

# 덧씌우기 보강 시 콘크리트 앵커 설계

Design for Anchoring to Concrete in Concrete Overlays

최동욱 Donguk Choi  
한경대학교 건축학부 교수

하상수 Sang-Su Ha  
강남대학교 건축공학과 교수

## 1. 머리말

콘크리트 포장을 포함하여 철근콘크리트 보, 기둥 및 슬래브 등에서 손상된 단면의 복구 또는 단면의 성능 증진을 위하여 덧씌우기 보강을 할 수 있다. 이때 보강 재료로써 폴리머 콘크리트, 폴리머 수정 모르타르 등을 많이 사용하는데 폴리머 계통의 보강 재료가 초기에 큰 수축 변형율을 갖는 경우, 혹은 열팽창계수가 보통 콘크리트와 차이가 있는 경우 보강면(계면, interface)에 박리가 자주 발생하는 경향을 보였다. 최근 연구가 활발한 지오폐리머는 대부분 프리캐스트 제품이지만 상온에서도 양생이 가능한 고로슬래그 기반 지오폐리머는 향후 보강의 목적으로 현장치기 방식으로 적용 가능성도 있다. 또한 고인성 모르타르 역시 보강의 목적으로 사용할 수 있다. 이러한 다양한 보강 재료의 열팽창계수가 모재(기존 콘크리트)와 큰 차이가 나거나 건조수축이 큰 경우 이에 따른 체적 변화에 의해 발생하는 응력으로 인하여 보강 단면이 손상을 입을 수 있다. 이 기사에서는 이러한 덧씌우기 보강 시 발생하는 응력의 산정 방법을 2011년 미국 NCHRP 종합보고서에 기반하여 소개하고, 계면의 콘크리트 앵커의 설계 방법에 대해 「콘크리트구조기준(2012)」 부록 II를 참고하여 기술하였다.

## 2. 기존 연구

두 가지 재료로 구성된 합성 단면에서 재료 간 불균등 건조수축에 의해 발생하는 응력은 Timoshenko, Birkland 등이 연구를 시작하였으며, 각 연구의 성과는 각각 Separate Section Method, Composite Section Method로 이미 잘 알려져 있다<sup>1)</sup>. 1981년 미국 위스컨신대학의 Chen 등은 접착제를 사용하여 구성한 합성 목재에서 접착제와 목재 간 열팽창계수의 차이에 의해 자주 박리가 발생하는 현상에 주목하였고, 외부의 온도변화( $\Delta T$ )와 접착제와 목재 간 열팽창계수의 차이( $\Delta \alpha$ )에 의해 발생하는 온도응력을 이론적으로 결정할 수 있는 지배방정식을 발표하였는데, 이 지배방정식은 다음과 같은 조건 하에서 엄밀해를 제공한다<sup>2)</sup>.

- (1) 재료의 선형-탄성 조건
- (2) 균등한 온도변화 조건
- (3) 평면응력 조건

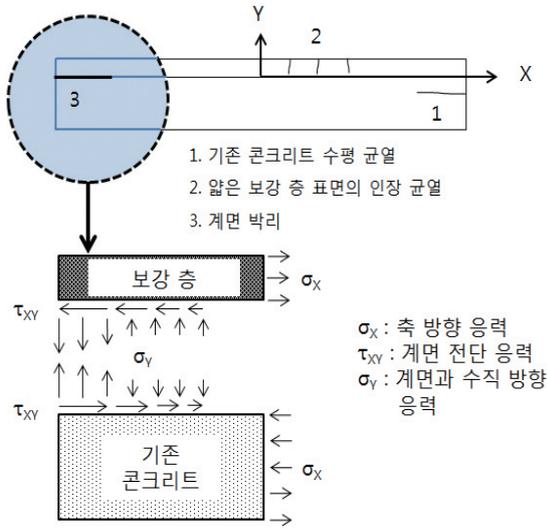


그림 1. 합성 단면의 온도 또는 수축 응력

### 3. 콘크리트 덧씌우기 보강 시 발생하는 온도 및 수축 응력의 산정 방법

#### 3.1 온도 응력

Choi 등은 기존 콘크리트와 보강 재료 간 접착제의 두께는 매우 작은 것으로 가정하고, Chen의 지배방정식을 콘크리트 덧씌우기 보강에 적용하였다<sup>3)</sup>. 2011년 발행된 미국 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program) 423 종합보고서에 폴리머 콘크리트 교량 상판에 발생하는 응력 산정에 대한 이론적 연구로서 Choi 등의 연구 결과를 인용하고 있으므로 이 절에서는 그 내용을 간략히 소개한다<sup>4)</sup>.

일반적으로 덧씌우기 재료로 보강된 콘크리트 보강 단면에서는 다음과 같은 3가지 형태의 파괴모드가 발생할 수 있다.

- 1) 파괴모드 1: 기존 콘크리트 층 단부의 수평 방향 균열
- 2) 파괴모드 2: 상대적으로 얇은 보강 층 표면의 인장 균열
- 3) 파괴모드 3: 기존 콘크리트 층과 보강 층 간 단부의 계면 파괴

〈그림 2〉에 합성보(기존 콘크리트-보강 재료 합성보)의 모델을 나타내었다. 〈그림 2〉에서 보강 층을 Layer

#1, 기존 콘크리트 층을 Layer #2로 각각 표현하고, 각 층의 탄성계수, 포아송비, 열팽창계수는 각각  $E, \nu, \alpha$ 이다( $i = 1, 2$ ). 두 층의 열팽창계수 차이가  $\Delta\alpha(\alpha_1 - \alpha_2)$ 이고, 합성 구조물이  $\Delta T$ 의 외부 온도변화를 받는 경우 Layer #1은  $\Delta\alpha\Delta T$  만큼의 길이변화를 하여야 하지만 길이변화는 계면에서 구속되어 있으므로 합성보 내부에 온도 변화로 인한 응력이 〈그림 3〉과 같이 발생하게 된다. 이 때 응력 분포는 보 전체 길이에 대해 대칭이므로 합성보 길이의 절반에 대하여만 축 방향 응력( $\sigma_x$ )을 나타낸 〈그림 3-(a)〉에서  $\sigma_x$ 는 합성보의 대부분 구간에서 일정하고, 보 단부에서는 '0'으로 소멸하는 것을 알 수 있다. 〈그림 3-(b)〉는 두 개 층의 계면에서 발생한 전단 응력( $\tau_{xy}$ )과 계면과 직각 방향 응력( $\sigma_y$ )을 나타내었다. 〈그림 3-(b)〉에서  $\tau_{xy}$ 는 합성보 대부분의 구간에서 '0'이지만 단부에서는 급격히 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다( $\tau_{xy}$ 의 경계조건은 단부에서 '0'임).  $\sigma_y$  역시 대부분의 구간에서 '0'이고, 단부에서만 발생한다( $\sigma_y$ 는 +/- 응력이 교차하여 나타나며, 경계조건은 '+' 응력의 합과 '-' 응력의 합이 같은 것임). 〈그림 3-(b)〉에서 나타낸 것과 같이  $\tau_{xy}$ 와  $\sigma_y$ 는 단부에서만 나타나므로 일반적으로 '단부 응력'으로 칭하며, 〈그림 3〉에서 단부응력이 발생하는 구간의 길이는 합성보의 총 길이 ( $H_1 + H_2$ )와 같다. 〈그림 1〉에 나타낸 3가지 파괴모드 중에서 파괴모드 1(기존 콘크리트 단부의 수평 방향 균열)은 일반적으로 계면 하부에서 최대가 되는  $\sigma_y$ , 파괴모드 2(상대적으로 얇은 보강 층의 인장 균열)는  $\sigma_x$ , 파괴모드 3(기존 콘크리트와 보강 층 간 단부의 계면 파괴)은  $\tau_{xy}$ 에 각각 기인한다.

〈그림 3〉의 3가지 응력 중에서 보 이론을 사용하면  $\sigma_x$ 를 정확히 산정할 수 있고, 유한요소법 등 수치해석적 방법은  $\sigma_y, \tau_{xy}$ 의 개략적인 분포를 알려줄 수 있으나 이 기술기사에 소개한 것과 같은 엄밀해를 사용하지 않으면

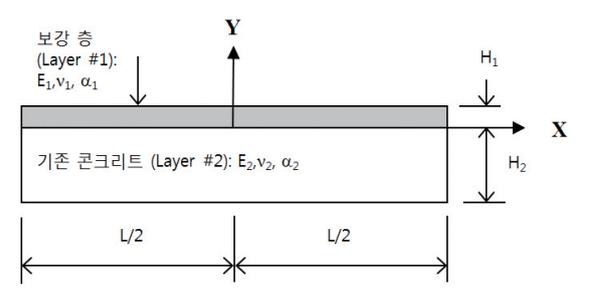


그림 2. 온도 응력 해석 합성보 모델

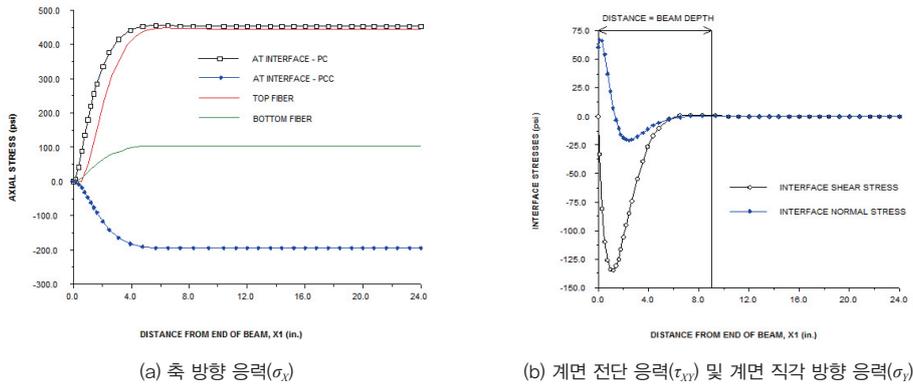


그림 3. 합성 보 단면의 온도 응력( $a_1 > a_2, \Delta T < 0$ )

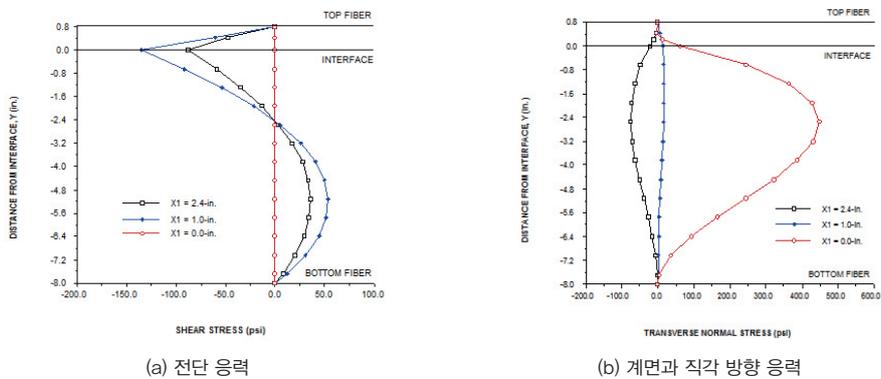


그림 4. 합성보 횡단면에 걸친 전단 응력( $\tau_{xy}$ ) 및 계면과 직각 방향 응력( $\sigma_y$ ) 분포

단부응력의 정확한 크기를 예측하기는 어렵다. <그림 4>에 합성보의 깊이 방향으로  $\tau_{xy}$ 와  $\sigma_y$ 의 분포를 나타내었다. <그림 4-(a)>에서  $\tau_{xy}$ 는 계면에서 최대가 되며, <그림 4-(b)>에서  $\sigma_y$ 는 계면의 하부에서 최대가 된다.

### 3.2 수축 응력

기존 콘크리트 상부에 타설한 보강 재료의 건조수축 등 수축으로 인해 발생하는 응력은 온도 변화에 의한 응력과 유사한 방법으로 구할 수 있다. 즉, 보강 재료의 전 길이에 걸쳐 발생한 수축 변형( $A_{sh}$ ) 또는 온도 변형( $A_{temp}$ )은 각각 식 (1), (2)와 같다.

$$A_{sh} = \epsilon_{sh} \times L \dots\dots\dots (1)$$

$$A_{temp} = \Delta\alpha \times \Delta T \times L \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $A_{sh}$ 와  $A_{temp}$ 는 모두 보강재료의 ‘불균등 수축’ 또는 ‘열팽창계수의 차와 온도변화’에 의한 길이 변화를 나타내므로 동일한 방법으로 평가할 수 있다.

### 4. 영향 인자 및 최대 응력

- (1) 두 층간 두께비( $m = H_1/H_2$ )
- (2) 두 층간 탄성계수비( $n = E_1/E_2$ )
- (3) 유효변형율(수축 변형율 또는 온도 변형율의 크기)

<표 1>에 기존 콘크리트와 보강 재료의 기계적 성질을 나타내었다. 전술한 3가지 파괴모드 중에서 가장 지배적인 것은 계면의 전단파괴이므로 <그림 8> <표 1>에 대한 계면의 최대 전단응력은 <그림 5~7>과 같다.

<그림 5~7>은 기존 콘크리트의 탄성계수가 각각 20,000, 25,000, 30,000 MPa인 경우 두 층의 두께비 ( $m = m_1/m_2$ )와 탄성계수비( $n = E_1/E_2$ ) 변화에 따라 계면에 발생하는 최대 전단응력(max.  $\tau_{xy}$ )을 도시한 것이

표 1. 덧씌우기 보강 시 기존 콘크리트 층 및 보강 층 재료의 성질

층	E(MPa)	H(mm)	$\alpha(m/m^\circ C)$	$\nu$	$\Delta T(^\circ C)$
보강층	15,000	25	$20 \times 10^{-6}$	0.20	-20
기존 콘크리트	25,000	200	$10 \times 10^{-6}$	0.18	

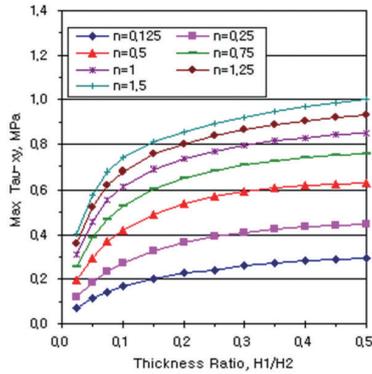


그림 5. 두 개 층의 두께비(m) 및 탄성계수비(n)에 따른 계면의 최대 전단 응력( $E_2=20,000$  MPa,  $H_2=200$  mm,  $\Delta\alpha\Delta T=-200\times 10^{-6}$  m/m,  $E_1=2,500$  MPa( $n=0.125$ ) ~  $30,000$  MPa( $n=1.5$ ))

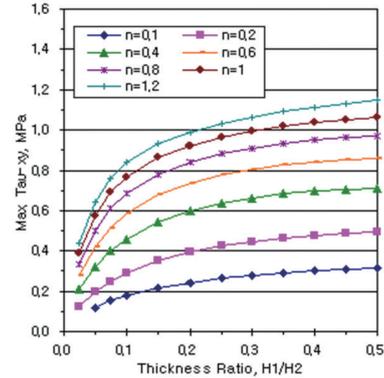


그림 6. 두 개 층의 두께비(m) 및 탄성계수비(n)에 따른 계면의 최대 전단 응력( $E_2=25,000$  MPa,  $H_2=200$  mm,  $\Delta\alpha\Delta T=-200\times 10^{-6}$  m/m,  $E_1=2,500$  MPa( $n=0.1$ ) ~  $30,000$  MPa( $n=1.2$ ))

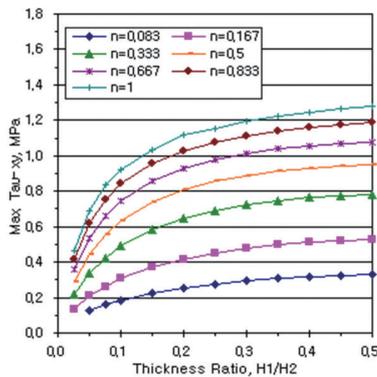


그림 7. 두 개 층의 두께비(m) 및 탄성계수비(n)에 따른 계면의 최대 전단 응력( $E_2=30,000$  MPa,  $H_2=200$  mm,  $\Delta\alpha\Delta T=-200\times 10^{-6}$  m/m,  $E_1=2,500$  MPa( $n=0.083$ ) ~  $30,000$  MPa( $n=1.0$ ))

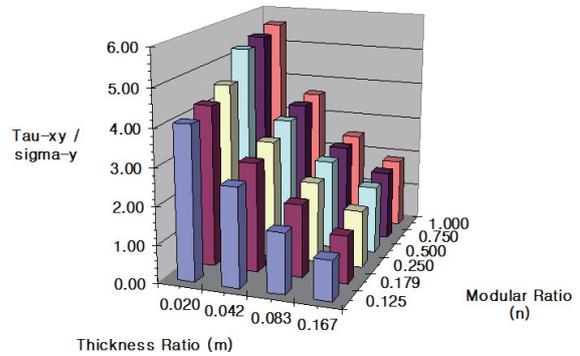


그림 8. 계면의 최대 전단 응력 대비 계면과 수직 방향 응력비

다. <그림 5>에서 m 또는 n이 증가하면 전단응력이 증가함을 알 수 있다.

#### 4.1 유효변형율( $\Delta\alpha\Delta T$ )

유효변형율은 두 층 콘크리트 간 열팽창계수 차이( $\Delta\alpha$ ) 곱하기 온도 변화( $\Delta T$ )로 정의하고, <그림 5~7>에서 유효변형율( $\Delta\alpha\Delta T$ )은  $200\times 10^{-6}$  m/m이다. 만일 유효변형율이 다른 경우에는 <그림 5~7>의 전단 응력에 다음 계수를 적용한다(실제  $\Delta\alpha\Delta T / 200\times 10^{-6}$  m/m).

#### 4.2 기존 콘크리트의 탄성계수

<그림 5~7>은 각각 기존 콘크리트가 저강도 콘크리트( $f_{ck} = 18$  MPa), 보통강도 콘크리트( $f_{ck} = 27$  MPa), 고강도 콘크리트( $f_{ck} = 40$  MPa)인 경우이다. <그림 5~7>

에서 기존 콘크리트의 탄성계수가 높을수록 계면의 전단 응력이 증가한다.

#### 4.3 기존 콘크리트 두께

<그림 5~7>에서 기존 콘크리트 층의 두께는 200 mm이다. 기존 콘크리트 층의 두께가 증가 또는 감소하는 경우 두께비와 탄성계수비가 일정하면 계면에 발생한 전단력의 크기는 변하지 않는다.

#### 4.4 평면응력 대 평면변형률 조건

전술한 바와 같이 Chen 등의 지배방정식은 평면응력 조건을 가정한 것이므로 평면변형률 조건인 경우 최대 전단력은 <그림 5~7>의 결과와 약간 상이할 수 있다. 이 경우 포아송비에 대한 다음 계수를 사용하여 응력을

증가시킬 수 있다<sup>5)</sup>.

$$(1 / (1 - \nu_1))$$

## 5. 계면의 앵커 설계

### 5.1 최대 전단응력

계면에 작용하는 최대 전단응력은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\tau_{XY-max} = C_p C_d \tau_{XY} \dots \dots \dots (3)$$

여기서,

$$C_p = 1.0(\text{평면응력조건}),$$

$$C_p = 1 / (1 - \nu_1)(\text{평면변형율 조건})$$

$$C_d = (\text{실제 } \Delta\alpha\Delta T) / (200 \times 10^{-6} \text{ m/m})$$

$\tau_{XY}$  = 탄성계수비(n) 및 두께비(m)에 따라서 <그림 5~7>로부터 구한 최대 전단응력

### 5.2 계면의 소요 전단강도

<그림 9>에 나타낸 것과 같이 계면의 작용 전단력은 식 (4)로부터 근사값(안전측)을 구할 수 있다.

$$V_{acting} = \tau_{XY-max} \times H_{total} / 2, \text{ N/단위 폭} \dots \dots \dots (4)$$

식(4)의 전단력은 단위 길이에 대한 것이므로 부재 폭에 대해 식(5)를 적용한다.

$$V_u = V_{acting} \times \text{부재 폭}, \text{ N} \dots \dots \dots (5)$$

마지막으로 2012 콘크리트구조기준의 부록 II 에 따라서 다음과 같이 앵커의 공칭 전단강도( $V_n$ )를 구할 수 있다<sup>7)</sup>.

$$V_u \leq \Phi V_n \dots \dots \dots (6)$$

## 6. 설계 예

콘크리트로 덧씌우기 보강된 합성보에서 외부 온도변화 섭씨 -15°C에 의해 계면에 발생한 전단력을 산정하라.

두께  $H_1 = 30 \text{ mm}, H_2 = 300 \text{ mm}$

탄성계수  $E_1 = 30,000 \text{ MPa}, E_2 = 25,000 \text{ MPa}$

열팽창계수  $a_1 = 15 \times 10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{C}, a_2 = 10 \times 10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$

온도변화  $\Delta T = -15^\circ\text{C}$

(해)

탄성계수비  $n = E_1/E_2 = 1.2$

두께비  $m = H_1/H_2 = 0.10$

유효변형율  $\Delta\alpha\Delta T = (15 - 10) (-15) \times 10^{-6} = -75 \times 10^{-6} \text{ m/m}$

$\Delta\alpha\Delta T = (15 - 10) (-15) \times 10^{-6} = -75 \times 10^{-6} \text{ m/m}$

$\Delta\alpha\Delta T = (15 - 10) (-15) \times 10^{-6} = -75 \times 10^{-6} \text{ m/m}$

$\Delta\alpha\Delta T = (15 - 10) (-15) \times 10^{-6} = -75 \times 10^{-6} \text{ m/m}$

<그림 6>에서  $m = 0.1, n = 1.2$ 인 경우

$\tau_{XY} = 0.84 \text{ MPa}$

$C_p = 1.0$

$C_d = (-75)/(-200) = 0.375$

$\tau_{XY-max} = 0.375 \times 0.84 = 0.315 \text{ MPa}$

$V_{acting} = 0.315 \times (300 + 30)/2 = 52.0 \text{ N/mm}$

$V_u = 52.0 \times 300 = 15.6 \text{ kN}$

$V_n = V_u/\Phi = 15.6/0.65 = 24.0 \text{ kN}$

그러므로 덧씌우기 보강 보(합성보)의 양단부에 전단력 24.0 kN을 저항할 수 있는 앵커를 설치하여야 한다. 앵커 설계는 「콘크리트구조기준(2012)」 부록 II 에 따른다. 앵커의 설치 위치는 단부로부터 합성보의 높이 이내로 하고, 가능하면 단부 가까이 설치한다. 

담당 편집위원 : 김길희(공주대학교) kimkh@kongju.ac.kr

**참고문헌**

1. Timoshenko S. P., "Analysis of Bi-metal Thermostats", Journal of the Optical Society of America, Vol. 11, No. 3, 1925, pp. 233 ~ 255.
2. Chen, D., Cheng, S. and Gerhardt, T. D., "Thermal Stresses in Laminated Beams", Journal of Thermal Stresses, Vol. 5, No. 1, 1982.
3. Choi, D.-U., Fowler, D. W. and Wheat, D. L., "Thermal Stresses in Polymer Concrete Overlays", American Concrete Institute, ACI Special Publication SP-166, Properties and Uses of Polymers in Concrete, 1996.
4. NCHRP Synthesis 423, Long-Term Performance of Polymer Concrete for Bridge Decks, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 2011, 65pp.
5. Fowler, D. W., Choi, D.-U., Zalaito, J. and Wheat, D. L., "Stresses in PC Overlays due to Thermal Changes", ICPIIC, 10th International Congress on Polymers in Concrete, Hawaii, U.S., 2001, in CD-room.
6. Choi, Dong-Uk and Lee, Chin-Yong, "Anchor Design to Prevent Debonding of Repair Mortar in Repaired Concrete Members", KCI Concrete Journal, Vol. 17, No. 4, 2005, 8, pp. 637 ~ 644.
7. 한국콘크리트학회, 「콘크리트구조기준해설」, 기문당, 2012.



**최동욱 교수**는 미국 텍사스주립대(오스틴)에서 박사학위를 취득하였고, 1996년부터 한경대학교 건축학부 교수로 재직 중이다. 주요 연구분야는 확대머리 철근을 포함한 콘크리트용 앵커, FRP 보강근 및 시트 등의 혁신적인 구조재료이며, 최근 지속가능성 분야에 집중하고 있다. 우리학회 대외협력위원장, 국제교류위원장 및 국제담당 부회장을 역임하였다.  
choidu@hknu.ac.kr



**하상수 교수**는 2003년 2월에 한양대학교에서 아파트 벽체의 황철근 구축에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 2009년 3월부터 강남대학교 건축공학과에 재직하고 있다. 주요관심분야는 FRP 보강근 및 시트를 이용한 효율적인 보강공법 개발 및 현장 적용이며, 이 분야에 지속적인 연구를 진행하고 있다. 현재 우리 학회 정착이음위원회 위원으로 활동하고 있다.  
drhaha@naver.com

**학회지광고 게재 안내**

콘크리트학회지는 격월간으로 발행되어 9,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 귀사의 미래를 위한 광고가 저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 활용될 수 있도록 광고를 모집합니다.

1. 광고게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표 2	120만원	간지 1	110만원
표 3	120만원	간지 2	100만원
표 4	150만원	내지	70만원

2. 할인혜택 : 본 학회의 특별회원이거나 게재하는 광고 또는 연간 6회 이상 게재 시 상기 협찬금을 아래와 같이 할인하여 드립니다. 단, 일시불로 납부하여야 적용 가능합니다.

- 1년 계약 : 10% 할인
- 2년 계약 : 20% 할인
- 회원사 : 추가 5% 할인