

# High Performance Concrete Engineering

Midterm Exam (Oct 25<sup>th</sup> 6pm-7:30pm)

Name: 김경민 / Kyung-Min Kim /

Matriculation number: 2018-31976 /

90

In all your answers, please explain your rationale sufficiently.

Total 100 marks

1. Explain why we can sometimes find hemihydrate or anhydrite in cement and its impacts on cement hydration. [5 marks]

Calcium sulfate 의 경우 cement 에서 주된 세가지 형태로 존재한다 (gypsum, hemihydrate, anhydrite). 이는 grinding 과정에서 열이 많이 가해지면 gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) 이 hemihydrate ( $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ ) 나 anhydrite ( $CaSO_4$ ) 로 분해되기 때문이다. 이 중, hemihydrate 의 경우 gypsum 보다 빠르게 dissolve 되고, anhydrite 의 경우 gypsum 보다 느리게 dissolve 된다 따라서, hemihydrate > gypsum > anhydrite 의 순으로 C3A 와 반응하여 ettringite 를 만들어 낸다.

2. What is the structure of C-S-H and what is the main role of it in hydrated cement? [5 marks]

C-S-H 는 solid 이긴 하지만 결정이 아닌 채로 존재하기 때문에 그 구조를 파악하기 어렵다. Pozzolanic 반응을 통해 생성되는 C-S-H 는 양친매성 성질을 가지고 있으며, binding ability 를 가지고 있다. 이러한 binding ability 가 있어서 cement 에서 매우 중요한 역할을 한다.

3. Explain how we can make concrete surface as shown in below figure [5 marks]

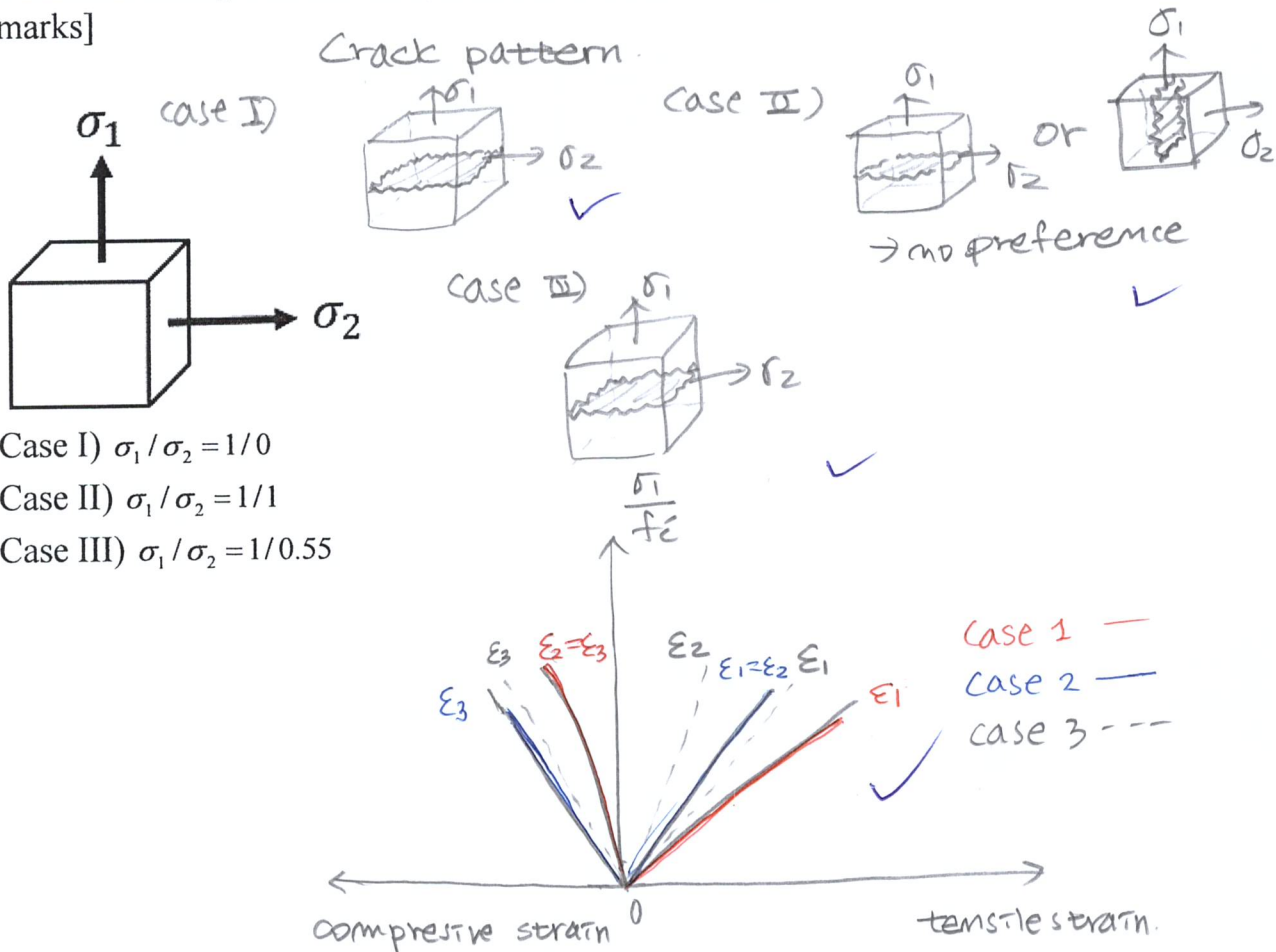


콘크리트가 더이상 흐르지 않고, 그 형태가 변하지 않게 되는 initial set 이후, 그리고 콘크리트가 hardening 되기 시작하는 final set 이전에는 수화가 완성이 이루어지지 않았기 때문에 이때 표면에 set-retarding admixture 를 도포해, 물을 분사시켜 cement paste 만 지지해주면 된다.

4. Explain why there is gypsum found in some GGBFS and its impact on hydration (including hydration product). [5 marks]

GGBFS는 steel 제강 과정에서 부산물로 얻는데, 이때 steel 제강 과정에서  $SO_x$  의 독성 가스가 배출된다. 따라서 이를 solid로 안정시키기 위해 CaO를 첨가하게 되고, 이로 인해 CaSO<sub>4</sub>가 생성되어 gypsum의 형태로 존재하게 된다. gypsum은 인해 GGBFS역시 pozzolanic 반응을 하게 되며 GS-H가 생기며, 또한 ettringite도 형성하게 된다. 따라서 GS-H나 Afm, 또는 Aft가 생성된다.

5. Draw potential crack pattern in concrete and stress-strain curves (both in tensile and compressive strain) under different loading condition. [5 marks]



6. Explain the mechanism of existence of microcracks in ITZ without external loading [5 marks]

ITZ의 경우 다른 곳보다 상대적으로  $\frac{w}{c}$ 가 높는데  
 이 때 수화반응이 진행되면서 ITZ의 수분이 증발하게 되고  
 이에 따라 건조수축이 발생하면서 하중이 작용하기  
 전에도 microcrack이 ITZ에 존재하게 된다 ✓

7. List three recommended standard test methods for measuring workability and describe the range of them [5 marks]

i) Slump test

- one-point test로, slump가 크면 workability가  
 좋다. 그러나 slump가 매우 낮거나, 매우 높은 경우에는  
 이 시험법을 사용할 수 없다. ✓

ii) Flow test

- 콘크리트를 측정판위에 흐르게 두는 직경을 지시, 직경이 클수록  
 workability가 좋다는 것 확인하는 수 있는 시험법으로,  
 workability가 매우 높은 경우 사용할 수 있다. ✓

iii) Remolding test: 진동대에 올려두고 진동 주어 특명판이 가려지는

8. Explain why bleeding may cause structural defects in reinforced concrete structure [5 marks]

Bleeding은 콘크리트 내 수분이 위로 올라가는 현상으로,

콘크리트의 수직면은 아랫면에 비해 상대적으로 ✓

취약하게 만든다. RCC의 경우에는 reinforcing bar

및 부분과 coarse aggregate 아랫면에 bleeding

water가 모여 부착성능을 저하시킨다. ✓

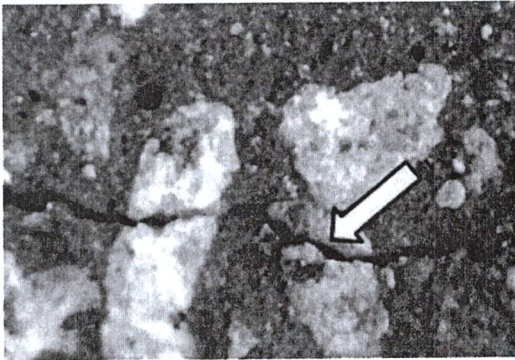
vebe time은  
 측정한다.  
 workability가  
 매우 낮은  
 콘크리트에  
 사용된다.

9. What is the typical pH in pore solution of concrete and explain its impact on durability of concrete [5 marks]

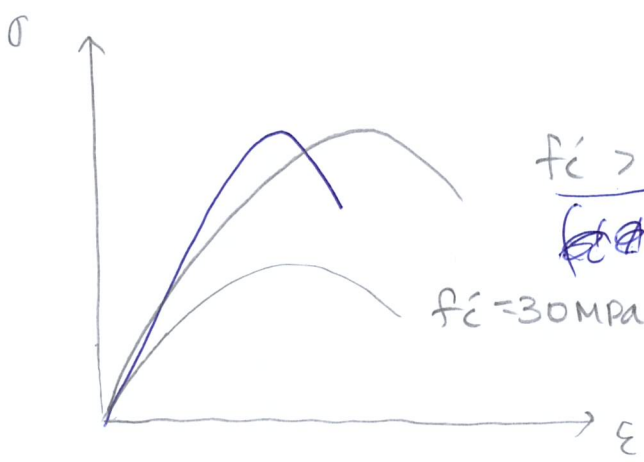
일반적으로 concrete 의 pore solution 은 pH > 12.5-13 의 큰 값을 나타낸다. 이 이온에는 alkali ion 이 녹아있기 때문이다, 골재가 가지고 있는 silica 성분과 반응하여 부패를 방지하게 된다. 이때 따라 부패성이 저하된다. 이를 방지하기 위해서, low alkali cement 를 사용하거나, pore solution 의 pH 를 낮추거나, reactive silica 성분이 적은 골재를 사용하는 등 여러가지 방지책이 있다.

X → 3  
passive film

10. Draw a possible stress-strain curve of concrete having below crack pattern. Compressive strength of used coarse aggregate is 60 MPa. Can you predict the compressive strength of concrete? Then what would be the value? Compare the stress-strain curve with that of normal strength concrete ( $f'_c=30$  MPa) [5 marks]



High strength concrete 의 경우 균열 크기와 같은 crack 이 발생한다. 골재를 지나는 crack 이 발생할 것은 cement paste 의 강도가 골재의 강도보다 큰 경우이다. 따라서 골재의 강도는 골재의 압축강도인 60MPa 보다 클 것으로 예측된다.



고강도 골재의 경우 일반 강도 골재보다 탄성계수가 높고, 전단응도 최대 응력에서의 변형률도 역시 크게 발생한다.

→ 2

11. Calculate the Fineness Modulus (FM) of below two aggregates. [10 marks]

Sieve type	Weight retained (aggregate #1)	Weight retained (aggregate #2)
75 mm	15	
37.5 mm	20	
19 mm	230	
9.5 mm	450	
4.75 mm	270	3
2.36 mm	180	18
1.18 mm	55	59
<del>900 μm</del>	<del>5</del>	<del>500</del>
600 μm		190
300 μm		60
150 μm		10
	Total (225g)	840g

#1)

Sieve	weight	Amount (%)	cumulative (%)
75	15	1.22	1.22
37.5	20	1.63	2.85
19	230	18.98	21.63
9.5	450	36.73	58.36
4.75	270	22.04	80.40
2.36	180	14.69	95.09
1.18	55		
			$\Sigma = 259.55$
			+ 400
			<hr/> 659.55

$$\therefore F.M = \frac{659.55}{100} = 6.60$$

#2)

Sieve	weight	Amount (%)	cumulative (%)
4.75	3	0.36	0.36
2.36	18	2.14	2.50
1.18	59	9.02	9.52
<del>900</del>	<del>500</del>		
600	190	82.14	91.66
300	60	9.14	98.80
150	10	1.19	99.99
			$\Sigma = 302.83$

$$\therefore F.M = \frac{302.83}{100} = 3.03$$

12. Explain fresh properties of concrete with below 5 different cases [10 marks]

	C3A content	Sulfate ion content in cement
1)	Low	Low
2)	High	High
3)	High	Low
4)	High	None or very low
5)	Low	High

1) Ettringite의 생성이 상당히 느리기 때문에, 약 45분까지는 workable 하고, 1-2시간까지는 less workable, 그리고 2-4시간이 지나면 set 된다. ✓

2) 1)에 비해 ettringite 생성이 빠르므로 약 1-2시간후 set 된다. 1)과 2)의 경우 C3A와 sulfate가 적절히 들어가기에서 normal set 이 가능하다 ✓

3) C3A와 sulfate 보다 더 많기 때문에 10-45분만에 빠르게 set 된다. set time을 늦추기 위해 sulfate를 더 추가해야 한다. ✓

4) sulfate가 너무 부족해서 flash set이 발생한다.

5) sulfate가 C3A에 비해 너무 많아서, gypsum crystal이 빠르고 크게 생성되기 때문에 일사각진 stiffening이 생기지만, 큰 gypsum이어서 늦어져 stiffening이 사라지는 false set 현상이 발생한다. ✓

13. Compare the prediction method of chloride ion diffusion coefficient given by KCI and ACI. [10 marks]

KCI의 경우에는 항상계수 감소항목을 두어

시강도에 따라 항상계수를 다르게 평가하여

해물성을 높였으나, ACI의 경우에는 시강도에 따른 차이를 고려하지 않는다. ✓

그러나 전체적으로 KCI는 구형도 항상계수가

ACI보다 큰 값을 나타내기 때문에, KCI의 경우

항상계수를 다르게 평가하여 더욱 보수적인 결과를 하게 된다.

14. In *fib* standard, aging factor ( $a$ ) in diffusion coefficient can be chosen between 0.2 and 0.8. The suggestion is 0.3, 0.45, and 0.6 for Portland cement, cement with slag, and cement with fly ash, respectively. Discuss why the aging factor is differently suggested by different composition of cement. [10 marks]

항상성의 경우 tortuosity가 치밀 정도를

많이주게 되는데, 이는 pore structure의 형상에 따라

다르게 나타낸다, 따라서 OPC와 slag, fly ash

각각에 따라 다른 pore structure를 나타내므로,

이를 반영시키기 위해 다른 값을 사용한다.

pozzolane → 양자성 양산  
 ↓  
 ↓  
 -5

15. Explain how we can estimate the life of structure based on the diffusion coefficient of concrete. In addition, explain what kind of experiment is required for that estimation [10 marks]

한정계수를 통해 염화물 이온 농도의 예측값을 계산할 수 있다. 이 때 구한 염화물 이온 농도의 예측값에 염해에 대한 한계계수를 곱한 값과, 철근이 부식되기 시작할 때의 임계염화물 농도값에 염해에 대한 내구성 감소계수를 곱한 값과 같아지게 되면, 그 때 콘크리트의 수명이 다 했다고 판단한다.

즉, 
$$\gamma_p C_d \leq \phi_k C_{lim}$$
 이어야 한다.

( $\gamma_p$ : 염해에 대한 한계계수,  $C_d$ : 염화물 이온 농도 예측값,  
 $\phi_k$ : 염해에 대한 내구성감소계수,  $C_{lim}$ : 철근 부식이 시작될 때의 임계염화물 이온 농도)

따라서, 실제 수명을 알아보기 위해서는 염화물 이온 한정계수의 측정값이 필요하다. 이를 위해 rapid migration test를 수행할 수 있다.