



การศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่ม
คุณสมบัติต้านความหมองสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ
A Study and Develop Adding Value to Sterling Silver Mixed with
Palladium by Added Anti Tarnish Protection for Jewelry Industry.



จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง
Jakkrit Yimchang
ประเสริฐ ชุมปัญญา
Presert Chumpanya

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โครงการวิจัย : การศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่ม
คุณสมบัติด้านความทนทานสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ
ผู้วิจัย : นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง, ประเสริฐ ชุมปัญญา

บทคัดย่อ

จากการศึกษาโลหะเงินที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับแท้ที่ไม่ต้องชุบนั่นพบว่าอาจจะ
หมอง หรือดำง่าย แต่ก็ยังเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของเงิน ที่จะทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่ายอากาศใน
เมืองไทย ที่ร้อนชื้นทำให้ต้องคอยหมั่นดูแลรักษาอยู่บ่อยครั้ง จึงเกิดแนวความคิดที่เราสามารถศึกษา
พัฒนาโลหะเงินที่มีคุณสมบัติด้านทานการหมองให้เกิดขึ้นช้าลงได้จะก่อให้เกิดผลในทางที่ดีต่อ
อุตสาหกรรมเครื่องประดับต่อไป ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เกิดแนวคิดนำธาตุอื่นเพื่อให้เกิดคุณสมบัติที่อาจ
เป็นไปได้ตามต้องการ โดยธาตุที่ใช้ในที่นี้คือแพลเลเดียม(Pd) เนื่องจากแพลเลเดียมอยู่ในกลุ่มเดียวกับ
นิกเกิลและแพลทินัมตามกลุ่มแนวตั้งในตารางธาตุ เป็นโลหะตระกูล (Nobel Metal) ซึ่งสามารถ
ทนทานการผุกร่อนได้ดีมาก มักมีสีขาวตามธรรมชาติและเมื่อนำไปชุบจะทำให้ผิวที่แวววาวเป็นประกาย
อีกทั้งโดยส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับมักจะใช้เป็นส่วนหนึ่งของโลหะผสมอยู่แล้วเช่นทำให้
ทองธรรมชาติมีสีขาวขึ้นใกล้เคียงกับแพลทินัมผู้จัดทำจึงทำการทดลองด้วยการนำโลหะเงินเจือเข้ากับ
แพลเลเดียมในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วนำไปทดสอบด้วยเหงื่อเทียม และคอยเก็บข้อมูลบันทึกผล
โดยแบ่งเป็น4ช่วงเวลา ตั้งแต่5-20 วัน ในอุณหภูมิปกติ

ผลการวิจัยพบว่าผลที่ได้ที่มีส่วนผสมของ เงิน92.5% ทองแดง6.8% และแพลเลเดียม
0.7% มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสีมากกว่า59% ต่อให้ระยะเวลาผ่านไป 20วัน นับเป็นส่วนผสมที่
ประมาณการได้ว่าสามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับเงินที่ลดอัตราการหมอง ในอุตสาหกรรมการผลิต
เครื่องประดับได้

คำสำคัญ : แพลเลเดียม,ด้านทานการหมอง,เงินสเตอร์ริง

Abstract

The study of silver metal used in the non-plated jewelry industry was found to be dull or black, but it was a basic feature of silver. To react with air easily in Thailand. The hot weather must be maintained regularly. The concept that we can study the development of silver metal with resistance to tarnish to slow down will have a positive effect on the jewelry industry. The team has developed a concept to bring other elements to meet the potential. The element used here is palladium (Pd) because the palladium is in the same group as the nickel and platinum groups in the periodic table. It is a metal (Nobel Metal), which is very durable corrosion. Usually white is natural, and when used to polish the skin is glistening, and in most cases in the jewelry industry is often used as part of the alloy, such as making the natural gold color close to the platinum. The authors performed the experiments by introducing silver metal with palladium in an appropriate ratio and tested it with artificial stone. And save the record. It is divided into 4 periods of 5-20 days in normal temperature.

The results of the study showed that 92.5% copper 6.8%, and 0.7% palladium had a shade of L value of 59% over 20 days. It can be used to produce silver jewelry at a lower tarnished rate. In the jewelry industry.

Keywords: Palladium, Resistance to tarnishing, sterling silver



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมถึง อาจารย์ประจำสาขาวิชา เทคโนโลยีแม่พิมพ์ เครื่องประดับ ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ให้ทุนสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โลหะเงิน	4
2.2 โลหะแพลเลเดียม	22
2.3 การหลอมโลหะ	18
2.4 เทคนิคและวิธีการวัดทดสอบระดับสีตามมาตรฐานการทดสอบ CIELAB	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานการวิจัย	23
3.1 บทนำ	30
3.2 แผนการดำเนินการ	30
3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์	31
3.4 ดำเนินการทดลอง	32
3.5 สรุปผล	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	40
4.1 ผลการดำเนินงาน	40
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าระดับสี	45
4.3 สรุปผล	47
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผล	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน ทองแดง อินเดียม ฟอสฟอรัส	4
2.2 ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ	5
2.3 ปริมาณสารเจือปนในโลหะเงินบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM	6
2.4 คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97 % ที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กัน	6
2.5 แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่างๆ	9
2.6 ค่าความแข็งแรงของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับธาตุเจือต่างๆ	11
2.7 ค่าความแข็ง(HV10)ของโลหะเงินเจือและสัดส่วนของธาตุเจือทองแดง	12
2.8 สมบัติทางกายภาพของธาตุผสมที่ใช้ผสมในโลหะเงินสเตอร์ลิง	13
2.9 ปฏิกริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการหมอง (Basso et al, 2010)	17
4.1 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(5วัน)	41
4.2 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(10วัน)	42
4.3 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(15วัน)	43
4.4 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(20วัน)	44
4.5 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงวันโดยแบ่งเป็นค่าL,a,b เทียบกับ เงิน925	45
4.6 แผนภูมิแสดงค่า a	46
4.7 แผนภูมิแสดงค่า b	47



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะสารละลายของแข็ง	7
รูปที่ 2.2 ปริมาณธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งของโลหะเงิน	11
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงสมมูลของโลหะผสมเงินและทองแดง (Grimwade, 2009)	14
รูปที่ 2.4 แผนภูมิสมมูลของโลหะระบบ Ag-Pd (ASM Handbook, 1998)	14
รูปที่ 2.5 แผนภูมิสมมูลของโลหะระบบ Ag-Cu-Pd (ASM Handbook, 1995)	15
รูปที่ 2.6 คุณสมบัติต่างๆ ของระบบโลหะผสมเงิน - ทองแดง	16
รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมสี x, y ของ CIE ในปี 1931	20
รูปที่ 2.8 ความไวแสงของตามนุษย์ (Color-matching function)	21
รูปที่ 2.9 ภาพสีรุ้งของรุ้งกินน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ	22
รูปที่ 2.10 ภาพคลื่นแสงในช่วงความยาวที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ที่เรียกว่า Visible Light	22
รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* , b^*	23
รูปที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (A) ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (B) ปริภูมิสีระบบ L^*a^*b (L^*a^*b Color Space)	24
รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์สี a^* , b^* ที่ใช้แสดงค่าปริภูมิสีระบบ L^*C^*h	25
รูปที่ 2.14 ค่าโครมาและความสว่าง	26
รูปที่ 2.15 ค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ L^*a^*b	27
รูปที่ 2.16 ส่วนหนึ่งของไดอะแกรมสี a^* , b^* ในปริภูมิสีระบบ L^*C^*h	27
รูปที่ 2.17 คำที่ใช้อธิบายถึงค่าโครมาหรือความอิ่มตัวของสีและความสว่าง	28
รูปที่ 2.18 พิกัดการวัดสี	29
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	30
รูปที่ 3.2 แสดงการหลอมโลหะเงิน+ทองแดง+ตามสัดส่วนที่กำหนดพลเลเดียม	32
รูปที่ 3.3 แสดงการเทโลหะลงในรางเทโลหะ	33
รูปที่ 3.4 แสดงการรีดโลหะแบบเป็นเส้น	33
รูปที่ 3.5 แสดงการรีดโลหะแบบแบน	34
รูปที่ 3.6 แสดงการขีดกระดาดทราย	34
รูปที่ 3.7 แสดงการขีดยาแดง	35
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์	35
รูปที่ 3.9 แสดงชุดการทดลองของสารเคมีในการทำเหมือเทียม	36
รูปที่ 3.10 แสดงส่วนผสมสารเคมีลงในบีกเกอร์	37
รูปที่ 3.11 แสดงสารเคมีในการปรับสภาพเหมือเทียม	37
รูปที่ 3.12 แสดงการแช่ชิ้นงานให้แห้ง	38
รูปที่ 3.13 แสดงการหยุดเหมือเทียม	38
รูปที่ 3.14 ป้องกันชิ้นงานสัมผัสอากาศ	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่ถือว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศมากที่สุดสาขาหนึ่ง มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมูลค่าประมาณสามแสนล้านบาท และก่อให้เกิดการจ้างงานในตำแหน่งงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ทักษะฝีมือ ความประณีตในการผลิตค่อนข้างสูงและต้องใช้แรงงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้ การประกอบกิจการของอุตสาหกรรมสาขานี้ มีทั้งผู้ประกอบการ ที่ดำเนินการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs.) รวมถึงผู้ประกอบการระดับครัวเรือน สำหรับในส่วนของผู้ประกอบการ SMEs. นั้น มีผู้ประกอบการอยู่เป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ

ได้มีการประชุมร่วมกับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ได้ข้อสรุปว่า ปัญหาสำคัญ (Major Problem) เกี่ยวกับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ได้แก่

1. ปัญหาด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งในรูปของโลหะมีค่าบริสุทธิ์ โลหะเจือสำเร็จรูปหรือที่เรียกว่าอัลลอยสำหรับผสมกับโลหะมีค่า และโลหะเจือที่ใช้สำหรับการผลิตเครื่องประดับเทียม (อาทิเช่น ทองคำเจือ เงินเจือ แพลทินัมเจือ ทองเหลือง โลหะสีขาว ดีบุก และตะกั่ว เป็นต้น) การศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านวัตถุดิบนี้ควรที่จะมีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตอัลลอยขึ้นมาใช้เองภายในประเทศและทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเริ่มทำการศึกษาวิจัยอิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของโลหะมีค่า (สมบัติทางกล ความต้านทานการหมอง การปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนและสมบัติทางด้านการหล่อขึ้นรูป)

2. ปัญหาด้านวัสดุเชื่อมประสาน เนื่องจากในขบวนการผลิตเครื่องประดับจะต้องมีการเชื่อมประสานเพื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องประดับเข้าด้วยกันไม่ว่าจะเป็นในส่วนของ การเชื่อมกระเปาะสำหรับฝังพลอยเข้ากับตัวเรือนของจี้ ต่างหู หรือแม้แต่กำไลข้อมือ และนอกจากนี้ยังรวมถึงการเชื่อมประสานเพื่อตกแต่งผิวชิ้นงานสำเร็จโดยการเชื่อมปิดรอยตำหนิหรือตามด และหรือรอยตำหนิจากการหดตัวของชิ้นงานจากขบวนการหล่อขึ้นรูป ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมประสานเหล่านี้จะต้องมีคุณสมบัติหลอมละลายต่ำกว่าวัสดุที่ใช้เป็นตัวเรือนเครื่องประดับ แต่จะต้องมีปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าผสมอยู่ตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้สำหรับการแบ่งชนิดของโลหะมีค่าเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ และนอกจากนี้สีของวัสดุเชื่อมประสานจะต้องมีสีใกล้เคียงกับวัสดุตัวเรือนให้มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงความแตกต่างระหว่างสีของวัสดุตัวเรือน และวัสดุเชื่อมประสาน

3. ปัญหาด้านการหล่อขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ เนื่องจากการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ ยังมีผลงานการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ค่อนข้างน้อย ไม่สามารถทำการศึกษาวิจัยได้ครอบคลุมสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้ประกอบการที่เป็น SMEs. เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซ LPG และออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อที่ทำการหล่อด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงที่ให้ความร้อนด้วยหัวเผา (Torch หรือ Burner) แบบสัมผัสบรรยากาศเปิดปกติ ตัวแปรของอุณหภูมิน้ำโลหะและแบบหล่อที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของบรรยากาศที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ อิทธิพลของธาตุเจือต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ และอิทธิพลของขนาดทางเดินน้ำโลหะที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เป็นต้น

4. ปัญหาด้านการขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกล กล่าวคือ การขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับด้วยวิธีการทางกลนั้น เป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่สามารถผลิตขึ้นงานได้อย่างรวดเร็วและผลิตได้ในปริมาณมากๆ ในลักษณะของ Mass Product ช่วยให้สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง แต่สภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมเกิดจากขาดแคลนบุคลากร และองค์ความรู้ทางด้านการขึ้นรูปโลหะมีค่าด้วยวิธีการทางกล เช่น การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป องค์ความรู้ทางด้านพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับโลหะมีค่าในระหว่างที่ดำเนินการผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล องค์ความรู้ทางด้านปัจจัยหรือสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป (เช่น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ค่า Clearance ของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่ให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นสูงสุดสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกล)

5. ปัญหาทางด้านวิกฤติเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นตลอดช่วงระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาและต่อเนื่องจนถึงทุกวันนี้ และราคาของโลหะมีค่าต่างๆ ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ส่งผลให้พฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจสินค้าเครื่องประดับที่มีราคาถูก แต่ยังคงต้องการเครื่องประดับที่ผลิตจากโลหะมีค่าต่างๆ เช่นเดิมโดยมีการลดปริมาณส่วนผสมของโลหะมีค่าลง และนอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคบางกลุ่มหันมาให้ความสนใจเครื่องประดับที่ผลิตจากสแตนเลสและทองเหลืองมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตมีความต้องการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตและวัสดุที่ใช้ในการผลิตเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของผู้บริโภค

จากปัญหาของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับดังที่ได้กล่าวข้างต้น การศึกษาวิจัยของโครงการวิจัยนี้ จะทำการศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันหมองสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดยทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือทองแดงและเงิน ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค ความแตกต่างของค่าระดับสีพฤติกรรมความต้านทานการหมอง พฤติกรรมการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อน และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อขึ้นรูปโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันหมองเพื่อสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสาขานี้ และนอกจากนี้การดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ยังมี

ประโยชน์สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนในรูปแบบของการบูรณาการเรียนการสอน ร่วมกับการวิจัยในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ โลหะวิทยาโลหะมีค่า งานหล่อขึ้นรูปและกระบวนการผลิตเครื่องประดับที่ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ เครื่องประดับ ซึ่งดำเนินการมากกว่า 20 ปี ให้สามารถพัฒนาไปสู่ความเป็นศูนย์วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางทางด้านเทคโนโลยีวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ เพื่อเป็นศูนย์กลาง สำหรับการศึกษวิจัยพัฒนาองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการศึกษวิจัยทางด้านวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับเผยแพร่สู่ภาคการผลิต ที่สามารถรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมสาขา นี้ของประเทศ สอดคล้องกับนโยบายต่างๆ ของรัฐบาลที่ต้องการส่งเสริมให้ประเทศไทยเป็น ศูนย์กลางการผลิตและการค้าสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับแห่งหนึ่งของโลก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันหมอง
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมการต้านทานการหมองของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและดำเนินการวิจัยโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมที่มีปริมาณของแพลเลเดียม ไม่ต่ำกว่า 0.7 % ถึง 1.5 % และมีธาตุเจือทองแดง (Cu) และเงิน (Zn) รวมกันไม่เกิน 7.5 %
2. ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมการต้านทานการหมองของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมและโครงสร้างจุลภาค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันหมอง
- 2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ (ความแตกต่างของค่าระดับสี) และพฤติกรรมการต้านทานการหมองของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมแพลเลเดียม

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะเงิน

2.1.1 คุณสมบัติโลหะเงิน

โลหะเงินเป็นธาตุโลหะที่หายากและมีราคาแพง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะมีค่า เช่นเดียวกับทองคำ ธาตุโลหะเงินมีสัญลักษณ์ทางเคมี Ag และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC (Face Center Cubic) คุณสมบัติหลักๆ ของธาตุโลหะเงินสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

ก. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ลักษณะโดยทั่วไปของโลหะเงิน เป็นโลหะสีขาวมันวาว อ่อนนิ่ม ก้อนโลหะเงินสามารถตีแผ่หรือรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้บางถึง 0.00025 มม. โดยทั่วไปโลหะเงินไม่เกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 190°C ผิวของโลหะเงิน ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน ๆ จะเปลี่ยนเป็นสีดำเนื่องจากมีซัลเฟอร์ (Sulfur) อยู่ในอากาศมาก โลหะเงินบริสุทธิ์มีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิ 960.8°C จุดเดือดที่อุณหภูมิ 2210°C ซึ่งจะทำให้กลายเป็นไอสีขาวเงิน ในขณะที่โลหะเงินเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งโลหะเงินสามารถดูดกลืน(Absorb) ออกซิเจนได้ประมาณ 20 เท่า คุณสมบัติต่างๆ ทางกายภาพของโลหะเงินสามารถ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน ทองแดง อินเดียม ฟอสฟอรัส [50]

คุณสมบัติต่างๆ	เงิน(Ag)	ทองแดง(Cu)	อินเดียม(In)	ฟอสฟอรัส(P)
เลขอะตอม	47	29	49	15
การจัดเรียง อิเล็กตรอน	2,8,18,18,1	2,8,18,1	2,8,18,18,3	2,8,5
น้ำหนักอะตอม	107.868	63.54	114.82	30.974
จุดหลอมเหลว (°C)	960.8	1083	156.81	44.3
จุดเดือด (°C)	2210	2593	2080	280.7
ความหนาแน่น (g/cm ³)	10.5	8.92	7.31	1.82
รัศมีอะตอม (nm)	0.144	0.128	0.167	0.110
โครงสร้างผลึก	fcc	fcc	tetragonal	triclinic
ความจุความร้อนจำเพาะ (cal/g.°C)	0.0559	0.092	0.0548	0.1833
ความร้อนในการหลอมละลาย (cal/g)	25	50.6	-	-
การนำความร้อน (cal/cm ² /cm/s/°C)	1	0.941	-	-
ความแข็ง (HB)	30	37	-	-

ความหนาแน่น (Density) โลหะเงินบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 10.49 g/cc ที่อุณหภูมิ 20°C ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต การขึ้นรูปและการขึ้นรูปในลักษณะต่างๆ อาทิเช่น การหล่อขึ้นรูป การรีด การตัดและการกดลากขึ้นรูป นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นยังขึ้นอยู่กับกรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น การอบเป็น เนื้อเดียว การอบอ่อน และการอบเพิ่มความแข็ง ค่าความหนาแน่นของโลหะเงินที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของโลหะเงินหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
960	9.30
976	9.285
1,000	9.259
1,043	9.210
1,070	9.188
1,092	9.200
1,094	9.170
1,145	9.150
1,195	9.100
1,250	9.050
1,302	9.000

ข. คุณสมบัติทางกล (Mechanical Property) ในการศึกษาคุณสมบัติทางกลโลหะเงินนั้น จะต้องคำนึงถึงระดับความบริสุทธิ์ของโลหะเงิน โดยกำหนดให้โลหะเงินบริสุทธิ์จะต้องมีเนื้อเงินอย่างน้อย 99.95% โดยปกติปริมาณของสารเจือปน (Impurities) แต่ละชนิดที่ผสมในเนื้อโลหะเงินจะต้องมีปริมาณไม่เกินกำหนดตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารเจือปนในโลหะเงินบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน ASTM

สารเจือปน	ปริมาณสารเจือปน(%)	ปริมาณสูงสุด ASTM (%)
Silver	-	99.95 (min)
Copper	0.05	0.08
Lead	0.004	0.025
Iron	0.003	0.002
Nickel	< 0.001	-
Indium	< 0.001	-
Magnesium	< 0.001	-
Silicon	< 0.001	-
Bismuth	< 0.001	0.001

จากการทดลองนำโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97% มาทำการขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กัน พบว่าความต้านทานแรงดึง อัตราการยืดตัวและความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินบริสุทธิ์ 99.97 % ที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ กัน

อัตราการขึ้นรูป(%)	ความต้านแรงดึง (MPa)	ความยืด (%)	ความแข็ง (HV)
0	150	50	26
10	180	30	54
20	230	10	65
30	260	5	70
50	290	3	80
80	360	2	90

ค. คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Property) เงินละลายได้ดีในกรดไนตริก (Nitric Acid) เกิดเป็นอาร์เจนตริกไนเตรท (Argentum Nitrate) หรือที่ทราบกันทั่วไปคือลูน่ารคอสติก (Lunar Caustic) ส่วนกรดซัลฟูริก (Sulphuric Acid) เข้มข้นที่ร้อนละลายเงินได้อย่างช้าๆ เป็นเงินอาร์เจนตริกซัลเฟต

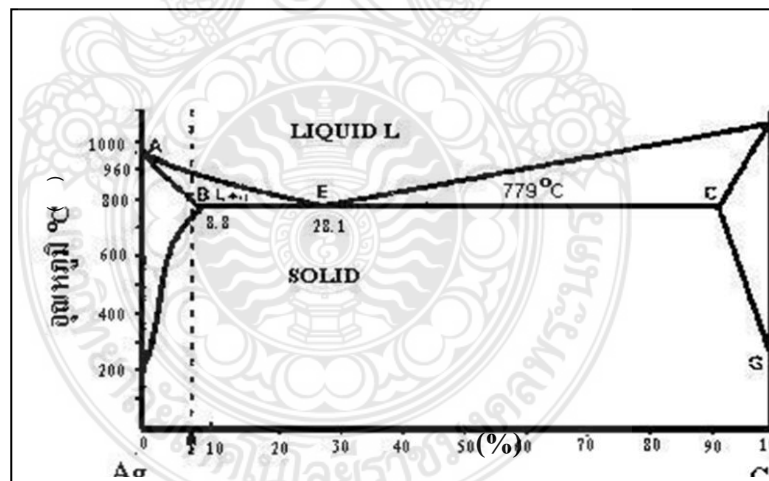
(Argentio Sulphate) กับให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur Dioxide) กรดซัลฟูริกเจือจางไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเงินได้ในลักษณะของซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulphate)

- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) ทำปฏิกิริยากับเงินเข้ามาและเกิดเพียงเฉพาะที่ผิวเท่านั้น โดยจะเกิดคลอไรด์เคลือบโลหะไว้ โพตัสเซียมไซยาไนด์ (Potassium Cyanide) สามารถละลายเงินได้ อัลคาลิสไม่ทำปฏิกิริยากับเงินด้วยเหตุนี้ เบ้าหลอมเงินจึงเป็นพวกอัลคาไลน์

การตกตะกอนของเงิน กรดไฮโดรคลอริกและคลอไรด์ทำให้เงินคลอไรด์ตกตะกอนเป็นสีขาวขุ่น ซึ่งถ้าให้ความร้อนและคนให้ทั่ว สารละลายจะมีลักษณะเป็นขุยและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว เมื่อถูกกับแสง ตะกอนจะมีสีเทาอมน้ำเงินและค่อยๆ เป็นสีม่วง จนในที่สุดจะเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ

2.1.2 โลหะเงินสเตอร์ลิง

โลหะเงินบริสุทธิ์ที่ใช้สำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน มีคุณสมบัติทางกลอ่อนนุ่มความสามารถในการคงรูปต่ำไม่เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการเจือธาตุเจือลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล คุณสมบัติด้านการหล่อขึ้นรูปและเพิ่มความต้านทานการหมอง ซึ่งธาตุเจือที่เจือเข้าไปจะต้องไม่ทำให้คุณค่าและความสวยงามของโลหะเงินลดลง ธาตุเจือหลักที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ทองแดง เพราะทองแดง มีคุณสมบัติที่สามารถละลายรวมกับเงินได้ในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ดังรูปที่ 2.1 และนอกจากนี้ ทองแดงยังมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะเงิน จากการตกตะกอน (Precipitate) ของทองแดงด้วยกระบวนการ Precipitation Strengthening



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะสารละลายของแข็ง

ในสถานะสารละลายของแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง (Solid Solution of Copper in Silver Alloy) และโลหะทองแดงเจือเงิน (Silver in Copper Alloy) ซึ่งมีจุดยูเทคติกส์ที่ 28.1 เปอร์เซ็นต์ทองแดง ความสามารถในการละลายทองแดงในเงินสูงสุดที่ 8.8 เปอร์เซ็นต์ทองแดง โดยความสามารถของการละลายทองแดงในเงินจะลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ สำหรับในกรณีของโลหะเงินเจือทองแดงที่มีปริมาณของทองแดง 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักหรือโลหะเงินสเตอร์ลิง เมื่อ

ทำการหลอมละลายรวมเข้าด้วยกันที่สภาวะสมดุลแล้วลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ โครงสร้างจะประกอบด้วย Primary Silver-rich Solid Solution (α), Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่เกิดจากทองแดงแยกผลึกออกมาและยังมีส่วนที่เป็นโครงสร้างที่เกิดจาก Silver-Copper Eutectic รวมอยู่ด้วย ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 745°C ขึ้นไปโครงสร้างจะเป็น Primary Silver-rich Solid Solution (α) เพียงเฟสเดียว แต่ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 745°C ความสามารถในการละลายทองแดงในโลหะเงินสิ้นสุดลงทำให้เกิดโครงสร้าง Silver-Copper Eutectic และทองแดงแยกผลึกเป็นโครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ซึ่งมีเม็ดเกรนของโครงสร้าง Secondary Copper-rich Solid Solution (β) ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ และมีผลทำให้โลหะเงินเจือทองแดงมีความแข็งแรงต่ำ โครงสร้างและคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ด้วยกระบวนการขึ้นรูปเย็นและกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment)

2.1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องเงิน

สินค้าอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยที่ทำจากโลหะเงินสเตอร์ลิง เป็นผลผลิตที่เกิดจากงานช่างฝีมือทางด้านศิลปหัตถกรรมที่แสดงถึง วัฒนธรรมของชนชาติไทยโดยเฉพาะ จึงเป็นสินค้าที่รู้จักกันแพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับของชาวต่างประเทศทั่วโลก นับได้ว่าเป็นการเผยแพร่ งานศิลปหัตถกรรม วิจิตรกรรมและวัฒนธรรมไทยให้ชาวโลกได้รู้จักประเทศไทย เพื่อเป็นการรักษา ชื่อเสียงของประเทศ ในการส่งออกสินค้าเครื่องเงินที่ผลิตจากโลหะเงินสเตอร์ลิงให้มีคุณภาพดีมี มาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องเงิน มอก.21-2515 ซึ่งได้มีการนำมาใช้รับรองคุณภาพสินค้าเครื่องเงินจนถึงปัจจุบัน และถือเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องเงินที่ได้รับการยอมรับจากทั่วโลก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ว่าด้วยข้อกำหนดเกี่ยวกับชนิดและคุณลักษณะที่ต้องการ ของเครื่องเงินรวมทั้งวิธีทดสอบเครื่องเงินและยาทมเพื่อหาปริมาณโลหะเงินบริสุทธิ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

- ก. เครื่องเงิน หมายถึงวัสดุที่ทำด้วยโลหะเงินหรือประกอบขึ้นจากโลหะเงินเป็นส่วนสำคัญ
- ข. โลหะเงินมาตรฐาน หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะชนิดอื่นปนไม่เกินร้อยละ 7.5 ของ น้ำหนัก
- ค. โลหะเงินบริสุทธิ์ หมายถึงโลหะเงินที่อาจมีโลหะอื่นปนไม่เกินร้อยละ 0.01 ของน้ำหนัก
- ง. ยาทม หมายถึงสารเคมีที่มีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของ น้ำหนักสำหรับใช้ในการลงยาทม
- จ. ยาสี หมายถึงสารเคมีสีสำหรับใช้ในการลงยาสี

2.1.4 ลักษณะทั่วไปของเงินเจือประเภทต่างๆ

Ag950 มีลักษณะเช่นเดียวกับเงินบริสุทธิ์ และต้านการเกิดออกซิเดชัน หลังการอบเหนียวจะ เกิดออกไซด์ ที่ผิววนอกเกือบจะถึงผิวใน และจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับชั้นของออกไซด์ จุด หลอมเหลวที่สูงจะเหมาะกับการชุบผิว อย่างไรก็ตาม โลหะจะมีความแข็งเท่ากับเงินบริสุทธิ์และ

สามารถทำเป็นแผ่นบาง ๆ และขึ้นรูปได้ดี และยังสามารถทำให้บางได้ถึง 75 % ในระหว่างการอบเหนียวและต่อเนื่องกัน เพราะฉะนั้นวัสดุนี้เหมาะกับการขึ้นรูป (Ag950) และสามารถดัดเป็นลวดได้ดี ส่วนความแข็งจะเริ่มต้นจากอุณหภูมิที่ 600°C และจำเป็นต้องเย็นตัวอย่างรวดเร็วหลังการหลอมเหลวและอบเหนียว ดังนั้นความสามารถในการทนการยืดและหดจะลดลง ลักษณะด้อยของ Ag950 คือการเสียรูปร่างง่าย [4] เมื่อเพิ่มความแข็งจาก 50HB จนเกินกว่า 100 HB ด้วยการชุบแข็งเป็นไปได้อาจจะไม่มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กมากนัก

Ag925 โดยทั่วไปจะเรียกว่า เงินสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันมากถึงคุณภาพเหมือนกับ Ag950 มีลักษณะเหมือนกับเงินบริสุทธิ์นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูง โลหะผสมชนิดนี้ใช้ในงานเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวได้ดีเท่ากับ Ag950 อัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกันจะให้ได้คุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความต้องการ

1. การอบเหนียวที่ 650°C เย็นตัวเร็วจะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัว 42%
2. การอบเหนียวที่ 650°C เย็นตัวช้า (ในเตาครึ่งชั่วโมงที่ 350°C) จะเกิดการแตกหักด้วยอัตราการยืดตัวที่ 25%

Ag835 ปกติจะใช้ในการทำเครื่องประดับ แต่ลักษณะสีของ Ag835 จะไม่ขาว สะอาด เหมือนกับเงินบริสุทธิ์มากนัก การใช้งานสามารถรู้สึกถึงความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น

Ag800 โลหะผสมชนิดนี้เหมาะกับการนำไปเป็นอุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร เช่น ช้อน มีด ฯลฯ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลที่ดี และมีความแข็งสูง และมีราคาค่อนข้างไม่แพงเมื่อเทียบกับโลหะผสมที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ของเงินที่น้อยกว่า แต่โลหะชนิดนี้จะมีลักษณะออกเป็นสีเหลืองอ่อนๆ เนื่องจากเกิดออกไซด์ อย่างไรก็ตามจะนำมาทำการชุบผิวด้วยเงิน คือโลหะที่มีเปอร์เซ็นต์ของเงินสูงกว่า และจำเป็นต้องทำการอบเหนียวอีกครั้งพร้อมกับการขัดให้เงามันในทางกลับกัน เมื่อเปอร์เซ็นต์ทองแดงสูงมากขึ้น จะทำให้เกิดเป็นพิษ เมื่อสัมผัสกับกรดอาหาร ตัวอย่างเช่น สนิมเขียวที่ทองแดง Copper Acetate ในน้ำส้มเป็นต้น ถ้าโลหะผสมมีการดัดมาก ๆ หรือมีการขึ้นรูป จำเป็นต้องมีการอบเหนียว อย่างไรก็ตาม Ag800 สามารถที่จะหลอมและหล่อ ได้ง่ายกว่าโลหะผสมที่มีเปอร์เซ็นต์เงินในปริมาณที่มากกว่าจุดหลอมเหลวจะอยู่ที่ 800°C ซึ่งโดยทั่วไปใช้อุณหภูมิการหลอมเหลวที่ 900°C ในการหลอมละลายโลหะผสมนี้สามารถเพิ่มความแข็งได้จาก 40 -100 HB โดยการชุบแข็งที่ 725°C ปล่อยทิ้งไว้ 17 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 280°C

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเงินเจือประเภทต่างๆ

โลหะเงิน เจือ	จุดหลอม (°C)	ความแข็ง (HB)	ควา2.2มตัน แรงดึง(MPa)	ความยืด (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Ag 1000	960	35	180	49	10.39
Ag 925	910 / 779	68	300	29	10.29
Ag 835	840 / 779	76	300	33	10.16
Ag 800	820 / 779	79	310	30	10.13
Ag 720	779	90	330	27	10

2.1.5 อิทธิพลของธาตุเจือในโลหะเงิน

ธาตุเจือที่ผสมเข้าไปในโลหะเงินทำให้คุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ของโลหะเงินเปลี่ยนแปลงไป ธาตุมีอยู่หลายธาตุด้วยกันที่มีอิทธิพลต่อโลหะเงิน ดังตัวอย่างที่จะกล่าวต่อไปนี้

นิกเกิล (Ni) สามารถจะผสมลงไปในอัลลอยเงิน-ทองแดง ได้ถึง 1% นิกเกิลสามารถป้องกันการเกิดลักษณะเกรนโตและเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนได้ แต่ถ้านิกเกิลมากกว่า 2.5 % จะทำให้คุณสมบัติดังกล่าวลดลง ดังนั้นจึงได้มีการนำนิกเกิลไปใช้น้อยลง เนื่องจากเมื่อมีเปอร์เซ็นต์นิกเกิลสูงมากจะทำให้นิกเกิลไม่สามารถละลายในน้ำโลหะเหลวได้ และทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ [4]

ตะกั่ว (Pb) เมื่อผสมในอัลลอย จะทำให้เปราะเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้ตะกั่วสามารถที่จะแยกจากเงินได้ที่จุดหลอมเหลว Eutectic ที่อุณหภูมิ 304°C บางครั้งจะต้องผสมตะกั่วเพื่อให้ง่ายต่อการตัดเฉือน (machined) แต่จะไม่สามารถทำการปรับปรุงด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ [52]

ดีบุก (Sn) ปริมาณดีบุกเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลง เงินบริสุทธิ์ สามารถที่จะผสมดีบุกได้มากถึง 19 % อัลลอยที่มีดีบุกจะเกิดออกซิเดชันน้อยกว่า อัลลอยเงิน-ทองแดง แต่จะทำให้เนื้ออัลลอยนิ่ม และดึงเป็นเส้นได้ดี ถ้ามียดีบุกผสมมากกว่า 9% จะทำให้เกิด Cu_4Sn ซึ่งจะทำให้เปราะและในระหว่างการหลอมเหลวจะทำให้มีออกซิเจนเข้าผสมทำให้เกิดเป็น SnO_2 [52]

อลูมิเนียม (Al) 4 – 5% จะไม่มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ และการใช้งานของอัลลอย แต่ถ้ามีอลูมิเนียมมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็น Ag_3Al และจะทำให้อัลลอยเปราะ ในระหว่างการหลอมเหลวหรือการอบเหนียวจะเกิด อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเกิดตะกอนบนขอบเกรน ซึ่งเป็นสาเหตุให้วัสดุเปราะในระหว่างการใช้งาน [52]

สังกะสี (Zn) ประมาณ 20% สามารถจะละลายได้ในสถานะของแข็ง แต่ในทางปฏิบัติสามารถผสมได้ประมาณ 14 % อัลลอยที่ได้ สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน และมีคุณสมบัติเป็น มันเงา จึงสามารถขัดเป็นเงาได้ง่าย และช่วยลดการรวมตัวของเงินกับออกซิเจนและทำให้น้ำโลหะไหลตัวได้ดีและมีอัตราการยึดตัวสูงขึ้น [52]

ซิลิกอน(Si) เกือบจะไม่ละลายในเงิน ซิลิกอนจะทำให้อัลลอยแข็งและเปราะ ซึ่งจะมีตะกอนบนขอบเกรน และเกือบที่จะทำให้อัลลอยใช้งานไม่ได้ แต่สามารถลดปริมาณของซิลิกอนได้ โดยการใส่หินเขี้ยวหนูมาน (Quartz) ลงในเบ้าหลอม

ฟอสฟอรัส(P) ที่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอที่จะทำให้อัลลอยเปราะได้ โดยอัลลอยจะมีส่วนประกอบ AgP_2 หรือ Cu_3P ซึ่งจะมีตะกอนที่ขอบเกรน จึงทำให้อัลลอยเปราะ เกิดออกซิเดชันเกิดขึ้นเร็วขึ้น ฟอสฟอรัสสามารถจะทำให้จุดหลอมเหลวลดลง สำหรับ ทองแดง – ฟอสฟอรัส ถ้าการดูดเอาออกซิเจนออกไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดทองแดงออกไซด์

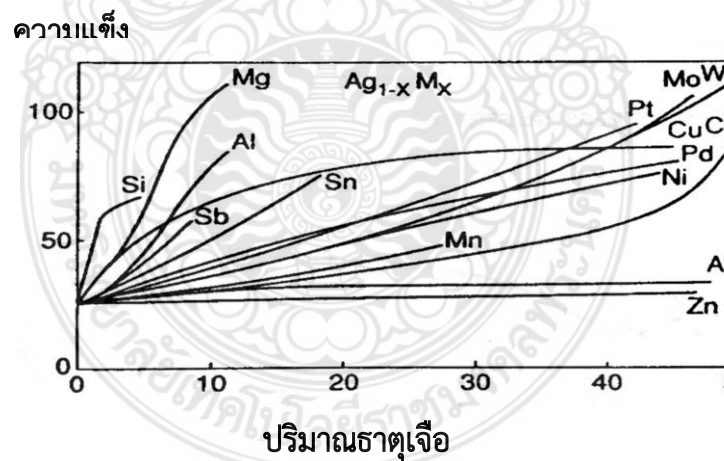
2.1.6 อิทธิพลของธาตุเจือต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ

ธาตุเจือที่ผสมเข้าไปในโลหะเงินทำให้คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเปลี่ยนแปลงไป ทั้งในด้านความแข็งและความแข็งแรง ซึ่งมีอยู่หลายธาตุด้วยกันที่มีอิทธิพลต่อโลหะเงิน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณของธาตุซิลิกอนจำนวนที่ไม่มากนักก็มีผลทำให้โลหะเงินมีความแข็งเพิ่ม

มากขึ้นและยังมีทองแดง ซึ่งเป็นธาตุที่น่าสนใจและส่วนใหญ่นิยมนำมาเป็นธาตุเจือหลักในโลหะเงิน อยู่แล้วเพราะง่ายในการหล่อหลอมและสามารถละลายเข้ากับเงินได้ดี ในด้านความแข็งแรงของ โลหะเงินเจือที่ผสมธาตุเจือชนิดต่างๆ ในอัตราผสมของธาตุเจือ 2%, 5%, 10%, 20% แสดงตาราง ที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความแข็งแรงของโลหะเงินเจือที่ขึ้นกับธาตุเจือต่างๆ

ธาตุเจือ	ค่าความต้านแรงดึง (MPa)			
	ปริมาณธาตุเจือ (%)			
	2	5	10	20
Au	160	170	180	200
Cd	160	170	180	210
Cu	190	240	280	310
Pd	160	180	210	270
Sb	190	240	300	-
Sn	190	240	300	-
Zn	180	190	200	-



รูปที่ 2.2 ปริมาณธาตุเจือชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของโลหะเงิน

ตารางที่ 2.7 ค่าความแข็ง(HV10)ของโลหะเงินเจือและสัดส่วนของธาตุเจือทองแดง

ธาตุเจือ	ความแข็ง (HV10) อัตราการขึ้นรูป (%)		
	0	40	80
ทองแดง 5%	58	108	134
ทองแดง 10%	76	126	158
ทองแดง 15%	98	136	177

สำหรับความแข็งของโลหะเงินเจือที่มีการเจือทองแดง ในสัดส่วนต่างๆ และที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.7 นอกจากคุณสมบัติทางกลแล้ว จุดประสงค์ของการผสมธาตุเจือต่างๆ เข้าไปในเงินเพื่อหวังผลทางด้านอื่นๆ อีกเช่น การหล่อขึ้นรูป (Casting) การเกิดผิวไหม้ (Fire Staining) และความต้านทานการหมอง (Tarnishing Behavior)

ในด้านการหล่อขึ้นรูปสำหรับโลหะเงินสเตอร์ลิง ผู้ผลิตและผู้ประกอบการต้องการชิ้นงาน ที่มีคุณภาพดี มีการสูญเสียน้อยที่สุด และนอกจากนี้โลหะเงินไม่สามารถขึ้นรูปได้ดีด้วยวิธีการตีขึ้นรูปร้อน (Forging) เพราะได้ผิวงานที่ไม่ดีเนื่องจากเกิดผิวไหม้ (Fire Staining) ได้ง่ายมาก สำหรับการหล่อขึ้นรูปโดยทั่วไปนิยมใช้ทองแดงและสังกะสีปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้นผสมเข้าไปด้วยเพื่อหวังผลทางด้าน การไหลตัวเข้าโพรงแบบได้ดี และช่วยลดก๊าซออกซิเจน (Deoxidized) ในโลหะเงินหลอมละลาย

2.2 โลหะแพลเลเดียม

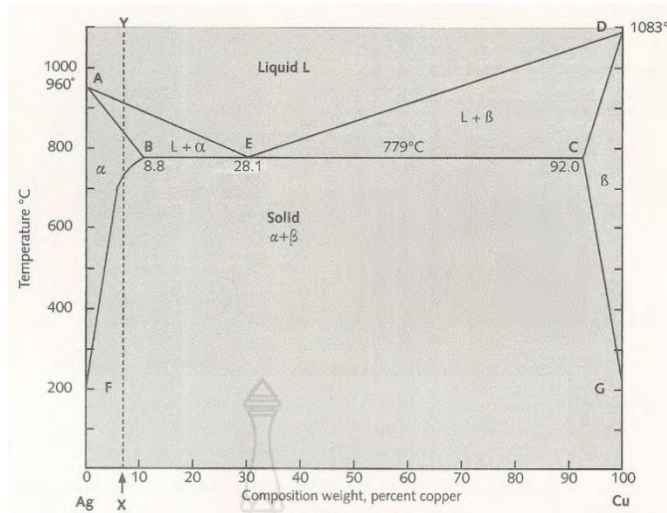
แพลเลเดียมเป็นโลหะทรานซิชันสีขาวเงินที่หายากอยู่ในกลุ่มของแพลทินัม มีสมบัติทางเคมี คล้ายกับแพลทินัม สามารถสกัดได้จากแร่ทองแดงและนิกเกิล ใช้ประโยชน์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แพลเลเดียมเป็นโลหะซึ่งมีสีขาวเป็นประกายตามธรรมชาติและไม่หมองง่าย จึงเป็นทางเลือกที่ดีแทนกลุ่มโลหะผสมสีขาวกะรัตต่ำ นอกจากนี้เนื่องจากความยืดหยุ่นและขึ้นรูปง่าย แพลเลเดียมจึงเหมาะเป็นพิเศษสำหรับกระบวนการฝังอัญมณี การขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร และการผลิตด้วยมือ แพลเลเดียมอยู่กลุ่มเดียวกับนิกเกิลและแพลทินัมตามกลุ่มแนวตั้งในตารางธาตุ เป็นโลหะตระกูล (Nobel Metal) ซึ่งสามารถทนทานการผุกร่อนได้ดีมาก มักมีสีขาวตามธรรมชาติและเมื่อนำไปขัดก็จะให้ผิวที่แวววาวเป็นประกาย แพลเลเดียมถือเป็นโลหะมีค่าเนื่องจากมีมูลค่าอยู่ระหว่างเงินและทอง และเมื่อเทียบกับแพลทินัม มันก็มีมูลค่าประมาณ 1 ใน 5 และมีความหนาแน่นเป็นครึ่งหนึ่งสมบัติทางกายภาพของเงิน ทองแดง และ แพลเลเดียม สำหรับการศึกษานี้ใช้ธาตุผสมในโลหะเงินคือ ทองแดง และแพลเลเดียม ซึ่งจะแสดงสมบัติกายภาพไว้ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพของธาตุผสมที่ใช้ผสมในโลหะเงินสเตอร์ลิง

สมบัติ	เงิน	ทองแดง	แพลเลเดียม
สัญลักษณ์	Ag	Cu	Pd
เลขอะตอม	47	29	46
น้ำหนักอะตอม	107.89	63.54	106.42
โครงสร้างผลึก	FCC	FCC	CFC
ผล	ขาวเทา	แดงเงา	ขาวเงินมันวาว
ความหนาแน่น	10.5	8.96	10.38
จุดหลอมเหลว	961	1083	1554.9
จุดเดือด	2210	2595	3236

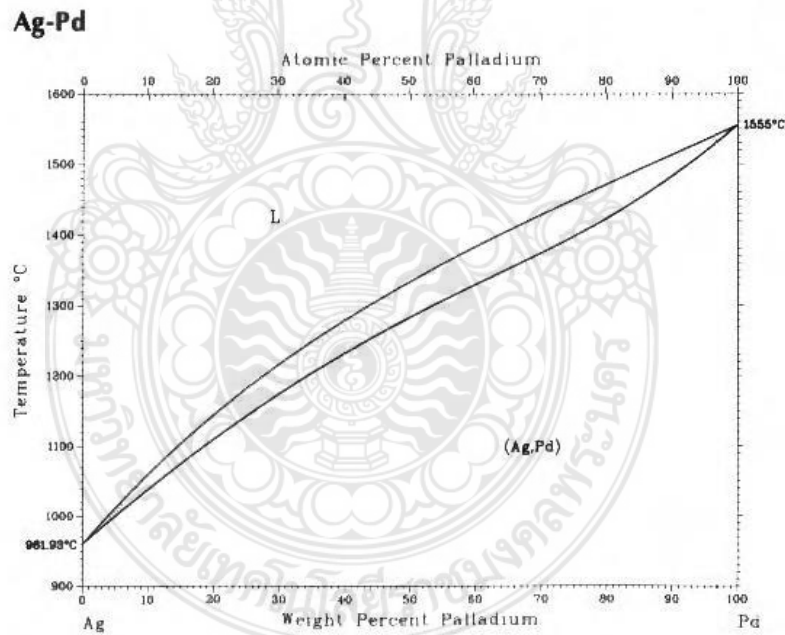
1) แผนภูมิสมดุลของโลหะผสมเงิน

พิจารณาแผนภูมิสมดุลของ Ag-Cu รูปที่ 3 อุณหภูมิหลอมเหลวของเงินบริสุทธิ์มีอุณหภูมิ 960 °C และทองแดงบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1083 °C เมื่ออุณหภูมิของโลหะลดลง เฟสของของแข็งจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าแนวเส้น liquidus AE และ ED และแข็งตัวสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแนวเส้น solidus ABECD ที่ส่วนผสมของโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงปริมาณทองแดง x (x มีปริมาณไม่เกิน 7.5 wt %) ที่อุณหภูมิระหว่าง 700-850 °C โลหะผสมเงินนี้จะกลายเป็นสารละลายของแข็งเฟสเดียวคือเฟสที่มีปริมาณเงินสูงหรือเฟสอัลฟา (α -phase) และเมื่อเย็นตัวลงมาต่ำกว่าอุณหภูมิ 700 °C จนถึงอุณหภูมิจุด โครงสร้างของโลหะจะมี 2 เฟส อยู่รวมกัน คือเฟสอัลฟาและเฟสเบต้า (β + β -phase) ซึ่งเฟสเบต้า (β -phase) จัดเป็นสารละลายของแข็งที่มีปริมาณทองแดงสูง และเป็นเฟสที่สร้างความแข็งแรงให้กับสเตอร์ลิง ปริมาณสูงสุดของทองแดงที่สามารถละลายในเฟสอัลฟาได้คือ 8.8 % ที่อุณหภูมิ 779 °C โครงสร้างยูเทคติก (eutectic structure) ซึ่งเป็นเฟสที่มีความแข็งแรงสูง และสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงที่มีปริมาณทองแดง 28.1 wt % ที่อุณหภูมิ 779 °C อย่างไรก็ตาม การเกิดสารละลายของแข็งเฟสอัลฟาตามแนวเส้น ABF นั้นไม่สามารถเกิดเป็นสารละลายของแข็ง (solid solution) ที่สมบูรณ์ถึงแม้ว่าเงินและทองแดงจะเป็นโลหะที่มีโครงสร้าง FCC เหมือนกัน เนื่องจากแลตทิซของเงินสามารถละลายทองแดงได้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น การละลายเพียงบางส่วนนี้เรียกว่า partial solid solution (Grimwade, 2009)



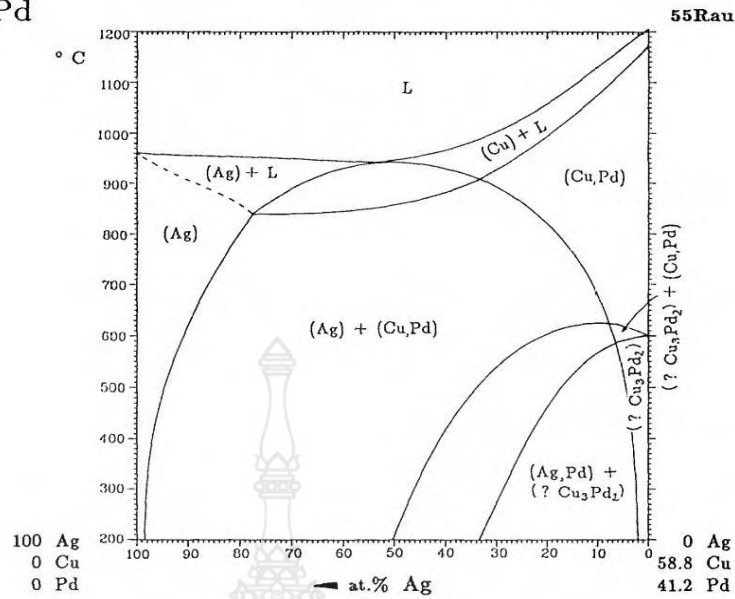
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงสมดุลของโลหะผสมเงินและทองแดง (Grimwade, 2009)

จากแผนภูมิสมดุลระบบ 2 องค์ประกอบของ Ag-Pd ในรูปที่ 4 พบว่าแพลเลเดียมที่ผสมในเงินนั้นไม่เกิดเป็นสารประกอบ แต่สามารถละลายเป็นสารละลายของแข็งอยู่ร่วมกับเงิน (Ag,Pd solid solution) ในทุกอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแผนภูมิสมดุลระบบ 3 องค์ประกอบในระบบ Ag-Cu-Pd (รูปที่ 2.5) แพลเลเดียมในโลหะผสมเงินสเตอร์ลิงจึงสามารถผสมอยู่ได้ทั้งในเฟสอัลฟาและเบต้า



รูปที่ 2.4 แผนภูมิสมดุลของโลหะระบบ Ag-Pd (ASM Handbook, 1998)

Ag-Cu-Pd

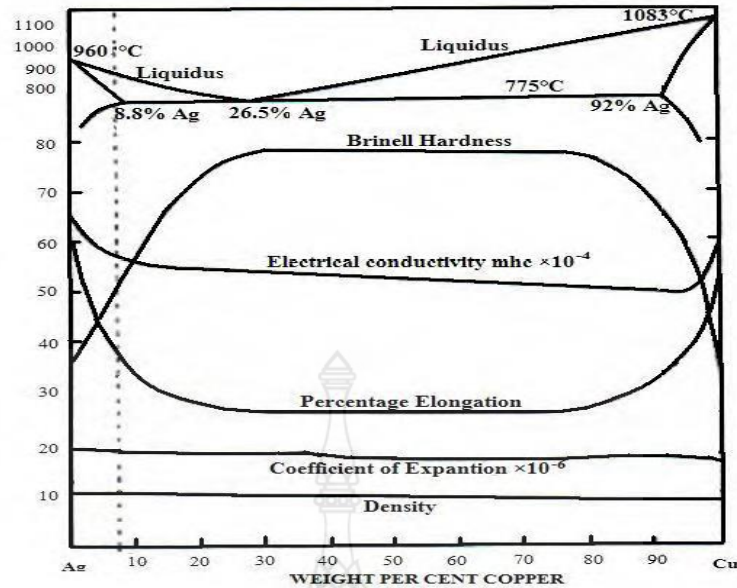


รูปที่ 2.5 แผนภูมิสมมูลของโลหะระบบ Ag-Cu-Pd (ASM Handbook, 1995)

3) ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาค

จากรูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Ag-Cu แผนภูมิสมมูล คุณสมบัติทางกล และทางฟิสิกส์และอื่นๆของโลหะผสมเงิน-ทองแดง พบว่าค่าความแข็ง (Brinell Hardness) ของเงินสเตอร์ลิงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณทองแดงมากขึ้นจนถึงที่จุดยูเทคติก ซึ่งมีปริมาณทองแดง 28.5 wt% จากนั้นค่าความแข็งจะคงที่ไปจนถึง 80 wt%Cu และความแข็งจะลดลงเมื่อปริมาณทองแดง

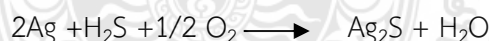
มากกว่า 80 wt%Cu เนื่องจากสารละลายของแข็งของเงิน-ทองแดง เริ่มเปลี่ยนเป็นโลหะที่มีค่าความบริสุทธิ์ของทองแดงมากขึ้นนั่นเอง และค่าความแข็งในโลหะผสมเงินที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากเฟสเบต้าซึ่งมีปริมาณทองแดงสูงและโครงสร้างยูเทคติก ในทางกลับกัน ความสามารถในการยืดตัว (elongation) โลหะบริสุทธิ์จะมีค่ามากกว่าในโลหะผสม ดังนั้นปริมาณการยืดตัวของโลหะผสมเงิน-ทองแดง จะมีค่าต่ำคงที่ในช่วงปริมาณทองแดง จะลดลงเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นจนถึง 28.5 wt% และจะคงที่จนกระทั่งถึง 80 wt%



รูปที่ 2.6 คุณสมบัติต่างๆ ของระบบโลหะผสมเงิน - ทองแดง
(เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร และคณะ, 2546)

4) กลไกการเกิดการหมองในโลหะผสมเงิน

โลหะเงินเมื่ออยู่ในบรรยากาศจะถูกออกซิเดชัน ด้วยออกซิเจนในอากาศที่มีความชื้นและหากโลหะผสมเงินอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมและเมืองใหญ่ที่การจราจรคับคั่ง ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในสภาวะที่มี H_2S 600 ppm จะทำให้เงินสเตอร์ลิงหมองเร็วขึ้น สารที่มักทำให้ผิวโลหะเงินตาลงคือสารประกอบของซัลเฟอร์ ซึ่งมักเป็น H_2S มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์อยู่ ปฏิกิริยาที่ทำให้ผิวเงินหมองในบรรยากาศ H_2S คือ



โลหะเงิน และโลหะเงินผสมเกิดปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมได้คล้ายกัน ซึ่งโลหะเงินจะถูกกัดกร่อนในบรรยากาศที่ต่อเมื่อมีความชื้นอยู่ด้วยเท่านั้น เนื่องจากความชื้นจะถูกดูดติดและปกคลุมที่ผิวโลหะเงินกลายเป็นน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวโลหะ โดยขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อย น้ำจะถูกดูดติดที่ผิวโลหะเงินได้น้อย ทำให้โลหะเงินถูกกัดกร่อนได้น้อย และการกัดกร่อนของโลหะเงินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ถ้าในบรรยากาศมีสารประกอบที่ทำให้เงินหมองอยู่ด้วย สารเหล่านี้จะละลายในน้ำที่ผิวเงิน ทำให้เงินมีฟิล์มตาที่ผิว ดังนั้นน้ำที่ผิวโลหะจึงมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะเงินได้ โดยน้ำที่อยู่บนผิวเงิน ซึ่งเกิดจากไอน้ำที่ควบแน่นมาเกาะที่ผิว หรืออนุภาคฝุ่นที่สามารถดูดความชื้นได้เกาะที่ผิวเงิน อีออนของโลหะเงิน (Ag^+) ละลายจากโลหะเงินลงมาในน้ำหรือสารละลายที่ผิวแล้วเกิดปฏิกิริยาต่อไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะเงิน

5) สารประกอบที่เกิดจากการหมอง

เนื่องจากการหมองและการกัดกร่อนของโลหะผสมเงินสามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ ซึ่งสารประกอบหลักที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการหมอง (Basso et al, 2010)

Reaction	Equilibrium constant (K, 25°C)	Compound name	Color ²⁴
$2\text{Ag} + \text{H}_2\text{S} + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	6.117×10^{42}	silver sulfide	black, grey-black
$2\text{Cu} + \text{H}_2\text{S} + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	6.568×10^{50}	copper sulfide	blue-black
$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	8.197×10^{24}	copper sulfide	blue-black
$\text{GeO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{GeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	19.36	germanium sulfide	black
$\text{SnO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SnS} + \text{H}_2\text{O}$	2.89×10^{10}	stannic sulfide	brown-black, grey
$\text{ZnO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} + \text{H}_2\text{O}$	2.292×10^{14}	zinc sulfide	white
$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SiS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	6.840×10^{-35}	silicon sulfide	white or grey
$\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{B}_2\text{S}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	1.761×10^{-59}	boron sulfide	white-yellow
$\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{NO}_2 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	2.736×10^{37}	copper nitrate	blue
$\text{Ag} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{AgNO}_2$	6.426×10^6	silver nitrite	yellow-grey
$\text{Ag} + 0.5\text{SO}_2 + 0.25\text{O}_2 \rightarrow 0.5\text{Ag}_2\text{SO}_3$	5.682×10^9	silver sulfite	--
$\text{Cu} + 0.5\text{SO}_2 + 0.5\text{O}_2 \rightarrow 0.5\text{Cu}_2\text{SO}_4$	1.117×10^{31}	copper sulfate	green
$2\text{Ag} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{AgCl}$	--	silver chloride	white

ลักษณะและปัจจัยที่ส่งผลต่อการหมองและการกร่อนของโลหะเงิน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ออกไซด์และคาร์บอเนต ในบรรยากาศที่แห้งโลหะเงินจะเกิดออกไซด์ได้น้อยมาก (อุณหภูมิห้องและความดันปกติ) แต่ถ้าอยู่ในบรรยากาศที่ชื้นหรือเปียก จะเกิดออกไซด์ Ag_2O ที่เสถียรได้ก็ต่อเมื่ออยู่ที่ pH สูง และในสภาวะที่มีสารออกซิไดซ์เซอร์ที่รุนแรงเท่านั้น (หรือเกิดที่ศักย์ไฟฟ้าสูง) ซึ่งสภาวะเช่นนี้ไม่พบใน

2) ซัลไฟด์และซัลเฟต เนื่องจากที่ผิวโลหะเงินที่ถูกกัดกร่อนจะมี Ag_2S (Acanthite) การเกิด Ag_2S เกิดจากในบรรยากาศมี Reduce sulfur สารที่เป็นสาเหตุใหญ่คือ HS^- ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับไอออนของเงิน (Ag^+) ที่ละลายลงมาในสารละลายหรือไปดูดติดที่ผิวโลหะเงินก่อนแล้วทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็น Ag_2S

ในบรรยากาศออกซิไดซ์ซัลเฟอร์เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และอนุภาคของซัลเฟตในบรรยากาศ โดยจะเกิดปฏิกิริยาร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือ โอโซน(O_3) ก็สามารเกิดเป็นเงินซัลเฟตได้ การที่เกิดเป็นเงินซัลเฟตได้นั้นต้องมี SO_2 อยู่ในอากาศชั้นเป็นปริมาณมากคือประมาณ 2-3 เท่าของปริมาณ SO_2 ที่พบในบรรยากาศปกติการเกิดเป็นเงินซัลไฟต์ได้นั้น ต้องมีออกซิไดซ์เซอร์ในสถานะแวดล้อมด้วย เช่น O_3 , NO_2 และ Cl_2

3) คลอไรด์ เมื่อในบรรยากาศมีคลอรีน (Cl_2) ซึ่งละลายน้ำได้ HCl หรืออนุภาคที่มีคลอไรด์อยู่ เกาะติดที่ผิวโลหะเงิน คลอไรด์จะทาปฏิกิริยากับโลหะเงินได้สารประกอบเชิงซ้อนของ $AgCl$ หรือถ้าในน้ำที่ผิวโลหะเงินมีคลอไรด์อยู่จะเกิดเป็น $AgCl$ เมื่อน้ำระเหยไปหมด จะเหลือ $AgCl$ เกาะติดที่ผิวเงิน ขณะที่น้ำค่อยๆระเหยไปจะทำให้ความเข้มข้นของ Cl^- เพิ่มมากขึ้นจนอาจเกิดปฏิกิริยา $AgCl (s) + Cl^- (aq) \rightleftharpoons AgCl_2^- (aq)$ (2.3)

4) สารที่มีไนโตรเจน โดยทั่วไปโลหะเงินเกิดปฏิกิริยากับ NO_2 ได้น้อยมาก และจะทาปฏิกิริยากับแอมโมเนีย (NH_3) เข้มข้นได้น้อยเช่นกัน

2.3 การหลอมโลหะ

คือการทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวแล้วเทลงในแม่พิมพ์ ปล่อยให้โลหะเย็นตัวและคืนสภาพเป็นของแข็งอีกครั้ง สำหรับการหลอมโลหะให้กลายเป็นของเหลวนั้นจะใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ พอสรุปได้ดังนี้

1) การหลอมโลหะโดยใช้เปลวเพลิงโดยตรง เป็นวิธีดั้งเดิมที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย เป็นการใช้เปลวไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงหลอมโลหะให้ละลายโดยตรง แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ แก๊สอะเซทิลีน แก๊สโพรเพน เป็นต้น โดยใช้ร่วมกับแก๊สออกซิเจน เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ โดยมีหัวผ่านแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับหรือบังคับเปลวไฟให้มีปริมาณความร้อนตามต้องการ การหลอมด้วยวิธีนี้ผู้หลอมจะต้องมีความชำนาญในการดูผิวหน้าของโลหะว่าใช้ได้หรือไม่ เพราะไม่มีเครื่องมือวัดหรือควบคุมอุณหภูมิในการหลอม ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิในการหลอมละลายของโลหะจะมีหลายระดับ คือ อุณหภูมิหลอมละลาย (Melting Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะจะไหลได้ดี อุณหภูมิเดือด (Boiling Point) เป็นอุณหภูมิที่น้ำโลหะเริ่มดีดอากาศรอบ ๆ เข้ามารวมตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation น้ำโลหะจะเดือด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อย่างยิ่งที่ผู้หลอมโลหะต้องหลอมให้ถึงจุดไหลของโลหะ แล้วจึงเริ่มเทลงบนแบบพิมพ์ตามกรรมวิธีการหล่อ ในทางปฏิบัติจะดูผิวหน้าของโลหะที่หลอมละลายให้ในเหมือนผิวหน้าของกระจกเงา จึงจะถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ใช้ได้

ข้อควรจำแนกประการหนึ่งในการหลอมโลหะต้องเผาหรือให้ความร้อนแก่เข้าหลอมให้เพียงพอ ก่อนที่จะทำการหลอมโลหะเพื่อให้เข้าหลอมมีการขยายตัวให้เพียงพอเพราะ อุณหภูมิในการหลอมโลหะจะสูงมาก ตัวเข้าหลอมขยายตัวไม่ทันจะเกิดการแตกร้าจะทำให้สูญเสียเข้าหลอมและโลหะมีค่าที่หลอมด้วย

การหลอมโลหะจากเปลวไฟโดยตรงในเครื่องหล่อตัวเรือนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และชุดเชื้อเพลิงสำหรับหลอมโลหะ การหลอมโลหะโดยใช้เตาหลอมเป็นกรรมวิธีการหลอมโลหะ โดยใช้เตาหลอมใช้เตาหลอมโลหะที่อาจใช้พลังงานจากไฟฟ้า หรือแก๊ส เป็นการให้ความร้อนหรือเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาหลอม ความร้อนจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปถึงโลหะที่อยู่ในเข้าหลอมหรือ Crucible จนโลหะนั้นละลายเนื่องจากการ

หลอมลักษณะนี้ไม่ใช่เป็นการให้ความร้อนกับโลหะโดยตรง จึงต้องใช้เวลาหลอมโลหะมากกว่าวิธีอื่น ๆ วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้

2) การหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำ เป็นการหลอมโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำจากแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้โลหะจะถูกให้อยู่ในเบ้าหลอมซึ่งถูกล้อมไว้ด้วยขดลวดตัวนำไฟฟ้าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนสูงมาก สามารถละลายหรือหลอมโลหะได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำระบบแก๊สเฉื่อยมาใช้ในการหลอมโลหะลักษณะนี้เพื่อใช้คลุมผิวหน้าของโลหะขณะหลอมละลายเพื่อป้องกันการเกิด Oxidation ของน้ำโลหะอีกด้วย การหลอมโลหะแบบนี้ได้รับความนิยมจากผู้ผลิตเครื่องประดับที่มีคุณภาพสูงอย่างมากในปัจจุบัน

3) จุดหลอมละลายของโลหะ หมายถึง ระดับอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเปลี่ยนสถานะจากของ แข็ง เป็นของเหลว โดยทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักอยู่ในรูปของโลหะผสม คือ มีโลหะอื่นปะปนอยู่ในส่วน สัดที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีคุณสมบัติตามความต้องการใช้งาน ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับก็ เช่นเดียวกัน โลหะที่นำมาใช้มักมีการผสมโลหะอื่น ๆ ลงไปด้วย เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ทองคำ และเงิน โดยโลหะที่นำไปผสมมักมีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าโลหะตั้งต้น โลหะผสมที่ได้จึงนำวิธีการบัดกรี มาใช้ เพื่อให้มีการหลอมละลายเฉพาะบางจุดเท่านั้น (ไม่หลอมละลายทั้งชิ้นงาน)

4) การนำความร้อน คือความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ จากจุดใดจุดหนึ่งไปสู่อีกจุด หนึ่งได้รวดเร็วเพียงใด เช่น โลหะเงินมีการนำความร้อนได้ดี นั่นคือเมื่อให้ความร้อนแก่โลหะเงินที่จุดหนึ่ง โลหะเงินสามารถนำความร้อนนั้นไปถึงอีกจุดหนึ่งบนชิ้นงานเดียวกันได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันไม่จะนำ ความร้อนได้ช้ามาก เมื่อเทียบกับโลหะเงิน ทองแดง ซึ่งเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนที่ดี ในการบัดกรีและอบ อ่อนจะต้องให้ความร้อนที่เพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งชิ้นงานจึงจะได้ผลที่ดีในชิ้นงานขนาดใหญ่ การบัดกรีเป็น จุดมักทำได้ไม่ดีนักเพราะความร้อนจะถูกกระจายไปในส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับ แพลทินัม เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนไม่ดีนัก จึงบัดกรีเป็นจุดได้ดี โดยไม่ต้องแกะพลอยออก จากตัวเรือน ในกรณีที่เป็นตัวเรือนที่สำเร็จแล้ว เพราะเพชรพลอยเหล่านั้นจะไม่ได้รับความร้อนจากการบัดกรี การศึกษาคุณสมบัติในการหลอมละลายของโลหะจึงมีประโยชน์อย่างมากในงานหล่อโลหะทองคำ เงิน และ แพลทินัม เป็นโลหะซึ่งใช้ในการหล่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ทองแดงไม่สามารถนำมาหล่อได้ เนื่องจาก มีผิวหน้าที่แข็งเกินไป

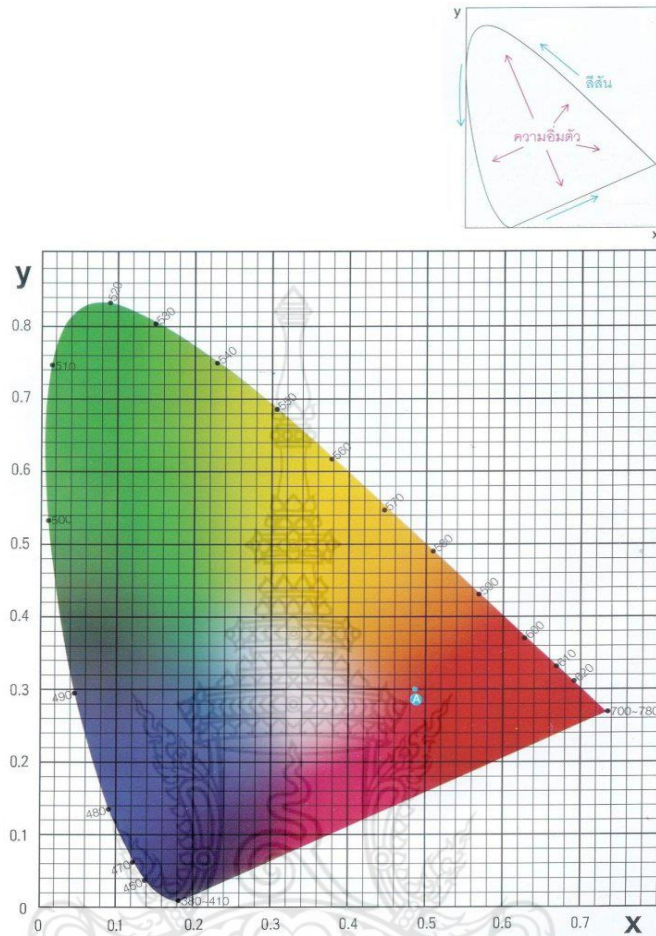
2.4 เทคนิคและวิธีการวัดทดสอบระดับสีตามมาตรฐานการทดสอบ CIELAB

เทคนิค และวิธีการวัดทดสอบระดับสี ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีการ วัดสีระบบของการวัดสีและการสื่อความหมายของสี เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับสื่อสารสีที่มองเห็น

1. การมองเห็นสีและการวัดสี

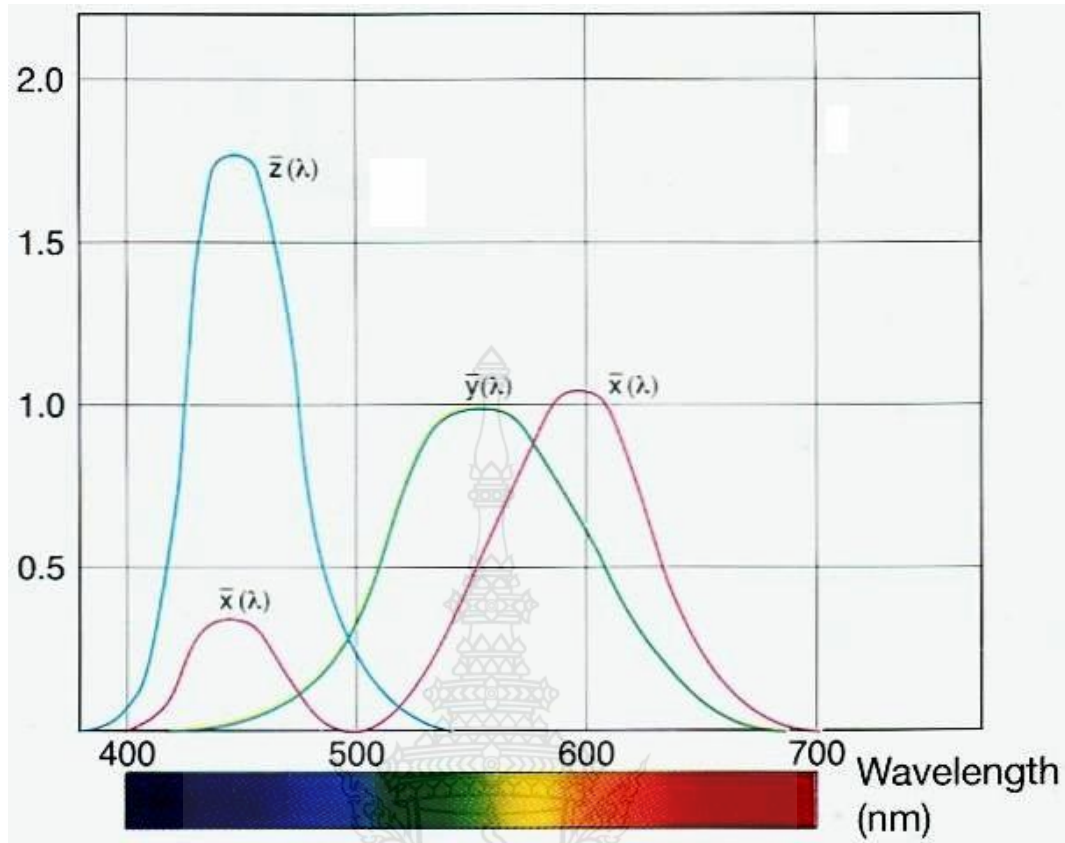
ในอดีตที่ผ่านมาสีเป็นสิ่งที่สื่อสารให้มีความเข้าใจได้ยาก เนื่องจากสีหรือสีสนั้นมีความ หลากหลาย การที่จะบอกคุณภาพของสีนั้นแตกต่างจากการบอกความยาวและน้ำหนัก เพราะไม่มี หน่วยบอกค่าสี ทำให้เป็นเรื่องที่วุ่นวายในการที่จะให้คำตอบหรืออธิบายให้ผู้คนที่เข้าใจอย่างชัดเจน เกี่ยวกับระดับสี เช่น การบอกความแตกต่างของสีฟ้า น้ำทะเลกับสีฟ้าของฟ้า ซึ่งคนแต่ละคนจะมี จินตนาการในสีทั้งสองที่แตกต่างกัน เพราะการรับรู้เรื่องสีและประสบการณ์ของแต่ละคนมีความ แตกต่างกัน ดังนั้นในปี ค.ศ. 1931 The Commission International Del' Éclair age (CIE) ซึ่ง เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสีและแสง ได้พัฒนาระบบที่ทำให้เห็นความ แตกต่างของสีมีระยะที่สัมพันธ์ใกล้เคียงกับความแตกต่างที่มองเห็นด้วยตามนุษย์มากขึ้น โดยกำหนด

เป็นค่าปริภูมิสี (Color Space) ขึ้นมา และถูกนำมาในการสื่อสารเกี่ยวกับสีและระบบของสีที่ใช้กันทั่วโลกในปัจจุบัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมสี x, y ของ CIE ในปี 1931 [3]

ปริภูมิสี (Color Space) เป็นขอบเขตแสดงความกว้างขวางของสีของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้เครื่องหมายหรือตัวเลข ที่ได้รับการพัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานจากทฤษฎี 3 องค์ประกอบในการมองเห็น คือ ความมีสีส้ม (Hue หรือ H) ความสว่าง (Value หรือ V) และความอิ่มตัวหรือโคมา (Chroma หรือ C) โดยปกติแล้วตาของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงสามสี คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งสีทั้งหมดที่มนุษย์มองเห็นเกิดจากการผสมผสานของสามสีดังกล่าวปริภูมิสีที่ CIE พัฒนาขึ้นเป็นกราฟสองมิติที่ไม่รวมค่าความสว่างเข้ามาด้วย เรียกว่า ปริภูมิสี Yxy (Yxy Color Space) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทั้งนี้ให้ Y แทนค่าความสว่าง ส่วน x และ y คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสีที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชันความไวแสงของเซลล์ไวแสงทั้งสามสีของตามนุษย์ (Color-matching function) ดังกล่าวข้างต้น (ซึ่งประกอบด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) คือ $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ และ $\bar{z}(\lambda)$ ที่อยู่ในรูปของสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แล้วแสดงค่าออกมาในรูปของปริภูมิสีระบบต่างๆ เช่น ปริภูมิสีระบบ L*a*b ปริภูมิสีระบบ L*C*h และปริภูมิสีระบบ Hunter Lab

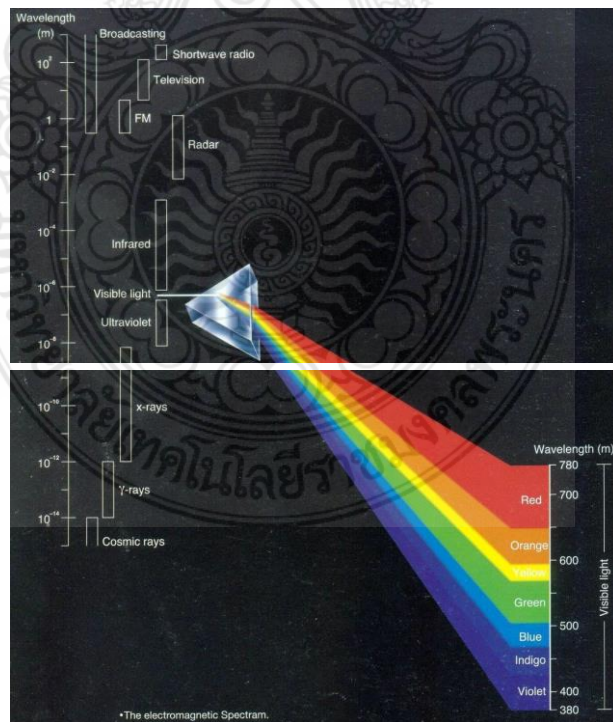


รูปที่ 2.8 ความไวแสงของตามนุษย์ (Color-matching function)

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดปริภูมิสีระบบต่างๆ ขอทำความเข้าใจเกี่ยวกับการมองเห็นสีของมนุษย์ ซึ่งผู้คนส่วนใหญ่ทราบกันดีว่า ถ้าให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเหออกมาคล้ายสีรุ้งดังแสดงในรูปที่ 2.9ปรากฏการณ์นี้เกิดจากการกระจายแสงของสี หรือที่เรียกว่าสเปกตรัม การที่มนุษย์สามารถมองเห็นสเปกตรัมได้นั้น เป็นเพราะช่วงคลื่นดังกล่าวไปกระตุ้นเรตินาในตามนุษย์ ทำให้เห็นเป็นสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงินและสีม่วง โดยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความยาวคลื่นของแสงนั้น แสงในบริเวณที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด คือ สีแดง และแสงในบริเวณที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด คือ สีม่วง แสงในช่วงความถี่ที่มนุษย์มองเห็นได้เรียกว่า Visible Light Region ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ความยาวคลื่นที่ยาวถัดขึ้นไปจะเข้าสู่ย่านคลื่นอินฟราเรด และถ้าเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สั้นกว่าที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ก็จะเข้าสู่ย่านคลื่นอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งคลื่นทั้งสองชนิดนี้ มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สำหรับหน่วยที่ใช้วัดความยาวคลื่นแสงนี้นิยมใช้เป็นหน่วยนาโนเมตร (Nanometer: μm) หรือบางครั้งอาจใช้หน่วยไมโครเมตร (Micrometer: μm)



รูปที่ 2.9 ภาพสีรุ้งของรุ้งกินน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ที่เกิดจากแสงอาทิตย์ทะลุผ่านหยดน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นปริซึม

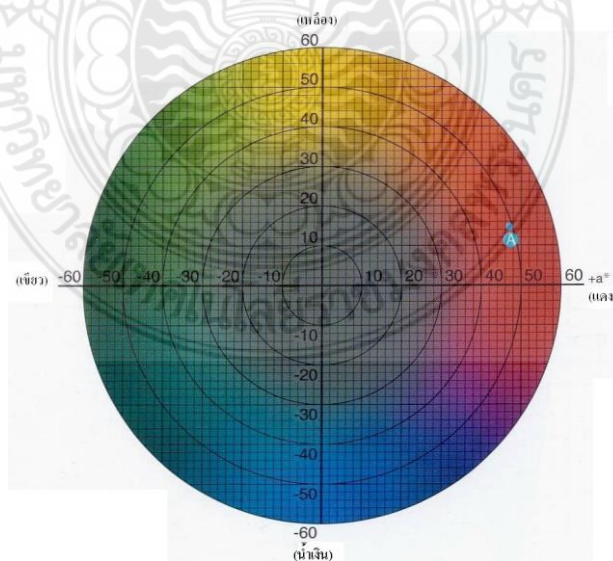


รูปที่ 2.10 ภาพคลื่นแสงในช่วงความยาวที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ที่เรียกว่า Visible Light

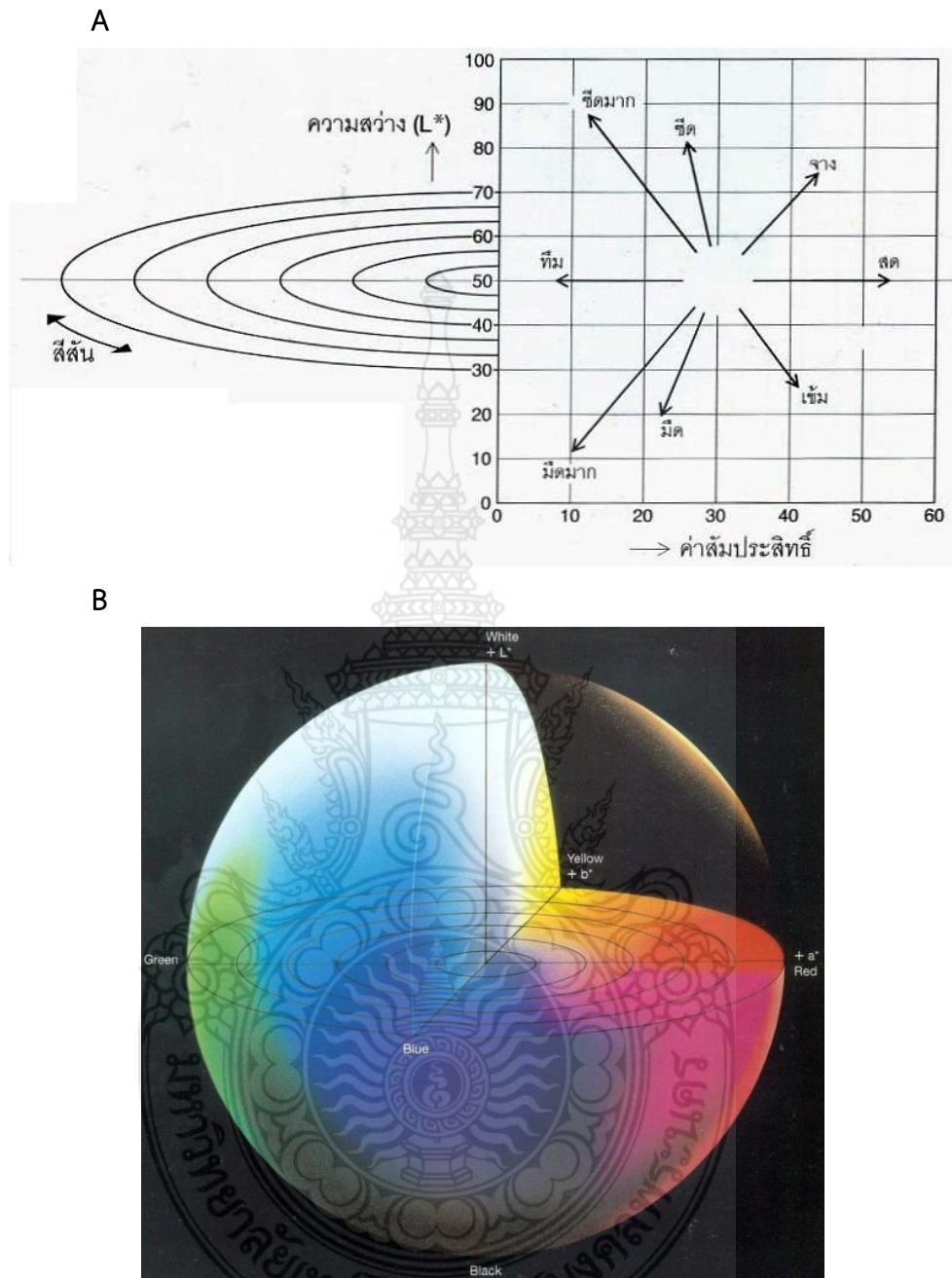
2. ระบบของปริภูมิสี (Color Space System)

ปริภูมิสีเป็นค่าที่ใช้แสดงขอบเขตความกว้างขวางของสีของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสง โดยการใช้เครื่องหมายหรือตัวเลขแสดงค่าสี ระบบปริภูมิสีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปประกอบด้วย ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ปริภูมิสีระบบ L^*C^*h และปริภูมิสีระบบ Hunter Lab ซึ่งรายละเอียดของค่าปริภูมิสีในแต่ละระบบมีดังนี้

ก. ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ($L^*a^*b^*$ Color Space) หรือบางครั้งเรียกว่า CIELAB เป็นระบบที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้วัดค่าสีและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในหลายๆ วงการ โดยปริภูมิสีเป็นประเภทที่มีสเกลสม่ำเสมอ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย CIE ในปี ค.ศ. 1976 เพื่อแก้ปัญหาการแปลค่าสีที่เกิดขึ้นในระบบ xyy เพราะพบว่าระยะห่างระหว่าง x กับ y บนไดอะแกรมสีจะไม่สอดคล้องกับความแตกต่างของสีที่เกิดจากการมองเห็นจริง ในระบบปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ นี้ ค่า L^* หมายถึง ความสว่าง ส่วนค่า a^* และค่า b^* หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สี ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งไดอะแกรมดังกล่าว ค่า a^* และค่า b^* จะบอกถึงทิศทางของสี เช่น $+a^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีแดง $-a^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีเขียว $+b^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึง อยู่ในทิศทางของน้ำเงิน พื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (achromatic) เมื่อค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้นและจุดดังกล่าวเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางความอิ่มตัวของสีก็จะเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าสีต่างๆ ของปริภูมิสี $L^*a^*b^*$ อย่างชัดเจน จากรูปที่ 16 เป็นภาพตัดตามขวาง โดยค่าความสว่าง (L) มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดสีวัตถุชนิดหนึ่งโดยใช้ปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ได้ค่า $L^* = 43.31$ ค่า $a^* = +47.63$ และค่า $b^* = +14.12$ เมื่อพล็อตค่า a^* และค่า b^* ลงบนแกน a^* และ b^* จุด A เป็นจุดที่แสดงสีของวัตถุ



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a^* , b^*



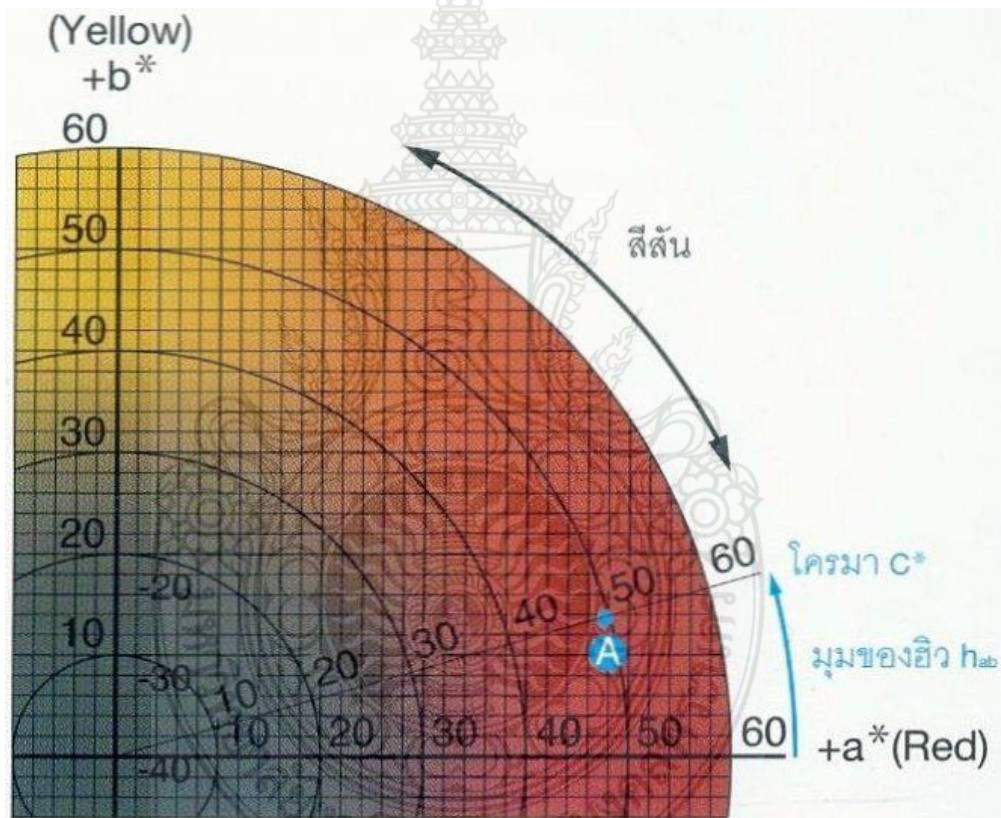
รูปที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (A) ค่าสัมประสิทธิ์สีและความสว่าง (B) ปริภูมิสีระบบ L^*a^*b (L^*a^*b Color Space)

ข. ปริภูมิสีระบบ L^*C^*h (L^*C^*h Color Space) ปริภูมิสีระบบ L^*C^*h ใช้ไดอะแกรมสีแบบเดียวกับระบบ L^*a^*b แต่รูปร่างต่างกันที่เป็นรูปกรวยแหลมแทนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในระบบนี้ค่า L^* หมายถึงความสว่าง เช่นเดียวกับค่า L^* ในระบบ L^*a^*b โดยค่า C^* หมายถึง ค่าโคโมมา (Chroma) และ

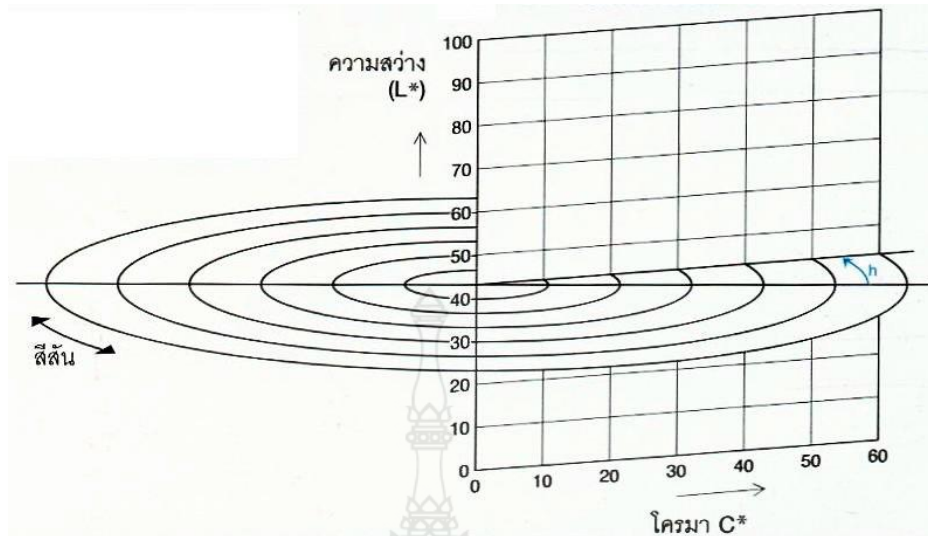
h หมายถึง มุมของฮิว (Hue Angle) ค่า C^* จะมีค่าเป็น 0 ที่จุดศูนย์กลางและจะมีสีอึมตัวมากขึ้น เมื่อออกห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น ส่วนค่ามุมฮิว ที่แทนค่าด้วย h จะเริ่มนับค่าบนแกนด้าน $+a^*$ โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศาบนแกนด้าน $+a^*$ จะเป็น (สีแดง) เมื่อเป็นมุม 90 องศา จะเป็นแกน $+b^*$ (สีเหลือง) ที่มุม 180 องศา จะเป็นแกน $-a^*$ (สีเขียว) และเมื่อเป็นมุม 270 องศา จะเป็นแกน $-b^*$ (สีน้ำเงิน) ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดสีของวัตถุ ด้วยขอบเขตปริภูมิสีระบบ L^*C^*h ได้ค่า $L^* = 43.31$ ค่า $C^* = 49.68$ และค่า $h^* = 16.5$ เมื่อพล็อตจุดบนกราฟในรูปที่ 2.12 ก็จะได้จุด A ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.13

$$\text{ค่า } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Hue angle } h_{ab} = \tan^{-1}(b^* / a^*)$$



รูปที่ 2.13 ค่าสัมประสิทธิ์สี a^* , b^* ที่ใช้แสดงค่าปริภูมิสีระบบ L^*C^*h



รูปที่ 2.14 ค่าโครมาและความสว่าง

3 . ความแตกต่างของสี

เนื่องจากตาของมนุษย์สามารถมองเห็นแสงได้ในช่วงความถี่ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าเท่านั้น ดังนั้นแสงจึงไม่ใช่สี แสงเป็นเพียงรังสีที่มากกระตุ้นเรตินาของตาและทำให้เกิดการมองเห็น จากนั้นจึงถ่ายทอดข้อมูลต่อไปยังสมอง สิ่งนี้คือแนวคิดเรื่องการเกิดสี โดยสมองจะทำการตอบสนองต่อข้อมูลที่ส่งต่อมาจากตา ซึ่งบางครั้งสายตามนุษย์อาจมองเห็นสีสองสีเป็นสีเดียวกัน และไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ แต่ถ้าเป็นเครื่องวัดสีสามารถบอกความแตกต่างของสีที่พบได้ โดยเฉพาะในกรณีของการวัดสีที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การวัดสีด้วยเครื่องวัดสียังสามารถบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้เพื่อให้การสื่อความหมายของสีสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยความแตกต่างของสีจะแสดงเป็นค่าเพียงค่าเดียวเรียกว่า เดลต้าอี (ΔE^*_{ab}) ดังค่าที่แสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 ตามลำดับ ซึ่งจะบอกเฉพาะปริมาณความแตกต่างของสีเท่านั้น แต่ไม่ได้บอกทิศทางความแตกต่างของสี ซึ่งค่า เดลต้าอี (ΔE^*_{ab}) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$(\Delta E^*_{ab}) = \sqrt{(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

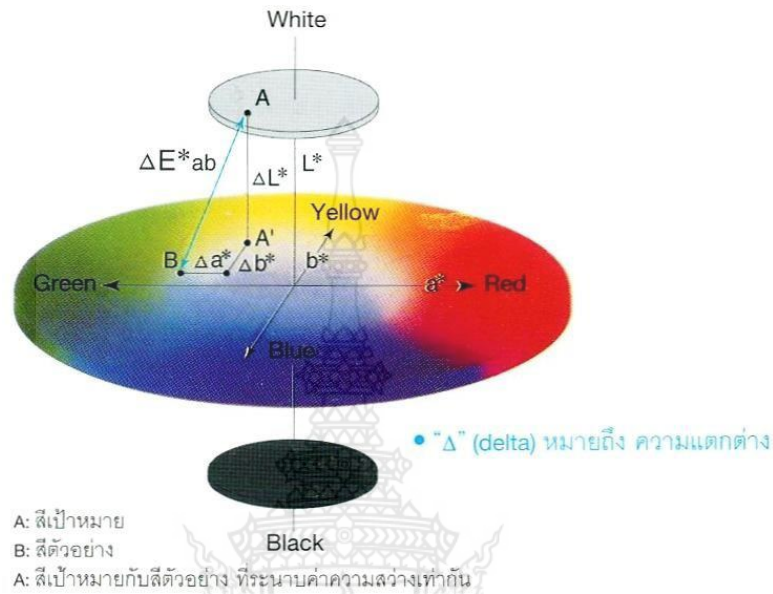
ตัวอย่างเช่น การหาความแตกต่างของสีของวัตถุ 2 ชิ้น ด้วยปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$

วัตถุชิ้นที่ 1 วัดสีได้ $L^* = 43.31$, $a^* = +47.83$, $b^* = +14.12$

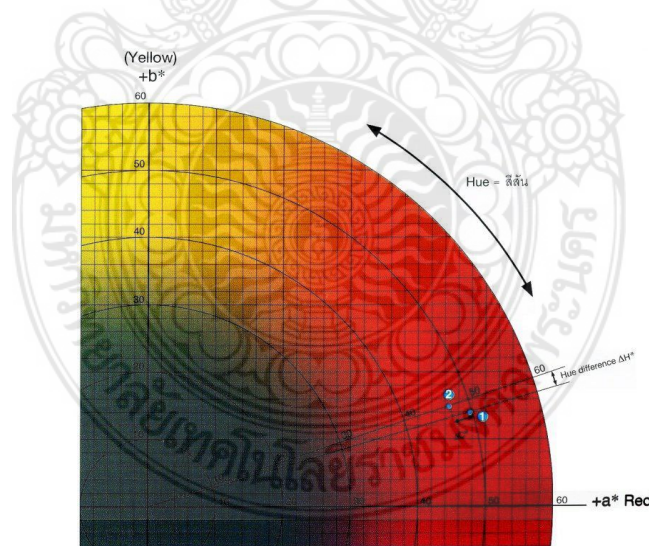
วัตถุชิ้นที่ 2 วัดสีได้ $L^* = 47.34$, $a^* = +44.78$, $b^* = +15.16$

จะได้ค่า $\Delta L^* = +4.03$, $\Delta a^* = -3.05$, $\Delta b^* = +1.04$

สีของวัตถุ 2 ชิ้น เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการจะได้ $\Delta E^*_{ab} = 5.16$
 และในทำนองเดียวกัน ถ้าวัดความแตกต่างของสีด้วยปริภูมิสีระบบ L^*C^*h
 ค่า ΔL^* เป็นค่าเดียวกับปริภูมิสีระบบ L^*a^*b จะได้ $\Delta C^* = -2.59$ ซึ่ง
 หมายความว่า วัตถุชิ้นที่ 2 มีสีสดน้อยกว่าวัตถุชิ้นที่ 1



รูปที่ 2.15 ค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ L^*a^*b



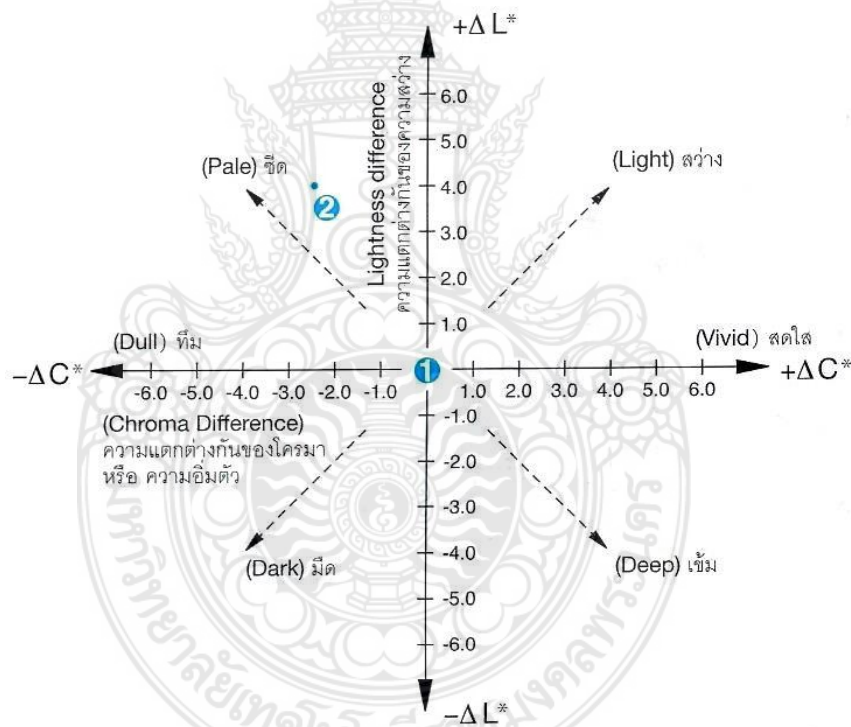
รูปที่ 2.16 ส่วนหนึ่งของไดอะแกรมสี a^*, b^* ในปริภูมิสีระบบ L^*C^*h

สำหรับในส่วน of ค่าความมีสีสดที่แตกต่างกันของวัตถุ 2 ชิ้น คือ ΔH^* ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^* ab)^2 - (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ในกรณีนี้ ค่าที่ได้คือ +1.92 แต่ถ้าพิจารณาสีจากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าวัตถุชิ้นที่ 2 จะอยู่ใกล้กับแกน +b มากกว่า ดังนั้น จะดูมีสีเหลืองมากกว่า

ถึงแม้ว่าจะใช้คำพูดมาบรรยายสีได้ไม่ชัดเจนเท่ากับการแสดงเป็นตัวเลขก็ตาม แต่ก็สามารถใช้คำพูดอธิบายค่าความแตกต่างของสีได้เช่นกัน แสดงให้เห็นถึงค่าบางค่าที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสี เช่นบอกในเรื่องของความสว่างและโครมา เป็นค่าที่ใช้อธิบาย ซึ่งชี้ให้เห็นถึงทิศทางความแตกต่างของสี แต่ไม่ใช่คำขยายออกไปอีก (เช่น อ่อนๆ เข้มมากๆ เป็นต้น) ก็ไม่สามารถระบุระดับความแตกต่างของสีได้ ถ้าลองนำค่าสีของวัตถุทั้งสองชิ้นที่ได้มาพล็อต เราสามารถกล่าวได้ว่าวัตถุชิ้นที่ 2 มีสีซีดกว่าวัตถุชิ้นที่ 1 แต่เนื่องจากความแตกต่างกันมีไม่มาก จึงเพิ่มคำขยายทำขยายออกไปว่า สีซีดกว่า เล็กน้อย เพื่อระบุถึงระดับความแตกต่าง



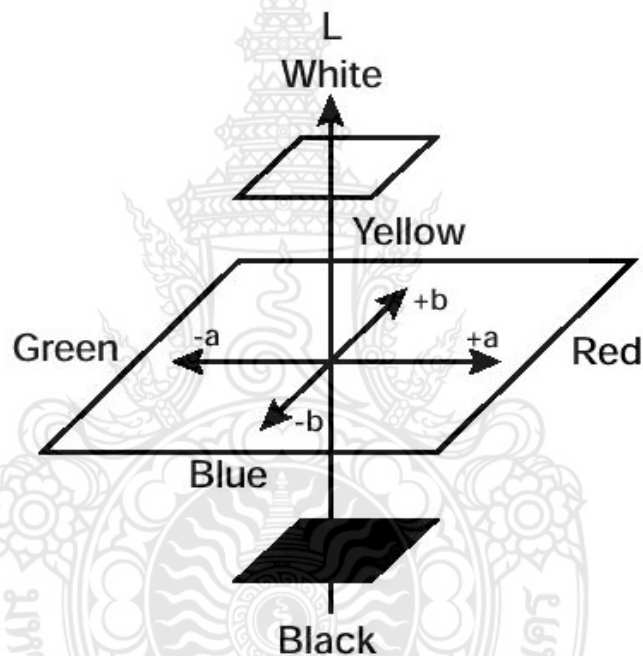
รูปที่ 2.17 ค่าที่ใช้อธิบายถึงค่าโครมาหรือความอึมตัวของสีและความสว่าง (Chroma and Lightness)

4. การวัดระดับสีของทองคำเจือ

จากระบบอ้างอิงการวัดสีของ CIELAB เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้วัดระดับสีของวัตถุ โดยวัดการกระจายสีหรือที่เรียกว่า “สเปกตรัมการกระจายแสง” ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของความยาวคลื่น (Wavelength) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่นที่ได้จะ

ถูกแยกสเปกตรัมแล้วนำมาคำนวณหาค่าสีในปริภูมิสีระบบต่างๆ และแสดงค่าผลการวัดออกมาเป็นตัวเลข เช่น การวัดสีในระบบ CIELAB หรือระบบ Tristimulus หรือระบบ LCh Color Space ซึ่งต่อมา G.raykhtsaum และ D.P.Agarwal ได้แสดงการวัดระดับสีของทองคำเจือด้วยการใช้พิกัดคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงปริภูมิสีของ The International Committee on Illumination (CIELAB) โดยกำหนดพิกัดแกนสีขึ้นมา 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ทั้ง 3 แกนแทนค่าด้วยตัวอักษร L, a และ b โดยแต่ละแกนมีรายละเอียดของแต่ละตัวอักษรดังนี้

- ตัวอักษร L แสดงค่าความสว่างของทองคำเจือ โดย L0 คือ สีดำ และ L100 คือ สีขาว
- ตัวอักษร a แสดงสีแดงถึงสีเขียว โดย a100 คือ สีแดงเข้ม และ a-100 คือ สีเขียว
- ตัวอักษร b แสดงสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดย b100 คือ สีเหลือง และ b-100 คือ สีน้ำเงิน



รูปที่ 2.18 พิกัดการวัดสี

5. มาตรฐานสีทองคำกะรัต

มาตรฐานรับรองระดับสีทองคำกะรัต ประกอบด้วยมาตรฐาน NIHS-03-50 มาตรฐาน CETEHOR-07-และมาตรฐาน DIN 8238 ที่ได้อ้างอิงระบบการวัดค่าระดับสีตามระบบ CIELAB และเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปและใช้เป็นมาตรฐานยุโรป ที่เรียกว่ามาตรฐาน DIN EN 28654 ตลอดจนมีการนำมาใช้เป็นมาตรฐานสากล ที่เรียกว่ามาตรฐาน ISO 8654 นั้น ได้แบ่งค่าระดับสีทองคำกะรัตออกเป็น 8N, 0N, 1N, 2N, 3N, 4N และ 5N ซึ่งรายละเอียดของค่าระดับสีตามมาตรฐาน DIN 8238 ประกอบด้วยค่าสีมาตรฐานและพิกัดความเผื่อค่าต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สัญลักษณ์ระดับสีทองคำ ค่าการวัดและพิสัยความถี่ตามมาตรฐาน DIN 8238

สัญลักษณ์	สี		ค่าสีมาตรฐาน					
	สี	ตรงกับมาตรฐาน NIHS-03-50 และ CETEHOR-07-07	L		a		b	
				พิสัย ความถี่		พิสัย ความถี่		พิสัย ความถี่
8N	ขาว	-	1.2	±0.2	0.9	±0.1	1.6	±0.3
0N	เขียวเหลือง	-	24.8		1.6		1.2	
1N	เหลืองอ่อน	/	1.7	±0.1	1.7	±0.1	1.2	±0.15
2N	เหลืองสด	/	1.8		1.8		1.3	
3N	เหลือง	/	2.0		1.8		1.3	
4N	ชมพู	/	2.4		1.6		1.4	
5N	แดง	/	2.6		1.5		1.4	



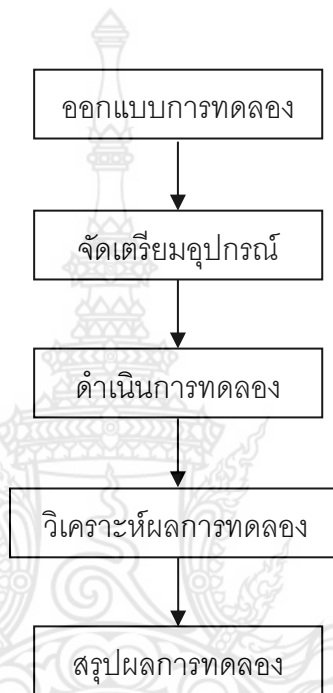
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการออกแบบการทดลอง การจัดเตรียมอุปกรณ์ การดำเนินการทดลอง และสรุปผล จำเป็นต้องมีการวางแผนการดำเนินงานเพื่อให้ตรวจสอบการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ระหว่างการดำเนินการผู้จัดทำมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.2 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3 จัดเตรียมอุปกรณ์

การเตรียมการ คือการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ เพื่อลดปัญหาความล่าช้าซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก ในการจัดเตรียมอุปกรณ์

3.3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. เบ้าหลอมกราไฟต์
2. รางหล่อโลหะสำหรับเทนาโลหะ
3. เครื่องรีดโลหะ

3.3.2 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)
2. แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)
3. ยูเรียหรือคาร์บาไมด์ (Urea or Carbamide)
4. กรดอะซิติก (Acetic Acid)
5. กรดแลคติก (Lactic Acid)
6. กรดไพรูวิก (Pyruvic Acid)
7. กรดบิวทีริก (Butyric Acid)
8. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)
9. แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)
10. ยูเรียหรือคาร์บาไมด์ (Urea or Carbamide)
11. กรดอะซิติก (Acetic Acid)
12. กรดแลคติก (Lactic Acid)
13. กรดไพรูวิก (Pyruvic Acid)
14. กรดบิวทีริก (Butyric Acid)

3.3.3 วัสดุดิบ

1. โลหะเงินบริสุทธิ์
2. โลหะทองแดงบริสุทธิ์
3. โลหะแพลเลเดียม

3.4 ดำเนินการทดลอง

1. หลอมละลายเม็ดเงิน ผสมทองแดง และแพลเลเดียมลงในเบ้าหลอมเพื่อทำการหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 3.2 แสดงการหลอมโลหะเงิน+ทองแดง+ตามสัดส่วนที่กำหนดแพลเลเดียม

มาตรฐานของเงินที่ใช้ในการผลิตเครื่องประดับกำหนดให้มีส่วนผสมของเงินบริสุทธิ์ 9.25 % ที่เหลืออีก 7.5 % เป็นธาตุส่วนผสมอื่น ๆ ปริมาณของแพลเลเดียมไม่ต่ำกว่า 0.7 % ถึง 1.5 % และมีธาตุเจือทองแดง (Cu) และเงิน (Zn) รวมกันไม่เกิน 7.5 %

การทดลองที่1 .Ag92.5%+Cu6.0%+Pd1.5%

การทดลองที่2. Ag92.5%+Cu6.2%+Pd1.3%

การทดลองที่3. Ag92.5%+Cu6.4%+Pd1.1%

การทดลองที่4. Ag92.5%+Cu6.6%+Pd0.9%

การทดลองที่5. Ag92.5%+Cu6.8%+Pd0.7%

2. เมื่อหลอมโลหะเป็นเนื้อเดียวกันนำมาเทใส่ลงในรางเทเส้นโลหะเงิน 92.5 % เพื่อทำการนำไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.3 แสดงการเทโลหะลงในรางเทโลหะ

3. เมื่อนำโลหะออกจากรางเทแล้วนำมารีดเป็นเส้นเพื่อให้สะดวกต่อการนำมารีดแบนเพื่อปรับสภาพผิวชิ้นงานให้เหมาะสมต่อการทดสอบชิ้นงาน



รูปที่ 3.4 แสดงการรีดโลหะแบบเป็นเส้น

4. เมื่อรีดเนื้อเงินเป็นเส้นแล้วมารีดแบนเพื่อลดความหนาของโลหะ เพื่อปรับสภาพผิวชิ้นงานให้เหมาะสมต่อการทดสอบชิ้นงาน



รูปที่ 3.5 แสดงการรีดโลหะแบบแบน

5. เมื่อรีดเนื้อเงินเป็นแผ่นบางแล้วให้นำมาขัดกระดาษทราย เพื่อผิวชิ้นงานมีความเรียบก่อนนำเอาไปขัดเงาเพื่อทดสอบการทดลอง



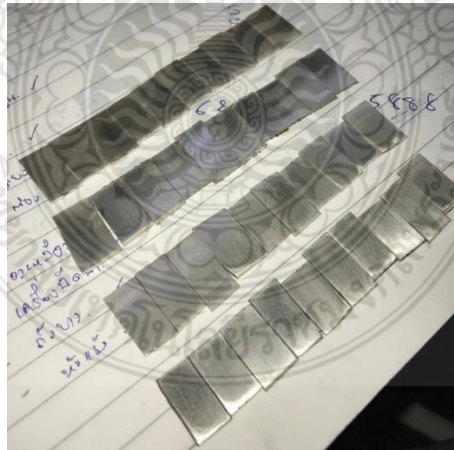
รูปที่ 3.6 แสดงการขัดกระดาษทราย

6. เมื่อขัดกระดาษทรายเสร็จแล้วให้นำชิ้นงานมาขัดด้วยยาแดง เพื่อปรับผิวชิ้นงานให้เรียบเงาวาว เพื่อนำมาเป็นชิ้นงานมาทดสอบกับเห็ือเทียม



รูปที่ 3.7 แสดงการขัดยาแดง

7. เมื่อขัดเสร็จแล้วจะได้ชิ้นงานในการทดลองเพื่อนำไปทดสอบความต้านทานการหมองของเงินสเตอร์ลิง 92.5 %



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์

8. เตรียมสารเคมีในการทำเหงื่อเทียม

- ทำการผสมเหงื่อเทียม

โดยเหงื่อเทียมมีส่วนผสมดังนี้

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)	20.0	กรัมต่อลิตร
แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)	17.5	กรัมต่อลิตร
ยูเรียหรือคาร์บาไมด์ (Urea or Carbamide)	5.0	กรัมต่อลิตร
กรดอะซิติก (Acetic Acid)	2.5	กรัมต่อลิตร
กรดแลคติก (Lactic Acid)	15.0	กรัมต่อลิตร
กรดไพรูวิก (Pyruvic Acid)	2.5	กรัมต่อลิตร
กรดบิวทีริก (Butyric Acid)	5.0	กรัมต่อลิตร

ปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ pH 4.7

สารละลาย เหงื่อเทียม

วิธีทดสอบ วางชิ้นงานทดสอบในบรรยากาศที่มีเหงื่อเทียม โดยใช้ชิ้นทดสอบในภาชนะเปิด

อุณหภูมิ ห้องปกติ 25 °C

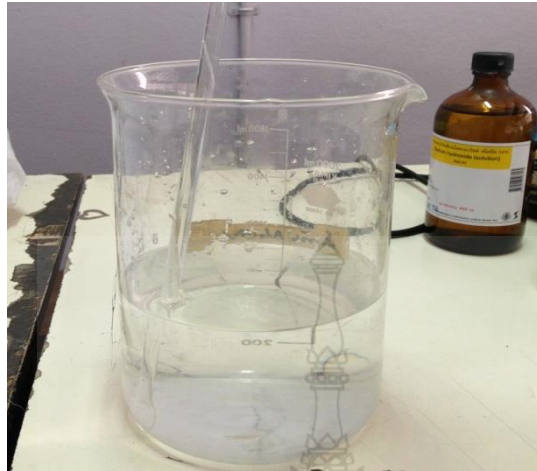
เวลา 3 วัน

ตรวจสอบ ผิวชิ้นทดสอบ ด้วยสายตา ถ่ายรูป



รูปที่ 3.9 แสดงชุดการทดลองของสารเคมีในการทำเหงื่อเทียม

9. ทำการผสมสารเคมีในบีกเกอร์ โดยใช้แท่งแก้วกวนให้เข้ากัน



รูปที่ 3.10 แสดงส่วนผสมสารเคมีลงในบีกเกอร์

10. ปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ pH 4.7 ให้เป็นกรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทดลองด้วยเห็ือเทียม



รูปที่ 3.11 แสดงสารเคมีในการปรับสภาพเห็ือเทียม

11. นำชิ้นงานมาเช็ด เพื่อทำความสะอาด



รูปที่ 3.12 แสดงการเช็ดชิ้นงานให้แห้ง

12. นำชิ้นงานใส่ลงในภาชนะหยดเพื่อเทียบลงไปบนชั้นทดสอบ เพื่อนำชิ้นงานที่ทดลองมาประเมินคะแนน และบันทึกผล



รูปที่ 3.13 แสดงการหยดเพื่อเทียบ

13. นำชิ้นงานมาใส่ถุงซิปล็อคให้เรียบร้อย เพื่อไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสอากาศ



รูปที่ 3.14 ป้องกันชิ้นงานสัมผัสอากาศ

3.5 สรุป






เนื้อหาในบทนี้จะเน้นของเรื่องการวางแผนงาน การเตรียมการ ขั้นตอนการทดลองเป็นหลัก การทดลองเป็นการดัดแปลงการทดลองโดยการนำเอาเงื่อนไขที่นำมาใช้ในการทดสอบ มีขั้นตอนทดสอบเป็นเงินสเตอร์ลิงเจือธาตุแพลเลเดียม เพื่อสะดวกต่อการดำเนินการทดลองเพื่อทราบถึงผลประสิทธิภาพของความหมอง



บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการดำเนินงาน

เมื่อนำผลของส่วนผสมทั้ง 5 การทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน ทำการทดลองด้วยตัวแปรเดียวกันคือเพื่อเปรียบเทียบว่าเกิดความหมองในระดับที่แตกต่างกันโดยเห็นได้ด้วยตาเปล่า และค่าสีที่วัดได้เกิดความต่างอย่างเห็นได้ชัดดังนี้





















การทดลองที่1. Ag92.5%+Cu6.0%+Pd1.5%	
การทดลองที่2. Ag92.5%+Cu6.2%+Pd1.3%	
การทดลองที่3. Ag92.5%+Cu6.4%+Pd1.1%	
การทดลองที่4. Ag92.5%+Cu6.6%+Pd0.9%	
การทดลองที่5. Ag92.5%+Cu6.8%+Pd0.7%	

จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ส่วนผสม การทดลองที่5. Ag92.5%+Cu6.8%+Pd0.7% ที่มีความสว่างมากที่สุด ในการทดสอบความหมอง โดยการทดสอบชิ้นงานทั้งหมด 4 ชุด แบ่งเป็นชุดละ10ชิ้น ประกอบกับทดลองผล 4 ช่วงเวลา 5 วัน 10 วัน 15วัน และ20วัน ตามช่วงเวลาที่เกิดความหมองมากขึ้นตามลำดับ เป็นไปตามปัจจัยด้านช่วงเวลาที่เมื่อทิ้งเวลามากขึ้นความหมองก็จะมากขึ้นตามเป็นปกติ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้มุ่งที่การศึกษาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือแพลเลเดียมที่มี องค์ประกอบเป็นเงิน(Ag) ทองแดง (Cu) แพลเลเดียม(Palladium) ภายใต้ปริมาณโลหะเงินประมาณ92.5% โดยเทียบกับโลหะเงินสเตอร์ลิงค์925ที่ใช้ทั่วไป ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับผลจากการศึกษาดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้ส่วนผสมข้าง ต้นเป็นต้นแบบในการ พัฒนาส่วนผสมของโลหะเงินเพื่อให้ได้คุณลักษณะของการวิเคราะห์สี (Color Analysis) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการกำหนดความแตกต่างของสีและเป็นเครื่องมือในการทดสอบสีของโลหะเงินเจือแพลเลเดียมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

4.1.1 ผลการทดลองตามช่วงเวลา

ตารางที่ 4.1 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(5วัน)

No.	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ระดับความทมอง			
			L	a	b	925(L)
1			80.21	-0.46	10.18	75.33
2			80.22	-0.42	10.20	75.33
3			80.20	-0.45	10.18	75.33
4			80.19	-0.43	10.19	75.33
5			80.22	-0.46	10.19	75.33
6			80.22	-0.45	10.19	75.33
7			80.21	-0.44	10.20	75.33
8			80.23	-0.44	10.22	75.33
9			80.21	-0.46	10.18	75.33
10			80.21	-0.46	10.20	75.33
	ค่าเฉลี่ย		80.21	-0.46	10.18	75.33

สรุปผลการทดลอง จากการทดลองชุดช่วงเวลาที1 (5วัน)ได้ค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าสีดังนี้

ค่าL ความสว่าง (lightness) = 80.21


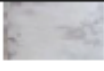

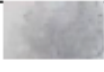

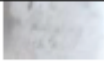

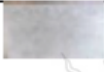

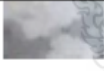


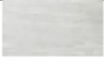



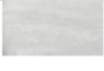

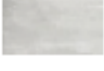

ค่าa = -0.46

ค่าb = 10.18

ค่าL ความสว่าง (lightness) ของ Master Sliver 925 = 75.33

เมื่อนำค่า L ของโลหะทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับกันจะพบว่าLAgPdค่าสว่างกว่า Ag925 ดังแสดงตามตารางที่4.1

ตารางที่ 4.2 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(10วัน)

No.	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ระดับความหมอง			
			L	a	b	925
1			77.77	-0.93	10.04	66.78
2			77.75	-0.96	10.05	66.78
3			77.73	-0.95	10.03	66.78
4			77.75	-0.97	10.02	66.78
5			77.76	-0.95	10.05	66.78
6			77.74	-0.96	10.02	66.78
7			77.73	-0.96	10.04	66.78
8			77.75	-0.96	10.05	66.78
9			77.74	-0.97	10.06	66.78
10			77.75	-0.96	10.04	66.78
	ค่าเฉลี่ย		77.75	-0.96	10.04	66.78

สรุปผลการทดลอง จากการทดลองชุดช่วงเวลาที2(10วัน)ได้ค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าสีดังนี้

ค่าL ความสว่าง (lightness) = 77.75




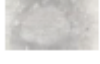


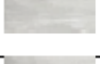

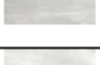
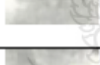
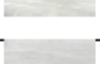

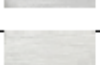
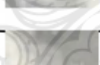






ค่าa = -0.96

ค่าb = 10.04

ค่าL ความสว่าง (lightness) ของ Master Sliver 925 = 66.78

เมื่อนำค่า L ของโลหะทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกันจะพบว่า L AgPd ค่าสว่างกว่า Ag925 ดังแสดงตามตารางที่ 4.2





















ตารางที่ 4.3 เงิน 92.5% ทองแดง 6.8% และแพลเลเดียม 0.7% การทดลองตามช่วงเวลา (15 วัน)

No.	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ระดับความหมอง			
			L	a	b	925
1			76.96	-1.12	10.94	57.8
2			76.92	-1.13	10.91	57.8
3			76.94	-1.15	10.93	57.8
4			76.95	-1.11	10.93	57.8
5			76.96	-1.12	10.94	57.8
6			76.94	-1.12	10.95	57.8
7			76.93	-1.13	10.96	57.8
8			76.95	-1.15	10.92	57.8
9			76.94	-1.11	10.94	57.8
10			76.96	-1.12	10.92	57.8
	ค่าเฉลี่ย		76.96	-1.12	10.94	57.8

สรุปผลการทดลอง จากการทดลองชุดช่วงเวลา 3 (15 วัน) ได้ค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าสีดังนี้
 ค่า L ความสว่าง (lightness) = 76.96
 ค่า a = -1.12
 ค่า b = 10.94
 ค่า L ความสว่าง (lightness) ของ Master Sliver 925 = 57.8

เมื่อนำค่า L ของโลหะทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกันจะพบว่า L AgPd ค่าสว่างกว่า Ag925 ดังแสดงตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 เงิน92.5% ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%การทดลองตามช่วงเวลา(20วัน)

No.	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	ระดับความหมอง			
			L	a	b	925
1			59.06	0.60	7.10	50.54
2			59.05	0.61	7.12	50.54
3			59.07	0.62	7.11	50.54
4			59.08	0.61	7.11	50.54
5			59.07	0.61	7.13	50.54
6			59.06	0.60	7.10	50.54
7			59.07	0.61	7.11	50.54
8			59.07	0.63	7.12	50.54
9			59.08	0.61	7.11	50.54
10			59.07	0.62	7.11	50.54
		ค่าเฉลี่ย	59.07	0.61	7.11	50.54

สรุปผลการทดลอง จากการทดลองชุดช่วงเวลาที4(20วัน)ได้ค่าเฉลี่ยผลการวัดค่าสีดังนี้

ค่าL ความสว่าง(lightness) = 59.07

ค่าa = 0.61

ค่าb = 7.11

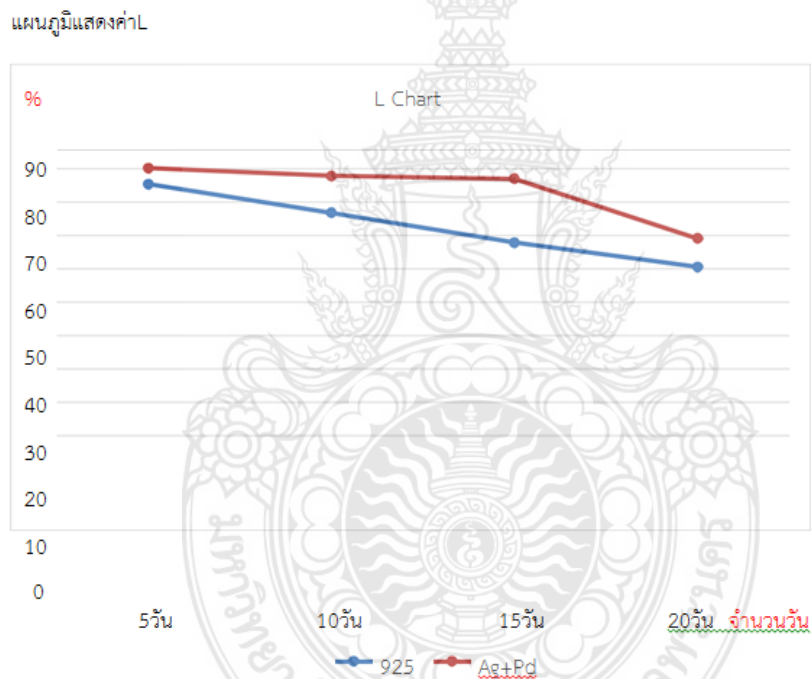
ค่าL ความสว่าง (lightness) ของ Master Sliver 925 = 50.54

เมื่อนำค่าLของโลหะทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าLของAgPdค่าสว่างกว่า Ag925 ดังแสดงตามตารางที่4.4

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าระดับสี

ค่าระดับสี L,a,b คือระบบ L*a*b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L*จะบรรยายถึงความสว่าง lightness) (จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง -L* แสดงถึงสีดำ แกน a*จะบรรยายถึง แกนสีจากเขียว-a*) (ไปจนถึงแดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน-b*)ไป (เหลือง (+b*))

ตารางที่ 4.5 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงวันโดยแบ่งเป็นค่า L,a,b เทียบกับ เงิน 925



ค่า L ความสว่าง lightness) (ช่วงเวลาที่ 1 (5วัน)= 80.21

ค่า L ความสว่าง lightness) (ช่วงเวลาที่ 2 (10วัน)= 77.75

ค่า L ความสว่าง lightness) (ช่วงเวลาที่ 3 (15วัน)= 76.96

ค่า L ความสว่าง lightness) (ช่วงเวลาที่ 4 (20วัน)= 59.07

ค่า L ความสว่าง(lightness) ของ Master Sliver 925 ช่วงเวลาที่ 1 (5วัน)= 75.33

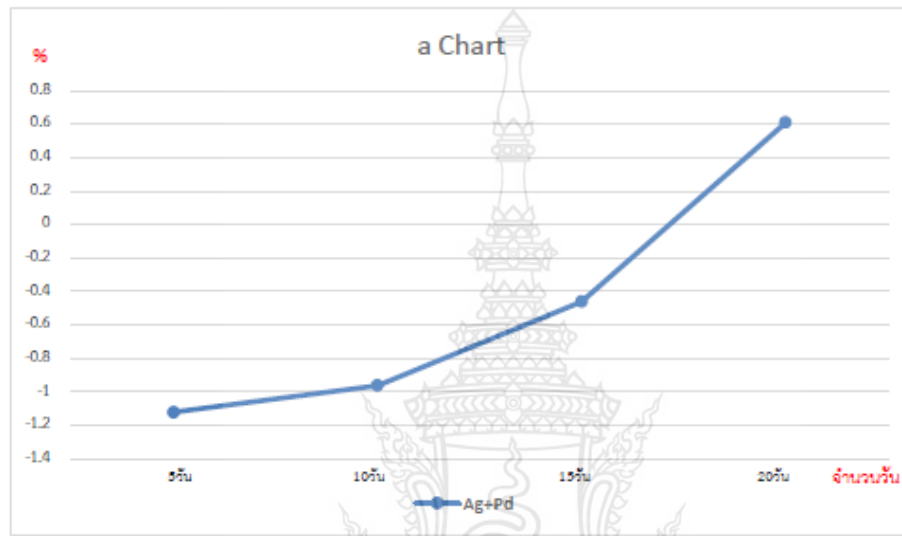
ค่า L ความสว่าง lightness) (ของ Master Sliver 925 ช่วงเวลาที่ 2 (10วัน)= 66.78

ค่า L ความสว่าง lightness) (ของ Master Sliver 925 ช่วงเวลาที่ 3 (15วัน)= 57.8

ค่า L ความสว่าง lightness) ของ Master Sliver 925 ช่วงเวลาที่ 4(20วัน)= 50.54

ตารางที่ 4.6 แผนภูมิแสดงค่า a

แผนภูมิแสดงค่า a



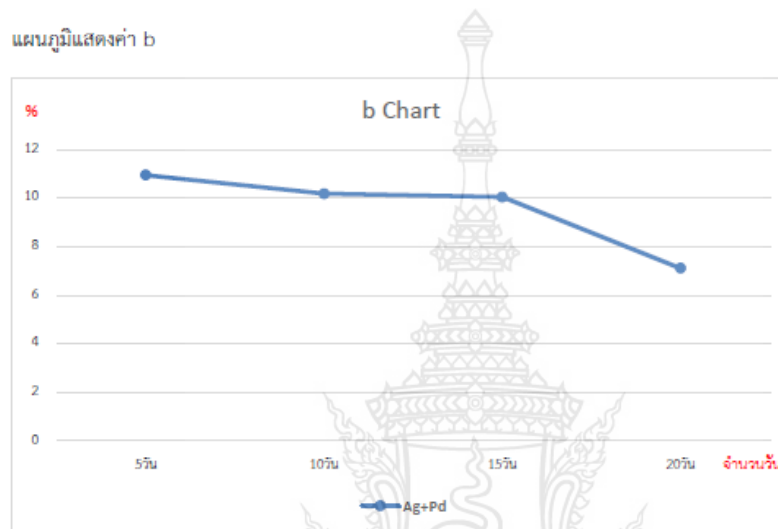
ค่า a ช่วงเวลาที่ 1 (5วัน)= -0.46

ค่า a ช่วงเวลาที่ 2 (10วัน)= -0.96

ค่า a ช่วงเวลาที่ 3 (15วัน)= -1.12

ค่า a ช่วงเวลาที่ 4 (20วัน)= 0.61

ตารางที่ 4.7 แผนภูมิแสดงค่า b



ค่า b ช่วงเวลาที่ 1 (5 วัน) = 10.18

ค่า b ช่วงเวลาที่ 2 (10 วัน) = 10.04

ค่า b ช่วงเวลาที่ 3 (15 วัน) = 10.94

ค่า b ช่วงเวลาที่ 4 (20 วัน) = 7.11

4.3 สรุป

กล่าวได้ว่าโลหะเงินเจือแพลเลเดียม (AgPd) มีค่าความสว่างที่มากกว่าโลหะเงินสเตอร์ลิง 925 โดยมีระยะเวลาเป็นปัจจัย (vector) อันทำให้เกิดการหมองตามปกติและมีเหี่ยวเทียมเป็นตัวแปร สำคัญในการทดลองโลหะครั้งนี้ให้เกิดผลที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์และประเมินผลการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ที่อาจลดความหมอง ของโลหะเงิน925 โดยเจืออัตราส่วนผสมของแพลเลเดียมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับพบว่าผลจากการทดลองโลหะเงินบริสุทธิ์ที่ผสมทองแดงและแพลเลเดียม เปรียบเทียบกับโลหะเงิน สเตอริลิ่ง925 ได้ตั้งนี้ค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L โลหะเงินเจือแพลเลเดียมมีมากกว่าค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสีLของเงินสเตอริลิ่ง925 โดยผู้วิจัยได้แบ่งสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบ ต่างๆที่ได้ทำการศึกษาวิจัยดังนี้

5.1 สรุปผล

1.จากการศึกษาเปรียบเทียบโลหะ2ชนิดคือ โลหะเงิน925 และโลหะเงินเจือ แพลเลเดียม(AgPd) โดยนำมาทดสอบหัตถ์เทียมที่ความเข้มข้น20%และตรวจสอบด้วย เครื่องSPECTORPHOTOMETER MODEL DATACOLOR 600 TM พบว่าได้ค่าความเงาสว่างค่า ปริภูมิสีL(lightness) ของAgPd คือ5วัน= 80.21, 10วัน= 77.75, 15วัน= 76.96 และ 20วัน=59.07 ซึ่งสูงกว่าค่าความเงาสว่างค่าปริภูมิสี L(lightness) ของAg925 คือ5วัน= 75.33, 10วัน=66.78, 15วัน= 57.8 และ 20วัน= 50.54

2.โลหะเงินเจือแพลเลเดียม(AgPd) ที่มีส่วนผสมของ เงิน92.5% ทองแดง6.8% และแพลเลเดียม 0.7% มีความเงาสว่างค่าปริภูมิสีLมากกว่า59% ต่อให้ระยะเวลาผ่านไป 20วัน นับเป็นส่วนผสมที่ ประมาณการได้ว่าสามารถนำไปใช้ผลิตเครื่องประดับเงินที่ลดอัตราการ หมอง ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับได้

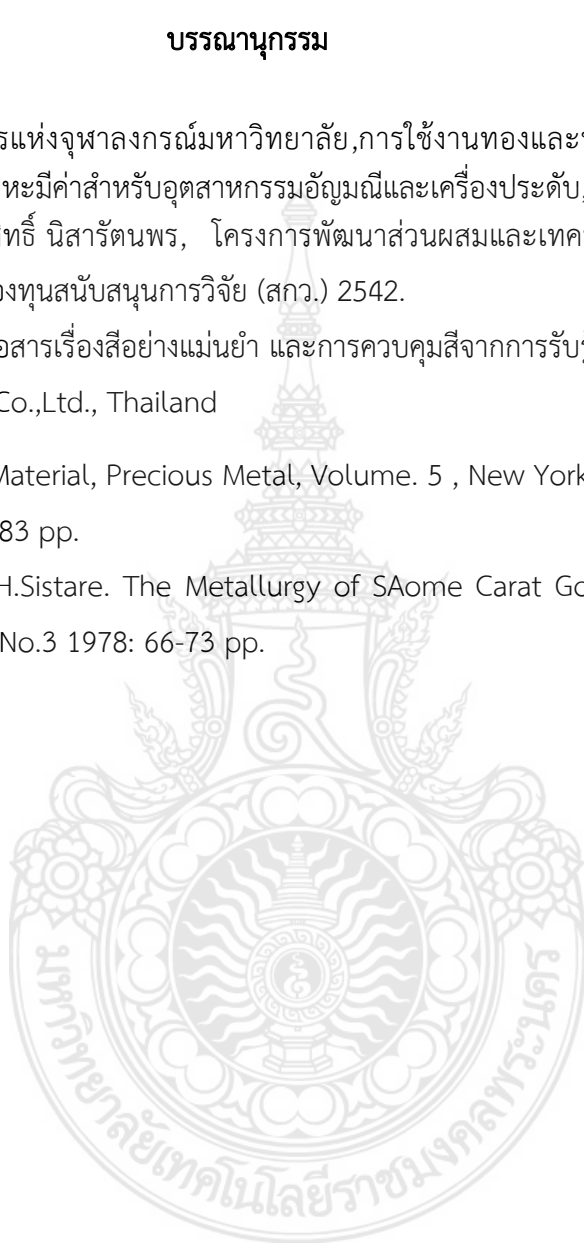
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. อัตราส่วนผสมที่ใช้อาจมีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยไปจากค่าที่กำหนดเพราะอัตราส่วนผสมของโลหะที่นำมาผสมนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการควบคุมคุณภาพการของสี

2. การนำธาตุเจืออื่นๆที่ทำหน้าที่เป็นส่วนผสมรองอีกหลายชนิดที่มีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและระดับสีของโลหะเงินผสมที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาค้นคว้า ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ควรจะมีการศึกษาวิจัยอิทธิพลของโลหะผสมรองชนิดต่างๆ ที่สามารถเข้าไปในโลหะเงินนอกเหนือจากทองแดง สังกะสีและแพลเลเดียม

บรรณานุกรม

- [1] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,การใช้งานทองและทองผสม,การสัมมนาโครงการวิจัย คุณสมบัติของโลหะมีค่าสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ, 2541,76 หน้า
- [2] ฉัตรชัย สมสิริ, เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, โครงการพัฒนาส่วนผสมและเทคนิคการผลิตโลหะที่ใช้ประกอบอัญมณี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) 2542.
- [3] อรัญ หาญสีบสาย, การสื่อสารเรื่องสีอย่างแม่นยำ และการควบคุมสีจากการรับรู้ไปสู่อุปกรณ์วัดสี.
Trinity Publishing Co.,Ltd., Thailand
- [4] American Society of Material, Precious Metal, Volume. 5 , New York, ASM International, 1992:679-683 pp.
- [5] A.S. McDonal, and G.H.Sistare. The Metallurgy of SAome Carat Gold Jewelry Alloys. Gold Bulletin Volume 11 No.3 1978: 66-73 pp.





ภาคผนวก



Master

5 วัน

10 วัน

15 วัน

20 วัน

92.5%

AgPd

ชิ้นงานตัวอย่างในการทดลองค่าความหองเงิน92.5%ทองแดง6.8%และแพลเลเดียม0.7%



สีของชิ้นงานที่ส่วนผสมโลหะเงินเจือแพลเลเดียม(AgPd)เมื่อทำการหล่อขึ้นรูป

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายจักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง
Mr. Jakklit Yimchang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 130100488033
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์
โทร. 0-2913-2424 ต่อ 4187 , E-Mail : jky_1942@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ค.บ. อุตสาหกรรม-เครื่องมือกล
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
 - งานหล่อเครื่องประดับ
 - งานหล่อเครื่องประดับชั้นสูง
 - งานแม่พิมพ์ยาง
 - งานทำต้นแบบแว็กซ์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาการในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
 - 1 ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
 - 2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี
 - 3 งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :
 1. การสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง งานหล่อเครื่องประดับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2550
 2. การวิจัยและพัฒนาการหล่ออลูมิเนียมเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2557.
 3. การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเหวี่ยง สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.

ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ – นามสกุล นายประเสริฐ ชุมปัญญา
Mr. Presert Chumpanya
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 4701 00238 46 8
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 0-2836-3000 ต่อ 4141 โทรศัพท์มือถือ: 08-5162-0582
โทรสาร: 0-2586-0809 E-mail: Prasert_chum@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา
วศ.ม. วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คอ.บ. อุตสาหการ-เครื่องมือกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างวุฒิการศึกษา)
 - งานวัสดุวิศวกรรม
 - งานวัสดุศาสตร์
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิชาการในประเทศ โดยระบุสถานะในการทำวิจัย
 - ผู้อำนวยการวิจัย : ไม่มี
 - หัวหน้าโครงการวิจัย : ไม่มี
 - งานวิจัยที่ทำแล้วเสร็จ :
 - การขึ้นรูปร้อนด้วยระบบสุญญากาศพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์
สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2554.
 - การประยุกต์ใช้การออกแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนด้วยระบบความร้อนแบบสุญญากาศ ทนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 2554.
 - การวิจัยและพัฒนาโลหะเงินเจือสีชมพูเพื่อผลิตตัวเรือนเครื่องประดับด้วยการหล่อระบบเวียงสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย 2558.

