บทที่ 4

การวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการเกิดคาร์บอเนชั่น

4.1 ความนำ

การเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีตเป็นปัญหาหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความทนทานของคอนกรีต การเกิดคาร์บอเนชั่นจะทำให้ค่า pH ลดลงจาก 12.5 เป็น 8.3 ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และส่งผลให้เหล็กเสริมในบริเวณที่คอนกรีตล้อมรอบมีค่า pH เป็นกลางเกิดสนิมขึ้น ในการเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีตตามที่ได้กล่าวมาแล้วจะขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

1. คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต โครงสร้างของรูพรุน ซึ่งหมายถึง ขนาดของรูพรุน การกระจายขนาดของรูพรุน และความสามารถในการเกาะเกี่ยวของผนังรูพรุน เป็นคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตที่มีผลต่อการดูดซับน้ำไว้ในรูพรุนคอนกรีต ปริมาณน้ำในรูพรุน จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแพร่กระจายของก๊าซในเนื้อคอนกรีต โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะทำให้เกิดคาร์บอเนชั่น และก๊าซออกซิเจนซึ่งจะทำให้เกิดสนิมของเหล็กเสริม

2. สภาวะแวดล้อมที่โครงสร้างตั้งอยู่ จะต้องพิจารณาถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

3. สารประกอบเคมีของคอนกรีต ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูพรุนคอนกรีตให้เป็นคาร์บอเนต

4.2 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอเนชั่น

ในการเก็บข้อมูลของสะพาน จะประกอบด้วย อายุของสะพาน กำลังอัดคอนกรีต และความลึกคาร์บอเนชั่น ดังได้แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 สะพานที่ศึกษามีทั้งหมด 6 สะพาน แบ่งตามอายุ คือ 1, 2, 3, 6, 25 และ 65 ปี กำลังอัดคอนกรีตวัดโดย Schmidth Hammer ตามมาตรฐาน

ASTM C850 - 79 โดยเน้นองค์อาคารที่เป็นเสาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหารอยแตกร้าวเนื่องจากการรับแรงดัด ค่ากำลังจะแปรจาก 203.8 - 491.3 กก. / ซม.^{2} และความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยที่วัดได้โดยใช้ ฟีนอลฟธาลีน มีค่าตั้งแต่ 5.9 - 22.5 มม. ดังแสดงในตารางที่ 4.1

1. <u>สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์</u>

จากการพิจารณาสมการที่ 2.8, 2.29 - 2.34 และ 2.41 พบว่าสมการเหล่านี้จะมีพจน์ของสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือค่าที่ต้องคำนวณจากสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้น จึงสร้างความสัมพันธ์ ระหว่าง กำลังอัดคอนกรีต และสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ขึ้นตามข้อมูลของ ACI Committee 211 [24] ได้ดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากความสัมพันธ์ ดังกล่าว เป็นกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน แต่กำลังอัดคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีต (ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบของเวลาที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดคอนกรีตเท่านั้น) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องคำนวณหากำลังอัดคอนกรีตของสะพานตัวอย่างที่อายุ 28 วัน ตาม CEB MODEL CODE 1990 [9] ได้กำหนดสมการ การเปลี่ยนแปลงกำลังอัดคอนกรีตตามระยะเวลาที่ผ่านไป ดังนี้

$$fcm\,(t) = e^{0.25\left[1-\sqrt{\frac{28}{t}}\right]} \cdot fcm \qquad 4.1$$

โดย

fcm(t) = กำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยที่อายุ t วัน

fcm = กำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน

t = อายุของคอนกรีต (วัน)

จากสมการที่ 4.1 และความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.1 ทำให้สามารถแปลงค่า กำลังอัดคอนกรีตของสะพานตัวอย่างไปเป็นค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้ ตามตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16795118.

2. สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามสมการที่ 2.8 โดยค่าความพรุนของคอนกรีต จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.9 ซึ่งกำหนดขึ้นโดยการสร้างสมการจากข้อมูลของ Papadakis et. al [3] สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\sqrt{De,co_2} = 1.20x10^{-3} (0.63w - 0.05)(1-RH/100) \qquad 4.2$$

เมื่อแทนค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของแต่ละสะพานลงในสมการที่ 2.9 จะได้ค่าความพรุน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากข้อมูลการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ในเขตกรุงเทพมหานครของกรมอุตุนิยมวิทยา ตามตารางที่ 4.3 หรือนำมาจัดให้อยู่ในลักษณะของฮิสโตแกรม ดังรูปที่ 4.2 และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และสูงสุด เท่ากับ 63 และ 89 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77 เปอร์เซนต์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.97 เปอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาตามระดับความเชื่อมั่นของความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บรวบรวมได้ โดยแบ่งระดับความเชื่อมั่นออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 85 หรือความชื้นสัมพัทธ์ 71.73 เปอร์เซนต์ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 หรือความชื้นสัมพัทธ์ 70.53 เปอร์เซนต์ และระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 หรือความชื้นสัมพัทธ์ 68.75 เปอร์เซนต์ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล ตามสมการที่ 4.2 ของคอนกรีตแต่ละสะพาน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ตามสมการที่ 2.11 สามารถคำนวณได้โดยการแทนค่ากำลังอัดคอนกรีตของแต่ละสะพานในหน่วย นิวตัน / มม.^{2} ได้โดยตรง

3. ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยมีจุดตรวจวัดอยู่ที่ชั้น 6 อาคาร 10 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2536 [25] ได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความลึกคาร์บอเนชั่นน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.9 ดังนั้นจึงใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีเป็นตัวแทนของข้อมูลนี้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 356

ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (ppmv) นั่นคือ ในอากาศ 1 ลบ.เมตร จะมีก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ 3.56×10^{-4} ลบ.เมตร จากสมการ

$$PV = nR_oT \qquad 4.3$$

โดย

P = ความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 1.01×10^5 นิวตัน / ม.^{2}

V = ปริมาตรของก๊าซ (ม.^{3})

n = จำนวนโมลของก๊าซ

R_o = ค่าคงที่ของก๊าซ มีค่าเท่ากับ 8.314 จูล / โมล·เคลวิน

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)

และจากข้อมูลการบันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเขตกรุงเทพมหานคร ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตามตารางที่ 4.4 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 27.8 องศาเซลเซียส ดังนั้น จากสมการที่ 4.3 จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในหน่วยโมล / ม.^{3} เท่ากับ 0.01437 โมล / ม.^{3}

4. <u>ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์</u>

จากสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของแต่ละสะพานที่ได้ หากกำหนดให้ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เท่ากับ 175 กก. / ม.^{3} จะได้ปริมาณซีเมนต์ ตามตารางที่ 4.2 ดังนั้น เมื่อทราบปริมาณของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตก่อนเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะสามารถคำนวณหาปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ได้จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 จากปริมาณของซีเมนต์ตามตารางที่ 4.2 และสัดส่วนของสารประกอบซีเมนต์ตามตารางที่ 2.1 โดยมวลโมเลกุลของไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต มีค่าเท่ากับ 228 และ 172 กรัม ตามลำดับ จะได้ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[Ca(OH)_2]$ คือ

$$[Ca(OH)_2] = \left[\frac{3}{2}\times\frac{0.49}{228}+\frac{1}{2}\times\frac{0.25}{172}\right]\times 1000\times \text{ปริมาณซีเมนต์ (โมล / ม.}^3\text{ ของคอนกรีต)} \qquad 4.4$$

และได้ปริมาณ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต [CSH] คือ

$$[CSH] = [\frac{1}{2}\times\frac{0.49}{228}+\frac{1}{2}\times\frac{0.25}{172}]\times 1000\times \text{ปริมาณซีเมนต์ (โมล / ม}^3\text{ ของคอนกรีต)} \quad 4.5$$

จากสมการที่ 2.18 และ 2.25 แสดงถึงสัดส่วนของการทำปฏิกิริยา ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ตามลำดับ นั่นคือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ใช้ทำปฏิกิริยา กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $[C_{CH}]$ คือ

$$[C_{CH}] = [Ca(OH)_2] \quad [\text{โมล / ม.}^3 \text{ ของคอนกรีต}] \quad 4.6$$

และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต $[C_{CSH}]$ คือ

$$[C_{CSH}] = 3[CSH] \quad [\text{โมล / ม.}^3 \text{ ของคอนกรีต}] \quad 4.7$$

ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาทั้งสองส่วน ของแต่ละสะพานได้แสดงในตารางที่ 4.2

5. <u>อุณหภูมิ</u>

Papadakis et. al. [26] กล่าวว่า ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความลึกคาร์บอเนชั่นมีผลน้อยมาก เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 65 เปอร์เซนต์ เนื่องจากอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นถูกควบคุมโดยการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะมีความไวต่ออุณหภูมิน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.10 นอกจากนี้ Cahyadi [7] ยังได้ทำการทดลองยืนยันว่าในสภาวะความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามธรรมชาติเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงซึ่งจะทำให้น้ำภายในคอนกรีตสูง ดังนั้นความสามารถในการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น และเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในเขตกรุงเทพมหานครมีค่าต่ำกว่า 65 เปอร์เซนต์ อยู่เพียง 3 เดือน จากข้อมูลการวัด 523 เดือน ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นถูกควบคุมโดยการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดความลึกคาร์บอเนชั่นน้อยมาก

6. สมการอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น

จากการคำนวณตัวแปรตามขั้นตอนข้างต้น เมื่อนำมาแทนค่าลงในสมการที่ 2.41จะได้

$$x = 1.2\times10^{-3}\times(0.63w-0.05)(1-\frac{RH}{100})\sqrt{\frac{2\times0.01437\times t}{[\frac{3}{2}\times\frac{0.49}{228}+\frac{1}{2}\times\frac{0.25}{172}]\times1000\times\frac{175}{w}}}$$

หรือ $$x = 43.45\times(0.63w-0.05)(1-\frac{RH}{100})\sqrt{wt} \qquad 4.8$$

4.3 อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีตของสะพานที่ทำการสำรวจ

สมการอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น ตามสมการที่ 2.29, 2.30, 2.31 และ 2.41 มีรูปแบบสมการ คือ

$$x = k\sqrt{t} \qquad 2.28$$

นำมาเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงล็อกการิทึม ได้ดังนี้

$$\log x = \frac{1}{2}\log t + \log k \qquad 4.9$$

และสามารถนำเสนอบนกราฟ log - log scale ได้ดังรูปที่ 4.11 - 4.14 ดังนั้น สมการทั้งหมดจะให้กราฟที่ขนานกัน แต่ตัดแกนต่างกันขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่พิจารณา เนื่องจากสะพานทั้งหมดอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน คือ ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ตัวแปรที่มีผลทำให้ความลึกคาร์บอเนชั่นของแต่ละสะพานมีค่าแตกต่างกัน คือ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อันจะมีผลต่อโครงสร้างภายในรูพรุนของเนื้อคอนกรีต และเป็นส่วนประกอบที่สามารถทำให้เกิดคาร์บอเนตได้

รูปที่ 4.11 - 4.14 แสดงความสัมพันธ์ ของความลึกคาร์บอเนชั่นกับเวลา โดยพิจารณาตามสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของแต่ละสะพาน เป็นการเปรียบเทียบค่าความลึกคาร์บอเนชั่นที่วัดได้

กับสมการที่ 2.29 สมการที่ 2.30 และ 2.31 สมการที่ 2.41 (CEB MODEL) ซึ่งพิจารณาตาม CEB MODEL CODE 1990 และสมการที่ 4.8 ตามลำดับ จากสมการที่ 2.29, 2.30 และ 2.31 ซึ่งเป็นสมการที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองของนักวิจัยในอดีต พบว่า ณ เวลาใด ๆ ความลึกคาร์บอเนชั่นจะขึ้นกับ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพียงอย่างเดียว แตกต่างจากสมการที่ 2.41 (CEB MODEL) และสมการที่ 4.8 ซึ่งมีที่มาจากกฎการแพร่ของฟิกค์ โดยจะขึ้นกับตัวแปรมากมาย ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล ส่วนประกอบของซีเมนต์ที่ทำให้เกิดคาร์บอเนต ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม สมการที่ 2.41 (CEB MODEL) และสมการที่ 4.8 จะมีความแตกต่างกันในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ โดยสมการที่ 2.41 (CEB MODEL) เหมาะสำหรับคอนกรีตที่เป็นคาร์บอเนตใต้ที่กำบังฝน ซึ่งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60 เปอร์เซนต์ สำหรับความลึกคาร์บอเนชั่นที่ได้จากสมการที่ 4.8 จะมีค่าถูกต้องเมื่อเลือกใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม และจากการวิเคราะห์ พบว่า สมการที่ 4.8 จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 68.75 เปอร์เซนต์ หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นของคอนกรีตของโครงสร้างสะพานคอนกรีตในเขตกรุงเทพมหานคร ที่เหมาะสมคือ

$$x = 13.58 \times (0.63w - 0.05)\sqrt{wt} \qquad 4.10$$

จากความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.11 - 4.14 พบว่า ค่าความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยจากการวัดจะมีค่าเข้าใกล้ค่าความลึกคาร์บอเนชั่นที่ได้จากสมการที่นำเสนอเมื่อสะพานมีอายุมากขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าว สามารถอธิบายได้โดยผลสรุปของ Cahyadi [7] คือ ความชื้นที่อยู่ลึกจากผิวคอนกรีตจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากมีผลทำให้การเกิดคาร์บอเนชั่นที่ชั้นในของคอนกรีตอยู่ในสถานะคงที่ แต่บริเวณชั้นนอกของคอนกรีตซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะมีความแปรปรวนสูงกว่า ทำให้ค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าสมการที่นำมาใช้เปรียบเทียบทุกสมการ โดยสมการที่กำหนดโดย CEB MODEL CODE 1990 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จะให้ค่าที่ใกล้เคียงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่นหรืออาจเป็นไปได้ว่าสะพานทั้งหมดมีความลึกคาร์บอเนชั่นตั้งแต่เริ่มแรก (Initial depth) โดยสังเกตได้จากสะพานที่มีอายุ 1 ปี เกิดความลึกคาร์บอเนชั่น 5.9 มม. ซึ่งเป็นความลึกประมาณ 1 ใน 4 ของความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยสูงสุดที่วัดได้ ความลึกคาร์บอเนชั่นเริ่มแรกนี้อาจเป็นผลจากเนื้อคอนกรีตชั้นนอกมีคุณภาพต่ำกว่าเนื้อคอนกรีตที่อยู่ลึกเข้าไป Tuutti [6] กล่าวว่า โครงสร้างที่บางจะมีสถานะความชื้นที่มีความแปรปรวนมากกว่าโครงสร้างที่หนา และจะทำให้มีโอกาสเกิดคาร์บอเนชั่นสูงกว่าด้วย และจากผลการเปรียบเทียบของ Tuutti พบว่า ให้ผลที่

คล้ายคลึงกับงานวิจัยนี้ คือ จะมีความแตกต่างกันมากระหว่างความลึกคาร์บอเนชั่นที่วัดได้กับแบบจำลองตามสมการที่ 4.9 ในช่วง 2 ปีแรก ดังนั้นสมการที่สอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ น่าจะอยู่ในรูปของ

$$x = k\sqrt{t} + x_i \qquad 4.11$$

โดย

x = ความลึกคาร์บอเนชั่นที่เวลาใด ๆ
x_i = ความลึกคาร์บอเนชั่น ที่เวลา $t = 0$
k = ค่าคงที่ของอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น
t = เวลาที่เกิดคาร์บอเนชั่น

Cahyadi [7] กล่าวว่า ในสภาพธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงความลึกคาร์บอเนชั่นตามสมการ $x = k\sqrt{t} + x_i$ มีความเหมาะสมมากกว่า $x = k\sqrt{t}$ และเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความลึกคาร์บอเนชั่น พบว่าการเปลี่ยนแปลงความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยที่ได้จากการวัดมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้อยตามกับความลึกคาร์บอเนชั่นที่ได้จากสมการที่นำมาใช้เปรียบเทียบ คือ หากทุกสะพานตัวอย่างมีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน ความลึกคาร์บอเนชั่นที่เกิดขึ้น จะเพิ่มขึ้นตามอายุของสะพาน แต่ถ้าแต่ละสะพานตัวอย่างมีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์แตกต่างกันเมื่ออายุสะพานมากขึ้น จะยากที่จะทำนายได้ว่าความลึกคาร์บอเนชั่นของสะพานใดจะมีค่ามากน้อยกว่ากัน แต่จากสมการอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นที่นำเสนอ ทุกสมการจะมีการเรียงลำดับความมากน้อยของความลึกคาร์บอเนชั่นที่เป็นสัดส่วนกับสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ สะพานที่มีค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากจะให้เส้นกราฟที่อยู่เหนือเส้นกราฟของสะพานที่มีค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อย และเมื่อพิจารณาความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยที่ได้จากการวัด พบว่าการเรียงลำดับความมากน้อยของความลึกคาร์บอเนชั่นเฉลี่ย มีการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยตามสมการดังกล่าว ตามสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วย

Tuutti [6] กล่าวว่า การเปรียบเทียบค่าความลึกที่วัดได้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่ยอมรับได้ดี เมื่อสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ มีค่าค่อนข้างมาก (ประมาณ 0.55 - 0.80) แต่ถ้า

สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำมาก ความลึกที่วัดได้จะมีการกระจายสูง ซึ่งจากงานวิจัยนี้ พบว่า ความลึกคาร์บอเนชั่นที่ได้จากสะพานที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.44 จะมีความแตกต่างจากสมการที่นำมาใช้เปรียบเทียบเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างความลึกคาร์บอเนชั่นที่วัดได้กับสมการที่นำเสนออาจเป็นผลจากการวัดความลึกคาร์บอเนชั่นที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากค่าความลึกที่วัดได้จากการใช้สารเคมีฟีนอลฟธาลีน จะให้ผลการทดสอบ มีลักษณะเป็นแนวขอบที่ชัดเจน ซึ่งการปรากฏสีจะเกิดขึ้นเมื่อมีค่า pH สูงกว่าค่า pH ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของฟีนอลฟธาลีนที่นำมาใช้ แต่ในความเป็นจริง ความลึกดังกล่าว จะมีลักษณะเป็นช่วงความลึก

จากค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ทำการวัดได้จากสะพานตัวอย่าง สามารถแบ่งอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นตามคุณภาพของคอนกรีตได้ ดังนี้

1. คอนกรีตกำลังต่ำ ได้แก่ คอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่เกิน 200 กก./ซม.^{2} จะมีอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นประมาณ 4.4 มม./$\sqrt{\text{ปี}}$

2. คอนกรีตกำลังปานกลาง ได้แก่ คอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน อยู่ระหว่าง 200-300 กก./ซม.^{2} จะมีอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นประมาณ 3.5 มม./$\sqrt{\text{ปี}}$

3. คอนกรีตกำลังค่อนข้างสูง ได้แก่ คอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน อยู่ระหว่าง 300-400 กก./ซม.^{2} จะมีอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นประมาณ 2.4 มม./$\sqrt{\text{ปี}}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย