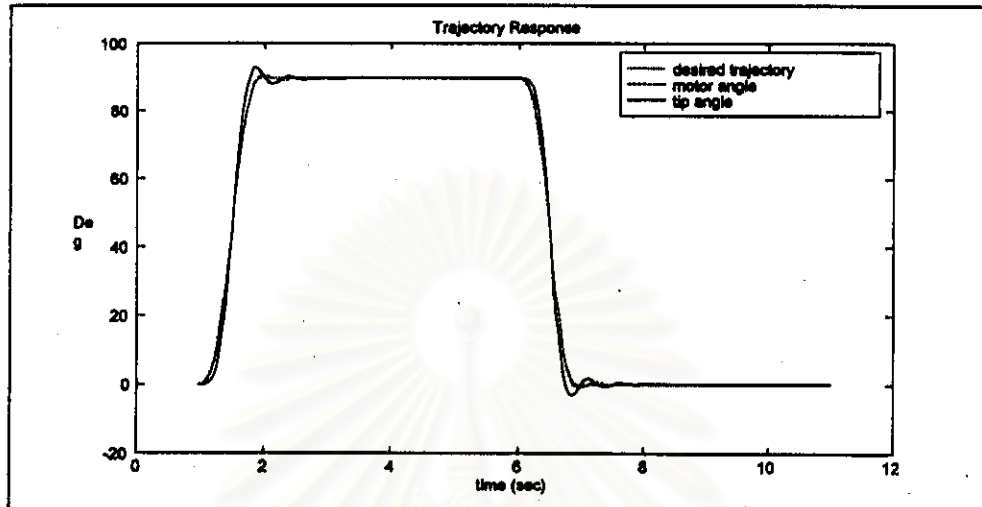
(ก)



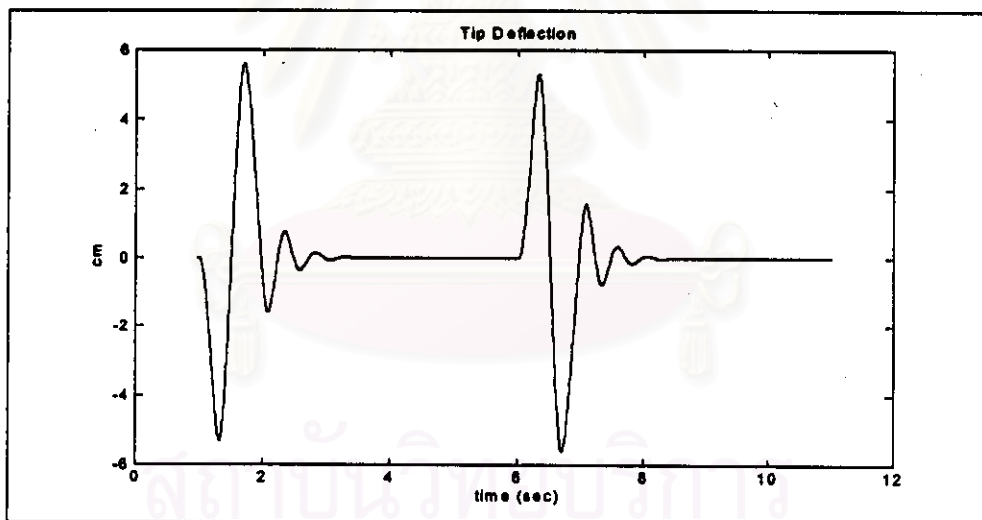
(ข)

รูปที่ 4.14 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นในกรณีเพิ่มมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 %

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย



(ก)



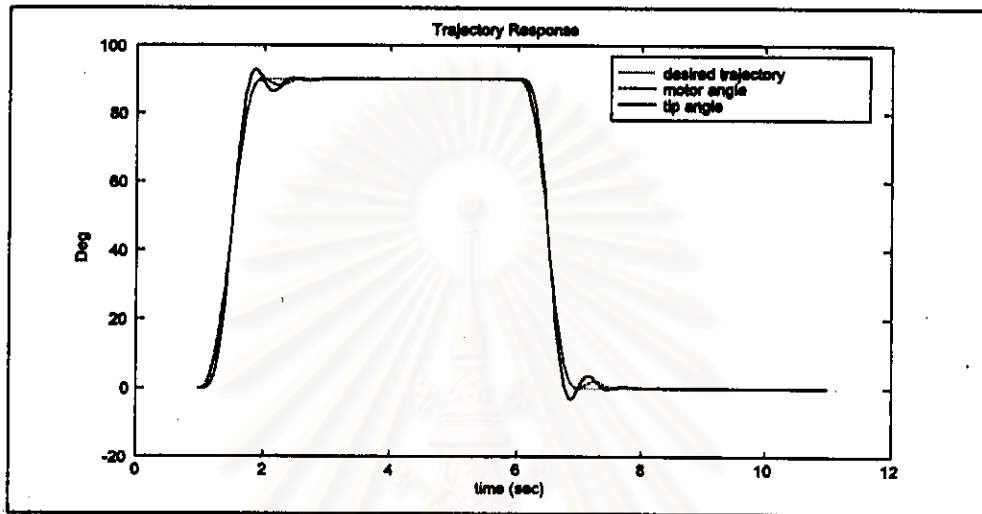
(ข)

รูปที่ 4.15 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นกรณีลดมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 %

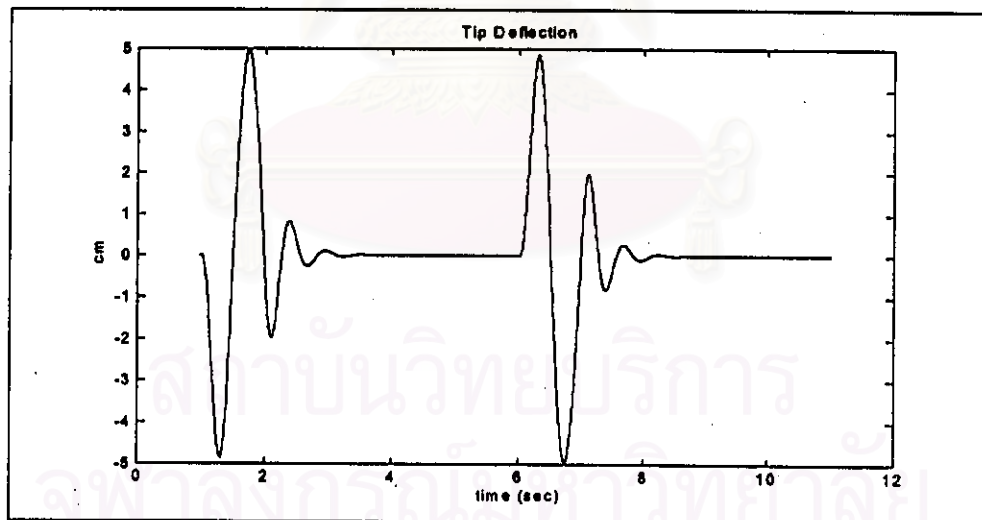
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

ii วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทโดยอาศัยแบบจำลองส่วนแข็งเกร็ง

ในส่วนนี้จะแสดง 2 กราฟ คือ เมื่อมีการลดมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 % แสดงในรูปที่ 4.16 และเพิ่มมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 % แสดงในรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าสามารถควบคุมได้ทั้งสองกรณี



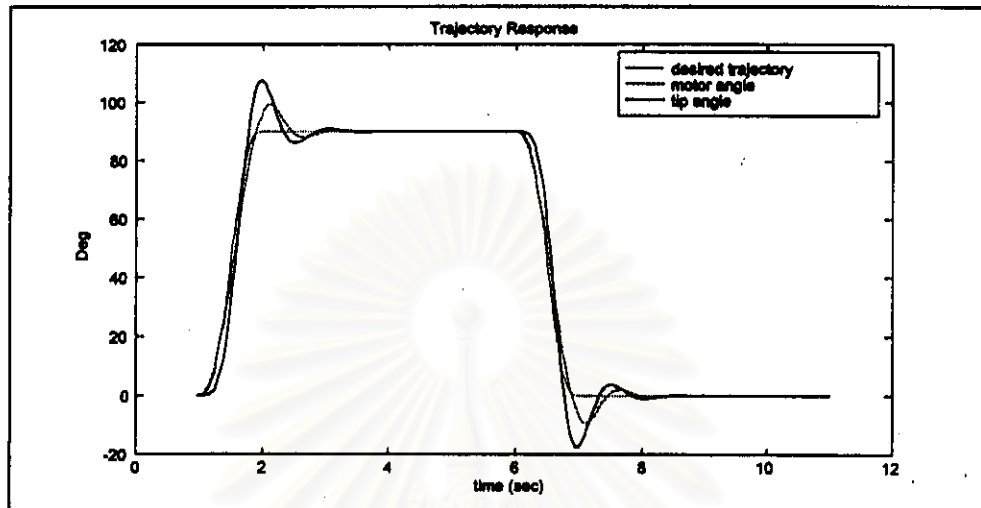
(ก)



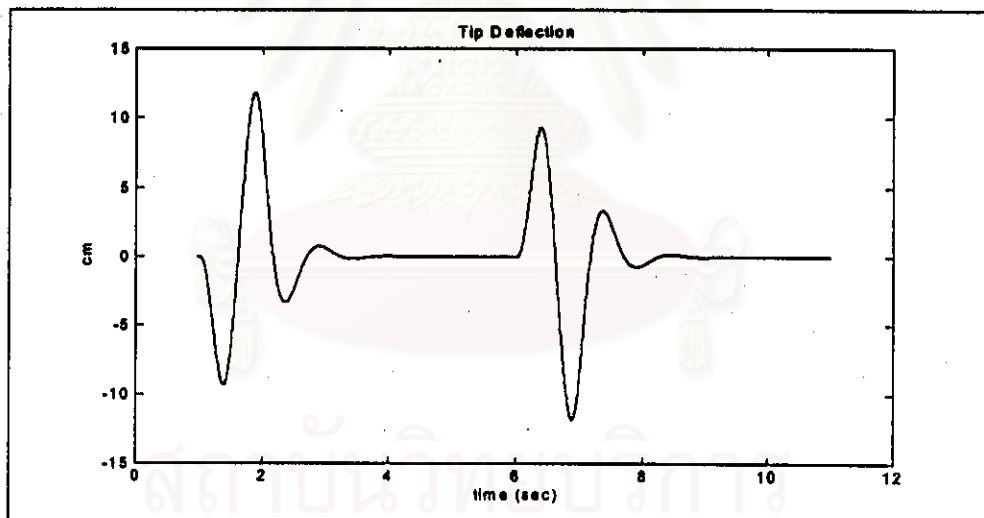
(ข)

รูปที่ 4.16 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทในกรณีลดมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 %

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย



(ก)



(ข)

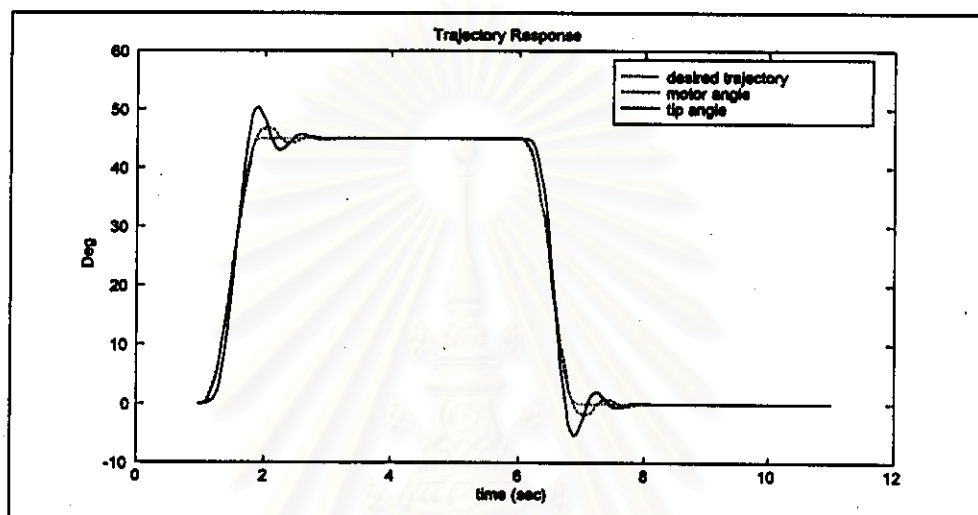
รูปที่ 4.17 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทในกรณีเพิ่มมวลที่ตำแหน่งปลาย 50 %

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

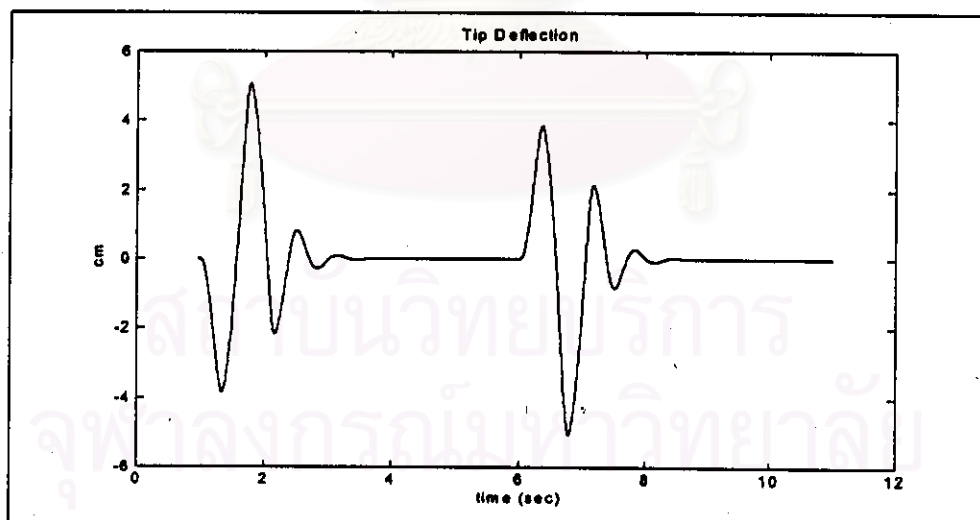
(ข) ผลตอบสนองของระบบในกรณีที่มีการเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ

วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น

ในส่วนที่แล้ใช้เส้นทางที่ต้องการคือ เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 90° ภายในเวลา 1 วินาที ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 90^\circ, T = 1$) และในส่วนนี้จะทดลองเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 1$) ซึ่งวิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น ยังสามารถใช้ได้ดีดังแสดงในรูปที่ 4.18



(ก)



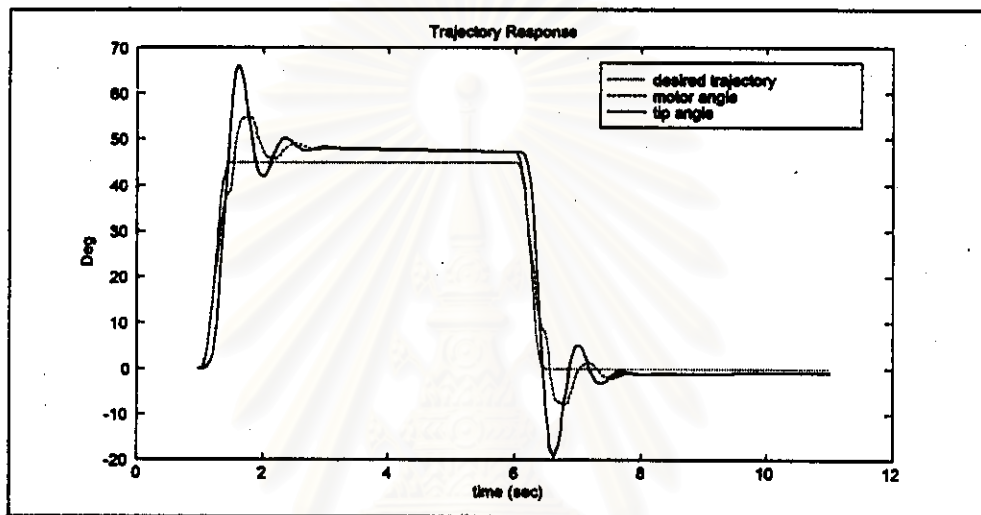
(ข)

รูปที่ 4.18 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นโดยเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น

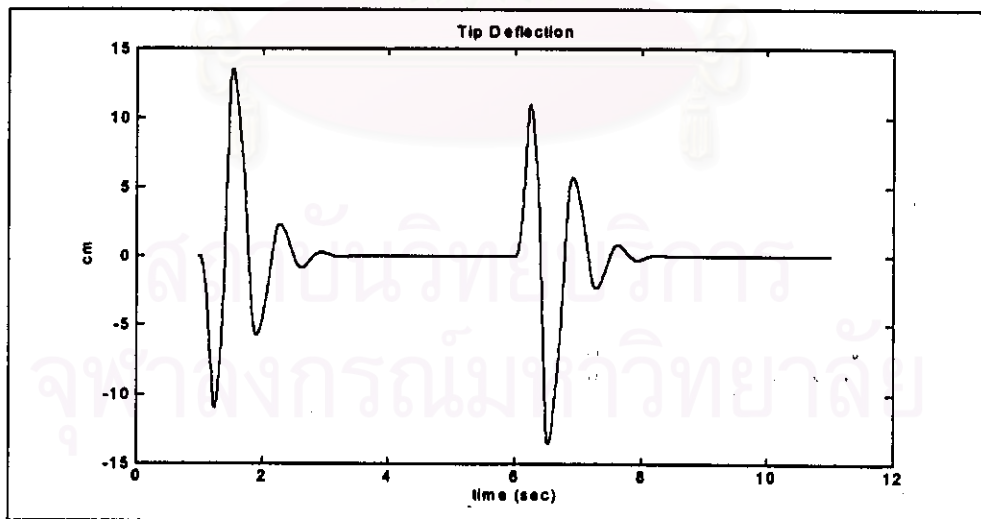
$$(\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 1)$$

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

อันที่จริงในส่วนแรกแขนกลฯ สามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 90° ได้ภายในเวลา 1 วินาที ดังนั้นในกรณีที่เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 45° ควรใช้เวลา 0.5 วินาที แต่ในรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ไม่เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการและเกิดการแกว่งของตำแหน่งปลายมาก ดังนั้นในกรณีที่ใช้เส้นทางที่ต้องการ ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 0.5$) วิธีนี้ไม่สามารถควบคุมได้



(ก)



(ข)

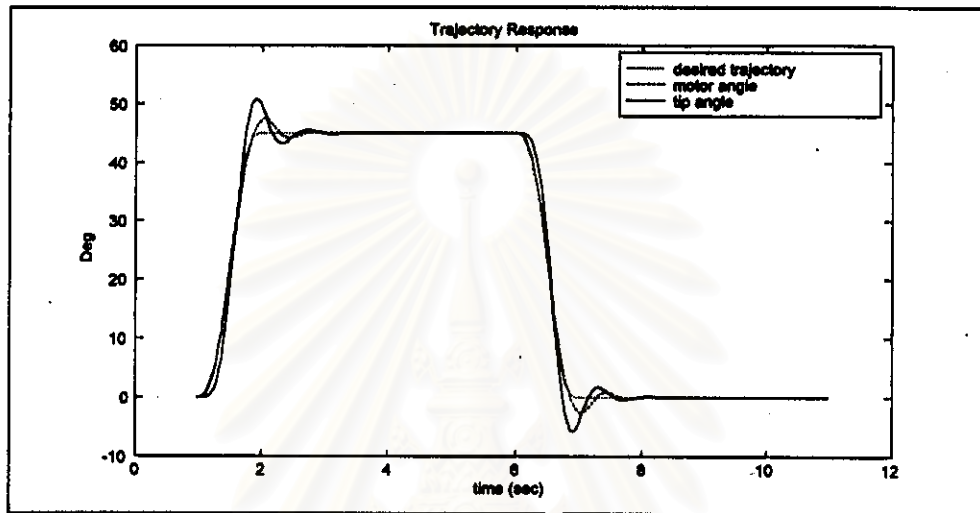
รูปที่ 4.19 ผลที่ได้จากการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นโดยเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น

$$(\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 0.5)$$

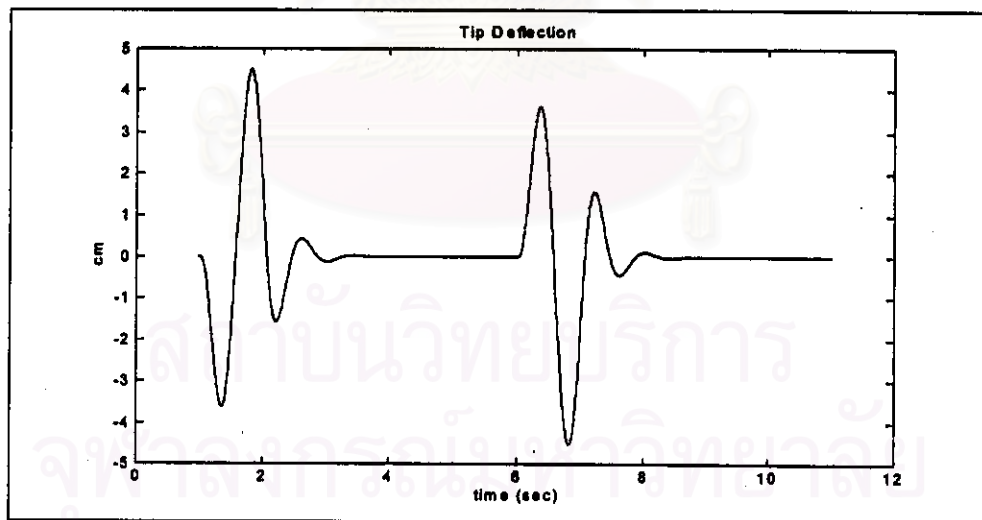
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทโดยอาศัยแบบจำลองส่วนเชิงเกร็ง

ในส่วนที่แล้วใช้เส้นทางที่ต้องการคือ เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 90° ภายในเวลา 1 วินาที ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 90^\circ, T = 1$) และในส่วนนี้จะทดลองเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น ($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 1$) ซึ่งข่ายงานระบบประสาท ยังสามารถใช้ได้ดีดังแสดงในรูปที่ 4.20



(ก)

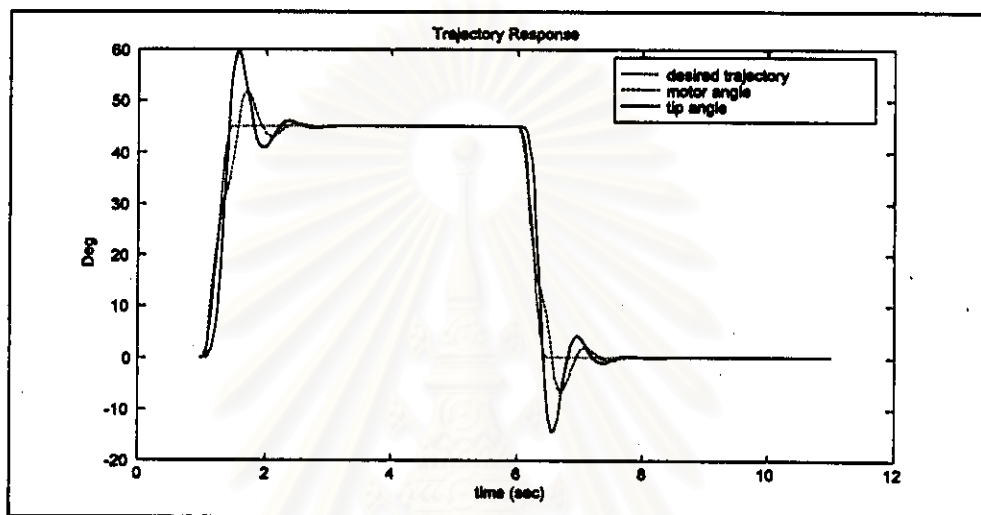


(ข)

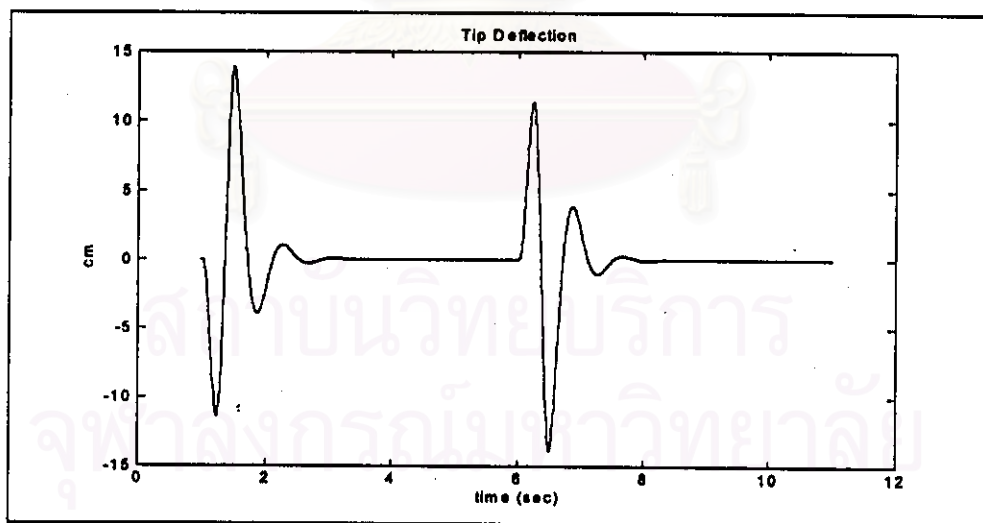
รูปที่ 4.20 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทเมื่อเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น
($\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 1$)

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

อันที่จริงในส่วนแรกแขนกลฯ สามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 90° ได้ภายในเวลา 1 วินาที ดังนั้นในกรณีที่เคลื่อนที่จากตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 45° ควรใช้เวลา 0.5 วินาที และในรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าข่ายงานระบบประสาทยังคงสามารถควบคุมได้



(ก)



(ข)

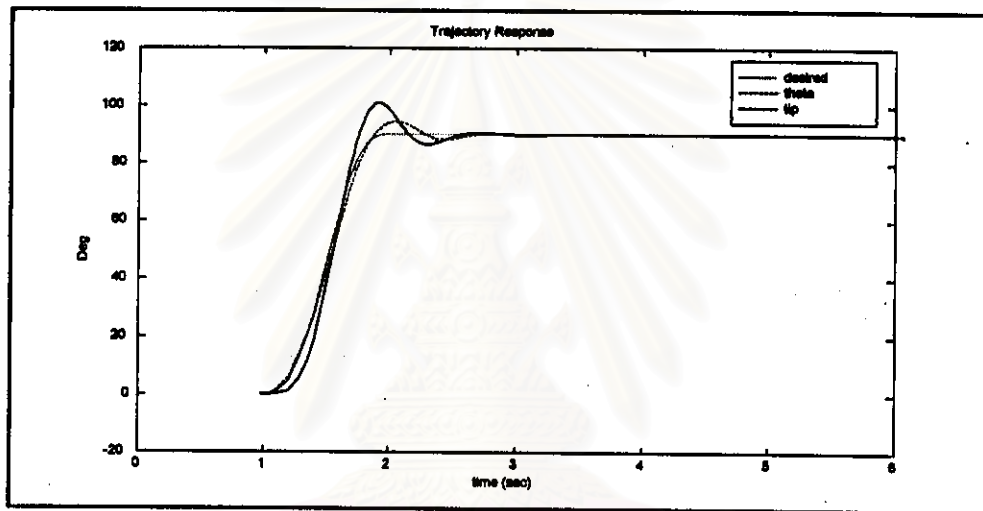
รูปที่ 4.21 ผลที่ได้จากการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทเมื่อเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการเป็น

$$(\theta_0 = 0^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 0.5)$$

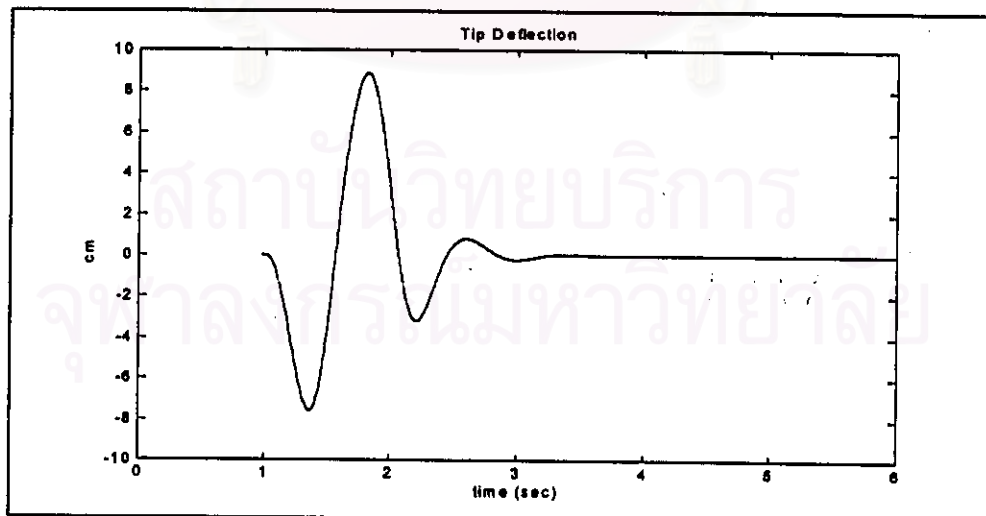
(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

4.3.3 การตรวจสอบผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้ได้ทำการตรวจสอบโดยใช้ตัวควบคุมตัวเดิมที่ออกแบบจากวิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทโดยอาศัยแบบจำลองส่วนเชิงเกร็ง ทดลองใช้กับแบบจำลองของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวซึ่งได้จากวิธีต่างๆ กัน ในรูปที่ 4.22 เป็นการทดลองใช้ตัวควบคุมกับแบบจำลองที่จากระเบียบวิธีขึ้นประกอบอันตะ ซึ่งใช้การอ้างถึงตำแหน่งปลายที่แน่นอนจึงได้แบบจำลองที่ไม่เชิงเส้น ในการทดลองใช้แบบจำลองที่ได้จากการแบ่งแขนกลเป็น 4 ท่อน และในรูปที่ 4.23 เป็นการทดลองใช้ตัวควบคุมกับแบบจำลองที่มาจากวิธีการสมมติโมดโดยประมาณโมดอ่อนตัวต่างๆ ด้วยฟังก์ชันพหุนาม โดยใช้ ทั้งหมด 4 โมดในการทำการทดลอง



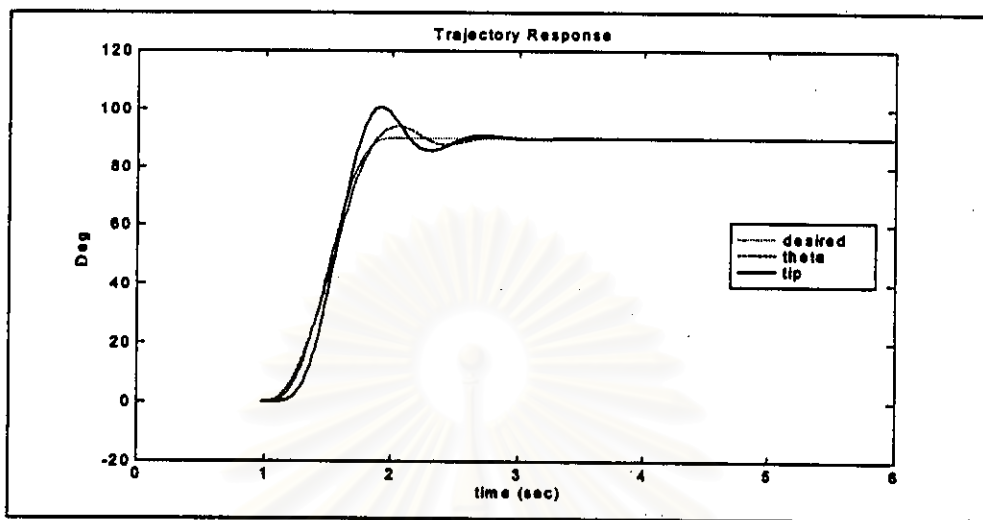
(ก)



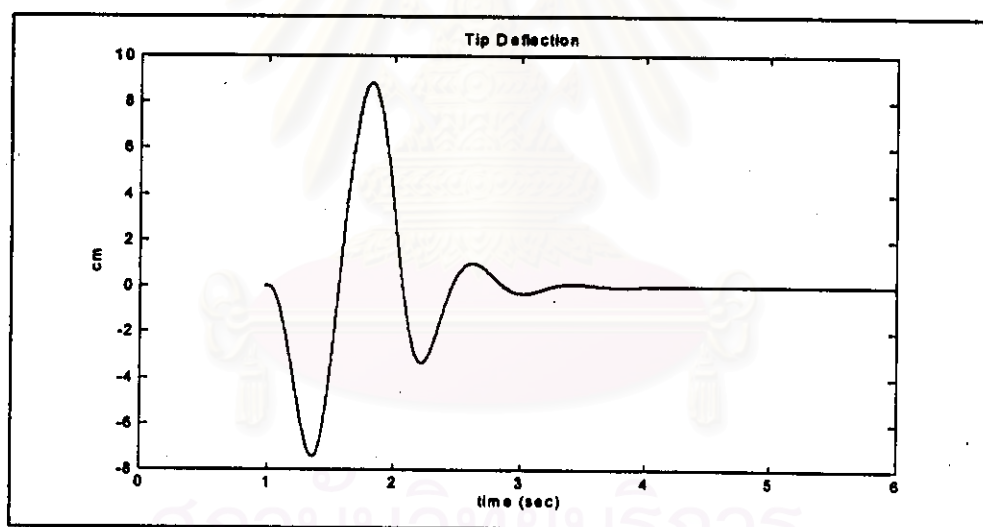
(ข)

รูปที่ 4.22 ผลตอบสนองของระบบเมื่อใช้การหาแบบจำลองจาก Ge et al. (1997)

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองของระบบเมื่อใช้การหาแบบจำลองจาก Tomei and Tomambe (1988)

(ก) มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย (ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

4.4 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทที่อาศัยแบบจำลอง ส่วนเชิงเกร็งสามารถควบคุมได้ดีใกล้เคียงกับการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น และในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงมวลที่ตำแหน่งปลายทั้งในกรณีเพิ่มและลด วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทยังคงให้ผลการควบคุมที่ดีใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวล แต่กรณีเดียวกันเมื่อใช้วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นผลการควบคุมจะเปลี่ยนไปอย่างเห็นได้ชัด และในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางที่ต้องการ วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทได้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น และเมื่อใช้เส้นทางที่เร็วขึ้นคือเคลื่อนที่จาก ตำแหน่ง 0° ไปยังตำแหน่ง 45° ภายใน 0.5 วินาที วิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทจะได้ผลที่ดีกว่า คือ เกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายน้อยกว่า ที่กล่าวมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอขึ้นสามารถใช้ในการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวได้ดี โดยไม่ต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทั้งหมด โดยที่รู้เฉพาะส่วนเชิงเกร็งเท่านั้น และในกรณีที่มีการเปลี่ยนมวลหรือเส้นทางที่ต้องการวิธีที่เสนอยังคงใช้ได้ดี

ถึงแม้ว่าวิธีที่เสนอขึ้นจะมีส่วนที่ปรับตัวได้ แต่ก็ไม่สามารถที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงได้มาก เพราะอย่างยิ่งมีพารามิเตอร์ส่วนอื่นๆ ซึ่งไม่มีการปรับตัวและต้องเลือกให้เหมาะสมจึงจะได้ผลตอบสนองที่ดี ค่าพารามิเตอร์ทุกตัวมีผลเกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงปรับพารามิเตอร์ได้ไม่ง่าย และในบทความ (Yang et al., 1997) ซึ่งเป็นผู้เสนอวิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นก็ไม่ได้กล่าวถึงในส่วนนี้ แต่จากการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเปรียบเทียบผลตอบสนองกับกรณีปรับไว้แล้ว สังเกตได้ว่า K_v, λ_r จะค่อนข้างมีผลต่อการควบคุมส่วนเชิงเกร็ง และ K_p, λ_r จะค่อนข้างมีผลต่อการควบคุมส่วนอ่อนตัว ซึ่งถ้าปรับค่าใดมากแสดงว่าให้น้ำหนักกับต่อการควบคุมในส่วนนั้นมาก แนวโน้มของผลตอบสนองก็จะพยายามลดค่าผิดพลาดในส่วนนั้น ดังที่แสดงในส่วนก่อนหน้านี้ สำหรับค่า ϵ ใน (Yang et al., 1997) ระบุว่าถ้าเลือกค่ามากจะทำให้ค่าผิดพลาดเข้าสู่ศูนย์ช้า และจากที่ทดลองพบว่าต้องเลือกค่า ϵ ที่ต่างกันมากๆ จึงจะเห็นความแตกต่าง

ในส่วนของข่ายงานระบบประสาทก็มีค่าพารามิเตอร์ให้เลือกมากมาย และการเลือกค่าพารามิเตอร์บางตัวยังคงเป็นหัวข้อในการวิจัยในปัจจุบัน เช่น ฟังก์ชันการกระตุ้นและจำนวนปมที่ชั้นซ่อน จากการทดลองหลายกรณีสังเกตได้ว่า NNm ค่อนข้างมีผลต่อการควบคุมส่วนเชิงเกร็ง และ NNa ค่อนข้างมีผลต่อการควบคุมส่วนอ่อนตัว ซึ่งถ้าเลือกจำนวนปมที่ชั้นซ่อนของส่วนใดมากเท่ากับว่าเป็นการเพิ่มความสำคัญให้การควบคุมส่วนนั้น ดังแสดงให้เห็นในผลลัพธ์ก่อนหน้านี้ สำหรับชนิดของฟังก์ชันการกระตุ้นไม่ว่าจะเป็น tanh หรือ ซิกมอยด์ ผลการควบคุมที่ได้ไม่ต่างกันมากทั้งนี้เนื่องมาจากสมบัติของข่ายงานระบบประสาทสามารถใช้เป็นตัวประมาณไม่เชิงเส้นได้อย่างกว้างขวาง ในส่วนของการเลือกค่าเริ่มต้น

ของพารามิเตอร์ ควรจะเลือกให้มีค่าน้อยๆ หรือเริ่มจากศูนย์ก็ได้ ทั้งนี้เพราะว่า ในตอนแรกยังไม่ได้มีการปรับตัว สัญญาณออกของข่ายงานยังมีความผิดพลาด ซึ่งถ้าเลือกค่าเริ่มต้นมากจะทำให้สัญญาณในตอนต้นซึ่งมีความผิดพลาดมีค่าสูง และจะต้องใช้สัญญาณนี้ในการควบคุมระบบ ดังนั้นอาจจะต้องใช้เวลาในการปรับตัวหรือระบบอาจจะขาดเสถียรภาพได้ถ้าเลือกค่าที่ไม่ถูกต้องมาก

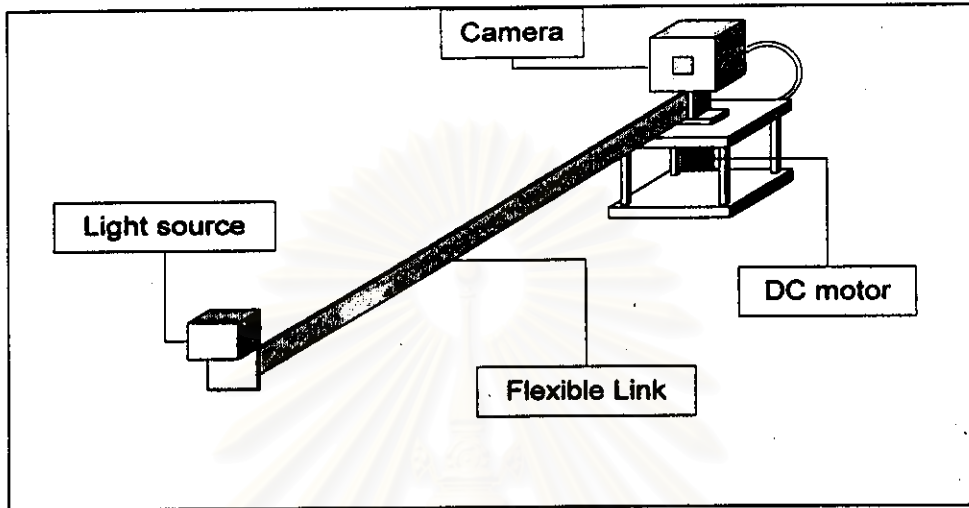
กล่าวโดยสรุปในส่วนของทางเลือกค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ค่อนข้างมีผลเกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกันเพราะโดยความเป็นจริงแล้ว การที่จะให้ความสำคัญกับส่วนใดส่วนหนึ่งมากเกินไปจะเป็นผลเสีย เช่น ถ้าต้องการให้ความคลาดเคลื่อนในการตามรอยของมอเตอร์ลดเร็วก็จะเกิดการแกว่งมากขึ้น และในทางกลับกันถ้าต้องการให้เกิดการแกว่งไม่มากก็จะทำให้ค่าผิดพลาดของมอเตอร์ลดลงช้าที่สำคัญคือ ไม่มีทางที่จะทำให้ค่าทั้งสองลดลงอย่างรวดเร็วพร้อมกันได้ ดังนั้นในการเลือกค่าพารามิเตอร์จะต้องให้น้ำหนักกับทั้งสองส่วนอย่างพอดี ซึ่งต้องอาศัยการสังเกตและประสบการณ์ของผู้ปรับเป็นสำคัญ

ในส่วนของผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์สรุปได้ว่า วิธีที่นำเสนอคือวิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทที่อาศัยแบบจำลองในส่วนเชิงเกร็ง โครงสร้างของตัวควบคุมประกอบด้วยส่วนที่ออกแบบจากแบบจากส่วนเชิงเกร็งซึ่งหาแบบจำลองได้ไม่ยาก และส่วนของตัวควบคุมแบบปรับตัวที่ใช้ข่ายงานระบบประสาทในรูปแบบของการปรับตัวแบบตรง ซึ่งสร้างกฎการปรับพารามิเตอร์จากการสังเคราะห์เลียนูปนอฟ และในโครงสร้างเช่นนี้ไม่ต้องมีการฝึกหัดข่ายงานล่วงหน้า อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะพิสูจน์เสถียรภาพของระบบได้แต่ก็เป็นเพียงระบบที่ประมาณแล้วเท่านั้น ดังนั้นในส่วนต่อไปจึงเป็นการทดลองกับระบบจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

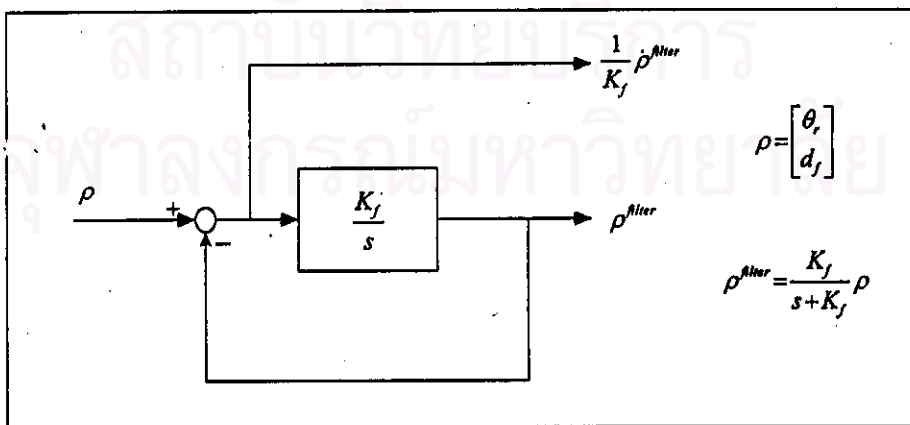
4.5 ผลการทดลองกับระบบจริง

4.5.1 ชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว



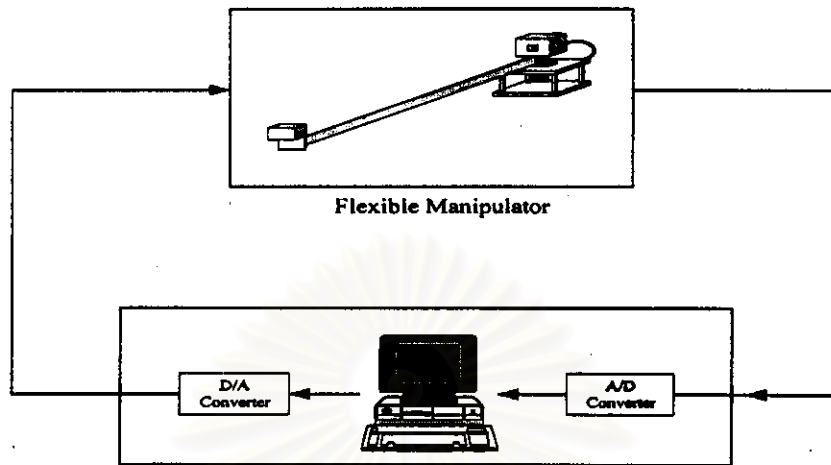
รูปที่ 4.24 ชุดทดลองระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว

ชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวมีลักษณะดังรูปที่ 4.24 โดยที่สัญญาณที่วัดได้จากระบบมาจากตัวตรวจรู้ 2 ชนิด คือ 1) โปเทนชิโอมิเตอร์ (potentiometer) ใช้วัดตำแหน่งของมอเตอร์และ 2) ชุดของกล้องและแหล่งกำเนิดแสงใช้วัดระยะที่เบี่ยงไปจากแกนอ้างอิงที่ตำแหน่งปลาย เนื่องจากสัญญาณที่วัดได้มีเพียงจากชุดทดลองมีเพียง θ , และ d_f เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการ $\dot{\theta}$, และ \dot{d}_f ทำได้โดยการสร้างค่าโดยประมาณ $\dot{\theta}_f^{filter}$ และ \dot{d}_f^{filter} โดยผ่าน θ , และ d_f เข้าไปยังตัวกรองอันดับหนึ่ง (first order filter) ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แผนภาพกรอบแสดงการสร้าง $\dot{\theta}_f^{filter}$ และ \dot{d}_f^{filter}

การเชื่อมต่อระหว่างชุดทดลองกับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.26 การเชื่อมต่อระหว่างชุดทดลองกับเครื่องคอมพิวเตอร์

การเชื่อมต่อระหว่างชุดทดลองกับเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นดังแผนภาพในรูปที่ 4.26 ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว : ในที่นี่ใช้ชุดทดลอง FLEXCAM ของ Quanser Consulting
2. แผงวงจรแปลงสัญญาณ : ในที่นี่ใช้แผงวงจรของ MultiQ Board ทำหน้าที่สองประการ คือ
 - A/D Converter : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณเชิงอุปมา (analog signal) ซึ่งเป็นสัญญาณที่วัดได้จากชุดทดลอง คือ θ , และ d , ไปเป็นสัญญาณเชิงเลข (digital signal) 12 บิต เพื่อส่งให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุม
 - D/A Converter : ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณเชิงเลข ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมที่สร้างจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเป็นสัญญาณเชิงอุปมา เพื่อส่งไปควบคุมชุดทดลอง
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ : ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณที่ได้จากชุดทดลองเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมตามกฎการควบคุมที่กำหนดไว้ ในที่นี่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium-133MHz และเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C บนระบบปฏิบัติการ MS-DOS

ระยะเวลาในการคำนวณและการเลือกความถี่ในการชักตัวอย่าง

เนื่องจากวิธีการควบคุมที่ใช้ประกอบด้วยข่ายงานระบบประสาทซึ่งมีพารามิเตอร์จำนวนมาก ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการคำนวณสัญญาณควบคุม ในขณะที่รับข้อมูลเข้ามา 1 ครั้งเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องทำงานดังต่อไปนี้

1. รับสัญญาณเชิงอุปมาจากชุดทดลองและแปลงเป็นสัญญาณเชิงเลข
2. การคำนวณตามกฎการควบคุมที่กำหนดไว้

- จำนวนเส้นทางที่ต้องการ
- จำนวนกฎการควบคุม
- จำนวนการปรับพารามิเตอร์ของข่ายงานระบบประสาท

3. แปลงสัญญาณเชิงเลขไปเป็นสัญญาณเชิงอุปมา

	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ทั้งหมด (วินาที)	เวลาเฉลี่ยต่อรอบ (วินาที)
A/D acquisition 1 สัญญาณ	10,000	0.1648	16.48×10^{-6}
D/A output	10,000	0.0549	5.48×10^{-6}
กฎการควบคุม (252 พารามิเตอร์)	10,000	5.0549	505.49×10^{-6}

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเวลาในการประมวลผลขั้นตอนต่างๆ

ระยะเวลาในการคำนวณขั้นตอนต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งในกรณีของการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว ข่ายงานระบบประสาทที่ใช้มีจำนวนสัญญาณเข้า 6 สัญญาณและในการทดสอบกำหนดให้มีชั้นซ่อนภายใน 20 ชั้นซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างมาก ซึ่งมีพารามิเตอร์ 126 ตัว จากกฎการควบคุมต้องใช้ข่ายงานระบบประสาท 2 ชุด ดังนั้นในการทดสอบจึงมีจำนวนพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 252 ตัว จากตารางที่ 4.2 สามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการประมวลผล เพื่อกำหนดคาบเวลาในการชักตัวอย่างได้ดังนี้

D/A Converter	2	สัญญาณ	$2 \times 16.48 \times 10^{-6} = 32.96 \times 10^{-6}$ วินาที
A/D Converter	1	สัญญาณ	5.48×10^{-6} วินาที
จำนวนกฎการควบคุม (252 พารามิเตอร์)			505.49×10^{-6} วินาที
รวม			543.93×10^{-6} วินาที

เวลาที่ใช้ในการประมวลผล 1 คาบคือ 543.93×10^{-6} วินาที ดังนั้นสามารถให้ความถี่ในการชักตัวอย่างได้ 1,838 Hz เนื่องจากมีการคำนวณอื่นๆ เช่น การแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และการเก็บข้อมูล เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปคิดว่าการคำนวณในส่วนนี้เป็นการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่มากไปกว่าการประมวลผลสัญญาณควบคุม ดังนั้นสามารถเลือกให้ความถี่ได้สูงสุดประมาณ 900 Hz และในการทดลองเลือกให้ความถี่ 200 Hz

ในส่วนต่อไปจะเป็นผลการทดลองใช้วิธีการควบคุมที่เสนอขึ้นกับชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว โดยทดลองในกรณีต่างๆ เริ่มจากการทดลองในสภาวะปกติ ถัดไปเป็นผลการทดลองเปลี่ยน

เส้นทางที่ต้องการและเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย นอกจากนี้ยังได้แสดงผลในกรณีที่ปรับค่าพารามิเตอร์ โดยเน้นส่วนอ่อนตัวหรือส่วนแข็งเกร็งมากเกินไป

4.5.2 ผลการทดลองกับระบบจริงกรณีต่างๆ

ก. ผลตอบสนองในกรณีที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแล้ว

ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกับการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ คือต้องการให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการ ($\theta_0 = -45^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 1.0$) ในส่วนของค่าพารามิเตอร์ได้เริ่มจากค่าเดียวกันกับที่ใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์หลังจากนั้นได้ทำการปรับเล็กน้อยเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่เหมาะสม จากผลการทดลองในรูปที่ 4.27 เห็นได้ว่ามอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการและสุดท้ายไม่มีการเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

ข. ผลตอบสนองในกรณีที่มีการเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ

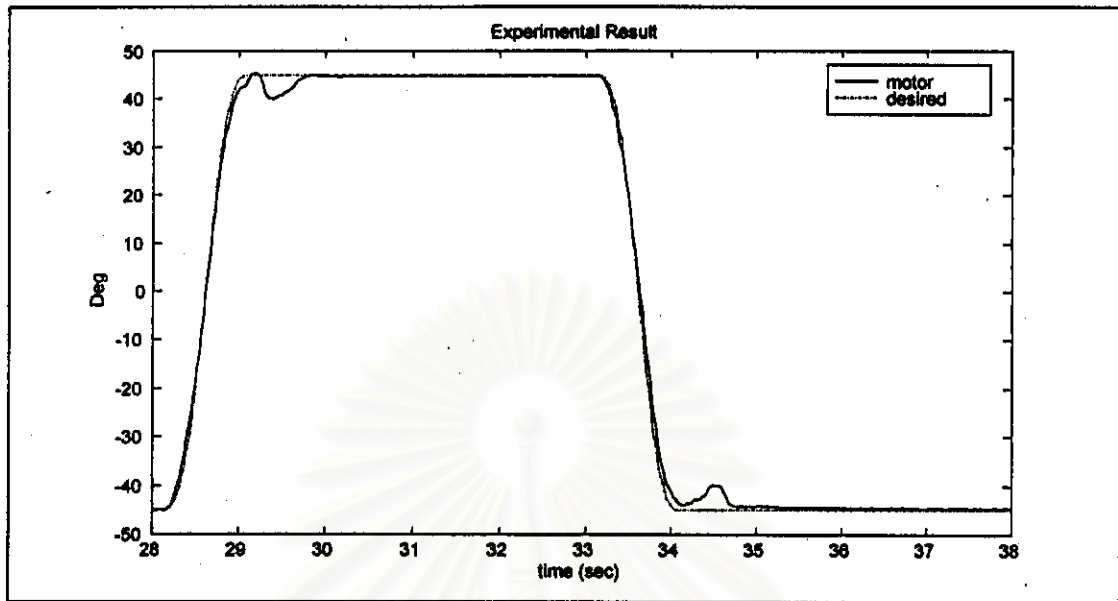
ในกรณีนี้ได้ทดลองเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการโดยในกรณีแรกได้ลดเวลาในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการจาก 1 วินาทีเป็น 0.8 วินาที ผลแสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งสามารถควบคุมได้ดี ส่วนในกรณีที่สองได้ทดลองเปลี่ยนเส้นทางจากการเคลื่อนที่ภายในช่วง 90° โดยใช้เวลา 0.5 วินาที เป็นการเคลื่อนที่ภายในช่วง 45° โดยใช้เวลา 0.5 วินาที ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.29

ค. ผลตอบสนองในกรณีที่มีการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย

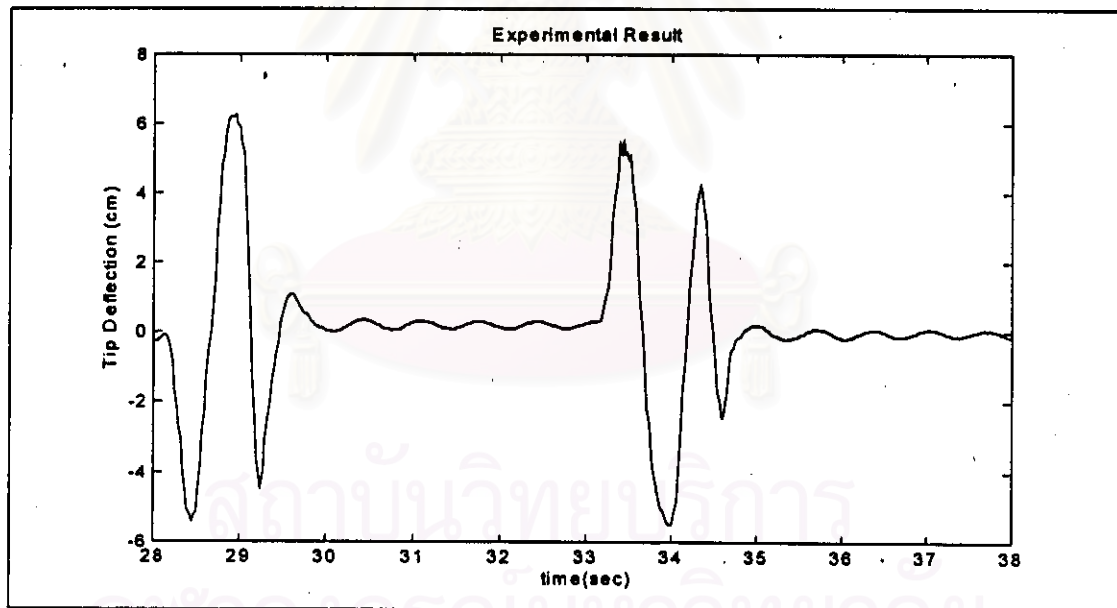
ในกรณีนี้ได้ทดลองในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลงไป ทดลองโดยทำการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลายโดยเพิ่มมวล 30 % ของมวลที่มีอยู่เดิม แล้วเริ่มทำการทดลองใหม่ซึ่งผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.30

ง. ผลของการปรับพารามิเตอร์

ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกับการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ คือ ในกรณีแรกทำการปรับค่าพารามิเตอร์ในลักษณะที่เน้นการควบคุมในส่วนแข็งเกร็งโดยเพิ่มค่าอัตราขยายที่มีตัวห้อย r และในกรณีหลังได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ในลักษณะที่เน้นการควบคุมในส่วนอ่อนตัวโดยเพิ่มอัตราขยายที่มีตัวห้อย f ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.31 เห็นได้ว่าเมื่อเน้นการควบคุมในส่วนแข็งเกร็งมากมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการได้ค่อนข้างดีแต่จะเกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายมากขึ้น และในรูปที่ 4.32 เป็นกรณีที่เน้นการควบคุมตำแหน่งปลายซึ่งจะลดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายลงเล็กน้อยแต่จะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังเส้นทางที่ต้องการได้ช้าลง



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

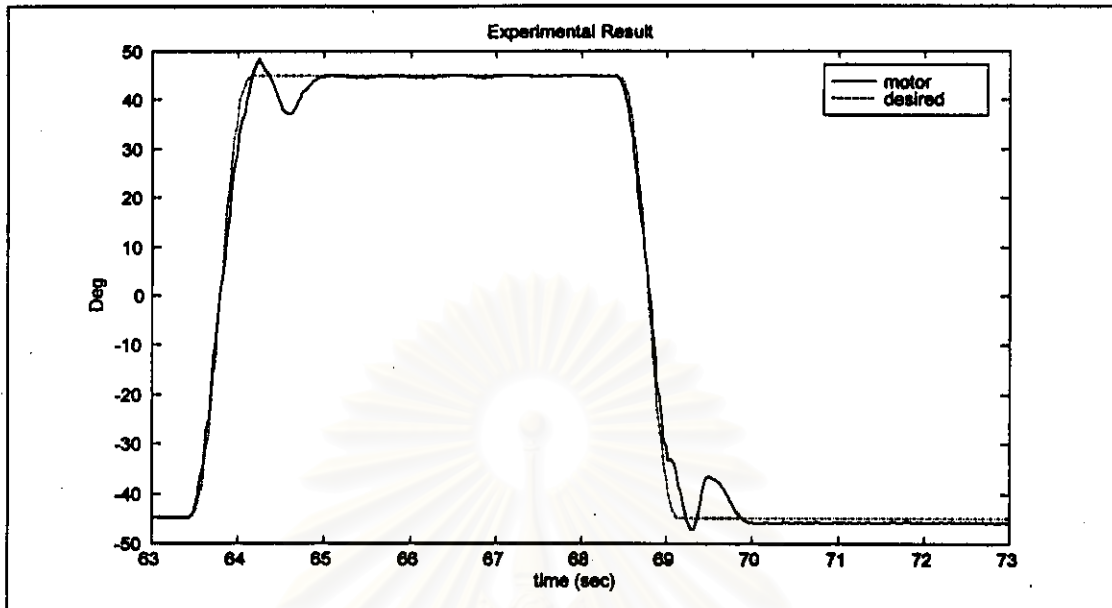
รูปที่ 4.27 ผลการทดลองกับระบบจริงในสภาวะปกติ

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

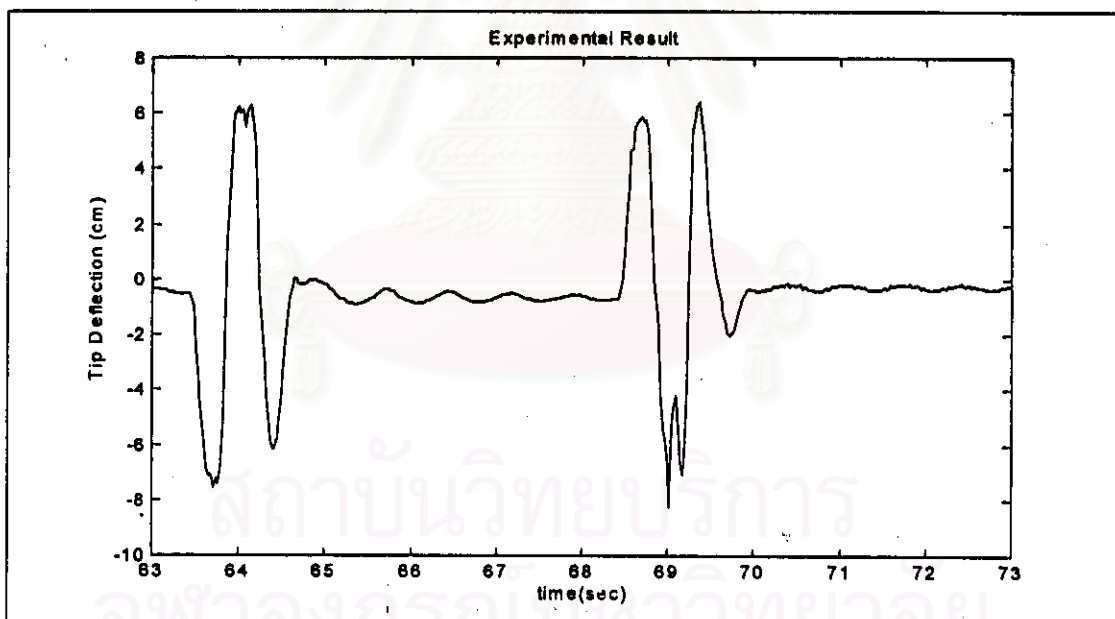
NNm : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 12 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นซ่อน 15 ปม, $K_{wa} = 0.15$, $K_{va} = 0.15$

$\lambda_r = 0.5$, $\lambda_f = 2.5$, $K_{vr} = 0.1$, $\varepsilon = 0.01$



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

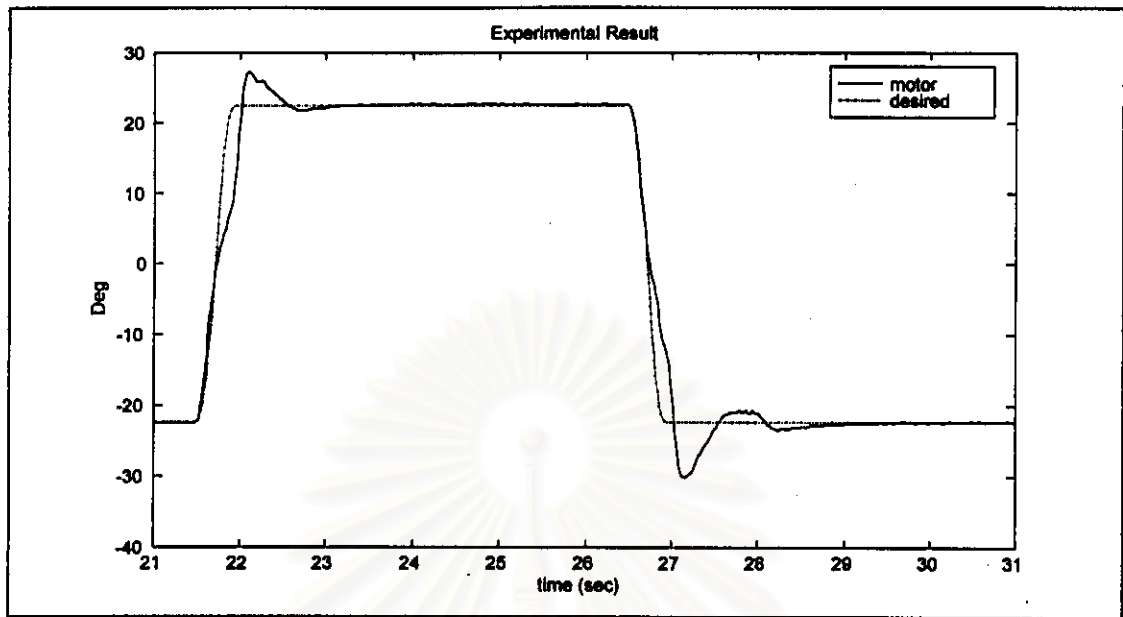
รูปที่ 4.28 ผลการทดลองกับระบบจริงในกรณีที่ใช้เส้นทางที่ต้องการ ($\theta_0 = -45^\circ, \theta_f = 45^\circ, T = 0.8$)

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

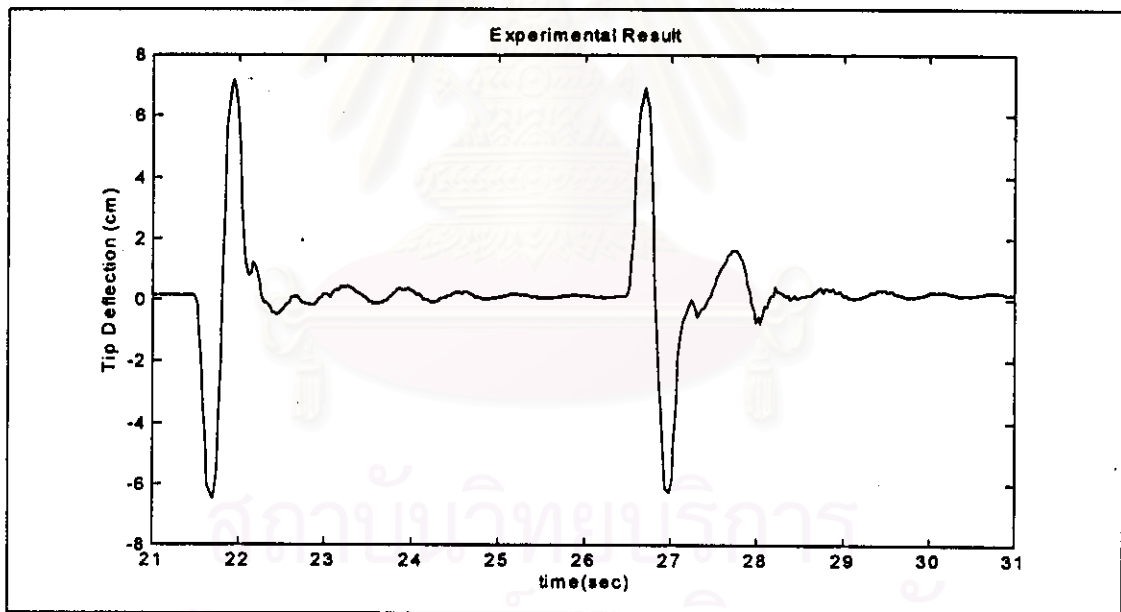
NNm : จำนวนปมที่ขึ้นตอน 12 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ขึ้นตอน 15 ปม, $K_{wa} = 0.15$, $K_{va} = 0.15$

$\lambda_r = 0.5$, $\lambda_f = 2.5$, $K_{vr} = 0.1$, $\varepsilon = 0.01$



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

รูปที่ 4.29 ผลการทดลองกับระบบจริงในกรณีที่ใช้เส้นทางที่ต้องการ

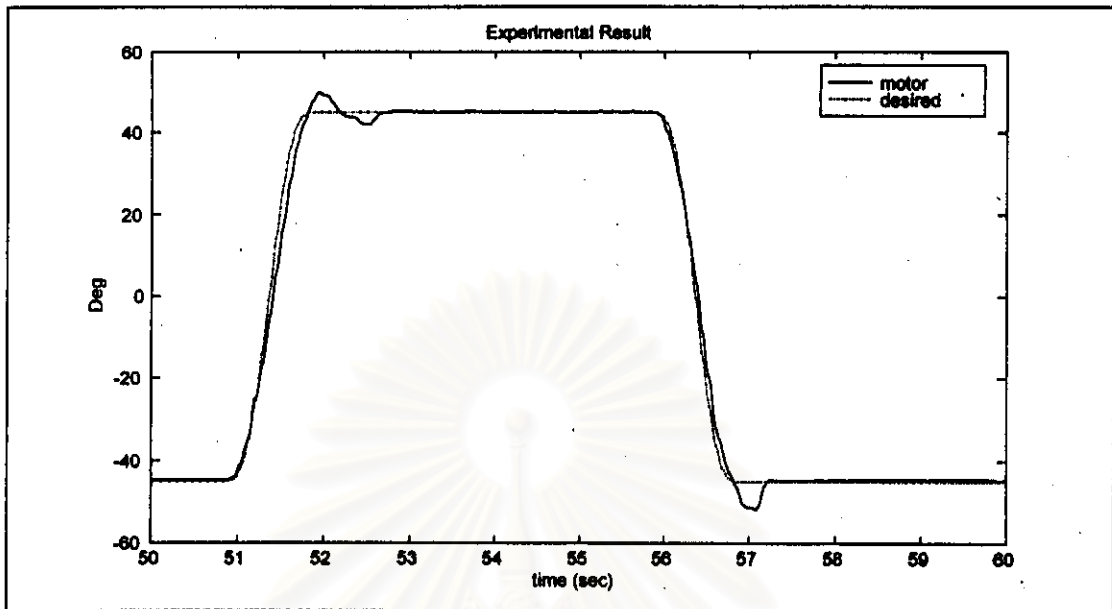
$$(\theta_0 = -22.5^\circ, \theta_f = 22.5^\circ, T = 0.5)$$

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

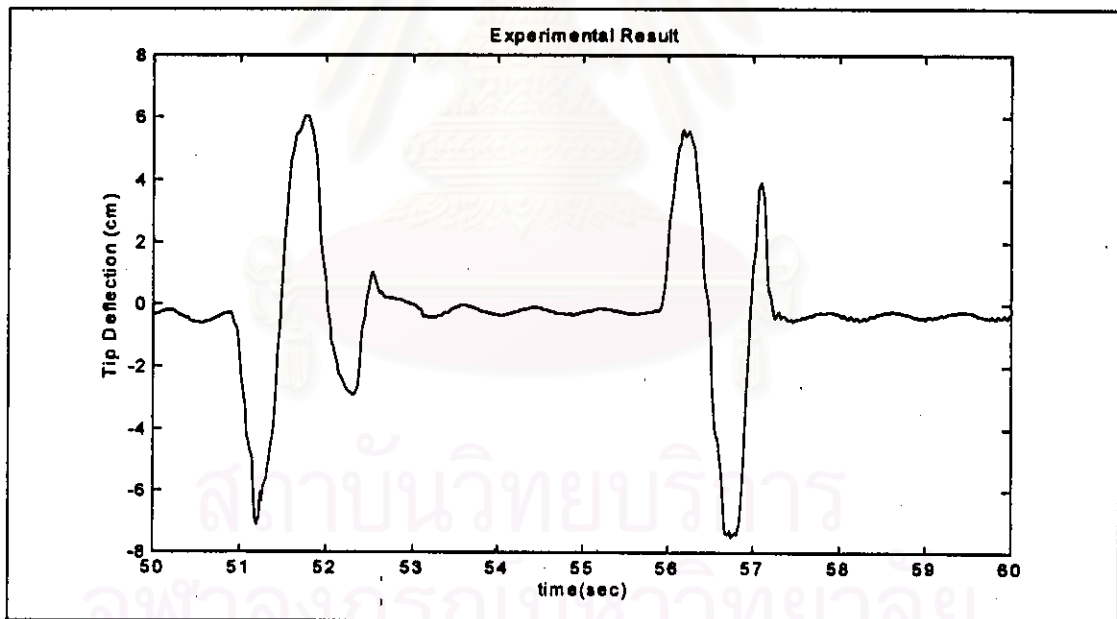
NNm : จำนวนปมที่ขึ้นซ้อน 12 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ขึ้นซ้อน 15 ปม, $K_{wa} = 0.15$, $K_{va} = 0.15$

$$\lambda_r = 0.5, \lambda_f = 2.5, K_{vr} = 0.1, \varepsilon = 0.01$$



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

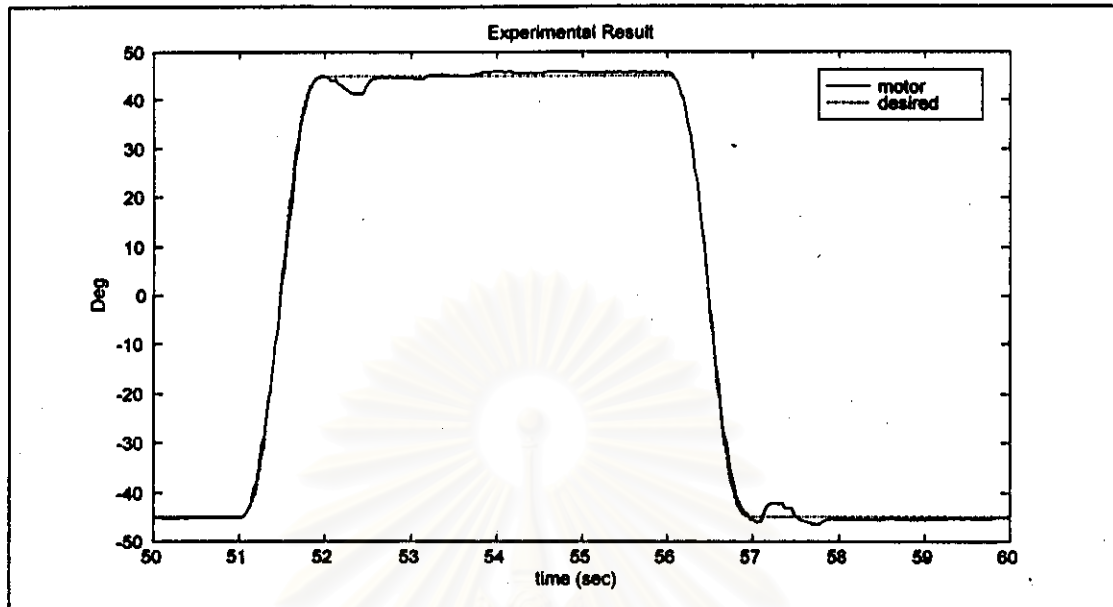
รูปที่ 4.30 ผลการทดลองกับระบบจริงในกรณี que เพิ่มมวลที่ตำแหน่งปลาย 30 %

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

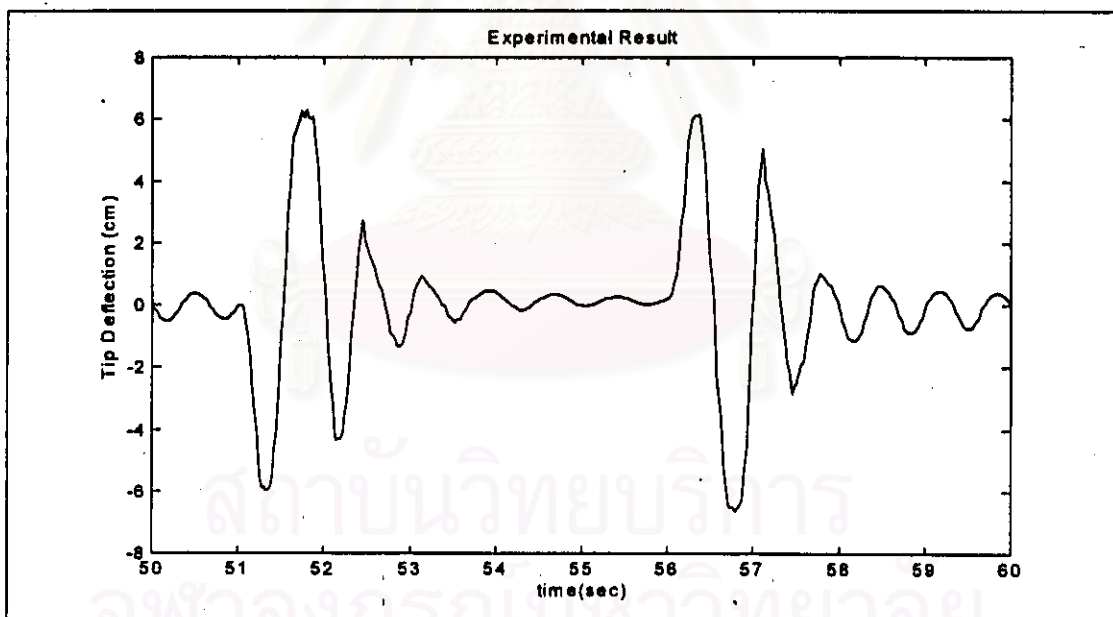
NNm : จำนวนปมที่ขึ้นซ้อน 12 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ขึ้นซ้อน 15 ปม, $K_{wa} = 0.15$, $K_{va} = 0.15$

$\lambda_r = 0.5$, $\lambda_f = 2.5$, $K_{vr} = 0.1$, $\varepsilon = 0.01$



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

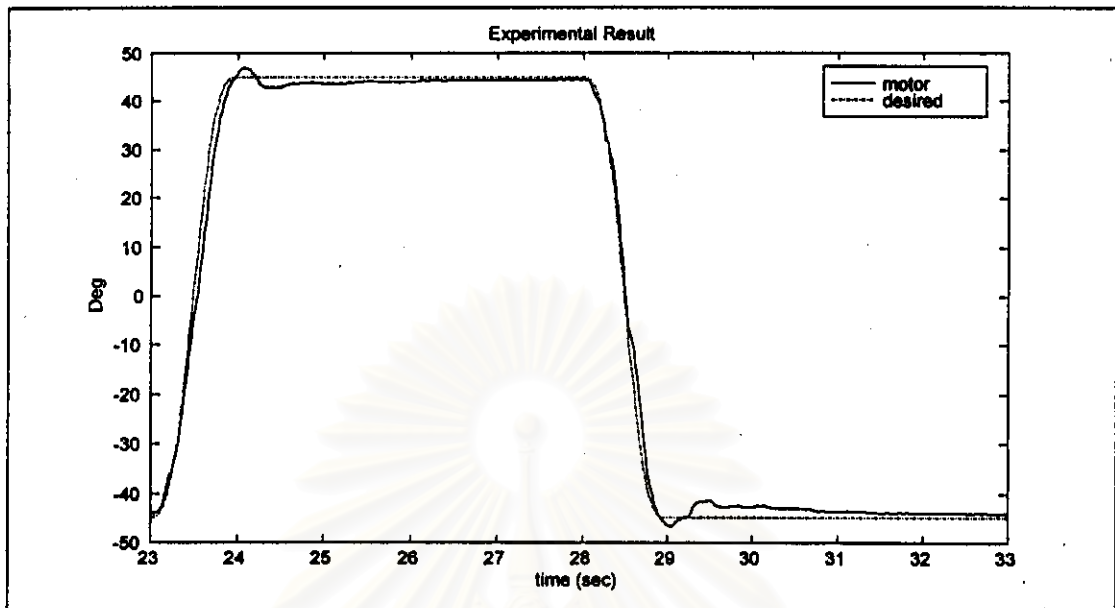
รูปที่ 4.31 ผลการทดลองกับระบบจริงในกรณีที่มีความสำคัญกับส่วนเชิงเกร็งมากเกินไป

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

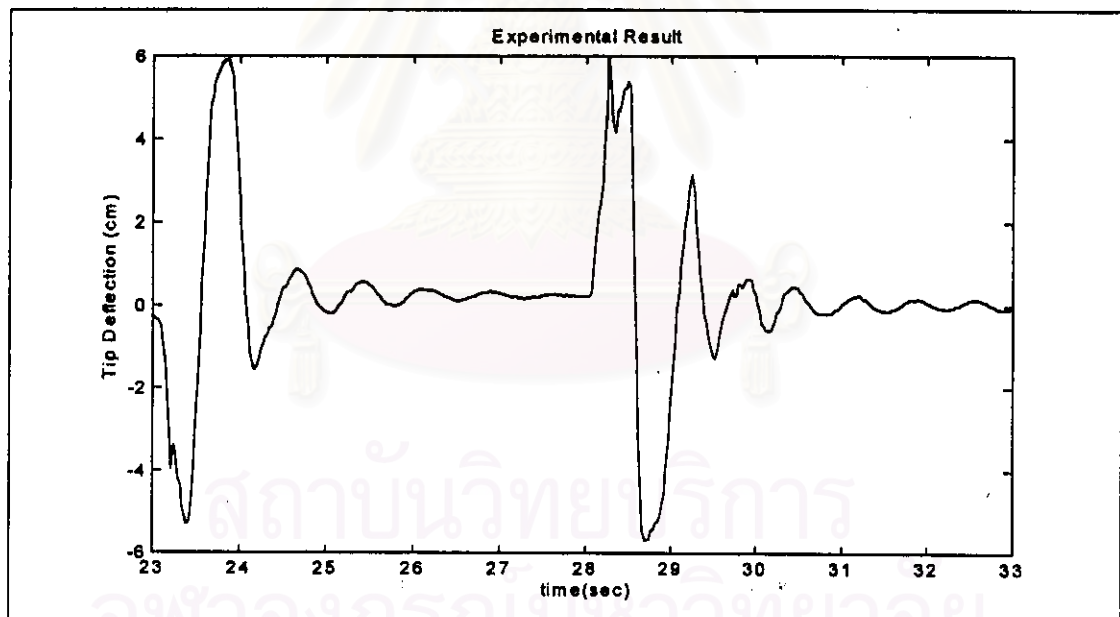
NNm : จำนวนปมที่ชั้นขอน 12 ปม, $K_{wm} = 0.5$, $K_{vm} = 0.5$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นขอน 15 ปม, $K_{wa} = 0.15$, $K_{va} = 0.15$

$\lambda_r = 1.5$, $\lambda_f = 2.5$, $K_{vr} = 0.2$, $\varepsilon = 0.01$



(ก) ผลตอบสนองของตำแหน่งมอเตอร์



(ข) ระยะเวลาเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งปลาย

รูปที่ 4.32 ผลการทดลองกับระบบจริงในกรณีที่มีความสำคัญกับส่วนอ่อนตัวมากเกินไป

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

NNm : จำนวนปมที่ชั้นขอน 12 ปม, $K_{wm} = 0.175$, $K_{vm} = 0.175$

NNa : จำนวนปมที่ชั้นขอน 15 ปม, $K_{wa} = 0.25$, $K_{va} = 0.25$

$\lambda_r = 0.5$, $\lambda_f = 5.0$, $K_{vr} = 0.1$, $\varepsilon = 0.01$

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองกับระบบจริง

ในส่วนของการใช้กฎการควบคุมที่เสนอขึ้นกับแกนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว เห็นได้ว่าวิธีการควบคุมที่เสนอสามารถใช้ควบคุมได้ คือ มอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการและลดการแกว่งของตำแหน่งปลาย ถึงแม้ว่าในการทดลองจริงมีการรบกวนต่างๆ เกิดขึ้นซึ่งมีผลต่อการควบคุม เช่น สัญญาณรบกวนที่ตัวตรวจรู้, เขตไร้ผลสนอง (deadzone) ของมอเตอร์ และการรบกวนการหมุนของมอเตอร์เนื่องจากสายที่เชื่อมต่อกับกล่อง แต่จากการทดลองควบคุมในหลายกรณี คือ กรณีที่สภาวะปกติ, การเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ และ การเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย ผลการทดลองที่แสดงในส่วนก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมสามารถใช้งานได้ อย่างไรก็ตามจะต้องเลือกค่าพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมซึ่งถ้าเน้นการควบคุมส่วนใดส่วนหนึ่งมากเกินไปก็จะทำให้ผลการควบคุมไม่ดี

เมื่อพิจารณาถึงกฎการควบคุมซึ่งได้จากการเลือกสัญญาณควบคุมเพื่อทำให้อนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของฟังก์ชันเลียปูนอฟเป็นลบ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. $K_r s_r$ เปรียบเสมือนเป็นการป้อนกลับ PD ของตำแหน่งมอเตอร์
2. τ_m เป็นส่วนที่ควบคุมเพื่อให้มอเตอร์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการ
3. τ_f เป็นส่วนของการควบคุมตำแหน่งปลาย

จากกฎการควบคุม $\tau_f = \frac{(1+k)s_r}{\|s_r\|^2 + \varepsilon} (s_f^T \tau_a)$ ซึ่งมีความหมายทางกายภาพคือ เมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งที่ต้องการแล้วจะทำให้ τ_f มีผลน้อยมาก เนื่องจากว่า s_r มีค่าน้อยจึงทำให้ τ_f มีผลต่อการควบคุมน้อยไปด้วย เพราะเมื่อพิจารณา τ_f แล้วประกอบด้วย s_r คุณอยู่กับ $\frac{(1+k)}{\|s_r\|^2 + \varepsilon} (s_f^T \tau_a)$ ผลที่เกิดขึ้นจากจุดนี้คือ ในขณะที่มอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วอาจเกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แกนกลมีความอ่อนตัวดังเช่นชุดทดลองที่ใช้ ซึ่งเกิดการแกว่งของตำแหน่งปลายได้โดยที่มอเตอร์ไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นจากผลการทดลองสังเกตได้ว่า ยังคงมีการแกว่งของตำแหน่งเล็กน้อยเมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้ว

4.7 สรุป

ในบทนี้ได้ทดลองใช้วิธีการควบคุมที่เสนอขึ้นกับแกนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว โดยในครั้งแรกเป็นการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์โดยทำการทดลองในหลายกรณี เช่น การเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย, การเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ และได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ในส่วนหลังได้ทดลองใช้กฎการควบคุมที่เสนอขึ้นทดลองจริงกับชุดทดลองแกนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว ซึ่งผลการทดลองทั้งในสภาวะปกติ, การเปลี่ยนเส้นทางที่ต้องการ และการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลาย แสดงให้เห็นว่ากฎการควบคุมสามารถใช้ได้ทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติโดยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์และการทดลองจริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย