

시험조건과 고강도콘크리트의 압축강도 관계에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Compressive Strength of High Strength Concrete According to Testing Condition

진 영 길* 이 용 수** 김 광 서**
Chin, Young-Gil Lee, Yong-Su Kim, Kwang-Seo

ABSTRACT

The strength and durability of concrete are affected by various factors such as the quality of material, mixing ratio, construction, the method of cure, time elapsed, the condition of test and etc., it is very difficult to pre-estimate the strength of concrete with the use of experimental specimen. The domestic standard of specimen cylindrical type and its sizes are both 10cm*20cm and 15cm*30cm, which are prescribed in KS F2405, and the loading speed is prescribed to test with 2~3kgf/cm² per second. The loading speed should have great effect on the compressive strength, but in reality in the construction site sometimes the loading speed is applied so dubiously that the value of the compressive strength can be unreliable. And the cross sectional area of a specimen should be level and smooth, otherwise it can be broken at a lower stress than the real strength through the eccentric or intensive working of the load. Capping should be carried out in order to measure the strength correctly. And used for capping are various materials such as capping compound, cement glue, plaster, mechanical grinding and etc. In this study, therefore, I have carried out an experiment on the relationship among the loading speed, the ratio of height to diameter of specimen, the method of capping, and the compressive strength, for the efficient quality control of concrete structures. So this study has been purposed to provide some basic data that can be used effectively at construction sites.

키워드 : 고강도 콘크리트, 공시체, 압축강도,
Key words : high strength concrete, specimen, compressive strength,

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

콘크리트는 가장 보편화된 구조재료로 널리 활용되고 있고 그 성능이 비교적 우수한 것으로 평가되고 있으나 종종 부실시공으로 인하여 반영구적인 수명을 갖는 것으로 간주되어온 콘크리트 구조물에 대한 개념이 붕괴되고 있는 상황이며, 이러한 현상은 어느 개인이나 특정분야에만 한정된 책임이 있는 것이 아니라 콘크리트를 다루는 기술자들로써는 책임의식을 가져야 하고, 콘크리트에 대한 올바른 지식으로 각 구조물의 특성에 맞는 콘크리트를 사용해야 하며, 특히 건설시장의 개방으로 그 어느 때 보다도 고품질의 콘크리트가 질실하게 요구된다. 그러므로 콘크리트 구조물의 내구성 및 안정성을 평가하는 가장 기본적인 요소인 콘크리트 압축강도의 정확한 측정은 매우 중요한 일이다. 그러나 콘크리트의 강도 평

가는 즉시적이 아니라 시일을 요하게 되며 재료의 품질, 배합비, 시공 및 양생방법, 재령, 시험조건등 여러 요인의 영향을 받기 때문에 시험용 공시체를 이용하여 콘크리트의 강도를 예측하기란 매우 어려운 일이나, 시험용 공시체를 이용한 콘크리트의 압축, 인장강도등의 측정 실험이 활발하게 진행되어, 각국에서는 표준 공시체의 규격이 제시되어 이용되고 있으며, 국내에서는 KS F 2405 "콘크리트 압축강도 시험방법"에서 10cm*20cm 및 15cm*30cm의 원주형 공시체를 표준으로 하고있다.

그러나 표준 공시체의 높이/직경 비는 2이지만 현장에서 채취되는 코어 공시체의 높이/직경 비는 2이하인 경우가 있어 시험용 공시체를 이용한 측정값을 실무에 적용하기 위해서는 각 조건에 따른 정확하고 유효한 자료가 요구되고 있다. 또한 공시체의 단부면은 평평하고 매끈한 면을 가져야²⁾ 한다. 그렇지 못하면 하중이 편심 또는 집중으로 작용하여 실제 강도 보다 낮은 응력에서 파괴 된다. Capping은 정확하게 강도를 측정하기 위하여 반듯이

* 정희원 원광대학교 건축공학과 박사과정 수료

** 정희원, 원광대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2000년도 원광대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

해야 하며 Capping Compound나 시멘트풀, 석고, 기계연마등 여러 가지 방법이 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 고강도콘크리트의 효율적인 품질관리를 위하여 공시체의 높이/직경 비 및 Capping방법과 압축강도와의 관계에 관한 실험을 수행하여 현장에서 효과적으로 활용할 수 있는 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

콘크리트 압축강도에 영향을 미치는 요인은 시험체에 관한 요인인 시험체의 크기, 시험체의 높이/지름 비, 단면처리상태, 시험체의 건습 상태등과 시험기에 관한 요인인 시험체의 설치상태, 재하속도, 시험기의 강성등 여러 가지 요인이 있으나, 본 연구에서는 공시체의 높이/지름 비 및 단면처리 방법에 따른 압축강도의 변화에 대하여 알아보기 위하여 기 시행된 표준 공시체의 압축강도 실험치를 분석하고, 지름10cm 높이20cm의 금속 모울드를 이용하여 표준공시체 및 동일 직경에 높이가 변하는 공시체를 제작하여 실제 실험을 통하여 얻은 자료를 분석하여 그 영향을 알아보고, 공시체의 단부면처리방법 달리 할 때 단부면처리 방법이 시험결과에 미치는 영향을 분석하고자 다음과 같은 연구방법과 범위를 설정하고 진행하였다.

- 1) 굽은골재와 잔골재는 동일 조건으로 하고, 압축강도 측정은 재령 28일에서 KS F 2405에 의한 방법으로 시행 하였다.
- 2) 높이/직경 비의 영향을 분석하기 위하여 공시체의 높이/직경 비를 1.0, 1.5, 2.0으로 하였다.
- 3) 단면처리 방법은 보통시멘트 페이스트, 초속경 시멘트, 기계연마 3종류로 하였다.
- 4) 높이/직경 비 및 단면처리 방법에 따른 압축강도 및 탄성계수의 변화를 분석한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준과 Capping 재료 및 두께는 표 1, 표 2와 같다.

표 1. 실험요인 및 수준

요 인	수 준	공시체
높이/직경 비	1.0, 1.5, 2.0	162개
단면처리 재료	기계연마, 보통시멘트, 초속경시멘트	162개
기준강도	400, 500, 600(kgf/cm ²)	
실험사항	슬럼프, 공기량, 압축강도, 응력-변형	

표 2. Capping 재료

구 분	Capping 재료	Capping 두께
MC	Machine grinding	0mm
PC	Portland Cement(D사 제품)	3mm
EC	Early Strength Cement(S사)	3mm

콘크리트 배합표는 표 3과 같으며, KS F 2403에 따라 금속 모울드(지름10cm 높이20cm)를 이용하여 공시체를 제작하고 20±3℃의 흐르지 않는 물에서 양생 하였으며, 25일 후에 기계연마를 실시하였다. 변형 측정용 공시체는 1일간 실내에서 자연 건조 시킨 후 Strain Gauge를 부착하여 실험을 실시하였다.

표 3. 콘크리트 배합표

구분	W/C (%)	S/A (%)	단위중량(kgf/m ³)						
			W	C	S	G	SF	AD	SP
M40	32.4	44.1	167	515	736	944	0	2.58	1.55
M50	26.6	41.5	154	521	672	991	58	2.90	1.56
M60	24.0	40.9	153	574	641	966	64	3.19	1.72

SF : Silica Fume

AD : Water reducing accelerator

SP : Super Plasticizer

M40-400kgf/cm³, M50-500kgf/cm³, M60-600kgf/cm³

2.2 사용 재료

1) 시멘트

시멘트는 국내 H사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트로 물리적 성질과 화학적 성질은 표 4, 표 5와 같다.

표 4. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결(m)	종결(h)	3일	7일	28일
3.15	3,424	0.08	280	406	227	304	383

표 5. 시멘트의 화학적 성질 (단위 :%)

강열감량 (L. O. I)	실리카 (SiO ₂)	산화알루미늄 (Al ₂ O ₃)	산화제2철 (Fe ₂ O ₃)	산화칼슘 (CaO)	산화마그네슘 (MgO)	무수황산 (SO ₃)
0.95	22.20	5.43	3.26	61.76	2.70	2.13

2) 잔골재

천연골재로 부여에서 채취한 강모래를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 6과 같다.

표 6. 잔골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립률 (%)	안정성 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	유기불순물
강모래	2.59	0.98	2.73	5.75	59.38	표준색이하

3) 굵은골재

전북 익산시 황등에서 채취한 세석으로 물리적 성질은 표 7과 같다.

표 7. 굵은골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립률 (%)	마모율 (%)	유기불순물
세석	2.62	1.17	6.55	13.10	표준색 이하

4) 혼화제 및 물

물은 음용이 가능한 지하수를 사용하였고, 혼화제의 물리적 성질은 표 8과 같다.

표 8. 혼화제의 물리적 성질

혼화제	비중	PH	감수율 (%)	응결시간 (h : m)		압축강도 비(%)		
				초	중	3일	7일	28일
				결	결	일	일	일
AD	1.196	4.6	18.5	8:05	10:10	128	122	119
SP	1.20			9:15	11:45	100	100	101

2.3 공시체 제작

콘크리트 혼합은 시험용 믹서(80ℓ)를 사용하여 잔골재와 시멘트를 혼합한 후 굵은골재, 물의 순서로 투입하였으며, KS F 2403(콘크리트 강도 시험용 공시체 제작방법)에 의하여 다음과 같이 제작하였다.

- 10cm×10cm(h/d=1.0) : 10cm×20cm의 원주형 금속 모델드를 이용하여 콘크리트를 한 층으로 채우고 다짐봉으로 약 7회 다진 후 연마를 고려하여 10.5cm 이상되게 제작 하였다.
- 10cm×15cm(h/d=1.5) : 2개 층으로 나누어 콘크리트를 채우고 각각 7회씩 다진 후 15.5cm 이상 되도록 제작하였다.
- 10cm×20cm(h/d=2.0) : 콘크리트를 2개층으로 나누어 채우고 각층을 15회씩 다진 후 표면을 약간 불룩하게 제작하였다.
- Capping실험용 공시체는 Capping을 고려하여 3mm 정도 얇게 제작하였다. 그림 1은 공시체의 Capping 마감 형태 및 크기이다.

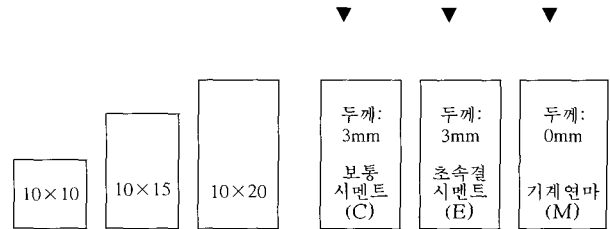


그림 1. 공시체의 크기 및 Capping재질

2.4 Capping 재료 및 방법

1) 보통 시멘트 페이스트

- ① 시멘트 페이스트는 W/C 26~27%로 작업하기 좋게 만든다.
- ② 접촉면의 블리딩을 와이어 부러쉬로 제거하고 깨끗이 청소를 한다.
- ③ 1~2시간이 지난후 물기를 제거하고 Capping칼로 Capping을 한다.

2) 초속경 시멘트

- ① 시멘트 페이스트를 질계(W/C 34~37%) 반죽한 후 약 3mm정도 붓고 넘친 부분은 깨끗하게 닦아낸다
- ② 수중 양생을 실시한다.
- ③ 급한 경우 Capping실시 후 30분~1시간이 지난 후 압축강도를 측정한다.

3) 기계연마

연마기 위에 공시체를 수평으로 장착하고 양면이 수평이 되고 규정 길이가 될 때까지 연마한다.

2.5 실험방법

1) 굳지 않은 콘크리트

- ① 슬럼프 시험 및 공기량 측정
KS F 2402, KS F 2421에 의하여 혼합 완료후 3회 실시하여 그 평균값으로 하였다.
- ② 압축강도 시험
KS F 2405에 의해 제령 28일에 실시하였으며, 표준편차법에 의하여 ±10% 이상 차이가 나는 것은 제외하고 평균값으로 하였고, 하중은 유효숫자 3자리 까지 압축강도는 1kgf/cm² 구하였다. 사용된 기기는 일본 SHIMADZU사의 UH-200A, 최대용량 200t인 만능 재료시험기이다.

③ 탄성계수

KS F 2438에 규정된 방법 중 Strain Gauge를 이용하여 구하였다. 공시체의 표면 공극을 에폭시로 메운 다음 표면처리를 하고 67mm Strain Gauge를 공시체의 양측 중앙에 수직으로 부착하였으며, Tokyo Sokki Kenkyuio사의 Computing Data Logger(모델 TDS-303)로 응력-변형을 측정하여 1/4_{fcu}점과 원점을 연결한 선분의 기울기를 탄성계수로 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

공시체의 높이/지름의 비, Capping재료와 압축강도 관계를 분석하기 위하여 실시한 결과는 표 9, 10과 같다.

표 9. 공시체의 높이/지름 비 변화에 따른 실험결과

구 분	압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수(10 ⁵ kgf/cm ²)			
		측정값	ACI	건교부	
M40	SE 1.0	477	3.63	3.30	2.99
	SE 1.5	424	3.43	3.11	2.86
	SE 2.0	420	3.41	3.10	2.85
M50	SE 1.0	601	3.81	3.71	3.27
	SE 1.5	540	3.64	3.51	3.14
	SE 2.0	535	3.61	3.50	3.13
M60	SE 1.0	713	4.10	4.04	3.50
	SE 1.5	656	3.51	3.51	3.39
	SE 2.0	649	3.50	3.50	3.37

표 10. Capping 재료 변화에 따른 실험결과

구 분	압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수(10 ⁵ kgf/cm ²)			
		측정값	ACI	건교부	
M40	MC	425	3.47	3.12	2.86
	PC	415	3.43	3.08	2.84
	EC	387	3.34	2.97	2.77
M50	MC	539	3.84	3.51	3.14
	PC	526	3.79	3.47	3.11
	EC	459	3.62	3.24	2.95
M60	MC	651	3.93	3.86	3.38
	PC	634	3.86	3.81	3.34
	EC	553	3.60	3.55	3.17

3.2 결과 분석

고강도콘크리트에 있어서도 공시체의 높이/직경 비가 작을수록 압축강도 및 탄성계수는 크게 나타났으며, Capping 재료에 의한 압축강도는 기계 연마, 보통 시멘트 페이스트, 초속경 시멘트 순으로 크게 나타났으며 분석 내용은 다음과 같다.

1) 공시체의 높이/직경 비와 압축강도

그림 2, 표 11은 공시체의 h/d 비와 압축강도 비(h/d 비가 2인 공시체의 압축강도 시험결과에 대한 비)와의 관계를 나타낸 것이며, 현재 사용중인 보정계수의 역수 및 제안식도 표시되어 있다. h/d 비가 2이하인 고강도콘크리트에 있어서도 h/d 비가 감소함에 따라 압축강도 시험결과도 증가하고 있지만 그 증가율은 압축강도의 수준에 따라 다르고 보통강도콘크리트보다 고강도콘크리트의 증가율이 작아지는 경향을 보였다. h/d=2.0의 압축강도를 기준으로 할 때 h/d=1.5일 때를 보면 기준강도400kgf/cm², 500kgf/cm², 600kgf/cm²에서 1%의 증가율을 보여 사용중인 보정계수의 4.1%보다 낮은 증가율을 나타냈다.

h/d=1.0일때는 기준강도400kgf/cm²에서 13.6%, 500kgf/cm²는 12.4%, 600kgf/cm²는 9.9%의 강도 증가율을 보여, 사용중인 보정계수의 12.4%보다 낮은 증가율을 보였다.

또한, 기존의 제안식과 비교해보면, 강도수준을 고려하지

않은 Kim⁴⁾의 $\eta = \sigma_c / f_c = \frac{0.40}{\sqrt{1+0.20d(h/d-1)}} + 0.80$
(여기서, σ_c 와 f_c '는 각각 임의의 공시체와 표준공시체(Ø150*300)에 대한 압축강도로서 kgf/cm²이고 d는cm이다.)과는 차이를 보였지만, 野口⁶⁾의

$\eta = k[\ln(2d/h)]^2 + 1$ (여기서, k는4.84/ f_{cu} 이며, $f_{cu}=h/d$ 가 2인 공시체의 압축강도, f_{cu} 는 MPa단위임)과 거의 비슷한 결과를 나타내었다.

공시체의 h/d비의 감소에 따라 압축강도의 증가율은 강도수준에 따라 다르게 나타나고 있어, 사용중인 강도 보정계수도 콘크리트의 강도수준에 따라 달리해야 할 것으로 판단되며, 이번 시험에서 h/d=1.5인 공시체가 2.0의 것보다 압축강도 값이 작게 나타나는 경우도 있었으나 이런 원인은 소형 공시체의 제작 과정에서 오차가 발생하였다고 볼 수 있다.

따라서 표준 규격보다 h/d의 비가 작은 공시체를 측정용으로 사용할 때는 시험용 공시체의 수를 늘리는 것이 바람직하다고 보며, 그림 4, 5, 6은 기준강도별 h/d비와 압축강도 비를 나타낸 것이다.

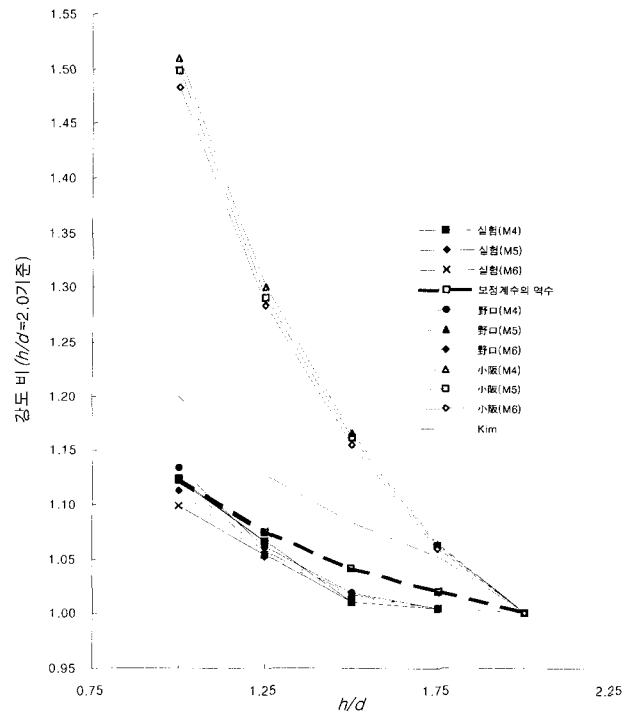


그림 2. 강도수준별 h/d와 압축강도 비

표 11. 강도수준별 h/d에 따른 압축강도 비

h/d	400kgf/cm ²		500kgf/cm ²		600kgf/cm ²		Kim	보정계수의 역수
	실험	野口	실험	野口	실험	野口		
1.0	1.123	1.134	1.124	1.122	1.099	1.113	1.20	1.124
1.5	1.010	1.019	1.010	1.017	1.010	1.016	1.083	1.042
2.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0	1.0

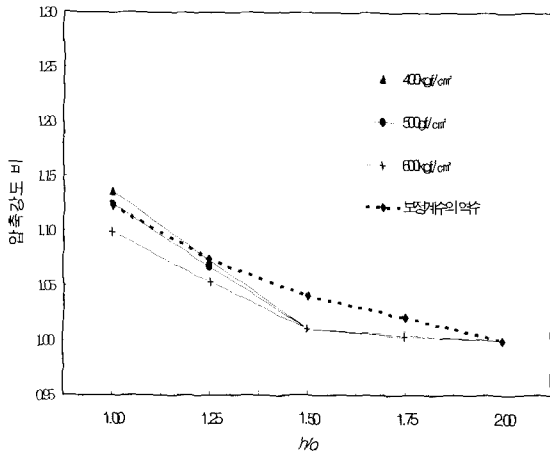


그림 3. 높이/직경 비와 압축강도 비($h/d=2.0$ 기준)

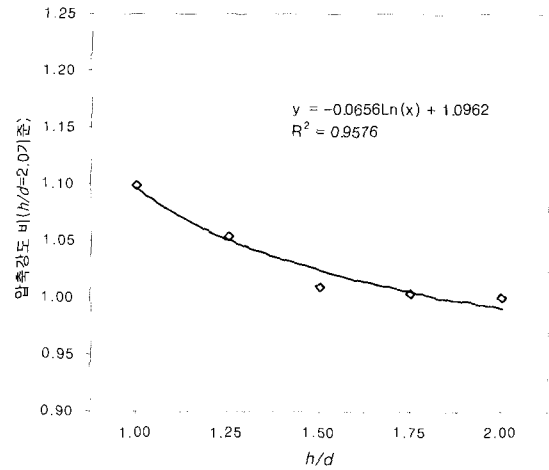


그림 6. 기준강도 600kgf/cm^2 의 h/d 와 압축강도 비

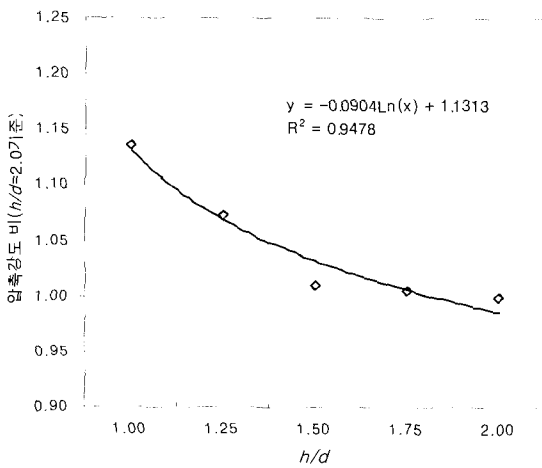


그림 4. 기준강도 400kgf/cm^2 의 h/d 와 압축강도 비

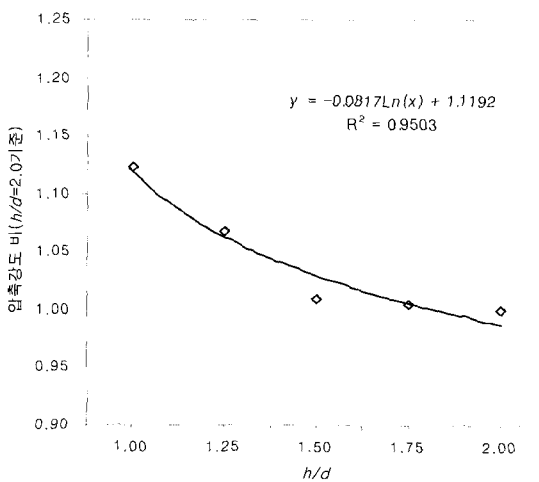


그림 5. 기준강도 500kgf/cm^2 의 h/d 와 압축강도 비

2) 공시체 높이/직경 비와 탄성계수

공시체의 h/d 에 따른 탄성계수 값은 h/d 가 작을수록 크게 나타났으며, 압축강도의 경우와 같이 강도수준이 높을수록 그 증가율은 작아지는 경향을 보였지만 압축강도의 증가율과 동일한 증가 비율을 나타내지는 않았다. $h/d=2.0$ 을 기준으로 h/d 가 1.0일 때를 보면 기준강도 400kgf/cm^2 은 6.4%, 500kgf/cm^2 은 5.5%, 600kgf/cm^2 은 5.1%의 증가율 나타냈다. 표 12, 그림 7은 공시체의 높이/직경 비에 따른 탄성계수의 증가율을 나타낸 것이다.

표 12. 높이/직경 비와 탄성계수

기준강도	h/d 에 따른 탄성계수 비($h/d=2.0$ 기준)		
	1.0	1.5	2.0
400kgf/cm^2	1.064	1.006	1.0
500kgf/cm^2	1.055	1.008	1.0
600kgf/cm^2	1.051	1.007	1.0

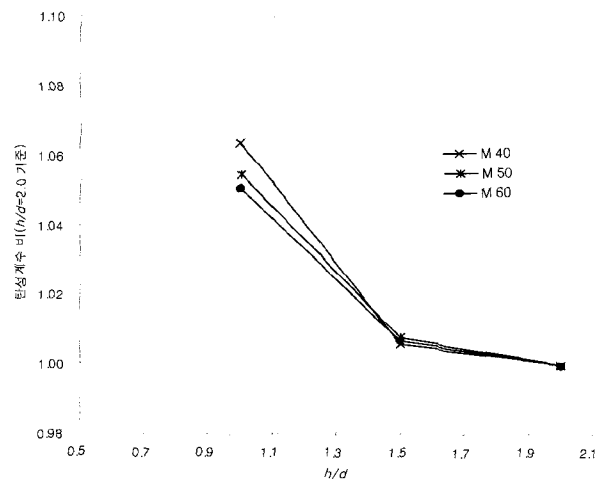


그림 7. 기준강도별 h/d 와 탄성계수 비

표 13. Capping 재료와 압축강도 비

Capping재료	압축강도 비		
	400kgf/cm ²	500kgf/cm ²	600kgf/cm ²
MC	1.0	1.0	1.0
PC	0.976	0.975	0.975
EC	0.911	0.872	0.850

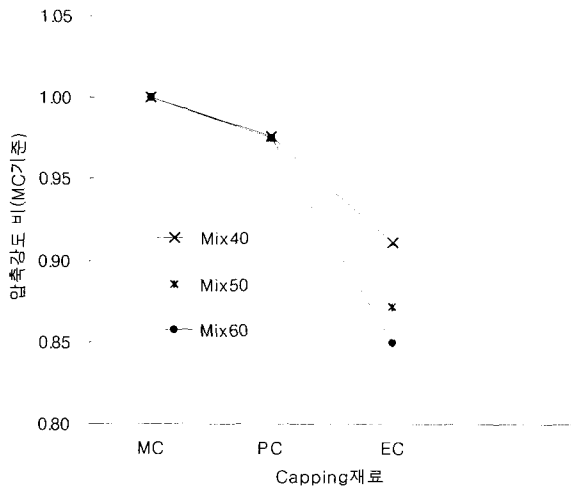


그림 8. Capping재료와 압축강도 비

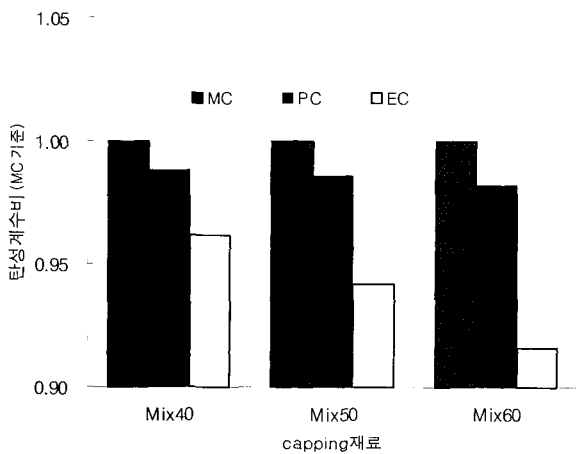


그림 9. Capping재료와 탄성계수 비

3) Capping재료와 압축강도

Capping재료에 따른 압축강도는 기계연마, 보통시멘트 페이스트, 초속경시멘트 순으로 나타났으며, 어떠한 배합의 경우에도 기계연마보다 높지는 않았다. 기계 연마를 기준(100%)으로 초속경시멘트의 경우에는 기준강도 400 kgf/cm² 은 91%, 500kgf/cm²은 87%, 600kgf/cm²은 85%로 나타났으며, 보통시멘트의 경우는 98%수준으로 나타나, 고강도

콘크리트일수록 단부면처리법으로 기계 연마에 의한 방법이 바람직하며, 보통시멘트 페이스트를 이용할 때는 충분히 경화시키고 적절한 보정을 해야할것으로 판단된다. 표13, 그림 7은 Capping 재료와 압축강도 비, 그림 8은 Capping재료와 탄성계수 비의 관계를 나타낸 것이다.

4. 결론

고강도콘크리트의 압축강도 측정시 공시체의 높이/지름 비와 Capping 재료가 압축강도와 탄성계수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험을 실시한 후 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고강도콘크리트에 있어서도 공시체의 h/d 비가 감소함에 따라 시험결과도 증가 하지만, 증가율은 강도수준이 높을수록 작아져, $h/d=2.0$ 이하인 공시체를 이용할 경우 강도수준에 따른 보정계수도 달리해야 할 필요성이 있다고 판단된다
- 2) 공시체의 높이/직경의 비의 변화($h/d=1.0, 1.5, 2.0$)에 따라 압축강도와 탄성계수는 동일한 증가율은 보이지 않았다.
- 3) 고강도콘크리트의 Capping방법으로 보통시멘트를 이용할 경우에는 콘크리트와의 부착을 좋게 하고 충분히 경화시키는 것이 필요하며 수작업으로 인한 균일하지 못한 제작을 염려한다면 가급적 기계 연마를 이용한 방법이 바람직 하며 Capping재료에 따라 강도보정을 해야할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구는 고강도콘크리트의 압축강도 측정시 미치는 시험조건의 영향에 대한 기초자료를 제시는데 의의가 있으며, 강도수준에 따른 보정계수 산출을 위한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

1. 건교부, “콘크리트구조설계기준”. 한국콘크리트학회, 대한 건축학회, 1999
2. 박승범, “최신토목재료실험”, 문운당, 1994
3. 진영길, “콘크리트 공시체 크기에 따른 압축강도 및 탄성계수의 실험적 연구” 대한건축학회논문집, Vol.17 No.2
4. 김진근외, “비표준형 실린더공시체에 대한 콘크리트압축강도의 크기효과” 콘크리트학회지, Vol.9 No.1 1997.2
5. 友呎史紀外, “高さと直径の比2以下の供試体による壓縮強度および靜彈性係數の評價”, 日本建築學會學術講演集, 昭和60年.
6. 野口貴文 外, “高強度ユンクリトの壓縮力學特性に及ぼす供体法. 形狀の影響”, 日本建築學會構造系論文集, No.473, 1995.
7. ASTM, c617-856, p380~384.
8. ACI 318-83, “Building Code for Reinforc Concrete”, American Concrete Institute.