

# 콘크리트 원주형 공시체의 압축강도 시험을 위한 Unbonded Cap의 사용

## Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

심재원\*                      안태송\*\*  
Shim, Jae Won              Ahn, Tae Song

### ABSTRACT

To save efforts for capping in the compressive strength tests of concrete, unbonded capping system has been standardized by ASTM C 1231 and AS 1012.9, respectively. These standards, however, do not sufficiently give a full detail of accessories such as steel retaining cap and rubber pad, especially hardness of rubber. Hence, without testing for sizes of steel retaining cap and rubber pad, tests for the quality control of rubber pads were conducted in detail according to Japanese studies. Based on tests, the range of hardness for rubber pad by the compressive strength (200~400 kgf/cm<sup>2</sup>) of concrete has been proposed and the guideline of reuses of a rubber pad is described.

### 1. 서언

한국도로공사는 지난 5년(1995~1996年)간, 1천만 m<sup>3</sup>의 콘크리트를 시공하였고, 향후 4년간 約 1천만 m<sup>3</sup>에 달하는 물량을 소화해야하는 실정이다. 이에 대한 품질관리를 위해, 150m<sup>3</sup> 당 1회의 比率로 6個의 공시체(供試體)를 제작하도록 규정하고 있다.<sup>1)</sup> 따라서, 現場에서 1년간 제작하는 공시체의 수는 대략 100,000개에 달하며, 1주일당 2~3회의 비율로, 1組(3개)에서 數組의 압축강도시험용 공시체를 제작·시험하는 것을 감안할 때, 사업소 당 시험하는 日平均 공시체의 수가 20개이고, 많은 경우는 40~50개에 달하는 것으로 나타났다. 또한, capping 작업을 위해 공구별로 인력을 상주(常住)시키고 있어 인력절감방안이 절실한 것으로 사료된다.

Capping 작업의 인력절감방안으로는 ASTM C 1231에 unbonded capping 방법<sup>2)</sup>이 제정되어있고, 일본에서도 이에 대한 실험적 연구<sup>3)</sup>가 수행된 바 있다. 이 방법은 capping하지 않은 공시체를 고무패드를 삽입한 cap을 씌우는 것만으로 연마나 cement paste capping 등을 실시한 경우와 동일한 압축강도 결과를 얻는 방법이다. 그러나, ASTM 규정에는 cap 내경(內徑)과 고무패드 품질관리방법에 대한 細目이 없어 정확한 결과를 얻을 수 없다는 문제점을 안고 있고, 일본문헌에는 고무패드의 適用 強度範

\* 정회원. 한국도로공사 도로연구소 연구원

\*\* 정회원. 한국도로공사 도로연구소 재료연구실장

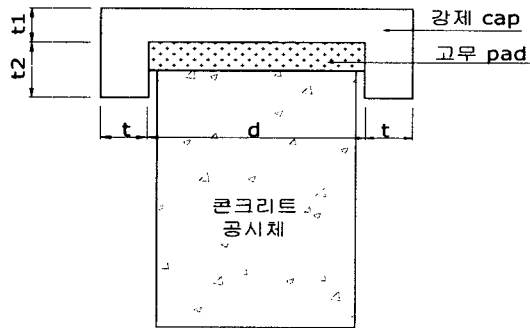
圍를  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체에 대해서  $10 \sim 65 \text{ N/mm}^2$  ( $100 \sim 650 \text{ kgf/cm}^2$ )로만 구분하여, ASTM 규정에서 도 언급한 경도별 강도저하를 고려한 고무경도별 압축강도 적용범위의 구분이 자세하지 못하다.

따라서, 본 稿에서는 unbonded capping의 도입에 앞서, 上記의 문제점 해결을 위해 cement paste capping과 unbonded capping에 따른 콘크리트의 압축강도시험을 각각 실시한 결과와 관련사항을 소개하고자 한다.

## 2. Unbonded Capping 개요

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

이 방법은 1986년에 AASHTO T 22 및 AS 1012.9에 규격화 되었고, Carrasquillo 등의 연구<sup>5)</sup>를 거쳐, 1993년에 ASTM C 1231에 규정되어, 호주나 미국 등에서는 이 방법이 콘크리트의 압축강도시험으로 통상 사용되고 있다. 또한, 일본에서도 비교적 고강도의 콘크리트에 대한 연구 및 레디믹스트 콘크리트에 대한 연구가 있으며, 이를 기초로 시험방법을 정하고, 일부에서는 종전 capping 방법과의 비교실험도 실시하였다.<sup>3)</sup>



- d : 공시체 직경의 102~107%      t : 11mm 이상
- t1 : 고무 Pad 두께의 0.9배      t2 : 고무 Pad 두께의 2배
- ※ ASTM의 고무 Pad의 두께규정은  $13 \pm 2\text{mm}$  이다.

그림 1 Unbonded capping의 개념

## 3. 실험개요

본 실험은 고무패드의 物性, 壓縮強度의 적용범위, 특히,  $200 \sim 400 \text{ kgf/cm}^2$  範圍에 대한 고무패드의 적정 경도범위(硬度範圍)에 대한 결정을 목적으로 하였다. 이들 특성은 獨立的인 것이 아니지만, 과다 실험을 피하기 위해 기존의 文獻<sup>3)</sup>을 참고한 예비실험을 통해 범위를 좁힌 후, 고무패드에 대한 실험과 압축강도 적용범위에 대한 실험을 병행하여 적정한 고무의 特性을 결정하였다.

고무는 國內에서 제조가 쉽고, 관리가 간편한 클로로프렌(Chloroprene or Neoprene) 고무로 한정시켰다. 고무패드의 경우는 國內의 基準(KS 한국산업규격)으로 그 사용성을 검토하였고, 압축강도는 unbonded capping의 경우는 ASTM C 1231의 규격을 기준으로, 기존 capping의 경우는 KS F 2405를 따라  $\phi 10 \times 20$  원주형 공시체에 대해 실험을 수행하였다.<sup>6,7)</sup>

실험결과를 통해 1종 및 2종 콘크리트(도로공사목적별 분류 기준)에 대한 고무패드의 경도 범위를 구할 수 있었으나 콘크리트의 압축강도 특성은 경향을 파악하는 정도로 만족해야 했다. 또한, 편심의 영향을 덜받기 때문에 현장 공시체의 주종이된  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  원주형 공시체와 고무패드를 사용한  $\phi 10 \times 20$  원주형 공시체의 압축강도 관계를 파악하기 위하여 추가적인 실험이 진행중에 있다.

### 3.1 사용재료

시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트(비중 3.15), 굵은골재는 콘크리트 종류별로 최대치수가 25mm, 32mm인 쇄석골재(비중 2.69), 잔골재(비중 2.61)는 세척사를 사용하였다. 혼화제는 콘크리트 종류별로 AE감수제와 유동화제를 사용하였는데, 필요에 따라 공기연행제를 첨가하여 공기량을 확보하였다.<sup>8)</sup>

### 3.2 실험변수 및 콘크리트 종류별 배합비

본 실험에서는 콘크리트의 용도별로 1종과 2종 콘크리트를 다음의 배합으로 수회의 시험배합을 통해 slump 및 공기량을 확보하고, 목표한 강도를 기대할 수 있는的配合比 범위를 설정하였다.<sup>9)</sup>

표 1 시험에 사용한 콘크리트별 배합표

설계 기준 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	골재 최대 치수 (mm)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	S/a (%)	S (kg)	G (kg)	AE 감수제 (C×%)	유동 화제 (C×%)	비고
270	25	152	330	46	44	801	1020	0.20	0.35	1종 콘크리트(목표강도: 300)
240	32	157	320	49	40	721	1094	0.25	-	2종 콘크리트(목표강도: 270)

### 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 공시체 직경과 cap 내경의 차이가 클수록 시험값이 기준강도보다 작은 값이 되는 일본문헌<sup>3)</sup>을 참고하여, 고무패드의 삽입이 쉽도록 103 mm로 하고, 고무패드는 앞서 언급하였던 클로로프렌 고무(반발탄성은 53±3%, 밀도는 1.40±0.03g/cm<sup>3</sup>)로 직경 102mm, 두께 10mm, KS M 6518에 의한 경도를 A 55/5, A 60/5, A 65/5, A 70/5 및 A 75/5, 인장강도의 변화를 준 것 8종을 사용하였다(표2, 그림4). 여기서, 고무경도는 A 60/5 등과 같이 표시하는데, 이는 Shore A 경도계를 이용하여 가압면을 시료에 접촉시키고 5초 후의 지침이 60이 되는 것을 나타낸다.<sup>10)</sup>

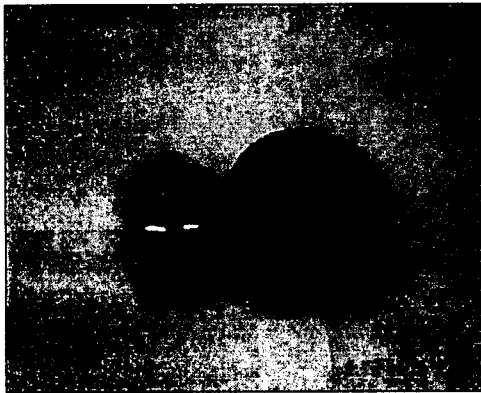


그림 2 Unbonded Set과 경도계

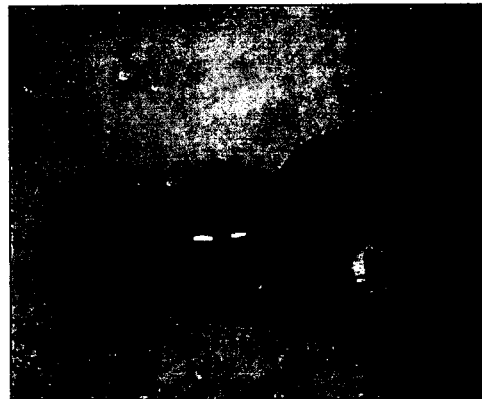


그림 3 고무패드, Cap 및 경도계

표 2 고무패드의 경도와 기타 물성값

고무패드종류 시험항목	1	2	3	4	5	6	7	8	비고
인장강도	192	174	192	162	161	170	160	204	21℃, 60%
신장율	200	210	280	280	290	340	450	260	21℃, 60%
경도	77	72	67	65	63	62	57	62	21℃, 60%
비중	1.420	1.401	1.389	1.362	1.382	1.418	1.416	1.261	21℃, 60%

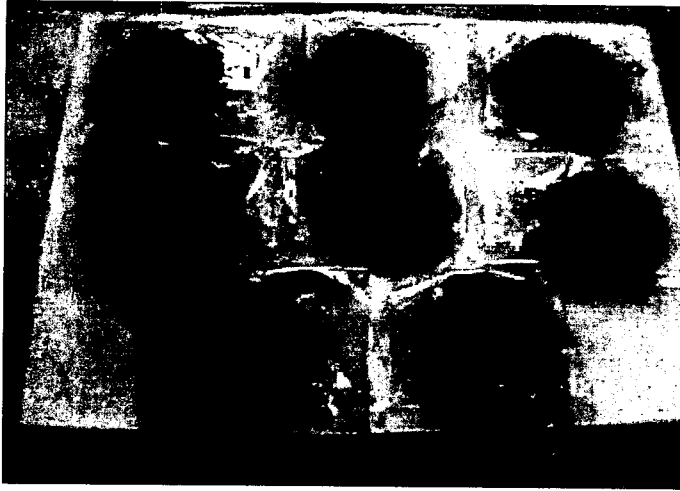


그림 4 Unbonded Capping용 고무패드 8종

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 Unbonded capping용 고무패드의 경도범위 결정을 위한 실험결과 및 고찰

硬度範圍의 결정을 위하여, 1종 콘크리트에 대해 목표강도  $300\text{kgf/cm}^2$ , 2종 콘크리트에 대해  $270\text{kgf/cm}^2$ 로 하여 KS F 2403을 따라  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체를 고무패드별로 10개를 제작하고, unbonded와 기존 capping 공시체의 압축강도를 비교하였고, 강도비  $\pm 0.02$ 를 기준으로 信頼性을 평가하였다.<sup>2)</sup>

2종 콘크리트 공시체를 실험하는 과정에서 #8 고무패드(비중  $1.261\text{g/cm}^3$ )가 실험중에 계속 cap에 물리는 현상을 보여 1종 콘크리트 공시체를 실험할 때는 #8을 제외하였다. 또한, 새로운 고무패드를 cap에 삽입할 때, 고무패드와 공시체 사이에 공기가 남지 않도록 15ton 정도의 하중을 시험전에 2~3회 재하하는 것이 바람직하다. 표3과 4에 나타낸 결과를 토대로 경도값 60/5, 신율 400 정도의 고무패드가  $200 \sim 400\text{kgf/cm}^2$  범위의 압축강도 공시체에 대해 적절함을 알 수 있었고, 이론적으로 강도의 감소를 보여야 하는 경우임에도 unbonded capping 공시체의 경우가 5~18% 상향의 값을 보이는 것은 cement paste capping의 정도가 낮아 발생한 局部偏心 효과로 사료된다.<sup>4)</sup> 따라서, 보다 엄밀한 실험으로 이에 대한 검증은 실시해야 하고, 現場適用을 위해서는  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  원주형 공시체의 경우도 검증을 병행하여야 할 것으로 사료된다.

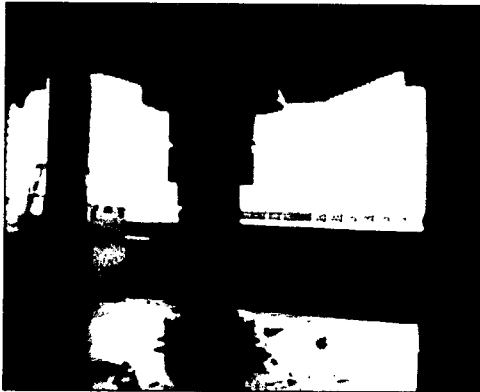


그림 5 Unbonded Capping 압축강도시험

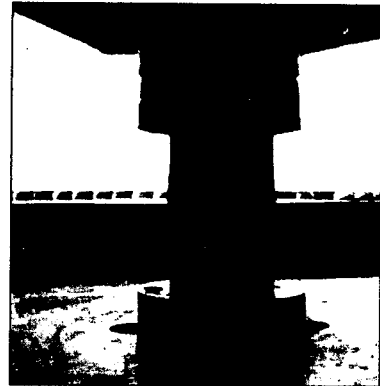


그림 6 기존 Capping 압축강도 시험

표 3 기존 capping 공시체에 대한 Unbonded Capping 공시체의 강도비교 (2종 콘크리트용 경도범위)

구분 \ 고무패드종류	1	2	3	4	5	6	7	8	비고
기존 Capping	254	252	258	262	253	268	265	252	* 재령 14일 * 2종콘크리트(240kgf/cm <sup>2</sup> ) * 변수별 각 10회 실험 실시 * #8패드 시험중 계속 물림으로 실험 불가
Unbonded Capping	297	294	286	301	289	281	276	280	
강도비	1.17	1.16	1.15	1.15	1.14	1.05	1.04	1.11	
Shore A 경도값	77	72	67	65	63	62	57	62	
인장강도	192	174	192	162	161	170	160	204	
신장율	200	210	280	280	290	340	450	260	

주) 강도비는 Unbonded Capping 강도값 / 기존강도값으로 계산된 값이다.

표 4 기존 capping 공시체에 대한 Unbonded Capping 공시체의 강도비교 (1종 콘크리트용 경도범위)

구분 \ 고무패드종류	1	2	3	4	5	6	7	8	비고
기존 Capping	340	346	334	304	351	358	357	-	* 재령 28일 * 1종콘크리트(270kgf/cm <sup>2</sup> ) * 변수별 각 10회 실험 실시 * #8패드 시험중 계속 물림으로 실험 불가
Unbonded Capping	397	405	379	345	372	370	364	-	
강도비	1.17	1.17	1.13	1.13	1.06	1.03	1.02	-	
Shore A 경도값	77	72	67	65	63	62	57	-	
인장강도	192	174	192	162	161	170	160	-	
신장율	200	210	280	280	290	340	450	-	

주) 강도비는 Unbonded Capping 강도값 / 기존강도값으로 계산된 값이다.

표 5 #6과 #7 고무패드를 사용한 압축강도 추가 시험결과 비교

	CAP	No-cap(#7)	Cap	No-cap(#6)	비고
시험회수 100회	305	298	324	343	* 재령 28, 1종 콘크리트 기준
강도비	0.98		1.06		* 60/5의 고무로 조정 필요

#### 4.2 Unbonded capping용 고무패드의 사용한도에 대한 실험결과 및 고찰

고무패드는 사용회수의 증가와 함께 疲勞하게 되므로, 그 사용한도를 판정하게 되는데, ASTM C 1231의 경우는 100회 사용 시점에서 종전 capping을 실시한 공시체의 강도와 비교하도록 되어 있다. 구체적인 시험의 번잡함을 피하기 위해서 고무경도계를 사용하는 방법을 검토하였다.<sup>10)</sup>

본 연구에서는 경도범위 내인 #6과 #7에 대해서만  $\phi 10 \times 20$  원주형 공시체의 압축강도시험을 반복 실시하여 고무패드의 경도추이를 100회까지 추적하였고, 계속 실험을 진행중에 있다.

실험결과, #7은 10회 재하시, 가장자리의 疲勞劣化를 보였지만, 강도시험상의 오차는 보이지 않았고, #6의 경우는 100회까지 표면상의 아무런 異狀을 보이지 않았다.

일본의 문헌에 따르면, 800회까지 반복 재하시험을 실시한 결과, 고무 패드의 경도는 650회를 초과하여 사용하면서 점차 저하되어 반복 사용에 의해 고무패드가 노화되고, 650회를 초과하면서 강도비가 점차 저하되어 800회째에서 0.94가 됨을 소개하고 있다.<sup>3)</sup>

硬度計를 이용한 고무 패드의 使用限度의 관리방법은 실험결과와 KS M 6518, 일본문헌 및 Type A 硬度計의 취급설명서를 기초로 다음과 같이 실시한다.

- (1) 測定頻度は 각 시험장소에서 1일당 平均的인 압축강도시험의 回數를 기초로 계산하고, 100~150 회에 1회 정도의 측정을 실시할 수 있도록 적절히 결정한다.
- (2) 경도측정방법
  - ① 경도의 측정위치는 고무패드의 외부에서 약 15mm 지점에서 각각 등간격인 3개소를 측정점으로 한다.
  - ② 각 위치에서 硬度計를 수직으로 유지하고, 押針이 고무패드에 수직이 되도록 일정한 속도로 加壓面에 접촉시킨다.
  - ③ 硬度計를 고무 패드에 접촉시키고 5초후의 지침을 읽는다. 이것은 시험시간이 짧고 비교적 안정된 시험값이 얻어지는 조건으로서 가압면이 고무패드에 접촉되고 나서 5초후의 값이 개인 오차가 가장 적기 때문이다.
  - ④ 3개의 측정값의 평균값을 구하고, 정수 2자리로 반올림하여 경도의 시험값으로 하고, 시험시의 실온과 함께 기록하고, 그 값이 2 저하하는 시점을 사용한도로 한다.<sup>3)</sup>

## 5. 결 론

Unbonded capping 방법을 사용하여 콘크리트의 압축강도시험을 수행하여 얻게된 성과를 소개하면 아래와 같다.

- 1) Unbonded capping에 사용되는 강제 cap의 내경은 공시체 직경보다 1mm 큰 것으로 하고, 고무 패드는 경도값 60/5, 신율 400 정도의 고무패드가 200~400kgf/cm<sup>2</sup> 범위의 압축강도 공시체에 대해 적절하다.
- 2) 비중범위 1.4±0.03g/cm<sup>3</sup>보다 낮은 경우(#8 비중 1.261), 공시체와 고무패드가 물리는 등의 현상을 보이고, 비중이 높아질수록 강도비의 차이가 발생한다.
- 3) 고무패드의 경도관리는 사용회수가 100회에 도달할 때마다, KS M 6518에 따라 실시하고, 경도의 측정위치는 고무패드의 바깥쪽에서 중심으로 향하여 약 15mm 지점으로, 각각 등간격으로 3점에 대해 행한다. 측정은 押針을 고무패드와 수직으로 하여 일정 속도로 힘을 가하여 5초후의 지침을 읽는다.
- 4) 새로운 고무패드를 cap에 挿入할 때 cap과 고무패드의 사이에 공기가 남지 않도록 15 Ton 정도의 하중을 시험 전에 2~3회 재하하는 것이 바람직하다.

## 참 고 문 헌

1. "건설기술관리 법규집(1999)", 한국도로공사, 1999
2. ASTM C 1231-93, "Standard Practice for Unbonded Caps Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders"
3. 吉兼 亨, 鈴木一雄, 寺石文雄, 平井涉, "アンボンド 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 콘크리트 工學論文集, 第 9卷 第 2号, 1998年 7月, p79-90.
4. Sidney Mindess & J. Francis Young, "Concrete", Prentice-Hall, p 415~425, 1981
5. P.M. Carrasquillo & R.L. Carrasquillo : Effect of Using Unbonded Capping Systems on the Compressive Strength of Concrete Cylinders, ACI Materials Journal, p 141-147, May/June, 1988.
6. "콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법", KS F 2403, 한국산업규격, 1990
7. "콘크리트의 압축강도 시험방법" KS F 2405, 한국산업규격, 1967
8. "건설공사 품질시험 편람", 한국도로공사, 1998.
9. 안태송, 이병덕, 심재원, "콘크리트 용도별 최적배합을 위한 연구", 도로연구소, 1999
10. "가황 고무 물리 시험 방법", KS M 6518, 한국산업규격, 1996