

## บทที่ 1

### บทนำ



#### 1.1 ที่มา ปัญหา และเหตุผล

พลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางเป็นเวลาหลายสิบปีมาแล้ว เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity Generation) ใช้ในทางการแพทย์ไม่ว่าจะเป็นทั้งทางด้านรักษา (Therapy) และวินิจฉัย (Medical Diagnosis) ระบบอุตสาหกรรม (Industrials) นอกจากนี้ยังถูกใช้ในงานวิจัยด้านต่างๆ และเป็นที่ตระหนกอยู่แล้วว่าสิ่งที่หลงเหลืออยู่จากการใช้พลังงานนิวเคลียร์คือกากนิวเคลียร์หรืออาจเรียกว่ากากกัมมันตรังสี (Radioactive waste) ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้ไปส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

สำหรับประเทศไทย ก็ได้มีการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไม่มากนักก็ตาม ส่วนใหญ่จะเป็นกากจากการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ รองลงมาคือกากจากงานด้านการค้นคว้าและวิจัย และกากจากระบบอุตสาหกรรม และจากการสำรวจ[34] พบว่าหน่วยงานในประเทศไทยที่ให้กำเนิดกากกัมมันตรังสีในขณะนั้นมีทั้งหมด 123 แห่งโดยแบ่งออกเป็น โรงพยาบาล 24 แห่ง คณะแพทยศาสตร์ที่มีโรงพยาบาล 34 แห่ง สถาบันการศึกษา 10 แห่ง สถาบันวิจัยทางวิทยาศาสตร์และการเกษตร 20 แห่ง อุตสาหกรรม 35 แห่ง และหน่วยงานที่ยังไม่มีกากกัมมันตรังสี 111 แห่ง เป็นหน่วยงานที่ใช้สารกัมมันตรังสีชนิดของแข็งผนึกสนิท (Sealed Source) ทั้งหมดซึ่งสามารถแบ่งกากกัมมันตรังสีเป็นประเภทต่างๆและแยกตามปริมาณการเกิดกากกัมมันตรังสี ดังแสดงในตาราง 1-1

ตารางที่ 1-1 กากกัมมันตรังสีในประเทศไทย [34]

ชนิดของกากแยกตามแหล่งกำเนิด	จำนวน (%)	ชนิดของกากของเหลว	จำนวน (%)	ชนิดของกากของแข็ง	จำนวน (%)
กากทางการแพทย์	55.39	สารอินทรีย์	38.33	กากเผาได้	83.91
งานวิจัยด้านชีววิทยา	44.61	สารละลายน้ำ	61.67	กากบีบอัดได้	15.83
				กากบีบอัดไม่ได้	0.26
รวม	100	รวม	100	รวม	100

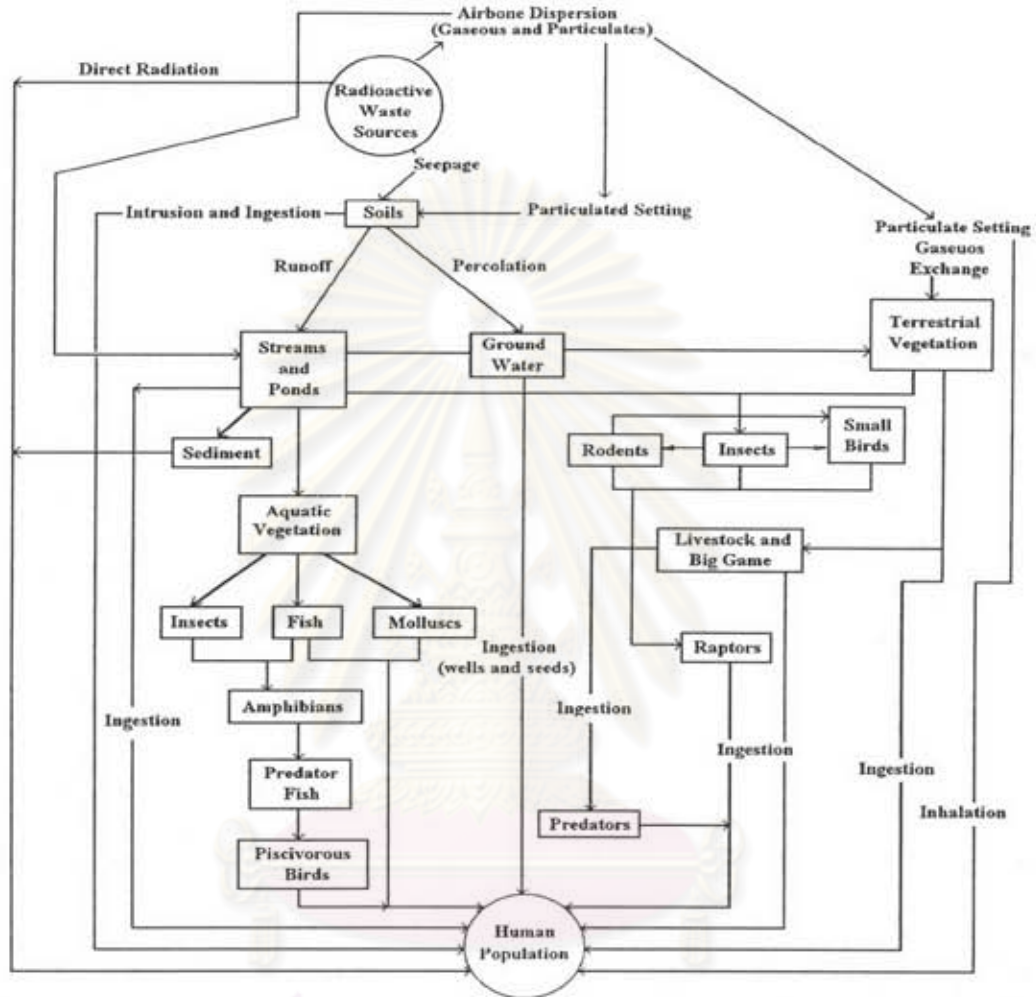
โดยทั่วไปกากกัมมันตรังสีจากการใช้งานด้านต่างๆมักเป็นกากกัมมันตรังสีระดับต่ำ (Low level Radioactive waste) และปานกลาง (Intermediate level Radioactive waste) ซึ่งต่างจากกากจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซึ่งมักเป็นกากขระดับสูง (High level Radioactive waste) ดังนั้นสำหรับประเทศไทยจึงมุ่งประเด็นไปยังการจัดการกากกัมมันตรังสีระดับต่ำและปานกลางซึ่งต้องการการจัดการที่ต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติของกาก ไม่ว่าจะเป็นการบำบัด (Treatment) การแปรสภาพหรือการผนึก (Conditioning) หรือการทิ้งกาก (Disposal) นอกจากระดับความแรงรังสีแล้ว สถานะของกากกัมมันตรังสีก็เป็นเกณฑ์อีกอย่างหนึ่งที่ใช้ในการแบ่งกากออกเป็นกากของแข็ง กากของเหลว กากที่เป็นก๊าซ และถ้าใช้ลักษณะเฉพาะของกากกัมมันตรังสีเป็นเกณฑ์ จะประกอบด้วยกากประเภทแก้ว ซึ่งเป็นผลผลิตจากการบำบัดโดยวิธีการเผา กากประเภทสลัดจ์ซึ่งเป็นผลผลิตจากการบำบัดโดยวิธีการตกตะกอน กากประเภทเรซินซึ่งได้จากการบำบัดโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน กากประเภทต่างๆเหล่านี้มีลักษณะทางกายภาพต่างกันฉะนั้นจึงต้องการวิธีการแปรสภาพหรือวิธีการผนึกกากที่แตกต่างกัน เพื่อประสิทธิภาพในการจัดการกากกัมมันตรังสีสูงสุด

การผนึกกากเป็นกระบวนการที่ทำให้กากกัมมันตรังสีไม่มีการรั่วไหลหรือเคลื่อนย้ายออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจมีผลกระทบต่อมนุษย์ชาติเป็นลำดับ ดังในแผนภาพที่ 1-1 แสดงลำดับการกระจายของกัมมันตภาพรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อมจากบริเวณที่ทำการฝังกาก ในกรณีที่มีการรั่วไหลหรือเคลื่อนย้ายของกาก จากแผนภาพพบว่ามนุษย์และสิ่งมีชีวิตประเภทอื่นมีความสัมพันธ์กันเป็นระบบนิเวศน์ ถ้ามีการรั่วไหลดังกล่าวมนุษย์จึงมีโอกาสได้รับผลของกัมมันตภาพรังสีนั้นด้วย ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณเท่าใดขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นหรือปริมาณของกัมมันตรังสีเริ่มต้นที่มีการรั่วไหล อัตราการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งขึ้นกับปัจจัยอีกหลายประการอีกเช่นกัน หรือชนิดของกาก เป็นต้น กรณีเช่นนี้มีการสร้างโปรแกรมจำลองขึ้นเพื่อประมาณค่ากัมมันตภาพรังสีที่บริเวณต่างๆ[31] แต่จะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้ ผลที่เกิดกับมนุษย์จากการได้รับกัมมันตภาพรังสีที่ปริมาณต่างๆ มีหลายระดับขึ้นกับปัจจัยทางชีวภาพซึ่งอาจแตกต่างกันในรายละเอียดของแต่ละบุคคล และปริมาณรังสีที่ได้รับด้วย ซึ่งได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทางด้านความปลอดภัยทางด้านพลังงานนิวเคลียร์ว่าจะต้องมีค่าน้อยกว่า 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี ในทางปฏิบัติปริมาณรังสีที่ได้รับถูกกำหนดว่าต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังคำกล่าวที่ว่า "As Low As reasonably Achievable" หรือ ALARA ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่าการผนึกกากเป็นกระบวนการสำคัญในการป้องกันการแพร่กระจายของรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นเหตุผลที่มีน้ำหนักมากพอสำหรับกระบวนการผนึกกากอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การผนึกหรือการแปรสภาพกากกัมมันตรังสีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายๆประเทศคือการใช้ซีเมนต์และการใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุที่ผนึกกากกัมมันตรังสีเข้าไว้ด้วยกัน ก่อนที่จะนำกากนั้นไปทำการฝังดิน ซึ่งเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งในการจัดการกากกัมมันตรังสีเช่นเดียวกับการบำบัดและการแปรสภาพกาก จากที่ทราบมาแล้วว่ากากแต่ละชนิดต้องการบำบัดและการผนึกที่ต่างกัน สำหรับกากกัมมันตรังสีที่เป็นกากอินทรีย์ เช่น กากประเภทเรซินจะมีปัญหาเรื่องการแยกชั้น (Phase Separation) กันในการผสมกับวัสดุประเภทซีเมนต์ นอกจากส่วนผสมจะไม่สามารถเข้ากันได้ดีแล้ว การบวม (Swelling) ก็มักจะเกิดกับกากที่ผนึกด้วยซีเมนต์ถ้าที่ฝังในบริเวณมีน้ำใต้ดินซึมผ่าน อีกทั้ง



ปริมาณและน้ำหนักที่มากของซีเมนต์และบิทูเมน ทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายและขนส่งกากกัมมันตรังสี จากบริเวณที่ทำการฉนึกไปยังบริเวณที่ทำการทิ้งกาก



รูปที่ 1-1 การกระจายของกัมมันตภาพรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวมาแล้ว วัสดุประเภทโพลีเมอร์ได้ถูกเลือกมาเป็นวัสดุสำหรับทดลองฉนึกกากกัมมันตรังสีอินทรีย์ดังกล่าวเนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ เช่น สามารถเข้ากับกากอินทรีย์ได้ดีกว่าซีเมนต์ ไม่บวมหน้าและมีน้ำหนักเบา วัสดุโพลีเมอร์มีหลายชนิด เช่น ไวนิลเอสเทอร์-สไตรีนซึ่งเป็นเทอร์โมเซตโพลีเมอร์หรือเทอร์โมพลาสติกโพลีเมอร์ที่สามารถใช้สำหรับฉนึกกาก แต่เพราะว่าเทอร์โมเซตโพลีเมอร์มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ประกอบด้วยสารเคมีอันตรายในกระบวนการผลิตและมีราคาแพง เทอร์โมพลาสติกโพลีเมอร์ เช่น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจึงได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เพราะสมบัติที่ตีหลายประการดังเช่น อุณหภูมิที่ไม่สูงมากในการฉนึกกากเนื่องจากไม่ต้องการให้กากกัมมันตรังสีถูกทำลายในระหว่างการผลิตเป็นวัสดุที่ทำได้ง่ายในประเทศ มีราคาถูกถ้าเทียบกับเทอร์โมเซตโพลีเมอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาใช้ในการผลิตกากกัมมันตรังสีระดับต่ำ

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 กากกัมมันตรังสีที่ใช้ในการวิจัยเป็นกากกัมมันตรังสีจำลองทั้งสิ้น เช่น กากประเภทเก่า กากประเภทเรซิน กากประเภทสลัดจ์ (Sludge) เป็นต้น

1.3.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกากกัมมันตรังสีระดับต่ำ

1.3.3 ทดสอบคุณสมบัติของกากที่ผลิตได้ ดังเช่น คุณสมบัติเชิงกล ความทนทานต่อสารเคมี คุณสมบัติในการถูกชะล้าง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตกากกัมมันตรังสีระดับต่ำ ด้วยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอนาคต

## 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ.1986 Heiser , J. H. III Franz , E. M. และ Colombo , P. [11] ได้ทำการพัฒนากระบวนการทำให้กากประเภทความแรงรังสีต่ำแข็งตัวด้วยโพลีเอทิลีนโดยใช้เครื่อง extruder ใช้ระบบ extrusion โพลีเอทิลีนที่ใช้เป็นชนิดความหนาแน่นต่ำ ค่าความหนาแน่นระหว่าง 0.917 ถึง 0.924 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าดัชนีการไหล (Melt index) ระหว่าง 20-55 กรัมต่อ 10 นาที ได้ทำการวิจัยโดยเปลี่ยนอัตราส่วนของกากชนิดต่างๆ และอัตราส่วนของสารช่วยในการแข็งตัวโดยมีอัตราส่วนสูงสุดของกากประเภทต่างๆดังนี้ โขเดียมซัลเฟต 70 เปอร์เซ็นต์ กรดบอริก 50 เปอร์เซ็นต์ แก้ว 40 เปอร์เซ็นต์ และ เรซิน 65 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบจะขึ้นกับการควบคุมการผลิตและผลการทดสอบที่เหมาะสมคือมีกาก 3 ชนิดแรกที่สามารถผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้กระบวนการข้างต้นได้ แต่สำหรับกากประเภทเรซินปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถดำเนินการผลิตได้คือส่วนผสมที่มีกากเพียง 30 เปอร์เซ็นต์

ปี ค.ศ.1987 Heiser , J. H. III Franz , E. M. และ Colombo , P. [13] ได้ทำการพัฒนากระบวนการทำให้กากประเภทเกลือไนเตรทแข็งตัวด้วยโพลีเอทิลีนโดยใช้เครื่อง extruder ประเภท single screw ซึ่งสามารถเดินเครื่องได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนผสมของโพลีเอทิลีนและกากจะถูกป้อนเข้าจากฮอปเปอร์ทางด้านบนของเครื่อง extruder และเข้าสู่คอนเทนเนอร์ในสภาพหลอมเหลวซึ่งอุณหภูมิ



ที่ใช้ในการทำให้โพลีเอทีลีนหลอมเหลวมีค่าประมาณ 110-120 °C แล้วทิ้งไว้ให้เย็นหรือทำการหล่อเย็น ภายที่ได้ผ่านกระบวนการทำให้แข็งตัวแล้วจะมีรูปร่างอย่างไรขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ทำการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างกากขและโพลีเอทีลีน ในขณะที่ได้กำหนดกากขที่ใช้ในการวิจัยเป็นการชนิดแห้งและกากขที่ผ่านการทำให้แข็งตัวโดยให้โพลีเอทีลีนแล้วจะถูกทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการถูกชะล้าง (leachability) ความคงทนเชิงกล (mechanical stability) และทำการทดสอบความเข้ากันได้ของโพลีเอทีลีนและกากข โดยใช้เครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) โดยทำการทดสอบระบบที่มีส่วนผสมของ PE/NO<sub>3</sub> ระบบ PE และ NO<sub>3</sub> เพียงอย่างเดียว

ในปี คศ.1987 Heiser , J. H. III Franz , E. M. และ Colombo , P. [12] ได้มีการพัฒนากระบวนการทำให้แข็งโดยใช้โพลีเอทีลีนเป็นสารทำให้แข็งตัวสำหรับกากขประเภทต่างๆ เช่น ถ้ำเกลือ และ เรซิน สำหรับกากขประเภทเกลือที่จะใช้เป็นตัวแทนของกากขที่ได้จากการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในทางอุตสาหกรรม คือ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ HB<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ในขณะที่กากขประเภท NaNO<sub>3</sub> จะได้จากการใช้ประโยชน์ทางการป้องกันประเทศ (defense-related facilities) กระบวนการจะใช้โพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีดัชนีการไหล (melt index) ในช่วง 20 ถึง 55 กรัมต่อนาที เป็นสารช่วยในการทำให้แข็งตัว ผลปรากฏว่าจะทำให้ง่ายต่อการดำเนินการ (Process) และจะมีประสิทธิภาพในการดำเนินการสูง สำหรับกากขชนิดแห้งจะใช้เครื่อง Single screw extruder ในการดำเนินการผสมกากขและสารช่วยในการทำให้แข็งตัว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวจะต้องทำการผสมที่อุณหภูมิ ประมาณ 120 °C สำหรับกากขชนิดเปียกจะใช้เครื่อง extruder ที่มีช่องระบายอากาศ เช่นเดียวกับเครื่องที่ใช้ในการทำให้แข็งตัวโดยใช้บิทูเมน (Bitumen Solidification) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกทดสอบสมบัติในการถูกชะล้าง และสมบัติเชิงกล และจะมีการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง DSC จะทำการวัดในช่วงอุณหภูมิ 50-400 °C

ในปี คศ.1982 Y . Hayase N . Moriyama M . Hayashi และ M . Kurita [20] ในนามของบริษัท Niigata engineering จำกัด แห่งประเทศญี่ปุ่น ได้ทำการพัฒนาระบบการทำให้แข็งตัวสำหรับกากขชนิดต่างๆ โดยใช้เทอร์โมพลาสติกเรซินเป็นสารช่วยในการแข็งตัว จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อลดปริมาณของกากขและเพื่อผนึกกากข ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะมี 2 ประเภทเปรียบเทียบกันคือเป็น monolithic block และ Pellet สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย Co-60 และ CS-137 โดยการเติม <sup>60</sup>CoCl<sub>2</sub> และ <sup>137</sup>CsCl ลงในกากขประเภทสเลอรี่ (slurries) สำหรับระบบความปลอดภัยเนื่องจากการใช้สารกัมมันตรังสีจริงในการวิจัยจะถูกควบคุมอย่างใกล้ชิด หลังจากได้ผลิตภัณฑ์ จะนำเม็ดผลิตภัณฑ์มาทดสอบสมบัติดังนี้ ทดสอบความหนาแน่น ความสม่ำเสมอของชิ้นงาน ความแข็งแรงเชิงกลและสมบัติในการถูกชะล้าง ผลการวิเคราะห์วิจัยปรากฏว่าโพลีเอทีลีนประเภท monolithic block มีความแข็งแรงเท่าหรืออาจจะแข็งแรงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำให้แข็งโดยใช้ซีเมนต์ ประมาณ 22/15-33/15 เท่า นอกจากนี้ยังมีความเปราะน้อยกว่าผลิตภัณฑ์กากขผนึกจากซีเมนต์ ส่วนความทนทานในการถูกชะล้าง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กากขผนึกจากซีเมนต์

จะมีค่า diffusion coefficient ต่ำกว่าสำหรับทุกชนิดของกากขี้ทุกประเภท แต่มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กากฉีกจากบิทูเมน อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบระหว่างการฉีกกากขี้โดยใช้โพลีเอทิลีนกับการฉีกกากขี้โดยใช้บิทูเมน จะเห็นว่าโพลีเอทิลีนได้เปรียบกว่าตรงที่ไม่มีการบวมในน้ำ (Swelling tendancy) สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดเม็ด (pellet Product) ซึ่งใช้ chlorinated polyethylene เป็นสารช่วยในการแข็งตัว ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียวมีลักษณะคล้ายยาง (elastic rubber-like material) และเมื่อนำไปทดสอบความทนทานต่อแรงกดจะไม่แตกหัก แต่จะมีลักษณะแบนลงไปคล้ายกับแพนเค้ก ในทางตรงข้ามกันจะสามารถเตรียมผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของกากสูงถึงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยที่ไม่มีการแตกหัก



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย