

# Chapter 3. 재 료

-콘크리트-

# 3.1 콘크리트

## 3.1.1 콘크리트의 품질

- 1) 고강도 콘크리트의 사용: 압축강도  $f_{ck} > 30 \text{ MPa}$  (포스트텐션)  
 $> 35 \text{ MPa}$  (프리텐션)  
→ 외력, 자중 + 프리스트레스 응력을 견뎌야 함
- 2) 건조수축과 크리이프가 작아야 한다.



부재의 수축으로 인한 프리스트레스 감소

# 3.1 콘크리트

## 3.1.1 콘크리트의 품질

### 1) 콘크리트 배합설계 및 시공시의 유의점

a) 낮은 **w/c** 사용 → 고강도화, 낮은 건조수축, 낮은 **creep**

b) 가능한 낮은 단위시멘트량 사용 → 골재량 증가

(낮은 **w/c**의 경우 건조수축 및 **creep**은 낮아지나 시멘트의 초기수화시기에 발생하는 자가수축(**Autogenous Shrinkage**)은 증가함)

c) 양질의 골재사용 및 적절한 입도분포

d) 적절한 다짐

e) 초기양생시 균등한 습윤양생 실시

f) 엄격한 품질관리 및 시공관리

# 3.1 콘크리트

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 1) 시멘트

#### a) 보통 포틀랜드시멘트 (OPC)가 주로 사용됨

- \* 시멘트의 종류: 1종 - 보통포틀랜드시멘트
- 2종 - 중용열포틀랜드시멘트
- 3종 - 조강포틀랜드시멘트
- 4종 - 저열포틀랜드시멘트
- 5종 - 내황산염포틀랜드시멘트

\* 팽창시멘트의 사용으로 화학적 프리스트레싱 적용시 사용

# 3.1 콘크리트

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 2) 골재

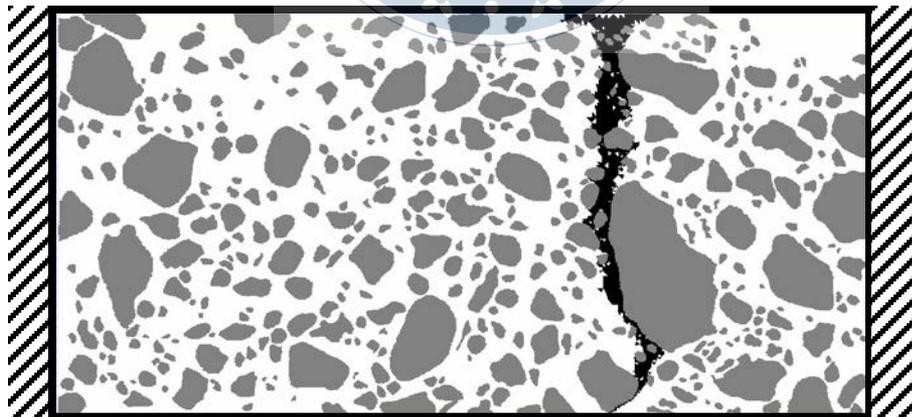
- a) 높은강도, 시멘트 페이스트와의 높은 부착강도 요구  
(인공경량골재 사용시 주의요)
- b) 골재의 입도조절: 특히 잔골재의 입도선택에 주의: 작은 사이즈의 잔골재량 증가시 건조수축, creep의 양을 줄일 수 있음  
→ 그러나 한계가 있음 (믹싱의 어려움→단위수량의 증가)  
(보통 No.50체(0.297mm)의 중량백분율 최소값을 5%로 줌)
- c) 굵은골재 최대치수: PSC의 경우 25mm를 표준으로 함  
(일반적으로 부재최소치수의 1/3~1/4이나 PSC의 경우 긴장재, 쉬스, 철근 등의 둘레에 콘크리트가 충분히 둘 수 있게 하기 위함)

# 3.1 콘크리트

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 2) 골재

- 굵은골재 최대치수: 증가시 단위수량감소에 따른 시멘트량 절약 → 그러나 강도는 떨어지게 됨 (이유: 굵은골재 위치부위는 콘크리트 내부의 취약부가 됨)



# 3.1 콘크리트

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 3) 혼화재료

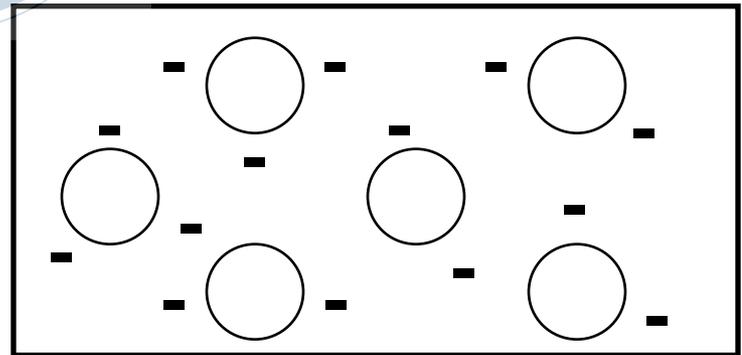
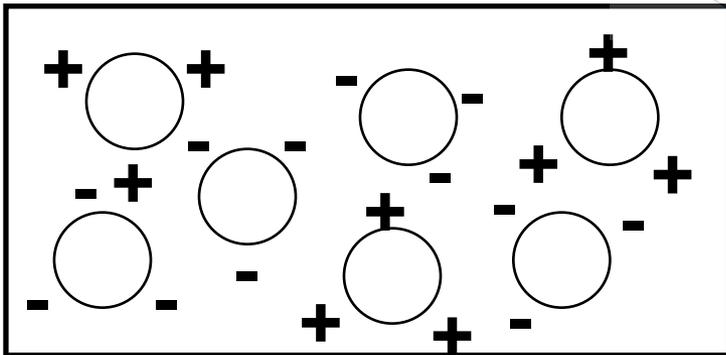
- 콘크리트의 성능향상을 위해 사용됨: PSC에 사용시 특히 콘크리트와 강재의 부착강도를 저감 혹은 부식을 일으키는 물질(염화칼슘)을 함유하고 있는지 확인해서 사용할 것
- (a) 감수재 (water reducer)
- (b) 유동화제 (고성능감수제 – superplasticizer 혹은 high-range water-reducing admixture): 12~30% 감수효과
- (c) 플라이애쉬 (fly ash) – 화력발전소 전기집진기에서 얻음 (포졸란)
- (d) 실리카퐁 (silica fume) – 실리콘 제조시 나오는 폐가스에서 얻음 (포졸란)
- (e) 슬래그 (slag) – 철강제품 생산시 고로에서 나오는 폐부산물에서 얻음

# 3.1 콘크리트

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 3) 혼화재료

- 감수효과: 물분자 혹은 시멘트페이스트의 전기적 극성을 통일화시켜 입자들이 쉽게 분리되게 하여 적은 단위수량으로 소요의 워커빌리티를 얻음



# 3.1 콘크리트

---

## 3.1.2 콘크리트의 재료의 선정

### 3) 혼화재료

- 광물질혼화재: 작은 입자사이즈로 콘크리트를 밀실화 시켜주며 포졸란 반응에 따른 강도발현으로 단위시멘트량을 줄여줄 수 있음 (시멘트 대체재)  
→ 단위시멘트량의 감소로 수화열 저감

그러나 늦은 포졸란 반응으로 초기재령에서 낮은 강도발현

# 3.1 콘크리트

## 3.1.3 콘크리트의 압축강도 (KS F 2405)

- **RC: 21~27 MPa, PSC: 30~40 MPa**  
→ 고강도를 얻기 위하여 가능한 낮은 w/c를 사용한다. (낮은 w/c의 사용은 건조수축 및 크리이프를 낮추는 데도 도움이 된다.)

## 3.1.4 콘크리트의 인장 (KS F 2423), 휨 (KS F 2408) 및 전단강도

- 콘크리트의 인장강도, 휨강도, 전단강도 등은 압축강도에 비하여 매우 작다. 그러나 압축강도가 큰 콘크리트일수록 이들 강도도 커진다. 이들 강도와 압축강도의 비는 고강도의 콘크리트일수록 작아진다.

콘크리트	인장/압축	휨/압축	전단/압축
보통	1/9~1/13	1/5~1/7	1/4~1/7
경량골재	1/5~1/15	1/6~1/10	1/6~1/10

# 3.1 콘크리트

## 3.1.4 콘크리트의 인장 (KS F 2423), 휨 (KS F 2408) 및 전단강도

- 인장강도시험: 할렬인장강도 시험  $f_{sp} = \frac{2P}{\pi dL}$
- $f_r = (0.5 \sim 0.66)\sqrt{f_{ck}} (MPa)$   
(실제인장강도는 0.5~0.7배)
- 휨인장강도시험: 3등분점 재하시험  $f_r = \frac{PL}{bh^2}$  (파괴계수라고도 불린다.)  
 $f_r = 0.63\sqrt{f_{ck}} (MPa)$
- 콘크리트의 피로강도는 정적강도의 약 50% (100만회 피로 반복횟수시)

# 3.1 콘크리트

## 3.1.5 고강도 콘크리트

- 고성능 감수제, 플라이애쉬 등 광물질 혼화재의 사용 등으로 얻어짐  
(일반적으로 압축강도 **40 MPa** 이상의 콘크리트를 고강도 콘크리트라 함)

- 장점:

높은 압축강도 → 부재의 단면축소 가능  
구조물의 자중 감소

높은 탄성계수, 건조수축과 크리이프의 저감 → 처짐량 감소  
프리스트레스 손실저감

마모에 대한 저항성 향상, 밀실구조로 철근부식 저감, 내약품성 증대

# 3.1 콘크리트

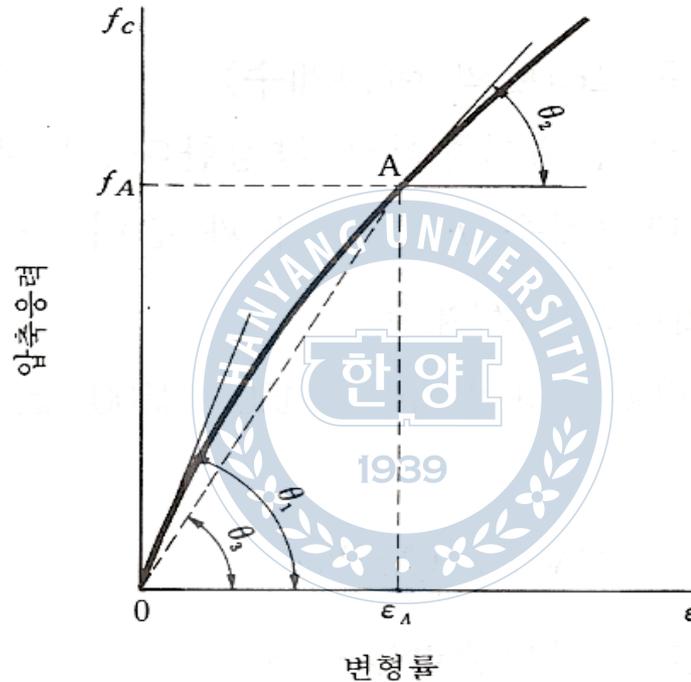
## 3.1.6 2축 응력을 받는 콘크리트

- 2축 압축의 경우 콘크리트의 강도는 1축 압축강도보다 약 20% 증가
- 2축 인장의 경우 큰 변화 없음
- 횡축 인장, 종축 압축의 경우 종방향 압축강도는 크게 감소

## 3.1.7 콘크리트의 탄성계수

- 1) 초기접선 탄성계수 (initial tangent modulus of elasticity)
- 2) 접선 탄성계수 (tangent modulus of elasticity)
- 3) 할선 탄성계수 (secant modulus of elasticity)

# 3.1 콘크리트



- 1) 초기접선 탄성계수 (initial tangent modulus of elasticity)  $E_c = \tan \theta_1$
- 2) 접선 탄성계수 (tangent modulus of elasticity)  $E_c = \tan \theta_2$
- 3) 할선 탄성계수 (secant modulus of elasticity)  $E_c = \tan \theta_3$

# 3.1 콘크리트

설계기준 (콘크리트 구조 설계기준) 에서의 콘크리트의 탄성계수

- 콘크리트의 단위 중량이  $m_c = 1450 \sim 2500 \text{ kg/m}^3$  인 경우

→ 
$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (Mpa)}$$

- 보통의 골재를 사용한 콘크리트  $m_c = 2300 \text{ kg/m}^3$  인 경우

→ 
$$E_c = 8500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (Mpa)}$$

$m_c$  : 콘크리트의 단위 중량 ( $\text{kg/m}^3$ )  $f_{cu}$  :  
재령 28일에서 콘크리트의 평균압축강도(Mpa) =  $f_{ck} + 8 f_{ck}$  :  
콘크리트의 설계 기준 강도(Mpa)

- 크리프 계산에 사용되는 탄성계수

→ 
$$E_c = 0.85 E_{ci}$$

$E_{ci}$  : 콘크리트의 초기 접선 탄성계수(Mpa)

# 3.1 콘크리트

## 3.1.8 콘크리트의 건조수축

- 콘크리트는 상대습도에 따라 팽창 혹은 수축한다.
- 단위시멘트량과 단위수량을 줄임으로써 팽창, 수축량을 줄일수 있다.
- 골재의 종류와 최대치수, 시멘트의 종류와 품질, 다짐, 양생, 부재의 치수 등의 영향도 받는다.
- 교재 **page 50**의 건조수축 산정식 참고 (식 2.7 ~ 2.8)
- 도로교 설계기준

P.S.도입시의 콘크리트재령 (일)	4~7	28	90	365
건조수축 변형률	$27 \times 10^{-5}$	$20 \times 10^{-5}$	$14 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$

\*\*\* 콘크리트가 건조수축시 → 불균등하게 수축함 (콘크리트의 건조표면부의 수축량이 콘크리트 내부측보다 큼 → 콘크리트 자체의 건조수축으로 인한 응력이 발생하게 됨 → 콘크리트 표면부에 균열발생)

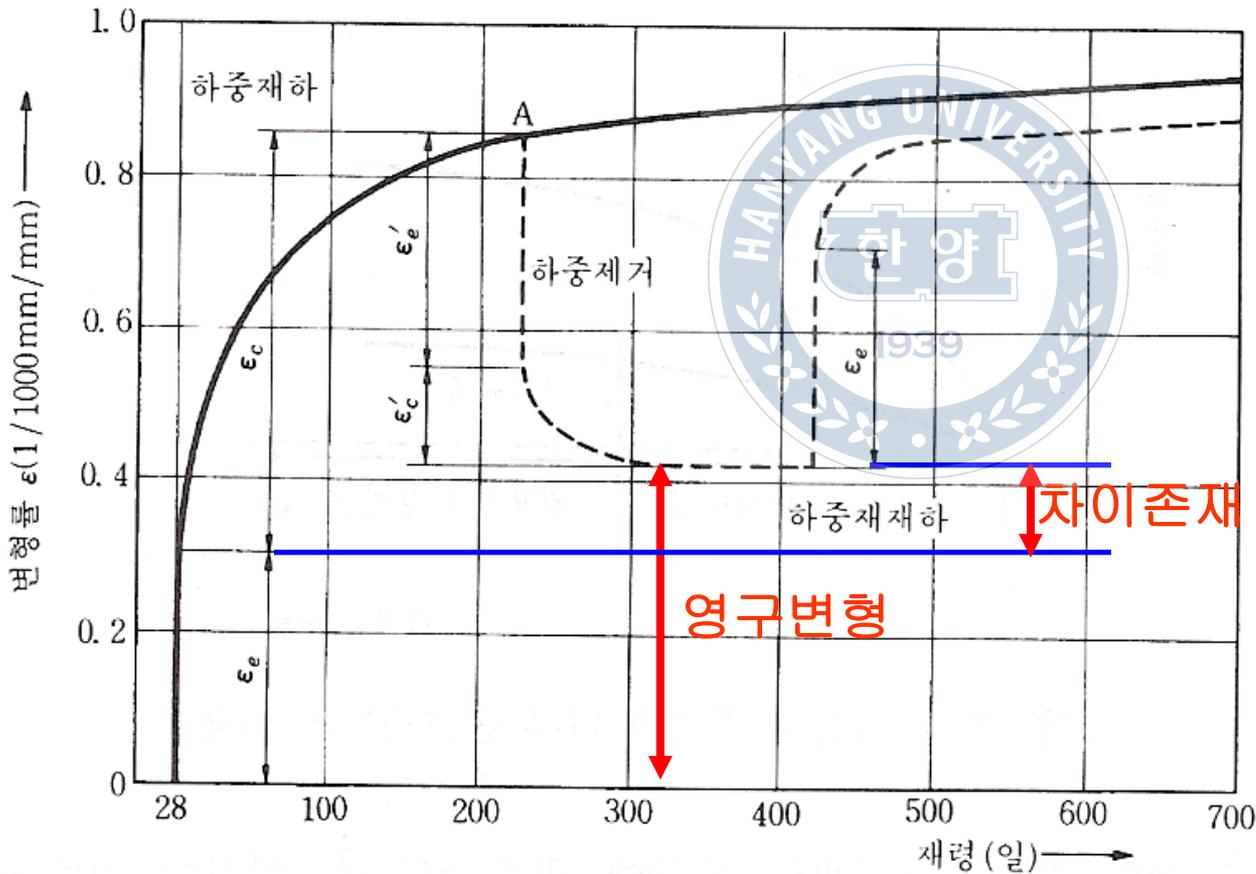
# 3.1 콘크리트

## 3.1.9 콘크리트의 크리이프

- 크리이프 변형률은 작용시킨 응력에 비례해서 커진다.
- 같은 응력하일경우 고강도 콘크리트가 저강도 콘크리트보다 작은 크리이프 변형률을 나타낸다.
- 크리이프 변형률은 탄성 변형률의 1.5~3배 정도에 이른다.  
(재하 후 처음 28일 동안 총 크리이프 변형률의 1/2이 진행, 3~4 개월 동안 최종값의 3/4 진행, 2~5년 후에 최종값으로 정지)
- 크리이프에 영향을 미치는 인자
  - a) w/c의 증가는 크리이프를 증가시킴
  - b) 콘크리트의 재령이 클수록 크리이프는 감소
  - c) 온도가 높을수록, 습도가 낮을수록 크리이프 변형은 커짐
  - d) 시멘트의 종류, 골재의 품질, 공시체의 치수 등의 영향도 받음

# 3.1 콘크리트

## 3.1.9 콘크리트의 크리이프 (응력의 변화없이 지속적인 변형)



$\epsilon_e$ : 탄성변형률

$\epsilon_c$ : 시점 A에서의 creep

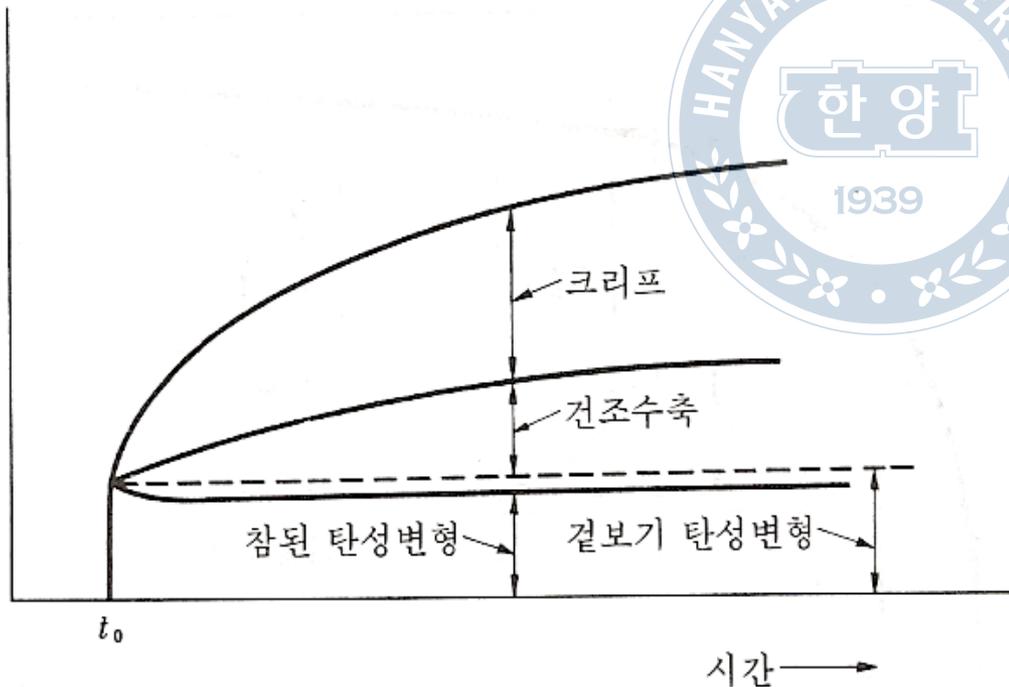
$\epsilon'_e$ : 탄성회복

$\epsilon'_c$ : creep 회복

# 3.1 콘크리트

## 3.1.9 콘크리트의 크리이프

- 실제 콘크리트 구조물은 크리이프와 건조수축이 함께 일어남



참된 탄성변형(true elastic strain): 콘크리트의 수화에 따른 강도 및 탄성계수 증대 → 탄성변형의 감소를 감안

실제로는 크리이프와 건조수축에 의한 변형률을 분리할 수 없으나 설계에서는 편의상 구분해서 생각한다.

# 3.1 콘크리트

크리이프 계수 ( $C_u$ )  $C_u = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_e}$

- **Davis-Glanville**의 법칙: 크리이프 변형률은 작용응력에 비례하며, 그 비례 상수는 압축응력의 경우나 인장응력의 경우 모두 같다. → **아님!**
- 크리이프 계수의 계산

$$\epsilon_c = C_u \epsilon_e = C_u \frac{f_c}{E_c} \longrightarrow C_u = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_e} = \frac{\delta_u f_c}{\epsilon_e} = \delta_u E_c$$

$$\delta_u = \frac{\epsilon_c}{f_c} \quad \text{단위 크리이프 계수}$$

- 교재 **page 53~54** 크리이프 계산식 참고
- 현재 도로교 설계기준은 **CEB-FIP Model Code**를 참고하고 있다.

# 3.1 콘크리트

## Creep: Models

METHOD		SABS 0100 (1992)	BS 8110 (1985)	ACI 209 (1992)	AS 3600 (1988)	CEB - FIP (1970)	CEB - FIP (1978)	CEB - FIP (1990)	RILEM Model B3 (1995)
Intrinsic Factors	Aggregate Type	X							
	A/C Ratio								X
	Air Content			X					
	Cement Content					X			X
	Cement Type					X	X	X	X
	Concrete Density			X	X				
	Fine/Total Aggregate Ratio (Mass)			X					
	Slump			X					
	W/C Ratio					X			X
	Water Content								X
Extrinsic Factors	Age at First Loading	X	X	X	X	X	X	X	X
	Age of Sample								X
	Applied Stress	X	X	X	X	X	X	X	X
	Characteristic Strength at Loading	X	X						
	Cross-section Shape								X
	Curing Conditions								X
	Compressive Strength at 28 Days			X	X	X	X	X	X
	Duration of Load			X	X	X	X	X	X
	Effective Thickness	X	X	X	X	X	X	X	X
	Elastic Modulus at Age of Loading	X	X						X
	Elastic Modulus at 28 Days	X	X	X	X	X	X	X	X
	Relative Humidity	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperature							X	X
Time Drying Commences								X	

보통 콘크리트의 Creep계수  
(도로교 설계기준 - CEB-FIP 참고)

재령(일)		4~7	14	28	90	365
Creep 계수	조강 시멘트	3.8	3.2	2.8	2.0	1.1
	보통 시멘트	4.0	3.4	3.0	2.2	1.3

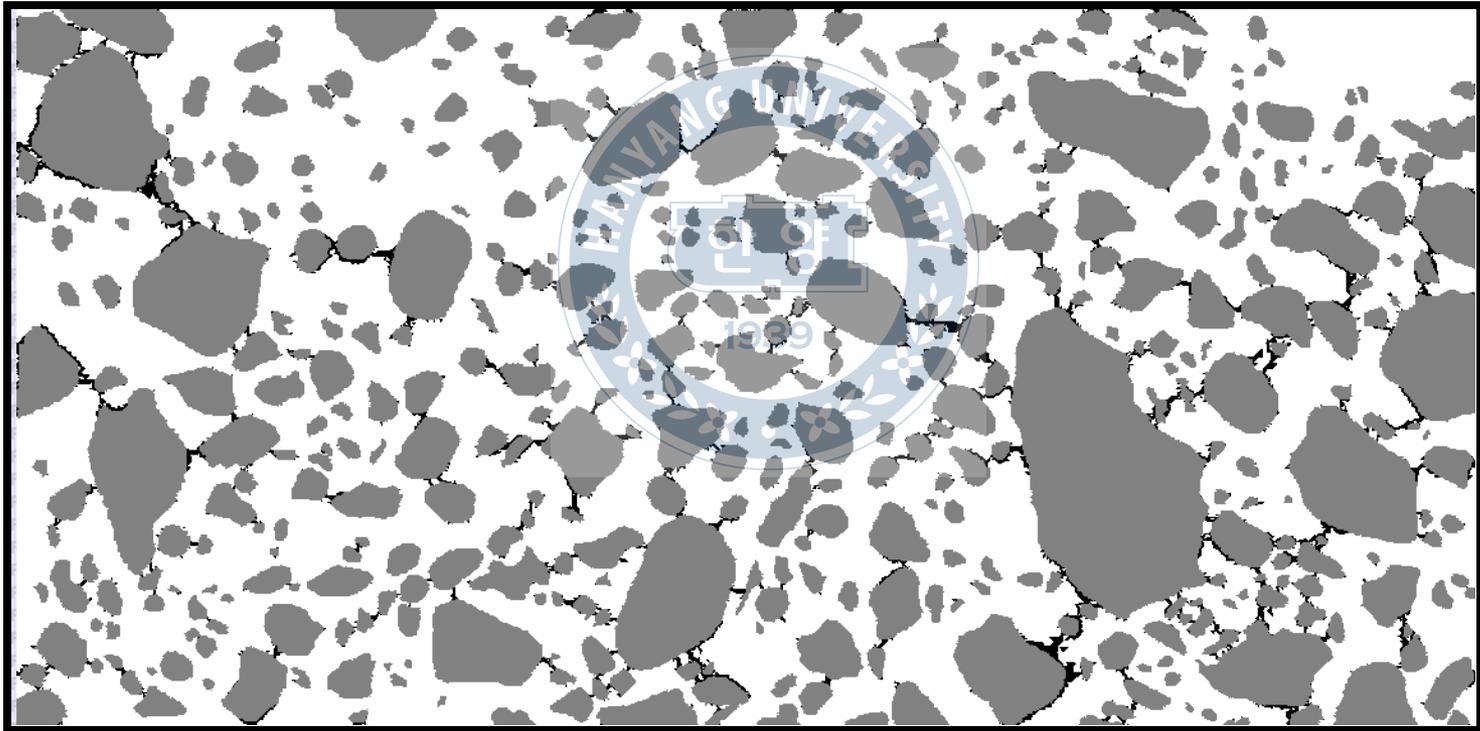
# 참 고

## Creep은 왜 발생하는가?

1. 콘크리트 (특히 시멘트 페이스트부, **bond phase** (골재와의 계면) **Microstructure** 의 변형
2. **Microcracking: Microcrack < 0.1 mm**
  - 콘크리트는 타설 후 굳기 시작하면서부터 이미 마이크로크랙이 발생하기 시작한다.
  - 이유는 시멘트페이스트와 골재는 다른 **material properties** (강도, 탄성계수 등)를 가지고 있고, 자가수축, 건조수축 등은 시멘트 페이스트만이 주도하기 때문 (골재는 상대적으로 안정적인 **Phase**를 구축함으로써 시멘트페이스트의 부피변화에 대한 내부구속력을 가지게 됨)

# 참 고

## 콘크리트 내부의 Microcracking



**Result of Computer Simulation: Due to Autogenous Shrinkage of cement paste**