



การออกแบบและวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

อะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี

กรณีศึกษา : โรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.

DESIGN AND PLANT LAYOUT OF 10 MEGAWATTS PER YEAR

AMORPHOUS SILICON SOLAR MODULE MANUFACTORY

A CASE STUDY : NSTDA's PILOT PLANT

นิตยา บำรุงราษฎร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2552

การออกแบบและวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

อะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี

กรณีศึกษา : โรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.

นิตยา บำรุงราษฎร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2552

Design and Plant Layout of 10 Megawatts Per Year

Amorphous Silicon Solar Module Manufactory

A Case Study : NSTDA's Pilot Plant



Nittaya Bumrungrad

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Engineering Management

Graduate School, Dhurakij Pundit University

2009

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ศิริโอฬาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัช วรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เริ่มแรกจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมถึงคำแนะนำเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จากอาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ประธาน และดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์ กรรมการ ที่ให้ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงแก้ไขต่างๆ เพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้ข้อมูล และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หน่วยงานที่เป็นกรณีศึกษา และพนักงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการให้ข้อมูลที่จำเป็นในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบพระคุณบิดา มารดา ผู้บังคับบัญชาตลอดจนเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจต่อผู้ทำวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยขอมอบให้แก่บิดา มารดา และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน หากมีข้อบกพร่องประการใดผู้ทำวิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

นิตยา บำรุงราษฎร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.4 คำนิยาม	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	28
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3. ระเบียบวิธีวิจัย	31
3.1 ขั้นตอนและวิธีการทำวิจัย	31
3.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากฝั่งโรงงานเดิม	33
3.3 ข้อมูลกระบวนการผลิตในโรงงานต้นแบบในปัจจุบัน	34
4. ผลการวิจัย	44
4.1 กำล้างการผลิต	44
4.2 จำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องการ	44
4.3 การออกแบบผังทางเลือก	50
4.4 การประเมินผลและการเลือกผังโรงงาน	59
4.3 ประสิทธิภาพสายการผลิต	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.2 ปัญหาและข้อจำกัด	63
5.3 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก. ข้อมูลหน่วยงาน	69
ภาคผนวก ข. ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์	72
ภาคผนวก ค. หนังสือข้อเสนอเทศการอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เชิงพาณิชย์	76
ภาคผนวก ง. การคำนวณหาค่าลังการผลิต	85
ภาคผนวก จ. การคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ	87
ภาคผนวก ฉ. การคำนวณหาตัวแบบภาระงานระยะทาง	90
ภาคผนวก ช. การคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิต	96
ประวัติผู้เขียน	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวโน้มอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์	2
2.1 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของผังโรงงานแบบต่างๆ	11
3.1 รายการเครื่องจักรหลักที่ใช้ภายในโรงงานต้นแบบขนาด 3 เมกะวัตต์ต่อปี	34
3.2 แสดงพื้นที่ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต	35
3.3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์.....	40
4.1 จำนวนเครื่องจักรที่เสนอ	45
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่ระดับความสัมพันธ์ A ของกระบวนการผลิต	48
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่ระดับความสัมพันธ์ E ของกระบวนการผลิต.....	48
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่ระดับความสัมพันธ์ I ของกระบวนการผลิต.....	49
4.5 แผนภูมิจาก-ไปของผังทางเลือกแบบที่ 1.....	52
4.6 แผนภูมิจาก-ไปของผังทางเลือกแบบที่ 2.....	55
4.7 แผนภูมิจาก-ไปของผังทางเลือกแบบที่ 3.....	58
4.8 การเปรียบเทียบพื้นที่ของแต่ละหน่วยงาน.....	59
4.9 การเปรียบเทียบการเปรียบเทียบระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต...	59
4.10 การเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต	60
4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิต.....	61
5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านต่างๆ ของผังโรงงานทางเลือก.....	62
5.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายการผลิต	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก ปี ค.ศ.1999 ถึง 2005	1
1.2 แสดงแผนผังโรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	3
1.3 แสดงพื้นที่การทำงานต้นแบบสายการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริด	4
2.1 ตัวอย่างการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์	8
2.2 ตัวอย่างการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต	9
2.3 ตัวอย่างการวางผังโรงงานตามแบบคงตำแหน่ง	10
2.4 ตัวอย่างการวางผังโรงงานแบบตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์	10
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ-ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์สำหรับการวางผังแบบต่างๆ	11
2.6 กุญแจไขปัญหา P, Q, R, S, T	13
2.7 แผนการเชิงปฏิบัติการของ SLP	15
2.8 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล “แผนภูมิจาก-ไป”	19
2.9 แสดงส่วนประกอบสำคัญพื้นฐานของแผนภูมิความสัมพันธ์	20
2.10 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม	22
2.11 แสดงตัวอย่างรูปลักษณะและวิธีการเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ ..	23
3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	32
3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน	38
3.3 การติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์	38
3.4 แผนภูมิกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์	39
3.5 แผนภาพการไหลของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน	43
4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์กระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์	47
4.2 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 1	50
4.3 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 1	51
4.4 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 2	53

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.5 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 2	54
4.6 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 3	56
4.7 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 3	57

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี กรณีศึกษา : โรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.
ชื่อผู้เขียน	นิตยา บำรุงราษฎร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรณัน
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ดำเนินงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในโรงงานต้นแบบซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยจำกัด เกิดความไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ทำให้สูญเสียเวลาและเกิดการรอคอยในกระบวนการผลิตสูง ต้องคอยหลบหลีกไม่ให้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เสียหาย เนื่องจากใช้กระจกเป็นแผ่นฐานรอง ประกอบกับในอนาคต สวทช. มีเป้าหมายที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัทเอกชนที่สนใจจะจัดตั้งโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และขยายกำลังการผลิตเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังโรงงานใหม่รองรับการขยายกำลังการผลิตในอนาคต โดยใช้ใช้ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) ร่วมกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ การไหลของวัสดุในกระบวนการผลิต และประเมินประสิทธิภาพสายการผลิตเพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนงาน และการไหลของวัสดุในสายการผลิตในครั้งนี้ แผนผังโรงงานทางเลือกที่เหมาะสม คือ การวางผังโรงงานแบบที่ 3 ที่ใช้พื้นที่รวมในการวางผังโรงงานเท่ากับ 1,650 ตารางเมตร มีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตรวมสั้นที่สุด เท่ากับ 24,840 เมตรต่อเดือน และต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,210,950 บาทต่อเดือน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าจากผังโรงงานต้นแบบเดิม เมื่อทำการออกแบบและวางผังโรงงานเพื่อขยายกำลังการผลิตจากเดิมเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี จะทำให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพการใช้แรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 46.54% เป็น 66.75% และเวลาวางงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิตลดลงจากเดิม 53.46% เหลือเพียง 33.25%

Thesis Title	Design and Plant Layout of 10 Megawatts Per Year Amorphous Silicon Solar Module Manufactory A Case Study : NSTDA's Pilot Plant
Author	Nittaya Bumrungrad
Thesis Advisor	Asst. Prof Dr. Pithun Sirioran
Co-Thesis Advisor	Asst. Prof Dr. Suparatchai Vorarat
Department	Engineering Management
Academic Year	2009

ABSTRACT

According to the global energy crisis, renewable energies have played a vital role to be a new turning point. Among them, solar energy has a potential in tropical countries especially in Thailand. At the same time, National Science and Technology Development Agency (NSTDA) has successfully been implementing research and development on thin film amorphous silicon solar module by focusing on manufacturing solar cell in terms of pilot plant scale. However, the working area of the pilot plant is limited so that when glass substrates used as the main materials in the process are moved on the shop floor, the idle time and waiting time is inconveniently unavoidable. While the target of NSTDA is to commercially extend its capacity to 10 Megawatt a year, the goal of this thesis is to design the suitable plant layout by using Systematic Layout Planning (SLP) to analyze the material flow in the process and to assess the efficiency of production line. The analysis of the relationship and material flow in production line is found that the most suitable lay out is the 3rd model in which the whole area of plant lay out is 1,650 square meters and the shortest material transfer distance is 24,840 meters per month which is equal to the least load distance at 1,210,950 baht per month. The result has shown that when designing and scaling up the pilot plant capacity to 10 Megawatt a year, the efficiency on labors usage is increased from 46.54% to 66.75% and the idle time is reduced from 53.46 to 33.25%.

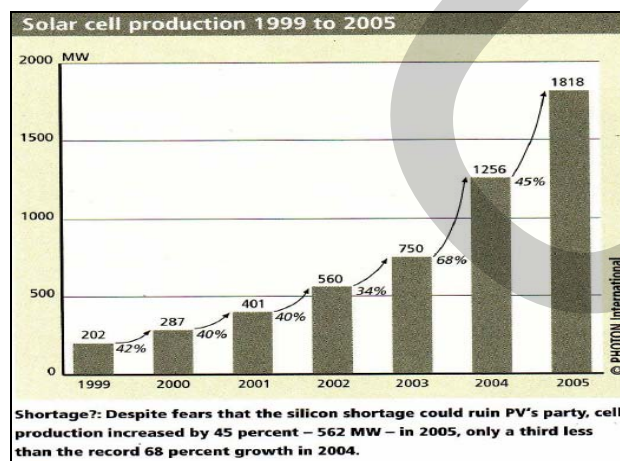
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากอดีตที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ และยังสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญของ Economic Activities อีกด้วย พลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และในปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาภาวะวิกฤตพลังงาน ส่งผลให้นานาประเทศพยายามที่จะพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกโดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานลม (Wind Energy) พลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Energy) และ เป็นต้น ขึ้นมาทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมัน

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนอีกรูปแบบหนึ่งที่มีศักยภาพมากในแถบภูมิภาคเอเชียและประเทศไทย ประกอบกับในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกเติบโตในอัตราสูง ดังจะเห็นได้จากอัตราการเติบโตของความต้องการเซลล์แสงอาทิตย์ของตลาด (Demand) เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 แสดงปริมาณการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกปี ค.ศ.1999 ถึง 2005

ที่มา : Photon International Journal, 2006

ส่งผลให้อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 1.1)

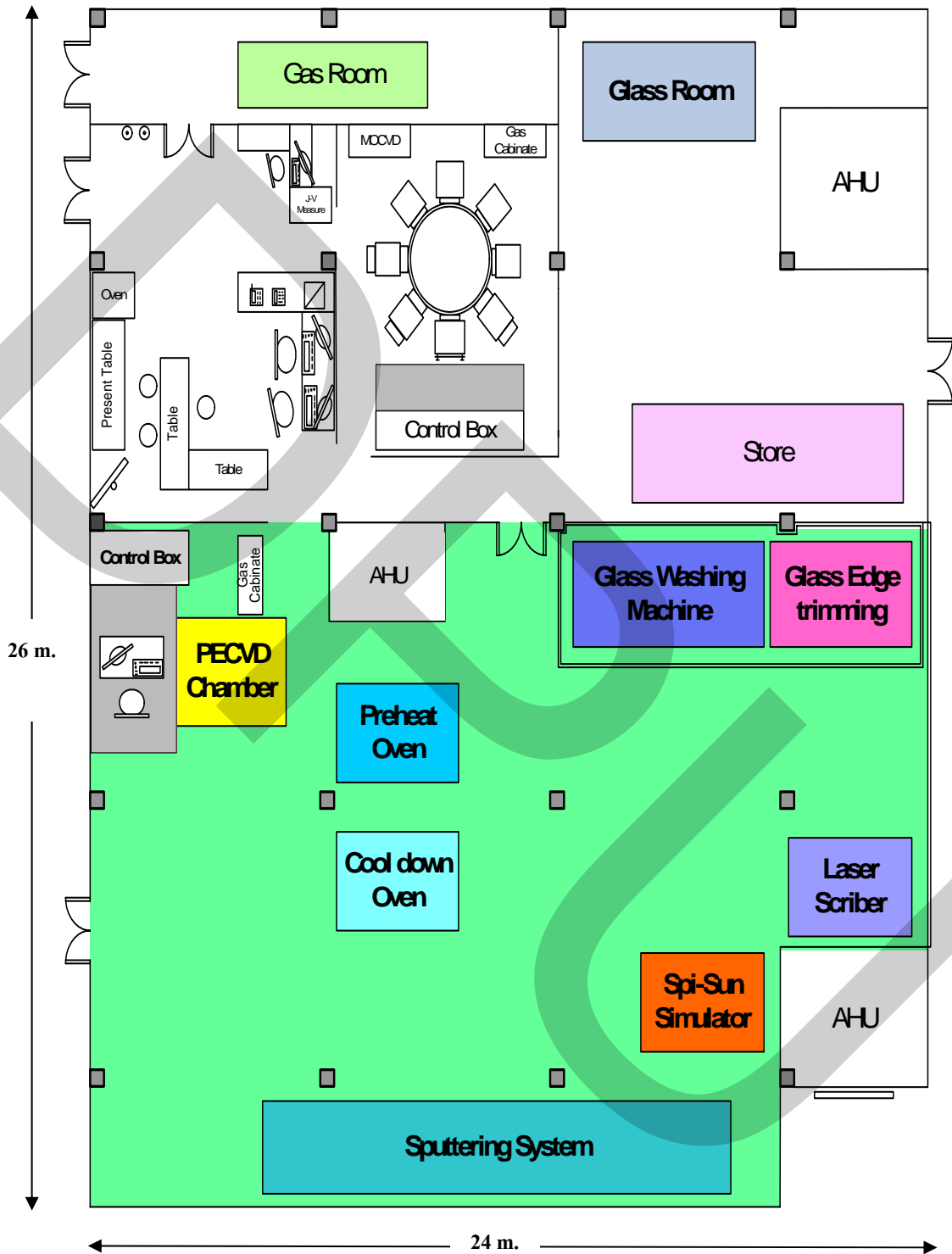
ตารางที่ 1.1 แนวโน้มอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์

Solar Industry Estimate	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Global cell/module Production(GW)	1.2	1.65	2.37	3.4	5.0	7.6	10.4
Growth (%)	-	38%	44%	43%	48%	52%	37%

ที่มา : Photon International Journal, 2006

รัฐบาลเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลักดันให้เป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศอีกประเภทหนึ่ง จึงได้มีมาตรการในเชิงรุกมาส่งเสริมและสนับสนุนเพื่อสร้างความเข้มแข็งของเศรษฐกิจและความมีเสถียรภาพในการแข่งขัน เช่นจะเห็นได้จากมาตรการส่งเสริมการลงทุนของคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ซึ่งกำหนดให้เป็นกิจการที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อประเทศเป็นพิเศษ เช่น นโยบายสนับสนุนด้านภาษี นโยบายการคิดอัตราค่าเสื่อมแบบเร่ง (Accelerated Depreciation) นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมและพัฒนาให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศมีราคาถูกลง ซึ่งจะส่งผลให้ประชาชนหันมาให้ความสนใจติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น

ปัจจุบันสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (ภาคผนวก ก) ได้ดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน เพื่อผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเองภายในประเทศ ขณะนี้ได้ดำเนินการทดลองผลิตโดยสร้างต้นแบบสายการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดังกล่าว ขนาดกำลังการผลิต 3 เมกะวัตต์ต่อปี ณ พื้นที่ชั้น 1 อาคารโรงงานต้นแบบอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย มีพื้นที่ใช้สอยเฉพาะในส่วนของห้องปฏิบัติการประมาณ 624 ตารางเมตร ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 แสดงแผนผังโรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 1.3 เครื่องจักรและพื้นที่การทำงานในโรงงานต้นแบบ

ปัจจุบัน โรงงานต้นแบบดังกล่าวติดตั้งเครื่องจักรในรูปแบบของการวางผังตามกระบวนการผลิต (Process Layout) มีกิจกรรมงานวิจัยเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหามีพื้นที่ใช้สอยจำกัด เกิดความไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายวัสดุ เส้นทางการลำเลียงวัสดุมีจุดซ้อนทับกันหลายจุดทำให้การไหลหยุดชะงักเพื่อหลบหลีกไม่ให้ชนกัน ทำให้สูญเสียเวลาและเกิดการรอคอยในกระบวนการผลิตสูง และต้องระมัดระวังไม่ให้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เสียหาย เนื่องจากวัตถุดิบในกระบวนการผลิตใช้กระจกเป็นแผ่นฐานรอง (ภาพที่ 1.3) ประกอบกับในอนาคต สถาบันฯ มีเป้าหมายการดำเนินงานที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว โดยจะร่วมกับภาคเอกชนที่สนใจจัดตั้งโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และขยายขนาดกำลังการผลิตเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี ผู้ทำวิจัยจึงเห็นว่ามีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาข้อมูลผังโรงงานต้นแบบเดิม เพื่อใช้เป็น

ตั้งนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาข้อมูลจากผังแนวทางในการออกแบบและวางผังโรงงานเพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิตในอนาคต โรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 3 เมกะวัตต์ต่อปี ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการจัดผังโรงงานอย่างเป็นระบบและนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อออกแบบและวางผังโรงงานใหม่ เพื่อให้ผังโรงงานมีความเหมาะสมกับการขยายขนาดกำลังการผลิตที่ 10 เมกะวัตต์ต่อปี และเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมลักษณะเดียวกัน หรือที่มีระบบการทำงานใกล้เคียงกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการศึกษารออกแบบ และวางผังขยายโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน เพื่อให้ผังโรงงานมีความเหมาะสมกับการขยายขนาดกำลังการผลิตที่ 10 เมกะวัตต์ต่อปี โดยใช้ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning; SLP)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการวิจัยนี้จะศึกษาหลักการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning ; SLP) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และวางผังขยายโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี

1.3.2 หนดให้ปริมาณการผลิตมีอัตราคงที่ตลอดการดำเนินการ ไม่มีผลกระทบจาก Seasonal

1.3.3 เนื่องจากการเก็บข้อมูลการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์ของ สวทช. ดังนั้นปริมาณการผลิตจะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาของนักวิจัย

1.3.4 ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลเฉพาะในกระบวนการเตรียมกระจก และกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดำเนินการ ณ อาคารโรงงานต้นแบบ NECTEC สวทช. ไม่รวมกระบวนการประกอบแผงเนื่องจาก สวทช. ว่าจ้างบริษัทเอกชนภายนอกดำเนินการ

1.3.5 ปัจจัยที่จะพิจารณาในการศึกษาจะพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การใช้พื้นที่ การไหลของวัสดุ ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิต และต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต แต่ไม่รวมถึงมูลค่าการลงทุนในการก่อสร้าง

1.4 คำนิยาม

1.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

หมายถึง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งที่ทำจากซิลิคอน มีลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) นาน้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนแต่จะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟิซิลิคอนทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น (รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

1.4.2 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)

หมายถึง ระบบเคลือบฟิล์มบางด้วยพลาสมาของไอเคมีและระบบสเปตเตอริง

1.4.3 Physical vapor deposition (PVD)

หมายถึง การตกเคลือบด้วยไอทางกายภาพ หรือกรรมวิธีการสร้างฟิล์มบางแบบหนึ่งซึ่งใช้กลไกทางกายภาพ เช่น การระเหย (evaporation) หรือสเปตเตอริง (sputtering) PVD อาศัยการทำให้อะตอมสารเคลือบหลุดออกจากผิวสารเคลือบด้วยความร้อนหรือการถ่ายเทโมเมนตัมแล้วพุ่งกระจายเข้าจับและยึดติดกับผิววัสดุรองรับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัยนี้ เพื่อให้ได้แบบผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนขนาดกำลังการผลิต 10 เมกกะวัตต์ต่อปี ที่จะสามารถช่วยประหยัดพื้นที่การใช้งาน ลดระยะทางในการขนส่งวัสดุหรือสิ่งของในกระบวนการผลิตได้

บทที่ 2

ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การวางผังโรงงาน

สมศักดิ์ ตรีสัตย์ (2535 : 1) ให้ความหมายของการวางผังโรงงาน คือ การจัดเตรียมสถานที่สำหรับวางเครื่องจักร คน สถานที่ทำงานพร้อมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและสนับสนุนการผลิตในตำแหน่งที่เหมาะสม มุ่งหวังที่จะให้เกิดความประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ทำให้การทำงานมีความปลอดภัย ตลอดจนเป็นที่พึงพอใจของคนงาน หรือเพื่อให้เกิดเวลาว่างเปล่า (Idle Time) ในสายการผลิตน้อยกว่า และใช้เวลาผลิตสั้นที่สุด เป็นผลทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงได้ นอกจากนี้แล้วการวางผังโรงงานที่ดียังเป็นประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกเช่น

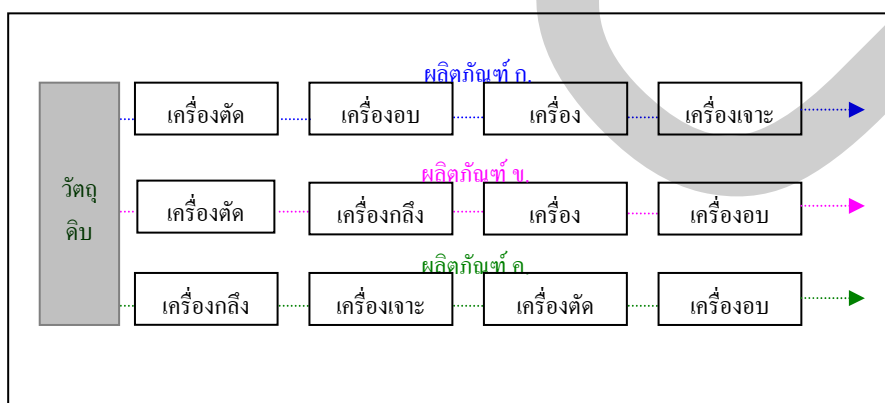
- (1) ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น
- (2) ลดความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพ และสร้างความปลอดภัยให้กับคนงาน
- (3) เวลาการรอคอยในกระบวนการผลิตน้อยกว่า
- (4) ใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำหรับเนื้อที่การผลิต การเก็บวัสดุ และบริการ)
- (5) ลดการขนถ่ายวัสดุ
- (6) ใช้เครื่องจักร คนงาน ได้อย่างเกิดประโยชน์มากกว่า
- (7) ใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่า
- (8) ลดจำนวนของเสียได้มากกว่า
- (9) เพื่อช่วยให้เกิดความยืดหยุ่นของการจัดสายการผลิต
- (10) เพื่อลดวัสดุระหว่างกระบวนการ
- (11) ลดการเก็บวัสดุและสินค้าคงคลัง
- (12) เพื่อการป้องกันและลดอุบัติเหตุ เป็นต้น

ประเภทของการจัดวางผังโรงงาน ยศศักดิ์ ยศไกร (2548 : 9) โดยทั่วไปผังโรงงานอาจจำแนกออกเป็น 4 ประเภท แต่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในปัจจุบัน อาจะวางผังชนิดคละกันไปโดยจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ประโยชน์มากที่สุดในการดำเนินการผลิต การจัดวางจะเป็นแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับการผลิตและความต้องการของหน่วยงาน การจัดวางผังโรงงานสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

(1) การวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เป็นรูปแบบการวางผังโรงงานที่มีการจัดวางตำแหน่งของเครื่องจักรให้สอดคล้องกับรูปแบบการไหลของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามขั้นตอนการผลิต เครื่องจักรจะจัดเรียงตามลำดับการผลิต การวางผังโรงงานแบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์ไม่มากหรือเพียงประเภทเดียว แต่มีปริมาณการผลิตมาก ผลิตอย่างต่อเนื่องในสายการผลิต ลักษณะการผลิตจะเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐาน ขั้นตอนการผลิตมีความแน่นอน เป็นการผลิตแบบซ้ำๆ กันในแต่ละหน่วยการผลิต จึงเป็นผังโรงงานที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมประกอบโทรทัศน์ การจัดอัตราการผลิตของแต่ละลำดับการผลิตให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุดจะเป็นการลดคอขวดในสายการผลิตทำให้เวลารอคอยระหว่างลำดับการผลิตน้อยลง ในกรณีโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนของ สวทช. เป็นการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์

- ข้อดี ช่วยลดเวลาในการขนย้ายวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายวัสดุ ค่า ลดเวลาในการทำงาน การวางแผนและการควบคุมการผลิตทำได้ง่าย

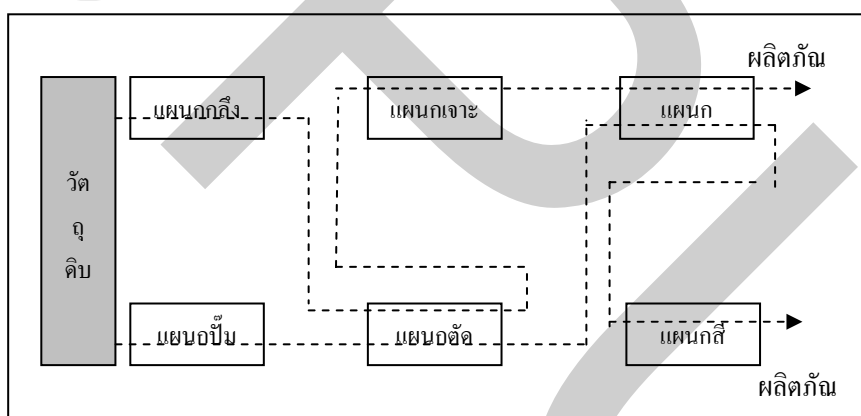
- ข้อเสีย ถ้าผลิตในปริมาณที่ต่ำจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง และความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงระบบมีน้อย



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์

(2) การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต (Process Layout) เป็นรูปแบบการจัดวางเครื่องจักรตามประเภทการใช้งาน ซึ่งเป็นการแบ่งแยกหน่วยงานผลิตได้ตามกิจกรรมการผลิต การวางผังโรงงานแบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีประเภทของผลิตภัณฑ์หลายประเภท แต่มีปริมาณการผลิตไม่สูง ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีลำดับขั้นตอนในการผลิตที่แตกต่างกัน สามารถใช้เครื่องจักรร่วมกันในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต่างชนิดกันได้ การจัดลำดับการผลิตจึงมีความยืดหยุ่นสูง ส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรอเนกประสงค์ จึงเหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องหรือการผลิตแบบงานโครงการ

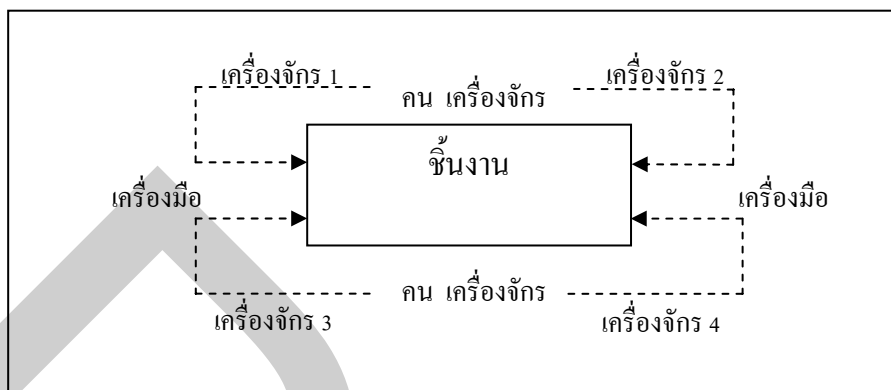
- ข้อดี มีความยืดหยุ่นในการผลิตสูงกว่าการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์ ช่วยลดเวลาในการขนย้ายวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายวัสดุต่ำ ลดเวลาในการทำงาน
- ข้อเสีย ค่าใช้จ่ายและเวลาในการขนย้ายวัสดุระหว่างแผนกสูง มีวัสดุระหว่างกระบวนการ การสูง มีความยุ่งยากในการวางแผนและการควบคุมการผลิต



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

(3) การวางผังโรงงานแบบคงตำแหน่ง (Fixed-Position Layout) เป็นรูปแบบการวางผังโรงงานโดยมีวัสดุหรือชิ้นงานอยู่กับที่และมีการจัดเครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุอื่นๆ อยู่โดยรอบ การดำเนินการผลิตจะเป็นการเคลื่อนที่ของคนและเครื่องจักร เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน ผู้ต่อเรือ การผลิตจะผลิตตามใบสั่งผลิต

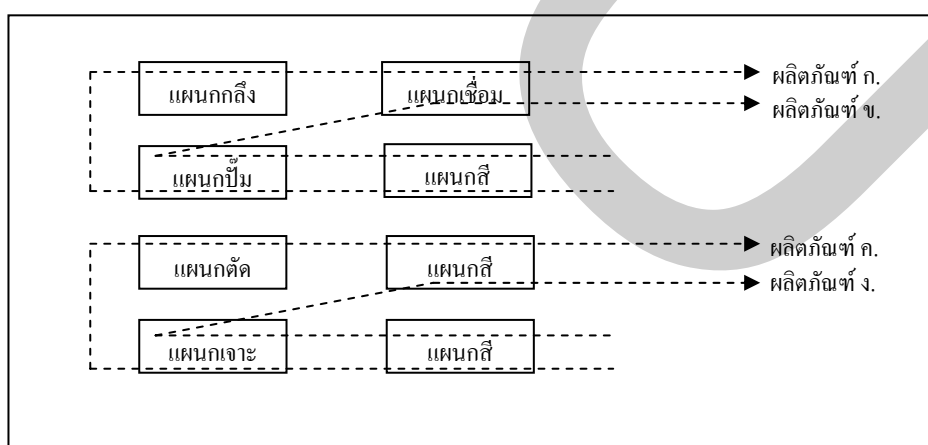
- ข้อเสีย ต้องใช้พื้นที่กว้างเพื่อเตรียมการสำหรับความไม่แน่นอนของขนาดชิ้นงาน และใช้แรงงานที่มีความชำนาญสูง



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างการวางผังโรงงานแบบคงตำแหน่ง

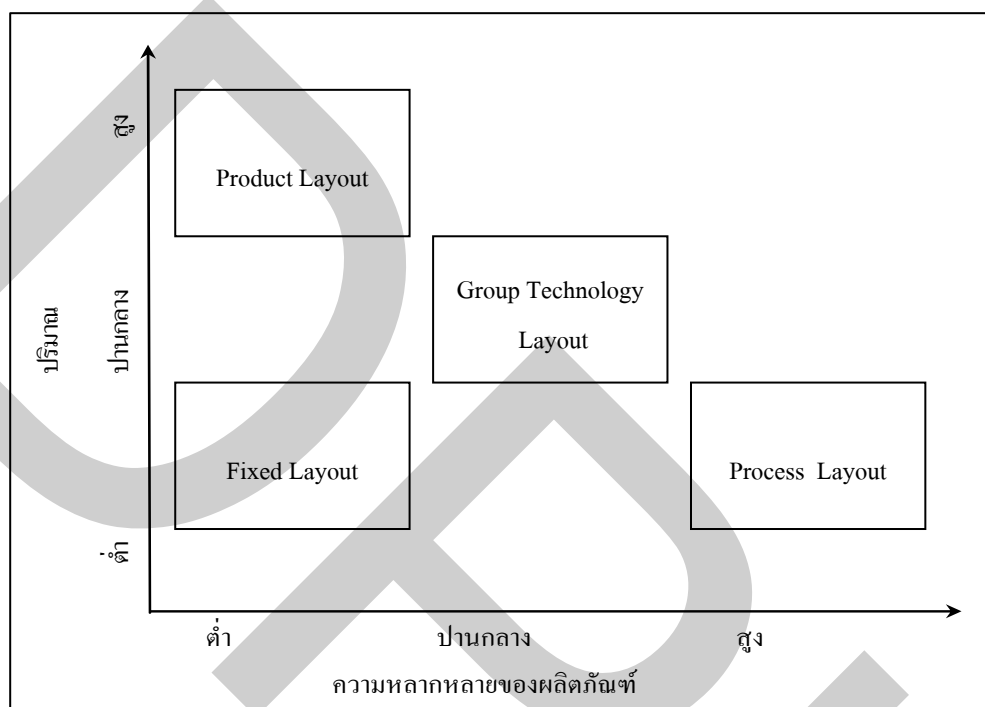
(4) การวางผังโรงงานแบบตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์ (Group Technology Layout) เป็นรูปแบบการวางผังโรงงานตามกลุ่มความเหมือนของผลิตภัณฑ์ ที่มีการจัดกลุ่มเครื่องจักร ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยแบ่งตามกระบวนการผลิตที่คล้ายกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นในการผลิต มากกว่าการวางผังโรงงานตามแบบผลิตภัณฑ์ ใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยกว่าการวางผังโรงงานตามกระบวนการ เหมาะกับปริมาณการผลิตที่ไม่สูงนัก และมีประเภทของผลิตภัณฑ์ หลากหลาย

- ข้อดี มีความยืดหยุ่นในการผลิตสูงกว่าการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์ ใช้เวลา ในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยกว่าการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างการวางผังโรงงานแบบตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ-ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ที่เหมาะสำหรับการวางผังโรงงานประเภทต่างๆ จำแนกได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ-ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ สำหรับการวางผังโรงงานประเภทต่างๆ

ยศศักดิ์ ยศไกร (2548 :14) ได้ทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อดี-ข้อเสียของผังโรงงานในรูปแบบต่างๆ ไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของผังโรงงานแบบต่างๆ

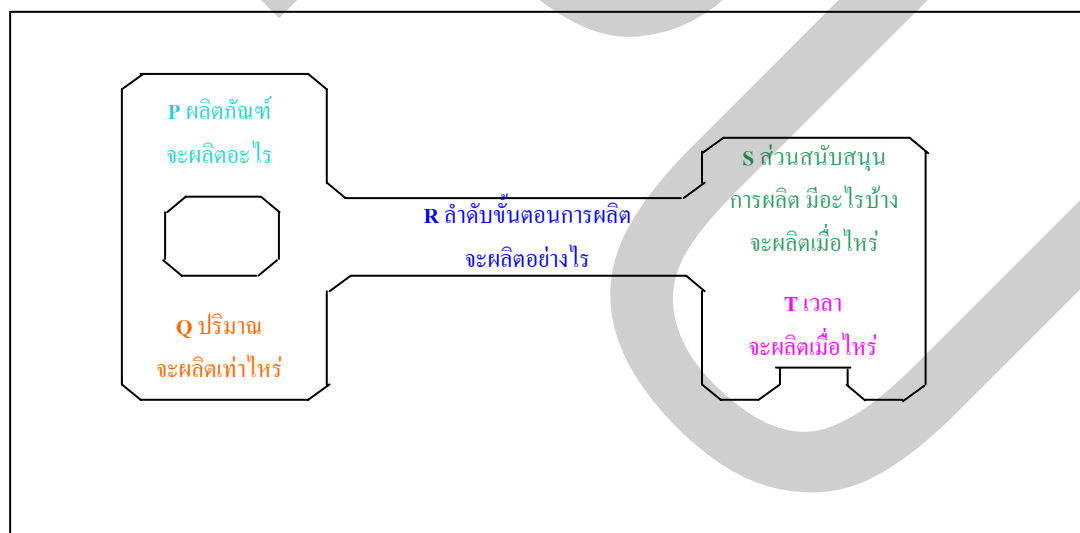
รายละเอียด	Product Layout	Process Layout	Fixed Position Layout
ลักษณะของผลิตภัณฑ์	- ผลิตสินค้าที่มีมาตรฐานเดียวกัน - ปริมาณมาก - อัตราการผลิตคงที่	- เพื่อผลิตสินค้าได้หลายรูปแบบ - การผลิตเปลี่ยนแปลงได้ทั้งขนาดและปริมาณ	- ปริมาณการผลิตน้อย - การผลิตแต่ละชิ้นจะมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

รายละเอียด	Product Layout	Process Layout	Fixed Position Layout
ลักษณะการไหลของชิ้นงาน	- ชิ้นงานไหลเป็นเส้นตรง ไหลซ้ำๆกัน - การทำงานมีมาตรฐานเดียวกัน	- การไหลของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงได้ - ชิ้นงานอาจมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน	- ชิ้นงานมีการไหลน้อยมาก คนและเครื่องมือจะเคลื่อนที่เข้ามาทำงานบนชิ้นงาน
ทักษะความชำนาญของพนักงาน	- การทำงานจะซ้ำๆ กันตลอด - พนักงานจะต้องมีความชำนาญเฉพาะด้านสูง	- งานเป็นงานที่ง่าย - พนักงานสามารถทำงานได้ โดยไม่ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด	- งานมีความยืดหยุ่นสูง - งานจะต้องมีการระบุให้ชัดเจน
พนักงานสนับสนุนการผลิต	- ต้องการพนักงานสนับสนุนค่อนข้างมากเพื่อวางแผนวัตถุดิบ คนวิเคราะห์งานและซ่อมบำรุง	- คนที่วางแผนจะต้องมีความสามารถสูงในการควบคุมการผลิตวางแผนวัตถุดิบ และควบคุมสินค้าคงคลัง	- คนวางแผนจะต้องมีความสามารถสูงในการวางแผนและประสานงานกับแผนกต่างๆ
การใช้พื้นที่	- การใช้พื้นที่จะมีประสิทธิภาพ - อัตราของผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ใช้งานต่อหน่วย	- ผลผลิตต่อหน่วยค่อนข้างต่ำ - การใช้พื้นที่มากสำหรับ Work in Process	- ทำงานทั้งหมดเต็มพื้นที่ อัตราการใช้พื้นที่น้อยเมื่อเทียบกับผลผลิตต่อหน่วยที่เกิดขึ้น
ต้นทุนการดำเนินการ	- ต้นทุนคงที่ค่อนข้างสูง - แรงงานและค่าวัสดุต่ำ	- ต้นทุนต่อหน่วยสำหรับค่าแรง ค่าวัสดุคงคลัง และค่าขนถ่ายมีสูง	- ค่าแรงงานและต้นทุนค่าวัสดุสูง แต่ต้นทุนคงที่ค่อนข้างต่ำ
ปริมาณสินค้าคงคลัง	- การหมุนเวียนของวัตถุดิบ - สินค้าคงคลังสูง	- การหมุนเวียนของวัตถุดิบต้องช้า - วัตถุดิบปริมาณสูง	- ปริมาณวัสดุคงคลังเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการผลิต
ระบบขนถ่าย	- การไหลของวัสดุสามารถคาดเดาได้ - ระบบเป็นระบบอัตโนมัติ	- ปริมาณการขนถ่ายมีการเปลี่ยนแปลงเสมอ - การขนถ่ายแบบซ้ำๆ เกิดขึ้นอยู่เสมอ	- ปริมาณการขนถ่ายมีการเปลี่ยนแปลงเสมอ - เกิดเครื่องจักรต้องใช้ประเภทเครื่องมือหนัก

กุญแจดอกสำคัญสำหรับไขปัญหาการวางแผนโรงงาน ข้อมูลนั้นนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผนแก้ปัญหาด้านต่างๆ ในการออกแบบผังโรงงานจะต้องใช้ข้อมูลมาก และมีความเที่ยงตรงพอสมควร จึงจะทำให้การออกแบบผังโรงงานประสบความสำเร็จได้ ก่อนที่เราจะทำการวางแผนผังโรงงาน ต้องรู้อย่างแน่ชัดว่าจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ (Product ; P) ชนิดใด จะผลิตปริมาณ (Quantity ; Q) เท่าไหร่ และต้องศึกษากรรมวิธีหรือกระบวนการผลิต (Routing ; R) ประกอบด้วยเครื่องจักร อุปกรณ์ วิธีการทำงาน ลำดับการทำงาน ซึ่งจะบอกได้จากแผนภูมิกระบวนการผลิต และแผนภูมิการไหลของกระบวนการ นอกจากนี้แล้วจะต้องทราบถึงสิ่งสนับสนุนการผลิต (Supporting Service ; S) เช่น การบำรุงรักษา ซ่อมแซม ห้างเก็บเครื่องมือ พื้นที่สำหรับรับ-ส่งของ เป็นต้น ข้อมูลสำคัญสุดท้าย คือ เวลาที่ใช้ในการผลิต (Time ; T)ว่าจะทำการผลิตเมื่อไหร่ นานเท่าไหร่ บ่อยหรือไม่ กำลังการผลิตของเครื่องจักร การวางแผนโรงงานจะต้องทราบเวลาที่แน่นอนเพื่อที่จะทำงานให้บรรลุเป้าหมาย

จากภาพที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบตามส่วนต่างๆ ของกุญแจไขปัญหาการวางแผนโรงงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบ P และ Q จะแทนด้วยมือจับกุญแจซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องจับให้แน่นก่อนไขปัญหา และทำการศึกษาองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อไขปัญหาอย่างเป็นระบบ



ภาพที่ 2.6 กุญแจไขปัญหา P, Q, R, S, T

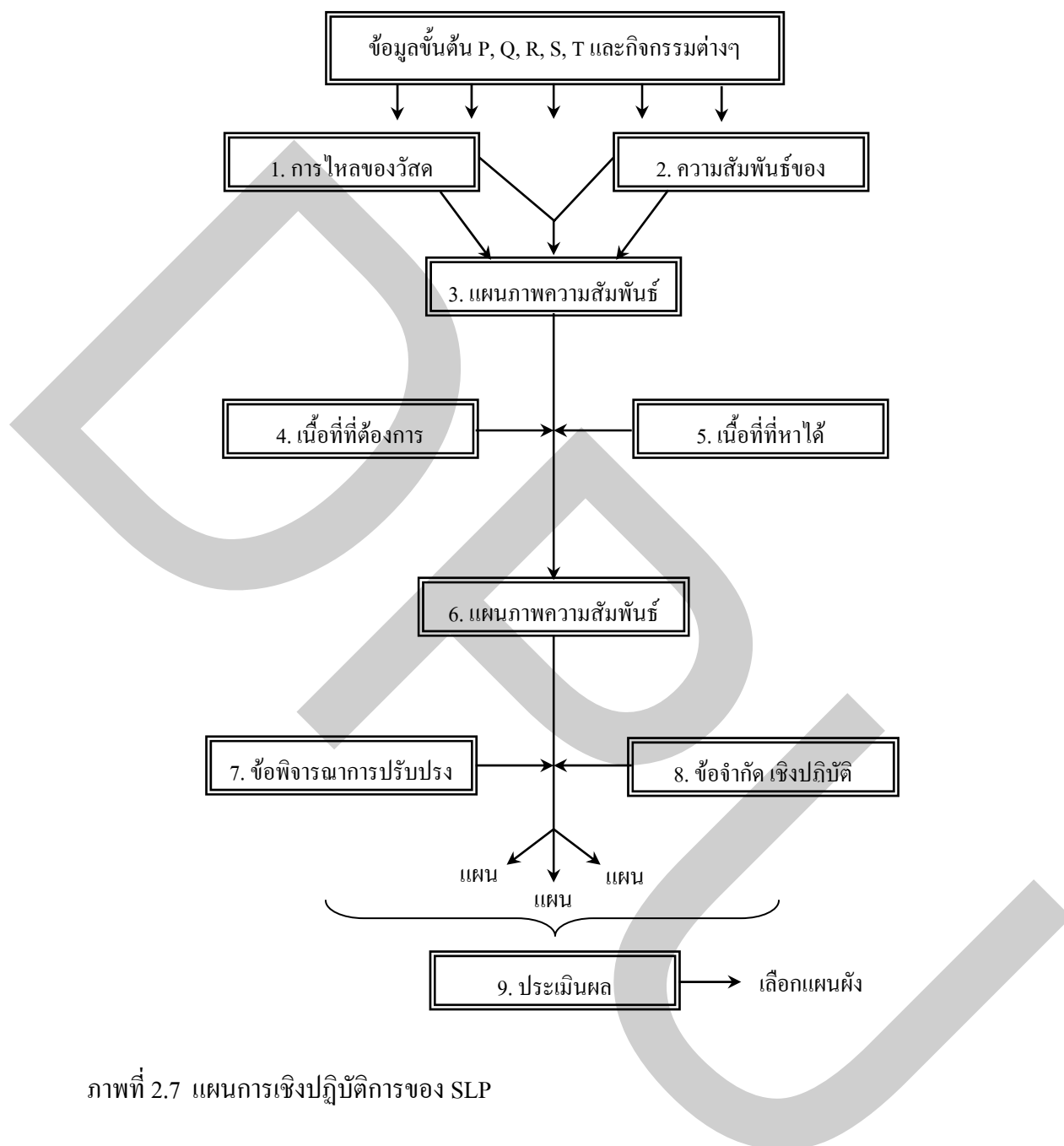
2.1.2 การวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning :SLP)

สมศักดิ์ ตรีสัตย์ (2535 : 105-107) กล่าวว่าไว้ว่า การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ เป็นวิธี การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ เป็นขั้นตอนเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสน เป็นวิธีที่รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการผลิตมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหลักการสำคัญขั้นพื้นฐาน 3 ประการดังนี้

- (1) ความสัมพันธ์ (Relationships) เป็นการจัดหาความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ โดยเริ่มจากกิจกรรมที่มีความสัมพันธ์มากมาหา น้อย กิจกรรมใดมีความสัมพันธ์กันมากก็อยู่ใกล้กัน
- (2) เนื้อที่ (Space) เป็นการพิจารณาเกี่ยวกับเนื้อที่ต่างๆ ทั้งจำนวน ชนิด และรูปทรงของพื้นที่ ของกิจกรรมต่างๆ ที่ได้กำหนดในผังโรงงาน
- (3) การปรับจัดตำแหน่งที่ตั้ง (Adjustment) เป็นการจัดหรือปรับตำแหน่งของกิจกรรมต่างๆ ให้ได้

ขั้นตอนการวางแผนผังโรงงานอย่างเป็นระบบ ทำได้โดยเมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานขั้นต้นที่จำเป็น (P, Q, R, S, T) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ การพยากรณ์การขาย การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ รวมรายการเครื่องจักรอุปกรณ์ รายการการดำเนินงาน การวางแผนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ ในช่วงเวลาต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ทิศทางและลำดับการไหลของวัสดุ (Flow of Material) รวมถึงบริการ (หรืออื่นๆ ที่มีการไหล) ที่สัมพันธ์กัน แล้วกิจกรรมทั้ง 2 ลงในแบบฟอร์มแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) ของกิจกรรมต่างๆ กิจกรรมใดมีลักษณะการทำงานที่ต้องติดต่อกันบ่อยครั้งจะมีความสำคัญมากกว่าความสัมพันธ์พื้นฐานเฉพาะการไหลของวัสดุแต่เพียงอย่างเดียว จากนั้นทำการเปลี่ยนแผนภูมิเป็นรูปสัญลักษณ์แทน โดยเขียนในรูปของแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Relationship Diagram)

จากนั้นก็คำนวณหาเนื้อที่ที่ต้องการ โดยสอดคล้องกับเนื้อที่ที่ทำได้ แล้วนำรูปสัญลักษณ์เนื้อที่เหล่านั้นเขียนแทนในสัญลักษณ์เดิมเพื่อสร้างเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ของเนื้อที่ (Space Relationship Diagram) หลังจากนั้นก็ทำการจัดเปลี่ยนตำแหน่งแผนภาพความสัมพันธ์ของเนื้อที่ ภายใต้อิทธิพลของการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ (วิธีขนถ่าย อุปกรณ์ในห้องเก็บวัสดุ ระบบสาธารณูปโภค และแผนการทำงาน) และข้อจำกัดเชิงปฏิบัติ (ต้นทุน ความปลอดภัย ใค้อาคาร โรงงาน โรงงานเดิม และต้นกำลังที่ต้องการ) เพื่อให้สวยงามและเหมาะสมกับอาคาร โรงงาน การจัดเปลี่ยนตำแหน่ง จะสามารถทำให้มีทางเลือกการวางผังตามแผนงานได้หลายๆ แบบ แล้วทำการประเมินผล ในเชิงของต้นทุนและองค์ประกอบการพิจารณาที่สามารถพิสูจน์ได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งการวางผัง โรงงานที่เหมาะสมที่สุด แผนการเชิงปฏิบัติของ SLP สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แผนการแข่งขันปฏิบัติการของ SLP

2.1.2.1 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Operation Process Chart : OPC)

เป็นแผนภูมิที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาขั้นตอนการทำงานหลักๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบใหม่หรือผลิตภัณฑ์ที่กำลังผลิตอยู่แล้ว เพื่อใช้ในการศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุง และลดขั้นตอนการผลิต หรือเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิตได้หรือไม่ แผนภูมิการทำงานของกระบวนการผลิตนี้ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่จะให้ได้มาซึ่งผังโรงงานที่ดีไม่ว่าจะเป็น โรงงานที่มีการผลิต

ผลิตภัณฑ์ มากชนิดหรือเพียงไม่กี่ชนิดก็ตาม ทั้งนี้เพราะเป็นการศึกษาเพื่อลดขั้นตอนการผลิตลง โดยประโยชน์ของแผนภูมิสามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการผลิตอย่างแท้จริง
- (2) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ
- (3) แสดงให้เห็นถึงความยาวของสายการประกอบและเนื้อที่ที่ต้องการ
- (4) แสดงให้เห็นถึงจุดที่ชิ้นส่วนจะเข้าสู่กระบวนการผลิต
- (5) แสดงให้เห็นถึงความต้องการของการประกอบย่อย
- (6) ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการออกแบบที่ทำงาน
- (7) ชี้ให้เห็นถึงจำนวนคนที่ต้องการ
- (8) ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักร เครื่องมือ และคนงาน
- (9) ชี้ให้เห็นถึงรูปแบบของการไหล

เครื่องหมายของแผนภูมิกระบวนการผลิต ที่เป็นมาตรฐานสากลมี 5 แบบ ดังนี้

สัญลักษณ์	อาการกระทำ	ผลที่สำคัญ
○	ทำงาน	การผลิต
➔	ขนส่ง	การเคลื่อนที่
□	ตรวจ	ตรวจสอบ
D	คอย	เกิดการขัดข้องต้องรอคอย
▽	เก็บ	การเก็บ

2.1.2.2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart : FPC)

เป็นแผนภูมิที่มีไว้สำหรับศึกษาการไหลของวัสดุสิ่งของโดยเฉพาะ มีรายละเอียดที่ต้องศึกษามากกว่าของแผนภูมิการทำงานของกระบวนการผลิต และเพื่อให้การศึกษาง่ายเข้าควรจะศึกษาการไหลหลังจากที่ได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นที่เรียบร้อยแล้ว แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้กับการศึกษาการไหลสำหรับงานผลิตที่ไม่มากชนิดจนเกินไปนัก (ไม่ควรเกิน 5 ชนิด) ถ้าแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงการผลิตและการไหลจนเป็นที่พอใจแล้ว ก็สามารถที่จะใช้แผนภูมินี้เป็นแนวทางในการจัดวางผังโรงงานในส่วนของสายการผลิตนี้ได้เลย

2.1.2.3 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Diagram)

แผนภาพการไหล เป็นแบบแปลนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานที่ได้แสดงอยู่ในแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต เป็นแบบแปลนที่ย่อส่วนของสภาพการทำงานจริงลงบนแผ่นกระดาษตามมาตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีที่ตั้งของเครื่องจักร สถานที่ทำงาน พร้อมทั้งแสดงจุดที่ตั้งของกิจกรรมต่างๆ โดยสอดคล้องกับที่ได้บันทึกไว้ในแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตทุกประการ

แสดงให้เห็นความเป็นไปของการไหลของวัสดุต่างๆ ในโรงงาน ช่วยแสดงภาพพจน์ของปัญหาให้เห็น โดยสามารถใช้แผนผังการไหลในการตรวจสอบว่าผังโรงงานที่เป็นอยู่มีความถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ เป็นจุดเริ่มแรกของการตรวจสอบปัญหาเพื่อทำการปรับปรุงผังโรงงานที่ดีจะเป็น แผนผังโรงงานที่หน่วยงานที่มีการขนถ่ายระหว่างกันมากจะต้องอยู่ใกล้กันมากกว่าหน่วยงานที่มีการขนถ่ายลำเลียงระหว่างกันน้อย และต้องมีรูปแบบการไหลไม่ยุ่งเหยิง การเคลื่อนย้ายรวมไม่มาก

2.1.2.4 แผนภูมิจาก-ไป (From-To Chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้ในการศึกษาการไหลของวัสดุสิ่งของจากชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดมีการผลิตไม่มาก เราจะสนใจเฉพาะการไหลของวัสดุสิ่งของจากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่งเท่านั้น โดยมีการบันทึกความ ระยะทาง หรือความหนาแน่นของการไหลของวัสดุสิ่งของจากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่ง และกรอกลงในตารางบันทึกข้อมูล ตัวอย่างตามภาพที่ 2.8 และจากข้อมูลในแผนภูมินี้เราสามารถที่จะสรุปความหนาแน่นของการขนถ่ายลำเลียงระหว่างหน่วยงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ จากนั้นก็แปลงความหนาแน่นของการขนถ่ายลำเลียงให้เป็นเกณฑ์ความใกล้ชิดระดับต่างๆ เพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์ในการเขียนแผนผังความสัมพันธ์ของหน่วยงานต่อไป

2.1.2.5 แผนภูมิความสัมพันธ์ (The Relationship Chart)

ยศศักดิ์ ยศกไกร (2548 : 23) กล่าวไว้ว่า แผนภูมิความสัมพันธ์เป็นแบบฟอร์มตารางที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่ต้องการหาความสัมพันธ์ โดยจำแนกระดับความสัมพันธ์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ นี้ ออกเป็น 6 ระดับ ด้วยกันคือ A, E, I, O, U, X

- A จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องอยู่ใกล้กัน
- E จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน
- I จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างที่จะต้องอยู่ใกล้กัน
- O จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ธรรมดา
- U จะให้กับคู่กิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันไม่มีความสำคัญ จะอยู่ที่ไหนก็ได้
- X จะให้กับคู่กิจกรรมที่อยู่ใกล้กันไม่ได้เลย ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับ ฝุ่น เสียง ควัน กลิ่น และการสิ้นสละเทือน อันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัย การรบกวน

จากเหตุผลสำหรับระดับความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ให้ จะเห็นว่าเราจำแนกความสัมพันธ์ตามระดับความสัมพันธ์จากมากที่สุดลงไปถึงระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด คือ จาก A ไปถึง U และ X ในการให้ระดับความสัมพันธ์แก่กิจกรรมต่างๆ นั้น เนื่องจากเราไม่มีวิธีการคำนวณที่จะให้ได้มาซึ่งระดับความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมต่างๆ ได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้ระดับความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมที่เป็นจริงโดยสมเหตุสมผลมิใช่อาศัยความรู้สึกที่เป็นสิ่งกำหนด ฉะนั้นการให้เหตุผลสำหรับระดับความสัมพันธ์ที่กำหนดเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้เหตุผลต่างๆ ยังช่วยสนับสนุนความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาสำหรับเหตุผลที่ขอยกตัวอย่างเพื่อเป็นแนวทางมีดังนี้

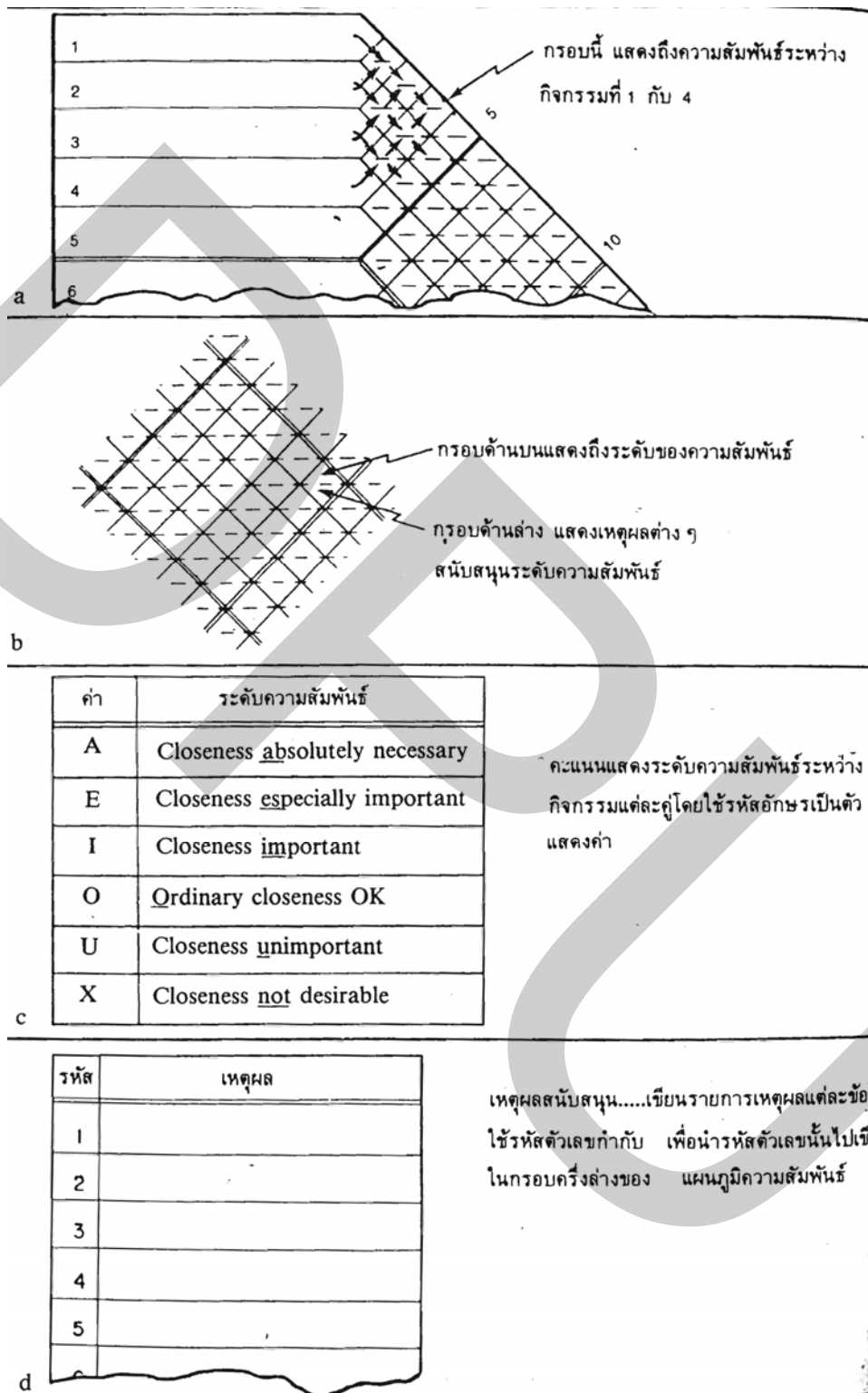
- ลำดับขั้นการไหลของงาน/วัสดุ
- ใช้เครื่องมือร่วมกัน
- ใช้พื้นที่ร่วมกัน
- ใช้ที่เดียวกัน
- การติดต่องานกระดาษมีบ้าง
- ใช้เครื่องมือติดต่อร่วมกัน
- การติดต่อบ่อย
- ทำงานคล้ายกัน
- การเคลื่อนที่ของคน ใช้คนร่วมกัน
- เสียง สกปรก ควั่น การสั่นสะเทือน
- ทำให้การขนถ่ายง่ายขึ้น
- ใช้พื้นที่ร่วมกัน
- ติดต่อเร่งด่วน
- ใช้ทางร่วมกัน
- ง่ายต่อการแนะนำ

แผนภูมิจาก-ไป

โรงงาน _____ โครงการที่ _____
 โดย _____ ร่วมกับ _____
 วันที่ _____ แห่งที่ _____ / _____

กิจกรรมหรือหน่วยงาน จาก	ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล “แผนภูมิจาก-ไป”



ภาพที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบสำคัญพื้นฐานของแผนภูมิความสัมพันธ์

การให้คะแนนระดับความสัมพันธ์ได้มีการกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมของการให้คะแนนไว้ดังนี้

คะแนนระดับ A	ประมาณ	2-5%
คะแนนระดับ E	ประมาณ	3-10%
คะแนนระดับ I	ประมาณ	5-15%
คะแนนระดับ O	ประมาณ	10-25%
คะแนนระดับ U	เป็นกิจกรรมที่เป็นอิสระต่อกัน	
คะแนนระดับ X	ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโรงงานแต่ละรูปแบบ	

การใช้สีเป็นรหัสแสดงความสัมพันธ์ ได้มีการกำหนดไว้ดังนี้

ระดับความสัมพันธ์ A	=	สีแดง
ระดับความสัมพันธ์ E	=	สีเหลือง, ส้ม
ระดับความสัมพันธ์ I	=	สีเขียว
ระดับความสัมพันธ์ O	=	สีฟ้า
ระดับความสัมพันธ์ U	=	ไม่มีสี
ระดับความสัมพันธ์ X	=	สีดำ

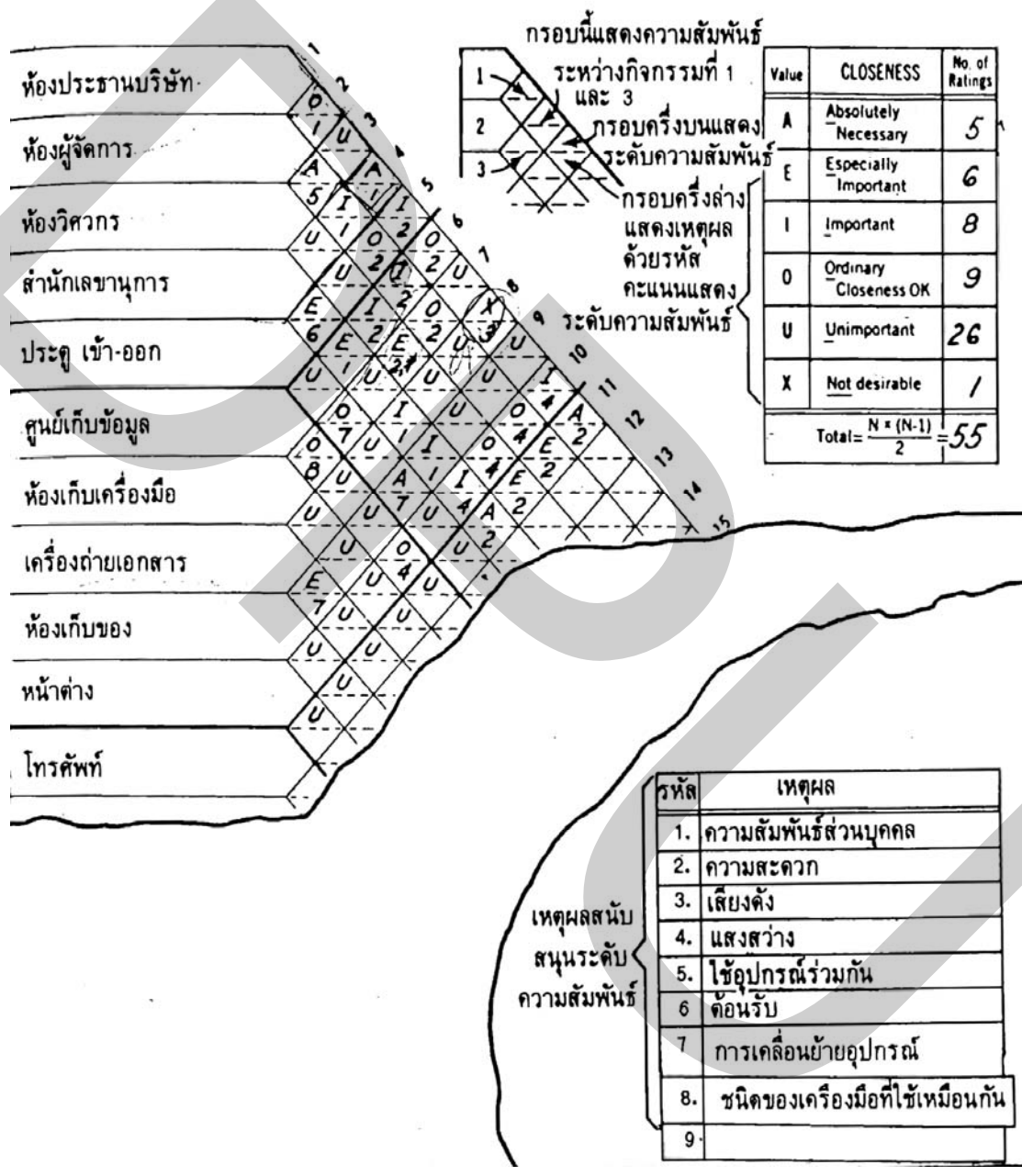
2.1.2.6 แผนภาพความสัมพันธ์ (Relationship Diagram)

การเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ จะอาศัยคะแนนที่แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ ตามที่ได้บันทึกไว้ในแผนภูมิความสัมพันธ์ วิธีการเขียนต้องรวมถึงแบบแผนของการเขียนแผนภาพ เพราะจะช่วยให้ประหยัดเวลา เข้าใจง่าย และช่วยสื่อสารความหมายได้ดี การเขียนจะใช้จำนวนเส้นเป็นรหัสแสดงความสัมพันธ์ ส่วนสัญลักษณ์นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรมต่างๆ ตัวเลขที่อยู่ภายในสัญลักษณ์เป็นตัวเลขที่ระบุว่าเป็นกิจกรรมที่เท่าไร สำหรับจำนวนเส้นที่เชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมต่างๆ แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.11 จะเห็นว่ากิจกรรมที่ 1 กับ 2 มีเส้นเชื่อมโยง 4 เส้น แสดงว่ากิจกรรมมีความสัมพันธ์กันระดับ A ต้องอยู่ใกล้ชิดกันมาก กิจกรรมที่ 1 กับ 7 มีเส้นเชื่อมโยง 3 เส้น แสดงถึงความสัมพันธ์ระดับ E และสัมพันธ์กับกิจกรรมที่ 8 ระดับ I ซึ่งมีเส้นเชื่อมโยง 2 เส้น กิจกรรมอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน ระดับความสัมพันธ์จะผันแปร โดยตรงกับจำนวนเส้นที่เชื่อมโยง

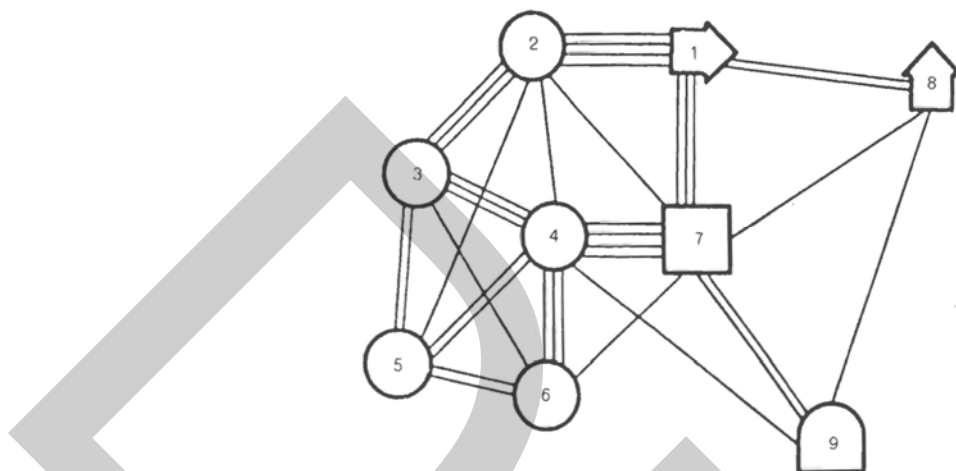
(RELATIONSHIP CHART)

แผนภูมิความสัมพันธ์

ชื่อโรงงาน NEW OFFICE โครงการที่ 9300
 ชื่อผู้เขียน พนา ร่วมกับ จเร
 วันที่ 6-10-28 แผนที่ 1 of 1
 Reference NOTES



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม



ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างรูปลักษณะและวิธีการเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (SLP) มาประยุกต์ใช้โดยนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิต การพยากรณ์ความต้องการ กระบวนการผลิต สิ่งสนับสนุนการผลิต และเวลาที่ใช้ในการผลิต การทำงานกะ เวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง มาทำการวิเคราะห์หาทิศทางและลำดับการไหลของวัสดุ โดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิต (Operation Process Chart : OPC) แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart : FPC) แผนภูมิจาก-ไป (From-To Chart) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงาน เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของแต่ละหน่วยงานในโรงงาน โดยใช้ แผนภูมิความสัมพันธ์ (The Relationship Chart) และเขียนออกมาในรูปของ แผนภาพความสัมพันธ์ (Relationship Diagram) แล้วทำการออกแบบผังโรงงานทางเลือก นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อจำกัดต่างๆ เช่น รูปร่างของโรงงาน ปริมาณเครื่องจักร เส้นทางการไหลของผลิตภัณฑ์ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ดัชนีที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้จะให้ พื้นที่ที่ใช้น้อยที่สุด ระยะทางที่สั้นที่สุด ภาระงานระยะทางที่น้อยที่สุด เพื่อคัดเลือกผังโรงงานทางเลือกที่มีความเหมาะสมเพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิตขนาดในอนาคต

2.1.3 การคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ

สมศักดิ์ (2535 : 198) การที่จะทราบว่าจำเป็นต้องผลิตสินค้าในอัตราเท่าใดนั้น ต้องรู้ผลการพยากรณ์ความต้องการของตลาด แล้วแปลงเป็นปริมาณที่ต้องการผลิตจริง โดยคำนึงถึงของเสีย (Defective) ที่อาจมีผลด้วย ชนิดของผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตจะเป็นตัวเลือกชนิดของผังโรงงาน

การคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการนั้น สามารถคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการผลิตงาน i ชนิด โดยใช้เครื่องจักร j ชนิด ได้จากสมการ (2.1)

$$M_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij} T_{ij}}{t_{ij}} \quad (2.1)$$

เมื่อ M_j = จำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ j ชนิดต่อช่วงเวลาที่ทำการผลิต
 P_{ij} = อัตราการผลิตที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j
 (หน่วยวัด : จำนวนชิ้น/ช่วงเวลาที่ทำการผลิต)
 T_{ij} = เวลามาตรฐานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j
 (หน่วยวัด : เวลา/ชิ้น)

t_{ij} = จำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาทำการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

n = จำนวนของผลิตภัณฑ์

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรแต่ละชนิดที่จำเป็นต้องใช้เพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิต ขนาด 10 เมกะวัตต์ต่อปี โดยวิธีการการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ กรณีการวางผังโรงงานตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เพื่อให้ได้ข้อมูลจำนวนเครื่องจักร เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และออกแบบผังทางเลือกต่อไป

2.1.4 หลักเกณฑ์สำหรับการประเมินแผนผังกระบวนการผลิต

พิชิต (2547 : 110) ในการตัดสินใจวางแผนผังกระบวนการผลิตของโรงงาน หรือสถานที่ให้บริการใดๆ มีหลักเกณฑ์ที่พึงพิจารณา 10 ประการ คือ

(1) มีความคล่องตัวสูงสุด (maximum flexibility) สามารถเปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการการผลิตได้ง่าย มีความคล่องตัวในการปรับเปลี่ยนแผนผังกระบวนการผลิตในอนาคตได้ดี

(2) เกิดการประสานงานงานที่ดีที่สุด (maximum coordination) แต่ละแผนกหรือเครื่องจักรแต่ละเครื่องต้องเกิดการทำงานที่ประสานสอดคล้องกัน ไม่เกิดการรอคอยระหว่างกระบวนการผลิตโดยไม่จำเป็น

(3) ใช้เนื้อที่มากที่สุด (maximum user of volume) ใช้เนื้อที่ทุกส่วนของโรงงานให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น ใช้ในการเก็บวัสดุระหว่างการผลิต วางเครื่องจักร และเก็บวัตถุดิบ เป็นต้น

(4) มองเห็นได้มากที่สุด (maximum visibility) เมื่ออยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งของโรงงานควร จะมองเห็นจุดอื่นๆ ได้โดยไม่มีอะไรมาขวางแนวสายตา เครื่องจักรที่มีขนาดสูงใหญ่ไม่ควรวางไว้ บริเวณกลางโรงงาน บริเวณใดที่ต้องการกั้นบริเวณเพื่อความเป็นสัดส่วน ควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุ ทึบ ควรใช้วัสดุโปร่งใส เช่น ตาข่ายลวดหรือกระจกใสแทน ถ้าไม่จำเป็นควรหลีกเลี่ยงการกั้น บริเวณในโรงงาน เพราะจะทำให้เปลืองเนื้อที่ใช้งาน

(5) เข้าถึงง่ายที่สุด (maximum assessibility) เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ใน โรงงานจะต้องเข้าถึงได้ง่ายไม่มีสิ่งกีดขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น อุปกรณ์ดับเพลิง ที่แจ้งสัญญาณอันตราย แผงฟิวส์ หรือแผงสวิตซ์ไฟฟ้า จะต้องอยู่ในตำแหน่ง ที่เข้าถึงได้สะดวก

(6) ระยะทางสั้นที่สุด (maximum distance) การเคลื่อนย้ายวัสดุและผลิตภัณฑ์ระหว่าง การผลิตต้องทำให้มีระยะทางสั้นที่สุด เส้นทางเคลื่อนย้ายไม่ควรเคี้ยว หลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายที่ ซ้ำซ้อน เช่น เมื่อออกจากเครื่องจักรเครื่องหนึ่งควรเคลื่อนย้ายไปยังเครื่องจักรถัดไปเลย ไม่ควร เคลื่อนย้ายไปเก็บไว้ในที่เก็บก่อนแล้วจึงค่อยเคลื่อนย้ายมาผลิตในเครื่องจักรถัดไป เป็นต้น

(7) เกิดการเคลื่อนย้ายน้อยที่สุด (maximum handling) หลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายวัสดุ และผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิตโดยไม่จำเป็น ใช้อุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนย้ายและขนส่ง ผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วและต่อเนื่อง เช่น การใช้สายพาน ลูกรอก ลิฟต์ และรถยก เป็นต้น

(8) มีสภาพแวดล้อมการทำงานดีที่สุด (maximum comfort) ในโรงงานและสถานที่ ทำงานจะต้องมีอากาศถ่ายเทที่ดี มีอุณหภูมิและความชื้นที่พอเหมาะ มีแสงสว่างเพียงพอ และ ปราศจากเสียงรบกวน

(9) มีความปลอดภัย (inherent safety) ตำแหน่งเครื่องจักรต้องจัดวางให้ถูกต้องตาม ข้อกำหนด อุปกรณ์และเครื่องจักรที่อาจก่อให้เกิดอันตรายในขณะปฏิบัติงานจะต้องปิดป้าย สัญญาณเตือน เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เครื่องจักรที่มีความร้อน น้ำยาสารเคมีที่ติดไฟง่าย เป็นต้น นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์เตือนอันตราย เช่น เครื่องตรวจจับควันไฟ แสงเปลวไฟ กระจกเตือนภัย มี อุปกรณ์ดับเพลิง เช่น สารเคมี และน้ำดับเพลิงที่มากเพียงพอ ตำแหน่งของอุปกรณ์ดับเพลิงจะต้องมี เครื่องหมายแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดและถึงได้สะดวก

(10) เคลื่อนย้ายวัสดุทางเดียว (unidirectional flow) เส้นทางเคลื่อนย้ายและขนส่ง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต ควรเดินทางเดียวไม่สวนทางกันเส้นทางไม่ควรตัดกันหรือมี ทางแยก

ในการประเมินการวางแผนโรงงานนอกจากจะสามารถใช้แผนภูมิ หรือภาพเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการทำงานในระหว่างการผลิต แล้วจัดวางตำแหน่งเครื่องจักร และห้องทำงานต่างๆ ให้สอดคล้องกับความสัมพันธ์ของกระบวนการต่างๆ เช่น การใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (activity relationship chart) และไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (activity relationship diagram) โดยทั่วไปตัวแบบกายภาพจะใช้ในการกำหนดรูปแบบของแผนผังกระบวนการผลิตเบื้องต้น ซึ่งอาจจะได้รูปแบบแผนผังกระบวนการผลิตเบื้องต้น 2-3 รูปแบบ จากนั้นจะนำรูปแบบที่ได้ไปประเมินเปรียบเทียบเพื่อเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดด้วยการใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์ทั่วไป

ตัวแบบคณิตศาสตร์ เป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกของแผนผังกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งแผนผังกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และมีต้นทุนการดำเนินการต่ำสุด ประสิทธิภาพของการดำเนินการโดยทั่วไปสามารถวัดด้ว้กำลังการผลิตที่ได้ อัตราการสูญเสียเนื่องจากการว่างงานของคนงานและเครื่องจักร ช่วงเวลาที่รอคอยของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิต ส่วนต้นทุนการดำเนินการสามารถวัดได้ด้วยค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายและขนส่งวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิต ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนผังกระบวนการผลิต ได้แก่ ตัวแบบภาระงานระยะทาง (load distance model) ตัวแบบการสมดุลสายการผลิต (line balancing model) เป็นต้น

2.1.4.1 ตัวแบบสำหรับการวางแผนตามผลิตภัณฑ์

การวางแผนผังสายการผลิตหรือสายการประกอบนั้น มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง 3 ประการ คือ

- 1) สายการผลิตที่วางไว้มีกำลังการผลิตมากพอกับที่ความต้องการหรือไม่
- 2) ลำดับการผลิตหรือการประกอบนั้นถูกต้องกับกระบวนการผลิตหรือไม่
- 3) สายการผลิตมีประสิทธิภาพดีหรือไม่

กำลังการผลิตของสายการผลิตคำนวณได้จากสมการ (2.2)

$$\text{กำลังการผลิต} = \frac{\text{เวลาที่มีเพื่อการผลิต}}{\text{รอบเวลาการผลิต}} \quad (2.2)$$

เวลาที่มีเพื่อการผลิต หมายถึง เวลาที่สามารถใช้เพื่อการผลิต เช่น 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 480 นาทีต่อวัน รอบเวลาการผลิต (production cycle time หรือ cycle time) หมายถึง ระยะห่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากสายการผลิต ลำดับการผลิตก็ต้องให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิต

สามารถตรวจสอบได้จากแผนผังกระบวนการผลิตว่าสามารถทำการผลิตหรือประกอบผลิตภัณฑ์ได้ตามกระบวนการที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่สามารถทำได้ก็ต้องจัดวางลำดับของเครื่องจักรใหม่

2.1.4.2 ตัวแบบสำหรับการวางผังตามกระบวนการผลิต

ในการวางแผนผังตามกระบวนการผลิต ตัวแบบสำหรับการวางแผนผังตามกระบวนการผลิต (process layout models) ที่นิยมใช้ช่วยในการวางแผน คือ แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (activity relationship chart) และตัวแบบภาระงานระยะทาง (load distance model) เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการวางแผนผังตามกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นที่การลดต้นทุนอันเกิดจากการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุและผลิตภัณฑ์ในระหว่างการผลิต โดยตำแหน่งของแผนกต่างๆ ในโรงงานจะสามารถจัดวางได้ถึง $n!$ วิธี ถ้าจำนวนครั้งในการเคลื่อนย้ายวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ ระหว่างการผลิตจากแผนกหนึ่งไปยังแผนกอื่นๆ มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้าวางแผนผังโรงงานแตกต่างกัน ต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุจะมีค่าแตกต่างกันไป ทั้งนี้เพราะระยะทางของแต่ละแผนกจะเปลี่ยนไปจัดวางแผนกต่างกันออกไป ตัวแบบภาระงานระยะทางสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.3) กำหนดให้

C = ต้นทุนรวมอันเกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานทั้งหมด

L_{ij} = จำนวนครั้งต่อภาระงาน (Load) ของการเคลื่อนย้ายวัสดุระหว่างแผนก i และ j

D_{ij} = ระยะทางของการเคลื่อนย้ายระหว่างแผนก i และ j

K_{ij} = ต้นทุนต่อครั้งของการเคลื่อนย้ายต่อหน่วยระยะทางจากแผนก i และ j

N = จำนวนแผนกทั้งหมดที่มี

ดังนั้น

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K_{ij} L_{ij} D_{ij} \quad (2.3)$$

วัตถุประสงค์ของการวางแผนผังโรงงานด้วยตัวแบบภาระงานระยะทาง คือวางแผนผังในลักษณะที่ทำให้ C มีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

ขั้นตอนการวางแผนผังกระบวนการผลิตด้วยตัวแบบภาระงานระยะทาง ประกอบด้วย

(1) ประเมินการเกี่ยวกับภาระงานหรือจำนวนเที่ยวในการเคลื่อนย้ายวัสดุและผลิตภัณฑ์ ระหว่างการผลิตระหว่างแผนกต่างๆ หรืออีกนัยหนึ่งคือประมาณการ L_{ij}

(2) กำหนดตำแหน่งของแผนกต่างๆ โดยคร่าวๆตามความเหมาะสมโดยพิจารณาหลักเกณฑ์การออกแบบแผนผังกระบวนการผลิต และจำนวนภาระงานของแต่ละแผนก

- (3) คำนวณหาระยะทางระหว่างแต่ละแผนก Dij
- (4) คำนวณหา C จากสมการ (2.5)
- (5) กลับไปทำขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 โดยอาจทำสัก 4-5 แบบตามแผนผังโรงงาน แล้ว

เปรียบเทียบค่าของ C สำหรับแต่ละแผนผังแล้วเลือกเอาแผนผังที่มีค่า C ต่ำสุด

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้เทคนิคการประเมินผล ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย หรือองค์ประกอบเรื่องการใช้พื้นที่ ระยะทางการขนย้ายวัสดุ และภาระงานระยะทาง ในการประเมินเพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่มีความเหมาะสม

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1 โปรแกรม Visio และ Auto CAD เพื่อใช้ในการออกแบบ/เขียนแบบผังโรงงาน

2.2.2 โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวีมาศ (2547) ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยนำหลักการออกแบบผังโรงงานไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและปรับปรุงผังโรงงานให้เหมาะสม โดยใช้โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับโรงงานกรณีศึกษา ปัญหาที่พบในโรงงานกรณีศึกษาพบว่าการจัดวางเครื่องจักรไม่เหมาะสม ทำให้ต้องใช้ระยะเวลามากในการขนส่งระหว่างแผนก หรือระหว่างส่วนผลิตกับส่วนสนับสนุน ผู้วิจัยได้วางรูปแบบการจัดวางเครื่องจักรในบางส่วนใหม่ และมีการโยกย้ายเครื่องบางตัว ทำให้สามารถช่วยลดพื้นที่ในการจัดวาง ลดจำนวนพนักงานประจำเครื่องลง และขนส่งวัสดุได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยสามารถลดระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลงได้ 20.33% ลดระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนของวัสดุระหว่างแผนกลดลง 19.78% ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น 6% คิดเป็นมูลค่ากว่า 3.9 ล้านบาทไตรมาส (เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตในช่วงไตรมาสเดียวกันระหว่างปี 2546-2547) และหากในอนาคตโรงงานต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพและเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น อาจจะมีการนำหลักการอื่นๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เช่น หลักการการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study) รวมถึงการอบรมเพื่อเพิ่มทักษะการทำงาน การปลูกจิตสำนึกเพื่อให้พนักงานมีความรู้สึกมีส่วนร่วมกับองค์กร เป็นต้น

ธาราทัด (2547) สืบเนื่องจากปัญหาการผลิตไม่ทันตามแผน ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นงานสูง ต้องทำการผลิตล่วงเวลามาก สูญเสียเวลาในการขนย้ายวัตถุดิบเพื่อรอการผลิต ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหลักการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning; SLP) ร่วมกับวิธี Multi-

Product Process Chart เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาที่พบในแผนกผลิตของบริษัทสิ่งทอ และต้องการปรับปรุงการจัดการการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์โดยใช้หลักการดังกล่าว เพื่อออกแบบผังโรงงานแบบใหม่ทั้งหมด 3 แบบ ได้ทำการทดลองจัดผังทั้ง 3 แบบ และเก็บข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่ช่วยลดต้นทุนในการผลิตสูงสุด ซึ่งผังโรงงานที่ช่วยลดระยะทางในการขนถ่ายวัสดุได้สั้นที่สุดสามารถลดลงได้ถึง 1,642.12 เมตร ประมาณการค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อปีลดลงเท่ากับ 187,652.85 บาท และสามารถคืนทุนได้ภายในเวลา 3 เดือน

นฤดม (2549) ทำการศึกษาเพื่อออกแบบและวางผังโรงงานใหม่ โดยศึกษาโรงงานผลิตประตูและวงกบประตูพลาสติกเป็นกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีส่วนประกอบในการเลือกผังโรงงานโดยใช้การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้ทราบถึงปัจจัยหลักๆ ได้แก่ การไหลของงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน ความปลอดภัย และกระบวนการผลิตตามลำดับ จากการพิจารณากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาทำการผลิตผลิตภัณฑ์เพียง 2 ชนิด จึงเลือกวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิควิธีการประเมินผลเชิงปริมาณด้วยการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย การวิเคราะห์ปัจจัยหรือองค์ประกอบ โดยออกแบบ Model ผังทางเลือก 4 แบบ วิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้แผนภูมิการไหลไปกลับ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ วิเคราะห์ระยะเวลาการไหล และทำการประเมินผังทางเลือกที่ดีที่สุดโดยเทคนิคการใช้ดัชนีประสิทธิภาพด้วยดัชนีความหนาแน่นของภาระการใช้พื้นที่ ดัชนีของพื้นที่การเดิน และดัชนีของพื้นที่ในการจัดเก็บ

พรชัย (2544) ทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงผังโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งพบปัญหาด้านการวางเครื่องจักรไม่เหมาะสม ทำให้ใช้ระยะทางและเวลาในการขนถ่ายชิ้นงานเกินความจำเป็น ผู้วิจัยได้ได้การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ProModel) มาใช้ในการจำลองแบบปัญหาช่วยในการปรับปรุงผังโรงงาน ซึ่งการใช้แบบจำลองเข้ามาช่วยนี้มีข้อดีสำหรับกรณีที่โรงงานมีข้อจำกัดในการเคลื่อนย้ายเครื่องจักร หรือต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการทำการทดลองเปลี่ยนแปลงผังโรงงานเพื่อเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างแบบจำลองขึ้นมา 3 แบบ ภายใต้ข้อจำกัดที่สมมติให้อุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงประจำอยู่ที่เครื่องจักรที่ทำการเคลื่อนย้าย จากผลการศึกษาผังโรงงานที่สามารถช่วยลดระยะทางและเวลาในการขนถ่ายลำเลียงได้มากที่สุด จะสามารถลดระยะทางได้ถึง 1,106.55 เมตร หรือ 64.90% และช่วยลดเวลาลงได้มากกว่า 50%

ยศศักดิ์ (2548) ทำการศึกษาการออกแบบผังโรงงานโดยใช้เทคนิค SLP เพื่อออกแบบผังโรงงานใหม่รองรับการขยายกำลังการผลิตในอนาคต เนื่องจากโรงงานเก่าไม่สามารถรองรับกำลังการผลิตที่ต้องการในอนาคตได้อย่างเพียงพอ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยเริ่มจากการพยากรณ์ยอดขายด้วยวิธีถดถอยในอีก 10 ปีข้างหน้า ศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากผังเดิม วิเคราะห์การ

ไหลของวัสดุ กระบวนการขั้นตอนการผลิต และใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์แผนผังการไหล แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต แผนภูมิจาก-ไป แผนภูมิความสัมพันธ์ แผนผังสต็อก ทำการ ออกแบบผังทางเลือก 2 แบบ และทำการประเมินผลเพื่อคัดเลือกผังโรงงานโดยใช้การเปรียบเทียบ ระยะทางการไหลของวัสดุ (เมตรต่อเดือน) พื้นที่ที่ใช้ซึ่งรองรับกำลังการผลิตที่มากกว่า และ วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยค่าการสูญเสียโอกาสในการดำเนินการ ซึ่งผังโรงงานทางเลือก ที่ผู้วิจัยคัดเลือก สามารถวางถังหมักไวน์ได้สูงถึง 180 ใบ สามารถรองรับการผลิตได้มากถึง 287,065,533 ขวดต่อปี

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีการทำวิจัย

3.1.1 สํารวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวางผังโรงงาน และศึกษาการใช้งานโปรแกรม Visio และ Auto CAD

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานต้นแบบเดิม กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ย้อนหลัง เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน โดยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้

3.1.2.1 ขั้นตอนการผลิต

3.1.2.2 ปริมาณการผลิต

3.1.2.3 ลักษณะการทำงาน การเคลื่อนที่ของพนักงาน

3.1.2.4 ศักยภาพการไหลของวัสดุหรือสิ่งของ

3.1.2.5 ความสัมพันธ์ของแต่ละพื้นที่ หรือสถานีงาน

3.1.2.6 ความสูญเสียจากกระบวนการทำงาน

3.1.2.7 ข้อจำกัดต่างๆ

3.1.3 วิเคราะห์สภาพปัญหา เพื่อทำการศึกษาและออกแบบผังโรงงานโดยใช้หลักการ SLP

3.1.4 ออกแบบผังโรงงานทางเลือก

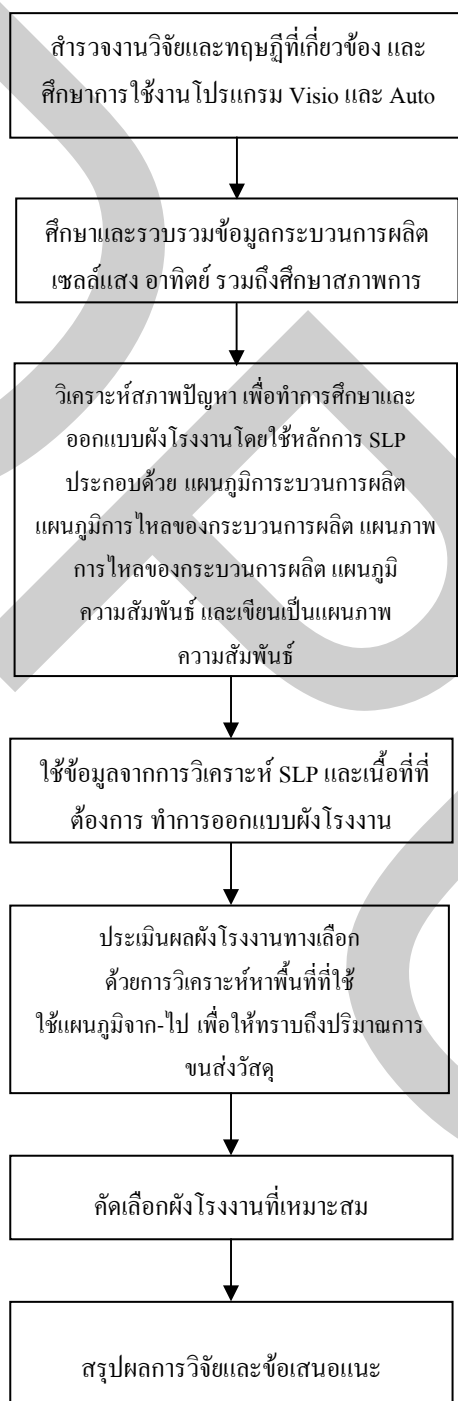
3.1.5 ประเมินผล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพผังโรงงานทางเลือก โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พื้นที่การใช้งาน ระยะทางในการขนส่งวัสดุในกระบวนการผลิต ภาระงาน ระยะทาง

3.1.6 คัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม

3.6.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เพื่อการดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบและวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี กรณีศึกษา : โรงงานต้นแบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช. ในครั้งนี้ สามารถดำเนินการได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางผังโรงงาน เก็บข้อมูลจากโรงงานต้นแบบขนาดกำลังการผลิต 3 เมกะวัตต์ต่อปี หนังสือข้อเสนอเทศการอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยี

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์ลักษณะของปัญหา และหลักการเรื่องการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning : SLP) มาใช้ในการแก้ไขปัญหา วิธีดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานโดยสรุปดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดจากผังโรงงานแบบเดิม

ในการศึกษาการออกแบบและวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอน ขนาด 10 เมกะวัตต์ต่อปี ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เข้าไปทำการศึกษาและเก็บข้อมูลจาก โรงงานต้นแบบผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังการผลิต 3 เมกะวัตต์ต่อปี ของสถาบันพัฒนา เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) ตั้งอยู่ที่พื้นที่ชั้น 1 อาคารโรงงานต้นแบบ NECTEC สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ใช้สอยในส่วนของ ห้องปฏิบัติการ 624 ตารางเมตร ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องจักรในรูปแบบของการวางผังตามกระบวนการ ผลิต (Process Layout) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

สถาบันฯ มีพนักงานทั้งหมดจำนวน 69 คน แบ่งเป็นพนักงานในส่วนงานวิจัยและ ปฏิบัติการ 55 คน พนักงานส่วนสำนักงาน 14 คน ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ พนักงานตำแหน่งหัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ดูแลระบบอำนวยความสะดวกของสถาบันฯ นักวิเคราะห์ เชิงธุรกิจ ข้อมูลจากหนังสือข้อเสนอเทศ “การอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์ แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์” (ภาคผนวก ก) และเก็บข้อมูลการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์ม บางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

3.2.1 สถานะของปัญหา

เนื่องจากในระยะเวลาทำการผลิตที่ผ่านมา โรงงานต้นแบบพบปัญหา คือ

- (1) โรงงานต้นแบบดังกล่าวมีพื้นที่ใช้สอยจำกัด
- (2) ปัญหาความไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายวัสดุ
- (3) เส้นทางการลำเลียงวัสดุมีจุดซ้อนทับกันหลายจุดทำให้การไหลหยุดชะงักเพื่อหลบ หลีกไม่ให้ชนกันและต้องระมัดระวังไม่ให้วัตถุบิดและผลิตภัณฑ์เสียหาย เนื่องจากวัตถุดิบใน กระบวนการผลิตใช้กระจกเป็นแผ่นฐานรอง
- (4) สูญเสียเวลาและเกิดการรอคอยในกระบวนการผลิตสูง
- (5) สถาบันฯ มีเป้าหมายการดำเนินงานที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยจะร่วมกับเอกชน ที่สนใจจัดตั้งโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และขยายขนาดกำลังการผลิตเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี

ในการนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษารายละเอียดของผังโรงงานใหม่ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหา ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากผังโรงงานต้นแบบเดิม โดยศึกษารายละเอียดจากผังโรงงานต้นแบบปัจจุบัน ได้ ดังนี้

3.3 ข้อมูลกระบวนการผลิตในโรงงานต้นแบบในปัจจุบัน

3.3.1 เครื่องจักรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รายละเอียดของเครื่องจักรหลักที่ใช้ในการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายการเครื่องจักรหลักที่ใช้ภายในโรงงานต้นแบบขนาด 3 เมกะวัตต์ต่อปี

ที่	เครื่องจักร	การใช้งาน	จำนวน (เครื่อง)
1	Glass edge trimmer	ลบคมกระจก TCO	1 ตัว
2	Glass washer	ล้างทำความสะอาด และเป่าแห้งกระจก	1 ตัว
3	Laser scribe	ตัดชั้นฟิล์มบาง SnO ₂ , ชั้น a-Si และ ชั้น ZnO/Ag layer	1 ตัว
4	Preheat	ปรับเพิ่มอุณหภูมิของกระจกให้เหมาะสมกับกระบวนการ PECVD	1 ตัว
5	Cool down	ปรับลดอุณหภูมิของกระจกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ PECVD	1 ตัว
6	PECVD	เคลือบชั้นฟิล์มบาง a-Si	1 ตัว
7	PVD	เคลือบชั้นหลัง (ZnO/Ag deposition)	1 ตัว
8	Solar sun simulator	วัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า	1 ตัว

ผู้วิจัยได้ทำการวัดขนาดพื้นที่ของเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจากโรงงานต้นแบบ ได้ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงพื้นที่ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

เครื่องจักร	พื้นที่		
	กว้าง (ม.)	ยาว (ม.)	พท. (ตร.ม.)
Glass edge trimmer	1.2	2	2.4
Glass washer	2.2	3.5	7.7
Laser scriber(System)	2.5	3.4	8.5
Preheat	1.2	1.5	1.8
Cool down	1.2	1.5	1.8
PECVD(System)	4	6	24
PVD(System)	3.5	9.5	33.25
Solar simulator (module)	2.25	3.25	7.3125
รวม			107.1425

3.3.2 จำนวนหน่วยงาน

การจัดหน่วยทำงานของโรงงานต้นแบบในปัจจุบัน จัดแบ่งหน่วยงานออกเป็น 10 หน่วยงาน ประกอบด้วย

- (1) Store
- (2) การเตรียมกระจก ลบมุมกระจก (เครื่อง Glass edge trimmer)
- (3) การทำความสะอาดและเป่าแห้ง (เครื่อง Washing machine)
- (4) ทำการตัดชั้นฟิล์ม (เครื่อง Laser Scriber)
- (5) ปรับเพิ่มอุณหภูมิ (เครื่อง Preheat)
- (6) การเคลือบชั้นฟิล์มบาง (เครื่อง PECVD)
- (7) ปรับลดอุณหภูมิ (เครื่อง Cool down)

- (8) เคลือบชั้นข้าวหลัง (เครื่อง PVD)
- (9) วัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า (เครื่อง Solar Sun Simulator)
- (10) แผนกประกอบแผง

3.3.3 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

(1) การเตรียมกระจก

(1.1) ล้างกระจก TCO จาก Store ขึ้นวางเรียงบนรถเข็น แล้วขนย้ายกระจก TCO จากห้อง Store ไปยังเครื่องขัดขอบกระจก

(1.2) ทำการลบมุมกระจก TCO ด้วยเครื่องขัดขอบกระจก (Glass edge trimmer) ครั้งละ 1 แผ่น เมื่อเสร็จกระบวนการนำกระจก TCO ที่ขัดขอบแล้วขึ้นวางเรียงบนรถเข็น รอขนย้ายไปยังเครื่องล้างกระจก

(1.3) ทำการล้างทำความสะอาดและเป่าแห้งกระจกโดยเครื่องล้างกระจก จากนั้นนำกระจกที่ล้างแล้วขึ้นวางเรียงบนรถเข็น ขนย้ายกระจกไปยังเครื่อง Laser

(1.4) เข้าสู่ขั้นตอน TCO cutting ตัดชิ้น TCO ให้ได้ขนาดด้วยเครื่อง Laser Scribe จากนั้นตรวจสอบขนาด นำกระจกที่ cutting แล้ว ขึ้นวางเรียงบนรถเข็น ขนย้ายไปยังเครื่องล้างกระจก เพื่อรอเข้าสู่ขั้นตอนการล้าง ทำความสะอาด และเป่าแห้งอีกครั้ง

(1.5) ทำการล้างทำความสะอาด และเป่าแห้งกระจกอีกครั้ง จากนั้นนำกระจกที่ล้างแล้วขึ้นวางเรียงบนรถเข็น รอขนย้ายเข้าสู่กระบวนการสร้างฟิล์มบางต่อไป

(2) การสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์

(2.1) ล้างกระจกจากรถเข็น บรรจุใส่ Box Carrier (20 แผ่น) แล้วนำ Box Carrier เข้าเครื่อง Preheat oven โดยรถเข็น

(2.2) ปรับเพิ่มอุณหภูมิของกระจก ตามระยะเวลาและเงื่อนไขที่กำหนด เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำ Box Carrier ออกจากเครื่อง Preheat oven

(2.3) ขนย้าย Box Carrier เข้าเครื่อง PECVD ทำการเคลือบชั้นต่างๆ ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si) เมื่อเสร็จตามขั้นตอนแล้ว นำ Box Carrier ออกจากเครื่อง PECVD

(2.4) ขนย้าย Box Carrier เข้าเครื่อง Cool down oven เพื่อทำการลดอุณหภูมิกระจก แล้วนำ Box Carrier ออกจากเครื่อง Cool down oven (เมื่อแผ่นกระจกถูกเคลือบฟิล์ม a-Si แล้วจะเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์)

(2.5) ลำเลียงแผงเซลล์ฯ ออกจาก Box Carrier ขึ้นวางเรียงบนรถเข็น แล้วขนย้ายไปยังเครื่อง Laser

(2.6) ทำการตัดชั้นฟิล์ม Si thin film ให้ได้ขนาดด้วยเครื่อง Laser Scribe เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วนำแผงเซลล์ฯ เรียงใส่บนรถเข็น ขนย้ายไปยังเครื่อง PVD

(2.7) ลำเลียงแผงเซลล์ฯ ทีละ 1 แผ่น ใส่เครื่อง PVD (Physical Vapor Deposition) เพื่อเคลือบชั้น ZnO และ Ag ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วหลัง (Back electrode) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วนำแผงเซลล์ฯ ออกจากเครื่อง PVD ใส่รถเข็น

(2.8) ขนย้ายแผงเซลล์ฯ ไปยังเครื่อง Laser เพื่อทำการตัดชั้น Si/ZnO/Ag ตามขนาดที่ต้องการด้วยเครื่อง Laser scribe และตรวจสอบขนาด

(2.9) นำแผงเซลล์ฯ ใส่รถเข็นรอเข้าสู่ขั้นตอนการสุ่มวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Solar simulator

(2.10) ทำการวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Solar simulator

(3) การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(3.1) เตรียมพื้นผิวบริเวณขอบทั้ง 4 ด้าน ให้เหมาะสมกับการเคลือบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโพลีเมอร์ โดยใช้เครื่อง Sand blast blaster (พื้นที่บริเวณขอบทั้ง 4 ด้าน)

(3.2) นำแผงเซลล์ฯ ใส่รถเข็น ขนย้ายไปยังเครื่อง Ultrasonic bonding

(3.3) ต่อขั้วนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Ultrasonic bonding เมื่อเสร็จแล้วนำแผงเซลล์ฯ วางเรียงใส่รถเข็นรอเข้าสู่กระบวนการถัดไป

(3.4) นำแผ่นกระจกที่จะใช้ เป็น Back plate มาทำการเจาะรู เป็นช่องสำหรับขั้วไฟฟ้า โดยใช้เครื่อง Metal drilling machine เมื่อเสร็จแล้วนำแผ่นกระจกวางเรียงใส่รถเข็นขนย้ายไปยังเครื่อง Laminator

(3.5) ทำการลามิเนทแผงเซลล์ฯ ด้วยเครื่อง Laminator

(3.6) นำแผงเซลล์ฯ วางเรียง ใส่รถเข็นขนย้ายไปยังเครื่อง Solar simulator

(3.7) วัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าครั้งสุดท้ายด้วยเครื่อง Solar simulator เมื่อเสร็จแล้วนำแผงเซลล์ฯ วางเรียงใส่รถเข็น

(3.8) ติด Junction box เข้าเฟรม (ถ้ามี)

(3.9) บรรจุแผงเซลล์ฯ ใส่กล่อง แล้วนำใส่รถเข็นขนย้ายไปที่ห้อง Store เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวข้างต้นแล้วจะได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ดังแสดงในภาพ 3.2 และการนำไปติดตั้งใช้งานจริงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช. นั้น เนื่องจากมีพื้นที่ใช้สอยจำกัด กิจกรรมที่ทำการผลิตนั้น จะทำเพียงหน่วยงานที่ 1-9 เท่านั้น สำหรับแผนประกอบแผงนั้น ได้ดำเนินการที่

บริษัทเอกชนภายนอก ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการวิจัยเฉพาะกระบวนการเตรียมกระจกและกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น ไม่รวมขั้นตอนการประกอบแผง

จากข้อมูลกระบวนการผลิต และข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ผู้วิจัยสามารถเขียนเป็นแผนภูมิกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังภาพที่ 3.4 และเขียนแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต					
			สรุปผล		
วิธีเดิม	แบบคน		วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	ความแตกต่าง
วิธีที่เสนอ	แบบวัสดุ		การทำงาน	○	10
ชื่อเรื่อง	การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ (ขั้นตอนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์)		การขนส่ง	⇨	16
			การตรวจสอบ	□	3
หมายเลขแผนภูมิ	1	แผ่นที่ 1/3	การคอย	D	12
เขียนโดย	น.ส.นิตยา บำรุงราษฎร์		การเก็บรักษา	▽	1
วันที่	20 มิ.ย. 2552		ระยะทาง		120.50
ระยะทาง (ม.)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์	คำอธิบายการทำงาน		
	0.21	○⇨□D▽	ลำเลียงกระจก TCO จาก Store ขึ้นบนรถเข็น (20 แผ่น/คัน)		
16	3.0	○⇨□D▽	ขนย้ายกระจก TCO จาก Store ไปยังเครื่องขัดขอบกระจก		
	13.33	○⇨□D▽	ลบมุมกระจก TCO ด้วยเครื่อง Glass edge trimmer		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจก TCO ที่ขัดขอบแล้ว ขึ้นวางรอบรถเข็น		
0.5	0.17	○⇨□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่องล้างกระจก		
	0.25	○⇨□D▽	รอเข้าสู่ขั้นตอนการล้าง		
	13.33	○⇨□D▽	ทำความสะอาด และเป่าแห้ง โดยเครื่องล้างกระจก		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจกที่ล้างแล้ว ขึ้นวางรอบรถเข็น		
13	0.17	○⇨□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่อง Laser		
	0.33	○⇨□D▽	รอเข้าสู่ขั้นตอน TCO cutting		
	23.33	○⇨□D▽	ตัดชั้น TCO ให้ได้ขนาดด้วยเครื่อง Laser Scriber		
	5	○⇨□D▽	ตรวจสอบขนาด		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจกที่ cutting แล้ว ขึ้นวางรอบรถเข็น		
5	0.17	○⇨□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่องล้างกระจก		
	0.25	○⇨□D▽	รอเข้าสู่ขั้นตอนการล้าง		
	13.33	○⇨□D▽	ทำความสะอาด และเป่าแห้งอีกครั้ง		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจกที่ล้างแล้ว ขึ้นวางรอบรถเข็น		

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

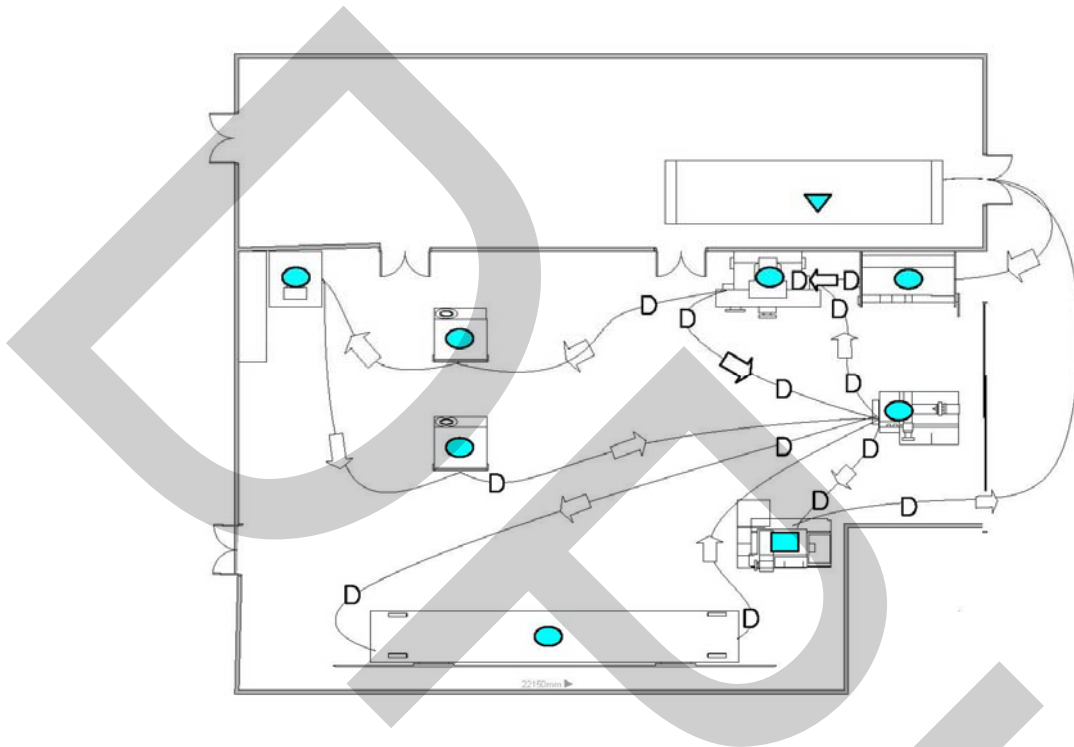
แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต					
			สรุปผล		
วิธีเดิม	แบบคน		วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	ความแตกต่าง
วิธีที่เสนอ	แบบวัสดุ		การทำงาน ○	10	
ชื่อเรื่อง	การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ (ขั้นตอนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์)		การขนส่ง ⇨	16	
หมายเลขแผนภูมิ 1	แผ่นที่ 2/3		การตรวจสอบ □	3	
เขียนโดย	น.ส.นิตยา บำรุงราษฎร์		การคอย D	12	
วันที่	20 มิ.ย. 2552		การเก็บรักษา ▽	1	
ระยะทาง (ม.)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์	คำอธิบายการทำงาน		
2	0.17	○⇨□D▽	ขนย้ายและลำเลียงเข้าสู่ Box Carrier (ครึ่งละ 20 แผ่น)		
3	3.33	○⇨□D▽	ขนย้าย Box Carrier เข้าเครื่อง Preheat oven		
	180	●⇨□D▽	ปรับเพิ่มอุณหภูมิของกระจก		
2	0.50	○⇨□D▽	นำ Box Carrier ออกจากเครื่อง Preheat oven		
4	0.17	○⇨□D▽	ขนย้าย Box Carrier เข้าเครื่อง PECVD		
	180	●⇨□D▽	ทำการเคลือบชั้นต่างๆ ของฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si)		
2	0.50	○⇨□D▽	นำ Box Carrier ออกจากเครื่อง PECVD		
5	0.17	○⇨□D▽	ขนย้าย Box Carrier เข้าเครื่อง Cool down oven		
	120	●⇨□D▽	ทำการลดอุณหภูมิด้วย Cool down oven		
3	0.50	○⇨□D▽	นำ Box Carrier ออกจากเครื่อง Cool down oven		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจกออกจาก Box Carrier ใสรถเข็น		
6	0.25	○⇨□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่อง Laser		
	23.33	●⇨□D▽	ตัดชั้น Si thinfilm ให้ได้ลวดลายด้วยเครื่อง Laser Scribe		
	3.33	○⇨□D▽	นำกระจก ใสรถเข็น		
16	0.17	○⇨□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่อง PVD		
1	3	○⇨□D▽	ลำเลียงกระจก (ทีละ 1 แผ่น) ใสรถเข็น PVD (Physical Vapor Deposition)		

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต						
			สรุปผล			
<input type="checkbox"/> วิธีเดิม	<input type="checkbox"/> แบบคน			วิธีเดิม	วิธีที่ เสนอ	ความ แตกต่าง
<input type="checkbox"/> วิธีที่เสนอ	<input checked="" type="checkbox"/> แบบวัสดุ					
ชื่อเรื่อง	การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ		การทำงาน	○	10	
(ขั้นตอนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์)			การขนส่ง	⇒	16	
หมายเลขแผนภูมิ 1	แผ่นที่ 3/3		การตรวจสอบ	□	3	
เขียนโดย	น.ส.นิตยา บำรุงราษฎร์		การคอย	D	12	
วันที่	20 มิ.ย. 2552		การเก็บรักษา	▽	1	
ระยะทาง	เวลา	สัญลักษณ์	ระยะทาง		120.50	
(ม.)	(นาที)		คำอธิบายการทำงาน			
	80	○⇒□D▽	เคลือบชั้น ZnO และ Ag ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วหลัง (Back electrode)			
	3	○⇒□D▽	นำออกจากเครื่อง PVD ใส่รถเข็น			
16	0.17	○⇒□D▽	ขนย้ายไปยังเครื่อง Laser			
	23	○⇒□D▽	ตัดชั้น Si/ZnO/Ag ตามลวดลายที่ต้องการด้วยเครื่อง Laser scribe			
	5	○⇒□D▽	ตรวจสอบลวดลาย			
	3	○⇒□D▽	นำแผ่นกระจก ใส่รถเข็นรอเข้าสู่กระบวนการถัดไป			
	3	○⇒□D▽	สุ่มวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยเครื่อง Solar simulator			
	3	○⇒□D▽	นำแผ่นกระจก ใส่รถเข็น			
25	1	○⇒□D▽	ขนย้ายเพื่อนำไปเข้าสู่กระบวนการประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์			
120.50	723.66	10 16 3 12 1				

จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ทราบรายละเอียดในขั้นตอนการผลิตว่าในปัจจุบันมีขั้นตอนทำงาน 10 ขั้นตอน การขนส่ง 16 ขั้นตอน ใช้ระยะทางรวม 120.50 เมตร การตรวจสอบ 3 ขั้นตอน การรอคอย 12 ขั้นตอน และการเก็บรักษา 1 ขั้นตอน ใช้เวลารวมทั้งหมดในการผลิตผลิตภัณฑ์ 723.66 นาที

จากนั้นเขียนเป็นแผนภาพการไหล เพื่อแสดงเส้นทางการไหลของวัสดุและอุปกรณ์ในกระบวนการเตรียมกระจกและการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.5 แผนภาพการไหลของกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่ทำงานในปัจจุบัน)

จากภาพจะเห็นได้ว่าการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิตจะไปหยุดรอเป็นคอกวดยู่ที่ขั้นตอนการตัดชั้นฟิล์มบางด้วยเครื่อง Laser Scriber เนื่องจากปัจจุบันใช้เครื่อง Laser Scriber เพียงเครื่องเดียวแต่ต้องทำการตัดชั้นฟิล์มบางถึง 3 ชั้น ทั้งชั้น SnO_2 ชั้น a-Si และชั้น ZnO/Ag layer

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 กำลังการผลิต

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการทำการศึกษาเพื่อออกแบบ และวางผังโรงงานผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน ขนาดกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี ผู้วิจัยได้คำนวณกำลังการผลิตที่โรงงานจะต้องผลิตแผงเซลล์ฯ เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการผลิตที่ต้องการ โดยกำหนดให้มีวันทำงาน 320 วันต่อปี ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน โดยแบ่งเป็น 3กะ (ทำงานกะละ 8 ชั่วโมงพัก 1 ชั่วโมง) โดยมีรอบเวลาการผลิต 192 นาที โรงงานจะต้องทำการผลิต 8 รอบการผลิตต่อวัน แต่ละรอบการผลิตสามารถผลิตแผงเซลล์ ได้ครั้งละ 96 แผง จะต้องทำการผลิตให้ได้ประมาณ 245,760 แผงต่อปี ยินยอมให้ปริมาณของเสียที่ยอมรับได้อยู่ที่ร้อยละ 10 คิดเป็นปริมาณการผลิตจำนวน 221,184 แผงต่อปี (ภาคผนวก ง)

4.2 จำนวนเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ต้องการ

จากข้อมูลความต้องการ และปริมาณการผลิตดังที่คำนวณได้จากหัวข้อ 4.1 และข้อมูลระยะเวลาการทำงานของกระบวนการผลิต (Cycle Time) ดังแสดงในแผนภูมิการไหลของกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการใช้ เพื่อรองรับการขยายโรงงานที่มีกำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี (ภาคผนวก จ) จากสมการ (4.1)

$$M_j = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1} \frac{P_{ij} T_{ij}}{t_{ij}} \quad (4.1)$$

เมื่อ M_j = จำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ j ชนิดต่อช่วงเวลาที่ทำการผลิต
 P_{ij} = อัตราการผลิตที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j
 (หน่วยวัด : จำนวนชิ้น/ช่วงเวลาที่ทำการผลิต)
 T_{ij} = เวลามาตรฐานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

t_{ij} = จำนวนชั่วโมงในระยะเวลาทำการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

n = จำนวนของผลิตภัณฑ์

ได้ผลการคำนวณได้ดังนี้

Glass edge trimmer	= (221,184 x 0.67) / 460,800	= 0.32	= 1 เครื่อง
Glass washer	= (221,184 x 0.67) / 460,800	= 0.32	= 1 เครื่อง
Laser scribe	= (221,184 x 1.17) / 460,800	= 0.56	= 1 เครื่อง
Preheat	= (221,184 x 180) / (460,800x48)	= 1.80	= 2 เครื่อง
Cool down	= (221,184 x 180) / (460,800x48)	= 1.80	= 2 เครื่อง
PECVD	= (221,184 x 120) / (460,800x48)	= 1.20	= 2 เครื่อง
PVD	= (221,184 x 4) / 460,800	= 1.92	= 2 เครื่อง
Solar sun simulator	= (221,184 x 3) / 460,800	= 1.44	= 2 เครื่อง

แต่จากการสัมภาษณ์หัวหน้าโครงการวิจัย ทำให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตนั้น จำเป็นจะต้องใช้เครื่อง Laser scribe จำนวน 3 เครื่อง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้หัวเลเซอร์ที่ให้แสงเลเซอร์ที่ให้ความยาวคลื่นต่างกันในการตัดชั้นฟิล์มบางทั้ง 3 ชั้น และในขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะเป็นการสุ่มตรวจวัด ดังนั้นเครื่อง Solar Sun Simulator จะใช้เพียง 1 เครื่อง เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา ดังนั้นจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ สรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนเครื่องจักรที่เสนอเพื่อใช้ในการขยายกำลังการผลิตโรงงานขนาด 10 เมกะวัตต์ ต่อปี

เครื่องจักร	การใช้งาน	จำนวน (เครื่อง)
1. Glass edge trimmer	ลบคมกระจก TCO	1 ตัว
2. Glass washer	ล้างทำความสะอาด และเป่าแห้งกระจก	1 ตัว
3. Laser scribe 1	ตัดชั้นฟิล์มบาง SnO ₂	1 ตัว

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

เครื่องจักร	การใช้งาน	จำนวน (เครื่อง)
4. Preheat	ปรับเพิ่มอุณหภูมิของกระจกให้เหมาะสมกับกระบวนการ PECVD	1 ตัว
5. PECVD	เคลือบชั้นฟิล์มบาง a-Si	2 ตัว
6. Cool down	ปรับลดอุณหภูมิของกระจกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ PECVD	2 ตัว
7. Laser scribe 2	ตัดชั้นฟิล์มบาง a-Si	1 ตัว
8. PVD	เคลือบชั้นหลัง (ZnO/Ag deposition)	2 ตัว
9. Laser scribe 3	ตัดชั้นฟิล์มบาง ZnO/Ag layer	1 ตัว
10. Solar sun simulator	วัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า	1 ตัว



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์กระบวนกรสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์

ในการออกแบบผังทางเลือกของโรงงานกรณีศึกษา มีปัจจัยต่างๆ เป็นองค์ประกอบในการออกแบบและวางผังโรงงาน โดยผู้วิจัยใช้ข้อมูลจำนวนเครื่องจักร นำมาวิเคราะห์และจัดทำแผนภูมิความสัมพันธ์ของเครื่องจักรต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์เครื่องจักรในแผนงานต่างๆ ในกระบวนการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถสรุปผลความสัมพันธ์ของแผนงานในระดับต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2–4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนก ที่ระดับความสัมพันธ์ A ของกระบวนการผลิต ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งยวดที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

แผนก	ชื่อแผนก	เหตุผลผลของความสัมพันธ์
2-3	Glass edge trimmer - Glass washer	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
5-6	Preheat - PECVD	การไหลของวัสดุ ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
6-7	PECVD - Cool down	การไหลของวัสดุ ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนก ที่ระดับความสัมพันธ์ E ของกระบวนการผลิต ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

แผนก	ชื่อแผนก	เหตุผลผลของความสัมพันธ์
1-2	Store - Glass edge trimmer	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
3-4	Glass washer - Laser scribe 1	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
3-5	Glass washer - Preheat	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
7-8	Cool down - Laser scribe 2	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
8-9	Laser scribe 2 - PVD	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย
9-10	PVD - Laser scribe 3	ง่ายต่อการขนถ่าย และติดต่อบ่อย

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแผนก ที่ระดับความสัมพันธ์ I ของกระบวนการผลิต ซึ่งมีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้กัน

แผนก	ชื่อแผนก	เหตุผลของความสัมพันธ์
5-7	Preheat - Cool down	ง่ายต่อการแนะนำควบคุม
10-11	Laser scriber 3 - Solar sun simulator	ง่ายต่อการแนะนำควบคุม

จากตารางที่ 4.2–4.4 สรุปได้ว่ากิจกรรมหรือเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์ในระดับ A มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอยู่ใกล้กัน ได้แก่ เครื่อง Glass edge trimmer ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Glass washer, เครื่อง Preheat ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง PECVD และเครื่อง PECVD ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Cool down เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากวัสดุมีการเคลื่อนที่แบบไหล ง่ายต่อการขนถ่าย และมีการติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง

กิจกรรมหรือเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กันในระดับ E มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องอยู่ใกล้กัน ได้แก่ Store ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Glass edge trimmer, เครื่อง Glass washer ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Laser scriber 1 และเครื่อง Preheat, ซึ่งเครื่อง Cool down ก็จำเป็นต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Laser scriber 2, เครื่อง Laser scriber 2 ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง PVD และเครื่อง PVD ต้องอยู่ใกล้กับเครื่อง Laser scriber 3 เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการติดต่อบ่อย และเพื่อความสะดวกต่อการขนถ่าย

กิจกรรมหรือเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กันในระดับ I มีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้กัน เพื่อสะดวกต่อการควบคุม ได้แก่ เครื่อง Preheat อยู่ใกล้กับเครื่อง Cool down และเครื่อง Laser scriber 3 อยู่ใกล้กับกับเครื่อง Solar Sun Simulator

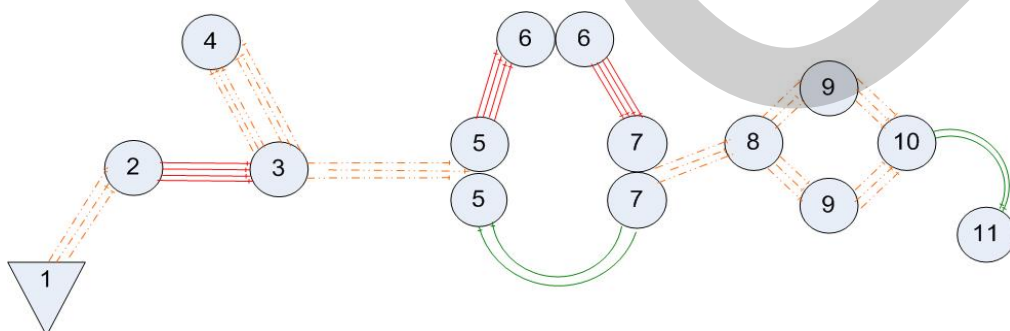
ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรอื่นๆ นอกเหนือจากที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 4.2-4.4 แล้ว นั้น จะมีความสัมพันธ์อยู่ที่ระดับ U ของกระบวนการผลิต ซึ่งจัดว่าความสัมพันธ์ระหว่างกันไม่มีความสำคัญจะจัดวางอยู่ที่ตำแหน่งไหนก็ได้ จากข้อมูลความสัมพันธ์ของเครื่องจักรจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผังทางเลือกต่อไป

4.3 การออกแบบผังทางเลือก

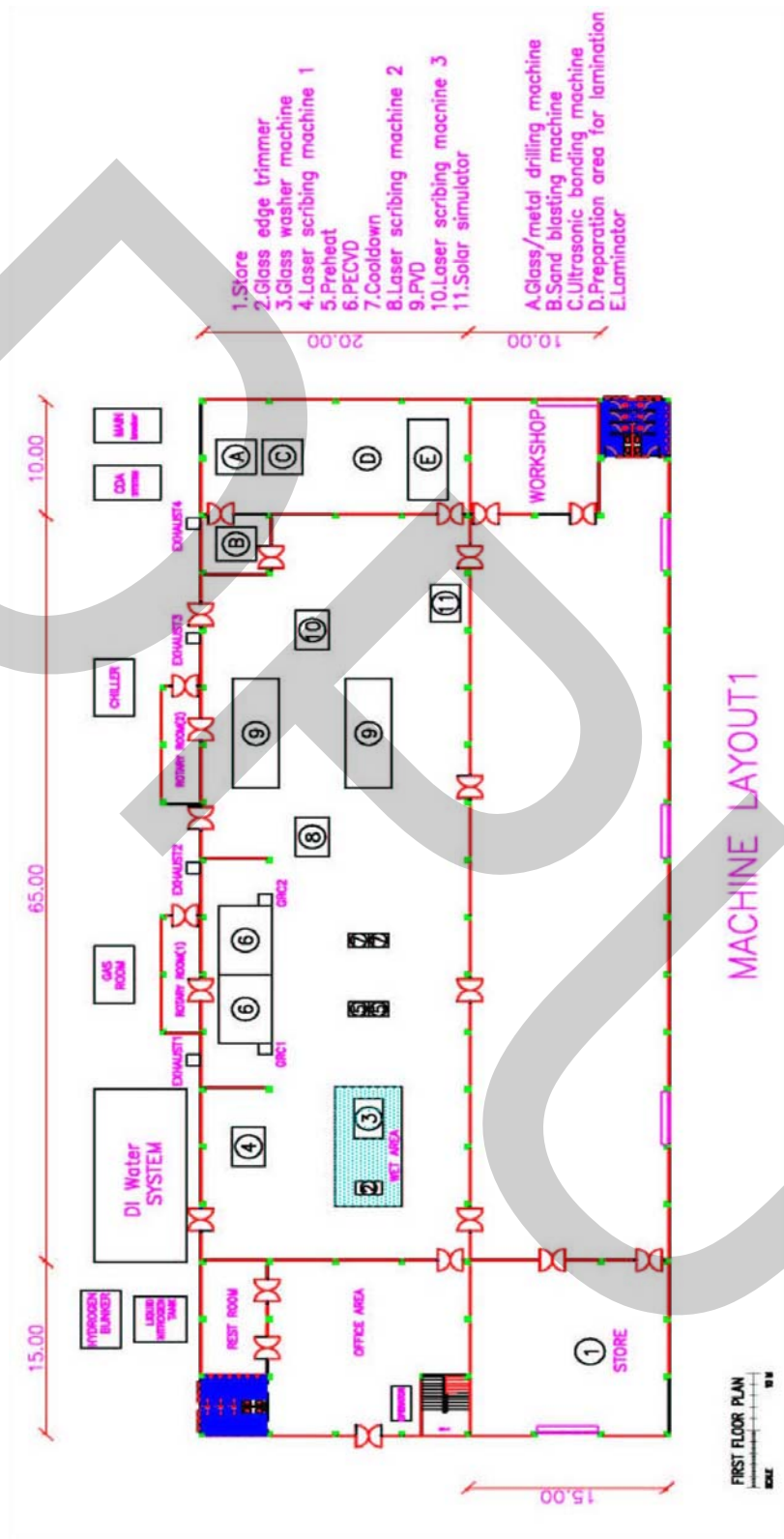
วิจัยนำข้อมูลขนาดพื้นที่เครื่องจักรและพื้นที่ทำงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการจัดวางพื้นที่ของเครื่องจักรลงในพื้นที่ของแต่ละหน่วยงาน และทำการหาระยะทางโดยใช้แผนภูมิจาก-ไป (From To Chart) โดยกำหนดกิจกรรมในหน่วยงานต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่ขอบเขตที่ทำการวิจัย กำหนดลงในตารางทั้งแนวตั้งและแนวนอน จากนั้นทำการวัดระยะทางของแต่ละกิจกรรมระหว่างหน่วยงานต่างๆ จากหน่วยงานเริ่มต้นไปยังหน่วยงานปลายทาง เทียบอัตราส่วนให้ถูกต้องแล้วใส่ข้อมูลในตาราง จากนั้นรวมระยะทางทั้งหมดลงในตารางผลรวมทั้งด้านขวาและด้านล่างสุดของตาราง รวมผลระยะทางทั้งหมดของผังกระบวนการผลิตลงในช่องมุมขวาสุดด้านล่าง ทำการวัดและกรอกข้อมูลลงในตารางจนครบทั้งหมดทุกผังทางเลือกที่ออกแบบไว้ จะได้ผลระยะทางรวมทั้งหมดของผังทาง เลือกแต่ละแบบเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจ เพื่อหาผังทางเลือกแบบที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิต ผลจากการวิจัยสามารถออกแบบผังทางเลือกได้ 3 แบบ

4.3.1 ผังทางเลือกแบบที่ 1 สามารถอธิบายการออกแบบและวางผังได้ดังนี้

จากข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนงานต่างๆ ในภาพที่ 4.1 สามารถเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.2 ออกแบบการวางผังโรงงานทางเลือกแบบที่ 1 ได้ดังภาพที่ 4.3 และวิเคราะห์หาระยะทางการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิตของผังทางเลือกแบบที่ 1 ได้ดังตารางที่ 4.5 ผังโรงงานแบบที่ 1 ใช้พื้นที่รวมทั้งหมด 1,800 ตารางเมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของแผนกสร้างเซลล์ฯ เท่ากับ 1,275 ตารางเมตร คิดเป็น 70.83% จากพื้นที่อาคารทั้งหมด ใช้สำหรับกระบวนการเตรียมกระจกและกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต 29,400 เมตรต่อเดือน



ภาพที่ 4.2 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 1



ภาพที่ 4.3 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 1

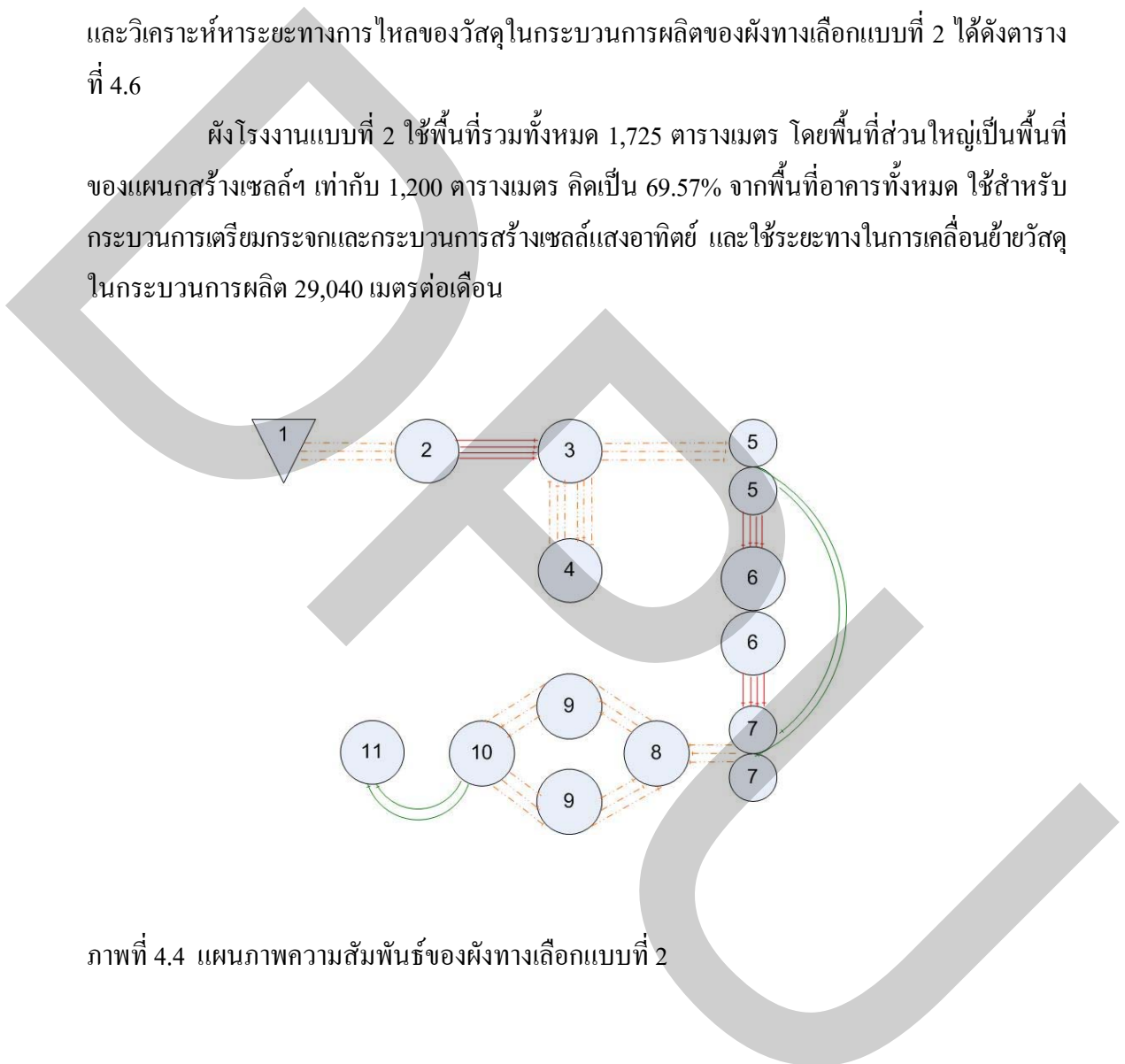
ตารางที่ 4.5 แผนภูมิจาก-ไปของผังทางเลือกแบบที่ 1

จาก	ถึง	1. Store	2. Glass edge trimmer	3. Glass washer	4. Laser Scriber 1	5. Preheat	6. PECVD	7. Cooldown	8. Laser Scriber 2	9. PVD (Back electrode)	10. Laser Scriber 3	11. Solar sun simulator	รวม
1. Store		4,440			4,320	1,680							19,320
2. Glass edge trimmer			840										840
3. Glass washer				840	4,320	1,680							6,000
4. Laser Scriber 1													0
5. Preheat							3,840						3,840
6. PECVD								3,840					3,840
7. Cooldown									3,840				3,840
8. Laser Scriber 2										2,160			2,160
9. PVD (Back electrode)											2,400		2,400
10. Laser Scriber 3												2,040	2,040
11. Solar sun simulator													0
รวม		0	4,440	840	4,320	1,680	3,840	3,840	3,840	2,160	2,400	2,040	29,400

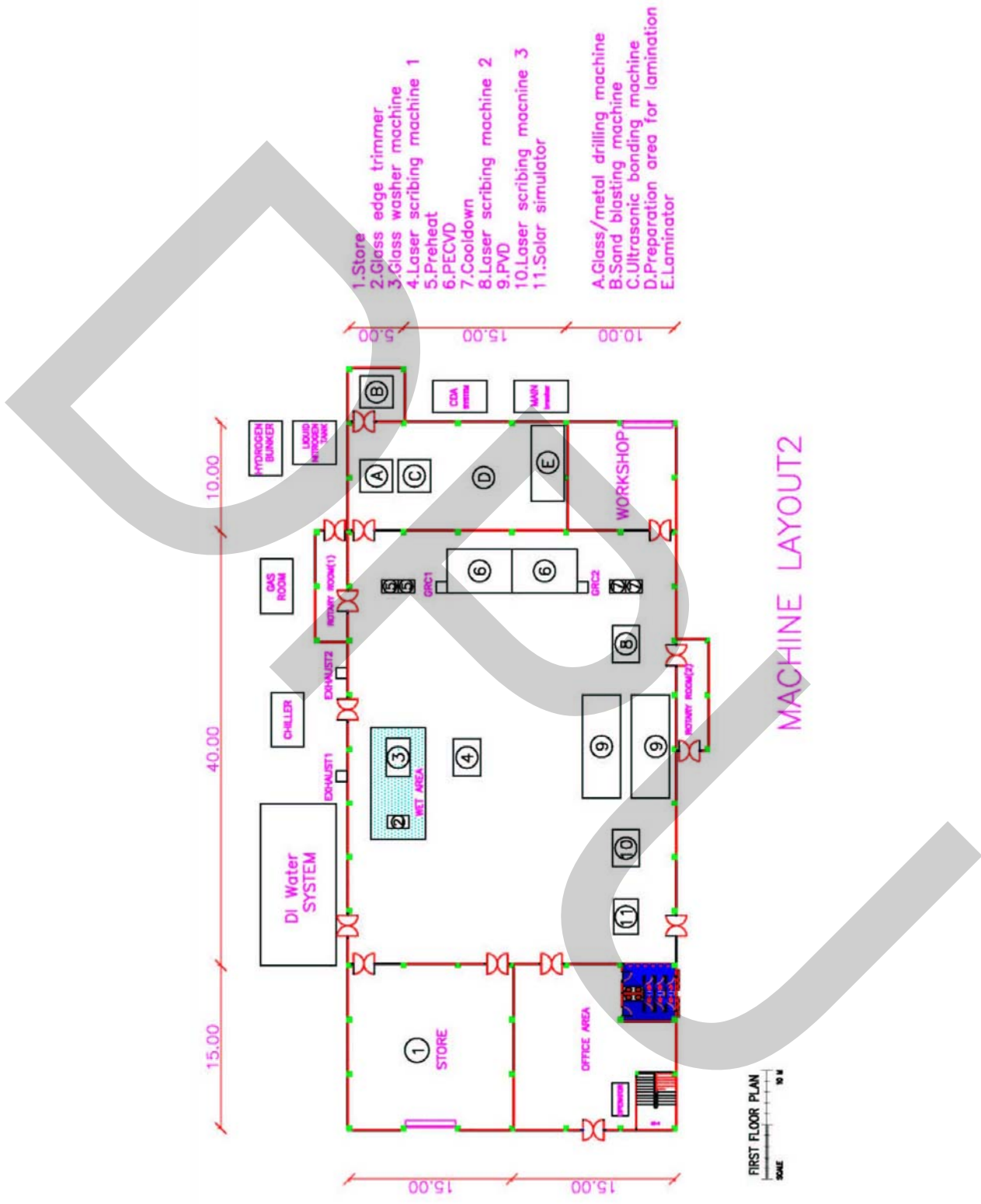
4.3.2 ผังทางเลือกแบบที่ 2 สามารถอธิบายการออกแบบและวางผังได้ดังนี้

จากข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนงานต่างๆ ในภาพที่ 4.1 สามารถเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.4 ออกแบบการวางผังโรงงานทางเลือกแบบที่ 2 ได้ดังภาพที่ 4.5 และวิเคราะห์หาระยะทางการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิตของผังทางเลือกแบบที่ 2 ได้ดังตารางที่ 4.6

ผังโรงงานแบบที่ 2 ใช้พื้นที่รวมทั้งหมด 1,725 ตารางเมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของแผนกสร้างเซลล์ฯ เท่ากับ 1,200 ตารางเมตร คิดเป็น 69.57% จากพื้นที่อาคารทั้งหมด ใช้สำหรับกระบวนการเตรียมกระจกและกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต 29,040 เมตรต่อเดือน



ภาพที่ 4.4 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 2



ภาพที่ 4.5 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 2

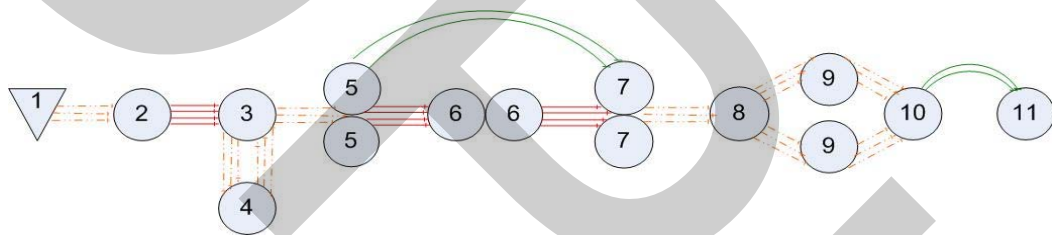
ตารางที่ 4.6 แผนภูมิจาก-ไป ของฝั่งทางเลือกแบบที่ 2

ถึง	จาก	1. Store	2. Glass edge trimmer	3. Glass washer	4. Laser Scriber 1	5. Preheat	6. PECVD	7. Cooldown	8. Laser Scriber 2	9. PVD (Back electrode)	10. Laser Scriber 3	11. Solar sun simulator	รวม
1. Store		3,120											8,760
2. Glass edge trimmer			840										840
3. Glass washer				1,920									5,040
4. Laser Scriber 1													0
5. Preheat						3,120							7,080
6. PECVD							7,080	6,960					6,960
7. Cooldown									1,440				1,440
8. Laser Scriber 2										1,920			1,920
9. PVD (Back electrode)											1,920		1,920
10. Laser Scriber 3												720	720
11. Solar sun simulator													0
รวม		0	3,120	840	1,920	3,120	7,080	6,960	1,440	1,920	1,920	720	29,040

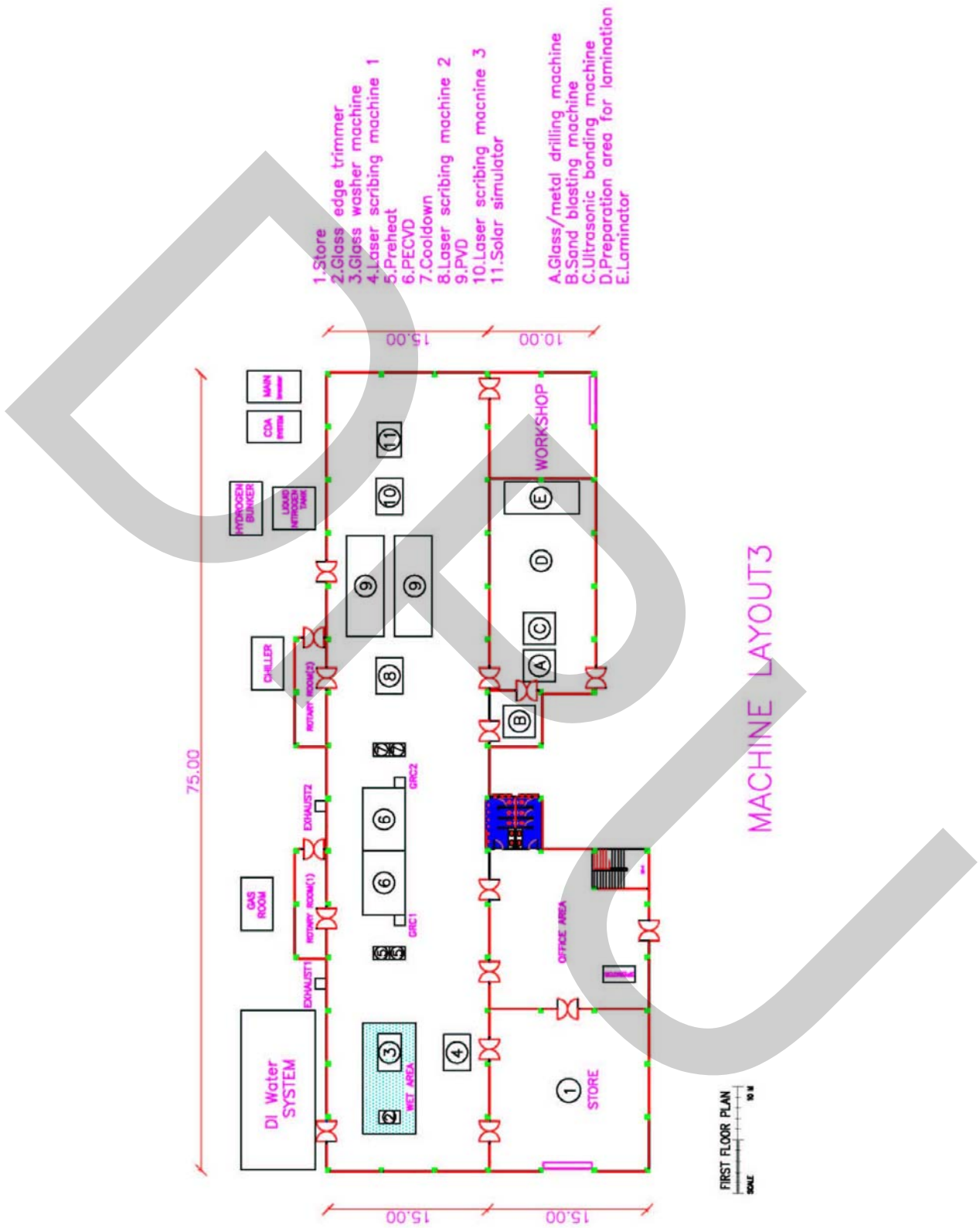
4.3.3 ผังทางเลือกแบบที่ 3 สามารถอธิบายการออกแบบและวางผังได้ดังนี้

จากข้อมูลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนงานต่างๆ ในภาพที่ 4.1 สามารถเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 4.6 ออกแบบการวางผังโรงงานทางเลือกแบบที่ 3 ได้ดังภาพที่ 4.7 และวิเคราะห์หาระยะทางการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิตของผังทางเลือกแบบที่ 3 ได้ดังตารางที่ 4.7

ผังโรงงานแบบที่ 3 ใช้พื้นที่รวมทั้งหมด 1,650 ตารางเมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของแผนกสร้างเซลล์ฯ เท่ากับ 1,125 ตารางเมตร คิดเป็น 68.18% จากพื้นที่อาคารทั้งหมด ใช้สำหรับกระบวนการเตรียมกระจกและกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต 24,840 เมตรต่อเดือน



ภาพที่ 4.6 แผนภาพความสัมพันธ์ของผังทางเลือกแบบที่ 3



ภาพที่ 4.7 การออกแบบและวางผังทางเลือกแบบที่ 3

ตารางที่ 4.7 แผนภูมิจาก-ไปของฝั่งทางเลือกแบบที่ 3

ถึง	1. Store	2. Glass edge trimmer	3. Glass washer	4. Laser Scriber 1	5. Preheat	6. PECVD	7. Cool down	8. Laser Scriber 2	9. PVD (Back electrode)	10. Laser Scriber 3	11. Solar sun simulator	รวม
1. Store		1,680										21,840
2. Glass edge trimmer			840									840
3. Glass washer				2,400	1,680							4,080
4. Laser Scriber 1												0
5. Preheat						6,240						6,240
6. PECVD							6,480					6,480
7. Cool down								2,160				2,160
8. Laser Scriber 2									1,440			1,440
9. PVD (Back electrode)										1,440		1,440
10. Laser Scriber 3											480	480
11. Solar sun simulator												0
รวม	0	1,680	840	2,400	1,680	6,240	6,480	2,160	1,440	1,440	480	24,840

4.4 การประเมินผลและการเลือกผังโรงงาน

การประเมินผลเชิงปริมาณเพื่อคัดเลือกแผนผังโรงงานทางเลือกที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านต่างๆ ได้แก่ พื้นที่ใช้งาน ดังแสดงผลในตารางที่ 4.8 ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาระงานระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบพื้นที่ของแต่ละหน่วยงาน

แผนกงาน	ผังทางเลือกที่ 1		ผังทางเลือกที่ 2		ผังทางเลือกที่ 3	
	พื้นที่ (ตร.ม.)	สัดส่วน	พื้นที่ (ตร.ม.)	สัดส่วน	พื้นที่ (ตร.ม.)	สัดส่วน
แผนกสร้างเซลล์ฯ	1,275	70.83%	1,200	69.57%	1,125	68.18%
สำนักงาน	225	12.50%	200	11.59%	175	10.61%
Store	225	12.50%	225	13.04%	225	13.64%
แผนกประกอบแผงฯ	200	11.11%	200	11.59%	200	12.12%
Workshop	100	5.56%	100	5.80%	100	6.06%
รวม	1,800	100%	1,725	100%	1,650	100%

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต

ผังทางเลือก	ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต
แบบที่ 1	29,400 เมตรต่อเดือน
แบบที่ 2	29,040 เมตรต่อเดือน
แบบที่ 3	24,840 เมตรต่อเดือน

หมายเหตุ ค่าในตารางเป็นค่าระยะทางคูณจำนวนเที่ยวในการขนย้ายวัสดุคิดเฉลี่ยต่อเดือน

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต
(รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

ผังทางเลือก	ต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุใน กระบวนการผลิต
แบบที่ 1	1,433,250 บาทต่อเดือน
แบบที่ 2	1,415,700 บาทต่อเดือน
แบบที่ 3	1,210,950 บาทต่อเดือน

จากการเปรียบเทียบข้อมูลในการออกแบบและวางผังโรงงานกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอนทั้ง 3 แบบ สามารถสรุปผลการเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุดได้ดังนี้ คือ ผังทางเลือกแบบที่ 3 ซึ่งที่ใช้พื้นที่รวมในการวางผังของแต่ละแผนกงานในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,650 ตารางเมตร มีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตรวมสั้นที่สุดเพียง 24,840 เมตรต่อเดือน มีต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,210,950 บาทต่อเดือน

4.5 ประสิทธิภาพสายการผลิต

จากข้อมูลระยะเวลาการทำงานของกระบวนการผลิต (Cycle Time) ระยะเวลาการทำงาน of เครื่องจักรแต่ละตัวต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อชิ้น จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานต้นแบบในปัจจุบัน และจำนวนเครื่องจักรที่จะใช้ในการขยายโรงงานใหม่ เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าการขยายกำลังการผลิตจะสามารถช่วยให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น โดยการคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้แรงงาน และร้อยละของเวลาว่างที่เกิดขึ้นในสายการผลิตระหว่างผังโรงงานต้นแบบเดิม กับผังโรงงานที่จะขยายกำลังการผลิต ได้ผลดังแสดงในดังตารางที่ 4.11 (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิตระหว่างโรงงานต้นแบบปัจจุบัน และโรงงานใหม่เมื่อขยายกำลังการผลิต

	ประสิทธิภาพการใช้ แรงงาน	เวลาว่างงานที่เกิดขึ้นใน สายการผลิต
โรงงานต้นแบบ	46.54%	53.46%
โรงงานที่ออกแบบใหม่	66.75%	33.25%

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าจากฝั่งโรงงานต้นแบบเดิม เมื่อทำการออกแบบและวางผังโรงงานเพื่อขยายกำลังการผลิตจากเดิมเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี จะทำให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพการใช้แรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 46.54% เป็น 66.75% และเวลาว่างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิตลดลงจากเดิม 53.46% เหลือเพียง 33.25%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ทฤษฎีการวางแผนโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning ; SLP) โดยทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาและใช้หลักการวางแผนโรงงานด้วยวิธีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานต่างๆ และการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิต ในการออกแบบผังโรงงานใหม่ที่เหมาะสม เพื่อรองรับการขยายขนาดกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิม เป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี ผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดด้านต่างๆ ในการพิจารณาตัดสินใจดังแสดงในตารางที่ 5.1 และได้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายการผลิตดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านต่างๆ ของผังโรงงานทางเลือก

ผลการวิเคราะห์	แผนผังทางเลือก		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	1,800	1,725	1,650
ระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ (เมตรต่อเดือน)	29,400	29,040	24,840
ต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต (บาทต่อเดือน)	1,433,250	1,415,700	1,210,950

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายการผลิตระหว่างโรงงานต้นแบบปัจจุบัน และโรงงานใหม่เมื่อขยายกำลังการผลิต

	ประสิทธิภาพการใช้แรงงาน	เวลาว่างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
โรงงานต้นแบบ	46.54%	53.46%
โรงงานที่ออกแบบใหม่	66.75%	33.25%

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนงาน และระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตในครั้งนี้ แขนงโรงงานทางเลือกที่เหมาะสม คือ การวางผังโรงงานแบบที่ 3 ใช้พื้นที่รวมในการวางผังโรงงานเท่ากับ 1,650 ตารางเมตร ซึ่งน้อยกว่าแบบที่ 1 และแบบที่ 2 และมีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตรวมทั้งสิ้นที่สุด เท่ากับ 24,840 เมตรต่อเดือน มีต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดเท่ากับ 1,210,950 บาทต่อเดือน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าจากผังโรงงานต้นแบบเดิม เมื่อทำการออกแบบและวางผังโรงงานเพื่อขยายกำลังการผลิตจากเดิมเป็น 10 เมกะวัตต์ต่อปี จะทำให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพการใช้แรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 46.54% เป็น 66.75% และเวลาว่างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิตลดลงจากเดิม 53.46% เหลือเพียง 33.25%

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด

ปัญหาและข้อจำกัดของการออกแบบผังโรงงานในครั้งนี้ ได้แก่

5.2.1 การขอข้อมูลจากหน่วยงาน โดยเฉพาะข้อมูลที่ระบุอยู่ในหนังสือขอสันทเขตเป็นข้อมูลที่เป็นความลับ เช่น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เครื่องจักร และข้อมูลทางด้านการลงทุนบางส่วน เป็นต้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้เฉพาะข้อมูลที่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เท่านั้น

5.2.2 เนื่องการขั้นตอนการประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ส่งไปประกอบโดยโรงงานเอกชนภายนอกซึ่งไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าไปเก็บข้อมูลได้ จึงทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ทั้งกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ทำได้เพียงขั้นตอนการเตรียมกระจกและการสร้างฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

5.2.3 เนื่องจากปัจจุบันการผลิตดำเนินการภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนา ไม่ได้ดำเนินการผลิตในเชิงพาณิชย์ จึงทำให้ข้อมูลการผลิตที่ได้ไม่ได้เต็มกำลังการผลิต

5.3 ข้อเสนอแนะ

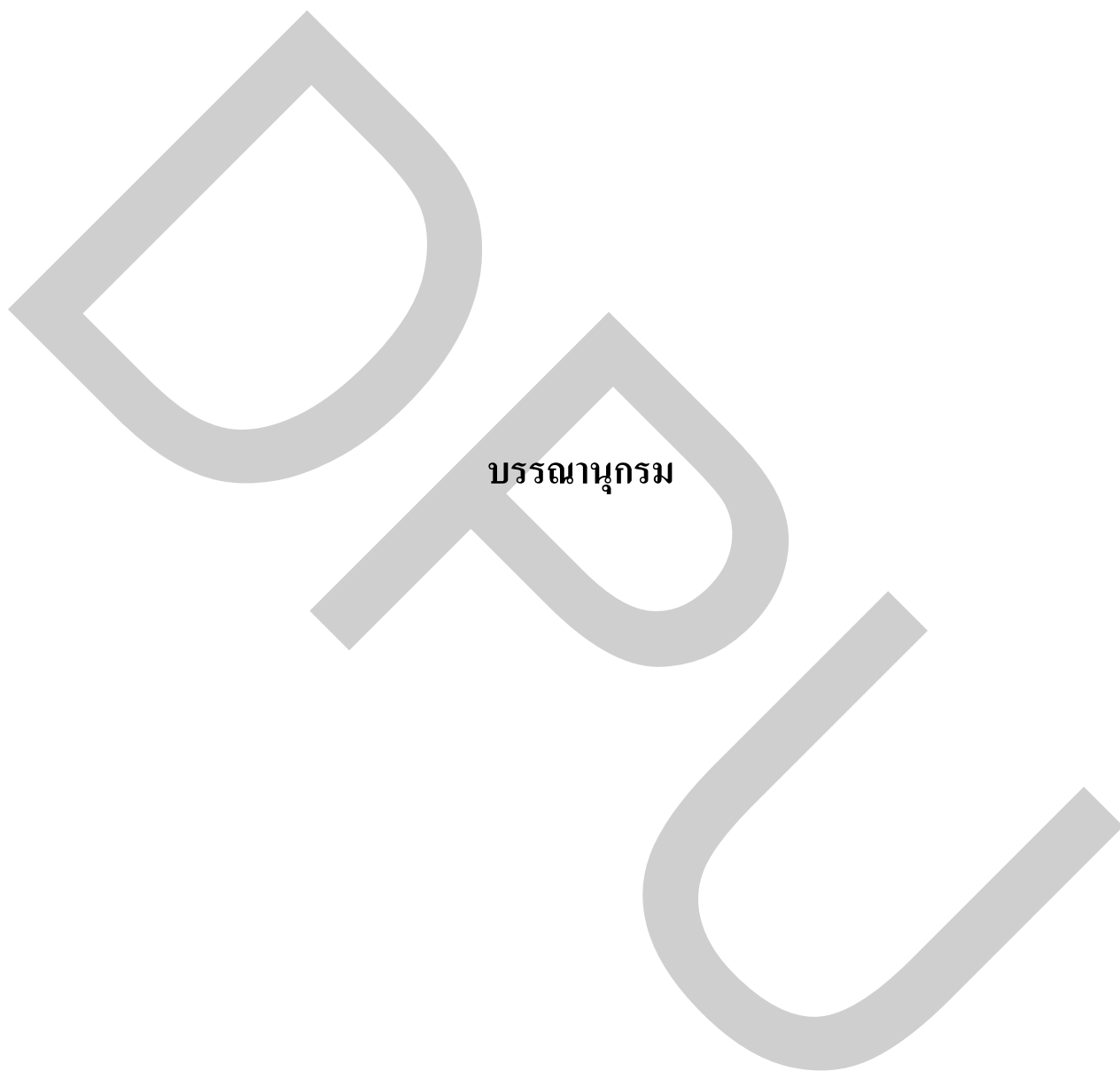
5.3.1 ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รวมหมดทุกขั้นตอนการผลิต ซึ่งคาดว่าจะสามารถออกแบบผังโรงงานที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ในการออกแบบผังโรงงาน สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัย และสะดวกในการใช้งาน เข้ามาช่วยให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้นได้

5.3.3 จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้แรงงาน และเวลาว่างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิต จะเห็นได้ว่าสามารถวิจัยต่อยอดเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น และเวลาว่างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิตลดลงได้อีก

5.3.4 หากในอนาคตโรงงานต้องการเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้นกว่าเดิม ก็สามารถใช้ผังโรงงานแบบที่ 3 ที่มีความเหมาะสมที่สุดจากการศึกษาในครั้งนี้ โดยวางสายการผลิตแบบขนานได้ แต่ต้องศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการจัดเตรียมระบบอำนวยความสะดวก เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบก๊าซต่างๆ เพื่อให้ใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพได้โดยไม่ต้องสร้างชิ้นใหม่ทั้งหมดได้

5.3.5 เนื่องจากปัญหาเศรษฐกิจในปัจจุบัน การลงทุนเพื่อสร้างโรงงานใหม่นั้นผู้ลงทุนจะต้องใช้ปัจจัยต่างๆ ในการพิจารณาร่วมกัน ซึ่งการวางผังโรงงานก็เป็นหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยให้การลงทุนคุ้มค่าน่ามากขึ้น แต่ก็ต้องพิจารณาว่าจะมีการขยายโรงงานอีกหรือไม่ในอนาคตเพื่อเตรียมพื้นที่การทำงานและปัจจัยต่างๆ รองรับไว้ด้วย



บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

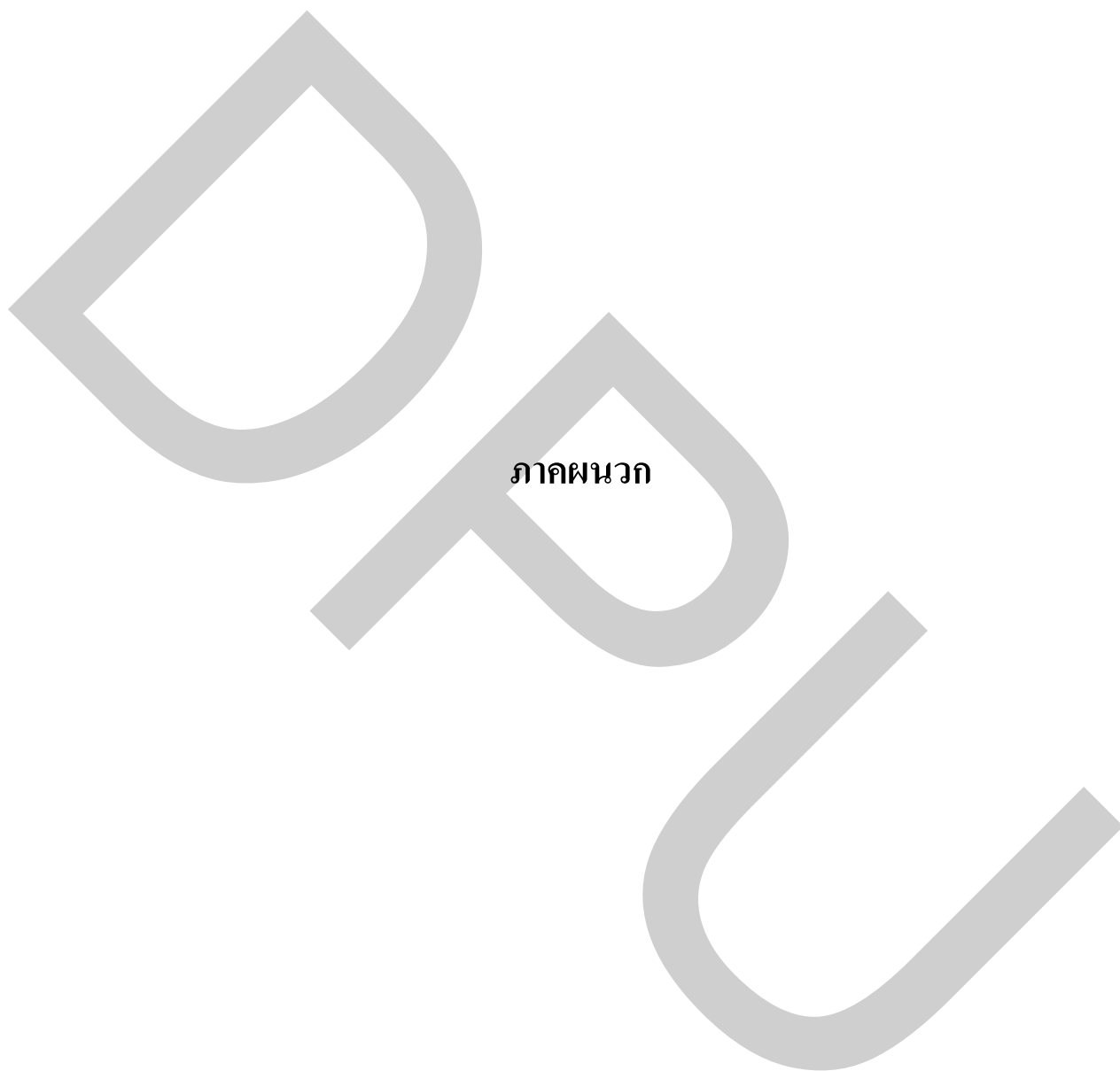
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2547). ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน : คิวซีเซอร์เคิล (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : บริษัท เทคนิคคอล แอปโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2547). การจัดการวิศวกรรมการผลิต. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์. (2549, ตุลาคม). ข้อเสนอแผนงานโปรแกรม A5 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell). ปทุมธานี : ศูนย์บริหารจัดการเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สมศักดิ์ ตรีสัตย์. (2535). การออกแบบและวางผังโรงงาน. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วิทยานิพนธ์

- ทวีมาศ นาคอุดม. (2547). การประยุกต์ใช้การออกแบบผังโรงงานเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ธาราทัด แก้วลิ้ม. (2547). การจัดการผังกระบวนการผลิตของโรงงานเอคูการ์เมนท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเอเชียเคนย.
- นฤดม เพชรชื่น. (2549). การจัดวางผังโรงงานผลิตประตูและวงกบประตูพลาสติก กรณีศึกษา : บริษัท เอกรัตนพลาสติกไทย จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.
- พรชัย ทองชัย. (2544). การปรับปรุงผังโรงงานให้เหมาะสมโดยการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ยศศักดิ์ ยศไกร. (2548). การออกแบบและวางผังโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม กรณีศึกษา บริษัท
สยามไวเนอรี่ จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการงานวิศวกรรม.
กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลหน่วยงาน

สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC)

สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) เป็นหน่วยงานภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี SOLARTEC เป็นหน่วยงานหลักที่มุ่งเน้นในการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย ตั้งแต่การพัฒนาเทคโนโลยีผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ วัสดุและเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต จนถึงการประยุกต์ใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับติดตั้งตามอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ เพื่อทดแทนหรือลดการใช้พลังงานหลักในรูปพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน โดยดำเนินการวิจัยและพัฒนา สนับสนุนและประสานงานความร่วมมือกับหน่วยงานทั้งภายในและภายนอก สวทช. เพื่อเป็นแกนนำในการผลักดันให้มีการพัฒนาขีดความสามารถของประเทศในด้านเทคโนโลยีพลังงาน ที่เป็นสาขาเชิงยุทธศาสตร์ของประเทศ อันจะเป็นการเกื้อหนุนการพัฒนาบริหารพลังงานที่ยั่งยืนและการส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามนโยบายและแผนแห่งชาติด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

วิสัยทัศน์ พันธมิตรเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ระดับโลก

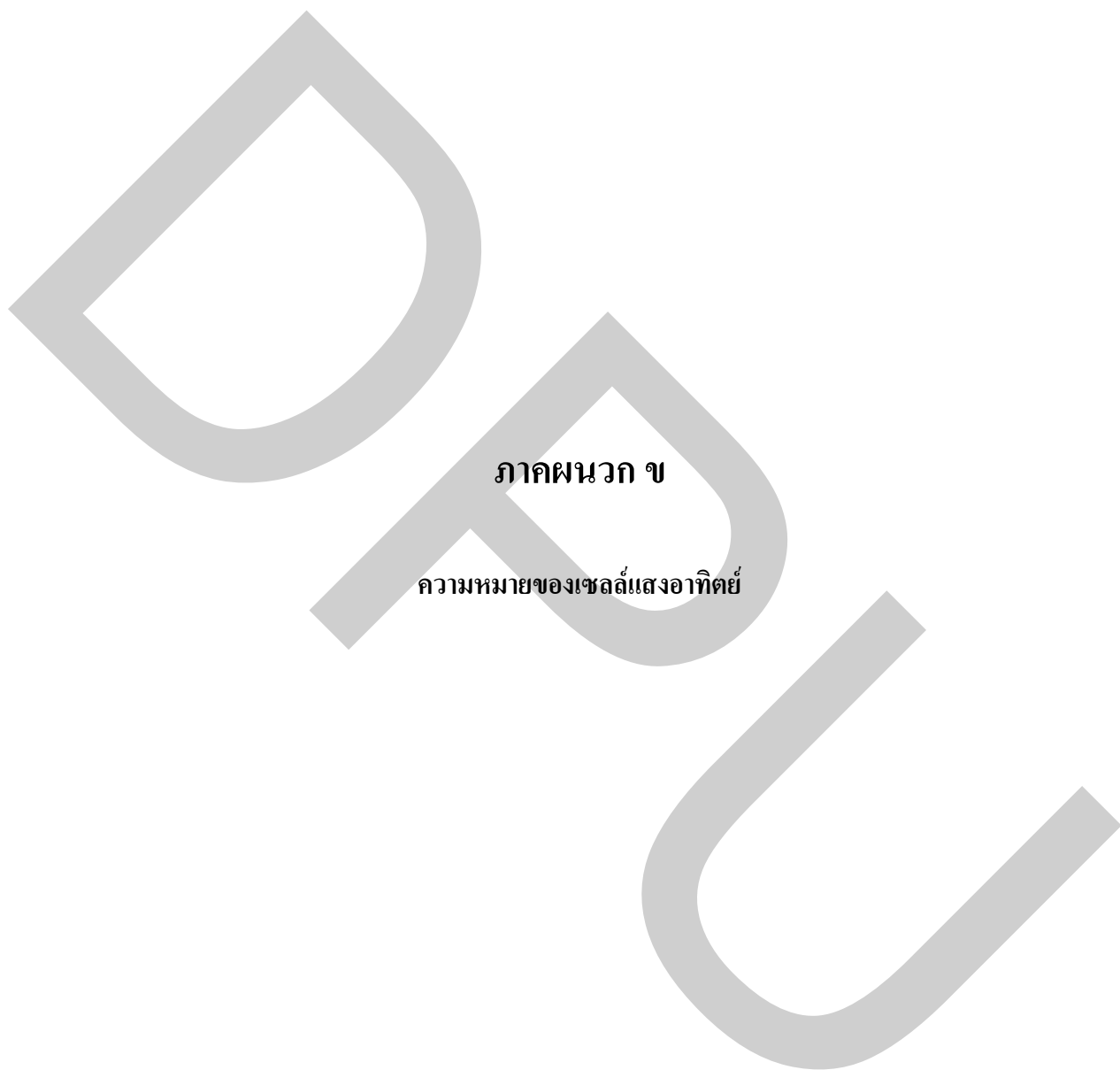
พันธกิจ สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ มุ่งเน้นการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรม เพื่อส่งเสริมการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์

นโยบาย สถาบันฯ มีนโยบายการบริหารงาน โดยมุ่งเน้นการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีด้านเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย เพื่อส่งต่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เสริมสร้างศักยภาพแก่ภาคอุตสาหกรรมไทย โดยดำเนินงานตามแผนที่นำทางเทคโนโลยีโปรแกรมเซลล์แสงอาทิตย์ พ.ศ. 2549-2553 (รายละเอียดตามเอกสารผนวก ก) มุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีต้นทุนต่ำลง ตอบสนองความต้องการด้าน S&T แก่อุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกขั้นตอนของ Value Chain ตั้งแต่การวิจัยพัฒนา-การถ่ายทอดเทคโนโลยี-ผู้บริโภค และตอบสนองนโยบายด้านพลังงาน โดยเฉพาะการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวัน แก้ปัญหา cut peak ในช่วงกลางวัน และนำความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ในอุตสาหกรรม และลดต้นทุนของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสนับสนุนให้มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและเป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศ

- มุ่งเน้นการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีด้านเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนแบบไฮบริด ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และต้นทุนต่ำลง
- ตอบสนองความต้องการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในทุกขั้นตอนของ Value Chain ตั้งแต่การวิจัยพัฒนา-การถ่ายทอดเทคโนโลยี-การประยุกต์ใช้งาน
- เสริมสร้างศักยภาพแก่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

กลยุทธ์การดำเนินงาน

- ดำเนินการวิจัยและพัฒนาใน 3 ระดับ ได้แก่
 - กลยุทธ์ระดับต้นน้ำ : งานวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรและวัสดุที่เกี่ยวข้อง
 - กลยุทธ์ระดับกลางน้ำ : งานวิจัยและพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งแบบซิลิกอนและแบบสีย้อมไวแสง
 - กลยุทธ์ระดับปลายน้ำ : งานวิจัยและพัฒนาการใช้งานแบบผสมผสาน
- ถ่ายทอดผลงานวิจัยไปสู่ภาคเอกชน
- ร่วมวิจัยและพัฒนา ร่วมกับภาคเอกชน อุตสาหกรรม และสถาบันการศึกษา
- สนับสนุนการวิจัยพัฒนาและข้อมูลความรู้แก่ สถาบันการศึกษา เพื่อส่งเสริมงานวิจัยและพัฒนาขีดความสามารถของสถาบันการศึกษา
- ประสานการทำงานสอดคล้องกับนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานของประเทศ ได้แก่ กระทรวง ทบวง กรม ต่างๆ



ภาคผนวก ข

ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง สิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์(หรือแสงจากหลอดแสงสว่าง)ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆขณะใช้งาน เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุ silicon ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลก ทรายตามชายหาด ท้องทะเล หินต่างๆ มีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบหลักๆ นั่นคือ เป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ (แต่การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน นั่นคือต้องมีค่าใช้จ่าย) ซิลิคอนเป็นวัสดุที่ใช้มากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน โดยแทบจะเรียกได้ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมนี้เลยทีเดียว ทรานซิสเตอร์, IC และ LSI ทั้งหลายแทบทั้งหมดสร้างโดยใช้ซิลิคอน นั่นก็คือ การจะนำซิลิคอน มาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นในแง่ของวัสดุก็ได้มีอุตสาหกรรมรองรับอยู่แล้ว ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ จะเห็นว่า มีบางประเภทที่ทำจากสารกึ่งตัวนำแบบสารประกอบ ซึ่งไม่ใช่ซิลิคอน แต่โดยรวมแล้วยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ด้วยเหตุผลทางด้านราคา และความยุ่งยากในการผลิต

ตารางที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ประเภทของวัสดุ	โครงสร้าง	ประสิทธิภาพของเซลล์	ประสิทธิภาพของโมดูล
ซิลิคอน-แบบผลึก	ผลึกเดี่ยว	15-24 %	10-14 %
ซิลิคอน-แบบผลึก	ผลึกโพลี	10-17 %	9-12 %
ซิลิคอน-อะมอร์ฟัส	Amorphous Silicon Amorphous SiC Amorphous SiGe	8-13 %	6-9 %
สารประกอบอื่น	GaAs, CdTe , CuInSe2	18-30 % (GaAs) 10-15 % 10-15 %	NA

เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 แบบ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell

ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

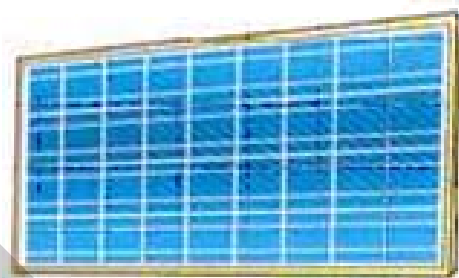


Single Crystalline Silicon Solar Cell

ภาพที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell)

2. เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี (Polycrystalline)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอน ก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับ ไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน



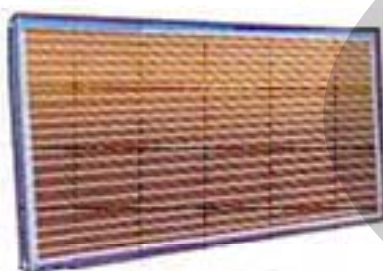
Polycrystalline Silicon Solar Cell

ภาพที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลี (Polycrystalline Silicon Solar Cell)

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้่านักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้่านักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะ

ประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



Amorphous Silicon Solar Cell

ภาพที่ 3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

ภาคผนวก ก

หนังสือขอสันทนาการอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์



บทที่ 1

ข้อมูลทั่วไป

1.1 บทนำ

ในการจัดทำหนังสือข้อเสนอเทศครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจที่จะจัดตั้ง “บริษัทผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์” เพื่อประกอบธุรกิจด้านการผลิตและจำหน่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโอบริค ขนาดกำลังการผลิตเฉลี่ย 10 เมกะวัตต์ต่อปี ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโอบริคนี้ เป็นเซลล์ชั้นระหว่างอะมอร์ฟัสซิลิคอน กับเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิคอนชนิดฟิล์มบาง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาจากโครงการวิจัยและพัฒนาของ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

สืบเนื่องมาจาก กระทรวงพลังงาน ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการใช้พลังงานของประเทศ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้มีแผนงานติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า โดยสนับสนุนการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นภายในประเทศ ทั้งนี้การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ได้เริ่มมาตั้งแต่ ปี 2541 โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ซึ่งให้การสนับสนุนแก่ สวทช. ในโครงการวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศ และมีศักยภาพในการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นเป็นเซลล์ชั้นระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนกับเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิคอนชนิดฟิล์มบาง ซึ่งหลายหน่วยงานวิจัยในโลกกำลังให้ความสนใจในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้อยู่

สวทช. ได้ติดตั้งเครื่องจักรหลักที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชั้น 1 อาคารโรงงานต้นแบบ ภายในอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย (รังสิต) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 และดำเนินการวิจัยและพัฒนาจนประสบความสำเร็จในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 15% สำหรับขนาดพื้นที่ 3 ตร.ซม. ซึ่งเป็นประสิทธิภาพระดับแนวหน้าของโลก ต่อมาได้ขยายผลไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 30 กิโลวัตต์ต่อปี และส่งมอบให้กับ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) นำไปติดตั้งและทดสอบการใช้งาน ณ สถานีอนามัย และระบบสูบน้ำ 16 แห่งทั่วประเทศ (เริ่มติดตั้งใช้งานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2548)

บทที่ 2

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

2.1. คำนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้นแทบทั้งหมดทำมาจากธาตุซิลิคอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลก รองจากออกซิเจน ซิลิคอนเป็นวัสดุที่ใช้มากในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน การนำซิลิคอนมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในแง่ของวัตถุดิบมีอุตสาหกรรมรองรับอยู่แล้ว

นอกจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอนแล้ว ยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากธาตุหรือสารประกอบอื่นๆอีก เช่น GaAs, CdTe หรือ CuInSe_2 เป็นต้น แต่ทุกชนิดต่างก็มีจุดด้อยที่แตกต่างกัน เช่น GaAs มีราคาแพงเนื่องจากใช้ Ga ส่วน CdTe มีปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้ Cadmium และเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CuInSe_2 ก็มีปัญหาเรื่องการผลิตซ้ำ (Reproductivity) และมีราคาแพงอันเนื่องมาจากใช้ธาตุ Indium ทำให้ไม่สามารถลดต้นทุนได้

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ แบบผลึกและแบบอะมอร์ฟิส ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก มีข้อดีที่ ประสิทธิภาพสูง แต่ต้องใช้แผ่นฐานรอง (Substrate) หนาประมาณ 200 ไมครอน และการทำให้เป็นผลึกจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูง ทำให้วัตถุดิบมีราคาแพง อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการทำรอยต่อ (Junction) ต้องใช้กระบวนการ diffusion ที่อุณหภูมิสูงมาก จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง อีกทั้งยังไม่สามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ ทำให้การประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยุ่งยาก จากข้อเสียต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกมีราคาสูง ในปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์นี้ประสบปัญหาแผ่นเวเฟอร์ที่เป็นแผ่นฐานรองขาดตลาด เนื่องจากมีความต้องการสูง

ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าแบบผลึกเนื่องจากตัวเซลล์เองมีความหนาประมาณ 1 ไมครอน หรือ 1/200 เท่าของผลึก ก็สามารถดูดกลืนแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แล้วทำให้ราคาวัตถุดิบถูกลงมาก กระบวนการผลิตก็ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนที่สูงมาก โดยทั่วไปจะประมาณ 250 °C ทำให้ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ อีกทั้งสามารถเคลือบบนแผ่นฐานรองที่มีราคาถูกได้ เช่น กระดาษ แผ่นเหล็ก ไร้สนิม และยังมีความสามารถที่จะเคลือบบนพื้นที่ขนาดกว้างใหญ่ได้ จากที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส สามารถผลิตได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าแบบอื่นๆ ดังตารางที่ 1

2.4 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอน การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช. เป็นหลัก ซึ่งกระบวนการจะเป็นไปตามตารางที่ 2 และ รูปที่ 6

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.

กระบวนการหลัก	ขั้นตอน	เครื่องจักร/อุปกรณ์	หมายเหตุ
TCO glass preparation	TCO glass edge trimming	Glass edge trimmer	
	TCO glass washing 1	Glass washer	
	TCO cutting	Laser scriber 1	
	TCO glass washing 2	Glass washer	
	Preheat	Preheat oven	
Cell fabrication	a-Si and $\mu\text{c-Si}$ deposition	PECVD	
	Cool down	Cool down oven	
	Si thin-film cutting	Laser scriber 2	
	ZnO/Ag coating	PVD	
	Si/ZnO/Ag cutting	Laser scriber 3	
	I-V Testing 1 (sampling)	Solar simulator	
Module Assembly	Glass edge preparation	Sand bled blaster	
	Electrode connection	Ultrasonic bonding machine	
	Back Al plate preparation (hole drilling)	Metal drilling machine	
	Lamination	Laminator	
	I-V testing 2	Solar simulator	
	Framing, Junction box & diode attaching	-	

2.5 พื้นที่สายการผลิต

สายการผลิตจะใช้พื้นที่ประมาณ 2,000 ตร.ม. ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นแผนผังของสายการผลิตขนาด 10 เมกะวัตต์ต่อปี โดยโรงงานจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- พื้นที่สายการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นส่วนสำหรับวางเครื่องจักรหลักในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ และการประกอบแผงฯ เช่น ระบบ PECVD ระบบ PVD, Glass washer, Laser scriber, Laminator เป็นต้น
- พื้นที่สำหรับติดตั้งระบบอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น ระบบน้ำหล่อเย็น (Chiller) ระบบอัดอากาศแห้ง (Compressed dry air) ระบบก๊าซ ระบบน้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น ซึ่งจะมีพื้นที่ประมาณ 500 ตร.ม.
- พื้นที่ที่เป็นห้องเก็บวัสดุที่จะใช้ ได้แก่ ห้องเก็บแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบเสร็จแล้ว (Storage) ห้องเก็บเครื่องมือต่างๆ (Workshop)
- พื้นที่ที่เป็นสำนักงาน ห้องประชุม ห้องแสดงผลงาน ห้องพักผ่อน และบริเวณโรงต้อนรับ

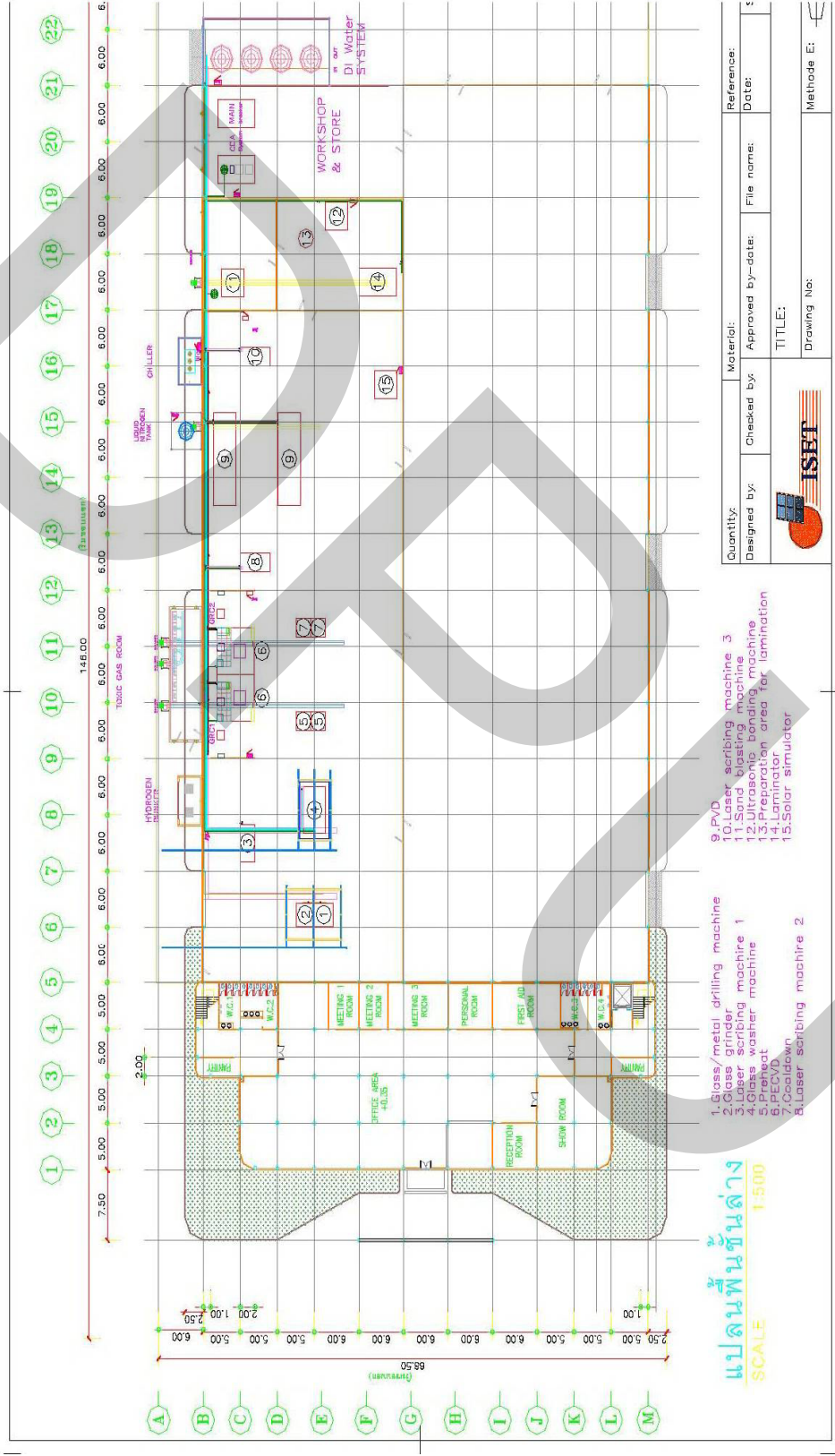
2.6 เครื่องจักร/อุปกรณ์

เครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย

- เครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมกระจกเคลือบ TCO ได้แก่ Glass edge trimmer และ Glass washer
- เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางต่างๆ จำนวน 2 ระบบ ซึ่งได้แก่
 - ระบบ PECVD ใช้สำหรับเคลือบชั้นต่างๆ ของฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si) และผลึกฟิล์มบางซิลิคอน ($\mu\text{-Si}$) โดยกระบวนการ PECVD
 - ระบบ PVD ใช้สำหรับเคลือบชั้น ZnO และ Ag โดยกระบวนการ PVD
- เครื่อง Laser scriber ที่ใช้สำหรับตัดชั้น SnO_2 , a-Si/ $\mu\text{-Si}$ และ ZnO/Ag ออกเป็นเซลล์ย่อยๆ จะเป็นเครื่องที่ใช้หัว Laser ชนิด YAG Laser และมีการใช้งานอยู่แล้วในอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
- เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อน และลดความร้อน ได้แก่ ระบบ Preheat และ Cool down
- เครื่องจักรส่วนที่ใช้ในการประกอบเป็นแผง ได้แก่
 - เครื่อง Laminator สำหรับเคลือบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโพลีเมอร์ เพื่อให้ทนทานต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน ความชื้น เป็นต้น
 - เครื่องเจาะรูอลูมิเนียม (Metal drilling machine) สำหรับทำการเจาะรูแผ่นอลูมิเนียม เพื่อเป็นช่องต่อขั้วไฟฟ้า
 - เครื่องพ่นทราย (Sand bed blaster) สำหรับเตรียมผิว ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณขอบแผงให้เหมาะสมกับการเคลือบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโพลีเมอร์
 - เครื่องต่อขั้วไฟฟ้าความถี่สูง (Ultrasonic bonding machine)
 - เครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมและวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar simulator)

- อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดความหนาของฟิล์มบาง (Thickness measuring tool) เครื่องมือวัดความต้านทานของฟิล์มโลหะ ด้วยวิธี 4-point probe เป็นต้น

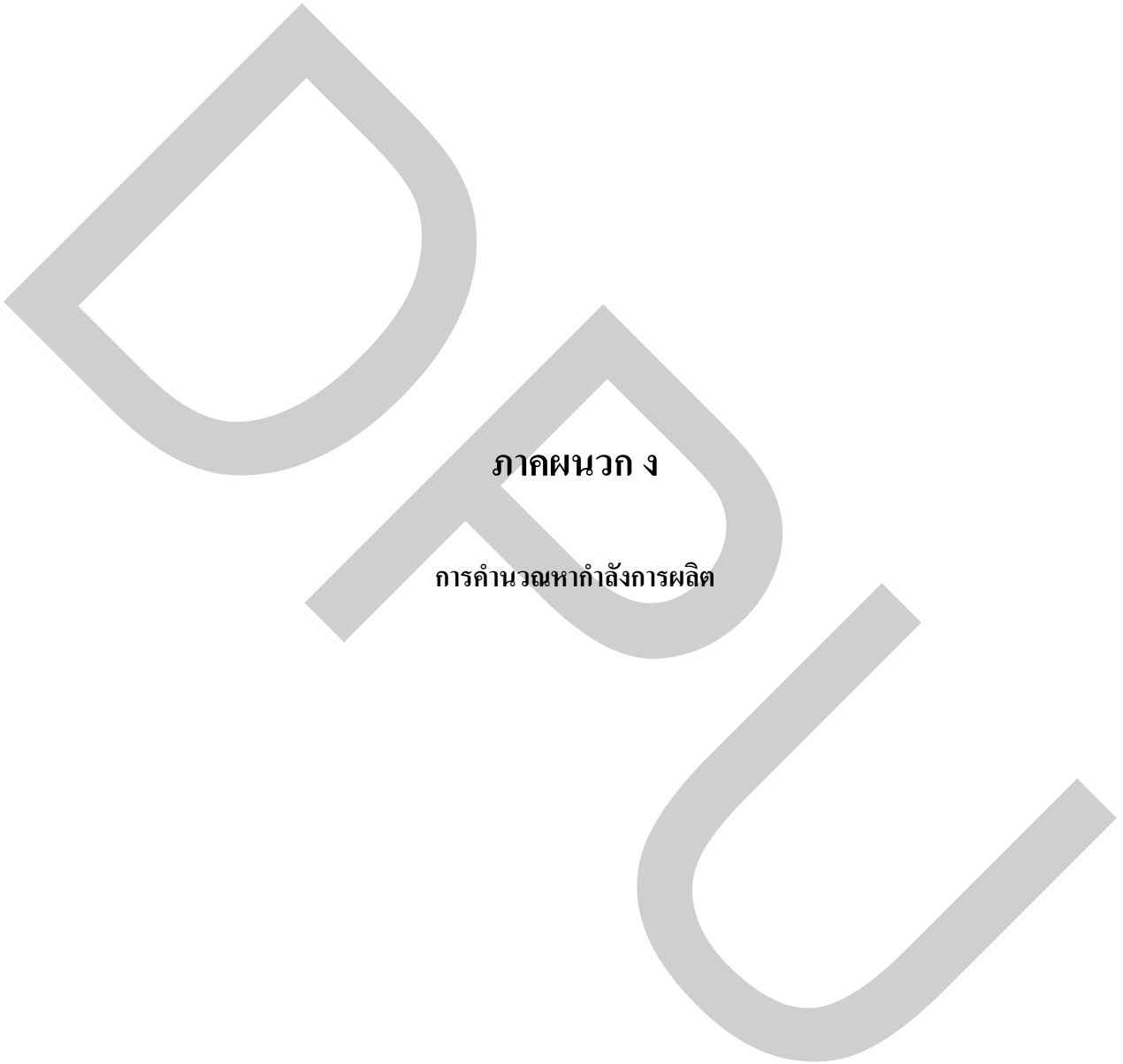
ส่วนตารางที่ 3 และ 4 เป็นรายละเอียดของเครื่องจักรหลักและระบบอำนวยความสะดวกที่ใช้ภายในสายการผลิต รวมถึงขอบเขตการใช้งาน บริษัทขายเครื่องจักร และราคา โดยรูปที่ 8 และ 9 เป็น Configuration ของระบบ PECVD และระบบ PVD ตามลำดับ



รูปที่ 7 แผนผังคร่าวๆ ของสายการผลิต และอาคารโรงงาน

ตารางที่ 3 รายการเครื่องจักรหลักที่ใช้ภายในสายการผลิต

ชื่อเครื่องจักร	การใช้งาน	บริษัทผู้ผลิต	ราคาประมาณ (บาท)	จำนวน
Glass edge trimmer	ลบคมกระจก ITCO	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว
Metal drilling machine	เจาะรูอุโมงค์สำหรับขั้ว	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว
Glass washer	ITCO glass washing before/after ITCO cutting	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว
Preheat	ปรับเพิ่มอุณหภูมิของกระจกให้เหมาะสมกับกระบวนการ PECVD	ปกปิด	ปกปิด	2 ตัว
Cool down	ปรับลดอุณหภูมิของกระจกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ PECVD	ปกปิด	ปกปิด	2 ตัว
PECVD	a-Si / μ c-Si deposition	ปกปิด	ปกปิด	2 ชุด
PVD	ZnO/Ag deposition	ปกปิด	ปกปิด	2 ชุด
Laser scribe	Patterning by cutting SnO_2 , a-Si / μ c-Si and ZnO/Ag layer	ปกปิด	ปกปิด	3 ตัว
Laminator	Module encapsulation	ปกปิด	ปกปิด	2 ตัว
Ultrasonic bonding machine	ต่อขั้วไฟฟ้า	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว
Sand blast blaster for encapsulation	เตรียมพื้นผิวบริเวณขอบเซลล์	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว
Solar simulator (module)	I-V characteristic measurement .	ปกปิด	ปกปิด	1 ตัว



ภาคผนวก ง

การคำนวณหาต้นทุนการผลิต

จากสูตรการคำนวณ

$$\text{กำลังการผลิต} = \frac{\text{เวลาที่มีเพื่อการผลิต}}{\text{รอบเวลาการผลิต}}$$

โดย เวลาที่มีเพื่อการผลิต หมายถึง เวลาที่สามารถใช้เพื่อการผลิต
 รอบเวลาการผลิต หมายถึง ระยะห่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากสายการผลิต

สมมติฐาน

กำลังการผลิตที่ต้องการ : 10 เมกะวัตต์ต่อปี

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย : 50 วัตต์ต่อแผง

เวลาการทำงาน : 320 วันต่อปี ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน โดยแบ่งเป็น 3 กะ
 ทำงานกะละ 8 ชั่วโมง พัก 1 ชั่วโมง

รอบเวลาการผลิต : 192 นาที

กำหนดให้อัตราของเสียที่เกิดขึ้นได้ไม่เกิน : 10%

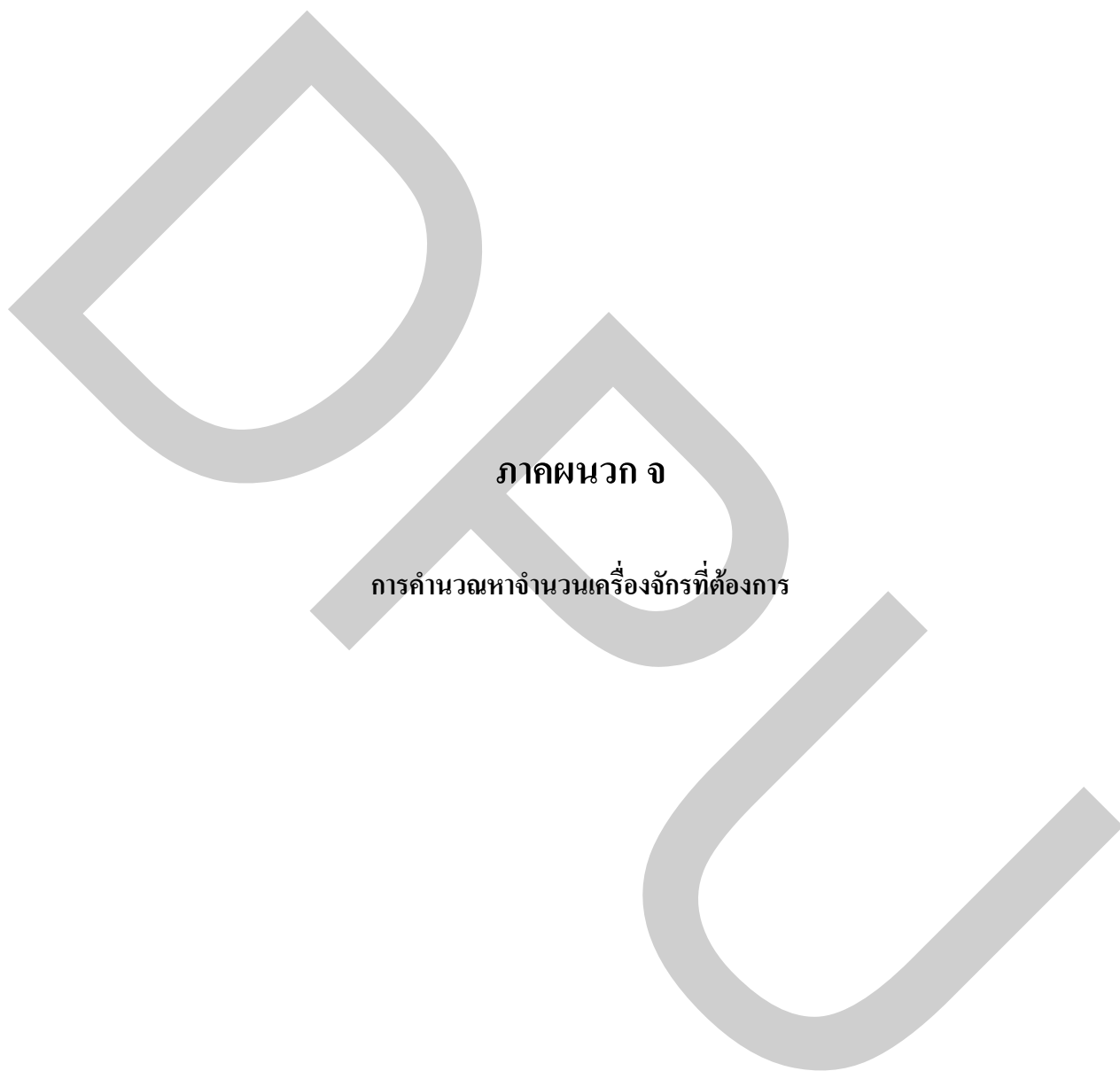
$$\text{กำลังการผลิต} = \frac{24 \text{ ชม.} \times 60 \text{ วัน}}{192 \text{ นาที / หน่วย}} = 7.5 \text{ runs / วัน} = 8 \text{ runs / วัน}$$

$$1 \text{ run ผลิตได้จำนวน 96 แผง} = 8 \times 96 = 768.00 \text{ แผง / วัน}$$

$$= 768 \times 320 = 245,760.00 \text{ แผง / ปี}$$

$$\text{หักของเสีย 10\%} = 221,184 \text{ แผง / ปี}$$

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฯ เฉลี่ยประมาณ 50 วัตต์ต่อแผง ผลิต 221,184 แผง
 คิดเป็น 11.06 เมกะวัตต์ ซึ่งเพียงพอกับปริมาณการผลิตที่ต้องการ



ภาคผนวก จ

การคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ

การคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ กรณีการวางแผนโรงงานตามผลิตภัณฑ์

จำนวนเครื่องจักรที่ต้องการผลิตงาน i ชนิด โดยใช้เครื่องจักร j ชนิด คือ

$$M_j = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij} T_{ij}}{t_{ij}}$$

$i = 1$

เมื่อ M_j

j = จำนวนเครื่องจักรที่ต้องการ j ชนิดต่อช่วงเวลาที่ทำการผลิต

P_{ij}

= อัตราการผลิตที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

(หน่วยวัด : จำนวนชิ้น/ช่วงเวลาที่ทำการผลิต)

T_{ij}

= เวลามาตรฐานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

(หน่วยวัด : เวลา/ชิ้น)

t_{ij}

= จำนวนชั่วโมงในช่วงเวลาทำการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ i โดยใช้เครื่องจักร j

n

= จำนวนของผลิตภัณฑ์

กำหนดให้

กำลังการผลิต 10 เมกะวัตต์ต่อปี หรือ 200,000 แผงต่อปี

ทำงานปีละ 320 วัน วันละ 24 ชั่วโมง (ปฏิบัติงาน 3 กะ) ให้คิดเผื่อของเสีย 10%

เครื่องจักร	เวลาที่ใช้ในการผลิต (นาที/ชิ้น)
1. Glass edge trimmer	0.67
2. Glass washer	0.67
3. Laser Scriber	1.17
4. Preheat	180
5. PECVD	180
6. Cool down	120
7. PVD	4
8. Solar sun simulator	3

อัตราการผลิตที่ต้องการ (ให้คิดเผื่อของเสีย 10%) = 221,184 แผง

$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6 = t_7 = t_8 = 320 \times 24 \times 60 = 460,800$ นาที

$$M_1 = (221,184 \times 0.67) / 460,800 = 0.32 = 1 \text{ เครื่อง}$$

$$M_2 = (221,184 \times 0.67) / 460,800 = 0.32 = 1 \text{ เครื่อง}$$

$$M_3 = (221,184 \times 1.17) / 460,800 = 0.56 = 1 \text{ เครื่อง}$$

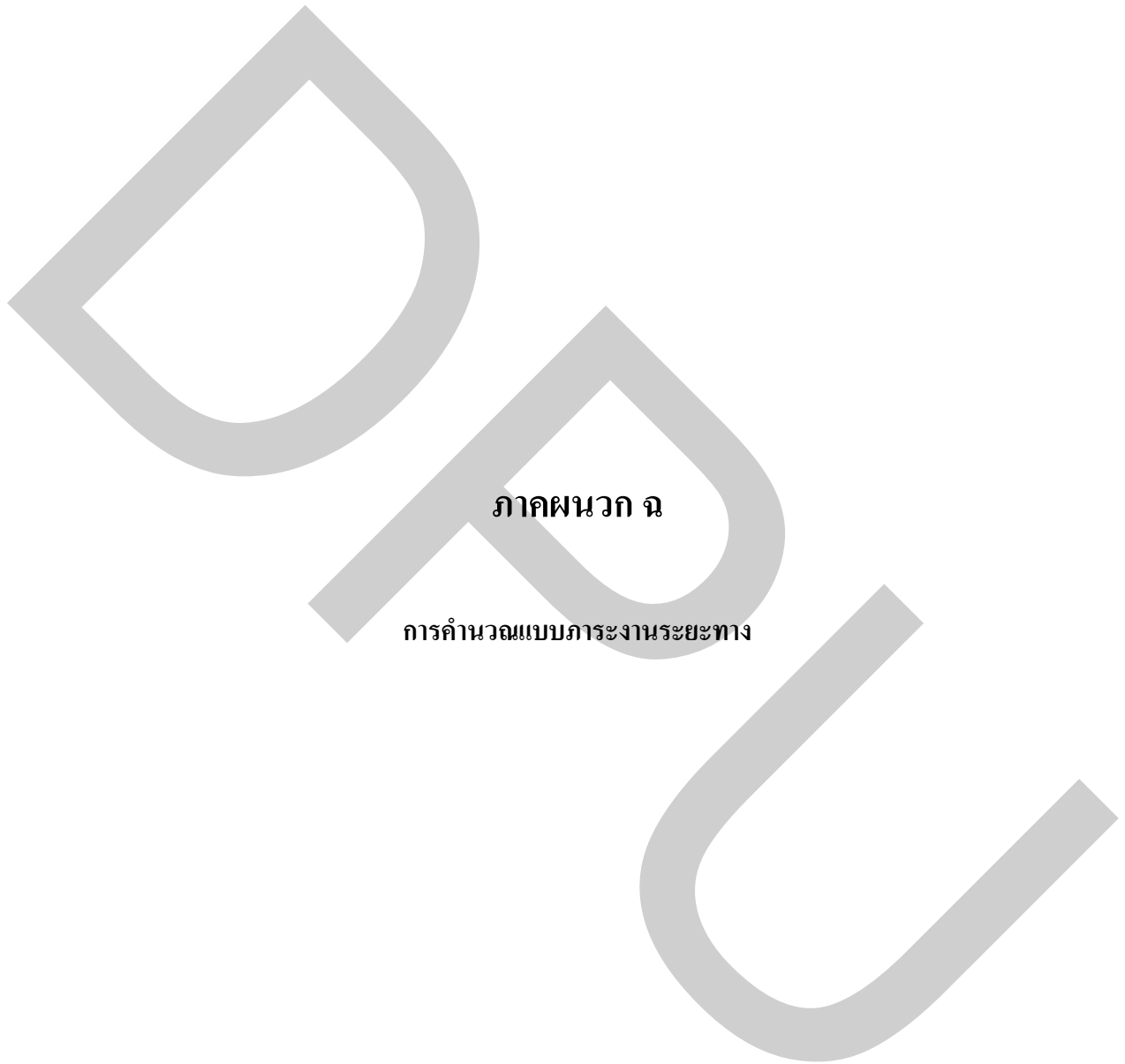
$$M_4 = (221,184 \times 180) / (460,800 \times 48) = 1.80 = 2 \text{ เครื่อง}$$

$$M_5 = (221,184 \times 180) / (460,800 \times 48) = 1.80 = 2 \text{ เครื่อง}$$

$$M_6 = (221,184 \times 120) / (460,800 \times 48) = 1.20 = 2 \text{ เครื่อง}$$

$$M_7 = (221,184 \times 4) / 460,800 = 1.92 = 2 \text{ เครื่อง}$$

$$M_8 = (221,184 \times 3) / 460,800 = 1.44 = 2 \text{ เครื่อง}$$



ภาคผนวก จ

การคำนวณแบบภาระงานระยะทาง

การคำนวณตัวแบบภาระงานระยะทาง

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K_{ij} L_{ij} D_{ij}$$

กำหนดให้

C = ต้นทุนรวมอันเกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานทั้งหมด

L_{ij} = จำนวนครั้งต่อภาระงาน (Load) ของการเคลื่อนย้ายวัสดุระหว่างแผนก i และ j

D_{ij} = ระยะทางของการเคลื่อนย้ายระหว่างแผนก i และ j

K_{ij} = ต้นทุนต่อครั้งของการเคลื่อนย้ายต่อหน่วยระยะทางจากแผนก i และ j

N = จำนวนแผนกทั้งหมดที่มี

รายการแผนกงาน

1. Store
2. Glass edge trimmer
3. Glass washer
4. Laser Scriber 1
5. Preheat
6. PECVD
7. Cool down
8. Laser Scriber 2
9. PVD
10. Laser Scriber 3
11. Solar sun simulator

ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง = 48.75 บาท/แผง

$K = 48.75 \text{ บาท} \times 98 \text{ แผงต่อruns} = 4,680.00 \text{ บาท}$

$L_{ij} = 8 \text{ runs} / (98 \text{ แผง} \times 8 \text{ runs}) = 0.0104$

ผังทางเลือกแบบที่ 1

เครื่องจักร i - j	K_{ij} (บาท)	L_{ij} $L =$ $8/(96*8)$	D_{ij} (เมตร)	ต้นทุนที่เกิดจากการ เคลื่อนย้ายวัสดุใน กระบวนการผลิต (บาทต่อเดือน)
1-2	4,680.00	0.01	4,440.00	216,450
2-3	4,680.00	0.01	840.00	40,950
3-4	4,680.00	0.01	4,320.00	210,600
3-5	4,680.00	0.01	1,680.00	81,900
5-6	4,680.00	0.01	3,840.00	187,200
6-7	4,680.00	0.01	3,840.00	187,200
7-8	4,680.00	0.01	3,840.00	187,200
8-9	4,680.00	0.01	2,160.00	105,300
9-10	4,680.00	0.01	2,400.00	117,000
10-11	4,680.00	0.01	2,040.00	99,450
รวม				1,433,250

ผังทางเลือกแบบที่ 2

เครื่องจักร i - j	K_{ij} (บาท)	L_{ij}	D_{ij} (เมตร)	ต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต (บาทต่อเดือน)
1-2	4,680.00	0.0104	3,120.00	152,100
2-3	4,680.00	0.0104	840.00	40,950
3-4	4,680.00	0.0104	1,920.00	93,600
3-5	4,680.00	0.0104	3,120.00	152,100
5-6	4,680.00	0.0104	7,080.00	345,150
6-7	4,680.00	0.0104	6,960.00	339,300
7-8	4,680.00	0.0104	1,440.00	70,200
8-9	4,680.00	0.0104	1,920.00	93,600
9-10	4,680.00	0.0104	1,920.00	93,600
10-11	4,680.00	0.0104	720.00	35,100
รวม				1,415,700

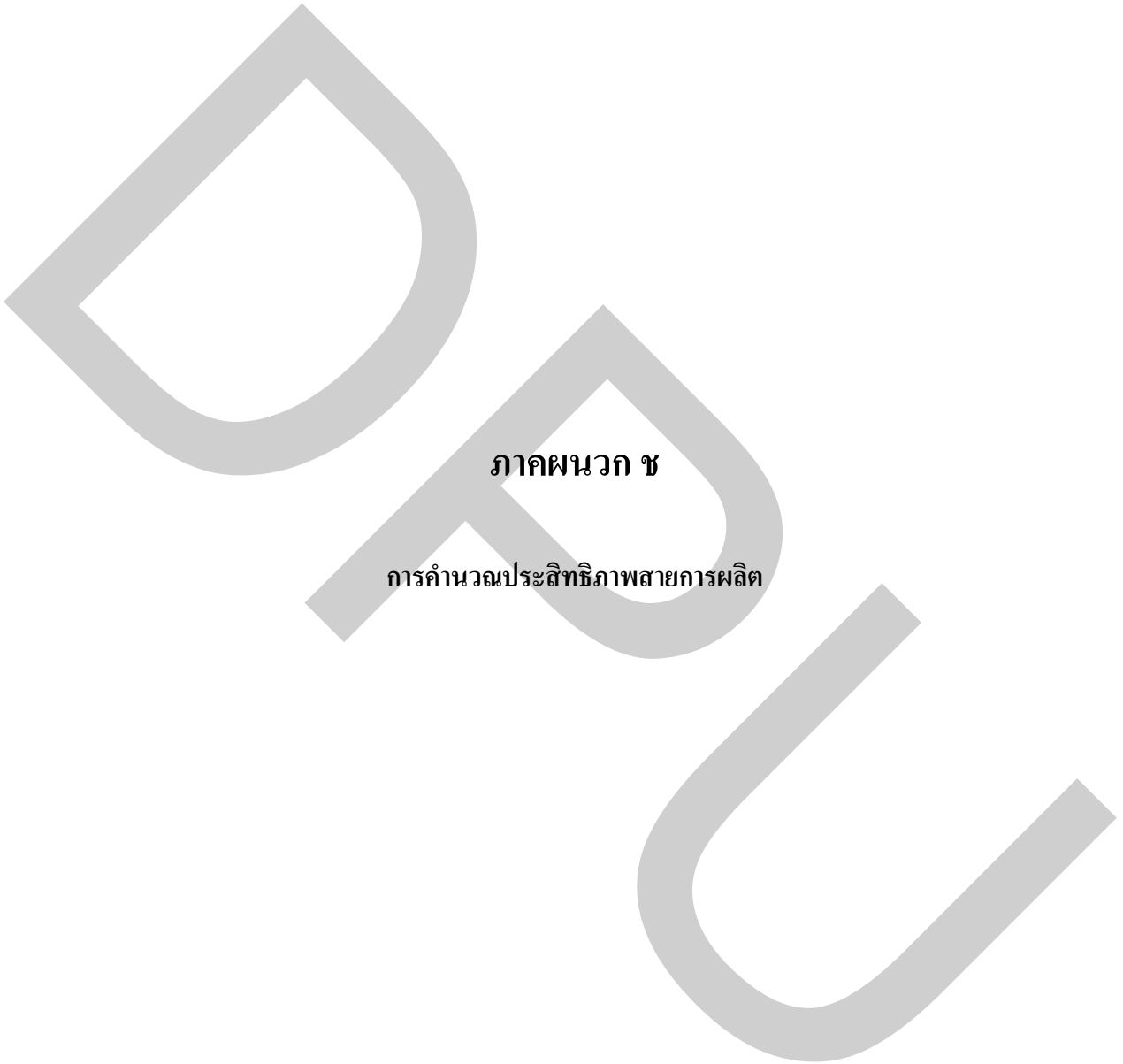
ผังทางเลือกแบบที่ 3

เครื่องจักร i - j	K_{ij} (บาท)	L_{ij}	D_{ij} (เมตร)	ต้นทุนที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิต (บาทต่อเดือน)
1-2	4,680.00	0.0104	1,680.00	81,900.00
2-3	4,680.00	0.0104	840.00	40,950.00
3-4	4,680.00	0.0104	2,400.00	117,000.00
3-5	4,680.00	0.0104	1,680.00	81,900.00
5-6	4,680.00	0.0104	6,240.00	304,200.00
6-7	4,680.00	0.0104	6,480.00	315,900.00
7-8	4,680.00	0.0104	2,160.00	105,300.00
8-9	4,680.00	0.0104	1,440.00	70,200.00
9-10	4,680.00	0.0104	1,440.00	70,200.00
10-11	4,680.00	0.0104	480.00	23,400.00
รวม				1,210,950

ตารางแสดงผลการดำเนินงานและฐานะทางการเงิน

	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
ยอดขาย										
ต้นทุนขาย										
กำไรขั้นต้น										
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร										
กำไรก่อนภาษี										
กำไรสุทธิ										
สิ้นทรัพย์รวม										
หนี้สินรวม										
ส่วนของผู้ถือหุ้น										
วัตถุดิบทางตรง	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
ZnO, Ag Target (เข้าเข้า)										
Gas (เข้าเข้า)										
EVA (เข้าเข้า), TCO-Glass-กระจกหลัง										
Back AI										
คอมมอดิตีอื่นๆ										
วัตถุดิบอสังหาริมทรัพย์										
รวมต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	48.75	51.19	53.74	56.43	59.26	62.22	65.34	68.62	72.04	75.63
รวมต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (ปีนับมา)	22,882	24,027	25,224	26,486	27,815	29,204	30,669	32,208	33,813	35,498
ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง/ยอดขาย (%)	66.83%	68.91%	72.55%	76.18%	80.00%	84.00%	88.21%	92.64%	97.25%	102.10%
แรงงานทางตรง	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
เงินเดือนรวม										
สวัสดิการ										
รวมแรงงานทางตรง	26.88	28.90	31.06	33.39	35.90	38.59	41.49	44.60	47.94	51.54
รวมแรงงานทางตรง (บาท/วัตต์)	39,000%	41,16%	44,38%	47,71%	51,28%	55,13%	59,27%	63,71%	68,49%	73,63%
แรงงานทางตรง/ยอดขาย (%)										
ค่าเสื่อม	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
ค่าเสื่อมผ่านแปรรูป										
ค่าเสื่อมคงที่										
รวมค่าเสื่อม	118.88	163.09	166.80	170.73	174.89	138.59	102.55	107.50	112.74	118.30
รวมค่าเสื่อม (บาท/วัตต์)	172,45%	232,33%	238,29%	243,90%	249,84%	197,99%	146,50%	153,57%	161,06%	169,00%
ค่าเสื่อม/ยอดขาย (%)										
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
ค่าใช้จ่ายในการขาย										
ค่าใช้จ่ายในการบริหาร										
รวมค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร	31.28	56.52	58.87	61.63	64.48	60.07	55.89	59.44	63.25	67.35
รวมค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร (บาท/วัตต์)	45,37%	80,51%	84,24%	88,04%	92,12%	85,82%	79,84%	84,91%	90,36%	96,22%
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร/ยอดขาย (%)										
ต้นทุนการผลิต	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560
วัตถุดิบทางตรง	24.02%	20.13%	20.42%	20.71%	20.99%	24.92%	30.01%	29.89%	29.76%	29.62%
แรงงานทางตรง	14.01%	12.02%	12.49%	12.97%	13.46%	16.35%	20.16%	20.56%	20.96%	21.36%
ค่าเสื่อม	61.97%	67.85%	67.08%	66.32%	65.55%	58.73%	49.83%	49.55%	49.28%	49.02%
รวมต้นทุนการผลิต	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

ที่มา : ภาควิเคราะห์ทางด้านการเงิน หนังสือข้อเสนพตจากบัญชีค่าใช้จ่ายในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ สวทช.



ภาคผนวก ข

การคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิต

การคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิต (ปัจจุบัน)

- ทำการผลิตครั้งละ 20 แผ่น (หรือ 20 แผง/run)

เครื่องจักร	1. Glass edge trimmer	2. Glass washer	3. Laser scribe	4. Preheat	5. PECVD	6. Cool down	7. PVD	8. Solar sun simulator	เวลาที่หมดต่อรอบการผลิต
เวลาที่ใช้ในการทำงาน (นาที)	13.40	13.40	23.40	180.00	180.00	120.00	80.00	60.00	670.20
เวลาที่มือสำหรับคนงานในแต่ละรอบการผลิต (นาที)	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	1,440.00
เวลาร้างในแต่ละรอบการผลิต (นาที)	166.60	166.60	156.60	0.00	0.00	60.00	100.00	120.00	769.80

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้แรงงาน} = \frac{670.20}{1,440.00} \times 100 = 46.54\%$$

$$\text{เวลาร้างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิต} = \frac{769.8}{1,440.00} \times 100 = 53.46\%$$

การคำนวณประสิทธิภาพการผลิต (ใหม่)

- ทำการผลิตครั้งละ 96 แผง (หรือ 96 แผง/run)

เครื่องจักร	1. Glass edge trimmer	2. Glass washer	3. Laser scriber 1	4. Preheat	5. PECVD	6. Cool down	7. Laser scriber 2	8. PVD	9. Laser scriber 3	10. Solar simulator	เวลาดังกล่าวรวมการหีด
เวลาที่ใช้ในการทำงาน (นาที)	64.32	64.32	112.32	180.00	180.00	120.00	112.32	192.00	112.32	144.00	1,281.60
เวลาที่ขึ้นอยู่กับปริมาณในแต่ละรอบการผลิต (นาที)	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	1,920.00
เวลาดังกล่าวในแต่ละรอบการผลิต (นาที)	127.68	127.68	79.68	12.00	12.00	72.00	79.68	0.00	79.68	48.00	638.40

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้แรงงาน} = \frac{1,281.60}{1,920.00} \times 100 = 66.75\%$$

$$\text{เวลาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในสายการผลิต} = \frac{638.40}{1,920.00} \times 100 = 33.25\%$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนิตยา บำรุงราษฎร์
ประวัติการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
2543
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน Analyst
National Science and Technology Development Agency
111 Thailand Science Park, Pahonyothin Rd., Klong 1,
Klong Luang, Pathumthani 12120