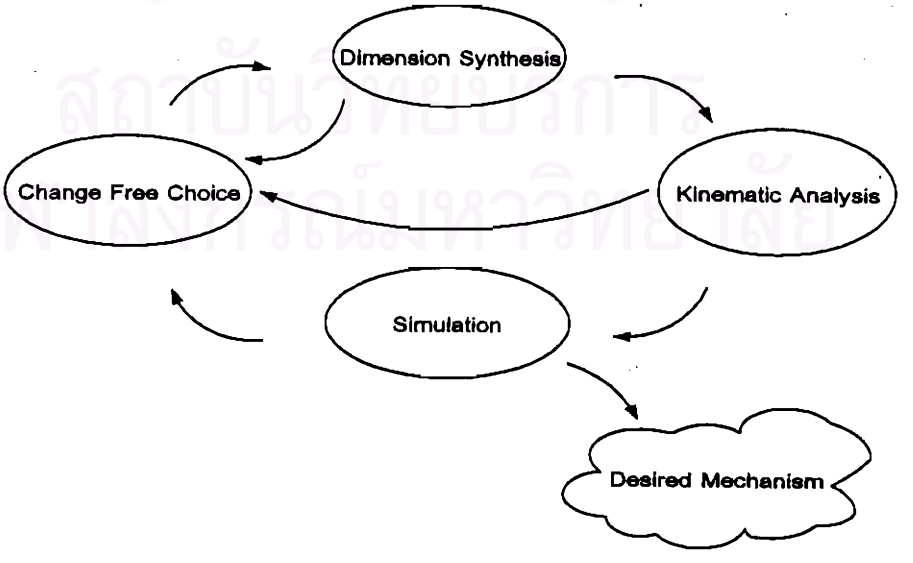
บทที่ 6

การทดสอบซอฟต์แวร์และผลการทดสอบ

เพื่อการทดสอบซอฟต์แวร์ผู้วิจัยจะแบ่งการทดสอบออกไปตามจำนวนของก้านต่อ ตั้งแต่กลไกจำนวน 4 ก้านต่อ ถึงกลไก 8 ก้านต่อ ส่วนกลไก 4 ก้านต่อจะทดสอบตามลักษณะงาน 3 ประเภท คือพาธเจนเนอเรชัน (Path Generation) โมชันเจนเนอเรชัน (Motion Generation) ฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation) โดยจะยกตัวอย่างลักษณะงานขึ้นมาเพื่อจะออกแบบกลไกมาใช้งาน กลไก 4 ก้านต่อเป็นกลไกที่ง่ายและไม่ซับซ้อนมาก แต่สามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย และยังต้องการจำนวนระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 เท่านั้นในการทำนายสภาวะของระบบ จึงประหยัดตัวส่งกำลังขับเคลื่อน ดังนั้นกลไก 4 ก้านต่อจึงเป็นกลไกเริ่มต้นที่จะพิจารณาเพื่อจะออกแบบกลไกสำหรับงานต่างๆ แต่สำหรับกลไกที่ซับซ้อนขึ้นและจะพิจารณาต่อไปหลังจากกลไก 4 ก้านต่อ ที่ระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 คือกลไก 6 ก้านต่อ และกลไก 8 ก้านต่อ

ในการออกแบบกลไกเพื่อจะได้ค่าที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการอาจจะต้องมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระบางตัว แล้วทำการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไกใหม่ จากนั้นจำลองการเคลื่อนที่ เพื่อพิจารณาตรวจสอบการเคลื่อนที่และผลลัพธ์ทางคิเนแมติกของกลไก เพื่อเป็นแนวทางช่วยในการหาค่าตัวแปรเลือกอิสระที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการนั้น ซึ่งอาจจะต้องปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระค่าใหม่หลายครั้ง แล้วคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบใหม่เป็นวงวนซ้ำไปซ้ำมา กว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมดังขบวนการการออกแบบจะเป็นไปดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.1



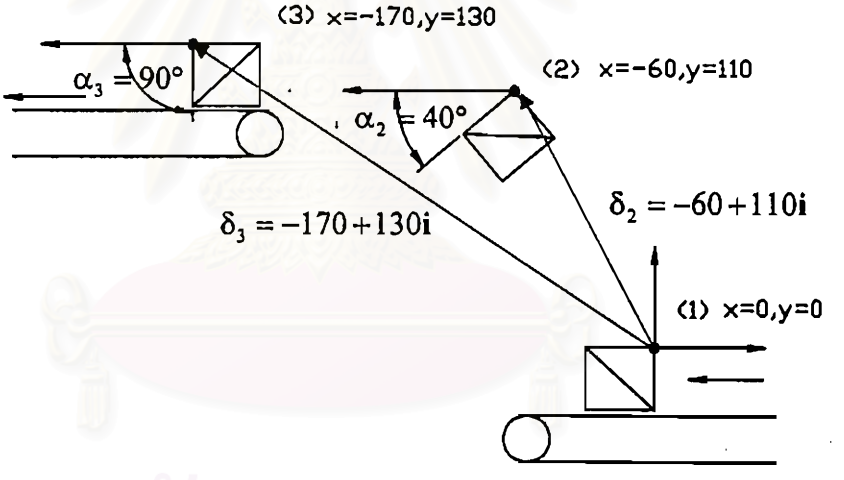
รูปที่ 6.1 วงวน (Loop) ทำซ้ำในการออกแบบ

ในการทดสอบผู้วิจัยจะกำหนดก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) ให้มีความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 6.2832 *rad/sec* และความเร่งเชิงมุมเท่ากับ 0 โดยจะพิจารณาดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกที่เวลาเริ่มต้นเท่ากับ 0 วินาที และเวลาสุดท้ายเท่ากับ 1 วินาที โดยเพิ่มเวลาขึ้นทีละ 0.025 วินาที และการกำหนดค่าตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้ากับการกำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระสำหรับลักษณะงานประเภทต่างๆ นั้นสามารถดูได้จากตารางที่ 3.1

6.1 กลไก 4 ก้านต่อ

6.1.1 โมชันเจนเนอเรชัน (Motion Generation)

การทดสอบ 1 ต้องการออกแบบกลไกเพื่อจะเคลื่อนย้ายกล่องจากสายพานที่หนึ่งด้านล่างขวามือขนย้ายขึ้นไปยังอีกสายพานหนึ่งด้านบนซ้ายมือดังรูปที่ 6.2 กลไกนี้จะต้องเคลื่อนที่และวางอยู่ระหว่างสายพานด้านล่างและสายพานด้านบน



รูปที่ 6.2 งานที่ต้องการขนย้ายกล่องจากสายพาน

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.2 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งบนก้านต่อที่ต้องการให้ขนย้ายกล่อง ให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยจะต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

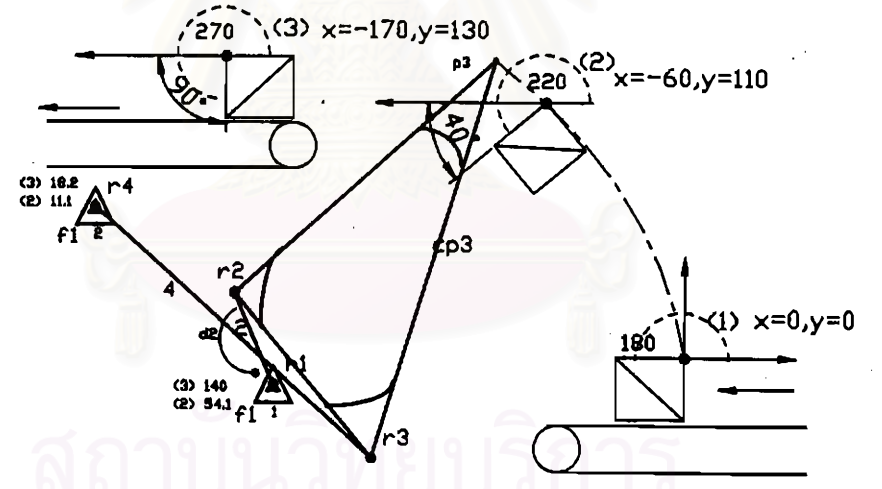
$$\delta_2 = -60+110\mathbf{i}, \quad \delta_3 = -170+130\mathbf{i}$$

- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในการขนย้ายกล่อง

$$\alpha_2 = 40°, \quad \alpha_3 = 90°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่อยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือมุม β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อยึดอยู่กับที่

ข้อพิจารณาเบื้องต้น จากรูปที่ 6.2 ซึ่งต้องการให้กลไกขนย้ายกล่องไปตามเส้นทางโค้งและมีการหมุนของกล่องที่จะขนย้ายด้วย ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน (Revolute Joint) และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) ที่หมุนได้ทางเดียว 1 ตัว ซึ่งหมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขบังคับให้กับก้านต่อของกลไกเพื่อให้กลไกมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 ซึ่งข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน (Revolute Joint) และกลไกควรเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องโดยไม่มีจุดติดขัด หรือจุดตาย (Dead Point) ดังนั้นผู้วิจัยจะทดลองกำหนดตำแหน่งของก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ โดยจะต้องวางอยู่ระหว่างสายพานด้านบนและสายพานด้านล่างตามที่กำหนด



รูปที่ 6.3 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 1

——— เป็นเส้นที่ใช้วาดแทนก้านต่อของกลไก

--------- เป็นเส้นที่ใช้วาดแทนมุม α_2, α_3 ซึ่งเป็นมุมของการวางทิศทางของก้านส่ง (Coupler Link)

——-—— เป็นเส้นที่ใช้วาดแทนเส้นทางเดินของตำแหน่ง *pn* บนก้านต่อที่ *n* เมื่อกลไกเคลื่อนที่

(3)$XX.X$
(2)$XX.X$ ใช้แสดงค่าของมุม β_2, β_3 ซึ่งเป็นมุมของก้านต่อที่ต่ออยู่กับก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Link)

โดยที่ X ใช้แทนตัวเลขที่บอกค่าของมุม β_2, β_3

rn ใช้เพื่อแสดงว่าก้านต่อ 2 ก้านต่อ ต่อกันด้วยข้อต่อแบบคู่สัมผัสหมุน (Revolute Joint)

tn ใช้เพื่อแสดงว่าก้านต่อ 2 ก้านต่อ ต่อกันด้วยข้อต่อแบบคู่สัมผัสเลื่อนไถล (Translation Joint)

dn ใช้เพื่อแสดงว่าก้านต่อนี้เป็นก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link)

cpn ใช้เพื่อแสดงว่าก้านต่อนี้เป็นก้านส่ง (Coupler Link)

fn ใช้เพื่อแสดงว่าก้านต่อนี้เป็นก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Link)

โดยที่ *n* คือ หมายเลขชื่อของก้านต่อ

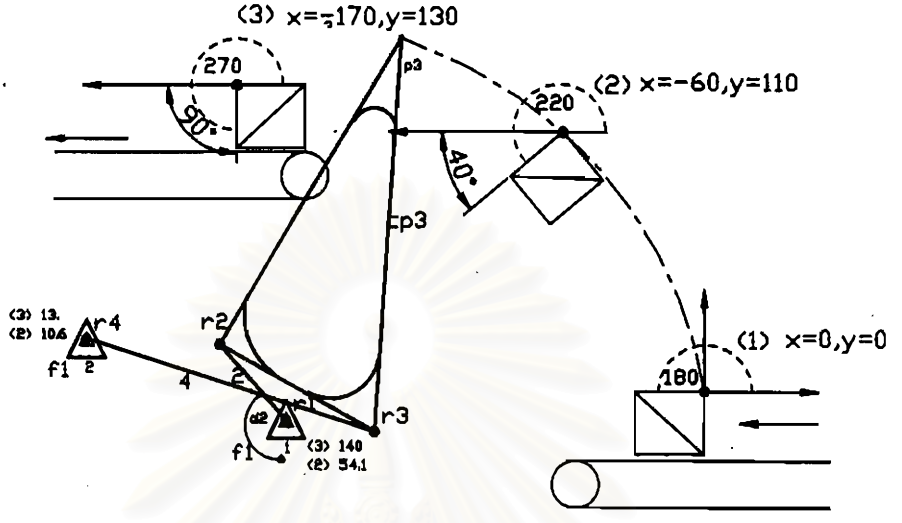
ตารางที่ 6.1 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				อยู่กับที่-เคลื่อนที่ (องศา)				ปัญหา
	1		2		ก้านต่อ 2		ก้านต่อ 4		
	x	y	x	y	β_2	β_3	β_2	β_3	
1	-177.83	-12.4	-255.8	64.26	54.1	140	11.1	18.2	มีจุดตาย

ตารางที่ 6.1 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.3 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ได้ไม่ถึงตำแหน่งที่ 3 ตามที่ต้องการมาหยุดอยู่ที่ตำแหน่งดังรูปก่อนถึงตำแหน่งจุดตาย กล่าวคือตำแหน่งที่ก้านต่อ 3 (ก้านส่ง) อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับก้านต่อ 4 (ตัวตาม) ดังนั้นจึงต้องมีการทำวงวนซ้ำตามขั้นตอนดังรูปที่ 6.1 โดยที่ตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลง (Change Free Choice) ก็คือตำแหน่งที่ยึดก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่

ข้อพิจารณาครั้งที่ 2 เปลี่ยนตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 จากรูปที่ 6.3 เพราะที่ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 มีก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อนที่สามารถหมุนได้ครบรอบ และความยาวของก้านต่อ 2 เมื่อหมุนครบรอบแล้วก็ไม่เกินขอบเขตของสายพานบนและล่าง ดังนั้นจึงยังไม่จำเป็นต้องเปลี่ยน ส่วนตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 นั้น ก้านต่อ 4 จะต้องเปลี่ยน

เพราะตำแหน่งและความยาวของก้านต่อ 4 ทำให้เกิดจุดตายของกลไก โดยจะทดลองเลือกตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 มาทางด้านซ้ายของตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 ก่อน



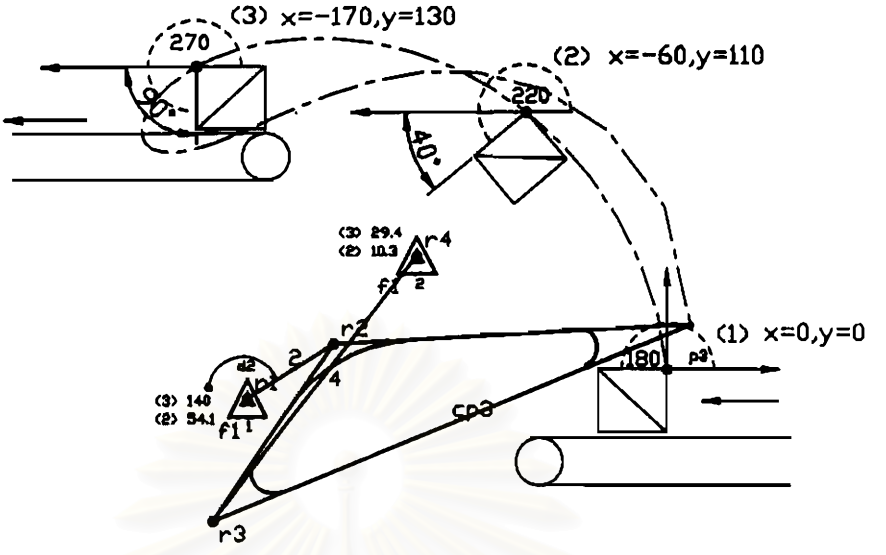
รูปที่ 6.4 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ 6.2 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 2 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				อยู่กับที่-เคลื่อนที่ (องศา)				ปัญหา
	1		2		ก้านต่อ 2		ก้านต่อ 4		
	x	y	x	y	β_2	β_3	β_2	β_3	
2	-177.83	-12.4	-263.14	22.02	54.1	140	10.6	13	มีจุดตาย

ตารางที่ 6.2 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.4 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ได้ไม่ถึงตำแหน่งที่ 3 เหมือนการทดลองครั้งที่ 1 เพราะกลไกมาหยุดอยู่ที่ตำแหน่งดังรูปก่อนถึงตำแหน่งจุดตาย แต่ก็สามารถเคลื่อนที่ได้ไกลขึ้นกว่าการทดลองที่ 1 ดังนั้นจึงยังต้องทำวงวนซ้ำ โดยยังต้องเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ต่อไป

ข้อพิจารณาครั้งที่ 3 จะเห็นว่าในทดลองครั้งที่ 2 ได้เลือกตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 มาทางด้านซ้ายของตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 แต่ก็ยังมีจุดตายของกลไกอยู่ และมีแนวโน้มว่ากลไกจะมีจุดตายต่อไปถ้าเลือกมาทางแนวด้านซ้ายนี้ ดังนั้นจึงทดลองเปลี่ยนตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 มาทางด้านขวาของตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1



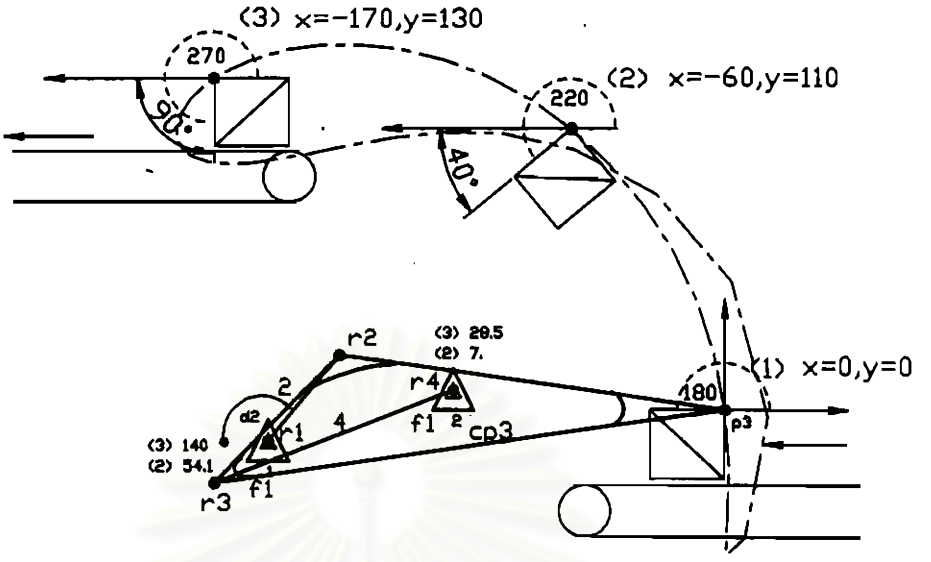
รูปที่ 6.5 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 3

ตารางที่ 6.3 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				อยู่กับที่-เคลื่อนที่ (องศา)				ปัญหา
	1		2		ก้านต่อ 2		ก้านต่อ 4		
	x	y	x	y	β_2	β_3	β_2	β_3	
3	-177.83	-12.4	-106.68	48.63	54.1	140	10.3	29.4	มีจุดตาย

ตารางที่ 6.3 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.5 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ผ่านได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง แต่ยังมีจุดตายของกลไกอยู่ กลไกจึงหยุดการเคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่งดังรูปก่อนถึงจุดตาย ดังนั้นจึงยังต้องทำวงวนซ้ำเปลี่ยนตำแหน่งก้านต่อยึดอยู่กับที่ต่อไป

ข้อพิจารณาครั้งที่ 4 จะเห็นว่าในทดลองครั้งที่ 3 เลือกตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 มาทางด้านซ้ายของตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 นั้นทำให้มีกลไกเคลื่อนที่ได้ไกลขึ้น แต่ก็ยังมีจุดตายของกลไกอยู่ ดังนั้นจึงทดลองเลือกตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 มาทางด้านซ้ายมากขึ้นของตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 เพื่อสังเกตแนวโน้มและพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก



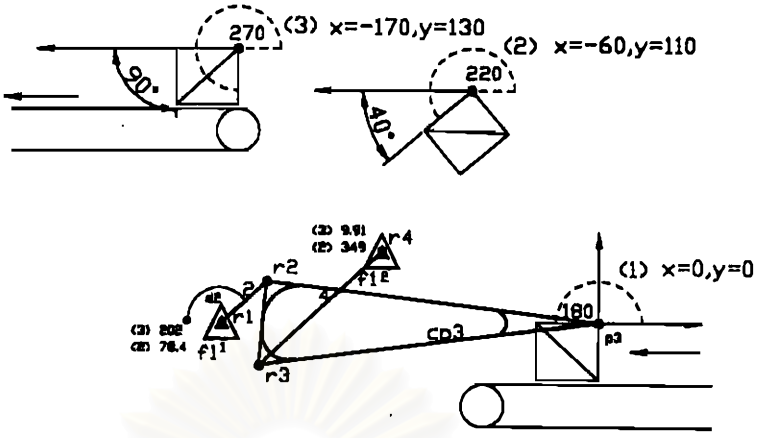
รูปที่ 6.6 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ขนย้ายกล่องจากสายพานในการทดลองครั้งที่ 4

ตารางที่ 6.4 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 4 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

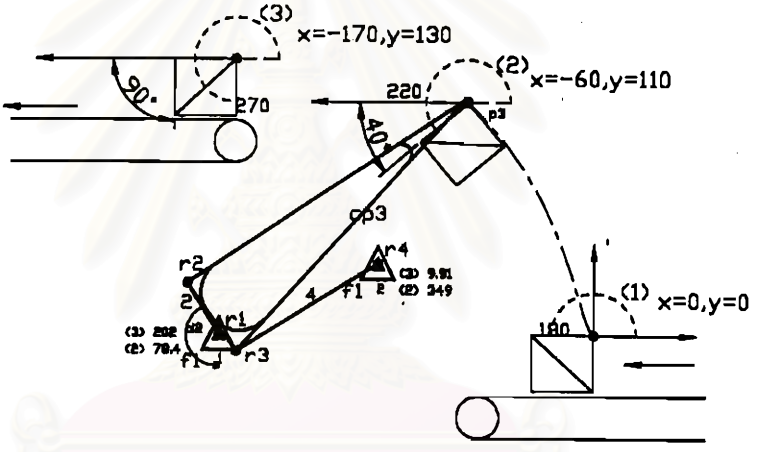
ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				อยู่กับที่-เคลื่อนที่ (องศา)				ปัญหา
	1		2		ก้านต่อ 2		ก้านต่อ 4		
	x	y	x	y	β_2	β_3	β_2	β_3	
4	-177.83	-12.4	-106.07	7.3	54.1	140	7	28.5	ชนสายพาน

ตารางที่ 6.4 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังจากรูปที่ 6.10 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ผ่านได้ทั้ง 3 ตำแหน่งและไม่มีจุดตาย แต่กลไกนี้เมื่อได้จำลองการเคลื่อนดูแล้วจะเห็นว่ากลไกจะเคลื่อนที่ชนสายพาน ดังนั้นนี้ยังใช้ไม่ได้จึงต้องทำวงวนซ้ำต่อไป

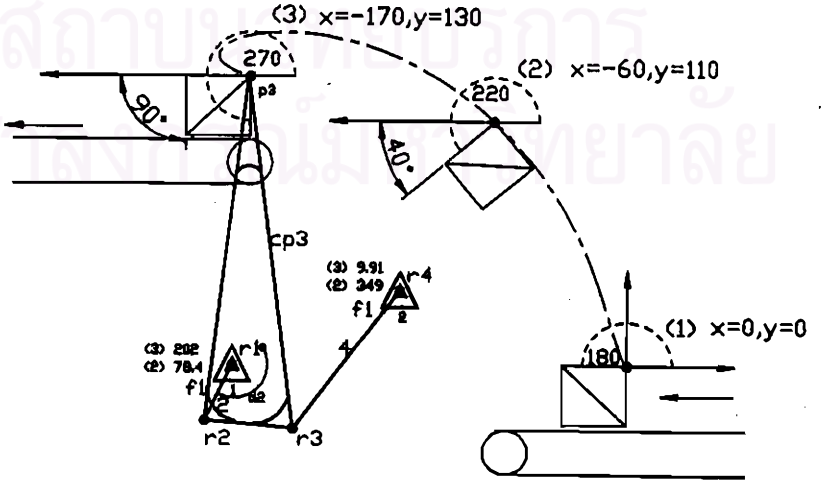
ข้อพิจารณาครั้งที่ 5 เมื่อผู้วิจัยได้ทำวงวนซ้ำโดยให้ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงแล้วเห็นว่าไม่สามารถหลีกเลี่ยงการชนสายพานได้ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงเป็นตำแหน่งก้านต่อยึดอยู่กับที่ 1 แล้วทำตามขั้นตอนวงวนซ้ำต่อไป จะได้กลไกดังรูปที่ 6.7



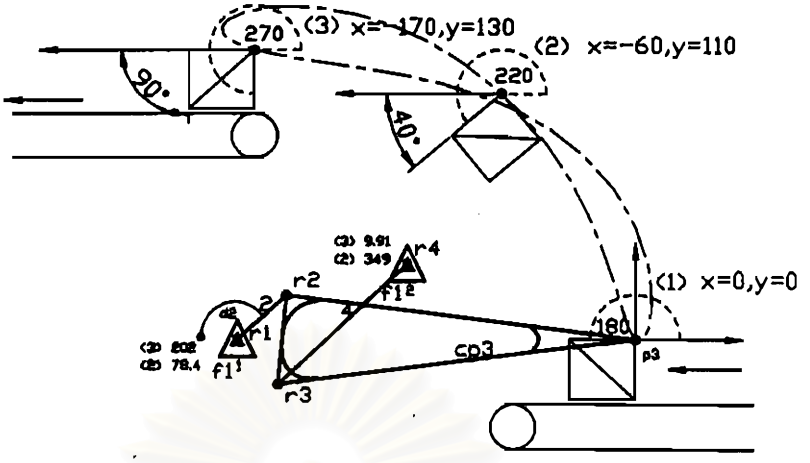
รูปที่ 6.7 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.8 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.9 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3



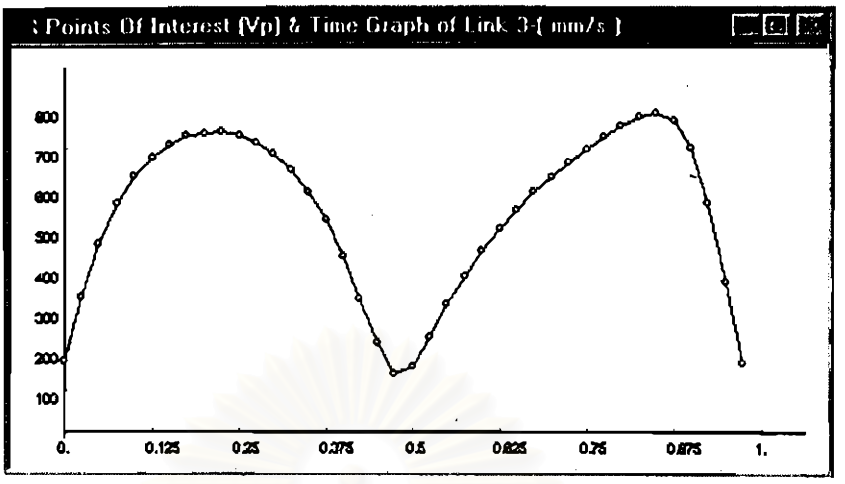
รูปที่ 6.10 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

ตารางที่ 6.5 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 5 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

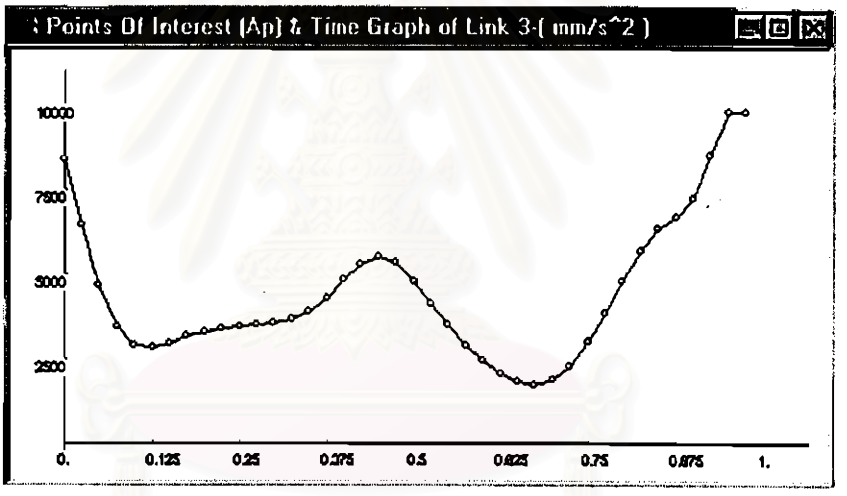
ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				อยู่กับที่-เคลื่อนที่ (องศา)				ปัญหา
	1		2		ก้านต่อ 2		ก้านต่อ 4		
	x	y	x	y	β_2	β_3	β_2	β_3	
5	-177.21	-0.123	-102.2	33.64	78.4	202	349	9.91	-

กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังจากรูปที่ 6.7 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ผ่านได้ทั้ง 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 6.7 รูปที่ 6.8 และรูปที่ 6.9 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เพื่อมาย้ายกล่องอันต่อไปดังรูปที่ 6.10 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ และจะเห็นได้ว่าเมื่อกลไกเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ กลไกไม่ชนสายพานทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังนั้นกลไกนี้จึงใช้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.11 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน



รูปที่ 6.12 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

ตารางที่ 6.6 ค่าคิเนแมติกงานขนย้ายกล่องจากสายพานที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

ครั้งที่	ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5	172.4	736.2	231.12	8363	3269	4107.7	0	0.2	0.525

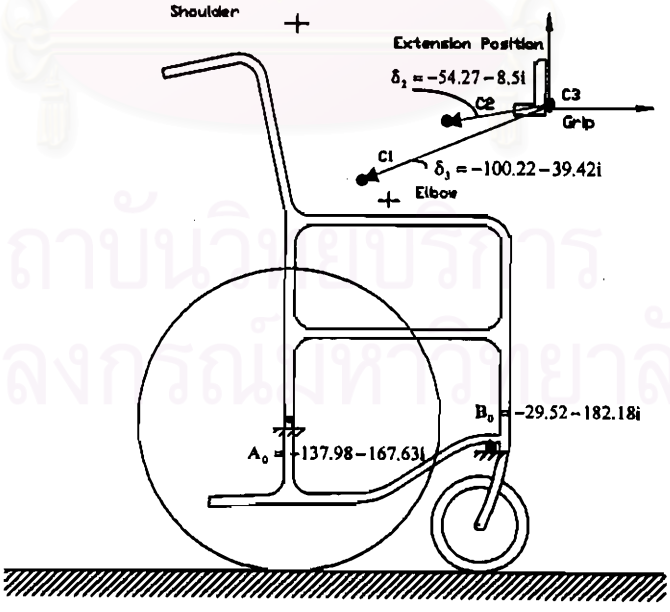
รูปที่ 6.11 และรูปที่ 6.12 แสดงถึงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 100 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้ง

นั้นมี 4 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 2500 $mm/\sec^2$ ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.6 เมื่อตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อทำวงวนซ้ำหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

หมายเหตุ ในการทดสอบครั้งนี้และครั้งต่อไปนั้น ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ที่แสดงในตารางค่าตัวแปรเลือกอิสระ จะวัดเทียบกับตำแหน่งที่ 1 ของแนวทางการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้เป็นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า และค่าตัวแปรต่างๆ เช่น $\delta_j,\beta_j,\alpha_j,\gamma_j,\psi_j,\phi_j$ ดังตารางที่ 3.1 ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าที่วัดเทียบกับตำแหน่งเริ่มต้นของกลไก

6.1.2 พาธเจนเนอเรชัน (Path Generation)

การทดสอบที่ 2 ต้องการกลไกที่สามารถใช้กับรถเข็นคนไข้แบบนั่ง (Wheelchair) ที่ต้องการใช้แขนข้างหนึ่งควบคุมการขับเคลื่อนดังรูปที่ 6.13 โดยกำหนดเส้นทางที่สะดวกที่สุดในการให้แขนสามารถเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด 3 ตำแหน่ง (C_1,C_2,C_3) ซึ่งต้องการกลไกที่สามารถส่งผ่านการเคลื่อนที่จากด้ามจับ (Grip) ของแขนไปควบคุมคลัทช์ที่ล้อใหญ่ที่ยึดอยู่ที่ตำแหน่ง A_0 และตำแหน่งที่ยึดอีกที่หนึ่ง คือ B_0 โดยที่คลัทช์จะลื่น (Slip) เมื่อด้ามจับเคลื่อนที่จาก C_3 ไปที่ C_1



รูปที่ 6.13 งานที่ต้องการใช้แขนควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง (Wheelchair)

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.13 จะต้องควบคุมจุดๆ หนึ่งที่ก้านต่อที่จะทำเป็นด้ามจับของกลไกให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

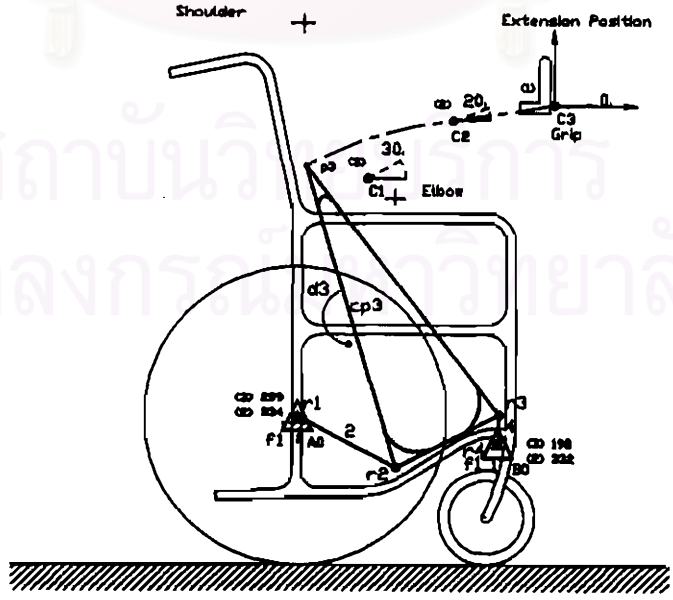
$$\delta_2 = -54.27 - 8.5\mathbf{i}, \qquad \delta_3 = -100.22 - 39.42\mathbf{i}$$

- ตำแหน่งของก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ที่ $\mathbf{A}_0, \mathbf{B}_0$ จะใช้วิธีกำหนดตำแหน่งอยู่กับที่ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่าของ β_2, β_3

$$\mathbf{A}_0 = -137.98 - 167.63\mathbf{i}, \qquad \mathbf{B}_0 = -29.52 - 182.18\mathbf{i}$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในเป็นด้ามจับ คือ α_2, α_3

ข้อพิจารณาเบื้องต้น จากรูปที่ 6.13 ต้องการให้กลไกส่งผ่านการเคลื่อนที่จากแขนไปควบคุมคลัทช์ที่ล้อตามเส้นทางซึ่งโค้ง ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อน คือแขนซึ่งเคลื่อนที่จาก C_3 ไป C_1 ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และกลไกที่ออกแบบนี้ไม่จำเป็นจะต้องหมุนได้ครบรอบเพียงต้องการให้ผ่านได้ 3 จุดเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจะทดลองกำหนดมุมของด้ามจับ (ก้านส่ง) α_2, α_3 โดยครั้งแรกจะกำหนด $\alpha_2 = 20°, \alpha_3 = 30°$ จะได้กลไกดังรูปที่ 6.14



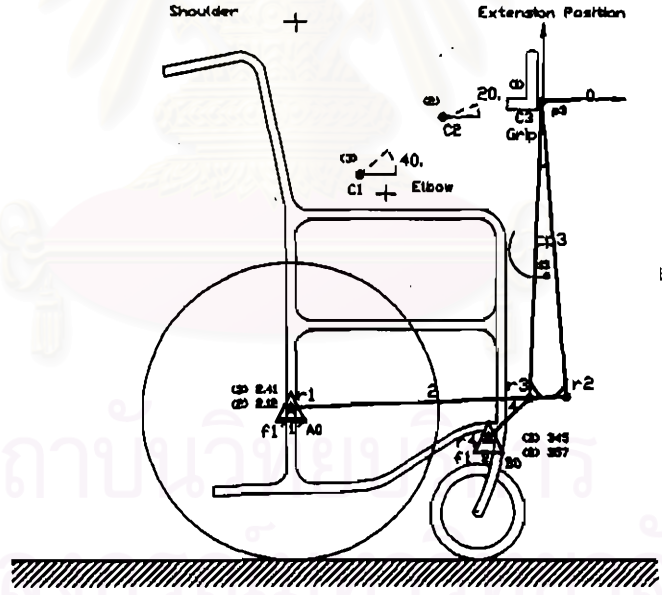
รูปที่ 6.14 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่งในการทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ 6.7 ค่าตัวแปรเลือกอิสระในการทดลองครั้งที่ 1 ในงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่ง (Wheelchair)

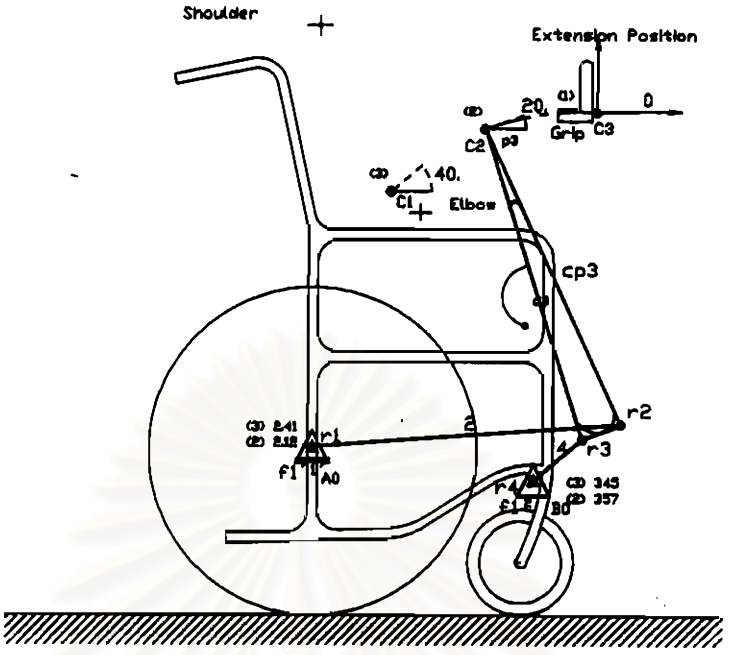
ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมหมุนของก้านส่ง		ปัญหา
	1		2				
	x	y	x	y	α_2	α_3	
1	-137.98	-167.63	-29.52	-182.18	20	30	ไม่ผ่านจุด 3

ตารางที่ 6.7 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก โดยกำหนดก้านต่อ 3 คือก้านส่งเป็นตัวขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.14 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ไม่ผ่านตำแหน่งที่ 3 ดังนั้นยังต้องทำวงวนซ้ำ โดยที่ตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลง คือมุมของด้ามจับ (ก้านส่ง)

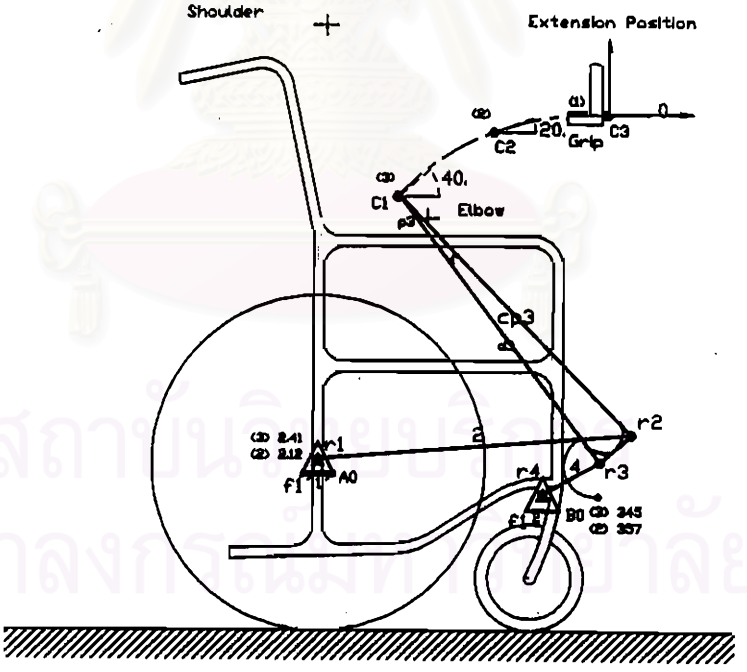
ข้อพิจารณาครั้งที่ 2 กำหนด α_2 ไว้เหมือนเดิม เพราะผู้วิจัยเห็นว่ามุม 20 องศา นั้นพอดีกับการเคลื่อนที่ของแขนในช่วงจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 จึงเปลี่ยนเฉพาะ α_3 ให้เพิ่มขึ้นจะได้กลไกดังรูปที่ 6.15



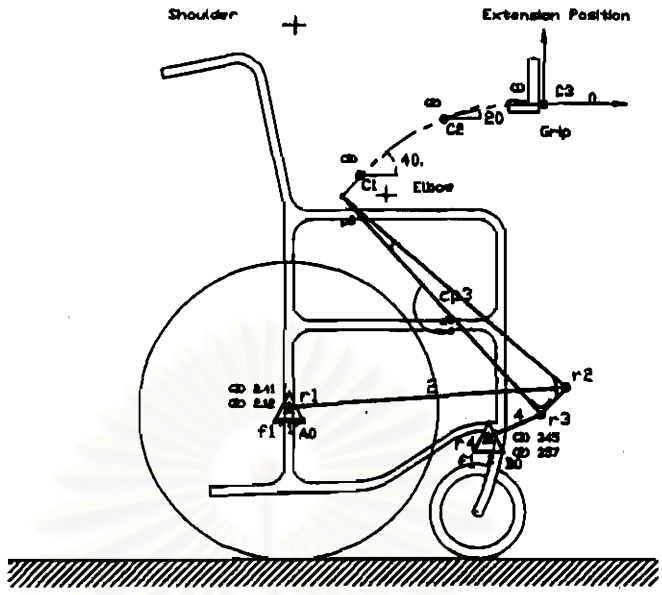
รูปที่ 6.15 กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.16 กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.17 กลไกควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่งเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3

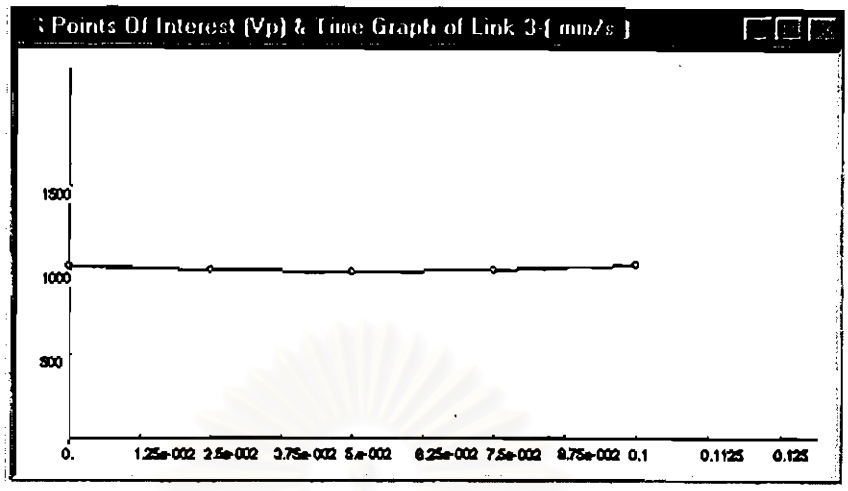


รูปที่ 6.18 กลไกควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด

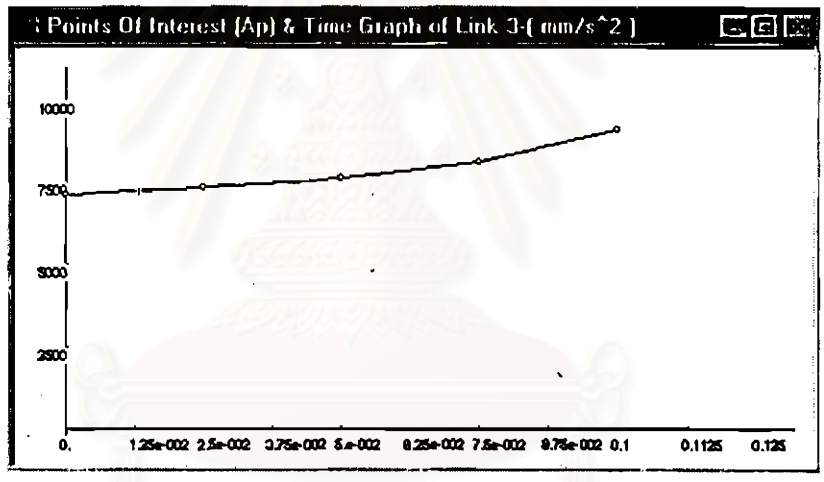
ตารางที่ 6.8 ค่าตัวแปรเลือกอิสระในการทดลองครั้งที่ 2 ในงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่ง (Wheelchair)

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมหมุนของก้านส่ง		ปัญหา
	1		2				
	x	y	x	y	α_2	α_3	
2	-137.98	-167.63	-29.52	-182.18	20	40	-

ตารางที่ 6.8 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.15 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งเงื่อนไขที่กำหนดไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 6.15 รูปที่ 6.16 และรูปที่ 6.17 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนมาหยุดที่ตำแหน่งดังรูปที่ 6.18 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ และจะเห็นได้ว่ากลไกนี้สามารถใช้ได้



รูปที่ 6.19 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง



รูปที่ 6.20 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานควบคุมรถเข็นคนไข้แบบนั่ง

ตารางที่ 6.9 ค่าดิเนแมติกงานควบคุมคลัทช์รถเข็นคนไข้แบบนั่งที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

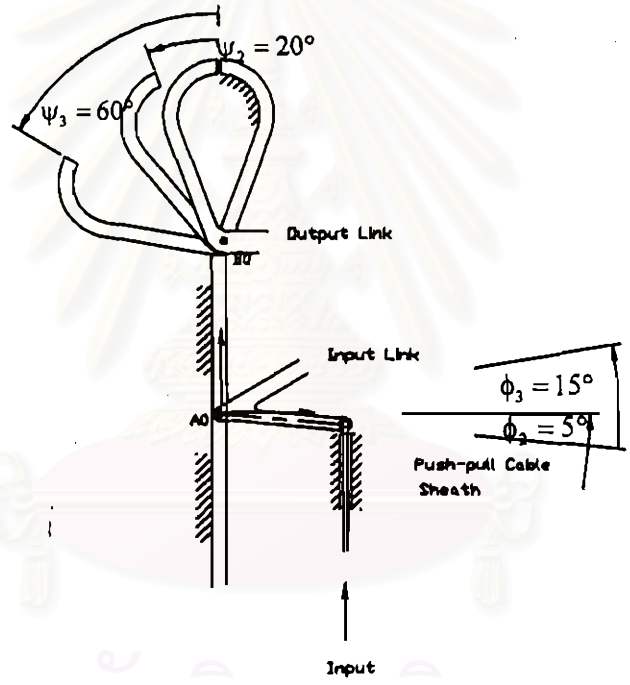
ครั้งที่	ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1011.17	987.34	992.843	7092.77	7593.79	8089.2	0	0.05	0.075

รูปที่ 6.19 และรูปที่ 6.20 แสดงถึงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 3 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้ง

นั้นมี 4 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 2500 $mm/\sec^2$ ส่วนแกนนอนนั้นมี 10 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.0125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.9 เมื่อตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อทำวงวนซ้ำหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

6.1.3 ฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation)

การทดสอบที่ 3 ต้องการกลไกใช้กับมือเทียม สำหรับควบคุมในการจับสิ่งของดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 งานที่ต้องการใช้กลไกควบคุมการจับของมือเทียม

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.21 ก็คือความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ หรือแรงของตัวส่งเข้า (Inputs) และตัวส่งออก (Outputs)

- มุมของก้านต่อตัวส่งเข้า

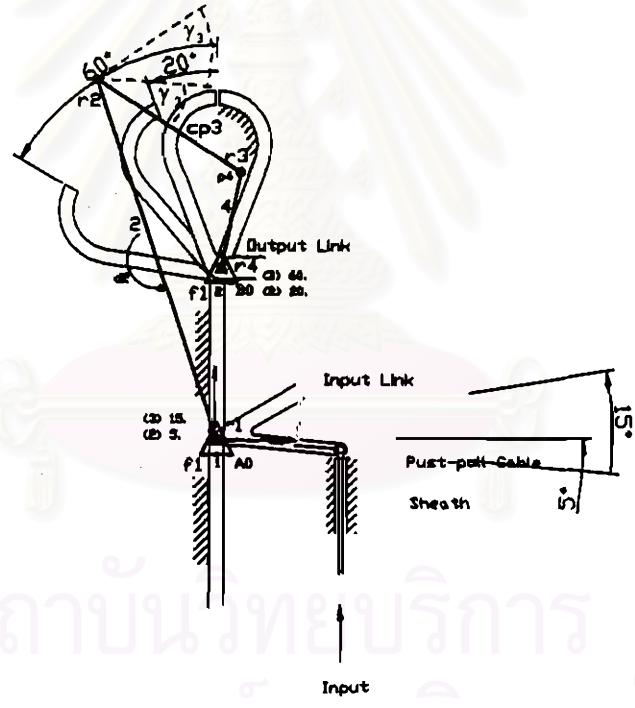
$$\phi_2 = 5°, \quad \phi_3 = 15°$$

- มุมของก้านต่อตัวส่งออก

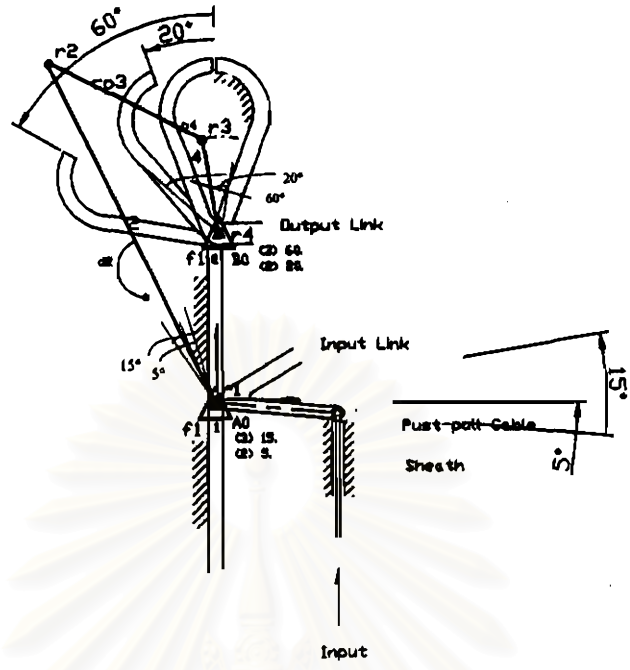
$$\psi_2 = 20°, \quad \psi_3 = 60°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านส่ง คือ γ_2, γ_3 ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 6.22

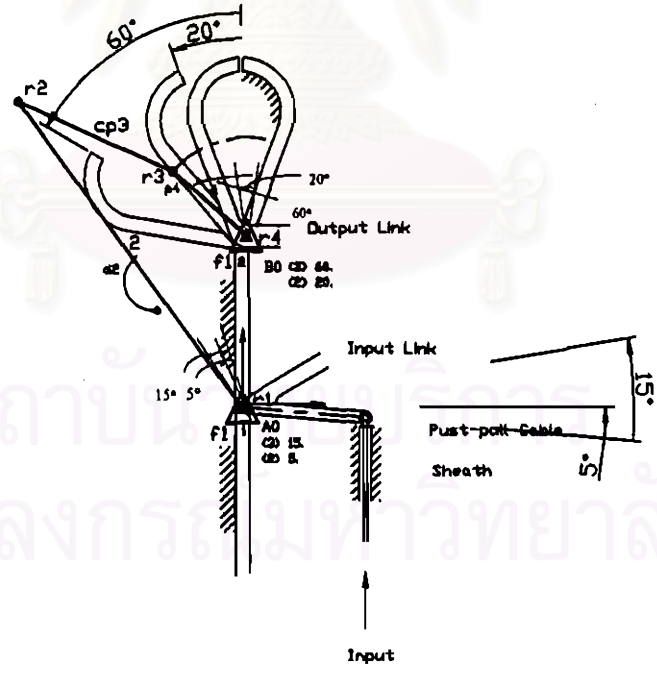
ข้อพิจารณาเบื้องต้น จากรูปที่ 6.21 ต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ไปควบคุมมือเทียมที่ด้ามจับโดยได้กำหนดมุมที่ก้านต่อส่งเข้าและก้านต่อส่งออกไว้เพราะเป็นมุมที่เหมาะสมสำหรับการหยิบจับสิ่งของไว้แล้ว และการเคลื่อนที่อยู่ในลักษณะของการหมุน ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และผู้วิจัยจะทดลองกำหนดมุมเริ่มต้นก่อนเป็นมุมของก้านส่งเท่ากับ $\phi_2 = 65°, \phi_3 = 65°$ โดยพิจารณาว่ามุมของก้านต่อส่งเข้าน้อยและมุมของก้านต่อส่งออกมากได้นั้น มุมของก้านส่งน่าจะหมุนมากกว่าก้านต่อส่งออก และวิธีที่จะสังเคราะห์เชิงมิตินี้จะใช้สมการวงวนปิด (Loop-Closure- Equation) ของกลไก 4 ก้านต่อ ซึ่งจะกลไกดังรูปที่ 6.22



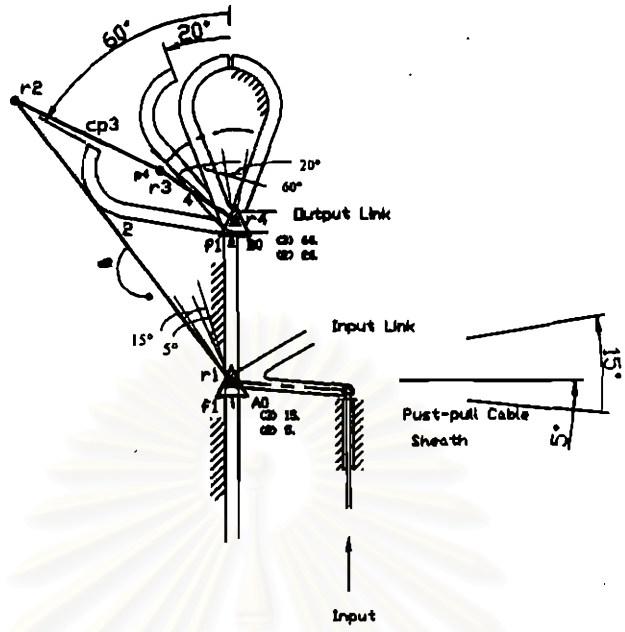
รูปที่ 6.22 กลไกควบคุมมือเทียมที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.23 กลไกควบคุมมือเทียมเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.24 กลไกควบคุมมือเทียมเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3



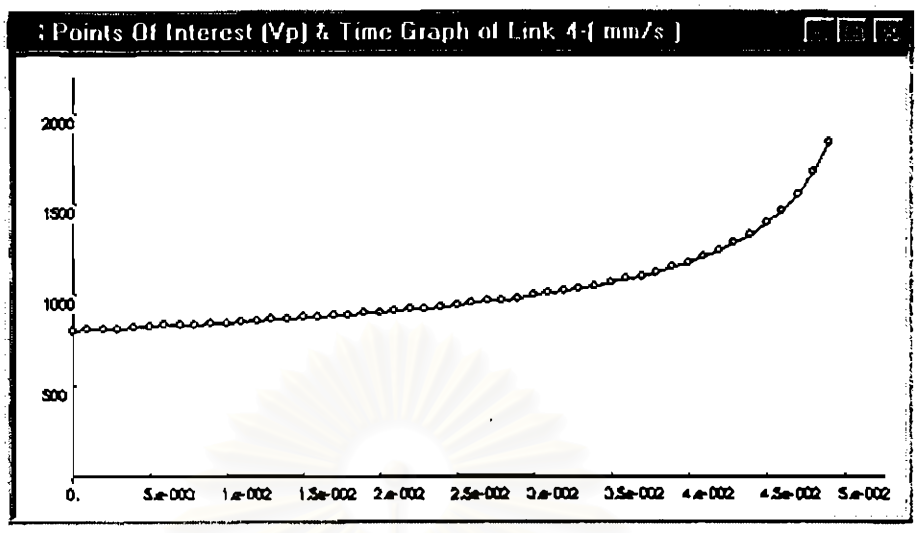
รูปที่ 6.25 กลไกควบคุมมือเทียมที่สามารถเคลื่อนที่ได้มากที่สุด

ตารางที่ 6.10 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานควบคุมมือเทียม

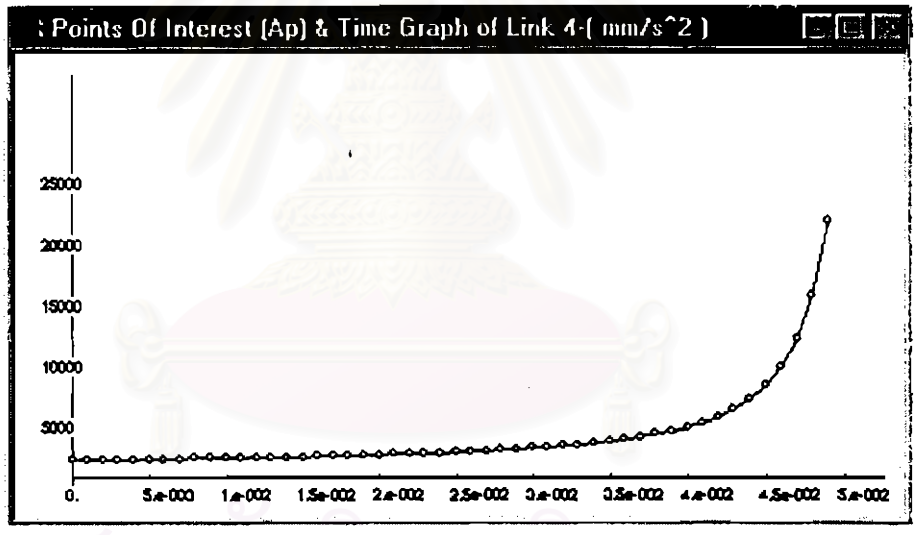
ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมหมุนของก้านส่ง		ปัญหา
	1		2				
	x	y	x	y	γ_2	γ_3	
1	0.0	0.0	2.2	85.9	65	65	-

จากตารางที่ 6.10 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก โดยกำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกรูปที่ 6.22 ซึ่งกลไกสามารถเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงกับมุมที่กำหนดไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ค่า ดังรูปที่ 6.22 รูปที่ 6.23 และรูปที่ 6.24 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนมาหยุดที่ตำแหน่งดังรูปที่ 6.25 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 และจะเห็นได้ว่าก้านต่อส่งออกเคลื่อนที่ได้มากกว่า 60 องศา ดูได้จากไดอะล็อกบ็อกซ์รูปที่ 5.11 ที่ช่อง Moved Link ซึ่งครอบคลุมมุมที่ต้องการให้เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงใช้ได้

แต่จะเห็นว่าที่ก้านต่อส่งเข้าเมื่อเคลื่อนที่มาที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 นั้น มีการเคลื่อนที่เกินที่กำหนดไว้เล็กน้อย แต่ก็สามารถใช้ได้ถ้าเงื่อนไขของงานนั้นไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก ซึ่งถ้าผู้ออกแบบไม่พอใจกลไกที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมานี้ก็สามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระต่อไปได้ แต่ในที่นี้กลไกที่ออกแบบนี้ถือว่าใช้ได้ เพราะในงานควบคุมมือเทียมไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดสูงมากนัก เพียงต้องการให้สามารถหยิบจับสิ่งของได้เท่านั้น



รูปที่ 6.26 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมมือเทียม



รูปที่ 6.27 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมมือเทียม

ตารางที่ 6.11 ค่าดิเนแมติกก้านต่อส่งออกในงานควบคุมมือเทียมที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

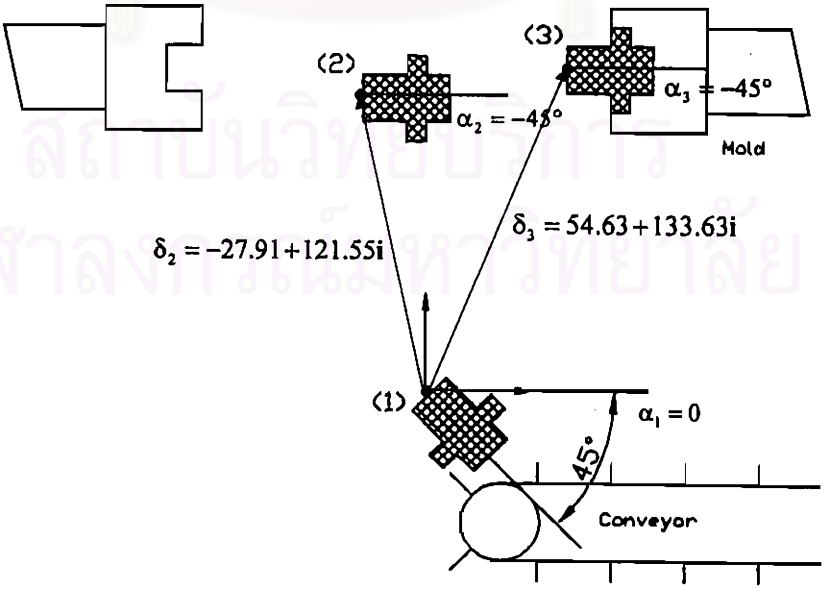
ครั้งที่	ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	798.3	886	1835.4	13774	17408	21135	0	0.018	0.049

รูปที่ 6.26 และรูปที่ 6.27 แสดงถึงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ซึ่งมีแกนตั้งนั้นแสดงค่าของความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 4 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 5 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 5000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 10 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.005 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งกราฟที่แสดงในที่นี้นั้นจะเปลี่ยนช่วงของเวลาที่เพิ่มขึ้นนี้ให้ละเอียดขึ้นเป็น 0.001 วินาที เพื่อความละเอียดที่จะพิจารณาก้านต่อส่งเข้าและก้านต่อส่งออกว่าเคลื่อนที่มาตรงตามมุมที่กำหนดไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 มุมหรือไม่ และตารางที่ 6.11 เมื่อตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งมุมที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อทำวงวนซ้ำหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

หมายเหตุ เนื่องจากในกรณีนี้เป็นลักษณะงานฟังก์ชันเจนเนอเรชันที่สนใจมุมของก้านต่อส่งเข้าและมุมของก้านต่อส่งออก ดังนั้นตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ที่แสดงในตารางค่าตัวแปรเลือกอิสระจะวัดเทียบกับตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1

6.2 กลไก 6 ก้านต่อ

การทดสอบที่ 4 ต้องการกลไกที่ใช้ในขบวนการผลิต ที่เคลื่อนที่ไปเอาเหล็กหล่อถอดออกจะแม่พิมพ์ (Mold) แล้วมาวางอยู่บนสายพาน หรือจากสายพานขึ้นไปที่แม่พิมพ์ในเส้นทางเดียวกันในตำแหน่งเส้นทางที่ได้กำหนดเอาไว้ดังรูปที่ 6.28



รูปที่ 6.28 งานเคลื่อนย้ายเหล็กหล่อจากแม่พิมพ์ (Mold)

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.28 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งของก้านต่อที่จะใช้ในการจับเหล็กหล่อให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

$$\delta_2 = -27.91 + 121.55\mathbf{i},\ \delta_3 = 54.63 + 133.63\mathbf{i}$$

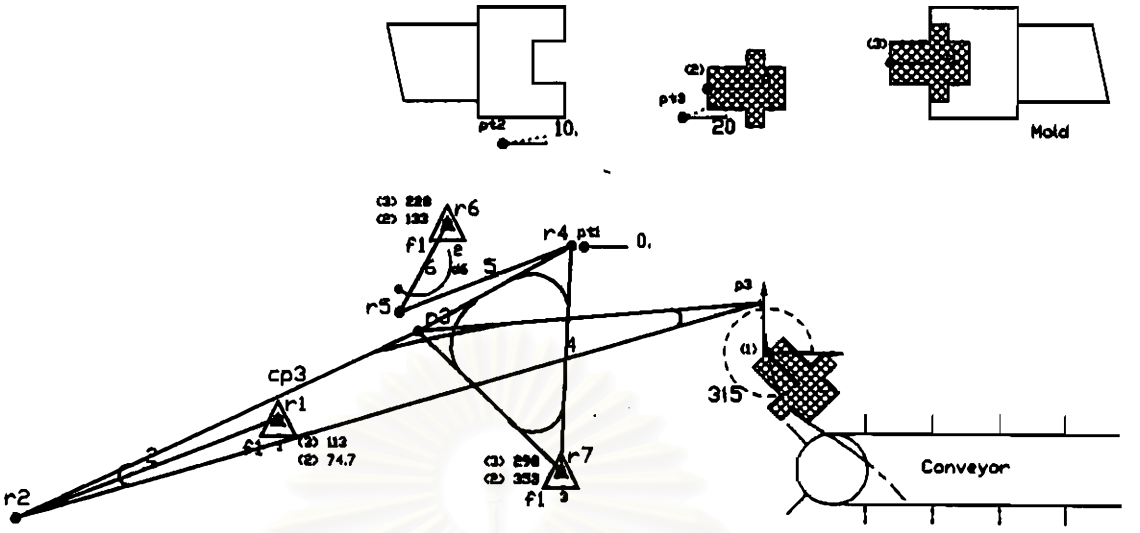
- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในการจับเหล็กหล่อ

$$\alpha_2 = -45°,\ \alpha_3 = -45°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่อยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือ β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นกลไก 6 ก้านต่อ ดังนั้นจึงสามารถจำลองได้ด้วย 3 ไดแอด (Dyad) ดังที่ได้แสดงตัวอย่างไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นจึงมีตัวแปรเลือกอิสระเพิ่มขึ้นอีก คือ Z_9, γ_2, γ_3

ข้อพิจารณาเบื้องต้น ลักษณะงานต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ตามเส้นทางซึ่งโค้งและมีการหมุนของชิ้นงานนั้นด้วย ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนหมุนได้ทางเดียว 1 ตัว หมุนตามเข็มนาฬิกา และกลไกควรเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องโดยไม่มีจุดติดขัด หรือจุดตาย

เนื่องจากในกรณีของกลไก 6 ก้านต่อนั้นมีตัวแปรเลือกอิสระมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีเปลี่ยนแปลงตัวแปรเลือกอิสระทีละ 1 ตัว และกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่นให้คงที่ไว้ก่อน โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นนี้ช่วยวิเคราะห์เพื่อดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก และดูความเป็นไปได้ของแนวโน้มที่จะกำหนดค่าของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยจะทดลองกำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระของตำแหน่งของก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ไว้ที่ $\mathbf{f}_{11}, \mathbf{f}_{12}, \mathbf{f}_{13}$ กับมุม γ_2, γ_3 ดังตารางที่ 6.12 แล้วเปลี่ยนแปลงค่า Z_9 เพื่อดูพฤติกรรมของกลไก และกลไก 6 ก้านต่อนี้จะเลือกชนิดกลไกของวัดต์แบบที่ II



รูปที่ 6.29 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ในงานแม่พิมพ์ (Mold) ของการทดลองครั้งที่ 1

..... เป็นเส้นที่ใช้วาดแทนมุม γ_2, γ_3 ซึ่งเป็นตัวแปรเลือกอิสระที่เพิ่มขึ้นสำหรับการสังเคราะห์กลไกมากกว่า 4 ก้านต่อ

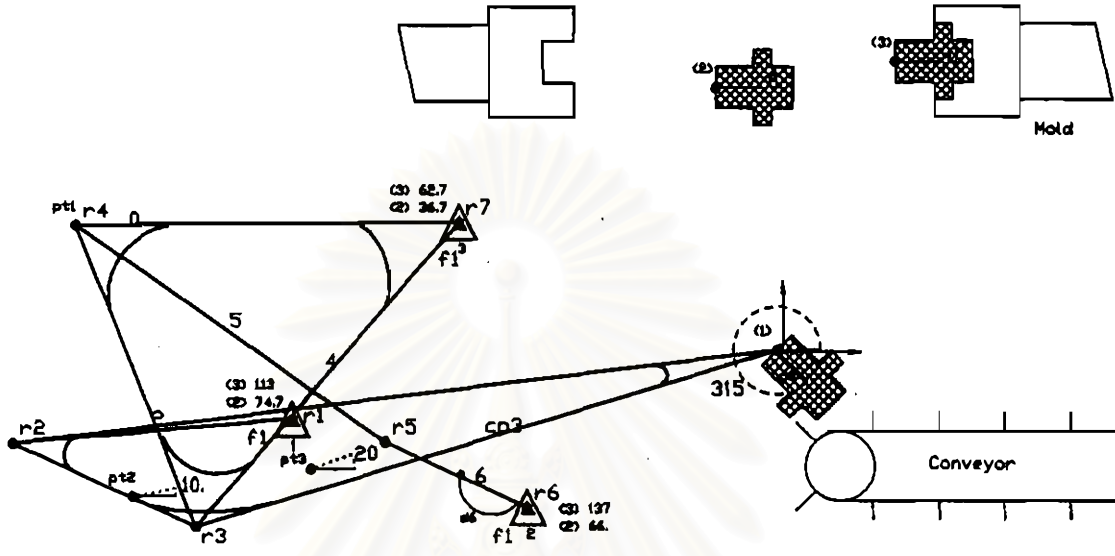
ตารางที่ 6.12 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 1 ในงานแม่พิมพ์ (Mold)

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่						มุมก้านส่ง		ก้านต่อ 4	ปัญหา
	1		2		3					
	$\beta_2(74.7°)$ $\beta_3(113°)$		$\beta_2(133°)$ $\beta_3(228°)$		$\beta_2(353°)$ $\beta_3(298°)$				$r_3 \rightarrow r_4$	
	x	y	x	y	x	y	γ_2	γ_3	Z_9	
1	-224.47	-30.37	-146.92	59.46	-116.28	-71.76	10	20	ทำซ้ำ	ไม่ผ่านจุด

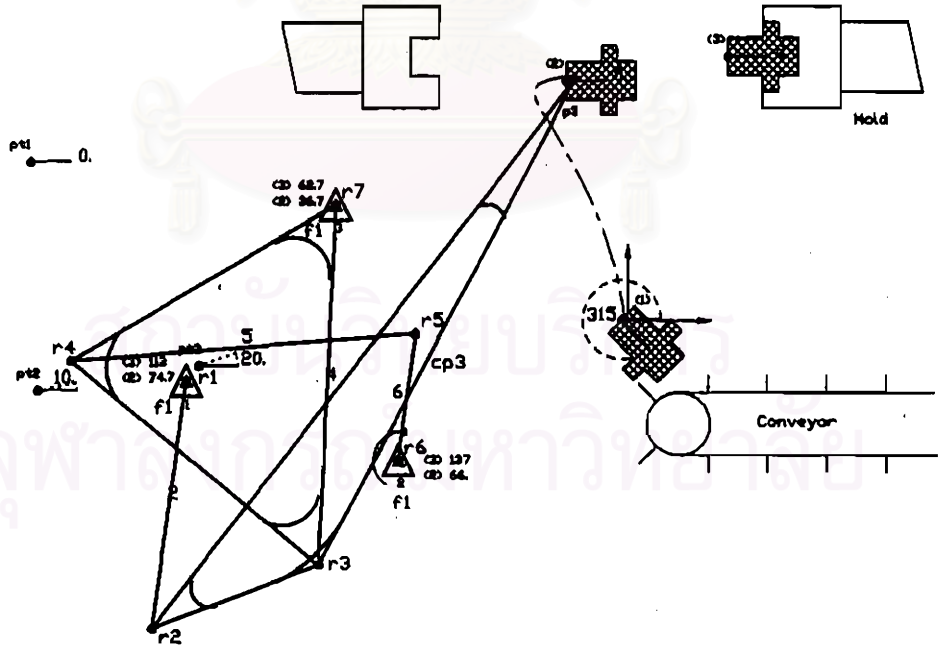
จากตารางที่ 6.12 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระที่กำหนดให้เพื่อจะสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 6 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.29 กลไกเคลื่อนที่ได้ไม่ผ่านตำแหน่งที่ 2 และ 3 โดยหลังจากที่ได้เปลี่ยนแปลงค่า Z_9 ก็คือระยะทางระหว่างข้อต่อที่ r_3 ถึง r_4 ซึ่งได้เปลี่ยนตำแหน่งของ r_4 ไปรอบๆ r_3 โดยใช้เมาส์คลิกไปที่ข้อต่อ r_4 แล้วลากไปที่ตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นก็ดำเนินตามวิธีการทำวงวนซ้ำดังรูปที่ 6.1 ตัวแปรเลือกอิสระที่เปลี่ยนแปลง ก็คือค่า Z_9 หลังจากที่ทำวงวนซ้ำแล้ว ดูพฤติกรรมของกลไกมีแนวโน้มว่าไม่ผ่านตำแหน่งที่ 2 และ 3 ดังนั้นจึงต้องทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่น

ข้อพิจารณาครั้งที่ 2 ผู้วิจัยได้เลือกที่จะเปลี่ยนที่ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 และ 3 โดยสลับกันโดยนำตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 2 จากอยู่ด้านบนก็ย้ายลงมาด้านล่างของ

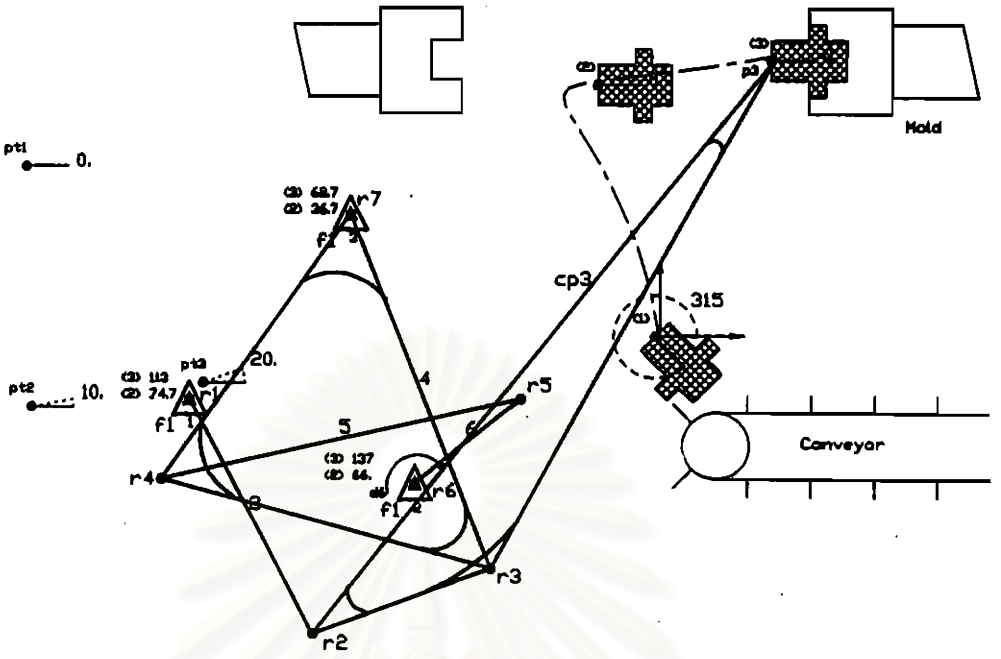
ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 และตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 3 ก็ย้ายลงมาด้านล่างก็ย้ายขึ้นมาอยู่ด้านบน ส่วนมุม γ_2, γ_3 ยังเหมือนเดิม โดยที่ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 ไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นก็ทำการเปลี่ยนค่า Z_9 เพื่อทำวงวนซ้ำต่อไป จะได้กลไกดังรูปที่ 6.30



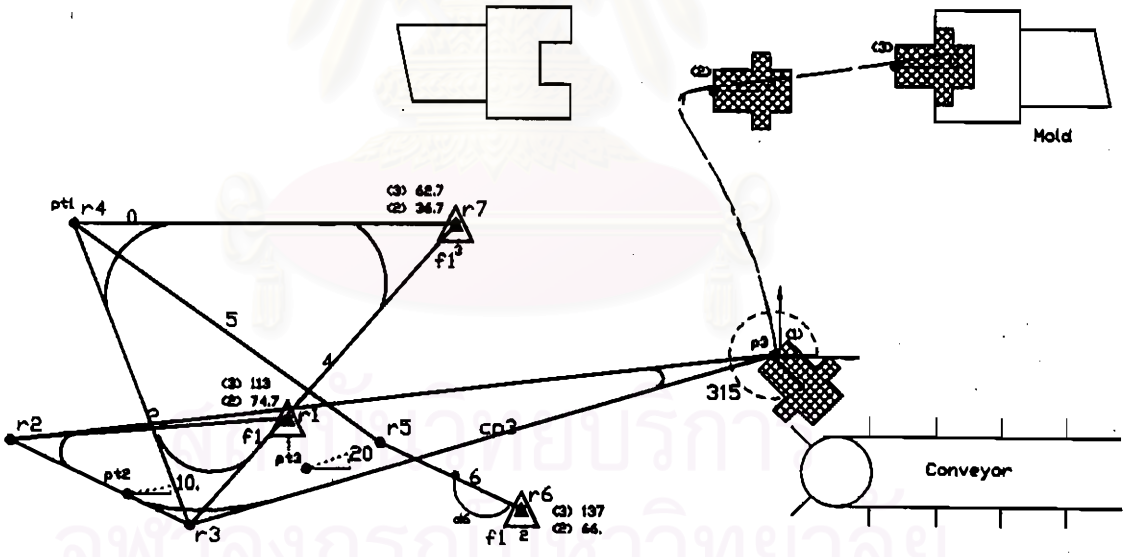
รูปที่ 6.30 กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) ที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.31 กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.32 กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3

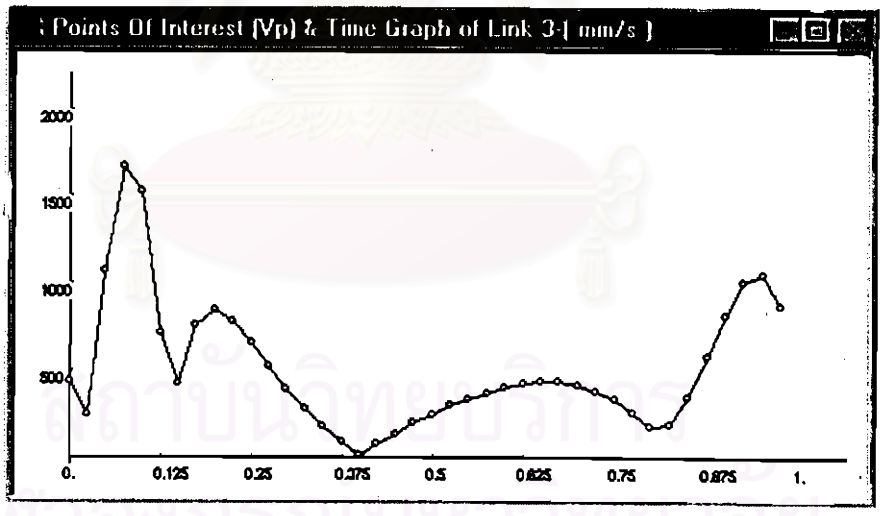


รูปที่ 6.33 กลไกในงานแม่พิมพ์ (Mold) เมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

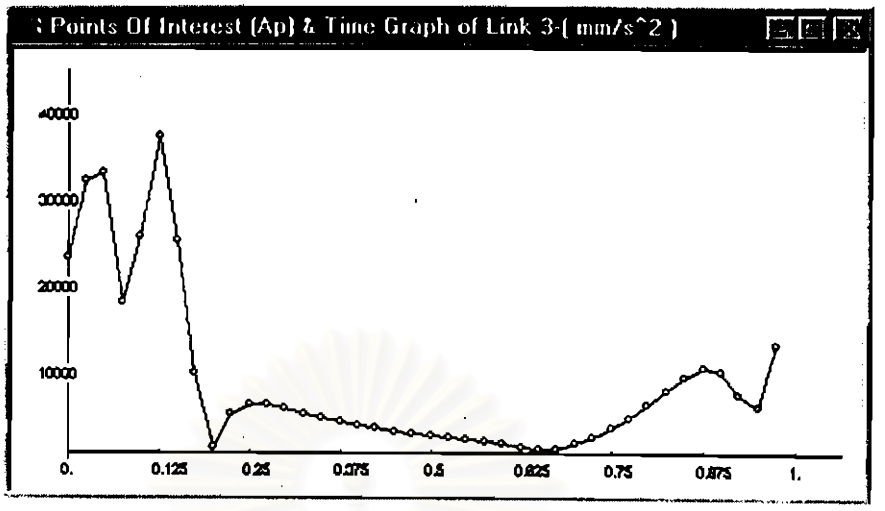
ตารางที่ 6.13 ค่าตัวแปรเลือกอิสระการทดลองครั้งที่ 2 ในงานแม่พิมพ์

ครั้งที่	ตำแหน่งยึดอยู่กับที่						มุมก้านส่ง		ก้านต่อ 4	ปัญหา
	1		2		3					
	$\beta_2(74.7°)$ $\beta_3(113°)$		$\beta_2(66°)$ $\beta_3(137°)$		$\beta_2(36.7°)$ $\beta_3(62.7°)$				$r_3 \rightarrow r_4$	
	x	y	x	y	x	y	γ_2	γ_3	Z_9	
2	-224.47	-30.36	-115.48	-71.34	-146.92	59.46	10	20	ทำซ้ำ	-

จากตารางที่ 6.13 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระที่ได้กำหนดไว้เพื่อสังเคราะห์กลไก แล้วทำวงวนซ้ำโดยใช้ค่าตัวแปร Z_9 เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลง (Change Free Choice) ดังรูปที่ 6.1 ก็จะได้กลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 6.30 รูปที่ 6.31 และรูปที่ 6.32 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เพื่อวางเหล็กหล่อไว้ที่สายพาน แล้วเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปถอดเหล็กหล่อจากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งที่ 3 อันต่อไปดังรูปที่ 6.33 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ และจะเห็นได้ว่ากลไกเคลื่อนที่ไม่ชนสายพานด้านล่าง ดังนั้นกลไกนี้จึงสามารถใช้ได้



รูปที่ 6.34 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานแม่พิมพ์



รูปที่ 6.35 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานแม่พิมพ์

ตารางที่ 6.14 ค่าคิเนแมติกในงานแม่พิมพ์เมื่อเคลื่อนที่จากสายพานไปที่แม่พิมพ์จากที่ตำแหน่ง 1 ไป 3

ครั้งที่	ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	432.3	411.71	516.52	22367	24242	5369	0	0.15	0.275

ตารางที่ 6.15 ค่าคิเนแมติกในงานแม่พิมพ์เมื่อเคลื่อนที่จากแม่พิมพ์ไปที่สายพานจากที่ตำแหน่ง 3 ไป 1

ครั้งที่	ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	860.8	376.17	242.4	12356	1704.5	1967.4	0.975	0.725	0.5

รูปที่ 6.34 และรูปที่ 6.35 แสดงถึงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ซึ่งมีแกนตั้งนั้นแสดงค่าของความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 4 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 4 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 10000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.14 กับตารางที่ 6.15 เมื่อตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้า 3 ตำแหน่ง ซึ่ง

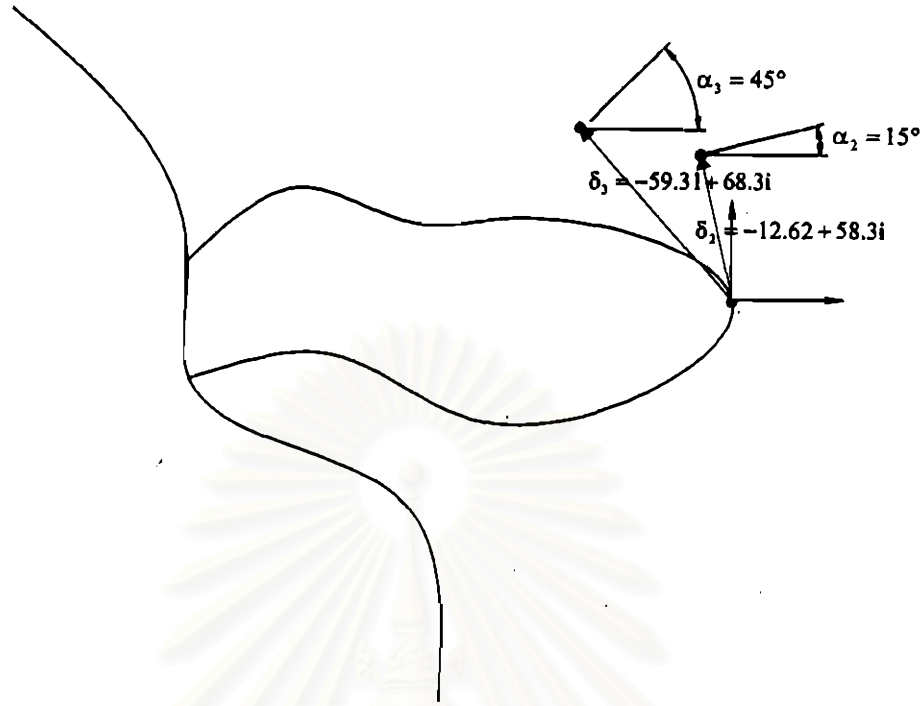
ตารางที่ 6.14 กลไกเคลื่อนที่จากสายพานไปที่แม่พิมพ์นั้นมีค่าความเร็วและความเร่งที่สูงกว่าในค่าในตารางที่ 6.15 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่เพื่อถอดเหล็กหล่อจากแม่พิมพ์มาวางไว้ที่สายพาน ซึ่งก็ถูกต้องและเหมาะสมเพราะในขณะที่กลไกเคลื่อนที่จากสายพานไปที่แม่พิมพ์นั้นใช้ความเร็วที่มากกว่าเพื่อประหยัดเวลาด้วย และกลไกก็เคลื่อนที่โดยไม่ได้หยิบอะไร ดังนั้นจึงไม่ต้องระมัดระวังมาก แต่ในขณะที่เคลื่อนที่จากแม่พิมพ์ ซึ่งได้ถอดเหล็กหล่อออกจากแม่พิมพ์แล้วจะเอาไปวางที่สายพานนั้นจะต้องเคลื่อนที่ช้า จะเห็นว่าที่ตำแหน่งที่ 3 มีความเร็วที่ช้าที่สุดเพราะเป็นช่วงที่ต้องเอาเหล็กหล่อออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังมาก จากนั้นก็จะเพิ่มความเร็วขึ้นช้าๆ เพื่อความปลอดภัย แต่อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระ และทำวงวนซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

จะเห็นได้ว่าในการออกแบบกลไก 6 ก้านต่อนั้นมีตัวแปรอิสระมากขึ้นกว่ากลไก 4 ก้านต่อ ทำให้ออกแบบกลไกลำบากขึ้น โดยจะต้องมีการทำวงวนซ้ำมากขึ้น เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม และในการเลือกค่าตัวแปรอิสระนั้นก็ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าจะพิจารณาและสังเกตดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก หลังจากกำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเริ่มต้นแล้ว รู้ว่าจะต้องเลือกเปลี่ยนตัวแปรเลือกอิสระตัวไหนสำหรับทำวงวนซ้ำตัวต่อไป เพื่อเข้าหาค่าคำตอบที่เหมาะสมเร็วที่สุด

ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้และครั้งต่อไปจะทำการทดสอบเพียงให้ดูเป็นแนวทางเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการ ไม่สามารถแสดงทุกขั้นทุกตอนในหากลไกที่เหมาะสมได้ เพราะขึ้นอยู่กับดุจพินิจของผู้ออกแบบแต่ละคนในการพิจารณาและสังเกตดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก เพื่อมาปรับแต่งตัวแปรเลือกอิสระให้เหมาะสมตามต้องการ

6.3 กลไก 8 ก้านต่อ

การทดสอบ 5 นักสร้างภาพยนตร์ต้องการให้ใบหูของหุ่นยนต์สัตว์มีการเคลื่อนไหวคล้ายปีกนก จึงต้องการกลไกที่ส่งผ่านการเคลื่อนที่ให้ใบหูนี้โดยกำหนดตำแหน่งให้กับที่ปลายใบหูที่จะเคลื่อนที่ผ่านเส้นทางที่กำหนดดังรูปที่ 6.36



รูปที่ 6.36 งานใบหูของหุ่นยนต์สัตว์

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.36 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งของก้านต่อที่ปลายหูให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

$$\delta_2 = -12.62 + 58.3\mathbf{i}, \quad \delta_3 = -59.31 + 68.3\mathbf{i}$$

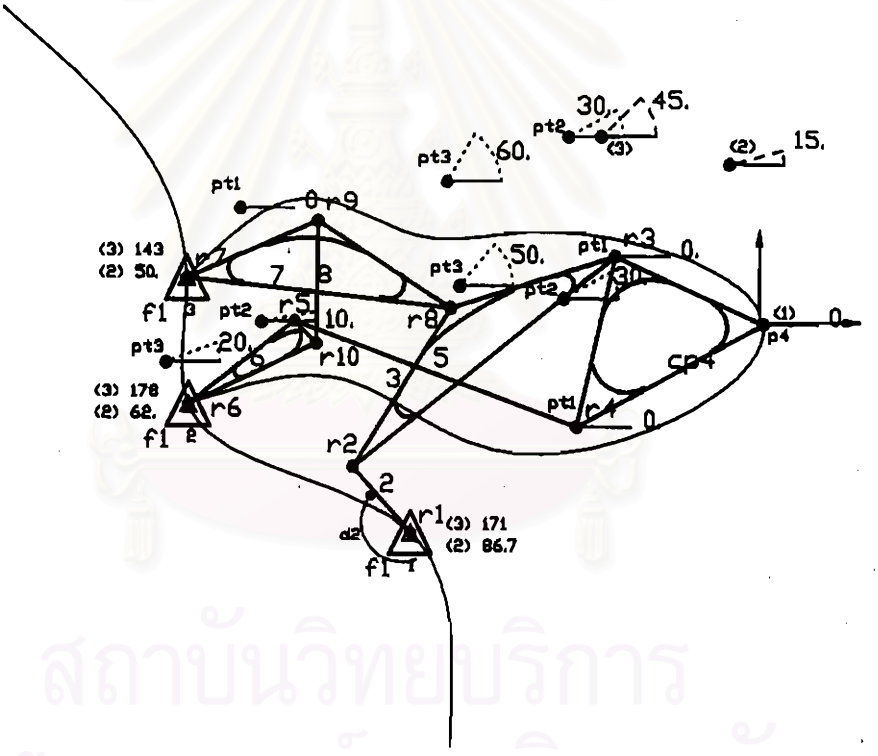
- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในการแกว่งของปลายหู

$$\alpha_2 = 15°, \quad \alpha_3 = 45°$$

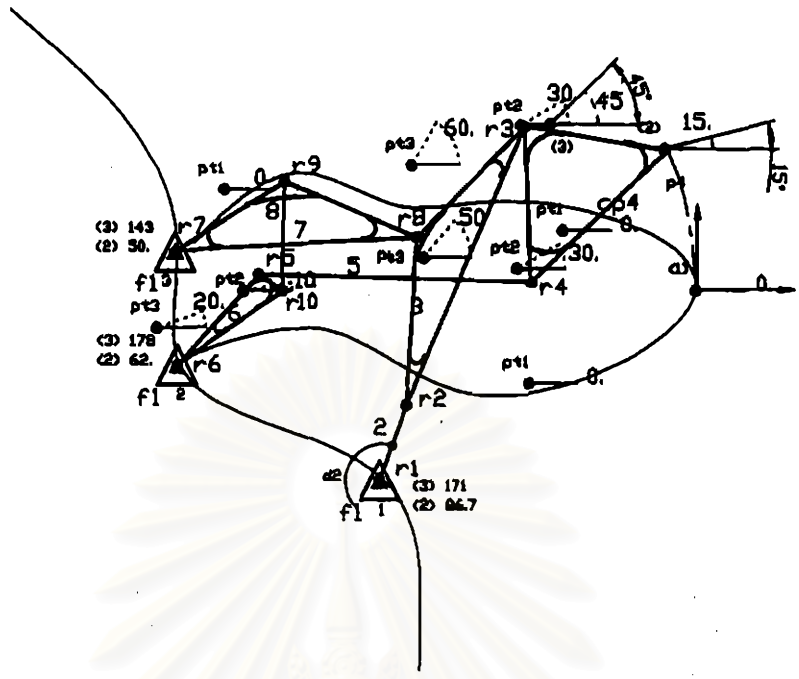
ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือ β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ของก้านต่อ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นกลไก 8 ก้านต่อ ดังนั้นจึงสามารถจำลองได้ด้วย 4 ไดแอด (Dyad) ดังนั้นจึงมีตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้นอีก คือ Z_9, γ_j

ข้อพิจารณาเบื้องต้น ลักษณะงานต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ตามเส้นทางซึ่งโค้งและมีการแกว่งของปลายใบหู ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนหมุนได้ทางเดียว 1 ตัว หมุนตามเข็มนาฬิกา และกลไกควรเคลื่อนที่ต่อเนื่องได้โดยไม่มีจุดติดขัด หรือมีจุดตาย

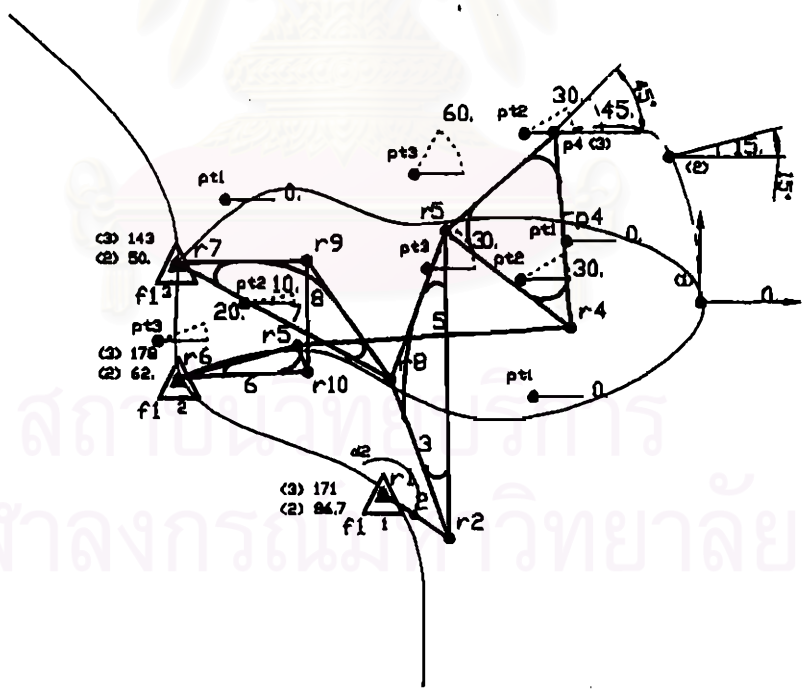
เนื่องจากในกรณีของกลไก 8 ก้านต่อนั้นมีตัวแปรเลือกอิสระมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ ทั้ง 3 ตำแหน่งเอาไว้ เพราะจากรูปที่ 6.36 ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ f_{11}, f_{12}, f_{13} น่าจะอยู่บริเวณที่โคนใบหู ดังนั้นจึงเหลือตัวแปรที่ต้องใช้วิธีเปลี่ยนแปลงตัวแปรเลือกอิสระ คือ Z_9 เป็นตัวแปรในการทำวงวนซ้ำ ส่วนค่า γ_2, γ_3 จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ก่อน ดังตารางที่ 6.16 แล้วพิจารณาดูแนวโน้มพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก ก็จะได้กลไกดังรูปที่ 6.37



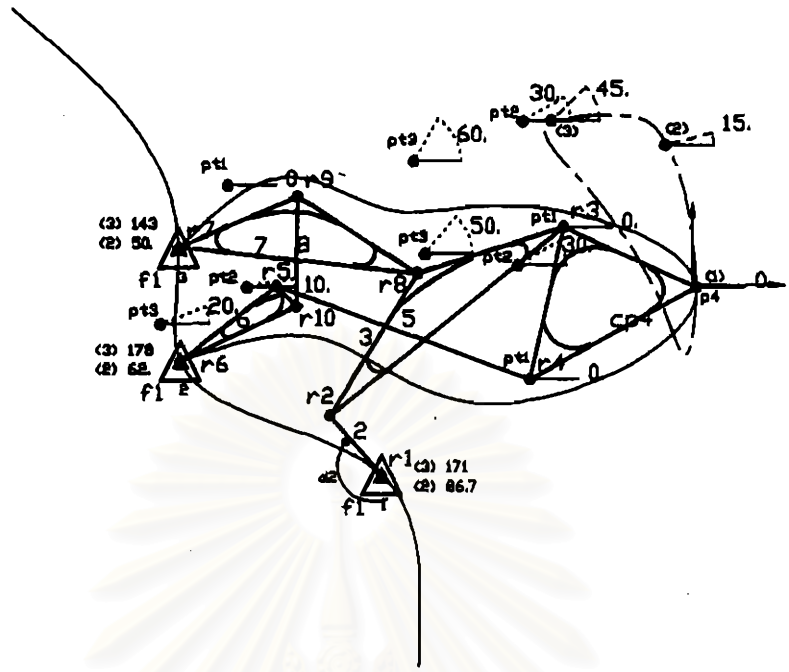
รูปที่ 6.37 กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์ที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.38 กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.39 กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3



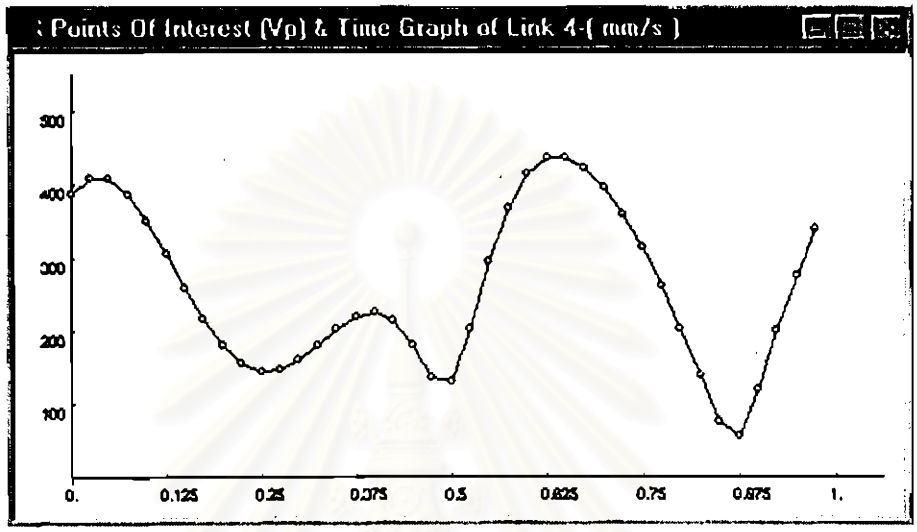
รูปที่ 6.40 กลไกควบคุมใบหูของหุ่นยนต์สัตว์เมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

ตารางที่ 6.16 ค่าตัวแปรเลือกอิสระในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์

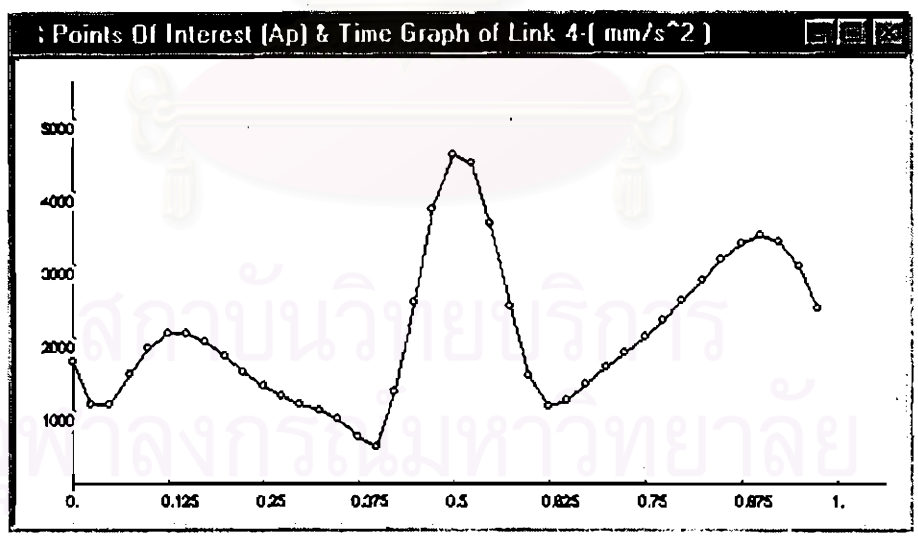
ตำแหน่งยึดอยู่กับที่						มุมก้านส่ง (องศา)					
1		2		3							
$\beta_2(86.7°)$ $\beta_3(171°)$		$\beta_2(62°)$ $\beta_3(178°)$		$\beta_2(50°)$ $\beta_3(143°)$		ก้านต่อ 3		ก้านต่อ 8		ก้านต่อ 5	
x	y	x	y	x	y	γ_2	γ_3	γ_2	γ_3	γ_2	γ_3
-129.39	-77.36	-212.23	-30.09	213.02	16.39	30	60	10	20	30	50

จากตารางที่ 6.16 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระที่กำหนดให้เพื่อจะสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.40 ซึ่งกลไกสามารถเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 6.37 รูปที่ 6.38และรูปที่ 6.39 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เพื่อเริ่มต้นการแกว่งของหูในรอบต่อไปดังรูปที่ 6.40 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ ซึ่งกลไกนี้ได้มาจากการทำวงวนซ้ำดังรูปที่ 6.1 โดยการเปลี่ยนแปลงค่า $\mathbf{Z}_9$ ซึ่งในกลไกนี้มี 2 ตัว ก็คือที่ข้อต่อ r_3 ถึง p_4 และที่ r_4 ถึง p_4 จะทำการเปลี่ยนแปลงทำวงวนซ้ำทีละตัว ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะทางของ r_4 ถึง p_4 ไว้ก่อนโดยดูจากความเหมาะสมของใบหูและกำหนดไม่เกินขอบเขตของใบหู ดังนั้นจึงทำวงวนซ้ำที่ระยะทางระหว่างข้อต่อที่ r_3 ถึง p_4 ซึ่งได้เปลี่ยนตำแหน่งของ

r_3 ไป โดยไม่ให้ออกนอกของเขตของใบหู ซึ่งใช้เมาส์คลิกไปที่ข้อต่อ r_3 แล้วลากไปที่ตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นก็ทำตามวิธีการทำวงวนซ้ำ ผู้ออกแบบสามารถกำหนดตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่นๆ เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงได้ (Change Free Choice) เมื่อพิจารณาดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกแล้วเห็นว่าเหมาะสม



รูปที่ 6.41 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์



รูปที่ 6.42 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์

ตารางที่ 6.17 ค่าคิเนแมติกงานใบหูหุ่นยนต์สัตว์ที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

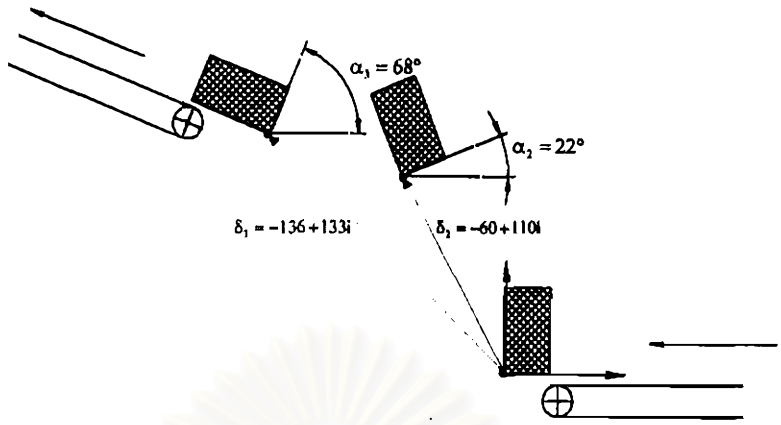
ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
383.5	258.2	180.35	1661.3	2042	2471.4	0	0.15	0.45

รูปที่ 6.41 และรูปที่ 6.42 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 5 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 100 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย mm/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 5 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 1000 mm/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.17 เมื่อตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความเร่งไม่สูงมาก ซึ่งก็เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของใบหู เพราะต้องการให้มีเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องช้าๆ เพื่อความเป็นธรรมชาติ แต่ถ้าต้องการให้ความเร็วสูงขึ้นก็อาจเพิ่มความเร็วและความเร่งของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) หรืออาจจะทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเลือกอิสระ และทำวงวนซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

จากการทดสอบที่ผ่านมาเป็นการใช้ตัวส่งกำลังขับเคลื่อนเพียง 1 ตัว หรือระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 เพื่อกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ที่แน่นอนระหว่างก้านต่อต่างๆ ของกลไก โดยที่ให้ก้านต่อหนึ่งอยู่กับที่ แล้วให้ก้านต่อที่เหลือเคลื่อนที่ได้แล้ว จุดทุกจุดบนก้านต่อที่เคลื่อนที่ได้เหล่านี้จะเคลื่อนที่ในเส้นทางที่เหมือนเดิมและสามารถทำนายล่วงหน้าได้เสมอ ส่วนในการทดสอบครั้งต่อไปจะเป็นกรณีที่ตัวส่งกำลังขับเคลื่อน 1 ตัวไม่สามารถกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ที่แน่นอนได้ จะต้องใช้ตัวส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) จำนวน 2 ตัว ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน ในการกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ที่แน่นอนระหว่างก้านต่อต่างๆ ของกลไก โดยที่ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบในกรณีที่ตัวส่งกำลังขับเคลื่อนทั้ง 2 ตัวนั้นมีความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมเท่ากัน คือ 6.2832 *rad*/sec และความเร่งเชิงมุมเป็นศูนย์ทั้ง 2 ตัว ซึ่งกลไกที่จะทดสอบนี้จะมีจำนวน 5 ก้านต่อ และ 7 ก้านต่อ

6.4 กลไก 5 ก้านต่อ

การทดสอบที่ 6 ต้องการกลไกช่วยขนย้ายกล่องจากสายพานหนึ่งด้านล่างไปยังสายพานลาดเอียงด้านบนดังรูปที่ 6.43 ซึ่งกำหนดเส้นทางเอาไว้ 3 ตำแหน่ง กลไกที่ออกแบบนี้จะต้องเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องและอยู่ระหว่างสายพานทั้งสอง และไม่ชนกับสายพาน



รูปที่ 6.43 งานขนย้ายกล่องจากสายพานในแนวระนาบไปยังสายพานลาดเอียง

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.43 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งของก้านต่อที่จะขนย้ายกล่องให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

$$\delta_2 = -60+110\mathbf{i}, \quad \delta_3 = -136+133\mathbf{i}$$

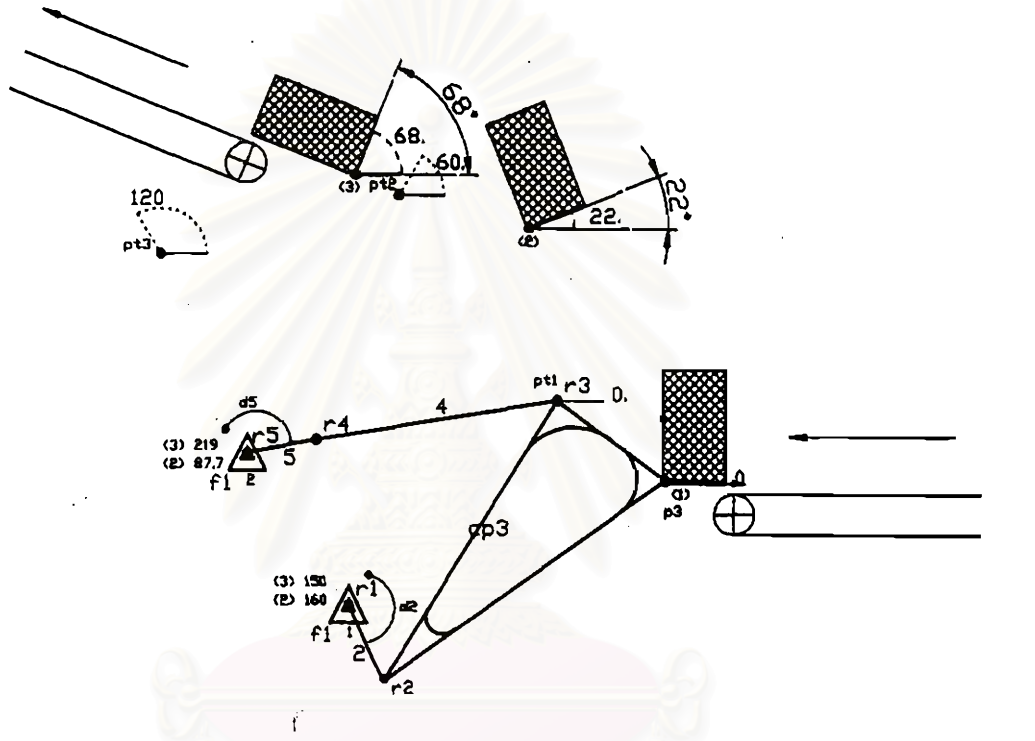
- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในการขนย้ายกล่อง

$$\alpha_2 = 22°, \quad \alpha_3 = 68°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือ β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งที่ยึดอยู่กับที่ของก้านต่อ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นกลไก 5 ก้านต่อ ดังนั้นจึงสามารถจำลองได้ด้วย 2 ไดแอด เช่นเดียวกับกลไก 4 ก้านต่อ แต่มีตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้นอีก คือ Z_9, γ_j ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องหาค่าที่เหมาะสม

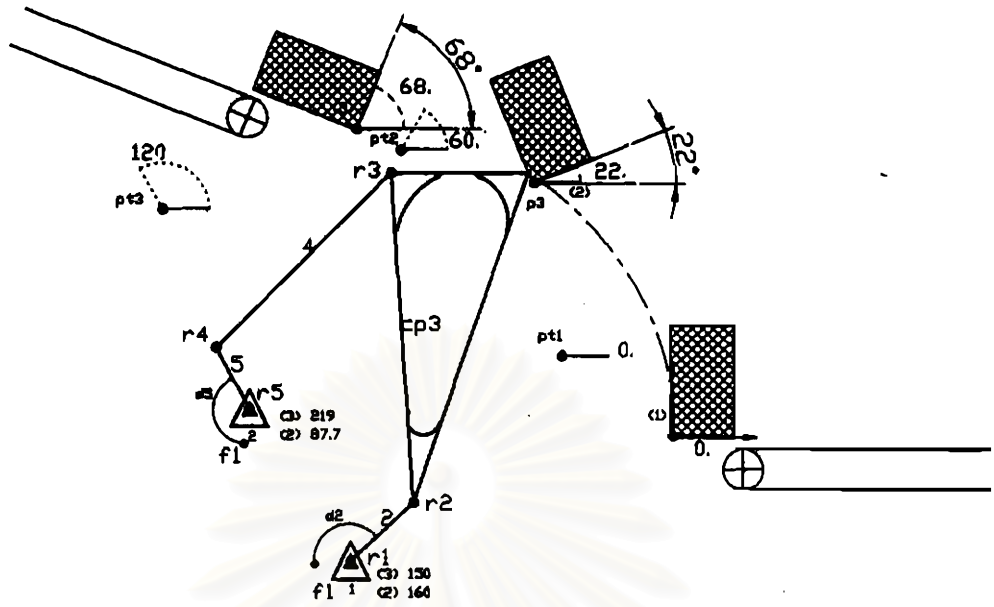
ข้อพิจารณาเบื้องต้น ลักษณะงานต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ตามเส้นทางซึ่งโค้งและมีการหมุนของกล่องที่จะขนย้ายด้วย ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนที่เหมือนกันหมุนได้ทางเดียว 2 ตัว หมุนทวนเข็มนาฬิกา และกลไกควรเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องได้โดยไม่มีจุดติดขัด หรือจุดตาย

เนื่องจากในกรณีของกลไก 5 ก้านต่อนั้นมีตัวแปรเลือกอิสระมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ทั้ง 2 ตำแหน่งเอาไว้ เพราะจากรูปที่ 6.43 ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ f_{11}, f_{12} ควรอยู่บริเวณระหว่างสายพานทั้งสอง ดังนั้นจึงเหลือตัวแปรที่ต้องใช้วิธีเปลี่ยนแปลงตัวแปรเลือกอิสระ คือ Z_9 เป็นตัวแปรในการทำวงวนซ้ำ ส่วนค่า γ_2, γ_3 จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ก่อนดังตารางที่ 6.18 แล้วพิจารณาดูแนวโน้มพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.44

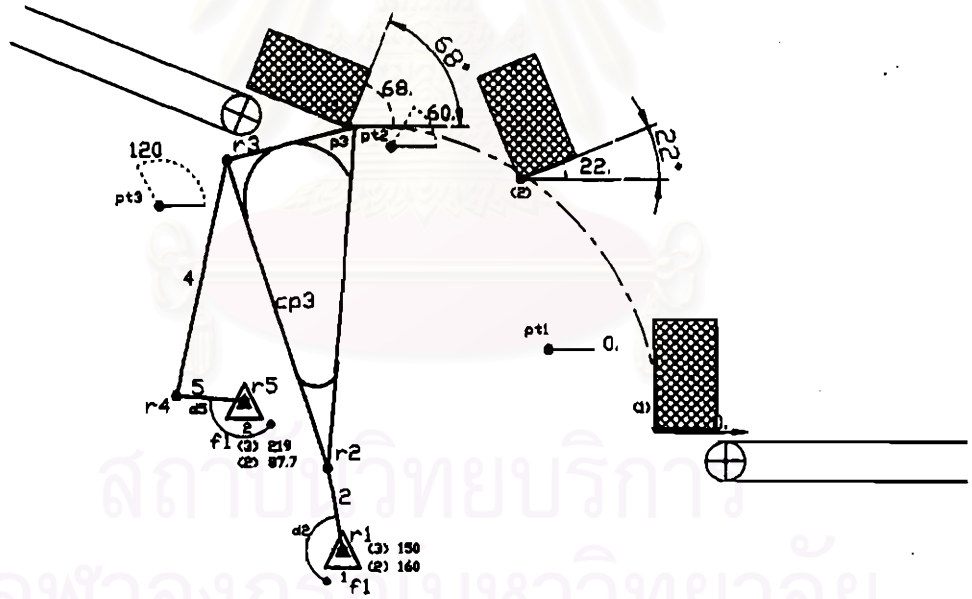


รูปที่ 6.44 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อที่ตำแหน่งที่ 1

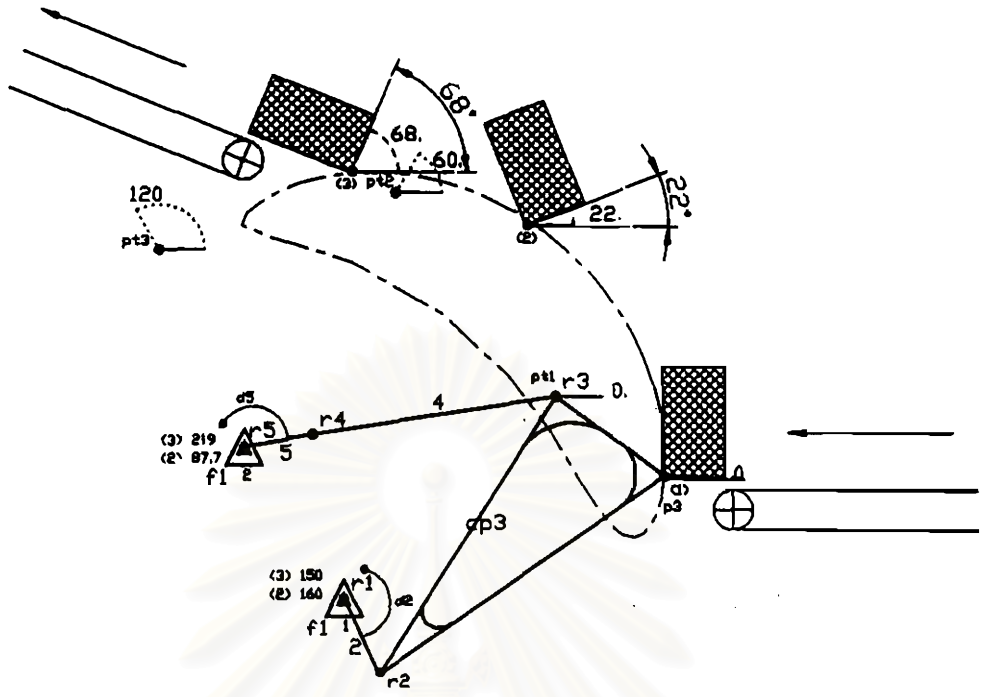
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.45 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.46 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3



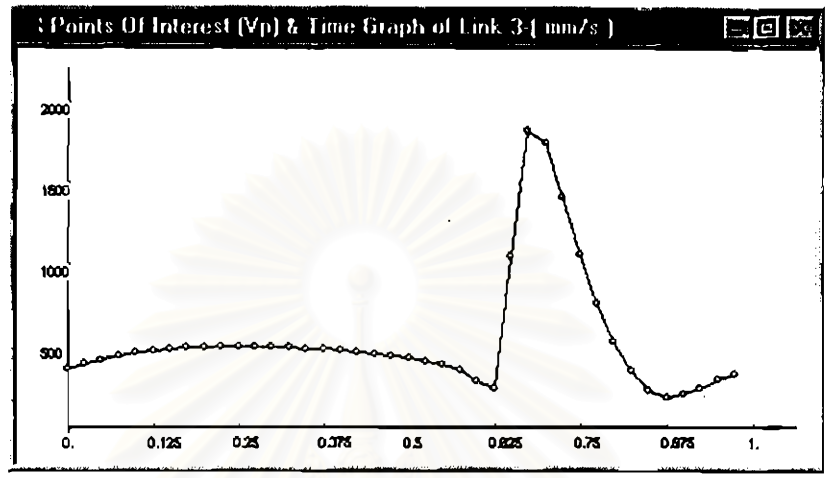
รูปที่ 6.47 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

ตารางที่ 6.18 ค่าตัวแปรเลือกอิสระงานขนย้ายกล่องจากสายพานของกลไก 5 ก้านต่อ

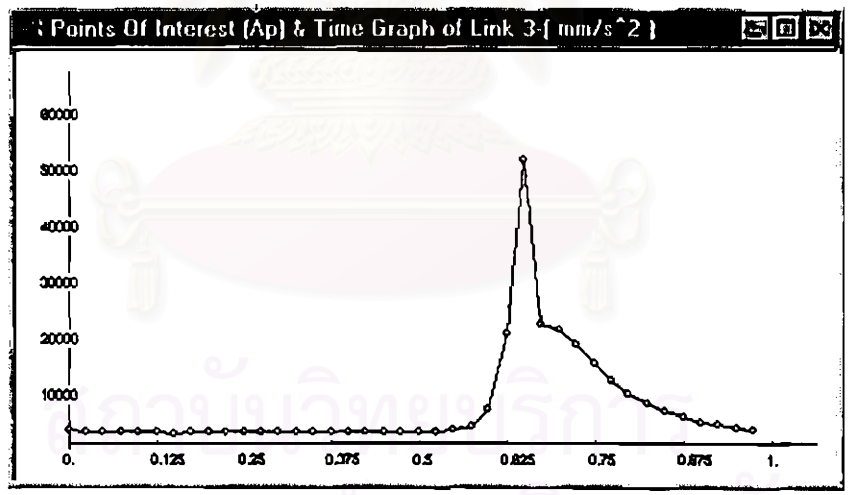
ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมก้านส่ง		ก้านต่อ 4	ปัญหา
1		2					
$\beta_2(160°)$ $\beta_3(150°)$		$\beta_2(87.7°)$ $\beta_3(219°)$				$r_3 \rightarrow p_3$	
x	y	x	y	γ_2	γ_3	Z_9	
-138.73	-53.7	-182.5	12.31	60	120	ทำซ้ำ	-

ตารางที่ 6.20 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระกำหนดเพื่อจะสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 6 และก้านต่อ 7 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.44 กลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 6.44 รูปที่ 6.45 และรูปที่ 6.46 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เพื่อมาย้ายกล่องอันต่อไปดังรูปที่ 6.47 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ และจะเห็นได้ว่ากลไกเคลื่อนที่ได้ตามความต้องการของลักษณะงานที่กำหนดเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ โดยเคลื่อนได้ต่อเนื่องและไม่ชนสายพานทั้งด้านบนและด้านล่าง หลังจากทำวงวนซ้ำดังรูปที่ 6.1 โดยการเปลี่ยนแปลงค่า Z_9 ซึ่งในกลไกนี้มี 1 ตัว ก็คือที่ ข้อต่อ r_3 ถึง p_3 จะทำการเปลี่ยนแปลงทำวงวนซ้ำ ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะทางของ r_3 ถึง p_3 โดยดูจากความเหมาะสมไม่ให้เกินขอบเขตระหว่างสาย

พานทั้งสอง ผู้ออกแบบสามารถกำหนดตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่นๆ เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงได้ (Change Free Choice) เมื่อพิจารณาดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกแล้วเห็นว่าเหมาะสม



รูปที่ 6.48 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 ก้านต่อ 3 งานขนย้ายกล่องของกลไก 5 ก้านต่อ



รูปที่ 6.49 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 ก้านต่อ 3 งานขนย้ายกล่องของกลไก 5 ก้านต่อ

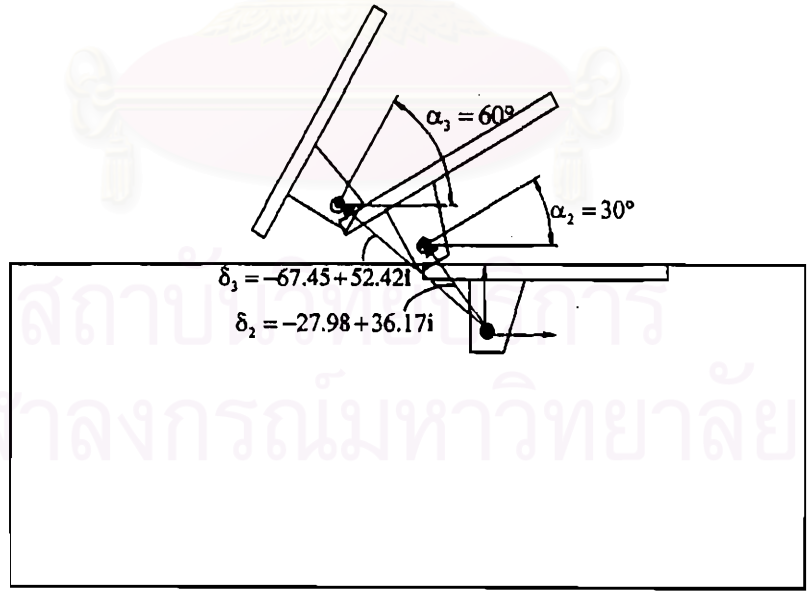
ตารางที่ 6.19 ค่าคิเนแมติกงานขนย้ายกล่องกลไก 5 ก้านต่อที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{\text{sec}}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{\text{sec}^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
355.4	485.6	439.3	2075	1750.9	1832.7	0	0.275	0.45

รูปที่ 6.48 และรูปที่ 6.49 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 5 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 6 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 10000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.19 เมื่อตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งกลไกเคลื่อนที่จากสายพานไปยังตำแหน่งที่ 2 จะมีความเร่งสูงเพราะต้องการความรวดเร็วแต่พอเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งที่ 3 จะลดความเร่งลง เพื่อปล่อยวัสดุไปยังสายพานได้ และก็จะเพิ่มความเร่งมากขึ้นเมื่อเคลื่อนที่กลับไปที่ตำแหน่งที่ 1 เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเคลื่อนที่กลับไปขนย้ายกล่องอันต่อไป แต่อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระ และทำวงวนซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

6.5 กลไก 7 ก้านต่อ

การทดสอบที่ 7 ต้องการกลไกที่เปิดฝากล่องอัตโนมัติ ตามเส้นทางและมุมที่กำหนดให้ดังรูปที่ 6.50



รูปที่ 6.50 งานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.43 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งของก้านต่อที่จะต่อกับฝากล่องให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยต้องผ่าน 3 ตำแหน่งดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

$$\delta_2 = -27.98 + 36.17\mathbf{i}, \quad \delta_3 = -67.45 + 52.42\mathbf{i}$$

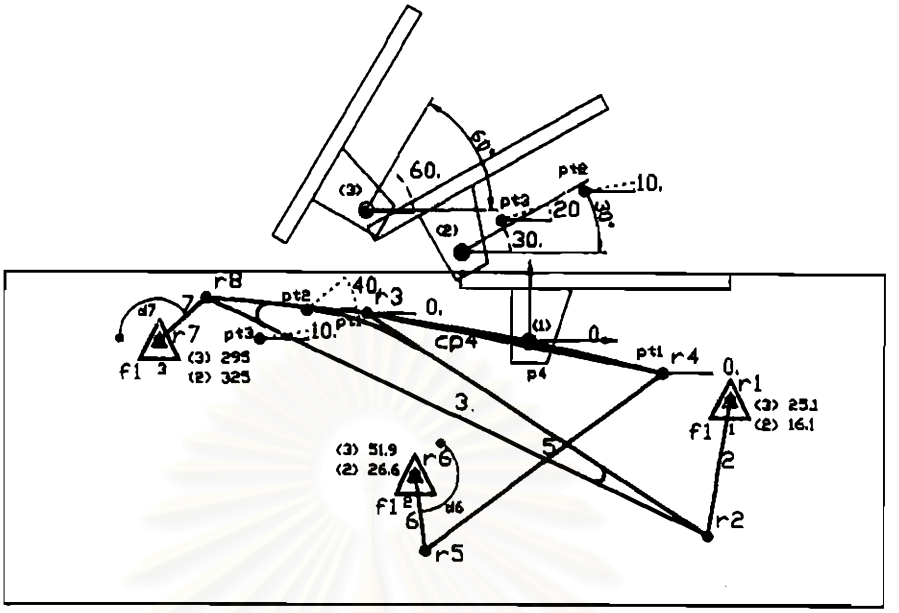
- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่ใช้ในการเปิดฝากล่อง

$$\alpha_2 = 30°, \quad \alpha_3 = 60°$$

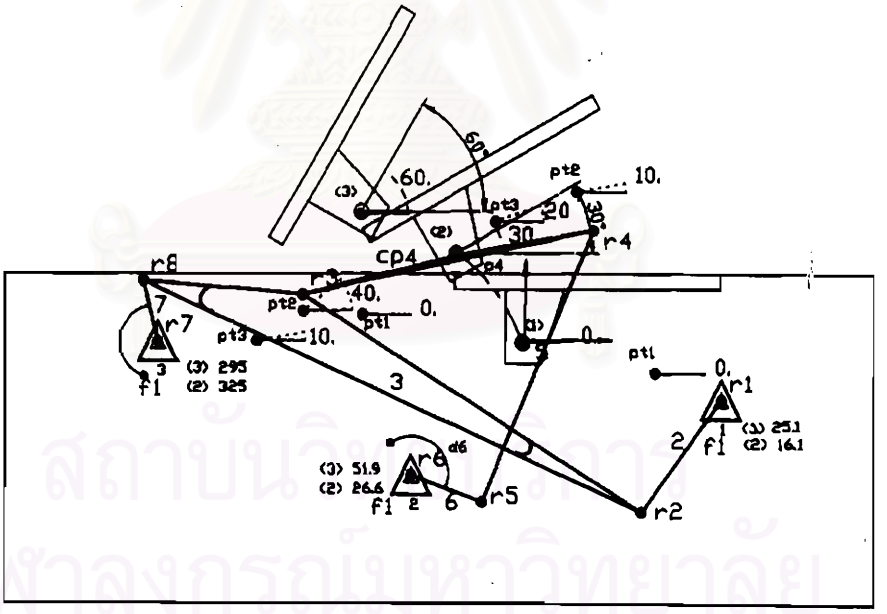
ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือ β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ของก้านต่อ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นกลไก 7 ก้านต่อ ดังนั้นจึงสามารถจำลองได้ด้วย 3 ไดแอด เช่นเดียวกับกลไก 6 ก้านต่อ และมีตัวแปรเลือกอิสระอีก คือ Z_9, γ_j

ข้อพิจารณาเบื้องต้น ลักษณะงานต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ตามเส้นทางซึ่งโค้งและมีการหมุนของฝากล่องด้วย ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนที่เหมือนกันหมุนได้ทางเดียว 2 ตัว หมุนตามเข็มนาฬิกา และกลไกควรเคลื่อนที่ได้ต่อเนื่องได้โดยไม่มีจุดติดขัด หรือมีจุดตาย

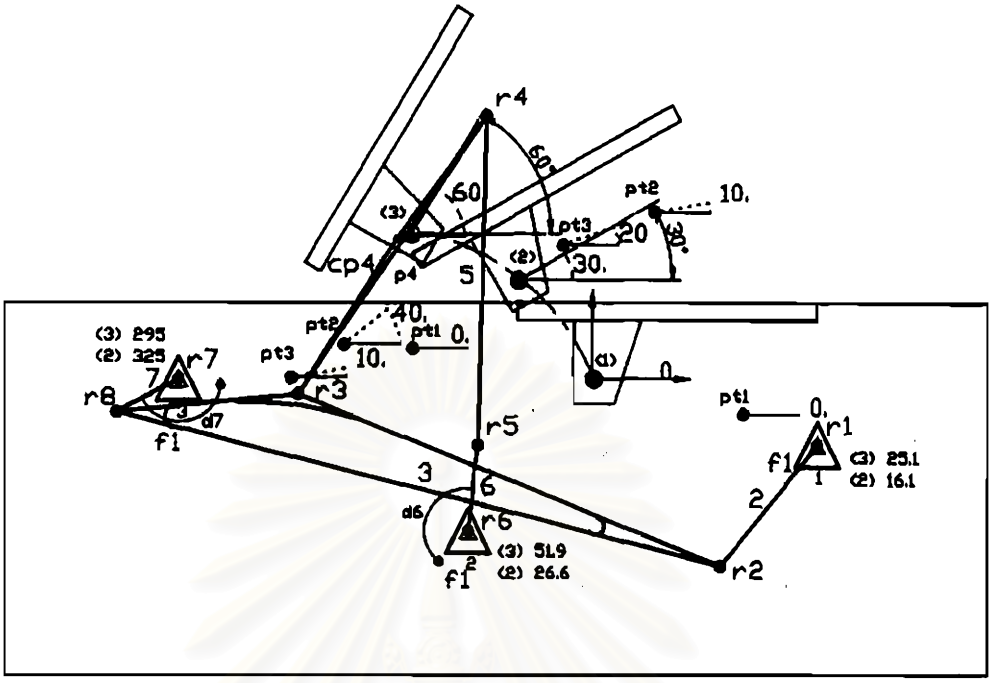
เนื่องจากในกรณีของกลไก 7 ก้านต่อนั้นมีตัวแปรเลือกอิสระมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ทั้ง 3 ตำแหน่งเอาไว้ เพราะจากรูปที่ 6.50 ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ $\mathbf{f}_{11}, \mathbf{f}_{12}, \mathbf{f}_{13}$ ควรอยู่ภายในกล่อง ดังนั้นจึงเหลือตัวแปรที่ต้องใช้วิธีเปลี่ยนแปลงตัวแปรเลือกอิสระอีก คือ Z_9 เป็นตัวแปรในการทำวงวนซ้ำ ส่วนค่า γ_2, γ_3 จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ก่อน ดังตารางที่ 6.20 แล้วพิจารณาดูแนวโน้มพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.51



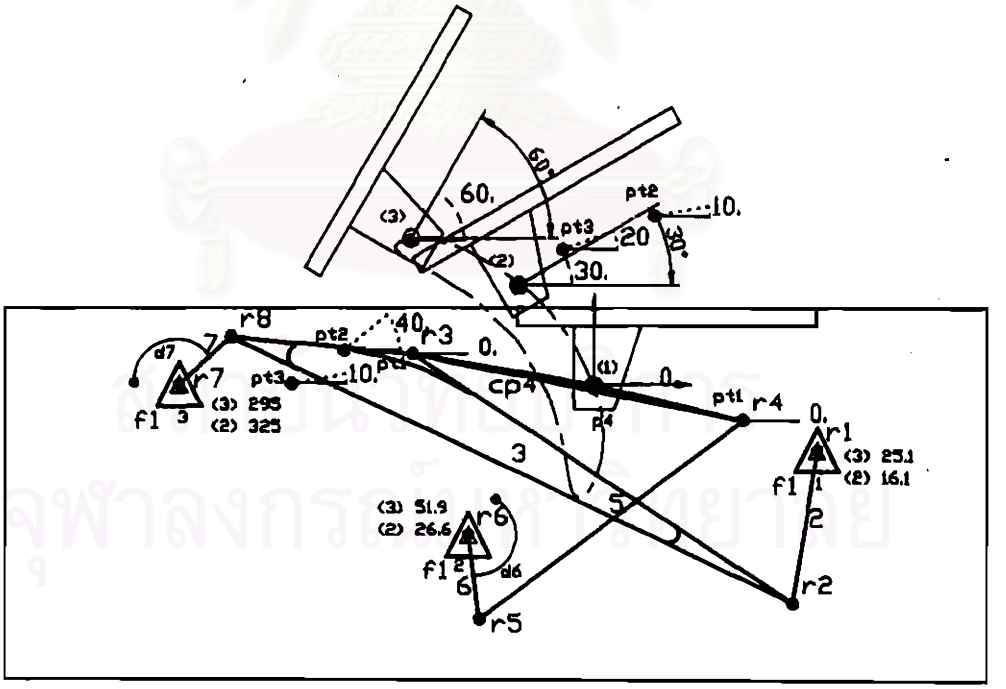
รูปที่ 6.51 กลไกเปิดฝากล่องที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.52 กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 6.53 กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3

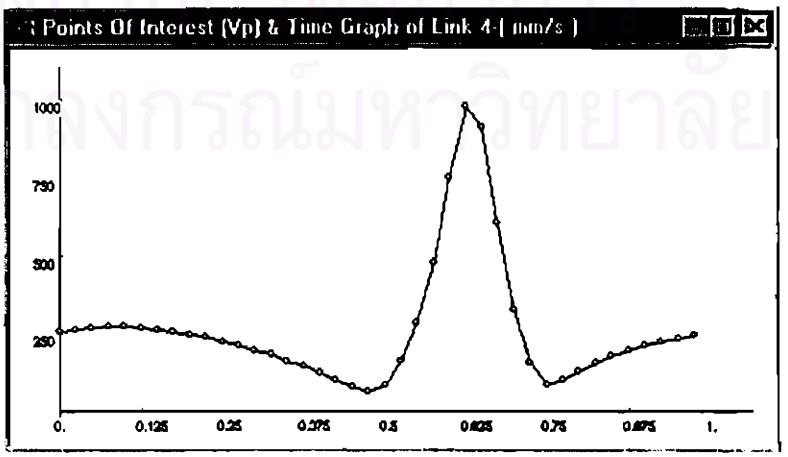


รูปที่ 6.54 กลไกเปิดฝากล่องเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

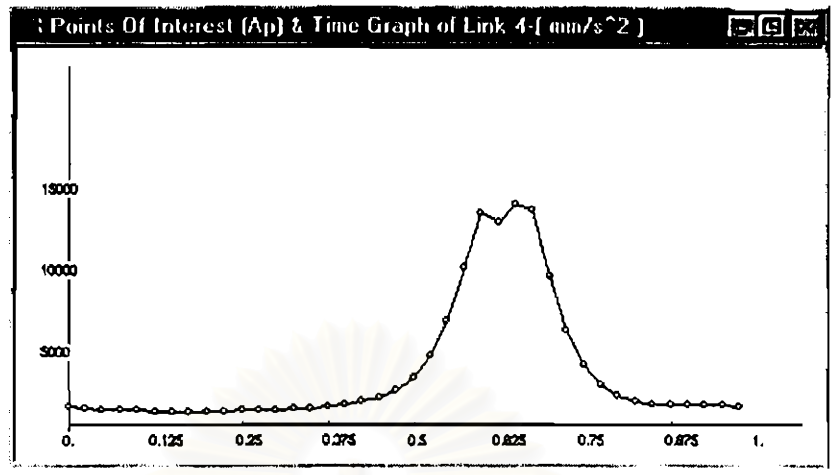
ตารางที่ 6.20 ค่าตัวแปรเลือกอิสระงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ

ตำแหน่งยึดอยู่กับที่						มุมก้านส่ง (องศา)			
1		2		3					
$\beta_2(16.1°)$ $\beta_3(25.1°)$		$\beta_2(26.6°)$ $\beta_3(51.9°)$		$\beta_2(325°)$ $\beta_3(295°)$		ก้านต่อ 3		ก้านต่อ	
x	y	x	y	x	y	γ_2	γ_3	γ_2	γ_3
81.6	-23.48	-46.26	-54.81	-151.2	0.21	40	10	10	20

ตารางที่ 6.20 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระกำหนดเพื่อจะสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 6 และก้านต่อ 7 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน จะได้กลไกดังรูปที่ 6.54 กลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 6.51 รูปที่ 6.52 และรูปที่ 6.53 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งปิดฝากล่องอีกครั้ง และเตรียมที่จะเปิดฝากล่องในรอบต่อไป ดังรูปที่ 6.54 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ ซึ่งกลไกนี้ได้มาจากการทำวงวนซ้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงค่า Z_9 ซึ่งในกลไกนี้มี 2 ตัว ก็คือที่ข้อต่อ r_3 ถึง p_4 และที่ r_4 ถึง p_4 จะทำการเปลี่ยนแปลงทำวงวนซ้ำทีละตัว ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะทางของ r_4 ถึง p_4 ไว้ก่อนโดยดูจากความเหมาะสมการของกลไกและกำหนดไม่เกินขอบเขตของกล่อง ดังนั้นจึงทำวงวนซ้ำที่ระยะทางระหว่างข้อต่อที่ r_3 ถึง p_4 ซึ่งได้เปลี่ยนตำแหน่งของ r_3 ไป โดยไม่ให้ออกนอกของเขตของกล่องเช่นกัน จากนั้นก็ทำตามวิธีการทำวงวนซ้ำดังรูปที่ 6.1 ผู้ออกแบบสามารถกำหนดตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่นๆ เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงได้ (Change Free Choice) เมื่อพิจารณาดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกแล้วเห็นว่าเหมาะสม



รูปที่ 6.55 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ



รูปที่ 6.56 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติ

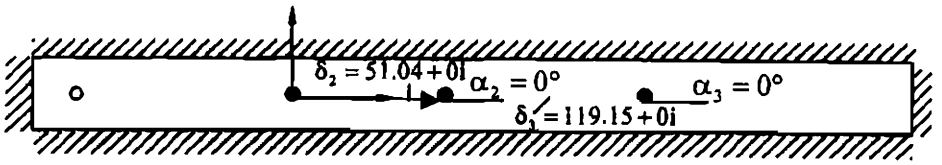
ตารางที่ 6.21 ค่าคิเนแมติกงานเปิดฝากล่องอัตโนมัติที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
252.8	264.31	160.94	1018.7	746.81	966.9	0	0.125	0.35

รูปที่ 6.55 และรูปที่ 6.56 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ซึ่งมีแกนดั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนดั้งมี 4 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 250 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนดั้งนั้นมี 3 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 5000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.21 เมื่อตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความเร่งไม่สูงมาก แต่ถ้าต้องการให้ความเร็วสูงขึ้นก็อาจเพิ่มความเร็วและความเร่งของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) หรืออาจจะทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเลือกอิสระ และทำวงวนซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

6.6 กลไก 6 ก้านต่อมีข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล

การทดสอบที่ 8 ต้องการกลไกที่เอาไว้สำหรับเปิดปิดหน้าต่างๆ โดยเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อนดังรูปที่ 6.57



รูปที่ 6.57 งานบานพับหน้าต่าง

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.57 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งของก้านต่อที่เลื่อนอยู่ในรางเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยต้องผ่าน 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

- เวคเตอร์ของตำแหน่งแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3

$$\delta_2 = 51.04 + 0\mathbf{i}, \quad \delta_3 = 119.15 + 0\mathbf{i}$$

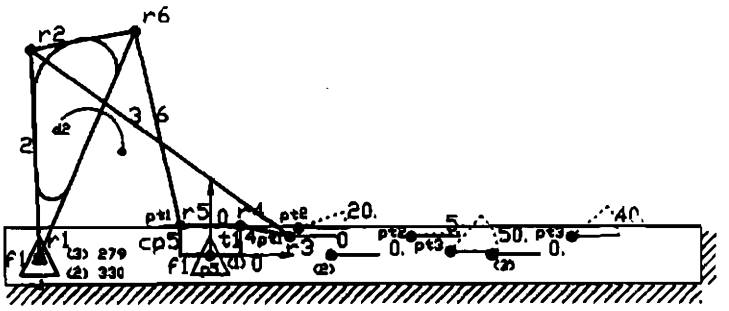
- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) ก้านต่อที่เลื่อนอยู่ในรางเลื่อนของหน้าต่าง

$$\alpha_2 = 0°, \quad \alpha_3 = 0°$$

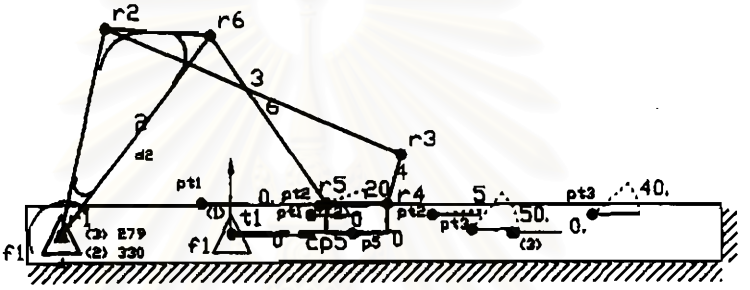
ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านต่อที่ปลายด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่และปลายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่กับก้านต่อเคลื่อนที่ คือ β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ของก้านต่อ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นกลไก 6 ก้านต่อ ดังนั้นจึงสามารถจำลองได้ด้วย 3 ไดแอด เช่นเดียวกับกลไก 6 ก้านต่อข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และมีตัวแปรเลือกอิสระอีก คือ Z_9, γ_j

ข้อพิจารณาเบื้องต้น ลักษณะงานต้องการให้กลไกเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและไม่มีการหมุนของก้านต่อที่เลื่อนอยู่ในราง ดังนั้นจึงเป็นข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนที่หมุนได้ 2 ทาง คือหมุนทวนเข็มและหมุนตามเข็มนาฬิกา และกลไกควรเคลื่อนที่มาหยุดที่ระนาบเดียวกับรางเลื่อนในตำแหน่งปิดหน้าต่าง

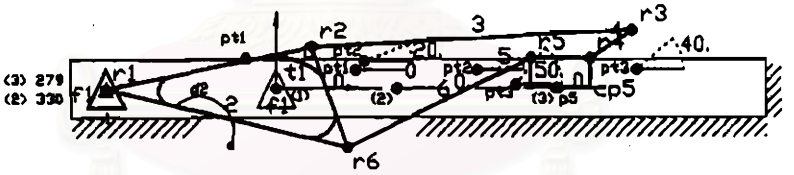
ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 ตำแหน่งเอาไว้ เพราะจากรูปที่ 6.57 ตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ f_{11} อยู่ที่ในรางตำแหน่งซ้ายสุดของรางเลื่อนหน้าต่าง ดังนั้นจึงเหลือตัวแปรที่ต้องใช้วิธีเปลี่ยนแปลงตัวแปรเลือกอิสระอีก คือ Z_9 เป็นตัวแปรในการทำวงวนซ้ำ ส่วนค่า γ_2, γ_3 จะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ก่อนดังตารางที่ 6.22 แล้วพิจารณาดูแนวโน้มพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก จะได้กลไกดังรูปที่ 6.58



รูปที่ 6.58 กลไกเปิดหน้าต่างที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 6.59 กลไกปิดหน้าต่างเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2

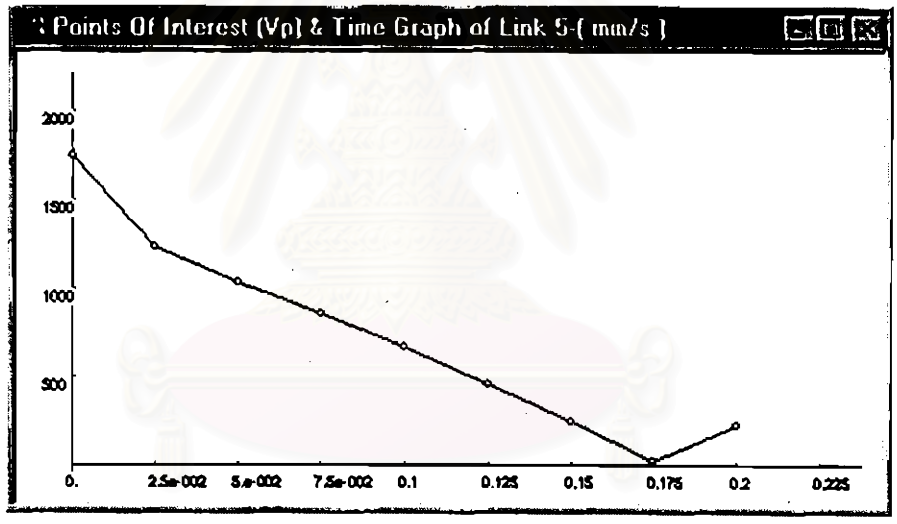


รูปที่ 6.60 กลไกปิดหน้าต่างเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3

ตารางที่ 6.22 ค่าตัวแปรเลือกอิสระของกลไก 6 ก้านต่อ แบบมีข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถลในงานหน้าต่าง

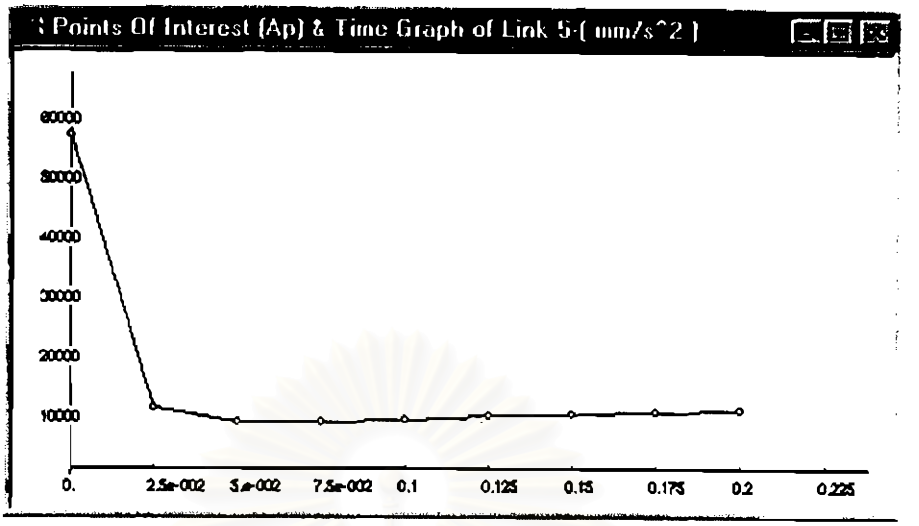
ตำแหน่งยึดอยู่กับที่		มุมก้านส่ง			
1					
$\beta_2(330°)$ $\beta_3(279°)$		ก้านต่อ 3		ก้านต่อ 6	
x	y	γ_2	γ_3	γ_2	γ_3
-72.119	0.0	5	40	20	50

จากตารางที่ 6.22 เป็นค่าตัวแปรเลือกอิสระกำหนดเพื่อจะสังเคราะห์กลไก โดยที่กำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อนจะได้กลไกดังรูปที่ 6.58 กลไกเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 6.58 รูปที่ 6.59 และรูปที่ 6.60 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนที่มาหยุดอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งปิดหน้าต่างดังรูปที่ 6.60 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ ซึ่งกลไกจะได้มาจากการทำวงวนซ้ำโดยการเปลี่ยนแปลงค่า Z_9 ซึ่งในกลไกนี้มี 2 ตัว ก็คือที่ข้อต่อ r_3 ถึง r_4 และที่ r_5 ถึง p_5 จะทำการเปลี่ยนแปลงทำวงวนซ้ำทีละตัว ซึ่งในที่นี้จะกำหนดระยะทางของ r_5 ถึง p_5 ไว้ก่อนโดยดูจากความเหมาะสมของกลไกและกำหนดไม่เกินขอบเขตของความกว้างของรางเลื่อนหน้าต่าง ดังนั้นจึงทำวงวนซ้ำที่ระยะทางระหว่างข้อต่อที่ r_3 ถึง r_4 ซึ่งได้เปลี่ยนตำแหน่งของ r_3 ไปรอบๆ ตำแหน่งของ r_4 จากนั้นก็ทำตามวิธีการทำวงวนซ้ำดังรูปที่ 6.1 ผู้ออกแบบสามารถกำหนดตัวแปรเลือกอิสระตัวอื่นๆ เป็นตัวแปรเลือกอิสระเปลี่ยนแปลงได้ (Change Free Choice) เมื่อพิจารณาดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกแล้วเห็นว่าเหมาะสม



รูปที่ 6.61 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 ในงานบานพับหน้าต่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.62 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 ในงานบานพับหน้าต่าง

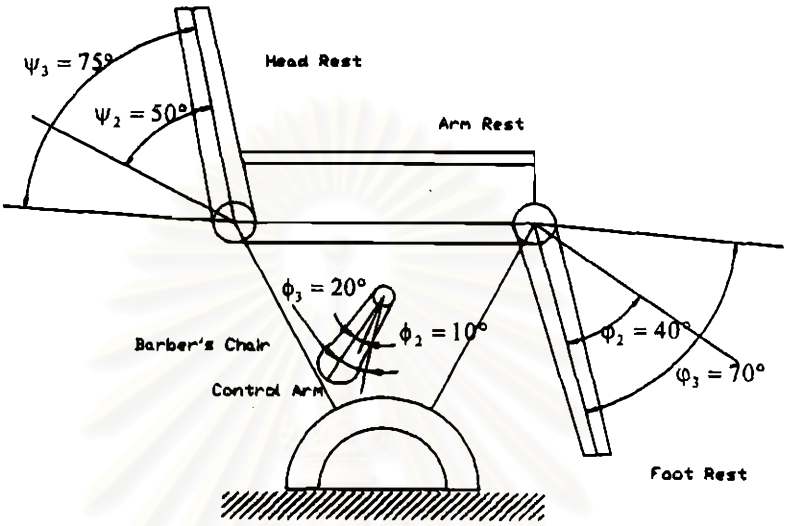
ตารางที่ 6.23 ค่าคิเนแมติกงานบานพับหน้าต่างที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
1740.6	1232.7	453.8	55632	9727	8364	0	0.025	0.125

รูปที่ 6.61 และรูปที่ 6.62 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 4 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 6 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 10000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 9 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.025 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.23 เมื่อตำแหน่ง p_5 บนก้านต่อ 5 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความเร่งสูงในตำแหน่งแรก เพราะมุมในการส่งผ่านแรงระหว่างก้านต่อ 2 และ ก้านต่อ 6 เล็กมาก และก้านต่อ 3 กับก้านต่อ 4 ก็เป็นจุดตาย ซึ่งมีไว้เพื่อล็อกบานพับหน้าต่าง จึงต้องใช้แรงมากเพื่อทำให้กลไกผ่านจุดนี้และสามารถเคลื่อนต่อไปได้ จากนั้นพอมาถึงตำแหน่งที่ 2 และ 3 ความเร็วและความเร่งเริ่มช้าลง เพื่อให้เวลาปิดหน้าต่างปิดไม่ให้เกิดเสียงดังเพราะการกระแทกของหน้าต่าง แต่ถ้าต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นก็อาจเพิ่มความเร็วและความเร่งของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) หรืออาจจะทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเลือกอิสระ และทำวงวนซ้ำเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

6.7 กลไกที่เกิดจากการเอากลไกหนึ่งต่อกับอีกกลไกหนึ่ง

การทดสอบที่ 9 ต้องการกลไกที่ใช้สำหรับเก้าอี้ตัดผมเพื่อควบคุมที่พักศีรษะและที่พักเท้าโดยใช้แขนเพียงข้างเดียวดังรูปที่ 6.63



รูปที่ 6.63 งานเก้าอี้ตัดผม

แบ่งการออกแบบกลไกเป็น 2 กลไก คือกลไกสำหรับควบคุมที่พักศีรษะ กับกลไกสำหรับควบคุมที่พักเท้า ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ จะแสดงการนำกลไกพื้นฐานที่ได้ออกแบบไว้แล้วมาต่อเชื่อมกัน เป็นกลไกใหม่อีก 1 กลไก ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งจะไม่แสดงขั้นตอนอย่างละเอียดในการสังเคราะห์กลไก และจำลองการเคลื่อนที่ของกลไก เพราะได้แสดงขั้นตอนอย่างละเอียดพอสมควรไว้แล้วในการทดสอบที่ผ่านมาของกลไก 4 ก้านต่อ

6.7.2 กลไกสำหรับควบคุมที่พักศีรษะ

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.63 ก็คือความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ หรือแรงของตัวส่งเข้า (Inputs) และตัวส่งออก (Outputs)

- มุมของก้านต่อตัวส่งเข้า

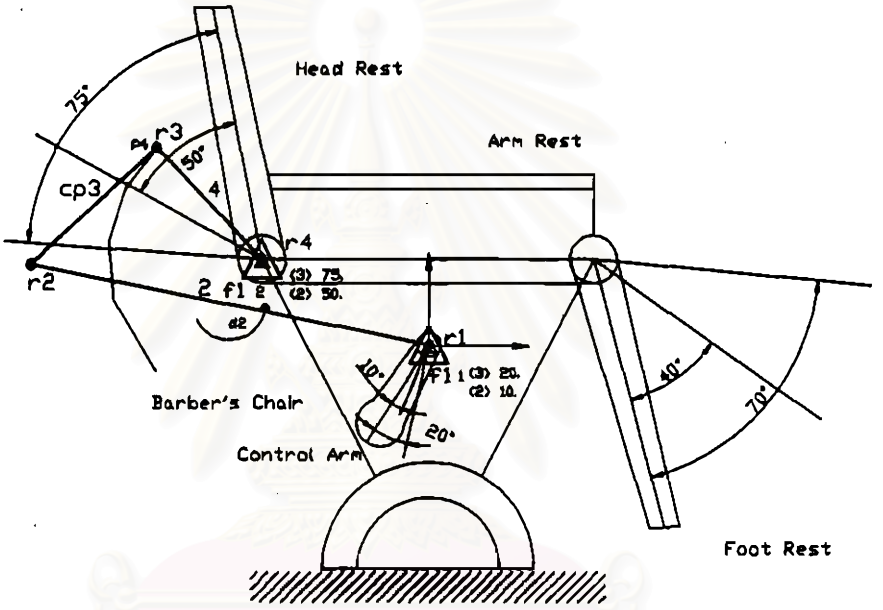
$$\phi_2 = 10°, \quad \phi_3 = 20°$$

- มุมของก้านต่อตัวส่งออก

$$\psi_2 = 50°, \quad \psi_3 = 75°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านส่ง คือ γ_2, γ_3

ข้อพิจารณาเบื้องต้น จากรูปที่ 6.63 ต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ไปควบคุมที่พักศีรษะ โดยได้กำหนดมุมที่ก้านต่อส่งเข้าและก้านต่อส่งออกไว้ เพราะกำหนดให้เป็นมุมที่เหมาะสมสำหรับการนอนไว้แล้ว และการเคลื่อนที่อยู่ในลักษณะของการหมุน ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้มีตัวส่งกำลังขับเคลื่อนที่หมุนได้ 2 ทาง โดยหมุนทวนเข็มและหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นจะทดลองกำหนดมุมเริ่มต้นก่อนดังตารางที่ 6.24 วิธีที่จะสังเคราะห์เชิงมิตินี้จะใช้สมการวงวนปิดของกลไก 4 ก้านต่อ



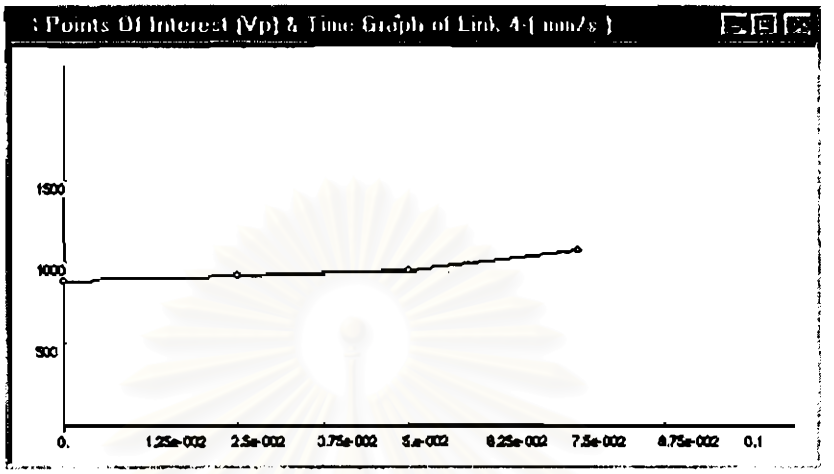
รูปที่ 6.64 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมที่พักศีรษะ

ตารางที่ 6.24 ค่าตัวแปรเลือกอิสระกลไกควบคุมที่พักศีรษะ

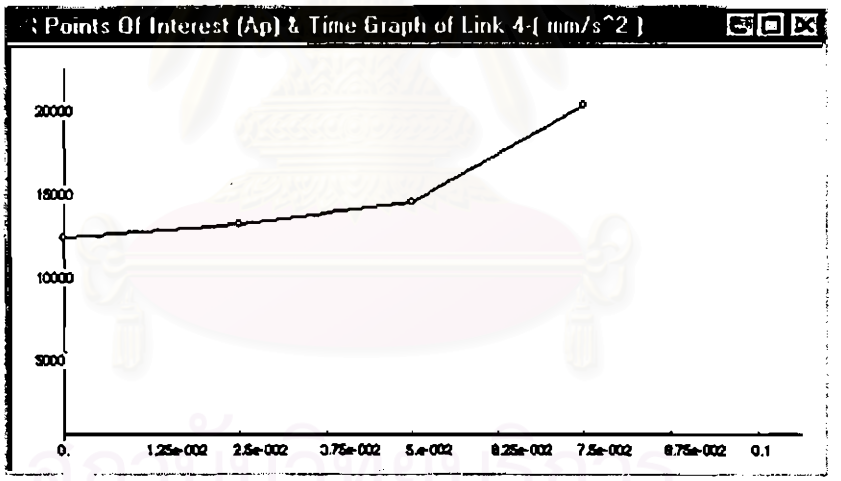
ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมหมุนของก้านส่ง		ปัญหา
1		2				
x	y	x	y	γ_2	γ_3	
0.0	0.0	-70	36	75	70	-

ตารางที่ 6.24 เป็นการกำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก โดยกำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อน และเนื่องจากในกรณีนี้เป็นลักษณะงานฟังก์ชันเจนเนอเรชันที่สนใจมุมของก้านต่อส่งเข้าและมุมของก้านต่อส่งออก ดังนั้นตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ที่แสดงในตารางค่าตัวแปรเลือกอิสระ จะวัดเทียบกับตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ 1 จะได้กลไก

ดังรูปที่ 6.64 ซึ่งกลไกก้านต่อส่งออกเคลื่อนที่ได้มากกว่า 75 องศา ซึ่งครอบคลุมมุมที่กำหนดไว้แล้ว



รูปที่ 6.65 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่พักศีรษะ



รูปที่ 6.66 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่พักศีรษะ

ตารางที่ 6.25 ค่าคิเนแมติกงานควบคุมที่พักศีรษะก้านต่อส่งออกที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{sec^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
872.14	901.65	941.31	11828	12596	13889	0	0.025	0.05

รูปที่ 6.65 และรูปที่ 6.66 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 3 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 4 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 5000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.125 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที

และตารางที่ 6.25 เมื่อตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อทำวงวนซ้ำหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

6.7.3 กลไกสำหรับควบคุมเท้า

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 6.63 ก็คือความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ หรือแรงของตัวส่งเข้า (Inputs) และตัวส่งออก (Outputs)

- มุมของก้านต่อตัวส่งเข้า

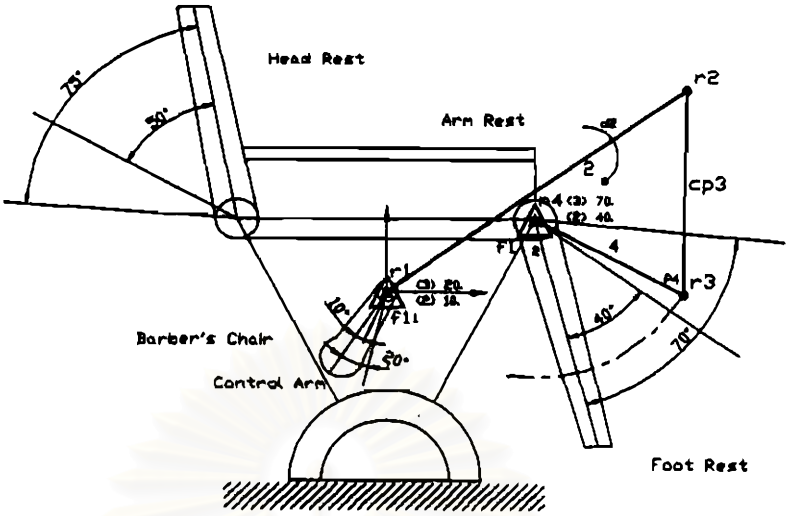
$$\phi_2 = 10°, \quad \phi_3 = 20°$$

- มุมของก้านต่อตัวส่งออก

$$\varphi_2 = 40°, \quad \varphi_3 = 70°$$

ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) จะต้องเลือกมุมของก้านส่ง คือ γ_2, γ_3

ข้อพิจารณาเบื้องต้น จากรูปที่ 6.63 ต้องการให้กลไกเคลื่อนที่ไปควบคุมที่พักเท้าโดยได้กำหนดมุมที่ก้านต่อส่งเข้าและก้านต่อส่งออกไว้ เพราะกำหนดให้เป็นมุมที่เหมาะสมสำหรับการวางเท้าไว้แล้ว และการเคลื่อนที่อยู่ในลักษณะของการหมุน ดังนั้นข้อต่อที่ง่ายที่สุดแล้วหมุนได้ ก็คือข้อต่อคู่สัมผัสหมุน และกำหนดให้ก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อนหมุนได้ 2 ทาง ซึ่งจะทดลองกำหนดมุมเริ่มต้นให้ก่อนดังตารางที่ 6.26 วิธีที่จะสังเคราะห์เชิงมิตินี้จะใช้สมการวงวนปิดของกลไก 4 ก้านต่อ

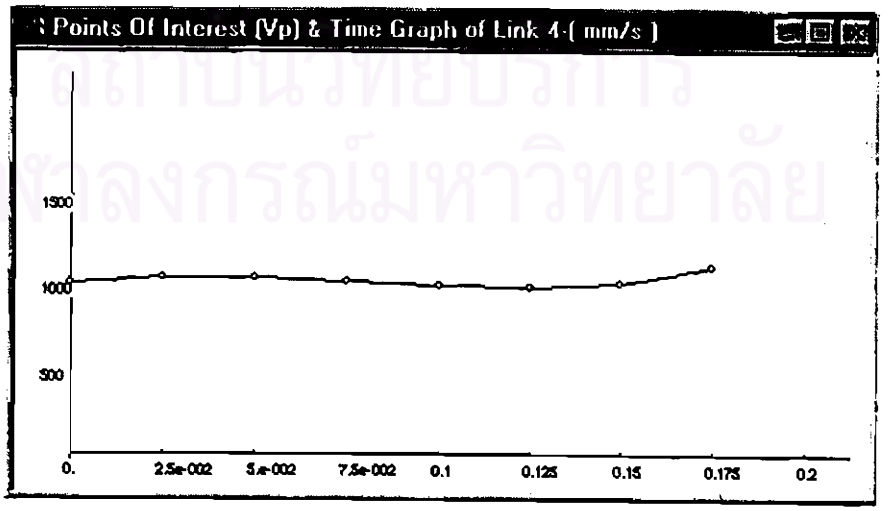


รูปที่ 6.67 กลไกเมื่อเคลื่อนที่ควบคุมที่พักเท้า

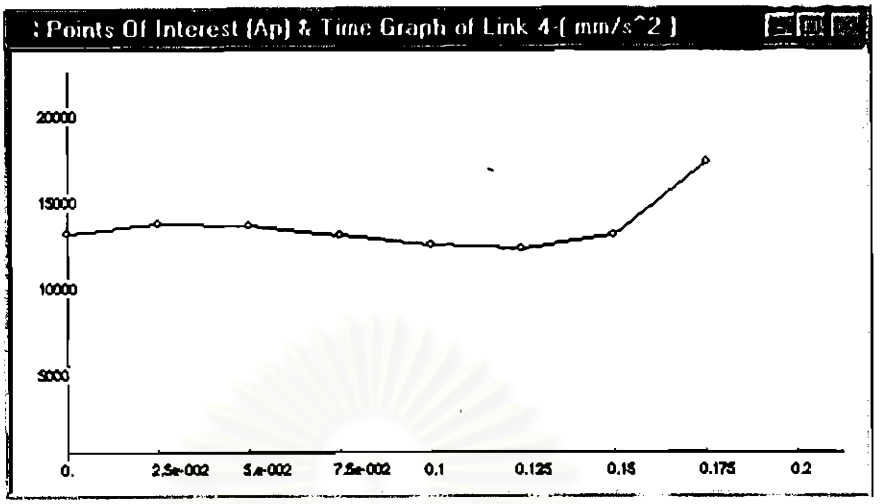
ตารางที่ 6.26 ค่าตัวแปรเลือกอิสระกลไกควบคุมที่พักเท้า

ตำแหน่งยึดอยู่กับที่				มุมหมุนของก้านส่ง		ปัญหา
1		2				
x	y	x	y	γ_2	γ_3	
0.0	0.0	70	36	80	90	-

ตารางที่ 6.26 กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก โดยกำหนดก้านต่อ 2 เป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อนจะได้กลไกดังรูปที่ 6.64 ก้านต่อส่งออกเคลื่อนที่ได้มากกว่า 70 องศา



รูปที่ 6.68 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่พักเท้า



รูปที่ 6.69 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ในงานควบคุมที่พักเท้า

ตารางที่ 6.27 ค่าคิเนแมติกงานควบคุมที่พักเท้าก้านต่อส่งออกที่เงื่อนไข 3 ตำแหน่ง

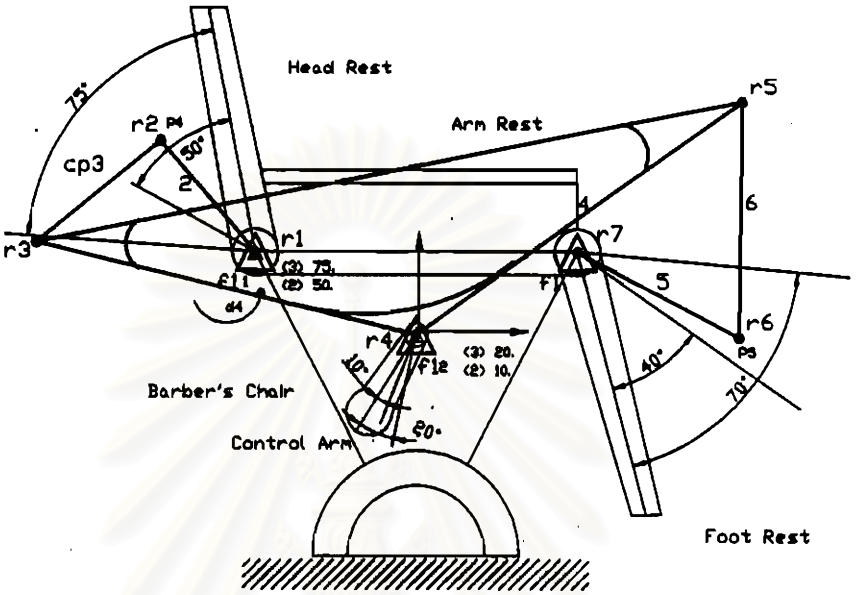
ความเร็วที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{\text{sec}}\right)$			ความเร่งที่ตำแหน่ง $\left(\frac{mm}{\text{sec}^2}\right)$			เวลา (Second)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
945.71	843.4	703.4	11731	10298	8688	0	0.025	0.05

รูปที่ 6.68 และรูปที่ 6.69 แสดงความเร็วและความเร่งของตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 ซึ่งมีแกนตั้งนั้น แสดงค่าความเร็วใช้แทนด้วย Vp มีหน่วยเป็น *mm*/sec ซึ่งแกนตั้งมี 3 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 500 *mm*/sec และความเร่งใช้แทนด้วย Ap มีหน่วย *mm*/sec^2 ซึ่งแกนตั้งนั้นมี 4 ช่องและ 1 ช่องเท่ากับ 5000 *mm*/sec^2 ส่วนแกนนอนมี 8 ช่อง และ 1 ช่องเท่ากับ 0.025 วินาที แสดงค่าของเวลามีหน่วยเป็นวินาที และตารางที่ 6.27 เมื่อตำแหน่ง p_4 บนก้านต่อ 4 นี้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่กำหนดตำแหน่งเงื่อนไขไว้ล่วงหน้าทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถพิจารณาดูได้ว่าที่ 3 ตำแหน่งนี้มีความเร็วและความเร่ง เป็นที่น่าพอใจหรือไม่ เราสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อทำวงวนซ้ำหาค่าที่เหมาะสมได้ต่อไป

6.7.4 กลไกเก้าอี้ตัดผม

การรวมกลไกพื้นฐาน 4 ก้านต่อทั้งสองกลไกเข้าด้วยกันนั้นจะดำเนินการตามขั้นตอนในหัวข้อ 5.4.9 จะได้กลไกใหม่อีก 1 กลไกดังรูปที่ 6.70 ซึ่งเป็นกลไกที่มีจำนวนก้านต่อมากขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นผู้ออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องทำการสังเคราะห์กลไกที่มีความซับซ้อนมากและมีจำนวนก้านต่อมากๆ ตั้งแต่ครั้งแรก เพราะจะทำให้ทำการออกแบบได้ลำบากและ

ใช้เวลานาน ดังที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว ในกลไก 7 ก้านต่อ และ 8 ก้านต่อนั้น จะมีตัวแปรเลือกอิสระจำนวนมากขึ้น แต่วิธีนี้ก็จะขึ้นอยู่กับว่าผู้ออกแบบสามารถจะพิจารณาได้หรือไม่ว่าจะแบ่งกลไกที่ซับซ้อนนี้เป็นกลไกพื้นฐานย่อยๆ อย่างไร



รูปที่ 6.70 กลไกควบคุมเก้าอี้ตัดผม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย