บทที่ ๒

สารผสมเพิ่มในคอนกรีต

๒.๑ สารผสมเพิ่มทั่ว ๆ ไป

สารผสมเพิ่มในคอนกรีต คือ วัสดุซึ่งเมื่อเติมลงในคอนกรีตแล้วจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติใหม่ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทั้งตอนที่ยังเป็นคอนกรีตเหลว และเมื่อแข็งตัวแล้ว สารที่ใส่เติมในคอนกรีตนี้จะไม่รวมถึงสารที่ใช้เติมในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น ยิบซั่ม ใช้เติมเพื่อทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติพิเศษ[๓๓] อีกนัยหนึ่ง สารผสมเพิ่มในคอนกรีต คือ วัสดุที่นอกเหนือจากส่วนผสมของคอนกรีต คือ น้ำ มวลรวม และซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้นตามวัตถุประสงค์[๓๔ , ๓๖] ก่อนการรับรองเพื่อการใช้งานนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบถึงคุณสมบัติที่ต้องการ และหาผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดตามมาในส่วนที่เกี่ยวกับการใช้งานว่าด้วยกำลัง (Strength) และความสามารถเทได้ (Workability) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่มีสารผสมเพิ่มกับคอนกรีตที่ไม่มีสารผสมเพิ่มหรืออาจจะเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่มีสารผสมเพิ่มชนิดเดียวกัน ซึ่งมาจากคนละแหล่ง[๓๔]

สารผสมเพิ่มในคอนกรีตปัจจุบันนี้ แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ ๘ กลุ่ม [๓๓] คือ

๒.๑.๑ สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixtures) คือ สารผสมเพิ่มที่เติมลงในคอนกรีตเพื่อเร่งเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ และเพิ่มอัตรากำลังของคอนกรีตในระยะสั้นให้สูงขึ้น [๓๓] เนื่องมาจากสารผสมเพิ่มชนิดนี้มีผลต่อพฤติกรรมของการก่อตัวของซีเมนต์เพสท์ และทำให้เกิดการเร่งปฏิกริยาของคอนกรีต โดยทั่วไปสารผสมเพิ่มชนิดนี้ จะมีสารละลายของด่างสูง ทำให้ผลการหน่วงของยิบซั่มในปฏิกริยาเคมีของไตรแคลเซียมอลูมิเนท (C_3A) ลดลง จึงช่วยให้ปฏิกริยาเคมีระหว่างไตรแคลเซียมอลูมิเนทกับน้ำมีอัตราสูง จึงทำให้เวลาการก่อตัวของซีเมนต์เร็วขึ้น [๓๗] ดังนั้นสารผสมเพิ่มชนิดนี้จึงเหมาะกับคอนกรีตในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติประมาณ ๑๕° - ๒๐° C เพื่อเร่งการก่อสร้าง แต่ข้อสำคัญคอนกรีตจะต้องเทให้เรียบร้อยประมาณครึ่งชั่วโมงหลังจากผสมเสร็จ [๓๖]

ปูนซีเมนต์ที่ใช้มีส่วนสำคัญ จากการทดลองพบว่าสารผสมเพิ่มชนิดนี้เหมาะกับปูนซีเมนต์ชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรดาแบบที่ I และปอร์ตแลนด์ซีเมนต์แข็งตัวเร็วแบบที่ III (๓๔)

สารผสมเพิ่มชนิดที่เป็นตัวเร่งปฏิกริยานี้มีสารเคมีหลักคือ แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) แคลเซียมฟอร์เมท (Calcium Formate) ไตรเอ็ตตาโนลามีน (Triethanolamine) ลิเทียมออกซาเลท (Lithium Oxalate) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) โซเดียมคาร์บอเนท (Sodium Carbonate) แต่ส่วนมากจะใช้แคลเซี่ยมคลอไรด์เป็นสารเคมีเร่งปฏิกริยา (๓๓ , ๓๔ , ๓๖)

ประโยชน์การใช้งานของสารผสมเพิ่มชนิดนี้คือ ช่วยให้การทำงานในสภาพอากาศหนาวมีประสิทธิภาพดีขึ้น เพราะมีตัวเร่งปฏิกริยาเคมี (๓๓) นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานรีบด่วนหรืองานซ่อมแซม เพื่อให้สามารถถอดแบบได้เร็ว นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานก่อสร้างในช่วงของน้ำทะเลขึ้นลงอีกด้วย (๓๔ , ๓๖) แต่ข้อเสียของแคลเซียมคลอไรด์ ก็คือ ทำให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริมน้อยลง เนื่องจากคลอไรด์มีปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของเหล็กเสริม แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของคอนกรีตและส่วนของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมด้วย (๓๓ , ๓๔ , ๓๖) นอกจากนี้ยังทำให้การหดตัวของคอนกรีตขณะแข็งตัวเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดรอยร้าวได้ ในกรณีที่ใช้อัตราของแคลเซียมคลอไรด์ ๒ % ของน้ำหนักปูนซีเมนต์จะทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้นประมาณ ๗๐ % ที่อายุ ๔ วัน และประมาณ ๑๕ % ที่อายุ ๓ เดือน (๓๖)

๒.๑.๒ สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixtures) คือ สารผสมเพิ่มในคอนกรีต เพื่อทำให้การก่อตัวช้าลง เพราะสารผสมเพิ่มจะถูกดูดเข้าไปในสภาพเปียกของไตร-แคลเซียมอลูมิเนท (C_3A) แล้วทำให้เป็นเยื่อหุ้มรอบ ๆ อนุภาคของซีเมนต์ซึ่งจะป้องกันผิวไม่ให้ทำปฏิกริยาชั่วขณะหนึ่ง เยื่อหุ้มนี้จะถูกทำลายจากปฏิกริยาของส่วนประกอบอื่น ๆ ของซีเมนต์ จึงทำให้ปฏิกริยาของไตรแคลเซียมอลูมิเนทกับน้ำดำเนินต่อไป นอกจากนี้ยังสันนิษฐานได้ว่า สารชนิดนี้มีปฏิกริยากับพวกซิลิเกท (Silicates) จึงทำให้เกิดการหน่วงก่อตัวยืดเวลาไปได้หลายวัน (๓๓ , ๓๗)

ส่วนประกอบทางเคมีของสารชนิดนี้คล้ายกับสารลดน้ำในคอนกรีต (Water Reducing Admixture) แล้วส่วนประกอบทางเคมีของสารหน่วงการก่อตัวได้มาจากเยื่อเซลลูโลส

(Cellulose) แป้ง (Starch) หรือ น้ำตาล (Sugar) [๓๖] โดยที่สารเคมีหลักคือ ลิกโนซัลโฟเนท (Lignosulphonate) ที่มีน้ำตาลปนอยู่ด้วย เกลือของ กรดไฮดรอกซีคาร์โบซีลิก (Hydroxycarboxylic Acid Salt) และคาร์โบไฮเดรทที่มีน้ำตาล[๓๓,๓๔]

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตจะสูญเสียความสามารถการเท (Workability) ภายหลังจากผสมชั่วระยะเวลาหนึ่งและจะค่อย ๆ แข็งตัว ทำให้กระทุ้งและจี้ให้คอนกรีตแน่นตัวยาก ทั้งนี้ สามารถปรับได้โดยปรับปรุงอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ความสามารถการเท และอุณหภูมิ ดังนั้น ในทางปฏิบัติ สารหน่วงการก่อตัวใช้เพื่อประโยชน์ในการยืดเวลาการทำงานออกไป และทำให้การทำงานในอุณหภูมิสูงมีคุณภาพดีขึ้นตลอดทั้งสามารถลดจำนวนรอยต่อ จากการหยุดเทคอนกรีตที่ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง[๓๓ , ๓๖] ข้อเสียของสารชนิดนี้ก็คือ เมื่อใช้ในอัตราที่สูง ๆ อาจทำให้คอนกรีตไม่มีการก่อตัวเลย [๓๖]

๒.๑.๓ สารกระจายฟองอากาศ (Air - Entraining Admixtures) คือ สารผสมเพิ่มที่เติมลงในคอนกรีต เพื่อทำให้เกิดฟองอากาศเล็ก ๆ กระจายภายในเนื้อคอนกรีต โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตเกี่ยวกับอัตราการก่อตัวและการแข็งตัว ซึ่งฟองอากาศเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๐.๐๕ ถึง ๑.๒๕ มม. ตามพฤติกรรมของสารนี้จะทำให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อการถูกทำลายจากสภาพอากาศเย็นถึงจุดเยือกแข็งดีขึ้น เพราะว่าปัญหาการถูกทำลายจากสภาพอากาศเย็นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำในเนื้อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะขยายตัวก่อให้เกิดแรงดันซึ่งมีมากกว่าความต้านทานแรงดึงของซีเมนต์เพสท์ จึงหนีไม่พ้นการวิบัติ ดังนั้นคอนกรีตที่ผสมสารกระจายฟองอากาศแล้วจะเกิดฟองอากาศเป็นจำนวนหลายล้านฟองแผ่กระจายสม่ำเสมอทั่วไปในซีเมนต์เพสท์ ซึ่งฟองอากาศเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นที่เก็บน้ำจะช่วยรับแรงดันภายในเมื่อน้ำในเนื้อคอนกรีตแข็งตัว เมื่อน้ำแข็งละลายเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ผลจากแรงดึงผิวจะทำให้น้ำกลับคืนเข้าไปในเนื้อคอนกรีตตามเดิม ดังนั้นฟองอากาศจึงทำหน้าที่เป็นประตูน้ำสำหรับป้องกันการทำลายความเสียหายแก่คอนกรีต เนื่องจากฟองอากาศนี้เป็นช่องว่างที่ไม่ต่อเนื่องกันตลอดในคอนกรีต จึงไม่ทำให้คอนกรีตมีการไหลซึมของน้ำเพิ่มขึ้น แต่กำลังของคอนกรีตอาจลดลงบ้าง ซึ่งก็แก้ปัญหาโดยสามารถลดปริมาณน้ำในการผสมคอนกรีตได้อย่างมาก [๓๓ , ๓๗]

ประโยชน์ของสารชนิดนี้ จะทำให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อสภาพอากาศเย็นถึงจุดเยือกแข็ง และต่อต้านเกลือที่ใช้ละลายหิมะอีกด้วย ดังนั้นจึงเหมาะกับงานคอนกรีตในบริเวณภูมิอากาศเย็นจัดถึงจุดเยือกแข็ง นอกจากนี้สารกระจายฟองอากาศยังทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการไหลลื่นได้ดี ตลอดทั้งยังทำให้การแยกตัวของวัสดุและการเยิ้มของน้ำในคอนกรีตลดลงได้อย่างมาก[๓๓ , ๓๔] ส่วนข้อเสียของสารชนิดนี้อาจทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงบ้าง[๓๖]

๒.๑.๔ สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing Admixtures) หรือสารเพิ่มความไหลลื่น (Plasticizing Admixtures) เป็นสารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลลื่นได้ดีขึ้น ทำให้เทง่ายและทำงานสะดวก สารผสมเพิ่มชนิดนี้มีสารประกอบหลักพวกไฮดรอกซิล (Hydroxyl) คาร์บอกซิล (Carboxyl) เมทอกซี่ (Methoxy) และกลุ่มของกรดซัลโฟนิก (Sulphonic Acid Groups) คอนกรีตที่เติมสารชนิดนี้จะสามารถลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๕ - ๑๕ % ทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมาก [๓๒ , ๓๓]

๒.๑.๕ สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูง (High-Range Water Reducing Admixture) หรือสารเติมเพื่อการไหลลื่นสูง (Superplasticizing Admixture) เป็นสารผสมเพิ่มที่เติมลงในคอนกรีตด้วยอัตราที่สูงกว่าสารลดปริมาณน้ำธรรมดา โดยสามารถลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๒๐ ถึง ๓๐ % ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ มวลรวมและอุณหภูมิ[๓๘] สารผสมเพิ่มชนิดนี้เป็นสารเติมเพื่อการไหลลื่นชนิดใหม่ ซึ่งประกอบขึ้นทางเคมีโดยมีสารเคมีหลักพวกฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) [๓๓]

คอนกรีตที่ผสมสารชนิดนี้จะทำให้กำลังเพิ่มขึ้นสูงในระยะเวลาสั้น และยังทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติทางความทนทาน (Durability) และป้องกันการรั่วซึม (Water - proofing) ได้อย่างดีทีเดียว [๓๘]

๒.๑.๖ สารผสมกันซึม (Waterproofing Admixture) เป็นสารผสมเพิ่มที่เติมลงในคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ป้องกันการรั่วซึมได้ [๓๓] โดยทั่วไปคอนกรีตจะมีความพรุนทำให้น้ำซึมผ่านได้ สารชนิดนี้จะช่วยอุดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีต เพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำ หรือทำให้ผิวของคอนกรีตสามารถซับไล่น้ำหรือเปียกน้ำได้น้อยที่สุด ทั้งนี้

ภายใต้แรงดันน้อย ๆ หรือจากแรงดึงผิวเท่านั้น [๓๒] แต่ถ้ามีความดันของน้ำสูง ๆ หรือไอน้ำอาจทำให้สารชนิดนี้มีประสิทธิภาพน้อยลงจึงควรใช้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีและอัดให้แน่นอย่างทั่วถึง [๓๖] ดังนั้นประโยชน์ของสารชนิดนี้จึงเหมาะกับงานกำแพงคอนกรีตกันดิน หรือ งานคอนกรีตห้องใต้ดินเพื่อป้องกันน้ำเนื่องจากแรงดึงผิว [๓๒] สารชนิดนี้ได้จากสารประกอบหลักพวกสบู่ และพวกแคลเซี่ยม โซเดียม หรือ แอมโมเนียมที่ไม่ละลายน้ำ [๓๓]

๒.๑.๗ สารเติมคอนกรีตปั๊ม (Pumping Aid Admixture) เป็นสารผสมเพิ่มที่ช่วยให้การปั๊มคอนกรีตทำงานได้ง่ายขึ้นและลดอัตราการอุดตันภายในท่อส่งคอนกรีตซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในระหว่าง ๑๐ ถึง ๒๐ ซ.ม. คอนกรีตที่จะเทด้วยวิธีปั๊มนี้ควรจะออกแบบให้มีส่วนผสมของปริมาณความละเอียดสูง แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ ชนิดของมวลรวม โดยเฉพาะทรายจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษถึงรูปร่างและขนาดคละรวมทั้งปริมาณน้ำอีกด้วย [๓๓,๓๕] นอกจากนี้คอนกรีตจะต้องมีความไหลลื่นดีและทำงานง่าย โดยทั่วไปค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่พอเหมาะในการปั๊มไม่น้อยกว่า ๗.๕ ซม. คอนกรีตที่แห้งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานภายในท่อส่งมากเกินไป แต่คอนกรีตที่เหลวมาก ๆ จะทำให้การปั๊มคอนกรีตง่ายขึ้น ทั้งนี้น้ำจะต้องไม่แยกตัวออกจากส่วนผสมของคอนกรีต เพราะจะทำให้เกิดการอุดตันภายในท่อส่ง [๓๕] การปั๊มคอนกรีตจะมีประโยชน์อย่างมากในงานก่อสร้างที่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตสูง ทำให้สามารถเทคอนกรีตได้จำนวนมากในเวลาอันสั้น ซึ่งการเทคอนกรีตด้วยการปั๊มคอนกรีตอาจจะสูงถึงอัตราประมาณ ๔๐ ม^{๓} ต่อชั่วโมง [๓๘] สารชนิดนี้ส่วนมากที่ใช้เป็นสารไม่กระจายฟองอากาศ เช่น สารลดปริมาณน้ำธรรมดา หรือสารเพิ่มการไหลลื่นพิเศษ [๓๓ , ๓๘]

๒.๑.๘ สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ (Miscellaneous) คือสารผสมเพิ่มพิเศษในคอนกรีตชนิดต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นยกตัวอย่าง เช่น สารสำหรับปูนฉีด (Grouting) สารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor) สารทำให้เกิดสีต่าง ๆ (Pigments) สารช่วยการยึดเกาะ (Bonding) เหล่านี้ เป็นต้น

แต่เนื่องจากว่าในงานวิจัยครั้งนี้ เน้นเรื่องของคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งต้องใช้สารผสมเพิ่มชนิดลดปริมาณน้ำ และเพิ่มความไหลลื่นในคอนกรีตสูง ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะสารสองอย่างนี้เท่านั้น

๒.๒ สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing Admixture) หรือสารเติมเพื่อการไหลลื่น (Plasticizing Admixture) สารชนิดนี้ใช้เติมในคอนกรีตเพื่อให้เกิดการไหลลื่นดีขึ้นโดยปริมาณน้ำไม่เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ทำให้ปฏิกริยาทางเคมีสมบูรณ์มีจำนวนน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อการเทคอนกรีตได้สะดวก ดังนั้นปริมาณน้ำที่เหลือนี้จึงไม่เป็นผลดีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ทำให้เกิดการเยิ้มที่ผิวของคอนกรีต ทำให้กำลังคอนกรีตลดลง บางครั้งน้ำปูนไหลออกจากข้างแบบทำให้เกิดการสูญเสียจำนวนซีเมนต์ไปด้วย การใช้สารลดปริมาณน้ำทำให้คอนกรีตสามารถเทได้โดยสามารถลดปริมาณน้ำลงยังผลให้มีคุณสมบัติของคอนกรีตดีขึ้นทั้งทางกลสมบัติ (Mechanical Properties) และการต้านทานการไหลซึมผ่านของน้ำ (Waterproofing) (๓๔ , ๓๖)

ประโยชน์ของสารลดปริมาณน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไป (๓๒ , ๓๓) พอแจกแจงได้ดังนี้

ก. ทำให้คอนกรีตเทได้ง่ายขึ้น โดยใช้ปริมาณน้ำคงเดิม ดังนั้นกำลังของคอนกรีตจึงไม่เปลี่ยนแปลงมาก

ข. ทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยการลดปริมาณน้ำลง และยังสามารถเทได้ง่ายเช่นเดิม

ค. ทำให้สามารถลดปริมาณซีเมนต์ลงได้ เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์และความเทได้ยังคงเดิม ยังผลให้ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตลงได้

สารลดปริมาณน้ำดังกล่าว ก่อนการใช้งานจะต้องทดสอบหากลสมบัติเสียก่อน เนื่องจากพฤติการณ์ (Mode of Action) ของสารลดปริมาณน้ำมีการกระตุ้นที่ผิว (Surface Active Agent) ให้มีการกระจายมวลซีเมนต์ให้แยกจากกัน ให้มีความละเอียดสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำได้มากขึ้น ในรูปที่ ๒.๑(ก) แสดงให้เห็นสภาพของมวลซีเมนต์ในสภาวะแห้งจับรวมตัวกันเป็นก้อน (Agglomerate) โดยแรงยึดเกาะทางเคมี เมื่อผสมคอนกรีตมวลซีเมนต์จะแตกสลายเป็นชิ้นส่วนเล็ก ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำกับซีเมนต์ (Hydration) เกิดขึ้นที่ผิวของมวลเล็ก ๆ เหล่านี้จับรวมตัวกับ-

มวลรวมทำให้เกิดวัสดุผสมคอนกรีต และเมื่อเติมสารลดปริมาณน้ำลงไปในคอนกรีตจะกระจายก้อนซีเมนต์ให้แตกกระจายได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ ๒.๑ (ข) เชื่อว่ามีผลทางด้านฟิสิกส์เคมี โดยตอนแรกสารผสมเพิ่มจะถูกดูดไปที่ผิวของซีเมนต์เกิดเป็นเปลือกหุ้มมวลซีเมนต์ ทำให้ลดการเสียดทานระหว่างมวล - เป็นเหตุให้มวลซีเมนต์แยกออกจากกัน จึงทำให้ลดแรงเสียดทานระหว่างมวลซีเมนต์ลงในรูปที่ ๒.๒ ขยายให้เห็นอนุภาคเล็ก ๆ ของมวลซีเมนต์ ก่อนและหลังการเติมสารลดปริมาณน้ำ

ถ้าจะพิจารณาในแง่ของแรงเฉือนจะเห็นว่าแรงเสียดทานระหว่างซีเมนต์กับมวลรวมจะมีน้อยลง จึงต้องการพลังงานในการเทคอนกรีตน้อยลง หรือที่เรียกว่าเทง่ายลง (Workable) ที่สำคัญอีกอย่างคือทำให้พื้นที่ผิวของซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำมีมากขึ้นจึงเกิดแรงยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสท์กับมวลรวมมากขึ้น เป็นผลให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้น (๓๓)

เมื่อพิจารณาว่าสารลดปริมาณน้ำมีคุณสมบัติในการกระจายมวลซีเมนต์ได้นั้น เมื่อมองในแง่ของประจุไฟฟ้าแล้วจะพบว่าในสารลดปริมาณน้ำนี้มีการกระตุ้นที่ผิวทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวไม่สมดุลย์ (Unbalanced Charge) เมื่อเติมลงในน้ำก็จะหนีขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำ โดยประจุลบอยู่ในน้ำส่วนหางของมันจะอยู่ในอากาศ (รูปที่ ๒.๓) ดังนั้นเมื่อเติมลงในซีเมนต์ ประจุลบจะถูกดูดไปอยู่ที่ผิวของมวลซีเมนต์ ทำให้เกิดประจุลบขึ้นรอบ ๆ มวลซีเมนต์ยังผลให้มวลซีเมนต์ไม่รวมตัวกันเนื่องจากมีประจุเหมือนกัน ในขณะเดียวกันความชื้นที่อยู่ในก้อนซีเมนต์ก็จะถูกดูดออกมา ทำให้ก้อนซีเมนต์ เกิดการแตกกระจายดังแสดงในรูปที่ ๒.๔ (๓๓)

นอกจากนี้เมื่อเติมสารลดปริมาณน้ำลงในคอนกรีตจะทำให้ฟองอากาศกระจายออกมาจากมวลซีเมนต์ เนื่องจากการกระตุ้นที่ผิว ทำให้ฟองอากาศเกิดประจุลบเช่นเดียวกันกับมวลซีเมนต์ ยังผลให้มวลซีเมนต์กับฟองอากาศไม่จับรวมตัวกันเนื่องจากมีประจุเหมือนกัน (รูปที่ ๒.๕) ดังนั้นสารชนิดนี้จึงใช้เป็นสารหลักในสารประกอบของสารกระจายฟองอากาศ(๓๓) สารเคมีหลักของสารลดปริมาณน้ำ แบ่งออกได้ ๓ ชนิด(๓๒) คือ

๒.๒.๑ ลิกโนซัลโฟเนท (Lignosulphonate) เป็นสารเคมีซึ่งมีพื้นฐานมาจากอุตสาหกรรมการทำเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ ซึ่งมีลิกนิน (Lignin) เมื่อผ่านขบวนการหมัก

หรือฟอกซึ่งมีปฏิกิริยากันในระบบซัลไฟด์เกิดเป็นลิกโนซัลโฟเนทขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ แฝงอยู่ด้วย เช่น เยื่อเซลลูโลส (Cellulose) น้ำตาล และเกลือซัลเฟต โดยปกติทั่วไปแล้วส่วนประกอบของเนื้อไม้จะมีลิกนินประมาณ ๒๐ % อยู่ด้วยสารชนิดนี้ส่วนมากที่พบก็มี แคลเซียมและโซเดียมลิกโนซัลโฟเนท(๓๒)

๒.๒.๒ ไฮดรอกซี่คาร์โบซีริก แอซิด (Hydroxycarboxylic Acids) เป็นสารเคมีที่มีส่วนประกอบของสารเคมีอินทรีย์ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) และคาร์บอกซิล (Carboxyl) มักจะอยู่ในรูปเกลือของโซเดียมรวมอยู่ด้วย ซึ่งได้จากผลผลิตที่ใช้ทำเครื่องบริโภคและปรุงยา โดยกรรมวิธีทางเคมีและชีวเคมี โดยปกติจะมีสารละลายของเกลือประมาณ ๓๐ %(๓๒)

๒.๒.๓ ไฮดรอกซี่เลทโฟลิเมอร์ (Hydroxylated Polymers) เป็นสารเคมีซึ่งได้จากกรรมวิธีทางโพลี่แซคคาไรด์ (Polysaccharide) ของสารจำพวกแป้งและข้าว สารเคมีชนิดนี้จะทำให้เกิดการหน่วงก่อตัวของซีเมนต์ แต่ก็แก้ไขโดยเติมสารแคลเซียมคลอไรด์ลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสารให้มีคุณภาพดีขึ้นได้ (๓๒)

ผลที่เกิดขึ้นกับคุณสมบัติของคอนกรีต จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอัตราการใช้ปกติ (Normal Dosage) จากการแนะนำของผู้ผลิตจะสามารถลดปริมาณน้ำได้ถึง ๑๐ % และทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นประมาณ ๒๕% ที่อายุ ๗ และ ๒๘ วัน เมื่อคอนกรีตที่ออกแบบอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ๐.๕๕ และค่าการยุบตัว ๗๖ มม.(๓๓) อย่างไรก็ดีในการลดปริมาณน้ำก็ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง เช่น อัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์ การยุบตัว อัตราการเติม คุณสมบัติซีเมนต์ (๓๒) อัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารลดปริมาณน้ำซึ่งพบว่าชนิดของสารไฮดรอกซี่เลทโพลีเมอร์และไฮดรอกซี่คาร์โบซิริก จะมีประสิทธิภาพมากกว่า สารลิกโนซัลโฟเนท เมื่อใช้กับปริมาณซีเมนต์สูงหรืออัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์ต่ำ ในขณะที่สารลิกโนซัลโฟเนทจะใช้ได้ดีกับส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์ต่ำหรืออัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์สูง นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารลดปริมาณน้ำจะใช้ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่อัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์อยู่ในช่วงระหว่าง ๖.๕ ถึง ๗.๐(๓๒)

การยุบตัวก็มีผลต่อการลดปริมาณน้ำคือถ้าการยุบตัวสูงจะทำให้ลดปริมาณน้ำได้มากกว่าในกรณีของการยุบตัวน้อย ๆ โดยปกติสารลดปริมาณน้ำจากผู้ผลิตทั่ว ๆ ไปสามารถลดน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ ๒.๑ (๓๖)

อัตราการใช้สารลดปริมาณน้ำโดยทั่ว ๆ ไปแล้วก็พบว่า เมื่ออัตราการใช้เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ลดปริมาณน้ำได้มากขึ้น ขณะที่ยังคงรักษาค่าการยุบตัวไว้เท่าเดิม ในตารางที่ ๒.๒ เมื่อสัดส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์เท่ากับ ๕.๘๕ : ๑ และค่าการยุบตัว ๕๐ มม. (๓๒)

คุณสมบัติของซีเมนต์ก็มีผลต่อสารลดปริมาณน้ำด้วยเหมือนกันโดยเฉพาะในกรณีของสารลิกโนซัลโฟเนทพบว่าประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำจะลดลงเมื่อใช้ซีเมนต์ที่มีปริมาณของไตรแคลเซียมอลูมิเนท (C_3A) หรือแอลคาไลสูง (๓๒) การวิจัยพบอีกว่าสารลดปริมาณน้ำจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับซีเมนต์ที่มีปริมาณไตรแคลเซียมอลูมิเนทต่ำ และโดยทั่ว ๆ ไปปริมาณน้ำจะลดลงได้ประมาณ ๕ - ๑๐ % ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติทางเคมีของซีเมนต์ รวมทั้งส่วนผสมของคอนกรีต (๓๖) การลดน้ำในอัตรานี้จะทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นถึง ๑๐ - ๒๐% อัตราการใช้สารลดปริมาณน้ำที่มีประสิทธิภาพมากอยู่ระหว่าง ๐.๑ - ๐.๒ % โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์แต่ก่อนการใช้ ควรจะทำการทดสอบหาอัตราการใช้สูงสุดที่จะมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเสียก่อน (๓๔)

๒.๓ สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูง (High Range Water Reducing Admixture) หรือสารเติมเพื่อการไหลลื่นสูง (Superplasticizing Admixture) เป็นสารเคมีใช้เติมเพื่อการลดปริมาณน้ำได้มากกว่าสารลดปริมาณน้ำธรรมดาถึง ๑๐ เท่า (๓๒) โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการชลอการก่อตัวของซีเมนต์ และไม่มีฟองอากาศ (๓๘)

สารลดปริมาณน้ำในอัตราสูง เป็นสารเคมีชนิดใหม่ เริ่มใช้ในประเทศอังกฤษครั้งแรกเมื่อปี ๑๙๗๒ ส่วนในประเทศญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับสารประเภทนี้ตั้งแต่ปี ๑๙๖๐ เป็นต้นมา ใช้เวลาอยู่นาน ๕ - ๘ ปี (๓๘) มีการใช้อย่างกว้างขวางในยุโรป ญี่ปุ่น และอเมริกาเหนือ กับงานโครงสร้างทุกชนิดรวมทั้งอาคาร สะพาน โครงสร้างทางทะเล ตลอดจนทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น งานคอนกรีตอัดแรง งานคอนกรีตสำเร็จรูปต่าง ๆ (๒๗)

สารเคมีเพื่อลดปริมาณน้ำในอัตราสูง แบ่งเป็น ๒ ชนิด [๓๒] คือ

๒.๓.๑ Sulphonated Naphthalene Formaldehyde Condensates เป็นสารเคมีที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมี โดยใช้แนบทาลีน (Naphthalene, $C_{10}H_8$) ผ่านขบวนการซัลโฟเนท (Sulphonation) ด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จะได้สารประกอบของแนบทาลีนกับกรดซัลโฟนิก (SO_3H) ต่อมานำสารที่ได้ทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde , CH_2O) ได้สารประกอบชนิดใหม่แล้วนำไปทำการแปรสภาพโดยวิธี โพลิเมอร์ (Polymerization) แต่เนื่องจากสารประกอบชนิดใหม่นี้มีสภาพเป็นกรด ดังนั้นกลุ่มของกรดซัลโฟนิก จึงถูกทำลายความเป็นกรด (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ได้สารประกอบทางเคมีของเกลือ Sulphonated Naphthalene Formaldehyde Condensates [๓๒]

๒.๓.๒ Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates เป็นสารเคมีที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมี โดยใช้เมลาไมน์ (Melamine , $C_3H_6N_6$) ทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลดีไฮด์ได้สารประกอบของไตรเมทิรอลเมลาไมน์ (Trimethylol Melamine) แล้วนำไปทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมไบซัลไฟท์ (Sodium Bisulphite , $NaHSO_3$) ได้สารประกอบชนิดใหม่ แล้วจึงนำไปทำการแปรสภาพโดยวิธีโพลิเมอร์ได้เป็นสารประกอบของเกลือ Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates [๓๒]

พฤติการณ์ (Mode of Action) ของสารเคมีชนิดนี้มีคุณสมบัติให้เกิดการลอยตัวของมวลซีเมนต์ (Cement - Dispersion characteristic) คล้ายกับพฤติการณ์ของสารลดปริมาณน้ำธรรมดา แต่ทว่ามีความสามารถในการกระจายมวลซีเมนต์ได้มากกว่าอย่างสม่ำเสมอกว่า จากรูปถ่ายไมโครกราฟแสดงไว้ในปรูปที่ ๒.๖ [๓๘] ได้เปรียบเทียบลักษณะการกระจายของมวลซีเมนต์ให้เห็นอย่างชัดเจน

ประโยชน์ของสารลดปริมาณน้ำในอัตราสูง ก็เพื่อผลิตคอนกรีตไหล (Flowing Concrete) ที่มีค่าการยุบตัวสูงถึง ๒๐๐ มม. หรือมากกว่านี้ และเพื่อผลิตคนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ซึ่งทำให้ลดปริมาณน้ำได้ถึง ๓๐ % ในขณะที่ยังคงรักษา

007557

ความสามารถในการเทเท่าเดิม[๓๘] นอกจากนี้ยังใช้เพื่อลดปริมาณซีเมนต์ซึ่งลดได้อย่างน้อยที่สุด ๑๐ - ๒๐ % ในขณะที่ยังคงรักษาความสามารถในการเทและกำลังของคอนกรีตให้เท่าเดิมอยู่นอกจากนี้ยังทำให้ลดราคาในการบ่มคอนกรีตลงได้อีกด้วย[๒๗]

การใช้สารผสมเพิ่มชนิดนี้เหมาะกับงานคอนกรีตอัดแรง หรืองานคอนกรีตสำเร็จรูปมากกว่างานคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed) ทั้งนี้เพราะส่วนใหญ่สารเพิ่มชนิดนี้จะใช้ในงานอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้ผลิตจึงแนะนำอัตราการใช้ต่ำเพื่อให้ประหยัดและมีประสิทธิภาพ[๒๗] โดยทั่วไปจำนวนที่ใช้จะมากกว่าสารลดน้ำธรรมดา คือ ประมาณ ๑- ๖ ลิตร/ม^{๓} โดยสามารถลดน้ำได้ถึง ๒๐ - ๓๓ % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ด้วย การทดลองของ Hewlett[๓๘] พบว่าเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ ๔๐๐ กก./ม^{๓} อัตราของสารเคมี ๔ ลิตร / ม^{๓} ทำให้ลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๒๔ % สามารถเพิ่มกำลังของคอนกรีตได้ถึง ๘๗ % และ ๕๓ % ที่อายุ ๗ วัน และ ๒๘ วัน ตามลำดับเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ ๕๐๐ กก./ม^{๓} ทำให้ลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๒๗ % สามารถเพิ่มกำลังของคอนกรีตที่อายุ ๗ วัน และ ๒๘ วันได้ถึง ๕๔ % และ ๓๗ % ตามลำดับแต่เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ ๖๐๐ กก/ม^{๓} ลดปริมาณน้ำได้ประมาณ ๒๔% แต่กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มเพียง ๓๐ % และ ๓๕ % ที่อายุ ๗ วัน และ ๒๘ วัน ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าอัตราการเพิ่มของกำลังคอนกรีตจะสูงที่อายุน้อยและปริมาณซีเมนต์ต่ำ Hester[๒๗] พบอีกว่าอัตราการใช้จะอยู่ระหว่าง ๐.๓ - ๓ % โดยน้ำหนกของซีเมนต์สามารถลดปริมาณน้ำประมาณ ๑๕ - ๒๐ % แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีต การใช้งาน และสารเคมีที่ใช้ ในกรณีคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์สูงจะให้กำลังของคอนกรีตในอายุเริ่มแรก ๑ วัน เพิ่มขึ้นประมาณ ๕๐ - ๑๐๐ % แต่พออายุนาน ๆ จะให้กำลังเพิ่มขึ้นประมาณ ๕ - ๒๐ % อัตราการใช้ที่สูงขึ้นสามารถลดปริมาณน้ำได้มากตาม ซึ่งถ้าใช้ในอัตรา ๑ - ๕ % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ทำให้ลดปริมาณน้ำจาก ๑๒ - ๓๒ %[๓๒] และเมื่อใช้ในอัตรา ๓ - ๖ ลิตร/ม^{๓} สามารถลดปริมาณน้ำประมาณ ๒๕ - ๓๕ % และเพิ่มกำลังของคอนกรีตเมื่ออายุ ๑ วัน ได้ถึง ๕๐ - ๗๕ %[๔๒]

๒.๔ สารผสมคอนกรีตที่ใช้งานวิจัยนี้

จากการศึกษาขั้นต้นได้พบว่า Lignosulphonate ได้จากขบวนการผลิตเยื่อ - กระดาษ[๓๒] จึงได้ทำการศึกษารายละเอียดทางเคมีของน้ำเสียจากขบวนการหมักเยื่อกระดาษของโรงงานกระดาษของบริษัทสยามคราฟท์ จำกัด อ. บ้านโป่ง จ. ราชบุรี ซึ่งใช้ระบบที่ให้ Lignosulphonate ได้พอควร

ตามขบวนการผลิตกระดาษที่แสดงในรูปที่ ๒.๗ การฟอกเยื่อกระดาษเริ่มต้นจากการนำเอาชานอ้อย (Bagasse) ซึ่งได้จากโรงงานน้ำตาลมาเข้าเครื่องแยกไส้ (Pith) ซึ่งไม่มีเส้นใยออกไปโดยทั่วไปจะมีอยู่ประมาณ ๓๐ % ที่เหลือเป็นส่วนที่มีเส้นใย (Depithed Bagasse) จะถูกส่งเข้าเครื่องย่อย (Pandia Digester) เพื่อฟอกให้สะอาดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น ๑๔ % ใช้อัตราส่วนของชานอ้อยต่อสารละลายเท่ากับ ๑ : ๓ โดยน้ำหนักอุณหภูมิภายในเครื่องประมาณ ๑๔๐ - ๑๘๐ ใช้เวลานานประมาณ ๑๔ - ๑๘ นาที ลักษณะของชานอ้อยที่ออกจากเครื่องย่อยจะมีความข้นเหลว (Consistency) สูง จึงนำไปเข้าถังเป่าลม (Blow Tank) แล้วพ่นน้ำเข้าไป เมื่อเยื่อชานอ้อยออกจากถังเป่าลมจะต้องผ่านเครื่องล้าง (Washer) ซึ่งมีจำนวน ๔ ขั้นตอนโดยใช้น้ำสะอาด (Mill Water) ล้างผ่านที่ละตะแกรงจนได้เยื่อชานอ้อยที่สะอาดเพื่อนำไปทำเยื่อกระดาษต่อไป ส่วนน้ำที่ใช้ล้างผ่านตะแกรงอันสุดท้ายเรียกว่า แบล็กลิกเกอร์ (Black Liguor) เป็นของเหลวสีน้ำตาลไหม้ มีปริมาณของแข็ง (Solid content) ประมาณ ๑๒ - ๑๔ %

ในขบวนการผลิตของโรงงานพยายามที่จะแยกโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกมาใช้ใหม่ จึงต้องผ่านขบวนการระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นถึง ๓๕ - ๔๐% แล้วเข้าเครื่องเป่า (Cyclone) เพื่อเร่งการระเหยเพิ่มขึ้นให้ความเข้มข้นถึง ๕๕ - ๖๐ % แล้วจึงเข้าเครื่องต้ม (Boiler) เกิดเป็นขี้เถ้าโซดา (Na_2CO_3) ซึ่งขี้เถ้านี้เมื่อให้ทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ จะได้ NaOH กลับมาอย่างเดิมและมี $CaCO_3$ จากนั้นจึงนำ NaOH ไปฟอกชานอ้อยต่อไป

น้ำเสียที่ล้างเยื่อชานอ้อยที่เป็น แบล็กลิกเกอร์ นี้มีส่วนผสมของ Lignin ออกมาจากชานอ้อยและเนื่องจากผ่านขบวนการผลิตจึงเกิดสารประเภทโซเดียมลิกโนซัลโฟเนท (Sodium Lignosulphonate) ขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า Lignin เข้าไปจับโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ในกรรมวิธีการผลิตเยื่อชานอ้อยตอนเริ่มแรกเมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปล้างชานอ้อยนั้น

ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของแบล็กลิกเกอร์ ที่ใช้เป็นสารผสมคอนกรีตในงานวิจัยนี้ กับสารผสมเพิ่มทั่ว ๆ ไป จะพิจารณาในแง่ของส่วนประกอบทางเคมีของสารทั้งสอง โดยนำผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแบล็กลิกเกอร์ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์ [๕๘] ดังแสดงในตารางที่ ๒.๓ กับสารผสมคอนกรีตชนิดนี้ที่สารพื้นฐานของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนท ซึ่งวิเคราะห์โดย Edmeades [๕๗] ดังแสดงในตารางที่ ๒.๔ จะเห็นได้ว่า ปริมาณของสารประกอบหลักใกล้เคียงกัน โดยที่ส่วนประกอบของแบล็กลิกเกอร์ จะมีปริมาณของซิลิก้า และไนโตรเจนเพิ่มเข้ามา ซึ่งก็เป็นผลดีเพราะซิลิก้าเป็นตัวช่วยให้การยึดเกาะของส่วนผสมดีขึ้น และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ ๒.๕ ซึ่งนำแบล็กลิกเกอร์ที่มีปริมาณของแข็งเท่ากับ ๓๐ % โดยเทียบสัดส่วนมา จากตารางที่ ๒.๓ แล้วเปรียบเทียบปริมาณส่วนประกอบกับสารผสมคอนกรีตชนิดโซเดียมลิกโนซัลโฟเนท ซึ่งจะพบว่าส่วนประกอบหลักของสารทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้ใช้แบล็กเกอร์ที่มี Solid Content ประมาณ ๑๔ % โดยเก็บตัวอย่างมาจากส่วนที่ผ่าน Washer ดังแสดงในรูปที่ ๒.๗ จะพบว่าถึงแม้แบล็กลิกเกอร์จะผ่านขบวนการระเหยและการเป่าลมก็ตาม แต่ส่วนประกอบทางเคมีก็ยังเหมือนกันอยู่ เพราะเพียงผ่านการระเหยให้ข้นมากขึ้นไม่ได้ผ่านสารเคมีอะไรทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าแบล็กลิกเกอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์ เพียงแต่มีความเข้มข้นต่างกันและแบล็กลิกเกอร์ที่ใช้เป็นสารผสมคอนกรีตนี้ถือว่าอยู่ในกลุ่มของสารผสมเพิ่มชนิดโซเดียมลิกโนซัลโฟเนท .