

# 원주형 콘크리트 공시체의 캡핑종류별 압축강도 영향

## An Experimental Study on the Effect of Capping Types of Cylindrical Concrete Specimen on Compressive Strength

이 상 완\*      김 수 만\*\*      백 승 종\*\*\*      김 광 돈\*\*\*\*      이 평 석\*\*\*\*\*  
Yi, Sang Wan      Kim, Su Man      Baik, Seung Jong      Kim, Kwang Don      Lee, Pyung Suk

### ABSTRACT

There are a variety of factors affecting measured compressive strength of hardened concrete. One of them is the end surface condition of concrete specimen. So, many capping methods have been developed for the specimen to meet the end condition requirement of ASTM C 39.

A series of experimental strength comparison study was carried out using several representative capping methods, including pad capping method which is one of unbonded elastomeric capping system and was newly adopted in the ASTM standard. A comparison was also focused on their economy, convenience, harmfulness, etc.

### 1. 서론

콘크리트의 압축강도에 영향을 미치는 요인으로는 사용재료, 배합방법, 시공방법, 양생방법, 재령 및 시험방법 등 다양하다. 이 중 시험방법의 영향은 콘크리트 고유강도와는 무관하며 시험결과만 다르게 나타나는 것이므로 실제 강도자체가 달라지는 기타의 요인들과는 구별하여야 한다.

일반적으로 시험실에서는 콘크리트 압축강도 시험을 위한 공시체의 면처리를 위하여 시멘트 풀 방법, 유황 컴파운드 방법, 직접 연마하는 방법, 또는 드물게 고강도 석고시멘트 풀 방법 등을 사용하고 있으며, ASTM에서는 1993년부터 고무질 판 (Neoprene Pad)를 이용한 Unbonded Cap의 사용을 규격에 포함하고 있다. ASTM C 39 등의 관련 규격에서는 콘크리트 압축강도용 공시체의 구비요건이 명시되어 있으며, 이를 만족하여야만 편심을 받지 않고 고유한 강도값을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 공시체 제작시 필연적으로 발생하는 표면에서의 초기침하에 의한 요철 등을 보완하기 위한 여러 가지의 콘크리트 압축강도용 원주형 공시체의 캡핑(면처리) 방법을 무처리 공시체와 함께 비교 실험하였으며, 작업의 편의성, 경제성, 청결성, 인체 및 환경유해성 등도 함께 비교하였다.

\* 정회원, (주)코센 건설재료기술실, 부장

\*\* 정회원, 수원대학교 토목공학과, 부교수

\*\*\* 정회원, 한국전력공사 영광원자력본부, 토목과장

\*\*\*\* 정회원, (주)고려측기, 대표이사

\*\*\*\*\* 정회원, (주)코센, 부사장

## 2. 시험계획 및 시험방법

### 2.1. 공시체 제작

콘크리트 공시체의 각 조건별 압축강도를 측정하기 위하여 ASTM C 192에 의거 붕다짐 방법으로 직경 150mm×높이 300mm 규격의 공시체를 210개 (3개/조×10조건×7개 재령) 제작하였다. 이때 경사 공시체는 초기 양생기간 동안 공시체 높이의 최대와 최소의 차가 약 1cm가 되도록 공시체 형틀 하부의 한 쪽에 물체를 괴는 방법으로 제작하였다.

#### 2.1.1. 공시체 제작 재료

- (1) 시멘트 : 본 시험에 사용한 시멘트는 ASTM C150 의 규격에 적합한 내황산염 시멘트인 5종 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 이의 물리적 성질은 표 1과 같다.
- (2) 골재 : 골재의 규격은 ASTM C33 규격에 적합한 골재로서, 잔골재는 하천의 자연모래를 사용하였고, 굵은골재는 구조물기초 굴착암의 쇄석골재를 사용하였으며, 이들의 물리적 특성은 표 2와 같다.
- (3) 혼화제 : AEA(공기연행제)와 WRA(감수제)를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 1 시멘트의 성질

비중	분말도 (m <sup>2</sup> /kg)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
		초결	종결	3일	7일	28일
3.15	346	305	425	153	241	367

표 2 골재의 물리적 성질

	비중	흡수율(%)	조립율	표면수(%)	마모율(%)
잔골재	2.555	1.813	2.91	5.19	-
굵은골재	2.622	1.812	-	2.09	12.0

표 3 혼화제의 물리적 성질

종류	비중	pH	고형분량(%)	염소이온(%)
AEA	1.030	11.6	15.6	0.06
WRA	1.156	8.0	33.7	0.07

#### 2.1.2. 콘크리트 배합

본 실험에 사용한 콘크리트는 공사에 사용 중인 것을 이용하였으며, 이의 배합비는 표 4와 같고, 혼합 직후의 굳지않은 콘크리트에 대한 물리적 시험결과 슬럼프 10cm, 공기량 4.9%, 온도 19℃, 그리고 단위중량은 2.260t/m<sup>3</sup>로 측정되었다.

표 4 배합비 (m<sup>3</sup>당)

굵은골재 최대치수(mm)	기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/C (%)	S/a (%)	시멘트 (kg)	배합수 (kg)	굵은골재 (kg)	잔골재 (kg)	WRA (g)	AEA (g)
19	320	44.4	44	381	169	961	752	2,284	7.79

#### 2.1.3. 공시체 양생

제작된 콘크리트 공시체는 ASTM C 192에 의한 다음과 같은 과정으로 양생되었으며, 표준양생과의 비교를 위하여 별도로 제작한 공시체에 대해서 초기양생 후 실외에서의 대기양생을 실시하였다.

- (1) 초기양생 : 시험공시체 제작 후 초기 24시간 동안은 온도 23℃±1.7℃, 상대습도 50% 이상의 실내에서 습윤포를 덮어 양생하였다.
- (2) 표준양생 : 초기양생 후 몰드를 탈형하여 온도 23℃±1.7℃, 상대습도 95%이상의 습윤실에서 각 시험재령까지 양생하였다.
- (3) 대기양생 : 표준양생과 대기양생과의 강도 관계를 비교하기 위하여 초기양생 후 몰드를 탈형하여 상온에서 마대를 덮어놓은 상태에서 각 시험재령까지 실외에서 양생하였다. 다만 이때 재령 7일까지는

수시로 물을 뿌려 습윤상태가 되도록 하였다.

## 2.2. 압축강도시험

표준양생 또는 대기양생한 콘크리트 공시체를 1, 3, 7, 14, 28, 56 및 91일의 각 재령에 캡핑 종류별로 3개씩 택하여 ASTM C39에 준하여 0.14~0.34MPa/sec의 하중속도로 가압하며, 공시체가 파괴될 때의 최대하중을 읽는 방법으로 압축강도를 측정하였다. 공시체의 캡핑방법에 따른 강도 영향을 비교하기 위하여 다음과 같은 다양한 방법을 적용하였으며, 이들의 대표적인 사진을 아래에 나타내었다.

(1) 무처리 방법 : 제작된 원주형 콘크리트 공시체를 표준양생과 대기양생한 것을 각 재령별로 어떠한 표면처리도 하지 않고 압축강도 측정을 실시하였다.

(2) 연마 방법 : 다이아몬드 연마석을 갖춘 공시체 연마기를 이용하여 각 시험재령에 공시체 표면을 약 1분 30초 동안 연마한 후 압축강도 측정을 실시하였다.

(3) 시멘트 풀 방법 : 본 방법은 ASTM C 617에 의하며, 시험용 공시체의 제작과 같은 시간에 시멘트 풀의 반죽(W/C=0.32)을 제작 후 약 4시간 경과하여 공시체의 표면에서 블리딩과 침하가 거의 완료된 시점의 초기양생 기간 중 공시체 상부면이 완전히 굳기 전에 미리 준비한 시멘트 풀을 되비빔하여 표면을 캡핑한다. 이때 표면의 레이턴스는 제거하며, 시멘트 풀의 두께는 평면 공시체의 경우는 3mm 이내가 되게 하나 경사진 공시체의 경우, 경사진 부위는 약 1cm가 된다. 초기양생 후 모든 공시체는 양생실에서 습윤보관한 후, 각 시험재령에 압축강도를 측정하였다.

(4) 유황 컴파운드 방법 : 본 방법 역시 ASTM C 617에 의하며, 고체의 유황 컴파운드를 용해술에서 약 130℃로 녹이고 이를 수직 캡핑세트를 이용하여 각 시험재령에 공시체의 표면에 두께 3mm 이내로 캡핑을 한다. 유황 컴파운드가 충분한 강도발현이 되도록 약 2시간 동안 실내에서 습윤포를 덮어 보관한 후 압축강도를 측정한다. 본 방법은 증기나 기포의 발생을 방지하기 위하여 습윤상태의 공시체 양면은 캡핑시 충분히 건조된 상태여야 하며, 유황 컴파운드의 용해시 또는 캡핑시 황화수소 가스가 발생하여 건강을 해칠 수 있으므로 환기시설을 하는 등의 주의를 요한다. 사용되는 유황 컴파운드는 5cm×5cm 입방체 공시체를 제작하여 압축강도 시험을 수행하여 사전에 검증을 하여야 한다.

(5) Pad Cap 방법 : 본 방법은 ASTM C 1231 규격으로 최근에 채택된 방법으로서, 금속 링(Retaining Ring) 속에 콘크리트 공시체의 직경보다 약 6mm정도 큰 탄력성의 고무질의 물질(Neoprene Pad)을 미리 넣은 곳에 중심을 맞추어 각 시험재령의 공시체를 설치하여 압축강도시험을 실시하였다.

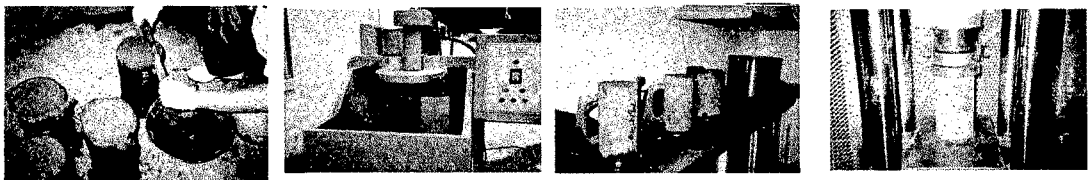


사진 1. 여러 가지 캡핑방법 (좌로부터 시멘트 풀, 연마, 유황 컴파운드 및 Pad Cap)

### 3. 시험결과 및 분석

#### 3.1. 재령별 각 캡핑조건외의 압축강도 시험값

원주형 콘크리트 공시체의 각 캡핑방법별, 표면의 평면정도 및 외부 양생에 대한 압축강도시험결과의 대표값을 표 5와 그림 1~5에 나타내었다. 각 대표값은 3개의 공시체를 1개조로한 평균값이며, 공시체의 직경에 대한 길이의 비(D/L)가 1 : 1.8보다 작은 경우에 ASTM C 39에 의한 보정계수 또는 보간법으로 구한 계수를 시험 강도 값에 곱하여 보정하여야 하나 본 실험에서는 이의 비가 거의 1 : 2에 근접하는 것으로 측정되었기 때문에 보정은 무시했다.

표 5 콘크리트 공시체의 조건별 압축강도(kg/cm<sup>2</sup>)

양생조건	표면조건	캡핑방법	재령 (일)						
			1	3	7	14	28	56	91
표준양생	평면	무처리	84	158	205	291	340	339	375
		연마	105	186	269	321	369	405	474
		시멘트 풀	106	184	283	281	306	356	396
		유황컴파운드	108	195	277	337	390	428	464
	경사	Pad Cap	96	175	280	332	387	417	462
		무처리	97	164	239	300	307	388	409
		시멘트 풀	99	184	259	306	355	393	388
		유황컴파운드	102	190	267	326	378	419	468
대기양생	평면	유황컴파운드	110	188	271	322	356	390	411

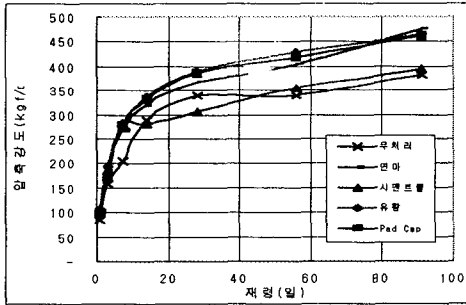


그림 1 캡핑형태별 압축강도 (표준양생, 평면상태)

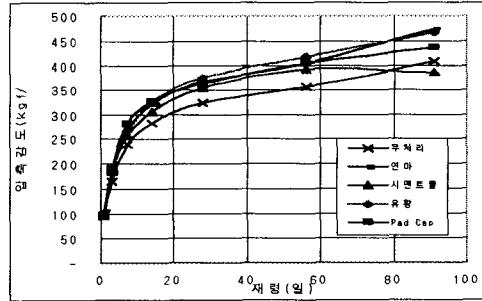


그림 2 캡핑형태별 압축강도 (표준양생, 경사상태)

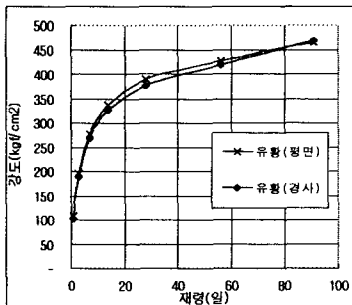


그림 3 압축강도 비교 (표준, 유황)

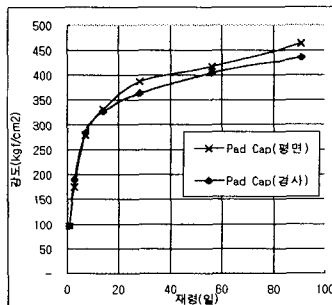


그림 4 압축강도 비교 (표준, Pad Cap)

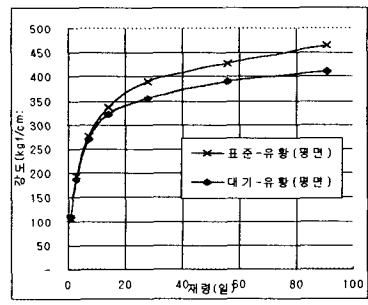


그림 5 압축강도 비교 (표준, 유황)

### 3.2. 시험결과 분석

#### (1) 무처리에 의한 영향

실험결과 무처리한 공시체의 압축강도는, 재령에 따라 차이가 있으나 캐핑한 방법들의 평균(평면상태)에 대하여 약 82%로 낮은 값을 나타내는데, 이는 공시체 표면의 요철로 전 표면에서 하중을 균등히 분포하지 못하고 응력집중으로 작은 면적이 하중을 부담하는 결과로 인한 강도저하로 판단된다.

#### (2) 시멘트 풀, 연마, 유황컴파운드 및 Pad Cap에 의한 캐핑의 영향

Pad Cap의 경우 재령 3일까지의 낮은 강도에서는 다른 방법에 의한 결과보다 다소 낮게 나타나는데 이는 실험에 사용한 Pad Cap의 Durometer(내구도)가 60으로서 중~고강도용이기 때문에 낮은 강도에서는 캐핑효과가 저감되는 것으로 판단된다. 또한, 시멘트 풀 방법의 경우 평면상태의 공시체에서 재령 14일 이상의 강도 및 경사상태의 91일 재령에서는 다른 방법에 의한 결과보다 상당히 낮은 강도값을 보이는데, 이는 처리 면에서의 굴곡의 형성, 균열 발생 또는 시멘트 풀의 박리 등과 같은 캐핑 불량에 의한 것으로 추정되며, 원인 규명을 위한 보완 실험이 요구된다. 따라서 시멘트 풀에 의한 캐핑방법을 사용할 경우 세심한 주의가 필요하다.

이런 자료를 제외한 경우 각 방법은 강도순위에 경향성이 나타나지 않으며, 평면상태로 제작한 공시체는 평균값에 대한 표준편차의 비율이 1.4~3.2% (평균 2.4%)로서 서로 매우 유사한 결과를 보이며, 경사상태로 제작한 공시체에서도 이 비율이 1.8~5.1% (평균 3.5%)로서 대체로 높은 유사성을 보인다. 그러나 연마방법에서도 초.중기재령에서 다소 낮은 강도값을 보이는데 이의 규명이 요구된다.

#### (3) 콘크리트 공시체 표면의 수직도의 영향

원주형 콘크리트 공시체의 초기양생시 보관 장소의 바다 편평도 불량인 상황을 반영한 실험을 하기 위하여 상부면이 경사진 공시체를 제작하여 표준양생을 실시한 후 재령별로 압축강도시험을 실시하여 강도값을 비교하였다.

유황 컴파운드 및 Pad Cap에 의한 캐핑의 경우 재령 7일 이하의 저강도에서는 캐핑 이전의 경사도의 영향은 거의 없으나 그 이상의 재령에서는 심하게 경사진 경우 캐핑효과가 감소됨을 알 수 있으며, 특히 Pad Cap의 방법에서 그 영향이 크다.

시멘트 풀 방법의 경우 재령에 따라서 캐핑전의 경사상태의 공시체가 평면상태였던 것보다 오히려 높은 강도를 나타내는 등 그 경향을 파악하기 어려운데, 이는 캐핑의 불량으로 추정된다.

#### (4) 콘크리트 공시체의 표준양생과 외부양생의 영향

대기에서 양생한 공시체는 7일까지의 초기 재령에서는 표준양생한 공시체와 강도가 유사하나 14일 이상의 장기 재령에서는 표준양생한 경우보다 압축강도가 낮으며 재령에 비례하여 강도의 차가 커지는데, 이는 대기 양생의 경우 초기 일주간의 습윤상태 이후 수화를 위한 수분공급의 상대적 부족으로 판단된다. 즉, 공시체 제작 후 양생조건에 따라 콘크리트의 강도값이 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

### 4. 콘크리트 공시체의 표면처리 방법별 경제성, 편의성, 유해성 비교

실험기간 동안 측정된 자료, 시험기 취급업체의 자료 및 문헌에 의해 검토한 콘크리트 공시체의 캐핑

방법별로 특징(편의성, 유해성 등) 및 경제성을 비교하면 표 6과 같다.

표 6 공시체 캡핑방법별 비교표

구 분	시멘트 풀	유황 컴파운드	연 마	Unbonded Pad Cap
재료 및 시험기	Portland Cement 유리판, 가공된 철판	Sulfur Mortar Melting Pot, Capping Set	연마기 및 연마석 공급수	Retainer Ring Neoprene Pad
편의성 유해성 등의 특징	재료구입 용이 캡핑에 많은 시간 소요 경화시까지 일정 시간필요 배합비에 따른 강도저하 Hair Crack 발생 등 작업 성이 불량할 수 있음	캡핑에 많은 시간 소요 경화시까지 일정 시간필요 용해기구와 환기시설 필요 황화가스발생으로 인체 유해 재사용이 불가능 사용후 재료가 환경공해 발생	캡핑에 많은 시간 소요 편평도 양호 고가의 연마장비와 연마석 필요 연마시 폐수 발생	출고후 즉시 시험가능 재사용 가능 - Retatier Ring: 영구적 - Pad : 100회/개 준비작업 불필요
경제성	30개의 공시체를 상부 한 면만 면처리할 경우에 대한 경제성 (소모성 재료와 캡핑시의 인건비)에 대하여 조사를 한바, 연마에 의한 방법을 100%로 할 경우 유황 컴파운드 방법은 약 65%, 시멘트 풀 방법은 약 25%, 그리고 Pad Pad 방법은 약 10%로서, Pad Cap 방법이 경제성이 대단히 좋다.			

## 5. 결론

원주형 콘크리트 공시체에 대해 다양한 조건으로 압축강도시험을 실시한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 연마, 유황 컴파운드 및 Pad Cap의 각 캡핑방법별 압축강도는 서로 매우 유사한 결과를 나타내며, 각 방법은 관련 규격의 요건에 부합하면 여건에 따라 선택 사용할 수 있다.
- 2) 시멘트 풀 방법에서는 캡핑 불량에 의한 압축강도 저하가 나타났으며, 보완 실험이 요구된다.
- 3) Pad Cap 방법은 ASTM C 1231의 절차에 따라 사용 전에 유황 컴파운드 또는 연마 등에 의한 방법과의 비교시험에 의한 검증 후 요건에 만족하면 사용할 수 있으며, 요건을 다소 벗어나더라도 중요성에 따라서 통계분석에 의한 보정 값 등을 적용함으로써 사용할 수 있다.
- 4) 심하게 경사진 공시체는 캡핑효과가 저감되며, 특히 Pad Cap 방법에서 그 영향이 크다.
- 5) 공시체의 여러 캡핑방법 중 편의성, 경제성, 인체 및 환경유해성 면에서 Pad Cap이 가장 양호하다.

### <참고문헌>

- 1) 장일영, "콘크리트 압축강도 시험결과에 영향을 미치는 각종시험조건", 콘크리트학회지 제9권 6호, 1997.12.
- 2) ASTM C 39 : Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 3) ASTM C 192 : Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- 4) ASTM C 617 : Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.
- 5) ASTM C 1231 : Practice for Use of Unbonded Cap in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders.