

(a) Mass construction project is planned at hot region. Construction engineers consider to use silica fume to shorten the construction time and reduce thermal cracking. Advise them.

- Silica fume 은 cement hydration 이 빨리 일어나게 만들어서 초기 온도 발열크기에 좋고, early heat revolution 을 감소시킨다. 또한 porosity 와 permeability 를 감소시켜 내구성을 향상시키고, bleeding 을 줄이는 특성이 있다.
- Hot region 에서 시공할 경우에 가장 조심해야 하는 것은 loss of moisture 이다. 높은 온도에서 콘크리트는 slump 를 유지하고 setting time 을 줄이기 위해 water requirement 가 높아진다. 콘크리트 내부의 수분이 흡수되거나 증발하게 되면 plastic shrinkage cracking 이 발생하기 때문이다. 또한, bleeding rate 이 감소하면 plastic shrinkage cracking 이 발생하게 된다. 그리고 빠르게 수분이 증발하면서 상부 표면에 dusting 이 발생할 위험이 있다.
- 따라서, silica fume 이 초기 온도 발열크기에 좋고, early heat revolution 을 감소시켜 hot region 에서 사용하기에 적합하다고 생각될 수 있다, silica fume 은 cement hydration 을 촉진시키고, bleeding 을 감소시키기 때문에 plastic shrinkage cracking 과 표면의 dusting 이 발생하는 위험이 줄어든다.
- 그렇기 때문에, silica fume 을 사용하되, 가장 위험한 loss of moisture 를 방지하기 위해 wet covering 을 사용하거나, water proof sheet 사용, 혹은 fog spray 방법 등 evaporation rate 을 줄이는 다양한 방법에도 각별히 신경써야 한다.

(b) Explain why less porosity will not mitigate the frost action in concrete.

- 콘크리트 내부의 수분이 frost action에 의해 얼음이 되며 그 부피가 증가하게 되는데, 이로 인해 hydraulic pressure가 발생하게 된다. 또한, 수분이 얼음이 되면 주변의 물이 고농도 상태가 되며 삼투압이 발생하고, 주변 paste에 crack이 발생하게 된다.
- 이를 방지하기 위해서는 삼투압에 의해 물이 이동할 수 있고, 부피를 팽창 시키며 어느 과정에서 주변이 손상되지 않도록 충분한 공간이 필요하다. 따라서 air entrainment을 사용하는 것이 대표적인 방지책이다.
- 그러나 less porosity 특성을 나타내는 콘크리트는 위에서 언급한 것과 같은 충분한 공간이 확보되지 않으므로 frost action에 대한 저항성이 낮다.

(c) Explain why seawater is less corrosive than ground water with the same concentration of sulfate ions.

- 콘크리트가 sulfate attack을 받게 되면 cement paste와 aggregate 사이의 bond가 약해지며 강도가 낮아지게 되고, 부식이 발생하게 된다.
- 그러나 sea water의 경우 magnesium sulfate의 함량이 calcium sulfate의 함량보다 상대적으로 높다. Magnesium sulfate인 $MgSO_4$ 와 CaOH가 반응하면 $Mg(OH)_2$ 가 생성되는데 pore에 생성된 이 magnesium hydroxide는 sealing ability를 나타내며 porosity를 줄여 sulfate의 침투를 줄여주는 역할을 한다. 이러한 이유로, sea water가 groundwater 보다 less corrosive 하다.
- 또한, gypsum과 ettringite는 다 이온이 많이 들어있는 solution에 더 잘 용해가 되기 때문에 해로운 부피 팽창을 줄여주는 작용도 있다.

(d) Explain why adding silica fume (fine silica powder) can reduce the expansive alkali-silica reaction (ASR).

- ASR은 reactive silica를 함유하고 있는 골재와 cement의 alkali 성분과 반응하여 부피팽창이 발생해 damage를 주게 된다.
- 그러나 silica fume를 넣게 되면 반응성이 더 높은 silica fume이 먼저 alkali와 반응하고, 그만큼 모이지 않은 나머지 분포되어 ASR gel이 형성되기 때문에 ASR에 의한 부피팽창으로 발생하는 damage를 줄여줄 수 있다.

(e) What type of damage (durability related) can occur when concrete is cured at elevated temperatures, such as used at precast plant?

- 주로 precast plant에서는 70°C 이상의 고온에서 콘크리트 양생이 이루어지게 되는데, 이 경우 ettringite가 monosulfate로 다시 분해된다. 이후 monosulfate가 다시 sulfate와 반응하면 ettringite가 다시 생성되는 delayed ettringite formation이 일어난다. 이로 인해 부피가 팽창하며 cracking을 유발하게 되는 문제가 발생한다.

(f) Explain the chemical mechanism of the effect of chloride ions on corrosion problem in reinforced concrete.

- 콘크리트 내부에서 나 있는 chemically bound, physically bound, 그리고 free chlorides 모두가 형태로 존재한다.
- 철근의 경우 콘크리트의 높은 pH에 의해 passive film을 가지고 있는데, 염화이온에 의해 passive film이 높은 pH 성분 ($\text{pH} > 11.5$)이더라도 파괴된다. ($\text{Cl}^- / \text{OH}^- \geq 0.6$ 인 경우 corrosion 발생)
- 또한 Fe^{2+} 와 Cl^- 가 만나 FeCl^+ 이 형성되고, 다시 OH^- 와 만나면 corrosion이 발생하게 되는데, 이 때 다시 분해된 Cl^- 이 또 Fe^{2+} 와 만나 corrosion을 진행한다.

(g) Why is concrete highly porous, but relatively impermeable?

- Mature cement paste의 경우 total porosity는 매우 높지만 투수계수는 매우 작다. 이는 물이 매우 작은 gel pore를 통해서 잘 이동하지 못하고, 투수성이 capillary pore의 interconnecting network의 영향을 받기 때문이다. Hydration이 진행되면서 capillary network는 C-S-H가 형성되어 interconnected pore들이 많아지면서 tortuosity가 증가하게 되고, 이로 인해 투수계수가 계속 감소하게 되므로, highly porous 함에도 불구하고 상대적으로 impermeable 한 특성을 띄게 된다.

(h) Carry out following concrete mix design based on ACI method.

- Cross section of the column : $300 \times 300 \text{ mm}$
- (Spacing)_{min} : 30 mm - f_{cd} : 35 MPa (at 28-day)
- Slump : $80 - 100 \text{ mm}$ - Type 1 Portland cement (SG : 3.15)
- G_{max} : 20 mm (dry-rodded unit weight 1600 kg/m^3 , SSD 2.68, absorption capacity 0.5%, effective absorption 0.25%)
- Fine aggregate (SSD 2.65, absorption capacity 1.3%, total moisture content 4.3%, F.M. 2.60)
- Freezing and thawing을 받는 column 이므로 AE제를 넣어줘야 한다.
보통은 slump와 G_{max} 를 고려했을 때, 180 kg/m^3 의 물을 사용해도 된다.
Freezing and thawing에 moderately exposed 되는 경우 적정 공기량은 5.0%이다. $\rightarrow W = 180 \text{ kg/m}^3$
- 강의자료를 28일 강도나 w/c 를 4대비 그래프를 통해, 28일 강도 35 MPa 를 얻기 위해서는 39%의 w/c 가 적절할 것으로 알 수 있다. 따라서, 물의 양이 180 kg/m^3 이므로 시멘트량은 다음과 같다.
$$180 \times \frac{100}{39} = 461.54 \text{ kg/m}^3 \rightarrow C = 461.54 \text{ kg/m}^3$$
- G_{max} 가 20 mm , 잔골재 F.M.이 2.60인 경우 굵은골재의 부피는 $0.64 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ concrete}$ 이다. oven dry 상태에서의 물량은,
$$0.64 \times 1600 = 1024 \text{ kg/m}^3 \text{ 이고,}$$

SSD condition 에서는 다음과 같다.
$$1024 \times (1 + 0.005) = 1029.12 \text{ kg/m}^3$$

$$\rightarrow G = 1029.12 \text{ kg/m}^3$$

- 잔골재량 계산을 위해 volume method를 사용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{fa} &= V_{con} - V_{cem} - V_{ca} - V_w - V_a \\
 &= 1000 - \frac{461.54}{3.15} - \frac{1029.12}{2.68} - \frac{180}{1} - \frac{5.0}{100} \times 1000 \\
 &= 239.48 \text{ l/m}^3 \\
 \rightarrow S &= 239.48 \times 2.65 = 634.62 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

- 위 계산에서 모두 SSD 상태를 가정했으므로 moisture correction이 필요하다.

$$G \Rightarrow 1029.12 - 1029.12 \times 0.25\% = 1026.55 \text{ kg/cm}^3$$

$$S \Rightarrow \text{Free moisture} : 4.3 - 1.3 = 3.0\%$$

$$634.62 + 634.62 \times 3.0\% = 653.66 \text{ kg/cm}^3$$

$$W \Rightarrow 180 + 1029.12 \times 0.25\% - 634.62 \times 3.0\% = 163.53 \text{ kg/cm}^3$$

$$C \Rightarrow 461.54 \text{ kg/cm}^3$$

- 따라서, 배합비는 다음과 같다

fcd, MPa	Gmax, mm	W/C, %	S/a, %	kg/cm ³			
				C	W	G	S
35	20	39	38	461.54	180	1029.12	634.62

- 이 때, 골재 상태를 고려하여 실제로 사용해야 하는 양은 다음과 같다.

$$C = 461.54 \text{ kg/cm}^3$$

$$W = 163.53 \text{ kg/cm}^3$$

$$G = 1026.55 \text{ kg/cm}^3$$

$$S = 653.66 \text{ kg/cm}^3$$