

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยวิเคราะห์กลไกแบบปิด

A COMPUTER AIDED SOFTWARE FOR ANALYSIS OF CLOSED MECHANISMS

รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Email: fmevsv@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไกที่เคลื่อนที่อยู่นั้นเพื่อให้ได้กลไกแบบปิดที่เหมาะสม โดยผู้ใช้จะต้องกำหนดคุณสมบัติชนิดของก้านที่ต้องการ และกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้า 3 ตำแหน่ง เพื่อให้กลไกที่จะออกแบบขึ้นนี้เคลื่อนที่ผ่าน และสามารถจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกนั้นบนหน้าจอซอฟต์แวร์ออโตแคดรีลีส 14 จากนั้นแสดงข้อมูลการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่สนใจที่จะพิจารณาบนก้านต่อต่างๆ โดยที่ผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบและแก้ไขกลไกนี้ ไปในเวลาเดียวกันได้

ซอฟต์แวร์นี้พัฒนาบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดวส์ ซึ่งเป็นระบบติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิกและใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ออโตแคดรีลีส 14 โดยใช้ข้อดีแคดเออาร์เอ็กซ์

Abstract

This thesis is to develop a computer-aided software for synthesis and analysis of planar motion for appropriated close-mechanism. The users needed to provided links type properties and three prescribed positions, which the mechanism will pass through. The motion of the

mechanism will be simulated and display on the screen, under AutoCAD release 14, as well as the motion information of each link at the desired point on the link. The designer can also perform interactive design and modification.

Microsoft Visual C++ and Windows GUI (Graphical User Interface) are used as developing tool. The software will interface with AutoCAD release 14 through the AutoCAD ARX.

บทนำ

ในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบันนี้นิยมนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ ถ้าหากไม่มีซอฟต์แวร์ที่ดีมาช่วยแก้ไขปัญหาจัดการเกี่ยวกับกระบวนการทำงานให้เป็นระบบ

ซอฟต์แวร์ที่จำหน่ายโดยทั่วไปในท้องตลาดนั้น มีราคาสูงมาก จึงเป็นสิ่งที่เกิณกำลังสำหรับผู้ออกแบบรุ่นใหม่ หรือนักศึกษาโดยทั่วไปที่จะใช้ซอฟต์แวร์นี้ เพื่อฝึกฝนหาความรู้และความชำนาญในการออกแบบกลไก

ปัญหาส่วนใหญ่ของการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไกโดยทั่วไป คือในการออกแบบกลไกนั้นส่วนใหญ่จะใช้ผู้ออกแบบที่มีความชำนาญ ซึ่งใช้ประสบการณ์และความรู้สึกเข้า

มาช่วยในการออกแบบกลไกที่มีการกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ไว้ล่วงหน้า ซึ่งนักออกแบบที่มีความสามารถดังกล่าวนี้จะต้องใช้เวลาในการสะสมประสบการณ์ในการออกแบบมาอย่างมาก ดังนั้นการที่ผู้ออกแบบรุ่นใหม่ที่ยังมีประสบการณ์ในการออกแบบมาไม่มาก เมื่อต้องการออกแบบกลไกเพื่อตอบสนองลักษณะงานที่ต้องการ อาจจะสับสนว่าจะต้องรู้อย่างละเอียดเกี่ยวกับค่าที่ใช้ในการออกแบบอย่างไรบ้าง และค่าเหล่านั้นมีความสัมพันธ์ หรือมีความจำเป็นอย่างไรกับลักษณะงานนั้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นำมาซึ่งการออกแบบนั้นเสียเวลาก่อนข้างมากเพราะจะต้องทำการลองผิดลองถูก โดยการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ แล้วคำนวณใหม่ซ้ำไปซ้ำมา ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้นนี้จะช่วยในการแก้ปัญหาให้มีความสะดวกในการพัฒนาประสบการณ์ในการออกแบบกลไกได้เร็วขึ้น ซึ่งใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ออดิแอด โดยใช้ไลบรารี (Library) ของออดิแอด ซึ่งเรียกว่า ออบเจกต์เออาร์เอ็กซ์ (ObjectARX) ในการเข้าถึงโครงสร้างข้อมูลภายในออดิแอดนั้น

การสังเคราะห์เชิงรูปแบบ (Type Synthesis)

การสังเคราะห์เชิงรูปแบบ คือการเลือกกลไกที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ นั่นคือการกำหนดลักษณะงานชนิดหนึ่งขึ้นมา แล้วหาชนิดของกลไกที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำงานนี้ได้ และในการออกแบบกลไกเพื่อให้ได้กลไกที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการนั้น จำเป็นต้องพิจารณาการสังเคราะห์เชิงจำนวน โดยการประยุกต์ใช้สมการของกรูเบล (Gruebler's Equation)

$$F = 3(N - 1) - 2J_1 \quad (1)$$

ซึ่งถ้าระดับขั้นเสรีเป็นจำนวนเลขคี่ จำนวนก้านต่อของกลไกจะต้องเป็นจำนวนเลขคู่ และถ้าระดับขั้นเสรีเป็นจำนวนเลขคู่ จำนวนก้านต่อของกลไกก็จะต้องเป็นจำนวนเลขคี่ เช่น ถ้าระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 จำนวนก้านต่อที่เป็นได้คือ 4,6,8... เป็นต้น

เมื่อได้จำนวนของก้านต่อที่เป็นไปได้แล้ว ต่อไปจะต้องพิจารณาลำดับของก้านต่อกับข้อต่อต่าง ๆ ที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนของก้านต่อและระดับขั้นเสรีที่กำหนดไว้ ซึ่งเมื่อนำเอาจำนวนที่ลำดับต่าง ๆ กันมาต่อกันด้วยข้อต่อแล้ว

นั้น ก็จะได้รูปแบบของกลไกได้หลายรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น ถ้าต้องการเอาก้านต่อต่าง ๆ ที่มีจำนวนมากถึง 8 ก้านต่อ ซึ่งมีลำดับตั้งแต่ 2 ถึง 6 มาต่อกันโดยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ได้กลไกที่ระดับขั้นเสรี (ร.ข.ส) เท่ากับ 1 โดยใช้เฉพาะแต่ข้อต่อแบบหมุน และเป็นคู่สัมผัสเชิงเดี่ยว (Simple Pairs) เท่านั้น กล่าวคือข้อต่อที่ประกอบด้วยก้านต่อสองก้านต่อมาต่อกัน โดยที่กำหนดให้ลำดับของก้านต่อต่าง ๆ เป็นดังนี้

B = จำนวนก้านต่อทวิภาค (Binary Link)

T = จำนวนก้านต่อไตรภาค (Ternary Link)

Q = จำนวนก้านต่อจตุภาค (Quaternary Link)

P = จำนวนก้านต่อเบญจภาค (Pentagonals Link)

H = จำนวนก้านต่อหกข้อต่อ (Hexagonals Link)

ซึ่งต้องนำก้านต่อชนิดต่าง ๆ มาต่อกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนก้านต่อของ D.O.F เท่ากับ 1

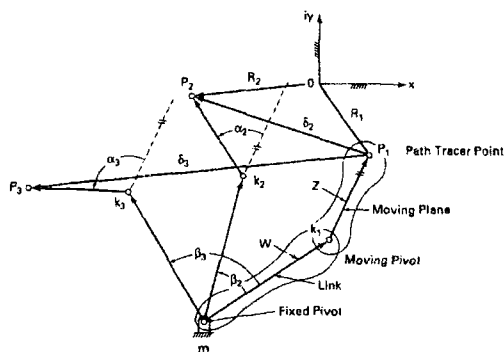
จำนวน ก้านต่อ	B	T	Q	P	H
4	4	0	0	0	0
6	4	2	0	0	0
6	5	0	1	0	0
8	7	0	0	0	1
8	4	4	0	0	0
8	5	2	1	0	0
8	6	0	2	0	0
8	6	1	0	1	0

การสังเคราะห์เชิงมิติ (Dimension Synthesis)

การสังเคราะห์เชิงมิติ คือการหาสัดส่วน เช่นความยาวของก้านต่อต่าง ๆ การกำหนดระยะของจุดหมุนที่อยู่กับที่ของกลไก เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ

โดยทั่ว ๆ ไปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกลไกที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ 2 มิติ จะใช้เวกเตอร์ (Vectors) แทนก้านต่อเพื่อจะทำการสังเคราะห์กลไก เราสามารถสังเคราะห์กลไกได้โดยการจำลองกลไกที่ประกอบกันด้วยส่วนของเวกเตอร์ เรียกว่า ไดแอด (Dyads)

การสังเคราะห์ทางคิเนแมติกที่ทำงานตามปกติคือการหาฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation) พาทเจนเนอเรชัน (Path Generation) และโมชันเจนเนอเรชัน (Motion Generation) ทั้ง 3 แบบนี้สามารถจัดให้มีสมการที่เป็นมาตรฐานได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับกลไกมากกว่า 4 ก้านต่อได้ จากการกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลวดหน้า 3 ตำแหน่ง



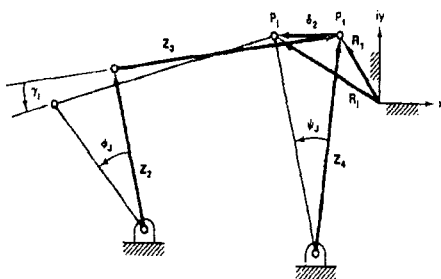
รูปที่ 1 ไดแอต W, Z กับการกำหนด β_j

$$W(e^{i\beta_j} - 1) + Z(e^{i\alpha_j} - 1) = R_j - R_1 = \delta_j \quad (2)$$

โดย $j = 2, 3$

จากสมการ (2) แก้สมการหาค่า W, Z ได้โดยใช้วิธีหลักเกณฑ์คราเมอร์ (Cramer's Rule) ได้

จากตารางที่ 2 กรณีของโมชันเจนเนอเรชันและพาทเจนเนอเรชันจะใช้สมการ (2) เพียงเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่กำหนดค่าลวดหน้าและค่าตัวแปรเลือกอิสระต่างกันเท่านั้น ส่วนกรณีของฟังก์ชันเจนเนอเรชันนั้น จะเพิ่มตัวแปรเลือกอิสระ Z_4 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กลไก 4 ก้านต่อ สำหรับฟังก์ชันเจนเนอเรชัน (Function Generation)

$$Z_2(e^{i\phi_j} - 1) + Z_3(e^{i\psi_j} - 1) = Z_4(e^{i\psi_j} - 1) = \delta_j \quad (3)$$

ตารางที่ 2 การกำหนดตัวแปรที่กำหนดค่าลวดหน้า และตัวแปรเลือกอิสระ

Dyad Task	Prescribed Variables	Free Choices
Motion generation	α_2 α_3 δ_2 δ_3	β_2 β_3
Path generation with prescribed timing	β_2 β_3 δ_2 δ_3	α_2 α_3
Function generation	ϕ_2 ϕ_3 ψ_2 ψ_3	γ_2 γ_3 Z_4

กำหนดตำแหน่งก้านต่อยึดอยู่กับที่ (Ground Pivot Specification)

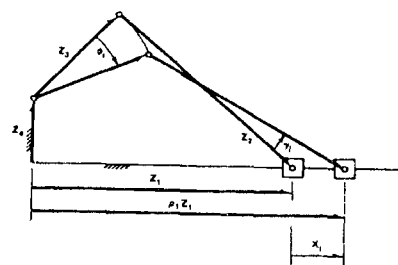
เป็นการกำหนดตัวแปรเลือกอิสระ β_j โดยอ้อม ซึ่งจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งที่ยึดอยู่กับที่ของก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ก่อน แล้วจากนั้นคำนวณหา β_j

$$\begin{aligned} D_1 &= R_3 e^{i\alpha_2} - R_2 e^{i\alpha_3} \\ D_2 &= R_1 e^{i\alpha_3} - R_3 \\ D_3 &= R_2 - R_1 e^{i\alpha_2} \end{aligned} \quad (4)$$

หา β_2, β_3

$$\begin{aligned} \beta_2 &= 2 \arg(-D_1) - \arg(D_2) - \arg(D_2 e^{i\alpha_2}) \\ \beta_3 &= 2 \arg(-D_1) - \arg(D_3) - \arg(D_3 e^{i\alpha_3}) \end{aligned} \quad (5)$$

สมการวงวนปิดของกลไก ตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Loop Closure Equation of Slider-Crank)



รูปที่ 3 กลไก 4 ก้านต่อแบบตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง

จากรูปที่ 3 จะได้สมการ

$$\begin{aligned} Z_4 + Z_3 + Z_2 - Z_1 &= 0 \\ Z_4 + Z_3 e^{i\phi_j} + Z_2 e^{i\gamma_j} - \rho_j Z_1 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

ค่าที่ต้องกำหนดตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ ϕ_j, ρ_j

ค่าที่ต้องกำหนดตัวแปรเลือกอิสระ คือ γ_j

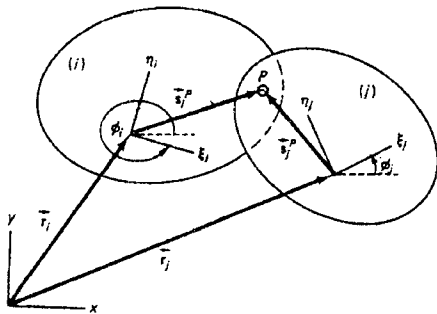
อัตราส่วนการเลื่อนของอุปกรณ์เลื่อนไถล (Slider)

$$\rho_j = \frac{Z_1 + x_j}{Z_1} \quad (7)$$

การวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematic Analysis)

ในการวิเคราะห์คิเนแมติกในงานวิจัยนี้จะหาค่าของการกระจัด ความเร็ว และความเร่งของกลไก ซึ่งจะใช้วิธีการพิจารณาสมการเงื่อนไขบังคับ (Constraint Equations) เช่น เงื่อนไขบังคับของข้อต่อแบบคู่สัมผัสหมุน เงื่อนไขบังคับของข้อต่อแบบคู่สัมผัสเลื่อนไถล และเงื่อนไขบังคับของก้านต่อที่ถูกยึดอยู่กับที่เป็นต้น ซึ่งสมการเงื่อนไขบังคับเหล่านี้จะทำให้ลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อทั้งหมด เพื่อให้เหลือจำนวนระดับขั้นเสรีที่ต้องการสำหรับกลไกที่จะออกแบบนั้น ซึ่งสมการเงื่อนไขบังคับทั้งหมดนี้เมื่อเอามาหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ก็จะเป็นสมการหาความเร็วของกลไกได้และเมื่อนำมาหาอนุพันธ์อันดับสองก็จะเป็นสมการหาความเร่งของกลไก

ข้อต่อคู่สัมผัสหมุน (Revolute Joint)



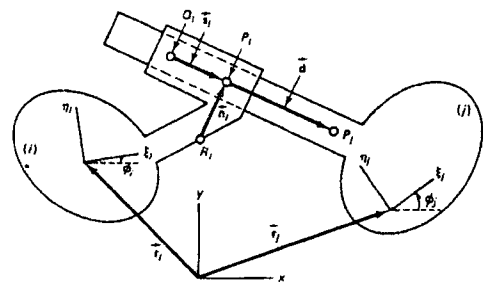
รูปที่ 4 ก้านต่อ i และ j ต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสหมุนที่จุด P

จากรูปที่ 4 จะได้สมการเงื่อนไขบังคับสำหรับข้อต่อคู่สัมผัสหมุนจากสมการวงวนเวกเตอร์ (Vector Loop Equation) ดังนี้

$$\Phi^{(r,2)} = \begin{bmatrix} x_i + \xi_i^P \cos \phi - \eta_i^P \sin \phi - x_j - \xi_j^P \cos \phi + \eta_j^P \sin \phi \\ y_i + \xi_i^P \sin \phi - \eta_i^P \cos \phi - y_j - \xi_j^P \sin \phi + \eta_j^P \cos \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

การต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสหมุน จะลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อไป 2

ข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล (Translation Joint)



รูปที่ 5 ก้านต่อ i และ j ต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล

จากรูปที่ 5 สมการสำหรับจำกัดความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับแนวทางการเคลื่อนที่ของการเลื่อนไถลและการหมุน ระหว่าง 2 ก้านต่อ คือก้านต่อที่ i และก้านต่อที่ j จะได้สมการเงื่อนไขบังคับสำหรับข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล

$$\Phi^{(t,2)} = \begin{bmatrix} (x_i^P - x_j^P)(y_i^P - y_j^P) - (y_i^P - y_j^P)(x_j^P - x_i^P) \\ \phi_i - \phi_j - (\phi_i^0 - \phi_j^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

โดยที่ ϕ_i^0, ϕ_j^0 คือมุมเริ่มต้นของการหมุน

การต่อด้วยข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล จะลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อไป 2

ก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link)

เป็นการกำหนดเงื่อนไขบังคับให้ก้านต่อให้เคลื่อนที่ในลักษณะหมุนไปตามเวลาโดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมตามที่กำหนด ดังนั้นระยะทางที่เคลื่อนที่เชิงมุมของก้านต่อเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น คือ

$$\phi_i = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \dot{\phi}^0 t + \phi^0 = d_1(t)$$

ดังนั้นสมการเงื่อนไขบังคับของก้านต่อส่งเข้าที่ใช้ขับเคลื่อนกลไกคือ

$$\Phi^{(d)} = \phi_i - d_1(t) = 0 \quad (10)$$

ϕ_i คือมุมของก้านต่อที่เวลา $t > 0$

$\dot{\phi}^0$ คือความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) ที่เวลา $t = 0$

α คือความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration)

ϕ^0 คือมุมของก้านต่อที่เวลา $t = 0$

การกำหนดก้านต่อใดส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Constraints) จะลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อไป 1

ก้านต่อยึดอยู่กับที่ (Ground Link)

เป็นการกำหนดเงื่อนไขบังคับของก้านต่อที่ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวทางใดๆ เลย ทั้งในการเคลื่อนที่เลื่อนขนานเชิงเส้น และในการเคลื่อนที่เชิงมุมดังนี้

$$\Phi = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ \phi_i \end{bmatrix} = 0 \quad (11)$$

การกำหนดก้านต่อใดยึดอยู่กับที่ (Ground Constraints) จะลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อไป 3

การวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematics Analysis)

สำหรับกลไกที่มีจำนวน n ก้านต่อ จะมีพิกัดเวกเตอร์ (Coordinate Vector) เป็น $3 \times n$ เวกเตอร์

$$\mathbf{q} = [\mathbf{q}_1^T, \mathbf{q}_2^T, \dots, \mathbf{q}_n^T]^T \\ = [x_1, y_1, \phi_1, x_2, y_2, \phi_2, \dots, x_n, y_n, \phi_n]^T$$

โดยที่ $\mathbf{q}$ ไม่มีตัวห้อย (Subscript) จะมีความหมายว่าเป็นพิกัดของเวกเตอร์สำหรับทั้งระบบกลไก

สมการการกระจัด (Displacement Equation)

จากสมการ (8), (9), (10) และ (11) คือสมการที่จะลดจำนวนระดับขั้นเสรีของก้านต่อทั้งหมดของกลไก ซึ่งจะเรียกสมการพวกนี้ว่า เงื่อนไขบังคับคิเนแมติก (Kinematic Constraints) จะมีจำนวนของสมการเท่ากับ

$$m = n - k$$

m = จำนวนสมการเงื่อนไขบังคับคิเนแมติกทั้งหมด

n = จำนวนพิกัดทั้งหมดของกลไก

k = จำนวนระดับขั้นเสรีของกลไก หรือจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับคิเนแมติกของก้านต่อส่งกำลังขับเคลื่อน

$$\Phi(\mathbf{q}) = 0 \quad (12)$$

$$\Phi^{(d)} = \Phi(\mathbf{q}, t) = 0 \quad (13)$$

ด้วยก (Superscript) (d) คือเงื่อนไขบังคับส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Constraints)

สมการ (12) และสมการ (13) ใช้แทนสมการพีชคณิตแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Algebraic Equations) n สมการ ซึ่งสามารถแก้สมการ n ตัวแปร กล่าวคือ $\mathbf{q}$ ที่กำหนดเวลา $t = t^i$ และการแก้สมการ (12) และสมการ (13) เป็นวิธีที่เพิ่มเงื่อนไขบังคับส่งกำลังขับเคลื่อนเข้าไปที่ท้ายของสมการเงื่อนไขบังคับคิเนแมติก (Appended Driving Constraints)

ดังนั้นมีสมการเงื่อนไขบังคับคิเนแมติก (Kinematic Constraints) ทั้งหมด $n = m + k$ สมการ

สมการความเร็ว (Velocity Equation)^(0.1)

$$\begin{bmatrix} \Phi_{\mathbf{q}} \\ \Phi_{\mathbf{q}}^{(d)} \end{bmatrix} \dot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\Phi_t^{(d)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

โดยที่ $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T$ คือเวกเตอร์ของความเร็ว (Vector Of Velocities)

$$\Phi_{\mathbf{q}} = \left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{q}} \right] = \left[\frac{\partial \Phi_i}{\partial q_j} \right]_{(m \times n)} \quad \text{ซึ่งจะบรรจุอนุพันธ์ย่อย}$$

ของสมการเงื่อนไขบังคับเทียบกับพิกัด นี้เรียกว่า เมทริกซ์เงื่อนไขบังคับจาโคเบียน (Constraint Jacobian Matrix)

สมการ (14) ใช้แทนสมการพีชคณิต (Algebraic Equations) n สมการและเป็นสมการเชิงเส้น (Linear) ในเทอม $\dot{\mathbf{q}}$

สมการความเร่ง (Acceleration Equation)

$$\begin{bmatrix} \Phi_{\mathbf{q}} \\ \Phi_{\mathbf{q}}^{(d)} \end{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} -(\Phi_{\mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}})_{\mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} \\ -(\Phi_{\mathbf{q}}^{(d)} \dot{\mathbf{q}})_{\mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} - 2\Phi_{\mathbf{q}}^{(d)} \dot{\mathbf{q}} - \Phi_{\mathbf{q}}^{(d)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

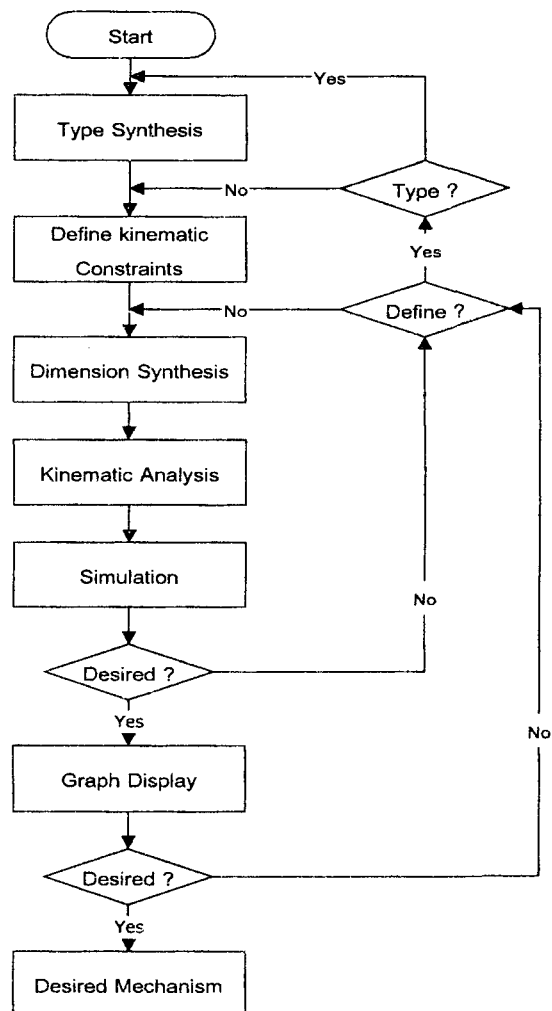
สมการ (15) ใช้แทนสมการพีชคณิต n สมการและเป็นสมการเชิงเส้นในเทอม $\ddot{\mathbf{q}}$

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การพัฒนาซอฟต์แวร์นี้ใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม (IBM PC/Compatible) ซึ่งใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพนเทียม 166 เอ็มเอ็มเอกซ์ (Pentium 166 MMX) และเขียนซอฟต์แวร์ด้วยภาษาวิซวลซีพลัสพลัส (C++) โดยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์วิซวลซีพลัสพลัสเวอร์ชัน 6 (Microsoft Visual C++ Version 6.0) เป็นเครื่องมือในการพัฒนา และใช้ไลบรารีออบเจกต์เออาร์เอ็กซ์ (ObjectARX Library) ที่เป็นไลบรารีที่สามารถจัดการกับฐานข้อมูล (Database) ของซอฟต์แวร์ออโตแคดได้

โฟลว์ชาร์ต (Flow Chart) ของซอฟต์แวร์

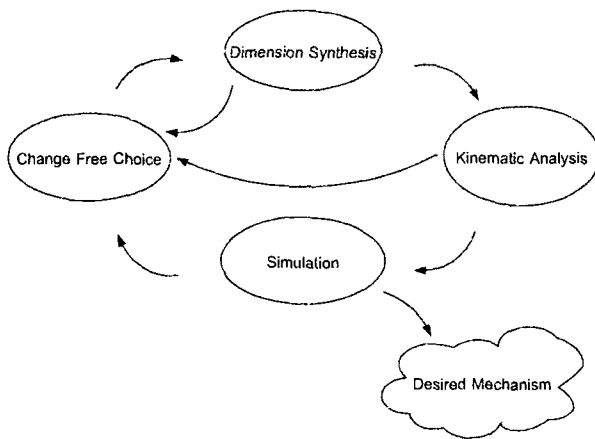
ในการออกแบบโดยใช้ภาษาโฟลว์ชาร์ตนั้นได้แบ่งออกเป็น 7 ส่วน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โฟลว์ชาร์ตของซอฟต์แวร์

ในการออกแบบกลไกเพื่อจะได้ค่าที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการอาจจะต้องมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระบางตัว แล้วทำการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไกใหม่ จากนั้นจำลองการเคลื่อนที่ เพื่อพิจารณาตรวจสอบการเคลื่อนที่และผลลัพธ์ทางคิเนแมติกของกลไก เพื่อเป็นแนวทางช่วยในการหาค่าตัวแปรเลือกอิสระที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการนั้น ซึ่งอาจจะต้องปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเลือกอิสระค่าใหม่หลายครั้ง แล้วคำนวณค่าที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบใหม่เป็นวงวนซ้ำไปซ้ำมา กว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมดังขบวนการการออกแบบจะเป็นไปดังที่แสดงไว้ใน

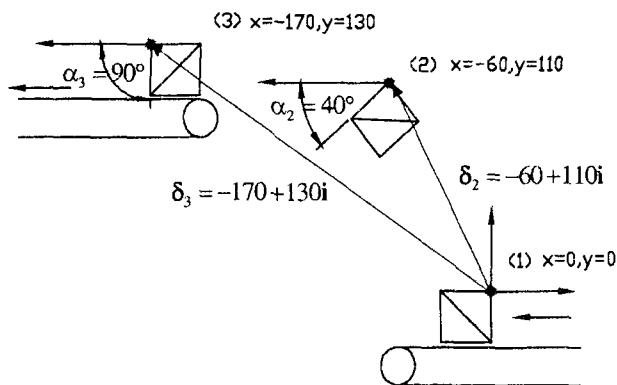
รูปที่ 7



รูปที่ 7 วงวน (Loop) ทำซ้ำในการออกแบบ

การทดสอบซอฟต์แวร์

ต้องการออกแบบกลไกเพื่อจะเคลื่อนย้ายกล่องจากสายพานที่หนึ่งด้านล่างขวามือขนย้ายขึ้นไปยังอีกสายพานหนึ่งด้านบนซ้ายมือดังรูปที่ 9 กลไกนี้จะต้องเคลื่อนที่และวางอยู่ระหว่างสายพานด้านล่างและสายพานด้านบน



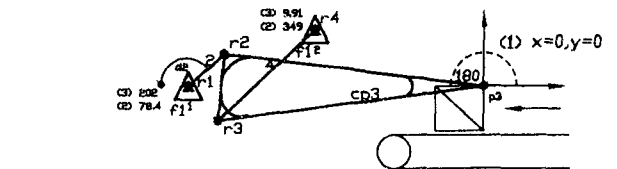
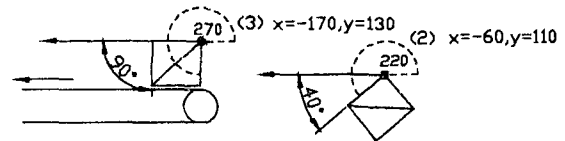
รูปที่ 9 งานที่ต้องการขนย้ายกล่องจากสายพาน

ตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า (Prescribed Variables) จากรูปที่ 9 จะต้องควบคุมเส้นๆ หนึ่งบนก้านต่อที่ต้องการให้ขนย้ายกล่อง ให้เคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยจะต้องผ่านทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นตัวแปรที่กำหนดค่าล่วงหน้า คือ

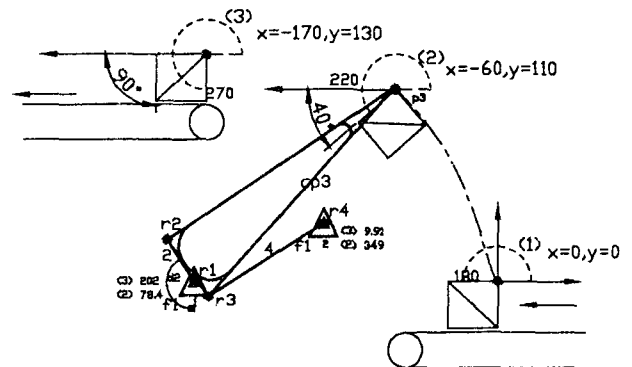
- เวกเตอร์ของแนวทางการเคลื่อนที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 ($\delta_2 = -60 + 110i$, $\delta_3 = -170 + 130i$)

- มุมของการวางทิศทาง (Orientation) กำหนดที่ใช้ในการขนย้ายกล่อง ($\alpha_2 = 40^\circ$, $\alpha_3 = 90^\circ$)

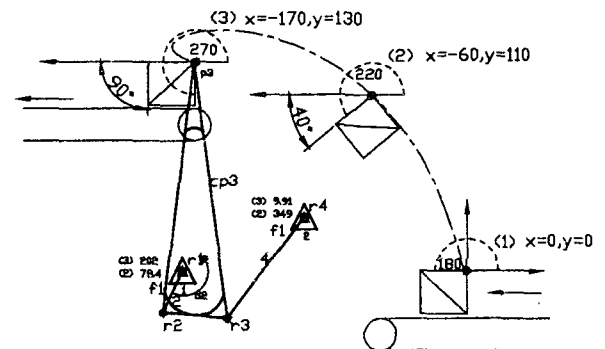
ตัวแปรเลือกอิสระ (Free Choice Variables) คือมุม β_2, β_3 ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Ground Pivot Specification) เพื่อหาค่า β_2, β_3 ดังนั้นตัวแปรเลือกอิสระ คือตำแหน่งก้านต่อที่ยึดอยู่กับที่



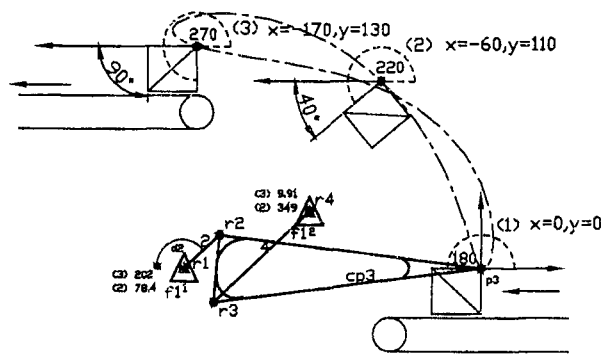
รูปที่ 10 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานที่ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 11 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2

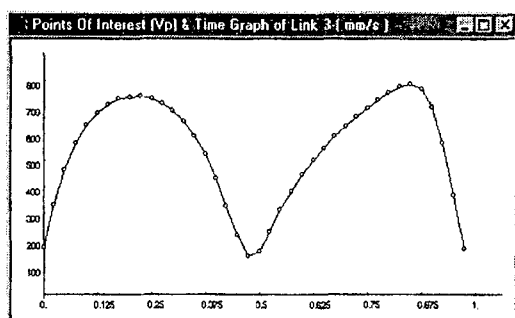


รูปที่ 12 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 3

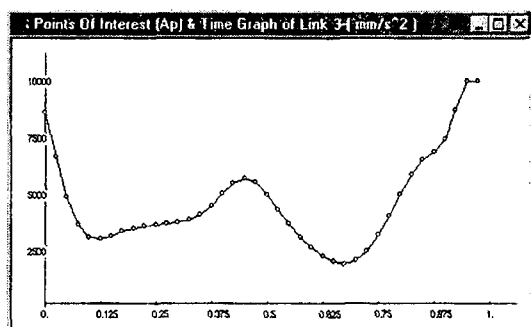


รูปที่ 13 กลไกขนย้ายกล่องจากสายพานเมื่อเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

กำหนดค่าตัวแปรเลือกอิสระเพื่อสังเคราะห์กลไก จะได้กลไกดังจากรูปที่ 10 ซึ่งกลไกเคลื่อนที่ผ่านได้ทั้ง 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 10 รูปที่ 11 และรูปที่ 12 จากนั้นกลไกจะเคลื่อนกลับมายังตำแหน่งที่ 1 เพื่อมาย้ายกล่องอันต่อไปดังรูปที่ 13 ซึ่งได้แสดงทางเดินของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 เมื่อกลไกเคลื่อนที่ และจะเห็นได้ว่าเมื่อกลไกเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ กลไกไม่ชนสายพานทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังนั้นกลไกนี้จึงใช้ได้



รูปที่ 14 กราฟความเร็วของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน



รูปที่ 15 กราฟความเร่งของตำแหน่ง p_3 บนก้านต่อ 3 ในงานขนย้ายกล่องจากสายพาน

สรุปผลการวิจัย

ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนามีคุณสมบัติดังนี้

1. ใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ออโตแคด (AutoCAD) ได้
2. สามารถหาจำนวนและลำดับของข้อต่อกับรอยต่อต่างๆ ที่จำเป็นและเป็นไปได้ สำหรับระดับขั้นเสรีที่กำหนด เพื่อให้ได้กลไกที่สามารถเคลื่อนที่ตามต้องการ และกลไกนี้จะเกิดจากการนำเอาข้อต่อต่างๆ มาต่อกันเป็นรูปแบบต่างๆ กัน ซึ่งเรียกว่าโซ่พื้นฐานคิเนแมติก (Basic Kinematic Chain) (BKC) ซึ่งรูปแบบต่างๆ เหล่านี้ ผู้วิจัยได้สร้างและเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลไว้แล้วเฉพาะรูปแบบที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป หรือผู้ใช้ซอฟต์แวร์จะสร้างรูปแบบขึ้นใหม่เองก็ได้แต่ต้องประกอบด้วยจำนวนและลำดับของข้อต่อที่ซอฟต์แวร์ได้คำนวณให้
3. จะต้องกำหนดชนิดของรอยต่อให้กับข้อต่อสองข้อต่อที่จะต่อกัน ซึ่งเป็นรอยต่อคู่สัมผัสเชิงเดี่ยว (Simple Pairs) โดยกำหนดได้ 2 ชนิด คือรอยต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถลและรอยต่อคู่สัมผัสหมุน และจะต้องกำหนดเงื่อนไขให้กับข้อต่อ คือข้อต่อส่งกำลังขับเคลื่อน (Driving Link) ข้อต่อกันส่ง (Coupler Link) ข้อต่อที่ยึดอยู่กับที่ (Fixed Link) ให้กับโซ่พื้นฐานคิเนแมติก
4. สามารถสังเคราะห์เชิงมิติให้กับกลไกได้โดยกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ของกลไกที่ต้องการไว้ล่วงหน้า 3 ตำแหน่ง
5. สามารถวิเคราะห์คิเนแมติกเพื่อหาค่าการกระจัดความเร็ว และความเร่ง
6. สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกที่ได้ออกแบบขึ้น เพื่อตรวจสอบดูการเคลื่อนที่ของกลไกว่าเคลื่อนที่ได้ตามผู้ออกแบบต้องการหรือไม่ เพราะกลไกที่ได้สังเคราะห์เชิงมิติขึ้นนั้นอาจจะไม่สามารถนำไปใช้ได้เลยทุกครั้งเมื่อสังเคราะห์เชิงมิติเสร็จ ควรจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกก่อนเพราะกลไกนั้นอาจมีจุดตาย ซึ่งทำให้กลไกหยุดการเคลื่อนที่ก่อนที่จะถึงตำแหน่งที่ต้องการ
7. สามารถแสดงกราฟคิเนแมติก เช่นความเร็วและความเร่ง เพื่อประกอบการพิจารณาในการออกแบบ โดยสามารถแสดงกราฟของข้อต่อต่างๆ ที่สนใจ

ใจได้ หรือตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่สนใจบนข้อต่อได้

8. สามารถทดลองเปลี่ยนแปลงค่าที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการสังเคราะห์และวิเคราะห์ โดยการท้าววนซ้ำตามรูปที่ 7 ซึ่งสามารถใช้เมาส์ลากปรับเปลี่ยนค่าความยาวของข้อต่อในกลไกและตำแหน่งเงื่อนไขต่างๆ ได้โดยตรงบนวินโดวส์หลักของซอฟต์แวร์อัตโนมัติ จนได้กลไกที่เหมาะสมกับความต้องการ
9. สามารถจัดเก็บกลไกไว้เป็นฐานข้อมูลและเรียกใช้กลไกที่ออกแบบไปแล้วได้
10. สามารถนำกลไกพื้นฐานที่ได้ออกแบบและจัดเก็บไว้ มาประกอบกันเป็นกลไกชุดใหม่ที่สลับซับซ้อนมากขึ้นได้
11. ช่วยในการศึกษาพฤติกรรมของกลไกเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และวิเคราะห์กลไก ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบเกิดความชำนาญในการออกแบบกลไกมากขึ้นเมื่อใช้ซอฟต์แวร์นี้เพื่อออกแบบบ่อยๆ จะทำให้สามารถคาดเดารูปร่างของกลไกได้โดยคร่าวๆ ในเบื้องต้นได้
12. มีระบบติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิก ซึ่งผู้ใช้สามารถทำงานกับซอฟต์แวร์นี้โดยใช้เมาส์เป็นเครื่องมือในการติดต่อกับซอฟต์แวร์

ในการทดสอบซอฟต์แวร์นี้กับภาวะเงื่อนไขตามลักษณะงานต่างๆ นั้น จะเห็นได้ว่าซอฟต์แวร์นี้เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบกลไกให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการนำกลไกไปใช้ โดยสามารถออกแบบกลไกให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในการจำลองการเคลื่อนที่ของกลไกนี้ก็เสมือนว่าได้มีกลไกที่ออกแบบนี้ไปวางอยู่ที่หน้างาน แล้วดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไกที่ออกแบบขึ้นนี้เมื่อนำไปใช้งาน ดูว่าเมื่อกลไกทำงานแล้วจะเป็นตามที่ต้องการหรือไม่ ก่อนที่จะนำกลไกนี้ไปสร้างใช้งานขึ้นจริง เพื่อความแน่ใจว่ากลไกที่จะสร้างขึ้นนี้ใช้งานได้แน่นอนแล้วจึงนำไปสร้างกลไกเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และไม่เสียเวลาที่จะต้องสร้างกลไกใหม่เมื่อกลไกนั้นไม่ได้ตามที่ต้องการ แต่ในการใช้ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบนี้จะออกแบบได้กลไกที่เหมาะสมตรงกับความต้องการของงานได้เร็ว หรือช้าก็ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบแต่ละคน

ในการพิจารณาและสังเกตดูพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกลไก เพื่อมาปรับแต่งค่าตัวแปรเลือกอิสระให้เหมาะสมตามต้องการ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นิรุช อำนวยศิลป์. คู่มือการเขียนซอฟต์แวร์ไมโครซอฟท์ วิซวลซีพลัสพลัส เวอร์ชัน 6.0 (Microsoft Visual C++ Version 6.0) ฉบับเพื่อการใช้งานจริง. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ชัคเชส มีเดีย จำกัด, 2542.

อิทธิพล ปานงาน และ ประเสริฐ เสริมศรีสุวรรณ. กลศาสตร์เครื่องจักรกล. เล่มที่ 1 และ เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522.

ภาษาอังกฤษ

Arthur G.Erdman and George N.Sandor. Mechanism Design Analysis and Synthesis. 3rd ed. USA: Published by Prentice-Hall, 1997.

AutoCAD Market Group. AutoCAD Software Development Kit (SDK). USA: Autodesk, 1997.

Ori Gurewich and Nathan Gurewich. Teach Yourself Visual C++ 5 in 21 Days. 4th ed. USA: Published by Sams, 1997.

Owen Ransen. AutoCAD programming in C/C++. USA: Published by John Wiley & Son, 1997.

Parviz E. Nikravesh. Computer-Aided Analysis of Mechanical Systems. USA: Published by Prentice-Hall, 1988.

Rusty Gesner. Maximizing AutoCAD R13. USA: Published by Autodesk Press, 1997.