

การสังเคราะห์สารเชิงซ้อนอินทรีย์ ไซยาโนอูเรต (I)



ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

OD

2549

181

K1

เลขหมู่

เลขทะเบียน 54561

วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นการขออนุญาตเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข

b. 611306643
.i.....

SYNTHESIS OF POTASSIUM CYANOAUATE (I) COMPLEX



Assoc.Prof.Dr.Sakda TRISAK

Chemistry Department

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 โดยโมเลกุลมีสูตรอย่างง่ายเป็น $KAuC_2N_2$ มี diffraction pattern เดียวกันกับ Potassium Cyanoaurate (I) ซึ่งมีรูปผลึกเป็น Trigonal ผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็น 62.48 % และความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างคิดเป็น 93.75 %

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 Cyanaurate (I) โดยวิธี Cyanidation.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 ศึกษาเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	14
3.2 ออกแบบการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์สารเคมี.....	14
3.3 การทดลองสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanaurate (I).....	16
3.3.1 การแยกสิ่งเจือปนออกจากทองคำ.....	16
3.3.2 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดย วิธี Cupellation.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 การวิเคราะห์หารายละเอียดผลึก 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

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

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au ⁺	12
2.2 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au ⁺³	12
2.3 โครงสร้างโมเลกุลสารเชิงซ้อนของ Au ⁺³ ที่เป็น dimer.....	12
3.1 แผนภาพแสดงการทำทองคำตัวอย่างให้บริสุทธิ์.....	17
3.2 แผนภาพการเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดย วิธี Cupellation.....	18
3.3 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์ K[Au(CN) ₂] 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) ₂] (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

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 หาเปอร์เซ็นต์ผลติดกันของสารเชิงซ้อน 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 สุนธารา เจียมอุดมสิน และ พันชลิดา ธีระพงษ์ กล่าวคือนำทองคำตัวอย่างมาละลายใน Aqua

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. Pateson, สุชาวดี ไวว่องกิจการ และสุดารัตน์ 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 Potassiumcyanide แล้วตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I) ออกมาให้มากที่สุด

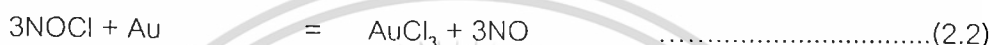
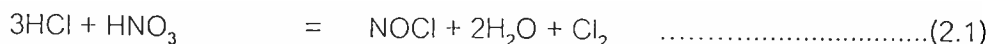
2. ปริมาณของสารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) คือปริมาณของ Potassium Cyanoaurate (I) ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Cyanidation
3. Elemental Analyzer คือ เครื่องมือวิเคราะห์หาชนิดของธาตุในสารประกอบ โดยอาศัยการตรวจจับไอออนของธาตุเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงาน
4. Atomic Absorption Spectrophotometer คือเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่สนใจ โดยอาศัยสมบัติการ ดูดกลืนแสง ของอนุภาคของโลหะนั้น
5. X-ray Diffractometer เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึก ศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนของ X-ray (X-ray Diffraction) เมื่อ X-ray ส่องผ่านผลึกของของแข็ง



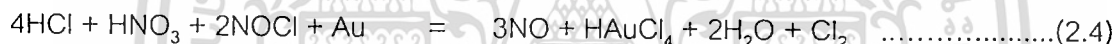
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. HNO₃) ในอัตราส่วน 3 : 1 (สนธรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิตา ธีระพงษ์. 2531 : 14 - 22) ซึ่งแสดงให้เห็นดังสมการต่อไปนี้



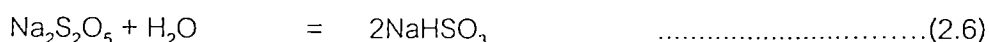
รวมสมการ 2.1 - 2.3



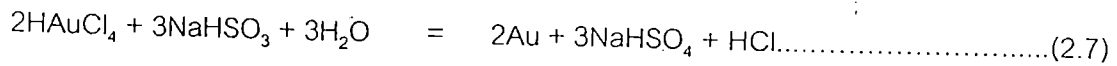
ก๊าซ Nitrogen Monoxide (NO) ที่เกิดขึ้นมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก ดังนั้น NO จะรวมตัวกับก๊าซ Oxygen (O₂) เกิดเป็นก๊าซสีน้ำตาลคือ Nitrogen dioxide (NO₂) ดังสมการ



ในกรณีที่โลหะทองคำตัวอย่าง มีโลหะ เงิน (Ag) ปนอยู่ กระบวนการดังกล่าวก็จะสามารถทำการแยกโลหะเงิน (Ag) ออกมาได้ โดยที่โลหะเงินจะเกิดเป็นสารประกอบกับคลอไรด์ตกตะกอนเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl_(s)) (สนธรา เจียมอุดมสิน และ พันชลิตา ธีระพงษ์. 2531 : 14 - 22) จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา Reduce ด้วย Sodium Metabisulphite (Na₂S₂O₅) ซึ่ง Sodium Metabisulphite จะรวมกับน้ำเกิดปฏิกิริยาเป็น NaHSO₃ (Sodium Hydrogensulfite) ดังสมการ



NaHSO_3 (Sodium Hydrogensulfite) ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาต่อไปกับ Hydrogen tetrachloroaurate (III) ($\text{H}[\text{AuCl}_4]$) จะเกิดตะกอนของโลหะทองคำ ดังสมการ



สำหรับ สารละลาย NaHSO_3 ยังใช้กำจัด NOCl (กรดกัดทอง) ที่เหลือ ในสมการ 2.4 เนื่องจากทำปฏิกิริยาไม่หมดดังนี้



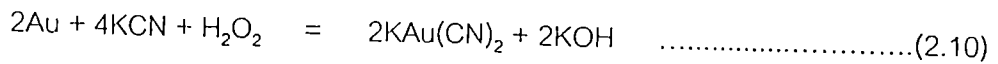
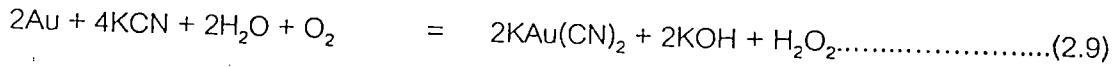
ตะกอนของโลหะทองคำจากสมการ 2.7 ดังกล่าวนั้น ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี Cupellation (John V.N. Dorr and Francis L. Bosqui. 1950 : 495) คือนำโลหะทองคำตัวอย่างมาหุ้มด้วยแผ่นตะกั่วบาง (Pb) แล้วนำไปใส่ใน Crucible ที่มีรูพรุน เรียกว่า Cupel แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1150°C ที่มีอากาศผ่านได้โลหะต่าง ๆ ยกเว้น เงินและทองคำจะรวมตัวกับตะกั่วที่หุ้มแล้วเกิดสารประกอบ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

2.2 Cyanidation

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 นอกจากนี้ที่เหมือง 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 ²
ในระดับพลังงานที่สอง	(n = 2)	2s ² , 2p ⁶
ในระดับพลังงานที่สาม	(n = 3)	3s ² , 3p ⁶ , 3d ¹⁰
ในระดับพลังงานที่สี่	(n = 4)	4s ² , 4p ⁶ , 4d ¹⁰ , 4f ¹⁴
ในระดับพลังงานที่ห้า	(n = 5)	5s ² , 5p ⁶ , 5d ¹⁰
ในระดับพลังงานสุดท้าย	(n = 6)	6s ¹

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

ในการศึกษาสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเป็นสารเชิงซ้อน หรือไอออนเชิงซ้อนของทองคำนั้น ปรากฏว่าทองคำสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพได้กับลิแกนด์ (Ligands) ที่เป็นไอออนได้หลายชนิดได้แก่ ไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) คลอไรด์ไอออน (Cl⁻) และ ไฮโอxyเรียไอออน (CS(NH₂)₂)⁺ ทองคำสามารถละลายในสารละลายของ Cyanide เกิดไอออน

เชิงซ้อน คือ $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ และ $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ เมื่อโลหะทองคำเข้าทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ (Hydrochloric acid) และก๊าซคลอรีน (Cl_2) ก็สามารถเกิดไอออนเชิงซ้อน เป็น $[\text{AuCl}_2]^-$ และ $[\text{AuCl}_4]^-$ (A.G. Shape. 1967 : 300)

จะเห็นได้ว่าไอออนของทองคำทั้งสองคือ Au^+ และ Au^{+3} สามารถเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนได้กับ Ligands ที่เป็นไอออนได้อยู่หลายชนิด แต่ความสามารถในการรวมตัวและเสถียรภาพของไอออนเชิงซ้อนนั้น จะแตกต่างกันดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 1.1 ไอออนเชิงซ้อนที่เสถียรที่เกิดจาก Au^+ ที่รวมตัวกับ Ligand มักเป็น Ligand ที่มี Electron pair ไม่แรงมากนัก ได้แก่ ไฮยาไนด์ไอออน (Cyanide ion), ไธโอไฮยาไนด์ไอออน (Thiocyanide ion), ไธโอซัลเฟตไอออน (Thiosulfate ion) และ ไธโอยูเรียไอออน (Thiourea ion) สำหรับไอออนเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพสูงที่เกิดจาก Au^{+3} (Gold (III) ion) รวมตัวกับ Ligands มักเป็น Ligands ที่มี Electron pair ที่ค่อนข้างแรง (hard electron donor ligand) ตัวอย่างเช่น คลอไรด์ไอออน (Chloride ion), บ्रोไมด์ไอออน (Bromide ion) และ ไอโอดีนไอออน (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), β_2	Au(III), β_3
CN^-	2×10^{38}	10^{56}
SCN^-	1.3×10^{17}	10^{42}
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	5×10^{28}	—
Cl^-	10^9	10^{26}
Br^-	10^{12}	10^{32}
I^-	4×10^{19}	5×10^{47}
$\text{CS}(\text{NH}_2)_2^+$	2×10^{23}	—

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

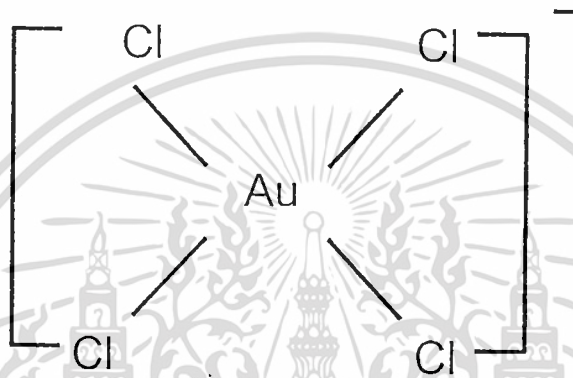
สำหรับ Co-ordination Number ของไอออนเชิงซ้อนของ Au^+ ที่เท่ากับ 2 จะมีรูปร่างเป็นเส้นตรง (Linear) ตัวอย่างเช่น $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ รูปร่างดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างไอออนเชิงซ้อนของ Au^+

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

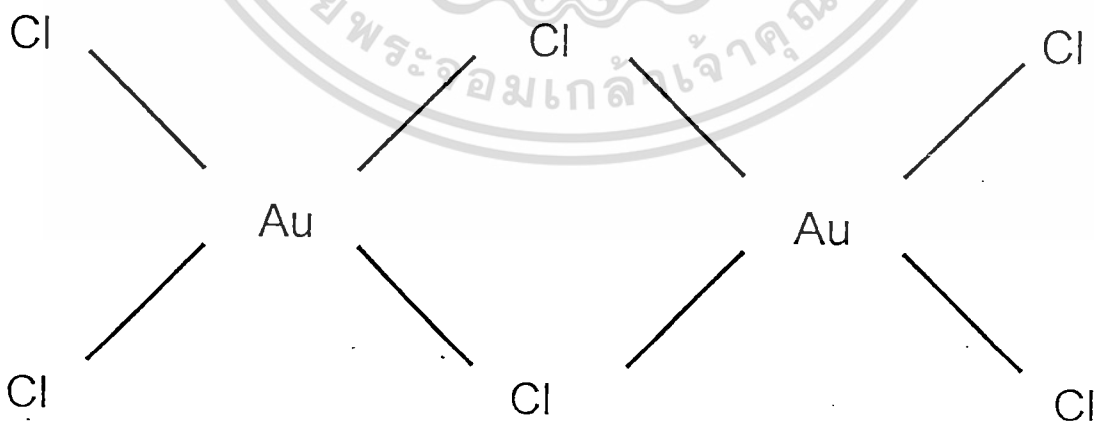
และ Co - ordination number ไอออนเชิงซ้อนของ Au^{+3} เป็น 4 มีรูปร่างเป็น 4 เหลี่ยมแบนราบ (Square Planar) เช่น AuCl_4^- ดังนี้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างไอออนเชิงซ้อนของ 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 Au^{+3} ที่เป็น dimer

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 เพื่อหารายละเอียดของผลึกและสัดส่วนของธาตุแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานคือ 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
ขวดก้านกลม ขนาด 500 ml	1 ใบ
Heating Mantle	1 ชุด
อุปกรณ์การกรองแบบลดความดัน	1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ₃ (AR. grade)	1.0 ลิตร
conc. NH ₃ (AR. grade)	1.0 ลิตร
H ₂ O ₂ (40 %)	1.0 ลิตร
Ethanol (AR. grade)	2.0 ลิตร
Acetone (AR. grade)	2.0 ลิตร
น้ำกลั่น	5.0 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.3 การทดลอง สังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I)

ในการสังเคราะห์เชิงซ้อนของ Potassium Cyanoaurate (I) มีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การแยกสิ่งเจือปนออกจากทองคำ

3.3.1.1 ชั่งทองคำตัวอย่างมาประมาณ 5 กรัม

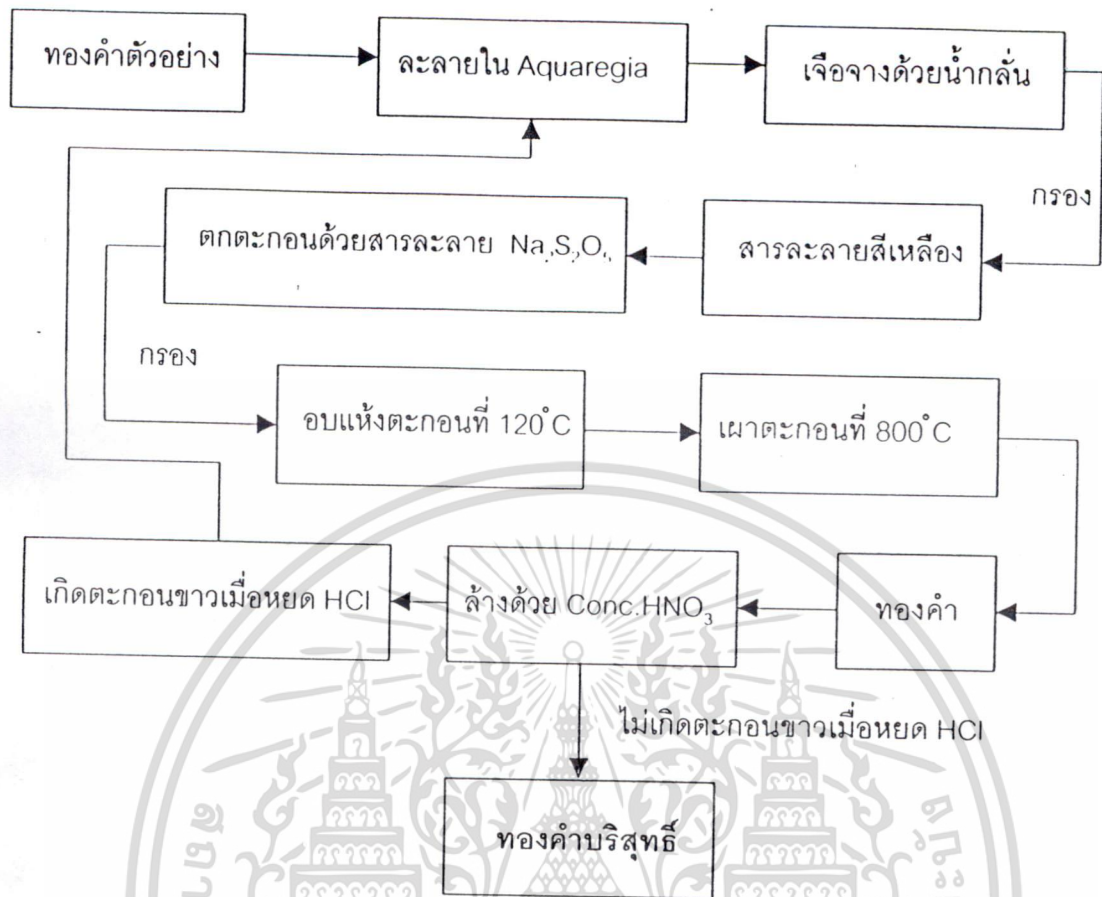
3.3.1.2 เตรียม Aqua regia โดยตวง Hydrochloric acid เข้มข้น (Conc. HCl) ประมาณ 30 cm³ ผสมกับ Nitric acid เข้มข้น (Conc. HNO₃) ประมาณ 10 cm³ ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 cm³

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

3.3.1.4 ชั่ง Na₂S₂O₅ ให้มีปริมาณ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 cm³ ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ คนให้ละลายจนหมด นำสารละลายดังกล่าวค่อย ๆ เทใส่ลงในสารละลายจาก 3.3.1.3 ในตู้ดูดควันจนไม่มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้น

3.3.1.5 เจือจางสารละลายโดยการเติมน้ำกลั่นประมาณ 100 cm³ กรองตะกอนจาก 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 ถ้ามีตะกอนขาว ต้องนำทองไปผ่าน ในข้อ 3.3.1.3 – 3.3.1.5 ใหม่ ถ้าไม่มีตะกอนขาว ก็นำทองคำไปอบแห้งที่ 120° C นาน 2 ชั่วโมง อีกครั้ง จะได้ทองคำบริสุทธิ์ตามต้องการ ดังแผนภาพต่อไปนี้



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. ห่อทองคำที่ชั่งใส่ลงไปใน Cupel

3.3.2.3 นำ Cupel ใส่ทองคำหุ้มด้วยแผ่นตะกั่วจาก 3.3.2.2 มาเผาในตู้อบที่มี

อากาศผ่านได้ที่อุณหภูมิ 1200° C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นลง

3.3.2.4 นำทองคำจาก 3.3.2.3 มาตีเป็นแผ่น แล้วล้างด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

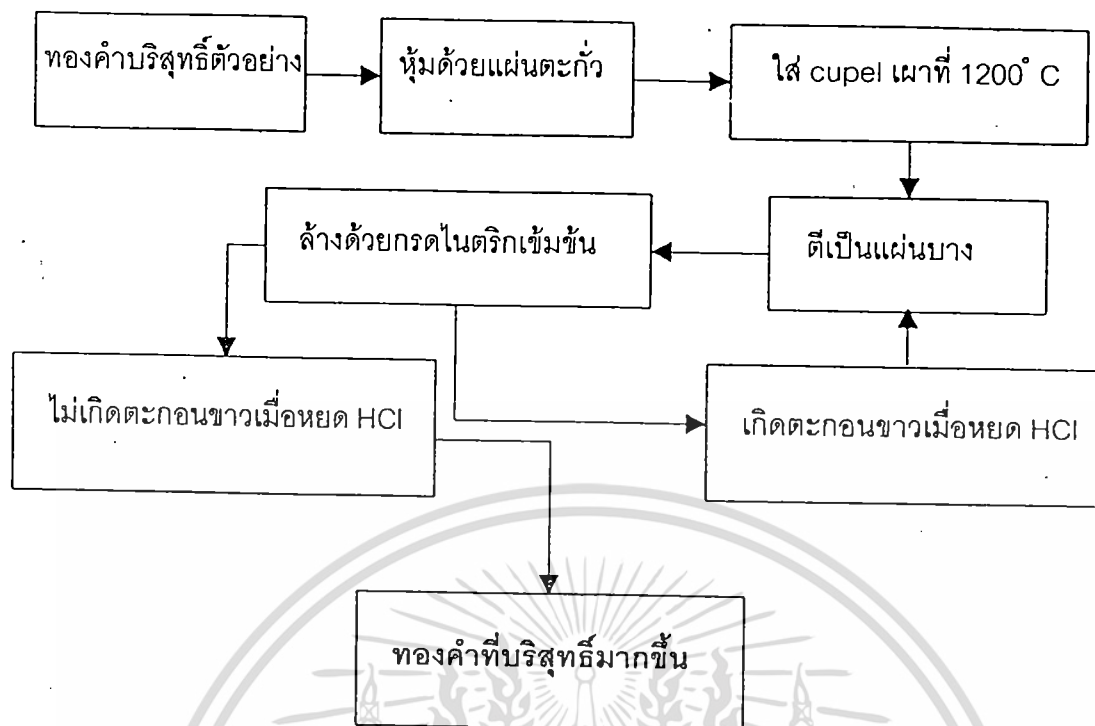
3.3.2.5 หยดกรดเกลือเจือจาง (dil. HCl 0.5 mol / dm³) ลงไปเล็กน้อยใน

ของเหลวที่นำมาจาก 3.3.2.4 ถ้ามีตะกอนขาวขุ่น ให้ผ่านชั้นตะกอนในข้อ 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 เปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์ดังแผนภาพที่แสดงต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพการเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำโดยวิธี Cupellation

3.3.3 การสังเคราะห์สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) โดยวิธี Cyanidation

3.3.3.1 ชั่งน้ำหนักทองคำ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มาแล้ว โดยวิธี Cupellation ประมาณ 6.5610 กรัม

3.3.3.2 เตรียมสารละลาย Potassium Cyanide เข้มข้นโดยประมาณ 2 % จำนวน 250 cm³

3.3.3.3 ใส่ทองคำที่ชั่งน้ำหนักแล้วจาก 1 ลงในสารละลายที่เตรียมได้จาก 3.3.3.2 (ทำในตู้ดูดควัน) แล้วหยดสารละลาย H₂O₂ ลงไปใน Reactor อุณหภูมิสารละลาย (อุณหภูมิไม่เกิน 45° C) จนทองคำดังกล่าวนั้นทำปฏิกิริยาหมด

3.3.3.4 นำสารละลายจาก 3.3.3.3 มาระเหย จนได้ปริมาตรประมาณ 50 cm³ 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

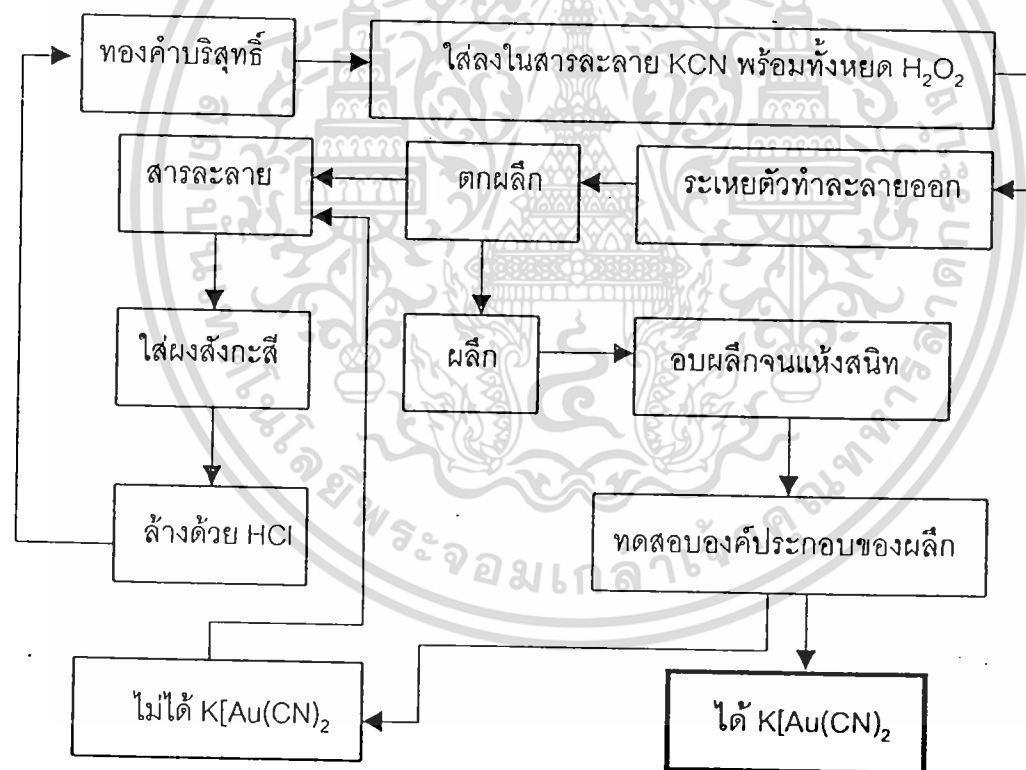
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.4 ทดสอบหาค่าประกอบของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

การพิสูจน์โครงสร้างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ กระทำโดยนำสารนั้นมากระทำตามวิธีการดังนี้

3.4.1 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ตรวจหาร้อยละของธาตุ Au และ K ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

3.4.2 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ และ $K[Au(CN)_2]$ ตรวจหารายละเอียดของผลึกด้วย 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



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 เป็นมันวาวใช้เล็บขีดเป็นรอยได้

เพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของทองคำที่เพียงพอต่อการนำไปสังเคราะห์ 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 แล้วปั่นกววนของผสมใน Reactor ที่อุณหภูมิคงที่ พบว่าทองคำทำปฏิกิริยาหมด ซึ่งหลังจากตกผลึกออกมาได้ของแข็งสีขาวขุ่น ละลายในน้ำกลั่นได้ดีมาก สารละลายที่เหลือจากการตกผลึก ก็จะมีไอออนของทองคำปนอยู่สามารถแยกออกจากสารละลายได้โดยการ นำมา Reduce ด้วยผงสังกะสี จากการศึกษาลักษณะปรากฏว่ามีทองคำถูก 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 ³
ปริมาณของสารละลาย H_2O_2 40 % ที่ใช้	1000	cm ³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารตัวอย่างที่ทำการสังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ แต่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ดีมาก สามารถตกผลึกออกมาด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ เป็น 62.48

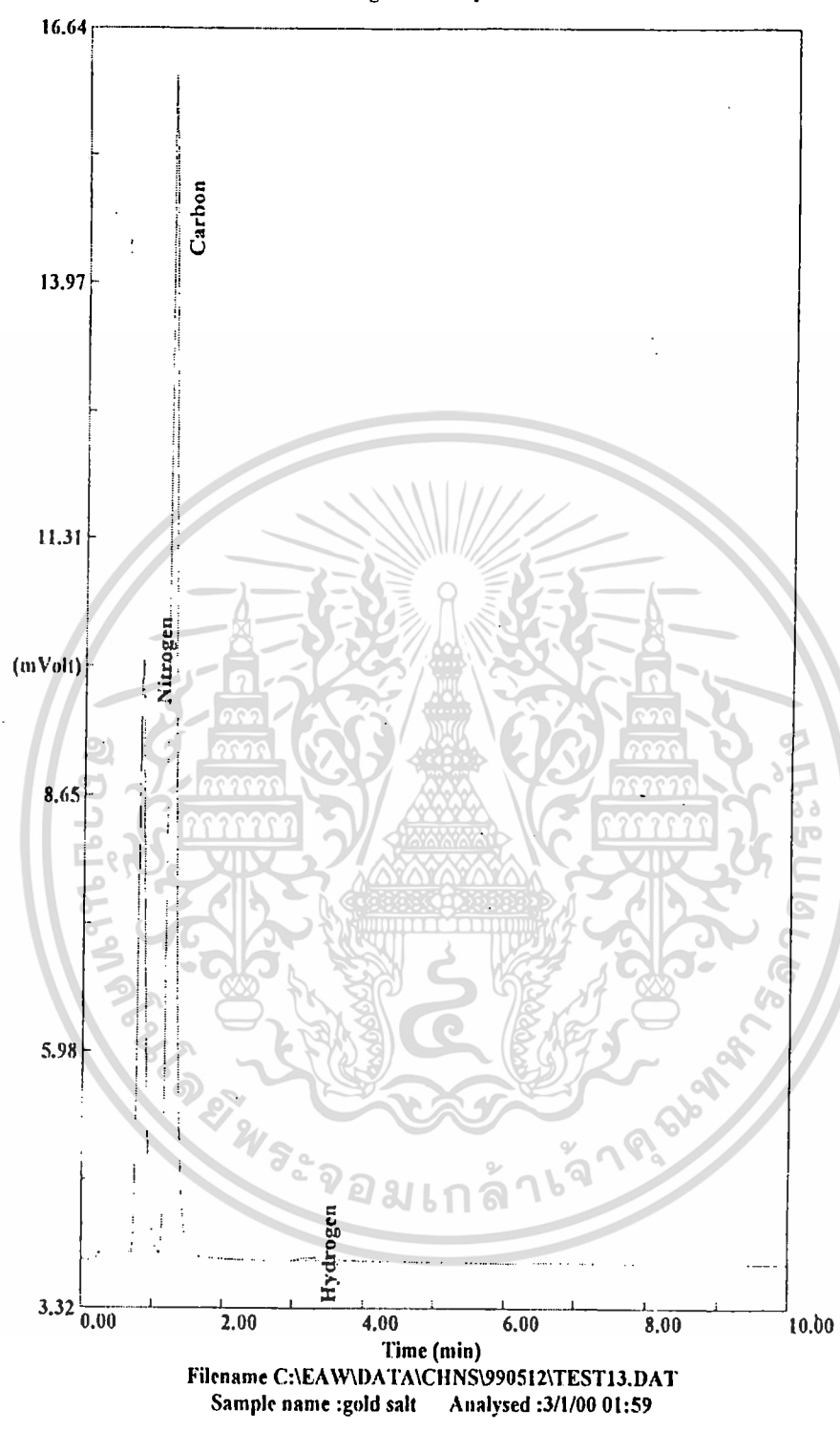
4.3 การหาปริมาณของ K, AU, C และ N ในสารตัวอย่าง

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 จะเห็นได้ว่าปริมาณทองคำในสารตัวอย่างมีน้อยกว่า 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 เป็นดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณของ Carbon และ Nitrogen ที่วิเคราะห์ด้วย Elemental Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Elemental Analyzer

Test Item	Test Method	Unit	Result
Carbon(C)	Modified ASTM D 5291	Mass %	8.5
Nitrogen(N)	Modified ASTM D 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	
	ปริมาณ (%)	สัดส่วนโดยโมลอะตอม	ปริมาณ (%)	สัดส่วนโดยโมลอะตอม
K	13.5	1	13.57	1
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 $K[Au(CN)_2]$

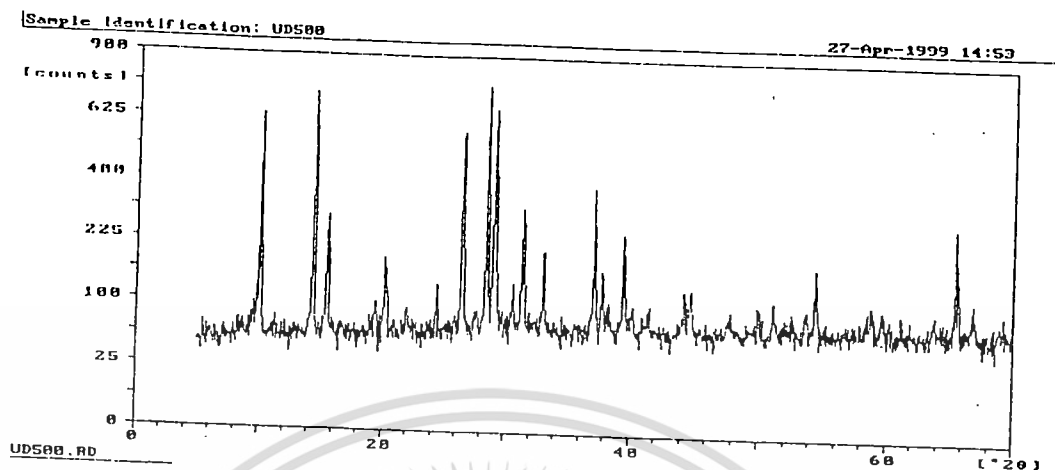
4.4 การวิเคราะห์หารายละเอียดผลึกของสารตัวอย่าง และ Potassium Cyanoaurate (I)

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	2.7066	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



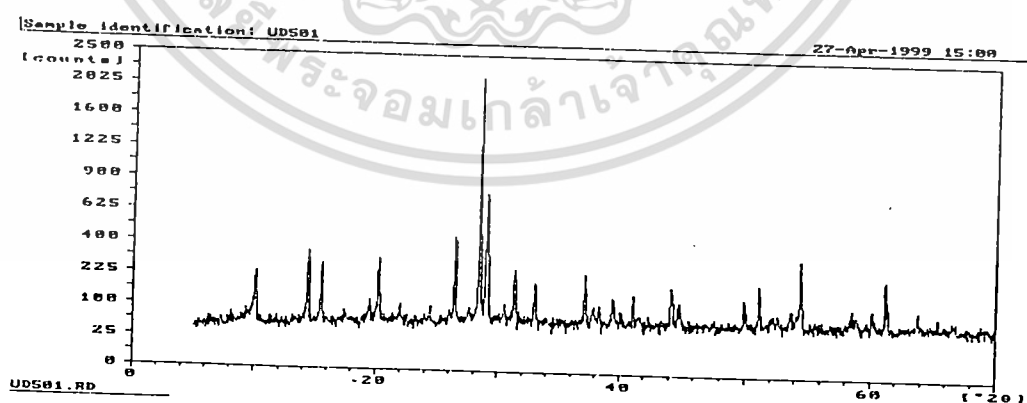
ภาพที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (UD.500) ด้วย X-ray diffractometer กระทำที่ 40 KV 30 mA โดยใช้ Cu Tube Ni filler มุม 2θ เริ่ม 5° - 70°

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



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

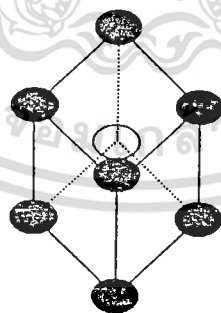
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาพที่ 4.4 ระบบผลึกแบบ Trigonal (Rhombohedral)

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า วิธี Cyanidation เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ผลิต Potassium Cyanoaurate (I) ได้ผลผลิตภัณฑ์ = 62.48 % ความบริสุทธิ์คิดเป็น 93.75 % ซึ่งสอดคล้องกับ สมมติฐาน คือ สารเชิงซ้อน Potassium Cyanoaurate (I) สามารถสังเคราะห์ได้โดยวิธี Cyanidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) จึงถือได้ว่าสารทั้งสองควรมีรูปผลึกแบบเดียวกันคือ Trigonal

5.1.3 เมื่อพิจารณาปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและใน Potassium Cyanoaurate (I) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกันมากและยังมีรูปผลึกแบบเดียวกันคือ 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 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนที่เพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ผลิตภัณฑ์ 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 ได้ผลิตภัณฑ์ เพียง 62.48 % ซึ่งเป็นไปได้ว่า Potassium Cyanoaurate (I) ตกผลึกออกมาไม่หมด ทั้งนี้เพราะ Potassium Cyanoaurate (I) ละลายในน้ำได้ดีมาก จึงมี Potassium Cyanoaurate (I)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในรูปของสารละลาย และการที่ Potassium Cyanoaurate (I) มีความบริสุทธิ์อยู่ที่ 93.75 % เป็นไปได้อย่างยิ่งว่า การตกผลึก Potassium Cyanoaurate (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 Cyanoaurate (I) อยู่เล็กน้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลวิจัยไปใช้

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

5.3.1.2 วิธี Cyanidation ที่ใช้สังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) ควรกระทำในตู้ดูดควัน และแต่งกายให้มิดชิดเรียบร้อย เพราะกระบวนการ Cyanidation มีการใช้ สารละลาย KCN ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรงเมื่อรับเข้าไปในร่างกาย ดังนั้นสถานศึกษาใด ที่สนใจสังเคราะห์ Potassium Cyanoaurate (I) หรือใช้สารละลาย Potassium Cyanoaurate (I) ชุบทองโดยนักเรียนหรือผู้ที่เริ่มต้นใหม่ที่มีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้น้อย ต้องมีครู อาจารย์หรือ ผู้ชำนาญการ ดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความรู้ในการปฏิบัติการที่ถูกต้องได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารละลาย Potassium Cyanide (KCN) ซึ่งมี Cyanide ion (CN⁻) ต้องกระทำสารละลายให้อยู่ ในสถานะที่เป็นเบส หรือให้มี pH สูงกว่า 7 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) เกิดเป็น Hydrogencyanide (HCN ซึ่งเป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ระเหยออกมา และเป็นพิษ เช่นเดียวกับกับ CN⁻ เมื่อหายใจเข้าไปในร่างกาย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

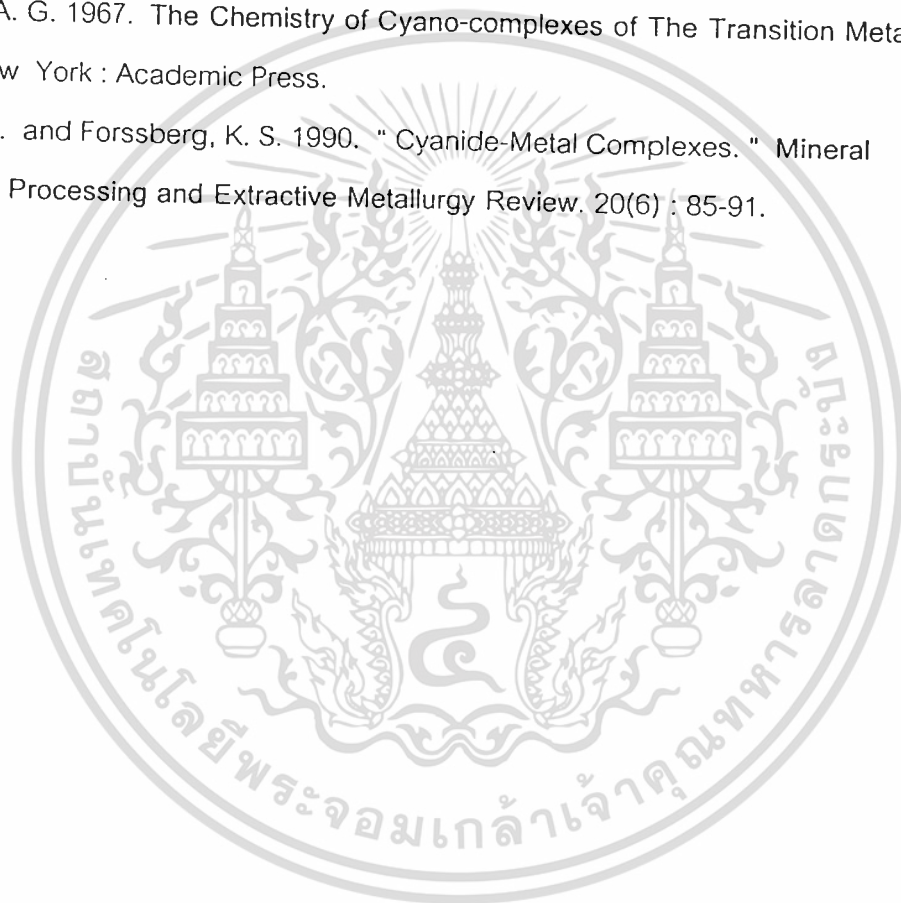
5.8.2.3 ศึกษาตัวทำละลายและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตกผลึก Potassium Cyanoaurate (I)



บรรณานุกรม

- กมล เฟื่องฟูง. 2534. "การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์
และความสามารถในการทำโครงการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3
ที่เรียนโครงการวิทยาศาสตร์โดยชุดกิจกรรมฝึกทำโครงการวิทยาศาสตร์ที่เรียน
โดยครูเป็นผู้สอนโครงการวิทยาศาสตร์." วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ประภาพรรณ สุวรรณรัตน์. 2533. " การเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างโครงการวิทยา
ศาสตร์และบุคลิกภาพของนักวิทยาศาสตร์ 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, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สนธารา เจียมอุดมสิน และ พันชลิดา ธีระพงษ์. 2531. การสกัดทองจากด้ายขัดทอง.
ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุชาวดี ไหว่วงศ์กิจการ และ สุดาวรัตน์ จำปา. 2535. การสกัดโลหะทองคำจากด้ายขัดทอง.
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า-
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ วว 0504/ 6885

ถึง นายวันชัย มาตุตระกุล

กรมวิทยาศาสตร์บริการกองส่งตรวจวิเคราะห์ทดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม ท้าร้อง
ลงวันที่ 7 พฤษภาคม 2542 เลขรับ 2035 วันที่ 7 พฤษภาคม 2542

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2542

กอง เคมี
โทร. 2461387-95 ต่อ 399 , 400



รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข
ตรา ฯลฯ
คำที่ผู้ส่งเรียก ที่ระบุตัวอย่าง ปฏิบัติการ

สารสังเคราะห์ที่เลือกทอง BD.936 ทองคำ (Au) , % 64.1
โพแทสเซียม (K) , % 13.5

หมายเหตุ ตัวอย่างวิเคราะห์โดย Atomic Absorption Spectrophotometer

(นางสาวนิระนารถ แจ่มทอง)
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ให้คืนตัวอย่างที่เหลือจากการวิเคราะห์มาพร้อมรายงานนี้แล้ว

รายงานนี้ : รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น
ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ วว 0508/ 5369

ถึง นายวันชัย มาชูตระกูล

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ วัตถุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 21 เมษายน 2542 เลขรับ 1822 วันที่ 21 เมษายน 2542

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2542

กอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก
โทร. 2458008

รายงานการตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง เครื่องหมาย หมายเลข
ตรา ฯลฯ
คำที่ผู้ส่งเรียก ที่ระบุตัวอย่าง ปฏิบัติการสารสังเคราะห์เกลือทอง - UD.500-501 ให้วิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer กระทำที่
40 KV 30 mA โภยใช้ Cu tube Ni filter มุม 2 θ
เริ่ม 5°-70°นางวรรณ ศ.แสงจันทร์
(นางวรรณ ศ.แสงจันทร์)
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

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

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ หดสอบ เท่านั้น
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

5/2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD500.D1

27-Apr-1999 14:52

Ceramic R&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
28.440	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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD500.D1

27-Apr-1999 14:52

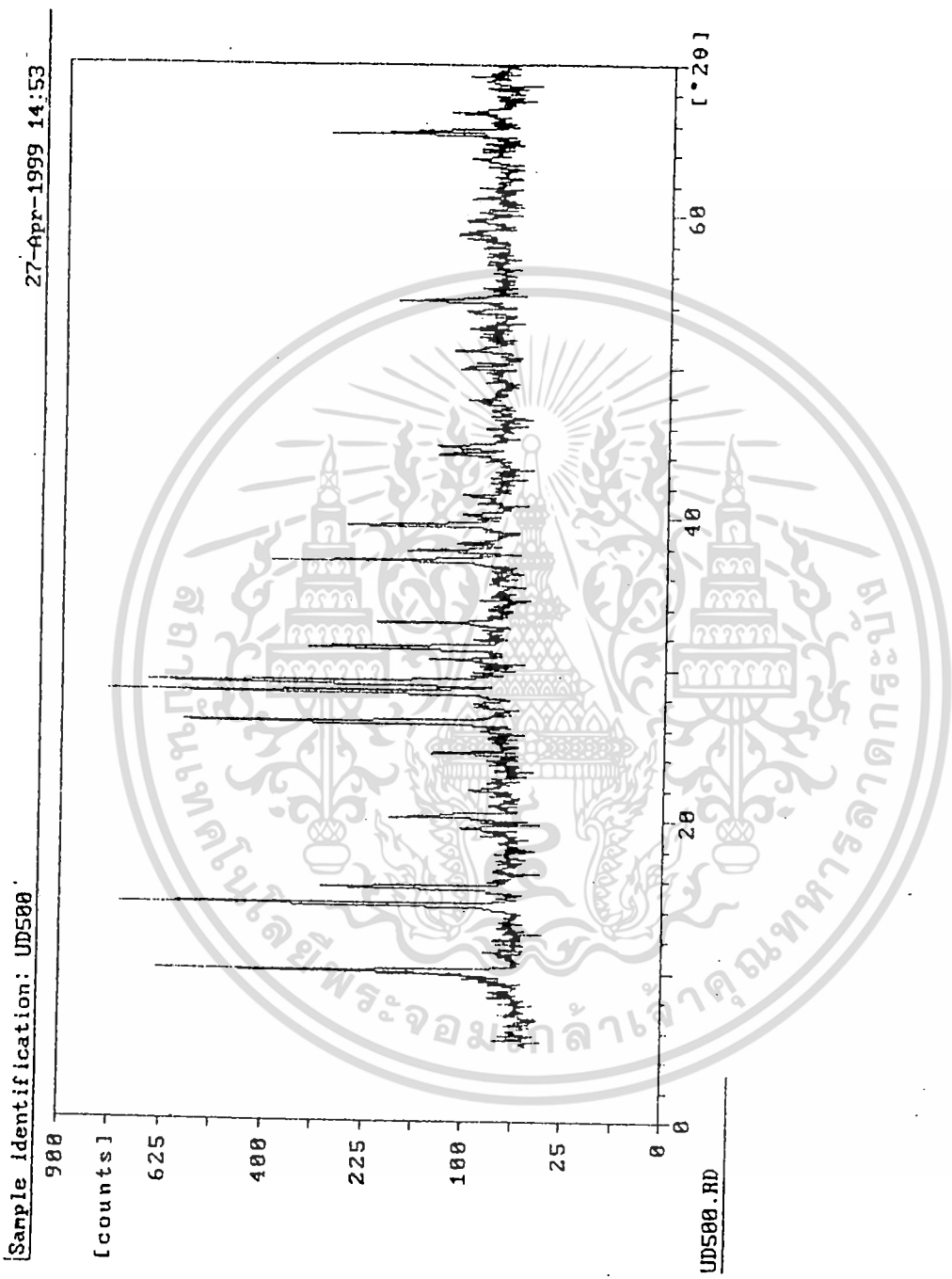
Ceramic R&D Center

PC-APD, Diffraction software

Angle [2θ]	d-value 1 [Å]	d-value 2 [Å]	Peak width [2θ]	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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD501.DI

27-Apr-1999 14:55

Ceramic R&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 []: 1.54060

Wavelength Alpha2 []: 1.54439

Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500

Divergence slit: 1x

Receiving slit: 0.2

Monochromator used: NO

Start angle [x2i]: 5.025

End angle [x2i]: 69.975

Step size [x2i]: 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 [x2i]	d-value 1 []	d-value 2 []	Peak width [x2i]	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	4.3958	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	3.3627	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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File: UD501.D1

27-Apr-1999 14:55

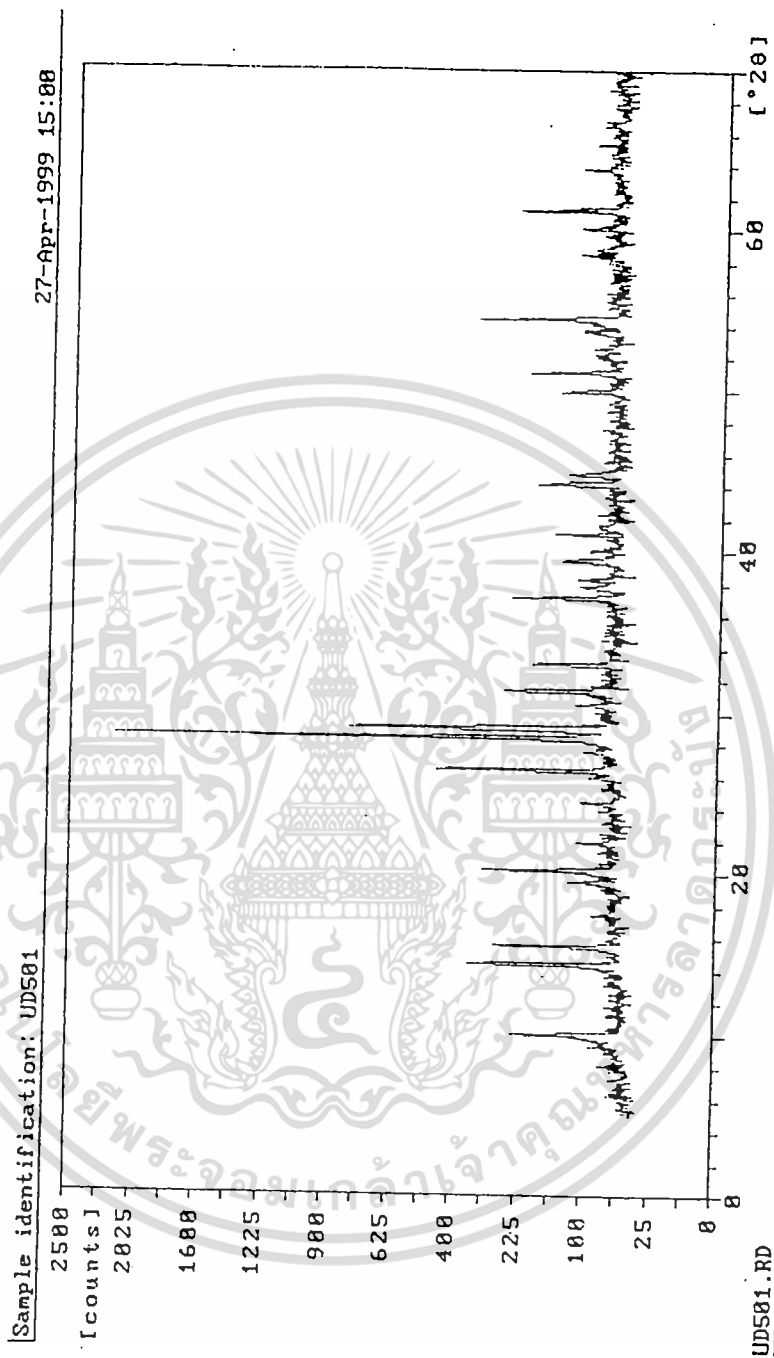
Ceramic R&D Center

PC-APD, Diffraction software

Angle [2θ]	d-value		Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
	1	2					
51.115	1.7855	1.7899	0.150	85	66	4.3	0.75
52.190	1.7450	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	121	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	64	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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PTT RESEARCH AND TECHNOLOGY INSTITUTE
PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

Analytical and Petrochemical Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoo, Ayutthaya, 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 : เอน้ำมันดีเซล SAMPLING DATE :
 SAMPLE ID. : ML.015/42 RECEIVED DATE : 22/4/42
 SAMPLE CONDITION : Good ANALYSIS DATE : 12/5/42
 SAMPLE FROM : ภาควิชาปิโตรเลียม

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. Tach...*
(Division Manager)

DATE OF ISSUE : 13/10/1999

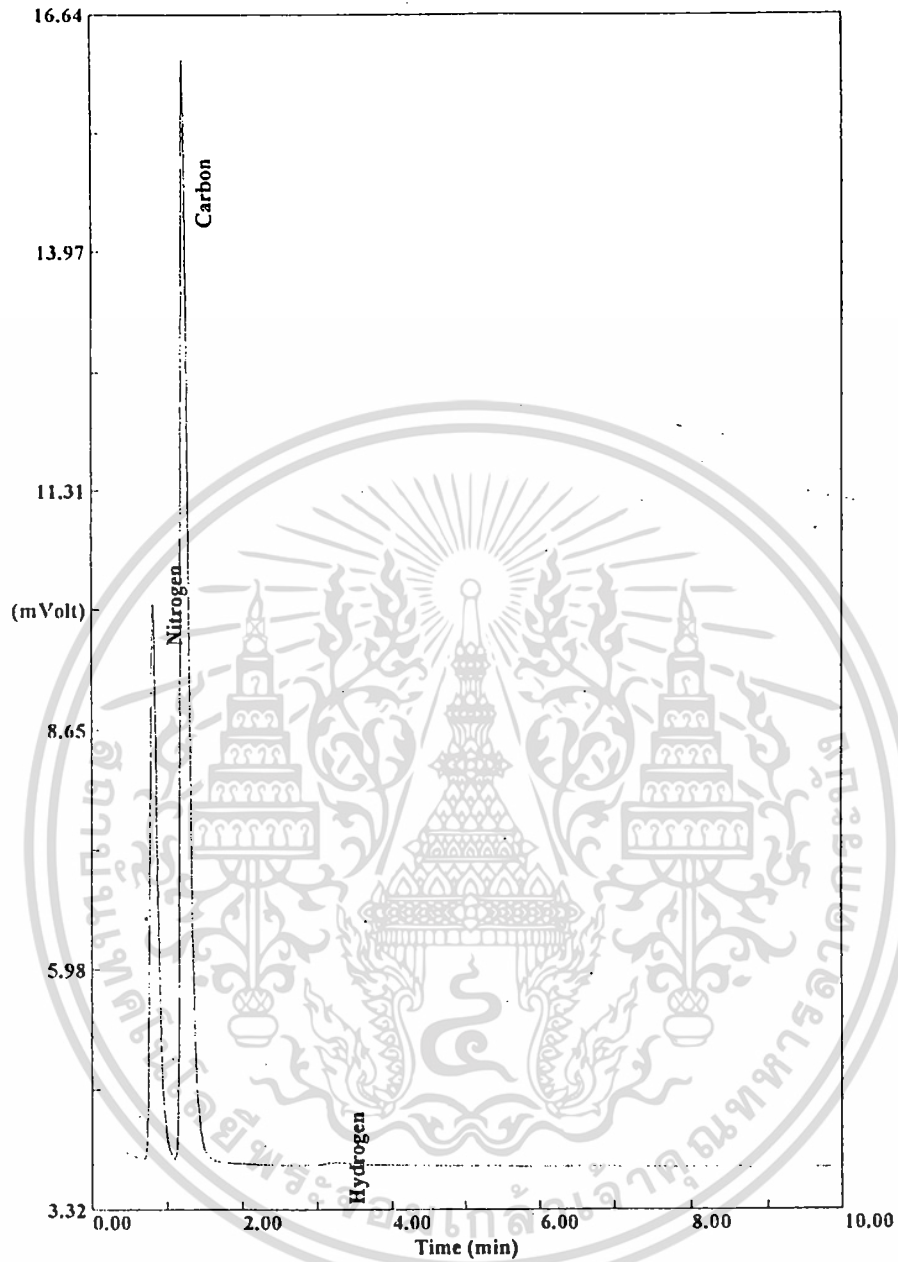
THIS CERTIFICATE OF ANALYSIS IS REFERRED TO ONLY SUBMITTED SAMPLE(S). IT IS YOUR RESPONSIBLE TO USE HERE IN RESULT ONLY PURPOSES. EXCEPT IN FULL, THIS CERTIFICATE SHALL NOT BE REPRODUCED WITHOUT THE WRITTEN APPROVAL OF THE DIVISION MANAGER.

Rev. 03, Date: 2002-09, File: Form03Form01.doc.

APD-Frm-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eager 200 Strip-Chart



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

File No. 21-1122, 21-1122A

21-1122

d	8.79	3.14	4.39	8.79	AuK(CN) ₂	★	
hkl	100	05	55	100			Gold Potassium Cyanide
Rad.	CuKα 1.5405	Filter	Monoc. Dia.	111	Diffractometer		
Cutoff	111						
Ref.	National Bureau of Standards, Mono. 25, Sec. 8 (1970)						
Sys.	Trigonal		S.G. R3̄ (148)				
a ₀	7.3926	b ₀	26.357	c ₀	A	t	
α	β	γ	Z	ρ	D _x	3.537	
Ref.	Ibid.						
μ	*	n _D /D	mp	sp	Sign	*	
2V	D	Color Colorless					
Ref.	Ibid.						
n _D	1.602	n _F	1.695	Pattern at 25°C.			
This compound was obtained from Pfaltz and Bauer.							
The sample was recrystallized from an aqueous solution.							
See following card							
d	8.79	3.14	4.39	8.79	hkl	d	hkl
100	05	55	100	003	2.248	4	214
				101	2.242	8	0111
				012	2.196	10	0012
				18	2.177	6	123
				006	2.050	8	303
				015	2.025	10	0210
				110	2.018	8	217
				113	1.934	4	128
				107	1.910	8	2011
				021	1.881	2	1112
				202	1.825	8	220
				009	1.804	2	0114
				018	1.788	8	273
				024	1.771	4	2110
				205	1.757	4	0013
				1010	1.750	4	131
				027	1.738	2	312
				211	1.711	4	309
				122	1.706	4	0213
				119, 208	1.694	4	134

FORM 1-2

Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

21-1122A

d	8.79	3.14	4.39	8.79	AuK(CN) ₂	★	
hkl	100	05	55	100			Gold Potassium Cyanide
Rad.	A	Filter	Dia.	111			
Cutoff	111						
Ref.	National Bureau of Standards, Mono. 25, Sec. 8 (1970)						
Sys.	Trigonal		S.G. R3̄ (148)				
a ₀	7.3926	b ₀	26.357	c ₀	A	t	
α	β	γ	Z	ρ	D _x	3.537	
Ref.	Ibid.						
μ	*	n _D /D	mp	sp	Color	Sign	
2V	D	Colorless					
Ref.	Ibid.						
See preceding card							
d	8.79	3.14	4.39	8.79	hkl	d	hkl
100	05	55	100	0411	1.5197	2	0411
				226			
				305			
				2014			
				153			
				401			
				042			
				229			
				404			
				045			
				0112			
				0013			
				0212, 1310			
				402			
				048			
				3112			
				2222			
				110			
				413			
				110, 100			

FORM 1-2

Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1971

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้