บทที่ 1
บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ ทราย หินหรือกรวด โดยมีน้ำเป็นตัวช่วยทำปฏิกิริยาเมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากคอนกรีตโดยทั่วๆไปนั้นจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ แต่ทว่าในปัจจุบัน ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการผลิตมีราคาสูง ซึ่งถ้าหากเราสามารถหาวัสดุบางอย่างมาทดแทนได้ก็น่าจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้มาก แต่วัสดุดังกล่าวต้องไม่ไปกระทบต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีต วัสดุที่เราสนใจนำมาศึกษานั้นเรียกว่า " วัสดุปอซโซลาน " เช่น ซิลิกาฟูม ไฟเบอร์ และเถ้าลอย ซึ่งในระยะยาวคอนกรีตที่ผสมวัสดุดังกล่าว จะให้กำลังและคุณสมบัติบางอย่างดีกว่าคอนกรีตธรรมดา และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า ได้มีผู้ทำการวิจัยการนำเอาเถ้าลอยมาใช้ผสมในคอนกรีต และได้ทำการศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยที่ผสม ยกตัวอย่างเช่น " ผลกระทบของความละเอียดจากการบดและแยกเถ้าถ่านหินแม่เมาะต่อคุณสมบัติมอร์ต้า ของ นายสมิตร ส่งพิริยะกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี " " การใช้เถ้าลอยแม่เมาะในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด ของนายกรกฎ วิจิตรพงศ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย " เป็นต้น วัสดุปอซโซลานในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะเถ้าลอย(FLY ASH)ที่ได้จากเหมืองแม่เมาะเท่านั้นเพราะมีเป็นจำนวนมากที่สุดในประเทศอีกทั้ง เถ้าลอยยังมีราคาถูกกว่าวัสดุปอซโซลาน ประเภทอื่น

ในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสมบัติทางด้านการรับแรงอัด การรับแรงดึง ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยเพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางด้านการรับแรงอัด การรับแรงดึงของคอนกรีตธรรมดา โดยเปรียบเทียบตามระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มและขนาดของวัสดุผสมหยาบ อีกทั้งยังได้อธิบายถึงภาพรวมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วยการทำการวิจัยในโครงการนี้ต้องมีการศึกษาองค์

ประกอบของคอนกรีตและเถ้าลอยที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสม ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงองค์ประกอบของคอนกรีตโดยทั่วๆไปดังนี้

1.2 หลักการ ทฤษฎี และแนวความคิด

1.2.1 คอนกรีต (CONCRETE)

คอนกรีตโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ ในบางครั้งอาจมีน้ำยาผสมคอนกรีตด้วย โดยนำส่วนผสมเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้คือ

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ (ในบางครั้งอาจมีน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมเพิ่มด้วย)	เรียกว่า	**ซีเมนต์เพสต์**
ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย	เรียกว่า	**มอร์ต้า**
มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด	เรียกว่า	**คอนกรีต**

ขบวนการผลิตคอนกรีตนั้น ต้องมีการควบคุมทางด้านต่างๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ทั้งทางด้านความสามารถในการเทได้(Workability),กำลัง(Strength),ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ(Pereability)และความทนทาน(Durability) อีกทั้งการผสม การลำเลียง การเทลงแบบหล่อและการอัดแน่น ต้องเป็นที่พอใจเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จึงจะถือได้ว่าเป็นคอนกรีตที่ดีมีคุณภาพ

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบของคอนกรีตแล้วต่อไปจะกล่าวถึงที่มาของเถ้าลอยที่จะนำมาใช้ให้โครงการวิจัยนี้

1.2.2 เถ้าลอย (FLY ASH)

เถ้าลอยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงวิธีการเริ่มจากการที่ถ่านหินเมื่อถูกบดให้ละเอียด จะถูกลำเลียงด้วยสายพานมายังเตาเผา คาร์บอนในถ่านหินจะเผาไหม้เปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุที่มีอยู่ให้เป็นแร่ธาตุในรูปของออกไซด์ของโลหะหลายชนิด กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาจะเกิดเป็นเถ้ามีอนุภาคที่เล็ก ลอยตัวปะปนมาพร้อมกับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณปล่องควันและจะถูกดักจับไม่ให้ลอยปนไปในบรรยากาศด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Electrostatic Precipitator ต่อจากนั้นก็จะถูกรวมไว้ใน Ash Hopper อนุภาคที่เล็กเหล่านี้ถูกเรียกว่า เถ้าลอย (Fly Ash, Pulverized Fuel Ash, Dry Ash) มีอยู่ประมาณร้อยละ 75 – 85 ของเถ้าทั้งหมด ภาพถ่ายอนุภาคเถ้าลอยด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope ขยาย 10,000 เท่า แสดงในรูปที่ 1 ในโครงการวิจัยนี้ได้นำเถ้าลอยมาจากแหล่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

รูปที่ 1.1 อนุภาคเถ้าลอยถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (ขยาย 10,000 เท่า)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการนำเอาเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในปูนซีเมนต์แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และน้ำดังนี้

1.2.3 ปฏิกิริยาทางเคมีของเถ้าลอย

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมจะมีปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2.3H_2O$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หลังจากนั้นสารปอซโซลานในที่นี้คือเถ้าลอยซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาออกไซด์และอะลูมินาออกไซด์ลงในส่วนผสมคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกิดปฏิกิริยา Pozzolanic ได้สารไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) และไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ผลิตผลเช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ แต่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมที่เกิดขึ้นจะช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ด้วยเหตุนี้ในงานที่เป็นคอนกรีตหลา เมื่อใส่เถ้าลอยลงไปปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ก็จะทำให้คอนกรีตสามารถระบายความร้อนได้ทัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ (Hydration of Portland cement)

$$2\,[2\,CaO.SiO_2] + 4H_2O \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.2SiO_2.3H_2O} + Ca(OH)_2$$

$$2\,[3\,CaO.SiO_2] + 6H_2O \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.2SiO_2.3H_2O} + 3Ca(OH_2$$

$$2\,[2\,CaO.Al_2O_3] + 4H_2O \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.2Al_2O_3.3H_2O} + Ca(OH)_2$$

$$2\,[3\,CaO.\,Al_2O_3] + 6H_2O \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.\,2Al_2O_3.3H_2O} + 3\,Ca(OH)_2$$

ปฏิกิริยาระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับเถ้าลอยลิกไนต์ (pozzolanic reaction)

$$3\,Ca(OH)_2 + 2.SiO_2 \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.2SiO_2.3H_2O}$$

$$3\,Ca(OH)_2 + 2.Al_2O_3 \longrightarrow 3\,\mathbf{CaO.2Al_2O_3.3H_2O}$$

อย่างไรก็ตามกลไกในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะซับซ้อนกว่าที่นำสารปอซโซลานทำปฏิกิริยากับและแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยตรง มีรายงานเถ้าลอยจะหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนตซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงแรก แต่จะหน่วงแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟต ปริมาณอัลคาไลน์ และปริมาณแคลเซียมในเถ้าลอย

1.2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ในการทดสอบโดยทั่วไปจะเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกล และการศึกษาถึงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงมากระทำ เพราะคุณสมบัติทางกลจะแสดงถึงผลของความเค้นหรือความเครียด หรือทั้งความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับวัสดุในการตอบสนองแรงที่มากระทำจะมีลักษณะใดก็ตาม สำหรับในโครงการนี้จะศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุในเรื่อง

1) ความแข็งแรง (Strength)

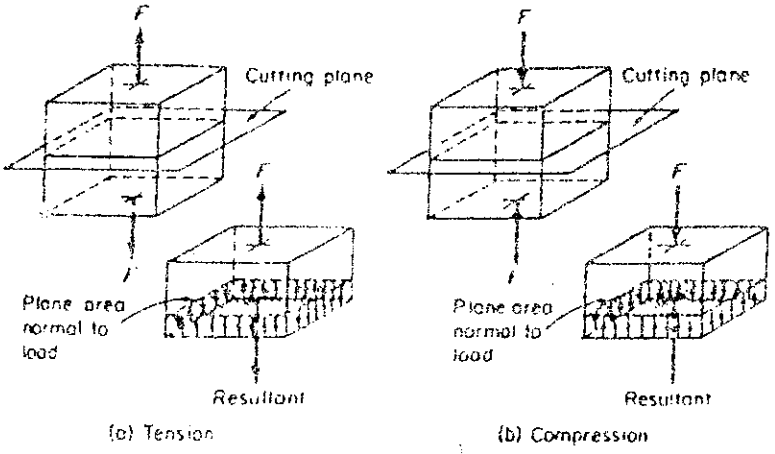
หมายถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ที่พิจารณาจากความสามารถในการต้านแรงที่มากระทำ ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดขึ้นตามลักษณะของแรงที่มากระทำด้วย ในการระบุความแข็งแรงของวัสดุนั้นจะต้องบอกถึงเงื่อนไขที่ทำการทดสอบด้วย เพราะว่าความแข็งแรงจะแตกต่างกันเนื่องจากสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระทำ
2. อัตราเร็วของแรงที่มากระทำ
3. อุณหภูมิที่ทำการทดสอบขณะนั้น

2) ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain)

ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในของวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของวัสดุนั้น แรงต้านทานภายในจะกระจายอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรงนั้น และหน่วยของความเค้นนั้นคิดได้จากอัตราส่วนของแรงที่

กระทำภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุนั้น นั่นคือ จะมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นต้น ลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะแรงภายนอกที่มากระทำ เช่น วัสดุได้รับแรงดึงก็จะเกิดความเค้นดึง วัสดุได้รับแรงอัดก็จะเกิดความเค้นอัด ดังรูปที่1.2



รูปที่ 1.2 a) วัสดุภายใต้แรงดึง b) วัสดุภายใต้แรงอัด

ความเครียด

เมื่อวัสดุได้รับแรงภายนอกมากระทำ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางที่แรงมากระทำ เช่น เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงดึงก็จะยืดออก (Elongation) และเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัดก็หดเข้า (Contraction)

ในทางวิศวกรรมนิยมระบุส่วนยืดหรือหด เป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการยืดหรือหดต่อความยาวเดิมของวัสดุก่อนถูกแรงกระทำ และเรียกอัตราส่วนนี้ว่า "ความเครียด"

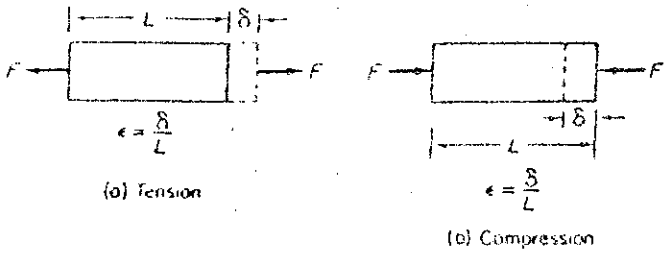
ดังนั้น $e = \dfrac{L - L_o}{L_o}$

เมื่อ e = ความเครียด

L_o = ความยาวเดิม หรือ ความยาวพิกัดของวัสดุ

L = ความยาวใหม่ ภายหลังที่ได้รับแรงภายนอกมากระทำ

สำหรับหน่วยของความเครียดนั้นไม่นิยมระบุหรือกำกับ เพราะมีหน่วยเป็นความยาวต่อความยาว ซึ่งตัดกันเอง และนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 1.3 ความเครียดของวัสดุภายใต้แรงดึงและแรงอัด

3) ความยืดหยุ่น (Elasticity)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร คือถ้าเอาแรงที่มากระทำออก วัสดุก็จะคืนรูปเดิมได้เอง เหมือนกับคุณสมบัติของสปริง

โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

เป็นค่าคงที่ของความเค้นที่เป็นสัดส่วนกันโดยตรงกับความเครียดในช่วงพิกัดความ

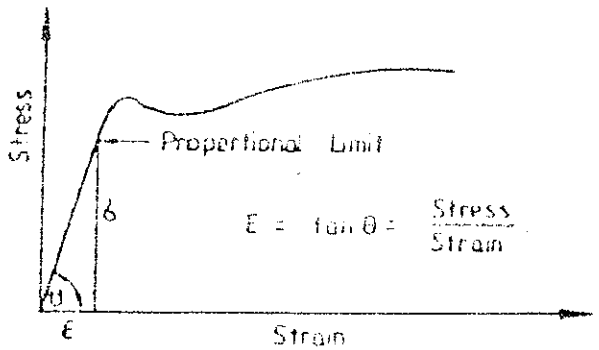
เป็นสัดส่วน (proportional limit)

นั่นคือ stress strain

ดังนั้น stress = E. strain เมื่อ E เป็นค่าคงที่

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

ค่าคงที่ E เรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่แสดงคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ และจะมีค่าที่แตกต่างตามลักษณะของแรงที่มากระทำ คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงเฉือน โมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงอัด และโมดูลัสของความยืดหยุ่นภายใต้แรงดึง ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า ยังส์โมดูลัส (Young's Modulus)



รูปที่ 1.4 โมดูลัสของความยืดหยุ่น

ในการทำโครงการนี้ ได้ศึกษาถึงสมบัติด้านการรับแรงดึง แรงอัด และโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยเปรียบเทียบกับค่าการรับแรงดึง แรงอัด และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตธรรมดา

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้เถ้าลอยต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีต
2. เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดของหินต่อสมบัติในการรับแรงอัดของคอนกรีต

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ได้จากการผสมเถ้าลอยและหินที่ผสมในขนาดต่างๆกัน วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการทดสอบความสามารถรับกำลังดึงและกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการผสมในแต่ละครั้ง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ปริมาณของเถ้าลอยและขนาดของหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีตที่เหมาะสมที่สุดต่อในการรับแรงอัด แรงดึง และความยืดหยุ่นได้ เพิ่มพูนทักษะในการใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี สามารถนำผลข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงสมบัติด้านอื่นๆ ของคอนกรีตต่อไป

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม	พ.ศ. 2544						พ.ศ. 2545		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ค้นคว้า รวบรวมข้อมูล และติดต่อซื้อวัสดุ	■	■	■	■					
2.ตรวจสอบความพร้อมของห้องปฏิบัติการ				■					
3.เตรียมวัสดุในการผสมคอนกรีต				■	■	■			
4.ดำเนินงานวิจัย							■	■	
5.ศึกษาผลการทดลองคอนกรีตผสมเถ้าลอย							■	■	
6.วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง								■	
7.จัดทำรายงานวิจัย						■	■	■	■

1.7 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ

1) ค่าวัสดุในการทำคอนกรีต	1500	บาท
2) ค่าทำรายงานและรูปเล่มรายงาน	1000	บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและค่าวัสดุอุปกรณ์	500	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	3000	บาท

(สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายถัวเฉลี่ยทุกรายการ