

재하시험에 의한 강도평가 Strength Evaluation by Load Testing



이형준*
Hyung-Joon Lee



김유식**
Yu-Sik Kim

본 기사는 Concrete International Vol. 29, No. 3(March, 2007)에 실린 Strength Evaluation by Load Testing by Nehl, T. E., Nanni, A., and Masetti, F.를 번역한 것으로 재하시험에 의해 구조물의 강도평가를 하는 것에 대한 역사적 배경, 시험하중의 크기, 재하시험 결과의 허용 기준 등을 다루고 있으며, 특히 2005년에 개정된 ACI 318 규정에 대한 ACI 437 위원회(Strength Evaluation of Existing Concrete Structures)의 의견을 제시하고 있다(역자주).

본 소고에서는 기존 콘크리트구조물의 안전을 입증하는 방법으로 사용되는 재하시험에 대해 최근에 새로운 권고사항을 제시한 ACI Committee 437 "Strength Evaluation of Existing Concrete Structures"의 최근 작업들에 대해 요약할 것이다.

1. 배경

2002년에 ACI-318 「Building Code Requirements for Structural Concrete²⁾」는 중요한 개정이 있었다. 아마도 가장 중요한 개정내용은 하중계수의 수정(일반적으로 감소)을 들 수 있는데 이것은 ASCE 7-98³⁾에 제시된 값들과 일치하도록 하였다. ACI 318-02에서는 예전의 설계규정에서 사용하였던 절차에 따라 새로운 하중계수와 이에 상응하게 강도감소계수(ϕ)를 감소시켰다. 예외적으로 힘을 받는 인장지배단면에서의 강도감소계수는 바뀌지 않았다. 힘을 받는 인장지배 단면에서 강도감소계수를 그대로 둔 이유는 지금까지 입증된 성능(historical performance)과 인장지배단면에서의 파괴모드가 강도감소계수를 처음으로 설정할 당시보다 더 높은 신뢰성을 갖는다는 최근의 연구결과를 기초에 기인한다.

* 정회원, 한밭대학교 토목공학과 부교수
leejh@hanbat.ac.kr

** 한밭대학교 토목공학과 교수

1971년 이래 강도평가를 위해 요구되는 시험하중(test load)은 $0.85(1.4D+1.7L)$ 로 규정되어 왔다. 여기서 D 는 총 고정하중, L 총 활하중이다. ACI 318-02에서는 설계를 할 때 사용하는 하중계수는 바꾸었지만, 시험하중은 바뀌지 않았다. 사실은 ACI 318-02에서 강도감소계수의 감소가 이루어졌으며 시험하중은 새로운 하중계수에 따라 설계된 구조물의 설계하중에 접근했다. ACI Committee 437에서는 미국과 다른 나라의 재하시험의 실시(historical load test practice)와 승인 기준(acceptance criteria)에 대해 광범위한 재검토를 수행하였다. 이 검토는 필요성이 있는 것으로 생각된다. 왜냐하면 ACI 318-71에 제시한 재하시험의 절차와 승인가준은 처음 발표되고 이미 약 35년의 시간이 지났기 때문이다. 그런데 재하시험에 대한 처음의 계획, 시험하중의 크기, 그리고 처짐의 승인 기준의 이면에 있는 이론적 설명은 현재의 전문가에게는 불명확하게 되어오고 있다.

2. 재하시험의 역사적 이력(historical practice)

미국에서 콘크리트구조물에 대한 재하시험의 수행은 새로 건설된 콘크리트구조물에 대한 입증 실험의 수단으로 1890년대에 시작되었다<그림 1>. 재하시험은 미국과 유럽에서 개발된 다양하고 복잡한 철근콘크리트 시스템의 하중재하능력(load carrying capacity)을 설명하기 위해 철근콘크리트구조물의 개발과 더불어 더 발전하게 되었다. 그러나 1990년 초기에는 재하시험의 절차들은 매우 많은 양의 과학적 자료를 제공하지 못하는 것으로 이해했다. 재하시험이 건축가나 건물소유주에게 건물이 설계하중을 지탱하고 있는 사실을 증명하는 목적을 제공했지만, 재하시험을 하는 동안에 하중이 구조물의 강도에 몇 퍼센트에 해당하는 지는 재하시험이 나타내지는 못했다.

미국에서는 시험하중의 크기를 $2.0L+1.0D$ 로 하여 콘크리트구조물에 대한 재하시험이 일반화 되어 갔다. 이 시험은

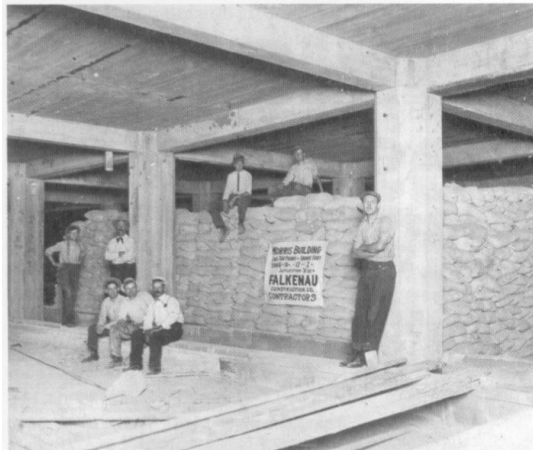


그림 1. 1900년대 초기의 재하시험 모습
(안내판은 $34,000 \text{ H/m}^2$ 의 하중이 작용했을 때 처짐이 4 mm임을 나타냄)

1920년대에 출판된 ACI의 “Regulations for the Use of Reinforced Concrete⁶⁾”에 반영되었다. 여기에서는 재하시험의 개념을 구조물에 나쁜 영향이 없이 안전율을 갖고 사용하중을 초과하여 지탱할 수 있는 능력을 증명하는 것이라고 명확하게 정립하였다. 재하시험에서 시험하중의 크기를 활하중의 2배로 사용하는 것은 1920년에서 1956년 사이의 ACI 설계기준에 유지되었다. 그 기간 동안에 변한 것은 시험하중에 또한 추가되었던 현장에서의 고정하중의 비율이었으며, 이것은 거의 매 개정마다 바뀌었다. 불행하게도 그 기간 동안 다양하게 변경되었던 이면에 있는 이론적 설명에 대해 문서로 작성된 기록이 발견되지 않고 있다.

1971년에 시험하중의 크기를 소요강도(required strength)의 85%로 다시 규정하였으며, 입증시험(proof testing)으로서의 재하시험의 개념이 다소 불명확하게 되었다.

ACI 318 제20장의 제목 “Strength Evaluation of Existing Structures”은 설계기준의 요구조건을 잘 준수하는지와 강도의 입증에 제공하는 재하시험의 가능성을 제시하고 있다. 우리는 재하시험의 목적을 분명하게 할 필요가 있고, 명확하게 하는 일부분으로서 재하시험은 다음과 같이 3가지 부분으로 나눌 수 있다.

- 입증 시험(proof testing) : 구조물이 파괴에 대해 적절한 안전율을 갖고 설계하중을 지탱할 수 있는지를 보여주는 것
- 입증 시험(proof testing) : ACI-318에 규정된 처짐과 균열에 대한 사용한계 내에서 구조물이 작용하중에 해 적절한 저항하는지를 보여주는 것

- 현장이나 실험실에서 구조부재 또는 시스템의 극한강도를 결정하기위한 재하시험

미국의 위원회와 국제 위원회에서는 안전을 입증하는 입증시험을 얻기 위해 적절한 시험하중을 선정하는 것에 대해 불변의 일치된 의견이 없다고 밝히고 있다. 1951년 이후 미국에서의 재하시험은 점차적으로 줄어들었다. 미국에서 강도 설계법의 도입과 PS콘크리트의 설계법의 개발과 동시에 허용응력 설계법으로 설계된 구조물보다 새로운 구조물들은 더 연성이 커지고 더 낮은 여유 강도를 가지게 되었다. 미국에서 현재 사용하는 시험하중의 크기는 국제적으로 실시되는 사용되는 값에 비해 가장 큰 값 중의 하나로 남아 있다.

3. 하중계수의 선정(selection of load factors)

ACI-318-02에서 하중계수가 바뀔에 따라 ACI 318 및 437 위원회 위원들은 새로운 하중계수에 따르기 위해서는 재하하중에 임의의 감소계수를 도입하는 것에 동의했다. ACI 318 위원회에서는 안전율의 감소를 고려하기 위해 ACI 318-02에서 바꾸는 것을 고려하지 않았고, 그러나 변경된 그 자체만이 재하시험에 의해 검증된 안전율의 감소에 대한 정당성을 제공하지는 못한다. 더군다나 현재의 재하시험은 수십 년 동안 광범위하게 사용되어 왔고 많은 경험에 따라 안전에 대해 만족스러운 수준을 보여주고 있다.

재하시험의 목적을 명확히 하기 위해 더 추가한다면, 우리는 시험하중의 크기는 강도보다는 안전율을 입증하는 증명시험의 기능을 명확하게 하기 위해 다시 정의되어야 한다고 권고할 것이다. 입증하중(proof load)은 전체하중의 일부분으로 정의할 수 있다. 고정하중은 자중 D_w 과 건설 중 또는 건물의 재료에 의한 무게 D_s 로 분류된다. 여기서 D_s 는 마감재, 피복재, 파티션, 조경을 위해 고정된 요소 등에 의한 무게이다. D_w 는 시험해야할 구조물의 각 부분의 시공된 치수에 기초한 값이다. D_w 는 이미 알고 있고, 이미 존재하는 하중이기 때문에 시험하중을 결정할 때 1보다 큰 계수를 적용할 필요가 없다. D_s 는 건설과 유지관리의 수단과 방법, 건물 소유자의 편의 시설의 사용 여부 등에 따라 건물의 사용기간 동안 다양하게 변하게 된다. 우리는 시험하중을 결정할 때 D_s 하중에 대해서는 계수 1.1을 적용할 것을 권고한다. 그러나 실제 계수는 감리자 또는 건물 관리자에 의해 예상된 다양성의 정도에 따라 다를 것이다.

사용 활하중에 적용할 계수는 1967년에 출판된 ACI 437 위원회의 보고서⁷⁾로 되돌아가 양식을 다시 설정할 것을 권고한다. 이 양식에 따르면 2개의 하중계수가 권고되고 있다. 구조

물의 의심스러운 부분 모두에 대해 시험을 할 때에는 더 큰 신뢰도를 얻기 위해서 더 작은 하중계수가 적절하게 고려되어야 한다. 그러나 만약 의심스런 부분의 한 곳에 대해서만 시험을 할 때에는 설계 및 시공시 그리고 구조물의 현 상태에서 중요한 결함, 취약부분이 재시험에 의해 입증 되는 것에 신뢰의 수준을 향상시키기 위해 더 큰 시험하중이 권장된다.

시험하중이 설계강도에 도달하게 되면 비탄성 거동을 나타낼 가능성이 있는 캔틸레버 또는 단순지지 요소와 같은 정정 구조 요소에 대한 실험에 대해서는 이와 같은 지침들은 예외이다. 이와 같은 경우에는 더 작은 시험하중이 권장된다.

이번의 보고서는 ACI 318-05의 9장에 있는 하중조합과 일관성을 갖도록 시험하중의 크기(TLM)를 정의할 것이다. 자세한 정의는 다음과 같다.

구조물의 의심스러운 모든 부분에 대해 시험을 하거나 시험을 할 부재가 정정요소이고 의심스러운 결점 또는 취약부(flaw or weakness)가 휨인장에 의해 지배를 받을 때에는 TLM 이 미 존재하는 고정하중을 포함하여)은 식 (1), (2), (3)에서 구한 값 중 가장 큰 보다 작지 않아야 한다.

$$TLM = 1.2(D_w + D_s) \quad (1)$$

$$TLM = 1.0D_w + 1.1D_s + 1.4L + 0.4(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (2)$$

$$TLM = 1.0D_w + 1.1D_s + 1.4(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 0.9L \quad (3)$$

여기서 L_r 는 지붕 활하중, S 는 설하중, R 은 강우하중이다. 구조물의 의심스러운 부분 중 단지 한곳에 시험을 하거나 시험을 할 부재가 부정정요소인 경우에는 TLM 이 미 존재하는 고정하중을 포함하여)은 식 (4), (5), (6)에서 구한 값 중 가장 큰 보다 작지 않아야 한다.

$$TLM = 1.3(D_w + D_s) \quad (4)$$

$$TLM = 1.0D_w + 1.1D_s + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \quad (5)$$

$$TLM = 1.0D_w + 1.1D_s + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 1.0L \quad (6)$$

식 (2)에서 활하중 L 에 적용된 계수는 적용 가능한 설계기준의 요구조건에 따라 감소되었다. 구조물의 설계시 사용한 활하중에 충격계수가 적용되었다면 같은 충격계수를 식 (2), (3), (5) 및 (6)의 활하중 L 에 적용해야 한다.

설계시 고려되었던 모든 추가 고정하중, D_s 또는 제안된 재 시험에 타당한 것으로 감리자 또는 건물 관리자에 의해 고려

된 추가고정하중이 총 고정하중에 포함되어야 한다. 구조물의 시공시 이미 존재하지 않거나 강도(intensity)를 제어할 수 없는 추가 고정하중이 총 사용하중에서 중요한 부분을 나타내는 곳에서는 D_s 에 대해 1.1보다 큰 계수가 고려되어야 한다.

비용을 고려하여 의심스러운 모든 부분에 대해 재시험이 이루어지는 것이 거의 드물기 때문에 대부분의 부정정 구조물에 대한 기본적인 시험하중의 크기는 식 (4), (5) 및 (6)에 의해 지배될 것이다. 우리는 다양한 구조계에 대해 이 시험하중을 고찰하여 왔고 사용을 시도하여 왔다.

ACI 437 위원회의 목표는 고정하중과 활하중의 변동성과 구조계의 다양성을 뛰어 넘어 일관성 있는 입증하중의 비율(시험하중과 계수가 곱해지지 않은 고정하중을 계수가 곱해지지 않은 활하중으로 나눈 값 사이의 차이)을 얻는 것이다. 제시한 식을 사용하면 추가 고정하중이 아주 크지 않는 한 입증하중의 비율은 1.60에 매우 근접하게 된다. 대부분의 경우에 대해 식 (1)에서 식 (6)에 의해 결정된 TLM 은 ACI 318-05의 20장에 규정된 현행 시험하중의 4% 이내일 것이다. 활하중과 고정하중의 비율이 작을 때에는 현행 설계기준의 요구조건에 의한 TLM 이 가장 크게 벗어날 것이다. 이와 같은 경우에는 식 (1)과 식 (4)는 재하 하중의 적절한 하한 한계값을 보증하는 것으로 설계된다.

4. 재하 시험 계획(load test protocol)

미국에서는 100년이 넘게 시험하중은 전체 시험하중의 25%를 증분 량으로 하여 단계별로 재하였으며, 각 재하 단계에서 처짐을 측정하였다. 전체 시험하중을 작용시켰을 때에는 즉시 처짐을 측정하였다. 24시간 동안 시험하중을 지속시킨 후 또한 처짐을 측정하였으며, 그런 후 시험하중을 제거하였다. 하중 제거 후 24시간이 지난 후 처짐의 회복을 측정하였다. 시험하중은 설계시 하중의 분포와 일치하도록 일반적으로 등분포로 재하한다. 시험하중을 24시간 동안 지속시키는 것은 크리프와 구조계내에서 발생하는 하중의 재분배와 같은 시간의존적 효과를 최소한도로 허용하는 것이다.

<그림 2>와 같은 표준의 24시간 지속 단순 재하 시험(monotonic 24-hour load test)을 수행하기 위해 소요되는 비용과 시간은 대체 방법에 대한 추구로 도출되었다. 그리고 지난 10년 동안에 다른 재하 시험방법이 미국에 소개되었다. 반복재하 시험방법(cyclic load test method)으로 알려진 이 시험법은 <그림 3>에 나타난 것과 같이 연속되는 반복하중 동안에 증가되는 하중의 크기를 도입하기 위해 유압잭을 사용하여 하중의 재하와 제거를 반복하는 것을 포함하고 있다. 이 방법은 다양한 보강



그림 2. 물통을 사용하여 재하시험을 하는 모습
(사용중인 건물에 대해 전통적인 24시간 단조하중 재하시험 방법을 수행하는 것은 비용이 많이 들고 불편함)

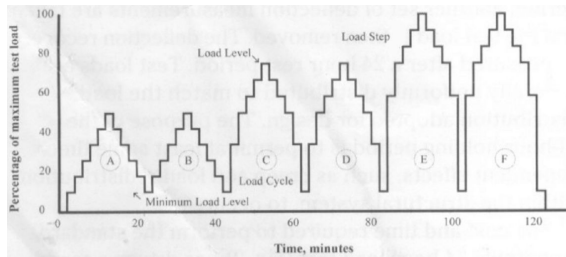


그림 3. 반복하중 재하시험법에서의 하중단계와 반복 횟수

기술에 의해 얻어진 강도와 강성의 변화를 평가하기 위해 처음으로 사용되었으며, ACI 437R-03⁸⁾에 자세히 기술되어 있다.

5. 허용 기준(acceptance criteria)

ACI318-05의 20장의 재하시험 조항은 24시간 단순재하시험의 결과를 분석하는 경우에 그 허용기준을 정하고 있다. 부재나 구조물은 두 개의 다른 허용기준에 따라 평가 한다. 하나는 콘크리트 압축영역의 쪼개짐이나 파쇄 같은 불분명한 파괴 양상이 없어야 한다. 다음은 측정된 처짐은 다음 두 제한 중 하나를 만족해야 한다.

$$\Delta_1 = \frac{l_t^2}{20,000h} \quad (7)$$

$$\Delta_r = \frac{\Delta_1}{4} \quad (8)$$

여기서 Δ_1 은 시험하중이 작용하기 전 1시간 이내에 측정된 초기 위치에서 시험하중이 작용했을 때 측정된 최대 처짐이며 l_t 는 시험하중을 받는 부재 지간, h 는 시험 부재의 높이나 전체두께, 그리고 Δ_r 은 잔류 처짐으로 시험하중을 제거 후 24시간 후에 기준점에서 측정된 최대 변위이다.

만약 측정된 최대의 잔류 처짐이 이 식들을 만족하지 않으면 초기하중 제거 후 72 시간 내에 재하시험을 반복하는 것을 허용하고 있다. 시험하중의 두 번째 사이클 동안 처짐의 복원은 다음 한계값을 만족해야 한다.

$$\Delta_r = \frac{\Delta_2}{5} \quad (9)$$

여기서 Δ_2 는 2차 시험하중의 적용 전 위치에서 2차 시험하중의 적용 동안 측정된 최대 처짐이고 Δ_r 은 2차 시험하중의 제거 후 24시간이 지난 후 측정된 변위이다.

식 (7)의 기본형은 1936년 이후 ACI 시방서⁹⁾에 있었던 것으로 그 기원은 1906년경으로 올라간다. 그것은 저장도 콘크리트 재료들과 단순지간 구조부재들에 대한 허용응력설계 기준을 고려하여 유도된 것으로 부정정 구조의 고강도 콘크리트에 대한 재하시험을 평가하는데 직접 적용되지는 않았다. 반면 ACI 318의 설명에서는 시험하중의 제거 후 처짐의 복원이 구조물의 강도가 만족되는 지를 결정하는데 사용되고 있다는 것을 설명하고 있으며, 우리는 많은 기술자들이 식 (7)을 본래의 기준으로, 식 (8)과 (9)의 처짐 복원의 한계값을 대체의 규정으로 간주하는 것으로 믿고 있다.

ACI 318-05의 9장은 처짐의 제어에 대한 많은 규정을 포함하고 있다. <표 9.5(b)>는 지붕과 바닥판에 대한 계산된 최대 허용 처짐이다. 요소의 지지 여부와 큰 처짐에 손상을 받기 쉬운 비 구조요소들의 부착여부에 따라 다양한 제한들을 규정하고 있다. 이러한 제한들은 설계지간 l 의 분수형태로 표시한다 (예를 들어 $l/180$, $l/360$ 과 $l/480$).

사용하중과 전체 시험하중의 조건들에 따라 재하실험의 허용 기준은 9장의 최대 허용 처짐 제한과 20장의 허용기준을 참조한다면 실무자들이 그다지 어렵지는 않을 것이다. 시험하중하에서의 구조의 성능은 설계에서 제시하는 처짐 제한 규정과 비교하여 왔다. 우리는 다음의 원칙에 기초하여 새로운 처짐 허용 기준이 개발되는 것을 권장하였다.

- 사용하중하의 최대 처짐은 계산된 최대 처짐 또는 사용성에 대한 시방규정의 처짐 제한들과 비교하여야 한다.

- 전체 시험하중에 의한 최대 처짐은 그와 같은 하중 수준에서 계산된 최대 처짐과 비교하여야 한다.
- 만약 처짐이 이 두 개의 최대 처짐을 초과한다면 하중의 제거 후에 처짐의 복원을 고려하여야 한다.
- 하중의 재하와 제거 동안의 처짐 응답의 선형관계는 규정된 제한이내에 들어가야 한다.

비록 이 범위가 더 정성적인 것이지만 파괴가 시작되는 눈에 띄는 신호들 즉 쪼개짐이나 과도한 균열과 같은 것이 고려되어야 한다. 또한, 초과되었더라도 허용범위의 처짐 복원을 사용한 조건이나 재시험을 제외한 절대 측정 처짐의 상한을 권고하고 있다. ACI 437 위원회의 현행 권고안은 상한을 $l_u/180$ 로 하고 있다. 최소의 요구조건으로 최대 처짐의 75% 복원이 유지되어야 한다. ACI 437 위원회에서는 2차 재하시험 동안 처짐 복원을 현행 80% 보다 크게 할 것인가에 토의가 있었다. 처짐 복원에 관한 연구에 기초하여 90%의 하한이 제시되었으나, 이 시점에서는 보고서에서는 포함되지 않았다. 결국 반복재하시험 과정은 다른 허용 범위들을 정할 필요성이 제기되었으며 추가로 제시되는 범위에 관한 내용이 ACI 437R-03⁸⁾에 포함되었다.

6. 현재 논쟁사항(current debate)

많은 수의 주요 질문에 대한 답변이 남아 있다. 첫째 재하시험의 목표는 구조물의 강도를 정하기보다는 구조물의 안전성을 증명하는 것이지만 안전도를 확립할 수 있는 합리적인 시험하중의 크기를 결정할 수 있는가? 비록 ACI 318-05에 규정된 시험하중의 크기가 유서 깊은 것이고 경험상 인정할 만한 결과들을 보았더라도 그것은 아직도 근본적으로 임의의 규정이고, 과거에 많은 양의 변화를 겪어왔고, 또다시 분명하게 변화될 것이다.

지난 2년에 걸쳐 ACI 318 위원회와 347 위원회는 이 쟁점에 대해 의견을 교환하였다. 아직도 중요한 철학상의 차이가 있지만 진척이 있었다. 예를 들면 ACI 318 9장의 하중조합이 모순이 없도록 하기 위해, ACI 318 위원회는 ACI 시방서의 다음 개정에서는 시험하중을 다시 규정할 계획이다. 그러나 계획하는 ACI 318 요구사항은 자중을 포함하는 모든 고정하중들에 적용된 1.0이상의 큰 계수를 계속 포함할 것이며 또한 활하중에 적용된 하중계수들은 ACI 437 위원회에 의해 제시된 하중계수들보다 다소 큰 것으로 하였다.

결과적으로 ACI 437 위원회에서 권장하는 시험하중이 현행 시험하중보다 5~10% 정도 더 작은 값인데 비해 ACI 318의 다음 개정에서 제시한 시험하중은 ACI 318-05에서 규정한 시험하중이상이 될 것이다.

두 제안들 사이의 철학상의 차이는 입증 하중비의 결과를 비교하면 분명해진다. ACI 437 위원회가 권고하는 식 (5)의 시험하중으로 얻어진 입증하중비가 전형적으로 1.6에 근접하는데 비해 ACI 318 위원회가 바꾸려는 입증하중비는 고정하중과 활하중의 비에 따라 1.6에서 2.4까지 범위이다. 사용 중에 있는 구조물에 영구손상을 주지 않고 안전성을 증명하는 것이 재하시험 목적이므로 이는 ACI 437 위원회 위원들 중에서 필요한 최소한의 시험하중을 증가시키는데 관심을 가지고 있다. 분명하게 이러한 관점은 영구잔류균열이 발생되었거나, 건물소유자들을 위해 합법적이며 경제적이라는 결론을 제시하였던 재하시험의 사례보고서에 의해 보완되었다.

두 번째는 구조물의 의심되는 모든 부분에 대해 재하시험을 수행하는데도 불구하고 정정요소에 대해 낮은 시험하중을 사용하는 것이 적정한가? 이와 같은 요소들에서 시험하중이 설계 강도에 너무 근접하게 도달한다면 비탄성응답을 일으킬 가능성을 고려해야 한다. 비록 요소자체에 교번하중 경로가 없더라도 낮은 시험하중은 효과적으로 안전성의 낮은 수준을 요구한다.

셋째로 반복 재하시험은 지금까지의 24시간 단순 재하시험법을 따라야 하는가? 어떤 관점에서 보면 보강철근 또는 프리스트레싱 강재의 다른 양을 갖는 다양한 구조 시스템에 반복 재하시험을 사용한 결과들이 부족하다는 것이다. 또한, 같은 구조물에서 반복법의 안전성이 24시간 단순 재하시험법으로 평가되는 두 방법의 결과를 비교할 수 있는 충분한 시험사례들이 부족하다. 폭넓은 범위의 시험결과들이 없이 반복시험법에 대해 제시된 허용기준의 적절성을 평가한 것은 불가능하다. 그러나 재하시험을 위해 널리 그것을 사용하기 시작하지 않으면 그 같은 정보의 범위가 진전하지 않을 것이다. 만약 다른 허용 기준을 갖는 두 방법들을 결합하려면 기준이 조정되는 것을 결정하여야 한다.

넷째로 사용하중과 전체 시험하중의 각 수준에서 균열 폭의 허용범위를 얼마나 확장하여야 할 것인가? 비록 균열 폭의 허용범위가 설계관점에서 만들어졌다 해도 대부분 일반적인 일방향 슬래브 휨 또는 휨/전단 균열에 적용하나 2방향 시스템에는 적용되지 않는다. 실 구조물에서 나타나는 균열 폭들은 매우 다양하고 일정하게 다루기는 곤란하다. 이러한 어려움 때문에 정확한 균열 폭을 예측하는 데는 한계가 있다. ACI 437 위원회 일부위원들은 균열 폭을 확고하고 간단한 허용조항으로 정착시키기 보다는 시험 중 구조의 기능을 설명하는 가이드로 사용해야 한다고 보고 있다.

최종적으로 새로운 최대 처짐 기준을 정의할 준비가 되어 있는가? 바뀌어야 하는 것이 적절하다고 본다. 사용하중 수준으로 시험하는 경우 설계 목적으로 처짐을 제한한 것으로 재하시험

동안 구조물 기능의 관계에 연관이 있다. 만약 사용하중과 전체 시험하중에 의한 처짐들 간에 상관관계가 있다면 시험 결과를 설명하여야 하는 실무자들에게는 더 명확히 해 줄 수 있는 방법으로 생각된다. 그 이유 중 하나는 절대 처짐 제한이 기능을 예견하는 것 이외에도 시험의 진전여부를 정하는 데 필요한 것으로, 또는 생각하기에 같은 하중하의 실제 기능에 따른 허용으로 사실 구조물들이 항상 그 기능을 예견하는 데 사용된 수학적 모델들 보다 더 복잡하다는 것이다. 사실상 설계자들은 항상 재하시험들을 재분류하는 데 그 이유는 수학적으로 기능을 예견하는 앞의 모든 시도들이 확신을 얻는데 실패했거나 중요한 결과들이었기 때문이다.

건물설계자, 계약자, 소유자들에게 믿을 수 있고 경제적인 안전성의 명제를 제공하는 장기 목표로 ACI 437 위원회는 이러한 문제점들에 대한 활발하고 학술적인 토론을 꾸준히 지속할 것이다. 다른 분들의 의견을 환영합니다. ☐

참고문헌

1. ACI Committee 437, "Load Tests of Concrete Structures: Methods, Magnitude, Protocols, and Acceptance Criteria(ACI 437.1R-07)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI,2007(in Production).
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary (318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI,2002, 443 pp.
3. ASCE7-98, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 200, 352 pp.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI318-71)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1971, 78 pp.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-05) and Commentary (318R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI,2005, 430 pp.
6. Committee on Reinforced-Concrete and Building Laws, "Standard Specifications No.23-Standard Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete," *Proceedings of the American Concrete Institute*, Vol. 16, 1920, pp. 283~302.
7. ACI Committee 437, "Strength Evaluations of Existing Concrete Buildings," Reported by Subcommittee 1, Safe Loads for Existing Buildings, *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 64, No. 11, Nov. 1967, pp. 705~710.
8. ACI Committee 437, "Strength Evaluations of Existing Concrete Buildings(ACI 437R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 28 pp.
9. ACI Committee 501, "Building Regulations for Reinforced Concrete (ACI 5010-36T)," *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 32, No. 3, Mar.-Apr. 1936, pp. 407~444.

◇◇◇◇ 원고 모집 안내 ◇◇◇◇

「콘크리트학회지」는 콘크리트 관련 학문과 기술에 대한 정보를 제공하기 위해 발행되고 있습니다. 본 학회지를 통해서 연구 결과, 경험한 사례 등을 콘크리트 관련 기술자들과 함께 나누길 원하시는 분께서는 다음과 같은 형태로 참여하실 수 있습니다. 여러분의 옥고를 기다리겠습니다.

- 원고 주제 : 포토에세이(사진, 서예, 시 등), 특집기사, 기술기사, 공사기사, 원로와의 대화, 해외번역기사, 해외연구소 소개, 국제학술대회 참가기, 현장탐방, 논단, 우리회사소개 등
- 원고 분량 : 글씨크기 11pt, 줄간격 160%, A4용지 4매 ~ 6매 내외
- 보내실 곳 : E-mail : mjh@kci.or.kr