

รายงานฉบับสมบูรณ์

การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดโดยแนวคิดของความเสี่ยง
และความยืดหยุ่น

A Risk-Flexibility Approach for Economic Evaluation of Clean Development
Mechanism (CDM) Projects

รหัสโครงการ

SCH-NR2011-171

ชื่อหัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.นคร กกแก้ว

หน่วยงานที่สังกัด มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รายงานฉบับสมบูรณ์

การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดโดยแนวคิดของความเสี่ยง
และความยืดหยุ่น

A Risk-Flexibility Approach for Economic Evaluation of Clean Development
Mechanism (CDM) Projects

รายนามคณะผู้วิจัย

1. ผศ.ดร.นคร กกแก้ว
หน่วยงาน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
2. นายรัชชา สามพิมพ์
หน่วยงาน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

วันเริ่มต้นโครงการ 1 พฤศจิกายน 2555

วันสิ้นสุดโครงการ 31 ตุลาคม 2556

(..... / ตรวจสอบเนื้อหาแล้ว)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ปีที่ได้รับทุน 2555

บทคัดย่อ

ปัญหาพลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันได้กลายเป็นปัญหาของโลก ไม่ใช่ปัญหาเฉพาะของประเทศใดประเทศหนึ่ง ส่งผลให้องค์กรนานาชาติ เช่น สหประชาชาติ เป็นต้น ได้ออกมาพยายามหามาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตัวอย่างของมาตรการที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ การจัดเก็บภาษีคาร์บอน (Carbon tax) หรือ การค้าขายแลกเปลี่ยนก๊าซเรือนกระจก (Cap-and-Trade) และ โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean development mechanism program) เป็นต้น ในกรณีของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด สหประชาชาติได้กำหนดโควตาหรือเพดานของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับประเทศที่พัฒนา หากประเทศใดต้องการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกินกว่าที่กำหนด ต้องซื้อคาร์บอนเครดิตที่เกิดจากโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดในประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นคาร์บอนเครดิตจึงกลายเป็นสินทรัพย์ที่มีมูลค่าทางการเงิน ซึ่งถือเป็นช่องทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับบริษัทที่ลงทุนในโครงการที่จัดเป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด ส่งผลในเชิงบวกต่อสถานะทางการเงินของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงความเสี่ยงในการพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด เพื่อออกแบบความยืดหยุ่นชนิดต่างๆ ให้สามารถจัดการความเสี่ยงของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ (1) เพื่อให้มุมมองและแนวคิดใหม่เกี่ยวกับวิธีการที่จะลงทุนในโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด และ การใช้ความยืดหยุ่นสำหรับลดผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงที่เกิดจากความผันผวนของราคาในตลาดของวัตถุดิบ ราคาขายพลังงาน และราคาคาร์บอนเครดิต (2) เพื่อเสนอวิธีการใหม่สำหรับการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด ซึ่งจะพิจารณาทั้งความเสี่ยง ความยืดหยุ่น และคาร์บอนเครดิต โดยใช้ทฤษฎีใหม่ที่เรียกว่าเรียลอปชั่น (Real Option Theory) และทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่น (Risk Flexibility Theory) นอกจากนี้แล้ว งานวิจัยนี้ยังต้องการศึกษาถึงความเหมาะสมและคุ้มค่าของมาตรการ ตลอดจนบทบาทของรัฐบาลในการส่งเสริมการลงทุนในโครงการพลังงานทดแทนของประเทศ

Abstract

As global demand for energy is expected to increase while fuel supply is depleting, searching for alternative and environmental friendly sources of energy is considered top priority for many governments. Currently, there is also pressure from global community to reduce the greenhouse gas (GHG) emissions by imposing the allowance emissions of GHG for each country, known as a cap-and-trade program. One of several programs aiming at reducing the greenhouse gas is Clean Development Mechanism or CDM by the UN. The amount of greenhouse gas reduction, i.e., carbon credits, produced from CDM projects in developing countries can be sold to developed countries so that they can increase the maximum cap of GHG to be emitted into environment. Investment in green technology to reduce such gas is called carbon finance. It is carbon credits from carbon financing that are of financial value, thus it can be treated as a new type of asset. This could help improve the financial outlook of CDM projects such as renewable energy because not only these projects usually have higher costs of implementing green technology but they also face greater uncertainty from the fluctuation of the market prices of input commodity (e.g., raw materials), output products (e.g., energy), and carbon credits (e.g., the price of CERs).

Valuing CDM projects full of uncertainty by conventional discounted cash flow (DCF) approaches such as net present value (NPV) could underestimate the intrinsic value and inherent risk of these projects, thereby leading to rejecting highly promising projects. Accordingly, the aims of this research are (1) to provide a new perspective on how to invest in CDM projects by incorporating flexibility into the projects to hedge risk and to maximize the profit if favorable conditions arrive in the future, and (2) to propose a new approach for valuing the financial viability of CDM projects that considers risk, flexibility, and carbon credit into the economic analysis, using Real Options Theory (ROT) and Risk Flexibility Theory (RFT). In addition, the research will examine on how governments can involve technically and financially in these projects in order to promote the private investment, thereby bringing the society a step toward economic-cum-environmental sustainability.

สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

บทที่ 1 บทนำ	10
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	10
1.2 การออกแบบการวิจัย	11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	12
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	13
2.1 โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด	13
2.2 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์	14
2.3 ทฤษฎี Real Options	18
2.4 ทฤษฎี Risk Flexibility	19
2.4.1 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)	19
2.4.2 ความเสี่ยงและโอกาส (Risk and Opportunity)	20
2.4.3 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ความเสี่ยง	21
2.5 ความยืดหยุ่น (Flexibility)	25
2.5.1 ชนิดของความยืดหยุ่น (Type of flexibility)	26
2.6 การสนับสนุนทางการเงินของภาครัฐในโครงการ CDM ที่เกี่ยวกับพลังงานทดแทน	26
2.6.1 นโยบาย Feed-in tariff (FIT)	28
2.6.2 กลไกการจ่ายเงินสนับสนุน Feed-in tariff (FIT)	28
2.7 แบบจำลองราคาชีวมวล	31
2.8 Monte Carlo Simulation	32
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)	34
3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย	34
3.2 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional Project Economic Analysis)	34
3.3 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ในสถานะที่มีความไม่แน่นอน (Project Economic Analysis under Uncertainty)	35
3.3.1 Real options theory	36
3.3.2 Risk flexibility theory	36
3.4 กรอบแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	38
3.5 ขั้นตอนที่สำคัญในการวิจัย	38

บทที่ 4 ผลการวิจัย	40
4.1 โครงการศึกษาตัวอย่าง (Case example project): โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 กิโลวัตต์ ชั่วโมง	40
4.1.1 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional Project Economic Analysis)	41
4.1.2 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีเรียลอปชั่น (Real options approach)	41
4.1.3 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธี Risk flexibility theory	45
4.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์โครงการศึกษาตัวอย่าง	47
4.2 ผลของการศึกษารูปแบบการสนับสนุนของภาครัฐที่เหมาะสม	47
4.2.1 การประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 กิโลวัตต์ ชั่วโมง	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ผลที่ได้จากการวิจัย	55
5.3 งานวิจัยในอนาคต	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก ประวัติย่อ ที่อยู่ของคณะผู้วิจัยสรุปผลการวิจัย	58
ภาคผนวก ข บทความวิจัยผลที่ได้จากการวิจัย	64

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 การออกแบบการวิจัย	11
รูปที่ 2.1 การผลิตและการแลกเปลี่ยน CERs	13
รูปที่ 2.2 แผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram)	17
รูปที่ 2.3 แผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) ของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	18
รูปที่ 2.4 สามมิติคำถาม (Triplet questions) และ สามมิติคำตอบ (Triplet answers).....	21
รูปที่ 2.5 Deterministic model	22
รูปที่ 2.6 รูปแบบของนโยบายในการกระตุ้นการลงทุนในโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน	27
รูปที่ 2.7 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินแบบคงที่	29
รูปที่ 2.8 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินแบบบวกส่วนเพิ่มจากราคาตลาด	30
รูปที่ 2.9 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินสนับสนุนเมื่อราคาค่าไฟฟ้าต่ำกว่าราคาตลาด	30
รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์โครงการโดยใช้วิธี Monte Carlo simulation	32
รูปที่ 3.1 กระแสเงินในอนาคตของโครงการ CDM ตัวอย่าง	35
รูปที่ 3.2 ที่มาของกรอบแนวคิดของทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่น (Risk Flexibility Theory)	37
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของราคาไฟฟ้า และราคาคาร์บอนเครดิต แบบ Bi-lattice (ขึ้น หรือ ลง).....	42
รูปที่ 4.2 การเคลื่อนไหวของราคาชีวมวล โดยกระบวนการสโตแคสติกที่เรียกว่า “Geometric Brownian motion”	44
รูปที่ 4.3 ราคาย้อนหลังของคาร์บอนเครดิตในตลาดยุโรป (หน่วย € per tonne)	45
รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของราคาไฟฟ้า และราคาคาร์บอนเครดิต แบบคงที่ จากการซื้อ สัญญาซื้อขายคาร์บอนเครดิตล่วงหน้า (CER forward contract)	46
รูปที่ 4.5 กระแสเงินสดของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล	48
รูปที่ 4.6 แบบจำลองพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของราคาชีวมวลในอนาคต.....	50
รูปที่ 4.7 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามโปรแกรมส่วนเพิ่มพิเศษ Adder program	50
รูปที่ 4.8 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามแบบการรับประกันราคาชีวมวล	51
รูปที่ 4.9 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามแบบการรับประกันรายได้	51

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 สมมติฐานและพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการศึกษาตัวอย่าง	40
ตารางที่ 4.2 สรุปการประเมินโครงการ CDM ตัวอย่าง	47
ตารางที่ 4.3 สมมติฐานและพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการศึกษาตัวอย่าง	48
ตารางที่ 4.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 กิโลวัตต์ชั่วโมง	49
ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ ด้วยรูปแบบการสนับสนุนจากภาครัฐแบบต่างๆ	52
ตารางที่ 5.1 สรุปการประเมินโครงการ CDM ตัวอย่าง (โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 กิโลวัตต์ชั่วโมง)	54
ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ ด้วยรูปแบบการสนับสนุนจากภาครัฐแบบต่างๆ	55

ปัจจุบันมีงานวิจัยไม่น้อยที่เกี่ยวข้องกับโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด หรือที่เรียกว่า Clean Development Mechanism (CDM) ตัวอย่างของโครงการที่ถือเป็น CDM ตาม Kyoto Protocol ได้แก่ โครงการพลังงานทดแทน เป็นต้น โดยโครงการเหล่านี้สามารถขาย Carbon credit ซึ่งมีหน่วยวัดตามหลักสากลเป็น Certified Emission Reductions หรือ CERs (1 CER = 1 ตันคาร์บอน) แต่งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวกับการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ในโครงการที่เป็น CDM ยังถือว่ามีน้อย ยกตัวอย่างเช่น Greiner, S. and A. Michaelowa (2003) ได้พิจารณามูลค่าเพิ่มของการลงทุนจากการขาย CERs โดยประเมินถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการลงทุนในโครงการ CDM ส่วน Li, Lu and Wu (2013) ศึกษาถึงความเสี่ยงในการลงทุนโครงการพลังงานลมในประเทศจีน และพบว่าโครงการพลังงานลมในกรณีศึกษาที่มีความเสี่ยงของการลงทุนที่สูงมาก Yang, M., F. Nguyen, et al. (2010) ศึกษาถึงมาตรการการให้ความช่วยเหลือของรัฐบาลจีนสำหรับโครงการพลังงานลม พบว่าไม่พอเพียงหรือชดเชยความเสี่ยงที่สูงของโครงการพลังงานลมได้ และแนะนำให้รัฐบาลทบทวนมาตรการการให้ความช่วยเหลือใหม่ สำหรับประเทศไทย Parnphumeesup, P. and S. A. Kerr (2011) ได้ศึกษาถึงความเสี่ยงในของโครงการ CDM กรณีที่เป็นพลังงานจากชีวมวล (Biomass) ในประเทศไทย ว่ามีโอกาสูงที่จะไม่ผ่านการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือ EIA และแนะนำให้รัฐบาลไทยยกเลิกข้อกำหนดการทำ EIA สำหรับโครงการไฟฟ้าชีวมวลขนาดต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์

ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และจัดการความเสี่ยงมีมากมาย และกระจายไปทุกแทบศาสตร์สาขา โดยผู้วิจัยเองก็ได้ศึกษาวิจัยการจัดการความเสี่ยงในโครงการโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ตลอดจนการออกแบบสัญญาสำหรับการจัดการความเสี่ยงที่เกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณการจราจรในโครงการที่เป็นการร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน (Public Private Partnerships or PPPs) ซึ่งใช้หลักการจัดการโครงการที่ยืดหยุ่น (Management flexibility) และการใช้สัญญาจัดการความเสี่ยงที่ยืดหยุ่น (Contractual flexibility) ในการวิเคราะห์โครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านวิศวกรรมโยธา แต่สำหรับโครงการที่เป็น CDM ยังไม่มีนักวิจัยท่านใดที่มีนำแนวคิดของความเสี่ยงและความยืดหยุ่น (Risk-flexibility approach) มาใช้ศึกษาวิเคราะห์โครงการ CDM และออกแบบความยืดหยุ่นให้เหมาะสมกับโครงการที่เป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด ตลอดจนเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับรัฐบาลในการกำหนดนโยบายสนับสนุนที่เหมาะสมบนพื้นฐานของแนวคิดของทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่น

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

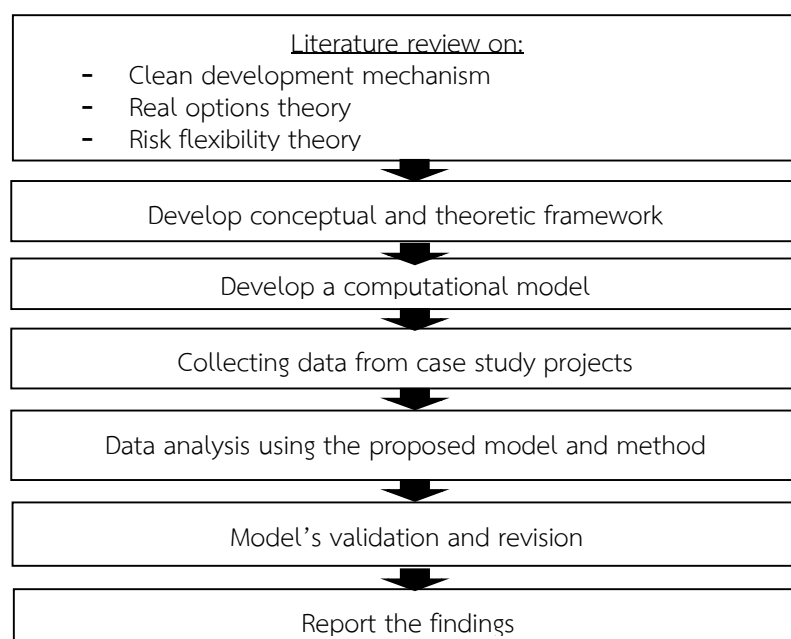
งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงความเสี่ยงในการพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด เพื่อเสนอแนวทางในการประเมินโครงการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอน ความเสี่ยง และความยืดหยุ่นชนิดต่างๆ ที่โครงการสามารถ

นำมาใช้ได้ เพื่อให้สามารถจัดการความเสี่ยงของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ข้อดังนี้

- 1.1.1 เพื่อศึกษาการกระบวนการณ์ลงทุนในโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism or CDM) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดด้านพลังงานทดแทน (Renewable energy projects) ทั้งนี้เพื่อระบุปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ (Risk factors) ทั้งที่เป็นความเสี่ยงภายในตัวโครงการ (Endogenous risks) และที่เกิดจากปัจจัยภายนอก (Exogenous risks) และเพื่อออกแบบและกำหนดชนิดของความยืดหยุ่น (Design of flexibility) ที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากความเสี่ยงในอนาคต หรือเพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จของโครงการในอนาคต
- 1.1.2 เพื่อเสนอแนวคิดและกระบวนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด บนพื้นฐานและแนวคิดใหม่ที่พิจารณาปัจจัยด้านความเสี่ยงและความยืดหยุ่น (Risk-flexibility approach) ควบคู่กันไปพร้อมๆ กัน
- 1.1.3 เพื่อศึกษาถึงบทบาทของรัฐบาลต่อการผลักดันการลงทุนของภาคเอกชนในโครงการที่เป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด โดยศึกษาถึงการสนับสนุนด้านต่างๆ ทั้งทางด้านความรู้และเทคโนโลยี (Know-how and technology support) หรือทางด้านการเงินการลงทุน (Financial support) เช่นเงินสนับสนุนช่วยเหลือ เงินกู้ยืมพิเศษ ตลอดจนมาตรการทางด้านภาษี เป็นต้น ทั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณพลังงานทดแทนให้สูงขึ้นจาก ณ ปัจจุบัน เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย

1.2 การออกแบบการวิจัย

การออกแบบการวิจัยของโครงการนี้เป็นดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การออกแบบการวิจัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

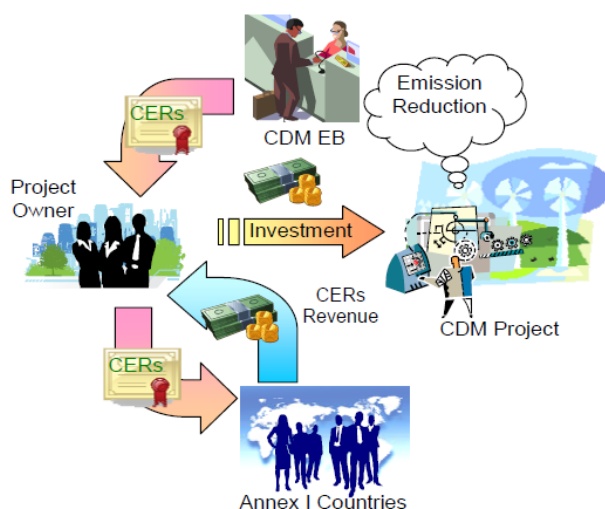
โครงการวิจัยนี้เน้นการศึกษาโครงการ CDM ที่เกี่ยวกับพลังงานทดแทนในประเทศไทยเป็นหลัก โดย
ทำการศึกษาตลอดช่วงอายุโครงการ (Life cycle) ตั้งแต่การลงทุนก่อสร้าง (Construction phase) จนกระทั่ง
การดำเนินงาน (Operation phase)

ในบทนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism or CDM) ทฤษฎี Real Options และ ทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่น หรือ Risk Flexibility Theory โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism or CDM)

กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism - CDM) หรือย่อว่า กลไกซีดีเอ็ม เป็นระบบการจัดการอย่างหนึ่งในการซื้อขายคาร์บอนเครดิต ซึ่งอนุญาตให้ประเทศอุตสาหกรรมที่ให้คำมั่นสัญญาในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ไปลงทุนในโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนาแทนซึ่งจะถูกกว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้โครงการคาร์บอนเครดิตนี้ประสบผลสำเร็จคือการที่ต้องมีแรงจูงใจเป็นผลตอบแทน กลไกซีดีเอ็มได้รับการดูแลและตรวจสอบโดย CDM Executive Board (CDM EB) ภายใต้การขึ้นนำของ Conference of the Parties (COP/MOP) ของ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

กลไกการพัฒนาที่สะอาดจึงเปรียบเสมือนแรงจูงใจให้ประเทศนอกภาคผนวกที่ 1 ปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีสะอาดเพิ่มมากขึ้น อันจะส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง โดยแรงจูงใจที่กล่าวถึงคือ Certified Emission Reductions (CERs) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า คาร์บอนเครดิต ที่ผู้ดำเนินโครงการจะได้รับ และสามารถนำไปขายให้กับประเทศในภาคผนวกที่ 1 ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การผลิตและการแลกเปลี่ยน CERs (ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

2.2 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Project Economic Evaluation)

การลงทุนในโครงการที่เป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด ต้องมีการศึกษาถึงความคุ้มค่าการลงทุน ซึ่งในการประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยทั่วไปโดยมากใช้วิธีการลดทอนมูลค่าเงินในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present value) ด้วยหลักการของมูลค่าเงินตามเวลา หรือ Time value of money โดยวิธีการนี้ใช้อัตราคิดลด (Discount rate) ขึ้นกับต้นทุนทางการเงินของโครงการ (Cost of capital) และความเสี่ยงของโครงการ (Risk) วิธีการลดทอนกระแสเงินสดของโครงการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาด้วยอัตราคิดลดนี้ เรียกว่า Discounted cash flow (DCF) analysis ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกวิธีการประเมินโครงการแบบนี้ว่าเป็น “Standard model”

มูลค่าเงินตามเวลา หรือ Time value of money เป็นแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญทางการเงิน โดย เงิน 1 บาท ณ ปัจจุบัน มีมูลค่ามากกว่า เงิน 1 บาท ในอีก 1 ปีต่อจากนี้ ทั้งนี้เนื่องมาจาก ถ้าเรามีเงินจำนวนหนึ่ง ณ ตอนนี้ เราสามารถนำเงินจำนวนนี้ไปลงทุนเพื่อทำกำไรในอนาคตได้ ซึ่งอย่างน้อยที่สุดผลตอบแทนของการลงทุนควร จะมากกว่าหรือเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก ซึ่งถือว่าเป็นอัตราผลตอบแทนการลงทุนแบบไม่มีความเสี่ยง (Risk free rate)

การคำนวณอัตราคิดลด (Discount Rate) สำหรับการคำนวณมูลค่าเงินตามเวลาสามารถคำนวณได้ 3 วิธีด้วยกัน ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1: อัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง (Risk free rate, r_f)

วิธีนี้ใช้กรณีเงินลงทุนที่ไม่มีความเสี่ยง เช่น การซื้อหุ้นกู้ของรัฐบาล หรือการฝากเงินในธนาคาร ดังนั้นการคำนวณมูลค่าเงินตามเวลาจะใช้อัตราผลตอบแทนที่ไม่มีความเสี่ยง (Risk free rate) เป็นอัตราคิดลด (Discount rate)

วิธีที่ 2: แบบถ่วงเฉลี่ย (Weighted average cost of capital หรือ WACC)

วิธีนี้ใช้ในกรณีที่ทราบโครงสร้างของเงินทุน¹ (Capital structure) ที่ชัดเจนและต้นทุนของแต่ละแหล่งเงินทุน โดยมีสูตรคำนวณเป็นดังนี้

$$WACC = \left(\frac{E}{E + D} \right) r_E + \left(\frac{D}{E + D} \right) (1 - T_c) r_D$$

¹ โครงสร้างเงินทุน หรือ Capital structure หมายถึง อัตราส่วนของเงินทุนที่มาจากแหล่งต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 แหล่งเงินทุนที่สำคัญคือ เงินกู้ยืม และเงินเจ้าของ

เมื่อ	r_E	หมายถึง ต้นทุนทางการเงินหรือผลตอบแทนการลงทุนที่ผู้ลงทุนประเภทเจ้าของต้องการ (Cost of equity)
	r_D	หมายถึง ต้นทุนทางการเงินที่ผู้ลงทุนประเภทเจ้าหนี้ต้องการ (Cost of debt)
	E	หมายถึง มูลค่าในส่วนของเจ้าของ (Equity)
	D	หมายถึง มูลค่าในส่วนของเจ้าหนี้ (Lenders)
	T_C	หมายถึง อัตราภาษีรายได้บริษัท (Corporate tax)

วิธีที่ 3: Capital asset pricing model (CAPM)

ในกรณีที่ไม่ทราบโครงสร้างเงินลงทุนที่ชัดเจน สามารถคำนวณอัตราคิดลดได้จากสูตรที่เรียกว่า CAPM ซึ่งมีสมการเป็นดังนี้

$$r_i = r_f + \beta_{im}(r_m - r_f)$$

โดย	r_i	หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (risk-adjusted rate of return)
	r_f	หมายถึง อัตราผลตอบแทนไร้ความเสี่ยง (risk-free rate of return)
	r_m	หมายถึง อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของตลาด (market rate of return)
	β_{im}	หมายถึง ความเสี่ยงของผลตอบแทนจากการลงทุนในหลักทรัพย์ หรือ โครงการ i เทียบกับผลตอบแทนเฉลี่ยของตลาด (r_m)

อัตราผลตอบแทนแบบไม่มีความเสี่ยง (r_f) หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่เกิดจากการลงทุนที่มีผลตอบแทนที่แน่นอนและมั่นคง เช่น ผลตอบแทนจากการฝากเงินในธนาคาร หรือจากการซื้อพันธบัตรรัฐบาล เป็นต้น อัตราผลตอบแทนประเภทนี้จึงมีอัตราที่ต่ำเนื่องจากไม่มีความเสี่ยงในการลงทุน ส่วนอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของตลาด (r_m) หมายถึง อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของโครงการ หรือ การลงทุนทั่วไป เช่น ผลตอบแทนเฉลี่ยของตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (Stock Exchange of Thailand) เป็นต้น โดย β_{im} เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนของการลงทุนในโครงการ หรือ หลักทรัพย์ i กับผลตอบแทนเฉลี่ยของโครงการทั้งหมด หรือ ของทั้งตลาด (r_m) ซึ่งหาก β_{im} มีค่าเป็น 1 ($\beta_{im} = 1$) แสดงว่า ความเสี่ยงจากการลงทุนในหลักทรัพย์ i มีค่าเท่ากับความเสี่ยงเฉลี่ยของโครงการ หรือของตลาด หรือ หาก β_{im} มีค่าเป็น 2 ($\beta_{im} = 2$) นั้นหมายความว่า ระดับความเสี่ยงจากการลงทุนในหลักทรัพย์ i มีค่าเป็น 2 เท่าของความเสี่ยงของตลาด หรือ หาก β_{im} มีค่าเป็น 0.5 ($\beta_{im} = 0.5$) นั้นหมายความว่า ระดับความเสี่ยงจากการลงทุนในหลักทรัพย์ i มีค่าเป็น 0.5 เท่าของความเสี่ยงของตลาด

จากสมการ CAPM เราสามารถคำนวณอัตราผลตอบแทนที่ต้องการที่ได้ปรับตามความเสี่ยงของการลงทุนได้ (Adjusted required rate of return) เช่น หากเราต้องการลงทุนในหุ้นของบริษัท A ซึ่งจากข้อมูลของราคาหุ้นของบริษัท A ในอดีตพบว่ามีค่าเบต้า (β_{Am}) เป็น 1.5 หากกำหนดให้ $r_f = 3\%$ และ $r_m = 15\%$ เราสามารถคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่ต้องการของการลงทุนในหุ้นของบริษัท A (r_A) ได้เป็น

$$r_A = r_f + \beta_{Am}(r_m - r_f)$$

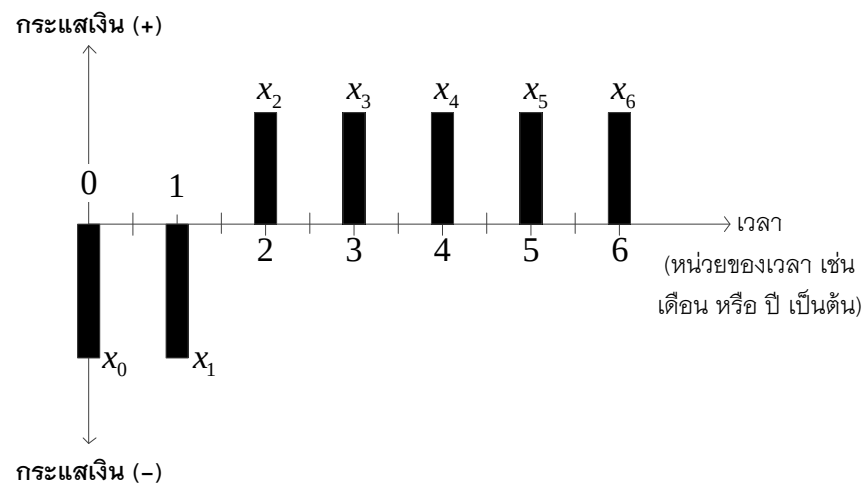
แทนค่า $r_f = 3\%$, $\beta_{Am} = 1.5$ และ $r_m = 15\%$ จะได้ r_A เป็น

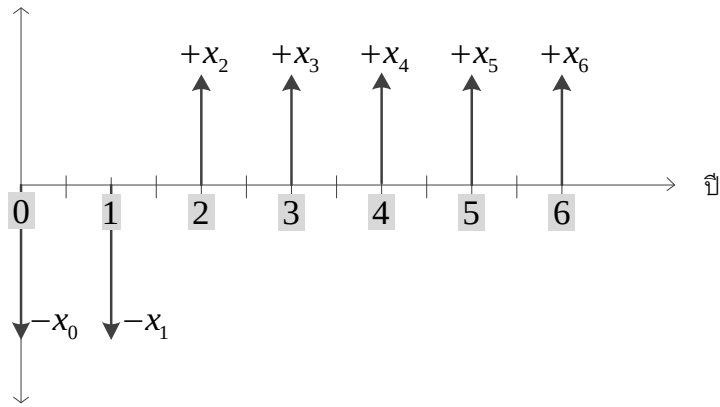
$$r_A = 3\% + 1.5 \times (15\% - 3\%) = 21\%$$

นั่นคือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการจากการลงทุนในหุ้นของบริษัท A ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 21%

2.2.1 กระแสเงินสด (Cash Flow)

กระแสเงินสด (Cash flow) สามารถแสดงโดยใช้แผนภาพ ซึ่งเรียกว่าแผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) โดยแกน x แทนเวลาที่กระแสเงินสดเกิดขึ้น และแกน y แทนค่าของกระแสเงินสด ดังแสดงในรูปที่ 2.2

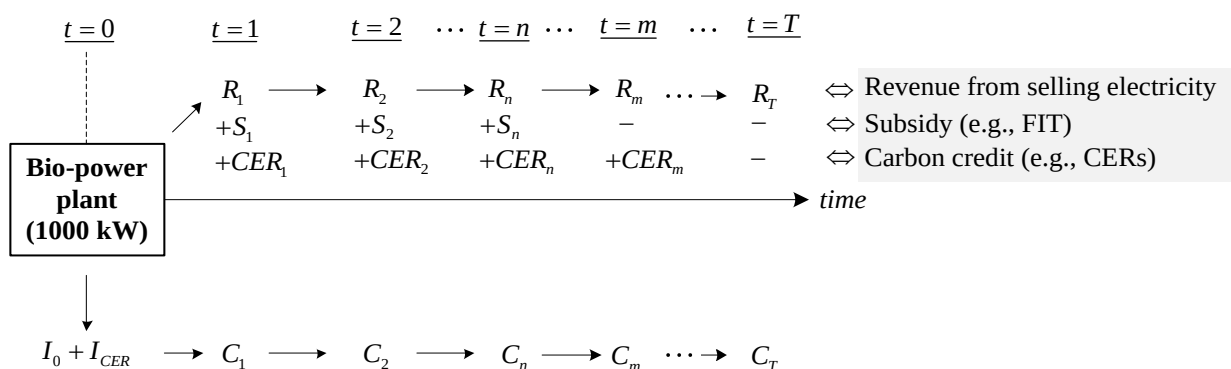


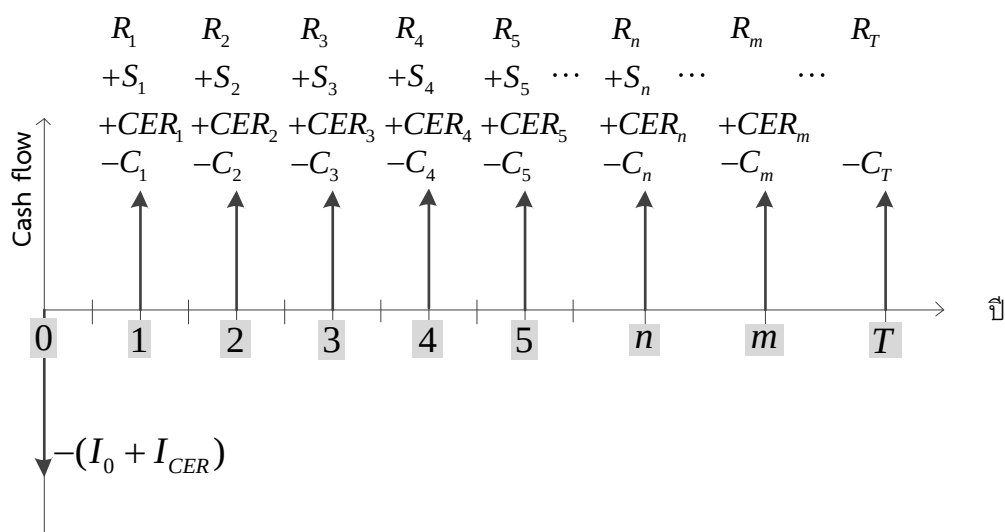


รูปที่ 2.2 แผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram)

ตัวอย่างการเขียนแผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) โดยใช้ “Standard model” สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 kWh แห่งหนึ่ง ซึ่งโครงการนี้สามารถขายคาร์บอนเครดิต (Carbon credit) ในตลาดคาร์บอน (Carbon market) โดยมีต้นทุนก่อสร้าง (I_0) และค่าใช้จ่ายในการจดทะเบียนโครงการ (I_{CER}) เป็นโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด หรือ Clean Development Mechanism (CDM) ในช่วงการดำเนินงาน โครงการนี้คาดว่าจะมีรายได้จาก 3 แหล่งด้วยกันคือ รายได้จากการขายไฟฟ้า รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต เป็นระยะเวลา m ปี และรายได้จากเงินสนับสนุนจากรัฐบาล (Subsidy) เป็นเวลา n ปี และมีค่าใช้จ่ายสำคัญคือ ต้นทุนการผลิต และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตลอดระยะเวลาโครงการ T ปี

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ เราสามารถเขียนแผนภาพกระแสเงินสดได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3





รูปที่ 2.3 แผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) ของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล

2.3 ทฤษฎี Real Options

ออปชั่น (Options) โดยทั่วไปหมายถึง สิทธิที่ไม่ผูกมัด (Right but not the obligation) ในการกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งในอนาคต โดยการใช้สิทธิขึ้นกับผลประโยชน์จากการใช้สิทธิเป็นตัวแปรสำคัญในการตัดสินใจว่าจะใช้สิทธิหรือไม่ โดยออปชั่นเป็น Financial options หรือออปชั่นทางการเงิน ที่มีตัวแปรฐาน (Underlying variables) เป็นเครื่องมือทางการเงิน (Financial instrument) ส่วน “Real options” หมายถึง ออปชั่นที่มีตัวแปรฐานไม่ใช่เครื่องมือทางการเงิน

ตัวอย่างของเรียลออปชั่นได้แก่ ออปชั่นในการเลื่อนหรือรอการลงทุนในโครงการฯหนึ่ง (Option to wait) ออปชั่นในการหยุดการดำเนินการชั่วคราว (Option to suspend) ออปชั่นในการยกเลิกโครงการ (Option to abandon) ออปชั่นในการขยายขนาดโครงการ (Option to expand the scale of operation) เป็นต้น

ที่มาของเรียลออปชั่นเกิดจากความสามารถในการเลือกที่จะตัดสินใจกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งของเจ้าของโครงการในอนาคต ซึ่งนั่นก็คือ ความยืดหยุ่นในการจัดการโครงการนั่นเอง (management flexibility) ซึ่งทฤษฎี เรียลออปชั่น ได้คำนึงถึงมูลค่าของออปชั่นหรือความยืดหยุ่นในการตัดสินใจที่ได้กล่าวมาในการประเมินโครงการ ซึ่งการประเมินโครงการด้วยวิธี “standard model” ไม่ได้คำนึงถึง จึงทำให้การประเมินโครงการโดยวิธีการแบบเดิมอาจได้ผลการประเมินโครงการที่ไม่ถูกต้อง (เนื่องจากไม่ได้นำมูลค่าของความยืดหยุ่นมารวมในการประเมินด้วย)

2.4 ทฤษฎี Risk Flexibility

ทฤษฎี Risk-Flexibility เป็นแนวคิดที่ใช้ความยืดหยุ่นเป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการความเสี่ยงในโครงการ โดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง ความไม่แน่นอนและความเสี่ยง และหาความยืดหยุ่นที่คุ้มค่าเหมาะสมในการจัดการความเสี่ยงของโครงการนั้นๆ

2.4.1 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ความไม่แน่นอน (Uncertainty) และความเสี่ยง (Risk) เป็นสิ่งที่ถูกพูดถึงบ่อยๆ ในปัจจุบัน และบ่อยครั้งที่ถูกใช้เสมือนว่าคำทั้งสองคำนี้มีความหมายที่เหมือนกัน สามารถใช้แทนกันได้ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ความไม่แน่นอน และ ความเสี่ยง มีความหมายที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ความไม่แน่นอน (Uncertainty) หมายถึง สิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำถูกต้องถึงผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ที่วันพรุ่งนี้ฝนจะตก หรือ เหตุการณ์ที่ตลาดหุ้นจะขึ้นหรือลงในวันทำการถัดไป เป็นต้น ความไม่แน่นอนสามารถจำแนกๆ ได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ด้วยกัน คือ (1) Aleatoric uncertainty และ (2) Epistemic uncertainty

- Aleatoric Uncertainty

ความไม่แน่นอนชนิดนี้เกิดจากธรรมชาติหรือลักษณะพฤติกรรมที่มีความแปรปรวนของค่าที่สนใจ ศึกษา ความไม่แน่นอนประเภทนี้ไม่สามารถทำการศึกษาเพื่อลดความไม่แน่นอนหรือหาค่าที่แท้จริงได้ อีกทั้งการเพิ่มปริมาณข้อมูลก็ไม่สามารถเพิ่มความแม่นยำในการทำนายหาค่าที่แท้จริง ตัวอย่างเช่น หากต้องการศึกษาหาค่ากำลังรับแรง ของคอนกรีตในโครงการแห่งหนึ่ง สามารถทำได้โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวนหนึ่ง สมมติว่าจำนวนตัวอย่างทั้งหมดคือ n จากนั้นจึงทำการทดสอบกำลังของแต่ละชิ้นตัวอย่าง เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉลี่ย (Average value) ซึ่งค่ากำลังรับแรงของแต่ละตัวอย่าง ก็มีความผันแปรที่ไม่เท่ากัน และโดยปกติตัวอย่างทั้งหมดที่เก็บมาก็มีการกระจายตัวของส่วนผสมที่ไม่ได้เหมือนกับส่วนที่ได้ทำการหล่อจริงในโครงการ ดังนั้นไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณตัวอย่างก็ไม่สามารถสรุปได้อย่างมั่นใจว่าค่ากำลังรับแรงที่แท้จริงของคอนกรีตที่หล่อจริงในโครงการมีค่าเป็นเท่าใด นั่นคือ ซึ่งหมายความว่า “Law of Large Numbers” ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความไม่แน่นอนที่เป็นแบบ “Aleatoric” ได้

- Epistemic Uncertainty

ความไม่แน่นอนประเภท epistemic เกิดจากการที่เราไม่รู้หรือไม่มีข้อมูลเพียงพอในการทำนายสิ่งที่เราสนใจ ความไม่แน่นอนประเภทนี้สามารถลดความแปรปรวนของสิ่งที่ต้องการทำนายด้วยการเพิ่มปริมาณของข้อมูลให้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่าความสูงเฉลี่ยของประชากรชาย อายุระหว่าง 15-25 ปี ในจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น ดังนั้นค่าของความไม่แน่นอนชนิดนี้สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อลดความแปรปรวนได้ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประชากร ซึ่งก็หมายความว่า “Law of Large Numbers” สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความไม่แน่นอนที่เป็นแบบ “Epistemic” ได้

2.4.2 ความเสี่ยงและโอกาส (Risk and opportunity)

ความเสี่ยงและโอกาส เปรียบเสมือนเหรียญสองด้าน ตัวอย่างเช่น ถ้าผลของการโยนเหรียญ 1 ครั้ง มีค่าที่เป็นไปได้ 2 ค่าคือ หัว หรือ ก้อย ซึ่งเหตุการณ์นี้เป็นเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากเราไม่ทราบได้อย่างแน่นอนว่าผลที่ได้จะเป็นหัวหรือก้อย สมมติว่าถ้าผลที่เกิดขึ้นเป็นหัว จะได้รับเงินตอบแทนจำนวน 1000 บาท (มูลค่าของโอกาส) แต่ถ้าผลการโยนได้ก้อยต้องจ่ายเงินเป็นจำนวน 1500 บาท (มูลค่าของความเสี่ยง)

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น ความเสี่ยง หมายถึง ผลกระทบที่เป็นลบต่อบุคคล หรือ องค์กร หนึ่งๆ ที่เกิดจากผลของความไม่แน่นอน (Outcome) โดยแต่ละคนหรือองค์กรก็แบกรับความเสี่ยงที่อาจแตกต่างกัน แม้ว่าผลของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจะเป็นชนิดเดียวกันและปริมาณที่เท่ากันก็ตาม ส่วนโอกาส (Opportunity) หมายถึง ผลกระทบที่เป็นบวกต่อบุคคล หรือ องค์กร หนึ่งๆ ที่เกิดจากผลของความไม่แน่นอน (Outcome) และเช่นเดียวกับความเสี่ยง แต่ละคนก็มีโอกาสที่อาจแตกต่างกัน แม้ว่าผลของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจะเป็นชนิดเดียวกันและปริมาณที่เท่ากันก็ตาม

โดยก่อนที่จะวิเคราะห์ความเสี่ยง เราจำเป็นต้องนิยามความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative definition of risk) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความเสี่ยง

Kaplan (1997) กล่าวว่า เมื่อเราตั้งคำถามว่า “อะไรคือความเสี่ยง” เราสามารถแยกคำถามนี้ออกเป็น 3 มิติคำถาม (Triplet questions) ที่เป็นส่วนประกอบของของคำถามหลักที่ว่า “อะไรคือความเสี่ยง”

มิติคำถามที่ 1: มีเหตุการณ์อะไรที่สามารถเกิดขึ้นได้ (What can happen?)

มิติคำถามที่ 2: มีโอกาสมากน้อยแค่ไหนที่เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ (How likely is that to happen?)

มิติคำถามที่ 3: ถ้าเหตุการณ์ตามที่คาดในข้อ 1 เกิดขึ้นจริง ผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์นี้คืออะไร (If it does happen, what are the consequences?)

สมมติ กำหนดให้คำตอบของมิติคำถามแรก คือ เหตุการณ์ สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งเขียนแทนด้วย ส่วนคำตอบของมิติคำถามที่ 2 คือ เหตุการณ์นี้มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นวัดได้เป็น และคำตอบของมิติคำถามที่ 3 คือ ผลกระทบหากเหตุการณ์ ถ้าเกิดขึ้นจริงประเมินได้เป็น แล้วนำคำตอบของทั้ง 3 มิติคำถามนี้มารวมกัน และเรียกว่าคำตอบนี้ว่าเป็น 3 มิติคำตอบของความเสี่ยงเชิงปริมาณ หรือ “Triplet answers” รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของทั้ง 3 มิติคำถาม (Triplet questions) และ 3 มิติคำตอบ (Triplet answers) เพื่อประกอบการอธิบายให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับนิยามของความเสี่ยงเชิงปริมาณ

Triplet questions	คำตอบ (Triplet answers)	สัญลักษณ์ที่ใช้ แทนคำตอบ
(1) จะมีเหตุการณ์ อะไรบ้างที่สามารถเกิดขึ้น ได้	ไฟไหม้/ระเบิด	S_i
(2) โอกาสที่เหตุการณ์จะ เกิดขึ้นจริง	0.01%	I_i
(3) ผลกระทบที่คาดว่าจะ ได้รับหากเหตุการณ์ เกิดขึ้นจริง	- มูลค่าความสูญเสีย 100,000 บาท - มีผู้บาดเจ็บ 2 คน - ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	X_i

รูปที่ 2.4 สามมิติคำถาม (Triplet questions) และ สามมิติคำตอบ (Triplet answers)

3 มิติคำถาม (Triplet questions)

คำถามที่ 1: มีเหตุการณ์อะไรบ้างที่สามารถเกิดขึ้นได้ (What can happen?)

คำถามที่ 2: มีความเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหนที่เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ (How likely is that to happen?)

คำถามที่ 3: ถ้าเหตุการณ์ตามที่คาดในข้อ 1 เกิดขึ้นจริง ผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์นี้คืออะไร (If it does happen, what are the consequences?)

3 มิติคำตอบ (Triplet answers to the triple questions)

คำตอบหนึ่งๆ ของทั้ง 3 คำถาม: $\langle s_i, I_i, x_i \rangle$

เซตของคำตอบหนึ่งๆ: $\{ \langle s_i, I_i, x_i \rangle \}$

เซตของคำตอบทั้งหมด: $R = \{ \langle s_i, I_i, x_i \rangle \}_c$

2.4.3 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ความเสี่ยง

เมื่อทราบนิยามของความเสี่ยงเชิงปริมาณแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การสร้างแบบจำลอง หรือ โมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative risk analysis) โดยทั่วไปเราสามารถเลือกประเภทของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีที่สุดในการนำเสนอสิ่งที่เราสนใจศึกษา ซึ่งชนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีด้วยกัน 2 ประเภทดังนี้

2.4.3.1 Deterministic Model

Deterministic Model เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทราบค่าตัวแปรตาม (Dependent variable) ได้อย่างแม่นยำถูกต้อง หากทราบค่าของตัวแปรต้น (Independent variable) แบบจำลองชนิดพบ

มากในวิชาแคลคูลัส ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามสามารถเขียนเป็นสมการได้หากทราบค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการยืดหดของวัสดุใด และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (รูปที่ 2.5) ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ตัวแปรได้ดังนี้

$$\delta_T = \alpha L (\Delta T)$$

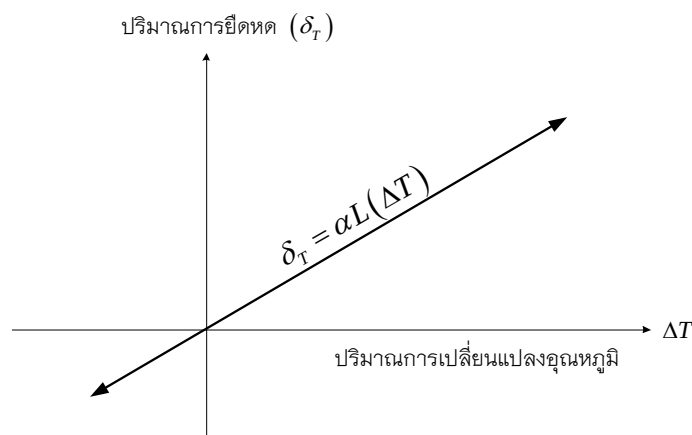
เมื่อ δ_T คือ ปริมาณการยืดหดของวัสดุที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ตัวแปรตาม)

α คือ สัมประสิทธิ์การยืดหดของวัสดุชนิดนั้นๆ (พารามิเตอร์)

L คือ ความยาวเดิมของวัสดุก่อนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (พารามิเตอร์)

ΔT คือ ปริมาณของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (ตัวแปรต้น)

ในแบบจำลองข้างต้น หากเราทราบปริมาณการเปลี่ยนของอุณหภูมิ เราสามารถคำนวณค่าของการยืดหรือหดได้อย่างแม่นยำจากสูตรที่ได้แสดงไว้ ซึ่งมีข้อแม้ว่า ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองของสมการข้างต้นถูกต้องน่าเชื่อถือ



รูปที่ 2.5 Deterministic model

2.4.3.2 Stochastic Model

หากตัวแปรต้น (Independent variable) มีความไม่แน่นอน หรือมีพฤติกรรมเชิงสถิติ เราเรียกตัวแปรประเภทนี้ว่า ตัวแปรสโตแคสติก (Stochastic variable)

กระบวนการสโตแคสติก (Stochastic process) หรือ กระบวนการเชิงสุ่ม ชนิดที่ดัชนีเวลา (n) เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete time) นั่นคือ $n \in N = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ หมายถึง เซตหรือลำดับของตัวแปรสุ่ม (Random

variables, rvs) $X_0, X_1, X_2, X_3, \dots$ ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย $\mathbf{X} = \{X_n : n \geq 0\}$ หรือ $\mathbf{X} = \{X_n\}$ โดยค่าของ X_n หมายถึง สถานะ (state) ของกระบวนการเชิงสุ่ม ณ เวลา n และค่าสถานะเริ่มต้นของกระบวนการเชิงสุ่มนี้แทนด้วย X_0 หากตัวแปรสุ่มมีค่าที่เป็นไปได้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete value) เช่น มีค่าเป็นจำนวนเต็ม $\mathbf{Z} = \{\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots\}$ เราเรียกกระบวนการเชิงสุ่มนี้ว่าเป็นกระบวนการเชิงสุ่มประเภทที่ทั้งดัชนีเวลาและค่าของตัวแปรสุ่มเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete time, discrete value stochastic process) ในทางกลับกัน หากตัวแปรสุ่มมีค่าที่เป็นไปได้เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous value) เช่น X_n มีค่าเป็นจำนวนจริงในช่วงระหว่าง 0 ถึง 10 ($X_n \in [0, 10]$) เราเรียกกระบวนการเชิงสุ่มนี้ว่าเป็นกระบวนการเชิงสุ่มประเภทที่มีดัชนีเวลาแบบไม่ต่อเนื่องแต่มีค่าของตัวแปรสุ่มเป็นแบบต่อเนื่อง (Discrete time, continuous value stochastic process) เราสามารถใช้สัญลักษณ์ i และ j หรือสัญลักษณ์อื่นๆ แทนสถานะ (state) ของกระบวนการเชิงสุ่ม และเรียกเซตที่แสดงค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวแปรสุ่ม X_n ว่าเป็น “State space” ซึ่งเขียนแทนด้วย S ซึ่งสามารถเขียนในเทอมของค่าใน Euclidean space ที่มี d มิติ ได้เป็น $S \in \mathbf{R}^d, d \geq 1$

กระบวนการสโตแคสติก (Stochastic process) ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองเหตุการณ์ใดๆ ที่ผลลัพธ์ของเหตุการณ์มีความไม่แน่นอน และรูปแบบหรือค่าของความไม่แน่นอนมีวิวัฒนาการตามเวลา ยกตัวอย่างเช่น สมมติให้ X_n เป็นราคาหุ้น ณ วันที่ n นับจากวันนี้ ของบริษัทแห่งหนึ่งในตลาดหลักทรัพย์ หรือ X_n อาจหมายถึง จำนวนประชากรของประเทศไทย n ปีหลังจากนี้ หรือ อาจใช้แทนจำนวนเงินคงเหลือของบริษัทประกันแห่งหนึ่งหลังจากจ่ายเงินชดเชยให้กับลูกค้าประกันคนที่ n เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว n ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป็นเวลาเสมอไป สามารถเป็นค่าอื่นได้ ตัวอย่างเช่น X_n อาจใช้แสดงถึงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำหลังจากมีฝนตกจำนวน n ครั้งในปีใดๆ หรือ อาจใช้ X_n แสดงถึงเวลาที่ลูกค้าคนที่ n ต้องรอก่อนที่จะได้รับการบริการจากเจ้าหน้าที่ของธนาคารแห่งหนึ่ง

ปัญหาและอุปสรรคสำคัญของการจำลอง (Model) เหตุการณ์ที่เราสนใจ ด้วยกระบวนการสโตแคสติกโดยมากอยู่ที่ความสมมูลระหว่างการเลือกแบบจำลองที่สามารถครอบคลุมปัจจัยสำคัญของเหตุการณ์จริงที่ซับซ้อนได้ทั้งหมด และการออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองที่ถูกต้องและง่ายพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่สนใจจากตัวอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เราอาจต้องการทราบความน่าจะเป็นที่ราคาหุ้นที่เราซื้อจะมีมูลค่ามากกว่า 50 บาทต่อหุ้น ณ เวลา 30 วัน ($P(X_{30} > 50)$) หลังจากที่เรารู้ในปัจจุบัน ณ ราคา 35 บาทต่อหุ้น ($X_0 = 35$) หรือ ความน่าจะเป็นที่บริษัทประกันจะล้มละลายกรณีที่ไม่มีการจ่ายเงินชดเชยให้กับลูกค้าที่ได้ทำประกันไว้ ($P\{X_n < 0, n > 0\}$) หรือ คำนวณเวลาเฉลี่ยที่ลูกค้าที่มารับบริการในธนาคารแห่งหนึ่งต้องรอ

ก่อนที่จะได้รับการบริการ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก
$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n$$

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น จะขอใช้ตัวอย่างของการโยนเหรียญประกอบการอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีที่สำคัญที่เกี่ยวกับกระบวนการสโตแคสติก สมมติให้ X_n คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการโยนเหรียญครั้งที่ n และเหรียญที่ทำการทดลองนี้ให้ผลลัพธ์ที่ยุติธรรม ซึ่งหมายถึงโอกาสที่จะออกหัว (H) หรือก้อย (T) ของการโยนเหรียญครั้งหนึ่งๆ นั้น มีค่าเท่ากัน นั่นก็คือ $P[X_n = H] = 0.5$ และ $P[X_n = T] = 0.5$ ในการโยนเหรียญแต่ละครั้ง หากค่าความน่าจะเป็นที่จะออกหัวหรือก้อยมีค่าเหมือนเดิม ไม่ได้ขึ้นกับผลของการโยนเหรียญในครั้งที่แล้ว เราเรียกเหตุการณ์ที่มีลักษณะเช่นนี้ว่าเป็นเหตุการณ์ที่เป็นอิสระกัน (Independence) และหากรูปแบบการกระจายตัวของความน่าจะเป็น (Probability distribution) ยังเหมือนกันอีก เราเรียกกระบวนการสโตแคสติกแบบนี้ว่าเป็น *independent and identical distribution* เขียนย่อเป็น *iid* ซึ่งในกรณีของตัวอย่างการโยนเหรียญนี้จะมีการกระจายตัวของความน่าจะเป็นแบบที่เรียกว่า Bernoulli

ในบางกรณี เราสมมติว่าเหตุการณ์เป็นแบบ iid เพื่อให้ง่ายสำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยกระบวนการสโตแคสติก ซึ่งสมมติฐานเช่นนี้อาจไม่ถูกต้องกับความเป็นจริงเสมอไป เพราะในบางครั้ง ตัวแปรสุ่มในกระบวนการเชิงสุ่มอาจมีความสัมพันธ์กัน (Correlations) ซึ่งมีผลต่อรูปแบบการกระจายตัวของความน่าจะเป็นที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างในกรณีของลูกค้าธนาคารที่ต้องรอก่อนรับบริการ จากการสังเกตหากพบว่า X_n มีค่าสูงมาก และหากการรับบริการเป็นแบบมาก่อนรับบริการก่อน (First-in-first-out) เราสามารถคาดเดาได้ว่า X_{n+1} ก็ควรจะมีความสูงเช่นกัน นั่นคือ X_n และ X_{n+1} มีความสัมพันธ์เชิงบวก (Positive correlation) ในหัวข้อถัดไปจะอธิบายถึงรายละเอียดของวิธีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มในกระบวนการสโตแคสติก ที่เรียกว่า มาร์คอฟเชน (Markov chain) ซึ่งเป็นกระบวนการสโตแคสติกชนิดหนึ่ง

2.4.3.3 มาร์คอฟเชน (Markov Chain)

สมมติกำหนดให้ state space คือ $S = Z = \{\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots\}$ หรือซับเซตของจำนวนเต็ม เช่น $S = N = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ หรือ $S = \{0, 1, 2, 3, \dots, a\}$ หรือ $S = \{-b, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots, a\}$ สำหรับ $a, b > 0$ ซึ่ง 2 กรณีหลังเป็นเซตจำกัด (Finite set)

นิยาม มาร์คอฟเชน (Markov chain) คือ กระบวนการสโตแคสติก $\{X_n\}$ ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามสมการนี้ ($n \geq 0$ และ $i, j \in S$ โดยสถานะเริ่มต้นมีค่าเป็น i_0)

$$P(X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = j | X_n = i) = P_{ij} \quad (1)$$

โดย P_{ij} หมายถึง ความน่าจะเป็นที่เซนเมื่อไรก็ตามหากอยู่ในสถานะ i จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ j ซึ่งเรียกว่าเป็นค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแบบ 1 ขั้น (One-step transition probability) ส่วนเมตริก $P = (P_{ij}), i, j \in S$ ถูกเรียกว่าเป็น One-step transition matrix โดยหากเชน (Chain) ต้องออกจาก

สถานะ i เซนนี้ต้องเปลี่ยนไปสถานะอื่นที่เป็นไปได้ เช่น $j \in S$ ดังนั้นผลรวมของความน่าจะเป็นตามแนวนอน (row) ใดๆ ของ transition matrix ต้องมีค่าเป็น 1 ตามกฎของความน่าจะเป็น นั่นก็คือ

$$\sum_{j \in S} P_{ij} = 1$$

ตัวอย่างของ transition matrix ดังแสดงด้านล่างนี้

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & \cdots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ P_{i0} & P_{i1} & P_{i2} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \end{pmatrix}$$

จาก transition matrix $\mathbf{P}$ ข้างบนนี้ ความน่าจะเป็นของเซนเมื่ออยู่ในสถานะ 0 แล้วจะยังคงอยู่ในสถานะเดิมในหนึ่งช่วงเวลาถัดไป (one time step) มีค่าเป็น P_{00} หรือ ความน่าจะเป็นของเซนเมื่ออยู่ในสถานะ 0 แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นสถานะ 2 มีค่าเป็น P_{02}

เนื่องจากเราสมมติว่า transition probability ไม่ขึ้นกับเวลา n ดังนั้นหากเรา กำหนดให้ $n=0$ จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$P_{ij} = P(X_1 = j | X_0 = i)$$

จากคุณสมบัติของมาร์คอฟ (Markov property) ใน (1) สามารถอธิบายเป็นคำพูดได้เป็น “อนาคตขึ้นอยู่กับผลที่เกิดขึ้นปัจจุบันเท่านั้นและเป็นอิสระจากเหตุการณ์ในอดีต” หากกำหนดให้ n เป็นเวลา ณ ปัจจุบัน ลำดับของเหตุการณ์ในอนาคตถัดจากเวลา n คือ $\{X_{n+1}, X_{n+2}, \dots\}$ เหตุการณ์ปัจจุบันคือ $\{X_n\}$ และเหตุการณ์ในอดีตคือ $\{X_0, X_1, \dots, X_{n-1}\}$ และถ้าหากทราบว่า ณ ปัจจุบัน $X_n = i$ วิวัฒนาการของตัวแปรสุ่มของกระบวนการเชิงสุ่มในอนาคตจะขึ้นอยู่กับค่า i เท่านั้น ไม่ได้ขึ้นกับค่าในอดีตของ $X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_0$

2.5 ความยืดหยุ่น (Flexibility)

การประหยัดเนื่องจากขนาด หรือ Economies of scale ถือเป็นแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญในการตัดสินใจเลือกขนาดของโครงการซึ่งมีผลสำคัญต่อการประหยัดของต้นทุนการผลิต โดยการสร้างโรงงานที่มีขนาดใหญ่แทนขนาดเล็กหลายๆ แห่ง เจ้าของโครงการสามารถลดต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อหน่วยได้ ซึ่งจะส่งผลต่อกำไรที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งนั่นก็หมายความว่าโครงการขนาดใหญ่มีความได้เปรียบในเรื่องต้นทุนกว่าโรงงานขนาดเล็ก ดังนั้นเจ้าของโครงการควรเลือกลงทุนในโครงการที่มีอัตราค่ากำลังการผลิตสูงสุดตามความต้องการตลาด

แต่ในความเป็นจริงแล้ว อัตราการเติบโตของการผลิตผลในอนาคตเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอนและยากลำบากในการพยากรณ์ ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้การคาดการณ์ความต้องการผลิตผลในอนาคตส่วนใหญ่เกิดจากปัจจัยภายนอกที่ยากลำบากในการจัดการ เช่น ปัจจัยทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

2.5.1 ชนิดของความยืดหยุ่น (Type of flexibility)

เมื่อทราบนิยามหรือความหมายของความยืดหยุ่นแล้ว เราสามารถจำแนกชนิดของความยืดหยุ่นได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

1. ความยืดหยุ่นทางด้านระบบ (System flexibility)
2. ความยืดหยุ่นทางการจัดการ (Managerial flexibility)
3. ความยืดหยุ่นทางด้านสัญญา (Contractual or exogenous flexibility)

ความยืดหยุ่นทางด้านระบบ หรือ System flexibility หมายถึง ความยืดหยุ่นที่เกิดจากตัวระบบของโครงการในการปรับตัวเพื่อให้เหมาะสมกับการดำเนินงานในสภาวะปัจจุบันหรืออนาคต เช่น ความยืดหยุ่นในการขยายขนาดของโครงการ (Flexibility to expand the scale of operation) ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงในการผลิต (Flexibility to switch input material) เป็นต้น

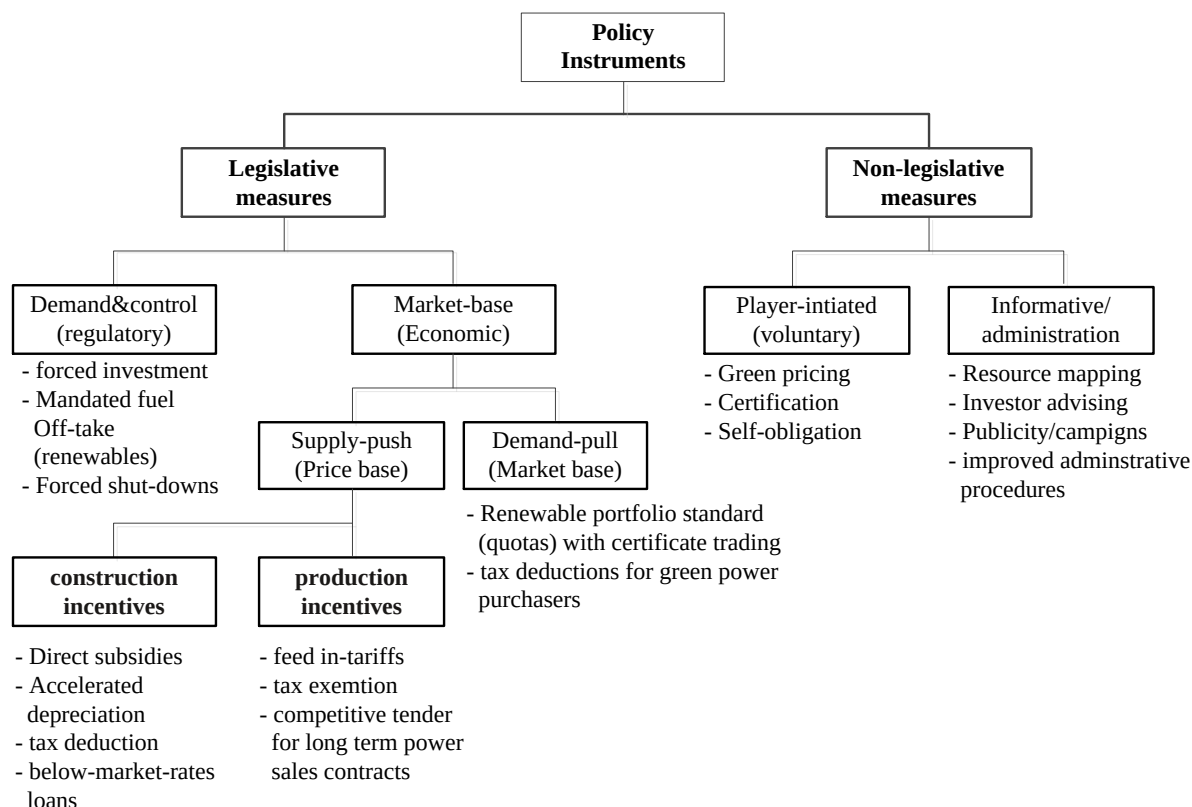
ความยืดหยุ่นทางการจัดการ หรือ Managerial flexibility หมายถึง ความยืดหยุ่นในการตัดสินใจเพื่อการจัดการโครงการของเจ้าของโครงการ เพื่อลดความเสี่ยงในกรณีที่สภาพตลาดไม่เอื้ออำนวยต่อการดำเนินงาน หรือ เพื่อเพิ่มโอกาสในการดำเนินงานในกรณีที่สภาพตลาดดีกว่าที่คาดการณ์ไว้ ตัวอย่างของความยืดหยุ่นทางการจัดการได้แก่ ความยืดหยุ่นในการรอข้อมูลเพิ่มเติมก่อนการตัดสินใจการลงทุนก่อสร้างโครงการ (Flexibility to wait) ความยืดหยุ่นในการยกเลิกโครงการในกรณีที่ผลการดำเนินงานที่ขาดทุนและไม่มีแนวโน้มที่จะสามารถทำให้โครงการมีผลกำไรได้ (Flexibility to abandon)

ส่วนความยืดหยุ่นทางด้านสัญญา หรือ Contractual flexibility หมายถึง ความยืดหยุ่นที่ไม่เกี่ยวกับตัวโครงสร้างหรือระบบของโครงการ และไม่เกี่ยวกับความสามารถในการตัดสินใจของเจ้าของโครงการในการบริหารจัดการโครงการ แต่เป็นความยืดหยุ่นที่เกิดจากสัญญาเพื่อการจัดการความเสี่ยงในกรณีที่เจ้าของโครงการไม่สามารถจัดการเองได้ เช่น ความเสี่ยงในกรณีที่ราคาตลาดของ CERs ต่ำมากๆ ซึ่งมีผลทำให้โครงการไม่คุ้มทุน เป็นต้น

2.6 การสนับสนุนทางการเงินของภาครัฐในโครงการ CDM ที่เกี่ยวกับพลังงานทดแทน

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้ให้ความสำคัญถึงกระบวนการที่จะสามารถกระตุ้นการใช้พลังงานทดแทนให้เพิ่มขึ้น เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม พลังงานชีวมวลถือเป็นแหล่งพลังงานสำคัญ โดยมี

ศักยภาพของพลังงานเป็นอันดับที่สี่ของโลกรองจากถ่านหิน ปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ (Reddy, 1994) ปัจจุบันหน่วยงานของภาครัฐและองค์กรเอกชนที่เกี่ยวข้องได้พยายามหารูปแบบนโยบายเพื่อสนับสนุนโครงการพลังงานทดแทน อย่างไรก็ตามการสนับสนุนแต่ละรูปแบบมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับแต่ละสถานที่และวัตถุประสงค์ในการสนับสนุน ซึ่งบางนโยบายก็ประสบความสำเร็จอย่างสูง แต่บางนโยบายก็ล้มเหลว (Enzensberger, 2002) โดยนโยบายหลักๆ ที่ได้ทำการศึกษาและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศทั่วโลก (IEA, 1998; Cervený and Resch, 1998; Moore and Ihle, 1999) สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบของนโยบายในการกระตุ้นการลงทุนในโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน (Enzensberger, 2002)

จากแผนภาพที่ 2.5 รูปแบบของนโยบายเพื่อกระตุ้นการลงทุนในโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสามารถจำแนกได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) นโยบายที่ดำเนินการโดยหน่วยงานของรัฐซึ่งใช้กฎหมายเป็นเครื่องมือในการดำเนินการ (Legislative measures) และ (2) นโยบายที่ดำเนินการโดยองค์กรอื่นๆ ที่มีใช้รัฐ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความสมัครใจของผู้เจ้าของโครงการในการเข้าร่วมนโยบาย (Non-legislative or volunteer measures)

ในการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นนโยบายที่ดำเนินการโดยหน่วยงานภาครัฐ เนื่องจากสามารถส่งผลต่อการกระตุ้นการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศโดยรวม ซึ่งนโยบายที่ดำเนินการโดยหน่วยงานภาครัฐยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ (1) การดำเนินการตามหลักการของกฎข้อบังคับ และ (2) การดำเนินการโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจากการศึกษาของ Enzensberger (2002) พบว่าการใช้การออกข้อบังคับเพื่อกระตุ้นการลงทุนพัฒนาพลังงานทดแทนเหมาะสำหรับการกระตุ้นการลงทุนในช่วงระยะเวลาสั้น แต่หากรัฐบาลต้องการสนับสนุนส่งเสริมการลงทุนพัฒนาพลังงานทดแทนในระยะยาว การใช้นโยบายตามหลักเศรษฐศาสตร์จะมีประสิทธิภาพที่มากกว่าการใช้การออกข้อบังคับ

สำหรับนโยบายกระตุ้นการพัฒนาพลังงานทดแทนโดยใช้หลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์มี 2 รูปแบบด้วยกันคือ แบบที่เรียกว่า “Supply-push” และ แบบที่เรียกว่า “Demand-pull” โดยทั้งสองรูปแบบมีกลไกการทำงานที่แตกต่างกัน สำหรับรูปแบบ Supply-push เป็นการสนับสนุนโดยเน้นที่การเพิ่มราคาไฟฟ้าที่รับซื้อหรือลดต้นทุนการผลิต ส่วนรูปแบบของ Demand-pull เป็นการกระตุ้นโดยกำหนดจำนวนปริมาณที่สนับสนุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอย่างชัดเจน นอกจากนี้ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งก็คือ Supply-push รัฐบาลไม่สามารถทำนายได้ถึงปริมาณโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนว่าจะเพิ่มขึ้นมากน้อยแค่ไหน และต้องใช้งบประมาณเท่าไรในการสนับสนุน แต่หากใช้รูปแบบ Demand-pull รัฐบาลจะทราบปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นรวมถึงปริมาณงบประมาณที่คาดว่าจะใช้อย่างชัดเจน (Loiter and Norberg-Bohm, 1999)

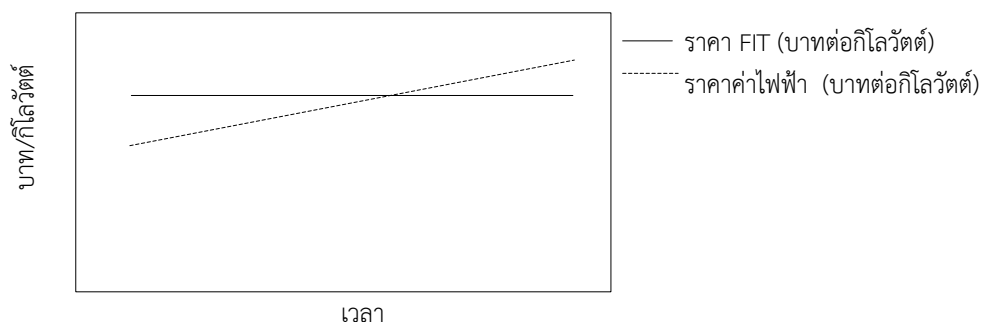
ที่ผ่านมาพบว่ารูปแบบการสนับสนุนที่เป็น Supply-push จัดเป็นนโยบายที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ โดยเฉพาะรูปแบบ Feed-in tariff (FIT) ซึ่งประเทศไทยเองก็ได้ใช้นโยบายดังกล่าวในการกระตุ้นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

2.6.1 นโยบาย Feed-in tariff (FIT)

Feed-in tariff (FIT) เป็นนโยบายสนับสนุนโครงการโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน มีลักษณะอยู่ในรูปของสัญญา โดยจะจ่ายเป็นมูลค่าของเงินต่อกิโลวัตต์ของปริมาณที่ผลิตได้ ซึ่งมีระยะเวลาของการรับเงินสนับสนุนตามกำหนดในสัญญา โดยส่วนใหญ่มีระยะเวลาประมาณ 15-20 ปี (ในประเทศไทยกำหนดระยะเวลาแค่ 7 ปี) ส่วนปริมาณที่จ่ายเงินสนับสนุนจะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งพลังงานทดแทน สถานที่ตั้ง ขนาดของโครงการ เป็นต้น การจ่ายเงินของนโยบาย Feed-in tariff (FIT) มีกระบวนการคิดมูลค่าของปริมาณเงินสนับสนุนด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เป็นการประมาณต้นทุนบวกผลตอบแทนที่ต้องการของโครงการพลังงานทดแทน ส่วนแบบที่ 2 เป็นการประมาณมูลค่าที่สังคมเต็มใจที่จะจ่ายในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น คุณภาพอากาศ คุณภาพน้ำ เป็นต้น

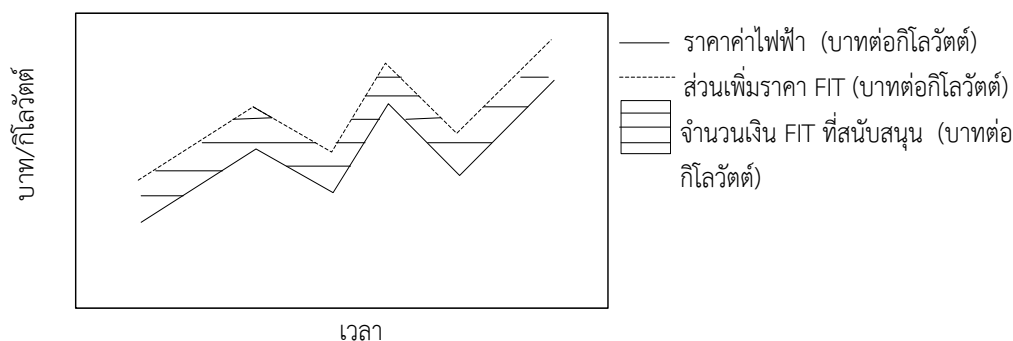
2.6.2 กลไกการจ่ายเงินสนับสนุน Feed-in tariff (FIT)

ในการจ่ายเงินสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) มีกลไกหลักๆ ด้วยกัน 3 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบแรก คือ การจ่ายสนับสนุนแบบคงที่ การสนับสนุนในรูปแบบนี้จะสนับสนุนเงินในอัตราคงที่ไม่แปรผันตามราคาค่าไฟฟ้าของตลาด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 วิธีการนี้มีข้อดีคือ นักลงทุนสามารถคำนวณปริมาณเงินสนับสนุนได้อย่างแน่นอน ประเมินความคุ้มค่าการลงทุนได้ง่าย



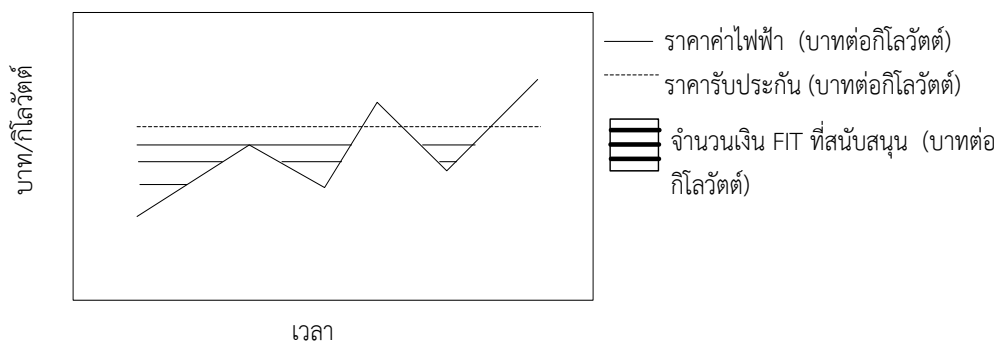
รูปที่ 2.7 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินแบบคงที่ (de Jager and Rathmann, 2008)

รูปแบบที่สอง คือ การจ่ายเงินแบบบวกส่วนเพิ่มจากราคาตลาด วิธีการนี้จะกำหนดส่วนเพิ่มจากราคาค่าไฟฟ้าของตลาดทำให้โครงการได้รับเงินสนับสนุนในปริมาณที่แน่นอนไม่ว่าราคาค่าไฟฟ้าจะขึ้นหรือลง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 วิธีการนี้นักลงทุนจะสนใจมากกว่าวิธีการแรกเพราะสามารถขายไฟฟ้าได้ในราคาที่สูงกว่าตลาดอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตามข้อเสียที่ชัดเจนของวิธีนี้ก็คือ รัฐบาลต้องจ่ายเงินให้โครงการตลอดระยะเวลาที่ระบุไว้ในสัญญา ไม่ว่าราคาค่าไฟฟ้าจะสูงหรือต่ำ ซึ่งในความเป็นจริงหากราคาค่าไฟฟ้าในตลาดสูง โครงการก็มีกำไรสูงตามไปด้วยอยู่แล้ว รัฐบาลจึงไม่จำเป็นต้องให้เงินสนับสนุนในช่วงเวลาดังกล่าว อีกประการหนึ่งหากราคาค่าไฟฟ้าต่ำลงมากๆ ปริมาณเงินสนับสนุนที่รัฐบาลให้อาจไม่เพียงพอสำหรับการดำเนินงานของโครงการพลังงานทดแทน



รูปที่ 2.8 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินแบบบวกส่วนเพิ่มจากราคาตลาด (Mendonca, 2007; Klein et al, 2008)

รูปแบบของ FIT แบบที่ 3 ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสนับสนุนเงินช่วยเหลือเฉพาะช่วงที่เหมาะสม โดยกำหนดเกณฑ์ราคาต่ำสุดเพื่อประกันราคาไฟฟ้า หากราคาไฟฟ้าในตลาดต่ำ รัฐบาลจะสนับสนุนราคาไฟฟ้าให้เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือที่ได้ประกันไว้ แต่หากราคาไฟฟ้าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด รัฐบาลก็จะยกเลิกการจ่ายเงินสนับสนุน โดยกลไกการให้เงินสนับสนุนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ก็คือ การใช้เงินสนับสนุนของรัฐบาลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.9 การสนับสนุน Feed-in tariff (FIT) โดยจ่ายเงินสนับสนุนเมื่อราคาไฟฟ้าต่ำกว่าราคาตลาด (Klein et al, 2008)

ในประเทศจีน ได้มีการศึกษารูปแบบของการสนับสนุนที่เหมาะสมของโครงการพลังงานทดแทนชีวมวล เช่น Shen et al. (2010) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของพลังงานทดแทนของชีวมวลในประเทศจีน และนโยบายการสนับสนุนโครงการพลังงานทดแทนชีวมวลของรัฐบาลเพื่อส่งเสริมการลงทุน โดยงานวิจัยที่กล่าวมาให้ความเห็นว่า Feed-in tariffs มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในประเทศจีน แต่ลำพังของ Feed-in tariffs เอง อาจไม่สามารถผลักดันนโยบายพลังงานทดแทนชีวมวลของประเทศให้บรรลุเป้าหมายได้ จำเป็นต้องมีนโยบาย

สนับสนุนด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ด้านเงินทุน (Capital subsidies) ด้านเงินสนับสนุนการวิจัย (R&D funding) และผลประโยชน์ทางภาษีและราคาขาย (Tax incentives and pricing) เป็นต้น

2.7 แบบจำลองราคาชีวมวล

เนื่องจากโครงการวิจัยนี้จะใช้โรงงานไฟฟ้าชีวมวลเป็นกรณีศึกษา จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงการจำลองทางคณิตศาสตร์ของราคาชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) เป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ส่งผลให้ราคามีความผันผวนไปตามปริมาณและความต้องการของตลาด ปริมาณของชีวมวลยังขึ้นกับตัวแปรหลายอย่างด้วยกัน เช่น สภาพอากาศ ฤดูกาล เป็นต้น ดังนั้นการที่จะพยากรณ์ที่แม่นยำของราคาชีวมวลในอนาคตจึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ในการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล ราคาชีวมวลถือเป็นตัวแปรสำคัญ ในการที่จะได้ค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ถูกต้อง การพยากรณ์ราคาชีวมวลก็ควรที่จะถูกต้องแม่นยำด้วย โดยหากสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำก็จะช่วยลดความเสี่ยงของโครงการได้ในระดับหนึ่ง ตัวอย่างของการศึกษาในอดีตเกี่ยวกับการออกแบบจำลองราคาของชีวมวลเพื่อคำนวณความคุ้มค่าในการเลือกประเภทของชีวมวลในการเพาะปลูก เช่น Clancy et al. (2012) และ Havlickova, Weger and Knappek (2011) เป็นต้น

โดยในการศึกษาของ Clancy et al. (2012) ได้ใช้ Stochastic model เพื่ออธิบายถึงการผันแปรของต้นทุนและราคาขาย เช่น ต้นทุนวัตถุดิบได้ใช้ สมการ Stochastic เป็นดังนี้

$$M_t = \alpha + \delta t + \varepsilon_t$$

โดย M_t คือ ราคาวัตถุดิบ ณ เวลา t

α คือ ราคาวัตถุดิบ ณ เวลาเริ่มต้น

δ คือ แนวโน้มของราคาวัตถุดิบ (Trend)

ε_t คือ ค่าความผันแปรหรือไม่แน่นอนของราคาวัตถุดิบ ณ เวลา t ซึ่งมีพฤติกรรมเป็นแบบ

Normal distribution หรือ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$

ส่วน Havlickova, Weger and Knappek (2011) ได้ใช้โมเดลทางเศรษฐศาสตร์ (Economic model) ในการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบชีวมวลในอนาคตจากพืชผลทางการเกษตรในประเทศสาธารณรัฐเช็ก โดยโมเดลทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เป็นแบบ Minimum price methodology ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic theory) และการทำแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized simulation)

2.8 Monte Carlo Simulation

วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo method) เป็นวิธีทางสถิติเพื่อใช้สำหรับลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่าตัวแปรที่มีผลลัพธ์ไม่แน่นอน เช่น ผลกำไรในอนาคตจากลงทุนในโครงการใดๆ เป็นต้น โดยทำการคำนวณซ้ำหลายๆ ครั้ง จากการสุ่มตัวอย่าง (Random sampling) จากข้อมูลในอดีตหรือปัจจุบันที่มีอยู่ ซึ่งอาจประมาณให้อยู่ในรูปของการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution) ที่เป็นตัวแทนของข้อมูล

แบบจำลองมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) เป็นวิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โล วิธีการนี้ได้รับความนิยมที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์โครงการด้วยวิธีการมอนติคาร์โล เป็นดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 สร้างแบบการวิเคราะห์มาตรฐาน (Standard valuation model)

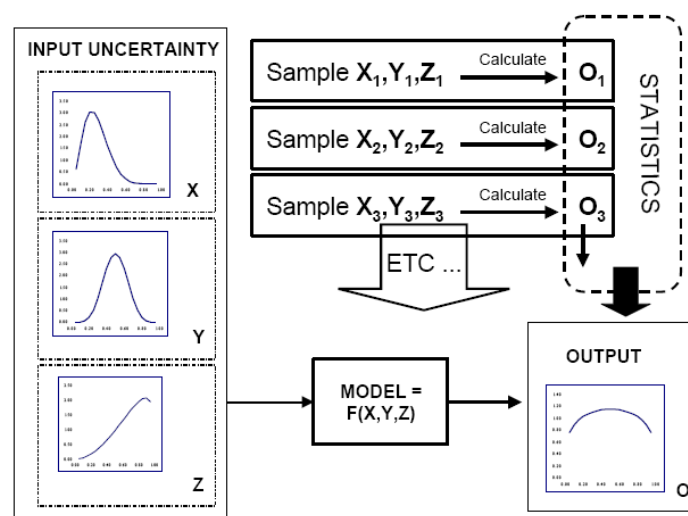
ขั้นที่ 2 เลือกรูปแบบของการกระจายตัวของตัวแปรต้นที่มีความไม่แน่นอน (Distribution shape of input uncertainty)

ขั้นที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (ถ้ามี) (Dependence between input uncertainty)

ขั้นที่ 4 วิเคราะห์โดยการสั่งคอมพิวเตอร์ให้คำนวณผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละครั้งของการสุ่ม จนครบจำนวนครั้งการสุ่มที่ต้องการ

ขั้นที่ 5 นำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้ในรูปของกราฟการกระจายตัวของผลลัพธ์ที่ได้ (กราฟความน่าจะเป็นของผลลัพธ์)

ตัวอย่างของขั้นตอนที่กล่าวมา สามารถเขียนแผนภาพได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์โครงการโดยใช้วิธี Monte Carlo simulation

จากรูปที่ 2.10 เริ่มการวิเคราะห์โครงการโดยใช้วิธี Monte Carlo simulation โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (Inputs) และตัวแปรตาม (Output) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ หรือ เป็นฟังก์ชันใดๆ ได้คือ $O = F(X, Y, Z)$ เมื่อ O คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ และ X, Y, Z คือ ตัวแปรต้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งตัวแปรต้นดังกล่าวมีค่าทางสถิติที่แตกต่างกันออกไป เช่น ตัวแปร Y อาจมีการกระจายตัวของค่าที่เป็นไปได้คล้ายกับกราฟการกระจายตัวแบบปกติหรือแบบเกาส์เซียน (Normal or Gaussian distribution)

เมื่อทราบรูปแบบการกระจายตัวของค่าตัวแปรต้นที่ไม่แน่นอน (Uncertain inputs) และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรต้น (Input variables) และตัวแปรตาม (Output variables) แล้ว เราสามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์ของตัวแปรต้นที่เป็นไปได้ และผลลัพธ์ (ตัวแปรตาม) ซึ่งในปัจจุบันก็มีโปรแกรมให้เลือก เช่น @Risk® หรือ Crystal Ball® หรือ MATLAB เป็นต้น โดยในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูงและมีความยืดหยุ่นในการสร้างแบบจำลองหรือการเขียนโปรแกรมตามความต้องการของผู้วิเคราะห์

หลังจากสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยการเขียนโปรแกรมแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำการสุ่มและบันทึกผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง และทำการวิเคราะห์ซ้ำ (สุ่มตัวแปรต้นและบันทึกผลลัพธ์อีก) จนกระทั่งครบจำนวนครั้งที่กำหนด (N) เช่น $N = 10,000$ ครั้ง เป็นต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการสุ่มทั้งหมด จะได้เป็น $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_{N-1}, O_N\}$ ดังแสดงในรูปข้างต้น จากนั้นนำผลลัพธ์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มาหาค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น พร้อมทั้งสามารถแสดงผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดในรูปของ Histogram หรือ Probability distribution

3.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัยเริ่มจากแนวคิดของการประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ใช้หลักการของมูลค่าเงินตามเวลา ซึ่งในการวิจัยนี้เรียกวิธีการดังกล่าวว่าเป็นการประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional project economic analysis) จากนั้นจะนำทฤษฎีเรียวลออปชั่นที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาในการประเมินโครงการที่มีความไม่แน่นอนของปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญต่อมูลค่าของการในอนาคต และท้ายสุด ได้เสนอแนวคิดของการประเมินโครงการ CDM โดยใช้แนวคิดของความเสี่ยงและความยืดหยุ่นเพื่อเป็นทางเลือกที่สำคัญในการประเมินโครงการที่มีความเสี่ยงทางการเงินการลงทุนสูงอย่างโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด

3.2 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional Project Economic Analysis)

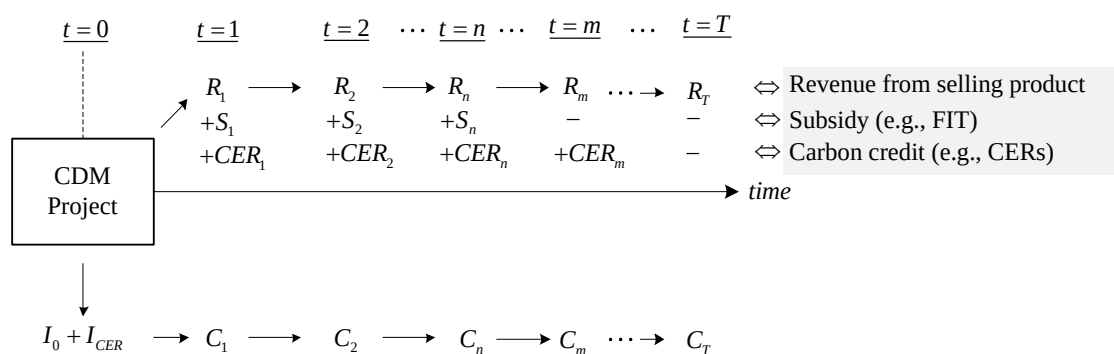
เครื่องมือที่นิยมใช้ในการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติได้แก่ มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV) และอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการ (Internal rate of return หรือ IRR) โดยทั้ง 2 วิธี ใช้การลดทอนของกระแสเงินสดในอนาคตด้วยอัตราคิดลดตามระดับความเสี่ยง (Risk adjusted discount rate) หรือตามต้นทุนทางการเงิน (Cost of capital) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2

มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิมีสูตรคำนวณเป็นดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3.1)$$

โดย	n	หมายถึง จำนวนระยะเวลาของโครงการ (ปี)
	t	หมายถึง ปีที่ของโครงการ $0 \leq t \leq n$
	r	หมายถึง อัตราคิดลดตามระดับความเสี่ยง (Risk adjusted discount rate)
	CF_t	หมายถึง กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่ t
	I_0	หมายถึง เงินลงทุนเริ่มต้นในโครงการ

สำหรับโครงการ CDM สามารถเขียนแผนภาพกระแสเงินได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระแสเงินในอนาคตของโครงการ CDM ตัวอย่าง

สำหรับโครงการที่เป็น CDM เรานำสมการที่ (3.1) มาปรับแก้เพื่อใช้สำหรับการประเมินโครงการ CDM ใหม่ ซึ่งจะได้สมการ NPV ใหม่เป็นดังนี้

$$NPV = -(I_0 + I_{CER}) + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t + S_t + CER_t - C_t)}{(1 + \mu)^t} \quad (3.2)$$

- โดย
- I_0 หมายถึง เงินลงทุนเริ่มต้นในโครงการ
 - I_{CER} หมายถึง เงินลงทุนในการจดทะเบียนโครงการเป็น CDM
 - R_t หมายถึง รายได้ของโครงการในปีที่ t
 - S_t หมายถึง เงินสนับสนุนจากรัฐบาล (ถ้ามี) ในปีที่ t
 - CER_t หมายถึง รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตในปีที่ t
 - C_t หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในปีที่ t
 - μ หมายถึง อัตราคิดลดตามระดับความเสี่ยง (Risk adjusted discount rate)

3.3 การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ในสถานะที่มีความไม่แน่นอน (Project Economic Analysis under Uncertainty)

อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 2 การประเมินโครงการที่มีความไม่แน่นอนและความเสี่ยงสูง โดยใช้วิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์แบบปกติ อาจให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงทางเลือกหรือความยืดหยุ่นในการจัดการโครงการของเจ้าของโครงการในอนาคต

วิธีการในการบริหารจัดการความเสี่ยงในโครงการที่มีความเสี่ยง ผู้ออกแบบโครงการอาจเลือกแนวทางการออกแบบเป็น 2 แนวทางด้วยกันคือ (1) Robust design หรือ (2) Flexible design

“Robust design” คือ การออกแบบตั้งแต่เริ่มต้นโครงการเพื่อให้โครงการสามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ซึ่งต่างจาก “Flexible design” ที่ออกแบบให้สามารถดัดแปลงปรับเปลี่ยนโครงการให้เหมาะสมต่อความไม่แน่นอนในอนาคต

การประเมินโครงการที่มีความยืดหยุ่นจำเป็นต้องใช้วิธีการที่สามารถประเมินมูลค่าความยืดหยุ่นได้อย่างเหมาะสมถูกต้อง ซึ่งหนึ่งในเครื่องมือสำคัญในการประเมินโครงการที่มีความไม่แน่นอนและความเสี่ยงสูงก็คือวิธีการเรียลอปชั่น

แต่เนื่องจากในความเป็นจริงเจ้าของโครงการสามารถพิจารณาหาความยืดหยุ่นที่หลากหลายมาใช้ในโครงการที่กำลังประเมินอยู่เพื่อหาความเหมาะสมและคัมค่าในการนำความยืดหยุ่นดังกล่าวมารวมเข้ากับโครงการ ซึ่งเหตุผลที่ได้กล่าวมาทำให้งานวิจัยนี้นำแนวคิดของ Risk Flexibility theory มาใช้ในการประเมินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด เนื่องจากคุณสมบัติของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดที่เข้าเงื่อนไขสำคัญในการประเมินโครงการโดยวิธี Real options และ Risk flexibility theory

3.3.1 Real options theory

.....

อปชั่น (Options) หมายถึง สิทธิที่ไม่ผูกมัด (Rights but not the obligation) ในการกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งในอนาคต โดยผู้ถือสิทธิ (Holders) จะใช้สิทธิ (Exercise) ก็ต่อเมื่อหากใช้สิทธิแล้วจะเป็นประโยชน์จากการกระทำดังกล่าว

แนวคิดของอปชั่น (Options) ได้เริ่มนำมาใช้ในทางด้านวิศวกรรมการเงิน (Financial engineering) ซึ่งอปชั่นที่พัฒนาขึ้นโดยใช้สินทรัพย์ทางการเงินเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดมูลค่าของอปชั่น เรียกว่า Financial options เช่น อปชั่นที่ให้ผู้ถือสิทธิ (Holders) ในการซื้อหลักทรัพย์ของบริษัท ก ซึ่งมีการซื้อขายของหลักทรัพย์ในตลาดทุน โดยมีราคาใช้สิทธิ ณ วันหมดอายุของอปชั่น (Expiration or maturity date) ที่ราคา 20 บาทต่อหุ้น (Exercise price) สมมติว่าปัจจุบัน หลักทรัพย์ของบริษัท ก มีราคาเป็น 18 บาท และวันหมดอายุของอปชั่นดังกล่าวคือ อีก 100 วันข้างหน้า เมื่อถึงวันครบกำหนดอายุของอปชั่น หากหลักทรัพย์ ก ที่มีการซื้อขายในตลาด มีราคาที่สูงกว่าราคาใช้สิทธิ (มากกว่าราคาใช้สิทธิที่ 20 บาท) ผู้ถือสิทธิก็มีสิทธิที่ใช้สิทธิในการซื้อหลักทรัพย์ ก ในราคาเท่ากับราคาใช้สิทธิ ซึ่งก็คือ 20 บาท และมีกำไรส่วนต่างระหว่างราคาหลักทรัพย์ในตลาดและราคาใช้สิทธิ หากกำหนดให้ตัวแปรที่กล่าวมาเป็น ดังต่อไปนี้คือ

ราคาของหลักทรัพย์ในตลาด ณ เวลา t ใดๆ แทนด้วย X_t

ราคาใช้สิทธิของอปชั่น แทนด้วย K

เราสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของผลตอบแทน (Payoff) ของออปชั่นดังกล่าวได้เป็น

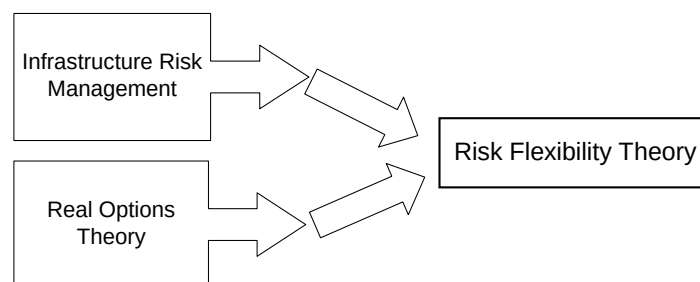
$$\Pi(X_t) = \max(X_t - K, 0)$$

เช่น หาก ณ วันหมดอายุของออปชั่น ราคาของหลักทรัพย์ ก มีราคาเท่ากับ 23 ($X_t = 23$) บาท ซึ่งสูงกว่าราคาของราคาใช้สิทธิ ($K = 20$ บาท) ผู้ถือครองสิทธิสามารถใช้สิทธิของออปชั่นดังกล่าวเพื่อซื้อหลักทรัพย์ ก ณ ราคาใช้สิทธิที่ 20 บาท โดยมีส่วนต่างของกำไรเท่ากับ 3 บาท ($\Pi = \max(23 - 20, 0) = 3$) หากผู้ถือสิทธิซื้อออปชั่น ที่ราคา 1 บาท ก็เท่ากับว่ากำไรที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้สิทธิดังกล่าวเท่ากับ 2 บาท แน่นอนว่าเราไม่สามารถทราบราคาหลักทรัพย์ ก ล่วงหน้าได้ ณ เวลาที่เราซื้อออปชั่น ซึ่งการถือออปชั่นดังกล่าวก็มีความเสี่ยงที่จะขาดทุน ในกรณีที่ราคาของหลักทรัพย์ ก มีราคาต่ำกว่าราคาใช้สิทธิที่ 20 บาท ซึ่งหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว ผู้ถือออปชั่นก็จะปล่อยให้ออปชั่นดังกล่าวหมดอายุ โดยไม่ใช้สิทธิ เนื่องจากการใช้สิทธิดังกล่าวไม่ได้เพิ่มมูลค่าต่อผู้ถือออปชั่นเลย ต้นทุนที่เกิดขึ้นต่อผู้ถือออปชั่นก็คือ ค่าใช้จ่ายในการซื้อออปชั่นดังกล่าว ซึ่งเท่ากับ 1 บาท ดังนั้น ไม่ว่าราคาของหลักทรัพย์ ก จะมีราคาเป็นเท่าไรก็ตาม การขาดทุนสูงสุดของผู้ถือออปชั่นดังกล่าวก็คือ 1 บาท เท่ากับราคาของออปชั่นที่ได้มา แต่หากมองในแง่ของโอกาสที่จะได้กำไร ในทางทฤษฎีจะพบว่า ออปชั่นดังกล่าวมีกำไรสูงแบบไม่มีเพดาน (Unlimited profits) ซึ่งจากที่ได้กล่าวมา จะพบว่าผลตอบแทนของออปชั่นที่กล่าวมาเป็นแบบไม่สมมาตร หรือที่เรียกว่า Asymmetric payoff ซึ่งหากมองในแง่ของการจัดการความเสี่ยงพบว่า ผู้ถือออปชั่นประเภทดังกล่าวมีความเสี่ยงที่จำกัด แต่มีโอกาที่ไม่จำกัด

เราเรียกออปชั่นที่ให้สิทธิผู้ถือในการซื้อหลักทรัพย์ดังกล่าว ณ ราคาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าว่าเป็น Call options ในทางกลับกัน ออปชั่นที่ให้สิทธิผู้ถือในการขายหลักทรัพย์ดังกล่าว ณ ราคาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เรียกว่าเป็น Put options

3.3.2 Risk flexibility theory

ทฤษฎี Risk flexibility theory (RFT) ประเมินความเสี่ยงและความยืดหยุ่นของโครงการ โดยการพัฒนาของทฤษฎี RFT เกิดจากการผสมผสานระหว่างวิธีการจัดการความเสี่ยงโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure risk management) และทฤษฎีเรียลอปชั่น (Real options theory) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ที่มาของกรอบแนวคิดของทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่น (Risk Flexibility Theory)

แนวคิดสำคัญของ Risk Flexibility Theory ก็คือ โครงการอาจสามารถนำกลุ่มของความยืดหยุ่นชนิดต่างๆ เช่น System flexibility หรือ Managerial flexibility หรือ Contractual flexibility เป็นต้น มาประกอบเป็นระบบเพื่อการจัดการความเสี่ยงในแต่ละประเภท สำหรับช่วงเวลาที่แตกต่างกันออกไป เช่น ออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการขยายขนาดในอนาคตหากปริมาณความต้องการสูงกว่าความสามารถของโครงการในการผลิตหรือบริการ และมีประกันราคาต้นทุนผลิตเพื่อลดความเสี่ยงของต้นทุนและวัตถุดิบในการผลิต เป็นต้น

แน่นอนว่าความยืดหยุ่นแต่ละชนิดก็มีต้นทุนที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเพื่อให้การลงทุนเพื่อให้ได้มาของกลุ่มของความยืดหยุ่นของโครงการที่เหมาะสมคุ้มค่า การประเมินความคุ้มค่าของกลุ่มของความยืดหยุ่นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรศึกษาวิเคราะห์ก่อนการตัดสินใจว่าจะเลือกกลุ่มของความยืดหยุ่นอย่างไร

3.4 กรอบแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

แนวคิดสำคัญสำหรับการวิจัยนี้ก็คือ การประเมินโครงการภายใต้ความไม่แน่นอนของตัวแปรปัจจัยที่สำคัญ หรือมีความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อมูลค่าของโครงการในอนาคตนั้น วิธีการประเมินโครงการแบบปกติอาจให้ผลการประเมินโครงการที่คลาดเคลื่อนไม่ถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องจากในอนาคตปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าของโครงการอาจไม่เป็นไปตามที่ได้คาดไว้ล่วงหน้า อีกทั้งในอนาคตเจ้าของหรือผู้จัดการโครงการมีการใช้สิทธิในการเลือกกระทำการบางอย่างเพื่อให้โครงการดำเนินไปในทางที่เกิดมูลค่าสูงสุดต่อตัวโครงการเอง ดังนั้นแล้วความสามารถในการตัดสินใจในอนาคตของเจ้าของโครงการควรที่จะถูกนำมารวมในตัวมูลค่าโครงการ ซึ่งแนวคิดนี้ไม่ได้ถูกนำมารวมในการวิเคราะห์โครงการแบบปกติ

จากการศึกษาที่ผ่านมา ผู้วิจัยหลายท่านมีความเห็นตรงกันว่า หากโครงการที่ประเมินมีความไม่แน่นอนสูง หรืออยู่ภายใต้ความเสี่ยงสูง วิธีการประเมินโครงการแบบปกติอาจให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงการที่คลาดเคลื่อนได้

3.5 ขั้นตอนที่สำคัญในการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินโครงการ โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับโครงการที่เป็น CDM พร้อมทั้งศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนเครดิตของโครงการ CDM ว่ามีการนำมาประเมินร่วมกับกระแสเงินประมาณการณ์ (Projected future cash flow) ของโครงการอย่างไร
2. สร้างกรอบทางทฤษฎีใหม่ซึ่งมีพื้นฐานจาก 2 ทฤษฎีที่สำคัญในการประเมินโครงการในบริบทที่มีความไม่แน่นอนและความเสี่ยง ได้แก่ Real options theory และ Risk flexibility theory ซึ่งวิธีการ

ใหม่จะประเมินโครงการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอน (ความเสี่ยง) ความยืดหยุ่นของโครงการ และมูลค่าของคาร์บอนเครดิต

3. เสนอรูปแบบการคำนวณอย่างละเอียดสำหรับการประเมินโครงการ CDM
4. ศึกษาเพิ่มเติมถึงนโยบายของรัฐบาลในการผลักดันการลงทุนโครงการ CDM ของประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อการกระตุ้นการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศ
5. นำทฤษฎีและเครื่องมือที่ได้จากการวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับโครงการ CDM จริง เพื่อเป็นกรณีศึกษาถึงการนำวิธีการที่ได้จากการวิจัยไปใช้งานจริง
6. ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและวิธีการที่สร้างขึ้น
7. สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาวิจัย จัดทำรายงานผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

4.1 โครงการศึกษาตัวอย่าง (Case example project): โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 กิโลวัตต์ชั่วโมง

โครงการศึกษาตัวอย่างเพื่อนำทฤษฎีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มาสาธิตถึงการประยุกต์ใช้กับโครงการที่เป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด หลังจากนั้นจึงนำวิธีการที่ได้นี้ไปใช้ในโครงการจริงเพื่อเป็นกรณีศึกษาว่าสามารถนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่

โครงการศึกษาตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ คือ โรงงานไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 kWh มีระยะเวลาในการดำเนินการของโครงการ 25 ปี สมมติฐานและค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการตัวอย่างเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมมติฐานและพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการศึกษาตัวอย่าง (ปรับหน่วยบาทให้เป็นเหรียญสหรัฐ)

Parameters	Unit	Value
Initial investment (I_0)	\$US	2,000,000
Cost of registering CDM (I_{CER})	\$US	200,000
Output price (P_t)	\$US	\$0.1/kWh
Government subsidy (S_t)	\$US	\$0.01/kWh for $t = \{1, 2, \dots, 7\}$
Net energy/Export (O_t)	kWh	5,000,000
O&M cost (OM_t)	\$US/year	120,000
Material costs (C_t)	\$US/year	$C_1 = 210,000$
Carbon credit (CER_t)	tCO ₂ /year	(ปรับ 3% ตามอัตราเงินเฟ้อทุกปี) 18,392

โดย I_0 คือ เงินลงทุนในโครงการ
 I_{CER} คือ ค่าใช้จ่ายในการจดทะเบียนเพื่อขายคาร์บอนเครดิต
 P_t คือ ราคาขายไฟฟ้าตลาด (ยังไม่ได้รวมเงินสนับสนุน) ในปีที่ t
 S_t คือ เงินสนับสนุนในปีที่ t

- O_t คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในปีที่ t
- OM_t คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา ในปีที่ t
- C_t คือ ต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ในปีที่ t
- CER_t คือ รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต ในปีที่ t

4.1.1 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional Project Economic Analysis)

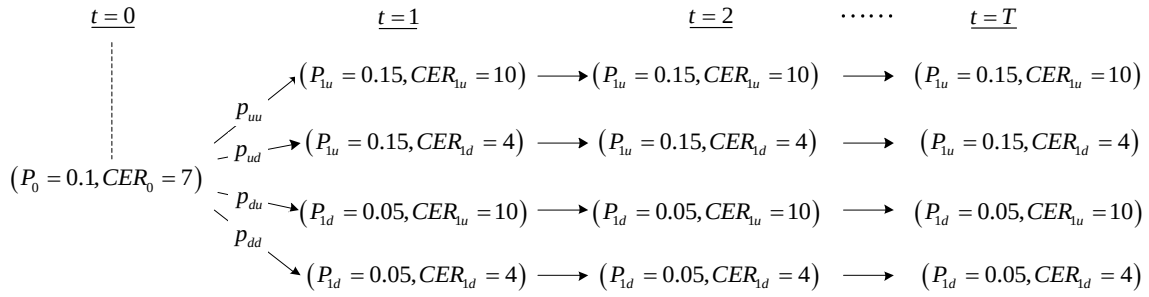
ค่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการในการคิดลดกระแสเงินตามเวลา (Discounted cash flow) สามารถคำนวณได้จากสมการ CAPM ดังนี้

$$\mu = r_f + \beta(r_m - r_f) = 5 + 2.0(10 - 5) = 15\%$$

ประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value) โดยใช้ค่าตามสมมติฐานและการประมาณการณ์ตามแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า โครงการดังกล่าวมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1.8 ล้านเหรียญสหรัฐ (NPV=+\$1.8 ล้าน) เมื่อคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการพบว่า มีค่าเท่ากับ 30% (IRR=30%) เนื่องจากโครงการนี้มีค่า NPV มากกว่าศูนย์ หรือ มีค่าอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (IRR) มากกว่า อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ เราจึงสรุปว่า โครงการมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เจ้าของโครงการควรลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลดังกล่าว

4.1.2 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีเรียลอปชั่น (Real options approach)

ในขั้นต้น สมมติว่าเราทราบราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน แต่เราไม่ทราบราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตในปีถัดไป และสมมติว่าราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตมีราคาคงที่หลังจากปีที่ 1 (สมมติฐานนี้เพื่อความสะดวกในการนำเสนอวิธีการคำนวณที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้เท่านั้น) ดังนั้นการคำนวณมูลค่าโครงการด้วยวิธีการเรียลอปชั่นที่แนะนำเสนอนี้จึงเป็นการวิเคราะห์แบบ 1-time step นอกจากนี้แล้ว เพื่อความง่ายในการคำนวณ สมมติให้ราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตเปลี่ยนแปลงได้ใน 2 ทิศทาง คือ ขึ้น หรือ ลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของราคาไฟฟ้า (P_{tu} หรือ P_{td}) และราคาคาร์บอนเครดิต (CER) แบบ Bi-lattice (ขึ้น หรือ ลง)

ในรูปที่ 4.1 ราคาขายไฟฟ้าในปัจจุบัน (P_0) มีค่าเท่ากับ 0.1 เหรียญต่อหน่วย และราคาปัจจุบันของคาร์บอนเครดิตในตลาดโลกมีค่าเท่ากับ 7 เหรียญต่อตันคาร์บอน ($CER_0 = 7$) ในปีถัดไป (ปีที่ 1) ราคาขายไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ตามสภาพตลาด สมมติว่าราคาขายไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้นเป็น 0.15 เหรียญต่อหน่วย หรือ ราคาขายไฟฟ้าอาจลดลงเป็น 0.05 เหรียญต่อหน่วย (นั่นก็คือ $P_{uu} = 0.15$ หรือ $P_{dd} = 0.05$) ในทำนองเดียวกัน ราคาของคาร์บอนเครดิตในตลาดโลกก็มีโอกาสเพิ่มขึ้นเป็น 10 เหรียญต่อตันคาร์บอน หรือ ลดลงเป็น 4 เหรียญต่อตันคาร์บอน (นั่นคือ $CER_{uu} = 10$ และ $CER_{dd} = 4$) ดังแสดงในรูปที่ 4.1

สำหรับแต่ละ Path ของการเปลี่ยนแปลงราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิต เราสามารถคำนวณมูลค่าของโครงการด้วยวิธีการ NPV ได้ และตัดสินใจว่าจะลงทุนในโครงการนี้หรือไม่ ตามหลักของการประเมินโครงการทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น ใน Path ที่ 1 ของการเปลี่ยนแปลงราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิต มีค่า NPV เท่ากับ $NPV_{\omega(1)}$ ซึ่งคำนวณมูลค่าของโครงการหากราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตเป็นไปตาม price path 1 ได้เป็น

$$\Pi = \max(NPV_{\omega(1)}, 0) \quad (4.1)$$

เราสามารถคำนวณมูลค่าของโครงการสำหรับ Path ต่างๆ ได้โดยใช้หลักการที่ได้แสดงสำหรับการคำนวณมูลค่าโครงการของ Path 1

เนื่องจากแต่ละ price path มีค่าความน่าจะเป็น (Probability) เป็นค่าใดๆ เช่น p_{ud} คือ ความน่าจะเป็นที่ price path จะมีราคาขายไฟฟ้าเป็น P_{ud} และ ราคาคาร์บอนเครดิตเป็น CER_{ud} (ดังแสดงในรูปที่ 4.1) เป็นต้น เราจึงสามารถคำนวณหามูลค่าคาดหวัง หรือค่าเฉลี่ยของโครงการ (Expected value) ในกรณีที่รู้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจการลงทุนในช่วงเวลา 1 ปี ได้ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นและวิธีการ DCF ซึ่งจะได้ว่า

$$E[NPV_{Option}] = [p_{ij}] \cdot \max_{i,j \in \{u,d\}} \left(\left[\frac{\{-I - I_{CER}\}}{(1+\mu)} + \sum_{t=1}^T \left\{ \frac{(P_{ti} - C_{v,t}) \times O_t + CER_{ij} - C_{f,t}}{(1+\mu)^t} \right\} + \sum_{t=1}^{n \leq T} \left\{ \frac{S_t}{(1+\mu)^t} \right\} \right], 0 \right) \quad (4.2)$$

โดย	$E[\cdot]$	หมายถึง	ค่าคาดหวัง หรือ Expected value
	μ	หมายถึง	risk-adjusted discount rate คำนวณโดยใช้วิธี CAPM (ใช้ $\mu = 15\%$)
	$[p_{ij}]$	หมายถึง	ความน่าจะเป็นที่ราคาไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตจะเป็นไปตาม price path ij

สำหรับเรียลอปชั่นของโครงการในการรอข้อมูล เพื่อตัดสินใจว่าจะลงทุนในโครงการตัวอย่างหรือไม่ เราเรียกรีลอปชั่นดังกล่าวว่าเป็น “Option to wait” ซึ่งมูลค่าของอปชั่นนี้สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าของโครงการระหว่าง (1) โครงการที่ไม่มีอปชั่น และ (2) โครงการที่มีอปชั่น ซึ่งเราสามารถเขียนแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$V = E[NPV_{Option}] - E[NPV_{W/o Option}] \quad (4.3)$$

โดย	V	หมายถึง	มูลค่าของอปชั่น
	$E[NPV_{Option}]$	หมายถึง	ค่าคาดหวังของโครงการในกรณีที่มีอปชั่น
	$E[NPV_{W/o Option}]$	หมายถึง	ค่าคาดหวังของโครงการในกรณีที่ไม่มีอปชั่น

จากสมการ (4.2) หากกำหนดให้ความน่าจะเป็นของทั้ง 4 price path ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีค่าเท่ากัน นั่นคือ $p_{uu} = p_{ud} = p_{du} = p_{dd} = 0.25$ เราสามารถคำนวณหาค่าคาดหวังของมูลค่าโครงการตัวอย่างนี้ในกรณีที่รอการตัดสินใจเพื่อการลงทุนในโครงการเป็นระยะเวลา 1 ปี ซึ่งจากการคำนวณจะได้สมการที่ (4.2) เป็น

$$E[NPV_{Option \text{ to wait}}] = 0.25 \times \max(4.39, 0) + 0.25 \times \max(1.68, 0) + 0.25 \times \max(1.45, 0) + 0.25 \times \max(-1.25, 0)$$

หรือ

$$E[NPV_{Option \text{ to wait}}] = \$1.88 \text{ ล้านบาท}$$

เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์โครงการตัวอย่างเดียวกันในกรณีที่ไมคิด “Option to wait” ซึ่งมีค่า NPV เท่ากับ 1.8 ล้านบาท (ค่าที่คำนวณได้จากหัวข้อ 4.1.1) พบว่ามูลค่าของ “Option to wait” มีค่าคำนวณได้จากสมการที่ (4.3) เป็น

$$V_{\text{Option to wait}} = E[NPV_{\text{Option}}] - E[NPV_{\text{W/o Option}}] = 1.88 - 1.80 = 0.08 \text{ ล้านบาท}$$

ในความเป็นจริงราคาขายของไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (Continuous change) ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์สมบูรณ์ขึ้น เราสามารถสร้างแบบจำลองราคาโดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นและกระบวนการสโตแคสติก ซึ่งมีรายละเอียดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นอกจากนี้แล้ว โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลตัวอย่าง ยังมีความเสี่ยงในเรื่องของราคาชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเราสามารถนำทฤษฎีความน่าจะเป็นและกระบวนการสโตแคสติก มาสร้างแบบจำลองการเคลื่อนไหวของราคาชีวมวลได้

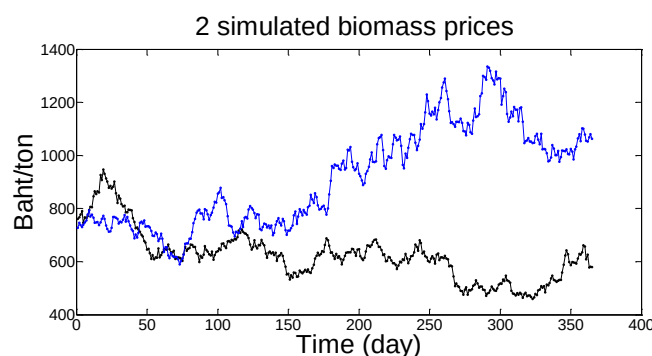
สำหรับโครงการตัวอย่างนี้ สมมติฐานของราคาชีวมวลปัจจุบัน คือ 750 บาทต่อตันสำหรับปลูกไม้ยางพารา เราสามารถสร้างแบบจำลองราคาชีวมวลโดยกระบวนการสโตแคสติกที่เรียกว่า “Geometric Brownian motion” ได้เป็น

$$dC = \alpha_C C dt + \sigma_C C dz$$

โดย C หมายถึงราคาชีวมวลต่อตัน (C_0 หมายถึงราคาชีวมวล ณ ปัจจุบัน)

α_C และ σ_C หมายถึง drift rate และ volatility ของกระบวนการสโตแคสติก C

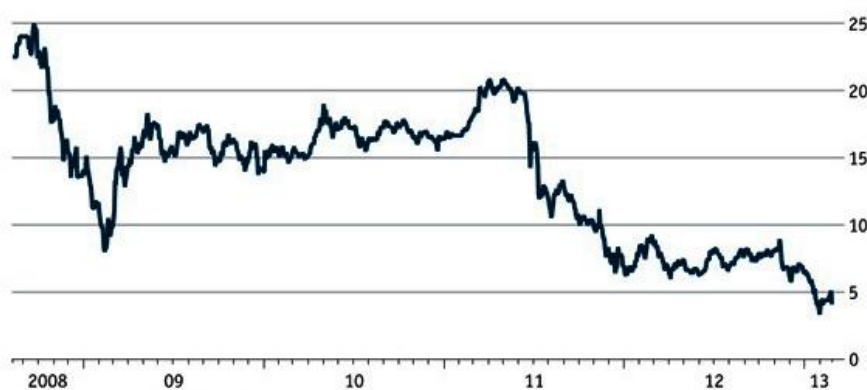
ตัวอย่างของการเคลื่อนไหวของราคาชีวมวลจากการสุ่มด้วยวิธี Monte Carlo simulation แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเคลื่อนไหวของราคาชีวมวล (C) โดยกระบวนการสโตแคสติกที่เรียกว่า “Geometric Brownian motion” โดย $dC = \alpha_C C dt + \sigma_C C dz$ ซึ่ง $C_0 = 750$ บาทต่อตัน และ $\alpha_C = 0, \sigma_C = 0.5^2$

² ค่า μ และ σ หาได้จากการนำข้อมูลในอดีตมาหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน

กระบวนการสโตนคาสติกสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองราคาคาร์บอนเครดิต ซึ่งมีราคาที่ผันผวนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นราคาย้อนหลังของคาร์บอนเครดิตในตลาดยุโรป (EU ETS)



รูปที่ 4.3 ราคาย้อนหลังของคาร์บอนเครดิตในตลาดยุโรป (หน่วย € per tonne) (ที่มา: *The Economist*)

4.1.3 การประเมินโครงการทางเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธี Risk flexibility theory

จากการวิเคราะห์โครงการตัวอย่างด้วยวิธีการ Real options ซึ่งเรียกลออปชั่นที่มีของโครงการก็คือ “Option to wait” พบว่าโครงการมีมูลค่าเพิ่มขึ้นหากเจ้าของโครงการเลือกที่จะรอข้อมูลการลงทุนที่เกี่ยวข้องก่อนการตัดสินใจเป็นระยะเวลา 1 ปี นั่นก็หมายความว่า เจ้าของโครงการควรที่จะ “รอ” ข้อมูลของราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนเครดิตว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร หากมีแนวโน้มที่ดี ก็ควรที่จะลงทุนในโครงการ หากเป็นตรงกันข้าม คือ มีแนวโน้มที่แย่กว่าที่ได้ประมาณการไว้ ก็สามารถเลือกที่จะไม่ลงทุนในโครงการ เพื่อลดความเสี่ยงของโครงการที่จะประสบปัญหาการขาดทุนในอนาคต

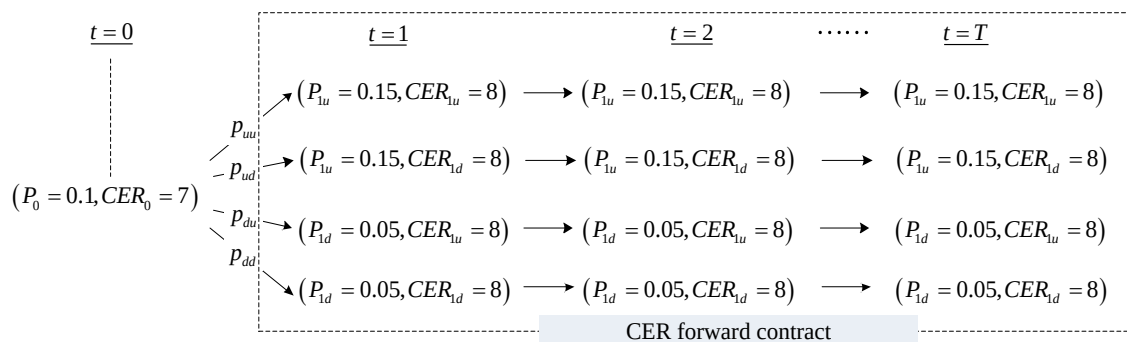
นอกจาก “option to wait” ที่เจ้าของโครงการมีแล้ว เจ้าของโครงการอาจใช้ Options อื่นๆ มาใช้ในการจัดการความเสี่ยงของโครงการ แต่ว่า Options บางชนิดก็มีต้นทุน ทำให้ต้องศึกษาความเหมาะสมคุ้มค่าของการใช้ Options ต่างๆ ซึ่ง Risk flexibility theory สร้างมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์กลุ่มของ Flexibility ที่มีพฤติกรรมที่เป็น Options ว่ามีความเหมาะสมคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่

สำหรับโครงการตัวอย่าง เราสามารถเพิ่ม flexibility เพื่อเป็น Options สำหรับการจัดการความเสี่ยงของโครงการได้อีก 1 option ซึ่งก็คือ Option สำหรับการจัดการความเสี่ยงในราคาคาร์บอนเครดิต (CER price risk) โดยในงานวิจัยนี้ ได้ลองเสนอการใช้สัญญาที่เรียกว่า Forward contract สำหรับการซื้อขายราคาคาร์บอนเครดิตที่มีลักษณะกำหนดราคาซื้อขายล่วงหน้า ทำให้ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของราคาคาร์บอน เช่น

หากเจ้าของโครงการที่มีสัญญาซื้อขายล่วงหน้าก็สามารถขายคาร์บอนได้ที่ราคาระหว่างกันไว้ล่วงหน้า 8 เหรียญต่อตัน ในอนาคต (1 ปี) คาร์บอนในตลาดมีราคาเป็น 5 เหรียญต่อตัน เจ้าของโครงการก็ไม่ได้รับผลกระทบจากราคาของคาร์บอนที่ลดลง ในทางกลับกัน หากราคาคาร์บอนในตลาดสูงขึ้น เช่น มีราคาเป็น 10 เหรียญต่อตัน เจ้าของโครงการก็ขายได้เท่ากับราคาสัญญาที่ 8 เหรียญต่อตันเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้ เราสมมติว่าถ้าเจ้าของโครงการทำสัญญาซื้อขายคาร์บอนล่วงหน้าที่ราคา 8 เหรียญต่อตัน โครงการจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่าไร ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์โครงการตามแนวคิดของ Risk flexibility theory ได้เป็นดังต่อไปนี้

เมื่อทราบราคาซื้อขายล่วงหน้าของคาร์บอนเครดิต เราสามารถเขียนแผนภาพแสดง Price path ของราคาขายไฟฟ้าและราคาคาร์บอนได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของราคาไฟฟ้า (P_u หรือ P_d) และราคาคาร์บอนเครดิต (CER) แบบคงที่ จากการซื้อสัญญาซื้อขายคาร์บอนเครดิตล่วงหน้า (CER forward contract)

โครงการตัวอย่างนี้มีความยืดหยุ่น (Flexibility) อยู่ 2 ชนิด คือ (1) ความยืดหยุ่นในการรอการลงทุน และ (2) ความยืดหยุ่นในการกำหนดราคาขายคาร์บอนเครดิตโดยใช้สัญญาซื้อขายคาร์บอนเครดิตล่วงหน้า (CER forward contract)

สำหรับการคำนวณมูลค่าของโครงการ เราสามารถใช้สมการที่ (4.2) เพื่อวิเคราะห์ค่าคาดหวังของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่มีอุปสรรค 2 อย่าง ได้เป็น

$$E[NPV] = 0.25 \times \max(3.48, 0) + 0.25 \times \max(3.48, 0) + 0.25 \times \max(0.55, 0) + 0.25 \times \max(0.55, 0)$$

$$E[NPV] = \$2.01 \text{ ล้านเหรียญ}$$

มูลค่าของอปชั่นทั้ง 2 ชนิดได้แก่ ออปชั่นในการรอการลงทุน และอปชั่นในการกำหนดราคาขายคาร์บอนเครดิตโดยใช้สัญญาซื้อขายคาร์บอนเครดิตล่วงหน้า มีมูลค่ารวมเท่ากับ 0.21 ล้านเหรียญ (\$2.01m - \$1.80m = 0.21m)

4.1.4 สรุปผลการวิเคราะห์โครงการศึกษาตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์โครงการศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 วิธี ได้แก่ (1) วิธีทางเศรษฐศาสตร์ปกติ (2) วิธีเรียลอปชั่น (Real options approach) และ (3) วิธี Risk flexibility theory ได้ผลการประเมินโครงการสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปการประเมินโครงการ CDM ตัวอย่าง (โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 กิโลวัตต์ชั่วโมง)

วิธีการที่ใช้วิเคราะห์	ความยืดหยุ่น (อปชั่น)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ	มูลค่าของความยืดหยุ่น (อปชั่น)
1) วิธีทางเศรษฐศาสตร์ปกติ	ไม่มี	1.8 ล้านเหรียญ	-
2) วิธีเรียลอปชั่น (Real options approach)	ความยืดหยุ่น (อปชั่น) ในการรอการลงทุน	1.88 ล้านเหรียญ	0.08 ล้านเหรียญ
3) วิธี Risk flexibility theory	ความยืดหยุ่น (อปชั่น) ในการรอการลงทุน + สัญญาซื้อขายคาร์บอนล่วงหน้า	2.01 ล้านเหรียญ	0.21 ล้านเหรียญ

จากตารางที่ 4.2 พบว่า โครงการกรณีศึกษาตัวอย่างมีมูลค่าโครงการที่เพิ่มขึ้นหากพิจารณาความยืดหยุ่นที่ตัวโครงการเองมี หรือ เพิ่มความยืดหยุ่น (ในกรณีที่ตัวโครงการยังไม่มี) เพื่อให้โครงการสามารถปรับตัวกับความไม่แน่นอนในการดำเนินการของโครงการในอนาคต โครงการตัวอย่างสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นได้อีก แต่ในขณะเดียวกัน ความยืดหยุ่นบางชนิดอาจมีต้นทุนและค่าใช้จ่าย ซึ่งต้องนำมารวมในการวิเคราะห์โครงการด้วย ซึ่งตามหลักการแล้วหากมูลค่าของที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ความยืดหยุ่นมากกว่าต้นทุนที่เกิดขึ้น เจ้าของโครงการก็ควรที่จะเลือกที่จะใช้ความยืดหยุ่นนั้นในการจัดการความเสี่ยงของโครงการ

4.2 ผลของการศึกษารูปแบบการสนับสนุนของภาครัฐที่เหมาะสม

การศึกษาโครงการตัวอย่างในหัวข้อนี้เป็นการนำทฤษฎีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลในส่วนที่เกี่ยวกับรูปแบบการสนับสนุนของภาครัฐที่เหมาะสมเพื่อศึกษาเป็นกรณีพิเศษว่าสามารถนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่

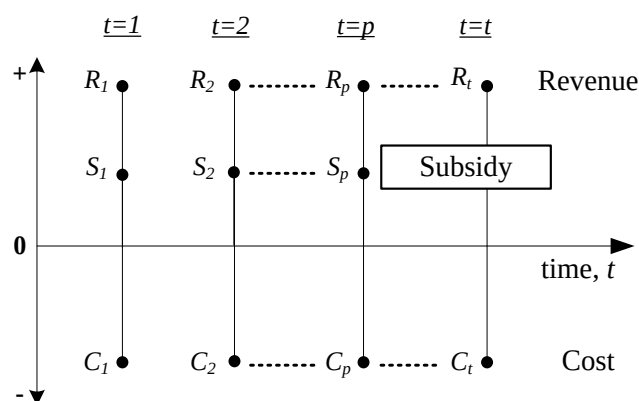
โครงการศึกษาตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ คือ โรงงานไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 กิโลวัตต์ชั่วโมง มีระยะเวลาในการดำเนินการของโครงการ 25 ปี สมมติฐานและค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการตัวอย่างเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมมติฐานและพารามิเตอร์ที่สำคัญของโครงการศึกษาตัวอย่าง

Parameter	Value	Unit
amount of unit electricity output (O)	2,340,000	unit/year
electricity price cost (P_t)	0.097	US\$/unit
Material cost (M_t)	127,806	US\$/year
operating & maintenance cost (OM_t)	2,916	US\$/year
debt service cost (D_t)	345,076	US\$/month
the cost of equity (K_E)	15%	

4.2.1 การประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์ถือเป็นขั้นตอนแรกในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโดยวิธีการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเช่น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และ อัตราผลตอบแทนภายใน ถูกใช้ในการประเมินมูลค่าทางการเงินของโครงการ ด้วยการรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในแต่ละปี ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระแสเงินสดของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล

4.2.1.1 การประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการปกติ (Conventional Project Economic Analysis)

เมื่อทำการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value) ดังสมการ

$$NPV(ECF) = \sum_{t=0}^N \frac{O \times P_t + S_t - M_t - OM_t - D_t}{(1+i)^t}$$

โดยใช้ค่าตามสมมติฐานและการประมาณการตามแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า โครงการดังกล่าวมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิในกรณีที่ไม่ได้รับการสนับสนุนจากทางรัฐบาลเท่ากับ 89,945 เหรียญสหรัฐ แต่ในกรณีที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลตามนโยบายส่วนเพิ่มพิเศษ (Adder Program) พบว่าโครงการมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเป็น 220,090 เหรียญสหรัฐ โดยที่รัฐบาลมีต้นทุนในการสนับสนุนเป็นเงิน 130,150 เหรียญสหรัฐ เราจึงสรุปได้ว่าโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้การสนับสนุนจากรัฐบาลสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าปัจจุบันสุทธิถึงกว่าเท่าตัว ซึ่งจะช่วยให้ดึงดูดนักลงทุนให้หันมาลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล แต่ทั้งนี้รัฐบาลต้องรับต้นทุนในการสนับสนุนในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 กิโลวัตต์ชั่วโมง

รูปแบบการสนับสนุน	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (เหรียญสหรัฐ)	ต้นทุนการสนับสนุนของรัฐบาล (เหรียญสหรัฐ)
ไม่สนับสนุน	89,945	-
ส่วนเพิ่มพิเศษ	220,090	130,150

4.2.1.2 การประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีเรียลอปชั่น

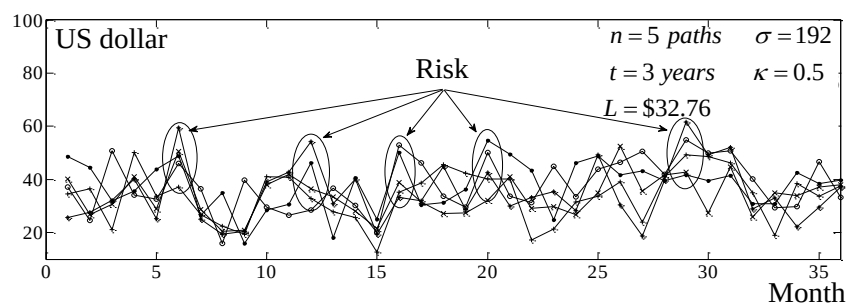
จากการคำนวณในวิธีแรกได้ใช้ค่าประมาณการเป็นตัวแทนสำหรับตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน ดังนั้นการผลคำนวณที่ได้ในวิธีแรกเป็นค่ามาจากการประมาณซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนสูงหากราคาที่ประมาณการไม่เป็นไปตามค่าที่ประเมินไว้ จากข้อจำกัดดังกล่าวผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีเรียลอปชั่น โดยการใช้หลักของความไม่แน่นอนมาใช้ในการหาค่าตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน อย่างเช่น ราคาชีวมวล

การประเมินเริ่มต้นด้วยการออกแบบรูปแบบของราคาชีวมวล โดยคำนึงถึงพฤติกรรมของความผันผวนของชีวมวลที่เกิดขึ้นจริงในตลาด พบว่า พฤติกรรมความผันผวนของราคาชีวมวลสามารถทำนายโดยใช้สมการของ Ornstein-Uhlenbeck ซึ่งเป็นการนำ ทฤษฎีเกี่ยวกับ Geometric Brownian motion (GBM), mean-reversion และ seasonality มาประยุกต์ใช้ดังสมการ

$$dM_t = \kappa(L - M_t)dt + \sigma dz$$

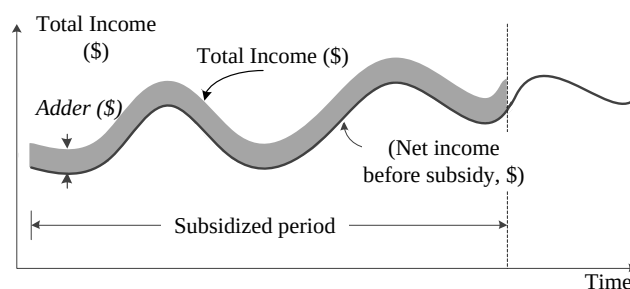
- โดย M_t คือ ราคาของชีวมวล ณ เวลา t
- L คือ ค่า Long-term mean ของราคาชีวมวล
- κ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของกระบวนการ Mean reversion
- σ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ
- z คือ ความน่าจะเป็นแบบปกติมาตรฐาน ($z \sim N(0,1)$)

เมื่อนำสมการดังกล่าวมาทดลองทำนายราคาชีวมวลในอนาคต จำนวน 5 ครั้ง พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของราคา ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 แบบจำลองพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของราคาชีวมวลในอนาคต

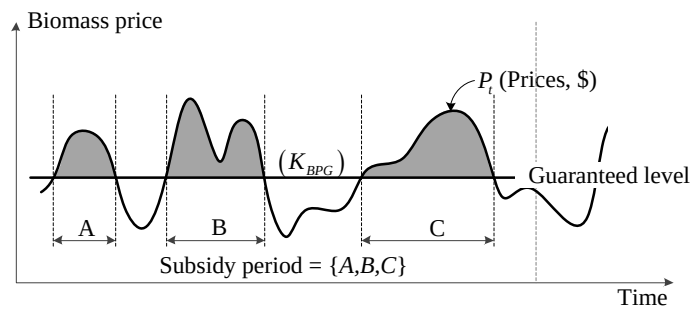
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่ารูปแบบการสนับสนุนโครงการชีวมวลจากรัฐบาลยังมีข้อด้อยที่ขัดกับหลักการให้เงินช่วยเหลือคือ รัฐบาลควรสนับสนุนโครงการตามความเสี่ยงจริงที่เกิดขึ้น แต่รูปแบบที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการจ่ายเงินสนับสนุนโครงการแบบคงที่ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามโปรแกรมส่วนเพิ่มพิเศษ Adder program

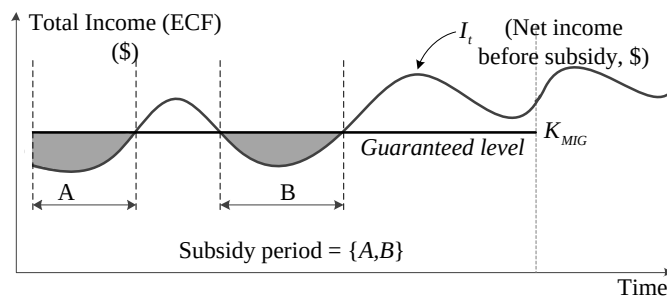
ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบรูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาล โดยสนับสนุนเงินแก่โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลตามหลักการชดเชยความเสี่ยง ซึ่งมีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

1. การรับประกันราคาชีวมวล โดยมีหลักการคือรัฐบาลจะชดเชยส่วนต่างของราคาชีวมวล ในกรณีที่ราคาชีวมวลมีค่าสูงกว่าระดับจุดคุ้มทุนของโรงไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น หากราคาชีวมวลสูงมากส่งผลให้เกิดความเสี่ยงมาก รัฐบาลจะสนับสนุนมากตามความเสี่ยงที่เกิดขึ้น แต่หากราคาต่ำกว่าที่รับประกันนั้นหมายความว่าโรงไฟฟ้าชีวมวลคุ้มทุนอยู่แล้ว รัฐบาลจะงดการจ่ายเงินสนับสนุนในช่วงเวลาดังกล่าว ดังรูปที่ 4.7
- 2.



รูปที่ 4.8 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามแบบการรับประกันราคาชีวมวล (K_{BPG} คือ ราคาประกัน)

2. การรับประกันรายได้ หลักการคล้ายแบบแรก แต่เปลี่ยนจากการรับประกันราคาชีวมวลมาเป็นการรับประกันรายได้ในระดับรายได้ต่ำสุดที่โรงไฟฟ้าสามารถดำเนินการผลิตได้โดยไม่ขาดทุนหากคิดตามกระแสเงินสดในส่วนของผู้เจ้าของ (Equity cash flow หรือ ECF) ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 รูปแบบการสนับสนุนจากรัฐบาลตามแบบการรับประกันรายได้

จากนั้นทำการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ ซึ่งใช้แบบจำลองราคาชีวมวลมาคำนวณ โดยแปรค่ารูปแบบการสนับสนุนตามวิธีต่างๆที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปแบบการสนับสนุน ดังตารางที่ 4.5 ผลปรากฏว่า การรับประกันราคาชีวมวลมีประสิทธิภาพสูงสุด ที่ 2.96 โดยโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 143,920 เหรียญสหรัฐ และรัฐบาลมีต้นทุนการสนับสนุนอยู่ที่ 48,926 เหรียญสหรัฐ

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ ด้วยรูปแบบการสนับสนุนจากภาครัฐแบบต่างๆ

รูปแบบการสนับสนุน [1]	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ของโครงการ (เหรียญสหรัฐ) [2]	ต้นทุนการสนับสนุน จากรัฐบาล (เหรียญ สหรัฐ) [3]	ประสิทธิภาพของ นโยบาย [4]=[2]/[3]
ส่วนเพิ่มพิเศษ	219,740	130,150	1.69
ประกันราคาข้าวมวล	143,920	48,926	2.94
ประกันรายได้	277,800	188,120	1.48

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.5 สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณเงินที่สนับสนุนจากรัฐบาลมีผลโดยตรงกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ โดยหากรัฐบาลสนับสนุนมาก โครงการก็จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิตามกัน อย่างไรก็ตาม รัฐบาลจำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนและความคุ้มค่าในการเลือกรูปแบบในการสนับสนุนด้วย อีกทั้งการช่วยเหลือโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลมากเกินไปจะส่งผลโดยตรงต่อการชะลอการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อที่จะลดต้นทุนในการผลิต

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิดตามทฤษฎีความเสี่ยงและความยืดหยุ่นเพื่อใช้ในการประเมินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด โดยนอกจากจะใช้หลักการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่คำนึงถึงกระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตแล้ว ยังคำนึงถึงความเสี่ยงด้านราคาขายผลผลิตของโครงการและรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต ซึ่งมีความผันผวนตามหลักของ Demand-supply ในตลาดยุโรป

ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้ทำให้ตระหนักว่า โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด หรือ CDM มีความเสี่ยงสูงมากในปัจจุบัน เนื่องจากราคาคาร์บอนเครดิตที่มีราคาลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดความไม่มั่นใจต่อการลงทุนของเจ้าของโครงการ หากเจ้าของโครงการประเมินโครงการด้วยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์แบบปกติ คือ ประเมินการตัวแปรปัจจัยเสี่ยงในอนาคตด้วยค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแตกต่างอย่างมากจากค่าที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน ดังผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบในบทที่ 4

เครื่องมือสำคัญต่อการจัดการความเสี่ยงที่งานวิจัยนี้ได้แนะนำเสนอก็คือ ความยืดหยุ่น (Flexibility) ไม่ว่าจะเป็น System flexibility หรือ Managerial flexibility หรือ Contractual flexibility โดยตัวอย่างของความยืดหยุ่นที่งานวิจัยนี้ได้นำมาพิจารณาในการดำเนินโครงการก็คือ ความยืดหยุ่นในการรอการดำเนินโครงการ ซึ่งถือเป็นออปชั่นชนิดหนึ่งที่เรียกว่า “Option to wait” และความยืดหยุ่นในการใช้สิทธิประกันราคาขายคาร์บอนเครดิตโดยสัญญาซื้อขายล่วงหน้า หรือ “Forward contracts”

ต้นทุนของ “Option to wait” ก็คือค่าเสียโอกาสในการลงทุน แต่ประโยชน์ที่ได้ก็คือข้อมูลที่ได้มาในช่วงระยะเวลาที่รอ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจดีขึ้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาจะ Validate สมมติฐานที่ใช้ในการประเมินโครงการว่ามีความน่าเชื่อถือหรือไม่ และเนื่องจากการลงทุนในโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดเป็นแบบ “Irreversible investment” นั่นก็คือ หากลงทุนไปแล้ว ไม่สามารถ “liquidate” โครงการให้กลายเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นได้ร้อยเปอร์เซ็นต์

ในส่วนของ “Forward contract” เพื่อให้ได้มา เจ้าของโครงการอาจต้องทำสัญญาซื้อขายกับบุคคลที่สาม โดยโอนความเสี่ยงของราคาคาร์บอนเครดิตที่ผันผวนให้กับคู่สัญญาที่ทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า ต้นทุนหรือค่าเสียโอกาสที่เกิดจากสัญญาประเภทนี้ก็คือ หากราคาของคาร์บอนเครดิตมีราคาที่สูงกว่าราคาซื้อขายที่ได้ตกลงกันไว้ล่วงหน้า เจ้าของโครงการก็จะได้ราคาเท่ากับราคาที่ตกลงกันไว้แล้ว แต่หากราคาของคาร์บอนเครดิตมี

ราคาที่ต่ำกว่าราคาที่ได้ตกลงกันไว้ เจ้าของโครงการก็ยิ่งขายได้ราคาสัญญา นั่นก็คือ ความเสี่ยงของราคา คาร์บอนเครดิตที่ผันผวนได้ถูกโอนไปให้ผู้สัญญา

ผลการวิจัยที่เกิดจากการประเมินโครงการตามกรอบแนวคิดทั้ง 3 วิธี คือ (1) วิธีทางเศรษฐศาสตร์ปกติ (2) วิธีเรียลอปชั่น (Real options approach) และ (3) วิธี Risk flexibility theory สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปการประเมินโครงการ CDM ตัวอย่าง (โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1000 กิโลวัตต์ชั่วโมง)

วิธีการที่ใช้วิเคราะห์	ความยืดหยุ่น (อปชั่น)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ของโครงการ	มูลค่าของความ ยืดหยุ่น (อปชั่น)
1) วิธีทางเศรษฐศาสตร์ปกติ	ไม่มี	1.8 ล้านบาท	-
2) วิธีเรียลอปชั่น (Real options approach)	ความยืดหยุ่น (อปชั่น) ในการรอการลงทุน	1.88 ล้านบาท	0.08 ล้านบาท
3) วิธี Risk flexibility theory	ความยืดหยุ่น (อปชั่น) ในการรอการลงทุน + สัญญาซื้อขายคาร์บอนล่วงหน้า	2.01 ล้านบาท	0.21 ล้านบาท

นอกจากความเสี่ยงที่สูงของโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดแล้ว โครงการบางประเภท เช่น โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นต้น พบว่ามีต้นทุนทางเทคโนโลยีที่สูง ทำให้รัฐบาลต้องให้การสนับสนุนเพื่อให้สามารถแข่งขันกับโครงการที่ใช้พลังงานแบบดั้งเดิมที่ใช้น้ำมันเป็นหลักได้

โครงการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงรูปแบบการสนับสนุนโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดที่เป็นด้านพลังงานทดแทน โดยเฉพาะโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล เนื่องจากการตั้งเป้าในการเพิ่มอัตราการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งชีวมวลที่สูงมาจากแผนพลังงานของกระทรวงพลังงาน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าในปัจจุบันการสนับสนุนของรัฐในรูปแบบที่เรียกว่า ส่วนเพิ่มพิเศษ หรือ “adder program” ไม่ได้สอดคล้องกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในโครงการพลังงานทดแทนประเภทชีวมวล โดยความเสี่ยงในการดำเนินการผลิตไฟฟ้าของโรงงานชีวมวลก็คือราคาวัตถุดิบ ซึ่งผันแปรตาม Demand-supply และตามฤดูกาล ทำให้มีแนวคิดในการออกแบบเชิงนโยบายในการสนับสนุนแบบชดเชยส่วนต่างของราคาวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบมีราคาสูงกว่าราคากลางหรือราคาประกัน

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของนโยบายการสนับสนุนทางการเงินของรัฐบาลในรูปแบบที่ใช้กันในปัจจุบันที่เรียกว่า “ส่วนเพิ่มพิเศษ” หรือ “adder program” กับนโยบายที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ผลเป็น

ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ที่ได้ตามแสดงในตารางที่ 5.2 นโยบายการสนับสนุนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ นโยบายการประกันราคาชีวมวล ซึ่งมีค่าความคุ้มทุนเป็น 2.94

แต่ทั้งนี้ก็ตาม การประกันราคาชีวมวลหากพิจารณาไปใช้จริง จำเป็นต้องมีการกำหนดขั้นตอนให้โปร่งใส ตรวจสอบได้ ไม่เช่นนั้นแล้วอาจไม่ได้ผลตามที่ประเมินไว้

ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินโครงการเชิงเศรษฐศาสตร์ ด้วยรูปแบบการสนับสนุนจากภาครัฐแบบต่างๆ

รูปแบบการสนับสนุน	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ของโครงการ (เหรียญสหรัฐ)	ต้นทุนการสนับสนุน จากรัฐบาล (เหรียญ สหรัฐ)	ประสิทธิภาพของ นโยบาย
ส่วนเพิ่มพิเศษ	219,740	130,150	1.69
ประกันราคาชีวมวล	143,920	48,926	2.94
ประกันรายได้	277,800	188,120	1.48

5.2 ผลที่ได้จากการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ตีพิมพ์บทความวิจัย 2 บทความ (รายละเอียดของบทความตามเอกสารในภาคผนวก) ดังนี้

1. Improving Economic Assessments of Clean Development Mechanism Projects Using Real Options ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ใน Energy Procedia
2. Modelling of Government Support in Biopower Plant Projects: A Case of Thailand ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ใน Energy Procedia

5.3 งานวิจัยในอนาคต

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ศึกษาโครงการอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกับโครงการที่ได้ศึกษา คือ เป็นโครงการที่มีความเสี่ยงสูง และเป็นโครงการที่ต้องพึ่งพาการสนับสนุนจากรัฐบาลในระยะแรกของการพัฒนา หรือสนับสนุนการดำเนินของโครงการ

- Greiner, S. and A. Michaelowa (2003). "Defining Investment Additionality for CDM projects—practical approaches." *Energy Policy* 31(10): 1007-1015.
- Li, C.-b., G.-s. Lu, et al. (2013). "The investment risk analysis of wind power project in China." *Renewable Energy* 50(0): 481-487.
- Parnphumeesup, P. and S. A. Kerr (2011). "Stakeholder preferences towards the sustainable development of CDM projects: Lessons from biomass (rice husk) CDM project in Thailand." *Energy Policy* 39(6): 3591-3601.
- Yang, M., F. Nguyen, et al. (2010). "Wind farm investment risks under uncertain CDM benefit in China." *Energy Policy* 38(3): 1436-1447.
- Kaplan, S. (1997). "The words of risk analysis." *Risk Analysis* 14(7): 407-417.
- Enzensberger, N., Wietschel, M., & Rentz, O. (2002). Policy instruments fostering wind energy projects—a multi-perspective evaluation approach. *Energy Policy*, 30(9), 793-801.
- IEA (International Energy Agency). (1998). Renewable Energy Policy in IEA Countries-Vol. II: Country Report. OECD/IEA, Paris.
- Cervený, M. & Resch, G. (1998). Feed-in tariffs and regulations concerning renewable energy electricity generation in European countries. *Paper of Energieverwertungsagentur EVA*, A-Vienna. Available at <[Http://www.eva.wsr.ac.at](http://www.eva.wsr.ac.at)>.
- Moore, C. & Ihle, J. (1999). Renewable energy policy outside the United States. *Renewable Energy Policy Project REPP*, Issue brief No. 14, October. Available at <<http://www.repp.org>>.
- Loiter, J. M. & Norberg-Bohm, V. (1999). Technology Policy and Renewable Energy: Public Roles in the Development of New Energy Technologies. *Energy Policy*, 27, 85-97.
- de Jager, D.; Rathmann, M. (2008). *Policy instrument design to reduce financing costs in renewable energy technology projects*, ECOFYS, Commissioned by the International Energy Agency – Renewable Energy Technology Deployment, Utrecht, October 2008. Available at <http://www.iea-ret.d.org/files/RETD_PID0810_Main.pdf>.
- Mendonça, M. (2007). *Feed-in Tariffs: Accelerating the Deployment of Renewable Energy*. ISBN 9781844074662, EarthScan, London.
- Klein, A.; Pfluger, B.; Held, A.; Ragwitz, M.; Resch, G.; Faber, T. (2008). *Evaluation of Different Feed-in Tariff Design Options - Best Practice Paper for the International Feed-in Cooperation: 2nd edition*. funded by the Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), October 2008. Available at <http://www.feed-in-cooperation.org/images/files/best_practice_paper_2nd_edition_final.pdf>.
- Shen, L., Liu, L., Yao, Z., Liu, G., & Lucas, M. (2010). Development Potentials and Policy Options of Biomass in China. *Environmental Management*, 46(4), 539-554.

- Clancy, D., Breen, J., Thorne, F., Wallace, M. (2012). A stochastic analysis of the decision to produce biomass crops in Ireland. *Biomass and Bioenergy*, 46, 353-365.
- Havlickova, K., Weger, J. & Knapek, J. (2011). Modelling of biomass prices for bio-energy market in the Czech Republic. *Simulation Modeling Practices and Theory*, 19, 1946-1956.

Nakhon Kokkaew, Ph.D.

222 School of Engineering, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80160
Tel: (+66) 81-676-9501, Fax: (+66) 7567-2399, Email: nakhon.k@gmail.com

Education

2006 - 2010	Columbia University , Graduate School of Arts and Science <i>Ph.D. and M.Phil. in Civil Engineering (Infrastructure Project Finance)</i> Dissertation title: <i>Risk Flexibility Analysis in Infrastructure Project Finance</i> Thesis advisor: Nicola Chiara, Ph.D.	New York, USA
2000 - 2003	Chulalongkorn University , College of Engineering <i>M.Eng. in Civil Engineering (Construction Engineering and Management)</i> Thesis title: <i>A Study of a Guideline for Minimizing Construction Waste in Thailand</i> Thesis advisor: Tanit Tongthong, Ph.D.	Thailand
1995 - 1999	Chulalongkorn University , College of Engineering <i>B.Eng. in Civil Engineering</i>	Thailand

Experience

2010 - Present	<i>Lecturer</i> , School of Engineering and Resources Walailak University	Thailand
2006 - 2010	<i>Research Assistant</i> Global Infrastructure Evaluation & Risk Analysis Columbia University	New York, USA
2003 - 2006	<i>Lecturer</i> , School of Engineering and Resources Walailak University	Thailand
1999 - 2000	<i>Production Engineer</i> Dai-Ichi Corporation Public Company	Thailand
1999 - 1999	Bureau of the Budget	Thailand

Research Interests

- Risk analysis in infrastructure project finance
- Real options and investment decision-making under uncertainty
- Innovative stochastic models for Monte Carlo simulation

Grant Funding

Title	Awarding Agency	Dates	Amount (Baht)
A Model of Green Growth Assessment for Thailand's Highway Infrastructure Developments	Thailand Research Fund	7/2013-6/2015	332,100
A Feasibility Study of Financial Innovation for Infrastructure Financing and Risk Management in the Context of Thailand	Bureau of the Budget	10/2013-9/2014	390,000
A Study of Government Financial Support in Biopower Plant Projects	Energy Policy and Planning Office	Under review	555,000
A Risk-Flexibility Approach for Economic Evaluation of Clean Development Mechanism (CDM) Projects	National Science and Technology Development Agency (NSTDA)	11/2012-10/2013	219,318
An Effectiveness Model of Human Resource Management for Thai Construction Enterprises	Institute of Research and Development, Walailak University	6/2011-5/2012	76,500
Energy strategies and policies for the upper southern region of Thailand	Energy Policy and Planning office, Ministry of Energy	4/2005-9/2006	3,000,000
Waste minimization in pre-cast concrete factories	Thailand Research Fund (TRF)	10/2003-4/2004	92,000

Scholarly Activities**A. Publications*****Referred Publications***

- Kokkaew, N. and Wipulanusat, W. "Completion Delay Risk Management: A Dynamic Risk Insurance" Accepted to *KSCE Journal of Civil Engineering*.

- Kokkaew, N. and Sampim, T. “Improving Economic Assessments of Clean Development Mechanism Projects Using Real Options,” *Energy Procedia*. In press.
- Sampim, T. and Kokkaew, N. “Modelling of Government Support in Biopower Plant Projects: The Case of Thailand,” *Energy Procedia*. In press.
- Kokkaew, N., Sunkpho, J. and Alexander, D. (2013) “Thailand’s New Public Private Partnership Law: A Cure to the Problem?” *European Procurement & Public Private Partnership Law Review*, Vol. 2, pp. 143-150.
- Kokkaew, N. and Chiara, N. (2013) “Modeling Government Revenue Guarantees in Privately Built Transportation Projects: A Risk-Adjusted Approach,” *Transport*, 28(2), 185-191.
- Chiara, N. and Kokkaew, N. (2013) “Alternative to Government Revenue Guarantees: The Dynamic Revenue Insurance Contracts,” *ASCE, Journal of Infrastructure Systems*, 19(3), pp. 279-296.
- Kokkaew, N. and Koompai, S. (2012) “Current Practices of Human Resource Management (HRM) in Thai Construction Industry: A Risk and Opportunity Perspective,” *Review of Integrative Business & Economics Research*, 1(1), 1-14.
- Dong, F., Chiara, N., Kokkaew, N. (2012) “Copula-based Portfolio Credit Risk Assessment in Infrastructure Project Financing,” *The Journal of Private Equity*, Vol. 15, No. 2, 31-40.
- Dong, F., Chiara, N., Kokkaew, N. and Wu, J. (2011) “Stochastic Optimization of Capital Structure in Privately Funded Infrastructure Projects,” *The Journal of Private Equity*, Vol. 15, No. 1, 36-47.
- Kokkaew, N., Chiara, N., Sunkpho, J. and Dong, F. (2011) “Valuing Expansion Opportunities in BOT Highway Projects: A Branching and Folding Back (BFB) Method,” *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9(0), 66-81.
- Kokkaew, N., Chiara, N., Sunkpho, J. and Dong, F. (2011) “Valuing Expansion Opportunities in BOT Highway Projects: A Branching and Folding Back (BFB) Method,” *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8(0), 32-.
- Kokkaew, N. and Chiara, N. (2010) “Modelling completion risk using stochastic critical path-envelope method: a BOT highway project application,” *Construction Management and Economics*, 28(12), 1239-1254.
- Chiara, N. and Kokkaew, N. (2009) “Risk Analysis of Contractual Flexibility in BOT Negotiations: A Quantitative Approach using Risk Flexibility Theory,” *International Journal of Engineering and Management*, 1, 71-79.

B. Conferences and Presentations

- Kokkaew, N. and Sunkpho, J. Thailand's New Public Private Partnership Law: A Cure to the Problem? *International Conference on PPP Body Knowledge (P3Book)*, Preston, University of Central Lancashire, UK, March 17-20, 2013.
- Kokkaew, N. and Sampim, T. "Improving Economic Assessments of Clean Development Mechanism Projects Using Real Options." *2013 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies (2013 AEDCEE)*, Bangkok, Thailand, May 30-31, 2013.
- Sampim, T. and Kokkaew, N. "Modelling of Government Support in Biopower Plant Projects: A Case of Thailand." *2013 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies (2013 AEDCEE)*, Bangkok, Thailand, May 30-31, 2013.
- Kokkaew, N., Sunkpho, J., and Sampim, T. "Risk-Flexibility Theory as an Economic Decision-Making Support Tool for Complex Engineering Systems." *14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Moscow, Russia, June 27-29, 2012.
- Kokkaew, N. and Koompai, S. "Current Practices of Human Resource Management (HRM) in Thai Construction Industry: A Risk and Opportunity" Perspective. *2012 SIBR Conference on Interdisciplinary Business and Economics Research*, Bangkok, Thailand, June 7-9, 2012.
- Kokkaew, N., Chiara, N., Sunkpho, J., and Dong, F. "Valuing Expansion Opportunities in BOT Highway Projects: A Branching and Folding Back (BFB) Method." *The 9th Eastern Asia Society for Transportation Studies Conference*, Jeju, Korea, June 2011.
- Kokkaew, N. and Chiara, N. "Modeling of Government Revenue Guarantees in PPP Projects: An Intertemporal Risk-Adjusted Approach." *The 16th National Convention on Civil Engineering*, Pattaya, Thailand, May 2011.
- *The 3rd Annual Interuniversity Symposium on Infrastructure Management (AISIM)*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA, June 2007.

Teaching Experience

Semester	Subject	
2/2010	CEN-612	Civil System Planning and Management
	CEN-603	Environmental Impact and Risk Assessment
3/2010	ESC-343	Environmental Impact Assessment
	CEE-201	Mechanics of Materials I
1/2011	CEN-601	Civil and Environmental Project Management
	CEE-201	Mechanics of Materials I
	HOM-301	Planning and Control
2/2011	CEE-201	Mechanics of Materials I
	CEN-612	Civil System Planning and Management
	CEN-603	Environmental Impact and Risk Assessment

Semester	Subject	
3/2011	460-612	<i>Risk Management (an MBA course at Prince of Songkla University)</i>
	ESC-343	<i>Environmental Impact Assessment</i>
	CEN-903	<i>Seminar III</i>
1/2012	CEN-601	<i>Civil and Environmental Project Management</i>
	CEE-201	<i>Mechanics of Materials I</i>
	RMT-441	<i>Tools and Techniques for Marine and Coastal Management</i>
2/2012	CEN-612	<i>Civil System Planning and Management</i>
	CEN-603	<i>Environmental Impact and Risk Assessment</i>
	CEE-201	<i>Mechanics of Materials I</i>
3/2012	ESC-343	<i>Environmental Impact Assessment</i>
	CEN-903	<i>Seminar III</i>

Honors and Awards

2011	Recipient of financial support from the Eastern Asia Society for Transportation Studies (awarded in the 9th EASTS conference in Jeju, Korea)
2006-2010	<i>Royal Thai Government Scholarship</i> (A 4-year scholarship for a Ph.D. degree)
2001-2003	<i>UDC Scholarship</i> (A 2-year scholarship for a master degree)
1995-1999	<i>Chula Academic Scholarship</i> (A 4-year scholarship for a bachelor degree)

Mr. Tatcha Sampim



Personnel Information

Address: 56 M.3 Samtambon, Julabhron, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80130.
Phone: 086-595-9083
Age: 25
Nationality: thai
Religion: Buddhism
Height: 64
Weight: 177
Marital Status: Single
Military Service: Passed

Education

Highschool: - Grad. in Science-Math From Benjamarachutid, Nakhon Si Thammarat GPA 3.5
Bachelor: - Grad. in Chemistry From Chulalongkorn University GPA 2.67
Master: - Grad. in Environmental Engineering From Chulalongkorn University GPA 3.57
Project: - Coagulation of latex waste water using polymer as coagulant
Thesis: - Synthesis of zeolite a from spent silica-alumina

Conferences
(Oral Presentation)

1. - The Second Conference on Environmental Science, Engineering and Management, 2010. Chulalongkorn university, Bangkok Thailand.
2. "SYNTHESIS OF Na-A ZEOLITE FROM SPENT SILICA- ALUMINA"

- The 4th International Workshop and Conference on Earth Resource Technology, 2010. Royal Paradise Hotel, Phuket Thailand.
"Utilization of Alumina-Silica Waste as for Synthesis of Zeolite NaA"

Toeic score 575 at March 16, 2011

Skill

Computer Skill: Microsoft Office
English: Speaking:(fair) , Reading:(good) ,Writing:(fair)

ภาคผนวก ข: บทความวิจัย

1. Improving Economic Assessments of Clean Development Mechanism Projects Using Real Options ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสาร Energy Procedia
2. Modelling of Government Support in Biopower Plant Projects: The Case of Thailand ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสาร Energy Procedia