รายการอ้างอิง

1. Katsuhiro Yasuda. Age-Hardening and Related Phase Transformations in Dental Gold Alloys. Gold Bulletin. 20(1982) : 90-103.

2. Novikov, I. I., Zolotorevsky , V. S. Dendritic Segregation in Alloys. Moscow : Nauka , 1966

3. Novikov, I. I. Theory of Heat Treatment of Metals. Translated by V. Afanasyev. Moscow : Mir Publishers, 1978

4. Wise, E. M. Gold: Recovery Properties and Applications. Princeton : Van Nostrand Company , 1964.

5. Sterner-Rainer, L. Die Edelmetall-Legierungen in Industrie und Gewerbe. Leipzig: Verlag Wilhelm Diebener , 1930

6. Rapson, W. S., Groenewald, T. Gold Usage. New York : Academic Press , 1978.

7. Razuvayeva, B. D., Guton, L. A., Syutkina,V. I., Shashkov, O. D. InFluence of Phase Transformations on the Mechanical Properties of Gold-Copper-Silver Alloys. Phys. Met.Metall. 44(1978) : 135-141.

8. Yamauichi, H., Yoshimasu, H. A., Forouhi, A. R., deFontaine, D. Phase Relation in Cu-Ag Ternary Alloys. International Precious Metals Conference. (1980) : 241-249.

9. Eric A. Brandes. Smithells Metals Reference Book. sixth edition. London :Butterworths , 1983

10. American Society for Testing and Material (ASTM). Metals-Mechanical Testing Elevated and Low Temperature Test, Metallurgraphy, ASTM E 112. ASTM : NewYork, 1994

11. ASM Handbook. Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Specials-Purpose Materials. vol.2 . ASM International : USA, 1994

12. Robert, W. Cahn., Peter Haasen. Physical Metallurgy. Netherland : North-Holland , 1996

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก. 1 แสดงเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

	ชื่อการค้า	รุ่น
Induction casting machine	Galloni	VCM
Scanning electron microscope	Jeol	JCM 5400
Furnace	Naber	N 50 p
Rolling machine		
Hardness tester	Akashi	MVK-F
Thermocouple		
Thermometer		
Vernier caliper	Mitutoyo	
Optical micrascope	Olympus	CHD +TGHM

ตารางที่ ก. 2 แสดงวัตถุดิบ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ประเภทสาร	ชื่อสาร
วัตถุดิบตั้งต้น	ทองคำบริสุทธิ์ เงินบริสุทธิ์ ทองแดงบริสุทธิ์
สารกัดผิว	HCL HNO_3 H_2SO_4 KCN $(NH_4)_2S_2O_3$
ก๊าซปกคลุม	3% H_2 + N_2 balance

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ตารางที่ ก. 5 แสดงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัต ผ่านการรีดเย็นที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัดต่างๆ กันของทองคำที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวแบบไมโครวิคเกอร์ด้วยแรงกด 300 กรัม

ระยะจากขอบชิ้นงาน (mm.)	16 R.A.% (HV) 300g.		71 R.A.% (HV) 300g.		88 R.A.% (HV) 300g.	
0.1	205	205	300	287	300	339
0.6	194	198	280	293	300	307
1.1	198	190	315	287	293	300
1.6	174	201	236	262		
2.1	190	190	262	262		
2.6	183	187				
3.1	190	194				

ตารางที่ ก. 6 แสดงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัต ผ่านการรีดเย็นที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัดต่างๆ กันของทองคำที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวแบบไมโครวิคเกอร์ด้วยแรงกด 300 กรัม

ระยะจากขอบชิ้นงาน (mm.)	16 R.A.% (HV) 300g.		71 R.A.% (HV) 300g.		88 R.A.% (HV) 300g.	
0.1	330	271	252	268	356	361
0.6	234	243	262	241	293	252
1.1	203	209	234	236	262	241
1.6	238	190	227	227		
2.1	243	194				
2.6	207	207				
3.1	209	194				

ตารางที่ ก. 7 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว ก่อนการรีดเย็น และอบอ่อน

	ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (HV) 300 g.		ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (HV) 300 g.	
	162	162	162	168
	168	168	157	165
	171	168	157	162
	177	171	151	157
	177	165	177	162
เฉลี่ย	169		161	

ตารางที่ ก. 8 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว ก่อนการรีดเย็น การอบอ่อน และอบเพิ่มความแข็ง

	ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (HV) 300 g.		ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (HV) 300 g.	
	263	251	251	251
	263	262	257	251
	257		257	
เฉลี่ย	260		253	

ตารางที่ ก. 9 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของทองคำ 14 และ 16 กะรัต ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวแล้วปล่อยให้เย็นอย่างช้าๆในเตา

	ทองคำ 14 กะรัต (HV) 300 g.		ทองคำ 16 กะรัต (HV) 300 g.	
	251	262	213	207
	268	262	207	205
	236	268	213	205
	231	268	205	209
	246	257	209	222
เฉลี่ย	255		211	

ตารางที่ ก. 10 แสดงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัตบริเวณที่เป็นเดนไดรท์ และช่องระหว่างเดนไดรท์

	เดนไดรท์ (HV) 10g.		ช่องระหว่างเดนไดรท์ (HV) 10g.	
	153	128	128	72
	168	153	128	128
	128	109	118	109
	153	140	109	101
	140	153	82	128
เฉลี่ย	142		110	

ตารางที่ ก. 11 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัต จากการทำ EDX

โคนแท่ง	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	55.689	16.944	27.371
2	52.385	18.829	28.788
3	52.119	19.264	28.619
เฉลี่ย	53.397	18.346	28.260
ปลายแท่ง	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	54.191	15.989	29.866
2	50.500	19.212	30.328
3	47.721	21.058	31.256
เฉลี่ย	50.804	18.753	30.483

ตารางที่ ก. 12 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัตบริเวณเดนไดรท์ จากการทำ EDX

เดนไดรท์	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	49.996	21.430	28.576
2	50.350	18.568	30.322
3	54.128	16.105	29.768
เฉลี่ย	51.491	18.701	29.869

ตารางที่ ก. 13 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 14 กะรัตบริเวณช่องระหว่างเดนไดรท์ จากการทำ EDX

ช่องระหว่างเดนไดรท์	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	41.034	36.481	22.487
2	41.790	36.771	21.443
3	42.725	36.355	20.922
เฉลี่ย	41.850	36.536	21.617

ตารางที่ ก. 14 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 16 กะรัต จากการทำ EDX

	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	66.76	14.98	18.27
2	66.65	15.21	18.14
เฉลี่ย	66.70	15.10	18.20

ตารางที่ ก. 15 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 16 กะรัตบริเวณแคนไดรท์ จากการทำ EDX

แคนไดรท์	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	64.67	11.67	23.66
2	63.56	11.39	11.39
เฉลี่ย	64.12	11.53	24.35

ตารางที่ ก. 16 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของทองคำ 16 กะรัตบริเวณช่องระหว่างแคนไดรท์ จากการทำ EDX

ช่องระหว่างแคนไดรท์	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	72.64	18.50	8.86
2	72.39	18.34	9.27
เฉลี่ย	72.52	18.42	9.06

ตารางที่ ก. 17 แสดงการเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีเฉลี่ยของผิวทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว จากการทำ EDX

อบเป็นเนื้อเดียว	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	46.607	46.694	6.693
2	30.904	60.165	8.912
3	11.747	78.509	9.726
เฉลี่ย	29.753	61.789	8.444
ไม่อบเป็นเนื้อเดียว	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
1	58.388	26.145	15.468
2	56.493	26.504	17.004
3	52.951	26.126	20.889
เฉลี่ย	55.944	26.258	17.787

ตารางที่ ก. 18 แสดงการเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีของทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวก่อนการอบเพิ่มความแข็ง จากการทำ EDX

ไม่อบเป็นเนื้อเดียว	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
Matrix			
1	46.029	20.044	33.961
2	41.690	23.459	34.875
3	42.754	24.384	32.886
เฉลี่ย	43.491	22.629	33.907
Precipitate Phase			
1	18.571	63.585	17.815
2	22.876	54.610	22.486
3	18.830	59.591	21.549
เฉลี่ย	20.092	59.262	20.616
อบเป็นเนื้อเดียว	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
Matrix			
1	40.491	25.211	34.319
2	38.975	26.056	34.985
3	38.050	25.961	36.003
เฉลี่ย	39.172	25.742	25.102
Precipitate Phase			
1	10.783	76.632	12.566
2	17.084	60.594	22.292
3	23.141	51.088	25.742
เฉลี่ย	17.002	62.771	20.200

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

REF. TO :

J057 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาโลหการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TEL. : เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ

DUPLICATE

Bangkok Assay Office Co.,Ltd.
1230-1232 New Road, Bangkok 10500
Thailand. Tel. 233-1295, 235-0588
Fax:236-6574

JOB NO : 020973
DATE : 02/10/98

CREDIT
INVOICE

* PROVIDING A TECHNICAL SERVICE FOR ANALYZING THE PURITY OF PRECIOUS METAL ARTICLES.
ให้บริการทางด้านเทคนิคในการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเครื่องรูปพรรณ
* PROVIDING A STANDARD FOR GOLD ARTICLES
สร้างมาตรฐานให้กับเครื่องทองรูปพรรณ
* IMPROVING THE QUALITY OF PRECIOUS METALS FOR ACCEPTANCE IN INTERNATIONAL MARKETS
ปรับปรุงคุณภาพของโลหะมีค่าเพื่อให้เป็นที่ยอมรับในตลาดนานาชาติ
* INCREASING TRUST AMONG CONSUMERS, INTERNATIONAL MARKETS
เพิ่มความเชื่อถือในหมู่ผู้บริโภค ตลาดจนตลาดนานาชาติ
* HALLMARKING TO INSURE STANDARDS
ใส่เครื่องหมายรับประกันมาตรฐาน

ASSAY

SAMPLE CODE	METHOD	WEIGHT IN (GM.)	PCS.	TAG	SAMPLING WEIGHT	ANALYTICAL WEIGHT	LAB RESULT					
							CODE	WEIGHT	%	CODE	WEIGHT	%
9	G	1.95	1	P7628	1.95	1.94311	AG	0.28202	14.5138			

METHOD CODE F - FIRE ASSAY G - GRAVIMETIC T - TITRATION

REFINING

ANALYTICAL CHEMISTRY

DESCRIPTION	SPECIFY	WEIGHT IN	SAMPLING WEIGHT	100 % CONTENT			PAYABLE WEIGHT
				CODE	%	WEIGHT	

MISCELLENEOUS

ITEM	DESCRIPTION	PACKING SIZE		UNIT PRICE	DR / CR	AMOUNT
		PCS	WEIGHT			
1	GRAVIMETRIC	1		300		300.00
	VAT 10%					30.00
	สามร้อยสามสิบบาทถ้วน				TOTAL AMOUNT	330.00

ประเภทของ MISC. CODE 0 แหวน RING 1 สร้อยข้อมือ BRACELET 2 ต่างหู EARRING 3 สร้อยคอ NECKLACE 4 เข็มกลัด BROOCH 5 กระดุมข้อ CUFFLINK 6 จี้ PENDANT 7 เข็มขัดไทร์ TIETACK 8 งานเซ็ท SETS 9 อื่น ๆ OTHERS

ผู้รับของ RECEIVER	ผู้รับเก็บ/ผู้รับเงิน BILL COLLECTOR	ผู้อนุมัติ APPROVE BY

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี เกิดจากโลหะที่ท่านนำมาให้สำนักงานไม่อาจถือเป็นข้อผูกพันทางด้านกฎหมายหรือเรียกร้องค่าเสียหายใด ๆ ทั้งสิ้น

REF. TO :

J057 คุณวิลาสินี ภาควิชาโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

TEL. : เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ

DUPLICATE

Bangkok Bullion Co., Ltd.
1230-1232 New Road, Bangkok 10500
Thailand. Tel. 233-1295, 235-0588
Fax: 236-6574

JOB ID : 020975

DATE : 17/02/99

CREDIT INVOICE

* PROVIDING A TECHNICAL SERVICE FOR ANALYZING THE PURITY OF PRECIOUS METAL ARTICLES.
ให้บริการทางด้านเทคนิคในการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเครื่องรูปพรรณ
* PROVIDING A STANDARD FOR GOLD ARTICLES.
สร้างมาตรฐานให้กับเครื่องทองรูปพรรณ
* IMPROVING THE QUALITY OF PRECIOUS METALS FOR ACCEPTANCE IN INTERNATIONAL MARKETS.
ปรับปรุงคุณภาพของโลหะมีค่าเพื่อให้เป็นที่ยอมรับในตลาดนานาชาติ
* INCREASING TRUST AMONG CONSUMERS, INTERNATIONAL MARKETS
เพิ่มความเชื่อถือในหมู่ผู้บริโภค ตลอดจนตลาดนานาชาติ
* HALLMARKING TO INSURE STANDARDS
ให้เครื่องหมายรับประกันมาตรฐาน

ASSAY

SAMPLE CODE	METHOD	WEIGHT-IN (GM.)	PCS.	TAG	SAMPLING WEIGHT	ANALYTICAL WEIGHT	LAB RESULT					
							CODE	WEIGHT	%	CODE	WEIGHT	%
9	G	2.56	1	P7630	2.56	2.46534	AG	0.35977	14.5931			

METHOD CODE F - FIRE ASSAY G - GRAVIMETIC T - TITRATION

ANALYTICAL CHEMISTRY

REFINING

DESCRIPTION	SPECIFY	WEIGHT IN	SAMPLING WEIGHT	100 % CONTENT			PAYABLE WEIGHT
				CODE	%	WEIGHT	

MISCELLENEOUS

ITEM	DESCRIPTION	PACKING SIZE		UNIT PRICE	DR / CR	AMOUNT
		PCS	WEIGHT			
1	GRAVIMETRIC	1		300		300.00
	VAT 10%					30.00
	ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม				TOTAL AMOUNT	330.00

ประเภทของ MISC. CODE : 0 แหวน RING 1 สร้อยข้อมือ BRACELET 2 ต่างหู EARRING 3 สร้อยคอ NECKLACE 4 เข็มกลัด BROOCH 5 กระดุมแขน CUFFLINK 6 จี้ PENDANT 7 เข็มขัดไทร์ TIETACK 8 งานเซ็ท SETS 9 อื่น ๆ OTHERS

ผู้รับของ RECEIVER	ผู้รับเงิน/ผู้รับเงิน BILL COLLECTOR	ผู้อนุมัติ APPROVE BY

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี เกิดจากโลหะที่ท่านนำมาให้สำนักงานไม่อาจถือเป็นข้อผูกพันทางด้านกฎหมายหรือเรียกร้องค่าเสียหายใด ๆ ทั้งสิ้น

ภาคผนวก ข.

จากข้อมูลส่วนผสมทางเคมี และข้อมูลการแพร่ต่างๆ สามารถคำนวณแวลาการอบได้ดังนี้ สัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำ และทองแดงที่อุณหภูมิ 800°C (1073 K)

$$D_{Au} = 10.7\exp(-176.9*10^{3}/8.314*1073) = 2.61*10^{-8}\ mm.^{2}/sec.$$
$$D_{Cu} = 31.0\exp(-200.3*10^{3}/8.314*1073) = 5.50*10^{-9}\ mm.^{2}/sec.$$

ทองคำ 16 กะรัต

$$D_{Dendrite} = N_{Cu}D_{Au} + N_{(Au+Ag)}D_{Cu}$$
$$= (0.475)(2.61*10^{-8}) + (0.525)(5.5*10^{-9})$$
$$= 1.53*10^{-8}\ mm.^{2}/sec.$$

$$D_{Inter\ Dendritic} = N_{Cu}D_{Au} + N_{(Au+Ag)}D_{Cu}$$
$$= (0.21)(2.61*10^{-8}) + (0.79)(5.5*10^{-9})$$
$$= 9.83*10^{-9}\ mm.^{2}/sec.$$

ฉะนั้นที่อัตราการแพร่เฉลี่ย

$$D = (0.5)1.53*10^{-8} + (0.5)9.83*10^{-9}$$
$$= 1.25*10^{-8}\ mm.^{2}/sec.$$

เพราะฉะนั้นระยะเวลาการอบ (Relaxation Time)

$$\tau = (0.022/2)^{2} / 3.14^{2}(1.25*10^{-8})$$
$$= 980.79\ sec.\ (16.35\ min.)$$

ทองคำ 14 กะรัต

$$D_{Dendrite} = N_{Cu}D_{Au} + N_{(Au+Ag)}D_{Cu}$$
$$= (0.52)(2.61*10^{-8}) + (0.48)(5.5*10^{-9})$$
$$= 1.62*10^{-8}\ mm.^2/sec.$$

$$D_{Inter\text{-}Dendritic} = N_{Cu}D_{Au} + N_{(Au+Ag)}D_{Cu}$$
$$= (0.386)(2.61*10^{-8}) + (0.614)(5.5*10^{-9})$$
$$= 1.34*10^{-8}\ mm.^2/sec.$$

ฉะนั้นที่อัตราการแพร่เฉลี่ย

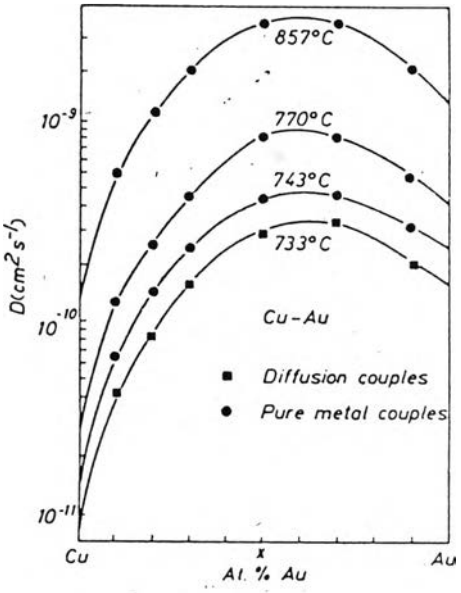
$$D = (0.5)1.62*10^{-8} + (0.5)1.34*10^{-8}$$
$$= 1.48*10^{-8}\ mm.^2/sec.$$

เพราะฉะนั้นระยะเวลาการอบ (Relaxation Time)

$$\tau = (0.045/2)^2 / 3.14^2(1.48*10^{-8})$$
$$= 3465.80\ sec.\ (\ 57.76\ min.)$$

จากการประมาณเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว ได้ระยะเวลาในการอบ เท่ากับ 20 นาที และ 1 ชั่วโมง สำหรับทองคำ 16 และ 14 กะรัต ตามลำดับ

จากการทดลองของ M. Badai (1969) [9] ได้ทราบถึงสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำที่ส่วนผสมทางเคมีต่างๆ กัน ดังภาพที่ ข. 1



ภาพที่ ข. 1 แสดงสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำกะรัตที่ส่วนผสมต่าง

จากกราฟข้างต้นทำให้ทราบถึงสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำกะรัตที่ต้องการคือ ทองคำที่ทำการทดลองมีสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยประมาณ $0.5*10^{-8}$ mm.^{2}/sec. สำหรับทองคำ 16 กะรัต และ $1.0*10^{-8}$ mm.^{2}/sec. สำหรับทองคำ 14 กะรัต เมื่อนำมาคำนวณหาเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว ได้ดังนี้

ทองคำ 16 กะรัต ค่าระยะเวลาการอบ (Relaxation Time) เท่ากับ 40.86 นาที

ทองคำ 14 กะรัต ค่าระยะเวลาการอบ (Relaxation Time) เท่ากับ 1.42 ชั่วโมง

ประวัติผู้เขียน

นายจาพิกรณ์ สุวิกรม เกิดเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2514 เริ่มเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษา ที่ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2532 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมการผลิต ในปี พ.ศ. 2536 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท เซริงเคมีภัณฑ์ จำกัดในตำแหน่งวิศวกรโรงงาน แผนกซ่อมบำรุง ได้ปฏิบัติงานในตำแหน่งได้ 2 ปี จึงได้เริ่มเข้าศึกษาในระดับปริญญาโทอีกครั้ง ณ ภาควิชาวิศกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2538