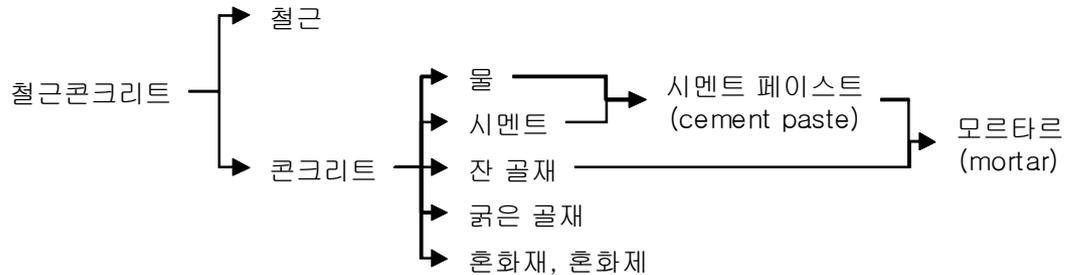


## 2장 재 료

### 2.1 재료 및 배합

#### 2.1.1 개요



- 철근과 콘크리트

- 콘크리트는 압축에는 강하나 인장에는 매우 약하다.
- 철근은 압축과 인장에 모두 강하나 압축력에 대해서는 부재의 세장성으로 좌굴발생의 우려가 있어 인장력의 저항성이 더 유리하다.
- 따라서, 이 두 재료를 결합하여 사용할 경우 서로의 단점이 보완되어 구조성능을 높일 수 있다.

- 결합의 가능성

- 부착성능이 높고 열팽창계수가 거의 같아 재료 분리현상이 일어나지 않는다.
- 약알칼리성의 콘크리트는 철근의 부식을 막아준다. ⇒ 내구성 향상
- 철근 : 공장에서 제조. 균일한 재료성질.  
    항복점, 인장강도 및 탄성계수 등 역학적 특성에 대하여 신뢰성이 크다.
- 콘크리트 : 현장 타설, 불균질한 재료(물, 골재, 시멘트의 결합)  
    재료성질과 구조적 성능에 영향을 주는 요소가 많아 불확실성이 크다.

## 2-2 콘크리트의 구성 재료

### (1) 시멘트

- 수화작용에 의해 고착력을 발휘하는 미세한 분말재료. 포틀랜드 시멘트가 대표적이며, 실리카( $\text{SiO}_2$ ), 석회( $\text{CaO}$ ), 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )를 주성분으로 한다.
- **포틀랜드 시멘트**의 종류(KS L5201)
  - 1종 보통콘크리트 : 일반 구조물
  - 2종 중용열 콘크리트 : 단면이 큰 구조물
  - 3종 조강콘크리트 : 한냉지, 급속공사
  - 4종 저열 콘크리트 : 단면이 큰 구조물
  - 5종 내황산염 콘크리트 : 해수 및 황산침해 구조물

- 특수 시멘트 : 내화용 알루미나 시멘트, 마그네시아 단열시멘트, 석면 단열시멘트, 팽창성 수경시멘트 등
- KS L 5201포틀랜드 시멘트  
KS L 5205내화물용 알루미나 시멘트  
KS L 5210고로 슬래그 시멘트  
KS L 5211플라이애시 시멘트  
KS L 5217팽창성 수경시멘트  
KS L 5401포틀랜드 포졸란시멘트

\* 국가표준종합정보센터([www.standard.go.kr](http://www.standard.go.kr)) : KS규격 검색 및 내용보기 가능

(2) 골재 : 모래, 자갈, 쇠석, 고로 슬래그

- 시멘트 페이스트와 결합되어 증량 효과를 가지면서 일체로 굳어져 콘크리트를 이루는 모래, 자갈, 쇠석, 고로 슬래그 등의 불활성 입상재료이며, 전체 부피의 70~75%차지.
- 골재의 품질 규정 : 콘크리트용 골재 KS F 2526  
콘크리트용 부순 골재 KS F 2527  
콘크리트용 경량골재 KS F 2534  
콘크리트용 동 슬래그 골재 KS F 2543  
콘크리트용 고로 슬래그 굵은 골재 KS F 2544
- 골재의 분류
  - 잔골재와 굵은 골재 : 5mm체에 증량 비율로 85% 이상 통과하는 골재를 잔골재, 85% 이상 잔류하는 골재를 굵은 골재라 한다.
  - 천연골재 : 강모래, 강자갈, 부순자갈
  - 인공 경량골재 : 플라이애쉬, 점토 등을 소성·팽창시킨 것

· 굵은 골재의 **공칭 최대치수**는 다음 값을 초과하지 않아야 한다. 그러나 이러한 제한은 콘크리트를 공극 없이 타설할 수 있는 시공연도나 다짐방법을 사용할 경우에는 책임기술자의 판단에 따라 적용하지 않을 수 있다.

① 거푸집 양 측면 사이의 최소 거리의 1/5

② 슬래브 두께의 1/3

③ 개별 철근, 다발철근, 프리스트레싱 긴장재 또는 덕트 사이 최소 순간격의 3/4

④ 과다 철근 부재의 경우 주철근의 최소 간격보다 5mm 작은 값과 철근 최소 간격보다 5mm작은 것 중 작은 값

### (3) 콘크리트의 종류

- 설계기준압축강도  $f_{ck}$ 는 공시체 제작 및 시험 규정에 의해 시행한 원주공시체의 시험에 근거를 두어야 한다. 또한, 특별히 다른 규정이 없을 경우  $f_{ck}$ 는 **재령 28일 강도**를 기준으로 해야 한다.

- 구조용 콘크리트 : 재령 28일의 설계기준강도가  $18MPa(N/mm^2)$  이상인 콘크리트

- 경량 콘크리트 : 골재의 전부 또는 일부를 인공경량골재를 사용하여 만든 콘크리트로서 재령 28일의 설계기준강도가  $15MPa(N/mm^2)$  이상이며, 기건단위질량이  $2,000 kg/m^3$  미만인 콘크리트

- 중량 콘크리트 : 기건단위질량이  $2,800 kg/m^3$  이상인 콘크리트

- 레디믹스트콘크리트(Ready-mixed concrete) : KS F 4009

재료가 혼합되기는 하지만 굳지 않은 채로 주문자에게 운반되는 콘크리트

종류 : 보통 콘크리트( $18\sim 35MPa$ ), 경량 콘크리트, 고강도 콘크리트( $40\sim 60MPa$ )

레미콘 규격 : 25-18-12 (골재치수(mm)-강도(MPa)-슬럼프치(cm))

## 2.3 콘크리트의 강도

### (1) 콘크리트 강도의 종류

- 압축강도(Compression Strength) : 설계기준압축강도 ( $f_{ck}$ )
- 인장강도(Tensile Strength) : 휨인장강도( $f_t$ ), 쪼갬 인장강도( $f_{sp}$ )
- 전단강도(Shear Strength) :  $V_c$
- 부착강도(Bond Strength) :  $\tau_a$

→ 이 중 **압축강도**가 가장 크며 나머지 강도들도 압축강도와 밀접한 관계가 있음.

### (2) 콘크리트 강도에 영향을 미치는 요인

시멘트 종류, 물/시멘트비, 골재, 양생조건 및 기간, 콘크리트의 재령

(3) 압축강도시험의 종류

- ① **배합설계용 시험** : 일정한 비율로 배합된 콘크리트가 소정의 강도를 발현하는지의 여부를 확인할 목적으로 시행되며, 시험체는 한 배합에 대하여 30회 이상 연속 시험할 수 있도록 제작되어야 한다.
- ② **압축강도 관리용 시험** : 현장이나 콘크리트 제품 제조공장에서 사용되는 콘크리트의 압축강도 관리를 목적으로 일정한 사용량에 주기적으로 실시되며, 믹서나 호퍼, 콘크리트 운반기구 또는 콘크리트 타설 장소로부터 굳지 않은 콘크리트를 채취하는 방법은 **KS F 2401 (굳지 않은 콘크리트의 시료 채취방법)**에 규정되어 있다.

※ **건축구조기준 2.3.3 콘크리트의 평가와 사용승인**

(1) 시험의 빈도

콘크리트 강도시험용 시료를

- ① 하루에 1회 이상
- ② 100 m<sup>3</sup>당 1회 이상
- ③ 슬래브나 벽체의 표면적 500 m<sup>2</sup>당 한 번 이상 채취하여야 한다.
- ④ 배합이 변경될 때마다 1회 이상

## 2-3-1 공시체 제작

콘크리트 공시체의 제작 및 양생방법은 **KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)**에 따라 제작하고 양생하는 방법에 따라야 한다.

- 공시체 : 지름의 두 배 높이를 가진 원주형

· 굵은 골재의 최대 치수가 40mm 이하인 경우에 공시체의 지름은 100mm, 125mm, 및 150mm를 표준으로 한다.

· 골재 치수가 25mm 이하이면  $\phi 100 \times 200\text{mm}$   
25mm를 초과하면  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 이 적합

- 공시체의 높이를 지름의 두 배로 규정하는 이유는 압축시험시 가압판이 공시체의 양 단부에 밀착되기 때문에, 이러한 단부의 밀착에 의한 마찰력이 횡압과 같이 공시체에 작용하여 실험결과가 실제 압축강도보다 크게 나타날 수 있으므로 이를 방지하기 위함이다. (참고적으로 표준공시체에 비해, 높이가 지름의 1.5배인 공시체는 4%, 높이가 지름과 같은 공시체는 12%의 강도 증가를 보인다.)
- 또한 영국에서는 150mm 입방 공시체, 독일에서는 200mm 입방 공시체를 사용하고 있으며, 각주공시체에 의한 압축강도는 원주공시체에 의한 압축강도보다 약 20% 더 높게 나타나기 때문에 150mm 입방 공시체에는 0.8, 200mm 입방 공시체에는 0.83의 보정계수를 곱한다.
- 공시체 제작에 있어 또 한가지 중요한 것은 재하면의 마무리이다. 가압판이 맞닿는 공시체면이 평탄하지 않거나 요철이 있는 경우에는 응력집중현상이 생겨 실제 압축강도보다 낮은 강도에서 파괴되기 때문에 KS F 2403에서는 마무리한 면의 평면도(평할도)를 0.05% 이내가 되도록 규정하고 있다.

## 2.3.2 콘크리트의 압축강도와 탄성계수

- 콘크리트의 설계강도 측정을 위한 압축강도실험은 압축력을 시험체의 마구리면 한 방향으로만 가하는 일축(一軸)압축시험으로 한다. 또한 압축강도실험에 의한 결과를 바탕으로 변형률과 탄성계수의 측정도 높은 비중으로 다루어진다.
- 콘크리트 압축강도 시험방법 : KS F 2405
- 콘크리트의 설계강도 : 28일 동안(재령 28일) 21~25℃로 습윤양생하고(표준양생), 매 초 0.6±0.4MPa의 재하속도로 시험한 표준공시체의 일축방향 압축강도
- 압축강도 실험시 가력속도는 콘크리트의 압축강도에 크게 영향을 미치는데, 가력속도 즉, 초당 1 cm<sup>2</sup>의 면적에 가해지는 힘이 커질수록 압축강도는 증가하며, 반대로 가력을 천천히 하는 경우에는 공시체의 강도가 낮아진다.

(1) 응력-변형률 곡선(stress-strain curve) : 변형률 주도형 곡선

응력 주도형 곡선에서는 하강 곡선을 살펴볼 수 없음.

• 세로축의 콘크리트 압축응력 ( $\sigma = \frac{P}{A}$ )

가로축의 압축변형률 ( $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ ), 극한 변형률= 0.003

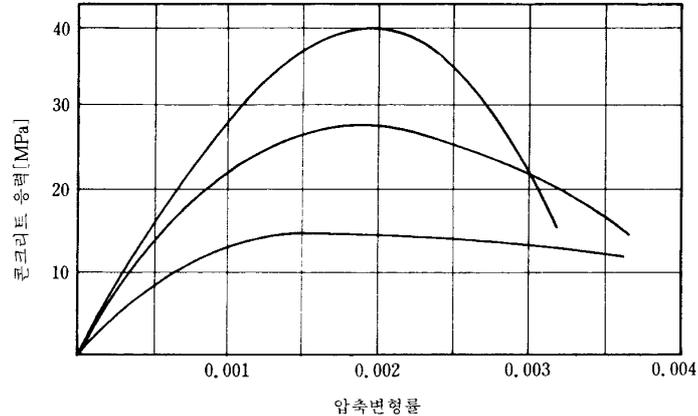


그림 2.1 콘크리트의 응력-변형률 곡선

- 응력변형도 곡선에서 압축강도에 대응하는 **변형율**은 대략 **0.002** 정도로 나타남.
- 최고응력(압축강도) 이후 하강곡선을 그리고 있는데 그 이유는 시험체 내부의 균열파급이 현저하게 진행되어 재료입자간의 결속이 파괴되기 때문이며 이를 **변형율연화역**(變形率軟化域)이라고 한다.
- 강도설계법에서 파괴시 **극한 변형율**을 **0.003**으로 하는 것은 변형율연화역의 일부까지 극한강도의 일부로 하는 셈이 된다. 또한 그림 2.1 은 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 취성 파괴(brittle failure)를 나타냄을 보여주고 있다.

- $1 \text{ kgf/cm}^2 \simeq 10 \text{ N/cm}^2 = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa} = 10^{-1} \text{ MPa}$

- 앞 사진의 응력도 계산

$$\pi \times 50^2 = 7854 \text{ mm}^2$$

$$\frac{268600 \text{ N}}{7854 \text{ mm}^2} = 34.20 \text{ MPa}$$

(2) 탄성계수(설계기준 3.4.3)

- 탄성계수  $E_c$ 는 탄성범위 내에서 변형률의 변화에 대한 응력의 변화이다.

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

- 비선형 거동을 보이는 콘크리트의 탄성계수  $E_c$ 는 변형률에 대한 응력의 도함수임

$$E_c = \frac{df_c}{d\epsilon}$$

- 그림 2.2와 같은 응력-변형률 곡선에 서 초기 선형상태의 기울기를 초기 접선탄성계수(initial tangent modulus), 임의의 응력상태를 잇는 직선의 기울기를 할선탄성계수(secant modulus)라 하며,  $0.5 f_{ck}$ 에 대한 할선탄성계수를 콘크리트의 탄성계수  $E_c$ 로 하고 있다.

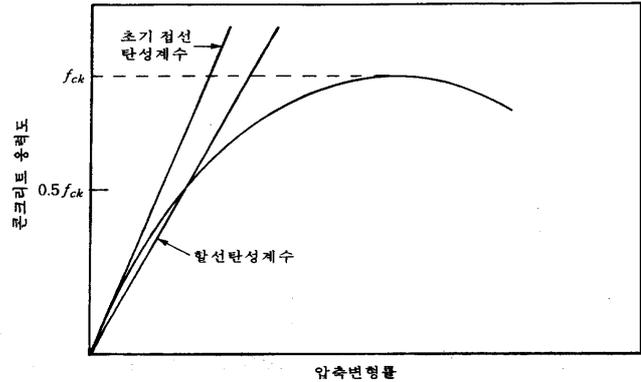


그림 2.2 콘크리트의 접선 및 할선탄성계수

표 1 참조. 콘크리트의 탄성계수  $E_c$  (MPa)산정식

$m_c = 1,450 \sim 2,500 \text{ kg/m}^3$	$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}}$
$m_c = 2,300 \text{ kg/m}^3$ 일 경우	$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}}$

•  $m_c$  : 콘크리트의 단위질량

•  $f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$  (MPa)

$\Delta f$ 는  $f_{ck}$ 가 40MPa이하면 4MPa, 60MPa이하면 6MPa, 그 사이는 직선보간

(3) 탄성계수비

• 철근의 탄성계수  $E_s = 200,000 \text{ MPa}$

• 형강의 탄성계수  $E_{s,s} = 205,000 \text{ MPa}$

• 탄성계수 비  $n$ 은 콘크리트의 탄성계수에 대한 철근의 탄성계수 비이다.

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.0 \times 10^5}{0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}}}$$

$f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ 라면,  $E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \simeq 26,986 \text{ MPa}$ 이고,  $n \simeq 7.41$ 이다.

(4) 다중 응력상태(2축 또는 3축으로 압축력을 받는)에서의 콘크리트 강도

※ 다중 응력상태에서 압축강도가 1축 압축강도보다 높은 이유 : 1축 압축상태에서는 Poisson ratio 에 의해 횡방향으로 인장변형율이 생기고 이에 따라 균열이 발생하나, 다축 압축상태에서는 이러한 인장변형율을 구속하여 균열의 발생이나 파급을 억제하기 때문이다.

(1) 2축 응력상태 : 구조체로는 휨과 전단을 받는 보, 벽보, 전단벽 등으로 휨응력과 전단응력에 의한 주응력은 언제나 2축 응력상태가 된다.

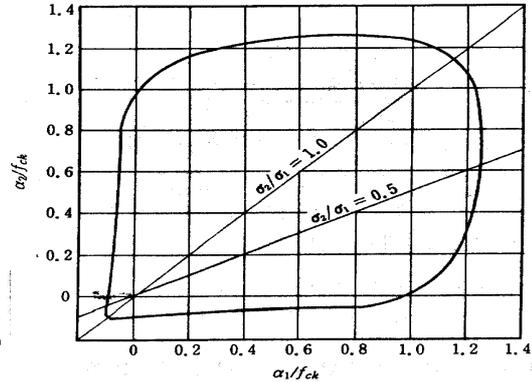
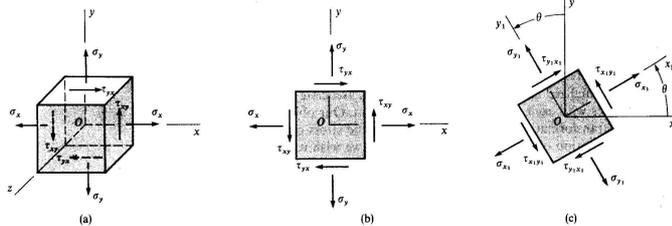


그림 2.4 2축 응력상태에서 콘크리트의 압축강도 곡선

(2) 3축 응력상태 : 구조체로는 수압을 받는 해양구조물, 띠철근이나 나선철근으로 보강된 기둥부재로 축방향으로 압축력이 작용하면 그에 수직인 두 방향으로 인장변형이 생기며, 이때 띠철근 또는 나선철근은 횡변형에 스프링계수를 곱한 값만큼 횡방향 구속력으로 작용하여 3축 응력상태가 된다.

- 3축 응력상태에서는 압축강도와 연성이 매우 크게 증가하며 횡방향 구속응력  $\sigma_2 = \sigma_3$ 가 같을 때 축방향 압축파괴시 응력은 식(2.4)로 제안되고 있다.

$$\sigma_1 = f_{ck} + 4.1 \sigma_3 \quad (2.4)$$

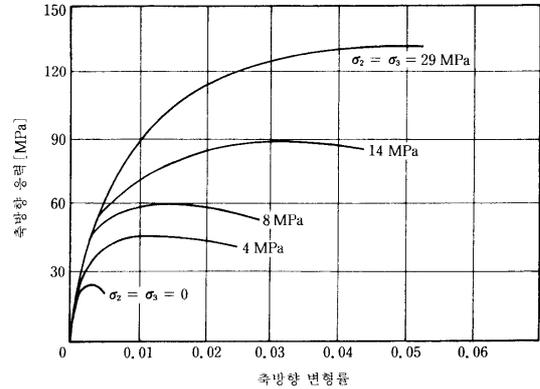
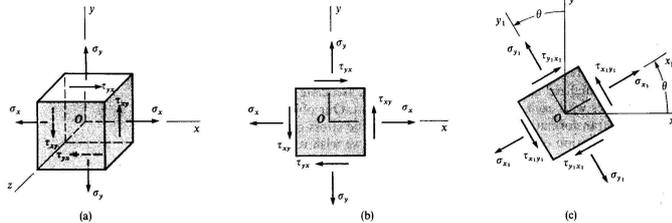


그림 2.5 3축 응력 상태에서 축방향 응력-변형을 곡선

### 2-3-3 콘크리트의 인장강도(휨부재 설계시 무시)

- 콘크리트의 인장강도는 콘크리트 휨재의 인장측 균열발생과 밀접한 관계가 있고, 전단 및 비틀림에 의해서도 사인장균열이 생기므로 이에 대한 콘크리트의 저항성능을 평가하기 위해서는 콘크리트의 인장강도가 이해되어야 한다.

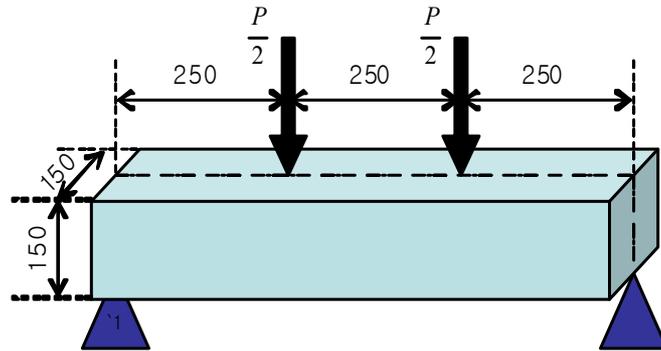
※ 인장강도 : 압축강도의 8~15% 정도

#### [ 콘크리트의 인장시험 방법 3가지]

- 직접인장시험, 휨인장시험, 쪼갬인장시험

(1) 직접인장시험(Direct tension test) : 공시체(봉상: 奉狀)를 인장기구에 설치하여 잡아당겨 파단시키는 방법으로 실험연구 이외에는 많이 사용되지 않는다.

(2) 휨강도 시험 : 150×150×750 mm의 무근콘크리트보를 공시체로 하여 단순지지상태에서 중심재하 또는 3등분점 재하 등으로 보의 인장측에 균열이 발생하여 파괴될 때까지 휨하중을 가하면서 측정한다.



$$\sigma_t = \frac{M}{I}y = \frac{M}{\frac{bh^3}{12}} \times \frac{h}{2} = \frac{6M}{bh^2} \left( = \frac{PL}{bh^2} \right)$$

여기서, M:최대모멘트 ( =  $\frac{PL}{6}$  )

b:공시체의 폭      h:공시체의 높이

$$\text{휨인장강도} : f_r = \frac{6M}{bh^2} \left( \sigma = \frac{M}{Z} \right) \rightarrow f_r = \frac{M}{I}y$$

- 일반적으로 콘크리트의 인장강도는 콘크리트의 압축강도  $f_{ck}$ 의 제곱근에 비례하며, 콘크리트의 파괴계수(휨인장강도  $f_r$ )는 (2.5)식으로 구한다.

$$f_r = 0.63\lambda\sqrt{f_{ck}}(MPa) \tag{2.5}$$

경량콘크리트 계수  $\lambda$  : 보통 중량콘크리트 1.0

모래 경량콘크리트 0.85

진경량콘크리트 0.75

(3) 쪼갬시험(split-cylinder test) : 이 방법은 직접인장시험에 대신하여 많이 사용되는 방법으로 압축강도에서와 같이 지름 150mm, 높이 200mm의 원주공시체가 사용된다. 그림 2.3(a)과 같이 공시체를 눕힌 상태에서 압축력을 가하면 그림 2.3(b)에 나타난 것과 같이 힘이 가해지는 위 아래는 압축상태가 되나 중앙부는 인장상태가 되어 균열이 위 아래로 일자로 생기면서 쪼개진다.

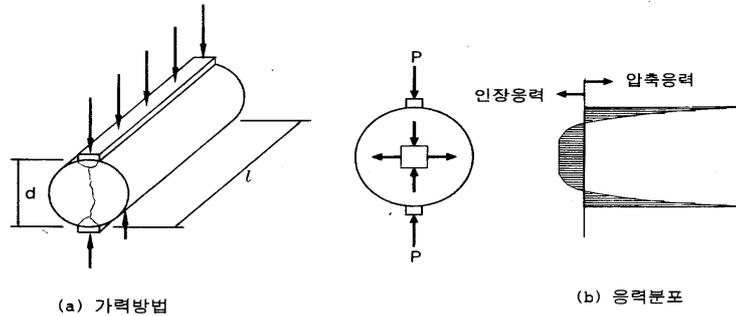


그림 2.3 쪼갬시험법(split-cylinder test)

- 쪼갬 인장강도  $f_{sp}$

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi dl} \quad (2.6)$$

- 경량 콘크리트에 대한 **파괴계수**의 계산에서 쪼갬 인장강도  $f_{sp}$ 의 값이 식(2.6)에 의하여 계산되는 경우  $\sqrt{f_{ck}}$ 대신에  $1.76f_{sp}$ 의 값을 사용하여야 하나, 이 값은  $\sqrt{f_{ck}}$ 의 값을 초과하지 않아야 한다.

## 2-4 콘크리트의 건조수축과 크리프 : 시간종속적인 체적변형

- 건조수축(drying shrinkage) : 콘크리트는 습기를 흡수하면 팽창하고 건조하면 수축하게 되는데, 이와 같이 습기가 증발함에 따라 콘크리트가 수축하는 현상. 구조체에 응력을 유발
- 크리프(creep) : 지속하중으로 인하여 콘크리트에 일어나는 시간의존적 장기변형. 구조체에 응력을 이완
- 건조수축과 크리프는 구조체에 무시할 수 없는 0.0004~0.001 정도의 변형율을 일으킨다. (참고적으로 탄성변형도는 0.0025)

## 2.4.1 건조수축(drying shrinkage) : 구조체에 응력을 유발

- 건조수축에 미치는 요인 :

- 상대습도 : 상대습도가 적은 경우에는 초기에 수축률이 증가하나, 1년후 서서히 줄어듦.(그림 2.9)
- 골재의 함량 : 골재는 수축을 억제하는 효과 발휘
- 물/시멘트 비 : 물/시멘트비가 낮을수록 수축률은 작아진다
- 콘크리트의 양생 : 양생은 조직을 치밀하게 하고 강도를 증진시키는 데에는 효율적이나, 콘크리트의 수축에는 반대의 효과를 가져 잘 양생된 콘크리트가 더 빨리 수축한다.

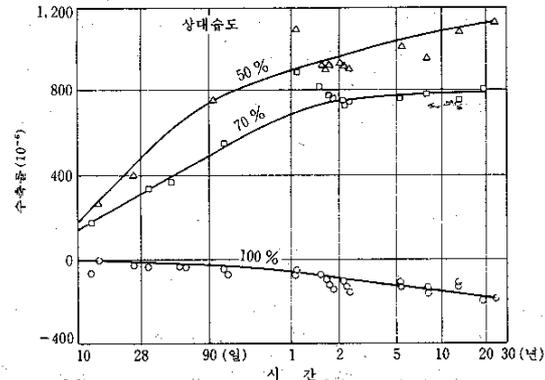


그림 2.9 상대습도와 재령에 따른 콘크리트의 수축

## 2.4.2 크리프(creep)

- 정의 : 경화된 콘크리트에 지속하중이 작용할 때 생기는 시간종속적인 변형률
- 크리프에 영향을 미치는 요인 : 강도, 재령, 골재, 온도, 상대습도 등
- 콘크리트 구조체에 하중이 작용하면 그림 2.10에 보이는 바와 같이 순간탄성변형률  $\varepsilon_e$ 가 생기고, 작용하중이 그대로 지속되면 시간의 흐름과 함께 크리프 변형률  $\varepsilon_c$ 가 추가로 발생하게 된다. 즉, 크리프에 의한 변형율은 구조체에 하중이 작용하여 일정한 시간이 지났을 때 측정된 전체 변형율에서 순간탄성변형율을 빼면 얻을 수 있다.
- 크리프 현상은 콘크리트가 압축을 받으면 압축응력을 전달하는 겔입자 사이의 흡착수층이 얇게 되려는 현상 때문에 생기며, 처음에는 이러한 흡착수층 두께의 변화가 빨리 생기나 시간이 갈수록 늦어지며, 새로운 위치에서 콘크리트의 수화에 의한 결합이 형성되어 하중을 제거하였을 때에도 그림 2.10에 보이는 바와 같이 부분적으로 복원되기는 하나 변형된 위치에서 겔입자의 결합에 의한 부분은 잔류변형율로 복원되지 않은 채 남게 된다.

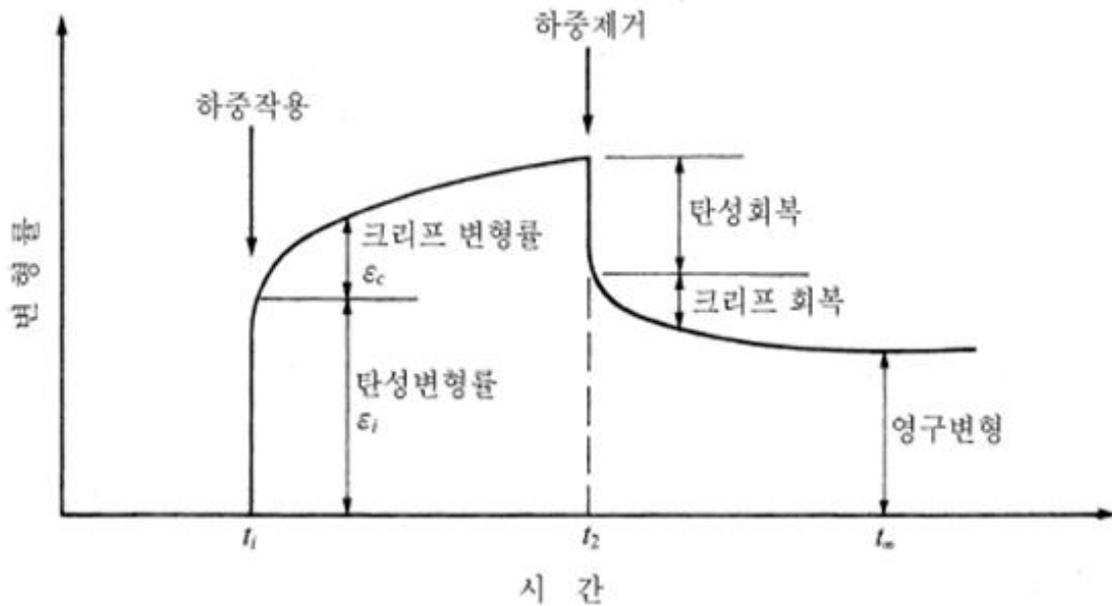


그림 2.10 콘크리트의 탄성 및 크리프 변형율

- 크리이프의 종류

기본 creep : 콘크리트와 주변과의 수분 이동이 차단된 상태에서 발생

건조 creep : 기본 creep에 건조에 의한 변형율이 추가된 것.

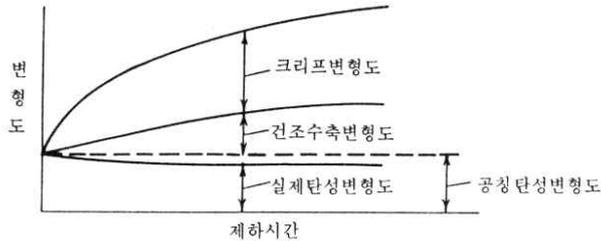
- 크리이프의 일반적 성질

- ① 콘크리트의 크리이프 변형율은  $f_{ck}$ 의 1/2 이하의 응력하에서는 가해진 응력에 비례한다.
- ② 재령 : 재하 후, 처음 28일 동안에 총크리이프 변형율의 1/2 정도가 진행되며 처음 3~4 개월 동안에 최종값의 3/4 이상 진행되고 2~5년 후에 최종값으로 정지한다.
- ③ 물·시멘트비와 단위 시멘트량이 작을수록 크리이프량은 적어진다.
- ④ 콘크리트 강도 : 크리이프에 가장 큰 영향을 미친다.
- ⑤ 골재 : 크리이프를 감소시키는 효과
- ⑥ 온도: 70℃까지는 크리이프가 증대하고, 70~110℃에서는 감소하여 110℃ 이상에서는 증가, 화재시 크리이프 증가
- ⑦ 상대습도 : 상대습도가 낮을수록 증가한다.
- ⑧ 크리이프 변형율은 탄성변형율의 1.5~3배 정도에 달한다.
- ⑨ 진동기를 사용해 다짐하면 크리이프량이 적어진다.
- ⑩ 단면의 치수가 클수록 크리이프량은 적어진다.

- 장기 지속하중을 받는 콘크리트 구조체의 설계에서 **순간변형과 크리프변형을 고려한 전체변형률**은 식(2.10)로 계산하도록 규정되어 있다.

$$\varepsilon_{cw}(t, t') = \frac{f_c(t')}{E_{ci}(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_{ci}} f_c(t') \quad (2.10)$$

여기서,  $f_c(t')$  는 재령  $t'$ 일에서 콘크리트의 압축응력이고,  $\phi(t, t')$ 는  $t'$  날짜에 가하여진 하중에 의하여 재령  $t$ 의 콘크리트에 생기는 시간종속적인 변형을 나타내는 크리프계수이다.



탄성변형 및 크리프 변형

## 2.5 콘크리트 보강용 강재

- 콘크리트는 압축강도에 비하여 인장강도가 매우 낮다(압축강도의 8~15%). 따라서, 인장을 받는 부재에는 보강이 필요하며 콘크리트의 보강용 재료로는 강재가 주로 사용된다.
- 보강재로서의 조건
  - ① 열팽창계수가 비슷해야 한다 - 열에 의한 분리현상 방지  
콘크리트의 열팽창계수는  $1.0 \times 10^{-5}/\text{c}$  이며, 강재는  $1.2 \times 10^{-5}/\text{c}$ 로 거의 비슷하다.
  - ② 부착성능이 우수 - 콘크리트와 보강재가 일체화 되어야만 응력 전달에 문제가 생기지 않는다.
- 보강재 : 철근(강재), 용접철망, 강선
- 보강방법에 따라
  - 철근 콘크리트 ( RC )
  - 프리스트레스트 콘크리트 (post-tension, pre-tension)
  - 철골철근콘크리트 ( SRC )

## 2.5.1 철근

- 철근은 콘크리트 보강용으로 사용되는 봉강으로 **KS D 3504(철근콘크리트용 봉강)**에 규정되어 있다. 철근은 열간압연으로 제조되며 형태에 따라 원형철근과 이형철근으로 나뉜다.
- 원형철근 : 가공성은 우수하나 부착성이 낮아 기둥의 나선 보강용 이외에는 거의 사용하지 않으며 표기는 다음과 같다.  $\phi 10$  (10mm)
- 이형철근 : 부착강도를 높이기 위하여 원형 단면의 둘레에 돌기가 있도록 제조된 철근으로 길이방향의 돌기를 리브라 하고, 단면방향의 돌기를 마디라고 한다. 이형철근의 마디는 응력집중이 작게 생기도록 되어있다.

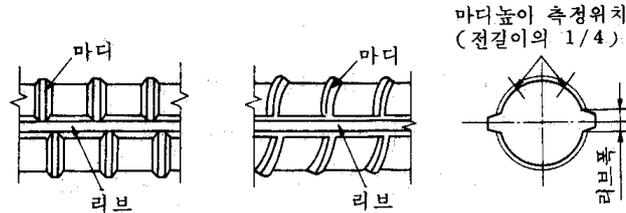


그림 2.12 이형철근의 형태

D10, D13:슬래브, 벽체, 늑근, 띠근

D19~D25 : 보, 기둥, 기초 등의 주근

호칭명	단위무게 (kgf/m)	공칭지름 (mm)	공칭단면적 ( $\text{cm}^2$ )	공칭둘레 (cm)	마디의 평균간격 최대치(mm)
D6	0.249	6.35	0.316	2.0	4.4
D10	0.560	9.53	0.713	3.0	6.7
D13	0.995	12.7	1.267	4.0	8.9
D16	1.56	15.9	1.986	5.0	11.1
D19	2.25	19.1	2.865	6.0	13.4
D22	3.04	22.2	3.871	7.0	15.5
D25	3.98	25.4	5.067	8.0	17.8
D29	5.04	28.6	6.424	9.0	20.0
D32	6.23	31.8	7.942	10.0	22.3
D35	7.51	34.9	9.566	11.0	24.4
D38	8.95	38.1	11.40	12.0	26.7
D41	10.5	41.3	13.40	13.0	28.9
D51	15.9	50.8	20.27	16.0	35.6
D4	0.110	4.23	14.05	1.3	3.0
D5	0.173	5.29	21.98	1.7	3.7
D8	0.387	7.94	49.51	2.5	5.6
D57	20.3	57.3	25.79	18	40.1

- 철근의 역학적 성질은 주로 인장시험 및 굽힘시험 등으로 결정되며, 인장시험은 가장 보편적인 시험으로, 가하여진 인장력과 인장변형으로부터 응력-변형률 곡선을 작성하여 여기에서 탄성계수, 항복점 또는 항복강도 및 인장강도를 얻게 된다.
- 역학적 성질 : 탄성계수 ( $E_s$ ), 항복강도 ( $f_y$ ), 인장강도 ( $f_u$ ), 연신율(%)

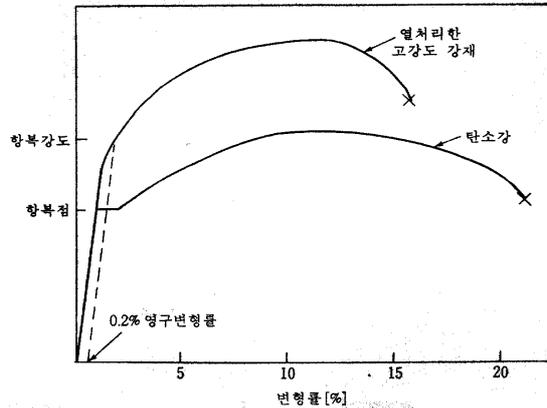


그림 2.13 철근의 응력변형률

- 철근의 탄성계수는 탄성범위 안에서 응력-변형을 곡선의 기울기로 철근의 강도에 관계없이 대략  $E_s = 200,000 MPa$  의 값을 가진다.
- 철근의 항복점은 저강도의 탄소강 재질에서는 그림 2.13과 같이 뚜렷하게 나타나나, 열처리를 한 고강도 철근에서는 항복점이 뚜렷이 보이지 않고 인장강도에 이르기까지 완만하게 변하기 때문에 응력변형률곡선에서 비례한도하부의 직선 기울기와 평행하게 그어 응력이 0일 때 0.2%의 영구변형율을 가지게 하는 지점의 응력을 항복강도로 한다. (항복 변형도  $\varepsilon_y = 0.002$ )

- 철근의 인장강도는 응력-변형율 곡선에서 최대 응력을 말하며, 종류별 항복강도 및 인장강도 기준으로 일반용 6종류, 용접용 5종류로 나누고 있다.
- 연신률은 시편의 파단시 변형율의 값이다. 즉, 연신율 16%인 철근은 인장 파단될 때까지 1m당 160mm의 변형이 발생할 수 있음을 나타낸다.
- SD400은 항복강도 400 MPa 재질의 이형철근이며, SD400W는 SD400과 같은 재질의 용접용 철근이다.

표 2-5 철근의 종류 및 성질

철근형태	종류기호	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율(%)		표시
				D25 미만	D25 이상	
이형철근	SD300	300 이상	440 이상	16 이상	18 이상	녹색
	SD350	350 이상	490 이상	18 이상	20 이상	적색
	SD400	400 이상	560 이상	16 이상	18 이상	황색
	SD500	500 이상	620 이상	12 이상	14 이상	흑색
	SD600	600 이상	710 이상	10 이상	10 이상	회색
	SD700	700 이상	800 이상	10 이상	10 이상	하늘색
	SD400W SD500W	SD400과 동일 SD500과 동일				백색 분홍색

## 2.5.2 용접 철망

- 철선을 장방형으로 직교시켜 그 교차점을 전기저항용접으로 접합한 격자형의 철망으로서 벽체나 슬래브 등과 같이 장방형으로 일정하게 배근되는 구조물에서 사용하고 있다. (구조용으로는 지름이 4.0mm 이상의 철선 사용)

- 용접철망에 사용된 철선의 항복강도는 **냉간신선**에 의한 가공경화로 4,00MPa를 넘고 있다.
  - 장점 : 가공조립의 인력이 절감되고 배근이 정확
  - 단점 : 망눈 치수에 제한, 구부림, 절단 등에 의한 손실 과다

가장 큰 문제점은 재료의 연신율이 일반적인 철근의 연신율인 16%에 비해 매우 낮은 3~8% 정도라는 것이다. 이는 냉간신선 과정에서 변형률 경화현상에 의해 연신률이 줄어든 때문이며, 철선을 가늘게 하면 할수록 연신률은 더 줄어들어 취성과파괴의 위험이 커진다. 따라서 내진구조 등 큰 연성을 필요로 하는 부위에는 용접철망의 사용에 특별한 주의를 하여야 한다.

- 설계기준의 항복강도 설정 방법

$f_y > 400 MPa$ 이면(대부분의 용접철망이 해당됨),  $\epsilon_y = 0.0035$ 에 해당하는 값으로 사용할 수 있도록 규정

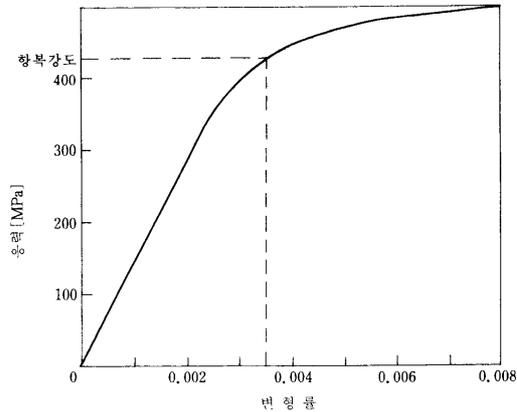


그림 2.13  $f_y > 400 MPa$ 인 철근의 항복강도