

콘크리트 코어 공시체의 압축 강도에 미치는 각종 시험인자의 영향과 특성에 관한 검토

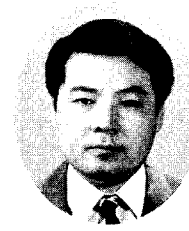
- Various Testing Conditions Affecting Measured Compressive Strength of Concrete Core -



박석균*



최 옥**



오광진**

1. 서 론

구조물 콘크리트의 품질을 직접 평가하거나, 비파괴 검사에 의해 압축 강도 추정치를 보정하고 검증하기 위해서는 구조물로부터 채취한 코어 공시체를 이용해 압축 강도 시험을 행한다. 그러나, 코어 공시체의 강도는 채취한 부재의 위치, 공시체의 상태, 시험 조건 등에 따라 다른 값을 나타내는 것으로 알려져 있다.

현재 국내의 코어 공시체에 대한 보정 방법은 공시체 크기에 대해서는 KS 규격에서 규정되어 있지만, 상기의 제반 영향에 대해서는 구체적으로 언급되어 있지 않다. 이로 인해, 코어 강도의 조건별 보정은 아예 무시되고 있거나, 실시되더라도 주로 외국에서 실시된 연구 결과에 의해 부분적·개별적으로 인용되고 있어 신뢰성과 객관성 등에 큰 문제를 안고 있다.

이러한 문제를 해결하고 체계화된 보정 방법을 개발하기 위해 시설안전기술공단과 대전대학교가 공동으로 이에 대한 연구(연구 과제명 : 콘크리트 및 강재의 비파괴

표 1. 콘크리트의 압축 강도에 영향을 미치는 요인

항목·시기	요 인
재 료	시멘트 종류, 혼화재 종류, 골재 종류·치수
배 합	물시멘트비, 단위수량, 혼화재량, 골재량, 혼화재량, 공기량
제 조	비빔 시간, 재료 투입 순서, 콘크리트 온도
시험체 제작	시험체의 형상·크기(치수), 높이직경비(H/D), 단면 처리 상태, 다짐 정도, 구조체로부터의 시험체 채취 위치·방향 등
양 생	양생 기간, 건조 상태, 이력 온도
시험체 상태	건습 상태, 시험체 온도
제 하	제하 속도, 시험체 설치 상태, 응력 상태(일축, 다축)
시 험 기	가압판의 형상·치수, 구좌의 형상·치수, 강성, 지지 수

시험 평가·검증 방안 연구(1))를 실시해 오고 있다.

본고는 그에 대한 1차 연구의 일부 실험 결과와 문헌 중심(2)의 이론적 고찰을 중심으로 하여, 콘크리트 코어 공시체의 압축 강도에 미치는 각종 시험 인자의 영향과 특성에 관해 검토한 내용을 소개하고자 한다.

또한, 보다 구체적인 실험 계획과 결과를 바탕으로 한 코어 시험시의 각종 영향 조건별 보정 기술 등에 대해서는 향후에

별도로 보고하도록 하기로 하고, 여기서는 주로 이론적 고찰과 일부 실험 내용을 중심으로 기술하고자 한다.

2. 압축 강도에 미치는 각종 시험 인자의 영향과 특성

압축 강도에 영향을 미치는 요인을 시계열적으로 나열하면 <표 1>과 같이 되지만, 여기서는 콘크리트 코어 시험체로서의 압축 강도와 관련하여 그에 미치는 각종 요인의 영향, 특히 시험 조건의 영향에 대해서 검토한다.

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수
** 정회원, 시설안전기술공단 기술개발지원실 차장

2.1 강도 시험기 종류의 영향

〈그림 1〉은 동일 배치로부터 얻어진 동일 재료·동일 배합의 콘크리트를 이용해서 동시에 성형한 시험체의 압축강도를 동일 재령, 동일 전습 상태, 동일 재하 속도 조건하에서 〈표 2〉에 나타내는 제원·성능이 다른 16종류의 압축시험기에 의해 측정된 결과이다. 본래 동일 압축 강도 시험 결과가 얻어져야 하는 셈이지만 평균치에서 10%이상이나 다른 결과가 얻어지고 있다. 특히, 고강도 콘크리트에 있어 그 경향은 현저하다. 압축 강도는 콘크리트의 품질을 대표하는 가장 기본적인 지표로서, 그것이 사용하는 시험기에 따라 다른 것은 설계상뿐만 아니라 거래 계약상에서도 고려되어야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

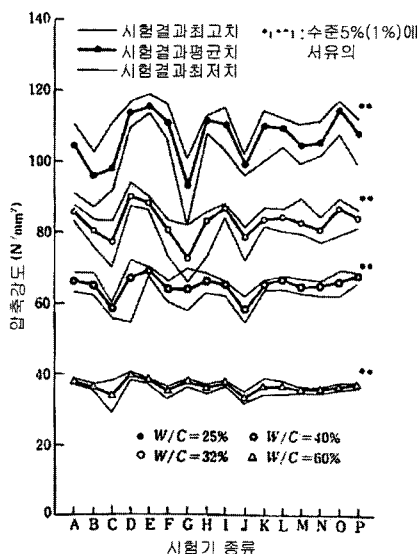


그림 1. 압축 강도 시험 결과에 미치는 시험기 종류의 영향

2.2 시험체의 크기

균질한 콘크리트에서는 〈그림 2〉에 나타난 바와 같이 어느 크기까지는 시험체 크기의 증대에 따라 압축 강도 시험 결과가 저하한다고 한 크기 효과가 존재하는 것이 알려져 있다. 그 원인에 대해서는 시험체 중의 결함량의 다소에 의존하는 용적 효과에 입각한 확률 과정 이론에 의한 설명과 파괴의 발생·전파 과정에서의 에너지 평형 문제에 입각한 파괴역학에 의한

표 2. 압축 강도 시험기의 제원·성능

시험기	최대 평량 (kN)	제어 방법	축 강 성 (kN/mm)	가압판 치수 (cm)	구좌의 중심 위치(cm)
A	1,000	유압 하중, 서버	218	∅16	+0.7
B	2,000	유압 하중	440	∅21	+1.1
C	1,000	유압 하중	218	22×2,222	+7.1
D	2,000	나사식 변위	635	30×30	-0.2
E	1,000	유압 하중	393	16×16	±0.0
F	1,000	쇄기식 변위	3,100	∅22	-20.4
G	5,000	유압 하중	707	∅15	+8.8
H	1,000	유압 하중	453	∅16	±0.0
I	2,000	유압 하중	518	32×32	±0.0
J	2,000	유압 하중	526	∅32	±0.0
K	2,000	유압 하중, 서버	906	∅16	+0.5
L	1,000	유압 하중	259	∅16	+1.8
M	4,000	유압 하중, 서버	20,000	∅16	-6.0
N	1,000	유압 하중	303	∅16	+5.3
O	1,000	유압 하중	356	∅23	±0.0
P	2,000	유압 하중	442	∅32	+8.3

* 구좌(球座)의 중심 위치 : +는 구의 중심이 가압면보다 상 방향에 있는 것을 나타내고, -는 하 방향에 있는 것을 나타낸다.

설명이 있다. 여기서 주의해야 할 것은 시험체의 균질도, 즉, 골재치수에 대한 시험체의 크기비 및 매트릭스와 골재의 역학적 성질의 차이가 크기 효과에 큰 영향을 미치는 점이다. 통상의 강도 수준 콘크리트에서는 골재의 탄성계수는 매트릭스 탄성계수보다도 꽤 크다. 그 때문에 시험체 크기가 골재 치수와 비교해 별로 크지 않은 상태에서는 시험체의 균질도가 낮기 때문에 시험체 크기를 작게 하더라도 압축 강도가 커지지 않는 경우가 있다. 한편, 고강도 콘크리트에서는 매트릭스와 골재 사이에 큰 역학적 성질의 차이는 없어져 크기 효과가 현저하게 나타나게 된다.

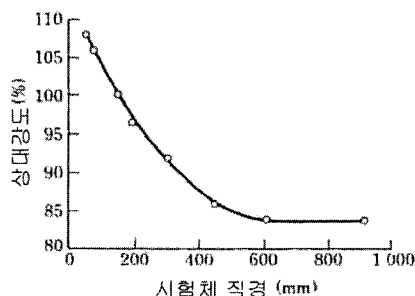


그림 2. 압축 강도 시험 결과에 미치는 시험체 크기의 영향

한편, 시설안전기술공단과 본 대학에서 실시한 코어 공시체의 크기에 의한 강도비 실험 결과를 일본시멘트협회 실시 결과 등과 비교해 〈그림 3〉에 나타내었다. 이 결과, 공시체의 직경에 의한 영향은 직경 10cm짜리 기준으로 약 ±5 내외임을 알 수 있었고, KS 규격에 따른 강도비와 비교시 본 실험과의 오차는 1~3%내로써 본 실험과 강도에 따른 영향이 KS 규격의 기준에 부합됨을 알 수 있다.

2.3 시험체의 형상

콘크리트의 압축 강도 시험에 한국·일본·미국·프랑스 등에서는 원주체를 이용하고 있지만, 영국·독일 등에서는 입방체를 이용하고 있다. 각각 장점·단점을 가지고 있기 때문에 현재 세계적 통일은 이루어지고 있지 않고, 양자의 관계가 환산표의 형태로 나타나져 있는 경우가 많다. 양자에는 다음 항에 기술할 높이직경비의 효과와 같은 관계가 있고, 입방체가 원주체보다도 일반적으로 높은 압축 강도 시험 결과를 나타내지만, 콘크리트 강도가 높아

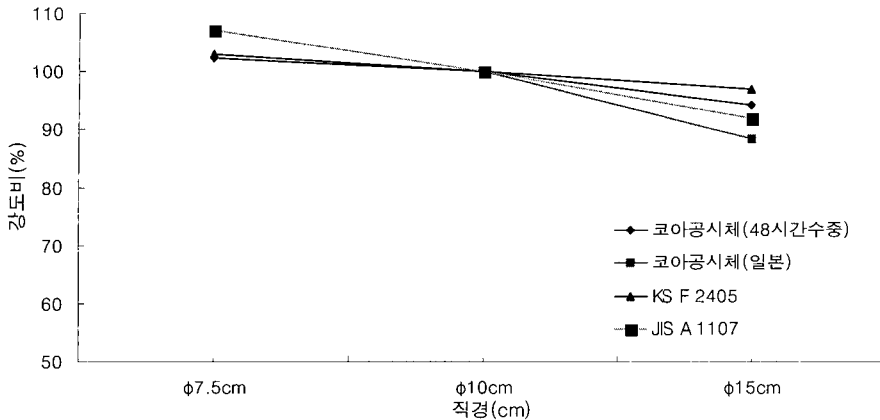


그림 3. 코어 공시체의 크기(직경)와 압축 강도비의 관계

지는 만큼 양자의 차는 작아진다. 단, 콘크리트의 타설 방향과 재하 방향의 관계가 양자의 사이에서는 다르기 때문에 분리 조점의 콘크리트가 이용되는 경우에는 파괴의 진전 과정에 차이가 생겨 입방 공시체 쪽이 낮은 강도를 나타내는 경우도 있다.

2.4 시험체의 높이직경비

구조체 콘크리트의 압축 강도를 평가하기 위해서 구조체로부터 채취한 코어를 이용해 시험하는 경우, 시험체의 높이가 직경의 2배 이하로 되는 경우도 있다. 이 경우, 가압판과 시험체 단면과의 마찰에 의한 단면 구속 효과 때문에 <그림 4>에 나

타낸 바와 같이 높이직경비가 2인 경우보다도 높은 압축 강도 시험 결과가 얻어지기 때문에 KS에서는 높이직경비에 따른 보정계수가 제시되어 있다. 그러나, 이 보정계수값은 콘크리트의 균질도에 따라 달라, 콘크리트의 균질도가 높을수록 즉 고강도일수록 혹은 매트릭스와 골재의 역학적 성질이 근사할수록 높이직경비의 영향은 작아진다. 따라서, 본래는 강도 수준 및 사용 골재의 종류(경량 골재인 경우, 고강도 콘크리트에 가까운 성상을 나타낸다)에 따라 다른 보정계수를 이용할 필요가 있다. 보통 골재를 이용한 경우에 한정되지만, 식(1)과 같은 강도의 영향을 고려한 보정계수 산출식도 제시되고 있다.

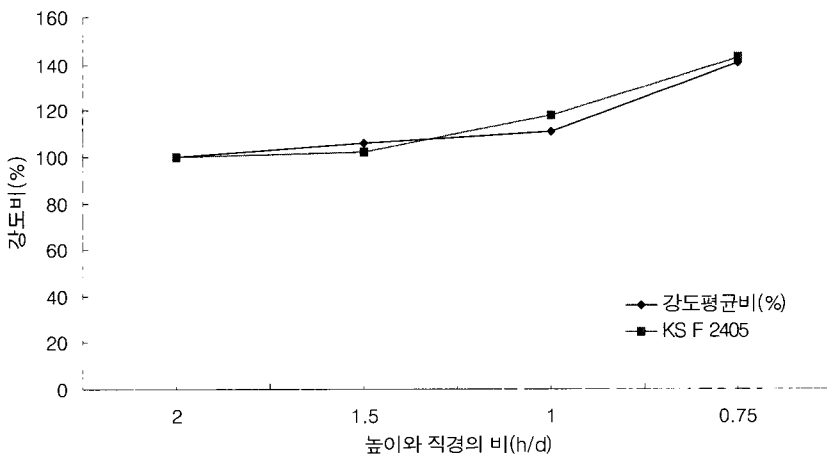


그림 5. 코어 공시체의 높이와 직경비에 의한 강도와 관계

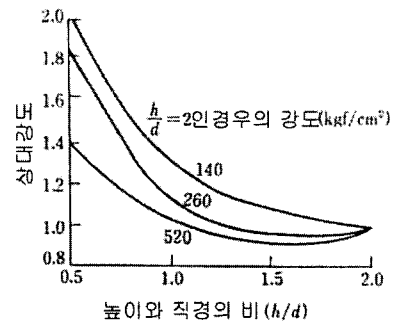


그림 4. 압축 강도 시험 결과에 미치는 높이직경비와의 관계

$$n = k \{ \ln(2D/H) \}^2 + 1 \quad (1)$$

$$k = 4.84/f_B + 0.165$$

여기서, n : f_B 에 대한 압축강도비,
 H : 높이,
 D : 직경,
 f_B : $H/D=2$ 인 시험체의 압축 강도(N/mm^2)

한편, 시설안전기술공단과 본 대학에서 실시한 코어 공시체의 높이직경비와 강도와의 관계 실험 결과를 <그림 5>에 나타내었다. 이로부터, 코어 공시체의 높이와 직경의 비는 분산 분석 결과 위험률 5%에서 유의하였고, 신뢰 구간을 추정한 결과는 $H/D=2$ 에서 $100 \pm 9.2\%$, $H/D=1.5$ 에서 $106 \pm 9.2\%$, $H/D=1$ 에서 $111 \pm 9.2\%$, $H/D=0.75$ 에서 $141 \pm 9.2\%$ 로 나타났다. 그리고 표준양생 공시체와 코어 공시체의 높이별 강도비 최대 오차는 $H/D=1$ 인 경우 7%로 나타났다. 여기서, 본 실험과 KS의 비교시 강도평균비의 오차는 높이와 지름의 비가 1인 최대 7%인 경우를 제외하고 3% 내외임을 알 수 있었다. 이는 코어 공시체의 높이와 직경비와의 관계는 KS에 나타난 보정계수와 관계와 잘 일치함을 알 수 있다.

2.5 시험체의 단면(端面) 처리 상태

시험체로서 원주를 이용하는 경우에는

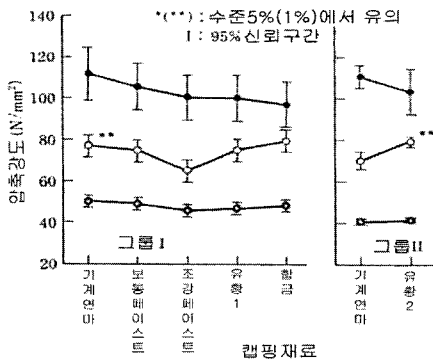


그림 6. 압축 강도 시험 결과에 미치는 캡핑 재료의 영향



그림 7. Unbonded Capping

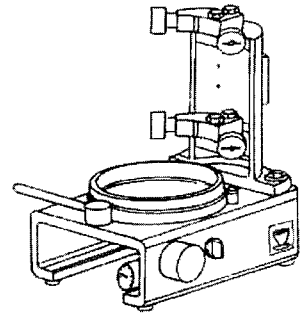


그림 8. Sand-Box용 치구

일반적으로 마감면(단면)이 재하면이 되기 때문에 단면을 적절한 방법으로 평활하게 마감해야 한다. KS에는 단면 처리 방법으로서 다양한 방법이 제시되고 있지만, <그림 6>에서와 같이 콘크리트의 고강도화에 따라 현상의 단면 처리 방법의 적부에 대해서 의문이 제기되어 고강도 콘크리트에는 기계 연마를 실시하는 것이 권장되고 있다. 기본적으로는 캡핑을 실시함에 따라 재하중에 콘크리트와 캡핑재의 역학적 성질 차에 기인하는 수평력이 시험체 단면에 생겨서는 안되고, 콘크리트보다도 먼저 캡핑재가 파괴되어서도 안된다. 이러한 관점으로부터 단면 처리 방법 각각에 대해서 적용 가능한 강도 범위를 설정하도록 하는 움직임도 본격화(ISO화)되고 있고, 그 중에서도 기계 연마에 의한 방법이 강도 제한이 없는 표준적인 방법으로서 제시되고 있다.

한편, 캡핑을 실시하는 경우에도 두께는 3mm가 바람직하고, 8mm를 넘어서는 안된다고 ASTM C617에는 규정되어 있다. 그 근거에 대해서 다음과 같은 설명이 행해지고 있다. 캡핑이 얇은 경우에는 캡핑과 콘크리트 단면과의 사이에 공극이 생기기 쉽고, 높은 하중 하에서 캡핑이 할렬되기 쉽기 때문에 압축 강도 시험 결과의 저하가 발생된다. 한편, 캡핑이 두꺼운 경우에는 캡핑재의 탄성계수는 콘크리트보다도 일반적으로 작기 때문에 포아송 효과에 의해 재하에 따라 캡핑이 수평

방향으로 변형되어 콘크리트 단부에 인장 응력이 생기게 되기 때문에 압축 강도 시험 결과의 저하가 발생된다.

또한, 캡핑을 실시하기 전의 콘크리트 단면형상도 압축 강도 시험 결과에 영향을 미쳐, 단부가凸상이거나 경사져 있는 경우에는 압축 강도 시험 결과의 저하를 발생시킨다.

최근, 단면 처리 작업에 걸리는 시간·노력·경비를 절감하는 것을 목적으로 하여, 새로운 단면 처리 방법이 세계적으로 도입되고 있다. 하나는 <그림 7>에 나타낸 바와 같은 강한 금속제 거푸집에 구속된 고무패드를 끼워 하중을 전달하는 기구를 갖는 Unbonded Capping이고, 압축 강도가 70 N/mm²까지의 콘크리트 이면 적용 가능한 것으로 알려져 있다. 또한, <그림 8>에 나타낸 것과 같은 고무패드 대신 가는 모래를 이용하는 "Sand Box"라고 하는 방법도 제안되고 있고, 압축 강도가 100 N/mm²까지의 콘크리트에 적용 가능한 것으로 알려져 있다. 한편, 일본에서는 알루미늄 분말 및 고성능 감수제를 첨가한 팽창성 유동화 페이스트를 이용해서 캡핑을 행하는 ZKT법이 제안되고 있다.

2.6 시험체의 건조 상태 및 온도

양생 조건이 같은 콘크리트 시험체라도 시험시의 시험체 함수 상태가 다르면, 압축 강도 시험 결과에 차가 발생한다. 건조

한 시험체는 함수 상태의 시험체보다도 20 ~ 25 % 높은 압축 강도를 나타낸다고 알려져 있고, 그 원인에 대해서는 함수 상태의 콘크리트에서는 시멘트 페이스트 중의 수분이 압축되어 경화체를 분리하는 압력을 발생시키기 때문이라고 하는 설명과 건조한 콘크리트에서는 표면 근방에 발생한 수축이 내부 콘크리트를 구속시키기 때문이라고 하는 설명이 있다.

시설안전기술공단과 본 대학에서 실시한 다른 건·습 조건의 코어 공시체 압축 강도와 강도비(시험 전 48시간 수중 침적한 코어 공시체의 압축 강도를 기준으로 함) 실험 결과를 일본시멘트협회 실시 결과와 비교해 <그림 9>에 나타내었다. 본 실험 결과에 대한 이원배치법에 의한 분산 분석 결과, 건·습 조건의 주 효과는 위험률 5%에서 유의하였다. 이에 각 조건별 신뢰 구간을 추정하면 기건에서 112 ± 4.5 %, 8시간에서 106 ± 4.5 %, 24시간에서 101 ± 4.5 %, 48시간에서 100 ± 4.5 %, 168시간(7일)에서 99 ± 4.5 %로 나타났다. 이 결과로부터 시험 전 48시간 수중 침적한 코어 공시체를 기준으로 했을 때 공기 중 양생으로 건조한 코어 공시체는 강도가 전체 평균 약 10 % 크고, 흡수가 충분하지 않은 시험 전 8시간의 수중 침적에서는 강도가 약 5 % 큰 것을 알 수 있다.

한편, 시험 전 24시간 수중 및 시험 전 7일간 수중강도비로부터 보면, 양자의 차

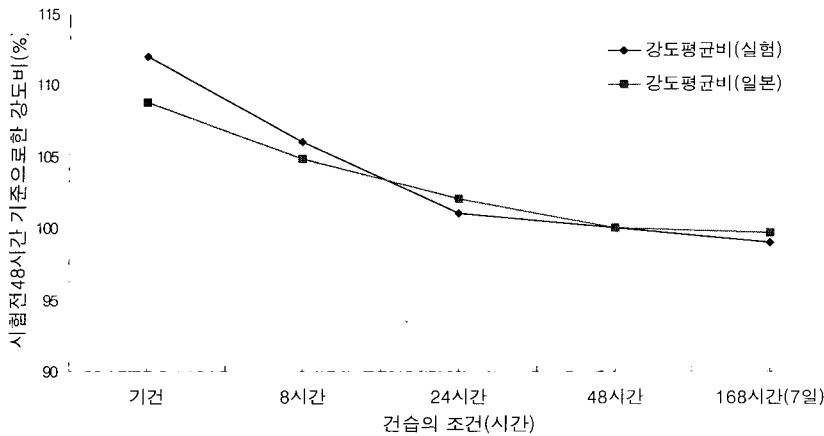


그림 9. 건·습 조건과 시험 전 48시간 수중 침적한 코어를 기준으로 한 강도비와의 관계

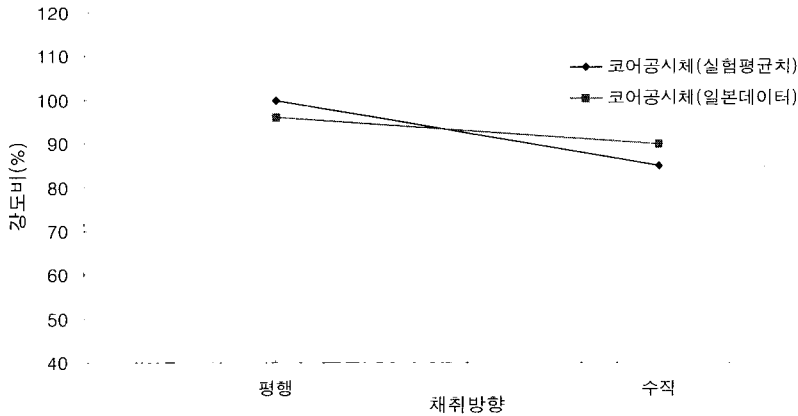


그림 11. 코어 공시체의 채취 방향에 의한 강도비와의 관계

이는 3%내로 작기 때문에 KS 규정의 시험 전 40 ~ 48시간의 수중 침적은 일정한 습윤 상태에서 강도를 시험하는 기준으로서의 목적에 부합되는 것이라고 생각된다.

또한, <그림 10>에 나타낸 바와 같이 시험시의 시험체 온도가 낮은 만큼 콘크리트 강도는 높아진다. 그 원인은 콘크리트 중의 자유수와 흡착수가 동결하게 되어 공극이 강도를 갖는 얼음으로 충전되어 얼음이 시멘트 수화물의 교질(膠質)로서 작용하기 때문이라고 해석되고 있다.

2.7 코어 공시체의 채취 방향에 의한 영향

코어 공시체의 채취 방향이 콘크리트의 타설 방향에 대해 평행인 경우와 직각인

경우에 대해서 압축 강도에 미치는 영향을 검토하였다. <그림 11>에는 표준양생 공시체에 대한 코어 공시체의 채취 방향에 의한 강도비 측정 결과 및 그 관계를 일본 시멘트협회실시결과와 비교해 나타내었다. 이에 의하면, 채취 방향이 타설 방향과 직각인 경우는 평행인 경우에 비해 코어 공시체의 압축 강도는 평균적으로 약 5% 정도 저하되는 경향에 있다. 이 현상은 콘크리트의 타설 후 아직 굳지 않은 동안에 생기는 재료의 분리·침강, 블리딩에 의해 골재 하면에 생기는 결함부에 작용하는 힘의 방향이 다르기 때문이라고 생각되고 있고, 고품질 콘크리트에 비해 저품질 콘크리트 쪽이 그 영향이 많이 나타나는 것으로 알려져 있다.

코어 공시체의 채취 방향에 의한 강도

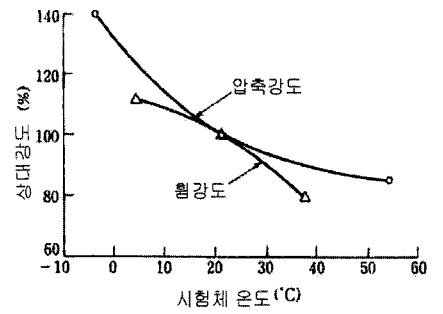


그림 10. 압축 강도 시험 결과에 미치는 시험체 온도의 영향

비를 이원 배치에 의한 분산 분석을 행한 결과, 코어 공시체의 채취 방향별 위험률 5%에서 유의하지는 않았다.

일본 실험과 본 실험평균치와의 데이터 비교시 평행과 수직과의 강도 비교는 비교적 동일한 기울기로 저하됨을 알 수 있었다. 채취 방향 중 평행을 기준으로 수직에 대한 강도 저하가 실험시 14.2%로 나타났고 일본 데이터는 6%로 나타났다.

2.8 코어 공시체에 포함되는 철근의 영향

코어 채취시에 철근을 피할 수 없어, 코어 공시체에 철근이 포함된 상태에서 시험을 실시해야 하는 경우가 있다. 이와 같은 경우를 고려하여, 코어 공시체에 포함되는 철근의 영향에 대해서 조사하였다.

즉, 본 실험은 <그림 12>에 나타낸 것과 같은 대표적인 경우에 대해서 철근 위

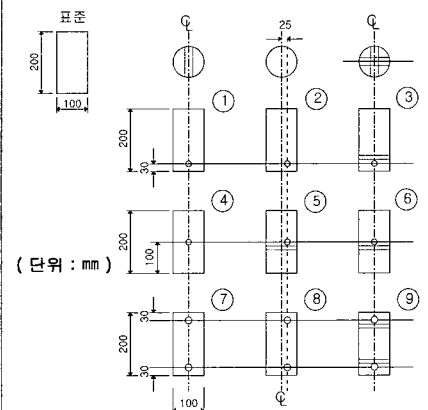


그림 12. 코어 공시체내의 철근 배치 형태

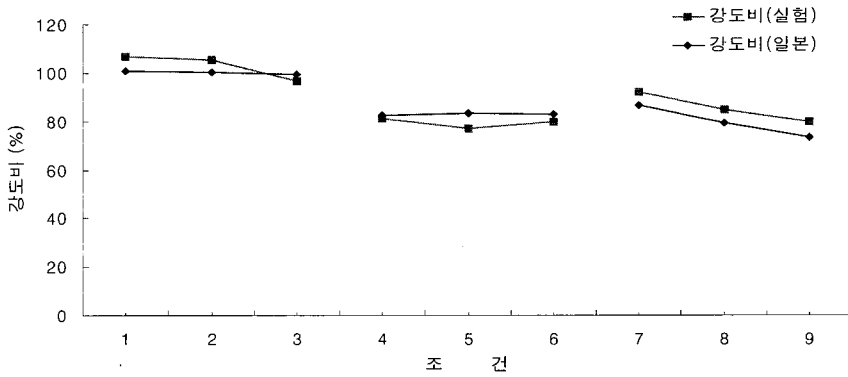


그림 13. 무근 철근을 기준으로 한 철근의 위치 조건에 따른 코어 공시체와 강도비와의 관계

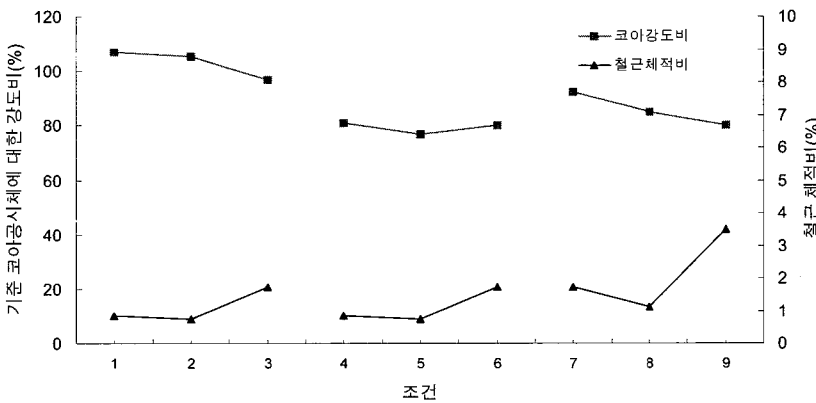


그림 14. 철근의 체적비에 따른 코어 공시체의 강도비와의 관계

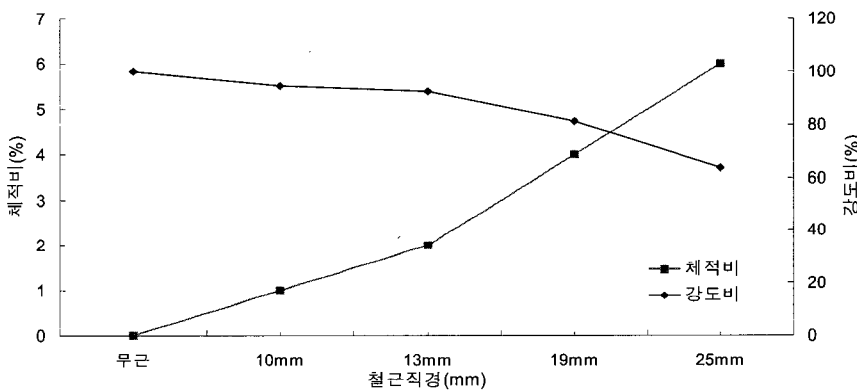


그림 15. 철근 직경과 체적비에 따른 코어 공시체의 강도비와의 관계

치를 모델화하고, 사전에 배근한 콘크리트 모형 부재로부터 이와 같은 조건에서 철근이 공시체내에 포함되도록 코어를 채취하고, 재령 90일의 시험 전 48시간 수중 침적 후, 압축 강도를 시험하였다. 각종 철근 위치 조건을 철근을 포함하지 않는 코

어 표준 공시체에 대한 강도비로서 일본시멘트협회실시결과와 비교해 <그림 13>에 나타내었다. 이들로부터, 코어 공시체중에 철근을 포함한 경우의 압축 강도는 철근을 포함하지 않는 경우에 비해 동등 혹은 저하하는 경향이 있지만, 그 저하 비율

은 철근의 위치 및 양에 따라 다른 것을 알 수 있다.

또한, 철근의 위치 조건에 따른 강도비를 위치 조건별 철근의 공시체에 대한 체적비와 비교하여 함께 <그림 14>에 나타내었다. 이때 그래프상에서는 어떠한 뚜렷한 경향이 나타나지 않음을 알 수 있지만, 3번, 9번의 체적비 상승에 따른 강도 저하가 있음을 알 수 있다. 이는 동일 체적비에 대한 공시체의 강도비를 분석하면 더욱더 명확함을 알 수 있는데, 즉, 1~3번, 4~6번, 7~9번의 조건별 강도비 변화가 일정 강도비의 범위에 모임을 알 수 있다. 이는 철근의 하부 배근, 중앙 배근, 상·하 배근에 따른 영향으로 배근 위치별로 뚜렷한 경향을 보였다.

이번에는 동일한 철근 배치에서 철근 직경에 따른 체적비의 변화로부터 강도비를 나타내었다. 다시 말해 일정한 상·하부의 철근의 배치에서 철근의 직경 증가로 체적을 증가시켰다. <그림 15>에서와 같이 체적비가 최대 6%에서 0%까지의 범위에 있어 강도비는 100~63.4%로 36.4%의 저하를 가져왔다. 이는 철근의 직경에 따른 코어 공시체의 강도 감소가 뚜렷하여 철근 직경 변화도 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

2.9 시험체의 설치 상태

시험체의 중심 축과 시험기의 재하 축이 일치하지 않는 경우에는 압축 강도 시험 결과의 저하가 발생된다. 13mm의 축 벗어남으로 10% 정도의 강도 저하가 생기는 경우가 있고, 이 경향은 콘크리트 강도가 높을수록 현저하다. 단, 이 편심 재하에 의한 강도 저하는 뒤쪽의 「구조에 도포하는 윤활제」에서 기술하는 바와 같이 구조의 회전 성능과 밀접한 관계가 있다.

콘크리트의 타설 방향과 재하 방향의 관계는 압축 강도 시험 결과에 적지 않게 영향을 미친다. 특히, 분리 저항성이 뛰어나지 않은 콘크리트를 입방체로 시험하는 경우에는 이 이외에도 시험체의 방향에 주의할 필요가 있다. 즉, 콘크리트의 타설

방향과 재하 방향이 수직인 경우에는 단면 내에서 타설 상면으로부터 하면을 향해서 역학적으로 약해지기 때문에 변형이 약점부(타설 상면)에 치우치는 휨 압축 상태로 됨과 더불어 <그림 16>에 나타난 바와 같이 골재 하면의 결합 방향이 재하 방향과 평행하게 되기 때문에 골재 하면의 결합으로부터의 균열 진전이 용이하게 촉진되어 10% 정도의 압축 강도 시험 결과의 저하를 발생시킨다. 또한, 입방체로 시험을 행하는 경우에는 시험기의 횡 방향으로의 변형을 억제하기 위해 타설면을 시험기의 지주축을 향해 시험할 필요가 있다.

2.10 재하 속도

재하 속도가 커질수록 압축 강도 시험 결과가 높아지는 것과, 압축 강도의 75 ~ 95% 정도까지의 응력 상태(체적 변형률이 감소로부터 증대로 전환되는 점)에 달하기까지의 재하 속도는 압축 강도 시험 결과에 영향을 미치지 않는 것은 주지의 사실이다. 그렇지만, 재하 속도의 영향과 콘크리트 강도와의 관계에 대해서는 통일된 견해는 얻어지고 있지 않다. 즉, 강도 수준이 높을수록 재하 속도의 영향이 현저해진다고 하는 견해와 그 역인 견해가 있다.

2.11 구좌(球座)·가압판의 형상·치수

콘크리트 압축 강도 시험에 이용되는 시험기는 가압면에 중심을 갖는 구좌를 가지고 있어야 한다고 규정되어 있지만, 가압판 및 구좌의 형상·치수에 대한 규정은 없어, <표 2>에 나타난 바와 같이 다양한 가압판·구좌가 이용되고 있다. 그러나, <그림 17>에 나타난 바와 같이 그 형상의 차이에 따라 콘크리트 상부에 생기는 응력 상태는 달라진다. 이것이 같은 콘크리트라도 다른 시험 결과 및 다른 파괴 형식이 생기는 원인의 하나가 되고 있다. 시험체에 균등하게 응력을 전달할 수 있는 구좌·가압판의 형상을 조사하기 위해서 행

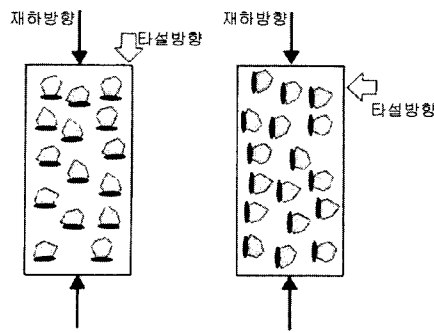


그림 16. 콘크리트의 타설 방향과 재하 방향의 관계

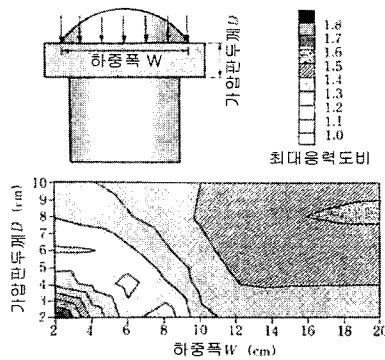


그림 18. 구좌(球座)·가압판의 형상·치수와 공식제 상부의 최대 압축 응력과의 관계

하여진 유한 요소 해석 결과에 의하면, 하중 폭 W(cm) 및 가압판 두께 D(cm)에는 <그림 18>에 나타난 바와 같이 균등한 응력 전달을 달성할 수 있는 범위가 존재하고, 식(2)와 같이 수식으로 표현되고 있다.

$$64 \leq W^2 + D^2 \leq 100$$

$$\text{이면서 } 2 \leq D \quad (2)$$

또한, <그림 19>에 나타난 바와 같이 구좌의 중심이 가압면 상에 없는 경우에는 재하에 따라 시험체의 일부에 파괴가 발생하여 축 방향 변형이 불균등해지면, 구좌가 그 움직임에 따라가기 때문에 시험체에 수평력이 작용하여 대각선에 따라 시험체가 파괴될 가능성이 높아진다.

2.12 구좌(球座)에 도포하는 윤활제

시험체 설치 후, 가압판이 시험체의 재

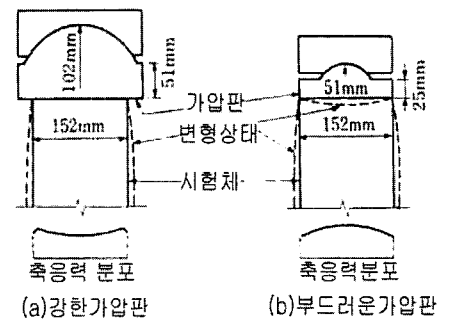


그림 17. 시험체 단부의 응력 상태에 미치는 가압판의 영향

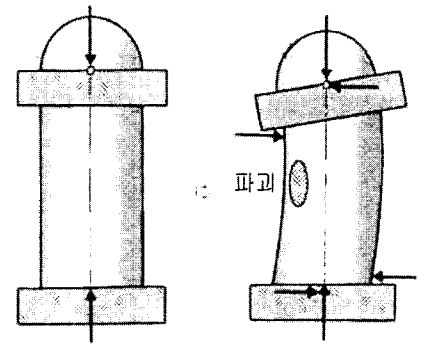


그림 19. 구좌의 중심이 가압면상에 없는 경우의 재하 상태

하면에 용이하게 밀착되도록 구좌의 표면에는 윤활제를 도포하고 있다. 그렇지만, 윤활제의 종류가 콘크리트의 압축 강도 시험 결과에 큰 영향을 미치고, 더구나 <그림 20>에 나타난 바와 같이 그 영향은 콘크리트 강도가 높을수록 현저한 것은 그다지 알려져 있지 않다. 고응력하에서도 윤활 작용을 갖는 고성능 윤활제를 이용한 경우에는 재하 중이더라도 구면좌의 회전이 가능하기 때문에, 시험체의 일부에 파괴가 발생해 축 방향의 응력·변형 분포가 단면 내에서 불균등해진 경우(편심 재하), 구좌는 그 움직임에 용이하게 따라간다. 그 결과, 시험체에 발생한 국부 파괴를 한층 조장시키게 되어 압축 강도 시험 결과를 저하시킨다. 통상의 강도 수준 콘크리트에서는 국부 파괴가 발생된 후부터 시험체 전체의 붕괴에 이르기까지는 더욱 파괴 영역이 확대될 필요가 있지만, 고강도 콘크리트에서는 국부 파괴가 전체 붕괴에 용이하게 이어지기 때문에 재하 중의 구면

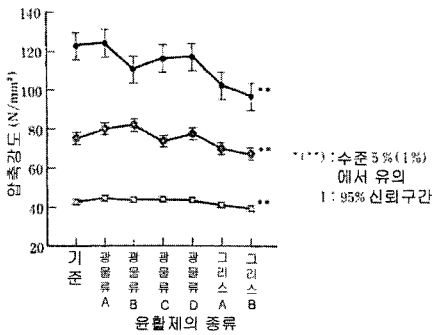


그림 20. 압축 강도 시험 결과에 미치는 구면화 윤활제 종류의 영향

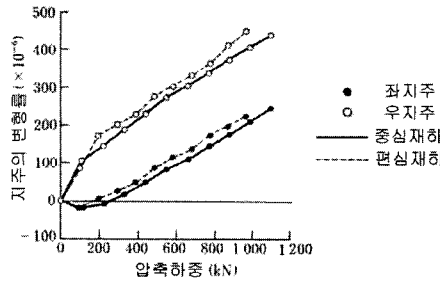


그림 21. 재하에 수반되는 지주의 변형

좌의 회전에 의해 압축 강도 시험 결과의 저하를 발생시키기 쉽다. 강도 저하를 발생시키지 않도록 하기 위해서는 재하 후에 구좌의 회전을 억제할 수 있도록 비교적 점성이 낮은 광물유를 윤활제로서 이용할 필요가 있다.

2.13 시험기의 강성

시험기의 강성(지주의 두께 및 크로스 헤드의 휨 강성)이 콘크리트의 압축 강도 시험 결과에 미치는 영향에 대해서는 그 영향 유무를 포함해서 찬부가 나누어지고 있다.

강성의 영향에 부정적인 견해도 있지만, 긍정적인 견해에 관해서는 시험기에 축적된 에너지의 시험체에의 유입을 고려한 파괴역학적인 관점으로부터, 강성이 낮은 시험기일수록 압축 강도 시험 결과가 저하되고, 그 영향은 콘크리트의 강도가 높을수록 현저해진다고 하는 설명이 있다.

콘크리트의 압축 강도 시험에 이용되는 시험기는 지주를 2개 가지고 있는 것이 많다. 재하 중, 이 좌우 2개의 지주에 생기는 변형률은 본래 같아야 한다. <그림 21>에 나타낸 바와 같이 2배 가까이 차가 생기고 있는 경우가 있다. 좌우 지주의 변형률이 균등하지 않으면 시험체에 휨 하중을 부여할 뿐만 아니라 지주에 축적되는 에너지도 증대해 버리기 때문에 압축 강도 시험 결과의 저하를 생기게 할 가능성이 있다.

3. 결 론

이상에서와 같이 코어 공시체의 압축 강도에 미치는 각종 시험 인자의 영향 및 특성에 대해 검토한 결과, 많은 인자들이 무시하기 어려울 정도로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서, 콘크리트의 가장 기본적인 성질이며 구조물의 진단시 가장 중요한 특성 중의 하나인 압축 강도에 대해서 정확한 값을 얻기 위해서는 그에 미치는 각종 시험 조건의 영향을 충분히 고려하고 경우에 따라서는 보정해 줄 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히, 현장 구조물의 압축 강도를 추정할 때 지주 사용되는 비파괴 검사에 대해서는 보다 신뢰성 있는 강도 추정치를 얻기 위해 많은 연구 등이 수행되고 있지만, 그와 비교하여 상관식을 얻어내기 위한 주 대상인 압축 강도의 측정에 대해서는 시험 조건의 영향을 고려하지 않고 시험실 나름대로의 관례에 따라 별다른 신경 없이 수행되어 온 것이 사실이다.

이에 대한 연구에 보다 많은 관심과 보정 방법 등의 대책이 마련될 필요가 있을 것으로 사료된다. □

참고문헌

1. 콘크리트 및 강재 비파괴시험 평가·검증방안 연구보고서, 건설교통부·시설안전기술공단, 2001.
2. 野口貴文 : 콘크리트의 압축강도 시험결과

- 에 영향을 미치는 각종시험조건, 일본콘크리트공학, Vol.35, No.9, 1997. 9.
3. 일본시멘트협회 콘크리트전문위원회 : 코어 공시체의 압축강도에 미치는 각종시험요인의 영향, 시멘트·콘크리트, No.483, 1987. 5.
4. 友澤史紀·野口貴文의 : 고강도 콘크리트의 압축강도시험방법의 표준화에 관한 연구, 일본건축학회 대회학술강연개요집, A, 1990, pp.499~502.
5. 谷川恭雄, 山田和夫 : 콘크리트 압축강도의 치수효과에 대해서, 일본건축학회 논문보고집, 제262호, 1997, pp.13~21.
6. 野口貴文, 友澤史紀 : 고강도 콘크리트의 압축역학특성에 미치는 공시체 치수·형상의 영향, 일본건축학회 구조계 논문집, No.473, 1995, pp.19~28.
7. D. N. Richardson : Effects of Testing Variables on the Comparison of Neoprene Pad and Sulfur Mortar-Capped Concrete Test Cylinder, ACI Materials Journal. Vol. 87, No. 5, 1990, pp.489~495.
8. 野口貴文·友澤史紀의 : 고강도 콘크리트의 압축강도시험방법의 표준화, 일본건축학회 학술강연개요집, A, 1993, pp.957~958.
9. C. Boulay and F. de Larrard : Capping High-Performance Concrete Cylinder with the 'Sand-Box', Proceedings of 3rd International Symposium on Utilization of High-Strength Concrete, 1993, pp.1015~1037.
10. 吉兼 亨 : 캡핑의 폐속화를 목표로, 시멘트·콘크리트, No. 540, 1992, pp.8~17.
11. S. Popovics : Effect of Curing Method and Final Moisture Condition on Compressive Strength of Concrete, Journal of American Concrete Institute Vol.83, 1986, pp.650~657.
12. P. Klieger and F. Lamond : Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, ASTM, 1994, pp.126~130.