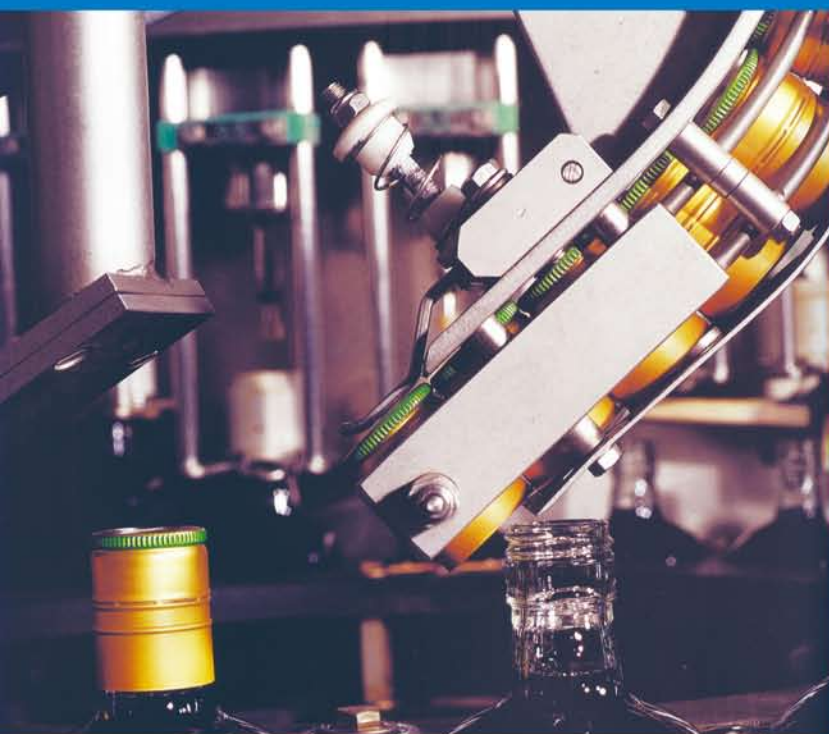


การออกแบบ

เครื่องมือลำเลียง และ Logistics (หน่วยรวม) เล่ม 1

Handling and Logistic Equipment Design (Unit) Vol. 1



โดย... พศ.ศุภชัย ตรีภูมิตินทรีย์



สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

การออกแบบเครื่องมือต่ำเสี่ยง และโลจิสติกส์ (หน่วยรวม) เล่ม 1

โดย

พศ. ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี



สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

การออกแบบเครื่องมือลำเลียงและโลจิสติกส์ (หน่วยรวม) เล่ม 1

โดย ผศ.ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี

ราคา 260 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2548 จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ

นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี.

การออกแบบเครื่องมือลำเลียงและโลจิสติกส์ (หน่วยรวม) เล่ม 1. - กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.

320 หน้า.

1. การขนถ่ายวัสดุ - - เครื่องมือและอุปกรณ์. I. ชื่อเรื่อง.

658.781

ISBN 974-443-145-8

จัดพิมพ์โดย



สำนักพิมพ์ ส.ส.ก.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

โทร. 0-2258-0320 (6 เลขหมายอัตโนมัติ), 0-2259-9160 (10 เลขหมายอัตโนมัติ)

<http://www.tpabookcentre.com>

ออกแบบปกและรูปเล่ม : งานออกแบบสิ่งพิมพ์ ส่วนตำราฯ

จัดจำหน่ายโดย

บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด

15/234 ซอยเสือใหญ่อุทิศ ถนนรัชดาภิเษก แขวงจันทระเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2541-7375, 0-2930-6215 โทรสาร 0-2541-7377, 0-2930-7733

E-mail : dktoday@inet.co.th

พิมพ์ที่ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.เอส.บี. โปรดักส์ โทร. 0-2536-6085 โทรสาร 0-2536-6087

“ถ้ามีข้อผิดพลาดเนื่องจากการพิมพ์ให้นำมาแลกเปลี่ยนได้ที่สมาคมฯ”

โทร. 0-2258-0320, 0-2259-9160 ต่อ 1560, 1570

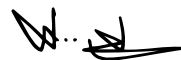
คำนำนายกสมาคม

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 ด้วยความร่วมมือร่วมใจของกลุ่มบุคคลที่ได้ผ่านการศึกษาในระดับต่าง ๆ จากประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับความร่วมมือทางด้านทุนทรัพย์บางส่วนจาก The Japan-Thailand Economic Cooperation Society (JTECS) เพื่อใช้จ่ายในการดำเนินงานกิจกรรมของสมาคมฯ ซึ่งประกอบด้วย ฝ่ายสำนักพิมพ์ ฝ่ายภาษาและวัฒนธรรม ฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม ฝ่ายบริการสอบเทียบและวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม ฝ่ายวินิจัยและให้คำปรึกษาสถานประกอบการ และฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งแต่ละฝ่ายจัดดำเนินการโดยสมาชิกของสมาคมฯ ทำหน้าที่เป็นคณะที่ปรึกษารับผิดชอบบริหารงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย

สำหรับฝ่ายสำนักพิมพ์ฯ โดยส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม มีนโยบายพื้นฐานคือการส่งเสริมและเร่งรัดให้มีการจัดพิมพ์หนังสือตำราทางเทคโนโลยีทุกประเภท รวมถึงหนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ อุตสาหกรรม ทั้งที่เป็นงานแปลโดยตรง งานแปลเรียบเรียง งานถอดความ งานรวบรวม งานแต่ง และงานสำรวจวิจัยทางด้านอุตสาหกรรม โดยที่สมาคมฯ มีความเห็นว่า หนังสือตำราภาษาไทย โดยเฉพาะในระดับอาชีวศึกษาแขนงวิชาเทคโนโลยีต่าง ๆ ยังมีอยู่ในปริมาณจำกัดไม่พอเพียง ถ้าส่งเสริมให้มีหนังสือเช่นนั้นเพิ่มขึ้น ย่อมมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการศึกษาทางเทคโนโลยีให้สูงขึ้น และแพร่หลายขึ้นโดยปริยาย อีกทั้งยังช่วยสร้างสรรค์ปัญญา ความคิดริเริ่ม และความรู้ความเข้าใจอันถูกต้อง ซึ่งจะเป็นการปูรากฐานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทย เป็นประโยชน์แก่สังคมอุตสาหกรรมโดยส่วนรวม

ปัจจุบัน สมาคมฯ ยังคงมีเจตนารมณ์อันแน่วแน่ที่จะขยายงานทุก ๆ ฝ่ายต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าด้วยเจตนาอันบริสุทธิ์ของสมาคมฯ ในการดำเนินกิจการที่มีใช้การแสวงหากำไร หากมุ่งมันที่จะให้นักศึกษาและประชาชนได้มีโอกาสซื้อหาหนังสือตำราในราคาย่อมเยาเช่นนี้คงเกิดประโยชน์แก่สังคมส่วนรวมทั้งในทางตรงและทางอ้อม และหากสถาบันการศึกษาใดต้องการใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดเพื่อใช้ประกอบการศึกษา ทางสมาคมฯ ก็ได้จัดซื้อ แต่ใคร่ขอให้ทำเรื่องขออนุญาตต่อทางสมาคมฯ ก่อน

อนึ่ง สมาคมฯ ใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อผู้เขียนและคณะผู้จัดทำที่ได้พากเพียรจนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาได้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย



(นายประยูร เชี่ยววัฒนา)

นายกสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

คำแถลงของสำนักพิมพ์ ส.ส.ก.

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. โดยส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรมวิวัฒนาการมาจากโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งแต่เดิมใช้ชื่อว่า โครงการตำรา ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 พร้อม ๆ กับการก่อตั้งสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โดยมุ่งหวังที่จะให้มีตำราทางด้านวิชาการต่าง ๆ ทั้งในระดับอาชีวศึกษา และประชาชนทั่วไป เพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางด้านช่างที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้

ในระยะแรกนั้น ตำราที่ผลิตโดยโครงการตำรา ส่วนใหญ่จะเป็นหนังสือแปลจากต้นฉบับภาษาญี่ปุ่น ต่อมาจึงได้ขยายขอบข่ายของการจัดพิมพ์ครอบคลุมไปถึงงานแปลและเรียบเรียงจากต้นฉบับภาษาอื่น งานเรียบเรียง-เขียนตำราจากประสบการณ์ของผู้ชำนาญในแต่ละสาขา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาจารย์จากสถาบันการศึกษา

ต่อมาในระยะ 4-5 ปีหลังจากการก่อตั้งสมาคมฯ โครงการตำราได้วิวัฒนาการเป็นโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม และเป็นส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2539 พร้อม ๆ กับการขยายขอบข่ายหนังสือที่จัดพิมพ์เพิ่มเติม ได้แก่ หนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ การบริหารจัดการคุณภาพ และอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน

โดยที่หนังสือที่จัดพิมพ์โดยสมาคมฯ ได้รับการต้อนรับเป็นอย่างดีจากนักศึกษาและประชาชนทั่วไป ทางสมาคมฯ จึงใคร่ขอเชิญชวนให้ผู้เชี่ยวชาญในวงการอุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษาได้ช่วยกันเขียน-เรียบเรียงหนังสือทางด้านเทคนิคอุตสาหกรรมและอื่น ๆ ให้แพร่หลายยิ่งขึ้น โดยสมาคมฯ ยินดีให้การสนับสนุนในด้านการจัดพิมพ์

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ขอขอบคุณท่านผู้เขียน-เรียบเรียงและเจ้าหน้าที่ของสมาคมฯ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการจัดพิมพ์หนังสือเล่มนี้และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ และหากท่านผู้อ่านมีข้อชี้แนะประการใด ขอได้โปรดแจ้งให้ทางสำนักพิมพ์ทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง



สำนักพิมพ์ ส.ส.ก.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

อุตสาหกรรมของไทยกำลังเร่งสร้างความเข้มแข็ง หน่วยงานรัฐบาลก็ให้การสนับสนุน อุตสาหกรรมที่ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมหลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน, อุตสาหกรรมแพชั่น, อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น อีกทั้งรัฐบาลยังส่งเสริมงานด้านการบริหารการขนส่ง ซึ่งมีผลกระทบกับราคาสินค้าโดยตรง การจัดการที่เริ่มพิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบจนผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ส่งถึงมือผู้บริโภค เรามักเรียกในศัพท์ใหม่ว่า **“ระบบโลจิสติกส์”** ถือว่าเป็นการนำศาสตร์เก่าที่เราเคยเรียนในหลักสูตรการจัดการอุตสาหกรรมมาเรียงใหม่ เล่าใหม่ โดยเน้นไปที่กระบวนการขนส่งและลำเลียง

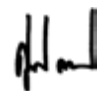
การลำเลียงวัสดุหรือการขนถ่ายวัสดุเป็นศาสตร์ที่เกิดขึ้นมานานแล้ว และมีความสำคัญมาก เพราะงานในสายการผลิตต้องอาศัยปัจจัยหลายด้าน เช่น เครื่องมือลำเลียงระหว่างเครื่องจักรผลิต หรือการลำเลียงวัสดุในคลังสินค้า ทั้งหมดล้วนมีผลกระทบต่อต้นทุนราคาสินค้าอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการวางระบบลำเลียง การออกแบบเครื่องมือให้ตรงตามความต้องการในการใช้งานจึงถือเป็นเรื่องจำเป็น เนื้อหาในเล่มเน้นการอธิบายให้เห็นภาพรวมเพื่อให้ผู้อ่านเกิดองค์ความรู้ เมื่อผู้อ่านทำงานออกแบบจริงก็จะช่วยให้มีแนวความคิดที่กว้างไกล

เนื้อหาเริ่มจากการกล่าวถึงระบบลำเลียงและระบบโลจิสติกส์ ก็เพื่อต้องการให้เห็นภาพรวมทั้งระบบ จากนั้นจะได้รู้จักกับการออกแบบเลือกรถเข็น รถยกกำลัง ระบบลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วง ระบบลูกกลิ้งขับเคลื่อนด้วยสายพาน และระบบลูกกลิ้งลำเลียงขับเคลื่อนด้วยโซ่ โดยจะเน้นไปที่การลำเลียงวัสดุหน่วยรวม ซึ่งหมายถึงวัสดุที่มีลักษณะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน หรืออยู่ในบรรจุภัณฑ์มาตรฐาน

หนังสือเล่มนี้เกิดจากความต้องการที่จะเผยแพร่วิชาการด้านการลำเลียงหรือการขนถ่ายวัสดุ ให้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย อย่างน้อยก็เป็นการสร้างอาชีพให้คนอีกกลุ่มหนึ่งที่ทำงานด้านการออกแบบและสร้างเครื่องมือลำเลียง ได้แก่ ลูกกลิ้งลำเลียง สายพานลำเลียง โซ่ลำเลียง สกรูลำเลียง เป็นต้น และผมจะพยายามเขียนหนังสือในแนวนี้อีกหลายเล่ม ก็ขอให้ผู้อ่านกรุณาติดตามด้วยนะครับ

สุดท้ายนี้ผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน หากเกิดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากความไม่รู้ของผมเองก็ต้องขออภัยด้วย แต่หากเป็นคุณงามความดีก็ขอมอบให้พ่อแม่ และคนรอบข้างผมทุกคนที่มีส่วนช่วยให้หนังสือเล่มนี้สำเร็จตามเป้าหมาย และขอพรพระพุทธรูปบารมีรักษาเราทุกคนตลอดไป สาธุ....

ด้วยใจสุจริต กว่าชีวิตจะหาไม่



ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี

(25 กรกฎาคม 2548)



แหล่งข้อมูลการออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรม

บทที่ 1	พื้นฐานการออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงและระบบโลจิสติกส์	1
1.1	วิวัฒนาการของระบบโลจิสติกส์	2
1.2	องค์ความรู้ในการออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงวัสดุ	4
1.3	ตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ระบบลำเลียงวัสดุ	8
1.4	การกำหนดเส้นทางการลำเลียง	10
1.5	การแบ่งชนิดของเครื่องมือและอุปกรณ์ลำเลียงวัสดุ	11
1.6	เครื่องมือลำเลียงอเนกประสงค์	16
1.7	แผ่นรองวาง (pallets)	18
1.8	แผ่นรองวางตามมาตรฐาน JIS (Z0604)	22
1.9	การวิเคราะห์โครงสร้างของแผ่นรองวาง (pallets structural analysis)	24
1.10	ตู้รองวาง (pallet containers)	26
1.11	การออกแบบการจัดเก็บวัสดุด้วยชั้นวาง (rack)	27
1.12	ระยะของชั้นวาง	29
1.13	อุปกรณ์เสริมชั้นวาง	33
1.14	รูปแบบการจัดชั้นวางวัสดุ	35
	แบบฝึกหัดบทที่ 1	38
บทที่ 2	รถเข็นและรถลากจูง	39
2.1	รถเข็นสองล้อ	40
2.2	รถเข็นหลายล้อ	45
2.3	การบำรุงรักษารถเข็น	47
2.4	ข้อมูลประกอบการเลือกรถเข็นยก	48
2.5	รถเข็นยกระบบไฮดรอลิก	53
2.6	รถลากจูงหรือแทรกเตอร์ลากจูง	54
	แบบฝึกหัดบทที่ 2	64
บทที่ 3	รถเข็นกำลัง และรถยก	65
3.1	รถเข็นกำลังขับ	66
3.2	รถยก	72
3.3	การกำหนดความสามารถและข้อมูลทางเทคนิคของรถยก	80

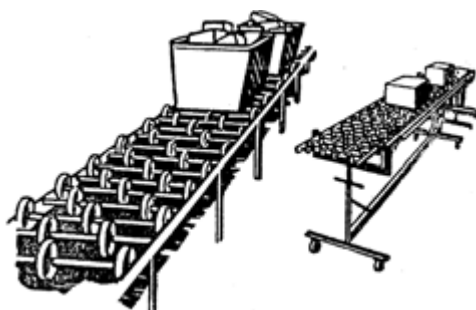
3.4	สภาพการปฏิบัติงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตราย	91
3.5	ระบบพลังงาน.....	95
	แบบฝึกหัดบทที่ 3	98
บทที่ 4	การพิจารณาเลือกรถส้อมยก.....	99
4.1	ข้อพิจารณาในการเลือกใช้รถส้อมยก (forklift)	100
4.2	ค่าใช้จ่ายสำหรับรถส้อมยก	104
	แบบฝึกหัดบทที่ 4	116
บทที่ 5	การออกแบบเลือกลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วง	117
	ส่วนที่ 1 ลูกกลิ้งลำเลียงตามมาตรฐาน FENAMEC.....	118
5.1	ความรู้พื้นฐานของลูกกลิ้งลำเลียง	118
5.2	ประเภทของลูกกลิ้งลำเลียง.....	120
5.3	การควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุ.....	123
5.4	การออกแบบลูกกลิ้งสำหรับรางโค้ง	124
5.5	การเปลี่ยนเส้นทางการลำเลียงวัสดุ	125
5.6	ข้อมูลทางเทคนิคของลูกกลิ้ง	127
	ส่วนที่ 2 ลูกกลิ้งลำเลียงตามมาตรฐาน RULMECA และ INTERROLL.....	131
5.7	การกำหนดรหัสลูกกลิ้ง	131
5.8	การออกแบบเลือกลูกกลิ้ง.....	135
5.9	ระบบลูกกลิ้งลำเลียงในแนวโค้ง	147
5.10	ชิ้นส่วนเสริมในระบบลูกกลิ้งลำเลียง	154
5.11	การประยุกต์ใช้งานระบบลูกกลิ้งลำเลียง.....	161
	แบบฝึกหัดบทที่ 5	164
บทที่ 6	การออกแบบเลือกลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงขับ	165
	ส่วนที่ 1 ลูกกลิ้งลำเลียงขับเคลื่อนด้วยโซ่	166
6.1	คำจำกัดความเกี่ยวกับลูกกลิ้งลำเลียงขับเคลื่อนด้วยโซ่.....	166
6.2	การขับลูกกลิ้งและเส้นทางลำเลียง.....	166
6.3	แรงดึงโซ่และกำลังขับตามมาตรฐาน CEMA No. 404	169
6.4	แรงดึงโซ่และกำลังขับตามมาตรฐาน RULMECA หรือ INTERROLL	174
6.5	ระบบลูกกลิ้งลำเลียงแบบเกิดการสะสมวัสดุ.....	184

6.6 การคำนวณออกแบบเลือกลูกกลิ้งลำเลียงแบบเกิดการสะสมวัสดุ	190
6.7 ระบบลูกกลิ้งขับเคลื่อนด้วยโซ่สำหรับรางโค้ง.....	198
ส่วนที่ 2 ระบบลูกกลิ้งลำเลียงขับเคลื่อนด้วยสายพาน	205
6.8 คำจำกัดความเกี่ยวกับลูกกลิ้งลำเลียงขับเคลื่อนด้วยสายพาน.....	205
6.9 การประยุกต์ใช้งาน.....	206
6.10 การออกแบบเลือกลูกกลิ้งขับเคลื่อนด้วยสายพานแบน.....	208
6.11 การออกแบบเลือกลูกกลิ้งขับเคลื่อนด้วยสายพานกลม	211
6.12 ส่วนประกอบและกลไกสำหรับระบบวัสดุเกิดการสะสม.....	214
แบบฝึกหัดบทที่ 6.....	223

ภาคผนวก ก ลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วง.....	224
- ลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วงรางตรง	224
- ลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงโน้มถ่วงรางโค้ง.....	252

ภาคผนวก ข ชิ้นส่วนเสริมในระบบลูกกลิ้งลำเลียง (components).....	258
---	------------

ภาคผนวก ค ลูกกลิ้งลำเลียงด้วยแรงขับเคลื่อน.....	278
--	------------



บทที่

1

พื้นฐานการออกแบบเลือก เครื่องมือลำเลียงและระบบโลจิสติกส์

กล่าวนำ

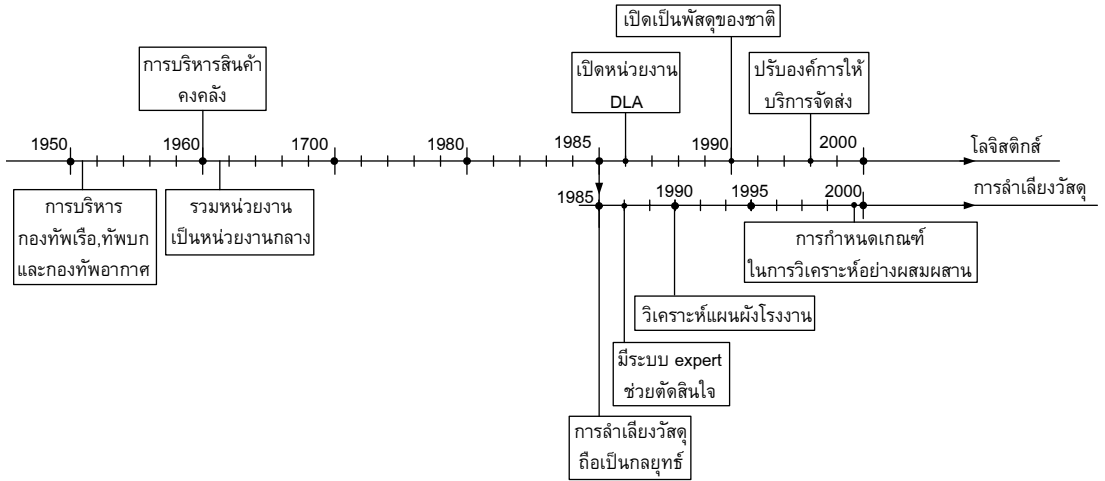
เครื่องมือที่ใช้ในการลำเลียงวัสดุ สามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท โดยแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น เครื่องมือที่ใช้ในงานลำเลียงวัสดุภายในอาคาร และเครื่องมือที่ใช้ในงานลำเลียงวัสดุภายนอกอาคาร หรืออาจจะแยกประเภทตามลักษณะของวัสดุที่ต้องการจะลำเลียง ตัวอย่างเช่น เป็นรูปทรงกลม เป็นแผ่นบาง หรืออาจจะแบ่งแยกด้วยลักษณะของวัสดุ เช่น วัสดุรวมหน่วย, วัสดุผง, วัสดุมวลกอง เป็นต้น การออกแบบเครื่องมือลำเลียงวัสดุนั้นจะต้องกระทำอย่างละเอียด เพื่อให้ได้เครื่องมือที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะอุปกรณ์อเนกประสงค์ที่สามารถใช้ได้กับทุกลักษณะงาน จะเป็นประโยชน์มากสำหรับผู้ประกอบการในแง่ของการลงทุน



1.1 พื้นฐานความรู้วัตรกรรมระบบโลจิสติกส์

เริ่มต้นตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 กองพลธิการทหารมีความจำเป็นต้องปรับปรุงกองทัพโดยการจัดหาอาวุธยุทโธปกรณ์ และอุปกรณ์สนับสนุนการรบ โดยประธานาธิบดีในอดีตชื่อ Herbert Hoover ได้จัดการบริหารโดยใช้หลักการคล้ายกับหลักการทางการเงิน (financial management) การจัดการสนับสนุนและการให้บริการ**เริ่มในปี ค.ศ. 1952** เริ่มจากกิจการของกองทัพเรือ กองทัพบก และกองทัพอากาศ ด้วยการบริการสินค้า อุปกรณ์ การสร้างระบบการจัดเก็บ ประเมินความต้องการใช้วัสดุ อุปกรณ์ซ่อมแซม รวมถึงสินค้าบริโภคด้วย **ในกลางปี ค.ศ. 1950** การจัดการสินค้าจะใช้ตัวแทนเพียงผู้เดียว (single managers) ในการบริหารการจัดเก็บ จัดรายการสินค้าทั้งทางด้านด้านอาหาร เครื่องนุ่งห่ม น้ำมันเชื้อเพลิง ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องบิน เป็นต้น การตัดสินใจควบคุมจำนวนสินค้ากระทำได้ด้วยการสั่งการในแต่ละกลุ่ม จน**ในปี ค.ศ. 1961** เลขานุการของการป้องกันประเทศได้จัดตั้งองค์กรขึ้นเพื่อรวบรวมผู้จัดการในแต่ละกลุ่มเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อวันที่ 1 เดือนตุลาคม ค.ศ. 1961 แล้วเริ่มงานในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1962 เพื่อให้เกิดการรวมหน่วยงานกลางสนับสนุนกิจการทางทหาร จากหน่วยงานย่อยแปดหน่วยงานเป็น DSA (Defense Supply Agency) **ในปี ค.ศ. 1964** ได้มีการจัดระบบการวางมาตรฐานเพื่อจะได้ทำเป็นหน่วยงานต้นแบบ โดยกลุ่มย่อยจะทำข้อตกลงในภาระหน้าที่ **เมื่อปี ค.ศ. 1972** เกิดตัวแทนในการจัดหาถ่านหิน ผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียม **ปี ค.ศ. 1973** เกิดเครือข่ายรายการอาหารสำหรับกองทัพ **ปี ค.ศ. 1977** มีการเปลี่ยนชื่อตัวแทนให้เป็นบริษัทสนับสนุนกิจการทหาร **ปี ค.ศ. 1986** เปลี่ยนเป็นชื่อ Goldwater DLA-Nichols เพื่อสนับสนุนการรบ **ปี ค.ศ. 1988** ก่อตั้งหน่วยงาน DLA (Defence Logistics Agency) มีหน้าที่จัดเก็บพัสดุของประชาชนชาติของอุปกรณ์เครื่องมือเพื่อให้บริการ **ปี ค.ศ. 1990** หน่วยงาน DLA ได้รับรองการเป็นศูนย์กลางคลังพัสดุแห่งชาติ มีการทำสัญญาข้อตกลงร่วมกับตัวแทนบริษัทเกี่ยวกับการลดราคาค่าบริการ (overhead costs) โดยเฉพาะส่วนการขนส่ง **ปี ค.ศ. 1992** ภายในองค์กรมีการปรับปรุงพื้นฐานความรู้ และกระบวนการในการจัดส่ง **เมื่อปี ค.ศ. 1993** หน่วยงาน DLA ได้แจกจ่ายระเบียบในการทำงานของบริษัทย่อยให้มีความระเบียบเดียวกัน **ในปี ค.ศ. 1995** สำนักงานใหญ่ DLA แบ่งส่วนย่อยออกมาอีกแผนก มีหน้าที่จัดเก็บน้ำมันและพลังงานเพื่อใช้ป้องกันประเทศ และสนับสนุนการรบ แล้วเปลี่ยนชื่อเป็นกระทรวงพลังงานในเดือนมกราคม **ปี ค.ศ. 1998**

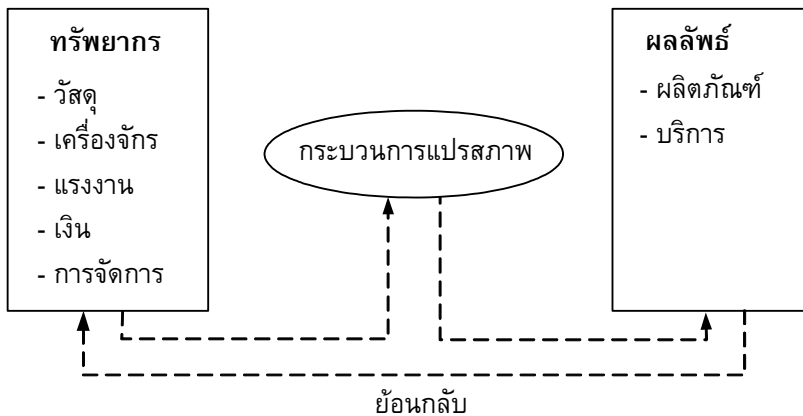
จากนั้นเกิดภาวะเศรษฐกิจถดถอยเนื่องจากเกิดความผิดพลาดจากการลงทุนและการกระจายสินค้า, ความไม่แน่นอนของความต้องการลูกค้า, การขยายธุรกิจข้ามชาติ, การจัดเก็บวัตถุดิบ, การผลิต, การจัดส่งสินค้าไม่ทันกับความต้องการ นักธุรกิจจึงหันมาให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการขบวนการผลิตและจัดส่งสินค้า **เมื่อปี ค.ศ. 1990** จนถึงปัจจุบัน ถือว่าการสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูลมีประสิทธิภาพในการใช้งานมาก ผู้ประกอบการสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดระบบสินค้า การผลิตสินค้าให้ทันเวลา การจัดเก็บและการลำเลียงวัสดุ การกระจายสินค้า และการขนส่งความต้องการของลูกค้าถูกบริหารให้ทุกส่วนเชื่อมโยงกันหมด เปรียบเหมือนห่วงโซ่ที่คล้องกัน ซึ่งระบบการลำเลียงมีส่วนสำคัญมาก ตั้งแต่ลำเลียงวัตถุดิบเข้ากระบวนการ ในระหว่างการผลิตก็มีการลำเลียงในกระบวนการ จากนั้นก็มีการขนส่งเพื่อกระจายสินค้าหรือขนส่งระหว่างคลังสินค้า และสุดท้ายก็กระจายจากคลังถึงร้านค้าหรือถึงมือลูกค้า



รูปที่ 1.1 นวัตกรรมระบบโลจิสติกส์

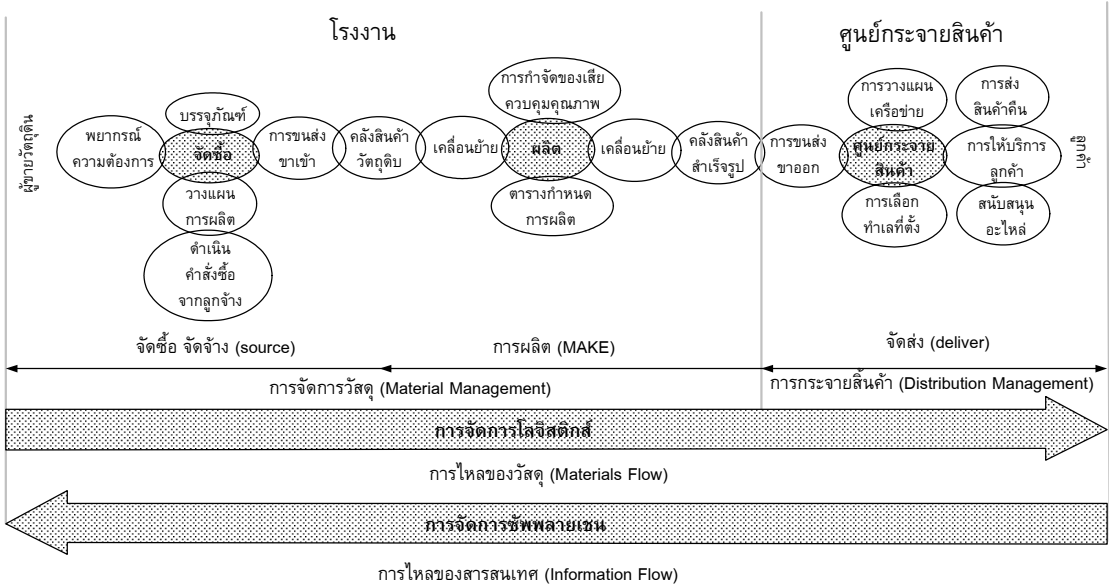
กิจกรรมในระบบโลจิสติกส์ เป็นการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้วมาคิดใหม่ เรียงลำดับการจัดการโดยประสานเข้ากันด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ก)

กลยุทธ์การดำเนินการโวจิตติศาสตร์สามารถจัดชววน โดยจัดแบบเป็นฝ่าย เพื่อจะนำทรัพยากรที่มีอยู่ไปผ่านกระบวนการจนทำให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ พร้อมทั้งมีข้อมูลย้อนกลับ (feedback) เพื่อนำไปประกอบการตัดสินใจหรือปรับปรุงกระบวนการให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (ข)



(ก) กิจกรรมในระบบโลจิสติกส์

รูปที่ 1.1 แผนกิจกรรมในระบบโลจิสติกส์



(ข) กระบวนการดำเนินงานในระบบโลจิสติกส์

รูปที่ 1.2 (ต่อ)

1.2 องค์ความรู้การออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงวัสดุ



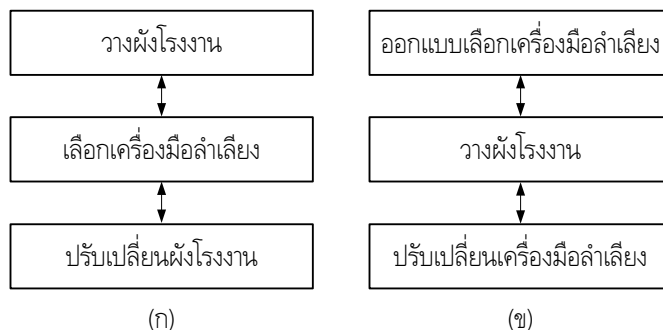
ในการออกแบบระบบลำเลียงวัสดุ นอกจากจะมีความซับซ้อนในการตัดสินใจแล้ว ยังพ่วงปัญหาการออกแบบและการวางแผนโรงงานเข้าไปด้วย สำหรับการเลือกเครื่องมือลำเลียงที่ดีและเหมาะสม จะช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิตและเงินลงทุนด้วย ซึ่งถือเป็นปัญหาต้นทางที่สามารถใช้องค์ความรู้ในการออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงมาแก้ไขได้

เงินลงทุนกับการลำเลียงวัสดุเป็นปัจจัยในการออกแบบกระบวนการ ยิ่งถ้าเป็นการค้าที่ต้องมีการแข่งขันสูงผู้ประกอบการยิ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องเศรษฐศาสตร์ เพราะทุนในการผลิต แบ่งเป็นต้นทุนจากการลำเลียงวัสดุถึง 30% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

มีโรงงานคุณภาพหลายโรงที่ใช้การจำลองสถานการณ์การผลิตผ่านจอคอมพิวเตอร์ (Computer Integrated Manufacturing ; CIM) และกำหนดให้กระบวนการผลิตเป็นแบบอัตโนมัติ (automation) จึงทำให้เห็นชัดว่าการเลือกและการออกแบบระบบการลำเลียงวัสดุ (Material Handling System ; MHS) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก และมีผลต่อค่าใช้จ่ายในระยะยาวของโรงงาน ซึ่งเมื่อรู้ในขั้นตอนหลังแล้วยังสามารถสลับหรือเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องจักรได้ แต่ก็เสียค่าใช้จ่ายไม่น้อย ทั้งความคล่องตัวในการเปลี่ยนแปลงก็อาจจะติดเนื่องไปบางประการ

ในการนี้ศึกษาจะใช้อรรถความรู้ในการตัดสินใจเลือกเครื่องมือแล้วไปวางผังโรงงาน โดยขั้นแรกจะนำกระบวนการผลิตขึ้นมาเป็นตัวกำหนดการเลือก จากนั้นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ โดยกลยุทธ์ในการออกแบบเลือกเครื่องมือ คือ **“เครื่องมือลำเลียงควรจะอยู่ในลักษณะที่ง่ายที่สุดและเป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่สุด”** อย่างไรก็ตามการวางแผนก็เพื่อเป็นการจัดการวัสดุให้มีปริมาณที่เหมาะสม, สถานที่ที่เหมาะสม, เวลาที่เหมาะสม, ในลำดับที่เหมาะสม, ในตำแหน่งที่เหมาะสม, ในสภาวะที่เหมาะสม และในราคาที่เหมาะสม (White and Apple, 1985) จากความเข้าใจนี้จะนำไปสู่การพิจารณาเลือกเครื่องมือลำเลียงด้วยการกำหนดเป็นกลยุทธ์สำคัญหลัก (Matson, 1992) วิธีการกระจายและข้อกำหนดทางกายภาพจะเป็นตัวแปรกำหนดเครื่องมือ มีหลายกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนสูงจนต้องใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert systems) เข้ามาช่วยในการออกแบบ MHS (Malmberg, 1986) อย่างไรก็ตามความไม่แน่นอนของการผลิตจะส่งผลกระทบต่อ MHS มาก เพราะอาจจะมีบางเครื่องมือที่ทำให้เกิดการขัดแย้งและตัดสินใจยาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวสินค้าและผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้ออกแบบอาจจะต้องตัดสินใจเลือกเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อกำหนดเครื่องมือในระบบ ถึงแม้ว่าจะมีข้อขัดแย้งอยู่บ้าง (Gabbett and Brown, 1987)

ความสำคัญของการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างระบบการลำเลียงและการวางผังโรงงาน ซึ่งปัญหาทั้งสองจะมีความใกล้ชิดกันมาก ปัญหาของทั้งสองจะต้องถูกแก้ไขไปพร้อม ๆ กัน โดยขั้นตอนการแก้ไข แสดงดังรูปที่ 1.3 โดยลำดับการออกแบบจะเริ่มจากการวางผังแล้วจึงไปเลือกเครื่องมือ แล้วถ้าเกิดปัญหาที่สามารถปรับเปลี่ยนผังโรงงานอีกขบวนการคือ ออกแบบเลือกเครื่องมือก่อนแล้วจึงวางผังโรงงาน แล้วถ้าเกิดปัญหาที่สามารถปรับเปลี่ยนเครื่องมือลำเลียง



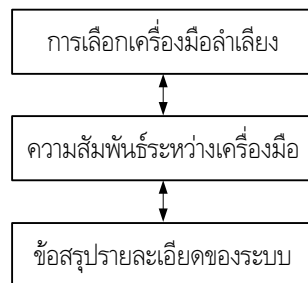
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการออกแบบระบบลำเลียง

ถ้าการวางผังโรงงานที่สมบูรณ์นั้นจะต้องพิจารณาทั้งขั้นตอน (ก) และ (ข) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ก็ควรจะทบทวนทั้งสองขั้นตอน ซึ่งการเลือกเครื่องมือลำเลียงสามารถทำได้ 4 วิธี คือ

1. เลือกด้วยความเคยชิน, ความนิยมใช้ และแบบดั้งเดิม
2. เลือกด้วยการวิเคราะห์
3. เลือกด้วยการใช้อรรถความรู้ (knowledge-based)
4. เลือกด้วยการผสมผสาน (hybrid) ระหว่างการวิเคราะห์และการใช้อรรถความรู้

ในการออกแบบดั้งเดิม ผู้ออกแบบจะอาศัยคู่มือและประสบการณ์ วิธีนี้จะมีข้อจำกัดที่ประสบการณ์ของผู้ออกแบบ โดยถ้าบริษัทไม่มีผู้เชี่ยวชาญ อาจจะต้องใช้คณะทำงานที่ปรึกษาให้คำแนะนำที่ประกอบด้วยวิศวกรวางแผน (plant engineers) และวิศวกรอุตสาหกรรม (industrial engineers) การวิเคราะห์แผนผังโรงงานและการลำเลียงวัสดุไม่ได้ทำกันบ่อย ๆ (Matson, 1992) อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้จะช่วยให้แนวทางการเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หลักการเลือกมีความสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1966 (Edt.Art., 1966) และเป็นที่รู้จักในวงการอุตสาหกรรมเรียกว่า Modern Material Handling (การลำเลียงวัสดุสมัยใหม่) การวิเคราะห์จะใช้ตัวเลขในการตัดสินใจ โดยให้น้ำหนักของตัวแปรในส่วนสำคัญ วิธีการตัดสินใจจะพิจารณาค่าคะแนนเป็นหลัก ในปี ค.ศ. 1971 การตัดสินใจเลือกถูกแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์โดย Webster และ Reed (1971) เมื่อปี ค.ศ. 1985 White และ Apple ได้นำเอาปัญหาในระบบลำเลียง (MHS) มาจำลองสถานการณ์ (CIM) เพื่อแก้ไขปัญหาพร้อมกันแบบจุดวิกฤตหลายจุด (multi-criteria) โดยการวิเคราะห์จุดวิกฤตหลายจุดจะใช้หลักการของ Frazelle (1985) เมื่อปี ค.ศ. 1988 โดย Fisher ได้มีการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) ในการเลือกเครื่องมือลำเลียง โดยชนิดของเครื่องมือจะถูกเลือกโดยพิจารณาจากกฎเกณฑ์และทฤษฎีร่วมกับเงื่อนไขข้อจำกัด การผสมผสานเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1997 โดย Velgama นำเอาองค์ความรู้และกระบวนการผลิตสมบูรณ์แบบ (optimisation procedures) ทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น และท้ายที่สุดจึงใช้ความสามารถของบุคคลช่วยตัดสินใจในขั้นสุดท้าย แต่ระบบก็ต้องการการปรับปรุงและแก้ไขระบบทุกครั้งหลังการวิเคราะห์ในรอบแรก

กลยุทธ์ในการออกแบบสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ การเลือกเครื่องมือลำเลียง, ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ และข้อสรุปรายละเอียดทั้งหมดของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.4



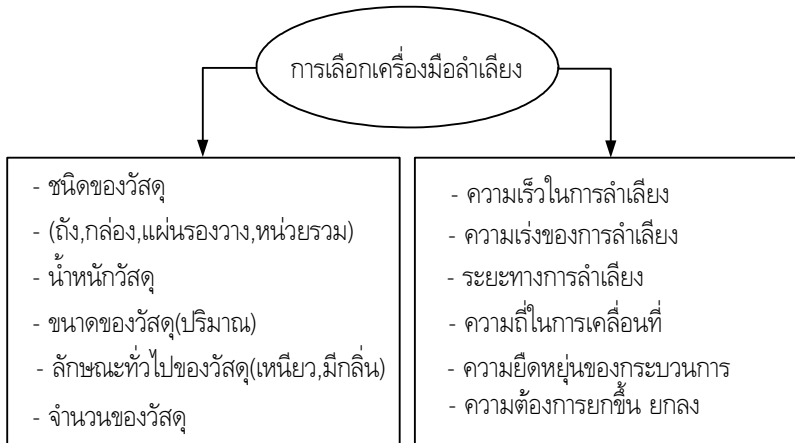
รูปที่ 1.4 กลยุทธ์ในการออกแบบระบบลำเลียงวัสดุ (MHS)

ตารางที่ 1.1 กลุ่มของเครื่องมือลำเลียงวัสดุ

ชนิดของเครื่องมือลำเลียง	ลักษณะแรงกระทำ	ขีดความสามารถรับน้ำหนัก	ขนาด	คุณสมบัติทั่วไป	ความเร็ว	ความสามารถเกิดแฉกฉวย	ระยะทาง	ความถี่ในการเคลื่อนที่	ความยืดหยุ่นเส้นทางลำเลียง	ความสามารถในการยกขึ้น-ยกลง
แขนกล	ขณะใช้งาน	ต่ำ-กลาง	กลาง	ของแข็ง-ก้อน	ต่ำ-กลาง	ไม่	สั้น	บ่อย	ต่ำ	สูง
รถลำเลียงอัตโนมัติ	ขณะใช้งาน	กลาง	กลาง	ของแข็ง-ก้อน	กลาง	ไม่	กลาง	บ่อย	สูง	สูง
รถลำเลียงบนราง	ขณะใช้งาน	สูง	กลาง-ใหญ่	ของแข็ง-ก้อน	สูง	ไม่	ไกล	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
เครน	ขณะใช้งาน	ต่ำ-กลาง	กลาง	ของแข็ง-ก้อน	ต่ำ	ไม่	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	สูง
รถฟอร์กลิฟต์	ขณะใช้งาน	สูง	ใหญ่	ของแข็ง-ก้อน	กลาง	ไม่	ไกล	สูง	สูง	สูง
เครื่องมือลำเลียง	ต่อเนื่อง	ต่ำ-กลาง	เล็ก-กลาง	ของแข็ง-ก้อน	กลาง-สูง	ได้	สั้น-กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
แรงงานคน	ขณะใช้งาน	ต่ำ	กลาง	ของแข็ง-ก้อน	ต่ำ	ไม่	สั้น	สูง	สูง	สูง

ความยากในการตัดสินใจคือ มีเครื่องมือลำเลียงหลายแบบที่เหมาะสมกับการลำเลียงวัสดุเดียวกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องตัดสินใจเลือกอย่างมีเหตุผล เมื่อ ปี ค.ศ. 1987 ได้มีการพิจารณาถึงกระบวนการเลือกใช้เครื่องมือลำเลียงวัสดุเพื่อนำไปใช้ในระบบลำเลียงวัสดุ (MHS) โดยอาศัยคุณลักษณะของวัสดุเป็นหลักในการเลือกเครื่องมือให้สอดคล้องกับระบบโลจิสติกส์และกระบวนการผลิต การพิจารณาจะเริ่มจากวัสดุที่มีลักษณะหน่วยรวม (unit load) หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้น ๆ ขนาดใหญ่ การลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายอย่างหนึ่งที่หลายโรงงานให้ความสำคัญและสามารถที่จะนำมาเป็นตัวแปรในการลดต้นทุนการผลิตได้ เพราะสามารถที่จะหาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสินค้าได้ หน่วยสินค้าหรือหน่วยรวมอาจจะอยู่ในรูปของกระสอบ, กล่อง, กระป๋องบรรจุ, แผนรองวาง เป็นต้น

การพิจารณาออกแบบเลือกจะคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุเป็นหลัก เช่น ความเปราะบางของสินค้า, ขนาดความกว้าง-ยาว, ความสามารถในการวางทับซ้อน, รูปร่างของสินค้า, โอกาสเกิดประกายไฟ, คุณสมบัติทางเคมีหรือปฏิกิริยาทางเคมี เป็นต้น เมื่อปี ค.ศ. 1988 ได้มีการศึกษาถึงการแยกลักษณะของวัสดุที่สามารถแยกได้ตามลักษณะของสินค้า (product features) และลักษณะของกระบวนการ แล้วนำไปใช้ในการออกแบบเลือกเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 การออกแบบเลือกเครื่อง

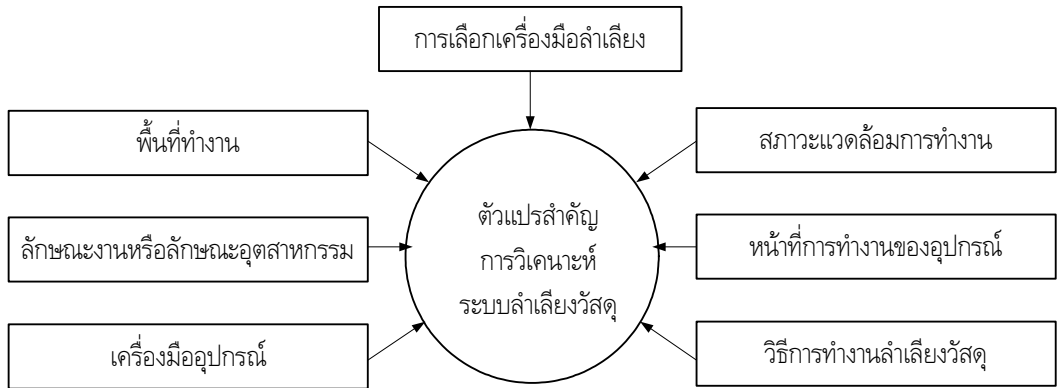
ชนิดของเครื่องมือลำเลียงสามารถแบ่งได้ 7 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1 (Greenwood 1988) เครื่องมือในตารางอาจจะไม่ครอบคลุมทั้งหมด แต่ต้องการชี้ให้เห็นถึงแนวคิดในการแบ่งกลุ่มของเครื่องมือลำเลียงวัสดุ

ปัญหาการออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงให้สอดคล้องกับวัสดุและกระบวนการผลิตเป็นเรื่องที่ต้องตัดสินใจบนพื้นฐานองค์ความรู้ (knowledge-based) โดยการเลือกจะต้องเหมาะสมสอดคล้องกับทรัพยากรที่มีอยู่ และการบริหารงานที่มีหลักการเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

1.3 ตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ระบบลำเลียงวัสดุ



ในการลำเลียงวัสดุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง จะต้องมีการวิเคราะห์และการวางแผนปฏิบัติงาน โดยแผนที่จะวางนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจเลือกเครื่องมือลำเลียงวัสดุ ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์, ลักษณะของพื้นที่ทำงาน, สภาพแวดล้อม, ประเภทของอุตสาหกรรม, หน้าที่การทำงานของเครื่องมือลำเลียงวัสดุ และวิธีการทำงานลำเลียงวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ตัวแปรประกอบสำคัญในการวิเคราะห์ระบบลำเลียงวัสดุ

ให้การวิเคราะห์ระบบลำเลียงวัสดุที่ถูกต้อง ผู้วิเคราะห์ควรจะศึกษาและทำความเข้าใจในตัวแปรสำคัญแต่ละตัวก่อน

1. ลักษณะผลิตภัณฑ์ : วัสดุที่ต้องการลำเลียงอยู่ในสถานะอะไร (ของแข็ง, ของเหลว, กึ่งของแข็ง เป็นต้น), ขนาดความกว้าง-ยาว-สูง, น้ำหนัก, รูปทรง และคุณสมบัติพิเศษ เช่น มีความคม, ทนทานอุณหภูมิได้ดี หรือเปราะบาง เป็นต้น ขณะที่ทำการออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงจะต้องคำนึงถึงลักษณะที่จะใช้ร่วมกับเครื่องมือด้วย
2. พื้นที่ทำงาน : เส้นทางลำเลียงซึ่งรวมทั้งเส้นทางตายตัวและเส้นทางที่ไม่แน่นอน, ขนาดของสถานที่จัดเก็บ, ความกว้าง-ยาว-สูงของพื้นที่ทำงาน, ทำงานในพื้นที่โล่งเปิดกว้าง, สถานที่ทำงานเป็นชั้น ๆ, ทำงานกลางแจ้ง หรืองานสนาม เป็นต้น
3. สภาวะแวดล้อมในการทำงาน : สภาพอากาศ, อุณหภูมิ, บริเวณที่มีฝุ่นละออง, บริเวณที่มีสารพิษสะสม, บริเวณที่มีกลุ่มควัน เป็นต้น
4. ลักษณะของงานหรือประเภทอุตสาหกรรม : การเลือกเครื่องมือลำเลียงวัสดุจะต้องทราบถึงข้อมูลลักษณะงาน เช่นการลำเลียงวัสดุในงานพ่นสี ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงวิธีการใช้สารหล่อลื่นกับเครื่องมือ โดยสารที่เลือกใช้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับทินเนอร์ เป็นต้น หรือลักษณะของงานเป็นเพียงการจัดการกับวัสดุ เช่น รับวัสดุ เก็บรักษาวัสดุ แล้วทำการขนส่งถึงเป้าหมาย ผู้ออกแบบก็จะต้องเลือกใช้เครื่องมือที่สะอาด สะดวกในการรักษาภาพลักษณ์ของธุรกิจ นอกจากนี้ยังมีลักษณะงานที่มีความพิเศษ เช่น งานที่เกี่ยวข้องกับน้ำทะเล, งานที่เสี่ยงต่อการเกิดระเบิดหรือการทำปฏิกิริยาทางเคมี หรืองานที่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ เช่น อุตสาหกรรมแช่แข็ง เป็นต้น
5. หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ : เครื่องมือที่เลือกใช้มีหน้าที่และความสามารถแตกต่างกัน เช่น ใช้ในการยก, ใช้ลำเลียงในแนวราบ, สามารถบรรทุกได้ดี หรือสามารถลำเลียงวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ๆ ได้ เป็นต้น
6. เครื่องมือและวิธีการใช้งาน : เครื่องมือที่เลือกใช้จะต้องตอบสนองความต้องการได้ครบถ้วน และวิธีการใช้งานง่าย มีระบบการป้องกันความปลอดภัย

ปัจจัยที่นอกเหนือจากที่ผ่านมาคือ เรื่องต้นทุนในการจัดซื้อ, ต้นทุนในการบำรุงรักษา เป็นต้น

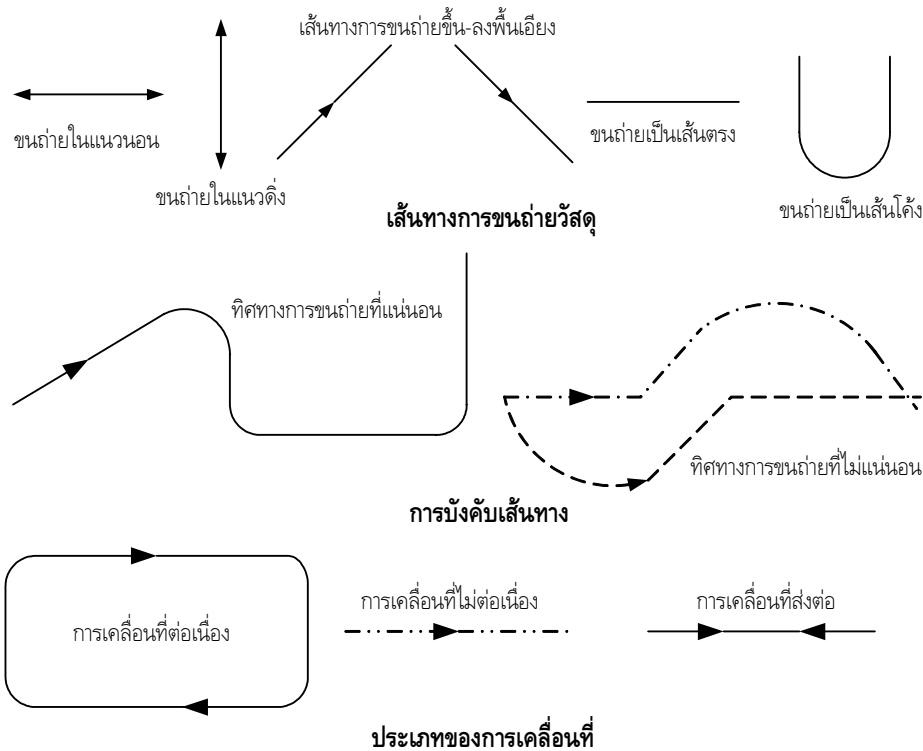
1.4 การกำหนดเส้นทางลำเลียง



ลักษณะของการเคลื่อนย้าย หรือลักษณะของการลำเลียงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. เส้นทางลำเลียง (the path traveled) การกำหนดระดับความสูง การกำหนดทิศทางมุมเอียงที่วัดอ้างอิงเส้นในแนวนอน เช่น เส้นทางลำเลียงในแนวนอน, เส้นทางลำเลียงในแนวตั้ง, เส้นทางลำเลียงขึ้น-ลงพื้นเอียง, เส้นทางลำเลียงเป็นเส้นตรง และเส้นทางลำเลียงเป็นเส้นโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 1.7

2. การบังคับเส้นทาง (the course followed) เป็นการบอกทิศทางการลำเลียงที่แน่นอนและไม่แน่นอน เช่น เส้นทางลำเลียงที่กำหนดตายตัว ได้แก่ รางรถไฟที่ใช้ในการลำเลียง ซึ่งจะบอกต้นทางและปลายทางที่แน่นอน ส่วนการใช้รถเข็นจะไม่มีกำหนดเส้นทางที่แน่นอน ผู้ควบคุมสามารถกำหนดได้เองตามความต้องการ



รูปที่ 1.7 ลักษณะของการเคลื่อนย้าย

3. ประเภทของการเคลื่อนที่ (the kind of motion) การลำเลียงวัสดุด้วยความเร็วในระดับปานกลาง แยกได้ 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 1.7

การเคลื่อนที่ต่อเนื่อง เป็นการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งเริ่มกับตำแหน่งปลายทางอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และต่อเชื่อมกันไปเรื่อย ๆ เป็นวงจร

การเคลื่อนที่ไม่ต่อเนื่อง เป็นการเคลื่อนที่ไปแล้วหยุด โดยไม่มีการระบุระยะทางที่แน่นอน

การเคลื่อนที่ส่งต่อ เป็นการเคลื่อนที่ลำเลียงวัสดุไปแล้วกลับ เป็นการเคลื่อนที่เพียงสองตำแหน่ง เช่น ลิฟท์ขึ้นลง, รางเขย่า หรือระบบผลัดดันวัสดุ เป็นต้น

การเคลื่อนย้ายแบบผสมผสาน เป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ลำเลียงวัสดุที่เกิดจากการผสมผสานกันเพื่อให้เกิดความสะดวกมากยิ่งขึ้น เพราะจะลำเลียงในแนวนอนเพียงแนวเดียวไม่ได้ จะต้องผสมเส้นทางในแนวเอียงไปด้วย หรือในเส้นทางลำเลียงจะเป็นเส้นตรงอย่างเดียวไม่ได้ จะต้องผสมเส้นทางโค้งไปด้วย จึงถือได้ว่าเป็นการผสมผสานเพื่อให้สะดวกสำหรับการใช้งาน ซึ่งเครื่องมือที่มีการเคลื่อนย้ายแบบผสมผสานสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

- (ก) เครื่องมือขนส่ง (transporting equipment) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำการขนส่งได้ทั้งในเส้นทางตรง, เส้นทางโค้ง, เส้นทางแนวระนาบ, เส้นทางพื้นเอียง และเส้นทางผสมผสานกัน
- (ข) เครื่องมื่อยก (elevating equipment) เป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบให้สามารถลำเลียงในแนวดิ่ง ซึ่งผสมการเคลื่อนที่ทั้งแบบต่อเนื่อง, แบบไม่ต่อเนื่อง และแบบเคลื่อนที่ส่งต่อ
- (ค) เครื่องมือลำเลียง (conveying equipment) เป็นเครื่องมือที่ประกอบขึ้นด้วยการกำหนดขนาดของแรง, ขนาดของมอเตอร์ขับ เพื่อลำเลียงตามเส้นทางตรงและเส้นทางโค้ง ทั้งแบบบังคับทิศทางและแบบไม่บังคับทิศทาง เป็นต้น
- (ง) เครื่องมือถ่ายเท (transferring equipment) เป็นกลุ่มของเครื่องมือที่เน้นการบรรทุกยกในเส้นทางที่ตายตัว และการเคลื่อนที่มีลักษณะเคลื่อน ๆ หยุด ๆ เป็นช่วง

1.5 การแบ่งชนิดเครื่องมือ, อุปกรณ์ลำเลียงวัสดุ



การแบ่งชนิดเครื่องมือและอุปกรณ์ลำเลียงวัสดุ จะอาศัยความแตกต่างของหน้าที่การทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 1.2 โดยรายละเอียดจะประกอบด้วย “ลักษณะการลำเลียง” และ “หน้าที่หลักของเครื่องมือ”

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการลำเลียงวัสดุจะมีลักษณะเฉพาะตัว เช่น อุปกรณ์บางตัวสามารถจับหมุนวัสดุไปพร้อม ๆ กับการลำเลียงวัสดุ และมีทิศทางที่ไม่แน่นอน ส่วนเส้นทางลำเลียงที่บังคับไว้แล้ว ก็จะเป็นเครื่องมือประเภทสายพานลำเลียง เครน หรือรางเลื่อนต่าง ๆ

เครื่องมือที่สามารถป้อน-จ่ายวัสดุด้วยตัวเองจะอาศัยการออกแบบกลไกในการยกเท, การส่งต่อ หรือการจับวางโดยที่วัสดุไม่เกิดความเสียหาย นอกจากนี้การรวมหน่วยวัสดุบนแผ่นรองวาง เครื่องมือลำเลียงจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อจับยึดวัสดุให้เป็นหน่วยเดียวกัน ไม่แยกหรือกระจายออกจากกันขณะทำการลำเลียงวัสดุ

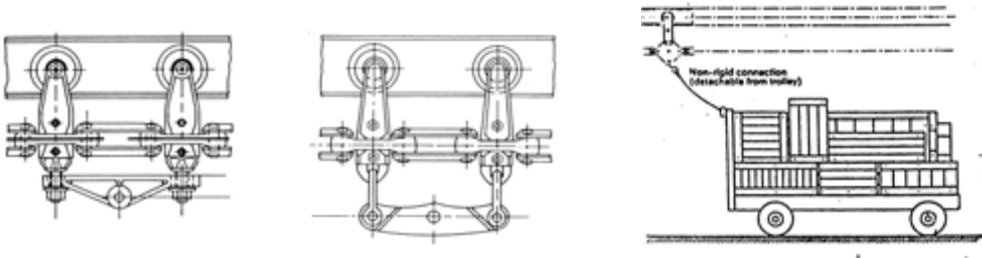
ตารางที่ 1.2 ชนิดของเครื่องมือ, อุปกรณ์ลำเลียงวัสดุ

หน้าที่การทำงาน หลักของเครื่องมือ	ลักษณะ การบรรทุก		เส้นทางการลำเลียง						การบังคับ เส้นทาง		ประเภทของการ เคลื่อนที่		
	รองรับ	นำพาไป	ตามรูปแบบ				ตามแผนงาน		บังคับเส้นทาง	ไม่บังคับเส้นทาง	ต่อเนื่อง	ไม่ต่อเนื่อง	ส่งต่อ
			แนวนอน	แนวตั้ง	ระนาบพื้นเอียงขึ้น	ระนาบพื้นเอียงลง	แนวเส้นตรง	แนวเส้นโค้ง					
เครื่องมือขนส่ง	✓		✓		●	●	✓	✓	✓	✓		✓	
เครื่องมือยก	✓	✓		✓	●	●			✓		✓		✓
เครื่องมือลำเลียง	✓	✓	✓	●	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
เครื่องมือถ่ายเท		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
เครื่องมือป้อนจ่าย													
วัสดุด้วยตัวเอง	✓	✓	✓	✓	●	●	✓	✓		✓		✓	

● : ไม่แนะนำให้ใช้

ขบวนการผลิตต่อเนื่องที่มีวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อต้องการลำเลียงวัสดุจะต้องอาศัยเทคนิคในการวางระบบ เพื่อจัดการกับวัสดุหรือสินค้าที่ต้องจำหน่ายและกระจายไปทั่วโลก การลำเลียงวัสดุจะเป็นตัวกลางในการทำให้งานประสานกันหรือช่วยให้การทำงานร่วมกันสมบูรณ์มากขึ้น เครื่องมือลำเลียงวัสดุมีมากมายหลายชนิด วิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบเลือกอุปกรณ์จะต้องมีความรู้และทำให้การออกแบบเลือกเครื่องมือตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องมือต่าง ๆ สามารถแยกกลุ่มได้ตามหน้าที่การทำงานดังต่อไปนี้

1. **เครื่องมือขนส่ง** มีทั้งการลำเลียงวัสดุแบบบังคับเส้นทางและแบบไม่บังคับเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 1.8-1.10



รูปที่ 1.8 เครื่องมือขนส่งที่มีเส้นทางการขนส่งที่แน่นอน

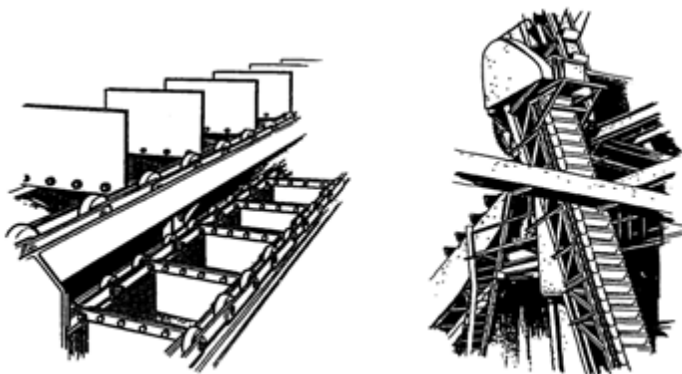


รูปที่ 1.9 เครื่องขนส่งที่ใช้แรงงานคน มีเส้นทางขนส่งที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 1.10 อุปกรณ์ขนส่งด้วยเครื่องยนต์ เส้นทางขนส่งไม่แน่นอน

2. เครื่องมือลำเลียง แยกออกเป็น การเคลื่อนที่ต่อเนื่อง และเคลื่อนที่ส่งต่อ ดังแสดงในรูปที่ 1.11

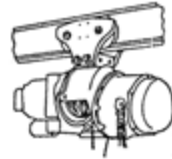
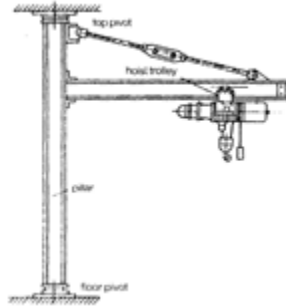


รูปที่ 1.11 เครื่องมือลำเลียงวัสดุอย่างต่อเนื่อง

3. เครื่องมือยก แยกเป็นแบบใช้แรงโน้มถ่วงและกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.12 ถึงรูปที่ 1.17



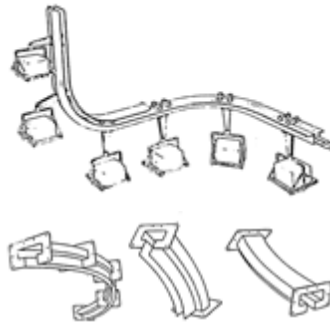
รูปที่ 1.12 เครื่องมือยกวัสดุในแนวตั้งแบบต่อเนื่อง



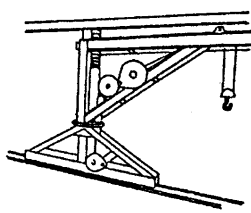
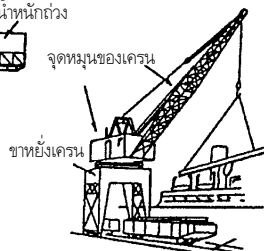
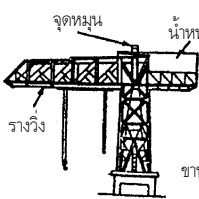
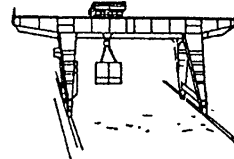
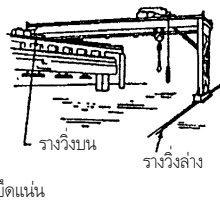
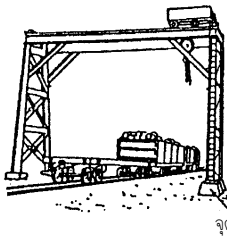
รูปที่ 1.13 เครื่องมือลำเลียงวัสดุในแนวตั้งไม่ต่อเนื่อง



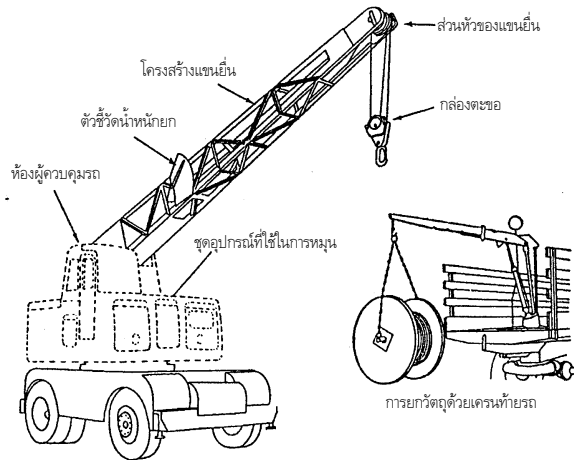
รูปที่ 1.14 เครื่องมือลำเลียงวัสดุในแนวโค้ง



รูปที่ 1.15 การลำเลียงวัสดุตามรางแขน

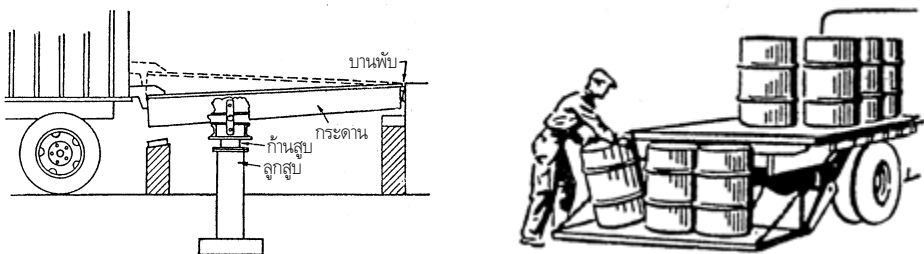


รูปที่ 1.16 เครนยกวัสดุในแนวตั้ง



รูปที่ 1.17 เครนยกที่ติดตั้งกับรถบรรทุก

4. เครื่องมือถ่ายเท แยกเป็นแบบเหนือศีรษะทั้งบังคับรางวิ่ง และจำกัดพื้นที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 เครื่องมือถ่ายเทใช้ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่

5. เครื่องมือป้อน-จ่ายวัสดุด้วยตัวเอง สามารถลำเลียงวัสดุได้โดยใช้ถาดและแผ่นรองวาง ดังแสดงในรูปที่ 1.19 ถึงรูปที่ 1.21

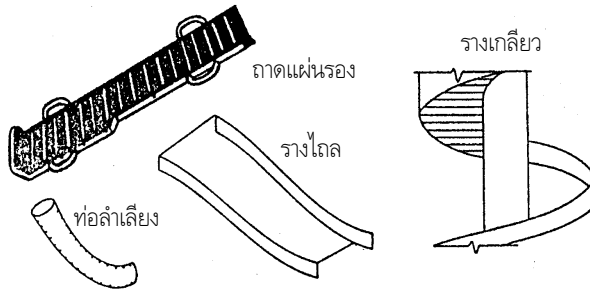


ลูกล่อลำเลียง

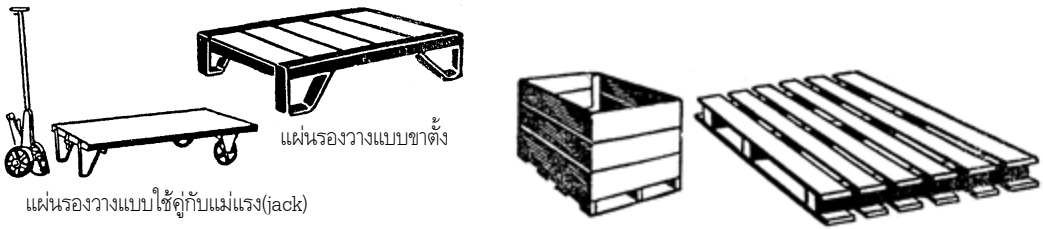
โต๊ะลูกล่อลำเลียง

รางลูกกลิ้งที่มีความแตกต่างในช่วงโค้ง

รูปที่ 1.19 รางลำเลียงวัสดุ



รูปที่ 1.20 รางเอียงลำเลียงวัสดุ



รูปที่ 1.21 ภาชนะในการจัดวางวัสดุ

1.6 เครื่องมือลำเลียงอเนกประสงค์



เมื่อต้องการออกแบบเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการลำเลียงวัสดุ จะเริ่มต้นจากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำหนักวัสดุ, ขนาดความกว้างยาว, จุดศูนย์รวมของน้ำหนัก เป็นต้น เครื่องมือลำเลียงที่เลือกควรจะใช้กันอย่างอเนกประสงค์ เพื่อความคุ้มค่าต่อการลงทุน แผนกจัดซื้อควรศึกษาข้อมูลและข้อกำหนดในการใช้งานก่อนการตัดสินใจ

เครื่องมือลำเลียงวัสดุที่มีความอเนกประสงค์สามารถแยกเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะของบรรจุภัณฑ์ เช่น เครื่องมือสำหรับลำเลียงกล่องขนาดกลาง, ถังทรงกระบอก, ถังเบียร์, ตะกร้า, ขวดขนาดใหญ่, ถุงกระดาษ และกระสอบ เป็นต้น

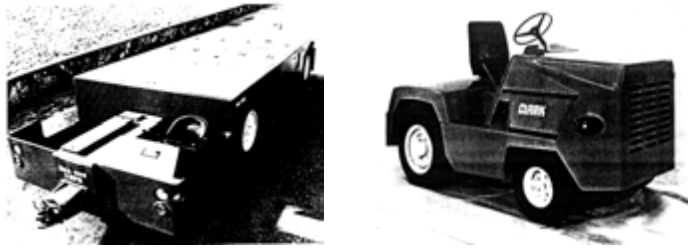
เครื่องมือลำเลียงวัสดุพิเศษ เช่น ขนาดใหญ่มาก, มีน้ำหนักมาก, มีลักษณะเป็นแผ่น, วัสดุเป็นท่อยาว เป็นต้น การออกแบบเลือกเครื่องมือลำเลียงก็จะเป็นแบบเฉพาะงาน

เครื่องมือลำเลียงวัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่มของเครื่องมือขนส่ง ที่ใช้งานได้อย่างอเนกประสงค์ ได้แก่ รถบรรทุก, รถวิ่งตามราง, รถไฟในโรงงาน, รถเข็น, รถเข็นกำลังขับเคลื่อนในตัว เป็นต้น

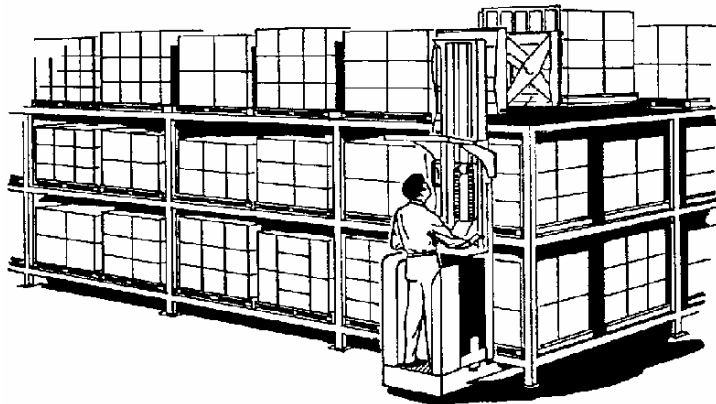
เครื่องมือลำเลียงวัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่มของการขนตามแนวตั้ง เช่น เครน, บันจั้น, รถยก เป็นต้น โดยมักจะติดตั้งตะขอสำหรับเกี่ยวยก ด้วยการนำวัสดุมามัดรวมกัน

เครื่องมือลำเลียงวัสดุ ที่ใช้ลำเลียงโดยอาศัยความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องมือกับวัสดุ เช่น สายพานลำเลียง, โซ่แบบแผ่นระนาบ (slat), รางวิ่ง (chutes), รางลูกกลิ้ง เป็นต้น

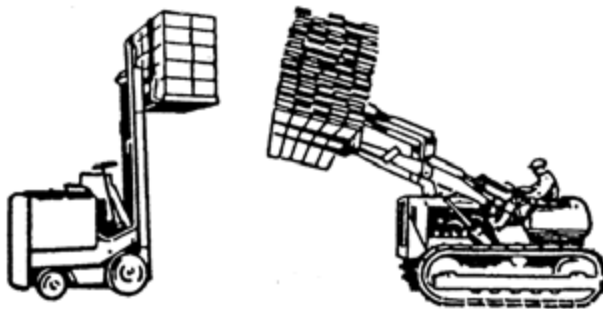
เครื่องมือลำเลียงวัสดุประเภทส่งต่อ นิยมทำเป็นรางวิ่ง อาจจะเป็นแบบรางเดี่ยว (monorail) หรือใช้โซ่แขวน เพื่อติดตั้งอุปกรณ์จับยึดวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 1.22-1.24



รูปที่ 1.22 รถเข็นอเนกประสงค์



รูปที่ 1.23 รถยกอเนกประสงค์



รูปที่ 1.24 รถบรรทุกอเนกประสงค์

1.7 แพล์รองวาง (pallets)



แผ่นรองวางมาตรฐาน ถูกกำหนดโดยสถาบัน American National Standards Institute (ANSI) ได้กำหนดขนาดมาตรฐานของแผ่นรองวาง แสดงดังในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 มาตรฐานขนาดของแผ่นรองวาง (pallets)

Imperial (in)	Hard Metric (mm)	Hard Metric (in)	Soft Metric (mm)
24 × 32	600 × 800	23.64 × 31.52	609 × 812
32 × 40	800 × 1000	31.52 × 39.40	812 × 1016
32 × 48	800 × 1200	31.52 × 47.28	812 × 1219
36 × 42	900 × 1060	35.46 × 41.75	914 × 1066
36 × 48	1060 × 1200	35.46 × 47.28	1066 × 1219
40 × 48	1000 × 1200	39.40 × 47.28	1016 × 1219
42 × 54	1060 × 1370	41.75 × 53.96	1066 × 1371
48 × 60	1200 × 1500	47.28 × 59.10	1219 × 1523
48 × 72	1200 × 1800	47.28 × 70.90	1219 × 1828
36 × 36	900 × 900	35.45 × 35.46	914 × 914
42 × 42	1060 × 1060	41.75 × 41.75	1066 × 1066
48 × 48	1200 × 1200	47.28 × 47.25	1219 × 1219

1. ชนิดของแผ่นรองวาง

แผ่นรองวางอาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามการใช้งานคือ แบบใช้งานแล้วทิ้ง, แบบใช้งานทั่วไป และแบบแผ่นรองเฉพาะงาน สาเหตุสำคัญของการกำหนดขนาดแผ่นรองวางให้เป็นมาตรฐาน คือราคาต้นทุนในการผลิต ผู้ใช้สามารถกำหนดข้อมูลทางเทคนิคในการจัดวางตามมาตรฐานได้ ส่วนผู้ผลิตสามารถผลิตตามมาตรฐานได้ครั้งละหลาย ๆ ชิ้นหรือสร้างสายการผลิตหลักได้ สิ่งก็ตามมาคือราคาต่อหน่วยของแผ่นรองวางจะต่ำลง อีกทั้งผู้ใช้งานกับผู้ผลิตยังสามารถใช้มาตรฐานนี้เป็นข้อตกลงระหว่างกันในการสั่งจ้างผลิต

2. รูปแบบ การออกแบบ และโครงสร้าง

โดยทั่วไปแผ่นรองวางไม้ที่นิยมใช้งานจะมี 2 แบบ คือ **แบบสองทาง (two-way)** กำหนดจากทิศทางการเข้าตักได้ 2 ทาง **แบบสี่ทาง (four-way)** กำหนดจากทิศทางการเข้าตักได้ทั้งด้านหน้า ด้านหลัง ด้านข้างซ้าย และด้านข้างขวา

รูปแบบของแผ่นรองวางอาจแยกย่อยได้อีก 2 รูปแบบ คือ แบบใช้งานหน้าเดียว โดยการวางสินค้าจะกระทำได้เพียงผิวหน้าเดียว และแบบใช้งานสองหน้า โดยสามารถสลับการใช้งานแผ่นรองวางได้ทั้งด้านบนและด้านล่าง การแบ่งด้วยลักษณะการใช้งานสามารถแบ่งได้หลายแบบ ดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 เป็นแบบใช้งานหน้าเดียว, แผ่นรองวางใช้งานครั้งเดียว
 แบบที่ 2 ใช้งานสองหน้า, ใช้แทนวาง, แผ่นรองวางใช้งานครั้งเดียว
 แบบที่ 3 ใช้งานสองหน้า, ใช้แทนวาง, แผ่นรองวางสามารถนำกลับมาใช้งานได้
 แบบที่ 4 ใช้งานสองหน้า, แผ่นรองยื่นหนึ่งหน้า, ไม่สามารถนำกลับมาใช้อีก
 แบบที่ 5 ใช้งานสองหน้า, แผ่นรองยื่นสองหน้า, สามารถนำกลับมาใช้อีก
 แบบที่ 6 ใช้งานสองหน้า, แผ่นรองยื่นสองหน้า, ไม่สามารถนำกลับมาใช้อีก
 การแบ่งเป็นหลาย ๆ แบบ ก็เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตรงตามความต้องการ

3. คำจำกัดความและข้อกำหนดการใช้งานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแผ่นรองวาง

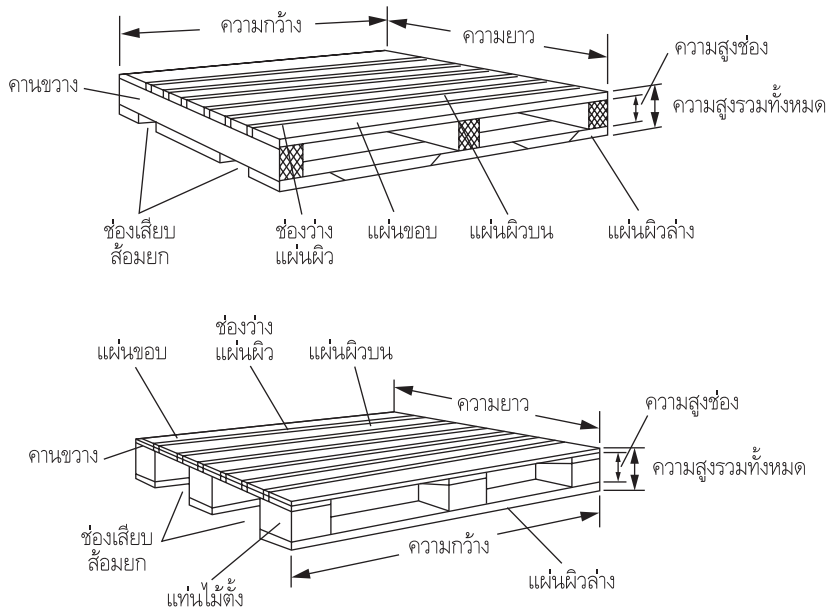
แผ่นผิว (deckboards) เป็นแผ่นไม้ที่ใช้ทำแผ่นหน้าของแผ่นรองวางโดยแต่ละแผ่นจะรับน้ำหนักของวัสดุขนถ่าย

คานขวาง (stringers) เป็นคานไม้ที่วางขวาง ติดตั้งอยู่ระหว่างแผ่นผิว (deckboards)

แผ่นผิวล่าง (bottom deckboards) โดยระยะห่างต้องมากพอที่จะใช้ล้อของรถยกสอดเข้าไปเพื่อยกวัสดุได้

แผ่นขวาง (stringer boards) เป็นแผ่นไม้วางขวางพาดซึ่งใช้งานกับแผ่นรองวางแบบแท่งไม้ตั้ง

แท่งไม้ตั้ง (block) เป็นแท่งไม้รูปลูกบาศก์ โดยจุดประสงค์ของการใช้ก็เพื่อให้แผ่นรองวางสามารถใช้งานได้
 ลีทศทาง ดังแสดงในรูปที่ 1.25



รูปที่ 1.25 ชิ้นส่วนมาตรฐานของแผ่นรองวาง

แผ่นผิว (deckboards) จะมีความกว้างประมาณ 6 in (152.4 mm) โดยการปูจะต้องสมดุลทั้งสองข้าง จึงต้องเหลือความกว้างประมาณ 4 ถึง 8 in (101.6 ถึง 203.2 mm) นั่นคือความกว้างของไม้ไม่ควรน้อยกว่า 4 in แต่ไม่เกิน 8 in การกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นผิว จะต้องคำนึงถึงความยาวของคานขวาง (stringer length) ดังแสดงในตารางที่ 1.4 เพื่อให้ขนาดและความแข็งแรงเป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 1.4 ระยะห่างระหว่างแผ่นผิวของแผ่นรองวาง (pallet)

ความยาวของคานขวาง		ระยะห่างของแผ่นปูผิว				
		1 in	1 $\frac{1}{2}$ in	2 in	2 $\frac{1}{2}$ in	3 in
in	mm	(25.4 mm)	(38.1 mm)	(50.8 mm)	(63.5 mm)	(76.2 mm)
32	(812.8)	28	26	24	24	23
34	(863.6)	29	28	26	24	23
36	(914.4)	31	29	28	26	25
38	(965.2)	33	31	30	28	26
40	(1016.0)	34	33	30	30	28
42	(1066.8)	36	34	32	30	30
44	(1117.6)	38	36	34	32	30
46	(1168.4)	39	37	34	34	31
48	(1219.2)	41	39	36	34	33
50	(1270.0)	43	41	38	36	34
52	(1320.8)	44	42	40	38	36
54	(1371.6)	47	44	41	39	36
56	(1422.4)	50	47	43	39	38
58	(1473.2)	52	48	45	41	39
60	(1524.0)	52	49	46	41	40

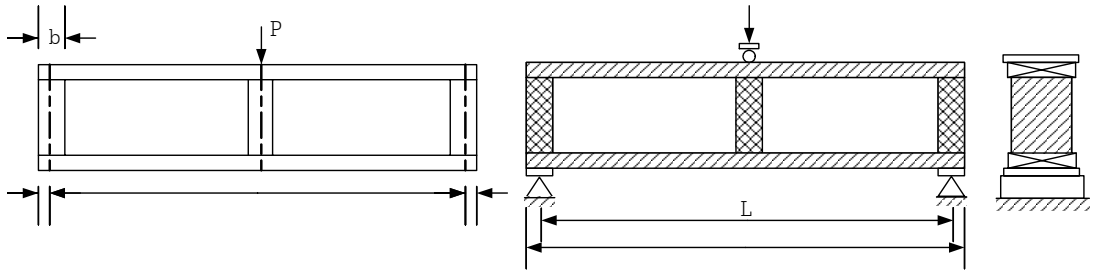
ส่วนของคานขวางและแท่งไม้ตั้งเป็นตัวรองรับหลัก เพราะช่วยในการรับน้ำหนักของวัสดุ โดยตัวรับน้ำหนักอาจจะเป็นคานขวางหรือแท่งไม้ตั้งก็ได้ ความยาวของแผ่นผิวจะแปรไปตามจำนวนของคานขวาง หรือจำนวนแท่งไม้ตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ความยาวของแผ่นผิวที่แปรไปตามจำนวนของคานขวางและจำนวนแท่งไม้ตั้ง

ความยาวแผ่นผิว (deckboard length)	จำนวนคานขวาง (stringers)	แท่งไม้ตั้ง (blocks)
ไม่น้อยกว่า 24 in (609.6 mm)	2	6
ความยาวประมาณ 25 ถึง 48 in (635 ถึง 1219.2 mm)	3	9
ความยาวมากกว่า 48 in (1219.2 mm)	3	9

4. ขีดความสามารถในการรับน้ำหนัก

แผ่นรองวางจะถูกออกแบบให้มีความแข็งแรง โดยหลังจากทำการออกแบบแล้วจะต้องทดสอบความแข็งแรงในห้องทดลอง (lab) ที่มีมาตรฐานและสามารถรับรองผลข้อมูลจากการทดลองได้ มาตรฐานของการทดสอบจะกระทำด้วยการวางน้ำหนักลงกึ่งกลางแผ่นรองวางมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ใช้ D1085-73 การทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับโมเมนต์ดัด, ความแข็งแรงของจุดต่อเชื่อม หรือคุณสมบัติในการต้านทานแรงกระทำของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 1.26



รูปที่ 1.26 ตำแหน่งแรงกระทำเพื่อทดสอบแผ่นรองวาง

ระยะการโก่งงอก็เป็นตัวแปรสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงความแข็งแรงของแผ่นรองวาง สมการที่นำมาใช้ในการคำนวณจะมีความซับซ้อนมาก เพราะรูปร่างหน้าตัดของแผ่นรองวางประกอบขึ้นจากไม้หลายชนิด ระยะการโก่งงอจะวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลาง และแรงที่กระทำจะเป็นแรงรวม (point load) กระทำลงตำแหน่งกึ่งกลางเช่นกัน สามารถหาระยะการโก่งได้จากสมการ (1.1)

$$D = \frac{PK(L - b)^3 L^2}{192} \times \frac{L(32S_B + nkb^2L) + 48bS_B}{L^3 S_T(32S_B + nkb^2L) + 96bLS_B S_T(L + b) + K(L - b)^3 S_B(8S_B + nkb^2L)} \quad (1.1)$$

$$\text{กำหนดให้} \quad K = \frac{32S_T + nkb^2(L - b)}{8S_T + nkb^2(L - b)}$$

D = ระยะการโก่งงอที่กึ่งกลางแผ่นรองวาง (in)

P = ขนาดของแรงที่ใช้ในการทดสอบ (lb)

L = ช่วงความยาวของแผ่นรองวาง (in)

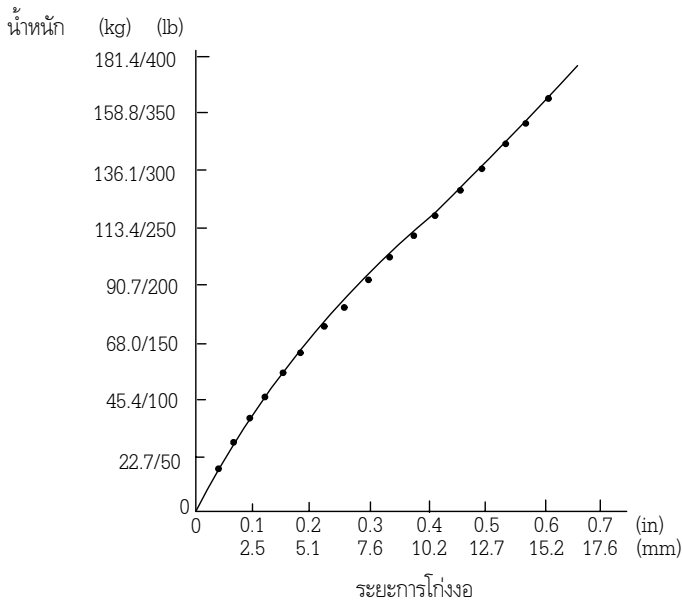
b = ความหนาของคานขวาง (in)

S_T, S_B = ค่าคงที่ต้านทานการโก่ง (EI) โดยค่า E เท่ากับค่ายังส์โมดูลัส และ I เท่ากับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแผ่นผิวบน หรือแผ่นผิวล่าง (หน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

n = จำนวนของจุดต่อเชื่อมระหว่างแผ่นผิว (deckboards) กับคานขวาง (stringers) พิจารณาต่อแผ่น

k = โมดูลัสของระยะแยกระหว่างแผ่นรองผิวกับคานขวาง (ปอนด์ต่อนิ้ว)

ในการคำนวณด้วยสมการอาจจะเกิดความยุ่งยาก เราสามารถนำสมการมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกระทำกับระยะการโก่งงอ ดังแสดงในรูปที่ 1.27



รูปที่ 1.27 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักสูงสุดกับระยะการโก่งงอของแผ่นรองวาง

1.8 แพนรองวางตามมาตรฐาน JIS (Z0604)



มาตรฐานที่นำมาใช้ในการกำหนดข้อมูลทางเทคนิคของแผ่นรองวาง เช่นการกำหนดรหัสอักษร แสดงในตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 การกำหนดรหัสอักษรของแผ่นรองวาง

การแบ่งชนิด			อักษร	อธิบาย
พื้นผิว	ใช้งานหน้าเดียว		S	เป็นการใช้งานเพียงหน้าเดียว
	สองหน้า	ใช้ได้ครั้งเดียว	D	เป็นแบบใช้งานหน้าใดก็ได้ แต่ไม่นิยมนำกลับมาใช้อีก
		นำกลับมาใช้ใหม่ได้	R	เป็นแบบใช้งานหน้าใดก็ได้และนำกลับมาใช้ใหม่ได้
ทิศทางการใช้งาน	ใช้งานได้ 2 ทิศทาง		-	รถฟอร์คลิฟต์สามารถสอดล้อมยกได้ 2 ทิศทาง
	ใช้งานได้ 4 ทิศทาง		4	รถฟอร์คลิฟต์สามารถสอดล้อมยกได้ 4 ทิศทาง
แผ่นยกขึ้น	ท่อนไม้ตั้ง		-	แบบที่อาศัยแท่นไม้ในการตั้งวาง
	ยื่นหน้าเดียว		U	แผ่นผิวล่างจะยื่นออกจากคานขวางเพื่อช่วยกำหนดระยะห่างระหว่างวัสดุ
	ยื่นสองหน้า		W	มีแผ่นยื่นทั้งผิวบนและผิวล่าง