



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาผลของกลยุทธ์ในการชะลอการตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับการจัดการกำลังผลิต โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

โดย

ดร. ระวี สุวรรณเดโชไชย

สิงหาคม 2555

สัญญาเลขที่ MRG5080200

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ
การศึกษาผลของกลยุทธ์ในการชะลอการตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับการ
จัดการกำลังผลิต โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

ผู้วิจัย

1. ดร. ระวี สุวรรณเดโชไชย

สังกัด

มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Contents

1	บทคัดย่อ	1
2	ที่มาและความสำคัญ	3
3	ตัวแบบทางคณิตศาสตร์	7
3.1	No Postponement (N)	10
3.2	Demand Postponement (D)	13
3.3	Quantity Postponement (Q)	18
3.4	Quantity and Demand Postponement (QD)	21
3.5	Price Postponement (P)	26
3.6	Price and Demand Postponement (PD)	29
3.7	Price and Quantity Postponement (PQ)	29
3.8	All Postponement (A)	32
4	การจำลองสถานการณ์และผลการวิจัย	34
4.1	ผลการวิจัย	35
5	สรุปผลการวิจัย	57
5.1	บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	58
6	ภาคผนวก	60
6.1	บทความ	60
6.2	กราฟของ K^* สำหรับกรณีต่าง ๆ	66
6.3	กราฟของ V สำหรับกรณีต่าง ๆ	70

1 บทคัดย่อ

การตัดสินใจในการลงทุนด้านกำลังการผลิตมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต หากมีการลงทุนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผู้ประกอบการสูญเสียโอกาสและผลกำไร ด้วยปัจจัยหลายอย่างทำให้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังผลิตล่วงหน้าเป็นเวลานาน ในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่ชัดเจน ทำให้การลงทุนนี้มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง การลงทุนด้านกำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างยากและอาจจะต้องใช้เวลา ดังนั้นผู้ประกอบการจึงให้ความสำคัญในการตัดสินใจด้านกำลังผลิตค่อนข้างมาก ในการลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ผู้ประกอบการจึงได้มีการศึกษากลยุทธ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการที่เกิดขึ้น หนึ่งในกลยุทธ์ที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายคือ กลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจ ซึ่งเป็นการชะลอการตัดสินใจของผู้ประกอบการด้านต่าง ๆ และทำการตัดสินใจเมื่อทราบแนวโน้มความต้องการที่ถูกต้องมากขึ้น

ในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการชะลอตัดสินใจด้านต่าง ๆ ที่มีต่อการลงทุนด้านกำลังการผลิตและ กำไรของผู้ประกอบการโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ผู้ประกอบการต้องทำการตัดสินใจด้านปริมาณสินค้าที่ต้องผลิต การลงทุนด้านกำลังการผลิต และการกำหนดราคาสินค้า ในกลยุทธ์การชะลอการส่งมอบสินค้า และ/หรือ การชะลอการกำหนดราคาสินค้า และ/หรือ การชะลอการตัดสินใจด้านปริมาณสินค้าที่ต้องผลิต โดยพิจารณาสินค้า 2 ชนิดที่สามารถนำมาทดแทนกันได้ในระดับต่าง ๆ โดยกำหนดให้ความต้องการของสินค้าขึ้นอยู่กับราคาสินค้า ผลการวิจัยพบว่าการลงทุนด้านกำลังการผลิตจะเพิ่มขึ้นหากระดับการทดแทนสินค้าเพิ่มขึ้น ผู้ประกอบการจะได้กำไรเพิ่มขึ้นหากมีการประยุกต์ใช้กลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจด้านต่าง ๆ และจะได้กำไรสูงสุดหากผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจด้านปริมาณการผลิตและการกำหนดราคา สินค้า อย่างไรก็ตามหากผู้ประกอบการมีการใช้กลยุทธ์การชะลอการกำหนดราคา หรือกลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจด้านปริมาณการผลิตและการกำหนดราคา

สินค้า ผู้ประกอบการจะไม่ได้รับประโยชน์เพิ่มขึ้นหาก ต้องการใช้กลยุทธ์การชะลอการส่งมอบเพิ่มเติม ผู้ประกอบการจะได้กำไรเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่มขึ้น

Abstract

A capacity investment plays an important role in any industry. Improper capacity investment may cause a loss on a firm's profit and opportunity. Due to many factors, a decision on this capacity investment must be made in advance. At that time demand is highly uncertain. This is very high risk. This decision is difficult to change and may take times. Therefore, the firm must make this decision very carefully. Many firms are looking for strategies to hedge against this uncertainty. One of them is called postponement strategy which postpones some of the firm's decisions to later on until the demand information is known.

In this project, we study the effect of the postponement strategies on the optimal capacity investment and the firm's profit. The firm's decisions are production quantity, capacity resource, and prices. This resource can produce two products, which are substitutable, and demand function depends on those product.

The results show that the firm gain more profit if it can implement any of postponement strategy. Price and quantity postponement strategy gives the highest profits. Applying the additional demand postponement strategy to the firm who already use price postponement or price and quantity postponement can not increase any profit. In addition, this profit and optimal capacity investment increase when degree of demand substitution increases.

2 ที่มาและความสำคัญ

การวางแผนเป็นเรื่องสำคัญของผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดทิศทางการดำเนินงาน การตัดสินใจด้านต่าง ๆ ในแผนเหล่านี้ล้วนมีผลต่อกำไรของผู้ประกอบการโดยตรง สิ่งที่ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตมากมาย เช่น การจัดหาวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต ราคา รูปแบบของสินค้า หรือวิธีการที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น การตัดสินใจเหล่านี้ล้วนมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้อง การวางแผนด้านการลงทุนด้านการกำลังการผลิต เป็นสิ่งที่มีผลกระทบต่อตัดสินใจด้านอื่น ๆ เช่น การเตรียมกำลังการผลิต การจัดหาพื้นที่ในการผลิตและคลังสินค้า การสั่งซื้อเครื่องจักร การสั่งซื้ออุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ การสั่งซื้อวัตถุดิบ หรือ การจัดเตรียมการในการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ การตัดสินใจในการลงทุนของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะด้านที่เกี่ยวกับการจัดการกำลังการผลิตเป็นการลงทุนที่มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก หากมีกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจะทำให้ผู้ประกอบการสูญเสียรายได้และผลกำไรในทางตรงข้ามหากบริษัทมีการลงทุนมากเกินไป เช่น ซื้อเครื่องจักรขนาดใหญ่ สร้างคลังสินค้าขนาดใหญ่ ในขณะที่มีความต้องการของลูกค้าต่ำลง ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการจะสามารถผลิตสินค้าได้ครบตามความต้องการของลูกค้า แต่บริษัทได้สูญเสียโอกาสในการลงทุนด้านอื่น ๆ (opportunity cost) นอกจากนี้การลงทุนด้านนี้จะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และหลังจากทำการตัดสินใจไปแล้วอาจเปลี่ยนแปลงได้ยาก และต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมากในการปรับปรุง เช่น จ่ายเงินเพิ่มขึ้นเพื่อเร่งการสั่งซื้อวัตถุดิบหรือการเปลี่ยนแปลงการสั่งซื้อเครื่องจักร ดังนั้นตัดสินใจด้านการลงทุนที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งจะทำให้ทางบริษัทได้ผลประโยชน์สูงสุด

อย่างไรก็ตามการตัดสินใจในการลงทุนด้านการกำลังการผลิตที่ดีสามารถทำได้ยาก เนื่องจากมีหลายปัจจัยทำให้การตัดสินใจในการลงทุนด้านการกำลังการผลิตจำเป็นต้องตัดสินใจล่วงหน้า ก่อนที่จะมีการผลิตเป็นระยะเวลานาน (เช่น ข้อจำกัดในการสั่งซื้ออุปกรณ์และเครื่องจักร ข้อจำกัดทางการเงิน การสั่งซื้อวัตถุดิบจำนวนมาก เป็นต้น) ซึ่งในขณะนั้นข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคยังไม่ชัดเจนและไม่มีความแน่นอน นอกจากนี้สินค้าและวัตถุดิบหลาย ๆ ประเภทเราไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะสินค้าอาจจะหมดมูลค่าเมื่อเวลาผ่านไป (Perishable Products) เช่น การผลิตเสื้อผ้าแฟชั่น ซึ่งสินค้าเหล่านี้จะมีมูลค่าน้อยมากหากนำเสื้อผ้าที่เหลือมาจำหน่ายในเวลาต่อมา รวมถึงสินค้าเกษตร และการให้บริการต่างๆ เช่น ที่นั่งในเครื่องบินจะไม่มีมูลค่าเมื่อเครื่องบินได้บินออกจากสนามบินหรือที่นั่งในโรงภาพยนตร์ ดังนั้นการตัดสินใจการลงทุนเกี่ยวกับการจัดการกำลังการผลิตของสินค้าและบริการประเภทนี้จึงมีอัตราความเสี่ยงสูงกว่าสินค้าประเภทอื่น

ดังนั้นนักวิจัยในต่างประเทศจึงเริ่มที่จะศึกษาปัญหาในด้านการตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับการจัดการกำลังการผลิตของสินค้าประเภทต่างๆ (Capacity Investment Decision) โดยเฉพาะปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนของผู้ผลิตอย่างแพร่หลาย เช่น Van Mieghem (2003) ได้รวบรวมเอกสารข้อมูลต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องปัญหาของการตัดสินใจในการลงทุนด้านการจัดการกำลังการผลิตและปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุน อย่างไรก็ตามแล้วในขั้นต้น การลงทุนด้านการกำลังการผลิตจำเป็นต้องตัดสินใจล่วงหน้า ในขณะที่ความต้องการของตลาดมีความผันผวนเป็นอย่างมาก (demand uncertainty) และยากที่จะคาดการณ์

ดังนั้นผู้ประกอบการหลายรายจึงมีการค้นหากลยุทธ์ต่าง ๆ มาใช้เพื่อให้บริษัทได้ผลกำไรมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้ใกล้เคียงกับความต้องการทางตลาด หรืออีกนัยหนึ่งคือใช้กลยุทธ์เพิ่มสร้างความสมดุล ระหว่างอุปสงค์และอุปทาน โดยกลยุทธ์หนึ่งที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย คือ กลยุทธ์ “การชะลอการตัดสินใจ” (postponement strategy) ซึ่งเป็นการชะลอการตัดสินใจด้านต่าง ๆ และทำการตัดสินใจเมื่อทราบแนวโน้มความต้องการมาก เพื่อผลิตสินค้าให้ได้ใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด ซึ่งกลยุทธ์นี้ได้รับการยอมรับจากผู้ประกอบการต่าง ๆ เป็นอย่างมากและได้มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมภาคต่างๆ เพื่อให้เกิด ประโยชน์สูงสุด เช่น ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า Benetton อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ HP รวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น General Motor เป็นต้น

ผู้ประกอบการสามารถนำกลยุทธ์การชะลอนี้มาช่วยในการปรับเปลี่ยนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างสูงโดยเฉพาะในตลาดที่มีการแข่งขันสูง เพื่อที่จะใช้สนองความต้องการของผู้บริโภคได้ทันเวลาที่ ในตลาดที่มีการแข่งขันสูงและความต้องการของตลาดที่หลากหลายผู้ประกอบการมีความจำเป็นต้องผลิตสินค้าหลายรูปแบบ โดยที่ต้องตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้ประกอบการจะสามารถอยู่รอดได้ต้องสามารถปรับเปลี่ยนการผลิตพร้อมทั้งปรับเปลี่ยนความต้องการของตลาดให้เหมาะสม ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการสามารถปรับเปลี่ยนการผลิตสินค้าได้ไม่ยากนัก อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนการผลิตเพียงอย่างเดียวในบางครั้งไม่สามารถทำให้สมดุล กับความต้องการของตลาดได้ ดังนั้นในขณะที่ผู้ประกอบการมุ่งการกลยุทธ์ต่างๆในการปรับเปลี่ยนการผลิต ผู้ประกอบการควรจะหากลยุทธ์เพื่อใช้ในการปรับความต้องการของตลาดเพื่อเข้าสู่สมดุลด้วยพร้อมๆกัน ดังนั้นในปัจจุบันพบว่ากลยุทธ์หลักที่ผู้ประกอบการนำมาใช้ในการจัดการมีอยู่สองด้าน คือ การจัดการทางด้านอุปสงค์และอุปทาน (demand and supply management)

กลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการด้านอุปทานโดยใช้กลยุทธ์การชะลอ สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การชะลอการตัดสินใจด้านปริมาณการผลิต (quantity postponement) เป็นการชะลอการตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณสินค้าที่จะต้องผลิต เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคได้มากขึ้นซึ่งจะทำให้การพยากรณ์ความต้องการของตลาดเป็นไปได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น เป็นผลให้ช่วยลดการสูญเสียโอกาสและรายได้ของผู้ประกอบการ เช่น ไม่มีสินค้าค้างในคลังมากเกินไป หรือผลิตสินค้าไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด ในการชะลอนี้ผู้ประกอบการจะต้องปรับกระบวนการในการผลิต ลดเวลานำ (leadtime) เพื่อส่งมอบสินค้าให้ตรงเวลา ซึ่งกลยุทธ์นี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การลดเวลานำในการผลิตรถยนต์ จาก 50-60 วัน เหลือเพียง 14 วัน just-in-time ของบริษัทรถยนต์โตโยต้า การผลิตชิ้นส่วนประกอบในสายการผลิตแทนการผลิตจากวัตถุดิบโดยตรง อย่างไรก็ตามถ้าผู้ประกอบการชะลอการผลิตโดยตอบสนองความต้องการของตลาดได้ช้าเกินไปจะทำให้ผู้บริโภคหันไปซื้อสินค้าชนิดอื่นหรือสินค้าของบริษัทคู่แข่งซึ่งอาจทำให้ผู้ประกอบการสูญเสียรายได้ไปเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันตลาดของสินค้าและบริการต่าง ๆ มีการแข่งขันค่อนข้างสูงและความต้องการของตลาดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

การชะลอการกำหนดราคาสินค้า (price postponement) เป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่ได้นำมาใช้ในการจัดการด้าน

อุปทานทางอุตสาหกรรม เป็นการกำหนดราคาสินค้าหลังจากทราบแนวโน้มของความต้องการมากขึ้น ซึ่งกลยุทธ์นี้สามารถนำมาใช้กับผู้ประกอบการที่มีอำนาจในการกำหนดราคาสินค้าได้ด้วยตนเอง ในปัจจุบันเนื่องจากเทคโนโลยีต่างๆได้มีการพัฒนา รวมถึงระบบอินเทอร์เน็ตและ e-commerce ดังนั้นผู้ประกอบการสามารถทราบถึงข้อมูลความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น เป็นผลให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจในกลยุทธ์การกำหนดราคาสินค้ามากขึ้น เช่น สายการบินมีการกำหนดราคาตั๋วโดยสารซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการซื้อบัตรโดยสาร เส้นทาง ปริมาณความต้องการของลูกค้าในแต่ละฤดูกาล

กลยุทธ์การชะลอซึ่งมาใช้ในการบริหารจัดการด้านความต้องการ คือการชะลอการส่งมอบสินค้า (demand postponement) ซึ่งเป็นกลยุทธ์ด้านการบริหารจัดการทางด้านลูกค้า โดยมีการเสนอให้ส่วนลดกับลูกค้า เพื่อให้ลูกค้าบางส่วนชะลอการรับมอบสินค้า ซึ่งกลยุทธ์ได้นำมาใช้ในกรณีที่ความต้องการของลูกค้ามีมากกว่ากำลังการผลิตของผู้ประกอบการ ซึ่งผู้ประกอบการและลูกค้าทั้งสองฝ่ายได้รับประโยชน์ร่วมกัน กลยุทธ์นี้ได้มีการนำมาใช้ในการบริหารจัดการไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ โดยเริ่มจากสหรัฐอเมริกา ซึ่งในปัจจุบันได้กฟผ. ในประเทศไทยได้มีการนำกลยุทธ์นี้มาใช้ในการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า โดยมีมาตรการปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง peak มาสู่ off-peak เพื่อลดโหลดในการผลิตไฟฟ้า

ถึงแม้การใช้กลยุทธ์เหล่านี้จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถผลิตสินค้าได้ใกล้เคียงกับความต้องการของลูกค้าได้มากขึ้น แต่ต้นทุนของผู้ประกอบการจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้เลือกใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ของผู้ประกอบการเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ และลักษณะของผู้ประกอบการแต่ละราย ผู้ประกอบการสามารถใช้ข้อมูลในอดีต หรือประสบการณ์ในการทำงาน เข้ามาประกอบการตัดสินใจ การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ผู้ประกอบการสามารถนำมาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผล เพื่อช่วยผู้ประกอบการตัดสินใจ จึงมีงานวิจัยต่าง ๆ เกิดขึ้น ปัญหาต่างๆที่เกี่ยวกับการตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับการจัดการกำลังการผลิตยังเปิดกว้าง ในผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ส่วนใหญ่มุ่งสนใจกลยุทธ์ทางด้านการชะลอการผลิต (Production Postponement Strategy) และการชะลอการกำหนดราคาสินค้า (Pricing Postponement Strategy) เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนการผลิตและความต้องการของตลาด เช่น Van Mieghem and Dada (1999) ซึ่งศึกษาผลของการชะลอการผลิตและการชะลอการกำหนดราคาสินค้าสำหรับสินค้าเพียงชนิดเดียวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในเวลาต่อมาโดยเฉพาะในระยะนี้มีผู้สนใจทางด้านนี้เพิ่มขึ้น เช่น Anupindi and Jiang (2004), Bish and Wang, (2004), Chod and Rudi (2006), Goyal and Netessine (2005) ซึ่งศึกษาการชะลอการผลิตและการชะลอการกำหนดราคาสินค้าสำหรับสินค้าสองชนิดที่ความต้องการของตลาดมีลักษณะเฉพาะและมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการบางรายไม่สามารถกำหนดราคาสินค้าได้อย่างอิสระเนื่องจากมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน ดังนั้นในการปรับเปลี่ยนความต้องการของตลาดจำเป็นต้องศึกษาวิธีการอื่นๆนอกจากการกำหนดสินค้าได้อย่างอิสระ การชะลอในการตอบสนองความต้องการของตลาด (Demand Postponement) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ปรับเปลี่ยนความต้องการของตลาดได้ แต่ยังมีได้ศึกษาเป็นที่แพร่หลาย ที่พบมีเพียงผลงานของ Iyer, Deshpande, and Wu (2003) ซึ่งพิจารณาสินค้าเพียงชนิดเดียวเท่านั้น

หลังจากมีงานวิจัยการศึกษาผลของการชะลอการตัดสินใจในขบวนการต่าง ๆ พบว่าในปัจจุบันผู้ประกอบการได้ปรับเปลี่ยนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในรูปแบบของ family มากขึ้น นั่นหมายถึงสินค้าที่อยู่ใน family เดียวกัน จะใช้ส่วนประกอบบางชิ้นร่วมกัน (common parts) เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ของการชะลอการประกอบส่วนที่แตกต่างในขบวนการท้ายสุดเพื่อให้ได้ทราบถึงข้อมูลของความต้องการของสินค้าแต่ละชนิดชัดเจนมากขึ้น และยังเป็นการกระจายความเสี่ยง (risk pooling) ที่เกิดจากการผลิตสินค้าบางชนิดมากหรือน้อยเกินไปด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้พบเห็นได้โดยทั่วไป เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงรถยนต์ นอกจากนี้อุตสาหกรรมต่างๆ ออกแบบผลิตภัณฑ์สินค้าหลากหลายโดยสามารถใช้ทดแทนกันได้ (substitutable product) นั่นคือผู้ประกอบการสามารถจัดหาสินค้าอื่นๆ ที่สามารถใช้แทนสินค้าที่ลูกค้าต้องการในกรณีที่เกิดการขาดแคลนของสินค้าชนิดนั้น ๆ ในขณะนี้พบว่าในส่วนของการวิจัยได้มีการเริ่มศึกษาถึงกลยุทธ์ต่างๆ รวมถึงผลกระทบของการใช้กลยุทธ์การชะลอสำหรับสินค้าที่สามารถใช้ทดแทนกันได้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

โครงการวิจัยนี้สนใจในการศึกษาผลของกลยุทธ์ในการชะลอเวลาการตัดสินใจในการตอบสนองความต้องการของตลาด (Postponement Strategy) โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลของการเลื่อนเวลา (ชะลอ) ความต้องการของตลาดที่มีต่อการตัดสินใจในการลงทุนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกำลังการผลิต (Capacity Investment Decision) ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวกำหนดความสามารถในการผลิตสินค้า และศึกษากลยุทธ์ของการชะลอการตัดสินใจในทั้งด้านอุปสงค์และอุปทาน เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลและแนวโน้มของความต้องการของผู้บริโภคอย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โครงการวิจัยนี้มิใช่เพียงศึกษาปัญหาการตัดสินใจลงทุนของผู้ประกอบการสินค้าเท่านั้น แต่สามารถรวมถึงการลงทุนในการใช้กลยุทธ์แบบต่าง ๆ การเลือกใช้กลยุทธ์หากผู้ประกอบการสามารถเลือกใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ซึ่งผู้ประกอบการอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้กลยุทธ์ทั้งหมด

ดังนั้นเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ต้องการที่จะศึกษาและเปรียบเทียบผลของกลยุทธ์ของการชะลอเวลา ในการตัดสินใจในด้านต่างๆ ของผู้ประกอบการที่มีต่อการตัดสินใจในการลงทุน โดยเน้นกลยุทธ์ด้านการชะลอการตัดสินใจในการตอบสนองของความต้องการของตลาด 3 ด้านคือ ด้านปริมาณการผลิต ด้านการกำหนดราคาสินค้า และด้านความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกำลังการผลิตสำหรับสินค้าหรือบริการที่มากกว่าหนึ่งชนิดที่สามารถทดแทนกันได้ และศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตและการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ ของผู้ประกอบการ เมื่อนำผลที่ได้มาศึกษาเพิ่มเติมไม่เพียงแต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับทางโรงงานอุตสาหกรรม แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมขนาดครอบครัวและธุรกิจต่างๆ รวมทั้งการบริการต่างๆ ได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการชะลอเวลาในการตัดสินใจในด้านต่างๆ ที่มีต่อการกำลังการผลิตและการตัดสินใจในการลงทุนเกี่ยวกับการจัดการกำลังการผลิต โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2. สามารถใช้แบบจำลองอธิบายถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจของผู้ประกอบการในเรื่องต่างๆ
3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองในเชิงทฤษฎีและเชิงตัวเลขของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุน
4. เปรียบเทียบผลของกลยุทธ์ของการชะลอการตัดสินใจในด้านต่างๆ และสรุปถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการลงทุนด้านการจัดการกำลังการผลิตเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่ศึกษาทางด้านนี้ต่อไป

3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากรณีที่ผู้ประกอบการสามารถผลิตสินค้า 2 ชนิดที่อาจจะเป็นสินค้าทดแทนกันได้หรือเป็นอิสระต่อกัน โดยความต้องการสินค้าแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับราคาของสินค้าทั้ง 2 ชนิด และผู้ประกอบการต้องตัดสินใจ 4 ด้าน ประกอบด้วย การตัดสินใจด้านกำลังการผลิต resource capacity (K) ปริมาณการผลิตในช่วงปกติ regular period (q) ปริมาณการผลิตหากมีการชะลอการส่งมอบสินค้า (q_p) และการกำหนดราคาสินค้า (p) เราได้แบ่งช่วงเวลาในการตัดสินใจด้านต่าง ๆ ออกเป็น 3 ช่วง

1. Planning Period หรือช่วงการวางแผน เป็นช่วงเวลา que ผู้ประกอบการจะต้องลงทุนด้านกำลังการผลิตซึ่งเป็นช่วงที่ความต้องการสินค้ามีความไม่แน่นอนค่อนข้างสูง
2. Production Period หรือช่วงการผลิต ซึ่งเป็นช่วงหลังจากทราบแนวโน้มความต้องการสินค้าของผู้บริโภค และทำการผลิตสินค้าให้กับลูกค้า
3. Postponement Period หรือช่วงการชะลอ เป็นช่วงการผลิตสินค้าสำหรับลูกค้าที่ยอมรับข้อเสนอในการชะลอการส่งมอบสินค้า

สัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวแบบคณิตศาสตร์

K	กำลังการผลิต resource capacity
q_i	ปริมาณสินค้าชนิดที่ i ที่ผลิตในช่วง production period
q_{pi}	ปริมาณสินค้าชนิดที่ i ที่ผลิตในช่วง postponement period
p_i	ราคาสินค้าชนิดที่ i
d_i	ความต้องการสินค้าชนิดที่ i
γ	สัดส่วนของลูกค้าที่ไม่ยอมรับข้อเสนอการชะลอการส่งมอบ
c_K	ต้นทุนด้านกำลังผลิตต่อหน่วย
c_p	ต้นทุนด้านการผลิตต่อการผลิตสินค้าหนึ่งหน่วย
c_h	ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าต่อหน่วย
c	ส่วนลดของลูกค้าที่ยอมชะลอการส่งมอบสินค้าต่อหน่วย
c_T	ต้นทุนรวมของ c_K , c_h , และ c_p
ξ_i	แทนตัวแปรสุ่มของความต้องการสินค้าชนิดที่ i
$f(\cdot)$	joint probability density function ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2
$f_i(\cdot)$	probability density function ของตัวแปรสุ่ม ξ_i
$E[\cdot]$	ค่าคาดหวัง
$\Pi(\cdot)$	กำไรในช่วงการผลิต
V^B	ค่าคาดหวังของกำไรของการใช้กลยุทธ์ B

เนื่องจากจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของการชะลอการตัดสินใจแบบต่าง ๆ สำหรับผู้ประกอบการที่มี
ความสามารถในการตัดสินใจที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษากลยุทธ์ต่าง ๆ ทั้งหมด 8 กรณี ดังนี้

1. ผู้ประกอบการไม่สามารถเลื่อนการตัดสินใจในด้านใดได้เลย (no postponement strategy) ในกรณีนี้ ผู้ประกอบการจะต้องตัดสินใจทุก ๆ ด้านในช่วงการวางแผน และไม่มีการชะลอการจัดส่ง ($q_{pi} = 0$)
2. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าบางส่วนได้เพียงอย่างเดียว (demand postponement strategy) ในกรณีนี้ ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิต กำหนดราคา และปริมาณการผลิตสินค้าให้กับลูกค้าปกติ ในช่วงการวางแผน และมีลูกค้าบางส่วนยอมรับการชะลอการส่งมอบสินค้า โดยผู้ประกอบการตัดสินใจด้านปริมาณการผลิตสินค้าที่สามารถชะลอการส่งมอบในช่วงการผลิต
3. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านปริมาณการผลิตให้กับลูกค้าปกติ แต่ไม่มีการชะลอการจัดส่ง (quantity postponement strategy) ในกรณีนี้ ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิต และกำหนดราคาในช่วงการวางแผน และมีการตัดสินใจด้านการผลิตให้กับลูกค้าปกติในช่วงการผลิต

4. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านปริมาณการผลิตให้กับลูกค้าปรกติ และสามารถชะลอ ความต้องการบางส่วนได้ (quantity and demand postponement) ในกรณีนี้ ผู้ประกอบการตัดสินใจใน ด้านกำลังการผลิต และกำหนดราคาในช่วงการวางแผน และตัดสินใจด้านการปริมาณการผลิตสำหรับลูกค้า ปรกติและลูกค้าที่ยอมชะลอการส่งมอบในการจัดส่งในช่วงการผลิต
5. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านราคา แต่ไม่มีการชะลอการจัดส่ง (price postponement strategy) ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิตและปริมาณที่ต้องผลิตให้กับลูกค้าปรกติในช่วงการ วางแผน และตัดสินใจด้านราคาในช่วงการผลิต
6. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านราคาและมีการชะลอการส่งมอบให้กับลูกค้าบางส่วนได้ (price and demand postponement) ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิตและปริมาณที่ต้องผลิตให้กับ ลูกค้าปรกติในช่วงการวางแผน และตัดสินใจด้านราคาและปริมาณที่ต้องผลิตให้กับลูกค้าที่สามารถชะลอการ จัดส่งในช่วงการผลิต
7. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านปริมาณการผลิตให้กับลูกค้า และการกำหนดราคา แต่ไม่มีการ ชะลอการจัดส่ง (price and quantity postponement) ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิตใน ช่วงการวางแผน และตัดสินใจด้านราคาและปริมาณที่ต้องผลิตให้กับลูกค้าปรกติในช่วงการผลิต
8. ผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในด้านปริมาณการผลิตให้กับลูกค้า และการกำหนดราคา และมีการ ชะลอความต้องการบางส่วนได้ (all postponement) ผู้ประกอบการตัดสินใจในด้านกำลังการผลิตในช่วง การวางแผน และตัดสินใจด้านอื่น ๆ ในช่วงการผลิต

จากกรณีต่าง ๆ ข้างต้น สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

Strategy	Planning period	Production period
No postponement (N)	K, p_1, p_2, q_1, q_2	-
Demand postponement (D)	K, p_1, p_2, q_1, q_2	q_{p1}, q_{p2}
Quantity postponement (Q)	K, p_1, p_2	q_1, q_2
Quantity and demand postponement (QD)	K, p_1, p_2	q_1, q_2, q_{p1}, q_{p2}
Price postponement (P)	K, q_1, q_2	p_1, p_2
Price and demand postponement (PD)	K, p_1, p_2, q_1, q_2	p_1, p_2, q_{p1}, q_{p2}
Price and quantity postponement (PQ)	K	p_1, p_2, q_1, q_2
All postponement (A)	K	$p_1, p_2, q_1, q_2, q_{p1}, q_{p2}$

ความต้องการของสินค้าชนิดที่ i (d_i) ขึ้นอยู่กับราคาสินค้าของทั้งสองชนิด โดยกำหนดให้มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนี้

$$d_i = \xi_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2$$

โดยที่ ξ_i แทนตัวแปรสุ่มของความต้องการสินค้าชนิดที่ i β แทน degree ของสินค้าทดแทน กำหนดให้ $0 < \beta < \alpha$ เนื่องจากราคาสินค้าของชนิดที่ i ควรจะมีผลต่อความต้องการของสินค้าชนิดที่ i มากกว่าสินค้าอีกชนิดหนึ่ง ถ้า $\beta = 0$ สินค้าทั้งสองชนิดไม่สามารถทดแทนกันได้ $0 < \beta < \alpha$ สินค้าสามารถทดแทนกันได้

จากข้อมูลข้างต้นเราสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์และศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละกรณีได้

3.1 No Postponement (N)

ในกรณีนี้ผู้ประกอบการไม่สามารถชะลอการตัดสินใจใด ๆ ได้ ดังนั้น ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K ปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ และราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Stage 1:} \quad V^N &= \max_{K, \vec{p}, \vec{q}} E[\Pi(K, \vec{p}, \vec{q})] - c_K K - (c_p + c_h) \sum_{i=1}^2 q_i \\ \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^2 q_i &\geq K \\ K &\geq 0 \\ q_i, p_i &\geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2. \\ \text{Stage 2:} \quad \Pi^N(K, \vec{p}, \vec{q}) &= \max_{\vec{s}, \vec{q}} \sum_{i=1}^2 p_i s_i \\ \text{s.t.} \quad s_i &\leq q_i \quad \text{for } i = 1, 2 \\ s_i &\leq (\epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i})^+ \quad \text{for } i = 1, 2 \\ s_i &\geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2. \end{aligned}$$

เนื่องจากผู้ประกอบการต้องตัดสินใจ q_1, q_2 และ K พร้อมกันใน Stage 1, ดังนั้นกำลังการผลิตที่เหมาะสมจึงควรมีค่าเท่ากับผลรวมปริมาณสินค้าที่ต้องการผลิต จะได้ว่า $q_1 + q_2 = K$. ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจใน Stage 1 จะเหลือเพียง $\vec{q}$ และ $\vec{p}$.

เมื่อมีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2, q_1 และ q_2 โดยที่ $p_1 \geq p_2$ ใน Stage 2 สำหรับกรณีที่ $\alpha p_1 - \beta p_2 > 0$ และ $\alpha p_2 - \beta p_1 > 0$ เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1:

โดยที่

$$\Omega_1^N = \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\},$$

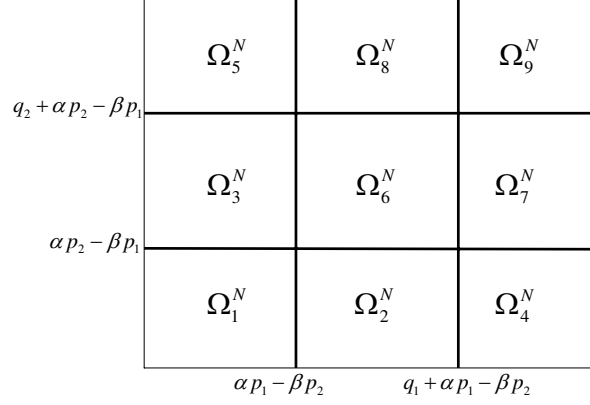


Figure 1: Demand space สำหรับปัญหา N .

$$\begin{aligned}
\Omega_2^N &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_3^N &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_4^N &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_5^N &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\}, \\
\Omega_6^N &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_7^N &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_8^N &= \{\alpha p_1 + \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\}, \\
\Omega_9^N &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\},
\end{aligned}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ p_1, p_2 , (โดยที่ $p_1 \geq p_2$), q_1, q_2 , และค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 $\Pi^N(\vec{p}, \vec{q})$ ในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Pi^N(\vec{p}, \vec{q}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \Omega_1^N \\ p_1(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2), & \text{if } \Omega_2^N \\ p_2(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_3^N \\ p_1 q_1, & \text{if } \Omega_4^N \\ p_2 q_2, & \text{if } \Omega_5^N \\ p_1(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2) + p_2(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_6^N \\ p_1 q_1 + p_2(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_7^N \\ p_1(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2) + p_2 q_2, & \text{if } \Omega_8^N \\ p_1 q_1 + p_2 q_2, & \text{if } \Omega_9^N \end{cases}$$

ผลลัพธ์ที่ได้ใน Stage 2 สามารถนำมาหาค่าของตัวแปรตัดสินใจใน Stage 1 ถึงแม้ว่า V^N ไม่เป็น concave ใน p_1, p_2, q_1, q_2 แต่เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1 และ p_2 เราจะพิสูจน์ว่า V^N เป็น concave ฟังก์ชันใน q_1 และ q_2

$$\begin{aligned}\frac{\partial V^N}{\partial q_1} &= \int_{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2}^{\infty} p_1 f_1(\epsilon_1) d\epsilon_1 - c_T \\ \frac{\partial V^N}{\partial q_2} &= \int_{q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} p_2 f_2(\epsilon_2) d\epsilon_2 - c_T \\ \frac{\partial^2 V^N}{\partial q_1^2} &= -p_1 f_1(q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) < 0\end{aligned}\tag{1}$$

$$\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_2^2} = -p_2 f_2(q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) < 0\tag{2}$$

$$\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_1 \partial q_2} = 0$$

Theorem 3.1 เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2 โดยที่ $p_1 > p_2$ ปัญหา N จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $(v_1, v_2) \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}p_1 Pr(\xi_1 > q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) &= c_T - v_1 \\ p_2 Pr(\xi_2 > q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) &= c_T - v_2 \\ q_i \cdot v_i &= 0, \quad i = 1, 2.\end{aligned}$$

Proposition 3.1 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ no postponement strategy N คือนโยบายต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{ถ้า } c_T < \bar{c}^N, \text{ แล้ว } K^* &> 0 \\ \text{มิฉะนั้น } K^* &= 0.\end{aligned}$$

โดยที่ค่า threshold $\bar{c}^N$ หาได้จาก

$$\bar{c}^N = \max\{p_1 Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2), p_2 Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)\}\tag{3}$$

Theorem 3.2 ค่า thresholds $\bar{c}^N$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

$$\frac{\partial \bar{c}^N}{\partial \beta} = \begin{cases} p_1 p_2 f_1(\alpha p_1 - \beta p_2) > 0 & \text{เมื่อ } p_1 Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) > p_2 Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \\ p_1 p_2 f_2(\alpha p_2 - \beta p_1) > 0 & \text{เมื่อ } p_1 Pr(\epsilon_1 \leq \alpha p_1 - \beta p_2) \leq p_2 Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \end{cases}$$

Theorem 3.3 กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^{*N} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

เนื่องจาก $K^{*N} = q_1^{*N} + q_2^{*N}$ ดังนั้น

$$\frac{\partial K^{*N}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*N}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*N}}{\partial \beta}.$$

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $q_i^{*N} > 0, i = 1, 2$ เราจะได้ว่า $\frac{\partial V^N}{\partial q_i} \big|_{q_i=q_i^*} = 0, i = 1, 2$.

โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β เราจะได้

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial V^N(\beta)}{\partial q_i} \big|_{q_i=q_i^{*N}} \right) = \frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i^2} \big|_{q_i=q_i^*} \frac{\partial q_i^{*N}}{\partial \beta} + \frac{\partial^2 V^N}{\partial q_1 \partial \beta} \big|_{q_1=q_1^{*N}} = 0$$

ดังนั้นสำหรับ $q_i^{*N}(\beta) > 0$, การเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิตสินค้าชนิดที่ i ที่เหมาะสม สามารถหาได้จาก

$$\frac{\partial q_i^{*N}}{\partial \beta} = - \frac{\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*N}}}{\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i^2} \big|_{q_i=q_i^{*N}}}.$$

จากสมการที่ (1) และ (2) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*N}} < 0$ สำหรับ $i = 1, 2$

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial q_i^{*N}}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*N}}$ เนื่องจาก

$$\frac{\partial^2 V^N}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*N}} = p_1 p_2 f_i(q_i + \alpha p_i - \beta p_{3-i}) > 0, \quad i = 1, 2$$

ดังนั้น $\frac{\partial q_i^{*N}}{\partial \beta} > 0$ สำหรับ $q_i^{*N} > 0, i = 1, 2$ ส่งผลให้

$$\frac{\partial K^{*N}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*N}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*N}}{\partial \beta} > 0$$

ดังนั้นสำหรับ $q_i^{*N} > 0$ K^{*N} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

3.2 Demand Postponement (D)

ในกรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K ปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ และราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน เช่นเดียวกับปัญหา N นอกจากนี้ผู้ประกอบการยังสามารถชะลอความต้องการบางส่วน โดยตัดสินใจในช่วง production stage

$$\begin{aligned} \text{Stage 1:} \quad V^D &= \max_{K, \vec{p}, \vec{q}} E[\Pi(\vec{p}, \vec{q})] - c_K K - (c_p + c_h) \sum_{i=1}^2 q_i \\ \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^2 q_i &\geq K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K &\geq 0 \\
q_i, p_i &\geq 0 && \text{for } i = 1, 2. \\
\text{Stage 2: } \Pi^D(\vec{p}, \vec{q}) &= \max_{s_i, q_{pi}} \sum_{i=1}^2 p_i s_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi} \\
\text{s.t. } s_i &\leq q_i && \text{for } i = 1, 2 \\
s_i &\leq (\epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i})^+ && \text{for } i = 1, 2 \\
q_{pi} &\leq q_i && \text{for } i = 1, 2 \\
q_{pi} &\leq (1 - \gamma)(\epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i} - s_i)^+ \\
s_i, q_{pi} &\geq 0 && \text{for } i = 1, 2.
\end{aligned}$$

ด้วยเหตุผลเดียวกับการณ์ของปัญหา N ตัวแปรตัดสินใจใน Stage 1 ลดเหลือ $\vec{q}$ และ $\vec{p}$.

เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2, q_1 และ q_2 โดยที่ $p_1 \geq p_2$ ใน Stage 2 สำหรับกรณีที่ $\alpha p_1 - \beta p_2 > 0$ และ $\alpha p_2 - \beta p_1 > 0$ เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2:

	Ω_{11}^D	Ω_{13}^D	Ω_{15}^D	Ω_{16}^D
$\frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1$	Ω_5^D	Ω_8^D	Ω_9^D	Ω_{14}^D
$q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1$	Ω_3^D	Ω_6^D	Ω_7^D	Ω_{12}^D
$\alpha p_2 - \beta p_1$	Ω_1^D	Ω_2^D	Ω_4^D	Ω_{10}^D
	$\alpha p_1 - \beta p_2$	$q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2$	$\frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2$	

Figure 2: Demand space สำหรับปัญหา D .

โดยที่

$$\begin{aligned}
\Omega_1^D &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_2^D &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_3^D &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_4^D &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_5^D &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_6^D &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_7^D &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Omega_8^D &= \{\alpha p_1 + \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_9^D &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \\
&\quad q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_{10}^D &= \{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_{11}^D &= \{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2, \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2\}, \\
\Omega_{12}^D &= \{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_{13}^D &= \{\alpha p_1 + \beta p_2 < \xi_1 < q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\}, \\
\Omega_{14}^D &= \{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_{15}^D &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2, \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\}, \\
\Omega_{16}^D &= \{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2\},
\end{aligned}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ p_1, p_2 , (โดยที่ $p_1 \geq p_2$), q_1, q_2 , และค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 กำหนดให้ $d_1 = \epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2$ และ $d_2 = \epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1$ ดังนั้น $\Pi^D(\vec{p}, \vec{q})$ ในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Pi^D(\vec{p}, \vec{q}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \Omega_1^D \\ p_1 d_1, & \text{if } \Omega_2^D \\ p_2 d_2, & \text{if } \Omega_3^D \\ p_1 q_1 + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - q_1), & \text{if } \Omega_4^D \\ p_2 q_2 + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_2 - q_2), & \text{if } \Omega_5^D \\ p_1 d_1 + p_2 d_2, & \text{if } \Omega_6^D \\ p_1 q_1 + p_2 d_2 + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - q_1), & \text{if } \Omega_7^D \\ p_1 d_1 + p_2 q_2 + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_2 - q_2), & \text{if } \Omega_8^D \\ p_1 q_1 + p_2 q_2 + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - q_1) + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_2 - q_2), & \text{if } \Omega_9^D \\ p_1 q_1 + (p_1 - c)q_1, & \text{if } \Omega_{10}^D \\ p_2 q_2 + (p_2 - c)q_2, & \text{if } \Omega_{11}^D \\ p_1 q_1 + p_2 d_2 + (p_1 - c)q_1, & \text{if } \Omega_{12}^D \\ p_1 d_1 + p_2 q_2 + (p_2 - c)q_2, & \text{if } \Omega_{13}^D \\ p_1 q_1 + p_2 q_2 + (p_1 - c)q_1 + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_2 - q_2), & \text{if } \Omega_{14}^D \\ p_1 q_1 + p_2 q_2 + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - q_1) + (p_2 - c)q_2, & \text{if } \Omega_{15}^D \\ p_1 q_1 + p_2 q_2 + (p_1 - c)q_1 + (p_2 - c)q_2, & \text{if } \Omega_{16}^D \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V^D}{\partial q_1} &= (\gamma p_1 + (1 - \gamma)c)Pr(q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} + \alpha p_1 - \beta p_2) \\ &\quad + (2p_1 - c)Pr(\xi_1 > \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} + \alpha p_1 - \beta p_2) - c_T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V^D}{\partial q_2} &= (\gamma p_2 + (1 - \gamma)c)Pr(q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} + \alpha p_2 - \beta p_1) \\ &\quad + (2p_2 - c)Pr(\xi_2 > \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} + \alpha p_2 - \beta p_1) - c_T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V^D}{\partial q_1^2} &= -\frac{(2 - \gamma)^2}{1 - \gamma}(p_1 - c)f_1(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) \\ &\quad - (\gamma p_1 + (1 - \gamma)c)f_1(q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) < 0 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V^D}{\partial q_2^2} &= -\frac{(2 - \gamma)^2}{1 - \gamma}(p_2 - c)f_2(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) \\ &\quad - (\gamma p_2 + (1 - \gamma)c)f_2(q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) < 0 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 V^D}{\partial q_1 \partial q_2} = 0$$

เช่นเดียวกับปัญหา N เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1 และ p_2 เราใช้ผลลัพธ์ข้างต้นพิสูจน์ว่า V^D เป็น

concave ฟังก์ชันใน q_1 และ q_2

Theorem 3.4 เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2 , โดยที่ $p_1 > p_2$ ปัญหา D จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $(v_1, v_2) \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \int_{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2}^{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2} [\gamma p_1 + (1-\gamma)c] f_1(\epsilon_1) d\epsilon_1 + \int_{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2}^{\infty} (2p_1 - c) f_1(\epsilon_1) d\epsilon_1 &= c_T - v_1 \\ \int_{q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1}^{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1} [\gamma p_2 + (1-\gamma)c] f_2(\epsilon_2) d\epsilon_2 + \int_{\frac{2-\gamma}{1-\gamma} q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} (2p_2 - c) f_2(\epsilon_2) d\epsilon_2 &= c_T - v_2 \\ q_i \cdot v_i &= 0, \quad i = 1, 2. \end{aligned}$$

Proposition 3.2 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ demand postponement D คือนโยบายต่อไปนี้

ถ้า $c_T < \bar{c}^D$, แล้ว $K^{*D} > 0$

มิฉะนั้น $K^{*D} = 0$.

โดยที่ค่าของ threshold $\bar{c}^D$ หาได้จาก

$$\bar{c}^D = \max\{(2p_1 - c)Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2), (2p_2 - c)Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)\} \quad (6)$$

$$(7)$$

Theorem 3.5 ค่า thresholds $\bar{c}^D$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof: ในการพิสูจน์เราจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 $(2p_1 - c)Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) > (2p_2 - c)Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)$

$$\begin{aligned} \bar{c}^D &= (2p_1 - c)Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) \\ \frac{\partial \bar{c}^D}{\partial \beta} &= p_2(2p_1 - c)f_1(\alpha p_1 - \beta p_2) > 0. \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 $(2p_1 - c)Pr(\epsilon_1 \leq \alpha p_1 - \beta p_2) \leq (2p_2 - c)Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)$

$$\begin{aligned} \bar{c}^D &= (2p_2 - c)Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \\ \frac{\partial \bar{c}^D}{\partial \beta} &= p_1(2p_2 - c)f_2(\alpha p_2 - \beta p_1) > 0. \end{aligned}$$

ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ค่า thresholds $\bar{c}^D$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Theorem 3.6 กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^{*D} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

เนื่องจาก $K^{*D} = q_1^{*D} + q_2^{*D}$ ดังนั้น

$$\frac{\partial K^{*D}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*D}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*D}}{\partial \beta}$$

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $q_i^{*D} > 0, i = 1, 2$ เราจะได้ว่า $\frac{\partial V^D}{\partial q_i} \big|_{q_i=q_i^{*D}} = 0, i = 1, 2$.

โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β เราจะได้ว่า สำหรับ $q_i^{*D}(\beta) > 0$, การเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิตสินค้าชนิดที่ i ที่เหมาะสม สามารถหาได้จาก

$$\frac{\partial q_i^{*D}}{\partial \beta} = -\frac{\frac{\partial^2 V^D}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*D}}}{\frac{\partial^2 V^D}{\partial q_i^2} \big|_{q_i=q_i^{*D}}}.$$

จากสมการที่ (4) และ (5) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^D}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*D}} < 0$ สำหรับ $i = 1, 2$

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial q_i^{*D}}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^D}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*D}}$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V^D}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*D}} &= p_{3-i}(2-\gamma)(p_i - c)f_i\left(\frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_i + \alpha p_i - \beta p_{3-i}\right) \\ &\quad + p_{3-i}(\gamma p_i + (1-\gamma)c)f_i(q_i + \alpha p_i - \beta p_{3-i}) > 0 \end{aligned}$$

ดังนั้น $\frac{\partial q_i^{*D}}{\partial \beta} > 0$ สำหรับ $i = 1, 2$ ส่งผลให้

$$\frac{\partial K^{*D}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*D}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*D}}{\partial \beta} > 0$$

ดังนั้นสำหรับ $q_i^{*D} > 0$ K^{*D} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

3.3 Quantity Postponement (Q)

กรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K และราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน ส่วนปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ จะถูกกำหนด หลังจากที่มีความต้องการมีความชัดเจนมากขึ้น (ในช่วง production stage)

$$\text{Phase 1: } V^Q = \max_{K, \vec{p}} E[\Pi(K, \vec{p})] - c_K K$$

$$\text{s.t. } K \geq 0$$

$$p_i \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2.$$

$$\text{Phase 2: } \Pi^Q(K, \vec{p}) = \max_{\vec{q}} \sum_{i=1}^2 (p_i - c_p) q_i$$

$$\begin{aligned}
\text{s.t.} \quad q_1 + q_2 &\leq K \\
q_1 &\leq (\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2)^+ \\
q_2 &\leq (\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1)^+ \\
q_i &\geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2.
\end{aligned}$$

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ p_1, p_2 และ K โดยที่ $p_1 \geq p_2$ ใน Stage 2 สำหรับกรณีที่ $\alpha p_1 - \beta p_2 > 0$ และ $\alpha p_2 - \beta p_1 > 0$ เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3:

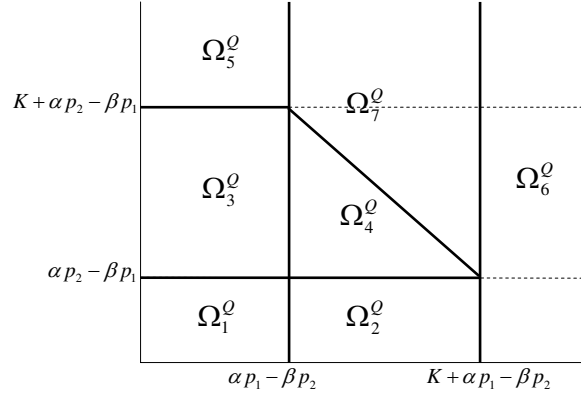


Figure 3: Demand space สำหรับปัญหา Q .

โดยที่

$$\begin{aligned}
\Omega_1^Q &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_2^Q &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_3^Q &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_4^Q &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2 + K, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1, \xi_1 + \xi_2 < K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}, \\
\Omega_5^Q &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_6^Q &= \{\xi_1 > K + \alpha p_1 - \beta p_2\}, \\
\Omega_7^Q &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_1 + \xi_2 > K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}.
\end{aligned}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ p_1, p_2 , (โดยที่ $p_1 \geq p_2$), K , และค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 , $\Pi^Q(K, \vec{p})$ ในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Pi^Q(K, \vec{p}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \Omega_1^Q \\ (p_1 - c_p)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2), & \text{if } \Omega_2^Q \\ (p_2 - c_p)(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_3^Q \\ (p_1 - c_p)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2) + (p_2 - c_p)(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_4^Q \\ (p_2 - c_p)K, & \text{if } \Omega_5^Q \\ (p_1 - c_p)K, & \text{if } \Omega_6^Q \\ (p_2 - c_p)K + (p_1 - p_2)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2), & \text{if } \Omega_7^Q. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V^Q}{\partial K} &= E[(p_1 - c_p)|\Omega_6^Q]Pr(\Omega_6^Q) + E[(p_2 - c_p)|\Omega_5^Q \cup \Omega_7^Q]Pr(\Omega_5^Q \cup \Omega_7^Q) - c_K \\ \frac{\partial^2 V^Q}{\partial K^2} &= -(p_1 - p_2)f_1(K + \alpha p_1 - \beta p_2) - p_2 \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} f(\epsilon_1, K + \alpha p_2 - \beta p_1) d\epsilon_1 \\ &\quad - p_1 \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad - p_2 \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{K + \alpha p_1 - \beta p_2} f(\epsilon_1, K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1) d\epsilon_1 < 0 \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1 and p_2 , V^Q เป็นฟังก์ชัน concave ใน K .

Theorem 3.7 เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2 , โดยที่ $p_1 > p_2$ ปัญหา Q จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $v \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} (p_1 - c_p)Pr(\Omega_6^Q) + (p_2 - c_p)Pr(\Omega_5^Q \cup \Omega_7^Q) &= c_K - v \\ K \cdot v &= 0. \end{aligned}$$

Proposition 3.3 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ quantity postponement Q คือนโยบายต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } c_T < \bar{c}^Q, \text{ แล้ว } K^{*Q} &> 0 \\ \text{มิฉะนั้น } K^{*Q} &= 0. \end{aligned}$$

โดยที่ค่า threshold ของ $\bar{c}^Q$ มีค่าเท่ากับ

$$\bar{c}^Q = (p_1 - c_p)Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) + (p_2 - c_p)Pr(0 < \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) + c_q + c_h \quad (9)$$

Theorem 3.8 ค่า thresholds $\bar{c}^Q$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}^Q}{\partial \beta} &= \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} p_1 p_2 f(\epsilon_1, \alpha p_2 - \beta p_1) d\epsilon_1 + \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} p_1 p_2 f(\alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad + \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} p_2(p_1 - p_2) f(\alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 > 0 \end{aligned}$$

Theorem 3.9 *กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^{*Q} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น*

Proof:

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $K^{*Q} > 0$ สามารถเขียนได้ว่า $\frac{\partial V^Q}{\partial K}|_{K=K^*} = 0$.

โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β เราจะได้ว่า สำหรับ $K^{*Q}(\beta) > 0$.

$$\frac{\partial K^{*Q}}{\partial \beta} = - \frac{\frac{\partial^2 V^Q}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*Q}}}{\frac{\partial^2 V^Q}{\partial K^2}|_{K=K^{*Q}}}$$

จากสมการที่ (8) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^Q}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*Q}} < 0$

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial K^{*Q}}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^Q}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*Q}}$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V^Q}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*Q}} &= \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} p_1 p_2 f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad + \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} (p_1 - p_2) p_2 f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad + \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} p_1 p_2 f(\epsilon_1, K + \alpha p_2 - \beta p_1) d\epsilon_1 \\ &\quad + \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{K + \alpha p_1 - \beta p_2} (p_1 + p_2) p_2 f(\epsilon_1, K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1) d\epsilon_1 > 0 \end{aligned}$$

ดังนั้น K^{*Q} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

3.4 Quantity and Demand Postponement (QD)

กรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K และราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน ส่วนปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ จะถูกกำหนด หลังจากที่มีความต้องการมีความชัดเจนมากขึ้น (ในช่วง production stage) เช่นเดียวกับปัญหา Q นอกจากนี้ผู้ประกอบการยังสามารถชะลอความต้องการบางส่วน โดยตัดสินใจในช่วง production stage

$$\begin{aligned} \text{Phase 1:} \quad V^{QD} &= \max_{K, \vec{p}} E[\Pi(K, \vec{p})] - c_K K \\ \text{s.t.} \quad K &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& p_i \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2. \\
\text{Phase 2: } & E[\Pi^{QD}(K, \vec{p})] = \max_{\vec{q}, q_{pi}} \sum_{i=1}^2 (p_i - c_p) q_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi} \\
& \text{s.t.} \quad q_1 + q_2 \leq K \\
& \quad q_1 \leq (\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2)^+ \\
& \quad q_2 \leq (\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1)^+ \\
& \quad q_{p1} + q_{p2} \leq K \\
& \quad q_{p1} \leq (1 - \gamma)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2 - q_1)^+ \\
& \quad q_{p2} \leq (1 - \gamma)(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1 - q_2)^+ \\
& \quad q_i, q_{pi} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2.
\end{aligned}$$

เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2 และ K โดยที่ $p_1 \geq p_2$ ใน Stage 2 สำหรับกรณี $\alpha p_1 - \beta p_2 > 0$ และ $\alpha p_2 - \beta p_1 > 0$ เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4:

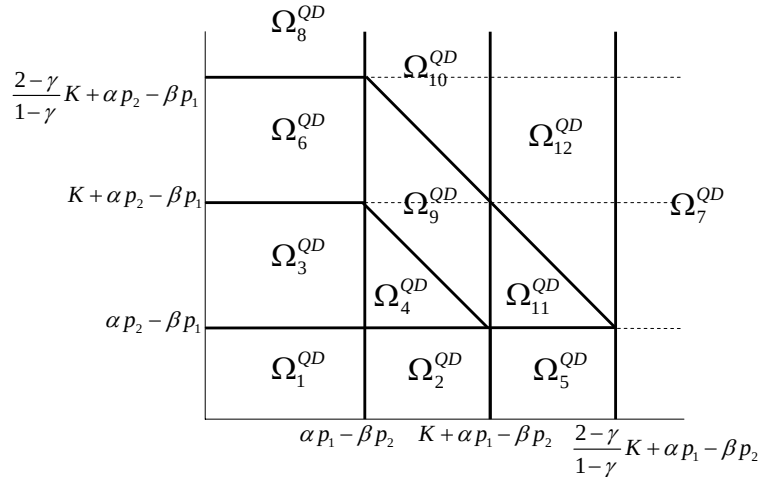


Figure 4: Demand space สำหรับปัญหา QD .

โดยที่

$$\begin{aligned}
\Omega_1^{QD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_2^{QD} &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_3^{QD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_4^{QD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1, \xi_1 + \xi_2 < K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}, \\
\Omega_5^{QD} &= \{K + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Omega_6^{QD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, K + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_7^{QD} &= \{\xi_1 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2\}, \\
\Omega_8^{QD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\
\Omega_9^{QD} &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \\
&\quad K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) < \xi_1 + \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}, \\
\Omega_{10}^{QD} &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_1 + \xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}, \\
\Omega_{11}^{QD} &= \{K + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1, \xi_1 + \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}, \\
\Omega_{12}^{QD} &= \{K + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_1 + \xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\},
\end{aligned}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ p_1, p_2 (โดยที่ $p_1 \geq p_2$) K และค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 $\Pi^{QD}(K, \vec{p})$ ในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Pi^{QD}(K, \vec{p}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \Omega_1^{QD} \\ (p_1 - c_p)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2), & \text{if } \Omega_2^{QD} \\ (p_2 - c_p)(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_3^{QD} \\ (p_1 - c_p)(\epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2) + (p_2 - c_p)(\epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1), & \text{if } \Omega_4^{QD} \\ (p_1 - c_p)K + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - K), & \text{if } \Omega_5^{QD} \\ (p_2 - c_p)K + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_2 - K), & \text{if } \Omega_6^{QD} \\ (p_1 - c_p)K + (p_1 - c)K, & \text{if } \Omega_7^{QD} \\ (p_2 - c_p)K + (p_2 - c)K, & \text{if } \Omega_8^{QD} \\ (p_1 - c_p)d_1 + (p_2 - c_p)(K - d_1) + (p_2 - c)(1 - \gamma)(d_1 + d_2 - K), & \text{if } \Omega_9^{QD} \\ (p_1 - c_p)d_1 + (p_2 - c_p)(K - d_1) + (p_2 - c)K, & \text{if } \Omega_{10}^{QD} \\ (p_1 - c_p)K + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - K) + (p_2 - c)(1 - \gamma)d_2, & \text{if } \Omega_{11}^{QD} \\ (p_1 - c_p)K + (p_1 - c)(1 - \gamma)(d_1 - K) + (p_2 - c)(K - (1 - \gamma)(d_1 - K)), & \text{if } \Omega_{12}^{QD} \end{cases}$$

โดยที่ $d_1 = \epsilon_1 - \alpha p_1 + \beta p_2$ และ $d_2 = \epsilon_2 - \alpha p_2 + \beta p_1$.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial V^{QD}}{\partial K} &= [p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c)]Pr(\Omega_5^{QD} \cup \Omega_{11}^{QD} \cup \Omega_{12}^{QD}) \\
&\quad + [p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)]Pr(\Omega_6^{QD} \cup \Omega_9^{QD}) \\
&\quad + [p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c) + (1 - \gamma)(p_2 - c)]Pr(\Omega_{12}^{QD}) \\
&\quad + [2p_1 - c - c_p]Pr(\Omega_7^{QD}) + [2p_2 - c - c_p]Pr(\Omega_8^{QD} \cup \Omega_{10}^{QD}) - c_K
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K^2} = & - \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} [p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c)] f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) \epsilon_2 \\
& - \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} [(1 + \gamma)(p_1 - p_2)] f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) \epsilon_2 \\
& - \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} (2 - \gamma)(p_1 - c) f\left(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2\right) \epsilon_2 \\
& - \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} (2 - \gamma)(p_1 - p_2) f\left(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2\right) \epsilon_2 \\
& - \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} [p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)] f(\epsilon_1, K + \alpha p_2 - \beta p_1) \epsilon_1 \\
& - \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} [(2 - \gamma)(p_2 - c)] f\left(\epsilon_1, \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_2 - \beta p_1\right) \epsilon_1 \\
& - \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{K + \alpha p_1 - \beta p_2} [p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)] f(\epsilon_1, K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1) \epsilon_1 \\
& - \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2} [(2 - \gamma)(p_2 - c)] f\left(\epsilon_1, \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1\right) \epsilon_1 \\
< & 0
\end{aligned} \tag{10}$$

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ p_1 และ p_2 V^{QD} เป็น concave ฟังก์ชันใน K

Theorem 3.10 เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ p_1, p_2 , โดยที่ $p_1 > p_2$ ปัญหา QD จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $v \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
& [p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c)] Pr(\Omega_5^{QD} \cup \Omega_{11}^{QD} \cup \Omega_{12}^{QD}) \\
& + [p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)] Pr(\Omega_6^{QD} \cup \Omega_9^{QD}) \\
& + [p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c) + (1 - \gamma)(p_2 - c)] Pr(\Omega_{12}^{QD}) \\
& + [2p_1 - c - c_p] Pr(\Omega_7^{QD}) + [2p_2 - c - c_p] Pr(\Omega_8^{QD} \cup \Omega_{10}^{QD}) = c_K - v \\
& K \cdot v = 0
\end{aligned}$$

Proposition 3.4 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ quantity postponement QD คือนโยบายต่อไปนี้

$$\text{ถ้า } c_T < \bar{c}^{QD}, \text{ แล้ว } K^{*QD} > 0 \text{ มิฉะนั้น } K^{*QD} = 0.$$

โดยที่ค่า threshold ของ $\bar{c}^{QD}$ หาได้จาก

$$\bar{c}^{QD} = (2p_2 - c - c_p) Pr(0 < \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \tag{11}$$

$$+ (2p_1 - c - c_p) Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) + c_q + c_h \tag{12}$$

Theorem 3.11 ค่า thresholds $\bar{c}^Q$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{c}^{QD}}{\partial \beta} &= \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} [2p_2(p_1 - p_2) - p_2 c] f(\alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad + \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} p_2(2p_1 - c) f(\alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) d\epsilon_2 \\ &\quad + \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} p_1(2p_1 - c) f(\epsilon_1, \alpha p_2 - \beta p_1) d\epsilon_1 > 0.\end{aligned}$$

Theorem 3.12 *ถ้าฟังก์ชันการผลิตที่เหมาะสม K^{*QD} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น*

Proof:

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $K^{*QD} > 0$ เราจะได้ว่า $\frac{\partial V^{QD}}{\partial K}|_{K=K^*} = 0$

โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β เราจะได้ว่า

$$\frac{\partial K^{*QD}}{\partial \beta} = -\frac{\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*QD}}}{\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K^2}|_{K=K^{*QD}}}.$$

จากสมการที่ (10) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*QD}} < 0$

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial K^{*QD}}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*QD}}$.

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 V^{QD}}{\partial K \partial \beta}|_{K=K^{*QD}} &= \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} p_2[p_1 - c_p + \gamma(p_1 - c)] f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) \epsilon_2 \\ &\quad + \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} p_2(1 - \gamma)(p_1 - p_2) f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2) \epsilon_2 \\ &\quad + \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} p_2[(1 - \gamma)(p_1 - c)] f\left(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2\right) \epsilon_2 \\ &\quad + \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} p_2(1 - \gamma)(p_1 - p_2) f\left(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2, \epsilon_2\right) \epsilon_2 \\ &\quad + \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} p_1[p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)] f(\epsilon_1, K + \alpha p_2 - \beta p_1) d\epsilon_1 \\ &\quad + \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{\alpha p_1 - \beta p_2} p_1[(1 - \gamma)(p_2 - c)] f\left(\epsilon_1, \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_2 - \beta p_1\right) d\epsilon_1 \\ &\quad + \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{K + \alpha p_1 - \beta p_2} (p_1 + p_2)[p_2 - c_p + \gamma(p_2 - c)] f(\epsilon_1, K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1) d\epsilon_1 \\ &\quad + \int_{\alpha p_1 - \beta p_2}^{\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + \alpha p_1 - \beta p_2} (p_1 + p_2)[(1 - \gamma)(p_2 - c)] f\left(\epsilon_1, \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) - \epsilon_1\right) d\epsilon_1 \\ &> 0\end{aligned}$$

ดังนั้นเราจะได้

$$\frac{\partial K^{*QD}}{\partial \beta} > 0$$

ถ้าฟังก์ชันการผลิตที่เหมาะสม K^{*QD} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

3.5 Price Postponement (P)

กรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K และปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ ล่วงหน้าใน ขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน ส่วนราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ จะถูกกำหนด หลังจากที่มีความต้องการมีความชัดเจนมากขึ้น (ในช่วง production stage)

$$\begin{aligned}
 \text{Phase 1:} \quad V^P &= \max_{\vec{q}} E[\Pi^P(\vec{q})] - \sum_{i=1}^2 c_T q_i \\
 \text{s.t.} \quad q_i &\geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2. \\
 \text{Phase 2:} \quad \Pi^P(\vec{q}) &= \max_{\vec{p}, \vec{s}} \sum_{i=1}^2 p_i s_i \\
 \text{s.t.} \quad s_i &\leq q_i, \quad i = 1, 2 \\
 s_i &\leq \epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2 \\
 \alpha p_i - \beta p_{3-i} &\leq \epsilon_i, \quad i = 1, 2 \\
 s_i, p_i &\geq 0, \quad i = 1, 2
 \end{aligned}$$

สำหรับผลเฉลยที่เหมาะสมใน stage 2 เราพิสูจน์ได้ว่า $s_i^{*P} = d_i^{*P}$, สำหรับ $i = 1, 2$ ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจใน stage 2 ลดเหลือ $\vec{p} = (p_1, p_2)$

เมื่อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ q_1 และ q_2 สำหรับใน Stage 2 สำหรับกรณีที่ $q_1 \geq 0$ และ $q_2 \geq 0$ เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5:

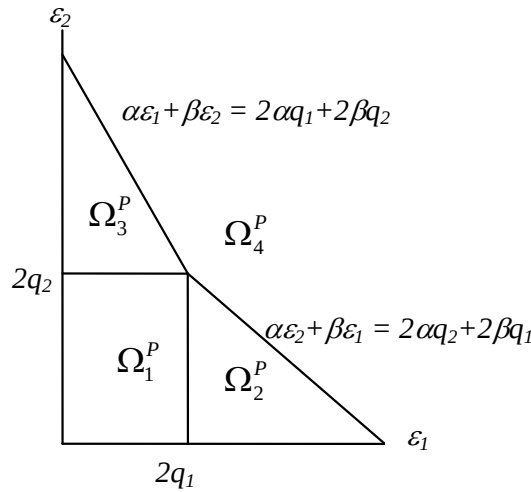


Figure 5: Demand space สำหรับปัญหา P

โดยที่

$$\Omega_1^P = \{\epsilon_1 \leq 2q_1, \epsilon_2 \leq 2q_2\},$$

$$\begin{aligned}
\Omega_2^P &= \{\epsilon_1 > 2q_1, 2\beta q_1 \leq \alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 \leq 2\alpha q_2 + 2\beta q_1\}, \\
\Omega_3^P &= \{\epsilon_2 > 2q_2, 2\beta q_2 \leq \alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 \leq 2\alpha q_1 + 2\beta q_2\}, \\
\Omega_4^P &= \{\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 > 2\alpha q_1 + 2\beta q_2, \alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 > 2\alpha q_2 + 2\beta q_1\},
\end{aligned}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ q_1, q_2 และค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 $\Pi^P(\vec{q})$ ในแต่ละพื้นที่สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Pi^P(\vec{q}) = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\alpha\epsilon_i + \beta\epsilon_{3-i}}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \right) \left(\frac{\epsilon_i}{2\alpha} \right), & \text{if } \Omega_1^P \\ \left(\frac{\epsilon_1 - q_1}{\alpha} + \frac{\beta(\alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1)}{2\alpha(\alpha^2 - \beta^2)} \right) q_1 + \left(\frac{\alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \right) \left(\frac{\alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 - 2\beta q_1}{2\alpha} \right), & \text{if } \Omega_2^P \\ \left(\frac{\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \right) \left(\frac{\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 - 2\beta q_2}{2\alpha} \right) + \left(\frac{\epsilon_2 - q_2}{\alpha} + \frac{\beta(\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2)}{2\alpha(\alpha^2 - \beta^2)} \right) q_2, & \text{if } \Omega_3^P \\ \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\alpha\epsilon_i + \beta\epsilon_{3-i} - \alpha q_i - \beta q_{3-i}}{\alpha^2 - \beta^2} \right) q_i, & \text{if } \Omega_4^P. \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_1} &= E\left[\frac{\xi_1 - 2q_1}{\alpha} | \Omega_2^P\right] Pr\{\Omega_2^P\} + E\left[\frac{\alpha\xi_1 + \beta\xi_2 - 2bq_1 - 2\beta q_2}{\alpha^2 - \beta^2} | \Omega_4^P\right] Pr\{\Omega_4^P\} - c_T \\
\frac{\partial E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_2} &= E\left[\frac{\xi_2 - 2q_2}{\alpha} | \Omega_3^P\right] Pr\{\Omega_3^P\} + E\left[\frac{\alpha\xi_2 + \beta\xi_1 - 2bq_2 - 2\beta q_1}{\alpha^2 - \beta^2} | \Omega_4^P\right] Pr\{\Omega_4^P\} - c_T \\
\frac{\partial^2 E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_1^2} &= -\frac{2}{\alpha} Pr\{\Omega_2^P\} - \frac{2\alpha}{\alpha^2 - \beta^2} Pr\{\Omega_4^P\} < 0, \tag{13}
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_2^2} = -\frac{2}{\alpha} Pr\{\Omega_3^P\} - \frac{2\alpha}{\alpha^2 - \beta^2} Pr\{\Omega_4^P\} < 0, \tag{14}$$

$$\frac{\partial^2 E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_1 \partial q_2} = \frac{\partial^2 E[\Pi^P(\vec{q})]}{\partial q_2 \partial q_1} = -\frac{2\beta}{\alpha^2 - \beta^2} Pr\{\Omega_4^P\} < 0.$$

จากผลลัพธ์ข้างต้น เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า $V(\vec{q})$ เป็น concave ฟังก์ชันใน q_1 และ q_2

Theorem 3.13 ปัญหา P จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $(v_1, v_2) \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
E\left[\frac{\xi_1 - 2q_1}{\alpha} | \Omega_2^P\right] Pr\{\Omega_2^P\} + E\left[\frac{\alpha\xi_1 + \beta\xi_2 - 2bq_1 - 2\beta q_2}{\alpha^2 - \beta^2} | \Omega_4^P\right] Pr\{\Omega_4^P\} &= c_T - v_1, \\
E\left[\frac{\xi_2 - 2q_2}{\alpha} | \Omega_3^P\right] Pr\{\Omega_3^P\} + E\left[\frac{\alpha\xi_2 + \beta\xi_1 - 2bq_2 - 2\beta q_1}{\alpha^2 - \beta^2} | \Omega_4^P\right] Pr\{\Omega_4^P\} &= c_T - v_2, \\
q_i \cdot v_i &= 0, \quad i = 1, 2.
\end{aligned}$$

Proposition 3.5 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ price postponement strategy P คือนโยบายต่อไปนี้

$$\text{ถ้า } c_T < \bar{c}^P, \text{ แล้ว } K^{*P} > 0$$

$$\text{มิฉะนั้น } K^{*P} = 0$$

โดยที่ค่า threshold $\bar{c}^P$ หาได้จาก

$$\bar{c}^P = \max \left\{ E \left[\frac{\alpha \xi_1 + \beta \xi_2}{\alpha^2 - \beta^2} \right], E \left[\frac{\alpha \xi_2 + \beta \xi_1}{\alpha^2 - \beta^2} \right] \right\} \quad (15)$$

Theorem 3.14 ค่า thresholds $\bar{c}^P$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

$$\frac{\partial \bar{c}^P}{\partial \beta} = \frac{\alpha \max \left\{ E[\xi_1], E[\xi_2] \right\} + \beta \min \left\{ E[\xi_1], E[\xi_2] \right\}}{(\alpha^2 - \beta^2)^2} > 0.$$

Theorem 3.15 กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^{*P} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

เนื่องจาก $K^{*P} = q_1^{*P} + q_2^{*P}$ ดังนั้น

$$\frac{\partial K^{*P}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*P}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*P}}{\partial \beta}.$$

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $q_i^{*P} > 0, i = 1, 2$ เราจะได้ว่า $\frac{\partial V^P}{\partial q_i} \big|_{q_i=q_i^*} = 0$ สำหรับ $i = 1, 2$ โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial V^P(\beta)}{\partial q_i} \big|_{q_i=q_i^{*P}} \right) = \frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i^2} \big|_{q_i=q_i^*} \frac{\partial q_i^{*P}}{\partial \beta} + \frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*P}} = 0$$

ดังนั้นสำหรับ $q_i^{*P}(\beta) > 0$, การเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิตสินค้าชนิดที่ i ที่เหมาะสม สามารถหาได้จาก

$$\frac{\partial q_i^{*P}}{\partial \beta} = - \frac{\frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*P}}}{\frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i^2} \big|_{q_i=q_i^{*P}}}.$$

จากสมการที่ (13) และ (14) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*P}} < 0$.

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial q_i^{*P}}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*P}}$.

$$\frac{\partial^2 V^P}{\partial q_i \partial \beta} \big|_{q_i=q_i^{*P}} = E \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2)(\epsilon_{3-i} - 2q_{3-i}) + 2\alpha\beta(\epsilon_i - 2q_i)}{\alpha^2 - \beta^2} \middle| \Omega_4^P \right] Pr\{\Omega_4^P\} > 0, \quad i = 1, 2$$

ดังนั้น $\frac{\partial q_i^{*P}}{\partial \beta} > 0$ สำหรับ $i = 1, 2$. ส่งผลให้

$$\frac{\partial K^{*P}}{\partial \beta} = \frac{\partial q_1^{*P}}{\partial \beta} + \frac{\partial q_2^{*P}}{\partial \beta} > 0$$

ดังนั้นสำหรับ $q_i^{*P} > 0$ K^{*P} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

3.6 Price and Demand Postponement (PD)

กรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K และปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน ส่วนราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ จะถูกกำหนด หลังจากที่มีความต้องการมีความชัดเจนมากขึ้น เช่นเดียวกับปัญหา P นอกจากนี้ผู้ประกอบการยังสามารถชะลอความต้องการบางส่วน โดยตัดสินใจในช่วง production stage

$$\begin{aligned}
 \text{Phase 1:} \quad V^{PD} &= \max_{\vec{q}} E[\Pi^P(\vec{q})] - \sum_{i=1}^2 c_T q_i \\
 \text{s.t.} \quad q_i &\geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2. \\
 \text{Phase 2:} \quad \Pi^{PD}(\vec{q}) &= \max_{\vec{p}, \vec{s}, q_{pi}} \sum_{i=1}^2 p_i s_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi} \\
 \text{s.t.} \quad s_i &\leq q_i, \quad i = 1, 2 \\
 s_i &\leq \epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2 \\
 \alpha p_i - \beta p_{3-i} &\leq \epsilon_i, \quad i = 1, 2 \\
 q_{pi} &\leq q_i \quad \text{for } i = 1, 2 \\
 q_{pi} &\leq (1 - \gamma)(\epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i} - s_i), \quad i = 1, 2 \\
 s_i, p_i, q_{pi} &\geq 0, \quad i = 1, 2
 \end{aligned}$$

เช่นเดียวกับปัญหา P เราสามารถพิสูจน์ที่ว่าผลเฉลยที่เหมาะสมสำหรับปัญหา PD ใน stage 2 คือ $s_i^{PD} = d_i^{PD}$, สำหรับ $i = 1, 2$. ดังนั้นจาก constraint จะได้ว่า $q_{pi} = 0$ สำหรับ $i = 1, 2$ นั่นคือผู้ประกอบการควรสินค้าที่ขายในช่วงปกติเท่ากับปริมาณความต้องการของลูกค้าจึงจะได้กำไรสูงสุด ซึ่งจะไม่มีการผลิตสินค้าเพิ่มเติมในช่วง production stage ซึ่งผู้ประกอบการสามารถปรับราคาสินค้าในการควบคุมปริมาณความต้องการสินค้าไม่ให้เกินกำลังการผลิตของโรงงาน

ดังนั้นผลเฉลยในปัญหา PD จึงเป็นผลเฉลยเดียวกับผลเฉลยในปัญหา P

$$\bar{c}^P = \bar{c}^{PD}, \quad K^{*P} = K^{*PD}$$

3.7 Price and Quantity Postponement (PQ)

กรณีนี้ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจด้านกำลังการผลิต K ล่วงหน้าในขณะที่ยังไม่ทราบความต้องการที่แน่นอนเพียงอย่างเดียว ส่วนราคาสินค้า $\vec{p} = (p_1, p_2)$ และปริมาณสินค้าที่จะผลิต $\vec{q} = (q_1, q_2)$ จะถูกกำหนด หลังจากที่มีความต้องการมีความชัดเจนมากขึ้น (ในช่วง production stage)

$$\text{Phase 1:} \quad V^{PQ} = \max_K E[\Pi^{PQ}(K)] - c_K K$$

$$\begin{aligned}
& \text{s.t.} \quad K \geq 0 \\
\text{Phase 2:} \quad & \Pi^{PQ}(K) = \max_{\vec{p}, \vec{q}} \sum_{i=1}^2 (p_i - c_p) q_i \\
& \sum_{i=1}^2 q_i \leq K \\
& q_i \leq \epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2 \\
& \alpha p_i - \beta p_{3-i} \leq \epsilon_i, \quad i = 1, 2 \\
& q_i, p_i \geq 0, \quad i = 1, 2.
\end{aligned}$$

สำหรับปัญหา PQ ใน stage 2 เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า $d_i^* = q_i^*$ สำหรับ $i = 1, 2$ ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจเหลือเพียง $\vec{p} = (p_1, p_2)$

สำหรับใน Stage 2 เราสามารถแบ่ง demand space ออกเป็นพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6:

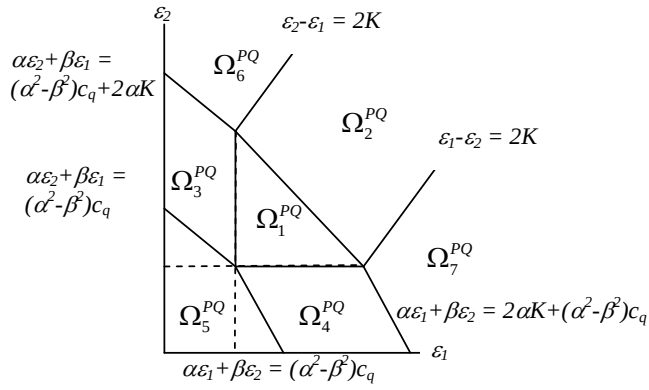


Figure 6: The demand space for Problem PQ .

โดยที่

$$\begin{aligned}
\Omega_1^{PQ} &= \{\epsilon_1 + \epsilon_2 \leq 2K + 2(\alpha - \beta)c_p, \epsilon_1 \geq (\alpha - \beta)c_p, \epsilon_2 \geq (\alpha - \beta)c_p\}, \\
\Omega_2^{PQ} &= \{\epsilon_1 + \epsilon_2 > 2K + 2(\alpha - \beta)c_p, |\epsilon_1 - \epsilon_2| \leq 2K\}, \\
\Omega_3^{PQ} &= \{(\alpha^2 - \beta^2)c_p \leq \alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 \leq 2\alpha K + (\alpha^2 - \beta^2)c_p, \epsilon_1 < (\alpha - \beta)c_p\}, \\
\Omega_4^{PQ} &= \{(\alpha - \beta^2)c_p \leq \alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 \leq 2\alpha K + (\alpha^2 - \beta^2)c_p, \epsilon_2 < (\alpha - \beta)c_p\}, \\
\Omega_5^{PQ} &= \{\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 < (\alpha^2 - \beta^2)c_p, \alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 < (\alpha^2 - \beta^2)c_p\}, \\
\Omega_6^{PQ} &= \{\epsilon_2 - \epsilon_1 > 2K, \alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 > 2\alpha K + (\alpha^2 - \beta^2)c_p\}, \\
\Omega_7^{PQ} &= \{\epsilon_1 - \epsilon_2 > 2K, \alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 > 2\alpha K + (\alpha^2 - \beta^2)c_p\}.
\end{aligned} \tag{16}$$

ใน Stage 2 เราทราบค่าของ ϵ_1 และ ϵ_2 ของตัวแปรสุ่ม ξ_1 และ ξ_2 $\Pi^{PQ}(K)$ ในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเขียนได้

ดังนี้

$$\Pi^{PQ}(K) = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\alpha\epsilon_i + \beta\epsilon_{3-i} - (\alpha^2 - \beta^2)c_p}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \right) \left(\frac{\epsilon_i - (\alpha - \beta)c_p}{2} \right), & \text{if } \Omega_1^{PQ} \\ \sum_{i=1}^2 \left(\frac{(3\alpha + \beta)\epsilon_i + (\alpha + 3\beta)\epsilon_{3-i} - (\alpha + \beta)2K}{4(\alpha^2 - \beta^2)} - c_p \right) \left(\frac{\epsilon_i - \epsilon_{3-i} + 2K}{4} \right), & \text{if } \Omega_2^{PQ} \\ \frac{(\alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 - (\alpha^2 - \beta^2)c_p)^2}{4\alpha(\alpha^2 - \beta^2)}, & \text{if } \Omega_3^{PQ} \\ \frac{(\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 - (\alpha^2 - \beta^2)c_p)^2}{4\alpha(\alpha^2 - \beta^2)}, & \text{if } \Omega_4^{PQ} \\ 0, & \text{if } \Omega_5^{PQ} \\ \left(\frac{\alpha\epsilon_2 + \beta\epsilon_1 - \alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \right) K, & \text{if } \Omega_6^{PQ} \\ \left(\frac{\alpha\epsilon_1 + \beta\epsilon_2 - \alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \right) K, & \text{if } \Omega_7^{PQ}. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V^{PQ}(\beta)}{\partial K} &= E \left[\frac{\xi_1 + \xi_2 - 2K}{2(\alpha - \beta)} - c_p \middle| \Omega_2^{PQ} \right] Pr\{\Omega_2^{PQ}\} + E \left[\frac{\alpha\xi_2 + \beta\xi_1 - 2\alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \Omega_6^{PQ} \right] Pr\{\Omega_6^{PQ}\} \\ &\quad + E \left[\frac{\alpha\xi_1 + \beta\xi_2 - 2\alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \Omega_7^{PQ} \right] Pr\{\Omega_7^{PQ}\} - c_K \\ \frac{\partial^2 V^{PQ}}{\partial K^2} &= -\frac{1}{\alpha - \beta} Pr\{\Omega_2^{PQ}\} - \frac{2\alpha}{\alpha^2 - \beta^2} Pr\{\Omega_6^{PQ}\} - \frac{2\alpha}{\alpha^2 - \beta^2} Pr\{\Omega_7^{PQ}\} < 0 \end{aligned} \quad (17)$$

V^{PQ} เป็น concave ฟังก์ชันใน K

Theorem 3.16 สำหรับปัญหา PQ จะมีคำตอบที่เหมาะสมเพียงคำตอบเดียวก็ต่อเมื่อมี $v \geq 0$ ที่เป็นผลเฉลยของชุดสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} E \left[\frac{\xi_1 + \xi_2 - 2K}{2(\alpha - \beta)} - c_p \middle| \Omega_2^{PQ} \right] Pr\{\Omega_2^{PQ}\} + E \left[\frac{\alpha\xi_2 + \beta\xi_1 - 2\alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \Omega_6^{PQ} \right] Pr\{\Omega_6^{PQ}\} \\ + E \left[\frac{\alpha\xi_1 + \beta\xi_2 - 2\alpha K}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \Omega_7^{PQ} \right] Pr\{\Omega_7^{PQ}\} = c_K - v, \\ K \cdot v = 0. \end{aligned}$$

Proposition 3.6 นโยบายในการลงทุนด้านกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับ price and postponement PQ คือนโยบายต่อไปนี้

$$\text{ถ้า } c_T < \bar{c}^{PQ}, \text{ แล้ว } K^{*PQ} > 0$$

$$\text{มิฉะนั้น } K^{*PQ} = 0$$

โดยที่ค่าของ threshold $\bar{c}^{PQ}$ หาได้จาก

$$\begin{aligned} \bar{c}^{PQ} &= E \left[\frac{\alpha\xi_1 + \beta\xi_2}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \xi_1 \geq \xi_2, \alpha\xi_1 + \beta\xi_2 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p \right] Pr\{\xi_1 \geq \xi_2, \alpha\xi_1 + \beta\xi_2 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p\} \\ &\quad + E \left[\frac{\alpha\xi_2 + \beta\xi_1}{\alpha^2 - \beta^2} - c_p \middle| \xi_2 > \xi_1, \alpha\xi_2 + \beta\xi_1 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p \right] Pr\{\xi_2 > \xi_1, \alpha\xi_2 + \beta\xi_1 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p\} + c_p \end{aligned} \quad (18)$$

Theorem 3.17 ค่า thresholds $\bar{c}^{PQ}$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น

Proof:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}^{PQ}(\beta)}{\partial \beta} &= E \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2)\xi_1 + 2\alpha\beta\xi_2}{(\alpha^2 - \beta^2)^2} \middle| \xi_2 > \xi_1, \alpha\xi_2 + \beta\xi_1 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p \right] Pr\{\xi_2 > \xi_1, \alpha\xi_2 + \beta\xi_1 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p\} \\ &\quad + E \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2)\xi_2 + 2\alpha\beta\xi_1}{(\alpha^2 - \beta^2)^2} \middle| \xi_1 \geq \xi_2, \alpha\xi_1 + \beta\xi_2 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p \right] Pr\{\xi_1 \geq \xi_2, \alpha\xi_1 + \beta\xi_2 \geq (\alpha^2 - \beta^2)c_p\} > 0. \end{aligned}$$

Theorem 3.18 *กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^{*PQ} จะเพิ่มขึ้นเมื่อ β เพิ่มขึ้น*

Proof:

จาก KKT first-order conditions สำหรับ $K^{*PQ} > 0$ เราจะได้ว่า $\frac{\partial V^{PQ}}{\partial K} \big|_{K=K^*} = 0$

โดยวิธี implicit differentiation เทียบกับ β เราจะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\partial V^{PQ}(\beta)}{\partial K} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)} \right) = \frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K^2} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)} \frac{\partial K^{*PQ}(\beta)}{\partial \beta} + \frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K \partial \beta} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)} = 0.$$

ดังนั้น สำหรับ $K^{*PQ}(\beta) > 0$, $\frac{\partial K^{*PQ}(\beta)}{\partial \beta} = - \frac{\frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K \partial \beta} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)}}{\frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K^2} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)}}$

จากสมการที่ (17) จะได้ว่า $\frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K^2} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)} < 0$

ดังนั้นเครื่องหมายของ $\frac{\partial K^{*PQ}(\beta)}{\partial \beta}$ มีเครื่องหมายเหมือนกับ $\frac{\partial^2 V^{PQ}(\beta)}{\partial K \partial \beta} \big|_{K=K^{*PQ}(\beta)}$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V^{PQ}}{\partial K \partial \beta} &= E \left[\frac{\xi_1 + \xi_2 - 2K}{2(\alpha - \beta)^2} \middle| \Omega_2^{PQ} \right] Pr\{\Omega_2^{PQ}\} + E \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2)\xi_1 + 2\alpha\beta(\xi_2 - 2K)}{(\alpha^2 - \beta^2)^2} \middle| \Omega_6^{PQ} \right] Pr\{\Omega_6^{PQ}\} \\ &\quad + E \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2)\xi_2 + 2\alpha\beta(\xi_1 - 2K)}{(1 - \beta^2)^2} \middle| \Omega_7^{PQ} \right] Pr\{\Omega_7^{PQ}\} > 0. \end{aligned}$$

3.8 All Postponement (A)

$$\begin{aligned} \text{Phase 1:} \quad V^A &= \max_K E[\Pi^A(K)] - c_K K \\ \text{s.t.} \quad K &\geq 0 \\ \text{Phase 2:} \quad \Pi^A(K) &= \max_{\vec{p}, \vec{s}, q_{pi}} \sum_{i=1}^2 p_i s_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi} \\ \sum_{i=1}^2 q_i &\leq K \\ q_i &\leq \epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2 \\ \alpha p_i - \beta p_{3-i} &\leq \epsilon_i, \quad i = 1, 2 \\ q_{pi} &\leq q_i \quad i = 1, 2 \\ q_{pi} &\leq (1 - \gamma)[\epsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i} - q_i], \quad i = 1, 2 \\ q_i, p_i, q_{pi} &\geq 0, \quad i = 1, 2 \end{aligned}$$

สำหรับผลเฉลยที่เหมาะสมของปัญหา A ใน stage 2 คือ $q_i^{*A} = d_i^{*A}$, สำหรับ $i = 1, 2$. ดังนั้นจาก constraint จะได้ว่า $q_{pi} = 0$ สำหรับ $i = 1, 2$ นั่นคือผู้ประกอบการควรสินค้าที่ขายในช่วงปกติเท่ากับปริมาณความต้องการของลูกค้าจึงจะได้กำไรสูงสุด ซึ่งจะไม่มีการผลิตสินค้าเพิ่มเติมในช่วง production stage ซึ่งผู้ประกอบการสามารถปรับราคาสินค้าในการควบคุมปริมาณความต้องการสินค้าไม่ให้เกินกำลังการผลิตของโรงงาน

ดังนั้นผลเฉลยในปัญหา A จึงเป็นผลเฉลยเดียวกับผลเฉลยในปัญหา PQ

$$\bar{c}^A = \bar{c}^{PQ}, \quad K^{*A} = K^{*PQ}$$

4 การจำลองสถานการณ์และผลการวิจัย

ในการเปรียบเทียบค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสม K^* และผลกำไร V โดยการพิสูจน์ทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้การจำลองสถานการณ์ของกลยุทธ์ประเภทต่าง ๆ โดยพิจารณาทั้งหมด 18 กรณี เพื่อเปรียบเทียบของ กำลังการผลิตที่เหมาะสม K^* และผลกำไร V

กำหนดให้ μ_1 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของของความต้องการของสินค้าชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สัดส่วนของลูกค้าที่ยอมรับข้อเสนอในการยอมชะลอการส่งมอบสินค้ามีเพียง 20% ของปริมาณลูกค้าทั้งหมด ตารางที่ 1 แสดงกรณีศึกษาทั้งหมด 18 กรณีที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์

Case		μ_1	μ_2	c_q	c_h	c_k	c
1	a	10	10	0	0	0.5	5
	b	10	10	0	0	2	5
	c	10	10	0	0	5	5
2	a	10	10	0	0.4	0.5	5
	b	10	10	0	0.4	2	5
	c	10	10	0	0.4	5	5
3	a	10	10	3	0.4	0.5	5
	b	10	10	3	0.4	2	5
	c	10	10	3	0.4	5	5
4	a	10	5	0	0	0.5	5
	b	10	5	0	0	2	5
	c	10	5	0	0	5	5
5	a	10	5	3	0	0.5	5
	b	10	5	3	0	2	5
	c	10	5	3	0	5	5
6	a	10	5	3	0.4	0.5	5
	b	10	5	3	0.4	2	5
	c	10	5	3	0.4	5	5

Table 1: กรณีต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์

ในการจำลองสถานการณ์นี้ได้กำหนดให้ความต้องการสินค้าทั้งสองชนิดมีการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล อย่างไร

ก็ตามความต้องการที่มีการแจกแจงในรูปแบบอื่น ๆ ให้ผลที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

4.1 ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบค่า threshold ของกลยุทธ์ต่าง ๆ จากสมการ (3) และ (6) เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned}\bar{c}^D &= \max\{(2p_1 - c)Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2), (2p_2 - c)Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)\} \\ &\geq \max\{p_1 Pr(\epsilon_1 > \alpha p_1 - \beta p_2), p_2 Pr(\epsilon_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)\} = \bar{c}^N\end{aligned}$$

เราสามารถใช้วิธีการเดียวกันในการเปรียบเทียบ threshold อื่น ๆ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\bar{c}^N &\leq \bar{c}^Q \leq \bar{c}^{QD} \leq \bar{c}^{PQ} = \bar{c}^A \\ \bar{c}^N &\leq \bar{c}^P = \bar{c}^{PD} \leq \bar{c}^{PQ} = \bar{c}^A\end{aligned}$$

ค่าของ $\bar{c}^N$ ขึ้นอยู่กับราคาของสินค้าทั้งสองชนิด แต่ไม่ขึ้นอยู่กับต้นทุนต่าง ๆ c_p, c_K, c_h $\bar{c}^D$ ขึ้นอยู่กับราคาของสินค้าทั้งสองชนิด และส่วนลดที่ลูกค้าได้รับในกรณีที่ยอมรับข้อเสนอในการชะลอการส่งมอบสินค้า แต่ไม่ขึ้นอยู่กับต้นทุนต่าง ๆ c_p, c_K, c_h ในขณะที่ $\bar{c}^P$ ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของความต้องการสินค้าทั้งสองชนิด หากค่า c_p และ c_h มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของ $\bar{c}^Q$ $\bar{c}^{QD}$ และ $\bar{c}^{PQ}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่า threshold ของกลยุทธ์ทุกประเภทจะเพิ่มขึ้น ถ้าระดับการทดแทนของสินค้าทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่า ค่า threshold ของกลยุทธ์ต่าง ๆ สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากตัวแบบคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ค่า threshold จากตารางที่ (2) – (19) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับการทดแทนของสินค้าทั้งสองชนิดเพิ่ม อัตราการเพิ่มของ threshold ก็เพิ่มขึ้นตาม

รูปที่ (7) – (20) แสดงความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตที่เหมาะสม K^* สำหรับกลยุทธ์ต่าง ๆ กับระดับการทดแทนของสินค้า β กรณีที่ 1 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า K^* เพิ่ม เมื่อระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่ม ในกรณีที่ 1 จะเห็นว่า เมื่อต้นทุนรวมต่ำ K^* สำหรับกลยุทธ์ N และ D จะมีค่าสูงกว่ากลยุทธ์ประเภทอื่น และ K^* สำหรับกลยุทธ์ PQ จะมีค่าต่ำสุด กรณีที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อต้นทุนรวมสูง K^* สำหรับกลยุทธ์ที่สามารถชะลอด้านปริมาณสินค้าที่ต้องผลิต Q QD และ PQ จะสูงกว่ากลยุทธ์อื่น ความสัมพันธ์ของกำลังการผลิตที่เหมาะสม K^* สำหรับกรณีอื่น ๆ อยู่ใน Appendix

เมื่อต้นทุน c_K เพิ่มขึ้น K^* จะมีค่าลดลง โดยที่กลยุทธ์ N และ P จะมีอัตราการลดลงสูงสุด (เปรียบเทียบค่า K^* ในแต่ละกรณี) เมื่อต้นทุน c_p เพิ่มขึ้น การลงทุนด้านกำลังการผลิต สำหรับกลยุทธ์ N D และ P จะลดลงอย่างมาก (เปรียบเทียบค่า K^* ในกรณีที่ 1 และ 3 และในกรณีที่ 4 และ 5) เมื่อต้นทุน c_p เพิ่มขึ้น K^* สำหรับกลยุทธ์ Q QD PQ และ A ไม่เปลี่ยนแปลง (เปรียบเทียบค่า K^* ในกรณีที่ 1 และ 2 และในกรณีที่ 5 และ 6)

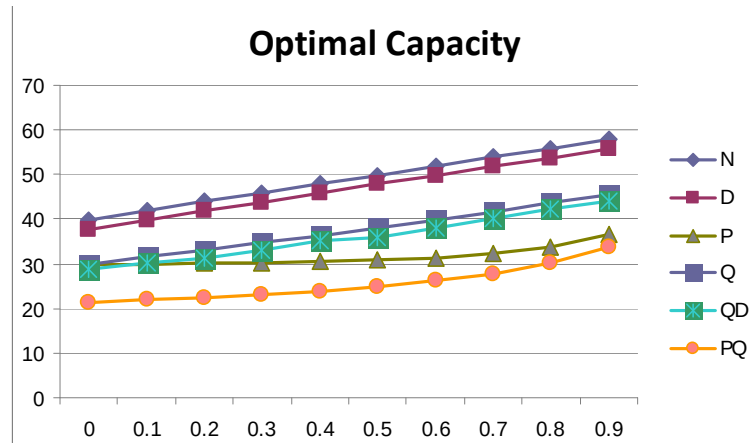


Figure 7: ค่า K^* ในกรณีที่ 1a

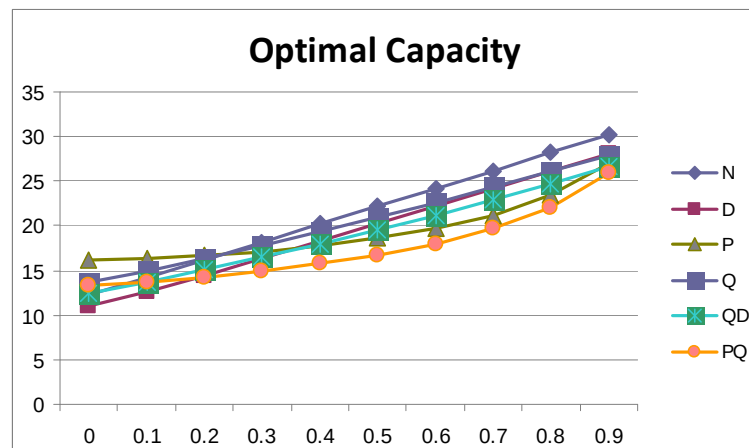


Figure 8: ค่า K^* ในกรณีที่ 1b

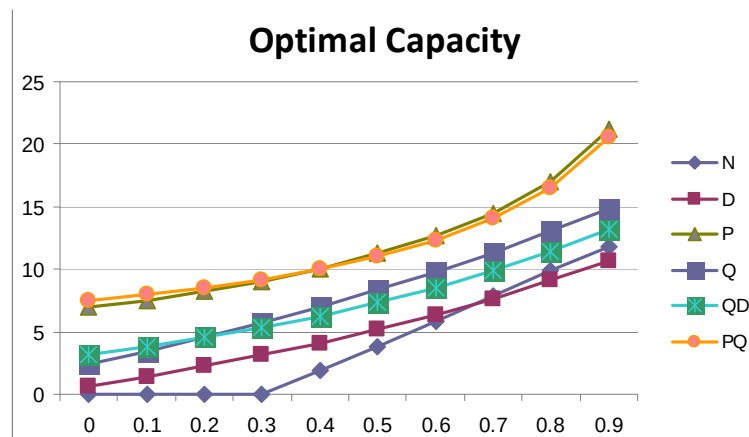


Figure 9: ค่า K^* ในกรณีที่ 1c

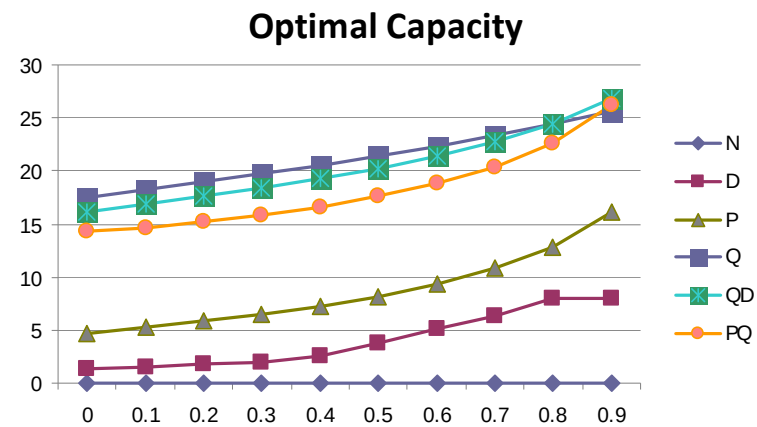


Figure 10: ค่า K^* ในกรณีที่ 6a

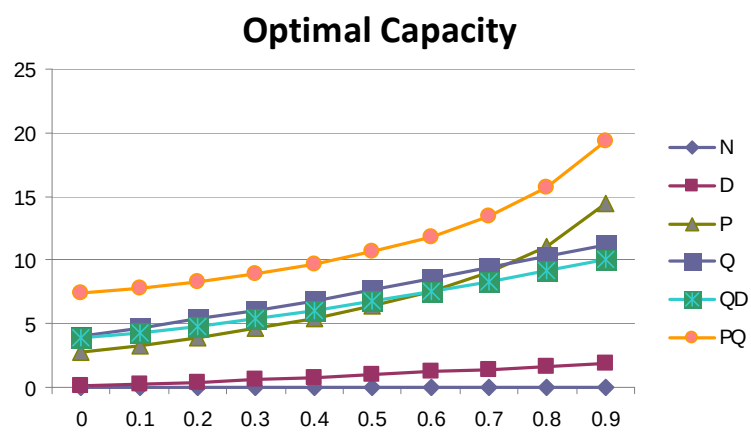


Figure 11: ค่า K^* ในกรณีที่ 6b

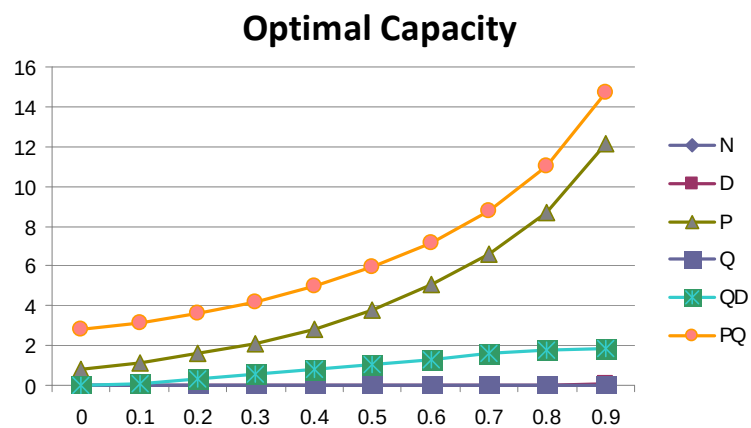


Figure 12: ค่า K^* ในกรณีที่ 6c

รูปที่ (13) และ (14) แสดงความสัมพันธ์ของค่าคาดหวังของกำไรของผู้ประกอบการ V สำหรับกลยุทธ์ต่าง ๆ กับระดับการทดแทนของสินค้า β จากรูปจะเห็นว่าค่าคาดหวังของกำไรของผู้ประกอบการจะสูงสุดหากสามารถใช้กลยุทธ์ PQ เมื่อระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่ม V เพิ่มสำหรับทุกกลยุทธ์ แต่อัตราการเพิ่มของค่าคาดหวังของกำไรสำหรับกลยุทธ์ PQ มีค่าสูงสุด รองลงมาคือกลยุทธ์ P ซึ่งค่าคาดหวังของกำไรสำหรับกลยุทธ์ทั้งสองมีการเพิ่มแบบเอ็กโปเนนเชียล เมื่อต้นทุนด้านกำลังการผลิต c_K มีค่ามากกว่า c_p และ c_h มาก V^P และ V^{PQ} จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ (13)

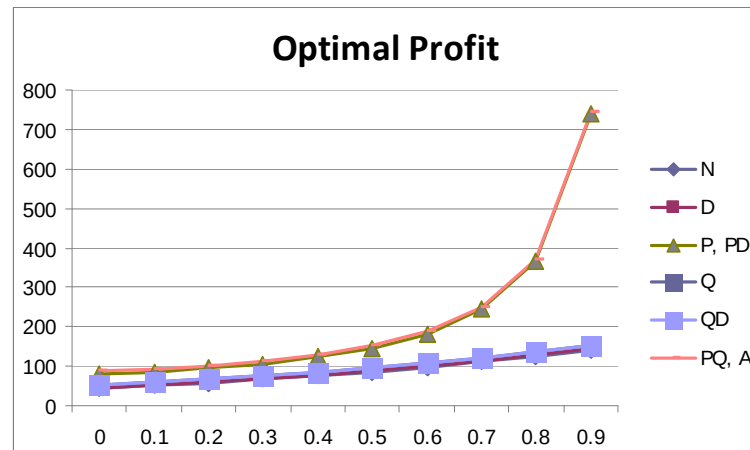


Figure 13: ค่า Profit ในกรณีที่ 1a

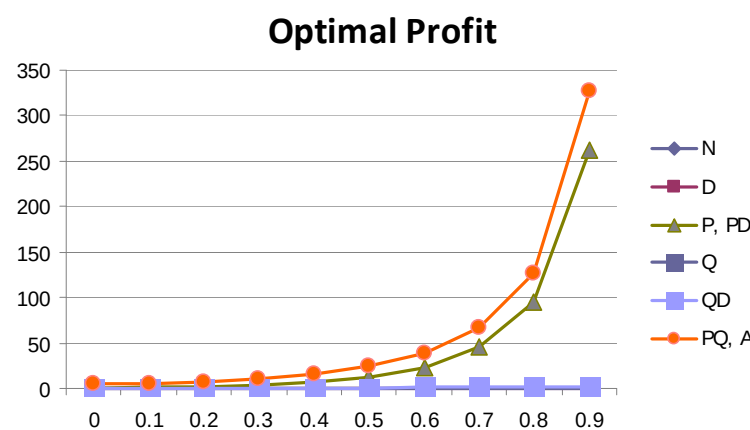


Figure 14: ค่า Profit ในกรณีที่ 6c

สำหรับกรณีอื่น ๆ V^{PQ} จะมีค่าสูงสุด หากเรียงลำดับค่าคาดหวังของผลกำไรของกลยุทธ์ต่าง ๆ จะสามารถสรุปได้ดังนี้

$$V^N < V^D < V^Q < V^{QD} < V^P = V^{PD} < V^{PQ} = V^A$$

จากตารางที่ (2) - (19) แสดงถึงค่า threshold K^* และ V ของกลยุทธ์ต่างๆ ทั้ง 18 กรณี

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	39.91	43.62	10.00	29.96	80.02	6.00	30.02	52.89	15.00	21.44	86.43
0.1	4.07	41.91	50.36	11.11	30.02	86.07	6.48	31.52	59.85	15.66	21.91	92.26
0.2	4.49	43.91	57.91	12.50	30.11	94.57	6.97	33.06	67.59	16.67	22.47	100.50
0.3	4.97	45.91	66.36	14.29	30.25	106.32	7.47	34.67	76.21	18.13	23.14	111.95
0.4	5.49	47.91	75.81	16.67	30.46	122.75	7.96	36.33	85.80	20.24	23.95	128.04
0.5	6.07	49.91	86.35	20.00	30.82	146.46	8.45	38.04	96.47	23.33	24.93	151.36
0.6	6.70	51.91	98.11	25.00	31.36	182.76	8.91	39.82	108.32	28.13	26.16	187.21
0.7	7.41	53.91	111.21	33.33	32.23	244.08	9.33	41.65	121.49	36.27	27.76	248.00
0.8	8.19	55.91	125.79	50.00	33.68	367.78	9.67	43.53	136.12	52.78	30.03	371.07
0.9	9.05	57.91	142.01	100.00	36.54	741.00	9.91	45.46	152.37	102.63	33.92	743.41
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	37.80	44.67	10.00	29.96	80.02	9.01	28.80	53.49	15.00	21.44	86.43
0.1	6.10	39.80	51.41	11.11	30.02	86.07	9.72	30.20	60.45	15.66	21.91	92.26
0.2	6.74	41.80	58.96	12.50	30.11	94.57	10.45	31.20	68.19	16.67	22.47	100.50
0.3	7.45	43.80	67.41	14.29	30.25	106.32	11.20	33.05	76.82	18.13	23.14	111.95
0.4	8.23	45.80	76.86	16.67	30.46	122.75	11.95	35.05	86.41	20.24	23.95	128.04
0.5	9.10	47.80	87.40	20.00	30.82	146.46	12.68	36.05	97.07	23.33	24.93	151.36
0.6	10.05	49.80	99.16	25.00	31.36	182.76	13.37	38.05	108.93	28.13	26.16	187.21
0.7	11.11	51.80	112.26	33.33	32.23	244.08	13.99	40.05	122.10	36.27	27.76	248.00
0.8	12.28	53.80	126.84	50.00	33.68	367.78	14.51	42.21	136.74	52.78	30.03	371.07
0.9	13.57	55.80	143.06	100.00	36.54	741.00	14.86	44.13	152.99	102.63	33.92	743.41

Table 2: กรณี 1a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	12.18	9.20	10.00	16.09	47.81	6.00	13.68	22.77	15.00	13.24	61.75
0.1	4.07	14.18	12.94	11.11	16.33	53.63	6.48	14.99	27.64	15.66	13.68	66.90
0.2	4.49	16.18	17.49	12.50	16.66	61.81	6.97	16.36	33.21	16.67	14.23	74.30
0.3	4.97	18.18	22.94	14.29	17.14	73.09	7.47	17.80	39.57	18.13	14.91	84.75
0.4	5.49	20.18	29.38	16.67	17.77	88.84	7.96	19.30	46.79	20.24	15.73	99.61
0.5	6.07	22.18	36.93	20.00	18.62	111.60	8.45	20.88	54.99	23.33	16.73	121.44
0.6	6.70	24.18	45.69	25.00	19.72	146.57	8.91	22.53	64.28	28.13	17.99	155.43
0.7	7.41	26.18	55.79	33.33	21.22	206.00	9.33	24.27	74.78	36.27	19.65	213.77
0.8	8.19	28.18	67.37	50.00	23.37	326.85	9.67	26.08	86.64	52.78	22.00	333.36
0.9	9.05	30.18	80.59	100.00	27.08	694.95	9.91	27.98	100.02	102.63	26.00	699.78
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	10.93	13.10	10.00	16.09	47.81	9.01	12.44	25.23	15.00	13.24	61.75
0.1	6.10	12.64	16.95	11.11	16.33	53.63	9.72	13.72	30.13	15.66	13.68	66.90
0.2	6.74	14.44	21.57	12.50	16.66	61.81	10.45	15.06	35.73	16.67	14.23	74.30
0.3	7.45	16.32	27.07	14.29	17.14	73.09	11.20	16.47	42.12	18.13	14.91	84.75
0.4	8.23	18.23	33.55	16.67	17.77	88.84	11.95	17.95	49.37	20.24	15.73	99.61
0.5	9.10	20.18	41.11	20.00	18.62	111.60	12.68	19.51	57.59	23.33	16.73	121.44
0.6	10.05	22.14	49.88	25.00	19.72	146.57	13.37	21.15	66.89	28.13	17.99	155.43
0.7	11.11	24.12	59.99	33.33	21.22	206.00	13.99	22.87	77.41	36.27	19.65	213.77
0.8	12.28	26.10	71.58	50.00	23.37	326.85	14.51	24.68	89.28	52.78	22.00	333.36
0.9	13.57	28.10	84.80	100.00	27.08	694.95	14.86	26.57	102.66	102.63	26.00	699.78

Table 3: กรณีสี่ 1b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	6.93	15.34	6.00	2.35	1.14	15.00	7.52	31.82
0.1	4.07	0.00	0.00	11.11	7.50	19.95	6.48	3.43	2.44	15.66	7.94	35.68
0.2	4.49	0.00	0.00	12.50	8.21	26.52	6.97	4.56	4.27	16.67	8.48	41.45
0.3	4.97	0.00	0.00	14.29	9.06	35.74	7.47	5.75	6.70	18.13	9.15	49.87
0.4	5.49	1.86	0.45	16.67	10.08	48.94	7.96	7.01	9.79	20.24	9.99	62.25
0.5	6.07	3.86	1.99	20.00	11.26	68.55	8.45	8.35	13.60	23.33	11.03	81.01
0.6	6.70	5.86	4.75	25.00	12.70	99.61	8.91	9.79	18.22	28.13	12.34	111.14
0.7	7.41	7.86	8.85	33.33	14.52	153.98	9.33	11.35	23.77	36.27	14.05	164.42
0.8	8.19	9.86	14.43	50.00	17.01	267.76	9.67	13.03	30.37	52.78	16.49	276.83
0.9	9.05	11.86	21.65	100.00	21.13	624.00	9.91	14.84	38.19	102.63	20.62	631.03
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.68	0.17	10.00	6.93	15.34	9.01	3.15	5.20	15.00	7.52	31.82
0.1	6.10	1.40	0.68	11.11	7.50	19.95	9.72	3.80	7.18	15.66	7.94	35.68
0.2	6.74	2.23	1.61	12.50	8.21	26.52	10.45	4.54	9.61	16.67	8.48	41.45
0.3	7.45	3.12	3.08	14.29	9.06	35.74	11.20	5.36	12.54	18.13	9.15	49.87
0.4	8.23	4.08	5.21	16.67	10.08	48.94	11.95	6.28	16.04	20.24	9.99	62.25
0.5	9.10	5.16	8.14	20.00	11.26	68.55	12.68	7.34	20.19	23.33	11.03	81.01
0.6	10.05	6.34	12.02	25.00	12.70	99.61	13.37	8.54	25.08	28.13	12.34	111.14
0.7	11.11	7.64	17.01	33.33	14.52	153.98	13.99	9.91	30.82	36.27	14.05	164.42
0.8	12.28	9.10	23.28	50.00	17.01	267.76	14.51	11.46	37.55	52.78	16.49	276.83
0.9	13.57	10.68	31.02	100.00	21.13	624.00	14.86	13.19	45.45	102.63	20.62	631.03

Table 4: กรณี 1c

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	28.16	30.23	10.00	21.64	56.83	6.40	30.02	52.89	15.40	21.44	86.43
0.1	4.07	30.16	36.17	11.11	23.95	66.56	6.88	31.52	59.85	16.06	21.91	92.26
0.2	4.49	32.16	42.92	12.50	24.91	77.82	7.37	33.06	67.59	17.07	22.47	100.50
0.3	4.97	34.16	50.57	14.29	25.49	91.36	7.87	34.67	76.21	18.53	23.14	111.95
0.4	5.49	36.16	59.22	16.67	26.24	108.59	8.36	36.33	85.80	20.64	23.95	128.04
0.5	6.07	38.16	68.96	20.00	27.56	132.11	8.85	38.04	96.47	23.73	24.93	151.36
0.6	6.70	40.16	79.92	25.00	29.90	167.12	9.31	39.82	108.32	28.53	26.16	187.21
0.7	7.41	42.16	92.22	33.33	33.65	226.03	9.73	41.65	121.49	36.67	27.76	248.00
0.8	8.19	44.16	106.00	50.00	38.95	346.23	10.07	43.53	136.12	53.18	30.03	371.07
0.9	9.05	46.16	121.42	100.00	46.57	714.41	10.31	45.46	152.37	103.03	33.92	743.41
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	26.07	32.13	10.00	21.64	56.83	9.41	28.81	53.49	15.40	21.44	86.43
0.1	6.10	28.06	38.07	11.11	23.95	66.56	10.12	30.29	60.45	16.06	21.91	92.26
0.2	6.74	30.06	44.82	12.50	24.91	77.82	10.85	31.83	68.20	17.07	22.47	100.50
0.3	7.45	32.06	52.47	14.29	25.49	91.36	11.60	33.42	76.82	18.53	23.14	111.95
0.4	8.23	34.05	61.12	16.67	26.24	108.59	12.35	35.07	86.41	20.64	23.95	128.04
0.5	9.10	36.05	70.86	20.00	27.56	132.11	13.08	36.78	97.08	23.73	24.93	151.36
0.6	10.05	38.05	81.82	25.00	29.90	167.12	13.77	38.55	108.93	28.53	26.16	187.21
0.7	11.11	40.05	94.12	33.33	33.65	226.03	14.39	40.37	122.11	36.67	27.76	248.00
0.8	12.28	42.05	107.90	50.00	38.95	346.23	14.91	42.25	136.74	53.18	30.03	371.07
0.9	13.57	44.05	123.32	100.00	46.57	714.41	15.26	44.18	152.99	103.03	33.92	743.41

Table 5: ករណី 2a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	8.54	5.07	10.00	11.19	34.59	6.40	13.68	22.77	15.40	13.24	61.75
0.1	4.07	10.54	8.01	11.11	12.30	41.99	6.88	14.99	27.64	16.06	13.68	66.90
0.2	4.49	12.54	11.76	12.50	13.42	51.34	7.37	16.36	33.21	17.07	14.23	74.30
0.3	4.97	14.54	16.42	14.29	14.51	63.28	7.87	17.80	39.57	18.53	14.91	84.75
0.4	5.49	16.54	22.06	16.67	15.58	78.94	8.36	19.30	46.79	20.64	15.73	99.61
0.5	6.07	18.54	28.80	20.00	16.78	100.47	8.85	20.88	54.99	23.73	16.73	121.44
0.6	6.70	20.54	36.76	25.00	18.42	132.37	9.31	22.53	64.28	28.53	17.99	155.43
0.7	7.41	22.54	46.06	33.33	21.50	185.72	9.73	24.27	74.78	36.67	19.65	213.77
0.8	8.19	24.54	56.84	50.00	28.20	296.67	10.07	26.08	86.64	53.18	22.00	333.36
0.9	9.05	26.54	69.27	100.00	37.97	651.85	10.31	27.98	100.02	103.03	26.00	699.78
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	8.12	9.32	10.00	11.19	34.59	9.41	12.44	25.23	15.40	13.24	61.75
0.1	6.10	9.62	12.52	11.11	12.30	41.99	10.12	13.72	30.13	16.06	13.68	66.90
0.2	6.74	11.24	16.46	12.50	13.42	51.34	10.85	15.06	35.73	17.07	14.23	74.30
0.3	7.45	12.96	21.24	14.29	14.51	63.28	11.60	16.40	42.12	18.53	14.91	84.75
0.4	8.23	14.78	26.97	16.67	15.58	78.94	12.35	17.95	49.37	20.64	15.73	99.61
0.5	9.10	16.66	33.77	20.00	16.78	100.47	13.08	19.51	57.59	23.73	16.73	121.44
0.6	10.05	18.58	41.76	25.00	18.42	132.37	13.77	21.15	66.89	28.53	17.99	155.43
0.7	11.11	20.52	51.08	33.33	21.50	185.72	14.39	22.87	77.41	36.67	19.65	213.77
0.8	12.28	22.50	61.88	50.00	28.20	296.67	14.91	24.68	89.28	53.18	22.00	333.36
0.9	13.57	24.47	74.31	100.00	37.97	651.85	15.26	26.57	102.66	103.03	26.00	699.78

Table 6: กรณี 2b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	5.18	11.24	6.40	2.35	1.14	15.40	7.53	31.82
0.1	4.07	0.00	0.00	11.11	6.02	15.90	6.88	3.43	2.44	16.06	7.94	35.68
0.2	4.49	0.00	0.00	12.50	6.95	22.30	7.37	4.56	4.27	17.07	8.48	41.45
0.3	4.97	0.00	0.00	14.29	7.95	31.17	7.87	5.75	6.70	18.53	9.16	49.87
0.4	5.49	0.32	0.01	16.67	9.00	43.68	8.36	7.01	9.79	20.64	9.99	62.25
0.5	6.07	2.32	0.76	20.00	10.12	61.85	8.85	8.35	13.60	23.73	11.03	81.01
0.6	6.70	4.32	2.72	25.00	11.36	89.78	9.31	9.79	18.22	28.53	12.34	111.14
0.7	7.41	6.32	6.02	33.33	12.90	137.11	9.73	11.35	23.77	36.67	14.05	164.42
0.8	8.19	8.32	10.80	50.00	15.66	233.81	10.07	13.03	30.37	53.18	16.49	276.83
0.9	9.05	10.32	17.22	100.00	28.61	552.86	10.31	14.84	38.19	103.03	20.62	631.03
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.14	0.01	10.00	5.18	11.24	9.41	3.15	5.20	15.40	7.53	31.82
0.1	6.10	0.80	0.24	11.11	6.02	15.90	10.12	3.80	7.18	16.06	7.94	35.68
0.2	6.74	1.56	0.85	12.50	6.95	22.30	10.85	4.54	9.61	17.07	8.48	41.45
0.3	7.45	2.44	1.96	14.29	7.95	31.17	11.60	5.36	12.54	18.53	9.16	49.87
0.4	8.23	3.34	3.68	16.67	9.00	43.68	12.35	6.28	16.04	20.64	9.99	62.25
0.5	9.10	4.32	6.16	20.00	10.12	61.85	13.08	7.34	20.19	23.73	11.03	81.01
0.6	10.05	5.42	9.54	25.00	11.36	89.78	13.77	8.54	25.08	28.53	12.34	111.14
0.7	11.11	6.62	14.00	33.33	12.90	137.11	14.39	9.91	30.82	36.67	14.05	164.42
0.8	12.28	7.98	19.71	50.00	15.66	233.81	14.91	11.46	37.55	53.18	16.49	276.83
0.9	13.57	9.44	26.84	100.00	28.61	552.86	15.26	13.19	45.45	103.03	20.62	631.03

Table 7: กรณี 2c

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	3.80	20.73	7.60	25.89	32.85	15.47	19.04	61.76
0.1	4.07	0.83	0.07	11.11	4.24	26.68	7.93	27.34	37.50	16.12	19.65	67.16
0.2	4.49	2.83	0.82	12.50	4.72	34.49	8.28	28.85	42.69	17.12	20.39	74.94
0.3	4.97	4.83	2.47	14.29	5.23	44.86	8.63	30.42	48.49	18.58	21.26	85.90
0.4	5.49	6.83	5.12	16.67	5.75	58.94	8.98	32.05	54.95	20.68	22.30	101.47
0.5	6.07	8.83	8.86	20.00	6.30	78.77	9.32	33.75	62.16	23.76	23.52	124.26
0.6	6.70	10.83	13.82	25.00	6.94	108.56	9.64	35.50	70.19	28.55	25.01	159.56
0.7	7.41	12.83	20.12	33.33	7.86	158.38	9.93	37.31	79.14	36.69	26.88	219.78
0.8	8.19	14.83	27.90	50.00	10.21	260.40	10.17	39.18	89.10	53.18	29.44	342.26
0.9	9.05	16.83	37.32	100.00	16.43	598.92	10.34	41.11	100.18	103.03	33.62	714.01
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	2.64	1.92	10.00	3.80	20.73	10.61	24.08	33.73	15.47	19.04	61.76
0.1	6.10	3.58	3.33	11.11	4.24	26.68	11.17	25.52	38.39	16.12	19.65	67.16
0.2	6.74	4.58	5.29	12.50	4.72	34.49	11.76	27.02	43.58	17.12	20.39	74.94
0.3	7.45	5.70	7.92	14.29	5.23	44.86	12.36	28.57	49.39	18.58	21.26	85.90
0.4	8.23	6.96	11.33	16.67	5.75	58.94	12.96	30.19	55.86	20.68	22.30	101.47
0.5	9.10	8.34	15.66	20.00	6.30	78.77	13.54	31.87	63.07	23.76	23.52	124.26
0.6	10.05	9.84	21.06	25.00	6.94	108.56	14.10	33.61	71.10	28.55	25.01	159.56
0.7	11.11	11.48	27.68	33.33	7.86	158.38	14.59	35.41	80.05	36.69	26.88	219.78
0.8	12.28	13.22	35.68	50.00	10.21	260.40	15.01	37.28	90.02	53.18	29.44	342.26
0.9	13.57	15.04	45.26	100.00	16.43	598.92	15.29	39.20	101.10	103.03	33.62	714.01

Table 8: กรณีส 3a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	5.18	11.24	7.60	9.34	9.11	15.47	11.02	40.53
0.1	4.07	0.00	0.00	11.11	6.02	15.90	7.93	10.58	11.75	16.12	11.57	45.06
0.2	4.49	0.00	0.00	12.50	6.95	22.30	8.28	11.87	14.85	17.12	12.26	51.78
0.3	4.97	0.00	0.00	14.29	7.95	31.17	8.63	13.23	18.46	18.58	13.10	61.46
0.4	5.49	0.32	0.01	16.67	9.00	43.68	8.98	14.66	22.64	20.68	14.12	75.49
0.5	6.07	2.32	0.76	20.00	10.12	61.85	9.32	16.18	27.45	23.76	15.35	96.43
0.6	6.70	4.32	2.72	25.00	11.36	89.78	9.64	17.77	32.98	28.55	16.86	129.48
0.7	7.41	6.32	6.02	33.33	12.90	137.11	9.93	19.46	39.30	36.69	18.78	186.85
0.8	8.19	8.32	10.80	50.00	15.66	233.81	10.17	21.25	46.52	53.18	21.41	305.44
0.9	9.05	10.32	17.22	100.00	28.61	552.86	10.34	23.12	54.76	103.03	25.70	670.82
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.14	0.01	10.00	5.18	11.24	10.61	7.85	12.64	15.47	11.02	40.53
0.1	6.10	0.80	0.24	11.11	6.02	15.90	11.17	8.92	15.38	16.12	11.57	45.06
0.2	6.74	1.56	0.85	12.50	6.95	22.30	11.76	10.07	18.56	17.12	12.26	51.78
0.3	7.45	2.44	1.96	14.29	7.95	31.17	12.36	11.32	22.24	18.58	13.10	61.46
0.4	8.23	3.34	3.68	16.67	9.00	43.68	12.96	12.67	26.48	20.68	14.12	75.49
0.5	9.10	4.32	6.16	20.00	10.12	61.85	13.54	14.12	31.34	23.76	15.35	96.43
0.6	10.05	5.42	9.54	25.00	11.36	89.78	14.10	15.67	36.90	28.55	16.86	129.48
0.7	11.11	6.62	14.00	33.33	12.90	137.11	14.59	17.32	43.25	36.69	18.78	186.85
0.8	12.28	7.98	19.71	50.00	15.66	233.81	15.01	19.08	50.50	53.18	21.41	305.44
0.9	13.57	9.44	26.84	100.00	28.61	552.86	15.29	20.94	58.75	103.03	25.70	670.82

Table 9: กรณีส 3b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	1.62	1.29	7.60	0.00	0.00	15.47	5.53	16.90
0.1	4.07	0.00	0.00	11.11	2.53	3.37	7.93	0.00	0.00	16.12	6.00	19.91
0.2	4.49	0.00	0.00	12.50	3.50	6.95	8.28	0.00	0.00	17.12	6.64	24.64
0.3	4.97	0.00	0.00	14.29	4.56	12.76	8.63	0.66	0.07	18.58	7.45	31.84
0.4	5.49	0.00	0.00	16.67	5.70	21.98	8.98	1.72	0.49	20.68	8.45	42.84
0.5	6.07	0.00	0.00	20.00	6.93	36.64	9.32	2.85	1.29	23.76	9.69	60.08
0.6	6.70	0.00	0.00	25.00	8.26	60.74	9.64	4.09	2.51	28.55	11.23	88.55
0.7	7.41	0.00	0.00	33.33	9.78	103.57	9.93	5.45	4.19	36.69	13.20	140.08
0.8	8.19	0.00	0.00	50.00	11.82	193.48	10.17	6.97	6.39	53.18	15.90	250.66
0.9	9.05	1.48	0.48	100.00	18.80	480.77	10.34	8.68	9.22	103.03	20.32	602.97
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.00	0.00	10.00	1.62	1.29	10.61	1.47	1.47	15.47	5.53	16.90
0.1	6.10	0.00	0.00	11.11	2.53	3.37	11.17	1.88	2.31	16.12	6.00	19.91
0.2	6.74	0.00	0.00	12.50	3.50	6.95	11.76	2.32	3.39	17.12	6.64	24.64
0.3	7.45	0.00	0.00	14.29	4.56	12.76	12.36	2.80	4.73	18.58	7.45	31.84
0.4	8.23	0.00	0.00	16.67	5.70	21.98	12.96	3.32	6.36	20.68	8.45	42.84
0.5	9.10	0.01	0.01	20.00	6.93	36.64	13.54	3.90	8.31	23.76	9.69	60.08
0.6	10.05	1.17	0.09	25.00	8.26	60.74	14.10	4.55	10.60	28.55	11.23	88.55
0.7	11.11	2.02	1.07	33.33	9.78	103.57	14.59	5.28	13.27	36.69	13.20	140.08
0.8	12.28	2.94	3.05	50.00	11.82	193.48	15.01	6.13	16.36	53.18	15.90	250.66
0.9	13.57	3.90	6.23	100.00	18.80	480.77	15.29	7.14	19.90	103.03	20.32	602.97

Table 10: กรณีส 3c

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	26.47	25.25	10.00	20.73	48.38	4.84	21.77	30.13	11.67	16.39	51.80
0.1	3.87	27.97	28.42	10.61	20.79	51.52	5.25	22.60	33.64	12.12	16.69	54.81
0.2	4.07	29.47	32.14	11.46	20.90	56.15	5.69	23.48	37.66	12.85	17.07	59.27
0.3	4.27	30.97	36.51	12.64	21.10	62.71	6.19	24.42	42.31	13.92	17.56	65.64
0.4	4.49	32.47	41.67	14.29	21.40	72.00	6.75	25.44	47.69	15.48	18.18	74.72
0.5	4.70	33.97	47.75	16.67	21.86	85.55	7.36	26.54	53.97	17.78	18.95	88.02
0.6	5.00	35.47	54.42	20.31	22.51	106.41	7.48	27.69	60.81	21.35	19.94	108.62
0.7	5.22	36.97	61.22	26.47	23.49	141.82	7.61	28.97	67.76	27.45	21.27	143.72
0.8	5.49	38.47	68.15	38.89	25.00	213.52	7.74	30.35	74.82	39.81	23.20	215.07
0.9	5.77	39.97	75.21	76.32	27.84	430.51	7.88	31.83	82.00	77.19	26.57	431.58
	D			PD			QD			A		
beta	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	25.42	25.78	10.00	20.73	48.38	6.68	20.91	30.57	11.67	16.39	51.80
0.1	5.80	26.92	28.95	10.61	20.79	51.52	7.18	21.76	34.06	12.12	16.69	54.81
0.2	6.10	28.42	32.67	11.46	20.90	56.15	7.73	22.68	38.07	12.85	17.07	59.27
0.3	6.41	29.92	37.04	12.64	21.10	62.71	8.33	23.66	42.69	13.92	17.56	65.64
0.4	6.74	31.42	42.19	14.29	21.40	72.00	8.99	24.71	48.06	15.48	18.18	74.72
0.5	7.09	32.92	48.28	16.67	21.86	85.55	9.72	25.85	54.32	17.78	18.95	88.02
0.6	7.45	34.42	54.95	20.31	22.51	106.41	9.97	27.09	61.65	21.35	19.94	108.62
0.7	7.83	35.92	61.75	26.47	23.49	141.82	10.22	28.42	70.29	27.45	21.27	143.72
0.8	8.23	37.42	68.67	38.89	25.00	213.52	10.49	29.85	80.50	39.81	23.20	215.07
0.9	8.65	38.92	75.74	76.32	27.84	430.51	10.77	31.39	92.62	77.19	26.57	431.58

Table 11: กรณีสี่ 4a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	1.68	3.68	4.63	6.09	10.00	25.11	0.00	4.84	9.93	10.00	9.39	33.62
0.1	2.07	3.87	5.56	6.59	10.61	27.90	0.00	5.25	12.23	10.00	9.68	36.20
0.2	2.49	4.07	7.03	7.09	11.46	31.42	0.00	5.69	14.97	10.00	10.06	40.09
0.3	2.97	4.27	9.15	7.59	12.64	36.82	0.00	6.19	18.24	10.00	10.55	45.72
0.4	3.49	4.49	12.05	8.09	14.29	45.02	0.00	6.75	22.15	10.00	11.17	53.87
0.5	4.07	4.70	15.88	8.59	16.67	57.31	0.00	7.36	26.83	10.00	11.95	66.01
0.6	4.70	5.00	20.31	9.09	20.31	76.42	0.00	7.48	31.99	10.00	12.95	85.12
0.7	5.41	5.22	24.85	9.59	26.47	108.77	0.00	7.61	37.22	10.00	14.29	118.22
0.8	6.19	5.49	29.53	10.09	38.89	174.32	0.00	7.74	42.50	10.00	16.23	186.66
0.9	7.05	5.77	34.34	10.59	76.32	375.61	0.00	7.88	47.82	10.00	19.62	398.10
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	1.68	5.52	6.58	0.00	10.00	25.11	0.00	7.57	11.57	0.00	9.39	33.62
0.1	2.07	5.80	7.50	0.00	10.61	27.90	0.00	8.34	13.83	0.00	9.68	36.20
0.2	2.49	6.10	9.00	0.00	11.46	31.42	0.00	9.17	16.53	0.00	10.06	40.09
0.3	2.97	6.41	11.16	0.00	12.64	36.82	0.00	10.07	19.74	0.00	10.55	45.72
0.4	3.49	6.74	14.09	0.00	14.29	45.02	0.00	11.04	23.58	0.00	11.17	53.87
0.5	4.07	7.09	17.94	0.00	16.67	57.31	0.00	12.09	28.19	0.00	11.95	66.01
0.6	4.70	7.45	22.37	0.00	20.31	76.42	0.00	13.24	33.74	0.00	12.95	85.12
0.7	5.41	7.83	26.93	0.00	26.47	108.77	0.00	14.49	40.43	0.00	14.29	118.22
0.8	6.19	8.23	31.61	0.00	38.89	174.32	0.00	15.85	48.55	0.00	16.23	186.66
0.9	7.05	8.65	36.43	0.00	76.32	375.61	0.00	17.33	58.42	0.00	19.62	398.10

Table 12: กรรณิ 4b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	3.04	7.10	4.84	0.00	0.00	11.67	4.65	13.60
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	3.73	8.87	5.25	0.44	0.05	12.12	4.92	15.33
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	4.39	11.38	5.69	1.20	0.41	12.85	5.30	18.08
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	5.09	15.08	6.19	2.00	1.15	13.92	5.79	22.23
0.4	4.49	0.00	0.00	14.29	5.87	20.74	6.75	2.84	2.36	15.48	6.42	28.52
0.5	4.70	0.01	0.00	16.67	6.79	29.71	7.36	3.75	4.14	17.78	7.22	38.30
0.6	5.00	0.01	0.01	20.31	7.94	44.57	7.48	4.70	6.25	21.35	8.24	54.37
0.7	5.22	0.01	0.02	26.47	9.42	71.38	7.61	5.76	8.36	27.45	9.61	83.41
0.8	5.49	0.01	0.04	38.89	11.47	128.77	7.74	6.93	10.42	39.81	11.58	145.98
0.9	5.77	0.01	0.06	76.32	14.86	313.40	7.88	8.23	12.37	77.19	15.01	347.19
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.35	0.09	10.00	3.04	7.10	6.68	1.19	0.92	11.67	4.65	13.60
0.1	5.80	0.53	0.18	10.61	3.73	8.87	7.18	1.56	1.52	12.12	4.92	15.33
0.2	6.10	0.72	0.29	11.46	4.39	11.38	7.73	1.99	2.34	12.85	5.30	18.08
0.3	6.41	0.90	0.39	12.64	5.09	15.08	8.33	2.47	3.46	13.92	5.79	22.23
0.4	6.74	1.12	0.48	14.29	5.87	20.74	8.99	3.04	4.94	15.48	6.42	28.52
0.5	7.09	1.34	0.51	16.67	6.79	29.71	9.72	3.71	6.89	17.78	7.22	38.30
0.6	7.45	2.57	1.37	20.31	7.94	44.57	9.97	4.50	9.44	21.35	8.24	54.37
0.7	7.83	4.00	2.56	26.47	9.42	71.38	10.22	5.43	12.78	27.45	9.61	83.41
0.8	8.23	4.21	2.97	38.89	11.47	128.77	10.49	6.53	17.15	39.81	11.58	145.98
0.9	8.65	6.00	3.37	76.32	14.86	313.40	10.77	7.79	22.85	77.19	15.01	347.19

Table 13: กรณีสี่ 4c

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	5.35	13.71	6.04	17.51	15.71	11.80	14.32	34.24
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	5.99	16.16	6.26	18.21	17.49	12.24	14.70	36.90
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	6.58	19.35	6.50	18.94	19.50	12.95	15.20	40.98
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	7.18	23.93	6.76	19.72	21.78	14.01	15.84	46.92
0.4	4.49	0.01	0.01	14.29	7.89	30.78	7.05	20.55	24.38	15.55	16.64	55.53
0.5	4.70	0.01	0.01	16.67	8.77	41.30	7.36	21.43	27.36	17.83	17.62	68.34
0.6	5.00	0.01	0.03	20.31	9.90	58.17	7.48	22.37	30.58	21.39	18.84	88.42
0.7	5.22	0.01	0.04	26.47	11.37	87.65	7.61	23.37	33.88	27.48	20.42	122.98
0.8	5.49	0.01	0.06	38.89	13.41	148.95	7.74	24.48	37.24	39.83	22.62	193.75
0.9	5.77	0.01	0.08	76.32	16.74	341.43	7.88	25.69	40.69	77.20	26.28	409.68
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	1.83	1.71	10.00	5.35	13.71	7.88	16.16	16.39	11.80	14.32	34.24
0.1	5.80	2.08	2.11	10.61	5.99	16.16	8.19	16.89	18.16	12.24	14.70	36.90
0.2	6.10	2.34	2.55	11.46	6.58	19.35	8.53	17.65	20.15	12.95	15.20	40.98
0.3	6.41	2.61	3.02	12.64	7.18	23.93	8.90	18.46	22.41	14.01	15.84	46.92
0.4	6.74	3.69	3.81	14.29	7.89	30.78	9.29	19.33	24.99	15.55	16.64	55.53
0.5	7.09	5.00	5.62	16.67	8.77	41.30	9.72	20.26	27.94	17.83	17.62	68.34
0.6	7.45	6.31	7.73	20.31	9.90	58.17	9.97	21.35	31.35	21.39	18.84	88.42
0.7	7.83	7.65	10.07	26.47	11.37	87.65	10.22	22.72	35.28	27.48	20.42	122.98
0.8	8.23	8.60	12.30	38.89	13.41	148.95	10.49	24.49	39.86	39.83	22.62	193.75
0.9	8.65	10.00	13.57	76.32	16.74	341.43	10.77	26.79	45.22	77.20	26.28	409.68

Table 14: กรณีส 5a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	3.04	7.10	6.04	3.98	1.92	11.80	7.39	19.12
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	3.73	8.87	6.26	4.65	2.68	12.24	7.75	21.24
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	4.39	11.38	6.50	5.34	3.61	12.95	8.23	24.57
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	5.09	15.08	6.76	6.07	4.77	14.01	8.86	29.55
0.4	4.49	0.00	0.00	14.29	5.87	20.74	7.05	6.84	6.17	15.55	9.65	36.98
0.5	4.70	0.00	0.00	16.67	6.79	29.71	7.36	7.66	7.86	17.83	10.63	48.32
0.6	5.00	0.01	0.01	20.31	7.94	44.57	7.48	8.51	9.75	21.39	11.86	66.55
0.7	5.22	0.01	0.02	26.47	9.42	71.38	7.61	9.43	11.67	27.48	13.45	98.74
0.8	5.49	0.01	0.04	38.89	11.47	128.77	7.74	10.46	13.62	39.83	15.65	166.21
0.9	5.77	0.01	0.06	76.32	14.86	313.40	7.88	11.57	15.58	77.20	19.33	376.64
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.35	0.09	10.00	3.04	7.10	7.88	3.84	4.05	11.80	7.39	19.12
0.1	5.80	0.53	0.18	10.61	3.73	8.87	8.19	4.29	4.89	12.24	7.75	21.24
0.2	6.10	0.72	0.29	11.46	4.39	11.38	8.53	4.80	5.87	12.95	8.23	24.57
0.3	6.41	0.90	0.39	12.64	5.09	15.08	8.90	5.38	7.04	14.01	8.86	29.55
0.4	6.74	1.12	0.48	14.29	5.87	20.74	9.29	6.03	8.43	15.55	9.65	36.98
0.5	7.09	1.34	0.51	16.67	6.79	29.71	9.72	6.76	10.10	17.83	10.63	48.32
0.6	7.45	2.57	1.37	20.31	7.94	44.57	9.97	7.53	11.80	21.39	11.86	66.55
0.7	7.83	4.00	2.56	26.47	9.42	71.38	10.22	8.32	13.18	27.48	13.45	98.74
0.8	8.23	4.21	2.97	38.89	11.47	128.77	10.49	9.14	14.08	39.83	15.65	166.21
0.9	8.65	6.00	3.37	76.32	14.86	313.40	10.77	10.67	17.95	77.20	19.33	376.64

Table 15: กรณี 5b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	1.04	1.02	6.04	0.00	0.00	11.80	2.82	4.85
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	1.36	1.73	6.26	0.00	0.00	12.24	3.13	5.97
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	1.80	2.96	6.50	0.00	0.00	12.95	3.58	7.89
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	2.36	5.00	6.76	0.00	0.00	14.01	4.18	11.02
0.4	4.49	0.00	0.00	14.29	3.07	8.31	7.05	0.00	0.00	15.55	4.95	16.11
0.5	4.70	0.00	0.00	16.67	4.10	14.33	7.36	0.00	0.00	17.83	5.93	24.51
0.6	5.00	0.00	0.00	20.31	5.31	25.50	7.48	0.00	0.00	21.39	7.16	39.06
0.7	5.22	0.00	0.00	26.47	6.84	47.46	7.61	0.00	0.00	27.48	8.77	66.45
0.8	5.49	0.00	0.00	38.89	8.94	97.68	7.74	0.00	0.00	39.83	11.00	127.25
0.9	5.77	0.00	0.00	76.32	12.40	268.17	7.88	0.00	0.00	77.20	14.71	326.61
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.00	0.00	10.00	1.04	1.02	7.88	0.00	0.00	11.80	2.82	4.85
0.1	5.80	0.00	0.00	10.61	1.36	1.73	8.19	0.12	0.01	12.24	3.13	5.97
0.2	6.10	0.00	0.00	11.46	1.80	2.96	8.53	0.32	0.08	12.95	3.58	7.89
0.3	6.41	0.00	0.00	12.64	2.36	5.00	8.90	0.54	0.23	14.01	4.18	11.02
0.4	6.74	0.00	0.00	14.29	3.07	8.31	9.29	0.78	0.47	15.55	4.95	16.11
0.5	7.09	0.00	0.00	16.67	4.10	14.33	9.72	1.05	0.83	17.83	5.93	24.51
0.6	7.45	0.00	0.00	20.31	5.31	25.50	9.97	1.32	1.16	21.39	7.16	39.06
0.7	7.83	0.00	0.00	26.47	6.84	47.46	10.22	1.58	1.48	27.48	8.77	66.45
0.8	8.23	0.09	0.19	38.89	8.94	97.68	10.49	1.73	1.75	39.83	11.00	127.25
0.9	8.65	0.27	0.55	76.32	12.40	268.17	10.77	1.88	1.98	77.20	14.71	326.61

Table 16: กรณี 5c

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	4.66	11.56	6.44	17.51	15.71	12.20	14.32	34.24
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	5.31	13.86	6.66	18.21	17.49	12.64	14.70	36.90
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	5.92	16.89	6.90	18.94	19.50	13.35	15.20	40.98
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	6.55	21.25	7.16	19.72	21.78	14.41	15.84	46.92
0.4	4.49	0.01	0.00	14.29	7.28	27.78	7.45	20.55	24.38	15.95	16.64	55.53
0.5	4.70	0.01	0.01	16.67	8.18	37.88	7.76	21.43	27.36	18.23	17.62	68.34
0.6	5.00	0.01	0.02	20.31	9.31	54.18	7.88	22.37	30.58	21.79	18.84	88.42
0.7	5.22	0.01	0.04	26.47	10.78	82.93	8.01	23.37	33.88	27.88	20.42	122.98
0.8	5.49	0.01	0.05	38.89	12.82	143.15	8.14	24.48	37.24	40.23	22.62	193.75
0.9	5.77	0.01	0.07	76.32	16.17	333.48	8.28	25.69	40.69	77.60	26.28	409.68
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	1.33	1.04	10.00	4.66	11.56	8.28	16.16	16.39	12.20	14.32	34.24
0.1	5.80	1.55	1.34	10.61	5.31	13.86	8.59	16.89	18.16	12.64	14.70	36.90
0.2	6.10	1.79	1.67	11.46	5.92	16.89	8.93	17.65	20.15	13.35	15.20	40.98
0.3	6.41	2.03	2.02	12.64	6.55	21.25	9.30	18.46	22.41	14.41	15.84	46.92
0.4	6.74	2.54	2.44	14.29	7.28	27.78	9.69	19.33	24.99	15.95	16.64	55.53
0.5	7.09	3.82	3.76	16.67	8.18	37.88	10.12	20.26	27.94	18.23	17.62	68.34
0.6	7.45	5.09	5.56	20.31	9.31	54.18	10.37	21.35	31.04	21.79	18.84	88.42
0.7	7.83	6.40	7.66	26.47	10.78	82.93	10.62	22.72	33.99	27.88	20.42	122.98
0.8	8.23	8.00	9.30	38.89	12.82	143.15	10.89	24.49	36.75	40.23	22.62	193.75
0.9	8.65	8.01	11.27	76.32	16.17	333.48	11.17	26.79	39.31	77.60	26.28	409.68

Table 17: กรรณิ 6a

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	2.71	5.89	6.44	3.98	1.92	12.20	7.39	19.12
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	3.22	7.49	6.66	4.65	2.68	12.64	7.75	21.24
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	3.91	9.78	6.90	5.34	3.61	13.35	8.23	24.57
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	4.62	13.22	7.16	6.07	4.77	14.41	8.86	29.55
0.4	4.49	0.00	0.00	14.29	5.42	18.57	7.45	6.84	6.17	15.95	9.65	36.98
0.5	4.70	0.00	0.00	16.67	6.36	27.13	7.76	7.66	7.86	18.23	10.63	48.32
0.6	5.00	0.00	0.00	20.31	7.51	41.48	7.88	8.51	9.75	21.79	11.86	66.55
0.7	5.22	0.00	0.00	26.47	9.00	67.61	8.01	9.39	11.67	27.88	13.45	98.74
0.8	5.49	0.00	0.00	38.89	11.06	124.00	8.14	10.28	13.62	40.23	15.65	166.21
0.9	5.77	0.00	0.00	76.32	14.46	306.67	8.28	11.21	15.60	77.60	19.33	376.64
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.08	0.00	10.00	2.71	5.89	8.28	3.84	4.05	12.20	7.39	19.12
0.1	5.80	0.25	0.03	10.61	3.22	7.49	8.59	4.29	4.89	12.64	7.75	21.24
0.2	6.10	0.43	0.08	11.46	3.91	9.78	8.93	4.80	5.87	13.35	8.23	24.57
0.3	6.41	0.61	0.12	12.64	4.62	13.22	9.30	5.38	7.04	14.41	8.86	29.55
0.4	6.74	0.80	0.14	14.29	5.42	18.57	9.69	6.03	8.43	15.95	9.65	36.98
0.5	7.09	1.01	0.10	16.67	6.36	27.13	10.12	6.76	10.10	18.23	10.63	48.32
0.6	7.45	1.22	0.09	20.31	7.51	41.48	10.37	7.53	11.80	21.79	11.86	66.55
0.7	7.83	1.44	0.02	26.47	9.00	67.61	10.62	8.32	13.18	27.88	13.45	98.74
0.8	8.23	1.67	-0.17	38.89	11.06	124.00	10.89	9.14	14.08	40.23	15.65	166.21
0.9	8.65	1.91	-0.56	76.32	14.46	306.67	11.17	10.06	14.30	77.60	19.33	376.64

Table 18: กรณี 6b

	N			P			Q			PQ		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	3.68	0.00	0.00	10.00	0.82	0.65	6.44	0.00	0.00	12.20	2.82	4.85
0.1	3.87	0.00	0.00	10.61	1.14	1.23	6.66	0.00	0.00	12.64	3.13	5.97
0.2	4.07	0.00	0.00	11.46	1.57	2.30	6.90	0.00	0.00	13.35	3.58	7.89
0.3	4.27	0.00	0.00	12.64	2.12	4.16	7.16	0.00	0.00	14.41	4.18	11.02
0.4	4.49	0.00	0.00	14.29	2.82	7.27	7.45	0.00	0.00	15.95	4.95	16.11
0.5	4.70	0.00	0.00	16.67	3.81	12.85	7.76	0.00	0.00	18.23	5.93	24.51
0.6	5.00	0.00	0.00	20.31	5.03	23.57	7.88	0.00	0.00	21.79	7.16	39.06
0.7	5.22	0.00	0.00	26.47	6.57	44.89	8.01	0.00	0.00	27.88	8.77	66.45
0.8	5.49	0.00	0.00	38.89	8.67	94.16	8.14	0.00	0.00	40.23	11.00	127.25
0.9	5.77	0.00	0.00	76.32	12.14	262.88	8.28	0.00	0.00	77.60	14.71	326.61
	D			PD			QD			A		
β	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit	Threshold	Max K	MaxProfit
0.0	5.52	0.00	0.00	10.00	0.82	0.65	8.28	0.00	0.00	12.20	2.82	4.85
0.1	5.80	0.00	0.00	10.61	1.14	1.23	8.59	0.12	0.01	12.64	3.13	5.97
0.2	6.10	0.00	0.00	11.46	1.57	2.30	8.93	0.32	0.08	13.35	3.58	7.89
0.3	6.41	0.00	0.00	12.64	2.12	4.16	9.30	0.54	0.23	14.41	4.18	11.02
0.4	6.74	0.00	0.00	14.29	2.82	7.27	9.69	0.78	0.47	15.95	4.95	16.11
0.5	7.09	0.00	0.00	16.67	3.81	12.85	10.12	1.05	0.83	18.23	5.93	24.51
0.6	7.45	0.00	0.00	20.31	5.03	23.57	10.37	1.32	1.16	21.79	7.16	39.06
0.7	7.83	0.00	0.00	26.47	6.57	44.89	10.62	1.58	1.48	27.88	8.77	66.45
0.8	8.23	0.00	0.00	38.89	8.67	94.16	10.89	1.73	1.75	40.23	11.00	127.25
0.9	8.65	0.11	0.25	76.32	12.14	262.88	11.17	1.88	1.98	77.60	14.71	326.61

Table 19: ករណី 6c

5 สรุปผลการวิจัย

การวางแผนเป็นเรื่องที่สำคัญของผู้ประกอบการ เป็นการกำหนดทิศทางของบริษัท ในการวางแผนจำเป็นต้องมีตัดสินใจด้านต่าง ๆ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อผู้ประกอบการ การวางแผนด้านการลงทุนด้านกำลังการผลิตเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการต้องตัดสินใจล่วงหน้าในขณะที่ความต้องการไม่แน่นอนและมีการผันผวนเป็นอย่างมาก การตัดสินใจด้านกำลังการผลิตเป็นการลงทุนที่มีค่าใช้จ่ายสูง และยากที่จะทำการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผู้ประกอบการจึงให้ความสำคัญในด้านกำลังการผลิตเป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ผู้ประกอบการหลายรายมีการนำกลยุทธ์ต่าง ๆ เข้ามาใช้ในการบริหารจัดการเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน โดยหนึ่งในกลยุทธ์เหล่านั้นคือ “การชะลอการตัดสินใจ” ซึ่งมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นการชะลอการตัดสินใจด้านต่าง ๆ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการด้านการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคได้ทันเวลาที่ โครงการวิจัยนี้ศึกษากลยุทธ์ “การชะลอการตัดสินใจ” สำหรับสินค้าสองชนิดซึ่งความต้องการของสินค้าเหล่านี้สามารถใช้ทดแทนกันได้ (substitutable products) โดยเน้นศึกษาผลของกลยุทธ์ที่มีต่อกำลังการผลิตที่เหมาะสมและกำไรของผู้ประกอบการ โดยผู้ประกอบการต้องทำการตัดสินใจ ด้านการลงทุนด้านกำลังการผลิต กำหนดราคาสินค้า ปริมาณสินค้าที่ควรจะมีผลผลิต นอกจากนี้ผู้ประกอบการอาจจะมีข้อเสนอในการลดราคาสินค้าเพื่อชะลอการส่งมอบสินค้า ในกรณีผู้ประกอบการจะต้องตัดสินใจด้านปริมาณสินค้าที่ควรจะมีผลผลิตสำหรับผู้บริโภคเหล่านี้ด้วย ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษากลยุทธ์ต่างๆ ทั้งหมด 8 กลยุทธ์ โดยผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของแต่ละกลยุทธ์เพื่อหาผลการตัดสินใจที่เหมาะสมแต่ละด้านของผู้ประกอบการ และทำการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของการลงทุนด้านกำลังผลิตและผลตอบแทนของผู้ผลิตหากระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบการลงทุนด้านกำลังการผลิตหากผู้ผลิตมีการนำวิธีชะลอการตอบสนองความต้องการสินค้ามาใช้ ในแบบจำลองนี้โดยไม่มีการกำหนดรูปแบบของการแจกแจงความต้องการสินค้า แต่ความต้องการสินค้าขึ้นอยู่กับราคาของสินค้าทั้งสองชนิด โดยกำหนดให้มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

จากการวิจัยพบว่า ผู้ประกอบการได้ประโยชน์จากการชะลอการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการควร ศึกษาด้านต้นทุนอย่างระมัดระวัง การตัดสินใจในการลงทุนด้านกำลังการผลิตและการเลือกใช้กลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจ ขึ้นอยู่กับต้นทุนด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของผู้ประกอบการ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่า threshold สำหรับกลยุทธ์ต่าง ๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับต้นทุนของผู้ประกอบการ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจว่าควรจะมีลงทุนด้านกำลังการผลิตหรือไม่ หากต้นทุนของผู้ประกอบการสูงกว่าค่า threshold ผู้ประกอบการไม่ควรลงทุน หากพบว่าผู้ประกอบการควรลงทุนผู้ประกอบการควรหาวิธีการในการนำกลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจมาประยุกต์ใช้ ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์พบว่า การนำกลยุทธ์การชะลอการตัดสินใจด้านใดด้านหนึ่งมาใช้จะเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการ ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการสามารถชะลอการตัดสินใจในทุก ๆ ด้าน ผู้ประกอบการไม่จำเป็นต้องชะลอการตัดสินใจทั้งหมด เช่น หากผู้ประกอบการใช้กลยุทธ์ชะลอการกำหนดราคาอยู่ก่อนแล้ว (ไม่ว่าจะเป็นการชะลอการกำหนดราคาเพียงอย่างเดียว หรือการชะลอการกำหนดราคาและปริมาณการผลิต) การเพิ่มกลยุทธ์ด้านการชะลอการส่งมอบจะไม่ทำให้ผู้ประกอบการได้ประโยชน์

เพิ่มมากขึ้นเสมอไป นอกจากนี้หากสามารถเลือกกลยุทธ์การชะลอได้ การชะลอทั้งการกำหนดราคาและปริมาณการผลิตจะทำให้ผู้ประกอบการได้กำไรสูงสุด รองลงมาคือ การชะลอการกำหนดราคาเพียงอย่างเดียว และการชะลอด้านปริมาณการผลิต ตามลำดับ การชะลอการส่งมอบสินค้าเพิ่มผลกำไรให้กับผู้ประกอบการบ้างแต่อาจจะไม่มากนักเมื่อเทียบกับการชะลอการตัดสินใจด้านอื่น ๆ นอกจากนี้หากระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ผลกำไรของผู้ประกอบการเพิ่มมากขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการชะลอการกำหนดราคาเพียงอย่างเดียว และการชะลอการกำหนดราคาและปริมาณสินค้า

เมื่อพิจารณาถึงกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับกลยุทธ์ต่าง ๆ พบว่า ผู้ประกอบการควรต้องมีกำลังการผลิตสูงสุด หากไม่สามารถชะลอการตัดสินใจใด ๆ ได้เลยในกรณีที่ต้นทุนไม่สูงนัก ในกรณีที่ต้นทุนสูงผู้ประกอบการไม่ควรที่จะลงทุนด้านกำลังการผลิต ในกรณีที่ต้นทุนสูงการใช้กลยุทธ์การชะลอการกำหนดราคาและปริมาณสินค้าควรลงทุนด้านกำลังการผลิตสูงสุด เมื่อเทียบกับกลยุทธ์อื่น ๆ และได้ผลตอบแทนสูงสุดด้วยเช่นกัน กล่าวโดยสรุปปริมาณกำลังการผลิตที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับต้นทุนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีกลยุทธ์ใดมีกำลังการผลิตที่เหมาะสมสูงสุดหรือต่ำสุดสำหรับทุก ๆ กรณี อย่างไรก็ตามเมื่อระดับการทดแทนของสินค้าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ผลกำไรเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

5.1 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Suwandechochai R. (2011), The value of demand postponement under demand uncertainty, ASM'11 Proceedings of the 5th international conference on Applied mathematics, simulation, modelling, 167–171.

Suwandechochai R., Capacity Planning under Demand Postponement, submitted to WSEAS Transactions on Business and Economics.

เอกสารอ้างอิง

Anupindi, R. and L. Jiang (2004), "Capacity Investment under Postponement Strategies, Market Competition and Demand Uncertainty", Working Paper, Stephen M. Ross School of Business, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

Bish, E. K. and Q. Wang (2004), "Optimal Investment Strategies for Flexible Resources, Considering Pricing and Correlated Demands", *Operation Research*, 52, 954–964.

Chod, J. and N. Rudi (2006), "Resource Flexibility with Responsive Pricing", *Operations Research*, 53, 532–548.

Goyal, M. and S. Netessine (2005), "Capacity Investment and the Interplay between Value Flexibility and Product Flexibility", Working paper, The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA.

Goyal, M. and S. Netessine (2006), "Strategic Technology Choice and Capacity Investment under Demand Uncertainty", *Management Science*, Forthcoming.

Iyer, A. V., V. Deshpande, and Z. Wu (2003), "A Postponement Model for Demand Management", *Management Science*, 49, 983–1002.

Swaminathan, J. M. and H. L. Lee (2003), "Design for Postponement", *Handbook of OR/MS on Supply Chain Management, Ed., Graves, S. and de Kok*.

Van Mieghem, J. A., and M. Dada (1999), "Price versus Production Postponement: Capacity and Competition", *Management Science*, 45, 1631–1649.

Yang B., N. D. Burns, and C. J. Backhouse (2004), "Management of Uncertainty through postponement", *Int. J. Prod. Res.*, Vol 42 No. 6, 1049–1064.

6 ภาคผนวก

6.1 บทความ

6.2 กราฟของ K^* สำหรับกรณีต่าง ๆ

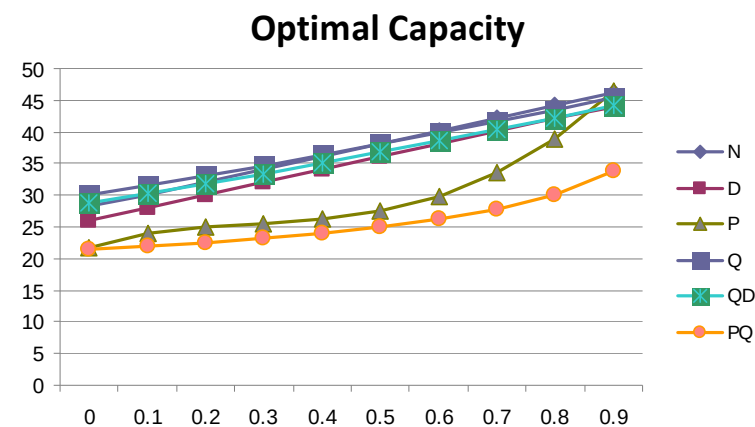


Figure 15: ค่า K^* ในกรณีที่ 2a

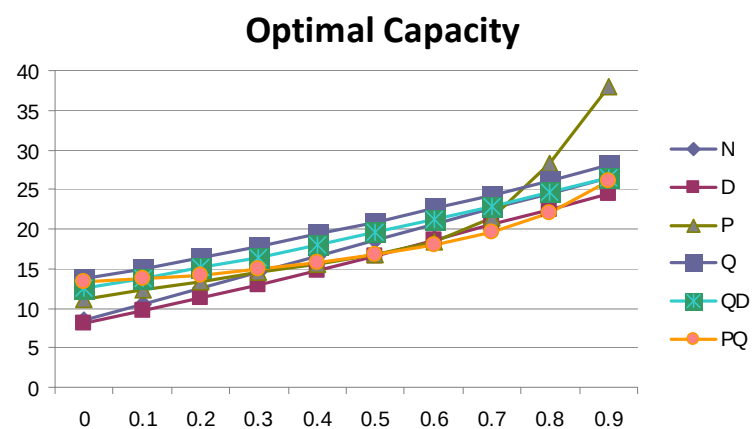


Figure 16: ค่า K^* ในกรณีที่ 2b

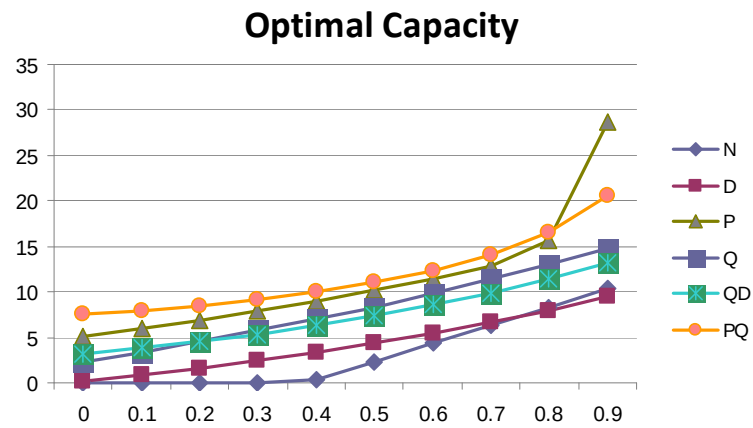


Figure 17: ค่า K^* ในกรณีที่ 2c

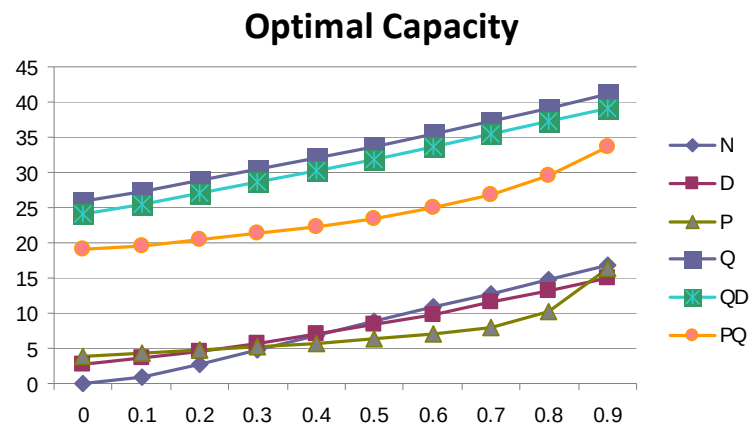


Figure 18: ค่า K^* ในกรณีที่ 3a

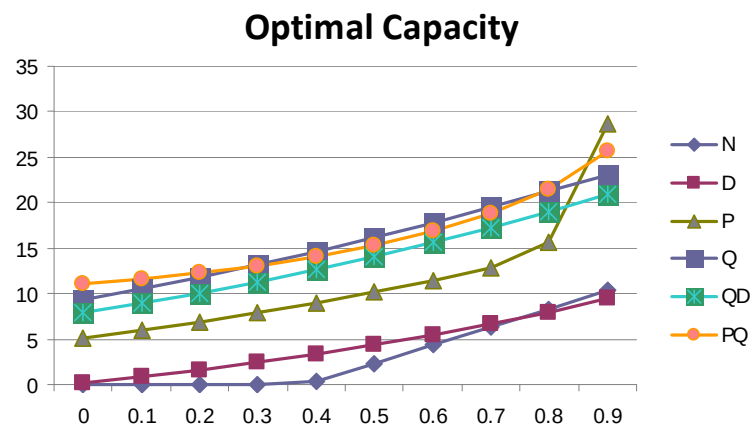


Figure 19: ค่า K^* ในกรณีที่ 3b

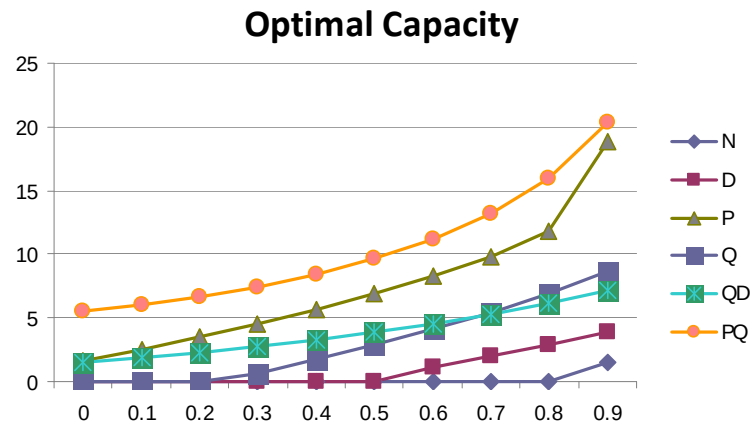


Figure 20: ค่า K^* ในกรณีที่ 3c

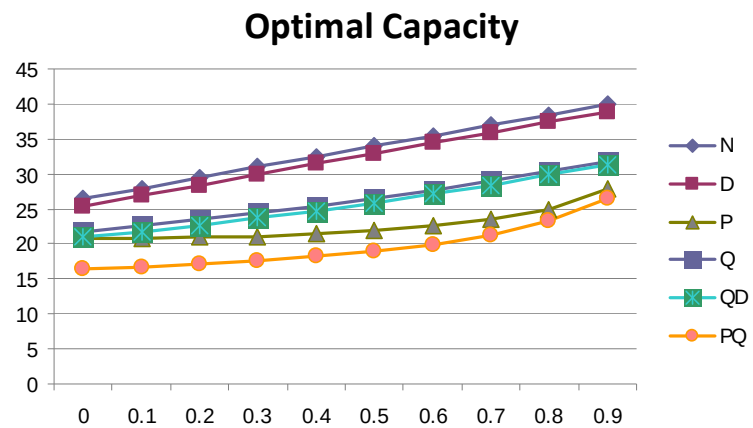


Figure 21: ค่า K^* ในกรณีที่ 4a

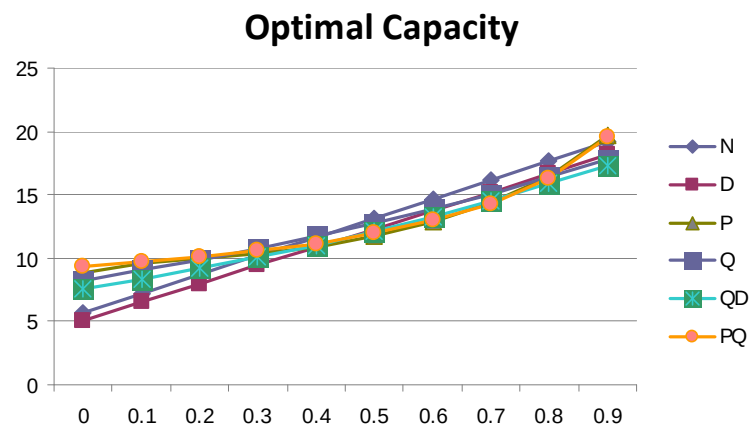


Figure 22: ค่า K^* ในกรณีที่ 4b

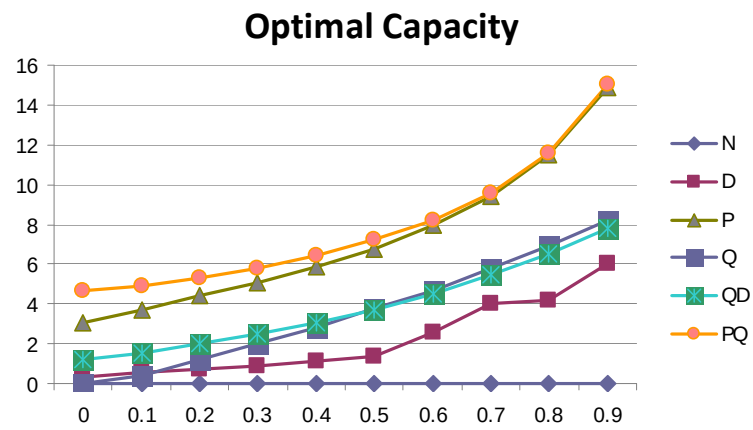


Figure 23: ค่า K^* ในกรณีที่ 4c

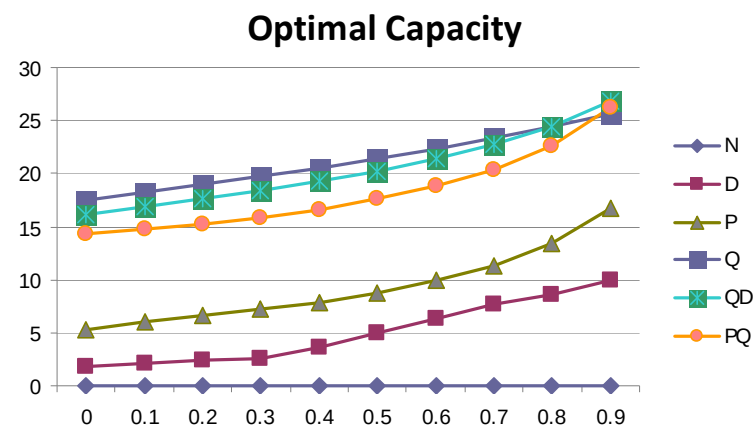


Figure 24: ค่า K^* ในกรณีที่ 5a

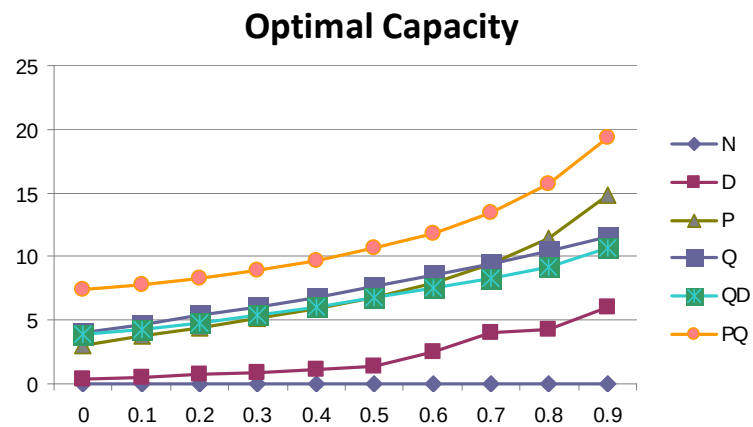


Figure 25: ค่า K^* ในกรณีที่ 5b

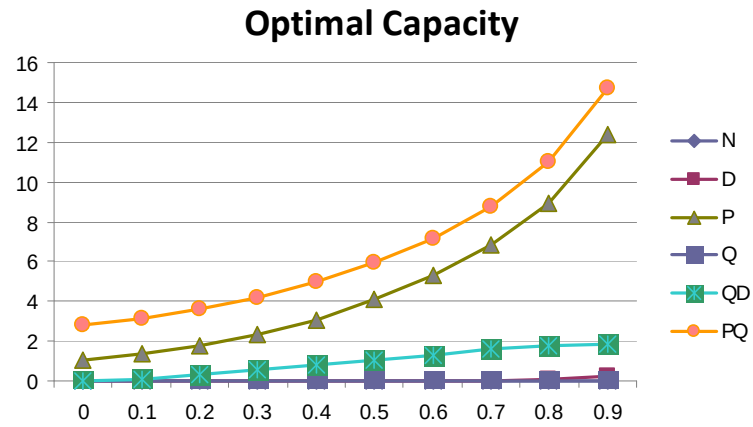


Figure 26: ค่า K^* ในกรณีที่ 5c

6.3 กราฟของ V สำหรับกรณีต่าง ๆ

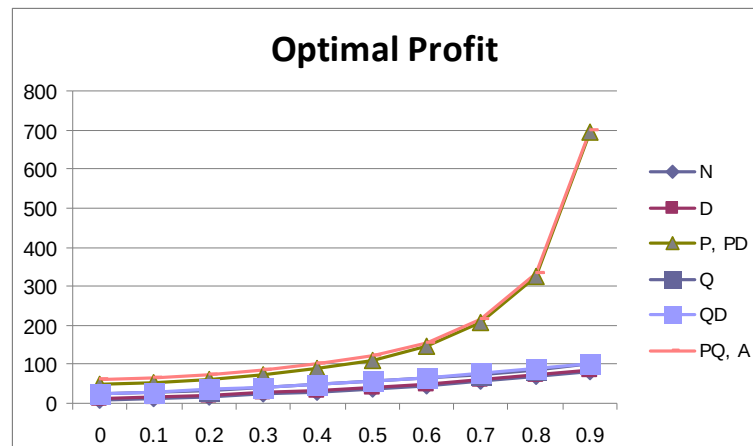


Figure 27: ค่า Profit ในกรณีที่ 1b

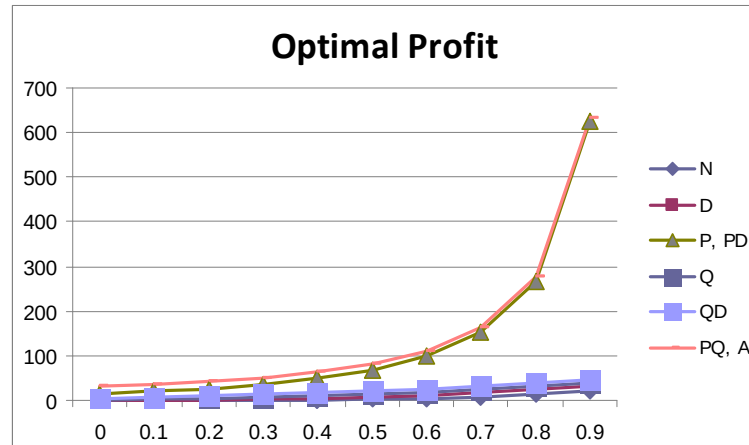


Figure 28: ค่า Profit ในกรณีที่ 1c

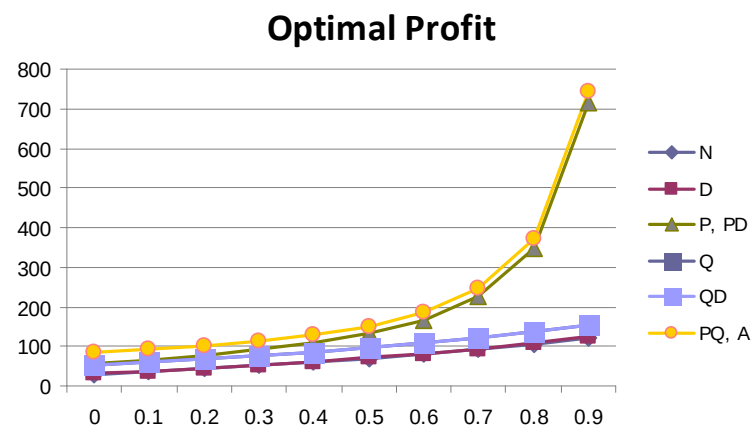


Figure 29: ค่า Profit ในกรณีที่ 2a

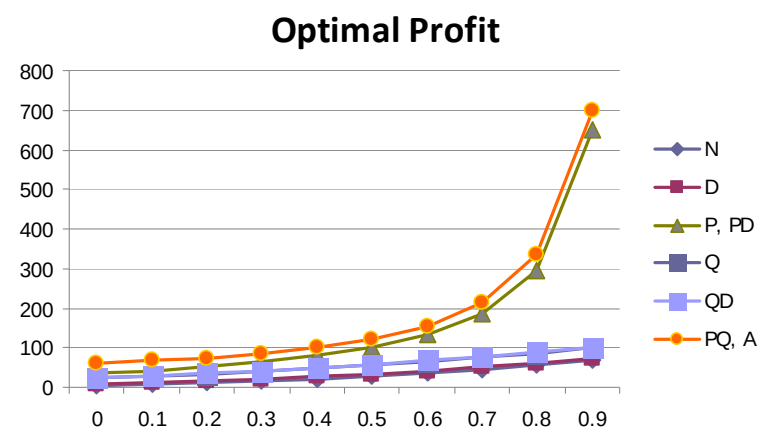


Figure 30: ค่า Profit ในกรณีที่ 2b

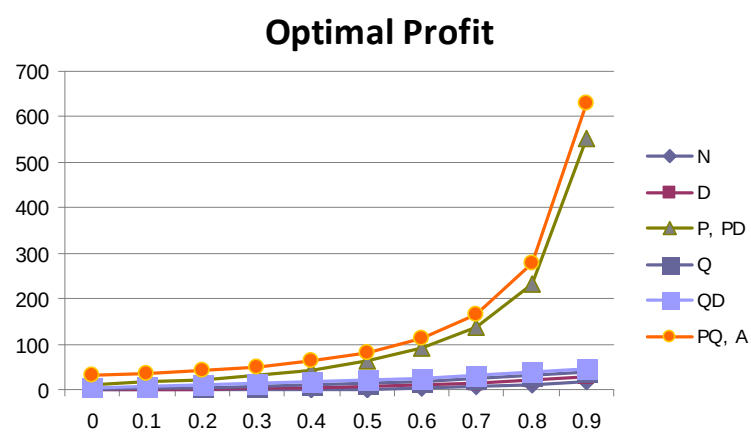


Figure 31: ค่า Profit ในกรณีที่ 2c

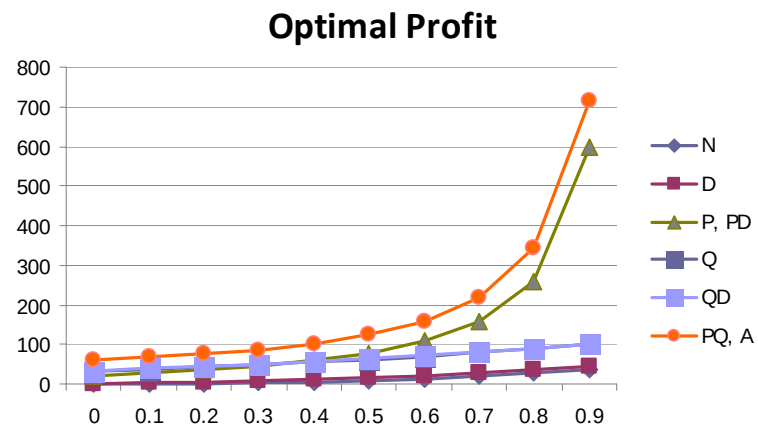


Figure 32: ค่า Profit ในกรณี 3a

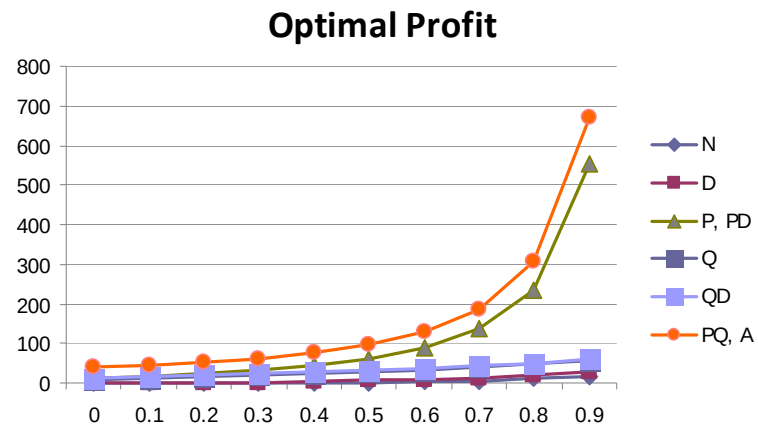


Figure 33: ค่า Profit ในกรณี 3b

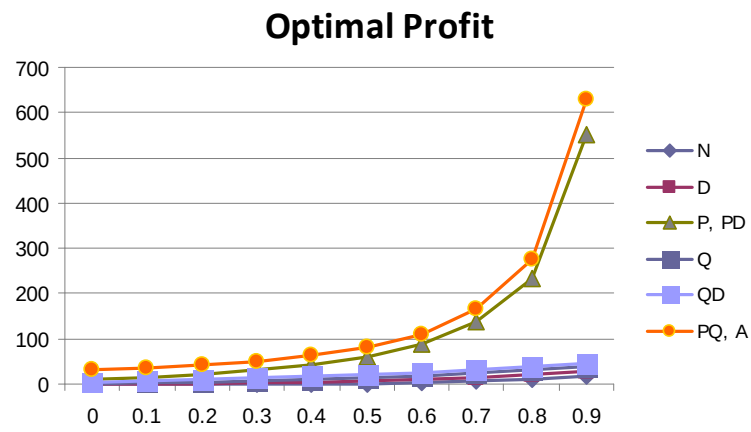


Figure 34: ค่า Profit ในกรณีที่ 3c

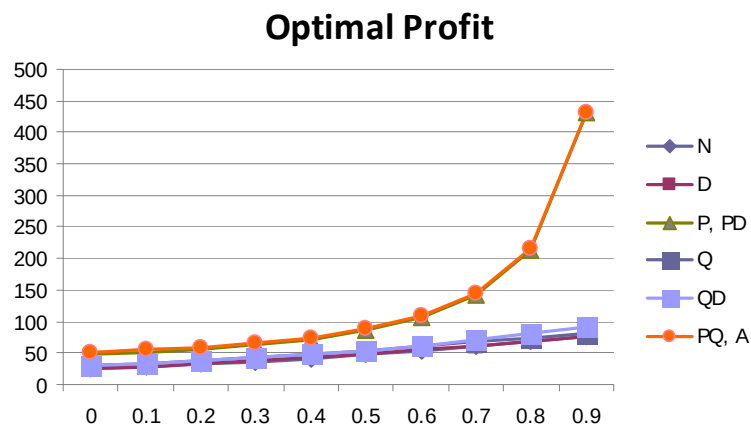


Figure 35: ค่า Profit ในกรณีที่ 4a

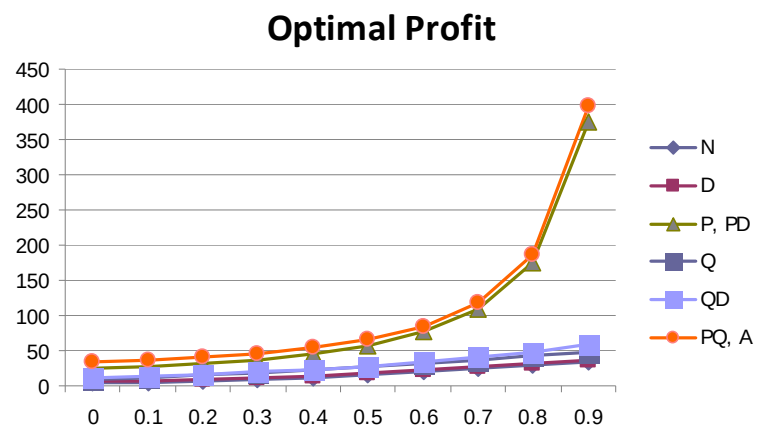


Figure 36: ค่า Profit ในกรณีที่ 4b

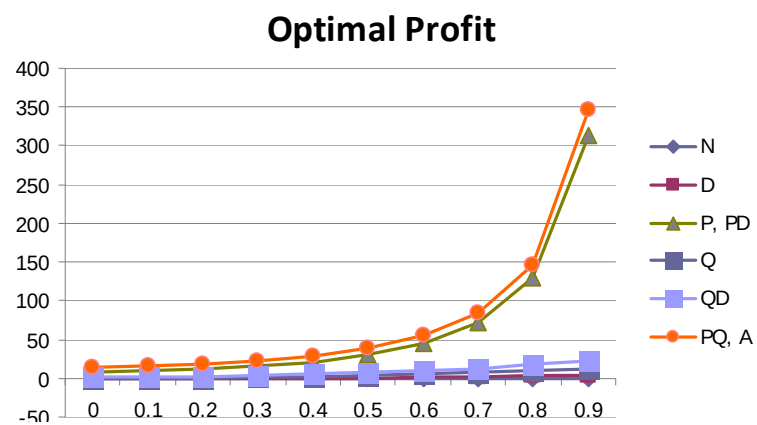


Figure 37: ค่า Profit ในกรณีที่ 4c

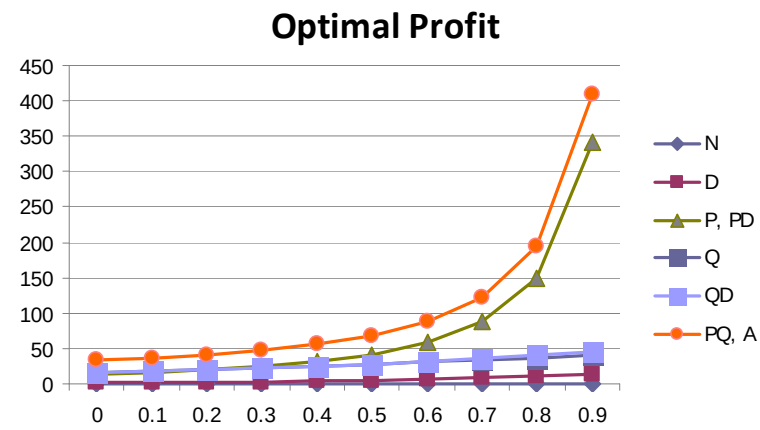


Figure 38: ค่า Profit ในกรณีที่ 5a

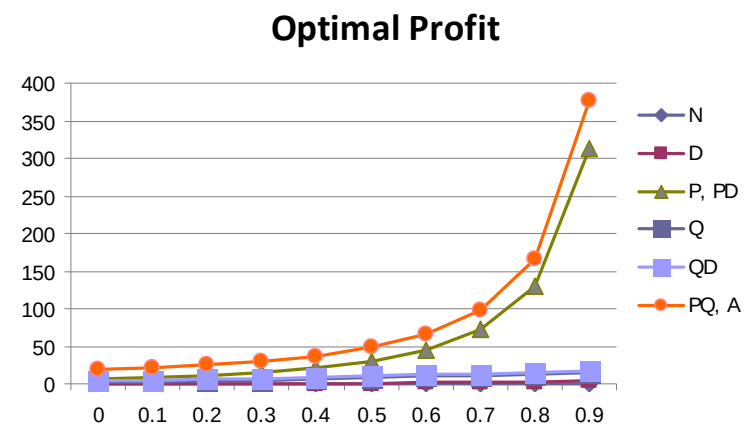


Figure 39: ค่า Profit ในกรณีที่ 5b

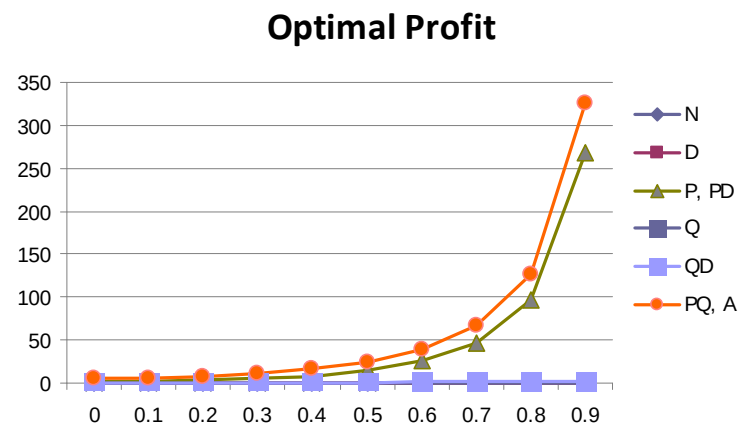


Figure 40: ค่า Profit ในกรณีที่ 5c

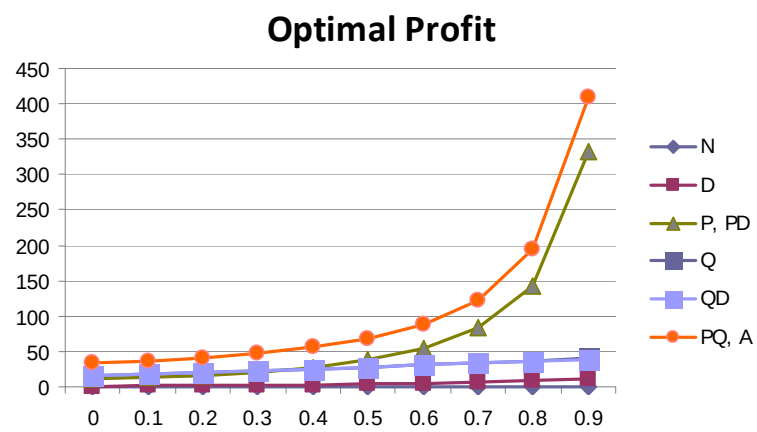


Figure 41: ค่า Profit ในกรณีที่ 6a

output ที่ได้จากโครงการ conference

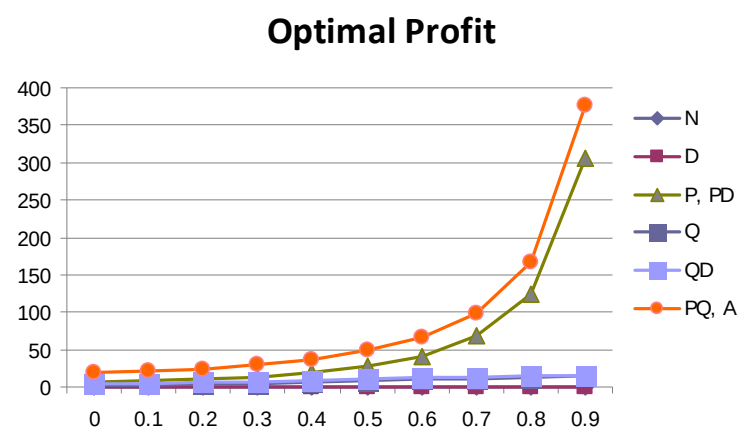


Figure 42: ค่า Profit ในกรณี 6b

The Value of Demand Postponement under Demand Uncertainty

Rawee Suwandechochai

Abstract— Resource or capacity investment has a high impact on the firm profitability. However, this decision must be made earlier when demand is uncertain and it is very difficult to change later on. Many firms search for other strategies to deal with uncertainty in order to gain more profit and stay in a business. Postponement strategy is one of the strategies that many companies use to hedge against the uncertainty. A firm can increase its profitability when it can postpone some decisions or activities to the time later until the more information is obtained.

In this paper, we consider a firm producing two substitutable products. The firm needs to make two decisions: the capacity investment and production quantity. The objective of this work is to study how the demand postponement affects the firm's capacity investment and its profitability under demand uncertainty and how degrees of substitution impact our findings. Based on this framework, we model the problem as a two-stage stochastic programming. We characterize the optimal investment capacity and production quantity under different postponement strategies. In addition, the necessary and sufficient conditions for investment in flexible capacity are obtained.

Keywords—Capacity investment, Demand postponement, Demand uncertainty, Stochastic programming, Substitutable Products.

I. INTRODUCTION

POSTPONEMENT strategy is one of the strategies that companies can use to hedge against uncertainty. Many type of postponement have been studied as stated in [1] and [2] such as time postponement, place postponement, and form postponement, etc. There are applications of postponement in industry and results from [3] indicated that there is a positive relationship between postponement and company performance.

The postpone strategies we consider in this work are the quantity postponement and demand postponement strategies. The production quantity postponement refers to a firm's ability to postpone its production quantity until after demand information is obtained. Considering the quantity postponement along with the flexible resources increases the

firm profitability. The firm's flexible resources allow the firm to switch capacity amount of the multiple products and provides a risk pooling effect.

Many researchers have focus on the flexibility provided by the production postponement strategies as shown in [1], [4], and [5]. The impact of quantity postponement on the optimal capacity has been studied by [6] for a single-product firm. On the other hand, there is a few works studying on demand postponement. [7] formulates and solves the capacity planning problem for one product. In this paper, we extend the model to the substitutable products. In addition, we are also interested in the effect of the demand postponement strategy when the firm has implemented the production quantity postponement.

Therefore, the objective of this paper is to consider the impact of the demand postponement on the optimal capacity investment under different postponement strategies. Specifically, we consider the no postponement and the production quantity postponement as base cases. Then, we examine the effect of demand postponement on the optimal capacity investment and the firm's profit under both strategies as well as study how the degrees of substitution between products affect the findings.

II. NOTATIONS, MODELS, AND ASSUMPTIONS

In this work, we consider a firm that produces two substitutable products in a monopolistic setting. This firm needs to determine capacity, pricing, and production quantity.

Let K denote the capacity of the flexible resources that can produce both products,

c_K be a unit investment cost,

c_h be a unit holding cost,

c_q be a unit product cost,

c be a discount price (or reimbursement cost) for the demand in postponement period. The production cost for each item is included here,

d_i be a demand of product i ,

p_i be a selling price of product i and, without loss of generality, let $(p_1 \geq p_2)$,

s_i be an amount of selling product i ,

q_i and q_{pi} be production quantities of product i for regular and postponement period, respectively.

Timeline is divided into two stages shown in Fig 1. Stage 1 is a planning period and Stage 2 includes the regular and postponement periods.

This work was supported in part by the Thailand Research Fund (TRF) under Grant MRG5080200 and Faculty of Graduate Studies, Mahidol University.

R. S. Author is with the Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, 10400 Thailand (corresponding author to provide phone: 662-201-5346; fax: 662-201-5343; e-mail: scrsw@mahidol.ac.th).

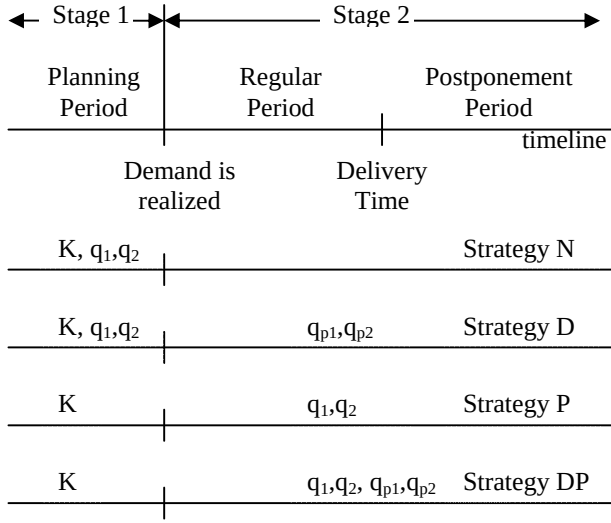


Figure 1: Timeline

In Fig 1, the investment capacity (K) is determined in the planning period when demand is highly uncertain. There are four cases that are considered, No postponement (N), Demand postponement (D), Production postponement (P), and production and demand postponement (PD). All the decision variables are determined in the planning period under strategy (N). For strategy (P), the production quantity, q_i , is determined after the demand curves are realized. When the demand postponement strategy is implemented, the postponed production quantity, q_{pi} , is determined after the demand curves are realized and this products will be delivered in the postponement period.

We assume that the fraction of unsatisfied demand, $1-\gamma$, is retained in the postponement period. That is, when the demand exceeds the production quantity, there is only $(1-\gamma)(d_i - q_i)$ remaining demand in the postponement period.

Aggregate linear demand function for two substitutable products is considered. It is a function of the prices of both products:

$$d_i = \xi_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i}, \quad i = 1, 2$$

where ξ_i is an intercept of product i , β is the degree of substitution ($0 \leq \beta \leq \alpha$).

Let $E[\cdot]$ be an expectation operator with respect to random variables, ξ_i , and $Pr(\cdot)$ be a probability. Let $\pi(\cdot)$ be the profit function in Stage 2.

III. MATHEMATICAL FORMULATIONS

From the above, we can divide the problem into two stages. Stage 1 corresponds to the time when the demand is uncertain and Stage 2 is the time after the demand information is

obtained.

The mathematical model for the problem under demand strategy (D) can be formulated as

$$(\text{stage 1}) \max_{K, \bar{q}, \bar{p}} V \equiv E[\pi(K, \bar{q})] - c_K K - \sum_{i=1}^2 (c_q + c_h) q_i$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^2 q_i \leq K \quad (1)$$

$$K, q_i \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (2)$$

$$(\text{stage2}) \max_{\bar{s}, \bar{q}_p} \pi(K, \bar{q}) = \sum_{i=1}^2 p_i s_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi}$$

$$\text{s.t.} \quad s_i \leq q_i \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (3)$$

$$s_i \leq (\varepsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i})^+ \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (4)$$

$$q_{pi} \leq q_i \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (5)$$

$$q_{pi} \leq (1-\gamma)(\varepsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i} - s_i)^+ \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (6)$$

$$s_i, q_{pi} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (7)$$

The objective of the model in Stage 1 is to maximize the expected profit function. The objective function in Stage 2 is to maximize the firm profit by determining the amount of sell, s_i , and the postponed production quantity q_{pi} . Constraint (1) states that the total production quantity should not exceed the firm's capacity. Constraints (3) and (4) imply that the amount of sell cannot exceed production quantity and nonnegative demand of each product. In addition, (5) and (6) ensures that the postponed production quantity, q_{pi} , does not exceed the production quantity and it does not exceed retained demand. Constraints (2) and (7) are non-negativity constraints for investment capacity, production quantity, selling amount, and postponed production quantity, respectively.

Note that the model for the Problem N is similar except that q_{pi} is set to zero.

The mathematical model for the problem under production quantity and demand postponement strategy (PD) can be formulated as

$$(\text{stage 1}) \max_K V \equiv E[\pi(K)] - c_K K$$

$$\text{s.t.} \quad K \geq 0 \quad (8)$$

$$(\text{stage2}) \max_{\bar{q}, \bar{q}_p} \pi(K) = \sum_{i=1}^2 (p_i - c_q) q_i + \sum_{i=1}^2 (p_i - c) q_{pi}$$

$$\text{s.t.} \quad q_1 + q_2 \leq K \quad (9)$$

$$q_i \leq (\varepsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i})^+ \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (10)$$

$$q_{p1} + q_{p2} \leq K \quad (11)$$

$$q_{pi} \leq (1-\gamma)(\varepsilon_i - \alpha p_i + \beta p_{3-i} - s_i)^+ \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (12)$$

$$q_i, q_{pi} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (13)$$

The objective of the model in Stage 1 is to maximize the expected profit function. In this case, the firm determines the production quantity after the demand is realized. Therefore, the production and the holding costs do not occur in the first

stage. In Stage 2, the objective function is to maximize the firm profit by determining the production quantity and the postponed production quantity given that the investment capacity and prices. Constraints (9) and (11) state that the total production quantity and the total postponed production quantity should not exceed the firm's capacity, respectively. Constraint (10) implies that the production quantity should not exceed the nonnegative demand of each product. In addition, (12) the postponed production quantity (q_{pi}) does not exceed the retained demand. (8) and (13) are non-negativity constraints for investment capacity, production quantity, and postponed production quantity.

The model for the production quantity postponement (P) is similar to Problem (PD) except that q_{pi} is set to zero.

IV. RESULTS

The optimal solution to Problems N, D, and P can be characterized in the similar procedures. Hence, in what follows, we focus on Problem PD. To analyze the problem, we solve the problem backward. First, for a given set of p_1 and p_2 , we derive the optimal solution for the problem in Stage 2 and show that the expected profit function in Stage 1 is strictly jointly concave in q_1 , and q_2 . Consequently, the optimal solution is unique and the Karush-Kuhn-Tucker (KKT) first-order conditions are necessary and sufficient for optimality to the problem. This leads to the following results.

Theorem 1 The production quantities q_1 and q_2 are the unique optimal solution to Problem PD if and only if there exists $v \geq 0$ that satisfies the following conditions:

$$\begin{aligned} & [c - c_p + \gamma(p_1 - c)]\Pr(\Omega_5^{OD} \cup \Omega_{11}^{OD} \cup \Omega_{12}^{OD}) + \\ & [c - c_p + \gamma(p_2 - c)]\Pr(\Omega_6^{OD} \cup \Omega_9^{OD}) + \\ & [p_2 - c_p + (1 - \gamma)(p_2 - c)]\Pr(\Omega_{12}^{OD}) + \\ & [2p_1 - c_p - c]\Pr(\Omega_7^{OD}) + [2p_2 - c_p - c]\Pr(\Omega_8^{OD} \cup \Omega_{10}^{OD}) = c_K - v \\ & K \cdot v = 0 \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \Omega_5^{OD} &= \{K + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2, \\ & \xi_2 < \alpha p_2 - \beta p_1\} \\ \Omega_6^{OD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\ \Omega_7^{OD} &= \{\xi_1 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2\}, \\ \Omega_8^{OD} &= \{\xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > K + \alpha p_2 - \beta p_1\}, \\ \Omega_9^{OD} &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \\ & K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) < \xi_1 + \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\} \\ \Omega_{10}^{OD} &= \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \\ & \xi_1 + \xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Omega_{11}^{OD} &= \{\xi_1 > K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1, \\ & \xi_1 + \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\} \\ \Omega_{12}^{OD} &= K + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2, \\ & \xi_1 + \xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2) \end{aligned}$$

Proof: See Appendix.

Theorem 2 The production quantities q_1 and q_2 are the unique optimal solution to Problem N if and only if there exists v_1 and $v_2 \geq 0$ that satisfies the following conditions:

$$\begin{aligned} p_1 \Pr(\xi_1 > q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) &= c_K + c_h + c_q - v_1 \\ p_2 \Pr(\xi_2 > q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) &= c_K + c_h + c_q - v_2 \\ q_i \cdot v_i &= 0, \quad \text{for } i = 1, 2 \end{aligned}$$

Theorem 3 The production quantities q_1 and q_2 are the unique optimal solution to Problem D if and only if there exists v_1 and $v_2 \geq 0$ that satisfies the following conditions:

$$\begin{aligned} (2p_1 - c)\Pr(\xi_1 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2) + \\ (\gamma p_1 + (1 - \gamma)c)\Pr(\Omega_1^D) &= c_K + c_h + c_q - v_1 \\ (2p_2 - c)\Pr(\xi_2 > \frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1) + \\ (\gamma p_2 + (1 - \gamma)c)\Pr(\Omega_2^D) &= c_K + c_h + c_q - v_2 \\ q_i \cdot v_i &= 0, \quad \text{for } i = 1, 2 \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \Omega_1^D &= \{q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_1 + \alpha p_1 - \beta p_2\}, \\ \Omega_2^D &= \{q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1 < \xi_2 < \frac{2-\gamma}{1-\gamma}q_2 + \alpha p_2 - \beta p_1\}. \end{aligned}$$

Theorem 4 The production quantities q_1 and q_2 are the unique optimal solution to Problem P if and only if there exists $v \geq 0$ that satisfies the following conditions:

$$\begin{aligned} p_2 \Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > K + \alpha p_2 - \beta p_1) \\ + p_1 \Pr(\xi_1 > K + \alpha p_1 - \beta p_2) + p_2 \Pr(\Omega^Q) &= c_K - v \\ K \cdot v &= 0 \end{aligned}$$

where

$$\Omega^Q = \{\alpha p_1 - \beta p_2 < \xi_1 < K + \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_1 + \xi_2 > K + (\alpha - \beta)(p_1 + p_2)\}$$

The optimal capacity investment under each postponement strategy follows a threshold policy.

Corollary 1 The optimal investment policy under postponement strategy is one of the following cost threshold policies:

1) If $c_K + c_h + c_q < \bar{c}^N$, then $K^* > 0$. Otherwise, $K^* = 0$.

where $K^* = q_1^* + q_2^*$ the threshold values is given as

$$\bar{c}^N = \max\{p_1 \Pr(\xi_1 > \alpha p_1 + \beta p_2), p_2 \Pr(\xi_2 > \alpha p_2 + \beta p_1)\}$$

2) If $c_K + c_h + c_q < \bar{c}^D$, then $K^* > 0$. Otherwise, $K^* = 0$.

where $K^* = q_1^* + q_2^*$ the threshold values is given as

$$\bar{c}^D = \max\{(2p_1 - c) \Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2), (2p_2 - c) \Pr(\xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1)\}$$

3) If $c_K < \bar{c}^Q$, then $K^* > 0$. Otherwise, $K^* = 0$.

where the threshold values is given as

$$\begin{aligned} \bar{c}^Q = & p_1 \Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) \\ & + p_2 \Pr(0 < \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \end{aligned}$$

4) If $c_K < \bar{c}^{QD}$, then $K^* > 0$. Otherwise, $K^* = 0$.

where the threshold values is given as

$$\begin{aligned} \bar{c}^{QD} = & (2p_1 - c - c_p) \Pr(\xi_1 > \alpha p_1 - \beta p_2) \\ & + (2p_2 - c - c_p) \Pr(0 < \xi_1 < \alpha p_1 - \beta p_2, \xi_2 > \alpha p_2 - \beta p_1) \end{aligned}$$

Proof: It follows directly from Theorems 1-4.

The above corollary suggests that if the total unit cost $C_K + C_h + C_p$ is less than the cost threshold, the firm always invests in the capacity under Strategies N and D. On the other hand, if the total unit cost is higher than the cost threshold, it is better for the firm not to invest. Similarly, under the Strategies P and PD, if the unit investment cost is less than the cost threshold value indicated in Corollary 1, then the firm should invest in the capacity.

Corollary 2

$$\bar{c}^N \leq \bar{c}^D \text{ and } \bar{c}^Q \leq \bar{c}^{QD}$$

Proof: It follows directly from Proposition 1.

Corollary 2 indicates that there are some regions that the firm should invest in its capacity to gain more profit when the demand postponement is considered.

Next, we perform a numerical study to investigate the impact of the optimal investment capacity changes in demand substitution parameter β .

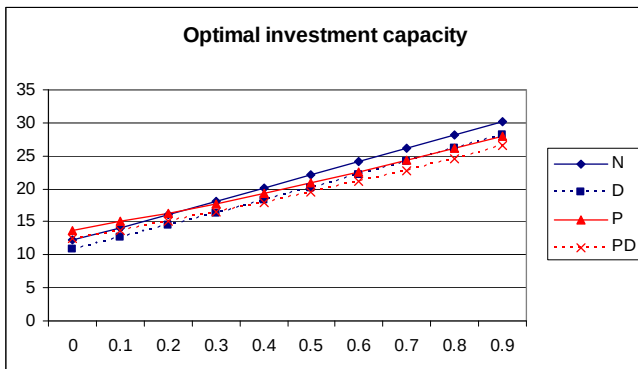


Figure 2: Optimal investment capacity K^* versus β/v .

Results from the numerical studies suggest that the optimal investment capacity K^* is increasing in β for all strategies (N, D, P, PD) as shown in Fig. 2. The results show that the firm will invest more when the products are more substitutable. This is because the firm can take advantage from the substitution. However, the rate of change of the optimal investment capacity is less when production postponement is implemented. This is because of the flexible resources which is also used to hedge against demand variability. It is not surprising that when the products are independent or not substitutable the firm invests more under strategy P. This is because the firm has ability to deal with the demand variability by using the production quantity postponement from the flexible resource. The results also show that the demand postponement strategy leads to invest less in the firm's capacity and it leads to lower investment when addition production quantity is implemented along with.

Moreover, our finding indicates that the firm invests less when the demand postponement is additionally implemented. Due to the ability of the firm to postpone part of the demand to time later, it may cause the firm invests less.

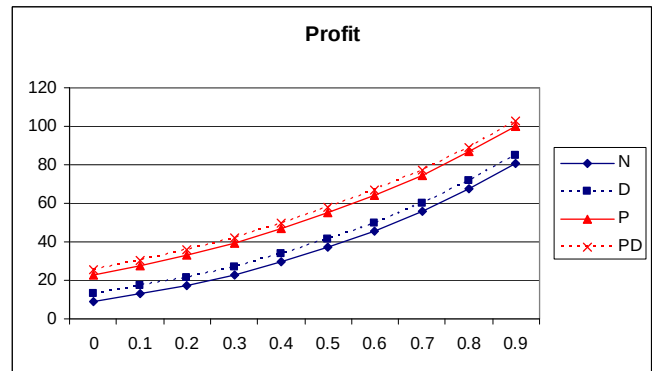


Figure 3: The firm's profit versus β/v .

Similar results are obtained for the firm's profit. Fig 3 shows that the profit is increasing in substitution parameter for all strategies. The demand postponement generates the higher profit for the firm.

V. CONCLUSION

In this paper, we study the impact of the demand postponement on the optimal capacity under demand uncertainty for a two-product firm in a monopolistic setting. The firm makes decisions 1) investment capacity and 2) product quantity to maximize the profit function. We formulate mathematical models for different postponement strategies. The necessary and sufficient condition for the optimal capacity investment is obtained for each strategy. Our findings show that implementing the demand postponement leads to invest less in optimal capacity and increase in the firm's profitability.

Our results come with limitations. We consider the linear demand function which depends on the price of the products.

It would be interesting to consider other realistic demand function. We also assume a firm that is in a monopolistic setting. Considering the competition would be another interesting extension to our models.

APPENDIX

Consider problem QD, we first solve the Stage 2 Problem. The demand space can be decomposed into different disjoint sets; see Fig. 4.

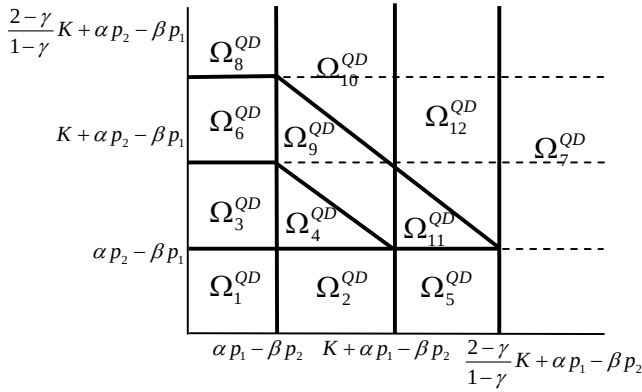


Figure 4: The demand space for Problem PD

We can obtain the closed form expressions for the production quantities and postponed production quantities for each region. It is easy to verify that the optimal solution to the Stage 2 Problem is unique and the optimal Stage 2 profit can be obtained directly. Before we solve the Stage 1 problem, let ε_i be a realization of ξ_i and $f(\cdot, \cdot)$ be a joint probability density function of ξ_1 and ξ_2 , respectively.

To solve the Stage 1 Problem, the Stage 2 profit is considered. We derive

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[\Pi(K)]}{\partial K} = & [c - c_p + \gamma(p_1 - c)]\Pr(\Omega_5^{QD} \cup \Omega_{11}^{QD} \cup \Omega_{12}^{QD}) \\ & + [c - c_p + \gamma(p_2 - c)]\Pr(\Omega_6^{QD} \cup \Omega_9^{QD}) \\ & + [p_2 - c_p + (1 - \gamma)(p_2 - c)]\Pr(\Omega_{12}^{QD}) \\ & + [2p_1 - c_p - c]\Pr(\Omega_7^{QD}) \\ & + [2p_2 - c_p - c]\Pr(\Omega_8^{QD} \cup \Omega_{10}^{QD}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 E[\Pi(K)]}{\partial K^2} = & - \int_0^{\alpha p_2 - \beta p_1} [(p_1 - c_p) - (1 - \gamma)(p_1 - c)] \\ & f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \varepsilon_2) d\varepsilon_2 \\ & - \int_{\alpha p_2 - \beta p_1}^{\infty} \gamma(p_1 - p_2) f(K + \alpha p_1 - \beta p_2, \varepsilon_2) d\varepsilon_2 \\ & - \int_0^{\alpha p_1 - \beta p_2} \left(\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma} \right) [\gamma p_2 + (1 - \gamma)c - c_p] \\ & f(\varepsilon_1, K + (\alpha - \beta)(p_1 - p_2)) d\varepsilon_1 \\ & - \int_{K + \alpha p_1 - \beta p_2}^{\frac{2 - \gamma}{1 - \gamma}K + \alpha p_1 - \beta p_2} \frac{(2 - \gamma)^2}{1 - \gamma} (p_2 - c) \\ & f(\varepsilon_1, \frac{2 - \gamma}{1 - \gamma}K + (\alpha - \beta)(p_1 - p_2) - \varepsilon_1) d\varepsilon_1 \\ & < 0. \end{aligned}$$

It can be shown that $V = E[\pi(K)] - c_K K$ is strictly concave in K . Therefore, the optimal solution to the Stage 1 Problem is unique, and since the constraints are linear, the KKT first-order optimality conditions, given in Theorem 1, are necessary and sufficient for optimality.

Similar method can be used to obtain the results in Theorems 2-4.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Thailand Research Fund (TRF) for the financial support and Dr. Kanchit Malaivongs for all his comments and support for this research.

REFERENCES

- [1] J. M. Swaminathan and H. L. Lee, "Design for Postponement", Handbook of OR/MS on Supply Chain Management, Ed., Graves, S. and de Kok, 2003.
- [2] B. Yang, N. D. Burns, and C. J. Backhouse, "Management of Uncertainty through postponement", *Int. J. Prod. Res.* Vol 42, No. 6, 2004, pp. 1049-1064.
- [3] B. Yang, N. D. Burns, and C. J. Backhouse, "The Application of Postponement in Industry", *IEEE Trans. Eng. Manage.*, Vol. 52, No. 2, May 2005, pp. 238-248.
- [4] C. H. Fine and R. M. Freund, "Optimal Investment in Product-Flexible Manufacturing Capacity", *Manage. Sci.*, Vol. 36, 1990, pp. 449-466.
- [5] J. A. Van Mieghem, "Investment strategies for flexible resources", *Manage. Sci.* Vol. 44, 1998, pp. 1071-1078.
- [6] J. A. Van Mieghem and M. Data, "Price versus Production Postponement: Capacity and Competition", *Manage. Sci.*, Vol 45, 1999, pp. 1631-1649.
- [7] A. V. Iyer, V. Deshpande, and Z. Wu, "A Postponement Model for Demand Management", *Manage. Sci.*, Vol. 49, No. 8, August 2003, pp. 983-1002.

Rawee Suwandeochai received a B.S. in mathematics from University of Rochester, NY, USA, in 1999, and M.S. and Ph.D. in Operations Research from Department of Industrial and System Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA in 2006.

She is a lecturer in the Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand. Her research interests include applied operations research, supply chain and logistics, inventory, and capacity planning.