บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎี

2.1 หลักการออกแบบ

ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดมาจากการผลิตที่ดี ความตั้งใจ ความเอาใจใส่ คนทำต้องคำนึงถึงหลักการทำที่ถูกวิธีหรือตามแบบที่เขียนไว้ เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ดีเอาไว้ ควรมีองค์ประกอบอะไรบ้างแล้วใช้ความคิดสร้างสรรค์ วิธีการต่างๆที่ได้กล่าวมา เสนอแนวคิดให้เป็นผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมตามหลักการออกแบบ [6]โดยหลักการออกแบบควรคำนึงนั้นมีอยู่ 8 ประการ คือ

1. หน้าที่ใช้สอย (FUNCTION)
2. ความปลอดภัย (SAFETY)
3. ความแข็งแรง (CONSTRUCTION)
4. ความสะดวกสบายในการใช้ (ERGONOMICS)
5. ความสวยงาม (AESTHTIES)
6. ราคาพอสมควร (COST)
7. การซ่อมแซมง่าย (EASE OF MAINTENANCE)
8. วัสดุและการผลิต (MATERIALS AND PRODUCTION)

2.1.1 หน้าที่ใช้สอย

หน้าที่ใช้สอยถือเป็นหลักการออกแบบที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับแรกที่ต้องคำนึงผลิตภัณฑ์ทุกชนิด ต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบาย ผลิตภัณฑ์นั้นถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยดี แต่หากผลิตภัณฑ์ใดไม่สามารถสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลิตภัณฑ์นั้นจะถือได้ว่ามีประโยชน์ใช้สอยไม่ดีเท่าที่ควร

เรื่องหน้าที่ใช้สอยนับว่าเป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อนซับซ้อนมาก ผลิตภัณฑ์บางอย่างมีประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้คนทั่วๆไป ทราบเบื้องต้นว่า มีหน้าที่ใช้สอยแบบนี้ แต่ความละเอียดอ่อนที่นักออกแบบได้คิดออกมานั้นได้ตอบสนองความสะดวกสบายอย่างเต็มที่[6]

2.1.2 ความปลอดภัย

สิ่งที่อำนวยประโยชน์ได้มากเพียงไร ย่อมจะมีโทษเพียงนั้น การออกแบบควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องแสดงเครื่องหมายไว้ให้ชัดเจนหรือคำอธิบายไว้[6]

2.1.3 ความแข็งแรง

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีความแข็งแรงในตัวของผลิตภัณฑ์ในตัวของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างเป็นความเหมาะสมในการที่นักออกแบบรู้จักใช้คุณสมบัติของวัสดุและจำนวนหรือปริมาณของโครงสร้าง ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการรับน้ำหนัก ต้องเข้าใจหลักโครงสร้างและการรับน้ำหนัก

ส่วนความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์เองนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบรูปร่างและการเลือกวัสดุและประกอบกับการศึกษาข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องรับน้ำหนักหรือกระทบกระแทกอะไรหรือไม่ในขณะใช้งานก็ต้องทดลองประกอบการออกแบบไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามเหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงความประหยัดควบคู่ไปด้วย[6]

2.1.4 ความสะดวกสบายในการใช้งาน

นักออกแบบต้องศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับสัดส่วน ขนาดและขีดจำกัดที่เหมาะสำหรับอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกาย ซึ่งประกอบด้วยความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนต่างๆของมนุษย์ด้านสรีระศาสตร์ จะทำให้ทราบขีดจำกัด ความสามารถของอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายมนุษย์เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ หรือศึกษาด้านจิตวิทยา ซึ่งความรู้ด้านต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้นักออกแบบกำหนดขนาด ส่วนโค้งเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบของผลติภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างพอเหมาะกับร่างกาย หรืออวัยวะของมนุษย์ที่ใช้ ก็จะเกิดความสะดวกสบายในวิชาดังกล่าว ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องใช้อวัยวะร่างกายไปสัมผัสเป็นเวลานาน นักออกแบบจึงต้องศึกษาสัดส่วนร่างกายของชนชาติหรือเผ่าพันธุ์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์[6]

2.1.5 ความสวยงาม

ผลิตภัณฑ์ในยุคปัจจุบันนี้ความสวยงามนี้นับว่ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าหน้าที่ใช้สอยเลย ความสวยงามจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อเพราะประทับใจส่วนหน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่ต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งคือใช้ไปเรื่อย ก็จะเกิดความบกพร่องในหน้าที่ใช้สอยให้เห็นภายหลัง ผลิตภัณฑ์บางอย่างความสวยงามก็คือ หน้าที่ใช้สอยนั่นเอง[6]

2.1.6 ราคาพอสมควร

ผลิตภัณฑ์นั้นย่อมมีข้อมูลด้านผู้บริโภคและด้านการตลาดที่ได้ค้นคว้าและสำรวจแล้ว ผลิตภัณฑ์ย่อมจะต้องมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นคนกลุ่มใด อาชีพฐานะเป็นอย่างไร มีความต้องการใช้สินค้าเพียงใด นักออกแบบก็จะเป็นผู้กำหนดแบบผลิตภัณฑ์ ประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จะซื้อได้การจะไดมาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมกับผู้ซื้อนั้น ก็อยู่ที่การเลือกใช้ชนิดหรือเกรดของวัสดุ และเลือกวิธีการผลิตง่ายรวดเร็ว เหมาะสม

อย่างไรก็ดี ถ้าประมาณการออกแบบมาแล้ว ปรากฏว่า ราคาค่อนข้างสูงกว่าที่กำหนดไว้ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่างๆ กันใหม่ แต่ก็ยังต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น เรียกว่าเป็นวิธีการลดค่าใช้จ่าย[6]

2.1.7 การซ่อมแซม

หลักการนี้คงใช้กับผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ จะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้นตลอดจนนอกสกรู เพื่อที่จะใช้ออกแบบส่วนต่างๆของเครื่องทอ ให้สะดวกในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนได้[6]

2.1.8 วัสดุและวิธีการผลิต

อาจมีกรรมวิธีการเลือกใช้วัสดุและวิธีผลิตได้หลายแบบ แต่แบบหรือวิธีใดถึงจะเหมาะสมที่สุด ที่จะไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ประมาณ ฉะนั้น นักออกแบบคงจะต้องศึกษาเรื่องวัสดุและวิธีผลิตให้ลึกซึ้ง โดยเฉพาะวัสดุ ก็ต้องเลือกใช้คุณสมบัติให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่พึงมียิ่งในยุคสมัยนี้ มีการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุที่นำกลับมาหมุนเวียนมาใช้ใหม่[6]

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้าง

2.2.1 คำจำกัดความของโครงสร้าง

โครงสร้างหมายถึงส่วนประกอบ ซึ่งได้จากการนำ หรือหล่อชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบที่ข้อต่อหรือแนวต่อ เพื่อทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก หรือกิริยากระทำในการใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น อาคารที่อยู่อาศัย สะพานเพื่อการขนส่ง รวมถึงระบบขนส่งวัสดุภายในโรงงาน เป็นต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างหมายถึง การวิเคราะห์หาแรงภายในโครงสร้าง และการเปลี่ยนตำแหน่ง ของจุดต่างๆ ในโครงสร้าง ภายใต้แรงกระทำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการยึดรั้ง หรือกิริยากระทำอื่น ๆ เช่น การหดตัว การยืดตัว เป็นต้น[7]

2.2.2 การออกแบบโครงสร้าง

โดยทั่วไปการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

2.2.2.1 การวางแผนรูปแบบของโครงสร้าง เพื่อให้รูปแบบโครงสร้างมีความมั่นคง แข็งแรง ทนทาน ปลอดภัย และเหมาะสม สะดวกต่อการใช้สอย

2.2.2.2 การเลือกขนาดและให้รายละเอียด ของโครงสร้างแต่ละส่วนตามความต้องการ รวมทั้งเลือกชนิดของวัสดุก่อสร้างที่จะใช้เพื่อให้เกิดความประหยัดและปลอดภัย สำหรับในขั้นตอนนี้ ผู้ออกแบบต้องคำนวณหาแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด ตลอดจนหน่อยแรงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างจะต้องรับหรือต้านทาน การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นงานที่สำคัญและจำเป็นของการออกแบบ เพราะการวิเคราะห์ที่ได้ผลไม่ถูกต้องจะเป็นเหตุให้การออกแบบผิดพลาดซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่ง ดังนั้นในการออกแบบจะต้องเข้าใจถึงหลักการเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์โครงสร้างเสียก่อน[7]

2.2.3 จุดมุ่งหมายของการออกแบบโครงสร้าง

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการออกแบบโครงสร้างโดยทั่วๆ ไป สามารถกล่าวโดยย่อได้ดังนี้

2.2.3.1เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ปลอดภัย (Safe Structures) กล่าวคือโครงสร้างที่ออกแบบสร้างขึ้นมานั้นจะต้องมีความแข็งแรงและมีความมั่นคง (Strength and stability) เพื่อที่จะสามารถรับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่ต้องการโดยไม่พังทลายหรือทำให้เกิดความรู้สึกไม่ปลอดภัย อันเนื่องมาจากการทรุดตัวหรือหักชำรุดของส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้าง นอกจากนี้โครงสร้างที่ดีจะต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์เพื่อการใช้งาน (Serviceability) อีกด้วย กล่าวคือภายใต้การกระทำของแรงหรือน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working Load) โครงสร้างนี้จะต้องไม่มีการโก่งงอหรือแอ่นตัว (Deformation) มากเกินไปจนเราไม่สามารถใช้โครงสร้างนั้นได้ตามวัตถุเกินไปจนเราไม่สามารถใช้โครงสร้างนั้นได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้แต่เดิมในขั้นต้นของการออกแบบโครงสร้าง

2.2.3.2เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ราคาประหยัดที่สุด (Most economics structures) จุดมุ่งหมายข้อนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดต่อการตัดสินใจเลือกแบบลักษณะของโครงสร้าง วัสดุที่จะใช้ในการก่อสร้าง และกรรมวิธีต่าง ๆ ที่จะก่อสร้างโครงการนั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโครงการที่ต้องใช้ทุนสร้างจำนวนมาก ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเราสามารถออกแบบโครงสร้างเพื่อให้รับแรงหรือน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการได้หลากหลายชนิด ซึ่งถ้าหากความสวยงามของโครงสร้างในแง่ของสถาปนิกไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดของการออกแบบแล้วก็ย่อมเป็นสิ่งที่แน่นอนว่าวิศวกรนักออกแบบจะต้องตัดสินใจเลือกโครงสร้างที่ใช้ทุนและเวลาในการสร้างที่น้อยที่สุดด้วย ด้วยเหตุนี้โครงสร้างที่ดี

ที่สุดนั้นไม่เพียงแต่จะต้องมีความแข็งแรงและความปลอดภัย หากต้องเป็นโครงสร้างที่มีราคาประหยัดที่สุดอีกด้วยในแง่ของหลักเศรษฐศาสตร์ [7]

2.2.4 วิธีบรรลุจุดมุ่งหมายของการออกแบบโครงสร้าง

วิธีการเพื่อให้บรรลุถึงจุดมุ่งหมายของการออกแบบโครงสร้างแข็งแรง และปลอดภัย อาจกล่าวแยกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

2.2.4.1 โดยความเฉลียวฉลาด (intuition) วิธีนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของวิศวกรนักออกแบบเป็นอย่างมาก วิศวกรนักออกแบบที่มีประสบการณ์มากๆ และมีความชำนาญงานต่าง ๆ ย่อมมีความมั่นใจในโครงสร้างที่ตนออกแบบและคำนวณว่าจะสามารถต้านแรงหรือรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยและใช้ปฏิบัติงานได้ตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ทุกประการอย่างแน่นอน

2.2.4.2 โดยการทดลองกับโครงสร้างขนาดจริง (Full Scale Test) วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการทดสอบว่าโครงสร้างที่ออกแบบสร้างมานั้นจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกหรือใช้ปฏิบัติงานได้ตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการหรือไม่เพียงไรแต่ว่าวิธีนี้สิ้นเปลืองมากทั้งเวลาและเงินทองกับโครงสร้างขนาดจริงก่อนที่จะตัดสินใจเลือกโครงสร้างแบบสุดท้าย (Final Design)

2.2.4.3 โดยการทดลองกับโครงสร้างขนาดจำลอง (Model Test) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.หุ่นจำลองจริง ๆ ขนาดย่อ (Physical Model) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมกันมากในสมัยก่อนในการศึกษาพฤติกรรม (Behavior) ของโครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโครงสร้างที่มีความยุ่งยากซับซ้อนหรือขนาดใหญ่โตมหึมา ด้วยการศึกษาทดลองกับหุ่นจำลองจริงขนาดย่อนี้วิศวกรนักออกแบบก็อาจทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างจริงขนาดใหญ่ได้แต่วิธีนี้มีข้อเสียเปรียบอยู่หลายประการเช่นกัน ตัวอย่างเช่นคุณสมบัติบางอย่างของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง เราไม่อาจจะย่อขนาดตามอัตราส่วนให้ลดหรือเล็กลงได้ นอกจากนี้พฤติกรรมของหุ่นจำลองจริงขนาดย่อซึ่งถูกศึกษาทดลองในห้องทดลอง (Laboratory) อาจจะไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่แท้จริงได้หมดทุกแง่ทุกมุมของโครงสร้างจริง ขนาดใหญ่ ในสภาวะจริงๆ นอกห้องทดลอง

2. หุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) วิธีนี้เป็นวิธีที่มีเหตุผล (Rational Approach) สะดวกและง่ายที่สุด อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ก็เป็นการคาดหมายอย่างประมาณการเท่านั้น (Approximate Prediction) ถึงพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างวิธีนี้จะสามารถคาดหมายพฤติกรรมของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำใกล้เคียงความจริงมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับสมมุติฐาน (Assumptions) ต่างๆที่ตั้งไว้แต่แรกว่าถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด การ

วิเคราะห์โครงสร้าง (Structural analysis) จัดเป็นแขนงหนึ่งของการทดสอบหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างขนาดจริง

สำหรับวิธีการเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีราคาประหยัดที่สุดนั้น อาจทำได้โดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า Optimization Techniques แต่โดยทั่วๆ ไป แล้วมักจะได้ศึกษาพิจารณาทางเลือกหลาย ๆ ชนิด (Study of Altematives) แล้วตัดสินใจเลือกคำตอบที่ดีที่สุด[7]

2.2.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างหมายถึง การวิเคราะห์หาแรงภายในโครงสร้าง และการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่างๆ ในโครงสร้าง ภายใต้แรงกระทำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การยึดรั้ง หรือกิริยากระทำอื่น ๆ เช่น การหดตัว การยืดตัว เป็นต้น[7]

2.2.5.1 วัตถุต่าง ๆ ในโครงสร้าง

กล่าวโดยทั่วไปการวิเคราะห์โครงสร้างใดโครงสร้างหนึ่งภายใต้แรงกระทำของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงภายนอก เรามีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ประการ ดังนี้

1.เพื่อหาค่าของแรงภายในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง (Member Stress - Resultants) เช่นแรงตามแนวแกน (Axial Forces) แรงเฉือน (Shearing Force) โมเมนต์ดัด (Bending Moments) โมเมนต์บิด (Twisting Moment) ฯลฯ และแรงปฏิกิริยา (Reactions) ที่จุดรองรับต่างๆ ของโครงสร้างนั้น ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อนำค่าต่างๆ เหล่านี้ไปคำนวณออกแบบโครงสร้างที่ปลอดภัย ตามความต้องการทางด้านกำลังในการรับน้ำหนักและความต้องการทางด้านเสถียรภาพของโครงสร้าง (Strength and Stability Requirement)

2.เพื่อหาค่าของการแปรเปลี่ยนรูปร่างหรือการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง (Structure Deformations) เช่นการโก่งงอหรือการแอ่น (Deflections) ของส่วนโครงสร้าง (Members) การเคลื่อนที่ (Displacement) และการหมุน (Rotations) ของจุดต่อ (Joint) หรือของโครงสร้างทั้งอัน (Sidesway and Settlement) เนื่องจากการกระทำของแรงภายนอกหรือน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและขีดจำกัดของการใช้งานตามความต้องการทางด้านการนำมาใช้งาน (Serviceability Requirement)[7]

2.2.5.2กฎเกณฑ์ขั้นพื้นฐานของทฤษฎีโครงสร้าง

ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า การวิเคราะห์โครงสร้าง หรือ Structural Analysis คือการทดสอบหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างขนาดจริงและเป็นเพียงการคาดหมายพฤติกรรมต่างๆของโครงสร้างภายใต้การกระทำของน้ำหนักบรรทุกหรือแรงภายนอกอย่างประมาณการเท่านั้นคำตอบหรือค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นจะถือว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องใช้ได้ (Valid Solution) ต้องเป็นตามกฎเกณฑ์ขั้นมูลฐานของทฤษฎีโครงสร้างทั้ง 3 ข้อต่อไปนี้

1.กฎแห่งการสมดุลย์ของแรงและโมเมนต์ (Equilibrium conditions) กล่าวคือ แรงภายใน (Internal forces) ต่างๆเช่นแรงภายในชิ้นส่วน (Member Stress - Resultants) จะต้องอยู่ในสภาพสมดุลกับแรงภายนอก (External forces) เช่นน้ำหนักบรรทุก(Loads) และแรงปฏิกิริยา (reactions) ที่กระทำอยู่บนโครงสร้าง ข้อที่ควรจำที่สำคัญประการหนึ่งในการวิเคราะห์โครงสร้างก็คือ ไม่ว่าเราจะพิจารณาโครงสร้างทั้งอันหรือเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างแรงต่างๆที่กระทำอยู่บนโครงสร้างจะต้องอยู่ในสภาพสมดุลเสมอ

2.กฎแห่งความต่อเนื่องหรือลักษณะสัมพันธ์ของโครงสร้าง (Compatibility Continuity Conditions) กล่าวคือ โครงสร้างจะต้องมีความต่อเนื่องไม่ขาดหายจากกัน หรือกล่าวอีกในหนึ่งก็คือการยืดหดหรือการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง (Member deformation) จะต้องมีความต่อเนื่องสัมพันธ์กันกับการเคลื่อนที่ของจุดต่อและจุดรับ โครงสร้างที่มีลักษณะเช่นนี้จึงจะเรียกว่าเป็นโครงสร้างที่มันต่อเนื่องเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน

3.ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ (Force-Displacement Relationshipsหรือ Load-Deformation Relationships) ภายใต้การกระทำของแรงต่างๆ (ภายในหรือภายนอก) โครงสร้างทั้งอันหรือชิ้นส่วนของโครงสร้างจะมีการยืดหดตัวแปรเปลี่ยนรูปร่างหรือมีการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิด ตำแหน่ง ขนาด และทิศทางของแรงที่มากระทำ และความต้านทานของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหรือรูปลักษณะ (geometry) ของโครงสร้างนั้นๆ ด้วย การวิเคราะห์โครงสร้างโดยไม่ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของแรงกับการเคลื่อนที่ที่เป็นจริงในทางปฏิบัติแม้ว่าเราจะใช้หุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความสละสลวยน่าเชื่อถือ คำตอบที่ได้ก็ไม่ใช่คำตอบที่ถูกต้องใช้ได้แม้แต่นิดเดียว ทั้งนี้ก็เพราะว่าพฤติกรรมของโครงสร้างที่แท้จริงหาได้เป็นไปตามที่การ วิเคราะห์โครงสร้างว่าเราได้ตั้งไว้ตรงหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือไม่มากน้อยเพียงใด ซึ่งทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับว่าต้องการคำตอบที่ละเอียดถูกต้อง (Accuracy of Results) มากน้อยเพียงใด[7]

2.2.5.3 **สมมุติฐานเบื้องต้นของการวิเคราะห์โครงสร้าง**

สำหรับในการวิเคราะห์โครงสร้าง เรามักจะตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นเพื่อทำให้เกิดความง่ายและสะดวกต่อการคำนวณไว้ดังนี้

1. มักสมมุติว่าวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง เช่น เหล็กกล้า หรือคอนกรีต ฯลฯ เป็น Hookean Material กล่าวคือ เป็นวัสดุที่มีกราฟเส้นของความเค้น (Stress) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด (Strain) สมมุติฐานนี้จะมีความถูกต้องก็ต่อเมื่อความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุจะต้องไม่มากเกินกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastics Limit) ของวัสดุนั้น นอกจากนี้เรายังสมมุติอีกว่า วัสดุที่ให้ทำส่วนหนึ่ง ๆ ของโครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกันตลอด และมีคุณสมบัติในการรับแรงหรือบรรทุกน้ำหนักเหมือนกันทุกทิศทุกทาง (Homogeneous)

2.การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformations) หรือการเคลื่อนที่ต่างๆ ที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากการกระทำของแรงภายนอกหรือน้ำหนักบรรทุกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของส่วนโครงสร้างนั้น ๆ และเราสามารถเขียนสมการสมดุล (Equilibrium Equations X) ได้จากโครงสร้างที่ต้องการวิเคราะห์โดยไม่มีผลทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากเท่าไรนัก[7]

2.2.5.4 **โครงสร้างที่แท้จริงและไอดีลไลเซชัน (Idealization) ของโครงสร้างที่แท้จริง**

สมมุติว่าเราต้องการโครงสร้างหนึ่งเพื่อประโยชน์การใช้สอยบางอย่าง โครงสร้างนี้สร้างขึ้นได้โดยการนำวัสดุมาก่อสร้างจามแบบที่ต้องการ วัสดุนั้นอาจเป็น ไม้ เหล็ก คอนกรีต หรือ อื่น ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติ และความสม่ำเสมอในคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและกรรมวิธีการผลิต โครงสร้างนั้นจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นเสา คาน แผ่นพื้น หรือ อื่น ๆ ต่อกันที่ข้อต่อ หรือแนวต่อ ในการสร้างนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เช่น ความคลาดเคลื่อนทางด้านรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นส่วนเรียกว่าชิ้นส่วนมีความไม่สมบูรณ์เบื้องต้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดหน่วยแรงเริ่มแรกจากการก่อสร้าง เช่น หน่วยแรงค้างจากการเชื่อม เป็นต้น

โครงสร้างที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว จะอยู่ภายใต้ของอิทธิพลของแรงกระทำ และกิริยากระทำ แรงกระทำอาจเป็นแรงสถิต หรือ อาจเป็นแรงจลน์ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลการกระแทก หรือเกิดแรงกระทำซ้ำ ๆ หรือ การเปลี่ยนน้ำหนักของภาระงานที่โครงสร้างได้รับ เป็นต้น

ภายใต้แรง หรือกิริยาที่กระทำกับโครงสร้างดังกล่าว โครงสร้างจะมีการตับสนองเนื่องจากวัสดุทั่ว ๆ ไปจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้กิริยากระทำ ดังนั้นชิ้นส่วนเล็ก ๆ ทุกชิ้นส่วนภายในโครงสร้างจะเกิดความเครียดขึ้น ยังผลให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่าง ๆ แรงภายในที่เกิดขึ้น (ถ้ามี) ก็ต้องอยู่ในสมดุลกับแรงกระทำภายนอก (สำหรับสภาวะสถิต)

การตอบสนองเหล่านี้ ถ้าเป็นที่น่าพอใจ เมื่อเปรียบเทียบขีดจำกัดหรือพิกัดซึ่งจะทำให้โครงสร้าง หรือชิ้นส่วนของโครงสร้าง ถึงสถานะสิ้นสุดแล้ว โครงสร้างนั้นก็เรียกได้มีคุณสมบัติที่ดี

สถานะนั้นสุดหมายถึงสถานะซึ่งทำให้โครงสร้างนั้นสิ้นสุดความสามารถในการใช้งานหรือรองรับแรงการทำได้ เช่น การโก่งงอมากเกินไป การล้า เป็นต้น และคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ได้แก่

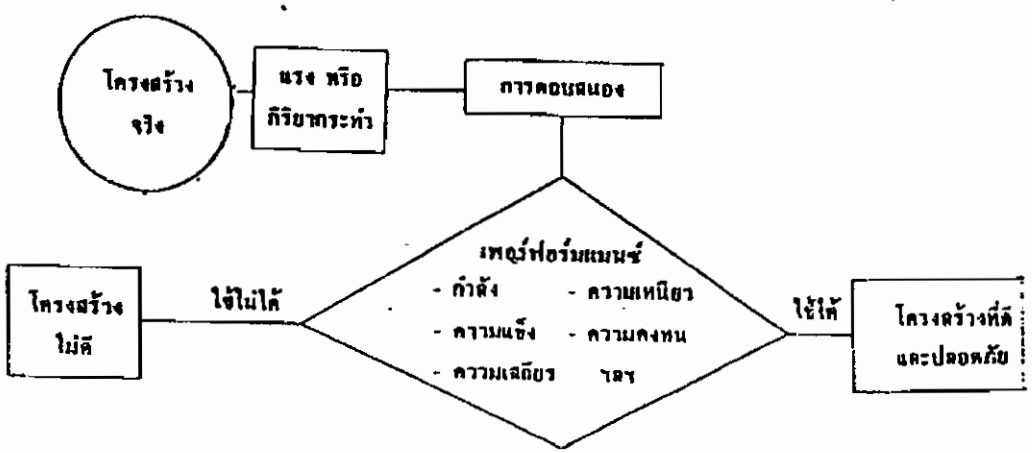
1. กำลัง (Strength) โครงสร้างจะต้องมีกำลังเพียงพอที่จะรับแรงกระทำเกินอัตรา (Over Load) ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในอายุการใช้งานได้โดยไม่เกิดการวิบัติ ความต้องการข้อนี้เพื่อให้โครงสร้างใช้งานได้โดยมีความปลอดภัยเพียงพอในระดับความเสี่ยงต่อการวิบัติที่ยอมรับกันทั่ว ๆ ไป

2. ความแข็ง (Stiffness) โครงสร้างจะต้องมีความเข็งเพียงพอไม่เกิดการโก่งตัวมากเกินไปภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน

3. ความเสถียร (Stability) โครงสร้างจะต้องมีการยึดรั้งเพียงพอไม่เกิดการเคลื่อนตัวซึ่งทำให้เสียความเสถียรทั้งในระหว่างก่อสร้างและในขณะใช้งาน และต้องมีกำลังของความเสถียรเพียงพอ

นอกจากนี้โครงสร้างควรมีความเหนียว สามารถโก่งงอได้มากพอและไม่วิบัติโดยกะทันหัน ควรมีความคงทนในสภาพบรรยากาศ และการใช้งาน และสามารถสรุปได้ดัง รูปที่2.1

ในทางปฏิบัติวิศวกรต้องทำการวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างก็เพื่อกำหนดขนาดชิ้นส่วนและรายละเอียดต่าง ๆ สำหรับสร้างโครงสร้างที่ต้องการ โครงสร้างที่แท้จริงในทางปฏิบัติจะเป็นโครงสร้างสามมิติ และอยู่ภายใต้ความไม่แน่นอนมากมาย การวิเคราะห์ที่ถูกต้องจะกระทำได้ยากหรืออาจเป็นไปไม่ได้เลย ดังนั้น จึงจะต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างเพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปได้ และการทำง่ายพอสมควรในทางปฏิบัติ [7] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กิริยาและการตอบสนองของโครงสร้างจริง

2.2.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2.6.1 การโก่งตัวของโครงสร้าง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งนอกจากการหาค่าของหน่วยแรงต่าง ๆ ในแต่ละส่วนโครงสร้างก็คือ การวิเคราะห์การโก่งตัวของโครงสร้าง โดยรวมถึงการหามุมหรือความลาดเอียง (Slope) การเปลี่ยนแปลงของมุม (change of slope) และระยะโก่งตัว (deflection) การวิเคราะห์โครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนทอีกด้วย

ในตอนแรกต้องทำความเข้าใจถึงลักษณะการโก่งตัวของโครงสร้างเสียก่อนการเขียนเส้นแสดงการโก่งตัวของโครงสร้างจะเป็นเครื่องช่วยให้เกิดความเข้าใจดีขึ้นเส้นแสดงการโก่งตัวเรียกว่าเส้นโค้งอีลาสติก (Elastic curve) เป็นเส้นที่อยู่ในแนวแกนสะเทินของแต่ละส่วนโครงสร้าง ถ้าไม่คำนึงถึงการยืดหดตัวของส่วนโครงสร้างอันเนื่องมาจากแรงตามแนวแกนแล้ว การโก่งตัวนี้เป็นผลเนื่องมาจากการกระทำของแรงในโครงสร้าง อันได้แก่โมเมนต์ดัด แรงตามแนวแกน และแรงเฉือน การโก่งตัวของคานหรือโครงข้อแข็ง (rigid frame) อันเนื่องมาจากแรงตามแนวแกนและแรงเฉือนมักมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลที่เกิดจากโมเมนต์ดัด แต่การโก่งตัวของโครงข้อหมุน (truss) เกิดจากแรงตามแนวแกนภายในโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่[7]

1. การโก่งของคาน

คานเป็นส่วนของโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ซึ่งเกิดจากแรงกระทำภายนอกที่กระทำกับวัตถุหรือน้ำหนักบรรทุกบนคานนั้น เมื่อคานได้รับน้ำหนักหรือแรงภายนอกกระทำ คานก็จะเกิดการแอ่นลงหรือโก่งงอ ทำให้คานไม่อยู่ในแนวตรงเหมือนตอนแรงที่ยังไม่ได้รับน้ำหนัก ฉะนั้นการคำนวณและออกแบบคานที่รับน้ำหนัก จะต้องคำนึงถึงการโก่งตัวของคานด้วย นอกเหนือไปจากความเค้นดัดและความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานตามปกติแล้ว มิฉะนั้นโครงสร้างนั้นก็ไม่สารถที่จะทำงานได้ดีตามที่ต้องการ หรืออาจเกิดการเสียหายก่อนกำหนดได้ จึงจำเป็นต้องมีการคิดค่าการโก่งตังของคานด้วยซึ่งข้อสมมุติฐานในการคำนวณหาระยะโก่งของคานมีดังนี้

1. ก่อนที่คานจะรับน้ำหนักหรือแรงภายนอก คานจะต้องอยู่ในแนวตรงระดับเดียวกับแนวระดับเสมอ
2. การโก่งตัวของคานจะคิดเฉพาะเนื่องจากโมเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว
3. ความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักหรือแรงที่กระทำจะต้องไม่เกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น
4. ระนาบของหน้าตัดคานก่อนได้รับและหลังได้รับโมเมนต์ดัดจะยังคงเป็นระนาบเดิม
5. การโก่งของคานจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวของคาน

การคำนวณหาการโก่งตัวของคานก็มีหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 1 วิธี ซึ่งได้แก่ วิธีการอินทิเกรตสองชั้น (Double integration method) เป็นวิธีที่ใช้หาระยะการโก่ง และค่าความลาดเอียง

ตลอดจนหาเส้นโค้งอีลาสติก ตลอดความยาวของคานนั้น ในรูปที่ พิจารณาที่เส้นโค้งยืดหยุ่น หรือวิวขอบของผิวสะเทิน ของคานในช่วง dx โดยกำหนดให้พิกัด x วัดจากปลายด้านซ้ายเป็นจุดกำเนิด และพิกัด y วัดขึ้นเป็นบวก การวิเคราะห์สมมุติว่าการโก่งตัวเกิดขึ้นน้อยมาก นั้นคือเส้นโค้งยืดหยุ่นเกือบเป็นเส้นตรง[7]

ดังนั้นความลาดชันของเส้นโค้งยืดหยุ่นที่จุดหนึ่ง ๆ สามารถเขียนได้เป็น

$\tan\theta \approx \theta = \frac{dx}{dy}$ และพบว่า $ds \approx dx$ โดยที่ $ds = \rho d\theta$

จากสมการ $1/\rho = M/EI$ จะได้ว่า

$$EI\frac{d^2y}{dx^2} = M \qquad (2.1)$$

สมการที่ 2.1 เรียกว่าสมการเชิงอนุพันธ์ของเส้นโค้งยืดหยุ่นของคานเมื่ออินทิเกรตสมการที่ 2.1 จะได้

$$EI\frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \qquad (2.2)$$

$$Ely = \iint (Mdx)dx + C_1 + C_2 \qquad (2.3)$$

2. การโค้งงอของเสา

ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะใหญ่ ๆ ขึ้นอยู่กับความยาวและขนาดของภาคตัด ชิ้นส่วนที่สั้นและภาคตัดที่ใหญ่มักจะเรียกว่าเสาสั้น และมักจะเสียหายเนื่องจากความเค้นกดในชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นจากแรงกดมีค่ามากกว่าความเค้นคราก ชิ้นส่วนที่ยาวและภาคตัดเล็กมักเรียกว่าเสา และมักเสียหายจากการโค้งงอก่อนที่ความเค้นกดในชิ้นส่วนจะเท่ากับความเค้นคราก

เมื่อโหลดที่กระทำกับเสามีค่ามากกว่าโหลดการโค้งงอ ในทางทฤษฎีกล่าวว่า เสาจะอยู่ในสภาวะสมดุลไม่เสถียร นั้นคือพร้อมจะไม่สมดุลเสมอ และถ้ามีโหลดกระทำในแนวขวางของเสาเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้เสาเกิดการโค้งงอ[7]

ทฤษฎีของออยเล่อร์

จะเห็นได้ว่าเสาจะเสียหายเมื่อเกิดการโค้งงอ ดังนั้นจึงต้องพยายามหาโหลดในแนวแกนของเสาที่ทำให้เกิดการโค้งงอ ออยเล่อร์จึงคิดทฤษฎีเพื่อที่จะหาโหลดที่กระทำกับเสา แล้วทำให้เสาเกิดความเสียหายเนื่องจากการดัด ในการหาโหลดนี้ออยเล่อร์ตั้งสมมุติฐานไว้ดังนี้

1. ไม่คิดผลที่เกิดจากการกดโดยตรง
2. วัสดุเสาเป็นเนื้อเอกพันธ์
3. พื้นที่ภาคตัดเสาเท่ากันตลอดความยาว
4. เสามีความยาวมากเมื่อเทียบกับขนาดของภาคตัด
5. โหลดกระทำในแนวแกนของเสา
6. เสาจะต้องตรงในตอนเริ่มต้น

และสมการสำหรับการหาค่าโหลดโค้งงอสำหรับเสาที่มีการรองรับที่ปลายทั้งสองข้างในลักษณะต่าง ๆ กัน โดยใช้ทฤษฎีของออยเล่อร์นั้น สามารถเขียนเป็นสมการในลักษณะเดียวกันได้เป็น

$$F_e = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \tag{2.4}$$

เมื่อ L_e เป็นความยาวสมมูลของเสาซึ่งมีความสัมพันธ์กับความยาวจริงของเสา และลักษณะการรองรับที่ปลายของเสา ความยาวสมมูลของเสาหาได้จากการพิจารณา half sin wave ที่เกิดขึ้นจากการโค้งงอ ดังรูปที่ เมื่อทราบความยาว L_e ก็สามารถแทนค่าลงในสมการ 2.4

เพื่อหาค่าโหลดโค้งงอสำหรับเสาที่มีการรองรับที่ปลายทั้งสองข้าง

จากสมการที่ 2.4 โหลดวิกฤตต่ำสุด สำหรับการโค้งงอของเสาที่มีการรองรับปลายทั้งสองข้างคือ

$$F_e = C\frac{\pi^2 EI}{L^2} \tag{2.5}$$

เมื่อ C เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับการรองรับที่ปลายเสา

C = 1.00 สำหรับเสาปลายทั้งสองข้างใส่หมุด

= 0.25 สำหรับเสาปลายข้างหนึ่งยึดแน่น ปลายข้างหนึ่งอิสระ

= 4.00 สำหรับเสาปลายทั้งสองข้างยึดแน่น

= 2.00 สำหรับเสาปลายข้างหนึ่งยึดแน่น ปลายข้างหนึ่งใส่หมุด

ค่า I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของภาคตัดซึ่งสามารถเขียนได้ในรูป

$$I = Ak^2 \tag{2.6}$$

เมื่อ k เป็นรัศมีไจเรชั่น ของภาคตัดรอบแกนที่เกิดการโค้งงอ ดังนั้นเมื่อแทนค่า I ลงในสมการข้างต้นสามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$F_e = C\frac{\pi^2 EA}{(L/k)^2} \tag{2.7}$$

อัตราส่วน L/k มีชื่อเรียกว่าอัตราส่วนความชะลูด ซึ่งในการคำนวณการโค้งงอมักใช้ค่า k ค่าน้อยที่สุดของภาคตัด

พิจารณารูปที่ จะเป็นได้ว่าช่วงระหว่างอัตราส่วนความชะลูด เท่ากับ 40 ไปจนถึง 120 ทั้ง Euler curve และเส้นกราฟของ σ_y นั้นคือ

$$F_e = \sigma_y A \tag{2.8}$$

แต่เนื่องจากโหลดโค้งงอของออยเล่อร์สามารถเขียนได้ในรูปของ

$$F_e = C\frac{\pi^2 EA}{(L/k)^2} \tag{2.9}$$

ดังนั้นภายในขีดจำกัดความถูกต้อง

$$\sigma_y A = C\frac{\pi^2 EA}{(L/k)^2} \tag{2.10}$$

$$\frac{L}{k} = \sqrt{\frac{C\pi^2 E}{\sigma_y}} \tag{2.11}$$

ดังนั้นภายใต้การออกแบบเสาโดยใช้ทฤษฎีของออยเล่อร์ ในขีดจำกัดความถูกต้อง นั้น เสาจะต้องมี (L/k) มากกว่าที่คำนวณได้[7]

2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในระบบการทำงาน

ลูกเบี้ยวเป็นกลไกมูลฐานอีกประเภทหนึ่ง ที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ลักษณะของลูกเบี้ยวส่วนใหญ่จะเป็นผิวโค้ง ซึ่งจากการหมุนหรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมา จะทำให้ตัวตามเคลื่อนที่ตามต้องการ[4]

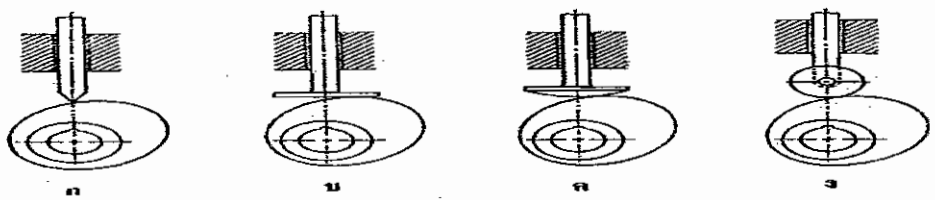
2.3.1 ระบบลูกเบี้ยวและตัวตาม

เมื่อมีการนำลูกเบี้ยวไปใช้งาน จะต้องมีตัวตามประกอบไปด้วย ดังนั้นการเรียกชื่อระบบของลูกเบี้ยวและตัวตาม จึงอาศัยชื่อของลูกเบี้ยว และตัวตามมาประกอบกัน

ลูกเบี้ยวแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะรูปร่าง เช่น มีลักษณะเป็นแผ่นเรียก Disk Cam (Radial Cam) ลักษณะคล้ายลิ่มเรียก Wedge Cam เป็นต้น

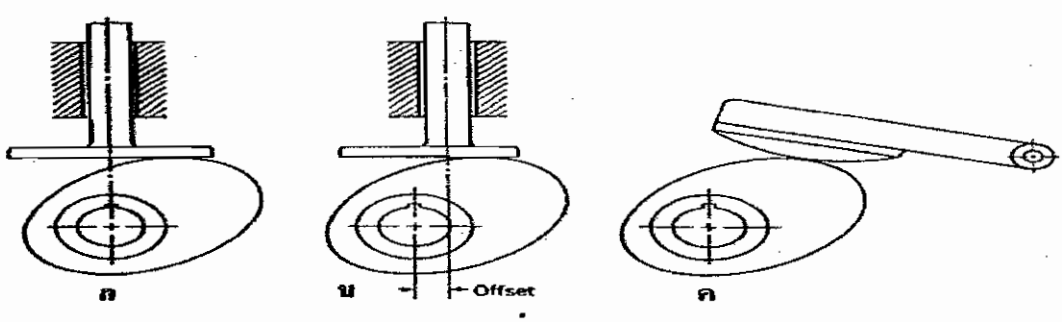
ส่วนตัวตามแบ่งได้ 2 ประเภท คือ แบ่งตามลักษณะรูปร่าง ได้แก่ Knife-edged เป็นแบบที่ส่วนที่สัมผัสกับลูกเบี้ยว เป็นปลายแหลม (รูปที่ 2.2 ก) Flat-faced (รูปที่ 2.2 ข) ผิวที่สัมผัสเป็น

เส้นตรง Spherical-faced (รูปที่ 2.2 ค) ผิวสัมผัสเป็นเส้นโค้ง และ Roller (รูปที่ 2.2 ง) ซึ่งส่วนที่สัมผัสเป็นล้อกลมหมุนได้เป็นต้น



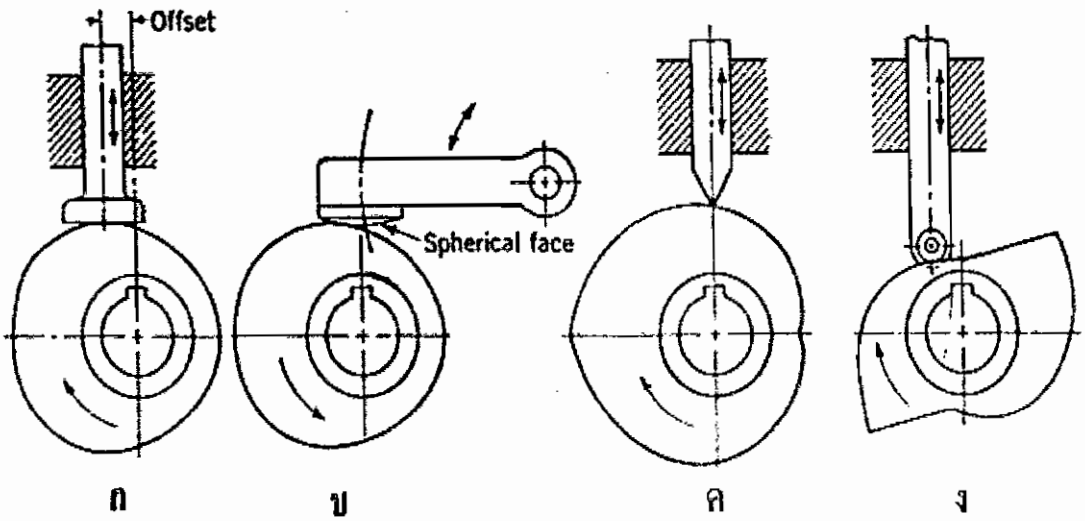
รูปที่2.2ลูกเบี้ยว

สำหรับตัวตามอีกประเภทหนึ่ง แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่รวมทั้งแนวการเคลื่อนที่ด้วยดังเช่น (รูปที่ 2.3 ก) คือ ตัวตามแบบ Radial Flat-faced Translating ที่มีผิวสัมผัสเป็นเส้นตรงและมีการเคลื่อนที่แบบ Translation ตามแนวรัศมี Offset-Flat-faced Translating เป็นแบบที่คล้ายแบบแรกเพียงแต่แนวการเคลื่อนที่ของตัวตามอยู่เยื้องจากแนวจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว
(รูปที่ 2.3 ข) และ Spherical-faced Oscillating (รูปที่ 2.3 ค) มีผิวสัมผัสเป็นเส้นโค้ง และมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ผิวโค้งของลูกเบี้ยว

เมื่อนำลูกเบี้ยวและตัวตามประเภทต่าง ๆ มาประกอบกันเข้า ชื่อของระบบก็จะบอกถึงลักษณะต่าง ๆ เหล่านั้นอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น



รูปที่2.4 ระบบลูกเบี้ยว

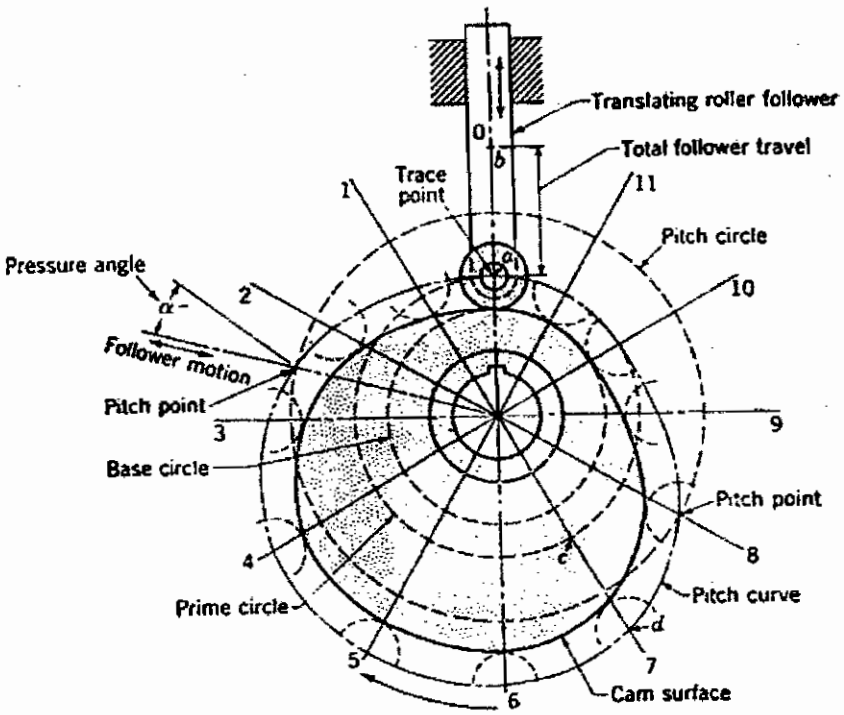
รูปที่ 2.4 ก คือ Radial Cam and Flat-faced Offset Translating Follower เป็นระบบที่ประกอบด้วยลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่น และตัวตามที่มีผิวสัมผัสเป็นเส้นตรงเคลื่อนที่แบบ Translation ตามแนวรัศมี โดยแนวการเคลื่อนที่เยื้องกับแนวจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยว

Radial Can and Spherical-faced Oscillating follower ประกอบด้วยตัวตาม ที่มีผิวสัมผัสเป็นเส้นโค้งเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา และลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่น (รูปที่ 2.4)

รูปที่2.4ค เป็นระบบของลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่นประกอบกับตัวตามแบบที่มีปลายแหลมเป็นผิวสัมผัส เคลื่อนที่แบบ Translation ตามแนวรัศมี เรียกชื่อว่า Radial Cam and Translation Knife-edged Follower

Radial Two-lobe Frog Cam and Translating Offset Roller Follower (รูปที่ 2.4 ง) [4]

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของลูกเบี้ยว (Cam Nomenclature)



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆของลูกเบี้ยว

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของลูกเบี้ยว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 มีดังนี้ คือ

Base Circle คือ วงกลมที่เล็กที่สุดที่สามารถเขียนไปสัมผัสผิวของลูกเบี้ยว โดยใช้จุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวเป็นจุดศูนย์กลาง

Trace Point คือ จุดที่ทางเดินจะทำให้เกิดเป็น Pitch Curve

Pressure Angle คือ มุมระหว่างแนวทางการเคลื่อนที่ของตัวตาม กับเส้นตั้งฉาก กับ Pitch Curที่จุดนั้น ๆ

Pitch Point คือ จุดบน Pitch Curve ซึ่งเป็นจุดที่มีค่ามุม Pressure Angle มากที่สุด

Pitch Circle คือ วงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะจากจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวที่จุด Pitch Point

Prime Circle คือ วงกลมที่เล็กที่สุดที่สามารถเขียนไปสัมผัสผิวของ Pitch Curve โดยใช้จุดศูนย์กลางลูกเบี้ยวเป็นจุดศูนย์กลาง[4]

ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

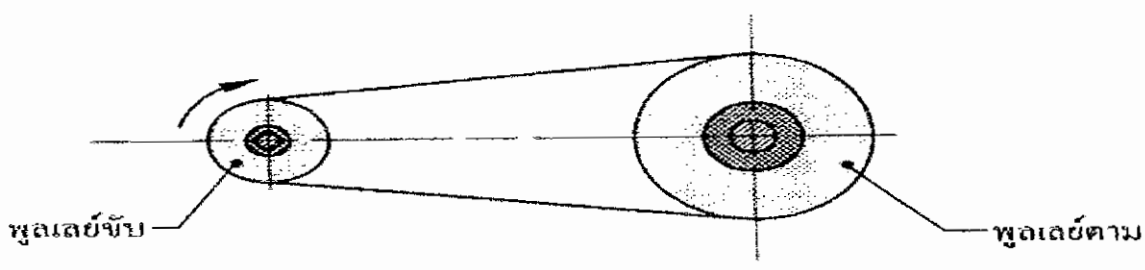
เคลื่อนที่ไป (Rise) คือ การที่ตัวตามเคลื่อนที่ออกไปจากจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยว

เคลื่อนที่กลับ (Return) คือ การที่ตัวตามเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางลูกเบี้ยว

ช่วงที่อยู่กับที่ (Dwell) คือ ช่วงเวลาที่ตัวตามไม่มีการเคลื่อนที่[4]

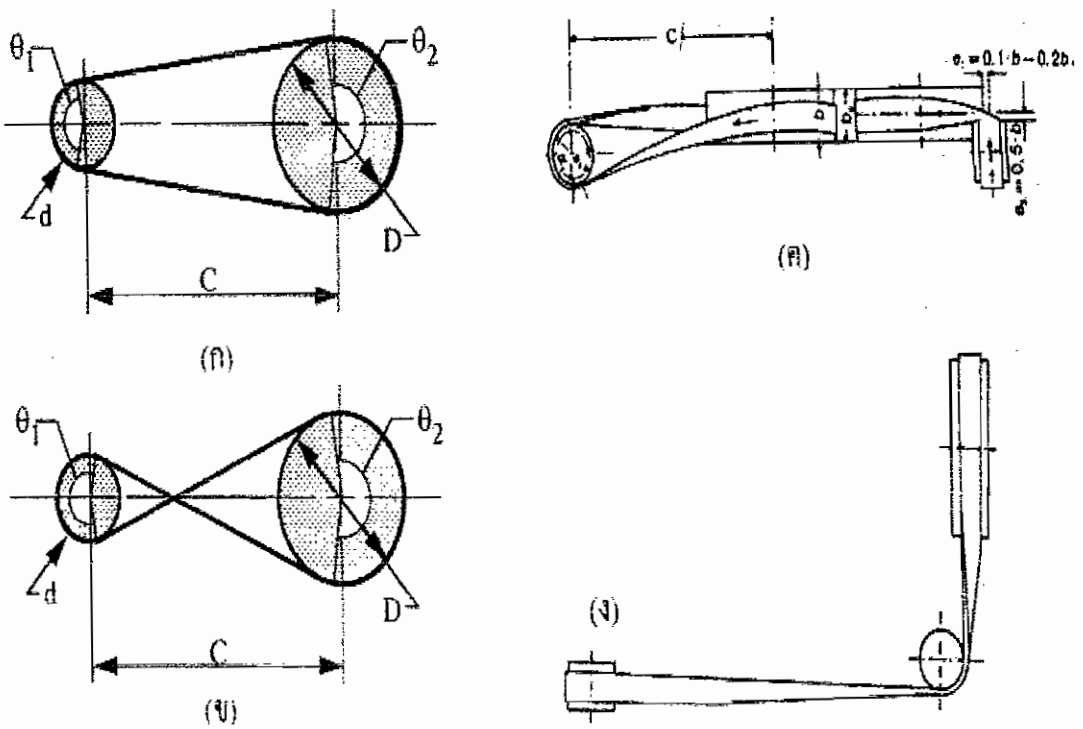
2.3.2 สายพานส่งกำลัง

การส่งกำลังด้วยสายพาน จะประกอบด้วยสายพานที่หยุ่นตัวได้ติดตั้งรอบพูลเลย์ (pulley) ตั้งแต่สองอันขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ ซึ่งเป็นการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน แรงในแนวสัมผัสจะถูกส่งถ่ายจากพูลเลย์ขับไปยังพูลเลย์ตาม โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างสายพานและพูลเลย์



รูปที่ 2.6 การขับด้วยสายพาน

ในการส่งกำลังด้วยสายพาน สามารถติดตั้งสายพานขับได้หลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ได้แก่ สายพานแบบเปิด (open belt) สำหรับขับเพลาที่ขนานกันให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 2.7 ก) สายพานแบบไขว้ (cross belt) สำหรับขับเพลาที่ขนานกันให้หมุนในทิศทางตรงกันข้าม (รูปที่ 2.7 ข) สายพานแบบกึ่งไขว้ (half-crossed belt) สำหรับขับเพลาที่ข้ามกัน (รูปที่ 2.7 ค) สายพานแบบทำมุมกัน (angular belt) สำหรับขับเพลาที่ตัดกัน (รูปที่ 2.7 ง)



รูปที่ 2.7 การติดตั้งสายพานแบบต่างๆ

การแบ่งประเภทของสายพานตามลักษณะของภาคตัดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ได้แก่ สายพานแบน (flat belt) มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (รูปที่ 2.8 ก) สายพานวี (V belt) มีภาคตัดขางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (รูปที่2.8ข) และสายพานหลายวี มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหลายรูปวางขนานกันและยึดปิดด้านบนร่วมกัน (รูปที่ 2.8 ค) สายพานกลมหรือสายพานเชือกมีภาคตัดขางกลม [1](รูปที่ 2.8 ง)

รูปที่2.8 ประเภทของสายพาน

ข้อดีของสายพานส่งกำลัง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฟืองและโซ่ส่งกำลัง ซึ่งทำให้มีการใช้สายพานส่งกำลังอย่างกว้างขวาง [1]ได้แก่

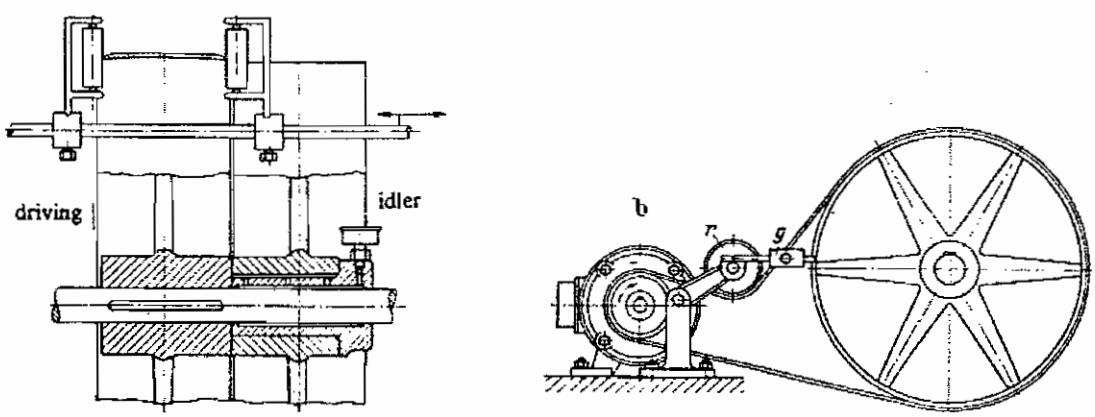
1.การทำงานค่อนข้างเงียบกว่า (ยกเว้นเสียงกระแทกจากรอบต่อของสายพานแบน)

2.สามารถดูดซับการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดีกว่า

3.การติดตั้งง่ายไม่ต้องการเรือนเฟืองและการหล่อลื่น

4.ราคาถูกกว่ามากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเพลาห่างกันมากและการติดตั้งพูลเลย์ทำได้ง่าย

5.การตัดต่อกำลังทำได้ง่ายเช่นการเลื่อนสายพานแบบไปอยู่บนไอเดิลพูลเลย์(idler pulley)ดูรูปที่2.9 ก หรือการยกพูลเลย์กด (jockey pulley) ขึ้นดูรูปที่ 2.9 ข



รูปที่ 2.9 การตัดต่อกำลัง

ข้อเสียของสายพานส่งกำลัง ได้แก่

1.ใช้เนื้อที่มากกว่า

2.เกิดการลื่น (slip) 1 ถึง 2 % การลื่นจะแปรเปลี่ยนตามแรงในแนวสัมผัส แรงดึงเบื้องต้นส่วนยืดถาวร และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

3.ส่วนยืดถาวรในสายพานเพิ่มขึ้นแบบก้าวหน้าตามเวลาและโหลด ทำให้เกิดการลื่นและสายพานหลุดออกจากพูลเลอร์ จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยปรับความตึง

คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของสายพานในทางทฤษฎีคือ ต้องทนแรงดึงได้สูง ฟื้นตัวจากการเปลี่ยนรูปถาวรได้ดี สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง (เกิดการคือ (creep) น้อย) สามารถบิดตัวได้ดี (เกิดความเค้นดันต่ำ) และน้ำหนักจำเพาะต่ำ (แรงหนีศูนย์กลางน้อย)[1]

2.3.2.1 **กลศาสตร์ของสายพาน**

รูปที่ 2.10 แสดงการขับด้วยสายพานซึ่งได้รับแรงดึงเบื้องต้น F_i สมมุติว่าเมื่อพูลเลอร์ไม่หมุนหรือหมุนตัวเปล่าไม่มีการส่งกำลัง สายพานด้านบนและด้านล่างจะเกิดแรงดึงเท่ากันคือ เท่ากับ F_i ดังรูปที่ เมื่อมีการส่งกำลัง โมเมนต์บิด T_1 กระทำต่อเพลาขับและโมเมนต์บิดต้าน T_2 กระทำต่อเพลาตามในทิศทางตรงกันข้าม จะเกิดแรงดึงในสายพานด้านขับ (ด้านตึง) สูงกว่าสายพานด้านตาม (ด้านหย่อน) $F_1 > F_2$ ดังรูปที่ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงทั้งสองด้านของสายพานสามารถหาได้เช่นเดียวกับในเบรกสายพานแบนคือ

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta} \tag{2.15}$$

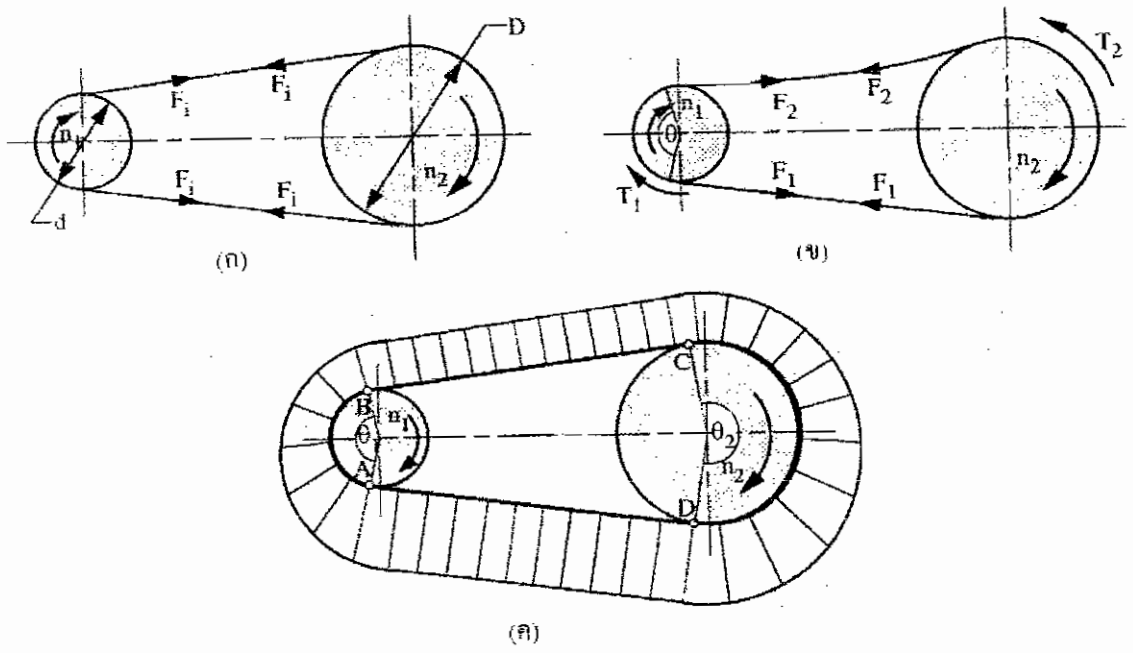
เมื่อ f = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างพูลเลอร์กับสายพาน

θ = มุมโอบหรือมุมสัมผัสระหว่างสายพานกับพูลเลอร์ขับ

เมื่อสายพานส่งกำลังจะได้ว่า $F_1 > F_i$ และ $F_2 < F_i$ แสดงว่าด้านตึงจะเกิดการยืดตัว ขณะที่ด้านหย่อนจะเกิดการหดตัว ดังนั้นจากรูปที่ จุดบนสายพานซึ่งตรงกับจุด A ของพูลเลอร์ขับจะเคลื่อนไปถึงตำแหน่ง B ช้ากว่าจุด A ของพูลเลอร์ ความเร็วของสายพานจะน้อยกว่าความเร็วขอบของพูลเลอร์ขับในทางตรงกันข้ามจุด C ของพูลเลอร์ตามจะถึงตำแหน่ง D ช้ากว่าสายพาน (ในช่วงโค้ง CD) ดังนั้นความเร็วขอบของพูลเลอร์ตามจะน้อยกว่าความเร็วขอบของพูลเลอร์ขับ การสูญเสียความเร็วในสายพานเรียกว่า การคืบยืดหยุ่น (elastic creep)

เนื่องจากแรงในสายพานรอบพูลเลอร์ขับเปลี่ยนจาก F_1 เป็น F_2 ความเครียด ε ในสายพานก็จะเปลี่ยนจาก ε_1 เป็น ε_2 ด้วย ผลต่างของความเครียดเรียกว่า การลื่นของสายพาน (belt slip) แทนด้วย s ดังนั้น[1]

$$s = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \qquad \text{(a)}$$



รูปที่2.10 กลศาสตร์ของสายพาน

ให้ w เป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายพาน ถ้าสมมุติว่าการเปลี่ยนรูปของสายพานด้านตึงและด้านหย่อนไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลง ดังนั้นอัตราของมวลที่เข้าพูลเลอร์และออกจากพูลเลอร์จะต้องเท่ากัน

$w_2 > w_i > w_1$ และ $v_2 > v_i > v_1$

$$w_i = w(1+\varepsilon) = \text{คงที่}$$

$$v/(1+\varepsilon) = \text{คงที่} \qquad \text{(b)}$$

จากสมการ (b)
$$\frac{v_1}{(1+\varepsilon_1)} = \frac{v_2}{(1+\varepsilon_2)}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1+\varepsilon_1}{1+\varepsilon_2} \approx 1+(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = 1+s \qquad \text{(c)}$$

ถ้าให้ความเร็วเชิงมุมของพูลเลอร์ขับและของพูลเลอร์ตาม คือ ω_1 และ ω_2 ตามลำดับจะได้ว่า

$$v_1 = \omega_1 d/2; v_2 = \omega_2 D/2$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{D}{d} = (1+s)\frac{D}{d} \qquad (2.16)$$

สมการ (2.16) ให้อัตราทด i ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลอร์ และสัมพันธ์กับการลื่นของสายพานซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานและไม่คงที่ จากการทดลองพบว่าการลื่นของ

ป TJ
230
.T359ค
2548

4940003
13 ธ.ค. 2549
สำนักหอสมุด

สายพานอยู่ในช่วง 1% ถึง 2% อัตราทดสำหรับสายพานแบนใช้ได้สูงถึง 5 และสายพานวีสามารถใช้ได้กับอัตราทดสูงถึง 15 (ปกติไม่เกิน 7)

จากรูปที่2.10 ถ้าปริมาตรคงที่ จะได้ว่าส่วนยืดในสายพานด้านตึงจะต้องเท่ากับส่วนที่หดในสายพานด้านหย่อน ดังนั้น

$$(\varepsilon_1 - \varepsilon_i)L = (\varepsilon_i - \varepsilon_2)L$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 2\varepsilon_i \qquad \text{(d)}$$

จากกฎของฮุคในช่วงสัดส่วนตรง $\varepsilon = F/AE$ จะได้ว่า

$$F_1 + F_2 = 2F_i \qquad (2.17)$$

ถ้าให้แรงขับที่ขอบพูลเลอร์คือ F_t ความเร็วขอบคือ v และกำลังที่สายพานส่งได้คือ P

$$P = F_t v \qquad (2.18)$$

$$F_t = F_1 - F_2 \qquad (2.19)$$

จากสมการ (2.18) ให้ $a = e^{f\theta}$ และสมการ (2.19) จะได้ว่า

$$F_2 = F_t/(a-1); F_1 = F_t a/(a-1)$$

$$F_i = F_t \frac{(a+1)}{2(a-1)} \qquad (2.20)$$

$$r_p = \frac{F_t}{2F_i} = \frac{a-1}{a+1} \qquad (2.21)$$

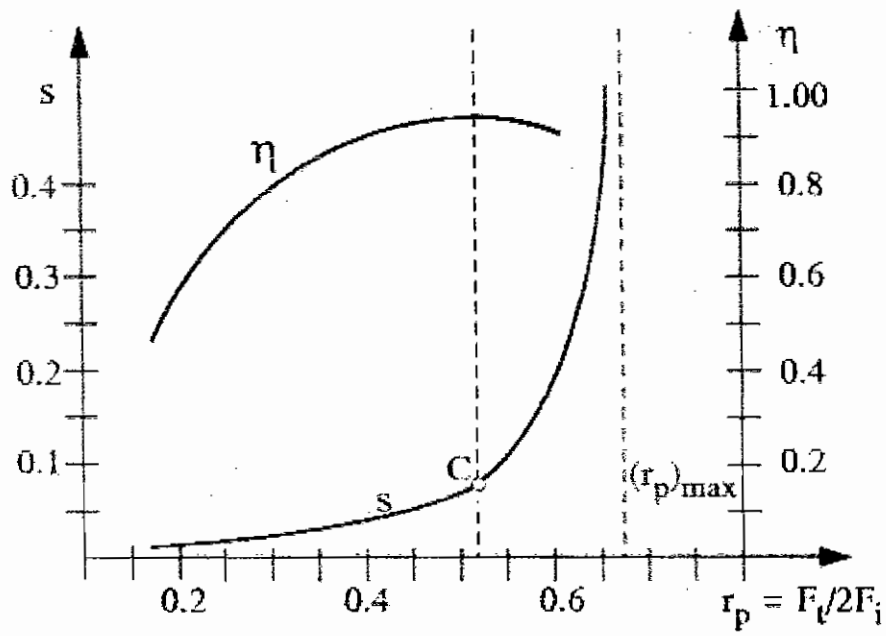
r_p เรียกว่า อัตราส่วนการดึง (pull ratio) และประสิทธิภาพของสายพานหาได้จาก

$$\eta = \text{กำลังขาออก/กำลังขาเข้า}$$

$$\eta = \frac{(F_1 - F_2)v_2}{(F_1 - F_2)v_1} \times 100 = (1-s)100 \qquad (2.22)$$

อัตราส่วนการดึงเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญมากของการใช้สายพาน แฟคเตอร์การลื่นและประสิทธิภาพของสายพานขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการดึง ดังแสดงในรูปที่ ประสิทธิภาพของสายพานทั่ว ๆ ไปจะสูงประมาณ 95% ใกล้ ๆ กับจุดที่แฟคเตอร์การลื่นเริ่มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนั้น (ที่จุด C) ประสิทธิภาพของสายพานจะมีค่าสูงสุดโดยประมาณ ก่อนจุดดังกล่าวอัตราส่วนการดึงมีค่าต่ำสายพานจะหนักและมีการสูญเสียมากซึ่งทำให้ประสิทธิภาพต่ำ หลังจากจุดที่ดีที่สุดความเสียดทานไถลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเกิดการสูญเสียและทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราส่วนการดึงที่ดีที่สุดคือ 0.6 สำหรับสายพานยืดหยุ่น และสายพานหนัง 0.5 สำหรับสายพานผ้าฝ้าย 0.4 สำหรับสายพานผ้าขนสัตว์ และ 0.5

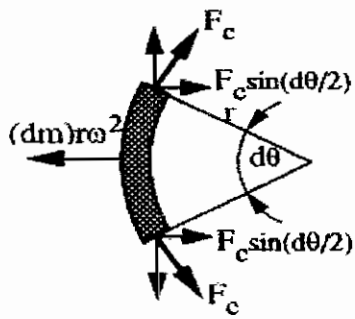


รูปที่ 2.11 สมรรถนะของสายพาน

สำหรับสายพานพลาสติก ใช้อัตราส่วนการดึงระหว่าง 0.4-0.6 สำหรับสายพานแบน และ 0.7-0.9 สำหรับสายพานตัววี[1]

2.3.2.2 ความเค้นในสายพาน

เมื่อสายพานทำงานที่ความเร็วสูง จะต้องพิจารณาถึงแรงเฉื่อยจากการหมุนด้วย สมมุติว่าช่วงเล็ก ๆ ของสายพาน (รูปที่ 2.12) เกิดแรงดึง F_c ในสายพานเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางย่อย ๆ $(dm)r\omega^2$



รูปที่ 2.12 ความเค้นของสายพาน

เมื่อ w= น้ำหนักของสายพานต่อหนึ่งหน่วยความยาว แรงหนีศูนย์กลางย่อย ๆ $= w(rd\theta)v^2/gr$ สำหรับมุมเอียง $d\theta$ น้อย ๆ $\sin(d\theta/2) \approx d\theta/2$ และจากสภาวะสมดุลย์ของสายพานช่วงเล็ก ๆ จะได้ว่า

$$2F_c(2d\theta/2) = (dm)r\omega^2 = \frac{w}{g}rd\theta\frac{v^2}{r}$$

$$F_c = \frac{w}{g}v^2 \qquad (2.23)$$

ความเค้นเนื่องจากแรงดึงสูงสุด F_1 ในสายพานซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง A คือ

$$\sigma_1 = F_1/A = F_t/A(a-1) \qquad (e)$$

ความเค้นเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง F_c หาได้จาก

$$\sigma_v = \frac{w}{g}\cdot\frac{v^2}{A} = \frac{\gamma}{g}v^2 \qquad (f)$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะ N/m^3

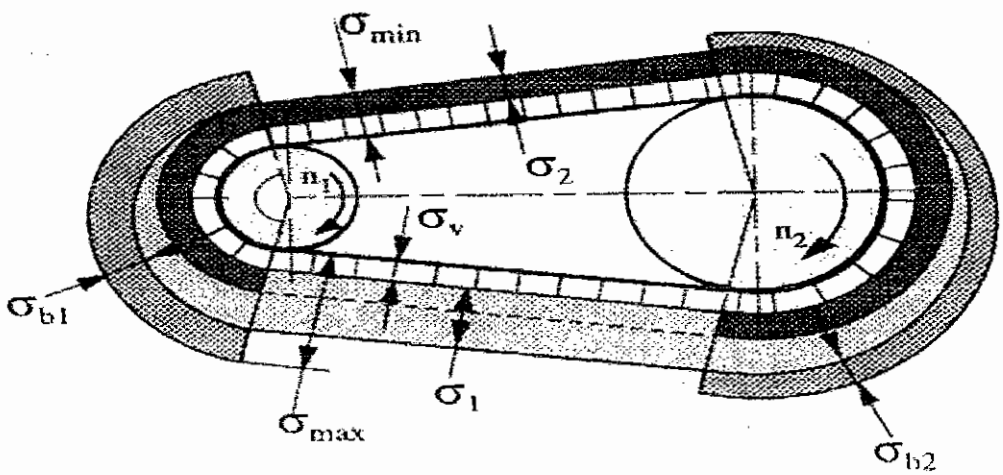
v = ความเร็วสายพาน m/s

g = 9.81 m/s^2

w = น้ำหนักสายพานต่อความยาวหนึ่งเมตร N/m

ความเค้นเนื่องจากการดัด (M=2EI/d ; $\sigma_b = Et/D$ (g)

ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลอร์แตกต่างกัน ความเค้นดัดในสายพานที่คล้องพูลเลอร์ทุกตัวจะมีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ 2.13 ความเค้นของสายพาน

จากการรวมสมการ (e),(f) และ (g) จะได้ว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในสายพานเป็นความเค้นดึงและเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเริ่มสัมผัสกับพูลเลอร์ขับ ดังแสดงในรูปที่ มีค่าดังนี้

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_v + \sigma_b = F_t a / A(a-1) + \gamma v^2 / g + Et / d_{1,2} \qquad (2.24)$$

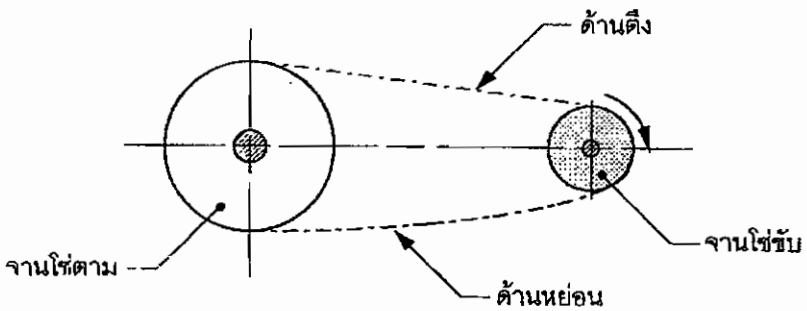
จะเห็นได้ว่า ความเค้นทั้งหมดเป็นความเค้สสถิต ยกเว้นความเค้นดัดจะเป็นความเค้นเปลี่ยนแปลงแบบซ้ำ ความเค้นดัดสูงสุดจะเกิดขึ้นที่พูลเลอร์ขนาดเล็กสุด สำหรับวิเคราะห์ความล้าจะได้ว่าความเค้นเฉลี่ยและความเค้นแอมพลิจูดในสายพาน [1]คือ

$$\sigma_m = F_t a / A(a-1) + \gamma v^2 / g + (Et / d_{min})/2 \qquad (2.25)$$

$$\sigma_a = (Et / d_{min})/2 \qquad (2.26)$$

2.3.3 **โซ่ส่งกำลัง** (Transmission Chain)

การขับส่งกำลังด้วยโซ่ดังแดงในรูป ประกอบด้วยโซ่ที่คล้องรอบจานโซ่ตั้งแต่สองอันขึ้นไป จานโซ่เป็นล้อที่มีฟันรูปร่างพิเศษ ในการขับด้วยโซ่นั้นข้อโซ่จะขบกับฟันของจานโซ่จึงไม่มีการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดคงที่เช่นเดียวกับการขับด้วยเฟือง โซ่จะทำหน้าที่ส่งกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกันเท่านั้น การขับด้วยโซ่ใช้กันอย่างกว้างขวางในเครื่องจักรต่างๆ



รูปที่ 2.14 การขับด้วยโซ่ส่งกำลัง[1]

ข้อดีของการส่งกำลังด้วยโซ่

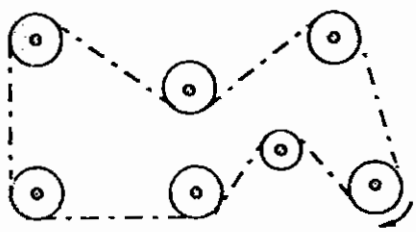
1. สามารถส่งกำลังในระยะที่ห่างระหว่างเพลาขับกับเพลาตามได้ไกล
2. การติดตั้งสะดวก ไม่ต้องกังวลเรื่องการเยื้องศูนย์มากนัก
3. สามารถส่งกำลังได้สูง และประสิทธิภาพค่อนข้างสูง
4. ไม่เกิดการลื่นไถล ทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดที่คงที่
5. สามารถส่งกำลังในที่ที่มีความชื้นและฝุ่นละอองได้
6. สามารถส่งกำลังจากตัวส่งกำลังขับตั้งต้นไปขับเพลาได้หลายตัวในเวลาเดียวกัน(รูปที่ 2.16)
7. ราคาถูกกว่าระบบส่งกำลังแบบอื่นๆ

ข้อเสียของการส่งกำลังด้วยโซ่

1. ระยะพิตช์ของโซ่เพิ่มขึ้น (โซ่ยืดออก) เนื่องจากการสึกหรอของข้อต่อซึ่งทำให้ต้องใช้ตัวปรับความตึง เพื่อป้องกันไม่ให้โซ่หลุดจากจานโซ่

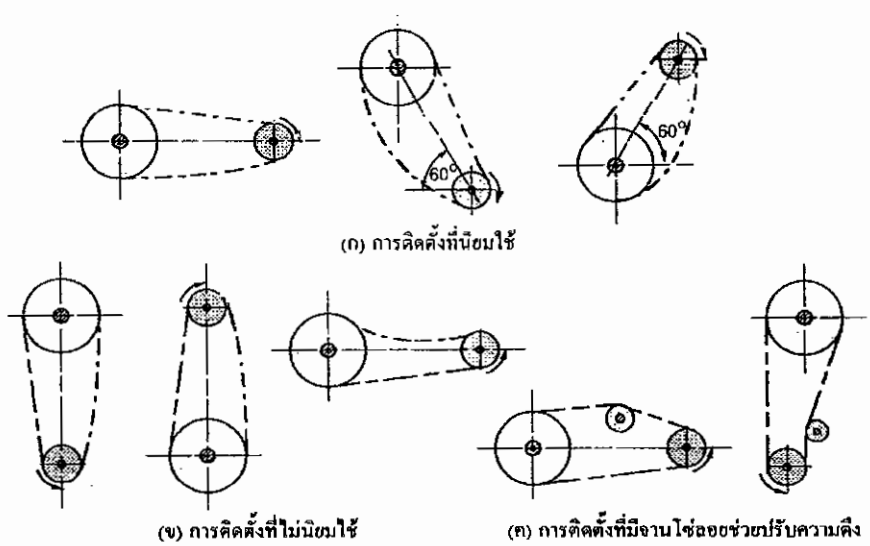
2. การบำรุงรักษายุ่งยากกว่าสายพาน ต้องคอยใส่น้ำมันหล่อลื่นระหว่างใช้งาน

3. เกิดเสียงดังและการสั่นในขณะใช้งาน เนื่องจากการกระแทกระหว่างโซ่กับโคนฟันของจานโซ่และความเร็วไม่คงที่



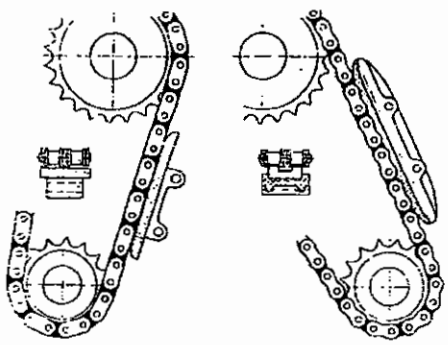
รูปที่ 2.15 โซ่เส้นเดียวขับหลายเพลา[1]

การติดตั้งโซ่โดยปกตินิยมติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวระดับ หรือทำมุมกับแนวระดับไม่เกิน 60 องศา และจะต้องให้ด้านล่างเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.16 (ก) ไม่นิยมการติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของจานโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวดิ่ง หรือด้านบนเป็นด้านหย่อน ดังรูปที่ 2.16 (ข) เนื่องจากโซ่มักจะหลุดจากจานโซ่ได้ง่ายเมื่อโซ่เกิดการยืดเพียงเล็กน้อย ถ้าจำเป็นอาจติดตั้งจานโซ่ไอเดิล (idle sprocket) ช่วยรองรับด้านหย่อนดังรูปที่ 2.16 (ค)



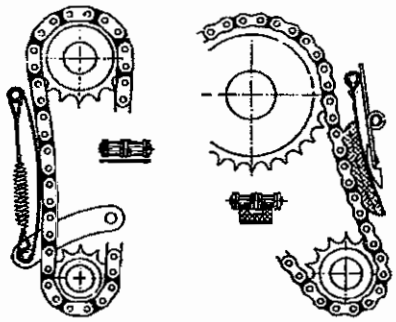
รูปที่ 2.16 การติดตั้งโซ่ขับสองจาน[1]

เราสามารถขยายขอบเขตการใช้งานของโซ่ขับ โดยการใช้อุปกรณ์ช่วยพิเศษ ได้แก่ ตัวหน่วงการสั่นสะเทือน (vibration damper) ดังรูปที่ 2.17 เพื่อจำกัดการสั่นสะเทือนของโซ่เมื่อมีการกระแทกอย่างแรงเป็นระยะๆและความเร็วสูงๆ การติดตั้งล้อช่วยรองรับหรือรางรับการไถล (sliding rail) เมื่อระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของจานโซ่ห่างกันมาก ดังรูปที่ 2.18 เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของโซ่ หรือการใช้อุปกรณ์ปรับความตึงของโซ่ด้านหย่อน เมื่อจานโซ่ตัวตามอยู่เหนือจานโซ่ตัวขับ ดังรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20 เพื่อให้เกิดความตึงเบื้องต้นที่จำเป็นในด้านหย่อนของโซ่

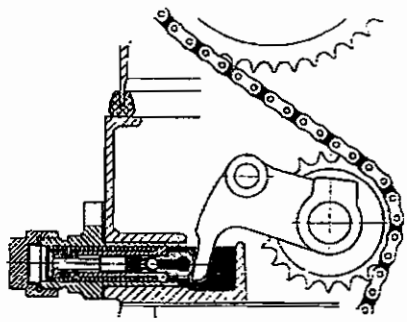


รูปที่ 2.17 ใช้ยางเป็นตัวหน่วงการสั่นสะเทือน[1]

รูปที่ 2.18 ใช้รางรับการไถลสำหรับระยะจุดศูนย์กลางที่ห่างไกลกันมาก[1]



รูปที่ 2.19 สปริงปรับความตึงของโซ่สั้น



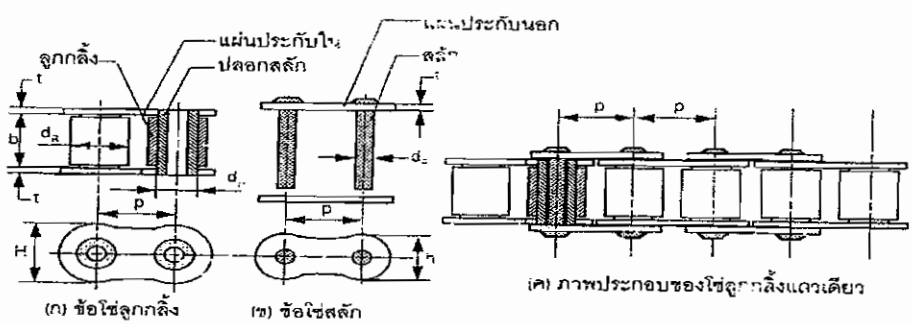
รูปที่ 2.20 ไฮดรอลิคปรับความตึงของโซ่

เราสามารถแบ่งชนิดของโซ่ตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ โซ่ขับหรือโซ่ส่งกำลัง โซ่ลำเลียง (conveyor chain) และโซ่ดึง แต่ละกลุ่มยังแบ่งย่อยออกเป็นประเภท ตามรายละเอียดของการออกแบบในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะโซ่ส่งกำลังเท่านั้น

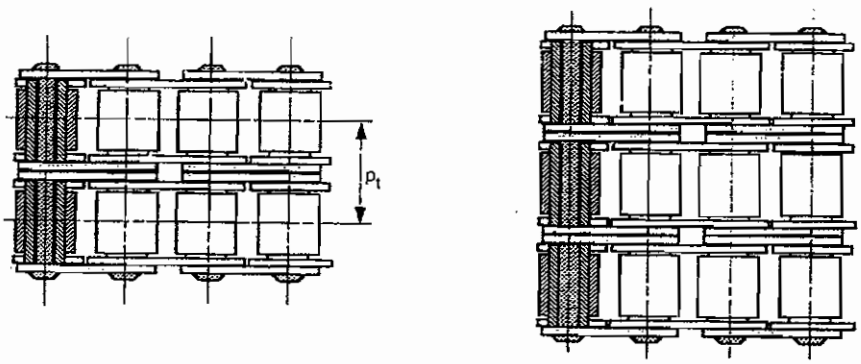
ประเภทของโซ่ส่งกำลัง

1. โซ่ลูกกลิ้ง (roller chain) ประกอบด้วย สลัก ปอกสลัก ลูกกลิ้ง แผ่นประกับใน (inner plate) และแผ่นประกับนอก (outer plate) ปลอกสลัก (bush) จะสวมอัดแน่นกับแผ่นประกับใน มีลูกกลิ้ง (roller) กลวงหมุนได้อิสระสวมอยู่ด้านนอกของปลอกสลัก แผ่นประกับนอกยึดอยู่กับสลัก (pin) ดังรูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของโซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว รูปที่ 2.22 แสดงโซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสาม

แถว

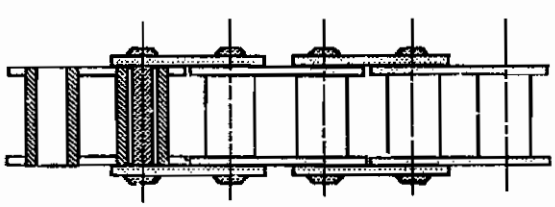


รูปที่ 2.21 โซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว[1]



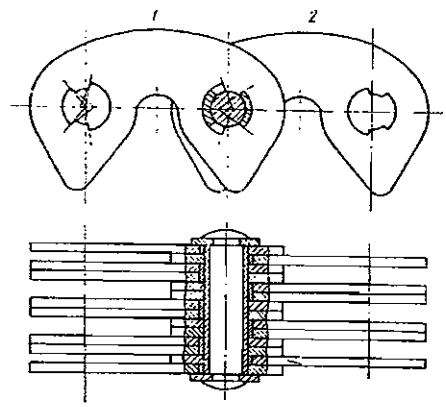
รูปที่ 2.22 โซ่ลูกกลิ้งสองแถวและสามแถว[1]

2. โซ่ปลอก (brush chain) โซ่ปลอกแตกต่างไปจากโซ่ลูกกลิ้งตรงที่ไม่ต้องมีลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 2.23 จึงทำให้สามารถออกแบบปลอกสลักและสลักของโซ่ปลอกหนาขึ้นได้ ดังนั้นโซ่ปลอกจะสามารถรับโหลดที่จะทำให้โซ่ขาดได้สูงกว่าโซ่ลูกกลิ้งสำหรับพิตช์ที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามโซ่ปลอกจะเกิดเสียงดังและเกิดการสึกหรอมากกว่าโซ่ลูกกลิ้ง จึงนิยมใช้โซ่ลูกกลิ้งมากกว่าโซ่ปลอก

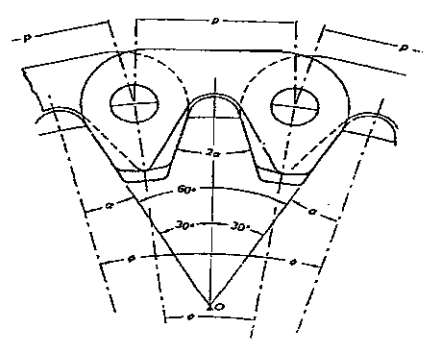


รูปที่ 2.23 โซ่ปลอก[1]

3. โซ่เงียบ (silent chain) หรือโซ่ฟัน (toothed chain) ประกอบด้วยแผ่นประกับหลายแผ่นจัดเรียงติดกันไป โดยมีการสลับแผ่นไปยึดกับสลักข้อโซ่ถัดไป ดังรูปที่ 2.24 แต่ละแผ่นประกับจะมีฟันสองฟันที่มีร่องบากเพื่อให้แผ่นประกับหมุนขบเข้ากับฟันของจานโซ่ แผ่นประกับของโซ่เงียบส่วนใหญ่จะมีรูปร่างแบบคมมีด ทำให้ข้อโซ่ที่ยึดติดกันหมุนแนบเต็มร่องฟันเหมือนกับเป็นส่วนหนึ่งของจานโซ่ โดยแผ่นประกับทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.25 แสดงข้อโซ่ของแผ่นประกับที่ยึดติดกันขบกับฟันสองฟันของจานโซ่ ดังนั้นข้อโซ่จึงเกิดการสึกหรอน้อย และเนื่องจากสลักของข้อโซ่แบบคมมีดจะยอมให้แผ่นประกับทำมุมกันได้ประมาณ 30 องศา
จึงต้องการจำนวนฟันต่ำสุดของจานโซ่เท่ากับ 12 ฟัน โซ่เงียบสามารถใช้งานที่ความเร็วสูงกว่าโซ่ลูกกลิ้ง แต่มีน้ำหนักมากกว่าและแพงกว่าโซ่ลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.24 โซ่เงียบ[1]



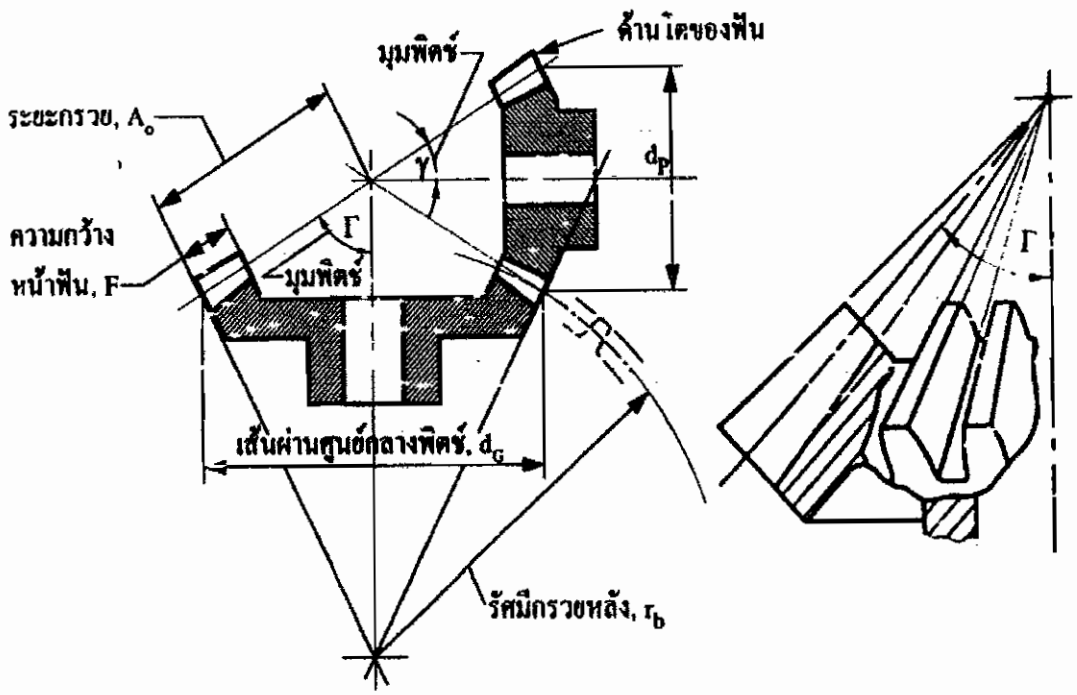
รูปที่ 2.25 ข้อโซ่ที่ยึดติดกันขบกับสองฟันของจานโซ่เงียบ[1]

2.3.4 เฟืองดอกจอก

เฟืองดอกจอกทั้งฟันตรงและฟันสไปรัล(spiral) ตามปกติใช้ส่งกำลังหรือการหมุนระหว่างเพลาซึ่งทำมุมตัดกัน 90 องศา แต่อาจผลิตให้ใช้ได้กับเพลาที่ตัดทำมุมกันเกือบทุกมุม

2.3.4.1 เฟืองดอกจอกฟันตรง

เป็นเฟืองดอกจอกชนิดธรรมดาที่ใช้กันมากที่สุด ดังแสดงในรูป2.26 แนวยอดฟันจะพุ่งจากด้านโตของฟันเข้าหาจุดตัดของเพลาเหมือนรูปกรวย ความสูงละความหนาของฟันจะเรียวลงจากด้านโตของฟัน(ขอบนอก)



รูปที่ 2.26 เฟืองดอกจอกฟันตรง

2.3.4.2 ทฤษฎีการหาความเร็วรอบของเฟือง

ขบวนเฟืองที่เฟืองทุกตัวมีแกนของการหมุนคงที่เรียกว่า ขบวนเฟืองแบบธรรมดา ซึ่งตัวขับและตัวตามมีทิศของการหมุนตรงกันข้าม ดังนั้นสำหรับขบวนเฟืองแบบธรรมดา อัตราส่วนความเร็วเชิงมุมจะขึ้นอยู่กับผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นขบวนเฟือง

$$\frac{\omega_{เข้า}}{\omega_{ออก}} = \frac{\omega_{ตัวขับ}}{\omega_{ตัวตาม}} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวตาม}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองทั้งหมดที่เป็นตัวขับ}} \qquad (2.27)$$

โดยปกติสิ่งที่จะต้องหาคือ ความเร็วเชิงมุมของตัวตาม โดยบอกค่าความเร็วเชิงมุมของตัวขับมาให้

อัตราส่วนผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองในสมการ(2.27) เรียกว่า Train Value ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวขับแล้วจะได้ค่าความเร็วเชิงมุมของเฟืองตัวตามตามความต้องการ

2.3.5 การเลือกมอเตอร์

ข้อแนะนำต่าง ๆ ในการเลือก

ในการเลือกจะต้องพิจารณาสภาพต่าง ๆ ของเครื่องจักรโหลด จะต้องหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ด้วย

- สภาพแวดล้อมของสถานที่ที่จะติดตั้งเครื่องจักรโหลด (ว่ามีลักษณะของก๊าซไวระเบิด ก๊าซหรือของเหลวที่เป็นกรดกัด หรือมีความชื้นสูง หรือจะต้องคำนึงถึงเสียงดังหรือมีน้ำหยด หรือฝุ่นละอองมากหรือว่าจะติดตั้งภายในหรือภายนอกอาคาร)
- กรรมวิธีการต่อประกับของมอเตอร์ (ต่อประกับเพลาโดยตรง, ใช้เกียร์, หรือใช้สายพาน)
- วิธีการติดตั้งจะต้องพิจารณาถึง
  - ชนิดของโครงครอบป้องกัน
  - ขนาดของเพลา
  - ชนิดติดตั้งตามแนวนอนหรือตามแนวตั้งหรือต้องการหน้าประกับยึดหรือเปล่า
  - อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ (เช่น ฐานและพูลเลย์)

2.3.5.1 ทฤษฎีการคำนวณขนาดของมอเตอร์

คิเนเมติกส์ (Kinematics)

เวลาเร่ง (Acceleration time)

$$t_{acc} = \frac{V_{\max}}{a_{acc}} \qquad (2.12)$$

ระยะทางของการเร่ง (Travel for acceleration)

$$S_{acc} = \frac{1}{2} a * t_{acc}^2 \qquad (2.13)$$

ระยะทางเมื่อหมุนด้วยความเร็วสูงสุด (Travel with max speed)

$$S_{max} = S - 2 * S_{acc} \qquad (2.14)$$

2.3.5.2 ความจำเป็นในการใช้โครงครอบป้องกัน

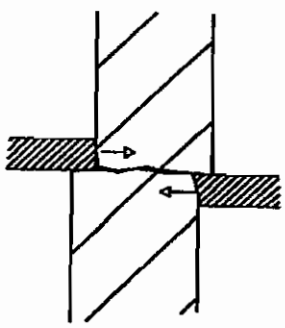
โดยที่ขนาดกำลังของมอเตอร์ทั่วไปถูกจำกัดขนาดของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเป็นการประหยัดและได้เปรียบที่จะพยายามทำให้การหมุนเวียนของอากาศเพื่อระบายความร้อนเป็นไปอย่างสะดวกที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการระบายความร้อนของมอเตอร์ แต่อย่างไรก็ดีสภาพการติดตั้งของมอเตอร์ใช้งานประเภทต่าง ๆ อาจมีฝุ่นละออง, มีน้ำหยด, มีความชื้นสูง, มีก๊าซไวระเบิด, ก๊าซกัดกร่อนสูง ,น้ำฝน ฯลฯ ซึ่งอาจทำอันตรายแต่มอเตอร์ โดยการทำให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมลงเร็วกว่าเวลาอันสมควร ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง อาจทำให้มอเตอร์เกิดเสียหายขึ้นได้ ดังนั้นถ้าจะป้องกันสภาพการเสียหายดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ชนิดของโครงครอบป้องกันมอเตอร์อย่างละเอียด สำหรับใช้งานในแต่ละประเภท[2]

2.4 ลักษณะการตัด

ลักษณะการตัดมีหลายชนิดดังนี้

2.4.1 Solid cut

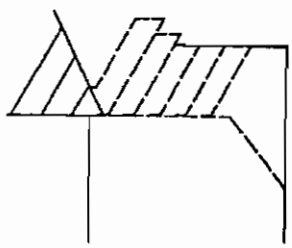
เป็นการตัดที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในการรับแรงกดสูง ความต้านแรงเฉือนเท่ากันทุกทิศทางและความเร็วสัมพัทธ์ของพืชกับมีดมีค่าน้อย



รูปที่ 2.27 แสดงการตัดแบบ Solid cut

2.4.2 Chip-forming cut , brittle material, in shear

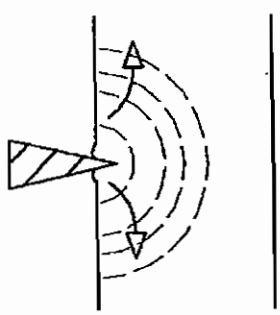
คล้ายกับการตัดแบบ Solid cut ความเสียหายของพืชเกิดตามความโค้งและความลาดเอียงของผิวที่ ประมาณ 45 องศา กับระนาบของการตัดที่ต้องการ



รูปที่ 2.28 แสดงการตัดแบบ Chip-forming cut , brittle material, in shear

2.4.3 Plastic cut

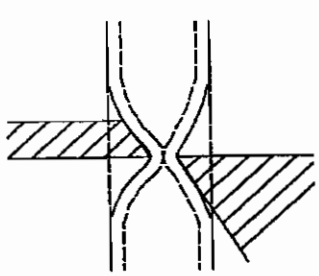
เมื่อปลายมีดออกแรงกดต้นพืช จะก่อรูปร่างเป็นคลื่นภายในต้นพืช ขยายรัศมีเป็นวงกว้าง จากจุดที่มีดกระทำการตัด เกิดเมื่อวัสดุมีความชื้นมากและใบมีดมีความคมมาก



รูปที่ 2.29 แสดงการตัดแบบ Plastic cut

2.4.4 Solid cut after compression

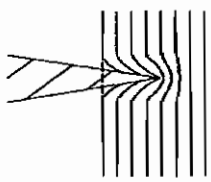
พืชซึ่งมีลักษณะหน้าตัดคล้ายท่อ หรือพืชมีแกนอ่อน เกิดการอัดก่อนที่โครงสร้างของพืชจะเสียหาย แรงตัดจะเพิ่มขึ้น ระหว่างการเลื่อนมีด



รูปที่ 2.30 แสดงการตัดแบบ Solid cut after compression

2.4.5 Cut in local tention

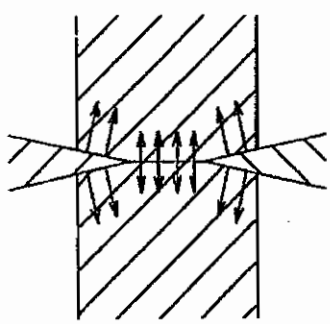
เกิดกับพืชที่มีโครงสร้างเรียงกันเป็นเส้นใย



รูปที่ 2.31 แสดงการตัดแบบ Cut in local tention

2.4.6 Wedging cut

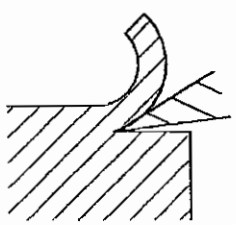
ถ้าใบมีดสร้างให้มีรูปร่างเหมือนลิ่มบางๆ และความเสียดทานบนใบมีดมีน้อย แรงตั้งฉากกับการเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในพืช ทำให้มีดฉีกพืชออกในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของใบมีด



รูปที่ 2.32 แสดงการตัดแบบ Wedging cut

2.4.7 Chip forming cut, Ductile material

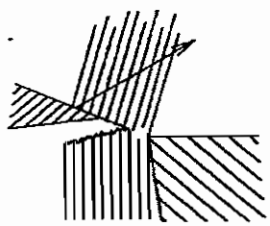
การตัดที่ทำให้พืชมีการม้วน เกิดกับพืชที่มีความยืดหยุ่นของโครงสร้างผนังเซลล์มาก



รูปที่ 2.33 แสดงการตัดแบบ Chip forming cut, Ductile material

2.4.8 Bending cut

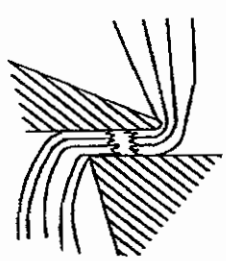
เมื่อมีช่องว่างระหว่างมีดกับแท่นรองตัดมาก ใบมีดจะออกแรงตัดพืช ทำให้เกิดการขาดของพืชด้วยโมเมนต์



รูปที่ 2.34 แสดงการตัดแบบ Bending cut

2.4.9 Tearing cut

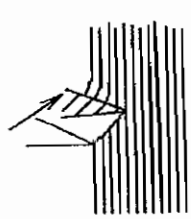
การตัดเกิดในกรณีที่มีช่องว่างระหว่างมีดกับแท่นรองตัดมาก และก้านพืชที่ตัดมีขนาดบาง ใบมีดจะดันให้พืชขาดออกจากกัน



รูปที่ 2.35 แสดงการตัดแบบ Tearing cut

2.4.10 Scraping cut

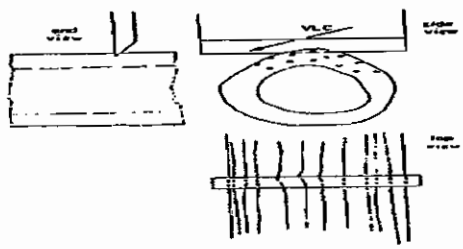
เป็นการตัดที่ใบมีดเลื่อนเฉียงไปตามผิวโดยผิวโดยเพิ่มแรงตัดในแนวตั้งฉากกับพืช



รูปที่ 2.36 แสดงการตัดแบบ Scraping cut

2.4.11 Slicing Cut

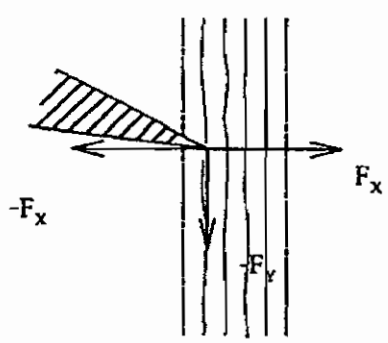
เป็นการตัดที่เกิดในขณะที่ใบมีดตัดเฉียงตามระนาบมุมที่ใช้ในการตัดอยู่ที่ 45 – 90 องศา



รูปที่ 2.37 แสดงการตัดแบบ Slicing Cut

2.5 แนวการคิดแรงความเค้นที่เกิดจากการตัด

แรงตัด Cutting Force เป็นผลคูณของความเค้นบนพืชที่ทำโดยใบมีดกับพื้นที่ที่ความชื้นกระทำอยู่ดังรูป 2.38 แรงตัดคือ F_x และต้นพืชก็จะมีแรงปฏิกริยากระทำกับใบมีดในทิศทางตรงข้าม



รูปที่ 2.38 แสดงการตัดแบบ Cutting Force

2.6 ทฤษฎีการหาแรงตัด[10]

สมการที่ใช้ในการหาแรงตัดเฉือน

$$FOC\ MX = FOCSA\ X\left[\frac{AES}{1000}\right] \quad (2.28)$$

เมื่อ FOCMX = แรงตัดสูงสุด (maximum cutting forces) ,kN

FOCSA = แรงตัดจำเพาะต่อพื้นที่หน้าตัด

(Specific cutting force per cut area),N/mm^2

AES = พื้นที่หน้าตัดของพืชที่ถูกตัด (solids cross – sectional area) , mm^2

2.7 ทฤษฎีการหาอัตราทดรอบของพูลเล่ย์

การทดรอบหมายถึง การทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ หรือการส่งกำลังจากต้นกำลังช้าลง ซึ่งการคำนวณหาอัตราทดสามมารถหาได้จากสมการ

$$D_p = m_w \times d_p \quad (2.29)$$

เมื่อ D_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ใหญ่ (mm)

d_p = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่เล็ก (mm)

m_w = ขนาดของอัตราทด

สมการที่ใช้ในการหาความเร็วรอบที่ทดรอบแล้ว

$$V_w = \frac{V}{m_W} \quad (2.30)$$

เมื่อ V_w = ความเร็วรอบที่ทดรอบแล้ว ,(rpm / min)

V = ความเร็วรอบก่อนทดรอบ (rpm / min)

M_w = ขนาดของอัตราทด

2.8 การศึกษาการตลาดเพื่อออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

ในยุคปัจจุบันนี้เป็นยุคของความเจริญก้าวหน้าไม่ว่าจะเป็นด้านจำนวนของประชากร หรือเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีพในสังคม ความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขยายตัวกว้างขึ้นและละเอียดขึ้นถึงกลุ่มต่าง ๆ ของความต้องการที่เป็นเรื่องราวของจิตใจมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ก็ล้วนแต่ต้องมีการแข่งขันในตลาด เพื่อแย่งชิงกลุ่มผู้บริโภคการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค หรือให้เหนือกว่าคู่แข่งขัน จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและเป็นกระบวนการที่จะต้องมีหลักการของการพัฒนาปรับเปลี่ยนบางหลักการที่แตกต่างกันออกไปจากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยเฉพาะความละเอียดในด้านของการตลาด

และผู้บริโภคจะมีการศึกษาเป็นสถานการณ์และตามยุคสมัย การดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ดังต่อไปนี้[3]

1. แนวคิดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ (NEW PRODUCT CONCEPTS)
2. กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (NEW PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS)
3. การยอมรับผลิตภัณฑ์ใหม่ของผู้บริโภค (CONSUMER ADOPTION PROCESS)