บล็อกซีเมนต์นำแสงผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สำหรับการออกแบบเชิงโครงสร้าง

[1]ดร.ศุภรัตน์ นาคสิทธิพันธุ์
[2]ดร.นิตยา ใจทนง

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์
[2]อาจารย์
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาวัสดุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีตได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก มุ่งเน้นงานวิจัยและพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีตประเภทอื่น ๆ ที่มีวัตถุประสงค์สำคัญคือ ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ทั้งคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว เช่นความสามารถเทได้ และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่นกำลังอัด และสิ่งที่สำคัญคือ ต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีความทนทาน รวมทั้งต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีราคาเหมาะสมด้วย โดยได้มีการนำวัสดุอื่น ๆ มาผสม วัสดุที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เถ้าแกลบ เถ้าลอย เถ้าหนัก ตะกรันเหล็ก และผงฝุ่นซิลิกา เป็นต้น ซึ่งการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้จะมีประโยชน์ 2 ทาง คือ ประโยชน์ทางตรง คือ การปรับปรุงคุณสมบัติของซีเมนต์และคอนกรีตให้ดีขึ้น ประโยชน์ทางอ้อม คือ เป็นการนำของเสีย (Waste) มาใช้ประโยชน์ อย่างที่ทราบกันดีว่าข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมากชนิดหนึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวเป็นอันดับต้น ๆ มีกำลังผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ซึ่งเป็นเปลือกข้าวหรือแกลบประมาณ 5 ล้านตัน ดังนั้นจะเห็นว่าอุตสาหกรรมผลิตข้าวเป็นอุตสาหกรรมที่มีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากและ การนำเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังทำได้น้อยมากส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การกองเก็บ และการกำจัดทิ้ง จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพยายามที่จะนำเถ้าแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 70-90 ซึ่งซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าแกลบมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ในปี พ.ศ. 2544 ได้มีการพัฒนางานคอนกรีตของกลุ่มนักวิจัยชาวอิตาเลียน เพื่อศึกษาหาแนวทางในประดิษฐ์คอนกรีตเพื่อช่วยประหยัดพลังงานโดย Hungarian architech, Aron Losonczi เป็นนักวิจัยที่เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับคอนกรีตโปร่งแสงเป็นครั้งแรก และต่อมาในปี พ.ศ. 2546 ได้ประดิษฐ์คอนกรีตโปร่งแสงได้สำเร็จ ซึ่งเป็นวัสดุผสมระหว่างคอนกรีตและไฟเบอร์กลาสซึ่งเรียกว่า LiTraCon ซึ่งแสงสามารถส่องผ่านได้มากถึงร้อยละ 80 มีคอนกรีตผสมเพียงร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ซึ่งคอนกรีตโปร่งแสงนี้ได้ถูกแสดงในงาน Shanghai Expo 2010 แต่งานวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตโปร่งแสงนี้ยังไม่ค่อยมีการเผยแพร่งานมากนัก

ดังนั้นทีมนักวิจัยจึงได้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาบล๊อกซีเมนต์นำแสงและนำเถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้และมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่นิยมนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อเพิ่มกำลังอัด โดยได้ออกแบบบล๊อกซีเมนต์ที่สามารถนำแสงได้โดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง สามารถให้แสงส่องผ่านได้ และนอกจากนี้เส้นใยแก้วนำแสงยังสามารถช่วยรับกำลังอัดของวัสดุผสมจากสิ่งประดิษฐ์นี้ได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย อีกทั้งเส้นใยแก้วนำแสงช่วยเพิ่มความสามารถในการนำแสงให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารบ้านเรือนเนื่องจากแสงจากภายนอกสามารถส่องผ่านเข้ามาได้ และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับกลุ่มวัสดุตกแต่งของงานทางด้านสถาปัตยกรรมอีกด้วย ซึ่งสิ่งประดิษฐ์บล๊อกซีเมนต์นำแสงผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทาง

การเกษตรคาดว่าจะเป็นการพัฒนาวัสดุทางเลือกใหม่สำหรับทำผนังอาคารบ้านเรือน และเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยการนำวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น บล็อกซีเมนต์นำแสงผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแสดงดังรูปที่ 1

ในปี พ.ศ. 2560 สิ่งประดิษฐ์บล็อกซีเมนต์นำแสงได้รับการคัดเลือกเพื่อเข้าร่วมการประกวด ผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมในงาน Korea International Women's Invention Exposition (KIWIE 2017) ณ Kintex 1, Exhibition Hall 2 ระหว่างวันที่ 8-11 มิถุนายน 2560 ณ ประเทศเกาหลีใต้ และได้รับรางวัลจากการประกวด 3 รางวัล ดังนี้

1. เหรียญทอง (Gold award) ของงาน KIWIE 2017
2. รางวัล FIRI Award for the Best Invention จาก The 1st Institute inventors and Researcher in I.R. IRAN
3. รางวัล The Germany Special Prize จาก Mr. Winfried STURM (Dipl.-Phys.), Manager KIT-Hardware-AG

ภาพที่ 1 บล็อกซีเมนต์นำแสงผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ภาพที่ 2 รางวัลจากการประกวดสิ่งประดิษฐ์

ซีเมนต์ [1] มาจากภาษาลาติน มีความหมายทั่ว ๆ ไป คือ วัตถุที่แข็งเมื่อผสมกับน้ำ ซีเมนต์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในฐานะเป็นวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ก่อให้เกิดความสามารถในการยึดส่วนต่าง ๆ หรืออนุภาคที่เป็นของแข็งให้รวมตัวกัน ในปี พ.ศ. 2367 โดย Josept Aspdin ชาวอังกฤษ ได้คิดค้นซีเมนต์จนประสบความสำเร็จ โดยซีเมนต์นี้เมื่อแข็งตัวจะมีสีเหลืองปนเทาเหมือนหินที่ใช้ก่อสร้าง บริเวณเมืองปอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ จึงเรียกวัตถุนี้ว่า "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" รวมทั้งได้จดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรก และปลายศตวรรษที่ 19 ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้อย่างมากในประเทศอังกฤษ ได้ถูกส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ส่วนในประเทศไทยได้เริ่มมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2546

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) ออกไซด์หลัก (Major oxide) ได้แก่ CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ซึ่งออกไซด์หลักทั้ง 4 ชนิดนี้ รวมกันได้ร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ และ 2) ออกไซด์รอง (Minor oxide) ได้แก่ MgO, Na_2O, TiO_2, P_2O_5 และยิบซั่ม ปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่ [2]

1. ไตรแคลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate: C_3S)

C_3S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม คุณสมบัติของ C_3S เหมือนกับคุณสมบัติของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_3S ถูกกระทบโดยปริมาณยิบซัม ปริมาณ C_3S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณร้อยละ 35-55

2. ไดแคลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate: C_2S)

C_2S เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดย C_2S มีอยู่หลายรูปแบบ มีเพียง β-C2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป $\beta - C_2S$ มีคุณสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ปริมาณ C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีประมาณร้อยละ 15-35

3. ไตรแคลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate: C_3A)

C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมสีเทาอ่อน C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนจำนวนมาก ประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซัมลงระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาขึ้น ภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ในปริมาณร้อยละ 7-15

4. เตตระแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite : C_4AF)

C4AF ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ในปริมาณร้อยละ 5–10

การก่อตัว และการแข็งตัว [2] ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง โดยคุณสมบัติของเพสต์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เราเรียกช่วงนี้ว่า “Dormant period” หลังจากนั้นเพสต์จะเริ่มแข็งตัวถึงแม้มันนิ่มอยู่ แต่ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบได้ จุดนี้เรียกว่า “จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial set)” เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดแข็งตัวเริ่มต้นเรียกว่า “เวลาการก่อตัว (Initial setting time)” และการเกิดการก่อตัวของซีเมนต์จะยังดำเนินต่อไปจนถึงสภาพที่เป็นของแข็ง หรือ“จุดแข็งตัวสุดท้าย (final set)” และเวลาที่ทำให้เพสต์ถึงช่วงนี้เรียกว่า “เวลาก่อตัวสุดท้าย (Final setting time)” เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป และสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เราเรียกว่า “การแข็งตัว (Hardening)”

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชัน” [2] ซึ่งทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัว โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบในปูนซีเมนต์ สารประกอบนี้จะทำปฏิกิริยาและมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ สามารถเริ่มต้นด้วยปฏิกิริยาของแต่ละสารประกอบในปูนซีเมนต์การก่อตัว และแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต [2]

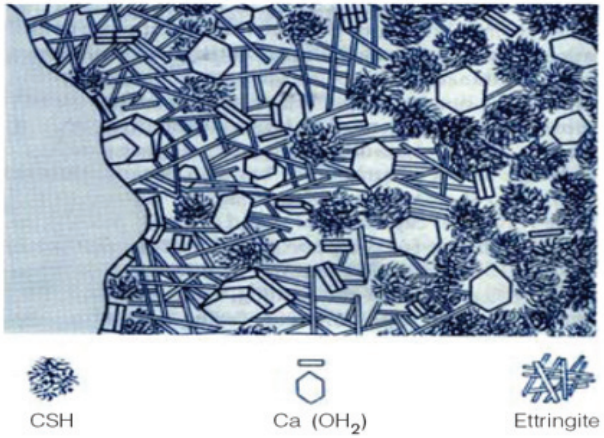
ไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต เป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาได้แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate hydrate, $3CaO.2SiO_2.H_2O$, CSH) และแคลเซียมไฮ ดรอกไซด์ (Calcium hydroxide, $Ca(OH)_2$, CH) โครงสร้างทางจุลภาคดังรูปที่ 3 และปฏิกิริยาที่เกิดเฟสดังกล่าวเกิดขึ้นดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (1)$$

หรือ $2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2 \quad (2)$$

หรือ $2C_3S + 4H \longrightarrow C3S_2H_3 + CH$



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาคัลเซียมซิลิเกต [2]

• ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะเกิดขึ้นทันทีทันใดและก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการที่ 3

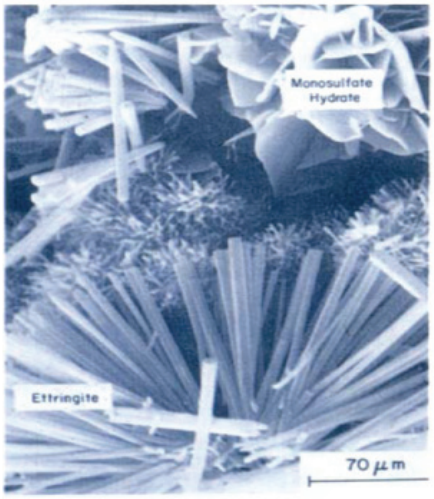
$$3CaO.Al_2O_3 + 6H2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O \quad (3)$$

หรือ $C3A + 6H_2O \longrightarrow C3AH6$

เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) เข้าไปในระหว่างการบดซีเมนต์ ยิปซัมที่เติมเข้าไปจะทำปฏิกิริยากับไตรแคลเซียมอะลูมิเนตก่อให้เกิดชั้นของเอททริงไกท์ ดังสมการที่ 4 และรูปที่ 4

$$3CaO.Al_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O) + 26H_2O \longrightarrow 6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32H_2O \quad (4)$$

หรือ $C3A + 3CSH2 + 26H \longrightarrow C6AS3H32$



ภาพที่ 4 ภาพขยาย Ettringite และ Monosulphate [2]

• ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิเนตเฟอร์ไรท์ (C4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิโนซัลเฟตจะเกิดในช่วงต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซัมและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนเข็มของเอททริงไกท์และซัลโฟเฟอร์ไรต์ดังสมการที่ 5

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + CaSO_4.2H_2O + Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3.Fe_2O_3).3CaSO_4 \quad (5)$$

ในปัจจุบันวัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับซีเมนต์มีมากมาย เช่น ดินเหนียว ดินดาน ผงถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าลอย วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นสารผสมเพิ่มแร่ธาตุ (Mineral admixture) ซึ่งจะมีองค์ ประกอบของธาตุที่สำคัญเหมือนปูนซีเมนต์ เช่น ซิลิกา (SiO_2) และ อลูมินา (Al_2O_3) และเมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์เพสต์แล้วคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดได้สูงขึ้นโดยสัดส่วนของวัสดุปอซโซลานที่ควรใช้ อยู่ระหว่าง 15-20 % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งกำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ อายุ 28 วัน เมื่อผสมเถ้าแกลบจะอยู่ในช่วง 17-50 เมกกะปาสคาล [3]

ประโยชน์ของวัสดุปอซโซลาน มีดังนี้

- ทำให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อย มีความทึบน้ำ
- ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา
- มีอัตราพัฒนาแรงอัดช้าเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้า ๆ แต่ให้แรงอัดในระยะหลังเท่ากันหรืออาจมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มชื้นให้นานกว่าปกติ
- ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบผงซัลเฟตได้ดีอีกด้วย

สิ่งประดิษฐ์จากงานวิจัยนี้ได้นำเถ้าแกลบทดแทนปูนซีเมนต์ โดยการจะนำเถ้าแกลบมาแทนที่ในปูนซีเมนต์จะอาศัยการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบซึ่งมี SiO_2 อยู่เป็นหลัก เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) และน้ำ (H_2O) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นผลิตผลไฮเดรชัน (Hydration product) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate; CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต(Calcium aluminate hydrate; CAH) รวมทั้งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide; $Ca(OH)_2$) และ SiO_2 จากเถ้าแกลบจะทำปฏิกิริยากับอิออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) แลไฮดรอกไซด์ (OH^-) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ดังสมการ 6 และ 7 ตามลำดับ [3]

$$\text{Portland Cement} + H_2O \longrightarrow CSH + CAH + Ca(OH)_2 \quad (6)$$

$$SiO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CSH \quad (7)$$

เถ้าแกลบประกอบไปด้วย SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นหลัก ซึ่งเมื่อนำเถ้าแกลบไปผสมทดแทนปูนซีเมนต์ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าแกลบจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide; $Ca(OH)_2$) เช่นเดียวกับเถ้าแกลบทำให้ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) เพิ่มขึ้นดังสมการ 8 และ 9 [2]

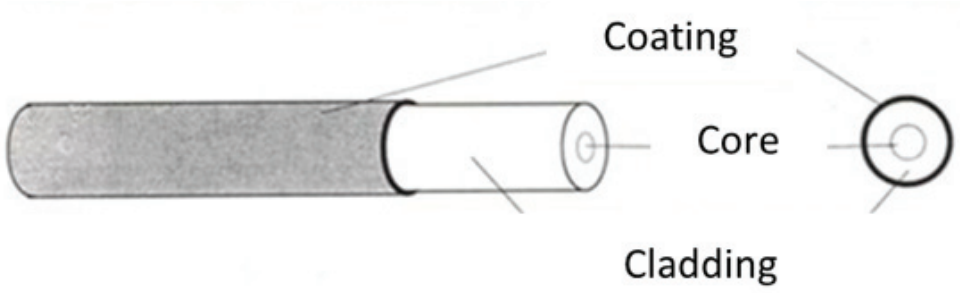
$$SiO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CSH \quad (8)$$

$$Al_2O_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CAH \quad (9)$$

เส้นใยแก้วนำแสง [4] หมายถึง เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกตันขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทั้งเส้นประมาณ 125 ไมโครเมตร โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยมักเป็นสาร ประกอบประเภท ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งก็คือแก้วบริสุทธิ์ เนื้อแก้วอาจถูกเจือด้วยสารหรือวัสดุบางอย่าง ที่สามารถควบคุมอัตราการเจือได้ เส้นใยแก้วมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการทำงานของมัน เช่น เส้นใยแก้วนำแสง และ เส้นใยนำแสง นอกจากนี้ ในบางครั้งอาจเรียกทับศัพท์ว่า ออปติกไฟเบอร์ (Optic fiber)ออปติคอลไฟเบอร์ (Optical fiber) หรือ ไฟเบอร์ออปติก (Fiber optic) เป็นต้น เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแก้วประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า คอร์ (Core) และส่วนที่หุ้มคอร์อยู่เรียกว่า แคลด (Clad) ทั้งคอร์และ แคลดเป็นไดเล็กทริกใส 2 ชนิด โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแคลด มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของคอร์ เล็กน้อยประมาณ 0.2 และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์ เดินทางได้ แสดงโครงสร้างของเส้นใยแก้วดังรูปที่ 5 นอกจากนั้นเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผม หมายถึง ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลดซึ่งจะมีขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร และส่วนคอร์ที่แสงเดินทางผ่าน นั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย ไมโครเมตร ~ หลายสิบไมโครเมตร ซึ่งมีค่าหลายเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน ค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากสมบัติของการส่งและสมบัติทางกลที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็กน้ำหนักเบาอีกด้วย การที่เส้นใยแก้วสามารถนำสัญญาณแสงได้ดี ไม่เพียงเพราะว่าตัวมันเองมีคุณสมบัติโปร่งแสงเท่านั้น แต่ยังเกิดจากโครงสร้างของเส้นใยแก้ว ที่มักกำหนดให้เส้นใยแก้วมีค่าดรรชนีหักเหของคอร์มากกว่าค่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้งเล็กน้อย ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด (TIR: Total Internal Reflection) ของแสงที่เดินทางอยู่ภายใน

ส่วนคอร์ ส่งผลให้แสงทั้งหมดสามารถเดินทางอยู่ภายในเส้นแก้ว โดยไม่สะท้อนออกไปนอกเส้นทาง และเมื่อแก้วที่ใช้เป็นแก้วบริสุทธิ์ เลยมีผลทำให้แสงส่วนใหญ่เดินทางผ่านไปได้ด้วยดีและเดินทางได้ไกล ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้ว การที่เส้นใยแก้วแสดงพฤติกรรมของการเป็นท่อนำสัญญาณแสงได้ดีมาก เนื่องจากมีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำ (low attenuation) ในปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยแก้วให้มีค่าลดทอนสัญญาณแสงต่ำ ๆ โดยจะมีค่าที่น้อยกว่า 0.01 dB/km (0.1 ดีบีต่อกิโลเมตร หมายความว่า เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วที่มีระยะทาง 1 กิโลเมตร จะสูญเสียกำลังงานไปประมาณร้อยละ 0.22) ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแสงได้อย่างมีประโยชน์มากมาย อย่างไรก็ตาม ค่าการลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วจะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงหรือสีของแสงที่เดินทางผ่านเนื้อแก้วนั้น โดยที่ค่าความยาวคลื่นที่ 1.3 และ 1.55 ไมโครเมตร จะเกิดการสูญเสียสัญญาณน้อย ทำให้แสงเดินทางไปได้ไกล ดังนั้น ระบบสื่อสารจึงนิยมใช้ความยาวคลื่นแสงเหล่านี้

เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณแสงได้ดี การนำเส้นใยแก้วมาประยุกต์ใช้งานจึงเกี่ยวข้องกับแสงโดยตรง แหล่งกำเนิดแสงใด ๆ (เช่นจากหลอดไฟ) ส่องเข้าไปในเส้นใยแก้ว เนื่องจากเส้นใยแก้วมีขนาดเล็กมาก ทำให้แสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวมันมาก ๆ ไม่สามารถเข้าไปในเส้นใยแก้วได้หมด จึงอาจใช้เลนส์รวมแสง (เช่นเลนส์นูน) เพื่อให้แสงส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเข้าไปในเส้นใยแก้ว แสงที่เดินทางอยู่ภายในเส้นใยแก้วจะมีแนวการเดินทางตามลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้ว ไม่ว่าเส้นใยแก้วจะโค้งงอในลักษณะใดก็ตาม จนกระทั่งถึงปลายอีกด้านหนึ่ง แสงก็จะถูกส่งออกมา ■



ภาพที่ 5 โครงสร้างของเส้นใยแก้ว หรือเส้นใยนำแสง (Optical Fiber) [4]

MAEJO VISION

เอกสารอ้างอิง

ชัชวาล เศรณฐบุตร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด.

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2552). **เถ้าแกลบในงานคอนกรีต**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไซน์ แอนด์ เอ็นจีเนียริ่ง.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และบัณฑิต หิรัญสถิตพร. (2536). **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าลอย และสารลดน้ำพิเศษ: เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องศักยภาพการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์.** นนทบุรี: สำนักงานวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

อธิคม ฤกษบุตร. (2543). **เส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.