บทที่ 1
บทนำ

1.1. สภาวะความเป็นมา

ในการก่อสร้างปัจจุบัน คอนกรีต จัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง จึงได้มีการพัฒนาคุณภาพของคอนกรีตให้มีคุณภาพสูงและเหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งในสภาพเหลวและสภาพที่แข็งตัวแล้ว

การพัฒนาคอนกรีตได้เริ่มต้นมาตั้งแต่ช่วงต้นศตวรรษที่ 19 โดย Duff Abrams (1919) ได้เสนอหลักการของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ซึ่งมีผลโดยตรงกับกำลังรับแรงของคอนกรีต และถือเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ต่อมาเมื่อมีความต้องการคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงจึงมีการพัฒนา คอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ซึ่งมีกำลังอัดมากกว่า 560 กก./ตร.ซม. โดยการใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ แต่สภาพการใช้งานไม่สะดวก เนื่องจากความสามารถทำงานได้ต่ำจึงได้พยายามนำวัสดุประเภทอื่นเข้าผสมเพื่อช่วยปรับปรุง เช่น สารเคมีผสมเพิ่มหรือสารเพิ่มเติม เป็นต้น ดังตัวอย่างเช่น สารปอซโซลาน, ไมโครซิลิกา, ขี้เถ้าลอย, สารลดน้ำ หรือสารลดน้ำพิเศษ (Superplaticizer) เพื่อให้ได้ความสามารถการเทสูงขึ้นดังเช่นงานวิจัยของ Johansen, Smeplass และ Lindgrad[1] ปรับปรุงความสามารถเทได้โดยการเพิ่มอัตราส่วน ซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวม, เพิ่มสารลดน้ำและไมโครซิลิกา โดยพิจารณาจากความสูญเสียของความข้นเหลว แต่การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงมุ่งเน้นในด้านกำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตามคอนกรีตในการก่อสร้างต้องการคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานด้วย จึงมีการปรับปรุงและพัฒนาเป็น คอนกรีตสมรรถนะสูง (High Performance Concrete, HPC) ที่มีคุณสมบัตินอกเหนือจากคุณสมบัติทางด้านกำลังให้ดีขึ้น โดยมีการกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญไว้ดังนี้ :-

NIST/ACI[2,3] (National Institute of Standards and Technology/American Concrete Institute), ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดให้ คอนกรีตที่มีคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือจากคอนกรีตทั่วไป คือ

-ความสามารถในการทำงานได้สูง ง่ายต่อการเทลงในแบบหล่อโดยปราศจากการแยกตัว (Seggregation)

-กำลังอัดของลูกตัวอย่างทรงกระบอกของคอนกรีตที่อายุหลังจากการหล่อ, 1 และ 28 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า 350 และ 700 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

-มีเสถียรภาพเชิงมิติได้คงที่ มีอัตราการซึมผ่านได้ยาก โดยปราศการแตกร้าวและการหดตัวน้อย

-มีความทนทานสูงโดยจะได้รับผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในระหว่างการใช้งานน้อย

JSCE (Japanese Society for Civil Engineering)[4] , ประเทศญี่ปุ่น ให้ความหมายของคอนกรีตสมรรถนะสูงว่าเป็นคอนกรีตที่สามารถเทลงแบบได้ง่าย มีความแน่นของมวลรวมสูงและมีการยึดเหนี่ยวสูง ปราศจากการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวและจากอุณหภูมิ

นอกจากนี้ประเทศในแถบยุโรปให้คำจำกัดความของคอนกรีตสมรรถนะสูงว่าเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติกำลังอัดของตัวอย่างทรงกระบอกมีค่าไม่น้อยกว่า 50 เมกกะปาสคาล และค่าการยุบตัวมากกว่า 20 ซม. (ประเทศฝรั่งเศส)[5], หรือเป็นคอนกรีตที่มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 60 เมกกะปาสคาล (ประเทศสวีเดน)[6] โดยสามารถแสดงเปรียบเทียบข้อกำหนดของแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 1.1.

ตารางที่ 1.1. ข้อกำหนดของคอนกรีตสมรรถนะสูง

อเมริกา	*ญี่ปุ่น*	*ยุโรป*
-ความสามารถทำงานได้สูง	-การไหลตัวดีโดยปราศจากการเยิ้มและการกระทุ้ง -ปราศจากการการแยกตัวและการเยิ้ม	-การยุบตัวมากกว่า 20 ซม. -การไหลตัวมากกว่า 50 ซม. -ระยะการทำงานมากกว่า $1\frac{1}{2}$ ซม. -ปราศจากการแยกตัว
-กำลังอัด 1 วัน มากกว่า 350 กก./ตร.ซม. 28 วัน มากกว่า 700 กก./ตร.ซม.	-กำลังอัดตามการใช้งาน	-กำลังอัด 1 วัน มากกว่า 50%ของ 28 วัน 28 วัน มากกว่า 600 กก.ตร.ซม.
-การซึมผ่านต่ำ -มีเสถียรภาพคงที่ -การแตกร้าวและการหดตัวต่ำ -ทนทานต่อสภาพแวดล้อมสูง	-การหดตัวต่ำ -ความทนทานสูง -ความทึบน้ำสูง	-ปราศจากการแตกร้าว -ความทนทานสูง -ความทึบน้ำสูง

ในงานวิจัยนี้จะยึดถือคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงมาใช้ประโยชน์กับงานก่อสร้างอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาขนาดคละมวลรวมในการปรุงแต่งคุณสมบัติของคอนกรีตให้มีสมรรถนะสูงตามต้องการ การวิจัยจะมุ่งเน้นในการปรับปรุง, แก้ไข และ การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยยึดถือขนาดคละมวลรวมที่มีในท้องตลาดให้สามารถผลิตคอนกรีตสมรรถนะสูง

ในสภาพแข็งตัว และให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนด ในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงไว้ดังนี้ :-

-ความสามารถทำงานได้สูงโดยมีค่าการยุบตัว มากกว่า 20 ซม. มีค่าการไหลตัวจากการทดสอบระหว่าง 50 - 60 ซม. และปราศจากการแยกตัวของมวลรวม

-กำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน มีค่ามากกว่า 600 กก./ตร.ซม. และค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 1 วันมีค่ามากกว่า 50 % ของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

-มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี

-มีเสถียรภาพเชิงมิติคงที่, ปราศการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิและการหดตัวมีค่าน้อยมากรวมทั้งค่าการซึมผ่านของน้ำต่ำ

-ระยะเวลาการก่อตัวคงสภาพการไหลตัว สำหรับใช้ในการทำงานได้ไม่น้อยกว่า $1\frac{1}{2}$ ชม.

1.2. งานวิจัยที่ผ่านมา

การพัฒนาคอนกรีตสมรรถนะสูงในต่างประเทศได้ทำการวิจัยและนำไปใช้ประโยชน์ โดยหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและพัฒนาคอนกรีตสมรรถนะสูงในประเทศฝรั่งเศส, Larrard[5] (1980) ทำการศึกษาที่ LCPC (Laboratorie Central des Ponts el Chaussa'es) กรุงปารีส อธิบายคอนกรีตสมถรรนะสูงเป็นคอนกรีตที่มีกำลังอัดของลูกปูนตัวอย่างทรงกระบอกไม่น้อยกว่า 500 กก./ตร.ซม. การศึกษาพบว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุด (Maximum Size of Aggregate, MSA) ไม่เกิน 20 ซม.ใช้กับปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูง Malier และ Larrard[7] ได้รวบรวมการใช้คอนกรีตสมรรถนะสูงในช่วงปี ค.ศ.1984 - 1988 สามารถสรุปคุณสมบัติที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตสมรรถนะสูงว่าควรมีค่าความดูดซึมน้ำน้อยกว่า 1 % ขั้นตอนในการผสมและการเพิ่มสารผสมเพิ่มเวลาที่ใช้ในการผสมควรมากกว่าคอนกรีตปกติประมาณ 3 นาทีต่อการผสม และค่าความยุบตัวอยู่ในช่วง 20 ± 2 ซม.

Ithusralde และ Olivier[8] ทำการปรับปรุงเพื่อใช้กับอาคารบรรจุนิวเคลียร์ ส่วนผสมที่ใช้จะช่วยลดปริมาณซีเมนต์เพสต์, เพิ่มความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ โดยการเพิ่มสารผสมเพิ่มละเอียดและลดปริมาณน้ำด้วยการเพิ่มน้ำยาเคมีผสมเพิ่ม ทำให้ไม่มีการแยกตัว,ความสามารถในการเทสูง กำลังอัดประมาณ 75 เมกกะปาสคาลและใช้ได้ดีกับงานปั๊ม นอกจากนั้น Electricte'de France [EDF] ได้ปรับปรุงส่วนผสมพบว่ามวลรวมควรมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 2% และมีขนาดมวลรวมใหญ่สุดไม่มากกว่า 25 มม. ค่ากำลังอัดของลูกปูนตัวอย่างทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน

ประมาณ 72 เมกกะปาสคาล (60 เมกกะปาสคาล ในภาคสนาม) ค่าการยุบตัวประมาณ 20 ซม., มีระยะการก่อตัวเริ่มต้นมากกว่า $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง, อัตราการซึมผ่านต่ำโดยใช้ส่วนผสมของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในช่วง 0.35 - 0.40 โดยเพิ่มไมโครซิลิกาในปริมาณ 30 - 40 กก./ลบ.ม., Papworth และ Burnett[9] ได้เสนอการเพิ่มไมโครซิลิกาสำหรับคอนกรีตสมรรถนะสูงในงานปั๊ม ควรมีมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 20 มม. ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ประมาณ 0.44 และ 0.41 ให้กำลังอัด 60 และ 65 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณซิลิกาฟูมประมาณ 10 % ของส่วนผสม ละเอียด, Yogendram[10] แนะนำการใช้ปริมาณการใช้ไมโครซิลิกาในอัตราการใช้ 15 % เป็นค่าที่เหมาะสม, Maage[11] ศึกษาผลกระทบของไมโครซิลิกาต่อกำลังของคอนกรีตในระยะยาวจะไม่ทำให้กำลังของคอนกรีตแตกต่างจากคอนกรีตทั่วไป

Moussa, Walid และ Shondeep[12] ได้ศึกษาผลกระทบจากประเภทของมวลรวมต่อโครงสร้างภายในของคอนกรีต โดยกำลังอัดของคอนกรีตสมรรถนะสูงจะของซีเมนต์เพสต์และการยึดเกาะของซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของมวลรวม เช่น กำลังของมวลรวม, กำลังของการยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ โดยใช้วัตถุดิบมวลรวมประเภทต่างกัน, คุณสมบัติต่างกัน (ความหนาแน่น, ความพรุน) พิจารณาคุณสมบัติของคอนกรีตเหลว, กำลังอัด, ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโครงสร้างภายในที่มีอายุมากกว่า 91 วัน พบว่ากำลังการยึดเกาะในมวลรวมพรุนจะมากกว่ามวลรวมทั่วไป ทำให้ค่ากำลังอัดมากกว่าประมาณ 20 % และความสามารถทำงานได้จะต่ำลงเนื่องจากการยึดเกาะสูงขึ้น, Elisabeth[13] ศึกษาผลกระทบของความชื้นต่อกำลังอัดของคอนกรีตสมรรถนะสูง การบ่มน้ำในระยะเวลาที่นานกว่าจะช่วยพัฒนากำลังอัดให้สูงขึ้นและช่วยลดอัตราการหดตัวและการแตกร้าว

Kunishina และ et al.[4] ศึกษาถึงสาเหตุและกลไกของการติดขัด (Blocking) ของคอนกรีตเหลวที่บริเวณส่วนที่หน้าตัดเรียวลง โดยการปั๊มผ่านท่อที่มีการลดขนาดคล้ายกับกรณีที่มีเหล็กเสริมแน่นในแบบหล่อการไหลผ่านคอนกรีตจึงมีการเปลี่ยนรูปผ่านช่องเล็กลงพบว่าการขัดกันของมวลรวมหยาบคือสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการติดขัดของคอนกรีตซึ่งช่วยในการพัฒนาส่วนประกอบของวัตถุดิบต่างๆ, Okamura และ et al.[4] พบว่าความสามารถทำงานได้ขึ้นกับการเปลี่ยนรูปและการต้านทานการแยกตัว ในค่าความยุบตัวต่ำความสามารถทำงานได้จะขึ้นกับการเปลี่ยนรูป ส่วนค่าความยุบตัวสูงผลจะขึ้นกับความต้านทานการแยกตัว นอกจากนั้นปริมาณน้ำก็เป็นตัวสำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปและความต้านทานการแยกตัวในคอนกรีตเหลวโดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและการเปลี่ยนรูปจะเป็นเส้นตรง ส่วนความสัมพันธ์กับความต้านทานการแยกตัวจะไม่เป็นเส้นตรง กระบวนการแยกตัวของมวลรวมถือเป็นส่วนสำคัญในการผลิตคอนกรีตสมรรถนะสูง โดยการทดสอบใช้แบบจำลองในสภาพ 2 มิติ สามารถอธิบายขั้นตอนการ

แยกตัวระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ พบว่าถูกควบคุมด้วยส่วนผสมละเอียด, การไหลของมอร์ต้าถูกควบคุมโดยขนาดของทราย, การถ่ายแรงระหว่างผิวของมวลรวมและซีเมนต์เพสต์ขึ้นกับอัตราส่วนของน้ำต่อส่วนผสมละเอียดและการผลิตคอนกรีตสมรรถนะสูงจำเป็นต้องใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างมากและสารลดความหนืด เพื่อช่วยควบคุมพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูป, ความข้นเหลวและการแยกตัวของคอนกรีต

Goldbeck[14] ศึกษาผลกระทบของขนาดคละและคุณสมบัติของมวลรวมต่อความสามารถทำงานได้ พิจารณาในรูปของความเสียดทานภายใน โดยขึ้นกับรูปร่าง, ลักษณะผิวและขนาดคละจากขนาดหยาบสุดถึงละเอียดสุด โดยกำหนดความสามารถทำงานได้คงที่ พบว่ามวลรวมรูปร่างเหลี่ยมจะต้องเพิ่มทรายมากกว่ามวลรวมกลม ขนาดคละของมวลรวมเหลี่ยมจะมีช่องว่างสูงกว่ามวลรวมกลมและการแผ่กระจายของมวลรวมกลมจะสูงกว่ามวลรวมเหลี่ยมและยังพบว่า มวลรวมผิวขรุขระทำให้เกิดช่องว่างมากกว่าผิวเรียบทำให้คุณสมบัติความสามารถทำงานได้ต่ำ, Glover[15] ศึกษาการจัดเรียงตัวของมวลรวมที่มีผลต่อกำลังอัดพบว่าแท่งตัวอย่างรับกำลังอัดของคอนกรีตจะไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยเกิดการแยกตัวของมวลรวมออกจากมอร์ต้าและการแยกตัวของมวลรวมหยาบออกจากขนาดคละที่ไม่สม่ำเสมอ

ในประเทศไทยการพัฒนางานวิจัยในด้านคอนกรีตในอดีตจะศึกษาเน้นในด้านของกำลังอัดของคอนกรีต เช่น งานวิจัยของ ชยานนท์[16] ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ไมโครซิลิการ่วมกับสารลดน้ำ พบว่าค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.28 - 0.34 และอัตราการใช้ไมโครซิลิการในช่วง 8 - 12%, สุพรรณ[17] ทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูง โดยการใช้สารผสมเพิ่มในส่วนผสม พบว่าค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.26 - 0.32 ประจิต[18] ทำการทดสอบคอนกรีตโดยการผสมขี้เถ้าลอยในอัตราส่วนขี้เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ในช่วง 0.0 - 0.50 แปรเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ 250 - 400 กก./ลบ.ม., ดร. ปริญญา[19] ทำการศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าลอยแม่เมาะและสารลดน้ำพิเศษ พบว่าการใช้ขี้เถ้าลอยในอัตราการแทนที่ 20 % โดยน้ำหนักจะช่วยเพิ่มความข้นเหลวของคอนกรีตและช่วยลดการกัดกร่อนของสารเคมีและช่วยรักษาสภาพการก่อตัวของคอนกรีต ที่อัตราการใช้สารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสมในช่วงระหว่าง 1.25 - 3.00 %

จากงานวิจัยที่ผ่านมากสามารถสรุปแนวทางในการศึกษาโดยมวลรวมมีขนาดใหญ่สุดมีค่าไม่ควรเกิน 20 มม., มวลรวมหยาบมีเปอร์เซนต์การดูดซึมน้อยกว่า 2 % และสัดส่วนทรายต่อมวลรวม (S/A) อยู่ประมาณ 0.40, อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 - 0.40, อัตราการใช้สารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 0.80 - 2.00 %, สารปอซโซลาน ไมโครซิลิกา ควรมีค่าประมาณ 10 - 15 % ของปริมาณปูนซีเมนต์

1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.ศึกษาคุณสมบัติของขนาดคละมวลรวมเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงก้ไข เพื่อใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตสมรรถนะสูง

2.ศึกษาและปรับปรุงการออกแบบปฏิภาคของมวลรวมตามที่มีในท้องตลาดให้ได้มาตรฐานขนาดคละมวลรวม

3.ศึกษาวิธีการออกแบบและปรับปรุงส่วนผสมของคอนกรีตให้สอดคล้องกับขนาดคละมวลรวม และใช้สารผสมเพิ่มปรับแต่งคุณภาพ

4.ตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงในสภาพแข็งตัวจากส่วนผสมที่ได้รับการออกแบบ

โดยตรวจสอบคุณสมบัติในสภาพเหลวของคอนกรีตสมรรถนะสูงเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงประกอบการศึกษา

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดคละของมวลรวมข้อมูลที่ศึกษาอยู่ในขอบเขตของการวิจัยคือ

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท I ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.15)

2.มวลรวมในการวิจัย ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนโม่ที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปจากแหล่งหินจังหวัดสระบุรี และมวลรวมละเอียดเป็นทรายจากแหล่งทรายแม่น้ำจังหวัดกาญจนบุรี

3.สารปรับปรุงส่วนผสมคอนกรีต ใช้สารลดน้ำพิเศษตามมาตรฐาน ASTM - C 494 Type G, F ในปริมาณแนะนำของผู้ผลิต

1.5. ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1.ทดสอบและรวบรวมคุณสมบัติของมวลรวมและขนาดคละของมวลรวมตามมาตรฐาน มอก.และมาตรฐาน ASTM [20]

2.วิเคราะห์ข้อมูลของขนาดคละมวลรวม ปรับปรุงและกำหนดขอบเขตของขนาดคละที่เหมาะสมตามสภาพของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.ออกแบบและปรับปรุงส่วนผสมคอนกรีตโดยการใช้น้ำยาเคมีผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) และสารเติม ไมโครซิลิกา, ขี้เถ้าลอย ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงในสภาพเหลว

4.ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตในสภาพแข็งตัว ได้แก่ กำลังอัด, กำลังดึง, กำลังดัด, กำลังเฉือน, โมดูลัสยืดหยุ่น, อัตราส่วนพัวซอง, การดูดซึมน้ำ และ การซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น. เพื่อนำไปสู่การออกแบบส่วนผสมที่ใช้คุรสมบัติและความทนทานเป็นเกณฑ์

5.สรุปและเสนอแนะผลกระทบของขนาดคละมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสมรรถนะสูงในสภาพแข็งตัว

1.6. <u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ</u>

1.ทราบถึงผลกระทบและแนวทางในการปรับปรุงขนาดคละของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติในสภาพแข็งตัวของคอนกรีตสมรรถนะสูง

2.รู้วิธีการออกแบบและปรับปรุงส่วนผสมของคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของวัสดุมวลรวม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย