บทที่ 2

การสังเคราะห์เชิงรูปแบบ (Type Synthesis)

ขั้นตอนในการออกแบบเครื่องจักรกลเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้นั้น ขั้นแรกผู้ออกแบบต้องกำหนดรูปแบบทั่วๆ ไปของเครื่องจักรกลนั้นขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงศึกษาการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องจักรกลนั้นๆ เช่นการกระจัด ความเร็ว และความเร่งว่าเหมาะสมกับการทำงานตามต้องการหรือไม่ การศึกษาการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า การวิเคราะห์คิเนแมติก (Kinematic Analysis) การวิเคราะห์อีกแบบที่เกี่ยวข้องกัน คือการสังเคราะห์คิเนแมติก (Kinematic Synthesis) ซึ่งเป็นการสร้างกลไกให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ล่วงหน้า

ในการออกแบบเครื่องจักรกลบางครั้งอาจต้องการสร้างกลไก หรืออุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะแบบขึ้นมา เช่นอาจต้องการนำวัตถุจากตำแหน่ง A ไป B ในช่วงเวลาที่กำหนด หรืออาจต้องการสร้างแนวทางเคลื่อนที่ในอากาศเพื่อที่จะได้นำชิ้นส่วนหนึ่งไปประกอบเข้าด้วยกันกับชิ้นส่วนอื่นๆ เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้แก้ได้โดยการสร้างกลไกให้มีการเคลื่อนที่ตามต้องการ ซึ่งก็คือ **การสังเคราะห์** นั่นเอง

การสังเคราะห์เชิงรูปแบบ คือการเลือกกลไกที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ นั่นคือการกำหนดลักษณะงานชนิดหนึ่งขึ้นมา แล้วหาชนิดของกลไกที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถทำงานนี้ได้ รวมทั้งหาจำนวนระดับขั้นเสรี (Degree Of Freedom) จำนวนและชนิดของก้านต่อของกลไกเป็นต้น การเลือกชนิดของกลไกต้องมีประสบการณ์และความรอบรู้เกี่ยวกับกลไกชนิดต่างๆ รวมทั้งวิธีการผลิต เช่นถ้าต้องการกลไกที่มีจุดๆ หนึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนบนสายพานการผลิตพร้อมกับฉีดน้ำยาเคมีเคลือบชิ้นส่วนนั้นขณะผ่านจุดที่กำหนดไว้ กลไกที่จะทำงานนี้ในเชิงพาณิชย์ต้องไม่แพงทำงานได้เร็วและแม่นยำ สามารถทำงานนี้ซ้ำๆ ได้

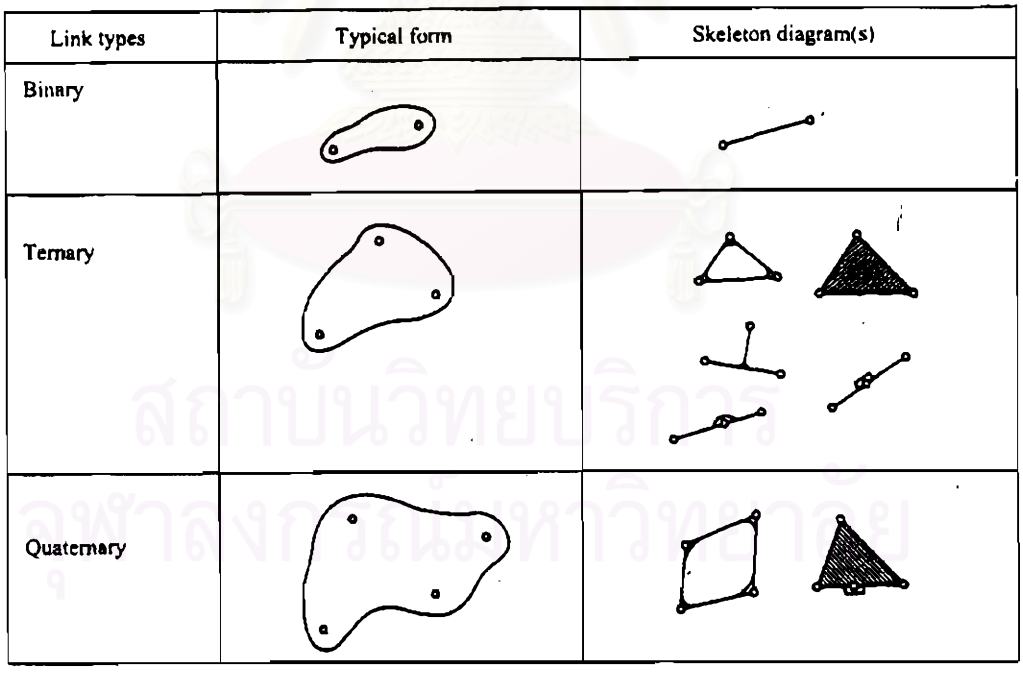
2.1 รูปเขียนคิเนแมติก (Kinematic Diagrams)

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของก้านต่อต่างๆ ในกลไกนั้น เรานิยมเขียนรูปของกลไกนั้นๆ ในแบบที่เรียกว่า รูปเขียนคิเนแมติก แทนรูปทรงที่แท้จริงของกลไก ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการวิเคราะห์นั่นเอง ซึ่งรูปเขียนคิเนแมติกจะแสดงเฉพาะส่วนที่จำเป็นของกลไกที่ต้องการหาการเคลื่อนที่เท่านั้น เช่นก้านสูบ (Connecting Rod) จะถูกเขียนแทนด้วยเส้นตรงที่มีวงกลมเล็กๆ ที่ปลายทั้งสอง ซึ่งจะแทนข้อต่อของก้านสูบที่ต่อกับแกนหลัก (Main Link) ที่เป็น

เช่นนี้เพราะปริมาณทางคิเนแมติก เช่นความเร็ว ความเร่งก้านสูบ จะขึ้นอยู่กับความยาว ความกว้างและความหนาของก้านสูบจะไม่มีผลต่อความเร็วและความเร่งของก้านสูบเลย นอกจากนี้ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ในระนาบเดียวกัน (Plane Motion) จุดสองจุดใดๆ บนวัตถุนั้นจะแทนการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งชิ้น และเนื่องจากเส้นที่ลากเชื่อมจุดสองจุดคือเส้นตรง ดังนั้นจึงพูดได้อีกแบบว่าเป็นการแทนการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นทั้งชิ้นเสมอ เมื่อรู้การเคลื่อนที่ของเส้นตรงที่อยู่บนวัตถุแล้ว การเคลื่อนของวัตถุที่อยู่บนวัตถุเดียวกันก็สามารถหาได้โดยง่าย สำหรับเส้นตรงใช้แทนการเคลื่อนที่ของก้านต่อใดๆ โดยทั่วไปจะเป็นเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างข้อต่อของหมุด (Pin Joint) ของก้านต่อนั้น ดังนั้นความหมายของเส้นตรงในรูปเขียนคิเนแมติกอาจหมายถึงวัตถุที่มีความกว้างความยาวและความหนาที่ไม่มีขอบเขตจำกัด รูปเขียนคิเนแมติกอาจเขียนได้สองแบบคือ

1. เขียนคร่าวๆ (Sketch) ตามสัดส่วนจริงแต่ไม่ถูกตามมาตราส่วน หรือ

2. เขียนให้ถูกต้องตามมาตราส่วนจริง จุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความเร็ว ความเร่งและแรงต่างๆ เป็นต้น สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนรูปคิเนแมติกจะเป็นไปตามดังรูปที่ 2.1

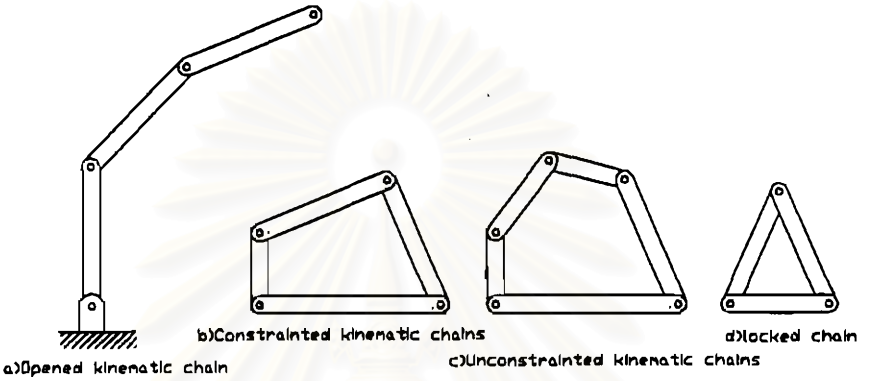


รูปที่ 2.1 รูปเขียนคิเนแมติกของก้านต่อชนิดต่างๆ

3. ก้านต่อที่อยู่กับที่แสดงด้วยสัญลักษณ์ พื้นดิน (Ground Mark) หรือเส้นขีดขวางระบายเงา (Cross Hatching) นอกจากนี้ในรูปเขียนคิเนแมติกจะใช้ตัวเลข 1,2,3,4,5,... กำกับ

ไว้ที่ก้านต่อแต่ละข้อจนครบทุกๆ ก้านต่อของกลไกนั้นโดยกำหนดให้ก้านต่อที่อยู่กับที่มีหมายเลข 1 เสมอ ข้อต่อแต่ละข้อจะกำกับไว้ด้วยตัวอักษร A,B,C... จนครบทุกข้อ ยกเว้นข้อต่อที่หมุนอยู่กับที่ จะใช้ O_2 หรือ O_4 สำหรับก้านต่อ 2 หรือ 4 ที่ต่อกับจุดหมุนอยู่กับที่

2.2 โซ่คิเนแมติก (Kinematic Chains)



รูปที่ 2.2 โซ่คิเนแมติก (Kinematic Chains)

โซ่คิเนแมติก คือการนำเอาก้านต่อหลายๆ ก้านต่อมาต่อกันเป็นคู่ๆ จนเป็นวงปิด (Closed Kinematic Chain) หรือบางกรณีก็อาจจะเป็นแบบเปิด (Opened Kinematic Chain) โดยให้มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างก้านต่อแต่ละข้อดังรูปที่ 2.2 ถ้าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างก้านต่อต่างๆ เป็นไปในลักษณะที่แน่นอน เช่นถ้าจับก้านต่อข้อหนึ่งข้อใดของโซ่คิเนแมติกให้อยู่กับที่ แล้วให้ก้านต่อที่เหลือเคลื่อนที่ได้แล้ว จุดทุกจุดบนก้านต่อที่เคลื่อนที่ได้เหล่านี้ จะเคลื่อนที่ในเส้นทางที่เหมือนเดิมและสามารถทำนายล่วงหน้าได้เสมอ การเคลื่อนที่ในลักษณะที่แน่นอนแบบนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่เชิงบังคับ (Constrained Motion) และโซ่คิเนแมติกที่มีการเคลื่อนที่เชิงบังคับ คือโซ่คิเนแมติกเชิงบังคับ (Contrainted Kinematic Chains) นั่นเอง ในทำนองกลับกัน ถ้าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างก้านต่อต่างๆ ของโซ่คิเนแมติกเป็นไปในลักษณะที่ไม่แน่นอนและกำหนดล่วงหน้าไม่ได้แล้วก็เรียกว่า โซ่คิเนแมติกบังคับไม่ได้ (Unconstrainted Kinematic Chain)

โซ่คิเนแมติกเชิงบังคับเท่านั้นที่เป็นรากฐานสำคัญของเครื่องจักรกลต่างๆ ถ้าก้านต่อหลายๆ ข้อมาต่อกัน โดยไม่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างกันเมื่อก้านต่อข้อหนึ่งข้อใดถูกยึดให้อยู่กับที่ ผลที่ได้ คือโซ่ล็อก (Locked Chain) หรือโครงสร้าง (Structure)

2.3 กลไก (Mechanisms) หรือเครื่องกล (Machine)

กลไก คือโซ่คิเนแมติกเชิงบังคับที่มีก้านต่อข้อหนึ่งข้อใดอยู่กับที่ หรือ

กลไก คืออุปกรณ์เชิงกลที่ใช้ส่งทอดการเคลื่อนที่ในรูปแบบอย่างที่ต้องการโดยใช้แรงและกำลังน้อยมาก เช่นเก้าอี้พับ ร่ม เป็นต้น

กลไกส่วนมากจะเป็นโซ่ปิด นั่นคือก้านต่อแต่ละข้อจะต้องต่อกับก้านต่ออื่นๆ ในกลไกนั้นอย่างน้อยสองก้านต่อขึ้นไปเสมอ

เครื่องกล คือกลไกหลายๆ ตัวมาต่อกัน เพื่อทำหน้าที่ส่งทอดแรง และเปลี่ยนแปลงพลังงานให้สามารถทำงานตามต้องการ

2.4 คู่สัมผัสคิเนแมติก (Kinematic Pairs)

แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของคู่สัมผัส

1. คู่สัมผัสเลื่อนไถล (Sliding หรือ Prismatic Pairs) คู่สัมผัสแบบนี้จะยอมให้ก้านต่อหนึ่งเคลื่อนที่ได้โดยเลื่อนไถลไปมาเมื่อเทียบกับก้านต่ออีกข้อที่เป็นคู่สัมผัสของมันเท่านั้น

2. คู่สัมผัสหมุน (Turning หรือ Revolute Pairs) คู่แบบนี้จะยอมให้ก้านต่อหนึ่งเคลื่อนที่ได้โดยหมุนเมื่อเทียบกับก้านต่ออีกข้อที่เป็นคู่สัมผัสของมันเท่านั้น

แบ่งตามลักษณะการสัมผัสระหว่างพื้นผิวของคู่สัมผัส

1. คู่ขั้นต่ำ (Lower Pairs) คือคู่สัมผัสที่มีส่วนที่สัมผัสกันเป็นพื้นที่ ใช้ในกรณีที่ต้องการส่งทอดแรงที่ขนาดมากๆ เช่นคู่สัมผัสหมุน คู่สัมผัสเลื่อนไถล

2. คู่ขั้นสูง (Higher Pairs) คือคู่สัมผัสที่มีส่วนที่สัมผัสกันเป็นเส้น หรือจุด เช่นการสัมผัสระหว่างลูกเบี้ยวกับตัวตาม และการสัมผัสกันระหว่างซี่ฟันเฟือง

2.5 ระดับขั้นเสรี (ร.ข.ส) (Degree Of Freedom – DOF)

จำนวน ร.ข.ส ของระบบ (F) ใดๆ คือจำนวนตัวแปรอิสระที่ต้องใช้เพื่อบอกให้รู้อย่างแน่ชัดถึงสภาวะของระบบนั้นๆ หรือจำนวนส่งเข้า (Inputs) ที่ต้องใช้เพื่อให้มีการส่งออก (Outputs) ตามที่กำหนดไว้ ในกรณีของโซ่คิเนแมติกต่างๆ ร.ข.ส ของโซ่ คือจำนวนตัวแปรอิสระที่ต้องใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ที่แน่นอนระหว่างก้านต่อต่างๆ

โซ่คิเนแมติกจะเคลื่อนที่เชิงบังคับได้ก็ต่อเมื่อจำนวน ร.ข.ส ของโซ่คือ $F \geq 1$ เท่านั้น ถ้า $F < 1$ โซ่คิเนแมติกนั้นๆ ก็คือโซ่ล็อก หรือโครงสร้างนั้นเอง แต่ถ้า $F = 1$ โซ่คิเนแมติกนั้นจะเป็นโซ่คิเนแมติกเชิงบังคับ (Constrainted Kinematic Chain) กลไกเกือบทั้งหมดที่ใช้กันอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วๆ ไปจะต้องมีการเคลื่อนที่เชิงบังคับ อย่างไรก็ตามในกลไกควบคุมชนิดต่างๆ อาจจะมีการส่งเข้า (Inputs) มากกว่าหนึ่งก็ได้ ดังนั้นจำนวน ร.ข.ส ของระบบจะต้องเท่ากับจำนวนการส่งเข้าเสมอ จำนวน ร.ข.ส ของกลไกต่างๆ สามารถหาได้จากการพิจารณาจำนวนก้านต่อ และชนิดของข้อต่อดังนี้

ถ้ากลไกประกอบด้วยก้านต่อ N ข้อมาต่อกันด้วยข้อต่อที่มีจำนวน ร.ข.ส เป็น 1 อยู่ J_1 ข้อ ซึ่งได้แก่คู่สัมผัสหมุน คู่สัมผัสเลื่อนไถล และคู่สัมผัสเกลียว ต่อกันด้วยข้อต่อที่มีจำนวน ร.ข.ส เป็น 2 อยู่ J_2 ข้อ ซึ่งได้แก่คู่สัมผัสกลิ้งพร้อมไถล คู่สัมผัสทรงกระบอก และต่อกันด้วยข้อต่อที่มีจำนวน ร.ข.ส เป็น 3 อยู่ J_3 ข้อ ซึ่งได้แก่คู่สัมผัสทรงกลม แล้วดอนแรกก้านต่อแต่ละข้อต่างก็มีจำนวน ร.ข.ส เป็น 3 ดังนั้นก้านต่อ N ข้อจึงมีจำนวน ร.ข.ส รวมกันเท่ากับ $3N$ เมื่อหักก้านต่อที่อยู่กับที่ไป 1 ข้อ จำนวน ร.ข.ส ของกลไกก็จะเหลือเพียง $3(N-1)$ ข้อต่อ J_1 และ J_2 ข้อจะลดจำนวน ร.ข.ส ของกลไกไปอีก $2J_1$, $1J_2$ และ $0J_3$ ตามลำดับ เมื่อรวมกันแล้วจำนวน ร.ข.ส ของกลไกทั้งหมด คือ F จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} F &= 3(N-1) - 2J_1 - 1J_2 - 0J_3 \\ F &= 3(N-1) - 2J_1 - J_2 \end{aligned} \qquad (2.1)$$

สมการ (2.1) นี้คือเกณฑ์ของคุทช์บาช (Kutzbach Criterion) ใช้สำหรับหาจำนวน ร.ข.ส ของกลไกที่มีก้านต่อต่างๆ อยู่ในระนาบที่ขนานกัน (Planar Mechanism) แต่เกณฑ์ของคุทช์บาชก็มีข้อยกเว้น คือกรณีที่ก้านต่อต่างๆ ในกลไกมีความยาวเท่าๆ กัน หรือก้านต่อต่างๆ มีการต่อเป็นรูปทรงพิเศษ เช่นขนานกัน และอีกกรณีพิเศษอีกกรณีหนึ่ง คือการที่ลูกกลิ้งสองลูกมาสัมผัสและกลิ้งไปด้วยกันโดยไม่ไถลแล้ว ร.ข.ส เท่ากับศูนย์ แสดงว่าไม่เคลื่อนที่ เพราะเป็นโซ่ล็อก แต่กลไกนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ถ้า ผลบวกของเส้นรัศมีทั้งสองของลูกกลิ้งต้องเท่ากับระยะระหว่างจุดหมุนของลูกกลิ้งทั้งสองเท่านั้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะเกณฑ์ของคุทช์บาชไม่ได้มีการคำนึงความยาว

แม้เกณฑ์ของคุทช์บาชจะมีข้อยกเว้นก็ตาม แต่เกณฑ์นี้ก็ยังมีประโยชน์มาก เพราะใช้ง่าย ถ้าจะไม่ให้มีข้อยกเว้นใดๆ เลย จำเป็นต้องคำนึงถึงความยาวของก้านต่อต่างๆ และผลที่ได้ก็จะยุ่งยากเกินไปจนใช้ประโยชน์ไม่ได้ ทั้งนี้เพราะในขั้นตอนแรกของการออกแบบนั้น มิติต่างๆ ของก้านต่อทั้งหลายยังไม่รู้นั่นเอง

ในกรณีที่มีกลไกที่มีแต่ข้อต่อแบบ J_1 เท่านั้น นั่นคือ $J_2 = 0$ เราก็ใช้สมการที่เป็นเกณฑ์ของกรูเบลอ (Gruebler Criterion) เพื่อหาจำนวน ร.ข.ส ของกลไกได้ดังสมการ

$$F = 3(N-1) - 2J_1 \qquad (2.2)$$

ถ้า $F = 1$ ในสมการ (2.2) จะเป็น

$$3N - 2J_1 - 4 = 0$$

และสมการจะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อ N ต้องเป็นจำนวนคู่เสมอ และกลไกที่ง่ายที่สุดที่มีก้านต่อทุกข้อเป็นก้านต่อเชิงเดี่ยวนั้น $N = J_1 = 4$ เท่านั้น ด้วยเหตุนี้กลไก 4 ก้านต่อ (Four-Bar Linkage) และกลไกตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Slider-Crank) จึงเป็นกลไกที่แพร่หลายมากที่สุด

2.6 การสังเคราะห์เชิงจำนวน

การสังเคราะห์เชิงจำนวน คือการหาจำนวนและลำดับของก้านต่อกับข้อต่อต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อให้ได้กลไกที่สามารถเคลื่อนที่ตามกำหนด ณ ระดับขั้นเสรีใดๆ

คุณค่าของการสังเคราะห์เชิงจำนวน คือทำให้สามารถหากลไกที่เกิดจากการนำเอาก้านต่อต่างๆ มาต่อกันให้ครบทุกแบบเพื่อให้ได้กลไกที่มีระดับขั้นเสรีตามต้องการ

ชนิดของก้านต่อที่นำมาสังเคราะห์ในกรณีของก้านต่อในระนาบที่ขนานกัน (Planar Link Type)

1. ก้านต่อเชิงเดี่ยว (Simple Link) หรือก้านต่อทวิภาค (Binary Link) คือก้านต่อที่มีข้อต่อที่สามารถต่อกับก้านต่ออื่นๆ ได้เพียงสองข้อเท่านั้น

2. ก้านต่อเชิงประกอบ (Compound Link) คือก้านต่อที่มีข้อต่อที่สามารถต่อกับก้านต่อกับก้านต่ออื่นๆ ได้มากกว่าสองขึ้นไป แบ่งออกเป็น

   2.1 ก้านต่อไตรภาค (Ternary Link) คือก้านต่อที่มีข้อต่อที่สามารถต่อกับก้านต่ออื่นๆ เพียงสามแห่ง

   2.2 ก้านต่อจตุรภาค (Quaternary Link) คือก้านต่อที่มีข้อต่อที่สามารถต่อกับก้านต่ออื่นๆ เพียงสี่แห่ง

ดังนั้นในการออกแบบกลไกเพื่อให้ได้กลไกที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการนั้น จำเป็นต้องพิจารณาการสังเคราะห์เชิงจำนวน ซึ่งถ้าระดับขั้นเสรีเป็นจำนวนเลขคี่ จำนวนก้านต่อของกลไกจะต้องเป็นจำนวนเลขคู่ และถ้าระดับขั้นเสรีเป็นจำนวนเลขคู่ จำนวนก้านต่อของกลไกก็จะต้องเป็นจำนวนเลขคี่ เช่นถ้าระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 จำนวนก้านต่อที่เป็นได้คือ 4,6,8...เป็นต้น

เมื่อได้จำนวนของก้านต่อที่เป็นไปได้แล้ว ต่อไปการสังเคราะห์เชิงจำนวนก็จะต้องพิจารณาลำดับของก้านต่อกับข้อต่อต่างๆ ที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนของก้านต่อและระดับขั้น

เสรีที่กำหนดไว้ ซึ่งเมื่อนำเอาก้านต่อที่ลำดับต่างๆ กันมาต่อกันด้วยข้อต่อแล้วนั้น ก็จะได้รูปแบบของกลไกได้หลายรูปแบบต่างๆ กัน เช่นถ้าต้องการเอาก้านต่อต่างๆ ที่มีจำนวนมากถึง 8 ก้านต่อ ซึ่งมีลำดับตั้งแต่ 2 ถึง 6 มาต่อกันโดยวิธีต่างๆ เพื่อให้ได้กลไกที่ระดับขั้นเสรี (ร.ข.ส) เท่ากับ 1 โดยใช้เฉพาะแต่ข้อต่อแบบหมุน และเป็นคู่สัมผัสเชิงเดี่ยว (Simple Pairs) เท่านั้น กล่าวคือข้อต่อที่ประกอบด้วยก้านต่อสองก้านต่อมาต่อกัน โดยที่กำหนดให้ลำดับของก้านต่อต่างๆ เป็นดังนี้

B = จำนวนก้านต่อทวิภาค (Binary Link)

T = จำนวนก้านต่อไตรภาค (Ternary Link)

Q = จำนวนก้านต่อจตุภาค (Quaternary Link)

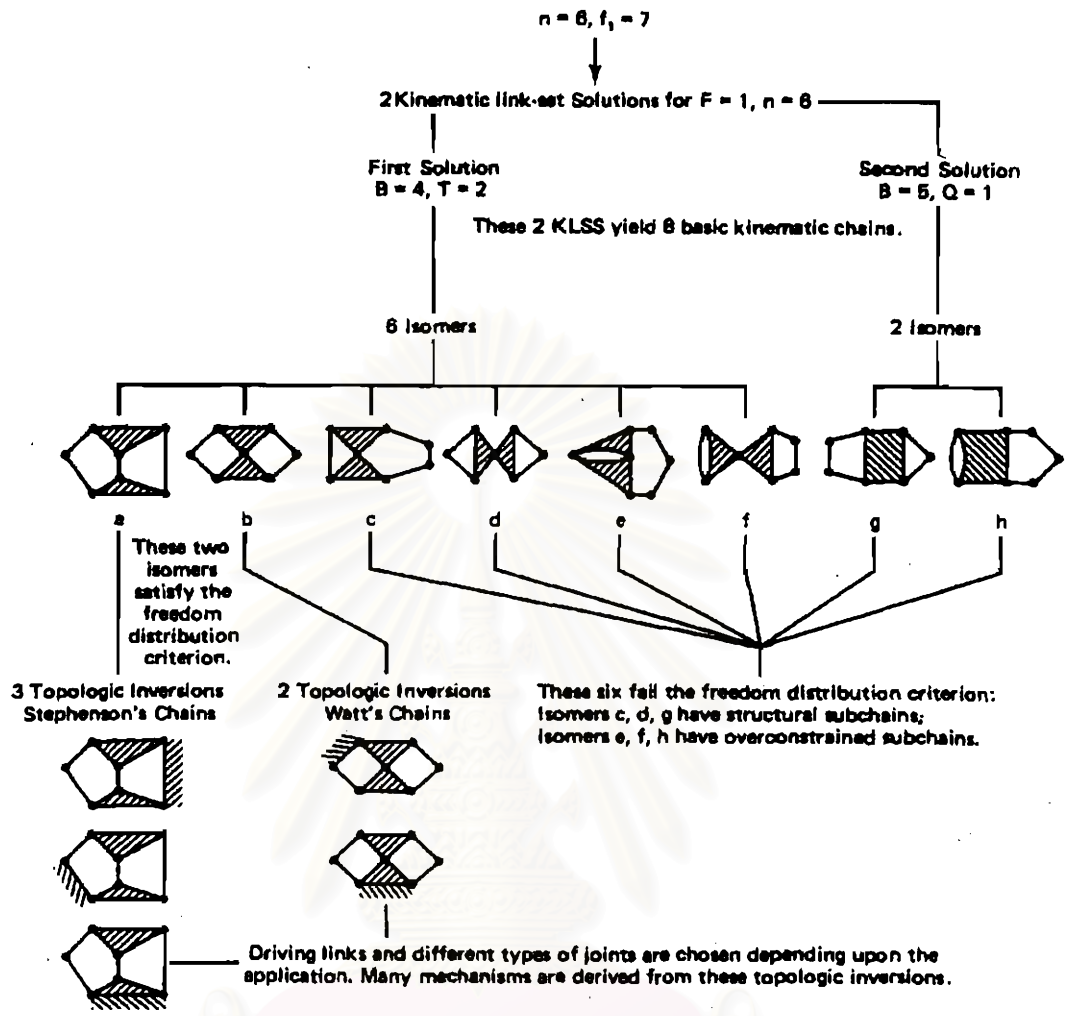
P = จำนวนก้านต่อเบญจภาค (Pentagonals Link)

H = จำนวนก้านต่อหกข้อต่อ (Hexagonals Link)

จะได้ว่าจะต้องนำก้านต่อชนิดต่างๆ มาต่อกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลไกที่ประกอบด้วยก้านต่อชนิดต่างๆ และมี ร.ข.ส เท่ากับ 1

จำนวนก้านต่อ	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



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์ชนิดของกลไก 6 ก้านต่อ และระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1

แต่ละลำดับก้านต่อที่สูง (ตั้งแต่ก้านต่อไดรภาคขึ้นไป) และลำดับก้านต่อทวิภาคที่คำนวณได้ก็คือจำนวนของก้านต่อทั้งหมดของกลไกที่ได้จากสมการของกรูเบลอ (Gruebler 's Equation) และแต่ละกรณีที่เป็นไปได้ที่จะจัดรูปแบบกลไกได้นั้น เช่นกรณีของ 6 ก้านต่อดังรูปที่ 2.3 ก็จะมีกรณีที่หนึ่ง B=4, T=2 และกรณีที่สอง B=5, Q=1 แต่ละกรณีจะเรียกว่า ชุดคำตอบของก้านต่อคิเนแมติก (Kinematic Link Set Solution) (KLSS) เป็นชนิดและจำนวนของก้านต่อแต่ละชนิดที่เป็นไปได้ ที่สามารถนำไปจัดรูปแบบของกลไกได้ สำหรับจำนวนก้านต่อทั้งหมดและระดับขั้นเสรีที่ต้องการจะออกแบบ แต่ละชุดคำตอบของก้านต่อคิเนแมติก (KLSS) จะจัดเป็นรูปแบบต่างๆ โดยใช้ข้อต่อแบบคู่สัมผัสหมุน และรูปแบบที่ถูกจัดได้ในแต่ละกรณีของชุดคำตอบของก้านต่อคิเนแมติกโดยจะเรียกว่า ไอโซเมอร์ (Isomer) และจะแสดงในลักษณะของโครงสร้างเชิงโทโพโลยี (Topological Structure)

ดังนั้นไอโซเมอร์ที่ได้จากชุดคำตอบของก้านต่อคิเนแมติกทั้งหมดนั้น สำหรับระดับขั้นเสรีและจำนวนก้านต่อที่ต้องการออกแบบ ซึ่งเรียกว่า โซ่พื้นฐานคิเนแมติก (Basic Kinematic Chain) (BKC) และสิ่งที่สำคัญ ก็คือจะต้องเป็นโซ่พื้นฐานคิเนแมติกที่สมบูรณ์ด้วย ซึ่งต้องระมัดระวังในขณะจัดรูปแบบของโครงสร้างเชิงโทโพโลยีเหล่านี้ จะต้องไม่ให้เกิดโซ่พื้นฐานคิเนแมติกชั้นเลว (Bad BKCs) ซึ่งมีเกณฑ์การกระจายของระดับขั้นเสรี (Degree Of Freedom Distribution Criterion) ที่ผิดพลาด โดยที่เกณฑ์นั้นต้องการไม่ให้มีระดับขั้นเสรีน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ในโซ่ย่อย (Subchain) เช่นจากรูปที่ 2.3 ที่ไอโซเมอร์ c,d,g นั้นจะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับศูนย์ในโซ่ย่อยแสดงว่าเป็นโครงสร้างหรือโซ่ล็อกชนิดมีการกำหนดคงที่ (Statically Determinate) โดยพิจารณาระดับขั้นเสรีภายในวงวนปิดย่อยๆ ในไอโซเมอร์นั้น และจะเห็นว่าโซ่ย่อยที่เป็นวงวนปิดภายในไอโซเมอร์ e,f,h มีระดับขั้นเสรีเท่ากับ –1 แสดงว่าเป็นโครงสร้างหรือโซ่ล็อกชนิดไม่มีกำหนดคงที่ (Statically Indeterminate) ดังนั้นควรที่จะกำจัดก่อนที่จะเอาไปออกแบบเป็นกลไก

สำหรับตัวอย่างของระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 ของก้านต่อ 6 ก้านต่อ ดังรูปที่ 2.3 นั้น มี 2 ชุดคำตอบของก้านต่อคิเนแมติก และจะเห็นว่าไอโซเมอร์ทั้งหมดของกรณีที่สองนั้นจะมีเกณฑ์การกระจายของระดับขั้นเสรีที่ผิดพลาด และไม่สามารถสร้างเป็นกลไกได้ และในกรณีที่หนึ่งนั้นมี 2 ใน 3 ของไอโซเมอร์ที่ผิดกับเกณฑ์การกระจายของระดับขั้นเสรี ดังนั้นไอโซเมอร์ที่เหลือนั้นจะเป็นโซ่พื้นฐานคิเนแมติกที่สมบูรณ์และจะต้องนำไปพิจารณาเพื่อจะสร้างเป็นกลไกต่อไป

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบกลไกเพื่อให้ได้กลไกที่เหมาะสมหลังจากที่ได้โซ่พื้นฐานคิเนแมติกที่สมบูรณ์แล้ว ซึ่งเป็นข้อพิจารณาในการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเชิงโทโพโลยีดังนี้

1. สามารถกำหนดก้านต่อที่อยู่กับที่ได้กี่ทางบนโครงสร้างเชิงโทโพโลยี
2. สามารถกำหนดชนิดของข้อต่อที่เหมาะสมกับงานให้กับกลไกได้กี่ทาง
3. มีก้านต่อไหนบ้างที่สามารถเป็นตัวส่งกำลังขับเคลื่อนให้กับกลไกได้
4. มีโครงสร้างเชิงโทโพโลยีกี่แบบที่สามารถนำมาใช้ได้

2.7 การสับเปลี่ยน (Inversion)

กลไก คือโซ่คิเนแมติกเชิงบังคับที่มีก้านต่อข้อหนึ่งอยู่กับที่ ดังนั้นถ้ากำหนดให้ก้านต่ออื่นๆ ในกลไกนั้นผลัดเปลี่ยนกันอยู่กับที่บ้าง จะได้กลไกใหม่ๆ เท่ากับจำนวนก้านต่อที่มีอยู่ใน

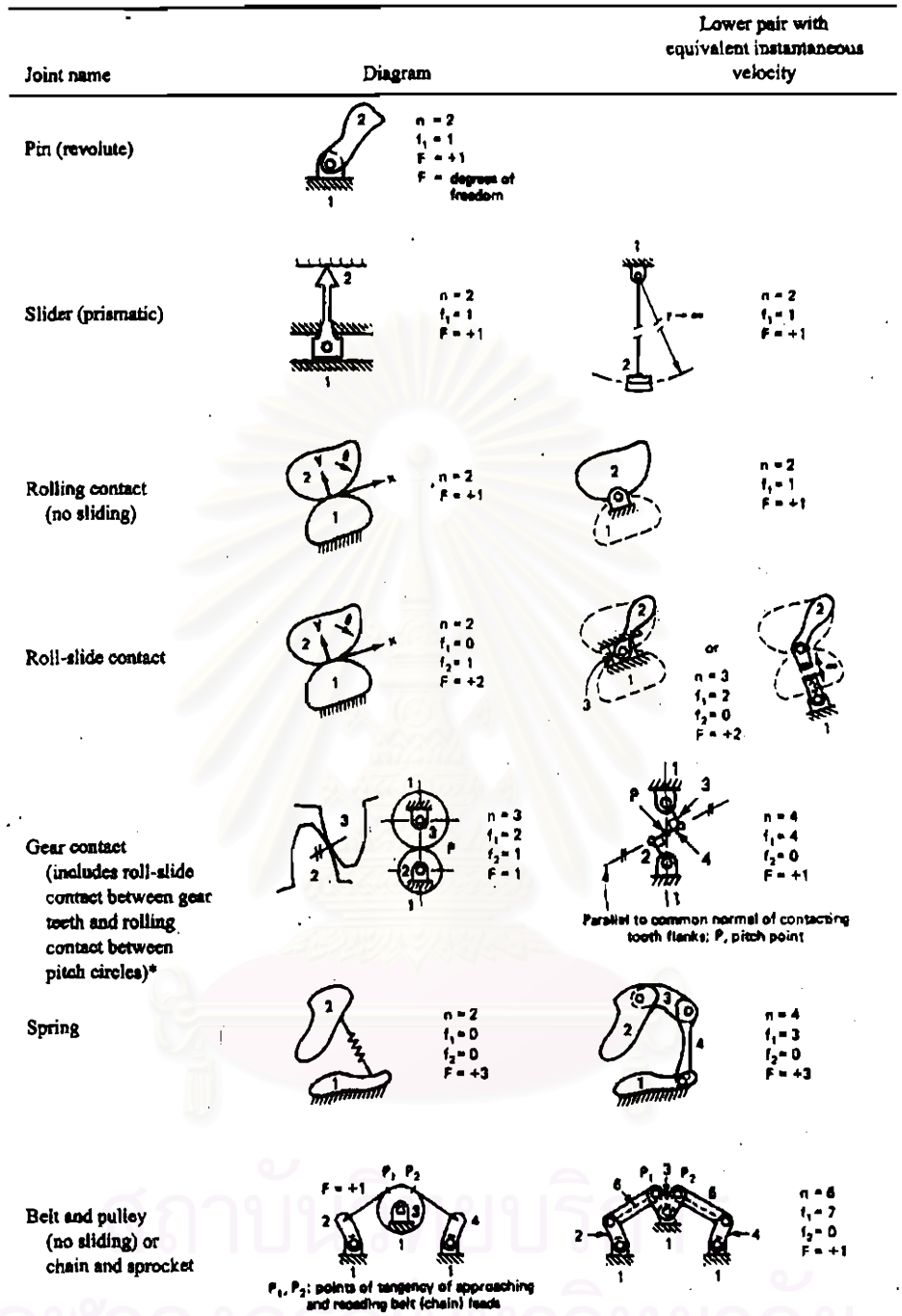
กลไกนั้น การได้กลไกใหม่ๆ จากการผลัดเปลี่ยนก้านต่อที่อยู่กับที่ คือการสับเปลี่ยน (Inversion)

โซ่คิเนแมติกเชิงบังคับที่ประกอบด้วยก้านต่อ 4 ก้านต่อ เมื่อใช้การสับเปลี่ยน (Inversion) ก็จะได้กลไก 4 ชนิด ซึ่งเท่ากับจำนวนก้านต่อที่มีอยู่ในโซ่นั้นๆ คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของการสับเปลี่ยน คือการสับเปลี่ยนจะไม่ทำให้การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างก้านต่อต่างๆ ในโซ่นั้นๆ เปลี่ยนแปลง ในการเลือกใช้การสับเปลี่ยนนี้สามารถสรุปเป็นแนวคิดที่ใช้ในการพิจารณาในการสร้างเป็นกลไกที่เหมาะสมตรงกับความต้องการของงานนั้น ซึ่งเรียกว่า แนวคิดในการเชื่อมโยงกลไก (Associated Linkage Concept) โดยแบ่งเป็น 2 ข้อที่จะพิจารณาดังนี้

1. จะต้องสังเกตและพิจารณาจากลักษณะภาวะเงื่อนไขของงานแต่ละงานโดยเฉพาะที่ต้องการจะออกแบบนั้น แล้วมาเลือกโซ่พื้นฐานคิเนแมติกที่เหมาะสมสำหรับงานนั้น

2. จะต้องประยุกต์โซ่พื้นฐานคิเนแมติกที่เลือกไว้แล้วนั้น มาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการนำกลไกไปใช้งาน โดยใช้คุณสมบัติความเสมือนกันของข้อต่อคู่ขั้นต่ำและข้อต่อคู่ขั้นสูงโดยดูได้จากรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ความเสมือนกันของข้อต่อคู่ขั้นต่ำกับข้อต่อคู่ขั้นสูง

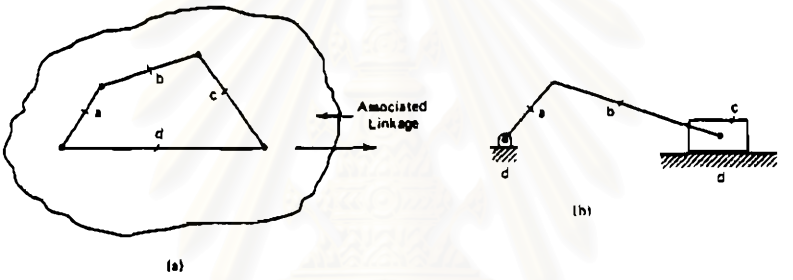
ตัวอย่าง

Synthesis of some slider mechanisms

สมมุติว่าเราต้องการได้กลไกที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์เลื่อนไถลไปเป็นเส้นตรงตามแนวทางเดินที่ตั้งอยู่กับที่ของเครื่องจักร

เราถือว่าเพลาขับเคลื่อนจะถูกยึดอยู่กับที่และมันต้องหมุนได้ในทิศทางเดียว ดังนั้นจึงถือได้ว่า อุปกรณ์เลื่อนไถล (Slider) นั้นจะต้องเคลื่อนไหวไปมา

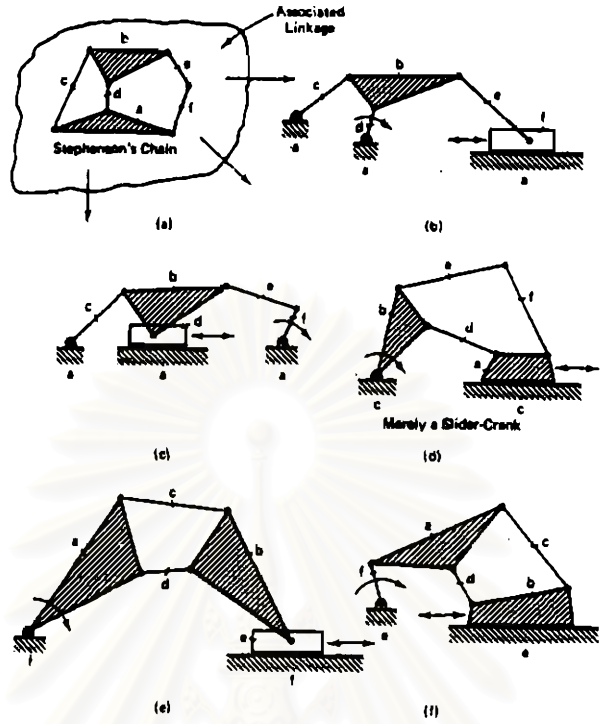
แนวคิดตามข้อ 1 ของแนวคิดในการเชื่อมโยงกลไก (Associated Linkage Concept) นั้น สำหรับงานนี้ที่เหมาะสมจะต้องมี ระดับขั้นเสรี (Degree Of Freedom) เท่ากับ 1 เมื่อมีหนึ่งก้านต่อถูกยึดอยู่กับที่ เราจึงเริ่มต้นด้วยความสัมพันธ์ของกลไกที่ซับซ้อนน้อยที่สุดก่อน ก็คือกลไก 4 ก้านต่อ เนื่องจากตามภาวะเงื่อนไขของลักษณะงานต้องการกลไกที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่เลื่อนไถล ดังนั้นตามแนวคิดข้อที่ 2 จะต้องทำการปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของกลไก 4 ก้านต่อที่มี 4 ข้อต่อแบบคู่สัมผัสหมุน โดยข้อต่อหนึ่งของแบบข้อต่อคู่สัมผัสหมุน (ข้อต่อ c-d) จะถูกเปลี่ยนข้อต่อคู่สัมผัสเลื่อนไถล ซึ่งเป็นอุปกรณ์เลื่อนไถล (Slider) จะได้กลไกตัวเลื่อน–ข้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.5



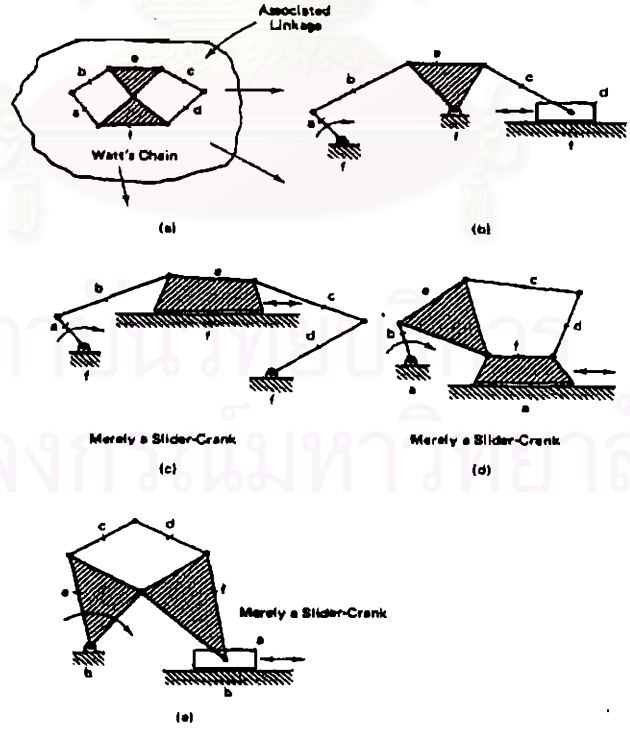
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์กลไก 4 ก้านต่อแบบตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยงระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1

ถ้าต้องการเพิ่มความสลับซับซ้อนมากขึ้น เช่นโซ่สเตฟเฟนสัน (Stephenson's Chain) 6 ก้านต่อ ซึ่งก้านต่อไตรภาคไม่ได้ถูกต่อซึ่งกันและกันโดยตรง และได้พิจารณาความสัมพันธ์ของกลไกที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอุปกรณ์เลื่อนไถล (Slider) ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าจะได้กลไกใหม่ 4 กลไก ซึ่งรูป d เป็นแค่กลไกตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Slider Crank) มีเพียงก้านต่อมากขึ้นเท่านั้น และสุดท้ายในรูปที่ 2.7 โซ่วัตต์ (Watt's Chain) 6 ก้านต่อ ซึ่งก้านต่อไตรภาคได้ถูกต่อซึ่งกันและกันโดยตรง จะได้กลไกใหม่เพียง 1 กลไกเท่านั้น คือรูป b ซึ่งกล่าวคือกลไกที่เหลือนั้นจะมีความซับซ้อนของกลไกเป็นเพียงแค่กลไกตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Slider Crank) มีเพียงเพิ่มก้านต่อมากขึ้นเท่านั้น

ดังนั้นมีเพียง 5 กลไก ของจำนวนก้านต่อ 6 ก้านต่อเท่านั้นที่จะนำมาพิจารณาปัญหานี้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของโซ่สเตฟเฟนสัน 6 ก้านต่อ ระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของโซ่วัตต์ 6 ก้านต่อ ระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1

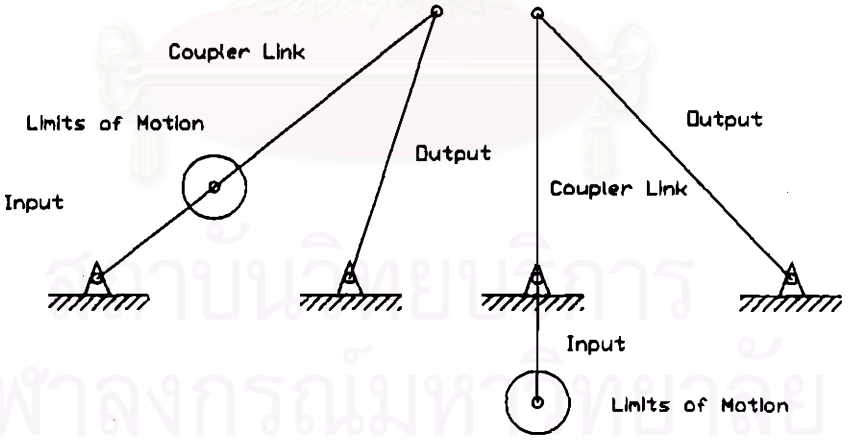
2.8 ตำแหน่งจุดตาย (Dead-Point Configuration)

ในการออกแบบกลไกชนิดต่างๆ นอกจากจะตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไกแล้ว ผู้ออกแบบยังต้องระวัง **ตำแหน่งที่เป็นขีดจำกัดการเคลื่อนที่ของก้านต่อต่าง ๆ และตำแหน่งที่เป็นจุดตาย** ของกลไกอีกด้วย

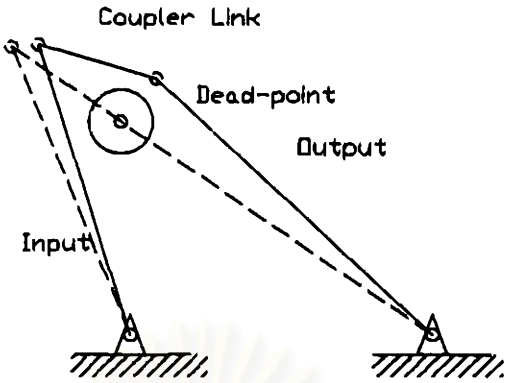
ตำแหน่งที่เป็นขีดจำกัดของก้านต่อส่งออก (Output) คือตำแหน่งที่ก้านต่อส่งเข้าอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับก้านส่งดังรูปที่ 2.8

สำหรับกลไก 4 ก้านต่อแบบข้อเหวี่ยง-แขนแกว่งนั้น ตำแหน่งที่เป็นขีดจำกัดของก้านต่อส่งออกจะมีได้มากที่สุดเพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น

ตำแหน่งจุดตายของกลไก 4 ก้านต่อ คือตำแหน่งที่ก้านส่งอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับตัวตาม (ตัวถูกขับ) ที่ตำแหน่งนี้ แรงที่ส่งทอดจากก้านส่งจะส่งผ่านจุดศูนย์กลางการหมุนของตัวถูกขับ ทำให้ไม่มีแรงบิดมาหมุนตัวถูกขับ ผลก็คือกลไกจะหยุดการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งนี้ดังรูปที่ 2.9 ดังนั้นจึงต้องหลีกเลี่ยง ซึ่งอาจจะทำโดยป้องกันไม่ให้กลไกเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งจุดตายพอดี แต่บางครั้งจุดตายก็มีประโยชน์โดยใช้เป็นเครื่องล็อก โดยเมื่อกลไกมาถึงตำแหน่งจุดตาย จากนั้นก็พยายามให้กลไกผ่านจุดตายโดยการกด หรือวิธีต่างๆ จะทำให้กลไกจะเข้าตำแหน่งล็อกอยู่กับที่ และการคลายล็อกทำได้โดยยก หรือตบให้ขึ้นผ่านจากจุดตายนั้น



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งขีดจำกัดของกลไก 4 ก้านต่อ แบบข้อเหวี่ยง-แขนแกว่ง



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งจุดตายของกลไก 4 ก้านต่อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย