



เอกสารอ้างอิง

1. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ , วีระชัย บัญชรเทวกุล และ สุพิชชา คชเสนี. "การพัฒนากระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ไดออกไซด์." โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
2. บุญหมาย อินทภูติ. "แร่ยูเรเนียม." เอกสารเศรษฐกิจธรณีวิทยา. กรมทรัพยากรธรณี, 2520.
3. Cordfunke, E.H.P. The Chemistry of Uranium. Amsterdam: Addison-Wesly Publishing Co., 1969.
4. Runnalls, O.J.C. Uranium Dioxide Fuel Elements. New York: Reinhold Publishing Co., 1959.
5. Peterson Sigfred et al. Chemistry in Nuclear Technology. USA: Addison-Wesly Publishing Co, 1963.
6. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, ศิริวัฒนา ไทรสมบูรณ์ และสุพิชชา จันทรโยธา Chemistry in Nuclear Technology. ภาควิชาเคมีเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
7. Sergeyeve, G.Y. et al. The Influence of Fabrication Methods on the Structure and Properties of Uranium." USSR, P/2404.
8. Jamrack,W.D. "Rare Metal Extraction by Chemical Engineering Techniques." New York: The Macmillian Co, 1963.
9. Nelson, R.L.; Parkinson, N. and Kent, W.C.L. "U.K. Development Toward Remote Fabrication of Breeder Reactor Fuel." Nuclear Technology, 1981.

10. Forthmann et al. "Investigation on the Preparation of  $UO_2$  Microspheres by Internal Gelation of  $UO_2$  Sol and from a Uranium (VI) Solution." Symposium on Sol-Gel Processes and Reactor Fuel Cycles, Gatlinburg, Tennessee, 1970.
11. Brambilla, G.; Gerontopulos; P. and Neri, D., "The SNAM Process for the Preparation of Ceramic Nuclear Fuel Microsphere." Energy Nucl (Milan) 17(1970): 217-224.
12. Facchini, A.G. "The SNAM Process for the Preparation of Ceramic Nuclear Fuel Microspheres : Continuous Production Technique." Energy Nucl (Milan) 17(1970): 225-233.
13. Beaty, R.L.; Norman, R.E.; and Notz, K.J. Gel-Sphere-Pac Fuel for Thermal Reactors-Assessment of Fabrication Technology and Irradiation Performance. Oak Ridge National Laboratory, Tennessee 37830, ORNL 5469, 1979.
14. Wymer, R.G. "A Progress Report on Sol-Gel Process Development at Oak Ridge National Laboratory." ORNL-TM-1118, 1965.
15. Facchini, A.G., "Ceramic Nuclear Fuel Microspheres by the Gel-Supported Precipitation Process." AGIP Nuclear Italy, 13(1970): 46-47.
16. Haas, P.A.; Kitts, F.G. and Beutler, H. "Preparation of Reactor Fuels by Sol-Gel Processes." Chemical Engineering Progress Symposium 63(80): 16-27, 1967.



17. Naefe Paul and Zimmer Erich. "Preparation of Uranium Kernels by an External Gelation Process." Nuclear Technology 42(1979): 163-171.
18. Engel, A.J.G. Sol-Gel Pilot Plant. Centrum Nederland, Nederland ECN-77-171, 1977.
19. Forthmann, R; Naoumidis, A and Nickel, H. "Untersuchungen Zur Herstellung Kugelformiger Brennstoffteilchen nach Einem Sol-Gel-Verfahren." Jul-583-RW, Marz, 1969.
20. Davies, W. and Gray, W. "A Rapid and Specific Volumetric Method for the Precise Determination of Uranium Using Ferrous Sulphate as Reductant," United Kingdom Atomic Energy Authority TRG Report 713 (D).
21. Wymer, R.G. "Preliminary Studies of the Preparation of  $UO_2$  Microspheres by a Sol-Gel Technique." Oak Ridge Laboratory, ORNL-TM-1110, 1965.
22. Warner, R.K. "Uranium Solution Chemistry." Australian J. Appl. Sci, 1953.
23. Suzuki, H.; Hase, T. and Iseki, T. "A New Aspect of Grain Growth of Sol-Gel Urania." J. Nucl. Sci. Technol. 11(1974): 146-152.
24. Suzuki, H. "Initial-Stage Sintering of Sol-Gel Urania." J. Nucl. Sci Technol. 11(1974): 208-215.

25. Haas, P.A. "Preperation of Sol-Gel Spheres Smaller than 200 Microns without Fluidization." Nucl Technology 10(1971): 283-292.
26. Janov, J. et al. Pilot Plant Development of Process for the Production of Ammonium Diuranate. Australian Atomic Energy Commission, 1975.
27. Mc.Bride J.P. "Preliminary Studies of the Preparation of  $UO_2$  Microspheres by a Sol-Gel Technique." ORNL-TM-1110, 1965.
28. นิภาวรรณ ปริมาธิกุล. "การพัฒนาระบวนการโซล-เจล โดยวิธีอินเทอร์บอลเจ เลชัน เพื่อใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์ ไมโครสเฟียร์." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
29. สุพิชชา คชเสนี. "การพัฒนาระบวนการโซล-เจล เพื่อผลิตเม็ดเชื้อเพลิงยูเรเนียม ชนิด เซรามิก." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.



ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

กระบวนการโซล-เจล โดยวิธีอื่น ๆ มีดังนี้

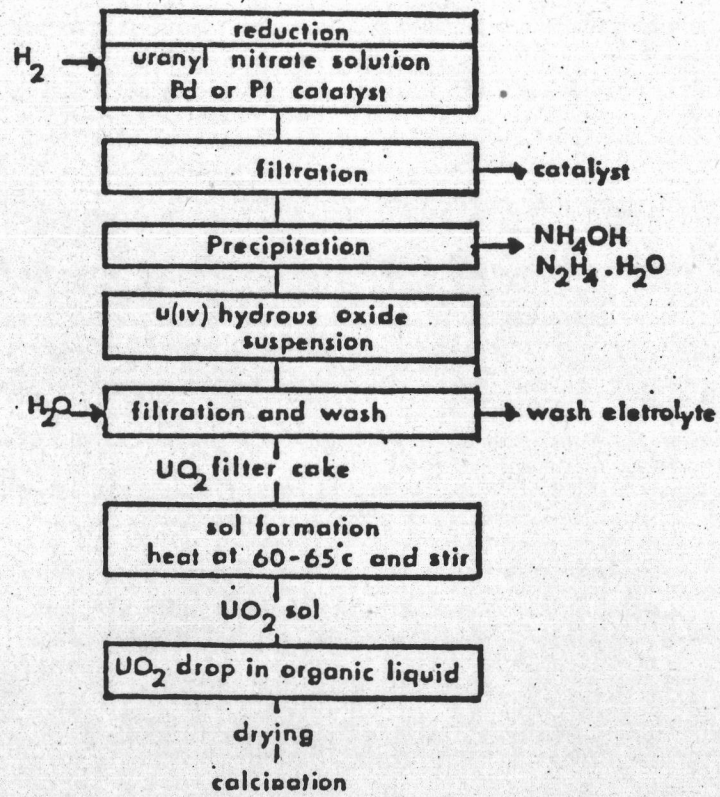
1. วอเตอร์ เอกซ์เทรคชัน เจลชัน (Water Extraction Gelation)

กระบวนการโซล-เจลที่ทำด้วยวิธีนี้ หยกของโซลจะถูกเปลี่ยนเป็นเจล และน้ำจะถูกดูดออกไปโดยสารละลายอินทรีย์ (organic solution) กระบวนการนี้ใช้ได้กับยูเรเนียมเข้มข้นตามธรรมชาติ (natural uranium) และยูเรเนียมที่เสริมสมรรถนะแล้ว

กระบวนการวอเตอร์ เอกซ์เทรคชัน เจลชัน ใช้ได้โดยตรงกับเครื่องปฏิกรณ์ที่มีความต้องการเชื้อเพลิงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 600 ไมโครเมตร ชั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการมีดังนี้

- การเตรียมโซล
- การเกิดเจล และเจลชัน
- การทำให้แห้ง
- การเผาที่อุณหภูมิสูง





รูป 1-ก. แผนผังการเตรียมยูเรเนียมไดออกไซด์ ไมโครสเฟียร์ (13)

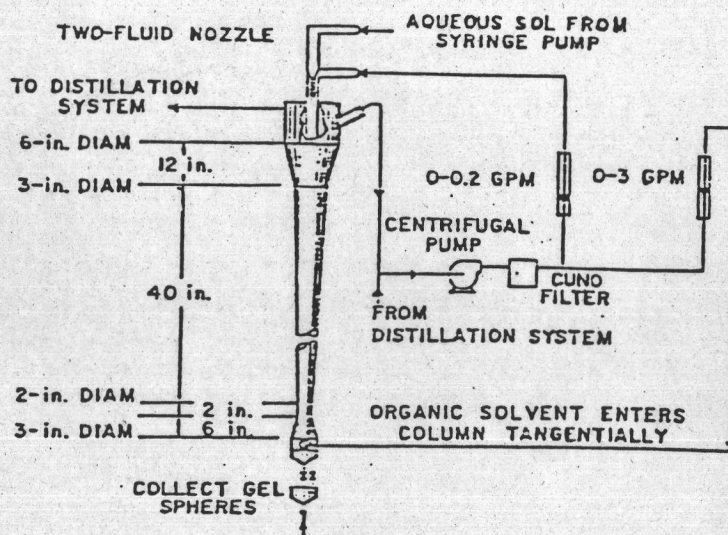
โดยกระบวนการวอเตอร์ เอกซ์เทรคชัน เจเลชัน

### 1.1 การเตรียมโซล

ขั้นแรกต้องรีดิวซ์ ยูเรนิล ไนเตรท ให้เป็นยูเรนิส ไนเตรท (uranous nitrate) โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน และสารละลายแอมโมเนียตกตะกอนยูเรนิส ไฮดรอกไซด์ (uranous hydroxide) ล้างตะกอนเพื่อกำจัดแอมโมเนียม ไนเตรท ด้วยกรดไนตริกและใช้ความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 60 - 65 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีการกวนอยู่ตลอดเวลา

### 1.2 การเกิดเจลและเจลชัน

การทำโซลให้เป็นหยดในสารละลายอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ใช้คือ 2-ethyl-1-hexanol (2EH) ซึ่งเป็นตัวสกัดน้ำออกจากหยดโซล จนกระทั่งได้เจลสเฟียร์ที่เป็นของแข็ง และมีการควบคุมเพื่อให้เกิดหยดอย่างสม่ำเสมอโดยใช้ พูลลูอิด นอชซัล ซึ่งแสดงดังรูป



รูป 2-ก - แสดงเครื่องมือโดยใช้พูลลูอิด นอชซัล (21)



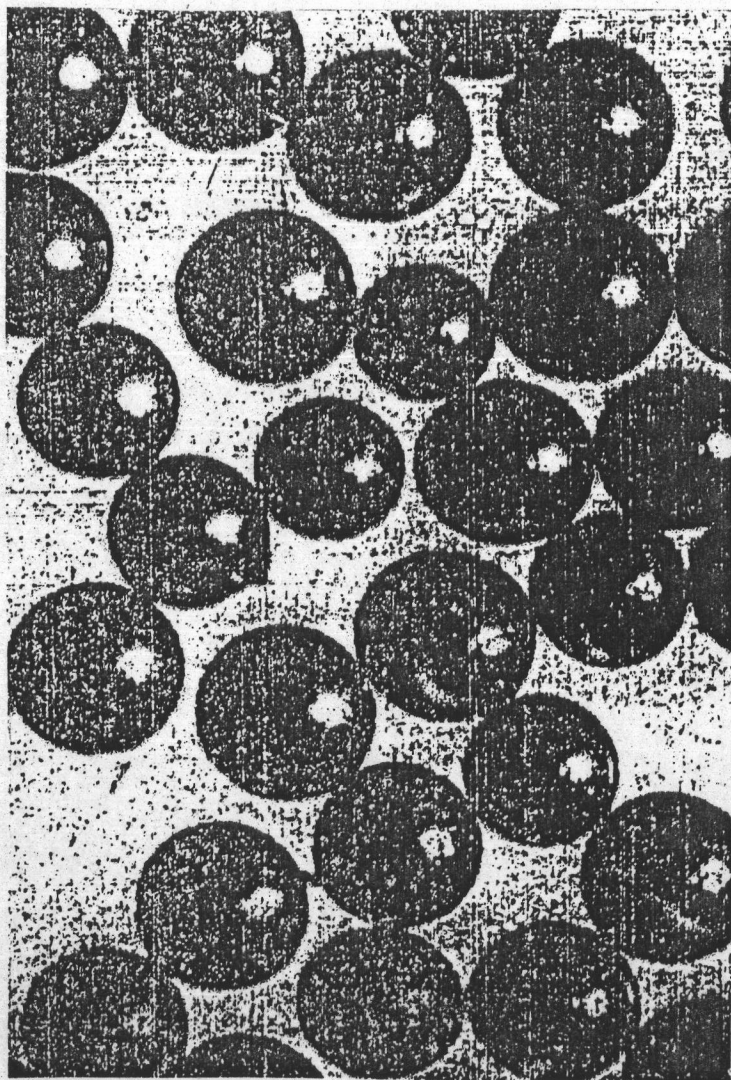
การทำเจลสเฟียร์อาจใช้สารอินทรีย์ตัวอื่น เช่น octanol-2 methylepentanol Isoamylalcohol แต่สำหรับ 2EH พบว่าการละลายของน้ำจะเป็นเนื้อเดียวกันดีกว่าแอลกอฮอล์ชนิดอื่น

### 1.3 การทำให้แห้ง

การทำไมโครสเฟียร์ให้แห้งเป็นการกำจัด 2EH ออกจากเจลสเฟียร์ โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนเป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง ซึ่งสารที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะถูกไล่ออกในช่วงอุณหภูมิ 100 - 200 องศาเซลเซียส และมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส สเฟียร์ที่ได้จะเหลือปริมาณคาร์บอนอยู่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

### 1.4 การเผาที่อุณหภูมิสูง

หลังจากการทำให้แห้งแล้วจะเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดแอลกอฮอล์ออกไป หลังจากนั้นค่อย ๆ ให้ความร้อนทีละน้อย จนถึง อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส และเมื่อเผาจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส จะทำให้สเฟียร์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น



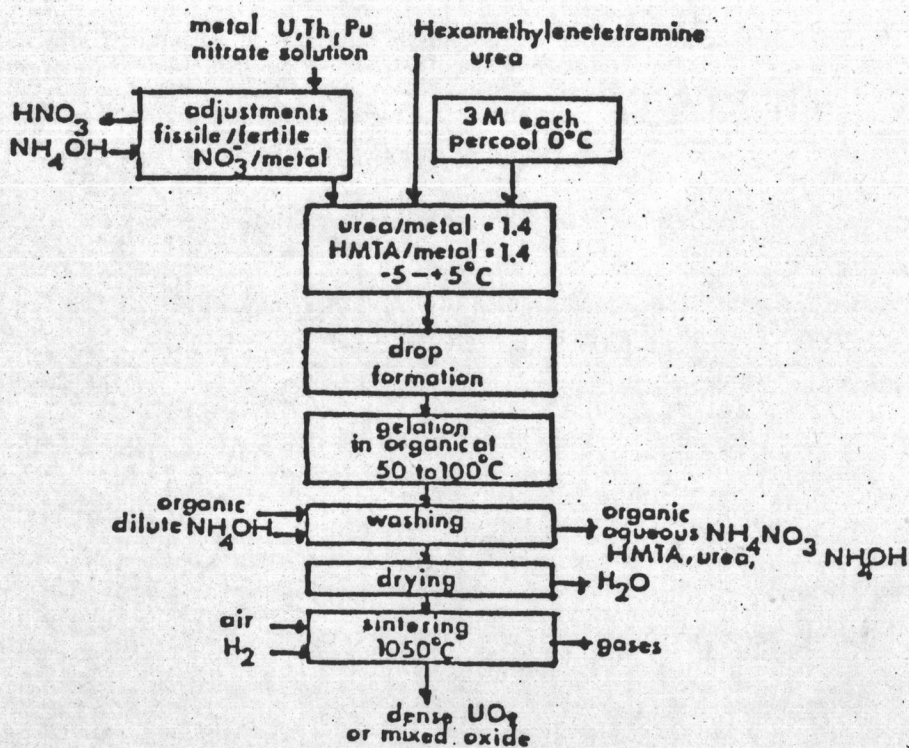
รูป 3-ก  $UO_2$  ไมโครสเฟียร์ โดยวิธีวอเตอร์ เอกซ์เทรคชัน เจเลชัน (14)  
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150  $\mu m$



## 2. อินเทอร์นัล เจลेशन (Internal Gelation)

กระบวนการโซล-เจลโดยวิธีอินเทอร์นัล เจลेशन ได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ได้วิธีการที่ดีในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง และสารเคมีที่ใช้ละลายน้ำได้ การตกตะกอนของโลหะหนัก เพื่อให้เกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อนทำให้แอมโมเนียระเหยออกมา ซึ่งขั้นตอนในการผลิตมีความคล้ายคลึงกันดังนี้

- การเตรียมโซล
- การเกิดสเฟียร์
- การล้าง
- การทำให้แห้ง
- การเผาที่อุณหภูมิสูง



รูป 4-ก แผนผังการเตรียมยูเรเนียม ไดออกไซด์ ไมโครสเฟียร์ (13)

โดยกระบวนการอินเทอร์นัล เจเลชัน





## 2.1 การเตรียมโซล

ใช้สารละลายแอซิด - เดฟิซิเียน (acid deficient) ของโลหะหนักที่มีความเข้มข้นประมาณ 3 โมลาร์ยูเรียและเฮกซะเมทิลีนเททระมีน (Hexamethylene Tetramine, HMTA) โดยควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส อาจอยู่ในช่วง -5 ถึง +5 องศาเซลเซียส เพื่อลดการแตกตัวของสเฟียร์

## 2.2 การเกิดสเฟียร์

นำโซลที่ได้ไปหยดผ่านดิสเพอร์ชัน ดีไวซ์ (dispersion device) เพื่อให้เป็นสเฟียร์ในสารละลายอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ใช้คือ ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene, TCE) โดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจาก TCE มีจุดเดือดที่ 87 องศาเซลเซียส

## 2.3 การล้าง

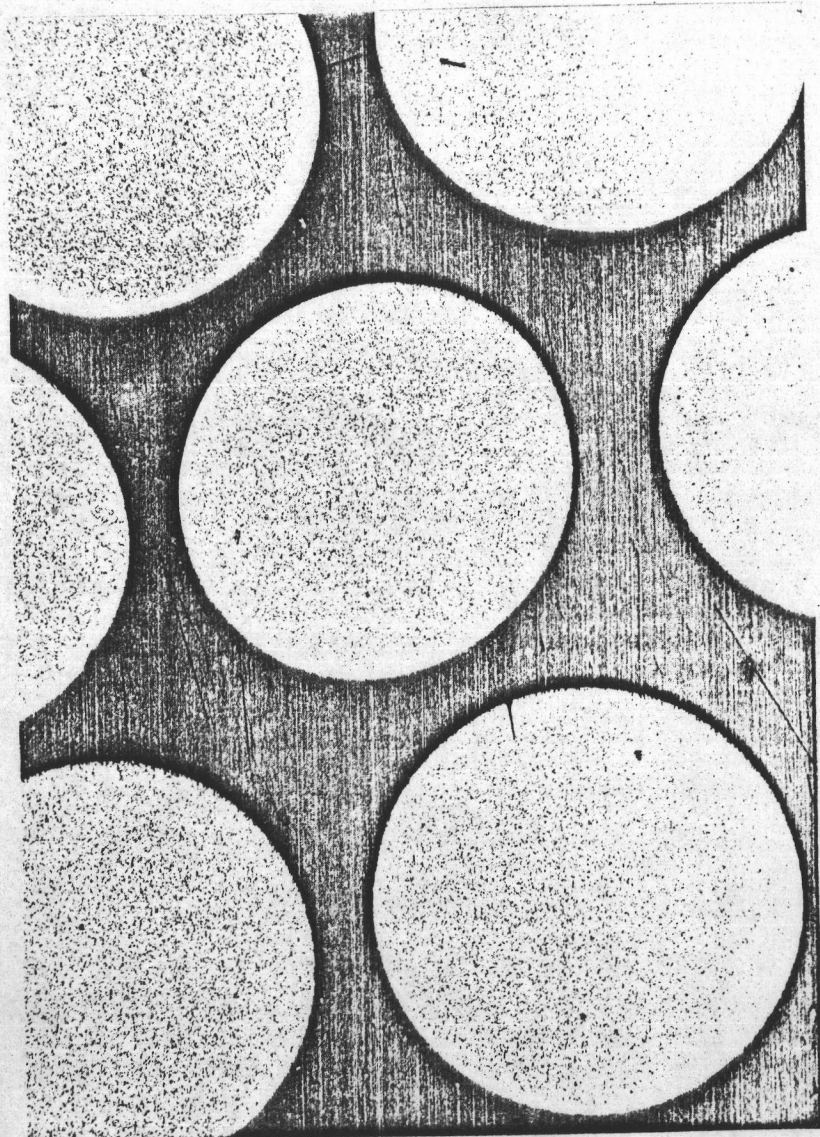
เป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตไมโครสเฟียร์ ซึ่งถ้าล้างไม่ดีจะทำให้ไมโครสเฟียร์แตกในระหว่างการทำให้แห้งและการเผา การล้างทำโดยใช้สารละลายแอมโมเนียเจือจาง (PH = 8.5) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ยังติดอยู่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการล้าง 1 - 2 ชั่วโมง หรืออาจจะใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl<sub>4</sub>) กับแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ โดยควบคุมให้ PH สูงกว่าหรือเท่ากับ 8.5

## 2.4 การทำให้แห้ง

นำสเฟียร์ที่ล้างแล้วไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส โดยวิธีทิ้งไว้ค้างคืนในเตาอบ หรือบ่มอากาศที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องให้ไหลเข้าทางด้านล่างเป็นเวลา 1 คืน

## 2.5 การเผาที่อุณหภูมิสูง

นำสเฟียร์ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของไฮโดรเจนและอาร์กอน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 1500 องศาเซลเซียสในบรรยากาศของไฮโดรเจนและอาร์กอนเช่นเดียวกัน โดยอัตราการเพิ่มความร้อน เป็น 200 - 300 องศาเซลเซียส ผลิตรัศที่ได้อาจมีลักษณะกลมผิวเรียบ และมีความหนาแน่นเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ของค่าตามทฤษฎี มีคาร์บอนปนอยู่น้อยกว่า 10 ส่วน ในล้านส่วน (ppm)



รูป 5-ก  $UO_2$  ไมโครสเฟียร์ โดยวิธีอินเทอร์นัล เจลเช็น (18)  
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1250  $\mu m$  (50x)



## ภาคผนวก ข

การประยุกต์ในการทำหยดโพลตาม Gel-Sphere-Pac

ปริมาณออกไซด์โลหะในสเฟียร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ได้จากขนาดของหยดโพลก่อนเกิดเจลเลชัน และต้องสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดได้ เพื่อผลิตสเฟียร์ได้ตามต้องการ การทำเป็นหยดเริ่มจากสารตั้งต้นไหลผ่านท่อรูตีบ ในการผลิตสเฟียร์โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความหนาแน่น 10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังตาราง 1 - ข

ตาราง 1-ข แสดงอัตราของการเกิดหยด (13)

Sintered Sphere Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Sphere Mass ( $\mu\text{g}$ )	Drop formation rate, drops/s	
		For 0.1 kg/h product	For 10 kg/h product
900	3820	7.3	730
300	141	196	$19.6 \times 10^3$
100	5.24	5300	$530 \times 10^3$
33	0.194	$1.4 \times 10^5$	$14 \times 10^6$

ความสามารถในการละลายของยูเรนิล ไนเตรทตาราง 2-ข Solubility of Uranyl Nitrate Hexahydrate in  
Selected Solvents (22)

Solvent	Solubility gm solute/gm solution at 20°C
Methanol	0.675
Acetone	0.617
Tri - n - butyl phosphate	0.542 (25 °C)
Water	0.540
Diethyl ether	0.491
n - buthyl alcohol	0.462
Methyl isobutyl ketone	0.428
Nitromethane	0.140
Dibenzyl ether	0.017



ตาราง 3-ข คุณสมบัติของยูเรเนียมในการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 85°C (12)

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF URANIUM BEARING DRIED MICROSPHERES (\*) (drying temp. 85 °C)

Density (g/cm <sup>3</sup> , Hg measured)		1.5
Weight loss at 900 °C (% by weight)		13.45 ± 0.3
Uranium (% by weight)		72.10 ± 1.0
Carbon (% by weight)		1.96 ± 0.25
Hydrogen (% by weight)		1.57 ± 0.08
Nitrogen (total) (% by weight)		1.95 ± 0.08
Nitrogen (NH <sub>4</sub> +) (% by weight)		1.89 ± 0.03
N/U ratio		0.445 ± 0.01

- (\*) Particle average diameter (~ 95%) = 1300 μm ± 3%.  
 • The analysis refers to the 110 °C pretreated material.

ตาราง 4-ข คุณสมบัติของยูเรเนียมระหว่างเผาที่อุณหภูมิ 450 และ 550 องศาเซลเซียส (12)

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF URANIUM BEARING CALCINED MICROSPHERES (\*)

Physico-chemical properties	Calcining temperature	
	450 °C	550 °C
Density (g/cm <sup>3</sup> , Hg measured)	1.65	1.93
Weight loss at 900 °C (% by weight)	4.60 ± 0.2	2.93 ± 0.2
Uranium (% by weight)	79.93 ± 0.63	80.90 ± 0.5
Carbon (% by weight)	≤ 0.05	≤ 0.05
Hydrogen (% by weight)	0.41 ± 0.05	0.11 ± 0.02
Nitrogen (% by weight)	≤ 0.05	≤ 0.05

- (\*) Particle average diameter (~ 95%) = 1230 μm ± 3%. The analysis refers to a 110 °C pretreated material.

ตาราง 5-ข คุณสมบัติของ  $UO_2$  ไมโครสเฟียร์ที่มีความหนาแน่นสูง (12)

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF  $UO_2$  HIGH DENSITY MICROSPHERES (\*)

Average ( $\sim 95\%$ ) diameter ( $\mu m$ )	$745 \pm 3\%$
Density ( $g/cm^3$ , Hg measured)	$10.80 \pm 0.1$ (98.5% T.D. $\pm 1\%$ ) (**)
Crushing strength (kg)	$4.2 \pm 0.3$
O/U ratio	$\leq 2.005$

(\*) Same samples as reported in tables 1 and 2 (calcined at  $450^\circ C$ ).

(\*\*) These values refer to mean values of batches of 160 g each.

ตาราง 6-ข คุณสมบัติของ  $UO_2$  ไมโครสเฟียร์ที่มีความหนาแน่นต่ำ (12)

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF  $UO_2$  LOW DENSITY ( $\sim 80\%$  T.D.) MICROSPHERES (\*)

Physico-chemical properties	First thermal cycle	Second thermal cycle
Average diameter ( $\sim 95\%$ , $\mu m$ )	$790 \pm 3\%$	$770 \pm 3\%$
Density ( $g/cm^3$ , Hg measured)	$6.00 \pm 0.2$	$8.95 \pm 0.1$ (81.6% $\pm 1.5\%$ ) (**)
Crushing strength (kg)	$4.25 \pm 0.3$	$4.1 \pm 0.2$
O/U ratio	$2.64 \pm 0.02$	$\leq 2.005$

(\*) Same samples as reported in tables 1 and 2 (calcined at  $550^\circ C$ ).

(\*\*) These values refer to mean values of batches of 300 g each.

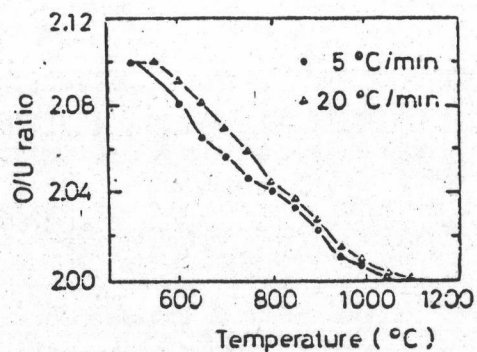


## ตาราง 7- ข ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาแน่น (23)

Relative density of specimen

Specimen No.	Temperature (°C)	Relative density (%)
0	As-pressed	43
1	750	48
2	850	57
3	950	67
4	1,000	70
5	1,080	75
6	1,150	79
7	1,250	83
8	1,350	87

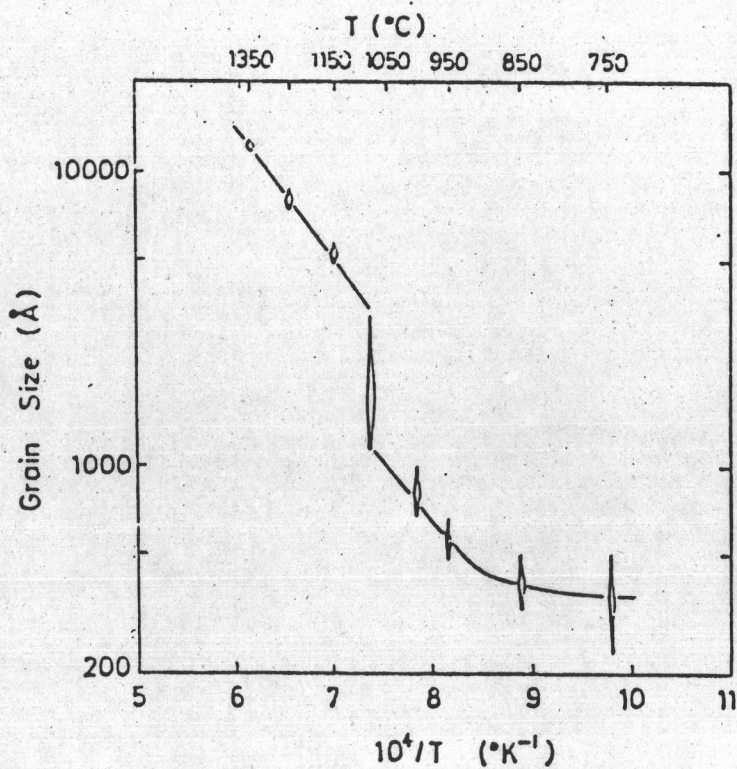
การเปลี่ยนแปลงของ O/U ratio ระหว่างการเผาประสาน (24)



Change of O/U ratio during sintering of sol-gel urania

รูป 1-ข การเปลี่ยนแปลงของ O/U ratio ระหว่างการเผาที่อุณหภูมิสูง

การเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรน (Grain size) (23)

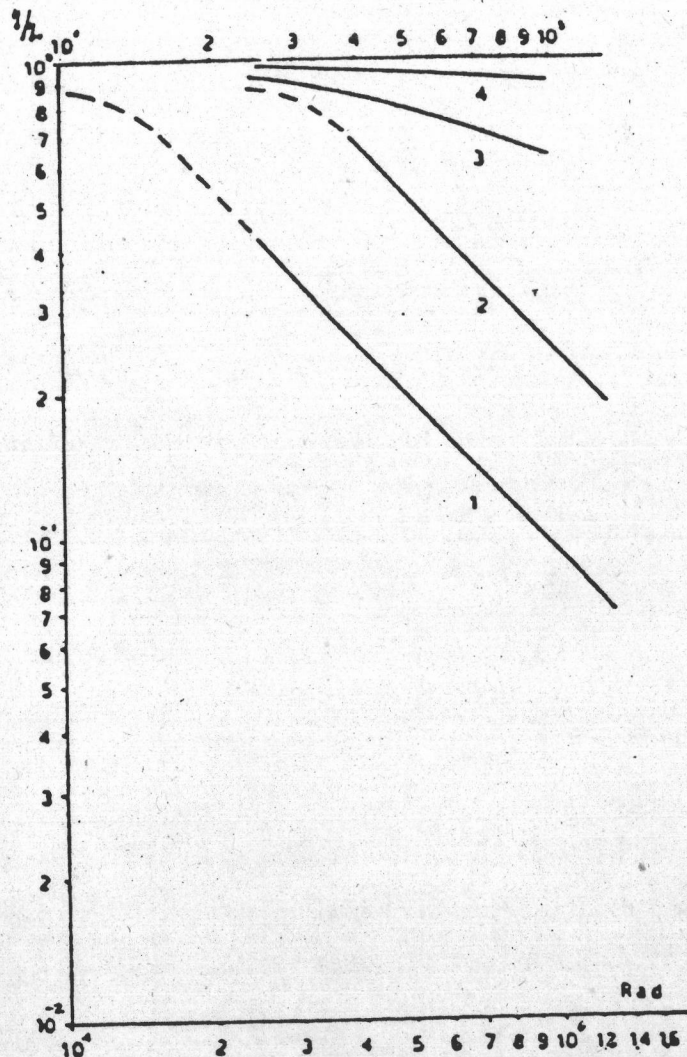


Change of grain size of specimen heated at 5°C/min

รูป 2-ข การเปลี่ยนแปลงของ Grain size



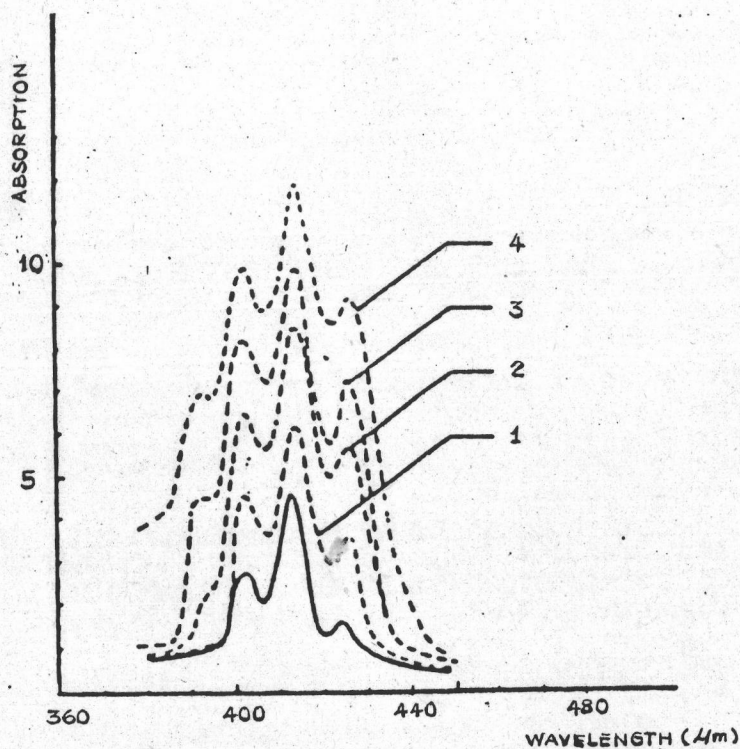
พฤติกรรมของ Method 90 HG (12)



Methocel 90 HG  $\beta$ - $\gamma$  radiation induced degradation  
 1. Methocel water solution at 8 g/l; 2. Methocel water solution at 8 g/l; 0.5 M free nitric acid, 180 g Me O<sub>2</sub>/l (95.8% U; 4.2% Th), as uranyl and thorium nitrates; 3. like for 2), with the addition of 1% by volume of tetrahydrofurfuryl alcohol; 4. like for 2), with the addition of 10% by volume of tetrahydrofurfuryl alcohol.

รูป 3-ข พฤติกรรมของ Methocel 90 HG

ความสัมพันธ์ระหว่าง 4-HF กับการดูดกลืนสเปกตรัมของ  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  (12)

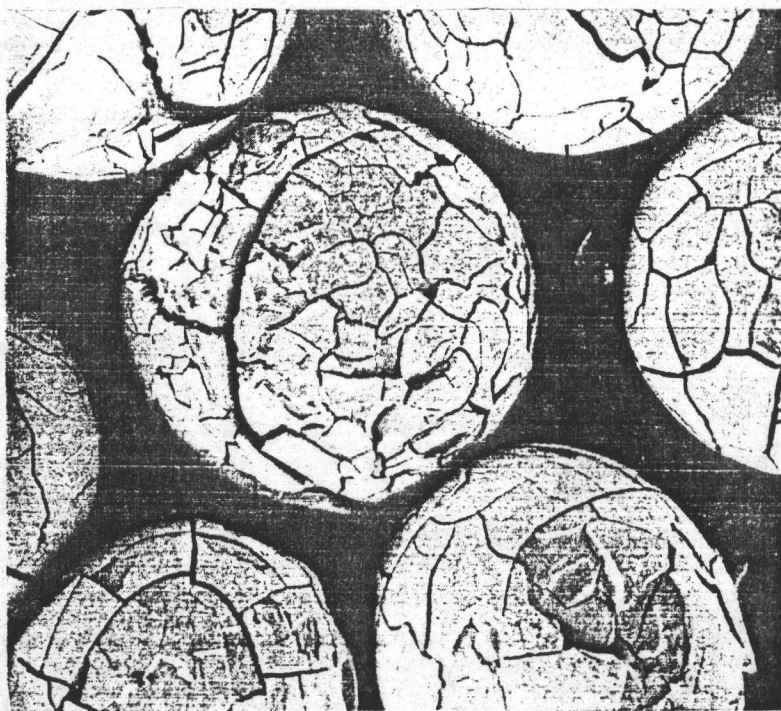


Influence of tetrahydrofurfuryl alcohol on the absorption spectra of  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ .

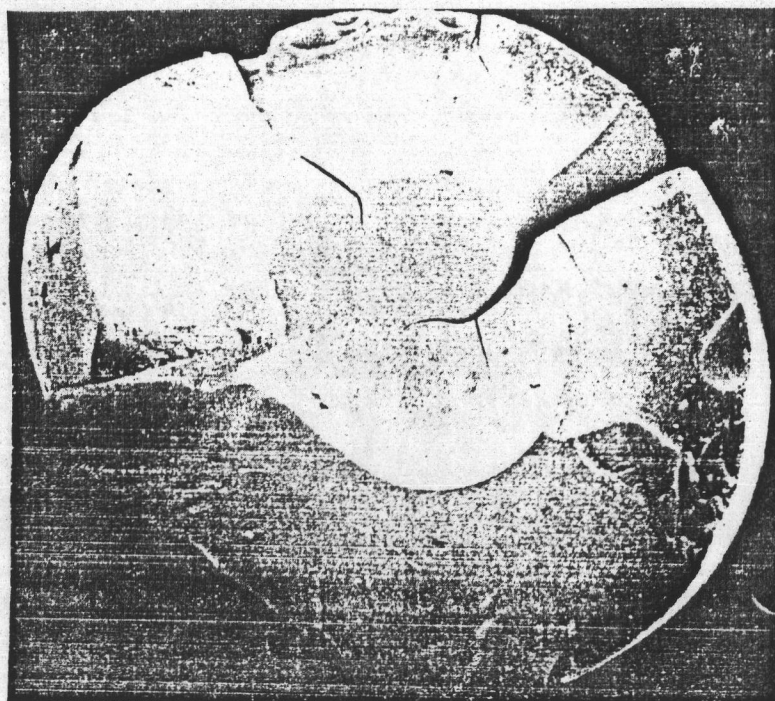
- $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  0.185 M -  $\text{HNO}_3$  0.44 M
- 1 - - -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  0.185 M -  $\text{HNO}_3$  0.44 M - 4-HF 35% - Methocel 0.7%
- 2 - - -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  0.185 M -  $\text{HNO}_3$  0.44 M - 4-HF 35% - Methocel 0.7% (aged 3 days)
- 3 - - -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  0.185 M -  $\text{HNO}_3$  0.44 M - 4-HF 35% - Methocel 0.7% (aged 7 days)
- 4 - - -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  0.185 M -  $\text{HNO}_3$  0.44 M - 4-HF 35% - Methocel 0.7% (aged 13 days)

รูป 4-ข ความสัมพันธ์ระหว่าง 4-HF กับ ยูเรนิล ไนเตรท





(a)



(b)

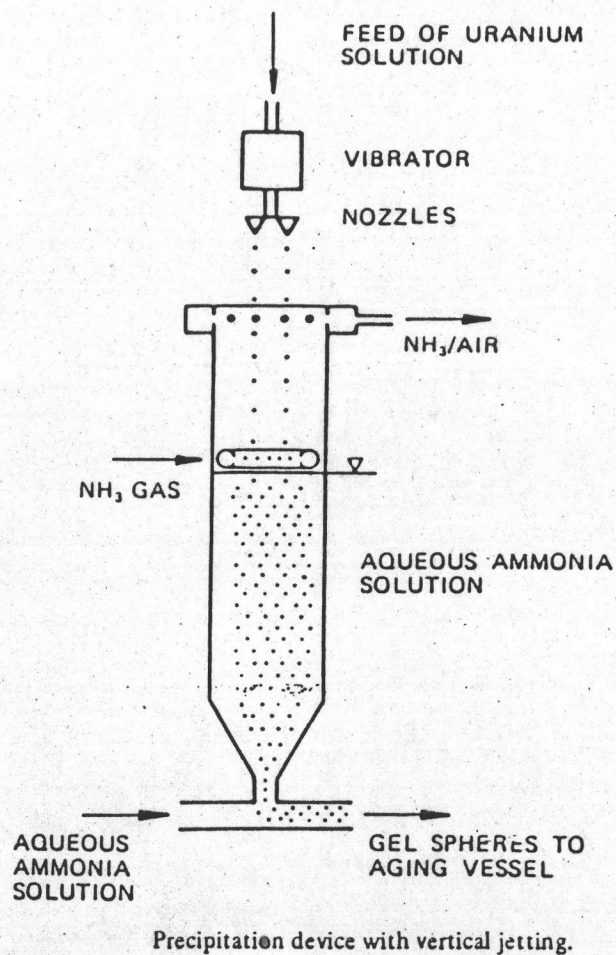
รูป 5-ข  $UO_2$  ไมโครสเฟียร์ที่แตกระหว่างการเผาที่อุณหภูมิสูง (19)

a) 24x

b) 48x

## ภาคผนวก ค

## 1. เครื่องมือทำให้เกิดหยดแบบ vertical jetting (17)



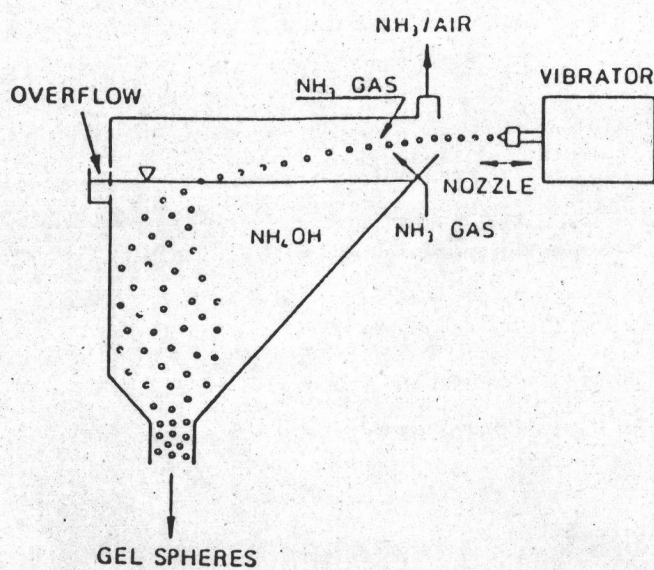
รูป 1-ค การเกิดไมโครสเฟียร์โดยใช้เครื่องมือแบบ vertical jetting

ส่วนของคอลัมน์จะแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ชั้นของก๊าซแอมโมเนีย และชั้นของสารละลายแอมโมเนีย การหยดจะผ่านอากาศก่อนจะผ่านชั้นของก๊าซแอมโมเนีย ความยาวของชั้นก๊าซแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 15-20 เซนติเมตร หยดไซลจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร และมีความเร็วของการหยด 1.5 เมตรต่อวินาที



2. เครื่องมือทำให้เกิดหยดแบบ horizontal jetting (17)

ปัญหาของสเฟียร์ที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือแบบ vertical jetting หลีกเลียงโดยใช้เครื่องมือแบบ horizontal jetting ดังรูป ระยะจากนอชชัลถึงสารละลายแอมโมเนียประมาณ 20 มิลลิเมตร และระยะที่หยดเคลื่อนที่ก่อนที่จะตกถึงผิวของสารละลายแอมโมเนียเป็น 11 เซนติเมตร เวลาที่หยดไหลสัมผัสกับก๊าซแอมโมเนียเป็น 0.07 วินาที ที่ความเร็ว 1.6 เมตรต่อวินาที ใช้มุมในการหยดประมาณ 15 องศา



Precipitation device with horizontal jetting.

รูป 2-ค การเกิดไมโครสเฟียร์โดยใช้เครื่องมือแบบ horizontal jetting

## ประวัติผู้เขียน

นายสุพจน์ กุชวานา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัย  
รามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2525 และได้เข้าศึกษาต่อที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2526 และได้เข้าทำงานที่สถาบันส่งเสริม  
การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ เมื่อปี พ.ศ.2528

