

High Performance Concrete Engineering

Final Exam (Nov 13th 6pm-8:00pm)

Name: 2011-23536 박지슬 /

95

Total 10 problems (100 marks)

1. 8.25 liters of naphthalene superplasticizer with a specific gravity of 1.21 and a solids content of 30% have been used in order to obtain the desired slump. What is the volume of water that should be deducted from the mixing water content of high strength concrete? [5 marks]

$$V_{liq} = 8.25 \text{ l}$$

$$M_{liq} = 1.21 \times 8.25 \text{ l} = 9.9825$$

$$S = \frac{M_{sol}}{M_{liq}} = 0.3, \text{ 따라서 } \frac{M_w}{M_{liq}} = \frac{V_w}{M_{liq}} = 0.7 \quad (M_{liq} = M_{sol} + M_w)$$

$$\therefore V_{water} = 0.7 \times M_{liq} = 0.7 \times 9.9825 = 6.99 \text{ l}$$

즉 6.99l를 mixing water 에선 제외해야 함

2. Provide some practical solutions when concrete mix is stuck in a ready-mix truck at job sites. [5 marks]

1) 만약 레미콘 파이프에 이물질이 생기거나 하면 하강을 때까지 콘크리트가 setting 하지 않아야 하므로 retarder를 투입해야 한다. 현장에서 가장 쉽게 구할 수 있는 retarder는 석회 이므로 재의 석회분을 바탕으로 적당량의 석회분을 재에 투입한다

2) mix 자체가 압도에 견디지 못하면, Air-entraining admixture 또는 superplasticizer를 투입하여 재의 workability와 pumpability를 개선하고 segregation, bleeding 이 최대한 되도록 한다

3. Compare the characteristics of ITZ in normal weight concrete and lightweight concrete. [5 marks]

- 일반적으로 normal weight concrete의 ITZ는 wall effect로 인해 주변부의 시멘트 매트릭스에 비해 w/c가 높고 따라서 porosity와 localized bleeding 발생률이 높다. 또한 C-S-H에 비해 대가 크게 형성되어있고 ettringite가 주위에 비해 집중되어있다. 이러한 특징에 의해 normal weight concrete에서 대체로 ITZ가 가장 약한 부분이며 crack이 ITZ를 따라 발생한다
- lightweight concrete는 주로 lightweight aggregate를 추가하여 중량을 줄이는데, lightweight aggregate의 빈 공간에 물이 흡수되어 있다가 수화반응과 중합에 진행됨에 따라 비중에 수분을 공급한다. 이러한 작용으로 self-desiccation을 방지하고 internal curing을 촉진 하며 LWA와 시멘트 페이스트 사이의 부착을 개선시키고 ITZ 내부의 microstructure를 보다 밀집하게 만든다. 따라서 lightweight concrete의 강도는 LWA의 강도에 의해 결정된다

4. Explain why lightweight concrete can enhance thermal properties. [5 marks]

콘크리트의 중량은, 골재의 경우 일부를 LWA로 대체하여 시멘트 페이스트의 경우 air void 함량을 증가시키는 방식 (SAP 첨가, autoclaved aerated conc) 으로 줄일 수 있다. 이러한 과정에서 lightweight concrete의 내부에 열전달률이 매우 낮은 밀도, 차열능 pore가 다량 포함되어 전체적으로 열전달속도를 감소시키는 효과를 가져온다

5. Below paragraph is from the actual project bidding (입찰) guideline in Singapore which Samsung C&T had applied.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SEWER TUNNELS FOR THE DEEP TUNNEL SEWERAGE SYSTEM PHASE 2 PROJECT - CONTRACT T-08

2-3-3 - TUNNEL AND RELATED WORKS

2.3 Design of Tunnel and Related Works

2.3.1 The Contractor shall ensure that the design of the tunnel linings is fully compatible with his proposed method for the construction of the tunnel. This construction method shall be subjected to the acceptance of the S.O.

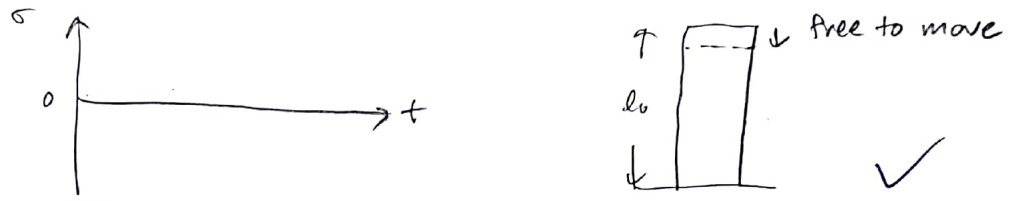
2.3.2 The design of the tunnel linings shall take into account inter alia of the required life span (100 years), the proposed use, the ground conditions, proximity of the tunnels to other underground infrastructures and adjacent structures, the sequence and timing of construction.

As a concrete engineer in the Samsung C&T, suggest competitive winning strategy to this bidding. [10 marks]

- 지하에 매설되는 sewer pipe system의 목표 life span을 성공적으로 만족시키기 위해서는 다음과 같은 내구성 지하 요인을 고려해야 함 ✓
 - 1) 하수관 배설지역 포화수소화물인 H_2S 가스의 용해로 발생가능한 sulphuric acid attack
 - 2) 터널 공사중 ground water 에 의해 발생가능한 산성 acid attack, sulfate attack ✓
- 내구성 지하를 방지하기 위해 기밀재로 다음과 같은 전략을 고려할 수 있음 ✓
 - 1) 보다 밀실한 콘크리트 재료
 - 2) sulphuric acid 에 의해 침해되지 않는 coating film
- 아래에 제시된 방안의 경제성 및 시공성을 검토할 것을 제안함 ✓
 - 1) UHPC : w/c 가 매우 낮고 밀실하며 그 자체로 sulfate attack 에 저항성이 우수함
 - 2) GGBFS, FA 등 mineral admixture 첨가 및 Resin, Bitumen 등 추가적인 coating : 산성화소물인 mineral admixture를 단가를 낮추고 w/c에 대항량을 낮출 수 있음
 - 3) C3A 함량이 낮은 시멘트 사용 및 PVC coating 등 다양한 전략 검토

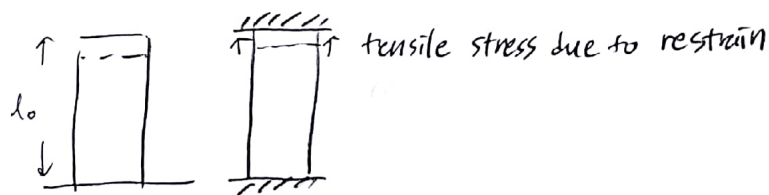
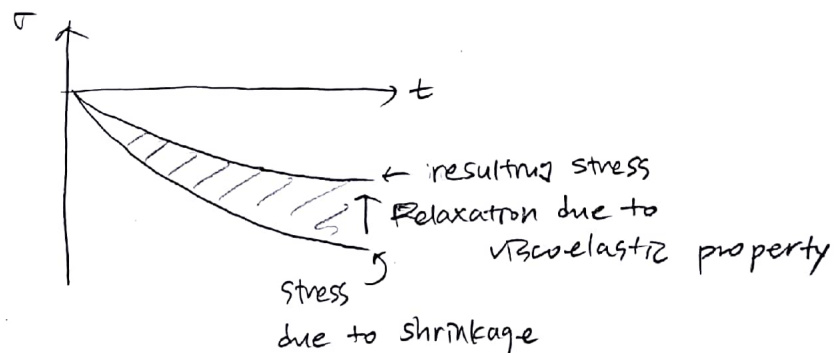
6. A concrete sample is exposed to low humidity. Plot the evolution of the stress caused by the shrinkage assuming that a) the sample is unrestrained, and b) the sample is restrained and concrete is viscoelastic. [10 marks]

1) Shrinkage in unrestrained condition.



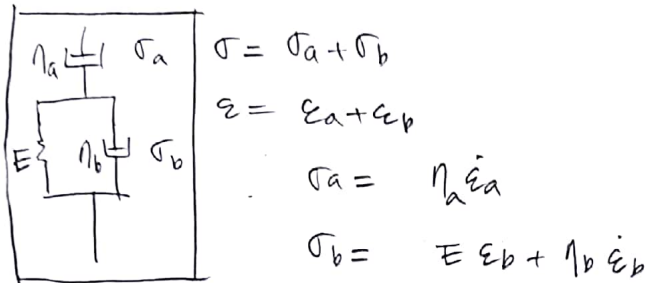
콘크리트 공시체는 구속되어있지 않으므로 변형에 의한 응력이 발생하지 않는다 ($\sigma = 0$)

2) Shrinkage in restrained condition

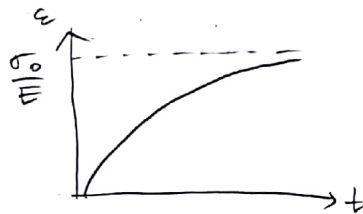


제거 각이 l_0 를 유지하도록 구속하면 이로 인한 인장응력이 발생하지만 콘크리트의 viscoelastic 특성으로 stress relaxation이 발생한다

7. Place a Kelvin unit in series with a dashpot: (a) draw a creep curve, (b) what is the value of the initial elastic strain during a creep test? (c) what is the asymptotic value (점근선값) of the strain during a creep test? (d) draw a relaxation curve, (e) is there a long-term permanent deformation if the load is removed? [20 marks]



(a) creep curve



(b) value of initial strain = 0

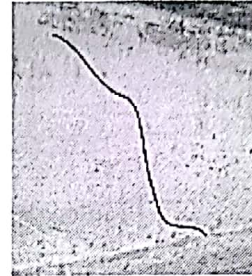
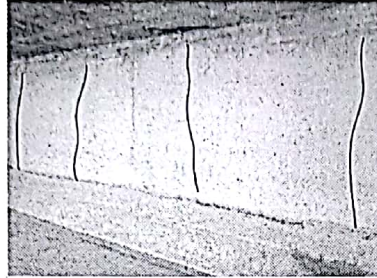
일정 σ_0 를 가하였을 때 dashpot에서 변형이 생길 때까지 시간이 필요하기 때문에 $\epsilon(t=0) = 0$

(c) 충분한 시간이 흐른 후 dashpot의 $\dot{\epsilon}$ 는 0으로 수렴할 것이고 따라서 모든 stresses는 spring에서 받을 것임을 유추할 수 있음 따라서 asymptotic value = $\frac{\sigma_0}{E}$

(d) relaxation test를 수행하기 위해서는 일정한 변형률 ϵ_0 를 유지해야 하는데 위와 같은 모델에서는 불가능하다. 이 모델은 relaxation modeling에는 적합하지 않은 것으로 시작된다

(e) 하중을 제거하면 spring에서 발생했던 elastic strain은 회복될 것이나 dashpot에서 발생했던 변형의 일부는 permanent 할 것으로 시작된다

8. Below crack patterns were observed in precast concrete segment before the structure in service or in loading. a) What would be the potential cause of these crack pattern? b) How can we prevent these cracks? [10 marks]



1) 위의 균열들은 표면에 넓게 발생하였고 균열 간격이 약을
것으로 보이며, in service 이전에 발생하였다는 점을
미루어 보아 plastic shrinkage 인 가능성이 높다
한편 프리캐스트 부재임에도 부재 하중에 구동력이 될 만한
관절이 있다면 양생 중 온도가 증가 하강함에 따라
균열이 발생하였을 가능성도 있을 것으로 보인다

5

2) plastic shrinkage를 방지하기 위해서는

- 초기 양생 기간에 수분 손실을 최소화해야하므로
 - Fog slab 치리
 - 초기 콘크리트 표면을 낮춤
 - PP fiber 등을 혼입
 - wind break or sunshade를 설치
- 위와 같은 방법을 이용한다

9. If the tensile strength of concrete at early age is 1.5 MPa, draw potential crack pattern (cracking shape or crack length) of below concrete element ($L/H=2$) considering the variation of degree of restraint. [10 marks]

Maximum temperature difference = 55 °C

Elastic modulus = 10 GPa

Creep coefficient = 0.5

Coefficient of thermal expansion = $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

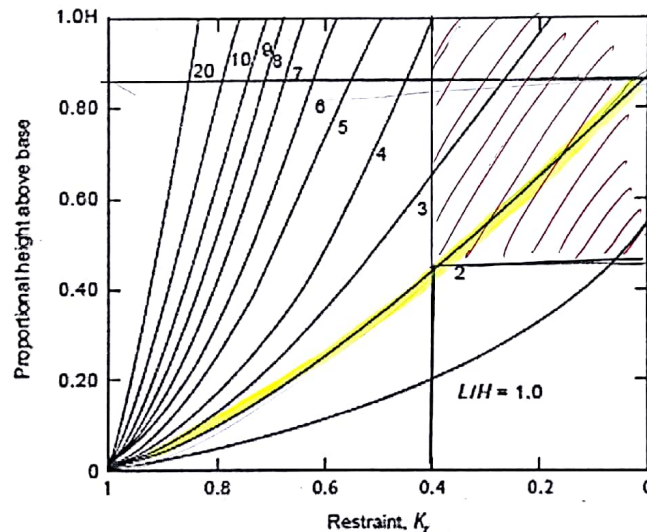
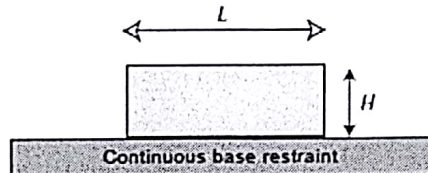


Figure 4-18 Degree of tensile restraint at center section. (Source: ACI Committee 207, Cooling Mass Concrete, 1998.)

① 위의 그래프에 따르면 $L/H=2$ 인 경우 약 0.85H 부터는 균열 발생 X

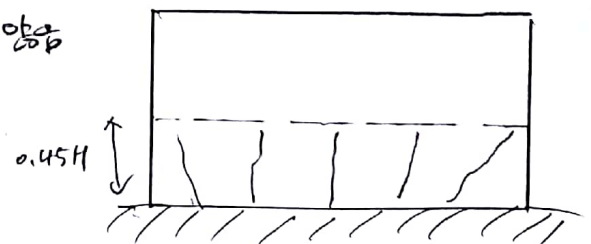
$$\begin{aligned} \sigma_t &= K_r \frac{E}{1+\phi} \alpha \Delta T \\ &= K_r \cdot \frac{10 \times 10^3}{1+0.5} \times 10 \times 10^{-6} \times 55 \\ &= K_r \times 3666.67 \times 10^{-3} < \text{concrete tensile strength} \end{aligned}$$

즉 만족하면 crack 발생 X

$$K_r < \frac{1.5}{3666.67 \times 10^{-3}} = 0.41$$

즉 약 0.45H 위에는 균열 발생하지 않음

②



10. Below equations are the creep compliance J defined in ACI and FIB, respectively. Discuss how they differently use Young's modulus and quantitatively compare its result. Use $E_c = 0.85E_{ci}$ if necessary. [20 marks]

①

FIB:

$$J(t, t') = \frac{1}{E_{ci}(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_{ci}}$$

ACI:

$$J(t, t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_c(t)} \times 0.85$$

① 동일한 creep coefficient와 재료에 대한 조건이 주어졌을 때
creep compliance를 계산하면,

조건 $f_{cm} = 32 \text{ MPa}$, moist curing, $\phi = 1.0$
time of loading = concrete age = 365 days

Fib:

$$\begin{aligned} E_{ci} &= E_{co} \left(\frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 2.15 \times 10^4 \times \left(\frac{32 \text{ MPa}}{10 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 31700 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{cc}(t) &= \exp \left\{ s \left(1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}} \right) \right\} \\ &= \exp \left\{ 0.35 \left(1 - \sqrt{\frac{28}{365}} \right) \right\} \\ &= 1.288 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{ci}(t') &= \sqrt{\beta_{cc}(t)} \cdot E_{ci} \\ &= 35980 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ACI:

$$\begin{aligned} f_c'(t) &= \frac{t}{a+bt} f_c'/28 = \frac{365}{4+0.85 \times 365} \times 32 \\ &= 37.16 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c(t) &= E_c(t') = 0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{37.16} \\ &= 30827 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$J(t, t') = \frac{1}{35980} + \frac{1.0}{31700} = 8.46 \times 10^{-5} < J(t, t') = \frac{1}{30827} + \frac{1.0}{30827} = 9.08 \times 10^{-5}$$

② i) Fib code와 ACI code 둘다 elastic strain을 계산하기 위하여
하중 재하시의 E 값을 사용한다.

ii) Fib code는 creep strain 계산에 constant E_{ci} 값을 사용하는 반면, ACI는 콘크리트 재하에 해당하든 (target time)에서의 $E_c(t)$ 값을 이용한다. 이때 Young's modulus E 값은 28일 이후 크게 증가하지 않는데 이 값은 initial tangent modulus E_{ci} 의 약 85%에 해당하여 이러한 차이로 ACI가 Fib code에 비해 낮은 강성을 예측, 더 큰 creep compliance를 계산하게 된다