

“นะโม อย่าโตอีก (แล้ว)”

โดย นายช่างโอม

สวัสดิศรัภ...ผม...นายช่างโอม เจ้าเก่าตัวจริงเสียงจริง...กลับมาคุยกับคุณ คุณอีกแล้ว...หลังจากหายป่วยมานาน..วันนี้เราจะมาคุยกันเรื่อง “โต มิ โต” ดีไหม?

คุณเคยได้ยินไหมครับ เล่าว่ากันว่าเวลาจะปลูกต้นไม้ ถ้าคนปลูกทำปากขมุบขมิบ ท้องคาถาระหว่างรดน้ำไปใส่ปุ๋ยไป “นะโม โต เร็ว เร็ว นะ”...ต้นไม้ก็จะโตวันโตคืน ผลิดอกออกไปให้คุณชื่นตาชื่นใจได้ดีกว่าปกติ...แต่หลายกรณีเราไม่อยากจะให้สิ่งที่เราปลูก(สร้าง) (ก็อาคารไงครับ....ที่เรานิยมเรียกว่าสิ่งปลูกสร้าง) นั้นโตแม้แต่น้อย...เพราะถ้า “โตขึ้น” จริงๆจะมีปัญหาตามมาแน่นอน อย่างเช่น ถ้าเราปลูก(สร้าง) เชื้อน...แล้วคุณเชื้อนโตขึ้น รั้วๆที่ไม่ได้ท้องคาถาสักหน่อย...เป็นที่แน่นอนว่าทั้งเจ้าของและผู้เกี่ยวข้องทุกระดับ โดยเฉพาะผู้บริหาร(เชื้อน) วิศวกร ผู้ออกแบบและบำรุงรักษา ต้องปวดหัวมากๆอย่างแน่นอน

เชื้อนหลายแห่งในโลก “โต” ขึ้นได้จริงๆนะครับ...บางแห่งก็ “โตเอา โตเอา” หมายความว่าโตโดยไม่หยุด แต่บางแห่งอาจโตไประยะหนึ่งแล้วหยุด...ช่วยให้สถานการณ์ทางจิตใจของนายช่างที่เกี่ยวข้องดีขึ้นมาก

คุณ คุณ คงสงสัย...เชื้อนนะ ไม่ใช่ต้นไม้ จะโตได้ยังไง โตแล้วเป็นยังไง...แล้วจะมีปัญหาอะไรไหม ..ก็ถ้าไม่อย่าให้โตต่อจะทำยังไงดี?

ก่อนอื่น..ขอบอก..ว่าปัญหาหนึ่ง(และปัญหาอันดับหนึ่ง) ที่มักมีผู้คนรายงานเกี่ยวกับการ “โต” ของเชื้อนส่วนใหญ่ก็คือการเสื่อมสภาพทางเคมีของคอนกรีตจากปัญหา Alkali Silica Reaction (ASR) หรือปฏิกิริยาระหว่างด่างในซีเมนต์ กับแร่ธาตุบางชนิดในหินที่ใช้เป็นมวลรวม...ทั้งสองอย่างนี้เป็นส่วนผสมสำคัญของคอนกรีต...คุณ คุณคงเริ่มคุ้นๆหูกันบ้างแล้วใช่ไหมครับว่า ผลจากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดอัลคาไลซิลิกาเจลที่มีคุณสมบัติดูดซับความชื้น แอมยังขยายตัวได้...นั่นคือสาเหตุที่ทำให้เชื้อนบางแห่งเค้าร้องเพลงว่า “เราจะโต...เราจะโต” (เหมือนเพลงโฆษณาที่ขายให้เด็กๆไงครับ)...เชื้อนเท่านั้นหรือที่จะโตได้..คุณอาจจะทำหน้างๆ

คำตอบก็คือไม่ใช่หรอกครับ โครงสร้างชนิดอื่นๆ ที่เกิดปัญหาASR ก็ขยายตัวกันได้ทั้งนั้น แต่โครงสร้างเชื้อนส่วนใหญ่มักเป็นคอนกรีตที่เสริมเหล็กน้อยมาก แอมยังมีขนาดใหญ่โตทำให้การยัดและการขยายตัวโดยรวมจึงมีขนาดที่ทำให้เกิดปัญหาค่อนข้างรุนแรงได้.....แอมที่มีรายงานเกี่ยวกับเชื้อนเป็น

ส่วนใหญ่ก็เพราะคนรายงานส่วนใหญ่เค้าจะให้ความสนใจโครงสร้างสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ ที่มีราคาแพง และเมื่อเสียหายไป มูลค่าของผลกระทบ หรือของการซ่อมแซมมักจะมีราคาสูง แกรม “ไม่ซ่อม...ไม่ได้” เสียอีก ผลลัพธ์ก็คือเราเลยพบแต่รายงานความเสียหายของโครงสร้างขนาดใหญ่เสียมากกว่า...มีเหมือนกันครับ ที่มีการพบความเสียหายในฐานรากสะพานหรืออาคารพาณิชย์ (Geovani Almeida da Silva and Romilde Almeida de Oliveira 2008; Viggo Jensen 2003) แต่พวกนี้ซ่อมไม่ยากเท่ากับเรื่อง “เขื่อน เขื่อน” ที่คุณกำลังจะอ่านหรือครับ หรือถ้าหากซ่อมไม่ได้ การทุบทิ้งสร้างใหม่ ก็ไม่ยุ่งยากหรือเกิดความเสียหายเท่ากับการซ่อมหรือทุบเขื่อนทิ้ง

เรามาทบทวนอีกนิดดีไหม ก่อนจะเล่าเรื่อง “เขื่อนโต”...ว่า มีตัวการสำคัญ สำคัญ สามอย่างของ ASR คืออัลคาไลในซีเมนต์ (ซึ่งจริงๆแล้วก็คือต้องคิดอัลคาไลทั้งหมดในคอนกรีตอยู่ดี) แร่ธาตุเฉพาะชนิดในมวลรวมบางชนิดที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และความชื้น นอกจากนั้นผลลัพธ์ของการเกิดปฏิกิริยา ก็คือ ASR Gel ที่สามารถขยายตัวได้ ทำให้เกิดการแตกร้าวทั้งภายใน ซึ่งทำให้คอนกรีตเสียความเป็นเนื้อเดียวกัน (ก็มันแตกซะอย่างนั้น) การแตกร้าวภายนอก การลดกำลัง การลดความคงทน การลดความสามารถใช้งาน (สารพัดลดละครับ) ตลอดจนการเพิ่มค่าซ่อมแซมแก้ไข บำรุงรักษาที่สูงกว่ากรณีอื่นมาก เรื่อง...เขื่อน “โต” เลยเป็นเรื่องเล่าเข้า(เมษา)นี้ไงครับ

เขื่อนแรกๆที่มีรายงานการ “โต” ขึ้นคือ เขื่อน Parker ในรัฐคาลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกาที่สร้างขึ้นในปีค.ศ.1938 และเป็นเขื่อนแรกๆที่ได้รับการตรวจสอบ ยืนยันปัญหา ASR ในปีค.ศ. 1940 (A. Corneille 1991) การ “โต” หรือการขยายตัว ทำให้เขื่อนโก่งตัวมากถึง 180 มม. แต่นับว่าโชคดีที่การ “โตเอ้า โตเอา” เนื่องจากการใช้หินโอปอล หินandesite และการปะปนของหิน Rhyolite นั้น เกิดขึ้นเร็วในช่วงแรก และเริ่มคงที่ในภายหลัง ขณะที่เจ้าของเขื่อนอีกหลายๆแห่งไม่ได้โชคดีอย่างนั้น อย่างเขื่อน Seminole ในรัฐไวโอมิ่ง เมืองลุงแฮมเหมือนกัน ที่มีการขยายตัวต่อเนื่องทุกๆที่ใช้งานมาแล้วกว่า 50 ปี ก็ตาม (A.B.Poolle ใน (R.N.SWAMY 2003) ตัวอย่างที่ได้รับการกล่าวขวัญกันบ่อยๆคือ เขื่อน Mactaquac ที่อยู่ใน Maritime Province ใน แคนาดา เขื่อนนี้สร้างมาตั้งแต่ปี 1968 วิศวกรที่เค้ามามีหน้าที่ตรวจสอบเขื่อน พบว่ามีการขยายตัวต่อเนื่อง ทำให้สันเขื่อน “สูงขึ้น” ถึง 10 ซม.! นอกเหนือไปจากการที่เขื่อนสูงขึ้นแล้ว การขยายตัวอย่างมากนี้ทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือบางอย่างใช้งานไม่ได้ต้องหาทางซ่อมแซมด้วยวิธีการต่างๆกันไกล่ไกล่ อย่างเช่น การตัดร่องเป็นต้น(Robin Charlwood 2012)

เขื่อนที่เป็นตัวอย่างยอดนิยมน ในด้าน ASR และการอ้างอิงผลของการ “โต โต” อีกแห่งหนึ่งคือ เขื่อน Chambom ในฝรั่งเศสที่สร้างขึ้นในต้นทศวรรษ 1930 (Victor Saouma and Xi 2004).....เขื่อนนี้สูง 88

ม. และมีอัตราการโตอย่างต่อเนื่อง คือ สูงขึ้นปีละ 3.6 มม.! แกรมมีการขยายตัวระหว่าง 10-80 microstrain ต่อปี ตัวเลขพวกนี้ถึงจะดูเล็กน้อยจ๊อยจิด แต่พอมันเกิดขึ้นต่อเนื่องไม่หยุดนี้ก็ทำให้คนที่ต้องเกี่ยวข้องกับปวดหัวได้มากเหมือนกันนะครับ

เอ...เมื่อเขื่อนทำท่าจะโตตอนนี้.....เค้าจะทำกันยังไงนะ คุณ คุณอาจจะสงสัย...เค้าก็ต้องหาวิธีให้หยุด “โต” ไงครับ แต่คำตอบและผลลัพธ์ไม่ได้เหมือนกันไปทุกกรณีหรอกครับ เขื่อนบางแห่งเค้า อาจใช้เลือกวิธีฉีดอุดรอยร้าว ซึ่งอาจได้ผล แตกต่างกันไป บางครั้งอาจได้ผลดี แต่บางครั้งก็เสียตั้งค์เปล่าๆ บางกรณีอย่างเขื่อน Mactaquac ที่เล่ามา หรือเขื่อนChambom ที่สุดท้ายเลือกใช้วิธีการตัดร่องเป็นระยะๆ เพื่อลดหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นตามยาว หรือในหลายๆกรณี เจ้าของอาจเลือกใช้วิธีแก้ไขหลายๆแบบรวมกันก็ได้...เรียกว่ากันไว้ทุกวิถีทาง

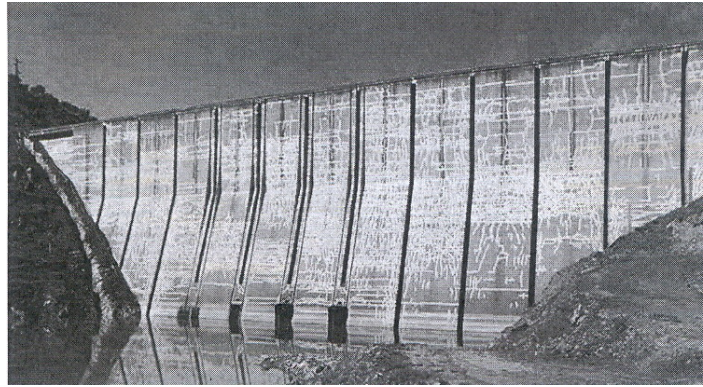
แต่เรื่องเล่าเจ้า(เมษา)นี้ จะเป็นเรื่องเขื่อนในเมือง Portugal ของคุณท้าวทองกีบม้า หวานใจของเจ้าพระยาวิชาเยนทร์ ฝรั่งเศสโปรตุเกสที่เข้ามารับราชการจนได้ดี สมัยอยุธยา ใจครับ.....

เมืองที่มีชนมประจำชาติหน้าตาเหมือนฝอยทองบ้านเรา มีเขื่อนที่มีปัญหา ASR หลายแห่ง หลายแบบ...แต่ที่น่าสนใจคือเขื่อนPracanaซึ่งกันแม่น้ำ Ocreza อยู่แถวตอนกลางๆของประเทศ...เขื่อนนี้เป็นเขื่อนHydroelectric ทำด้วยคอนกรีตแบบที่เรียกว่า buttress คือมีกำแพงค้ำทำน้ำ12 แผง สร้างขึ้นระหว่างปีค.ศ. 1948-1951 สูงขนาด 60 เมตร มีความยาวสันเขื่อน 245 ม. (ดูรูปที่ 1)หินฐานรากเป็นพวก Phyllie และ grewacke หินที่ใช้ในงานคอนกรีต เป็นพวก quartzite, challdedony และหินบางชนิดที่มี pyrite และ potassium feldspar [Matos et al 1995 in Matos et al 2013] อันนี้แหละครับที่ทำให้เกิดความน่าสนใจตามมา ก็คือ การตรวจพบปัญหา ASR พบรอยแตกร้าวทั้งเหนือน้ำท้ายน้ำเพียบ แกรมเขื่อนยัง “โต” ขึ้นทั้งแนวราบและแนวตั้ง ความที่เขื่อนแบบนี้เค้า “ซบซ้อน” กว่าแบบอื่นๆอย่างพวกเขื่อนโค้ง เขื่อน Gravity ซึ่งการขยายตัวในโครงสร้างที่ซบซ้อนอาจสร้างความรุนแรงได้มากกว่าเขื่อนลักษณะอื่น เพราะอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่แตกต่างและทำให้มีผลกระทบต่อนั่นส่วน โครงสร้างที่ต้องรับแรงโดยตรง หรืออาจทำให้เกิดการร้าวบริเวณรอยต่อได้ (Robin Charlwood 2012) และเมื่อซ่อมเสร็จใช้งานต่ออีก 20 ปี วิศวกรยืนยันว่าเขื่อน “เลิกโตแล้วนะจ๊ะ” แต่ความน่าสนใจของเขื่อนนี้อยู่ที่กระบวนการและวิธีการซ่อม ที่อาจมีผลกระทบต่อความสำเร็จของการซ่อมเขื่อนชนิดที่เขื่อนอื่นทำตามได้ยาก

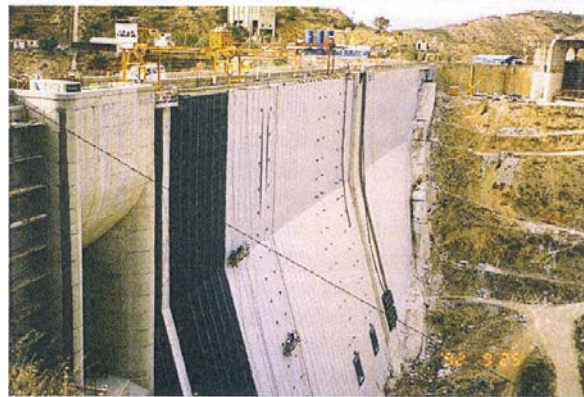
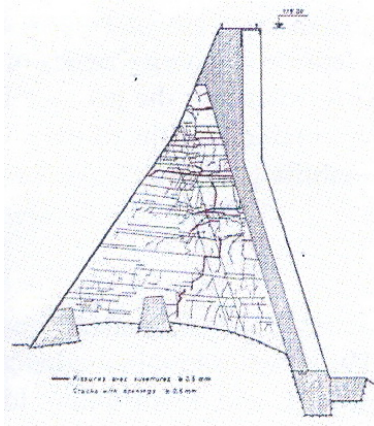
.....มันเป็นยังไงหรือครับลองตามมาฟัง เอ๊ย อ่านกันใหม่ครับ



รูปที่ 1 เขื่อน Pracana



รูปที่ 2 รอยแตกร้าวที่พบทางเหนือน้ำ



รูปที่ 3 รอยแตกร้าวที่พบในbuttressทางท้ายน้ำ รูปที่ 4 การติดตั้งPVC geomembrane (D.Silva Matos, et al. 2013)

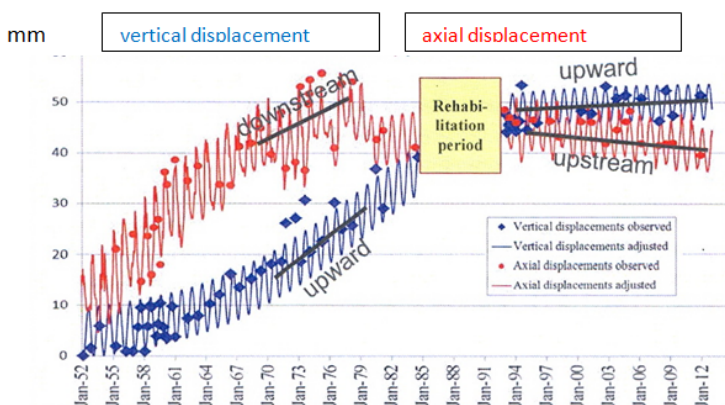
หลังจากเจ้าของเขื่อนคือ EDP หรือ Energias de Portugal SA เปิดใช้เขื่อนมาไม่นาน (Mator el al 2013) ก็มีการตรวจพบ รอยร้าวจำนวนมาก (ดูรูปที่ 2 และ3) รวมถึงการเคลื่อนตัวที่"ไม่"ปกติในแนวตั้งและเคลื่อนทางท้ายน้ำ....กลุ่มนายช่างก็พยายามหาสาเหตุจนพบว่า อ้อ..เขื่อนมัน “โต” ขึ้นเพราะคอนกรีตขยายตัว แถมจากการตรวจหลายวิธีทั้ง SEM, Petrography ยืนยันว่ามีสาเหตุจาก ASR แน่ แน่

ความจริงระหว่างปวดหัวกับการหาทางแก้ไข เขาก็ยังคงใช้เขื่อนอยู่นะครับ แต่ใช้ไป ใช้ไปทางท้ายน้ำ น้ำซัดร้าวมากขึ้น แถมจากการตรวจวัดหลายวิธี...บ่งชี้ว่า มีแนวโน้มการขยายตัวสูง (1000-1400 microstrain) โดยเฉพาะเขื่อนสูงขึ้นไปอัตรา 1-1.4 มม.ต่อปี ทำให้EDP เจ้าของเขื่อนตัดสินใจหยุดใช้เขื่อนชั่วคราว หลังจากใช้มา 29 ปี (อันนี้ตัดสินใจอยู่นาน) และระบายน้ำที่ขังไว้ออกให้หมดในปี 1980 จัดการตรวจสอบใหญ่ด้วยใช้วิธีต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์ด้วย linear finite element analysis..... เชื่อไหมครับว่า เจ้าของใจถึงยอมทิ้งเขื่อนให้แห้งและร้างการใช้งานนานถึง 8 ปี ก่อนที่จะเริ่มงานซ่อมแซมโดยตัดสินใจที่จะ

อุดรอยแตกจำนวนมากทั้งในตัวเขื่อน แฉกค้ำ ด้วยอีพอกซีเพื่อให้คอนกรีตคืนสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน แฉกด้วยการติดตั้งระบบ PVC Geomembrane เพื่อกันซึมทางด้านเหนือน้ำ เพื่อควบคุมการแทรกซึมของน้ำ เข้าในคอนกรีต ขณะเดียวกันก็ซ่อมแซมฐานรากเขื่อนให้อยู่ในสภาพดี สร้างทางระบายน้ำล้นใหม่เพื่อ ควบคุมน้ำล้น สารพัดกิจกรรมที่จะกู้ชีวิตเขื่อน Pracana นี้ทำภายใน 4 ปี หลังจากปิดเขื่อนมา 8 ปี มาใช้อีกทีก็ค.ศ. 1992 ละครับ ที่ต่างจากเขื่อนอื่นๆก็ตรงที่ เขื่อน Pracana เคยติดตั้ง PVC Geomembrane หลังจากเขื่อน “แห้ง” มา 8 ปีแล้ว ... โดย EDP เคยเลือกระบบ Carpi ซึ่งเป็น PVC Geomembrane หนา 2.5 มม.(ที่มีค่าความซึมต่ำคือ $k \sim 10^{-12}$ cm/s) มีความอ่อนตัวสูง แต่เหนียว ทำให้ทนทานต่อการฉีกขาด การ เเจาะทะลุ แฉกยังทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือการเคลื่อนที่จากแรงแผ่นดินไหวหรืออื่นๆได้ดี (D.Silva Matos, et al. 2013)

เจ้าแผ่นดินพิเศษนี้เค้าไม่ได้ติดกาวกับผิวคอนกรีตหรือกันซะครบแต่ใช้ระบบวิธียึดตรึงทางกลพิเศษ ซึ่ง ทำให้การเปลี่ยนแผ่นทำได้ง่าย และเร็ว (ถ้าจำเป็นนะครั๊บบ) โดยมีระบบระบายน้ำประกอบ ดูการติดตั้งใน รูปที่ 4 นะครั๊บบ เรียกว่าระบบนี้ไม่เพียงแต่ป้องกันการซึมของน้ำแล้วยังยอมให้มีการรวบรวมน้ำ ที่รั่วเข้าไประบายออกสู่ระบบที่เตรียมไว้ แฉกเมื่อเตรียมระบบทั้งหลายรวมทั้งระบบตรวจวัดระยะอ้างอิง จำนวนมาก (มีรายละเอียดอีกตริ่ม) แล้วยังมีระบบการติดตามตรวจสอบทั้งด้วยสายตา โดยทางเรือ รวมทั้ง ใช้เครื่องมือที่ติดตั้งไว้ก่อน ซึ่งสามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติที่อาจทำให้ Geomembrane ฉีกขาดไปได้

ระบบที่ผม(พยายาม)เล่าให้ฟังนั้นติดตั้งเสร็จในปีค.ศ. 1992 และใช้งานมา 20 ปีแล้ว การตรวจติดตามผลทั้งที่ได้จากการวัดและนำมาวิเคราะห์ โดยใช้แบบจำลอง เพื่อติดตามพฤติกรรมของ เขื่อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งค่าการเคลื่อนตัวที่วัดและวิเคราะห์แสดง ในรูปที่ 5 บ่งชี้ว่าการขยายตัวทั้งแนวตั้ง ลดลงอย่างมาก แม้ว่าจะยังคงปรากฏรอยร้าวอยู่บ้างแต่เป็นรอยเก่าทั้งที่ซ่อมแล้วและยังไม่ซ่อม



รูปที่ 5 ค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้ก่อนและหลังการซ่อม รูปที่ 6 สภาพหลังการซ่อมและใช้งานมาแล้ว 20 ปี(D.Silva Matos, et al. 2013)



รูปที่ 8 การใช้งานปกติในปัจจุบันหลังการซ่อม

รูปที่7 ร่องรอยการแตกร้าวหลังการซ่อมและใช้งานมาแล้ว 20 ปี

ทีมงานเค้ารายงานผลสำเร็จของการซ่อมผ่านบทความในการประชุมต่างๆ...ผู้เชี่ยวชาญเค้า
สันนิษฐานกันว่าความสำเร็จของการซ่อมเชื่อนี่น่าจะมาจากอานิสงค์ของลักษณะของเขื่อนที่ไม่ได้หนา
มากนัก และการปล่อยให้เขื่อนแห้งเป็นเวลานานพอที่การเกิดปฏิกิริยาจะลดลง และการติดตั้งPVC
geomembrane มีผลสำคัญต่อการลดการ"บวม"(Liberal O., et al. 2003) อย่างไรก็ตาม อันนี้เป็น"คำที่เค้าบอก
นะครั๊บบ...น่าเสียดายที่ตอนนี้ยังไม่มียหลักฐานยืนยันที่ชัดเจน

ยังไงก็ตาม คุณ คุณ เห็นด้วยกับผมไหมครั๊บบว่านี่เป็นกรณีที่น่าสนใจไม่น้อย....แต่ก็อย่างที่บอกละ
ครั๊บบ ..ไม่ใช่ทุกเขื่อนที่จะโชคดีอย่างนี้...ซ่อมแล้วประดานายช่างทั้งหลายอาจจะยังต้องภาวนาต่ออีกนาน
"นะโม...อย่าโตอีก(เสี่ย)!"

.....สวัสดีครั๊บบ....แล้วเจอกันใหม่เมื่อชาติต้องการนะครั๊บบ.....

บรรณานุกรม

A. Corneille, G. Douillet, J.-P. Garbe, A. Leroux, P. Monachon, M. Moranville-Regourd, P. Poitevin, M.

Berra, R. Turriziani, D. Palmer, J. Graham, 1991 Alkali-aggregate Reaction in Concrete

Dams/Alcali-réaction dans les Barrages en Béton. ICOLD 1991. Vol. Bulletin of ICOLD 79.

D.Silva Matos, et al. 2013 Pracana Dam 20 Years After Rehabilitation-Observed Behaviour of the Dam and its Exposed Geomembrane ICOLD 2013 International symposium, Seattle, USA, 2013.

Geovani Almeida da Silva, and Romilde Almeida de Oliveira 2008 INJECTIONS OF MICROCEMENT IN PILE CAPS CRACKED BY ALKALI-AGGREGATE REACTION. 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Concrete (ICAAR), Trondheim, 2008.

Liberal O., et al. 2003 Observed behaviour and deterioration assessment of Pracana dam. ICOLD 21st International Congress,, Montréal, 2003, pp. pp 185-205.

R.N.SWAMY, ed. 2003 The Alkali-Silica Reaction in Concrete: Taylor & Francis e-Library, 2003.

Robin Charlwood, Karen Scrivener, Ian Sims, 2012 Recent developments in the management of chemical expansion of concrete in dams and hydro projects - Part 1: Existing structures. Hydro 2012, Bilbao, Spain, 2012.

Victor Saouma, and Yunping Xi 2004 Literature Review of Alkali Aggregate Reactions in Concrete Dams. Swiss Federal Office for Water and Geology FOWG.

Viggo Jensen 2003 Elgeseter Bridge in Trondheim Damaged by Alkali Silica Reaction: Microscopy, Expansion and Relative Humidity Measurements, Treatment with Monosilanes and Repair. 9th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials,, Trondheim Norway, 2003.