

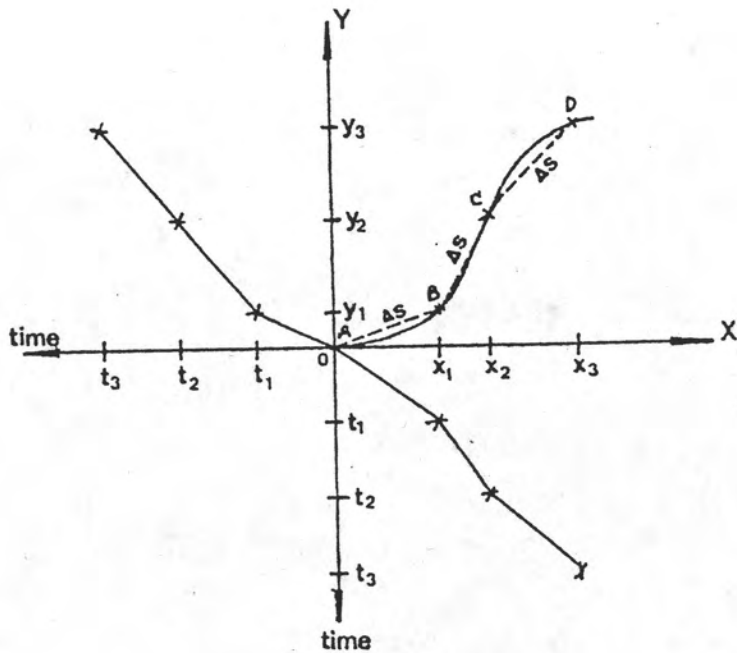
การออกแบบ

5.1 การควบคุมความเร็วตามแนวการตัด

ในการตัดแผ่นเหล็กด้วยเลเซอร์นั้น สิ่งที่สำคัญนอกเหนือจากความถูกต้องของแนวการตัดแล้วความเร็วตามแนวการตัดจะต้องคงที่ด้วย เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพที่ดี สำหรับโครงการวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เทคนิคในการควบคุมตำแหน่งและความเร็วตามแนวการตัดดังนี้

$$\text{Velocity} = \Delta S / \Delta t \quad (5.1)$$

จากคำจำกัดความในสมการที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าถ้าเรากำหนดให้ Δt มีค่าเท่ากับเวลาในการสุ่มค่า (sampling period) ซึ่งมีค่าคงที่ และถ้าเราสามารถควบคุมให้ Δs ซึ่งมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้งของการสุ่มค่าให้มีค่าคงที่ เราจะได้ค่าความเร็วที่มีค่าคงที่ จากหลักการดังกล่าวเราจะนำมาใช้ในการควบคุมตำแหน่งและความเร็วได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 การแบ่งจุดตามแนวการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 5.1 เส้นทึบจะแสดงถึงแนวตัดที่ต้องการ เราจะแบ่งแนวการตัดออกเป็น ส่วนเล็กๆ ที่มีขนาดเท่ากับ ΔS ซึ่งแสดงในรูปด้วยเส้นตรง AB BC CD (ดังแสดงตามเส้นประ) จากสมการที่ 5.1 ถ้ากำหนดให้ค่า Δt มีค่าเท่ากับเวลาในการลุ่มค่า จะสามารถหาค่า ΔS ได้ ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 5.2

$$\Delta S = V_{des} \cdot t_{sam} \tag{5.2}$$

กำหนดให้

V_{des} = ความเร็วตามแนวการตัด

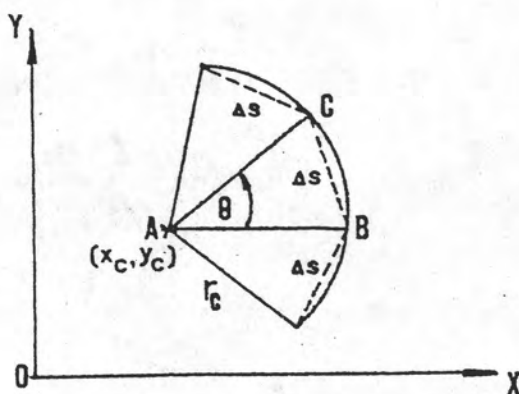
t_{sam} = เวลาในการลุ่มค่า

ΔS = ระยะทางที่เคลื่อนที่ในการลุ่มค่า 1 ครั้ง

จากสมการที่ 5.2 เราจะนำค่า ΔS ที่คำนวณได้ไปใช้ในการคำนวณหาจุดอ้างอิงตาม แนวแกน X และแกน Y ที่เวลา t_{sam} โดยเก็บไว้ก่อน ในการสร้างแนวการเคลื่อนที่เราจะใช้ รูปแบบของส่วนโค้งและเส้นตรงมาใช้ประกอบกัน ตามหลักการดังนี้

5.1.1 ส่วนโค้ง ในการสร้างแนวทางเดินที่เป็นส่วนโค้ง ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณจุดอ้างอิงมีดังนี้คือ

1. จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง
2. รัศมีของส่วนโค้ง
3. มุมเริ่มต้นของส่วนโค้ง เทียบกับแนวแกน X
4. มุมสิ้นสุดของส่วนโค้ง เทียบกับแนวแกน X มีค่าเป็นบวกในทิศ ทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 5.2 การแบ่งจุดกรณีทีแนวการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้ง

จากรูปที่ 5.2 แสดงการแบ่งแนวการเคลื่อนที่ที่เป็นส่วนโค้งออกเป็นส่วนๆที่มีความยาวเท่ากับ ΔS ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 จากรูปที่ 5.2 พิจารณาสมาเหลี่ยม ABC เราจะได้ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$\theta = \cos^{-1}[(2 \cdot AC \cdot AB - BC^2)/(2 \cdot AC \cdot AB)] \quad (5.3)$$

$$AC = AB = r_c \quad (5.4)$$

$$BC = \Delta S \quad (5.5)$$

แทนค่าสมการ 5.4 และ 5.5 ลงในสมการที่ 5.3

$$\theta = \cos^{-1}[(2 \cdot r_c^2 - \Delta S^2)/(2 \cdot r_c^2)] \quad (5.6)$$

จากสมการที่ 5.6 สามารถนำไปคำนวณหาค่าจุดอ้างอิงตามแนวแกน X และแนวแกน Y ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ n ได้ตามสมการที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

$$X(n) = r_c \cdot \cos(\theta \cdot n) + X_c \quad (5.7)$$

$$Y(n) = r_c \cdot \sin(\theta \cdot n) + Y_c \quad (5.8)$$

กำหนดให้

$$r_c = \text{รัศมีของส่วนโค้ง}$$

$$X(n) = \text{จุดอ้างอิงตามแนวแกน X ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ n}$$

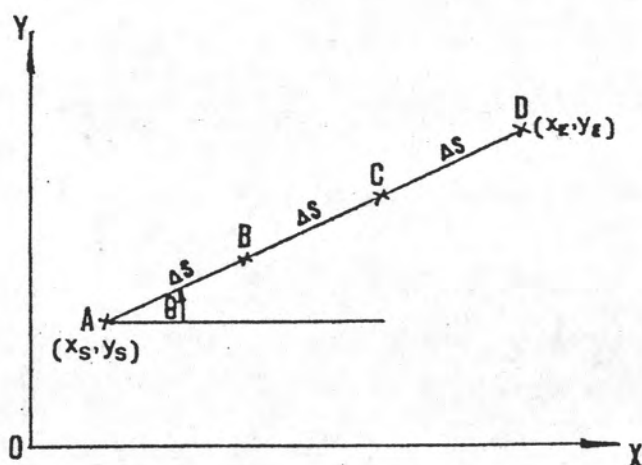
$$Y(n) = \text{จุดอ้างอิงตามแนวแกน Y ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ n}$$

$$X_c = \text{จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งตามแนวแกน X}$$

$$Y_c = \text{จุดศูนย์กลางของส่วนโค้งตามแนวแกน Y}$$

5.1.2 เส้นตรง ในการสร้างแนวทางเดินที่เป็นเส้นตรง ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณจุดอ้างอิงมีดังนี้คือ

1. จุดเริ่มต้นของเส้นตรง
2. จุดสิ้นสุดของเส้นตรง



รูปที่ 5.3 แสดงการแบ่งจุดกรณีที่แนวทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

จากรูปที่ 5.3 เราจะแบ่งเส้นตรงออกเป็นส่วนๆ ที่มีความยาวเท่ากับ ΔS ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 จากรูปที่ 5.3 เราจะได้ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$\theta = \tan^{-1}[(Y_E - Y_S)/(X_E - X_S)] \quad (5.9)$$

$$X(n) = (\Delta S \cdot n) \cdot \cos\theta + X_S \quad (5.10)$$

$$Y(n) = (\Delta S \cdot n) \cdot \sin\theta + Y_S \quad (5.11)$$

กำหนดให้

X_S = จุดเริ่มต้นของเส้นตรงตามแนวแกน X

Y_S = จุดเริ่มต้นของเส้นตรงตามแนวแกน Y

X_E = จุดสิ้นสุดของเส้นตรงตามแนวแกน X

Y_E = จุดสิ้นสุดของเส้นตรงตามแนวแกน Y

$X(n)$ = จุดอ้างอิงตามแนวแกน X ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ n

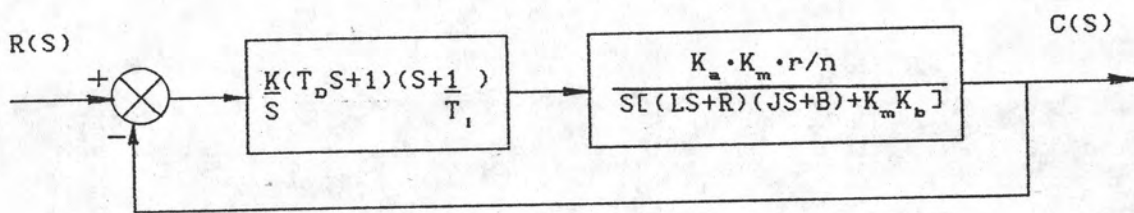
$Y(n)$ = จุดอ้างอิงตามแนวแกน Y ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ n

5.2 การออกแบบหาค่าเกินของสัญญาณควบคุม

ในการออกแบบหาค่าเกินของสัญญาณควบคุมจะแบ่งการออกแบบเป็น 2 ขั้นตอน โดยที่ขั้นตอนแรกจะออกแบบหาค่าเกินของสัญญาณควบคุม พ.ไอ.ดี. ก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำการ

ออกแบบหาค่าแกนของสัญญาณควบคุมพรีวิว ซึ่งการออกแบบหาค่าแกนของสัญญาณควบคุมมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การออกแบบหาค่าแกนของสัญญาณควบคุม พี.ไอ.ดี. จากรูปที่ 3.5 ถ้าใช้ระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. และทำการยุบบล็อกไดอะแกรมของระบบ จะสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม พี.ไอ.ดี. ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็ก

โดยที่

K_m	= 0.0551	N·m/A
K_a	= 4	Volt/Volt
K_b	= 0.0554	Volt/(rad/sec)
r	= 0.025	m
n	= 100	
R	= 1.1	Ω
L	= 2.3	mH
B	= 6.74×10^{-6}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}$

สำหรับค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และภาระคิดเทียบที่เพลามอเตอร์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 5.12

$$J = M \cdot r^2 / n^2 + J_m \quad (5.12)$$

กำหนดให้

$$J = \text{โมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และภาระคิดเทียบที่เพลามอเตอร์}$$

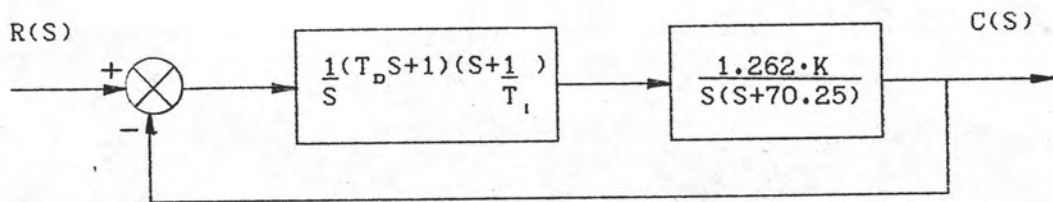
$$\begin{aligned}
 M &= \text{มวลของระบบแกน} \\
 J_m &= \text{โมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์} \\
 &= 3.88 \times 10^{-5} \quad \text{kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 5.12 แทนค่ามวลของระบบแกน $X = 11.423$ กิโลกรัม และมวลของระบบแกน $Y = 2.174$ กิโลกรัม จะได้ค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของระบบแกน X และแกน Y ตามสมการที่ 5.13 และ 5.14

$$J_x = 3.95 \times 10^{-5} \quad \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (5.13)$$

$$J_y = 3.89 \times 10^{-5} \quad \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (5.14)$$

จากสมการที่ 5.13 และ 5.14 จะเห็นได้ว่าค่ามวลของระบบแกนมีผลต่อค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อย และค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของระบบส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบจะออกแบบให้ค่าเกนของสัญญาณควบคุมของทั้ง 2 แกนมีค่าเท่ากันและใช้ค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของแกน X เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ และจากรูปที่ 5.4 แทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยให้ค่าอินตคแทนซ์ของมอเตอร์มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานของมอเตอร์ จะได้บล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม พี.ไอ.ดี.ที่ใช้ในการออกแบบ

จากรูปที่ 5.5 กำหนดให้

$$K_p = K(1 + T_D/T_I) \quad (5.15)$$

$$K_I = K/T_I \quad (5.16)$$

$$K_D = K \cdot T_D \quad (5.17)$$

$$G(s) = 1.262 \cdot K / S(S + 70.25) \quad (5.18)$$

จากความสัมพันธ์ของ static velocity error coefficient (Kuo, 1987)

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G(s) \quad (5.19)$$

$$K_v = \text{output velocity} / \text{FVE} \quad (5.20)$$

กำหนดให้

$G(s)$ = ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบที่ถูกควบคุม

K_v = static velocity error coefficient

FVE = ค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุด (Final Value Error)

ถ้าเรากำหนดให้ค่า output velocity มีค่าเท่ากับ 0.015 m/s และค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุดให้มีค่าเท่ากับ 1 มิลลิเมตร แทนค่าลงในสมการที่ 5.20 จะได้ค่า K_v ตามสมการที่ 5.21

$$K_v = 0.015 / 0.001$$

$$K_v = 15 \quad \text{sec}^{-1} \quad (5.21)$$

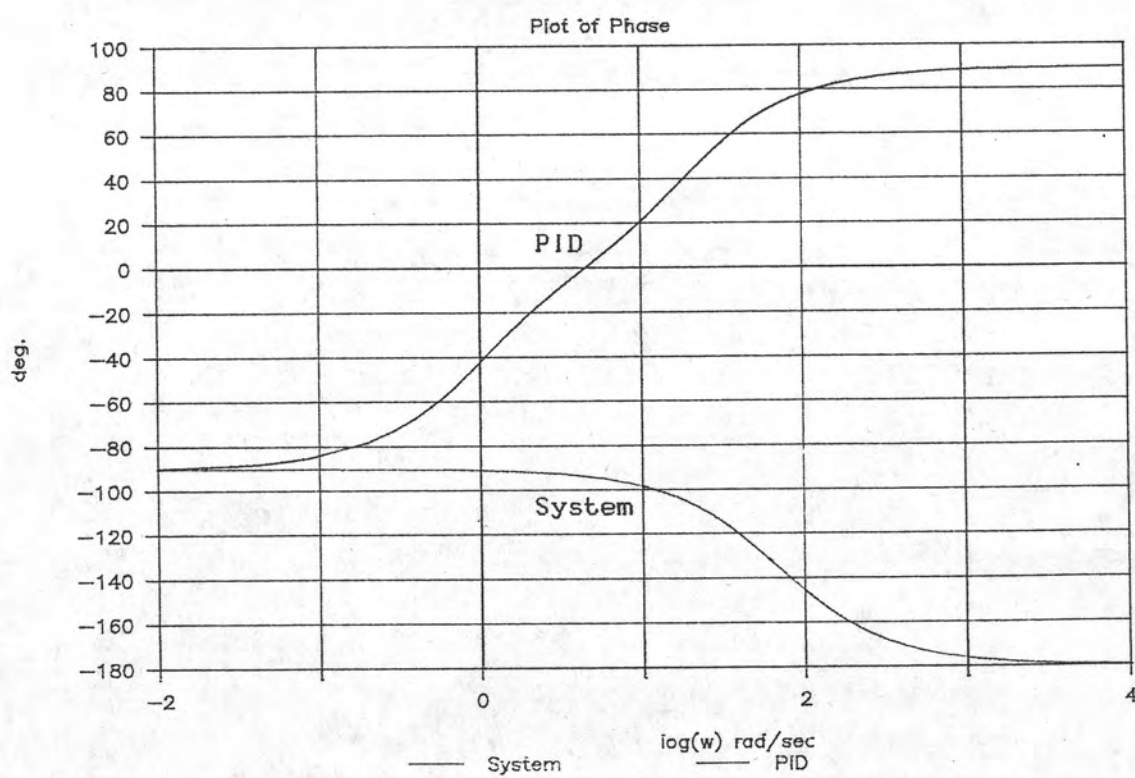
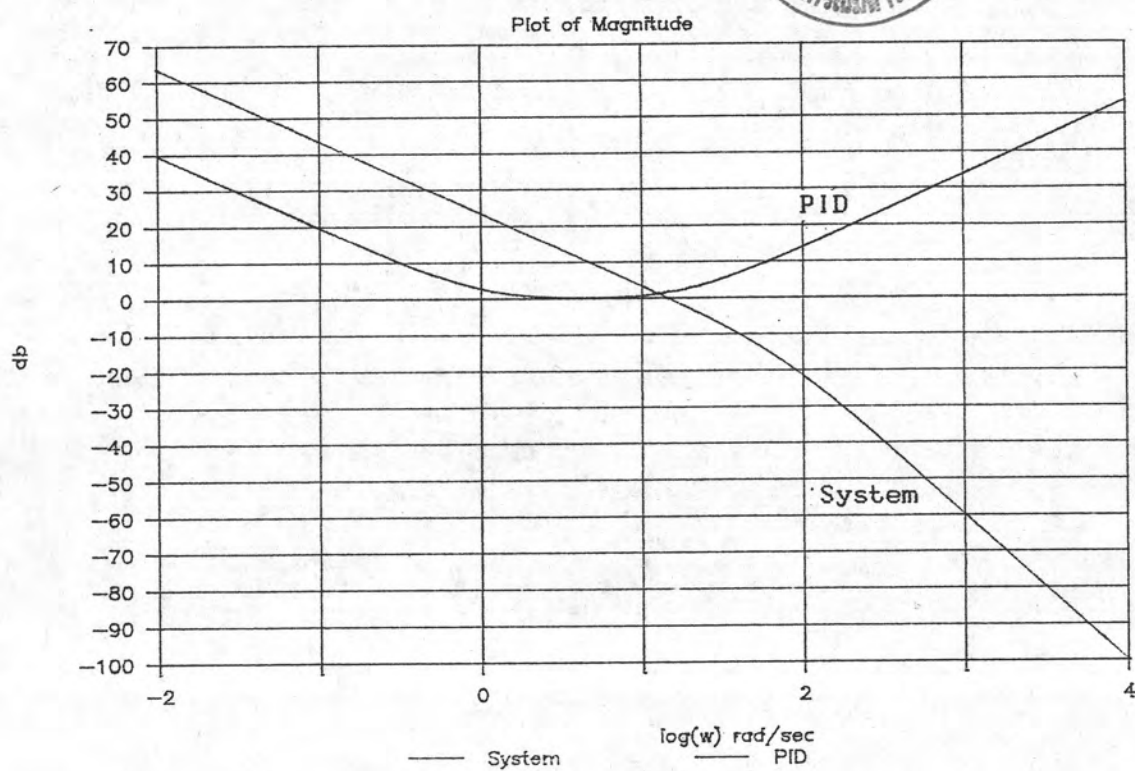
จากสมการที่ 5.21 และ 5.18 แทนค่า K_v และ $G(s)$ ลงในสมการที่ 5.19 จะได้ค่าเกน K ที่ให้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่สภาวะสิ้นสุดที่ความเร็วเอาก์พุท ที่กำหนดตามสมการที่ 5.22

$$15 = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot 1.262 \cdot K / s(s+70.25)$$

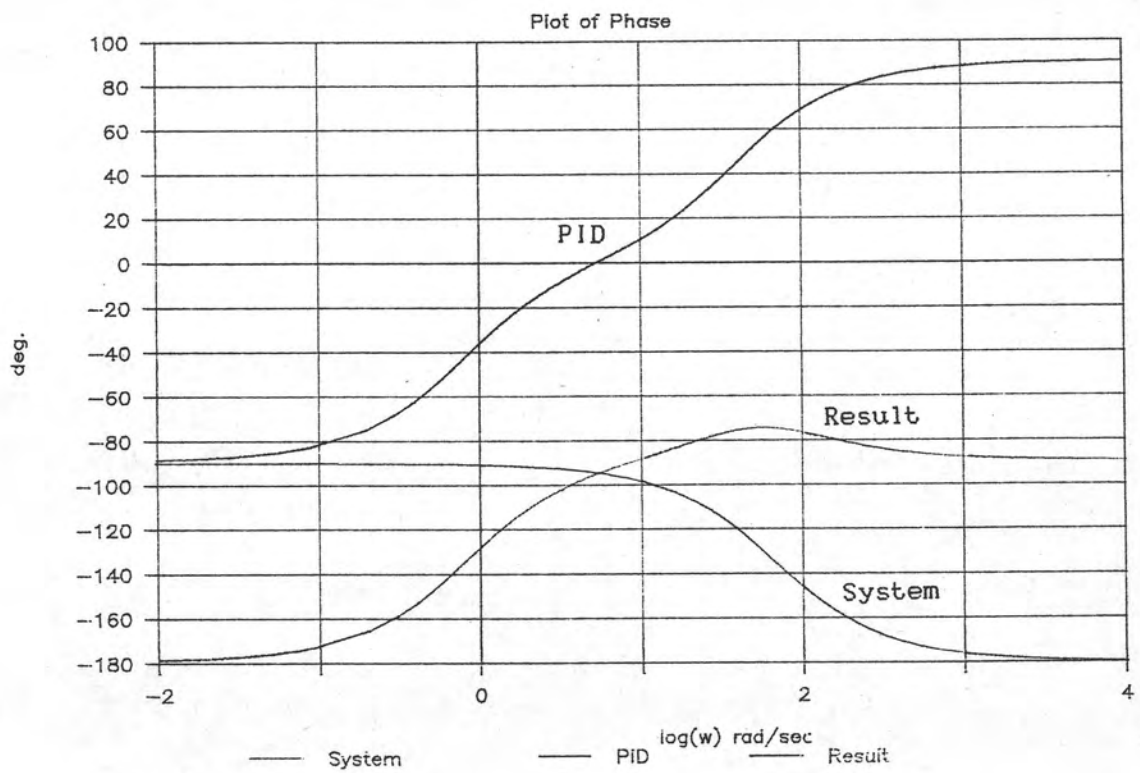
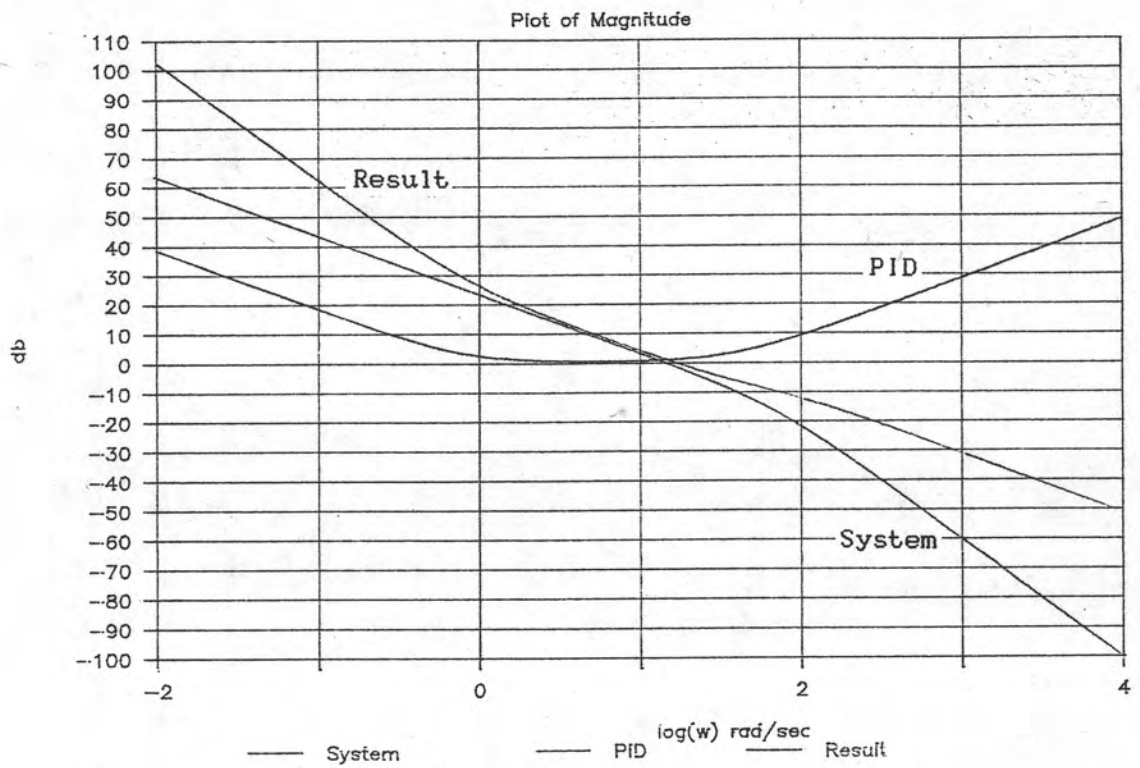
$$K = 15 \times 70.25 / 1.262$$

$$K = 835 \quad (5.22)$$

ในการหาค่า K_i และ K_D เราจะออกแบบโดยพิจารณาจาก frequency-response ของ open-loop transfer function โดยพิจารณาจาก open-loop transfer function ของระบบควบคุม พี.ไอ.ดี. และ open-loop transfer function ของระบบ $G(s)$ ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 Bode plot ของระบบ $G(s)$ และระบบควบคุม พี.ไอ.ดี.



รูปที่ 5.7 Bode Plot ของระบบควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นว่า open-loop frequency-response ของระบบควบคุม พี.ไอ.ดี. จะมี corner frequency ที่ $1/T_1$ และ $1/T_D$ และมี phase angle อยู่ระหว่าง -90 ถึง 90 องศา (Palm, 1983) ในการออกแบบเราจะเลือกค่า $1/T_D$ ที่บริเวณใกล้ๆ กับ corner frequency ของระบบ $G(s)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70.25 rad/sec และเลือกค่า $1/T_1$ ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ $1/T_D$ 20 เท่า หลังจากนั้นจะคำนวณหาค่าเกน K_p , K_i และ K_D ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 5.15 ถึง 5.17 แล้วนำค่าเกนที่คำนวณได้ไปทำการทดสอบผลการควบคุมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วจึงค่อยนำไปทดสอบกับระบบจริง เพื่อดูผลของความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็ว ในการพิจารณาเลือกค่า $1/T_D$ และ $1/T_1$ เราจะเลือกค่าที่ทำให้ระบบรวมมี phase margin มากกว่าหรือเท่ากับ 65 deg. และเนื่องจากในระบบควบคุมจะต้องมีสัญญาณควบคุมแบบพริ้ว ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณควบคุมแบบ พี. ซึ่งจะมีผลต่อ overshoot ของระบบ ดังนั้นเราจะออกแบบระบบให้เป็น overdamp ก่อน และพิจารณาให้ความเร็วของระบบมีแนวโน้มแบบ exponential

จากการทดลองเลือกค่า $1/T_D$ ให้มีค่าเท่ากับ 40 rad/sec และ $1/T_1$ มีค่า 0.8 rad/sec ซึ่งให้ค่าของ phase margin มีค่าเท่ากับ 100 deg. และค่า gain margin เป็น $-\infty$ แต่จากตำแหน่งของ close-loop pole ซึ่งมีค่าเท่ากับ -84.141 , -11.863 และ -0.848 จะเห็นว่าตำแหน่งของ pole อยู่ทางซ้ายของ s-plane แสดงว่าระบบนี้เสถียร (stable) และระบบมี close-loop pole อยู่บนแกน real แสดงว่าเป็นระบบ overdamp สำหรับผลของ frequency-response ของระบบแสดงดังรูปที่ 5.7

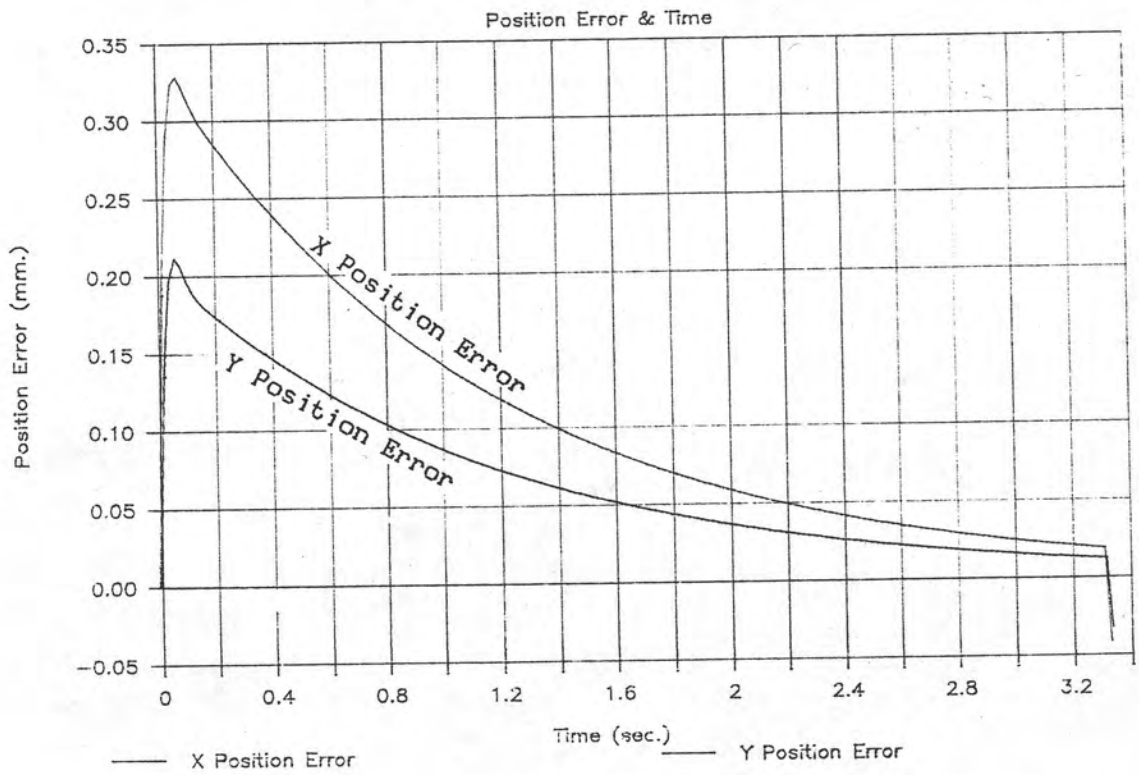
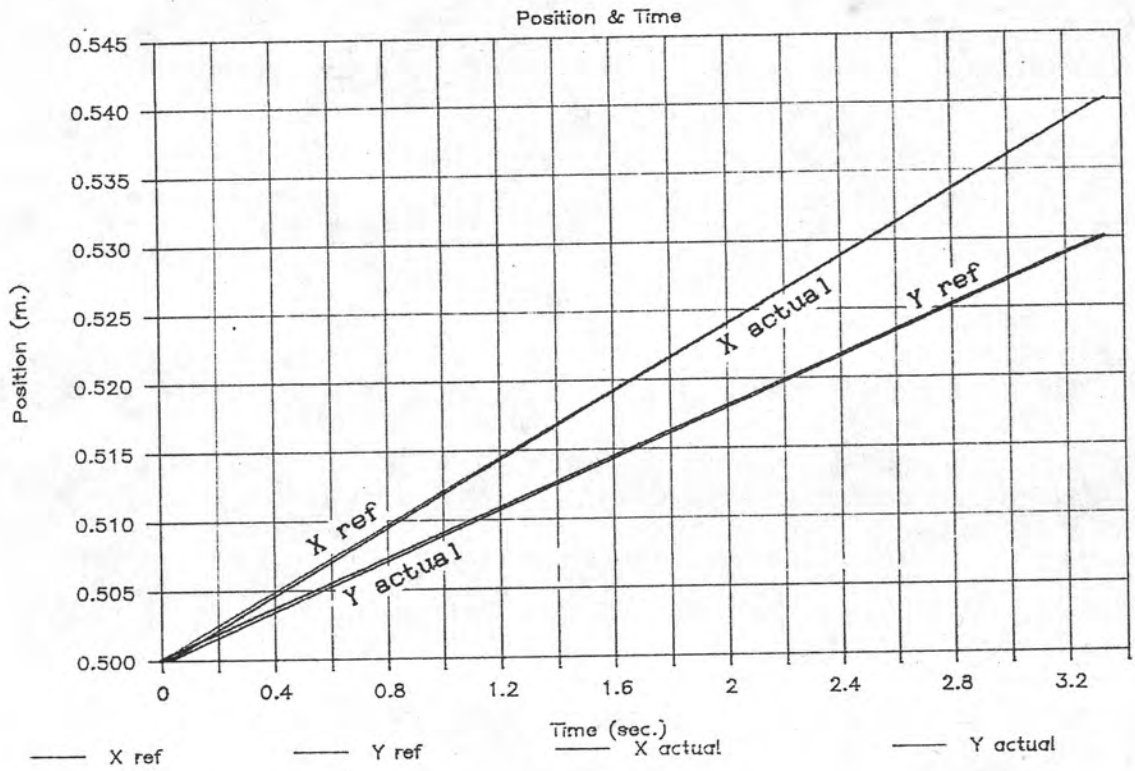
จากสมการที่ 5.15 ถึง 5.17 แทนค่า $1/T_D$ เท่ากับ 40 และ $1/T_1$ เท่ากับ 0.8 จะสามารถหาค่า K_p , K_i และ K_D ได้ตามสมการที่ 5.23 ถึง 5.25

$$K_p = 851.70 \quad (5.23)$$

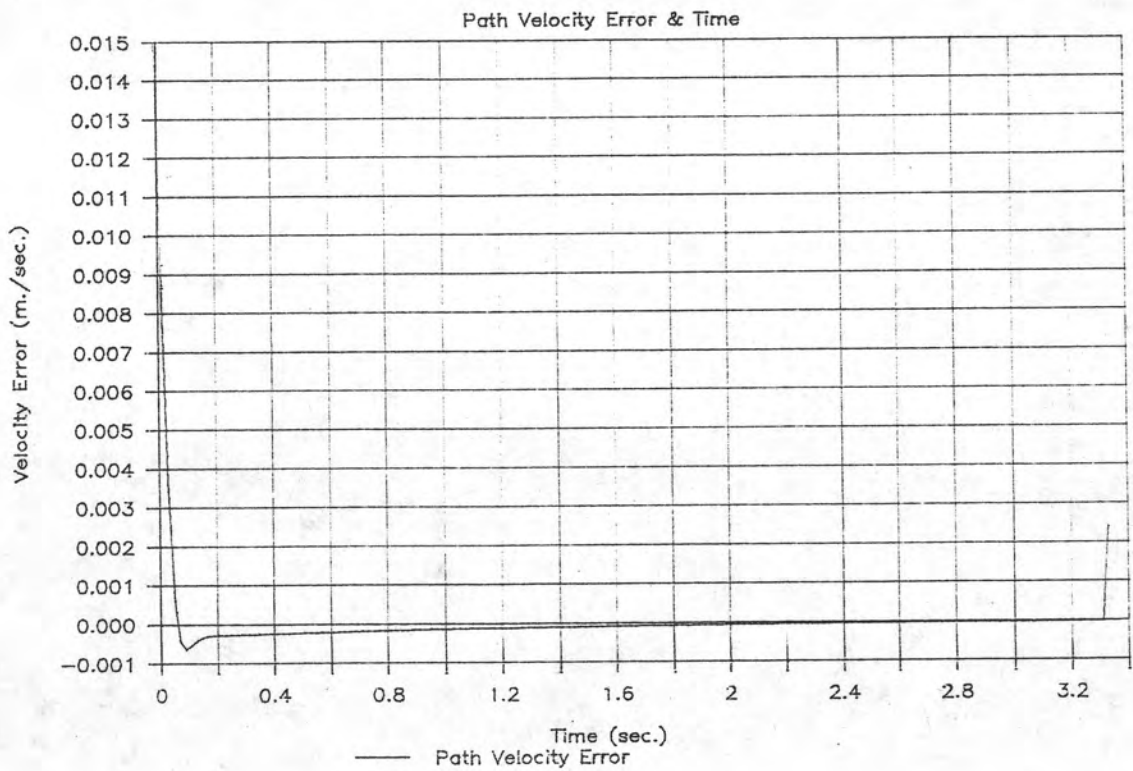
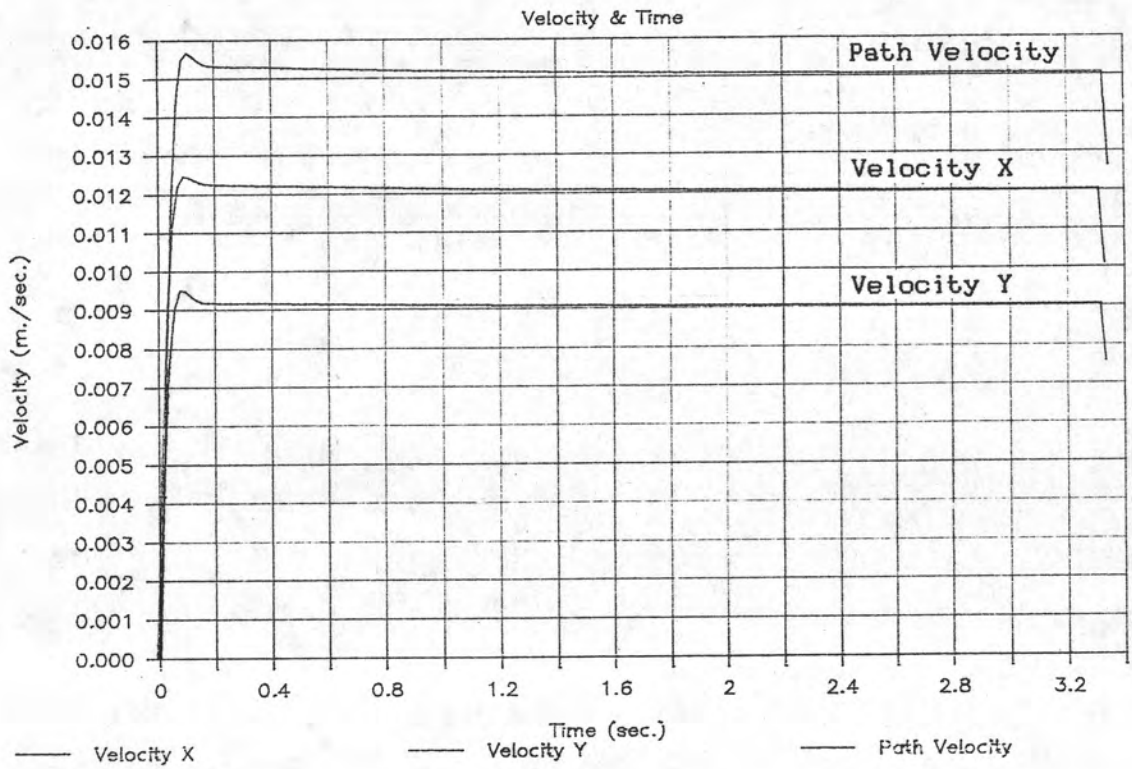
$$K_i = 668.00 \quad (5.24)$$

$$K_D = 20.88 \quad (5.25)$$

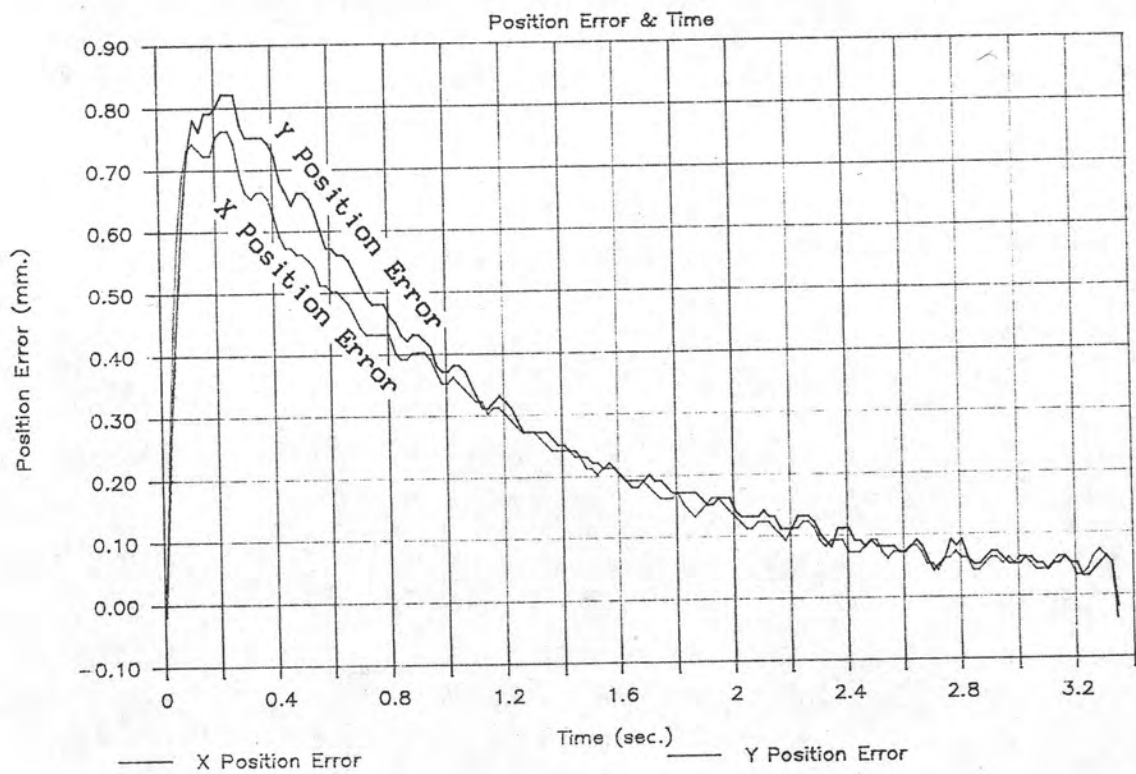
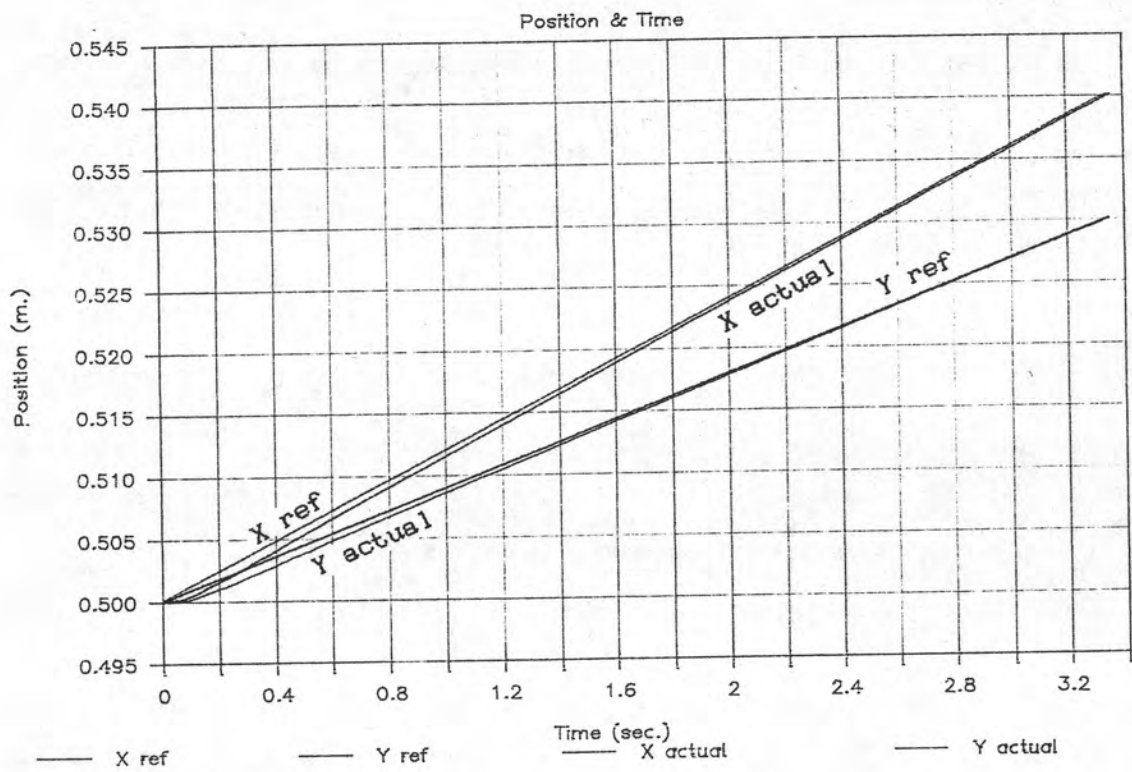
จากค่าเกนที่คำนวณได้ในสมการที่ 5.23 ถึง 5.25 นำไปทดสอบดูผลของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและค่าความผิดพลาดของความเร็ว โดยใช้เวลาในการสุ่มค่า 20 msec ที่ความเร็วตามแนวการเคลื่อนที่ 0.015 m/s และการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากจุด $x=500$, $y=500$ ไปยังจุด $x=540$ และ $y=530$ ซึ่งผลของการเคลื่อนที่เมื่อทดสอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ส่วนผลของการเคลื่อนที่เมื่อทดสอบกับระบบจริง แสดงดังรูปที่ 5.10 และ 5.11



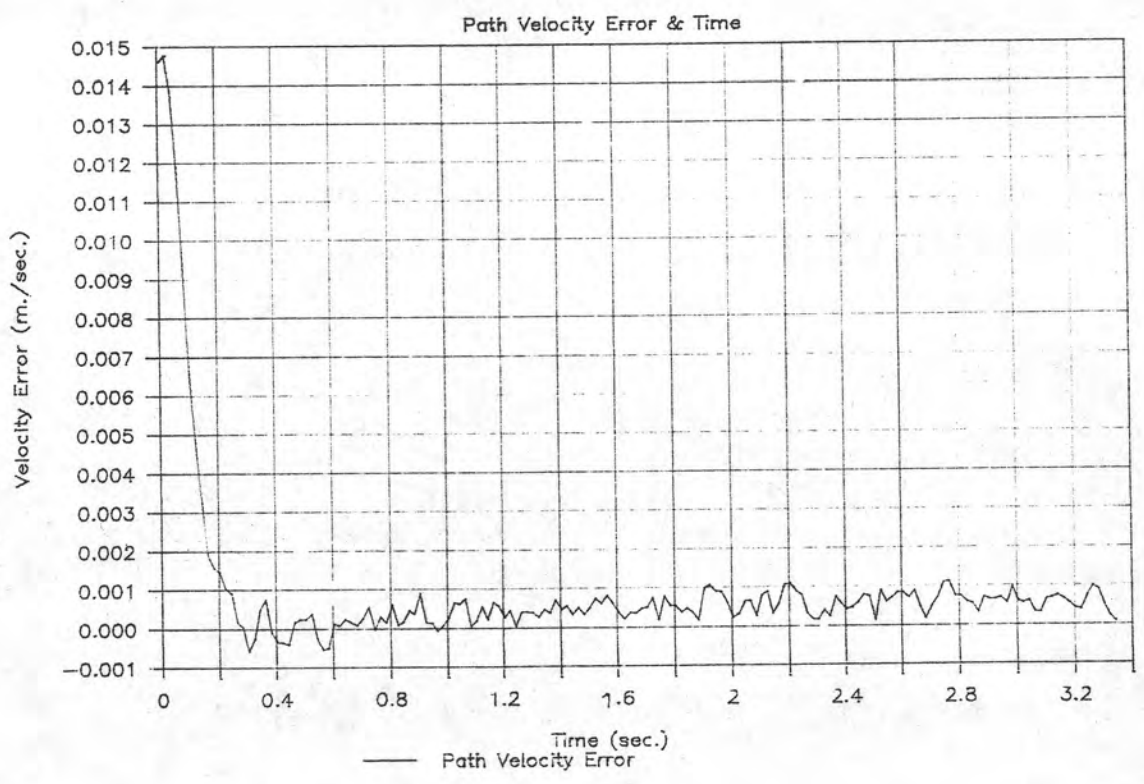
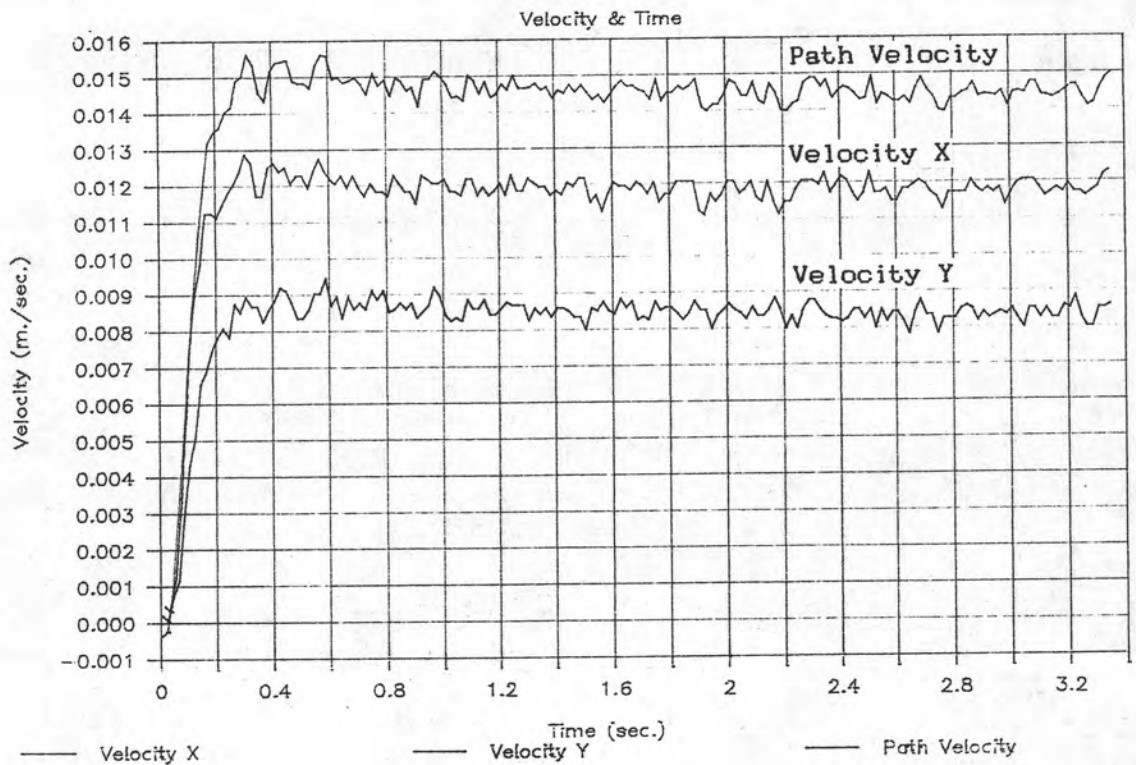
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากแบบจำลองของการเคลื่อนที่ เป็นเส้นตรงของ โต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความเร็วที่ได้จากแบบจำลองของการเคลื่อนที่
เป็นเส้นตรงของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง
ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความเร็วที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง
ของโต๊ะตัดแผ่นเหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s



จากรูปที่ 5.8 และ 5.10 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของตำแหน่งตามแนวการตัดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากระบบจริง ทั้งนี้เพราะในระบบจริงมีค่า backlash ของชุดเฟืองทดซึ่งเป็นเทอม nonlinear ซึ่งไม่มีในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และในรูปที่ 5.9 ซึ่งแสดงผลของความเร็วมตามแนวการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมี overshoot เล็กน้อย ส่วนผลของความเร็วมของระบบจริงดังแสดงในรูปที่ 5.11 จะมีแนวโน้มเป็นแบบ exponential ตามต้องการ สาเหตุที่ผลของความเร็วมของแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากระบบจริง เพราะในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยและค่าสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมพิ่งที่ใช้ไม่ได้รวมค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยและค่าสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมพิ่งของชุดเฟืองทดเนื่องจากไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว

5.2.2 การออกแบบหาค่าเกนพีวีวี ในการหาค่าเกนพีวีวีเราจะใช้วิธีการหาค่าและทำการทดลองกับระบบจริง แล้วดูผลของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ความเร็วมตามแนวการเคลื่อนที่ค่าต่างๆ โดยทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว คือระยะทางในการมองไปล่วงหน้าว่าเป็นกี่จุด และค่าเกนของสัญญาณควบคุมพีวีวี สำหรับลักษณะของแนวทางเดินที่นำมาใช้ทดลองจะใช้ลักษณะทางเดินเป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยเริ่มต้นจากการลากเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมก่อน

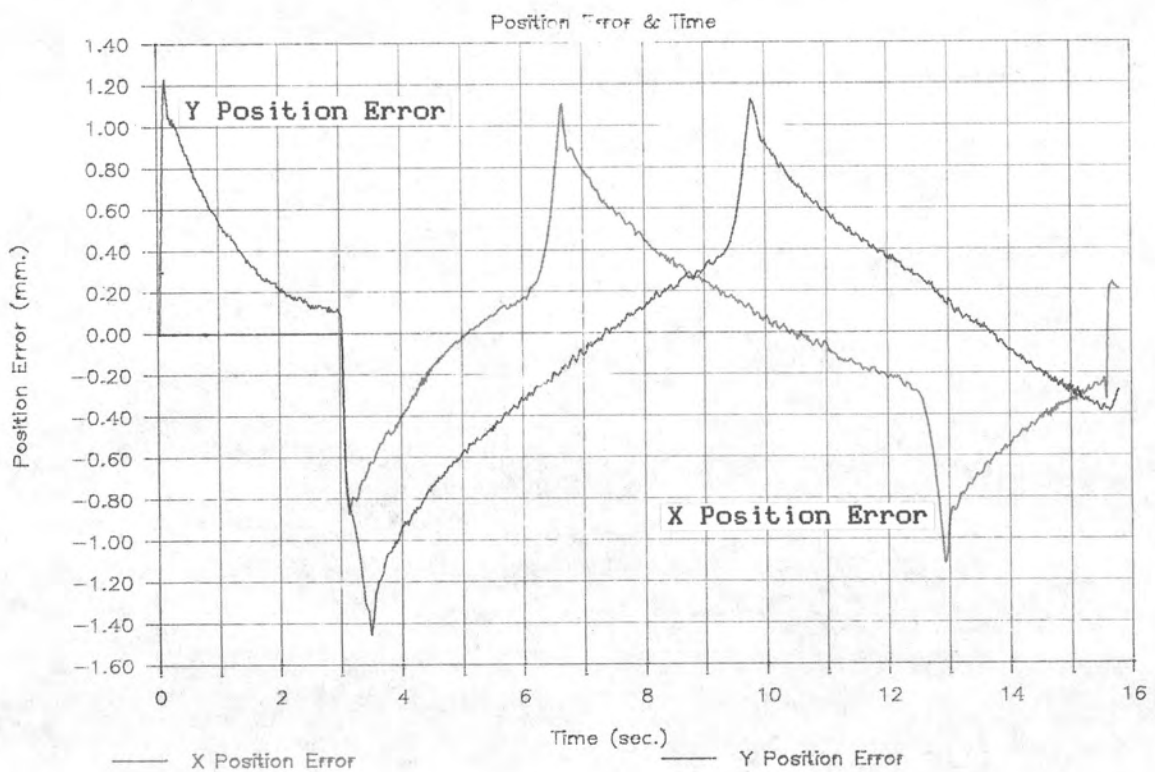
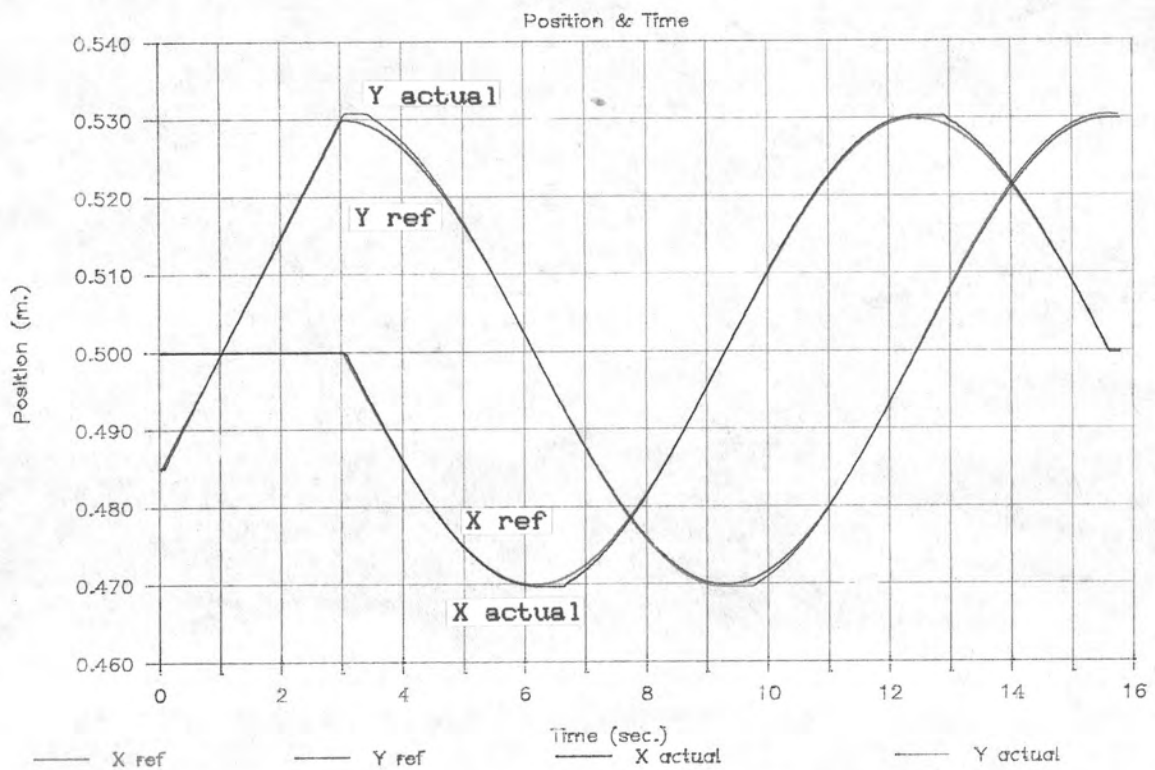
ในขั้นตอนแรกจะทดสอบหาค่าเกนพีวีวีของระยะทางในการมองไปล่วงหน้าค่าต่างๆ แล้วเลือกค่าเกนพีวีวีที่ให้ผลของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยที่สุด หลังจากนั้นก็นำผลของการมองไปล่วงหน้าที่มีระยะทางต่างๆกัน มาเปรียบเทียบหาค่าที่ให้ผลของค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางในรูปที่ 5.12

ระยะทางในการ มองล่วงหน้า (จุด)	ค่าเกณฑ์วิวิ K_{pr}	ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ความเร็ว ตามแนวการตัดค่าต่างๆ (mm)					
		0.005 m/s		0.015 m/s		0.025 m/s	
		แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y	แกน X	แกน Y
4	325	0.70	0.86	0.76	0.92	0.86	0.96
5	300	0.65	0.70	0.73	0.80	0.76	0.84
6	250	0.65	0.65	0.70	0.76	0.71	0.83
7	215	0.70	0.75	0.71	0.79	0.72	0.86

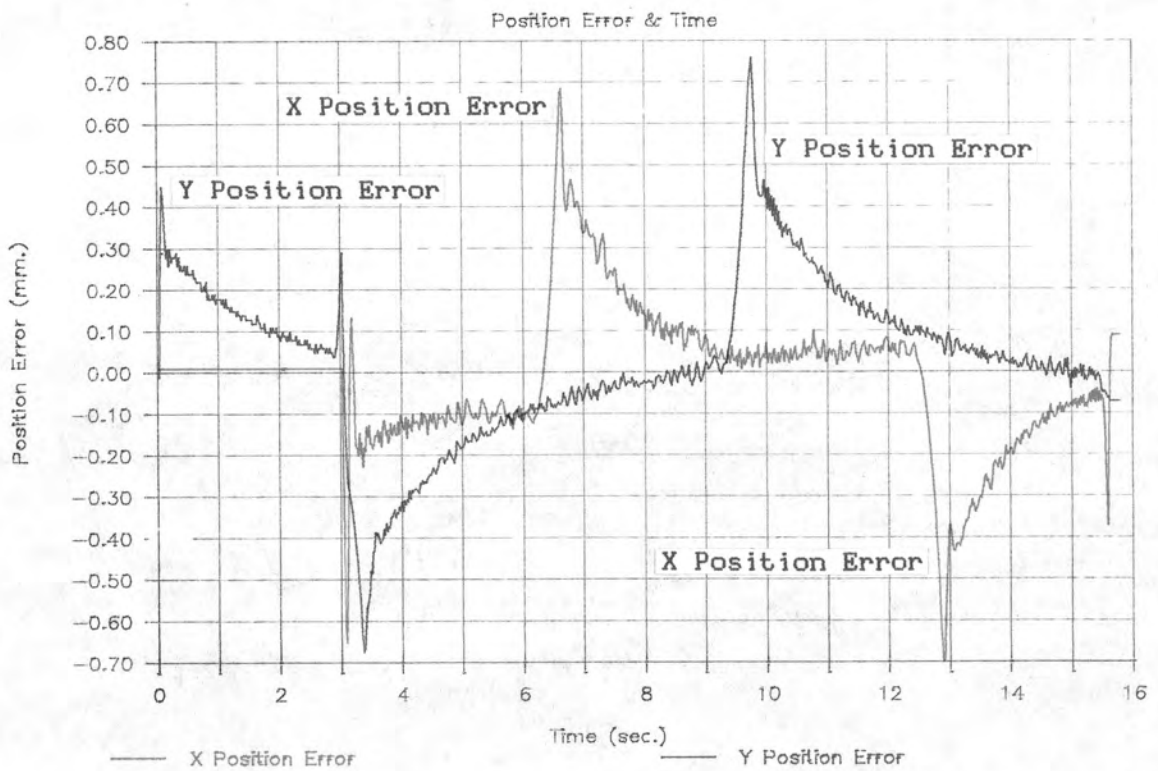
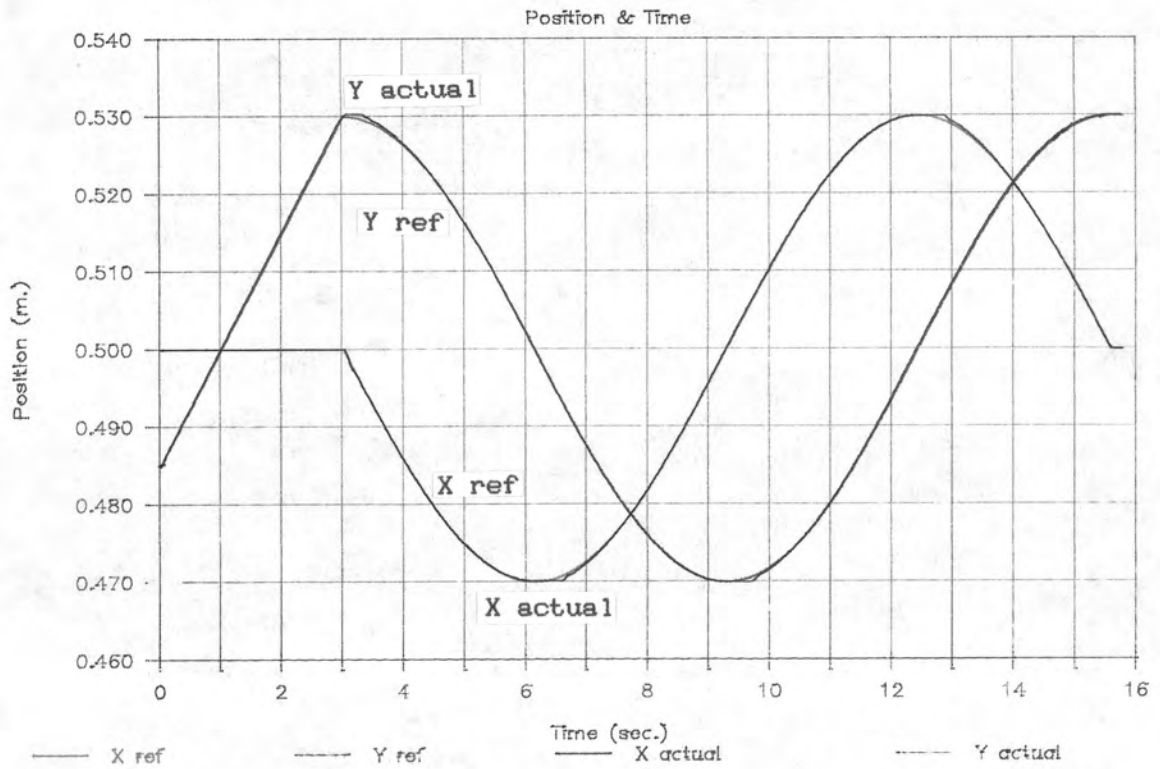
รูปที่ 5.12 ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความผิดพลาดของ
ตำแหน่งที่ระยะการมองล่วงหน้าค่าต่างๆ

จากตารางในรูปที่ 5.12 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ระยะการมองล่วงหน้า 6 จุด ที่มีค่าเกณฑ์วิวิเท่ากับ 250 จะให้ผลของความผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าเกณฑ์วิวิ 250 ที่ระยะการมองล่วงหน้า 6 จุด สำหรับผลการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี. ดังแสดงในรูปที่ 5.13 เปรียบเทียบกับผลการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ที่ความเร็วตามแนวการเคลื่อนที่ 0.015 m/s จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของตำแหน่งก่อนการใช้สัญญาณควบคุมแบบพีวีวีในแนวแกน X จะมีค่า 1.13 mm และในแนวแกน Y จะมีค่า 1.47 mm ซึ่งเป็นค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่มากที่สุด และจะสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่ามากในตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเมื่อมีการใช้สัญญาณควบคุมแบบพีวีวีในแนวแกน X จะมีค่า 0.70 mm และในแนวแกน Y จะมีค่า 0.76 mm สำหรับค่าสัญญาณควบคุมที่ใช้ในแต่ละครั้งของการลุ่มค่าจะหาได้จากสมการที่ 5.26

$$m(n) = K_p \cdot [R(n) - C(n)] + K_i \cdot \sum_{m=1}^{m=n} [(R(m) - C(m)) \cdot dt] + K_D \cdot [R(n) - C(n)] + K_{pr} \cdot [R(n+6) - C(n)] \quad (5.26)$$



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของ โต้ะตัดแผ่น
เหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s โดยใช้การควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงตำแหน่งที่ได้จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะตัดแผ่น
เหล็กที่ความเร็ว 0.015 m/s โดยใช้การควบคุมแบบ พี.ไอ.ดี.พี

กำหนดให้

$$m(n) = \text{ค่าสัญญาณควบคุมที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ } n$$

$$R(n) = \text{จุดอ้างอิงที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ } n$$

$$C(n) = \text{ค่าตำแหน่งที่วัดได้ที่เวลาในการสุ่มค่าครั้งที่ } n$$

จากสมการที่ 5.26 เราจะสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุมแบบพีริวิวจะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณควบคุมแบบ พี. ถ้าเราให้ค่า K_p ของระบบควบคุมในรูปที่ 5.4 มีค่าตามสมการที่ 5.27 เราจะสามารถหาค่า close-loop pole ได้ตามสมการที่ 5.28 ถึง 5.30 และตำแหน่งของ pole ใน s-plane แสดงในรูปที่ 5.15

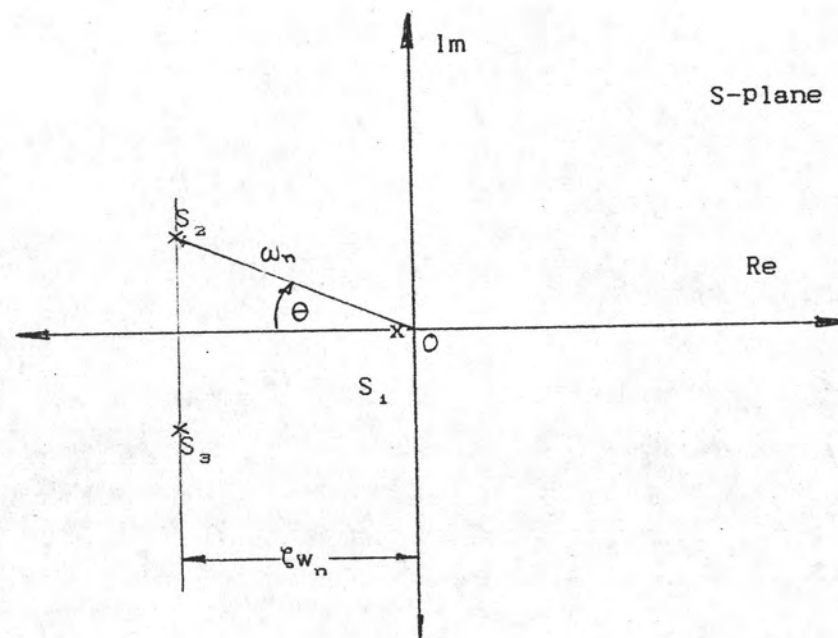
$$\begin{aligned} K_{p_{\text{eq}}} &= K_p + 6K_{p_r} \\ &= 851.6 + 6 \times 250 \end{aligned}$$

$$K_{p_{\text{eq}}} = 2351.7 \quad (5.27)$$

$$S_1 = -0.287 \quad (5.28)$$

$$S_2 = -48.283 + 24.942j \quad (5.29)$$

$$S_3 = -48.283 - 24.942j \quad (5.30)$$



รูปที่ 5.15 แสดงตำแหน่งของ close-loop pole ใน s-plane

จากรูปที่ 5.15 เราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ตามสมการที่ 5.31 ถึง 5.34

$$\begin{aligned} \omega_n &= \sqrt{48.283^2 + 24.924^2} \\ &= 54.34 \quad \text{rad/sec} \quad (5.31) \end{aligned}$$

$$\zeta = 1/\xi \omega_n$$

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= 1/0.287 \\ &= 3.48 \quad \text{sec} \quad (5.32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta_2 &= 1/48.283 \\ &= 20.71 \quad \text{msec} \quad (5.33) \end{aligned}$$

$$\xi = \text{Cos } \theta$$

$$= \text{Cos } (27.32)$$

$$\xi = 0.888 \quad (5.34)$$