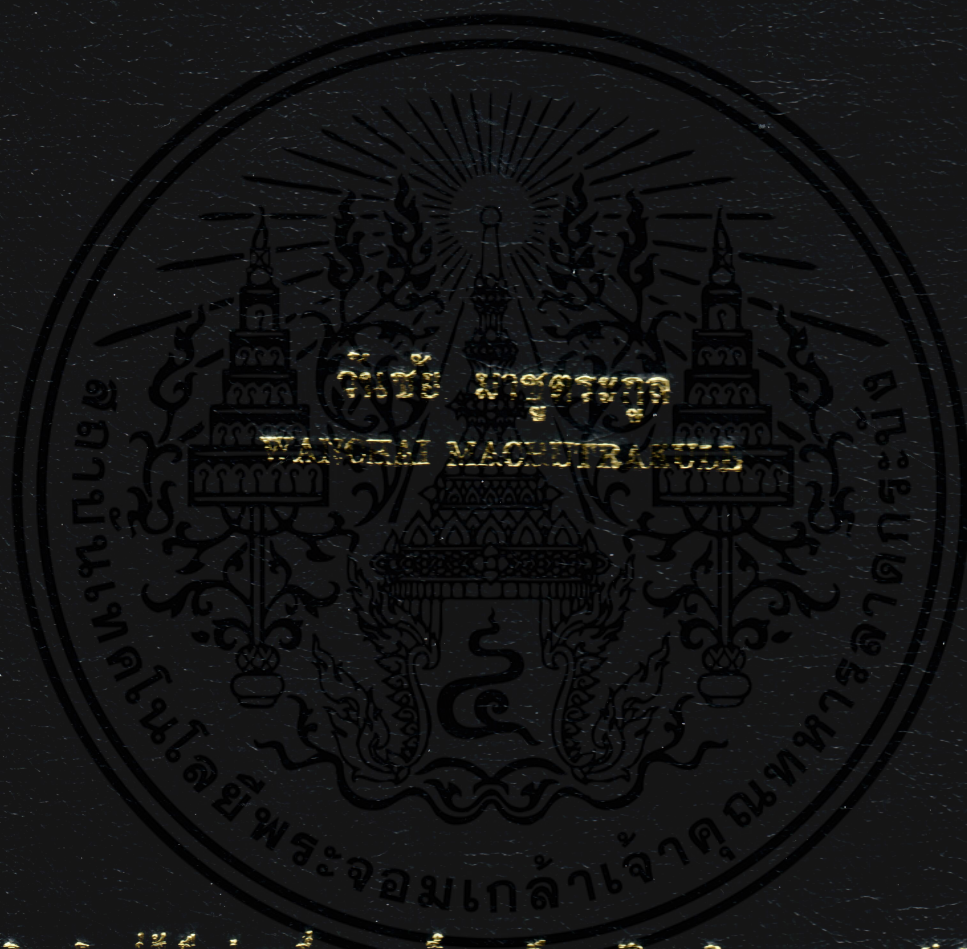


การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน POTASSIUM CYANOURATE (O)

SYNTHESIS OF POTASSIUM CYANOURATE (O) COMPLEX



จัดทำขึ้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตามมติของสภามหาวิทยาลัย

พิมพ์ที่กรุงเทพฯ

ศูนย์เทคโนโลยีปิโตรเลียมและปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๖

ISBN 974-989-712-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน POTASSIUM CYANOAUATE (I)

SYNTHESIS OF POTASSIUM CYANOAUATE(I) COMPLEX



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานบัณฑิตวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังรั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-712-2

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 35712  
วัน, เดือน, ปี 19 ส.ย. 2543

# SYNTHESIS OF POTASSIUM CYANOAUATE (I) COMPLEX



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

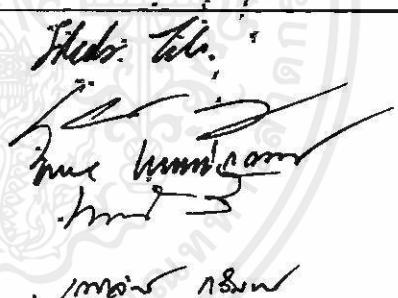
ISBN 974-622-712-2



เอกสารนี้ COPYRIGHT 2000 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่า SCHOOL OF GRADUATE STUDIES และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate(I)  
SYNTHESIS OF POTASSIUM CYANOAUATE (I) COMPLEX  
ชื่อนักศึกษา      นายวันชัย      มาตรฐานกุล  
รหัสประจำตัว      36063007  
ปริญญา      วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา      การศึกษาวิทยาศาสตร์  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์      รศ.ดร.ศักดิ์      ไตรศักดิ์  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม      รศ.ดร.รวิวรรณ      ชินะตระกูล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศักดิ์      ไตรศักดิ์	
รศ.ดร.รวิวรรณ      ชินะตระกูล	
ผศ.ดร.ธีระพล      เทพหัสติน ญ อยุธยา	
ผศ.ดร.พรรณี      ลีกิจวัฒน์	
ผศ.ดร.เลิศลักษณ์      กลิ่นหอม	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ      30 มีนาคม 2543 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ      ณ ห้องสมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่.....ธ.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๓.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium

Cyanoaurate (I)

นักศึกษา

นายวันชัย มาชูตระกูล

รหัสประจำตัว

36063007

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

การศึกษาวิทยาศาสตร์

พ.ศ.

2543

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.วีวรรณ ชินะตระกูล

### บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ( $K[Au(CN)_2]$ ) ทำได้โดยใช้ทองคำผ่านกระบวนการ Cyanidation แล้วตกผลึกสารตัวอย่างและเพิ่มความบริสุทธิ์ ด้วยการตกผลึกซ้ำในน้ำกลั่นที่เย็น ทำการตรวจสอบปริมาณของ K และ Au ในสารตัวอย่างด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer, หาปริมาณของ C และ N ในสารตัวอย่างด้วย Elemental Analyzer และใช้ X-ray Diffractometer ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่าในสารตัวอย่างประกอบด้วย K, Au, C และ N ในสัดส่วน 1 : 1 : 2 : 2 โดยโมลอะตอมมีสูตรอย่างง่ายเป็น  $KAuC_2N_2$  มี diffraction pattern เดียวกันกับ Potassium Cyanoaurate (I) ซึ่งมีรูปผลึกเป็น Trigonal ผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็น 62.48 % และความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างคิดเป็น 93.75 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis of Potassium Cyanoaurate(I) Complex
Student	Mr. Wanchai Machutrakull
Student ID.	36063007
Degree	Master of Science
Programme	Science Education
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sakda Trisak
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Rawwan Shinatrakool

### ABSTRACT

Synthesis of Potassium Cyanoaurate (I) ( $K[Au(CN)_2]$ ) was prepared by Cyanidation process from extracted gold ornaments. The sample was purified by recrystallizing in cold distilled water. The amounts K and Au were determined by using an Atomic Absorption Spectrophotometer, whereas C and N were determined by Elemental Analyzer. The crystal structure was examined by X-ray Diffractometer.

From the experimental data found that the empirical of the sample was  $KAuC_2N_2$ , with the diffraction pattern coincide to those of standard Potassium Cyanoaurate (I) with the crystalline system of Trigonal. The percentage yield of the sample was 64.4 with purity of 93.75%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาอันสูงยิ่งของ รศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ ที่ให้แนวคิดและคำแนะนำเกี่ยวกับการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) รวมทั้งให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับคำแนะนำอันทรงคุณค่าของ รศ.ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล และ ดร.อรวรรณ ชัยลภากุล รวมทั้งผู้เขียนเอกสารทุกท่านที่ผู้วิจัยได้นำมาอ้างอิง ขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ, สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. ที่ให้บริการเกี่ยวกับเครื่องมือวิเคราะห์ ช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สัมฤทธิ์ผลอย่างสมบูรณ์ และอาจารย์ทุกท่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ที่ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และสติปัญญาในการสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จ

ขอขอบคุณอย่างจริงใจกับเพื่อน ๆ ทุกคน รวมทั้ง คุณทวีวรรณ, ด.ญ.ศรีสวัสดิ์ และ ด.ญ.พัชชา มาชูตระกูล ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วันชัย มาชูตระกูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การทำทองคำให้บริสุทธิ์.....	6
2.2 Cyanidation.....	8
2.3 สารเชิงซ้อนของทองคำ.....	10
2.4 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 ศึกษาเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	14
3.2 ออกแบบการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์สารเคมี.....	14
3.3 การทดลองสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I).....	16
3.3.1 การแยกสิ่งเจือปนออกจากทองคำ.....	16
3.3.2 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดย วิธี Cupellation.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่นอนตลาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.3 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation.....	18
3.4 ทดสอบหาองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้.....	20
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	21
4.1 การศึกษากระบวนการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation .....	21
4.2 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I).....	21
4.3 การหาปริมาณของ K, AU, C และ N ในสารตัวอย่าง.....	22
4.4 การวิเคราะห์หารายละเอียดผลิตภัณฑ์ ของสารตัวอย่าง และ Potassium Cyanoaurate (I).....	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	29
5.2 อภิปรายผล.....	29
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	31
5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้.....	31
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก.....	35
ภาคผนวก ก.....	36
ภาคผนวก ข.....	38
ภาคผนวก ค.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 Stability constants for selected Au(I) and Au(III) complexes.....	11
4.1 แสดงปริมาณของ Potassium (K) และ ทองคำ (Au) ในสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer.....	22
4.2 แสดงปริมาณของ Carbon และ Nitrogen ที่วิเคราะห์ด้วย Elemental Analyzer.....	24
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุ ทองคำ (Au), Potassium (K), Carbon (C), Nitrogen (N) ในสารตัวอย่างและ Potassium Cyanoaurate (I).....	24
4.4 Diffraction Angle , D-value และ Peak intensity ที่สำคัญของ สารตัวอย่าง (UD.500).....	25
4.5 Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ที่สำคัญของ Potassium Cyanoaurate (I) (UD.501).....	27
4.6 เปรียบเทียบ Diffraction Angle , D-value และ Peak intensity ของสารตัวอย่าง (UD.500) กับ Potassium Cyanoaurate (I) (UD.501).....	28
5.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า D-value ของ Potassium Cyanoaurate (I) จาก International Centre for Diffraction Data กับสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au <sup>+</sup> .....	12
2.2 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au <sup>+3</sup> .....	12
2.3 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au <sup>+3</sup> ที่เป็น dimer.....	12
3.1 แผนภาพแสดงการทำทองคำตัวอย่างให้บริสุทธิ์.....	17
3.2 แผนภาพการเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดยวิธี Cupellation.....	18
3.3 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์ K[Au(CN) <sub>2</sub> ] โดยวิธี Cyanidation.....	19
4.1 แสดงปริมาณของ Carbon และ Nitrogen ที่วิเคราะห์ด้วย Elemental Analyzer.....	23
4.2 แสดงการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (UD.500) ด้วย X-ray diffractometer กระทำที่ 40 KV 30 mA โดยใช้ Cu Tube Ni filter มุม 2θ เริ่ม 5° - 70° .....	26
4.3 แสดงการวิเคราะห์ K[Au(CN) <sub>2</sub> ] (UD.501) ด้วย X-ray diffractometer กระทำที่ 40 KV 30 mA โดยใช้ Cu Tube Ni filter มุม 2θ เริ่ม 5° - 70° .....	27
4.4 ระบบผลึกแบบ Trigonal ( Rhombohedral ).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเครื่องประดับในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่กำลังเจริญเติบโตมีมูลค่าในการส่งออกนับพันล้านบาทต่อปี สร้างรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการ และสร้างงานให้แก่ประชาชนทั่วไปเป็นอย่างมาก ตั้งแต่ในอดีต จนถึงปัจจุบันพบว่า วัตถุดิบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับก็คือทองคำบริสุทธิ์ แต่มูลค่าของทองคำนั้นมีราคาสูงมาก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามราคาตลาดโลก ส่งผลให้เครื่องประดับที่มีทองคำเป็นองค์ประกอบ มีราคาสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องใช้โลหะอื่นที่มีราคาถูกกว่าทองคำ ประกอบเป็นเครื่องประดับ แต่ก็ไม่สวยงามและไม่ได้รับความนิยมเท่าทองคำ ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้ประกอบการจึงเพิ่มมูลค่าของเครื่องประดับโดยการชุบด้วยทองคำ วิธีที่นิยมก็คือ วิธีการชุบด้วยไฟฟ้า แต่การชุบด้วยไฟฟ้าต้องทำให้ทองคำบางส่วนอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งมีไอออนของทองคำ ( $Au^+$ ) เป็นองค์ประกอบกรรมวิธีที่นิยมปฏิบัติคือ นำทองคำผ่านกระบวนการ Cyanidation กับ Alkali - metal Cyanide เช่น Potassium Cyanide, Sodium Cyanide และสารเคมีอื่น ๆ จนได้สารละลายที่นำมาใช้ชุบทองคำ (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2531 : 9) (อนันต์ ทองมธู. 2533 : 5) แต่กรรมวิธีดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก และอาจมีอันตรายถึงแก่ชีวิตได้หากไม่ระมัดระวังเพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบพวกไซยาไนด์ข้างต้นเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรง (Xiang Wang and K. S. Eric Forsberg. 1990 : 82) ดังนั้นผู้ประกอบการต่าง ๆ จึงนิยมใช้สารเชิงซ้อนของทองคำที่ละลายน้ำได้ดี เช่น Gold Potassium Cyanide หรือ Potassium Cyanoaurate(I) ( $K[Au(CN)_2]$ ) มาทำเป็นสารละลายชุบทอง (อนันต์ ทองมธู. 2533 : 12) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการเตรียมสารละลายชุบทอง และเป็นอันตรายน้อยกว่าวิธีการข้างต้น ที่ผู้ประกอบการรายย่อยนิยมปฏิบัติกัน อย่างไรก็ตาม Gold Potassium Cyanide เป็นสารเคมีที่ราคาแพงมากคือ มีราคาต่อกรัมโดยประมาณ 450 บาท ทั้ง ๆ ที่มีส่วนประกอบของทองคำเพียง 68.37 % นั่นคือ ถ้าคิดเฉพาะปริมาณโลหะทองคำจริง ๆ ใน Potassium Cyanoaurate (I) แล้ว จะมียุทธศาสตร์ถึงกรัมละไม่น้อยกว่า 500 บาท ซึ่งในขณะที่ทองคำแท่งในท้องตลาด มีราคาต่อกรัมโดยประมาณ 300 บาทเท่านั้น นอกจากนี้ก็ยังไม่ปรากฏรายงานว่าได้มีการสังเคราะห์ หรือผลิต Gold Potassium Cyanide ขึ้นใช้เองภายในประเทศ เมื่อมีความต้องการใช้สารชนิดนี้มาก ผู้ประกอบการจึงมีความจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุดังกล่าว จึงส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการรายย่อย เพราะเป็นเหตุที่ทำให้มูลค่าของต้นทุนของการผลิตสินค้ามีราคาสูงขึ้น ทำให้เสียเปรียบการแข่งขันทางด้านราคา ประกอบกับเทคนิค

ของการผลิตสินค้ามีราคาสูงขึ้น ทำให้เสียเปรียบการแข่งขันทางด้านราคา ประกอบกับเทคนิคการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนของทองคำ Potassium Cyanoaurate (I) ก็ยังไม่เป็นที่เผยแพร่โดยทั่วไป

มีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง ที่จะทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนของทองคำ Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation ซึ่งแต่เดิมเป็นวิธีในการแยกแร่ทองคำออกจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ โดยให้สินแร่ทองคำทำปฏิกิริยากับสารพวก Alkali Metal Cyanide Solution คือสารละลาย Potassium Cyanide แล้ว Reduce ด้วยผงสังกะสี (Zinc dust) (J. Marden and I. House. 1992 : 34) ซึ่งมีหลักฐานการใช้เทคนิคนี้โดย K.W. Scheel ในปี ค.ศ.1783 ต่อมาเมื่อปี ค.ศ.1840-1850 Elkington, Bragration Elsner และ Faraday สนใจศึกษาการละลายของทองคำในสารละลาย Cyanide และในปี ค.ศ.1846 Elsner พบว่าก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ช่วยให้เกิดสารประกอบของทองคำ Potassium Cyanoaurate (I) ได้ดียิ่งขึ้น (Sneed M. Cannon. 1965 : 196) ซึ่งนั่นหมายความว่า ถ้าใช้ทองคำบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium Cyanide โดยมีสารละลาย Hydrogenperoxide (ซึ่งสลายตัวให้ก๊าซออกซิเจน) เป็นตัวช่วยแล้ว มีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง ที่จะตกผลึกแยก Gold Potassium Cyanide ออกมา นอกจากนี้ยังพบรายงานการวิจัยของ F. Chemnitius ที่ทำการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยการนำทองคำบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับ Aqua regia แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น ในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นก็ใส่ Potassium Cyanide ลงไปแล้วตกผลึกแยก Potassium Cyanoaurate(I) ออกมาได้ (Von Dr. F. Chemnitius and Jena. 1927 : 823) แต่อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ของ F. Chemnitius มีแต่เพียงหลักการโดยย่อไม่ได้กล่าวในส่วนของการรายละเอียดมากพอที่จะทำการสังเคราะห์สารดังกล่าวได้โดยทันที ซึ่งต้องทำการศึกษามากพอควร

Potassium Cyanoaurate (I) เป็นสารเคมีที่สำคัญในกระบวนการชุบโลหะด้วยทองคำ โดยวิธีชุบด้วยไฟฟ้า (Von Dr. F. Chemnitius and Jena. 1927 : 823) ซึ่งมีสถานศึกษาหลายแห่งได้ใช้วิธีการดังกล่าว นำไปประยุกต์ใช้ในการชุบวัตถุต่าง ๆ ที่เตรียมพื้นผิวให้เหมาะสมเพื่อชุบด้วยทองคำในวิชาเคมีเรื่องเคมีไฟฟ้าและเทคโนโลยีทางเคมีที่ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นต้น ซึ่งเป็นการฝึกให้ผู้เรียน ได้รับประสบการณ์โดยตรงในการเรียนรู้เพิ่มเติมจากบทเรียน อันจะส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเสริมกิจกรรมในโครงการวิทยาศาสตร์วิชาการงานและพื้นฐานอาชีพ และอาชีพอิสระ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าว เป็นกิจกรรมเสริมหลักสูตรในสถานศึกษา (ประภาพร สุวรรณรัตน์. 2533 : 16) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับทางด้านโครงการทางวิทยาศาสตร์ด้วยแล้ว เป็นกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานอันจะส่งเสริมให้นักเรียนได้มีการพัฒนาความรู้ ทักษะกระบวนการทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีได้เป็นอย่างดี (กมล เพ็ญพุ่ม. 2534 : 15)

แต่สืบเนื่องจากราคาของ Potassium Cyanoaurate (I) มีมูลค่าสูงมากดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีผลกระทบโดยตรงต่อกิจกรรมดังกล่าว ถ้าเราสามารถทำการสังเคราะห์ หรือมีแนวทางในการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ในต้นทุนเท่ากันหรือที่ต่ำกว่าก็จะส่งเสริมกิจกรรมต่าง ๆ ในโรงเรียนและสถานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการชุบทองให้แพร่หลายยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนและนักศึกษา หรือผู้ที่สนใจในการชุบทองคำโดยใช้ Potassium Cyanoaurate(I) อันเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะนำไปประกอบอาชีพอิสระต่อไป

ดังได้กล่าวในข้างต้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ถ้าทราบแนวทาง หรือกระบวนการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยละเอียดในต้นทุนที่ไม่สูงจนเกินไป ก็จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมรายใหญ่ รายย่อย รวมถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการชุบทองในสถานศึกษา นอกสถานศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจด้วยประโยชน์ของ Potassium Cyanoaurate (I) ที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการที่ใช้สังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) หรือ Gold Potassiumcyanide ในห้องปฏิบัติการ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation
- 1.2.2 เพื่อสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation
- 1.2.3 หาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตกัณฑ์ของสารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ที่สังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation
- 1.2.4 ตรวจสอบหาองค์ประกอบและโครงสร้างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยวิธี Cyanidation

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) สามารถสังเคราะห์ได้โดยวิธี Cyanidation

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ทฤษฎีหรือแนวคิดในการการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ดังนี้

- 1.4.1 ทำทองคำให้บริสุทธิ์โดยใช้แนวคิดของ John V.N. Dorr and Francis L. Bosqui

สนธาวรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิดา วีระพงษ์ กล่าวคือนำทองคำตัวอย่างมาละลายใน Aqua

regia จากนั้นก็ Reduce ด้วยสารละลาย Sodiummetabisulphite (Sodiumpyrosulphate :  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) จากนั้นเพิ่มความบริสุทธิ์โดยวิธี Cupellation

1.4.2 สังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation อาศัยแนวคิดของ Elsner, Colin J. Paterson, สุชาวดี ไหวว่องกิจการ และสุदारัตน์ จำปา นั่นคือนำทองคำบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium Cyanide ตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I) โดยตัวทำละลาย ในภาวะที่เหมาะสม

1.4.3 วิเคราะห์สารเชิงซ้อนที่สังเคราะห์ได้และ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์คือ Elemental Analyzer , Atomic Absorption Spectrophotometer และ X-ray Diffraction เพื่อนำข้อมูลมาตรวจสอบและเปรียบเทียบกัน

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ( $\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ ) ที่สังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation ภายในห้องปฏิบัติการ ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุม โดยทำการสังเคราะห์ขนาดน้อย ๆ

### 1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ตัวแปรต้นคือ วิธีการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) อันได้แก่ วิธีการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation

1.5.2.2 ตัวแปรตามคือปริมาณสารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation

1.5.3 การทดสอบหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และรายละเอียดของผลึกของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation โดยใช้ Elemental Analyzer, Atomic Absorption Spectrophotometer และ X-ray Diffractometer เป็นเครื่องมือ

## 1.6 คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตามจุดมุ่งหมายการวิจัย ผู้วิจัยจึงกำหนดคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัยดังนี้ คือ

1. วิธี Cyanidation คือนำทองคำที่บริสุทธิ์มากมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย โซเดียมไซยาไนด์  $\text{NaCN}$  เพื่อผลิตโพแทสเซียมไซยาไนด์  $\text{KCN}$  แล้วตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I) ออกมาให้มากที่สุด ซึ่งจะมีการนำไปใช้

2. ปริมาณของสารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) คือปริมาณของ Potassium Cyanoaurate (I) ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation

3. Elemental Analyzer คือ เครื่องมือวิเคราะห์หาชนิดของธาตุในสารประกอบ โดยอาศัยการตรวจจับไอออนของธาตุเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน

4. Atomic Absorption Spectrophotometer คือเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่สนใจ โดยอาศัยสมบัติการดูดกลืนแสง ของอนุภาคของโลหะนั้น

5. X-ray Diffractometer เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึก ศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของ X-ray (X-ray Diffraction) เมื่อ X-ray ส่องผ่านผลึกของของแข็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่องการสังเคราะห์ สารเชิงซ้อนของ Potassium Cyanoaurate (I) ผู้วิจัย ได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate(I) จากเอกสาร วารสาร รายงานการวิจัย บทความทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยตามหัวข้อต่อไปนี้คือ

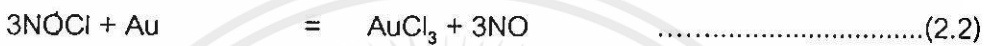
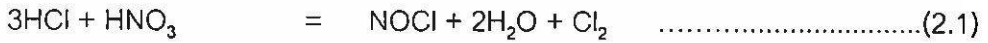
- 2.1 การทำทองคำให้บริสุทธิ์ (Purification of Gold)
- 2.2 Cyanidation
- 2.3 สารเชิงซ้อนของทองคำ (Gold Complexes)
- 2.4 วิธีสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I)

#### 2.1 การทำทองคำให้บริสุทธิ์ (Purification of Gold)

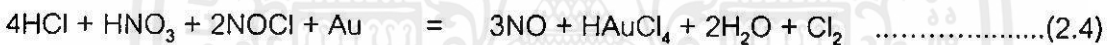
ทองคำ (Gold) เป็นธาตุโลหะที่เกิดในธรรมชาติ เป็นที่รู้จักมานานว่ามีมูลค่าสูงและเป็นที่ต้องการของบุคคลทั่วไป ลักษณะของทองคำเป็นโลหะสีเหลือง มีความแข็งไม่มากนัก สามารถตีออกเป็นแผ่นบางมาก ๆ ( $60 \mu\text{m}$ ) โดยที่โลหะอื่น ๆ ไม่สามารถทำได้ (W.S. Rapson and T. Groenewald. 1978 : 95) มีสัญลักษณ์ธาตุเป็น Au และเป็นโลหะที่มีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยา เราจึงมักพบทองในธรรมชาติในรูปของโลหะทองคำล้วน (Native Gold) ตกตะกอนอยู่ตามก้นแม่น้ำ หรือที่ราบบางแห่งอาจพบเป็นสายแร่ปนอยู่ในแร่ Quartz, Pyrite ตามภูเขาหรือชั้นหินที่ลึกในบางพื้นที่ อย่างไรก็ตาม Marden and John (1992 : 138) ได้อธิบายการเกิดของทองคำว่า บางโอกาส เราอาจพบทองที่อยู่ในภาวะของสารประกอบในรูปของสินแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น Telluride, Calaverite, Sylvanite ได้ แม้ว่าในธรรมชาติจะมีทองคำเกิดขึ้นในรูปของธาตุอิสระ (Native Gold) ที่เป็นโลหะทองคำ แต่ก็ไม่ว่าจะเป็นโลหะทองคำที่บริสุทธิ์เลยเสียทีเดียว เพราะอาจมีโลหะอื่นที่สามารถละลายได้ในทองคำเช่น พรอท, เงิน, ทองแดง และสารอื่น ๆ ปนอยู่ (Sneed M. Cannon. 1965 : 185) นอกจากนี้กระบวนการถลุงสินแร่ทองคำ เพื่อให้ได้มาซึ่งทองคำแท่ง หรือการผลิตทองรูปพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ก็มักจะพบสารดังกล่าวเจือปนอยู่เสมอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องทำทองคำให้บริสุทธิ์ หรือให้มีสิ่งเจือปนน้อยที่สุด ก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) เนื่องจากสิ่งเจือปนบางชนิด อาทิ เช่น เงิน (Ag) , ทองแดง (Cu) หรือเหล็ก (Fe) ฯลฯ นั้นมีความสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับไอออนของไซยาไนด์ ( $\text{CN}^-$ ) หรือสารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide Compound)

ได้ (Marden and John. 1992 : 263 – 264 ) ได้เช่นเดียวกันกับทองคำ ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I)

กรรมวิธีในการทำทองคำให้บริสุทธิ์ที่นิยมกันก็คือ การนำทองคำตัวอย่างไปละลายใน Aqua regia ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่าง Hydrochloric acid เข้มข้น (Conc. HCl) กับ Nitric acid เข้มข้น (Conc. HNO<sub>3</sub>) ในอัตราส่วน 3 : 1 (สนธรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิตา ธีระพงษ์. 2531 : 14 - 22) ซึ่งแสดงให้เห็นดังสมการต่อไปนี้



รวมสมการ 2.1 - 2.3



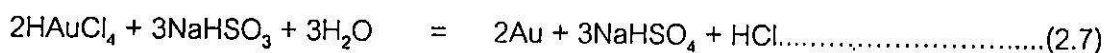
ก๊าซ Nitrogen Monoxide (NO) ที่เกิดขึ้นมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก ดังนั้น NO จะรวมตัวกับก๊าซ Oxygen (O<sub>2</sub>) เกิดเป็นก๊าซสีน้ำตาลคือ Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) ดังสมการ



ในกรณีที่โลหะทองคำตัวอย่าง มีโลหะ เงิน (Ag) ปนอยู่ กระบวนการดังกล่าวก็จะสามารถทำการแยกโลหะเงิน (Ag) ออกมาได้ โดยที่โลหะเงินจะเกิดเป็นสารประกอบกับคลอรีน ตกตะกอนเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl<sub>19</sub>) (สนธรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิตา ธีระพงษ์. 2531 : 14 – 22) จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา Reduce ด้วย Sodium Metabisulphite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ซึ่ง Sodium Metabisulphite จะรวมกับน้ำเกิดปฏิกิริยาเป็น NaHSO<sub>3</sub> (Sodium Hydrogensulfite) ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHSO}_3$  อังอิงถึงเจ้าคุณหม่อมหลวง... (2.6) ปี

$\text{NaHSO}_3$  (Sodium Hydrogensulfite) ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาต่อไปกับ Hydrogen tetrachloroaurate (III) ( $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ ) จะเกิดตะกอนของโลหะทองคำ ดังสมการ



สำหรับ สารละลาย  $\text{NaHSO}_3$  ยังใช้กำจัด  $\text{NOCl}$  (กรดกัดทอง) ที่เหลือ ในสมการ 2.4 เนื่องจากทำปฏิกิริยาไม่หมดดังนี้

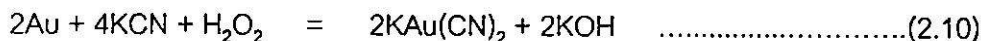
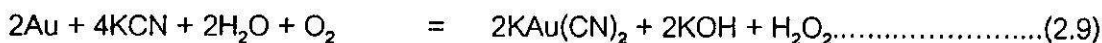


ตะกอนของโลหะทองคำจากสมการ 2.7 ดังกล่าวนั้น ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี Cupellation (John V.N. Dorr and Francis L. Bosqui. 1950 : 495) คือนำโลหะทองคำตัวอย่างมาหุ้มด้วยแผ่นตะกั่วบาง (Pb) แล้วนำไปใส่ใน Crucible ที่มีรูพรุน เรียกว่า Cupel แล้วเผาที่อุณหภูมิ  $1150^\circ \text{C}$  ที่มีอากาศผ่านได้โลหะต่าง ๆ ยกเว้น เงินและทองคำจะรวมตัวกับตะกั่วที่หุ้มแล้วเกิดสารประกอบ Oxide กับออกซิเจนในอากาศ โลหะตะกั่วที่มากเกินไป (excess) ก็จะอยู่ในรูปของ Lead oxide ( $\text{PbO}$ ) เกาะอยู่ริมขอบของ Cupel และมีโลหะทองคำอยู่ที่ก้น Cupel เมื่อนำ Cupel ออกจากเตาเผาแล้วทิ้งไว้ให้เย็นลง นำโลหะดังกล่าวมารีดเป็นแผ่นบางแล้วนำไปอบที่  $800 - 1000^\circ \text{C}$  นาน 1 ชั่วโมง นำแผ่นโลหะที่อบแล้วไปต้มกับ Nitric acid เข้นข้น (กรดดินประสิว) จนแน่ใจว่าโลหะเงินหมดไป แล้วทำการรินแยกสารละลายออก และล้างด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง นำมาใส่ Crucible แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ  $120^\circ \text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อแห้งดีแล้วก็นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $800 - 1000^\circ \text{C}$  นาน 1 - 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้เย็นใน โถที่ใส่สารดูดความชื้น (desiccator) ก็จะได้ทองคำบริสุทธิ์ (สนธารา เจียมมอุดมสิน และ พันชลิดา อีระพงษ์. 2531 : 20) ซึ่งทองคำที่ได้ก็นำไปสังเคราะห์สารประกอบ Potassium Cyanoaurate (I) ต่อไป

## 2.2 Cyanidation

วิธี Cyanidation แต่เดิมนั้นเป็นวิธีแยกแร่ทองคำออกจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ โดยให้ทำปฏิกิริยากับ Alkali Metal Cyanide Solution อันได้แก่สารละลาย Sodium Cyanide ( $\text{NaCN}$ ) หรือ Potassium Cyanide ( $\text{KCN}$ ) มีการตีพิมพ์การใช้เทคนิคนี้เมื่อปี ค.ศ.1783 โดย K.W. Scheel (Sneed M. Cannon. 1965 : 196) ช่วงปี ค.ศ. 1840 - 1850 Elkington, Bragration Elsner และ Faraday สนใจทำการศึกษาการละลายของทองคำในสารละลายของ Cyanide และในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นเอง Elkington ก็ได้ทำการจดทะเบียนเป็นลิขสิทธิ์ในการใช้สารละลาย

Potassium Cyanide (KCN Solution) ชุบทองและเงินด้วยไฟฟ้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1846 Elsner พบว่า ก๊าซออกซิเจน มีส่วนสำคัญในการละลายของทองคำในสารละลายของ Cyanide เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของทองคำ  $K[Au(CN)_2]$  และแสดงเป็นสมการได้ดังนี้



ปี ค.ศ. 1867 Rae ก็ได้จดลิขสิทธิ์ในการใช้สารประกอบพวก Cyanide ละลายสินแร่ทองคำ (Cyanide Leaching) และระหว่าง ค.ศ. 1887 - 1888 Mac Athur และ Forrest ได้นำกระบวนการ Cyanidation ไปพัฒนาทดลองแยกแร่ทองคำในเชิงพาณิชย์ในเมืองทองคำ แล้วจดเป็นลิขสิทธิ์ไว้ในปีเดียวกัน (J.R. Partington. 1937 : 813)

กระบวนการ Cyanidation ได้นำไปใช้แยกแร่ทองคำครั้งแรกที่ Crown Mine ประเทศนิวซีแลนด์ (New Zealand) ปี ค.ศ. 1889 การแยกแร่ทองคำในเชิงพาณิชย์ในเมืองทองคำด้วยเทคนิค Cyanidation ได้แพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วและได้นำไปใช้ในปี ค.ศ.1890 ที่ Robinson Deep (South Africa) และปี ค.ศ.1891 ที่ Onsolidated Mercur (Utah, U.S.A.), Culumate (California, U.S.A.) และ El Oro (Mexico) ปี ค.ศ.1904 นอกจากนี้ที่เมือง Witwatersrand ก็มีการใช้กระบวนการ Cyanidation สกัดทองออกจากหินที่มีทองคำปนอยู่ ซึ่งทำให้มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 70 % เป็น 95 % ในประเทศแอฟริกาใต้ มีการผลิตทองคำจากกระบวนการ Cyanidation นี้ จากเดิม 300,000 ออนซ์ เมื่อ ค.ศ.1888 เป็นกว่า 3 ล้านออนซ์ ในปี ค.ศ.1989

ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงปริมาณของทองคำที่ผลิตจากกระบวนการ Cyanidation (J.R. Partington. 1937 : 813) และเทคนิคจากกระบวนการ Cyanidation นี้ ยังสามารถใช้สกัดแยกโลหะเงินจากสินแร่เงิน โดยเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของเงินก็คือ Potassium Cyanoargentate (I) ( $K[Ag(CN)_2]$ ) หรือ Sodium Cyanoargentate (I) ( $Na[Ag(CN)_2]$ ) นอกจากนี้ยังพบต่อไปว่ากระบวนการ Cyanidation สามารถสังเคราะห์สารประกอบจำพวกไอออนิก (Ionic Compound) สารประกอบพวกออร์แกนโนเมทัลลิก (Organo - Metallic Compound), สารเชิงซ้อน (Complex Compound) และไอออนเชิงซ้อน (Complex ion) อื่น ๆ ได้อีกมากมาย โดยเฉพาะสารเชิงซ้อนและไอออนเชิงซ้อนที่มีไซยาไนด์ไอออนซึ่งเป็นลิแกนด์ (Ligand) เมื่อเกิดเป็นสารประกอบกับโลหะทรานซิชัน (Transition metal) จะได้สารเชิงซ้อน และไอออนเชิงซ้อนมีเสถียรภาพสูงเพราะไซยาไนด์ไอออนเป็นลิแกนด์ที่แรง (Colin J. Pateson. 1990 : 47)

## 2.3 สารเชิงซ้อนของทองคำ ( Gold Complexes )

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ทองคำ (Gold) เป็นโลหะมีสถานะเป็นของแข็งสีเหลือง มีความแวววาว ความแข็งไม่มากนัก ถือเป็นโลหะที่มีค่า นิยมใช้ทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทำเป็นเครื่องประดับ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับพิธีกรรมในศาสนาต่าง ๆ มากัน ตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงยุคปัจจุบัน แม้แต่ในยุคนี้ ก็ยังมีการใช้ประโยชน์จากโลหะทองคำ ในลักษณะต่าง ๆ หลายลักษณะอย่างแพร่หลาย นับตั้งแต่การใช้เป็นเครื่องประดับ , ชุบโลหะอื่น ให้สวยงาม ป้องกันการสึกกร่อน, เป็นส่วนประกอบของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ นอกจากนี้ในวงการแพทย์ ก็ยังสามารถนำทองคำมาหุ้มฟันแท้ – ฟันปลอม เพื่อความทนทาน รวมทั้งสังเคราะห์ เป็นสารประกอบบางชนิดเพื่อใช้เป็นยารักษาโรคได้อีกด้วย

คุณลักษณะของทองคำในเชิงวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปก็คือ ทองคำ เป็นธาตุโลหะทรานซิชัน (Transition Elements) ในลำดับที่ 79 ในตารางธาตุ เป็นโลหะมีตระกูล (Noble Metal) มีความหนาแน่นสูง มีความเฉื่อยสูง ไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับสารใด ทนต่อการกัดกร่อนต่อสารเคมี และสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติในลักษณะต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้เราจึงพบทองคำในรูปของธาตุในธรรมชาติ การจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมทองคำเป็นดังนี้ คือ (Sneed M: Cannon. 1965 : 105)

ในระดับพลังงานแรก	(n = 1)	1s <sup>2</sup>
ในระดับพลังงานที่สอง	(n = 2)	2s <sup>2</sup> , 2p <sup>6</sup>
ในระดับพลังงานที่สาม	(n = 3)	3s <sup>2</sup> , 3p <sup>6</sup> , 3d <sup>10</sup>
ในระดับพลังงานที่สี่	(n = 4)	4s <sup>2</sup> , 4p <sup>6</sup> , 4d <sup>10</sup> , 4f <sup>14</sup>
ในระดับพลังงานที่ห้า	(n = 5)	5s <sup>2</sup> , 5p <sup>6</sup> , 5d <sup>10</sup>
ในระดับพลังงานสุดท้าย	(n = 6)	6s <sup>1</sup>

การจัดเรียงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นภายในอะตอมทองคำ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น คล้ายกับทองแดง และเงิน คือ มีอิเล็กตรอนใน d - orbital เต็ม และมีอิเล็กตรอนใน s - orbital อยู่ 1 อิเล็กตรอน เพียงแต่มีคุณสมบัติทางเคมีบางประการแตกต่างกัน ค่าเลขออกซิเดชัน (oxidation number) ของทองคำที่สำคัญมีเสถียรภาพสูงเกิดเป็นสารประกอบชนิดหลายชนิดมีค่าคงตัวสูง มีอยู่ด้วยกัน 2 ค่าคือ Au<sup>+</sup> และ Au<sup>+3</sup> (Sneed M. Cannon. 1965 : 105)

ในการศึกษาสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเป็นสารเชิงซ้อน หรือไอออนเชิงซ้อนของทองคำนั้น ปรากฏว่าทองคำสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพได้กับลิแกนด์ (Ligands) ที่เป็นไอออนได้หลายชนิดได้แก่ ไซยาไนด์ไอออน (CN<sup>-</sup>) คลอไรด์ไอออน (Cl<sup>-</sup>) และไรโอยูเรียไอออน (CS(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)<sup>+</sup> ทองคำสามารถละลายในสารละลายของ Cyanide เกิดไอออน

เชิงซ้อน คือ  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  และ  $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$  เมื่อโลหะทองคำเข้าทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ (Hydrochloric acid) และกาซคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) ก็สามารถเกิดไอออนเชิงซ้อน เป็น  $[\text{AuCl}_2]^-$  และ  $[\text{AuCl}_4]^-$  (A.G. Snape. 1967 : 300)

จะเห็นได้ว่าไอออนของทองคำทั้งสองคือ  $\text{Au}^+$  และ  $\text{Au}^{+3}$  สามารถเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนได้กับ Ligands ที่เป็นไอออนได้อยู่หลายชนิด แต่ความสามารถในการรวมตัวและเสถียรภาพของไอออนเชิงซ้อนนั้น จะแตกต่างกันดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 1.1 ไอออนเชิงซ้อนที่เสถียรที่เกิดจาก  $\text{Au}^+$  ที่รวมตัวกับ Ligand มักเป็น Ligand ที่มี Electron pair ไม่แรงมากนัก ได้แก่ไซยาไนด์ไอออน (Cyanide ion), ไธโอไซยาไนด์ไอออน (Thiocyanide ion), ไธโอซัลเฟตไอออน (Thiosulfate ion) และไธโอยูเรียไอออน (Thiourea ion) สำหรับไอออนเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพสูงที่เกิดจาก  $\text{Au}^{+3}$  (Gold (III) ion) รวมตัวกับ Ligands มักเป็น Ligands ที่มี Electron pair ที่ค่อนข้างแรง (hard electron donor ligand) ตัวอย่างเช่น คลอไรด์ไอออน (Chloride ion), โบรมไนด์ไอออน (Bromide ion) และ ไอโอดไนด์ไอออน (Iodide ion) (J. Marden and I. House. 1992 : 138 – 139)

ตารางที่ 1.1 Stability constants for selected Au(I) and Au(III) complexes

Ligand	Au(I), $\beta_2$	Au(III), $\beta_3$
$\text{CN}^-$	$2 \times 10^{38}$	$10^{56}$
$\text{SCN}^-$	$1.3 \times 10^{17}$	$10^{42}$
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$5 \times 10^{28}$	—
$\text{Cl}^-$	$10^9$	$10^{26}$
$\text{Br}^-$	$10^{12}$	$10^{32}$
$\text{I}^-$	$4 \times 10^{19}$	$5 \times 10^{47}$
$\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	$2 \times 10^{23}$	—

(J. Marden and I. House. 1992 : 139)

สำหรับ Co-ordination Number ของไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{Au}^+$  ที่เท่ากับ 2 จะมีรูปร่างเป็นเส้นตรง (Linear) ตัวอย่างเช่น  $\text{Au}(\text{CN})_2^+$  รูปร่างดังต่อไปนี้

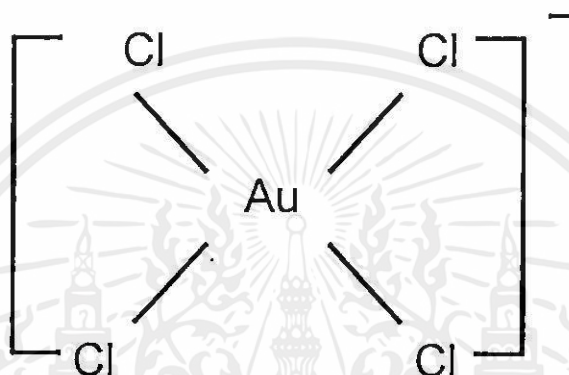
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{Au}^+$

(J. Marden and I. House. 1992 : 140)

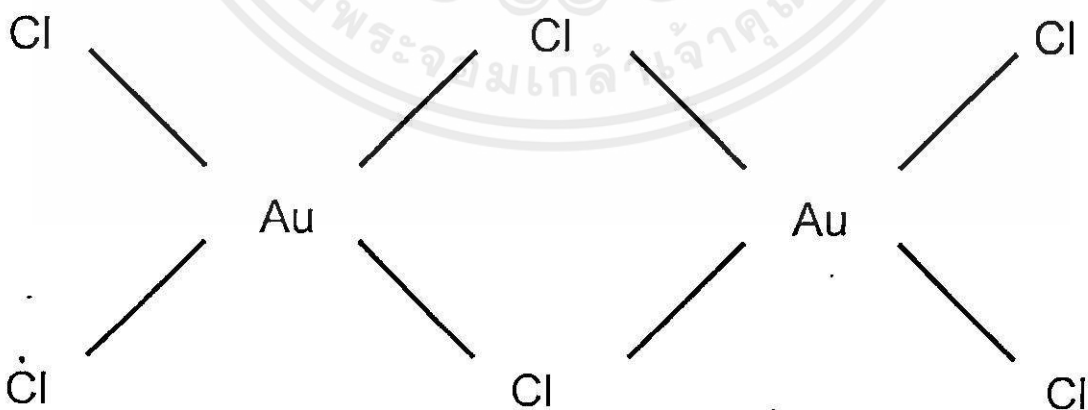
และ Co - ordination number ไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{Au}^{+3}$  เป็น 4 มีรูปร่างเป็น 4 เหลี่ยมแบนราบ (Square Planar) เช่น  $\text{AuCl}_4^-$  ดังนี้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{Au}^{+3}$

(J. Marden and I. House. 1992 : 140)

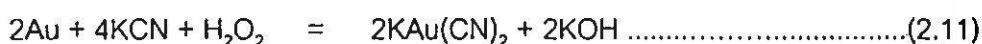
บางครั้ง ถ้าความเข้มข้นของ ligand มีมากเกินไป ( Excess ) รูปร่างของไอออนเชิงซ้อน อาจจับเป็น 2 อนุภาค (Bruce R. Palmer. 1990 : 133) มีลักษณะดังนี้



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างไอออนเชิงซ้อนของ  $\text{Au}^{+3}$  ที่เป็น dimer (J. Marden and I. House. 1992 : 140.)

## 2.4 การสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation

การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนของทองคำมีวิธีที่ปฏิบัติในห้องทดลองมีอยู่หลายวิธี แต่จะกล่าวในที่นี้คือวิธี Cyanidation ซึ่งเป็นวิธีการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยนำทองคำบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium Cyanide (KCN Solution) ที่มากเกินพอใน Hydrogen Peroxide ( $H_2O_2$ ) จนทองคำละลายหมดเกิด Potassium Cyanoaurate (I) (Sneed M. Cannon. 1965 : 185) ดังสมการ



เนื่องจากต้องใช้สารละลาย Potassium Cyanide (KCN solution) ที่มากเกินพอ จึงจำเป็นต้องควบคุมความเป็นกรด - เบส (pH) ให้อยู่ในภาวะที่เป็นเบส (pH ประมาณ 9) (John V.N. Dorr and Francis L. Bosqui. 1950 : 232) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซ Hydrogen Cyanide จากกระบวนการ Hydrolysis ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรงมาก (Xiang Wang and K.S. Eric Forssberg. 1990 : 81 – 82) และการที่มี Potassium Cyanide เหลืออยู่จึงต้องเลือกตัวทำละลายและภาวะที่เหมาะสมตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I) ออกมาจาก Potassium Cyanide ให้มากที่สุด

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า มีความเป็นไปได้สูงมากที่จะทำการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยมีแนวทางดังนี้

1. ทำทองคำให้บริสุทธิ์โดยใช้แนวคิดของ John V.N. Dorr and Francis L. Bosqui, สนั่นธรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิดา ธีระพงษ์ กล่าวคือ นำทองคำตัวอย่างมาละลายใน Aqua regia ต่อจากนั้นก็ทำการ Reduce ไอออนของทองคำ ( $Au^{3+}$ ) ด้วยสารละลาย Sodiummetabisulphite แล้วเพิ่มความบริสุทธิ์โดยวิธี Cupellation
2. สังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation อาศัยแนวคิดของ Elsner, Colin J. Pateson, สุขาวดี ไหว่องกิจการ และ สุदारัตน์ จำปา นั่นคือนำทองคำบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium Cyanide แล้วตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I) ออกมาโดยใช้ภาวะหรือตัวทำละลายที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate(I) ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ศึกษาเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 ออกแบบการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี
- 3.3 การสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation
- 3.4 ทดสอบองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

### 3.1 ศึกษาเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการทำการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (i) นั้น ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยดังต่อไปนี้

- 3.1.1 การทำทองคำให้บริสุทธิ์
- 3.1.2 การสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate(I) ด้วยวิธี Cyanidation
- 3.1.3 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ และคุณภาพโดยเทคนิคต่าง ๆ เพื่อหารายละเอียดของ

ผลึกและสัดส่วนของธาตุแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานคือ Potassium Cyanoaurate (I)

### 3.2 ออกแบบการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี

การวิจัยเรื่องการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยทำการทดลองสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) จริงในห้องปฏิบัติการโดยมีอุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นแสดงดังรายการต่อไปนี้

#### 3.2.1 รายการอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

บีกเกอร์ - ขนาด 500 ml	3 ใบ
- ขนาด 250 ml	3 ใบ
- ขนาด 100 ml	3 ใบ
ขวดกันกลม ขนาด 500 ml	1 ใบ
Heating Mantle	1 ชุด
อุปกรณ์การกรองแบบลดความดัน	1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลดความดัน	1 ชุด
ขวดรูปชมพู่ - ขนาด 500 ml	3 ใบ
- ขนาด 250 ml	3 ใบ
- ขนาด 100 ml	3 ใบ
บิวเรต ขนาด 250 ml	1 อัน
ขาตั้ง + clamp	1 ชุด
แท่งแก้วคน	3 อัน
กระบอกจีดน้ำกลั่น	2 อัน
กระบอกตวง	1 อัน
Reactor ขนาด 1000 ml พร้อมชุดปั่นกวน	1 ชุด
Cupel	3 อัน
หลอดทดลองขนาดกลาง	20 หลอด
ที่วางหลอด	2 อัน
ช้อนตักสาร	2 อัน
เครื่องมือระเหยแบบลดความดัน	1 ชุด
กรวยกรอง	1 อัน
ตุ้ควัน	1 ชุด
หลอดหยด	3 อัน
ถ้วยกระเบื้อง	1 อัน
คีมคีบโลหะ (Tong)	1 อัน
หน้ากาก + แวนตา	1 ชุด
ถุงมือ	1 ชุด
เทอร์มอมิเตอร์	1 อัน

### 3.2.2 รายการสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

conc. HCl (AR. grade)	1.0 ลิตร
conc. HNO <sub>3</sub> (AR. grade)	1.0 ลิตร
conc. NH <sub>3</sub> (AR. grade)	1.0 ลิตร
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (40 %)	1.0 ลิตร
Ethanol (AR. grade)	2.0 ลิตร
Acetone (AR. grade)	2.0 ลิตร
น้ำกลั่น	5.0 ลิตร

KCN (AR. Grade)	200 กรัม
K[Au(CN) <sub>2</sub> ]	10 กรัม
Zinc dust	100 กรัม
ทองคำตัวอย่าง	15 กรัม
Lead Foil	1 แผ่น
กระดาษ pH	1 ตลับ
กระดาษกรอง	1 กกรอง

### 3.3 การทดลอง สังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I)

ในการสังเคราะห์เชิงซ้อนของ Potassium Cyanoaurate (I) มีลำดับขั้นตอนดังนี้

#### 3.3.1 การแยกสิ่งเจือปนออกจากทองคำ

3.3.1.1 ชั่งทองคำตัวอย่างมาประมาณ 5 กรัม

3.3.1.2 เตรียม Aqua regia โดยตวง Hydrochloric acid เข้มข้น (Conc. HCl) ประมาณ 30 cm<sup>3</sup> ผสมกับ Nitric acid เข้มข้น (Conc. HNO<sub>3</sub>) ประมาณ 10 cm<sup>3</sup> ลงใน บีกเกอร์ขนาด 250 cm<sup>3</sup>

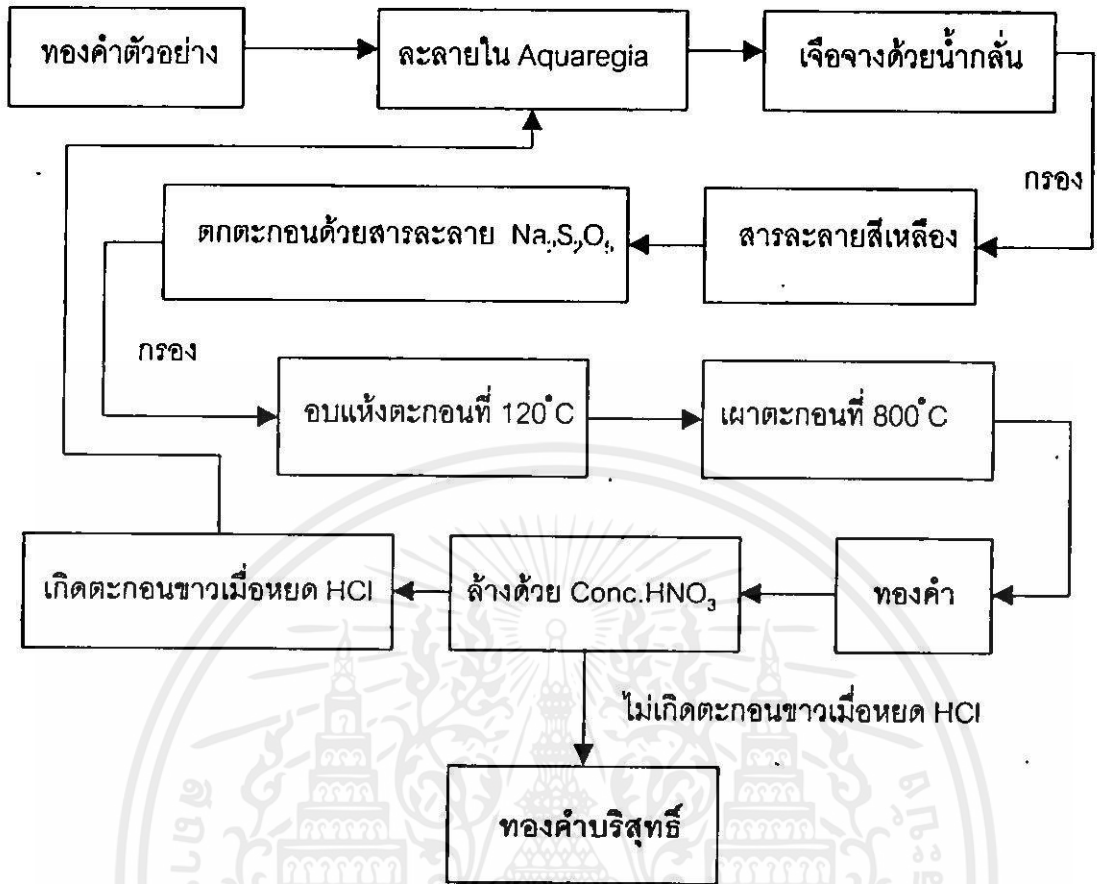
3.3.1.3 นำทองคำที่ชั่งได้จาก 3.3.1.1 ใส่ลงใน Aqua regia ที่เตรียมจาก 3.3.1.2 (ปฏิบัติการในตู้ดูดควัน) แล้วอุ่นจนทองคำตัวอย่างทำปฏิกิริยาหมด

3.3.1.4 ชั่ง Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ให้มีปริมาณ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 cm<sup>3</sup> ลงใน บีกเกอร์ขนาด 100 cm<sup>3</sup> คนให้ละลายจนหมด นำสารละลายดังกล่าวค่อย ๆ เทใส่ลงในสารละลาย จาก 3.3.1.3 ในตู้ดูดควันจนไม่มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้น

3.3.1.5 เจือจางสารละลายโดยการเติมน้ำกลั่นประมาณ 100 cm<sup>3</sup> กรอง ตะกอนจาก 3.3.1.4 ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 120° C นาน 2 ชั่วโมง แล้วเผาในเตาเผาที่ 800° C นาน 2 ชั่วโมง ตะกอนดังกล่าวคือทองคำ

3.3.1.6 นำทองคำที่ได้มาใส่กรดไนตริกเข้มข้น แล้วหยดสารละลาย HCl ถ้ามี ตะกอนขาว ต้องนำทองไปผ่าน ในข้อ 3.3.1.3 – 3.3.1.5 ใหม่ ถ้าไม่มีตะกอนขาว ก็นำทองคำไป อบแห้งที่ 120° C นาน 2 ชั่วโมง อีกครั้ง จะได้ทองคำบริสุทธิ์ตามต้องการ ดังแผนภาพต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำทองคำตัวอย่างให้บริสุทธิ์

### 3.3.2 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดย วิธี Cupellation

3.3.2.1 ชั่งทองคำที่ได้จาก 3.3.1.5 อย่างละเอียด

3.3.2.2 นำแผ่นตะกั่ว ขนาด 3 x 3 cm. ห่อทองคำที่ซึ่งใส่ลงใน Cupel

3.3.2.3 นำ Cupel ใส่ทองคำหุ้มด้วยแผ่นตะกั่วจาก 3.3.2.2 มาเผาในตู้ที่มี

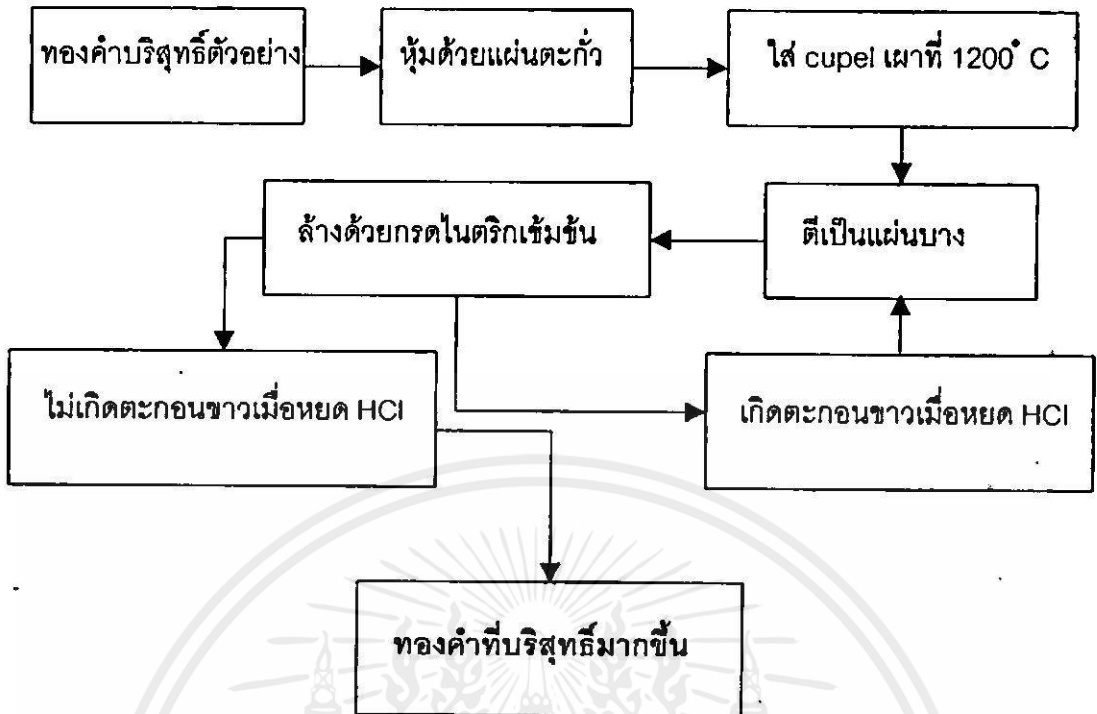
อากาศผ่านได้ที่อุณหภูมิ 1200° C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นลง

3.3.2.4 นำทองคำจาก 3.3.2.3 มาตีเป็นแผ่น แล้วล้างด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

3.3.2.5 หยดกรดเกลือเจือจาง (dil. HCl 0.5 mol / dm<sup>3</sup>) ลงไปเล็กน้อยในของเหลวที่นำมาจาก 3.3.2.4 ถ้ามีตะกอนขาวขุ่น ให้ผ่านขั้นตอนในข้อ 3.3.2.4 ใหม่จนไม่มีตะกอน

3.3.2.6 นำทองคำจาก 3.3.2.5 มาล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120° C นาน 2 ชั่วโมง

3.3.2.7 นำทองคำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดเพื่อหา เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ดังแผนภาพที่แสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพการเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดย วิธี Cupellation

### 3.3.3 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation

3.3.3.1 ชั่งน้ำหนักทองคำ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มาแล้ว โดย วิธี Cupellation ประมาณ 6.5610 กรัม

3.3.3.2 เตรียมสารละลาย Potassium Cyanide เข้มข้นโดยประมาณ 2 % จำนวน 250 cm<sup>3</sup>

3.3.3.3 ใส่ทองคำที่ชั่งน้ำหนักแล้วจาก 1 ลงในสารละลายที่เตรียมได้จาก 3.3.3.2 (ทำในตู้ดูดควัน) แล้วหยดสารละลาย H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ลงไปใน Reactor อุ่นสารละลาย (อุณหภูมิไม่เกิน 45° C) จนทองคำดังกล่าวนั้นทำปฏิกิริยาหมด

3.3.3.4 นำสารละลายจาก 3.3.3.3 มาระเหย จนได้ปริมาตรประมาณ 50 cm<sup>3</sup> ทิ้งสารละลายให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.3.3.5 นำสารละลายจาก 3.3.3.4 ไปลดอุณหภูมิในตู้เย็นที่ ใกล้เคียงอุณหภูมิ 0° C จนได้ตะกอนให้มากที่สุดกรองตะกอนออกแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำเย็นอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 80° C

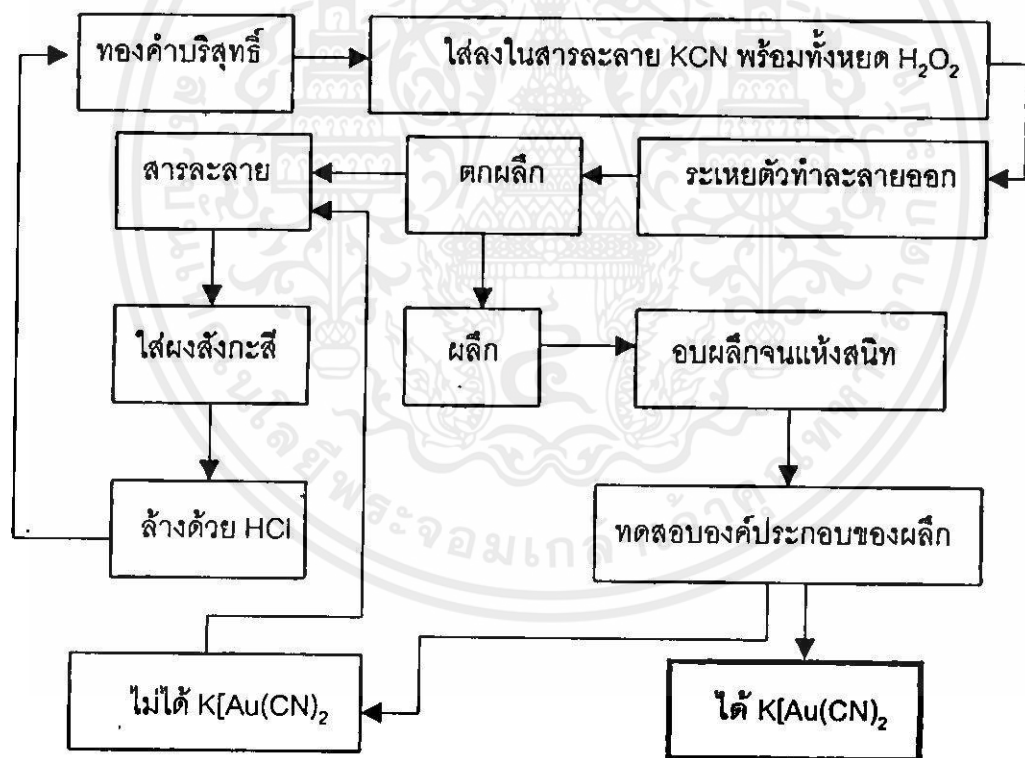
3.3.3.6 นำของเหลวที่ได้จากการกรองใน 5 ระเหยเอาน้ำออกแล้วตกตะกอนซ้ำตาม 5 อีกครั้ง

3.3.3.7 นำของเหลวที่ได้จากการกรองใน 6 มาใส่ผงสังกะสี (Zinc dust) เพื่อ reduce ไอออนของทองคำที่เหลือตกค้างในของเหลวให้กลายเป็นทองคำบริสุทธิ์ให้หมด นำทองคำดังกล่าวมาล้างด้วย Conc. HCl เพื่อกำจัดสังกะสีที่ปนเปื้อน แล้วอบให้แห้งซึ่งทองคำนี้สามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นในการที่จะทำการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation ได้อีก

3.3.3.8 นำตะกอนที่อบแห้งทั้งหมดมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนแล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ (% yield)

3.3.3.9 ทดสอบความบริสุทธิ์ของตะกอนโดยวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์มวลของทองคำในสารที่สังเคราะห์ได้ เทียบกับหาเปอร์เซ็นต์มวลของทองคำในสารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry

โดยวิธี Cyanidation ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถที่จะทำการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) และเขียนเป็นแผนภาพได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์  $K[Au(CN)_2]$  โดยวิธี Cyanidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ทดสอบหาองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

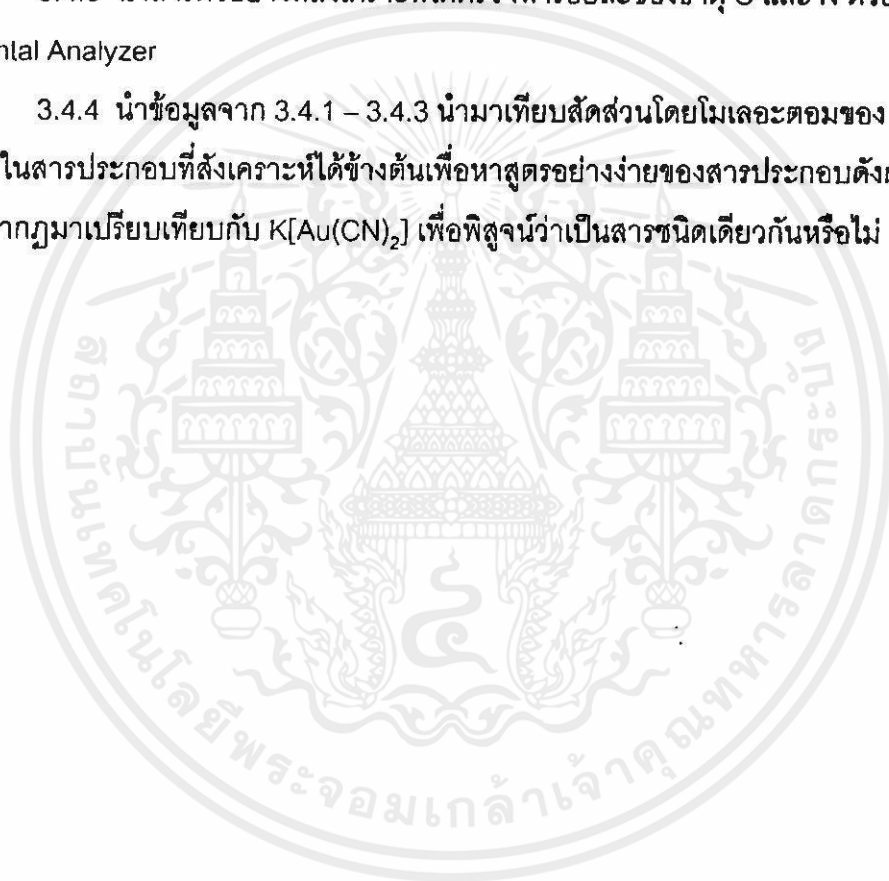
การพิสูจน์โครงสร้างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ กระทำโดยนำสารนั้นมากระทำตามวิธีการดังนี้

3.4.1 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ได้ตรวจหาร้อยละของธาตุ Au และ K ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

3.4.2 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ และ  $K[Au(CN)_2]$  ตรวจหารายละเอียดของผลึก ด้วย X-ray Diffractometer

3.4.3 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ตรวจหาร้อยละของธาตุ C และ N ด้วยเครื่อง Elemental Analyzer

3.4.4 นำข้อมูลจาก 3.4.1 – 3.4.3 นำมาเทียบสัดส่วนโดยโมเลอะตอมของ K : Au : C : N ในสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ข้างต้นเพื่อหาสูตรอย่างง่ายของสารประกอบดังกล่าวและนำผลที่ปรากฏมาเปรียบเทียบกับ  $K[Au(CN)_2]$  เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นสารชนิดเดียวกันหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) ได้ผลจากการทดลองตามหัวข้อต่อไปนี้

#### 4.1 การศึกษากระบวนการสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation

กระบวนการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation เริ่มด้วยการทำทองคำรูปพรรณให้บริสุทธิ์ ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักของทองคำรูปพรรณ 10.2761 g เมื่อทำให้เป็นทองคำบริสุทธิ์ซึ่งน้ำหนักได้ 7.2137 g ทองคำที่ทำให้บริสุทธิ์นี้มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน เป็นมันวาวใช้เล็บขูดเป็นรอยได้

เพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของทองคำว่าเพียงพอต่อการนำไปสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ได้หรือไม่ ผู้วิจัยจึงใช้วิธี Cupellation พบว่าน้ำหนักของทองคำก่อนผ่าน Cupell เป็น 7.2134 g เมื่อผ่าน cupell แล้วซึ่งได้ 7.1779 g ความบริสุทธิ์ของทองคำคิดเป็นร้อยละ 99.50 มีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อการนำไปสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) และเมื่อนำทองคำบริสุทธิ์ 7.1779 g ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย KCN โดยหยดสารละลาย  $H_2O_2$  แล้วปั่นกวนของผสมใน Reactor ที่อุณหภูมิคงที่ พบว่าทองคำทำปฏิกิริยาหมด ซึ่งหลังจากตกผลึกออกมาได้ของแข็งสีขาวขุ่น ละลายในน้ำกลั่นได้ดีมาก สารละลายที่เหลือจากการตกผลึก ก็จะมีไอออนของทองคำปนอยู่สามารถแยกออกจากสารละลายได้โดยการ นำมา Reduce ด้วยผงสังกะสี จากการศึกษารายงานว่ามีทองคำถูก Reduce ด้วยผงสังกะสีออกมาเป็นจำนวน 2.0551 g

#### 4.2 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate(I)

เมื่อใช้วิธี Cyanidation ทำการสังเคราะห์ potassium Cyanoaurate(I) ปรากฏรายละเอียดดังนี้

น้ำหนักของทองคำบริสุทธิ์ ที่ใช้	7.1779	g
ปริมาณของสารละลาย KCN 2 % ที่ใช้	1000	cm <sup>3</sup>
ปริมาณของสารละลาย $H_2O_2$ 40 % ที่ใช้	1000	cm <sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่ออบแห้งที่ 200 ° C	=	6.5610	g
น้ำหนักของ K[Au(CN) <sub>2</sub> ] ตามทฤษฎี	=	10.50	g
ร้อยละของผลิตภัณฑ์	=	62.48	

สารตัวอย่างที่ทำการสังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ แต่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ดีมาก สามารถตกผลึกออกมาด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ เป็น 62.48

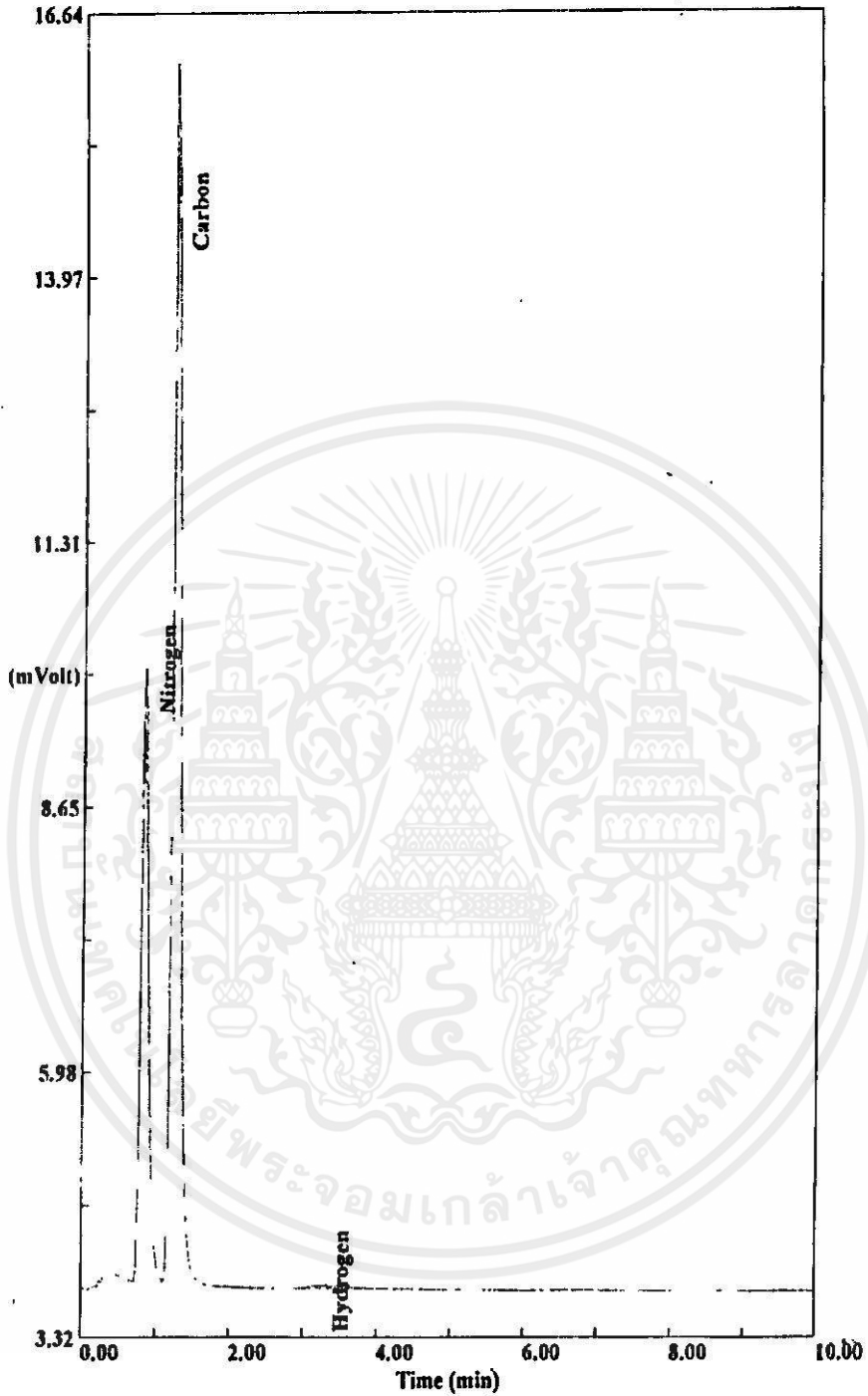
### 4.3 การหาปริมาณของ K, AU, C และ N ในสารตัวอย่าง

4.3.1 เมื่อนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์โดย Atomic Absorption Spectrophotometer พบว่ามีทองคำ (Au) 64.1 % Potassium (K) 13.5 % เปรียบเทียบปริมาณของ Au และ K ใน Potassium Cyanoaurate (I) ตามทฤษฎีแล้วเป็น 68.37 % และ 13.57 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณทองคำในสารตัวอย่งมีน้อยกว่า ปริมาณทองคำใน potassium Cyanoaurate (I) อยู่ 4.27 % และปริมาณ Potassium ในสารตัวอย่างมีน้อยกว่า ปริมาณ Potassium ใน potassium Cyanoaurate (I) อยู่ 0.07 % Potassium (K) และ ทองคำ (Au) ในสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer เป็นดังตาราง ที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณของ Potassium (K) และทองคำ (Au) ในสารตัวอย่าง ที่วิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

ธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง	ปริมาณ (%)
ทองคำ ( Au )	64.1
Potassium ( K )	13.5

4.3.2 เมื่อนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์โดย Elemental Analyzer พบว่ามีปริมาณของ Carbon (C) 8.5 % Nitrogen (N) 9.2 % แต่ปริมาณ C และปริมาณของ N ใน Potassium Cyanoaurate (I) ในทางทฤษฎีเป็น 8.34 และ 9.72 % ตามลำดับ นั่นคือปริมาณ Carbon ในสารตัวอย่างมีน้อยกว่า ปริมาณ Carbon ใน Potassium Cyanoaurate (I) อยู่ 0.16 % และ ปริมาณ Nitrogen ในสารตัวอย่างมีน้อยกว่า ปริมาณ Nitrogen ใน Potassium Cyanoaurate (I) อยู่ 0.52 % ปริมาณ Carbon ( C ) และ Nitrogen ( N ) ที่วิเคราะห์โดย Elemental Analyzer เป็น ดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ดังนี้



Filename C:\AEAW\DATA\CHNS\990512\TEST13.DAT  
Sample name :gold salt    Analysed :3/1/00 01:59

ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณของ Carbon และ Nitrogen ที่วิเคราะห์ด้วย Elemental Analyzer

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของ Carbon (C) และ Nitrogen (N) ที่วิเคราะห์ด้วย

Elemental Analyzer

Test Item	Test Method	Unit	Result
Carbon(C)	Modified ASTMD 5291	Mass %	8.5
Nitrogen(N)	Modified ASTMD 5291	Mass %	9.2

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณของทองคำ (Au), Potassium (K), Carbon (C), Nitrogen (N) ในสารประกอบตัวอย่างและ Potassium Cyanoaurate (I) แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของธาตุทองคำ (Au), Potassium (K), Carbon (C)

Nitrogen (N) ในสารประกอบตัวอย่างและ Potassium Cyanoaurate (I)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	ปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง (%) และสัดส่วนโดยโมลอะตอม		ปริมาณของธาตุใน $K[Au(CN)_2]$ (%) และสัดส่วนโดยโมลอะตอม	
	K	13.5	1	13.57
Au	64.1	1	68.37	1
C	8.5	2	8.34	2
N	9.2	2	9.72	2

ปริมาณ Au ใน Potassium Cyanoaurate(I) :  $K[Au(CN)_2]$  คิดเป็น ร้อยละ

$$= 68.37$$

ปริมาณ Au ใน สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ ร้อยละ

$$= 64.1$$

ร้อยละความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้คิดเป็น

$$= 93.75$$

นั่นคือสามารถสังเคราะห์สารตัวอย่างที่มีสัดส่วนโดยโมลอะตอมของ K : Au : C : N = 1 : 1 : 2 : 2 ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยโมลอะตอมเดียวกันกับ  $K[Au(CN)_2]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การวิเคราะห์หารายละเอียดผลึกของสารตัวอย่าง และ Potassium Cyanoaurate (I)

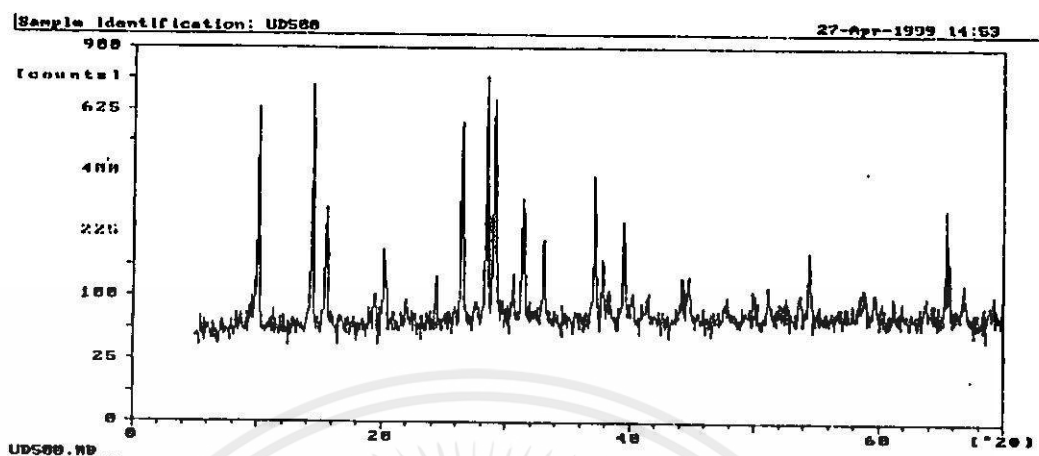
เมื่อนำสารตัวอย่าง (UD.500) มาวิเคราะห์หารายละเอียดของผลึก (pattern) เปรียบเทียบกับ Potassium Cyanoaurate (I) (UD.501) ด้วย X-ray Diffractometer พบข้อมูลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ที่สำคัญของสารตัวอย่าง (UD.500)

Diffraction Angle(°)	D-value(1)	D-value(2)	Peak intensity
10.090	8.7596	8.7811	543
14.415	6.1379	6.1548	650
15.580	5.6831	5.6971	193
20.210	4.3904	4.4012	100
26.445	3.3677	3.3760	497
28.460	3.1337	3.1414	740
29.070	3.0693	3.0768	610
33.070	.7066	2.7133	154
37.170	2.4169	2.4229	237

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าที่ Diffraction Angle ที่ 10.090, 14.415, 26.445, 28.460, 29.070 องศา มีค่า D-value ประมาณ 8.77, 6.14, 3.37, 3.14, 3.07 มี Peak intensity เป็น 543, 650, 497, 740, 610 ตามลำดับ ซึ่งมี Diffraction pattern ภาพที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (UD.500) ด้วย X-ray diffractometer กระทำที่ 40 KV 30 mA โดยใช้ Cu Tube Ni filter มุม 2θ เริ่ม 5° - 70°

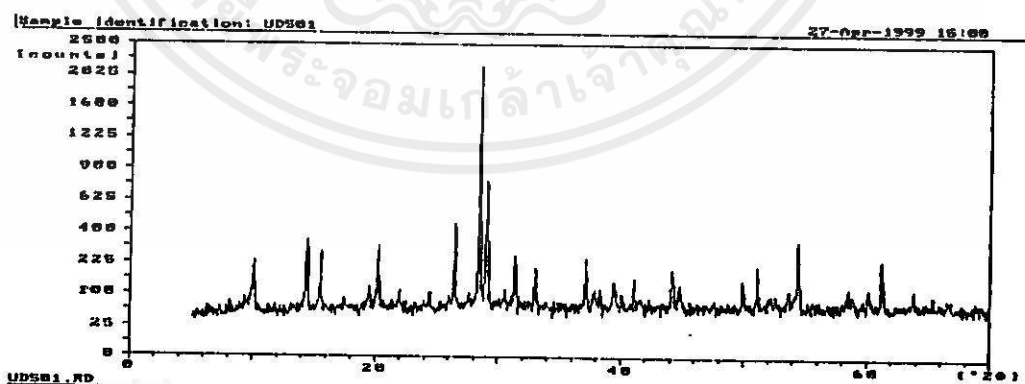
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของ diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ที่สำคัญของ Potassium Cyanoaurate(I) (UD. 501) ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ที่สำคัญของ Potassium Cyanoaurate (I) ( UD.501 )

Diffraction Angle(°)	D-value(1)	D-value(2)	Peak intensity
10.075	8.7726	8.7942	177
14.400	6.1460	6.1611	286
15.540	5.6976	5.6116	204
20.235	4.3850	4.3958	259
26.445	3.3677	3.3760	408
28.450	3.1347	3.1424	1980
29.050	3.0713	3.0789	740
33.030	2.7098	2.7164	144
37.155	2.4179	2.4238	166

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ Diffraction Angle 10.075, 14.400, 26.445, 28.450, 29.050 องศา D-value ประมาณ 8.77, 6.15, 3.37, 3.14, 3.07 มี Peak intensity เป็น 177, 286, 408, 1980, 740 ตามลำดับซึ่งมี Diffraction Pattern ดังรูป 4.3



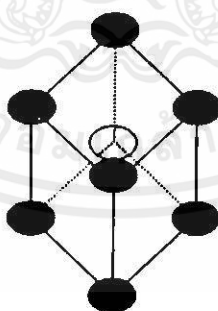
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ภาพที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์  $K[Au(CN)_2]$  (UD.501) ด้วย X-ray Diffractometer กระทำ  
 ที่ 40 KV 30 mA โดยใช้ Cu Tube Ni filter มุม  $2\theta$  เริ่ม  $5^\circ - 70^\circ$

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อนำมาเปรียบเทียบ Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ได้ผลตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบ Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity ของ สารตัวอย่าง (UD.500) กับ Potassium Cyanoaurate (I) (UD.501)

Diffraction Angle(°)		D-value(1)		D-value(2)		Peak intensity	
UD.500	UD.501	UD.500	UD.501	UD.500	UD.501	UD.500	UD.501
10.090	10.075	8.7596	8.7726	8.7811	8.7942	543	177
14.415	14.400	6.1379	6.1460	6.1548	6.1611	650	286
15.580	15.540	5.6831	5.6976	5.6971	5.6116	193	204
20.210	20.235	4.3904	4.3850	4.4012	4.3958	100	259
26.445	26.445	3.3677	3.3677	3.3760	3.3760	497	408
28.460	28.450	3.1337	3.1347	3.1414	3.1424	740	1980
29.070	29.050	3.0693	3.0713	3.0768	3.0789	610	740
33.070	33.030	2.7066	2.7098	2.7133	2.7164	154	144
37.170	37.155	2.4169	2.4179	2.4229	2.4238	237	166

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่าสารทั้งสองมี Peak intensity ที่ Diffraction Angle และ D-value ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นลักษณะของรูปผลึกแบบ Trigonal



ภาพที่ 4.4 ระบบผลึกแบบ Trigonal (Rhombohedral)

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า วิธี Cyanidation เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ผลิต Potassium Cyanoaurate (I) ได้ผลดีเกิน 62.48 % ความบริสุทธิ์คิดเป็น 93.75 % ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน คือ สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) สามารถสังเคราะห์ได้โดยวิธี Cyanidation

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษากระบวนการการสังเคราะห์ และปฏิบัติการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation อย่างมีขั้นตอนคือ การทำทองคำให้บริสุทธิ์ ทำการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation และการตรวจสอบสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับ Potassium Cyanoaurate (I) ทั้งนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สัดส่วนของ K : Au : C : N ในสารตัวอย่างเป็น 1 : 1 : 2 : 2 โดยโมลอะตอม ซึ่งเท่ากับสัดส่วนโดยโมลอะตอมของ K : Au : C : N ใน Potassium Cyanoaurate (I)

5.1.2 โครงสร้างของผลึกในสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับ Potassium Cyanoaurate (I) พบว่าค่า Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity มีแนวโน้มของ Diffraction Pattern ไปในทิศทางเดียวกันกับระบบผลึกแบบ Trigonal เพียงแต่ Peak intensity ของสารตัวอย่างมีความเข้มข้นน้อยกว่า Peak intensity ของ Potassium Cyanoaurate (I) จึงถือได้ว่าสารทั้งสองควรมีรูปแบบผลึกแบบเดียวกันคือ Trigonal

5.1.3 เมื่อพิจารณาปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและใน Potassium Cyanoaurate (I) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกันมากและยังมีรูปแบบผลึกแบบเดียวกันคือ Trigonal ดังนั้น สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Cyanidation กับ Potassium Cyanoaurate (I) ควรจะเป็นสารชนิดเดียวกัน

5.1.4 วิธี Cyanidation สามารถสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ได้ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 62.48 มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 93.75

### 5.2 อภิปรายผล

5.2.1 สาเหตุที่ปริมาณของ K, Au, C และ N ในสารตัวอย่างมีน้อยกว่า ปริมาณ K, Au, C และ N ใน Potassium Cyanoaurate (I) อาจเป็นเพราะว่าสารตัวอย่างมีปริมาณ

ของ KCN ปนอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนที่เพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ผลึกที่มี KCN จำนวนมากนั้น ไม่สามารถแยก KCN ออกได้หมด เนื่องจาก KCN ละลายในน้ำกลั่นได้ดี

5.2.2 รายละเอียดของผลึกในสารตัวอย่างกับ Potassium Cyanoaurate (I) มีค่า Diffraction Angle, D-value และ Peak intensity คล้ายกันมากมีข้อแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะการบด (mash) สารตัวอย่างและ Potassium Cyanoaurate (I) ให้เป็นผงอาจมีความละเอียดต่างกัน ประกอบกับสารตัวอย่างมีสิ่งเจือปนอยู่บ้าง จึงมีผลทำให้มี Diffraction Pattern ต่างกัน และ Peak intensity ของสารตัวอย่างยังมีความเข้มข้นน้อยกว่า Peak intensity ของ Potassium Cyanoaurate (I) ก็น่าจะเกิดจากสารตัวอย่างนั้นมี KCN ปนอยู่ทำให้มี Potassium Cyanoaurate (I) ไม่ถึง 100 % ความเข้มของ Peak intensity ของสารตัวอย่างจึงน้อยลง

5.2.3 องค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและ Potassium Cyanoaurate (I) มีลักษณะใกล้เคียงกัน และยังมี Diffraction Pattern รูปผลึกแบบ Trigonal ดังนั้นสารทั้งสองควรจะเป็นสารชนิดเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ International Centre for Diffraction Data ใน Powder Diffraction File ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า D-value ของ Potassium Cyanoaurate (I) จาก International Centre for Diffraction Data กับ สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

D-value ของ Potassium Cyanoaurate (I) จาก International Centre for Diffraction Data	D-value ของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้
8.79	8.78
6.15	6.15
5.71	5.68
4.39	4.39
3.37	3.36
3.14	3.13
3.08	3.06
2.92	2.84
2.85	2.71

5.2.4 ในการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation ได้ผลิตภัณฑ์เพียง 62.48 % ซึ่งเป็นไปได้ว่า Potassium Cyanoaurate (I) ตกผลึกออกมาไม่หมด ทั้งนี้เพราะ Potassium Cyanoaurate (I) ละลายในน้ำได้ดีมาก จึงมี Potassium Cyanoaurate (I)

อยู่ในรูปของสารละลาย และการที่ Potassium Cyanaurate (I) มีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 93.75 % เป็นไปได้อย่างยิ่งว่า การตกผลึก Potassium Cyanaurate (I) มี KCN ตกผลึกปนออกมาด้วย สังเกตได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย Elemental Analyzer และ Atomic Absorption Spectrophotometer มีปริมาณธาตุ K, Au, C และ N ในสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ มีมากกว่า ปริมาณธาตุ K, Au, C และ N ใน Potassium Cyanaurate (I) อยู่เล็กน้อย

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

### 5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลวิจัยไปใช้

5.3.1.1 ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำกระบวนการ Cyanidation สังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I) ได้ จากรายงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงปริมาณ Potassium Cyanaurate (I) ที่สังเคราะห์ได้เป็น 62.48 % มีความบริสุทธิ์ถึง 93.75 % ราคาต้นทุนที่ใช้ในการผลิตโดยไม่รวมอุปกรณ์ที่ใช้คิดเป็นกรัมละประมาณ 200 บาท เมื่อราคาทองคำแท่งเป็น 354 บาทต่อน้ำหนักทองคำ 1 กรัม ซึ่งถ้าเปรียบเทียบราคาของ Potassium Cyanaurate (I) ที่นำเข้าจากต่างประเทศประมาณกรัมละ 450 บาท เมื่ออัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศเป็น 38 บาท ต่อ 1 เหรียญสหรัฐ จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการสังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I) ไม่สูงจนเกินนักเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของ Potassium Cyanaurate (I) ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมรายใหญ่ รายย่อย หรือผู้ที่สนใจที่จะทำการสังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I) ในเชิงเศรษฐศาสตร์, กิจกรรม การชูปทอง หรือกิจกรรมอื่นที่สนใจ

#### 5.3.1.2 วิธี Cyanidation ที่ใช้สังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I)

ควรกระทำในตู้ดูดควัน และแต่งกายให้มิดชิดเรียบร้อย เพราะกระบวนการ Cyanidation มีการใช้ สารละลาย KCN ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรงเมื่อรับเข้าไปในร่างกาย ดังนั้นสถานศึกษาที่สนใจสังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I) หรือใช้สารละลาย Potassium Cyanaurate (I) ชูปทองโดยนักเรียนหรือผู้ที่เริ่มต้นใหม่ที่มีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้น้อย ต้องมีครู อาจารย์หรือ ผู้ชำนาญการ ดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความรู้ในการปฏิบัติการที่ถูกต้องได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารละลาย Potassium Cyanide (KCN) ซึ่งมี Cyanide ion (CN<sup>-</sup>) ต้องกระทำสารละลายให้อยู่ ในสภาวะที่เป็นเบส หรือให้มี pH สูงกว่า 7 เพื่อป้องกันไม่ให้ CN<sup>-</sup> ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) เกิดเป็น Hydrogencyanide (HCN ซึ่งเป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ระเหยออกมา และเป็นพิษ เช่นเดียวกับกับ CN<sup>-</sup> เมื่อหายใจเข้าไปในร่างกาย

5.3.1.3 การสังเคราะห์ Potassium Cyanaurate (I) ให้ได้ผลดี ต้องกระทำให้ ทองคำเป็นผงละเอียดให้มากที่สุด มิฉะนั้นแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย KCN ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation

5.3.2.2 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้  $O_{2(g)}$  ในอากาศเพื่อสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ด้วยวิธี Cyanidation

5.8.2.3 ศึกษาตัวทำละลายและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กมล เพ็ญฟู. 2534. "การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการทำโครงการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโครงการวิทยาศาสตร์โดยชุดกิจกรรมฝึกทำโครงการวิทยาศาสตร์ที่เรียน โดยครูเป็นผู้สอนโครงการวิทยาศาสตร์." วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

ประภาพรพรณ สุวรรณรัตน์. 2533. " การเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างโครงการวิทยาศาสตร์และบุคลิกภาพของนักวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้ ชุดกิจกรรมโครงการวิทยาศาสตร์ โดยครูเป็นผู้สอนโครงการวิทยาศาสตร์." วิทยานิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2531. ชูบทอง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.

วัชระ นิลสกุล และคณะ. 2535. การวิเคราะห์สารเติมแต่งในกระบวนการชุบโลหะ. ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สนธารา เจียมอุดมสิน และ พันชลิดา ธีระพงษ์. 2531. การสกัดทองจากด้ายขัดทอง. ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุชาติ ไหวว่องกิจการ และ สุดารัตน์ จำปา. 2535. การสกัดโลหะทองคำจากด้ายขัดทอง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อนันต์ ทองมอญ. 2533. ชูบโครเมียม-ชูบทอง. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.

Cannon, S. M. 1965. "Gold." Comprehensive Inorganic Chemistry. Vol. 2. 3th Ed. Inc. London : Van Nostrand Company.

Clennell, J.R. 1910. The Cyanideation Handbook. New York : McGraw - Hill.

Chemnitius, F. , Jena. 1927. " Die Fabrikation der galvanischen elmetallsalze." Chemiker Zeitung. 1 (85) : 823.

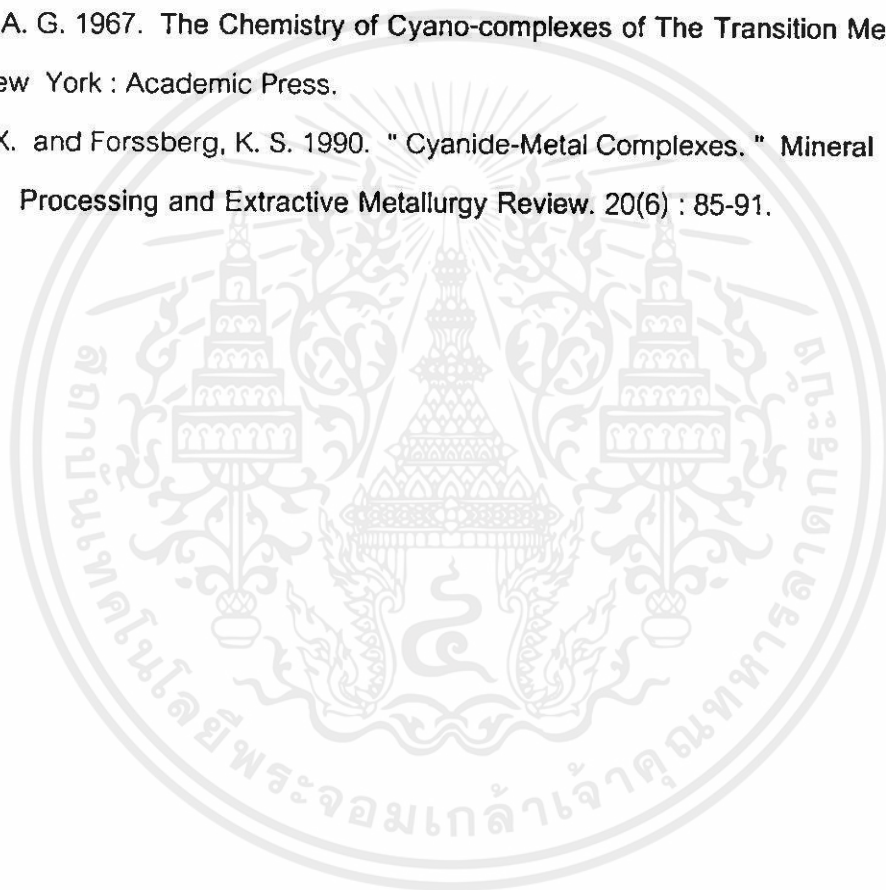
Dorr J. V. N. and Bosqui, F. L. 1950. Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. New York : McGraw – Hill.

Marden, J. and House, I. 1992. The Chemistry of Gold Extraction. London : Ellis Horwood.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Palmer, B. R. 1990. "High-Temperature Gold-Chlorination Technology." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 20 (6) : 133-138
- Partington, J.R. 1937. *A text-book of Inorganic Chemistry*. London : Ellis Horwood.
- Pateson, C. J. 1990. "Mineral Processing and Extractive." *Metallurgy Review*. 50(6) : 36-45.
- Rapson, W. S. and Groenewald, T. 1978. *Gold Usage*. New York : Academic Press.
- Reid, F. H. and Goldie, W. 1974. *Gold plating Technology*. Electrochemical Publication : Edinburgh.
- Snape, A. G. 1967. *The Chemistry of Cyano-complexes of The Transition Metals*. New York : Academic Press.
- Wang, X. and Forssberg, K. S. 1990. "Cyanide-Metal Complexes." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 20(6) : 85-91.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายชื่อหน่วยงานทางราชการ และ รัฐวิสาหกิจ ที่ให้บริการ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพลังงาน
3. ศูนย์เคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพลังงาน
4. สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ รว 0504/ 6885

ถึง นายวันชัย มาสุขตระกูล

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง  
ลงวันที่ 7 พฤษภาคม 2542 เลขรับ 2035 วันที่ 7 พฤษภาคม 2542

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2542

กอง เกมี  
โทร. 2461387-95 ต่อ 399 , 400

24



## รายงานการตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ (REPORT OF SURVEY)

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข  
คทา ฯลฯ  
ตามที่ผู้ส่งเรียก ที่ระบุตัวอย่าง ปฏิบัติการ

สารสังเคราะห์เกลือทอง	UD.936	ทองคำ (Au) , %	64.1
		โพแทสเซียม (K) , %	13.5

หมายเหตุ ตัวอย่างวิเคราะห์โดย Atomic Absorption Spectrophotometer

  
(นางสาวปิระนารอด แจ่มทอง)  
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ได้เก็บตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์มาพร้อมรายงานนี้แล้ว

รายงานนี้ :

- รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

8/2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ วว 0508/ 5369

ถึง นายวันชัย มาสุทระกุล

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 21 เมษายน 2542 เลขรับ 1822 วันที่ 21 เมษายน 2542

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2542

กอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก  
โทร. 2458008

## รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข

ตรา ลดา

คำที่ผู้ส่งเรียก ที่ระบุตัวอย่าง ปฏิบัติการ

สารสังเคราะห์เกลือทอง - UD.500-501 ไล่วิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ X-ray diffractometer กระทั่งที่  
40 kV 30 mA โดยใช้ Cu tube Ni filter ฟิล์ม 20.  
เริ่ม 5°-70°

(วงเงิน) ศ. พงษ์วิภากร

(นางวรรณา ท.แสงจันทร์)

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

หมายเหตุ ให้นำ X-ray pattern และค่า d-value จำนวน 2 ชุด มาด้วย

- รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น  
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

5/2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD500.D1

27-Apr-1999 14:52

Ceramic R&amp;D Center

PC-APD, Diffraction software

Sample identification: UD500

Data measured at: 27-Apr-1999 14:02:00

Diffractometer type: PW1710 BASED

Tube anode: Cu

Generator tension [kV]: 40

Generator current [mA]: 30

Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060

Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439

Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500

Divergence slit: 1x

Receiving slit: 0.2

Monochromator used: NO

Start angle [x2θ]: 5.025

End angle [x2θ]: 69.975

Step size [x2θ]: 0.050

Maximum intensity: 739.8400

Time per step [s]: 1.000

Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00

Maximum peak tip width: 1.00

Peak base width: 2.00

Minimum significance: 0.75

Number of peaks: 30

Angle [x2θ]	d-value 1 [Å]	d-value 2 [Å]	Peak width [x2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
10.090	8.7596	8.7811	0.200	543	58	73.4	5.53
14.415	6.1397	6.1548	0.150	650	56	87.9	3.50
15.580	5.6831	5.6971	0.200	193	56	26.1	3.87
19.440	4.5625	4.5737	0.150	49	55	6.6	1.77
20.210	4.3904	4.4012	0.200	100	56	13.5	1.31
22.000	4.0370	4.0470	0.300	32	56	4.4	0.82
24.370	3.6495	3.6585	0.100	79	58	10.7	4.30
26.445	3.3677	3.3760	0.200	497	59	67.2	5.79
27.610	3.2282	3.2361	0.200	26	59	3.5	0.87
28.460	3.1337	3.1414	0.150	740	59	100.0	3.46
29.070	3.0693	3.0768	0.200	610	59	82.5	4.57
30.625	2.9169	2.9241	0.200	79	61	10.7	0.93
31.425	2.8444	2.8514	0.200	231	61	31.2	3.54
33.070	2.7066	2.7133	0.150	154	62	20.8	1.07
37.170	2.4169	2.4229	0.150	237	66	32.1	1.63
37.805	2.3778	2.3836	0.200	88	66	11.9	1.92
39.510	2.2790	2.2846	0.150	142	66	19.1	1.46
40.170	2.2431	2.2486	0.300	28	64	3.8	0.77
41.275	2.1855	2.1909	0.600	15	64	2.1	1.01
44.255	2.0450	2.0501	0.250	62	62	8.4	1.50
44.765	2.0229	2.0279	0.200	74	62	10.0	0.99
47.735	1.9037	1.9084	0.500	18	64	2.4	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD500.D1

27-Apr-1999 14:52

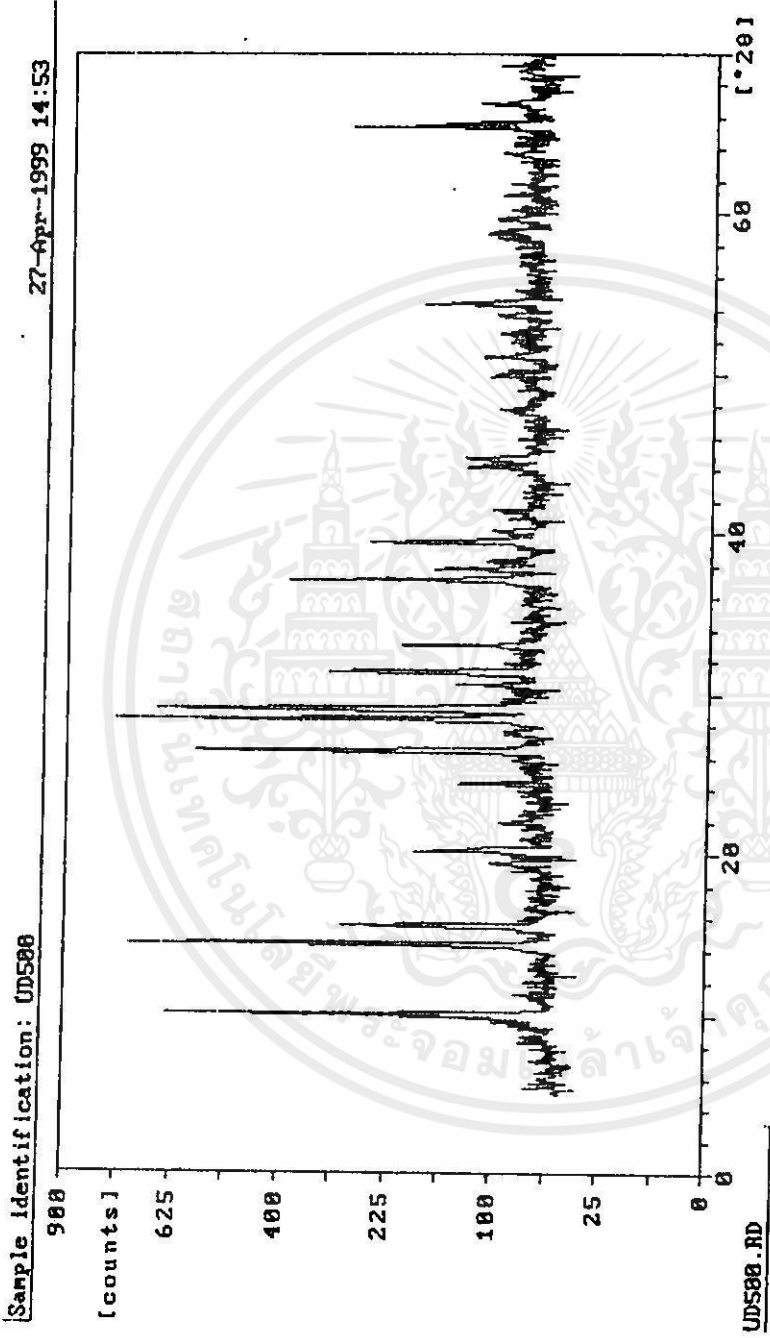
Ceramic R&amp;D Center

PC-APD, Diffraction software

Angle [x2θ]	d-value 1 [Å]	d-value 2 [Å]	Peak width [x2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
49.970	1.8237	1.8282	0.200	40	64	5.4	1.11
51.090	1.7863	1.7907	0.150	56	64	7.6	1.31
53.695	1.7056	1.7098	0.300	30	67	4.1	1.64
54.430	1.6843	1.6885	0.200	117	67	15.8	1.49
58.890	1.5670	1.5708	0.300	35	67	4.7	1.06
59.705	1.5475	1.5513	0.300	27	67	3.7	1.35
65.440	1.4251	1.4286	0.150	149	67	20.1	0.97
66.830	1.3988	1.4022	0.300	34	66	4.5	1.40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD501.DI

27-Apr-1999 14:55

Ceramic R&amp;D Center

PC-APD, Diffraction software

Sample identification: UD501

Data measured at: 27-Apr-1999 13:09:00

Diffractometer type: PW1710 BASED

Tube anode: Cu

Generator tension [kV]: 40

Generator current [mA]: 30

Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060

Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439

Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500

Divergence slit: 1x

Receiving slit: 0.2

Monochromator used: NO

Start angle [x2θ]: 5.025

End angle [x2θ]: 69.975

Step size [x2θ]: 0.050

Maximum intensity: 1980.250

Time per step [s]: 1.000

Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00

Maximum peak tip width: 1.00

Peak base width: 2.00

Minimum significance: 0.75

Number of peaks: 30

Angle [x2θ]	d-value 1 [Å]	d-value 2 [Å]	Peak width [x2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
10.075	8.7726	8.7942	0.100	177	52	8.9	14.44
14.400	6.1460	6.1611	0.150	286	56	14.4	2.35
15.540	5.6976	5.7116	0.150	204	56	10.3	1.78
19.480	4.5532	4.5644	0.150	53	56	2.7	1.23
20.235	4.3850	4.3950	0.100	259	56	13.1	15.84
21.960	4.0443	4.0542	0.150	56	56	2.8	1.08
24.400	3.6451	3.6541	0.150	52	58	2.6	1.53
26.445	3.3677	3.3760	0.150	408	59	20.6	2.76
28.450	3.1347	3.1424	0.150	1980	59	100.0	6.89
29.050	3.0713	3.0789	0.150	740	59	37.4	3.78
30.530	2.9257	2.9329	0.150	42	61	2.1	1.16
31.415	2.8453	2.8523	0.150	210	61	10.6	1.52
33.030	2.7098	2.7164	0.150	144	61	7.3	1.09
37.155	2.4179	2.4238	0.150	166	61	8.4	1.73
37.825	2.3766	2.3824	0.250	55	61	2.8	1.27
38.305	2.3479	2.3537	0.150	52	61	2.6	1.16
39.475	2.2809	2.2866	0.150	76	62	3.8	2.84
41.110	2.1939	2.1993	0.150	50	62	2.5	0.91
41.540	2.1722	2.1775	0.300	25	62	1.3	0.97
44.205	2.0472	2.0523	0.150	98	62	4.9	1.26
44.775	2.0225	2.0275	0.200	76	64	3.8	1.13
49.935	1.8249	1.8294	0.150	77	66	3.9	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD501.D1

27-Apr-1999 14:55

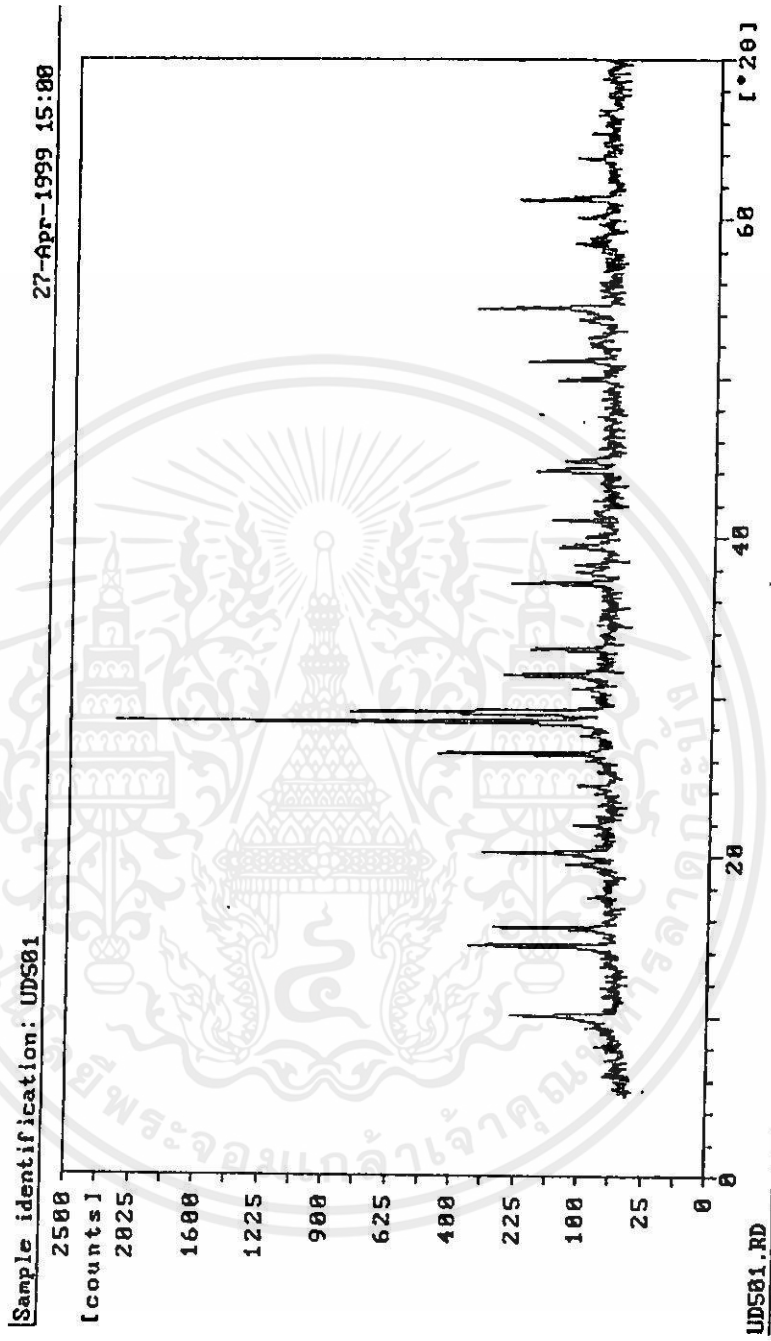
Ceramic R&amp;D Center

PC-APD, - Diffraction software

Angle [x2 $\theta$ ]	d-value 1 [Å]	d-value 2 [Å]	Peak width [x2 $\theta$ ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
51.115	1.7855	1.7899	0.150	85	66	4.3	0.75
52.390	1.7480	1.7493	0.600	15	64	0.8	1.06
53.630	1.7076	1.7118	0.200	30	64	1.5	0.93
54.465	1.6833	1.6875	0.150	171	64	6.1	1.00
58.615	1.5737	1.5775	0.600	20	64	1.4	0.76
60.155	1.5370	1.5408	0.150	54	64	3.2	2.04
61.195	1.5133	1.5171	0.150	188	64	9.3	7.42
63.805	1.4576	1.4612	0.300	37	67	1.9	1.42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PTT RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE  
PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

Analytical and Petrochemical Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayuthaya, 13170 Thailand. Tel. 537-3000 Ext. 3118, 3116 Fax. 537-3000 Ext. 3117

CERTIFICATE OF ANALYSIS

CERT NO. : 21/1/2542 [Page :1/1]  
 SAMPLE NAME : เบนซิน 100% SAMPLING DATE :  
 SAMPLE ID. : ML\_015/42 RECEIVED DATE : 22/4/42  
 SAMPLE CONDITION : Good ANALYSIS DATE : 12/5/42  
 SAMPLE FROM : 030032313

TEST ITEM	TEST METHOD	UNIT	RESULT
Carbon (C)	Modified ASTM D 5291	Mass %	8.5
Nitrogen (N)	Modified ASTM D 5291	Mass %	9.2

REMARK :

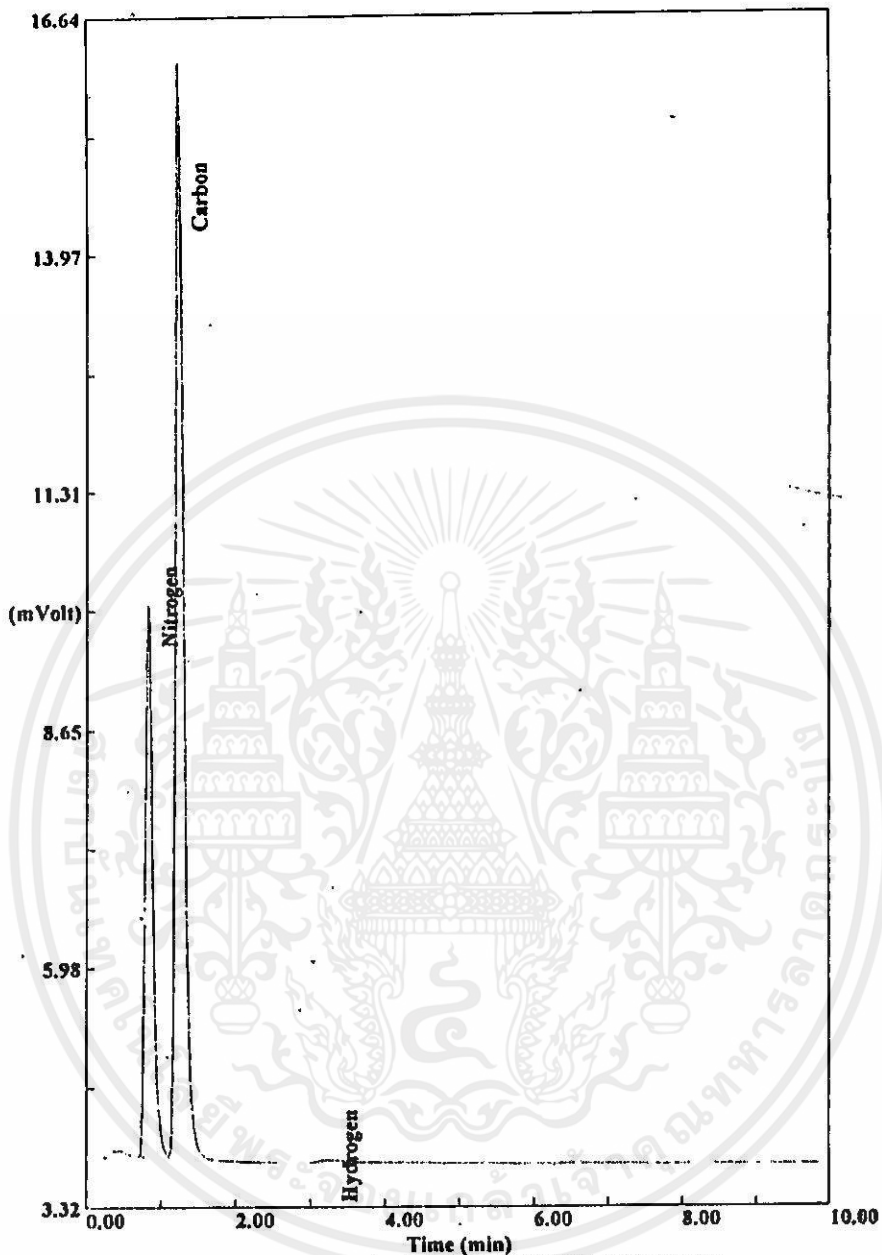
APPROVED BY : *C. Tanhida*  
(Division Manager)

DATE OF ISSUE : 13/05/99.

THIS CERTIFICATE OF ANALYSIS IS REFERRED TO ONLY SUBMITTED SAMPLE(S). IT IS YOUR RESPONSIBLE TO USE HERE IN RESULTS IN ANY MANNER. EXCEPT IN FULL, THIS CERTIFICATE SHALL NOT BE REPRODUCED WITHOUT THE WRITTEN APPROVAL OF THE DIVISION MANAGER.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eager 200 Strip-Chart



Filename C:\EAW\DATA\CHNS\990512\TEST13.DAT  
Sample name :gold salt    Analyzed :3/1/00 01:59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

File No. 21-1122, 21-1122A

21-1122

d	8.79	5.14	4.39	8.79	$\text{AuK}(\alpha)_2$	★					
$l^2/h^2$	100	65	55	100	Gold Potassium Cyanide						
Rad. $\text{CuK}\alpha_1$ 1.5405 Filter Mono. Dia. 111 Diffractometer					d Å	$l^2/h^2$	hkl	d Å	$l^2/h^2$	hkl	
Ref. National Bureau of Standards, Mono. 25, Sec. 8 (1970)					8.79	100	003	2.248	4	214	
Sys. Trigonal SG. $R\bar{3}$ (148)					6.15	40	101	2.242	8	0111	
a <sub>0</sub> 7.1026 b <sub>0</sub> 26.357 c <sub>0</sub> 4 A t					5.71	25	012	2.196	10	0012	
Ref. Ibid.					4.57	18	104	2.177	6	125	
α 3.537					4.39	55	006	2.050	8	303	
β 3.06					4.05	14	015	2.025	10	0210	
γ 3.37					3.06	6	110	2.018	8	217	
δ 3.24					3.37	45	113	1.954	4	120	
ε 3.14					3.24	6	107	1.910	8	2011	
ζ 3.08					3.14	65	021	1.881	2	1112	
η 2.928					3.08	55	207	1.825	8	220	
θ 2.920					2.928	20	009	1.804	2	0114	
i 2.850					2.920	10	018	1.788	8	223	
j 2.710					2.850	30	024	1.771	4	2110	
k 2.453					2.710	20	205	1.757	4	0012	
l 2.422					2.453	10	1010	1.750	4	133	
m 2.380					2.422	20	027	1.738	2	312	
n 2.351					2.380	6	211	1.711	4	309	
o 2.282					2.351	6	122	1.706	4	0213	
p 2.282					2.282	30	119, 208	1.694	4	134	

FORM 7-1

© Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

22

21-1122A

d	8.79	5.14	4.39	8.79	$\text{AuK}(\alpha)_2$	★					
$l^2/h^2$	100	65	55	100	Gold Potassium Cyanide						
Rad. $\text{CuK}\alpha_1$ 1.5405 Filter Mono. Dia. 111 Diffractometer					d Å	$l^2/h^2$	hkl	d Å	$l^2/h^2$	hkl	
Ref. National Bureau of Standards, Mono. 25, Sec. 8 (1970)					1.6910	6	1211	1.5197	2	0411	
Sys. Trigonal SG. $R\bar{3}$ (148)					1.6557	14	226				
a <sub>0</sub> 7.1026 b <sub>0</sub> 26.357 c <sub>0</sub> 4 A t					1.6443	2	315				
Ref. Ibid.					1.6177	8	2014				
α 3.537					1.5903	2	117				
β 3.06					1.5786	4	401				
γ 3.37					1.5698	4	042				
δ 3.24					1.5495	4	229				
ε 3.14					1.5375	4	404				
ζ 3.08					1.5143	2	045				
η 2.928					1.5059	2	0117				
θ 2.920					1.4646	1	0015				
i 2.850					1.4611	6	0215, 1110				
j 2.710					1.4577	4	407				
k 2.453					1.4258	2	048				
l 2.422					1.4160	2	3112				
m 2.380					1.4039	6	2212				
n 2.351					1.3798	2	410				
o 2.282					1.3634	2	413				
p 2.282					1.3553	4	3010, 309				

FORM 7-1

© Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายวันชัย มาชุตระกุล เกิดเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2502 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิชาเอกวิทยาศาสตร์ จากวิทยาลัยครูเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี เมื่อปีการศึกษา 2522 สำเร็จการศึกษา การศึกษามัธยมศึกษา วิชาเอกเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางเขน ในปีการศึกษา 2526

ปี พ.ศ. 2523 เข้ารับราชการในตำแหน่ง เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ 2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ปี พ.ศ. 2525 โอนเข้ามารับราชการในตำแหน่งครู 2 ระดับ 2 โรงเรียนพรตพิทยพยัต กระทรวงศึกษาธิการ กรุงเทพฯ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนพรตพิทยพยัต กระทรวงศึกษาธิการ กรุงเทพฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้