

บทที่ 9

วัสดุโลหะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่อง วัสดุโลหะที่สำคัญ 3 ชนิดคือ โพลีเมอร์ เซรามิก ไม้ และ ปูนซีเมนต์ ซึ่งมีใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

9.1 วัสดุโพลีเมอร์ (Polymeric Materials)

Polymer หมายถึงหลายๆ ส่วนอันประกอบไปด้วยโมโนเมอร์อย่างน้อย 2 ตัวมา ประกอบกันเป็นลูกโซ่ เช่น Ethylene : $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ เมื่อเรียงตัวกันเป็นโพลีเมอร์จะได้ poly-ethylene ในเรื่องนี้จะกล่าวถึง polymeric materials ที่มีความสำคัญทางอุตสาหกรรม 2 ตัว คือ plastics และ elastomers สำหรับ "Plastics" สามารถที่จะแบ่งออกเป็น thermoplastic และ thermosetting ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างพันธะทางเคมี ส่วน "Elastomers" หรือ rubbers จะมีคุณสมบัติเป็น elastically deformed คือสามารถกลับคืนรูปร่างเดิม (หรือเกือบเหมือนเดิม) เมื่อปลดปล่อยแรงออก

9.1.1 พลาสติก (Plastics)

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีโมเลกุลหลักประกอบไปด้วยหน่วยอินทรีย์เคมี (organic chemical unit) กันหลายๆ หน่วย ซึ่งพลาสติกสามารถนำไปขึ้นรูปได้โดยการขึ้น (mold) และการตัดขึ้นรูป (forming) โดยใช้ความร้อน ความดัน หรือใช้ทั้งสองอย่างร่วมกัน

พลาสติกส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นสารที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ แต่เกิดจาก monomer ทำปฏิกิริยากันเป็น polymers โดย polymers ของพลาสติกประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน เป็นธาตุหลัก จับตัวกับธาตุอื่นๆ การรวมตัวของอะตอมจะก่อให้เกิดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น และมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน การรวมตัวกันจะขึ้นอยู่กับพลังงานเกาะตัว (energy bonds) และจะพยายามทำให้อะตอมในโมเลกุลมีเสถียรภาพโดยการให้พลังงานเกาะตัวจนหมด เช่น H - F จะเป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพสูงกว่า C - H

ในปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น ใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอยประจำวัน อุปกรณ์การก่อสร้าง เครื่องมือการแพทย์ ฯลฯ เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ กันไปแล้วแต่ชนิดของพลาสติก โดยทั่วไป Plastics สามารถที่จะแบ่งกลุ่มตาม

คุณสมบัติได้ 2 ประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

9.1.1.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

พลาสติกชนิดนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในการหลอมตัวและไม่ได้แข็งตัว โดยความร้อนหรือแรงกดดันเข้าช่วยแต่จะอ่อนตัวเมื่อความร้อนค่อยๆ สูงขึ้น และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นถึงแข็งตัว และอาจจะหลอม ละลายไปอีกเมื่อใช้ความร้อนเหมือนกับขี้ผึ้งหรือเทียนที่สามารถนำมาหลอมละลายเป็นแห่งได้อีกแล้วทิ้งไว้ให้เย็นก็จะแข็งตัว

วัตถุดิบสำหรับทำพลาสติกชนิดนี้เป็นผลผลิตที่ได้จากการเกษตรหลายชนิดด้วยกัน และมีวัตถุดิบอื่นมาจากแร่อินทรีย์วัตถุ ก๊าซ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม หินปูน ซิลิกา กำมะถัน และอื่นๆ ในกรรมวิธีการผลิตนั้นยังมีส่วนผสมอย่างอื่นอีก เช่น ผงสี ตัวละลายผงพลาสติก และวัตถุดิบเสริมให้แน่น (filler materials)

สำหรับความหนาแน่น(densities), ความแข็งแรงในการทนแรงดึง (tensile strengths), ความแข็ง (impact strengths) และ อุณหภูมิสูงสุดของการใช้ (maximun use temperatures) ของ thermoplastics บางตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลาสติกชนิดต่าง ๆ มีข้อดีที่เหมาะสมสำหรับจะนำมาใช้ทดแทนวัสดุต่างๆ สำหรับการใช้งานทางด้านวิศวกรรม เช่น plastic มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำมากคือ ถ้าเปรียบกับเหล็กแล้วจะมีค่าเป็น 1/7.8 เป็นต้น แต่ก็มีคุณสมบัติบางตัวที่ไม่ค่อยเอื้ออำนวยสำหรับการนำมาใช้งานมากนักคือค่า ความแข็งแรงในการทนแรงดึง และค่าอุณหภูมิใช้งานสูงสุดอาจจะต่ำไปหน่อย

ชนิดของ เทอร์โมพลาสติก ที่ควรทราบ

1. Polyethylene (PE) ผลิตขึ้นเพื่อการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 ที่ประเทศอังกฤษ มีน้ำหนักเบามากในรูปที่เป็นแผ่นบาง ๆ สามารถที่จะงอหรือพับได้ ถ้าจะขึ้นรูปต่างๆ ต้องทำให้หนาพอสมควรมีความยาวยืดตัวได้ถึง 500% ฉีกขาดได้ยากเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมากทนความร้อนได้น้อยแต่ทนความเย็นได้ดี

โดยทั่วไปแล้ว polyethylene จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ Low density (LDPE) และ High density (HDPE) โดยที่ LDPE จะมีโครงสร้างเป็น branched – chain ในขณะที่ HDPE จะมีโครงสร้างเป็นแบบ straight chain จากโครงสร้างที่เป็นอยู่ทำให้ HDPE มีค่า tensile strength สูงกว่า LDPE

2. Polyvinyl Chloride (PVC) วัสดุนี้ทำความสะอาดได้ง่ายทนต่อสารเคมีสูง สำหรับ PVC จะถูกใช้อย่างแคบมากถ้าไม่มีการเติมสารปรับแต่งคุณภาพต่างๆ เข้าไปเช่น

plasticizers, heat stabilizers, lubricants, fillers และ pigments ต่างๆ เช่น Plasticizers จะมีผลต่อค่า tensile strength ของ PVC

3. Polypropylene คุณสมบัติโดยทั่วไป คล้ายๆ กับ polyethylene แต่แข็งแรงและทนทานกว่าทนความร้อนได้มากกว่า Polypropylene มีความเหมาะสมหลายๆ อย่างที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น มีความต้านทานต่อความร้อน ความชื้นและปฏิกิริยาที่ดี ในขณะที่มีความแน่นตัว $\approx 0.900 - 0.910 \text{ g/cm}^3$ มีผิวที่ทนทานนิยมใช้ทำถาดบรรจุอาหารร้อน, เชือกปอพลาสติก, กล้องแบตเตอรี่, หมวกกันน็อค ตลอดจนภาชนะและเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน

4. Polystyrene เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาที่สุดในพลาสติกชนิดแข็ง มีความคงรูปดี ไม่มี สี, ไม่มีกลิ่น แต่เปราะทนความร้อนได้พอสมควร ทนสารเคมี ทนกรดและด่างชนิดอ่อนได้ ไม่ทนต่อน้ำมันเบนซิน ทินเนอร์ อาซีโตน น้ำมันสน นอกจากนี้ polystyrene ใช้ทำกล่องบรรจุอาหารชนิดใส กล่องบรรจุของใช้อื่น ๆ เช่น แอลกอฮอล์, ของเด็กเล่น แผงและตู้โทรทัศน์ วัสดุกันแตกในกล่องบรรจุของ แผงฉนวนกันความร้อนและเสียง

5. ABS (Acrylonitrile – Butadiene – Styrene) มีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดีมาก โดยจะมีค่าสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของยาง (rubber) ที่มีอยู่ แต่ค่า tensile strength จะมีค่าลดลง ทนความร้อนได้ดี ทนกรดต่างได้ดีพอสมควรเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมีคุณสมบัติพิเศษที่นำไปชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าได้ดี เช่น ชุบโครเมียม บ้ายช้อ รุ่นรถยนต์ ผนังในตู้เย็น เครื่องรับโทรทัศน์ แผงเครื่องปรับอากาศ ชิ้นส่วนภายในรถยนต์ อุปกรณ์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ

6. Polycarbonate มีลักษณะพิเศษต่างๆ เช่น มีค่า strength สูง, เหนียว มีขนาดที่คงที่ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบทางด้านวิศวกรรม ใช้ทำหมวกกันน็อค, ช่องมองน้ำ หมวกนักบินอวกาศด้ามเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ชิ้นส่วนของเครื่องบิน, รถยนต์, คอมพิวเตอร์

7. Thermoplastic Polyesters เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมีระหว่าง ethylene glycol กับ terephthalic acid โดยแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

- Polyethylene Terephthalate (PET)
- Polyethylene Butylene Terephthalate (PBT)

Polyesters มีความเหนียวและทนทานมาก ทนความร้อนได้พอสมควร นิยมทำชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงในเครื่องจักร และเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์ ขวดบรรจุของเหลว เส้นใยทำเสื้อผ้า เชือก พรอม พิล์มต่างๆ และเทปบันทึกเสียง เป็นต้น

9.1.1.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting Plastics)

พลาสติกชนิดนี้หลอมตัวเป็นรูปร่างโดยความร้อน และความกด ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มานั้นจะมีความแข็งแรงอย่างถาวร และไม่สามารถนำมาหลอมละลายมาใช้ใหม่ได้อีก เทอร์โมเซตติง มีโมเลกุลเป็นร่างแหเป็นส่วนใหญ่

การผลิตโพลีเมอร์แบบนี้ต้องทำ 2 ขั้นตอน ขั้นแรกสร้างโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลเส้นเชื่อมโยงไม่มากนัก คือมีลักษณะเป็นเทอร์โมพลาสติก ขั้นที่สองเรียกว่า “การบ่ม” เป็นการทำปฏิกิริยาร่างโครงสร้างเชื่อมโยงเพื่อให้เกิดร่างแหโดยสมบูรณ์ ซึ่งอาจทำได้โดยการผสมกับโพลีเมอร์อื่น หรือผสมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น

เมื่อบ่มเสร็จแล้ว เทอร์โมเซตติง จะมีคุณสมบัติไม่หลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน แต่อาจสลายตัว ฉะนั้นจึงไม่อาจที่จะอัดขึ้นหรือเข้าแบบหล่อใหม่ได้อีก

โดยทั่วไปแล้วข้อได้เปรียบของ เทอร์โมเซตติง สำหรับการนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมเป็นดังนี้

- มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง
- มีความแข็งแรงที่สูง
- มีความคงตัวในเรื่องของขนาดและรูปร่างสูง
- มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างภายใต้ load
- น้ำหนักเบา
- มีลักษณะของการเป็นฉนวนทางไฟฟ้าและความร้อนที่ดี

เทอร์โมเซตติง มีหลายชนิดที่สำคัญและใช้กันอยู่โดยทั่วๆ ไปดังนี้

1. Phenolics รู้จักกันดีในชื่อเบกเกิลไลท์ (Bakelite) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง phenol กับ formaldehyde ซึ่ง Phenolics มีน้ำหนักปานกลาง มีความแข็งแรงสูง รับแรงดึงได้พอสมควรแต่รับแรงอัดได้ดีมากรับแรงบิดงอได้น้อย เป็นตัวนำความร้อนที่เลว ติดไฟได้ช้าและดับเอง ทนกรด ต่างชนิดอ่อนได้ นิยมนำไปทำด้ามมีดรับ หูหม้อ หูกะทำ ฝาครอบรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า

2. Epoxy Resins มีความทนทานทางเคมีดี รับแรงดึงได้ดีมากและยังรับแรงอัดได้ดี รับแรงกระแทกได้ดีพอสมควร โดย epoxy รู้จักกันดีแพร่หลายในลักษณะของๆ เหลว ที่มีคุณสมบัติหรือสามารถติดแนบได้ดีกับวัตถุอื่น ๆ หดตัวน้อยเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีทนไฟอาร์ตได้ดีทนกรด ต่าง และสารละลายได้ดี ใช้ทำการติดตั้งโครงร่างฝังในเครื่องบิน , วัสดุเคลือบผิว หล่อทำแม่พิมพ์ชนิดความทดลอง นำไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่ดี ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องบิน รถยนต์

3. Polyesters รู้จักกันดีในรูปผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส วัสดุนี้เป็นฉนวนทนไฟที่ดีจากกรดหรือด่างชนิดอ่อนได้ ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เช่น เรือซึ่งเบาและมีความทนทานพอสมควรทำชิ้นส่วนของเครื่องบินทำถึงบรรจุของเหลว เครื่องเขียน ส่วนของอาคาร เช่น หลังคา, แผงกันแดด และยังใช้ในงานหล่อต่างๆ เช่น หล่อพระพุทธรูปหรือตุ๊กตา

4. Amino Resins เกิดขึ้นจากการควบคุมปฏิกิริยาของ formaldehyde กับ various compounds ซึ่งประกอบด้วยกลุ่ม amine - NH_2 โดย Amino แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ

- User formadehyde พลาสติกชนิดนี้แข็งตัวด้วยความร้อนมีจำหน่ายในรูปแบบที่เป็นผงและของเหลว สำหรับติดวัสดุเป็นชิ้น ๆ ใช้มากในลักษณะการที่มีความยืดเหนียวดีและทนน้ำ ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีผิวที่แข็ง เป็นฉนวนไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง น้ำหนักเบา และสามารถผลิตออกมาเป็นสีใสก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก ureas เช่น กล่องนาฬิกา กระดุม ภาชนะที่ใช้กับโต๊ะอาหาร ด้ามเครื่องมือ ใช้ทำกาวสำหรับอุตสาหกรรมไม้อัด

- Malamine formadehyde ส่วนผสมของ C, N, H ซึ่งทำให้เกิดสารใหม่ที่สามารถทนแรงกระแทกและความร้อนได้อย่างดีเลิศ มีคุณสมบัติในการต้านทานประกายไฟฟ้าได้ดีจึงนำมาใช้ทำส่วนประกอบของเครื่องไฟฟ้า นอกจากนั้นยังนิยมใช้ทำขามหรือภาชนะอื่น และยังใช้ขัดผิววูไดเต้ ที่เรียกว่า “ฟอร์ไมกา” อีกด้วย

ทั้ง User และ Malamine formadehyde เมื่อรวมกับ cellulose fillers จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำ มีความแข็งแรงที่ดี ต้านทานต่อการกระแทกได้ดี โดยที่ ureas formadehyde จะมีราคาที่ถูกกว่า melamine formadehyde แต่ melamine มีค่าความต้านทานต่อความร้อน และความแข็งแรงที่ผิวสูงกว่า ureas

5. Silicone เป็นพลาสติกที่รับแรงดึง , เซรามิค. แรงอัดได้ปานกลาง ทับแสงสามารถทำให้เป็นสีได้ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดึงตัวและทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ ได้เป็นเวลานาน ในขณะที่อุณหภูมิต่ำก็ทนได้ดีเช่นกัน ทนกรดและด่างได้เกือบทุกชนิด ไม่ติดง่ายจึงใช้เป็นน้ำยาถอด

แบบยาง แม่แบบชนิดทนความร้อน วัสดุกันสะเก็ดหิน ปูพื้นของสระน้ำกับลิ้น เส้นทางบนพื้นถนน กาวประสานตู้กระจกใส่ปลาดายงขอบบานหน้าต่าง ประตูยานอวกาศ

9.2 เซรามิก (Ceramic)

คนโดยทั่วไปรู้จักกับเซรามิกในรูปของเครื่องกระเบื้องต่างๆ แต่สำหรับวิศวกรแล้ว เซรามิกก็คือ แก้ว อีฐ หิน คอนกรีต ทรายขัด (abrasives) ฉนวน ไดอิเล็กทริก ทรายเคลือบกระเบื้อง วัสดุแม่เหล็ก อโลหะ อีฐทนไฟ เป็นต้น คุณสมบัติที่วัสดุเหล่านี้มีเหมือนกันหมดก็คือ เป็นสารประกอบของโลหะ และอโลหะ

โครงสร้างของเซรามิกเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนซึ่งอาจแบ่งเป็นรูปของสารประกอบอัดแน่น (close-packed compounds) และสารประกอบที่มีซิลิเกต (SiO_2) เป็นมูลฐาน

เซรามิกในรูปของสารประกอบอัดแน่น เช่น BeO , SiC และ TiC เป็นต้น ส่วนสารประกอบที่มีซิลิเกต อยู่มากมาย อาทิเช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อีฐ กระเบื้องหลังคาแล้ว และสีเคลือบกระเบื้องงานที่ถูกลงไปใช้มาก เช่น เป็นฉนวนไฟฟ้า ภาชนะใส่สารเคมี และเส้นใยแก้ว

วัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมเซรามิก

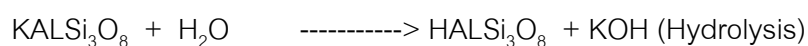
1. ดินขาว
2. ดินเหนียวหรือบอลเคลย์
3. หินหันม้า หรือเฟลสปาร์

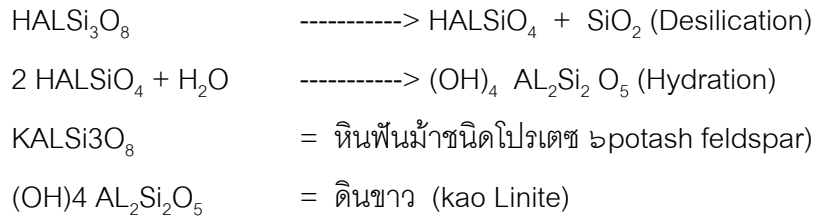
9.2.1 ดินขาว (Kaolin, China Clay)

ใช้เป็นส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์เซรามิก ดินขาวที่จะต้องมีส่วนเจือปนน้อย คือ มีเนื้อมากเผาแล้วสีขาวในทางเคมีจะต้องมี Fe_2O_3 และ TiO_2 ต่ำมาก ๆ ดินขาวนอกจากใช้ในงานเซรามิกแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ทำฟิลเลอร์ ในอุตสาหกรรมกระดาษ สีปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และอื่นๆ

แหล่งดินชนิดนี้มี 2 แบบ คือ

1. แหล่งต้นกำเนิด (residual deposits) ดินขาวแหล่งนี้มักพบในลักษณะเป็นภูเขาหรือที่ราบซึ่งเดิมที่เป็นแหล่งแร่หินฟันม้าเมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (weathering) ผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (kaolinization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้





สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินแหล่งนี้คือ ซิลิกา (silica) มีสูตรเคมีเป็น SiO_2 เนื่องจากนี้ก็มีหินฟีนมา และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ และอาจมีสิ่งสกปรกที่เข้าไปปน

1. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (sedimentary deposit) หมายถึงแหล่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรก ถูกกระแสน้ำพัดพาไป และไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัด เช่น ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาว

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมี เป็น $(\text{CH})_4 \text{ Al}_2 \text{ Si}_2\text{O}_5$ หรือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือ 39.8% Al_2O_3 , 46.3% SiO_2 และ 13.9% H_2O ดินขาวที่พบตามแหล่งต่างๆ มีส่วนประกอบต่างกันไปด้วยเหตุผล 2 ประการ

1. เนื่องจากในโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันของโลหะธาตุที่มีประจุบวก
2. เนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ ได้แก่ quartz, feldspar, rutile , pyrite , tourmaline, zircon , hematite magnetite fluorite, muscorite เป็นต้น

ข้อควรคำนึงเกี่ยวกับแหล่งดินขาว

1. จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของดินแต่ละแหล่งว่าจะนำมาใช้ทำเป็นฟิลเลอร์ได้หรือไม่ เช่น หากมีความขาวสูงความคมต่ำความละเอียดดีอาจจะใช้ทำกระดาษได้ แต่ถ้ามีความคมสูง อาจจะต้องนำไปใช้ผสมทำสี ยาฆ่าแมลง หรืออุตสาหกรรมยาง หรือบางแห่งความขาวไม่สูงนัก ทราหยาบน้อยอาจจะนำมาบดเพื่อใช้เป็นฟิลเลอร์ราคาถูกในการทำปุ๋ยผสม เป็นต้น

2. เทคนิคในการทำเหมืองจะต้องมีการเลือกหน้าเหมืองในการผลิตเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น หน้าเหมืองที่สีไม่ค่อยขาวอาจจะเก็บไว้ใช้ในงานเซรามิกอย่างเดียวหรืออาจจะใช้ดินจากหน้าเหมืองหลายแห่ง มารวมกันเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติที่ต้องการดินที่ใช้กับงานจานชามต้องการดินที่มีความแข็งแรงสูงเผาแล้วสีขาว ขณะที่ดินที่นำไปใช้กับงานหล่อแบบต้องการดินที่หล่อตัวได้ไว เป็นต้น

3. ในการแต่งแร่ นั้น ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของการคัดขนาด ซึ่งนิยมใช้ไฮโดรไซโคลอน ข้อสังเกตก็คือ ควรจะเก็บของที่มีประโยชน์ให้หมดก่อนทิ้งไป และการพิจารณาแร่พลอยได้ที่เหลือจากการแต่ง เช่นกรณีโรงล้างดินขาวลำปาง ทราย และของหายาบที่คัดทิ้งนั้น นำที่จะนำมาศึกษา เพื่อใช้ทำ กระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องประดับ โดยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่งและขนาดมาตรฐานยิ่งขึ้น

คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว

การทราบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาวจะช่วยให้เราสามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นซึ่งมีแร่ดินเหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควร คุณสมบัติที่เราควรจะได้ศึกษาคือ

ขนาด (particle size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่ง เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (plasticity) และการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) กล่าวโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

รูปร่าง (particle shape) แร่ดินขาว อนุภาคของมันมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม มีขนาด จาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (base exchange capacity) คุณสมบัติข้อนี้สำหรับแร่ดินขาวมีน้อยมาก เพราะว่าในแร่นี้มีการแทนที่กันของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก แร่ดินขาว ที่บริสุทธิ์จะไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลเลยมันจะแลกเปลี่ยนได้เมื่อมันเป็นผลึกที่ไม่สมบูรณ์ หรือมันดูดซับเอาผลึกขนาดเล็กของพวก TOT หรือ three layer เข้าไว้ที่ผิวของมัน

คุณสมบัติเมื่อแห้ง (drying properties) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินล้วนๆ เราไม่ค่อยสนใจ เพราะว่าเนื้อดินปั้นมักประกอบด้วยแร่หลายอย่าง แต่อาจกล่าวได้กว้างๆ ว่าของละเอียดๆมีการหดตัวมากกว่าของหยาบเมื่อปล่อยให้แห้ง

ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (green strength) การหดตัวคุณสมบัติสำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินเหนียวอยู่เลย เพราะว่าดินขาวเท่านั้น ที่เป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงมากหรือน้อยเพียงไร

คุณสมบัติหลังจากเผา (firing properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผาไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณ 20%

9.2.2 ดินเหนียว (Ball Clay)

ดินขาวเป็นดินที่ใช้มากในงานอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แต่มีดินอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีความสำคัญเช่นกัน ดินชนิดนี้มีสีดำ แต่เมื่อเผาแล้วจะมีสีขาว ดินชนิดนี้มีความเหนียวมากกว่าและทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผามีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว

ดินเหนียว อาจจะทำให้คำจำกัดความได้ว่า หมายถึงดินที่มีสีขาว ขาวคล้ำจนถึงดำสนิท มีแหล่งสะสมในที่ลุ่มมีเม็ดละเอียดมีอินทรีย์สารเจือปนมีความเหนียวดีให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผามากกว่าดินขาว เมื่อเผาจะมีสีขาวหรือสีซีดจาง

เหตุผลที่เราต้องนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีด้วยกัน 4 ประการ คือ

1. ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะมีการเคลื่อนย้ายลดน้อยลง
3. ช่วยทำให้น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น
4. ดินเหนียวบางชนิดมีความสามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นในขณะทำการเผา เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

การนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกก็มีข้อเสีย คือ

1. ในดินเหนียวมักมีสิ่งสกปรก เช่น Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งเป็นตัวทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไป โดยเฉพาะถ้ามีปริมาณ TiO_2 มาก
2. ทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์น้อยลง
3. ดินเหนียวมีส่วนประกอบไม่แน่นอนจะนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมน้ำดินสำหรับเทแบบ

ธรรมชาติของดินเหนียว ดินชนิดนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แร่ดินขาว แต่มีผลึกขนาดเล็กกว่าดินชนิดอื่นๆ และผลึกมักจะไม่สมบูรณ์ โดยแร่ที่มักพบปนอยู่ในดินเหนียวเสมอ เช่น quartz, mica และ iron sulfide ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษก็คือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอ สารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนท์มาก ดินเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูงและมีการหดตัวสูงเช่นกัน ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิกว้างที่จะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นแก้ว ซึ่งเป็นประโยชน์ คือ ช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากเผาแล้วให้ดีขึ้น ในประเทศไทยดินเหนียวที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีหลายแหล่ง เช่น สุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี แม่เมาะ ลำปาง เชียงใหม่ เป็นต้น

ส่วนประกอบของดินเหนียว

ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มันสะสม ส่วนประกอบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้

1. SiO_2 อยู่ประมาณ 40 – 60 %
2. Al_2O_3 ประมาณ 30 %
3. H_2O ในผลึกและอินทรีย์สาร 10%
4. TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O เล็กน้อย

แร่ดินต่างๆ ที่พบในดินเหนียวพอสรุปได้ คือ แร่ดินขาว ซึ่งมีทั้งหยาบและละเอียดเป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ก็มี montmorillonite และ illite เล็กน้อยแร่อื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ก็มี quartz, mica , เป็นต้น

ส่วนอินทรีย์สารที่พบได้แก่ lignite , waxes, resin , lignin และ humus นอกจากนี้ก็มีเกลือที่ละลายน้ำได้ เกลือส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์ของ Al , Fe, Ca , Mg , K , Na ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลอยู่ระหว่าง 7 ถึง 30 milliequivalents ต่อ 100 กรัมของดินแห้ง

คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

1. ขนาด ดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดดินเหนียวจะมีขนาดละเอียดแค่นั้นและมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบคือแหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากจะมีการเสียดสี และการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2. ความเหนียว กล่าวโดยทั่วไปแล้ว ดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินนั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

3. หดตัวเมื่อแห้งดินเหนียวมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างกันไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้น เช่นดินเหนียวที่มี SiO_2 สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 15 % แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ใช้ดินเหนียวอย่างเดียวในการผสมเนื้อดินนั้นเราสามารถที่จะทดลองผสมเนื้อดินนั้นขึ้นมาหาส่วนผสมเนื้อดินนั้นที่มีการหดตัวที่เหมาะสมได้

4. ความแข็งแรงก่อนเผาปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินนั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

5. คุณสมบัติหลังจากเผา ถ้าเป็นดินเหนียวล้วน ๆ คุณสมบัติหลังจากการเผา เป็น ต้น ว่ามีสีเป็นอย่างไร เนื้อดีหรือไม่ดีอย่างไร ไม่ค่อยสำคัญนัก แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมี ผลกระทบกระเทือนเมื่อผสมดินเหนียวลงไปเนื้อดินปั้น ดินเหนียวบางอย่างมี mica ประกอบอยู่ เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อ เผา mica จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อ ดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น

9.2.3 หินฟันม้า (Feld spar)

เป็นสารประกอบอะลูมินาในซิลิเกตของอัลคาไลด์และอัลคาไลด์เออร์ทโดยเฉพาะ สารประกอบของ Na , K , Ca พบมาก และใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ สารประกอบ บริสุทธิ์ของ Na , K, Ca , หาได้ยาก ในแร่หินฟันม้าจะมีทั้ง Na , K , Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วน แตกต่างไป เนื่องจากว่าสารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกันในขณะที่เป็น ของแข็ง

หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อ แก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้น หินฟันม้าจึงเป็นตัวเสริมให้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และ ช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าเป็นแหล่งให้อัลคาไลด์และอลูมิ นากาแก่เคลือบและแก้ว ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิกส์นำมาใช้ก็คือ หินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบอัลคาไลด์ที่ไม่ละลายน้ำ

ส่วนประกอบของหินฟันม้า หินฟันม้าส่วนใหญ่มีส่วนประกอบคงที่พอสมควร เว้น แต่อัตราส่วนของ Na และ K เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลง หินฟันม้าที่มีเปอร์เซ็นต์ Na สูงใช้ในการผลิต แก้วและเคลือบ ส่วนหินฟันม้าที่มีเปอร์เซ็นต์ K สูงใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น ส่วนประกอบ ทางเคมีจะประกอบด้วย K_2O อยู่ระหว่าง 3.3 ถึง 13.1 % Na_2O อยู่ระหว่าง 1.9 ถึง 12.9 % อยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.2 % หินฟันห้ำจะมี % Fe ต่ำ เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตภัณฑ์ที่ ต้องการความขาว ใช้ในเคลือบที่ไม่ต้องการให้มีสี และใช้ในการผลิตแก้ว

9.2.4 คุณสมบัติของเซรามิก

คุณสมบัติของเซรามิกขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเซรามิก เช่นการนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก ซึ่งเป็นผลของการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนไหวไม่ได้ ส่วนคุณสมบัติแม่เหล็กของ เซรามิกนั้น ขึ้นอยู่กับการจัดตัวของอิออนบวกและอิเล็กตรอนในตัววงโคจรวาเลนซ์สำหรับคุณสมบัติเชิงกล นั้นก็เป็นผลรวมของโควาเลนซ์ ไอออนิก ละแวนเดอร์วาลส์ บอนด์ ที่มีอยู่ในโครงสร้าง

1. ไดอิเล็กทริกเซรามิก เซรามิก ถูกใช้ในฉนวนไฟฟ้าและส่วนประกอบของ วงจรไฟฟ้า เมื่อใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าก็มีหน้าที่แยกสองตัวนำที่มีศักดาไฟฟ้าต่างกัน เมื่อใช้เป็น ส่วนประกอบโครงสร้างของเซรามิกก็จะเป็นที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสนามไฟฟ้ากับประจุ

2. เซรามิกกึ่งตัวนำเซรามิกเป็นกึ่งตัวนำได้ถ้ามีธาตุทรานซิชัน ที่มีหลายวาเลนซ์ เป็นองค์ประกอบเป็นประโยชน์ในการใช้ทำเทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ใช้ในการวัดอุณหภูมิ และใช้ในการทดลองแทนความต้านทานที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้า

3. คุณสมบัติเชิงกลของเซรามิกลักษณะสำคัญของวัสดุเซรามิกโดยทั่วไปก็คือการ มีความแข็งแรงเฉือนสูงและความแข็งแรงแตกหักต่ำ ดังนั้นเซรามิกทั่วไปจึงแตกสลายแบบ เปราะการเลื่อนของระนาบในเซรามิกมีความแตกต่างกันของโลหะเพราะอะตอมของเซรามิกมี หลายชนิดเมื่อมีการเลื่อนเกิดขึ้นพันธะเดิมถูกทำลายจึงเป็นผลทำให้เปราะถ้าไม่มีความพรุน ความแข็งแรงสูง และในทางทฤษฎีความแข็งแรงดึงก็ควรจะสูงด้วยแต่ในทางปฏิบัติมี ค่าต่ำมากเพราะเซรามิกมีรอยแตกเส้นแบ่งเกรน รู มาก ซึ่งเป็นที่เกิดขอความเค้นภายในที่ คายไม่ได้เหมือนกันในวัสดุเหนียว

4. คุณสมบัติทางความร้อนเซรามิกนำความร้อนได้โดยโฟนอน (phonon) ซึ่งเป็น การนำความร้อนที่เป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างการสั่นสะเทือนที่ไม่พร้อมเพรียงกันของแลตทิซ และที่อุณหภูมิสูงโดยการถ่ายเทความร้อนแผ่ (radiant heat transfer) การที่เส้นแบ่งเกรน สามารถกระจายพลังงานแผ่ได้ จึงทำให้สภาพนำความร้อนของเซรามิกธรรมดา มีค่าต่ำของ ผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่มีเส้นแบ่งเกรน

9.2.5 อุตสาหกรรมเซรามิกประเภทต่างๆ

1. ผลิตภัณฑ์ปอร์สเลน (Porcelain) สโตนแวร์ (Stoneware) และเอิธเนนแวร์ (Earthen ware)

- ปอร์สเลน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาว โปร่งแสงผลิตที่อุณหภูมิสูงราว 1300C° เนื้อที่ความแข็งแรงเหมือนแก้ว ไม่มีการดูดซึมน้ำ เมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวานปกติจะ ใช้เคลือบใส่ทับตลอดบางกรณีก็มีการเขียนลวดลายได้น้ำเคลือบ เช่นเครื่องลายคราม (blue and white) และเครื่องเบญจรงค์ ผลิตภัณฑ์จากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนส่วนใหญ่ เป็นชนิดปอร์สเลนปอร์สเลนที่ผลิตจากประเทศทางตะวันตกมักจะมีชื่อว่า Fine China

ปอร์สเลนมีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยาก สิ้นเปลืองแรงงานและพลังงานมากกว่า ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น แถมยังได้ของเกรด A น้อย จึงมีราคาค่อนข้างสูง ปัจจุบันเมืองไทยมี

โรงงานที่ผลิตจานชามชนิดปอร์สเลนประมาณ 6 โรงงาน และมีโรงงานผลิตของประดับเครื่องลายครามเนื้อปอร์สเลนที่ลำปางหลายโรงงานด้วย

วัตถุดิบสำคัญของโรงงานเหล่านี้คือ ดินขาว ดินบอลเคลย์ หินไชนาสโตน โฟแทสเซียมเฟลด์ สปาร์และควอร์ตซ์ วัตถุดิบที่ใช้ทั้งในการทำเนื้อผลิตภัณฑ์และน้ำยาเคลือบ ต้องการสิ่งที่มีคุณภาพสูงที่สุด

- สโตนแวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแกร่งไม่มีการดูดซับน้ำหากเป็นจานชาม จะมีเนื้อสีขาว หรือลวดลายได้ แต่มันจะมีความหนากว่าปอร์สเลน และไม่มีผิวโปร่งแสงน้ำยาเคลือบส่วนใหญ่ออกสีต่างๆ และอาจมีการพิมพ์ลวดลายได้เคลือบหรือบนเคลือบสโตนแวร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่รุ่งเรืองในญี่ปุ่นและยุโรป ขั้นตอนการผลิตและข้อจำกัดในเรื่องวัตถุดิบไม่ยุ่งยากเหมือนปอร์สเลน ทั้งยังมีความแข็งแกร่งมีลวดลายและสีสันทันไม่จำกัด จึงเป็นที่นิยมของแม่บ้านและภัตตาคารต่างๆ สโตนแวร์สีขาวที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ บางทีเรียกว่า Chemical porcelain ด้วยน้ำจากรูปแบบต่างๆ และด้วยชามของญี่ปุ่นที่มีสีสันทันแปลกๆ ทั้งที่จำหน่ายเป็นชุดและจำหน่ายเป็นชิ้น ส่วนใหญ่เป็นสโตนแวร์ทั้งนั้น

ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ สามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปอร์สเลน และสามารถเผาครั้งเดียวได้ จึงเป็นที่เชื่อกันว่าจะมีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง

- เอิเทนแวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์พวก จาน ชาม และของชำร่วย ที่เนื้อยังมีความพรุนตัวสามารถดูดซับน้ำได้ ส่วนใหญ่จะมีเนื้อสีขาวทึบ เมื่อเคาะไม่มีเสียงกังวาน ทำการเผารูปทรงที่อุณหภูมิที่ใช้เผา น้ำยาเคลือบ ต้นทุนการผลิตไม่แพงและทำได้ไม่ยาก แต่มีความแข็งแกร่งน้อยกว่า สโตนแวร์ หรือปอร์สเลน ผลิตภัณฑ์ถ้วยชามจากจังหวัดลำปาง และของประดับส่วนใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่จัดเป็นพวกเอิเทนแวร์ ในอนาคตผลิตภัณฑ์ขึ้นโต๊ะอาหารคงจะหันมานิยมสโตนแวร์มากกว่าเอิเทนแวร์ เอิเทนแวร์คงจะนำไปใช้กับกลุ่มของประดับที่ระลึกละเอียดของชำร่วยที่ไม่เกี่ยวกับการนำมาใช้งาน

2. เครื่องสุขภัณฑ์และลูกถ้วยไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดใช้เนื้อใกล้เคียงกัน คือ มีเนื้อสีขาวแต่ทึบแสง เป็นของที่มีความหนา และใช้น้ำยาเคลือบทึบแสง มีการดูดซึมไกล์ 0 วัตถุดิบที่ใช้คล้ายคลึงกันเพียงแต่ลูกถ้วยไฟฟ้านิยมใช้โฟแทสเซียมเฟลด์สปาร์เพื่อให้มีคุณสมบัติด้านฉนวนไฟฟ้าดีขึ้นเครื่องสุขภัณฑ์ในบ้านเรามีโรงงานผลิต 5 โรงงานสามารถผลิตชิ้นใหญ่และสวยมีคุณภาพดีส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ ความต้องการของตลาดภายในประเทศจะขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ ตามความเจริญในส่วนท้องถิ่นของชิ้นเล็กราคาไม่แพงจะยังมีความต้องการสูงมาก ขณะที่การผลิตเพื่อการส่งออกต้องการเน้นเรื่องคุณภาพและราคา

3. กระเบื้องชนิดต่างๆ กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องปูพื้น ได้รับการพัฒนาไปมาก ในระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการผลิตกระเบื้องบุผนังที่พิมพ์ลายต่างๆ ขณะที่กระเบื้องปูพื้นก็มี ขนาดแผ่นใหญ่และมีสีสันลวดลายมากมายชนิดมาตรฐานการผลิตได้ใช้เทคโนโลยีสูง คุณภาพได้รับรางวัลจากต่างประเทศมาหลายคราวแล้ว แนวโน้มยังเป็นวัสดุที่มีความนิยมสูง ในประเทศและโอกาสการขยายตัวมากขึ้นคงต้องขึ้นกับตลาดต่างประเทศกระเบื้องบุผนังจะมีความบาง ส่วนใหญ่นิยมเนื้อสีขาวที่มีความพรุนตัวสูงขณะที่กระเบื้องปูพื้นต้องรับน้ำหนักมาก จึงมักมีความหนากว่า ควรมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด สีของเนื้อไม่จำเป็นต้องขาว ส่วน กระเบื้องประดับและอิฐประดับนั้นมักหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบหรือเคลือบแต่มีความ หนาและมีลวดลายต่างๆ ใช้บุภายในและภายนอก

4. อิฐทนไฟและเฟอร์ริเจนรีที่ใช้ในเตาเผา เนื้อคอร์เดียไรท์ (cordierite) เหมาะใช้ กับงานอุณหภูมิไม่เกิน 1220 C⁰ สูงกว่านี้ควรเป็นพวกเนื้ออมูลไลท์ (mullite) อลูมินา (high Al₂O₃) และพวกซิลิคอนคาร์ไบด์ (siliconcarbide) และคุณสมบัติที่สำคัญของอิฐทนไฟที่ใช้ ในเตาถลุงก็คือจะต้องทนต่อตะกรันทนต่ออุณหภูมิสูงและเป็นฉนวนความร้อนที่ดีใน อิฐที่มี ฤทธิ์เป็นกรด (acidic bricks) จะถูกกว่าแต่สำหรับเตาถลุงที่มีตะกรันพวก CaO และ MgO ตะกรันเหล่านี้จะทำปฏิกิริยา SiO₂ ที่อุณหภูมิต่ำ และจะทำให้อิฐกร่อนได้ จึงจำเป็นต้องใช้อิฐ ที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (basic bricks) แทน

5. เซรามิกที่ใช้กับงานไฟฟ้า จะแบ่งเป็นพวกใหญ่ๆ คือเป็นฉนวนไฟฟ้า ใช้ในไฟฟ้า กำลังและพวกที่ใช้เป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ในงานอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คาร์ปาซิเตอร์ และแม่เหล็ก โดยจะทำจากส่วนผสมที่สำคัญ 3 อย่างคือ ดินขาว 60% เฟลด์สปาร์ 20% และซิลิกา 20%

ในส่วนของเซรามิกที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก จะประกอบได้ด้วย MnO, CoO และ Fe₂O₃ ผสมกันแล้วเผาในเตาที่อุณหภูมิ 650 C⁰ – 1084 C⁰ แล้วนำมาบดให้ละเอียดอีก ครั้งหนึ่ง ก็จะได้สารแม่เหล็ก ซึ่งอาจใช้เคลือบบัตรโทรศัพท์ หรืออื่นๆ

6. ผงขัด (Abrasives) และมีด (Cutter) ผงขัดที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ (85%) เป็นอะลูมินาสังเคราะห์และบางส่วน (15%) เป็นซิลิคอนหรือไททานเนียมคาร์ไบด์คาร์ไบด์มีความแข็งแรงกว่าแต่จะเปราะกว่า มีดที่ทำด้วยวัสดุเซรามิกจะปอกเนื้อโลหะได้เร็วกว่า มีดอื่นๆ รวมทั้งมีที่ทำด้วย ทังสเตนคาร์ไบด์ทั้งนี้เพราะมีเซรามิกมีความแข็งสูง แม้ขณะร้อนมี สัมประสิทธิ์ความฝืดต่ำ มีสมบัติทนการสึกหรอมาก และการนำความร้อนต่ำ ความร้อนที่ เกิดขึ้นจากการปอกจะถูกนำไปโดยชิ้นโลหะ (chip) ทำให้ทั้งมีดและด้ามมีดตลอดจนชิ้นงานมี

ความร้อนต่ำไปด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากเซรามิกเปราะจึงต้องระวังไม่ให้ความร้อนหรือแรงกระแทกทันทีทันใด

เซรามิกใช้งานได้ดีในงานปกเคลือบ หล่อเหล็กกล้าด้วยความเร็วสูงติดต่อกันนานๆ เซรามิกใช้แทนคาร์ไบด์ได้ดีในกรณีที่ใช้คาร์ไบด์แล้วสึกเร็ว

7. ผลิตรภัณฑ์อื่นๆ ผลิตรภัณฑ์ที่ใช้กับงานก่อสร้าง เช่น ลูกกรงเซรามิก ช่องแสง ช่องลม หลังคากระเบื้อง ทั้งนี้เน้นเรื่องเนื้อความแข็งแรง และขนาดของขั้วร่วมและของที่ระลอกของประดับ เช่น ดอกไม้ เข็มกลัด แจกัน รูปสัตว์ต่างๆ ของที่ระลึกต่างๆ ซึ่งเนื้อส่วนใหญ่จะเป็นสโตนแวร์หรือ เอพเทนแวร์

9.3 ไม้ (Wood)

ไม้เป็นผลิตรภัณฑ์อันยิ่งใหญ่จากธรรมชาติ เป็นวัสดุที่มีค่ายิ่ง จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการก่อสร้าง เพราะมีน้ำหนักน้อยตัดกลึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่าย มีความสวยงาม ตลอดจนสามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น ได้ข้อเสียของไม้ก็คือมีความแข็งแรงต่ำ และมีคุณภาพในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน (anisotropic) เช่น ความแข็งแรงในทางปลาย (ขนานกับแนวเส้นใย) จะต่างกับความแข็งแรงที่รัศมี (radial) หรือด้านสัมผัส (tangential) เป็นต้น นอกจากนี้ในไม้ชนิดเดียวกันก็อาจมีความแตกต่างกันมากในด้านคุณสมบัติเชิงกลซึ่งขึ้นกับคุณภาพของไม้แต่ละท่อน ลักษณะการเลื่อย อายุของไม้ เป็นต้น

9.3.1 การจำแนกประเภทของไม้

ไม้อาจจำแนกแบ่งเป็นไม้เนื้ออ่อน (softwood) ซึ่งปกติจะเป็นไม้ใบแคบและไม้เนื้อแข็ง (hardwood) ซึ่งเป็นไม้จากต้นไม้ใบกว้างอย่างไรก็ตามในปัจจุบัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงแยกประเภทของไม้ตามหนังสือของกรมป่าไม้ที่ กส.0702/6679 ลงวันที่ 3 พฤษภาคม 2517 ดังนี้คือให้แบ่งไม้ออกเป็น 3 ประเภท โดยถือเอาค่าความแข็งแรงในการตัดของไม้แข็งและความทนทานตามธรรมชาติของไม้นั้นๆเป็นเกณฑ์ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 แสดงความแข็งแรงของไม้และความต้านทานของไม้

ประเภทไม้	ความแข็งแรง (kg.cm ²)	ความทนทาน (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	> 1000	> 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600 – 1000	2 – 10
ไม้เนื้ออ่อน	< 600	< 2

9.3.2 คุณสมบัติและประโยชน์ของไม้แต่ละชนิด

ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติและประโยชน์ของไม้เนื้อแข็งไม้เนื้อแข็งปานกลางและไม้เนื้ออ่อนที่ควรทราบตามลำดับ ดังนี้

9.3.2.1 ไม้เนื้อแข็ง มีหลายชนิด เช่น ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้แดง ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบดังต่อไปนี้

9.3.2.1.1 ไม้เต็ง เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามป่าแดดทั่วไปยกเว้นภาคใต้ลักษณะเนื้อไม้เป็นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อแรกตัดทิ้งไว้นานจะเป็นสีน้ำตาลแก่แกมแดง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอแข็งเหนียวแข็งแรงและทนทานมากแห้งแล้วเลื่อยไสกบตกแต่งได้ยาก น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,040 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรองรถไฟเครื่องมือกลกรรมโครงสร้างอาคาร เช่น ตง คาน วงกบ ประตูหน้าต่าง โครงหลังคา เสา

9.3.2.1.2 ไม้รัง เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ตามในป่าแดดทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้มีสีน้ำตาลอมเหลือง เสี้ยนสับสน เนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็ง หนัก แข็งแรง และทนทานมาก เลื่อยไสกบตกแต่งค่อนข้างยากเมื่อแห้งจะมีลักษณะคุณสมบัติคล้ายไม้เต็งจึงในบางครั้งเรียกว่าไม้เต็งรังน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเสาและโครงสร้างอาคารต่างๆ ทำหมอนรองรถไฟ ทำเครื่องมือกลกรรม

9.3.2.1.3 ไม้แดง เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นทั่วไปในป่าเบญจพรรณแล้งและขึ้น ลักษณะของเนื้อไม้มีสีแดงเรื่อๆ หรือ สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนเป็นลูกคลื่นหรือสับสน เนื้อละเอียดพอประมาณ แข็ง เหนียวแข็งแรงและทนทาน เลื่อยไสกบตกแต่งได้เรียบร้อยขัดชักเงาได้ดีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรไม้นี้นิยมในการก่อสร้างในส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น พื้น วงกบประตูหน้าต่าง ทำเกวียน ทำเรือหมอนรองรถไฟ เครื่องเรือน เครื่องมือกลกรรม ด้านเครื่องมือ คันชั่ง ไม้แดงนี้ปลวกหรือเพรียงจะไม่ค่อยรบกวน และเป็นไม้ที่ต้านทานไฟในตัวด้วย

9.3.2.1.4 ไม้ตะเคียนทอง เป็นต้นไม้ใหญ่และสูงมากขึ้นเป็นหมู่ตามป่าดิบ ขึ้นทั่วไปลักษณะเนื้อไม้มีสีเหลืองหม่นสีน้ำตาลอมเหลืองมักมีเส้นสีขาวหรือเทาขาวผ่านเสมอสีที่ผ่านนี้เป็นท่อน้ำมันหรือยาง เสี้ยนมักสับสนเนื้อละเอียดปานกลางแข็ง เหนียว ทนทาน ทนปลวกได้ดี เมื่อนำไปเลื่อย ไสกบตกแต่งและชักเงาได้ดีมาก น้ำหนักโดยเฉลี่ย 750 กิโลกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้างอาคาร ไม้หมอนรางรถไฟ ไม้ชนิดนี้นิยมใช้ทำเรือมาก และยังใช้การได้ดีทุกอย่างที่ต้องการความแข็งแรง เหนียวและทนทาน

9.3.2.1.5 ไม้ตะแบก เป็นต้นไม้สูงใหญ่ตอนโคนมีลักษณะเป็นพู ขึ้นในป่าเบญจพรรณขึ้นและแล้งทั่วไปลักษณะเนื้อไม้สีเทาจนถึงสีน้ำตาลอมเทาเสี้ยนตรงหรือเกือบตรง เนื้อละเอียดปานกลาง เป็นมัน แข็งเหนียว แข็งแรงทนทานดีถ้าใช้ในร่มไม้ตากแดดตากฝน ใช้ทำเสาบ้าน ทำเรือ แพ เกวียน เครื่องกลจักรกรรม ไม้ตะแบกชนิดลายใช้ทำเครื่องเรือนได้สวยงามมาก ใช้ทำด้ามมีด ไม้ถือ กรอบรูป ด้ามปืน เป็นต้น

9.3.2.1.6 ไม้สัก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นเป็นหมู่ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคกลางและตะวันตกลักษณะเนื้อไม้สีเหลืองทองนานเข้าจะกลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแกมก้ำกึ้นเหมือนหนังฟอกเก่าๆ และมีน้ำมันในตัวมักมีเส้นสีแก่แทรกเสี้ยนตรงเนื้อหยาบและไม้ส้ฆ่าเสมอ แข็งพอประมาณแข็งแรงทนทานที่สุดปลวกมอดไม่ทำอันตราย นำไปเลื่อย ไซกบตบแต่งง่าย แกะสลักได้ดี ชักงาได้ง่ายและดีมากเป็นไม้ที่ฝังให้แห้งได้ง่ายและอยู่ตัวดี น้ำหนักโดยประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้สักเป็นที่นิยมมากในการทำเครื่องเรือนทำบานประตูหน้าต่าง ทำเรือ แกะสลักต่างๆ ปริมาณที่ทำออกจำหน่ายยังมีมากพอสมควร ไม้สักเป็นไม้ที่เป็นสินค้าขาออกและเป็นที่นิยมของชาวต่างประเทศมาก ไม้สักที่ใหญ่ที่สุดในโลกปัจจุบันนี้ขึ้นอยู่ที่บ้านปางเกลือ ตำบลน้ำไคร้ อำเภอน้ำป่าด จังหวัดอุตรดิตถ์ มีความสูง 51 เมตร วัตรอบต้นได้ 10.58 เมตร ใช้คนกางแขนโอบรอบต้นได้ไม่น้อยกว่า 8 คน กรมป่าไม้ได้ประมาณอายุต้นสักนี้ไว้ไม่น้อยกว่า 1,500 ปี

9.3.2.1.7 ไม้ซัก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นตามป่าดิบและป่าเบญจพรรณขึ้นทั่วประเทศเว้นแต่ทางภาคเหนือลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลอ่อนถึงแก่เสี้ยนตรงพอประมาณเนื้อหยาบและสับสนแข็งพอประมาณเหนียวทนทานนำไปเลื่อย ไซกบตบแต่งได้ยาก บางครั้งเรียกว่า เต็งตง น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 961 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำหมอนรองรถไฟ ใช้ก่อสร้าง เช่น ทำโครงสร้าง ตง คาน โครงหลังคา พื้น

9.3.2.1.8 ไม้เคี่ยม เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงตรง ขึ้นชุกชุมในป่าดิบชื้นทางภาคใต้บางแห่งใหญ่ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ถึง 3 เมตร ลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลอ่อน ทิ้งไว้นานเป็นสีน้ำตาลแก่หรือเกือบดำ เสี้ยนค่อนข้างสั้นเนื้อละเอียดแข็งเหนียวหนัก แข็งแรงมาก ใช้ในน้ำได้ทนทานดี นำไปเลื่อย ไซกบตบแต่งได้ค่อนข้างง่ายน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 800 - 990 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรใช้ทำหมอนรางรถไฟโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงมากสะพาน แพ พื้น ใช้ในที่แจ้งทนแดดทนฝนดีมาก

9.3.2.1.9 ไม้มะค่าแต่ เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ขึ้นประปรายในป่าแดงและป่าเบญจพรรณแล้วทั่วไปลักษณะเนื้อไม้สีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ เลื่อยทิ้งไว้นานสีจะเข้มขึ้น มีเส้นเสี้ยน ผ่านซึ่งมีสีแก่กว่าสีพื้นเสี้ยนสับสนเนื้อค่อนข้างหยาบแต่สม่ำเสมอเป็นมันลื่น แข็งและทนทานมากทนผดปลวกได้ดี เลื่อยไสกบตกแต่งได้ยาก ถ้าตอกตะปูลงในแก่นไม้จะตอกไม้ยากและตะปูมักคุดงอเพราะความแข็งแรงของไม้ น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 1,090 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้างต่าง ๆ ทั่วไปทำหมอนรางรถไฟทำเครื่องเกวียน เครื่องไถนา เครื่องเรือน เป็นต้น

9.3.2.1.10 ไม้ประดู่ เป็นต้นไม้ต้นสูงใหญ่ ขึ้นในเบญจพรรณขึ้นและ แด่งทั่วไปเว้นแต่ทางภาคใต้ มีชุกชุมทางภาคเหนือและภาคอีสานลักษณะเนื้อไม้สีแดงอมเหลืองถึงสีแดงอย่างสีอิฐแก่สีเส้นเสี้ยนแก่กว่าสีพื้นบางที่มีลวดลาย สวยงามมาก เสี้ยนสับสนเป็นริ้ว เนื้อละเอียดปานกลาง แข็งและทนทาน ไสกบตกแต่งได้ดีและชักเงาได้ดีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในการก่อสร้าง ทำเกวียนเรือที่สวยงามทำจากปุมประดู่ทำด้ามเครื่องมือและสิ่งอื่นๆ ที่ต้องการความแข็งแรงทนทาน ในประเทศจีนและญี่ปุ่นนิยมใช้ทำเครื่องเรือนกันมาก

9.3.2.2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง มีหลายชนิดเช่นไม้ยางไม้กระบากหรือไม้กะบากไม้กระท้อน และอื่นๆ ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบดังต่อไปนี้

9.3.2.2.1 ไม้ยาง เป็นต้นไม้สูงใหญ่ สูงชูด ไม่มีกิ่งที่ลำต้น มักขึ้นเป็นหมู่ในป่าดิบชื้น และที่ต่ำชุ่มชื้นตามบริเวณใกล้เคียงแม่น้ำลำธารในป่าดิบและป่าอื่นๆ ทั่วไป ต้นบางชนิดสามารถเผาเอาน้ำมันยางได้ (แต่เป็นคนละชนิดกับต้นยางพารา) ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อหรือสีน้ำตาลหม่นเสี้ยนมักตรง เนื้อหยาบ แข็งปานกลางใช้ร่วมทนทานดีเลื่อยไสกบตกแต่งได้ดีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 650 – 720 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ทำหีบ ที่นิยมใช้กันมากคือใช้เป็นไม้ฝา ไม้คร่าว ฝาเพดาน คร่าวฝา

9.3.2.2.2 ไม้กระบากหรือไม้กะบาก เป็นต้นไม้สูงใหญ่ขึ้นประปรายในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณขึ้นทั่วประเทศ ทางพฤกษศาสตร์จะมีอยู่หลายชนิด แต่ในส่วนเนื้อไม้และการใช้มีลักษณะคล้ายคลึงมากใช้ร่วมกันได้ดีลักษณะเนื้อไม้โดยรวมมีสีตั้งแต่แนวเหลืองถึงน้ำตาลอ่อนแกมแดงเรื่อๆ เสี้ยนมักตรงเนื้อหยาบแต่สม่ำเสมอ แข็งเหนียว แต่งพอบประมาณ เลื่อยไสกบตกแต่งได้ไม่ยาก แต่มีข้อเสียคือเนื้อเป็นทรายทำให้กัดคมเครื่องมือฝังแห่งง่ายและไม่ค่อยลื่นเสีย น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ใช้ทำแบบหล่อคอนกรีตได้ดีเพราะถูกน้ำแล้วไม่บดงหรือโค้ง ทำเครื่องเรือนราคาถูก ทำกล่องใส่ของเก่า

9.3.2.2.3 ไม้ซุ่มแพรก เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นประปรายตามป่าดิบชื้นทางภาคตะวันออก เช่นทางอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และในภาคกลางบางแห่ง ลักษณะเนื้อไม้เมื่อเลื่อยหรือตัดใหม่ๆ จะเป็นสีแดงเข้มเมื่อทิ้งไว้ถูกอากาศจะเป็นสีน้ำตาลอมแดงเป็นมัน เลื่อมเสี้ยนมักตรงและสม่ำเสมอ เป็นริ้วห่างๆ เหนียวแข็ง ใช้ในร่มทันทานดี เลื่อยไสกบตกแต่งได้ง่าย ชักเงาได้ดี น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ก่อสร้าง เช่น ทำพื้น ฝา

9.3.2.2.4 ไม้นนทรี เป็นต้นไม้ขนาดกลาง ขึ้นในป่าดิบชื้นและป่าโปร่งขึ้น ลักษณะไม้สีชมพูอ่อน ถึงน้ำตาลแกมชมพู เป็นมันเลื่อม เสี้ยนตรงหรือเป็นลูกคลื่น หรือสับสนบ้างเล็กน้อย เนื้อหยาบปานกลาง เลื่อนฝาไสกบตกแต่งได้ง่ายๆ น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 575 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำไม้พื้นเพดานและฝา ทำเครื่องเรือน หีบใส่ของต่างๆ

9.3.2.2.5 ไม้มะม่วงป่า เป็นต้นไม้ใหญ่ ขึ้นห่างๆกันในป่าดิบชื้นและป่าเบญจพรรณ หรือตามที่ชุ่มชื้นทั่วไป ลักษณะเนื้อไม้ไม่มีแก่นมากนัก สีน้ำตาลไหม้ เสี้ยนค่อนข้างตรง เนื้อเป็นมันเล็กน้อย แข็งเหนียว ใช้ในร่มทันทานดีเลื่อมไสกบง่ายน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเครื่องเรือน หีบใส่ของ ไม้บรรทัด ปอกออกมาเป็นแผ่นบางๆ ใช้ทำไม้อัด

9.3.2.2.6 ไม้กระท้อน เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นตามป่าดิบชื้นทั่วประเทศ ลักษณะเนื้อไม้สีแดงเรื่อๆ ปนเทา เสี้ยนไม้ตรง เนื้อค่อนข้างหยาบ แข็งแรงปานกลาง ใช้ในร่มทันทานพอสมควร เลื่อนไสกบตกแต่งได้ง่ายขัดและชักเงาได้ ผึ่งให้แห้งได้ง่าย แต่หดตัวมาก ใช้ทำพื้น เพดาน เครื่องเรือน

9.3.2.3 ไม้เนื้ออ่อน มีหลายชนิดเช่นไม้สยาขาว ไม้ก้านเหลือง ไม้มะยมป่า ไม้ต้นมะพร้าว ซึ่งคุณสมบัติและประโยชน์ที่ควรทราบต่อไปนี้

9.3.2.3.1 ไม้สยาขาว เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ขึ้นตามไหล่เขา และบนเขาในป่าดิบทางภาคใต้บางจังหวัด เช่น ยะลา นราธิวาส ลักษณะเนื้อไม้สีชมพูอ่อนแกมขาวถึงน้ำตาลอ่อนแกมแดง มีริ้วสีแกมว่าสีพื้นเป็นมันเลื่อมเสี้ยนสับสนเนื้อหยาบอ่อน ค่อนข้างเหนียว ทันทานในร่ม เลื่อย ใส ฝาได้ง่าย น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 480 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำเครื่องเรือนและส่วนของอาคารที่อยู่ในร่ม เปลือกใช้ทำไม้อัดได้

9.3.2.3.2 ไม้ก้านเหลือง เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขึ้นตามริมน้ำ แม่น้ำลำธารหรือในที่ชุ่มชื้นทั่วไปลักษณะเนื้อไม้สีเหลืองเข้มถึงสีเหลืองปนแสดเสี้ยนตรงละเอียดพอประมาณ และอ่อน นำไปเลื่อยไสกบได้ง่ายชักเงาได้ดี น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 540 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำพื้น ฝา เครื่องเรือน หีบใส่ของ

9.3.2.3.3 ไม้มะยมป่า เป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ขึ้นประปรายในป่าดิบชื้นหรือป่าเบญจพรรณขึ้นทั่วไปลักษณะเนื้อไม้ไม่มีแก่นสีจากถ้าถูกอากาศนานๆ สีจะนวลขึ้น เสี้ยนตรง เนื้อหยาบ แต่สม่ำเสมอและอ่อนใสบกได้ง่าย น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้ทำก้านไม้ขีดไฟ กลักไม้ ขีดไฟ หีบใส่ของ ปัจจุบันใช้ทำเครื่องเรือนต่างๆ

9.3.2.3.4 ไม้ต้นมะพร้าว เนื้อมีความหนาแน่นใช้เป็นโครงสร้างได้ ความหนาแน่นตรงริมมีมากกว่าตรงกลางต้นตอนกลางๆ มีความหนาแน่น 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ตอนริมมีความหนาแน่นถึง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

9.3.3 มาตรฐานไม้

มาตรฐานของไม้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม หรือ มอก. ในปัจจุบันมีดังนี้

1. มอก.421 –2525 หมายถึง ไม้แปรรูปและข้อกำหนดทั่วไป
2. มอก.422 –2525 หมายถึง ไม้สักแปรรูป
3. มอก.423 –2525 หมายถึง ไม้กระยาเลยแปรรูป
4. มอก.424 –2525 หมายถึง ไม้แปรรูปสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป
5. มอก.497 –2526 หมายถึง ไม้แปรรูปอบ
6. มอก.516 –2527 หมายถึง ไม้อัดน้ำยา CCA

ซึ่งในมาตรฐานดังกล่าวจะมีหัวข้อที่กล่าวมาถึงคือ

1. ขอบข่าย
2. บทนิยาม
3. ชั้นคุณภาพ
4. วัสดุและการทำ
5. คุณลักษณะที่ต้องการ
6. เครื่องหมายและฉลาก
7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

มาตรฐานของไม้แปรรูปนั้น มีมิติ (ขนาด) เป็นมิลลิเมตร ซึ่งกำหนดตาม มอก.421-2535 เป็นดังนี้

1. ขนาด ไม้แปรรูปตามมาตรฐานนี้ มีขนาดดังต่อไปนี้

ความหนา : 12 , 16 , 19 , 22 , 25 , 32 , 38 , 44 , 50 , 63 , 75 , 88 , 100 , 113 , 125 , 138 , 150 และ 200

ความกว้าง : 25 , 38 , 50 , 63 , 75 , 88 , 100 , 113 , 125 , 150 , 175 , 200 , 225 , 250 , 275 , 300 , 350 และ 400 มิลลิเมตร (ยกเว้นไม้สักเหลียม ให้ถือตามขนาดไม้สักเหลียมแปรรูป มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไม้สักแปรรูปมาตรฐานเลขที่ มอก.422)

ความยาว : สำหรับไม้สัก เริ่มตั้งแต่ 0.30 เมตร และให้มีความยาวเพิ่มขึ้นช่วงละ 0.15 เมตร ส่วนไม้กระยาเลย เริ่มตั้งแต่ 0.30 เมตร และให้มีความยาวเพิ่มขึ้นช่วงละ 0.30 เมตร

2. การเรียกชื่อขนาด ให้เรียกชื่อขนาดไม้เรียงลำดับดังนี้

ความหนา × ความกว้าง × ความยาว

3. การแปรรูป ต้องแปรรูปให้ส่วนยาวของไม้แปรรูป ชนากับความยาวของท่อนซุง ด้านทั้ง

4. ด้านต้องเรียบเป็นแนวเส้นตรง มีขนาดสม่ำเสมอทั้งหมดตลอดความยาวของแผ่น และภาคตัดขวางหัวท้ายต้องเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

9.4 ปูนซีเมนต์ (CEMENT)

วัตถุที่เรียกว่าปูนซีเมนต์หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่งซึ่งเมื่อได้ผสมน้ำตามส่วนแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะแข็งตัวโดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิดมาทำ calcination คือเผาจนกลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่ง ก็จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามต้องการปูนซีเมนต์ในปัจจุบันทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกา ซึ่งได้แก่ดินดำและดินขาวและศิลาแลงซึ่งมีธาตุเหล็กผสมกัน

9.4.1 ชนิดของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

9.4.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portlandcement) วัตถุชนิดนี้พบครั้งแรกที่เมือง ปอร์ตแลนด์ในประเทศอังกฤษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วย หินปูน

(Limestone) และดินเหนียว (clay) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโคโคไลไมต์ (MgCo_3) เป็นจำนวนเล็กน้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาในบ้านเราที่ใช้กันทั่วไป (ตราเสือ ตราช้าง ตรางูเห่า) ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (greenish gray) และมีน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์/ฟุต³ เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่สารออกไซด์และธาตุแคลเซียมซิลิกอน อลูมิเนียม และ เหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ด ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก

สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อะลูมิโน เฟอไรต์	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF
สารประกอบ C_3S	ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน	
C_2S	ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นน้อย	
C_3A	ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูงมีกำลังรับแรงเร็ว	
C_4AF	มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่ เกิดขึ้น	

จำนวนสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไป เช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็วหรือช้า ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวอาจเร็วขึ้นหรือช้าลง ความร้อนที่ได้จากการปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูงหรือต่ำเป็นต้น

9.4.1.2 ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ (natural cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำจากหินที่ขุดได้ในดิน ซึ่งมีส่วนผสมคล้าย ๆ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่แล้ว โดยเอาหินนี้มาเผา แต่การเผาไม่ใช้ความร้อนสูงแบบเผาทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาแล้วเอามาบดเป็นผง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณภาพแข็งในน้ำได้เหมือนกันแต่มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก และมีส่วนผสมไม่แน่นอน เพราะแล้วแต่คุณสมบัติของหินที่ได้จากธรรมชาติ

9.4.1.3 ปูนซีเมนต์พอสโซลานา (pozzolana cement) บางครั้งเรียกว่าปูนซีเมนต์สแล็ก (slag cement) ทำโดยเอาปูนขาวและกาก (slag) จากเตาเผาเหล็กหรือพอสโซลานาซึ่งเกิดตามธรรมชาติและพวกหินภูเขาไฟมาผสมกันแล้วบดให้ละเอียด ปูนซีเมนต์ที่

ชาวโรมันในสมัยโบราณใช้ก็เป็นปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่แข็งแรงเท่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่เมื่อผสมเป็นปูนก่อหรือคอนกรีตแล้วจะเหนียวดีและแตกยากกว่าปูนก่อหรือคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ได้ดีในงานที่อยู่ในน้ำเค็มและเหมาะสำหรับใช้ในน้ำทะเลหรือในที่ชื้นแฉะ เช่น ฐานราก ท่อน้ำ และงานใต้ดินทั่ว ๆ ไป

9.4.1.4 ปูนซีเมนต์ อะลูมินิส (aluminous cement) ทำขึ้นครั้งแรกในฝรั่งเศสโดยเอาบอกไซต์ (bauxite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีอะลูมินามากและราคาแพงมาผสมกับปูนขาวแล้วเผา หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดเช่นเดียวกับการทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อหล่อแล้วได้ 24 ชั่วโมงและมีกำลังเท่ากับคอนกรีตซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3 เดือน เสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้อาจนำมาใช้ตากได้เมื่อหล่อได้เพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อนำไปใช้ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวมากก็ใช้ได้โดยไม่ต้องป้องกันความหนาวแบบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเอาปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมน้ำจะทำให้เกิดความร้อนมากซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตแข็งด้วยความเย็นจัดเสียก่อน คอนกรีตซึ่งผสมด้วยปูนซีเมนต์นี้เมื่อแข็งแล้ว (ระหว่าง 4 – 6 ชั่วโมง) ต้องรดน้ำหรือคลุมให้ชื้นอยู่เสมอจนครบ 24 ชั่วโมงเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปโดยความร้อนอันเกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตกำลังแข็งตัว

9.4.1.5 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (silica cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งนำมาผสมกับทรายเพื่อให้ราคาถูกลง โดยบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเม็ด 70 เปอร์เซ็นต์ผสมทราย 30 เปอร์เซ็นต์และผสมยิปซัมลงไปด้วยเล็กน้อย อังกฤษและประเทศต่างๆ ในยุโรปส่วนมากก็ผลิตปูนซีเมนต์ชนิดนี้ขึ้นใช้กันอย่างแพร่หลาย ในประเทศที่ไม่ค่อยมีเชื้อเพลิงธรรมชาติใช้มักนิยมปูนซีเมนต์ชนิดนี้มากเพราะใช้เชื้อเพลิงในการผลิตน้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานของปูนซีเมนต์ซิลิกาส่วนมากกำหนดส่วนต่ำสุดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้ผสมไว้ 50 เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์ซิลิกาในประเทศไทยคือปูนซีเมนต์ตราเสือ ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ปูนซีเมนต์ตรางูเห่าของบริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด และปูนซีเมนต์ตรานกอินทรีของบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

9.4.2 การผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์มีทั้งแบบเผาแห้ง (semi-dry process) และแบบเผาเปียก (wet process) ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตโดยรวม ๆ จะเหมือนกัน แต่จะต่างกันในส่วนที่ 2 ดังที่จะแสดงในรูปต่อไปซึ่งการผลิตจะมีกรรมวิธีดังต่อไปนี้

ในการผลิตปูนซีเมนต์เผาแห้งมีกรรมวิธีเป็นขั้น ๆ คือนำวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินาและธาตุซิลิกาซึ่งมีอยู่มากในดินดำ กับเหล็กซึ่งมีอยู่มากในศิลาแดง มาผสมกันตามสัดส่วน บดให้ละเอียดและนำมาตีกับน้ำจะเป็นน้ำดินแล้วนำไปเผาในหม้อเผา (cementkiln) จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับกันเป็นเม็ดเล็ก ที่เรียกว่า ปูนเม็ด (clinker) เมื่อนำปูนเม็ดไปบดรวมกับยิปซั่มก็จะได้ปูนซีเมนต์ตามที่ต้องการ

ในการเตรียมวัตถุดิบตามวิธีนี้ จะต้องนำวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ได้แก่ ดินขาวดินดำและศิลาแดง มาวิเคราะห์หาส่วนประกอบเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ผสมวัตถุดิบดังกล่าวแล้วนำไปตีรวมกันกับน้ำในบ่อเตรียมดิน (wash mill) ให้ละเอียดจนเป็นน้ำดิน (slurry) วัตถุประสงค์ของกรรมวิธีขั้นนี้ก็จะย่อยดินขาวส่วนที่แข็งมาก ให้แหลกลงแล้วกรองผลิตผลที่ดีแล้วเพื่อกันเอาส่วนละเอียดไปใช้และควบคุมปริมาณของน้ำให้มีมากเกินไปเพราะจะทำให้หมดเปลืองเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนกากของดินนำไปบดให้ละเอียดใหม่ในหม้อบดดิน (tube mill) แล้วนำมากรองใหม่อีกครั้งหนึ่งอย่างไรก็ตาม ในการเตรียมวัตถุดิบดังกล่าวมาแล้วนี้ส่วนผสมของวัตถุดิบอาจจะคลาดเคลื่อนไปได้บ้าง เพราะความชื้นในดินตลอดจนความเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของดินอีกเล็กน้อยจึงต้องกวนน้ำดินที่ได้บรรจุไว้ในถัง (slurry silo) โดยวิธีอัดลมลงไปเพื่อให้เดือดพล่านเป็นเวลา 1 คืน แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเป็นครั้งที่สอง ถ้าจำเป็นก็จะได้จัดการผสมน้ำดินนี้ให้ถูกส่วนตามที่ต้องการต่อไป แล้วสูบน้ำดินนี้ไปลงถังพัก (slurry agit tank) ซึ่งมีพายและลมสำหรับกวนและเป่าน้ำดินเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนและเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในส่วนผสมให้มากที่สุดที่จะทำได้

ขั้นต่อมาให้เตรียมดินผงโดยเอาหินปูนแห้งมาบดกับดินดำแห้งให้ละเอียดและมีส่วนผสมทางเคมีกวนเข้ากับน้ำดิน เอาน้ำดินและดินผงผสมกันแล้วมาปั่นเป็นเม็ดแบบขนมบัวลอย เม็ดดินนี้จะมีความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าผลิตโดยกรรมวิธีเผาเปียก (wet process) น้ำดินจะต้องมีความชื้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะป้อนเข้าหม้อเผา ด้วยความชื้นต่ำของน้ำดินและโดยการเพิ่มตระกรันเผาเม็ดดินเข้าอีกชุดหนึ่ง การใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงจะเป็นไปในอัตราต่ำ และมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเผาเปียก ทำให้เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปในหม้อเผาปริมาณเดียวกันสามารถเผาปูนเม็ดได้เพิ่มขึ้นอีก 50 เปอร์เซ็นต์ หรือถ้าจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าวิธีเผาเปียกใช้ความร้อนประมาณ 1,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อใช้วิธีเผาแห้งใช้ความร้อนลดลงเหลือประมาณ 1,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สูบน้ำดังกล่าวไปเผาในหม้อเผา (cement rotary kiln) ซึ่งวางนอนอยู่บนแท่นคอนกรีตและหมุนรอบตัวเองอยู่บนลูกกลิ้งประมาณ นาที่ ละ 1 รอบ และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ภายในหม้อเผาจะมีอิฐทนไฟ (refractory lining bricks) เพื่อเก็บความร้อนไว้ภายในและมีโพรงเป็นชุดๆ แขนงไว้ทำหน้าที่ต่างๆกันเช่น ชุบน้ำดินที่ไหลผ่านมา แล้วให้ปะทะกับลมร้อนที่จะผ่านออกทางปล่อง ทำให้น้ำระเหยออกจากน้ำดิน บันดินที่น้ำระเหยออกไปบ้างแล้วให้เป็นเม็ดกลม ๆ มีขนาดเท่าปลายนิ้วมือหรือใกล้เคียงกัน เม็ดดินที่ผ่านโพรงเป็นชุดๆมานั้นจะถูกเผาให้ร้อนเรื่อยๆ และเมื่อร้อนถึง 800 – 1000 องศาเซลเซียส เม็ดดินก็จะเริ่มคายคาร์บอนไดออกไซด์ออก เมื่อเม็ดดินนี้ร้อนถึงประมาณ 1,450 องศาเซลเซียสก็จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีคือเม็ดดินเปลี่ยนเป็นปูนเม็ดโดยฉับพลัน ปูนเม็ดซึ่งร้อนถึง 1,450 องศาเซลเซียสจะถูกปล่อยลงไปในช่วงลดความเย็น (cooler) อันเป็นทำเลที่จะพ่นลมเข้าไปให้ปูนเม็ดเย็นตัวลงเพื่อให้เกิดไตรแคลเซียมซิลิเกต (C3S) มากที่สุดในขณะที่ปูนเม็ดเริ่มแข็งตัวแล้วจึงเก็บปูนเม็ดนี้ไว้ในตู้ (storage)

ต่อไปก็นำปูนเม็ดนี้ไปบดให้เป็นปูนซีเมนต์ผงในหม้อบดปูนซีเมนต์ (cement mill) โดยใส่ชิปซัมผสมลงไปด้วยหม้อบดนี้มีเครื่องที่สามารถตั้งให้จำนวนปูนเม็ดที่บดเป็นปูนซีเมนต์แล้วมีความละเอียดและมีความแข็งตัวตามที่ต้องการด้วยในทุกๆ ชั่วโมง ซึ่งจะนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่บดนี้ไปทดลองหาเวลาแข็งตัวและความละเอียดตลอดจนเก็บไว้ส่วนหนึ่งเพื่อรวมกันประกอบเป็นตัวอย่างสำหรับทดลองกำลังการยึดตัวและส่วนผสมทางเคมีของปูนซีเมนต์ที่บดแต่ละตัวด้วย ปูนซีเมนต์ที่บดแล้วนี้นำไปเก็บไว้ในตู้เก็บปูนซีเมนต์ (cement silo) โดยอาศัยกำลังลมอัดไป แล้วจะนำมาบรรจุถุงจำหน่ายได้ต่อไป

การอุ่นดินผงให้ร้อนใช้วิธีดีพรยดินผงลงทางยอดหอคอยมีถังดักแบบไซโคลนขนาดใหญ่เรียงอยู่เป็นชั้นๆ เพื่อนำลมร้อนที่ออกจากหม้อเผามาอุ่นดินผงให้ร้อนจัด เป็นการประหยัดความร้อนอย่างดีที่สุดในกรรมวิธีการเผาปูนในปัจจุบันนี้ ความร้อนที่ออกจากไซโคลนนี้ยังจะถูกจัดส่งโดยท่อขนาดใหญ่ ไปอุ่นวัตถุดิบที่มีความชื้นให้แห้งเสียก่อนนำไปเก็บไว้ในตู้แบบไซโลอีกด้วย

9.4.3 ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในประเทศ

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

9.4.3.1 ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ซิลิกา ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราภูเขา และตรานกอินทรี

9.4.3.1.1 ปูนซีเมนต์ตราเสือคือปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษมีทรายประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ บดละเอียดรวมอยู่ด้วยมีคุณภาพทดสอบได้แรงตามมาตรฐานอังกฤษ (ordinary

portland cement BSS 12 –1985) ปูนซีเมนต์ตราเสือนี้ใช้ในงานที่ไม่สำคัญนักไม่ยึดหกล้มมากเมื่อทำคอนกรีตและที่สำคัญคือราคาถูก เนื่องด้วยราคาถูกและมีแรงดีพอสมควรงานอุตสาหกรรมทำกระเบื้องมุงหลังคาทำโองถึงส้ม ต่อหม้อ ฯลฯ ตลอดจนงานสร้างบ้านเอกชนขนาด 2-3 ชั้น หรืองานทำถนนในบ้านมักนิยมใช้ปูนซีเมนต์นี้ นอกจากนั้น เมื่อหล่อเป็นคอนกรีตแล้ว ถึงแม้ว่าจะปมไม่เต็มที่ตั้งเช่นที่ควรทำในการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ธรรมดาหรือปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว ก็จะไม่ยุ่งยากในเรื่องที่จะมีรอยร้าวลាយงา เพราะยึดหดของปูนซีเมนต์ ปัจจุบันมีการผลิตปูนซีเมนต์ขาดตราเสือออกจำหน่ายโดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัดปูนชนิดนี้เป็นปูนซีเมนต์ขาวคุณภาพพิเศษใช้สำหรับงานปูกระเบื้องพื้นและผนังหรืองานยาแนวเซรามิก รวมทั้งใช้ในงานปูนตกแต่งทั่วไป ปูนชนิดนี้มีคุณสมบัติดังนี้

- เนื้อซีเมนต์ละเอียด เหนียวนุ่ม ยึดเกาะได้ดี คุณภาพเท่าปูนซีเมนต์ตราเสือ

- ระยะเวลาแข็งตัวช้า เหมาะสำหรับงานปูกระเบื้องหรืองานตกแต่งที่ต้องใช้เวลานาน

- มีความลื่นในตัว ทำงานง่าย

- ยึดหรือหดตัวน้อย ไม่แตกลាយงา ใช้ผิวงานที่เรียบร้อย สวยงาม

- มีสารอัลคาไลน์ผสมน้อยมากจึงเหมาะสำหรับการปูกระเบื้องเซรามิกซึ่งดีกว่าปูนซีเมนต์เทา ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ 1 ถุงบรรจุซีเมนต์หนัก 20 กิโลกรัม 1 ถุงใช้ปูกระเบื้องได้ประมาณ 5-6 ตารางเมตร ใช้ยาแนวกระเบื้องเซรามิกได้ประมาณ 80 ตารางเมตร

9.4.3.1.2 ปูนซีเมนต์ตราภูเขา เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นให้มีผลในทางประหยัด และเหมาะสำหรับใช้สร้างอาคาร ตึกแถว งานทำกระเบื้อง หล่อถึง หล่อท่อ เทพื้นคอนกรีต และอาคารคอนกรีตทั่วไป มีคุณภาพตามมาตรฐาน ADTMC340.58T และ federal specification SS-C208b ฤกษ์กระดาศที่ใช้บรรจุพิมพ์ด้วยสีน้ำเงิน การใช้ปูนซีเมนต์ปูนซีเมนต์ตราภูเขานี้ มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดความละเอียด เมื่อผสมคอนกรีตแล้วทำให้สะดวกและง่ายในการเทลงแบบเหมาะสำหรับเป็นปูนก่อปูนถือพร้อมกับปูนซีเมนต์ชนิดนี้ก็มีคุณภาพทำให้คอนกรีตรับน้ำหนักได้มากและมีกำลังสูงดีที่สุดสำหรับการก่อสร้าง ตึกแถวพื้นคอนกรีตงานทำโอง ทำกระเบื้อง หล่อถึง และอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ต้องการกำลังสูงเป็นพิเศษ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้ได้โดยทั่วไป มีราคาต่ำกว่าชนิดอื่น เป็นที่นิยมในหมู่ช่างผู้รับเหมาและผู้ผลิตวัสดุก่อสร้างอย่างกว้างขวาง

9.4.3.1.3 ปูนซีเมนต์ทรานกอินทรีย์เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นโดยใช้วัสดุจำพวกซิลิกาบดละเอียดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อใช้ทำคอนกรีตปูนก่อ หรือปูนฉาบ จะมีการยึดหดตัวน้อย การแข็งตัว ระยะแรกช้ากว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเพชร แต่เมื่อแข็งตัวแล้วก็จะมีกำลังตามเกณฑ์ปกติเช่นเดียวกัน เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตโดยทั่วไป และงานก่อสร้างที่ไม่เร็วัดเช่น การสร้างบ้านพักอาศัย ทำถนน หรือ ทางคอนกรีตในบ้าน ทำกระเบื้องคอนกรีตทั่วไป ทำเสาดอม่อ ทำท่อคอนกรีตระบายน้ำ ทำถังส้วมและทำโถง เป็นต้น เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ทรานกอินทรีย์ทำคอนกรีตแล้ว แม้จะไม่ได้พิถีพิถันในเรื่องการบ่มเท่าที่ควร ก็ไม่ค่อยจะมีรอยร้าวลายงาเกิดขึ้นเพราะปูนซีเมนต์ยึดตัวหดตัวน้อย นอกจากนี้ก็ยังเกิดความร้อนน้อย จึงเหมาะสมสำหรับทำคอนกรีตหยาบ (mass concrete) เช่น ทำเขื่อนกันน้ำ เป็นต้น

9.4.3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคเดี่ยว ตราเพชร ตราพญานาค 7 เคียว และตราปลาฉลาม

9.4.3.2.1 ปูนซีเมนต์ตราช้างคือปูนซีเมนต์ชนิดธรรมดาผลิตตามมาตรฐานอังกฤษคือ Ordinary Portland cement B.S.14 : 1058 และตามมาตรฐานอเมริกา คือ ASTM.C.150-53 type I ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปตามความนิยมของผู้ออกแบบ เพราะแรงที่เกิดขึ้นโดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้สม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลง แรงมากขึ้นหรือน้อยลงตามส่วนของน้ำ และปูนซีเมนต์ใส่ลงในคอนกรีตหรือปูนทรายถ้าใช้คอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ ไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัม ต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต แรงที่เกิดขึ้นใน 14 วันที่บ่มไว้ดีจะขึ้นถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของแรงทั้งหมดเมื่ออายุ 90 วัน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาวยตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์สีเทตราช้างของบริษัทเดียวกัน วัตถุประสงค์ในการผลิตมีหินสับ หินปูนและทรายแล้วโดยนำวัตถุทั้งสามชนิดมารวมกันตามอัตราส่วนแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสจนละลายเข้าด้วยกัน และจับเป็นเม็ดเรียกว่าปูนเม็ด ต่อจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่งจนละเอียดเป็นแป้ง ก็จะได้ปูนซีเมนต์ขาวตามต้องการ ปูนซีเมนต์ขาวใช้ในงานทำหินขัด ปูกระเบื้องพื้น ห้องน้ำ หรือกรุกระเบื้องฝาผนัง ยาแนวกระเบื้องห้องน้ำ เป็นต้น โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ขาวตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด อยู่ที่อำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี มีกำลังผลิตประมาณ 50,000 ตันต่อปี

9.4.3.2.2 ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเดี่ยว เป็นปูนซีเมนต์ชนิดปอร์ตแลนด์ มีคุณภาพตามมาตรฐานของอเมริกา คือ federal specification SS.C.19b และ

ASTM.C.150-60 และมาตรฐาน B.S 12 : 1985 ถูกกระดาศที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีเขียว ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวนี้มีคุณภาพสูง เหมาะสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการกำลังสูงๆ การใช้ปูนซีเมนต์ตรานี้ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลง เพราะทุนค่าปูนซีเมนต์มากกว่าใช้ปูนซีเมนต์ตราอื่นๆ ในท้องตลาด เช่น ถ้าต้องการกำลังคอนกรีต 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตามเทศบัญญัติแล้ว จะใช้ปูนขนาดนี้เพียง 5.5 ถุง (275 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรคอนกรีต)

9.4.3.2.3 ปูนซีเมนต์ตราเพชร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตตามกำหนดรายการมาตรฐานอเมริกา ASIM.C.150 type I เหมาะสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องการกำลังสูงซึ่งใช้ในการก่อสร้างทั่วไปตลอดจนการทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตทุกชนิดเช่น ทำกระเบื้องกระดาศ กระเบื้องคอนกรีตคุณภาพสูง เสาคอนกรีตทุกประเภท ผนังและชั้นส่วนอาคารสำเร็จรูป และผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงเหล่านี้ เป็นต้น สิ่งก่อสร้างและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะมีคุณภาพสูง เพราะการแข็งตัวและกำลังที่เกิดขึ้นเป็นไปโดยสม่ำเสมอตามมาตรฐาน

9.4.3.2.4 ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เหมือน type I แต่ผลิตเป็นพิเศษโดยจะเกิดความร้อนขณะผสมต่ำกว่าชนิดอื่น มีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM.C. 130-60 และ B.S.1370 : 1985 ถูกกระดาศที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีเขียวเช่นกัน การใช้ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร มีคุณภาพเหมือนกับแบบ I แต่ผลิตพิเศษใช้เชิงเคมี เพื่อให้ปูนซีเมนต์เกิดความร้อนขึ้น ช้า ๆ เพียงปานกลางในเมื่อผสมเข้าเป็นคอนกรีตแล้ว ปูนซีเมนต์แบบนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องเทคอนกรีตคราวละมากๆ และกำแพงหนาๆ โดยไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว เช่นกำแพงคอนกรีตกันดินเขื่อนคอนกรีตสูงๆ เช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ถังน้ำประปาและโรงประปาที่สามเสน ก็ได้ใช้ปูนซีเมนต์แบบนี้

9.4.3.2.5 ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ผสมคอนกรีต แล้วจะทำให้มีความแกร่งไม่สึกกร่อนหรือสลายตัวเมื่อคอนกรีตนี้ถูกตอกกับน้ำเกลือเหมาะสำหรับใช้เทในดินหรือในบริเวณที่มีส่วนผสมของน้ำเกลืออยู่ด้วย มีคุณภาพตามมาตรฐาน federal specification SS.C.192 b และ ASTM.C. 150-6 ถูกกระดาศที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีดำ การใช้ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลามชนิดนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่อยู่กับดินเค็ม เช่น ชายทะเล ใช้ผสมงานอัดฉีดน้ำปูน (fountain

grouting) เข้าไปในฐานรากหิน งานอัดฉีดน้ำปูนเข้าไปในชั้นหิน เป็นการประสานและทำให้ รอยร้าวหายไปด้วยเพิ่มกำลังของหินฐานราก

9.4.3.3 ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตรา พญานาคเศียรเดียวสีแดง ตราสามเพชร

9.4.3.3.1 ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งตัวและ รับแรงได้เร็วผลิตตามมาตรฐานอังกฤษคือ Rapid hardening portland cement B.S.12 : 1953 และมาตรฐานอเมริกา คือ ASTM.C. 150-63 type III ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณนี้เหมาะ สำหรับใช้ในงานคอนกรีตหรือปูนทรายที่จะให้รับแรงได้เร็วขึ้นทันเวลาการถอดแบบรับกำลังได้ มาก แต่ต้องบ่มให้ดี ใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็ว และรับน้ำหนักได้เร็ว ขึ้น แทนที่จะรอให้คอนกรีตภายหลังการเท 21 วัน ดังเช่น กรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราเสือ หรือ รอ 14 วัน เช่น กรณีใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างแต่ปูนซีเมนต์แต่ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณลดเวลาเหลือ เพียง 7 วัน สำหรับใช้เข็มและคานเหลือ 3 วัน สำหรับถอดแบบเสาธรรมดา

9.4.3.3.2 ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว สีแดง ชนิดแข็งตัวเร็ว เป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ผลิตขึ้นใช้กับคอนกรีตที่ต้องการให้แข็งตัวเร็วและรับน้ำหนักได้ เร็วกว่าปูนแบบอื่นมีคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM.C. 150-50 และ B.S.12 : 1958 ฤ กระจายที่ใช้บรรจุปูนซีเมนต์แบบนี้พิมพ์ด้วยสีแดง ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียว สีแดง ชนิดแข็งตัวเร็วนี้มีส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ ซึ่งเมื่อใช้ผสมในคอนกรีตแล้วจะทำให้แข็งตัวเร็ว ขึ้นและรับน้ำหนักได้เร็วกว่าใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่นปูนซีเมนต์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานหล่อ ฐานรากที่มีน้ำขังงานคอนกรีตที่เทในน้ำ งานหล่อเข็มคอนกรีตและงานหล่อเสาไฟฟ้าสูงๆ เป็นต้น เพราะถอดแบบได้เร็วกว่าใช้ปูนซีเมนต์ชนิดอื่น

9.4.3.3.3 ปูนซีเมนต์ตราสามเพชร เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เกิดแรงสูง เร็วผลิตตามกำหนดรายการมาตรฐานอเมริกัน ASTM.C. 150 type III ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีเนื้อ ละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจึงเกิดแรงสูงเร็วกว่า เหมาะสำหรับใช้ใน งานก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูงและต้องกระทำอย่างเร่งรีบเช่น ทำเสา เข็มคอนกรีตให้ใช้ตอกลงดิน ได้เร็วใช้หล่อคานหรือเสาให้ถอดแบบได้เร็ว และใช้ทำสิ่งก่อสร้างเพื่อให้ใช้งานได้เร็ว เป็นต้น

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
● การเรียนการสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

