

Review of RC(1), 일반

2019. 3

부산대학교 공과대학 건설융합학부

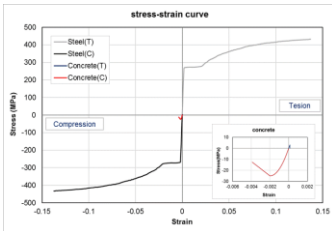
교수 정 진 환

1장 서론	8장 사용성과 내구성
2장 재료(콘크리트, 철근)	9장 기동
3장 역학적 성질	10장 슬래브
4장 설계법과 안전성	11장 확대기초
5장 보의 휨해석과 설계	12장 옹벽
6장 전단과 비틀림	13장 교량
7장 철근의 정착과 이음	14장 라멘과 양거
	15장 극한해석과 한계상태
	16장 내진설계

★ 강의의 목표 : 기본적인 RC 부재(보, 기둥, 슬래브 등)의 해석과 설계

RC의 정의 : **인장에 약한 콘크리트의 약점을 인장에 강한 재료(주로 철근)로 보강한 합성재료**

→ 철근 + 콘크리트 Reinforced Concrete, RC, Stahl Beton



성립의 이유

- (1) 부착(bond)
- (2) 철근의 부식 방지
- (3) 선행장계수 비주

- 콘크리트 : 2000여년전 Rome
- 1824 (영) Joseph Aspdin : Portland Cement
- 1855 (프) J.L. Lambot : 철로 보강된 시멘트 모르타르 보트를 만들
- 1867 (파리의 정원사) Joseph Monier : 床板配筋法の 특허
- 1873 (미) W.B. Ward : 뉴욕 근교에 "Ward's Castle" 건축
- 1887 (독) Koenen, Wayss : RC 보의 이론적 계산법 발표
→ RC계산의 이론적 學理
- 1892 (독) Bauschinger : "콘크리트 속의 철근은 녹슬지 않는다."
- 1902 (독) Emil Mörsch : RC의 거동을 이론적으로 기초한 논문을 발표하고, 실험 결과에 근거를 둔 현실과 근접한 최초의 RC부재 설계법 제시
- 1920년경 Eisenbeton → Stahlbeton
- 1928 (프) E. Freyssinet : 교량도 강재를 사용하여 RC 구현 성공
- * 1910년 까지 : German, Austrian, America, Britain 등의 국가에 Institute 설립
- * Ultimate - Strength theory Code 반영: 1938 : USSR; 1956 : England, U.S.
- * 1965 ~ 1985 : high strength concrete up to 20,000 psi (137.9 MPa) of compression 1,800 psi (12.41 MPa) of tension
- * prestressing steel → in excess of 300,000 psi (2068 MPa)

RC의 종류

- RC = reinforcing Steel + Concrete
- SRC = RC + Structural Steel
- PSC = Prestressed RC

- ** 구성 재료의 발전에 따라
 - 콘크리트 : high strength, high toughness
 - 보강재 : 고강도 강재, FRP

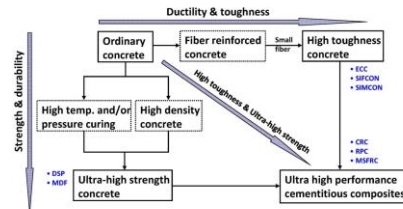
전망

- 건설분야의 전통적인 보수성향으로 신기술 적용의 지연
 - : 문제 발생 시 많은 인력 및 물적 피해의 발생과 그에 따른 사회적인 파장으로 상당한 기간 동안 그리고 여러 적용사례가 필요함
- RC의 결점을 보완한 각종 기술이 발전하는 중
 - 1) matrix로 사용되는 콘크리트 제조 기술의 발전
 - 2) 각종 보강 재료의 발전
 - 3) 설계 기술의 발전

Historical development

Introduction

Historical development in concrete technology



설계(設計, design)

: 구조물을 만들기 전에 그것을 만드는 데 필요한 계획을 세우는 일

구조물(構造物, structure)

: 일정한 설계에 따라 여러 가지 재료를 엮어서 만든 시설물
; 작용하는 외력을 성공적으로 기초에 전달할 수 있어야 한다.

→ **설계조건으로부터 설계변수를 결정하는 일**

안전성(安全性, safety)
사용성(使用性, serviceability)
경제성(經濟性, economy)
내구성(耐久性, durability)
미관(美觀, aesthetics)
유지관리(維持管理, maintenance)
.....

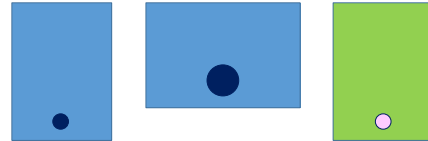
치수 및 크기(dimensions)
사용재료
시공방법
.....

일반적으로 조건식의 수호 < 설계변수의 수호

→ 수학적으로는 부정(不定)의 문제

→ 일부의 변수들을 가정하고 나머지 변수들을 조건식에 의해 구한다

→ **최적의 해(解), 최적설계(最適設計, optimal design)**



2019-03-04

RC2-viewer

7

2019-03-04

RC2-viewer

8

설계의 기본 원칙**구조해석(構造解析, structural analysis)**

구조물(또는 부재)의 용량, 보유성능(capacity) ≥ 하중의 효과, 요구성능(demand)
단면해석(斷面解析, section analysis)

적절한 안전계수(safety factor)

- 19세기 전반까지: 주로 경험에 의존

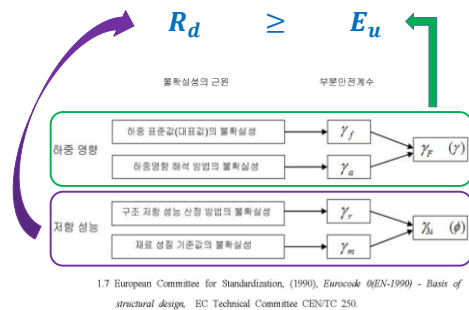
구조물의 저항성능 또는 강도의 예측에 사용할 수 있는 시공 재료의 강도를 예측할 수단이 없었고

구조물의 거동에 관한 이론적인 지식이 거의 없었으므로
계산형식을 사용한 구조물의 설계가 거의 불가능 하였음

- 산업혁명 이후, 그리고 콘크리트가 건설재료로 등장하면서

$$R \geq \gamma F$$

안전계수 γ 는 일반적으로 대략 3 근처의 값을 채택



1.7 European Committee for Standardization, (1990), Eurocode 0(EN-1990) - Basis of structural design. EC Technical Committee CEN/TC 250.

2019-03-04

RC2-viewer

9

2019-03-04

RC2-viewer

10

※) 標準示方書 codes, specifications, standards etc.

構造物을 設計하고 施工할 경우 이에 관한 일반적인 標準이나 基本原則
등 最小의 要求事項에 대하여 規定한 것

※) 우리나라 시방서(콘크리트학회지 제12권 5호 2000.9 및 30권 6호 2018.11참조)**1962년 : 처음 제정(WSD)**

무근, 철근, 포장, 담크리트 표준시방서(4권), 부록에 해설편 포함

1968년 개정 : RC구조물은 탄성이론에 의해서 설계하는 것을 원칙으로 하되
USD도 사용 가능(부록에 신설)

1977년 개정 : 위의 체제 유지

1982년 3차 개정 : RC구조물의 설계는 강도설계법(2편)에 의하되 WSD에 의하고자
할 때는 3편 WSD에 따른다.

1989년 4차 개정 : 강도설계법으로 전환, RC와 PSC 시방서 통합(이론의 유사성)

1996년 5차 개정 : 하중계수 및 하중조합과 강도감소계수의 값에 변화가 있었다.

< 건축 분야 >

1972년 : 대한건축학회에서 허용응력설계법의 '철근콘크리트구조계산규준'을 제정하여
1973년에 발간

1975, 및 1977년 등 3차례의 보완 및 개정을 거쳐 1982년에 개정판 발간

2000년의 '허용응력설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설' 이후 더는
개정하지 않기로 함

1988년 건설부의 요청에 따라 '국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규준 및
해설' 발간으로 강도설계법 도입

1992년에 '건축구조기준'으로 발표

1994년에 개정, 하중계수와 강도감소계수는 전통적으로 ACI318 Code에서 사용했던 것을
그대로 수용

2019-03-04

RC2-viewer

11

2019-03-04

RC2-viewer

12

1999년 6차 개정 : 건축 및 토목 시방서 통합, 콘크리트 구조설계기준
용어 및 기호의 통일, 하중 및 강도 감소계수들의 통일

2003년 : '콘크리트표준시방서' 제정

2003년 개정 : 하중계수와 강도감소계수를 통일, SI 단위로 개정

2007년 : 미국을 중심으로 한 당시의 최신 연구결과를 반영, 다수의 설계기준 조항에
국내의 연구결과를 반영

2012년 개정 : 신설구조물의 설계 뿐만 아니라 시공과 기존 구조물의 유지관리 단계에서 필요한 기술적 사항까지 포함하고 있는 기준임이 명확히 나타나도록 명칭을 ‘콘크리트 구조기준’이라고 수정.

- 2007년 기준보다 더 많은 국내 연구결과 반영
- ISO 19338에 등재된 설계기준으로서의 역할을 충실히 하도록 영문판 발간
- 영문과 국문을 같이 나타낸 통합판도 발간

2018년에는 콘크리트 구조기준(2012)을 개정한 콘크리트 구조 학회기준(2017)이 발간됨

표 2. 불평등 지수(상수)수				표 3. 불평등 지수(변수)			
인민권의 종류	불평등 지수(상수)수	불평등 지수(변수)수	불평등 지수(상수)수	인민권의 종류	불평등 지수(변수)수	불평등 지수(상수)수	불평등 지수(변수)수
권, 불평등 지수	0.85	0.90	0.85	고령자의 권리	1.4	1.4	1.5
소년의 권리	0.85	0.90	0.85	노년자의 권리	1.7	1.7	1.8
여성(비결혼)의 권리	0.70	0.70	0.70	노년자의 권리	1.7	1.7	1.8
(비결혼)의 권리	0.75	0.75	0.75	고령자의 권리	1.8	1.8	1.9
노년, 비결혼	0.60	0.65	0.60	노년자의 권리	1.8	1.8	1.9
노년, 비결혼	0.70	0.70	0.70	노년자의 권리	1.5	1.5	1.6
노년, 비결혼	0.65	0.65	0.65	노년자의 권리	1.5	1.5	1.6

* 전술 및 FC 세를 부세 실행의 경우 0.05 증가시킬 수 있다.

a. 2008년 1월 1일부터 2008년 12월 31일까지

** 金國福, 梁橋錦, 江燕全, 吳玉賢, 謝麗, 陳振, 鍾榮全, 呂鳳翹等, *DNA*

2019-03-04

RC2-review

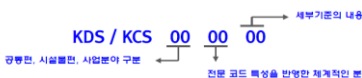
2019-03-04

RC2-system

 기존 국가건설기준*의 체계를 2016년 7월 1일 부터 코드체계로 전환

▶ 국가건설기준은 시설물의 안전·품질 및 공사비와 직결되는 국가의 주요 지적 자산으로 설계자, 시공자 등이 준수해야 하는 기준

▶ 코드체계는 설계기준(KDS)과 시공기준(KCS)으로 구분되며, 공종별 세부내용에 따라 체계적으로 분류하고 총 6자리의 숫자를 부여하여 관리·이용의 효율성을 극대화할 수 있는 체계이다.



건설기준 코드체계의 자세한 내용은 국가건설기준센터 누리집 (<http://www.kcsc.re.kr>)에서 확인할 수 있다.

2019-03-04

RC2-review

15

2019-03-04

PC2-review

16

예) 보의 휨 거동

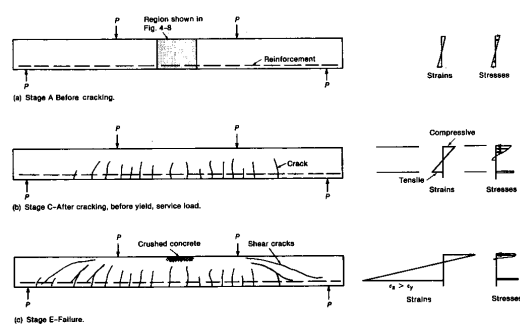


Figure 4-5
Cracks, strains, and stresses in test beam

2019-03-06

AC2-2019-0000

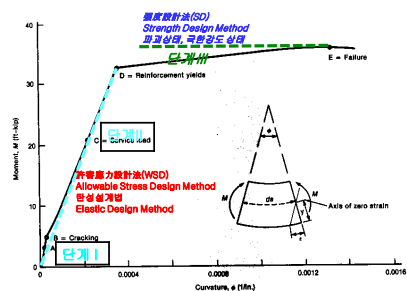


Figure 4-7
Moment-curvature diagram for test beam

WSD(ASD) ⇒ (U)SD ⇒ LSD
Stress Strength State

2019-02-04

AC2-new law

18

허용응력 설계법(Working Stress Design Method, WSD)

(2007년 기준까지, 부록 A, 별도설계법, alternate design method)

재료(콘크리트 및 철근)를 탄성체로 보고, 탄성이론에 의해 구한 콘크리트의 응력 f_c 및 철근의 응력 f_s 가 각각 그 허용응력 f_{ca} 및 f_{sa} 를 넘지 않도록 제한하는 방법(1900년대 초반부터 사용되기 시작함)

- ※) 가정
- ① 변형은 종방향으로 부터의 거리에 비례하며(平面維持),
 - ② 콘크리트의 탄성계수는 定數이며(Hooke's Law),
 - ③ 콘크리트의 휨 인장응력은 무시한다.

$$\begin{aligned} f_c &\leq f_{ca}, & f_{ca} &= f_{ck} / \gamma_c & (\gamma_c &\approx 2.5) \\ f_s &\leq f_{sa}, & f_{sa} &= f_y / \gamma_s & (\gamma_s &= 2.0) \end{aligned} \quad (4.1)$$

2019-03-04

RC2-viewer

19

허용응력설계법의 취약점

- 각 재료가 서로 다른 불확실성을 갖고 있다는 것을 인지하였지만, 각기 다른 형태의 하중과 관련된 불확실성은 전혀 반영하지 못함
- 탄성이론으로 계산한 응력과 파괴 응력 사이에 선형 비례 관계가 성립하지 않음
- 따라서 사용된 안전계수는 개념적인 값에 불과하며 구조물의 실제적인 안전율을 가깝게 나타내지 못함
- 구조물의 안전성 문제는 실제 사용 중인 상태보다는 파괴직전의 상태를 직접 수식화하는 것이 훨씬 논리적
- 구조물의 파괴강도 예측이 필요
- 파괴라는 실질적 의미를 공학적으로 정의할 필요가 있을 뿐 만 아니라
- 그에 연관된 설계변수(design variable)들에 대한 불확실성을 추가로 고려할 필요가 대두

2019-03-04

RC2-viewer

20

- 구조물의 일관된 안전성을 다루기 위해서는 많은 설계변수마다 각각의 여러 **부분안전계수(partial safety factor)**를 별도로 설정하는 것이 합리적

- 1930년대 러시아에서 처음 나타난 것으로 알려지지만 현재의 형태로 발전시킨 것은 1964년 유럽콘크리트위원회(Comite European du Beton, CEB)
- 부분안전계수 설계법의 첫 단계는 작용 하중 영향과 저항 강도를 엄격하게 구별하여 정의하는 것
- 하중의 기본적인 크기를 **표준값**으로 정의하는데, 구조물의 **설계 수명(design life span)** 동안 특정한 발생 확률에 상응하는 하중 크기로 정한 값이다. 사실 표준하중은 극히 드물게 발생할 것으로 예상되는 하중 크기로, 설계 수명 동안 한두 차례 정도 발생 가능한 크기로 정의하는 것이 가장 합리적인 것으로 여겨진다
- 재료의 **기준강도(characteristic strength)**는 이 값보다 낮은 강도가 발생할 수 있는 확률이 어떤 특정한 값에 상응하는 강도 크기로 정의한다. 이것은 재료 성질의 통계적 확률빈도곡선의 특정한 분위(fraction)에 해당하는 값이다.

2019-03-04

RC2-viewer

21

- 실제 설계에서는 하중영향해석방법에 대한 부분안전계수 γ_d 를 별도로 분리하지 않고 하중 크기에 대한 부분안전계수 $\gamma_F = \gamma_F \times \gamma_d$ 에 포함시켜 **하중계수(load factor)**라 부르고, 간단하게 γ 로 표시한다.
- 저항강도 산정방법에 대한 부분안전계수 γ_R 도 별도로 분리하여 다루지 않고 재료부분안전계수 γ_m 과 곱한 안전계수 $\gamma_M = \gamma_m \times \gamma_F$ 에 포함하여 다루며, 이 값을 역수($1/\gamma_M = \phi$)로 나타내면 1.0 보다 작은 값이 되어 설계가 간편해지기 때문에 이를 **저항계수(resistance factor)** 또는 **강도감소계수(strength reduction factor)**라 하여 보통 ϕ 로 표기한다.
- 이 저항계수를 부재에 적용하면 부재계수가 되고, 구성재료에 적용하면 재료계수가 된다.
- 하중계수 γ 와 강도감소계수 ϕ 로 구성된 설계법을 **강도설계법**이라 부른다.
- **부분안전계수설계법** 또는 **하중-저항계수설계법**이라고 하는 설계법도 결국 대부분 하중계수 γ_F 와 재료계수 γ_m 으로 구성되어 있어서 $\gamma - \phi$ 로 구성된 강도설계법과 **근본적으로 동일하다**.

2019-03-04

RC2-viewer

22

- 그런데 이러한 설계법의 기본적인 개념은 하중계수 γ 가 하중영향 산정의 정확성에 영향을 주는 모든 요인을 포함하여 반영하며
- 저항계수(재료계수) ϕ 가 구조저항강도 계산의 정확성에 영향을 주는 모든 인자를 포괄한다는 것이다.

하중계수 γ	저항계수(재료계수) ϕ
• 하중 크기에 대한 불확실성 • 하중 분포에 대한 불확실성 • 하중영향의 구조 해석법에 대한 불확실성 • 하중영향의 추정에 영향을 주는 구조 지수에 대한 불확실성	• 실험한 재료 강도에 대한 불확실성 • 실험한 재료와 구조물에 사용되는 재료 사이의 차이에 대한 불확실성 • 저항 계산에 영향을 주는 구조 지수에 대한 불확실성 • 강도 예측법에 대한 불확실성

2019-03-04

RC2-viewer

23

- 부분안전계수 설계법은 설계에 관련된 수많은 변수들을 근본적으로 세가지 기본 변수인 **하중, 재료, 기하적 치수**로 분류하고, 이들을 **설계기본변수(basic design variable)**라고 부르며,

- 각 변수가 갖는 불확실성에 대한 부분안전계수를 **확률론적 기반으로 결정할 수 있도록** 체계적인 큰 틀로 구성한 것이다.

- 더욱이 구조물의 설계에서 이 상태를 벗어나면 적합한 설계 기준 성능을 더 이상 만족하지 못하는 **한계상태**를 주로 재료 성질 기반으로 정의하여, 하중에 의해 구조물에 발생한 하중영향이 이 한계값을 초과하지 않는가를 검증하게 되어 있다.

- 이러한 배경에서 이 설계법을 기존의 강도설계법과 구분하기 위해 소위 **한계상태설계법(limit state design)**이라고 부르기도 한다

2019-03-04

RC2-viewer

24

강도설계법(Strength Design Method, SD, 1950년대 후반부터)

파괴 또는 파괴에 가까운 상태에 기초

※) 가정([6.2.1 설계가정])

- 아래의 가정에 따라야 하며, 힘의 평형조건과 변형률적합조건을 만족
- ① 콘크리트 및 철근의 변형률은 중립축으로부터의 거리에 비례(평면 유지)
- ② 콘크리트의 극한 변형률은 0.003 (콘크리트의 파괴 기준)
- ③ 철근: 탄-소성재
- ④ 콘크리트의 인장강도는 휨계산에서 무시(PSC부재의 허용응력 제외)
- ⑤ 콘크리트의 압축응력의 분포와 변형률의 관계 (적절한 시험)
- ⑥ ⑤ → 등가직사각형 응력 분포

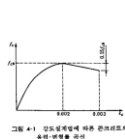


그림 4-1 강도설계법에 따른 콘크리트의 응력-변형률 곡선



그림 4-2 강도설계법에 따른 철근의 응력-변형률 곡선

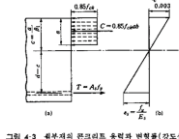


그림 4-3 등부재의 콘크리트 응력과 변형률(강도설계법)

2019-03-04

RC2-viewer

25

1) 안전성, 강도 요구조건

$$\phi S_n \geq \sum \gamma_i L_i \quad (4.2)$$

ϕ : 강도감소계수 strength reduction factor

S_n : 공칭강도 nominal strength

L_i : 부재에 동시에 작용하는 여러 하중 가운데 i번째의 하중

γ_i : L_i 의 불확실성의 정도에 따라 결정되는 하중계수 load factor

사용하중 service load : 설계기준 등에 규정되어 있는 고정하중,

활하중 등을 말하며, 하중 계수를 곱하기 전의 하중이다.

$$\sum \gamma_i L_i = \gamma_D D + \gamma_L L = U \quad (4.3)$$

$$\Rightarrow \phi S_n \geq U \quad (4.4)$$

또는 설계강도 design strength $\geq$ 소요강도 required strength

D : service dead load에 의한 단면력

L : service live load에 의한 단면력

2) 사용성 : (주로) 균열과 처짐에 대한 요구조건

★ 보강된 콘크리트 구조는 강재와 콘크리트가 갖는 큰 장점들이 조합된 합성 작용에 의해 그 유용성을 크게 증대시키는 구조

★ 그러나 콘크리트의 비균질성, 비선형성, 이방성, 시간 의존성과 서로 다른 재료의 복잡한 합성 거동 때문에 체계적인 재료역학을 콘크리트 구조물의 해석과 설계에 적용하기 곤란

— 지난 1세기 동안 콘크리트 구조를 해석하고 설계하는 작업은 경험과 실험에 주로 의존할 수밖에 없는 분야로 간주되어 왔음.

★ 과거에는 설계 목적으로 콘크리트 재료의 완전한 응력-변형률 관계가 필요하지 않았으나, 최근에는 **콘크리트 응력-변형률 곡선을 명시적으로 정의**하여 부재의 해석과 설계에 직접 반영하는 설계법으로 변화하고 있음

★ 다축 응력 상태에 놓이는 콘크리트의 강도와 변형률을 재료 단위에서 정의하여 실제 구조물의 한계상태 검증에 적용

★ 한계상태설계법에서는 재료의 **응력-변형률 곡선과 그 한계강도 및 변형률**을 기반으로 한계상태를 검증하는 방법을 채택

2019-03-04

RC2-viewer

27

★ 주로 부재에 관련된 지식을 기반으로 한 설계 방식이 **구성 재료 성질에 관련된 한계값을 기준으로** 구조물의 모든 한계상태를 검증하여 설계하는 방법으로 변화

★ 구조물의 요구 성능이 점점 다양해지는 추세이며, 다양한 요구 성능은 결국 공학적으로 재료의 한계값에 의존하게 됨

★ 도로교설계기준(한계상태설계법)도 이러한 추세에 맞춰 제정된 것으로서 많은 부분이 **콘크리트와 보강 재료의 성질에 관한 지식에 바탕**을 두고 있음

※) 구성요인인 콘크리트와 강재의 재료범칙뿐만 아니라, 합성상태의 또 다른 재료이론이 필요함.

※) 세계자유무역협정에 의해

- 1) 국가간 자유무역을 위한 기술적 장애 제거
- 2) 국가간 기술규격 및 기준의 통일

한계상태설계법 LSD limit State Design Method

Limit States : When a structure or structural element becomes unfit for its intended use!!

※) 구조물이 그 사용 목적에 적합하지 않게 되는 어떤 한계상태에 도달되는 **확률**을 허용한도 이내로 되게 하려는 설계법이다(1970년대 부터).

※) 안전성의 척도를 파괴될 확률(**파괴확률**) 또는 파괴되지 않을 확률(**신뢰성**)으로 나타내려고 하나, 현재에는 자료의 불충분으로 하중 작용과 재료강도에 대한 **부분안전계수(partial safety factor)**를 도입

영국, 캐나다 등 : LSD

미국 : 하중-저항계수 설계법 load and resistance factor design, LRFD

우리나라 : 1996년 도로교시방서(부록), 2015년 도로교설계기준에 적용

2019-03-04

RC2-viewer

29

2019-03-04

RC2-viewer

30

한계상태(Limit State)

구조물의 상태를 만족과 불만족으로 구별하는 기준, 즉, 한계상태는 바람직하지 못한 사건이나 현상의 시작점을 이상화한 것

구조물의 설계에서 이 상태를 벗어나면
적합한 설계 기준 성능을 더 이상 만족하지 못하는 상태

그러나 이 요구 조건을 만족하는 한계상태를 모든 사람에게 모호하지 않고 명확한 공학적인 물리량으로 정의하는 것은 상당히 어려운 일이며, 대부분의 경우 적당히 근사적인 표현만 가능하다

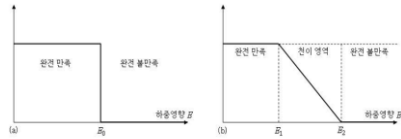


그림 1.8 한계상태의 정의

구분	ASD	SD	LSD
응력한계	탄성영역	극한영역	극한영역
해석기법	선형해석	비선형해석	비선형해석
변형률분포	선형	선형	선형
응력분포	선형	비선형	비선형
안전율	허용응력	강도감소계수, 하중계수	강도저항계수, 콘크리트·재료계수

구분	가정 조건	특징
WSD	- 모든재료는 탄성거동한다. - 변형률은 중립축에서 비례한다. - 콘크리트 탄성계수는 일정하다.	- 설계계산이 간편하다. - 부재강도 계산이 어렵다. - 사용재료의 안전율이 일정치 않다.
SD	- 비선형 영역을 고려한다. - 압축연단까지 변형률은 비례한다. - 콘크리트 압축강도는 설계기준강도의 85%를 고려한다. - 철근콘크리트 부재에서 사용한다.	- 파괴에 대한 안전성이 확보된다. - 하중계수에 의해 하중특성이 고려된다. - 별도의 사용성 검토가 필요하다. - 사용재료의 특성을 반영하기 힘들다.
LSD	- 비선형 영역을 고려한다. - 확률 신뢰성을 기증한다. - 하중저항계수 및 재료계수를 사용한다.	- 하중과 재료의 특성을 잘 고려할 수 있다. - 극한한계와 사용한계 모두 고려할 수 있다. - 확률에 의한 신뢰도 기반 구성이 필요하다. - 신뢰도 기반으로 합리적인 설계법이다.

콘크리트

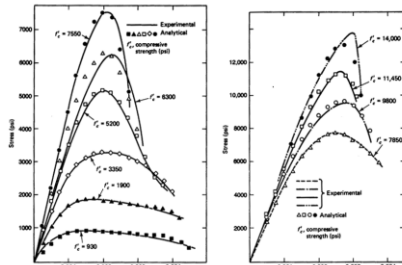


Figure 2.3 Stress-strain curves for various concrete strengths.

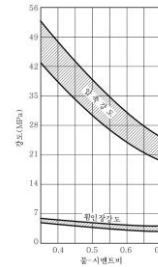


그림 2-1 물-시멘트비와 강도의 관계[참고문헌 1]

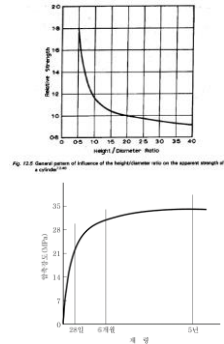


그림 2-2 재령과 압축강도의 관계

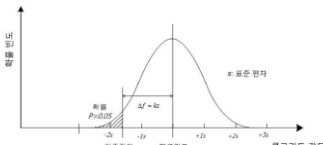


그림 2.1 콘크리트 기준강도와 평균강도의 정의

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$$

특정한 조건에서 충분한 통계 자료가 있다면 원칙적으로 표준편차 s 를 먼저 구하고 그 1.64배에 해당하는 $\Delta f = 1.64s$ 를 사용하여 평균강도(f_{cm})를 결정하여야 한다.

그러나 충분한 통계자료가 없는 경우에는 기준압축강도(f_{ck})
40 MPa 미만의 보통강도 콘크리트에 대해서는 $\Delta f = 4 \text{ MPa}$ 를
60 MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대해서는 $\Delta f = 6 \text{ MPa}$ 를
사용하여 산정할 수 있으며,
압축강도 40 ~ 60 MPa 사이의 콘크리트에 대해서는 두 값에 대한 적선 보간으로 결정한다.

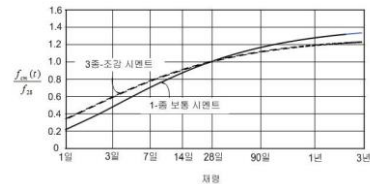


그림 2.2 표준 양생된 콘크리트 강도의 재령 영향

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}(28)$$

$$f_{cm}(28) : 28일 강도$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ \beta_{cc} \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} : \text{재령에 따른 강도발현계수}$$

탄성계수 : 응력-변형을 곡선의 기울기

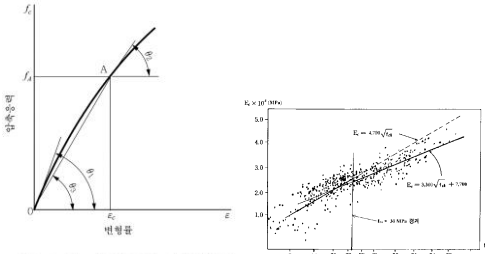


그림 2-4 콘크리트의 응력-변형을 곡선

2019-03-04

PC2-version

37

2019-03-04

PC2-version

38

[3] 설계기준에서 주고 있는 콘크리트의 탄성계수 콘크리트구조기준(2012)

(1) 콘크리트의 단위중량이 $m_c = 1450 \sim 2500 \text{ kg/m}^3$ 인 모든 콘크리트의 탄성계수

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (2 \cdot 1)$$

(2) 보통의 골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수

보통 골재를 사용한 콘크리트의 단위중량은 대략 $m_c = 2300 \text{ kg/m}^3$ 이므로, 이것을 식 (2·1)에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$E_c = 8,800 \sqrt{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (2 \cdot 2)$$

여기서 m_c : 콘크리트의 단위중량(kg/m^3)

f_{cu} : 제형 28일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)

$$= f_{ck} + \Delta f \text{ (MPa)} \quad (2 \cdot 3)$$

여기서 Δf 는 f_{ck} 가 40 MPa 이하이면 4 MPa, 60 MPa 이상이면 6 MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구한다.

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)

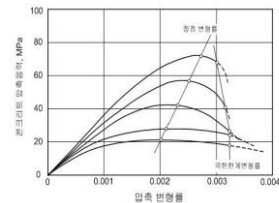


그림 2.9 콘크리트 응력-변형을 곡선의 특성

도표요설계기준 (한계상태설계법)

단기 순수 1축 압축력

$$f_e = f_{cm} \left[\frac{k(e_p/e_{co,r}) - (e_p/e_{co,r})^2}{1 + (k-2)(e_p/e_{co,r})} \right]$$

$$k = 1.1 E_{co,r} / f_{cm}$$

$e_{co,r}$ 은 정점 변형률

$e_{cu,r}$ 은 극한한계변형률

$f_{ck} \leq 40 \text{ MPa}$ 이면 $k \approx 2.0$ 이므로

$$f_e = f_{ck} \left[2 \left(\frac{e_p}{e_{co,r}} \right) - \left(\frac{e_p}{e_{co,r}} \right)^2 \right]$$

표 2.9 비선형 해석을 위한 응력-변형을 곡선의 콘크리트 강도 변화에 따른 상수값

f_{ck} (MPa)	18	21	24	27	30	35	40	50	60	70	80	90
$e_{co,r}$ (%)	1.92	2	2.05	2.1	2.2	2.25	2.3	2.45	2.6	2.7	2.8	2.8
$e_{cu,r}$ (%)					3.3			3.2	3.1	3.0	2.8	2.8

2019-03-04

PC2-version

39

2019-03-04

PC2-version

40

기타 성질

(a) 인장강도 (tensile strength: f_{ct})

$$f_{ct} = 0.5 f_f \quad [f_f : \text{휨인장강도(flexural tensile strength)} \\ \text{혹은 파괴계수(modulus of rupture)}]$$

$$f_{ct} = 0.9 f_{sp} \quad [f_{sp} : \text{포개인장강도(split tensile strength)}]$$

기준인장강도(characteristic tensile strength) f_{ctk}

- 여러 시험 방법으로 측정한 콘크리트 인장강도의 값들은 압축강도 시험 값들보다 훨씬 크게 분산된다.
- 구조 설계에 명시적으로 사용하는 콘크리트 인장강도의 크기는 원칙적으로 규정된 직접 인장 시험 방법에 따라 획득한 자료의 확률 분포도에서 그 값 이하로 강도가 발현될 확률이 0.05에 해당하는 확률적 특성값에 해당하는 크기의 강도 값으로 정한 것

평균인장강도(mean tensile strength: f_{ctm})

$$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$$

$$f_{ctm} = 0.30 (f_{cm})^{0.67}$$

2019-03-04

PC2-version

41

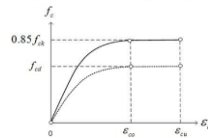
2019-03-04

PC2-version

42

단면 설계를 위한 응력-변형을 곡선(한계상태설계법)

포름-사각형 응력-변형을 곡선(parabola-rectangular stress-strain curve; p-r 곡선)



$$f_e = 0.85 f_{ck} \left[1 - \left(\frac{e_p}{e_{ck}} \right)^n \right] : 0 \leq e_p \leq e_{ck}$$

$$f_e = 0.85 f_{ck} : e_{ck} < e_p \leq e_{cu}$$

그림 2.11 단면 설계를 위한 콘크리트 응력-변형을 곡선

표 2.7 단면 설계를 위한 응력-변형을 곡선의 상수값

f_{ck} (MPa)	18	21	24	27	30	35	40	50	60	70	80	90
n								1.92	1.50	1.29	1.22	1.20
e_{ck} (%)					2.0			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
e_{cu} (%)					3.3			3.2	3.1	3.0	2.9	2.8

(b) 포아송비와 열팽창계수

(c) 크리프(creep)

(d) 건조수축(shrinkage)

(e) 다축응력상태의 강도

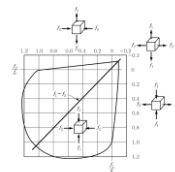
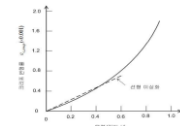


그림 2-4 2축 응력상태에 있는 콘크리트의 강도(한계상태)



구형 고온 크리프와 응력의 비선형 관계(출처: 압과응력 2015)

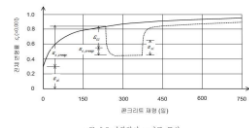
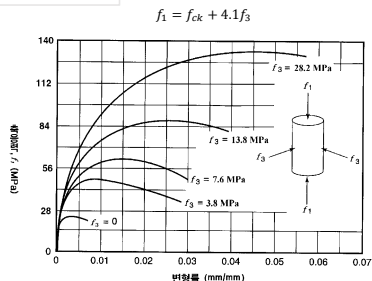


그림 2-8 2축 응력상태에 있는 콘크리트의 강도(한계상태)

3축 압축강도



2019-03-04

RC2-version

42

설계강도 $f_{cd} = \phi_c \alpha_{cc} f_{ck}$ 여기서 ϕ_c 는 콘크리트의 재료계수이며, α_{cc} 는 유효계수로 장기 가동 영향과 단면의 물리 한 하중 재하의 영향을 반영하는 계수로 0.85를 사용한다.

- 기준압축강도 f_{ck} 는 순수 등분포 단기 압축 상태라는 이상적 조건에서 나타나는 강도이다.
- 그러나 설계 때는 단면 전체 또는 일정 면적이 균일 응력 상태라고 가정하여 계산하는데, 실제 부재의 단면은 여러
- 원인에 의해 가해진 균일 응력 상태는 존재하지 않는다.
- 왜냐하면 부재 단면은 일정 크기의 면적을 갖기 때문에 적은 응력 교환이 존재할 수 있으며, 크리프 현상 등에 의해 국부적인 응력 재분배가 발생하고,
- 압축력 재하 속도에 따른 발현 강도의 변화 등에 따라 단면 전체에서 유효한 평균 강도는 f_{cd} 와 다르게 된다.
- 실험 결과 [참고문헌 2.18]에 의하면 콘크리트 각주에 장기 하중을 작용할 때의 강도는 재하 속도에 따라 단기 강도의 약 80퍼센트 정도까지 감소한다고 알려졌다
- 이러한 여러 요인을 반영하기 위해서 부재 단면 설계 목적으로 사용하는 압축강도에 유효계수 0.85를 일반적으로 적용한다.
- 다만, 부재 실험을 통해 직접 유도한 부재 단면 콘크리트 강도에는 이 유효계수를 적용하지 않는다.
- 그 대표적인 것이 부재의 전단강도를 평가할 때 사용하는 콘크리트 유효압축강도 $v f_{cd}$ 에는 유효계수 0.85를 적용하지 않는다.
- 왜냐하면 이 유효강도는 부재의 전단 실험 결과로부터 직접 추출했기 때문에 실험 결과 안에 이미 포함되었고 간주할 수 있기 때문이다.
- 단기 하중인 경우의 유효계수는 1.0을 적용 할 수 있다.
- 무근콘크리트 구조물 설계에서는 취성적 성질을 고려하여 0.80을 적용하기도 한다

2019-03-04

RC2-version

44

콘크리트의 설계인장강도 f_{ctd} 는 다음 식과 같이 기준인장강도에 재료계수를 곱한 값이다.

$$f_{ctd} = \phi_c \alpha_{ct} f_{ctk}$$

여기서 ϕ_c 는 위 설계압축강도에 적용되는 값과 동일한 재료계수이고,

α_{ct} 는 유효계수이다. 인장강도에 적용하는 유효계수의 배정은 앞에서 설명한 압축강도에 적용하는 배정 논리와 근본적으로 동일하다.

콘크리트 부재 복부에서 큰 압축력에 의해 발생하는 조임 균열 강도를 계산할 경우 유효계수 α_{ct} 값으로 0.85를 사용한다.

무근콘크리트 구조물 설계에서는 취성적 성질을 고려하여 유효계수로 0.80을 적용하기도 한다.

그러나 부착 및 정착 설계에 필요한 설계인장강도 산정에 필요한 유효계수는 모두 1.0을 적용하고 있다.

2019-03-04

RC2-version

45

철근

표 3.28 KS 표준치 따른 철근의 규격별 강도

KS 표준	종별	강도	기준인장강도 (MPa)	기준인장강도 (MPa)	비고
KS D 3504 철근강도시험 방법	SD 350	800	440		
	SD 355	860	460		
	SD 400	1000	540		
	SD 500	1250	670		
	SD 600	1500	800		
	SD 700	1750	930		
KS D 5024 철근강도시험 방법	SD 800	2000	1060		중형용
	SD 900	2250	1190		중형용

표 3.27 철근의 규정 중점, 규정 단면적, 규정 둘레, 단위 무게

표명	규정 지름 (mm)	규정 단면적 (mm ²)	규정 둘레 (mm)	단위 무게 (kg/m)
D8	8.00	50.27	25	0.249
D10	10.00	78.54	31	0.377
D12	12.00	110.78	38	0.499
D14	14.00	153.94	46	0.661
D16	16.00	200.97	50	0.804
D18	18.00	254.47	57	0.992
D20	20.00	314.16	63	1.208
D22	22.00	380.13	70	1.472
D25	25.00	490.87	79	1.962
D28	28.00	615.75	90	2.466
D32	32.00	804.24	101	3.214
D36	36.00	1017.81	113	4.090
D40	40.00	1256.64	126	5.091
D45	45.00	1590.43	141	6.316
D50	50.00	1963.50	157	7.850

2019-03-04

RC2-version

46

2019-03-04

RC2-version

48

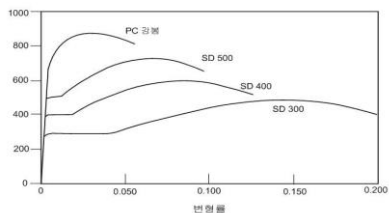


그림 2.16 이형 철근의 전형적인 응력-변형률 곡선

모든 등급의 철근이 동일한 기울기를 갖고 있다
탄성계수 $E_s (= 200 \text{ GPa})$

2019-03-04

RC2-version

47

2019-03-04

RC2-version

48

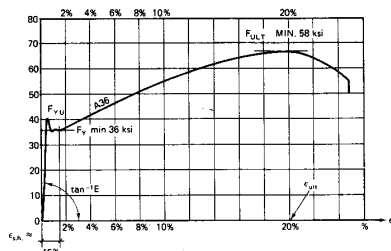


Figure 14 (F-ε) Curve of A36 Steel at Room Temperature and Normal Speed of Strain Increase.

비례한도
(proportional limit)
탄성한도
(elastic limit)
(상, 하) 항복점
(upper yield point)
항복강도 f_y
(yield strength)
항복변형률 ϵ_y
(yield strain)
항복고원
(yield plateau)
변형경화
(strain hardening)
인장강도 f_u
(tensile strength)
극한변형률 ϵ_u
(ultimate limit strain)

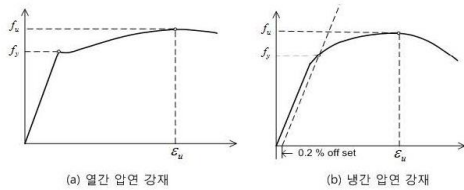


그림 2.16 일반 보강 강재의 응력-변형률 곡선

이러한 설계 방법은 구조물에 배치된 철근의 실제 항복강도가 기준항복강도보다 큰 값들이어서 강도 관점에서 안전성을 확보할 수 있게 한다.

그러나 어떤 경우에는 사용된 철근의 실제 강도가 설계강도보다 지나치게 큰 값이면 오히려 철근콘크리트 구조물의 안전성이 위태롭게 되는 경우가 있다.

이것은 연성(ductility) 거동이 필요한 부재에서 철근의 강도가 증가하면 콘크리트가 먼저 파괴되어 부재의 연성이 오히려 감소하는 현상이 나타나기 때문이다.

예를 들면 내진 구조물에서 부재의 연성은 매우 중요한 설계 항목으로, 구조물의 전체적 손상을 줄이기 위하여 특정한 부위의 철근이 일정 하중 크기에서 항복되어 기정한 회전 능력(rotational capacity)을 가진 소성 힌지가 형성되도록 설계한다.

따라서 부재 단면의 설계 휨강도와 실제 휨강도의 차이인 초과 휨강도의 크기는 특정한 크기를 초과해서는 안된다.

설계기준에서는 이러한 현상을 방지하기 위해 사용하려는 철근을 시험하여 구한 실제 항복강도의 크기는 설계에 사용한 기준항복강도의 1.3배를 초과하지 않도록 제한하고 있다.

설계강도와 연성

콘크리트 기준강도의 설계 방법과 동일하게, 구조 설계에 명시적으로 사용하는 철근의 강도값도 정해진 실험 방법에 따라 획득한 자료의 확률 분포도에서 그 값 이하로 강도가 발현될 확률이 0.05에 해당하는 확률적 특성값에 해당하는 크기의 강도 값으로 정하며, 이 값을 철근의 기준항복강도(characteristic yield strength)와 기준인장강도(characteristic tensile strength)라고 부르고 각각 f_y 와 f_u 로 표시한다.

지금까지는 제조사가 제공하는 강도 값을 공칭강도(nominal strength)로 간주하여 특별히 구분하지 하지 않고 설계에 사용되어 왔다.

그러나 한계상태설계법에서는 재료의 기준강도와 설계강도를 구분해서 적용해야 하기 때문에 기준강도라고 엄밀하게 호칭하고 부호는 f_{yk} 와 f_{uk} 로 표시하기도 한다.

설계항복강도(design yield strength) $f_{yd} = \phi_s f_y$

설계인장강도(design tensile strength) $f_{ud} = \phi_s f_u$

여기서 ϕ_s 는 재료계수로 우리나라에서 생산되는 철근과 프리스트레스 강재의 품질을 고려하여 0.90을 사용한다.

철근의 연성에 또 하나의 중요한 성질은 항복강도에 대한 인장강도의 비 $K = (f_u/f_y)_k$ 이다.

이 강도비 K 가 1.00이면 항복점 이후에는 하중의 증분이 없이도 변형이 계속되는 완전 소성 상태를 의미하며 이 비를 가진 철근을 사용한 부재에서는 항복 이후에는 작은 하중의 증가가 없어도 변형이 계속 될 수 있는 불안정 상태가 유발된다.

즉 철근에서 취약한 부위 또는 가장 큰 응력 부위가 항복하면 그 위치에서 소성 변형이 진행되는 동안 인장 부위로 소성이 확산되지 않는다.

따라서 전체 철근의 신장량 $\Delta = \epsilon_s l$ 이 매우 작은 상태에서도 파단 될 수 있다. 이러한 경우 철근의 극한한계변형률 크기는 구조물의 연성에 실질적 의미가 없게 된다.

그러나 이 강도비가 1.0보다 크다면 철근의 항복 이후에 외부 하중의 증분이 있어야만 소성변형이 진행되며, 동시에 소성 구간이 인장 부위로 점차 확산된다.

따라서 파단 때 소성 구간이 길어져 전체 철근 신장량이 훨씬 큰 상태가 된다.

이러한 현상 때문에 강도비가 큰 철근일수록 항복 이후 더 실제적 연성 거동을 갖는다.

표 2.8에 정리된 KS 철근 등급 규격에 따르면 우리나라에서 생산되는 보통 철근의 강도비는 대략 1.1에서 1.5까지가 변한다.

특히 낮은 등급 철근에서는 큰 값을 갖는데 반해 높은 등급인 SD 700 철근의 K 값은 1.14에 불과하다는 것을 알 수 있다.

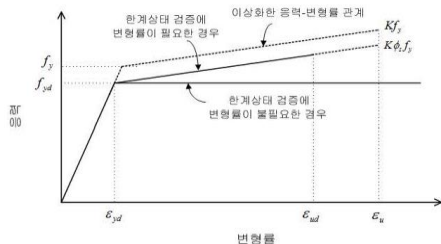


그림 2.17 설계에 사용하는 철근의 응력-변형률 곡선

피로강도

※) 반복하중 하에서의 피로 강도(fatigue strength) : 파괴를 유발함이 없이 200만회 이상 반복 작용할 수 있는 응력, 등급과는 무관

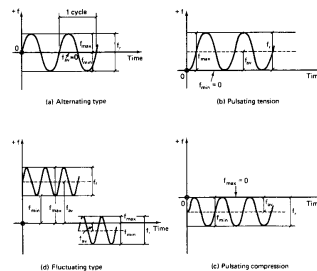


Figure 2.18 Types of Cyclic Stress.

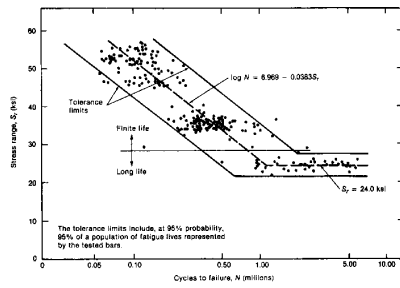


Fig. 3-30
Test data on fatigue of de-
formed bars from a single
U.S. manufacturer. (From
Ref. 3-47.)

2019-03-04

PC2-revised

55