การบริหารยอดรวมการลงทุนเชิงออปชันในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

นายจิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PORTFOLIO MANAGEMENT OF OPTION-BASED INVESTMENT IN TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT

Mr.Jirawute Choungsirakulwit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบริหารยอดรวมการลงทุนเชิงออปชันในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี
โดย	นายจิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.โปรดปราน บุณยพุกกณะ)

ดาริชา สุธีวงศ์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์)

นครทิพย์ พร้อมพูล ..... กรรมการ
(อาจารย์ นครทิพย์ พร้อมพูล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เฉลิมศักดิ์ เลิศวงศ์เสถียร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์: การบริหารยอดรวมการลงทุนเชิงออปชันในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี (PORTFOLIO MANAGEMENT OF OPTION-BASED INVESTMENT IN TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์, 58 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบเชิงปริมาณสำหรับการบริหารยอดรวมการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาโดยใช้การประเมินมูลค่าแบบออปชันจริง เพื่อช่วยในการจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้ยอดรวมการลงทุนมีความสมดุลและได้รับผลตอบแทนที่ดีที่สุด โดยแบบจำลองพิจารณาความไม่แน่นอนของสองปัจจัยคือ ความไม่แน่นอนทางเทคนิค และความไม่แน่นอนทางตลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการการลงทุนที่ถูกแบ่งออกเป็นสองระยะ ได้แก่ ระยะการวิจัยและพัฒนา กับระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด ในที่นี้การวิเคราะห์แบบออปชันจริงถูกนำมาใช้รองรับการจัดการที่มีความยืดหยุ่น เช่น การที่ผู้ลงทุนมีสิทธิในการระงับและกลับมาลงทุนได้ใหม่ หรือสิทธิในการยืดระยะเวลาการนำสินค้าออกสู่ตลาด เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลมาทดสอบกับชุดข้อมูลเชิงตัวเลขโครงการ MACH3 ของบริษัทยิลเล็ต รวมทั้งได้นำทฤษฎีอรรถประโยชน์มาเพื่อหายอดรวมที่เหมาะสมที่สุดเมื่อนักลงทุนมีทัศนคติต่อความเสี่ยงต่างๆ กัน ผลจากการจำลองได้นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการถ่วงดุลผลตอบแทนกับความเสี่ยง และการวิเคราะห์ความไวเพื่อให้ข้อเสนอแนะต่อแนวทางการจัดสรรยอดรวมการลงทุนที่เหมาะสมสุด รวมทั้งแสดงให้เห็นผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดที่มีต่อกระบวนการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต จิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดาริชา สุธีวงศ์

ปีการศึกษา 2550

4970258021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEY WORD : REAL OPTIONS/ RESEARCH AND DEVELOPMENT INVESTMENT/ PORTFOLIO MANAGEMENT/ COMPUTER SIMULATION

JIRAWUTE CHOUNGSIRAKULWIT : PORTFOLIO MANAGEMENT OF OPTION-BASED INVESTMENT IN TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT. THESIS ADVISOR : DARICHA SUTIVONG, Ph.D., 58 pp.

This research proposes a quantitative model for managing a portfolio of R&D projects using real options valuation in order to balance and optimize R&D portfolio budget allocation. The model focuses on two dimensions of uncertainty – market and technical – in the investment process, which is divided into two critical stages: R&D phase and commercialization phase. The real options analysis is employed to account for management flexibility, such as an option to stop and later restart the investment or an option to defer the product launch. We utilize Monte-Carlo simulation technique to illustrate an application of the model using Gillette's MACH3 numerical data set. A utility theory is also used to optimize portfolio based on investors' various risk attitudes. Finally, the simulation results are studied using risk-return approach, and sensitivity analysis offers comparison and recommendation of an optimal portfolio as well as illustrates the effects of technical and market uncertainties on the R&D investment process.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Computer Engineering Student's signature จิรวุฒิ ช้องศิรกุลวิทย์
Field of study Computer Engineering Advisor's signature Daricha Sutivong
Academic year 2007

กิตติกรรมประกาศ

ตลอดระยะการศึกษาและวิจัยอันเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาจมีขยันบ้าง อาจมีสะดุดบ้าง อาจารย์ดาริชา สุธีวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาคอยสนับสนุนและสร้างแรงผลักดันเพื่อให้เกิดความก้าวหน้าในงานวิจัยอยู่เสมอ ทั้งยังอบรมขัดเกลาให้อยู่ในระเบียบวินัยและมีความประพฤติอันดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง กราบขอบพระคุณ อาจารย์ประภาส จงสถิตย์วัฒนา อาจารย์โปรดปราน บุณยพุกกณะ อาจารย์นครทิพย์ พร้อมพูล และอาจารย์เฉลิมศักดิ์ เลิศวงศ์เสถียร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะเพิ่ม เติมเต็ม ข้อบกพร่อง ประคับประคองให้ผ่านมาด้วยดี

ภายในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ชั้น 20 คณาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ ทั้งในแล็บและข้างเคียงที่ร่วมสร้างบรรยากาศการเรียนรู้และชีวิตที่สนุกสนาน อีกทั้งช่วยเหลือในงานวิจัย ทำให้ไม่รู้สึกเหงา ช่วงชีวิตในการเรียนโทนี้เต็มไปด้วยความทรงจำ ขอบคุณและขอขมาในสิ่งที่ล่วงเกินไว้ ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญตาราง ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1.1 ออปชันจริง (Real options) 4
2.1.2 การบริหารยอดรวมการลงทุน (Portfolio management) 8
2.1.3 การเลือกกลุ่มการลงทุนที่เหมาะสมสุดและฟังก์ชันอรรถประโยชน์ 10
2.1.4 การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ 13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.2.1 งานวิจัยด้านกระบวนการวิจัยและพัฒนา 13
2.2.2 งานวิจัยด้านการบริหารยอดรวมการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา 15
2.2.3 งานวิจัยด้านการประเมินมูลค่าการลงทุนด้วยออปชันจริง 17
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองยอดรวมการลงทุน 19
3.1 การคำนวณมูลค่าออปชันจริงบนความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด 20
3.2 การจัดสรรทรัพยากรให้กับกลุ่มโครงการ 22
3.3 การเลือกโครงการและจัดลำดับของยอดรวมการลงทุน 24
3.4 การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล 25
3.4.1 การจำแนกระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดของแต่ละโครงการ 26
3.4.2 ข้อสมมุติฐานของตัวแบบ 30
3.4.3 ขั้นตอนการจำลองสถานการณ์ 30
3.4.3 ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ใช้ในการทดสอบ 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 33
4.1 การเปรียบเทียบวิธีการเลือกโครงการลงทุน 33
4.2 การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน 34
4.3 ผลกระทบของการจัดสรรทรัพยากรบนความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด 38
4.3.1 การวิเคราะห์ความไวต่อความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาด 38
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการถ่วงดุลผลตอบแทนกับความเสี่ยง 39
4.3.3 การวิเคราะห์ความไวด้วยค่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์ 42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 44
5.1 สรุปผลการวิจัย 44
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 44
รายการอ้างอิง 46
ภาคผนวก ก การหาผลเฉลยมูลค่าออปชันจริง 49
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการ 51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 มูลค่าออปชันเมื่อมีความไม่แน่นอนทางเทคนิคและค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิลงทุน..... 6
รูปที่ 2.2 มูลค่าออปชันเมื่อมีความไม่แน่นอนทางตลาดและค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิลงทุน..... 8
รูปที่ 2.3 สัดส่วนการลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาความเสี่ยงและผลตอบแทน 9
รูปที่ 2.4 อรรถประโยชน์เมื่อนักลงทุนมีความพึงพอใจต่อความเสี่ยงต่าง ๆ กัน..... 11
รูปที่ 2.5 กระบวนการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา 14
รูปที่ 2.6 แนวทางการบริหารยอดรวมการลงทุนของ Dickinson 16
รูปที่ 2.7 แนวทางการบริหารยอดรวมการลงทุนของ MacMillan และ McGrath 17
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 19
รูปที่ 3.2 การจำลองขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในตัวแบบ 20
รูปที่ 3.3 การคำนวณมูลค่าออปชันจริงในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี 22
รูปที่ 3.4 การจัดสรรทรัพยากรให้แต่ละประเภทการลงทุน 23
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนวิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล 26
รูปที่ 3.6 การจำแนกประเภทการลงทุนตามระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาด..... 28
รูปที่ 3.7 เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนและผลตอบแทนเมื่อค่าระดับความเสี่ยงต่างกัน..... 29
รูปที่ 4.1 ผลตอบแทนสะสมเพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเลือกโครงการ..... 34
รูปที่ 4.2 มูลค่าผลตอบแทนสะสมเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน 36
รูปที่ 4.3 ความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน 36
รูปที่ 4.4 แบบจำลองทางการเงินเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของแต่ละประเภทการลงทุน 37
รูปที่ 4.5 มูลค่าผลตอบแทนเปรียบเทียบระหว่างการจัดสรรยอดรวมการลงทุนต่างกัน 38
รูปที่ 4.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างการจัดสรรยอดรวมการลงทุนต่างกัน ... 39
รูปที่ 4.7 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเมื่อมีความไม่แน่นอนทางเทคนิคต่างกัน..... 40
รูปที่ 4.8 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเมื่อมีความไม่แน่นอนทางตลาดต่างกัน 41
รูปที่ 4.9 ผลตอบแทนและความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา..... 42
รูปที่ 4.10 แผนภูมิเส้นชั้นความสูงแสดงระดับความพอใจของนักลงทุนต่อความเสี่ยงต่างกัน.. 43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าและความหมายของฟังก์ชันที่ใช้ในการเลือกโครงการ..... 25
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของโครงการ MACH3 ที่ใช้ในแบบจำลอง 32
ตารางที่ 4.1 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเลือกโครงการ..... 34
ตารางที่ 4.2 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน..... 35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การวิจัยและพัฒนาถือเป็นกำลังขับเคลื่อนสำคัญอันจะชี้นำทิศทางและสถานะของบริษัทในอนาคต เมื่อกล่าวในเชิงพาณิชย์แล้วการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเป็นการลงทุนเพื่อหวังผลในอนาคตที่มีผลตอบแทนไม่แน่นอนยากที่จะคาดการณ์ ดังนั้นการบริหารและตัดสินใจลงทุนที่ดีย่อมนำมาซึ่งโอกาสในการสร้างกำไรให้กับบริษัทเป็นจำนวนมาก ผู้บริหารและนักลงทุนโดยทั่วไปจึงต้องการเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจที่เหมาะสม กล่าวคือ ต้องสามารถชี้นำแนวทางที่ดีเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว บนกรอบของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น

การประเมินมูลค่าการลงทุนเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตัดสินใจลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี เป็นที่ทราบกันดีว่าการประเมินมูลค่าแบบดั้งเดิมโดยใช้วิธีคิดค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด (Discounted cash flow) ไม่สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของปัญหาที่มีลักษณะบ่งชัดของความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากไม่รองรับผลตอบแทนที่ไม่แน่นอน การลงทุนที่ไม่สามารถเรียกคืนได้ และความยืดหยุ่นในการจัดการโครงการในระหว่างกระบวนการลงทุน [1] จากผลกระทบอันหลากหลายเหล่านี้เอง จึงเป็นที่มาของการเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหานี้ โดยใช้ตัวแบบการประเมินมูลค่าแบบออปชันจริงร่วมกับการบริหารยอดรวมการลงทุน โดยวิธีการประเมินมูลค่าแบบออปชันจริงนั้นสามารถประเมินมูลค่าการลงทุนที่มีความไม่แน่นอนสูงได้สอดคล้องกับความเป็นจริง [2] ส่วนการบริหารยอดรวมการลงทุนนั้นจะช่วยพิจารณาการลงทุนในหลายโครงการร่วมกัน ทำให้เกิดสมดุลในกลุ่มการลงทุน อันจะนำไปสู่การรักษาสภาวะการแข่งขันในตลาดปัจจุบัน รวมถึงการรักษาเสถียรภาพของบริษัทในระยะยาว

ตัวแบบที่นำเสนอนั้นได้ใช้การคิดมูลค่าออปชันจริง พร้อมทั้งนำเสนอการจำแนกความเสี่ยงในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีออกเป็นสองประเภท ประเภทแรกคือ ความไม่แน่นอนทางเทคนิคซึ่งกล่าวถึงความยากง่ายในการวิจัยและพัฒนามีเท่าใด มีอุปสรรคอย่างไรอันจะส่งผลต่อเงินลงทุนและระยะเวลาที่จะเสร็จสิ้น ประเภทที่สองคือ ความไม่แน่นอนทางตลาดเกี่ยวข้องกับผลตอบรับภายหลังการวางตลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อมูลค่าผลตอบแทนภายหลังสิ้นสุดโครงการ หลังจากนั้นจึงพิจารณายอดรวมการลงทุนของกลุ่มโครงการ ซึ่งจะทำให้การบริหารโครงการมีผลตอบแทนสูงภายใต้ความเสี่ยงที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงมีสาระสำคัญในการนำเสนอตัวแบบเชิงปริมาณโดยใช้ออปชันจริงและการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ในการบริหารยอดรวมการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อวิเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมความเสี่ยงในการลงทุนอันเกิดจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบการประเมินมูลค่าการลงทุนที่แสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดที่มีต่อการตัดสินใจลงทุน และผลกระทบดังกล่าวถูกแสดงในรูปแบบของการบริหารยอดรวมการลงทุน ซึ่งกล่าวถึงการแบ่งสัดส่วนการลงทุนที่เหมาะสมให้กับกลุ่มการลงทุนที่มีความเสี่ยงต่างๆ กัน เพื่อลดความเสี่ยงของยอดรวมที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยตัวแบบที่ได้สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1 วิเคราะห์ขั้นตอนกระบวนการของการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งมีปัจจัยเสี่ยงจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดที่นำมาพิจารณา
2 นำเสนอตัวแบบเพื่อการบริหารยอดรวมการลงทุน โดยตัวแบบดังกล่าวสามารถคำนวณมูลค่าโครงการที่ดำเนินอยู่ ณ ขณะหนึ่งได้
3 ใช้วิธีการมอนติคาร์โลจำลองเหตุการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์
4 วิเคราะห์ความไว เปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อมีการลงทุนในกลุ่มการลงทุนที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดต่างๆ กัน
5 เสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อการตัดสินใจเลือกลงทุนจากกลุ่มโครงการ อันจะทำให้ผู้ลงทุนได้รับอรรถประโยชน์สูงสุด

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1 ศึกษาตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อการตั้งสมมุติฐานและกำหนดตัวแปรสุ่ม (Random variable) ที่จำเป็นสำหรับการสร้างตัวแบบ
2 ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบการประเมินมูลค่าออปชันแบบต่างๆ เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม
3 สร้างตัวแบบการคำนวณมูลค่าและความเสี่ยงในการบริหารยอดรวมการลงทุน
4 ใช้อัลกอริทึมเชิงละโมบเพื่อการเลือกโครงการในการลงทุนจากมูลค่าที่คำนวณได้จากตัวแบบ
5 เลือกใช้กระบวนการจำลองสถานการณ์ที่สมเหตุสมผลและสร้างโปรแกรมเพื่อจำลองสถานการณ์
6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความไว
7 หาค่าเหมาะสมที่สุดในการแบ่งสัดส่วนการลงทุนแต่ละประเภท
8 จัดทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งนำเสนองานวิจัยทั้งหมด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้ตัวแบบในการประเมินมูลค่าการลงทุน ที่แสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด อีกทั้งใช้วิธีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อนำเสนอเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อแบ่งสัดส่วนการลงทุนในกลุ่มการลงทุนที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลให้ยอดรวมการลงทุนมีความเสี่ยงลดลงได้

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความวิชาการในหัวเรื่อง “Portfolio Management of Option-Based Investment in Technology Research and Development” โดย จิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์ และ ดาริชา สุธีวงศ์ ในงานประชุมวิชาการ “6th IEEE International Conference on Computer and Information Science” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย ระหว่างวันที่ 11-13 กรกฎาคม 2550 ดังภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ออปชันจริง (Real options)

ในทางการเงิน ออปชันคือตราสารอนุพันธ์ในตลาดหลักทรัพย์ซึ่งจะให้สิทธิแก่ผู้ถือครองในการซื้อขายหลักทรัพย์อ้างอิงตามราคาที่ตกลงไว้ ณ ขณะหนึ่งในอนาคตหรือภายในระยะเวลาที่กำหนด ด้วยเงื่อนไขของเวลาและสิทธิในการซื้อขายดังกล่าว ออปชันจะมีมูลค่าก็ต่อเมื่อราคาที่ตกลงไว้สามารถสร้างกำไรให้กับผู้ถือครองออปชันนั้น เนื่องจากว่าถ้าการซื้อขายนั้นทำให้ขาดทุนก็ไม่มีเหตุอันใดให้ใช้สิทธิในออปชันนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าออปชันเป็นเครื่องมือของนักลงทุนในการจัดการความเสี่ยงในการถือครองสินทรัพย์อ้างอิงให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

จากความสามารถในการจัดการความเสี่ยงนี้เอง จึงมีผู้นำออปชันมาเปรียบเทียบใช้กับการลงทุนภายนอกตลาดหุ้น โดยคำนึงถึงมูลค่าสิทธิหรือโอกาสในการทำธุรกรรมเพิ่มเติมในอนาคต ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของออปชันจริงที่ให้สิทธิหรือความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการโครงการหนึ่งๆ คำนวณมูลค่าออปชันจริงนั้นมีผู้เสนอตัวแบบใช้ในการคำนวณที่หลากหลายภายใต้ข้อจำกัดของการนำไปใช้ที่ต่างกัน งานวิจัยนี้จะพิจารณามูลค่าออปชันในการลงทุนเพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่พิจารณาความไม่แน่นอนที่เข้ามากระทบ 2 ปัจจัยได้แก่ ความไม่แน่นอนทางเทคนิคและความไม่แน่นอนทางตลาด เพื่อนำมาสร้างตัวแบบในการประเมินมูลค่าการลงทุนดังจะนำเสนอในส่วนต่อไป อนึ่งเพื่อให้การใช้สัญลักษณ์เป็นไปในความหมายเดียวกันจึงได้นิยามสัญลักษณ์ที่นำมาใช้ดังนี้

F คือมูลค่าออปชัน (Option value)

V คือมูลค่าโครงการเมื่อเสร็จสิ้น (Value of completed project)

K คือเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน (Cost to project completion)

C คือเงินลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด (Commercialization cost)

σ คือระดับขั้นความไม่แน่นอนทางตลาด (Degree of market uncertainty)

υ คือระดับขั้นความไม่แน่นอนทางเทคนิค (Degree of technical uncertainty)

α คืออัตราการเติบโตของมูลค่าโครงการ (Drift in project value)

I คืออัตราการลงทุน (Investment rate)

δ คือเบี้ยประกันความเสี่ยงบนมูลค่าโครงการ (Risk premium on project value)

μ คืออัตราลดทอนแบบปรับความเสี่ยงแล้ว (Risk adjusted discount rate)

r คืออัตราลดทอนแบบปราศจากความเสี่ยง (Risk-free rate)

1) ออปชันจริงกับความไม่แน่นอนทางเทคนิค

ความไม่แน่นอนทางเทคนิคอาจเกิดจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ความไม่เชี่ยวชาญในเทคโนโลยีที่นำมาใช้ หรือการที่เทคโนโลยียังไม่ชัดเจนเนื่องด้วยมีการแข่งขันสูง เป็นต้น ดังนั้น ความไม่แน่นอนทางเทคนิคจึงเป็นปัจจัยเสี่ยงที่มีอิทธิพลและหลีกเลี่ยงได้ยาก ในกรณีที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีชั้นสูงออกสู่ตลาด ความไม่แน่นอนทางเทคนิคนี้เองที่ส่งผลให้ต้นทุนที่ใช้และระยะเวลาในการดำเนินการจนเสร็จประมาณได้ยาก ตัวแบบที่พัฒนาโดย Pindyck (1993) ได้พิจารณาความไม่แน่นอนทางเทคนิคส่งผลกระทบต่อเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน ความผันผวนนี้สามารถแสดงได้ด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่ม (Stochastic process) ของเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน (K) ดังสมการ 2.1 [3]

$$dK = -Idt + \upsilon(I \cdot K)^{\frac{1}{2}} dw \tag{2.1}$$

ตัวแปร I แทนอัตราการลงทุน ซึ่งในระยะเวลาหนึ่งจะมีการลงทุนเท่ากับ $I \cdot dt$ เมื่อโครงการนั้นมีแนวโน้มในแง่บวก และเป็นศูนย์เมื่อมีแนวโน้มในแง่ลบ ส่วนพจน์สุดท้ายทางขวามือประกอบด้วย dw คือ การเคลื่อนที่แบบบราวน์ ซึ่งใช้แทนความไม่แน่นอนทางเทคนิค คูณกับ υ คือ ระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิค สังเกตว่าพจน์นี้จะมีค่าก็ต่อเมื่อมีการลงทุน $(I > 0)$ เท่านั้น เราสามารถหามูลค่าโอกาสการลงทุน (F) ได้เมื่อคำนึงถึงความไม่แน่นอนทางเทคนิค และผู้ลงทุนมีความยืดหยุ่นที่สามารถจะหยุดและกลับมาลงทุนใหม่ได้ตามภาวะของโครงการนั้นๆ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย มูลค่าโอกาสดังกล่าวคือมูลค่าออปชันซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.2 (ดูรายละเอียดที่ภาคผนวก ก) (

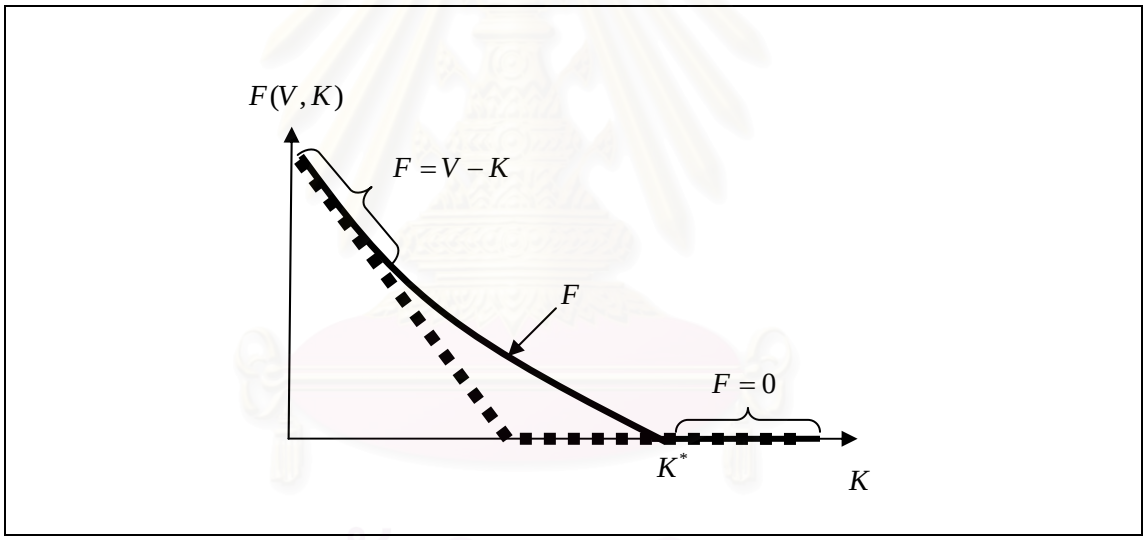
$$F(K;V) = V_p - K_p + \upsilon^2 \left(\frac{V_p}{2}\right)^{-2/\upsilon^2} \left(\frac{K_p}{\upsilon^2 + 2}\right)^{\frac{\upsilon^2+2}{\upsilon^2}} \tag{2.2}$$

ทั้งนี้ $V_P - K_P$ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโอกาสในการลงทุนขณะนี้ จะเห็นได้ว่าพจน์สุดท้ายที่เพิ่มเข้ามาเป็นมูลค่าเนื่องมาจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคที่จะมีค่ามากเมื่อระดับขั้นความไม่แน่นอนทางเทคนิค (υ) มีค่าสูงทำให้มูลค่าโอกาสการลงทุนเพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นอาจกล่าวได้ว่า เราสามารถเริ่มการลงทุนได้แม้ว่า $V_P - K_P < 0$ นั่นคือ แม้การคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะแสดงว่าขาดทุนก็อาจลงทุนได้เพราะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสิทธิในการระงับการลงทุนระหว่างทาง

การคำนวณเพื่อหาค่า K^* คือ เงินที่ต้องลงทุนที่มากที่สุดที่ยังสมควรลงทุน ซึ่งคำนวณได้จากการให้สมการ 2.2 เท่ากับศูนย์ จะได้ผลดังสมการที่ 2.3

$$K_p^* = (1+\tfrac{1}{2}\upsilon^2)V_p \tag{2.3}$$

ผลจากการคำนวณมูลค่าออปชันดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 2.1 ในกรณีที่ไม่สามารถระงับการลงทุนได้ จะเห็นว่าการลงทุนจะเกิดขึ้นเมื่อต้นทุนที่ใช้ต่ำกว่าผลตอบแทนโครงการ นั่นคือ กำไรสุทธิมีค่าเป็นบวกเท่านั้นดังแสดงด้วยเส้นประ แต่เมื่อรวมความยืดหยุ่นหรือสิทธิในการจัดการโครงการที่สามารถระงับการลงทุนแล้วกลับไปทำใหม่ได้แล้ว จะเห็นได้ว่าโอกาสในการลงทุนจะมีค่าแม้ว่ามูลค่าโครงการสุทธิจะน้อยกว่าศูนย์ เนื่องจากต้นทุนยังไม่แน่นอน การดำเนินงานอาจเสร็จเร็วกว่ากำหนดทำให้มูลค่าสุทธิออกมาเป็นบวกได้ แต่ในกรณีที่เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนสูงมากเกินกว่าค่าวิกฤต (K^*) ทำให้โอกาสในการลงทุนนั้นไม่น่าสนใจ นั่นคือมีมูลค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นจุดที่ควรตัดสินใจระงับการลงทุน



รูปที่ 2.1 มูลค่าออปชันเมื่อมีความไม่แน่นอนทางเทคนิคและค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิลงทุน

2) ออปชันจริงกับความไม่แน่นอนทางตลาด

ความไม่แน่นอนทางตลาดเกิดขึ้นเมื่อผู้ผลิตไม่มั่นใจในอุปสงค์-อุปทานของตลาดในอนาคต ซึ่งมีปัจจัยด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น มูลค่าผลิตภัณฑ์ในตลาด ลักษณะความต้องการของตลาดต่อตัวสินค้า ความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่จะแทรกเข้าไปแข่งขันในตลาดได้ เป็นต้น ดังนั้นในกรณีที่ความไม่แน่นอนทางตลาดสูง ความยืดหยุ่นโดยการให้สิทธิการเว้นระยะรอก่อนที่จะนำสินค้าออกสู่ตลาดจึงเป็นออปชันหนึ่งที่มีมูลค่าพึงพิจารณา

จากลักษณะดังกล่าว สามารถจำลองสถานการณ์โดยให้บริษัทลงทุนในโครงการหนึ่งเพื่อผลิตและจัดจำหน่ายสินค้า ผลตอบแทนที่ได้รับอาจผันผวนตามการเปลี่ยนแปลงของตลาด (อาจเปรียบได้กับการผันผวนของมูลค่าผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาจำหน่ายในตลาด) กำหนดให้มูลค่าโครงการ (V) คือ ผลตอบแทนที่ได้รับมีการเคลื่อนที่แบบบราวน์เรขาคณิต (Geometric Brownian motion) ตามสมการที่ 2.4 ซึ่งเป็นกระบวนการเฟ้นสุ่มรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้แสดงการผันผวนทางการเงินที่มีสัดส่วนค่าที่เปลี่ยนแปลงต่อค่าปัจจุบัน ($\Delta V/V$) มีการเคลื่อนที่แบบบราวน์ที่มีการลอยเลื่อน (Brownian motion with drift) การเคลื่อนที่แบบบราวน์เรขาคณิตนิยามด้วยสมการดังนี้

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \tag{2.4}$$

โดยข้อสมมุติฐานที่ว่าอัตราการเติบโตของมูลค่าโครงการ (α) และระดับขั้นความไม่แน่นอนทางตลาด (σ) มีค่าคงที่ ให้ dz แทนการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) จะทำให้มูลค่าโครงการมีค่าผันผวนแบบเฟ้นสุ่มค่า เนื่องจากมูลค่าโครงการมีการผันผวนไม่แน่นอนนี้เอง ความยืดหยุ่นในการเว้นระยะรอการลงทุนจึงเป็นการสร้างโอกาสและเอื้อประโยชน์ในการลงทุน เนื่องจากเราสามารถรอให้มูลค่าโครงการสูงพอและคุ้มค่า เราจึงต้องการทราบให้แน่ชัดว่าควรรอถึงเมื่อใดจึงจะนำสินค้าออกสู่ตลาดเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่เหมาะสม จุดที่เหมาะสมที่ควรลงทุนนี้เองแทนด้วย V^* เมื่อกำหนดให้โครงการมีมูลค่าซึ่งสามารถซื้อขายในตลาดได้ เราใช้การวิเคราะห์จากหลักทรัพย์อ้างอิง (Contingent claim analysis) เพื่อหามูลค่าออปชันที่ถือครอง ณ ขณะหนึ่งได้ โดยตัวแบบพัฒนาโดย Madj และ Pindyck (1987) กำหนดให้มูลค่าออปชัน (F) เป็นฟังก์ชันของมูลค่าโครงการเมื่อเสร็จสิ้น (V) ซึ่งยังต้องการเงินลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด (C) สามารถคำนวณมูลค่าออปชันได้จากสมการ 2.5 (ดูรายละเอียดที่ภาคผนวก ก)

$$F(V) = AV^{\beta_1} \tag{2.5}$$

เมื่อ $$A = \frac{V^* - C}{(V^*)^{\beta_1}}$$

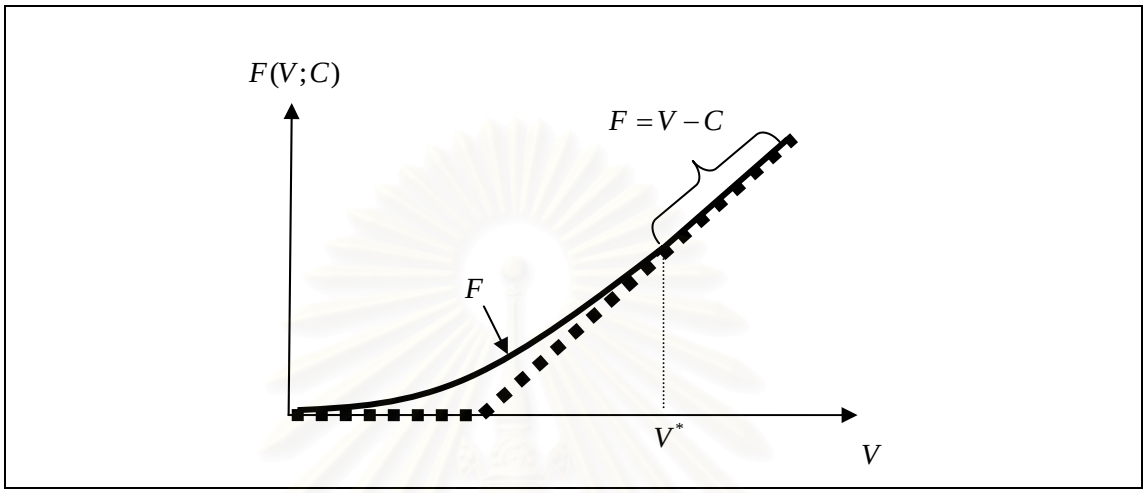
$$\beta_1 = \tfrac{1}{2} - (r-\delta)/\sigma^2 + \sqrt{[(r-\delta)/\sigma^2 - \tfrac{1}{2}]^2 + 2r/\sigma^2}$$

และเมื่อมูลค่าโครงการถึงค่าวิกฤตดังสมการที่ 2.6 จึงควรใช้สิทธิการลงทุน

$$V^* = \frac{\beta_1 \cdot (C)}{\beta_1 - F_V(V^*)} \tag{2.6}$$

การคำนวณมูลค่าออปชันดังกล่าวจะให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในกรณีที่ไม่สามารถยืดเวลาการลงทุนออกไปได้ การลงทุนจะเกิดขึ้นเมื่อมูลค่าสุทธิที่หักลบต้นทุนมีค่าเป็นบวกเท่านั้นดังแสดงด้วยเส้นประ แต่เมื่อรวมความยืดหยุ่นในการยืดระยะการลงทุนได้จะเห็นว่า

โอกาสในการลงทุนจะมีค่าแม้ว่ามูลค่าโครงการสุทธิจะน้อยกว่าศูนย์ ทั้งนี้เนื่องจากมูลค่าอาจผันผวนไปในทางที่เป็นบวกได้ในอนาคต แต่ในกรณีที่มูลค่าโครงการสูงมากพอถึงค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิการลงทุน (V^*) สิทธิจากการยืดระยะการลงทุนจะไม่มีผลต่างจากการตัดสินใจลงทุนทันที ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟมูลค่าที่รวมออปชันลากทับเส้นประคือมูลค่าสุทธิพอดี



รูปที่ 2.2 มูลค่าออปชันเมื่อมีความไม่แน่นอนทางตลาดและค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิลงทุน

สำหรับการหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินทั้งมูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนนั้นทำได้โดยข้อสมมุติฐานที่ว่าบริษัทลงทุนในโครงการหนึ่งด้วยอัตรา I หน่วยต่อปีจนสำเร็จ ดังนั้นค่าคาดหวังของระยะเวลาที่ต้องใช้จนสิ้นสุดโครงการคือ K/I มูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนสามารถคำนวณได้จากการลดทอนด้วยอัตราลดทอนที่จัดค่าความเสี่ยงแล้วจนถึงเวลาที่สุดโครงการดังแสดงด้วยสมการ 2.7 และ 2.8 ต่อไปนี้

$$K_p = \int_0^{K/I} Ie^{-r\tau} d\tau = (1-e^{-rK/I})\frac{I}{r} \tag{2.7}$$

$$V_p = Ve^{-(\mu-\alpha)K/I} = Ve^{-\delta \cdot K/I} \tag{2.8}$$

2.1.2 การบริหารยอดรวมการลงทุน (Portfolio management)

การบริหารยอดรวมการลงทุนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจลงทุนในหลายๆ โครงการที่มีผลตอบแทนและความเสี่ยงต่างๆ กันไป โดยมีความสามารถในการเลือกโครงการ (Project selection) จัดลำดับ (Prioritization) จัดสรรทรัพยากร (Resource allocation) และสร้างความสมดุลให้ยอดรวมการลงทุน (Portfolio balancing) การบริหารยอดรวมการลงทุนได้ผสมผสานการลงทุนในแต่ละประเภทให้มีสัดส่วนที่พอเหมาะทำให้กลุ่มการลงทุนลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้

ตัวแบบเริ่มแรกซึ่งถือเป็นแม่แบบในการคำนวณยอดรวมการลงทุนคิดค้นโดย Markowitz (1952) ตัวแบบดังกล่าวใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบแทนเป็นตัวแทนความเสี่ยงในการลงทุน แล้วนำมาคำนวณหาผลตอบแทนที่เหมาะสมอยู่ภายใต้สมมุติฐานดังต่อไปนี้

1) นักลงทุนพิจารณาทางเลือกในการลงทุน ณ เวลาใดเวลาหนึ่งโดยดูจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าคาดหวังผลตอบแทน (Expected return)

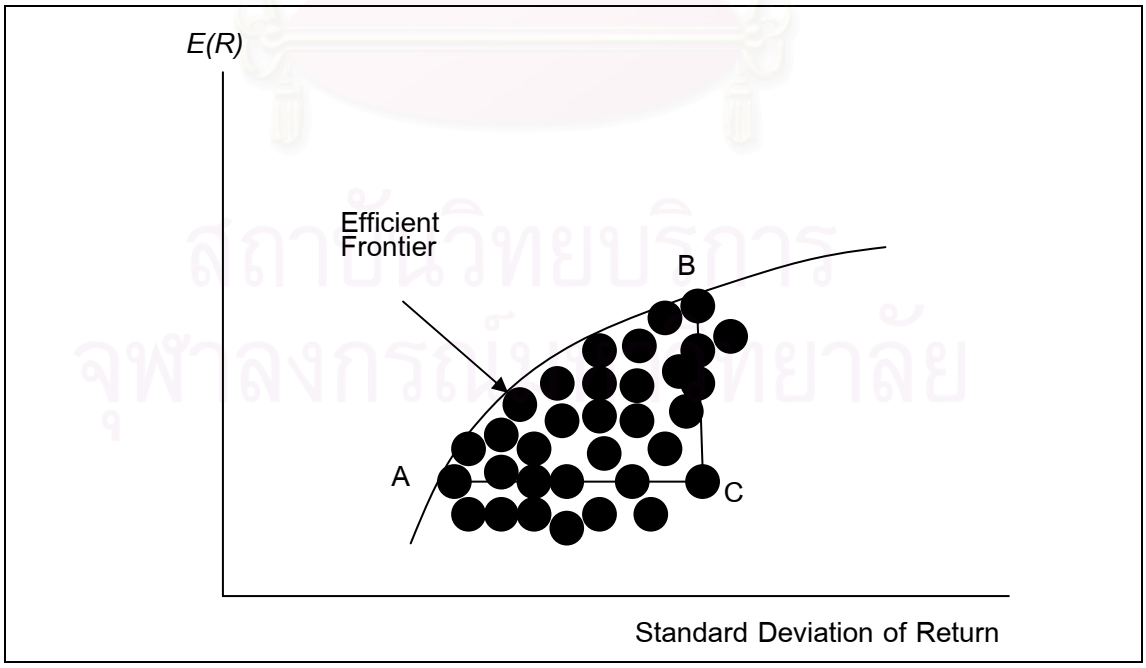
2) นักลงทุนคาดหวังผลประโยชน์ในภาพรวมสูงสุด

3) นักลงทุนพิจารณาความเสี่ยงบนพื้นฐานของความแปรปรวนของค่าคาดหวังผลตอบแทน

4) นักลงทุนตัดสินใจการลงทุนโดยยึดค่าความเสี่ยงและผลตอบแทนเท่านั้น

5) สำหรับการลงทุนบนระดับความเสี่ยงหนึ่งๆ นักลงทุนคาดหวังผลตอบแทนที่สูงสุดบนความเสี่ยงนั้น ในทางกลับกัน สำหรับการลงทุนบนผลตอบแทนระดับหนึ่งๆ นักลงทุนจะคาดหวังความเสี่ยงที่ต่ำสุด

จากสมมุติฐานข้างต้น เมื่อนำมาใช้คำนวณผลตอบแทนและความเสี่ยงที่สัดส่วนการลงทุนแบบต่างๆ สามารถสร้างแผนภูมิได้ลักษณะดังรูปที่ 2.3 โดยแกนตั้งแสดงค่าคาดหวังของผลตอบแทนการลงทุน ส่วนแกนนอนเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคาดหวังผลตอบแทน



รูปที่ 2.3 สัดส่วนการลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาความเสี่ยงและผลตอบแทน

ซึ่งนำมาใช้แสดงแทนค่าความเสี่ยง จุดแต่ละจุดเป็นตัวแทนของรูปแบบการเลือกกลุ่มการลงทุนที่ต่างๆ กันอันส่งผลให้ยอดรวมการลงทุนมีผลตอบแทนและความเสี่ยงต่างๆ กัน จากข้อสมมุติฐานข้างต้นอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า สำหรับการลงทุนบนระดับความเสี่ยงหนึ่งๆ เราต้องการให้ได้ผลตอบแทนที่สูงสุด (แสดงด้วยจุด B อยู่เหนือจุด C) และสำหรับการลงทุนบนผลตอบแทนระดับหนึ่งๆ ต้องการให้มีความเสี่ยงที่ต่ำสุด (จุด A อยู่ทางซ้ายของจุด C) สามารถแสดงได้เป็นเส้นโค้งที่มีประสิทธิภาพดังในรูปที่ 2.3 (เส้นโค้งที่ลากผ่านจุด A และ B) ซึ่งนักลงทุนสามารถพิจารณาเลือกค่าความเสี่ยงและผลตอบแทนที่เหมาะสมในการลงทุนได้ ดังนั้นการบริหารยอดรวมการลงทุนจึงถือเป็นศาสตร์และศิลป์ในการการลงทุนหลายโครงการร่วมกันเพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดทุนบนการลงทุนเพียงอย่างเดียว ทำให้อัตราผลตอบแทนสูงและภายใต้ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

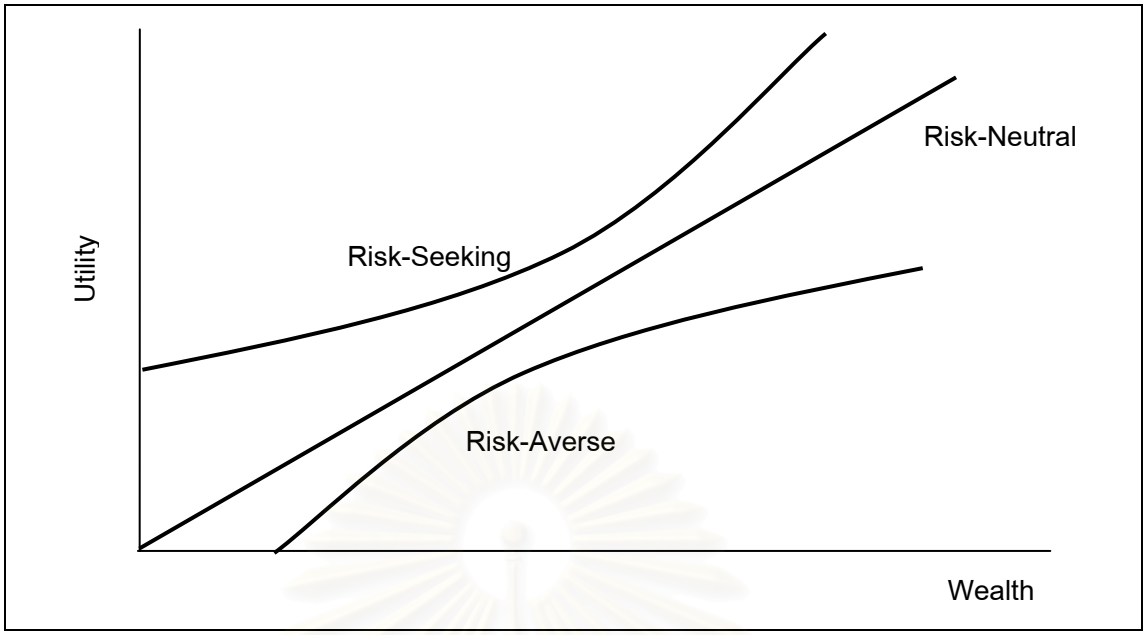
2.1.3 การเลือกกลุ่มการลงทุนที่เหมาะสมสุดและฟังก์ชันอรรถประโยชน์

จะเห็นได้จากหัวข้อที่แล้วว่าเส้นโค้งที่มีประสิทธิภาพแสดงถึงยอดรวมการลงทุนที่มีความเสี่ยง-ผลตอบแทนต่างๆ กัน ยอดรวมการลงทุนที่ได้รับผลตอบแทนสูงกว่าจะมีความเสี่ยงที่สูงกว่า ทั้งนี้การตัดสินใจเลือกแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมความชอบเสี่ยง (Risk behavior) ของผู้ลงทุน ดังนั้นมีปัญหาการเลือกยอดรวมการลงทุนที่เหมาะที่สุด (Optimal portfolio) เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจว่าจะเลือกลงทุนในโครงการใดบ้างเพื่อที่ผู้ลงทุนจะได้รับอรรถประโยชน์ (Utility) สูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในทฤษฎีการบริหารยอดรวมการลงทุน [4]

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตัดสินใจในยอดรวมการลงทุนเพื่อแสดงความพึงพอใจของนักลงทุนที่มีต่อระดับความมั่งคั่ง (Wealth) ต่างๆ กัน โดยนักลงทุนจะรวมเอาทัศนคติต่อความเสี่ยงในการลงทุนมาพิจารณาเลือกการลงทุนที่มีอรรถประโยชน์ที่เหมาะสม ทัศนคตินี้เองสามารถวัดได้ด้วยตัววัดความเสี่ยง (Risk measure) ซึ่งตัววัดความเสี่ยงที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ $ARA(w)$: Arrow-Pratt measure of absolute risk aversion นิยามโดย

$$ARA(w) = \frac{-U''(w)}{U'(w)} \tag{2.9}$$

ถ้าค่า $ARA(w)$ มีค่าบวกจัดอยู่ในกลุ่มกลัวความเสี่ยง เป็นศูนย์เมื่อเป็นกลางต่อความเสี่ยง และเป็นลบเมื่ออยู่ในกลุ่มชอบความเสี่ยง ผลที่เกิดจากพฤติกรรมต่อความเสี่ยงนี้อาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 คือ กลุ่มที่กลัวความเสี่ยงจะมีค่าความพึงพอใจต่อความมั่งคั่งหรือเงินที่เพิ่มมากขึ้นเป็นค่าที่น้อยลง ส่วนกลุ่มที่เป็นกลางต่อความเสี่ยง ความพึงพอใจต่อเงินจำนวนเท่ากันจะมีค่าคงที่เสมอ ในขณะที่กลุ่มที่ชอบความเสี่ยง แม้มีเงินจำนวนมากอยู่แล้ว การเพิ่มขึ้นของเงินเพียงเล็กน้อยก็สามารถสร้างความพึงพอใจได้มาก ค่าความพึงพอใจซึ่งแสดงด้วย



รูปที่ 2.4 อรรถประโยชน์เมื่อนักลงทุนมีความพึงพอใจต่อความเสี่ยงต่างๆ กัน

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์นี้เอง ได้ถูกนำเสนอขึ้นเพื่อจำลองพฤติกรรมการยอมรับความเสี่ยงของนักลงทุนที่ได้รับผลตอบแทนต่างๆ กัน ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างฟังก์ชันอรรถประโยชน์ 2 รูปแบบดังนี้

1) ฟังก์ชันอรรถประโยชน์แบบกำลังสอง (Quadratic utility function)

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์กำลังสองคือ ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ ที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันกำลังสองของค่าของความมั่งคั่ง (w) ดังสมการที่ 2.10 รูปร่างที่ปรากฏจะเป็นกราฟพาราโบลา โดยตัวแปร b ใช้บอกพฤติกรรมการยอมรับความเสี่ยงนั้น

$$U(w) = w - bw^2 \tag{2.10}$$

ทั้งนี้ยังพบปัญหาบางประการ เมื่อพิจารณาจากอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสอง $U'(w) = 1 - 2bw$ และ $U''(w) = -2b$ พบว่าเมื่อค่า $b > \frac{1}{2}w$ ทำให้อนุพันธ์อันดับหนึ่งติดลบ หมายความได้ว่าความมั่งคั่งที่เพิ่มขึ้นทำให้ความพึงพอใจลดลง ซึ่งผิดจากลักษณะที่ควรจะเป็นของฟังก์ชันอรรถประโยชน์

2) ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของ Von Neumann-Morgenstern

เป็นฟังก์ชันที่พัฒนาจากฟังก์ชันอรรถประโยชน์แบบลอการิทึม $U(w) = \ln(w)$ ของ Bernoulli แต่อยู่ในรูปทั่วไปมากกว่า แสดงในรูปของฟังก์ชันยกกำลัง ใช้ตัวแปร γ แสดงถึงระดับความกลัวความเสี่ยงต่างๆ กันของนักลงทุน ดังสมการที่ 2.11 นิยามโดย

$$U(w) = \begin{cases} w^{\gamma} / \gamma & if \quad \gamma \neq 0 \\ \ln w & if \quad \gamma = 0 \end{cases} \tag{2.11}$$

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาความพึงพอใจของผู้ลงทุนที่มีพฤติกรรมความเสี่ยงต่างๆ กัน คุณสมบัติของฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของ Von Neumann-Morgenstern พิจารณาได้จากอนุพันธ์อันดับสองของ $U(w)$ ดังแสดงด้วยสมการที่ 2.12

$$U''(w) = \begin{cases} (\gamma - 1) / w^{\gamma - 2} & if \quad \gamma \neq 0 \\ -1 / w^2 & if \quad \gamma = 0 \end{cases} \tag{2.12}$$

$\gamma < 1$ ทำให้อนุพันธ์อันดับสองติดลบ แสดงถึงพฤติกรรมการกลัวความเสี่ยง (Risk averse behavior)

$\gamma = 1$ ทำให้อนุพันธ์อันดับสองเป็นศูนย์ แสดงถึงพฤติกรรมความเป็นกลางต่อความเสี่ยง (Risk neutral behavior)

$\gamma > 1$ ทำให้อนุพันธ์อันดับสองติดมีค่าบวก แสดงถึงพฤติกรรมการชอบความเสี่ยง (Risk seeking behavior)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าจากตัววัดความเสี่ยง $ARA(w)$ และอนุพันธ์อันดับหนึ่งตามสมการที่ 2.13 และ 2.14 แล้วพบว่า $ARA'(w)$ มีค่าเป็นบวกเมื่อ $\gamma > 1$ แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์ค่าความกลัวความเสี่ยง (Increasing absolute risk aversion) เป็นศูนย์เมื่อ $\gamma = 1$ แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่คงที่ และติดลบเมื่อ $\gamma < 1$ แสดงถึงการลดลงของสัมประสิทธิ์ค่าความกลัวความเสี่ยง (Increasing absolute risk aversion) ซึ่งเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของฟังก์ชันอรรถประโยชน์

$$ARA(w) = \begin{cases} (1 - \gamma) / w & if \quad \gamma \neq 0 \\ 1 / w & if \quad \gamma = 0 \end{cases} \tag{2.13}$$

$$ARA'(w) = \begin{cases} (\gamma - 1) / w^2 & if \quad \gamma \neq 0 \\ -1 / w^2 & if \quad \gamma = 0 \end{cases} \tag{2.14}$$

2.1.4 การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์คือ โปรแกรมที่พยามยามเลียนแบบพฤติกรรมของระบบใดระบบหนึ่งเพื่อการศึกษาความสัมพันธ์ภายในระบบนั้น เหตุการณ์ที่จำลองโดยทั่วไปมักเกิดในลักษณะสุ่ม และมีการใช้ข้อมูลในอดีตในการอ้างอิงสำหรับจำลองสถานการณ์ การสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เป็นตัวแบบเชิงปริมาณที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับสร้างให้เข้ากับสภาพของปัญหาหลากหลายรูปแบบ และใช้หลักการทางสถิติจำลองสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์สภาพการดำเนินงาน คาดการณ์สิ่งที่จะเกิดในอนาคต ประเมินผลของทางเลือกต่างๆ ที่มีอยู่ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริหารสามารถวางแผน แก้ปัญหา และตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ อนึ่งเพื่อความสมเหตุสมผลของผลจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ การพิสูจน์ยืนยันว่าเป็นจริง (Verification) และการให้เหตุผล (Validation) ถือเป็นปัจจัยหลักที่จะทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ

วิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โลแตกต่างจากวิธีการทั่วไปในประเด็นที่มีการใช้ตัวแปรสุ่มเพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมีตัวแปรที่มีค่าไม่แน่นอน โอกาสที่จะเกิดต่างๆ กันยากจะคาดเดาและแทนค่าในสมการเพื่อหาผลเฉลยโดยตรงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อน อาจจำลองพฤติกรรมด้วยตัวแปรสุ่มหลายตัวและสามารถนำตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มนี้ไปใช้ในจำลองการทำงานของกระบวนการเฟ้นสุ่ม (Stochastic process) องค์ประกอบหลักของการจำลองแบบมอนติคาร์โลจะต้องมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution functions) ซึ่งเป็นระบบทางกายภาพเพื่อใช้สุ่มตัวอย่างจากลักษณะที่เฉพาะเจาะจงของตัวแปรที่สนใจ ซึ่งจะถูกสร้างด้วยตัวสร้างเลขสุ่ม (Random number generator)

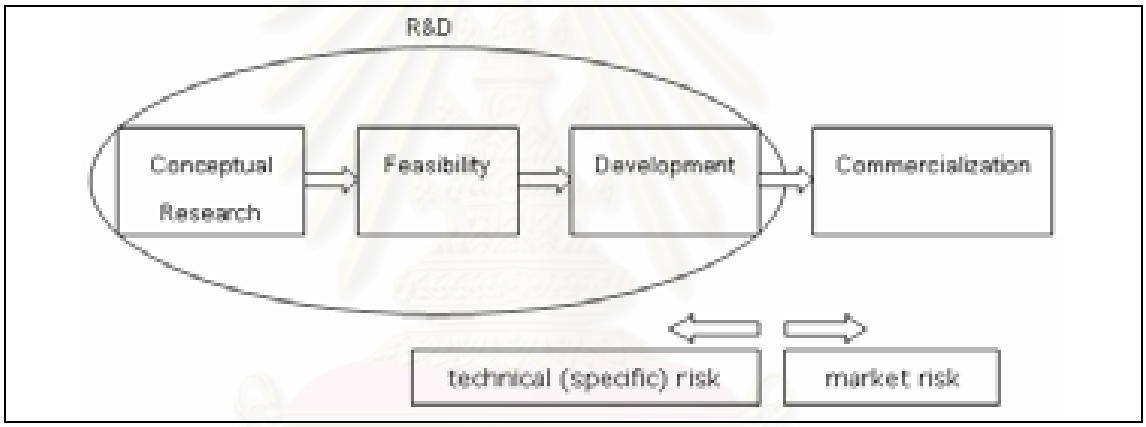
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเสี่ยงแบบยอดรวมในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อจำแนกให้เห็นได้ชัดเจนจึงได้แบ่งหมวดหมู่ออกเป็นการศึกษาด้านกระบวนการวิจัยและพัฒนา การวิเคราะห์ความเสี่ยงและผลตอบแทนแบบยอดรวม และการนำแนวคิดออปชันจริงมาใช้ประกอบการวิเคราะห์การลงทุน ซึ่งแนวคิดเหล่านี้จะเป็นองค์ความรู้ประกอบกันในการนำไปสร้างตัวแบบจำลองในบทต่อไป

2.2.1 งานวิจัยด้านกระบวนการวิจัยและพัฒนา

การลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเป็นการลงทุนที่หวังผลตอบแทนในระยะยาว มีการตัดสินใจเป็นขั้นๆ ตามระยะการลงทุน เพื่อให้สะดวกแก่การศึกษาอาจแบ่งกระบวนการวิจัยและพัฒนาได้เป็น 4 ขั้นตอน [5] ในขั้นแรกได้แก่ การวิจัยเชิงแนวคิด (Conceptual research) แสดง

ถึงรายการของสิ่งที่สนใจรวมถึงความสัมพันธ์ที่มีระหว่างกัน ขั้นที่สองคือ การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อการตัดสินใจว่าควรที่จะวิจัยและพัฒนาต่อไปหรือไม่ ขั้นต่อมาคือ การพัฒนา (Development) โดยสร้างชิ้นงานและทดสอบการทำงานและความถูกต้องของชิ้นงานนั้น ส่วนในขั้นตอนสุดท้ายคือ การผลิตสินค้าออกสู่ตลาด (Commercialization) ซึ่งเป็นการแปรรูปโครงการที่เสร็จสิ้นนั้นให้เกิดผลตอบแทนแก่ผู้ลงทุน โดยในแต่ละขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนาได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนต่างๆ กันจึงทำให้ยากแก่การคาดเดาผลตอบแทนที่ได้รับ เมื่อพิจารณาจากความเป็นจริงที่ว่ากระบวนการวิจัยและพัฒนานี้ต้องการระยะเวลาในการลงทุนตามขั้นตอนจนสำเร็จจึงจะได้ผลตอบแทน ในระหว่างนี้อาจเกิดความเสี่ยงอันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและความไม่แน่นอนทางตลาดอันเป็นผลกระทบหลักในการวิจัยและพัฒนา [1] ทำให้ยากแก่การสร้างตัวแบบในการคำนวณผลตอบแทนการลงทุนรวมถึงการตัดสินใจลงทุนในระยะต่างๆ ผลกระทบเนื่องมาจากความไม่แน่นอนที่มีต่อกระบวนการวิจัยและพัฒนาแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



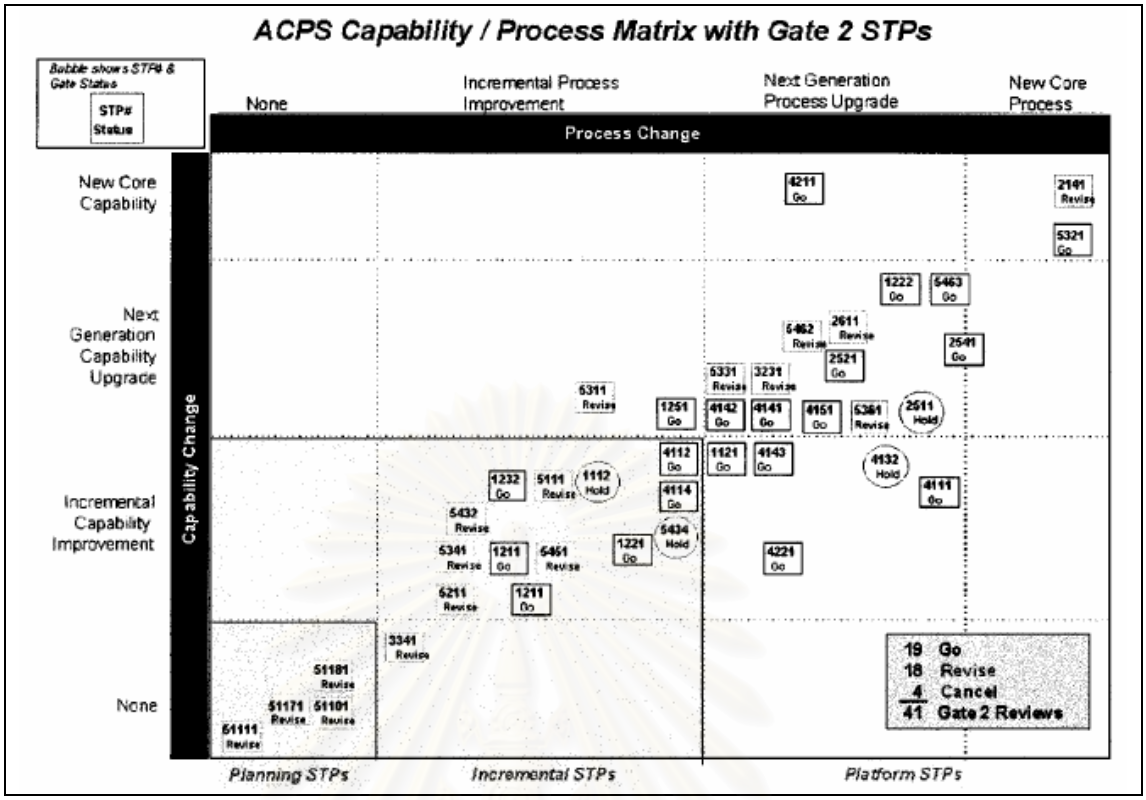
รูปที่ 2.5 กระบวนการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา

ในระยะแรกได้แก่ขั้นตอนของการทำวิจัยและพัฒนาสินค้าหรือนวัตกรรมใหม่ ความไม่เชี่ยวชาญในเทคโนโลยีเหล่านั้น รวมถึงการที่เทคโนโลยียังไม่ชัดเจนว่าจะเป็นไปในทิศทางใดจึงก่อให้เกิดความไม่แน่นอนทางเทคนิค การลงทุนในระยะแรกนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นการลงทุนเพื่อเปิดโอกาส สร้างทางเลือกการลงทุนที่หลากหลาย [6] ทำให้บริษัทมีศักยภาพในการแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ของคู่แข่ง ส่วนในระยะหลังจากการพัฒนาจะมีการนำสินค้าออกจำหน่ายเพื่อให้ได้ผลตอบแทนจากการลงทุนจริงๆ หากบริษัทยังไม่มีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายหรือความต้องการของลูกค้าที่ชัดเจน ทำให้สินค้าไม่ได้รับการตอบสนองอันเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของตลาด จากผลกระทบอันหลากหลายของความไม่แน่นอนเหล่านี้เองที่ทำให้การบริหารยอดรวมการลงทุนเอื้อประโยชน์และมีบทบาทในการกำหนดยุทธศาสตร์ที่ดี สร้างความสมดุลให้แก่กลุ่มการลงทุนอันจะนำไปสู่การรักษาสภาวะการแข่งขันในตลาดปัจจุบัน ตลอดจนการช่วงชิงความได้เปรียบในระยะยาว [7]

2.2.2 งานวิจัยด้านการบริหารยอดรวมการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา

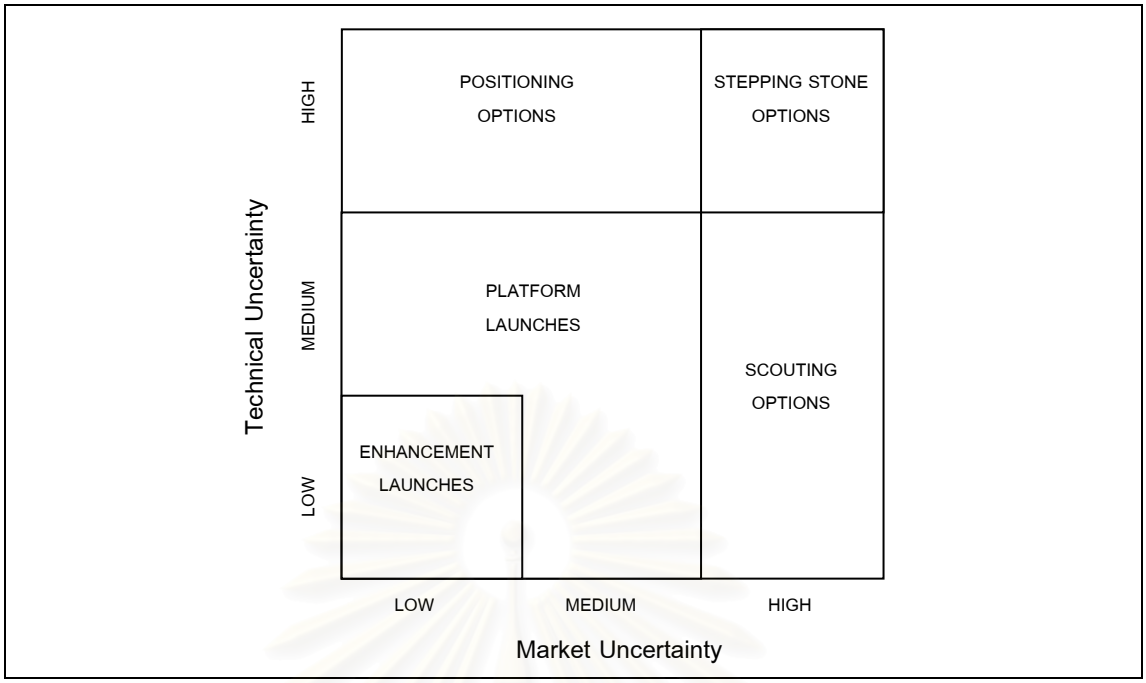
เมื่อมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การบริหารยอดรวมการลงทุนจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยการบริหารยอดรวมนี้จะพิจารณากลุ่มการลงทุนที่มีหลายโครงการซึ่งช่วยจำกัดความเสี่ยงและสร้างความสมดุลในกลุ่มการลงทุนลงได้ เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงบนความเสี่ยงที่เหมาะสม จากงานวิจัยที่ศึกษามีหลายงานที่มุ่งเน้นในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการเลือกโครงการลงทุน จัดลำดับการลงทุน และการจัดสรรทรัพยากรให้กับกลุ่มการลงทุน อาทิเช่น Lawson [8] แสดงการเลือกโครงการลงทุนผ่านกระบวนการวิเคราะห์ผลตอบแทนและความเสี่ยง เมื่อคำนึงถึงผลตอบแทน ณ เวลาต่างๆ กัน Cobb และ Charnes [9] ได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุนต่อเนื่องตามเวลาโดยใช้กระบวนการจำลองเหตุการณ์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Bardhan [10] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโครงการเพื่อเสนอวิธีจัดลำดับการลงทุนที่มีประสิทธิภาพ

ส่วนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดสรรทรัพยากร ซึ่งกล่าวถึงการแบ่งสัดส่วนการลงทุนในแต่ละโครงการ Turnquist [11] เสนอตัวแบบทั่วไปในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดลงในโครงการที่มีความไม่แน่นอนทั้งในแง่ของระยะเวลา ความต้องการทรัพยากร และผลตอบแทน ขณะที่ Santiago [6] แสดงมุมมองการแบ่งทรัพยากรในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโดยมีการแบ่งระยะของการลงทุนออกโดยกว้างเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะการวิจัยและพัฒนาและระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด แต่เมื่อจำกัดเฉพาะความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในระยะการวิจัยและพัฒนาแล้ว Dickinson [12] เสนอตัวแบบการแบ่งยอดรวมการลงทุนเพื่อสร้างความสมดุลประเภทที่มีความเสี่ยงต่างๆ กันในการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด ดังรูปที่ 2.6 โดยจัดให้กลุ่มที่มีความเสี่ยงปานกลางเป็นการลงทุนแบบส่วนเพิ่ม (Incremental) และในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงเป็นแบบแพลตฟอร์ม (Platform) และเสนอเกณฑ์ในการแบ่งสัดส่วนการลงทุนบนความสมดุลระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีเพื่อใช้แทนความเสี่ยง และสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นจากการลงทุนเพื่อใช้แทนผลตอบแทน ความเสี่ยงและผลตอบแทนจะถูกจัดลำดับตั้งแต่ไม่มี (แสดงในรูปในส่วน “None”) จนถึงมีในระดับสูง (แสดงในรูปในส่วน “New Core Process/Capability”)



รูปที่ 2.6 แนวทางการบริหารยอดรวมการลงทุนของ Dickinson

ทั้งนี้การแบ่งกลุ่มการลงทุนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับตัวแบบต่อมาของ MacMillan และ McGrath [13] ที่ได้เสนอแนวทางการบริหารยอดรวมการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเป็น 5 ประเภท โดยเพิ่มการลงทุนในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง เป็นการลงทุนแบบออปชัน และจำแนกความเสี่ยงออกเป็นสองด้านได้แก่ความไม่แน่นอนทางเทคนิคและความไม่แน่นอนทางตลาด การลงทุนโครงการที่มีความเสี่ยงสูงนี้ได้แบ่งเป็นออปชัน 3 ประเภท (รูปที่ 2.7) ได้แก่ ออปชันการวางตำแหน่ง (Positioning options) ออปชันการสอดแนม (Scouting options) และออปชันการก้าวกระโดด (Stepping stone options) ซึ่งออปชันแต่ละประเภทจะมีลักษณะการลงทุนแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และธรรมชาติในการคืนมูลค่าของแต่ละกลุ่มการลงทุน ออปชันการวางตำแหน่งเป็นการลงทุนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโอกาสและความได้เปรียบในการแข่งขันของบริษัทที่ต้องขับเคี่ยวกัน โดยเฉพาะในกลุ่มเทคโนโลยีที่ยังใหม่และไม่ชัดเจนทำให้การตัดสินใจบนเทคโนโลยีอันใดอันหนึ่งมีความเสี่ยงสูง ซึ่งแตกต่างจากออปชันการสอดแนม ที่มุ่งเน้นในการหยั่งเชิงตลาดด้วยการผลิตพิมพ์เขียวของผลิตภัณฑ์ออกมาก่อน ในขณะที่ออปชันการก้าวกระโดดกล่าวถึงการลงทุนในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงทั้งทางเทคนิคและทางตลาด แต่มีศักยภาพที่จะเปิดโอกาสใหม่ๆ ให้แก่บริษัท กล่าวโดยรวมถึงเหตุผลในการผสมผสานกลุ่มการลงทุนเหล่านี้เข้าด้วยกันก็เพื่อสร้างความก้าวหน้าและการหวังผลในระยะยาวให้แก่องค์กรที่ต้องลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระดับสูง ในขณะที่ยังคงรักษาระดับความเสี่ยงและต้นทุนของยอดรวมการลงทุนเอาไว้



รูปที่ 2.7 แนวทางการบริหารยอดรวมการลงทุนของ MacMillan และ McGrath

2.2.3 งานวิจัยด้านการประเมินมูลค่าการลงทุนด้วยออปชันจริง

งานวิจัยในระยะหลังนี้เกี่ยวกับการประเมินมูลค่าการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี จำนวนหนึ่งได้มุ่งประเด็นที่การประเมินมูลค่าออปชันจริง หลังจากที่ Black-Scholes (1973) ได้เสนอสูตรการคำนวณที่เป็นที่ยอมรับในทางการเงิน ซึ่งได้กำหนดวันที่สิ้นสุดเงื่อนไขของออปชันนั้นให้คงที่ Benaroch และKauffman [14] ได้นำสูตรดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการลงทุนจริง ซึ่งพบว่ายังมีปัญหาในการปรับใช้ รวมถึงการไม่สามารถนิยามความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นกับเงินลงทุนซึ่งมีการผันแปรตามเวลาได้ด้วย

ตัวแบบถัดมาคือ การคิดมูลค่าออปชันจริงแบบทวินาม ซึ่งเป็นที่นิยมประยุกต์ใช้กับการลงทุนจริง นำเสนอโดย Cox และคณะ [15] มีการพัฒนาต่อโดย Trigeorgis และ Mason [16] เพื่อหามูลค่าออปชันจริงโดยนิยามให้มูลค่าของโครงการผันแปรตามกระบวนการเดินแบบสุ่ม (Random walk) และใช้โครงสร้างต้นไม้ในการสาธิตผลกระทบของความเสี่ยงตามระยะเวลาที่เกิดขึ้น ซึ่งตัวแบบนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในแวดวงของการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ตัวอย่างเช่น Dias และ Rocha [17] ใช้ในการคำนวณหาเวลาเหมาะสมที่สุดในการลงทุนสำรวจสินแร่ปิโตรเลียม และการผลิตน้ำมัน งานวิจัยอีกสองชิ้นของ Herath ร่วมกับ Park [5] และ Pries [18] ได้สาธิตและพัฒนาวิธีการคิดมูลค่าออปชันโดยใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขจากโครงการ MACH3 ของบริษัทยิลเล็ต นอกจากนี้ Jagle และ Durrani [19] ได้ใช้ตัวแบบนี้ในการประเมินมูลค่าการลงทุนภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมในการผลิตสินค้าใหม่ เป็นต้น

แม้ว่าตัวแบบทวินามจะมีลักษณะที่เข้าใจได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดในการจำลองความเสี่ยงที่ต้องแทนด้วยต้นไม้ เพื่อขจัดอุปสรรคเหล่านี้ Dixit และ Pindyck ได้ใช้กระบวนการเชิงเฟ้นสุ่มเพื่อแสดงแทนกระแสเงิน ซึ่งมีความสมเหตุสมผล สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของสินทรัพย์ที่อ้างอิงและนิยามความไม่แน่นอนได้สะดวกยิ่งขึ้น Schwartz และ Moon (2000) แสดงงานประยุกต์ใช้วิธีการนี้ โดยได้จำแนกความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเป็น 3 ประเภทคือ ต้นทุน ผลตอบแทนของโครงการและความน่าจะเป็นที่โครงการจะสำเร็จ ต่อมา Schwartz และ Zozaya-Gorostiza [20] ได้พัฒนาตัวแบบดังกล่าวเมื่อคำนึงถึงความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการโครงการเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่ก็ยังมิได้แบ่งระยะการตัดสินใจที่แสดงถึงความแตกต่างในแต่ละขั้นตอนของการลงทุน อันถือเป็นลักษณะเด่นของการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

Michel Benaroch [21] ได้แบ่งแยกประเภทการนำออปชันจริงมาใช้ในการลงทุนออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ออปชันการเติบโต (Growth options) และออปชันปฏิบัติการ (Operating options) ซึ่งออปชันเติบโตจะเป็นการลงทุนทางอ้อม เห็นผลช้า เป็นการลงทุนเพื่อเปิดโอกาสในการลงทุนต่อไป ส่วนออปชันปฏิบัติการนั้นเป็นความยืดหยุ่นเพื่อให้เราสามารถจัดการกับโครงการการลงทุนนั้นได้เช่น การเลื่อนขยายเวลาการลดขอบเขตงาน เป็นต้น การประเมินมูลค่าการลงทุนจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงมูลค่าออปชันในแง่เหล่านี้ด้วย แนวทางการประเมินมูลค่าการลงทุนแบบต่างๆ ที่นำเอาออปชันจริงเป็นตัวแบบประเมินมูลค่าการลงทุนสามารถจำแนกได้เป็น 3 ระดับ [22] ดังนี้

ระดับหนึ่ง แสดงแนวคิดและความสำคัญของการประเมินมูลค่าออปชันจริงในการลงทุน อันเป็นผลสืบเนื่องจากความไม่แน่นอนที่นำมาพิจารณา ดังเช่นงานวิจัยของ McMillan และ McGrath [13] ในหัวข้อที่แล้ว

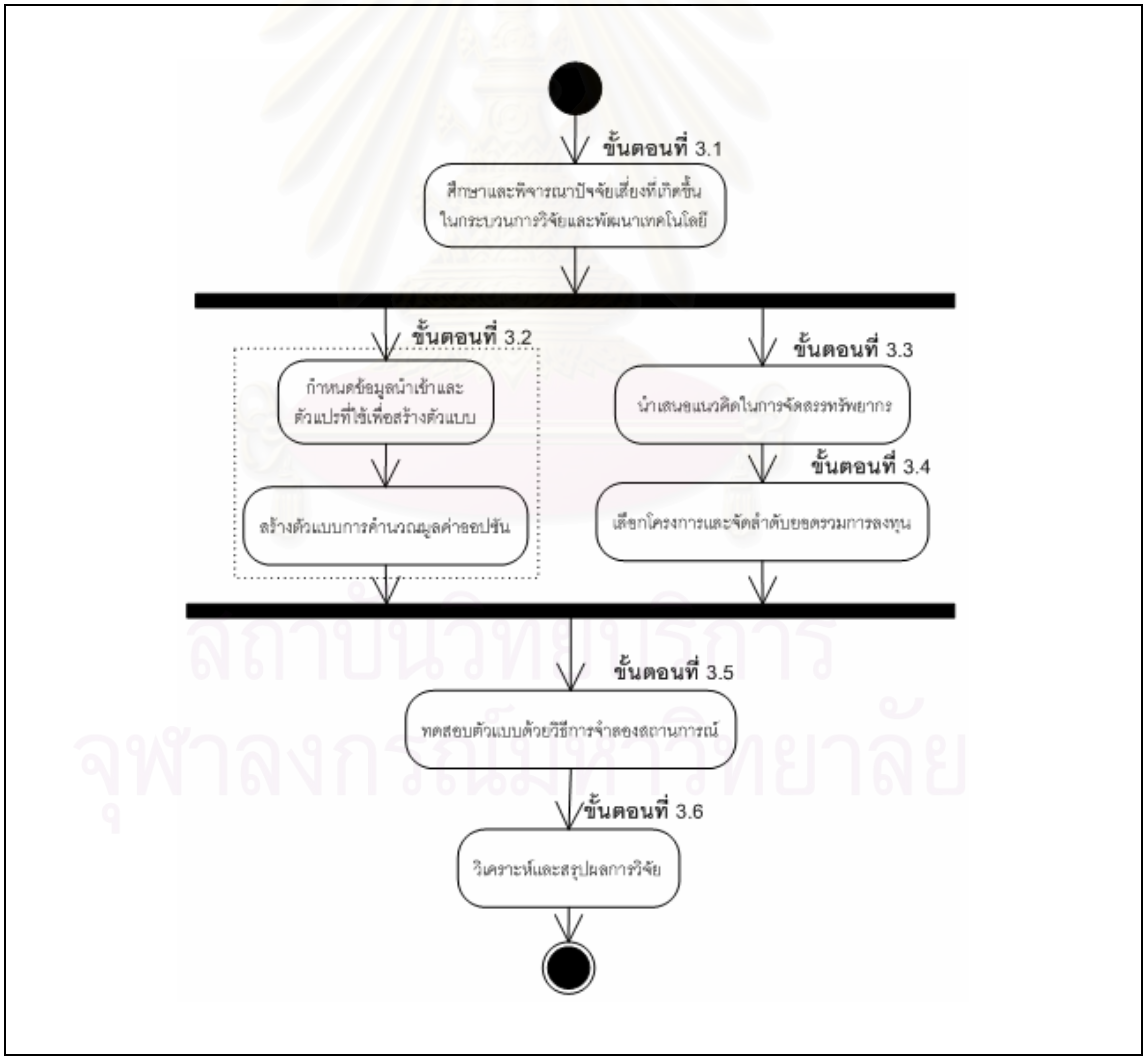
ระดับสอง พยามยามทำเป็นข้อมูลเชิงปริมาณและใช้ข้อมูลเชิงสถิติประมาณการความน่าจะเป็นบนต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อชี้ให้เห็นมูลค่าจากความยืดหยุ่นในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเมื่อต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนต่างๆ

ระดับสาม จะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ซึ่งมักจะต้องตั้งสมมุติฐานบนความไม่แน่นอนหลายอย่าง ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของ Benaroch และ Kauffman [14] ได้ปรับเทียบตัวแปรต่างๆ ในการลงทุนในเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ากับการลงทุนในตลาดหุ้น และคิดมูลค่าโดยเปรียบเทียบกับสมการของ Black-Scholes แต่เนื่องจากออปชันจริงไม่ได้มีหลักทรัพย์อ้างอิง (Underlying asset) เพื่อเปรียบเทียบมูลค่าการลงทุนที่ชัดเจนเหมือนออปชันในตลาดหุ้น จึงเป็นการยากที่จะจำกัดความเสี่ยงกับการลงทุนในออปชันจริง

บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองยอดรวมการลงทุน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดที่มีต่อยอดรวมการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา ทั้งนี้ได้นำแนวคิดของออปชันจริงนำมาสร้างเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เห็นภาพรวมของผลกระทบจากความไม่แน่นอนทั้งสองด้านดังกล่าวที่มีต่อกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนำมาผนวกเข้ากับทฤษฎีการบริหารยอดรวมการลงทุน และการแบ่งสัดส่วนการลงทุนอันจะก่อให้เกิดความสมดุลในกลุ่มการลงทุน โดยเลือกใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte-Carlo simulation) ในการทดลองกับตัวแบบที่นำเสนอ ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก ได้แก่ การศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการวิจัยและพัฒนา ต่อมา



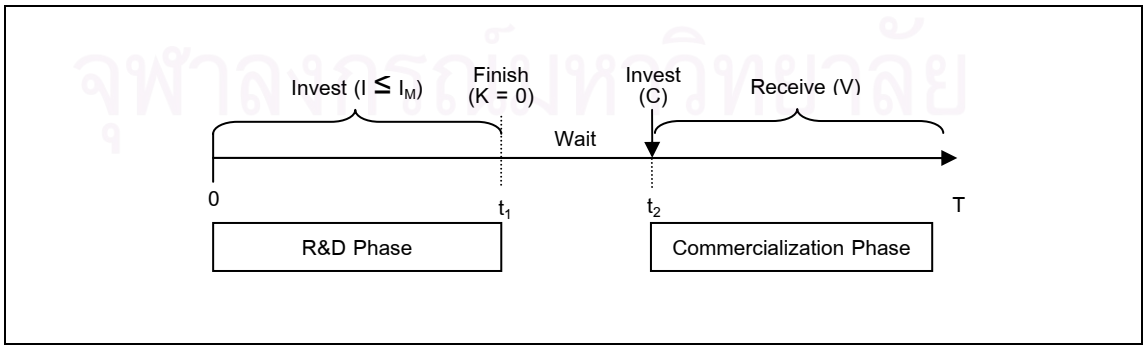
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนที่ 3.2 คือ การกำหนดข้อมูลนำเข้าและตัวแปร แล้วนำมาใช้สร้างตัวแบบเพื่อคำนวณมูลค่าออปชันจริง ส่วนในขั้นตอนที่ 3.3 และ 3.4 เป็นกระบวนการต่อเนื่องกัน เริ่มจากการจัดสรรทรัพยากรให้แต่ละกลุ่มการลงทุน จากนั้นจึงเลือกโครงการเพื่อใช้ทรัพยากรที่ได้รับนั้น โดยมีการจัดลำดับเพื่อให้สามารถเลือกโครงการที่เหมาะสมที่สุด ตัวแบบที่นำเสนอจะนำไปทดสอบด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลในขั้นตอนที่ 3.5 จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ในส่วนของการสร้างตัวแบบในขั้นตอนที่ 3.2-3.4 และการจำลองสถานการณ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การคำนวณมูลค่าออปชันจริงบนความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด

ในส่วนนี้จะว่าด้วยการนำตัวแบบการคำนวณมูลค่าออปชันจริงเพื่อประยุกต์เข้ากับกระบวนการวิจัยและพัฒนา โดยได้กำหนดสถานการณ์ขึ้นว่า บริษัทได้รับโอกาสลงทุนในโครงการหนึ่งซึ่งต้องการเงินลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ในตอนเริ่มแรกประเมินได้ที่ K_0 ซึ่งจะผันผวนในระหว่างขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาที่ใช้ระยะเวลาไม่แน่นอน บริษัทมีงบประมาณการลงทุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาด้วยอัตราจำกัด มีค่าสูงสุดที่ $I = I_M$ ตัวแบบที่นำเสนอได้พิจารณาออปชันที่สามารถหยุดและกลับมาลงทุนใหม่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และภายหลังจากสิ้นสุดขั้นตอนวิจัยและพัฒนา นั่นคือเมื่อเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนเป็นศูนย์ ณ เวลา t_1 $(K_{t_1} = 0)$ ตามรูปที่ 3.2

ภายหลังจากสิ้นสุดระยะการวิจัยและพัฒนา โครงการต้องการเงินลงทุนเพิ่มเติมอีก C เพื่อการผลิตสินค้าและนำออกสู่ตลาด จากนั้นจึงได้รับผลตอบแทน แต่ทั้งนี้ ณ ขณะที่จะนำสินค้าออกสู่ตลาด มูลค่าของผลิตภัณฑ์อาจต่ำกว่าที่ประเมินเนื่องจากความไม่แน่นอนทางตลาด ความยืดหยุ่นของโครงการในการยืดระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดจะทำให้โอกาสในการลงทุนนั้นมีมูลค่าสูงขึ้น กล่าวคือ เราได้พิจารณาออปชันที่สามารถรอเพื่อตัดสินใจลงทุนในเวลาที่เหมาะสม (ลงทุนในเวลา t_2)



รูปที่ 3.2 การจำลองขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในตัวแบบ

การทดลองนี้ได้ประยุกต์ตัวแบบของ Dixit และ Pindyck [2] ร่วมกับตัวแบบของ Pindyck [3] ทั้งนี้ตัวแบบทั้งสองได้ผ่อนปรนเงื่อนไขในการนิยามความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นโดยการแทนด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่มซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอน 2 ส่วน ในระยะแรกของกระบวนการนั่นคือ การทำวิจัยและพัฒนาจะได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิค ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดงบประมาณเงินลงทุนที่แน่นอนได้ มีการผันผวนตลอดระยะการวิจัยและพัฒนา เราสามารถแทนความไม่แน่นอนทางเทคนิคด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่มของมูลค่าคงเหลือที่ต้องลงทุนในโครงการนั้นๆ (K) แต่หลังจากทำสำเร็จแล้วจะเข้าสู่ระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดซึ่งได้รับความไม่แน่นอนทางตลาด ส่งผลให้มูลค่าโครงการ (V) ไม่แน่นอน เราแสดงความไม่แน่นอนของมูลค่าโครงการด้วยสมการการเคลื่อนที่แบบบราวน์เรขาคณิต (Geometric Brownian motion) ดังนั้นเราสามารถจำลองความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดได้ด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่มดังต่อไปนี้ (ดูรายละเอียดในหัวข้อทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง)

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \tag{3.1}$$

$$dK = -Idt + \upsilon (I \cdot K)^{\frac{1}{2}} dw \tag{3.2}$$

ในการคำนวณแบบย้อนกลับ กำหนดให้ $F_1(K;V)$ คือ มูลค่าออปชันที่คำนวณในระยะการวิจัยและพัฒนา ส่วน $F_2(V)$ คือ มูลค่าออปชันในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด เริ่มจากการคิดมูลค่าออปชันในระยะหลังซึ่งมูลค่าที่ได้เกิดจากการตัดสินใจดังสมการที่ 3.3 นั่นคือตัดสินใจลงทุนเมื่อ $V(t) - C > 0$ เท่านั้น จึงได้สมการอนุพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$F_2(V) = \max_{V(t)} \mathcal{E}_0[0, V(t) - C] \tag{3.3}$$

$$\tfrac{1}{2}\sigma^2 V^2 F_2^{''}(V) + (r - \delta) V F_2^{'}(V) - r F_2(V) = 0 \tag{3.4}$$

สำหรับในระยะแรก ได้แก่ การวิจัยและพัฒนาซึ่งเผชิญกับความไม่แน่นอนทางเทคนิค ตัวแบบที่เสนอโดย Pindyck [3] ได้กล่าวว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะความไม่แน่นอนทางเทคนิค และผู้ลงทุนมีทางเลือกที่สามารถจะหยุดและกลับมาลงทุนใหม่ได้ตามสภาวะการณ์ของโครงการนั้นๆ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โจทย์การตัดสินใจที่เกิดขึ้นคือ การกำหนดนโยบายการลงทุนอันจะให้มูลค่าของโอกาสในการลงทุนที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดดังสมการที่ 3.5 ทำให้ได้สมการคำนวณมูลค่าโอกาสการลงทุนของโครงการเป็นดังสมการที่ 3.6

$$F_1(K;V) = \max_{I(t)} \mathcal{E}_0[Ve^{-\mu t} - \int_0^{\tilde{T}} I(t) e^{-\mu t} dt] \tag{3.5}$$

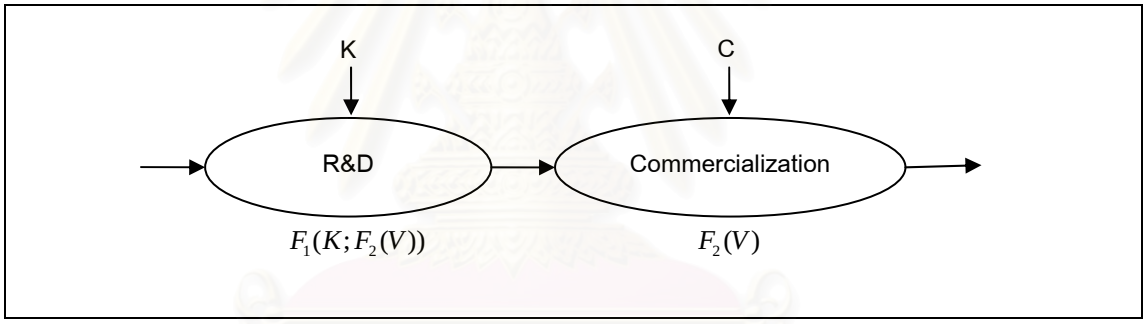
$$F_1(K;V) = V - K + \upsilon^2 (\frac{V}{2})^{-2/\upsilon^2} (\frac{K}{\upsilon^2 + 2})^{\frac{\upsilon^2+2}{\upsilon^2}} \tag{3.6}$$

ในขณะที่การลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดซึ่งคำนึงถึงความไม่แน่นอนทางตลาด เราแทนค่าแบบย้อนกลับโดยมูลค่าโครงการใน (16) ด้วยมูลค่าออปชัน $F_2(V)$ ซึ่งได้คิดรวมถึงมูลค่าที่เกิดจากการยืดระยะการลงทุนในกรณีที่ตลาดยังไม่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ใหม่ที่นำเสนอเพื่อสร้างนโยบายในการตัดสินใจหยุดหรือลงทุนต่อในการวิจัยและวิจัยและพัฒนา (ดูรูปที่ 3.3 ประกอบ) ดังนั้นจะได้ตัวแบบในการตัดสินใจลงทุนที่เหมาะสมที่สุด ณ ขณะหนึ่งด้วยสมการที่ 3.7 เมื่อกำหนดให้ μ เป็นอัตราลดทอนแบบปรับความเสี่ยงแล้ว

$$F_1(K;F_2(V)) = \max_{I(t)} \mathcal{E}_0[F_2(V)e^{-\mu t} - \int_0^{\tilde{T}} I(t)e^{-\mu t}dt] \tag{3.7}$$

$$F_1(K;F_2(V)) = F_2(V) - K + \upsilon^2(\frac{F_2(V)}{2})^{-2/\upsilon^2}(\frac{K}{\upsilon^2+2})^{\frac{\upsilon^2+2}{\upsilon^2}} \tag{3.8}$$

ผลลัพธ์ที่ได้ในสมการที่ 3.8 คือ มูลค่าของโอกาสในการลงทุนที่ได้รับสำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ณ เวลาหนึ่งเมื่อทราบมูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนแล้ว ค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้พิจารณาในการจัดสรรทรัพยากรของกลุ่มการลงทุนต่อไป



รูปที่ 3.3 การคำนวณมูลค่าออปชันจริงในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

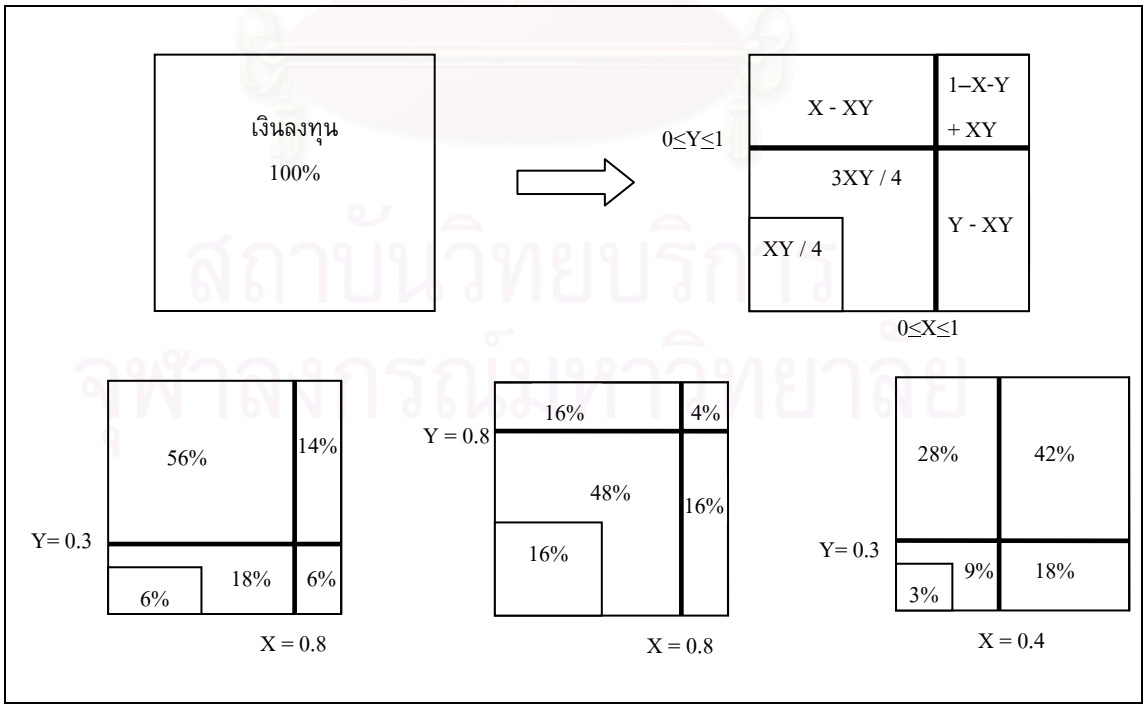
3.2 การจัดสรรทรัพยากรให้กับกลุ่มโครงการ

MacMillan และ McGrath [13] ได้นำเสนอแนวคิดการแบ่งสัดส่วนการลงทุนบนความไม่แน่นอนของตลาดและเทคโนโลยีออกเป็น 5 ประเภท โดยจัดกลุ่มที่มีความไม่แน่นอนสูงเป็นการลงทุนแบบออปชัน แต่มิได้มีตัวแบบที่เป็นรูปธรรมเพื่อความเข้าใจและนำไปใช้ได้อย่างแท้จริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างกลุ่มการลงทุน และรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรในกลุ่มการลงทุนขึ้น

ปัญหาการจัดสรรทรัพยากร (Asset allocation) กล่าวถึงการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดให้กับแต่ละกลุ่มการลงทุน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการจัดแบ่งสัดส่วนจะเกิดขึ้น

ตลอดระยะการลงทุนเพื่อเป็นการสร้างความสมดุลให้แก่ยอดรวมให้รองรับต่อการเปลี่ยนแปลงและกำหนดทิศทางการลงทุนในอนาคต เมื่อเป็นเช่นนี้การหาคำตอบการจัดสรรยอดรวมแบบพลวัตรเพื่อหาค่าเหมาะสมสุดจึงเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงประเภทเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) เพื่อลดความซับซ้อนและง่ายต่อความเข้าใจ ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดการศึกษารูปแบบการแบ่งสัดส่วนการลงทุนที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ได้ผลตอบแทนแบบยอดรวมสูงสุด (Portfolio optimization) โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างความพึงพอใจ (Preference) สูงสุดแก่ผู้ลงทุน โดยความพึงพอใจจะถูกนิยามด้วยฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)

ในการจัดสรรทรัพยากรในที่นี้แทนด้วยสัดส่วนเงินลงทุนที่แบ่งให้กับแต่ละกลุ่มการลงทุน ซึ่งถือว่าโครงการหนึ่งจะดำเนินการผ่านกระบวนการต่างๆ ได้ก็ต่อเมื่อมีการลงทุน เงินทุนที่ได้รับมาจากการจัดสรรยอดรวมการลงทุนให้กับแต่ละกลุ่มโดยจำแนกการลงทุนออกเป็น 5 ประเภทตามความไม่แน่นอน 2 ด้าน (ดังรูปที่ 2.7) คือ ความไม่แน่นอนทางเทคนิคและความไม่แน่นอนทางตลาด จึงอาจแบ่งยอดรวมการลงทุนทั้ง 5 ประเภทนี้ด้วยตัวแปรสองตัว ได้แก่ X และ Y มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 (รูปที่ 3.4) เส้นตรงทั้งสองเส้นนี้จะแบ่งพื้นที่ในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1x1 ออกเป็นจตุรภาค พื้นที่ซึ่งถูกแบ่งเป็น 4 ส่วนนี้เองจะเปรียบเสมือนสัดส่วนเงินลงทุนที่ถูกแบ่งให้กับการลงทุน 5 ประเภท (โดยกำหนดให้พื้นที่ส่วนซ้ายล่างจัดสรรให้การลงทุนวางตลาดแบบส่วนเพิ่มและแบบแพลตฟอร์มเป็น ¼ และ ¾ ของพื้นที่ตามลำดับ) โดยการแบ่งสัดส่วนดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อการจำแนกความเสี่ยงที่เกิดขึ้นใน 2 มิติเพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมและผลกระทบได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3.4 การจัดสรรทรัพยากรให้แต่ละประเภทการลงทุน

จากการจัดสรรทรัพยากรรูปแบบที่แตกต่างกันนี้เอง ในการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ผลตอบแทนแบบยอดรวมสูงสุด (Portfolio optimization) โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างความพึงพอใจ (Preference) สูงสุดแก่ผู้ลงทุน จะนิยามความพึงพอใจด้วยฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function) ที่ยึดเอาทัศนคติต่อความเสี่ยงของผู้ลงทุนดังสมการที่ 3.9 โดยที่ Q คือรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรรูปแบบหนึ่ง ซึ่งให้ค่าคาดหวังผลตอบแทนเป็น R_Q และมีความแปรปรวน ${\sigma_Q}^2$

$$U(Q) = \frac{R_Q^{\gamma}}{\gamma} - \frac{1}{2} m_a {\sigma_Q}^2 \tag{3.9}$$

เมื่อ γ เป็นตัวแปรแสดงถึงทัศนคติของผู้ลงทุนต่อความเสี่ยง ได้แก่ พฤติกรรมความกลัวความเสี่ยง $(\gamma < 1)$ เป็นกลางต่อความเสี่ยง $\gamma = 1$ และพฤติกรรมชอบความเสี่ยง $(\gamma > 1)$

3.3 การเลือกโครงการและจัดลำดับของยอดรวมการลงทุน

ภายหลังดำเนินการในการจัดสรรทรัพยากรแล้ว กลุ่มการลงทุนประเภทหนึ่งจะได้รับงบลงทุนที่จัดสรรให้เป็นอัตราคงที่ต่อเนื่องตามเวลา เงินทุนที่จำกัดในช่วงเวลาหนึ่งถูกนำมาใช้ในการขับเคลื่อนโครงการในกลุ่มการลงทุนให้ดำเนินต่อไป ปัญหาการแย่งชิงทรัพยากรอันจำกัดนี้เปรียบได้กับปัญหาถุงเป้ (Knapsack problem) ที่กล่าวถึงการเลือกสิ่งของขนาดต่างกันเข้าไปในถุงเป้ขนาดจำกัดเพื่อให้ได้มูลค่าโดยรวมของสิ่งของสูงสุด ซึ่งจัดเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก แต่ในกรณีที่กล่าวถึงนี้มีความไม่แน่นอนของมูลค่าของสิ่งของที่ใส่ร่วมด้วย จัดเป็นปัญหาถุงเป้แบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic knapsack problem) [23] โดยมูลค่าของสิ่งของเปรียบเทียบได้กับมูลค่าโอกาสการลงทุนขณะหนึ่งของโครงการ ส่วนน้ำหนักของสิ่งของคือ เงินคงเหลือที่ต้องใช้ในการลงทุนในขณะนั้น งานวิจัยนี้ได้ใช้อัลกอริทึมเชิงละโมบ (Greedy algorithm) ในการแก้ปัญหาถุงเป้ดังกล่าว โดยการเลือกสิ่งของเข้าในถุงเป้หรือการเลือกโครงการลงทุนนั้นจะพิจารณาค่าจากฟังก์ชันที่กำหนด

กำหนดให้ที่เวลา t มีโครงการลงทุนอยู่ n โครงการ แต่ละโครงการมีหมายเลขกำกับ 1,2,3,...,n สำหรับโครงการที่ i มีเงินคงเหลือที่ต้องใช้ลงทุนเป็น $K_i(t)$ และมีมูลค่าโอกาสการลงทุน $F_i(t)$ นักลงทุนสามารถเลือกโครงการใดๆ มาลงทุน โดยที่ผลรวมของเงินลงทุนในทุกโครงการขณะนั้นต้องมีค่าไม่เกินอัตราเงินทุนที่กำหนดให้ในช่วงเวันห่างนั้น $(\sum_{i=1}^{n} x_i(t) \cdot I\Delta t \le \xi \Delta t)$ เมื่อ ξ คือ เงินลงทุนที่มีจำนวนจำกัดต่อเวลาหนึ่งหน่วย เราต้องการทราบว่าควรเลือกโครงการใดมาลงทุนบ้างเพื่อให้ได้มูลค่ารวมสูงสุด ซึ่งการเลือกโครงการในกลุ่มการลงทุนนี้จะวนทำซ้ำในทุกระยะเว้นห่าง (Δt) ในการจำลองสถานการณ์ กำหนดให้ x_i แทนการเลือกโครงการที่ i ณ เวลาหนึ่งๆ โดยที่ $x_i = 0$ เมื่อไม่ได้เลือกและ $x_i = 1$ เมื่อเลือก ดังนั้นเราต้องการหาค่าของ $(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)$ ที่ทำให้

$$\sum_{i=1}^{n} x_i(t)G_i(t) \qquad \text{มากที่สุด}$$

โดยที่ $$\sum_{i=1}^{n} x_i(t)\cdot I\Delta t \le \xi\Delta t$$

$$x_i(t) \in \{0,1\}$$

เมื่อ $G_i(t)$ เป็นฟังก์ชันที่นำมาใช้พิจารณาในการเลือกชี้วัดความเหมาะสมของโครงการที่ i ณ เวลา t การทดลองนี้ใช้มูลค่าออปชันสำหรับโครงการหนึ่งๆ ที่คำนวณได้จากตัวแบบนำมาเปรียบเทียบกับการใช้วิธีลดทอนกระแสเงินแบบปกติในการกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อเลือกโครงการในกลุ่มการลงทุนโดยเลือกโครงการที่ฟังก์ชัน $G_i(t)$ มีค่าสูงสุดก่อนไล่ลงไปเปรียบเทียบผลจากการจัดลำดับโครงการกับค่าอื่นๆ ที่นำมาทดสอบเป็นดังข้อมูลตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าและความหมายของฟังก์ชันที่ใช้ในการเลือกโครงการ

ฟังก์ชันในการเลือก	ความหมาย
$F_i(t)$	มูลค่าออปชันที่คำนวณได้จากตัวแบบ โดยคิดรวมมูลค่าที่เกิดจากความยืดหยุ่นร่วมด้วย
$F_i(t)/K_i(t)$	สัดส่วนมูลค่าออปชันต่อเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน
$E_i(R)/K_i(t)$	คือมูลค่าที่คำนวณจากสูตรการลดทอนกระแสเงินแบบปรกติ ไม่ได้นับรวมมูลค่าออปชันที่เกิดขึ้น
$\left[E_i(R)-\int_0^t I(t)\right]/K_i(t)$	นำมูลค่าคาดหวังผลกำไรสุทธิหักลบเงินลงทุนสะสมก่อนหน้าแล้วจึงหารด้วยเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน

3.4 การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

แม้ว่ากระบวนการเฟ้นสุ่มที่นำเสนอในตัวแบบจะเป็นกระบวนการเชิงต่อเนื่อง แต่เราสามารถใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete simulation) เพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงโดยการแบ่งเวลาเป็นระยะสั้นๆ ในการทดลองนี้กำหนดช่วงเว้นห่าง 1 เดือน กล่าวคือให้สิทธิในการตัดสินใจในทุกๆ เดือนและทำการทดลองเพื่อตรวจสอบผลไปจนถึงเวลาที่ 20 ปี ในการจำลองสถานการณ์ มีกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 3.5

ขั้นตอนวิธี การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

ข้อมูลนำเข้า: อัตราการลงทุนในแต่ละรอบปี เงินลงทุนในระยะวิจัยและพัฒนา เงินลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาดและอัตราลดทอน

ข้อมูลนำออก: ผลตอบแทนและความเสี่ยงสำหรับแต่ละกลุ่มประเภทการลงทุน การวิเคราะห์ความไวต่อความเสี่ยงทางเทคนิคและทางตลาด

ข้อกำหนด: การลงทุนในแต่ละรอบปีเป็นจำนวนจำกัด

สำหรับแต่ละค่าตัวแปร X,Y มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยแบ่งทุกระยะ 0.1 หน่วย

คำนวณปริมาณทรัพยากรที่จัดแบ่งให้กับแต่ละประเภทการลงทุน

สำหรับแต่ละกลุ่มประเภทการลงทุน

สร้างโครงการที่สุ่มระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดต่างๆ กัน

สำหรับแต่ละช่วงเว้นห่าง

โครงการถูกเลือก/ไม่เลือกมาลงทุนโดยพิจารณาจากมูลค่าออปชัน

เมื่ออยู่ในระยะการวิจัยและพัฒนา มูลค่าออปชันคือ $F_1(K;F_2(V))$

เมื่ออยู่ระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด มูลค่าออปชันแสดงด้วย $F_2(V)$

เมื่อสิ้นสุดแต่ละโครงการ ผลตอบแทนจะเท่ากับมูลค่าโครงการขณะนั้น

คำนวณผลรวมเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกรอบที่จำลอง

วิเคราะห์ความไวโดยเปลี่ยนค่า X,Y ต่างๆ นำมาลงจุดในแผนภูมิ

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนวิธีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

3.4.1 การจำแนกระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดของแต่ละโครงการ

ตัวแบบที่นำเสนอในการคำนวณมูลค่าออปชันได้นับรวมความยืดหยุ่นในการจัดการกับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการวิจัยและพัฒนา ในการคำนวณมูลค่าออปชันจำเป็นต้องประเมินระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด (แทนด้วยตัวแปร σ และ υ ตามลำดับ) ในการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลนั้น แต่ละโครงการจะถูกสุ่มระดับขั้นความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดอยู่ในขอบเขตที่กำหนดโดยมีการกระจายแบบเอกรูป (Uniform distribution) ระดับขั้นความไม่แน่นอนนี้จะอยู่ในรูปคู่ลำดับของตัวแปร (σ,υ) ซึ่งสามารถเทียบได้กับโครงการลงทุนหนึ่งๆ ซึ่งมีอุปสรรคซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดเฉพาะตัว เพื่อความชัดเจนในการจัดโครงการให้อยู่ในแต่ละประเภท

การลงทุนจึงกำหนดช่วงของค่าตัวแปรทั้งสองให้เหมาะสมก่อนกำหนดเกณฑ์ในการแบ่งระดับความไม่แน่นอนสูงต่ำต่อไป

ตัวแปร υ แสดงถึงระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิค บ่งชี้ถึงความไม่เชี่ยวชาญในเทคโนโลยีที่นำมาใช้ รวมถึงเทคโนโลยีที่ยังไม่ชัดเจนหรือมีการแข่งขันสูงจะทำให้ระดับความไม่แน่นนอนทางเทคนิคสูง ค่า υ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งจะใช้บอกถึงระดับความเสี่ยงของโครงการนั้นๆ โดยเป็นตัวคูณในพจน์หลังของกระบวนการเฟ้นสุ่มของเงินคงเหลือที่ต้องใช้ในการลงทุนดังสมการที่ 3.10 กระบวนการเฟ้นสุ่มนี้มีความแปรปรวนดังสมการที่ 3.11 ซึ่งจะเห็นว่าความแปรปรวนแปรผันเป็นเชิงเส้นกับมูลค่าเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนยกกำลังสอง

$$dK = -Idt + \upsilon(I \cdot K)^{\frac{1}{2}} dw \tag{3.10}$$

$$\mathrm{Var}[dK] = \left(\frac{\upsilon^2}{2-\upsilon^2} \right) K^2 \tag{3.11}$$

ในทำนองเดียวกันกับ υ ตัวแปร σ แสดงถึงระดับความไม่แน่นอนทางตลาดส่งผลกระทบต่อมูลค่าโครงการดังสมการที่ 3.12 แต่ค่า σ กลับมีผลให้มูลค่าโครงการมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นโดยมีเวลาเป็นเลขชี้กำลัง แสดงถึงระดับความเสี่ยงของโครงการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังสมการที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าการกำหนดค่า σ อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ไม่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับค่า υ ที่แสดงระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิค

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \tag{3.12}$$

$$\mathrm{Var}[V(t)] = V_0^{\,2} e^{2\alpha t} \left(e^{\sigma^2 t} - 1 \right) \tag{3.13}$$

เพื่อให้ระดับความไม่แน่นอนทั้งสองด้านคือ υ และ σ มีค่าอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมและเสมอภาคกัน เราจึงกำหนดให้ $H_K(\upsilon):[0,1]\times[0,1]$ เป็นฟังก์ชันของ $\upsilon \in [0,1]$ นำมาเพื่อชี้วัดสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน มีค่าดังสมการที่ 3.14 ในทำนองเดียวกันเราจะได้ $H_V(\sigma):[0,\psi]\times[0,1]$ เป็นฟังก์ชันของ $\sigma \in [0,\psi]$ เพื่อชี้วัดสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อค่าคาดหวังผลตอบแทนโครงการดังสมการที่ 3.15

$$H_K(\upsilon) = \frac{SD[dK]}{K} = \sqrt{\frac{\mathrm{Var}[dK]}{K^2}} = \sqrt{\frac{\upsilon^2}{2-\upsilon^2}} \tag{3.14}$$

$$H_V(\sigma) = \frac{SD[V(t)]}{E[V(t)]} = \sqrt{\frac{\mathrm{Var}[V(t)]}{V_0^{\,2} e^{2\alpha t}}} = \sqrt{e^{(\sigma)^2 t} - 1} \tag{3.15}$$

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว $H_K(0) = H_V(0) = 0$ คือ ค่าขอบล่างที่เหมาะสมเนื่องจากแสดงถึงระดับขั้นความไม่แน่นอนที่ต่ำสุด เพราะทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นศูนย์ ส่วนในขอบบน

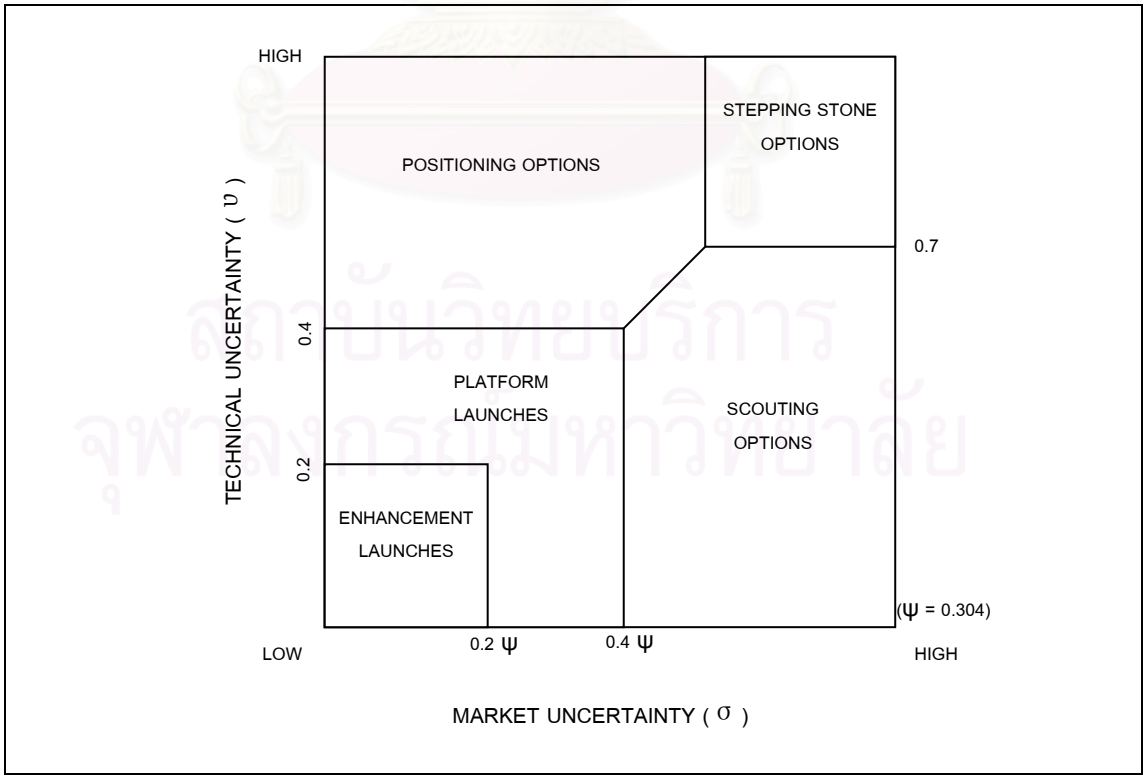
นั้นสามารถคำนวณเพื่อหาค่า ψ ดังผลจากสมการ 3.16 เป็นค่าขอบบนของช่วงเพื่อปรับค่าของ σ ได้ค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ $\sigma \in [0, 0.304]$ เมื่อกำหนดระยะเวลาดำเนินการของแต่ละโครงการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5 ปี

$$H_V(\psi) = H_K(1) \tag{3.16}$$

$$\sqrt{e^{\psi^2 t} - 1} = \sqrt{\frac{1^2}{2 - 1^2}}$$

$$\psi = \sqrt{\frac{\ln(2)}{t}} = \sqrt{\frac{\ln(2)}{7.5}} = 0.304$$

หลังจากได้ช่วงที่เหมาะสมของระดับความไม่แน่นอนทั้งสองด้านแล้ว โครงการที่สร้างขึ้นจะถูกจัดให้อยู่ในแต่ละประเภท โครงการที่มีความเสี่ยงต่ำและปานกลางจะถูกจัดอยู่ในประเภทการลงทุนแบบวางตลาด (Launch) ส่วนโครงการที่มีระดับความเสี่ยงสูงจะอยู่ในการลงทุนแบบออปชัน ในที่นี้ใช้เกณฑ์ค่าระหว่าง 0 ถึง 0.2 อยู่ในระดับต่ำ, 0.2 ถึง 0.4 อยู่ในระดับปานกลาง และ 0.4 ถึง 1 อยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ในกลุ่มของออปชันการก้าวกระโดด (Stepping stone options) จะใช้เกณฑ์ระหว่าง 0.7 ถึง 1 เนื่องจากการลงทุนในประเภทนี้จะมีความเสี่ยงที่สูงเป็นพิเศษต่างจากแบบวางตลาด จึงสามารถจำแนกกลุ่มการลงทุนออกเป็น 5 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 3.6

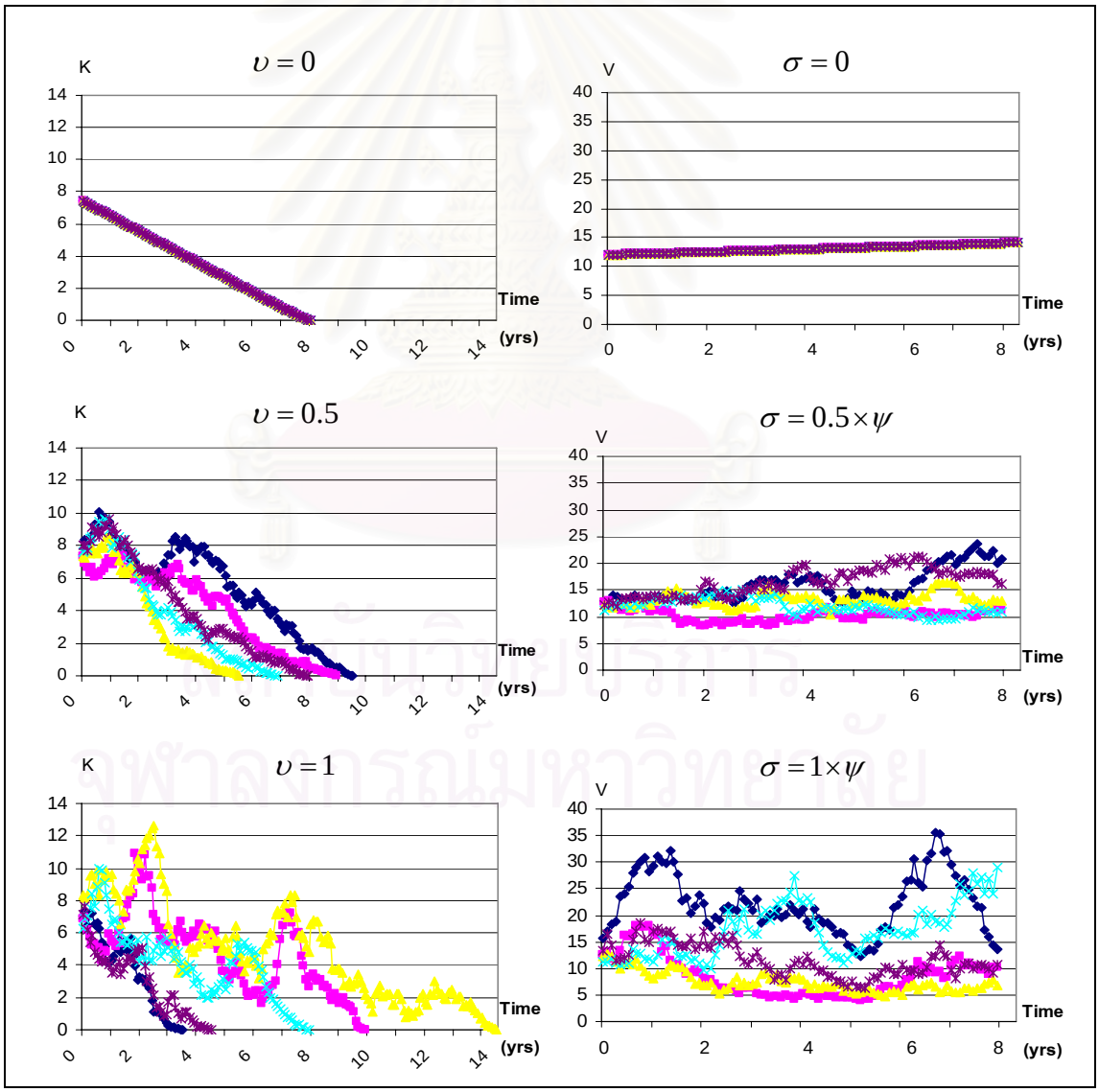


รูปที่ 3.6 การจำแนกประเภทการลงทุนตามระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาด

ภายหลังจากที่โครงการถูกสร้างขึ้นและกำหนดคู่ลำดับ (σ,υ) แล้ว เราต้องการหาวิถีของมูลค่าผลตอบแทนโครงการ (V) และเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน (K) ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เมื่อให้ V_0 และ K_0 คือ มูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน ณ ขณะเริ่มต้นโครงการ ตามลำดับ ค่าทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังสมการที่ 3.17 และ 3.18 พิจารณาในพจน์หลังของเลขชี้กำลังจะเห็นได้ว่าตัวแปร σ และ υ ส่งผลให้มูลค่าและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนต่างกันออกไปสำหรับแต่ละโครงการ ทั้งนี้เมื่อทดสอบผลจากการปรับช่วงของค่า σ ตามที่เสนอกับสมการดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

$$V_{t+1}=V_t e^{[(\alpha+\frac{1}{2}\sigma^2)\Delta t+\sigma\sqrt{\Delta t}\cdot\varepsilon_V]} \tag{3.17}$$

$$K_{t+1}=K_t e^{[-\frac{I}{K}(1+\frac{\upsilon^2}{2})\Delta t+\upsilon\sqrt{\frac{I\Delta t}{K}}\cdot\varepsilon_K]} \tag{3.18}$$



รูปที่ 3.7 เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนและผลตอบแทนเมื่อค่าระดับความเสี่ยงต่างกัน

ซึ่งแสดงวิถีของมูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนที่มีความผันผวนต่างๆ กันแสดงด้วยการจำลองสถานการณ์ที่ได้วิถีต่างๆ กันดังกล่าว มูลค่าโครงการจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาเนื่องด้วยอัตราลดทอนแบบปราศจากความเสี่ยง ส่วนเงินคงเหลือที่ต้องลงทุนจะลดลงตามอัตราที่มีการลงทุนไปต่อปีจนกระทั่งเป็นศูนย์เมื่อการลงทุนสิ้นสุดลง จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองมีการผันผวนที่ใกล้เคียงกันตามระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด

3.4.2 ข้อสมมุติฐานของตัวแบบ

กล่าวโดยสรุปจากสมมุติฐานข้างต้น เราได้ตัวแบบสำหรับคำนวณมูลค่าโอกาสในการลงทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี โดยมีข้อสมมุติฐานของตัวแบบสำหรับการทดลองดังต่อไปนี้

1. บริษัทมีงบประมาณให้กับยอดรวมการลงทุนในแต่ละรอบปีเป็นจำนวนจำกัด คิดเป็นเงินลงทุนอัตราคงที่ 100 ล้านบาทต่อปี

2. เงินลงทุนจะถูกแบ่งให้แต่ละประเภทของการลงทุนทั้ง 5 ประเภทโดยไม่สามารถหยิบยืมระหว่างกันได้

3. ให้ความยืดหยุ่นในการตัดสินใจในระยะเว้นห่างทุกๆ 1 เดือน ($\Delta t = 0.08$ ปี)

4. สำหรับโครงการหนึ่งๆ สามารถลงทุนได้สูงสุดที่อัตรา 1 ล้านบาทต่อปี สามารถหยุดและกลับมาลงทุนต่อได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

5. เงินลงทุนที่แบ่งให้แต่ละประเภทจะถูกจัดให้กับโครงการในประเภทนั้น โดยอัลกอริทึมเชิงละโมบ (Greedy algorithm) จะจัดลำดับให้สูงสุดก่อนไล่ลงไป และบริษัทสามารถสร้างโครงการใหม่เพิ่มขึ้นได้ทันทีที่มีเงินทุนเหลือสำหรับลงทุนในขณะนั้น

6. เมื่อโครงการหนึ่งประสบความสำเร็จ กล่าวคือ เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนเป็นศูนย์ โครงการนั้นจะมีมูลค่าเท่ากับมูลค่า ณ ขณะนั้น

7. ผลตอบแทนจะได้รับทันทีที่ตัดสินใจลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด

3.4.3 ขั้นตอนการจำลองสถานการณ์

ในขั้นตอนของการจำลองสถานการณ์สามารถแสดงเป็นลำดับขั้นของกระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบของการจำลองได้ดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปร X, Y เพื่อคำนวณปริมาณทรัพยากรที่จัดแบ่งให้กับแต่ละประเภทการลงทุน

2. สำหรับแต่ละประเภทลงทุน สุ่มเลือกคู่ลำดับ (σ,υ) ออกมาแทนการลงทุนโครงการหนึ่งๆ ค่าตัวแปรของคู่ลำดับนี้จะแสดงว่าการลงทุนดังกล่าวมีความไม่แน่นอนทางตลาดและทางเทคนิคมากเท่าใด

3. สร้างโครงการลงทุนตามข้อ 2 มาเรื่อยๆ ตราบที่ยังมีเงินทุนเหลือสำหรับการลงทุนประเภทนั้น

4. โครงการจะเข้าสู่ขั้นตอนการวิจัยและพัฒนา และถูกเลือกมาลงทุนโดยพิจารณาจากมูลค่าออปชัน ณ ขณะนั้นคำนวณจากตัวแบบโดยที่

4.1 เมื่ออยู่ในระยะการวิจัยและพัฒนา มูลค่าออปชัน (โอกาสการลงทุนของโครงการ) ณ ขณะนั้นสามารถคำนวณได้จากมูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน ณ ขณะนั้น แสดงด้วย $F_1(K;F_2(V))$

4.2. เมื่อเสร็จจากระยะการวิจัยและพัฒนา กล่าวคือ เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนเป็นศูนย์ $(K=0)$ โครงการจะเข้ามาสู่ระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด ในระยะนี้มีเงินที่ต้องลงทุนที่แน่นอน (C) แต่มีมูลค่าโครงการที่เสร็จสิ้นไม่แน่นอน (ตัวแปร V มีค่าไม่แน่นอนเนื่องจากเป็นกระบวนการเฟ้นสุ่มมาจากความไม่แน่นอนทางตลาด) มูลค่าโอกาสที่เกิดขึ้นแสดงด้วย $F_2(V)$

5. เมื่อสิ้นสุดแต่ละโครงการ หากประสบความสำเร็จ นั่นคือ เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนเป็นศูนย์ โครงการนั้นจะมีมูลค่าเท่ากับมูลค่า ณ ขณะนั้นทำการจำลองเป็นระยะเวลา 20 ปี

6. ทำการจำลองตามขั้นตอน 2-5 ทั้งสิ้น 10,000 รอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของยอดรวมการลงทุน

7. ใช้วิธีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) โดยเปลี่ยนค่าคู่ลำดับ X,Y มีค่าต่างๆ ระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วทำตามขั้นตอน 2-6 นำมาลงจุดในแผนภูมิ เพื่อวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

3.4.3 ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลในการทดลองที่นำมาใช้ เราได้เลือกข้อมูลเชิงตัวเลขจากโครงการ MACH3 [5] ของบริษัทยิลเล็ตเพื่อทดลองกับตัวแบบที่นำเสนอ โดยในข้อมูลชุดดังกล่าวเป็นการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตวัตถุดิบเพื่อใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม โครงการนี้จัดเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่ใช้เวลาในการลงทุนนาน งบประมาณการลงทุนในระยะการวิจัยและพัฒนา 750 ล้านบาท และงบประมาณด้านการตลาด 300 ล้านบาทสำหรับการวางตลาดในประเทศต่างๆ อนึ่งจากการใช้ชุดข้อมูลตัวอย่างในการทดสอบเกี่ยวข้องกับการสร้างหนึ่งโครงการ แต่สำหรับการพิจารณาแบบยอดรวมการลงทุนในตัวแบบซึ่งได้สุ่มสร้างโครงการขึ้นพร้อมกันประมาณ 100 โครงการ (กำหนดให้อัตราลงทุนคงที่ 100 ล้านบาทต่อปี) จึงได้แบ่งงบประมาณ

ลงทุนออกเพื่อสร้างเป็นโครงการย่อย 100 โครงการ ส่งผลให้สำหรับแต่ละโครงการมีอัตราการลงทุนมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ล้านบาทต่อปี ขึ้นอยู่กับว่าถูกเลือกมาลงทุนในแต่ละระยะเว้นห่างหรือไม่ สุดท้ายได้ข้อมูลที่นำมาทดสอบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของโครงการ MACH3 ที่ใช้ในแบบจำลอง

พารามิเตอร์ของโครงการ	**ตัวแปรที่ใช้**	**ค่าที่ใช้**
ค่าคาดหวังมูลค่าโครงการ	V	12 ล้านบาท
เงินลงทุนในระยะการวิจัยและพัฒนา	K	7.5 ล้านบาท
เงินลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด	C	3 ล้านบาท
อัตราการลงทุน	I	0 ถึง 1 ล้านบาทต่อปี
ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินการต่อโครงการ	T	7.5 ปี
อัตราการเติบโตของมูลค่าโครงการ	α	2%
อัตราเงินปันผลที่ได้รับ	δ	6%
อัตราลดทอนแบบปรับความเสี่ยงแล้ว	μ	8%
อัตราลดทอนแบบปราศจากความเสี่ยง	r	8%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการทดลองที่ได้นำตัวแบบในการคำนวณมูลค่าออปชันจริงมาสาธิตกับข้อมูลทดสอบของโครงการ MACH3 ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบในเชิงต่างๆ กัน เริ่มจากผลจากการใช้วิธีเลือกโครงการด้วยฟังก์ชันการเลือกต่างๆ กัน การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแต่ละกลุ่มประเภทการลงทุนที่มีความเสี่ยงต่างกัน และในส่วนสุดท้ายคือ การวิเคราะห์ผลกระทบจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดที่มีต่อยอดรวมการลงทุน

4.1 การเปรียบเทียบวิธีการเลือกโครงการลงทุน

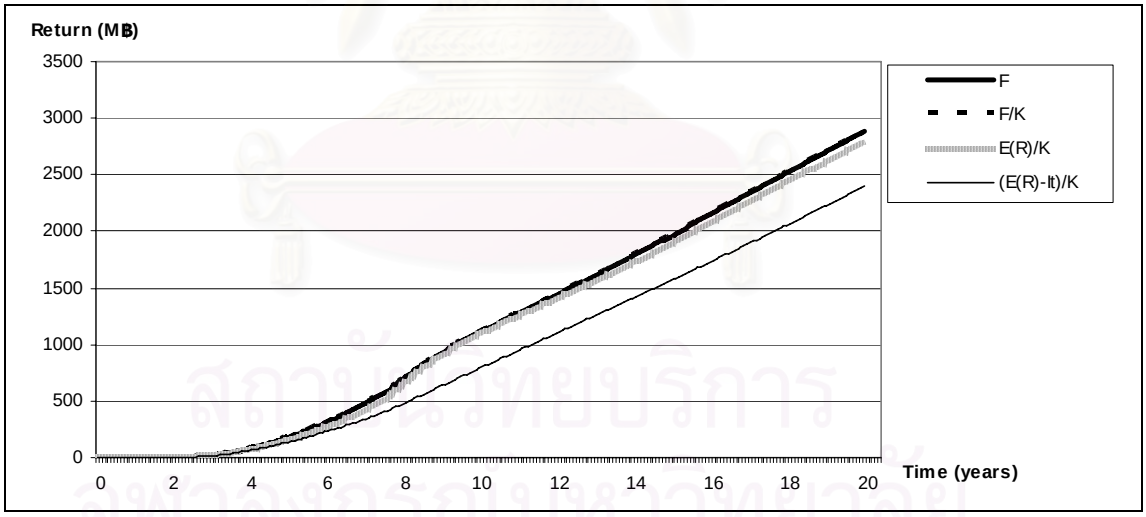
เนื่องจากผู้บริหารมีสิทธิในการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเว้นห่างโดยพิจารณาเลือกจากฟังก์ชันการเลือกที่นำมาเปรียบเทียบกันเพื่อเรียงลำดับโครงการที่ควรลงทุนก่อนจากมากไปน้อย ประเด็นที่ให้ความสนใจคือ วิธีในการเลือกโครงการที่นำมาใช้โดยการคำนวณมูลค่าออปชันจากตัวแบบนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ในที่นี้กำหนดให้มีทรัพยากรในแต่ละระยะเว้นห่างเป็นจำนวนจำกัด เพื่อความเสมอภาคในด้านการสุ่มสร้างโครงการเพื่อการจำลอง จะทำการเปรียบเทียบโดยจำลองสถานการณ์กับกลุ่มการลงทุนที่มีความเสี่ยงทั้งทางเทคนิคและทางตลาดสูงและต่ำคละกัน ทั้งนี้ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำ ผลที่ได้จากการคิดมูลค่าออปชันกับการคิดแบบค่าคาดหวังแบบปกติจะไม่แตกต่างกันมากนัก หลังจากการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลด้วยการสุ่มวิถีความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดต่างๆ กัน 10,000 รอบ ผลตอบแทนที่ได้จะถูกคำนวณสะสมภายในช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์คือ 20 ปี ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงถึงความเสี่ยงและผลตอบแทนโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเลือกกลุ่มการลงทุนจากค่าที่ใช้ทั้ง 4 แบบจากตารางที่ 3.1 เมื่อ It คือ ต้นทุนสะสมจนถึงปัจจุบัน F คือ มูลค่าออปชันที่คำนวณได้จากตัวแบบ และ $E(R)$ คือ ค่าคาดหวังผลตอบแทนที่คำนวณจากวิธีการคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) แบบปกติ ส่วนในสดมภ์ขวาสุดคือ ความน่าจะเป็นที่โครงการจะสำเร็จ เนื่องจากมีโครงการอยู่เป็นจำนวนมาก บางโครงการอาจถูกเลือกลงทุนจนเสร็จสิ้น ในขณะที่บางโครงการถูกปล่อยทิ้งไว้เนื่องจากค่าจากฟังก์ชันในการเลือกมีค่าต่ำกว่าตัวอื่น ความน่าจะเป็นที่จะสำเร็จนี้เองเป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงได้อีกทางหนึ่ง

ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบโดยนำค่าผลตอบแทนแบบสะสมที่ได้มาลงจุดกราฟเพื่อเปรียบเทียบตามเวลาที่ทำการจำลองดังรูปที่ 4.1 เพื่อหาฟังก์ชันที่เหมาะสมในการเลือกโครงการ ข้อมูลจากตารางชี้ให้เห็นว่าการประเมินมูลค่าโดยคิดรวมความยืดหยุ่นทำให้ยอดรวมการลงทุนได้รับผลตอบแทนสูงกว่าการประเมินแบบค่าคาดหวังผลตอบแทนปกติ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างใช้ค่า F กับ F/K ซึ่งเป็นวิธีการเลือกแบบถุงเป้นั้น ผลลัพธ์ที่ได้ไม่

แตกต่างกันเท่าใดนัก ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณ เงินคงเหลือที่ต้องลงทุนที่สูงขึ้นจะทำให้มูลค่าออปชันต่ำลงอยู่แล้ว การจะนำเงินคงเหลือมาหารเพิ่มหรือไม่จึงไม่เห็นผลได้ชัดเจน ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการเลือกที่ให้ผลที่ดีที่สุดคือการใช้ค่า F ดังนั้นการทดลองในส่วนที่เหลือจะใช้ค่าฟังก์ชันการเลือก $G_i(t)=F_i(t)$ เป็นดัชนีในการเลือกโครงการ

ตารางที่ 4.1 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเลือกโครงการ

ฟังก์ชันในการเลือก	ค่าคาดหวังมูลค่ายอดรวมการลงทุน				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความน่าจะเป็นที่จะสำเร็จ
	5 ปี	10 ปี	15 ปี	20 ปี		
F	180	1107	1969	2884	136	0.363
$\frac{F}{K}$	180	1105	1970	2884	138	0.363
$\frac{E(R)}{K}$	149	1079	1886	2776	131	0.180
$\frac{E(R)-It}{K}$	139	788	1576	2396	169	0.063



รูปที่ 4.1 ผลตอบแทนสะสมเพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเลือกโครงการ

4.2 การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน

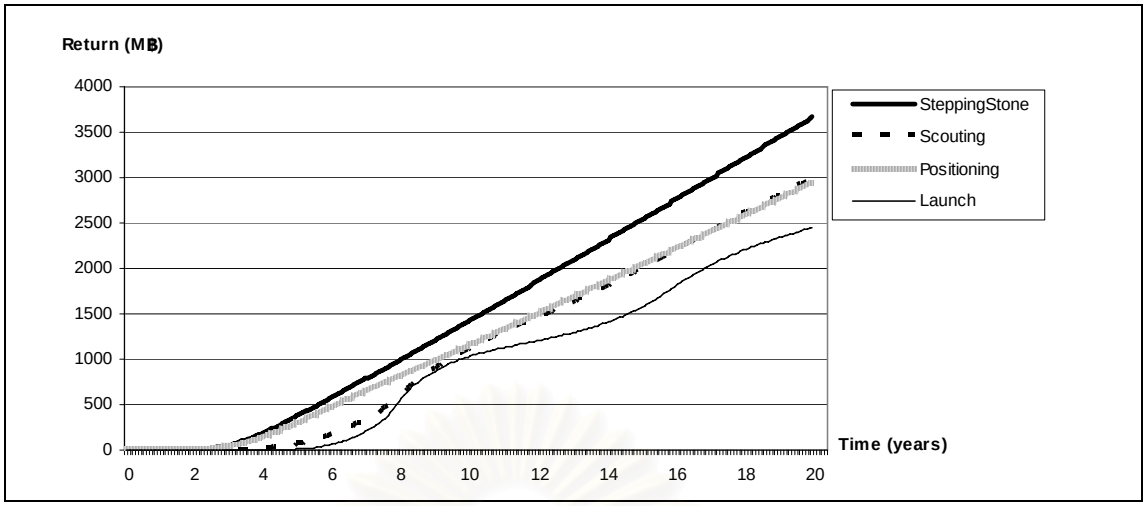
จากการทดลองจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลด้วยการสุ่มวิถีความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดต่างๆ กันเพื่อหาผลเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 แสดงถึงผลตอบแทนและความเสี่ยงโดยเปรียบเทียบระหว่าง 4 กลุ่มประเภทการ

ตารางที่ 4.2 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน

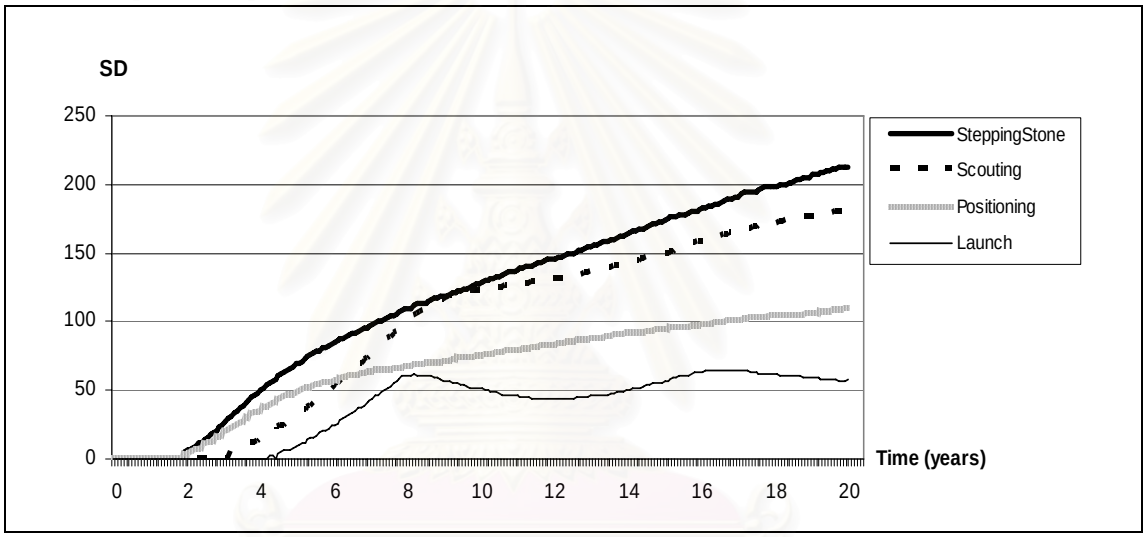
ประเภทของการลงทุน	ค่าคาดหวังมูลค่ายอดรวมการลงทุน				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความน่าจะเป็นที่จะสำเร็จ
	5 ปี	10 ปี	15 ปี	20 ปี		
Stepping Stone	374	1415	2534	3666	213	0.312
Scouting	62	1109	1990	2984	181	0.181
Positioning	287	1138	2031	2937	109	0.540
Launch	9	1025	1572	2451	58	0.518

ลงทุนได้แก่ กลุ่มที่มีความไม่แน่นอนต่ำทั้งสองด้านคือ การลงทุนแบบวางตลาด (Launch) กลุ่มที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคสูงคือ ออปชันการวางตำแหน่ง (Positioning options) กลุ่มที่มีความไม่แน่นอนทางตลาดสูงคือ ออปชันการสอดแนม (Scouting options) และกลุ่มที่มีความไม่แน่นอนสูงทั้งสองด้านคือ ออปชันการก้าวกระโดด (Stepping stone options) ผลลัพธ์ที่ได้สำหรับกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงทั้งทางเทคนิคและทางตลาด ค่าคาดหวังผลตอบแทนจะสูง ขณะที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความเสี่ยงสูงตามไปด้วย แต่กลุ่มที่การลงทุนกลุ่มที่ความเสี่ยงทางเทคนิคสูงด้านเดียวหรือออปชันการวางตำแหน่ง (Positioning options) ได้รับค่าคาดหวังผลตอบแทนในระยะแรกสูงว่ากลุ่มที่มีความเสี่ยงทางตลาดสูง แต่ในระยะยาวแล้วผลตอบแทนสะสมมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสูงกว่ากรณีที่มีความเสี่ยงต่ำทั้งสองด้าน (Launch) เมื่อนำผลตอบแทนแบบสะสมมาลงจุดกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนตามระยะเวลาที่จำลองสถานการณ์ 20 ปี ได้ผลดังรูปที่ 4.2 ทั้งนี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนในระยะสั้นและระยะยาวที่เกิดขึ้น

ในรูปที่ 4.3 ได้แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบแทนที่เกิดขึ้นตามเวลาเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 4 กลุ่มประเภทแล้ว ออปชันการก้าวกระโดดจะมีความเสี่ยงสูงที่สุด ส่วนการลงทุนแบบวางตลาดที่มีความเสี่ยงต่ำแต่จะมีค่าสูงขึ้นในระยะที่การวิจัยและพัฒนาเสร็จสิ้นและเตรียมออกสู่ตลาดคือ ระยะประมาณ 7.5 ปี ทั้งนี้เนื่องจากมีหลายโครงการที่เริ่มต้นพร้อมกันและจะเสร็จสิ้นใกล้เคียงกันเพราะมีความไม่แน่นอนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างออปชันการวางตำแหน่งกับออปชันการสอดแนมแล้ว ออปชันการวางตำแหน่งที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคสูงจะมีค่าความเสี่ยงในระยะแรกสูงกว่า ในขณะที่ออปชันการสอดแนมที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคต่ำทำให้ในระยะแรกมีความเสี่ยงต่ำและจะสูงขึ้นในระยะการผลิตออกสู่ตลาด



รูปที่ 4.2 มูลค่าผลตอบแทนสะสมเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน



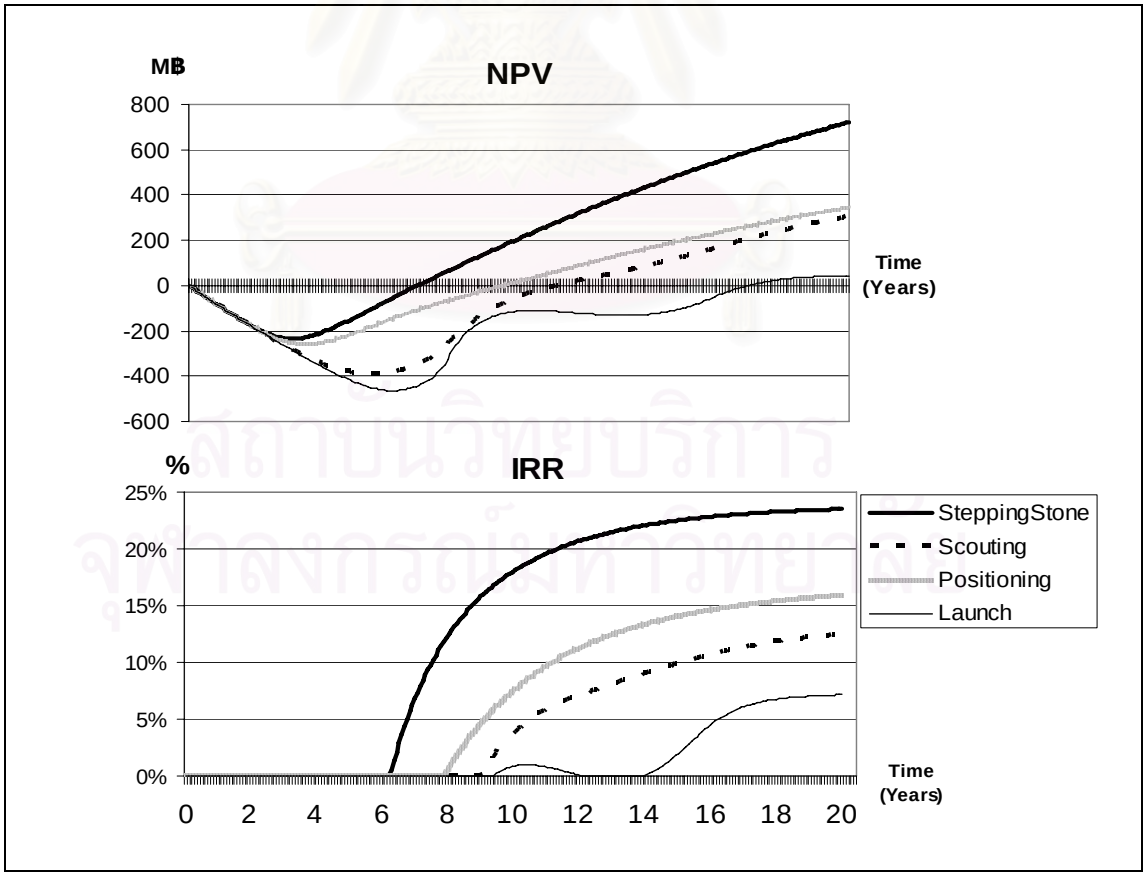
รูปที่ 4.3 ความเสี่ยงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเภทการลงทุน

จากผลการทดลอง มีประเด็นที่น่าสนใจอยู่สองประการ ประการแรกคือ กลุ่มการลงทุนที่มีความเสี่ยงทางเทคนิคสูง ในระยะแรกให้ผลตอบแทนที่สูงกว่ากลุ่มที่มีความเสี่ยงทางตลาดสูงอย่างชัดเจน จึงทำให้เห็นลักษณะเฉพาะของออปชันการวางตำแหน่งที่เป็นการลงทุนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโอกาสและความได้เปรียบในการแข่งขันของบริษัทที่ต้องขับเคี่ยวกันกับเวลา ดังนั้นการช่วงชิงความได้เปรียบก่อนในระยะแรกจะส่งผลให้ผลตอบแทนโดยรวมดีกว่า ซึ่งแตกต่างจากออปชันการสอดแนม ที่มุ่งเน้นในการหยั่งเชิงตลาดด้วยการผลิตพิมพ์เขียวของผลิตภัณฑ์ออกมาก่อนซึ่งมีความเสี่ยงระยะนี้ต่ำ แต่สินค้านั้นจะติดตลาดหรือไม่นั้นยากจะคาดเดา ซึ่งอาจทำให้การลงทุนในช่วงก่อนหน้าเสียหายได้

ประการที่สองเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่โครงการจะสำเร็จจะแตกต่างจากที่คาดเดา กล่าวคือ ในกลุ่มออปชันการก้าวกระโดดที่การลงทุนในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงทั้งทางเทคนิค

และทางตลาด กลับมีโอกาสที่โครงการจะสำเร็จสูงกว่ากลุ่มที่มีความไม่แน่นอนทางตลาดสูงเพียงด้านเดียว เนื่องจากการผสมผสานของยุทธศาสตร์การช่วงชิงความได้เปรียบและการหยั่งเชิงตลาดทำให้บริษัทมีศักยภาพที่จะเปิดตลาดใหม่และสร้างความได้เปรียบในระยะแรกได้

เพื่อการประเมินผลตอบแทนที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ในรูปที่ 4.4 ได้แสดงผลจากการนำแบบจำลองทางการเงินมาประเมินมูลค่าผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุนในกลุ่มประเภทต่างๆ ค่าที่นำมาใช้ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ผลที่ได้เมื่อดูจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิแล้ว การลงทุนที่มีความเสี่ยงสูงมีแนวโน้มการคืนทุนที่ดีกว่า และเปรียบเทียบระหว่างความไม่แน่นอนทางเทคนิคกับความไม่แน่นอนทางตลาดแล้ว การลงทุนในกลุ่มที่มีความเสี่ยงทางเทคนิคสูงจากการที่ให้ผลตอบแทนในระยะแรกสูงกว่าอย่างชัดเจน ทำให้คืนทุนเร็วกว่ากลุ่มที่มีความเสี่ยงทางตลาดเล็กน้อย (ดูจากกราฟ IRR ที่เริ่มมีค่ามากกว่าศูนย์) แต่ในระยะยาวผลตอบแทนที่ได้ใกล้เคียงกัน (พิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ) ทั้งนี้เนื่องจากโครงการที่มีความเสี่ยงทางตลาดสูงควรพิจารณาสิทธิในการรอปล่อยสินค้าออกสู่ตลาด ทำให้ผลตอบแทนในระยะแรกไม่สูงเท่าที่ควร แต่ในระยะยาวแล้วด้วยความไม่แน่นอนสูงนี้เองทำให้บางโครงการได้รับผลตอบแทนที่สูง ช่วยหักล้างและทำให้ผลตอบแทนในระยะยาวมีอัตราเติบโตมากกว่า



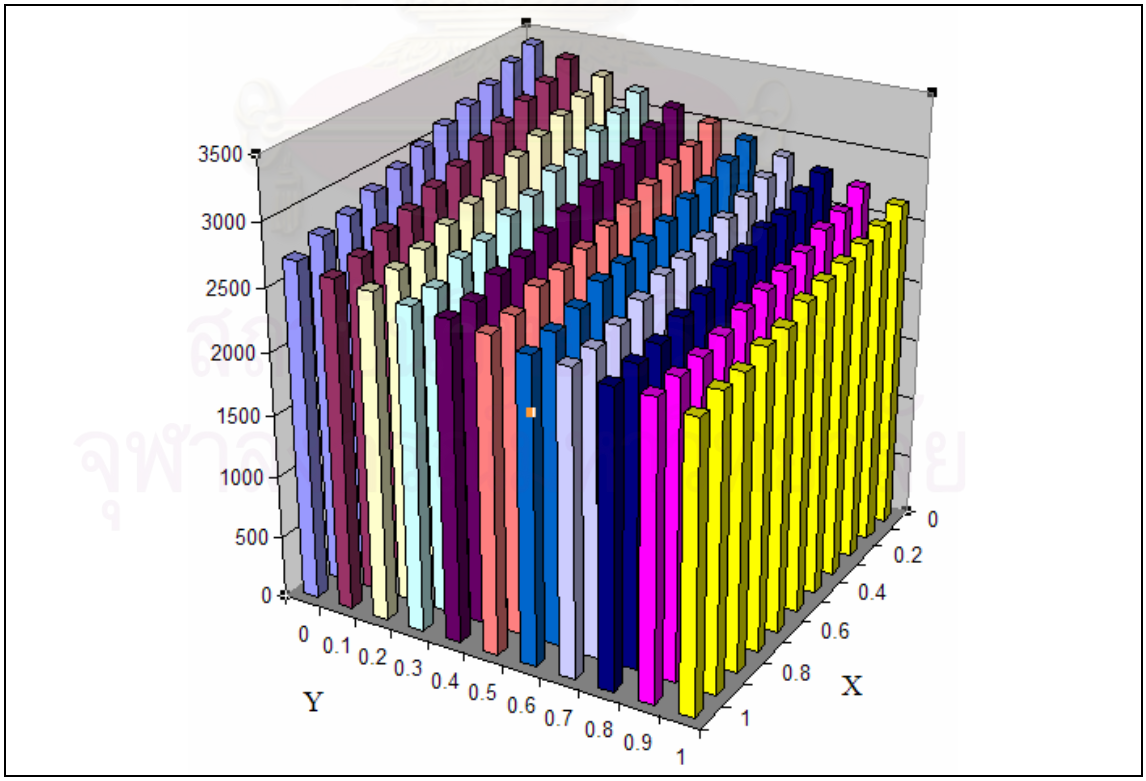
รูปที่ 4.4 แบบจำลองทางการเงินเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของแต่ละประเภทการลงทุน

4.3 ผลกระทบของการจัดสรรทรัพยากรบนความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด

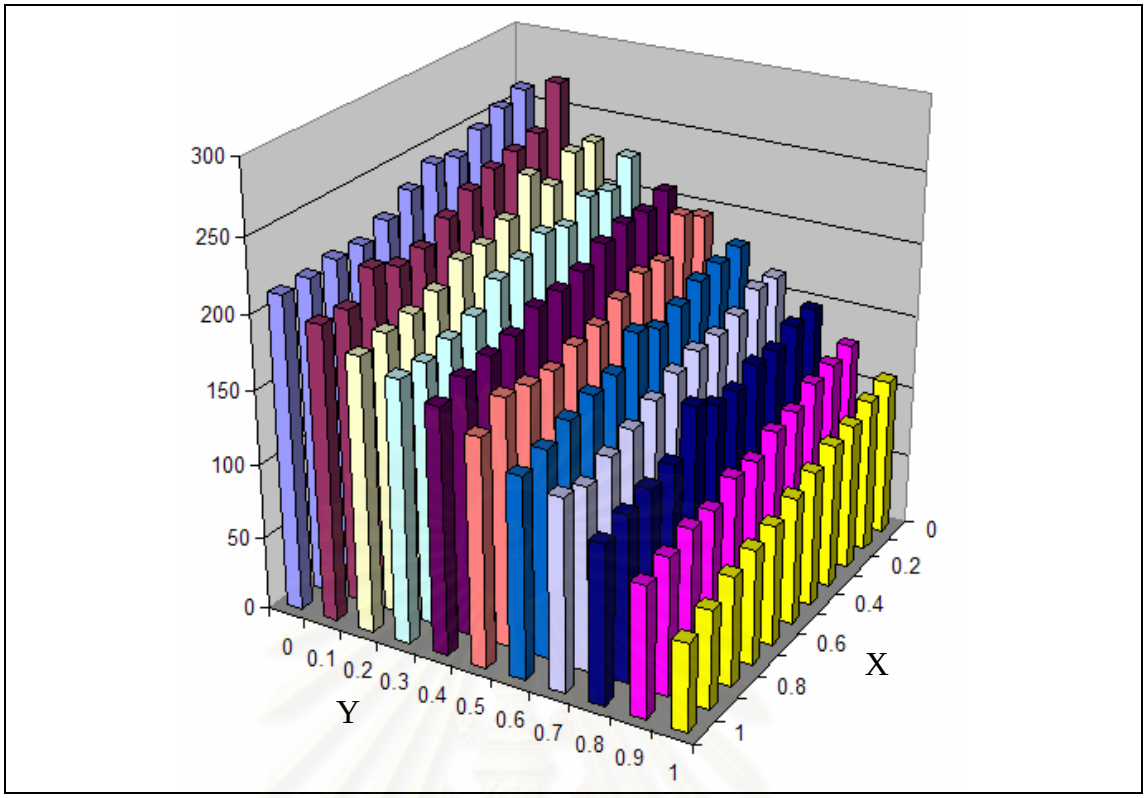
ภายหลังจากการศึกษาพฤติกรรมโดยทั่วไปของแต่ละกลุ่มประเภทในยอดรวมการลงทุนแล้ว ส่วนต่อไปจะเกี่ยวกับปัญหาการจัดสรรทรัพยากรให้กับแต่ละกลุ่มประเภทการลงทุนให้มีความเหมาะสม จากตัวแบบการบริหารยอดรวมการลงทุนบนมิติของความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาดที่ต่างกัน ผลการทดลองในส่วนนี้จึงนำเสนอถึงผลกระทบจากรูปแบบการจัดสรรยอดรวมการลงทุนเพื่อวิเคราะห์ความไวจากการปรับเพิ่มลดทรัพยากรให้กับกลุ่มประเภทเปรียบเทียบในมุมมองของผลตอบแทน ความเสี่ยงและอรรถประโยชน์ที่เกิดกับผู้ลงทุน ดังนี้

4.3.1 การวิเคราะห์ความไวต่อความไม่แน่นอนทางเทคนิคและตลาด

การวิเคราะห์ความไวจากตัวแบบอาจทำได้โดยปรับค่าตัวแปร X และ Y ซึ่งจะส่งผลให้การจัดสรรทรัพยากรให้กับแต่ละกลุ่มแตกต่างกันไปดังตัวแบบที่นำเสนอในรูปที่ 3.4 จากนั้นจึงเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนและความเสี่ยง โดยนำค่าผลตอบแทนเมื่อปรับค่าตัวแปร X และ Y ระหว่าง 0 ถึง 1 มาลงจุดในแผนภูมิแท่งดังรูปที่ 4.5 และแสดงความเสี่ยงแทนด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4.6 จากแผนภูมิทั้งสองรูปสรุปได้ว่า กลุ่มการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนสูงจะมีความเสี่ยงสูงตามไปด้วย ดังนั้นนักลงทุนจะต้องเลือกการถ่วงดุลว่าผลตอบแทนที่สูงขึ้นนั้นคุ้มค่ากับการยอมรับความเสี่ยงที่สูงขึ้นตามไปด้วยหรือไม่



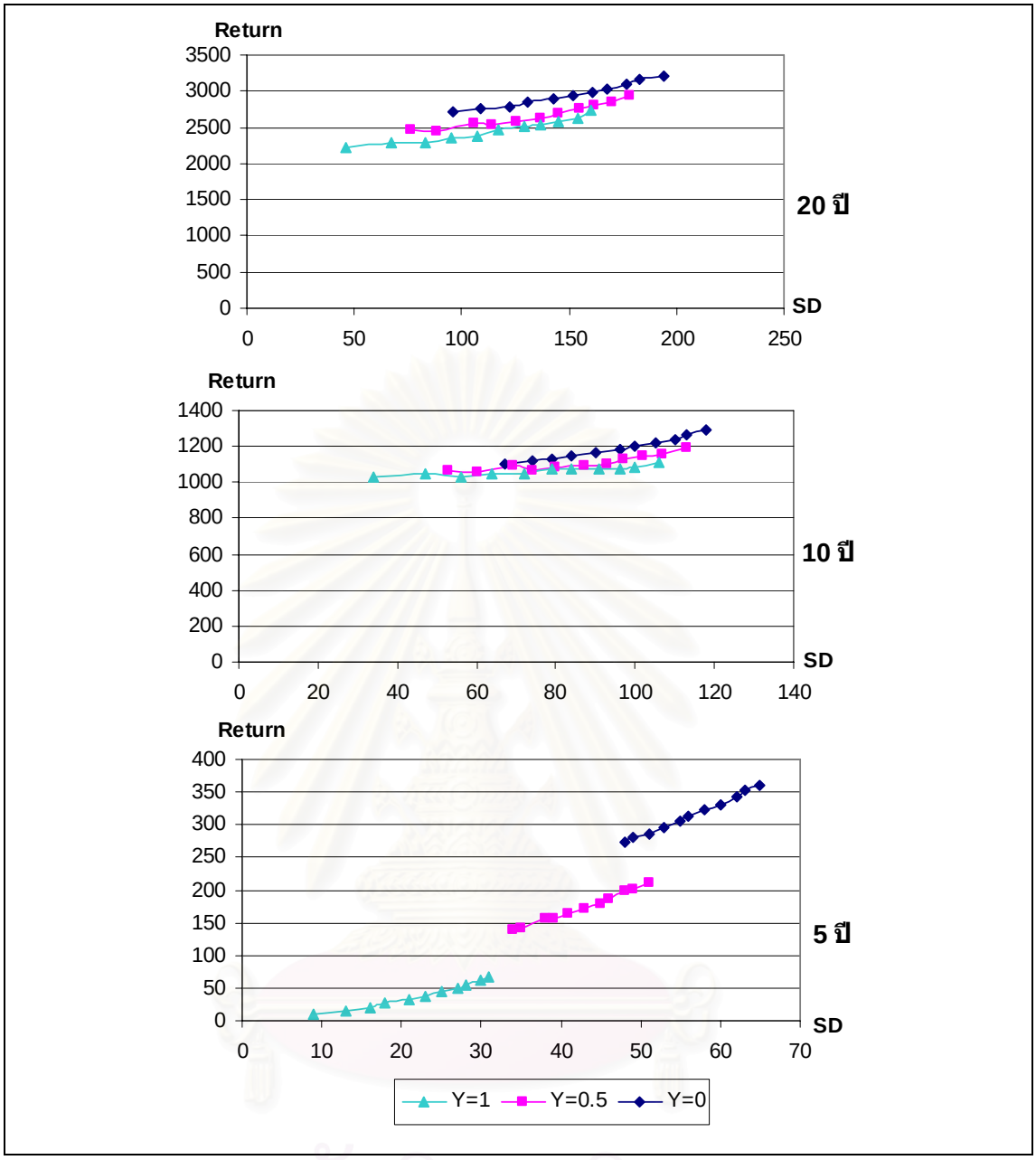
รูปที่ 4.5 มูลค่าผลตอบแทนเปรียบเทียบระหว่างการจัดสรรยอดรวมการลงทุนต่างกัน



รูปที่ 4.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างการจัดสรรยอดรวมการลงทุนต่างกัน

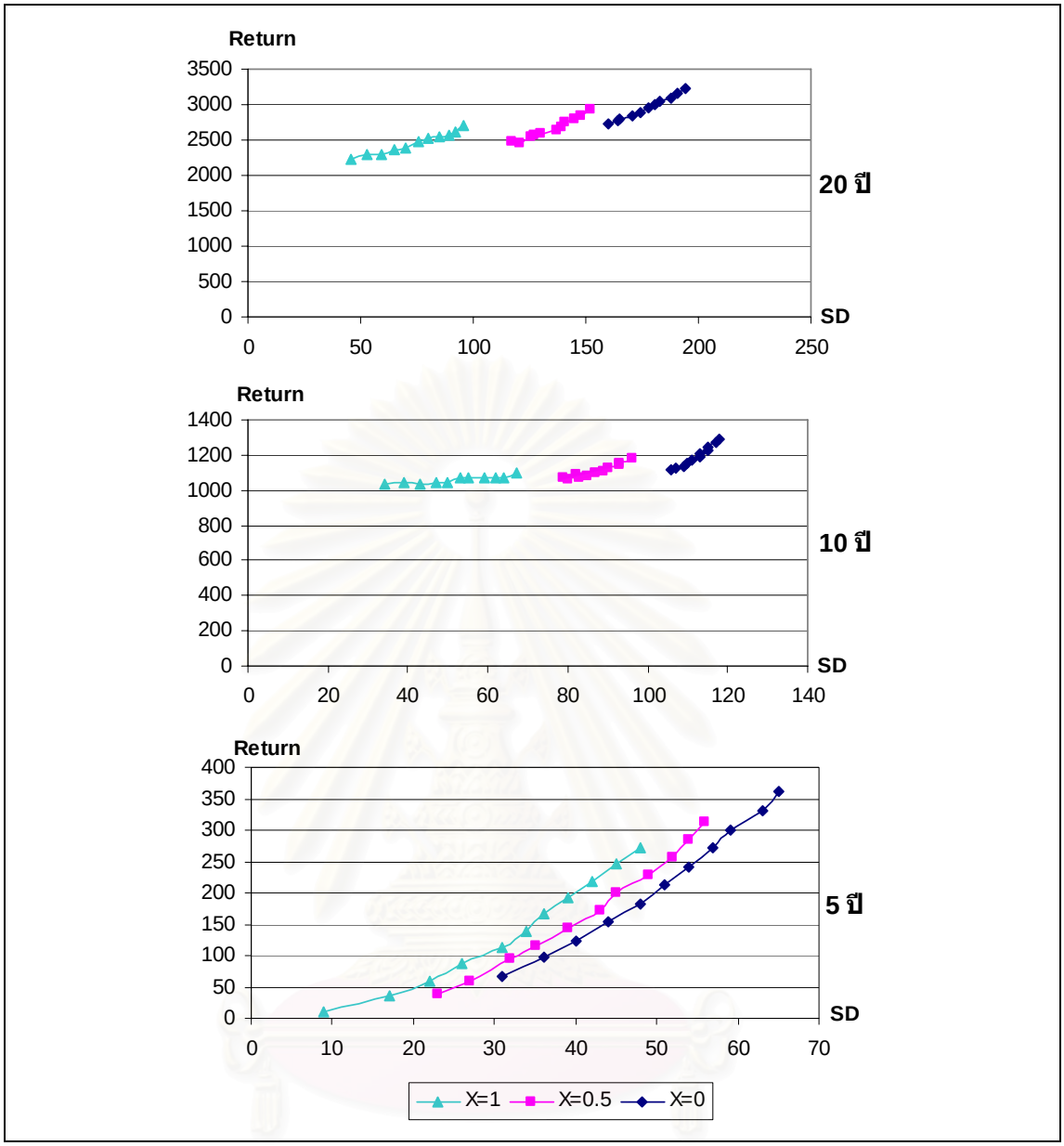
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการถ่วงดุลผลตอบแทนกับความเสี่ยง

เนื่องจากนักลงทุนต้องการจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้ยอดรวมการลงทุนมีผลตอบแทนสูงขณะที่ความเสี่ยงต่ำ ผลการทดลองในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลจากการยอมรับความเสี่ยงจากสัดส่วนการลงทุนที่ต่างกัน อันทำให้ผลตอบแทนและความเสี่ยงต่างกัน เมื่อพิจารณาการลงทุนที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคต่างกันสามารถสร้างแผนภูมิได้ลักษณะดังรูปที่ 4.7 โดยแกนตั้งแสดงค่าคาดหวังของผลตอบแทนการลงทุน ส่วนแกนนอนเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคาดหวังผลตอบแทนซึ่งนำมาใช้แสดงแทนค่าความเสี่ยง จุดแต่ละจุดเป็นตัวแทนของรูปแบบการเลือกกลุ่มการลงทุนที่ต่างๆ แบ่งเป็นกลุ่มที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคต่ำ ($Y=1$) ปานกลาง ($Y=0.5$) และสูง ($Y=0$) จากผลการทดลองพบว่าการยอมรับความเสี่ยงทางเทคนิคที่สูงขึ้นในระยะแรกจะส่งผลให้ผลตอบแทนมีค่าสูงขึ้นมากเทียบกับมูลค่า ณ ขณะนั้น ซึ่งต่างจากการเพิ่มความเสี่ยงในระยะหลังกลับไม่ส่งผลต่อการเพิ่มมูลค่าผลตอบแทนมากนัก เนื่องจากกรณีที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคสูง ออปชันการวางตำแหน่งจะช่วยให้บริษัทกำหนดทิศทางและเล็งเห็นแนวโน้มของเทคโนโลยีในอนาคตได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เป็นการปูทางให้แก่บริษัทเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ออปชันดังกล่าวจึงมีอิทธิพลต่อผลตอบแทนโดยรวมของบริษัทโดยเฉพาะในระยะแรกๆ



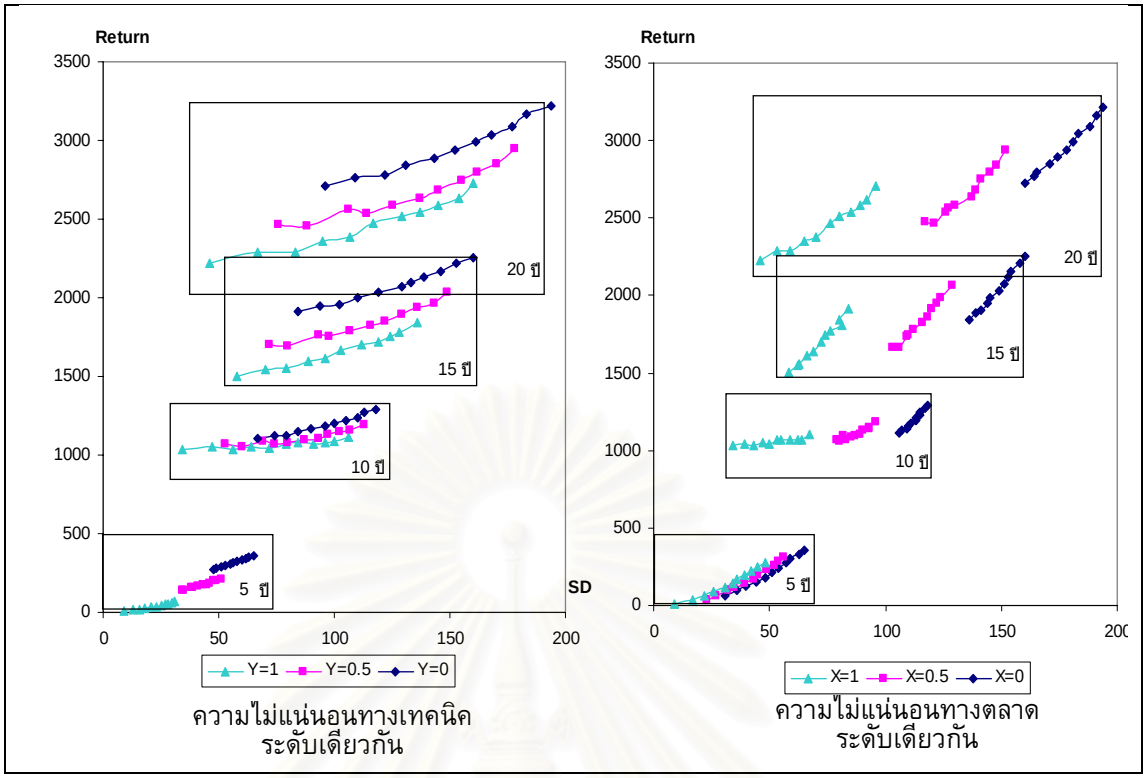
รูปที่ 4.7 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเมื่อมีความไม่แน่นอนทางเทคนิคต่างกัน

เมื่อนำมาใช้คำนวณผลตอบแทนและความเสี่ยงที่สัดส่วนการลงทุนบนความไม่แน่นอนทางตลาดที่ต่างกัน สามารถสร้างแผนภูมิได้ลักษณะดังรูปที่ 4.8 ในทำนองเดียวกันคือเปรียบเทียบเมื่อความไม่แน่นอนทางตลาดต่ำ $(X=1)$ ปานกลาง $(X=0.5)$ และสูง $(X=0)$ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.7 พบว่ากลุ่มการลงทุนที่ความไม่แน่นอนทางตลาดสูงกว่าในระยะสั้นจะให้ความเสี่ยงที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ในระยะยาวจะมีความเสี่ยงสูงขึ้นมาก เนื่องจากการลงทุนในกลุ่มที่มีความไม่แน่นอนทางตลาดสูงจะมีโอกาสเกิดต้นทุนจม (Sunk cost) ที่มีค่าสูงได้มากกว่า จึงมีความเสี่ยงที่สูงกว่า



รูปที่ 4.8 ผลตอบแทนและความเสี่ยงเมื่อมีความไม่แน่นอนทางตลาดต่างกัน

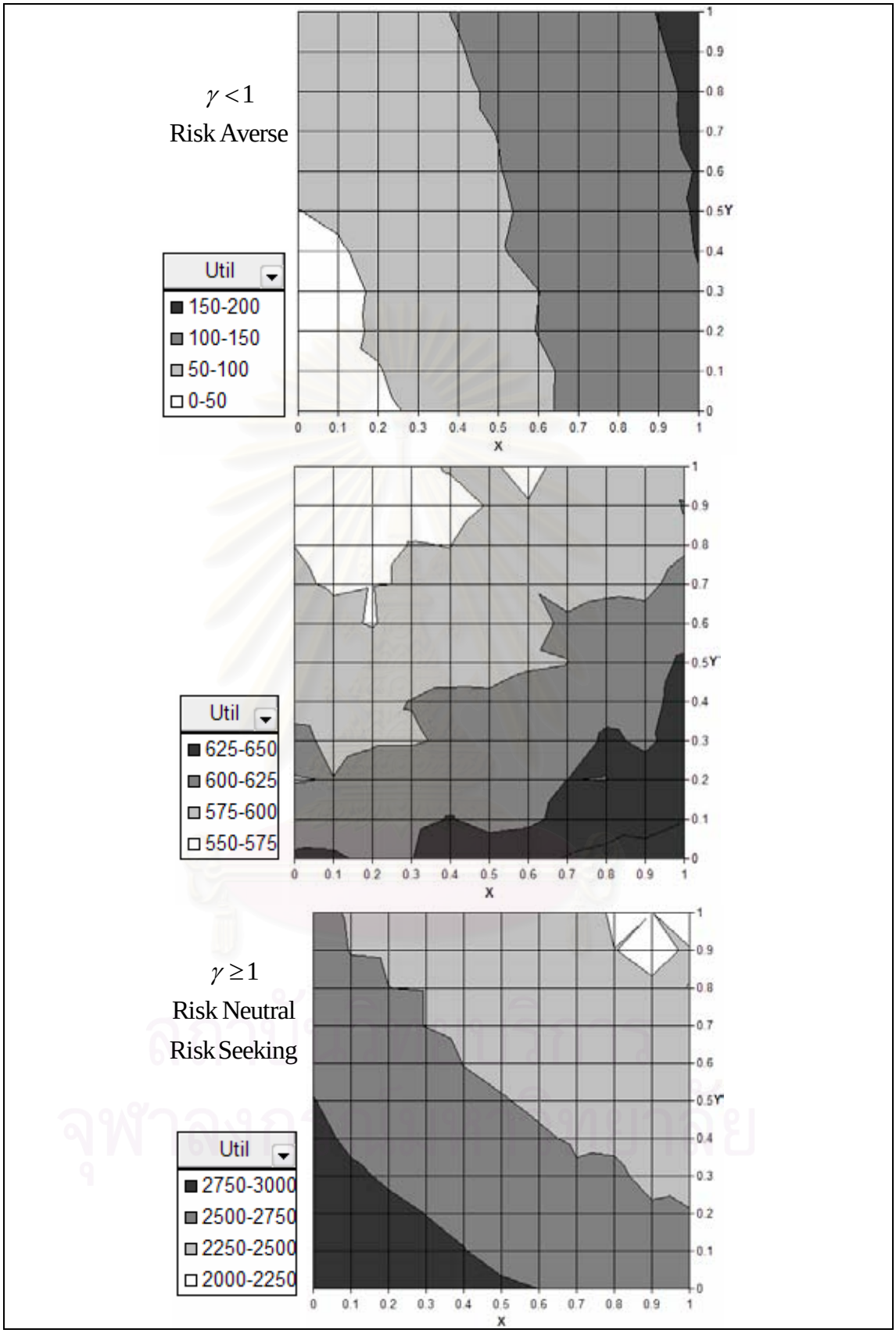
เมื่อนำผลตอบแทนและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในปีต่างๆ มาลงจุดกราฟในรูปเดียวเพื่อเปรียบเทียบที่สัดส่วนเดียวกันได้ผลดังรูปที่ 4.9 กราฟด้านซ้ายลากเชื่อมระหว่างจุดที่มีระดับความไม่แน่นอนทางเทคนิคเท่าเทียมกัน เส้นกราฟลากไปทางขวาบนแสดงถึงระดับความไม่แน่นอนทางตลาดที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟด้านขวาซึ่งเชื่อมระหว่างจุดที่มีความไม่แน่นอนทางเทคนิคสูงขึ้นแล้ว พบว่าเส้นกราฟแสดงความไม่แน่นอนทางเทคนิคที่สูงขึ้นมีความชันมากกว่าเส้นกราฟที่มีความไม่แน่นอนทางตลาดสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มความเสี่ยงทางเทคนิคส่งผลให้ผลตอบแทนสูงขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับการเพิ่มความเสี่ยงทางตลาดในระดับเดียวกัน (เนื่องจากความชันที่สูงกว่า)



รูปที่ 4.9 ผลตอบแทนและความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

4.3.3 การวิเคราะห์ความไวด้วยค่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์

การวิเคราะห์ความไวบนพื้นฐานความเสี่ยงที่พิจารณาฟังก์ชันอรรถประโยชน์ร่วมด้วยอาจทำได้ในทำนองเดียวกันโดยปรับค่าตัวแปร X และ Y ซึ่งจะส่งผลต่อการจัดสรรทรัพยากรให้แต่ละกลุ่มแตกต่างกันไป ผลที่ได้นำมาแสดงบนแผนภูมิเส้นชั้นความสูง ดังรูปที่ 4.9 เพื่อเปรียบเทียบค่าจากฟังก์ชันอรรถประโยชน์ที่เกิดกับนักลงทุนที่มีทัศนะต่อความเสี่ยงต่างๆ กันที่โดยใช้ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในการจำลองปีที่ 20 นักลงทุนที่กลัวความเสี่ยงจะพึงพอใจในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำ (ค่า X และ Y ใกล้ 1) ส่วนนักลงทุนที่ไม่สนใจความเสี่ยงนั่นคือจะพิจารณาแต่ผลตอบแทนและนักลงทุนที่ชอบความเสี่ยงจะพึงพอใจในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง ซึ่งจากรูปที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าได้ผลเช่นเดียวกัน นั่นคือ จะพึงพอใจในกลุ่มที่มีความเสี่ยงทั้งทางเทคนิคและทางตลาดสูง (ค่า X และ Y ใกล้ 0) สำหรับนักลงทุนที่อยู่ระหว่างกลางจะมีแนวโน้มชื่นชอบกลุ่มที่มีความเสี่ยงทางเทคนิคสูงมากกว่า (X มีค่าใกล้ 0 และ Y ใกล้ 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้าที่สนับสนุนการลงทุนในกลุ่มออปชันการวางตำแหน่งมีแนวโน้มให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าแม้จะมีความเสี่ยงสูงกว่าในระยะแรก



รูปที่ 4.10 แผนภูมิเส้นชั้นความสูงแสดงระดับความพอใจของนักลงทุนต่อความเสี่ยงต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบในการประเมินมูลค่าการลงทุน เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะของการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของความไม่แน่นอนทางเทคนิคและทางตลาด และใช้วิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์นำเสนอเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อแบ่งสัดส่วนการลงทุนในกลุ่มการลงทุนที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลให้ยอดรวมการลงทุนมีความเสี่ยงลดลงได้ จากผลการทดลองและวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ตัวแบบในการประเมินมูลค่าแบบออปชันจริงได้นับความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการโครงการเมื่อองค์กรหรือผู้ตัดสินใจมีความรู้เพิ่มมากขึ้นสามารถประเมินมูลค่าของโอกาสในการลงทุนได้ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้นด้วยการให้ความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการโครงการในอนาคต

2. ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบแทนและความเสี่ยงของการแบ่งสัดส่วนยอดรวมการลงทุนในรูปแบบต่างๆ กัน ช่วยให้สามารถพยากรณ์และบริหารกลุ่มการลงทุนได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือนโยบายที่กำหนด

3. เนื่องจากกลุ่มการลงทุนแต่ละประเภทให้ผลตอบแทนและความเสี่ยงต่างกัน การหาผลเฉลยเพื่อการจัดสรรยอดรวมการลงทุนที่เหมาะสมสุดโดยพิจารณาในแง่ที่เกิดอรรถประโยชน์สูงสุดจึงมีบทบาทในการเสนอแนวทางแก่ผู้ลงทุนบนพื้นฐานการยอมรับความเสี่ยงต่างๆ กัน

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดประการหนึ่งของตัวแบบที่นำเสนอคือ การกำหนดค่าเชิงปริมาณการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล แม้จะเป็นวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมและยอมรับเป็นส่วนมาก แต่ในการนำไปใช้จำเป็นต้องประเมินค่าตัวแปรจำนวนหนึ่ง อาทิ อัตราลดทอน ระดับขั้นความไม่แน่นอน หรือระยะเวลาที่ใช้ต่อโครงการ เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มิได้เสนอวิธีการเก็บข้อมูลและประมาณค่าดังกล่าว มีเพียงตัวอย่างในการนำไปใช้กับกลุ่มการลงทุนจริงและกรณีศึกษา ทำให้ผลลัพธ์มีลักษณะเฉพาะเจาะจงกับชุดตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวผู้ใช้จะต้องพิจารณาในการประยุกต์ให้เหมาะสมเข้ากับระบบที่นำไปใช้ นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะในประเด็นอื่นๆ ดังนี้

1. การกำหนดความไม่แน่นอนที่พิจารณาในสองด้าน นำมาแสดงด้วยกระบวนการเฟ้นสุ่มในการจำลองมูลค่าโครงการและเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่พึงพิจารณาในการวิจัยและพัฒนาโดยทั่วไป แต่หากระบบที่สนใจมีความไม่แน่นอนด้านอื่นๆ หรือความไม่แน่นอนมีแนวโน้มตามกระบวนการเฟ้นสุ่มรูปแบบอื่น อาทิเช่น กระบวนการผันกลับสู่ค่าเฉลี่ย (Mean reverting process) ก็สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการเฟ้นสุ่มให้สอดคล้องกับปัญหาได้ตามความเหมาะสม

2. การจัดสรรทรัพยากรแบบพลวัตเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสุดตลอดช่วงเวลา เป็นการให้สิทธิในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้แนวคิดเชิงพลวัตร่วมด้วย แต่ปัญหาที่ยากดังที่เสนอในหัวข้อที่ 3.2

3. การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโครงการ เนื่องจากได้นำทฤษฎีการบริหารยอดรวมการลงทุนมาใช้ในโครงการที่มีความหลากหลายเพื่อศึกษาผลตอบแทนและความเสี่ยงที่เกิดขึ้น แต่ในงานวิจัยยังมิได้แสดงความสัมพันธ์ที่มีต่อกันระหว่างโครงการ อาทิ ผลจากการเพิ่มมูลค่าของโครงการหนึ่งอาจทำให้ลดมูลค่าของโครงการอื่น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีผลทำให้การวิเคราะห์ความเสี่ยงแบบยอดรวมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4. ผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเว้นห่างจะถูกคำนวณรวมในมูลค่าผลตอบแทนแบบสะสมเท่านั้น มิได้มีการใช้ประโยชน์หรือนำไปลงทุนต่อจากเงินดังกล่าว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วผลตอบแทนดังกล่าวก็ถือเป็นส่วนหนึ่งของยอดรวมการลงทุนที่สามารถนำไปใช้เพื่อขยายกลุ่มการลงทุนออกไปได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Boer F.P. 2000. The Valuation of Technology Using Real Options. Research Technology Management 43:26-30

[2] Dixit A.K., Pindyck R.S. 1994. Investment Under Uncertainty: Princeton, NJ: Princeton Univ. Press

[3] Pindyck R.S. 1993. Investments of uncertain cost. Journal of Financial Economics 34(1):53-76

[4] Elton E.J., Gruber M.J., Brown S.J., Goetzmann W.N. 2007. Modern Portfolio Theory and Invesment Analysis: John Wiley & Sons Inc.

[5] Herath H.S.B., Park C.S. 1999. Economic Analysis of R&D Projects: An Options Approach. Engineering Economist 44

[6] Santiago L.P., Vakili P. 2005. Optimal project selection and budget allocation for R&D portfolios. Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries, pp. 275-81

[7] Bitman W.R. 2005. R&D portfolio management framework for sustained competitive advantage. 2005 IEEE International Engineering Management Conference, pp. 775-9

[8] Lawson K., Finkelstein A. 2002. Integration of product and technology development process with R&D portfolio management using efficient frontier analysis. 2002 IEEE International Engineering Management Conference, pp. 143-7

[9] Cobb B.R., Charnes J.M. 2003. Simulation and optimization for real options valuation. Winter Simulation Conference

[10] Bardhan I., Bagchi S., Sougstad R. 2004. A real options approach for prioritization of a portfolio of information technology projects: a case study of a utility company. 7th Hawaii International Conference on System Sciences, p. 11. Big Island Hawaii

[11] Turnquist M.A., Nozick L.K. 2003. Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty. 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences pp. 250-3

[12] Dickinson M.W., Thornton A.C., Graves S. 2001. Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods. IEEE Transactions on Engineering Management, IEEE Transactions 48:518-27

[13] MacMillan I.C., McGrath R.G. 2002. Crafting R&D project portfolios. Research Technology Management 45:48-59

[14] Benaroch M., Kauffman R.J. 1999. A Case for Using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investments. Information System Research

[15] Cox J.C., Ross S.A., Rubinstein a.M. 1979. Option Pricing: A Simplified Approach. Journal of Financial Economics:229-63

[16] Trigeorgis L., Mason S.P. 1987. Valuing Managerial Flexibility. Midland Corporate Financial Journal 5:14-21

[17] Dias M.A.G., Rocha K.M.C. 1999. Petroleum concessions with extendible options using mean reversion with jumps to model oil prices. 3rd Real Options Conference, pp. 1–27

[18] Pries F., Astebro T., Obeidi A. 2002. Economic Analysis of R&D Projects: Real Option versus NPV Valuation Revisited, Administrative Sciences Association of Canada

[19] Jagle A., Durrani T.S. 2000. A value-oriented approach to new product development using real options. Proceedings of the 2000 IEEE Engineering Management Society, pp. 147-52

[20] Schwartz E.S., Zozaya-Gorostiza C. 2003. Investment Under Uncertainty in Information Technology: Acquisition and Development Projects. Management Science 49:57-70

[21] Benaroch M. 2001. Option-based management of technology investment risk. IEEE Transactions on Engineering Management 48:428-44

[22] Hunt F.H., Probert D.R., Wong J.C., Phaal R. 2003. Valuation of technology: exploring a practical hybrid model. Conference on Technology Management for Reshaping the World, pp. 47-53

[23] Bodner D.A., Rouse W.B., Pennock M.J. 2005. Using Simulation to Analyze R&D Value Creation. 2005 Proceedings of the Winter Simulation Conference

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาผลเฉลยมูลค่าออปชันจริง

1. ออปชันจริงกับความไม่แน่นอนทางเทคนิค

จากตัวแบบพัฒนาโดย Pindyck (1993) กำหนดให้มูลค่าออปชัน (F) เป็นฟังก์ชันของเงินคงเหลือที่ต้องลงทุน (K) ซึ่งมีอัตราการลงทุนคงที่ (I) สามารถคำนวณมูลค่าออปชันได้จากสมการอนุพันธ์ดังสมการที่ 1

$$\tfrac{1}{2}\upsilon^2 I\,K\,F_{KK} - IF_K - I = rF \tag{1}$$

ตัวแปร I แทนอัตราการลงทุน ณ ขณะใดขณะหนึ่งมีค่าดังสมการที่ 2 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดเป็น I_M เมื่อโครงการนั้นมีแนวโน้มในแง่บวก และเป็นศูนย์เมื่อมีแนวโน้มในแง่ลบ

$$I = \begin{cases} I_M & \text{for } \tfrac{1}{2}\upsilon^2 K\,F_{KK} - F_K - 1 \geq 0, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{2}$$

โดยมีสมการที่เป็นตัวกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary conditions) ดังสมการ 3-5

$$F(0) = V \tag{3}$$

$$\lim_{K\to\infty} F(K) = 0 \tag{4}$$

$$\tfrac{1}{2}\upsilon^2 K^* F''(K^*) - F'(K^*) - 1 = 0 \tag{5}$$

เราสามารถหามูลค่าออปชันหรือโอกาสการลงทุน (F) ได้เมื่อคำนึงถึงความไม่แน่นอนทางเทคนิคและผู้ลงทุนมีความยืดหยุ่นที่สามารถจะหยุดและกลับมาลงทุนใหม่ได้ตามภาวะของโครงการนั้นๆ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ดังสมการที่ 6

$$F(K;V) = V - K + \upsilon^2 \left(\frac{V}{2}\right)^{-2/\upsilon^2} \left(\frac{K}{\upsilon^2+2}\right)^{\frac{\upsilon^2+2}{\upsilon^2}} \tag{6}$$

ทั้งนี้ V - K คือ มูลค่าของโอกาสในการลงทุนขณะนี้ จะเห็นได้ว่าพจน์สุดท้ายที่เพิ่มเข้ามาคือ มูลค่าเนื่องมาจากความไม่แน่นอนทางเทคนิคที่จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับขั้นความไม่แน่นอนทางเทคนิค (υ) มีค่าสูง ทำให้มูลค่าโอกาสการลงทุนเพิ่มมากขึ้น ผลที่ได้อาจกล่าวว่าเราสามารถเริ่มการลงทุนได้แม้ว่า $V - K < 0$ นั่นคือ แม้การคิดมูลค่าปัจจุบันสุทธิจะแสดงว่าขาดทุนก็อาจลงทุนได้เพราะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นจากทางเลือกในการหยุดระหว่างการลงทุน

การคำนวณเพื่อหาค่า K^* คือ จุดที่การลงทุนมีมูลค่าซึ่งสมควรลงทุนได้ คำนวณจากการให้สมการ 6 เท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$K^* = (1+\tfrac{1}{2}\upsilon^2)V \tag{7}$$

2. ออปชันจริงกับความไม่แน่นอนทางตลาด

จากตัวแบบพัฒนาโดย Madj และ Pindyck (1987) กำหนดให้มูลค่าออปชัน (F) เป็นฟังก์ชันของมูลค่าโครงการเมื่อเสร็จสิ้น (V) ซึ่งยังต้องการเงินลงทุนในระยะการผลิตสินค้าออกสู่ตลาด (C) สามารถคำนวณมูลค่าออปชันได้จากสมการอนุพันธ์ดังนี้

$$\tfrac{1}{2}\sigma^2 V^2 F_{VV} + (r-\delta)VF_V - rF = 0 \tag{8}$$

โดยมีสมการที่เป็นตัวกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary conditions) ได้แก่

$$F(0) = 0 \tag{9}$$

$$F(V^*) = V^* - C \tag{10}$$

$$F_V(V) = 1 \tag{11}$$

เมื่อ $V < V^*$ จะได้สมการมูลค่าออปชัน ณ ขณะหนึ่งซึ่งเหลือเงินที่ต้องลงทุนอีก K หน่วยได้ว่า

$$F(V) = AV^{\beta_1}$$

จากสมการเงื่อนไขขอบจะได้ว่า $\frac{V^*}{\beta_1}F_V(V^*) = V_p^* - C_p$ สามารถแก้สมการอนุพันธ์เพื่อหาค่าตัวแปร A และ β_1 ได้ดังนี้

$$A = \frac{V_p^* - C_p}{(V_p^*)^{\beta_1}}$$

$$\beta_1 = \tfrac{1}{2} - (r-\delta)/\sigma^2 + \sqrt{[(r-\delta)/\sigma^2 - \tfrac{1}{2}]^2 + 2r/\sigma^2}$$

และค่าวิกฤตที่ควรใช้สิทธิการลงทุน

$$V^* = \frac{\beta_1 \cdot (C_p)}{\beta_1 - F_V(V^*)} \tag{12}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการ

ส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์เรื่องการบริหารยอดรวมการลงทุนเชิงออปชันในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความวิชาการในหัวเรื่อง “Portfolio Management of Option-Based Investment in Technology Research and Development” โดย จิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์ และ ดาริชา สุธีวงศ์ ในงานประชุมวิชาการ “6th IEEE International Conference on Computer and Information Science” ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 11-13 กรกฎาคม 2550 ณ เมืองเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Portfolio Management of Option-Based Investment in Technology Research and Development

Jirawute Choungsirakulwit
Department of Computer Engineering, Chulalongkorn University, Thailand
jirawute@gmail.com

Daricha Sutivong
Department of Computer Engineering, Chulalongkorn University, Thailand
daricha.s@chula.ac.th

Abstract

This paper proposes a quantitative model for balancing and optimizing portfolio of R&D projects. The model focuses on two dimensions of uncertainty – market and technical - to formulate R&D portfolio budget allocation problem. The investment is broken into two critical stages, namely R&D phase and commercialization phase. The real options analysis is then employed to allow for management flexibility, such as to defer the investment or to stop and later restart the investment costlessly. We utilize Monte-Carlo simulation technique to illustrate the model calculation using Gillette's MACH3 numerical data. The simulation and sensitivity analysis results, which are studied through risk-return tradeoff, offer comparison and recommendation of an optimal portfolio management of R&D investment projects.

1. Introduction

When dealing with R&D investment decision, it is known that the traditional discounted cash flow method is improper due to uncertain cash flows, sunk costs and project management flexibility in R&D process. The real options method, in contrary, explicitly captures the effects under uncertainties. As a result, several research works in valuation of R&D projects utilize the real options concept. The well-known analytical approach, Black-Scholes formula (1973), is widely used to value financial options, but it fixes the maturity date and ignores cost uncertainty. Benaroch and Kauffman [1] showed the first application of the Black-Scholes model in a real-world situation involving information technology and the Yankee24 project. They explained how the model is mapped to the problem but still pointed out drawback of ignoring cost uncertainty.

The next and widely used approach is binomial option pricing model proposed by Cox, et.al. [2] and further developed by Trigeorgis and Mason [3] to value real options by assuming that the gross value of a project follows a random walk (a stochastic process) and using a tree structure to depict uncertain movement over time. This model is widely used in the field of R&D. Dias and Rocha [4] applied the model to calculate the optimal investment timing in petroleum exploration and production. Herath and Park [5] and Pries [6] developed an options pricing model in the Gillette's new MACH3 project.

Despite popular acceptance of the binomial option pricing model, it has limiting conditions on cash flows and the number of decision variables. To overcome these limitations, Dixit and Pindyck [7] represented the stochastic evolution of the cash flows which looked more intuitive and powerful than tracking the changes of an underlying asset. Schwartz and Moon (2000) applied this approach and summarized risks of R&D project with three underlying uncertainties: investment cost, future payoffs, and possibility of failing before the project is completed. Schwartz and Zozaya-Gorostiza [8], further developed this model and used it in information technology development projects but did not embed managerial flexibility of having multiple stages of development and allowing decision making in between, which are characteristic of R&D investment.

In our approach, uncertainties of R&D project are categorized by two dimensions of stochastic evolution: investment cost involving technical uncertainty and future payoffs involving market uncertainty. We consider two critical stages of investment, R&D and commercialization phases, and construct a portfolio valuation model. The main contribution of this paper lies in developing a quantitative model for portfolio management of R&D projects in order to analyze tradeoff from investing in each type of options, driven by market and technical uncertainties

The paper is organized as follows. Firstly, we introduce the main characteristic of R&D investment and show how the real options approach is mapped to the problem. Secondly, we propose the valuation and simulation model and then apply it to a real-world situation of R&D investment. Thirdly, we discuss results, sensitivity analysis, and insights from using the model. Finally, we present discussion and conclusion.

2. Real options in hedging R&D portfolio management risk

This section provides an overview of using real options analysis in R&D investment. It also expands to a more complex view of portfolio management.

2.1. R&D investment process

Technology R&D involves multiple stages and a long unpredictable payback period. A sequence of R&D investment can be divided into four stages [5] as shown in Figure 1. A conceptual stage lists potential projects and their relationships. A feasibility stage analyzes the decision to invest further. A development stage contains prototype development and testing, and finally a commercialization stage involves construction and manufacturing.

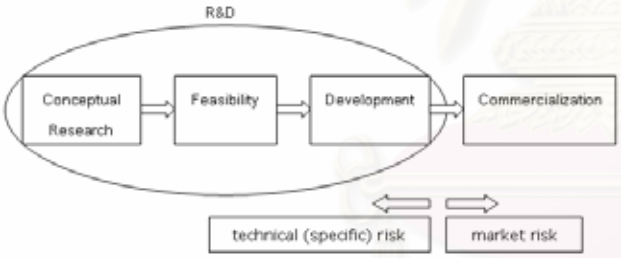


Figure 1. A sequence of R&D phases effected by technical and market risks

These stages of R&D mainly involves two types of risk – technical and market [9] Figure 1 illustrates the workflow in a typical R&D process and the occurrence of technical and market risks along the process. As each stage encounters different types of uncertainty, it is difficult to formulate the payoff function.

At the beginning of investment, new technology and unclear trajectory of technology development lead to high technical uncertainty. Later in commercialization phase, there are numerous questions regarding who will buy the product at what price and in what frequency, which reflect market uncertainty. In a highly unpredictable environment, an effective response to future challenges is to deploy various options rather than making a single big bet on one project.

2.2. Portfolio management of R&D

Due to many uncertainties in R&D investment, portfolio management plays an important role in hedging risk. A number of recent papers addressed specific aspects of R&D portfolio management, such as project selection, resource allocation and portfolio balancing. Bitman [10] combined a number of R&D portfolio management techniques for project selection and proposed a conceptual framework for balancing portfolio for both short and long range innovation.

Besides a project selection technique, portfolio management can be viewed as a balancing tool for a company to maximize its return and minimized its risk. Lawson [11] showed the risk-return tradeoff on the fundamental model developed by Markowitz (1959).

In terms of portfolio resource and budget allocation, Turnquist [12] developed a solution approach for planning, scheduling and managing project's efforts under significant uncertainties in duration, resource requirement and outcome of individual tasks. Santiago [13] studied budget allocation for R&D portfolio with constraints and limited resources. The formulation made a distinction between a budget constraint in the development phase and the commercialization phase . Dickinson [14] proposed R&D portfolio management model to balance risk versus reward by mapping the magnitude of change (or risk) against the resulting capability (or return) enabled by the process. Projects were partitioned into three areas: 1) "Planning" with low risk and generally providing infrastructure for later stages; 2) "Incremental" containing near-term payoff projects with medium risk; 3) "Platform" with risky projects developing new processes and capabilities.

The model is closely related to later development by MacMillan and McGrath [15] to balance portfolio of R&D investment using real options. Depending on degree of technical and market uncertainties, three types of real options are categorized (Figure 2), namely positioning options, scouting options, and stepping stone options. The important distinction lies in their purpose and nature. Positioning options are used to preserve a company's opportunity to compete in unclear future technological arena. They are different from scouting options, in which one invests in order to learn about market by probing or offering prototypes. Stepping stone options are risky in both market and technological dimensions, but have the potential to open new classes of opportunity for the firm. A combination of launches and options investment was proposed to provide an organization with a long-run technology strategy while new knowledge is created.

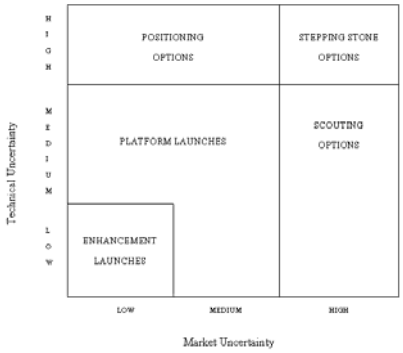


Figure 2. R&D portfolio management model [15]

2.3. R&D investment using real options approach

Most investment decisions, especially in R&D, are characterized by irreversibility and uncertainty about future reward [16] As management can repeatedly gathers information about uncertain R&D projects and market characteristics, managerial flexibility has value. Consequently, the real options approach emerges as a trend in R&D project valuation, as it accommodates new information and enhances value of investment opportunity by recognizing an upside potential while limiting downside losses [3].

Because several options occur during the investment process, Benaroch [17] distinguished operating options from (strategic) growth options. Operating options exist mainly in operational investments, and their value follows directly from cash flows and/or cost savings that they generate. Growth options are usually found in infrastructure investments, and their value is derived from new investment opportunities that they open.

With highly unpredictable payoff and multiple stages, R&D investment suits well with the use of real options pricing model [7,5,13]. Cobb and Charnes [18] proposed a mathematical model containing several decision variables and stochastic inputs that yields an optimal decision rule. Simulation is used to evaluate a portfolio by maximizing the mean discounted cash flows over combinations of decision variables. Bardhan [19] developed a nested option model to value and prioritize a portfolio of information technology projects and exemplified it using data from a utility company.

3. The proposed methodology

We form a portfolio by considering each project's market and technical risks. The total budget is allocated into five partitions using two variables (X and Y), whose values range from 0 to 1. The funding budget for each investment type is the percentage area as divided by X and Y (Figure 3). This two-variable approach allows for easy sensitivity analysis while clearly distinguishing between market and technical risks.

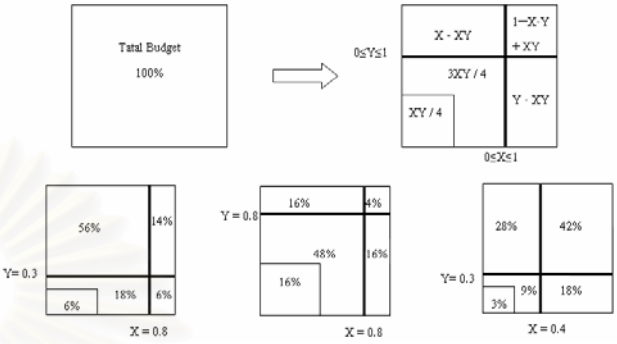


Figure 3. Budget allocation determined by X and Y

At the project initiation, it will be classified into one of the five investment types according to its degree of technical and market uncertainties (denoted by ν and σ respectively). The project then enters an investment process which consists of the R&D phase and the commercialization phase.

3.1. Real options valuation with technical and market risk

As discussed earlier, our approach focuses on two types of uncertainty, market and technical. We represent market uncertainty with fluctuation in the project value, while the remaining cost to project completion depicts technical uncertainty. We assume that the project value (V) follows a geometric Brownian motion, while the remaining cost of the R&D project (K) follows a stochastic process that was proposed by Pindyck [20]:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz \quad (1)$$

$$dK = -I dt + \nu (I \cdot K)^{\frac{1}{2}} dw \quad (2)$$

I represents a rate of investment that can only be a maximum rate of investment (I_M), i.e. to invest, or zero, i.e. not to invest. The second term in the right hand side of (2) signifies technical uncertainty which is non-zero only when the investment takes place.

Consider a company that encounters two critical stages of investment when dealing with its portfolio of R&D projects (Figure 4). The first one is R&D stage, in which the remaining cost is K. The second one is commercialization stage which captures performance of the product being launched into the market, and the total cost in commercialization stage is denoted by C.

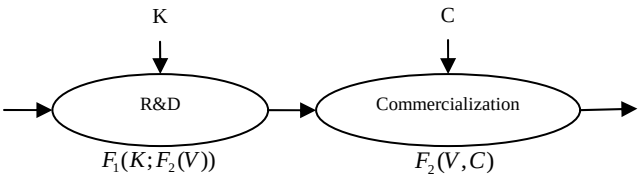


Figure 4. Real options valuation in R&D process

In R&D phase, where a company encounters technical uncertainty, we employ a model developed by Pindyck [20], which leads to (3). The model assumes that only technical uncertainty occurs and there are options to stop and later restart costlessly.

$$F_1(K;V) = V - K + \nu^2 (\frac{V}{2})^{-2/\nu^2} (\frac{K}{\nu^2+2})^{\frac{\nu^2+2}{\nu^2}} \quad (3)$$

In the next stage of commercialization, we replace the project value in (3) by the options value ($F_2(V)$) which readily takes into account market uncertainty. Not knowing whether the product will favorable, the company has an option to defer the investment. Dixit and Pindyck [7] proposed the real options valuation for this problem as shown in (4).

$$\tfrac{1}{2}\sigma^2 V^2 F_2''(V) + (r-\delta)V F_2'(V) - r F_2(V) = 0 \quad (4)$$

The decision model is to maximize the project's expected payoff when $F_2(V)$ represents the project value at commercialization. We obtain the formulation:

$$F_1(K;F_2(V)) = F_2(V) - K + \nu^2 (\frac{F_2(V)}{2})^{-2/\nu^2} (\frac{K}{\nu^2+2})^{\frac{\nu^2+2}{\nu^2}} \quad (5)$$

3.2. Portfolio management and optimization

With limited budget and many R&D project candidates, the project selection can be viewed as a knapsack problem, which is NP-Hard [21]. We formulate a stochastic 0/1 knapsack problem, in which item values and sizes are independent random variables. In this case, item values are the projects' options values, and item sizes are the projects' R&D costs. We employ greedy algorithm to solve the problem. All projects are ranked by the ratio of its value to cost.

3.3. Simulation model and implementation

We obtain an approximation of the continuous-time stochastic processes by simulating time step of cash flows. In this study, the time step (Δt) is 0.08 year, and the total duration is 20 years. For five types of investment, many R&D projects are initialized as long as the allocated budget still remains. The objective is to find an optimal portfolio allocation that maximizes the future payoff and minimizes risk. Each initialized R&D project has two variables indicating the degree of uncertainty (σ,ν). The simulation paths for the project value and the remaining cost to project completion follow the below discrete-time stochastic processes:

$$V_{t+1} = V_t e^{[(\alpha+\frac{1}{2}\sigma^2)\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}\cdot\varepsilon_V]}$$

$$K_{t+1} = K_t e^{[\frac{-I}{K}(1+\frac{V^2}{2})\Delta t + \nu\sqrt{\frac{I\Delta t}{K}}\cdot\varepsilon_K]}$$

Model assumptions are summarized as follow:

- The company has a limited constant budget to invest each year (100 M$ per year).
- The budget is allocated to five types of investment without any lending conditions.
- For each type of investment, the projects are prioritized and funded using the ratio of options value to cost.
- Investments can be stopped and later restarted costlessly with a maximum investment rate (I_M).
- At completion (K=0), the payoff is the project value at that time (V).

We apply the proposed model to evaluate R&D options using numerical data from MACH3 R&D investment project [5] as shown in table 1. This project is the biggest project that the company has undertaken in its history. It involves a decade of work, $750 million in R&D, and $300 million for worldwide advertising and marketing.

Table 1. Numerical data from MACH3 project

Cash flow parameters		Value
Expected value of the completed project	V	20 M$
Expected cost to the project completion	K	13 M$
Commercialization cost	C	3 M$
Investment rate	I	0 or 2 /year
Expected project duration	T	6.5 years
Drift in project value	α	2%
Risk premium on project value	δ	6%
Risk adjusted discount rate	μ	8%
Risk-free rate	r	8%

4. Analytical results

To emphasize analysis on effects of options investment, we bundle two types of launch as one. Thus, we have four types of investment for comparison: Stepping Stone, Scouting, Positioning and

Launch. An experiment was conducted to study payoff behavior from each type of investment by entirely funding the portfolio to one type, and later 10,000 different sample paths of market and technical uncertainties were simulated.

Table 2 displays the simulation results and show that investment in risky projects in both dimensions (Stepping Stone options) yield the highest return with the lowest probability of success. The high market risk projects (Scouting options) generally lead to a higher return with a lower probability of success than the high technical uncertainty projects (Positioning options). As expected, the launch projects offer the highest probability of success with the lowest return. Figure 5 and 6 summarize the returns and the options values of the four types of investment. Note that the project options value significantly increases in an early phase and becomes stable afterward due to the model assumption of constant limited total budget.

Table 2. Simulation numerical result

Types of investment	Expected Return				Probability of success (T=20)
	T=5	T=10	T=15	T=20	
Stepping Stone	7.2	22.9	37.2	55.8	0.047
Scouting	3.9	18.2	30.5	46.5	0.057
Positioning	5.2	14.6	22.9	33.6	0.149
Launch	4.0	12.9	20.2	30.1	0.362

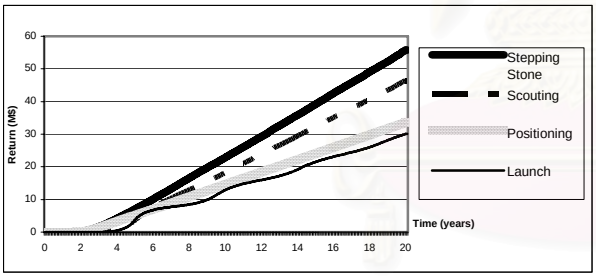


Figure 5. Expected returns over time

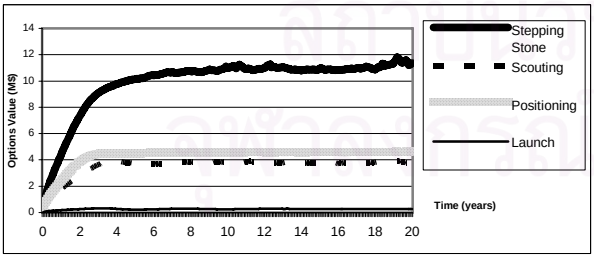


Figure 6. Options values over time

Figure 7 illustrates risk-return tradeoff for portfolio with various levels of market risk exposure, specifically when the portfolio is mainly allocated for high market risk (X=0), medium market risk (X=0.5) and low market risk (X=1). Each line is plotted by varying technical risk (different *Y*). In an experiment, simulation was run for 5, 10 and 20 years. Note that in early years, investment in high market risk does not yield a high return. Making a big bet on high market risk product when the R&D phase is not completed does not pay off. While the project still needs time to complete, the market may fluctuate unpredictably. Therefore, it is not recommended to take high market risk in an early phase of investment. Nevertheless, in the long run, higher market uncertainty projects provide higher return.

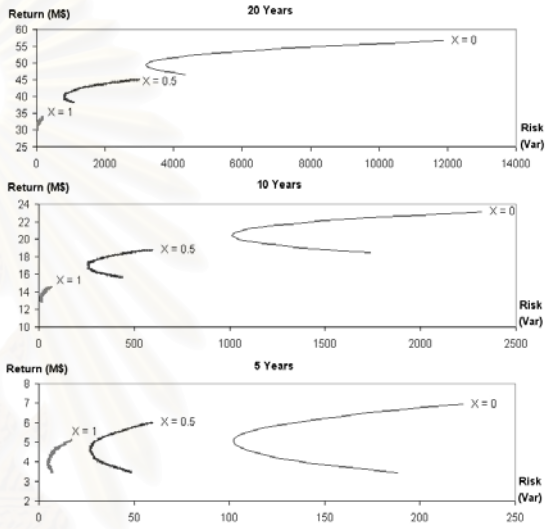


Figure 7. Risk-return for various market risk (X)

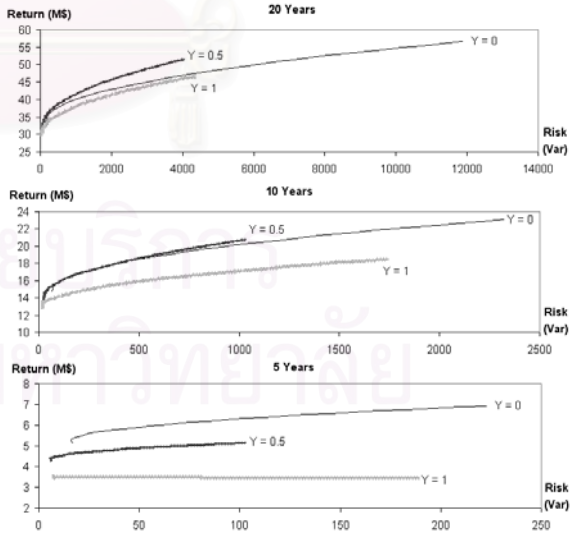


Figure 8. Risk-return for various technical risk (Y)

Figure 8 compares portfolio with different technical risk exposure, that is when the portfolio is

mostly allocated for high, medium and low technical risk (Y is 0, 0.5, 1 respectively). From the results, an effective portfolio management is to invest in high technical uncertainty projects in an early phase. This result reflects the argument “fail fast, fail cheap, try again” because we have options to stop and later restart if the project seems to go unprofitable. Nevertheless, in the long run, portfolio should be strike a balance in technical risk. This result is useful when dealing with R&D projects in high technology domain.

5. Discussion and conclusion

This paper has proposed a quantitative model to evaluate portfolio management of R&D investment using the real options approach. The research aims to study risk behavior that affects the R&D process. The relationship between R&D investment and the market and technical risk is analyzed through portfolio analysis and the risk-return tradeoff.

Uncertainties of R&D projects are represented by two dimensions of stochastic evolutions: the investment cost involving technical uncertainty and the future payoff involving market uncertainty. The study focuses on the two critical stages of investment and constructs a portfolio valuation model to analyze tradeoff from investing in each type of options characterized by different levels of market and technical uncertainty. A sensitivity analysis is performed on the risk-return tradeoff, and different patterns of portfolio allocation are analyzed. The simulation results provide comparison and recommendation on an efficient portfolio management of R&D investment projects.

6. References

[1] M. Benaroch and R. J. Kauffman, "A Case for Using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Project Investments," Information System Research, 1999.

[2] J. C. Cox, S. A. Ross, and a. M. Rubinstein, "Option Pricing: A Simplified Approach," Journal of Financial Economics, pp. 229-63, 1979.

[3] L. Trigeorgis and S. P. Mason, "Valuing Managerial Flexibility," Midland Corporate Financial Journal, vol. 5, pp. 14-21, 1987.

[4] M. A. G. Dias and K. M. C. Rocha, "Petroleum concessions with extendible options using mean reversion with jumps to model oil prices," in 3rd Real Options Conference, 1999, pp. 1–27.

[5] H. S. B. Herath and C. S. Park, "Economic Analysis of R&D Projects: An Options Approach," Engineering Economist, vol. 44, 1999.

[6] F. Pries, T. Astebro, and A. Obeidi, "Economic Analysis of R&D Projects: Real Option versus NPV Valuation Revisited," Administrative Sciences Association of Canada, 2002.

[7] A. K. Dixit and R. S. Pindyck, Investment Under Uncertainty: Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1994.

[8] E. S. Schwartz and C. Zozaya-Gorostiza, "Investment Under Uncertainty in Information Technology: Acquisition and Development Projects," Management Science, vol. 49, pp. 57-70, 2003.

[9] F. P. Boer, "The Valuation of Technology Using Real Options," Research Technology Management, vol. 43, pp. 26-30, 2000.

[10] W. R. Bitman, "R&D portfolio management framework for sustained competitive advantage," presented at 2005 IEEE International Engineering Management Conference, 2005.

[11] K. Lawson and A. Finkelstein, "Integration of product and technology development process with R&D portfolio management using efficient frontier analysis," presented at 2002 IEEE International Engineering Management Conference, 2002.

[12] M. A. Turnquist and L. K. Nozick, "Allocating Time and Resources in Project Management Under Uncertainty," presented at 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences 2003.

[13] L. P. Santiago and P. Vakili, "Optimal project selection and budget allocation for R&D portfolios," in Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries, 2005, pp. 275-281.

[14] M. W. Dickinson, A. C. Thornton, and S. Graves, "Technology portfolio management: optimizing interdependent projects over multiple time periods," Engineering Management, IEEE Transactions on, vol. 48, pp. 518-527, 2001.

[15] I. C. MacMillan and R. G. McGrath, "Crafting R&D project portfolios," Research Technology Management, vol. 45, pp. 48, 2002.

[16] A. Huchzermeier and C. H. Loch, "Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D," Management Science, vol. 47, pp. 85-101, 2001.

[17] M. Benaroch, "Option-based management of technology investment risk," IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 48, pp. 428-444, 2001.

[18] B. R. Cobb and J. M. Charnes, "Simulation and optimization for real options valuation," presented at Winter Simulation Conference, 2003.

[19] I. Bardhan, S. Bagchi, and R. Sougstad, "A real options approach for prioritization of a portfolio of information technology projects: a case study of a utility company," presented at 7th Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island Hawaii, 2004.

[20] R. S. Pindyck, "Investments of uncertain cost," Journal of Financial Economics, vol. 34(1), pp. 53-76, 1993.

[21] Douglas A. Bodner, William B. Rouse, and M. J. Pennock, "Using Simulation to Analyze R&D Value Creation," presented at Winter Simulation Conference, 2005.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรวุฒิ จึงศิรกุลวิทย์เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย