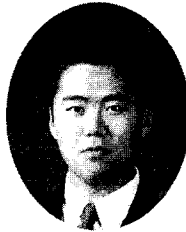


특 집

콘크리트 구조물의 공사 계측 기술 현황

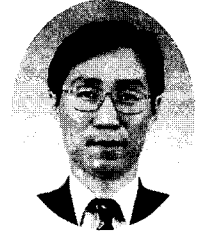
건조 수축 및 크리프 계측과 설계 적용 - Measurement of Shrinkage and Creep and Its Application to Design -



김원상*



오정근**



조한욱***

1. 서 론

콘크리트의 건조 수축 및 크리프는 고층 구조물의 기둥 축소, 매스 콘크리트의 균열, 프리스트레스트 구조의 변형 등에 영향을 미치는 콘크리트의 고유 특성으로서 모두 시간의 함수로 표현된다. 이와 같은 특성은 장기간에 걸쳐서 발생하기 때문에 부재의 장기 변형을 발생시키는 주요 변수로 작용하고, 콘크리트의 배합, 구조 부재의 경계 조건, 주변 환경 등 다양한 인자에 의해 영향을 받으므로 정확한 예측 모델식을 제시하기 위해 많은 연구^{4),5)}가 진행되어 왔다. 실제 구조물에서 철근 콘크리트 부재의 건조 수축과 크리프는 동시에 진행되는 것이 일반적이므로 각각의 효과를 평가하기보다는 재료 시험을 통한 건조 수축과 크리프 특성을 명확하게 하는 것이 일반적이며 또한 중요한 과제이다.

본고에서는 건조 수축과 크리프의 특성, 그리고 주

요 변수의 효과를 고찰하고자 하며, 콘크리트의 건조 수축과 크리프의 영향에 의한 기둥 축소 현상, 예측 및 측정 방법 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 건조 수축

콘크리트의 건조 수축은 수화 반응시 시멘트에 흡착되었던 수분이 증발하여 콘크리트에 발생하는 체적 변형으로서 응력 조건과는 관계 없는 값이다. 건조 수축의 속도는 초기에는 높지만 시간이 경과함에 따라 증가 속도는 감소한다. 수분의 증발에 의한 건조 수축의 속도와 양은 주어진 환경 하에서 상대 습도, 부재의 크기, 콘크리트의 배합비 등에 의해 영향을 받는다.

2.1 극한 건조 수축(Ultimate Shrinkage)

콘크리트 건조 수축의 변화는 <그림 1>과 같이 일정한 시간이 경과하면 한계값에 도달하며 이 값이 극한 건조 수축값이다. <표 1>에 나타난 바와 같이 건조

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 주임연구원

** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

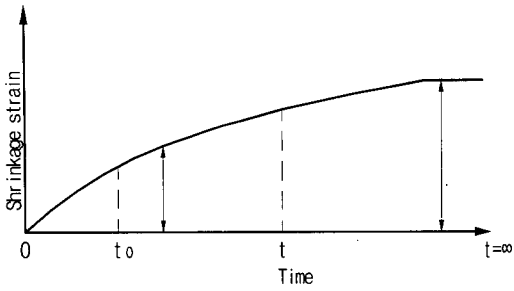


그림 1. 건조 수축-시간 곡선

수축은 콘크리트의 조합, 양생 조건, 환경, 부재의 크기 등에 의해 영향을 받고 있으며, 구조 부재에 건조 수축에 의한 영향을 반영하기 위해서는 표준 조건에 의한 장기간의 시험을 통하여 건조 수축 특성을 파악하고 그 결과를 적용하여야 한다.

시험 결과가 없을 경우에는 표준값을 적용하며, ACI 209 위원회¹⁾에 의하면 기존 연구의 경우 표준 상태에서의 극한 건조 수축값은 $415 \sim 1070 \times 10^{-6}$

in./in.의 범위를 나타내고 있으며, 본 위원회에서는 780×10^{-6} in./in.의 값을 극한 건조 수축값의 표준값으로 제안하고 있다. 위에서 제시한 극한 건조 수축값은 콘크리트의 슬럼프값이 130 mm 이하, 세골재 비율이 40 ~ 60 %, 시멘트량이 $279 \sim 445 \text{ kg/m}^3$, 공기량이 8 % 이하인 경우이며, 제한값을 벗어날 경우에는 적절한 보정을 요구하고 있다.

CEB-FIP 1990³⁾에서는 콘크리트 압축 강도 변화를 고려한 극한 건조 수축값의 개념을 나타내는 수축 계수(notional shrinkage coefficient)를 사용하고 있으며 다음과 같은 값을 제시하고 있다.

$$\epsilon_{\text{sho}} = 160 + 50 \left(9 - \frac{f_{\text{cm}}}{f_{\text{cmo}}} \right) \beta_{\text{RH}} \quad (1)$$

f_{cm} : 재령 28일의 콘크리트 압축 강도(MPa),

f_{cmo} : 10 MPa,

β_{RH} : 상대 습도의 효과를 나타내는 인자

표 1. 건조 수축과 크리프에 영향을 미치는 변수¹⁾

| 주요 인자 | | | 주요 변수 | 표준 조건 |
|---------------------------|-----------------|---|----------------|-----------------------------------|
| 콘크리트물성치 (건조수축, 크리프) | 콘크리트조합 | 시멘트 페이스트 물 시멘트 비 배합 비 골재 특성 다짐 정도 | 시멘트 종류 | Type I, III |
| | | | 슬럼프 | 2.7 in |
| | | | 공기량 | 6 % |
| | | | 세골재비 | 50 % |
| | | | 시멘트량 | $279,446 \text{ kg/m}^3$ |
| | 초기양생 | 초기양생기간 양생온도 양생습도 | 수중양생 | 7일 |
| | | | 스팀양생 | 13일 |
| | | | 수중양생 | 23 2 C |
| | | | 스팀양생 | 100C |
| | | | 상대습도 | 95 % |
| 부재, 형태, 환경 (건조수축, 크리프) | 환경 | 콘크리트온도 수분상태 | 콘크리트온도 | 23 2 C |
| | | | 노출상대습도 | 40 % |
| | 기하학적형태 | 크기, 형태 | 부피표면적비 | $v/s=1.5 \text{ in}(38\text{mm})$ |
| | | | 최소두께 | 6 in (150mm) |
| 하중 (크리프) | Loading History | 가력시점의재령 가력기간 | 수분양생 | 7 days |
| | | | 스팀양생 | 13일 |
| | | | sustained load | sustained load |
| | 응력조건 | 응력과분포형태 응력/강도비 | 압축응력 | 축방향응력 |
| 응력/강도비 | | | 응력/강도비 | |

2.2 시간 경과에 따른 건조 수축

많은 실험을 통하여 ACI 209 위원회에서는 콘크리트의 건조 수축값을 예측하기 위한 일반적인 방법을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$SH_t = \frac{t^\alpha}{f + t^\alpha} \epsilon_{s\infty} \quad (2)$$

여기서 f , α 는 주어진 부재의 형상과 크기에 따른 상수로써 시간의 효과를 결정하는 변수이며, $\epsilon_{s\infty}$ 는 극한 건조 수축값을 나타낸다. 주요 변수인 f , α 의 값은 연구 결과에 따라 다소 차이를 나타내고 있지만, 개략적으로 다음과 같은 범위의 값을 나타내고 있다.

$$f = 20 \sim 130 \text{ days,}$$

$$\alpha = 0.90 \sim 1.10$$

위의 값들은 <표 1>에 나타난 표준 상태에 근거하고 있으며, ACI 209 위원회에서는 7일 동안 수중 양생한 콘크리트에 대하여 다음과 같은 건조 수축식을 제시하고 있다.

$$SH_t = \frac{\epsilon_{st}}{\epsilon_{s\infty}} = \frac{t}{35 + t} \quad (3)$$

CEB-FIP 1990에서는 앞에서 기술한 수축 계수에 시간 효과를 고려한 다음과 같은 식을 제시하고 있다.

$$\epsilon_{sh}(t - t_0) = \epsilon_{sho} \beta_s(t - t_0) \quad (4)$$

$$\beta_s(t - t_0) = \sqrt{\frac{t - t_0}{350(h/h_0)^2 + (t - t_0)}} \quad (5)$$

$$h_0 = 100\text{mm,}$$

$$h = 2A_c/u \text{ mm,}$$

$$u = \text{대기와 면하는 부분의 둘레 길이}$$

또 Hansen-Mattock⁵⁾는 부재의 크기가 건조 수축의 최종값 및 속도에 영향을 미친다는 이론에 근거하여 다음과 같은 건조 수축식을 제안하고 있다.

$$SH_t = \frac{\epsilon_{st}}{\epsilon_{s\infty}} = \frac{t}{26.0e^{0.36(vs)} + t} \quad (6)$$

2.3 부재의 크기 효과

수분의 증발은 부재의 표면에서 발생하기 때문에 부재의 부피/표면적비는 건조 수축량에 영향을 미치는 주요 인자의 하나이다. 부재의 크기 효과를 나타내는 인자는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다. 부피/표면적비가 1.5 in를 벗어난 부재에 대해서는 다음과 같은 인자를 곱하여 부재의 크기 효과를 고려하고 있다.

$$SH_{vs} = \frac{0.037(v:s) + 0.944}{0.177(v:s) + 0.734} \quad (7)$$

위의 식은 건조 수축량과 부피/표면적비를 나타내는 식으로서 Hansen-Mattock⁵⁾에 의해 제안되었으며, ACI 209 위원회에서도 위의 식을 채택하고 있다.

2.4 상대 습도 효과

건조 수축량과 그 속도는 주변 환경의 상대 습도에 높은 영향을 받는다. ACI 209 위원회에서는 대기에 노출된 부재의 상대 습도가 40%를 초과하는 경우 다음과 같은 인자를 곱하여 그 효과를 고려하고 있다.

$$SH_H = 1.40 - 0.010 \cdot H \quad 40 \leq H \leq 80$$

$$= 3.00 - 0.030 \cdot H \quad 80 \leq H \leq 100 \quad (8)$$

H = 상대 습도(%)

2.5 기타 효과

건조 수축값은 일반적으로 7일 동안 수중 양생을 기본으로 제안된 값으로서 수중 양생 기간이 7일과 다를 경우에는 다음과 같은 수정 계수를 고려하고 있다.

표 2. 수중 양생 기간에 따른 수정 계수

| 수중 양생 기간 | 수정 계수 |
|----------|-------|
| 1 | 1.2 |
| 3 | 1.1 |
| 7 | 1.0 |
| 14 | 0.93 |
| 28 | 0.86 |
| 90 | 0.75 |

부재의 크기는 시간에 따른 건조 수축의 영향뿐만 아니라 극한 건조 수축값에도 영향을 미침으로써 이중의 효과를 나타내고 있다. 부피/표면적비가 건조 수축에 영향을 미치는 것처럼, 슬래브와 같은 경우에는 부재의 두께가 영향을 미친다. 따라서 이와 같은 효과를 고려하기 위해 부재의 두께가 6 in를 초과하는 경우에는 다음과 같은 인자를 곱하여 그 효과를 고려하고 있다.

· 초기 1년

$$SH_{thk} = 1.23 - 0.038h \quad (9)$$

· 극한 건조 수축

$$SH_{thk} = 1.17 - 0.029h \quad (10)$$

3. 크리프

크리프는 응력이 작용하는 부재의 시간 경과에 따른 변형도의 증가를 나타내며 건조 수축과 유사하게 초기에는 증가율이 높지만 시간이 경과하면서 그 증가율은 점차적으로 감소하는 특성을 나타내고 있다. 크리프는 주변으로부터 수분의 이동이 차단된 상태의 기본 크리프(basic creep)와 주변 환경과의 수분 교환이 가능한 건조 크리프(drying creep)로 구분된다. 콘크리트의 응력-변형 관계는 작용 응력이 최대 강도의 40% 이하에서는 거의 선형 관계를 나타내며, 이 값을 초과할 경우 비선형 관계를 나타내고 있다. 실제 업무에 있어서 단위 작용 응력에 대한 최대 크리프 변형을 나타내는 특정 크리프(specific creep)값을 고려하는 것이 편리하다.

3.1 특정 크리프(Specific Creep)

특정 크리프값은 건조 수축과 마찬가지로 7일 동안 양생 후 40% 상대 습도 하에서 보관한 후 28일 후에 하중이 작용한 공시체의 크리프 수렴값으로 수분의 증발이 차단된 시험체의 시험 결과이다. 재료 시험 결과가 없는 경우 일반적으로 특정 크리프값은 다음과 같은 범위 내의 값을 적용한다.

$$\epsilon_{\infty} = 3/1000f'_c \sim 5/1000f'_c \quad \text{in/in/kips/in}^2.$$

ACI 209 위원회에서는 Branson 등의 연구 결과⁸⁾에 근거하여 $\epsilon_{\infty} = 2.35$ 를 표준값으로 제시하고 있다.

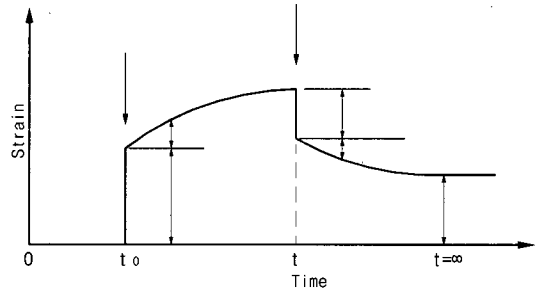


그림 2. 크리프-시간 곡선

3.2 재령에 의한 효과

콘크리트의 크리프는 응력값의 변화뿐만 아니라 하중이 작용하는 시점에서의 콘크리트 재령에 의해서도 영향을 받는다. 이와 같은 효과를 고려하기 위해 ACI 209 위원회와 CEB-FIP에서는 재령 28일을 벗어난 시험체에 대해서는 다음과 같은 인자를 고려하고 있다.

$$CR_{LA} = 1.25t_{LA}^{-0.118} \quad (\text{ACI 209}) \quad (11)$$

$$CR_{LA} = 2.3t_{LA}^{-0.25} \quad (\text{CEB-FIP}) \quad (12)$$

여기서 t_{LA} 는 하중 작용 시점의 콘크리트의 재령을 일(days)로 나타낸다.

3.3 부재 크기 효과

건조 수축과는 다르게 부재의 크기가 크리프 변화에 미치는 영향은 크지 않다. 부피/표면적비가 1.5 in 인 경우를 표준으로 하고 있으며, 이 값을 벗어난 경우에는 Hansen 등의 연구 결과⁵⁾를 반영한 다음과 같은 인자를 적용하여 부재의 크기 효과를 고려한다.

$$CR_{vs} = \frac{0.044(v:s) + 0.934}{0.1(v:s) + 0.85} \quad (13)$$

여기서 v:s는 inch 단위의 부피/표면적비이다.

3.4 상대 습도 효과

주위 환경의 상대 습도가 40%를 초과하는 경우, ACI 209 위원회에서 제안한 다음과 같은 인자를 곱하여 계산하고 있다.

$$CR_H = 1.40 - 0.01H \quad (14)$$

여기서 H는 % 단위의 상대 습도이다. 또 H값은 연중 평균값을 사용하도록 권장하고 있다.

3.5 시간 경과에 따른 크리프의 진행

ACI 209 위원회에서 제안된 크리프의 진행은 다음 식으로 주어진다.

$$CR_t = \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{\infty}} = \frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} \quad (15)$$

여기서 ϵ_{ct} 는 시간 t까지의 단위 응력당 크리프 변형도이며, t는 하중이 작용한 후부터 측정할 시간이다.

3.6 철근비 효과

철근 콘크리트 부재에서 크리프와 건조 수축은 철근에 의해 억제된다. Dischinger⁶⁾는 철근의 효과를 고려하기 위해 다음과 같은 식을 제안하였으며, 이 식은 Fintel과 Khan⁷⁾ 등에 의해 기동 축소량 해석에 적용되었다.

$$CR_R = \frac{1}{\rho \cdot \epsilon_{\infty}^*} \left(1 - e^{-\frac{\rho m}{1 + \rho m} \epsilon_{\infty}^* E_{ct}} \right) \quad (16)$$

- ϵ_{∞}^* = 무근 콘크리트의 특정 크리프
- ρ = 기동의 철근비
- m = 시간을 고려한 탄성계수비 (E_s/E_{ct})

4. 시험 방법

하중이 작용하는 철근 콘크리트 부재에서 건조 수축과 크리프는 동시에 발생하기 때문에 각각의 변화를

직접 측정하는 것은 어려운 작업이므로 실 구조물에서 각각의 효과를 파악하기 위해서는 재료 시험에 의존해야 한다. 건조 수축과 크리프 특성을 파악하기 위한 시험은 하중 작용 유무의 차이점이 있으나 양생 및 시험 조건이 매우 유사하며, 시험 방법 및 조건을 기술하면 다음과 같다.

4.1 건조 수축 시험

콘크리트의 건조 수축 시험은 시간 경과에 따른 건조 수축량을 측정하기 위한 시험으로서 ASTM 157의 시험 방법을 적용하고 있으며, 일반적으로 100 × 100 × 400 mm의 각형 물드를 3개 이상 제작하여 수중 양생한 후 항온항습실에서 시간 경과에 따른 수축량을 측정한다. 시험 조건은 개략적으로 <표 3>과 같다. 물드 제작 후 시험실로 이동할 경우에는 물드에 충격이 발생하지 않도록 적절한 조치가 요구되며, 물드는 시험실로 이동 후에 해체하는 것이 일반적인 방법이다. 건조 수축은 초기에 발생 속도가 높게 나타나므로 측정 초기에는 24시간 간격으로 측정하는 것이 좋으며, 28일 이후에는 측정 간격을 조금씩 크게 하여도 전체적인 건조 수축값의 변화를 파악하는 데에는 문제가 없다.

표 3. 건조 수축 시험 조건

| 항 목 | 조 건 |
|---------|--------------------------|
| 콘크리트 채취 | 3대 이상 레미콘 트럭 |
| 물드 탈형 | 제작 후 23.5±0.5시간 |
| 양생 수조 | 23.0±1.7℃ |
| 항온항습실 | 23.0±1.1℃ 상대 습도 : 50% |

4.2 크리프 시험

크리프 시험은 ASTM C 512에 의한 방법을 주로 적용하고 있다. 크리프 시험에서 가력 하중의 크기는 시험체의 탄성 거동을 확보하기 위해 0.4f'_c 이하를 적용하고 있다. 크리프 시험은 건조 크리프(drying creep) 시험과 기본 크리프(basic creep) 시험으로 구분할 수 있다.

건조 크리프 시험은 시험체를 노출시킨 경우로서, 이 때에는 하중 가력 후 발생하는 탄성 변형과 건조 수축에 의한 변형, 그리고 크리프 변형이 발생하므로 크리

프 변형을 도출하기 위해서는 동일 크기의 보조 시험체를 제작하여 동일한 조건 하에서 건조 수축 시험을 시행하여 건조 수축에 의한 효과를 고려하여야 한다.

기본 크리프 시험은 수중 양생 후 시험체를 방수 테이프 등으로 밀봉하여 수분 증발을 차단한 후 시험체의 시간 경과에 따른 크리프 변화를 측정하는 것으로 하중 가력시 탄성 변형과 크리프 변형을 측정하는 시험 방법이다.

크리프 시험도 3개 이상의 공시체를 제작하여야 하며, 수중 양생 및 항온항습실의 조건은 건조 수축 시험과 동일하다.

5. 초고층 구조물에 미치는 영향

초고층 구조물에서 철근 콘크리트 수직 부재는 하중 작용에 의한 탄성 변형 외에 건조 수축과 크리프에 의해 장기간에 걸쳐 기동 축소 현상을 나타낸다. 수직 방향의 이와 같은 축소 현상은 파이프덕트, 간막이 벽 및 커튼월 등과 같은 마감재의 변형을 유발시키며, 인접 부재간의 부등 축소는 수평 부재에 응력을 발생시킬 수 있다. 따라서 초고층 구조의 해석 및 설계 과정에서는 수직 부재의 축소량을 정확하게 예측하고 평가하는 것은 중요한 과제이다.

실제 구조물에 해석값을 적용하기 위해서는 시공 전에 재료 시험을 통하여 건조 수축 및 크리프 특성을 파악하여 계산값을 평가하여야 하며, 실 구조물의 변형거동을 파악하여 해석값과 비교 평가하는 것이 필요하다.

이와 같은 근거에 의해 말레이시아 Petronas Tower에서는 기동 축소량 해석을 위한 재료 시험을 하였으며, 기동과 전단 벽 등 수직 부재에는 스트레인 게이지를 설

치하여 시간 변화에 따른 축소량의 변화를 측정하고 분석하였다.⁹⁾ 본 절에서는 기동 축소량 해석 방법을 통하여 건조 수축과 크리프가 기동 축소에 미치는 영향과 재료 시험 및 측정 과정 등에 대해 기술하고자 한다.

5.1 기동 축소량 해석

기동 부재의 기동 축소량은 작용 하중에 의한 탄성 축소, 건조 수축과 크리프에 의한 비탄성 축소로 분류된다. 또 각각의 축소량은 해당 층 타설 전과 타설 후로 구분하여 해석하고 있는데, 이는 콘크리트 구조물의 경우 해당 층에서 콘크리트 타설시 수평 레벨이 자동적으로 보정이 되므로 보정이 필요한 부분은 해당 층 타설 후의 축소량이기 때문이다. 각각의 축소량은 다음과 같다.

1) 탄성 수축(첨자 e로 정의)

해당 층 타설 전(첨자 p)

$$\Delta_{I,p}^s = \sum_{j=I}^N \sum_{i=I}^N \frac{P_i h_j}{A_{t,ij} E_{ct,ij}} \quad (17-1)$$

해당 층 타설 후(첨자 s)

$$\Delta_{I,s}^s = \sum_{j=I}^N \sum_{i=N+1}^n \frac{P_i h_j}{A_{t,ij} E_{ct,ij}} \quad (17-2)$$

I = 특정한 층, 혹은 하중 증가

j = 특정 기동

P = 작용 하중

h = 층고

A_t = 기동 단면

E_{ct} = 콘크리트 탄성 계수

2) 건조 수축(첨자 S로 정의)

해당 층 타설 전(첨자 p)

$$\Delta_p^s = \sum_{j=1}^N h_j \cdot \epsilon_{s\infty,j} \cdot SH_{v,s,j} \cdot SH_H \cdot SH_{t,j} \cdot SH_{R,j} \quad (18-1)$$

해당 층 타설 후(첨자 s)

$$\Delta_s^s = \sum_{j=1}^N h_j \cdot \epsilon_{s\infty,j} \cdot SH_{v,s,j} \cdot SH_H \cdot (1 - SH_{t,j}) \cdot SH_{R,j} \quad (18-2)$$

표 4. Petronas Tower 개요

| 분 류 | 내 용 |
|-------|--|
| 층 수 | 지하 6층, 지상 92층 (BUSTLE : 지하 6층 지상 45층) |
| 높 이 | 지하 21M, 지상 451.9M |
| 구조형태 | R/C : COLUMN, RING BEAM, CORE WALL STEEL BEAM & DECK, EYE BROW, PINNACLE |
| 연 면 적 | 197,497M ² |
| 공사기간 | 1994. 3 ~ 1996. 6 (118주) |

3) 크리프 수축

해당 층 타설 전(첨자 p)

$$\Delta_{i,p}^c = \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n \frac{P_l CR_{LA,ij}}{A_{t,ij}} \cdot \epsilon_{c\infty,j} \cdot h_j \cdot CR_{v,s,j} \cdot CR_H \cdot CR_{t,j} \cdot CR_{R,ij} \quad (19-1)$$

해당 층 타설 후(첨자 s)

$$\Delta_{i,p}^c = \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^n \frac{P_l CR_{LA,ij}}{A_{t,ij}} \cdot \epsilon_{c\infty,j} \cdot h_j \cdot CR_{v,s,j} \cdot CR_H \cdot CR_{t,j} \cdot CR_{R,ij} \quad (19-2)$$

각 식에서 고려하고 있는 변수는 건조 수축과 크리프에 대한 2절과 3절에서의 내용에서 설명한 주요 변수로서 식(3)에서 (16)까지 해당한다.

5.2 재료 시험

수직 부재의 축소량을 예측하기 위한 기초 자료로 사용하고 구조 부재에 사용된 콘크리트의 압축 강도, 탄성 계수, 열 팽창 계수와 극한 건조 수축값, 특정 크리프를 파악하기 위한 재료 시험을 실시하였으며, <표 5>에서는 건조 수축과 크리프 시험 변수의 일부분을 나타내고 있다. 적용 하중은 0.1f'c, 0.2f'c, 0.4f'c이며 노출 상태와 밀봉 상태를 변수로 하여 건조 크리프(drying creep)와 기본 크리프(basic creep)를 각각 측정하고자 하였다. <그림 3>에는 크리프 시험 장면을 나타내고 있다.

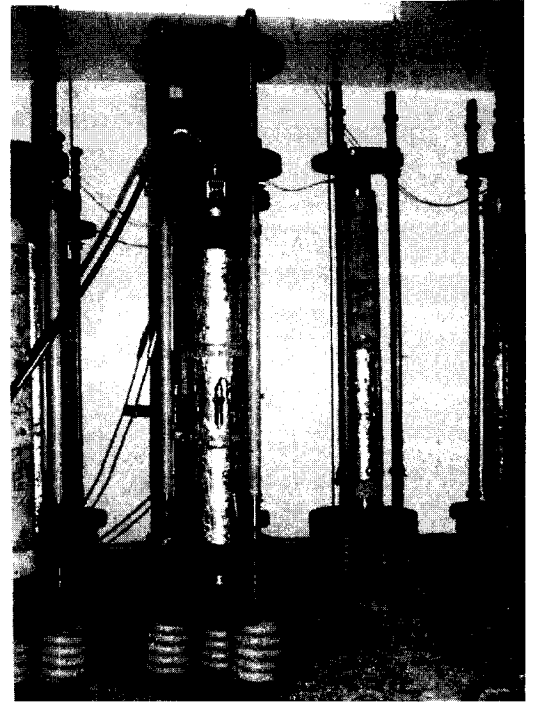


그림 3. 크리프 시험

5.3 현장 계측 및 해석값과의 비교

수직 부재의 축소량을 측정하기 위해 전단 벽과 기둥에 스트레인 게이지를 설치하여 시간에 따른 부재의 축소량을 측정하였다. 측정 대상 층은 1, 19, 38, 45, 58, 65층이며 <그림 4>에 기둥 부위의 스트레인 게이지 설치 장면을 나타내고 있다.

표 5. 건조 수축과 크리프 시험 변수

| 강도 | Shrinkage (day) | | Creep (days) | | | | | |
|-----|-----------------|--------|--------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | 0.2f'c | 0.4f'c | 0.1f'c | | 0.2f'c | | 0.4f'c | |
| | | | Sealed | Ambient | Sealed | Ambient | Sealed | Ambient |
| G80 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | 14 | 14 | - | - | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | 28 | 28 | - | - | 28 | 28 | 28 | 28 |
| G60 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| | 14 | 14 | - | - | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | 28 | 28 | - | - | 28 | 28 | 28 | 28 |
| G40 | - | 7 | - | - | - | - | 7 | 7 |
| | 14 | 14 | - | - | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | - | 28 | - | - | - | - | 28 | 28 |

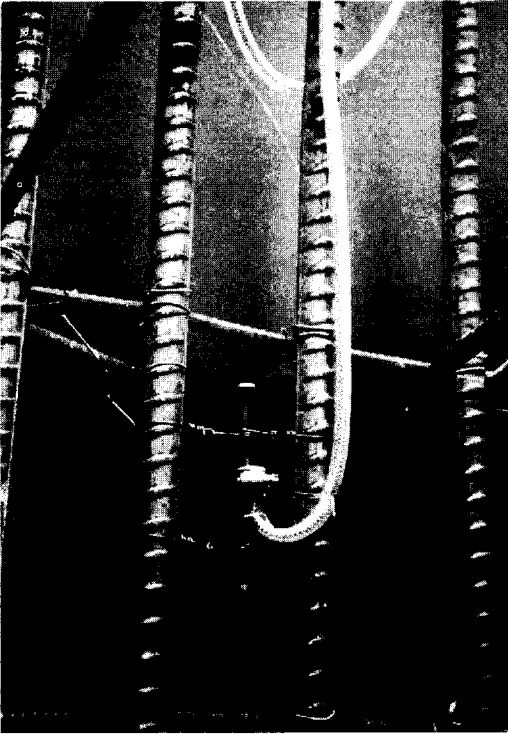


그림 4. 스트레인게이지 설치

〈그림 5〉, 〈그림 6〉에는 1층과 19층에서의 기동 축소량의 해석값과 측정값을 비교하여 나타내고 있다. 다소 차이를 나타내고 있지만 그 경향은 유사하게 나타나고 있으며, 자세한 내용은 기 발표된 자료⁹⁾를 참조할 수 있다.

6. 맺음말

본고에서는 콘크리트의 건조 수축과 크리프 특성, 그리고 각각의 값에 영향을 미치는 주요 변수의 효과를 기술하였고 구조물의 해석 및 설계에서 고려해야 할 사항 등에 관하여 기술하였다. 기술한 바와 같이 콘크리트의 건조 수축과 크리프는 다양한 변수에 의해 영향을 받기 때문에 각 변수의 효과를 명확하게 파악하는 것이 실제 구조물에서 각각의 효과를 정확하게 평가하는 데 무엇보다도 중요한 판단 기준이 된다. 따라서 실 구조물의 설계 및 시공에 있어서 그 효과를 파악하기 위해서는 재료 시험과 분석 과정이 가장 중요한 내용이라 할 수 있다.

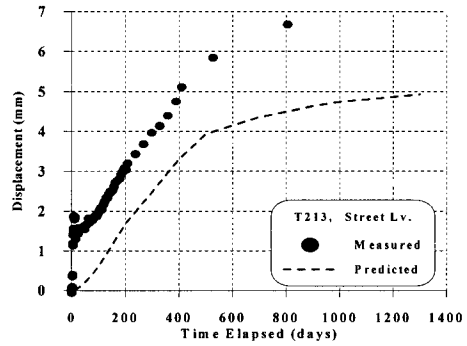


그림 5. 해석값과 측정값(1층)

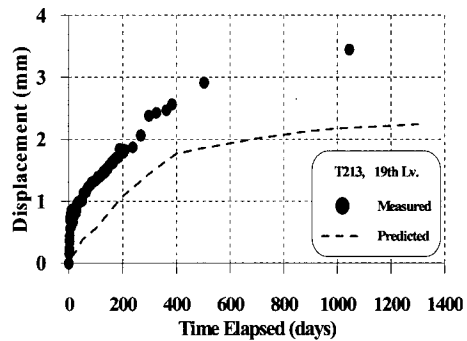


그림 6. 해석값과 측정값(19층)

또 보통 강도 콘크리트의 건조 수축과 크리프에 대한 대한 자료는 많이 제시되어 있지만, 최근 들어 고강도 콘크리트의 적용은 점차적으로 증대되고 있으나 고강도 콘크리트의 자기 수축에 의한 건조 수축 특성, 크리프 특성 등에 대한 연구 자료는 충분하지 않은 실정므로 앞으로는 고강도 콘크리트의 건조 수축과 크리프 특성에 대한 연구가 필요한 실정이다. □

참고문헌

1. ACI Committee 209, Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1999.
2. Mark Fintel, S. K. Ghosh, and Hal Iyengar, Column Shortening in Tall Structures-Prediction and Compensation, PCA, 1987.
3. CEB-FIP Model Code 1990, Bulletin d'Information 90, Comité Européen du Béton, Paris, 1990 revision.
4. Branson, D. E., and Christiason, M.L., Time Dependent Concrete Properties Related to

- Design-Strength and Elastic Properties, Creep and Shrinkage, Symposium on Creep, Shrinkage, and Temperature Effects, SP-27-13, American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 257-277.
5. Hansen, T. C., and Mattock, A. H., Influence of Size and Shape of Member on the Shrinkage and Creep of Concrete, ACI Journal, Proceedings, Vol. 63, No.2, American Concrete Institute Detroit, Mich., February 1966, pp. 267-289.
 6. Dischinger, F., Der Bauingenieur, Berlin, October 1937 and December 1939.
 7. Fintel, M., and Khan, F. R., Effects of Column Creep and Shrinkage in Tall Structures Prediction of Inelastic Column Shortening, ACI Journal, Proceedings, Vol. 66, No. 12, American Concrete Institute, Detroit, Mich., December 1969, pp. 957-967.
 8. Branson, D. E., and Chen, C. I., Design Procedures for Predicting and Evaluating the Time-Dependent Deformation of Reinforced, Partially Prestressed and Fully Prestressed Structures of Different Weight Concrete, Research Report, Civil Engineering Department, Univ. of Iowa, Aug., 1972.
 9. 김원상, 조한욱, 오정근, 염경수, "고층 콘크리트 건물의 기둥축소량 계측연구". 콘크리트학회논문집, 제11권 3호, 1999. 6. pp. 161-170.