

# 고강도 콘크리트 원주형 공시체의 압축강도 시험을 위한 Unbonded Cap의 사용

## Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength for High Strength Concrete Cylinders

심재원\* 박성기\* 안태송\*\*  
Shim, Jae Won Park, Sung Ki Ahn, Tae Song

### ABSTRACT

The effect of unbonded capping system on high strength concrete(400~600kgf/cm<sup>2</sup>), with respect to both  $\phi 10 \times 20$  and  $\phi 15 \times 30$ cm specimens, has been investigated in accordance with ASTM C 1231 and our procedures based on the existing studies.

Tests show that the ratios of test results obtained using unbonded cap to grinding system are 1.02 in both cylinder sizes. Also, based on the results of  $\phi 10 \times 20$ cm specimens using unbonded cap and  $\phi 15 \times 30$ cm specimens using grinding system, it has been proposed that the use of the former has to spread throughout whole laboratories in field.

### 1. 서언

콘크리트의 물성에 대한 지속적인 품질관리를 위해 사용하고 있는 압축강도시험은 시험의 정도를 높이기 위해 단부를 평평하게 마무리하거나, 캐핑을 하게 된다. 국내의 경우는 KS F 2403의 "4.4 공시체의 윗면 마무리"항에 언급되고, 미국의 경우 ASTM C 617에 규정되어 있으나, 이 방법들은 다소 위험하기도하고 시험의 정도가 떨어지거나, 시간이 걸리는 등의 단점이 있어 미국이나 호주 등지에서는 Capping 작업 생력의 대안으로 ASTM C 1231<sup>2)</sup>과 AS 1012.9<sup>6)</sup>에 unbonded capping 방법을 규정하여 기존의 경우와 동일한 압축강도시험 결과를 얻도록 하고 있다.

ASTM C 1231에 unbonded capping 방법<sup>2)</sup>이나 일본의 실험적 연구<sup>6)</sup> 등은 cap 내경(內徑)과 고무패드 물성규정이 없고, 경도별 강도범위가 모호( $\phi 10 \times 20$ cm 공시체에 대해서 10~65 N/mm<sup>2</sup> 로만 구분)하여 정확한 결과를 얻을 수 없다는 문제점을 안고 있어 이에 대한 기연구 결과<sup>12)</sup>를 발표한 바있다.

따라서, 본 稿에서는 unbonded capping의 도입에 앞서 강도를 변수로하는 시험의 일환으로, 上記의 문제점 해결을 위해 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 원주형 공시체에 대해 연마와 unbonded cap에 따른 콘크리트의 압축강도시험을 실시한 결과와 관련사항을 소개하고자 한다.

### 2. Unbonded Capping 개요

시험중에 고무패드가 변형되어, 供試體面의 凹凸을 매우고, 荷重을 균일하게 하는 것으로, 고무패드의 수평변형을 cap으로 구속하므로<sup>4)</sup>, 수평력을 억제하여 시험을 실시하도록 고안한 것이다(그림1).

\* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

\*\* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실장

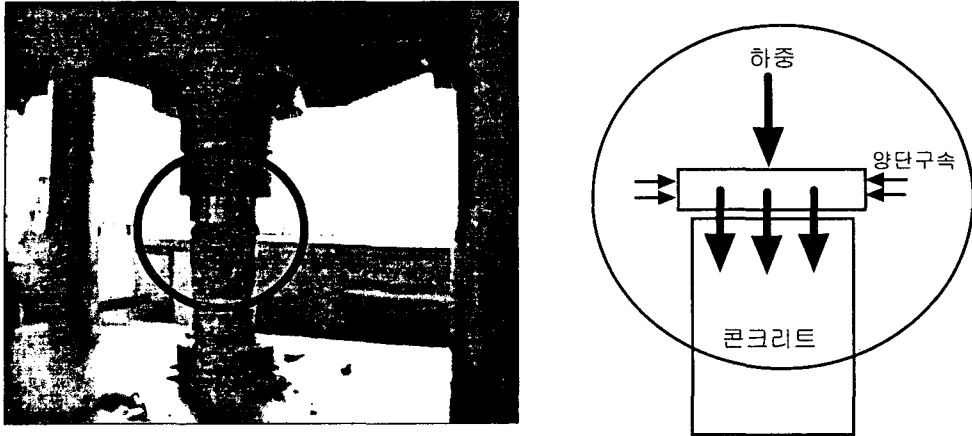


그림 1 Unbonded cap을 사용한 압축강도시험 전경과 개념도

캐핑기법은 적절한 재료를 사용한 경우에는 강도상에 나쁜 영향을 미치지 않고, 캐핑하지 않은 공시체에 비해 분산도 줄어들게 된다. 이상적인 캐핑재료는 공시체와 같은 강도와 탄성계수를 가지는 재료이다.<sup>1)</sup> 또한 전단파괴의 경향도 없어야 하고, 공시체 단면에 대해 균일한 응력분포를 가져야 한다. 물론, unbonded capping에 사용되는 고무패드는 콘크리트와 전혀 다른 개념의 강도와 탄성계수를 갖고 있으므로 위의 조건에 위배되지만 고무패드의 수평변형을 강제 cap으로 구속하므로, 적절한 정도의 고무패드를 사용하면 요철을 메워주어 전단파괴를 피할 수 있음과 동시에 기존 캐핑과 유사한 응력전달의 효과도 보이게 된다. 기존 캐핑방법과 unbonded capping 방법을 간단히 비교하면 표1과 같다.

표 1 기존 캐핑과 Unbonded Capping의 비교

구분	단점	장점	비교
기존 캐핑	시멘트 페이스트 · 공시체 제작 2~4시간 후 수행 · 결과의 분산이 큼	· 재료 조달 용이 · 강도 및 탄성계수 유사	KS F 2403 또는 ASTM C 617
	유황물탈 · 유독 가스 발생 · 지그 필요/습윤양생 필요 · 강도상 주의 필요	· 5회까지 재사용 가능 · 시험직전 적용가능	
	연마 · 소정의 연마시간 필요	· 정도 높은 시험값 도출 가능	
Unbonded Capping	· 저강도/고강도 사용시 주의요 · 급작파괴시 파손 가능	· 시험시 즉시 사용가능/편리 · 결과의 분산이 적음	ASTM 1231-93

### 3. 실험개요

본 실험은 기실험 결과<sup>12)</sup>로 정해진 고무패드의 정도에 따른 400~600kgf/cm<sup>2</sup>의 압축강도범위에 대한 적용성을 검증하기 위해, 45일 이상의 기간동안 30개 이상의 연속 강도시험을 행하는 품질관리 (ACI 318-99)규정을 따라 기존 capping 방법중 정도가 가장 높은 연마기법과 unbonded capping 기법을 비교하는 것으로 하였다.

고무는 기실험에서 사용하였던 클로로프렌(Chloroprene or Neoprene) 고무로 國內의 基準(KS 한국 산업규격)으로 그 사용성을 검토하였고, 압축강도는 unbonded capping의 경우는 ASTM C 1231의 규

격을 기준으로, 기존 capping의 경우는 KS F 2405를 따라  $\phi 10 \times 20$  및  $\phi 15 \times 30$ cm 원주형 공시체에 대해 실험을 수행하였다.<sup>6,7)</sup>

실험결과를 통해, 편심의 영향을 덜받기 때문에 현장 공시체의 주종이된  $\phi 15 \times 30$ cm 원주형 공시체와 고무패드를 사용한  $\phi 10 \times 20$  원주형 공시체의 압축강도 관계를 파악하기 위하여  $\phi 15 \times 30$ cm 원주형 공시체에 대해서도 추가적인 실험을 실시하였다.

### 3.1 사용재료

시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트(비중 3.15), 굵은골재는 콘크리트 종류별로 최대치수가 19mm인 쇄석골재(비중 2.69), 잔골재(비중 2.61)는 세척사를 사용하였다. 혼화제는 콘크리트 종류별로 AE감수제와 유동화제를 사용하였는데, 필요에 따라 공기연행제를 첨가하여 공기량을 확보하였다.<sup>9)</sup>

### 3.2 실험변수 및 콘크리트 종류별 배합비

본 실험에서는 콘크리트의 고강도( $400\text{kgf/cm}^2$ 이상) 콘크리트를 다음의 배합으로 수회의 시험배합을 통해 slump 및 공기량을 확보하고, 목표한 강도를 기대할 수 있는 配合比 범위를 설정하였다.<sup>13)</sup>

표 1 시험에 사용한 콘크리트별 배합표

설계 기준 강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	골재 최대 치수 (mm)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	S/a (%)	S (kg)	G (kg)	AE 감수제 (C×%)	유동 화제 (C×%)	비고
400	19	168	420	40	43	733	1005	0.2	0.2	고강도콘크리트(목표강도:450)

### 3.3 Unbonded capping用 시험기구

Steel cap은 재질을 KS D 3752에 제시된 기계 구조용 炭素鋼(SM 45 C)을 아연도금한 것으로 하여, 시험기와 접촉면의 평면도가 0.02mm 이내로 연마된 것을 사용하였다(그림2,3).<sup>2)</sup> Cap 내경은 기연구 결과를 참고하여, 고무패드의 삽입이 쉽도록 103mm와 153mm로 하고, 고무패드는 클로로프렌 고무(반발탄성은  $53 \pm 3\%$ , 밀도는  $1.40 \pm 0.03\text{g/cm}^3$ )로 직경 102mm, 두께 10mm, KS M 6784에 의한 경도는 고강도용인 A 70/5를 사용하였다(표2, 그림4). 여기서, 고무경도는 A 70/5 등과 같이 표시하는데, 이는 Shore A 경도계를 이용하여 가압면을 시료에 접촉시키고 5초 후의 지침이 70이 되는 것을 나타낸다.<sup>10)</sup>

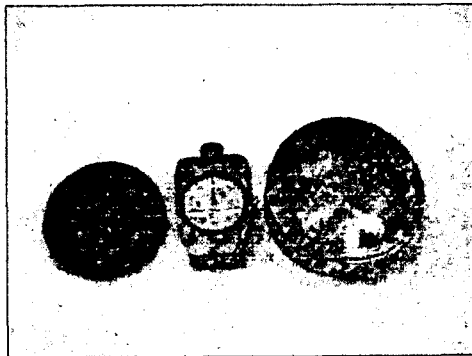


그림 2 고무패드, 경도계 및 강재

시험항목	패드종류		비고
	$\phi 10 \times 20$ cm용	$\phi 15 \times 30$ cm용	
인장강도	192	183	
신장율	280	280	
경도	70	70	at 21°C
비중	1.389	1.385	

표 2 고무패드의 경도와 기타 물성값

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 Unbonded capping과 Grinding $\phi 10 \times 20$ 공시체의 강도비교

목표강도를  $450\text{kgf/cm}^2$ 으로 하여 KS F 2403을 따라  $\phi 10 \times 20$ cm 공시체를 월별로 제작하고, 5개월 간 연속 30개의 공시체를 28일 강도에 대해 unbonded capping과 연마 공시체의 압축강도를 비교하였

고, 강도비±0.02를 기준으로 信頼性을 평가하였다.<sup>2)</sup>

실험결과를 정리한 표3 및 그림3에서처럼 unbonded capping system 쪽이 이산의 경향이 적고, 정도가 높은 것으로 나타났으며, 기연구에서 추론하였던 정도별 강도범위를 구별할 필요가 있음을 재차 확인할 수 있었다. 또한, 이론적으로 강도의 감소를 보여야 하는 경우임에도 unbonded capping 공시체의 경우가 상향의 값을 보이는 것을 기연구 결과에서는 capping면의 낮은 정도(>>0.05mm)에 따른 국부편심으로 예상하였는데, 편심이 적은 grinding system에서도 unbonded capping 쪽이 2% 상향으로 나타난 것은 cap의 size 효과로 사료된다.<sup>3),4)</sup>

표 3 기존 capping(시멘트 몰탈 캐핑)과 Unbonded Capping 공시체의 강도비교

	기존결과		400kg/cm <sup>2</sup> 이상		비고
	#3(고강도용)	#6(저강도용)	φ 10×20용	φ 15×30용	
압축강도 및 s (기준)	334	358	472	436	*400kg/cm <sup>2</sup> 의 경우, 동일 배치에 대해 30회 실험 실시
	-	-	47.8	54.4	
압축강도 및 s (Cap)	379	370	481	443	*1종 콘크리트(270kg/cm <sup>2</sup> )의 경우, 변수별 각 10회 실험 실시
	-	-	39.7	38.3	
강도비	1.13	1.03	1.02	1.02	
Shore A 경도값	70	60	70	70	

주) 강도비는 Unbonded Capping 강도값 / 기준강도값으로 계산된 값이고, s는 표준편차이다.

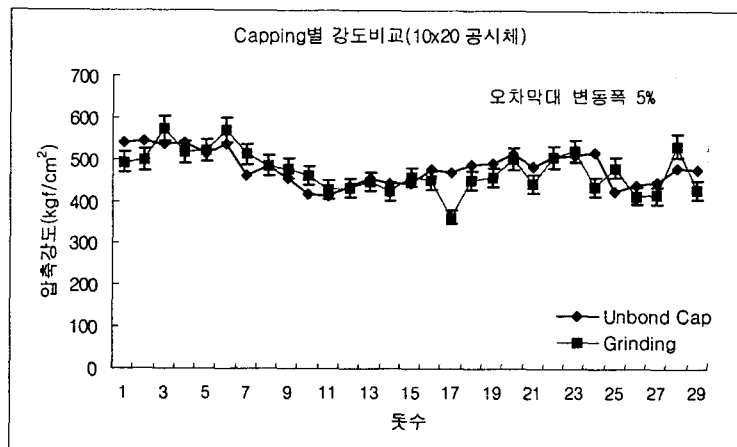


그림 3 capping별 강도비교(φ 10×20)

#### 4.2 Unbonded capping과 Grinding φ 15×30 공시체의 강도비교

상기와 같은 배합으로 φ15×30cm 공시체를 제작하고, 동일한 방법으로 압축강도시험을 수행하여, 강도비±0.02를 기준으로 信頼性을 평가하였다.<sup>2)</sup>

그림 4에서처럼 강도의 편차가 φ10×20 공시체와는 달리 5%의 오차범위를 다소 벗어나는 것은 표준편차의 변화가 거의 없는 unbonded capping system(표준편차 38.3)에 비해, 54.4로 증가한 grinding system 쪽이 원인이며, 이것은 늘어난 지름에 비해 고정된 cap의 깊이의 원인으로 사료된다.<sup>3),4)</sup> 본 연구에서는 φ10×20 공시체용 cap을 사용하는 것을 주로하여 φ15×30 공시체용 cap에 대해서는 기존의 문헌에 전적으로 의존하였기 때문에 φ15×30 공시체용 cap의 size 효과로 사료된다.

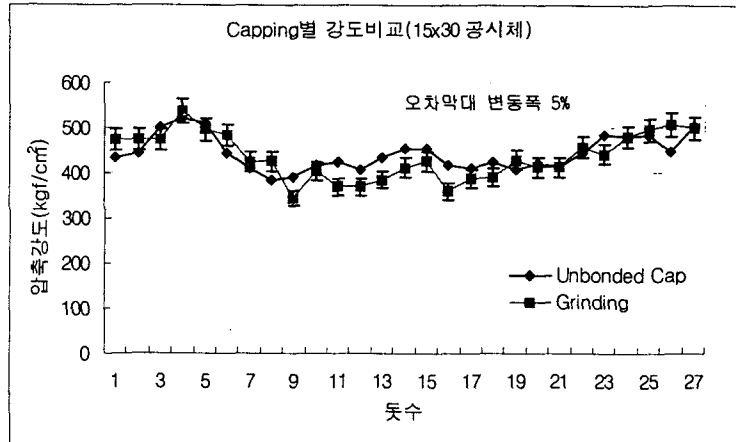


그림 4 capping별 강도비교(φ 15×30)

#### 4.3 Unbonded capping φ 10×20 공시체와 Grinding φ 15×30 공시체의 강도비교

위의 두 가지 공시체에 대한 실험결과로부터 공시체 크기(φ 10×20과 φ 15×30cm)에 따른 압축강도 결과에 일정한 경향을 얻을 수 있었으며, 이를 바탕으로 unbonded capping한 φ 10×20cm 공시체와 연마한 φ 15×30cm 공시체를 사용하여 얻은 실험결과를 추정하여 이에 대한 신뢰성을 검토하였다. 이는 현장에서 사용하고 있는 φ 15×30cm 공시체가 제조 및 취급의 어려움과 실험결과의 신뢰성이 떨어짐으로 인해 발생하는 문제점을 φ 10×20cm 공시체로 대체 사용함으로써 해결하고자 하는 것이다.

실험결과에서 알 수 있듯이 연마한 φ 15×30cm 공시체의 압축강도는 unbonded capping한 φ 10×20cm 공시체의 압축강도의 약 90%인 것으로 나타났으며, 이를 바탕으로 unbonded capping한 φ 10×20cm 공시체의 압축강도 결과로부터 추정된 값과 연마한 φ 15×30cm 공시체의 실험결과를 두 값의 차이를 분산분석을 통해 검토하였으며, 결과를 표 4에 나타내었다. 분산분석 결과 두 값의 차이는 없는 것으로 나타났으며, 이러한 결과로부터 φ 10×20cm 실험으로부터 φ 15×30cm에 의한 결과를 추정하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

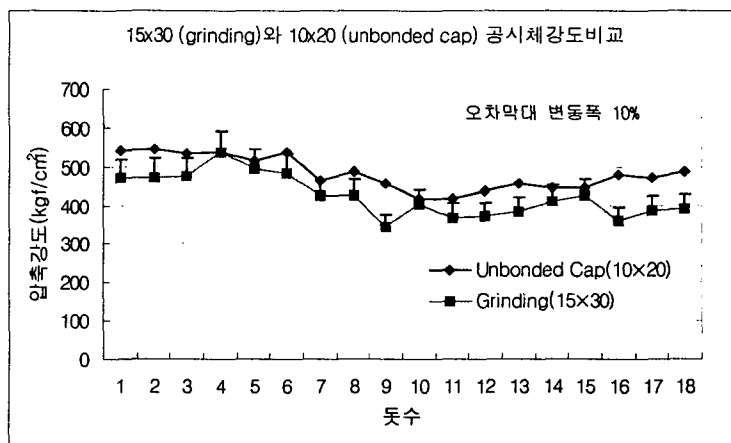


그림 5 공시체 size와 capping방법별 강도비교

표 4 ANOVA Table

변동의 요인	제곱합	자유도	제곱평균	F-비	P-value	F 기각치
처리	8.977	1	8.977	<b>0.00424</b>	0.948	<b>4.0517</b>
잔차	97400.93	46	2117.41			
계	97409.9	47				

## 5. 결론

Grinding 및 Unbonded capping system을 사용하여 고강도 콘크리트의 압축강도시험을 수행하여 얻어진 성과를 소개하면 아래와 같다.

- 1) Grinding과 unbonded capping system을 비교하는 30번의 연속시험결과, 400~600 kgf/cm<sup>2</sup> 범위의 품질관리용 압축강도 공시체에 대해서도 고무패드의 사용이 적절하다(강도비 1.02).
- 2)  $\phi 15 \times 30$  공시체에서 5% 이상의 오차가 증가하는 것과 grinding system보다 unbonded system의 결과가 상향으로 나타나는 것으로 부터 강도의 정도를 결정하는 것은 cap의 size와 고무패드와 cap의 내경간의 차이임을 재검증할 수 있었다.
- 3) Unbonded capping을 사용하는 경우,  $\phi 15 \times 30$  공시체를 굳이 사용하지 않고도 정도 높은 압축강도시험결과를 얻을 수 있어 시공현장 시험에 간편성을 유도할 수 있다.
- 4) 새로운 고무패드를 cap에 挿入할 때 cap과 고무패드의 사이에 공기가 남지 않도록 2~3회 선재하하던 15 ton의 하중을 5ton으로 조정하여도 실험이 가능하다.

## 참 고 문 헌

1. A.M. Neville, "Properties of Concrete(Fourth Edition)", Longman, pp. 584~589, 1995.
2. ASTM C 1231-93, "Standard Practice for Unbonded Caps Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders".
3. P.M. Carrasquillo & R.L. Carrasquillo : Effect of Using Unbonded Capping Systems on the Compressive Strength of Concrete Cylinders, ACI Materials Journal, pp. 141-147, May/June, 1988.
4. Sidney Mindess & J. Francis Young, "Concrete", Prentice-Hall, pp. 415~425, 1981.
5. Wilasa Vichit-Vadakan, Nicholas J. Carino & Gary M. Mullings, "Effect of Elastic Modulus of Capping Material on Measured Strength of High-Strength Concrete Cylinders", Cement, Concrete & Aggregate, ASTM, 1998.
6. 吉兼 亨, 鈴木一雄, 寺石文雄, 平井涉, "アンホンド キャッピングによる コンクリートの 壓縮強度 試験に 關する 研究", 日本 コンクリート 工學論文集, 第 9卷 第 2号, 1998年 7月, pp. 79-90.
7. "가황 고무 물리 시험 방법", KS M 6518, 한국산업규격, 1996.
8. "가황고무 및 열가소성 고무의 경도시험방법", KS M 6784, 한국산업규격, 1996.
9. "건설공사 품질시험 편람", 한국도로공사, 1998.
10. "건설기술관리 법규집(1999)", 한국도로공사, 1999.
11. "기계 구조용 탄소 강재", KS D 3752, 한국산업규격, 1986.
12. 심재원, 안태송, "콘크리트 원주형 공시체의 압축강도시험을 위한 Unbonded Cap의 사용", 한국콘크리트 학회 가을 학술발표회, 2000.
13. 안태송, 이병덕, 심재원, "콘크리트 용도별 최적배합을 위한 연구", 도로연구소, 1999.
14. "콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법", KS F 2403, 한국산업규격, 1990.
15. "콘크리트의 압축강도 시험방법" KS F 2405, 한국산업규격, 1967.