

콘크리트 앵커 설계법과 국내 실험 데이터 비교

Comparison of Failure Strengths between "Anchoring to Concrete" and Domestic Anchor Test Data



김익현*
Ick-Hyun Kim



이득원**
Deuk-Won Lee



이성재***
Sung-Jae Lee



최동욱****
Dong-Uk Choi

1. 서 론

현재 우리나라 콘크리트구조설계기준은 콘크리트 앵커에 관한 설계법을 포함하고 있지 않으나 향후 구조설계기준에 대한 개정 작업이 이루어지면 수 년 내에 앵커 설계법이 콘크리트구조설계기준에 포함될 수 있을 것으로 전망된다. 본고에서는 미국 ACI 318-02 부록D 앵커 설계법의 중요 사항을 간략히 소개하고, 국내에서 실험된 확장 앵커의 실험 데이터와 앵커 설계법에 의한 강도를 비교하였다. 따라서 앵커 설계법을 소개함과 동시에 강도 비교를 통하여 설계법에 대한 신뢰도를 평가하고자 시도하였다. 단, ACI 318-02의 앵커 설계법은 인장, 전단, 인장-전단 상관관계 등을 포함하고 단일 앵커는 물론 서로 인접하여 설치된 다수 앵커(앵커 그룹)의 설계에 사용될 수 있으나 제한된 국내 실험 데이터로 인하여 실험 데이터와 설계법의 강도 비교는 단일 앵커 사용의 경우로 제한되었다. 또한 ACI 318의 경우 2002년에 처음으로 앵커 설계법이 포함되었고 이후 2005년 일부 개정되었으나 아직 SI단위로 출판되지 않은 관계로 인하여 본고에서는 ACI 318M-02(SI판)를 인용하였다.

2. 콘크리트 앵커 설계법(ACI 318-02)

콘크리트 앵커는 현장 타설 앵커(cast-in-place anchor)와 후 설치 앵커(post-installed anchor)로 구분할 수 있다. 후 설치 앵커는 다시 기계적 앵커와 부착식 앵커로 구분되지만 ACI 318-02 부록D의 콘크리트 앵커 설계법(Anchoring to Concrete)은 이 중에서 현장 타설 앵커(헤드 볼트, 헤드 스테

드, 갈고리 볼트 등)와 후 설치 기계적 앵커(확장 앵커, 언더컷 앵커 등)만을 다루고 있다. 즉, 부착식 앵커의 설계법은 포함되어 있지 않다. 이 설계법은 참고문헌 4의 CCD 설계법을 근간으로 하고 있고, CCD 설계법에는 언급되지 않는 강도 감소 계수 등을 포함하고 있으며, 또한 참고문헌 5의 앵커 시험 방법에 따른 후 설치 앵커의 신뢰도 등급을 설정하고 있다. 이 앵커 설계법은 (1) 인장을 받는 단일 앵커 파괴 시 원추의 각도를 35°로 하고, (2) 인장 및 전단에 의한 파괴면의 수평 투영 면적을 사각형으로 정의하여 서로 인접하여 파괴면이 중복되는 다수 앵커에 대한 설계법의 적용이 용이하도록 하였고, (3) 인장과 전단 및 인장-전단 상관관계가 고려되어 있으며, (4) 기존 콘크리트의 균열 효과 등을 포함하고 있다. 본고에 소개된 콘크리트 앵커 설계법은 축약된 내용이므로 이에 대한 보다 자세한 사항은 참고문헌 2, 6, 7 등을 이용할 수 있다. 이 앵커 설계법 적용이 가능한 콘크리트 강도는 현장 설치 앵커 및 후 설치 앵커의 경우 각각 69 MPa, 55 MPa 이하이고, 또한 앵커 직경 50 mm, 앵커 묻힘 깊이 635 mm 이하인 현장 타설 앵커 또는 기계적 후 설치 앵커의 구조 설계에만 적용할 수 있으므로 전술한 바와 같이 부착식 앵커는 포함되지 않는다. 본 앵커 설계법은 내진 설계 시 지진 하중 하에서 소성 힌지 영역에는 적용되지 않는다. 또한 내진 설계 시 인장 및 전단에 대한 아래 식 (1) 및 식 (7)의 앵커 공칭강도가 각각 $0.75 \phi N_n$, $0.75 \phi V_n$ 으로 제한되고, 연성 강재 요소의 파괴가 되도록 설계하여야 한다.

2.1. 인장 하중에 대한 설계

$$\phi N_n \geq N_u \quad (1)$$

N_u : 소요 인장 강도 [N]

N_n : 공칭 인장 강도 [N]

* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수
ickhyun@mail.ulsan.ac.kr

** 정회원, (주)힐티코리아 기술부 이사

*** 단구조안전기술단 소장

**** 정회원, 한경대학교 건축학부 교수

$\phi = 0.7$ 또는 0.8 : 강재 파괴(각각 취성 또는 연성 강재 파괴에 대하여 적용)

$\phi = 0.65, 0.75, 0.85$: 콘크리트 파괴(앵커 파괴면에 교차하는 보조 철근이 있는 경우, 앵커 신뢰도에 따라서 차등 적용)

$\phi = 0.55, 0.65, 0.75$: 콘크리트 파괴(그렇지 않은 경우 또는 뽑힘 강도가 지배적일 때, 앵커 신뢰도에 따라서 차등 적용)

단, 콘크리트 파괴 시 현장 타설 앵커는 가장 큰 값(0.85 및 0.75)을 각각 취한다.

여기서 공칭 인장 강도는 다음의 가능한 앵커 파괴 형태 중에서 가장 작은 값을 취하여야 한다.

- 인장을 받는 앵커의 강재 강도(N_s)
- 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴 강도(N_{cb})
- 인장을 받는 앵커의 뽑힘 강도(N_{pn})
- 인장을 받는 앵커의 콘크리트 측면 파열 강도(N_{sb})

2.1.1 인장을 받는 앵커의 강재 강도

$$N_s = n A_{se} f_{ut} \quad [N] \quad (2)$$

여기서 n : 한 앵커 그룹의 앵커 수

A_{se} : 앵커의 유효 단면적 [mm^2]

f_{ut} : 앵커 강재의 설계 인장 강도 [MPa]

단, f_{ut} 는 $1.9 f_y$ 또는 862 MPa 보다 같거나 작아야 한다.

2.1.2 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴 강도

인장을 받는 단일 앵커 및 앵커 그룹의 콘크리트 파괴 강도는 다음과 같다.

- 단일 앵커 : $N_{cb} = \frac{A_N}{A_{N0}} \psi_2 \psi_3 N_b \quad [N] \quad (3a)$

- 앵커 그룹 : $N_{cbg} = \frac{A_N}{A_{N0}} \psi_1 \psi_2 \psi_3 N_b \quad [N] \quad (3b)$

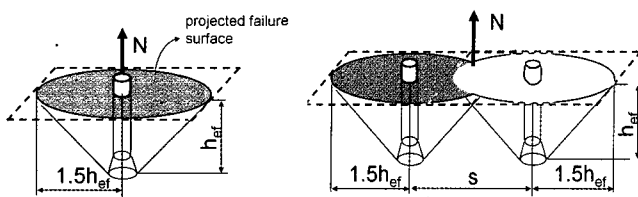


그림 1. 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴면

단, 균열 콘크리트에서 인장을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴 강도

$$N_b = k \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} \quad (4)$$

여기서 $k = 10$: 현장 타설 앵커

$k = 7$: 후 설치 앵커

$A_{N0} = 9h_{ef}^2 \quad [mm^2]$: 단일 앵커 콘크리트 파괴면의 수평 투영 면적(h_{ef} 는 앵커의 묻힘 깊이)

A_N : 단일 앵커 또는 앵커 그룹 콘크리트 파괴면의 수평 투영 면적 [mm^2]

수정 계수 ψ_1, ψ_2, ψ_3 에 대하여

$$\psi_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1 \text{ 이고,}$$

여기서 e'_N : 앵커 그룹에 작용하는 인장력의 편심이고 $s/2$ (앵커 중심 간격의 1/2) 이하이어야 한다.

$$\psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c_{min}}{1.5h_{ef}} \leq 1$$

여기서 c_{min} : 최소 연단 거리 [mm]

$\psi_3 = 1.0$: 사용 하중 하에서 균열이 있는 경우 ($f_t < f_r$)의 현장 타설 및 후 설치 앵커

$\psi_3 = 1.25$ 또는 1.4 : 각각 사용 하중 하에서 균열이 없는 경우의 현장 타설 앵커 또는 후 설치 앵커

만약에 앵커가 3개 또는 4개의 가장자리에 인접하여 있고, 최대 연단 거리(c_{max})가 $1.5h_{ef}$ 이하인 경우, 묻힘 깊이는 $c_{max}/1.5$ 로 제한된다. 또한 식 (4)에 대하여 현장 타설 스티드 및 볼트가 사용되는 경우 별도의 강도 제한 규정이 있다.

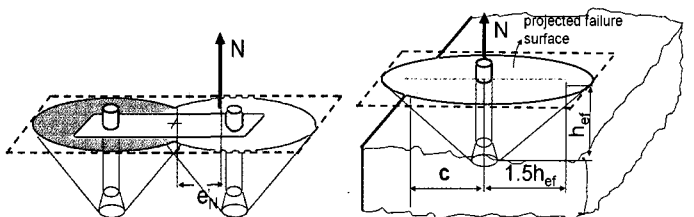


그림 2. 앵커 그룹에 작용하는 인장력의 편심

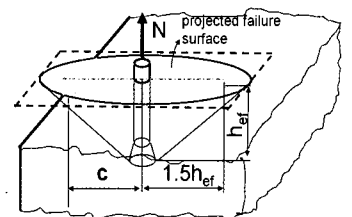


그림 3. 연단 거리(c)의 영향을 받는 경우 콘크리트 파괴면

2.1.3 인장을 받는 앵커의 뽑힘 강도

$$N_{pn} = \psi_4 N_p \quad (5)$$

여기서 $N_p = A_{brg} 8 f_{ck}$ [N]

A_{brg} : 헤드 스테드 또는 볼트의 헤드 지압 면적

단, 갈고리 모양의 볼트에 대하여는 N_p 에 대한 별도의 식이 있다. 또한 후 설치 확장 앵커 및 언더컷 앵커에 대하여는 N_p 값을 별도의 시험(ACI 355.2)을 거쳐 5% 분위수로 결정하여야 하고, 계산값은 허용되지 않는다.

수정 계수 ψ_4 에 대하여

$\psi_4 = 1.4$: 사용 하중 하에서 균열이 없는 콘크리트의 경우($f_t < f_r$)

$\psi_4 = 1.0$: 그렇지 않은 경우

2.1.4 인장을 받는 앵커의 콘크리트 측면 파열 강도

인장을 받는 단일 앵커 및 앵커 그룹의 묻힘 깊이가 깊고 가장자리에 인접한 경우(즉, 연단 거리 $c < 0.4h_{ef}$), 콘크리트의 측면 파열 강도는 다음과 같다.

- 단일 앵커 : $N_{sb} = 13.3c \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f_{ck}}$ [N] (6a)

- 앵커 그룹 : $N_{sbg} = \left(1 + \frac{s_o}{6c}\right) N_s$ [N] (6b)

여기서 c : 연단 거리 [mm]

A_{brg} : 헤드 스테드 또는 볼트의 헤드 지압 면적 [mm²]

s_o : 가장자리를 따라 배치된 바깥 쪽 앵커의 간격 [mm]

식 (6)에서 단일 앵커가 모서리에 위치하고 연단 거리 c 와 직각 방향으로 연단 거리 c_2 가 정의되는 경우 N_{sb} 에 $(1 + c_2/c)/4$ 의 값을 곱할 수 있으며 이때 c_2/c 는 1에서 3 사이의 값이다. 식 (6b)의 앵커 그룹의 경우에는 직각 방향 연단 거리의 효과를 적용하지 않고, 또한 식 (6b)는 앵커 간 중심 간격(s_o)이 $6c$ 보다 작은 경우에 적용한다.

2.2 전단 하중에 대한 설계

$$\phi V_n \geq V_u \quad (7)$$

여기서 V_u : 소요 전단 강도 [N]

V_n : 공칭 전단 강도 [N]

$\phi = 0.65$ 또는 0.75 : 강제 파괴(각각 취성 및 연성 강제 파괴에 대하여 적용)

$\phi = 0.85$: 콘크리트 파괴(앵커 파괴면에 교차하는 보조 철근이 있는 경우)

$\phi = 0.75$: 콘크리트 파괴(그렇지 않은 경우 또는 프라이아웃 강도가 지배적일 때)

여기서 공칭 전단 강도는 다음 경우 중에서 가장 작은 값을 취하여야 한다.

- 전단력을 받는 앵커의 강제 강도 (V_s)

- 앵커가 전단력을 받을 때의 콘크리트 파괴 강도 (V_{cb})

- 앵커가 전단력을 받을 때의 콘크리트 프라이아웃 강도 (N_{sp})

2.2.1 전단력을 받는 앵커의 강제 강도

- 현장 타설 헤드 스테드

$$V_s = n A_{se} f_{ut} \quad (8a)$$

- 현장 타설 헤드 볼트와 및 갈고리 볼트 :

$$V_s = n 0.6 A_{se} f_{ut} \quad (8b)$$

- 후설치 앵커

$$V_s = n (0.6 A_{se} f_{ut} + 0.4 A_{sl} f_{utsl}) \quad (8c)$$

여기서 n : 한 앵커 그룹의 앵커 수

A_{sl} : 앵커의 유효 단면적 [mm²]

A_{sl} : 앵커 슬리브의 유효 단면적 [mm²]

f_{ut} : 앵커 강재의 설계 인장 강도 [MPa]

f_{utsl} : 앵커 슬리브의 설계 인장 강도 [MPa]

단, f_{ut} 는 $1.9f_y$ 또는 862 MPa를 초과 할 수 없고, 앵커가 조립 그라우트 패드와 함께 사용되면 위 공칭 강도에 계수 0.8이 곱해져야 한다.

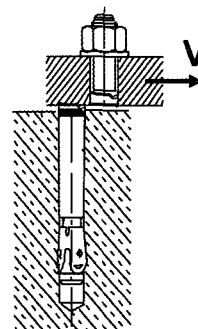


그림 4. 앵커 강재의 전단 파괴

2.2.2 앵커가 전단력을 받을 때의 콘크리트 파괴 강도

전단력을 받는 단일 앵커 및 앵커 그룹의 콘크리트 파괴 강도는 다음과 같다.

- 단일 앵커에 대하여 가장자리에 수직 방향으로 작용하는 전단력

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{vo}} \psi_6 \psi_7 V_b \text{ [N]} \quad (9a)$$

- 앵커 그룹에 대하여 가장자리에 수직 방향으로 작용하는 전단력

$$V_{cbg} = \frac{A_v}{A_{vo}} \psi_5 \psi_6 \psi_7 V_b \text{ [N]} \quad (9b)$$

만일 전단력이 가장자리에 평행하게 작용하는 경우, V_{cb} 또는 V_{cbg} 는 식 (9a), 식 (9b)에서 정해지는 값의 2배로 할 수 있고 이때 ψ_6 는 1.0을 적용한다. 균열 콘크리트에 설치된 단일 앵커가 전단력을 받을 때 콘크리트 파괴 강도의 기본값

$$V_b = 0.6 \left(\frac{L}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_{ck}} (c_1)^{1.5} \text{ [N]} \quad (10)$$

여기서 L 은 전단력에 대한 지압 저항 길이, d_o 는 앵커 외경이다. 10 mm 또는 앵커 직경의 반 이상인 최소 두께를 갖는 철제 부착물에 연속 용접된 현장 타설 헤드 스톨드, 헤드 볼트 및 갈고리 볼트에서는 V_b 에 관한 위 식의 상수 0.6 대신에 0.66을 사용할 수 있다. 또한 앵커 그룹에 대한 강도 산정은 가장자리로부터 가장 멀리 있는 앵커 옆의 강도에 근거하여야 하고, 앵커 중심 간격이 65 mm 이상이어야 하고, c_2 가 $1.5h_{ef}$ 이하이면 가장자리에 추가로 보강하여야 한다. 3개 이상의 가장자리가 있는 경우 c_1 은 $h/1.5$ (단, h 는 부재 두께)로 제한된다. 또한 식 (9a) 및 식 (9b)에서 단일 앵커의 콘크리트 파괴면 투영 면적 A_{vo} 는 $4.5(c_1)^2$ 이고 A_v 는 단일 앵커 또는 앵커 그룹 파괴면의 투영 면적이다. 즉, 각각 <그림 5(a)> 및 <그림 5(b)>에서 A_{vo} 는 $(3c_1)(1.5c_1)$ 이고 A_v 는 $(2 \times 1.5c_1 + s)(1.5c_1)$ 이다.

편심을 받는 앵커 그룹에 대한 수정 계수는 다음과 같다.

$$\psi_5 = \frac{1}{1 + \frac{2e'_v}{3c_1}} \leq 1$$

단, 앵커 그룹에 작용하는 전단력의 편심 $e'_v \leq s/2$, c_1 은 앵커 샤프트 중심에서 콘크리트 가장자리까지 거리(전단력의 작용 방향)이고 s 는 앵커 중심 간격이다. 또한, 2개의 가장자리(c_1 , c_2)로 인한 영향에 대한 수정 계수는 다음과 같다(c_2 는 c_1 과 직각 방향).

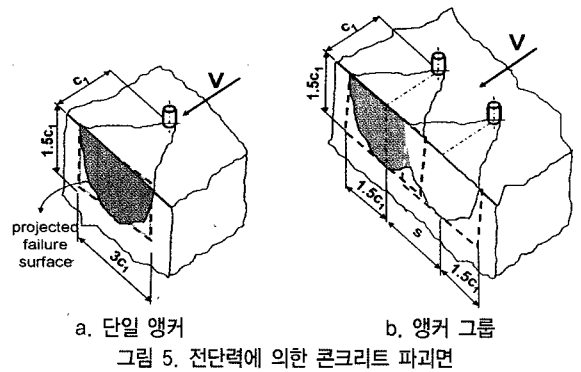


그림 5. 전단력에 의한 콘크리트 파괴면

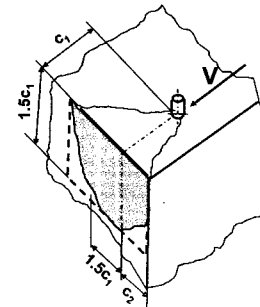


그림 6. 2개의 가장자리가 있는 경우 콘크리트 파괴면

$$\psi_6 = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1}$$

콘크리트 균열에 대한 수정 계수는 다음과 같다.

- $\psi_7 = 1.4$: 사용 하중 하에서 균열이 없는 경우 ($f_t < f_r$), 또는 앵커와 가장자리 사이 No. 13 이상의 추가 보강근이 있고 이 추가 보강근이 100 mm 이하 간격의 스테럽으로 둘러싸인 균열 콘크리트에 설치된 앵커
- $\psi_7 = 1.2$: 앵커와 가장자리 사이에 No. 13 이상의 추가 보강근이 있는 균열 콘크리트에 설치된 앵커
- $\psi_7 = 1.0$: 추가 보강이 없거나 No. 13 미만의 가장자리 보강근이 있는 균열 콘크리트에 설치된 앵커

2.2.3 앵커가 전단력을 받을 때의 콘크리트 프라이아웃 강도

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad (11)$$

여기서 N_{cb} 는 인장을 받는 단일 앵커의 콘크리트 파괴 강도 식 (3a)이고, k_{cp} 는 다음과 같다.

- $k_{cp} = 1.0$ 단, h_{ef} 가 65 mm 미만인 경우
- $k_{cp} = 2.0$ 단, h_{ef} 가 65 mm 이상인 경우

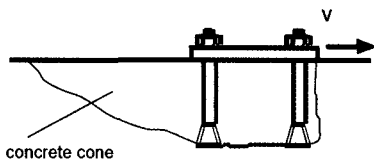


그림 7. 전단력에 의한 콘크리트 프라이아웃 파괴

2.3 인장력과 전단력의 상호 작용

인장력과 전단력이 동시에 작용하는 경우 강도 감소 계수는 인장 및 전단력에 대하여 각각 별도로 적용하여야 한다.

- (1) $V_u \leq 0.2\phi V_n$ 인 경우 $\phi N_n \geq N_u$
- (2) $N_u \leq 0.2\phi N_n$ 인 경우 $\phi V_n \geq V_u$
- (3) $V_u > 0.2\phi V_n, N_u > 0.2\phi N_n$ 인 경우

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.2$$

2.4 기타 사항

쪼개짐을 제어하기 위한 추가 보강근이 없는 경우, 쪼갬 파괴를 방지하기 위해 요구되는 연단 거리, 앵커 간격, 콘크리트 두께 등은 다음과 같다.

2.4.1 앵커의 최소 중심 간격

- 비틀림이 가해지지 않는 현장 타설 앵커의 경우 $4d_o$
- 비틀림이 가해지는 현장 타설 앵커 및 후 설치 앵커의 경우 $6d_o$

2.4.2 최소 연단 거리

- 비틀림이 가해지지 않는 현장 타설 헤드 앵커의 경우 철근의 최소 피복두께
- 비틀림이 가해지는 현장 타설 헤드 앵커의 경우 $6d_o$
- 후 설치 앵커의 최소 연단 거리는 다음 이상 또한 철근의 최소 피복두께 이상 및 최대 골재 크기의 2배 이상이어야 한다.

언더컷 앵커 : $6d_o$

비틀림 제어 확장 앵커 : $8d_o$

변위 제어 확장 앵커 : $10d_o$

2.4.3 앵커 묻힘 깊이

후 설치 확장 앵커 또는 언더컷 앵커의 묻힘 깊이(h_{ef})는 콘크리트 부재 두께의 2/3 또는 콘크리트 부재 치수에서 100 mm를 뺀 값 중에서 큰 값을 초과하지 않아야 한다.

3. 확장 앵커(Expansion anchor) 실험

우리나라에서 확장 앵커를 대상으로 정적 및 동적(지진하중) 하중 조건에서 수행한 인장 실험과 전단 실험의 결과 앵커 강도와 ACI 318-02의 앵커 설계법에 의한 강도(강도 감소 계수 비교례)를 비교하였다.

3.1 정적 실험

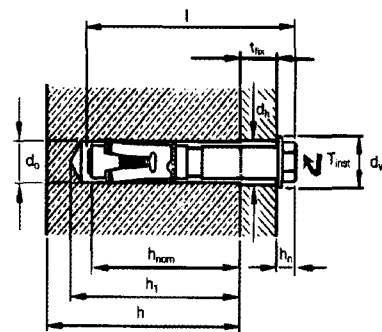
3.1.1 인장 및 전단 실험

(1) 실험체

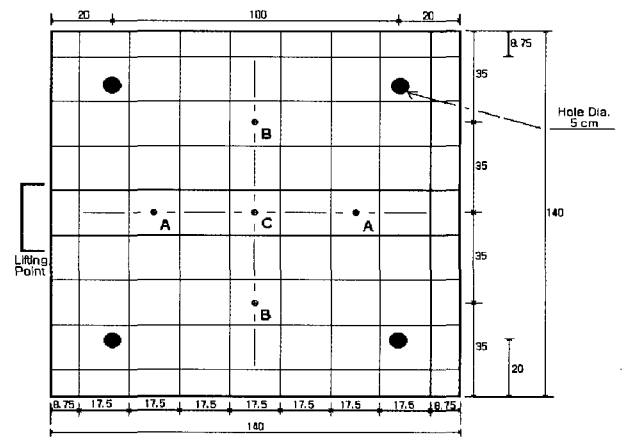
실험 모델명과 제원 특성은 <표 1>에 나타내었고, 실험에 사용된 확장 앵커 및 콘크리트 실험체의 개요는 <그림 8>에 각각 나타내었다.

표 1. 정적 실험 모델

실험 모델명	콘크리트 강도 f'_c (MPa)	묻힘 깊이 h_{ef} (mm)	강재 항복강도 f_y (MPa)	강재 인장강도 f_u (MPa)	공칭 직경 d_b (mm)	공칭 단면적 A_b (mm ²)
M10	44.5	70	640	800	10	78.5
M16		100			16	201
M24		150			24	452



a. 확장 앵커



b. 콘크리트 블록

그림 8. 확장 앵커 및 콘크리트 실험체

표 2. 실험 결과 앵커 인장 강도, kN:균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	39	35	32	37	35	36.0
M16	77	77	84	83	77	80.0
M24	124	124	140	138	140	133

표 3. 실험 결과 앵커 인장 강도, kN:비균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	44	51	46	47	49	47.3
M16	98	99	89	93	83	92.3
M24	148	143	142	145	150	146

표 4. 실험 결과 앵커 전단 강도, kN:균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	71	71	62	63	63	66.0
M16	185	172	176	162	179	175
M24	284	263	280	293	302	284

표 5. 실험 결과 앵커 전단 강도, kN:비균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	79	78	79	77	78	78.0
M16	201	197	164	187	209	192
M24	331	291	306	305	299	306

(2) 실험 방법

폭 0.5 mm 이상의 균열이 있는 콘크리트 블록과 균열이 없는 콘크리트 블록에 설치된 각각 5개의 단일 앵커에 대한 인장 실험과 전단 실험을 수행하였다. 인장 및 전단의 경우 모두 앵커는 콘크리트 블록의 중앙부에 위치하여 연단거리의 영향은 없었으며, 균열이 있는 콘크리트 블록에서 전단력은 콘크리트 균열 방향으로 앵커에 가하였다.

(3) 실험 결과

균열 콘크리트 블록과 균열이 없는 콘크리트 블록에 각각 설치된 앵커에 대하여 수행한 인장 및 전단 정적 하중 실험의 결과를 <표 2 ~ <표 5>에 나타내었다.

3.1.2 실험 결과 및 앵커 설계법에 의한 강도 비교

(1) 정적 인장 시험

균열 콘크리트 블록 및 균열이 없는 콘크리트 블록에 설치된 단일 앵커의 정적 인장 실험의 결과를 앵커 설계법에 의한 강도와 비교하여 각각 <표 6, 7> 및 <그림 9, 10>에 나타내었다.

(2) 정적 전단 실험

균열 콘크리트 블록 및 균열이 없는 콘크리트 블록에 설치된

표 6. 균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 인장 강도

모델명	$N_s^{(1)}$ [kN]	$N_{cb}^{(2)}$ [kN]	$N_{test}^{(3)}$ [kN]	N_{test}/N_{cb}
M10	63	27	36	1.33
M16	161	47	80	1.70
M24	362	86	133	1.55

주 1) 강제 강도, 2) 콘크리트 파괴 강도, 3) 실험 결과

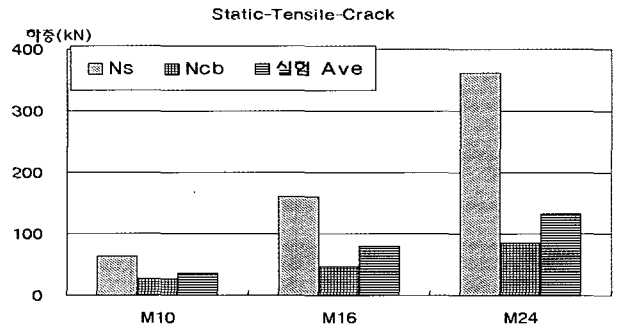


그림 9. 균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 인장 강도 비교

표 7. 비균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 인장 강도

모델명	N_s [kN]	N_{cb} [kN]	N_{test} [kN]	N_{test}/N_{cb}
M10	63	38	47	1.23
M16	161	66	92	1.39
M24	362	120	146	1.22

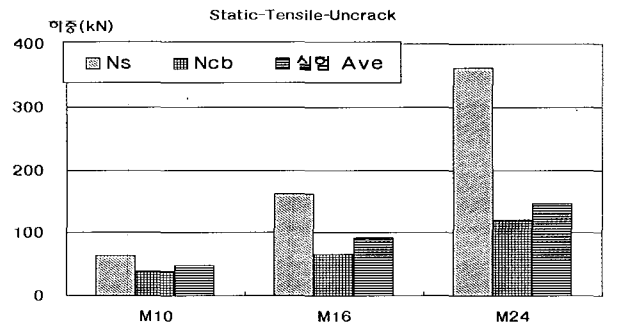


그림 10. 비균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 인장 강도 비교

단일 앵커에 대한 정적 전단 실험의 결과를 앵커 설계법에 의한 강도와 비교하여 각각 <표 8, 9> 및 <그림 11, 12>에 나타내었다.

3.1.3 정적 실험 결과 분석

앵커 설계법에 의한 강도 대비 실험 결과 강도의 비를 <그림 13>에 나타내었다. 모든 실험 결과에서 강도비는 1.0 이상을 나타내어 실험에 의한 강도가 설계식에 의한 강도보다 크게 나타났다. 실험에 의한 강도는 분산 정도가 크기 때문에 이를 설계 강도에 사용하는 경우에는 5%의 분위수 강도(5% fractile strength)를 적용하게 된다. 따라서 실험에 의한 강도가 설계

표 8. 균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 전단 강도

모델명	V_{cb}^D [kN]	V_{cp}^D [kN]	V_{test}^D [kN]	V_{test}/V_{cb}
M10	50	55	66	1.32
M16	76	93	175	2.30
M24	79	172	284	3.59

주 1) 콘크리트 파괴 강도, 2) 콘크리트 프라이아웃 강도, 3) 실험결과

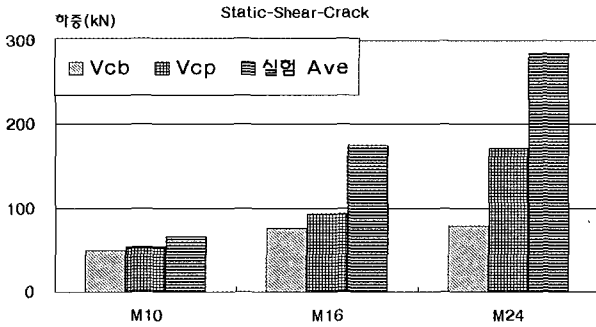


그림 11. 균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 전단 강도 비교

표 9. 비균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 전단 강도

모델명	V_{cb} [kN]	V_{cp} [kN]	V_{test} [kN]	V_{test}/V_{cb}
M10	70	77	78	1.11
M16	106	131	192	1.81
M24	110	240	306	2.78

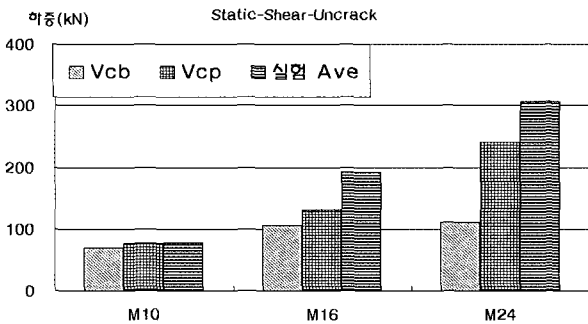


그림 12. 비균열 콘크리트 블록에 설치된 앵커의 전단 강도 비교

식에 의한 강도보다 크게 나타나더라도 설계식에 의한 설계보다 반드시 안전측으로 설계되는 것을 의미하지는 않는다. 본 실험에서는 한정된 실험변수에 대해 제한된 실험체 수(설계 기준에서 요구하는 최소한의 실험체 수는 만족)로 실험을 수행하였기 때문에 실험에 의한 5%의 분위수 강도와 설계식에 의한 강도(강도 감소 계수 고려)를 직접 비교하지는 않았다.

균열 콘크리트와 비균열 콘크리트 블록을 비교하면 인장 및 전단 모두에서 균열 콘크리트 블록에서의 강도비가 비균열 콘크리트 블록보다 다소 크게 나타나고 있다. 인장과 전단을 비교하면 앵커 직경이 작은 실험체를 제외하고는 전단이 크게 나타나고 있고 직경이 클수록 이러한 경향은 더욱 크게 나타나고

실험값/설계값

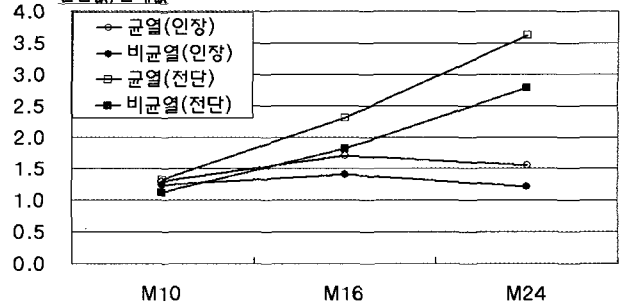


그림 13. 정적 실험 결과 실험값과 설계값의 비교

표 10. 동적 인장 및 전단 실험 모델(HSL)

실험 모델명	콘크리트 강도 f'_c [MPa]	문합 깊이 h_{ef} [mm]	강재 항복강도 f_y [MPa]	강재 인장강도 f_u [MPa]	공칭 직경 d_b [mm]	공칭 단면적 A_b [mm^2]
M10	44.5	70	640	800	10	78.5
M16		100			16	201
M24		150			24	452

표 11. 동적 인장 및 전단 실험 모델(HSL3)

실험 모델명	콘크리트 강도 f'_c [MPa]	문합 깊이 h_{ef} [mm]	강재 항복강도 f_y [MPa]	강재 인장강도 f_u [MPa]	공칭 직경 d_b [mm]	공칭 단면적 A_b [mm^2]
M10	40.0	70	640	800	10	78.5
M12		80			12	113
M16		100			16	201
M24		150			24	452

있다. 전단 실험 결과가 설계식보다 더 크게 나타나는 경향은 앵커가 연단 거리의 영향을 받지 않도록 콘크리트 블록의 중앙부에 설치되었기 때문이라고 사료된다.

3.2 동적 실험

3.2.1 동적 인장 및 전단 실험

(1) 실험체

폭 0.5 mm의 초기 균열을 갖는 콘크리트 블록 중앙부에 설치된 두 종류의 단일 확장 앵커(HSL 및 HSL3)에 대하여 동적 인장 및 전단 실험을 수행하였다. 이들 실험체의 재원 특성은 <표 10, 11>과 같고 각 실험 모델에 대하여 각각 5개씩의 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

(2) 실험 방법

① 인장 실험

인장 실험에 사용된 하중 패턴은 <그림 14>와 같았다. 균열

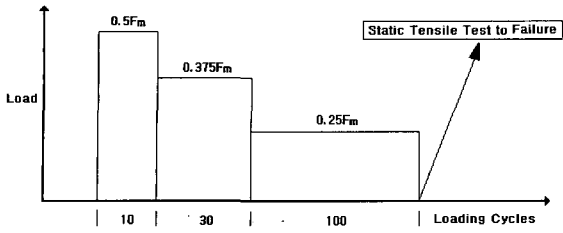


그림 14. 동적 인장 시험의 하중 패턴

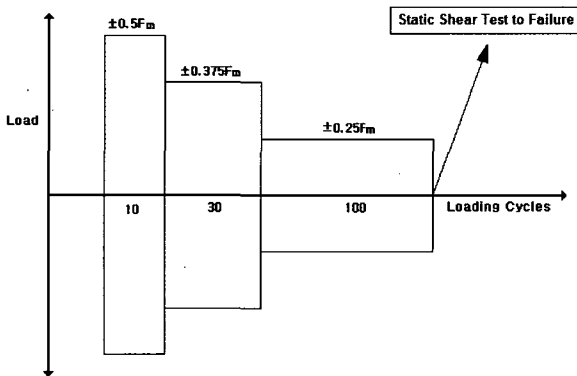


그림 15. 동적 전단 시험의 하중패턴

이 있는 콘크리트 블록 중앙부에 설치된 단일 앵커에 대하여 0.1 ~ 2Hz의 속도로 0.5Fm에 해당하는 반복 하중을 10회 가하였다(단, Fm은 정적 실험 결과로부터 구한 앵커의 평균 인장 강도). 이후 동일한 속도로 0.375Fm의 반복 하중을 30회 동안 가하고, 이어서 0.25Fm의 하중을 100회 가하였다. 이후 파괴가 일어날 때까지 정적 인장 하중을 가하였다.

② 전단 실험

전단 실험에 사용된 하중 패턴은 <그림 15>와 같았다. 균열이 있는 콘크리트 블록 중앙부에 설치된 앵커에 대하여 0.1 ~ 2Hz의 속도로 콘크리트 균열 방향으로 전단력 ±0.5Fm을 교번하여 10회 가하였다(단, Fm은 정적 실험 결과로부터 구한 앵커의 평균 전단 강도). 다음으로 0.375Fm를 30회 가하고, 마지막으로 0.25Fm을 100회 가하였다. 이후 파괴가 일어날 때까지 전단 하중을 정적으로 가하였다.

(3) 실험 결과

동적 하중 하에서의 인장 및 전단 실험 결과를 <표 12> ~ <표 15>에 나타내었다.

3.2.2 실험 강도와 앵커 설계법에 의한 강도 비교

(1) 동적 인장 실험

동적 인장 실험의 결과를 앵커 설계법에 의한 강도와 비교하

표 12. 동적 실험 결과 인장 강도, kN (HSL): 균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	39	37	41	35	35	38.0
M16	84	91	87	79	84	85.0
M24	132	131	128	136	152	136

표 13. 동적 실험 결과 인장 강도, kN (HSL3): 균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	29	35	34	39	36	35.0
M12	53	67	56	52	58	57.0
M16	85	99	89	75	98	89.0
M24	165	148	130	150	161	151.0

표 14. 동적 실험 결과 전단 강도, kN (HSL): 균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	71	68	58	72	70	68
M16	174	175	159	186	179	175
M24	300	317	329	324	305	315

표 15. 동적 실험 결과 전단 강도, kN (HSL3): 균열 콘크리트

모델명	1	2	3	4	5	평균값
M10	61	60	62	66	63	62
M12	94	81	98	80	96	90
M16	158	153	170	178	148	161
M24	297	301	249	311	309	293

표 16. 설계식 및 실험 결과 앵커 인장 강도 비교(HSL)

모델명	N_s [kN]	N_{cb} [kN]	N_{test} [kN]	N_{test}/N_{cb}
M10	63	21	38	1.83
M16	161	35	85	2.44
M24	362	64	136	2.11

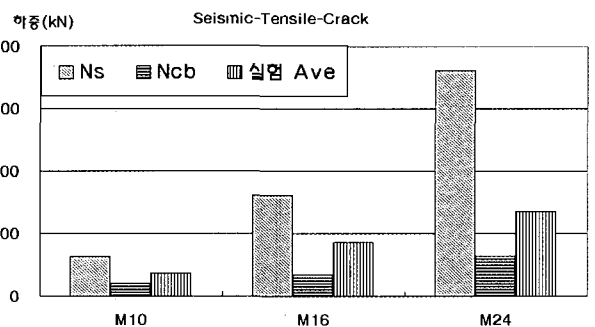


그림 16. 동적 실험 결과 앵커 인장 강도의 비교(HSL)

면 각각 <표 16, 17> 및 <그림 16, 17>과 같다.

(2) 동적 전단 실험

동적 전단 실험의 결과를 앵커 설계법에 의한 강도와 비교하여 각각 <표 18>, <표 19> 및 <그림 18>, <그림 19>에 나타내었다.

표 17. 설계식 및 실험 결과 앵커 인장 강도 비교 (HSL3)

모델명	N_s (kN)	N_{cb} (kN)	N_{test} (kN)	N_{test}/N_{cb}
M10	63	19	35	1.79
M12	90	24	57	2.40
M16	161	33	89	2.68
M24	362	61	151	2.47

표 19. 설계식 및 실험 결과 앵커 전단 강도 비교(HSL3)

모델명	V_{cb} (kN)	V_{cp} (kN)	V_{test} (kN)	V_{test}/V_{cb}
M10	35	39	62	1.76
M12	47	48	90	1.93
M16	54	66	161	3.00
M24	56	122	293	5.25

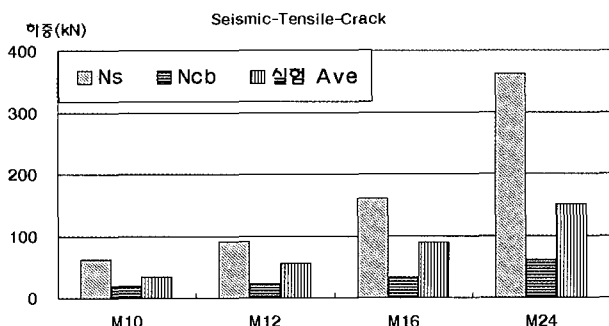


그림 17. 동적 실험 결과 앵커 인장 강도의 비교(HSL3)

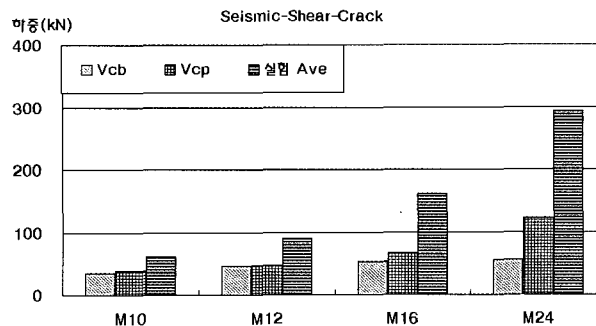


그림 19. 동적 실험 결과 앵커 전단 강도의 비교(HSL3)

표 18. 설계식 및 실험 결과 앵커 전단 강도 비교(HSL)

모델명	V_{cb} (kN)	V_{cp} (kN)	V_{test} (kN)	V_{test}/V_{cb}
M10	37	41	68	1.81
M16	57	70	175	3.07
M24	59	129	315	5.34

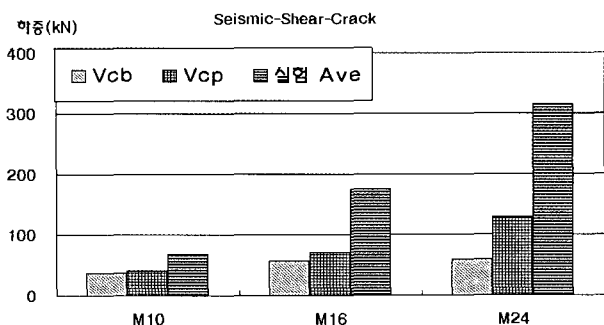


그림 18. 동적 실험 결과 앵커 전단 강도의 비교(HSL)

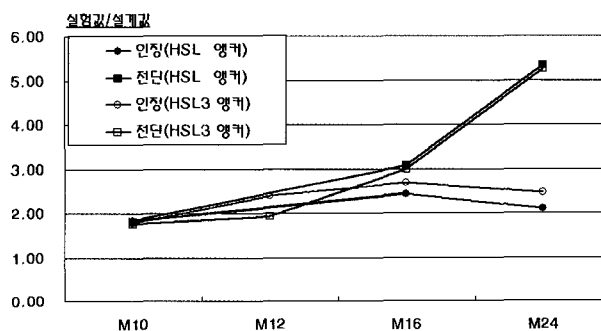


그림 20. 동적 실험 결과 실험값과 설계값의 비교

3.2.3 동적 실험 결과 분석

앵커 설계법에 의한 강도 대비 실험 결과 강도의 비를 (그림 20)에 나타내었다. 정적 실험 결과와 동일하게 실험에 의한 강도가 크게 산정되었다. (그림 20)에서 인장에 대해서는 앵커의 직경에 관계없이 유사한 값을 보이고 있고, 전단의 경우 앵커의 직경이 커짐에 따라 커지는 경향을 나타내고 있으나 전단 실험 결과가 설계식보다 더 크게 나타나는 경향은 전단 실험에 사용된 앵커가 연단 거리의 영향을 받지 않도록 콘크리트 블록의 중앙부에 설치되어 연단 거리 등 단부 효과가 포함되지 않았기 때문이라고 사료된다.

4. 맺음말

국내에서 수행된 확장 앵커의 인장 및 전단에 대한 정적 및 동적 실험 결과를 ACI 318-02 부록 D의 앵커 설계법에 의한 결과와 비교·검토하였다. 국내 실험 데이터의 부족으로 인하여 모든 실험 결과는 균열 또는 비균열 콘크리트 블록의 중앙부에 설치된 단일 앵커에 제한되었다.

정적 실험에서 모든 앵커의 실험에 의한 인장 및 전단 강도가 설계법에 의한 강도를 상회하였다. 인장과 전단을 각각 비교하면 앵커 직경이 작은 실험체를 제외하고는 전단의 경우 실험값과 설계값에 대한 앵커 강도비가 크게 나타나고 있고 직경이 클수록 이러한 경향은 더욱 크게 나타났으나, 이는 실험에 사용된 앵커가 연단 거리의 영향을 받지 않도록 콘크리트 블록의 중앙부에 설치되어 연단 거리 등 단부 효과가 포함되지 않았기 때문이라고 사료된다. 동적 실험에서도 정적 실험 결과와 동일하게 실험에 의한 강도가 앵커 설계법에 의한 강도를 상회하였다. 이

상의 결과로부터 설계식에 의한 확장 앵커의 인장 및 전단 강도를 사용하면 충분히 안전측으로 설계되는 것을 알 수 있다. 한편, 실험으로부터 설계 강도를 결정하는 경우에는 5% 분위수 강도를 사용하게 된다. 하지만 본 실험에서는 한정된 실험변수에 대해 제한된 실험체 수(설계 기준에서 요구하는 최소한의 실험체 수는 만족)로 실험을 수행하였기 때문에 5% 분위수 강도를 평가하지는 않았다. 향후 다양한 설계 변수에 대하여 5% 분위수 강도와 설계식에 의한 강도의 차이를 정량적으로 평가하기 위해서는 보다 집중적인 실험적 연구가 필요하다.

또한, 본고에 기술된 결과는 균열 또는 비균열 콘크리트 블록의 중앙부에 설치된 단일 앵커에 대하여 수행된 제한된 실험의 결과이다. 따라서 향후 앵커 설계법에 대한 신뢰도를 더욱 높이기 위하여 연단거리가 작은 앵커 실험 및 서로 인접 설치된 다수 앵커(앵커 그룹)의 인발 및 전단 거동에 대한 국내 실험이 추가로 필요하다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준해설", 2003.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318M-02) and Commentary (318RM-02)," American Concrete Institute, 2002.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318-05) and Commentary (318R-05)," American Concrete Institute, 2005.
4. Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J. E., "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," ACI Structural Journal, Vol.92, No.1, 1995, pp.73~94.
5. ACI Committee 355, "Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (ACI 355.2-02)," American Concrete Institute, 2002.
6. 한국콘크리트학회, "전문위원회 연구발표집", KCI-M-04-005, 2004, pp.21~95.
7. 한국콘크리트학회, "콘크리트 앵커 설계지침 연구보고서", KCI-M-04-007, 2004.
8. KIMM, "Static and Dynamic Testing of Hilti HSL Expansion Anchors in Cracked Concrete Elements," Korea Institute of Machinery & Materials, 2000.
9. KIMM, "Dynamic Performance Tests for the Hilti HSL3 Anchors in Cracked Concrete Elements," Korea Institute of Machinery & Materials, 2003.

특집제목 예고 및 원고 모집안내

학회지 편집위원회에서는 학회지 특집의 제목을 회원들에게 미리 알림으로써 필진의 다양성과 전문성을 확보하고, 더 많은 회원이 직접 참여할 수 있는 장으로 만들고자 합니다. 아래와 같이 2005년 11, 2006년 1, 3, 5, 7월호 특집제목을 알려드리오니 회원 여러분의 적극적인 참여를 부탁드립니다.

월 호	특집주제	특집주간	원고마감
2005년 11월호	건물에서 콘크리트 복합벽체구조 기술	서수연(충주대학교 건축공학과 교수)	8월 15일
2006년 1월호	최신 섬유보강 콘크리트	한상목(금오공과대학교 토목공학과 교수)	10월 15일
2006년 3월호	하수관거의 리뉴얼 방법	서경석(경동대학교 건축공학부 교수)	12월 15일
2006년 5월호	콘크리트 교량의 교면 방수	김진철(한국도로공사도로교통기술원 재료환경연구실 책임연구원)	2월 15일
2006년 7월호	콘크리트 내구 성능 설계	김진만(공주대학교 건축공학과 교수)	4월 15일