

การทำปรอทจากอุตสาหกรรมกาซธรรมชาติให้บริสุทธิ์
และผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในหองปฏิบัติการ



นางสาว นันทนิตย์ วานิชชีวะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-259-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 3 S.A. 2546

**PURIFICATION METHOD FOR MERCURY FROM NATURAL GAS INDUSTRY
AND ENVIRONMENTAL IMPACT ON LABORATORY SITE**

MISS NANTANIT WANICHACHEVA

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Inter-Department of Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทำโปรทจากอุตสาหกรรมกาชธรรมชาติให้บริสุทธิ์
และผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในท้องปฏิบัติการ
โดย นางสาว นันทนิตย์ วานิชชีวะ
สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม
อาจารย์ที่ปรึกษารวม รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ชีร์คุปต์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

อาจารย์ที่ปรึกษารวม

(รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.โสภณ เรืองสำราญ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิตินกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นันทนิตย์ วานิชชีวะ : การทำปรอทจากอุตสาหกรรมก๊าซธรรมชาติให้บริสุทธิ์ และ ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในห้วงปฏิบัติการ (PURIFICATION METHOD FOR MERCURY FROM NATURAL GAS INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL IMPACT ON LABORATORY SITE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. อมร เพชรสม, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ทพญ. ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์, 95 หน้า, ISBN 974-637-259-9

อุตสาหกรรมก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยได้ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่อาจหลีกเลี่ยงได้นั้นคือ เกิดสารปรอทซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นแยกก๊าซธรรมชาติ ปรอทเหล่านี้มีสารปนเปื้อนลักษณะเป็นคราบสีดำ โลหะหนักในรูปของอะมัลกัม และเศษตะกอนต่าง ๆ จึงไม่สามารถนำปรอทมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ความเป็นพิษของปรอททำให้ไม่สามารถทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อมได้ การวิจัยนี้จึงได้ทดลองทำความสะอาดปรอทขั้นต้นโดยล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวเพื่อขจัดคราบสีดำออกบางส่วน และทดลองหาวิธีการทำปรอทให้บริสุทธิ์เปรียบเทียบกัน 2 วิธีการ คือ การล้างด้วยกรดไนตริกเจือจางและการกลั่นปรอทในสุญญากาศ วิธีการล้างด้วยกรดไนตริกจะแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดระหว่าง 1, 2, 3, 4, 5, 6 % น้ำหนัก/ปริมาตร และวิธีการกลั่นปรอทในสุญญากาศ 1-3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 192 °ซ และความดัน 10 มิลลิบาร์ โดยทั้ง 2 วิธีนี้จะใช้เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นเองและพัฒนามาแล้วหลายขั้นตอน จากผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถทำให้ปรอทบริสุทธิ์ขึ้นได้จากปรอทตั้งต้นจากโรงแยกก๊าซที่มีความบริสุทธิ์ 99.99878-99.99881% เป็น 99.99926 - 99.99929% เมื่อใช้วิธีการล้างด้วยกรดไนตริกเจือจาง 6% น้ำหนัก/ปริมาตร ส่วนวิธีการกลั่นปรอทในสภาวะสุญญากาศ 3 ครั้ง จะทำให้ปรอทบริสุทธิ์ได้ 99.99976 - 99.99978% ซึ่งทั้ง 2 วิธีการนั้นทำให้ปรอทบริสุทธิ์ได้มากกว่าปรอทมาตรฐานทางทันตกรรมจากต่างประเทศที่นำเข้ามาซึ่งบริสุทธิ์ 99.99898 - 99.99901% ดังนั้นปรอทที่ทำได้นี้จึงสามารถใช้ทางทันตกรรมได้

เนื่องจากปรอทเป็นสารพิษที่สามารถระเหยกลายเป็นไอปรอทได้ที่อุณหภูมิห้อง จึงได้ทำการวิจัยติดตามปริมาณปรอทในอากาศในสถานที่ปฏิบัติงาน และติดตามปริมาณปรอทสะสมในบุคคลที่อยู่ในบริเวณสถานที่ปฏิบัติงาน ตั้งแต่เดือนกันยายน 2539 - เดือนมิถุนายน 2540 พบว่าปรอทที่พบในอากาศภายในห้องปฏิบัติงานบางห้องมีไอปรอทสูงชัน ส่วนปรอทในปัสสาวะพบว่ามีบุคคลที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำปรอทให้บริสุทธิ์ได้รับปรอทสูงเกินจากปกติในบางเดือนแต่ก็สามารถควบคุมให้อยู่ในสภาวะปกติได้หลังจากติดตั้งระบบกำจัดไอพิษและมาตรการเกี่ยวกับความปลอดภัยได้รับการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าการวิจัยนี้สามารถควบคุมผลกระทบของปรอทต่อสิ่งแวดล้อมในห้วงปฏิบัติการได้

ภาควิชา สหสาขา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต ผศ.ดร.อมร เพชรสม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ. ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์

C826809 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: MERCURY/ NATURAL GAS/ PURIFICATION/ ENVIRONMENT IMPACT

NANTANIT WANICHACHEVA : PURIFICATION METHOD FOR MERCURY FROM NATURAL GAS INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL IMPACT ON LABORATORY SITE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. AMORN PETSOM, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. CHATCHAREE SUCHATLAMPONG. 95 pp. ISBN 974-637-259-9

Mercury, a by-product from natural gas refining process from the gulf of Thailand was found to contain some impurities such as black scum, heavy metals in the form of amalgum and many undissolve solids which is not suitable for any applications. Public awareness of its toxicity raises environmental concern about its storage and its disposal. Therefore the objective of this study was to purify this mercury for dental applications. Black scum and contaminated hydrocarbons were cleaned by washing with surfactant. Then, the mercury was further purified by either washing with dilute solution of nitric acid or triple vacuum distillation. The first method was performed by washing mercury with dilute nitric acid with varying concentration between 1, 2, 3, 4, 5, 6 % W/V. The second method was done by distilling mercury 1 - 3 times under vacuum at 192^o C and 10 millibar pressure. The purity of mercury was monitored by determining trace metals such as Fe, Ni, Pb, Mn, Cu, Co, Cd with atomic absorption spectrophotometer. It was found that the purity of mercury was increased from 99.99878 - 99.99881 % (W/W) in original product to 99.99926 - 99.99929 % (W/W) by washing with 6% (W/V) nitric acid. Triple distillation gave mercury with the purity upto 99.99976 - 99.99979 % (W/W). The mercury obtained from both treatments was found to be suitable for dental applications in which the purity of imported mercury for such usage was at 99.99898 - 99.99901 % (W/W).

The fact that mercury vaporizes at room temperature and its vapor is toxic, therefore this study needed to monitor the amount of mercury in working area and the accumulation in exposed staffs during September 1996 to June 1997. It was found that mercury vapor rose in some laboratory involving the handling of mercury. Excessive mercury content in urine from exposed person was detected in certain months. Fortunately, this problem was solved when all the safety regulation was implemented and safety system was in operation. This research indicated that mercury purification in laboratory could be done without any impact on environment and personnels involved.

ภาควิชา.....INTERDEPARTMENT.....

สาขาวิชา.....ENVIRONMENTAL SCIENCE.....

ปีการศึกษา.....1997.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*นันทนิต วนิชฉะเวา*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*อมร เพ็ชร์อม*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*ชัชวาลย์ สุชาตลัมพอง*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และ สนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งดูแล และเป็นกำลังใจในยามที่มีปัญหา ตลอดจนให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำ ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ อย่างมากมายในทุก ๆ ด้าน และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทนต์แพทย์หญิง ชัชวีร์ สุชาติล้ำพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจและแก้ไขรายละเอียดต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์ได้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กภัทร ธีรคุปต์ ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ที่ ให้กำลังใจเสมอมา รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เรืองสำราญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำการวิเคราะห์ข้อมูล และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยส่วนหนึ่งในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ และความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการวิจัย สำหรับทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซสเปคโตรมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ ใช้เครื่องย่อยสารด้วยรังสีไมโครเวฟ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่เคารพ และเพื่อนๆชาวสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่รักยิ่งที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 การตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 สารปรอท.....	4
2.2.1 สมบัติทางกายภาพ.....	4
2.2.3 สมบัติทางเคมี.....	4
2.2 การใช้ประโยชน์จากปรอท.....	5
2.3 ปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	8
2.3.1 แหล่งปลดปล่อยสารปรอท.....	8
2.3.2 รูปแบบของปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	9
2.4 การเข้าสู่ร่างกายมนุษย์.....	15
2.5 ผลกระทบของปรอทต่อมนุษย์.....	15
2.5.1 การดูดซึม การกระจายตัว และการขับถ่ายปรอท.....	15
2.5.2 กลไกการเกิดพิษในร่างกายมนุษย์.....	16
2.6 มาตรฐานของปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	18
2.7 ข้อมูลเพิ่มเติม.....	19
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 รูปแบบและขั้นตอนการศึกษา.....	21
3.2 เครื่องมือ-อุปกรณ์ และสารเคมี.....	21
3.2.1 เครื่องแก้ว.....	21
3.2.2 เครื่องมือ-อุปกรณ์	22
3.2.3 สารเคมี.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	วิธีการทดลอง.....	27
3.3.1	วิธีการล้างคราบน้ำมันออกจากปรอท.....	27
3.3.2	วิธีการทดลองการพัฒนาวิธีการทำปรอทให้บริสุทธิ์.....	27
3.3.2.1	การศึกษาหาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่เหมาะสม ที่จะใช้ในการล้างปรอท.....	27
3.3.2.2	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นปรอท.....	31
3.3.3	วิธีการตรวจวัดปริมาณปรอทในอากาศในห้องปฏิบัติการ.....	32
3.3.3.1	การเก็บตัวอย่างอากาศ.....	32
3.3.3.2	การเตรียมตัวอย่าง.....	32
3.3.3.3	การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในอากาศ.....	32
3.3.4	การทดลองหาปริมาณปรอทตกค้างในบัสสาวะ ของบุคคลที่เกี่ยวข้อง.....	33
3.3.4.1	การเก็บตัวอย่างบัสสาวะ.....	33
3.3.4.2	การเตรียมตัวอย่างบัสสาวะ.....	33
3.3.4.3	การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในบัสสาวะ.....	34
4.	ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	36
4.1	การหาความบริสุทธิ์ของปรอทโดยวิธีการล้างด้วยกรดไนตริกเจือจาง.....	36
4.1.1	ผลการหาชนิดโลหะมลทินในปรอทโดยใช้ XRF.....	36
4.1.2	ผลการหาปริมาณโลหะมลทินที่ตรวจพบในสารละลาย กรดไนตริกเจือจาง.....	39
4.1.3	ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะชนิดต่างๆที่ละลาย ออกมาจากปรอทเมื่อล้างด้วยกรดไนตริก.....	40
4.1.4	ผลการหาโลหะมลทินในปรอทภายหลังการล้างด้วย กรดไนตริกโดยใช้ AAS.....	43
4.2	การหาความบริสุทธิ์ของปรอทโดยวิธีการกลั่นสุญญากาศ.....	47
4.3	การติดตามปริมาณปรอทในอากาศในห้องปฏิบัติการ.....	51
4.4	การติดตามปริมาณปรอทในบัสสาวะของบุคคลที่อยู่บริเวณ สถานที่ปฏิบัติงาน.....	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลการคำนวณต้นทุน-กำไรจากวิธีการทำปรอทให้บริสุทธิ์.....	56
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	60
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก รูปแบบเครื่องล้างปรอทที่ประดิษฐ์และพัฒนาขึ้นแบบต่างๆ.....	66
ภาคผนวก ข รูปแบบเครื่องกลั่นปรอทที่ประดิษฐ์และพัฒนาขึ้นแบบต่างๆ.....	69
ภาคผนวก ค ความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะที่ถูกชะออกจากปรอท ภายหลังการล้างด้วยสารละลายกรดไนตริกเจือจาง.....	72
ภาคผนวก ง ปริมาณโลหะมลทินและความบริสุทธิ์ในปรอท จากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์.....	82
ภาคผนวก จ ปริมาณปรอทในอากาศและปรอทในปัสสาวะ.....	90
ภาคผนวก ฉ การคำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการทำปรอทให้บริสุทธิ์.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	95

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	แสดงสมการถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจของโลหะชนิดต่างๆ.....	41
ตารางที่ 4.2	แสดงความบริสุทธิ์ของปรอทจากการล้างด้วยกรดไนตริกที่ตรวจ สารมลทินด้วย AAS.....	45
ตารางที่ 4.3	แสดงความบริสุทธิ์ของปรอทจากการกลั่นที่ตรวจสารมลทินด้วย AAS.....	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงวัฏจักรของปรอทที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพทางธรณีวิทยา..... 9
รูปที่ 2.2	แสดงการถ่ายเทปรอทจากสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อาหาร (food chain) กลับเข้าสู่ร่างกายมนุษย์..... 12
รูปที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์และรูปแบบของปรอทในรูปปรอทอินทรีย์ และปรอทอินทรีย์ในอากาศ แห้งน้ำ และดินตะกอน 13
รูปที่ 2.4	แสดงวงจรธรรมชาติของปรอทในสิ่งมีชีวิต..... 14
รูปที่ 2.5	แผนผังการแพร่กระจายของปรอทชนิดเมธิลเมอควิรีในร่างกายของมนุษย์.....16
รูปที่ 4.1	แสดง X-ray Fluorescence Spectrum ของปรอทตั้งต้นจากโรงแยกก๊าซ..... 37
รูปที่ 4.2	แสดง X-ray Fluorescence Spectrum ของปรอทที่ผ่านการล้างด้วย กรดไนตริก 6 % น้ำหนัก/ปริมาตร 38
รูปที่ 4.3	แสดงปริมาณโลหะมลทินที่ถูกชะออกจากปรอทภายหลังการล้างด้วย สารละลายกรดไนตริกเจือจาง..... 39
รูปที่ 4.4	แสดงปริมาณปรอทที่ถูกชะออกจากปรอทภายหลังการล้างด้วยสารละลาย กรดไนตริกเจือจาง..... 40
รูปที่ 4.5	แสดงปริมาณโลหะมลทินทั้งหมดที่พบในปรอทภายหลังการล้างด้วย สารละลายกรดไนตริกเจือจาง ซึ่งตรวจด้วย AAS 46
รูปที่ 4.6	แสดงความบริสุทธิ์ของปรอทภายหลังการล้างด้วยสารละลายกรดไนตริก เจือจางที่ตรวจสอบสารมลทินด้วย AAS..... 46
รูปที่ 4.7	แสดงปริมาณโลหะมลทินทั้งหมดที่พบในปรอทภายหลังการกลั่นสุญญากาศ ซึ่งตรวจด้วย AAS..... 49
รูปที่ 4.8	แสดงความบริสุทธิ์ของปรอทภายหลังการกลั่นสุญญากาศที่ตรวจสอบสารมลทิน ด้วย AAS..... 50
รูปที่ 4.9	แสดงปริมาณสารมลทินในปรอทภายหลังการกลั่นและการล้างด้วย กรดไนตริกโดยตรวจ AAS..... 50
รูปที่ 4.10	แสดงความบริสุทธิ์ของปรอทภายหลังการกลั่นสุญญากาศและการล้างด้วย กรดไนตริกโดยตรวจสอบสารมลทินด้วย AAS..... 51

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11	แสดงปริมาณปรอทที่ตรวจพบในห้องต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการ.....	53
รูปที่ 4.12	แสดงปริมาณปรอทที่ตรวจพบในปัสสาวะของบุคคลกลุ่มต่างๆที่อยู่ใน บริเวณสถานที่ปฏิบัติงาน.....	55

คำย่อ

AAS	=	อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)
AAS-Cold Vapor	=	อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดไร้เปลวไฟ (Atomic Absorption Spectrophotometer-Cold Vapor Technique)
XRF	=	เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrophotometer)
°ซ	=	องศาเซลเซียส
ทีโพล	=	สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ยี่ห้อทีโพล