

เทคโนโลยีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กภายหลังในประเทศไทยกรณี ศึกษาสะพาน และอาคาร

เทคโนโลยีคอนกรีตอัดแรงได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศไทยเมื่อ พ.ศ. 2483 ในการอัดแรงคานคอนกรีตรับพื้นของสะพานปรีดา อารัง ช่วงยาว 64 เมตร ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้มาตลอด โดยในช่วงแรกๆ การก่อสร้างโดยบริษัทชาวต่างชาติ วิวัฒนาการพัฒนาเทคโนโลยีคอนกรีตอัดแรงในประเทศในระยะ 40 ปี ที่ผ่านมา โดยศึกษาโครงสร้างอัดแรงชนิดดึงเหล็กทีหลัง (Post – tensioned concrete structures) หรือเรียกว่า คอนกรีตอัดแรงทีหลัง

โครงสร้างสะพาน

การพัฒนาสะพานคอนกรีตอัดแรงได้เริ่มขึ้นในยุโรปภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อสะพานข้ามแม่น้ำไรน์ และแม่น้ำสำคัญๆ ในยุโรปถูกทำลายเกือบหมดสิ้นจากสงคราม และประจวบกับการขาดแคลนเหล็ก ทำให้มีแรงผลักดันให้หันมาคิดค้นใช้ระบบคอนกรีตอัดแรงอย่างมีประสิทธิภาพในการสร้างสะพานช่วงปานกลางและช่วงยาวๆ ในสหรัฐอเมริกา ให้ความสนใจในงานสะพานคอนกรีตอัดแรง โดยเริ่มภายหลังจากการสร้างสะพานวอลนัทเลน ที่ฟิลาเดลเฟีย ในปี ค.ศ. 1950 ประมาณ 34% ที่สร้างเป็นสะพานเหล็ก ที่เหลือเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ห้าปีต่อมา สะพานเหล็กลดลงเหลือ 23% ในขณะที่สะพานคอนกรีตอัดแรงเริ่มเข้ามา คือ 3% ในปี ค.ศ. 1975 สะพานเหล็กเหลือ 2% สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กลดลงเหลือ 20% ในขณะที่สะพานคอนกรีตอัดแรงเพิ่มเป็น 78% ปัจจุบันสะพานคอนกรีตอัดแรงสามารถแข่งขันกับสะพานเหล็กได้ แม้ในช่วงสะพานยาว 200 – 300 เมตร

การที่สะพานคอนกรีตอัดแรงเป็นที่นิยมมากขึ้นในประเทศต่างๆ เป็นเพราะสะพานชนิดนี้สามารถควบคุมการแตกร้าว และการโก่งตัวได้ดี สามารถทำให้สะพานเพรียวแลดูสวยงาม และยังลดน้ำหนักตัวเมื่อเทียบกับสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ทำให้ประหยัดทั้งโครงสร้างส่วนบนและส่วนฐานรากลงได้อีก ทั้งนี้สามารถก่อสร้างได้รวดเร็วในสภาพแวดล้อมต่างๆ ด้วยประสิทธิภาพของระบบคอนกรีตอัดแรง ทำให้สามารถสร้างสะพานช่วงยาวๆ ซึ่งไม่อาจสร้างได้ด้วยระบบคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาและต้องการดูแลรักษา น้อยมาก มีความคงทนต่อสภาวะบรรยากาศต่างๆ ได้ดี ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าสะพานเหล็ก ยกเว้นสะพานช่วงยาวมากๆ



สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับประเทศไทย มีการใช้ระบบคอนกรีตอัดแรงในการก่อสร้างสะพานได้ก้าวหน้ามากพอสมควร สะพานช่วงสั้นธรรมดา น้อยกว่า 20-30 เมตร มักใช้ระบบคานคอนกรีตชนิดตั้งเหล็กก่อนถ้าหากไม่มีปัญหาการขนส่ง เช่น สะพานลอยยมราช สะพานลอยราชแถมราชเทวี ช่วงกลางประกอบด้วยคานรูปตัวไอ ยาว 30 เมตร เป็นต้น สะพานช่วงยาวกว่านี้อาจใช้ระบบคานคอนกรีตอัดแรงก่อนประกอบกับคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ เช่น ทางด่วนเฉลิมมหานคร พ.ศ. 2521 ใช้ระบบต่อเนื่องบางส่วน โดยวางคานคอนกรีตชนิดตั้งเหล็กก่อนความยาวประมาณ 20 เมตร บนป่าของแผ่นดิน หรือแผ่นกลวง หล่อในที่ซึ่งยื่นออกมาจากตอม่อ 2-11 เมตร ทำให้เพิ่มช่วงสะพานได้ถึง 44 เมตร แผ่นพื้นนี้ถ้ามีช่วงยื่นยาวก็ต้องอัดแรงที่หลังด้วย

โดยทั่วไปแล้ว คานสะพานช่วงยาวเกินประมาณ 24 เมตร จะขนส่งลำบาก จึงมักนิยมใช้ระบบคอนกรีตอัดแรงภายหลัง เช่น สะพานลอยบางเขนยาว 27 เมตร ประกอบด้วยคานกล่องคอนกรีตอัดแรง ภายหลัง อัดด้วยระบบ Freyssinet Concrete Cone ซึ่งเป็นระบบแรกอันหนึ่งที่พัฒนาขึ้นในงานคอนกรีตอัดแรงภายหลัง สะพานช่วงยาวๆ ในระยะหลังนี้ได้ทำการก่อสร้างโดยเทคนิคทันสมัยต่างๆ ในปี พ.ศ. 2515 ได้เริ่มงานก่อสร้างสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าฯ ข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา ความยาวสะพานหลัก เท่ากับ 280 เมตร ซึ่งเป็นช่วงกลาง 114 เมตร และช่วงริม 2 ช่วงๆละ 83 เมตร การก่อสร้างได้ ใช้วิธีช่วงยื่นสมดุล (Balanced Cantilever) ใช้ระบบอัดแรง ซึ่งใช้การเคลือบเหล็กด้วยสารที่ไม่ทำให้คอนกรีตเกาะกับเหล็ก สะพานช่วงยาวต่อมาได้แก่สะพานสมเด็จพระเจ้าตากสิน (2524) มีสะพานหลักความยาว 224 เมตร ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักต่อเนื่อง 3 ช่วง และก่อสร้างโดยอาศัย Launching Girder หิวแบบสำหรับหล่อตัวสะพาน ช่วงสะพานริมฝั่งของสะพานนี้ (Approach span) เป็นสะพานยาวต่อเนื่อง ซึ่งมีความยาว 45 เมตร

ในปี พ.ศ. 2524 บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง ได้นำวิธีการผลิตคานหล่อสำเร็จแบ่งส่วน Precast Segmental Girder ใช้การก่อสร้างสะพานบนเสนา- อยุธยา คานตัวไอ ช่วงยาว 30 เมตร จะถูกหล่อในโรงงาน โดยแบ่งเป็น 3 ท่อน และหล่อแบบต่อคู่ ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างเพื่อทำการประกอบบนแท่นที่เตรียมไว้ โดยใช้อีพอกซี(epoxy) เรซินสังเคราะห์ มีความเหนียวมาก จะแข็งตัวหลังผ่านความร้อน ใช้เคลือบผิวหรือเป็นตัวเชื่อมวัสดุ เป็นตัวประสานรอยต่อ จากนั้นจะทำการอัดแรงภายหลังแล้วยกไปติดตั้งบนตอม่อ

ใน พ.ศ. 2527 ได้มีการนำวิธีการก่อสร้างสะพานที่ทันสมัยที่สุดวิธีหนึ่งมาใช้เป็นครั้งแรก ในประเทศไทย โดยการก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดปทุมธานี และ นนทบุรี ช่วงสะพานหลักโดยวิธี Precast Segmental Cantilever Construction และได้ใช้วิธี Incremental Launching การออกแบบและก่อสร้างสะพานนนทบุรีมีความยาวทั้งสิ้น 329.1 เมตร โดยที่ช่วงที่ยาวที่สุดกลางแม่น้ำมีความยาว 84 เมตร ส่วนสะพานปทุมธานีมีความยาวทั้งสิ้น 239.1 เมตร

ในช่วง พ.ศ. 2524-2525 วิศวกรกรมทางหลวงฯ นำโดย ดร. ชินวุฒิ บุรณารมย์ ได้ทำการออกแบบสะพานเกาะยอข้ามทะเลสาบสงขลา และกรมทางหลวงได้ว่าจ้าง บริษัท โควิคอนซัลท์ คอนซัลติง เอนจิเนียริ่ง และแพลนเนอร์ส เอ/เอส เป็นวิศวกรที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบแก้ไขแบบสะพานตามเงื่อนไขของธนาคารพัฒนา

เอเชียผู้เป็นเจ้าของเงินกู้ของโครงการ สะพานติณสูลานนท์ (ชื่อทางการ) มีความยาวของสะพานหลักส่วนที่เป็นคอนกรีตอัดแรงรวมทั้งส่วนสะพานด้านเหนือและด้านใต้ของเกาะยอเท่ากับ 2,640 เมตร ความยาวช่วงต่างๆ ไปเท่ากับ 40 เมตร ออกแบบเป็นคานกล่องคอนกรีตอัดแรงเซลล์เดียว ความลึกของกล่องเท่ากับ 2 เมตร การก่อสร้างกระทำโดยวิธีหล่อสำเร็จเป็นท่อนๆ ยาวท่อนละ 2.5 เมตร แล้วนำไปติดตั้งในที่ โดยคานเหล็ก Launching girder เป็นแบบรองรับในช่วงก่อสร้าง รอยต่อซึ่งมี shear key จะถูกทำให้ออกซีพร้อมทั้งใส่แรงอัดชั่วคราวในระหว่างการประกอบท่อนที่ประชิดเข้าด้วยกัน เมื่อประกอบได้เต็มช่วงต่อม่อ รวมทั้งส่วนยื่นอีกส่วนหนึ่ง แล้วก็ทำการอัดแรงถาวร สะพานนี้นับเป็นผลงานที่น่า

ในปัจจุบันต่างประเทศได้มีการพัฒนาวิธีการอัดแรงภายนอก (external post-tensioning) มาใช้อย่างได้ผลในการออกแบบก่อสร้างสะพานช่วงยาวๆ

อาคาร

ในต่างประเทศได้มีการประยุกต์ระบบคอนกรีตอัดแรงที่หลังอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างระบบคานหรือแผ่นพื้นช่วงยาวๆ ทั้ง ในอาคารชั้นเดียวจนถึงอาคารสูง เช่น หอคอยอินเตอร์แนชั่นแนล ที่ลองบีช แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เป็น อาคาร 34 ชั้น ใช้ระบบแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง อาคารหลังนี้ได้พิสูจน์ความทนทานต้านต่อแรงแผ่นดินไหว ซานเฟอร์นันโด ที่รุนแรงมาแล้ว โดยไม่ได้รับความเสียหาย ในประเทศใกล้เคียง เช่น สิงคโปร์ และฮ่องกง ก็ได้มีการก่อสร้างด้วยระบบนี้ เช่น อาคาร ยูไนเต็ด อินดัสเตรียล คอมเมอร์เชียล ดีเวลอปเมนต์ที่สิงคโปร์ เป็นอาคาร 40 ชั้น สำหรับประเทศไทย เริ่มใช้ระบบนี้ในอาคารที่จอดรถโรงแรมรามามาเทอเวอร์ ปัจจุบัน ได้รื้อถอนไปแล้ว ใช้ระบบ unbounded waffle slab ในปี พ.ศ. 2513 มีการก่อสร้างอาคารเอสโซ่ (อาคารคาสเตอร์สตีในปัจจุบัน) โดยใช้โครงสร้าง Waffle slab เช่นเดียวกัน แต่ใช้ระบบเหล็กเสริมอัดแรงยึดเหนี่ยว ทั้งสองอาคารนี้ ใช้ระบบอัดแรง ทำระบบพื้น Post Tension (CCL Bonded System) โดยบริษัทเอนเนอรัลเอนยีเนียร์ริง จำกัด การพัฒนาทางด้านนี้ได้เป็นไปค่อนข้างช้า ในตอนต้น โดยในช่วง พ.ศ. 2511 – 2524 มีอาคารใช้ระบบแผ่นพื้นไร้คาน คอนกรีตอัดแรงภายหลังหลายแห่ง เช่น อาคารที่จอดรถสปอร์ตคลับ ที่จอดรถโรงพยาบาลหัวเฉียว ที่จอดรถเซ็นทรัลพลาซ่า ลาดพร้าว ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง ได้รับความนิยมนาน 30 ปี ที่ผ่านมามาเท่านั้น ภายหลังจากที่วิศวกรไทยเรียนรู้จากประสบการณ์ที่ผ่านมามากขึ้น ปัจจุบันมีอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง หลายแห่ง อาทิเช่น อาคารไทยสมุทรประกันภัย อาคารสาธธาณี ชาญอัสระทาวเวอร์ อัมรินทร์พลาซ่า สีลมพาสอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ของ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด อาคารเมืองไทย-ภัทรประกันภัย เป็นต้น

ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ ก่อน พ.ศ. 2530 ส่วนใหญ่เป็นชนิดแผ่นพื้นคอนกรีตไร้คานอัดแรง Unbonded two way post-tensioned concrete flat slabs ในปี พ.ศ. 2530 ปณิธาน (2532) ได้ใช้ระบบคานแถบคอนกรีตอัดแรงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวในการก่อสร้างพื้นและหลังคาของห้องประชุมอาคารเมืองไทยภัทรประกันภัย ซึ่งมีช่วงด้านยาวๆ ถึง 16.8 เมตร ช่วงทางขวางยาวประมาณ 10 เมตร และมีช่วงยื่น 6.8 เมตร แนวคิดของการออกแบบโครงสร้างนี้ คือ การใช้ระบบยึดเหนี่ยวกับคานหลัก ซึ่งมีความปลอดภัย สูงกว่าระบบ

ไม่ยึดเหนี่ยว ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นห้องประชุมจุคนมาก การใช้คานแถบซึ่งกว้างแต่แคบ เพราะความสูงแต่ละชั้นถูกจำกัด คานแถบตัวหลักรับน้ำหนัก 25 ตัน/เมตร ด้านกว้าง 4.5 เมตร ลึก 0.7 เมตร ใช้ระบบเหล็กเสริมอัดแรง 13 มม. และอัดน้ำปูนยึดลวดแรงดึงสูงในภายหลัง สำหรับแผ่นพื้นซึ่งออกแบบให้พาดในช่วงสั้นทางเดียว เพื่อความประหยัดจึงใช้ระบบอัดแรงไม่ยึดเหนี่ยว แต่เสริมเหล็กเสริมธรรมดาด้านล่างมากเป็นพิเศษ คือ DB 12 มม. ระยะห่าง 0.20 เมตร ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดของสมาคมคอนกรีตอเมริกา (ACI) มาก ทั้งนี้เพื่อให้มีความต้านทานสำรองในกรณีเกิดปัญหาที่ลวดอัดแรงไม่ยึดเหนี่ยว

นอกจากการพัฒนาเทคโนโลยีตามต่างประเทศในตอนต้นแล้ว ยังได้มีการพัฒนาวิธีการก่อสร้างพิเศษขึ้นมาในประเทศ การทำ Column hinge ในเสา ระหว่างการก่อสร้าง เพื่อลดผลการเหี่ยวรั้งของเสาที่มีขนาดใหญ่ต่อการหดตัวอีลาสติกของแผ่นพื้นในขณะอัดแรง โดย บริษัท กริไทย ร่วมกับ บริษัทเอนยีเนียร์ริ่ง จำกัด ได้นำไปใช้ในอาคารอัมรินทร์พลาซ่า วิธีการนี้มีข้อดีที่สามารถดำเนินการก่อสร้างส่วนอื่นๆ ไปได้ตามปกติโดยไม่เสียเวลารอต่างกับวิธีการทำ Column pocket ซึ่งคอนกรีตใน Column pocket จะหล่อได้ต่อเมื่อทำการอัดแรงพื้นแล้ว ทำให้ขั้นตอนการหล่อเสาเนิ่นนานออกไป ซึ่งในทางปฏิบัติ Cycle time มักจะยืดขึ้น 2-4 วัน อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังในการทำ Column hinge คือ ต้องทำการหล่อพอกส่วนคอด ภายหลัง มิฉะนั้นจะทำให้เสาเสียกำลังอัด

ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง ชนิดไม่ยึดเหนี่ยวและเสริมเหล็กธรรมดาไว้น้อยมาก นั้นหมายถึงความเสี่ยงต่อการวิบัติร้ายแรงได้หากเกิดเพลิงไหม้เป็นเวลานาน ดังที่ได้เกิดกับอาคารหลังหนึ่งในปี 2530 การแก้จุดอ่อนของระบบพื้นชนิดนี้ (ซึ่งมีข้อดีในด้านความประหยัด ความรวดเร็วในการก่อสร้าง) อาจกระทำได้โดยการเพิ่มระบบความปลอดภัยอีกระบบหนึ่ง กล่าวคือเสริมเหล็กเสริมแรงดึงสูงไว้แรงดึงเริ่มแรกชนิดยึดเหนี่ยว จำนวนเล็กน้อย ซึ่งคำนวณได้ ไว้ที่ระดับกลางความหนาแผ่นพื้น คอนกรีตที่หุ้มเหล็กแรงดึงสูงนั้นจึงมีความหนามากช่วยป้องกันไม่ให้เสียหายจากเพลิงไหม้ได้เป็นเวลานาน นอกจากนั้นควรเสริมเหล็กธรรมดาปริมาณพอสมควร เช่น 0.1% ไว้ใกล้ผิวล่าง เพื่อทำหน้าที่หน่วงการเกิด Spalling ของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมดึงสูง ในสภาพเลวร้ายที่เหล็กเสริมแรงดึงสูงชนิดไม่ยึดเหนี่ยวถูกเพลิงไหม้เสียหาย แผ่นพื้นจะเกิดการแอ่นตัวอย่างมาก แต่จะไม่หักพังเนื่องจากเหล็กเสริมแรงดึงสูงชนิดยึดเหนี่ยวที่เสริมพิเศษไว้จะหิ้วแผ่นพื้นด้วย Suspension

นอกจากระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงที่หลังแล้ว ยังได้มีการเริ่มใช้ระบบคอนกรีตอัดแรงที่หลังในการออกแบบก่อสร้างหลังคาช่วงยาว ได้แก่หลังคาพับจีบ คอนกรีตอัดแรงของหอประชุม โรงเรียนนายร้อย จปร. ที่นครนายก สำหรับหลังคาพับจีบหอประชุมโรงเรียนนายร้อย จปร. ซึ่งจุได้ 2,500 คน นั้น มีช่วงยาว 47.6 เมตร ซึ่งในการนี้มีการใช้วิธีการ non-uniform load balancing สำหรับพยุงน้ำหนักบรรทุกซึ่งมีการแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแผ่นพับจีบมีความลึกลดลงเป็นเส้นตรงจากปลายด้านหน้าไปยังปลายด้านหลังหอประชุม

ในอาคารสูง มีความจำเป็นต้องขยายช่วงเสาในชั้นล่างๆ ในส่วนโพเดียมของอาคาร ซึ่งเป็นส่วนสำนักงาน หรือที่จอดรถที่ต้องใช้ช่วงเสากว้างพอสมควร ในการนี้ ได้ประยุกต์ใช้คุณสมบัติของคอนกรีตอัดแรง ทำคานถ่ายแรง ขนาดใหญ่หรือพื้นถ่ายแรง เพื่อถ่ายน้ำหนักจากเสา หรือผนังชั้น บนลงสู่เสาชั้นถัดไป ซึ่งมีช่วงเสาห่างกว่า อาคารเหล่านี้รับน้ำหนักบรรทุกทุกขนาดมหาศาล ซึ่งมักจะไม่ใช่ประหยดงบประมาณ ถ้าออกแบบเป็นโครงสร้างเสริมเหล็ก ประกอบด้วยงานวางเหล็กเสริม งานค้ำยันพื้นโครงสร้างหลัก รวมทั้งงานการเทคอนกรีต เมื่อรวมทุกกระบวนการงานทุกขั้นตอน พบว่าใช้เวลายาวนานซึ่งระยะเวลาดังกล่าว ไม่อาจทำให้แผนการก่อสร้างเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ดังนั้น จึงได้มีการเสนอให้ใช้รูปแบบพื้นคอนกรีตอัดแรง ซึ่งสามารถลดปริมาณเหล็ก และลดน้ำหนักบรรทุกที่ต้องใช้ค้ำยันได้

กรมวิทยาศาสตร์บริการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ คุณสมบัติวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ ทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้น โดยการใช้เครื่องทดสอบแรงดึงประสมงค์ ใช้งาน 2-450 กิโลนิวตัน ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6892-1: 2009 (E) อีกทั้ง กรมวิทยาศาสตร์บริการยังให้บริการทดสอบผลิตภัณฑ์คอนกรีต ซึ่งมีหลายรายการ ได้แก่ คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2552) ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก สำหรับงานระบายน้ำ (มอก.224-2533) เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ (มอก.396-2549) แผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ สำหรับระบบพื้นคอนกรีต (มอก. 576-2546) และเสารั้วคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ(มอก.971-2533) เป็นต้น



เครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์

(Universal Testing Machine Shimadzu ขนาด 50 ตัน)

ผู้สนใจสามารถติดต่อสอบถามและขอรับบริการได้ที่กลุ่มวัสดุก่อสร้าง กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Material. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic

Materials. E8/E8M-11. In Annual book of ASTM standard. Vol.03.01 West Conshohocken : ASTM, 2012, p.65-91.

Tensile Testing [Online] [cite dated February 2013] Available from internet

: [http:// www.asminternational.org/pdf/spotlights/5106_01.pdf](http://www.asminternational.org/pdf/spotlights/5106_01.pdf)

Post-Tensioning Manual, Post – Tensioning Institute, Phoenix, Arizona, 1976.

ASTM C109 / C109M - 16a Standard Test Method for Compressive

: <https://www.astm.org> > Standards & Publications

ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงเหล็กที่หลังในประเทศไทย, เทคโนโลยีใหม่ในงานวิศวกรรม เอกสารประกอบการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2532, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ 525-533, พ.ศ. 2523

วิวัฒนาการของคอนกรีตอัดแรงในประเทศไทย, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้างจำกัด, พ.ศ. 2527

ผู้เรียบเรียง

นายณัฐเขต หมูทอง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี