

# 콘크리트의 휨인장강도 및 신·구콘크리트 사이의 부착강도에 관한 실험 연구

## An Experimental Study on Flexural Tensile Strength and Bond Strength Between Concrete-to-Concrete

양인환\*      유성원\*\*      서정인\*\*\*  
Yang, In-Hwan    Yoo, Sung-Won    Seo, Jung-In

### Abstract

The purpose of this paper is to investigate the bond strength between old and new concrete as well as flexural tensile strength of concrete. To achieve this purpose, a comprehensive experimental program has been set up and strength tests using a series of specimens have been carried out. The present study represents that the flexural bond strength between old and new concrete is much smaller than that of flexural tensile strength. The ratio of bond strength to flexural tensile strength ranged through 15~27%. It is seen that concrete-to-concrete bond strength has been affected by curing condition. Also, test results of tensile strength show that recommendation by ACI 363 committee is estimated to be more realistic than another recommendations for predicting tensile strength of concrete.

### 요 지

본 연구에서는 콘크리트의 휨인장강도 특성과 함께 구콘크리트와 신콘크리트 사이의 부착강도 특성을 규명하고자 하였다. 구콘크리트와 신콘크리트를 이용하여 제작한 빔 시편 실험을 통하여 콘크리트와 콘크리트 사이의 부착강도 및 인장강도를 실험적으로 연구하였다. 신·구 콘크리트 사이의 부착강도는 인장강도에 비해 훨씬 작게 나타나며, 그 비율은 15~27% 범위이다. 또한, 신·구콘크리트 사이의 부착강도는 양생 조건에 영향을 받는 것으로 나타난다. 또한, 인장강도 실험자료의 분석으로부터 콘크리트의 휨인장강도를 예측할 때, ACI 363 위원회의 제안식을 적용하는 것이 가장 합리적이라고 사료된다.

**Keywords :** Bond strength, Flexural tensile strength, New concrete, Old concrete

**핵심 용어 :** 부착강도, 휨인장강도, 신콘크리트, 구콘크리트

\* 정회원, 군산대학교 토목공학과 조교수

\*\* 정회원, 우석대학교 토목환경공학과 부교수, 교신저자

\*\*\* 정회원, 우석대학교 토목환경공학과 부교수

E-mail : ihyang@kunsan.ac.kr 063-469-4752

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

신·구콘크리트의 양호한 부착은 구조물의 내구성을 증진시키기 위한 주요한 요소이다. 외부로부터의 유해물질 침투에 대한 저항성은 적절한 부착 특성에 의해 증진될 수 있다. 또한, 프리캐스트 부재 사이의 접합부 및 구콘크리트와 신콘크리트 사이의 시공이음부에서 사용성 저하를 방지하기 위해서 콘크리트 계면에서의 적절한 부착 조건이 요구된다. 또한, 교량 구조물은 시간에 따라 성능이 저하되면서, 최근들어 보수 및 유지관리가 더욱 중요해지고 있다. 대부분의 경우, 교량의 바닥판을 교체하는 것 보다는 보수하는 것이 훨씬 경제적이다. 구조물 보수 또는 교량 바닥판의 확장시 신콘크리트의 성능은 신콘크리트 재료 자체의 특성 뿐만 아니라, 기존의 구콘크리트와 새로 타설되는 신콘크리트의 부착 특성과도 관련이 있다.

이러한 여러 측면에서 구콘크리트와 신콘크리트 계면에서의 부착강도 특성이 필요한 실정이다. 하지만, 현재의 시방서에는 계면의 부착강도 특성 규정은 제시되어 있지 않을 뿐만 아니라, 관련 자료도 미약한 상황이다. 최동욱(1997)은 전단연결재로 연결되는 콘크리트 보와 바닥판의 전단 부착강도에 대하여 실험연구를 수행한 바 있다. 김영진 등(1998)은 합성형 교량에서 프리캐스트 바닥판과 채움재와의 부착강도 특성을 연구하였다. 윤경구 등(2001)은 신구 콘크리트 계면의 부착강도를 증진시키기 위해 라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성에 관한 실험 연구를 수행한 바 있다. 또한, Wall 등(1986)은 쪼갬인장시험과 부착면의 각도를 45°와 60°로 제작한 빔 시편의 휨시험을 통하여 콘크리트와 모르타르 사이 계면에서의 휨부착강도 특성을 연구하였다. Geissert 등(1999)은 신구콘크리트의 동결융해조건에서의 부착강도 특성을 연구한 바 있다. Minoru 등(2001)은 구콘크리트와 새로 타설되는 보수 재료 계면에서의 부착 특성을 연구하였다. 이와 같이 콘크리트와 보수재료와의 부착강도 특성 및 콘크리트와 모르타르와의 부착특성에 관한 연구는 시도되었으나, 신구콘크리트 사이에서의 부착 특성에 관한 연구는 국한되어 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 설계압축강도 40MPa 정도

콘크리트에서 콘크리트와 콘크리트 사이의 부착강도 및 인장강도 특성에 관한 실험 연구를 수행하였다. 이를 위해 구콘크리트와 신콘크리트를 타설하여 제작한 빔 시편 실험을 통하여 신·구콘크리트 계면에서의 부착강도 특성을 연구하였다. 신·구콘크리트 계면 실험 시편의 휨인장 시험에 의해 재령에 따른 부착강도, 일체 타설 콘크리트의 인장강도에 대한 신콘크리트 계면의 부착강도, 습윤양생 및 기건양생 등의 양생 조건에 따른 부착강도 특성을 분석하였다. 또한, 콘크리트의 휨인장강도 실험자료를 통하여 기존 휨인장강도 계산식의 적합성을 평가하였다.

## 2. 휨인장강도 산정 기법

철근콘크리트 구조물에서 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 비해 상대적으로 덜 중요한 인자로 인식되는 경향이 있다. 이는 강도설계법으로 설계되는 콘크리트 부재의 휨저항강도 산정시 콘크리트의 인장강도는 무시되기 때문이다. 휨강도 산정시 인장강도가 무시되는 반면에, 내구성 측면에서 균열을 제어하는 것이 바람직하다. 사용성 한계상태 설계 측면에서 종종 인장강도는 압축강도보다 더욱 중요한 인자이다. 사용성 한계는 구조물의 설계수명동안 구조물의 보수 비용에 영향을 미치기 때문에 점점 중요해지고 있다.

한편, 프리스트레스트 콘크리트 구조물은 시공단계 및 사용하중상태에 대해 허용 응력법으로 설계되며, 콘크리트의 허용압축응력 및 허용인장응력을 모두 고려한다. 또한, 최근 들어 국내에서 프리스트레스트 콘크리트 구조물에 고강도 콘크리트를 적용하려는 연구가 시도되고 있으며, 이는 콘크리트의 인장강도 증가 효과를 이용하려는 의도가 내재되어 있다. 이러한 관점에서 콘크리트의 인장강도는 중요한 의미를 갖는다.

설계기준에는 콘크리트의 부착강도에 관한 규준은 제시되어 있지 않다. 콘크리트의 인장강도를 측정하는 시험방법은 직접 인장시험법과 간접 인장시험법으로 구분된다. 간접 인장시험법 중에서 휨인장시험법이 쪼갬인장시험(splitting tensile test)법보다 많이 적용되고 있다.

콘크리트의 압축강도  $f_{ck}$ 에 의해 휨인장강도  $f_r$ 을 추정하는 여러 가지 예측식이 제안되었으며, 대부분의 제안식은 식(1)과 같은 형식이다.

$$f_r = k(f_{ck})^n \quad (1)$$

우리나라의 콘크리트구조설계기준(2007)에서의 콘크리트 인장강도는 휨인장강도로 제시되어 있으며, 휨인장강도  $f_r$ 과 압축강도  $f_{ck}$ 와의 관계식을 식(2)와 같이 규정하고 있다. 식(2)는 ACI 318 위원회(1995)의 제안식과 동일한 식이다.

$$f_r = 0.62\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (2a)$$

$$f_r = 2.0\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (2b)$$

CEB-FIP MC90(1990)에서는 콘크리트의 휨인장강도를 다음과 같이 규정하고 있다.

$$f_r = \lambda \times \{0.30 (f_{ck})^{2/3}\} \quad (\text{MPa}) \quad (3a)$$

$$f_r = \lambda \times \{0.65 (f_{ck})^{2/3}\} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (3b)$$

여기서,  $\lambda$  = 빔의 크기 보정계수

$$= \frac{1 + 1.5(h_b/h_0)^{0.7}}{1.5(h_b/h_0)^{0.7}}$$

$h_b$  = 빔시편의 높이 (mm)

$h_0$  = 100mm

유럽의 Eurocode2(1992)에서는 콘크리트의 휨인장강도를 다음과 같이 규정하고 있다.

$$f_r = 0.60 (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{MPa}) \quad (4a)$$

$$f_r = 1.28 (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (4b)$$

또한, 일본 토목학회의 콘크리트표준시방서(1996)에서는 콘크리트의 휨인장강도가 다음과 같이 제시되어 있다.

$$f_r = 0.42 (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{MPa}) \quad (5a)$$

$$f_r = 0.90 (f_{ck})^{2/3} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (5b)$$

Carasquillo 등(1981)은 고강도 콘크리트의 인장강도 특성을 반영하기 위하여 식(2)의 계수를 수정하여 식(6)과 같이 휨인장강도 추정식을 제안하였으며, 이 식은 ACI 363 위원회(1984)의 추천식으로 채택되었다.

$$f_r = 0.94\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (6a)$$

$$f_r = 2.97\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (6b)$$

### 3. 실험 내용

#### 3.1 콘크리트 배합

시멘트는 1종시멘트를 사용하였으며, 콘크리트의 배합표는 Table 1과 같다. 구콘크리트와 신콘크리트는 동일한 배합표를 이용하여 제작하였다.

Table 1 콘크리트 배합표(kg/m<sup>3</sup>)

물	시멘트	플라이 애쉬	잔골재	굵은골재
149	309	77	806	992

#### 3.2 시편 제작 및 양생 조건

실험 시편은 Fig. 1과 같이 단면이 15cm×15cm이고 길이가 55cm인 빔 형상으로 제작하였다. 접합 시편의 구콘크리트는 몰드 길이의 절반인 27.5cm에 먼저 타설된다. 신콘크리트와 접하게 되는 구콘크리트

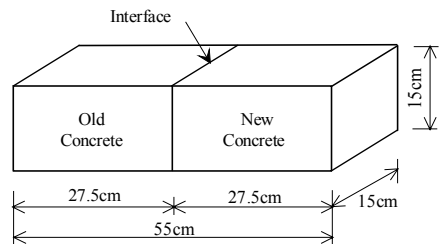


Fig. 1 실험 시편

의 측면에는 철제 거푸집 재질과 유사한 철판을 사용하였다. 구콘크리트 타설후 봉다짐을 실시한다. 구콘크리트는 신콘크리트 타설 1일 전까지 양생포를 덮어 습윤상태를 유지하였다. 구콘크리트 재령 28일에 신콘크리트를 빔 몰드의 나머지 길이 27.5cm에 타설한다. 신콘크리트의 봉다짐 실시후 다시 양생포를 덮어 습윤상태를 유지하였다. 신콘크리트 타설 5일후 몰드를 탈형하였다. 몰드 탈형후에도 일부의 건조상태 조건 시편을 제외한 나머지 시편은 시험일까지 양생포를 덮은 상태에서 습윤상태를 유지하였다. 휨인장강도를 측정하기 위한 일체타설 시편은 신구콘크리트 시편의 구콘크리트 타설일에 제작하였으며, 양생은 신구콘크리트 시편과 동일한 조건에서 수행되었다.

신콘크리트 타설후 각 시편별로 7일, 14일, 21일 및 28일 동안 습윤양생을 한 후에 인장시험을 수행하였다. 또한, 기건 양생에 따른 영향을 파악하기 위한 시편은 24일 동안 습윤상태를 유지한 후 4일 동안 기건상태를 유지하였다. Table 2에 시편의 양생조건을 정리하여 나타내었다.

시편 제작은 몰드 개수의 제약 때문에 한번에 일괄적으로 수행되지 않고 2회 일정으로 나누어 수행되었다. 일정에 따라 수행된 실험을 편의상 A와 B 씨리즈로 표현한다. 씨리즈 A와 B 시편의 실험조건과 실험재령은 동일하다.

### 3.3 부착강도 및 인장강도 시험방법

콘크리트의 부착특성은 크게 인장부착강도, 휨부착

강도 및 전단부착강도로 구분된다. 본 연구에서는 국내 지방서의 휨인장강도 규정을 고려하여 휨부착강도를 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

부착강도 및 인장강도를 측정하기 위하여 휨인장 시험법을 사용하였으며, Fig. 2와 같이 한국산업규격 KSF 2407에 규정되어 있는 중앙점 하중법을 적용하였다. 부착강도 실험계획서에 단면의 파괴면이 지간의 중앙으로 예상되었다. 즉, 최대 휨모멘트단면과 파괴면이 일치할 것으로 예상하여 중앙점 하중법(3점 재하법)을 적용하였다. 또한, 비교목적으로 인장강도시험도 부착강도시험과 동일하게 중앙점 하중법을 적용하였다. 시편을 재하장치에 설치할 때 하중 재하위치가 신·구콘크리트의 계면이 되도록 관리하였다. 빔 시편 제작시의 거푸집 측면이 하중재하면이 되도록 하였다. 부착강도 시험은 신콘크리트의 재령에 따라 7일, 14일, 21일 및 28일에 수행되었으며, 실제 실험 전경을 Fig. 3에 나타내었다.

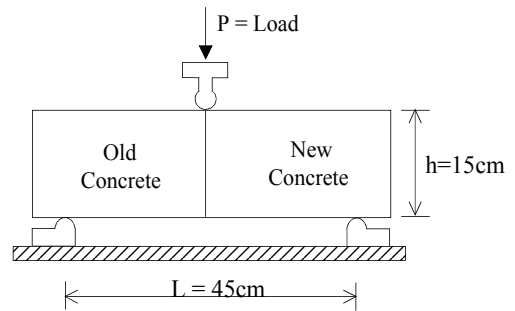


Fig. 2 실험 개요도



Fig. 3 시편 하중재하 실험

Table 2 실험시편의 양생조건

양생조건				구콘크리트 재령 (일)	신콘크리트 재령 (일)
구콘크리트		신콘크리트			
습윤 상태 (일)	기건 상태 (일)	습윤 상태 (일)	기건 상태 (일)		
1~27	27~28	28~35	-	35	7
1~27	27~28	28~42	-	42	14
1~27	27~28	28~49	-	49	21
1~27	27~28	28~56	-	56	28
1~27	27~28	28~52	52~56	56	28

시편의 부착강도 및 휨인장강도는 식(7)을 이용하여 산출하였다.

$$f = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (7)$$

여기서,  $f$ 는 콘크리트의 휨부착강도 또는 휨인장강도이며,  $P$ 는 하중,  $l$ 은 지간의 길이,  $b$ 는 시편 단면의 너비이며,  $h$ 는 시편의 높이이다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 휨인장강도의 실험결과

###### 4.1.1 실험결과 분석

각 시리즈의 재령별 실린더 공시체의 압축강도 시험 결과를 Table 3에 나타내었다. 시리즈 A의 구콘크리트의 28일 압축강도는 35.8MPa를 나타내며, 신콘크리트의 28일 압축강도는 41.0MPa를 나타낸다. 또한, 시리즈 B의 구콘크리트의 28일 압축강도는 42.3MPa를 나타내며, 신콘크리트의 28일 압축강도는 42.7MPa를 나타낸다. 시리즈 A와 B의 신콘크리트의 재령별 압축강도는 유사한 값을 나타낸다.

일체타설 신콘크리트의 재령별 휨인장강도를 Table 4에 정리하여 나타내었다. 중앙점 재하법을 적용할 때 최대 휨모멘트단면과 파괴면이 일치하지 않을 경우, 실제 강도보다 과다평가할 가능성이 있으나, 본 연구

Table 3 콘크리트의 압축강도(MPa)

시리즈	구 콘크리트		신 콘크리트			
	28일	7일	14일	21일	28일	
A	35.8	36.7	37.0	40.9	41.0	
B	42.3	33.7	38.5	41.3	42.7	

Table 4 일체타설 콘크리트의 휨인장강도(MPa)

시리즈	7일		14일		21일		28일	
	시편1	시편2	시편1	시편2	시편1	시편2	시편1	시편2
A	5.9	5.4	5.6	5.8	5.9	5.9	6.2	6.6
B	5.7	5.1	6.3	7.2	6.7	6.2	6.5	6.8
평균	5.5		6.2		6.2		6.5	

의 휨인장강도 실험시에 대부분의 시편은 최대휨모멘트가 발생하는 지간중앙단면에서 파괴면이 발생하였다.

시리즈 A의 신콘크리트의 7일 평균 휨인장강도는 5.6MPa이며, 28일 평균 휨인장강도는 6.4MPa이다.

시리즈 B 신콘크리트의 7일 평균 휨인장강도는 5.4MPa이며, 28일 평균 휨인장강도는 6.6MPa이다. 대부분의 인장강도는 7일 재령에 발현되고 있으며, 시리즈 A와 B의 재령에 따른 휨인장강도는 유사한 값을 나타낸다.

###### 4.1.2 휨인장강도 측정값과 예측값의 비교

일체타설 콘크리트 시편의 휨인장강도 측정값과 기존의 예측식인 식(2), 식(3), 식(4), 식(5) 및 식(6)에 의한 휨인장강도 계산값을 비교하여 Fig. 4와 Table 5에 나타내었다. 측정값에 대한 ACI 318 위원회 계산값의 비  $f_{ACI318}/f_{exp}$ 는 63~68%로 나타난다. 측정값에 대한 ACI 363 위원회 제안식에 대한 휨인장강도 측정값의 비  $f_{ACI363}/f_{exp}$ 는 85~102%이며, 실제 측정값과 유사한 예측값을 나타낸다. 또한, 측정값에 대한 CEB-FIP MC 90 규준에 의한 계산값의 비  $f_{CEB}/f_{exp}$ 는 76~91%이며, Eurocode2에 의한 계산값의 비  $f_{EC2}/f_{exp}$ 는 100~120%를 나타낸다.

일본 콘크리트표준시방서에 의한  $f_{JSCE}/f_{exp}$  비는 70~84%로써, 실제보다 과소평가하고 있다. 비교 대상 규준 중에서 ACI 318 위원회의 제안식에 의한 계산값은 실제 휨인장강도를 제일 과소 평가하고 있는 것으로 나타나며, ACI 363위원회 제안식은 실제의 휨인장강도를 가장 정확하게 예측하는 것으로 평가된다. 이러한 이유는 ACI 318 위원회의 예측식이 주로 압축강도 30MPa 이하의 실험 자료를 사용하여 제안된 반면에, ACI 363 위원회의 예측식은 ACI 318 위원회 예측식의 한계를 극복하기 위하여 압축강도 30MPa 이상의 고강도 콘크리트의 실험자료를 반영하여 제안되었기 때문으로 판단된다.

따라서, 실린더 압축강도에 의해 고강도 콘크리트의 휨인장강도를 예측하는 경우 또는 일반적으로 35MPa

Table 5 인장강도 실험값과 설계기준에 의한 예측값의 비교

씨리즈	재령 (일)	측정값 $f_{exp}$ (MPa)	예측값 (MPa)					$f_{ACI318}$	$f_{ACI363}$	$f_{CEB}$	$f_{EC2}$	$f_{JSCE}$
			ACI 318	ACI 363	CEB-FIP	EC2	JSCE	$f_{exp}$ (%)	$f_{exp}$ (%)	$f_{exp}$ (%)	$f_{exp}$ (%)	$f_{exp}$ (%)
A	7	5.6	3.8	5.7	5.0	6.6	4.6	67.9	101.8	89.3	117.9	82.1
	14	5.7	3.9	5.7	5.0	6.6	4.6	68.4	100.4	87.7	115.8	80.7
	21	5.9	4.0	6.0	5.4	7.1	5.0	67.8	101.7	91.5	120.3	84.7
	28	6.4	4.1	6.0	5.4	7.1	5.0	64.1	93.8	84.4	110.9	78.1
B	7	5.4	3.7	5.5	4.7	6.2	4.4	68.5	101.9	87.0	114.8	81.5
	14	6.8	3.9	5.8	5.2	6.8	4.8	57.4	85.3	76.5	100.0	70.6
	21	6.4	4.1	6.0	5.4	7.1	5.0	64.1	93.8	84.4	110.9	78.1
	28	6.6	4.1	6.1	5.5	7.3	5.1	62.1	92.4	83.3	110.6	77.3

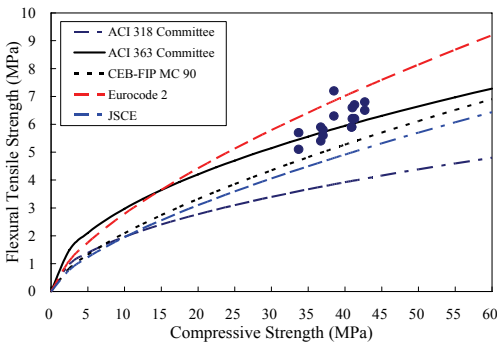


Fig. 4 설계기준에 의한 인장강도 예측

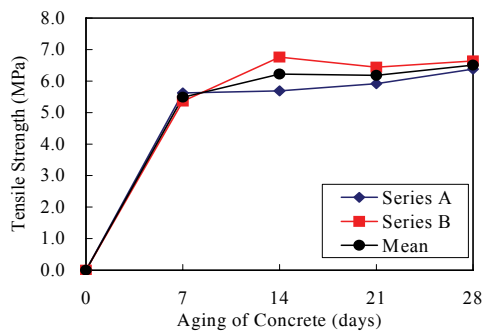


Fig. 5 재령에 따른 휨인장강도

이상의 설계압축강도를 갖는 콘크리트 구조물의 인장강도를 예측할 때, ACI 363 위원회에서 제시한 예측식을 적용하는 것이 합리적이라고 사료된다.

또한, 씨리즈 A와 B의 일체타설 콘크리트의 재령별 휨인장강도 및 평균값을 Fig. 5에 나타내었다. 재령 7일 및 28일의 평균 휨인장강도는 각각 5.5MPa와 6.5MPa이다. 인장강도는 초기 재령 7일 동안 급격히 발현되고 있으며, 28일 인장강도를 기준으로 7일 인장강도는 84%의 강도 발현을 나타내고 있다.

## 4.2 부착강도 실험결과

### 4.2.1 실험결과 분석

부착강도 시험시에 시편의 파괴 형상을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 시편은 콘크리트 부착면에서 파괴가 발생한다. 일부 시편의 파괴면

에서 신콘크리트가 구콘크리트의 표면에 국부적으로 붙어 있는 현상이 관찰되었으며, 대부분 시편의 파괴면은 Fig. 7과 같은 면 상태를 나타내고 있다.

또한, 각 씨리즈별 신규콘크리트의 부착강도의 시험결과를 Table 6에 나타내었다. Table 6에서 별표(\*)로 나타낸 시편은 마지막 양생 4일 동안 기건 양생한 시편을 나타낸다.

신·구콘크리트 계면에서의 부착강도와 일체타설 콘크리트로 제작한 시편의 휨인장강도를 비교하여 Table 7에 나타내었다. 양생기간이 지남에 따라 부착강도와 휨인장강도는 증가하는 경향을 나타낸다. 하지만, 콘크리트 계면의 부착강도는 콘크리트의 휨인장강도에 비해 매우 작게 나타나고 있다. 휨인장강도에 대한 신·구콘크리트 계면의 부착강도의 백분율은 A 씨리즈의 경우 19~27%이며, B 씨리즈의 경우 15~19%이다.



Fig. 6 신구 콘크리트 계면의 파괴양상

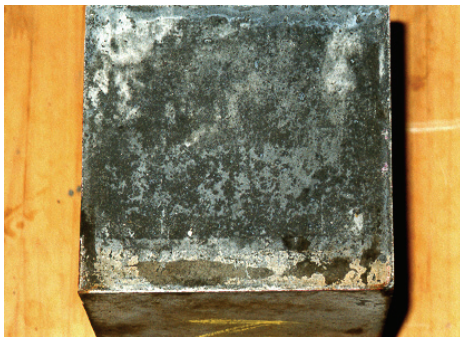


Fig. 7 파괴 표면

실험결과로부터 구콘크리트와 신콘크리트 계면에서의 균열 제어를 위한 강도는 콘크리트의 인장강도가 아니라, 계면에서의 부착파괴가 발생하는 값을 기준으로 산정하는 것이 더욱 합리적이라고 사료된다.

#### 4.2.2 재령의 영향

씨리즈 A와 B의 재령별 부착강도 및 평균값을 Fig. 8에 나타내었다. 부착강도는 시간에 따라 점진적으로 증가하고 있는 것으로 나타난다. 씨리즈 A와 B의 신콘크리트 타설 이후 재령 7일, 14일, 21일 및 28일의 평균부착강도는 0.9MPa, 1.2MPa, 1.3MPa 및 1.5MPa이다.

Geissert 등(1999)은 신콘크리트 타설전에 구콘크리트의 부착면에 모래 분사를 실시하여 계면을 거칠게 한 후 부착강도 실험을 수행하였다. 그들의 실험결과는 2.6~4.3MPa 범위의 부착강도를 나타내며, 평균 부착강도는 3.4MPa를 나타낸다. 본 논문에서는 표면 상태를 가공하지 않은 실험조건에서 부착강도를 고찰

Table 6 신·구 콘크리트 부착강도 실험결과

씨리즈	신콘크리트 재령	부착강도 (MPa)				평균 (MPa)
		시편1	시편2	시편3	시편4	
A	7일	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1
	14일	1.7	1.3	1.0	0.9	1.2
	21일	2.1	1.3	1.7	1.5	1.6
	28일	1.3	1.5	1.6	2.5	1.7
	28일	0.4*	0.3*	0.2*	0.3*	0.3
B	7일	0.4	1.1	0.8	0.8	0.8
	14일	1.1	1.4	1.2	0.9	1.1
	21일	1.1	1.4	0.9	0.6	1.0
	28일	1.2	1.2	1.5	1.2	1.3
	28일	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*	0.1*

Table 7 휨부착강도와 휨인장강도 비교

씨리즈	재령 (일)	휨부착 강도, $f_b$ (MPa)	휨인장 강도, $f_r$ (MPa)	$\frac{f_b}{f_r}$ (%)
A	7	1.1	5.6	19.6
	14	1.2	5.7	21.1
	21	1.6	5.9	27.1
	28	1.7	6.4	26.6
B	7	0.8	5.4	14.8
	14	1.1	6.8	16.2
	21	1.0	6.4	15.6
	28	1.3	6.6	19.7

하였다. 본 연구의 28일 평균부착강도는 1.5MPa로써, Geissert 등의 실험결과보다 작은 값을 나타낸다. 이는 표면의 거칠기가 부착강도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

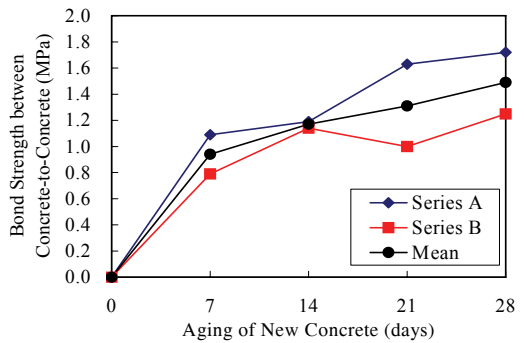


Fig. 8 재령에 따른 부착강도

28일 부착강도를 기준으로 7일 부착강도는 63%, 14일 부착강도는 79%, 21일 부착강도는 88%의 강도 발현을 나타내고 있다. 평균 부착강도는 재령 7일째 60% 이상이 발현되고 있어 초기 재령의 부착강도 발현상태가 28일 부착강도에 영향을 미치는 것으로 나타난다.

#### 4.2.3 건조상태의 영향

양생조건의 차이 즉, 건조상태의 정도가 부착강도에 미치는 영향을 연구하였다. 4개의 시편은 신콘크리트 타설후 28일 동안 습윤상태를 유지한 후 시험을 수행하였으며, 4개의 시편은 신콘크리트 타설후 24일 동안 습윤상태를 유지한 후 4일 동안 기건상태를 유지하였다. Table 8에 비교한 바와 같이 기건 양생 조건의 시편의 실험결과( $f_{b,(24+4)}$ )는 습윤양생 조건의 시편의 실험결과( $f_{b,28}$ )에 비해 매우 작다. 습윤양생 시편의 부착강도에 대한 기건양생 시편 부착강도의 백분율은 A 씨리즈의 경우 약 18%이며, B 씨리즈의 경우 약 8%이다.

본 실험결과는 건조상태의 정도가 인장강도에 매우 큰 영향을 미치고 있는 것을 나타낸다. 부착면의 파괴는 최외측 인장면의 균열발생으로 유발되며, 최외측 인장면은 양생조건에 따라 습도분포 경사에 영향을 받는다. 습윤양생의 경우, 콘크리트 내부와 바깥면의 습도분포 경사는 작으며, 이에 따라 내부와 표면의 부등 건조수축 변형률은 거의 발생하지 않는다. 기건양생의 경우, 콘크리트 표면은 건조상태에 놓이며, 콘크리트 내부와 표면 사이에 습도분포 경사가 유발된다. 이러한 습도경사는 부등건조수축을 유발한다(Neville, 1995). 부등건조수축으로 인해 콘크리트 내부는 압축상태로 놓이고, 표면은 인장상태로 놓이는 자체평형(self-equilibrating)응력 상태가 발생한다. 과도한 부등건조수축현상은 하중 재하 전에 표면에 미세 균열 형태의 초기손상을 유발할 수도 있다. 따라서, 기건양생 시편은 습윤양생 시편보다 더 작은 부착강도를 나타낸다고 사료된다.

본 실험결과로부터, 현장에서 타설되는 콘크리트는 경화시 계면에서의 건조수축량이 적어 양호한 부착을 유지할 수 있는 배합 선정이 필요하다고 판단된다.

Table 8 양생조건에 따른 부착강도 비교

씨리즈	습윤양생 $f_{b,28}$ (MPa)	기건양생 $f_{b,(24+4)}$ (MPa)	$\frac{f_{b,(24+4)}}{f_{b,28}}$ (%)
A	1.7	0.3	17.6
B	1.3	0.1	7.7

또한, 콘크리트 양생시 계면에서의 초기의 급격한 건조수축 현상이 발생하지 않도록 관리해야 한다고 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 콘크리트의 휨부착강도 및 휨인장강도 특성에 관하여 실험연구를 수행하였다. 실험결과는 콘크리트의 휨인장강도에 대한 신구콘크리트의 휨부착강도는 15~27%로써, 휨부착강도는 콘크리트의 휨인장강도에 비해 매우 작게 나타나고 있다. 신·구콘크리트의 계면에서의 사용성을 확보하기 위해서는 인장강도와는 별도로 양호한 부착강도를 확보하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 연구의 실험결과는 부착면을 거칠게 한 기존의 부착실험 연구결과와 비교할 때 작은 것으로 나타나 부착면의 거칠기에 영향을 받는 것으로 사료된다.

기건 양생 조건의 시편의 시험결과는 습윤양생 조건의 시편의 그것에 비해 매우 작게 나타나며, 현장타설 콘크리트는 건조수축량이 적어 양호한 부착을 유지할 수 있는 배합 선정 및 양생관리가 필요하다고 사료된다. 또한, 압축강도에 의해 콘크리트의 휨인장강도를 예측할 때, ACI 318 위원회 제안식에 의한 예측값은 실제 측정값보다 작아 안전측으로 평가되며, ACI 363 위원회의 제안식이 실제의 값을 가장 적절하게 예측하는 것으로 나타난다.

#### 감사의 글

이 논문은 2009학년도 우석대학교 교내학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.



## 참고문헌

1. 김영진, 정철현, 심창수, "프리캐스트 교량 바닥판 이음부 채움재의 부착특성 연구," 콘크리트학회논문집, Vol. 10, No. 1, 1998, pp. 153-160.
2. 윤경구, 이주형, 최상룡, 김기현, "라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성," 콘크리트학회논문집, Vol. 13, No. 5, 2001, pp. 507-515.
3. 최동욱, "신구콘크리트 계면의 진단강도 측정을 위한 정하중 및 피로하중 보 실험," 콘크리트학회논문집, Vol. 9, No. 3, 1997, pp. 137-147.
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2007.
5. 日本土木學會, コンクリト標準示方書, 1996.
6. ACI Committee 363, "State of the Art Report on High-Strength Concrete," ACI Journal, Vol. 81, No. 4, 1984, pp. 364-411.
7. Carrasquillo, R. L., Nilson, A. H. and Slate, F. O., "Properties of High-Strength Concrete Subjected to Short-Term Loads," ACI Journal, Vol. 78, No. 3, 1981, pp. 171-178.
8. CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Comite Euro-International Du Beton (CEB), 1990.
9. Eurocode 2, Part 1 : Design of Concrete Structures, 1992.
10. Geissert, D. G., Li, S. E., Frantz, G. C. and Stephens, J. E., "Splitting Prism Test Method to Evaluate Concrete-to-Concrete Bond Strength," ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3, 1999, pp. 359-366.
11. Minoru, K., Toshiro, K., Yuichi, U. and Keitetsu, R., "Evaluation of Bond Properties in Concrete Repair Materials," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 13, No. 2, 2001, pp. 98-105.
12. Neville, A. M. Properties of Concrete, Longman, London, 1995, pp. 438-443.
13. Wall, J. S., Shrive, N. G. and Gamble, B. R., "Testing of Bond Between Fresh and Hardened Concrete," Proceedings of RILEM Symposium on Adhesion Polymers and Concrete, Aix-en-Provence, France, Champman and Hall Ltd., London, 1986, pp. 335-344.
14. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1995.

(접수일자 : 2008년 10월 7일)

(심사완료일자 : 2009년 3월 26일)