

การศึกษาการละลายของอิมโมเนียในฟลูอิดเซชันสามสถานะ



นายสมวิทย์ ศรีสันติสุข

005287

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๒

Solubility Studies of Ammonia in Three-phase Fluidization

Mr. Somwit Srisontisuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School


Chulalongkorn University

1979


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการละลายของอัมโมเนียในฟลูอิดเซชันสามสถานะ  
โดย                              นายสมวิทย์ ศรีสันติสุข  
ภาควิชา                              เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ

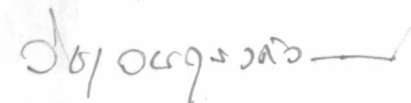
---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำนวยให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


                              คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประทีษฐ์ บุญนา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

                              ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ประสม สถาปิตานนท์)

                              กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชา วนดุรงค์วรรณ)

                              กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักรินทร์ ภูมิรัตน์)

                              กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการละลายของอัมโมเนียในฟลูอิดเซชันสามสถานะ
ชื่อนิสิต	นายสมวิทย์ ศรีสันติสุข
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา	๒๕๒๒



### บทคัดย่อ

ฟลูอิดเซชันสามสถานะเป็นเทคนิคใหม่ที่เพิ่งพัฒนามาจากระบบต่าง ๆ หลายระบบรวมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตแบบสามสถานะที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ยังไม่เคยปรากฏในเอกสารอ้างอิงใด ๆ การศึกษาได้แบ่งออกเป็นสองภาค

ภาคแรก เป็นการศึกษาความเป็นไปในเขตที่จะทำให้เกิดปริมาณก๊าซค้างตัวในเขต การทดลองได้ใช้ลูกพลาสติกกลมขนาด ๐.๗๘ ซม. เป็นเขตในหอทดลองขนาด ๗.๘ ซม. ทำด้วยแก้วสูง ๑๒๐ ซม. จากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเขตแล้ว สามารถแสดงเป็นสมการอยู่ในรูปของ

$$\epsilon_G = 0.505 Fr^{0.509} \exp 1.44 \frac{D_c}{H} \left[ 1 + 0.015 Re_L^{0.58} + 9.26 \times 10^{-3} \left( \frac{V_s}{V_p} \right)^{0.306} \right. \\ \left. \left( \frac{H}{D_c} \right)^{0.02} Mv^{0.375} Ga^{0.225} \right]$$

ภาคที่สอง ทำการศึกษาการดูดกลืนก๊าซอัมโมเนียด้วยน้ำ พบว่านอกจากตัวแปรที่ปรากฏในภาคแรกแล้ว ความเข้มข้นของอัมโมเนียในก๊าซผสมก็ยังมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทของมวลสารอีกด้วย ซึ่งเขียนสรุปเป็นสมการ การถ่ายเทมวลสารในฟลูอิดเซชันสามสถานะ สำหรับก๊าซที่ละลายในของเหลวได้ง่าย ดังนี้

$$Sh = 6.19 \times 10^5 Fr^{0.898} \left( \frac{D}{H} \right)^{1.112} Sc^{0.5} \exp 2.43y \left[ 1 + 6.2 \times 10^{-4} \left( \frac{V_s}{V_p} \right)^{0.098} \right]$$

$$\left( \frac{H}{D} \right)^{0.098} Mv^{0.155} Ga^{0.305} \left. \vphantom{\left( \frac{H}{D} \right)^{0.098}} \right]$$

Thesis Title Solubility Studies of Ammonia in Three-phase  
Fluidization

Name Mr. Somwit Srisontisuk

Thesis Advisor Assistant Professor Somsak Damronglerd, Ph.D

Department Chemical Technology

Academic Year 1979

## ABSTRACT

Three-phase fluidization is a new technic which is recently developed from bubble column and two-phase fluidization. Especially for the homogeneous (particulate bed) is not reported in the Literature.

First part of the experiment concerned with the study of hydrodynamics of the fluidized bed and influence of parameters on gas hold up. Spherical particle made of PVC with 0.78 cm. diameter were fluidized in air and water counter-current stream in the glass column 7.8 cm. diameter and 120 cm. high. The correlation of gas hold up can be expressed as follows:

$$\epsilon_G = 0.505 Fr^{0.509} \exp 1.44 \left( \frac{D_c}{H} \right) \left[ 1 + 0.015 Re_L^{0.58} + 9.26 \times 10^3 \left( \frac{v_s}{v_p} \right)^{0.306} \right. \\ \left. \left( \frac{H}{D_c} \right)^{0.02} Mv^{0.375} Ga^{0.225} \right]$$

Second part, the study of ammonia gas absorption by water was carried on. Not only the parameters in hydrodynamics study but also the concentration of ammoniation in gas stream had an influence on the volumetric mass transfer coefficient. The equation of mass transfer in three-phase fluidization for high flux gas absorption can be written as follows:

$$Sh = 6.19 \times 10^5 Fr^{0.898} \left( \frac{D_c}{H} \right)^{1.112} Sc^{0.5} \exp 2.43y \left[ 1 + 6.2 \times 10^{-4} \left( \frac{V_s}{V_p} \right)^{0.098} \right. \\ \left. \left( \frac{H}{D_c} \right)^{0.098} Mv^{0.155} Ga^{0.305} \right]$$

## กิตติกรรมประกาศ



ในการศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับความร่วมมือและการช่วยเหลืออย่างดีเลิศ จากบุคคลหลายท่าน ฉะนั้นข้าพเจ้าจึงขอถือโอกาสนี้แสดงความขอบคุณต่อบุคคลที่จะกล่าวต่อไปข้างล่างนี้

ความขอบคุณอย่างสูงที่สุดนั้นข้าพเจ้าขอมอบให้กับอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ ที่ให้การตักเตือน, การปรึกษา, การวิจารณ์, การสนับสนุน ตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนจบการศึกษานี้ พร้อมกันนี้ภายใต้การแนะนำที่สามารถ ตลอดจนการช่วยเหลืออย่างมากมายจากอาจารย์ที่ปรึกษา ข้าพเจ้าจึงได้รับความรู้และประโยชน์อื่น ๆ และสามารถสำเร็จการศึกษานี้ได้

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณต่อเจ้าหน้าที่ฝ่ายช่างทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้ช่วยซ่อมแซมเครื่องมือทดลองจนสามารถดำเนินการทดลองได้ตลอดการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณพหล อ่อนน้อม ที่ช่วยเขียนกราฟและรูปต่าง ๆ ในหนังสือนี้ และขอบคุณ คุณไพรัตน์ จันทร์วิจิตร ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์นี้ด้วย



## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
๑. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่างปริมาณก๊าซ กับ Froude number (จำนวนเม็ดพลาสติก ๓๐๐ เม็ด)	๓๖
๒. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่างปริมาณก๊าซกับ Froude number (จำนวนเม็ดพลาสติก ๖๐๐ เม็ด)	๓๗
๓. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ $D_c/H$ (จำนวนเม็ดพลาสติก ๓๐๐ เม็ด)	๔๑
๔. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ $D_c/H$ (จำนวนเม็ดพลาสติก ๖๐๐ เม็ด)	๔๑
๕. แสดงค่า $a_{13}$ เปลี่ยนแปลงตามความเร็วของน้ำ	๔๖
๖. แสดงค่า $a_{13}$ ที่คำนวณจากความเร็วของน้ำต่าง ๆ กัน	๔๗
๗. แสดงค่า $a_9$ ที่คำนวณจากความเร็วของน้ำต่าง ๆ กัน	๕๐
๘. ค่ายกกำลังของสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจายของก๊าซในระบบต่าง ๆ	๖๑
๙. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่าง $k_G a$ กับ $Fr$	๗๗
๑๐. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_c/H$	๘๗
๑๑. ค่าความชันเมื่อ plot ระหว่าง $k_G a$ กับ $y$	๘๙

## รายการประกอบรูป

รูปที่	หน้า
๑. ส่วนหนึ่งของท่อทดลองที่ความสูงของเบด H และ H + dH	๑๓
๒. เครื่องมือทดลองที่ใช้ในการศึกษาทาง hydrodynamics	๒๒
๓. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.266$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๒๔
๔. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๒๔
๕. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.388$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๐
๖. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๐
๗. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.480$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๒
๘. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.554$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๑
๙. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.630$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๑
๑๐. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.728$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 300$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๒
๑๑. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.266$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๓
๑๒. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, $V_S/V_P = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๓

รูปที่	หน้า
๑๓. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.388$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๔
๑๔. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๔
๑๕. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.480$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๕
๑๖. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ Fr เมื่อ $U_L = 0.577$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 600$ , ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	๓๕
๑๗. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ $D_c/H$ เมื่อ $U_G = 2.650$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 300$ , ที่ $U_L$ ต่าง ๆ กัน	๓๕
๑๘. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ $D_c/H$ เมื่อ $U_G = 2.650$ ซม./วินาที, $V_s/V_p = 600$ , ที่ $U_L$ ต่าง ๆ กัน	๔๐
๑๙. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ กับ $U_G$ เมื่อ $H = 60$ , $V_s/V_p = 300$ , $U_L = 0.266$ ซม./วินาที	๔๓
๒๐. ความสัมพันธ์ระหว่าง $\epsilon_G$ cal. กับ $\epsilon_G$ expt.	๔๔
๒๑. ส่วนหนึ่งของหอทดลองที่ความสูงเท่ากับ dz	๕๔
๒๒. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซ และของเหลว	๖๗
๒๒'. Partial pressure ที่ interface ของก๊าซแอมโมเนีย ที่สมดุลกับความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารละลายขณะนั้น	๗๒
๒๓. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ Fr เมื่อ $H = 60$ ซม., $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $y$ ต่าง ๆ กัน	๗๕
๒๔. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ Fr เมื่อ $H = 70$ ซม., $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $y$ ต่าง ๆ กัน	๗๖

รูปที่	หน้า
๒๕. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๗๘
๒๖. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๗๘
๒๗. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๗๘
๒๘. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๗๘
๒๙. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๐
๓๐. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๐
๓๑. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๑
๓๒. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๑
๓๓. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๒
๓๔. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๒
๓๕. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๓
๓๖. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $D_C/H$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, ที่ $U_G$ ต่าง ๆ กัน	๘๓

รูปที่	หน้า
๓๗. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $y$ เมื่อ $U_L = 0.333$ ซม./วินาที, $U_G = 7$ ซม./วินาที	๘๕
๓๘. ความสัมพันธ์ระหว่าง $k_G a$ กับ $y$ เมื่อ $U_L = 0.436$ ซม./วินาที, $U_G = 7$ ซม./วินาที	๘๖
๓๙. ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh. expt. กับ Sh. cal.	๘๙

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	iii
กิตติกรรมประกาศ .....	v
รายการตารางประกอบ .....	vi
รายการรูปประกอบ .....	vii
ภาคที่ ๑ บทที่	



๑. การศึกษา Hydrodynamics ของฟลูอิดเซชันสามสถานะ ..	๑
๑.๑ บทนำ .....	๑
๑.๒ ปริมาณก๊าซที่ค้างในหอทดลอง .....	๓
๑.๓ ปริมาณของแข็งที่อยู่ในเบค .....	๔
๑.๔ ปริมาณของเหลวในเบค .....	๖
๑.๕ ผลงานที่ทำมาแล้วในอดีต .....	๖
๑.๖ ลักษณะการรวมตัวของฟองก๊าซ .....	๑๐
๑.๗ การแตกตัวของฟองอากาศ .....	๑๑
๑.๘ การคำนวณหาปริมาณก๊าซค้างในเบค .....	๑๒
๑.๙ สรุป .....	๑๖
๒. การวิเคราะห์ทางทฤษฎี ปริมาณก๊าซค้างในหอทดลอง .....	๑๗
๓. เครื่องมือและวิธีการทดลอง .....	๒๑
๓.๑ เครื่องมือ .....	๒๑
๓.๒ ระบบการไหลของน้ำ .....	๒๔
๓.๓ ระบบการไหลของก๊าซ .....	๒๔
๓.๔ วิธีวัดปริมาณของก๊าซในหอทดลอง .....	๒๔
๓.๕ วิธีวัดปริมาณของของแข็งในหอทดลอง .....	๒๔

๔. ผลการทดลอง .....	๒๗
๔.๑ ลักษณะของงานทดลอง .....	๒๘
๔.๒ ศึกษาอิทธิพลของความเร็วก๊าซ หรือ Froude number ...	๒๘
๔.๓ ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของขนาดของหอทดลองต่อความ สูงของเบค .....	๓๘
๕. การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	๔๒
๕.๑ การศึกษาอิทธิพลของ Froude number .....	๔๒
๕.๒ การศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนของ $D_c/H$ .....	๔๒
๕.๓ การศึกษาถึงอิทธิพลของ Liquid Reynolds number...	๔๔
๕.๔ ศึกษาอิทธิพลของของแข็ง .....	๔๕
๕.๕ เปรียบเทียบผลจากการทดลองและผลจากการคำนวณ.....	๔๘

## ภาคที่ ๒ บทที่

๖. การถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซและของเหลว .....	๕๑
๖.๑ คำนำ .....	๕๑
๖.๒ พื้นที่สัมผัสเฉพาะ .....	๕๒
๖.๓ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารแบบปริมาตร .....	๕๓
๖.๔ ผลการทดลองที่ทำมาแล้วในอดีต .....	๕๕
๖.๕ อิทธิพลของสัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจายของก๊าซ .....	๖๐
๖.๖ สรุป .....	๖๐
๗. วิเคราะห์ทางทฤษฎีของการดูดกลืน .....	๖๓
๗.๑ Bubble Column .....	๖๓
๗.๒ ฟลูอิดเซชันสามสถานะ .....	๖๔
๘. เครื่องมือและวิธีการทดลอง .....	๖๖
๘.๑ เครื่องมือ .....	๖๖
๘.๒ วิธีทดลอง .....	๖๖

	หน้า
๔. ผลการทดลอง .....	๗๓
๔.๑ แนวทางการทำการทดลอง .....	๗๓
๔.๒ อิทธิพลของ Froude number .....	๗๔
๔.๓ อิทธิพลของความสูงของ เบดหรือกลุ่ม $D_c/H$ .....	๗๗
๔.๔ อิทธิพลของความเข้มข้นของก๊าซอัมโมเนีย .....	๘๔
๑๐. การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	๘๐
๑๐.๑ อิทธิพลของ Froude number .....	๘๐
๑๐.๒ อิทธิพลของความสูงของ เบด .....	๘๐
๑๐.๓ อิทธิพลของความเข้มข้นของก๊าซอัมโมเนีย .....	๘๑
๑๐.๔ ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทมวลสารในฟลูอิดเซชัน .....	๘๒
สามสถานะ	
๑๐.๕ สรุป .....	๘๓
สัญลักษณ์ .....	๘๖
เอกสารอ้างอิง .....	๘๘
ประวัติ .....	๑๐๓