เอกสารอ้างอิง

1. บุญหมาย อินทุภูติ " แร่ยูเรเนียม " เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา เล่มที่ 16 กรมทรัพยากรธรณี , 2520.

2. Harrington , C.D., and Ruehle , A.E. Uranium Production Technology , Van Nostrand Co., Princeton , New York , 1959.

3. William , S. Kirk Depleted Uranium , Mineral Facts and Problems, pp 997 - 998 , 1980.

4. Benedict , M., et al. Nuclear chemical Engineering , 2 nd. ed., Mc Graw - Hill Book Co., New York , 1981.

5. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ และคณะ Chemistry in Nuclear Technology เอกสารประกอบการสอนวิชา 172 - 625 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2526.

6. Cordfunke , E.H.P. The Chemistry of Uranium , Amsterdam , Elsevier Publishing Co., 1969.

7. Grindler , J.E. " The Radiochemistry of Uranium " National Research council USAEC , National Academy of Sciences , 1962.

8. ทวี ศิริอุดมรัตน์ " กระบวนการผลิตเค้กเหลืองจากแร่โมนาไซต์ ในประเทศไทย ด้วยวิธีใช้กรด " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527.

9. Handbook of Chemistry and Physics (Robert C. Weast) Chemical Rubber Co., 1973.

10. Runnalls , O.J.C. Uranium dioxide fuel elements , Nuclear fuel elements (Hausner , H. Henry) pp 228 -237 , Reinhold Publishing Corporation, New York , 1959.

11. Sigfred Peterson and et al. Chemistry in Nuclear technology p 133 , Addison - Wesly Publishing Co., U.S.A., 1963.

12. Weidinger , H. , Assmann , H. and et al. " Fuel Rod Fabrication and Engineered quality assurance under the requirements of KWU design " Proc. Intern. Symp. on Fabrication of Water Reactor Fuel elements , prague , 1978 , paper IAEA-SM-233/17

13. Assmann , H. , Dour , W. and Pechs , M. " Oxide Fuels with Controlled Microstructure " Kraftwerk Union AG , D-8520 Erlangen , Federal Republic of Germany , 1983.

14. Stehle , H. , Assmann , H. and Maier , G. " Review of UO_2 Powder and Pellet Fabrication Under the Aspects of In - Reactor Fuel Behaviour " IAEA / CNEA International Seminar on Heavy Water Reactor Fuel Technology , San Carlos de Bariloche , Argentina , June 27 to July 1 , 1983.

15. Assmann , H. and Stehle , H. " Oxide fuel for Light Water Reactors a standardized industrial product " Porc. 4 th Intern. Meeting on Modern Ceramics technologies , Saint Vincent , Italy , May 28 - 31 , 1979.

16. Glasstone , S. and Sesonske , A. Nuclear Reactor Engineering , D. Van Nostrand Co. Inc. , 1967.

17. Assmann , H. and Mathieu , V. " Technology and in - reactor performance of UO_2 fuel from the AUC powder process " presented at 78th Annual Meeting of the American Ceramic Society , Cincinnati , May 5, 1976 , paper AED-Conf-76-194-007.

18. William Roger De Hollander and et al. " Conversion of Uranium Hexafluoride to Uranium dioxide structure of controlled density and grain size " U.S. patent 3, 786, 120 Oct. 2, 1970.

19. Jones F. Hart and et al. " Production of Uranium Dioxide " U.S. patent 4, 053, 559 June 14, 1976.

20. Janov , J. and et al. " Pilot plant development of process for the production of ammonium diuranate. " ISBN 0 642 99669 5 , Australian Atomic Energy Commission , 1975.

21. Jamrack , W.D. " Rare metal extraction by chemical engineering techniques " p 204 , the macmillian Co. , New York , 1963.

22. Vietzke , H. and et al. " Method of preparing Uranium dioxide powder " Canadian Patent 933336 , Sep. 11, 1973.

23. Williams , G.P.L. " Nuclear fuel in Canada " Atomic Energy of Canada Ltd., 1951.

24. Yi - Ming Pan. " The conversion of UO_2 via Ammonium Uranyl Carbonate " Nuclear materials 99(1981) : 135 - 147

25. Mathieu , V. " UO_2 fuel fabrication by means of the AUC powder process " Transactions of the American Nuclear Society 28(1978) : 327 - 328

26. Assmann , H. and Becker , M. " Technology of UO_2 fuel fabrication by the AUC powder process " Trans. Am. Nucl. Soc. 31(1979) : 147 - 148

27. Brandau , E. and Doerr , W. " Characteristics of UO_2 powder and pellets for LWR fuel " Trans. Am. Nucl. Soc. 31(1979) : 148 - 150

28. Brachmann , H.G. and Seibold , K. " X - Ray powder diffraction and some thermodynamic data for $(NH_4)_4[UO_2(CO_3)_3]$ " Inorganic Nuclear Chemistry. 37(1975) : 735 - 737

29. Dorr , W. and Assmann , H. " Sintering of UO_2 at low temperatures " Proc. 4th Intern. Meeting on Modern Ceramics Technologies , Saint Vincent , Italy , May 28 - 31 , 1979.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองหาการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์

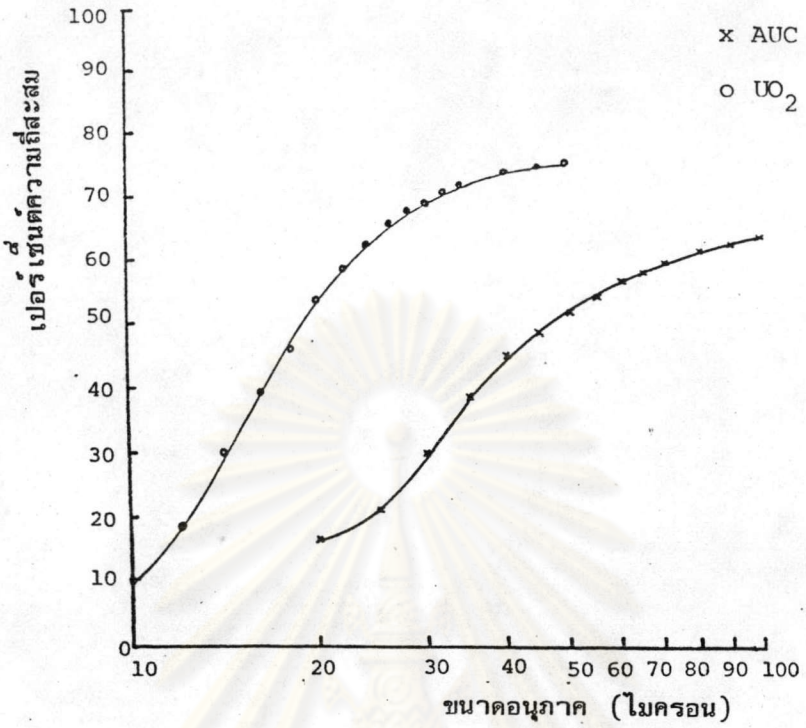
ตารางที่ 1 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต

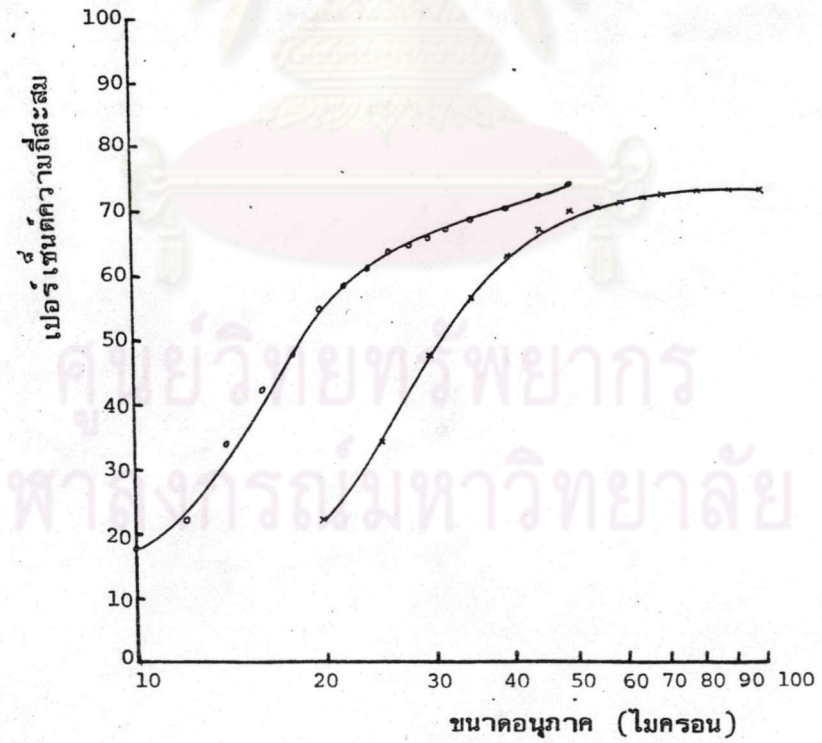
เปอร์เซ็นต์อนุภาค / ตัวอย่างที่	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)						
	< 20	20–30	30–40	40–50	50–70	70–100	> 100
1	16	14	14	8	8	4	36
2	22	25	16	6	3	2	26
3	14	13	15	9	10	5	34
4	28	3	9	8	10	6	36
5	16	26	19	9	5	4	21
6	24	20	18	9	5	4	20
7	16	27	21	10	5	2	19
8	15	30	21	7	4	2	21
9	19	17	24	8	5	4	23
10	22	16	20	9	7	6	20
11	34	13	10	6	9	7	21
12	14	15	13	10	13	8	27
13	29	19	17	7	5	3	20
14	13	25	24	12	6	2	18
15	21	14	9	6	6	5	39
16	18	16	14	8	8	6	30
17	15	11	14	11	9	3	37
18	14	14	17	7	6	4	38

ตารางที่ 2 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของผงยูเรเนียม ไดออกไซด์

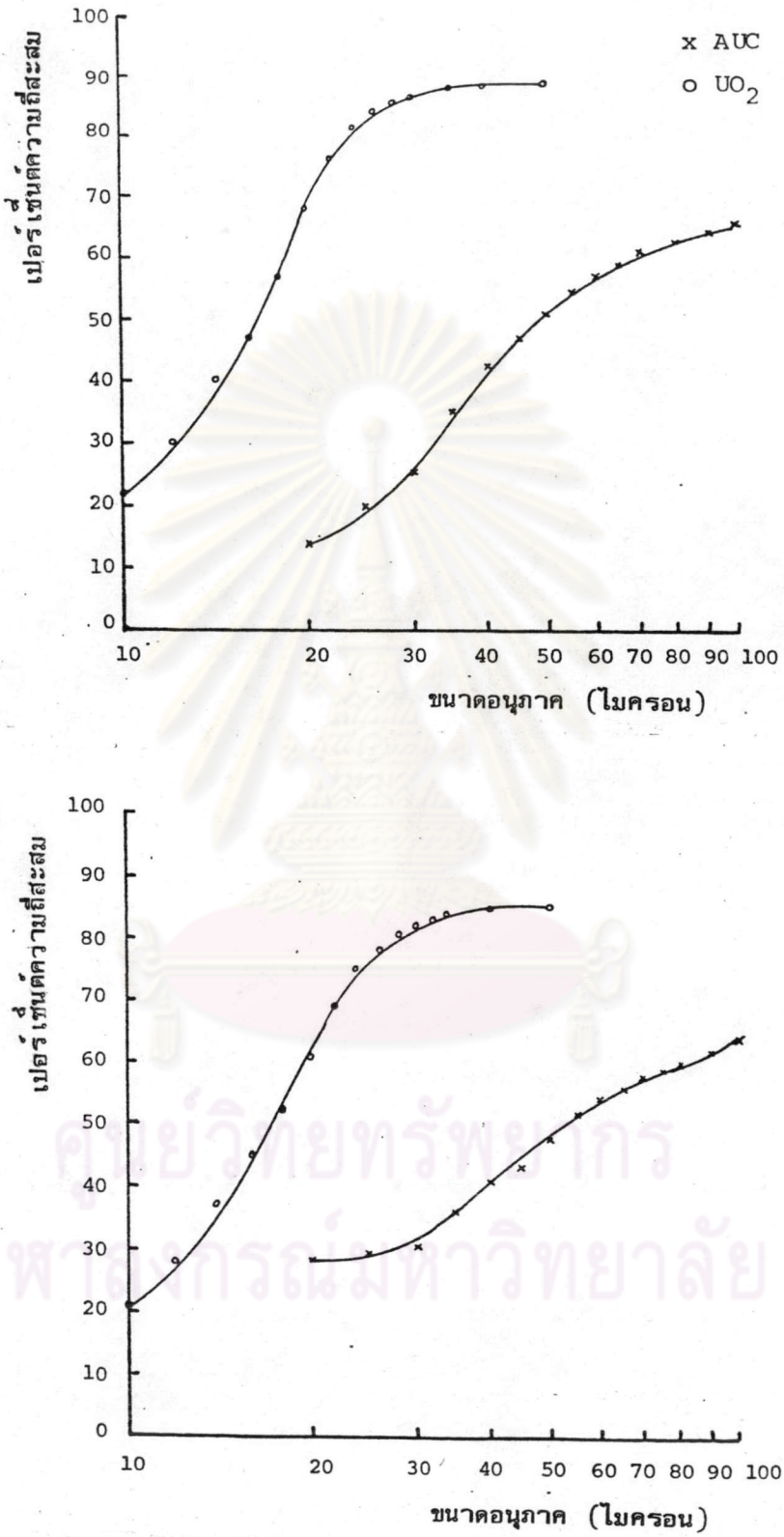
เปอร์เซ็นต์อนุภาค / ตัวอย่างที่	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)					
	< 10	10-14	14-20	20-30	30-50	> 50
1	10	20	24	15	7	24
2	18	16	21	10	9	26
3	22	18	28	18	3	11
4	21	16	24	21	3	15
5	1	26	22	16	11	24
6	3	27	25	18	9	18
7	18	16	21	10	9	26
8	22	19	22	12	6	19
9	16	13	28	10	7	26
10	16	10	12	10	20	32
11	17	5	8	20	14	36
12	15	17	18	10	12	28
13	12	12	24	14	11	27
14	15	9	20	26	10	20
15	20	13	15	9	4	39
16	16	14	17	13	7	33
17	10	14	19	23	10	24
18	14	16	20	11	5	34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

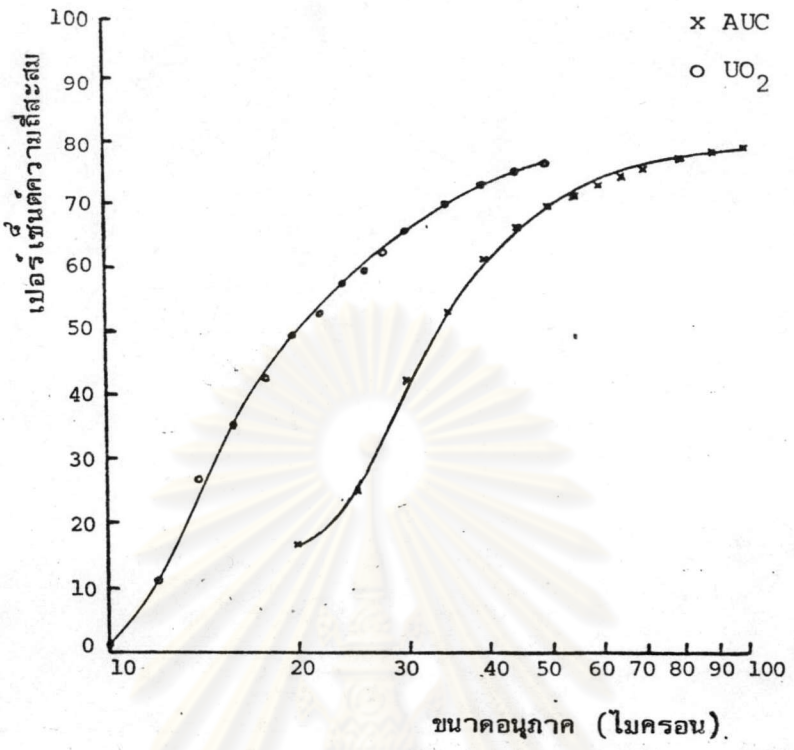


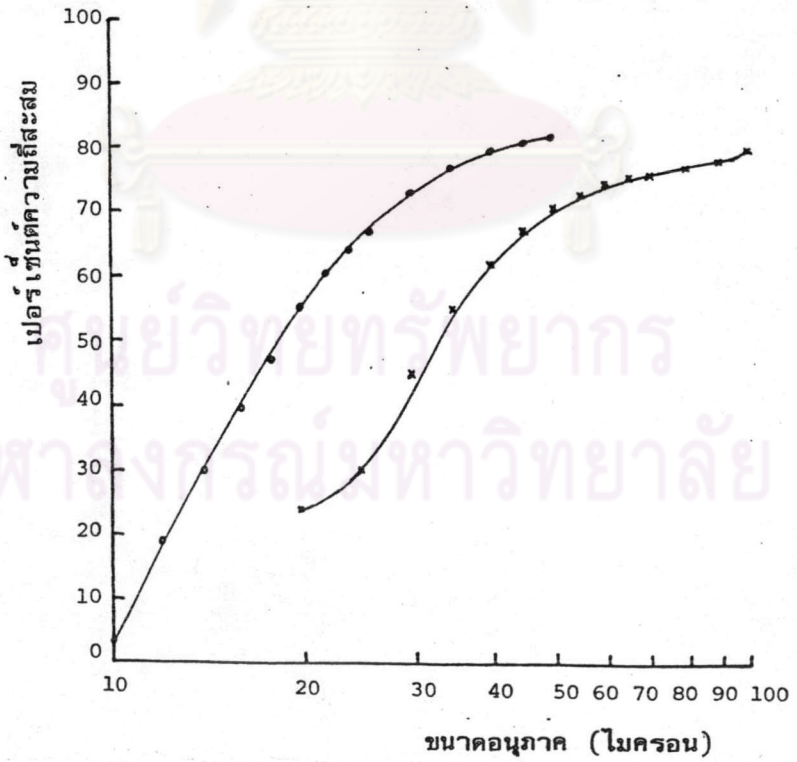


รูปที่ 1 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 1 (บน) และตัวอย่างที่ 2 (ล่าง)



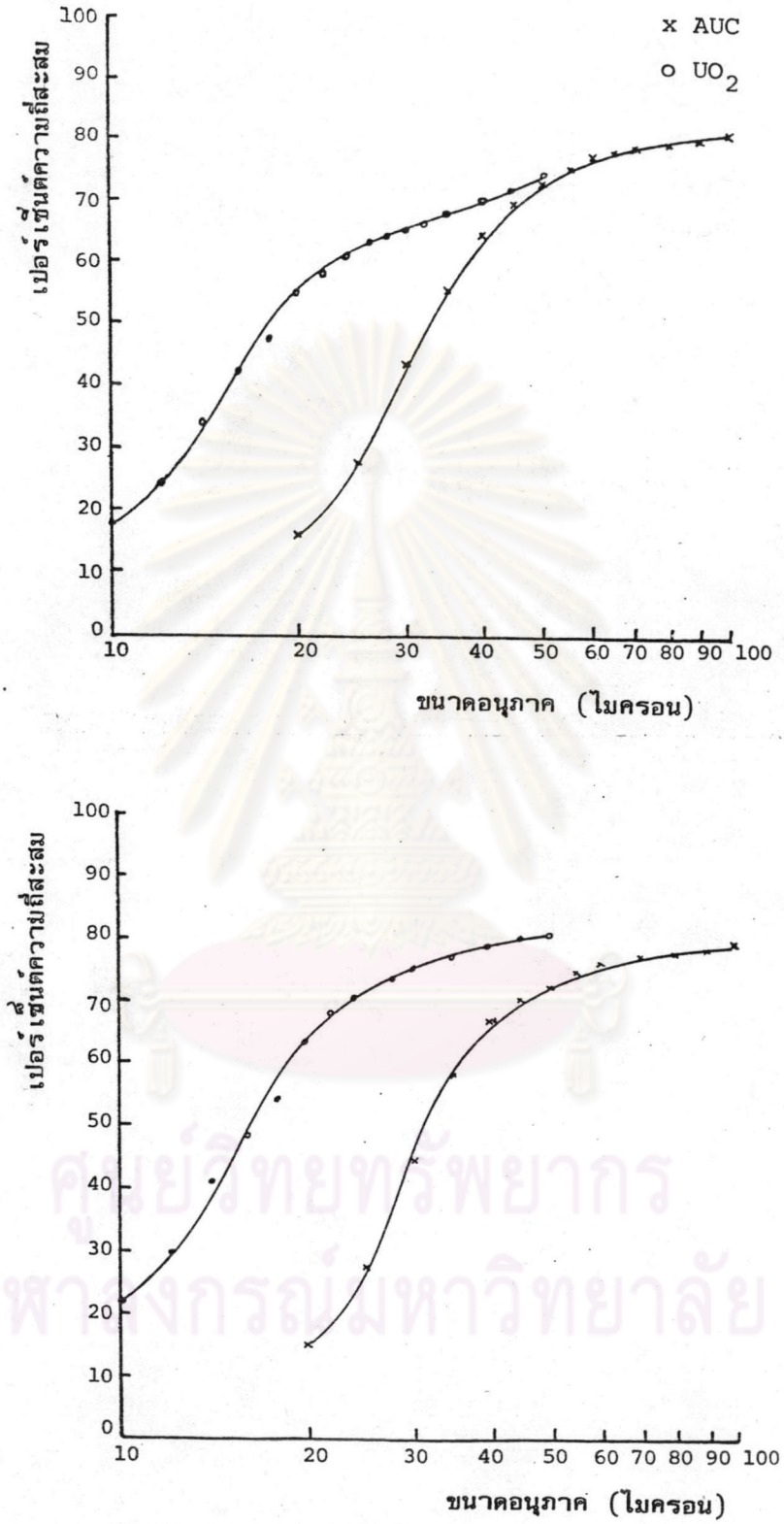
รูปที่ 2 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 3 (บน) ตัวอย่างที่ 4 (ล่าง





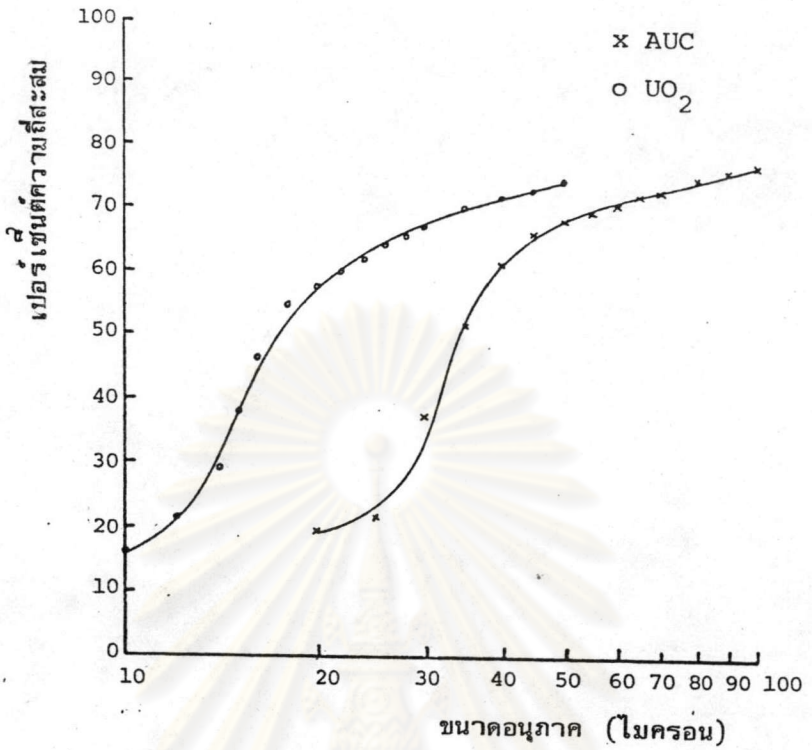
รูปที่ 3 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 5 (บน) และตัวอย่างที่ 6 (ล่าง)

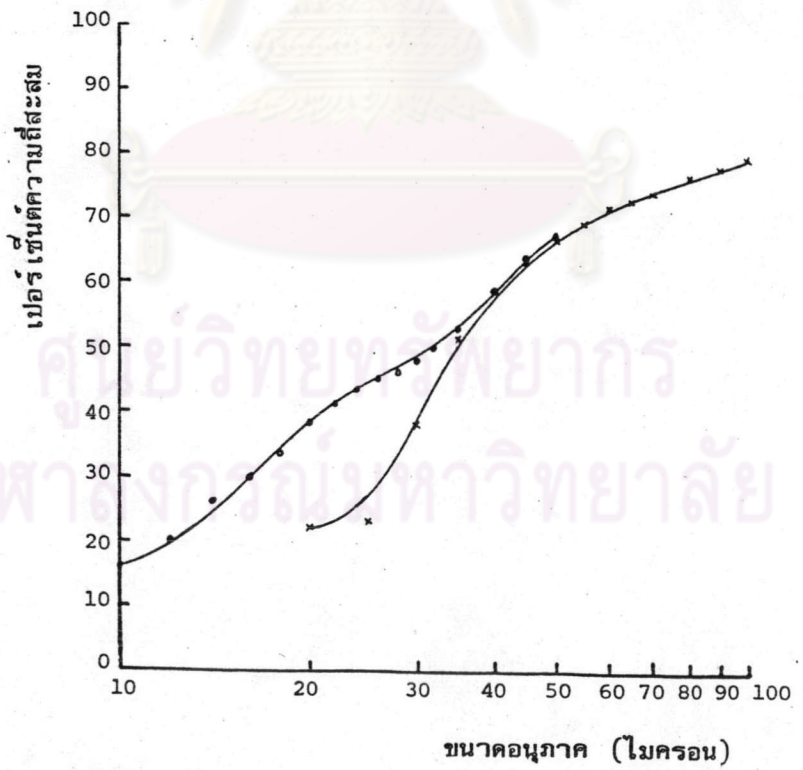
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



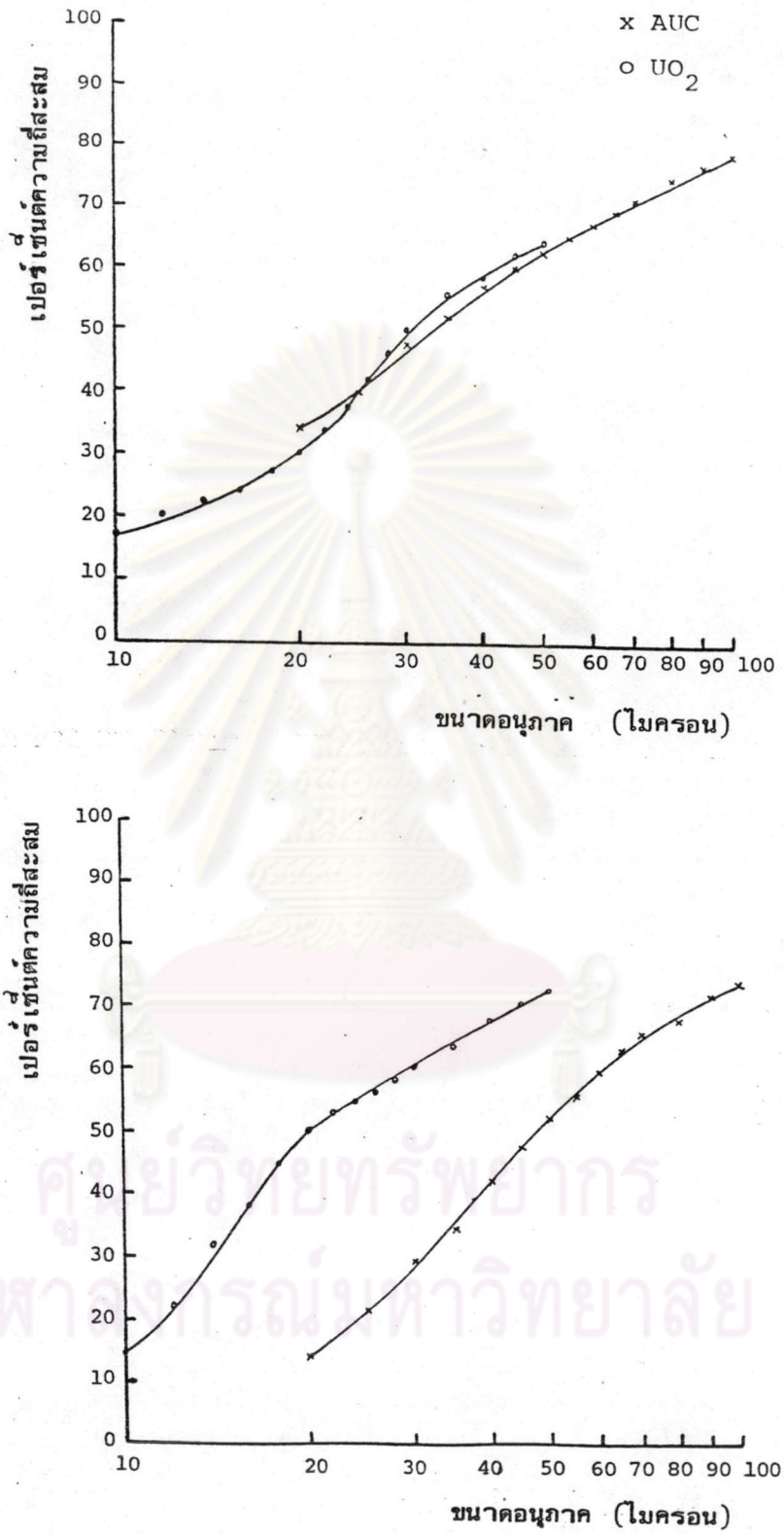
รูปที่ 4 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 7 (บน) และตัวอย่างที่ 8 (ล่าง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

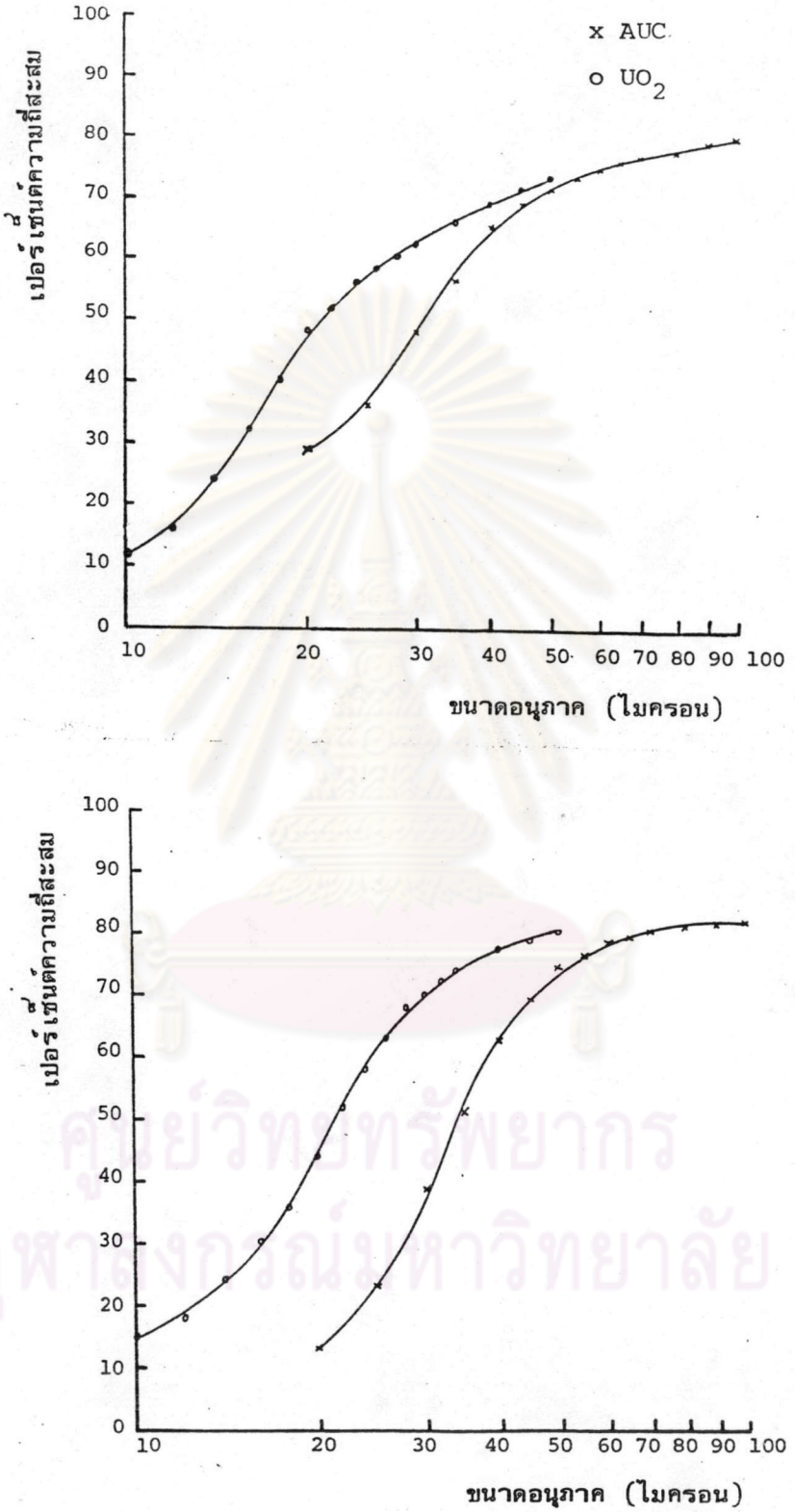




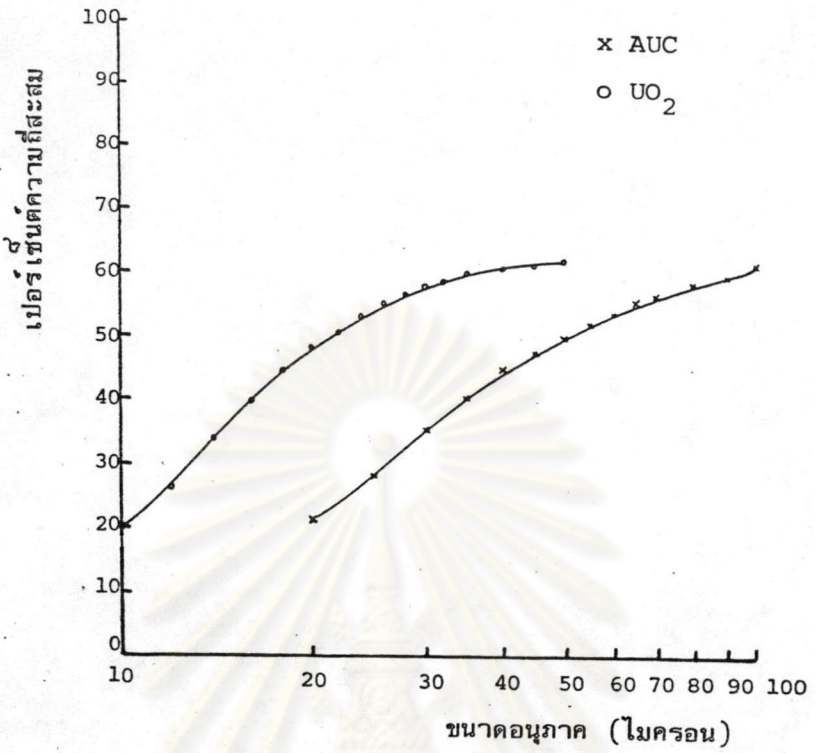
รูปที่ 5 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 9 (บน) และตัวอย่างที่ 10 (ล่าง)

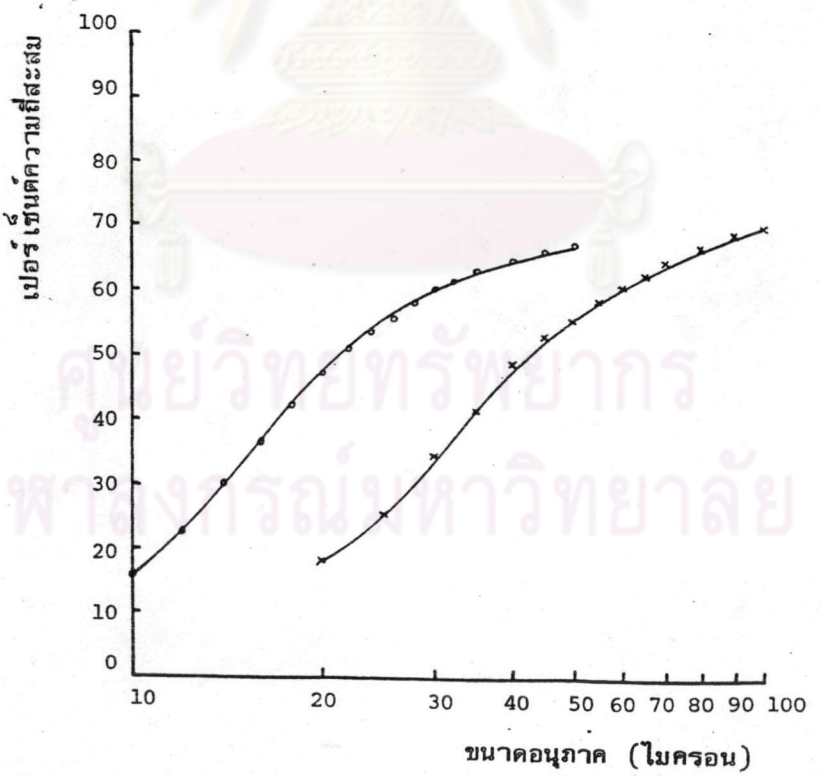


รูปที่ 6 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 11 (บน) และตัวอย่างที่ 12 (ล่าง)

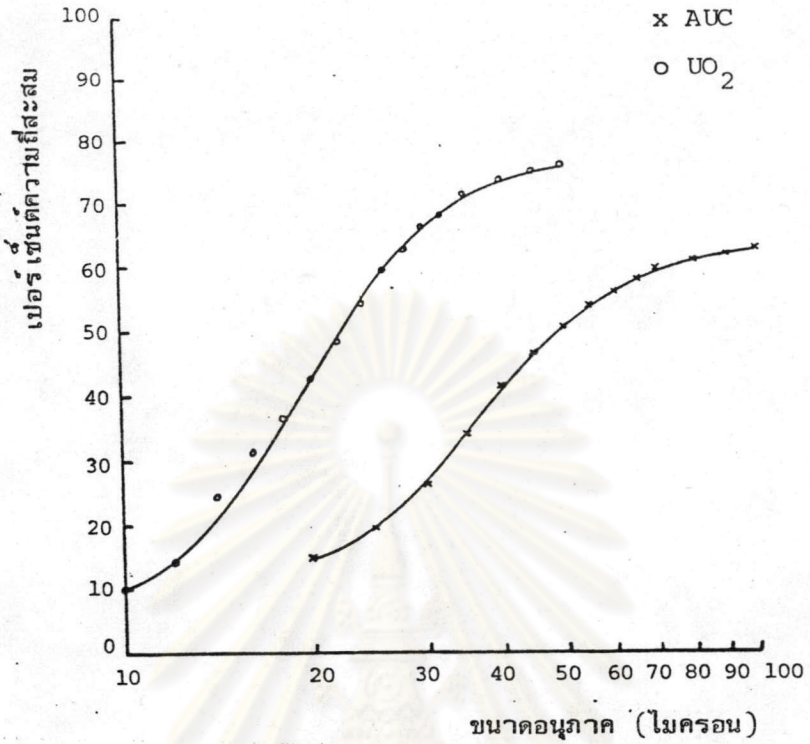


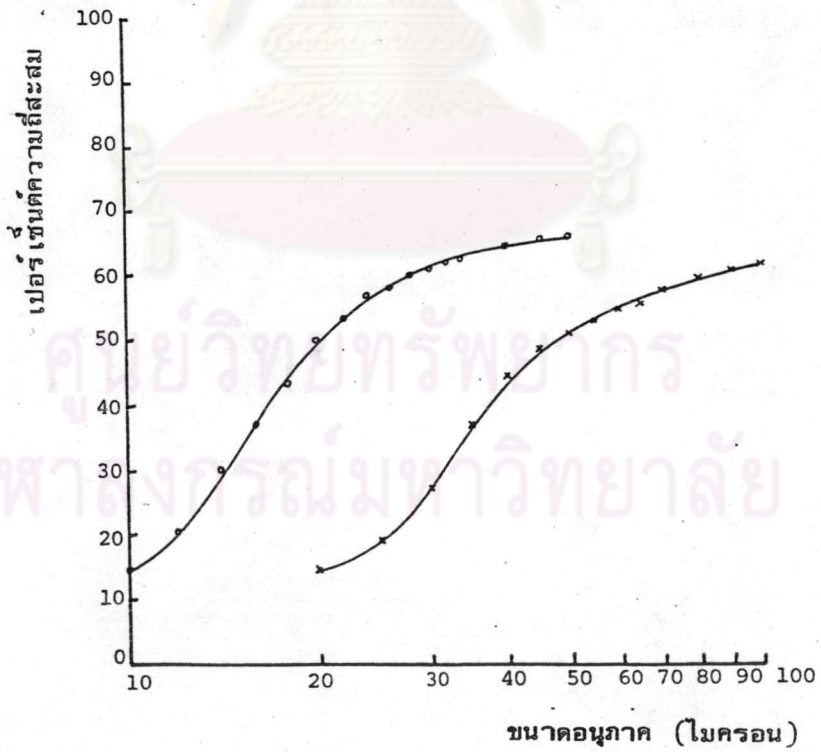
รูปที่ 7 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 13 (บน) และตัวอย่างที่ 14 (ล่าง)





รูปที่ 8 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 15 (บน) และตัวอย่างที่ 16 (ล่าง)





รูปที่ 9 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของแอมโมเนียม ยูเรนิล คาร์บอเนต และยูเรเนียม ไดออกไซด์ ตัวอย่างที่ 17 (บน) และตัวอย่างที่ 18 (ล่าง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

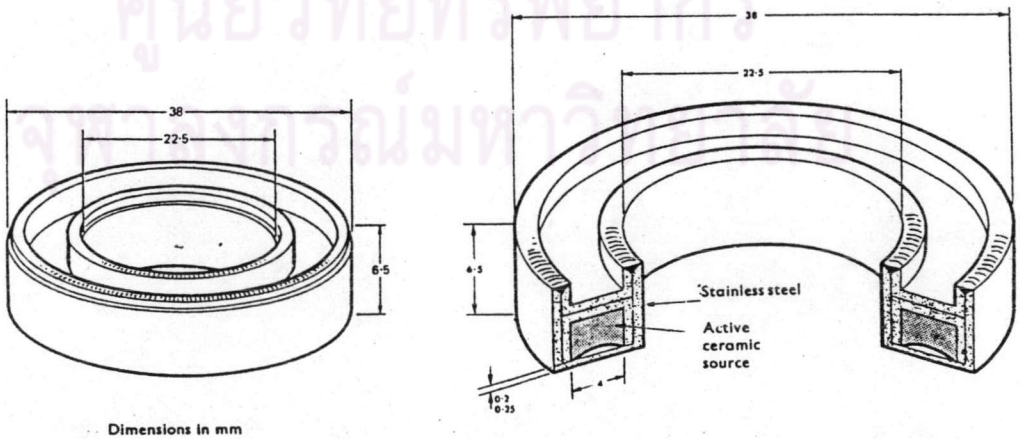
ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย

1. <u>การวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียม</u>

การวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียม ใช้วิธีการเรืองรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์เมเนียม-ลิเทียม หลักการของวิธีเรืองรังสีเอกซ์ คือ ทำให้อิเลคตรอนในวงโคจรชั้นในเกิดการอิออนไนซ์ (Ionization) หลุดออกจากอะตอม โดยการยิงรังสีปฐมภูมิเข้าไป เมื่ออิเลคตรอนในวงโคจรชั้นในหลุดไปจะเกิดที่ว่างขึ้น อิเลคตรอนจากวงโคจรนอก ซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่า จะเข้าไปแทนที่ว่าง แล้วปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่ารังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent X-Ray) และเรียกกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์เรืองว่าการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray fluorescence) เนื่องจากพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองมีค่าเฉพาะสำหรับธาตุแล้ว แต่ละชนิดจึงมีชื่อเรียกรังสีเอกซ์เรืองอีกชื่อว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-Ray) การวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณของธาตุอาศัยการวัดพลังงานและความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียม คือ แคดเมียม - 109 ความแรงรังสี 5 มิลลิคูรี ซึ่งเป็นชนิดวงแหวน โดยมีสารกัมมันตรังสีฉาบอยู่ด้านหนึ่งของวงแหวน ดังแสดงในรูป 10



รูปที่ 10 ลักษณะต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทปรังสี

วิธีวิเคราะห์คือ สร้างกราฟเทียบปรับ (Calibration curve) โดยสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีเอกซ์ซึ่งก็คือ ค่าจำนวนนับต่อหน่วยเวลา กับความเข้มข้น ของยูเรเนียม การเตรียมตัวอย่างและสารมาตรฐานจะใช้กรดบอริก (Boric acid powder) เป็นตัวประสาน อัดเป็นแผ่นกลม โดยใช้วงแหวนอลูมิเนียม อัดด้วยความดัน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว วิเคราะห์ความเข้มรังสี K X-Ray ที่พลังงาน 12.9 - 14.2 KeV

2. <u>การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน</u>

หาปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analyzer) หลักการคือ เผาไหม้สารตัวอย่างในบรรยากาศของออกซิเจนบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ดังแสดงในสมการ คือ

$$C \xrightarrow[O_2]{950\,^\circ C} CO_2$$

$$H \xrightarrow[O_2]{950\,^\circ C} H_2O$$

$$N \xrightarrow[O_2]{950\,^\circ C} \text{Oxide of Nitrogen}$$

ผลที่ได้คือ คาร์บอน ไดออกไซด์ น้ำ และออกไซด์ของไนโตรเจน จะใช้ลิเทียมไฮดรอกไซด์ ดูดซับคาร์บอน ไดออกไซด์ และแมกนีเซียม เปอคลอเรต ดูดซับน้ำ วัดหาปริมาณด้วย thermal conductivity detector ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจน ใช้ท่อที่บรรจุด้วยทองแดง เพื่อรีดิวซ์เป็นไนโตรเจนและเข้าเครื่องวัดโดยตรง

การวิเคราะห์จะต้องทำ Blank Run ก่อน เพื่อหักลบค่า Blank ออกจากสัญญาณของตัวอย่าง จากนั้นทำการเทียบกับสารมาตรฐาน

3. <u>การหาขนาดอนุภาค</u> (Particle size)

การหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องเซดดิเมนเตชัน (Sedimentation analyzer) เป็นการหาการกระจายขนาดของอนุภาค ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นช่วง ๆ มีหลักการคือ เมื่ออนุภาคตกลงในของเหลวซึ่งเป็นตัวกลาง (Medium) เกิดความเร็วขึ้นค่าหนึ่ง ซึ่งแทนด้วยสมการ คือ

$$V = \frac{H}{T} = \frac{2g\,(\rho_s - \rho_m)\,r^2}{9\eta}$$

ซึ่ง V คือ ความเร็วของการตก (Sedimentation velocity , เซนติเมตร / วินาที)

H คือ ความยาวของการตก (เซนติเมตร)

T คือ เวลา (วินาที)

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (เซนติเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง)

ρ_m คือ ความหนาแน่นของของเหลวตัวกลาง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของตัวอย่าง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

η คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวตัวกลาง (กรัมต่อเวลาและวินาที)

r คือ รัศมีของอนุภาค (เซนติเมตร)

วัดขนาดของอนุภาคในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง H และ T ดังนี้

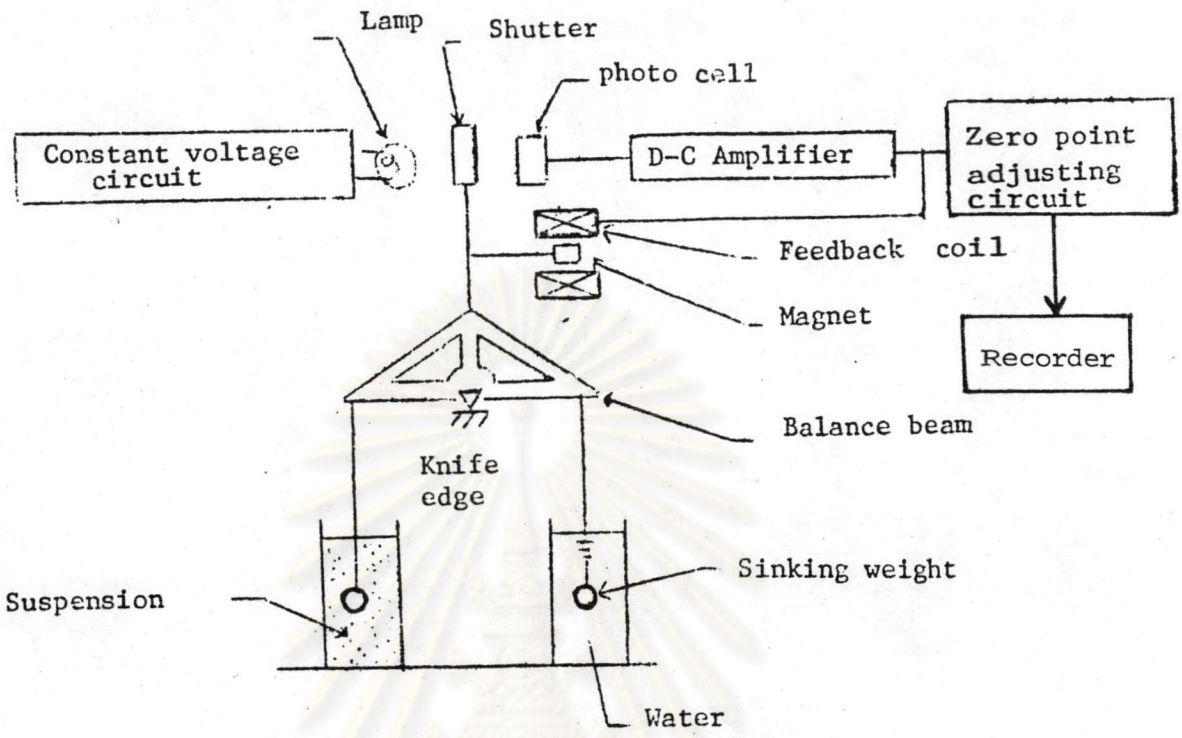
$$r^2 = \frac{9 \eta H}{2g (\rho_s - \rho_m) T}$$

หรือ $$d^2 = \frac{18 \eta H}{g (\rho_s - \rho_m) T}$$

d คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (เซนติเมตร)

การวัดขนาดอนุภาค อาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ในของเหลวตัวกลาง และของเหลวตัวกลางที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ ระบบการวัดความแตกต่างของความหนาแน่น มีแผนผังดังแสดงในรูปที่ 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 11 แสดงระบบการวัดความแตกต่างของความหนาแน่น

การหาขนาดอนุภาค คือ บรรจุของเหลวตัวกลางลงในกระบอก (Bottle) ทั้งสองข้างทำการปรับเครื่องที่ศูนย์ก่อน จากนั้น นำตัวอย่างโดยคำนวณน้ำหนักที่ใช้ดังสูตร คือ

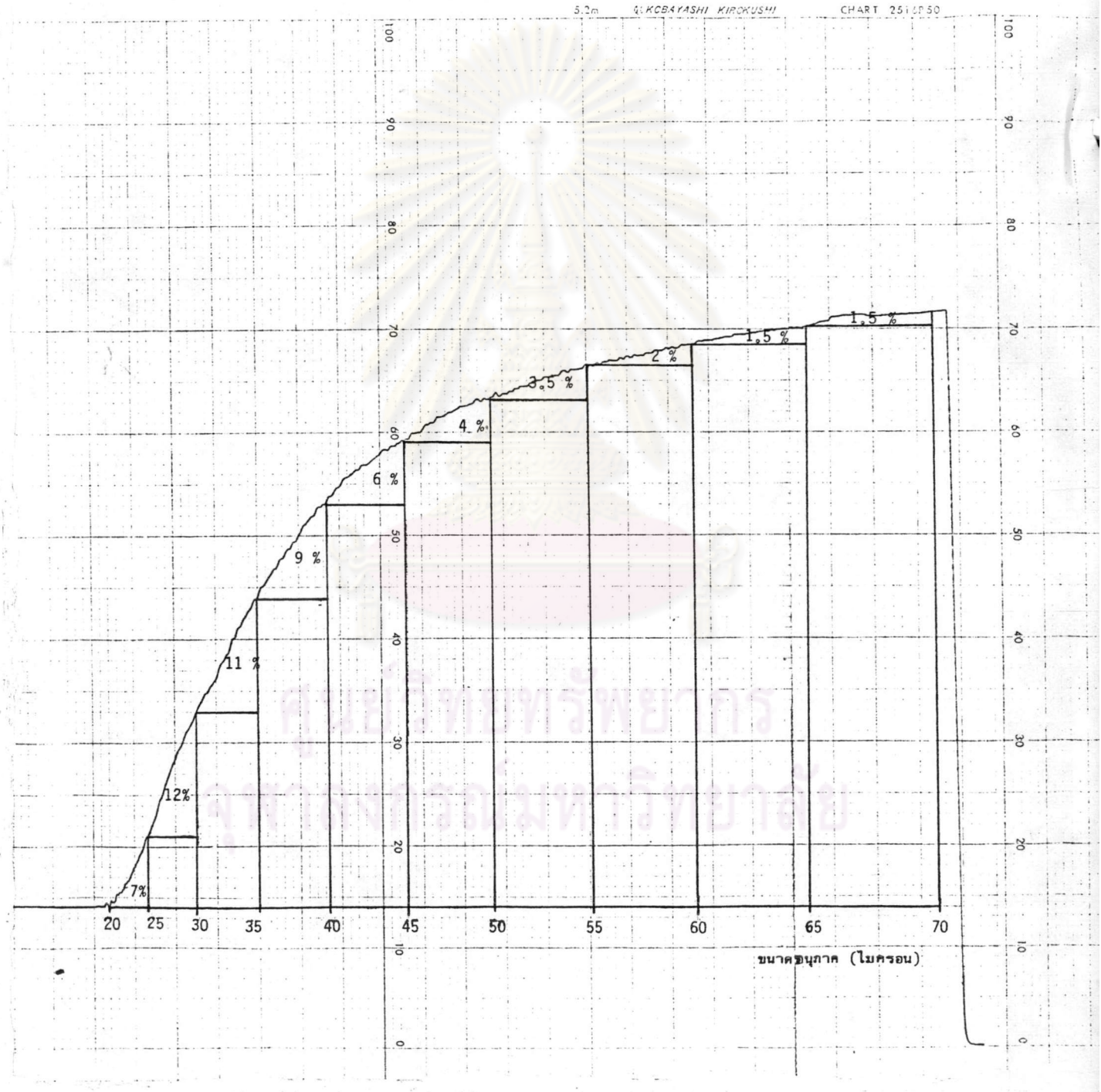
$$W = \frac{6\,\rho_s}{\rho_s - (\rho_m + 0.02)}$$

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

เทตัวอย่างลงในกระบอกด้านซ้าย กวนสารเพื่อให้เกิดการแขวนลอยอย่างสม่ำเสมอ จับเวลาเมื่อเริ่มปล่อยให้สารตกลงในของเหลวตัวกลางอย่างอิสระ เวลาที่ปล่อยให้ตก มีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของสารตัวอย่าง คือ

$$T = \frac{18\,\eta\,H}{g\,(\rho_s - \rho_m)\,d^2}$$

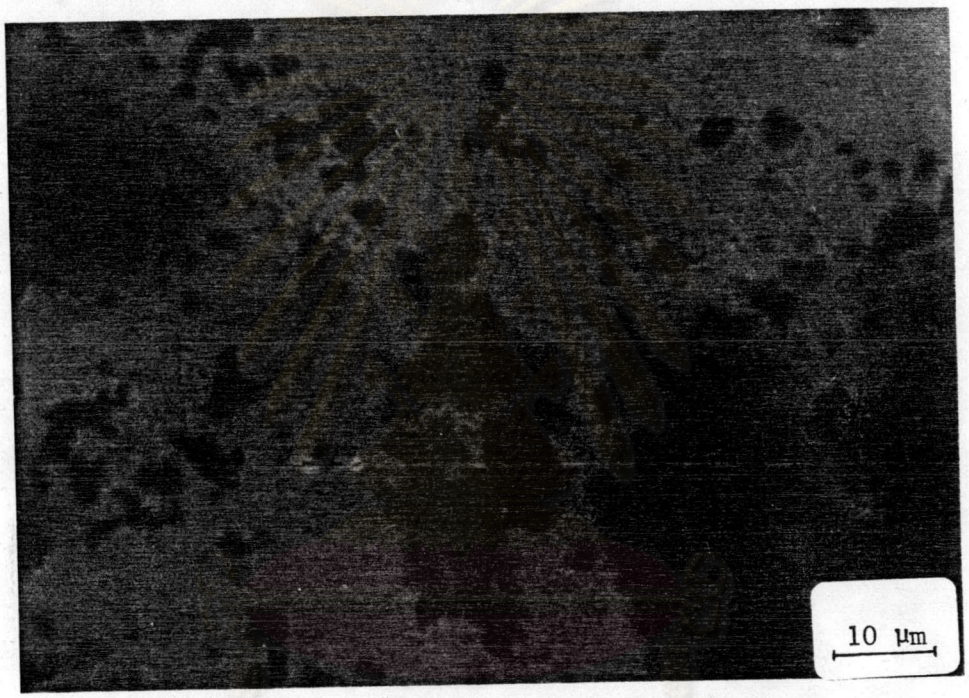
ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างของเหลวตัวกลาง และสารแขวนลอย จะถูกบันทึกและแสดงออกมาในรูปของกราฟ ซึ่งแกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ความถี่สะสม แกนนอนเป็นขนาดอนุภาคในหน่วยไมครอน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยดูจากตำแหน่งความถี่สะสม ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูป 12



รูป 12 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาค

ภาคผนวก ค

รูปแสดงลักษณะของผลึกแอมโมเนียม ไดยูเรเนต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 13 แสดงลักษณะของผลึกแอมโมเนียม ไดยูเรเนต ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า

ประวัติผู้เขียน

นางสาว วรรณา ศรีชวนชื่นสกุล ได้รับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2523 เข้าทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพของบริษัทน้ำตาลขอนแก่น จำกัด และเข้าศึกษาต่อในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย