SKYBOOK

e-book

การทดสอบวัสดุ

การทดสอบวัสดุ

คำนำ

งานก่อสร้างอาคาร ประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือประเภทไม้ก็ตาม วัสดุที่ใช้จะต้องได้มาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อความแข็งแรงมั่นคงและปลอดภัยสำหรับอาคาร ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจึงควรมีการทดสอบตัวอย่างว่าถูกต้องตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานต่าง ๆ กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างสามารถทดสอบได้ทั้งคอนกรีต เหล็ก อิฐ ไม้ และอื่น ๆ โดยทดสอบออกมาในรูปของแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน แรงดัด แรงฉีก เป็นต้น

หนังสือ **การทดสอบวัสดุ** เล่มนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชาการทดสอบวัสดุ (Material Testing) ตรงตามหลักสูตรของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต โดยมีเนื้อหาที่เน้นถึงความสำคัญที่ใช้ทดสอบการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุต่าง ๆ ทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ให้เป็นไปตามมาตรฐานของต่างประเทศและประเทศไทย เนื้อหาที่กล่าวถึงจะประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบด้วยอุปกรณ์ หรือเครื่องทดสอบ การคำนวณผลการทดสอบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้คงมีประโยชน์ต่อนักศึกษาและผู้ที่สนใจ หากมีประโยชน์อยู่บ้างขอมอบให้กับผู้สนใจทุกท่าน แต่ถ้าหนังสือเล่มนี้มีสิ่งที่จะต้องแก้ไข ผู้เรียบเรียงขอรับผิดชอบ และจะนำมาแก้ไขปรับปรุงในโอกาสต่อไป

ผ.ศ. อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์

สารบัญ

1

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. รู้พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุ
   1 1 บอกความหมายของการทดสอบวัสดุ
   1.2 บอกวัตถุประสงค์ของการทดสอบวัสดุ
   1.3 บอกประเภทของวัสดุทดสอบ
2. รู้มาตรฐานกำหนดคุณสมบัติวัสดุ
   2.1 บอกรูปแบบของหนังสือมาตรฐาน
   2.2 บอกประเภทของมาตรฐานผู้ผลิต
3. เข้าใจคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุและเมื่อถูกทดสอบ
   3.1 อธิบายคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ
   3.2 อธิบายคุณสมบัติของวัสดุเมื่อถูกทดสอบ

1.1 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุ

1 1.1 ความหมายของการทดสอบวัสดุ

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ หมายถึง การทำคุณภาพและความเหมาะสมของวัสดุนั้น ๆ สำหรับใช้ในงานโครงสร้าง ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้และผู้ผลิตที่ต้องมีการทดสอบหา เพื่อสามารถเลือกใช้วัสดุได้อย่างถูกต้อง

การทดสอบยังมีความจำเป็นสำหรับการตรวจวัสดุชนิดเดียวกันว่าจะมีคุณสมบัติเหมือนกันหรือไม่ในการผลิตออกมาแต่ละครั้ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านปริมาณต่อการควบคุมกระบวนการผลิตวัสดุนั้นต่อไป

1.1.2 วัตถุประสงค์ของการทดสอบวัสดุ

1. ทดสอบเพื่อการควบคุม (Commericial or Control Testing) เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบว่าวัสดุที่ผลิตมานั้นมีคุณสมบัติตามต้องการหรือไม่

1.1 การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพการผลิต (Quality Control Testing) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่ผลิตมีคุณสมบัติตามต้องการหรือไม่ ซึ่งการทดสอบจะกระทำโดยผู้ผลิต เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติตรงตามเป้าหมาย คือไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด และไม่ดีจนเกินไป

1.2 การทดสอบเพื่อการยอมรับ (Acceptance Testing) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่จะนำมาใช้นั้นมีคุณสมบัติไม่ด้อยกว่าที่ต้องการ โดยการทดสอบจะกระทำโดยผู้ซื้อ ซึ่งไม่วิตกว่าวัสดุนั้นจะมีคุณสมบัติดีจนเกินไปหรือไม่

2. ทดสอบเพื่อการวิจัยและปรับปรุงวัสดุ (Material Research and Development Work) เป็นการทดสอบเพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลใหม่จากวัสดุที่มีอยู่แล้ว หรือเพื่อค้นคว้าประดิษฐ์วัสดุใหม่ ๆ ขึ้นมาใช้ต่อไป

3. ทดสอบเพื่อวัดค่าทางวิทยาศาสตร์ของวัสดุ (Scientific Measurement) เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุ

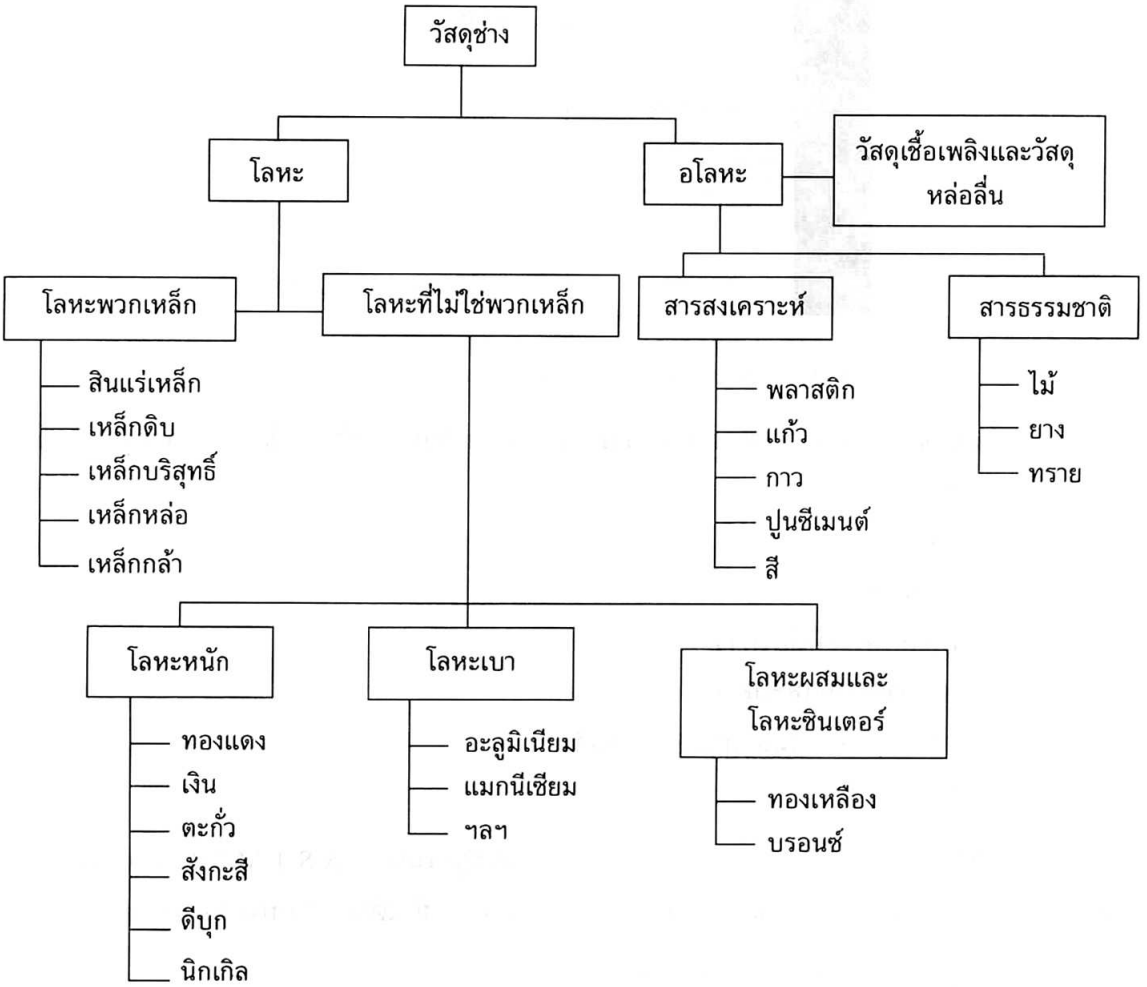
จากที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 ข้อนั้น จะมีความแตกต่างกันในวิธีการทดสอบ การใช้เครื่องมือ ความละเอียดแม่นยำ คุณสมบัติและความสามารถของผู้ทดสอบ ตลอดจนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ทดสอบเพื่อควบคุมนั้นไม่ต้องการความละเอียดแม่นยำสูง ผู้ที่ทำการทดสอบก็ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของวัสดุมากนัก

1.1.3 ประเภทของวัสดุทดสอบ

การแบ่งประเภทวัสดุที่ถูกนำมาทดสอบ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ประเภทโลหะ (Metallic Materials) คือวัสดุที่ได้จากการถลุงสินแร่ซึ่งมีอะตอมมาเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ อะตอมของโลหะเหล่านี้มีลักษณะเป็นได้ทั้งวัสดุจำพวกโลหะ และวัสดุจำพวกโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 1 1

2. ประเภทอโลหะ (Non-Metallic Materials) คือวัสดุจากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ เช่น ไม้ พลาสติก แอสฟัลท์ เป็นต้น

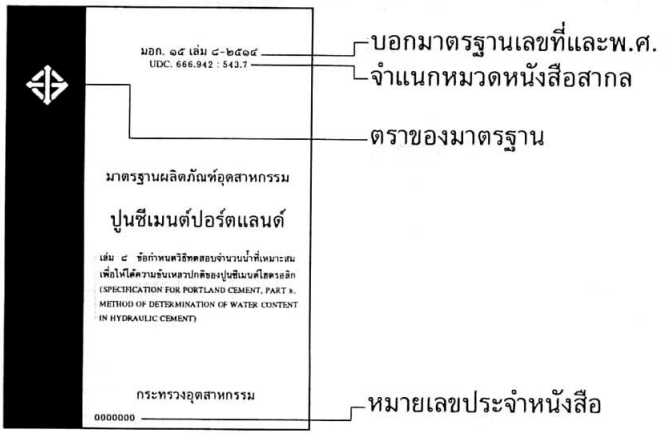


รูปที่ 1.1 *การแบ่งประเภทวัสดุ*

1.2 มาตรฐานกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

1.2.1 รูปแบบของหนังสือมาตรฐาน

มาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยนั้นคือ มาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยกระทรวงอุตสาหกรรม หรือที่เรียกกันย่อ ๆ ว่า "มอก." ลักษณะรูปร่างจะมีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร ด้านบนเป็นเลขมาตรฐานและปี พ.ศ. ที่ประกาศใช้ บรรทัดต่อมาจะเป็นการจำแนกหมวดหนังสือสากล (UDC) จากคำเต็มว่า Universal Desimal Classification ส่วนกลางจะเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องใด และส่วนที่จะเป็นหมายเลขประจำหนังสือมีระบุว่า ISBN (International Standard Book Number) ด้านซ้ายมือของหนังสือจะมีมาตรฐานกำกับไว้ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 *รูปแบบหนังสือมาตรฐาน "ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม"*

ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยหลักการจะระบุหัวข้อเพื่อเป็นมาตรฐานดังนี้

1 ขอบข่าย

2. บทนิยาม

3. ประเภท

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

5. เครื่องหมายและฉลาก

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

7 ภาคผนวก

(อ้างอิงจากมาตรฐานของต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา "A.S.T.M." ชื่อเต็มว่า American Society for Testing and Materials หรืออังกฤษ "B.S.I." ชื่อเต็มว่า British Standard Institute)

1.2.2 ประเภทของมาตรฐานผู้ผลิต

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไทย ได้แบ่งมาตรฐานผู้ผลิตออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1 ประเภทที่ผู้ผลิตต้องผลิตให้ได้มาตรฐาน ถ้าผลิตออกมาไม่ได้มาตรฐานถือว่าผิดกฎหมาย

2. ประเภทที่ผู้ผลิตจะผลิตให้ได้หรือไม่ได้มาตรฐานก็ได้ แต่ถ้าผลิตได้มาตรฐานสามารถติดเครื่องหมายมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมได้ที่ผลิตภัณฑ์ และถ้าผลิตไม่ได้มาตรฐานก็ไม่สามารถติดเครื่องหมายมาตรฐานได้ แต่ไม่ถือว่าผิดกฎหมาย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการมีมาตรฐานกำหนดคือ ป้องกันอันตรายที่จะเกิดแก่ผู้บริโภค และป้องกันการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เช่น ป้องกันมิให้ผลิตของที่มีคุณภาพต่ำจนเกินไป

1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุและเมื่อถูกทดสอบ

1.3.1 คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ

1. คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ได้แก่

1.1 กำลัง (Strength) ประกอบด้วย

- แรงดึง (Tension Strength)
  แรงอัด (Compression Strength)
- แรงเฉือน (Shear Strength)
- แรงดัด (Flexure)
- แรงบิด (Torsion)
  แรงกระแทก (Impact)

1.2 สติฟเนส (Stiffness) ประกอบด้วย

- ความยืดหยุ่น (Elasticity)
- ความเป็นพลาสติก (Plasticity)
  ความเหนียว (Ductility)
- ความเปราะ (Brittleness)
  ความแข็ง (Hardness)
  ความทนทานต่อการเสียดสี (Wear-Resistance)

2. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties) ได้แก่

2.1 ขนาด (Dimensions)

2.2 รูปร่าง (Shape)

2.3 ความหนาแน่น (Density)

2.4 ความถ่วงจำเพาะ (Spectific Gravity)

2.5 ความพรุน (Porosity)

2.6 ความชื้น (Moisture)

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีคุณสมบัติอีกหลายอย่าง แต่ไม่กล่าวไว้ในที่นี้เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่ทางวิศวกรรมโยธาไม่กล่าวถึงเท่าไหร่ และเป็นคุณสมบัติที่เข้าใจได้ยาก

1.3.2 คุณสมบัติของวัสดุเมื่อถูกทดสอบ

1. ความเค้นและความเครียด (Stress and Strain) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัสดุจะทำให้เกิดแรงต้านภายในวัสดุ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงภายนอก แรงต้านภายในนี้จะกระจายตลอดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ อัตราส่วนระหว่างค่าของแรงต้านภายในพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกระทำ

เรียกว่า ความเค้น มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร (kg/mm^2)

การคำนวณค่าความเค้นที่เกิดขึ้น , $\sigma = \frac{P}{A}$

เมื่อ σ = ความเค้น

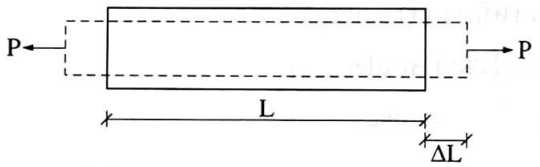
P = แรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุ

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

กรณีความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งของวัสดุ หมายถึง วัสดุยังสามารถใช้งานต่อได้ แต่ถ้าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ วัสดุก็ไม่สามารถนำไปใช้งานได้

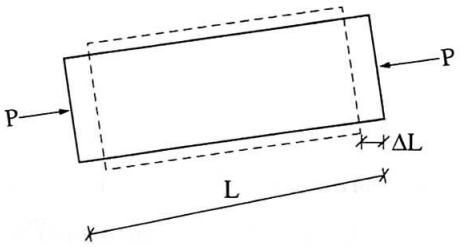
ความเค้นที่เกิดขึ้นมี 3 ลักษณะคือ ความเค้นดึง (Tensile Stress) ความเค้นอัด (Compressive Stress) และความเค้นเฉือน (Shear Stress)

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะแรงดึง เพื่อให้วัสดุขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 1.3



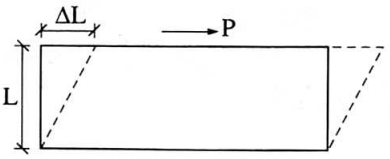
รูปที่ 1.3 *วัสดุถูกกระทำด้วยการดึง*

การทดสอบแรงอัด (Compressive Test) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะแรงอัด เพื่อทำให้วัสดุแตก ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 *วัสดุกระทำด้วยการอัด*

การทดสอบแรงเฉือน (Shearing Test) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะแรงเฉือน เพื่อให้วัสดุฉีกขาด ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 *วัสดุถูกกระทำด้วยการเฉือน*

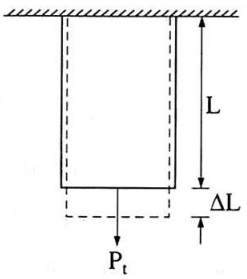
นอกจากวัสดุจะเกิดความเค้นแล้ว ยังมีผลทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดไปจากเดิมอีกด้วย อัตราส่วนระหว่างขนาดที่เปลี่ยนไปต่อจากขนาดเดิมของวัสดุ ดังรูปที่ 1.6 เรียกว่า ความเครียด ขนาดที่กล่าวถึงนั้นอาจจะเป็นความยาว พื้นที่ หรือปริมาตรก็ได้ ความเครียดเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะเช่นเดียวกับความเค้น

การคำนวณหาค่าความเครียด , $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

เมื่อ ε = ความเครียด

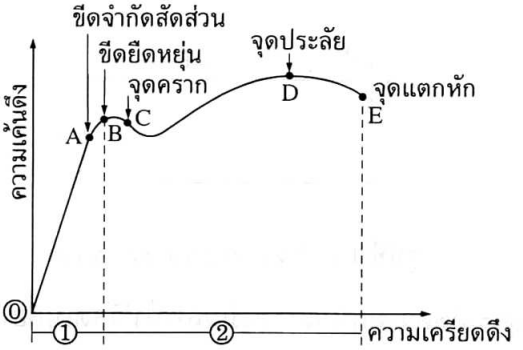
ΔL = ขนาดที่เปลี่ยนไป

L = ขนาดเดิมของวัสดุ



รูปที่ 1.6 *วัสดุถูกกระทำเกิดความเค้นและความเครียด*

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด การหาความแข็งแรงและคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ จะต้องทดสอบตัวอย่างของวัสดุจนถึงจุดแตกหักหรือขาด การนำความเค้นที่เกิดขึ้นและความเครียดที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ถือว่าสำคัญมาก โดยกำหนดให้ค่าความเค้นเป็นแกนตั้ง และค่าความเครียดเป็นแกนนอน ดังรูปที่ 1.7



ช่วงที่ 1 เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น
ช่วงที่ 2 เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติก

รูปที่ 1.7 *ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด*

ในรูปที่ 1 7 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ซึ่งอธิบายไว้ดังนี้

ช่วง OA กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้น ถ้าปล่อยแรงดึงออกวัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมที่จุด A เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้น จุด A เรียกว่า ขีดจำกัดของสัดส่วน (Proportional Limit)

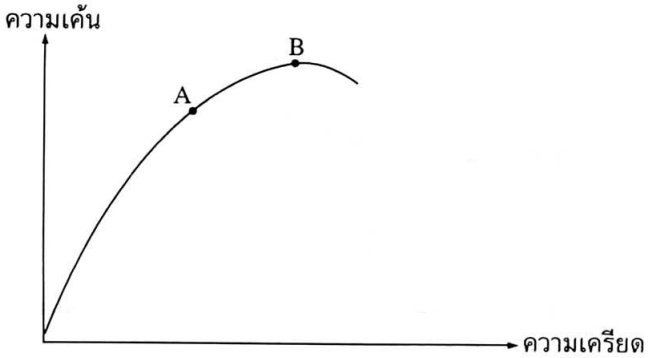
ช่วง AB กราฟจะเริ่มโค้งงอเบนจากเดิม (สั้น ๆ) จุด B เป็นจุดสุดท้ายที่วัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมได้ จุด B เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)

ช่วง BC กราฟจะโค้งเบนไปอีกระยะหนึ่ง เมื่อเลยจุด C วัสดุจะยืดตัวออกได้เองโดยไม่ต้องออกแรงเพิ่มขึ้น จุด C เรียกว่า จุดคราก (Yield Point)

ช่วง CE กราฟจะโค้งยาวจากจุด C เมื่อออกแรงดึงวัสดุจะยืดต่อไปอีกจนถึงจุด D ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่วัสดุจะรับความเค้นได้ จุด D เรียกว่า จุดประลัย (Ultimate Strength) จากนั้นวัสดุจะยืดตัวออกเองจนถึงจุด E วัสดุจะขาดออกจากกัน จุด E เรียกว่า จุดแตกหัก (Breaking Point)

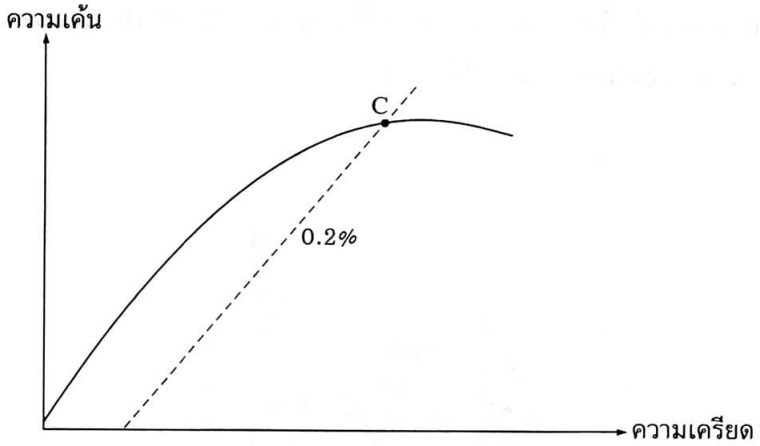
การเปลี่ยนแปลงจากจุด O ถึงจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ Elastic (ช่วงที่ 1) คือวัสดุจะกลับสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดออกแรง ส่วนการเปลี่ยนแปลงหลังจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ Plastic (ช่วงที่ 2) คือวัสดุไม่สามารถคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ เมื่อหยุดออกแรงกระทำ

วัสดุบางชนิดที่ไม่มีความเหนียวจะหาจุดครากไม่ได้ และจุดอื่น ๆ ก็ไม่เด่นชัด เช่นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นของคอนกรีต ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 *ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ของคอนกรีต*

ดังนั้นจากกราฟ ถ้าจะหาจุดคราก (จุด C) ซึ่งถือว่าเป็นจุดสำคัญมากในการออกแบบโครงสร้าง สามารถทำได้โดยเขียนเส้นตรงให้ขนานกับช่วงขีดยืดหยุ่น โดยให้จุดเริ่มต้นของเส้นขนานนี้ห่างจากจุดเริ่มต้น (จุด O) ของกราฟ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของความเครียด เส้นขนานไปตัดกับเส้นกราฟที่ไหนให้ถือว่าเป็นจุดครากของโลหะ (จุด C) ดังรูปที่ 1.9

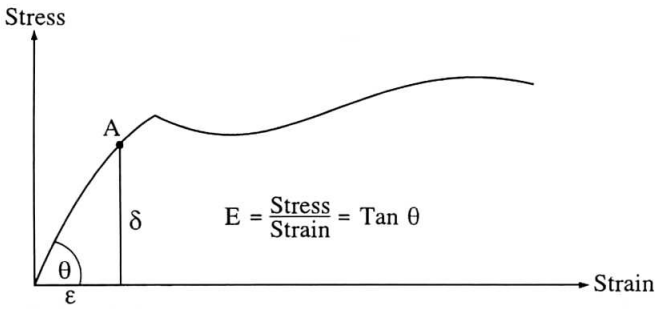


รูปที่ 1.9 *แสดงการหาจุดคราก (Yield Point)*

2. โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดซึ่งเป็นเส้นตรง นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษชื่อ โรเบิร์ต ฮุค ได้ตั้งกฎว่า "ภายใต้ขีดจำกัดของสัดส่วนความยืดหยุ่น อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุแต่ละชนิดมีค่าคงที่" เรียกค่าคงที่นี้ว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น หรือยังส์ โมดูลัส (Young's Modulus) สัญลักษณ์ที่ใช้คือ E

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

ดังรูปที่ 1.10 แสดงการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นภายใต้กฎของฮุค

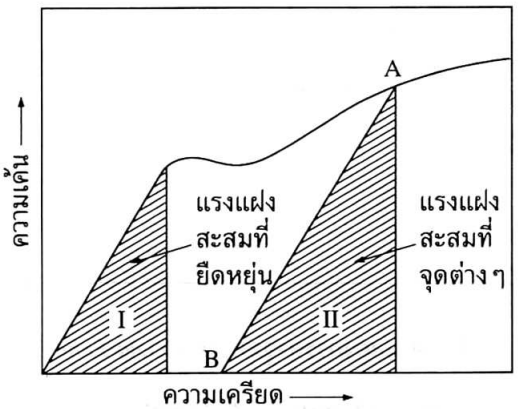


รูปที่ 1.10 *การหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น*

ถ้าเป็นความเค้นและความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือน อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียด เรียกว่า โมดูลัสของความแข็งแกร่ง (Modulus of Rigidity) สัญลักษณ์ที่ใช้คือ G

การคำนวณหาค่าโมดูลัสของความแข็งแกร่ง ; $G = \frac{\text{Shear Stress}}{\text{Shear Strain}}$

ปริมาตรพลังงาน (Energy Capacity) คือความสามารถของวัสดุที่จะเก็บพลังงานสะสมต่อหน่วยปริมาตรเมื่อวัสดุถูกแรงมากระทำในเวลาสั้น ๆ การหาปริมาตรพลังงานของวัสดุได้ต้องอาศัยแรงแฝง (Resilience) ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 *แรงแฝงที่เก็บสะสมพลังงานยืดหยุ่น*

วัสดุมีแรงแฝง หมายถึง วัสดุนั้นได้เก็บพลังงานสะสมไว้ได้สูง โดยที่ขนาดและรูปร่างของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1.1 *แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตและของเหล็ก*

วัสดุ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลังดึง (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส. การขยายตัว ($10^{-6}/C^{\circ}$)	การนำความร้อน (W/m.k)
คอนกรีต	2,300-2,400	30	2.5×10^5	10	3
เหล็กทั่วไป	7,800	3,000	21×10^5	12	50
เหล็กกำลังสูง	7,800	10,000	21×10^5	11	45

3. ความไม่คืนตัว (Plasticity) คือคุณสมบัติของวัสดุเมื่อเสียรูป โดยแรงกระทำจะคงอยู่ในรูปนั้นโดยไม่คืนรูปเดิมเมื่อแรงกระทำหมดไป วัสดุบางชนิดมีคุณสมบัติกึ่งยืดหยุ่นได้และไม่คืนตัว โดยจะคืนสู่รูปเดิมบางส่วนเมื่อน้ำหนักบรรทุกกระทำหมดไป บางชนิดจะเป็นกึ่งไม่คืนตัว ณ อุณหภูมิสูง การหาความไม่คืนตัวของโลหะจะกระทำได้โดยทดสอบความต้านทานแรงดึง

4. ความเหนียว (Ductility) คือคุณสมบัติของวัสดุที่เสียรูปไปโดยการยืดและไม่คืนรูปเดิม แม้แรงกระทำยืดจะหมดไป โดยปกติความเหนียวของโลหะหาได้โดยแรงวัดความยาวที่ยืดออกแม้พื้นที่หน้าตัดที่ตัดลง ทดสอบโดยหาความต้านทานแรงดึง

5. ความเปราะ (Brittleness) คือคุณสมบัติตรงข้ามกับความทนแรงและเหนียว หมายความว่าวัสดุมีความต้านทานน้อยต่อแรงปะทะทันที ซึ่งจะเปราะและแตกหักทันทีโดยไม่เกิดการเสียรูปเลย

6. ความแข็ง (Hardness) คือความต้านทานการเสียรูปที่ไม่คืนตัว ความต้านทานในที่นี้หมายถึงทนต่อการขัดสี (Alsrasion) การขีดข่วน (Scratching) และการกดของปลายกรวยหรือลูกกลม ฉะนั้นความแข็งวัสดุหมายถึง วัสดุที่มีขีดจำกัดยืดหยุ่นสูง หรือมีค่าความเค้นสูงที่ไม่เกิดการเสียรูปถาวร

7 ความทนทานต่อการเสียดสี (Wear-Resistance) คือการแสดงคุณภาพของวัสดุในการทนทานต่อการสึกกร่อน การกระแทก และเสียดสีต่าง ๆ ที่เกิดจากน้ำหนักหรือแรงภายนอกที่กระทำ

สรุป วัสดุก่อสร้างสามารถนำไปใช้ได้หลายทาง การเลือกวัสดุไปใช้งานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญหากวัสดุที่นำไปใช้มีคุณภาพไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ย่อมเป็นผลเสียต่องานโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบวัสดุที่นำมาใช้งานว่าคุณภาพดีหรือไม่ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างที่ผลิตขึ้นมามีความแข็งแรงมั่นคง และประหยัดราคา การทดสอบโดยส่วนใหญ่มักจะทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ

แบบทดสอบบทที่ 1

คำสั่ง ให้นักศึกษาเลือกข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. การทดสอบวัสดุ หมายถึงอะไร
   ก. การทำให้วัสดุเสียหาย
   ข. การทำให้มีคุณภาพเพื่อความเหมาะสมของวัสดุนั้น
   ค. การหาคุณสมบัติทางช่าง
   ง. การทำความละเอียดให้วัสดุนั้น

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบวัสดุ แบ่งออกได้กี่ข้อ
   ก. 4 ข้อ
   ข. 3 ข้อ
   ค. 2 ข้อ
   ง. 1 ข้อ

3. การทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่ผลิตมีคุณสมบัติตามต้องการ เป็นการทดสอบเพื่ออะไร
   ก. ควบคุมคุณภาพการผลิต
   ข. เพื่อการยอมรับ
   ค. เพื่อการวิจัย
   ง. เพื่อปรับปรุงวัสดุ

4. ข้อใดคือการทดสอบแบบ Acceptance Testing
   ก. การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ
   ข. การทดสอบเพื่อปรับปรุงวัสดุ
   ค. การทดสอบเพื่อการยอมรับ
   ง. การทดสอบเพื่อวัดค่าทางวิทยาศาสตร์

5. ในหนังสือมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.) ที่ส่วนล่างจะบอกรายละเอียดถึงเรื่องอะไร
   ก. ขอบข่าย
   ข. ภาคผนวก
   ค. กระทรวงอุตสาหกรรม
   ง. เลขที่ และ พ.ศ.

6. ประเภทของวัสดุที่ใช้ทดสอบ สามารถแบ่งออกได้เป็นกี่ประเภท
   ก. 1 ประเภท
   ข. 2 ประเภท
   ค. 3 ประเภท
   ง. 4 ประเภท

7 ข้อใดจัดอยู่ในคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

ก. ความชื้น ข. ความแข็ง

ค. ทางเคมี ง. ความร้อน

8. อัตราส่วนระหว่างค่าของแรงต้านภายในต่อพื้นที่หน้าตัดรับแรงกระทำ เรียกว่าอะไร

ก. ความเครียด ข. ความเค้น

ค. แรงอัด ง. แรงเฉือน

9. ค่าจุด C (Yield Point) ที่เกิดขึ้นในกราฟ หมายถึงจุดใด

ก. ขีดจำกัดของสัดส่วน ข. ขีดจำกัดความยืดหยุ่น

ค. จุดแตกหัก ง. จุดคราก

10. คุณสมบัติของเหล็กเกี่ยวกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) มีค่าเท่าไร

ก. 2.5×10^5 กก./ซม.^{2} ข. 21×10^5 กก./ซม.^{2}

ค. 4.5×10^5 กก./ซม.^{2} ง. 48×10^5 กก./ซม.^{2}

2 งานคอนกรีต

จุดประสงค์การเรียนรู้

1 รู้พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับงานคอนกรีต

1 1 บอกความหมายของคอนกรีต

1.2 บอกประเภทของคอนกรีต

1.3 บอกองค์ประกอบของคอนกรีต

1.4 บอกคุณสมบัติที่สำคัญของส่วนผสมคอนกรีต

1.5 บอกชนิดต่าง ๆ ของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างสมัยใหม่

2. สามารถออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

2.1 คำนวณหาค่าส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธีทดลองผสม

2.2 คำนวณหาค่าส่วนผสมของคอนกรีตโดยวิธี ACI

3. เข้าใจคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต

3.1 อธิบายคุณสมบัติของคอนกรีตในการรับแรงอัด

3.2 อธิบายคุณสมบัติของคอนกรีตในการรับแรงดึง

3.3 อธิบายคุณสมบัติของคอนกรีตในการรับแรงดัด

4. เข้าใจวิธีการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

4.1 อธิบายวิธีการทดสอบคอนกรีตในการรับแรงอัด

4.2 อธิบายวิธีการทดสอบคอนกรีตในการรับแรงดึง

4.3 อธิบายวิธีการทดสอบคอนกรีตในการรับแรงดัด

5. รู้มาตรฐานที่เกี่ยวกับคอนกรีต

5.1 บอกมาตรฐานอุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต

5.2 บอกมาตรฐานอุตสาหกรรมในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างาน

5.3 บอกมาตรฐานอุตสาหกรรมวิธีการทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต

5.4 บอกมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

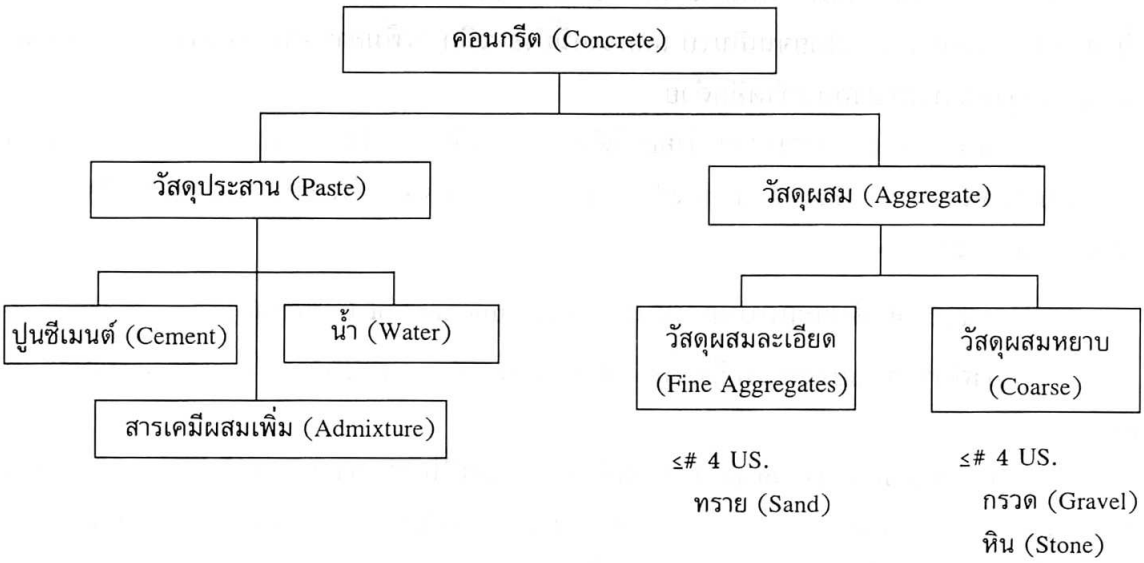
5.5 บอกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ

2.1 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับงานคอนกรีต

2.1.1 ความหมายของคอนกรีต (Definition of Concrete)

คอนกรีต (Concrete) หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการผสมผสาน (Mixed) ระหว่างวัสดุประสาน อันเป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ กับวัสดุผสม (Aggregates) อันได้แก่ ทราย หิน หรือกรวด ดังรูปที่ 2.1 รวมกันอยู่ในสภาวะไม่คืนสภาพ (Plastic) มีความสามารถในการเท (Workability) ได้พอดีกับการเทลงในแบบหล่อคอนกรีตตามขนาดและรูปร่างที่ต้องการ จากนั้นจะเกิดกระบวนการทางเคมีที่ทำให้คอนกรีตแข็งตัว และจะยิ่งมีกำลังสูงขึ้นตามอายุของคอนกรีต

คอนกรีตสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นคือ วัสดุประสาน หรือบางครั้งเราอาจเรียกว่า ซีเมนต์เพสท์ (Paste) ก็ได้ กับวัสดุผสม โดยทั่วไปแล้ววัสดุประสานหรือซีเมนต์เพสท์นี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับความชื้น (Moisture) เวลา (Time) และอุณหภูมิ (Temperature)



รูปที่ 2.1 *แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของคอนกรีต*

สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบของคอนกรีตจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

2.1.2 ประเภทของคอนกรีต (Type of Concrete)

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมร่วมเป็นส่วนประกอบ โดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีต ใช้เป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติ

โดดเด่นในเรื่องความสามารถในการรับกำลังอัดและการรับแรงดึง เพราะตามปกติแล้วคอนกรีตจะมีความสามารถในการรับกำลังอัดแต่จะด้อยในเรื่องกำลังรับแรงดึงซึ่งใช้เหล็กเสริมมาทำหน้าที่รับแรงดึง อีกทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมมีโมดูลัสความยืดหยุ่น E (Modulus of Elasticity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดใกล้เคียงกันนั่นเอง ปัจจุบันกว่าร้อยละ 80 ของอาคารทั้งหมดใช้คอนกรีตประเภทนี้

2. คอนกรีตล้วน (Plain Concrete) หมายถึง คอนกรีตที่ไม่มีวัสดุใด ๆ ปะปนในส่วนประกอบของคอนกรีตเลย นั่นคือจะมีเพียงวัสดุประสานและวัสดุผสม โดยปกติแล้วคอนกรีตประเภทนี้จะใช้เป็นโครงสร้างที่รับแรงอัดปริมาณมาก ๆ เช่น กำแพงกันดินพัง (Gravity Wall) ซึ่งใช้น้ำหนักของตัวกำแพงต้านทานแรงดันของดิน หรือใช้เป็นฐานรากของเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มักจะพบในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เป็นต้น

3. คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete) หมายถึง คอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับการให้ความเค้นแก่ตัวเหล็กเสริมและคอนกรีตโดยที่ยังไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ สามารถทำได้โดยการดึงเหล็กเสริมให้ค้างไว้ในคอนกรีต ในกรณีเช่นนี้จะเกิดความเค้นดึงที่เหล็กเสริม และความเค้นอัดที่คอนกรีต ทำให้ความสามารถของคอนกรีตประเภทนี้มีสูงมากขึ้น สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบร่วมกับคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งในส่วนของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป นอกจากนี้ยังอาจมีการเพิ่มสารเคมีผสมเพิ่ม (Admixture) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตอีกด้วย

คอนกรีตอัดแรงสามารถแบ่งย่อยได้ตามวิธีการอัดแรงเป็น 2 ประเภทคือ คอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน (Pre-Tensioned Concrete) และคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กทีหลัง (Post-Tensioned Concrete)

2.1.3 องค์ประกอบของคอนกรีต (Conponent of Concrete)

องค์ประกอบของคอนกรีตนั้นมีหลายประเภทที่ต้องผสมผสานกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1 ปูนซีเมนต์ Cements) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งได้จากการเผาแคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกตจนเป็นผงละเอียด สามารถทำปฏิกิริยาความร้อนกับน้ำแล้วจับตัวกันเหนียวแน่น เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังนั้นจึงสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) อันเป็นชื่อเกาะปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีหินที่มีสีคล้ายปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ (Type of Cement) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.) ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Type I Cement) เป็นปูนซีเมนต์ธรรมดาทั่วไป (Ordinary Cement) ใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อใช้เป็นโครงสร้างทั่วไปที่ไม่มีความพิเศษใด ๆ หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

2. ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2 (Type II Cement) เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลง (Modified Cement) ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ต้องการให้เกิดความร้อน และมีความสามารถทนทานซัลเฟตได้ในระยะต่ำถึงปานกลาง ยกตัวอย่างเช่น กำแพงกันดินหนา ๆ (Retaining Wall) ท่อคอนกรีต ตอม่อสะพาน เป็นต้น

3. ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 (Type III Cement) เป็นปูนซีเมนต์กำลังสูง (High-Early Strength Cement) หรือเรียกอีกชื่อว่า ซูเปอร์ซีเมนต์ (Super Cement) แตกต่างจากปูนซีเมนต์ธรรมดาเพราะเนื้อที่มีความละเอียดมากกว่า ทั้งยังมีการเติมสารเร่งการก่อตัวและมีรูปแบบในการเผาเม็ดปูนที่ละเอียดมากขึ้น ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ต้องการให้แข็งตัวเร็ว เช่น เสาเข็ม คาน และเสาที่ต้องถอดแบบเร็ว ๆ เป็นต้น

4. ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4 (Type IV Cement) เป็นปูนซีเมนต์ความร้อนต่ำ (Low-Heat Cement) ใช้ในงานก่อสร้างที่ใช้คอนกรีตหลา เนื่องจากขณะที่คอนกรีตเริ่มมีการแข็งตัวอุณหภูมิจะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่น เช่น การก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

5. ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 (Type V Cement) เป็นปูนซีเมนต์ทนทานซัลเฟต (Sulfate-Resistant Cement) ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟตสูง เช่น ในน้ำหรือดินที่เป็นด่าง แต่จะมีระยะเวลาในการก่อตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ช่วยให้ประหยัดเวลาได้มากขึ้น เช่น พื้นสำเร็จรูปที่นิยมนำมาวางบนคานคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วจึงเททับหน้า (Topping) หรือในกรณีของสะพานลอย เป็นต้น

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่งผลให้เกิดความร้อนและมีความเหนียวพอที่จะยึดติดวัสดุผสมต่าง ๆ ให้ติดกันได้ ความร้อนดังกล่าวเรียกว่าความร้อนไฮเดรชั่น (Heat of Hydration) ปกติจะมีค่าความร้อน 85-100 แคลอรีต่อกรัม

ความร้อนนี้บางส่วนจะมีการระเหยออกจากเนื้อคอนกรีต โดยความร้อนส่วนใหญ่จะยังคงค้างอยู่ในเนื้อคอนกรีต เป็นสาเหตุให้คอนกรีตเสียความแข็งแรง เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นการบ่มคอนกรีตซึ่งเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีตจึงมีความสำคัญมากทีเดียว

อนึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้จะหยุดการทำปฏิกิริยาเมื่อน้ำมีการระเหยออกจากวัสดุประสานหรือซีเมนต์เพสท์หมดแล้ว ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย เนื่องจากคอนกรีตเมื่อแห้งแล้วภายในเนื้อคอนกรีตซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไป โดยอาศัยความชื้นจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น น้ำใต้ดิน ฝนตก เป็นต้น ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในคอนกรีตภายในสภาวะแวดล้อมธรรมดาทั่วไป จึงยังคงดำเนินการต่อไปเป็นเวลายาวนาน

2. วัสดุผสม (Aggregates) หมายถึง แร่ธาตุเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ เมื่อได้รับความชื้น อาจได้จากธรรมชาติ เช่น ทราย หรือเป็นวัสดุที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เพื่อใช้เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ 75-80 เปอร์เซ็นต์ ของเนื้อคอนกรีต ช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตเนื่องจากราคาของวัสดุผสมมีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เพสท์มาก

ประเภทของวัสดุผสม (Type of Aggregate) โดยทั่วไปแล้วเราจะแบ่งประเภทของวัสดุผสมตามขนาดของวัสดุผสมในการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกาเบอร์ 4 เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1 วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) คือวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกาเบอร์ 4 ได้ แต่อย่างไรก็ตามต้องมีขนาดไม่เล็กเกินกว่า 0.07 มิลลิเมตร เพราะถ้าเล็กกว่าจำนวนดังกล่าวถือว่าเป็นดินเหนียว (Clays) หรือฝุ่น (Silt) วัสดุผสมละเอียดนี้ได้แก่ ทราย (Sand) ซึ่งมีทั้งทรายน้ำจืดและทรายน้ำเค็ม

2. วัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate) คือวัสดุที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป นั่นคือไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกาเบอร์ 4 ได้ วัสดุผสมหยาบนี้ได้แก่ กรวด (Gravel) และหิน (Stone) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงหินเท่านั้น

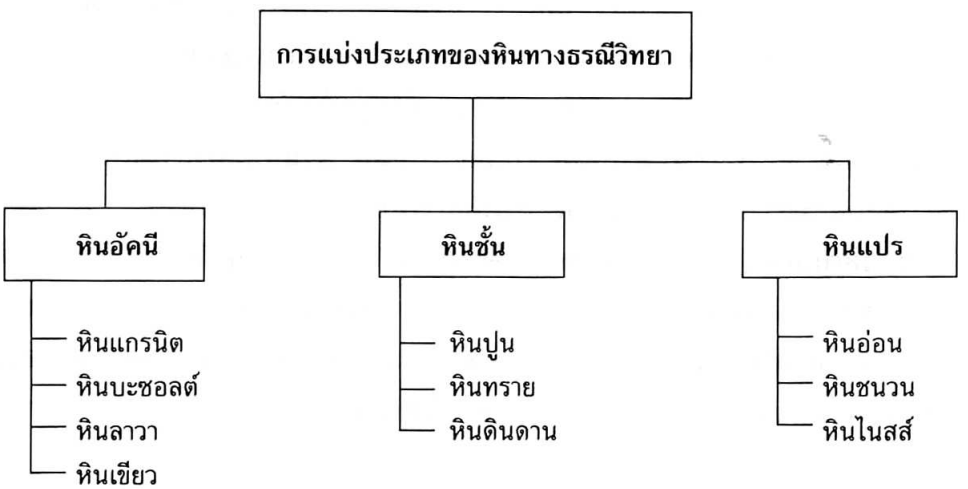
2.1 ประเภทของหิน (Type of Stone) โดยปกติการแบ่งประเภทของหินจะมีวิธีการแบ่งซึ่งได้รับความนิยม 2 แบบ ได้แก่

ก. การแบ่งประเภทของหินทางธรณีวิทยา โดยปกติจะแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 2.2 ได้แก่

1 หินอัคนี (Igneoss Rocks) ซึ่งเกิดจากการแข็งตัวจากเหลวหรือกึ่งเหลว มีเนื้อแข็งแกร่งเป็นก้อนเดียว โดยไม่ต้องอาศัยวัสดุประสานใด ๆ ตัวของหินประสานประเภทนี้ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินลาวา และหินเขียว

2. หินชั้น (Sedimentary Rocks) ซึ่งเกิดจากการแข็งตัวของวัสดุที่ถูกพัดพามาและเกิดกระบวนการทับถม โดยได้รับอิทธิพลจากลม น้ำ และน้ำแข็ง เป็นต้น ตัวอย่างหินประเภทนี้ได้แก่ หินปูน หินทราย และหินดินดาน

3. หินแปร (Metamophic Rocks) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างช้า ๆ ของหินอัคนีและหินชั้น โดยได้รับอิทธิพลจากความร้อน น้ำ ความดัน ตลอดจนอิทธิพลทางกายภาพอื่น ๆ ตัวอย่างของหินประเภทนี้ได้แก่ หินอ่อน หินชนวน หินไนสส์



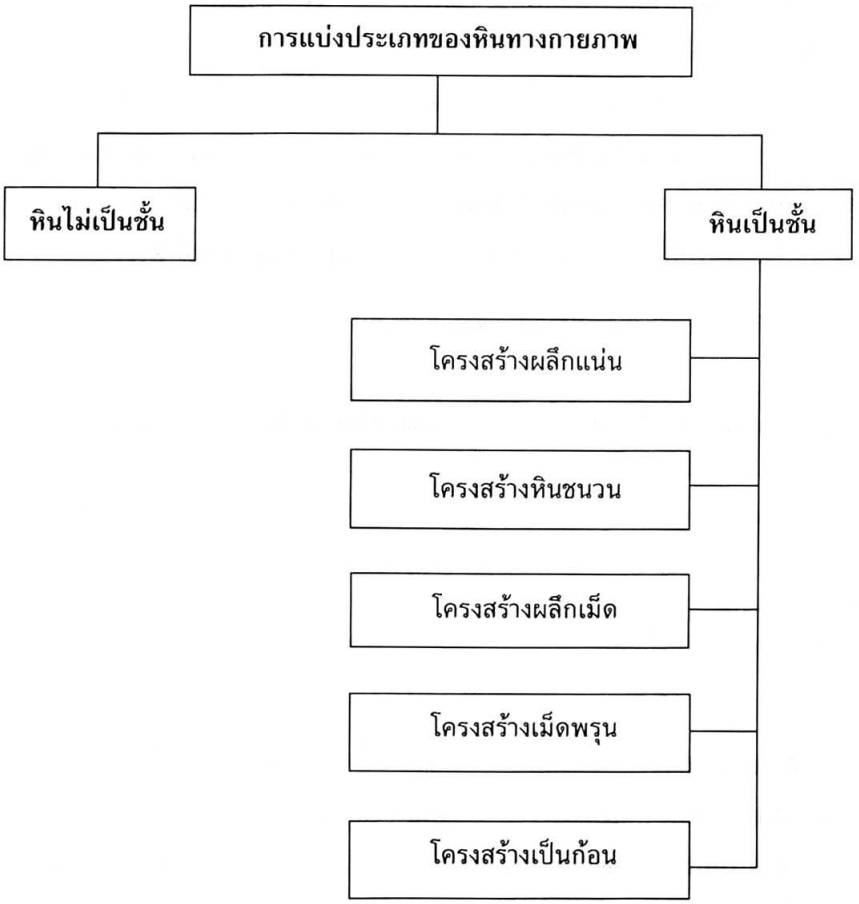
รูปที่ 2.2 *แผนภาพการแบ่งประเภทของหินทางธรณีวิทยา*

ข. การแบ่งประเภทของหินทางกายภาพ เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ของหินขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1 หินไม่เป็นชั้น (Unstratificd Rocks) โครงสร้างของหินไม่เป็นชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะโครงสร้างวัสดุเม็ดและเม็ดผลึก (Crystalline Grains) ซึ่งจับตัวกันแน่น ตัวอย่างของหินประเภทนี้ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินลาวา หินตับ

2. หินเป็นชั้น (Stratified Rocks) การแบ่งประเภทของหินเป็นชั้นนี้ แบ่งตามลักษณะของโครงสร้างทางกายภาพ แยกย่อยได้อีก 5 ประเภท

- โครงสร้างแบบผลึกแน่น (Compact Crystalline Structure) ได้แก่ หินอ่อน
- โครงสร้างแบบหินชนวน (Slaty Structure) ได้แก่ หินดินดาน และหินชนวน
- โครงสร้างแบบผลึกเม็ด (Granular Crystalline Structure) ได้แก่ หินปูนน้ำเงิน
- โครงสร้างเม็ดพรุน (Poross Granular Structure) ได้แก่ หินที่มีลักษณะคล้ายเปลือกหอยประสานกัน
- โครงสร้างแบบรวมกันเป็นก้อน (Conglomerate Structure) ได้แก่ หินที่มีลักษณะฝังตัวรวมกันอยู่ในมวลของหินอีกก้อนหนึ่ง



รูปที่ 2.3 *แผนภาพการแบ่งประเภทของหินทางกายภาพ*

คุณสมบัติของวัสดุผสม (Properties of Aggregates) ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1 มีความแข็งแรง (strength) สามารถรับกำลังแรงอัดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต ซึ่งโดยปกติแล้ววัสดุผสมที่ไม่ถูกกระทำให้แปรตามดินฟ้าอากาศ สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตอยู่แล้ว

2. มีความหนาทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion Resistance) อันเป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของวัสดุผสมที่นำมาใช้ทำคอนกรีต สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติของคอนกรีตในด้านที่ทนต่อการกระแทกและเสียดสี เช่น พื้น หรือถนน เป็นต้น

การทดสอบคุณสมบัติต้านความทนทานต่อการสึกหรอของวัสดุผสมหยาบ สามารถทำได้โดยวิธีทดสอบการสึกหรอลอสแองเจิลลีส (Los Angeles Abrasion Test) เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่สูญเสียไปในการทดสอบ กับขีดกำหนดตามค่าที่ต้องการตามมาตรฐาน

3. มีรูปร่างและผิว (Particle Shape and Surface Texture) ที่เหมาะสม อันเป็นตัวควบคุมความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต วัสดุผสมจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงลักษณะแบนเรียวเป็นแผ่นยาว (Flat and Elorgate Particle) เนื่องจากลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์เพื่อเป็นตัวประสานวัสดุมากกว่าปกติ อีกทั้งกำลังและแรงดึงยึดเหนี่ยวก็ลดลงไปเช่นกัน จำเป็นต้องใช้วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีแง่มีคม เพื่อใช้ยึดเหนี่ยวซีเมนต์เพสท์อันเป็นตัวประสานวัสดุผสม

4. มีความสะอาด (Cleanliness) เนื่องจากสารเจือปนต่าง ๆ เช่น เศษไม้ เปลือกหอยป่น ถ่าน ฝุ่น โคลน ฯลฯ ล้วนแต่เป็นเหตุให้คอนกรีตมีสมรรถภาพลดลง เพราะความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวลดลง บางครั้งอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายไปเลยก็ได้

ปริมาณสารเจือปนในวัสดุผสม สามารถกำหนดได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 *ปริมาณสารเจือปนในวัสดุผสมที่ยอมให้เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก*

ประเภทของสารเจือปน	วัสดุผสมละเอียด	วัสดุผสมหยาบ
ดินเหนียว (Clay)	1.00	0.25
ฝุ่น (Silt)	5.00	1.00
วัสดุจำพวกถ่านหิน เปลือกหอย ฯลฯ	0.5-1.0	0.5-1.0
วัสดุจำพวกรากไม้ เศษไม้ ฯลฯ	0.25	5.00

การทดสอบเพื่อการศึกษาคุณสมบัติของหินนี้ โดยทั่วไปจะใช้การทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ขนาดคละโดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Gradation Test by Sieves Analysis) อาศัยชุดตะแกรงมาตรฐานแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Aggregate Shaker) โดยจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

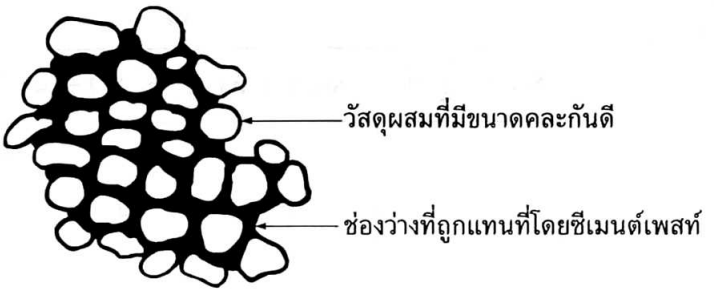
ตารางที่ 2.2 *ข้อกำหนดส่วนขนาดการคละตัวของวัสดุผสม (ASTM C33)*

ขนาดตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ตัวบนตะแกรง				
	ทราย	หิน			
		No. 4 - $\frac{3}{4}$ นิ้ว	No. 4-1 นิ้ว	No. 4-$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	No. 4-2 นิ้ว
2 นิ้ว			-	0	0 5
$1\frac{1}{2}$ นิ้ว			0	0 5	
1 นิ้ว		0	0 - 5		30 65
$\frac{3}{4}$ นิ้ว		0 10		30 65	
$\frac{1}{2}$ นิ้ว			40 75		70 90
$\frac{3}{8}$ นิ้ว	0	45 80		70 90	

ตารางที่ 2.3 *ข้อกำหนดส่วนขนาดการคละตัวของวัสดุผสมละเอียด (ASTM C33)*

ขนาดตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ตัวบนตะแกรง				
	ทราย	หิน			
		No. 4 - $\frac{3}{4}$ นิ้ว	No. 4-1 นิ้ว	No. 4-$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	No. 4-2 นิ้ว
No. 4	0-50	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
No. 8	0.20	95 100	95 100	-	-
No. 18	15.50	-	-	-	-
No. 30	40 - 75	-		-	-
No. 50	70 90				-
No. 100	90 98				

5. มีขนาดส่วนคละ (Gradation) ตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งต้องมีการไล่เรียงของขนาดของวัสดุผสม เนื่องจากจะช่วยให้การเรียงตัวของวัสดุผสมดีขึ้น แน่นขึ้น มีช่องว่างน้อยลง ทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสท์ลดลง และคอนกรีตมีราคาประหยัดมากขึ้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 *ลักษณะการยึดเหนี่ยวของวัสดุผสมในเนื้อคอนกรีต*

3. น้ำ (Water) หมายถึง ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นภายในเนื้อคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องมีความสะอาดพอสมควร โดยปกติต้องมีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้าน และต้องปราศจากกรดและด่าง รวมไปถึงสารปนเปื้อนอื่นอันมีผลกระทบต่อวัสดุผสมและปูนซีเมนต์ ซึ่งปริมาณของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ของน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

นอกจากน้ำจะเป็นส่วนผสมของคอนกรีตแล้ว ยังมีส่วนสำคัญในการทำหน้าที่บ่มคอนกรีตเพื่อป้องกันคอนกรีตสูญเสียความชื้น อันจะส่งผลให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติความแข็งแรงของคอนกรีต

ในส่วนหน้าที่ของน้ำในการผสมคอนกรีต สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1 ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ปูนซีเมนต์กลายเป็นปูนซีเมนต์เพสท์ เพื่อยึดเกาะวัสดุผสม

2. ทำให้วัสดุผสมเปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์จับกับผิวของวัสดุได้ตลอดพื้นผิว

3. ทำให้การผสมคอนกรีตมีความสะดวกขึ้น ทำให้การปฏิบัติงานในการหล่อคอนกรีตง่ายและเกิดประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.4 *ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ของน้ำ*

ประเภทของสารปนเปื้อน	ปริมาณที่ยอมให้ (ppm.)
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
แมกนีเซียมซัลเฟต, แมกนีเซียมคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
- ไบคาร์บอเนต, โซเดียมคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมคาร์บอเนต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
น้ำทะเล	35,000
กรด	10,000
ฝุ่น, อนุภาคลอยตัว, สารแขวนลอย	2,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
ตะไคร่น้ำ	1,000
- น้ำตาล	500
- น้ำมัน	2% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.5-1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

หมายเหตุ ppm. หมายถึง ปริมาณส่วนต่อล้านส่วน

4. สารเคมีผสมเพิ่ม (Admixture) หมายถึง สารเคมีในส่วนของวัสดุประสานที่นอกเหนือไปจากน้ำและปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมร่วมลงไปในคอนกรีต ไม่ว่าขณะผสมหรือผสมเสร็จแล้ว เพื่อเพิ่มเติมคุณสมบัติพิเศษแก่คอนกรีตให้มีคุณภาพและถูกต้องตามข้อกำหนดพิเศษ (Specials Specification) ของงานก่อสร้าง เช่น เร่งการก่อตัว หน่วงการก่อตัว เพิ่มความร้อน เป็นต้น

ประเภทของสารเคมีผสมเพิ่ม โดยปกติจะแบ่งเป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

1 สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเร่งการก่อตัว (Acceterators) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวและแข็งตัวเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดในช่วงแรกมีค่าสูงกว่าปกติ จึงใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องการถอดแบบเร็ว และสามารถรับแรงอัดได้เร็ว เช่น การทำเสาเข็ม เจาะเสาและพื้นคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเร่งการก่อตัวที่นิยมใช้ ได้แก่

โซเดียมซิลิเกต

- แคลเซียมคลอไรด์

2. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัว (Retarders) เป็นตัวปฏิกิริยากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวช้ากว่าปกติ ประมาณ 1 2 ชั่วโมง มักพบในกรณีคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งต้องมีการบรรทุกจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้าง บางครั้งมีระยะทางไกลรวมถึงความขัดข้องทางการจราจร

อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่มีการผสมสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัวนี้ มีผลทำให้กำลังคอนกรีตในช่วงแรก (1-3 วันแรก) ลดลงไปพอสมควร แต่จะมีกำลังสูงดังเดิมในระยะหลัง เนื่องจากสารเคมีผสมเพิ่มลดการก่อตัวจะทำปฏิกิริยาทำให้มีการลดปริมาณน้ำลงประมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน ค่ากำลังแรงอัดก็จะมีค่าคอนกรีตธรรมดาเช่นเดิม

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัวที่นิยมใช้ ได้แก่

แคลเซียมซัลเฟต

คาร์โบไฮเดรต

กรดเกลือลิกโนซัลโฟนิค

กรดเกลือไฮดรอซิเลตคาร์โบโซลิค

น้ำตาล

3. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ช่วยให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น กระจายปนอยู่ในเนื้อของคอนกรีตประมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ โดยฟองอากาศเหล่านี้ไม่สามารถทะลุสัมผัสกันได้

การเกิดฟองอากาศดังกล่าว มีผลทำให้คอนกรีตเหลวมาก สามารถหล่อขึ้นรูปได้ง่าย แม้ว่าจะผสมน้ำน้อย และยังป้องกันน้ำในคอนกรีตแข็งตัวก่อนที่คอนกรีตจะเริ่มก่อตัว ซึ่งมักพบในประเทศตะวันตกที่มีสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นมาก ๆ ทำให้น้ำในคอนกรีตจับตัวเป็นน้ำแข็ง และเกิดความเสียหาย

อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมีการผสมสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศนี้ จะมีผลทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลงไปพอประมาณ และอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ ต้องระมัดระวังในการใช้เครื่องเขย่า หรือเครื่องจี้คอนกรีต ในกรณีเทลงในแบบหล่อคอนกรีต เนื่องจากการใช้เครื่องเขย่าอาจทำให้ฟองอากาศลดน้อยลงไปเกือบร้อยละ 50 ทีเดียว

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศที่นิยมใช้ ได้แก่

- สารเคมีที่สกัดจากยางไม้

  กรดที่สกัดจากยางไม้

  ไขสัตว์

  น้ำมันพืชบางชนิด

4. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดปริมาณน้ำ (Water-Reducing Admixture) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต เพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต

2.1.4 คุณสมบัติที่สำคัญของส่วนผสมคอนกรีต

ในการหาส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานจำเป็นมากที่จะต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมคอนกรีตเสียก่อน ดังนี้

1 ปูนซีเมนต์ ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 (โดยทั่วไปทางบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ได้ทดสอบค่าไว้แล้วประมาณ 3.15)

2. วัสดุผสม

2.1 ขนาดคละ ตามมาตรฐาน ASTM C33

2.2 ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C125

2.3 ความถ่วงจำเพาะ

ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128

หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127

2.4 ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C70 และ C566

2.5 หน่วยน้ำหนักของหิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29

สำหรับวิธีการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมคอนกรีตนั้น จะได้กล่าวโดยละเอียดในวิชาปฏิบัติการทดสอบวัสดุ

2.1.5 ชนิดต่าง ๆ ของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างสมัยใหม่

งานคอนกรีตได้วิวัฒนาการอยู่เสมอมาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน มีการคิดค้นงานคอนกรีตเพื่อความเหมาะสมในงาน และประเภทสำหรับงานก่อสร้างใหม่ ในปัจจุบันงานคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตขึ้นมีดังนี้

1. คอนกรีตกำลังอัดสูง (High Strength Concrete) คือคอนกรีตที่กำลังอัดประลัยรูปทรงลูกบาศก์ตั้งแต่ 400-500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในปัจจุบันเป็นที่นิยมในงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เพราะนอกจากจะมีกำลังอัดสูงเป็นพิเศษแล้ว คุณสมบัติในด้านอื่น ๆ ก็สูงตามไปด้วย เช่น แรงดึง แรงเฉือน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ส่วนผสมที่ใช้จะต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุพอสมควร เช่น การใช้ปูนซีเมนต์ จะต้องเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณไม่เกิน 550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนทรายเป็นทรายสะอาดและหยาบมากกว่าปกติ โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ระหว่าง 3.0-3.2 หินที่ใช้มีขนาดเล็กกว่าปกติ เพื่อลดการแตกร้าว (Microcrack) ไม่เกิน $\frac{3}{8}$ นิ้ว หรือ 10 มิลลิเมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ประมาณ 0.30 ในการทำคอนกรีตกำลังสูงนั้นจะต้องใช้น้ำยาผสมคอนกรีตด้วยคือ น้ำยาลดน้ำ (Super Plasticizer) และยืดเวลาการแข็งตัว (ประเภท D) โดยน้ำยาลดน้ำใช้เพื่อลดน้ำในส่วนผสมลง 15 30 เปอร์เซ็นต์ อันจะเป็นผลทำให้ค่าการยุบตัวจะมีระดับที่สูงกว่า 15 เซนติเมตร นอกจากนี้จะต้องใช้สารไหลลื่น (Puluerized Fuel Ash) ปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ เพื่อให้คอนกรีตไหลเข้าแบบได้สะดวก และสารเพิ่มกำลังที่เรียกว่า ไมโครซิลิกา (Micro Silica) หรือซิลิกาฟูม (Silica Fume) สารนี้จะเข้าไปอุดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตให้แน่นมากขึ้นจนคอนกรีตรับกำลังอัดสูงขึ้น

ประโยชน์ของการใช้คอนกรีตกำลังอัดสูง

1. ลดขนาดชิ้นส่วนโครงสร้างให้เล็กลง ทำให้เนื้อที่ในการใช้สอยมากขึ้น

2. ลดน้ำหนักโดยรวมของอาคาร

3. เพิ่มค่าความแข็งแรง (Stiffness) ทำให้การโก่งและการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Sway) ลดน้อยลง

4. ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานสูงขึ้น อากาศและน้ำซึมผ่านได้น้อย

5. เหมาะกับงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่และอาคารสูง

2. คอนกรีตปั๊ม (Pumping Concrete) คือคอนกรีตชนิดหนึ่งที่ผลิตขึ้นมาให้ใช้กับงานลำเลียงคอนกรีตให้เกิดความรวดเร็วและสะดวกขึ้นกว่าการใช้รถเข็น ลิฟท์ ทาวเวอร์เครน ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง หรือในที่ที่มีอุปสรรคทำงานยาก

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ปั๊มคอนกรีตได้ มีดังนี้

1 ต้องมีสภาพเหลวที่เหมาะสม โดยตรวจสอบจากค่าการยุบตัวของคอนกรีตควรมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-12.5 เซนติเมตร

2. ต้องมีความละเอียดเพียงพอ ความละเอียดในที่นี้หมายถึง ปูนซีเมนต์และทราย เพื่อให้คอนกรีตมีแรงต้านภายในเพียงพอ ไม่ก่อให้เกิดการแยกตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่สุดของหินด้วย ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 *แสดงขนาดใหญ่สุดของหินเทียบกับปริมาตรส่วนละเอียด*

ขนาดใหญ่สุดของหิน (มิลลิเมตร)	ปริมาตรส่วนละเอียด (ปูนซีเมนต์ + ทราย), ลิตร
20	400
25	380

3. ต้องผสมน้ำยาผสมคอนกรีต ได้แก่ น้ำยาประเภทลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว

สรุป ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการปั๊มได้ จะต้องประกอบด้วย

- หินและทรายต้องมีขนาดคละกันดี ถูกต้องตามมาตรฐานกำหนด
- คอนกรีตต้องเหลวกว่าปกติ ค่าการยุบตัว 7.5-12.5 เซนติเมตร
- มีส่วนละเอียดของทรายและปูนซีเมนต์พอที่จะอุดช่องว่างได้ (ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และควรมีอัตราส่วนซีเมนต์ . ทราย = 1 . 2
- ขนาดโตสุดของหินไม่เกิน $\frac{1}{5}$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อปั๊มคอนกรีต
- ต้องมีน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทที่ลดน้ำและยืดเวลาการแข็งตัว