

## การคำนวณเพื่อติดตั้ง TMP Concrete Anode

ตามมาตรฐาน ISO 12696:2012 Cathodic Protection of Steel in Concrete ได้กำหนดค่าความหนาแน่นกระแสเพื่อป้องกันสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่ใช้งานในสภาวะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- เหล็กเสริมใหม่ที่ยังไม่เป็นสนิม	0.2 – 2.0	mA/m <sup>2</sup> (Cathodic Prevention)
- เหล็กเสริมเก่าที่เป็นสนิมแล้วและไม่มี Coating	2.0 – 20.0	mA/m <sup>2</sup> (Cathodic Protection)
- เหล็กเสริมในคอนกรีตที่ไม่ปนเปื้อนคลอไรด์	0.2 – 2.0	mA/m <sup>2</sup> (Cathodic Prevention)
- เหล็กเสริมในคอนกรีตที่ปนเปื้อนคลอไรด์	2.0 – 20.0	mA/m <sup>2</sup> (Cathodic Protection)

### 1. การคำนวณหา Steel Density Ratio (SDR)

การกำหนดขนาด จำนวน และระยะห่างของก้อน Concrete Anode ต้องเริ่มจากการคำนวณหาอัตราส่วนความหนาแน่นของเหล็กเสริม (SDR) ซึ่งในกรณีของการป้องกันสนิมนั้นคืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของเหล็กเสริมต่อพื้นที่ผิวของคอนกรีตในบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมและต้องการจะติดตั้ง Concrete Anode

$$\text{Steel Density Ratio} = \frac{\text{พื้นที่ผิวของเหล็กเสริมภายในคอนกรีตที่ต้องการป้องกันสนิม}}{\text{พื้นที่ผิวของคอนกรีตบริเวณที่ต้องการป้องกันสนิม}}$$

### 2. การคำนวณหาขนาด จำนวน และระยะห่างของก้อน Concrete Anode

$$\text{น้ำหนักสังกะสีกักร่อน (g)} = \frac{[(i_1 \times Y_1) + (i_{2 \rightarrow n} \times Y_{n-1})] \times 8,760 \times A_c \times \text{SDR} \times 1,000}{\epsilon_{Zn}}$$

โดย  $i_1$  = ความหนาแน่นของกระแสในปีที่ 1 (A/ m<sup>2</sup>)

$i_{2 \rightarrow n}$  = ความหนาแน่นของกระแสในปีที่ 2 ต้นไป (A/ m<sup>2</sup>)

$n$  = จำนวนปีในการออกแบบเพื่อป้องกันสนิม

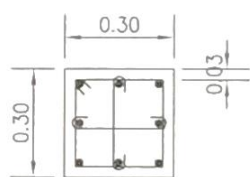
$Y_1$  = 1 สำหรับการป้องกันในปีแรก

$Y_{n-1}$  = จำนวนปีตั้งแต่ปีที่ 2 เป็นต้นไป เช่น ระยะเวลาป้องกัน 10 ปี จะได้  $Y_{n-1} = 9$

$A_c$  = พื้นที่ผิวของคอนกรีตในบริเวณที่จะติดตั้ง Concrete Anode (m<sup>2</sup>)

$\epsilon_{Zn}$  = ค่าความจุกระแสของสังกะสีกักร่อน คือ 780 Ah/kg

ตัวอย่างที่ 1 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสร้างใหม่ขนาด 30 × 30 cm สูง 1 m



8-DB16  
3ป-RB9@0.20

จากรูปตัวอย่างมีรายละเอียดของเหล็กเสริมดังต่อไปนี้

1. เหล็กข้ออ้อยขนาด 16 mm ยาว 1 m จำนวน 8 เส้น
2. ปลอกเหล็กเส้นสำหรับรัดเหล็กข้ออ้อยขนาด 9 mm จำนวน 3 เส้น ยาวประมาณ 30, 30 และ 120 cm และปลอกัดเหล็กข้ออ้อยมีระยะห่างทุก 0.2 m

$$\text{Steel Density Ratio} = \frac{[8 \times 3.14 \times (\frac{16}{1,000}) \times 1] + 5 \{ [2 \times 3.14 \times (\frac{9}{1,000}) \times (\frac{30}{100})] + [1 \times 3.14 \times (\frac{9}{1,000}) \times (\frac{120}{100})] \}}{4 \times 0.3 \times 1}$$

$$= 0.447$$

ในช่วงปีแรกของการติดตั้ง Concrete Anode เหล็กเสริมจะมีความต้องการกระแสมากที่สุดเพื่อทำให้เกิด Cathodic Prevention ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในช่วงปีแรกจึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสสำหรับเหล็กเสริมไว้ที่  $2 \text{ mA/m}^2$  และในปีถัดไปความต้องการกระแสก็จะลดลงไปที่ค่าต่ำสุดตามมาตรฐานของเหล็กเสริมใหม่ที่ยังไม่เป็นสนิมคือ  $0.2 \text{ mA/m}^2$  แต่ในความเป็นจริงคอนกรีตมักมีการปนเปื้อนคลอไรด์จากภายนอกไม่มากนักน้อย ดังนั้นค่าความหนาแน่นของกระแสที่เหมาะสมสำหรับปีที่ 2 เป็นต้นไปจึงควรกำหนดไว้ที่  $1 \text{ mA/m}^2$

จากการคำนวณได้พื้นที่ผิวเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก  $1.2 \text{ m}^2$  มีค่า SDR 0.447 และหากต้องการป้องกันสนิมด้วยระบบ Cathodic Protection เป็นระยะเวลา 10 ปี จะได้

$$\text{น้ำหนักสังกะสีกักร่อน (m}_{Zn}) = \frac{[(0.002 \times 1) + (0.001 \times 9)] \times 8,760 \times 1.2 \times 0.447 \times 1,000}{780}$$

$$= 66.27 \text{ g}$$

จากน้ำหนักสังกะสีกักร่อนที่คำนวณได้เมื่อนำมาหารด้วยน้ำหนักของสังกะสีกักร่อนใน Concrete Anode แต่ละรุ่นจะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

รุ่น	น้ำหนักสังกะสี (g)	จำนวนก้อน	
		ต่อพื้นที่คอนกรีตจริง	ต่อพื้นที่คอนกรีต $1 \text{ m}^2$
CR60 หรือ CB60	60	1.10	0.92
CR100 หรือ CB100	100	0.66	0.55
CR160 หรือ CB160	160	0.41	0.35

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากตาราง จึงควรติดตั้ง Concrete Anode รุ่น CR60 หรือ CB60 จำนวน 2 ก้อนที่บริเวณความสูง 0.5 m ของเสา โดยติดตั้งที่ด้านใดด้านหนึ่งของเสาจำนวน 1 ก้อน และด้านตรงข้ามอีก 1 ก้อน ตัวอย่างที่ 2 งานซ่อมพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเก่าขนาด  $2 \times 2 \text{ m}$  ที่มีปัญหาเหล็กเสริมเป็นสนิมและมีรายละเอียดของเหล็กเสริมแต่ละด้านคือ 10-DB16@0.20

$$\text{Steel Density Ratio} = \frac{[10 \times 3.14 \times (\frac{16}{1,000}) \times 2] + [10 \times 3.14 \times (\frac{16}{1,000}) \times 2]}{2 \times 2}$$

$$= 0.503$$

เหล็กเสริมที่เป็นสนิมแล้วจะมีความต้องการกระแสเพื่อป้องกันสนิมมากกว่าเหล็กใหม่เป็นอย่างมาก ดังนั้นในช่วงปีแรกของการติดตั้ง Concrete Anode จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสที่ค่าสูงสุดตาม

มาตรฐานคือ  $20 \text{ mA/m}^2$  และในปีถัดไปความต้องการกระแสจะลดลงไปที่ค่าต่ำสุดตามมาตรฐาน ดังนั้นค่าความหนาแน่นกระแสที่เหมาะสมสำหรับปีที่ 2 เป็นต้นไปจึงควรกำหนดไว้ที่  $2 \text{ mA/m}^2$

จากการคำนวณได้พื้นที่ผิวของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก  $4 \text{ m}^2$  มีค่า SDR 0.503 และหากต้องการป้องกันสนิมด้วยระบบ Cathodic Protection เป็นระยะเวลา 10 ปี จะได้

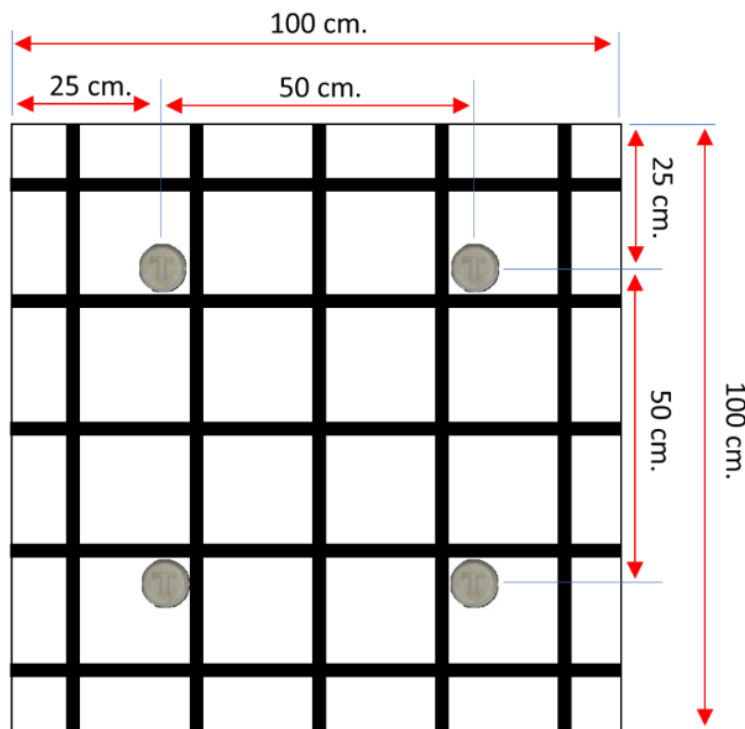
$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสังกะสีกักร่อน (m}_{Zn}) &= \frac{[(0.020 \times 1) + (0.002 \times 9)] \times 8,760 \times 4 \times 0.503 \times 1,000}{780} \\ &= 858.66 \text{ g} \end{aligned}$$

จากน้ำหนักสังกะสีกักร่อนที่คำนวณได้เมื่อนำมาหารด้วยน้ำหนักของสังกะสีกักร่อนใน Concrete Anode แต่ละรุ่นจะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

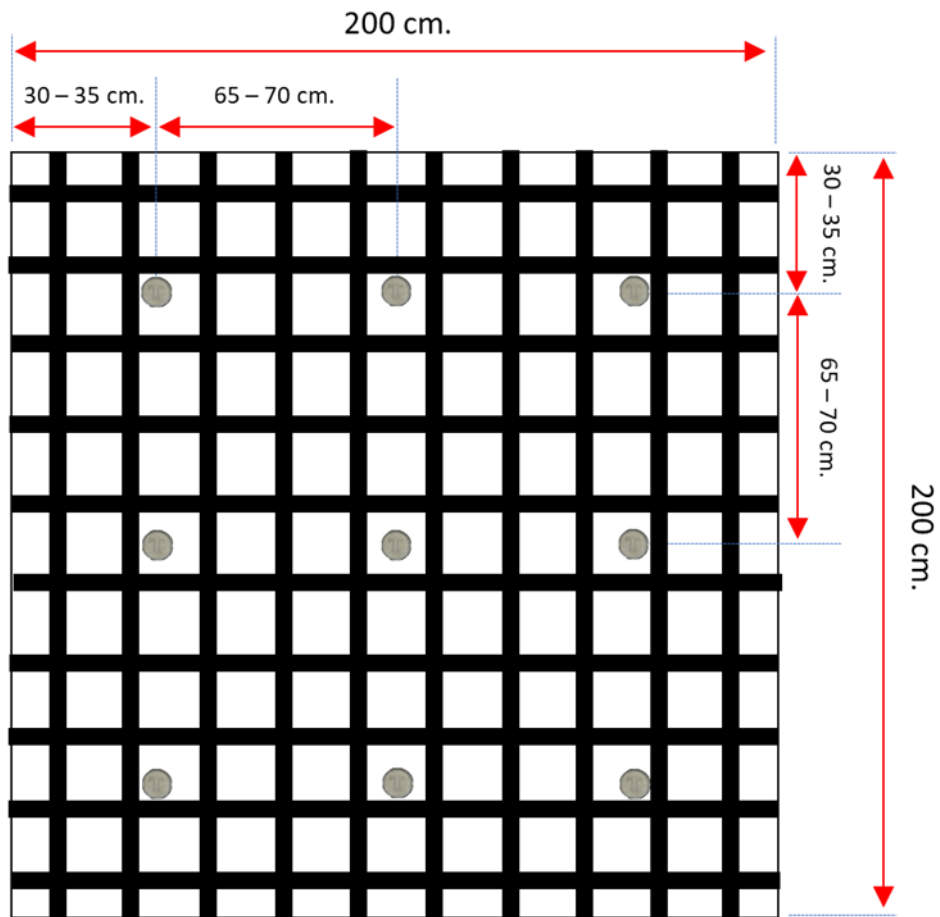
รุ่น	น้ำหนักสังกะสี (g)	จำนวนก้อน	
		ต่อพื้นที่คอนกรีตจริง	ต่อพื้นที่คอนกรีต $1 \text{ m}^2$
CR60 หรือ CB60	60	14.31	3.58
CR100 หรือ CB100	100	8.59	2.15
CR160 หรือ CB160	160	5.37	1.34

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากตาราง จะสามารถติดตั้ง Concrete Anode ได้ดังนี้

ทางเลือก 1 ใช้รุ่น CR60 หรือ CB60 จำนวน 4 ก้อน/ $\text{m}^2$  โดยมีระยะห่างของ Concrete Anode ประมาณ 50 cm.



ทางเลือก 2 ใช้รูน CR100 หรือ CB100 จำนวน 9 ก้อนต่อพื้นที่ใช้งานจริง โดยมีระยะห่างของ Concrete Anode ประมาณ 0.65 – 0.70 m



### 3. การคำนวณหาพื้นที่ป้องกันสนิมต่อก่อนของ Concrete Anode ( $A_{CP}$ )

ในบางครั้งการคำนวณหาพื้นที่ป้องกันสนิมของ Concrete Anode โดยการกำหนดรูนที่ใช้และจำนวนปีที่ต้องการป้องกันจะเป็นวิธีที่สะดวกกว่าในการกำหนดระยะห่างของก้อน Concrete Anode วิธีนี้เป็นการนำสูตรการคำนวณในข้อที่ 2 มาประยุกต์ใช้ดังนี้

$$\text{พื้นที่คอนกรีตต่อก่อน} (A_{CP}, m^2) = \frac{m_{Zn} \times \epsilon_{Zn}}{[(i_1 \times Y_1) + (i_{2 \rightarrow n} \times Y_{n-1})] \times 8,760 \times SDR \times 1,000}$$

และสมมติให้พื้นที่ผิวคอนกรีตเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะได้ระยะห่างระหว่างก้อน Concrete Anode ดังนี้

$$\text{ระยะห่างระหว่างก้อน (cm)} = \sqrt{A_{CP}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 3 จากงานซ่อมพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในตัวอย่างที่ 2 หากต้องการใช้ Concrete Anode รุ่น CR60 หรือ CR100 เพื่อป้องกันเหล็กเสริมเป็นระยะเวลา 10 ปี จะได้

ทางเลือก 1 สำหรับรุ่น CR60

$$A_{CP} = \frac{60 \times 780}{[(0.02 \times 1) + (0.002 \times 9)] \times 8,760 \times 0.503 \times 1,000}$$
$$= 0.28 \text{ m}^2$$

$$\text{ระยะห่างระหว่างก้อน} = \sqrt{0.28} \times 100 = \underline{52.87 \text{ cm}}$$

$$\text{จำนวน CR60 ที่ต้องใช้} = \frac{A_c}{A_{CP}} = \frac{4}{0.28} = 14.29 = \underline{15 \text{ ก้อน}}$$

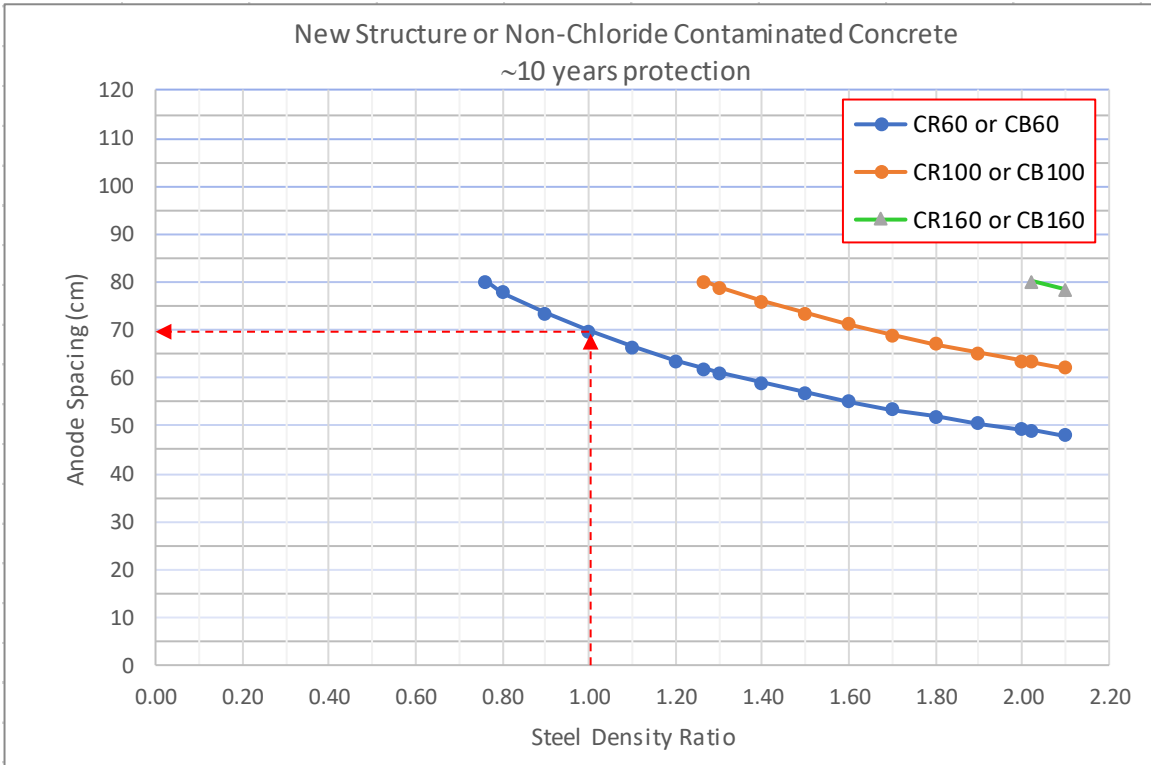
ทางเลือก 2 สำหรับรุ่น CR100 จะได้

$$A_{CP} = \frac{100 \times 780}{[(0.02 \times 1) + (0.002 \times 9)] \times 8,760 \times 0.503 \times 1,000}$$
$$= 0.47 \text{ m}^2$$

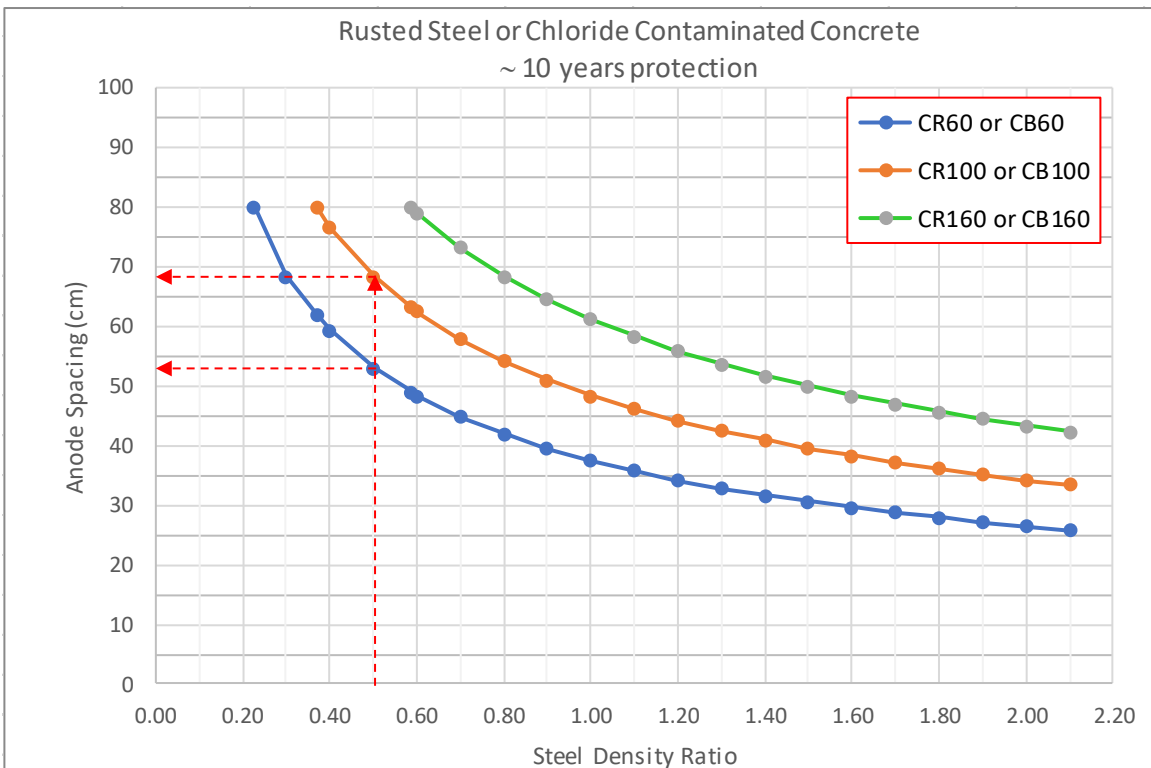
$$\text{ระยะห่างระหว่างก้อน} = \sqrt{0.47} \times 100 = \underline{68.25 \text{ cm}}$$

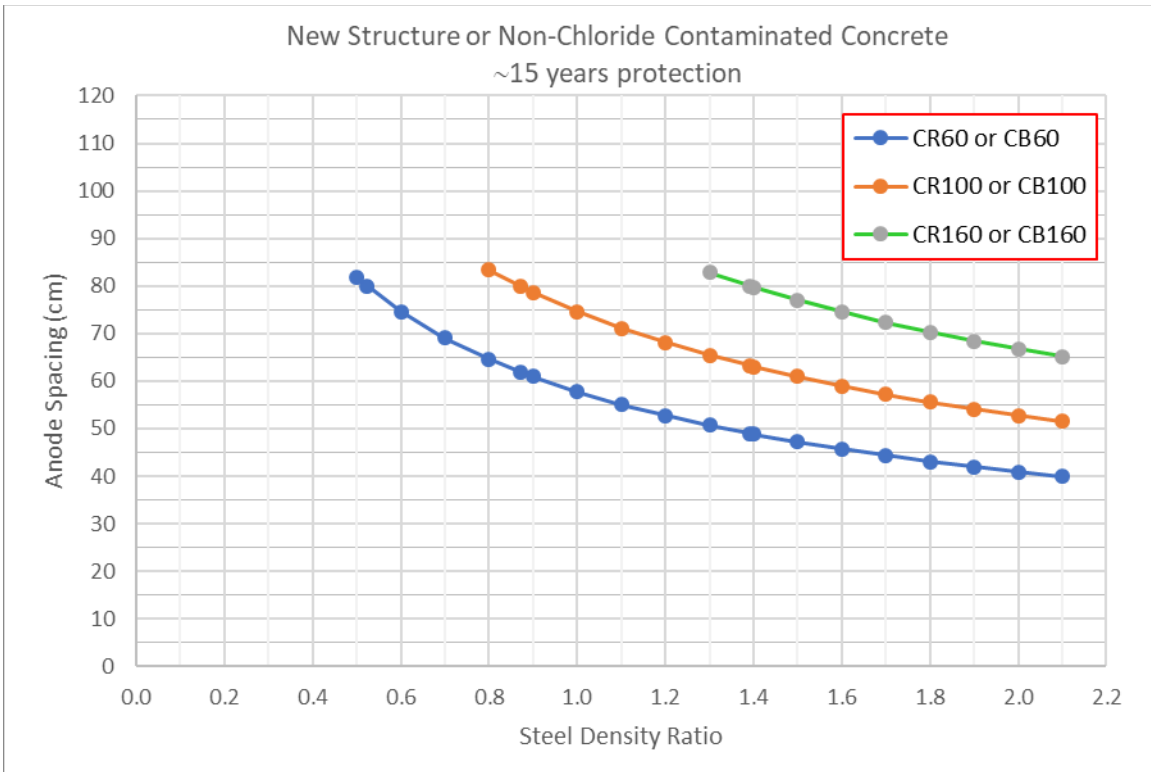
$$\text{จำนวน CR100 ที่ต้องใช้} = \frac{A_c}{A_{CP}} = \frac{4}{0.47} = 8.51 = \underline{9 \text{ ก้อน}}$$

จากการคำนวณเพื่อหา  $A_{CP}$  เราสามารถนำมาใช้เพื่อสร้างกราฟในการกำหนดระยะติดตั้ง Concrete Anode เพื่อป้องกันสนิมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามจำนวนปีที่ต้องการได้ โดยกราฟต่อไปนี้เป็นตัวอย่างเป็นตัวอย่างสำหรับการป้องกันสนิมเป็นระยะเวลา 10 ปี 15 ปี และ 20 ปี ตามลำดับ

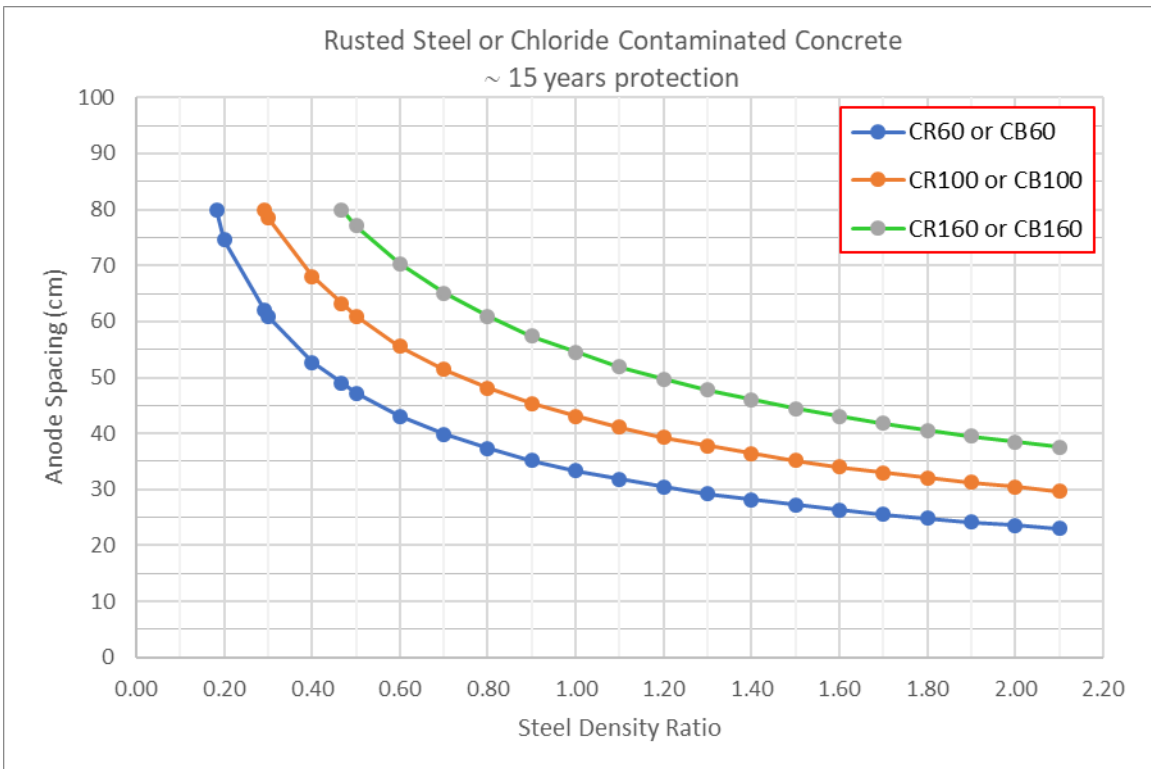


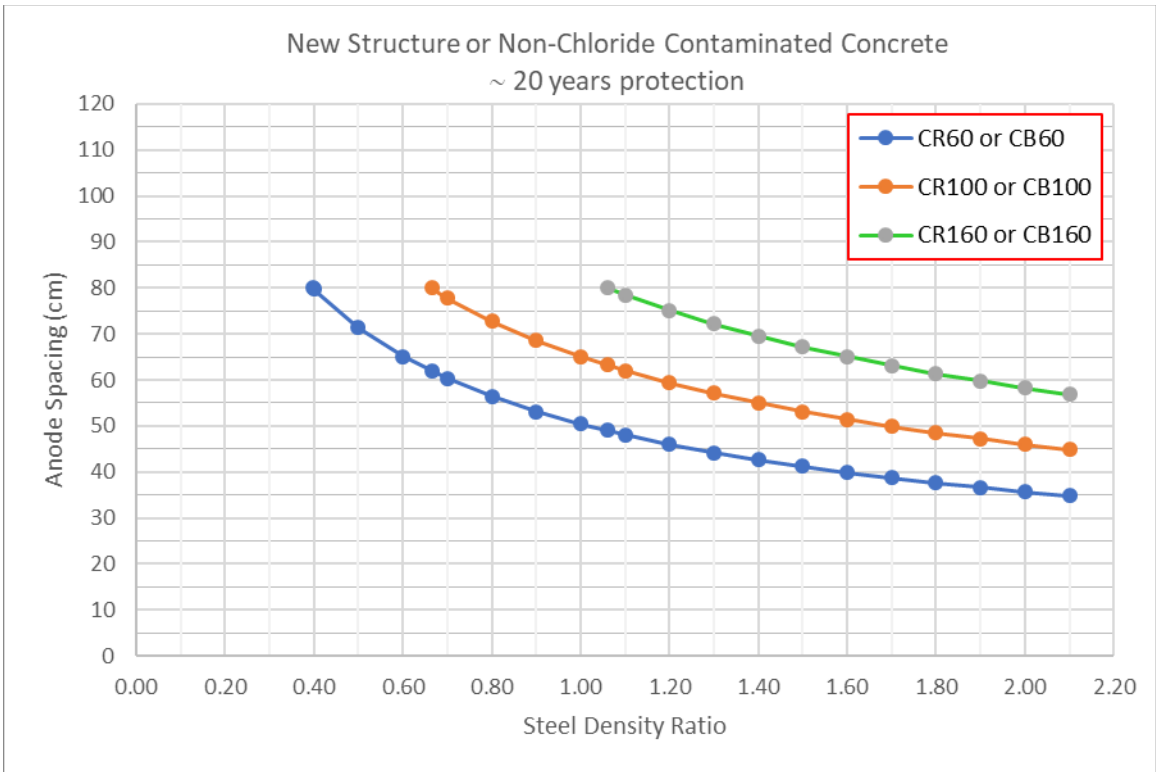
การกำหนดตำแหน่งติดตั้ง TMP Concrete Anode แต่ละรุ่น สำหรับระยะเวลาการป้องกันสนิม 10 ปี





การกำหนดตำแหน่งติดตั้ง TMP Concrete Anode แต่ละรุ่น สำหรับระยะเวลาการป้องกันสนิม 15 ปี





การกำหนดตำแหน่งติดตั้ง TMP Concrete Anode แต่ละรุ่น สำหรับระยะเวลาการป้องกันสนิม 20 ปี

