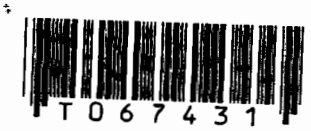
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ต้นทุนโลจิสติกส์ที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิต

OPTIMAL LOGISTICS COSTS IN A MANUFACTURING INDUSTRY



จุฬารัตน์ ศรีกุล
CHULARAT SRIKUL

ว
จ681 ง
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 67431
วัน,เดือน,ปี 15 ส.ค. 2549

b 11670964
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2549

ISBN 974-8308-09-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMAL LOGISTICS COSTS IN A MANUFACTURING INDUSTRY

CHULARAT SRIKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED MATHEMATICS

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ISBN 974-8308-09-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2006
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**ต้นทุนโลจิสติกส์ที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิต**
นักศึกษา	**นางสาวจุฬารัตน์ ศรีกุล**
รหัสนักศึกษา	47063803
ภาควิชา	**ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์**
	คณะวิทยาศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	**คณิตศาสตร์ประยุกต์**
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	**ผศ.ดร.ฉัฐไชย์ ลีนาวงศ์**

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) **เพื่อใช้ในการศึกษาระบบโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมการผลิตแบบหนึ่ง วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือเพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์ (Logistics Costs) ที่เกี่ยวข้อง สิ่งที่พิจารณาเป็นพิเศษคือต้นทุนด้านสินค้าคงคลังและต้นทุนด้านการขนส่ง ภายใต้สมมติฐานหลักของอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษาในที่นี้ ได้แก่ สินค้าที่ผลิตมีเพียงหนึ่งชนิดโดยสามารถขายให้กับลูกค้ารายเดียวได้ นอกจากนั้นสินค้าดังกล่าวสามารถถูกจัดส่งได้ก็ต่อเมื่อได้ผลิตสินค้าทั้งหมดโดยครบตามขนาดของการผลิตแล้ว ระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า (Lead Time) ให้ลูกค้าในศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งอาจมีค่าไม่เท่ากัน แต่ระยะเวลาดังกล่าวจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับช่วงเวลาในการผลิตสินค้า ดังนั้นเพื่อให้ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาสินค้าคงคลังมีค่าน้อยที่สุด สิ่งที่ควรพิจารณาก็คือการหาจุดเริ่มต้นของแต่ละรอบการผลิตสินค้า** (Production Cycle) **ซึ่งจะอยู่ภายในช่วงเวลาที่กำลังจัดส่งสินค้าจากการผลิตรอบก่อนหน้าออกไป นอกจากนี้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นจะสามารถคำนวณขนาดการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด และเพื่อเป็นการสาธิต ระบบโลจิสติกส์ดังกล่าวจะถูกจำลองขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์** (Computer Simulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Optimal Logistics Costs in a Manufacturing Industry
Student	Miss Chularat Srikul
Student ID.	47063803
Degree	Master of Science
Program	Applied Mathematics
Year	2006
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chartchai Leenawong

ABSTRACT

In this thesis, mathematical models for studying a certain logistics system of a manufacturing industry are developed. The main objective is to reduce the associated logistics costs or, more precisely, to reduce inventory related costs and transportation cost. The major underlying assumptions of the industry investigated here are as follows. First, one manufactured product is considered and the manufacturer can sell the product to a customer. In addition, the product can be shipped only when the entire lot size is completely produced. Next, the lead time to each customer's distribution center can vary but it has to be longer than or equal to the production cycle. Therefore, to keep the inventory carrying cost low, it is natural to consider finding a starting point of each production cycle while the lot from the previous cycle is being shipped out. Furthermore, the mathematical models built here are expected to give lot sizes that yield the minimum logistics costs. Computer simulation of this logistics system is also carried out for demonstration purposes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ฉัฐไชย์ ลีนาวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ไมตรี โพธิ์สุข, รศ.ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์ และดร.ดุษฎี ศุขวัฒน์ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณชลัมภ์ อุ่นอารีย์ ที่ให้คำปรึกษาในการใช้โปรแกรมแอรีนา (Arena)

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง และพี่ ๆ ที่ให้การสนับสนุนเรื่องการเรียนตลอดมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

จุฬารัตน์ ศรีกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

1.6 ตารางและแผนการดำเนินงาน 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ความหมายและความสำคัญของสินค้าคงคลัง 5

2.2 ต้นทุนสินค้าคงคลัง 6

2.3 แบบจำลองเพื่อการจัดการสินค้าคงคลัง 7

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ 21

3.1 เวลาในการผลิตและเวลาในการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน 22

3.2 เวลาในการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน เวลาการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน 30

3.3 เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากัน เวลาการดำเนินงานในแต่ละรอบไม่เท่ากัน 39

3.4 เวลาในการผลิตและเวลาในการดำเนินในแต่ละรอบไม่เท่ากัน 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 แบบจำลองเชิงการจำลอง 56

4.1 แบบจำลอง 56

4.2 แบบจำลองเชิงการจำลองโดยใช้โปรแกรมแอรีน่า (Arena) 59

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 62

5.1 สรุปผลงานวิจัย 62

5.2 ข้อเสนอแนะ 64

เอกสารอ้างอิง 65

ประวัติผู้เขียน 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ค่า GDP ของประเทศ ไทย ญี่ปุ่น อเมริกา อังกฤษ	1
1.2	ส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์	2
2.1	ระดับสินค้าเมื่อสั่งซื้อสินค้า	8
2.2	ระดับสินค้าคงคลังและจำนวนครั้งการสั่งซื้อ	.9
2.3	จุดสั่งซื้อใหม่	.10
2.4	กราฟของฟังก์ชันในสมการที่ (2.6) และ (2.7)	 11
2.5	คำตอบเหมาะสม Q^* ของแต่ละกรณี	13
2.6	ระดับสินค้าคงคลังกับเวลาในแบบจำลองการผลิต	14
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้าและสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง	16
2.8	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อ	19
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา	22
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา	23
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา	23
3.4	ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับต้นทุนโลจิสติกส์	26
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา	30
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา	31
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา	31
3.8	ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน Ms. Excel ในการหาคำตอบ	35
3.9	ป้อนแบบจำลองตามทฤษฎีบทที่ 3.2 ลงใน Excel Solver	35
3.10	แสดงการใช้โปรแกรม Solver ใน Ms. Excel สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear)	36
3.11	ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน Ms. Excel ในการหาคำตอบ	37
3.12	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา	39
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา	40
3.14	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา	47
3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา	48
3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา	48
3.18	ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel ในการหาคำตอบ	52
3.19	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา	52
3.20	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา	53
4.1	แผนผังของโปรแกรมการสร้างแบบจำลอง	58
4.2	แสดงกานป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมแอรีน่า	59
4.3	การดำเนินงานการผลิตและการขนส่งในโปรแกรมแอรีน่า (Arena)	60
4.4	การสิ้นสุดการดำเนินงานการผลิตและการขนส่ง	60
4.5	รายงานผลต้นทุนโลจิสติกส์	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม 37

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์ 38

3.3 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม 54

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์ 55

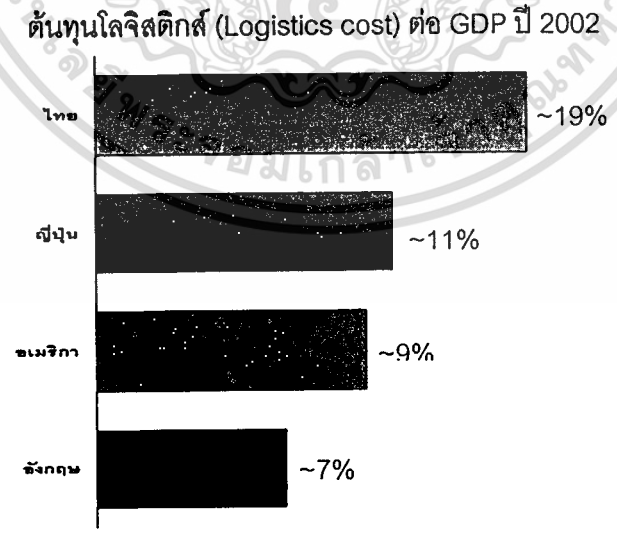
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

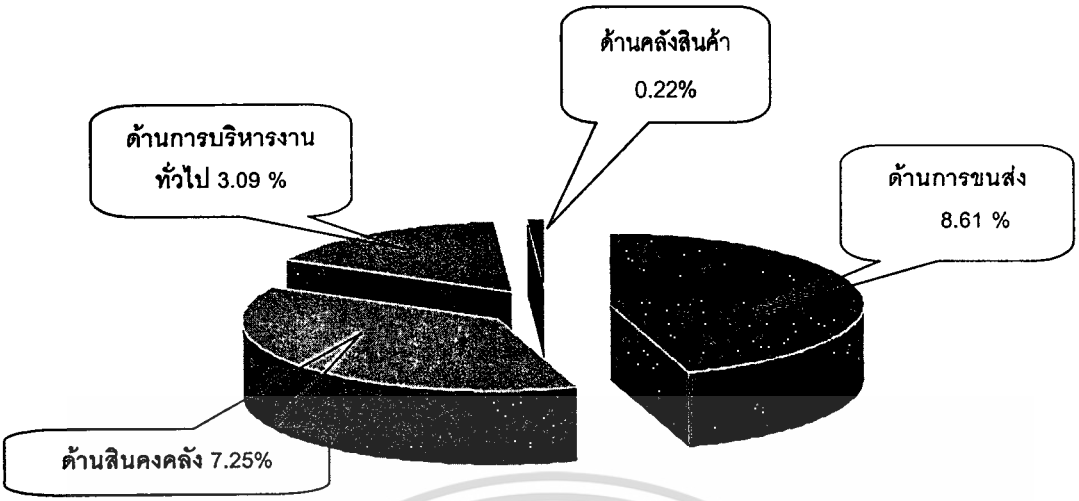
ธุรกิจในปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดค่อนข้างสูง ทั้งยังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ธุรกิจที่จะอยู่รอดได้จึงต้องมีการปรับกลยุทธ์และวิธีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า การแข่งขันเชิงธุรกิจในอดีตอาศัยการผลิตสินค้าจำนวนมาก ๆ เพื่อให้ต้นทุนของสินค้าหรือบริการต่ำลง เมื่อดำเนินธุรกิจมาถึงจุดหนึ่งก็ไม่สามารถลดต้นทุนได้อีก ประกอบกับการแข่งขันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกขณะ ทำให้ธุรกิจไม่สามารถคงอยู่ได้ สภาวะปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจไม่ได้มุ่งเน้นการลดต้นทุนสินค้าและการดำเนินการเพียงอย่างเดียว แต่มุ่งเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้าเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด

โลจิสติกส์ (Logistics) คือการจัดลำเลียงสินค้าเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในภาระกระจายสินค้าต่ำที่สุด เริ่มตั้งแต่กระบวนการจัดหาวัตถุดิบจนไปสิ้นสุด ณ จุดที่มีการบริโภคสินค้านั้น ต้นทุนโลจิสติกส์ (Logistics Cost) ของประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึงเกือบร้อยละ 20 ของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Products - GDP) คิดเป็นมูลค่า 1.5 ล้านล้านบาทของการผลิตสินค้าและบริการทั้งหมดของประเทศซึ่งมีมูลค่า 6 ล้านล้านบาท ซึ่งเมื่อเทียบกับประเทศญี่ปุ่นหรือประเทศอเมริกา มีเพียง 7% - 11% เท่านั้น ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ค่า GDP ของประเทศ ไทย ญี่ปุ่น อเมริกา อังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์

จากรูปที่ 1.2 ต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่งร้อยละ 8.61 ต้นทุนสินค้าคงคลังร้อยละ 7.25 ต้นทุนด้านการบริหารงานทั่วไปร้อยละ 3.09 ต้นทุนด้านการจัดการคลังสินค้าร้อยละ 0.22 จะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์ในประเทศไทยมีมูลค่าสูงกว่าประเทศญี่ปุ่นหรืออเมริกา ดังนั้นต้นทุนโลจิสติกส์ จึงถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินธุรกิจ

เนื่องจากการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้การวางแผนการดำเนินงานในธุรกิจเป็นไปด้วยความลำบาก ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์จึงเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในการจัดการแผนงานทางธุรกิจ เพื่อช่วยประมาณค่าและทิศทางที่เหมาะสมในการดำเนินธุรกิจ การสร้างแบบจำลองยังช่วยให้การดำเนินการและการตัดสินใจเป็นไปโดยเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการ ในส่วนของงานวิจัยนี้จะพิจารณาต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกี่ยวกับสินค้าคงคลังและในการขนส่ง โดยมุ่งเน้นในอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อการส่งออกระยะไกล งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตในสถานการณ์เฉพาะที่อาจเกิดขึ้นได้จริง โดยมุ่งเน้นระบบธุรกิจที่ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังและการขนส่งไปให้ถึงลูกค้า พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขการจัดส่งสินค้าจะดำเนินการได้เมื่อการผลิตเสร็จสมบูรณ์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในกระบวนการแก้ปัญหา นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังจะได้พัฒนาแบบจำลองเชิงการจำลอง (Simulation Models) เพื่อจำลองสถานการณ์การผลิตและการจัดส่งดังกล่าว เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนโลจิสติกส์ของการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การทำงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ให้ต้นทุนโลจิสติกส์ โดยรวมต่ำที่สุด

1.2.2 เพื่อหาจุดเวลาเหมาะสมในการเริ่มรอบการผลิตแต่ละครั้ง

1.2.3 เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตสินค้าในแต่ละครั้ง

1.2.4 เพื่อสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองสถานการณ์การผลิตและการขนส่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยได้กำหนดสมมติฐานของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งได้แนวคิดมาจากการผลิตอาหารสำเร็จรูปเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศดังต่อไปนี้

1.3.1 ผู้ผลิตดำเนินการผลิตและจัดส่งสินค้าชนิดเดียวไปยังลูกค้าที่ผู้ผลิตทราบความต้องการแน่นอนตลอดช่วงเวลา (ปี)

1.3.2 ช่วงเวลาในการขนส่งไม่น้อยกว่าช่วงเวลาการผลิต

1.3.3 อัตราการผลิตมีค่าคงที่

1.3.4 สินค้าจะถูกจัดส่งให้ลูกค้าได้ก็ต่อเมื่อการผลิตเสร็จสมบูรณ์ในแต่ละรอบการผลิตเท่านั้น

1.3.5 ผู้ผลิตไม่ยอมให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ

โดยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ จะสามารถคำนวณหาต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่เหมาะสมที่สุด โดยระบุปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละรอบการผลิตและเวลาเริ่มต้นของแต่ละรอบการผลิต นอกจากนี้งานวิจัยนี้จะได้พัฒนาแบบจำลองการจำลอง (Simulation Models) ที่จำลองสถานการณ์การผลิตและการขนส่งในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับสมมติฐานของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ทั้งนี้ในงานวิจัย ไม่นำข้อมูลจากอุตสาหกรรมจริงมานำเสนอ เนื่องจากอาจต้องใช้เวลาในการติดต่อประสานงานนานกว่าเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยได้พยายามยกตัวอย่างข้อมูลหลาย ๆ แบบที่อาจเป็นไปได้ เพื่อประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจแบบจำลอง โดยได้แสดงไว้ในบทที่เกี่ยวข้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการหาปริมาณการเหมาะสมที่สุด ที่ทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่ต่ำที่สุด ในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้เวลาในการขนส่งมากกว่าเวลาในการผลิต

1.4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จำลองสถานการณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้น และสามารถนำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และแบบจำลองเชิงการจำลองไปใช้ได้กับธุรกิจอุตสาหกรรมที่มีลักษณะตามสมมุติฐานของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

1.5.1 ค้นคว้าและศึกษาความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนโลจิสติกส์การจัดการสินค้าคงคลังและการจัดการการขนส่ง

1.5.2 ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ทางด้านการจัดการต้นทุนที่เกี่ยวข้องสินค้าคงคลังในสถานการณ์ต่าง ๆ

1.5.3 ศึกษาและสร้างข้อสมมุติที่สามารถเกิดขึ้นได้จริง

1.5.4 สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ตามข้อสมมุติและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้

1.5.5 สร้างแบบจำลองเชิงการจำลอง (Simulation Models) เพื่อจำลองสถานการณ์ดังกล่าว

1.5.6 สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ตารางและแผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	2548			2549								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.ค้นคว้าและศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับต้นทุนโลจิสติกส์ด้านการจัดการสินค้าคงคลังและการจัดการการขนส่ง	←	—	→									
2.ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง			←	—	→							
3.ศึกษาและสร้างข้อสมมุติที่สามารถเกิดขึ้นได้จริง					←	—	—	→				
4.สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และสร้างคอมพิวเตอร์จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์							←	—	—	→		
5.สร้างแบบจำลองเชิงการจำลอง (Simulation Models) เพื่อจำลองสถานการณ์ดังกล่าว									←	—	—	→
6.เขียนวิทยานิพนธ์										←	—	— →

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อจะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย โดยที่เนื้อหาหลักจะมุ่งประเด็นไปที่แบบจำลองพื้นฐานต่างๆที่มีข้อกำหนดต่างกัน แต่เป้าหมายของทุกๆแบบจำลองที่กล่าวถึงคือหาปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดน้อยที่สุด เพื่อนำมาปรับปรุงและใช้กับสถานการณ์จำลองจริงที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาอยู่ในขณะนี้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามเพื่อความเข้าใจในแบบจำลองมากขึ้น ผู้วิจัยขอเสนอความหมาย ความสำคัญของการจัดการสินค้าคงคลัง และต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับสินค้าคงคลัง [1, 4]

2.1 ความหมายของสินค้าคงคลังและความสำคัญของสินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลัง คือ วัตถุดิบ (Raw materials) สินค้าระหว่างทำ (Work in process) และสินค้าสำเร็จรูป (Finished goods) ที่หน่วยงาน บริษัท หรือโรงงานเก็บสะสมไว้จ่ายให้กับลูกค้าหรือผู้ใช้

แม้ว่าสินค้าคงคลังจะก่อให้เกิดต้นทุนกับกิจการ แต่การมีสินค้าคงคลังนั้นมีความจำเป็นมากในวงการธุรกิจที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1.1 เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ถ้าความต้องการ (Demand) สินค้าของลูกค้ามากกว่าปริมาณสินค้าคลังที่มีอยู่ บริษัทจะไม่มีสินค้าสนองความต้องการของลูกค้าได้ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลเสียโดยตรงคือบริษัทจะขาดกำไรที่ควรจะได้ ผลเสียทางอ้อมคือความเชื่อถือของลูกค้าที่มีต่อบริษัทจะลดลงและถ้าผลิตภัณฑ์ยังขาดอยู่เช่นนี้บ่อย ๆ ลูกค้าก็จะไปซื้อผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งแทน ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณสินค้าคงคลังมีมากกว่าความต้องการสินค้าของลูกค้า บริษัทหรือโรงงานจะต้องเสียเงิน เพื่อใช้ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ทางบริษัทหรือโรงงานจะต้องใช้เงินเป็นจำนวนมาก เงินจำนวนนี้รูปของเงินคงคลัง แทนที่จะมีโอกาสนำออกมาหาผลตอบแทนในทางอื่นในช่วงเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ยังอยู่ในรูปสินค้าคงคลัง

2.1.2 เพื่อป้องกันความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

สินค้าคงคลังช่วยป้องกันความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น ในบางครั้งผู้ผลิตอาจจะมีการสั่งซื้อวัตถุดิบเก็บไว้เนื่องจากคาดว่าราคาของวัตถุดิบในอนาคตจะสูงขึ้นหรือขาดแคลน หรือมีแนวโน้มว่าโรงงานของซัพพลายเออร์ (Supplier) จะมีการประท้วงหยุดงานของแรงงาน นอกจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บวัตถุดิบไว้ส่วนหนึ่งทำให้สามารถส่งป้อนกระบวนการผลิตได้ในเวลาที่ต้องการโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ และไม่ทำให้สายการผลิตต้องหยุดชะงัก

2.1.3 **ทำให้เกิดการประหยัดต้นทุน**

ในการสั่งซื้อสินค้า ไม่ว่าจะเป็นการสั่งซื้อวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตหรือการสั่งซื้อสินค้าสำเร็จรูปเพื่อนำมาจำหน่ายจะทำให้ผู้สั่งซื้อได้รับปริมาณส่วนลดตามปริมาณที่สั่งซื้อ นอกจากนั้น สินค้าบางประเภทมีความต้องการตามฤดูกาล แต่กิจการจำเป็นต้องมีระดับการผลิตที่สม่ำเสมอตลอดทั้งปีเนื่องจากต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นจากการมีระดับการผลิตที่สม่ำเสมอ จะต่ำกว่าระดับการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นสินค้าคงคลังจะช่วยทำให้เกิดการประหยัดต้นทุน อย่างไรก็ตามระดับการผลิตที่สม่ำเสมอตลอดปีจะทำให้กิจการมีสินค้าคงคลังสะสมไว้ในบางช่วง

2.2 ต้นทุนสินค้าคงคลัง

ต้นทุนสินค้าคงคลัง คือ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับสินค้าคงคลัง ซึ่งได้แก่

2.2.1 **ต้นทุนสินค้า** (Item Cost)

ในที่นี้เป็นต้นทุนของสินค้าที่เกิดจากการสั่งซื้อและการผลิตที่บริษัทหรือโรงงานได้ทำการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตขึ้นมา เช่น ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนส่วนประกอบต่าง ๆ ต้นทุนสินค้าสำเร็จรูป

2.2.2 **ต้นทุนในการสั่งซื้อและการเริ่มผลิต** (Ordering Cost and Setup Cost)

ต้นทุนส่วนนี้เกิดขึ้นเมื่อบริษัทหรือโรงงานสั่งซื้อและการผลิตในแต่ละครั้ง ต้นทุนในการสั่งซื้อประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมเอกสารในการออกคำสั่งซื้อ ค่าโทรศัพท์ ค่าโทรสาร การติดตามคำสั่งซื้อ ฯลฯ ส่วนต้นทุนในการเริ่มผลิตประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการออกคำสั่งผลิตและค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อเริ่มกระบวนการผลิต

2.2.3 ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้า (Holding Cost)

ต้นทุนส่วนนี้เกิดขึ้นเมื่อโรงงานหรือบริษัทสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าแล้ว ยังไม่ได้จำหน่ายออกไป จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษา โดยทั่วไปต้นทุนส่วนนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับคลังสินค้า (Warehouse) เช่น ค่าเสื่อมราคาคลังสินค้า ค่าสาธารณูปโภค ค่าจ้างบุคคลากร ค่าเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดเก็บ ค่าซ่อมบำรุง ค่าประกันภัยสินค้าและคลังสินค้า ค่าจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย ฯลฯ ในกรณีที่กิจการเช่าคลังสินค้าไว้เก็บสินค้าจะมีค่าเช่าคลังสินค้าส่วนหนึ่งเกิดขึ้น ส่วนกิจการที่ไม่ได้เก็บสินค้าไว้ในคลังสินค้าแต่เก็บไว้ในโรงงาน ถือว่าพื้นที่ของโรงงานที่เสียไปในการจัดเก็บสินค้าคงคลังเป็นต้นทุนส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 **ต้นทุนของเงินทุน** (Cost of Capital)

การเก็บรักษาสินค้าคงคลังไว้ในกิจการทำให้เกิดต้นทุนจม (Sunk cost) จากการที่กิจการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าขึ้นมาแล้ว แต่ยังไม่สามารถจำหน่ายต่อไปได้ การประมาณต้นทุนของเงินทุนอาจจะคิดจากอัตราดอกเบี้ยโดยถือว่ากิจการสูญเสียดอกเบี้ยจากการที่ไม่สามารถขายสินค้าและนำเงินไปฝากธนาคารได้

2.2.5 **ต้นทุนสินค้าเสื่อมสภาพ** (Cost of Obsolescence, Deterioration and Loss)

ต้นทุนสินค้าเสื่อมสภาพ หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการที่สินค้าคงคลังที่เก็บไว้เสื่อมสมัยหรือเสื่อมสภาพไปจนไม่สามารถนำมาขายได้ในสภาพปกติ จึงต้องมีการนำไปทิ้ง หรือนำไปผลิตใหม่ หรือนำไปขายลดราคา หรือนำไปขายเป็นสินค้าเกรดรองลงไป ซึ่งทั้งหมดนี้ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายกับกิจการทั้งสิ้น ในกรณีที่สินค้าคงคลังที่เก็บไว้เกิดการสูญหายถือว่าเป็นต้นทุนส่วนนี้

2.2.6 **ต้นทุนสินค้าขาดมือ** (Stock–out Cost)

ต้นทุนสินคาขาดมือหมายถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่กิจการเก็บสินค้าคงคลังไว้ไม่เพียงพอกับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้น หากลูกค้าไม่สามารถรอสินค้าจากการผลิตครั้งใหม่ได้ จะทำให้กิจการต้องเสียยอดขายไปซึ่งถือเป็นต้นทุนของสินค้าขาดมือ

2.3 แบบจำลองเพื่อการจัดการสินค้าคงคลัง

2.3.1 **แบบจำลองจำนวนการสั่งซื้อที่ประหยัด** (Economic Order Quatity, EOQ)

แบบจำลองนี้เป็นตัวแบบจำลองสินค้าคงคลังง่ายที่สุด โดยไม่ให้เกิดสินค้าขาดมือ เมื่อสั่งสินค้าแล้วสินค้าทั้งหมดจะมาถึงพร้อมกัน สินค้าที่สั่งในแต่ละครั้งเป็นสินค้าประเภทเดียว

กำหนดให้ Q – ปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อในแต่ละครั้ง

D – ความต้องการสินค้าต่อ 1 หน่วยเวลา

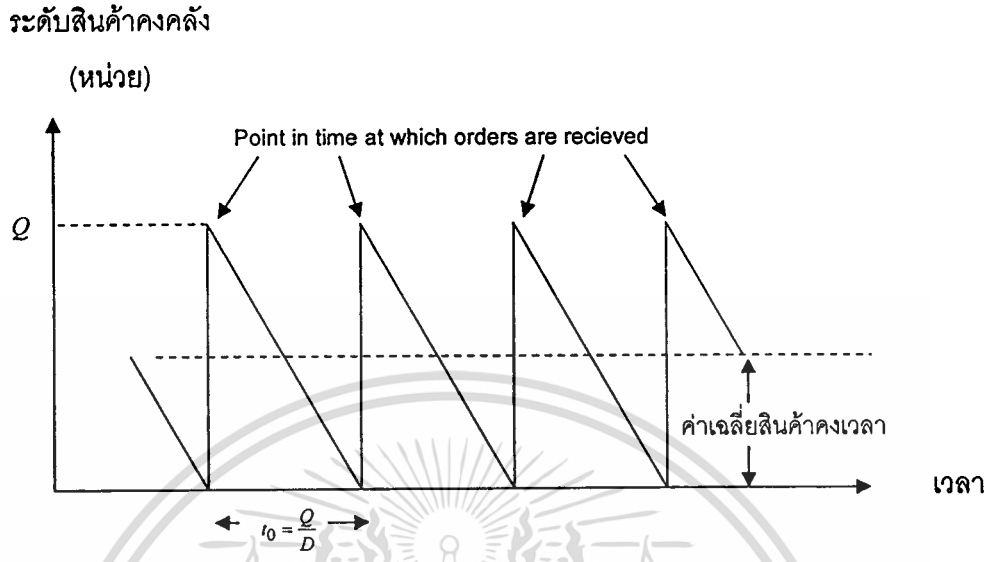
C_o – ค่าใช้จ่ายคงตัวที่เกิดขึ้นในการสั่งซื้อสินค้าแต่ละครั้ง

C_h – ค่าเก็บรักษาสินค้าคงคลัง 1 หน่วย/หน่วยเวลา

L – ช่วงเวลานำส่งสินค้า

ระดับสูงสุดของสินค้าคงคลังเกิดขึ้นเมื่อได้รับสินค้าทั้งหมดที่สั่งซื้อจำนวน Q หน่วยและระดับสินค้าคงคลังเข้าสู่ศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป $\frac{Q}{D}$ หลังจากได้รับสินค้า

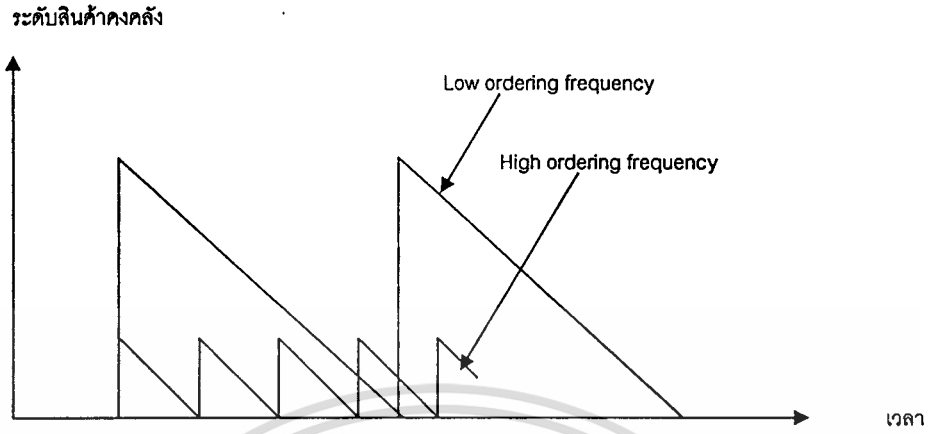
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ระดับสินค้าเมื่อสั่งซื้อสินค้า

จากรูปที่ 2.1 ช่วงเวลาแต่ละรอบของสินค้าคงคลังคือ $t_o = \frac{Q}{D}$ และระดับสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยเท่ากับพื้นที่ภายใต้ระดับสินค้าคงคลังในช่วง 1 หน่วยเวลา $\frac{Q}{2}$ ในการสั่งซื้อสินค้าปริมาณ Q ถ้าค่า Q น้อย คือสั่งครั้งละน้อย ๆ จึงต้องทำการสั่งซื้อมากครั้ง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อมาก อย่างไรก็ตามจะมีระดับสินค้าคงคลังน้อยซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า Q มาก คือสั่งซื้อครั้งละมาก ๆ จึงไม่ต้องสั่งซื้อบ่อย ๆ แต่ปริมาณสินค้าคงคลังก็จะมากด้วยดังรูปที่ 2.2 เมื่อค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการสั่งซื้อและค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังมีความสัมพันธ์กันลักษณะนี้ จึงต้องหาปริมาณการสั่งซื้อ Q ที่เหมาะสม เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด (Economic Order Quatity, EOQ) ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายนี้จะสนใจเฉพาะค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยไม่รวมต้นทุนต่อหน่วยของสินค้า เพราะค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไม่ได้ขึ้นกับระดับสินค้าคงคลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระดับสินค้าคงคลังและจำนวนครั้งของการสั่งซื้อ

ให้ $TC(Q)$ แทนค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อ 1 หน่วยเวลา ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Q

$TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายคงตัว/หน่วยเวลา + ค่าเก็บรักษาสินค้าคงคลัง/หน่วย

เมื่อช่วงเวลาแต่ละรอบคือ $t_o = \frac{Q}{D}$ นั่นคือ ใน 1 หน่วยเวลาจำนวนครั้งที่ต้องสั่งซื้อสินค้า $\frac{D}{Q}$ ครั้ง จะได้

$$TC(Q) = C_o\left(\frac{D}{Q}\right) + C_h\left(\frac{Q}{2}\right) \tag{2.1}$$

หาค่า Q ที่เหมาะสมโดยการหาอนุพันธ์ของ TC เทียบกับ Q และให้อนุพันธ์ของ TC เทียบกับ Q เท่ากับศูนย์ ทั้งนี้สมมุติว่า Q เป็นตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variable) จะได้

$$\frac{d}{dQ}TC = \frac{-C_o D}{Q^2} + \frac{C_h}{2} = 0 \tag{2.2}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_o D}{C_h}} \tag{2.3}$$

ทดสอบว่า Q^* ว่าให้ $TC(Q)$ ต่ำสุดหรือไม่ โดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

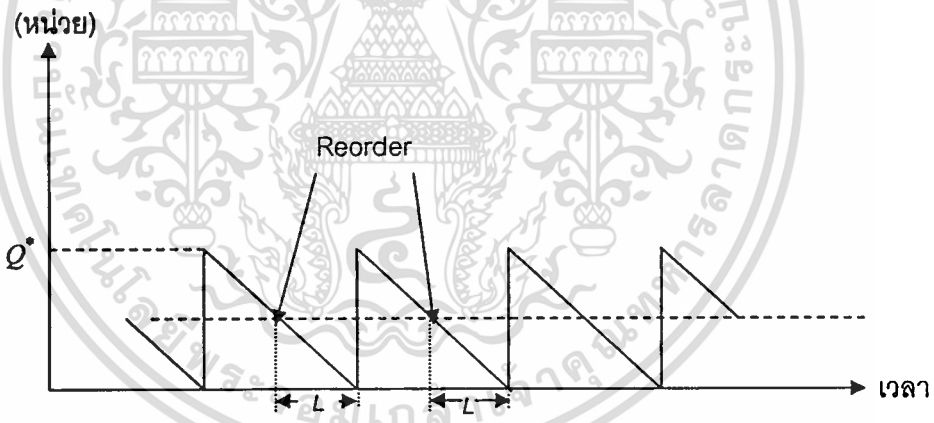
$$\frac{d^2}{dQ^2}TC = \frac{2C_oD}{Q^3} = \sqrt{\frac{C_h^3}{2C_oD}} \qquad (2.4)$$

เมื่ออนุพันธ์อันดับสองเป็นบวก แสดงว่าค่า Q^* ที่ได้ให้ $TC(Q^*)$ ต่ำสุด หรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อ Q^* จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งหาได้จากการแทน Q^* ในสมการที่ (2.1) นั่นคือแผนการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแบบนี้ คือ

สั่งซื้อปริมาณ $$Q^* = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_h}}$$

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด $$TC(Q^*) = \sqrt{2C_oDC_h} \qquad (2.5)$$

สำหรับสถานการณ์ของปัญหาสินค้าคงคลังส่วนใหญ่มักจะมีช่วงเวลาการนำส่งสินค้าคือ $L \neq 0$ ณ จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) จะเป็นจุดเวลาก่อนที่สินค้าจะถูกนำส่งในช่วงเวลา L ต่อมา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงจุดสั่งซื้อใหม่

การพิจารณาจุดสั่งซื้อใหม่ จำแนกได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 $L \leq t_0$ แสดงว่าต้องสั่งสินค้าขณะที่ระดับสินค้าเท่ากับ (L×ความต้องการสินค้าต่อวัน)

กรณีที่ 2 $L \geq t_0$ พิจารณาดังนี้ ถ้า $L = nt_0 + d$, n เป็นจำนวนเต็มบวกแสดงว่าจะต้องส่งของล่วงหน้า n รอบ โดยสั่งขณะที่ของในคลังสินค้าอยู่ที่ระดับ (d × ความต้องการสินค้าต่อวัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 **แบบจำลองปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดแบบมีส่วนลดตามปริมาณที่** (EOQ Model with Quatity Discounts)

ในแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นไม่ได้นำต้นทุนของสินค้ามาคิด เพราะไม่ว่าจะซื้อสินค้าจำนวนเท่าไร ต้นทุนสินค้าจะเท่ากับ ราคาสินค้าคูณด้วยจำนวนที่ซื้อ เพราะราคาต่อหน่วยคงที่ จึงไม่มีผลต่อระดับราคาสินค้าคงคลัง สำหรับหัวข้อนี้ราคาสินค้าขึ้นอยู่กับปริมาณสินค้าที่ซื้อ พิจารณาแบบจำลองสินค้าคงคลังในกรณีที่มีราคาส่วนลดตามปริมาณที่ซื้อ และเมื่อสั่งซื้อสินค้าแล้วจะได้สินค้าทั้งหมดในเวลาเดียวกันและไม่ยอมให้สินค้าขาดมือ

สมมติให้ ต้นทุนต่อหน่วยเป็น C_1 เมื่อ $Q < q$

และ ต้นทุนต่อหน่วยเป็น C_2 เมื่อ $Q \geq q$

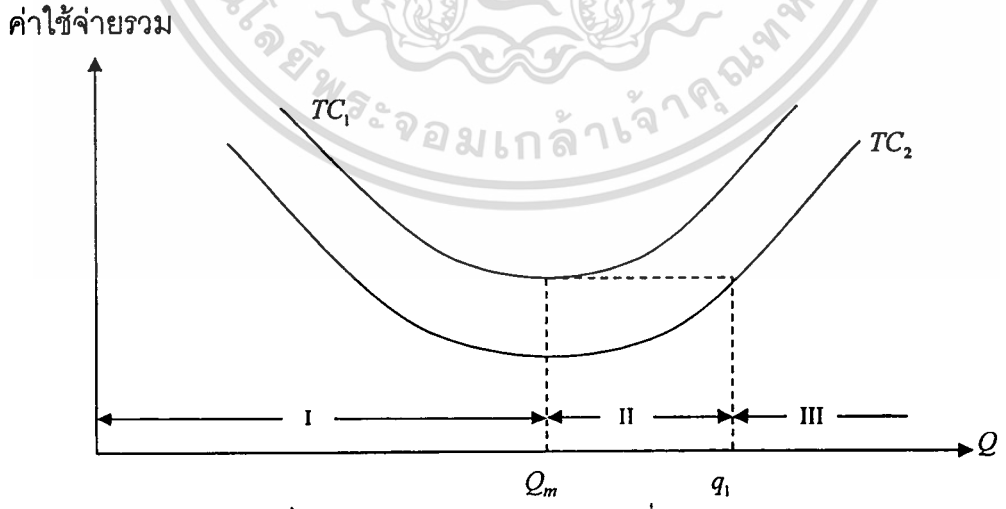
โดยที่ $C_1 > C_2$ และ q เป็นปริมาณที่เริ่มคิดราคาส่วนลด

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในแต่ละรอบประกอบด้วยค่าใช้จ่ายคงที่ในการซื้อ (Setup Cost) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและราคาสินค้าแต่ละชิ้น ดังนั้น ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อหน่วยเวลาเมื่อ $Q < q$ คือ

$$TC_1(Q) = C_1 D + C_o\left(\frac{D}{Q}\right) + C_h\left(\frac{Q}{2}\right) \tag{2.6}$$

สำหรับ $Q \geq q$ ค่าใช้จ่ายคือ

$$TC_2(Q) = C_2 D + C_o\left(\frac{D}{Q}\right) + C_h\left(\frac{Q}{2}\right) \tag{2.7}$$



รูปที่ 2.4 กราฟของฟังก์ชันในสมการที่ (2.6) และ (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าไม่คิดถึงราคาส่วนลดชั่วขณะ และให้ Q_m แทนปริมาณที่จะทำให้ TC_1 และ TC_2 น้อยที่สุดแล้ว

จะได้ $$Q_m = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_h}}$$

ฟังก์ชัน TC_1 และ TC_2 ในรูปแสดงให้เห็นว่าในการสั่งซื้อสินค้าจำนวนที่เหมาะสม Q^* ขึ้นอยู่กับ q ซึ่งเป็นปริมาณที่เริ่มคิดราคาส่วนลดและตกอยู่ใน 3 ช่วงคือ I, II, III แต่ละช่วงกำหนดจาก $q_1 > Q_m$

$$TC_1(Q_m) = TC_2(q_1) \tag{2.8}$$

เมื่อ $Q_m = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_h}}$ แก้สมการ (2.8) จะได้ค่า q_1

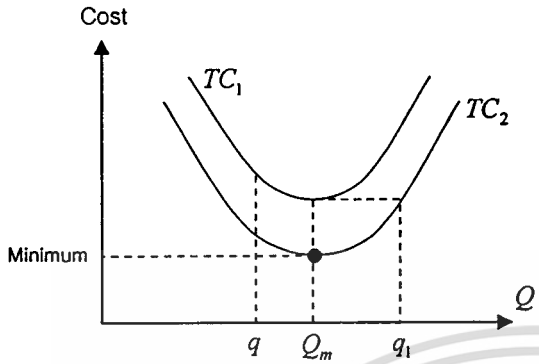
ในกรณีนี้แบ่งช่วงได้ดังนี้

ช่วงที่ I : $0 \le q \le Q_m$

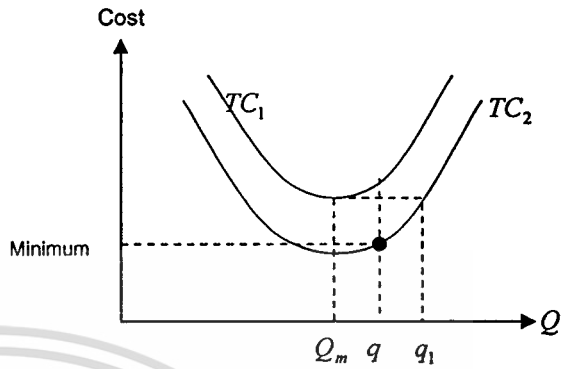
ช่วงที่ II : $Q_m \le q \le q_1$

ช่วงที่ III : $q \le q_1$

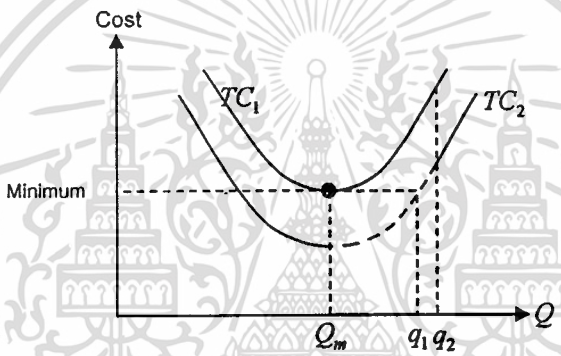
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Case 1: q falls in zone I, $Q^* = Q_m$



Case 2: q falls in zone II, $Q^* = q$



Case 3: q falls in zone III,

รูปที่ 2.5 คำตอบเหมาะสม Q^* ของแต่ละกรณี

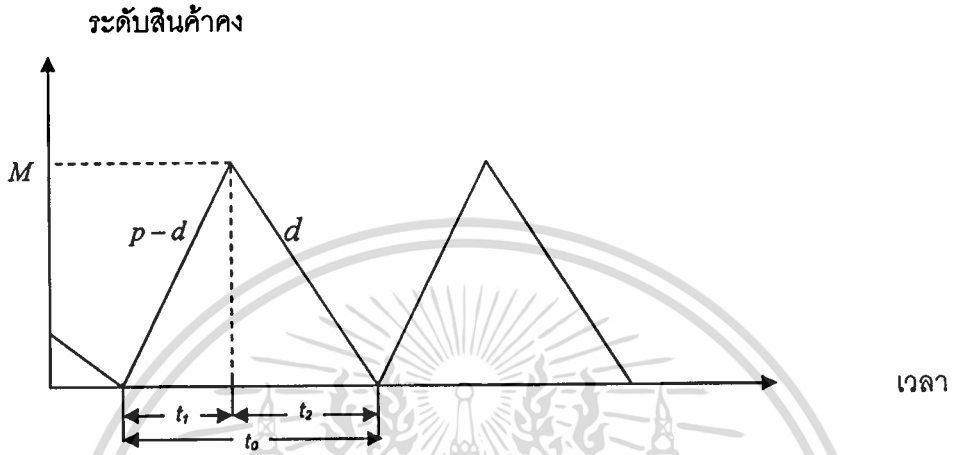
คำตอบที่เหมะสม Q^* จะขึ้นอยู่กับว่า จะตกอยู่ในช่วง I, II, III ดังนี้

$$\begin{cases} Q^* = Q_m & \text{ถ้า } 0 \le q \le Q_m & \text{(ช่วงที่ I)} \\ Q^* = q & \text{ถ้า } Q_m \le q \le q_1 & \text{(ช่วงที่ II)} \\ Q^* = Q_m & \text{ถ้า } q \le q_1 & \text{(ช่วงที่ III)} \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แบบจำลองจำนวนการผลิตที่ประหยัด (Economic Production Lot Size)

แบบจำลองนี้จะสมมติว่าบริษัทผลิตสินค้าในอัตราคงที่คือผลิตจำนวน p หน่วยต่อหน่วยเวลา ความต้องการสินค้าคงที่อัตรา d หน่วยต่อหน่วยเวลา โดยที่ $p > d$ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ระดับสินค้าคงคลังกับเวลาในแบบจำลองการผลิต

ในช่วง t_1 ผลิตสินค้าในอัตรา p หน่วยต่อหน่วยเวลา และอัตราความต้องการ d หน่วยต่อหน่วยเวลา ดังนั้นระดับสินค้าคงคลังจะเพิ่มขึ้นในอัตรา $p-d$ หลังจากหยุดผลิตความต้องการยังคงอยู่ในอัตรา d หน่วยต่อหน่วยเวลา ซึ่งทำให้ระดับสินค้าลดลงในอัตรา d สำหรับช่วงเวลา t_2 รอบของสินค้าคงคลังทั้งหมดแทนด้วย $t_0 = t_1 + t_2 = \frac{Q}{D}$

กำหนดให้ M - ระดับสินค้าคงคลังที่มากที่สุด

Q - จำนวนสินค้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีจะผลิตในแต่ละรอบ

C_o - ค่าใช้จ่ายคงต้นที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นผลิตสินค้า

C_h - ค่าเก็บรักษาสินค้าคงคลัง 1 หน่วย/หน่วยเวลา

จากรูปที่ 2.6 จะได้ $Q = pt_1 \rightarrow t_1 = \frac{Q}{p}$

$$M = (p-d)t_1 = (p-d)\frac{Q}{p} = Q\left(1-\frac{d}{p}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $$M = Q\left(1-\frac{D}{P}\right)$$

จำนวนสินค้าคงคลังในแต่ละรอบโดยเฉลี่ย $$=\frac{M}{2}=Q\left(1-\frac{D}{P}\right)$$

ใน 1 หน่วยเวลาจำนวนรอบที่ต้องทำการผลิต $$=\frac{D}{Q}$$

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าใช้จ่ายคงตัว/หน่วยเวลา+ ค่าเก็บสินค้าคงคลัง/หน่วยเวลา

$$TC(Q)=C_o\frac{D}{Q}+C_h\frac{Q}{2}\left(1-\frac{D}{P}\right) \tag{2.9}$$

หาค่า Q ที่ทำให้ $TC(Q)$ น้อยที่สุด ดังนี้

$$\frac{d}{dQ}TC(Q)\Big|_{Q^*}=\frac{-C_oD}{Q^2}+\frac{C_2}{2}\left(1-\frac{D}{P}\right)\Big|_{Q^*}=0 \tag{2.10}$$

$$Q^2=\frac{2C_oD}{C_h\left(1-\frac{D}{P}\right)}$$

$$Q^*=\sqrt{\frac{2C_oD}{C_h\left(1-\frac{D}{P}\right)}}=\sqrt{\left(\frac{2DC_o}{C_h}\right)\left(\frac{P}{P-D}\right)} \tag{2.11}$$

ช่วงเวลาแต่ละรอบของสินค้าคงคลัง, $$t_o=\frac{Q^*}{D}=\sqrt{\frac{2C_o}{DC_h\left(1-\frac{D}{P}\right)}}$$

ช่วงเวลาที่ทำการผลิต, $$t=\frac{Q}{P}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด

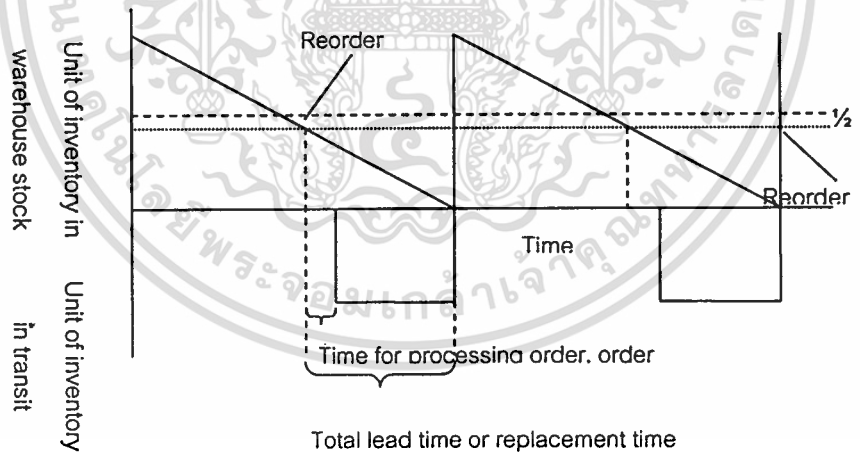
$$TC(Q^*) = \sqrt{2C_o DC_h(1-\frac{D}{P})} \qquad (2.12)$$

เมื่อทดสอบค่า Q^* จะได้ว่า $\frac{d^2TC(Q)}{dQ^2} > 0$

ดังนั้นจึงได้ว่า Q^* ที่ได้ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดมีค่าต่ำที่สุด

2.3.4 แบบจำลอง EOQ ที่พิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระหว่างขนส่ง

ในการขนส่งสินค้า ระยะเวลาในการขนส่งมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น โดยถ้าใช้ระยะเวลาในการขนส่งมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมาก เพราะค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาสินคงคลังซึ่งผู้ผลิตต้องรับผิดชอบมีค่ามาก จะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างขนส่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขณะที่มีสินค้าคงคลัง ทั้งที่จัดเก็บอยู่ในคลังสินค้า หรืออยู่ในระหว่างการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าขนส่งสินค้าซึ่งขึ้นกับปริมาณสินค้าและค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาซึ่งขึ้นกับระยะเวลาในการขนส่ง



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้าและสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง

จากรูปที่ 2.7 เมื่อเปรียบเทียบกราฟส่วนล่างและกราฟส่วนบนจะเห็นว่าระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ามีความแตกต่าง 2 ประการ สำหรับการหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม ประการที่หนึ่ง สินค้าคงคลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จะถูกส่งในระหว่าง 1 รอบการผลิต โดยระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าคงคลังน้อยกว่าระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าคงคลังจากรอบการผลิตก่อนหน้าเข้าสู่คลังสินค้า ประการที่สองสินค้าที่อยู่ในระหว่างการขนส่งจะไม่ถูกใช้หรือขาย ซึ่งต่างกับสินค้าที่อยู่ในคลังสินค้า ดังนั้น ค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในระหว่างการขนส่งจะต่างจากค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังขณะที่อยู่ในคลังสินค้า กำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

c_{h_1} – อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งบาทต่อหน่วย

C – มูลค่าต่อหน่วยของสินค้าคงคลัง

t – ระยะเวลาในแต่ละรอบการผลิต

t_l – ระยะเวลาในการขนส่งในแต่ละรอบการผลิต

M – ค่าเฉลี่ยจำนวนสินค้าคงคลังในระหว่างการขนส่ง

Q – ปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละรอบการดำเนินงาน

D – ความต้องการต่อปี

C_o – ค่าใช้จ่ายในการการสั่งซื้อ 1 ครั้งหรือค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

c_{h_2} – อัตราค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า

สามารถหาค่าเฉลี่ยจำนวนสินค้าคงคลังในระหว่างการขนส่ง M ได้ดังนี้ $M = \frac{t_l}{t}Q$

เมื่อ $t = \frac{360}{D/Q}$ ดังนั้น $M = \frac{t_l}{360}D$

สามารถเขียนสมการค่าใช้จ่ายสินค้าคงคลังทั้งหมด ในรูปใหม่ได้เป็น

$$TC = \frac{1}{2}Cc_{h_1}Q + C_o\frac{D}{Q} + \frac{t_l}{t}Qc_{h_2}C \qquad (2.13)$$

$$TC = \frac{1}{2}Cc_{h_2}Q + C_o\frac{D}{Q} + \frac{t_l}{360}Dc_{h_1}C \qquad (2.14)$$

67431

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 แบบจำลอง EOQ ที่พิจารณา อัตราค่าขนส่งต่อน้ำหนักสินค้า

เมื่อพิจารณาอัตราการขนส่งสินค้าคงคลังร่วมกับค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดจากปริมาณการขนส่งแต่ละครั้ง ผู้ส่งสินค้าอาจขนส่งสินค้าปริมาณน้อยหรือมากโดยใช้ยานพาหนะที่เหมาะสมกับปริมาณสินค้า นอกจากนั้นการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและค่าใช้จ่ายจากการสั่งซื้อช่วย ให้เกิดการตัดสินใจว่าทำอย่างไรค่าใช้จ่ายการขนส่งที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำลงวิธีการหนึ่งที่มีประโยชน์เพื่อหาค่าและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดของแบบจำลอง EOQ ที่ขึ้น กับอัตราปริมาณหรือขนาดการขนส่ง ในการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าต่อน้ำหนักสินค้า จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมโดย ถ้าค่าใช้จ่ายในขนส่งสินค้าต่อระดับสินค้าลดลงจะทำให้

- ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าเพิ่มขึ้น
- ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตลดลง
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลดลง
- ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งลดลง

ดังนั้นเราจึงสามารถปรับปรุงแบบจำลอง EOQ พื้นฐาน โดยพิจารณาอัตราค่าขนส่งต่อระดับสินค้า ดังนี้ กำหนดให้

$TC_b(Q)$ – ค่าใช้จ่ายรวมที่ EOQ พื้นฐาน

$TC_v(Q)$ – ค่าใช้จ่ายรวมอัตราค่าขนส่งต่อน้ำหนักสินค้าที่กำหนด

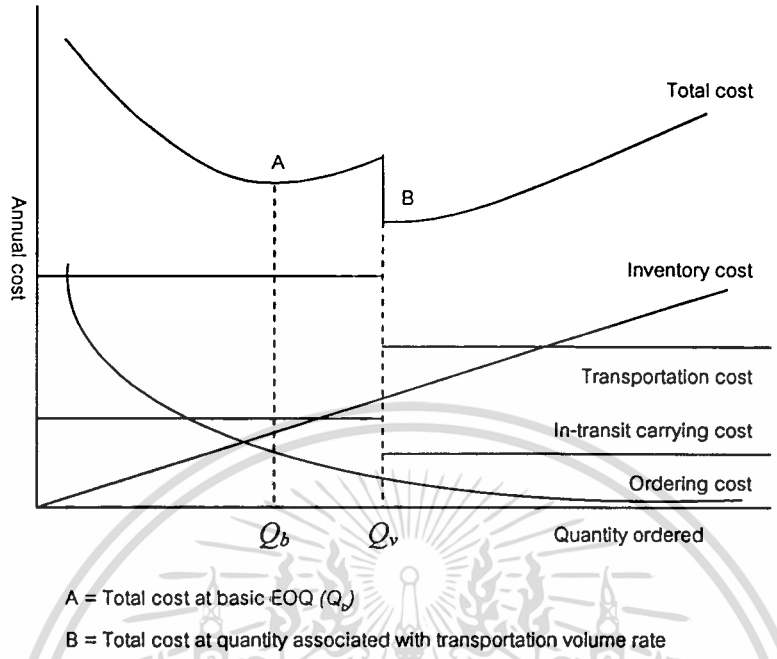
t_m – เวลาในการขนส่งสำหรับ EOQ พื้นฐาน

t_n – เวลาในการขนส่งสำหรับ EOQ ที่ปรับปรุงแล้ว

H – อัตราค่าขนส่งต่อน้ำหนักสินค้าที่ EOQ พื้นฐาน

L – อัตราค่าขนส่งต่อน้ำหนักสินค้าที่ EOQ ที่พิจารณาอัตราค่าขนส่งต่อน้ำหนักสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อ

สามารถหาค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดแต่ละปี ได้จากสมการ

$$TC_b(Q) = \frac{1}{2}Q_b C c_{h_2} + C_o\frac{D}{Q_b} + HD + \frac{t_m}{t}Q_b c_{h_1} C \qquad (2.15)$$

$$TC_v(Q) = \frac{1}{2}Q_v c_{h_2} C + C_o\frac{D}{Q_v} + LR + \frac{t_n}{t}Q_v c_{h_1} C \qquad (2.16)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนองานเกี่ยวกับแบบจำลองสินค้าคงคลังในกรณีที่สำหรับผู้ค้ารายเดียว จัดส่งสินค้าชนิดเดียวให้กับลูกค้ารายเดียว ตัวอย่างเช่น ในปี 2000 Goyal [5] ซึ่งพิจารณาแผนการผลิตสินค้าคงคลัง และการจัดการขนส่ง เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดทั้งผู้ค้าและลูกค้า โดยมีแนวคิดว่าทำการขนส่งรอบแรกน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ แล้วขนส่งรอบถัดไปจนถึงรอบสุดท้ายปริมาณเท่า ๆ กัน โดยไม่ยอมให้สินค้าขาดมือ เมื่อเปรียบเทียบกับ Lu (1995) [6] ที่ทำการจัดส่งทุกรอบเท่า ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน และ Hill (1997) [7] และ Goyal (1995) [8] ที่ทำการจัดส่งสินค้าแต่ละรอบเท่ากัน จะเห็นว่าเกิดค่าใช้จ่ายรวมมากกว่านโยบายของ Goyal (2000)

ในปี 2004 Hong Zhao และ Yang Wang, etc. al [9] ได้เสนอการปรับปรุงแบบจำลอง EOQ โดยพิจารณาปัญหาสำหรับการหาปริมาณการสั่งซื้อและความถี่ในการสั่งซื้อ ซึ่งคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและพิจารณาจำนวนและประเภทยานพาหนะในการขนส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยทำการสร้าง ขั้นตอนวิธี (Algorithm) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมในขั้นตอนที่จำกัด

ในปีปัจจุบัน Yong และ Sheng [10] ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับธุรกิจผู้ค้ารายเดียวจัดส่งสินค้าชนิดเดียวให้กับลูกค้ารายเดียว โดยพิจารณากรณีที่ยอมให้เกิดสภาวะขาดมือสำหรับลูกค้าและไม่ยอมให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังสำหรับลูกค้ามากกว่าค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังสำหรับผู้ค้า การขนส่งสินค้าในรอบแรกจะทำให้สินค้าในคลังสินค้าหมดพอดี แต่ในรอบสุดท้ายจะต้องไม่น้อยกว่าเวลาในการผลิตรอบแรก เพื่อหาปริมาณการผลิตและจำนวนการขนส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Matlab 5.3

Ertogral และ Darwish, etc.al [11] ได้เสนอแบบจำลองการผลิตและการขนส่งสำหรับผู้ค้ารายเดียวและลูกค้ารายเดียว โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นส่วนสำคัญ ซึ่งงานวิจัยบางชิ้นที่นำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ โดยนำมารวมกับค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตหรือค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ และคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งขึ้นอยู่กับปริมาณสินค้าที่ขนส่งโดยมีส่วนลดการขนส่งเมื่อปริมาณการขนส่งเพิ่มขึ้น จุดประสงค์ของแบบจำลองนี้คือ เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตและปริมาณการผลิตที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด

และในปี 2006 Hui Ming Wee และ Chun Jen Chung [12] ได้เสนอแบบจำลองการผลิตสินค้าคงคลังสำหรับผู้ค้ารายเดียว และผู้ซื้อรายเดียว โดยไม่ยอมให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ และทำการจัดส่งรอบละเท่า ๆ กัน n รอบ เพื่อต้องการหาปริมาณการผลิตที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยไม่ใช้วิธีการหาอนุพันธ์ในการแก้ปัญหาสมการหลายตัวแปร แต่ใช้วิธีทางพีชคณิตเพื่อแก้ปัญหานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้เวลาการจัดส่งไม่น้อยกว่าเวลาการผลิตสินค้าในแต่ละรอบการผลิต (Production Cycle) การหาค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำที่สุดเป็นผลสืบเนื่องมาจากการลดปริมาณสินค้าในคลังสินค้า และการลดเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าและเก็บสินค้าให้น้อยที่สุด ดังนั้นในแต่ละรอบการผลิต การหาเวลาเริ่มต้นการผลิต และปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าจึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่จะลดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในอุตสาหกรรมนั้น

งานวิจัยนี้ได้เสนอการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) เพื่อหาค่าเหมาะสมดังกล่าว นอกจากนี้ แบบจำลองเชิงการจำลอง (Simulation Models) จะได้รับการออกแบบ เพื่อจำลองสถานการณ์ การผลิตและการเก็บสินค้าคงคลัง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ที่มีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ และนำไปสู่การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสม โดยจะกำหนดให้อุตสาหกรรมการผลิตนี้ทราบปริมาณความต้องการของลูกค้าแน่นอนตลอดทั้งปีและไม่อนุญาตให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ ผู้ผลิตจะทำการผลิตสินค้าในแต่ละรอบเป็นจำนวนเท่ากับสินค้าคงคลังในคลังสินค้าตอนเริ่มต้น ทั้งนี้ตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

Q - ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน

D - อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วยต่อปี)

P - อัตราการผลิตต่อปี (หน่วยต่อปี)

p - อัตราการผลิตต่อวัน (หน่วยต่อวัน)

c_s - อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (บาทต่อรอบการผลิต)

c_{h_1} - อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า (บาทต่อหน่วยต่อปี)

c_{h_2} - อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง (บาทต่อหน่วยต่อปี)

c_T - อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาทต่อรอบการขนส่ง)

T_i - เวลาในการขนส่งแต่ละรอบ (วัน)

t_i - เวลาในการผลิตแต่ละรอบ (วัน)

T_i - เวลาในแต่ละรอบการดำเนินงาน (วัน)

$TC(Q)$ - ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนโดยรวม (บาท)

n - จำนวนรอบการดำเนินงานต่อปี (รอบต่อปี)

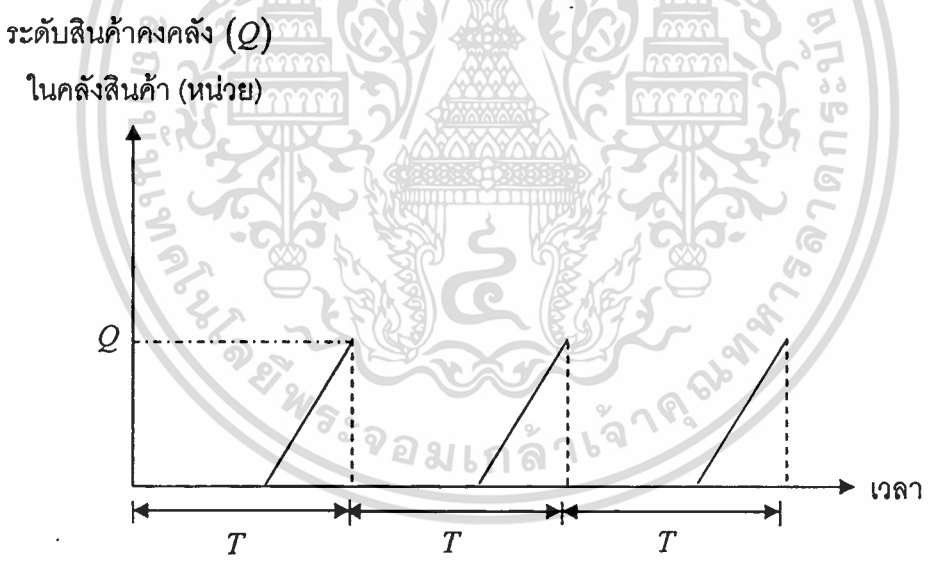
โดยกำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 360 วัน

โดยการวิจัยนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 เวลาในการผลิตเท่ากัน เวลาในการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน

ระยะเวลาในการขนส่งแต่ละครั้งเท่ากัน (ทำการส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว) โดยทราบความต้องการของลูกค้าแน่นอน และกำหนดให้เวลาในการขนส่ง (T) มากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต (t) ช่วงเวลา t คือ ช่วงเวลาในการผลิตสินค้าด้วยอัตราการผลิต P ต่อหน่วยเวลา หลังจากเสร็จสิ้นหนึ่งรอบการผลิต สินค้าทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าโดยใช้เวลานำส่ง (Lead Time) เท่ากับ T แล้วคำนวณหาจุดเริ่มต้นในการผลิต เมื่อจัดส่งสินค้าเสร็จแล้วจะมีสินค้าซึ่งเกิดจากการผลิตในรอบต่อไปอยู่ในคลังสินค้า พร้อมที่จะจัดส่งให้ลูกค้ารอบต่อไปได้ทันทีโดยไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงาน ทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการผลิตรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งเท่ากับเวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่ได้พอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในระหว่างขนส่งกับเวลา แสดงให้เห็นในรูปกราฟที่ 3.1 และ รูปกราฟที่ 3.2 ตามลำดับ

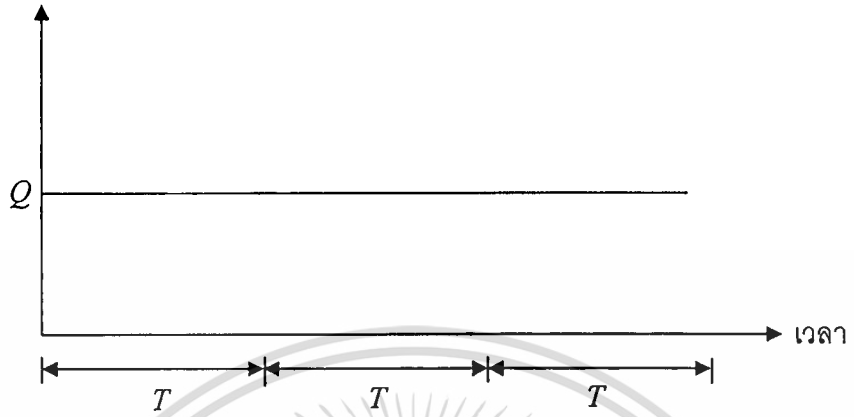


รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

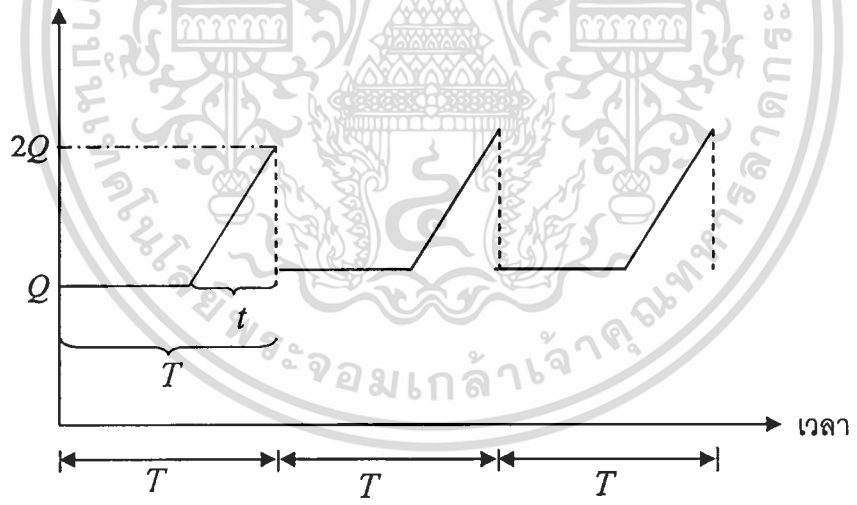
ในขณะขนส่ง (หน่วย)



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

(หน่วย)



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีบทที่ 3.1 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.1 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ทำให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (a) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (b)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (d)

จะเห็นว่า จำนวนครั้งของการผลิตต่อปี = $\dfrac{\text{อัตราความต้องการสินค้าต่อปี}}{\text{ปริมาณสินค้าที่ผลิตใน 1 รอบ}} = \dfrac{D}{Q}$

และ จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี = จำนวนครั้งของการผลิต = $\dfrac{D}{Q}$

จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี = จำนวนรอบการดำเนินงาน = n

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต = จำนวนครั้งของการผลิต x อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

$$= \frac{D}{Q}\cdot C_s \qquad \text{(a)}$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง = จำนวนครั้งของการขนส่ง x อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

$$= \frac{D}{Q}\cdot C_T \qquad \text{(b)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิต/ปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)

$$Q = Pt$$

ดังนั้นจึงได้เวลาในการผลิตแต่ละรอบ

$$t = \frac{Q}{P}$$

ในทำนองเดียวกันเวลาในแต่ละรอบการดำเนินงาน

$$T = \frac{Q}{D}$$

จากกราฟในรูปที่ 3.1 จะได้ว่า

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{\left(\frac{0+Q}{2}\right)t}{T} = \frac{\frac{1}{2}Qt}{T}$$

และเมื่อแทนค่า t และ T จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{1}{2}Q \cdot \frac{Q}{P} \cdot \frac{D}{Q} = \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}$$

ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า $= \frac{1}{2}Q\frac{D}{P} \cdot C_{h_1}$ (c)

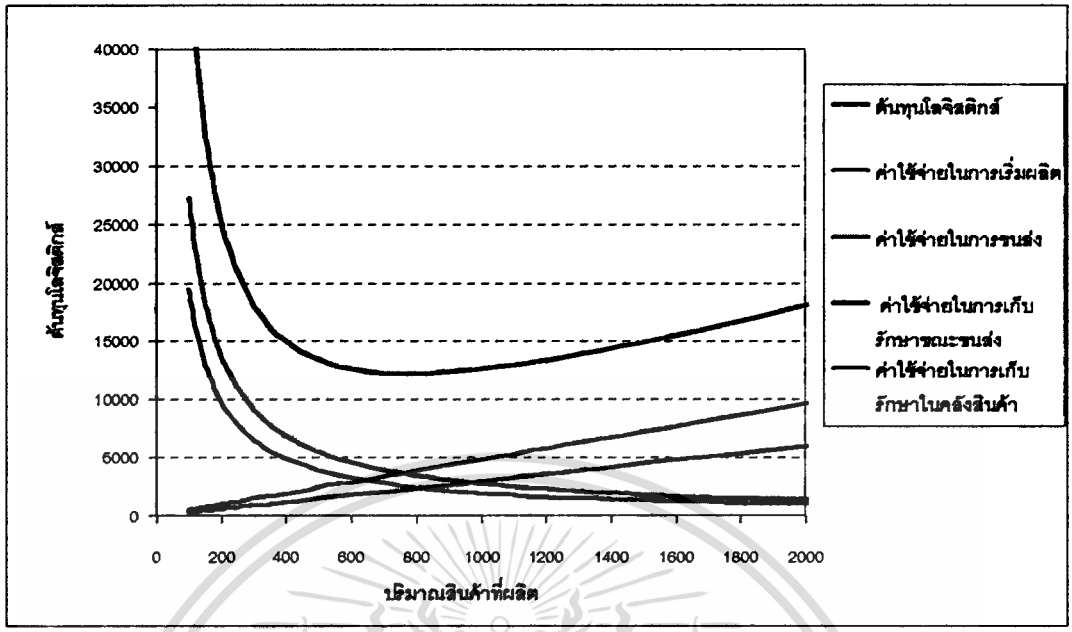
จากกราฟในรูปที่ 3.2 จะพบว่า ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง $= Q$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง $= QC_{h_2}$ (d)

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับต้นทุนโลจิสติกส์

ปริมาณสินค้าที่จะผลิตระดับที่เหมาะสม (Q^*) ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุดจะได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3.1) เทียบกับ Q และกำหนดให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = -(c_s + c_T)\frac{D}{Q^{*2}} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1} + c_{h_2} = 0$$

$$\therefore\ c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}c_{h_1} = (c_s + c_T)\frac{D}{Q^{*2}}$$

ดังนั้น

$$Q^{*2} = \frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\frac{D}{P}c_{h_1}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}} \qquad \square$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 5 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 7 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 3,600 หน่วยต่อปี

จากทฤษฎีบท 3.1 ปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

จะได้

$$Q^* = \sqrt{\frac{(500+250)\cdot 3{,}000}{7+(\frac{1}{2}\cdot\frac{3{,}000}{3{,}600}\cdot 5)}}$$

ดังนั้น Q^* = 497.70 หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน

จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q^*} \approx$ 6 รอบต่อปี

เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q^*}{P} \approx$ 55 วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q^*}{D} \approx$ 59 วัน

ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 4, 63, 122, 181, 240, 299 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,013.86 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,506.9 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 1,036.88 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,483.9 บาท

ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$TC(497.70) = (500+250)\cdot\frac{3,000}{(497.70)} + \frac{1}{2}\cdot(497.70)\cdot\frac{3,000}{3,600}\cdot 5 + (497.70\cdot 7)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวมรวม $TC(Q^*)$ =9,041.57 บาท

เพื่อทำการวิเคราะห์ความไวของปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมว่ามีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์รวมจึงทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมคือถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 500$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} = 6$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} = 50$ วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q}{D} = 60$ วัน ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 10, 70, 130, 190, 250, 310 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,000 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,500 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 1,041.67 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,500 บาท

จะเห็นว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม คือ

$$TC\left(Q^*\right) = \left(c_s + c_T\right)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

จะได้

$$TC(500) = (500+250)\cdot\frac{3,000}{(500)} + \frac{1}{2}\cdot(500)\cdot\frac{3,000}{3,600}\cdot 5 + (500\cdot 7)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q)$ =9,041.67 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน ถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 400$ หน่วย ต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} \approx 7$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} = 40$ วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q}{D} \approx 48$ วัน ดังนั้น จึงได้ว่า จุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 8, 56, 104, 152, 200, 248, 296 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,750 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,875 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 833.33 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,800 บาท

จาก ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC\left(Q^*\right) = \left(c_s + c_T\right)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

จะได้

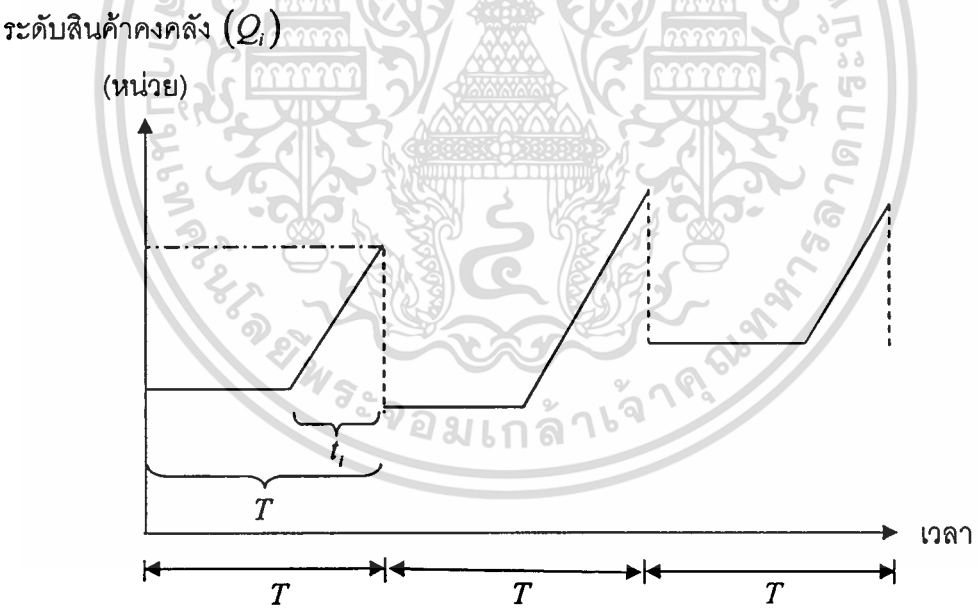
$$TC(400) = (500 + 250)\cdot\frac{3,000}{(400)} + \frac{1}{2}\cdot(400)\cdot\frac{3,000}{3,600}\cdot 5 + (400\cdot 7)$$

จะทำให้ได้ ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q)$ = 9,258.33 บาท ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตสินค้าที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดเป็นไปตามทฤษฎีบทที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

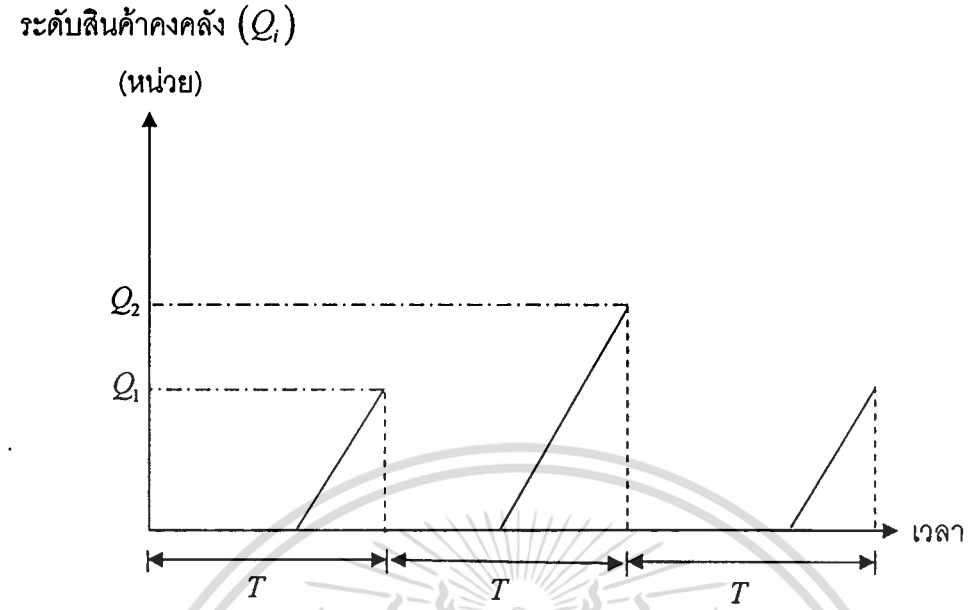
3.2 เวลาในการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน เวลาการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน

มีการผลิตสินค้าตามความต้องการ โดยทราบความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปี (D) และเวลาในการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าในแต่ละรอบเท่ากัน (T) (ทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว) แต่ปริมาณสินค้าในแต่ละรอบไม่เท่ากัน (Q_i) เนื่องจากเวลาในการผลิตแต่ละรอบไม่เท่ากัน (t_i) โดยที่ อัตราการผลิต (P) คงที่ โดยกำหนดให้เวลาในการขนส่งมากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต $(T \geq t_i)$ หลังจากผลิตสินค้าเสร็จทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าทันที โดยระยะเวลานำส่ง (Lead Time) ในแต่ละรอบเท่ากัน (T) จำนวน n รอบ ในขณะที่ขนส่งจะต้องการหาจุดเริ่มต้นในการผลิต ทำให้เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้วยังมีสินค้าในคลังสินค้า เพื่อที่จะส่งของให้ลูกค้ารอบต่อไปได้เลย โดยที่ไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงานและทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการผลิตรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งและทำให้เวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่เสร็จพอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ดังรูป 3.5

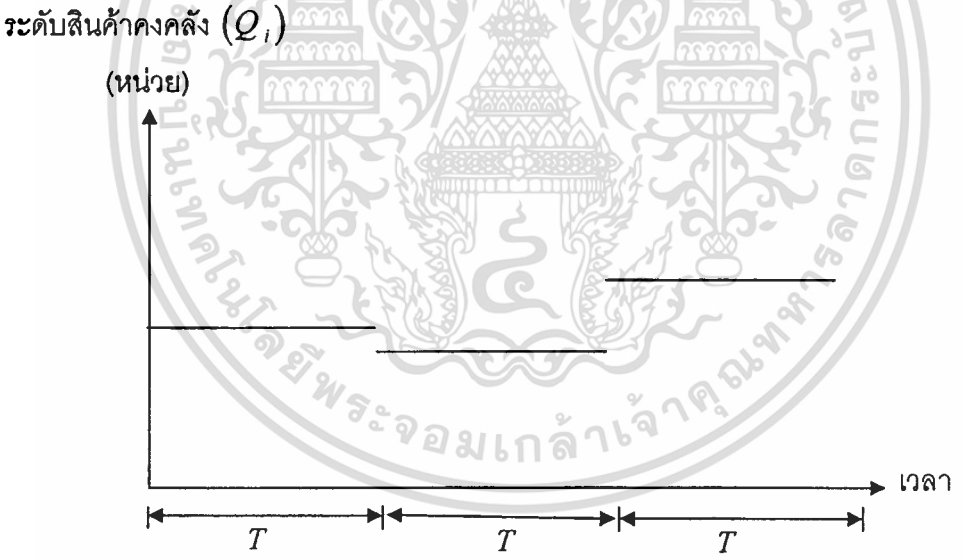


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีบท 3.2 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.2 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาเหมาะสมที่สุด (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize}\left(TC(Q_1,Q_2,...,Q_n)=n(c_s+c_T)+\frac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n}Q_i^2c_{h_1}+T\sum_{i=1}^{n}Q_ic_{h_2}\right)$$

เงื่อนไขบังคับคือ $Q_1+Q_2+...+Q_n=D$

และ $0<Q_i\le PT$ สำหรับ $i=1,...,n$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (e) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (f)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(g)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าขณะที่มีสินค้าในขณะขนส่ง(h)

จำนวนรอบการดำเนินงาน = จำนวนครั้งการผลิต = จำนวนครั้งการขนส่ง $=n$, เวลาในการดำเนินงานต่อ 1 ปี เท่ากับ nT

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต = จำนวนครั้งของการผลิต x อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

$$= n\cdot C_s \qquad \text{(e)}$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง = จำนวนครั้งของการขนส่ง x อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

$$= n\cdot C_T \qquad \text{(f)}$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิต/ปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี) จะเห็นดังนี้

$$Q_i = Pt_i \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะเห็นว่าเวลาในการผลิตในแต่ละรอบ

$$t_i = \frac{Q_i}{P} \tag{3.3}$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \dfrac{\frac{1}{2}Q_1t_1 + \frac{1}{2}Q_2t_2 + \ldots + \frac{1}{2}Q_nt_n}{nT}$ (3.4)

แทนสมการที่ 3.3 ในสมการที่ 3.4 จะได้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \dfrac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n} Q_i^2$

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าเท่ากับจำนวนสินค้าคงคลังในคลังสินค้าเฉลี่ยคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อหน่วยต่อปี

ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า $= \dfrac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n} Q_i^2 \cdot C_{h_1}$ (g)

จากรูป 3.7 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา จะพบว่าค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งสามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี} &= \frac{Q_1T + Q_2T + \ldots + Q_nT}{n} \\ &= \frac{nT\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n} \\ &= \sum_{i=1}^{n} Q_iT \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งเท่ากับจำนวนสินค้าคงคลังในขณะขนส่งเฉลี่ยคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อหน่วยต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะได้ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง $= \left(\sum_{i=1}^{n} Q_i T\right) \cdot C_{h_2}$ (h)

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (e) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (f)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า (g)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง (h)

$$TC(Q_i) = n\left(c_s + c_T\right) + \frac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n} Q_i^2 c_{h_1} + T\sum_{i=1}^{n} Q_i c_{h_2} \tag{3.5}$$

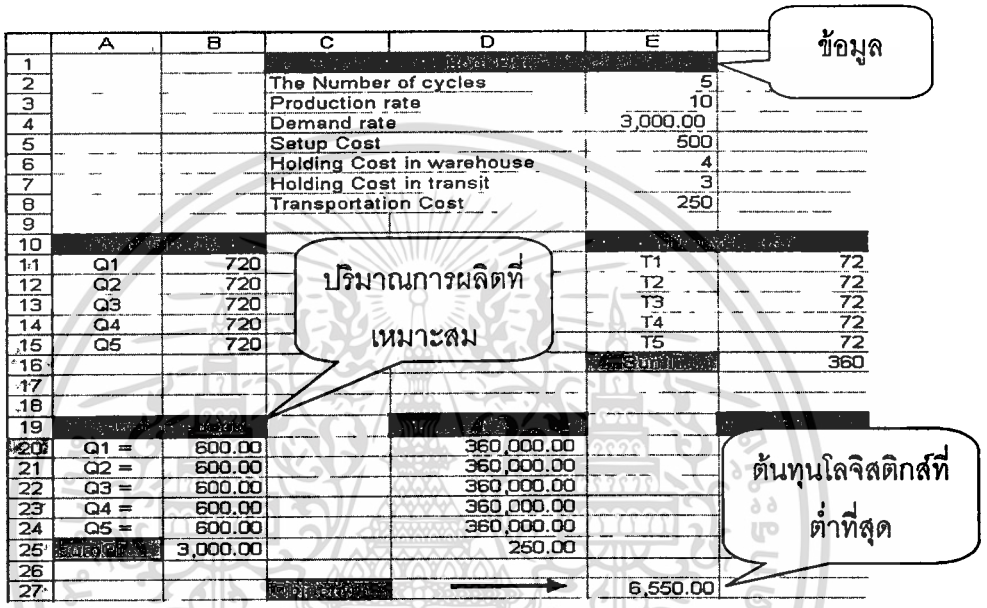
เงื่อนไขบังคับ : $Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = D$ และ $0 < Q_i \le PT$ สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$

เนื่องจากจำนวนรอบการดำเนินงาน n และเวลาการขนส่งในแต่ละรอบ T จึงจะสามารถหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละรอบ Q_i ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดได้ โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Problem) ทั้งในแบบเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) □

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

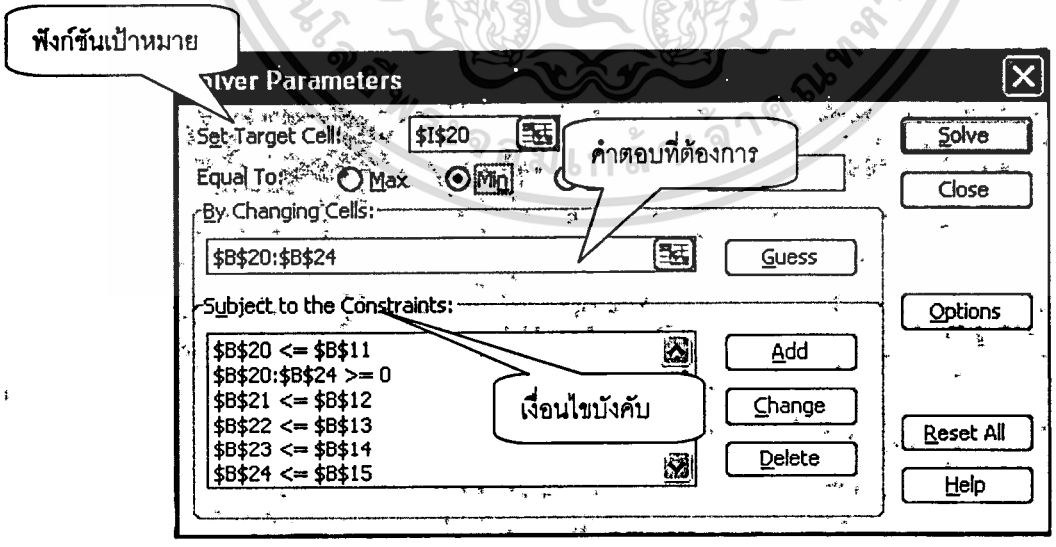
ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 3,600 หน่วยต่อปี, จำนวนรอบการดำเนินงาน n = 5



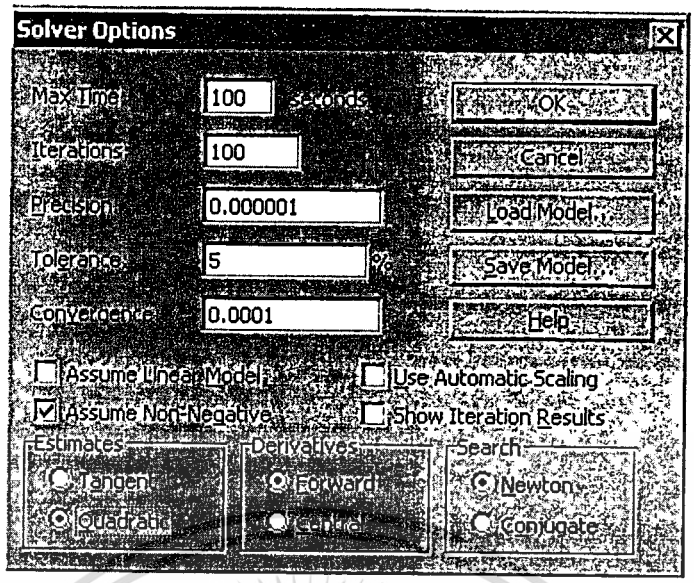
	A	B	C	D	E
1					
2			The Number of cycles		5
3			Production rate		10
4			Demand rate		3,000.00
5			Setup Cost		500
6			Holding Cost in warehouse		4
7			Holding Cost in transit		3
8			Transportation Cost		250
9					
10					
11	Q1	720			T1 72
12	Q2	720			T2 72
13	Q3	720			T3 72
14	Q4	720			T4 72
15	Q5	720			T5 72
16					Sum 360
17					
18					
19					
20	Q1 =	600.00		360,000.00	
21	Q2 =	600.00		360,000.00	
22	Q3 =	600.00		360,000.00	
23	Q4 =	600.00		360,000.00	
24	Q5 =	600.00		360,000.00	
25		3,000.00		250.00	
26					
27					6,550.00

รูปที่ 3.8 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel ในการหาคำตอบ



รูปที่ 3.9 การป้อนแบบจำลองตามทฤษฎีบทที่ 3.2 ลงใน Excel Solver

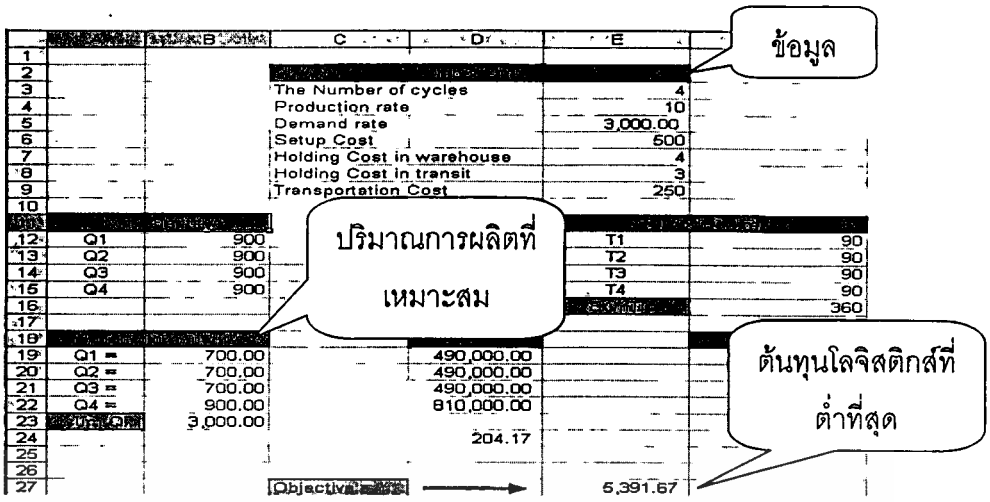
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear)

จากรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel จากตัวอย่างดังรูปที่ 3.8 จะเห็นว่า ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สุด คือ 600 หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน โดยที่จำนวนรอบการดำเนินงาน คือ 5 รอบ, อัตราความต้องการ คือ 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิต คือ 3,600 หน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต 500 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในคลังสินค้า 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในขณะขนส่ง 5 บาทต่อหน่วยต่อปีและค่าใช้จ่ายในการในการขนส่ง 250 บาทต่อรอบการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด 6,550 บาท โดยที่เวลาในแต่ละรอบเท่ากัน คือ 72 วัน ดังนั้นสำหรับกรณีที่เวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตที่จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดคือปริมาณการผลิตที่เท่ากัน แต่บางกรณีที่ไม่สามารถผลิตสินค้าในปริมาณที่เท่ากันได้ ก็จะทำการผลิตสินค้าทีละเท่า ๆ กัน จนกระทั่งรอบสุดท้ายจะผลิตในปริมาณที่เหลือดังตัวอย่างดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในรอบที่ 1 คือ 700 หน่วย, รอบที่ 2และรอบที่ 3 คือ 700 หน่วย และปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในรอบที่ 4 คือ 900 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel ในการหาคำตอบ

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม

D=2,000				D=3,000				D=5,000	
p =10		p =15		p =10		p =15		p =15	
n	TC	n	TC	n	TC	n	TC	n	TC
10	8,346.15	10	8,264.10	10	8,953.85	10	8,769.23	10	10,233.33
9	7,663.58	9	7,581.28	9	8,305.56	9	8,120.37	9	9,033.33
5	5,394.44	5	5,246.30	5	6,550.00	5	6,216.67	5	8,601.85
4	4,049.07	4	3,539.66	4	5,391.67	4	4,573.61	4	7,382.25
3	4,990.74	3	4,743.83	3	6,916.67	3	6,361.11	3	10,336.42
2	5,611.11	2	5,240.74	2	8,500.00	2	7,666.67	2	13,659.26

จากตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม ซึ่งจะเห็นว่า จำนวนรอบการดำเนินงานที่น้อยลงทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงจนถึงจุดหนึ่งต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะกลับเพิ่มขึ้นอีก จากตัวอย่าง จะเห็นว่า อัตราความต้องการ D คือ 2,000 หน่วยต่อปี และอัตราการผลิต p คือ 10 หน่วยต่อวัน และเวลาในการดำเนินงานใน 1 ปี 360 วัน ซึ่งทำให้เมื่อจำนวนรอบการดำเนินงานเพิ่มขึ้นต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.1 เมื่อ n =10 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,346.15 บาท และเมื่อ n = 9 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,663.58 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงมาจนกระทั่ง n =4 ที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 4,049.07 บาท แต่เมื่อ n =3 ต้นทุนโลจิสติกส์จะผันกลับสูงขึ้นเป็น 4,990.74 บาทและมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราการผลิต p คือ จาก 10 เป็น 15 หน่วยต่อวัน จะเห็นว่า n =10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,264.10 บาท และเมื่อ n=9 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,581.28 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงมาจนกระทั่ง n=4 จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 3,539.31 บาท แต่เมื่อ n=3 ต้นทุนโลจิสติกส์จะกลับสูงขึ้นเป็น 4,743.83 บาท และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเมื่อรอบการดำเนินงานมาก ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตสินค้าและค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากขึ้น ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ดังตารางที่ 3.2

ในกรณีที่อัตราความต้องการ D เปลี่ยนไป เช่น D = 3,000 หน่วยต่อปี หรือ D = 5,000 หน่วยต่อปี ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม จะยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกับกรณีที่ D = 2,000 หน่วยต่อปี แต่ต้นทุนโลจิสติกส์เพิ่มขึ้น สังเกตุว่าในกรณีที่ D = 5,000 หน่วยต่อปี ตารางที่ 3.1 ไม่ได้แสดงค่าของต้นทุนโลจิสติกส์รวม เมื่อ p= 10 หน่วยต่อวัน ไว้เนื่องจาก อัตราการผลิตต่อปี คือ P= 3,600 หน่วยต่อปี ซึ่งน้อยกว่า อัตราความต้องการ D=5,000 หน่วยต่อปี ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานของแบบจำลองที่ต้องได้ว่า $P \geq D$

ณ ระดับความต้องการที่คงที่เช่น D= 3,000 หน่วยต่อปี และ n= 10 เมื่อเพิ่มอัตราการผลิตเช่นจาก p= 10 หน่วยต่อวัน เป็น p= 15 หน่วยต่อวัน ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงจาก 8,953.85 บาท เป็น 8,769.23 บาท ดังนั้น ณ อัตราความต้องการที่คงที่ ถ้าอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลง ในทางตรงกันข้าม ณ อัตราการผลิตคงที่ เช่น p= 15 และ n=10 เมื่ออัตราความต้องการเพิ่มขึ้นจาก D=2,000 หน่วยต่อปี ไปเป็น 3,000 และ 5,000 หน่วยต่อปี จะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มจาก 8,346.15 บาท ไปเป็น 8,953.85 บาท และ 10,233.33 บาท ตามลำดับ ดังนั้นอัตราความต้องการที่มากขึ้นจะส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูงขึ้น

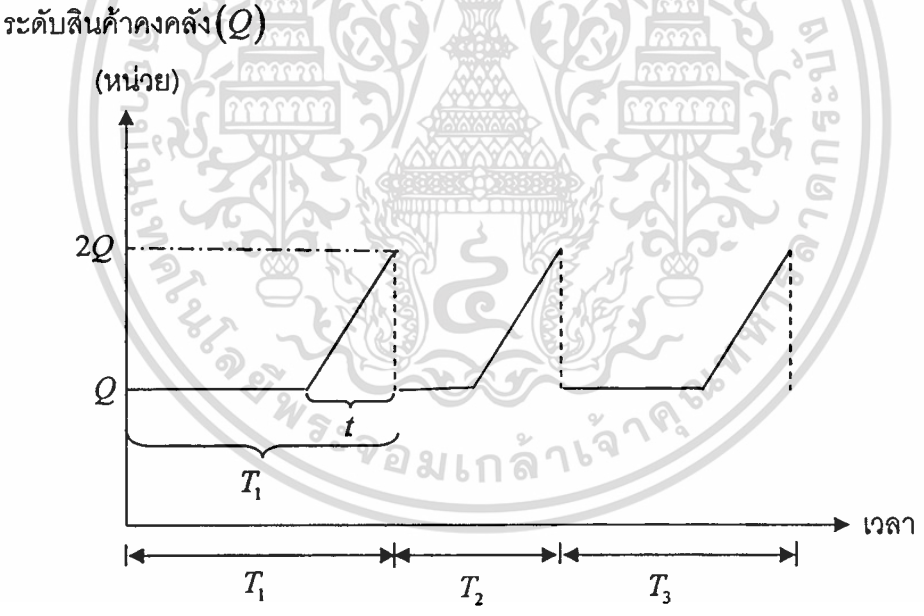
ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์

n	ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต	ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า	ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง	ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง	ต้นทุนโลจิสติกส์รวม
10	5,000.00	246.15	600.00	2,500.00	8,346.15
9	4,500.00	246.91	666.66	2,250.00	7,663.57
5	2,500.00	444.44	1,200.00	1,250.00	5,394.44
4	2,000.00	674.08	1,500.00	1,000.00	5,174.08
3	1,500.00	740.76	2,000.01	750.00	4,990.77
2	1,000.00	1,111.12	3,000.00	500.00	5,611.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

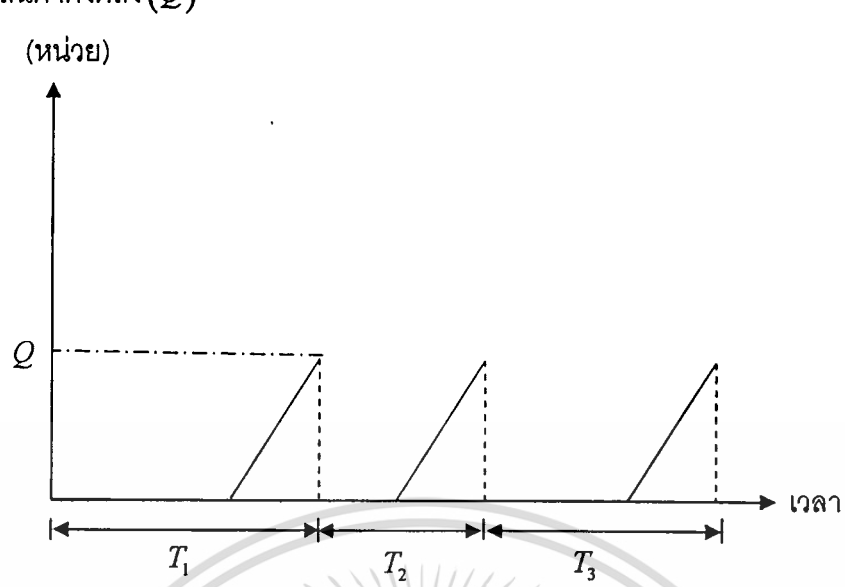
3.3 เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากัน เวลาในแต่ละรอบการดำเนินงานไม่เท่ากัน

ระยะเวลาในการขนส่งแต่ละครั้งไม่เท่ากัน (ทำการส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง) โดยทราบความต้องการของลูกค้าแน่นอน และกำหนดให้เวลาในการขนส่ง (T_i) มากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต (t) ช่วงเวลา t คือ ช่วงเวลาในการผลิตสินค้าด้วยอัตราการผลิต P ต่อหน่วยเวลา หลังจากเสร็จสิ้นหนึ่งรอบการผลิต สินค้าทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าโดยใช้เวลานำส่ง (Lead Time) เท่ากับ T_i แล้วคำนวณหาจุดเริ่มต้นในการผลิต เมื่อจัดส่งสินค้าเสร็จแล้วจะมีสินค้าซึ่งเกิดจากการผลิตในรอบต่อไปอยู่ในคลังสินค้า พร้อมที่จะจัดส่งให้ลูกค้ารอบต่อไปได้ทันทีโดยไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงาน ทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการจัดส่งรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งเท่ากับเวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่ได้พอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลาและความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในระหว่างขนส่งกับเวลา ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

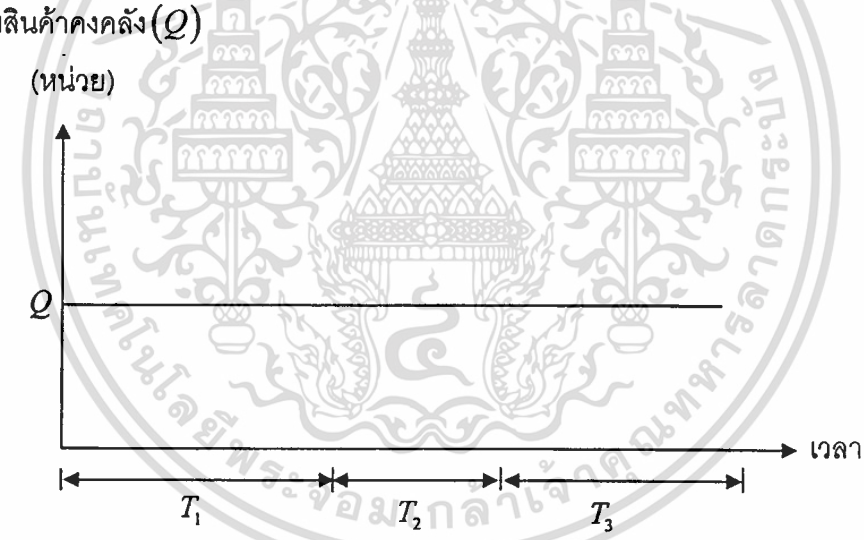


รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีบทที่ 3.3 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.3 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (j) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (k)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(l)
+ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (m)

และ จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี = จำนวนครั้งของการผลิต = $\frac{D}{Q}$

จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี = จำนวนรอบการดำเนินงาน = n

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต = จำนวนครั้งของการผลิต x อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

$$= \frac{D}{Q}\cdot C_s \qquad \text{(j)}$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง = จำนวนครั้งของการขนส่ง x อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

$$= \frac{D}{Q}\cdot C_T \qquad \text{(k)}$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิตปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)

$$Q = Pt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงได้เวลาในการผลิตแต่ละรอบ

$$t = \frac{Q}{P} \tag{3.6}$$

จากรูปที่ 3.13 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้า จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าได้ดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \dfrac{\left(\frac{0+Q}{2}\right)t + \left(\frac{0+Q}{2}\right)t + \ldots + \left(\frac{0+Q}{2}\right)t}{\sum_{i=1}^{n} T_i}$

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \dfrac{\frac{n}{2}Qt}{\sum_{i=1}^{n} T_i}$ (3.7)

แทนสมการที่ 3.6 ในสมการที่ 3.7 จะได้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \dfrac{D}{P} \cdot \dfrac{Q}{2}$

ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า $= \dfrac{1}{2} Q \dfrac{D}{P} \cdot C_{h_1}$ (m)

จากรูปที่ 3.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลาได้ดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี $= \dfrac{QT_1 + QT_2 + \ldots + QT_n}{\sum_{i=1}^{n} T_i}$

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี $= \dfrac{Q\sum_{i=1}^{n} T_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} = Q$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง $= QC_{h_2}$ (d)

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต +ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าขณะที่มีสินค้าในขณะขนส่ง

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2} \tag{3.8}$$

ปริมาณสินค้าที่จะผลิตระดับที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุดจะได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3.8) เทียบกับ Q และกำหนดให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = -(c_s + c_T)\frac{D}{Q^2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1} + c_{h_2} = 0$$

$$\therefore\ c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{p}c_{h_1} = (c_s + c_T)\frac{D}{Q^{*2}}$$

ดังนั้น

$$Q^{*2} = \frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\frac{D}{P}c_{h_1}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}} \qquad \square$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 300 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 5,000 หน่วยต่อปี

จากทฤษฎีบท 3.3 ปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

จะได้

$$Q^* = \sqrt{\frac{(500+300)\cdot 3{,}000}{4+(\frac{1}{2}\cdot\frac{3{,}000}{5{,}000}\cdot 3)}}$$

ดังนั้น Q^* = 699.85 หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน

จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q^*} \approx 4$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q^*}{P} \approx 50$ วัน

จากสมมุติฐานเวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน ดังนี้ 85, 80, 95, 105 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 35, 115, 210, 265 ตามลำดับ

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 2,143.32 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,285.98 บาท

จากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 629.87 บาท

และจากสมการ (m) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,799.4 บาท

ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

จะได้

$$TC(699.85) = (500+300)\cdot\frac{3{,}000}{(699.85)} + \frac{1}{2}\cdot(699.85)\cdot\frac{3{,}000}{5{,}000}\cdot 3 + (699.85\cdot 4)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวมรวม $TC(Q^*)$ =6,858.57 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำการวิเคราะห์ความไวของปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมว่ามีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์รวม จึงทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตสินค้าที่ผลิตคือ ถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 600$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} =$ 5 รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} \approx$ 43.2 วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน ดังนี้ 72, 80, 68, 75, 65 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 31, 109, 177, 252, 317 ตามลำดับ

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 2,500 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,500 บาท

จากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 540 บาท

และจากสมการ (m) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,400 บาท

จะเห็นว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม คือ

$$TC\left(Q^*\right) = \left(c_s + c_T\right)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

จะได้

$$TC(500) = (500+300)\cdot\frac{3{,}000}{(600)} + \frac{1}{2}\cdot(600)\cdot\frac{3{,}000}{5{,}000}\cdot 3 + (600\cdot 4)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q)$ =6,940 บาท

ในทำนองเดียวกัน ถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม Q= 800 หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} \approx$ 3 รอบต่อปี

เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} \approx$ 57 วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน ดังนี้ 140, 100, 120 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต คือ วันที่ 83, 183, 303 ตามลำดับ

จากสมการ (i) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 1,875 บาท

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,125 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 720 บาท

และจากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,200 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC\left(Q^*\right) = \left(c_s + c_T\right)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

จะได้

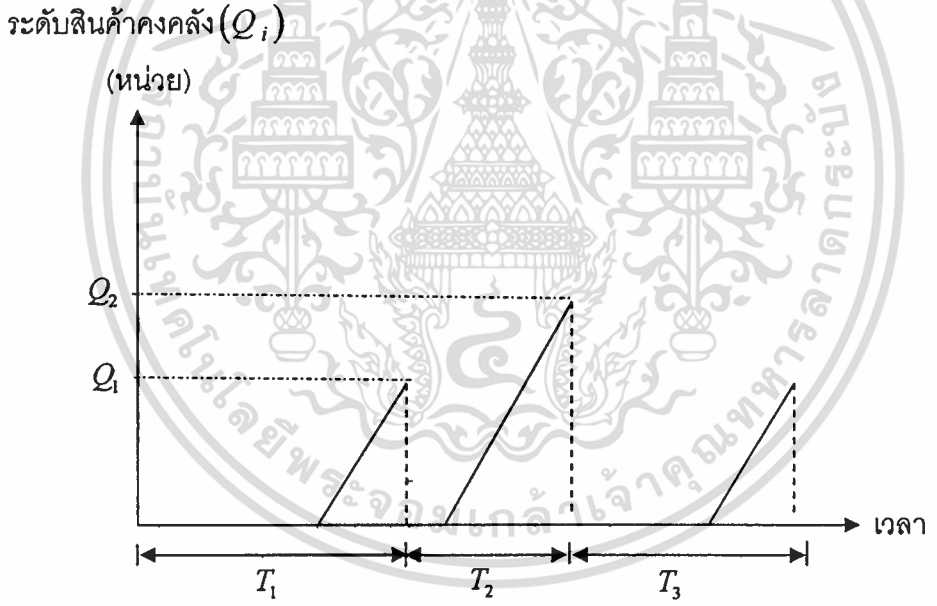
$$TC(800) = (500+300)\cdot\frac{3,000}{(800)} + \frac{1}{2}\cdot(800)\cdot\frac{3,000}{5,000}\cdot 3 + (800\cdot 4)$$

จะทำให้ได้ ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q)$ =6,920 บาท ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตสินค้าที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดเป็นไปตามทฤษฎีบทที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

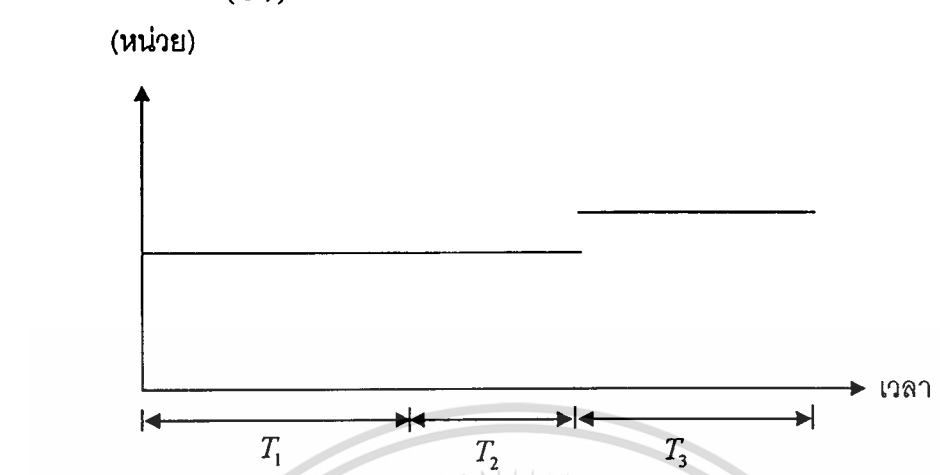
3.4 เวลาการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากันเวลา การดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน

ผลิตสินค้าตามความต้องการของลูกค้า โดยทราบความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปีและทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าในแต่ละที่ไม่เท่ากัน เวลาในการผลิต (t_i) และเวลาในการขนส่ง (T_i) ในแต่ละรอบไม่เท่ากัน ปริมาณการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณการผลิตขึ้นกับเวลาการผลิต (t_i) โดยที่ อัตราการผลิต (P) คงที่ โดยกำหนดให้เวลาในการขนส่งมากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต $(T_i \geq t_i)$ หลังจากผลิตสินค้าเสร็จทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้า โดยระยะเวลานำส่ง (Lead Time) ในแต่ละรอบไม่เท่ากัน (T_i) ในขณะที่ขนส่งจะต้องการหาจุดเริ่มต้นในการผลิตเพื่อทำให้เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้วยังมีสินค้าในคลังสินค้า เพื่อที่จะส่งของให้ลูกค้ารอบต่อไปได้เลยโดยที่ไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงานและทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าได้ทันตามกำหนด จากรูปที่ 3.15 จะเห็นระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา ซึ่งจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้า สามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

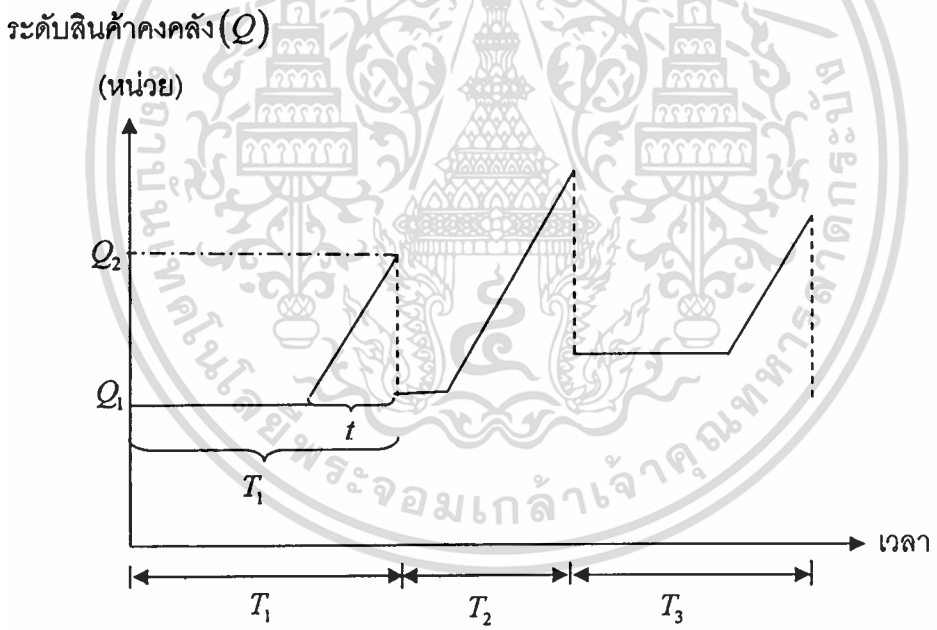


รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีบท 3.4 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.4 แล้วจะได้ว่า ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize } TC(Q_i) = n \cdot (C_s + C_T) + \frac{\cdot \sum_{i=1}^{n} Q_i^{\,2}}{2P} \cdot C_{h_1} + \sum_{i=1}^{n} Q_i T_i \cdot C_{h_2}$$

เงื่อนไขบังคับ $Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = D$

และ $0 < Q_i \leq PT$ สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (r) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (s)
+ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(t)
+ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (z)

จำนวนรอบการดำเนินงาน = จำนวนครั้งการผลิต = จำนวนครั้งการขนส่ง $= n$ เวลาในการดำเนินงานต่อ 1 ปี เท่ากับ $\sum_{i=1}^{n} T_i$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต = จำนวนครั้งของการผลิต x อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

$$= n \cdot c_s \qquad \text{(r)}$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง = จำนวนครั้งของการขนส่ง x อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

$$= n \cdot c_T \qquad \text{(s)}$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิต/ปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี) จะเห็นดังนี้

$$Q_i = Pt_i \qquad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะเห็นว่าเวลาในการผลิตในแต่ละรอบ

$$t_i = \frac{Q_i}{P} \tag{3.10}$$

และ อัตราความต้องการต่อปี $D = \sum_{i=1}^{n} Q_i$

จากรูป 3.15 ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้า $= \dfrac{\frac{1}{2}Q_1t_1 + \frac{1}{2}Q_2t_2 + \ldots.. + \frac{1}{2}Q_nt_n}{\sum_{i=1}^{n} T_i}$ (3.11)

แทนสมการ 3.10 ในสมการ 3.11 จะได้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี $= \frac{1}{2} \cdot \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i t_i)}{\sum_{i=1}^{n} T_i} = \dfrac{1}{2P} \cdot \dfrac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{\sum_{i=1}^{n} T_i}$ (3.12)

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{2P}$$

และจะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี คูณกับจำนวนสินค้าในคลังสินค้าโดยเฉลี่ยต่อปี ดังนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{2P} \cdot c_{h_1}$$

จากรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลัง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี $= \dfrac{\sum_{i=1}^{n} Q_i T_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} = \sum_{i=1}^{n} Q_i T_i$ (3.13)

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปีคูณกับจำนวนสินค้าในขณะขนส่งโดยเฉลี่ยต่อปี ดังนั้นจะได้แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i T_i \cdot c_{h_2}$$

จากรูปจะแสดงให้เห็นการดำเนินงานในการผลิตและการขนส่งตามสมมุติฐาน เพื่อที่จะหาปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ดังนั้นจะได้

$$\text{Minimization } TC(Q_i) = n \cdot (C_s + C_T) + \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i^2}{2P} \cdot C_{h_1} + \sum_{i=1}^{n} Q_i T_i \cdot C_{h_2}$$

โดยมีเงื่อนไขบังคับคือ $Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = D$

และ $Q_i = PT_i$ สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$ □

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

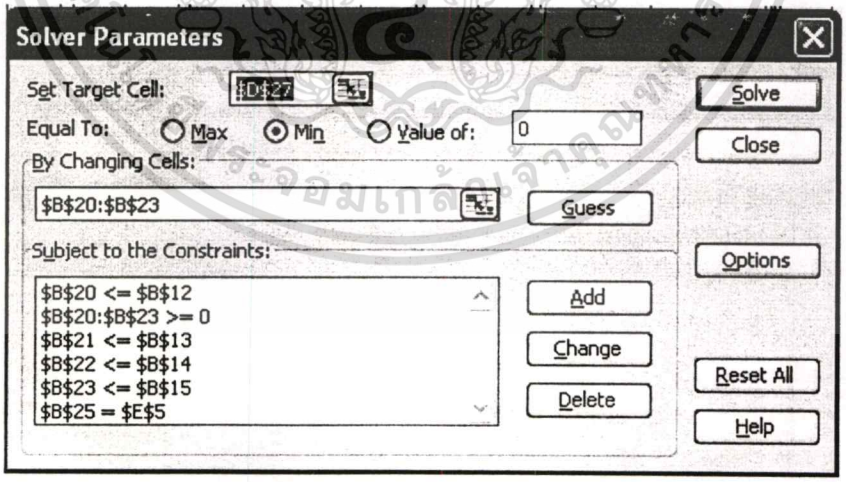
ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 5,400 หน่วยต่อปี, จำนวนรอบการดำเนินงาน n = 4

	A	B	C	D	E
1					
2			Input Data		
3			The number		4
4			Production rate		15
5			Demand rate		3,000.00
6			Setup Cost		500
7			Holding Cost in warehouse		4
8			Holding Cost in transit		3
9			Transportation Cost		250
10					
11	Ma	dity			T
12	Q1	1,275.00			T1
13	Q2	1,425.00			T2
14	Q3	1,470.00			T3
15	Q4	1,230.00			T4
16					Sum Ti
17					
18					
19	Production quality			Q1 ?	
20	Q1 =	676.25		457,314.06	
21	Q2 =	563.75		317,814.08	
22	Q3 =	530.00		280,899.99	
23	Q4 =	1,230.00		1,512,900.00	
24					
25	sum Qi	3,000.00		97.78038202	
26					
27			Objective	4,749.27	

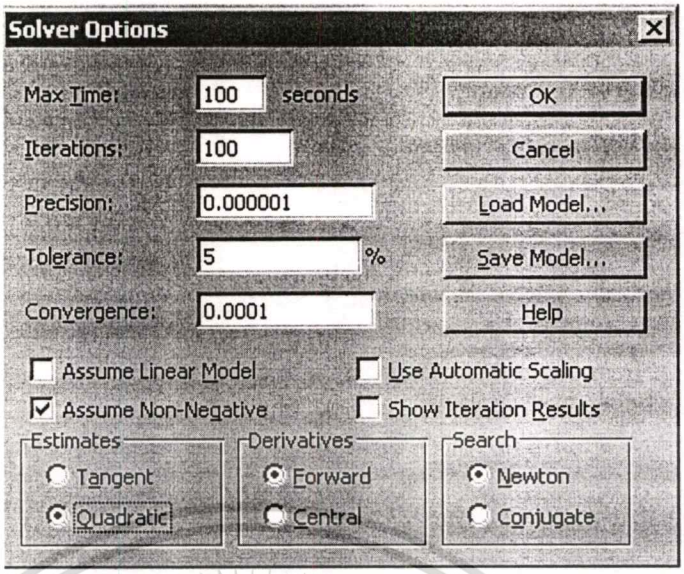
	T	Value
	T1	85
	T2	95
	T3	98
	T4	82
	Sum Ti	360

รูปที่ 3.18 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ในการหาคำตอบ



รูปที่ 3.19 ป้อนแบบจำลองตามทฤษฎีบทที่ 3.2 ลงใน Excel Solver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear)

จากรูปที่ 3.18, 3.19 และ 3.20 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรม Optimization ที่สามารถใช้ได้กับปัญหาเชิงเส้น (Linear) และปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear) จากตัวอย่างดังรูปที่ 3.18 โดยที่จำนวนรอบการดำเนินงาน คือ 4 รอบ, อัตราความต้องการ คือ 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิต คือ 5,400 หน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต 500 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในคลังสินค้า 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในขณะขนส่ง 3 บาทต่อหน่วยต่อปี และค่าใช้จ่ายในการในการขนส่ง 250 บาทต่อรอบการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด 6,150.10 บาท โดยที่เวลาในแต่ละรอบไม่เท่ากัน คือ 85,95,98,82 วัน ดังนั้น จะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 1 คือ 676.25 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 2 คือ 563.75 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 3 คือ 530.00 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 4 คือ 1,230 บาท ซึ่งจะผลิตเต็มความสามารถของเครื่องจักรในรอบที่เวลาในการผลิตน้อย ส่วนรอบที่เวลาการผลิตมาก จะผลิตสินค้าน้อยกว่ารอบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม

D =2,000				D =3,000				D =5,000	
P =10		P =15		P =10		P =15		P =15	
n	TC	n	TC	n	TC	n	TC	n	TC
10	8,356.74	10	8,269.70	10	8,908.82	10	8,785.12	10	10,129.89
8	6,983.95	8	6,868.75	8	7,770.35	8	7,475.92	8	9,181.68
5	5,390.76	5	5,240.77	5	6,546.31	5	6,211.14	5	8,598.24
4	4,166.18	4	3,663.46	4	5,560.62	4	4,749.27	4	7,664.18
3	4,984.49	3	4,734.45	3	6,910.42	3	6,351.74	3	10,336.31
2	5,604.86	2	5,231.37	2	8,493.75	2	7,657.29	2	13,659.26

จากตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม ซึ่งจะเห็นว่า จำนวนรอบการดำเนินงานที่น้อยลง ทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์ลดลง จนถึงจุดหนึ่งต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะกลับเพิ่มขึ้นอีก เช่น จากตัวอย่าง จะเห็นว่า อัตราความต้องการ D คือ 2000 หน่วยต่อปี และอัตราการผลิต p คือ 10 หน่วยต่อวัน และเวลาในการดำเนินงานใน 1 ปี คือ 360 วัน ซึ่งทำให้เมื่อจำนวนรอบการดำเนินงานเพิ่มขึ้นต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.3 เมื่อ n =10 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,356.74 บาท และเมื่อ n = 8 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 6,983.95 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงมาจนกระทั่ง n =4 ที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 4,166.18 บาท เนื่องจากจำนวนรอบการดำเนินงานลดลงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตสินค้า และค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลง ดังตารางที่ 3.4 แต่เมื่อ n =3 ต้นทุนโลจิสติกส์จะย้อนกลับสูงขึ้นเป็น 4,984.49 บาท และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกัน เนื่องจากเมื่อรอบการดำเนินงานลดลง ปริมาณสินค้าที่ต้องผลิตแต่ละรอบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 3.4 เมื่อเพิ่มอัตราการผลิต p จาก 10 เป็น 15 หน่วยต่อวัน ผลที่ได้คือที่ n =10 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,269.70 บาท และเมื่อ n =8 ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,581.28 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงมาจนกระทั่ง n =4 จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 3,663.46 บาท แต่เมื่อ n =3 ต้นทุนโลจิสติกส์จะกลับสูงขึ้นเป็น 4,734.45 บาท และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ

ในกรณีที่อัตราความต้องการ D เปลี่ยนไปเช่น D = 3,000 หน่วยต่อปีหรือ D = 5,000 หน่วยต่อปี ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม จะยังคงเป็นไปในแนวเดียวกันกับกรณีที่ D = 2,000 หน่วยต่อปี สังเกตุว่าในกรณีที่ D = 5,000 หน่วยต่อปี ตารางที่ 3.3 ไม่ได้แสดงค่าของต้นทุนโลจิสติกส์รวมเมื่อ p คือ 10 หน่วยต่อวัน ไว้เนื่องจาก อัตราการผลิต P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 3,600 บาทต่อปี ซึ่งน้อยกว่า D = 5,000 หน่วยต่อปี ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานของแบบจำลองที่ต้องได้ว่า $P \geq D$

ณ ระดับอัตราความต้องการที่คงที่เช่น D = 3,000 หน่วยต่อปี และ n =10 เมื่อเพิ่มอัตราการผลิต เช่นจาก p =10 หน่วยต่อวันเป็น p =15 หน่วยต่อวัน ต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงจาก 8,908.82 บาท เป็น 8,785.12 บาท ดังนั้น ณ อัตราที่คงที่ ถ้าอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลง ในทางตรงกันข้าม ณ อัตราผลิตคงที่ เช่น ที่ระดับ p =15 และ n =10 เมื่ออัตราความต้องการเพิ่มขึ้นจาก D =2,000 หน่วยต่อปี ไปเป็น 3,000 หน่วยต่อปี และ 5,000 หน่วยต่อปี จะได้ว่าต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มจาก 8,269.70 บาท ไปเป็น 8,785.12 บาท และ 10,129.89 บาท ตามลำดับ ดังนั้นอัตราความต้องการที่มากขึ้นจะส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์

n	ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต C_s	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า C_{h_1}	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง C_{h_2}	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง C_T	ต้นทุนโลจิสติกส์รวม TC
10	5,000.00	246.15	600.00	2,500.00	8,346.15
9	4,500.00	246.91	666.66	2,250.00	7,663.57
5	2,500.00	444.44	1,200.00	1,250.00	5,394.44
4	2,000.00	674.08	1,500.00	1,000.00	5,174.08
3	1,500.00	740.76	2,000.01	750.00	4,990.77
2	1,000.00	1,111.12	3,000.00	500.00	5,611.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
แบบจำลองเชิงการจำลอง

4.1 แบบจำลอง (Simulation)

การจำลองแบบปัญหา คือ กระบวนการออกแบบจำลองของระบบงานจริง แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ เป็นคำจำกัดที่ให้ไว้โดย ชานนอน (Shannon)

จากแบบจำลองตามสมมุติฐานที่ว่า ผลิตสินค้าชนิดเดียวจัดส่งให้ลูกค้า โดยไม่ยอมให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือและทำการผลิตเสร็จสมบูรณ์ในแต่ละรอบจึงทำการขนส่ง ผลที่ได้คือ ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด แต่ในการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมอาจจะมีบางปัจจัยที่ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เช่น เวลาในการผลิตนานเนื่องจากอัตราการผลิตน้อย ดังนั้นต้องเพิ่มอัตราการผลิตซึ่งอาจจะทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์สูงขึ้น แต่มีสินค้าเพียงพอกับความต้องการของลูกค้า และทันเวลาที่ลูกค้าต้องการ ดังนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองเชิงการจำลอง เพื่อสามารถเห็นภาพการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรม และความเข้าใจการดำเนินงานอย่างชัดเจน ซึ่งแบบจำลองเชิงการจำลองนี้จะสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละรอบการดำเนินงาน และแสดงผลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการสามารถตัดสินใจปริมาณการผลิตที่เหมาะสมสำหรับโรงงาน ซึ่งได้สร้างโปรแกรมการจำลองเชิงการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแบบจำลองดังกล่าวสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเข้า (Input Parameter) ภายใต้สมมุติฐาน ซึ่งได้แก่ อัตราการผลิตต่อวัน อัตราความต้องการต่อรอบการดำเนินงาน อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้าต่อหน่วยต่อรอบการดำเนินงาน อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่งต่อหน่วยต่อรอบการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตและค่าขนส่งต่อรอบการดำเนินงานแต่ละรอบ ซึ่งนำมาคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น และสามารถเขียนได้ตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ป้อนค่าข้อมูลเข้า คือ อัตราความต้องการ D (หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน), อัตราการผลิต p (หน่วยต่อวัน), อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า C_{h_1} (บาทต่อหน่วยต่อรอบการดำเนินงาน), อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังขณะขนส่ง C_{h_2} (บาทต่อหน่วยต่อรอบการดำเนินงาน), ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตในแต่ละรอบ C_s (บาทต่อรอบการดำเนินงาน), ค่าขนส่งในแต่ละรอบ C_t (บาทต่อรอบการดำเนินงาน) และจำนวนรอบการดำเนินงาน n, เวลาในการผลิต t (วัน) และเวลาในการดำเนินงาน T (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรอบที่ 1 คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิตและค่าขนส่ง (รอบที่ 1) ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อรอบการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อรอบการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่า ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ จำนวนรอบการผลิตคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตในแต่ละรอบ C_s, ค่าขนส่งรวม คือ จำนวนรอบการผลิตคูณด้วยค่าขนส่งในแต่ละรอบ C_t, ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือปริมาณสินค้าในต่ละรอบการดำเนินงานโดยเฉลี่ยคูณด้วยอัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า C_{h_1} (บาทต่อหน่วยต่อรอบ) และค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาขณะขนส่ง คือ ปริมาณสินค้าโดยเฉลี่ยต่อรอบการดำเนินงานคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง C_{h_2} (บาทต่อหน่วยต่อรอบการดำเนินงาน) ดังนั้นจึงได้ว่า

ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิตแต่ละรอบการดำเนินงาน $= C_s$ (4.1)

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า $= \frac{1}{2}\frac{pt_i^{\,2}}{T_i}$ (4.2)

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะส่ง $= pt_i C_{h_2}$ (4.3)

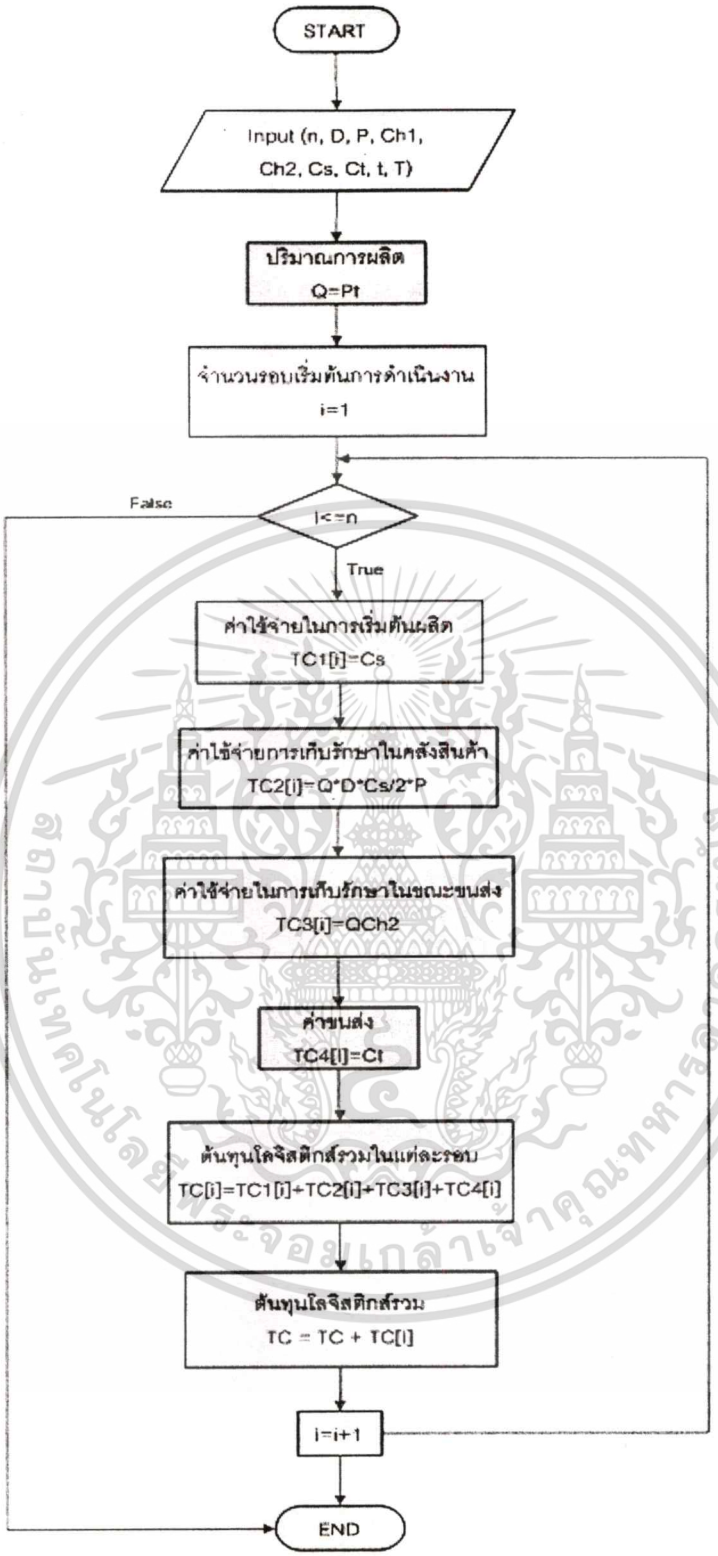
ค่าขนส่งในแต่ละรอบการดำเนินงาน $= C_t$ (4.4)

ดังนั้นต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ $n(C_s + C_T) + \frac{1}{2}\frac{pt_i^{\,2}}{T_i}C_{h_1} + pt_i C_{h_2}$

เมื่อผลิตสินค้าเสร็จก็ทำการขนส่งสินค้าทันที และขณะขนส่งก็มีการผลิตสินค้ารอบถัดไปเพื่อทำให้ไม่เกิดสินค้าคงคลัง ดำเนินการจนกระทั่งครบจำนวนรอบการดำเนินงานตามที่ผู้ใช้ต้องการ

3. เมื่อคำนวณต้นทุนโลจิสติกส์เสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิต และทำการปรับปรุงค่าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตดังกล่าว

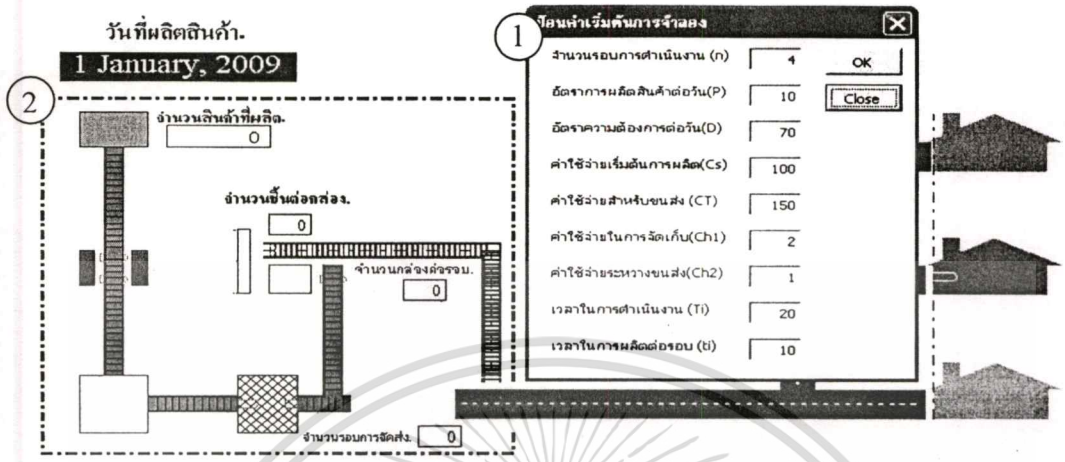
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังของโปรแกรมการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

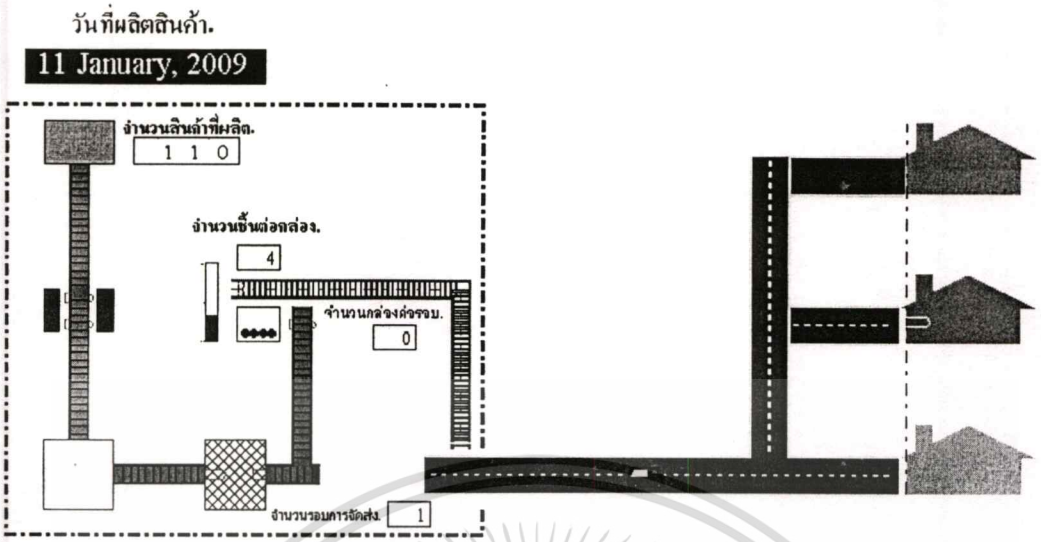
4.2 แบบจำลองเชิงการจำลองโดยใช้โปรแกรมแอรีน่า (Arina)



รูปที่ 4.2 แสดงการป้อนข้อมูลเข้าในโปรแกรมแอรีน่า (Arina)

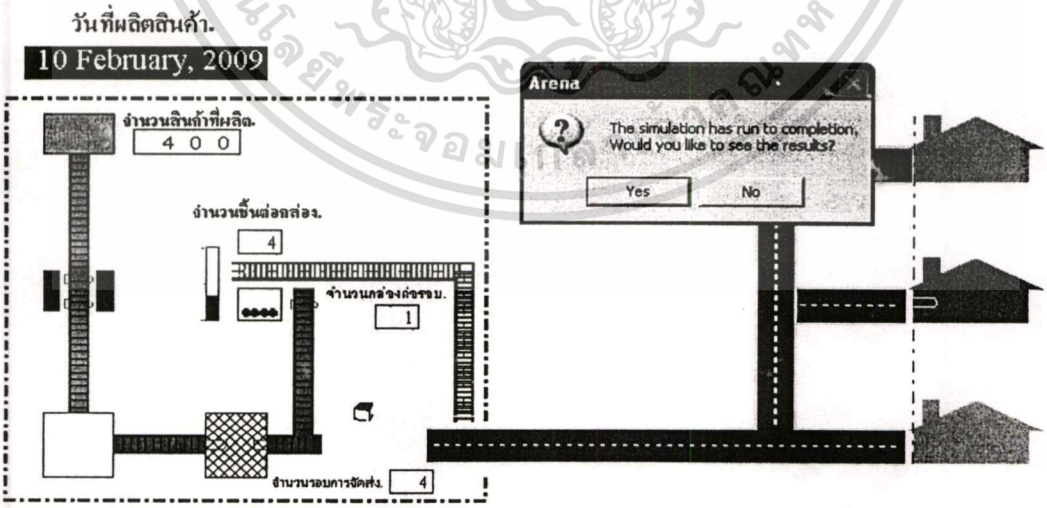
ส่วนที่ 1 ในรูปที่ 4.2 ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลเข้า ได้แก่ จำนวนรอบการผลิต n คือ 4 รอบการดำเนินงาน, อัตราการผลิตวัน 10 หน่วย, อัตราความต้องการ 1000 หน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต C_s 100 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าขนส่ง C_t 150 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า C_{h_1} คือ 2 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง C_{h_2} คือ 1 บาทต่อหน่วยต่อปี, เวลาในการผลิต คือ 30 วัน ซึ่งจะทำให้ได้เกิดส่วนของการผลิตสินค้าดังส่วนที่ 2 จากโปรแกรมจะเห็นว่ามีขั้นตอนในการผลิต 3 ขั้นตอน คือ ผลิตสินค้า นำสินค้ามาใส่บรรจุภัณฑ์ และนำสินค้าที่บรรจุแล้วมาใส่กล่อง เพื่อสะดวกต่อการจัดส่ง เมื่อครบตามที่ลูกค้าต้องการในแต่ละรอบจะทำการจัดส่ง ดังรูปที่ 4.3 เมื่อทำการจัดส่งเสร็จในแต่ละรอบ ผลที่เกิดขึ้นคือได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมเกิดขึ้นในแต่ละรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การดำเนินงานการผลิตและการขนส่งในโปรแกรมแอรีน่า (Arena)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ามีการขนส่งสินค้า โดยมีเงื่อนไขเวลาในการขนส่งมากกว่าเวลาในการผลิต ในทำนองเดียวกันในขณะที่ทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้า จะมีการผลิตสินค้าไปด้วย เพื่อไม่ให้สินค้าคงคลังมากเกินไป เมื่อผลิตสินค้ารอบถัดไปเสร็จ ก็สามารถจัดส่งสินค้าในรอบถัดไปได้ทันที จนกระทั่งจัดส่งสินค้าครบตามกำหนด โปรแกรมก็จะหยุดทำงาน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การสิ้นสุดการดำเนินงานการผลิตและการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโปรแกรมทำการรันผลเสร็จ สามารถดูรายงานผลได้ดังต่อไปนี้

13:15:34 **User Specified** ตุลาคม 22, 20

Unnamed Project Replications: 1

Replication 1 Start Time: .00 Stop Time: 965.83 Time Units: Hours

Output

Output	Value
1. Setup Cost	400.00
2. Inventory Holding Cost	200.00
3. Transport Holding Cost	400.00
3. Transportation Cost	600.00
4. Total Cost	1,600.00

รูปที่ 4.5 รายงานผลต้นทุนโลจิสติกส์

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ 1,600 บาทต่อปี ซึ่งเป็นส่วนของค่าเริ่มต้นการผลิต 400 หน่วยต่อปี ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าคือ 200 บาทต่อปี ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่งคือ400 บาทต่อปี และเป็นค่าขนส่ง 600 บาทต่อปี

แบบจำลองเชิงการจำลองที่ได้เสนอไปนั้นแล้ว เป็นการสาธิตถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้เข้ากับสมมุติฐานของงานวิจัยนี้ สำหรับเฉพาะบางกรณีเท่านั้น ซึ่งในอนาคตหากผู้ประกอบการต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเชิงการจำลองก็สามารถกระทำได้ โดยอาจเพิ่มให้มีฟังก์ชันที่สามารถหาต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่เหมาะสมในทำนองคล้องกับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในบทนี้นำเสนอการสรุปผลการวิจัย ซึ่งได้สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตที่เวลาในการผลิตน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาในการขนส่ง $t_i \le T_i$ และอัตราการผลิตมากกว่าอัตราความต้องการ $P > D$ ไม่ยอมให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ โดยมีการผลิตเสร็จแล้วจึงทำการจัดส่ง เพื่อทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งเน้นต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่ง ซึ่งสามารถการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel และทำการสร้างแบบจำลองเชิงการจำลองเพื่อให้เห็นภาพการดำเนินงานสำหรับสถานการณ์ของแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งสามารถหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงตามที่เจ้าของอุตสาหกรรมนั้นต้องการ โดยที่อาจจะไม่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดหากแต่เหมาะสมกับการดำเนินงานจริง โดยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แอรีน่า (Arena) ในการสร้างแบบจำลองเชิงการจำลองดังกล่าว

จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ทำให้ได้ทฤษฎีต่าง ๆดังต่อไปนี้

1. เวลาในการผลิตเท่ากัน เวลาในการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน

ทฤษฎีบทที่ 3.1 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.1 **แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม**

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ทำให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **เวลาในการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน เวลาการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน**

ทฤษฎีบท 3.2 **เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่** 3.2 แล้วจะได้ว่า **ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาเหมาะสมที่สุด** (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize} \left(TC(Q_1, Q_2, ..., Q_n) = n(c_s + c_T) + \frac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n} Q_i^2 c_{h_1} + T\sum_{i=1}^{n} Q_i c_{h_2} \right)$$

เงื่อนไขบังคับคือ $Q_1 + Q_2 + ... + Q_n = D$

และ $0 < Q_i \leq PT$ สำหรับ $i = 1, ..., n$

3. **เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากัน และเวลาในแต่ละรอบการดำเนินงานไม่เท่ากัน**

ทฤษฎีบทที่ 3.3 **เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่** 3.3 แล้วจะได้ว่า **ต้นทุนโลจิสติกส์รวม**

$$TC(Q) = (c_s + c_T)\frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q\frac{D}{P}c_{h_1} + Qc_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{D}{P}\cdot c_{h_1}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. **เวลาการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน เวลาการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน**

ทฤษฎีบท 3.4 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.4 แล้วจะได้ว่า ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

Minimize $\left(TC(Q_1, Q_2, ..., Q_n) = n(c_s + c_T) + \frac{1}{2P}\sum_{i=1}^{n} Q_i^2 c_{h_1} + \sum_{i=1}^{n} Q_i T_i c_{h_2} \right)$

เงื่อนไขบังคับ $Q_1 + Q_2 + ... + Q_n = D$

และ $0 < Q_i \le PT_i$ สำหรับ $i = 1, 2, ..., n$

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ดังที่กล่าวมาในบทที่ 3 สามารถปรับปรุงแบบจำลองดังนี้

1. การเปลี่ยนเงื่อนไขการคิดค่าขนส่ง ซึ่งอาจจะคิดค่าขนส่งตามระยะทาง ตามปริมาณสินค้าที่กำหนด
2. สามารถเปลี่ยนเป็นสินค้าหลายชนิด ซึ่งจะทำให้เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมบางส่วนผลิตสินค้าหลายชนิด
3. สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสินค้าที่เสื่อมสลาย

จากแบบจำลองข้างต้น สามารถปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมมุติฐานดังกล่าวเพื่อให้เข้ากับอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เหมาะสม

สำหรับแบบจำลองเชิงการจำลอง สามารถปรับปรุงได้ตามสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการ

1. ปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถป้อนข้อมูลเป็นค่าสุ่ม (Random) ได้ ซึ่งผลที่ได้สามารถมองเห็นแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้
2. ให้สามารถหาต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันหรือช่วงเวลาที่เฉพาะเจาะจงลงไปได้
3. ให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่เหมาะสมกับความต้องการของเจ้าของอุตสาหกรรม ซึ่งจะคล้ายกับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Anderson, D. R. Dennis, J. S. and Thomas, A. W. An introduction to management science quantitative approaches to decision making. Thomson. 2003.

[2] Levin, R. I. Rubin, D. S. Stinson, J. P. Everett ,S. and Gerdner, J.Quantitative approaches to management. Mc Grew Hill. 1992.

[3] วิชาญ คงเกียรติไพบูลย์. **ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์การวิจัยการดำเนินงาน**. Mc Grew Hill. 2001.

[4] วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง. **การวิจัยการดำเนินงาน** Operations research. มจธ. 2541.

[5] Suresh, K. G. and Fassil, N. "Determination of economic production-shipment policy for a single-vender-single-buyer system." European Journal of Operational Research., vol. 121, 2000. pp.175-178.

[6] Suresh, K. G. "A one-vender multi-buyer integrated inventory model: A comment." European Journal of Operational Research., vol. 81, 1995. pp.209-210

[7] Hill, R.M. "The single-vendor single-buyer integrated production-invertory model with a generalised policy." European Journal of Operational Research., vol. 97, 1997. pp. 493-499.

[8] Lu, L. "A one-vender multi-buyer integrated inventory model." European Journal of Operational Research., vol. 81, 1995. pp. 312-323.

[9] Zhao, Q. Wang, S. Lai, K. and Xia, G. "Model and algorithm of an inventory problem with the consideration of transportation cost." Computer & Industrial Engineering., vol. 46, 2004. pp. 389-397.

[10] Zhou,Y and Wang,S. "Optimal production and shipment models for a single – vendor – single - buyer integrated system." European Journal of Operational Research., 2006.

[11] Ertogral, K. Darwish, M. and Ben-Daya, M. "Production and shipment lot sizing in a vendor-buyer supply chain with transportation cost." European Journal of Operational Research., 2006.

[12] Wee,H and Chung,C. "A note on the economic lot size of the integrated vendor – buyer inventory system derived without derivatives." European Journal of Operational Research., 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุฬารัตน์ ศรีกุล
วัน เดือน ปีเกิด	31 สิงหาคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
ปีการศึกษาที่จบ	2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้