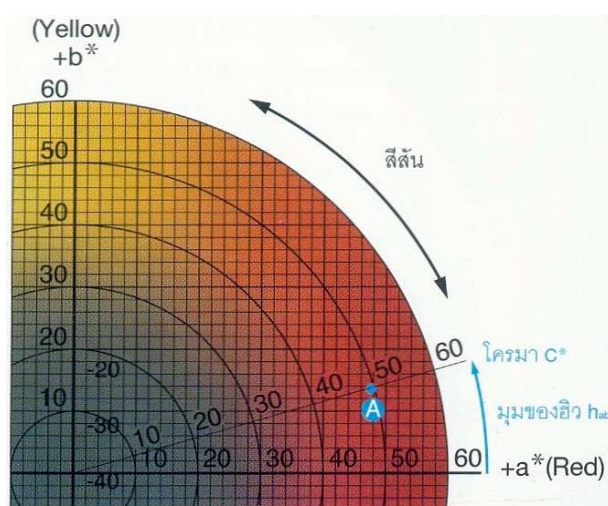


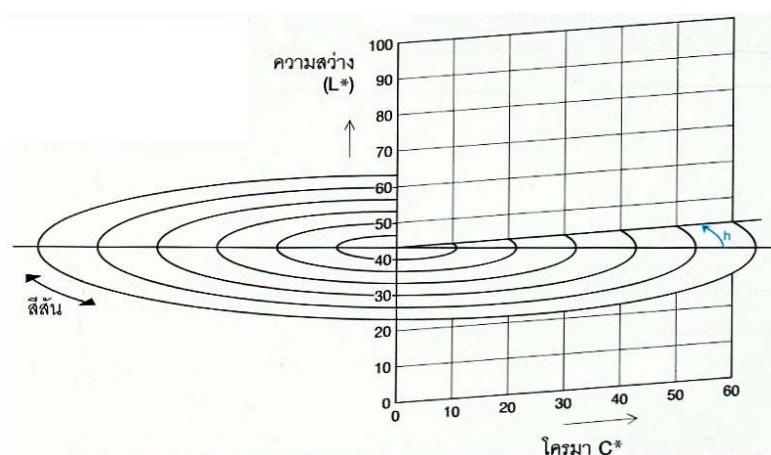
2. ปริภูมิสีระบบ L*C*h (L*C*h Color Space) ปริภูมิสีระบบ L*C*h ใช้ไดอะแกรมสีแบบเดียวกับระบบ L*a*b แต่รูปร่างต่างกันที่เป็นรูปกรวยแหลมแทนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในระบบนี้ค่า L* หมายถึงความสว่าง เช่นเดียวกับค่า L* ในระบบ L*a*b โดยค่า C* หมายถึง ค่าโครมา (Chroma) และ h หมายถึง มุมของสี (Hue angle) ค่า C* จะมีค่าเป็น 0 ที่จุดศูนย์กลางและจะมีสีเข้มตัวมากขึ้น เมื่อออกห่างจากศูนย์กลางมากขึ้น ส่วนค่ามุมสี ที่แทนค่าด้วย h จะเริ่มนับค่าบนแกนด้าน +a* โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศา บนแกนด้าน +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 เมื่อพล็อตจุดบนกราฟในภาพที่ 2.17 ก็จะได้จุด A ตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 2.17 ซึ่ง

$$\text{ค่า } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.3)$$

$$\text{Hue angle } h_{ab} = \tan^{-1} \left\{ \frac{b^*}{a^*} \right\} \quad (2.4)$$



ภาพที่ 2.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สี a^* , b^* ที่ใช้แสดงค่าปริภูมิสีระบบ L*C*h [3]

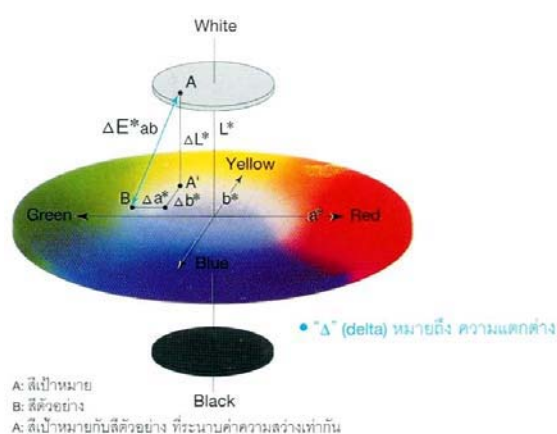


ภาพที่ 2.18 แสดงค่าโครมาและความสว่าง [3]

2.5.3 ความแตกต่างของสี

เนื่องจากตาของมนุษย์สามารถมองเห็นแสงได้ในช่วงความถี่ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าเท่านั้น ดังนั้น แสงจึงไม่ใช่สี แสงเป็นเพียงรังสีที่มามีกระแสวนเรตินาของตาและทำให้เกิดการมองเห็น จากนั้นจึงถ่ายทอดข้อมูลต่อไปยังสมอง สิ่งนี้คือแนวคิดเรื่องการเกิดสี โดยสมองจะทำการตอบสนองต่อข้อมูลที่ส่งต่อมาจากตา ซึ่งบางครั้งสายตามนุษย์อาจมองเห็นสีสองสีเป็นสีเดียวกัน และไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ แต่ถ้าเป็นเครื่องวัดสีสามารถบอกความแตกต่างของสีที่พบได้ โดยเฉพาะในกรณีของการวัดสีที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้การวัดสีด้วยเครื่องวัดสียังสามารถบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ เพื่อให้การสื่อความหมายของสีสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยความแตกต่างของสีจะแสดงเป็นค่าเพียงค่าเดียว เรียกว่า เกลดต้าอี (ΔE^*_{ab}) ดังค่าที่แสดงในภาพที่ 2.19 ซึ่งจะบอกเฉพาะปริมาณความแตกต่างของสีเท่านั้น แต่ไม่ได้บอกทิศทางความแตกต่างของสี ซึ่งค่า (ΔE^*_{ab}) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$(\Delta E^*_{ab}) = \sqrt{(\Delta L^*_{ab})^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.5)$$



ภาพที่ 2.19 แสดงค่าความแตกต่างสีในปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ [3]

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

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

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

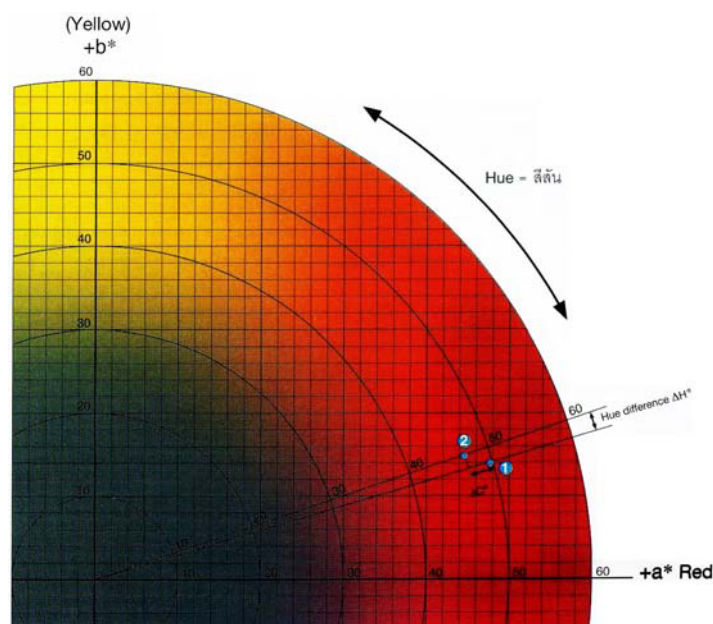
จะได้ค่า $\Delta L^* = +4.03$, $\Delta a^* = -3.05$, $\Delta b^* = +1.04$

สีของวัตถุ 2 ชิ้น เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการจะได้ $\Delta E^*_{ab} = 5.16$

และในทำนองเดียวกัน ถ้าวัดความแตกต่างของสีด้วยปริภูมิสีระบบ L^*C^*h ค่า ΔL^* เป็นค่าเดียวกับปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ จะได้ $\Delta C^* = -2.59$ ซึ่งหมายความว่า วัตถุชิ้นที่ 2 มีสีสดน้อยกว่าวัตถุชิ้นที่ 1 สำหรับในส่วนของการคำนวณที่แตกต่างกันของวัตถุ 2 ชิ้น คือ ΔH^* ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

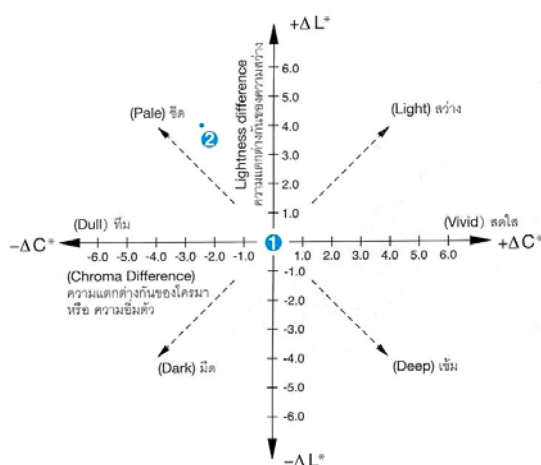
$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta a^*)^2 - (\Delta b^*)^2} \quad (2.6)$$

ในกรณีนี้ ค่าที่ได้คือ +1.92 แต่ถ้าพิจารณาสีจากภาพที่ 2.20 จะเห็นว่าวัตถุชิ้นที่ 2 จะอยู่ใกล้กับแกน +b มากกว่า ดังนั้น จะดูมีสีเหลืองมากกว่า



ภาพที่ 2.20 แสดงส่วนหนึ่งของไดอะแกรมสี a^* , b^* ในปริภูมิสีระบบ L^*C^*h [3]

ถึงแม้ว่าจะใช้คำพูดมาบรรยายสีได้ไม่ชัดเจนเท่ากับการแสดงเป็นตัวเลขก็ตาม แต่ก็สามารถใช้คำพูดอธิบายค่าความแตกต่างของสีได้เช่นกัน ในภาพที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงคำบางคำที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายความแตกต่างของสี เช่นบอกในเรื่องของความสว่างและโครมาเป็นคำที่ใช้อธิบาย ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงทิศทางความแตกต่างของสี แต่ไม่ใช่คำขยายออกไปอีก (เช่น อ่อนๆ เข้มมากๆ เป็นต้น) ก็จะไม่สามารถระบุระดับความแตกต่างของสีได้ ถ้าลองนำค่าสีของวัตถุทั้งสองชิ้นที่ได้มาพล็อต เราสามารถกล่าวได้ว่าวัตถุชิ้นที่ 2 มีสีซีดกว่าวัตถุชิ้นที่ 1 แต่เนื่องจากความแตกต่างกันมีไม่มาก จึงเพิ่มคำขยายท้ายออกไปว่า สีซีดกว่าเล็กน้อย เพื่อบรรลุถึงระดับความแตกต่าง

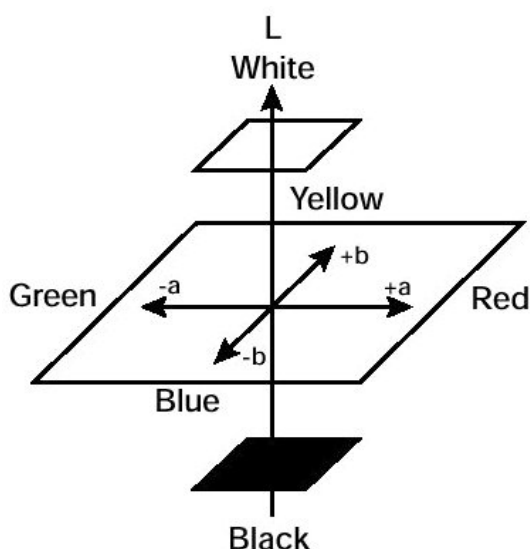


ภาพที่ 2.21 แสดงคำที่ใช้อธิบายถึงค่าโครมาหรือความอิ่มตัวของสีและความสว่าง (Chroma and Lightness) [3]

2.5.4 การวัดระดับสีของทองคำเจือ

จากระบบอ้างอิงการวัดสีของ CIELAB เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้วัดระดับสีของวัตถุ โดยวัดการกระจายสีหรือที่เรียกว่า “สเปกตรัมการกระจายแสง” ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของความยาวคลื่น (Wavelength) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากนั้นสเปกตรัมการกระจายแสงหรือความยาวคลื่นที่ได้จะถูกแยกสเปกตรัมแล้วนำมาคำนวณหาค่าสีในปริภูมิสีระบบต่างๆ 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 ดังแสดงในภาพที่ 2.22 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



ภาพที่ 2.22 พิกัดการวัดสี [32]

2.5.5 มาตรฐานสีทองคำกะรัต

มาตรฐานรับรองระดับสีทองคำกะรัต ประกอบด้วยมาตรฐาน NIHS-03-50 มาตรฐาน CETEHOR-07-07 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 2.17

ตารางที่ 2.17 สัญลักษณ์ระดับสีทองคำ ค่าการวัดและพิสัยความเผื่อตามมาตรฐาน DIN 8238 [15]

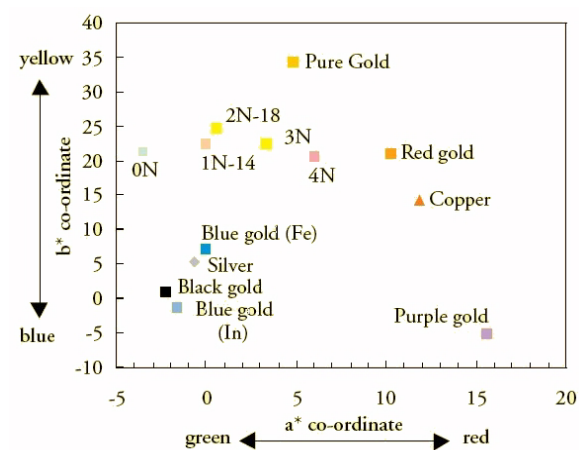
สัญลักษณ์	สี		ค่าสีมาตรฐาน					
	สี	ตรงกับมาตรฐาน NIHS-03-50 และ CETEHOR-07-07	L		a		b	
				พิสัย ความเผื่อ		พิสัย ความเผื่อ		พิสัย ความเผื่อ
8N	ขาว	-	1.2	± 0.2	0.9	± 0.1	1.6	± 0.3
0N	เขียวเหลือง	-	24.8		1.6		1.2	
1N	เหลืองอ่อน	/	1.7	± 0.1	1.7		1.2	± 0.15
2N	เหลืองสด	/	1.8		1.8		1.3	
3N	เหลือง	/	2.0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

2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับระดับสีทองคำกะรัต

1. Cristian Cretu และ Elma van der Lingen [9] ได้ทำการศึกษาส่วนผสมและระดับสีทองคำกะรัตของ The Manufacturing Jewellers & Silversmiths of America's Committee ที่ใช้อ้างอิงสำหรับการผลิตเครื่องประดับ โดยการวัดระดับสีอ้างอิงระบบการวัดสีของ The International Committee on Illumination (CIELAB) ซึ่งส่วนผสมของทองคำกะรัตระดับสีต่างๆ มีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2.18 และระนาบอ้างอิงของการวัดระดับสีทองคำกะรัตแสดงได้ดังภาพที่ 2.23

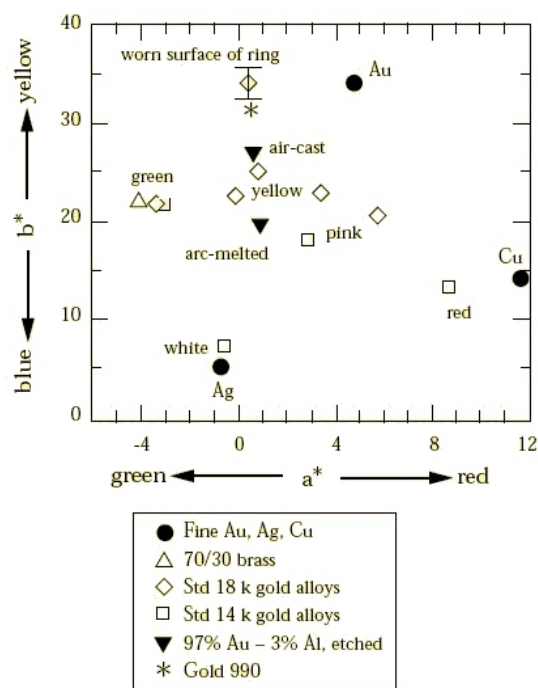
ตารางที่ 2.18 ส่วนผสมของทองคำกะรัตระดับสีต่างๆ จากการศึกษาของ Cristian Cretu และ Elma van der Lingen [9]

Alloys	Au	Ag	Cu	Al	Fe	In	Co
1N-14*	58.5	26.5	15.0	-	-	-	-
2N-18*	75.0	16.0	9.0	-	-	-	-
3N*	75.0	12.5	12.5	-	-	-	-
4N*	75.0	9.0	16.0	-	-	-	-
0N**	58.5	34.0	7.5	-	-	-	-
Red Gold	50.0	-	50.0	-	-	-	-
Blue Gold	75.0	-	-	-	25.0	-	-
Blue Gold	46.0	-	-	-	-	54.0	-
Purple Gold	80.0	-	-	-	20.0	-	-
Black Gold	75.0	-	-	-	-	-	25.0



ภาพที่ 2.23 แสดงระนาบอ้างอิงของการวัดระดับสีทองคำเจือตามมาตรฐาน CIELAB [9]

2. F.C. Levey, M.B. Cortie และ L.A. Cornish [18] ได้ทำการศึกษาระดับสีทองคำเจือ 23k ที่ผสมอลูมิเนียมในช่วงประมาณ 80-81 at% (ประมาณ 3wt%) เปรียบเทียบกับโลหะบริสุทธิ์ชนิดต่างๆ และทองคำกระรัต 14k และ 18k ซึ่งการเย็นตัวของทองคำเจืออลูมิเนียม 23k ที่ผ่านการเทหล่อและเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้อง เฟสที่เกิดขึ้นประกอบด้วย β -Phase เป็นชั้นๆ สลับกับสารประกอบ Au_4Al โดยพยายามควบคุมขนาดเกรนของ β -Phase จากการหล่อหลอมและเย็นตัวในสภาวะที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาขนาดของเกรน β -Phase ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสี ซึ่ง β -Phase เกิดจากการเย็นตัวในสภาวะที่สมดุล แต่ถ้าทองคำเจืออลูมิเนียม 23k ที่ผ่านการเทหล่อและเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้องอย่างสมดุล เฟสที่ได้ประกอบด้วย $Au_4Al + \alpha$ และมีผลให้ระดับสีทองคำเจือแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบระนาบอ้างอิงของการวัดระดับสีทองคำเจือชนิดต่างๆ [18]

3. Damiano Zito [13] ได้พยายามศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาส่วนผสมทองคำเจือ 18k สำหรับการหล่อ Investment Casting ที่ให้คุณภาพงานหล่อดีที่สุดและได้ระดับสีที่เป็นที่นิยมที่สุด 2N โดยมีคุณลักษณะตรงกับทองคำเจือ 750%Au 150%Ag 100%Cu ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะตามมาตรฐาน EN 28654 ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาได้ส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกลและระดับสีของทองคำเจือ ดังแสดงในตารางที่ 2.19 ตารางที่ 2.20 และตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.19 ส่วนผสมทางเคมีของทองคำเจือสภาพหล่อขึ้นรูปจากการศึกษาวิจัยของ Damiano Zito [13]

Alloy	Au%	Ag%	Cu%	Zn%	Si%	Ir%	Co%
A	75.3	14.8	10	-	-	-	-
B	75.1	13.8	10.3	0.8	-	-	-
C	75.1	14.1	9.9	0.8	-	0.011	-
D	75.0	13.9	10.2	0.8	0.040	-	0.031
E	75.0	13.6	10.5	0.8	0.043	0.010	-

ตารางที่ 2.20 สมบัติทางกลของทองคำเจือจากการศึกษาวิจัยของ Damiano Zito [13]

Alloy	Hardness, As cast (HV)	Hardness, Age hardened* (HV)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Yield Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Invalid Tensile Test (%)
A	137	209	41.8	21.7	53	45
B	130	226	35.7	21.9	51	30
C	130	223	43.7	26.1	53	10
D	137	243	38.4	24.7	55	0
E	126	213	37.4	23.3	58	10

ตารางที่ 2.21 สมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำเจือจากการศึกษาวิจัยของ Damiano Zito [13]

Alloy	Density (g/cm ³)	Melting range (°C) Solidus-Liquidus	Colour (Standard A)		
			L	a	b
A	15.15	911-920	86.72	2.26	26.4
			dL	da	db
B	14.99	887-920	-1.70	+0.15	-0.31
C	15.01	887-910	+0.03	-0.40	-0.85
D	15.24	890-896	-1.34	-0.10	-0.65
E	14.97	877-889	-0.35	-0.30	-1.06

4. Ing. F.Arbin i , Ing.A.Ricci และ Prof.Ing.M.Rosso [21] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่งหรือสารเจือรองโคบอลต์ (Co) ที่มีผลต่อสมบัติของทองคำเจือ 18k สีแดง 5N พบว่าปริมาณของโคบอลต์ 0.5 wt% มีผลทำให้อุณหภูมิหลอมละลายของทองคำเจือ 18k เพิ่มขึ้นจากเดิมของทองคำเจือ 18k สีแดง

มาตรฐาน ประมาณ 12°C และนอกจากนี้ยังมีผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทั้งในสภาพหล่อขึ้นรูปและสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

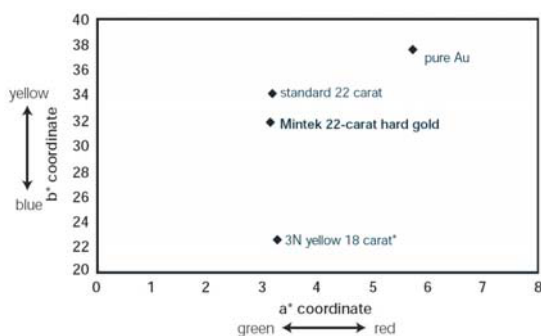
5. Rainer Süß, Elama van der Lingen, Lizelle Glaner และ Madeleine du Toit [37] ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับทองคำเจือ 18k สีเหลือง โดยทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุเจือต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ไททานเนียม โครเมียม โมลิบดีนัม โคบอลต์ เซอร์โคเนียม โบรอน อลูมิเนียม ซิลิกอน สังกะสี แพลทินัม พัลลาเดียม โรเดียม อิริเดียม และรูทีเนียม เพื่อศึกษาวิจัยความสามารถในการขึ้นรูปความสามารถในการเพิ่มความแข็งด้วยกรรมวิธีทางความร้อน และการเปลี่ยนแปลงระดับสีทองคำเจือ 18k สีเหลือง ผลจากการศึกษาวิจัยสามารถเพิ่มความแข็งให้กับทองคำเจือด้วยวิธีการบ่มแข็งได้ค่าความแข็งสูงขึ้นประมาณ 300 HV แต่ระดับสีทองคำเจือไม่เปลี่ยนแปลง.

6. M. Dabala, M. Magrini, M. Poliero และ R. Galvani [32] ได้ทำการศึกษาวิจัยคุณลักษณะทองคำเจือ 18k สีขาวตามข้อกำหนด 94/27 CE และมาตรฐานการตรวจสอบ EN 1811 : 1996 เพื่อวิจัยพัฒนาส่วนผสมทองคำเจือสีขาวทดแทนแพลทินัมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ เนื่องจากทองคำเจือในระบบ ทองคำ-เงิน-ทองแดงกะรัตสูงมีสีเหลือง ส่วนทองคำกะรัตต่ำๆ นั้นจะมีความหมองได้ง่าย และยิ่งกว่านั้นทองคำเจือสีขาวที่ผสมนิกเกิลนั้นมีผลต่ออวัยวะของผู้สวมใส่ ซึ่งคณะกรรมการยุโรปได้ออกข้อกำหนดให้เครื่องประดับที่ต้องสัมผัสผิวหนังมีส่วนผสมของนิกเกิลในปริมาณที่กำหนด ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าทองคำเจือ 18k ที่มีส่วนผสมของทองแดง-สังกะสี-โครเมียม มีความเหมาะสมในการใช้ทำเครื่องประดับมากที่สุดและมีความขาวมากที่สุดจากการวัดระดับตามระบบมาตรฐาน CIELAB

7. C.ristian Cretu, Elma van der Lingen และ Lizelle Glaner [8] ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาส่วนผสมทองคำเจือ 22 กะรัตให้มีความแข็งมากยิ่งขึ้น และทนต่อการสึกหรอมากขึ้นสำหรับการผลิตเครื่องประดับ ผลจากการศึกษาวิจัยสามารถพัฒนาทองคำเจือที่มีความแข็งเพิ่มขึ้น และระดับสีไม่เปลี่ยนแปลงจากทองคำเจือ 22k ที่มีอยู่เดิม (91.7%Au 5.5%Ag 2.8%Cu) ดังค่าที่แสดงในภาพที่ 2.25 ซึ่งสามารถรีดเย็นได้ถึง 99% ของการขึ้นรูปโดยไม่เกิดการแตกร้าว และไม่เกิดการแตกร้าวขณะทำการอบอ่อน ค่าความแข็งของทองคำเจือที่ค้นพบใหม่ (Mintek) สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูป 70% มีค่าความแข็ง 107 HV และสภาพอบเพิ่มความแข็งมีค่าสูงสุด 274 HV ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 2.22

ตารางที่ 2.22 ค่าความแข็งของทองคำเจือ 22 กะรัต หน่วย HV [8]

Alloy	Annealed	Cold-worked	Aged
Mintek 22k	94	170 (70% Reduce)	274
Conventional 22k	52	138 (75% Reduce)	Cannot be Age hardened
Conventional 18k	140	223.5	287.4



ภาพที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบระดับสีของทองคำเจือ Mintek 22 กระรัตกับทองคำเจือทั่วๆ ไปที่มีอยู่เดิม (91.7%Au 5.5%Ag 2.8%Cu) [8]

8. Massimo Poliero [30] ได้ทำการศึกษาวิจัยทองคำเจือสีขาวยสำหรับการหล่อ Investment Casting โดยเปรียบเทียบกับทองคำบริสุทธิ์ ทองแดงและโลหะอื่นๆ ซึ่งทองคำบริสุทธิ์มีค่าพิกัดระดับสีตามมาตรฐานการวัดสี CIELAB มีค่า $L = 84$ $a = 4.8$ $b = 34.3$ สำหรับในส่วนทองคำแดงมีค่า $L = 84$ $a = 11.8$ $b = 14.3$ ดังค่าที่แสดงในภาพที่ 2.26 สำหรับส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกลของทองคำเจือสีขาวยที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.23 และตารางที่ 2.24 ผลจากการทดลองสามารถสรุปคุณภาพของส่วนผสมต่างๆ และความแตกต่างของค่าระดับสีได้ดังตารางที่ 2.25

ตารางที่ 2.23 ส่วนผสมทางเคมีของทองคำเจือสีขาวย ที่ใช้ในการทดลอง (wt%) [30]

Alloy	carat	Au	Ni	Cu	Zn	Si	Ir	In	Ag
A	18	75	5.7	15.27	3.9	0.02	-	0.11	-
B	18	75	5.3	13.87	5.5	0.03	-	0.3	-
C	18	75	5	13.65	4.3	0.04	0.01	-	2
D	18	75	5	14.96	5	0.01	0.03	-	-
E	18	75	3.8	17.35	3.8	-	0.05	-	-
F	14	58.5	8.3	24.82	8.3	0.08	-	-	-

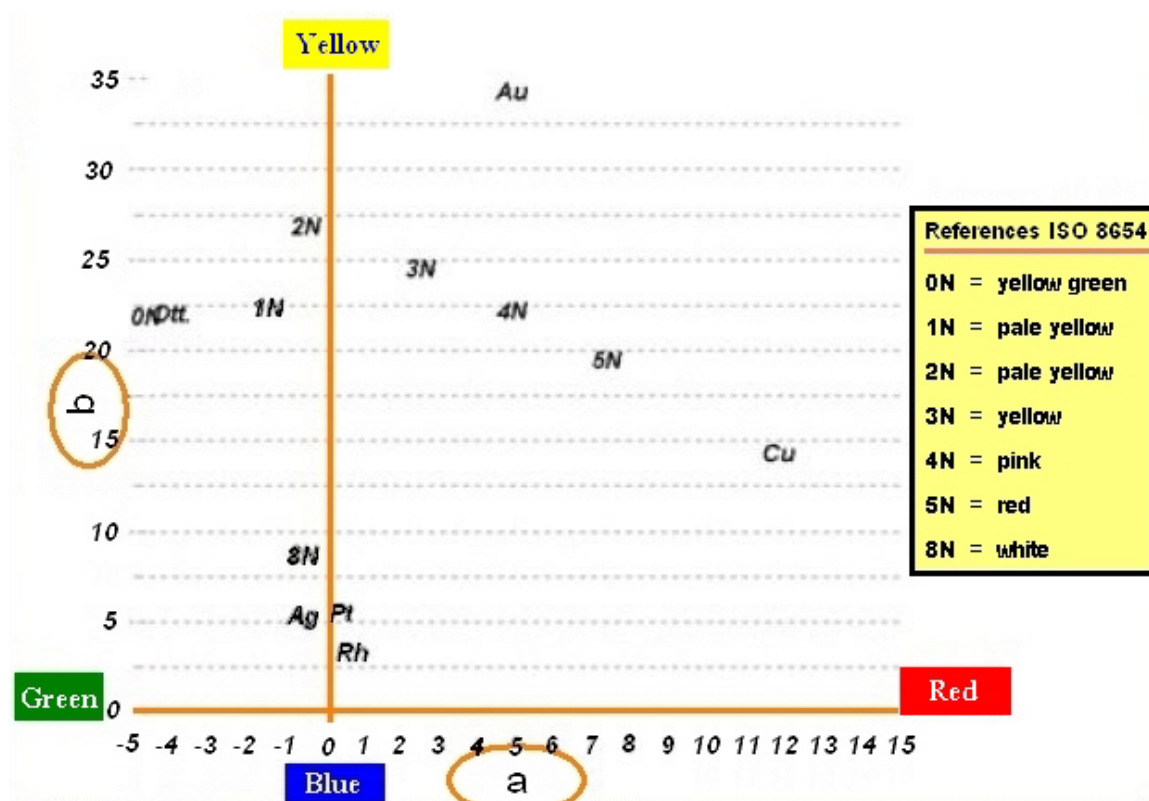
ตารางที่ 2.24 สมบัติทางกลของทองคำเจือสีขาวย ที่ใช้ในการทดลอง [30]

Alloy	carat	Liquidus °C	Solidus °C	hardness HV (as cast)	Tensile Strength daN/mm ²	Yield Strength daN/mm ²	Elongation fracture%	Form fill%	Average grain size μm
A	18	933	896	182	40.7	39.1	25.7	60	750
B	18	910	865	195	57.4	52.3	29.4	72	430
C	18	911	880	187	58.6	52.9	30	80	225
D	18	915	882	194	50.4	45.8	31.1	55	400
E	18	919	896	184	54.1	45.4	42.9	40	200
F	14	950	902	162	51.2	48.1	44.7	80	180

ตารางที่ 2.25 แสดงคุณภาพของส่วนผสมต่างๆ และความแตกต่างของค่าระดับสีที่ได้จากการทดลอง [30]

Alloy	carat	Surface oxidation	Quality level*	CIELAB Colour Coordinates			
				a	b	L	C
A	18	Partial	4	2.2	12.8	85.1	13.0
B	18	Partial	3	1.6	13.1	84.9	12.8
C	18	No	2	2.0	13.5	85.7	13.6
D	18	Partial	2	2.4	13.7	85.1	13.9
E	18	Yes	1	3.3	14.5	84.6	14.8
F	14	No	2	1.0	10.5	84.5	10.5

* 1 = very good : 2 = good : 3 = fairly good : 4 = insufficient : 5 = scrap



ภาพที่ 2.26 แสดงค่าระดับสีทองคำเปรียบเทียบกับโลหะอื่นๆ [30]

บทที่ 3

การดำเนินการศึกษาวิจัย

การดำเนินการศึกษาวิจัย คณะผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลองศึกษาวิจัยออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. จัดซื้อ จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ ครุภัณฑ์ และวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง
2. ศึกษาวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยสำหรับทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ที่นำเข้าจากต่างประเทศ
3. ดำเนินการหล่อหลอมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ
4. ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลืองผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ
5. ทดลองผลิตอัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง
6. ดำเนินการหล่อหลอมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ได้จากการผลิต
7. ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ได้จากการผลิต

3.1 จัดซื้อ จัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ ครุภัณฑ์ และวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 การเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์

เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยที่ได้ดำเนินการจัดซื้อ จัดเตรียมแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการหล่อหลอมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ในการทดลองศึกษาวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยใช้เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการผลิตชิ้นงานเครื่องประดับภายในโรงงานของผู้ร่วมให้ทุนสำหรับการทำหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ประกอบไปด้วยเครื่องหล่อดูดสูญญากาศ และเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการเตรียมแบบหล่อ (เครื่องฉีดเทียน เครื่องผสมปูน เครื่องอบนึ่งไอน้ำ และเตาอบปูนแบบหล่อ)
2. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล และศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องวัดเตรียมชิ้นงาน กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test)
3. เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี และวัดสี ในการศึกษาวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการติดต่อขอใช้บริการจากหน่วยงานอื่น ที่มีเครื่องมืออุปกรณ์เหล่านี้ เช่น เครื่องวิเคราะห์ขั้นสูง Induction Couple Plasma (ICP) เครื่อง Atomic Absorption (AA) เครื่อง X – Ray

Fluorescence Spectrometer (XRFS) และเครื่องวัดระดับสี ที่สถาบันวิจัยอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ, สถาบันวิจัยเคมี ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก, บริษัท พรีเมียร์ คลาสสิก จำกัด, บริษัท ดีทีเอส จำกัด และภาควิชาวิชาเทคโนโลยีกระดาดและเนื้อเยื่อ AIT

3.1.2 การจัดซื้อวัสดุ

การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัย คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

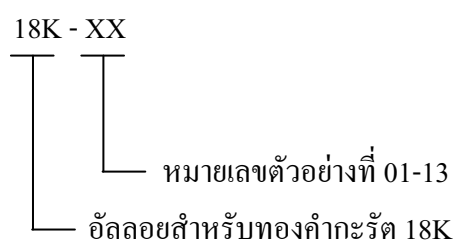
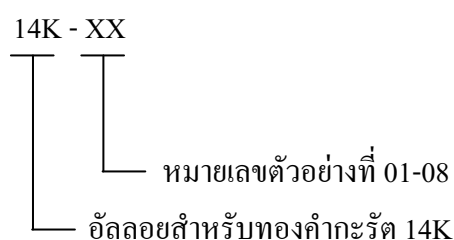
1. หนังสือ Ternary Phase Diagram of Gold Alloy, Rule Casting Defect
2. วัสดุสิ้นเปลืองสำหรับการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ซึ่งประกอบไปด้วย กระดาษทราย

ผ้าขัด ผงเพชรขนาดต่างๆ และสารเคมีที่ใช้ในการ Etching

สำหรับในส่วนของโลหะทองคำ อัลลอย วัสดุอุปกรณ์หรือวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการหล่อหลอม และหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบนั้น ทางบริษัทผู้ร่วมให้ทุนเป็นผู้จัดหาให้ ส่งผลให้คณะผู้วิจัยไม่จำเป็นต้องดำเนินการจัดซื้อจัดหาวัสดุดังกล่าว

3.2 ศึกษาวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยสำหรับทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

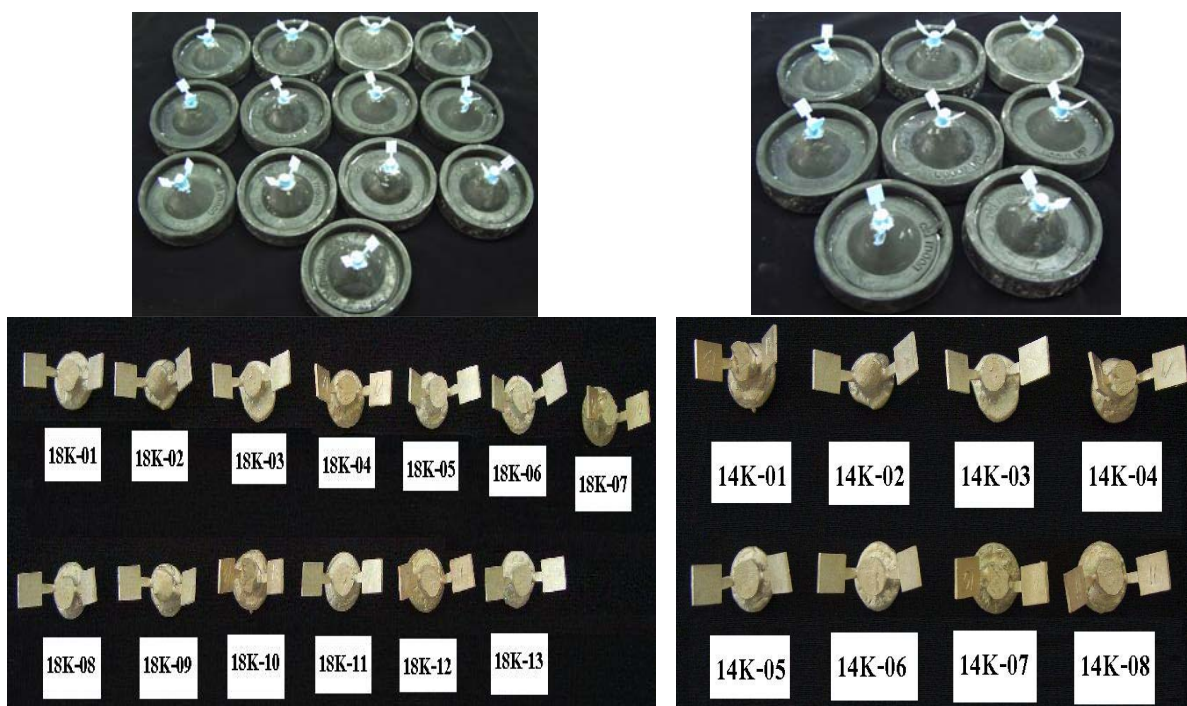
ในการวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของอัลลอย คณะผู้วิจัยได้ส่งอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่ทางบริษัทผู้ร่วมให้ทุนจัดหาให้ไปวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่สถาบันวิจัยอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ และที่บริษัทพรีเมียร์ คลาสสิก จำกัด เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขั้นสูง Induction Couple Plasma (ICP) โดยกำหนดรหัสของชิ้นงานดังนี้



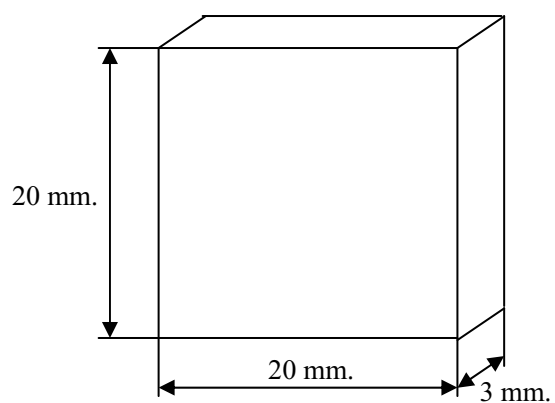
การวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยนำเข้าจากต่างประเทศสำหรับการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการในการวิเคราะห์ทดสอบด้วยเทคนิค ICP (Inductively Couple Plasma) ซึ่งพลาสมาเกิดจากก๊าซที่แตกตัวเป็นไอออน โดยได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าความถี่สูง ทำให้พลาสมามีความร้อนสูง ในการวิเคราะห์จะต้องนำสารตัวอย่าง 10-100 มิลลิกรัม มาละลายด้วยกรด แล้วฉีดเข้าไปในพลาสมา ซึ่งจะทำให้ธาตุต่าง ๆ แปรสภาพไปเป็นอะตอมหรือไอออนที่มีพลังงานสูง อยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้นจึงไม่มีเสถียรภาพและจำเป็นต้องคายพลังงานออกมา ซึ่งธาตุหนึ่งๆ จะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ผลจากการตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นสเปกตรัม เมื่อเทียบกับผลจากสารตัวอย่างมาตรฐาน ก็จะสามารรถคำนวณหาปริมาณธาตุต่างๆ จากสารตัวอย่างได้ การทดสอบด้วยวิธีนี้จะได้ผลทดสอบที่มีความแม่นยำสูงและใช้สารตัวอย่างน้อย เครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบเป็นเครื่อง ICP ของสถาบันวิจัยอณูมณี และเครื่องประดับแห่งชาติ จุฬาฯ และเครื่อง ICP ของบริษัท ฟรีเซียส คลาสสิก จำกัด

3.3 ดำเนินการหล่อหลอมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

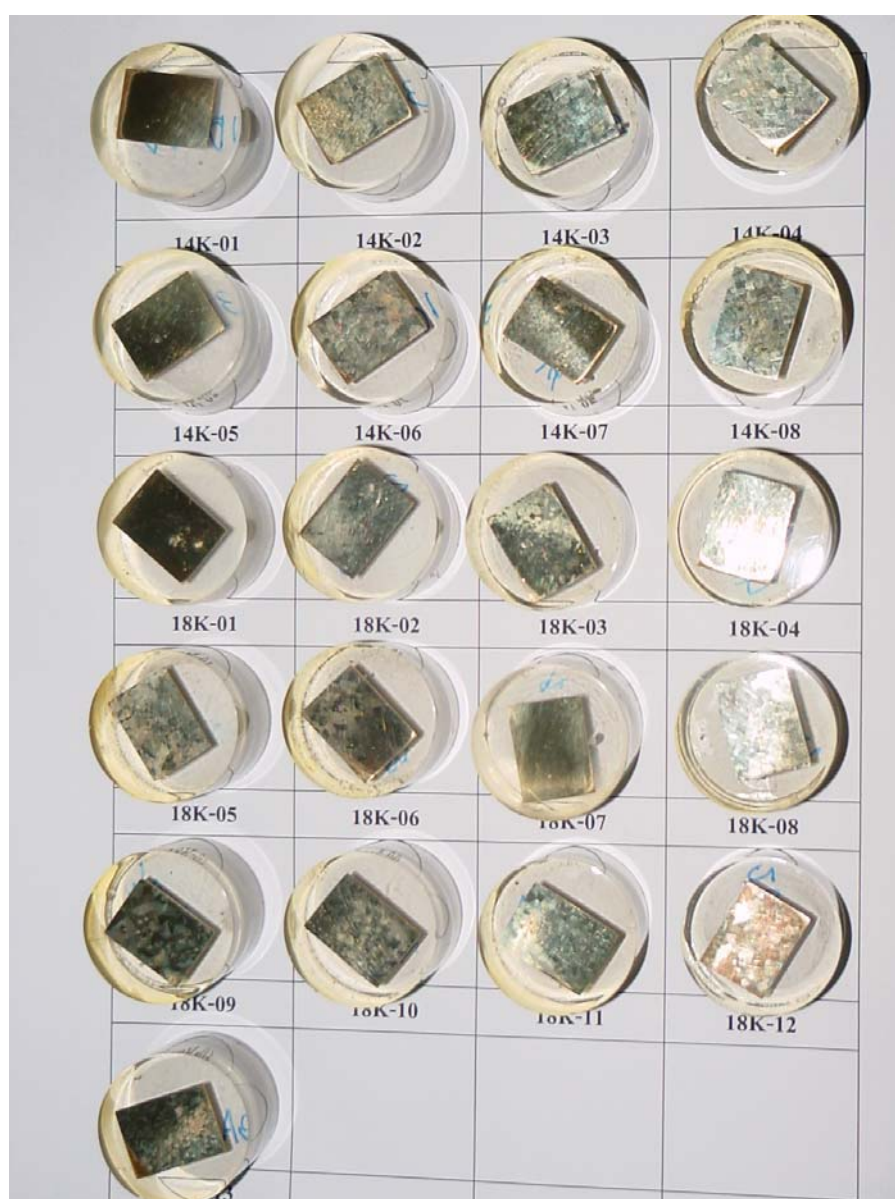
หลังจากที่ได้อัลลอยสำหรับทองคำกะรัตและทราบส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศแล้ว คณะผู้วิจัย นำอัลลอยชนิดต่างๆ มาหลอมผสมรวมกับทองคำเป็นทองคำ 14k และ 18k เพื่อหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ โดยดำเนินการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบที่โรงงานของผู้ร่วมให้ทุน ซึ่งลักษณะของชิ้นทดสอบมีขนาด 20 x 20 x 3 mm. ดังแสดงในภาพที่ 3.2 เพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี ทดสอบสมบัติทางกล วัดระดับสี และศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค ต่อไป โดยกำหนดรหัสของชิ้นทดสอบเช่นเดียวกับการกำหนดรหัสของอัลลอย



ภาพที่ 3.1 ลักษณะการดัดขึ้นเทียนและชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ



ภาพที่ 3.2 ขนาดของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป



ภาพที่ 3.3 ลักษณะของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปและทำการตรึงยึด (Mounting) ชิ้นทดสอบ

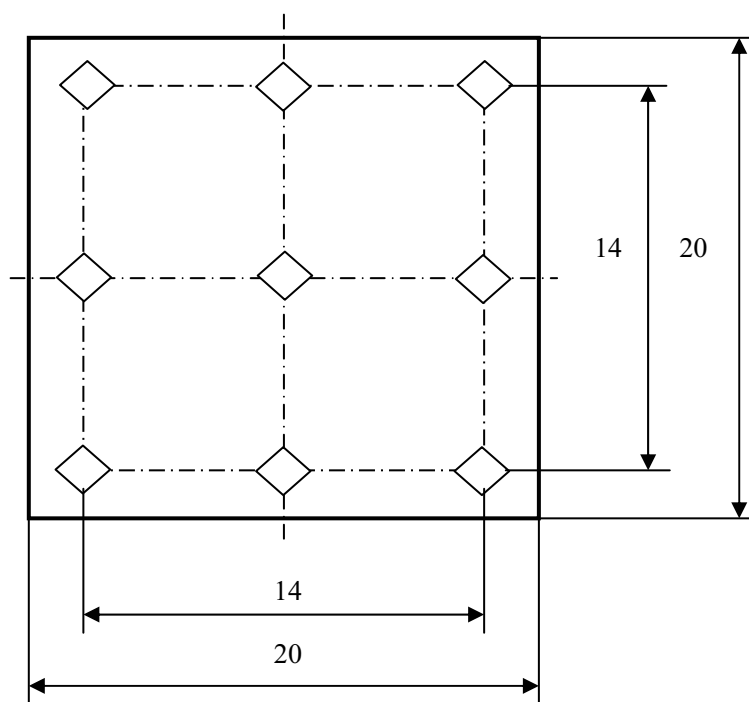
3.4 ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และระดับสีของค่ากระรัด 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

3.4.1 การวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของค่ากระรัด 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

การวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปนั้น คณะผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทดสอบด้วยเทคนิค ICP เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทดสอบอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

3.4.2 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของค่ากระรัด 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบที่ทำการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ คณะผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดสอบความแข็งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ในการทดสอบความแข็ง คณะผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test) ยี่ห้อ Mutsuzawa รุ่น MHT2 โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Material น้ำหนักที่ใช้กด 500 กรัม เวลาในการกดแช่ 30 วินาที ชิ้นทดสอบจะถูกทดสอบความแข็งกระจายทั่วทั้งผิวหน้าของชิ้นทดสอบจำนวน 9 จุด ตำแหน่งของการทดสอบแสดงได้ดังภาพที่ 3.4 แล้วทำการตัดค่าสูงสุดและต่ำสุดออกอย่างละ 2 ค่า แล้วนำค่าที่เหลือ 5 จุด มาหาค่าเฉลี่ยความแข็งตลอดทั้งชิ้นงาน



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง



ภาพที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ ยี่ห้อ Mutsuzawa รุ่น MHT2 ที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.3 การศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำแร่ 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

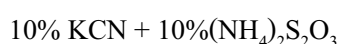
การศึกษวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำแร่ 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและลักษณะเฟสที่เกิดจากการแข็งตัวของทองคำแร่ฯ จากขบวนการหล่อขึ้นรูป ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ ซึ่งการเตรียมทำได้โดยการตัดชิ้นงานแล้วนำไปหล่อด้วยเรซินให้จับยึดชิ้นทดสอบ เพื่อความสะดวกในการจับยึดชิ้นทดสอบในการจัดผิวให้เรียบ

2. ขั้นตอนการขัดผิวละเอียด (Fine Grinding) การขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำ ซิลิกอนคาร์ไบด์ติดบนจานหมุนของเครื่องขัดแบบจานหมุน ซึ่งปกติชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแผ่นคอรันดัมจะมีผิวเรียบ เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000, 1500, 2000 และ 4000 ตามลำดับ ในการขัดด้วยกระดาษทรายสองขนาดสุดท้ายต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษทรายในทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงานแล้วหมุนไป 90 องศา ขัดจนรอยเดิมหายไป โดยมีน้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลาที่ทำการขัด เพื่อช่วยในการระบายความร้อนและกำจัดเศษผงโลหะที่ถูกขัดออกมา

3. ขั้นตอนการขัดผิวมัน (Polishing) หลังจากการขัดกระดาษทรายแล้วจะนำชิ้นงานมาขัดบนผ้าสักหลาด ซึ่งมีผงขัดได้แก่ ผงขัดเพชรหรือผงอลูมินา (Aluminum Oxide) ผสมกับน้ำแล้วฉีดลงบนผ้าสักหลาดก่อนนำชิ้นงานลงขัด ซึ่งผงอลูมินาและผงเพชรที่ใช้โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ $3\ \mu\text{m}$ $1\ \mu\text{m}$ และ $0.5\ \mu\text{m}$ การขัดด้วยผงขัดต่างๆ เหล่านี้ โดยทั่วไปจะต้องทำการขัดจนกว่าผิวชิ้นงานเรียบและไม่มีรอยต่างๆ ปรากฏที่ผิว ซึ่งผิวของชิ้นงานจะมีความเงาใสและเรียบคล้ายกระจกเงา

4. การกัดกรด (Etching) หลังจากการชิ้นทดสอบผ่านการขัดผิวมันแล้ว นำมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทิลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 96% แล้วเป่าให้แห้ง จากนั้นนำชิ้นทดสอบมากัดผิวด้วยกรดดังต่อไปนี้



1-6 นาที เพื่อแสดงขอบเกรน

Conc. HCl + Conc. HNO₃ อัตราส่วนผสม (3:1) 1-3 วินาที เพื่อแสดงรายละเอียด

ภายในเกรน

30% (Conc. HCl + Conc. HNO₃) อัตราส่วนผสม (3:1) เจือจางด้วยน้ำ เพื่อแสดงรายละเอียด

ภายในเกรน

เมื่อกัดผิวชิ้นทดสอบด้วยกรดดังกล่าวแล้วจะนำชิ้นทดสอบไปล้างด้วยน้ำและตามด้วยแอลกอฮอล์ และเป่าด้วยลมร้อนให้แห้งสนิท จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจดูโครงสร้างจุลภาคของ ชิ้นทดสอบที่สภาพต่างๆ ต่อไป ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์, กล้องจุลทรรศน์, กล้องถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

3.4.4 การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจาก ต่างประเทศ

การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีทองคำกะรัต คณะผู้วิจัยเลือกใช้ระบบการวัดค่าสีทองคำด้วย เครื่องวัดที่มีฟังก์ชันมาตรฐานของตามนุษย์ที่กำหนดโดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ CIE ที่ให้ค่า การวัดมีค่าที่แน่นอนสำหรับการวัดทุกๆ ครั้ง โดยทำการวัดด้วยเครื่องคลอริมิเตอร์ (Colorimeter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR300 ที่มีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในแบบ C ซึ่งเป็นระบบแสงคู่ทำให้เกิดแสงสว่างที่ สม่ำเสมอไปตกกระทบวัตถุทุกๆ ครั้งของการวัดค่าระดับสี ที่สามารถคำนวณได้จากมาตรฐานแสงของ CIE ผลการวัดค่าระดับสีที่ได้สามารถแสดงผลการวัดเป็นตัวเลขที่แม่นยำในปริภูมิสี (Color Space) ระบบต่างๆ ทำให้สามารถสื่อสารค่าระดับสีได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



ภาพที่ 3.6 แสดงเครื่องมือและการวัดระดับสีทองคำ

3.5 ทดลองผลิตอัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศสามารถสรุปได้ว่า ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในอัลลอยทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ประกอบด้วย ทองแดง เงิน และสังกะสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเจือหลัก และนอกจากนี้ยังมีธาตุ ซิลิกอน เหล็ก แมกนีเซียม อลูมิเนียม รูบิเดียม อินเดียม สตรอนเทียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแบเรียม ทำหน้าที่เป็นธาตุเจือรอง

ในส่วน of ธาตุเจือหลักสามารถสรุปปริมาณของธาตุเจือต่างๆ ได้ดังนี้

1. อัดลอยสำหรับทองคำกะรัต 14k ประกอบด้วย ทองแดง อยู่ในช่วงประมาณ 66-78%wt เงิน อยู่ในช่วงประมาณ 3-17%wt และสังกะสี อยู่ในช่วงประมาณ 13-17%wt

2. อัดลอยสำหรับทองคำกะรัต 18k ประกอบด้วย ทองแดง อยู่ในช่วงประมาณ 44-48%wt (ผลจากการวิเคราะห์จริงอยู่ในช่วง 44-84%wt แต่หลังจากที่ได้มีการปรึกษาหารือกับผู้ประกอบการผู้ร่วมให้ทุนแล้ว ผู้ประกอบการมีความสนใจในช่วง 44-48%wt มากกว่า) เงิน อยู่ในช่วงประมาณ 13-57%wt และสังกะสี อยู่ในช่วงประมาณ 0-10%wt

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่กล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยได้มีการปรึกษาหารือกับผู้ร่วมให้ทุน และได้กำหนดส่วนผสมทางเคมีของอัดลอยที่จะทดลองผลิตสำหรับการใช้ในการศึกษาวิจัย โดยทำการศึกษาวิจัยอิทธิพลของธาตุเจ้าหลัก ทองแดง เงิน และสังกะสีที่มีผลต่อระดับสี สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของทองคำกะรัต และได้ทำการแบ่งกลุ่มของอัดลอยที่ทดลองผลิตขึ้น ออกเป็นกลุ่มส่วนผสมต่างๆ ดังนี้

1. อัดลอยสำหรับทองคำกะรัต 14k

ตารางที่ 3.1 กลุ่มของอัดลอยสำหรับทองคำกะรัต 14k

กลุ่ม	รหัส	Cu	Ag	Zn	total	%Cu	%Ag	%Zn
A	14K-1A	66	17	14	97	68.041	17.526	14.433
	14K-2A	66	17	15.5	98.5	67.005	17.259	15.736
	14K-3A	66	17	17	100	66.000	17.000	17.000
	14K-4A	66	17	18.5	101.5	65.025	16.749	18.227
B	14K-1B	69	13.5	14	96.5	71.503	13.990	14.508
	14K-2B	69	13.5	15.5	98	70.408	13.776	15.816
	14K-3B	69	13.5	17	99.5	69.347	13.568	17.085
	14K-4B	69	13.5	18.5	101	68.317	13.366	18.317
C	14K-1C	72	10	14	96	75.000	10.417	14.583
	14K-2C	72	10	15.5	97.5	73.846	10.256	15.897
	14K-3C	72	10	17	99	72.727	10.101	17.172
	14K-4C	72	10	18.5	100.5	71.642	9.950	18.408
D	14K-1D	75	6.5	14	95.5	78.534	6.806	14.660
	14K-2D	75	6.5	15.5	97	77.320	6.701	15.979
	14K-3D	75	6.5	17	98.5	76.142	6.599	17.259
	14K-4D	75	6.5	18.5	100	75.000	6.500	18.500
E	14K-1E	78	3	14	95	82.105	3.158	14.737
	14K-2E	78	3	15.5	96.5	80.829	3.109	16.062
	14K-3E	78	3	17	98	79.592	3.061	17.347
	14K-4E	78	3	18.5	99.5	78.392	3.015	18.593

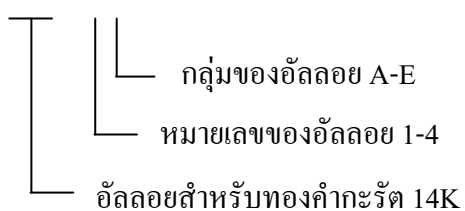
2. อัลลอยสำหรับทองคำกะรัต 18k

ตารางที่ 3.2 กลุ่มของอัลลอยสำหรับทองคำกะรัต 18k

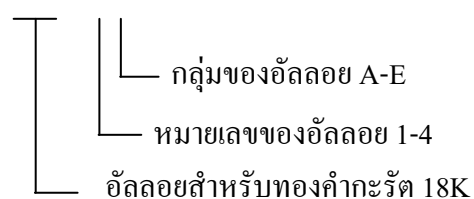
กลุ่ม	รหัส	Cu	Ag	Zn	total	%Cu	%Ag	%Zn
A	18K-1A	44	52	0	96	45.833	54.167	0.000
	18K-2A	44	52	2	98	44.898	53.061	2.041
	18K-3A	44	52	4	100	44.000	52.000	4.000
	18K-4A	44	52	6	102	43.137	50.980	5.882
B	18K-1B	45	51	0	96	46.875	53.125	0.000
	18K-2B	45	51	2	98	45.918	52.041	2.041
	18K-3B	45	51	4	100	45.000	51.000	4.000
	18K-4B	45	51	6	102	44.118	50.000	5.882
C	18K-1C	46	50	0	96	47.917	52.083	0.000
	18K-2C	46	50	2	98	46.939	51.020	2.041
	18K-3C	46	50	4	100	46.000	50.000	4.000
	18K-4C	46	50	6	102	45.098	49.020	5.882
D	18K-1D	47	49	0	96	48.958	51.042	0.000
	18K-2D	47	49	2	98	47.959	50.000	2.041
	18K-3D	47	49	4	100	47.000	49.000	4.000
	18K-4D	47	49	6	102	46.078	48.039	5.882
E	18K-1E	48	48	0	96	50.000	50.000	0.000
	18K-2E	48	48	2	98	48.980	48.980	2.041
	18K-3E	48	48	4	100	48.000	48.000	4.000
	18K-4E	48	48	6	102	47.059	47.059	5.882

และเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนในการดำเนินการทดลอง คณะผู้วิจัยขออธิบายการกำหนดรหัสของอัลลอยดังนี้

14K – X X

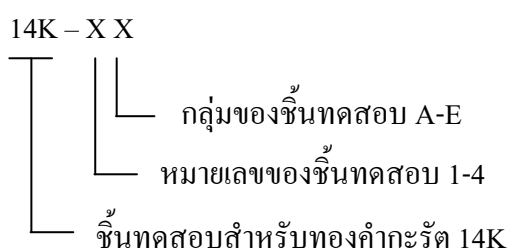


18K – X X



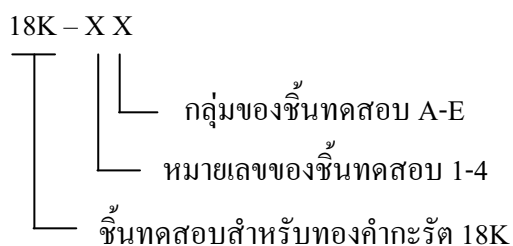
3.6 ดำเนินการหล่อหลอมทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

หลังจากที่ได้มีการกำหนดปริมาณของธาตุเงินที่ใช้เป็นอัลลอยแล้ว คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการหล่อหลอมธาตุเงินต่างๆ ผสมรวมกับทองคำบริสุทธิ์เพื่อหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ซึ่งลักษณะและขนาดของชิ้นทดสอบมีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับชิ้นทดสอบดังภาพที่ 3.2 โดยมีการกำหนดรหัสและอัตราส่วนผสมของทองคำและอัลลอยต่างๆ ดังนี้



ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของธาตุเงินต่างๆ ในทองคำกะรัต 14k ที่ผลิตขึ้น

กลุ่ม	รหัส	Au	Alloys	total	%Au	%Cu	%Ag	%Zn
A	14K-1A	58.333	41.667	100.000	58.333	28.351	7.302	6.014
	14K-2A	58.333	41.667	100.000	58.333	27.919	7.191	6.557
	14K-3A	58.333	41.667	100.000	58.333	27.500	7.083	7.083
	14K-4A	58.333	41.667	100.000	58.333	27.094	6.979	7.594
B	14K-1B	58.333	41.667	100.000	58.333	29.793	5.829	6.045
	14K-2B	58.333	41.667	100.000	58.333	29.337	5.740	6.590
	14K-3B	58.333	41.667	100.000	58.333	28.895	5.653	7.119
	14K-4B	58.333	41.667	100.000	58.333	28.466	5.569	7.632
C	14K-1C	58.333	41.667	100.000	58.333	31.250	4.340	6.076
	14K-2C	58.333	41.667	100.000	58.333	30.769	4.274	6.624
	14K-3C	58.333	41.667	100.000	58.333	30.303	4.209	7.155
	14K-4C	58.333	41.667	100.000	58.333	29.851	4.146	7.670
D	14K-1D	58.333	41.667	100.000	58.333	32.723	2.836	6.108
	14K-2D	58.333	41.667	100.000	58.333	32.217	2.792	6.658
	14K-3D	58.333	41.667	100.000	58.333	31.726	2.750	7.191
	14K-4D	58.333	41.667	100.000	58.333	31.250	2.708	7.708
E	14K-1E	58.333	41.667	100.000	58.333	34.211	1.316	6.140
	14K-2E	58.333	41.667	100.000	58.333	33.679	1.295	6.693
	14K-3E	58.333	41.667	100.000	58.333	33.164	1.276	7.228
	14K-4E	58.333	41.667	100.000	58.333	32.664	1.256	7.747



ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของธาตุเจือต่างๆ ในทองคำกะรัต 18k ที่ผลิตขึ้น

กลุ่ม	รหัส	Au	Alloys	total	%Au	%Cu	%Ag	%Zn
A	18K-1A	75.000	25.000	100.000	75.000	11.458	13.542	0.000
	18K-2A	75.000	25.000	100.000	75.000	11.225	13.265	0.510
	18K-3A	75.000	25.000	100.000	75.000	11.000	13.000	1.000
	18K-4A	75.000	25.000	100.000	75.000	10.784	12.745	1.471
B	18K-1B	75.000	25.000	100.000	75.000	11.719	13.281	0.000
	18K-2B	75.000	25.000	100.000	75.000	11.480	13.010	0.510
	18K-3B	75.000	25.000	100.000	75.000	11.250	12.750	1.000
	18K-4B	75.000	25.000	100.000	75.000	11.030	12.500	1.471
C	18K-1C	75.000	25.000	100.000	75.000	11.979	13.021	0.000
	18K-2C	75.000	25.000	100.000	75.000	11.735	12.755	0.510
	18K-3C	75.000	25.000	100.000	75.000	11.500	12.500	1.000
	18K-4C	75.000	25.000	100.000	75.000	11.275	12.255	1.471
D	18K-1D	75.000	25.000	100.000	75.000	12.240	12.761	0.000
	18K-2D	75.000	25.000	100.000	75.000	11.990	12.500	0.510
	18K-3D	75.000	25.000	100.000	75.000	11.750	12.250	1.000
	18K-4D	75.000	25.000	100.000	75.000	11.520	12.010	1.471
E	18K-1E	75.000	25.000	100.000	75.000	12.500	12.500	0.000
	18K-2E	75.000	25.000	100.000	75.000	12.245	12.245	0.510
	18K-3E	75.000	25.000	100.000	75.000	12.000	12.000	1.000
	18K-4E	75.000	25.000	100.000	75.000	11.765	11.765	1.471

3.7 ศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล ระดับสี และโครงสร้างจุลภาค ทองคำกะรัต

14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

3.7.1 การวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

การวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัตสี 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น คณะผู้วิจัย เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทดสอบด้วยเทคนิค ICP เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ส่วนผสม

ทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่เข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีซ้ำด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X – Ray Fluorescence Spectroscopy : XRFS) เป็นการวิเคราะห์โดยการยิงผิวของตัวอย่างด้วยรังสีเอกซเรย์ และมีการถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของธาตุแต่ละชนิด อิเล็กตรอนเหล่านี้เมื่อได้รับพลังงานเข้าไปก็จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้นหรือหลุดออกไป ซึ่งทำให้อะตอมไม่มีเสถียรภาพและปลดปล่อยพลังงานออกไปเพื่อให้ตัวเองอยู่ในสภาวะเดิม พลังงานเหล่านี้อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของอะตอมแต่ละชนิด เมื่อทำการตรวจวัดจะได้ข้อมูลออกมาในลักษณะเป็นสเปกตรัมเปรียบเทียบกับผลจากสารตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของธาตุแต่ละชนิดออกมาได้

3.7.2 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น คณะผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดสอบความแข็งเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ในการทดสอบความแข็ง คณะผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Test) ยี่ห้อ Mutsuzawa รุ่น MHT2 โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Material น้ำหนักที่ใช้กด 500 กรัม เวลาในการกดแช่ 30 วินาที ชิ้นทดสอบจะถูกทดสอบความแข็งกระจายทั่วทั้งผิวหน้าของชิ้นทดสอบจำนวน 9 จุด แล้วทำการตัดค่าสูงสุดและต่ำสุดออกอย่างละ 2 ค่า แล้วนำค่าที่เหลือ 5 จุด มาหาค่าเฉลี่ยความแข็งตลอดทั้งชิ้นงาน

3.7.3 การศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

การศึกษานำวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและลักษณะเฟสที่เกิดจากการแข็งตัวของทองคำกะรัตฯ จากขบวนการหล่อขึ้นรูป มีขั้นตอนการดำเนินการต่างๆ เช่นเดียวกับทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

3.7.4 การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีทองคำกะรัต 14k และ 18k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น

การวิเคราะห์ทดสอบระดับสีทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่ผลิตขึ้น คณะผู้วิจัยเลือกใช้ระบบการวัดค่าสีทองคำด้วยเครื่องวัดที่มีฟังก์ชันมาตรฐานของตามนุษย์ที่กำหนดโดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ CIE ที่ให้ค่าการวัดมีค่าที่แน่นอนสำหรับการวัดทุกๆ ครั้ง โดยทำการวัดด้วยเครื่องคัลเลอร์ริมิเตอร์ (Colorimeter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR300 ที่มีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ภายในแบบ C เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทดสอบระดับสีของทองคำกะรัตฯ ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.1.1 อัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 14k

จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทองคำกะรัต 14k พบว่า ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักของอัลลอยเกือบทุกรหัส ประกอบด้วย ธาตุทองแดง (Cu) เงิน (Ag) สังกะสี (Zn) ซิลิกอน (Si) และโปแตสเซียม (K) ยกเว้น อัลลอยรหัส 14K-01 เพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้นที่มีนิกเกิล (Ni) ผสมเข้าไปเพิ่มเติมนอกเหนือจากธาตุเจือที่กล่าวข้างต้น ซึ่งรายละเอียดของการผสมและอัตราส่วนผสมของธาตุเจือต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 14k ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Cu	Ag	Zn	Si	K	Ni	SUM	Other	total
1	14K-01	77.6890	3.4330	17.0860	0.3910	0.0670	0.7200	99.3860	0.6140	100.000
2	14K-02	70.8500	16.9300	11.7990	0.2950	0.0690	-	99.9430	0.0570	100.000
3	14K-03	66.9840	17.4220	14.9060	0.5520	0.0930	-	99.9570	0.0430	100.000
4	14K-04	74.6410	9.2450	15.4900	0.5140	0.0680	-	99.9580	0.0420	100.000
5	14K-05	74.0920	8.5250	17.0280	0.3210	0.0310	-	99.9970	0.0030	100.000
6	14K-06	70.3110	12.6400	16.3540	0.5420	0.0630	-	99.9100	0.0900	100.000
7	14K-07	68.7020	6.4270	13.8360	0.9350	0.0660	-	89.9660	10.0340	100.000
8	14K-08	75.4720	9.9760	13.8410	0.6290	0.0320	-	99.9500	0.0500	100.000

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักหรือสารเจือหลักในอัลลอยทองคำกะรัต 14k ประกอบด้วย ทองแดง เงิน และสังกะสี สำหรับในส่วน of ธาตุอื่นๆ ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง โดยสารเจือหลักมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วงประมาณ 66-78%wt เงิน อยู่ในช่วงประมาณ 3-17%wt และสังกะสี อยู่ในช่วงประมาณ 14-18.5%wt

4.1.2 อัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 18k

จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทองคำกะรัต 18k พบว่า ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักของอัลลอยเกือบทุกรหัส ประกอบด้วยธาตุทองแดง (Cu) เงิน (Ag) และสังกะสี (Zn) และนอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อยที่ผสมอยู่ในรูปของสารเจือรองที่มีปริมาณไม่เกิน 1% ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกอน (Si) แมกนีเซียม (Mg) อลูมิเนียม (Al) โปแตสเซียม (K) รูบิเดียม (Rb) อินเดียม (In) เหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) สตรอนเทียม (Sr) และแบเรียม (Ba) ซึ่งรายละเอียดของการผสมและอัตราส่วนผสมของธาตุเจือต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยสำหรับผสมทองคำกะรัต 18k ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	Rb	In	Fe	Ni	Sr	Ba	SUM	Other	total
1	18K-01	57.5060	38.5100	3.2570	0.2320	0.0380	0.3050	0.0680	-	-	-	-	-	-	99.9160	0.0840	100.0000
2	18K-02	83.8000	13.5400	2.2150	0.2130	0.0210	-	0.0740	0.0410	-	-	-	-	-	99.9040	0.0960	100.0000
3	18K-03	49.6890	45.9600	3.5120	0.3570	0.0270	-	0.0790	0.0510	Trace	-	-	-	-	99.6750	0.3250	100.0000
4	18K-04	43.7720	52.8500	2.6070	-	0.0130	0.0330	0.0500	0.0200	Trace	0.0530	-	-	-	99.3980	0.6020	100.0000
5	18K-05	44.7800	50.6700	4.3410	-	0.0270	-	0.0810	0.0360	-	-	-	-	-	99.9350	0.0650	100.0000
6	18K-06	59.6830	29.9500	9.7770	0.2950	0.0300	-	0.0780	0.0550	-	-	-	-	-	99.8680	0.1320	100.0000
7	18K-07	44.2170	55.3700	0.2310	-	0.0190	-	0.0390	0.0390	-	Trace		Minor	Trace	99.9150	0.0850	100.0000
8	18K-08	47.4600	47.0700	3.9700	0.0820	-	0.9100	-	-	-	-	-	Minor	Trace	99.4920	0.5080	100.0000
9	18K-09	49.3700	46.6000	3.9600	-	-	0.0200	-	-	-	-	-		-	99.9500	0.0500	100.0000
10	18K-10	(18K-01) 50%+(18K-02) 50%															
11	18K-11	40.0300	56.8400	3.0400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.9100	0.0900	100.0000
12	18K-12	46.8500	49.5300	3.5800	-	-	-	-	-	-	-	0.0300	-	-	99.9900	0.0100	100.0000
13	18K-13	50.0200	30.4500	9.9800	-	-	-	-	-	Minor	-	-	-	-	90.4500	9.5500	100.0000

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในอัลลอยทองคำกะรัต 18k ประกอบด้วย ทองแดง เงิน และสังกะสี สำหรับในส่วน of ธาตุอื่นๆ เช่น ซิลิกอน เหล็ก แมกนีเซียม อลูมิเนียม รูบิเดียม อินเดียม สตรอนเทียม ฟอสฟอรัส โบแทสเซียม และแบเรียม ทำหน้าที่เป็นสารเจือปน โดยสารเจือหลักมีปริมาณทองแดงอยู่ในช่วงประมาณ 44-48%wt (ผลจากการวิเคราะห์จริงอยู่ในช่วง 44-84%wt แต่หลังจากที่ได้มีการปรึกษาหารือกับผู้ประกอบการผู้ร่วมให้ทุนแล้ว ผู้ประกอบการมีความสนใจในช่วง 44-48%wt มากกว่า) อยู่ในช่วงประมาณ 13-57%wt และสังกะสี อยู่ในช่วงประมาณ 0-10%wt

หลังจากทราบส่วนผสมทางเคมีของอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศแล้ว สามารถนำมาคำนวณหาส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัตผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัต 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Au	Cu	Ag	Zn	Si	K	Ni	SUM	Other	total
1	14K-01	58.333	32.371	1.430	7.119	0.163	0.028	0.300	99.744	0.256	100.000
2	14K-02	58.333	29.521	7.054	4.916	0.123	0.029	-	99.976	0.024	100.000
3	14K-03	58.333	27.910	7.259	6.211	0.230	0.039	-	99.982	0.018	100.000
4	14K-04	58.333	31.101	3.852	6.454	0.214	0.028	-	99.982	0.018	100.000
5	14K-05	58.333	30.872	3.552	7.095	0.134	0.013	-	99.999	0.001	100.000
6	14K-06	58.333	29.296	5.267	6.814	0.226	0.026	-	99.962	0.038	100.000
7	14K-07	58.333	28.626	2.678	5.765	0.390	0.028	-	95.819	4.181	100.000
8	14K-08	58.333	31.447	4.157	5.767	0.262	0.013	-	99.979	0.021	100.000

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Au	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	Rb	In	Fe	Ni	Sr	Ba	SUM	Other	total
1	18K-01	75.000	14.377	9.628	0.814	0.058	0.010	0.076	0.017		-	-	-	-	-	99.979	0.021	100.000
2	18K-02	75.000	20.950	3.385	0.554	0.053	0.005	-	0.019	0.010	-	-	-	-	-	99.976	0.024	100.000
3	18K-03	75.000	12.422	11.490	0.878	0.089	0.007	-	0.020	0.013	Trace	-	-	-	-	99.919	0.081	100.000
4	18K-04	75.000	10.943	13.213	0.652	-	0.003	0.008	0.013	0.005	Trace	0.013	-	-	-	99.850	0.151	100.000
5	18K-05	75.000	11.195	12.668	1.085	-	0.007	-	0.020	0.009	-	-	-	-	-	99.984	0.016	100.000
6	18K-06	75.000	14.921	7.488	2.444	0.074	0.008	-	0.020	0.014	-	-	-	-	-	99.967	0.033	100.000
7	18K-07	75.000	11.054	13.843	0.058	-	0.005	-	0.010	0.010	-	Trace		Minor	Trace	99.979	0.021	100.000
8	18K-08	75.000	11.865	11.768	0.993	0.021	-	0.228			-	-	-	Minor	Trace	99.873	0.127	100.000
9	18K-09	75.000	12.343	11.650	0.990	-	-	0.005			-	-	-		-	99.988	0.013	100.000
10	18K-10	(18K-01) 50%+(18K-02) 50%																
11	18K-11	75.000	10.008	14.210	0.760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.978	0.022	100.000
12	18K-12	75.000	11.713	12.383	0.895	-	-	-	-	-	-	-	0.008	-	-	99.998	0.003	100.000
13	18K-13	75.000	12.505	7.613	2.495	-	-	-	-	-	Minor	-	-	-	-	97.613	2.388	100.000

4.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทองคำแร่รัตนผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.2.1 ทองคำแร่รัตน 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทองคำแร่รัตน 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.5 ที่ได้จากการหล่อหลอมขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมทางเคมีที่แสดงในตารางที่ 4.3 ของชิ้นทดสอบทุกรหัสตัวอย่าง พบว่า สังกะสีที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือหลัก ซิลิกอนและโปแตสเซียม ที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรองมีปริมาณลดลง เนื่องจากการสูญเสียโดยการออกซิไดซ์ในขั้นตอนการหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบ ส่งผลให้ธาตุเจืออื่นๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทองคำแร่รัตน 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Au	Cu	Ag	Zn	Si	K	Ni	SUM	Other	total
1	14K-01	58.78	30.6100	3.8900	6.4700	0.1427	-	Trace	99.8927	0.1073	100.000
2	14K-02	58.56	31.0700	5.4100	4.8600	0.0742	0.0005	-	99.9747	0.0253	100.000
3	14K-03	59.8	28.3600	6.0600	5.5900	0.0905	0.0006	-	99.9011	0.0989	100.000
4	14K-04	58.78	30.7300	4.8700	5.4600	0.1018	-	-	99.9418	0.0582	100.000
5	14K-05	59.85	31.0700	4.0900	4.9200	0.0527	-	-	99.9827	0.0173	100.000
6	14K-06	59.29	29.9700	4.9500	5.6400	0.1138	-	-	99.9638	0.0362	100.000
7	14K-07	56.68	29.1600	6.2400	5.5700	0.2372	-	-	97.8872	2.1128	100.000
8	14K-08	58.73	31.3100	4.8800	4.9300	0.0927	-	-	99.9427	0.0573	100.000

4.2.2 ทองคำแร่รัตน 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทองคำแร่รัตน 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.6 ที่ได้จากการหล่อหลอมขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมทางเคมีที่แสดงในตารางที่ 4.4 ของชิ้นทดสอบทุกรหัสตัวอย่าง พบว่า ธาตุที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรองที่มีปริมาณน้อย เช่น รูบิเดียม อินเดียม เหล็ก นิกเกิล สตรอนเทียม และแบเรียม ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณที่หลงเหลือในทองคำแร่รัตน 18k ได้ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก แต่สำหรับในส่วนของการเจือรองที่เป็น ซิลิกอน แมกนีเซียม มีปริมาณลดลงเล็กน้อยจากการเกิดออกซิไดซ์ ในขณะที่การหล่อหลอม ยกเว้น อลูมิเนียมและโปแตสเซียม ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น สำหรับในส่วนของการเจือหลัก โดยส่วนใหญ่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ยกเว้น สังกะสีที่มีปริมาณลดลง เนื่องจากการเกิดออกซิไดซ์ในขั้นตอนการหล่อหลอมขึ้นรูปชิ้นทดสอบเช่นเดียวกับธาตุที่เป็นสารเจือรอง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	Au	Cu	Ag	Zn	Si	Mg	Al	K	SUM	Other	total
1	18K-01	75.03	14.2000	9.8300	0.5700	0.1247	0.0110	0.1355	0.0506	99.9518	0.0482	100.0000
2	18K-02	74.93	20.0400	4.6000	0.2900	0.0908	0.0146	-	0.0207	99.9861	0.0139	100.0000
3	18K-03	75.18	12.1700	11.9000	0.5500	0.1353	0.0128	-	0.0213	99.9694	0.0306	100.0000
4	18K-04	75.47	11.7100	12.2600	0.3900	-	0.0155	0.0935	0.0135	99.9525	0.0475	100.0000
5	18K-05	75.32	11.8000	12.0200	0.7500	-	0.0070	-	0.0093	99.9063	0.0937	100.0000
6	18K-06	75.08	13.8800	8.1200	2.7700	0.0915	0.0085	-	0.0208	99.9708	0.0292	100.0000
7	18K-07	75.14	11.7400	12.8800	0.0970	-	0.0138	-	0.0243	99.8951	0.1049	100.0000
8	18K-08	75.26	11.7900	11.8600	0.8100	0.0043	0.0114	0.1141	0.0170	99.8668	0.1332	100.0000
9	18K-09	75.11	11.3900	11.4700	0.8400	-	0.0229	0.0739	0.0199	98.9267	1.0733	100.0000
10	18K-10	75.22	12.9800	11.4300	0.0500	0.1951	0.0112	0.0740	0.0031	99.9634	0.0366	100.0000
11	18K-11	75.14	12.4600	11.3300	0.6500	0.1754	0.0327	0.0556	0.0261	99.8698	0.1302	100.0000
12	18K-12	74.97	13.9200	10.2300	0.5600	0.1838	0.0134	0.0644	0.0317	99.9733	0.0267	100.0000
13	18K-13	75.03	14.7200	7.9900	2.0600	-	-	0.0607	-	99.8607	0.1393	100.0000

4.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกลของทองคำกะรัตผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

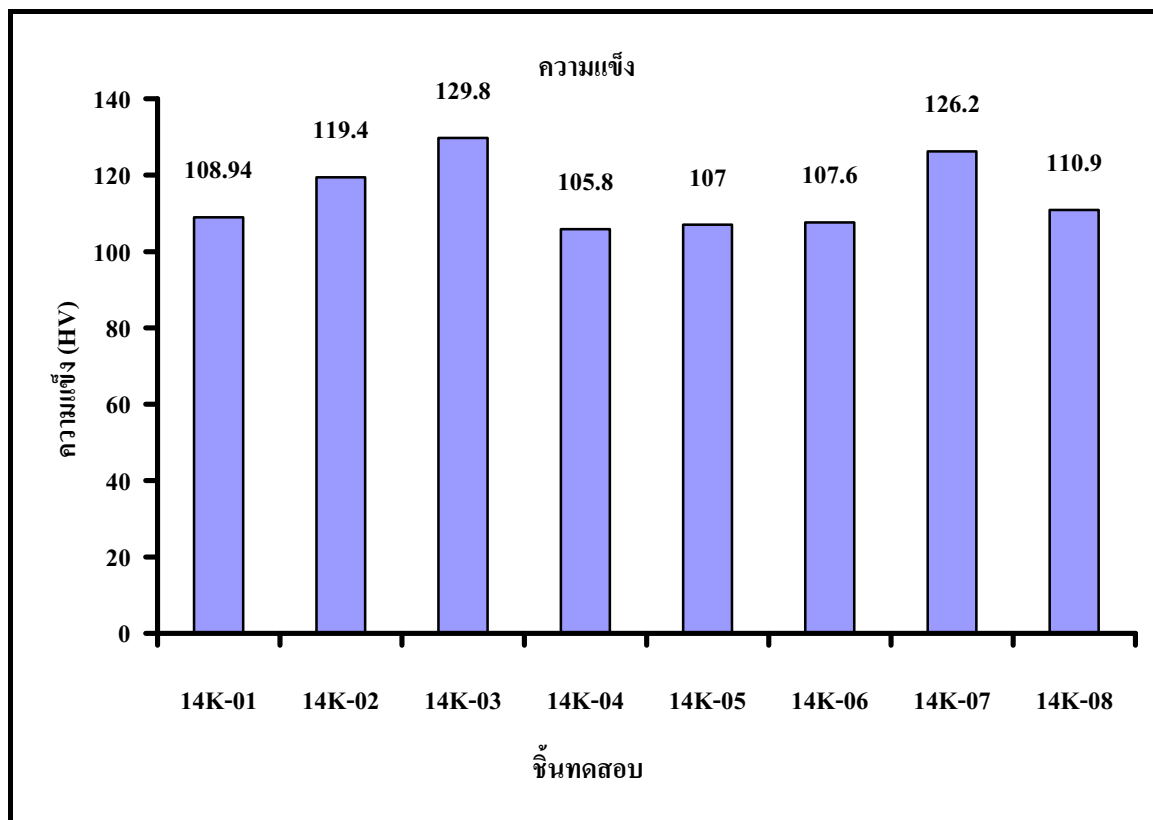
4.3.1 ทองคำกะรัต 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งของทองคำกะรัต 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	ค่าความแข็ง (HV)						
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	SD.
1	14K-01	111	107	112	116	98.7	108.94	6.558811
2	14K-02	110	127	117	125	118	119.4	6.80441
3	14K-03	132	128	129	129	131	129.8	1.643168
4	14K-04	107	107	104	105	106	105.8	1.30384
5	14K-05	103	109	104	110	109	107	3.24037
6	14K-06	107	106	107	106	112	107.6	2.50998
7	14K-07	124	130	124	131	122	126.2	4.024922
8	14K-08	118	115	116	106	99.5	110.9	7.861298

จากกราฟค่าความแข็งในภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบรหัส 14K-03 มีค่าความแข็งสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 129.8 HV รองมาคือชิ้นทดสอบรหัส 14K-07 มีค่าความแข็งเท่ากับ 126.2 HV และรองลงมาคือชิ้นทดสอบรหัส 14K-02 มีค่าความแข็ง 119.4 HV ตามลำดับ สำหรับชิ้นทดสอบอื่นๆ มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 105.8-110.9 HV เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบเปรียบเทียบกับ

กับส่วนผสมทางเคมี พบว่า ปริมาณของเงินมีผลทำให้ค่าความแข็งของทองคำกะรัต 14k เพิ่มขึ้นมากกว่าธาตุเงินที่เป็นสารเจือหลักชนิดอื่นๆ สำหรับในส่วนทองคำที่เป็นสารเจือรอง พบว่า ปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งของทองคำกะรัต 14k เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งของทองคำกะรัต 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

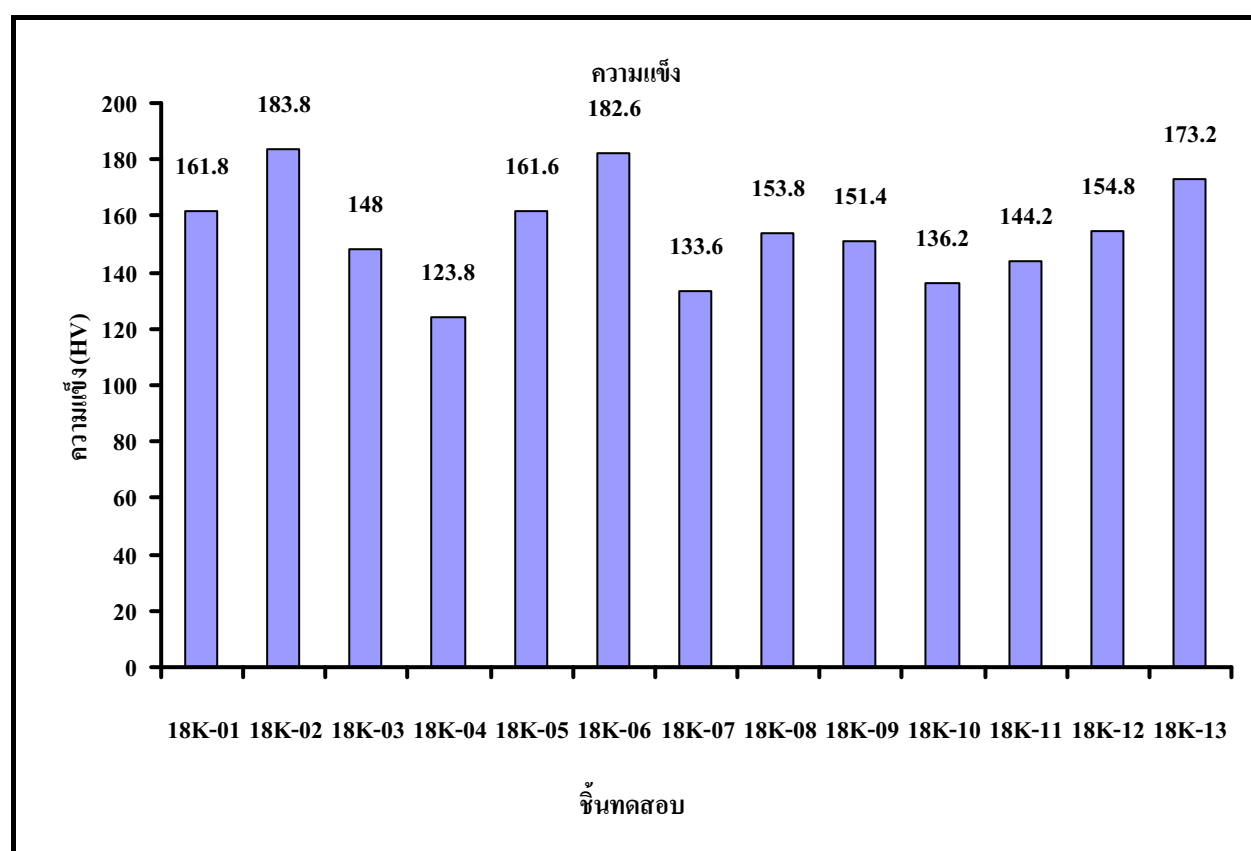
4.3.2 ทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากกราฟค่าความแข็งในภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าชั้นทดสอบรหัส 18K-02 มีค่าความแข็งสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 183.8 HV รองลงมาคือ ชั้นทดสอบรหัส 18K-06 มีค่าความแข็งเท่ากับ 182.6 HV และรองลงมาก็คือรหัส 18K-13 มีค่าความแข็งเท่ากับ 173.2 HV

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งของชั้นทดสอบเปรียบเทียบกับส่วนผสมทางเคมี พบว่าค่าความแข็งที่ได้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของชั้นทดสอบมีความแตกต่างของธาตุเจือค่อนข้างมาก

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งของทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ลำดับที่	รหัส	ค่าความแข็ง (HV)						
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	SD.
1	18K-01	161	161	161	162	164	161.8	1.30384
2	18K-02	181	176	187	197	178	183.8	8.46759
3	18K-03	150	149	148	147	146	148	1.58114
4	18K-04	133	131	133	111	111	123.8	11.7132
5	18K-05	166	162	159	163	158	161.6	3.20936
6	18K-06	175	189	187	183	179	182.6	5.72713
7	18K-07	134	140	139	126	129	133.6	6.10737
8	18K-08	152	153	154	157	153	153.8	1.92354
9	18K-09	147	143	160	153	154	151.4	6.58027
10	18K-10	139	137	128	139	138	136.2	4.65833
11	18K-11	144	146	138	145	148	144.2	3.76829
12	18K-12	154	158	154	159	149	154.8	3.96232
13	18K-13	180	170	170	169	177	173.2	4.96991



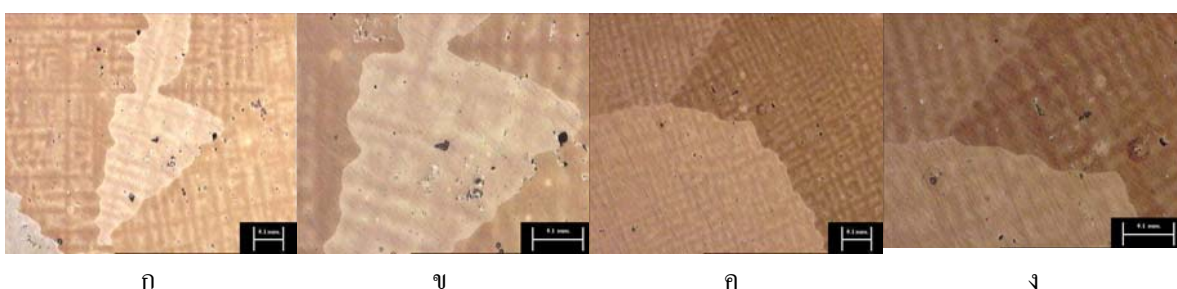
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งของทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.4 ผลการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของทองคำระดับผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

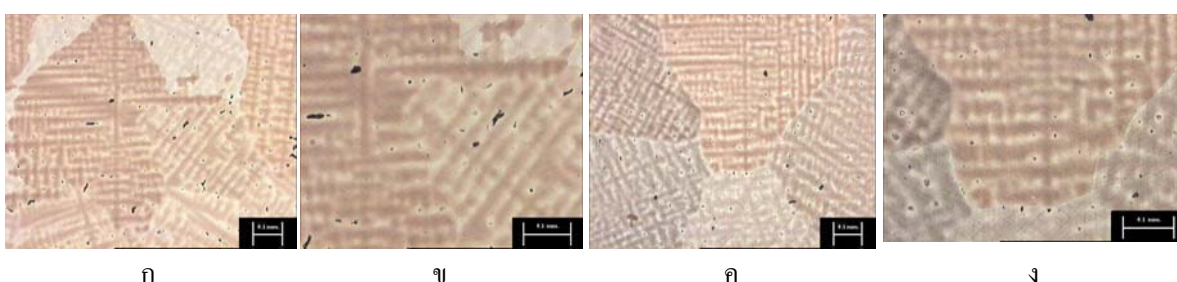
การศึกษาวเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของทองคำระดับสีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆ ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของทองคำระดับสีเหลือง โดยปกติจำเป็นที่จะต้องอ้างอิงแผนภาพสมดุลสามเฟสของ ทองคำ-เงิน-ทองแดง ทองคำ-เงิน-สังกะสี และทองคำ-ทองแดง-สังกะสี ดังแสดงในภาพที่ ก1 ถึงภาพที่ ก18 ในภาคผนวก ก. เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับลักษณะโครงสร้างจุลภาค เนื่องจากทองคำระดับสีเหลือง มีส่วนผสมของธาตุทองแดง เงิน และสังกะสี เป็นสารเจือหลัก สำหรับในส่วนธาตุอื่นนั้นจะทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง

4.4.1 ทองคำระดับ 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

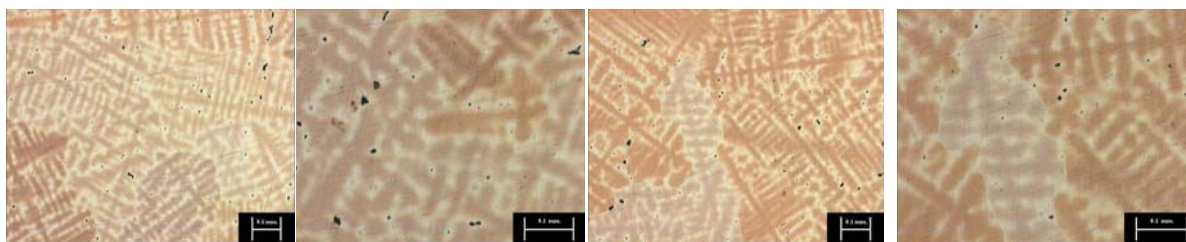
จากการศึกษาวเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำระดับ 14k สีเหลือง ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าชิ้นทดสอบทุกชิ้นมีโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล และนอกจากนี้เม็ดเกรนที่ได้ยังมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบนี้มีผลทำให้สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบที่มีธาตุอื่นที่มีปริมาณน้อยกว่า 1%wt ที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง เปรียบเทียบกับแผนภาพสมดุลเฟสทองคำ-เงิน-ทองแดง, ทองคำ-เงิน-สังกะสี, ทองคำ-ทองแดง-สังกะสี พบว่า สังกะสีสามารถละลายในทองคำ เงิน และทองแดงในลักษณะสารละลายของแข็ง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับแผนภาพสมดุลของธาตุเจืออื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง พบว่าธาตุที่เป็นสารเจือรองเหล่านี้สามารถละลายในทองคำ เงินและทองแดงในลักษณะของสารละลายของแข็ง



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-01 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



ภาพที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-02 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



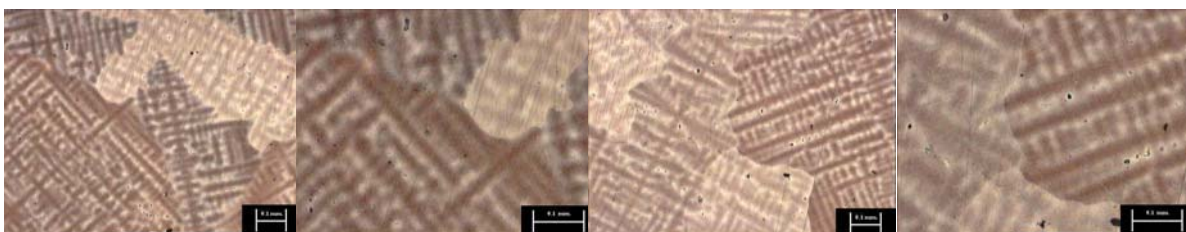
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-03 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



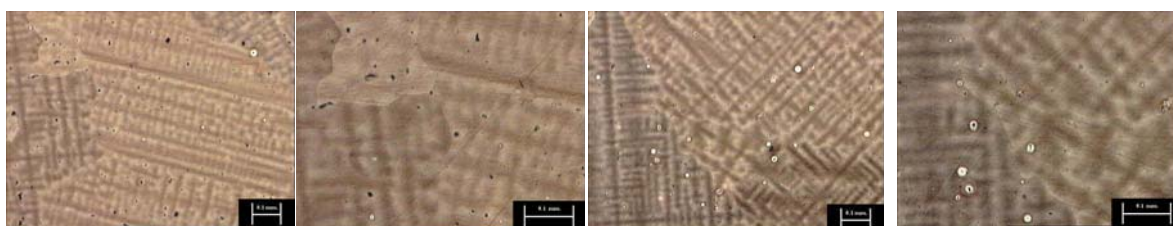
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-04 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



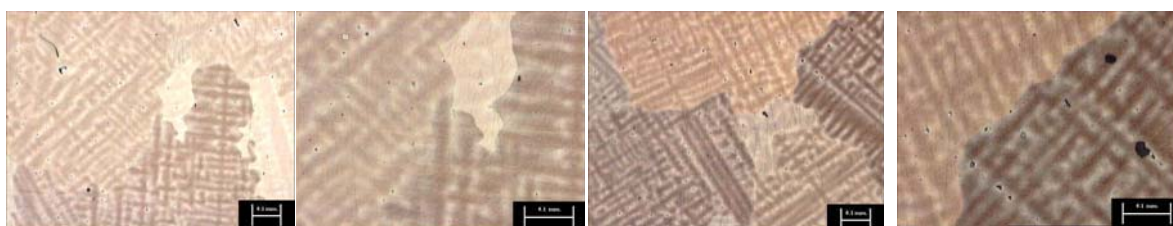
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-05 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



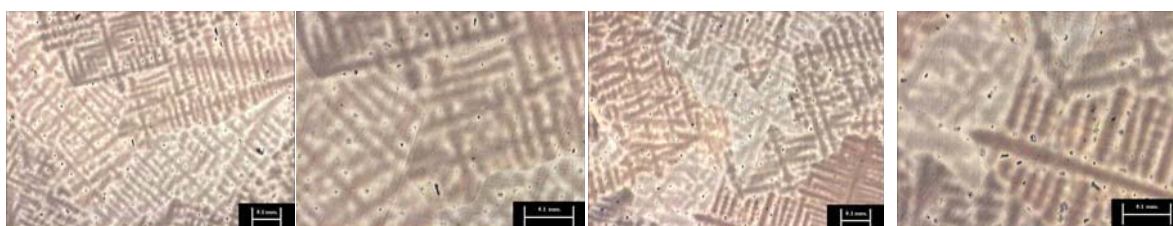
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-06 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



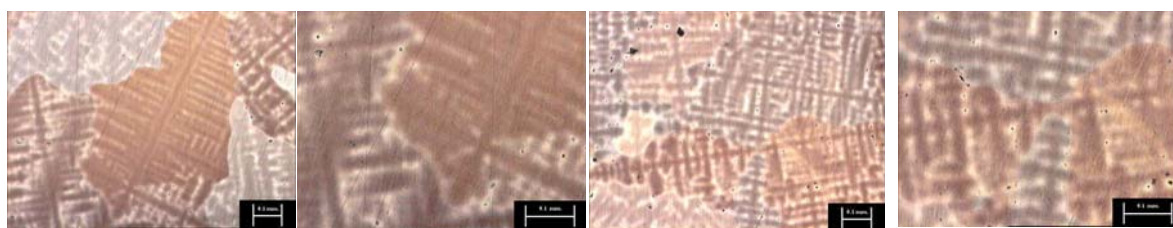
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-07 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



ก

ข

ค

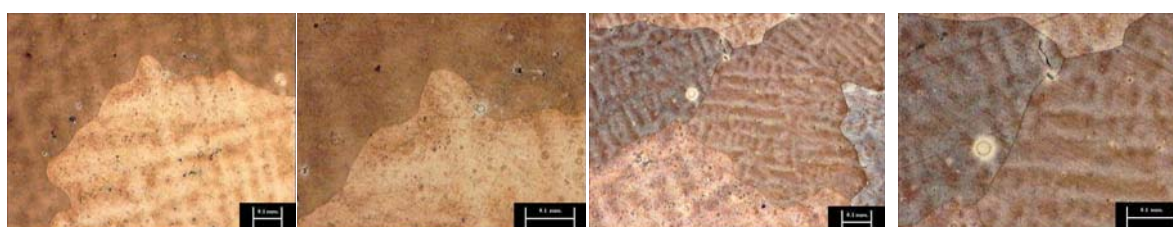
ง

ภาพที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 14K-08 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.4.2 ทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบทองคำกะรัต 18k สีเหลืองผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าชิ้นทดสอบเกือบทุกชิ้นมีโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการเย็นตัวในสถานะที่เร็วกว่าสมดุล และนอกจากนี้เม็ดเกรนที่ได้อาจมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบนี้มีผลทำให้สมบัติทางกลของชิ้นทดสอบไม่ดีเท่าที่ควร ยกเว้น ชิ้นทดสอบรหัส 18K-07 และชิ้นทดสอบรหัส 18K-10 ซึ่งมีเม็ดเกรนที่ได้มีหลายเกรนและมีลักษณะเป็นผลึกที่สมบูรณ์ภายในเกรน มีเส้นแบ่งขอบเกรนที่ชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะภายในเกรน พบว่าลักษณะการผสมของส่วนผสมภายในเกรนของชิ้นทดสอบทั้งสองรหัสมีลักษณะที่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ดีในลักษณะของสารละลายของแข็ง

เมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบที่มีธาตุอื่นที่มีปริมาณน้อยกว่า 1%wt ที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง เปรียบเทียบกับแผนภาพสมดุลเฟสทองคำ-เงิน-ทองแดง, ทองคำ-เงิน-สังกะสี, ทองคำ-ทองแดง-สังกะสี ดังแสดงในภาพที่ ก1 ถึงภาพที่ ก18 ในภาคผนวก ก. เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างจุลภาค พบว่า สังกะสีสามารถละลายในทองคำ เงิน และทองแดงในลักษณะสารละลายของแข็ง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับแผนภาพสมดุลของธาตุเจืออื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเจือรอง พบว่าธาตุที่เป็นสารเจือรองเหล่านี้สามารถละลายในทองคำ เงินและทองแดงในลักษณะของสารละลายของแข็ง



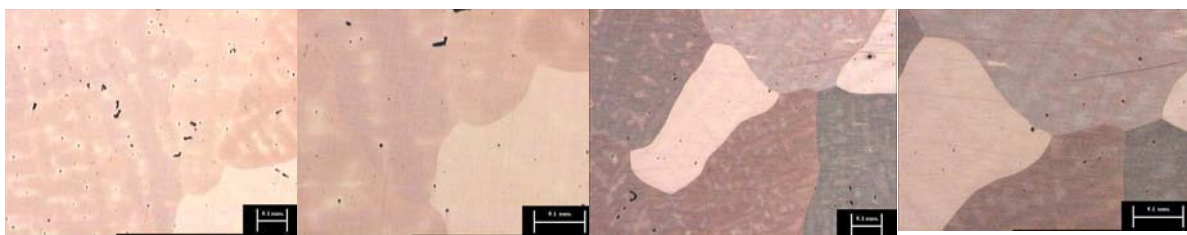
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-01 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



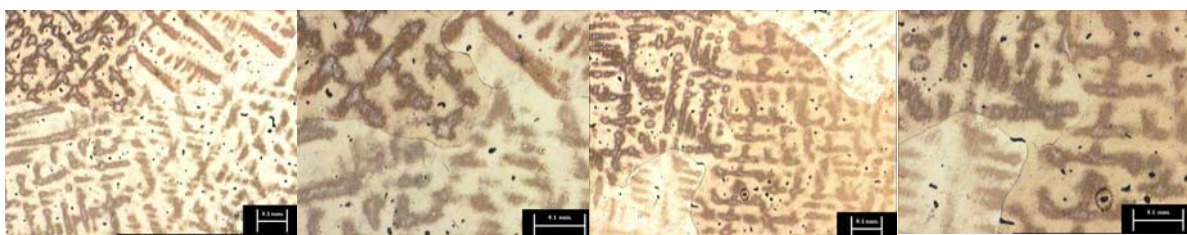
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-02 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



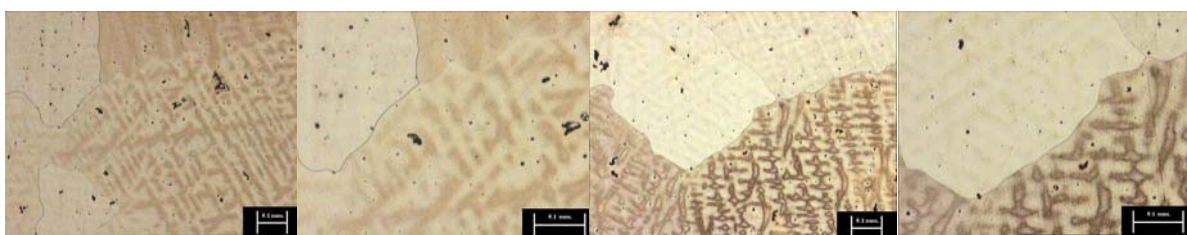
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-03 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



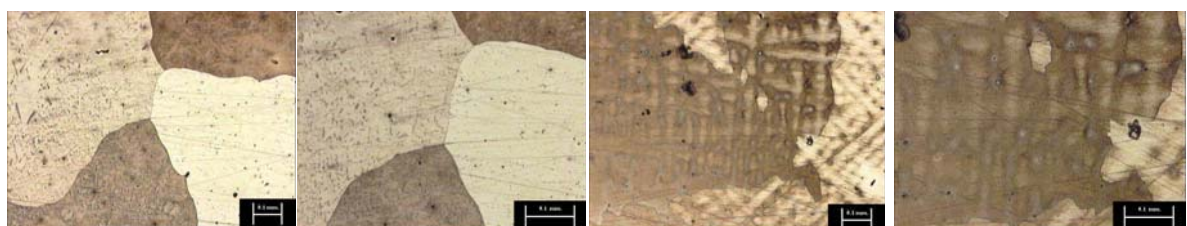
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-04 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



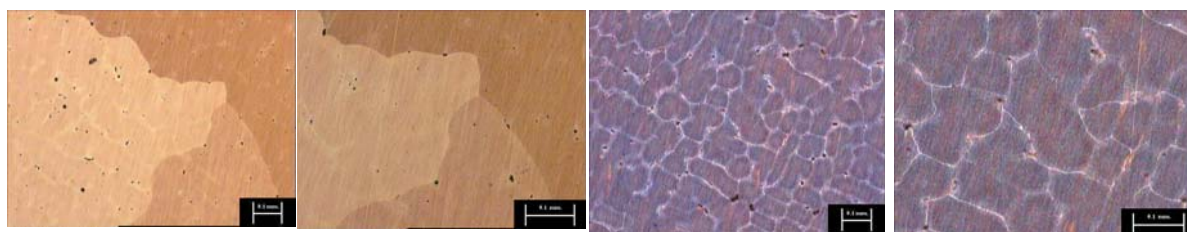
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-05 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



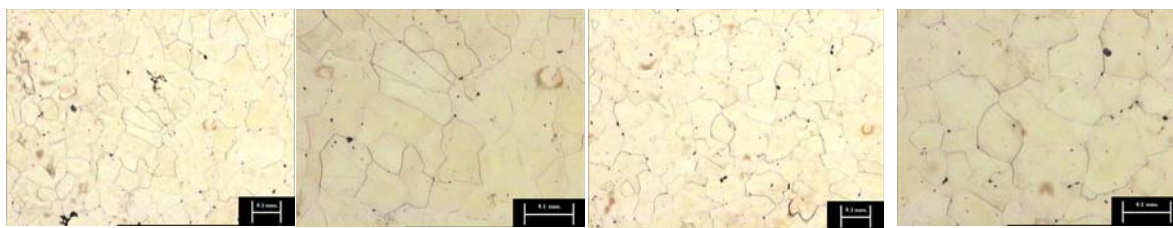
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-06 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



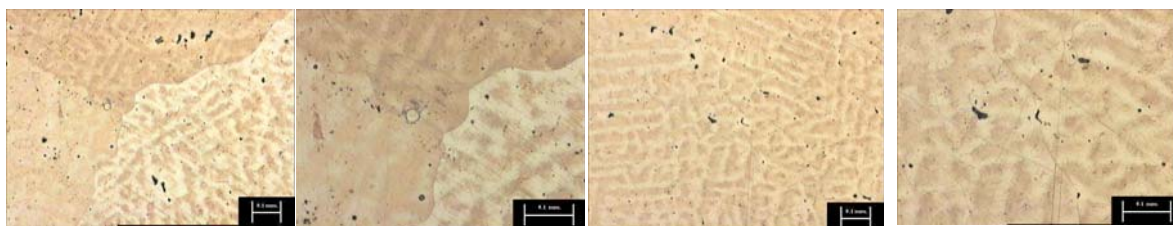
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-07 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



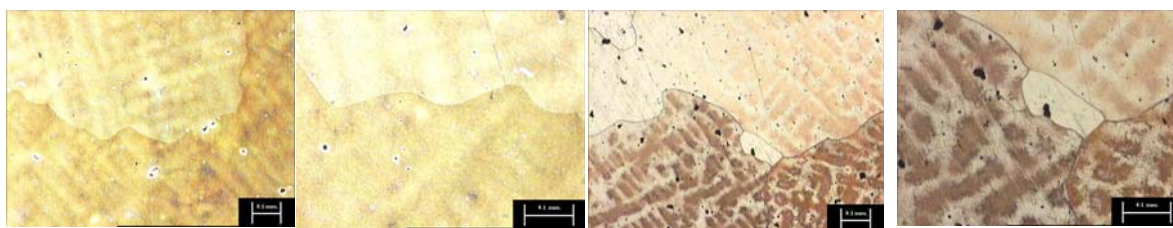
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-08 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



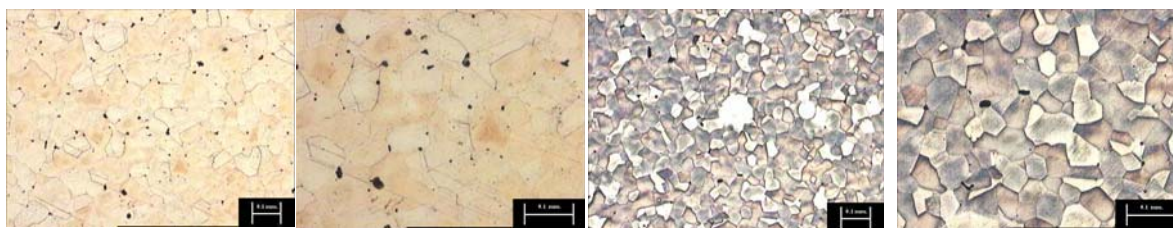
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-09 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



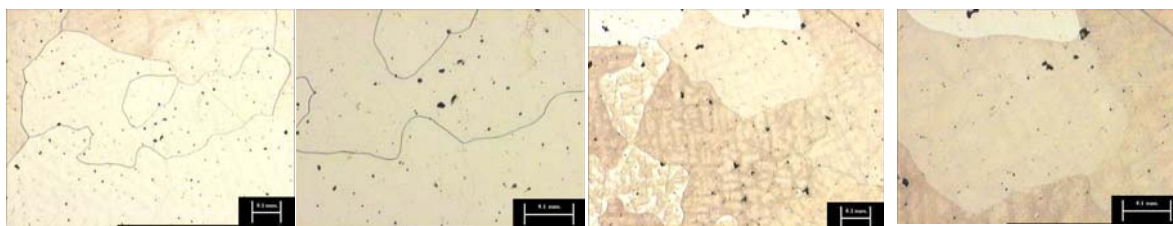
ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-10 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



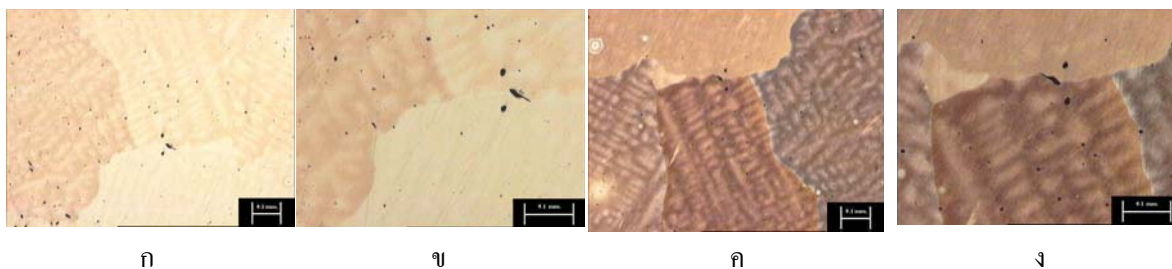
ก

ข

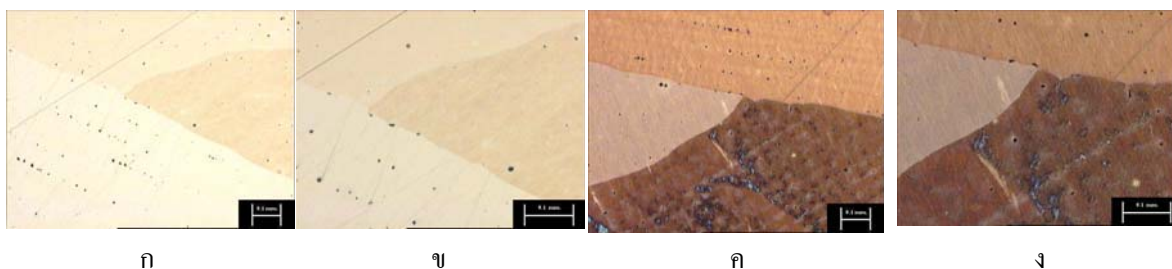
ค

ง

ภาพที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-11 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



ภาพที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-12 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ



ภาพที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18K-13 ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

4.5 ผลการวิเคราะห์ทดสอบระดับสีของทองคำระดับผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

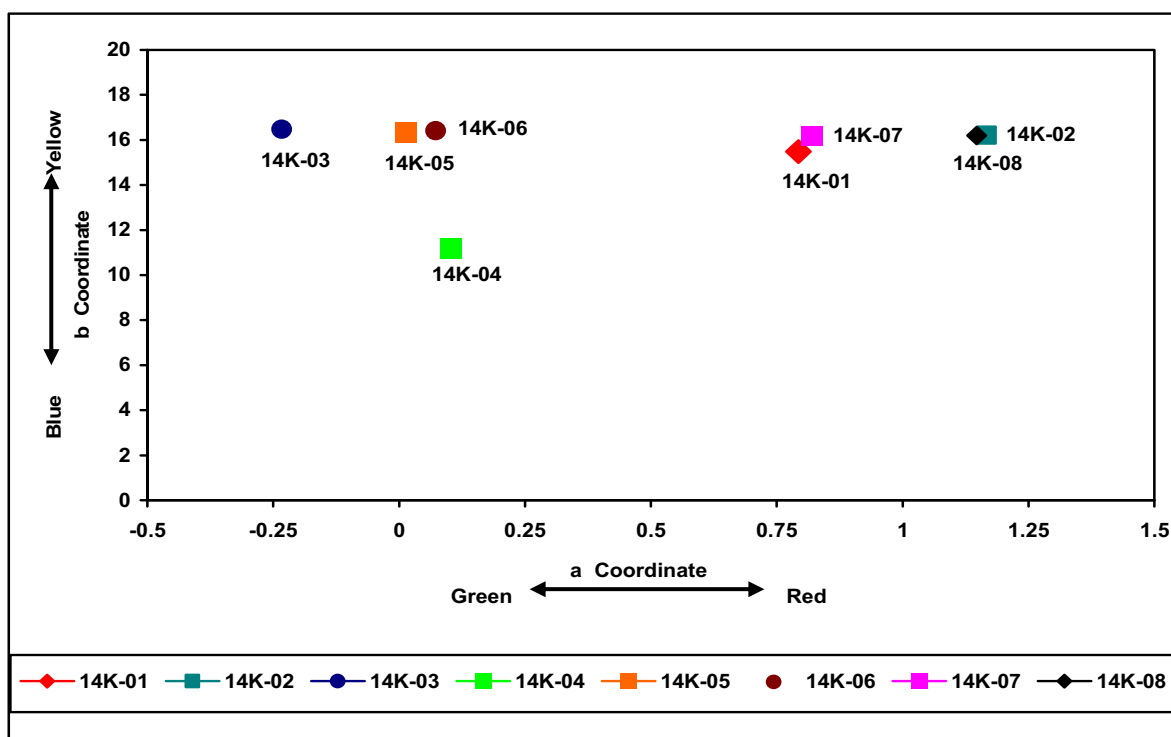
4.5.1 ทองคำระดับ 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ผลการวัดระดับสีของทองคำระดับ 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.24 เป็นค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีแบบคลิเลอริมิเตอร์ (Colorimeter) ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR300 ที่มีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในแบบ C ซึ่งเป็นระบบแสงคู่ทำให้เกิดแสงสว่างที่สม่ำเสมอไปตกกระทบวัตถุทุกๆ ครั้งของการวัดค่าระดับสี ที่สามารถคำนวณได้จากมาตรฐานแสงของ CIE ผลการวัดค่าระดับสีที่ได้สามารถแสดงผลการวัดเป็นตัวเลขที่แม่นยำในปริภูมิสี (Color Space) ระบบ L^*a^*b อ้างอิงระบบการวัดค่าระดับสีตามระบบ CIELAB ที่เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป ทำให้สามารถสื่อสารค่าระดับสีได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดระดับสีทองคำระดับ 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

รหัส	ปริภูมิสี ครั้งที่	ค่าการวัดปริภูมิสี				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD.
14K-01	L	69.90	72.59	72.49	71.660	1.525
	a	0.76	0.86	0.76	0.793	0.058
	b	14.92	15.90	15.61	15.477	0.503
14K-02	L	73.50	73.33	73.51	73.447	0.101
	a	1.17	1.16	1.17	1.167	0.006
	b	16.24	16.23	16.14	16.203	0.055

14K-03	L	73.92	73.85	73.67	73.813	0.129
	a	-0.27	-0.23	-0.20	-0.233	0.035
	b	16.37	16.50	16.54	16.470	0.089
14K-04	L	74.54	74.61	74.31	74.487	0.157
	a	0.10	0.08	0.13	0.103	0.025
	b	16.16	16.15	1.21	11.173	8.629
14K-05	L	75.01	75.08	75.26	75.117	0.129
	a	0.02	0.03	-0.01	0.013	0.021
	b	16.42	16.38	16.27	16.357	0.078
14K-06	L	74.18	74.24	74.18	74.200	0.035
	a	0.09	0.07	0.06	0.073	0.015
	b	16.35	16.39	16.5	16.413	0.078
14K-07	L	74.29	73.97	73.67	73.977	0.310
	a	0.86	0.76	0.84	0.820	0.053
	b	16.20	16.18	16.20	16.193	0.012
14K-08	L	73.93	73.68	73.98	73.863	0.161
	a	1.17	1.16	1.11	1.147	0.032
	b	16.19	16.20	16.19	16.193	0.006



ภาพที่ 4.24 แสดงค่าปริภูมิสีของทองคำกระวัด 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้าจากต่างประเทศ

จากการปรึกษารื้อกับผู้ประกอบการผู้ร่วมให้ทุนวิจัย ระดับสีของทองคำกะรัต 14k ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศที่ทางผู้ประกอบการผู้ร่วมให้ทุนวิจัย มีความสนใจ และต้องการที่จะผลิตใช้เอง คือ สีของทองคำผสมอัลลอยรหัส 14K-06 (คุณณรงค์ บริษัท ภักดี แพลตอว์ จำกัด) ซึ่งมีค่า $L = 74.200$, $a = 0.073$, $b = 16.413$ ดังนั้นในส่วนทองคำกะรัต 14k คณะผู้วิจัยจะยึดถือระดับสีของทองคำผสมอัลลอยรหัส 14K-06 เป็นเป้าหมายของการศึกษาวิจัย

4.5.2 ทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดระดับสีทองคำกะรัต 18k ผสมอัลลอยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

รหัส	ปริภูมิสี ครั้งที่	ค่าการวัดปริภูมิสี				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD.
18K-01	L	74.20	74.63	74.30	74.377	0.225
	a	0.82	0.99	0.90	0.903	0.085
	b	19.04	19.07	19.02	19.043	0.025
18K-02	L	73.56	71.41	72.10	72.357	1.098
	a	4.38	4.46	4.39	4.410	0.044
	b	17.00	16.22	16.39	16.537	0.410
18K-03	L	73.26	73.57	74.69	73.840	0.752
	a	-0.29	-0.26	0.03	-0.173	0.177
	b	19.30	19.16	19.56	19.340	0.203
18K-04	L	75.39	74.6	75.25	75.080	0.422
	a	-0.98	-1.01	-0.94	-0.977	0.035
	b	20.23	20.42	19.82	20.157	0.307
18K-05	L	74.83	74.73	74.76	74.773	0.051
	a	0.14	0.09	0.18	0.137	0.045
	b	19.34	19.35	19.44	19.377	0.055
18K-06	L	74.97	75.35	75.33	75.217	0.214
	a	0.04	-0.08	-0.06	-0.033	0.064
	b	18.30	18.24	18.25	18.263	0.032
18K-07	L	75.31	75.28	75.39	75.327	0.057
	a	-0.54	-0.47	-0.50	-0.503	0.035
	b	20.17	19.98	19.97	20.040	0.113
18K-08	L	75.09	75.07	75.12	75.093	0.025
	a	0.03	0.11	0.05	0.063	0.042
	b	19.44	19.40	19.44	19.427	0.023