

KR C-10010

Rev.1, ?. January 2014

콘크리트교 설계원칙 및 재료

2014. 1. ?



한국철도시설공단

REVIEW CHART

[illegible]

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 충칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 일반사항	2
2.1 기호	2
2.2 설계일반	3
3. 설계계산의 원칙	3
4. 강성 및 단면력	3
5. 콘크리트의 크리프 및 건조수축의 영향에 의한 부정정력	4
6. 교량의 신축	5
7. 압축플랜지의 유효폭	5
8. 슬래브 및 복부의 최소두께	5
9. 격벽	6
10. 지간	6
11. 합성 휨부재	6
12. 설계 방법	7
13. 콘크리트	7
RECORD HISTORY	12

1. 용어의 정의

- (1) 강재의 인장강도 : 한국산업규격(KS)에 규정되어 있는 인장강도의 규격 최소값. PS 강선 및 PS강연선에서는 인장하중의 최소값.
- (2) 격벽 : 단면 형상을 유지시키기 위하여 거더에 배치하는 횡방향 보강재, 다이아프램, 또는 단일 박스 또는 다중 박스거더의 받침점부나 경간 내에 비틀림 등에 저항하기 위하여 설치하는 칸막이 벽.
- (3) 계수하중 : 강도설계법으로 부재를 설계할 때 사용되는 하중으로서, 사용하중에 하중 계수를 곱한 하중.
- (4) 덕트(duct) : 포스트텐션 방식의 PSC부재에서 콘크리트 경화전이나 또는 후에 PS강재를 배치시켜 긴장할 수 있도록 미리 콘크리트 속에 설치해둔 원형의 관.
- (5) 바닥판 : 도상이나 침목, 레일 등을 통해 열차하중을 지지하고 다른 부재들에 의해 지지되는 판 부재.
- (6) 사용 프리스트레스 힘(unfactored prestressing force) : 프리스트레싱에 의해 부재 단면에 작용하는 힘으로서 하중계수를 곱하지 않은 것.
- (7) 사용하중 : 하중계수를 곱하지 않는 하중, 작용하중.
- (8) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수 ϕ 를 곱한 강도.
- (9) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용가능한 모든 하중과 힘, 또는 이와 관련된 내적 모멘트와 힘으로서, 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수가 없는 하중(사용하중)이고, 강도설계법에 의한 설계에서는 적절한 하중계수를 곱한 하중(계수하중).
- (10) 소요강도 : 하중조합에 따른 계수하중을 저항하는데 필요한 부재 또는 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림모멘트 등으로 나타낸 단면력.
- (11) 유효폭 : T형보의 플랜지 등에서 유효하게 작용한다고 보는 플랜지 등의 폭.
- (12) 콘크리트의 건조수축 : 콘크리트의 건조 또는 수화반응에 의해 시간 경과에 따라 발생하는 수축 변형.
- (13) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 장기 지속적으로 작용하는 상태에서 서시간의 경과와 더불어 변형이 증가하는 현상.
- (14) 포스트텐션 방식 : 콘크리트와 부착하지 않도록 쉬스를 통하여 배치한 PS강재를 콘크리트가 굳은 다음에 긴장시켜 프리스트레스를 주는 방식.
- (15) 프리스트레스 : 외력의 작용에 의한 인장응력을 상쇄할 목적으로 미리 계획적으로 콘크리트에 준 응력.
- (16) 프리텐션 방식: 콘크리트를 치기 전에 거푸집내의 소정의 위치에 PS강재를 긴장시켜놓고, 그 주위에 콘크리트를 치며, 콘크리트가 굳은 다음에 긴장력을 풀어주어 PS강재와 콘크리트의 부착력에 의하여 콘크리트에 프리스트레스를 주는 방식.



2. 일반사항

2.1 기호

A_c	= 부재의 단면적(mm ²)
E_c	= 콘크리트의 탄성계수(MPa)
E_{ci}	= 재령 28일에서 콘크리트의 초기 접선탄성계수(MPa)
$E_{ci}(t')$	= 재령 t' 일에서 콘크리트의 초기 접선탄성계수(MPa)
E_{dj}	= 장기변형을 고려할 경우의 탄성계수(MPa)
E_{ij}	= 콘크리트의 순간탄성계수(MPa)
E_s	= 철근의 탄성계수(MPa)
$f_c(t')$	= 재령 t' 일에서 콘크리트의 압축응력(MPa)
f_{ck}	= 콘크리트의 설계기준압축강도(MPa)
f_{cj}	= 콘크리트 타설 후 j 일의 압축강도(MPa)
f_{cr}	= 콘크리트의 배합강도(MPa)
f_{cu}	= 재령 28일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)
$f_{cu}(t)$	= 재령 t 일에서 콘크리트의 평균압축강도(MPa)
f_{tj}	= 콘크리트 타설 후 j 일에서의 콘크리트의 인장강도(MPa)
h	= 개념 부재치수(mm) = $2A_c / u$
RH	= 외기의 상대습도, %
s	= 표준편차(MPa)
t	= 콘크리트의 재령, 일(day)
t'	= 하중이 가해질 때의 재령, 일(day)
t_s	= 콘크리트가 외기 중에 노출되었을 때의 재령, 일(day)
t'_T	= 온도가 20/℃가 아닌 $T/℃$ 에서 양생할 경우 등가재령, 일(day)
T	= 외기 또는 양생온도, ℃
u	= 단면적 A_c 의 둘레 중에서 수분이 외기로 확산되는 둘레길이 (mm)
$\beta(f_{cu})$	= 콘크리트 강도가 크리프에 미치는 영향함수
$\beta(t')$	= 지속하중이 가해지는 시간 t' 가 크리프에 미치는 영향함수
$\beta_c(t-t')$	= 재하기간에 따라 크리프에 미치는 영향함수
$\beta_{cc}(t)$	= 콘크리트 강도 발현에 대한 재령에 따른 보정계수
β_H	= 외기의 상대습도와 부재의 두께에 따른 계수

β_{RH}	= 외기습도에 따른 크리프와 건조수축에 미치는 영향계수
$\beta_s(t-t_s)$	= 건조기간에 따른 건조수축 변형률 함수
β_{sc}	= 시멘트 종류에 따른 건조수축에 미치는 영향계수
$\epsilon_{cf}(t, t')$	= 재령 t' 일에서 $f_c(t')$ 의 응력이 가해졌을 때 시간 t 일에서의 탄성변형률과 크리프를 포함한 전체 변형률
$\epsilon_{sh}(t, t_s)$	= 재령 t_s 에서 외기에 노출된 콘크리트의 재령 t 에서의 전체 건조 수축 변형률
ϵ_{sho}	= 개념 건조수축계수
$\phi(t, t')$	= 콘크리트의 크리프계수
ϕ_o	= 콘크리트의 개념 크리프계수
ϕ_{RH}	= 외기의 상대습도와 부재 두께가 크리프에 미치는 영향계수
ν	= 콘크리트의 포아송비

2.2 설계일반

- (1) 구조의 각 부재는 단순한 구조로 하고 시공, 검사, 배수, 유지관리 등에 편리하도록 설계해야 한다. 여기서 단순하다는 의미는 단순보만을 의미하는 것이 아니라, 구조의 각부재가 단순 명확한 구조로 되어야 한다는 것이다.
- (2) 설계계산에 있어서는 최종단계에서 유효숫자 3자리를 얻을 수 있도록 해야 한다.

3. 설계계산의 원칙

- (1) 부재를 설계함에 있어서 설계하중 작용시에 대하여 다음 사항을 검사하고, 부재가 안전한가를 확인해야 한다.
 - ① 계수하중이 설계하중으로 작용시 부재단면의 설계강도가 소요강도(설계단면력) 이상이 되어야 한다.
 - ② 사용하중이 설계하중으로 작용할 때의 부재단면의 응력은 허용응력 이하가 되어야 하고, 또 사용성 조건을 충족시키기 위해 처짐 등이 조절되어야 한다.
- (2) 위에서 규정한 사용하중 및 계수하중 작용시의 하중조합은 각각 다음과 같다.
 - ① 강도설계법에서의 하중조합은 「KR C-08020 8항」의 하중의 조합으로 해야 한다.
 - ② 허용응력설계법에서의 하중조합은 「KR C-08020 9항」의 하중의 조합으로 해야 한다.

4. 강성 및 단면력

- (1) 연속구조물과 골조구조물 부재의 상대적 휨강성과 비틀림강성을 구할 때는 어떠한 합리적 가정도 사용될 수 있다. 그러나 사용된 가정은 해당 해석과정을 통하여 일관성이 있어야 한다. 부재의 강성은 부재단면의 균열 등을 고려하여 구한 강성을 사용하나, 부재에 생기는 단면력의 계산에 사용되는 강성은 부재상호의 강성비 즉 상대적



강성이므로 강성의크기 그 자체로 인하여 단면력 계산에 미치는 영향은 작다고 볼 수 있다. 이러한 사유에서 상대적인 휨강성과 비틀림강성을 구할 때 어느 합리적 가 정도 사용될 수 있다.균열단면 대신에 콘크리트의 전단면에 준한 강성을 흔히 사용하고 있다.

- (2) 휨모멘트를 결정할 때, 또 부재를 설계할 때 모두 힌치의 영향을 고려해야 한다.
- (3) 부재를 설계할 때 쓰는 단면력은 탄성해석에 의해 계산하는 것으로 해야 한다. 콘크리트는 엄밀하게 말하면 응력과 변형률이 선형으로 비례하지 않으며 완전한 탄성체가 아니다. 그러나 이를 탄성체로 가정하여 해석하는 것이 단면력의 계산이 간단하고, 또 그 단면력에 의해 설계된 부재가 엄밀한 계산에 의해 설계된 부재와 비교하여 안전성이 떨어지지 않는다. 이와 같은 이유에서 부재를 설계할 때 쓰이는 단면력은 콘크리트를 완전한 탄성체로 보고 탄성이론에 의해 계산하도록 하였다. 이때 부재의 휨강성 및 비틀림강성은 콘크리트의 전 단면을 유효단면으로 하여 계산하여도 좋다. 콘크리트의 전 단면이란 덕트와 강재를 콘크리트 단면으로 환산한 단면이며, 균열의 발생을 무시한 단면이다.

5. 콘크리트의 크리프 및 건조수축의 영향에 의한 부정정력

콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 변형이 구속되는 부정정구조물에서 발생하는 부정정력은 다음의 규정에 따른다.

- (1) 구조계에 변화가 없는 경우 : 구조물 전체를 한 번에 동바리 상에서 시공하여 시공 중의 구조계와 시공 후의 구조계에 변화가 없는 경우에는 다음의 규정에 의해 부정정력을 계산하는 것으로 한다.

① 콘크리트의 크리프의 영향

일반적으로 고려하지 않아도 좋다. 그러나 장경간의 아치교 등에서 부재 축선의 이동을 고려하여 단면력을 계산하는 경우에는 크리프에 의한 변형이 단면력에 영향을 미치게 됨으로 검토해야 한다.

② 콘크리트의 건조수축의 영향

「13. (7)콘크리트의 건조수축 및 크리프」에 의해 계산하는 것으로 한다.

- (2) 구조계에 변화가 있는 경우 : 구조물 전체를 한 번에 시공하지 않아, 시공 중의 구조계와 시공후의 구조계에 변화가 있는 경우에는 다음의 규정에 의해 부정정력을 계산하는 것으로 한다.

① 콘크리트의 크리프 영향

「13. (7)콘크리트의 건조수축 및 크리프」에 의해 계산하는 것으로 한다. 이때 고려할 지속하중은 고정하중, 프리스트레스 힘, 건조수축의 영향 등으로 한다. 한편 크리프에 의한 부정정력은 엄밀하게는 구조계가 변화할 때의 콘크리트의 재령으로부터 구조계 각부의 크리프계수를 구하여 지속하중에 의한 단면력을 고려해야 한다. 그러나 엄밀한 방법은 구조계가 변화하는 회수가 많아짐에 따라 복잡하게 되므로 크리프에 한 부정정

력을 <식 (1)>에 의해서 크리프에 의한 반력의 변화량을 계산하여 근적으로 계산할 수 있다.

$$\Delta R_{\phi} = (R_0 - R_1)(1 - e^{-\phi}) \quad (1)$$

② 콘크리트의 건조수축의 영향

「4항」(7)콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의해 계산하는 것으로 한다. 한편, 건조수축에 의한 부정정력을 엄밀하게 계산하기 위해서는 각각의 구조계에 대해 각 시공기간에 따른 부정정력을 산출해서 합계해야 한다. 그러나 건조수축에 의한 부정정력이 그리 크지 않다고 생각되는 경우에는 근사적으로 최종 구조계에 대한 건조수축에 의한 부정정력을 사용해도 좋다.

6. 교량의 신축

- (1) 일반적으로 단순지간에서는 지간길이가 12m를 초과할 때는 온도변화에 대해 고려해야 한다.
- (2) 연속교량에서는 설계시 온도응력 또는 로커, 활동판, 탄성패드(elastomeric pad) 등을 사용하는방법으로 온도이동 조절을 고려해야 한다.
- (3) 보통 콘크리트에 대한 온도팽창 및 건조수축에 대해서는 「13.콘크리트」의 규정에 따라야한다.
- (4) 경량 콘크리트에 대한 온도팽창계수와 건조수축계수는 사용된 경량골재의 종류에 따라 결정되어야 한다.

7. 압축플랜지의 유효폭

- (1) T형거더의 압축플랜지의 유효폭은 다음과 같이 결정해야 한다.

① 대칭 T형거더의 경우

유효폭 b 는 $12h_f + b_w$, 양쪽 슬래브의 중심간 거리, 거더 경간의 1/4 가운데 가장 작은 값으로 해야 한다. 여기서 b_w 는 거더의 복부폭, h_f 는 플랜지의 두께이다.

② 반T형거더의 경우

유효폭 b 는 $6h_f + b_w$, 거더경간/12+ b_w , 인접거더와의 순경간/2+ b_w 가운데 가장 작은 값으로 해야 한다. 여기서 b_w 은 거더의 복부폭에 돌출된 플랜지의 길이를 더한 거리이다.

③ 독립 T형거더의 경우

독립 T형거더의 플랜지 두께는 거더의 복부폭의 1/2이상, 플랜지의 유효폭은 거더의 복부폭의 4배 이하라야 한다.

- (2) 박스거더의 압축플랜지의 유효폭은 전체 슬래브 폭이 압축에 유효하다고 가정한다.

8. 슬래브 및 복부의 최소두께

- (1) 바닥판의 두께는 「KR C -10050, 6.바닥판」에 따라야 한다.
- (2) 박스거더의 하부 슬래브의 두께는 거더 복부의 순지간의 1/16 이상, 또는 140mm



이상이라야 한다. 하부 슬래브에는 직접 활하중이 작용하지 않기 때문에 상부 슬래브 보다 그 두께를 얇게 취하지만, 시공성 및 박스거더로서의 특성 등을 고려하여 최소두께를 140mm로 규정한 것이다. 다만 두께가 설계에 의해 요구되지 않는 한, 상부 슬래브보다 클 필요는 없다.

- (3) 거더 복부의 폭이 높이에 따라 변화도록 설계하는 경우 이 변화는 복부폭의 차이의 12배 이상의 길이에 걸쳐서 변하게 해야 한다.

9. 격벽

- (1) T형거더와 박스거더의 단부에는 다른 방법에 의해 횡력에 저항 하지 못하거나 단면형을 유지하지 못할 경우에는 다이아프램을 사용한다. 단, 다이아프램을 시험이나구조 해석에 의해 충분한 강도가 있다고 확인될 경우에는 두지 않아도 좋다. T형거더와 박스거더는 다이아프램이없으면 주거더 직각방향 강성의 감소로 인하여 바닥판, 받침 등의 구조에 해로운 영향을 미칠수 있으므로 단부에는 다이아프램을 두어야 한다.
- (2) T형거더에는 중간 다이아프램을 1경간에 1개소 이상 또 15m 이하의 간격으로 설치한다. 다만, 시험이나 구조해석에 의해 다이아프램이 필요하지 않다는 것이 확인되는 경우에는 두지 않아도 좋다.

10. 지간

- (1) 받침부와 일체로 되어있지 않는 부재에서는 순경간에 부재의 두께를 더한 값을 지간으로 해야 한다. 그러나 그 값이 받침부의 중심간 거리를 초과할 수 없다.
- (2) 연속구조물과 골조구조물 해석에서 휨모멘트를 구할 때 사용하는 지간은 받침부 중심간 거리로 한다. 그러나 받침부 내면에서의 모멘트를 부재설계에 사용해도 좋다. 현치가 부재의 받침부와 일체로 만들어지고, 그 기울기가 연속부재나 구속부재의 축과 45°이상인 경우에는 받침부 내면은 부재와 현치 부분이 결합된 높이가 적어도 부재 두께의 1.5배되는 단면으로 보아야 한다.
그러나 이 받침부 내면에서의 현치 부분이 유효높이에 더해지는 것으로 보아서는 안 된다.

11. 합성 휨부재

- (1) 콘크리트 합성휨부재는 별개로 분리 시공되었으나 외력에 일체로 작용하도록 상호 연결된 프리캐스트 또는 현장치기 콘크리트 요소로 구성된다. 동바리를 제거하였을 때 모든 하중을 지지할 수 있을 뿐 아니라 요구되는 처짐 및 균열한계 등을 충분히 만족시킬 수 있을 정도로 충분한 강도를 발휘할 수 있을 때까지는 동바리를 제거하여서는 안 된다.
- (2) 전체 합성부재 또는 그 일부만이 전단 및 휨에 저항하도록 사용될 수 있다. 각각의

요소는 각재하단계에서의 모든 위험한 하중조건에 대해 검토되어야 한다. 또 합성부재로서의 설계강도를 완전히 발휘하기 전에 작용하는 모든 작용외력을 지지할 수 있도록 설계되어야 한다.

- (3) 여러 요소간의 특정강도나 단위중량 또는 그 밖의 성질 등이 서로 다를 경우에는 설계시 각요소들의 성질을 각각 사용하거나 또는 이들 중 가장 불리한 값을 사용해야 한다.
- (4) 합성부재의 강도계산에서는 동바리를 받쳐 시공한 부재와 동바리없이 시공한 부재간의 구분은하지 않도록 해야 한다.
- (5) 각 요소의 분리를 막고, 균열을 억제하기 위해서 철근을 사용해야 한다.
- (6) 전체 합성부재가 수직전단에 저항한다고 가정하는 경우, 전단설계는 동일한 단면 형상으로서 일체로 사용된 부재에 관한 강도설계법 또는 허용응력설계법의 전단규정에 따라야 한다.
- (7) 전단철근은 구조상세의 규정에 따라 상호 연결된 요소 내로 충분히 정착시켜야 한다. 연장되어 정착된 전단철근은 수평전단에 대한 연결재로 포함될 수 있다.
- (8) 상호 연결된 요소간의 접촉면에서 수평전단력이 충분히 전달되도록 설계해야 한다. 수평전단에 대한 설계는 강도설계법 또는 허용응력설계법의 전단규정에 따라야 한다.

12. 설계 방법

- (1) 철근콘크리트 구조물 설계시에는 이 설계기준에서 규정한 강도설계법에 따라 하중계수와 강도감소계수를 사용하여 충분한 강도를 갖도록 부재 단면을 산정하며, 이와 같이 산정된 부재단면은 사용성 요구조건을 만족해야 한다. 한편, 거동특성 및 기능을 감안하여 허용응력설계법의규정에 따라 설계할 수도 있다.
- (2) 프리스트레스트 부재는 「10.7항」의 규정에 따라 설계해야 한다.

13. 콘크리트

(1) 일반내용

- ① 콘크리트의 설계기준 압축강도는 재령 28일 강도를 기준으로 해야 한다.
- ② 설계시 적용한 각 부재의 설계기준 압축강도를 도면상에 명시해야 한다.
- ③ 콘크리트의 설계기준 압축강도는 실무에서 적용가능한 강도범위내에서 정해야 한다.
- ④ 콘크리트의 설계기준 압축강도는 원주형 표준공시체의 시험결과에 기초를 두어야 한다.

(2) 설계기준 압축강도

- ① 콘크리트의 설계기준 압축강도 f_{ck} 는 <표 1>에 규정된 값 이상이라야 한다.



표 1. 콘크리트의 최저 설계기준압축강도

부재의 종류		최저 설계기준압축강도(MPa)
무근 콘크리트 부재		18
철근 콘크리트 부재		21
프리스트레스트	프리텐션 방식	35
콘크리트 부재	포스트텐션 방식	30

주) PSM(Precast Span Method)공법 및 FCM(Free Cantilevered Method)공법의 경우 콘크리트 최저 설계기준압축강도 40MPa로 해야 한다.

② 콘크리트 타설 후 j 일의 압축강도는 f_{cj} 로 표시한다.

(3) 콘크리트의 탄성계수는 다음의 규정에 따른다.

① 콘크리트의 할선탄성계수는 콘크리트의 단위질량 m_c 의 값이 $1,450 \sim 2,500 \text{kg/m}^3$ 인 콘크리트의 경우 <식 (2)>에 따라 계산해야 한다.

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

다만 보통골재를 사용한 콘크리트($m_c = 2,300 \text{kg/m}^3$)의 경우는 <식 (3)>를 이용할 수 있다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

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

Δf 는 f_{ck} 가 40MPa 이하면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구함.

② 크리프 계산에 사용되는 콘크리트의 초기접선탄성계수와 할선탄성계수와의 관계는 <식 (4)>과 같다.

$$E_c = 0.85 E_{ci} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

(4) 콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6로 가정한다.

(5) 콘크리트의 전단탄성계수는 <식 (5)>으로 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \nu)} \quad (5)$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 포아송비

(6) 온도팽창계수

① 보통 콘크리트의 온도팽창계수는 일반적으로 $10.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 가정한다.

- ② 경량 콘크리트의 온도팽창계수는 콘크리트에 배합된 경량골재의 온도팽창계수를 고려하여 정해야 한다.

(7) 콘크리트의 건조수축 및 크리프

- ① 콘크리트의 건조수축 변형률은 대기의 평균상대습도, 부재의 크기 등을 고려하여 <식 (6)>으로 구할 수 있다.

$$\epsilon_{sh}(t, t_s) = \epsilon_{sho} \beta_s(t - t_s) \quad (6)$$

여기서 ϵ_{sho} 와 $\beta_s(t - t_s)$ 는 <식 7>~<식 10>에 의해 계산해야 한다.

$$\epsilon_{sho} = \epsilon_s(f_{cu}) \beta_{RH} \quad (7)$$

$$\epsilon_s(f_{cu}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cu}/10)] \times 10^{-6} \quad (8)$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55[1 - (RH/100)^3] & (40\% \leq RH < 99\%) \\ 0.25 & (RH \geq 99\%) \end{cases} \quad (9)$$

$$\beta_s(t - t_s) = \sqrt{\frac{(t - t_s)}{0.035 h^2 + (t - t_s)}} \quad (10)$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 4 : 2\text{종 시멘트} \\ 5 : 1\text{종, 5종 시멘트} \\ 8 : 3\text{종 시멘트} \end{cases}$$

외기의 온도가 20℃가 아닌 경우 β_{RH} 및 $\beta_s(t - t_s)$ 는 <식 (11)>과 <식 (12)>에 의해 보정해야 한다.

$$\beta_{RH} = \left[1 + \left(\frac{8}{103 - RH} \right) \left(\frac{T - 20}{40} \right) \right] \beta_{RH} \quad (11)$$

$$\beta_s(t - t_s) = \sqrt{\frac{(t - t_s)}{0.035 h^2 \exp[-0.06(T - 20)] + (t - t_s)}} \quad (12)$$

- ② 콘크리트의 크리프는 다음의 규정에 따라 예측할 수 있다.

가. 시간 t' 에서 작용응력 $f_c(t')$ 에 의한 콘크리트의 순간 변형 및 크리프 변형을 함께 고려한 전체 변형률 $\epsilon_{cf}(t, t')$ 는 1) 콘크리트의 압축강도 또는 설계기준압축강도, 2) 부재의 크기, 3) 평균 상대습도, 4) 재하시의 재령, 5) 재하기간, 6) 시멘트 종류, 7) 양생온도, 8) 온도변화, 9) 작용응력의 크기 등에 따라 <식 (13)>를 사용하여 구할 수 있다.

$$\epsilon_{cf}(t, t') = f_c(t') \left[\frac{1}{E_{ci}(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_{ci}} \right] \quad (13)$$

여기서, E_{ci} 는 <식 31>에 의해 구하고, $E_{ci}(t')$ 는 <식 (32)>에 의해서 구한다.

나. <식 (13)>에서 크리프계수 $\phi(t, t')$ 는 양생온도가 20℃이고, 하중이 작용하는 동안의 기온도 20℃인 경우를 기준으로 한 것으로 <식 (14)>과 같이 구할 수 있다.

$$\phi(t, t') = \phi_0 \beta_c(t - t') \quad (14)$$

$$\text{여기서, } \phi_0 = \phi_{RH} \beta(f_{cu}) \beta(t') \quad (15)$$



$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - 0.01RH}{0.10^3 \sqrt{h}} \quad (16)$$

$$\beta(f_{cu}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cu}}} \quad (17)$$

$$\beta(t') = \frac{1}{0.1 + (t')^{0.2}} \quad (18)$$

$$\beta_c(t-t') = \left[\frac{(t-t')}{\beta_H + (t-t')} \right]^{0.3} \quad (19)$$

$$\beta_H = 1.5 [1 + (0.012RH)^{18}] h + 250 \leq 1,500(\text{일}) \quad (20)$$

f_{cu} 는 <식 28>에 따른다.

다. 작용응력의 크기, 온도 및 시멘트의 종류에 따라 <식 (14)>의 크리프계수는 다음과 같이 보정해야 한다.

(가) 양생온도 및 시멘트 종류에 따른 보정계수

양생 동안 온도의 변화가 있거나 20℃가 아닌 대기에 노출되어 있는 경우, 또는 시멘트 종류에 따른 재하 재령 t' 는 <식 (21)>과 같이 보정해야 한다.

$$t' = t_T' \left[\frac{9}{2 + (t_T')^{1.2}} + 1 \right]^\alpha \geq 0.5(\text{일}) \quad (21)$$

$$t_T' = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \exp \left(-\frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)} + 13.65 \right) \quad (22)$$

$$\alpha = \begin{cases} -1 & : 2\text{종 시멘트} \\ 0 & : 1\text{종, } 5\text{종 시멘트} \\ 1 & : 3\text{종 시멘트} \end{cases}$$

여기서, $T(\Delta t_i)$ 는 Δt_i 일 동안 지속된 온도(℃), Δt_i 는 일정한 온도가 지속된 기간(일)이고, n 은 일정한 온도를 유지한 단계의 수이다.

(나) 작용응력의 크기에 따른 보정계수

작용응력 $f_c(t')$ 가 $0.4 f_{cu}(t') < |f_c(t')| < 0.6 f_{cu}(t')$ 인 경우 <식 15>의 ϕ_0 는 <식 (23)>와 같이 보정하여 크리프의 비선형성을 고려한다.

$$\phi_o = \exp \left[1.5 \left(\frac{|f_c(t')|}{f_{cu}(t')} - 0.4 \right) \right] \phi_o \quad (23)$$

여기서, $f_{cu}(t')$ 는 <식 (29)>과 <식 (30)>에 의해 구할 수 있다.

(다) 온도변화에 따른 보정계수

지속하중이 작용하는 동안 온도가 5℃에서 80℃까지 변화할 때 크리프계수는 <식 (16)>의 ϕ_{RH} 를 <식 (25)>로, 그리고 <식 (20)>의 β_H 를 <식(27)>로 보정하여 <식 (24)>에 의해 구해야 한다.

$$\phi(t, t') = \beta_c(t - t')\phi_o + 0.0004(T - 20)^2 \quad (24)$$

$$\phi_{RH, T} = \phi_T + (\phi_{RH} - 1.0)\phi_T^{1.2} \quad (25)$$

$$\text{여기서, } \phi_T = \exp [0.015 (T - 20)] \quad (26)$$

$$\beta_{H, T} = \exp \left[\frac{1,500}{273 + T} - 5.12 \right] \beta_H \quad (27)$$

(라) 콘크리트의 압축강도는 $\phi 150 \times 300 \text{mm}$ 원주공시체의 시험결과에 따라 <식 (28)>과 같이 평균압축강도 f_{cu} 를 택해야 하며, 시간에 따른 콘크리트의 강도발현 $f_{cu}(t)$ 는 <식 (29)>과 같이 구해야 한다. 이때 f_{ck} 가 28일 때의 설계기준강도이면 <식 (28)>의 f_{cu} 는 f_{28} 과 같다.

$$f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \quad (28)$$

$$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cu} \quad (29)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left[\beta_{sc} \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right] \quad (30)$$

$$\beta_{sc} = \begin{cases} 0.35 : 1\text{종시멘트습윤양생} \\ 0.15 : 1\text{종시멘트증기양생} \\ 0.25 : 3\text{종시멘트습윤양생} \\ 0.12 : 3\text{종시멘트증기양생} \\ 0.40 : 2\text{종시멘트} \end{cases}$$

여기서, $\beta_{cc}(t)$ 는 시간에 따른 강도발현속도이고, β_{sc} 는 시멘트 종류에 따른 상수이다.

(마) 크리프 변형을 계산할 때 콘크리트의 초기 접선탄성계수는 <식 (31)>와 같이 구해야 한다.

$$E_{ci} = 10,000 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (31)$$

(바) 초기 접선탄성계수 $E_{ci}(t)$ 의 시간에 따른 변화는 <식 (32)>과 같이 구해야 하며 $\beta_{cc}(t)$ 는 <식 (30)>과 같다.

$$E_{ci}(t) = \sqrt{\beta_{cc}(t)} E_{ci} \quad (32)$$

(사) 크리프에 대한 실험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험방법)에 따라야 한다.



RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.1.?) 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영