การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งแร่ควอตซ์ในประเทศไทย

นายปพน หลวงทุมมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRE-FEASIBILITY STUDY

OF SOLAR GLADE SILICON FEEDSTOCK FROM QUARTZ DEPOSIT IN THAILAND

Mr. Papon Luangtumma

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งแร่ควอตซ์ในประเทศไทย
โดย	นายปพน หลวงทุมมา
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ธีรวุธ ตันนุกิจ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปพน หลวงทุมมา : การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งแร่ควอตซ์ในประเทศไทย (PRE-FEASIBILITY STUDY OF SOLAR GLADE SILICON FEEDSTOCK FROM QUARTZ DEPOSIT IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์, 95 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูล และประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แร่จากแหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความคุ้มค่า และไม่คุ้มค่าของโครงการ

ด้านธรณีวิทยา ได้ทำการสำรวจพื้นที่แหล่งแร่ควอตซ์ สุ่มเก็บตัวอย่างแร่ และนำมาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของแร่โดยใช้เครื่องมือ X-RAY FLUORESCENCE (XRF) จากการวิเคราะห์มูลพบว่ามีปริมาณ SiO_2 เฉลี่ยเท่ากับ 99.550% จากข้อมูลดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลในอุตสาหกรรมซิลิคอนในประเทศไทยในปัจจุบัน สรุปเบื้องต้นได้ว่าแร่ควอตซ์ในแหล่งแร่ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรีมีคุณภาพสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ด้านการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ขั้นตอนการทำเหมือง การแต่งแร่ และตั้งโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยแบ่งศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1.ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธี ECO-X 2. ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยการจำหน่ายแร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมืองเพื่อผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม และรับซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรมเพื่อนำมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระยะเวลาของเหมืองเท่ากับ 25 ปี โดยข้อสรุปของกรณีที่ 1 พบว่า NPV เท่ากับ 221,108.33 ล้านบาท IRR เท่ากับ 85% และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี 3 เดือน ข้อสรุปของกรณีที่ 2 พบว่า NPV เท่ากับ 143,162.34 ล้านบาท IRR เท่ากับ 46% และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าโครงการในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 นี้น่าสนใจที่จะลงทุน และมีความเป็นไปได้ในการลงทุน

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5570273321 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: PREFEASIBILITY STUDY / QUARTZ / SOLAR GRADE SILICON.

PAPON LUANGTUMMA: PRE-FEASIBILITY STUDY OF SOLAR GLADE SILICON FEEDSTOCK FROM QUARTZ DEPOSIT IN THAILAND. ADVISOR: THITISAK BOONPRAMOTE, Ph.D., 95 pp.

The object of this study is to conduct the prefeasibility study of solar grade silicon feedstock from Takopidtong mine, quartz deposit in Karnchanaburi province, Thailand. In order to formulate suitable plan in technical by geology, the data were analyzed as financial aspects and economic benefit.

In term of geology, the quartz mine have been surveyed, and the quartz samples were collected for geological analysis using X-ray fluorescence (XRF). The data showed the average content of SiO_2 is 99.550%. The quartz in this deposit has enough purity to be produced as solar grade silicon.

In the financial study, this study was considered as two routes of manufacturing solar grade silicon. The first was used ECO-X method, and the second was produced from metallurgical silicon.

The duration of these projects would be 25 years. For the first route, the results indicated that NPV = 221,108.33 million THB, IRR = 85% and the payback period would be 1 year and 3 months. For the second route, NPV and IRR would be 143,162.34 million THB and 46%. The payback period would be 2 years and 2 month. Referring to the financial study, this project is feasible.

Department:	Mining and Petroleum Engineering	Student's Signature	.....
		Advisor's Signature	.....
Field of Study:	Georesources Engineering		
Academic Year:	2015		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบพระคุณ อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำการทำงานอย่าใกล้ชิด อาจารย์ ดร.ธีรวุธ ตันนุกิจ ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยในทุกๆ ด้าน ตรวจร่างรายงานจนเสร็จสมบูรณ์ และรวมทั้งผู้มีคุณูปการจากบุคคลและหน่วยงานดังนี้

อาจารย์อุทิศ ทองกลึง ที่ให้คำแนะนา และช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในงานวิจัยนี้และทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามที่มีส่วนในการช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอบกราบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุนการเรียนครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้คำปรึกษา และกำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 11

บทนำ 11

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย 11

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 16

1.2 ขอบเขตและ วิธีการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ 16

1.2.4 ประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ (Prefeasibility Study) 17

1.3 แผนการดำเนินงาน 17

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้มาประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ 17

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 19

1.5 ลำดับขั้นตอนการเสนอผลงานวิจัย 20

บทที่ 2 21

ข้อมูลเบื้องต้น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

2.1 แนวคิด และทฤษฎีเบื้องต้น 21

2.2 วัตถุดิบในการผลิตซิลิคอน 23

2.2.1 Fine Silicon 23

2.2.2 Coarse Silicon 23

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตซิลิคอนคุณภาพสูง 23

2.4 การนำแร่ควอตซ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 ขั้นตอนการนำแร่ควอตซ์มาผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม 25

2.3.2.2 วิธีทางเคมี (Chemical processing) 31

2.5 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบในงานวิจัย 35

2.5.1 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากกระบวนการ ECO-X 35

2.6 พื้นที่ที่ทำการศึกษา 35

2.7 วิธีการทำเหมืองแร่ควอตซ์ และอุปกรณ์ที่ใช้ 37

2.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ 38

2.8 แนวคิด และทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในงานวิจัย 39

2.8.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 40

2.8.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) 43

2.8.3 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate Return: IRR) 47

2.7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) 48

บทที่ 3 49

อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย 49

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมเหมืองแร่ ประกอบด้วย 49

3.1.1 การกำหนดข้อมูล และแหล่งข้อมูล 49

3.1.2 ลงพื้นที่สำรวจ และเก็บตัวอย่างแร่ 49

3.1.3 วิเคราะห์ตัวอย่างแร่ที่ได้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป 52

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยทางด้านการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการทางเศรษฐศาสตร์ 52

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล 52

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 นำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 53

3.3 เครื่องมือที่ใช้ทำการวิจัย 57

3.3.1วิเคราะห์คุณสมบัติของแร่ 57

3.3.2 วิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) 58

บทที่ 4 60

ผลการวิเคราะห์ 60

4.1 วิเคราะห์ด้านแร่ (Mineral Characterization) 60

4.1.1 ศักยภาพแหล่งแร่ควอตซ์ 60

4.1.2 ซิลิคอนเกรดโลหกรรม (Metallurgical grade silicon, 98-99% Si) 60

จากการศึกษาวิจัยมีการคาดการณ์ไว้ว่าแหล่งแร่ตะโกปิดทองสามารถผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม 60

4.1.3 ซิลิคอนความบริสุทธ์สูงสำหรับผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar grade silicon) . 60

ซิลิคอนความบริสุทธ์สูงสำหรับผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ 60

4.2 คุณภาพของแร่ควอตซ์ในพื้นที่ 61

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 62

4.3.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ใช้แร่ควอตซ์จากแหล่งแร่ตะโกปิดทองมาผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วิธี ECO-X Process 64

4.3.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการจำหน่ายแร่ควอตซ์ไปผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม และรับซื้อมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 77

บทที่ 5 89

สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ 89

หน้า

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ 89

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ 89

5.3 ข้อเสนอแนะ 91

รายการอ้างอิง 92

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

ทรัพยากรที่มนุษย์ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วมีวันหมดไปในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือถ่านหิน มนุษย์จะนำทรัพยากรสิ่งเหล่านี้มาทำการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ในการดำรงชีวิต โดยทรัพยากรดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานาน และมีแนวโน้มว่าจะลดลงเรื่อยๆ และอาจหมดไปในอนาคต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ พลังงานทดแทนอื่นๆ คือพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด และยั่งยืน โดยสถานการณ์สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้มาจากการซื้อพลังงานจากประเทศเพื่อนบ้านเช่น ซื้อก๊าซธรรมชาติจากพม่า ซื้อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเขื่อนในประเทศลาว ซึ่งในอนาคตเมื่อมีการเปิด AEC คาดว่าความต้องการพลังงานโดยรวมจะเพิ่มขึ้นทำให้ภายในประเทศมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจึงควรจะให้ความสำคัญกับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตเอง จากแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ และสามารถนำมาใช้เองได้ภายในประเทศ เนื่องจากความไม่แน่นอนในอนาคต และหากประเทศไทยสามารถผลิตไฟฟ้าเองอาจส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มรายได้ให้กับประเทศโดยการส่งพลังงานที่ผลิตได้ในประเทศออกไปขายให้ประเทศเพื่อนบ้าน โดยแหล่งพลังงานงานที่เหมาะสม และน่าสนใจสำหรับประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันทั้งภาครัฐ และเอกชนในประเทศไทยเริ่มให้ความสนใจ และมีนโยบายในการสนับสนุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยนั้นถือว่าเป็นพื้นที่ที่ได้รับรังสีจากด้วยอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยทั้งปีของพื้นที่ทั้งประเทศมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m^2 (กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, พ.ศ. 2542) จากข้อมูลที่ได้ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพของการได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในโซนที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประเทศในโซนเดียวกัน โดยในปัจจุบันได้มีบริษัทจากภาคเอกชนหลายบริษัท ได้ให้ความสำคัญ และมีความสนใจการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการ โซลาฟาร์ม (Solar Farm) ที่จะมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ และการติดตั้งโซลาลูฟ (Solar Roof) ที่จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งบนหลังคา หรือชั้นดาดฟ้าของตัวอาคาร

บ้านเรือน เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในตัวอาคาร โดยจากการคาดการณ์ในระยะยาวถ้าประเทศไทยมีการสนับสนุนการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างจริงจัง และสามารถนำวัตถุดิบที่มีภายในประเทศมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ จะสามารถสร้างประโยชน์ให้กับประเทศในหลายๆ ด้าน เช่น ด้านพลังงานที่เพียงพอกับประชากรในประเทศโดยไม่ต้องพึ่งพาประเทศเพื่อนบ้าน และเศรษฐกิจภายในประเทศ เพราะเมื่อประเทศไทยมีแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อทำให้สามารถลดปริมาณการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้ และอาจสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศโดยการส่งออกให้ประเทศเพื่อนบ้านได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มการจ้างงานเป็นการช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจได้อีกทางหนึ่ง ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีในประเทศไทยในปัจจุบันได้มาจากสองส่วนหลักๆ คือ เป็นการนำเข้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศนำมาติดตั้งในประเทศ และอีกส่วนหนึ่งจะนำเข้าวัตถุดิบ คือ ซิลิคอนความบริสุทธิ์สูงสำหรับผลิตเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการแปรรูปแล้วเข้ามาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้มีปริมาณเม็ดเงินไหลออกนอกประเทศเป็นจำนวนมาก จากเทคโนโลยีในปัจจุบันการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสามารถผลิตโดยใช้ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวัตถุดิบที่นำมาผลิตนั้น คือ แร่ควอตซ์ โดยจากการสำรวจทางธรณีวิทยาพบว่าประเทศไทยมีแหล่งแร่ควอตซ์คุณภาพสูงแต่ยังไม่ได้รับการประเมินคุณภาพ และศึกษาความเป็นไปได้ โดย แหล่งแร่ควอตซ์คุณภาพสูงที่เหมาะการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ คือแหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี แหล่งแร่ควอตซ์คุณภาพสูงที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่ , กุมภาพันธ์ 2554)ซึ่งทำให้เกิดเป็นปัญหา และที่มีของงานวิจัยนี้ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งถ้าได้มีการศึกษาอย่างจริงจังเพื่อเปรียบเทียบการลงทุนในอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างการนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศซึ่งเป็นสิ่งที่มีอยู่แล้วในปัจจุบันกับการที่ประเทศไทยจะทำการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เองโดยใช้แร่ควอตซ์ที่มีอยู่ภายในประเทศ ทำการศึกษาเทคโนโลยีต่างๆ วัตถุดิบที่มีในประเทศเพื่อนำไปใช้ในการลดต้นทุนกระบวนการผลิต ซึ่งถ้าสามารถหาวิธีที่จะทำให้เกิดความเป็นไปได้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจรโดยใช้วัตถุดิบในประเทศไทย (ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำ) คาดว่าจะส่งผลให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายมหาศาล อาทิเช่น สามารถแก้ปัญหาพลังงานไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในระยะยาว ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศส่งผลให้ต้นทุนลดลงรายได้ประเทศเพิ่มขึ้น เกิดการสร้างงานและอาชีพมากมาย หากโครงการดังกล่าวเป็นไปได้จริงในเชิงพาณิชย์ประเทศไทยอาจเป็นฐานการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในอนาคตก็เป็นได้

ตารางที่ 1. 1 ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ที่มา :(ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558), ผู้ประกอบการ

สินค้า	ผลิตในไทยแล้ว	จำนวนบริษัท
ซิลิคอนเกรดโลหกรรม	มี	มี 2 ราย คือ บริษัท G.S Energy และ บริษัท Sica New Materials
ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	อยู่ระหว่างการลงทุน	มี 1 ราย ได้แก่บริษัท Solar Synergy
เวเฟอร์	ไม่มี	0

<u>แหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี</u>

ในประเทศไทยมีแหล่งแร่ควอตซ์คุณภาพสูงที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไปตามคุณสมบัติของแร่ควอตซ์ที่สามารถใช้ผลิตซิลิคอนกว่า 25 ล้านเมตริกตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)โดยมีแหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี เป็นแหล่งที่มีศักยภาพสูงสุด โดยมีปริมาณสำรองแร่ควอตซ์คุณภาพสูงกว่า 16 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 16,000 – 24,000 ล้านบาท และหากใช้ผลิตเป็นซิลิคอนจะก่อให้เกิดมูลค่าต่อประเทศมหาศาล ดังแสดงในตารางที่ 1.2

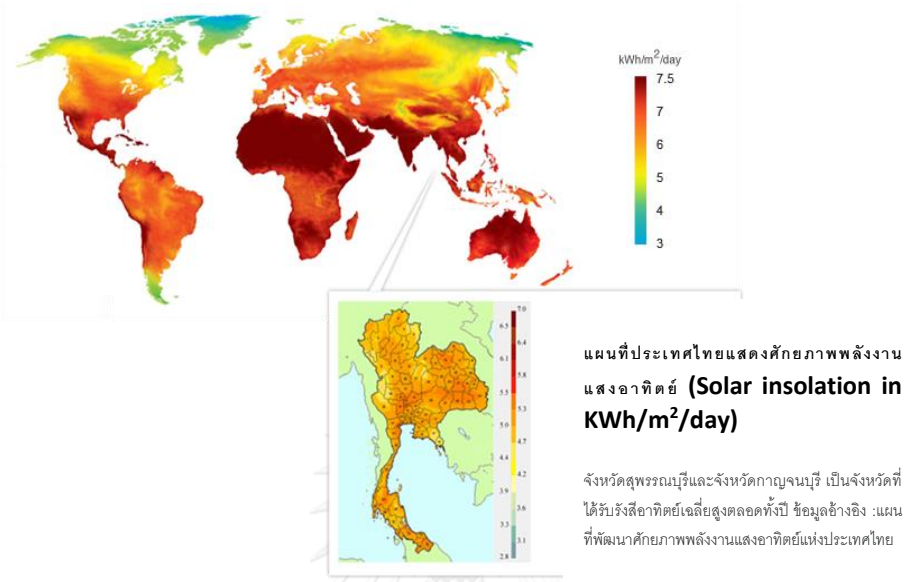
ตารางที่ 1. 2 ประมาณสำรองแร่ควอตซ์ ราคา และมูลค่าแหล่งแร่แหล่งตะโกปิดทอง

ที่มา : (กรุงเทพธุรกิจ, 17 ธันวาคม 2556), (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)

ผลิตภัณฑ์	ราคาปี 2556 (บาทต่อเมตริกตัน)	มูลค่ารวม (ล้านบาท)
แร่ควอตซ์ 16 ล้านเมตริกตัน	1,000 - 1,500	16,000 – 24,000
Metallurgical grade silicon หรือ ซิลิคอนเกรดโลหกรรม (จากแร่ควอตซ์ 16 ล้านเมตริกตัน)	45,000 – 60,000	720,000 – 960,000
Solar grade silicon หรือ ซิลคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ (6 ล้านเมตริกตัน)	750,000 – 900,000	4,500,000 – 5,400,000

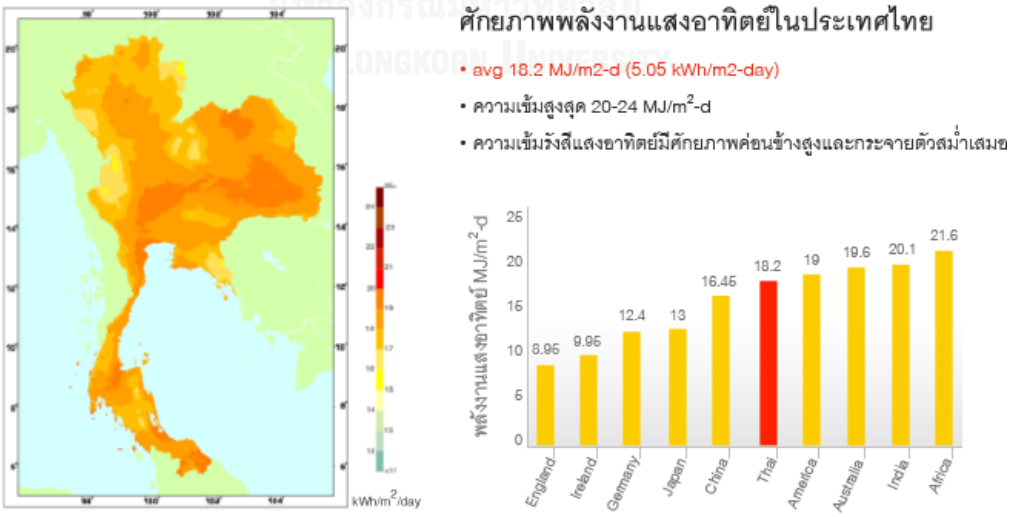
จากข้อมูลในตารางที่ 1.2 Solar Grade Silicon ที่ผลิตได้ประมาณ 6 ล้านเมตริกตันจากแร่ควอตซ์ประมาณ 16 ล้านเมตริกตันสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 960,000 เมกะวัตต์ (Solar Grade Silicon 1 กิโลกรัมผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 160 วัตต์) คิดเป็น 35.64 เท่าของความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย (ในปี 2557 มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 26,942.10 เมกะวัตต์ (การไฟฟ้านครหลวง, กุมภาพันธ์ 2554) ซึ่งหากองค์การบริหารส่วนตำบลทั่วประเทศซึ่งมีประมาณ 7,000 แห่ง ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดสูงสุด 10 เมกะวัตต์ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2 เมกะวัตต์ (ใน 1 วันช่วงที่สามารถผลิตผลิตไฟฟ้าอย่างเต็มประสิทธิภาพประมาณ 5 ชั่วโมงจาก 24 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 20%) จะสามารถผลิตเป็นพลังงานได้ 14,000 เมกะวัตต์ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในประเทศไทยปี 2557 ที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 29,212 เมกะวัตต์ ขณะที่ใช้แร่ควอตซ์เพียง 1.2 ล้านเมตริกตัน ในการผลิต Solar grade silicon สำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว และหากมีการบำรุงรักษาแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ที่ดีจะสารถใช้งานได้ 15-20 ปี ซึ่งหมายความว่าประเทศไทยจะมีปริมาณสำรองแร่ควอตซ์ที่สามารถนำมาผลิตพลังงานได้หลายร้อยปี



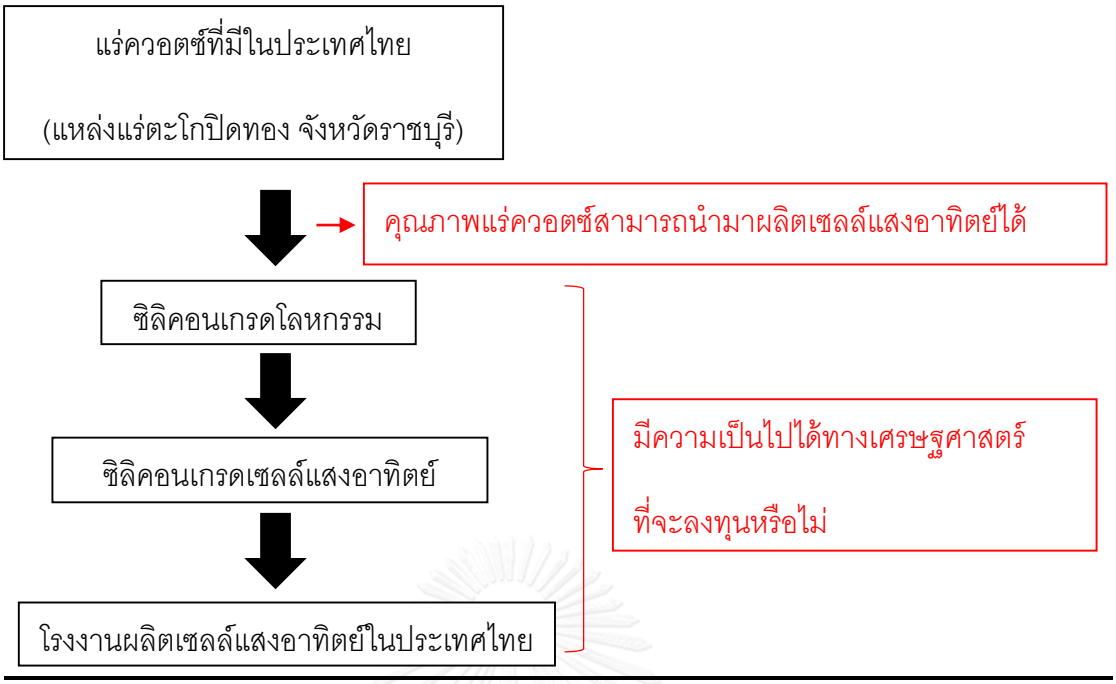
รูปที่ 1. 1 แผนที่โลกแสดงศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา : (http://www.thaisolarenergy.com/knowledge.php)



รูปที่ 1. 2 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ที่มา : (http://www.thaisolarenergy.com/knowledge.php)



รูปที่ 1. 3 แผนภาพเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาและที่มาของงานวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษา, รวบรวมข้อมูล และประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ คือแร่ควอตซ์ โดยอ้างอิงจากแหล่งแร่ควอตซ์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย คือแหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี

1.2 ขอบเขตและ วิธีการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

1.2.1 ศึกษาอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร (จาก Silicon)

1.2.2 ศึกษาอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ แล้วเปรียบเทียบว่าประเทศไทยยังขาดอะไรบ้าง

- ปริมาณที่มีในประเทศ เช่น แหล่งแร่, ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น
- คุณภาพที่มีในประเทศเป็นอย่างไรบ้าง เช่น แร่ควอตซ์ที่มีอยู่สามารถนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้หรือไม่

1.2.3 ประเทศไทยมีศักยภาพในประเด็นด้านใดบ้าง

- วัตถุดิบ

- เทคโนโลยี
- อื่นๆ

1.2.4 ประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ (Prefeasibility Study) ดังนี้

- วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม
- ปริมาณ และคุณภาพของวัตถุดิบ
- เปรียบเทียบการความเป็นไปได้ในการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี ECO-X กับ วิธีที่มีในปัจจุบันในประเทศ

1.3 แผนการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

- โครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน
- อุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีในประเทศไทย
- การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์
- ประเมินความจำเป็นของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วัตถุดิบในประเทศไทย

1.3.2 เก็บข้อมูลจากเหมืองแร่ควอตซ์ ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี

- ปริมาณสำรองแร่, คุณภาพของแร่ เป็นต้น
- รวบรวมข้อมูล สาเหตุปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้มาประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการ วิเคราะห์ ประเมิน และเปรียบเทียบกระบวนการการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยเริ่มจากการผลิตเองโดยเริ่มจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ เพื่อพัฒนาวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1. 3 แผนการดำเนินงาน

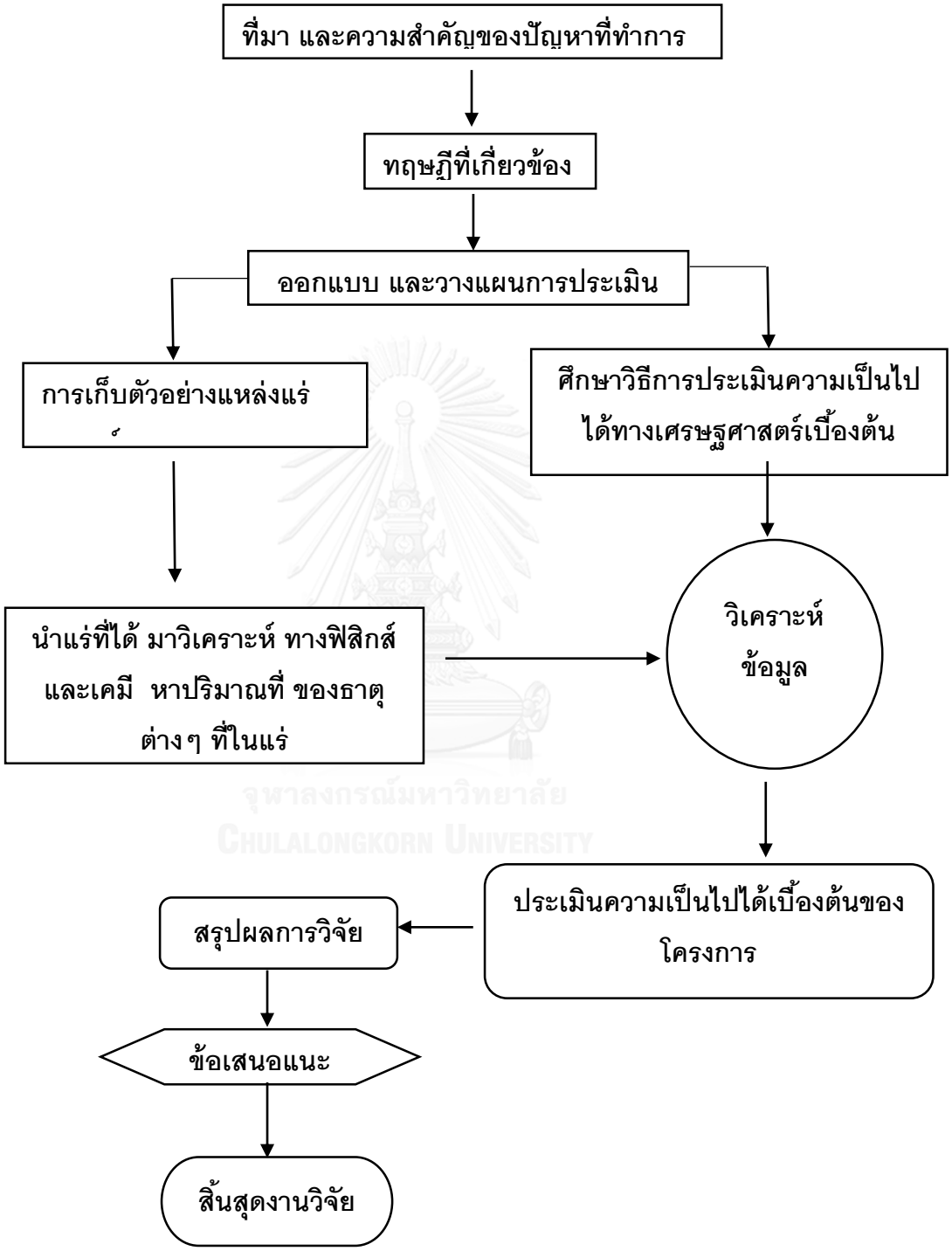
ขั้นตอน / เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. **ศึกษา** • โครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน • อุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีในประเทศไทย • การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์ • ประเมินความจำเป็นของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วัตถุดิบในประเทศไทย												
2. เก็บข้อมูลจากเหมืองแร่ควอตซ์ ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี • ปริมาณสำรองแร่, คุณภาพของแร่ เป็นต้น • รวบรวมข้อมูล สาเหตุปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย												
3. ทำการประเมินโครง และวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย												
4. วิเคราะห์ และสรุปผล												

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- จากการศึกษา และประเมินโครงการคาดว่าผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจกับหน่วยงานต่างๆ ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
- สามารถเป็นข้อมูลประกอบเพื่อนำมาใช้พัฒนาโครงการเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ลำดับขั้นตอนการเสนอผลงานวิจัย



รูปที่ 1. 4 ขั้นตอนการเสนอผลงานวิจัย

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด และทฤษฎีเบื้องต้น

ซิลิคอนเป็นธาตุเบามีสมบัติกึ่งโลหะปกติพบในธรรมชาติโดยซิลิคอนจะรวมกับออกซิเจนและอะตอมของธาตุอื่นๆ เกิดเป็นซิลิเกต (Silicates) พบได้ในชั้นเปลือกโลกมากกว่าร้อยละ 26 โดยน้ำหนักโดยทั่วไปแล้วจะไม่พบซิลิคอนบริสุทธิ์ในธรรมชาติ แต่จะพบเป็นสารประกอบออกไซด์หรือซิลิเกต (มีโลหะผสมอยู่ เช่น แกรไฟต์ แร่ใยหิน เฟลด์สปาร์ และไมกา เป็นต้น) ในรูปของผลึกซึ่งมีซิลิคอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม ที่เรารู้จักกันดี คือ ซิลิกา หรือ ควอตซ์ (นางสาวเบญจพร พวงจำปี, 2547)

ซิลิกา (Silica : SiO_2) เป็นซิลิเกตชนิดหนึ่ง แต่มีเพียงอะตอมของซิลิคอน และออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเท่านั้นโดยมีมี ซิลิคอนอยู่ 46.7% และออกซิเจน 53.3% ระบบผลึกของซิลิคอนเป็นแบบ Hexagonal ลักษณะของการเกิดแร่มักจะเกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัว และท้าย บางครั้งก็เกิดเป็นผลึกแฝด ผลึกมีแทบทุกขนาด มีค่าความแข็ง 7 และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 รอยแตกเว้า ความวาวคล้ายแก้วคล้ายเทียนไขส่องแสงเป็นประกายแววววาว สีอาจจะเป็นสีขาว หรือไม่มีสี ถ้ามีมลทินเจือปนอยู่จะให้สีต่างๆ สวยงาม เนื้อโปร่งใส ถึงโปร่งแสง ซิลิการู้จักกันทั่วไป คือ ควอตซ์ หรือควอตซ์ไซด์ จุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 1,710 องศาเซลเซียส

การผลิตซิลิคอนบริสุทธิ์เบื้องต้นจะได้มาจากการนำควอตซ์ (SiO2) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 97 ขึ้นไปมาถลุงในเตาหลอมไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง โดยใช้เชื้อเพลิงประเภทคาร์บอน โดยจะได้ผลผลิตเป็นซิลิคอนหลอมเหลวเกรดโลหกรรม ซิลิคอนเกรดโลหกรรมนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายในงานอุตสาหกรรมทั่วไป แต่หากต้องการให้ซิลิคอนที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นอีก จะต้องนำซิลิคอนเกรดโลหกรรมไปผ่านเข้าสู่กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการหลอมซ้ำอีกครั้งหรือการใช้สารละลายทางเคมีเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกทำให้ซิลิคอนที่บริสุทธิ์ขึ้นทำให้มีราคาสูงขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีก เช่น อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ และอุตสาหกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

รูปที่ 2. 1 ลักษณะทางกายภาพของแร่ควอตซ์ (SiO_2) ที่พบจากแหล่งตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี
ที่มา : จากการศึกษา

ซิลิคอนที่สามารถแบ่งได้หลายชนิดตามความบริสุทธิ์โดยพิจารณาสัดส่วนของของซิลิคอนที่ผสมอยู่ในเนื้อวัสดุหลัก สามารถแบ่งประเภทของซิลิคอน และการประโยชน์ที่นำไปใช้ดังนี้

- Ferrosilicon (Si > 50%) เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กทั่วไป
- Silicon , Metallurgical Grade Silicon (Regular Si 97%) เหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
- Semiconductor (Hyper pure: Si 99.9999999%) ซิลิคอนความบริสุทธิ์สูง เหมาะสำหรับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตสารกึ่งตัวนำ และเซลล์แสงอาทิตย์

ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้นความสนใจไปในการที่จะผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการผลิตคือซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์(Si = 99.9999%) ได้มาจากการทำให้ซิลิคอนคุณภาพสูงมีความบริสุทธิ์ขึ้นตามขั้นตอนต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังที่จะกล่าวไปต่อไปนี้

2.2 วัตถุดิบในการผลิตซิลิคอน

วัตถุดิบที่จะนำมาผลิตซิลิคอนได้คือ ซิลิกา หรือควอตซ์ ซึ่งมีสมบัติ และลักษณะเฉพาะ โดยสามารถแบ่งลักษณะของควอตซ์เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ (นางสาวเบญจพร พวงจำปี, 2547)

2.2.1 Fine Silicon ได้แก่ ทรายที่พบตามธรรมชาติธรรมชาติ (Silicon sand) และหินทรายร่วน
(Friable sandstone) ที่เกิดจากการแปรสภาพในธรรมชาติ สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแก้ว กระจก และสามารถใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ เป็นต้น

2.2.2 Coarse Silicon ได้แก่ ควอตซ์ หรือควอตซ์ไซด์ และควอตซ์ชนิดเม็ดใหญ่ ซึ่งนับว่าเป็นควอตซ์ที่มีคุณภาพสูง

สำหรับในอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้ควอตซ์เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยต้องทำการแปรสภาพจากควอตซ์ให้เป็นซิลิคอนบริสุทธิ์ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.9999

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตซิลิคอนคุณภาพสูง

2.3.1 แร่ควอตซ์ (SiO_2)

แร่ควอตซ์เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม (Metallurgical grade silicon) และซิลคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar grade silicon) โดยแร่ควอตซ์จากเหมืองแร่จะต้องถูกแต่งแร่ ให้มีขนาด 3 – 10 เซนติเมตร ก่อนเข้าสู่กระบวนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อทำการถลุงในเตาอาร์คไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปหากผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม จำนวน 1 เมตริกตัน จะใช้แร่ควอตซ์เป็นวัตถุดิบประมาณ 2.8 – 3.0 เมตริกตัน โดยแร่ควอตซ์คุณภาพสูงซึ่งเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมซิลิคอนมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

ตารางที่ 2. 1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ควอตซ์คุณภาพสูงที่เป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมซิลิคอน ที่มา : (ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558)

SiO_2	**> 99.3%**	Silica / Silicon Oxide
Fe_2O_3	< 800 ppm	Iron
Al_2O_3	< 1000 ppm	Aluminum
CaO	< 1000 ppm	Calcium
P_2O_5	< 50 ppm	Phosphorus
B_2O_3	< 30 ppm	Boron
K_2O	< 500 ppm	Potassium
Na_2O	< 500 ppm	Sodium
MgO	< 200 ppm	Magnesium

2.4 การนำแร่ควอตซ์มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบทั่วไป

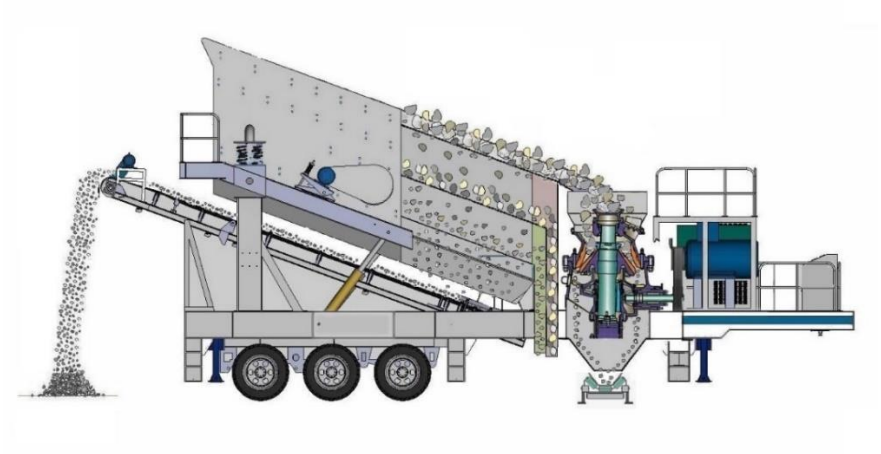
นำแร่ควอตซ์จากเหมืองแร่ควอตซ์ เบื้องต้นจะนำแร่มาผ่านกระบวนการแต่งแร่เพื่อล้างทำความสะอาดกำจัดสิ่งปนเปื้อนในแร่ บดหยาบ และคัดขนาดให้มีขนาด 3-10 เซนติเมตร เพื่อให้แร่ควอตซ์นั้นมีคุณภาพมากพอ เพื่อที่จะเป็นการเตรียมวัตถุดิบก่อนนำแร่เข้าสู่กรรมวิธีถลุงทางโลหกรรม เพื่อผลิต พัฒนาเป็นซิลิคอนในเกรดต่างๆ

เนื่องจากโดยปกตินั้นแร่ควอตซ์ในธรรมชาติจะมีสารเจือปนไม่บริสุทธิ์ร้อยเปอร์เซ็นต์ เช่น มีเหล็ก แคลเซียม ไทเทเนียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และโบรอน เป็นส่วนผสมอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดธาตุปนเปื้อนดังกล่าว โดยถ้าแร่ควอตซ์จากแหล่งแร่นั้นมีความบริสุทธิ์มากพอ และมีคุณภาพสูง ในขั้นตอนถลุงจะทำให้ได้ซิลิคอนที่บริสุทธิ์มากพอในการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งในทางตรงกันข้ามถ้าแร่ควอตซ์ไม่บริสุทธิ์มากพอ อาจก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาอีกมากมายเช่น การเพิ่มต้นทุนในการทำกำจัดสิ่งเจือปน เป็นต้น โดยรายละเอียดกระบวนการนำแร่ควอตซ์มาถลุงเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม และซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์มีดังต่อปีนี้

2.3.1 ขั้นตอนการนำแร่ควอตซ์มาผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม

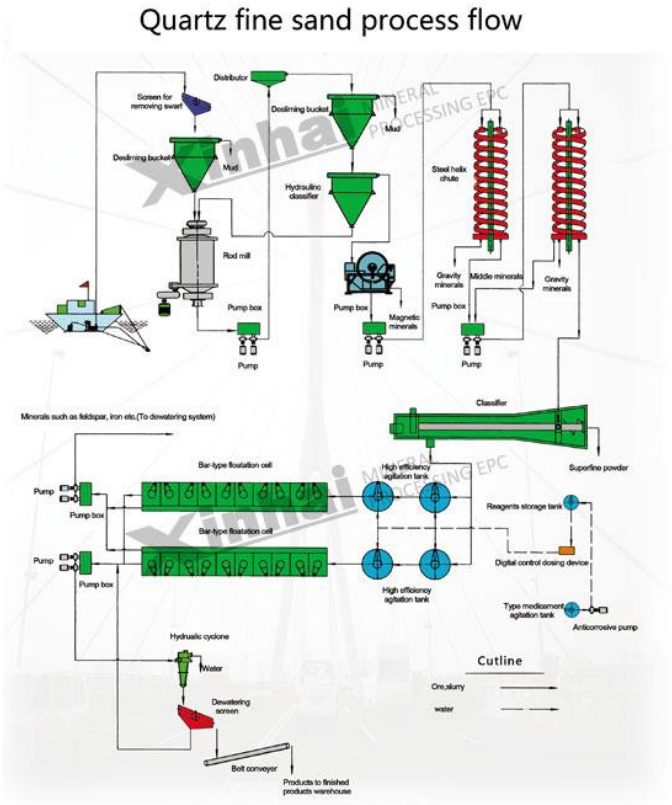
2.3.1.1 ขุดสายแร่ควอตซ์จากเหมืองแร่ในระบบเปิดมาทำการลดขนาดให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องมือประเภท Crusher เพื่อช่วยในการบดหยาบ และลดขนาดของแร่วัตถุดิบอีกครั้งให้มีขนาดเหมาะสม สำหรับการนำไปถลุงต่อไปในขั้นคอนผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม (แร่ซิลิกาเกรดความบริสุทธิ์สูงมักพบแทรกตัวอยู่ภายใต้ชั้นเปลือกโลกที่ระดับความลึกลงหลายเมตร โดยเฉพาะซิลิกาในรูปก้อนจะได้มาจากสายแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่)

2.3.1.2 แร่ที่ได้หลังจากทำการบดลดขนาดแล้วจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการแต่งแร่เพื่อให้ควอตซ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตซิลิคอนบริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้าง และคัดขนาดด้วยตะแกรง (Screening) หรือ Jig (3 – 10 ซม.) (ในที่นี้ขนาดและความบริสุทธิ์ที่เหมาะสมของควอตซ์แต่ละชนิดที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในเตาถลุงจะพิจารณาจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ หรือประโยชน์ของการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท รวมถึงสิ่งปนเปื้อนที่อาจหมายถึงแร่โลหะซึ่งเป็นส่วนประกอบอยู่ในแร่ควอตซ์เกรดต่างๆ ว่ามีความจำเป็นต้องกำจัดออกด้วยหรือไม่)



รูปที่ 2. 2 ตัวอย่างการบดลดขนาดโดยใช้ Cone Crusher

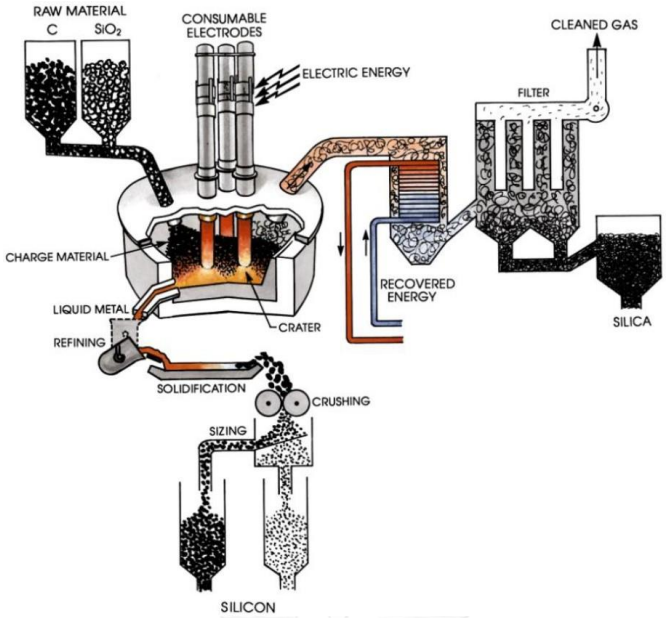
ที่มา : (http://maruticrusher.com)



รูปที่ 2. 3 ตัวอย่างขั้นตอนการ ลดขนาด และแต่งแร่ควอตซ์ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนถลุง

ที่มา: (http://www.xinhaimining.com)

2.3.1.3 นำแร่ควอตซ์ที่ผ่านการคัดแยกจากกระบวนการแต่งแร่ (ในที่นี้จะต้องมีขนาด และคุณสมบัติขั้นต้น คือ เป็นซิลิกาชนิด coarse silica (lump silica)) มาเข้าสู่กระบวนการถลุงด้วยความร้อน โดยแร่ควอตซ์ ถ่านไม้ (Charcoal) และถ่านโค๊ก (Petroleum coke) จะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) ตามสัดส่วนที่เหมาะสม และทำการถลุงที่อุณหภูมิประมาณ 1,800 องศาเซลเซียส โดยปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ที่เป็นแท่งคาร์บอน ถ่านไม้ และถ่านโค๊กที่เป็นแหล่งคาร์บอน (C) จะทำปฏิกิริยากับแร่ควอตซ์ ทำกับออกซิเจน (O_2) ที่ประกอบอยู่ในแร่ควอตซ์ลดลง จนได้เป็นซิลิคอน (Si) หลอมเหลว ขั้นตอนนี้เรียกว่า Carbothermic reduction ดังรูปที่ 2.4 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเตาหลอมแสดงได้ดังสมการ (1) – (4) และรูปที่ 2.4 (Carrissa Smith, 2012)



รูปที่ 2. 4 ภาพรวมของกระบวนการ Carbothermic reduction

ที่มา : (Anders Schei et al., 1998)

ขณะที่ก๊าซคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซซิลิคอนมอนนอกไซด์ (SiO_2) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าว จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายในเตาอาร์คไฟฟ้าเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ Silica fume หรือ Micro silica (SiO_2) ตามลำดับ ดังแสดงในสมการ (5) – (6)

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \quad (1)$$

$$SiO_2 + 2C \rightarrow SiO + CO \quad (2)$$

$$SiO + 2C \rightarrow SiC + CO \quad (3)$$

$$SiC + SiO_2 \rightarrow Si + SiO + CO \quad (4)$$

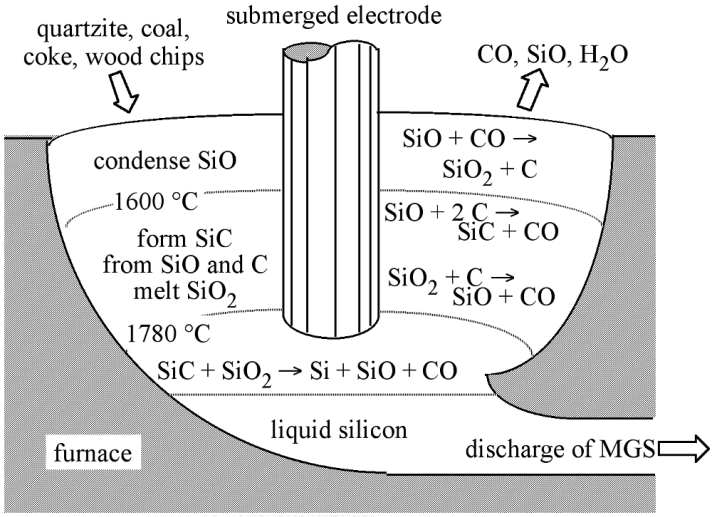
$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 \quad (5)$$

$$2SiO + O_2 \rightarrow 2SiO_2 \quad (6)$$

ซิลิคอนหลอมเหลวเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรมซึ่งมีความบริสุทธิ์ 98.5 – 99.9% Si จะถูกเทลงในแบบหล่อ และทิ้งให้เย็นลงเป็นแท่งซิลิคอน

2.3.1.4 ซิลิคอน (Si) ที่ได้ในขั้นตอนที่ 2.3.1.3 จะถูกนำมาหล่อเป็นแท่ง (ingot) เพื่อใช้สำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโลหะการเป็นหลัก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกซิลิคอนที่ได้ในขั้นตอนนี้ว่าซิลิคอนเกรดโลหกรรม (Si-MG) ซึ่งหลังผ่านการหลอมซ้ำเพื่อลดปริมาณอะลูมิเนียม และแคลเซียมที่ปนอยู่ออกแล้วจะมีความบริสุทธิ์ประมาณ

ร้อยละ 99.6 ซึ่งนับว่ายังคงมีสารอื่นปนเปื้อนอยู่มาก ซึ่งถ้าต้องการซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อนำไปใช้อุตสาหกรรมอื่นๆเช่น คอมพิวเตอร์หรือเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องนำมาผ่านการทำให้บริสุทธิ์เพิ่มขึ้นอีก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ตามคุณภาพของวัตถุดิบ



รูปที่ 2. 5 ปฏิกิริยาการเกิดซิลิคอนในเตาหลอมอาร์คไฟฟ้า

ที่มา : (Carrissa Smith, 2012)

รูปที่ 2. 6 Metallurgical Grade Silicon

ที่มา : (https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon#/media/File:Polycrystalline_silicon_rod.jpg)

2.3.2 กระบวนการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

จากซิลิคอนที่ได้ในขั้นตอนถลุง จะถูกนำมาหล่อเป็นแท่ง (ingot) เพื่อใช้สำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโลหกรรมเป็นหลัก แต่ในอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์มากถึง 99.9999% จึงจะต้องนำซิลิคอนผ่านกระบวนการเพิ่มเติมที่ทำให้ซิลิคอนที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นโดยทั่วไปหลักๆ จะแบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีทางโลหวิทยาความร้อน (Pyrometallurgical process) และวิธีทางเคมี (Chemical processes for silicon purification) โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอ และทบทวนวิธีการทำให้ซิลิคอนบริสุทธิ์ขึ้นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน และวิธีการใหม่ๆ ในเบื้องต้นที่เกิดขึ้นในโลก เพื่อที่จะได้นำมาเป็นข้อมูลที่จะนำมาช่วยในการวิเคราะห์ และประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับงานวิจัยนี้

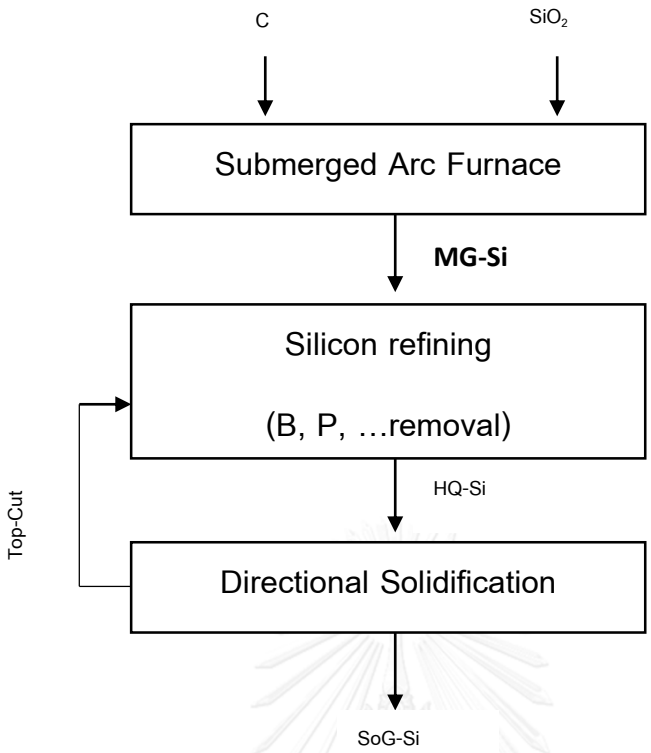
2.3.2.1 วิธีทางโลหวิทยาความร้อน (Pyrometallurgical process)

กระบวนการทางโลหวิทยาความร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิต Solar grade silicon ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% - 99.9999% (5N – 6N Silicon)

โดยวิธีทางโลหวิทยาความร้อนทั่วโลกนั้นมีหลายวิธีแต่โดยรวมแล้วจะมีความต่างกันในขั้นตอนของการ Silicon Refining คือขั้นตอนการแยกสิ่งปนเปื้อนให้ออกจากซิลิคอนทำให้ซิลิคอนมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยจะเน้นไปที่การแยกโบรอน (B) และฟอสฟอรัส (P) เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นธาตุที่แยกออกจากซิลิคอนได้ยาก และมีต้นทุนสูงในการแยก ในหลายๆ ประเทศจะใช้วิธีแตกต่างกันดังตัวอย่าง

<u>ตัวอย่างวิธีทางโลหวิทยาความร้อนที่ทั่วโลกใช้กัน (Safarian et al., 2012)</u>

- Directional solidification
- Slag refining
- Acid leaching
- Vacuum refining
- Plasma refining
- Solvent refining



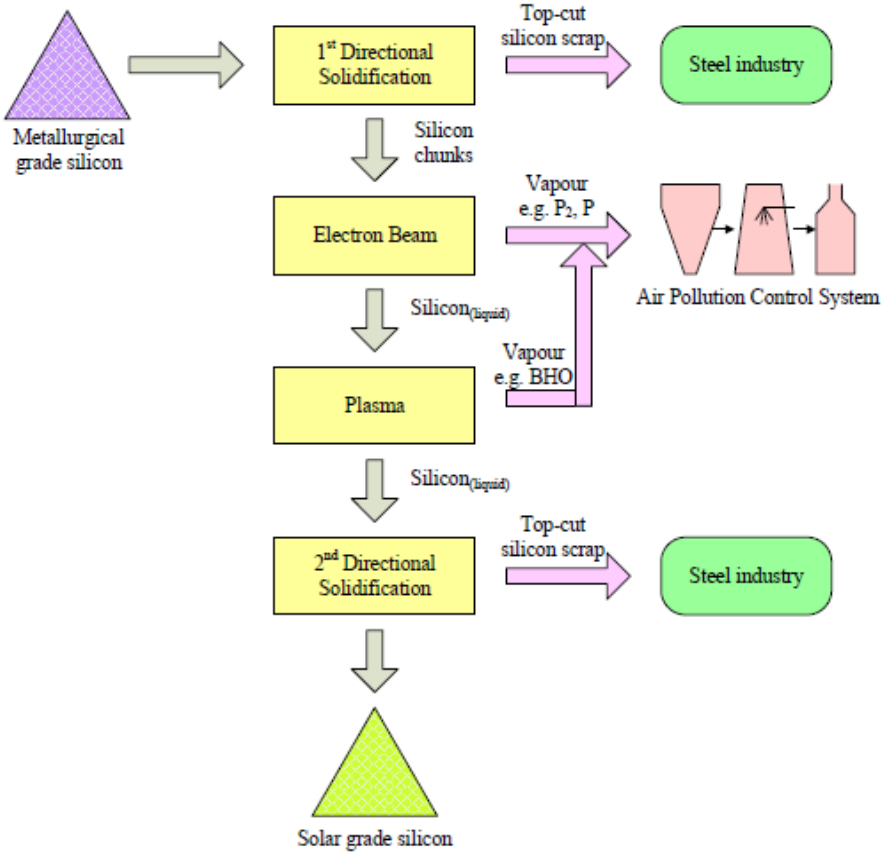
รูปที่ 2. 7 แผนภาพโดยรวมการผลิตซิลิคอนเกรดโซลาเซลล์ (SoG-Si) จากควอตซ์โดยใช้วิธี Directional solidification

ที่มา :(Safarian et al., 2012)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ตัวอย่างวิธีทางโลหวิทยาความร้อนที่กำลังจะมีในประเทศไทย</u>

การใช้การแข็งตัวอย่างมีทิศทาง Directional solidification ร่วมกับการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam) และพลาสมา (Plasma) ดังรูปที่ 2.8 โดยเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทโซลาร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด ประยุกต์ใช้ในการผลิต Solar grade silicon ในประเทศไทย (คาดว่าน่าจะผลิตได้ในปี 2562)



รูปที่ 2. 8 กระบวนการทางโลหวิทยาความร้อนที่ใช้ ทิศทาง Directional solidification ร่วมกับการใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam) และพลาสมา (Plasma) ในการผลิต Solar grade silicon
ที่มา : (ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558)

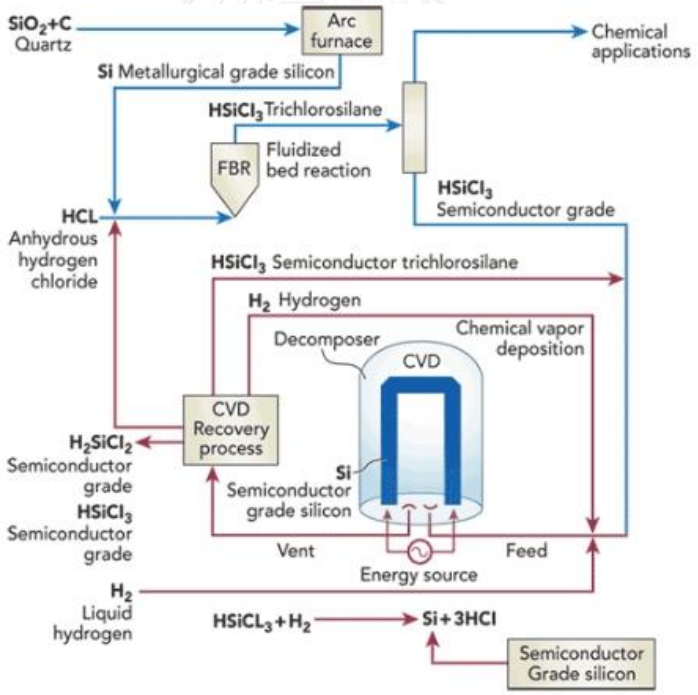
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2.2 วิธีทางเคมี (Chemical processing)

ในวิธีทางเคมีผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการที่ได้จะเป็น Polycrystalline silicon ความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปจะมีวิธีการคือ นำซิลิคอนเกรดโลหกรรม (Si-MG) ที่ได้นำมาบดเป็นผงและนำเข้าสู่กระบวนการ Reduction และ Pyrolysis โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดจากการกระบวนการระเหยของสารประกอบซิลิคอนเกรดโลหกรรม เช่น $SiHCl_4$, SiH_2Cl_2, SiH_4, $SiCl_4$, เป็นต้น โดยจะใช้กรรมวิธีที่เรียกว่า Chloride-hydride Technology จากนั้นจึงค่อยทำการเปลี่ยนสารประกอบดังกล่าวกลับมาเป็นซิลิคอนอีกครั้งด้วยกรรมวิธีกลั่นลำดับส่วน โดยกรรมวิธีนี้เรียกว่า

“Siemens Process” (ขั้นตอนนี้ผลผลิตที่ได้คิดเป็นร้อยละ 98 ของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ)

กระบวนการซีเมนต์ (Siemen process) เป็นกระบวนการทางเคมีที่พัฒนาขึ้นเพื่อผลิตซิลิคอนเกรดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic grade silicon หรือ Semiconductor grade silicon) ที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9999999% - 99.999999999% Si (9N – 11N Silicon) และเป็นกระบวนการที่ทั่วโลกนิยมนำมาใช้ในการผลิต Electronic grade silicon และ Semiconductor grade silicon คิดเป็นอัตราส่วนประมาณร้อยละ 87 ของปริมาณการผลิตทั่วโลก (IHS Technology 2014) โดยเศษซิลิคอน และผลิตภัณฑ์ซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์น้อยกว่า 9N Si จะถูกจำหน่ายเป็น Solar grade silicon เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป



รูปที่ 2. 9 ขั้นตอนการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับซิลิคอนโดยวิธีทางเคมีโดยทั่วไป

ที่มา : http://www.hscpoly.com/content/hsc_prod/manufacturing_overview.aspx

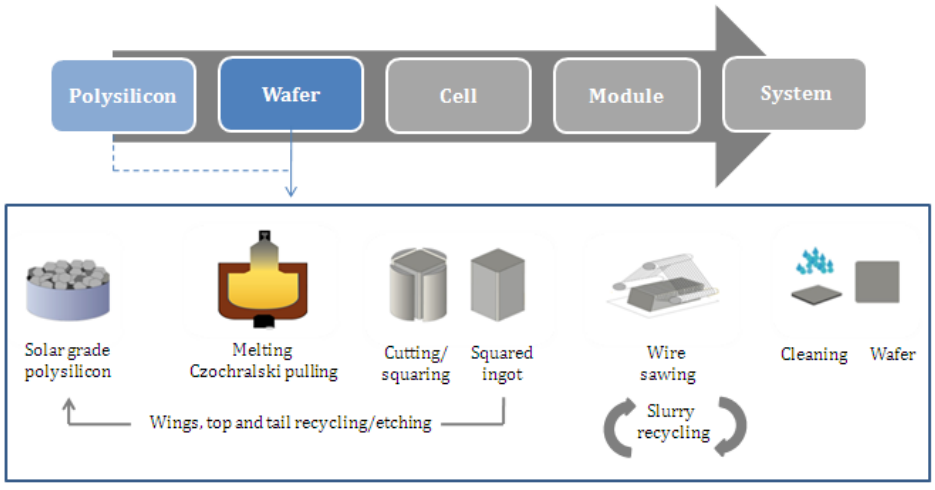
หลักการเบื้องต้นของ Siemens process

Siemens process เริ่มจากการนำ Metallurgical grade silicon มาผ่านกระบวนการบดย่อยให้เป็นผง แล้วใช้ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (Anhydrous Hydrogen Chloride, HCl) ทำให้ Metallurgical grade silicon กลายเป็นไอจากนั้นจึงทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillations) และนำไปผลิต Electronic grade silicon และ Solar grade silicon โดยการสร้างไอซิลิคอนด้วยไอระเหยเคมี (Chemical vapour deposition, CVD) ในเครื่องปฏิกรณ์ซีเมนต์ (Siemens reactor) (ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558) ดังรูปที่ 2.9

วิธีทางเคมีอื่น (New alternative chemical routes in the world)

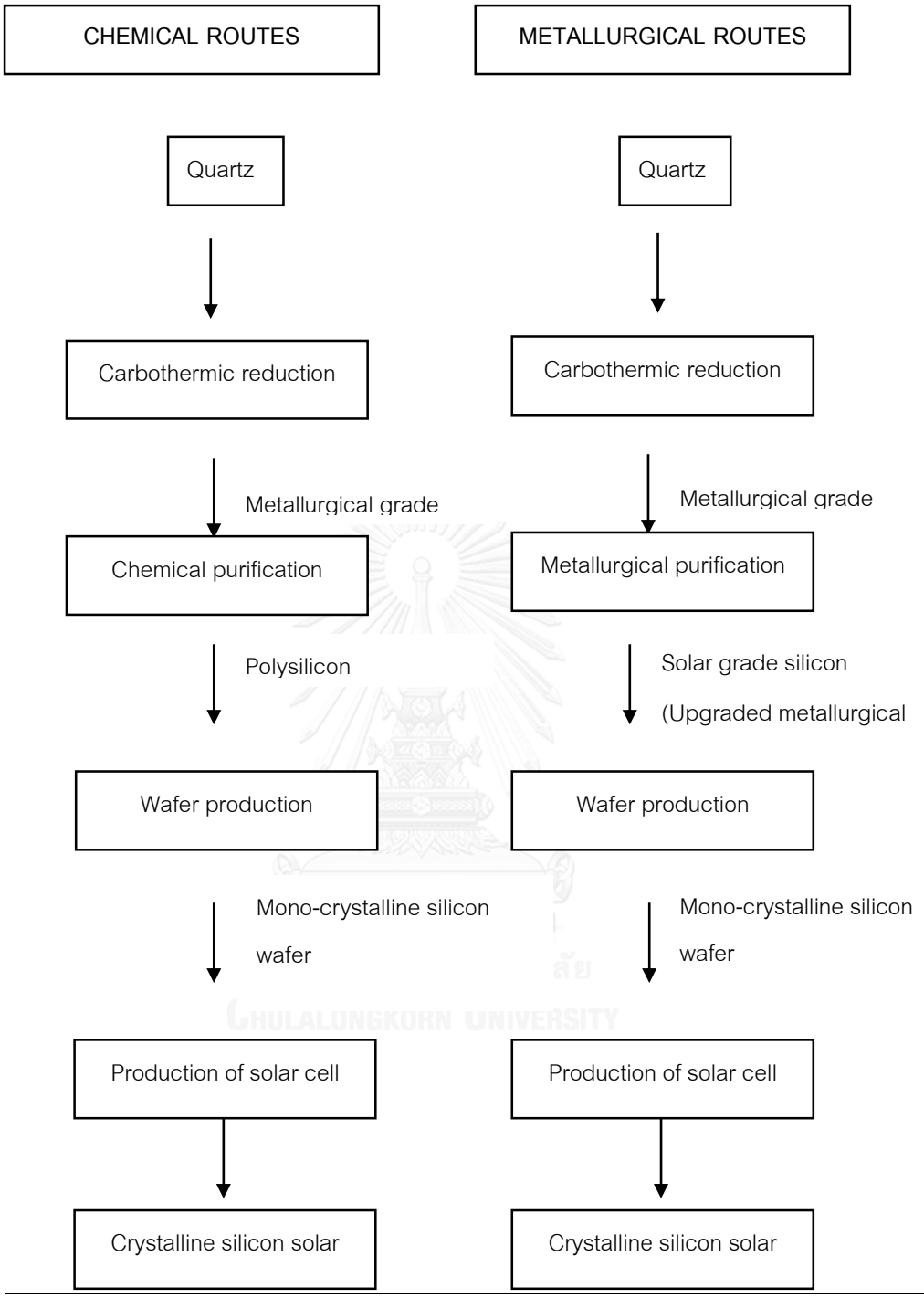
- Wacker Chemie AG
- Tokuyama Corporation
- REC Group – REC silicon
- Chisso Corporation – Chisso solar grade silicon (CSS)

โดยหลังจากที่ได้ซิลิคอนความบริสุทธิ์สูงพอสำหรับอุตสากรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะเป็นการนำซิลิคอนที่ได้มาสู่ขั้นตอนการทำ Wafer จนไปสู่ขั้นตอนการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2. 10 ขั้นตอนการทำ Wafer จนไปสู่ขั้นตอนการผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : (http://www.norsuncorp.no/en/Topmenu/TechnologyAndinnovation/PRODUCTION%20PROCESS.aspx)



รูปที่ 2. 11 แผนภาพแสดงกระบวนการโดยรวมของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : (B.S. Xakalashe and M. Tangstad, 2011)

2.5 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบในงานวิจัย

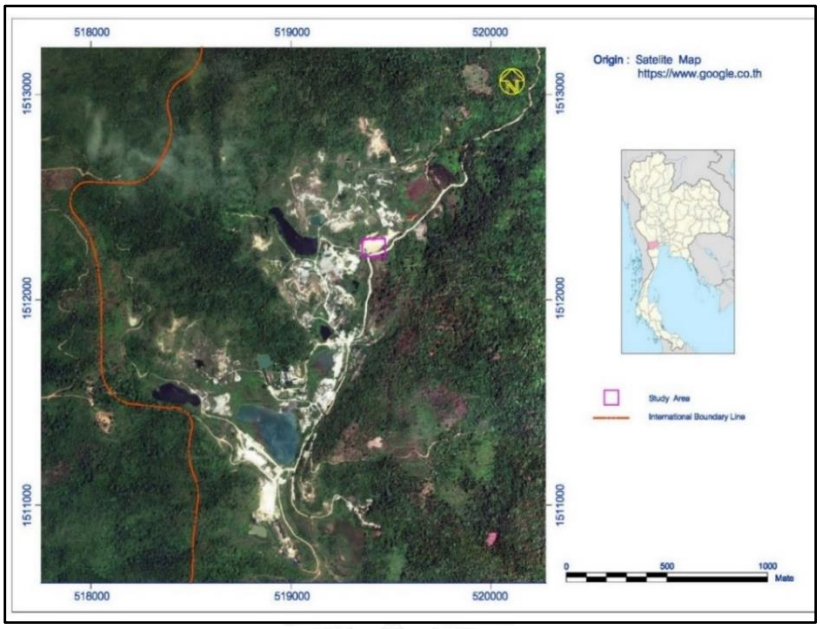
2.5.1 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากกระบวนการ ECO-X

กระบวนการ ECO-X (the Electro-Chemical Oxygen Extrusion process) เป็นกระบวนการแยกซิลิคอนบริสุทธิ์จากแร่ควอตซ์ด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrolysis) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่อุณหภูมิ 900 °C ที่พัฒนาจาก FFC process (the Fray, Farthing and Chen (FFC) Cambridge Process) โดยมีปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในการแยกซิลิคอนบริสุทธิ์ 99.9999% จากแร่ควอตซ์ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554) คือ

$$SiO_2 + 2Ca \rightarrow Si + 2Ca^{2+} + 2O^{2-}$$

2.6 พื้นที่ที่ทำการศึกษา

แหล่งแร่ควอตซ์ ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี ตั้งอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุดที่ L7017 ระวาง 4836 III เหมืองตะโกปิดทองอยู่ทางทิศตะวันตกใกล้ชายแดนไทย-พม่า อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 208 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินทางโดยรถยนต์ประมาณ 2 ชั่วโมง โดยใช้เส้นทางเพชรเกษม ถึงจังหวัดราชบุรีแยกเข้าถนนหลวงหมายเลข 3087 ผ่านอำเภอจอมบึง และอำเภอสวนผึ้ง ถึงบ้านทุ่งเจดีย์เลี้ยวขวา ตามถนนหลวงชนบทมุ่งหน้าบ้านตะโกล่างประมาณ 20 กิโลเมตร จะถึงเหมืองแร่ตะโกปิดทอง อยู่ที่ความสูง 600-700 เมตรจากระดับน้ำทะเล ปัจจุบันการคมนาคมค่อนข้างสะดวกสบาย ถนนลาดยางมะตอยเกือบตลอดเส้นทางเหลือเพียง 2 กิโลเมตรที่เป็นทางลูกรัง



รูปที่ 2. 12 แผนที่แหล่งแร่ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี

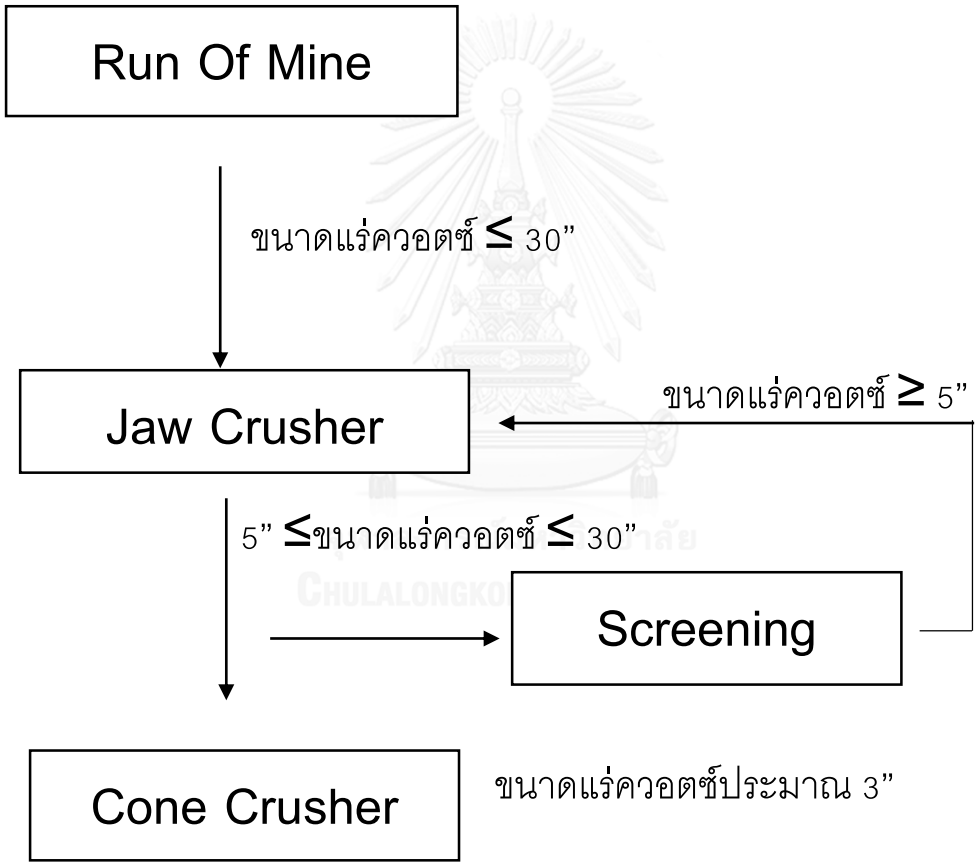
ที่มา : Satellite Map, www.google.co.th

รูปที่ 2. 13 ลักษณะพื้นที่ แหล่งแร่ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี

ที่มา : จากการศึกษา

2.7 วิธีการทำเหมืองแร่ควอตซ์ และอุปกรณ์ที่ใช้

ในการทำเหมืองแร่ควอตซ์ในปัจจุบัน มีอยู่ 2 วิธีคือทำการเจาะระเบิด และเจาะกระแทก จะใช้วิธีไหนจะขึ้นอยู่กับสภาพ และลักษณะของแร่ โดยจะเริ่มจากการทำเหมืองแร่ นำแร่ที่ได้จากการระเบิดหรือเจาะกระแทกมาทำการแต่งแร่ โดยใช้เครื่องมือลดขนาด (Jaw Crusher) หลังจากลดขนาดได้นำมาเข้าเครื่องคัดขนาด (Screening) และนำมาลดขนาดให้เล็กลงอีกโดยใช้ Cone Crusher ตามความต้องการ โดยจะคัดขนาดเพื่อทำการขายจะลดให้อยู่ที่ประมาณ 3-10 เซนติเมตร หรือประมาณ 3 นิ้ว โดยขั้นตอนการทำเหมือง และแต่งแร่เบื้องต้น ดังรูปที่ 2.13

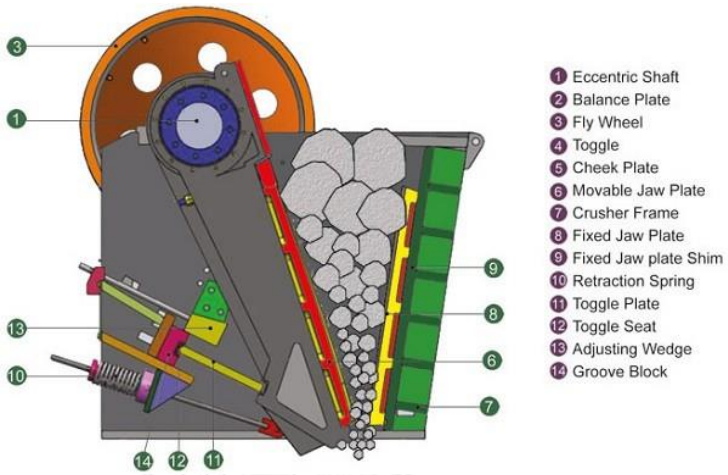


รูปที่ 2. 14 ขั้นตอนการทำเหมือง และแต่งแร่เบื้องต้น

(ที่มา: จากการศึกษา)

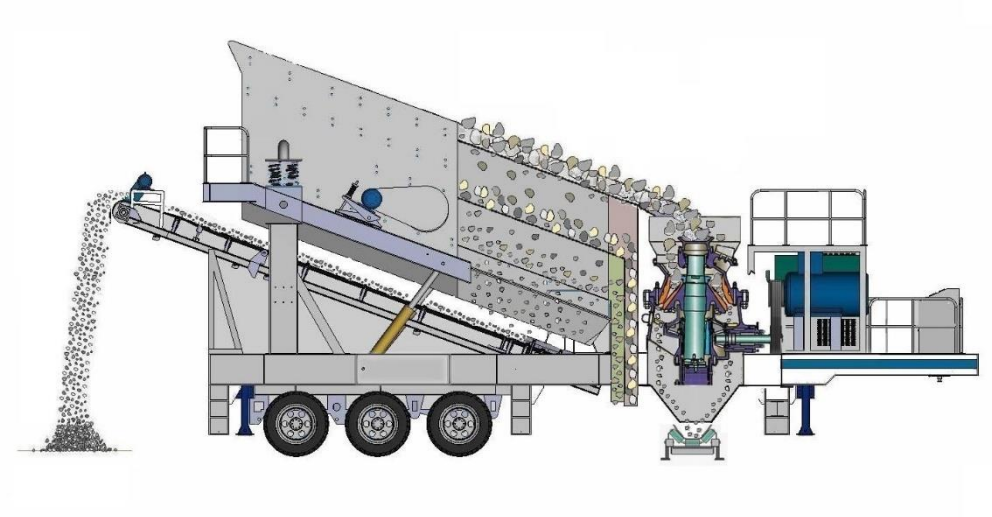
2.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- Jaw Crusher ทำการลดขนาดหลังการระเบิด ขนาดแร่ควอตซ์ ≥ 5”
- Cone Crusher ได้แร่ขนาด 3”
- Vibrating screening คัดขนาดแร่



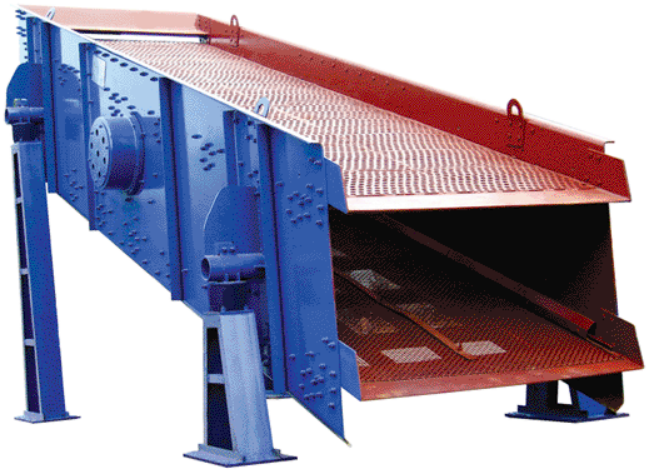
รูปที่ 2. 15 ลักษณะ Jaw Crusher

ที่มา : (http://www.greatwallcrushers.com)



รูปที่ 2. 16 ลักษณะ Cone Crusher

ที่มา : (http://maruticrusher.com)



รูปที่ 2. 17 ลักษณะ Vibrating Screen
ที่มา :(http://www.diytrade.com)

2.8 แนวคิด และทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่า และไม่คุ้มค่าของโครงการโดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุน และผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของการมีโครงการ เพื่อที่จะนำผลวิเคราะห์จากการศึกษาทีได้มาใช้ตัดสินใจว่าโครงการที่พิจารณามีความเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ (หฤทัย มีนะพันธ์, 2550)

การวิเคราะห์ทางการเงินเป็นการศึกษาวิเคราะห์ถึงค่าใช้จ่ายการลงทุนขอโครงการโดยวิเคราะห์ลงไปในรายละเอียดว่า โครงการต้องใช้เงินทุนเท่าใด ด้วยจำนวนเงินเท่าใด และเมื่อลงทุนไปแล้วได้รับอัตราการตอบแทนจากการลงทุนคุ้มค่าหรือไม่ ผลกำไรมากน้อยเพียงใด ดังนั้นการวิเคราะห์ทางการเงินนี้จึงมีความสำคัญที่ควรจะวิเคราะห์ก่อนที่จะเริ่มโครงการ (หฤทัย มีนะพันธ์, 2550)

ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินเพื่อจัดลำดับความสำคัญในการตัดสินใจลงทุนมีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยเครื่องมือทางการเงินเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยมีการจัดทำประมาณการกระแสเงินสดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตก่อนแล้วนำมาคำนวณผ่านเครื่องมือต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

2.8.1 **ระยะเวลาคืนทุน** (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนหมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไร และไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆ และรวดเร็ว

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่เกิดผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน (ผลกำไรที่ได้ในแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สิน) เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มกับจำนวนเงินที่ได้ลงทุนได้รวดเร็วจะดี เพราะความเสียงน้อย และผู้ลงทุนสามารถถอนทุนเพื่อประโยชน์ในกิจการอื่นๆ ต่อไป

<u>สูตรการคำนวณ</u>

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> = เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ – กระแสเงินสดรับสุทธิ ปีสะสมไปเรื่อยๆ จนเงินจ่ายลงทุนสุทธิเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์

หรือ $$\text{<u>ระยะเวลาคืนทุน</u>} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สิทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

ตัวอย่าง 1 : บริษัทแห่งหนึ่งมีโครงการขยายกำลังการผลิตโดยซื้อเครื่องจักรเพิ่มเติม โดยใช้เงินลงทุนเริ่มแรก 600,000 บาท และมีกระแสเงินสดรับต่อปีดังตาราง

(http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04-01-02.html)

ตารางที่ 2. 2 แสดงกระแสเงินสดรับสุทธิของโครงการแต่ละปี

ปีที่	กระแสเงินสดรับสุทธิ (บาท)
1	100,000
2	130,000
3	250,000
4	200,000
5	140,000

ดังนั้น

ระยะเวลา = 600,000 ÷ ((100,000 + 130,000 + 250,000 + 120,000 + 200,000) ÷ 5)
= 3.6 ปี

เมื่อลงทุนโครงการนี้จะคืนทุนในระยะเวลา 3.6 ปี และถ้าโครงการมีอายุยืน หรือยังสามารถให้ผลประโยชน์ต่ออีกหลายปี ผู้ลงทุนจะได้กำไร

ตัวอย่าง 2 :หาระยะเวลาคืนทุนโดยใช้ข้อมูลตามตาราง 2.2
(http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04-01-02.html)

ตารางที่ 2. 3 แสดงค่าใช้จ่าย ผลประโยชน์และผลประโยชน์สุทธิของโครงการ

ปี	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์	มูลค่าผลประโยชน์สุทธิ
1	100,000	-	-	-100,000
2	-	15,000	60,000	45,000
3	-	20,000	90,000	70,000
4	-	30,000	80,000	50,000
รวม	100,000	55,000	230,000	230,000

จาก $$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สิทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

ดังนั้น $$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{100{,}000}{(-100{,}000+45{,}000+70{,}000+50{,}000)/3}$$

$$= 4.62 \text{ ปี}$$

เมื่อลงทุนโครงการนี้จะคืนทุนในระยะเวลา 4.62 ปี และถ้าโครงการมีอายุยืน หรือยังสามารถให้ผลประโยชน์ต่ออีกหลายปี ผู้ลงทุนจะได้กำไร

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

โดยทั่วไปเกณฑ์การตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ซึ่งอาจจะแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นๆ ต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลาใด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระยะเวลา 5 ปี คือระยะเวลาที่โครงการต้องการเงินต้นกลับคืนมา การตัดสินใจจะเป็นดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ปี ก็ตัดสินใจลงทุน

ระยะเวลาคือทุน มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ปี ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ข้อบกพร่องของเกณฑ์ระยะคืนทุน</u>

- เกณฑ์นี้ไม่พิจารณาผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นหลังระยะคืนทุน โดยข้อสมมติของเกณฑ์นี้คือเลือกโครงการลงทุนทีมีระยะคืนทุนยิ่งเร็วยิ่งดี ลักษณะเช่นนี้จะนำไปสู่การเรียงลำดับการลงทุนที่ผิดพลาด เพราะบางโครงการใช้ระยะเวลาคืนทุนนานก็จริง แต่หลังระยะคืนทุนแล้วอาจให้ผลประโยชน์เข้ามามหาศาลก็เป็นได้ ขณะที่โครงการซึ่งมีระยะคืนทุนสั้นอาจให้ผลประโยชน์เข้ามาหลังระยะคืนทุนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- ไม่วัดความสามารถในการสร้างกำไรของโครงการ แต่ชี้ให้เห็นสภาพคล่องของโครงการเท่านั้น

- เกณฑ์นี้ไม่ให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงิน ทั้งด้านค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่างเวลากัน นั่นคือให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน

2.8.2 **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ** (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว โดยคำนวณจาก การนำผลตอบแทนในรูปกระแสเงินสดรับ หักออกด้วยค่าใช้จ่ายในรูปกระแสเงินสดจ่ายในแต่ละปี จากนั้นนำมาปรับค่าเวลาให้เป็นมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิโดยใช้อัตราส่วนลดที่กำหนด ซึ่งจะได้ผลตอบแทนสุทธิที่เป็นมูลค่าปัจจุบันในแต่ละปี เมื่อนำมารวมกันจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการโดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1-r)^t} \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1-r)^t}$$

กำหนดให้ B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ต้นทุนปีที่ t

r = อัตราคิดลด

t = ปีของโครงการ ซึ่งมีตั้งแต่ 1, 2, 3 ... n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ หรืออายุโครงการ

- ถ้าผลของ NPV > 0 แสดงว่า การลงทุนนี้คุ้มค่า เพราะผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการมีค่ามากกว่ากระแสเงินสดจ่ายของโครงการที่เกิดขึ้น
- ถ้าผลของ NPV < 0 แสดงว่า การลงทุนนี้ไม่คุ้มค่า เพราะผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการมีค่าน้อยกว่ากระแสเงินสดจ่ายของโครงการที่เกิดขึ้น

- ถ้าผลของ NPV = 0 แสดงว่า การลงทุนนี้คุ้มค่า เพราะกระแสเงินสดรับ และกระแสเงินสดจ่ายของโครงการที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันพอดี ผู้ลงทุนจะลงทุนหรือไม่ก็ได้ให้ผลไม่ต่างกัน

ตัวอย่าง 3 : สมมติว่า กรุงเทพมหานครมีนโยบายที่จะรณรงค์ให้ประชาชนแยกทิ้งขยะให้ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องมีการลงทุนในโครงการคัดแยกขยะตามถังแยก โดยเริ่มจากเขตพญาไท ในการนี้มีเงินลงทุนเริ่มแรก 100,000 บาท ค่าใช้จ่ายใจการดำเนินงานปีละ 30,000 บาท ผลประโยชน์จากโครงการปีละ 60,000 บาทได้ติดต่อกัน 3 ปีตามอายุโครงการ เมื่อโครงการครบกำหนดยังมีมูลค่าซาก (salvage value) อีก 20,000 บาท ถ้าอัตราดอกเบี้ยกู้ยืมเท่ากับ 18% ต่อปี อยากทราบว่ากรุงเทพมหานครควรจะลงทุนในโครงการนี้หรือไม่

จากสูตร $$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1-r)^t} \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1-r)^t}$$

$$\textbf{NPV} = -100{,}000 + \frac{30{,}000}{(1+0.18)^1} + \frac{30{,}000}{(1+0.18)^2} + \frac{30{,}000}{(1+0.18)^3} + \frac{20{,}000}{(1+0.18)^4}$$

$$= -100{,}000 + 30{,}000(0.847) + 30{,}000(0.718) + 30{,}000(0.608) + 20{,}000(0.608)$$

$$= -22{,}620 \text{ บาท}$$

ค่า NPV เท่ากับ -22,620 บาท นี้ได้ว่า มูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่เกิดขึ้นในอนาคต เมื่อได้คิดหักลดเป็นค่าปัจจุบันแล้วแสดงให้เห็นว่านอกจากการลงทุนนั้นจะไม่ให้ผลประโยชน์จากการใช้เงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 18% แล้ว กรุงเทพมหานครยังคงขาดทุนอีกเป็นจำนวนเงิน 22,620 บาท กล่าวอีกนัยหนึ่ง ถ้าโครงการนี้มีความจำเป็นต้องกู้ยืมเงินจากสถาบันการเงินก็จะไม่มีเงินเหลืออีกเลยหลังจากที่ได้จ่ายคืนค่าเงินลงทุนและดอกเบี้ย และโครงการนี้ให้ค่า NPV น้อยกว่าศูนย์ย่อมไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่าง 4 : สายการบินเอกชนแห่งหนึ่งในสหรัฐอเมริกามีโครงการผลิตเครื่องบิน Boeing 777 เครื่องใหม่เพื่อรองรับผู้โดยสาร ในการนี้มีค่าใช้จ่ายสำหรับการวิจัยและพัฒนา 2 พันล้านดอลลาร์ และคาดว่าจะต้องจ่ายอีก 4 พันล้านดอลลาร์ในการลงทุนใหม่ ค่าใช้จ่ายทั้งสองรายการต้องจ่ายเป็นเงินก้อนพร้อมกัน ทั้งนี้ตั้งอยู่บนข้อสมมติว่าสามารถจำหน่ายเครื่องบินออกไปได้ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนผลิตเครื่องบินรวมทั้งค่า NPV เป็นไปตามตารางที่ 2.3 (http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04-01-02.html)

ตารางที่ 2. 4 แสดงข้อมูลการลงทุนของโครงการ

ปี	กำไรจากการดำเนินงานหลังหักภาษี	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าเสื่อมราคา	การเปลี่ยนแปลงในเงินทุนหมุนเวียนที่ไม่ใช่เงินสด	กระแสเงินสดสุทธิ	มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ (r=12%)
0		4,000			(4,000)	(4,000)
1	929		82	1,722	(711)	(653)
2	1,666		72	(17)	1,755	1,399
3	1,458		67	(343)	1,868	1,330
4	1,615		62	51	1,626	1,033
5	1,620		61	(91)	1,772	1,005
6	1,507		61	102	1,466	742
7	1,647		61	42	1,666	754
8	1,922	489	61	247	1,247	504
9	1,658		102	(212)	1,972	711

ปี	กำไรจากการดำเนินงานหลังหักภาษี	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าเสื่อมราคา	การเปลี่ยนแปลงในเงินทุนหมุนเวียนที่ไม่ใช่เงินสด	กระแสเงินสดสุทธิ	มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ (r=12%)
10	922		98	431	588	189
11	1,718		90	376	1,432	412
12	1,899		78	137	1,840	472
13	1,640	500	75	389	826	189
14	1,172		73	604	641	131
15	1,895		52	119	5,835	984
NPV						5,220

จากข้อมูลดังตาราง ดังนั้นโครงการนี้ให้ค่า NPV เป็นบวก จึงสมควรแก่การลงทุน

อัตราส่วนลด (r) เป็นตัวที่แสดงความสามารถของเงินลงทุนที่จะทำให้ผู้ลงทุนได้รับการคืนทุนได้โดยอัตราส่วนลดควรจะมากกว่าอัตราดอกเบี้ย นั่นคือ ถ้าลงทุนได้รับอัตราดอกเบี้ยเท่ากับอัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน ก็ไม่มีประโยชน์อะไรที่จะลงทุนในโครงการ

การพิจารณาอายุของโครงการก็เป็นสิ่งที่สำคัญในการคำนวณค่า NPV เพราะยิ่งอายุของโครงการยิ่งนานจะมีผลให้มูลค่าของเงินในอนาคตถูกทอนค่าลงมากขึ้น โครงการหนึ่ง ๆ เราสามารถพิจารณาอายุของโครงการได้จากอายุทางเศรษฐกิจของอุปกรณ์เครื่องจักร (10-15 ปี) ยานพาหนะ (4-5 ปี) ตัวอาคาร-โรงงาน (30-40 ปี) ซึ่งในทางปฏิบัติ เรากำหนดอายุของโครงการเท่ากับอายุการใช้งานทางเศรษฐกิจของสินทรัพย์ประเภททุนที่สำคัญต่อโครงการ มีผลต่อผลผลิตออกของโครงการ และในกรณีที่สินทรัพย์ประเภททุนหรือสินทรัพย์ถาวรใดมีอายุมากกว่าอายุของโครงการก็ให้ตีเป็นมูลค่าซาก (salvage value) ในปีสุดท้ายของโครงการซึ่งถือเป็นผลประโยชน์

ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีสุดท้ายนั่นเอง ส่วนกรณีที่สินทรัพย์ถาวรที่มีอายุน้อยกว่าอายุโครงการก็ต้องมีค่าใช้จ่ายเพื่อทดแทนทรัพย์สินถาวรที่ชำรุดสึกหรอหรือหมดอายุ (replacement cost) อาทิ สมมติว่า โครงการสถานีบริการน้ำมันมีอายุประมาณ 15 ปี แต่หัวจ่ายน้ำมันมีอายุ 5 ปี เช่นนี้ ถ้าโครงการมีการวางแผนที่ดีจำเป็นต้องมีการพิจารณาซื้อหัวจ่ายน้ำมันใหม่ทดแทน ค่าใช้จ่ายที่เป็นรายการประเภททุนที่จ่ายทดแทนในปีที่คาดว่าหัวจ่ายนี้จะหมดอายุ และจะนำมาคิดเป็นต้น ทุนของโครงการในปีที่คาดว่าจะมีรายจ่ายเกิดขึ้น นอกจากนั้นอายุโครงการยังถูกกำหนดได้จากอายุทางเทคนิคและอายุทางการตลาดของผลผลิตโครงการ

2.8.3 **อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน** (Internal Rate Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก โดยการเปรียบเทียบมูลค่าเงิน 2 ประเภท คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ กับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเริ่มแรก ณ เวลาเดียวกัน หรืออัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิมีค่าเท่ากับเงินลงทุน หรือ NPV มีค่าเท่ากับ 0 โดยอัตราผลตอบแทนโครงการ IRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเฉพาะหรือมากกว่าค่าเสียโอกาสของทุน

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดให้

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ต้นทุนปีที่ t

r = อัตราคิดลด

t = ปีของโครงการ ซึ่งมีตั้งแต่ 1, 2, 3 ... n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ หรืออายุโครงการ

IRR = ผลตอบแทนจากโครงการ

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจการลงทุน

- ถ้า $IRR >$ อัตราคิดลดหรืออัตราค่าเสียโอกาสที่โครงการกำหนด แสดงว่าโครงการนี้ควรลงทุน เพราะถือว่าผลตอบแทนสูงกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินทุน
- ถ้า $IRR <$ อัตราคิดลดหรืออัตราค่าเสียโอกาสที่โครงการกำหนด แสดงว่าโครงการนี้ไม่สมควรลงทุน เพราะถือว่าผลตอบแทนต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินทุน
- ถ้า $IRR =$ อัตราคิดลดหรืออัตราค่าเสียโอกาสที่โครงการกำหนด แสดงว่าโครงการจะลงทุนหรือไม่ก็ให้ผลไม่ต่างกัน เพราะถือว่าผลตอบแทนเท่ากับค่าเสียโอกาสการใช้เงินทุน

2.7.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

เนื่องจากการวิเคราะห์การลงทุนนั้น ผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นเพียงสิ่งที่คาดหวัง มิใช่ความจริง ทั้งยังอาจเปลี่ยนแปลงไปได้จากปัจจัยที่ไม่คาดคิด เพื่อเป็นการวิเคราะห์อย่างระมัดระวัง ผู้วิเคราะห์จึงอาจพิจารณาในแง่ที่ว่าถ้าสถานการณ์เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดผลการดำเนินงานของโครงการจะแปรเปลี่ยนไปอย่างไร โดยเฉพาะภายใต้สถานการณ์แวดล้อมที่ไม่แน่นอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหว หรือความไวจะช่วยให้ทราบว่าโครงการที่กำลังลงทุนนั้นมีความคล่องตัวขนาดไหน ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงได้มากน้อยเพียงใด

ตัวอย่างเช่น ถ้าเราคาดว่าจะขายสินค้าได้ 100 ชิ้นในราคาชิ้นละ 10 บาท โดยมีต้นทุนชิ้นละ 10 บาท และมีต้นทุนคงที่ 500 บาท จากเงื่อนไขดังกล่าว กิจการจะมีกำไร 100 × 20 – (500 +100 × 10) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 500 บาท แต่ถ้าคิดสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป โดยมีผู้ซื้อแค่ 80 ชิ้น และต้นทุนต่อชิ้นจะสูงขึ้นเป็น 12 บาท กำไรจะเปลี่ยนไปอย่างไร เราอาจคำนวณได้ดังนี้ 80 × 20 – (500 + 80 × 12) จะมีกำไรเท่ากับ 140 บาท ซึ่งหมายความว่าถ้าสถานการณ์เปลี่ยนไป จากกรณีแรกเป็นกรณีหลัง กิจการยังคงมีกำไร 140 บาท

การวิเคราะห์ความไวนี้เป็นการวิเคราะห์ร่วมกับวิธีอื่นๆ ที่ใช้อยู่ในการวิเคราะห์ปกติ เช่น NPV, IRR โดยเป็นเพียงการวิเคราะห์ และคาดการณ์สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอาจมีผลกระทบต่อต้นทุนโครงการอย่างไร (รศ.ดร. ชนงกรณ์ กุณฑลบุตร, 2014)

บทที่ 3

อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะแบ่งการดำเนินงานวิจัยเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ ดังต่อไปนี้

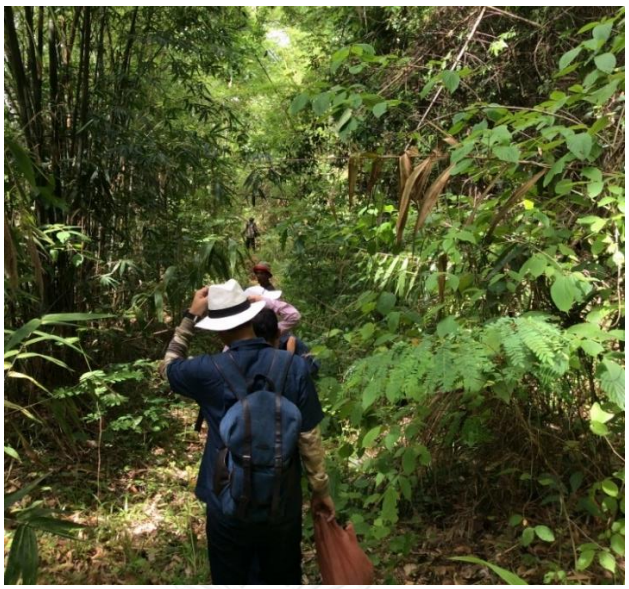
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมเหมืองแร่ ประกอบด้วย

3.1.1 การกำหนดข้อมูล และแหล่งข้อมูล

ในการกำหนดข้อมูล และแหล่งข้อมูลเบื้องต้นจะทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจากการศึกษาในงานวิจัยนี้จะทำการอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้น เช่น ข้อมูลปริมาณสำรองแร่ ข้อมูลลักษณะแร่ ขนาดแหล่งแร่ สายแร่ คุณภาพของแร่ เป็นต้น ในบางส่วนจากงานวิจัย “โครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์ แหล่งตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี” (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)ซึ่งแหล่งแร่ควอตซ์ที่ใช้อ้างอิงนั้นเป็นแหล่งแร่ควอตซ์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย คือแหล่งแร่ควอตซ์ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี

3.1.2 ลงพื้นที่สำรวจ และเก็บตัวอย่างแร่

หลังจากที่ได้ทำการกำหนดข้อมูล และแหล่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วทำการลงพื้นที่สำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างแร่ควอตซ์ในพื้นที่จริงมาวิเคราะห์ โดยพบว่าเนื่องจากพื้นที่ในแหล่งแร่ตะโกปิดทอง ยังเป็นพื้นที่ป่ารกทึบ และค่อนข้างที่จะอันตราย พื้นที่เป็นลักษณะภูเขา มีหน้าผาสูงชัน ทำให้ผู้วิจัยได้ออกแบบการเก็บตัวอย่างโดยสุ่มเก็บตัวอย่างแบบขึ้นกับระยะทางในพื้นที่ คือเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่างโดยเก็บห่างกันตัวอย่างละ 500 เมตร โดยมีสมมติฐานว่า ตัวอย่างที่เก็บมาได้ทั้งหมดเป็นตัวแทนของแร่ทั้งแหล่งแร่



รูปที่ 3. 1 ลักษณะพื้นที่ของแหล่งแร่ตะโกปิดทอง

ทีมา : จากการศึกษา

รูปที่ 3. 2 ลักษณะพื้นที่ของแหล่งแร่ตะโกปิดทอง

ทีมา : จากการศึกษา

รูปที่ 3. 3 ลักษณะแร่ควอตซ์ที่พบในพื้นที่

ทีมา : จากการศึกษา

รูปที่ 3. 4 ตัวอย่างแร่ควอตซ์ที่เก็บ และนำมาวิเคราะห์

ทีมา : จากการศึกษา

รูปที่ 3. 5 ตัวอย่างของแร่ควอตซ์คุณภาพสูงตามธรรมชาติที่พบได้ในแหล่งแร่ตะโกปิดทอง
ที่มา : จากการศึกษา

3.1.3 วิเคราะห์ตัวอย่างแร่ที่ได้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป

- นำแร่ควอตซ์ที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้หาองค์ประกอบทางเคมี โดยมีขั้นตอนคือ
- นำแร่ควอตซ์มาล้างให้สะอาด
- บดให้ละเอียด
- นำไปวิเคราะห์ผ่านเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยทางด้านการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการทางเศรษฐศาสตร์

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลด้านปฐมภูมิ (Primary Data) ได้จากการศึกษาข้อมูล และลงพื้นที่จริงโดยการสัมภาษณ์

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) รวบรวมข้อมูลจากหนังสือ วารสาร บทความรายงาน ตลอดจนข้อมูลต่างๆ ทางอินเทอร์เน็ต วิทยานิพนธ์ เอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงรายงานการศึกษาความเป็นไปได้ในโครงการต่างๆ ที่มีความคล้ายคลึงกัน โดยมีตัวอย่างข้อมูลต่างๆ ดังนี้

ข้อมูลรายจ่ายโครงการ

- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง
- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องจักรต่างๆ
- ค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน
- ค่าใช้จ่ายทางด้านภาษี / ค่าธรรมเนียมต่างๆ

ข้อมูลเกี่ยวกับการลงทุนของโครงการ

- มูลค่าการลงทุน
- เงื่อนไขการก่อสร้าง
- ระยะเวลาการดำเนินโครงการ

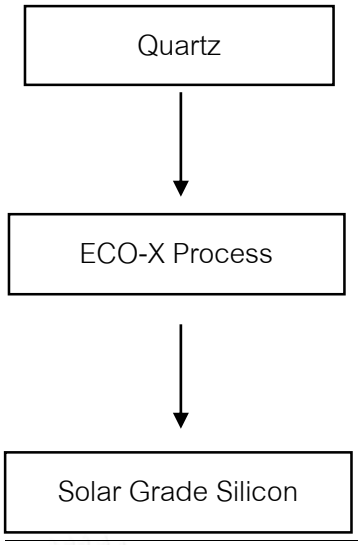
โดยข้อมูลที่ได้รับนั้นสามารถนำมาใช้ประมาณการต้นทุน และค่าใช้จ่ายเพื่อใช้ในการคำนวณผลตอบแทนในการลงทุน

3.2.2 นำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมุ่งเน้นวิธีการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 2 กรณี เนื่องจากเป็นวิธีที่น่าสนใจ และเริ่มนำมาใช้ในปัจจุบัน โดยมีวิธีคือ การใช้วิธีการผลิตแบบ ECO-X Process และ การจำหน่ายแร่ควอตซ์ไปทำการผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม แล้วซื้อกลับมาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

3.2.2.1 ECO-X Process

กระบวนการแยกซิลิคอนบริสุทธิ์จากแร่ควอตซ์ด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrolysis) โดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่อุณหภูมิ 900 °C ที่พัฒนาจาก FFC process (the Fray, Farthing and Chen (FFC) Cambridge Process) โดยมีปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในการแยกซิลิคอนบริสุทธิ์ 99.9999 % จากแร่ควอตซ์ โดยการวิเคราะห์ และศึกษาความเป็นไปได้ มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.6

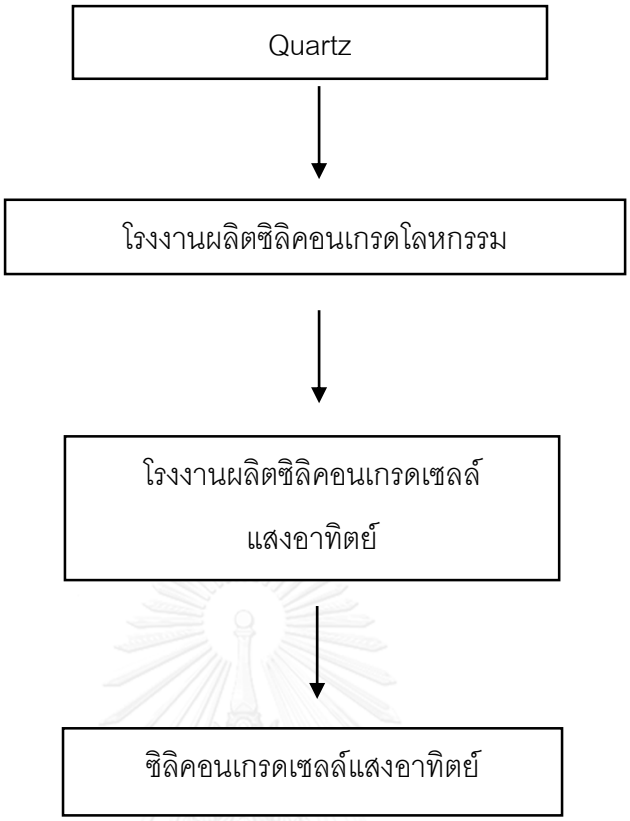


รูปที่ 3. 6 ขั้นตอนในการศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการ ECO-X Process

ที่มา : จากการศึกษา

3.2.2.2 จำหน่ายแร่ควอตซ์ไปทำการผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม แล้วนำซิลิคอนเกรดโลหกรรมมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีบริษัททำการลงทุนในการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 บริษัท ซึ่งการผลิตจะใช้การรับซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรมมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีต้นทุนโรงงานประมาณ 5,000 ล้านบาทต่อโรงงาน ที่สามารถรับซิลิคอนเกรดโลหกรรม 5,000 ตันต่อปี เพื่อผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ มีขั้นตอนดังรูป 3.7



รูปที่ 3. 7 ขั้นตอนในการศึกษาความเป็นไปได้ในการส่งแร่ควอตซ์ไปผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ บริษัท โซล่าร์ ซินเนอร์ยี่ จำกัด ที่มา : จากการศึกษา

ทำการประเมินข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ต่างๆ ตามรูปแบบการผลิต โดยประเมินด้วยหัวข้อดังนี้

3.2.2.3 <u>การประเมินรายได้</u>

การประมาณการรายได้ จะกำหนดให้สอดคล้องกับปริมาณแร่ควอตซ์ ที่สามารถทำเหมืองได้ของโครงการ และราคา ณ ปัจจุบันของแร่ควอตซ์ ภายใต้สมมติฐานที่ว่า แร่ควอตซ์ที่ผลิตได้ในแต่ละปีสามารถจำหน่ายได้ทั้งหมด โดยคิดปริมาณแร่สำรองที่ 16 ล้านเมตริกตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)

3.2.2.4 <u>การประมาณการรายจ่าย</u>

<u>ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost)</u>

<u>ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)</u>

ต้นทุนด้านเครื่องมือเครื่องจักร และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ที่ใช้ในกิจการเหมืองเพื่อให้สามารถผลิตแร่ควอตซ์เพื่อส่งไปยังแหล่งรับซื้อได้อย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย เครื่องจักรอุปกรณ์ในการทำเหมือง และแต่งแร่ นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายในการซื้อที่ดิน ก่อสร้างอาคาร และค่าใช้จ่าย

ต้นทุนในการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)

เป็นค่าใช้จ่ายระหว่างการทำเหมืองโครงการ ประกอบด้วย ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร น้ำมันเชื้อเพลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการผลิตแร่ในแต่ละปี ซึ่งตลอดระยะเวลาประทานบัตรเหมืองที่ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

- ค่าภาคหลวง โครงการจะต้องจ่ายค่าภาคหลวงแร่ให้แก่กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม ตามประกาศราคาแร่ โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ซึ่งได้กำหนดให้ค่าภาคหลวงเท่ากับ 4% ของราคาประกาศแร่ควอตซ์ ซึ่งราคาประกาศเท่ากับ 750 บาทต่อเมตริกตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, 2537) ดังนั้นค่าภาคหลวงเท่ากับ 30 บาทต่อเมตริกตัน

- ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม โครงการจะต้องเตรียมงบประมาณในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม

- ค่าเสื่อมราคาทุน ในการพิจารณาค่าเสื่อมราคาของทุนกำหนดให้การคำนวณการตัดค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือเครื่องจักรในการทำเหมืองโดยระบุให้เครื่องมือเครื่องจักรมีระยะเวลาเสื่อมราคาเท่ากับ 5 ปี และอาคารต่างๆ เท่ากับ 10 ปี

- ภาษี ทางโครงการจะต้องจ่ายค่าภาษีเงินได้นิติบุคคลจากการประกอบกิจการให้กับกรมสรรพากร กระทรวงพาณิชย์ ในอัตราร้อยละ 20 ของกำไรจากการดำเนินโครงการ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ทำการวิจัย

การศึกษานี้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์โครงการ โดยศึกษาเอกสารวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนที่มีความคล้ายคลึงกับการลงทุนที่ทำวิจัย โดยทำการวิเคราะห์ทางด้านคุณสมบัติของแร่ และด้านการเงินโดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางการศึกษาจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Description Method) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป เช่น ลักษณะแร่, ส่วนประกอบของแร่หลัก และมลทิน, ประมาณสำรองแร่, การแข่งขันทางธุรกิจ

การศึกษาข้อมูลเชิงประมาณ (Quantitative Method) เป็นการวิเคราะห์ ปริมาณการรายรับ และรายจ่ายของโครงการ โดยวิเคราะห์ประมาณเทียบความคุ้มค่าทางการเงินโดยพิจารณาผ่านทางตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนการลงทุน

โดยในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.3.1 **วิเคราะห์คุณสมบัติของแร่**

ใช้หลักการของคลื่น X-ray ในการส่วนประกอบของแร่ โดยใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ในการหาปริมาณความเข้มข้น และความบริสุทธิ์ของปริมาณซิลิคอน และแร่มลทินอื่นๆ เพื่อนำไปเป็นประโยชน์ในการประเมินความเป็นไปได้ในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 3. 8 X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)
ที่มา : (http://www.directindustry.com)

3.3.2 **วิเคราะห์ด้านการเงิน** (Financial Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้กำหนดรูปแบบขององค์กรที่ใช้ในการประมาณการลงทุนของโครงการ โครงสร้างทางการเงินที่เหมาะสม การจัดหาแหล่งเงินทุน การประมาณต้นทุนทางการเงิน และประมาณตัวเลขทางการเงินเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน โดยการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการการลงทุนดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การคาดคะเนกระแสไหลเวียนเงินสดของโครงการ (Cash flow)</u>

จัดทำขึ้นเพื่อเป็นตัวคาดการณ์กระแสเงินสดรับ กระแสเงินสดจ่ายของโครงการ ทำให้ทราบเงินสดหมุนเวียนในโครงการ และทราบจำนวนเงินหมุนเวียนที่ใช้ในโครงการว่ามีมากน้อยเพียงใด เพียงพอหรือไม่

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period :PB)

เป็นตัวกำหนดการตัดสินใจแบบไม่คำนึงถึงค่าเงินสดตามงวดเวลาโดยเลือกโครงการที่มีระยะคืนทุนสั้นที่สุด

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

เป็นตัวกำหนดการตัดสินใจแบบคำนึงถึงค่าเงินสดตามงวดเวลา โดย NPV ต้องมีค่ามากกว่า 0 จึงจะคุ้มค่าที่จะลงทุน

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR)

เป็นมูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดโครงการ ที่มีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก โดย IRR ต้องมีค่ามากกว่า 0 จึงจะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

วิเคราะห์ความไวโครงการ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไวนี้เป็นการวิเคราะห์ร่วมกับวิธีอื่นๆ ที่ใช้อยู่ในการวิเคราะห์ปกติ เช่น NPV, IRR โดยเป็นเพียงการวิเคราะห์ และคาดการณ์สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอาจมีผลกระทบต่อต้นทุนโครงการอย่างไร

โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ ทั้งทางวิศวกรรมเหมืองแร่ และทางเศรษฐศาสตร์ จะทำการประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้น โดยจะนำเสนอข้อมูล 2 วิธีการคือ

1. นำเสนอเป็นบทความ เป็นการบอกข้อมูลต่างๆ โดยมีตัวเลข และข้อความปะปนกัน
2. นำเสนอเป็นตาราง จำแนกประเภทข้อมูลแบบตารางง่ายต่อการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 วิเคราะห์ด้านแร่ (Mineral Characterization)

4.1.1 ศักยภาพแหล่งแร่ควอตซ์

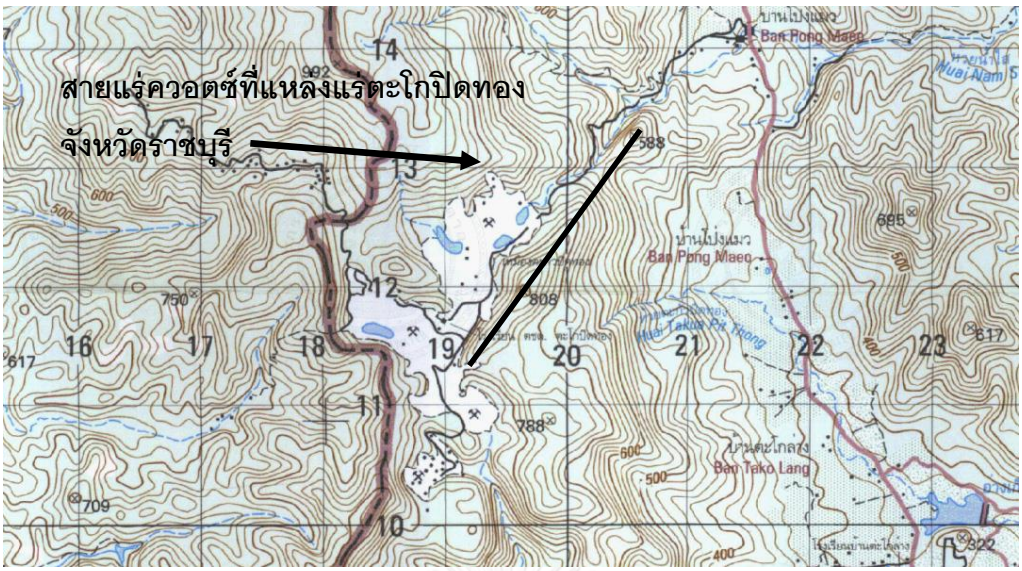
แหล่งแร่ตะโกปิดทองมีปริมาณสำรองของแร่ควอตซ์คุณภาพสูงกว่า 16 ล้านเมตริกตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)คิดเป็นมูลค่าประมาณ 16,000 – 24,000 ล้านบาท (1000-1500 บาทต่อเมตริกตัน) ซึ่งแร่ควอตซ์จากแหล่งแร่นี้ สามารถนำมาผลิตซิลิคอน แบ่งตามเกรดได้คือ

4.1.2 ซิลิคอนเกรดโลหกรรม (Metallurgical grade silicon, 98-99% Si)

จากการศึกษาวิจัยมีการคาดการณ์ไว้ว่าแหล่งแร่ตะโกปิดทองสามารถผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม ได้จำนวนประมาณ 6 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 270,000- 360,000 ล้านบาท (45,000 – 60,000 บาทต่อเมตริกตัน)

4.1.3 ซิลิคอนความบริสุทธ์สูงสำหรับผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar grade silicon)

ซิลิคอนความบริสุทธ์สูงสำหรับผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (ได้จากการนำซิลิคอนเกรดโลหกรรมมาทำให้บริสุทธิ์ขึ้น) ประมาณ 6 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่ามากถึง 4.5 – 5.4 ล้านล้านบาท (750,000 – 900,000 บาทต่อเมตริกตัน) ดังนั้นจากข้อมูลเบื้องต้น ประเทศไทยมีแหล่งแร่ควอตซ์คุณภาพสูง สามารถรองรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย หรืออาจจะใหญ่ที่สุดในเอเชียได้



รูปที่ 4. 1 ลักษณะสายแร่ควอตซ์ในแหล่งแร่ตะโกปิดทอง

ที่มา : จากการศึกษา

4.2 คุณภาพของแร่ควอตซ์ในพื้นที่

แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมืองแร่ ตะโกปิดทอง โดยสุ่มตัวอย่างจากจุดต่างๆ ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างห่างกัน 500 เมตร โดยใช้ เครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometer มีดังนี้

ตารางที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุที่ได้จากเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer

ตัวอย่าง	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)	CaO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)	MgO (%)	LoI (%)
1	99.575	0.008	0.022	0.114	0.032	0.025	0.014	0.019	0.191
2	99.286	0.007	0.031	0.116	0.021	0.026	0.014	0.019	0.480
3	99.789	0.008	0.026	0.118	0.029	0.034	0.014	0.021	0.961
เฉลี่ย	99.550	0.008	0.026	0.116	0.027	0.028	0.014	0.020	0.544

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปโดยเบื้องต้นได้ดังนี้

- พิจารณาจากปริมาณ SiO_2 พบว่าปริมาณ SiO_2 เฉลี่ยมีค่าสูงถึง 99.550 % ซึ่งหากเปรียบเทียบตามตารางที่ 2.1 พบว่าแร่ควอตซ์มีคุณภาพสูงเพียงพอต่อความต้องการของอุตสาหกรรมซิลิคอน
- ปริมาณ SiO_2 มีค่าสูง หมายความว่า มลทินอื่นๆ มีปริมาณน้อย ส่งผลต่อการลดขั้นตอนการขจัดมลทินในกระบวนการทำให้ซิลิคอนบริสุทธิ์ขึ้น และมีผลทำให้ต้นทุนลดลงได้

ดังนั้น สรุปได้ว่า แร่ควอตซ์ในแหล่งแร่ตะโกปิดทองนั้นมีคุณภาพสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

ปัญหาที่พบในขั้นตอนการวิเคราะห์แร่ควอตซ์

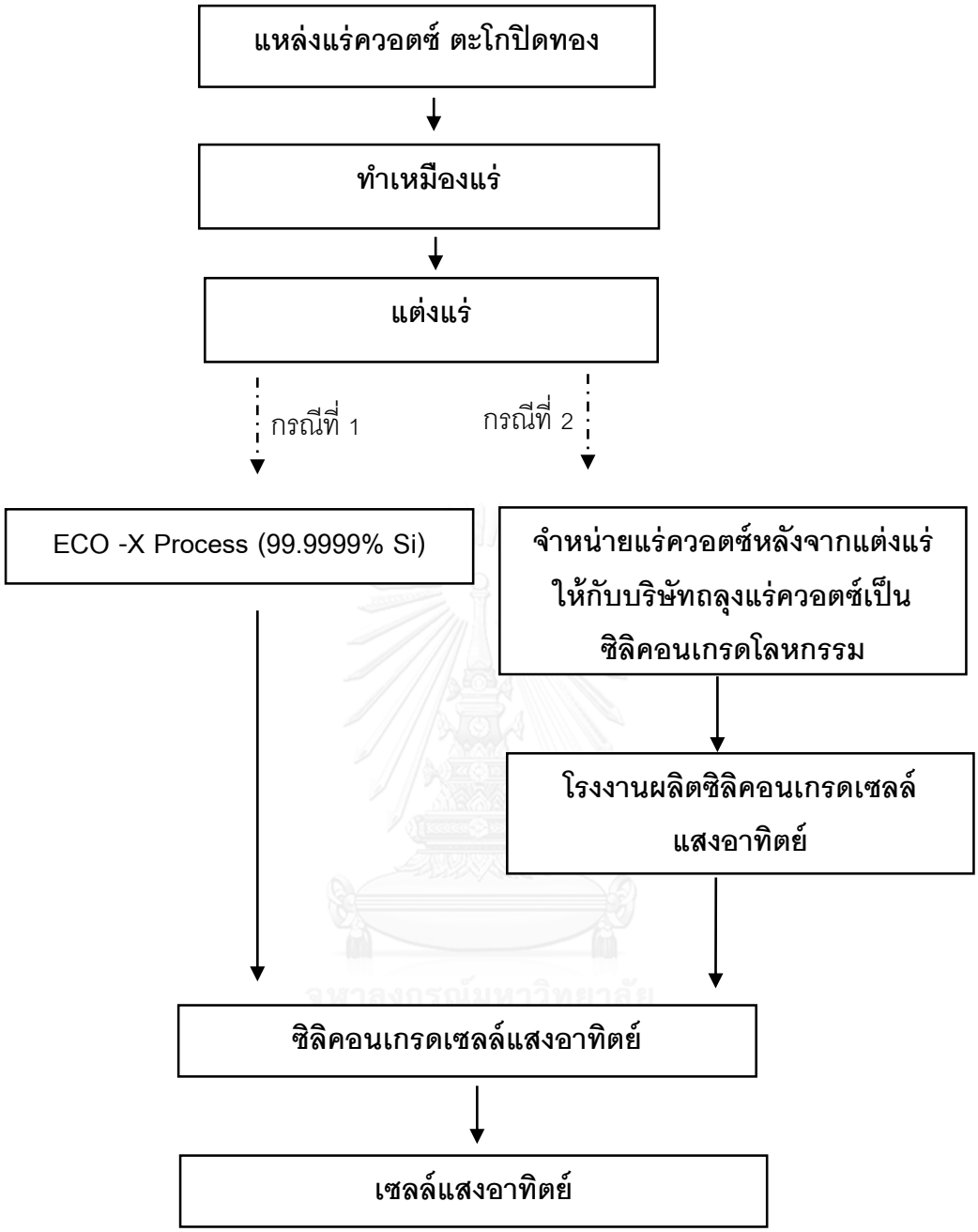
ธาตุ โบรอน (B) และฟอสฟอรัส (P) เป็นมลทินที่ผู้วิจัยต้องการจะหาปริมาณที่ปนเปื้อนในแร่ควอตซ์จากแหล่งแร่ตะโกปิดทอง เนื่องจากเป็นมลทินที่ในปัจจุบัน กระบวนกำจัดมลทินสองชนิดนี้ออกนั้นมีความยากกว่ามลทินตัวอื่นๆ จึงทำให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในโครงการมากขึ้น ดังนั้นจึงมุ่งเน้นที่จะหามลทิน 2 ตัวนี้ในแร่ควอตซ์ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของค่าใช้จ่ายใน ทำให้ไม่สามารถหาเครื่องมือที่มีความละเอียดมากพอที่จะพบ โบรอน และฟอสฟอรัส แต่เนื่องจากเหตุผลทางธรณีวิทยาพบว่า แร่ควอตซ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโอกาสจะพบธาตุ 2 ชนิดนี้น้อย ทำให้ผู้วิจัยได้ทำการตัดประเด็นมลทินธาตุทั้งจากสองออกไป ดังนั้นข้อผิดพลาด (Error) ที่ได้จากข้อสรุปของงานวิจัยนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากเหตุผลดังที่ได้กล่าวไป

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะแบ่งวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ

4.3.1 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการ ECO-X Process

4.3.2 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยส่งซิลิคอนเกรดโลหกรรมให้กับบริษัท โซล่าร์ซินเนอร์ยี่ จำกัด เพื่อผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

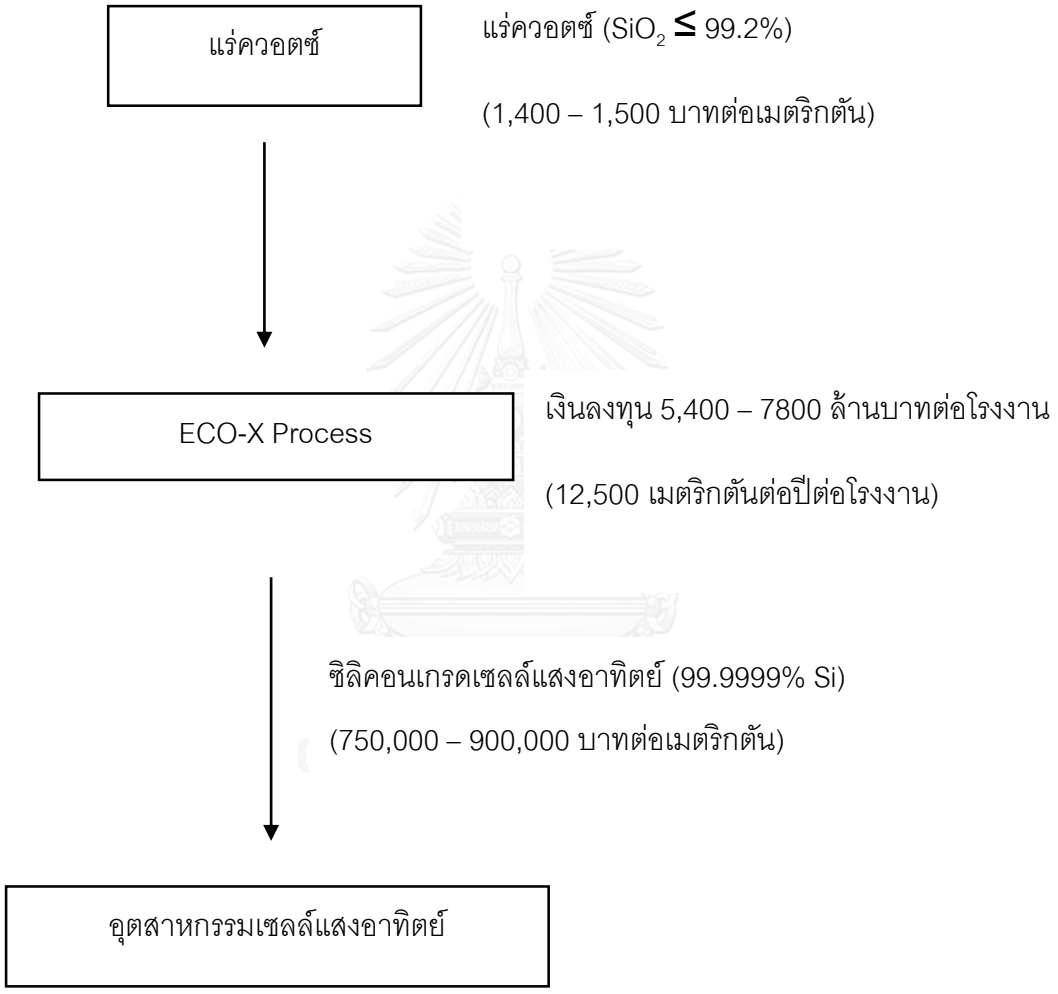


รูปที่ 4. 2 ขั้นตอนโดยย่อในการศึกษาความเป็นไปได้ทั้ง 2 กรณี

ที่มา : จากการศึกษา

4.3.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ใช้แร่ควอตซ์จากแหล่งแร่ตะโกปิดทองมาผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วิธี ECO-X Process

กระบวนการ และข้อมูลแบบองค์รวมของผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์มีขั้นตอนดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4. 3 ขั้นตอนการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธี ECO-X (กรณีที่ 1)
ที่มา: (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่, กุมภาพันธ์ 2554)

ในการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ได้มีการตั้งสมมติฐานของงานวิจัยดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 แสดงมูลค่า และสมมติฐานของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	รายการ	มูลค่า	ที่มาของสมมติฐาน
1	ระยะเวลาดำเนินโครงการ	25 ปี	อายุสูงสุดของประทานบัตร อ้างอิงจาก กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่
2	ค่าภาคหลวง	4% ของราคาประกาศแร่ควอตซ์ หรือประมาณ 30 บาทต่อเมตริกตัน	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่
3	ค่าเสื่อมราคา	5 - 10 ปี	พิจารณาตามอายุเครื่องมือเครื่องจักรและสิ่งปลูกสร้าง
4	อัตราภาษี	20%	กรมสรรพากร กระทรวงพาณิชย์
5	อัตราคิดลด	12%	กำหนดเป็นค่าสูญเสียโอกาสของเงินทุน
6	ค่าบำรุงรักษา	5% ของสินทรัพย์	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่
7	ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม	30,0000 บาทต่อปี	กำหนดเป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3.1 **<u>การประเมินรายได้</u>**

การประมาณการรายได้ จะกำหนดให้สอดคล้องกับปริมาณแร่ควอตซ์ ที่สามารถทำเหมืองได้ของโครงการ และราคา ประกาศของแร่ควอตซ์ ถ้านำแร่ที่ได้มาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (6 ล้านเมตริกตันตามปริมาณสำรองแร่ที่ได้ศึกษางานวิจัย) โดยใช้วิธี ECO-X Process จะทำให้มีรายได้ประมาณ 790,000 ล้านบาท โดยมีสมมติฐานคือซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์สามารถขายได้หมดตลอดอายุของโครงการ ตารางที่ 4.3 แสดงสมมติฐาน และรายได้ของโครงการ ที่มาด้านราคา : (ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558)

ตารางที่ 4. 3 สมมติฐาน และรายได้ของโครงการแบบ ECO-X Process

รายการ	มูลค่า	หน่วย
ปริมาณสำรองแร่ควอตซ์คุณภาพสูงที่สามารถผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	6	ล้านเมตริกตัน
อายุโครงการ	25	ปี
ราคาซิลิคอนเกรดโซลาเซลล์	750,000	บาทต่อเมตริกตัน
ปริมาณซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากกระบวนการ ECO-X Process (อัตราการสูญเสียในกระบวนการเท่ากับ 75% (ที่มา : จากการศึกษา)	60,000	เมตริกตันต่อปี
รวมรายได้ที่ได้ในการขายโซลาเกรดซิลิคอนตลอดอายุโครงการ	**790,000**	**ล้านบาท**

4.3.3.2 **การประมาณการรายจ่าย**

ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Cost)

ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)

โครงการจะมีการลงทุนด้านเครื่องมือเครื่องจักร และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ที่ใช้ในกิจการเหมืองเพื่อให้สามารถผลิตแร่ควอตซ์กระบวนการผลิตโซลาเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่

โดยสามารถผลิตแร่ (Output) ได้ 240,000 เมตริกตันต่อ 1 ปี หรือ 800 เมตริกตันต่อวัน คิดเป็นต้นทุนประมาณ 89 ล้านบาท ประกอบด้วย ค่าเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ และสำนักงาน

ขั้นตอน ECO-X Process

คิดเป็นต้นทุน 39,000 ล้านบาท ประกอบด้วย โรงงานทั้งหมด 5 โรงงาน (โดย 1 โรงงานสามารถผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 12,500 เมตริกตันต่อปี)

ดังนั้นรวมมูลค่าต้นทุนคงที่ทั้งหมดประมาณ 39,089.95 ล้านบาท รายละเอียดดังตารางที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 4 รายละเอียดของต้นทุนคงที่ในโครงการ

รายการ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (ล้านบาท)	ต้นทุน (ล้านบาท)	อายุสินทรัพย์ (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (ล้านบาทต่อปี)
ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่ (ผลิตได้ 240,000 เมตริกตันต่อ 1 ปี)					
รถหัวกระแทก (Hydraulic breaker) (หน่วย : คัน)	3	1.40	4.20	5	0.84
รถ Backhoe (หน่วย : คัน)	4	8.00	32.00	10	3.20
รถบรรทุก 10 ล้อ (หน่วย : คัน)	7	2.50	17.50	10	1.75
รถใช้ทั่วไป (หน่วย : คัน)	4	0.75	3.00	5	0.60
รถน้ำ (หน่วย : คัน)	2	1.50	3.00	10	0.30
Jaw crusher (หน่วย : ชุด)	1	5.00	5.00	10	0.50
Cone crusher (หน่วย : ชุด)	1	15.00	15.00	10	1.50
Screen (หน่วย : ชุด)	2	1.00	2.00	10	0.20
รถ Loader (หน่วย : คัน)	1	5.00	5.00	10	0.50
สำนักงาน (หน่วย : อาคาร)	1	1.00	1.00	10	0.10
ค่าที่ดิน (หน่วย :ไร่)	10	0.15	1.50		
รวม			89.20		9.49
ขั้นตอน ECO-X Process **(ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 60,000 เมตริกตัน / ปี (อัตราการสูญเสียในระบบเท่ากับ** 75%)					
ค่าที่ดิน (หน่วย :ไร่)	5	0.15	0.75		
โรงงาน (ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 12,500 เมตริกตัน / ปี)	5	7,800.00	39,000.00	25	1,560.00
รวม			39,000.75		1,560.00
รวมทั้งหมด			39,089.95		1,569.49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต้นทุนในการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)

เป็นค่าใช้จ่ายระหว่างการทำเหมืองโครงการ ประกอบด้วย ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร น้ำมันเชื้อเพลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการผลิตแร่ในแต่ละปี ซึ่งตลอดระยะเวลา 25 ปี ณ ปริมาณแร่ควอตซ์ที่ผลิตได้ประมาณ 6 ล้านเมตริกตัน จะมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 3,536.10 ล้านบาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

- ค่าภาคหลวง

โครงการจะต้องจ่ายค่าภาคหลวงแร่ให้แก่กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม ตามประกาศราคาแร่ โดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เท่ากับ 4% ของราคาประกาศ หรือเท่ากับ 30 บาทต่อเมตริกตัน ดังนั้นค่าภาคหลวงของการผลิตแร่ในระยะเวลา 25 ปี ผลิตแร่ได้ประมาณ 6 ล้าน เมตริกตัน คิดเป็นค่าภาคหลวงประมาณ 180 ล้านบาท หรือเท่ากับ 7.2 ล้านบาทต่อปี

- ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม

โครงการจะเตรียมงบประมาณในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมประมาณ 300,000 บาทต่อปี เวลา 25 ปีใช้เงินประมาณ 7.5 ล้านบาท

- ค่าเสื่อมราคาทุน

ในการพิจารณาค่าเสื่อมราคาของทุนกำหนดให้การตัดค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือเครื่องจักรในการทำต่อปีเป็นมูลค่า 1,569.49 ล้านบาทต่อปี

- ภาษี

ทางโครงการจะต้องจ่ายค่าภาษีเงินได้นิติบุคคลจากการประกอบกิจการให้กับกรมสรรพากร กระทรวงพาณิชย์ ในอัตราร้อยละ 20 ของกำไรจากการดำเนินโครงการ เท่ากับ 8,215.49 ล้านบาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายละเอียดของต้นทุนผันแปร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ รายละเอียดดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4. 5 รายละเอียดของต้นทุนผันแปร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ

รายการ	หน่วย (คน)	ค่าใช้จ่าย (ล้านบาทต่อปี)
ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่		
ฝ่ายบริหาร (การทำเหมือง)	3	0.90
ฝ่ายบริหาร (การแต่งแร่)	2	0.60
วิศวกร / หัวหน้าคนงาน (การทำเหมือง)	2	1.20
วิศวกร / หัวหน้าคนงาน (การแต่งแร่)	1	0.60
คนงาน (การทำเหมือง)	8	0.60
คนงาน (การแต่งแร่)	5	0.68
ค่าบำรุงรักษา (5% ของสินทรัพย์)		4.46
ค่าภาคหลวง (30 บาทต่อเมตริกตัน)		7.2
ค่าเสื่อมราคา		9.5
ค่าบำรุงรักษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม		0.3
รวม		**26.03**
ECO-X Process		
ค่าบำรุงรักษา (5% ของสินทรัพย์)		1,950.08
ค่าเสื่อมราคา		1,560.00
รวม		**3,510.08**
รวมค่าใช้จ่ายผันแปร		**3,536.10**

จากข้อมูลในหัวข้อการประเมินรายได้ และรายจ่าย สามารถนำมาเขียนเป็นกระแสเงินสด ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4. 6 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 1)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		ปีที่เริ่มต้น	5
1. รายได้ของโครงการ			
1.1 กำลังผลิต	ตัน		60000.00
1.2 ราคาต่อหน่วยผลผลิตของโครงการ	ล้านบาท/ตัน		0.75
รายได้ของโครงการ	**ล้านบาท**		**45000.00**
2. ต้นทุนจากโครงการ		39091.20	
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**	**91.20**	
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท	1.50	
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	86.70	
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท	1.00	
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท	1.00	
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท	1.00	
2.2 ต้นทุนการถลุงแร่เป็น ECOX		**39000.00**	
(1) ค่าโรงงาน 5 โรงงาน	ล้านบาท	39000.00	
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่		1.50	
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**		**1959.12**
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		**4.58**
(2) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		**4.46**
(3) ค่าบำรุงรักษา ECO-X PROCESS	ล้านบาท		**1950.08**
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (1. + 2. + 3.)	**ล้านบาท**		**1571.59**
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่		1.80
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท		0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท		1569.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	**39091.20**	**3530.71**
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	-39091.20	41469.29
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท		8293.86
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	**-39091.20**	**33175.43**

ตารางที่ 4. 7 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 1) (ต่อ)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		10	15
1. รายได้ของโครงการ			
1.1 กำลังผลิต	ตัน	60000.00	60000.00
1.2 ราคาต่อหน่วยผลผลิตของโครงการ	ล้านบาท/ตัน	0.75	0.75
รายได้ของโครงการ	**ล้านบาท**	45000.00	45000.00
2. ต้นทุนจากโครงการ			
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**		
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท		
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท		
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท		
2.2 ต้นทุนการถลุงแร่เป็น ECOX			
(1) ค่าโรงงาน 5 โรงงาน	ล้านบาท		
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่			
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**	1959.12	1959.12
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.58	4.58
(2) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.46	4.46
(3) ค่าบำรุงรักษา ECO-X PROCESS	ล้านบาท	1950.08	1950.08
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (1. + 2. + 3.)	**ล้านบาท**	1571.59	1571.59
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่	1.80	1.80
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท	0.30	0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท	1569.49	1569.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	3530.71	3530.71
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	41469.29	41469.29
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท	8293.86	8293.86
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	33175.43	33175.43

ตารางที่ 4. 8 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 1) (ต่อ)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		20	25
1. รายได้ของโครงการ			
1.1 กำลังผลิต	ตัน	60000.00	60000.00
1.2 ราคาต่อหน่วยผลผลิตของโครงการ	ล้านบาท/ตัน	0.75	0.75
รายได้ของโครงการ	**ล้านบาท**	45000.00	45000.00
2. ต้นทุนจากโครงการ			
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**		
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท		
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท		
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท		
2.2 ต้นทุนการถลุงแร่เป็น ECOX			
(1) ค่าโรงงาน 5 โรงงาน	ล้านบาท		
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่			
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**	1959.12	1959.12
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.58	4.58
(2) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.46	4.46
(3) ค่าบำรุงรักษา ECO-X PROCESS	ล้านบาท	1950.08	1950.08
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (1. + 2. + 3.)	**ล้านบาท**	1571.59	1571.59
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่	1.80	1.80
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท	0.30	0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท	1569.49	1569.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	3530.71	3530.71
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	41469.29	41469.29
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท	8293.86	8293.86
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	33175.43	33175.43

ตารางที่ 4. 9 แสดงค่าการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ (กรณีที่ 1)

รายการ	มูลค่า	หน่วย
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	221,108.33	ล้านบาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	85	ร้อยละ
ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)	**1 ปี 3 เดือน**	-

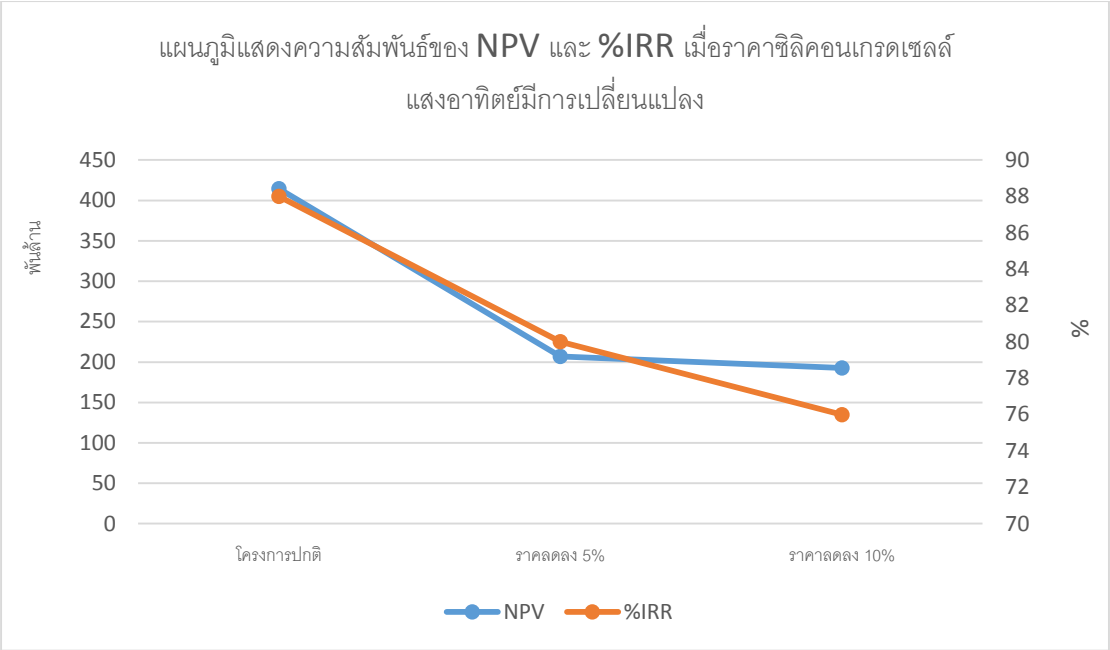
<u>วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)</u>

ในการหาความไวของโครงการ ความผันผวนที่เกิดขึ้นในโครงการผู้วิจัยกำหนดให้เป็นดังนี้

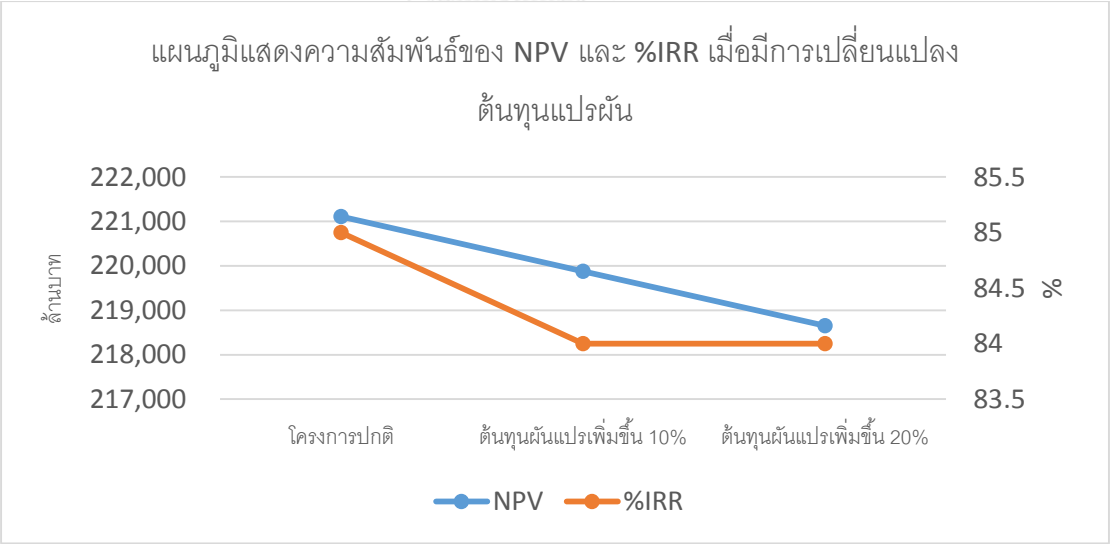
- ราคาของซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์
  - ลดลงในอัตรา 5%
  - ลดลงในอัตรา 10%
- ต้นทุนแปรผันต่อปี
  - เพิ่มขึ้นในอัตรา 10%
  - เพิ่มขึ้นในอัตรา 20%

โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 4 แผนภาพความสัมพันธ์ของ NPV และ %IRR เมื่อเปลี่ยนแปลงราคาซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4. 5 แผนภาพความสัมพันธ์ของ NPV และ %IRR เมื่อเปลี่ยนแปลงต้นทุนแปรผันโครงการ

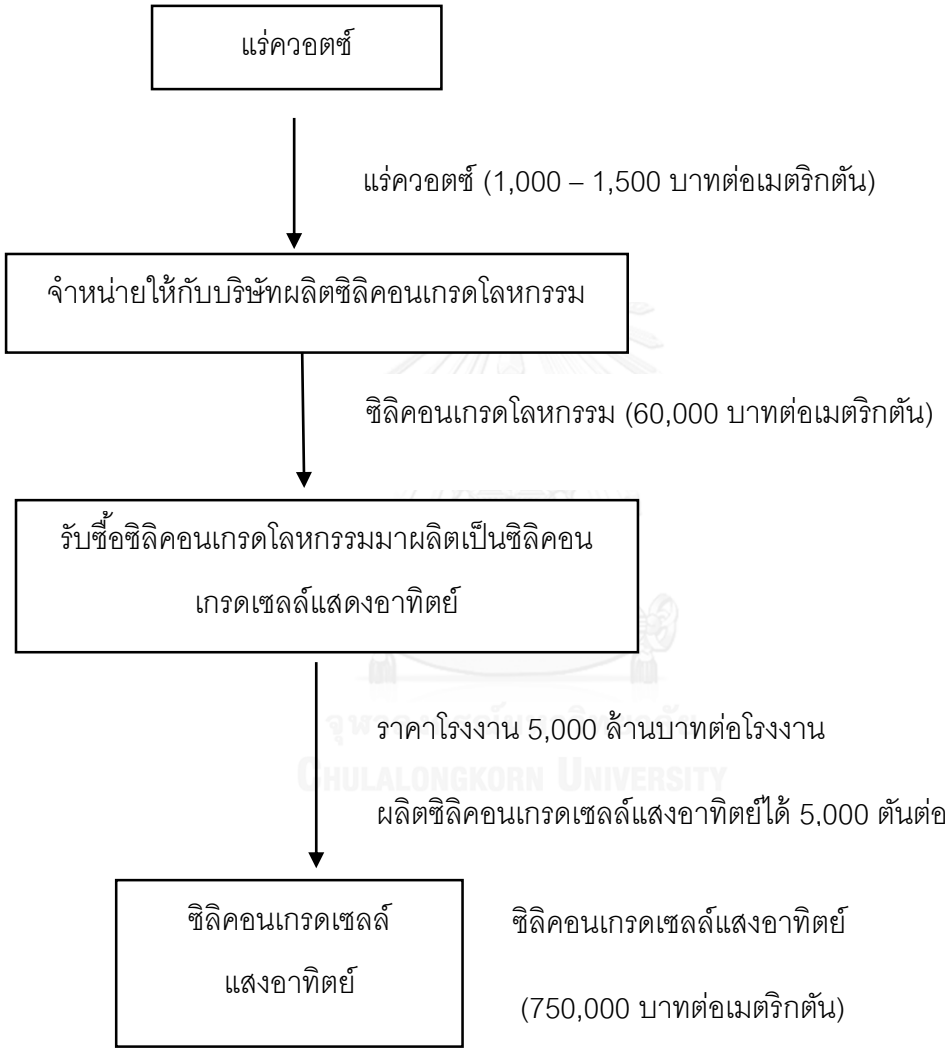
ข้อสรุป

- ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 221,108.33 ล้านบาทซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ หรือมีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการนี้มีผลตอบแทนอยู่ในขั้นที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 85% นั่นแสดงว่าการลงทุนภายในโครงการมีอัตราผลตอบแทนในโครงการมากกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้ 12% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน
- ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี 3 เดือน แสดงให้เห็นว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน
- ในการหาความไวของโครงการพบว่าโครงการยังมีค่า NPV และ IRR อยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มต่อการลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยการจำหน่ายแร่ควอตซ์ไปผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม และรับซื้อมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

กระบวนการ และข้อมูลแบบองค์รวมของผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์มีขั้นตอนดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. 6 ขั้นตอนการนำแร่ควอตซ์มาทำผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ (กรณีที่ 2)
(ที่มา:(ธีรวุธ ตันนุกิจ, 2558), ผู้ประกอบการ)

4.3.4.1 **<u>การประเมินรายได้</u>**

การประมาณการรายได้ จะกำหนดให้สอดคล้องกับปริมาณแร่ควอตซ์ ที่สามารถทำเหมืองได้ของโครงการ และราคา ณ ปัจจุบันของแร่ควอตซ์ ภายใต้สมมติฐานที่ว่า แร่ควอตซ์ที่ผลิตได้ในแต่ละปีสามารถจำหน่ายได้ทั้งหมด โดยปริมาณสำรองแร่ควอตซ์ทั้งหมด 16 ล้านตัน ในการคำนวณจะทำการคำนวณการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่โดยมีผลผลิตแร่ควอตซ์ต่อปีเท่ากับ 240,000 ตันต่อปี หรือ 6 ล้านเมตริกตันในระยะเวลา 25 ปีโดย แร่ควอตซ์ที่ได้จากการแต่งแร่จะส่งไปผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม (มีอัตราการสูญเสียในระบบเท่ากับ 67% (แร่ควอตซ์ 3 ตัน ผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรมได้ 1 ตัน)) และหลังจากนั้นนำซิลิคอนเกรดโลหกรรมที่ได้มาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีปริมาณอัตราการสูญเสียในระบบเท่ากับ 30% (ที่มา : ผู้ประกอบการ) หรือเท่ากับ 55,440 เมตริกตันต่อปี

สมมติฐาน และรายได้จากโครงการสามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4. 10 สมมติฐาน และรายได้ของโครงการในการขายซิลิคอนเกรดโลหกรรม

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ปริมาณแร่ควอตซ์ที่ได้หลังจากกระบวนการทำเหมืองแร่แต่งแร่	240,000	เมตริกตัน/ปี
อายุโครงการ	25	ปี
ราคาแร่ควอตซ์	1,000	บาทต่อเมตริกตัน
ราคาซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	750,000	บาทต่อเมตริกตัน
ปริมาณซิลิคอนเซลล์แสงอาทิตย์	55,440	เมตริกตันต่อปี
รายได้จากการขายแร่ควอตซ์ให้โรงงานผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม	240	ล้านบาทต่อปี
รายได้จากการขายซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	41,580	ล้านบาทต่อปี
รวมรายได้ตลอดโครงการ	**1,045,500**	**ล้านบาท**

4.3.4.2 **<u>การประมาณการรายจ่าย</u>**

<u>ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)</u>

โครงการจะมีการลงทุนด้านเครื่องมือเครื่องจักร และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ที่ใช้ในกิจการเหมืองเพื่อให้สามารถผลิตแร่ควอตซ์กระบวนการผลิตโซลาเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งได้ดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่</u>

โดยสามารถผลิตแร่ (Output) ได้ 240,000 เมตริกตันต่อ 1 ปี หรือ 800 เมตริกตันต่อวัน คิดเป็นต้นทุนประมาณ 89 ล้านบาท ประกอบด้วย ค่าเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ และสำนักงาน

<u>ขั้นตอนโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์</u>

นำซิลิคอนเกรดโลหกรรมเข้ากระบวนการทำให้ซิลิคอนบริสุทธิ์ขึ้น 99.9999% โดยมี อัตราการสูญเสียในระบบเท่ากับ 30% ดังนั้นจะได้ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 55,440 เมตริกตันต่อปี (ซิลิคอนเกรดโลหกรรม 79,200 เมตริกตันต่อปี)

จากข้อมูลโดยผู้ประกอบการพบว่า โรงงาน 1 โรงงานมีต้นทุน 5,000 ล้านบาท ผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 5,000 ล้านตันต่อโรงงาน ดังนั้นต้องสร้างโรงงานทั้งหมด 11 โรงงาน มีต้นทุนทั้งหมด 55,000 ล้านบาท ดังนั้นรวมมูลค่าต้นทุนคงที่ทั้งหมดประมาณ 55,090.70 ล้านบาท รายละเอียดดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของต้นทุนคงที่ในโครงการ (กรณีที่ 2)

รายการ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (ล้านบาท)	ต้นทุน (ล้านบาท)	อายุสินทรัพย์ (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (ล้านบาทต่อปี)
ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่ (ผลิตได้ 240,000 เมตริกตันต่อ 1 ปี)					
รถหัวกระแทก (Hydraulic breaker) (หน่วย : คัน)	3	1.40	4.20	5	0.84
รถ Backhoe (หน่วย : คัน)	4	8.00	32.00	10	3.20
รถบรรทุก 10 ล้อ (หน่วย : คัน)	7	2.50	17.50	10	1.75
รถใช้ทั่วไป (หน่วย : คัน)	4	0.75	3.00	5	0.60
รถน้ำ (หน่วย : คัน)	2	1.50	3.00	10	0.30
Jaw crusher (หน่วย : ชุด)	1	5.00	5.00	10	0.50
Cone crusher (หน่วย : ชุด)	1	15.00	15.00	10	1.50
Screen (หน่วย : ชุด)	2	1.00	2.00	10	0.20
รถ Loader (หน่วย : คัน)	1	5.00	5.00	10	0.50
สำนักงาน (หน่วย : อาคาร)	1	1.00	1.00	10	0.10
ค่าที่ดิน (หน่วย :ไร่)	10	0.15	1.50		
รวม			89.20		9.49
ขั้นตอนโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ (ใช้ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 55,440 เมตริกตัน / ปี)					
ค่าที่ดิน (หน่วย :ไร่)	10	0.15	1.50		
โรงงาน (ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ 5,000 เมตริกตัน / ปี)	11	5,000.00	55,000.00	25	2,200.00
รวม			55,001.50		2,200.00
รวมทั้งหมด			55,090.70		2,209.49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ต้นทุนในการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)

ค่าใช้จ่ายในการรับซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรม

หลังจากขายแร่ควอตซ์ 240,000 เมตริกตันต่อปี ทำการรับซื้อคืนซิลิคอนเกรดโลหกรรม 79,200 เมตริกตันต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,752 ล้านบาทต่อปี

เป็นค่าใช้จ่ายระหว่างการทำเหมืองโครงการ

ประกอบด้วย ค่าซ่อมแซมเครื่องจักร น้ำมันเชื้อเพลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เงินเดือนและค่าจ้างแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการผลิตแร่ในแต่ละปี ซึ่งตลอดระยะเวลา 25 การผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์จะมีต้นทุนผันแปรเท่ากับ 10,223.10 ล้านบาทต่อปี

รายละเอียดค่าใช้จ่ายอื่นๆ

- ค่าภาคหลวง

ค่าภาคหลวงของการผลิตแร่ในระยะเวลา 25 ปี ผลิตแร่ได้ประมาณ 6 ล้าน เมตริกตัน คิดเป็นค่าภาคหลวงประมาณ 180 ล้านบาท

- ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม

โครงการจะเตรียมงบประมาณในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมประมาณ 300,000 บาทต่อปี เวลา 25 ปีใช้เงินประมาณ 7.5 ล้านบาท

- ค่าเสื่อมราคาทุน

ในการพิจารณาค่าเสื่อมราคาของทุนกำหนดให้การตัดค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือเครื่องจักรในการทำต่อปีเป็นมูลค่า 2209.49 ล้านบาทต่อปี

- ภาษี

ทางโครงการจะต้องจ่ายค่าภาษีเงินได้นิติบุคคลจากการประกอบกิจการให้กับกรมสรรพากร กระทรวงพาณิชย์ ในอัตราร้อยละ 20 ของกำไรจากการดำเนินโครงการเป็นเงิน 6319.38 ล้านบาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดของต้นทุนผันแปร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ รายละเอียดดังตาราง 4.13

ตารางที่ 4. 12 รายละเอียดของต้นทุนผันแปร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ

รายการ	หน่วย (คน)	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อปี)
ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่		
ฝ่ายบริหาร (การทำเหมือง)	3	0.9
ฝ่ายบริหาร (การแต่งแร่)	2	0.6
วิศวกร / หัวหน้าคนงาน (การทำเหมือง)	2	1.2
วิศวกร / หัวหน้าคนงาน (การแต่งแร่)	1	0.6
คนงาน (การทำเหมือง)	8	0.6
คนงาน (การแต่งแร่)	5	0.68
ค่าบำรุงรักษา (5% ของสินทรัพย์)		4.46
ค่าภาคหลวง (30 บาทต่อเมตริกตัน)		7.2
ค่าเสื่อมราคา		9.49
ค่าบำรุงรักษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม		0.3
รวม		**26.03**
ค่าใช้จ่ายในการซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรม		**4,752**
ขั้นตอนโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์		
ค่าบำรุงรักษา (5% ของสินทรัพย์)		3,025.08
ค่าเสื่อมราคา		2,420
รวม		**5,445.08**
รวมค่าใช้จ่ายผันแปร		**10,223.1**

จากข้อมูลในหัวข้อการประเมินรายได้ และรายจ่าย สามารถนำมาเขียนเป็นกระแสเงินสด ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4. 13 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ *2*)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		เริ่มต้น	5
1. รายได้ของโครงการ			41,820
1.1 แร่ควอตซ์	ตัน		240,000.00
1.2 ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ตัน		55,440.00
1.3 ราคาต่อหน่วยผลผลิตแร่ควอตซ์	ล้านบาท/ตัน		0.001
1.3 ราคาต่อหน่วยซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ล้านบาท/ตัน		0.75
2. ต้นทุนจากโครงการ		55,093	
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**	**91**	
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท	2	
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	87	
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท	1	
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท	1	
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท	1	
2.2 ต้นทุนคงที่โรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์		**55,002**	
(1) ค่าโรงงาน	ล้านบาท	55,000	
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท	1.50	
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**		**7,786.12**
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		4.58
(2) ค่าใช้จ่ายในการซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรม (60,000 บาทต่อตัน	ล้านบาท		4,752.00
(3) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		4.46
(4) ค่าบำรุงรักษาโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์ดแสงอาทิตย์	ล้านบาท		3,025.08
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	**ล้านบาท**		**2,436.99**
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่		7.20
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท		0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท		2429.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	**55,093**	**10,223.11**
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	(55,093)	31,596.89
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท		6,319.38
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	**(55,093)**	**25,277.51**

ตารางที่ 4. 14 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 2) (ต่อ)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		10	15
1. รายได้ของโครงการ		41,820	41,820
1.1 แร่ควอตซ์	ตัน	240,000.00	240,000.00
1.2 ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ตัน	55,440.00	55,440.00
1.3 ราคาต่อหน่วยผลผลิตแร่ควอตซ์	ล้านบาท/ตัน	0.001	0.001
1.3 ราคาต่อหน่วยซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ล้านบาท/ตัน	0.75	0.75
2. ต้นทุนจากโครงการ			
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**		
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท		
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท		
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท		
2.2 ต้นทุนคงที่โรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์			
(1) ค่าโรงงาน	ล้านบาท		
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**	**7,786.12**	**7,786.12**
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.58	4.58
(2) ค่าใช้จ่ายในการซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรม (60,000 บาทต่อตัน	ล้านบาท	4,752.00	4,752.00
(3) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.46	4.46
(4) ค่าบำรุงรักษาโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์ดแสงอาทิตย์	ล้านบาท	3,025.08	3,025.08
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	**ล้านบาท**	**2,436.99**	**2,436.99**
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่	7.20	7.20
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท	0.30	0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท	2429.49	2429.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	**10,223.11**	**10,223.11**
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	31,596.89	31,596.89
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท	6,319.38	6,319.38
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	**25,277.51**	**25,277.51**

ตารางที่ 4. 15 กระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 2) (ต่อ)

รายการ	หน่วยราคา	ปีที่	
		20	25
1. รายได้ของโครงการ		41,820	41,820
1.1 แร่ควอตซ์	ตัน	240,000.00	240,000.00
1.2 ซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ตัน	55,440.00	55,440.00
1.3 ราคาต่อหน่วยผลผลิตแร่ควอตซ์	ล้านบาท/ตัน	0.001	0.001
1.3 ราคาต่อหน่วยซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์	ล้านบาท/ตัน	0.75	0.75
2. ต้นทุนจากโครงการ			
2.1 ต้นทุนการลงทุนทำเหมือง (ต้นทุนคงที่)	**ล้านบาท**		
(1) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
(2) ค่าเครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท		
(4) ค่าอาคารสถานที่	ล้านบาท		
(5) อุปกรณ์สำนักงาน	ล้านบาท		
(6) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ล้านบาท		
2.2 ต้นทุนคงที่โรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์			
(1) ค่าโรงงาน	ล้านบาท		
(2) ค่าที่ดิน 10 ไร่	ล้านบาท		
2.3 ต้นทุนการดำเนินการ (ต้นทุนผันแปร)	**ล้านบาท**	7,786.12	7,786.12
(1) ค่าผู้บริหารและ คนงาน ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.58	4.58
(2) ค่าใช้จ่ายในการซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรม (60,000 บาทต่อตัน	ล้านบาท	4,752.00	4,752.00
(3) ค่าบำรุงรักษา ขั้นตอนเหมืองแร่ และแต่งแร่	ล้านบาท	4.46	4.46
(4) ค่าบำรุงรักษาโรงงานผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์ดแสงอาทิตย์	ล้านบาท	3,025.08	3,025.08
2.4 ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	**ล้านบาท**	2,436.99	2,436.99
(1) ค่าภาคหลวง (แร่ควอตซ์ที่ได้จากเหมือง)	30 บาท/ตันแร่	7.20	7.20
(2) ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ล้านบาท	0.30	0.30
(3) ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์	ล้านบาท	2429.49	2429.49
รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ (2.1 + 2.2 + 2.3+2.4)	**ล้านบาท**	10,223.11	10,223.11
กำไรสุทธิก่อนหักภาษี	ล้านบาท	31,596.89	31,596.89
ภาษีเงินได้นิติบุคคล (ร้อยละ 20)	ล้านบาท	6,319.38	6,319.38
กระแสเงินสดสุทธิ	**ล้านบาท**	25,277.51	25,277.51

ตารางที่ 4. 16 แสดงค่าการประเมินจากกระแสเงินสดของโครงการ (กรณีที่ 2)

รายการ	มูลค่า	หน่วย
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	143,162.34	ล้านบาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	46	ร้อยละ
ระยะเวลาคืนทุน	**2 ปี 2 เดือน**	

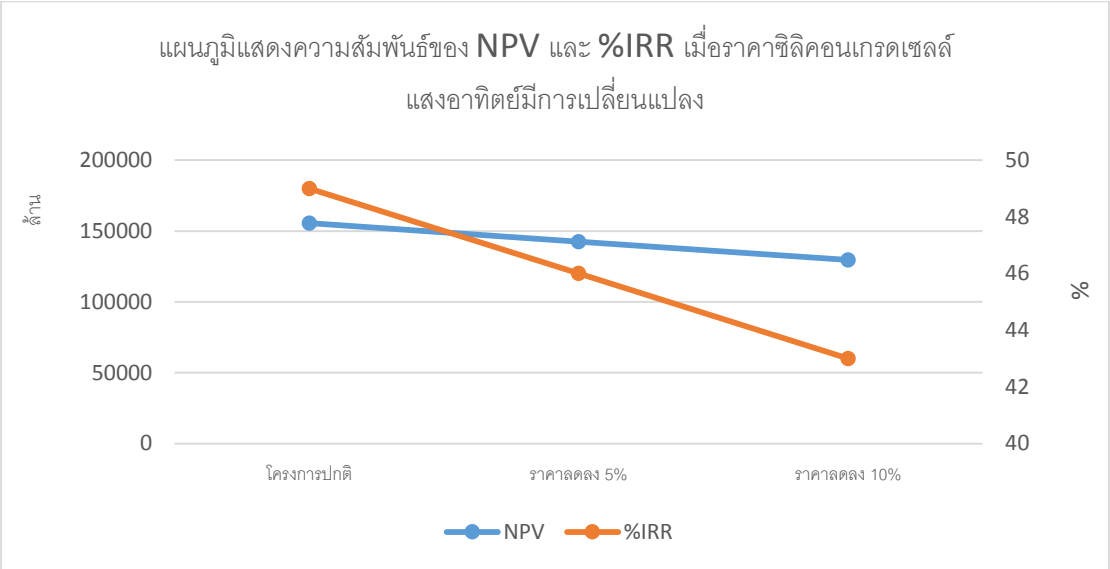
<u>วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)</u>

ในการหาความไวของโครงการ ความผันผวนที่เกิดขึ้นในโครงการผู้วิจัยกำหนดให้เป็นดังนี้

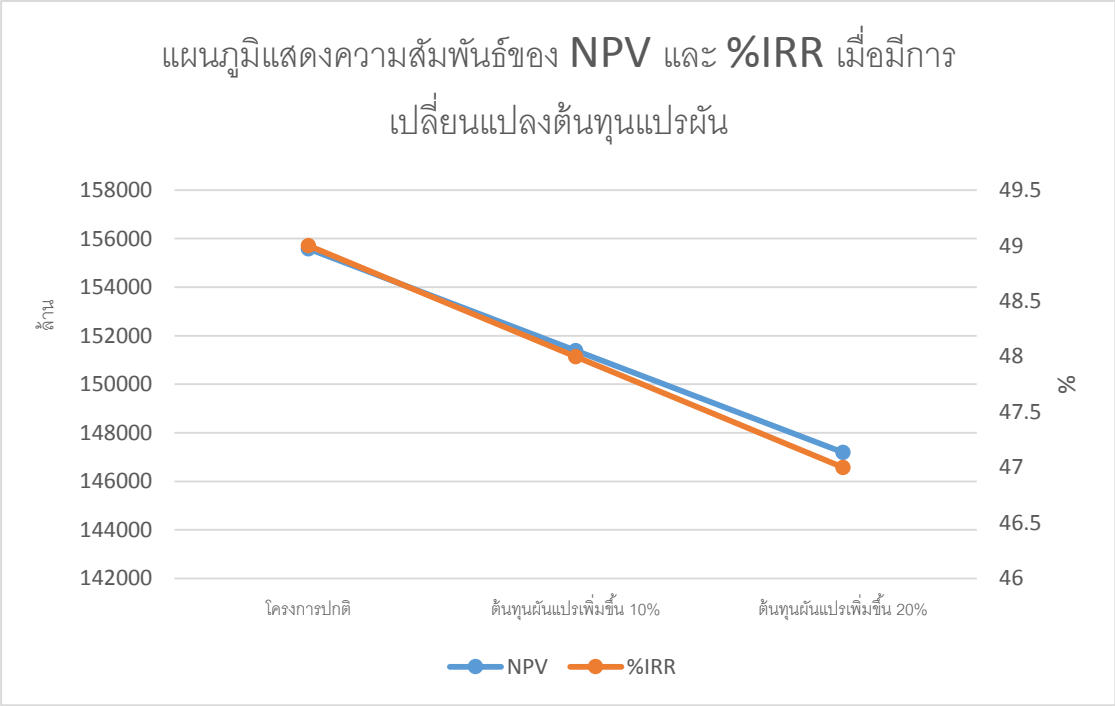
- ราคาของซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์
  - ลดลงในอัตรา 5%
  - ลดลงในอัตรา 10%
- ต้นทุนแปรผันต่อปี
  - เพิ่มขึ้นในอัตรา 10%
  - เพิ่มขึ้นในอัตรา 20%

โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 7 แผนภาพความสัมพันธ์ของ NPV และ %IRR เมื่อเปลี่ยนแปลงราคาซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4. 8 แผนภาพความสัมพันธ์ของ NPV และ %IRR เมื่อเปลี่ยนแปลงต้นทุนแปรผันโครงการ

ข้อสรุป

จากตารางที่ 4.16 แสดงการวิเคราะห์ค่า NPV, IRR และ ระยะเวลาคืนทุน เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจการลงทุนดังต่อไปนี้

- ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 143,162.34 ล้านบาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ หรือมีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการนี้มีผลตอบแทนอยู่ในขั้นที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 46% นั่นแสดงว่าการลงทุนภายในโครงการมีอัตราผลตอบแทนในโครงการมากกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้ 12% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน
- ระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 2 เดือนมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของโครงการคือ 25 ปี แสดงให้เห็นว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน

จากข้อสรุปของกรณีที่ 1 และ 2 สามารถนำมาเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4. 17 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

รายการ	**NPV (ล้านบาท)**	IRR	**ระยะเวลาคืนทุน**
กรณีที่ 1	221,108.33	85%	1 ปี 3 เดือน
กรณีที่ 2	143,162.34	46%	2 ปี 2 เดือน

จากข้อมูลดังตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบกันพบว่าในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เป็นโครงการที่เหมาะสม และน่าสนใจที่จะลงทุนทั้งสองกรณี แต่ในกรณีที่ 1 มีค่า IRR มากกว่า และมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าแสดงให้เห็นความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า

ในการวิเคราะห์นี้ยังเป็นเพียงการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นเท่านั้น และยังไม่ได้ทำการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์เชิงลึกในอีกหลายปัจจัยทำให้สิ่งที่สรุปได้นั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งในการตัดสินใจในอนาคตเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์ของแหล่งแร่ควอตซ์ในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อศึกษา, รวบรวมข้อมูล และประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ของแหล่งวัตถุดิบว่าสามารถนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้หรือไม่ โดยมีประโยชน์สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจกับหน่วยงานต่างๆ ที่มีความสนใจในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถเป็นข้อมูลประกอบเบื้องต้นเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาพลังงานทดแทน หรือพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต

ในบทนี้สามารถสรุปผลการศึกษาได้ 2 ส่วนคือ

1. ผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
2. การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการนำวัตถุดิบที่มีในประเทศมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ในการวิเคราะห์แร่ควอตซ์ที่ได้จากแหล่งแร่ตะโกปิดทองจังหวัดราชบุรี จากการวิเคราะห์โดยใช้ XRF พบว่า SiO_2 ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99.550% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรมซิลิคอนคุณภาพสูง ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าแร่ควอตซ์ในแหล่งแร่ตะโกปิดทอง มีคุณภาพสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

<u>กรณีที่ 1</u> ผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธี ECO-X Process

- มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิโครงการ (NPV) คือรายได้หรือผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับในอนาคต ซึ่งมีมูลค่าของปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับ 221,108.33 ล้านบาท ซึ่งมีค่าเป็นบวก หรือมากกว่าศูนย์แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) พบว่าการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี ECO-X Process มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 85% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้คือ 12% ดังนั้นจึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- ระยะเวลาคืนทุน หมายความว่าระยะเวลาที่ใช้เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนสุทธิเท่ากับศูนย์หรือคืนทุนพอดี ซึ่งพบว่าโครงการมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1 ปี 3 เดือน เทียบกับอายุโครงการ 25 ปี ถือเป็นโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- จากการพิจารณาความไวของโครงการพบว่าค่า NPV และ %IRR อยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

<u>กรณีที่ 2</u> การจำหน่ายแร่ควอตซ์เพื่อผลิตเป็นซิลิคอนเกรดโลหกรรม และซื้อซิลิคอนเกรดโลหกรรมเพื่อนำมาผลิตเป็นซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์

- มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิโครงการ (NPV) คือรายได้หรือผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับในอนาคต ซึ่งมีมูลค่าของปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับ 143,162.34 ล้านบาท ซึ่งมีค่าเป็นบวก หรือมากกว่าศูนย์แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) พบว่าการผลิตซิลิคอนเกรดเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธี ECO-X Process มีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการเท่ากับ 46% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราคิดลดที่กำหนดไว้คือ 12% ดังนั้นจึงเป็นโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- ระยะเวลาคืนทุน หมายความว่าระยะเวลาที่ใช้เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนสุทธิเท่ากับศูนย์หรือคืนทุนพอดี ซึ่งพบว่าโครงการมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน เทียบกับอายุโครงการ 25 ปี ถือเป็นโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุน
- จากการพิจารณาความไวของโครงการพบว่าค่า NPV และ %IRR อยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

ดังนั้นข้อสรุปในเบื้องต้นคือโครงการในทั้งสองกรณีนี้จึงเป็นโครงการที่น่าลงทุน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไม่ได้ศึกษา และวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ในด้านเชิงลึก เช่น ด้านการตลาด ด้านความอ่อนไหวของโครงการ เป็นต้น ดังนั้นหากมีผู้สนใจควรที่ศึกษาสภาพตลาด และปัจจัยภายนอกอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อลดความเสี่ยงต่างๆ ในโครงการที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และช่วยในการตัดสินใจการลงทุน
- ด้วยข้อจำกัดของเงินทุน และเครื่องมือในการวิเคราะห์แร่ควอตซ์ทำให้ไม่สามารถหาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญภายในแร่ได้ คือ โบรอน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นมลทินที่จะกำจัดยากในขั้นตอนการทำให้ซิลิคอนบริสุทธิ์ขึ้น ดังนั้นเพื่อความมั่นใจในคุณภาพของแร่ควรนำแร่ควอตซ์จากแหล่งแร่นำไปวิเคราะห์ในเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงขึ้น
- ในการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังนั้นก่อนจะเริ่มโครงการในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีการศึกษาและวิเคราะห์ผลลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2542. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่. 2537. ราคาประกาศแร่ควอตซ์ [Online]. Available: http://www.dpim.go.th.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่ กุมภาพันธ์ 2554 โครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากแร่ควอตซ์ แหล่งแร่ตะโกปิดทอง จังหวัดราชบุรี. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่: สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่.

กรุงเทพธุรกิจ. 17 ธันวาคม 2556.

การไฟฟ้านครหลวง กุมภาพันธ์ 2554. รายงานสถานการณ์การจำหน่ายไฟฟ้า และบทวิเคราะห์.

ธีรวุธ ตันนุกิจ 2558. เทคโนโลยีการผลิตซิลิคอนเกรดโลหกรรม และเกรดเซลล์แสงอาทิตย์. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่: สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

นางสาวเบญจพร พวงจำปี 2547. ซิลิคอน. สำนักงานอุตสาหกรรมเหมืองแร่ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่.

รศ.ดร. ชนงกรณ์ กุณฑลบุตร 2014. การศึกษาความเป็นไปได้ในทางธุรกิจ *Feasibility Study*.

หฤทัย มีนะพันธ์ 2550. หลักการวิเคราะห์โครงการ ทฤษฎี และวิธีปฏิบัติเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ.

ภาษาอังกฤษ

ANDERS SCHEI, JOHAN KR TUSET & HALVARD TVEIT 1998. *Production of high silicon alloys*.

B.S. XAKALASHE & M. TANGSTAD 2011. Silicon processing: from quartz to crystalline silicon solar cells. *In:* HOED, R. T. J. P. D. (ed.) *South Africa Pyrometallurgy 2011*. Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg.

CARRISSA SMITH, A. R. B. 2012. Synthesis and Purification of Bulk Semiconductors. *OpenStax-CNX module : m23936*.

SAFARIAN, J., TRANELL, G. & TANGSTAD, M. 2012. Processes for Upgrading Metallurgical Grade Silicon to Solar Grade Silicon. *Energy Procedia,* 20, 88-97.

เว็บไซต์

HTTP://MARUTICRUSHER.COM.

HTTP://WWW.DIRECTINDUSTRY.COM.

HTTP://WWW.DIYTRADE.COM.

HTTP://WWW.GREATWALLCRUSHERS.COM.

HTTP://WWW.NORSUNCORP.NO/EN/TOPMENU/TECHNOLOGYANDINNOVATION/PRODUCTION%20PROCESS.ASPX.

HTTP://WWW.STOU.AC.TH/STOUONLINE/LOM/DATA/SEC/LOM14/04-01-02.HTML. เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ [Online].

HTTP://WWW.THAISOLARENERGY.COM/KNOWLEDGE.PHP.

HTTP://WWW.XINHAIMINING.COM.

HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/SILICON#/MEDIA/FILE:POLYCRYSTALLINE_SILICON_ROD.JPG.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปพน หลวงทุมมา เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ.2532 จบการศึกษามัธยมปลายจากโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดพะเยา จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เข้าศึกษาต่อปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University