

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์:
กรณีศึกษา โรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์

**FEASIBILITY STUDY ON THE INVESTMENT OF SYNTHETIC DIAMOND
FACTORY: A CASE STUDY OF SYNTHETIC DIAMOND FACTORY**

สรารัตน์ วิจิตรคุณวัฒน์¹, ศันสนีย์ สุภาภา² และพัชราภรณ์ ญาณภีร์³

¹สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาคพิเศษ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Saranrat Vijitkunnawat¹ Sansanee Supapa² and Patcharaporn Yanpirat³

¹The Special Graduate Program in Engineering Management,

Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

^{2,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาและบริษัทคู่ค้า ณ ประเทศสิงคโปร์มีข้อตกลงร่วมกันในการศึกษาลู่ทางการลงทุนเพื่อจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ในประเทศ จึงได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการในด้านการตลาด เทคนิคการผลิต การจัดการโครงการ การเงิน การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ความไวในการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจลงทุน รวมทั้งการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นความเสียหายและผลกระทบต่อกระบวนการผลิตผลจากการศึกษาโครงการด้านการตลาด โครงการจะจำหน่ายเพชรสังเคราะห์ขนาด 1 กระรัตให้กับลูกค้าซึ่งเป็นคู่ค้าผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องจักรหลักให้กับบริษัทกรณีศึกษาในประเทศสิงคโปร์ปริมาณปีละ 495 กระรัต ในราคากระรัตละ 80,000 บาท กระบวนการผลิตจะใช้หลักการตกสะสมของไอเชิงเคมี (MPCVD) และใช้เทคโนโลยี Sarin Technology ในการเจียรระไน ระยะเวลาในการก่อสร้างโรงงานประมาณ 1 ปี และจะใช้พนักงานทั้งสิ้น 27 คน ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งสิ้น 92 ล้านบาท กำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนพึงพอใจร้อยละ 17 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิหลังหักภาษีได้ 10.40 ล้านบาท และ

ระยะเวลาการคืนทุน 7 ปี 11 เดือน โครงการมีอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 20.20 สามารถเพิ่มมูลค่าเพิ่มคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันที่ 33.41 ล้านบาทและมีผลตอบแทนทางสังคมคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน 3.45 ล้านบาท ในการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร พบว่า โครงการมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาและปริมาณการจำหน่ายเพชรสังเคราะห์ที่ลดลงต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของราคาที่กำหนด ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการจะใช้รูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ (FMEA) ที่เกิดขึ้นต่อกระบวนการที่อาจมีผลกระทบต่อปริมาณการผลิตและจำหน่าย พบว่า ค่า RPN ของระบบก๊าซมีค่าสูงที่สุดซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบระบบอย่างสม่ำเสมอเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการผลิต และความเป็นไปได้ในการลงทุน

คำสำคัญ: การศึกษาความเป็นไปได้ หลักการตกสะสมของไอเชิงเคมีของเพชรสังเคราะห์ การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยรูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ

ABSTRACT

The case study company under the mutual agreement of the Singapore business partner were looking for the opportunity of the investment on synthetic diamond factory, the feasibility study analysis was conducted in detail of marketing, technic, project management, finance, and socio-economic benefit to the country. The sensitivity analysis including the failure mode and effects analysis of the production process were also assessed. The result of the study showed that at the first phase, under the mutual agreement of the Singapore business partner which was the machine supplier, all synthetic diamond at the size of one carat would be sold to the business partner at the volume of 495 carats per year and at the price of 80,000 baht per carat. The production process was based on Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition (MPCVD) and Sarin grinding technology. The factory required one year of construction period and the total man power requirements was at 27 employees. The total investment cost of the project was estimated at 92 million baht. Under 10 years of project evaluation period and at the minimum attractive rate of return of 17 percent, the net present value of the net cash flow after tax was at 10.40 million baht. and the payback period was at 7 years 11 months. The internal rate of return of the project was at 20.20 percent. For the socio-economic benefit of the project, the net present value of the value added was at 33.41 million baht and the social surplus was at 3.45 million baht. The project was sensitive to the changing of price and volume of product at less than 5 percent of the base price. For the failure mode and effects analysis (FMEA) of the process risk assessment, the RPN of gas

system was the highest, which required regular monitoring and strictly inspection to increase the production performance and the project feasibility for investment.

KEYWORDS: feasibility study, MPCVD, synthetic diamond, sensitivity analysis, FMEA

1. บทนำ

จากแนวโน้มการขยายตัวด้านการตลาดของเพชรสังเคราะห์ทั่วโลกที่กำลังเติบโต โดยในปี พ.ศ. 2559 มีมูลค่าประมาณ 16.83 พันล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่าจะถึง 23.8 พันล้านเหรียญสหรัฐภายในปี 2564 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยอยู่ที่ปีละร้อยละ 7.14 ในช่วงระยะเวลา พ.ศ.2559-2564 [1] เนื่องจาก เพชรสังเคราะห์มีราคาต่ำกว่าเพชรแท้ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติด้านต่างๆ เทียบกับเพชรแท้ได้ เช่น ขนาด ความใส สีของเพชรสังเคราะห์ เป็นต้น อุปสรรคที่สำคัญสำหรับตลาดเพชรสังเคราะห์ คือ กระบวนการผลิตเพชรสังเคราะห์ที่ซับซ้อนซึ่งเป็นผลมาจากการที่สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติได้นั้นเอง

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ร่วมลงทุนกับบริษัทคู่ค้าต่างประเทศในธุรกิจประเภทพลังงานทดแทนด้านพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในประเทศ และมีความต้องการที่จะขยายธุรกิจการลงทุนในอุตสาหกรรมอื่นๆ ประกอบกับได้รับข้อเสนอจากบริษัทผลิตเครื่องจักรและขายเครื่องจักรหลักในการผลิตเพชรสังเคราะห์ ที่ประเทศสิงคโปร์ซึ่งเป็นบริษัทที่มีความสัมพันธ์ทางการค้าร่วมกับบริษัทกรณีศึกษา ได้เสนอขายเครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิตเพชรสังเคราะห์ และบริษัทผลิตเครื่องจักรยี่ห้อที่จะรับซื้อเพชรสังเคราะห์เจียรไนแล้วที่ผลิตได้ทั้งหมดตามราคาและปริมาณที่ได้ตกลงกัน เนื่องจากผลิตได้ไม่ทันความต้องการของลูกค้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นตลาดจากประเทศจีน บริษัทกรณีศึกษาจึงเกิดความคิดที่จะผลิตเพชรสังเคราะห์โดยในปี พ.ศ. 2558-2559 ได้มีการจัดส่งเครื่องจักรมาศึกษาวิจัยและทดลองผลิตเพื่อศึกษาสู่ทางความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคกระบวนการผลิตเพชรสังเคราะห์ และจะมีโครงการร่วมกันในการศึกษาสู่ทางการขยายไปสู่ขั้นอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเพชรสังเคราะห์ และวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเพื่อการลงทุนในประเทศ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเพชรสังเคราะห์ในด้านการตลาด โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ วิธี SWOT Analysis และ ศึกษาแรงกดดันด้านการตลาด (Five Forces) [2] การศึกษาเทคนิควิศวกรรมพร้อมทั้งแสดงผลทดลองผลิตเพชรสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามสภาวะการผลิตจากคู่มือการใช้งานของเครื่อง MPCVD และตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพด้วยเทคนิครามาสเปกโตรสโคปี การจัดการโครงการ วิเคราะห์โครงการด้านการเงินโดยใช้รูปแบบตารางทางการเงินตามองค์การพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งสหประชาชาติ (The United Nations Industrial Development Organization ;UNIDO) [3] ผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจและสังคมในด้านมูลค่าเพิ่มของโครงการ การประหยัดเงินตราต่างประเทศ ศึกษาวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อ การตัดสินใจในการลงทุน และวิเคราะห์ความเสี่ยงด้านความเสียหายและผลกระทบของกระบวนการที่เกิดขึ้นในการผลิตและเจียรไนเพชรสังเคราะห์พร้อมเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยขั้นตอนและวิธีการวิจัยแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์โครงการด้านการตลาด

ผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตในโครงการนี้คือ เพชรสังเคราะห์เจียรไน ขนาด 1 กะรัต เจียรไนและเหลี่ยมเกสร อยู่ในระดับสี E ถือว่าเป็นเกรดไร้สี (Colorless) ส่วนความใสของเพชรสังเคราะห์จะอยู่ในกลุ่ม FL/IF - VS1-2 (Flawless/Internal Flawless – Very Slightly Included 1-2) ซึ่งเป็นกลุ่มเพชรที่มีตำหนิหรือมลทินน้อยที่สุดจนถึงในระดับที่ไม่มีมลทินเมื่อมองภายใต้กล้องกำลังขยาย 10 เท่า ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

เพชรสังเคราะห์มีตลาดผู้บริโภคค่อนข้างกว้าง เนื่องจาก มีราคาต่ำกว่าเพชรแท้ถึงมากกว่าร้อยละ 30 ในอดีตนิยมนำเพชรสังเคราะห์ไปใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือตัดต่างๆ เช่น ใบเลื่อยที่ต้องการความแข็งมากๆ ตัวต้านทานความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ปัจจุบันนิยมนำมาทำเป็นเครื่องประดับ เพชรสังเคราะห์ยังตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีความหลากหลายได้ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของขนาด การเจียรไน ซึ่งเหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการในสิ่งที่ถูกใจและมีราคาย่อมเยา ในอนาคตความต้องการเพชรสังเคราะห์มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเนื่องจากสภาวะทางเศรษฐกิจที่ไม่มั่นคงและมีการเปิดเผยข้อมูลลักษณะเฉพาะของเพชรสังเคราะห์มากขึ้น ทำให้ผู้บริโภคมั่นใจในคุณภาพ อีกทั้งเทคโนโลยีการผลิตเพชรสังเคราะห์ยังสามารถพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง

ตลาดหลักที่จะนำไปจำหน่าย คือ บริษัทผู้ค้าผู้ผลิตและขายเครื่องจักรหลักให้กับบริษัทกรณีศึกษาที่ตั้งอยู่ในประเทศสิงคโปร์ บริษัทดังกล่าวมีโครงการจะนำเพชรสังเคราะห์เจียรไนแล้วไปจำหน่ายต่อที่ประเทศจีน จากผลการวิเคราะห์ตลาดที่ประเทศจีนของบริษัท พบว่า ลูกค้าหลักคือ คู่แต่งงานที่มีฐานะปานกลางซึ่งเป็นตลาดเพชรสังเคราะห์ขนาด 0.75-1 กะรัตเพื่อใช้เป็นแหวนแต่งงาน และมีความต้องการถึงไม่น้อยกว่าปีละ 20,000 กะรัต โดยบริษัทสามารถผลิตได้ปีละไม่เกินปีละ 1,200 กะรัตเท่านั้น จึงมีความต้องการขยายฐานการผลิตมายังประเทศไทย โดยจะรับซื้อเพชรสังเคราะห์เจียรไนแล้วที่ผลิตจากโรงงานกรณีศึกษาทั้งหมดในราคาเพชรสังเคราะห์เจียรไนแล้วขนาด 1 กะรัต ในราคากะรัตละ 80,000 บาท ซึ่งเป็นราคาประมาณร้อยละ 40 ของราคาเพชรแท้ขนาดเดียวกันที่อ้างอิงจากราคา ราคาพอร์ท (Rapaport Price) ซึ่งมีการปรับปรุงให้มีความทันสมัยตลอดเวลา [4] บริษัทกรณีศึกษามีโครงการที่จะจำหน่ายเพชรสังเคราะห์ขนาดต่ำกว่า 1 กะรัตซึ่งเป็นเศษเพชรเหลือจากกระบวนการเจียรไน โดยกลุ่มเป้าหมายตลาดรองคือโรงงานผลิตเครื่องประดับประกอบตัวเรือนโดยใช้เพชรหรืออัญมณีสังเคราะห์ที่เจียรไนแล้วประกอบเป็นตัวเรือนเพื่อจำหน่ายในประเทศซึ่งมีจำนวน 124 โรงงาน

กลยุทธ์ทางการตลาด ทำการวิเคราะห์จุดอ่อน จุดแข็ง โอกาสและอุปสรรคปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อธุรกิจ (SWOT Analysis) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 SWOT Analysis

รายการ	ผลการศึกษา/แนวทางแก้ไข
จุดแข็ง	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นธุรกิจผลิตเพชรสังเคราะห์สำหรับทำเครื่องประดับแรกของประเทศไทยและเพชรสังเคราะห์ได้มีการพัฒนาและทดลองผลิตจริงจนมีคุณสมบัติใกล้เคียงเพชรแท้ 2. เพชรสังเคราะห์ที่เป็นวัตถุดิบหลักในการสังเคราะห์เพชรนั้นสามารถนำกลับมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์รอบต่อไปได้ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง 3. เศษที่ตัดออกในกระบวนการเจียรไนก็สามารถเจียรไนเป็นเพชรสังเคราะห์ขนาดเล็กต่ำกว่า 1 กะรัตจำหน่ายไปยังตลาดรองในประเทศได้
จุดอ่อน	ราคาเพชรสังเคราะห์ยังมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเพชรเทียมต้องมีการวิเคราะห์ราคาของเศษจากการเจียรไนเพชรสังเคราะห์ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 กะรัตในราคาต่ำลง เพื่อจำหน่ายในตลาดรองในประเทศเพื่อเป็นรายได้เสริมจากผลพลอยได้ของโครงการ อาจทำให้ราคาเพชรสังเคราะห์โดยรวมลดลง
โอกาสทางธุรกิจ ผลิตเพชร สังเคราะห์	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพชรแท้ในปัจจุบันมีแนวโน้มราคาสูงขึ้นและหาคุณภาพดีๆ ยาก ฉะนั้นลูกค้าจึงหันมาสนใจผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพใกล้เคียงแต่ราคาต่ำกว่า 2. ได้รับการสนับสนุนด้านการตลาด และเทคนิคในการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ผลิตและเจียรไนเพชรสังเคราะห์ จากบริษัทคู่ค้า
อุปสรรคภายนอกที่มีผลกระทบต่อ โครงการ	ลูกค้ามีความไม่มั่นใจในคุณภาพของเพชรสังเคราะห์ บริษัทกรณีศึกษาจึงมีนโยบายให้ลูกค้าได้เข้ามาเยี่ยมชมกระบวนการผลิต พร้อมทั้งให้ความรู้ในเรื่องการผลิตและมาตรฐานคุณภาพเพชรสังเคราะห์

จากการศึกษาทางด้านการตลาดด้วยวิธี SWOT Analysis ซึ่งเป็นเพียงกลยุทธ์ทางการตลาดที่ศึกษาปัจจัยภายในเป็นหลัก โดยในที่นี้จะใช้วิธี Five Force Model ในการวิเคราะห์สถานการณ์การแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบัน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Five Force Model

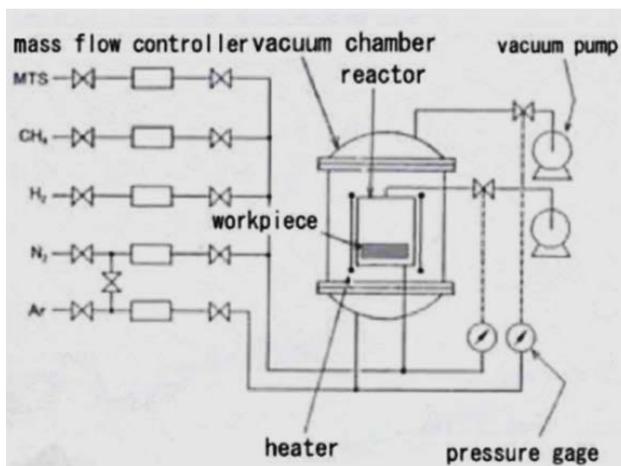
รายการ	ผลการศึกษา/แนวทางแก้ไข
ภัยคุกคามจากคู่แข่งหน้าใหม่	ในตลาดหลัก มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับบริษัท ทำให้มั่นใจได้ว่า เพชรสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นมาจะขายได้ทั้งหมด ภัยคุกคามจากคู่แข่งหน้าใหม่จึงไม่ได้มีผลเท่ากับการผลิตเพชรให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ลูกค้าต้องการ
อำนาจต่อรองของลูกค้า	ในตลาดหลักนั้นทั้งผู้ขายและผู้ซื้อเพชรสังเคราะห์นั้นมียอำนาจในการต่อรองเท่าเทียมกัน มีผลประโยชน์ร่วมกันทั้งสองฝ่าย ดังที่กล่าวมาในเบื้องต้น
ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทน	เพชรสังเคราะห์มีการพัฒนาตลอดเวลา จนอาจจะทำให้ในอนาคตมีราคาถูกลง โดยที่คุณสมบัติยังคงเดิม ซึ่งเป็นสิ่งที่บริษัทกังวลจึงได้จัดตั้งทีมวิจัยขึ้นมาเพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ในทุกด้าน
อำนาจการต่อรองของซัพพลายเออร์	เพชรสังเคราะห์ที่เป็นประเภทผลึกเดี่ยวนั้นมีแนวโน้มทางด้านราคาสูงขึ้น แต่ทั้งนี้หากบริษัทสามารถผลิตเพชรสังเคราะห์ได้ตามเป้าหมาย บริษัทสามารถตัดเพชรสังเคราะห์ที่เติบโตเพิ่มขึ้น ทำให้ในอนาคตไม่ต้องสั่งเพชรสังเคราะห์ที่ใช้เป็นฐานรองเข้ามา เพราะ สามารถใช้ชิ้นเดิมในการผลิตครั้งต่อไปได้
สภาวะการแข่งขันในอุตสาหกรรม	หากกล่าวถึงในตลาดรอง คู่แข่งในตลาดรอง คือ บริษัทจากต่างประเทศ และจากการที่เป็นโรงงานเพียงไม่กี่แห่งในประเทศไทยที่ผลิตและเจียรไนเพชรสังเคราะห์ ทำให้มีความได้เปรียบในเรื่องการขนส่ง มีการสื่อสารได้เป็นอย่างดี และอาจเป็นทางเลือกที่โรงงานทำเครื่องประดับกำลังมองหาผู้ขายวัตถุดิบที่อยู่ในประเทศไทยที่ทั้งทำการผลิตและเจียรไนเพชรสังเคราะห์ได้เอง

จากการวิเคราะห์ด้านการตลาดของโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ จะเห็นได้ว่ากลุ่มลูกค้าหลักที่รับซื้อเพชรสังเคราะห์ทั้งหมด คือ บริษัทลูกค้าในประเทศสิงคโปร์ โดยจะจำหน่ายในราคากระรัตละ 80,000 บาท และกลยุทธ์ที่สำคัญที่สามารถเพิ่มยอดขายได้ คือ การเป็นโรงงานแห่งแรกที่ผลิตเพชรสังเคราะห์ในประเทศไทย ซึ่งถือได้ว่าเป็นการช่วงชิงตลาดเพชรสังเคราะห์ในประเทศไทยจากผู้จำหน่ายเพชรสังเคราะห์ที่เป็นชาวต่างชาติ และจะมีการเปิดโรงงานให้ผู้สนใจได้เข้ามาเยี่ยมชมกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มความมั่นใจในคุณภาพของเพชรสังเคราะห์ที่มาจากบริษัทกรณีศึกษา

4.2 ศึกษาโครงการด้านเทคนิค

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเพชรสังเคราะห์ คือ เทคนิคพลาสมาความถี่ไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการตกสะสมของไอเชิงเคมี (Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition, MPCVD) [5]

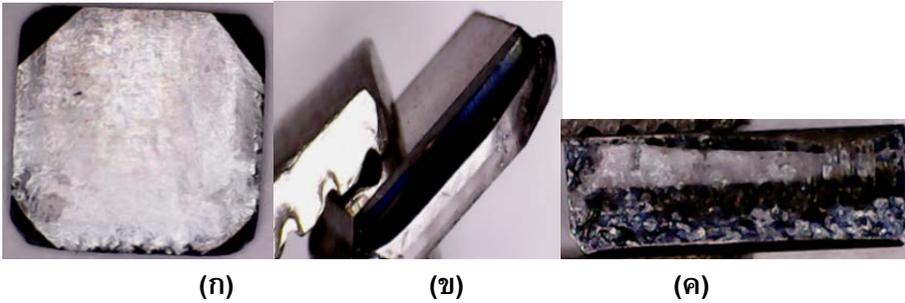
โดยภายในเครื่องจักรมีองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 เทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่ไม่มีขั้วไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ภายในแหล่งกำเนิดพลาสมา ทำให้ไม่เกิดสิ่งปนเปื้อน และไม่จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูง โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้ ก๊าซไฮโดรเจนและมีเทน ถูกกระตุ้นด้วยพลาสมา จะทำให้ก๊าซทั้งสองแตกตัวเป็นเรดิคอลไฮโดรเจน (H^*) และมีเทน (CH_3^*) ดังแสดงในสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ จากนั้นเรดิคอลของไฮโดรเจนจะไปกระตุ้นผิวของเพชรสังเคราะห์จนผิวเพชรสังเคราะห์เกิดการแตกตัว เป็นโมเลกุลของเพชรสังเคราะห์ (Diamond*) ที่พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาอีกครั้ง ดังแสดงในสมการ (3) จากนั้นโมเลกุลจะทำปฏิกิริยาอีกครั้งกับกลุ่มเรดิคอลของก๊าซมีเทน เกิดเป็นเพชรสังเคราะห์ (Growth diamond) ขึ้นมาบนผิวของเพชรสังเคราะห์เดิม ดังแสดงในสมการ (4)



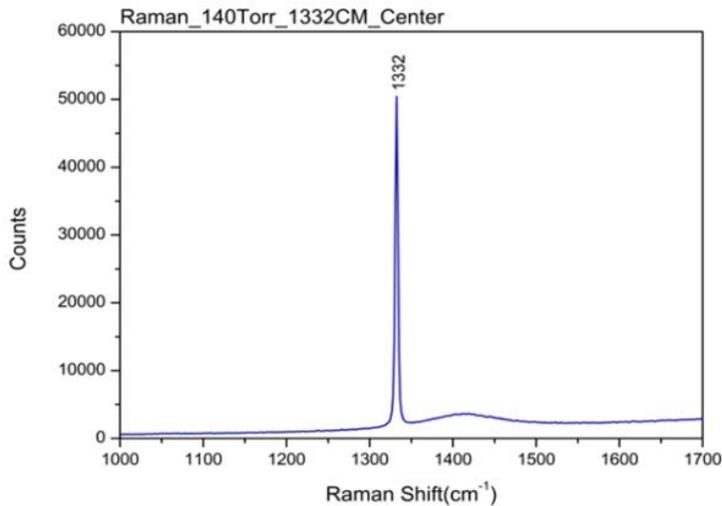
รูปที่ 2 ไดอะแกรมเครื่อง MPCVD

เมื่อผ่านกระบวนการสังเคราะห์เพชรด้วยเทคนิคพลาสมาที่ความถี่ไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการตกสะสมของไอเชิงเคมีจะได้เพชรสังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า เพชร

สังเคราะห์มีผิวด้านบนที่ค่อนข้างเรียบแสดงถึงการเรียงตัวที่มีคุณภาพของเพชรสังเคราะห์ [6] ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลตรวจสอบด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี ที่ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 1332 cm^{-1} ที่สูงถึง 50,000 ดังแสดงในรูปที่ 4

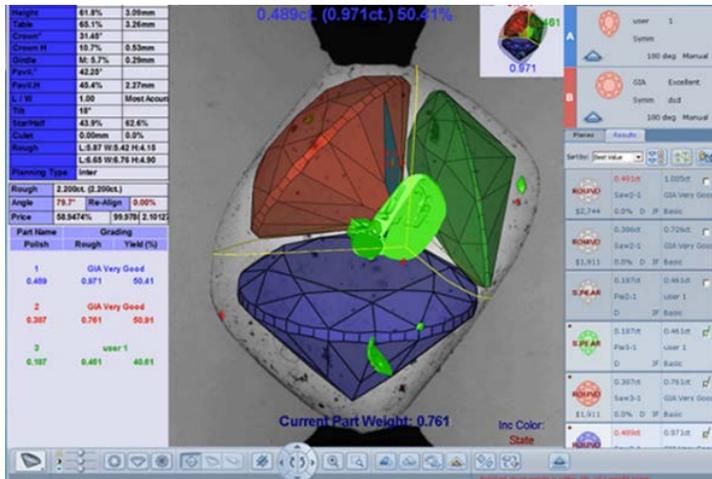


รูปที่ 3 เพชรสังเคราะห์หลังจากผ่านกระบวนการ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง (ค) ภาพตัดขวาง



รูปที่ 4 รามานสเปกตรัมของเพชรสังเคราะห์จากการตรวจวัดด้วยไมโครสโคป

การเจียรไนเพชรสังเคราะห์ โดยใช้เลเซอร์ในการเจียรไนเพชรสังเคราะห์ ขนาด 2 กระรัตให้มีขนาด 1 กระรัต ภายใต้ซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า Sarin Technology [7] ที่ประเมินว่าจะตัดเพชรอย่างไรให้ดีที่สุด (Mapping) และทำให้เพชรเสียหายน้อยที่สุด มีเศษเพชรสังเคราะห์เกิดขึ้นน้อยที่สุดและใช้ประโยชน์ในการจำหน่ายต่อไปได้ อีกทั้งยังสามารถคัดเกรดและสีของเพชรได้ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการเจียรไนเพชรอยู่ที่ 5 ชั้นต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทำงานของซอฟต์แวร์ Sarin Technology

จากการทดลองผลิตเพชรสังเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ ในปี 2558 มีการทดลองตามคู่มือการใช้งานของเครื่องจักรทั้งหมด 21 ครั้ง ที่ความร้อนไมโครเวฟเฉลี่ย 3,000 kW อัตราการไหลของ H_2 , CH_4 , และ Ar ที่ 300, 20, 0.2 sccm และ ความดัน 150 Torr นำเพชรสังเคราะห์ไปตรวจด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี พบว่าอัตราการเติบโตของเพชรไม่คงที่ และมีอัตราการเจริญเติบโตของเพชรสังเคราะห์เฉลี่ยเพียงไม่เกิน 0.0015 กะรัต เนื่องจากความดันสูงเกินไป ในปี 2559 มีการทดลองเพิ่มขึ้นทั้งหมด 22 ครั้ง โดยลดความดันเป็น 120 และ 140 Torr และนำเพชรสังเคราะห์ไปตรวจด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี พบว่า ที่ความดัน 140 Torr อัตราการเติบโตของเพชรสังเคราะห์ อยู่ในช่วงชั่วโมงละ 0.0065-0.0069 กะรัต และค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับ 120 Torr ที่มีอัตราการเติบโตของเพชรสังเคราะห์อยู่ในช่วงชั่วโมง 0.0028-0.0035 กะรัต ดังนั้นการคำนวณเพชรสังเคราะห์ที่ผลิตได้ในแต่ละปีนั้นจะใช้ข้อมูลที่ความดัน 140 Torr อัตราการเติบโตของเพชรสังเคราะห์ที่ ขึ้นต่ำ 0.0065 กะรัตต่อชั่วโมงและทำให้สามารถประเมินการผลิตเพชรสังเคราะห์ขนาด 2 กะรัตที่ปีละ 990 กะรัต แต่เมื่อผ่านการเจียรระไนจะทำให้เพชรสังเคราะห์มีขนาด 1 กะรัตจำนวน 495 กะรัต

รายการเครื่องจักร จำนวนเครื่องจักรและกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับเครื่อง MPCVD 5 เครื่อง ซึ่งทำการผลิตเพชรสังเคราะห์ได้ 495 กะรัต มีความต้องการใช้วัตถุดิบต่างๆโดยประเมินจากการทดลองการผลิตเพชรสังเคราะห์ในระดับห้องปฏิบัติการ ในปี 2558 และ 2559 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 รายการเครื่องจักร จำนวนเครื่องจักรและกระแสไฟฟ้า

ลำดับ	รายการ	กระแสไฟฟ้า (แอมป์:A) ต่อเครื่อง	จำนวน (เครื่อง)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์:A)
1	เครื่อง MPCVD (Main AC Power)	70	5	350
2	ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)	7.5	5	15
3	เครื่องทำความเย็น (Chiller)	15	5	75
4	ปั๊มเครื่องทำความเย็น (Chiller pump)	2.5	5	7.5
5	เครื่องดูดอากาศ (Exhaust)	1	2	2
6	ระบบก๊าซ (Gas system)	5	1	5
7	เครื่องเจียรไนเพชรสังเคราะห์ (Cutting Machine)	5	1	5
8	เครื่องดูดควันในห้องปฏิบัติการ (Hood)	6.5	1	6.5
9	เครื่องสำรองไฟ (UPS)	180 (125 kVA)	2	360
		115.2 (80 kVA)	1	115.2
10	อุปกรณ์ทำความสะอาดคลื่นความถี่สูง (Sonicator)	2.5	1	2.5
11	ค่าไฟฟ้าทั้งโรงงาน (การใช้ไฟในส่วนต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ ไฟส่องสว่าง เป็นต้น)	15	1	15

ตารางที่ 4 รายละเอียดของรายการวัตถุดิบหลัก วัตถุดิบประกอบ คุณภาพ ปริมาณ วัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน และปริมาณที่ใช้ต่อกะรัต

ลำดับ	รายการ	ปริมาณทั้งหมด (ต่อเดือน)	ปริมาณ (ต่อ กะรัต)
1	เพชรสังเคราะห์ (Seed)	40 แผ่น	1 แผ่น
2	ก๊าซอาร์กอน (Ar/N ₂) 3,800 psi	7.425 psi	0.165 psi
3	ก๊าซไฮโดรเจน (H ₂) 3,800 psi	11,250 psi	250 psi
4	ก๊าซมีเทน (CH ₄) 3,800 psi	749.25 psi	16.65 psi
5	ก๊าซไนโตรเจน (N ₂) 3,800 psi	2,250 psi	50 psi

ตารางที่ 4 รายละเอียดของรายการวัตถุดิบหลัก วัตถุดิบประกอบ คุณภาพ ปริมาณ วัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน และปริมาณที่ใช้ต่อกะรัต (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณทั้งหมด (ต่อเดือน)	ปริมาณ (ต่อกะรัต)
6	ก๊าซไนโตรเจน (N ₂) 2,000 psi	900 psi	20 psi
7	น้ำกลั่น (Distilled water)	9 ลิตร	0.2 ลิตร
8	อะซิโตน (Acetone)	1 ลิตร	0.02 ลิตร
9	เอทานอล (Ethanol)	1 ลิตร	0.02 ลิตร
10	ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)	1.5 ลิตร	0.03 ลิตร

การคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงงานและการออกแบบผังโรงงาน ได้พิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ เช่น ด้านการส่งออก การเดินทางของพนักงานที่จะมาทำงาน ด้านความเหมาะสมของพื้นที่ สิทธิประโยชน์ต่างๆ ที่จะได้รับ เป็นต้น สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ที่เหมาะสมคือ นิคมอุตสาหกรรมอัญธานี ฟรีโซน 2 (Gemopolis Free Zone 2) ซึ่งเป็นฟรีโซนแห่งแรกและแห่งเดียวในกรุงเทพฯ ที่สามารถประกอบกิจการได้หลากหลาย เช่น กิจการอัญมณีและเครื่องประดับ แวนตา สินค้าแฟชั่น เป็นต้น แห่งเดียวในประเทศไทยที่ตั้งอยู่ห่างจากสนามบินสุวรรณภูมิเพียง 16 นาทีและอยู่ในเกณฑ์ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนในการได้รับการยกเว้นภาษีเงินได้เป็นเวลา 8 ปี ลักษณะของนิคมจะแบ่งเป็นห้องที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยทางบริษัทกรณีศึกษาต้องการพื้นที่จำนวน 3 ห้อง รวมพื้นที่ประมาณ 474 ตารางเมตร ผังโรงงานแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังโรงงาน

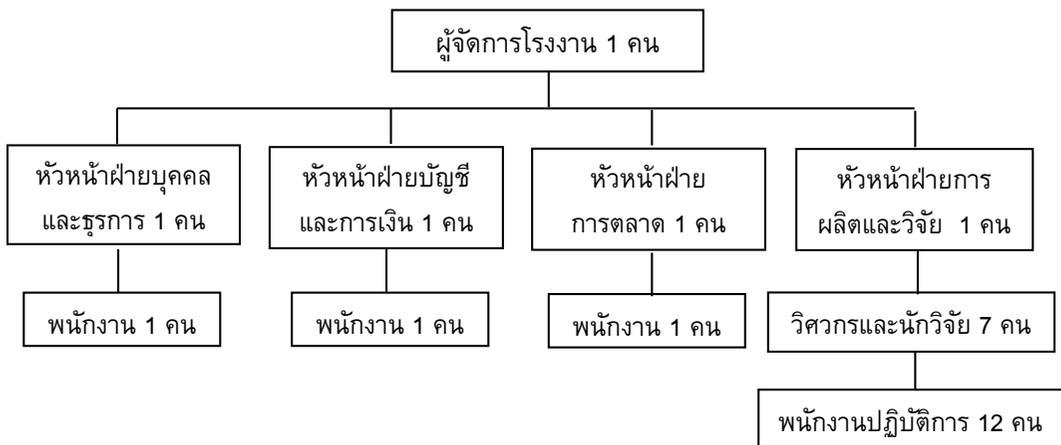
ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าก๊าซที่ผ่านกระบวนการผลิตเพชรสังเคราะห์มีความเข้มข้นน้อยกว่า 0.01 ppm ส่วนสารเคมี อะซิโตน เอทานอล และ ไอโซโพรพานอล ที่ใช้ล้าง Seed นั้นจะทำการเก็บรวบรวมในถังพลาสติกโดยแยกสารแต่ละชนิดออกจากกัน และทำการส่งให้บริษัทกำจัดสารเคมีต่อไป จึงเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.3 ศึกษาด้านการจัดการโครงการ

บริษัทกรณีศึกษาได้เริ่มดำเนินการวิจัยและทดลองผลิตเพชรสังเคราะห์เป็นเวลา 2 ปี ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ 1 ปี และระยะการจัดตั้งโรงงานคาดว่าจะใช้เวลาประมาณ 1 ปี สามารถดำเนินการผลิตได้ในปี 2563 ตามแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แผนการดำเนินงานโครงการ (Implementation plan)

แผนการดำเนินงานโครงการ (Implementation plan)	ระยะเวลา	พ.ศ.					
		2558	2559	2560	2561	2562	2563
ค้นคว้า วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์	5 ปี						
ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ	1 ปี						
สั่งซื้ออุปกรณ์เครื่องจักรและวัตถุดิบในการผลิต	1 ปี						
ดำเนินการก่อสร้าง	6 เดือน						
ดำเนินการจ้างบุคลากร	6 เดือน						
ทดสอบเครื่องจักรและระบบต่างๆ ในโรงงาน	6 เดือน						



รูปที่ 7 แผนผังการจัดโครงสร้างองค์กร

ในการผลิตเพชรสังเคราะห์จำเป็นต้องมีวิศวกรและพนักงานปฏิบัติการประจำอยู่ในโรงงาน ตลอดระยะเวลาที่มีการผลิต จึงต้องมีการทำงานทุกวันวันละ 3 กะตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะมีพนักงานรวมทั้งสิ้น 27 คน แผนผังการจัดโครงสร้างองค์กร ตามรูปที่ 7

4.4 การวิเคราะห์โครงการด้านการเงิน

การวิเคราะห์โครงการด้านการเงิน มีข้อสมมุติฐานประกอบการคำนวณดังต่อไปนี้

- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของโรงงาน
 - (1) ค่าเครื่องจักรต่างๆ ในโรงงาน รายละเอียดเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ภายในโรงงาน รวมทั้งวัตถุดิบหลัก (Seed) รวมทั้งหมด 58.5 ล้านบาท
 - (2) ห้องชุดในนิคมอุตสาหกรรมอัญธานี ฟรีโซน 2 จำนวน 3 ห้องเป็นเงินประมาณ 24 ล้านบาท ส่วนการต่อเติมและติดตั้งระบบไฟฟ้าทั้งโรงงานเป็นเงินประมาณ 3 ล้านบาท
 - (3) การประเมินค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในสำนักงาน 0.353 ล้านบาท
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตลอดอายุโครงการ
 - (1) ค่าไฟฟ้าปีละ 9 ล้านบาท
 - (2) ราคาค่าใช้จ่ายของก๊าซและสารเคมีปีละ 0.18 ล้านบาท
 - (3) ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงของในแต่ละตำแหน่งปีละ 0.627 ล้านบาท
 - (4) ค่าเสื่อมราคา คำนวณโดยวิธีเส้นตรง (Straight line method) โดยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน คิดอัตราค่าเสื่อมราคาปีละร้อยละ 20 ส่วนห้องชุดในนิคมอุตสาหกรรมอัญธานี ฟรีโซน 2 คิดอัตราค่าเสื่อมราคาปีละร้อยละ 5
 - (5) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสภาพตามรอบของเครื่องจักรครั้งละ 1.1 ล้านบาท
 - (6) ภาษีเงินได้ โรงงานได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Board of Investment : BOI) เนื่องจาก เป็นสิทธิที่โรงงานที่ตั้งอยู่ในนิคมอัญธานีได้ ทำให้ไม่ต้องเสียภาษี 8 ปีแรกที่ผลิต
- รายได้จากการจำหน่ายคำนวณเฉพาะในส่วนที่จำหน่ายให้บริษัทคู่ค้าตามข้อตกลง ในปริมาณปีละ 495 กะรัต ราคากระรัตละ 80,000 บาท เป็นเงินปีละ 39.6 ล้านบาท

แผนการระดมทุน จะมีการกู้ยืมเงินจากธนาคารร้อยละ 65 ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนจ่ายคืนเงินต้นปีละเท่าๆกันและจ่ายดอกเบี้ยตามยอดหนี้ค้างชำระต้นปีด้วยอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 10 ต่อปีงบประมาณเพื่อการวิเคราะห์โครงการดังแสดงในตารางที่ 6 ตามระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนพึงพอใจร้อยละ 17 โครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 10.40 ล้านบาท ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 7 ปี 11 เดือน และมีอัตราผลตอบแทน

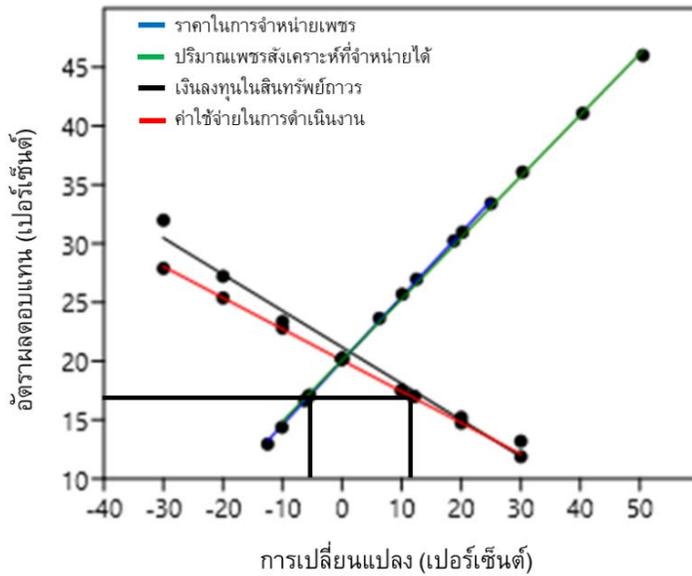
ภายในของโครงการ (IRR) 20.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 6 กระแสเงินสดเพื่อการวิเคราะห์โครงการ (ล้านบาท)

รายการ	ก่อสร้าง			ดำเนินการผลิต								มูลค่าซาก
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
กระแสเงินสดขาเข้า	-	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	12.00
1. เงินดำเนินงานขาเข้า												
รายได้จากการขาย	-	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	-
กระแสเงินสดขาออก	85.9	19.96	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	22.72	22.72	-
2. ทรัพย์สินถาวร												
	85.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. ทรัพย์สินหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น												
	-	1.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. ค่าใช้จ่ายดำเนินงาน												
	-	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	18.80	-
5. ภาษีนิติบุคคล (20%)												
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.92	3.92	-
กระแสเงินสดสุทธิ	-85.85	19.64	20.80	20.80	20.80	20.80	20.80	20.80	20.80	16.88	16.88	12.00
กระแสเงินสดสุทธิสะสม	-85.85	-66.21	-45.42	-24.62	-3.83	16.97	37.77	58.56	79.36	96.23	113.11	125.1
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (at 17.0%)	-85.85	16.79	15.19	12.98	11.10	9.49	8.11	6.93	5.92	4.11	3.51	2.13
มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม	-85.85	-69.07	-53.88	-40.89	-29.79	-20.31	-12.20	-5.27	0.65	4.76	8.27	10.40
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (at 17.0%)	10.40											
อัตราผลตอบแทนภายใน	20.20											
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	7.89											

4.5 ศึกษาวิเคราะห์ความไว

จากการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 3 ตัวแปรคือ ราคาจำหน่ายและปริมาณการจำหน่าย ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในทรัพย์สินถาวร และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต ในช่วง +/- ร้อยละ 20 จะพบว่าปัจจัยที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการลงทุนมากที่สุดตามลำดับดังนี้ คือ ราคาจำหน่ายและปริมาณการจำหน่าย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิต และค่าใช้จ่ายในการลงทุนในทรัพย์สินถาวร หากมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ต่ำกว่าร้อยละ 5.6, สูงกว่าเดิมร้อยละ 11.9, และ สูงกว่าเดิมร้อยละ 12.1 ตามลำดับ กรณีใดกรณีหนึ่งจะทำให้โครงการมีอัตราผลตอบแทนต่ำกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนพึงพอใจร้อยละ 17 แสดงให้เห็นว่าโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดังกล่าว ดังแสดงตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ความไว

4.6 วิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ

เนื่องจากปัจจัยราคาและปริมาณการจำหน่าย หากมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงต่ำกว่าร้อยละ 5.6 ก็จะมีผลกระทบต่อการตัดสินใจในการลงทุน ในเรื่องราคาจำหน่ายได้ถูกกำหนดอย่างแน่นอน จากลูกค้า ดังนั้นปัญหาที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิตและจำหน่าย จึงได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis: FMEA) [8] โดยร่วมกับวิศวกรและผู้วิจัยเพื่อวิเคราะห์จากประสบการณ์ในการทดลองผลิตจาก 2 ปีที่ผ่านมา และเสนอแนะแนวทางปฏิบัติในการป้องกันไม่ให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดปริมาณการผลิตที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์รูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA) ต่อกระบวนการผลิตเพชรสังเคราะห์ที่ด้านเทคนิค

รายการ	ความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุ	O	การควบคุม	D	RPN	สิ่งที่ควรปฏิบัติ
เครื่อง MPCVD	ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องได้	เพชรสังเคราะห์ใหม่	4	อุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิอัตโนมัติ (sensor) ในเครื่อง MPCVD ชำรุด	2	ตรวจสอบและสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิอัตโนมัติก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตที่กำหนด	2	16	ปิดเครื่อง และทำการสอบเทียบอุปกรณ์ตรวจสอบอุณหภูมิอัตโนมัติตามระยะเวลาที่กำหนด
	ระบบพลาสมาไม่ทำงาน	ไม่สามารถผลิตเพชรสังเคราะห์ได้	4	แหล่งกำเนิดพลาสมา (MW-Generator) เสื่อมสภาพ	1	เปลี่ยนแหล่งกำเนิดพลาสมาตามอายุการใช้งานที่ผู้ขายเครื่องจักรแนะนำ	2	8	เปลี่ยนแหล่งกำเนิดพลาสมา
ระบบก๊าซ	ท่อก๊าซรั่ว	ปริมาณก๊าซไม่คงที่ สิ้นเปลืองก๊าซ หากเกิดประกายไฟในบริเวณที่เกิดการรั่วจะทำให้เกิดไฟไหม้ได้	4	เกิดการรั่วของท่อก๊าซ ข้อต่อของท่อก๊าซในจุดต่างๆ ไม่แน่นจนทำให้ก๊าซรั่ว	3	ใช้ท่อก๊าซที่มีคุณภาพ ทนทานต่อการกัดกร่อน ตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซตามท่อทุกสัปดาห์	2	24	เปลี่ยนท่อทันทีที่พบการรั่วไหลของก๊าซ
	ท่อก๊าซตัน	ปริมาณก๊าซไม่คงที่ สิ้นเปลืองก๊าซ	3	ทำความสะอาดท่อไม่สะอาดในช่วงที่มีการเปลี่ยนถึงก๊าซ	1	ตรวจสอบการไหลของก๊าซตามท่อทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนท่อก๊าซ	1	3	ทำความสะอาดท่อใหม่อีกครั้ง
เครื่องทำความเย็น	มีมเครื่องทำความเย็นทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ	ไม่สามารถปรับน้ำเย็นไปหล่อเลี้ยงเครื่อง MPCVD ขณะทำการสังเคราะห์เพชรได้	3	ระดับน้ำในเครื่องทำความเย็นต่ำเกินไป	1	ตรวจสอบระดับน้ำในเครื่องทำความเย็นทุกวัน	1	3	เติมน้ำในเครื่องทำความเย็นให้พอดีกับระดับที่กำหนดไว้
				ท่อตันจากการใช้น้ำประปาที่มีสิ่งปนเปื้อนหรือแร่ธาตุซึ่งทำให้มีหินปูนไปเกาะภายในท่อ		ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากแร่ธาตุที่ทำให้เกิดหินปูน			เปลี่ยนท่อใหม่และใช้น้ำกลั่นแทนน้ำประปา

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์รูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA) ต่อกระบวนการผลิตเพชรสังเคราะห์ในต้นเทคนิค (ต่อ)

รายการ	ความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุ	O	การควบคุม	D	RPN	สิ่งที่ควรปฏิบัติ
เครื่องทำความเย็น (ต่อ)	ระบบทำความเย็นไม่สามารถลดอุณหภูมิภายในเครื่องประสิทธิภาพ	ไม่สามารลดอุณหภูมิภายในเครื่อง MPCVD ได้	4	อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิอัตโนมัติ (sensor) ในเครื่องทำความเย็นชำรุด	1	ตรวจสอบอุณหภูมิภายในเครื่องทำความเย็นทุกวัน	2	8	ซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิอัตโนมัติ
เครื่องสำรองไฟ	เครื่องสำรองไฟไม่ทำงาน	เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าเครื่องจักรต่าง ๆ ในโรงงานหยุดทำงาน	4	แบตเตอรี่หมดอายุหรือชำรุด	2	เปลี่ยนแบตเตอรี่ตามอายุการใช้งานที่ระบุไว้ และซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด	1	8	เปลี่ยนแบตเตอรี่
เครื่องดูดอากาศ	ใช้เวลาในการดูดอากาศภายในเครื่อง MPCVD นานเกิน 1 ชั่วโมง (ปกติไม่เกิน 5 นาที)	ภายในเครื่องมีอากาศหลงเหลือซึ่งทำให้เพชรที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์น้อยลง สังเคราะห์เพชรต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้	3	สภาพเสื่อมสภาพ (ย่อยหรือขาด)	2	เปลี่ยนสายพานตามอายุการใช้งานที่ระบุ และซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด	2	12	เปลี่ยนสายพาน
เครื่องดูดควันในห้องปฏิบัติการ	มีควัน ไอ หรือกลิ่นจากสารเคมี หลงเหลืออยู่ภายในห้องปฏิบัติการและบริเวณใกล้เคียง	ควัน ไอ หรือกลิ่นจากสารเคมี เข้าสู่ร่างกายพนักงาน ทำให้เกิดการระคายเคืองตามร่างกายได้	4	แผ่นกรองเสื่อมสภาพ	1	เปลี่ยนแผ่นกรองตามอายุการใช้งานที่ระบุ และซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด	1	4	เปลี่ยนแผ่นกรอง

4.7 การวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการด้านเศรษฐกิจและสังคม

ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและสังคมภายในประเทศ [9] เป็นเวลา 10 ปี พบว่ามูลค่าเพิ่ม (Value Added) ของโครงการคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน 33.41 ล้านบาท และมีผลตอบแทนทางสังคม (Social Surplus) ที่ประเทศได้รับจากการจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ คิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน 3.45 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 มูลค่าเพิ่มของโครงการ (Value Added) และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและสังคม (Socio-economic Benefit) ภายในประเทศ (ล้านบาท)

YEAR	ก่อสร้าง			ดำเนินการผลิต								รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1. รายได้จากการขาย	0.00	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	39.60	396.00
2. มูลค่าของวัตถุดิบ	91.85	12.44	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	11.28	205.81
วัตถุดิบ (ในประเทศ)	0.00	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	1.80
สาธารณูปโภค	0.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	90.00
ค่าบำรุงรักษาสภาพเครื่องจักร	0.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	11.00
ค่าใช้จ่ายคงที่ ณ โรงงาน	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10.00
เงินลงทุนทั้งหมด	91.85	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.01
3. มูลค่าเพิ่มในประเทศสุทธิ	-91.85	27.16	28.32	28.32	28.32	28.32	28.32	28.32	28.32	28.32	28.32	190.19
4. ค่าเงินปัจจุบัน (17%)	0.85	0.73	0.62	0.53	0.46	0.39	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	
5. มูลค่าปัจจุบันของมูลค่าเพิ่มสุทธิของประเทศ	-78.50	19.84	17.68	15.11	12.92	11.04	9.44	8.07	6.89	5.89	5.04	33.41
6. ค่าแรงงาน	0.00	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	75.24
7. มูลค่าปัจจุบันของค่าแรงงาน	0.00	5.50	4.70	4.02	3.43	2.93	2.51	2.14	1.83	1.56	1.34	29.96
8. มูลค่าเพิ่มด้านสังคม (Social Surplus)	-78.50	14.35	12.99	11.10	9.49	8.11	6.93	5.92	5.06	4.33	3.70	3.45

ด้านการประหยัดเงินตราต่างประเทศ พบว่า ในส่วนของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของโรงงานไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรและวัตถุดิบหลัก มีการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น แต่เมื่อโรงงานมีการผลิตก็ไม่จำเป็นต้องส่งวัตถุดิบหลัก คือ เพชรสังเคราะห์ เนื่องจาก เมื่อผ่านกระบวนการสังเคราะห์เพชรแล้ว

ผู้ผลิตสามารถนำเอาเศษเจียรไนเพชรสังเคราะห์ที่สังเคราะห์เพิ่มขึ้นมา เป็นฐาน (Seed) ไปสังเคราะห์เพชรสังเคราะห์ต่อได้ เพราะฉะนั้น โรงงานจะเสียดุลการค้าแค่เพียงช่วงแรกที่ยังไม่มีรายได้เท่านั้น อีกทั้งรายได้ทั้งหมดของโรงงานมาจากการจำหน่ายเพชรสังเคราะห์ไปยังประเทศสิงคโปร์ ดังนั้นมูลค่าของการประหยัดเงินตราต่างประเทศจากการคำนวณในระยะเวลา 10 ปี คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิรวม 128.20 ล้านบาท

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์ ภายใต้กระบวนการเทคนิคพลาสมาความถี่ไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการตกสะสมของไอเชิงเคมี (Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition, MPCVD) และเทคนิคการเจียรไน Sarin Technology ซึ่งในเบื้องต้นมีข้อตกลงในการจำหน่ายเพชรสังเคราะห์เจียรไนแล้วขนาด 1 carat ในปริมาณทั้งหมดที่โรงงานผลิตได้ปีละ 495 carat ในราคากระดละ 80,000 บาท ให้กับผู้ผลิตและขายเครื่องจักรหลักให้กับโรงงาน จากแบบจำลองทางการเงินของโรงงาน สามารถประมาณการค่าอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการร้อยละ 20.20 ที่อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่ผู้ลงทุนพึงพอใจร้อยละ 17 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดหลังหักภาษี 10.40 ล้านบาท ระยะเวลาในการคืนทุน 7 ปี 11 เดือน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทน (IRR) กับอัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (MARR) พบว่า IRR ของโครงการมีค่ามากกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงการดังกล่าวมีความน่าลงทุน จากนั้นได้วิเคราะห์ความไวของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจในการลงทุน 4 ปัจจัยพบว่า ราคาและปริมาณการจำหน่ายเพชรสังเคราะห์หากลดลงจากที่กำหนดเพียงร้อยละ 5.6 จะมีผลกระทบต่อการตัดสินใจเพื่อการลงทุน เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากการลดลงของปริมาณการผลิตและจำหน่ายจึงได้มีในการวิเคราะห์รูปแบบของความเสียหายและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA) พบว่า ค่า RPN ของระบบก๊าซมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 24 ซึ่งเป็นความเสียหายที่สามารถทำให้โรงงานต้องหยุดกระบวนการ เพื่อหาสาเหตุและทดสอบระบบเมื่อทำการซ่อมแซมเสร็จสิ้น ทำให้การป้องกันไม่ให้ระบบก๊าซเสียหายจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่จะต้องควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้ โรงงานยังก่อให้เกิดผลดีทางด้านเศรษฐกิจและสังคมภายในประเทศไทยตามระยะเวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี ที่อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำ 17 เปอร์เซ็นต์ โครงการมีมูลค่าเพิ่ม (Value Added) คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 33.41 ล้านบาท มีการประหยัดเงินตราต่างประเทศ (Foreign exchange earnings) คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 128.20 ล้านบาท มีผลประโยชน์ต่อประเทศด้านสังคม (Social surplus) คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 3.45 ล้านบาท

งานวิจัย แบบจำลองทางการเงินจะมีรายได้จากการขายเพชรสังเคราะห์ให้กับทางผู้ผลิตและขายเครื่องจักรหลักในประเทศสิงคโปร์เท่านั้น เป็นตลาดหลักของโรงงาน ซึ่งยังไม่มีการค้า

รายได้ในส่วนของเศษเพชรที่เป็นผลได้จากการเจียรไนเพชรสังเคราะห์ โดยการที่ไม่มี การประมาณรายได้ส่วนนี้ เนื่องจาก รายได้ที่ไม่แน่นอน ไม่ทราบถึงขนาดของเศษเพชรที่ขนาดต่ำกว่า 1 กระรัต และกลุ่มลูกค้ารองยังไม่ชัดเจน แต่จากการสอบถามผ่านแบบสอบถามบุคคลทั่วไปใน ประเทศจำนวน 100 คน ทำให้ทราบว่าความต้องการส่วนใหญ่ของบุคคลทั่วไปในขนาดเพชรสังเคราะห์คือ 0.5 – 0.75 กระรัต ซึ่งในอนาคตหากสามารถรับรู้รายได้ส่วนนี้ได้อย่างชัดเจน จะทำให้ การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์มีความน่าลงทุนมากยิ่งขึ้น เพราะ รายได้ที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลดีต่อโรงงานไม่ว่าจะเป็น อัตราผลตอบแทนที่เพิ่มมากขึ้น ระยะเวลา การคืนทุนที่สั้นลงและมูลค่าเพิ่มของโครงการจะมีมากขึ้น

References

- [1] The Gem and Jewelry Institute of Thailand (Public Organization). Thailand's Gem and Jewelry Import-Export Performance 2016 [Internet]. 2017 [cited 2018 Aug 28]. Available from: https://www.git.or.th/thai/info_center/trade_review/2017/GIT_TRADE_REVIEW_2016.pdf. (In Thai)
- [2] Moliwa Sirikhet. Business and Competitive Strategies: A Case Study of the Thai Mart Store [Internet]. 2011 [cited 2017 Sep 05]. Available form: <http://eprints.utcc.ac.th/128/37/128fulltext.pdf>. (In Thai)
- [3] Behrens W, Hawranek P. Manual for the preparation of industrial project. United Nations industrial development organization. The United Nations, Vienna Austria. 1991
- [4] Zilvr Diamond. Rapaport Diamond Report Update [Internet]. 2017. [cited 2017 Dec 11]. Available from: https://www.zilvr-diamond.com/rapaport_diamond_price-html/. (In Thai)
- [5] Wicharn T and Warawoot T. Synthesis of Diamond films by Microwave Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition [Internet]. 2010 [cited 2017 Aug 20]. Available from:http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/78239/8fb9d26f81bf64a2b400ca43795016b0?Resolve_DOI=10.14457/K MITL.res.2010.21. (In Thai)
- [6] Jiteng G, Kai H, Keming F, Xiao W, Zhihai L and Zhihua S. Characterization of the interior structure of synthetic diamond particles. Journal of Crystal Growth 2016;451:165-9.
- [7] Sarine Technologies Ltd. Sarin Offers Galaxy Ultra in India [Internet]. 2014 [Cited 2018 Mar 31]. Available from: <http://dclacertificationlaboratory.blogspot.com/2014/01/sarin-offers-galaxy-ultra-in-india.html>.

- [8] Hamid RF, Navid A, Hossein L, Mohammad B and Sina N. Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. Energy Conversion and Management 2013;72:69-76.
- [9] Azzabi A, Khane R, Behrens W. Manual for evaluation of industrial projects. United Nations industrial development organization. The United Nations, Vienna Austria; 1984.

ประวัติผู้เขียนบทความ



สรารัตน์ วิจิตรคุณวัฒน์, วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ วศ.ม. (การจัดการวิศวกรรม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน E-mail: saranrat_pleng27@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนจัดตั้งโรงงานผลิตเพชรสังเคราะห์



รศ. ตันสนีย์ สุภามา, M.S. (Industrial Engineering), Illinois Institute of Technology, USA., E-mail: fengsas@ku.ac.th
วุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร
งานวิจัยที่สนใจ: Engineering project feasibility study, Process Improvement



รศ. พิชราภรณ์ ญาณภีร์, D.Tech.Sc. (Industrial Engineering), Asian Institute of Technology (AIT), E-mail: fengppy@ku.ac.th
รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร
งานวิจัยที่สนใจ: Applied Operations Research, Multiple Criteria Decision Making, Supply Chain Management, and Cost Management