



คอนกรีต VS กัมมันตรังสี

CONCRETE VS RADIATION

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

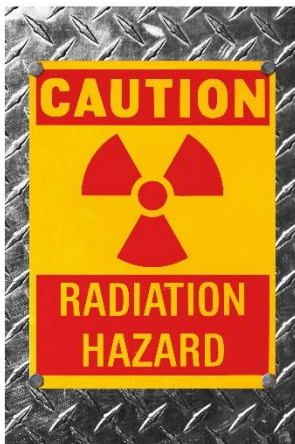
ความเชี่ยวชาญ : คอนกรีต, ปอซโซลาน, ซีเมนต์, วัสดุโพลีโพรพิลีน



ดร.จิรพงษ์ เหล่าน้ำใส²

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

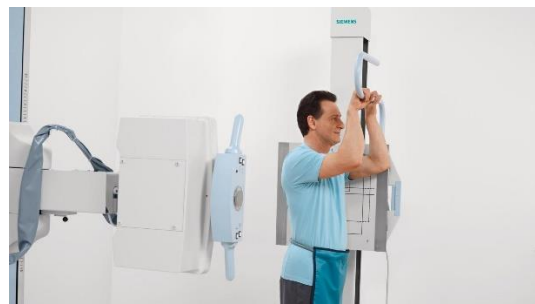
ความเชี่ยวชาญ : โอลิโทปเลสเซอร์, โอลิโทบรังลี, อุกกธรณีวิทยา, อุตุนิยมวิทยา



วิศวกรที่เห็นข้อบกพร่องเรื่องคอนกรีตกับรังสีอาจเข้าใจว่า บทความนี้จะบรรยายเกี่ยวกับการออกแบบคอนกรีต เพื่อป้องกันกัมมันตรังสีจากการถูกโจมตีด้วยระเบิดนิวเคลียร์ หรือการออกแบบคอนกรีตสำหรับโครงสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งโอกาสที่จะได้ออกแบบหรือผลิตคอนกรีตสำหรับงานเหล่านี้คงน้อยมาก หรือไม่มีโอกาสเลยสำหรับการก่อสร้างในประเทศไทย แต่ในความเป็นจริงแล้วมีสิ่งก่อสร้างหลายประเภทที่มีความจำเป็นต้องพิจารณาการป้องกันกัมมันตรังสีที่มีการก่อสร้างไปแล้ว และมีความจำเป็นต้องมีการก่อสร้างในอนาคตในประเทศไทย เช่น อาคารทางการแพทย์ที่มีการใช้เครื่องมือทางด้านรังสีรักษาหรือรังสีวินิจฉัย อาคารในภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้รังสีในการตรวจสอบคุณภาพหรือฆ่าเชื้อ อาคารวิจัยทางนิวเคลียร์และกัมมันตรังสี ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1 การออกแบบก่อสร้างอาคารดังกล่าวโดยใช้วัสดุคอนกรีตจะมีข้อจำกัดในประเด็นฟังก์ชันการใช้งานของอาคารเนื่องจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องมีความหนาเพียงพอที่จะป้องกันรังสีได้ ซึ่งในการออกแบบค่าความหนาที่ปลอดภัยของชิ้นส่วนคอนกรีตนั้น จะขึ้นอยู่กับประเภทของรังสีและระดับพลังงานของรังสีที่ต้องการป้องกัน อย่างไรก็ตาม การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเพื่อป้องกันรังสีค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้องมีความเข้าใจทั้งด้านสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุคอนกรีตและความรู้ทางด้านรังสีวิทยา การออกแบบคอนกรีตพิเศษสำหรับการป้องกันกัมมันตภาพรังสี จึงเป็นเรื่องใหม่และน่าสนใจอย่างมาก สำหรับวิศวกรโยธาหรือนักวิจัยทางด้านคอนกรีต เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านรังสีและนิวเคลียร์มีแนวโน้มถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายภาคส่วนและเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ไม่เพียงเฉพาะด้านการแพทย์หรือการวิจัยเท่านั้น แต่ยังรวมถึงอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกมากมาย



(ก) อาคารสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน จ.นครราชสีมา



(ข) ห้องรังสีวินิจฉัยในโรงพยาบาล

รูปที่ 1 ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างที่มีการใช้งานสารกัมมันตรังสี



เนื่องจากองค์ความรู้ทางด้านกัมมันตรังสีค่อนข้างห่างจากองค์ความรู้ทางสาขาวิศวกรรมโยธาอย่างมาก เพื่อให้ผู้อ่านสามารถอ่านอ่านบทความได้อย่างเข้าใจและรู้สึกสนุกกับการอ่านบทความมากขึ้น ดังนั้น ผู้เขียนจะบรรยายตั้งแต่ความรู้พื้นฐานรังสีวิทยา หลักการในการป้องกันกัมมันตรังสี หลักการออกแบบคอนกรีตป้องกันกัมมันตรังสี และ ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีตสำหรับป้องกันรังสี

1. รู้จักกับกัมมันตรังสี

ธาตุบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุที่มีมวลอะตอมสูง มีความสามารถในการแผ่รังสีออกมาได้เองอย่างต่อเนื่อง โดยปรากฏการณ์การแผ่รังสีที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า “กัมมันตภาพรังสี” ขณะที่ธาตุดังกล่าวเรียกว่า “ธาตุกัมมันตรังสี” โดยรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะมีหลายชนิด เช่น รังสีแอลฟา, รังสีเบตา, รังสีแกมมา, อนุภาคนิวตรอน และ รังสีเอกซ์ อย่างไรก็ตาม รังสีที่ผู้ออกแบบอาคารเกี่ยวกับรังสีจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการป้องกัน ได้แก่ รังสีเอกซ์, รังสีแกมมา และ อนุภาคนิวตรอน เนื่องจากรังสีเหล่านี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง หรือ มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง หรือ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ข้อมูลโดยสังเขปของกัมมันตรังสีทั้งสามประเภท แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับ รังสีเอกซ์, รังสีแกมมา และ อนุภาคนิวตรอน

รังสี	ข้อมูลทั่วไป	ข้อสังเกต	หลักการป้องกันรังสี
รังสีเอกซ์	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นหรือมีความถี่สูง ไม่มีประจุและไม่มีมวล รังสีเอกซ์มีพลังงานอยู่ในช่วง 0.1-100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง	มักถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในทางการแพทย์ ถ่ายภาพรังสีอุตสาหกรรม การรักษาความปลอดภัย สนามบิน	ใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง หรือวัสดุที่มีเลขอะตอมสูง อย่างไรก็ตาม วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ หรือมีเลขอะตอมต่ำสามารถลดขนาดความหนาแน่นได้ด้วยการเพิ่มความหนาและจำนวนอะตอม

รังสี	ข้อมูลทั่วไป	ข้อสังเกต	หลักการป้องกันรังสี
รังสีแกมมา	มีสมบัติคล้ายรังสีเอกซ์ แต่มีพลังงานสูงกว่า (พลังงานสูงกว่า 100 keV)	มีอำนาจทะลุทะลวงสูงที่สุด มีอันตรายกับสิ่งมีชีวิตมากที่สุด	หลักการเดียวกันกับการป้องกันรังสีเอกซ์
อนุภาคนิวตรอน	เป็นอนุภาคมูลฐานที่ไม่มีประจุไฟฟ้า และมีมวลใกล้เคียงกับโปรตอน	มีการประยุกต์ใช้อย่างจำกัด เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ แต่มักทำอันตรกิริยา (interaction) กับน้ำ ซึ่งส่งผลอันตรายอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก	ใช้วัสดุที่มีส่วนประกอบของธาตุที่มีมวลใกล้เคียงกับนิวตรอน เช่น ไฮโดรเจน, คาร์บอน หรือ โบรอน ซึ่ง ไฮโดรเจนเป็นที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากเป็นธาตุองค์ประกอบของวัสดุที่หาได้ง่าย เช่น น้ำ หรือ พลาสติกชนิดโพลีเอทีลีน

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะสังเกตได้ว่า ถึงแม้อนุภาคนิวตรอนจะเป็นอันตรายอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต แต่เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างจำกัด และ ในวัสดุคอนกรีตเองก็มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการป้องกันอนุภาคนิวตรอนได้ดีพอสมควรอยู่แล้ว ดังนั้นในบทความนี้จะไม่บรรยายการออกแบบคอนกรีตเพื่อป้องกันอนุภาคนิวตรอน ส่วนรังสีเอกซ์ถึงแม้จะมีพลังงานต่ำกว่า แต่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนรังสีแกมมานอกจากมีการใช้อย่างแพร่หลายแล้วยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอีกด้วย โดยหลักการในการป้องกันรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ใช้หลักการเดียวกัน คือ ทำให้คอนกรีตมีอะตอมของธาตุที่มีมวลอะตอมสูงหรือทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูง ซึ่งจะบรรยายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

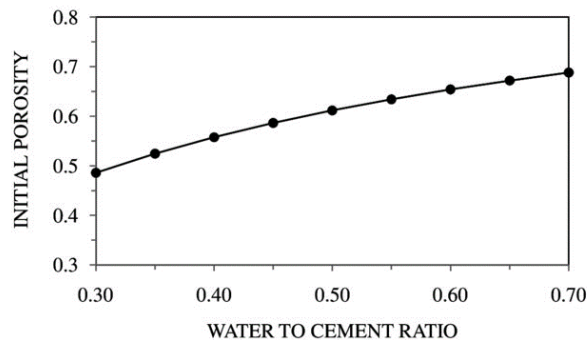
2. หลักการออกแบบคอนกรีตป้องกันกัมมันตรังสี

หลักการง่าย ๆ ในการออกแบบคอนกรีตให้ป้องกันรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ได้ดี คือ การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีต เพื่อให้อะตอมของวัสดุมีความหนาแน่นขึ้น ทำให้การเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีและคอนกรีตเกิดได้มากขึ้น โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตประกอบด้วยซีเมนต์ น้ำ มวลรวมหยาบ และ มวลรวมละเอียด โดยเมื่อผลิตเป็นคอนกรีตจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสองส่วนหลักคือซีเมนต์



เพสต์และมวลรวม เมื่อพิจารณาจาก microscale โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและช่องว่าง ดังนั้น การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีตจึงสามารถปรับได้ทั้งส่วนของซีเมนต์เพสต์และมวลรวม ซึ่งในหัวข้อนี้จะเน้นการบรรยายเกี่ยวกับซีเมนต์เพสต์ก่อน

โดยทั่วไปซีเมนต์เพสต์ประกอบไปด้วยแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตประมาณร้อยละ 50 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณร้อยละ 25 เอททริงไคต์ร้อยละ 15 ส่วนที่เหลือเป็นช่องว่างและน้ำส่วนเกิน ความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารประกอบและช่องว่างต่าง ๆ เหล่านี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตมีค่า 2.60 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 2.21 เอททริงไคต์ 1.77 ในขณะที่น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.00 ดังนั้น การเพิ่มความหนาแน่นของคอนกรีตในส่วนของซีเมนต์เมทริกซ์ที่ง่ายที่สุด คือ การลดสัดส่วนของน้ำส่วนเกินและช่องว่าง โดยปรกติการออกแบบคอนกรีตนิยมใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์อยู่ในช่วง 0.4-0.7 โดยค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 0.3 เพื่อให้ปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซีเมนต์ **รูปที่ 2** แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) กับความพรุนเริ่มต้น (initial porosity) ของคอนกรีต จะเห็นได้ว่าการเพิ่มของความพรุนมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีต



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) กับความพรุนเริ่มต้น (initial porosity) ของคอนกรีต [1]

อย่างไรก็ตาม การผสมคอนกรีตโดยการใช้สัดส่วนผสมที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานได้ (workability) ของคอนกรีตอย่างมาก หากการทำงานกับคอนกรีตไม่ดี เช่น การเทลงแบบ หรือการจี้เขย่าไม่ดี อาจส่งผลให้เกิดโพรงและช่องว่างในเนื้อคอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันรังสีเช่นกัน โดยปกตินักวิจัยที่พัฒนาคอนกรีตสำหรับป้องกันรังสีมัก

ออกแบบค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตในช่วงประมาณ 0.35-0.45 โดยมีการใช้สารลดน้ำมาก (superplasticizer) มาผสมเพิ่ม เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

ในส่วนของคุณสมบัติของคอนกรีต เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่นักวิจัยและนักพัฒนาคอนกรีตป้องกันรังสีทำการศึกษาและใช้เป็นกุญแจสำคัญในการปรับปรุงความสามารถในการป้องกันรังสีของคอนกรีต ปัจจัยทางด้านองค์ประกอบทางเคมีและความถ่วงจำเพาะของมวลรวม ส่งผลอย่างมากต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับวัสดุ โดยมาตรฐาน ASTM C637-20 standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete [2] กำหนดคุณสมบัติของมวลรวมสำหรับคอนกรีตป้องกันรังสี (ทั้งในกรณีป้องกันรังสีแกมมาและอนุภาคนิวตรอน) ซึ่งกำหนดและแนะนำคุณสมบัติต่างๆของมวลรวมที่จำเป็นต่อการพิจารณาความสามารถในการป้องกันรังสีของคอนกรีต เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ (แสดงในตารางที่ 2) จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะพบว่า มวลรวมสำหรับป้องกันรังสีมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ (แสดงใน class of material ด้วย crushed stone) หรือเกิดจากการสังเคราะห์ (แสดงใน class of material ด้วย synthetic) โดยความถ่วงจำเพาะของมวลรวมที่แนะนำในมาตรฐานมักมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่ามวลรวมหินหรือทรายที่ใช้กับคอนกรีตทั่วไป (ความถ่วงจำเพาะของหินและทรายทั่วไปอยู่ในช่วง 2.6-2.8) เช่น แบริต์ (ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 4.0 - 4.4) หรือ เฮมาไทต์ (ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 4.6 - 5.2) โดยมวลรวมทั้งสองประเภทนี้ ผู้เขียนพบว่า สามารถหาได้ในประเทศและเคยนำมาใช้ในงานวิจัย เช่น แร่แบไรต์ จากแหล่งวัสดุที่อำเภอทอง จังหวัดแพร่ หรือ แร่เฮมาไทต์ ซึ่งสามารถหาได้จากจังหวัดนครสวรรค์ หรือ วัสดุสังเคราะห์อย่างเฟอร์โรฟอสฟอรัส (ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 5.8 - 6.3) ซึ่งสามารถสั่งซื้อได้จากบริษัทเกี่ยวกับอุตสาหกรรมโลหะในประเทศ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีและความถ่วงจำเพาะของมวลรวมสำหรับป้องกันรังสี ตามมาตรฐาน ASTM C637-20 standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete [2]

Predominant Constituent	Class of Material	Chemical Composition of Principal Constituent ^A	Specific Gravity of Available Aggregates
Serpentine ^B	crushed stone, hydrous silicate	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2.4 to 2.65
Limonite ^C	crushed stone, hydrous iron ore	(HFeO ₂) _x (H ₂ O) _y	3.4 to 3.8
Goethite ^C	crushed stone, hydrous iron ore	HFeO ₂	3.5 to 4.5
Barite	gravel or crushed stone	BaSO ₄	4.0 to 4.4
Ilmenite	crushed stone, iron ore	FeTiO ₃	4.2 to 4.8
Hematite	crushed stone, iron ore	Fe ₂ O ₃	4.6 to 5.2
Magnetite	crushed stone, iron ore	FeFe ₂ O ₄	4.6 to 5.2
Iron	manufactured from iron/steel	Fe	6.5 to 7.5
Ferrophosphorus ^D	synthetic	Fe _n P	5.8 to 6.3
Boron Frit ^E	synthetic	B ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO	2.6 to 2.8
Boron Carbide	synthetic	B ₄ C, B ₂ O ₃ , C	2.5
Calcium Boride	synthetic	C ₂ B ₆ , C	2.5



3. ตัวอย่างการออกแบบคอนกรีตสำหรับป้องกันรังสี

นักวิจัยทางคอนกรีตบางกลุ่มงานได้ทดลองนำวัสดุที่หาได้ในประเทศและมีความเหมาะสมมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมสำหรับเพิ่มความสามารถในการป้องกันรังสีของคอนกรีต โดยวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศไทยและมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ แร่แบไรต์ ซึ่งหาได้จากทางภาคเหนือของประเทศหรือสามารถสั่งได้จากเหมืองในประเทศลาว **ตารางที่ 3** แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแบไรต์เทียบกับมวลรวมทั่วไปคือหินปูนและทราย พบว่าองค์ประกอบหลักทางเคมีของแบไรต์ คือ แบริยมและซัลเฟอร์ ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะพบว่า แบริต์ที่เป็นมวลรวมหยาบมีความถ่วงจำเพาะ 3.90 ในขณะที่แบไรต์ที่เป็นมวลรวมละเอียดซึ่งผ่านกระบวนการแต่งแร่มากกว่า มีความถ่วงจำเพาะสูงถึง 4.21

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและความถ่วงจำเพาะของหินปูน ทรายแม่น้ำ และแบไรต์ [3]

Elements	Limestone	River sand	Barite
Ca	73.34	1.99	
Fe	13.06	4.46	3.04
Mg	9.49		
Si	2.35	69.69	5.50
Mn	1.01		
K	0.75	17.54	
Al		6.32	
Ba			76.56
P			
S			13.13
Sr			1.77
Specific gravity	2.92	2.61	3.90 (Coarse) 4.21 (Fine)

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้หินปูน ทรายแม่น้ำ และ แบริต์ เป็นวัสดุมวลรวมทั้งกรณีแทนที่ในส่วนมวลละเอียด (LB) แทนที่ในส่วนมวลรวมหยาบ (BS) และแทนที่ทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ (BB) โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 และ อัตราส่วนมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 57/43

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันแสดงใน**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้แบไรต์เป็นวัสดุมวลรวม ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้แบไรต์เป็นวัสดุมวลรวมทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2,730 - 3,233 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม การใช้แบไรต์เป็นวัสดุมวลรวม

ละเอียด มีแนวโน้มส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง โดยมีงานวิจัยระบุว่า การใช้วัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะสูงเป็นวัสดุมวลรวมอาจส่งผลให้เกิด การเยิ้ม (bleeding) และ การแยกตัว (segregation) ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง [4]

สำหรับความสามารถในการป้องกันรังสีของวัสดุคอนกรีต สามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติหลายๆด้านนอกจากด้านความหนาแน่น สมบัติด้านหนึ่งที่น่าสนใจทางด้านการป้องกันรังสีมักจะทดสอบคือการนำแหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีที่สนใจมาวางไว้หน้าวัสดุแล้วเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีระหว่างก่อนจะตกกระทบวัสดุและความเข้มรังสีที่เหลืออยู่หลังจากทะลุผ่านวัสดุไปแล้ว นำค่าความเข้มที่วัดจากการทดลองมาคำนวณเป็นค่าความหนาวัสดุที่จะทำให้ความเข้มของรังสีลดลงเหลือร้อยละ 10 หรือที่เรียกว่า Tenth Value Layer (TVL) เช่น หากวัสดุมีค่า TVL เท่ากับ 13 เซนติเมตร หมายความว่าหากให้รังสีตกกระทบวัสดุมีความเข้ม 100 จะต้องให้วัสดุมีความหนา 13 เซนติเมตร จึงจะทำให้รังสีที่วัดได้หลังทะลุผ่านวัสดุเหลือเท่ากับ 10 นั่นหมายความว่ายิ่งวัสดุมีค่า TVL ต่ำ แสดงว่าวัสดุจะมีความสามารถในการป้องกันรังสีได้ดีเนื่องจากต้องการความหนาวัสดุน้อยในการป้องกันรังสีให้เหลือความเข้มร้อยละ 10 ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากรณีแหล่งกำเนิดรังสีเป็นซีเซียม (CS-137) ซึ่งมีระดับพลังงาน 0.662 MeV ตกกระทบวัสดุคอนกรีต หากต้องการให้ความเข้มรังสีลดลงเหลือร้อยละ 10 ต้องใช้คอนกรีตทั่วไป (ที่ใช้หินและทรายเป็นวัสดุมวลรวม) ที่มีความหนา 12.69 เซนติเมตร ในขณะที่หากใช้แร่แบไรต์แทนที่วัสดุมวลรวมทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด (BB) จะใช้ความหนาลดลงเหลือเพียง 7.00 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 ส่วนผสมต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตที่ใช้หินปูน ทรายแม่น้ำ และ แบริต์เป็นวัสดุมวลรวม [3]

mixes	coarse aggregate	fine aggregate	concrete ingredients (kg/m ³)			
			cement	coarse aggregate	fine aggregate	water
LS	Limestone	River sand	400	1,155	775	166
LB	Limestone	Barite	400	1,155	1,256	163
BS	Barite	River sand	400	1,542	775	168
BB	Barite	Barite	400	1,542	1,256	165



ตารางที่ 5 ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และ TVL ของคอนกรีตที่ใช้หินปูน ทรายแม่น้ำ และ แบริต์เป็นวัสดุผสมรวม [3]

mixes	measured density (kg/m ³)	average compressive strength (ksc)	TVT (Cs-137 @0.662 MeV) (cm)
LS	2,500	542	12.69
LB	2,887	459	10.98
BS	2,730	590	9.59
BB	3,233	460	7.00

กรณีงานวิจัยที่ยกตัวอย่างมาเป็นเพียงส่วนน้อยมากๆ ของงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้คอนกรีตเพื่อป้องกันกัมมันตรังสี เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่สนใจอีกมากมายในการออกแบบ เช่น ระดับพลังงานของรังสีที่ต้องป้องกัน หรือ กรณีที่ต้องการป้องกันอนุภาคนิวตรอน รวมถึงการใช้วัสดุใหม่ๆ และการสร้างแบบจำลองในการป้องกันรังสีของวัสดุ หากวิศวกรหรือนักวิจัยท่านใดมีความสนใจแลกเปลี่ยนประสบการณ์หรือแนวคิดในด้านนี้ สามารถพูดคุยกันได้ทางอีเมลล์ pop_civil@hotmail.com เลยครับ

อ้างอิง (references)

- [1] Ravindrarajah, R. S., & Whitson, P. (2011). Evaluation of a self-curing admixture in a flowing fly ash concrete. *Proceedings of the symposium in a honor of professor Lee Seng Lip*, Singapore, 105-114.
- [2] ASTM. (2020) *Standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete*. C637-20, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [3] Julphunthong P., & Joyklad P. (2018). Investigation of gamma ray shielding and compressive strength of concrete containing barite and ferrophosphorous. *Key Engineering Materials*, 775, 618-23. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.775.618>.
- [4] Akkurt, I., Akyildirim, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2010). Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37(7), 910-914, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2010.04.001>.

เกี่ยวกับผู้แต่งบทความ (Biography)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง ตำแหน่งปัจจุบัน ประธานกรรมการวิชาการ สาขาคอนกรีต วัสดุและการก่อสร้าง สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย และ อนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน ในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ทำงานเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับวัสดุซีเมนต์และคอนกรีต โดยเฉพาะการวิเคราะห์ขั้นสูงเกี่ยวกับคุณสมบัติวัสดุ การออกแบบและพัฒนาคอนกรีตพิเศษเพื่องานเฉพาะด้าน เช่น ป้องกันกระสุน กัมมันตรังสี และการกัดกร่อนโดยกรดและสารเคมี

ดร.จිරพงษ์ เหล่าน้ำใส อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้นิวเคลียร์เทคนิค โดยเฉพาะไอโทปและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำและดิน เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางอุทกธรณีวิทยาและอุตุนิยมวิทยา

การอ้างอิงบทความ (citation)

พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง และ จีรพงษ์ เหล่าน้ำใส (2565), "คอนกรีต VS กัมมันตรังสี (Concrete vs radiation)," วารสารคอนกรีต, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3, บทความหมายเลข TCA_M 150302, กันยายน-ธันวาคม, 10 หน้า.

Julphunthong, P., & Laonamsai, J. (2021) "Concrete vs radiation," *TCA Magazine, Thailand Concrete Association*, Vol. 15, Issue 3, Paper ID TCA_M 150302, Sep.-Dec., 10 pages.