บทที่ 1
เอกสารเพื่อยื่นขอรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ข้อเสนอโครงการและรายละเอียดการดำเนินงานโครงการฉบับเต็ม

ชื่อโครงการวิจัย **การบ่มแข็งและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ**
Age Hardening and Microstructure of the Silver Alloy for Jewelry

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย

( ) โครงการวิจัยใหม่

(✓) โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา 2 ปี ปีนี้เป็นปีที่ 2 รหัสโครงการวิจัย 76132

I **สอดคล้องกับโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554)**

ยุทธศาสตร์ การปรับโครงสร้างทางเศรษฐกิจให้สมดุลและยั่งยืน

- การปรับโครงสร้างการผลิตเพื่อเพิ่มผลิตภาพ และคุณค่าของสินค้าและบริการบนฐานความรู้และความเป็นไทย

II **สอดคล้องกับโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551-2553)**

- **ยุทธศาสตร์การวิจัยที่** 3การสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางวิทยาการและทรัพยากรบุคคล
- **กลยุทธ์การวิจัยที่** 1 การพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ ทางสังคมศาสตร์ และการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในวิทยาการต่างๆ
- **แผนงานวิจัยที่** 1 การศึกษาและพัฒนานวัตกรรมและองค์ความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ วัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสาร นาโนเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข เทคโนโลยีด้านอาวุธยุทโธปกรณี เป็นต้น

III **สอดคล้องกับโครงการวิจัยกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2551-2553)**

- **กลุ่มเรื่อง** 9 เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม

IV **สอดคล้องกับโครงการวิจัยกับนโยบายรัฐบาล**

- นโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก : เรื่องเพิ่มศักยภาพของกองทุนหมู่บ้านและชุมชนเมือง

- นโยบายระยะการบริหารราชการ 4 ปี ของรัฐบาล : นโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. ผู้รับผิดชอบโครงการ

1.1 หัวหน้าโครงการ นางสาวชุติมันต์ จันทร์เมือง
MISS CHUTIMUN CHANMUANG

สถานที่ทำงาน คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
ตำบลโขมง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี 22170
Faculty of Gems, Burapha University, Chantaburi IT Campus,
T.Kamoong, A.Thamai, Chantaburi 22170

โทรศัพท์ 0-3931-0000 ต่อ 3514
โทรสาร 0-3943-2950
e-mail chutimun@buu.ac.th
สัดส่วนการทำวิจัย 80 เปอร์เซนต์ (%)

1.2 ผู้ร่วมวิจัย นายธรณินทร์ ไชยเรืองศรี
MR. TORRANIN CHAIRUANGSRI

สถานที่ทำงาน ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, T.Suteph, A. Muang, Chiang Mai 50200

โทรศัพท์ 0-5394-3401
โทรสาร 0-5389-2262
e-mail chato@chiangmai.ac.th
สัดส่วนการทำวิจัย 20 เปอร์เซนต์ (%)

2. ประเภทของการวิจัย การพัฒนาทดลอง (experimental development)

3. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

4. คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

ภาษาไทย โลหะผสมเงิน โครงสร้างจุลภาค การบ่มแข็ง การหมอง ความแข็ง
ภาษาอังกฤษ silver alloy, microstructure, age hardening, tarnishing, hardness

1) ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกอยู่ใน 5 อันดับแรกของประเทศ เนื่องจากความได้เปรียบหลายประการ เช่น มีแรงงานฝีมือดีในการเจียรนัย รวมถึงความสามารถพิเศษในการเผาพลอย นอกจากความโดดเด่นทางความงามของอัญมณีแล้ว วัสดุสำหรับเครื่องประดับก็มีความสวยงามและมีคุณค่าไม่แพ้กัน เนื่องจากวัสดุดังกล่าวนิยมผลิตจากกลุ่มโลหะมีค่า ซึ่งมีความสวยงามและราคาสูง เช่น ทอง (Au) เงิน (Ag) แพลทินัม (Pt) และแพลเลเดียม (Pd) เป็นต้น

โลหะเงินจัดเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มีความต้องการทั้งในประเทศและต่างประเทศสูง เนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับโลหะมีค่าชนิดอื่นๆ และมีสมบัติในการสะท้อนแสงได้สูงถึง 95% จึงทำให้ผิวโลหะหลังการขัดมีลักษณะมันวาว ทั้งยังมีความอ่อนตัว สามารถดึกเป็นเส้นและขึ้นรูปได้ดี จึงมักนิยมทำเครื่องประดับต่าง ๆ แต่เนื่องจากโลหะเงินบริสุทธิ์นั้นมีความอ่อนตัวมากเกินไป ไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ จึงมีการปรับปรุงสมบัติของโลหะเงินให้เหมาะกับการทำเครื่องประดับมากขึ้น โดยยังคงให้มีปริมาณของโลหะเงินไม่ต่ำกว่า 92.5% โดยน้ำหนัก การปรับปรุงสมบัติโลหะเงินสามารถทำได้ เช่น การเจือด้วยทองแดง (Cu) การเจือสังกะสี (Zn) หรือฟอสฟอรัส (P) ในระหว่างการหลอมเงินเพื่อช่วยกำจัดออกซิเจนในน้ำโลหะเหลว เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม โลหะผสมเงินมีคุณสมบัติที่คล้ายกับโลหะผสมทั่วไป เช่น ทองเหลือง บรอนซ์ และทองกระรัตต่ำ (8-10 กระรัต) คือสามารถเกิดปัญหาเนื่องจากความหมองและจุดด่างดำง่าย เนื่องจากโลหะผสมเงินเกิดออกไซด์ได้ง่ายโดยการสัมผัสกับความชื้นในอากาศ ซึ่งทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลหรือเฉดสีต่าง ๆ เช่น น้ำเงิน เหลือง เขียว และดำขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งปัญหาการหมองเหล่านี้จะไม่พบในโลหะชั้นสูงเช่นทองคำบริสุทธิ์ แพลลาเดียม แพลทินัม หรือเงินบริสุทธิ์ ซึ่งการเกิดการหมองในโลหะเจือนั้นเกิดจากกระบวนการที่ซับซ้อนจากปัจจัยทางเคมี คือมีความสัมพันธ์กับสารเคมีที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน โดยเกี่ยวเนื่องอย่างมากกับสภาพแวดล้อมในเขตอุตสาหกรรมและในเมือง ถึงแม้ว่าปัจจุบันยังไม่สามารถค้นพบวิธีที่จะป้องกันการเกิดการหมองได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็สามารถยืดระยะเวลาการเกิดการหมองออกไปได้ โดยวิธีต่างๆ เช่น การเจือด้วยโลหะชั้นสูง การเจือซิลิกอน (Si) และสังกะสี (Zn) เพื่อเพิ่มความสามารถต่อการต้านทานการหมองและการกัดกร่อน หรือการเติมสารบางชนิดเพื่อให้ขนาดเกรนของโลหะเล็กลง (grain refiner) การชุบด้วยโลหะเงินบริสุทธิ์ ชุบด้วยโรเดียม หรือชุบสารอินทรีย์กันหมอง เป็นต้น แต่เนื่องจากในการเติมโลหะมีตระกูลเพื่อเป็นส่วนผสมของเงินเจือนั้น จะทำให้ราคาต้นทุนในกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นมาก จึงไม่นิยมใช้ในเงินที่เจือด้วยโลหะมีตระกูล ดังนั้นการผลิตเงินผสมในอุตสาหกรรมเครื่องประดับโดยทั่วไปนั้น การเติมซิลิกอนและสังกะสีจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการปรับปรุงสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนที่นิยมใช้เป็นโลหะผสมเงินเนื่องจากมีราคาถูกกว่ามาก อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่สามารถหาวิธีการในการป้องกันการกัดกร่อนที่สมบูรณ์ได้

จากปัญหาดังกล่าวนี้ การปรับปรุงสมบัติโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับมีความสำคัญและความจำเป็นเป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุ และเนื่องจากงานวิจัยด้านโลหะวิทยาของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับมีน้อยมาก โดยเฉพาะการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนด้วยการบ่มแข็ง (age hardening) และการศึกษาโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการบ่มแข็งในโลหะผสมเงินระบบ Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ซึ่งเป็นโลหะผสมเงิน

กันหมองทางการค้า โดยการเปรียบเทียบกับเงินสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นระบบ Ag-Cu งานวิจัยดังกล่าวนอกจากสามารถส่งเสริมองค์ความรู้พื้นฐานที่มีอยู่และการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ในการปรับปรุงคุณสมบัติสำหรับเครื่องประดับเงินแล้ว และยังเป็นการพัฒนาศักยภาพทั้งทางวิชาการและส่งเสริมการพัฒนาในอุตสาหกรรมเครื่องประดับของไทยเพื่อก้าวสู่การเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมเครื่องประดับอย่างสมบูรณ์ในอนาคตอีกด้วย

2) วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับด้วยวิธีการบ่มแข็ง

2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการบ่มแข็งต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si

3) ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะผสมเงินด้วยวิธีบ่มแข็งต่อสมบัติทางกล สมบัติทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ โดยทำการศึกษาในโลหะผสมเงิน ในระบบ Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ที่ส่วนผสมต่าง ๆ ในระบบสุญญากาศเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1000-1025 °C โลหะผสมเงินระบบดังกล่าวมีความสามารถต่อการต้านทานการหมอง จึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ และเพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีบ่มแข็งต่อความแข็ง (hardness) ความแข็งแรง (strength) และความสามารถในการต้านทานการหมอง (tarnishing resistance) ของโลหะผสมเงินดังกล่าว จึงถูกทดสอบเปรียบเทียบกับโลหะผสมเงินสเตอร์ลิง (Sterling) ซึ่งเป็นระบบ Ag-Cu โดยมีปริมาณ Ag 93.5 % และ Cu 6.5 %โดยน้ำหนัก

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโลหะผสมเงินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีบ่มแข็ง สามารถทำได้โดยการตรวจวัดสมบัติทางกล ด้วยการวัดความแข็ง การตรวจสอบลักษณะสัณฐานและโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ได้แก่ X-ray diffractometer (XRD) กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) และการวิเคราะห์บางบริเวณด้วยเทคนิค Selected-Area Diffraction (SAD) รวมถึงทดสอบความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีในเหงื่อเทียมซึ่งเป็นสารละลาย Na_2S

4) ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การบ่มแข็ง (age hardening) คือกระบวนการในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งสำหรับโลหะที่มีความอ่อน (ductile) ด้วยวิธีทางความร้อน โดยการทำให้เกิดการตกตะกอนขนาดเล็กและมีการกระจายตัวสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุหลัก (matrix) ตะกอนขนาดเล็กดังกล่าวนี้ทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของ dislocation จึงทำให้โลหะผสมดังกล่าวมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นกระบวนการนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ precipitation hardening

กระบวนการบ่มแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ [1]

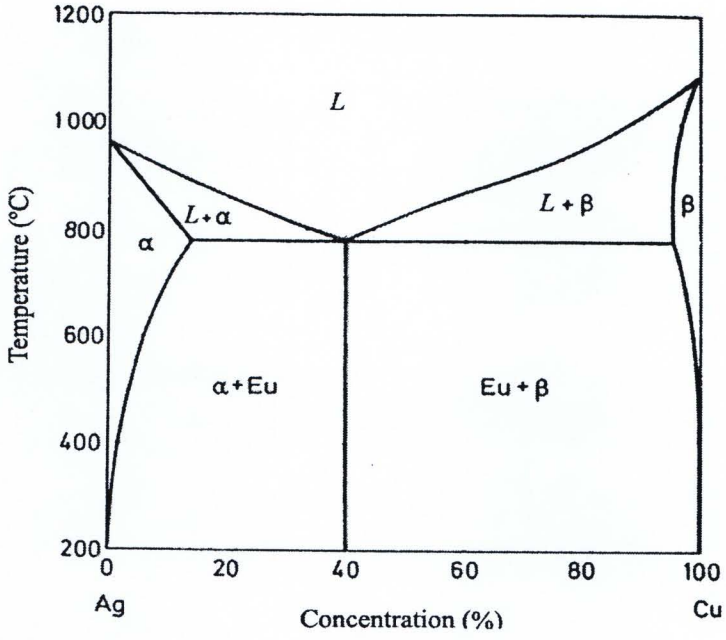
1) การอบละลาย (solution treatment) : เป็นการให้ความร้อนแก่โลหะผสมที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิโซลวัส (solvus temperature) และรักษาไว้ที่อุณหภูมินั้นจนสารละลายของแข็งมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)
2) การทำเย็นอย่างรวดเร็ว (quenching) : โลหะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วถึงอุณหภูมิห้อง การเย็นตัวอย่างรวดเร็วดังกล่าวจะทำให้อะตอมไม่สามารถแพร่มารวมตัวกันเป็นนิวเคลียสใหม่ได้ ทำให้เกิดสารละลายของแข็งอิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturated solid solution)
3) การบ่ม (ageing) : สารละลายของแข็งอิ่มตัวยิ่งยวดซึ่งเป็นวัฏภาค (phase) ที่ไม่เสถียร ถูกให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิโซลวัส อะตอมของตัวถูกละลายสามารถเคลื่อนที่รวมตัวกันเกิดเป็นตะกอนขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อวัสดุหลัก

โดยขั้นตอนการบ่มเพื่อต้องการให้ตัวถูกละลายของแข็งตกตะกอนขนาดเล็กจำนวนมากนี้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ artificial ageing โดยการบ่มโลหะผสมที่อุณหภูมิ 190 – 260°C เพื่อให้เกิดการตกตะกอน และ natural ageing โดยปล่อยให้โลหะผสมบ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้โลหะผสมที่มีความแข็งแรงมากกว่าแต่ใช้เวลาในการบ่มตัวนานกว่าวิธีการแรก

อย่างไรก็ตามการบ่มแข็งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งของโลหะผสมนั้นยังมีข้อจำกัดบางประการ คือ สามารถใช้สำหรับโลหะผสมบางชนิดเท่านั้น ข้อจำกัดสำหรับวัสดุที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการบ่มแข็งมีดังนี้

1) เป็นโลหะผสมที่สามารถละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิเหนือกว่าเส้นโซลวัส (solvus line) และเปลี่ยนเป็น 2 วัฏภาค เมื่อเย็นตัวลง
2) วัสดุหลักต้องเป็นวัสดุที่มีความนิ่มและอ่อนตัว ในขณะที่วัฏภาคที่ตกตะกอนมีความแข็ง
3) โลหะผสมมีความสามารถในการทำเย็นอย่างรวดเร็ว
4) มีการตกตะกอนของวัฏภาคที่มีลักษณะเดียวกัน

เนื่องจากโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับโดยทั่วไปนั้น มีส่วนผสมของเงินไม่น้อยกว่า 92.5 %โดยน้ำหนัก ดังนั้นเมื่อพิจารณาแผนภูมิสมดุล (Phase diagram) ของโลหะผสมเงิน-ทองแดง (Ag-Cu) แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าโลหะผสมเงินดังกล่าวสอดคล้องกับเงื่อนไขของการปรับปรุงคุณภาพโลหะด้วยวิธีบ่มแข็ง ดังนั้นกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยนี้คือการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si โดยการอบละลายที่อุณหภูมิ 700-800°C เวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 300°C เวลา 1 ชั่วโมง และเปรียบเทียบผลการบ่มแข็งที่สภาวะต่าง ๆ นอกจากนี้การทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนด้วยเหงื่อเทียมซึ่งเป็นสารละลาย Na_2S เพื่อยืนยันผลของการบ่มแข็งต่อการต้านทานทางเคมีของโลหะผสมเงินดังกล่าว



รูปที่ 1.1 แผนภูมิสมดุลของ Ag-Cu

9. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงสมบัติทั่วไปของโลหะผสมเงิน

โลหะเงินบริสุทธิ์นั้นมีสมบัติยืดหยุ่นสูง สามารถดึงขึ้นรูปได้ง่าย แต่เนื่องจากไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ สำหรับการใช้เป็นเครื่องประดับ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมโลหะบางชนิดลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ โดยโลหะผสมเงินหรือโลหะเงินเจือในการทำเป็นเครื่องประดับนั้นจะต้องมีปริมาณเงินไม่น้อยกว่า 92.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งธาตุที่นิยมเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติของโลหะเงิน เช่น การเติมทองแดง (Cu) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง การเติมสังกะสี (Zn) หรือฟอสฟอรัส (P) เพื่อช่วยกำจัดออกซิเจนในน้ำโลหะเหลว เป็นต้น โดยโลหะเงินผสมสำหรับเครื่องประดับที่ปรับปรุงสมบัติทางความแข็งที่มีส่วนผสมของทองแดงอยู่ในปริมาณ 7.5 % โดยน้ำหนัก นั้นเรียกว่า เงินสเตอลิง (Sterling Silver) โดยในการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติของเงินสเตอลิงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นสามารถทำได้โดยการลดปริมาณของทองแดงลง เนื่องจากเงินสเตอลิงหลังการหล่อ (as-cast sterling-silver alloy) จะมีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 60-70 HV ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะทั่วไป [2] ดังนั้นการเจือธาตุต่าง ๆ เช่น สังกะสี (Zn) ซิลิกอน (Si) เจอเมเนียม (Ge) อิริเดียม (Ir) และโบรอน (B) สามารถปรับปรุงสมบัติในระหว่างการหล่อขึ้นรูปได้

เนื่องจากเอกสารและงานวิจัยในโลหะสำหรับเครื่องประดับนั้นมีน้อยมาก ในที่นี้จึงได้ค้นคว้าและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงสมบัติของโลหะผสมเงินที่ใช้งานเฉพาะในด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น โลหะผสมเงินทางทันตกรรม โลหะผสมเงินทางอุตสาหกรรมและทางอิเล็กทรอนิก เป็นต้น ซึ่งกรรมวิธีในการปรับปรุงโลหะผสมเงินในด้านต่าง ๆ เหล่านี้ อาศัยหลักการเดียวกัน จึงสามารถเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับโลหะผสมเงินในงานเครื่องประดับได้เช่นกัน โดยการควบคุมสมบัติของโลหะ

ผสมเงินนั้นมีปัจจัยเกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ส่วนผสม สภาวะและอุณหภูมิในการหล่อ รวมถึงการควบคุมโครงสร้างจุลภาคโดยผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน (heat treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งภายหลังการหล่อ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อความแข็งของโลหะผสมเงิน นอกจากนี้ลักษณะสัณฐานของเฟสที่เกิดในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ก็มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะต้องควบคุมสภาวะของอุณหภูมิ เวลาและอัตราในการทำให้เย็นตัว (quenching) เพื่อทำให้โลหะเกิดเฟสเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการบ่มแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งของโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงนั้น MeFarland และคณะ [3] ทำการอบให้ละลายที่อุณหภูมิ 732 °C เวลา 30 นาที และบ่มที่อุณหภูมิ 300 °C เวลา 60 นาที ในขณะที่ Colombo และคณะ [2] อบให้เฟสเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 745 °C เวลา 60 นาที และอบบ่มที่อุณหภูมิ 140-347 °C เวลาไม่เกิน 25 นาที เพื่อทำการเปรียบเทียบความแข็งในสภาวะต่าง ๆ พบว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นความแข็งจะลดลงเนื่องจากตะกอนของทองแดงมีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้การศึกษาการเปลี่ยนเฟสและโครงสร้างจุลภาคในระหว่างการบ่มของโลหะผสมในระบบ Ag-Pd-Cu-Au โดยการใช้เทคนิค XRD และ SEM [4] พบว่า ในโลหะผสมเงินที่ผ่านอุณหภูมิปรับปรุงทางความร้อนที่ 700°C และอบบ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 350-400°C นั้นจะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นความแข็งก็จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ความแข็งที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกนี้คาดว่าเนื่องจากมีการตกผลึกของอนุภาคที่มีทองแดงผสมอยู่ในปริมาณสูง เมื่อเพิ่มเวลาของการอบบ่มมากขึ้น อนุภาคที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบหลักนี้ จะมีขนาดใหญ่มากขึ้น ดังนั้นการทำให้เกิดเฟสเป็นเนื้อเดียวกันจึงเป็นผลดีต่อสมบัติของโลหะเจือมากที่สุด จึงได้มีการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการป้องกันการตกผลึกของทองแดงในลักษณะดังกล่าว โดยอาศัยการวัดการต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุในสภาวะอบบ่มที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โดยศึกษาถึงสภาวะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสและการตกผลึก ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยเทอร์โมไดนามิกและจากการตรวจสอบเฟสในชิ้นงานก่อนการอบบ่มด้วยเทคนิค XRD, SEM และ EDS สามารถยืนยันการเกิดนิวเคลียสของผลึกที่มีปริมาณทองแดงสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1μm เกิดขึ้นในเฟสหลักซึ่งเป็นเงิน นิวเคลียสดังกล่าวนี้มีลักษณะเป็นแบบมีเนื้อสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มมากขึ้น ผลึกดังกล่าวนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากการแพร่มารวมตัวกันของทองแดงซึ่งผสมอยู่ในเนื้อโลหะเงินซึ่งเป็นเฟสหลัก (matrix) [2] ในขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับการผสมโลหะออกไซด์ (metal oxide) เช่น CdO, SnO_2 และ ZnO ในโครงสร้างหลักของเงิน [5] พบว่า ออกซิเจน (O) ที่ผสมอยู่ในเนื้อเงินจะเคลื่อนที่มารวมตัวกันด้วยกลไกการแพร่ โดยอาศัยทั้งการแพร่ตามแนวแลททิสของเงินรวมถึงแพร่ตามความบกพร่อง (defect) ของผลึก โดยในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ออกซิเจนจะแพร่ผ่านโครงสร้างเงินโดยกลไกการแพร่แบบแทรกที่ (interstitial mechanism) ผ่านบริเวณที่มีความต้านทานการแพร่ต่ำ เช่น รอยต่อเกรน (grain boundary) และบริเวณผิวอิสระ (free surface) ในขณะที่การแพรในสภาวะอุณหภูมิสูง อะตอมของออกซิเจนจะแพร่ออกไปสู่ระนาบที่มีดัชนีต่ำลง (low indexed planes) ดังนั้นในสภาวะนี้อะตอมของออกซิเจนจะสามารถแพร่เข้าไปแทนที่ (substitute) ในตำแหน่งของอะตอมของเงินได้ ในกระบวนการแพร่แบบหลังนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดโครงสร้างเป็นลักษณะชั้น ๆ (lamellar microstructure) ในโครงสร้างหลักของเงินได้ โดยโลหะผสมในระบบ Ag-4wt.%Er พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน (anneal) ตั้งแต่ 400-700 °C ในอากาศ จะเกิดโครงสร้างแบบเป็นชั้น ๆ ดังกล่าวนี้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบอ่อนวัสดุในระบบนี้ไม่ควรเกิน 300 °C [5]

ในการศึกษาเงินผสมในระบบ Ag-Pd-In-Sn เพื่อวัสดุทางทันตกรรม [6] พบโครงสร้างขนาดเล็กลักษณะเป็นชั้น ๆ เกิดขึ้นในโลหะหลังการหล่อเช่นเดียวกัน และหลังจากการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน พบว่าโครงสร้างนี้มีการตกผลึกใหม่เป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้ความแข็งของโลหะผสมเพิ่มขึ้น

การปรับปรุงสมบัติด้านการหมองของโลหะเงินผสม

เนื่องจากโลหะเงินเป็นโลหะที่เกิดการหมองได้ง่ายชนิดหนึ่ง สาเหตุของการหมองนี้เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของโลหะกับก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศ เกิดการกัดกร่อนขึ้นเป็นฟิล์มออกไซด์บริเวณผิวของโลหะ ชั้นฟิล์มนี้มีความหนาประมาณ 10-20 นาโนเมตร [7] ซึ่งนอกจากในโลหะเงินแล้ว การหมองยังสามารถเกิดในโลหะทองแดง ทองเหลืองและอะลูมิเนียม ได้เช่นกัน แต่ในโลหะเงินผสมนั้น ออกไซด์จะอยู่ในรูปของสารประกอบคลอไรด์ สารประกอบซัลไฟด์และซัลเฟอร์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide) เป็นต้น งานวิจัยเกี่ยวกับการกันหมองและการกัดกร่อนของเงินในระบบ Ag-Pd และ Ag-Cu [8-9] ยืนยันการกัดกร่อนของโลหะผสมเงิน มีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อโลหะผสมอยู่ภายใต้สภาวะที่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบ

สำหรับการป้องกันการหมองในโลหะผสมเงินที่ใช้เป็นเครื่องประดับนั้น ปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การชุบด้วยโลหะเงินบริสุทธิ์ การชุบด้วยโรเดียม (Rd) การเคลือบสารเคมีกันหมอง และการพัฒนาโลหะผสมของเงิน เป็นต้น งานวิจัยเกี่ยวกับการป้องกันการหมองนั้นส่วนมากนิยมใช้การเคลือบป้องกันการหมอง ดังนั้นจึงมีวิธีการในการป้องกันการหมองหลากหลาย เช่น มีการพัฒนาระบบการเคลือบด้วย plasmapolymer [7] เพื่อใช้ในการผลิตเงินในการทำเครื่องประดับขึ้นในประเทศเยอรมัน พบว่าชั้นฟิล์มที่เคลือบบนตัวเรือนเครื่องประดับนั้น สามารถป้องกันการหมองได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถป้องกันการขูดขีดที่เกิดในขั้นตอนการบรรจุได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการป้องกันการหมองด้วยการเคลือบด้วยฟิล์มของ poly(amino-triazole) และ hexadecane-thiol [10] โดยการใช้กระบวนการสังเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี การวิเคราะห์ฟิล์มที่เคลือบโดยการวัดการสะท้อนแสง และการทดสอบด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี พบว่าฟิล์มที่เกิดมีลักษณะใส ไม่มีสี แต่ฟิล์มของ thiol จะมีการหลุดลอกได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน

ดังจะเห็นได้จากการทบทวนเอกสารทางวิชาการที่ผ่านมา ยังไม่ผู้ใดเสนอคำอธิบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับผลของการบ่มแข็งต่อคุณสมบัติทางกล ทางเคมี และทางโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับในระบบ Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ซึ่งเป็นโลหะผสมเงินที่มีความสามารถต่อการต้านทานการหมอง ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของ Pd, Zn และ Si ต่อการบ่มแข็งในโลหะผสมเงิน ซึ่งสามารถทำโดยการเปรียบเทียบกับเงินสเตอร์ลิงในระบบ Ag-Cu และเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางกลและทางเคมีในโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ ซึ่งผลจากการศึกษาในโครงการนี้นอกจากสามารถส่งเสริมองค์ความรู้พื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางสู่การวิจัยทางโลหะวิทยาของโลหะผสมเงินแล้ว ยังเป็นการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่เพื่อการปรับปรุงและพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย เพื่อก้าวสู่ความเป็นหนึ่งแห่งวงการเครื่องประดับอีกด้วย

10. เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

[1] Askeland, D.R., *The Science and Engineering of Materials, 3rd edition*. (1996) Chapman & Hall : Oxford.

[2] Colombo, S., Battaini, P. and Airoldi, G., Precipitation kinetics in Ag-7.5 wt.% Cu alloy studied by isothermal DSC and electrical-resistance measurements. *J. Alloy. Compd.* 437 (2007)107-112.

[3] McFarland, J.C., Thomas, F., Age Hardening Silver of Sterling or Higher Standard. (1934). United States Patent Office, no. 1984225.

[4] Yu, C.H., Park, M.G., Kwon, Y.H., Seol, H.J. and Kim. H.I., Phase transformation and microstructural changes during ageing process of an Ag-Pd-Cu-Au alloy. *J. Alloy. Compd.* 460 (2008) 331-336.

[5] Herman, D.M., Cao, G.H., Becker, A.T., Russell, A.M. and Constant, A.P. Microstructure and properties of a silver-erbium oxide alloy. *J. Alloy. Compd.* 454 (2008) 292-296.

[6] Guo, W.H., Brantley, W.A., Clark, W.A.T., Monaghan, P. and Mills, M.J., Transmission electron microscopic investigation of a Pd-Ag-In-Sn dental alloy. *Biomaterials* 24 (2003) 1705-1712.

[7] Frey, T. and Kögel, M. Tarnish protection of silver jewels by plasmapolymer coatings. Surf. Coat. Tech. 173-174 (2003) 902-904.

[8] Joska, L., Marek, M. and Leitner, J. The mechanism of corrosion of palladium-silver binary alloys in artificial saliva. *Biomaterials* 26 (2005) 1605-1611.

[9] Zaky, M.A. Role of Cl^- in breakdown of Cu-Ag alloys passivity in aqueous carbonate solutions. *Electrochimi. Acta.* 51 (2006) 2057-2062.

[10] Bernard, M.C., Dauvergne, E., Evesque, M., Keddam, M. and Takenouti, H. Reduction of silver tarnishing and protection against subsequent corrosion. Corros. Sci. 47 (2005) 663-379.

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

11.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผลมเงินสำหรับเครื่องประดับในคณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี

11.2 เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่สำหรับการวิจัยทางโลหะวิทยาของเครื่องประดับ

11.3 เพื่อบริการความรู้แก่ประชาชนผู้สนใจทั่วไปและผู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเครื่องประดับ

11.4 เพื่อบริการความรู้แก่เอกชนและภาคธุรกิจอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

11.5 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการวิจัยทางวิชาการสู่อุตสาหกรรมเครื่องประดับของไทย

11.6 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ

11.7 เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลการวิจัยลงในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ รวมทั้งการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

11.8 สามารถจดสิทธิบัตรการปรับปรุงสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผลมเงินสำหรับเครื่องประดับโดยวิธีการบ่มแข็ง

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

โครงการวิจัยนี้มีแผนการถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่มหลักคือ

1) <u>กลุ่มงานวิจัย</u> โดยการเผยแพร่เพื่อตีพิมพ์งานวิจัยในวารสารวิชาการทั้งระดับประเทศและระดับนานาชาติ โดยคาดว่างานวิจัยนี้จะสามารถตีพิมพ์ได้ อย่างน้อย 2 หัวข้อ ดังนี้

- ผลของการบ่มแข็งต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ ซึ่งคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์ได้ในวารสาร Corrosion Science หรือ Materials Chemistry and Physics
- จุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของโลหะผสมสำหรับเครื่องประดับในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ที่ผ่านการบ่มแข็ง ซึ่งคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์ได้ในวารสาร Materials Science and Engineering A หรือ Journal of Alloys and Compounds

2) <u>กลุ่มผู้ผลิต</u> โดยการพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยสำหรับผู้สนใจหรือเกี่ยวข้องในการผลิตเครื่องประดับ โดยการเผยแพร่งานวิจัยที่ตีพิมพ์ลงในระบบอินเตอร์เนตและมีข้อมูลการวิจัยพร้อมรายละเอียดเพิ่มเติมใน http://www.janburi.buu.ac.th/~gems/main.html ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของคณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวมีแผนการเผยแพร่แก่ผู้สนใจทั่วไปโดยการเผยแพร่ในงานแสดงสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ เช่น "เปิดโลกอัญมณีและของดีเมืองจันท์" ซึ่งคณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ได้เข้าร่วมงานดังกล่าวเป็นประจำทุกปี เพื่อประชาสัมพันธ์หน่วยงานและจัดแสดงผลงานของนิสิต

13. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการถึงผลของการบ่มแข็งต่อสมบัติทางกล ทางเคมีและทางโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับในระบบต่าง ๆ ในการหล่อด้วยระบบสุญญากาศ โดยสถานที่ทำการทดลอง เตรียมตัวอย่างโลหะผสม การบ่มแข็ง การวิเคราะห์เบื้องต้นและการวัดความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อน สามารถดำเนินการ ณ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ คือ การวัดความแข็ง การตรวจวัดและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งแบบส่องกราดและแบบส่องผ่าน สามารถดำเนินการที่ภาควิชาเคมีอตุสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอน (EMRSc) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

13.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง

13.2 จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์

13.3 จัดเตรียมโลหะผสมเงินในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd, Ag-Cu-Zn-Si โดยมีสัดส่วนเงิน 93.5 %โดยน้ำหนัก หล่อภายใต้ระบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 1000-1025 °C

13.4 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและลักษณะสัณฐานเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope, OM) วัดความแข็ง ด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester) รวมถึงศึกษาโครงสร้างจุลภาคและลักษณะสัณฐานวิทยาของเฟส ด้วย

เทคนิค X-ray Diffractometer (XRD) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

13.5 ทำการบ่มแข็งที่สภาวะต่าง ๆโดยการอบละลายที่อุณหภูมิ 700, 750 และ 800°C เวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 300 °C เวลา 1 ชั่วโมง

13.6 เปรียบเทียบความแข็ง โครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยาของเฟส ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง เทคนิค XRD และ SEM

13.7 ทดสอบและเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อการหมอง ภายใต้การเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลาย Na_2S

13.8 เตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)

13.9 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูง ด้วย TEM พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของเฟสด้วยเทคนิค Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) และ Selected-Area Diffraction (SAD)

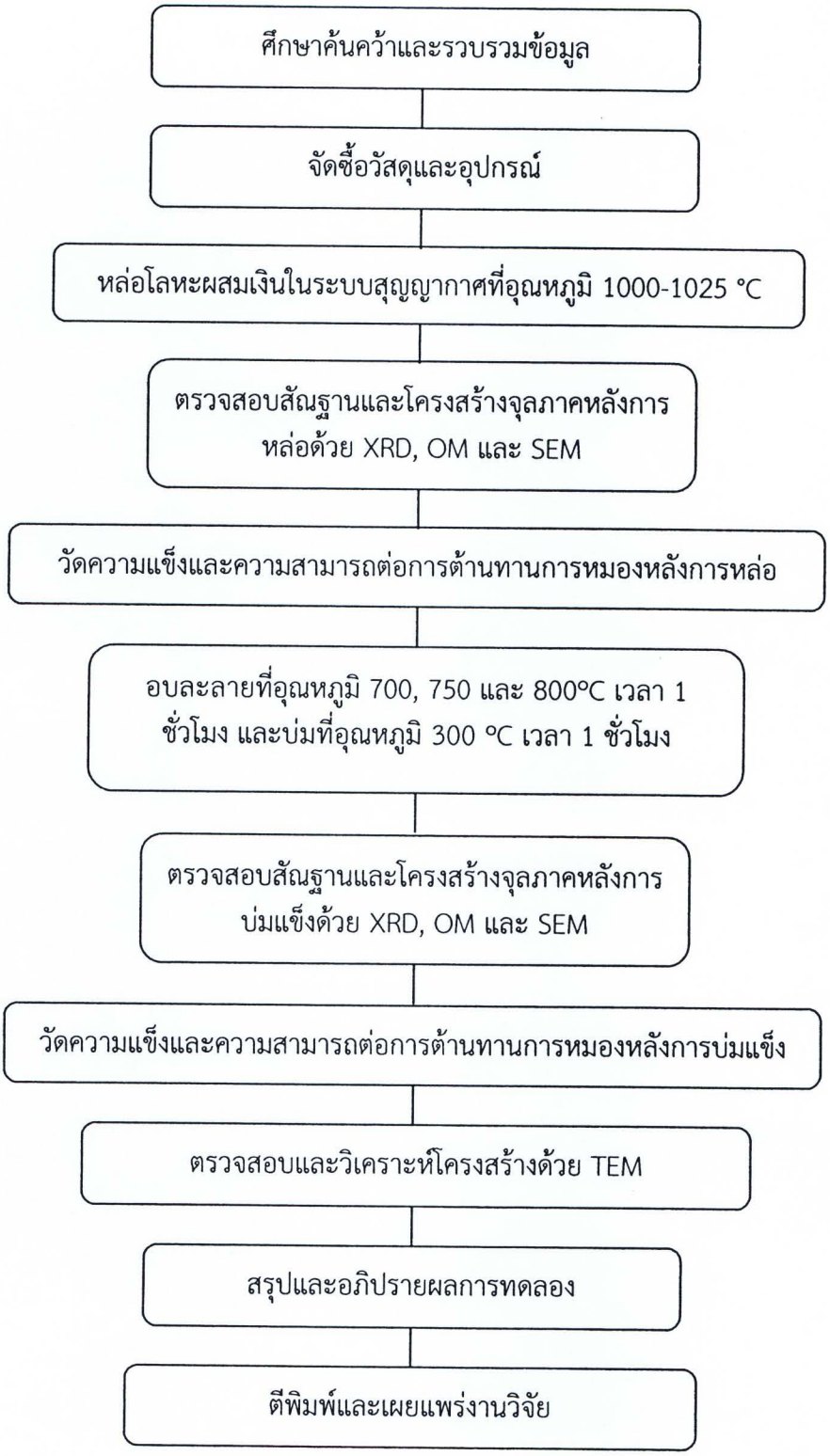
13.10 เลือกสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วย TEM

13.11 อภิปรายผลการทดลองที่ได้จากการบ่มแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลทางเคมี และเปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาคการที่ส่วนผสมและสภาวะต่าง ๆ

13.12 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในรูปแบบการเขียนรายงานและเตรียมผลงานเพื่อการตีพิมพ์ทั้งในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

13.13 นำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยเผยแพร่แก่ผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้องในการผลิตเครื่องประดับ

จากแผนวิธีดำเนินการวิจัยข้างต้น สามารถสรุปดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนวิธีดำเนินการวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

14. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีกำหนดระยะเวลา 2 ปี ซึ่งมีรายละเอียดและแผนการดำเนินงานดังนี้

แผนงานปีที่ 1

ในปีที่ 1 นี้ ผู้วิจัยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาถึงผลของการบ่มแข็งของโลหะผสมเงินในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล ทางเคมี รวมถึงสัญฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้น เพื่อเปรียบเทียบผลของธาตุเจือ คือ Pd, Zn และ Si ต่อการปรับปรุงคุณภาพด้วยการบ่มแข็ง โดยมีแผนขั้นตอนการดำเนินงานปีที่ 1 ดังนี้

- ศึกษาและค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- หล่อโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ในระบบสุญญากาศ
- วัดความแข็งและความต้านทานแรงดึงของโลหะผสมเงินจากการหล่อที่ส่วนผสมต่าง ๆ ด้วยเครื่องวัดความแข็ง
- ตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิค XRD
- ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานของโลหะผสม ด้วย OM และ SEM รวมถึงการตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิค EDS
- จัดสร้างระบบในการตรวจวัดความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมเงิน ในเหงื่อเทียมซึ่งเป็นสารละลายของ Na_2S
- วัดความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนด้วยเหงื่อเทียมก่อนการบ่มแข็ง
- ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการบ่มแข็ง โดยใช้อุณหภูมิละลายที่ 700-800 °C เวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่ 300 °C เวลา 1 ชั่วโมง
- ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานของโลหะผสมด้วย XRD, OM และ SEM
- วัดความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนด้วยเหงื่อเทียมหลังการบ่มแข็ง
- วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยตลอดจนข้อเสนอแนะในรูปแบบการเขียนรายงาน และการเตรียมผลงานเพื่อการตีพิมพ์

โดยผลงานในปีที่ 1 นี้ผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์งานวิจัยได้ในหัวข้อเรื่อง ผลของการบ่มแข็งต่อโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกลและการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ โดยมีแผนการดำเนินงานปีที่ 1 แสดงดังตารางที่ 1.1

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 22 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 246128
เลขเรียกหนังสือ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานปีที่ 1

แผนการดำเนินงาน	ปีที่ 1 (เดือน)					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. ศึกษา ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล						
2. จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์						
3. หล่อโลหะผสมในระบบต่าง ๆ ในระบบสุญญากาศ						
4. ตรวจสอบเฟสและโครงสร้างจุลภาคด้วย XRD, OM และ SEM ก่อนการบ่มแข็ง						
5. วัดความแข็ง ความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการต้านทานการหมองก่อนการบ่มแข็ง						
6. ปรับปรุงคุณสมบัติโลหะผสมด้วยการบ่มแข็ง						
7. วัดความแข็ง และความสามารถในการต้านทานการหมองหลังการบ่มแข็ง						
8. ตรวจสอบเฟสและโครงสร้างจุลภาคด้วย XRD, OM และ SEM หลังการบ่มแข็ง						
9. เปรียบเทียบวิเคราะห์ผลการทดลอง						
10. เรียบเรียงผลงานเพื่อการตีพิมพ์						

แผนงานปีที่ 2

ในปีที่ 2 ผู้วิจัยมีเป้าหมายในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูง เพื่อสามารถเข้าใจถึงกลไกของธาตุเจือต่อโครงสร้าง ความแข็ง ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ และเนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีรายงานการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย TEM ในโลหะผสมดังกล่าว ดังนั้น การเสนอกลไกของธาตุเจือต่อโครงสร้างจุลภาคจึงเป็นองค์ความรู้ใหม่สำหรับงานวิจัยด้านเครื่องประดับ โดยแผนการดำเนินงานในปีที่ 2 ดังนี้

- เลือกตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างด้วย TEM โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีความแข็งหลังและความต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นหลังการบ่มแข็ง
- เตรียมตัวอย่างบาง 100 μm เจาะให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ด้วยเครื่องเจาะสำหรับแผ่นโลหะ (Metal disc puncher)
- เตรียมตัวอย่างบางสำหรับ TEM ด้วยขั้นตอนต่าง ๆ คือ การขัดตัวอย่างด้วยเครื่อง dimple grinder และเครื่องขัดด้วยไอออนความแม่นยำสูง(Precision Ion Polishing System, PIPS)หรือการใช้เครื่องกัดด้วยสารละลายเคมีแบบสองทาง (twin-jet electropolishing)
- ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานของโลหะผสม ด้วย TEM
- ตรวจสอบเฟสและส่วนประกอบเคมีในโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค EDS และ SAD

- วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยตลอดจนข้อเสนอแนะในรูปแบบการเขียนรายงาน และการเตรียมผลงานเพื่อการตีพิมพ์

โดยในปีที่ 2 ผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถตีพิมพ์งานวิจัยได้ในหัวข้อเรื่อง จุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของโลหะผสมสำหรับเครื่องประดับในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd และ Ag-Cu-Zn-Si ที่ผ่านการบ่มแข็ง โดยมีแผนการดำเนินงานปีที่ 2 แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานปีที่ 2

แผนการดำเนินงาน	ปีที่ 2 (เดือน)					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. เลือกตัวอย่างที่ต้องการศึกษาโครงสร้างด้วย TEM	■					
2. เตรียมตัวอย่าง TEM เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. บาง 100 μm	■	■				
3. เตรียมตัวอย่างบางสำหรับ TEM โดย dimple grinderและ PIPS หรือ twin-jet electropolishing		■	■			
4. ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานด้วย TEM พร้อมด้วยการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค EDS และ SAD			■	■	■	
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วย TEM				■	■	
6. อภิปรายผลการศึกษาและสรุปผลการวิจัยและพัฒนาตลอดจนข้อเสนอแนะเพื่อเขียนรายงานและเตรียมผลงานเพื่อการตีพิมพ์เพิ่มเติม					■	■

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยโครงการนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อต้องการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ โดยมีแผนการดำเนินการวิจัยขั้นพื้นฐาน เช่น การหลอมโลหะ การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการบ่มแข็ง การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ และการศึกษาโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้น จะดำเนินการ ณ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางกลและการศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดนั้น สามารถดำเนินการ ณ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ และศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอน (EMRSc) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดังนั้นการวิจัยโครงการนี้นับว่ามีปัจจัยที่เอื้อต่อการทำวิจัยครบทุกด้าน อย่างไรก็ตามการวิจัยดังกล่าวยังขาดอุปกรณ์ในการทดสอบการกัดกร่อนหรือการหมอง ซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้เองโดยจำลองสภาวะของการกัดกร่อน คือ ภายใต้สภาวะเป็นกรดของเหงื่อเทียม เป็นต้น

16. งบประมาณของโครงการวิจัย

รวมตลอดโครงการ 334,000 บาท (สามแสนสามหมื่นสี่พันบาทถ้วน)

รายละเอียดงบประมาณการวิจัยจำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ ตามปีงบประมาณ โดยมีรายละเอียดงบประมาณการวิจัย แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประเภทต่าง ๆ ที่เสนอขอในแต่ละปี

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	
	ปีที่ 1 พ.ศ. 2553	ปีที่ 2 พ.ศ. 2554
1. งบบุคลากร		
- ค่าตอบแทนผู้วิจัย	39,300	27,500
- ค่าตอบแทนผู้ช่วยวิจัย	20,000	15,000
2. งบดำเนินการ		
2.1 วัสดุใช้สอยและวัสดุ		
2.1.1 ค่าใช้สอย เช่น		
1) ค่าใช้เครื่องมือและวิเคราะห์ตัวอย่าง	30,000	30,000
2) ค่าเบี้ยเลี้ยง ค่าเช่าที่พัก ค่าพาหนะ	10,000	15,000
4) ค่าจ้างเหมาบริการ	3,000	3,000
5) ค่าใช้สอยในการสัมมนาและฝึกอบรม	10,000	10,000
6) ค่ารับรองและพิธีการ	3,000	3,000
7) ค่าจัดทำรายงาน	4,000	3,000
8) ค่าใช้สอยอื่น ๆ	3,000	2,000
2.1.2 ค่าวัสดุ เช่น		
1) โลหะเงิน	40,000	-
2) โลหะอื่นๆ เช่น แพลเลเดียม โลหะผสมทองแดงกับสังกะสีและซิลิกอน	10,000	-
3) วัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ ผลขัดอลูมินา ผงขัดเพชร ขี้ผึ้ง ปูนหล่อเงิน เรซิน	10,000	8,000
4) วัสดุและสารเคมีทดสอบการกัดกร่อน	2,200	3,000
5) วัสดุสำนักงาน	2,000	3,000
6) วัสดุหนังสือ เอกสารและตำรา	2,000	10,000
7) วัสดุโฆษณา เผยแพร่และการตีพิมพ์	4,000	3,000
8) วัสดุอื่น ๆ	3,000	2,000
2.2 ค่าสาธารณูปโภค เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าโทรศัพท์ ค่าไปรษณีย์ ค่าบริการด้านสื่อสารและโทรคมนาคม	1,000	-
รวมงบประมาณที่เสนอขอแต่ละปี	**196,500**	**137,500**
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	**334,000**	

17. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยผลของการบ่มแข็งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับนี้ เพื่อทราบถึงความสามารถต่อการปรับปรุงคุณสมบัติ ต่อการเพิ่มความแข็งและการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมเงิน ซึ่งสามารถจำแนกผลสำเร็จของงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ ดังนี้

1) สามารถทราบถึงผลของการบ่มแข็งต่อการปรับปรุงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของโลหะผสมเงิน ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่ได้จากการปรับปรุงโลหะผสมดังกล่าว ผลสำเร็จของการวิจัยระยะนี้เป็น**ผลสำเร็จเบื้องต้น (P)**
2) ทราบถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างจุลภาคต่อคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของโลหะผสมเงิน ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงความรู้กับองค์ความรู้พื้นฐานจากผลการวิจัยเบื้องต้น ผลสำเร็จของการวิจัยระยะนี้เป็น**ผลสำเร็จกึ่งกลาง (I)**

18. คำชี้แจงอื่น ๆ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมหลัก มีผู้ประกอบการครอบคลุมทั้งอุตสาหกรรมขนากเล็กในครัวเรือน ขนาดกลางในระดับและท้องถิ่น จนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงสามารถนับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ แต่เนื่องจากการศึกษาและวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ของโลหะสำหรับเครื่องประดับจึงอยู่ภายใต้ข้อจำกัดหลายประการ เช่น ต้นทุนวัสดุ การดำเนินการและเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์มีราคาสูง บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านทางวัสดุศาสตร์มีปริมาณน้อย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งให้การศึกษาเพื่อวิจัยและพัฒนาวัสดุสำหรับเครื่องประดับของไทยเป็นไปอย่างเชื่องช้า ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นไปอย่างรวดเร็ว การพัฒนาความพร้อมหลายๆ ด้านจึงควรดำเนินการร่วมกัน เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงคุณภาพชิ้นงาน การสร้างความเชื่อถือและความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค รวมถึงการพัฒนาด้านวัสดุศาสตร์ ทั้งเพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุและการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่สำหรับเครื่องประดับ เป็นต้น

ด้วยศักยภาพและความร่วมมือของผู้วิจัยจาก 2 หน่วนงาน ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับอุตสารหกรรมเครื่องประดับ คือ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี และภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีความเห็นและจุดมุ่งหมายตรงกัน คือ ต้องการนำความรู้ด้านโลหะวิทยาและความชำนาญทางโครงสร้างสร้างจุลภาคและเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆมาใช้ เพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางกลและทางเคมีของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับด้วยวิธีการบ่มแข็ง โดยการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคต่อคุณสมบัติของโลหะผสมเงิน ทั้งการต้านทานแรงดึงหรือการแปรรูปแบบพลาสติก และความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งสถานที่ดำเนินการวิจัย จะดำเนินการทั้ง 2 หน่วยงาน คือ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการศึกษาโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้น สามารถดำเนินการ ณ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางกลและการศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่องมือขั้นสูงสามารถดำเนินการ ณ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ และศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอน (EMRSc) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีแผนดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ดังแสดงในแผนดำเนินการวิจัยปีที่ 1 และ 2 (ข้อ 14) โดยในปีแรกเน้นการดำเนินการวิจัยขั้นพื้นฐาน เช่น การหล่อโลหะที่ส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของโลหะผสมทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการบ่มแข็ง ซึ่งการหลอมโลหะผสมเงินในระบบ Ag-Cu, Ag-Cu-Pd

และ Ag-Cu-Zn-Si เป็นระบบที่นิยมใช้สำหรับการผลิตเครื่องประดับ จำเป็นต้องผสมโลหะเงินบริสุทธิ์กับโลหะเจือต่าง ๆ จึงทำให้ขั้นตอนการหล่อโลหะผสมเงินนี้มีต้นทุนค่าวัสดุสูงกว่าการศึกษาโลหะทั่วไปชนิดอื่น ๆ เป็นเหตุให้งบดำเนินการค่าวัสดุมีราคาสูง (ตารางที่ 4 หัวข้อ 2.1.3) ในขณะเดียวกันและเพื่ออธิบายถึงกลไกและความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างต่อการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการบ่มแข็ง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือหลายชนิดในการทดสอบและวิเคราะห์ จึงทำให้งบดำเนินการค่าใช้สอยเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและวิเคราะห์ตัวอย่าง (ตารางที่ 4 หัวข้อ 2.1.2) มีงบประมาณสูงเช่นเดียวกัน

สำหรับการวิจัยปีที่ 2 ซึ่งเน้นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องมือขั้นสูงโดยเฉพาะการวิเคราะห์ด้วย TEM ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคในฟิล์มบางที่กำลังขยายสูง มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ แต่ความยากของเทคนิคนี้คือการเตรียมตัวอย่างให้บางเพียงพอเพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถผ่านได้ โดยตัวอย่างควรมีความหนาไม่เกิน 100 nm เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สุดในการวิจัย ผู้เตรียมตัวอย่างจะต้องมีความรู้และความชำนาญในขั้นตอนต่าง ๆ เป็นอย่างดี ซึ่งคณะผู้วิจัยในโครงการวิจัยนี้ เป็นผู้มีความรู้ ความสามารถและมีประสบการณ์โดยตรงเกี่ยวกับเทคนิคการเตรียมตัวอย่าง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย TEM อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนดังกล่าวเหล่านี้ จำเป็นต้องใช้เวลาและความอดทนอย่างสูง ดังนั้นงายวิจัยในปีที่ 2 จะเน้นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วย TEM เป็นหลัก

เนื่องจากความร่วมมือและความพร้อมทั้งด้านเครื่องมือการทดลองและด้านบุคลากรดังกล่าว ทำให้คณะผู้วิจัยมีความมั่นใจเป็นอย่างยิ่งต่อผลสัมฤทธิ์ของโครงการวิจัย **'การบ่มแข็งและโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ'** ว่าเป็นโครงการที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการศึกษาปรับปรุงและพัฒนาโลหะผสมเงินสำหรับเครื่องประดับ และมั่นใจว่าโครงการวิจัยดังกล่าวนี้ สามารถส่งเสริมองค์ความรู้พื้นฐานที่มีอยู่และสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยทางโลหะวิทยาของโลหะผสมเงินส่งเสริม อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาศักยภาพทางวิชาการและส่งเสริมการพัฒนาต่ออุตสาหกรรมเครื่องประดับของไทยเพื่อก้าวสูความเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมเครื่องประดับอย่างสมบูรณ์แบบอีกด้วย

<u>ส่วน ค</u> : ประวัติคณะผู้วิจัย

<u>นักวิจัยลำดับที่ 1</u>

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาว ชุติมันต์ จันทร์เมือง
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MISS CHUTIMUN CHANMUANG

2. **ตำแหน่งปัจจุบัน** พนักงานมหาวิทยาลัย สายวิชาการ (อาจารย์)

3. **สถานที่ทำงาน** คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี
   ตำบลโขมง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี 22170
   โทรศัพท์ 0-3931-0000 ต่อ 3514
   โทรสาร 0-3943-2950
   e-mail chutimun@buu.ac.th

4. **ประวัติการศึกษา**
   ปริญญาตรี สาขาวิชา วัสดุศาสตร์-เทคโนโลยีอัญมณี

	สถาบัน	มหาวิทยาลัยบูรพา
	ปีที่สำเร็จ	พ.ศ. 2542
ปริญญาโท	**สาขาวิชา**	วัสดุศาสตร์
	สถาบัน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ปีที่สำเร็จ	พ.ศ. 2545
ปริญญาเอก	**สาขาวิชา**	วัสดุศาสตร์
	สถาบัน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ปีที่สำเร็จ	พ.ศ. 2550

5. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** Electron microscopy, Glass-to-Metal joining
   สาขาวิชาที่สนใจ Metallurgy of precious metal and alloy

6. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

7.1 ผลงานวิจัย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับประเทศ (National Publications)

1. Piyavit, W., **Chanmuang, C.**, Jaimasit, M., Thiemsorn, W., Puyusuk, A., Naksata, M. and Chairuangsri, T. (2006). Adhesion of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy Joined by Direct Fusion. *Chiang Mai J. Sci.*, 33(2), 191-202.

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ (International Publications)

1. **Chanmuang, C.,** Jaimasith, M., Chairuangsri, T., Jain, H. and Lyman, C.E. (2006). Microstructure Study of The Interface Between Fe-Ni-Co Alloy and Borosilicate Glass. *Scanning*, 28(2), 83-84.
2. **Chanmuang, C.,** Naksata, M., Chairuangsri, T., Jain, H. and Lyman, C.E. (2008). Microscopy and Strength of Borosilicate Glass-to-Kovar Alloy Joints, *Mater. Sci. Eng. A,* 474, 218-224.

7.2 ผลงานทางวิชาการอื่นๆ

ผลงานวิชาการที่นำเสนอในที่ประชุมระดับชาติ (National Proceeding)

1. **Chanmuang, C.**, Chaiwong, C. and Vilaithong, T., Optical Effects of Argon and Oxygen Ion Implantation in Synthetic Ruby and Sapphire, *29th Congress on Science and Technology of Thailand,* Poster presentations, October 20-22, 2003, Khon Kean, Thailand, 199.
2. Piyavit, W., **Chanmuang, C.**, Naksata, M., Jaimasit, M., Thiemsorn W., Puyusuk A. and Chairuangsri, T., Adhesion of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy; A revisit, *Proceeding of The Third Thailand Materials Science and Technology Conference (MSAT)*, Oral presentations, August 10-11, 2004, Bangkok, Thailand, 5-9.
3. **Chanmuang, C.**, Chairuangsri, T., Jain, H. and Lyman, C.E., Electron Energy-Loss Spectroscopy of Iron Oxide Interlayer Between Borosilicate Glass/Fe-Ni-Co

Alloy Interfaces, *24th Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand*, Oral presentations, February 14-16, 2007, Bangkok, Thailand, 82.

4. **Chanmuang, C.** and Chairuangsri, T., Microstructural Investigation of the Preoxidised Fe-Ni-Co alloy, *25th Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand*, Oral presentations, January 9-11, 2008, Phitsanulok, Thailand, 41.

ผลงานวิชาการที่นำเสนอในที่ประชุมระดับนานาชาติ (International Proceeding)

1. **Chanmuang, C.** and Chairuangsri, T., An Interfacial Study of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy Joint, *Microscopy and Microanalysis 2006*, Poster presentations, July 31-August 4, 2005, Hawaii, USA, 1798-1799.
2. **Chanmuang, C.**, Naksata, M., Chairuangsri, T., Jain, H. and Lyman, C.E., Transmission Electron Microscopy of Borosilicate Glass to Kovar Alloy Seal, *16th International Microscopy Congress*, Poster presentations, September 3-8, 2006, Sapporo, Japan, 1372.
3. **Chanmuang, C.** and Chairuangsri, T., XPS and TEM Investigation of Borosilicate Glass to Kovar Alloy Interfaces, *34th Congress on Science and Technology of Thailand,* Poster presentations, October 31-November 2, 2008, Bangkok, Thailand, (Accepted)

<u>นักวิจัยลำดับที่ 2</u>

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นายธรณินทร์ ไชยเรืองศรี
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MR. TORRANIN CHAIRUANGSRI

2. **ตำแหน่งวิชาการปัจจุบัน** รองศาสตราจารย์ ระดับ 9
   ตำแหน่งบริหาร หัวหน้าภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม

3. **สถานที่ทำงาน** ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
   โทรศัพท์ 0-5394-3401
   โทรสาร 0-5389-2262
   e-mail chato@chiangmai.ac.th

4. **ประวัติการศึกษา**
   ปริญญาตรี สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง)
   สถาบัน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
   ปีที่สำเร็จ พ.ศ. 2536
   ปริญญาเอก สาขาวิชา Metallurgy
   สถาบัน University of Leeds, UK
   ปีที่สำเร็จ พ.ศ. 2541

5. **สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ** Metallurgy, Electron microscopy

6. **ผลงานวิจัย** (ปี 2003-ปัจจุบัน)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. Wiengmoon, A., **Chairuangsri, T.** and Pearce, J. T. H., A Microstructural Study of Destabilised 30wt%Cr-2.4wt%C High Chromium Cast Iron, *ISIJ International*, Vol. 44, No. 2, 2004, p. 396. (2006 impact factor 0.741)
2. Wiengmoon, A., **Chairuangsri, T.**, Brown, A., Brydson, R., Edmonds, D. V. and Pearce, J. T. H., Microstructural and Crystallographical Study of Carbides in 30wt%Cr Irons, *Acta Materialia*, 53, 2005, pp. 4143-4154. (2006 impact factor 3.549)
3. Wiengmoon, A., **Chairuangsri, T.** and Pearce, J. T. H., An Usual Structure of an As-cast 30%Cr Cast Iron, *ISIJ International*, 45 (11), 2005, pp. 1658-1665. (2006 impact factor 0.741)
4. Choopun, S., Hongsith, N., Tanunchai, S., **Chairuangsri, T.**, Krua-in, C., Singkarat, S., Vilaithong, T., Mangkorntong, P. and Mangkorntong, N., Single-crystalline ZnO Nanobelts by RF Sputtering, *Journal of Crystal Growth*, 282, 2005, pp. 365-369. (2006 impact factor 1.809)
5. Chanmuang, C., Jaimasith, M., **Chairuangsri, T.**, Jain, H. and Lyman, C. E., Microstructure Study of the Interface between the Fe-Ni-Co Alloy and Borosilicate Glass, *Scanning, The Journal of Scanning Microscopies*, Vol. 28, 2 (2006), pp. 83-84. (2006 impact factor 0.46)
6. J. T. H. Pearce, **T. Chairuangsri**, A. Wiengmoon, N. Poolthong and H. Nomura, Use of Electron Microscopy on Microstructural Characterisation of High Chromium Cast Irons, *China Foundry*, Vol. 4, No. 1, February 2007, pp. 038-043.
7. Chanmuang, C., Naksata, M., **Chairuangsri, T.**, Jain, H. and Lyman, C. E., Microscopy and Strength of Borosilicate Glass-to-Kovar alloy, *Materials Science and Engineering A*, 2007, Vol. 474, pp. 218-224. (2006 impact factor 1.490)
8. Supab Choopun, Niyom Hongsith, Ekasiddh Wongrat, Teerasak Kamwanna, Somsorn Singkarat, Pongsri Mangkorntong, Nikorn Mangkorntong, **Torranin Chairuangsri**, Growth Kinetic and Characterization of RF-Sputtered ZnO:Al Nanostructures, *Journal of the American Ceramic Society,* 2008, Vol. 91, No. 1, pp. 174–177 doi:10.1111/j.1551-2916.2007.02110.x (2006 impact factor 1.396)
9. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri**, N. Poolthong and J. T. H. Pearce, Electron microscopy and hardness study of a semi-solid processed 27wt%Cr cast

iron, *Materials Science and Engineering A*, doi:10.1016/j.msea.2007.07.043. (2006 impact factor 1.490)

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ

1. **Chairuangsri, T.** and Pearce, J. T. H., The Role of Electron Microscopy in Studying Carbides in Ferrous Alloys : A Revisit, *J. E. M. S. T.*, Vol. 14, No. 2, 2000, pp. 29-46.
2. **Chairuangsri, T.**, Brydson, R. M. D. and Edmonds, D.V., Determination of number density and volume fraction of copper precipitates within proeutectoid cementite in high-carbon copper-containing steels using transmission electron microscopy, *Chiang Mai Journal of Science*, Vol. 28, No. 1, June 2001, pp. 31-38
3. **Chairuangsri, T.**, Jaimasith, M., Thiemsorn, W. and Pearce, J. T. H., A Microscopical Investigation of the Interface Between Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy Joined by Direct Fusion of Glass to Metal, *Chiang Mai Journal of Science*, Vol. 29, No. 1, 2002, pp. 15-19.
4. Wiengmoon, A., **Chairuangsri, T.** and Pearce, J. T. H., Effects of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of 30%Cr-2.4%C Cast Iron, *J. E. M. S. T.*, Vol. 16, No. 1, 2002, pp. 177-178.
5. Seansukato, S. and **Chairuangsri, T.**, Physical Properties and Microstructure of a Fe-Ni-Co Alloy Prepared by Sintering Metal Powders Under Nitrogen Gas Atmosphere, *Chiang Mai Journal of Science*, Vol.31, No.1, 2004, pp.17-25.
6. Surassawadee Paliphot, **Torranin Chairuangsri**, Noppadol Yottawee and Suwit Uawanichkul, Surface Structure of Pb-0.5%Ag Anode Used in Zinc Electrowinning, Chiang Mai Journal of Science, Vol. 33, No.1, 2006, pp. 67-77.
7. Waraporn Piyavit, Chutimun Chanmuang, Manat Jaimasit, Warrapong Thiemsorn, Akadech Puyusuk, Manoch Naksata and **Torranin Chairuangsri**, Adhesion of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy Joined by Direct Fusion, Chiang Mai Journal of Science, Vol. 33, No.2, 2006, pp. 191-202.
8. A. Wiengmoon, N. Poolthong, **T. Chairuangsri** and J.T.H. Pearce, A Transmission Electron Microscopy Study of Semi-solid Processed 27wt%Cr-3wt%C Cast Iron, *J.E.M.S.T*, 2006, Vol. 20, No. 1, pp. 42-44.
9. Jutarat Pomjaturad, Chairoj Rattanakawin, Nimit Sriprang, Suwalak Tongteeka and **Torranin Chairuangsri**, Effects of Additives in Froth Flotation of Silicate Zinc Ore; A Study by Zeta Potential Measurement and

Infrared Spectroscopy, Chiang Mai Journal of Science, Vol. 34, No. 2, 2008, pp. 191-200.

งานนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ

1. **Chairuangsri, T.**, Wiengmoon, A. and Pearce, J. T. H., Characterisation of High Chromium Cast Irons, *Proceeding of the 8th Asian Foundry Congress (AFC-8)*, 17-20 October 2003, Bangkok, Thailand, pp. 481-496.
2. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri** and J.T.H. Pearce, Morphology and Growth of $M_{23}C_6$ Secondary Carbide in Destabilised 30%Cr-2.3%C Cast Iron, *Proceeding of The 8th Asia-Pacific Congress on Electron Microscopy*, 2004, Kanazawa, Japan.
3. C. Chanmuang and **T. Chairuangsri**, An Interfacial Study of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy Joint, *Preceeding of the International Conference, Microscopy & Microanalysis 2005*, Jul 31-Aug 4, 2005, Honolulu, Hawaii, USA, 11 (suppl 2), pp. 1798-1799.
4. J.T.H. Pearce, **T. Chairuangsri** and A. Wiengmoon, Microstructural Aspects of 30% Chromium Cast Irons, *Proceeding of The 9th Asian Foundry Congress*, 2005, October, 15-17, Hanoi, Vietnam, pp. 260-267.
5. J.T.H. Pearce, **T. Chairuangsri** and A. Wiengmoon, Variation in the As-cast Microstructure of 2.3%C-30%Cr Irons", *Proceeding of The 9th Asian Foundry Congress*, 2005, October 15-17, Hanoi, Vietnam, pp. 311-319.
6. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri** and J.T.H. Pearce, Characterisation of Unusual Structure in an As-cast 30%Cr-2.3%C Alloy White Irons, *Proceeding of The Asian Microscopy Conference*, 2005, November 24-25, Manila, Philippines.
7. C. Chanmuang, M. Jaimasith, **T. Chairuangsri**, H. Jain, C.E. Lyman, Microstructure Study of The Interface Between Fe-Ni-Co Alloy and Borosilicate Glass, *Proceeding of the International Conference, SCANNING 2006*, Apr 25 - 27, 2006, Washington D.C., USA, Vol. 28, 2, p. 83.
8. C. Chanmuang, M. Naksata, **T. Chairuangsri**, H. Jain and C. E. Lyman, Transmission Electron Microscopy of Borosilicate Glass to Kovar Alloy Seal, *16th International Microscopy Congress*, Poster presentation, September 3-8, 2006, Sapporo, Japan, p. 1372.
9. J. T. H. Pearce, **T. Chairuangsri**, A. Wiengmoon, N. Poolthong and H. Nomura, The Use of Electron Microscopy for the Microstructural Characterisation of High Chromium Cast Irons, *Proceeding of the Eighth International Symposium on Science and Processing of Cast Iron*, Edited by Li Yanxiang, Shem Houfa, Xu Zingyan and Han Zhiqiang, Beijing, China, October 16-19, 2006, pp. 194-199.

10. Natthaphol Chomsaeng, Amporn Wiengmoon, **Torranin Chairuangsri,** Nuchthana Poolthong and J.T.H. Pearce, Morphology and Crystallography of Secondary Carbides in Semi-Solid Processed 18wt%Cr-2.9wt%C Cast Iron, *Asian Symposium on Materials and Processing*, 2006, Oral Presentation, November 9-10, 2006, Sofitel Central Plaza, Bangkok, Thailand, p. 90.
11. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri**, N. Poolthong and J.T.H. Pearce. Effect of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of Semi-solid Processed 27wt%Cr-2.9wt%C Cast Iron, *Proceeding of Asian Foundry Congress AFC-2007*, 2007, Seoul, Korea.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

งานนำเสนอในการประชุมสัมมนาระดับชาติ

1. **Chairuangsri, T.**, Rujijanakul, G. and Jaimasith, M., Preparation and Characterisation of Sn-Ag and Sn-Cu Experimental Soldering Alloys, *Proceeding of the First Thailand Materials Science and Technology Conference*, 19-20 July 2000, Amari Watergate Hotel, Bangkok, Thailand, p.276.
2. ศิริศักดิ์ แสนสุขกะโต และ **ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี**, ผลของแรงกดอัด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผาผนึกต่อโครงสร้างและสมบัติหลังเผาผนึกของโลหะผสมเหล็ก-นิกเกิล-โคบอลต์, รายงานการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาของประเทศไทย ครั้งที่ 3, 18-19 กรกฎาคม 2545 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา, หน้า 665-666
3. Manat Jaimasith, Worapong Thiamsorn and **Torranin Chairuangsri,** Preparation and Thermal Properties of Borosilicate Glasses for Joining to Fe-Ni-Co Alloys, *Proceeding of the 27th Congress on Science and Technology of Thailand*, 16-18 October 2001, p. 733.
4. **Chairuangsri, T.** and Pearce, J. T. H., Transmission Electron Microscopy in Metallurgy : A Case Study of Precipitation in Steels and Cast Irons, *Proceeding on Progress in Advanced Materials*, September 18th-20th, 2002, Kosa Hotel, Srijun Road, Khon Kaen, Thailand.
5. Piyavit, W., and **Chairuangsri, T.**, Interfacial Phenomena of an Iron-Nickel-Cobalt Alloy and a Borosilicate Glass, Proceeding of the 29th Congress on Science and Technology of Thailand, 20-22 October 2003, Golden Jubilee Convention Hall, Khon Kean University, p. 200.
6. Waraporn Piyavit, Chutimun Chanmuang, Manoch Naksata, Manat Jaimasit, Warrapong Thiemsorn, Akadech Puyusuk and **Torranin Chairuangsri,** Adhesion of Borosilicate Glass and Fe-Ni-Co Alloy; A Revisit, *Proceeding ot The Third Thailand Materials Science and Technology Conference*, 10-11 August 2004, Bangkok, Thailand, Oral Presentation, pp. 5-9.

7. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri** and J. T. H. Pearce, A Microstructural Study of Carbides in Destabilised 30%Cr Cast Iron, *Proceeding of The Third Thailand Materials Science and Technology Conference*, 10-11 August 2004, Bangkok, Thailand.
8. Jutharat Pomjaturas, Suwaluck Thongteekar, Nimit Sriprang, Chairoj Rattanakawin and **Torranin Chairuangsri**, Effects of Sodium Sulphide on Flotation of Silicate Zinc Ore, Proceeding of the 31st Congress on Science and Technology of Thailand, 18-20 October 2005, Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, p.137.
9. Manat Jaimasit, **Torranin Chairuangsri**, Worapong Tiamsorn, Akadet Phuyousuk, Anucha Wannagon and Surasit Pleakbaow, Sealing Glass for SOFC Test Rig, Proceeding of the Fourth Thailand Materials Science and Technology Conference, March 31 - April 1, 2006, Thailand Science Park, pp. 73-75.
10. Natthaphol Chomsaeng, **Torranin Chairuangsri**, Nuchthana Poolthong, Amporn Wiengmoon and J.T.H. Pearce, Microstructure and Abrasive Wear Behavior Study of 18wt%Cr Semi-Solid Cast Iron, Poster presentation, 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, October 10-12, 2006, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, p. 69.
11. ณัฐพล เลาห์รอดพันธุ์, ปรัชญา นามวงศ์, มนัส ใจมะสิทธิ์, วรพงษ์ เทียมสอน, **ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี**, สุมิตรา จรสโรสกุล, และอนุชา วรรณก้อน นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 32 วันที่ 10-12 ตุลาคม 2549, ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ, หน้า 245–246.
12. Suttawan Imurai, **Torranin Chairuangsri**, Chanchanna Thanachayanon, J.T.H. Pearce, Electron Microscopy of Cast Aluminium A356, Poster presentation in 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, October 10-12, 2006, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, p. 245.
13. Natthaphol Chomsaeng, *Torranin Chairuangsri*, Nuchthana Poolthong, Amporn Wiengmoon and J.T.H. Pearce, Effect of Heat Treatment on Microstructure and Hardness in Semi-Solid processed 18wt%Cr Cast Iron, Oral presentation in 24th Anneal Conference of the Microscopy Society of Thailand 2007, February 14-16, 2007, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, p. 240.
14. N. Laorodphan, M. Jaimasit, W. Theimsorn, **T. Chairuangsri**, S. Charojrochkul, and A. Wannagon, Oral presentation in 24th Annual Conference the Microscopy Society of Thailand, February 14-16, 2007, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, p. 57.

15. Phrachaya Namwong and **Torranin Chairuangsri**, Poster presentation, 24th Annual Conference the Microscopy of Thailand, February 14-16, 2007, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, p. 244.
16. S. Kuimalee, **T. Chairuangsri**, B. Vetayanugul and R. Tongsri, Poster presentation, 24th Annual Conference the Microscopy Society of Thailand, February, 14-16, 2007, Bangkok, Thailand, p. 293.
17. Suttawan Imurai, **Torranin Chairuangsri**, Chanchanna Thanachayanon, J,T.H. Pearce, Poster presentation, 24th Annual Conference the Microscopy Society of Thailand, February 14-16, 2007, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, p. 248.
18. C. Chanmuang, **T. Chairuangsri**, H. Jain and C. E. Lyman, Electron Energy-Loss Spectrosopy of Iron Oxide Interlayer Between Borosilicate Glass/Fe-Ni-Co Alloy Interface, 24th Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand, Oral Presentation, February 14-16, 2007, Bangkok, Thailand, p. 82.
19. Amporn Wiengmoon, **Torranin Chairuangsri** and John T.H. Pearce, Microstructure and Corrosion Behavior of 30wt%Cr-2.3wt%C Alloy White Iron, การประชุมวิชาการ "วิทยาศาสตร์นเรศวร ครั้งที่ 1", 15-16 มีนาคม 2550.
20. A. Wiengmoon, **T. Chairuangsri**, N. Chomsaeng, S. Wirojanupatump and J.T.H. Pearce, Abrasive Wear and Corrosion Behavior of 30wt%Cr-2.3wt%C-2.3wt%C Cast Iron with 3.75wt%V, The 1st Thailand Metallurgy Conference, Bangkok, 15-16 October 2550.
21. S. Kuimalee, **T. Chairuangsri** and N. Poolthong, Microstructure of Gray Cast Iron Prepared from Semi-Solid Casting Process by a Sloping Cooling Plate Method, Poster Presentation, The 17th Annual Conference of the Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry, 29-30 October 2007, The Empress Hotel, Chiang Mai, p. MEP2_1.
22. N. Chomsaeng, **T. Chairuangsri**, N. Poolthong, A. Wiengmoon and J.T.H. Pearce, Microstructure and Wear Resistance of 18wt%Cr Iron Prepared from Semi-Solid Cast Process by a Sloping Cooling Plate Method, Poster Presentation, The 17th Annual Conference of the Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry, 29-30 October 2007, The Empress Hotel, Chiang Mai, p. MEP1_1
23. C. Chanmuang and **T. Chairuangsri**, Microstructural Investigation of the Preoxidised Fe-Ni-Co Alloy, 25th Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand, Oral Presentation, January 9-11, 2008, Phitsanulok, Thailand, p. 41.
24. S. Kuimalee, **T. Chairuangsri** and J.T.H. Pearce, Microstructural Study of 22wt%Cr-0.037wt%C Cast Duplex Stainless Steel, Poster Presentation, 25th

Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand, January 9-11, 2008, Phitsanulok, Thailand, p. 181.

7. ผลงานวิชาการอื่นๆ

อนุสิทธิบัตร

2550 (ยื่นขอ) "แก้วยึดประสานส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง"
รายชื่อผู้ประดิษฐ์ : 1. นายณัฐพล เลาห์รอดพันธุ์, 2. นายวรพงษ์ เทียมสอน, 3. นายมนัส ใจมะสิทธิ์, 4. นายธรณินทร์ ไชยเรืองศรี, 5. นายอนุชา วรรณก้อน

สิทธิบัตร

2551 (ยื่นขอ) "วัสดุก่อสร้างจากยิปซัมสังเคราะห์"
รายชื่อผู้ประดิษฐ์ : 1. นางสาวเกศรินทร์ พิมรักษา, 2. นางสาววิลาสา วิจิตรวาทการ, 3. นางสาวกรกนก บุญเสริม, 4. นายธวัชชัย เอี่ยมสิน, 5. นายอานนท์ ชัยพานิช, 6. นายธรณินทร์ ไชยเรืองศรี

2551 (ยื่นขอ) "วัสดุก่อสร้างจากเถ้าหนัก"
รายชื่อผู้ประดิษฐ์ : 1. นางสาวเกศรินทร์ พิมรักษา, 2. นางสาวกรกนก บุญเสริม, 3. นายธวัชชัย เอี่ยมสิน, 4. นายอานนท์ ชัยพานิช, 5. นายธรณินทร์ ไชยเรืองศรี

ตำรา

1. การสกัดระบบของแข็ง-ของเหลว, พ.ศ. 2549, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, โครงการตำรา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ISBN 974-971-318-4.

8. รางวัลทางวิชาการที่เคยได้รับ

พ.ศ.	ชื่อรางวัล
2546	Second Prize Award, Outstanding Research Unit, Faculty of Science, Chiang Mai University.
2547	Certificate, Outstanding Research Presentation Among New Scholars, The Thailand Research Fund (TRF) and The Commission of Higher Education, THAILAND.
2547	Best Student Paper Presentation Award for Second Prize of The Third Thailand Materials Science and Technology Conference (MSAT) 2004, 11 August 2004, MTEC, Bangkok, Thailand.
2548	นักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น รางวัลช้างทองคำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่