บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนวทางการออกแบบ

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาการคำนวณออกแบบที่สภาวะสุดขีด ตามปัจจัยและสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำการวิเคราะห์ และ สามารถสรุปผล เพื่อนำเสนอเป็นโมเดลสำหรับการออกแบบ ได้ดังนี้

6.1 วัสดุและกำลังของวัสดุ

1. อัตราส่วนกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกต่อของตัวอย่างรูปลูกบาศก์ มีค่า 0.80 เมื่อกำลังของคอนกรีตมีค่าไม่เกิน 500 กก./ซม.^{2} และจะเพิ่มขึ้นตามกำลังอัดของคอนกรีต และมีค่า 0.89 เมื่อคอนกรีตมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 800 กก./ซม.^{2}

2. กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต f_{cm} มีค่าเท่ากับ $f_{ck}+1.64\sigma$ เมื่อ f_{ck} คือกำลังอัดประลัย และ σ คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงกับกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ $f_{ct}=1.77(f_{ck})^{0.50}$ และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสแตกร้าวกับกำลังอัดของคอนกรีต เท่ากับ $f_r=1.98(f_{ck})^{0.50}$

4. พฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีตรับแรงอัดในแนวแกนจะมีรูปร่างเป็นเส้นโค้ง โดยที่คอนกรีตกำลังสูงจะมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดที่เป็นเชิงเส้นมากกว่าและเริ่มเบี่ยงเบนจากการเป็นเส้นตรงที่หน่วยแรงสูงกว่าคอนกรีตกำลังต่ำ และคอนกรีตกำลังสูงจะมีค่าความเครียดที่หน่วยแรงสูงสุดมากกว่าคอนกรีตกำลังต่ำ อีกทั้งคอนกรีตกำลังสูงจะมีความชันของส่วนที่ลาดขึ้นของเส้นโค้งมากกว่าคอนกรีตกำลังต่ำ ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปสมการ

$$f_c=f_{ck}\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\frac{n}{n-1+\left(\varepsilon_c/\varepsilon_o\right)^{nk}}$$

โดยที่

$k=1$ เมื่อ $\varepsilon_c/\varepsilon_0 \le 1$

และ $$k=0.67+\frac{f_{ck}}{630} \qquad \text{เมื่อ } \varepsilon_c/\varepsilon_0 \geq 1$$

$$n=0.80+\frac{f_{ck}}{175}$$

สำหรับคอนกรีตที่ความหนาแน่นปกติค่าความเครียดที่หน่วยแรงสูงสุดจะหาได้จาก

$$\varepsilon_0=\frac{f_{ck}}{E_c}\frac{n}{n-1}$$

5. โมดูลัสยืดหยุ่น E_c มีค่าเท่ากับ $10600\sqrt{f_{ck}}+70000$

6. อัตราส่วนปัวส์ซอง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเครียดด้านข้างกับความเครียดในแนวแกน โดยสำหรับคอนกรีตทั่วไป อาจจะพิจารณาใช้อัตราส่วนปัวส์ซอง เท่ากับ 0.20

7. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1 โดยที่ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น ของเหล็กเสริม (E_s) มีค่าเท่ากับ 2.04 x10^6 กก./ซม.^{2} และ อัตราส่วนปัวส์ซองมีค่าเท่ากับ 0.3 ซึ่งอาจจะพิจารณาใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปแบบที่ง่ายขึ้นในลักษณะเส้นตรงสองเส้น (Bi-linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และกำหนดให้ความเครียดสูงสุดของเหล็กเสริมอยู่ที่ 0.01 มม./มม.

<u>6.2 ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก และ ส่วนประกอบปลอดภัยของวัสดุ</u>

1. ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ (γ_G) จากการวิเคราะห์ มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะพิจารณาค่าขอบเขตบนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ได้เท่ากับ $1.10+\frac{50}{DL}$ และอาจจะพิจารณาใช้ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ในกรณีทั่วไปได้ เท่ากับ 1.30

2. ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกจร (γ_Q) มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ ซึ่งอาจจะพิจารณาค่าขอบเขตบนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ได้เท่ากับ $1.305+\frac{51}{DL}$ และ อาจจะพิจารณาใช้ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกจร ในกรณีทั่วไปได้ เท่ากับ 1.70

3. ส่วนประกอบปลอดภัยของคอนกรีต (γ_c) มีแนวโน้มลดลงตามกำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกับ ค่าความแปรปรวนของกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งอาจจะพิจารณาขอบเขตบนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ได้เท่ากับ $2.49 - 0.002f_{ck}$ และอาจจะพิจารณาใช้ค่าส่วนส่วนประกอบปลอดภัยของคอนกรีต ในกรณีทั่วไปได้เท่ากับ 1.73

4. ส่วนประกอบปลอดภัยของเหล็กเสริม (γ_s) มีแนวโน้มลดลงตามกำลังครากของเหล็กเสริมซึ่งอาจจะพิจารณาขอบเขตบนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ได้เท่ากับ $0.925 + \frac{900}{f_{yk}}$ และอาจจะพิจารณาใช้ค่าส่วนประกอบปลอดภัยของเหล็กเสริม ในกรณีทั่วไปได้เท่ากับ 1.16

5. สำหรับตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก ในการวิเคราะห์ที่ภาวะสุดขีดบริการ อาจจะใช้ค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับส่วนประกอบปลอดภัยของวัสดุก็จะใช้ค่าเท่ากับ 1 เช่นกัน

<u>6.3 ภาวะสุดขีดประลัย</u>

1. โมเดลของการกระจายหน่วยแรงอัดในคอนกรีตในการพิจารณากำลังที่ใช้ออกแบบจะทำได้โดยการแทนค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_{ck}) ในสมการความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียด ด้วยค่ากำลังออกแบบ (f_{cd}) และโมเดลของหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมก็จะทำได้โดยการแทนค่ากำลังคลากประลัย (f_{yk}) ด้วยค่ากำลังออกแบบ (f_{yd}) โดยโมเดลของค่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีต จะมีการกระจายหนาแน่นในช่วง 0.0025-0.0040 จากการวิเคราะห์ จะพบว่าความเครียดสูงสุด ε_u มีค่าเท่ากับ $0.0035 - 5.9x10^{-7} f_{ck}$ เมื่อ f_{ck} คือ ค่ากำลังอัดประลัยรูปทรงกระบอกของคอนกรีต (กก./ซม^2) ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าความเครียดสูงสุดของคอนกรีตจะลดลงตามกำลังอัดของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

2. การพิจารณาการกระจายของหน่วยแรงอัดในหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กในการออกแบบ อาจใช้การกระจายหน่วยแรงอัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสมือน โดยมีความลึก ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า α เท่ากับ $0.89 - \frac{f_{ck}}{4950}$ และความกว้าง 0.85 ซึ่งจากการตรวจสอบผลการตรวจสอบกำลังรับแรงดัด โดยการวิเคราะห์เชิงพฤติกรรมในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง พบว่า ค่าโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง ที่ได้จากการประมาณการกระจายหน่วยแรงอัดในหน้าตัดคอนกรีต ในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้การกระจายหน่วยแรงอัดจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 1-3 % เท่านั้น สำหรับอัตราส่วนของเหล็กเสริมสูงสุดอาจจะใช้ค่าเท่ากับ $\rho_{max} = \left[0.4070 - 0.1120\frac{f_{ck}}{f_{yk}}\right]\rho_b$ และอัตราส่วนเหล็กเสริมต่ำสุดเท่ากับ $\rho_{min} = 0.522\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$

3. กำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กในการออกแบบเท่ากับ

$$v_c=0.712\sqrt{f_{cd}}+180\rho\frac{Vd}{M}$$ สำหรับคอนกรีตกำลังปกติ (f_{ck} < 500 กก/ซม^2)

และ

$$v_c=0.6\sqrt{f_{cd}}+416\rho\frac{Vd}{M}$$ สำหรับคอนกรีตกำลังสูง (f_{ck} > 500 กก/ซม^2)

โดยอาจจะพิจารณาใช้ค่าที่ขอบเขตล่างเท่ากับ

$$v_c=0.5\sqrt{f_{cd}}+176\rho\frac{Vd}{M}\le 0.926\sqrt{f_{cd}}$$ สำหรับคอนกรีตกำลังปกติ

และ

$$v_c=0.42\sqrt{f_{cd}}+416\rho\frac{Vd}{M}$$ สำหรับคอนกรีตกำลังสูง

ทั้งนี้อาจจะพิจารณาใช้สมการ $v_c=0.53\sqrt{f_{cd}}$ เป็นขอบเขตล่างของชุดสมการดังกล่าวได้อีกด้วย

ในส่วนของคานลึก(Deep Beam) ซึ่งอาจจะพิจารณาค่าอัตราส่วน l_n/d น้อยกว่า 5 ให้เพิ่มตัวคูณ $(3.5-2.5\frac{M}{Vd})\le 2.5$ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกริยา Arch Action คูณเข้ากับชุดสมการข้างต้น และ ในชิ้นส่วนที่รับทั้งแรงเฉือนและแรงอัด ให้แทนค่า M ด้วย $M+\beta Nd$ เมื่อ $\beta=1-(h/2d)-j$

และจากกลไกการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเหล็กปลอกและกลไกของโครงข้อหมุนในการรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก ซึ่งสามารถทำการรวมกัน (Superimposed) ระหว่างปฏิกริยาทั้ง 2 แบบ จะได้กำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอก โดยเมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกถึงจุดวิบัติความเครียดของเหล็กปลอกจะถึงจุดคลาก เมื่อเหล็กปลอกตั้งฉากกับความยาวคาน และสมมุติให้รอยแตกร้าวแนวทะแยงทำมุม 45 องศากับความยาวคาน จะได้

$$v_n=v_c+rf_{yw}$$ โดยที่ $r=\frac{A_v}{bS}$

4. สมการสำหรับคำนวณค่าหน่วยแรงเฉือนลองทางคือ

$$v_c=\left(\frac{(c_1+c_2)+8d}{(c_1+c_2)+2d}\right)0.12\xi(10\rho f_{cd})^{1/3}$$

โดยที่ $\xi=1+\sqrt{(200/d)}$ และ $\rho=\sqrt{\rho_x \rho_y}$ และหน้าตัดวิกฤตจะกำหนดไว้ที่ระยะ d/2 จากขอบเสา

สำหรับค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดที่เสริมเหล็กปลอกมีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กปลอก รวมกับกำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก โดยที่

$$V_n=\frac{V_c}{2}+V_s \leq V_c$$

เมื่อ V_c คือกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดที่ไม่เสริมเหล็กปลอก V_s คือกำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก มีค่าเท่ากับ $V_s=\frac{A_v f_{yw} d}{S}$ โดยหน้าตัดวิกฤตจะอยู่ที่ระยะ d/2 จากเหล็กปลอกตัวนอกสุด

5. ในส่วนกำลังรับแรงบิดของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้โมเดลโดยอาศัยทฤษฎีของ Thin Walled Tube หรือ Space Truss Analogy เป็นตัวอธิบาย ซึ่งจะได้กำลังรับแรงบิดของหน้าตัดเท่ากับ

$$T_n=\frac{2A_o A_t f_{yv}}{s}\delta\cot\theta$$

เมื่อ θ มีค่าอยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 องศา ซึ่ง ACI แนะนำให้ใช้ค่า θ = 45 องศา สำหรับหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้นจะได้สมการรับแรงบิดเท่ากับ

$$T_n=\frac{2A_o A_t f_{yv}}{s}\delta$$

โดย $\delta=1$ สำหรับหน้าตัดรูปวงกลม และ $\delta=1.0-0.25b_x/b_y$ สำหรับหน้าตัดคานรูปสี่เหลี่ยมใดๆ เมื่อ b_x คือด้านที่แคบกว่า และ b_y คือด้านที่กว้างกว่า

6. กำลังอัดของคอนกรีตในเสาเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดทดสอบรูปทรงกระบอก ค่า k_3 จะลดลงเมื่อคอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ผลทดสอบจะได้ค่า

$$k_3=0.60+\frac{100}{f_{ck}}\leq 0.85$$

การวิเคราะห์เชิงพฤติกรรมของหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักในแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด ในรูปของเส้นโค้ง Interaction Curve โดยใช้การกระจายหน่วยแรงอัดในหน้าตัดของการกระจายหน่วยแรงอัดรูปสี่

เหล่ียมเปรียบเทียบกับการกระจายหน่วยแรงจริงโดยพบว่าการใช้การกระจายหน่วยแรงอัดในหน้าตัดของการกระจายหน่วยแรงอัดรูปสี่เหลี่ยมตามที่เสนอให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงเมื่อ เปรียบเทียบกับการกระจายหน่วยแรงจริง

สำหรับการออกแบบเสายาวอาจจะพิจารณาใช้วิธีของตัวขยายโมเมนต์ตามวิธีการที่ใช้ใน ACI318-95 ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้จากการปรับปรุงการวิเคราะห์โมเมนต์อันดับที่สองเพื่อทำให้ง่ายต่อการออกแบบ

7. ระยะพัฒนากำลังพื้นฐาน (Basic Development Length) ของเหล็กเสริมเท่ากับ

$$l_{db}=0.20d_b\frac{f_y}{\sqrt{f_{ck}}}$$

อย่างไรก็ตาม ค่าระยะพัฒนากำลังของเหล็กเสริมจำเป็นต้องมีแฟคเตอร์เนื่องจากปัจจัยอื่นๆคูณเข้ากับสมการของ ระยะพัฒนากำลังพื้นฐานของเหล็กเสริม ซึ่งอาจจะต้องให้ความสำคัญและศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยเหล่านั้นต่อไป

<u>6.4 สภาวะสุดขีดบริการ</u>

1. การคำนวณหาการโก่งตัวของคานโดยการคำนวณหาการโก่งตัวทันทีทันใดจะกำหนดให้ใช้ ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียประสิทธิผล I_e ในรูปของ

$$I_e=\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g+\left[1-\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right]I_{cr}\le I_g$$

โดยที่

$$M_{cr}=\frac{f_r I_g}{y_t}$$

สำหรับการโก่งตัวระยะยาวได้อาศัยการศึกษาจากข้อมูลผลทดสอบโดยกำหนดให้การโก่งตัวในระยะยาว Δ_l เป็นผลรวมเนื่องจากผลของการหดตัวและการคืบซึ่งจะคำนวณโดยคูณการโก่งตัวทันทีทันใด Δ_i ด้วยตัวคูณ λ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\lambda=\frac{\xi}{1+50\rho'}$$

โดยที่ ξ คือสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับเวลาโดยรวมผลของการหดตัวและการคืบของคอนกรีตซึ่งแสดงไว้ดังในรูปที่ 5.4 และ $1/(50+\rho')$ เป็นตัวคูณในผลของเหล็กเสริมรับแรงอัด

สำหรับความยาวช่วงต่อการโก่งตัวสูงสุด $(l/a)_{lim}$ มีค่าอยู่ระหว่าง 180 ถึง 360 โดยอาจจะพิจารณาใช้ค่า $(l/a)_{lim}$ ประมาณ 300 สำหรับกรณีทั่วไป และมีค่าไม่เกิน 250 สำหรับแผ่นพื้นไร้คาน

2. พิกัดควบคุมการแตกร้าว ในกรณีที่ไม่มีความต้องการที่กำหนดไว้อาจจะสมมุติความกว้างสูงสุดของรอยแตกร้าว ที่ 0.30 มม. สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปที่เปิดเผยต่อสภาวะแวดล้อมปกติถึงปานกลาง และสำหรับชิ้นส่วนที่อยู่ภายในและไม่เปิดเผยต่อสภาพแวดล้อมเท่ากับ 0.41 มม.

3. ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง อาจจะพิจารณาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางพลศาสตร์ (Dynamic Structural Analysis) หรือใช้สมการสำหรับประมาณค่าความถี่ธรรมชาติจากความสัมพันธ์ของระยะโก่งตัวทางสถิตย์ไว้ดังนี้

$$f=5.57\sqrt{\frac{1}{\Delta_{ls}}}$$

ค่าความถี่ธรรมชาติระหว่าง1.6 ถึง 2.4 เฮิร์ซ และ 3.5 ถึง 4.5เฮิร์ซ ควรจะต้องหลีกเลี่ยงใน โครงสร้างสำหรับคนเดินเท้า และ จักรยาน โดยที่นักวิ่งสามารถทำให้เกิดค่าความถี่ธรรมชาติในโครงสร้างระหว่าง 2.4 ถึง 3.5เฮิร์ซ ได้

4. การวิบัติในลักษณะของความล้าในโครงสร้างจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อโครงสร้างนั้นจำเป็นต้องรับน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Loading) ซึ่งโดยทั่วไปการวิบัติลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ (1) รอบของน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นวัฏจักรเกิน 1 ล้านรอบ และ (2) การเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงในเหล็กเสริมมีค่าเกิน 1400 กก./ซม^2 หน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นวัฏจักร ที่รอบของวัฏจักรไม่เกิน 10 ล้านรอบ มีค่า เท่ากับ $0.45f_{ck}$ และ ค่าความแตกต่างของหน่วยแรงของเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักบรรทุกแบบเป็นวัฏจักร f_r เท่ากับ $f_r=1638-0.33f_{min}$

5. การพิจารณาเรื่องการทนไฟของโครงสร้างหรือองค์อาคารมีความจำเป็นจะต้องพิจารณาในการใช้งานของโครงสร้าง แม้ว่าโครงสร้างหรือชิ้นส่วนนั้นๆ จะไม่มีความจำเป็นจะต้องออกแบบให้รับสภาวะที่อุณหภูมิสูงก็ตาม แต่จะเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติได้อย่างรวดเร็วหากเกิดไฟไหม้ขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นๆ โดยทั่วไปในทางการออกแบบสามารถพิจารณาได้ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ จากตาราง หรือ กราฟที่ใช้

ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 5.11-5.13 ในบทที่5 จากการทดสอบ และ โดยการคำนวณซึ่งอาจจะทำได้เฉพาะเพียงการคำนวณชิ้นส่วนที่รับแรงดัดเท่านั้น

6. สัมประสิทธิ์การคืบประลัย C_{cu} จะมีการแปรค่าในช่วงกว้าง มีค่ากระจายในช่วงระหว่าง 1.30 ถึง 4.15 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.35 ซึ่งอาจจะพิจารณาใช้ดังกล่าวได้หากไม่มีข้อมูลที่บ่งชี้ได้แน่นอนค่าความเครียดเนื่องจากการหดตัว $\varepsilon_{sh,u}$ จะมีความแปรเปลี่ยนมากแต่โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.0002 ถึง 0.0006 แต่ในบางครั้งอาจสูงถึง 0.0010 สำหรับค่า $\varepsilon_{sh,u}$ จะมีการแปรค่าในช่วงกว้าง $\varepsilon_{sh,u}$ มีค่ากระจายในช่วงระหว่าง 0.000415 ถึง 0.00107 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.00080 สำหรับคอนกรีตที่ถูกบ่มด้วยความชื้น ซึ่งอาจจะพิจารณาใช้ดังกล่าวได้หากไม่มีข้อมูลที่แน่นอน สำหรับคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมชนิดต่างๆจะให้การคืบตัวและการหดตัวแตกต่างกัน โดยหินทรายมีการคืบตัวและการหดตัวสูงสุด รองลงไปได้แก่ หินแอนดีไซต์ แกรนิต บะซอลต์ กรวด และหินปูน ตามลำดับ

7. ปัจจัยที่มีผลต่อความทนทานของคอนกรีตที่สำคัญคือการส่งผ่านของน้ำในเคอนกรีต โดยกระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการทำลายทางเคมีที่สำคัญ และ พบมากได้แก่ ปฏิกริยาระหว่างอัลคาไลน์และมวลรวม ปฏิกริยาการซึมและการขึ้นเกลือ ปฏิกริยาคาร์บอเนชัน การทำลายโดยซัลเฟต การทำลายโดยกรด การกัดกร่อนเหล็กเสริม และกระบวนการเสื่อมสภาพที่เกิดจากการทำลายทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่การแข็งตัวและการละลาย การเปียกและการแห้ง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การสึกและการถูกขัดสี สำหรับการทำให้คอนกรีตมีความทนทานได้แก่ เลือกวัสดุที่มีคุณภาพ กำหนดสัดส่วนการผสมที่ถูกต้อง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อคอนกรีตให้น้อยกว่า 0.50 โดยอาจจะเติมสาร CSF (Condensed Silicafume) เล็กน้อยประมาณ 5 % จะทำให้คอนกรีตมีกำลังที่ดีขึ้นและมีเสถียรภาพ ระยะหุ้มของเหล็กเสริมต้องเพียงพอคือไม่น้อยกว่า 50 มม. หรืออาจจะใช้การเคลือบผิวของเหล็กเสริมด้วยซีเมนต์ หรือ ด้วยอีพอกซี่ ก่อนสำหรับเหล็กเสริมที่มีระยะหุ้ม 30-50 มม. และ น้อยกว่า 30 มม. ตามลำดับ และควรควบคุมอุณหภูมิในขณะทำปฏิกริยาให้เหมาะสม โดยอาจใช้น้ำแข็งเป็นส่วนผสมแทนน้ำบางส่วนเพื่อลดอุณหภูมิในขณะทำปฏิกริยา ซึ่งน้ำแข็งปริมาณ 8 กก/ม^3 สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

6.5 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นเพียงการรวบรวมศึกษาโดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเน้นข้อมูลที่ได้ทำการวิจัยตามปัจจัยและสภาพแวดล้อมในประเทศไทยเป็นอันดับแรก จากการศึกษารวบรวมข้อมูลดังกล่าวพบว่าข้อมูลที่ค้นได้ในประเทศยังมีอยู่น้อย โดยในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวม วิเคราะห์ และ สรุปผลตามข้อมูลเท่าที่จะค้นหาได้ ซึ่งเป็นการเสนอแนวทางสำหรับโมเดลในการออกแบบในสภาวะสุดขีด เป็นเบื้องต้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากภายหลังมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม ก็อาจจะมีการปรับปรุงโมเดลเหล่านั้นให้สอดคล้องตามข้อมูลใหม่ได้ทั้งนี้โดยอาศัยหลักการที่ได้นำเสนอมาแล้วเป็นแนวทางการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป