บทความรับเชิญ

ต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานสู่การประยุกต์เชิงพาณิชย์: ประสบการณ์จากเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโน

สนอง เอกสิทธิ์*

บทคัดย่อ

กรณีศึกษานี้ถ่ายทอดประสบการณ์การดำเนินงานเพื่อต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนให้เป็นนวัตกรรมและผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่หลากหลาย ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด และผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างงานศิลป์และเครื่องประดับ คณะนักวิจัยของหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ทำงานวิจัยพื้นฐานที่มุ่งเน้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างได้อย่างแม่นยำด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อผลิตอนุภาคนาโนที่มีสมบัติเชิงแสงและมีสมบัติความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตามที่ต้องการ สำหรับใช้เป็นวัสดุขั้นสูงสำหรับการสร้างเซ็นเซอร์ทางเคมีและวัสดุเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาเซลล์ การวางแผนการวิจัยอย่างเป็นระบบเพื่อศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา การสร้าง และการโตของคริสตัล ทำให้คณะนักวิจัยสามารถออกแบบระบบการผลิตอนุภาคนาโนที่มีประสิทธิภาพ ความสำเร็จเบื้องต้นของการวิจัยพื้นฐานนี้นำไปสู่การยื่นจดสิทธิบัตรและการพัฒนานวัตกรรมที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ มีความพร้อมในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่การใช้งานจริงของภาคอุตสาหกรรม คณะนักวิจัยได้พัฒนาและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการผลิตอนุภาคนาโนแบบต่อเนื่อง สร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์นวัตกรรม พัฒนาบุคลากรซึ่งเป็นนิสิตระดับปริญญาโท-เอก ให้เป็นผู้เชี่ยวชาญที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยี มีการพัฒนาหลักสูตรการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ ให้สามารถใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้สามารถต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานให้เป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ใช้งานได้จริง สามารถนำไปใช้ผลิตสินค้านวัตกรรมที่เพิ่มมูลค่าและประสิทธิภาพด้วยนาโนเทคโนโลยีอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: นาโนเทคโนโลยี อนุภาคซิลเวอร์นาโน งานวิจัยพื้นฐาน การถ่ายทอดเทคโนโลยี

หน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: sanong.e@chula.ac.th

From Fundamental Research to Commercialization: A case Study of Silver Nanotechnology

Sanong Ekgasit*

ABSTRACT

This case study conveyed our experience on how to transform fundamental research into commercial products including medical devices, cleaning products, and jewelry products. The researchers at the Sensor Research Unit have focused their activities on fundamental researches involving the fabrication of nanomaterials with precisely controlled size and shape for sensing and solar cell applications. A systematic research plans on the studies of reaction mechanism, crystal nucleation, and crystal growth enabled our team to develop efficient protocols for nanomaterial fabrications. The initial success on material fabrications led to patent filings and the development of technology transfer protocols and reactor design for industrial applications. We also made product prototypes for exhibitions. We trained graduate students to be the technology transfer experts capable of conveying fundamental nanotechnology knowledge to layman in the factories. Those activities enabled us to successfully transfer and implement the silver nanotechnology into practical industrial usages.

Keywords: Nanotechnology, Silver Nanoparticles, Fundamental Research, Technology Transfer

Sensor Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, 10330.

*Corresponding author, e-mail: sanong.e@chula.ac.th

บทนำ

ความเจริญก้าวหน้าแบบก้าวกระโดดและความมั่นคงทางเศรษฐกิจของประเทศอุตสาหกรรมในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา เป็นเครื่องพิสูจน์เชิงประจักษ์ที่ชัดเจนว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญเติบโตและความแพร่หลายของบริษัทสตาร์ทอัพ ที่เน้นการขายและนำเสนอสินค้าและบริการที่อยู่บนพื้นฐานของนวัตกรรม เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการผลิตภัณฑ์และบริการที่มีความโดดเด่น แปลกใหม่ ตอบสนองความต้องการของรูปแบบการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนไปตามกระแสโลกาภิวัตน์ นวัตกรรมและเทคโนโลยีจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่สร้างความแข็งแกร่งในการแข่งขันของประเทศ การวิจัยและพัฒนาเพื่อการสร้างองค์ความรู้ นวัตกรรม เทคโนโลยี และพัฒนาศักยภาพของบุคลากร จึงมีความสำคัญและจำเป็นมากขึ้นในยุคที่กำแพงภาษีถูกทำลายลงด้วยกลไกตลาดการค้าเสรี นอกจากนั้นการวิจัยและพัฒนายังเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสร้างบุคลากรที่มีศักยภาพสู่สังคม การวิจัยและพัฒนาในโจทย์ปัญหาที่มีผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม สามารถสร้างผลงานวิจัย องค์ความรู้ นวัตกรรม และเทคโนโลยีที่นำไปใช้ได้จริงจึงเป็นความท้าทายของนักวิจัยทั่วโลก โดยเฉพาะนักวิจัยไทยในยุค Thailand 4.0

สำหรับระบบการศึกษาและวิจัยในมหาวิทยาลัย การวิจัยอย่างเป็นระบบเป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพในการฝึกฝนและสร้างบุคลากรรุ่นใหม่ พร้อมกับการสร้างผลงานวิจัย องค์ความรู้ เทคโนโลยี และนวัตกรรม โครงการวิจัยส่วนใหญ่ที่ดำเนินการโดยอาจารย์ในมหาวิทยาลัย แม้จะมีจุดมุ่งหมายหลักเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ สร้างผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ สามารถตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการได้ (เนื่องจากนิสิตนักศึกษาระดับอุดมศึกษาจะต้องตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติก่อนสำเร็จการศึกษา) ผลงานวิจัยเหล่านั้นหากมีการพัฒนาต่อยอดในแง่มุมที่ตอบโจทย์ความต้องการเชิงพาณิชย์และชุมชนสังคมก็จะสามารถเปลี่ยนผลงานวิจัยพื้นฐานหรืองานวิจัยประยุกต์ให้เป็นนวัตกรรม เทคโนโลยี และผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ได้

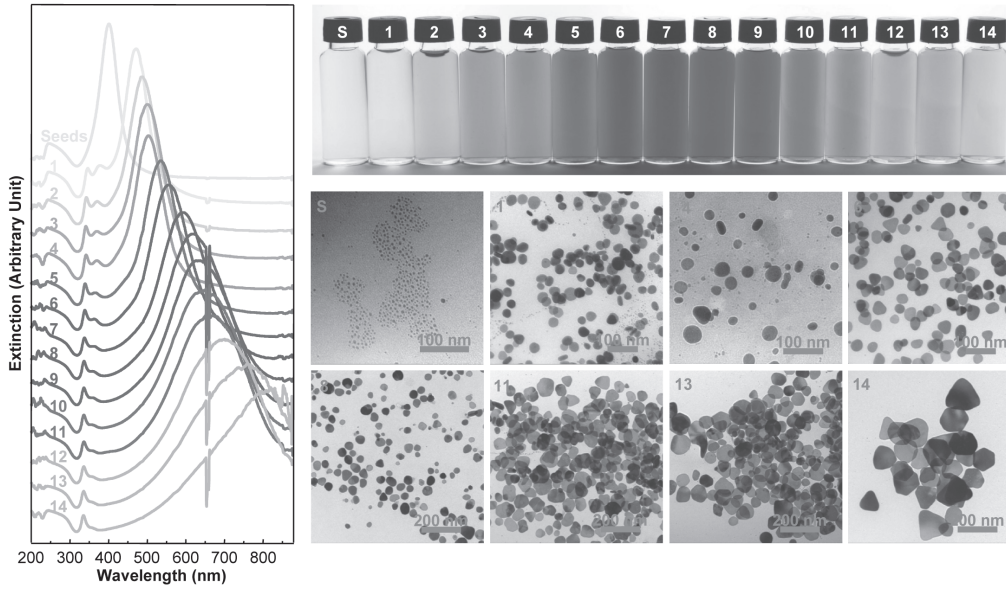
กรณีศึกษานี้ถ่ายทอดประสบการณ์การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนของคณะนักวิจัยจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เริ่มต้นจากการวิจัยพื้นฐานที่มุ่งเน้นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนที่สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างได้อย่างแม่นยำด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อที่จะผลิตอนุภาคนาโนที่มีสมบัติเชิงแสงและมีสมบัติความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่โดดเด่น เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุขั้นสูง (Advanced Materials) เพื่อการพัฒนาต่อยอดเป็นเซ็นเซอร์ทางเคมี (Chemical Sensor) การวางแผนการวิจัยอย่างเป็นระบบเพื่อศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา ทำให้คณะนักวิจัยสามารถออกแบบระบบการผลิตอนุภาคนาโนที่มีประสิทธิภาพ ความสำเร็จในการวิจัยพื้นฐานนี้นำไปสู่การยื่นจดสิทธิบัตร การพัฒนาและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการผลิตอนุภาคนาโนเชิงพาณิชย์ การพัฒนาบุคลากร (นิสิตระดับปริญญาโท-เอก) ให้เป็นผู้เชี่ยวชาญทำหน้าที่ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีให้กับภาคอุตสาหกรรม การพัฒนาหลักสูตรการถ่ายทอดเทคโนโลยี การพัฒนารูปแบบการอนุญาตให้ใช้สิทธิในเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคนาโน รูปแบบการวิจัยร่วมกับภาคเอกชนเพื่อพัฒนาสินค้า และ กระบวนการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่คณะนักวิจัยพบในกระบวนการต่อยอดงานวิจัย ทำให้นักวิจัยของหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ประสบความสำเร็จในการต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานสู่การประยุกต์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม

การวิจัยพื้นฐานด้านนาโนเทคโนโลยีของหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้

วัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีมีการพัฒนาแบบก้าวกระโดดในช่วงหลายสิบปีผ่านมา โดยรัฐบาลของประเทศที่พัฒนาแล้วทุ่มงบประมาณจำนวนมากเพื่อการวิจัยและพัฒนาวัสดุและนาโนเทคโนโลยี มีผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิตมากกว่า 1,400 รายการ มูลค่าการตลาดของผลิตภัณฑ์นาโนเติบโตจาก 254,000 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี พ.ศ. 2553 เป็น 1,000,000 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี พ.ศ. 2558 ผลิตภัณฑ์นาโนที่มีการพัฒนาและเติบโตมากที่สุดคือผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสุขภาพ อนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นวัสดุนาโนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์มากที่สุด

หน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้เริ่มทำงานวิจัยด้านวัสดุนาโนเมื่อต้นปี พ.ศ. 2550 โดยพัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินและทองคำเพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Surface Enhance Raman Spectroscopy (SERS) โดยเน้นการพัฒนาวิธีทางเคมีที่สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการ ได้อนุภาคนาโนที่มีสมบัติเชิงแสงและสมบัติเชิงพื้นผิวที่เหมาะสมกับการแปรรูปเป็นวัสดุรองรับ ผลงานวิจัยด้านวัสดุนาโนในช่วง 9 ปีที่ผ่านมา คณะนักวิจัยตีพิมพ์ผลงานวิจัยด้านวัสดุนาโนในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติ จำนวน 43 บทความ (Corresponding Author 26 บทความ และ Co-author 17 บทความ) ผลิตบัณฑิตด้านวัสดุนาโนและนาโนเทคโนโลยีระดับปริญญาเอก 8 คน ระดับปริญญาโท 10 คน ได้รับรางวัลนวัตกรรมและรางวัลผลงานวิจัยระดับชาติ 4 รางวัล รางวัลนวัตกรรมระดับนานาชาติ 8 รางวัล ยื่นจดสิทธิบัตรไทยด้านวัสดุนาโน จำนวน 5 ฉบับ อนุญาตให้ใช้สิทธิและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนให้กับภาคเอกชนของไทย จำนวน 5 ราย และมีส่วนร่วมในการผลิตสินค้านวัตกรรมที่เพิ่มศักยภาพด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน มากกว่า 10 ผลิตภัณฑ์

สำหรับงานวิจัยด้านการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน เพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่มีความแปลกใหม่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการได้ คณะนักวิจัยได้กำหนดกรอบการวิจัยให้เป็นการพัฒนานาโนเทคโนโลยีสีเขียว (Green Nanotechnology) โดยเลือกใช้แป้งเป็นสารช่วยเสถียร (Stabilizer) ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนแทนการใช้สารช่วยเสถียรที่เป็นพอลิเมอร์หรือสารอินทรีย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยอื่นๆ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เป็นสารช่วยเปลี่ยนรูปร่าง (Shape Transforming Agent) จากอนุภาคทรงกลมระดับนาโน (Nanospheres) ให้เป็นแผ่นบางระดับนาโน (Nanoplates) แบบแผ่นกลม (Nanodisk) แผ่นแบนสามเหลี่ยม (Triangular Nanoplates) หรือ แผนแบนหกเหลี่ยม (Hexagonal Nanoplates) [1-3] ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างอนุภาคซิลเวอร์นาโนทรงกลมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ละลายอะตอมเงินที่บริเวณผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนให้เป็นไอออนของโลหะเงิน พื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนส่วนที่ไม่ทนทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกละลายจนหมด เหลืออนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเล็ก (silver seeds) ที่ปกคลุมด้วยหน้าตัดคริสตัลที่มีการเรียงตัวของอะตอมเงินแบบ Ag(111) ที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเล็กนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จะโตเป็นอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่น การโตของนาโนคริสตัลอย่างมีทิศทางภายใต้กลไกการควบคุมรูปร่างด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่งผลให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนขนาดเล็กโตเป็นอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่น สังเกตได้จากสีของคอลลอยด์ที่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม แดง ชมพู ม่วง น้ำเงิน และ ฟ้า เมื่อขนาดของแผ่นใหญ่ขึ้นตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 1) ความพิเศษของระบบการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นที่คณะนักวิจัยพัฒนาขึ้นคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทำหน้าที่เป็นทั้งตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 1 การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์น้ำของอนุภาคซิลเวอร์นาโนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม-แดง-ชมพู-ม่วง-น้ำเงิน-ฟ้า เมื่ออนุภาคเปลี่ยนรูปร่างจากทรงกลมเป็นแผ่นบางที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ โดยการเปลี่ยนสีของคอลลอยด์สอดคล้องกับ Surface Plasmon Resonance Spectrum ที่แสดงตำแหน่งการดูดกลืนสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 400 นาโนเมตร เป็น 780 นาโนเมตร เมื่ออนุภาคแบบแผ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิลเวอร์นาโนยืนยันได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)

การกำหนดขอบเขตการวิจัยที่ชัดเจนและการวางแผนการวิจัยอย่างเป็นระบบ ทำให้คณะนักวิจัยสามารถพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนทรงกลมและแบบแผ่นบางระดับนาโนได้เป็นผลสำเร็จ สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาคได้อย่างแม่นยำ อนุภาคนาโนที่ผลิตได้มีความเข้มข้นสูงและมีความเสถียรสูง การเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ สามารถเก็บอนุภาคนาโนไว้ได้นานกว่า 1 ปี โดยไม่สูญเสียสมบัติเชิงแสงและสมบัติทางเคมี ส่งผลให้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสามารถยื่นจดสิทธิบัตรได้ [4] นาโนเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นและอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ผลิตได้จะมีศักยภาพเชิงพาณิชย์หากสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงและผู้ประกอบการสามารถผลิตเกลือซิลเวอร์ไนเตรทซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนได้เอง ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมราคาของวัตถุดิบไม่ให้ผันผวนมากเกินไป คณะนักวิจัยจึงพัฒนาวิธีการสังเคราะห์เกลือซิลเวอร์ไนเตรทจากเม็ดเงินบริสุทธิ์และถ่ายทอดให้กับผู้ประกอบการที่ขออนุญาตใช้สิทธิการผลิตอนุภาคนาโนจากสำนักงานทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคนาโนของเงินประกอบด้วยการพัฒนาเซ็นเซอร์เชิงแสง (Optical Sensor) โดยใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นบางเป็นวัสดุให้สัญญาณ อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นขนาด ~40 นาโนเมตร (สีแดง) เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีขนาดเล็กลงและเปลี่ยนเป็นอนุภาคซิลเวอร์นาโนทรงกลม (สีเหลือง) การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์ของอนุภาคนาโนอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Localized Surface Plasmon Resonance ที่เปลี่ยนไปตามขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโนทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของ

คอลลอยด์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและตรวจสอบเชิงปริมาณได้ด้วย UV/Visible Spectrometer ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นสามารถใช้เป็นเซ็นเซอร์เชิงแสงเพื่อการตรวจสอบทางเคมีได้ [5]

นอกจากนั้นคณะนักวิจัยยังได้พัฒนาระบบการสังเคราะห์แผ่นบางระดับไมโครเมตรของเงิน (Silver Microplates) [6] และอนุภาคระดับไมโครที่ซับซ้อนของซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver Chloride Microstructures) ประกอบด้วย Octapods, Octapods with fishbone, Hexapods, Hexapods with 4-blade arrowhead, Concave Octahedra, และ Octahedra อนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่สังเคราะห์ได้แสดงสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี [7] เมื่อนำ Hexapod Silver Chloride Microstructure ไปทำปฏิกิริยาแทนที่กัลวานิกส์ (Galvanic Replacement Reaction) กับโลหะบางชนิด เช่น สังกะสี อะลูมิเนียม หรือ ทองแดง โครงสร้างซิลเวอร์คลอไรด์จะเปลี่ยนเป็นโลหะเงินที่เป็นรูพรุน (Porous Silver Microstructures) คณะนักวิจัยได้พิสูจน์เป็นที่ประจักษ์ว่า Hexapod Porous Silver Microstructures สามารถใช้เป็นวัสดุรองรับเพื่อการบันทึกสัญญาณ SERS แบบสามมิติได้ (3D SERS) [8-10] โดยความสามารถในการเพิ่มสัญญาณรามานของอนุภาคขึ้นกับตำแหน่งในโครงสร้างสามมิติ

คณะนักวิจัยได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองคำ แพลตตินัม และพัลลาเดียม อนุภาคทรงกลมระดับนาโนเมตรของทองคำที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถนำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์เชิงแสงสำหรับตรวจสอบปริมาณโปรตีนในน้ำนม [11, 12] โดยอาศัยปรากฏการณ์การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์อนุภาคทองคำนาโนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินเมื่ออนุภาครวมตัวกัน โดยการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนขนาดเล็กเป็นอนุภาคนาโนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ปรากฏการณ์ Localized Surface Plasmon Resonance ของอนุภาคนาโนเปลี่ยนไป ส่งผลให้สีของคอลลอยย์เปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน

การศึกษาการเกิดและการโตของแผนบางระดับนาโนเมตรของทองคำที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวรีดิวซ์พบว่าแผ่นบางระดับนาโนเมตรของทองคำขนาดใหญ่ เกิดจากการเรียงตัวต่อกันของแผ่นบางระดับนาโนเมตรขนาดเล็กภายใต้ปรากฏการณ์ Oriented Attachment ทำให้สามารถสังเคราะห์แผ่นบางระดับนาโนเมตรของทองคำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 ไมโครเมตร ได้ภายใน 8 ชั่วโมง โดยใช้ไฮโดร-เจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวรีดิวซ์ แผ่นบางระดับนาโนเมตรของทองคำที่สังเคราะห์ได้สามารถใช้เป็นวัสดุรองรับสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SERS และเทคนิค Tip Enhanced Raman Scattering (TERS) [13-18] นอกจาการใช้โครงสร้างระดับนาโนเมตรของทองคำเพื่อการพัฒนาเซ็นเซอร์ทางเคมีแล้ว สมบัติ Surface Plasmon Resonance ที่โดดเด่นในช่วง Visible Spectrum ของอนุภาคทองคำยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ Organic Solar Cell ได้อีกด้วย [19-23]

การวางแผนการวิจัยและการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ทำให้คณะนักวิจัยสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่นำไปสู่การพัฒนาต่อยอดเป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ องค์ความรู้และประสบการณ์ตรงจากการวิจัย เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้คณะนักวิจัยประสบความสำเร็จในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคการผลิต สามารถแก้ปัญหาที่พบระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว ที่สำคัญประสิทธิภาพการสื่อสารและถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ชัดเจนทำให้ผู้ประกอบการสามารถพัฒนาเทคโนโลยีให้มีความก้าวหน้าต่อเนื่องได้ โดยไม่ต้องพึ่งนักวิจัย ทำให้คณะนักวิจัยมีความอิสระให้การคิดโจทย์วิจัยใหม่ๆ และไม่ต้องกังวลเรื่องปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยที่นักวิจัยได้เปลี่ยนทิศทางการวิจัยหรือไปทำวิจัยในโจทย์วิจัยที่ท้าทายอื่นๆ ได้อย่างอิสระ

การพัฒนางานวิจัยให้มีความพร้อมสำหรับการต่อยอดเชิงพาณิชย์

ความสำเร็จด้านการสร้างองค์ความรู้ใหม่และตีพิมพ์ผลงานวิจัยเป็นความสำเร็จเบื้องต้นระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น วัสดุนาโนที่พัฒนาขึ้นอาจมีศักยภาพในการนำไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หรือนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ แต่ยังไม่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ เนื่องจากยังไม่ได้มีการประเมินศักยภาพของเทคโนโลยี (Technological Evaluation) ไม่มีการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ ไม่มีการพัฒนาระบบการผลิตรองรับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ไม่มีการควบคุมต้นทุนการผลิต ไม่มีการวางแผนระบบโลจีสติกของระบบการผลิต และที่สำคัญยังไม่มีการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา

เพื่อแก้ปัญหาข้างต้นคณะนักวิจัยต้องดำเนินการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อเปลี่ยนผลงานวิจัยพื้นฐานและองค์ความรู้ใหม่จากผลงานวิจัยในมหาวิทยาลัยให้เป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีความพร้อมเพื่อการต่อยอดเชิงพาณิชย์ โดยดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ยื่นจดสิทธิบัตรเพื่อคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาก่อนที่จะตีพิมพ์ผลงานวิจัย สิทธิบัตรเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจการทำสัญญารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีของภาคเอกชน ภาคเอกชนต้องการความเชื่อมั่นว่าการใช้เทคโนโลยีที่ถ่ายทอดจะไม่สร้างปัญหาด้านทรัพย์สินทางปัญญาในอนาคต โดยเฉพาะเมื่อผลิตภัณฑ์ออกสู่ท้องตลาดแล้ว นอกจากนั้นภาคเอกชนยังต้องใช้ทรัพย์สินทางปัญญาเป็นเครื่องมือในการทำธุรกิจระดับนานาชาติและการพัฒนาสินค้านวัตกรรมใหม่ๆ

2. พัฒนาระบบการผลิตอนุภาคนาโนจากระบบ Batch Process เป็นระบบ Continuous Process โดยการออกแบบ Flow Reactor ทำให้ปฏิกิริยาเกิดในท่ออย่างต่อเนื่อง สามารถเพิ่มกำลังการผลิตรองรับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

3. พัฒนาระบบการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคนาโน สำหรับฝึกฝนบุคลากรระดับปฏิบัติงานที่ไม่ใช่นักเคมี ให้สามารถผลิตอนุภาคนาโนที่มีสมบัติตามต้องการได้ บุคลากรของภาคอุตสาหกรรมอาจไม่ใช่นักเคมี หรือไม่มีประสบการณ์ด้านการสังเคราะห์อนุภาคนาโนมาก่อน ระบบการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับภาคอุตสาหกรรมในกรณีที่บุคลากรที่รับผิดชอบการผลิตอนุภาคนาโนได้เลื่อนตำแหน่งหรือลาออก ผู้ประกอบการสามารถฝึกฝนคนรุ่นใหม่ของตนเองโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งนักวิจัย

4. พัฒนาระบบการสังเคราะห์เกลือซิลเวอร์ไนเตรทจากเม็ดเงินบริสุทธิ์ เพื่อลดต้นทุนการผลิตเกลือซิลเวอร์ไนเตรทใช้เองจะช่วยลดต้นทุนค่าวัตถุดิบอย่างน้อย 60% โดยเฉพาะในช่วงที่ราคาของโลหะเงินมีความผันผวนสูง

5. ฝึกฝนนิสิตระดับปริญญาโทและปริญญาเอกให้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในศาสตร์ มีความพร้อมในการถ่ายทอดความรู้และทำงานร่วมกับภาคเอกชน เนื่องจากอาจารย์อาจไม่มีเวลาว่างในการติดตามแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดเทคโนโลยี นิสิตนักศึกษาจึงมีกลไกที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเทคโนโลยีและแก้ปัญหาเฉพาะหน้า นิสิตที่ทำหน้าที่นี้เป็นผู้ที่รับผิดชอบโครงการโดยตรง ผลงานที่ถ่ายทอดเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ อย่างไรก็ตามนิสิตอาจต้องทำงานหนักขึ้นเนื่องจากผลการวิจัยจากการทำวิจัยร่วมส่วนใหญ่ไม่สามารถนำมาตีพิมพ์ได้ ภาคเอกชนต้องการปิดเป็นความลับเพื่อประโยชน์ในการทำธุรกิจ

6. สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการหรือผลิตภัณฑ์ที่ร่วมพัฒนากับภาคเอกชนเพื่อนำไปประกวดและจัดแสดงในนิทรรศการนวัตกรรมระดับชาติและระดับนานาชาติ การประกวดนวัตกรรม

เป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพในการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ให้ประชาสังคมได้รับรู้ พร้อมกับการโฆษณาผลงานนวัตกรรมและเทคโนโลยีของนักวิจัย ที่มักนำไปสู่การขออนุญาตใช้สิทธิ์ในเทคโนโลยีและการทำวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมใหม่ๆ โดยทั่วไปแล้ว การนำเสนอผลงานทางวิชาการในการประชุมระดับชาติและนานาชาติของนักวิจัย เป็นการเสนอการค้นพบทางวิชาการในหมู่นักวิชาการเท่านั้น ทำให้ผลงานของนักวิจัยไม่เป็นที่รับรู้ของประชาสังคม ที่สำคัญค่าใช้จ่ายของการนำเสนอผลงานนวัตกรรมและเทคโนโลยีในการประกวดนวัตกรรมนั้นไม่แตกต่างจากค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมทางวิชาการ อย่างไรก็ตามการนำเสนอผลงานนวัตกรรมและเทคโนโลยีของนักวิจัยไทยยังมีจำนวนน้อยและทำอยู่ในวงจำกัดเท่านั้น เนื่องจากจำนวนงานวิจัยที่มีศักยภาพในการต่อยอดสู่การประยุกต์เชิงพาณิชย์ยังมีจำนวนน้อยอยู่ นอกจากนั้นมหาวิทยาลัยส่วนใหญ่ยังไม่ตระหนักถึงความสำคัญและผลกระทบของการนำเสนอผลงานนวัตกรรม จึงไม่ได้เตรียมงบประมาณสำหรับการเสนอผลงานนวัตกรรม อาจารย์และนักวิจัยที่ต้องการนำเสนอผลงานนวัตกรรมจึงต้องใช้งบประมาณจากทุนวิจัยเพื่อการเดินทาง

รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดแสดงผลงานนวัตกรรมที่ต่อยอดจากเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนในเวทีการประกวดนวัตกรรมระดับนานาชาติของนักวิจัยและผู้ประกอบการภาคเอกชน โดยคณะนักวิจัยใช้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในการเดินทางไปเสนอผลงานนวัตกรรม

การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมจากเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโน

แม้ว่าคณะนักวิจัยจะมีองค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคนาโนที่หลากหลายทั้งอนุภาคนาโนของเงิน ทองคำ แพลตตินัม และ พัลลาเดียม แต่อนุภาคนาโนที่ได้รับความสนใจจากสังคมและภาคเอกชนมากที่สุดคืออนุภาคซิลเวอร์นาโน เนื่องจากมีการนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เป็นที่รู้จักและยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะสมบัติการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียคณะนักวิจัยได้อนุญาตให้ใช้สิทธิ์ในเทคโนโลยี (Technology Licensing) โดยการดำเนินงานของสำนักงานทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้กับภาคเอกชนของไทยจำนวน 5 ราย ดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีกรรมวิธีการผลิตอนุภาคระดับนาโนเมตรทรงกลมความเข้มข้นสูงของโลหะเงินที่ไม่มีการปกป้องพื้นผิวแขวนลอยในน้ำ

ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี บริษัท สยามคาสท์ไนลอน จำกัด (พ.ศ. 2552)

2. เทคโนโลยีกรรมวิธีการผลิตอนุภาคระดับนาโนเมตรทรงกลมความเข้มข้นสูงของโลหะเงินที่ไม่มีการปกป้องพื้นผิวแขวนลอยในน้ำ

ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี บริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด (พ.ศ. 2552)

ผลิตภัณฑ์: ผงซักฟอกเปาซิลเวอร์นาโน

3. เทคโนโลยีกรรมวิธีการผลิตคอลลอยด์น้ำของอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นบางที่มีสีฟ้าที่มีความบางระหว่าง 30-50 นาโนเมตรมีขนาด lateral size 50-200 นาโนเมตร

ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี บริษัท โนวาเทคเฮลธ์แคร์ จำกัด (พ.ศ. 2554)

ผลิตภัณฑ์: BluRibbon แผ่นปิดแผลที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วย Blue Silver Nanoprism

4. เทคโนโลยีกรรมวิธีการผลิตอนุภาคระดับนาโนเมตรทรงกลมความเข้มข้นสูงของโลหะเงินที่ไม่มีการปกป้องพื้นผิวแขวนลอยในน้ำ

ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี บริษัท ธรรมสรณ์ นาโนโซลูชั่น จำกัด (พ.ศ. 2554)

ผลิตภัณฑ์: Silver Nanoparticles-Polymer Composite, SHANNTA Silver Clay

5. เทคโนโลยีกรรมวิธีการผลิตอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรทรงกลมและแบบแผ่นปริซึมที่สามารถควบคุมสมบัติเชิงแสงได้

ผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี บริษัท ไพรม์ นาโนเทคโนโลยี จำกัด (พ.ศ. 2557)

ผลิตภัณฑ์: คอลลอยด์ของอนุภาคระดับนาโนเมตรของเงินขนาดต่างๆ
NanoSeven ผลิตภัณฑ์กำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อแบคทีเรียสำหรับสัตว์เลี้ยง
Be Jeans ผลิตภัณฑ์รักษาความสะอาดสิ่งทอและกางเกงยีนส์

เมื่อผู้ประกอบการมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนไปใช้ในการเพิ่มศักยภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วหรือสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ผู้ประกอบการจะต้องเข้ามาปรึกษาพูดคุยกับนักวิจัย เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนที่คณะนักวิจัยพัฒนาขึ้น การพูดคุยเบื้องต้นนี้จะทำให้ผู้ประกอบการรับทราบข้อจำกัดและศักยภาพที่แท้จริงของเทคโนโลยีจากคณะนักวิจัยที่มีระสบการณ์ เช่น ต้นทุนการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโน แนวทางการใช้ประโยชน์ และผลิตภัณฑ์ที่สามารถพัฒนาได้ การถ่ายทอดเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Technology Evaluation)

ผู้ประกอบการแจ้งวัตถุประสงค์การใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโน แผนการประยุกต์ใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มศักยภาพด้วยเทคโนโลยีนาโน และกำลังการผลิตที่ต้องการ เพื่อที่คณะนักวิจัยจะสามารถประเมินความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยี ในบางกรณีผู้ประกอบการต้องเปิดเผยสูตรหรือสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสินค้า โดยเฉพาะสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะเงินหรือไอออนเงิน หรืออาจต้องเปิดเผยกระบวนการผลิตสินค้าเพื่อที่นักวิจัยจะสามารถประเมินได้ว่าจะสามารถใช้อนุภาคซิลเวอร์-นาโนกับผลิตภัณฑ์ได้หรือไม่ การประเมินเบื้องต้นนี้อยู่บนพื้นฐานความต้องการของผู้ประกอบการ โดยใช้ความรู้ความเข้าใจ ความชำนาญ และประสบการณ์ของคณะนักวิจัยในการประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ หากมีความเป็นไปได้น้อยมากหรือเป็นไปไม่ได้เลยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จะไม่ดำเนินการในขั้นต่อไป ค่าใช้จ่ายในการประเมินความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีเป็นความรับผิดชอบของผู้ประกอบการ คณะนักวิจัยจะดำเนินการทดสอบและสนับสนุนอนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

หากการพัฒนาสินค้านวัตกรรมโดยการเพิ่มศักยภาพด้วยเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนมีความเป็นไปได้ จะมีการดำเนินการขั้นต่อไปคือการทดสอบและประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Technology Evaluation) โดยการตรวจสอบความเข้ากันของอนุภาคซิลเวอร์นาโนกับผลิตภัณฑ์ สีและรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโน การเกิดตะกอนและปฏิกิริยาเคมีเมื่อเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผลิตภัณฑ์ที่เติมอนุภาคนาโนมีเสถียรภาพสูง การพัฒนาผลิตภัณฑ์มีความเป็นไปได้ก็จะดำเนินการขั้นต่อไป

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype Product Development)

ในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ นักวิจัยและผู้ประกอบการจะดำเนินการวิจัยและพัฒนาร่วมกัน โดยผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ร่วมกันพัฒนาอาจเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือผลิตภัณฑ์เดิมที่ต้องการเพิ่มสมบัติพิเศษและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้วยเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโน โดยการทำวิจัยร่วมจะเป็นแบบผู้ประกอบการออกทุนวิจัยทั้งหมด หรือการพัฒนาโจทย์วิจัยร่วมกันแล้วเสนอโครงการเพื่อขอรับทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหน่วยงานให้ทุนของรัฐ โดยผู้ประกอบการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนเพื่อแลกกับสิทธิ์การใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นโดยไม่มีข้อจำกัด หรือเป็นเจ้าของร่วมในทรัพย์สินทางปัญญาที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบนั้น ผู้ประกอบการอาจส่งบุคลากรของตนเองมาทำวิจัยร่วมกับนิสิตของหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ระยะเวลาของการวิจัยขึ้นอยู่กับโจทย์วิจัยและปัญหาที่พบระหว่างการวิจัยเมื่องานวิจัยสำเร็จลุล่วงการจดสิทธิบัตรและการเผยแพร่ผลงานก็จะเป็นไปตามสัญญาที่ได้ทำไว้

3. การขออนุญาตใช้สิทธิ์ในการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อการวิจัยร่วมในการพัฒนานวัตกรรมและสินค้าที่มีการเพิ่มศักยภาพด้วยเทคโนโลยีซิลเวอร์-นาโนประสบความสำเร็จ แม้ว่าผู้ประกอบการจะเป็นเจ้าของสิทธิบัตรการผลิตสินค้าที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นส่วนประกอบ แต่เทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนเป็นของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หากผู้ประกอบการต้องการนำไปผลิตเป็นสินค้าผู้ประกอบการต้องซื้ออนุภาคซิลเวอร์นาโนจากบริษัทนวัตกรรมจามจุรี สำนักงานทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือซื้อจากบริษัท ไพร์ม นาโนเทคโนโลยี จำกัด อย่างไรก็ตามหากผู้ประกอบการต้องผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณมากและมีการใช้อย่างต่อเนื่อง ผู้ประกอบการต้องขออนุญาตใช้สิทธิ์การผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมูลค่า

ของการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนไม่ได้มีข้อกำหนดตายตัว ขึ้นอยู่กับชนิดของสินค้าและขอบเขตของการขอใช้สิทธิ์ว่าเป็นแบบ Exclusive หรือ Non-exclusive โดยมูลค่าการถ่ายทอดเทคโนโลยีนั้นผู้ประกอบการต้องมาเจรจาและทำข้อตกลงกับสำนักงานทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อมีการทำสัญญาอนุญาตใช้สิทธิ์แล้ว คณะนักวิจัยก็จะเริ่มกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีจนกว่าบุคลากรของบริษัทจะสามารถผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้เหมือนกับที่นักวิจัยผลิตได้

ตัวอย่างการถ่ายทอดเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนสู่ภาคอุตสาหกรรม

การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อการใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมของผลงานทางวิชาการและสิทธิบัตรอยู่ภายใต้การดูแลของสำนักงานทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคอุตสาหกรรมได้ทำสัญญาขอใช้สิทธิ์ในเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนเรียบร้อยแล้ว คณะนักวิจัยผู้ช่วยจะทำหน้าที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบุคลากรของภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการทำวิจัยร่วมกับภาคเอกชนเพื่อพัฒนาสินค้านวัตกรรมที่มีการเพิ่มมูลค่าด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนแสดงดังตัวอย่างที่ 1-3 และ รูปที่ 3

ตัวอย่างที่ 1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด

ผู้รับการถ่ายทอด	บริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด
เทคโนโลยีที่ถ่ายทอด	กรรมวิธีการผลิตอนุภาคระดับนาโนเมตรทรงกลมความเข้มข้นสูงของโลหะเงินที่ไม่มีการปกป้องพื้นผิวแขวนลอยในน้ำ (พ.ศ. 2552)
ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่เกิดขึ้น	ผงซักฟอกเปาซิลเวอร์นาโน: ผงซักฟอกที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียขณะซักล้างและป้องกันการเกิดกลิ่นอับขณะสวมใส่
ประเภทผลิตภัณฑ์	สินค้าอุปโภคในครัวเรือน: ผลิตภัณฑ์ซักล้าง
เหตุผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. สร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพโดดเด่น แตกต่างจากสินค้าประเภทเดียวกันในตลาด 2. สร้างผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ไม่เคยมีมาก่อน
เงื่อนไขความสำเร็จการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. ผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียขณะซักล้างและป้องกันการเกิดกลิ่นอับขณะสวมใส่ 2. อนุภาคซิลเวอร์นาโนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิตสินค้า ซึ่งมีการเพิ่มอุณหภูมิและควบคุมความชื้นในกระบวนการผลิต 3. สีของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญหลังจากเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนทรงกลมซึ่งมีสีเหลือง 4. ผลิตภัณฑ์ที่เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีความเสถียรสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนสีและลักษณะของผลิตภัณฑ์ขณะขนส่งและเก็บรักษา 5. นักวิจัยสร้างเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบที่มีอัตราการผลิตอนุภาคเงินนาโนอย่างต่ำ 100 ลิตร/วัน เพื่อใช้ในการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ตัวอย่างที่ 1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด(ต่อ)

รูปแบบการวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. นักวิจัยและผู้ประกอบการทำวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีศักยภาพเชิงพาณิชย์ ทีมนักวิจัยของผู้ประกอบการทำงานร่วมกับนักวิจัยในมหาวิทยาลัย มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลและเปิดเผยข้อมูลของบริษัทเฉพาะส่วนที่เปิดเผยได้ นักวิจัยร่วมพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยไม่มีการเปิดเผยหรือตีพิมพ์ผลการวิจัย ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยร่วมถือเป็นความลับ 2. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาจนเป็นสินค้าที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์: 1 ปี
การลงทุน และพัฒนาต่อเนื่องของภาคเอกชน	1. สร้างห้องปฏิบัติการรองรับการวิเคราะห์ทดสอบอนุภาคซิลเวอร์นาโนและควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ บริษัทไม่มีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนมาก่อน 2. จัดตั้งหน่วยผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนขึ้นใหม่ในบริษัท มีบุคลากรที่รับผิดชอบการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยเฉพาะ 3. สร้างเครื่องปฏิกรณ์ระดับอุตสาหกรรมที่มีกำลังการผลิตมากกว่าเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบ เครื่องปฏิกรณ์ใหม่มีกำลังการผลิตขั้นต่ำ 1000 ลิตร/วัน
ความร่วมมือต่อเนื่อง	1. วิจัยและพัฒนาน้ำยาซักล้างสูตรน้ำที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโน 2. วิจัยและพัฒนาน้ำยาปรับผ้านุ่มที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโน
การมีส่วนร่วมของภาคอุตสาหกรรม	1. ผู้ประกอบการได้ศึกษาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีและประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโนก่อนการขออนุญาตใช้สิทธิ์จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2. ผู้ประกอบการสืบค้นราคาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาแพง และมีอายุการใช้งานจำกัด 3. ผู้ประกอบการจัดตั้งทีมนักวิจัยและวิศวกรเพื่อทำงานร่วมกับคณะนักวิจัย
การพัฒนาต่อเนื่องหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการสร้างเครื่องปฏิกรณ์กำลังการผลิตสูงเพื่อรองรับการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณมาก 2. ผู้ประกอบการดำเนินการวิจัยทางการตลาดและทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคก่อนที่จะเริ่มจำหน่ายสินค้า 3. ผู้ประกอบการยื่นจดเพื่อคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาของตัวผลิตภัณฑ์: สิทธิบัตรไทย สารผสมซักฟอกที่มีส่วนผสมของอนุภาคเงินนาโนและกรรมวิธีการผลิต (วันยื่นคำขอ 3 เมษายน 2552, เลขที่คำขอ 0901001529)
ผลลัพธ์และสิ่งที่เกิดขึ้นจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการมีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีประสิทธิภาพทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ 2. ผู้ประกอบการมีสิทธิบัตรด้านวัสดุนาโนและการประยุกต์ใช้ ทำให้มีศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ 3. ผู้ประกอบการเป็นผู้ผลิตน้ำยาซักล้างรายเดียวในประเทศที่สามารถผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในผลิตภัณฑ์ และเป็นผลิตภัณฑ์เดียวที่มีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโน 4. บุคลากรของบริษัทมีความรู้ความชำนาญด้านการผลิต วิเคราะห์ ทดสอบ และใช้อนุภาคนาโนในการผลิตสินค้า

ตัวอย่างที่ 2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท โนวาเทค เฮล์ธแคร์ จำกัด

ผู้รับการถ่ายทอด	บริษัท โนวาเทค เฮล์ธแคร์ จำกัด
เทคโนโลยีที่ถ่ายทอด (ปีที่ถ่ายทอด)	กรรมวิธีการผลิตคอลลอยด์น้ำของอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นที่มีสีฟ้าที่มีความบางระดับ 30-50 นาโนเมตร ขนาด lateral size 50-200 นาโนเมตร (พ.ศ. 2554)
ผลิตภัณฑ์	BluRibbon: แผ่นปิดแผลที่มีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน
ประเภทผลิตภัณฑ์	อุปกรณ์ทางการแพทย์: แผ่นปิดแผลป้องกันเชื้อโรค
เหตุผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์คุณภาพสูงทดแทนการนำเข้าอุปกรณ์ทางการแพทย์ 2. สร้างผลิตภัณฑ์ที่สามารถรักษาแผลจากโรคเบาหวานและแผลเรื้อรังชนิดโพรงลึก
เงื่อนไขความสำเร็จการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. ผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนบาดแผลและป้องกันการติดเชื้อ 2. ใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นบางซึ่งมีสีฟ้าเป็นสารออกฤทธิ์ 3. อนุภาคซิลเวอร์นาโนเกาะติดบนเส้นใยไบโอเซลลูโลสที่ใช้เป็นวัสดุรองรับได้ดี 4. ผลิตภัณฑ์มีความเสถียรสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขณะขนส่งและเก็บรักษา
รูปแบบการวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ใช้	1. นักวิจัยและผู้ประกอบการทำวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ นักวิจัยร่วมพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยไม่มีการเปิดเผยหรือตีพิมพ์ผลการวิจัย ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยร่วมถือเป็นความลับ 2. เวลาที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาจนเป็นสินค้าต้นแบบพร้อมทดลองใช้งานจริง: 3 ปี
การลงทุนและพัฒนาต่อเนื่องของภาคเอกชน	1. จ้างนักเคมีเพื่อผลิตอนุภาคเงินนาโนและสร้างห้องปฏิบัติใหม่เพื่อผลิต วิเคราะห์ ทดสอบ และควบคุมคุณภาพอนุภาคซิลเวอร์นาโนสีฟ้าที่ผลิตได้ 2. จ้างบุคลากรเพื่อทำงานการตลาด แสวงหาโอกาสเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์ใหม่
ความร่วมมือต่อเนื่อง	1. พัฒนาผลิตภัณฑ์กาวทางการแพทย์ที่มีการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนและซิลเวอร์ไอออนที่ออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว 2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อที่มีอนุภาคซิลเวอร์นาโนและซิลเวอร์ไอออนสำหรับสัตว์เลี้ยง
สภาพการณ์ก่อนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการเป็นบริษัทตัวแทนจำหน่ายเครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ทางการแพทย์นำเข้าจากต่างประเทศ บริษัทไม่มีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนของตนเอง 2. อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่มีจำหน่ายในประเทศไทยเป็นผลิตภัณฑ์นำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด 3. บริษัทไม่มีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นสีฟ้า 4. บริษัทสามารถผลิตฟิล์มไบโอเซลลูโลสจากน้ำสับปะรดและข้าวสังข์หยด

ตัวอย่างที่ 2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท โนวาเทค เฮล์ธแคร์ จำกัด (ต่อ)

การมีส่วนร่วมของภาคอุตสาหกรรม	1. ผู้ประกอบการได้ศึกษาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีและประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียก่อนการขอรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี 2. ผู้ประกอบการสืบค้นราคาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาแพงมากโดยเฉพาะอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นที่สังเคราะห์โดยการควบคุมกลไกการโตของคริสตัล และมีอายุการใช้งานจำกัด 3. ผู้ประกอบการลงทุนสร้างห้องปฏิบัติการใหม่เพื่อสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นสีฟ้าเพื่อใช้ตรึงลงบนฟิล์มไบโอเซลลูโลส 4. ผู้ประกอบการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาโดยจ้างบุคลากรด้านไบโอเทคโนโลยีเพื่อให้ทำงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซื้อเครื่อง UV/visible Spectrometer เพื่อวิเคราะห์ทดสอบและควบคุมคุณภาพอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นที่สังเคราะห์ได้ 5. ผู้ประกอบการทำวิจัยร่วมกับนักวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบแผ่นปิดแผลโดยการตรึงอนุภาคซิลเวอร์นาโนสีฟ้าลงบนฟิล์มไบโอเซลลูโลส รวมไปถึงการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต 6. ผู้ประกอบการวิเคราะห์ทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และแก้ปัญหาก่อนที่จะเริ่มผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ 7. ผู้ประกอบการดำเนินการวิจัยทางการตลาดและทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ (หมอ พยาบาล และ ผู้ป่วย) ก่อนที่จะเริ่มการผลิตระดับอุตสาหกรรม
การพัฒนาต่อเนื่องหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการทำวิจัยและทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ร่วมกับหมอและนักวิจัยในโรงพยาบาล 2. ผู้ประกอบการยื่นจดสิทธิบัตรนานาชาติ Wound Dressing Comprising Bio-cellulose and Silver Nanoparticles (WO 2013/176633 วันยื่นคำขอ 29 มกราคม 2556) 3. ผลงานนวัตกรรม แผ่นปิดแผลนาโนไบโอเซลลูโลสเคลือบคริสตัลเงินนาโนสีฟ้า ได้รับรางวัลนวัตกรรมดีเด่นแห่งชาติ (ด้านสังคม) ประจำปี พ.ศ. 2555 จากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) 4. ผลงานนวัตกรรม แผ่นปิดแผลนาโนไบโอเซลลูโลสที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนสีฟ้า (BluRibbon: Wound Dressing with Blue Silver Nanoparticles) ได้รับรางวัลเหรียญทอง (Gold Medal) จากการประกวดนวัตกรรมระดับนานาชาติ 40th International Exhibition of Inventions of Geneva, Switzerland

ตัวอย่างที่ 2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท โนวาเทค เฮล์ธแคร์ จำกัด (ต่อ)

ผลลัพธ์และสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการมีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนแบบแผ่นสีฟ้า ทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ 2. ผู้ประกอบการมีสิทธิบัตรนานาชาติด้านวัสดุนาโนและการประยุกต์ใช้ ทำให้มีศักยภาพในการแข่งขันกับสินค้าจากต่างประเทศ 3. บริษัท โนวาเทค เฮล์ธแคร์ จำกัด เป็นผู้ประกอบการรายเดียวของไทยและของโลกที่มีเทคโนโลยีการผลิตวัสดุทางการแพทย์แผ่นปิดแผลนาโนไบโอ-เซลลูโลสที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนสีฟ้า ผลิตภัณฑ์มีศักยภาพแข่งขันสูง 4. บุคลากรของบริษัทมีความรู้ความชำนาญด้านการผลิต วิเคราะห์ ทดสอบ และใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสีฟ้าในการผลิตวัสดุทางการแพทย์

ตัวอย่างที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท ธรรมสรณ์ นาโนโซลูชั่น จำกัด

ผู้รับการถ่ายทอด	บริษัท ธรรมสรณ์ นาโนโซลูชั่น จำกัด
เทคโนโลยีที่ถ่ายทอด (ปีที่ถ่ายทอด)	กรรมวิธีการผลิตอนุภาคระดับนาโนเมตรทรงกลมความเข้มข้นสูงของโลหะเงินที่ไม่มีการปกป้องพื้นผิวแขวนลอยในน้ำ (พ.ศ. 2554)
ผลิตภัณฑ์	SHANNTA Silver Clay: ซิลเวอร์เคลย์สำหรับผลิตและออกแบบเครื่องประดับเงินด้วยการปั้นขึ้นรูปด้วยมือ
ประเภทผลิตภัณฑ์	วัสดุสำหรับการออกแบบและผลิตเครื่องประดับเงิน
เหตุผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. สร้างผลิตภัณฑ์ SHANNTA Silver Clay สำหรับการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ 2. สร้างผลิตภัณฑ์ SHANNTA Silver Clay สัญชาติไทยจากเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนที่สามารถแข่งขันได้กับสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ 3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ SHANNTA Silver Clay คุณภาพสูงสำหรับศิลปิน ช่างฝีมือและผู้สนใจ เพื่อให้มีโอกาสเข้าถึงผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงในราคาที่ไม่แพง
เงื่อนไขความสำเร็จการพัฒนาผลิตภัณฑ์	1. อนุภาคเงินนาโนและอนุภาคเงินไมโครแบบผงผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี 2. silver clay ที่ผลิตสามารถปั้นขึ้นรูปได้ตามความต้องการ
รูปแบบการวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และระยะเวลาที่ใช้	1. นักวิจัยและผู้ประกอบการทำวิจัยร่วมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ นักวิจัยร่วมพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยสามารถตีพิมพ์ผลการวิจัย 2. นักวิจัยและผู้ประกอบการพัฒนาโครงการวิจัยร่วมกันเพื่อขอทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาจนเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์: 3 ปี

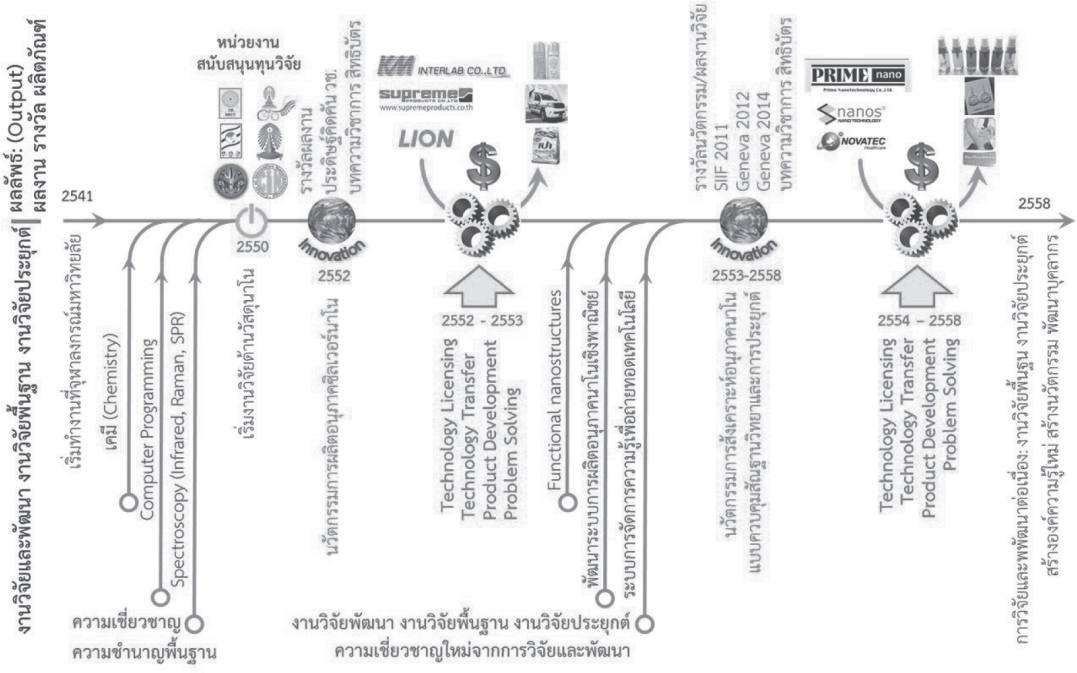
ตัวอย่างที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท ธรรมสรณ์ นาโนโซลูชั่น จำกัด (ต่อ)

การลงทุนและพัฒนาต่อเนื่องของภาคเอกชน	1. สร้างห้องปฏิบัติการเพื่อผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนและอนุภาคเงินระดับไมโครเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตซิลเวอร์เคลย์ 2. จ้างนักเคมีเพื่อผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโน 3. จ้างบุคลากรเพื่อทำงานการตลาด 4. จ้างศิลปินและนักออกแบบเครื่องประดับเงินเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ Life Style 5. สร้าง Art Gallery: SHANNTA ที่ชั้น 3 ศูนย์ศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร เขตปทุมวัน รับสอน อบรม และจำหน่ายเครื่องประดับเงินจากซิลเวอร์เคลย์
ความร่วมมือต่อเนื่อง	พัฒนา Silver Clay รูปแบบอื่น เช่น แบบแผ่น แบบเส้น และ ผงโลหะเงิน
สภาพการณ์ก่อนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการเป็นบริษัทผู้ผลิตถังเก็บน้ำที่มีการนำเข้าพอลิเมอร์ที่มีการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำในถังและป้องกันการสะสมของเชื้อแบคทีเรีย 2. วัตถุดิบพอลิเมอร์ที่ผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนต้องนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นทั้งหมด 3. บริษัทไม่มีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโน 4. หน่วยวิจัยและพัฒนาของบริษัทไม่มีการทำวิจัยเกี่ยวกับอนุภาคนาโน 5. บริษัทไม่มีเครื่องปฏิกรณ์สำหรับผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโน
การมีส่วนร่วมของภาคอุตสาหกรรม	1. ผู้ประกอบการได้ศึกษาเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีและประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโนและใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในการทำธุรกิจอยู่แล้ว แต่ต้องนำเข้าวัตถุดิบทั้งหมดจากต่างประเทศ 2. ผู้ประกอบการสืบค้นราคาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ มีราคาแพงมาก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีอายุการใช้งานจำกัด มีข้อจำกัดในการนำมาผสมกับพอลิเมอร์ก่อนฉีดเป็นถังเก็บน้ำ 3. ผู้ประกอบการมีแนวคิดที่จะทำธุรกิจการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินจากผงเงิน เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในต่างประเทศ แต่ไม่มีผู้ผลิตผงโลหะเงินและอนุภาคเงินนาโนในประเทศไทย
การพัฒนาต่อเนื่องหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการสร้างห้องปฏิบัติการเพื่อสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนขึ้นใช้เอง 2. ผู้ประกอบการลงทุนซื้ออุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์ ทดสอบรองรับการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนเพื่อการผลิตระดับอุตสาหกรรม 3. ผู้ประกอบการจ้างนักเคมีเพื่อรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโน 4. ผลงานนวัตกรรม SHANNTA Silver Clay: ซิลเวอร์เคลย์สัญชาติไทยเพื่อการขึ้นรูปและออกแบบเครื่องประดับเงินที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ (SHANNTA Silver Clay: The only Thai Brand Silver Clay for Design and Fabrication of Silver Jewelry) ได้รับรางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น (รางวัลประกาศเกียรติคุณ) ประจำปี พ.ศ. 2557 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ตัวอย่างที่ 3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับบริษัท ธรรมสรณ์ นาโนโซลูชั่น จำกัด (ต่อ)

	5. ผลงานนวัตกรรม คริสตัลเคลย์ของทองคำและเงินสำหรับการขึ้นรูปเครื่องประดับโดยการปั้นและเผาที่อุณหภูมิต่ำ ได้รับรางวัล เหรียญทองแดง (Bronze Medal) จากการประกวดนวัตกรรมระดับนานาชาติ 40th International Exhibition of Inventions of Geneva
ผลลัพธ์และสิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. ผู้ประกอบการมีเทคโนโลยีการผลิตอนุภาคซิลเวอร์นาโนทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ 2. ผู้ประกอบการดำเนินธุกิจใหม่ด้านการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินจาก Silver Clay และจัดตั้ง Art Gallery: SHANNTA ที่ชั้น 3 ศูนย์ศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร 3. SHANNTA Silver Clay และ SHANNTA Art Gallery เป็นผลิตภัณฑ์และผู้ประกอบการรายเดียวของไทยที่สามารถผลิต Silver Clay เพื่อการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ รับสอนและอบรมการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินแบบ DIY (Do-It-Yourself) มีนักท่องเที่ยวต่างชาติและชาวไทยให้ความสนใจและทดลองทำเครื่องประดับเงินจำนวนมาก 4. บุคลากรของบริษัทมีความรู้ความชำนาญด้านการผลิต วิเคราะห์ ทดสอบ และใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนและผงเงินไมโครในการผลิต Silver Clay 5. ผู้ประกอบการสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าเครื่องประดับเงินแบบ DIY จาก SHANNTA Silver Clay โดยการออกแบบที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ

หน่วยงานให้ทุนมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานสู่การประยุกต์เชิงพาณิชย์ คณะนักวิจัยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ทำให้ทีมวิจัยสามารถทำงานวิจัยพื้นฐานเพื่อสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจในศาสตร์ได้อย่างอิสระ สามารถสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพพร้อมสำหรับการต่อยอดและใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ กรณีศึกษาของเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนเป็นตัวอย่างที่ดีที่แสดงให้เห็นว่างานวิจัยพื้นฐานที่ดำเนินการในมหาวิทยาลัยสามารถสร้างประโยชน์และรับใช้สังคมอย่างเป็นรูปธรรมเป็นที่ประจักษ์



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการดำเนินงานวิจัยพื้นฐาน การถ่ายทอดเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนสู่ภาคอุตสาหกรรม และการแสวงหาโอกาสเชิงพาณิชย์โดยการส่งผลงานประกวดนวัตกรรมในงานนิทรรศการนวัตกรรมระดับชาติและระดับนานาชาติ

บทสรุป

การแปรรูปผลงานวิจัยและทรัพย์สินทางปัญญาให้เป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์จึงไม่ใช้เรื่องง่ายนัก แต่สามารถทำให้เป็นจริงได้ ผลงานวิจัยจำนวนมากของนักวิจัยไทยมีศักยภาพสูงแต่ไม่ได้รับการต่อยอดให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์มีสาเหตุหลายประการ เช่น ระบบการผลิตซับซ้อนเกินไป ต้นทุนการผลิตสูงเกินไป ไม่สามารถขยายกำลังการผลิตจากระดับห้องปฏิบัติการไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ ไม่สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอได้ เป็นต้น ซึ่งการแก้ปัญหาข้างต้นนี้ต้องการการวิจัยเพิ่มเติมต่อยอดจากผลงานวิจัยพื้นฐานที่เน้นการสร้างองค์ความรู้ใหม่

จากประสบการณ์การทำงานวิจัยพื้นฐานที่มีการต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ โดยการนำอนุภาคซิลเวอร์นาโนไปผลิตเป็นสินค้านวัตกรรม ทำให้ทราบว่าการทำวิจัยเพื่อตีพิมพ์และจดสิทธิบัตรในมหาวิทยาลัยเป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการพัฒนานวัตกรรมเท่านั้น นักวิจัยและผู้ประกอบการต้องทำวิจัยร่วมกันเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผู้ประกอบการต้องดำเนินการและรองรับความเสี่ยงอีกมากเพื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้เป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่สามารถแข่งขันและทำกำไรได้ การผลิตสินค้าให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค การสร้างแผนการตลาด การรองรับความเสี่ยงจากความผันผวนของราคาวัตถุดิบ การแข่งขันด้านการตลาดกับสินค้าจากต่างประเทศและสินค้าในประเทศ ข้อกำหนดและข้อจำกัดทางกฎหมายเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการต้องประสบ โดยเฉพาะผู้ประกอบการที่พยายามสร้างสินค้านวัตกรรมที่ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาก่อน การเปิดตัวของเขตเศรษฐกิจการค้าเสรีระหว่างประเทศไทยกับต่างประเทศได้

เปิดโอกาสให้กับผู้ประกอบการของไทยได้ขายสินค้าในตลาดที่ใหญ่ขึ้น แต่โอกาสนั้นก็มากับการแข่งขันทั้งการแข่งขันในราคาของสินค้าและนวัตกรรมที่อยู่เบื้องหลังของสินค้านั้น

สำหรับอาจารย์และนักวิจัยที่ต้องการทำงานวิจัยประยุกต์และงานวิจัยเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องมีองค์ความรู้พื้นฐานและทีมงานที่แข็งแกร่งก่อน เนื่องจากการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างและภายหลังการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นต้องการความเชี่ยวชาญและทีมงานที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ผู้ช่วยนักวิจัยที่เป็นนิสิตระดับปริญญาโท-เอก หรือผู้ช่วยนักวิจัยเต็มเวลา มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากอาจารย์หรือนักวิจัยอาจติดภารกิจระหว่างที่เกิดปัญหาที่ต้องการการแก้ไขอย่างทันท่วงที การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาจใช้เวลานานกว่าที่คาดหมายไว้ ผู้ประกอบการและนักวิจัยต้องมีแผนสำรองสำหรับความล่าช้าด้วย

ผลงานวิจัย รางวัลนวัตกรรมระดับชาติและนานาชาติ และ ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่เกิดขึ้นจากผลงานวิจัยพื้นฐานข้างต้น ได้พิสูจน์เป็นที่ประจักษ์ว่างานวิจัยพื้นฐานที่เน้นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ สามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดให้เป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่มีมูลค่าเชิงพาณิชย์ สร้างรายได้และสร้างงาน ส่งผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศ ผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมที่รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีสามารถพัฒนาสินค้าและบริการต่อเนื่องได้อย่างอิสระโดยไม่มีข้อจำกัด เนื่องจากเทคโนโลยีทั้งหมดพัฒนาโดยคณะนักวิจัยชาวไทย

เอกสารอ้างอิง

1. Parnklang, T., Lertvachirapaiboon, C., Pienpinijtham, P., Wongravee, K., Thammacharoen C. and Ekgasit, S. 2013. H_2O_2-triggered shape transformation of silver nanospheres to nanoprisms with controllable longitudinal LSPR wavelengths. *RSC Advances.* 3(31): 12886-12894.
2. Parnklang, T., Lamlua, B., Gatemala, H., Thammacharoen, C., Kuimalee, S., Lohwongwatana, B. and Ekgasit, S. 2015. Shape transformation of silver nanospheres to silver nanoplates induced by redox reaction of hydrogen peroxide. *Materials Chemistry and Physics.* 153: 127-134.
3. Wongravee, K.., Parnklang, T., Pienpinijtham, P., Lertvachirapaiboon, C., Ozaki, Y., Thammacharoen C. and Ekgasit, S. 2013. Chemometric analysis of spectroscopic data on shape evolution of silver nanoparticles induced by hydrogen peroxide. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 15(12): 4183-4189.
4. สนอง เอกสิทธิ์, ชูชาติ ธรรมเจริญ, เทวารักษ์ ปานกลาง, ชุติพันธ์ เลิศวชิรไพบูลย์, อนุภาคระดับนาโนเมตรของโลหะเงินแบบแผ่นปริซึมที่สามารถควบคุมสมบัติเชิงแสงได้และวิธีการผลิต, สิทธิบัตรไทย, เลขที่คำขอ 1301002072, วันยื่นคำขอ 19 เมษายน 2556
5. Nitinaivinij, K., Parnklang, T., Thammacharoen, C., Ekgasit S., and Wongravee, K. 2014. Colorimetric determination of hydrogen peroxide by morphological decomposition of silver nanoprisms coupled with chromaticity analysis. *Analytical Methods.* 6(24): 9816-9824.

6. Gatemala, H., Pienpinijtham, P., Thammacharoen, C., and Ekgasit, S. 2015. Rapid fabrication of silver microplates under an oxidative etching environment consisting of O_2^-/Cl^-, NH_4OH/H_2O_2, and H_2O_2. *CrystEngComm.* 17(29): 5530-5537.
7. Gatemala, H., Thammacharoen, C. and Ekgasit, S. 2014. 3D AgCl microstructures selectively fabricated via Cl-induced precipitation from $Ag(NH_3)^{2+}$. *CrystEngComm.* 16(29): 6688-6696.
8. Wongravee, K., Gatemala, H., Thammacharoen, C., Ekgasit, S., Vantasin, S., Tanabe, I. and Ozaki, Y. 2015. Nanoporous silver microstructure for single particle surface-enhanced Raman scattering spectroscopy. *RSC Advances.* 5(2): 1391-1397.
9. Gatemala, H., Thammacharoen, C., Ekgasit, S. and Pienpinijtham, P. 2016. 3D nanoporous Ag microstructures fabricated from AgCl microcrystal templates via concerted oxidative etching/re-deposition and galvanic replacement. *CrystEngComm.* 18(35): 6664-6672.
10. Vantasin, S., Ji, W., Tanaka, Y., Kitahama, Y., Wang, M., Wongravee, K., Gatemala, H., Ekgasit, S. and Ozaki, Y. 2016. 3D SERS Imaging Using Chemically Synthesized Highly Symmetric Nanoporous Silver Microparticles. *Angewandte Chemie International Edition.* 55(29): 8391-8395.
11. Pienpinijtham, P., Thammacharoen, C. and Ekgasit, S. 2012. Green synthesis of size controllable and uniform gold nanospheres using alkaline degradation intermediates of soluble starch as reducing agent and stabilizer. *Macromolecular Research.* 20(12): 1281-1288.
12. Vantasin, S., Pienpinijtham, P., Wongravee, K., Thammacharoen, C. and Ekgasit, S. 2013. Naked eye colorimetric quantification of protein content in milk using starch-stabilized gold nanoparticles. *Sensors and Actuators B-Chemical.* 177: 131-137
13. Nootchanat, S., Thammacharoen, C., Lohwongwatana, B. and Ekgasit, S. 2013. Formation of large H_2O_2-reduced gold nanosheets via starch-induced two-dimensional oriented attachment. *RSC Advances.* 3(11): 3707-3716.
14. Pienpinijtham, P., Han, X.X., Suzuki, T., Thammacharoen, C., Ekgasit, S. and Ozaki, Y. 2012. Micrometer-sized gold nanoplates: starch-mediated photochemical reduction synthesis and possibility of application to tip-enhanced Raman scattering (TERS). *Physical Chemistry Chemical Physics.* 14(27): 9636-9641.
15. Pienpinijtham, P., Han, X. X., Ekgasit, S. and Ozaki Y. 2012. An ionic surfactant-mediated Langmuir-Blodgett method to construct gold nanoparticle films for surface-enhanced Raman scattering. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 14(29): 10132-10139.

16. Pienpinijtham, P., Sornprasit, P., Wongravee, K., Thammacharoen, C. and Ekgasit S. 2015. Gold microsheets having nano/microporous structures fabricated by ultrasonic-assisted cyclic galvanic replacement. *RSC Advances.* 5(95): 78315-78323.
17. Pienpinijtham, P., Vantasin, S., Kitahama, Y., Ekgasit, S. and Ozaki, Y. 2016. Nanoscale pH Profile at a Solution/Solid Interface by Chemically Modified Tip-Enhanced Raman Scattering. *Journal of Physical Chemistry C.* 120(27): 14663-14668.
18. Pienpinijtham, P., Han, X. X., Ekgasit, S. and Ozaki, Y. 2011. Highly Sensitive and Selective Determination of Iodide and Thiocyanate Concentrations Using Surface-Enhanced Raman Scattering of Starch-Reduced Gold Nanoparticles. *Analytical Chemistry.* 83(10): 3655-3662.
19. Lertvachirapaiboon, C., Yamazaki, R., Pienpinijtham, P., Baba, A., Ekgasit, S., Thammacharoen, C., Shinbo, K., Kato, K. and Kaneko, F. 2012. Solution-based fabrication of gold grating film for use as a surface plasmon resonance sensor chip. *Sensors and Actuators B-Chemical.* 173: 316-321.
20. Lertvachirapaiboon, C., Supunyabut, C., Baba, A., Ekgasit, S., Thammacharoen, C., Shinbo, K., Kato, K. and Kaneko, F. 2013. Transmission Surface Plasmon Resonance Signal Enhancement via Growth of Gold Nanoparticles on a Gold Grating Surface. *Plasmonics.* 8(2): 369-375.
21. Lertvachirapaiboon, C., Baba, A., Ekgasit, S., Thammacharoen, C., Shinbo, K., Kato, K. and Kaneko, F. 2014. Distance-Dependent Surface Plasmon Resonance Coupling Between a Gold Grating Surface and Silver Nanoparticles. *Plasmonics.* 9(4): 899-905.
22. Nootchanat, S., Ninsonti, H., Baba, A., Ekgasit, S., Thammacharoen, C., Shinbo, K., Kato, K. and Kaneko, F. 2014. Investigation of localized surface plasmon/grating-coupled surface plasmon enhanced photocurrent in TiO_2 thin films. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 16(44): 24484-24492.
23. Pangdam, A., Nootchanat, S., Ishikawa, R., Shinbo, K., Kato, K., Kaneko, F., Thammacharoen, C., Ekgasit, S. and Baba, A. 2016. Effect of urchin-like gold nanoparticles in organic thin-film solar cells. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 18(27): 18500-18506.