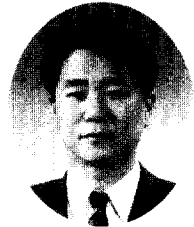


콘크리트의 압축강도 시험결과에 영향을 미치는 각종시험조건

Various Testing Condition Affecting Measured Compressive Strength of Concrete



장 일 영*

본 글은 일본콘크리트공학협회 학회지 97년 9월호에 게재된 野口貴文박사의 해설기사를 요약번역한 것이다.

1. 서론

최근 콘크리트의 고성능화, 즉 고강도화, 고유동화, 고내구성화를 위한 노력이 전세계적으로 확산되고 있으며 많은 결실을 얻고 있다.

따라서 이제까지 잠재해있던 요구성능 및 품질에 대한 시험조건의 영향이 매우 커질 것이 예상되므로 시험방법 및 결과분석에 대한 주의가 한층 더 요망되고 있다. 그 예를 그림 1에 나타내면, 이것은 동일배치로부터 얻어진 동일한 재료·배합의 콘크리트를 동시 성형한 시험체의 압축강도로서, 동일한 재령, 건습상태, 재하속도 조건하에서 시험한 압축강도 결과이다. 단 재원 및 성능이 틀린 16종류의 압축시험기(표1참조)에 의해 측정한 결과이다.

비슷한 압축강도 시험결과가 얻어지야 하지만 평균치에 있어서 10% 이상 차이가 나는 결과도 얻어지고

있다. 특히 고강도 콘크리트에 있어서 그 차이가 커지는 경향이 나타나고 있다. 압축강도는 콘크리트의 성

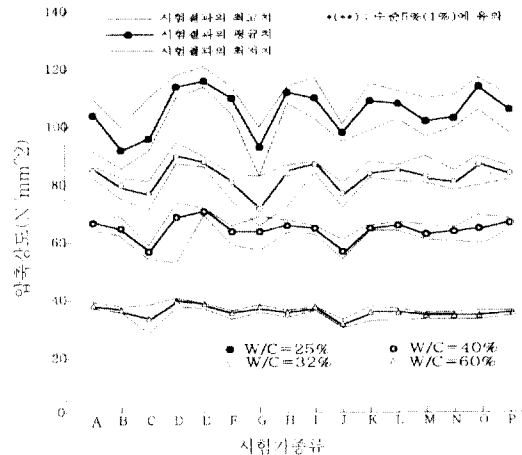


그림 1 압축강도시험결과에 미치는 시험기종류의 영향

* 상희원, 금오공과대학교 토목공학과 교수

표 1 압축시험기의 제원 · 성능

| 시험기 | 최대용량 (kN) | 제어방법 | 축강성 (kN/mm) | 가압판크기 (cm) | 구좌중심위치 (Cm) |
|-----|-----------|----------|-------------|------------|-------------|
| A | 1000 | 유압하중, 시보 | 218 | φ16 | -0.7 |
| B | 2000 | 유압하중 | 410 | φ21 | -1.1 |
| C | 1000 | 유압하중 | 218 | 22 × 22 22 | +7.1 |
| D | 2000 | 다시식변위 | 435 | 30 × 30 | -0.2 |
| E | 1000 | 유압하중 | 333 | 16 × 16 | -0.0 |
| F | 1000 | 웨이식변위 | 3100 | φ22 | -20.4 |
| G | 5000 | 유압하중 | 707 | φ15 | +0.8 |
| H | 6000 | 유압하중 | 453 | φ16 | +0.0 |
| I | 2000 | 유압하중 | 518 | 32 × 32 | +0.0 |
| J | 2000 | 유압하중 | 536 | φ32 | +0.0 |
| K | 2000 | 유압하중, 시보 | 936 | φ16 | +0.5 |
| L | 1000 | 유압하중 | 230 | φ16 | +1.8 |
| M | 1000 | 유압변위, 시보 | 20000 | φ16 | -0.6 |
| N | 1000 | 유압하중 | 303 | φ16 | +5.3 |
| O | 1000 | 유압하중 | 356 | φ32 | -0.0 |
| P | 2000 | 유압하중 | 412 | φ32 | -8.3 |

능 및 품질을 대표하는 가장 기본적인 지표이지만, 이것이 사용하는 시험기에 의해서 결과가 틀려진다는 것은 설계시뿐만 아니라 콘크리트 납품계약에 있어서도 곤란한 상황이 예상된다. 이와같이 아무런 의심 없이 일상적으로 취급되어온 콘크리트 압축강도의 측정 결과를 다시 한번 주목할 시점에 와 있다고 할 수 있다. 압축강도에 영향을 미치는 요인을 시계열적으로 일거하던 표2와 같으며, 압축강도에 부적을 두고 이것에 미치는 각종 요인의 영향, 특히 시험조건(내적 요인, 외적요인)의 영향에 관해서 살펴본다.

표 2 콘크리트 압축강도에 영향을 미치는 요인

| 항 목 | 요 인 | 영 향 |
|-------|---|-----|
| 계 조 | 시멘트종류, 혼화제종류, 골재종류 · 크기 | |
| 배 량 | 물시멘트비, 단위수량, 혼화제량, 골재량, 혼화제량, 공기량 | |
| 재 조 | 혼합경간, 재료유입순서, 콘크리트온도 | |
| 시험체제작 | 시험체형상 · 크기, 높이, 단면치수公差, 마감정도, 보아채워진적 · 방법 | |
| 양 생 | 양생기간, 전습상태, 이력온도 | |
| 적용제상대 | 전습상태, 시험체온도 | |
| 해 리 | 해리온도, 시험체설치상태, 응력상태(일축, 다축) | |
| 시 실험기 | 가압판형상 · 크기, 구좌위치, 구좌 · 강성, 지지수 | |

2. 시험체에 관한 요인(내적요인)

2.1 시험체 크기

균질한 콘크리트에서는 그림2에 나타난 바와 같이 어느 정도의 크기까지는 시험체가 커질 수록 압축강

도값이 낮아지는 크기효과가 존재한다. 이 원인에 대해서는 시험체중 결함량의 용적효과의 확률과정에 의한 설명과 파괴발생 및 발전과정의 에너지 평형문제에 근거를 둔 파괴역학에 의한 설명 등이 있다. 여기서 주의해야만 하는 것은 골재크기에 대한 시험체 크기의 비 및 매트릭스와 골재의 역학적 성질에 대한 차이점이 크기효과에 커다란 영향을 미치는 점이다. 보통강도 콘크리트의 경우 골재 탄성계수는 매트릭스 탄성계수 보다 크며, 골재크기에 대한 시험체 크기의 비가 비교적 적은 범위에서는 시험체 크기를 작게 하여도 압축강도가 커지지 않는 경우도 있다. 그러나 고강도 콘크리트에서는 매트릭스와 골재와의 역학적 성질에 차이점이 비교적 적으므로 크기효과는 커진다.

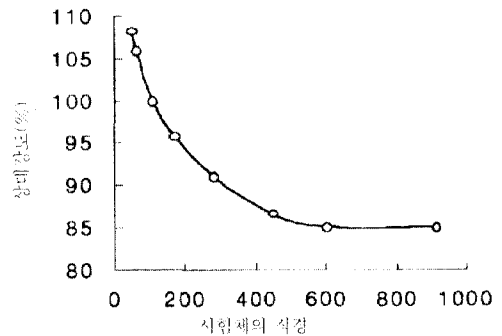


그림 2 압축강도시험결과에 미치는 시험체의 크기영향

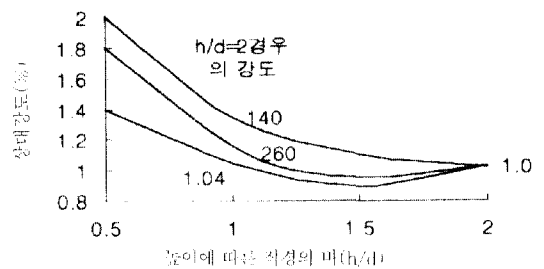


그림 3 압축강도 시험결과에 미치는 높이 직경비의 영향

2.2 시험체의 형상

콘크리트 압축강도 시험에 있어서 일본, 미국, 프랑스 등에서는 원주 공시체를 사용하고 있지만 영국, 독일 등에서는 입방체 공시체를 사용하고 있다. 각각 장단점이 있기 때문에 세계적 통일은 되어 있지 않지만 두 시험체간의 관계를 환산표를 이용하여 분석하는 경우도 있다. 입방체가 원주형보다도 일반적으로

로 높은 압축강도 시험결과를 나타내고 있으나, 콘크리트 강도가 커질 수록 그차이는 적어진다. 단 콘크리트 타설방향과 재하방향의 관계로 인하여 파괴 진행과정에 차이가 발생할 경우에는 입방체 공시체가 보다 낮은 강도를 나타내는 경우도 있다.

2.3 높이와 직경의 비

구조체 콘크리트의 압축강도를 평가하기 위해 코아를 채취 시험하는 경우, 시험체 높이가 직경의 2배 이하가 되는 경우도 있다. 이 경우 시험기의 가압판과 시험체 단부와의 마찰에 의해 단부구속효과가 발생하며, 그림3에 나타난 바와 같이 높이와 직경의 비가 2의 경우보다도 높은 압축강도 시험결과가 얻어진다. 이것을 보정하기 위해 JIS에서는 높이 직경비에 따른 보정계수를 제시하고 있다. 그러나 이 보정계수 값은 콘크리트의 균질도에 따라 틀리며 균질도가 높을 수록, 즉 고강도화될 수록 높이 직경비의 영향은 작아진다. 따라서 강도레벨 및 사용골재의 종류 등에 맞는 보정계수를 따로 분류할 필요가 있다.

2.4 단면처리상태

원주형 시험체의 경우에는 마감처리면이 재하면이 되므로 JIS에서는 단면처리방법으로써 여러방법을 제시하고 있지만, (그림 4참조)일반적으로 고강도 콘크리트에는 기계 연마방법이 추천되어지고 있다. 캡핑을 할 경우에는 재하중 콘크리트와 캡핑재료간의 역학적 성질 차이로 인한 수평력이 시험체 단면에 생기지 않을 것, 또한 콘크리트보다도 캡핑재료가 먼저 파괴되지 않을 것 등의 관점으로부터 각각의 단면처리방법에 대해서 적용 가능한 강도범위를 설정하려는 움직임도 본격화(ISC)화)되고 있다. 여기서도 기계 연마 방법이 강도제한이 없는 표준적 방법으로써 제시되고 있다. 캡핑을 하는 경우에도 그 두께는 3mm 정도가 추천되며 8mm를 초과하면 안된다는 ASTM의 규정도 있다. 이 근거는 캡핑이 얇은 경우에는 캡핑과 콘크리트 단면과의 사이에 공극이 발생하기 쉬우며, 높은 하중하에서는 캡핑재료의 활렬파괴가 예상되기 때문이다. 또한 캡핑이 두꺼운 경우에는 캡핑재료의 탄성계수가 콘크리트보다도 일반적으로 작기 때문에 포아송 효과에 의해 캡핑재료가 수평방향으로 변형하여 콘크리트 단부에 인장응력을 발생시키

기 때문이다.

캡핑을 하기전의 콘크리트 단면 형상도 압축강도 시험결과에 영향을 미치며 표면이 요철상태이거나 경사진 경우에는 시험결과가 작아진다. 최근 단면처리작업에 걸리는 시간, 노력 및 경비를 절감할 것을 목적으로 새로운 단면처리방법이 연구되어지고 있다. 그중 하나는 Unbonded Capping방법으로써 그림5에 나타난 바와 같이 단단한 금속제의 원형판과 여기에 구속되는 고무판을 시험기 사이에 놓고 하중을 전달하는 시스템으로, 압축강도 700kg/cm²까지의 콘크리트에 적용 가능한 것으로 알려지고 있다. 그리고 그림6에 나타난 바와 같이 고무판 대신에 고운 모래를 사용하는 Sand Box라고 하는 방법도 제안되어 있으며, 압축강도 1000kg/cm²까지 적용 가능한 것으로 알려져 있다. 또한 알루미늄분말 및 고성능감수제가 첨가된 팽창성 유동화 페이스트를 이용한 캡핑 방법으로 ZKT법이 제안되어 있다.

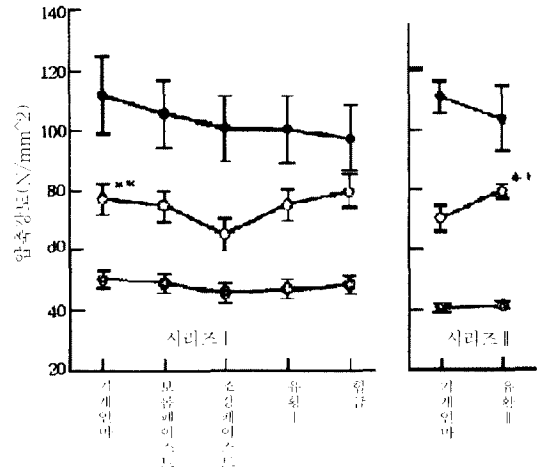


그림 4 압축강도시험결과에 미치는 캡핑재료의 영향

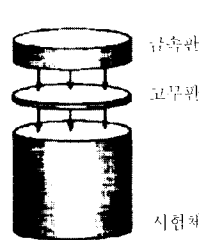


그림 5 Unbonded Capping

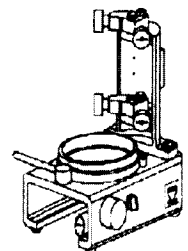


그림 6 Sand-Box용 기구

2.5 시험체의 건습상태 및 온도

양생조건이 같아도 시험시의 함수상태가 틀리면 시험결과에 차이가 발생한다. 건조한 공시체는 함수상태의 공시체보다도 20~25% 높은 압축강도를 나타낸다. 이것은 함수상태의 콘크리트에서는 시멘트 페이스트중의 수분이 압축된 경화체를 분리시키려고 하는 압력을 발생시키기 때문이며, 건조한 콘크리트에서는 표면 근방에 발생하는 수축이 내부 콘크리트를 구속하기 때문이다. 또한 그림7에 나타난 바와 같이 시험시의 시험체 온도가 낮을수록 콘크리트 강도는 높아진다. 이것은 콘크리트 중의 자유수와 흡착수가 동결하여 간극이 강도를 갖고 있는 얼음으로 충전되어 수화물의 작용을 하기 때문이다.

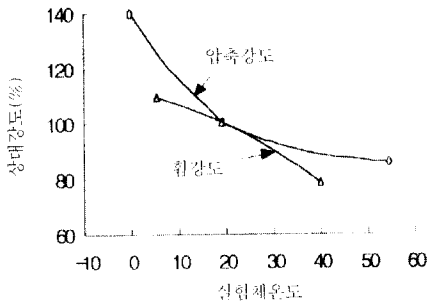


그림 7 압축강도시험결과에 미치는 시험체온도의 영향

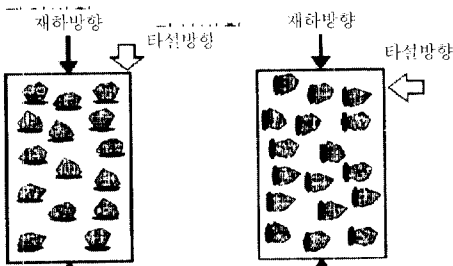


그림 8 콘크리트 타설방향과 재하방향의관계

3. 시험기에 관한 요인 (외적 요인)

3.1 시험체의 설치 상태

시험체 중심축과 시험기 재하축이 일치하지 않는 경우에는 압축강도 결과가 낮아진다. 13mm 편심으로 10%정도의 강도저하가 발생하며, 이러한 경향은 콘

크리트 강도가 높을수록 커진다. 이러한 편심재하에 의한 강도저하는 구좌의 회전성능과도 밀접한 관계가 있다.

콘크리트 타설방향과 재하방향의 관계또한 시험결과에 영향을 미친다. 특히 분리저항성이 적은 콘크리트를 압박재 시험체로 시험하는 경우에 주의할 필요가 있다. 즉 콘크리트의 타설방향과 재하방향이 수직인 경우에는 편심 휨압축상태가 되기 쉬우며(먼저 타설된 밑부분보다 나중에 타설된 윗부분이 낮은 강도를 나타내는 경우가 많으며 이것이 재하방향에 수직이 되면 나중에 타설된 윗부분으로 압축과파가 발생), 또한 그림8에 나타난 바와 같이 골재하면의 결합방향이 재하방향과 평행이 되어 골재하면의 결합으로부터 균열이 커지기 쉬우므로 10%정도의 시험결과 저하를 초래한다.

3.2 재하속도

보통강도의 경우에는 재하속도가 빠를수록 측정강도는 높아지며, 최대압축강도의 75~95% 응력상태에 도달하기까지의 재하속도는 시험결과에 영향을 미치지 않는다는 사실이 알려져 있다. 그러나 강도레벨이 높을수록 재하속도의 영향이 커진다는 견해와 그 반대의 견해 등, 강도레벨에 대한 재하속도의 영향에 관한 통일된 견해는 얻어지지 않고 있다.

3.3 구좌, 가압판의 형상과 크기

콘크리트 압축강도 시험에 이용되어지는 시험기는 가압판 중심위치에 구좌를 설치하도록 규정(JIS규정)되어 있지만 가압판 및 구좌의 형상, 크기에 관한 규정은 없으며, 표1에 나타난 바와 같이 각양각색의 가압판 및 구좌가 이용되어지고 있다.

그러나 그림9에 나타난 것처럼 형상 차이에 의해서 콘크리트 상부에 발생하는 축응력상태는 틀려진다. 이것이 서론에서 기술한 바와 같이 동일한 콘크리트의 경우에도 시험결과 및 파괴양상을 틀리게 하는 원인의 하나이다. 콘크리트에 균등한 응력을 전달할 수 있는 구좌 및 가압판의 형상을 조사하기 위하여 유한요소해석을 실행한 결과에 의하면, 하중폭W 및 가압판 두께D는 그림10에 나타난 바와 같이 균등한 응력 전달이 가능한 범위가 존재하며 (1)식과 같은 수식이 알려지고 있다.

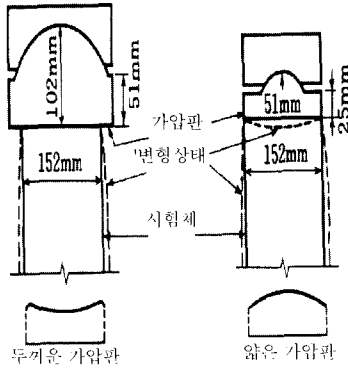


그림 9 시험체단부의 응력변형에 미치는 가압판의 영향

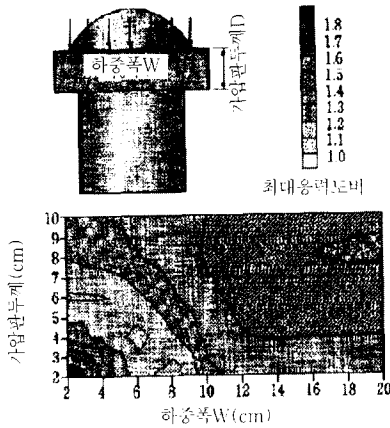


그림 10 구좌·가압판 변형·크기와 시험체상부 최대압축응력과의 관계

$$64 \leq W^2 + D^2 \leq 100 \quad (2 \leq D) \quad (1)$$

3.4 구좌에 도포하는 윤활제

시험체 설치후 가압판이 시험체 재하면에 밀착되도록 구좌 표면에는 윤활제를 바르는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 윤활제의 종류가 시험결과에 큰 영향을 미치며 그림 11에 나타난 바와 같이 콘크리트 강도가 높을수록 더 큰 영향을 나타내고 있다.

높은 응력하에서도 고성능 윤활제를 사용하게 되면, 재하중에 있어서도 구좌의 회전이 가능하므로 시험체 일부에 파괴가 발생하여 축방향응력 및 변형분포가 단면내에서 불균등하게 된 경우(편심재하). 구좌는 그 움직임에 자유롭게 대응한다. 그 결과 시험체에 발생한 국부적 파괴를 더욱 촉진시키게 되며 압축강도 시험결과를 저하시킨다. 보통강도 콘크리트

에서는 국부파괴로부터 시험체의 전체파괴에 도달할 때까지 파괴영역의 확대가 필요하지만 고강도 콘크리트에서는 국부파괴가 전체파괴에 쉽게 연결되기 때문에 재하중의 구좌 회전에 의한 강도 저하가 발생하기 쉽다. 이러한 강도저하를 방지하기 위해서는 구좌의 회전을 억제하는 것이 가능한 비교적 점성이 낮

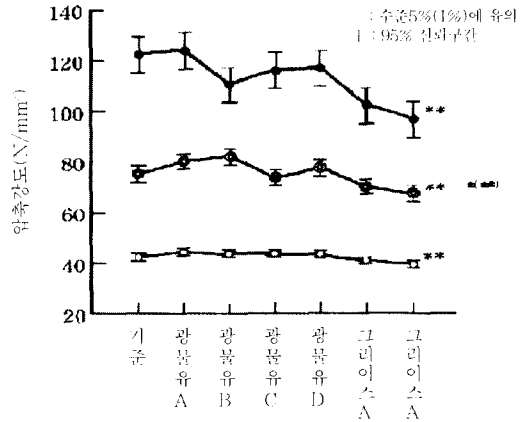


그림 11 압축강도시험결과의 미치는 구좌윤활제 종류의 영향

은 광불유를 윤활제로써 사용할 필요가 있다.

3.5 시험기의 강성

시험기의 강성(지주의 두께 및 크로스 베드의 휨강성이 크게 관여)이 시험결과에 미치는 영향은 미약하다는 견해도 있지만 일반적으로 크다는 견해가 많다. 즉 시험기에 축적된 에너지가 시험체에 유입되는 것을 고려한 파괴역학적 관점으로부터, 강성이 낮은 시험기일 수록 압축강도 시험결과는 낮아지며, 그 영향은 콘크리트 강도가 높을 수록 뚜렷하다는 설명이다. 또한 시험기 크로스 베드의 추종성 관점으로부터도 강성이 낮은 시험기일수록 시험결과가 낮아진다는 설명이다.

시험기의 지주는 두 개인 경우가 일반적으로 많으며, 재하중 양 지주에 발생하는 변형율은 같지 않으면 안된다. 그러나 그림 12에 나타난 바와 같이 두배 가까운 차이가 발생하는 경우도 있다. 좌·우 지주에 발생하는 변형율이 균등하지 않으면 시험체에 휨 하중을 줄뿐만 아니라 지주에 축적된 에너지도 증가하여 압축강도 시험결과와 저하를 초래할 가능성이 높다.

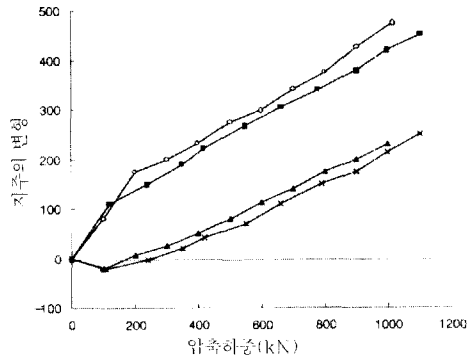


그림 12 재하시 나타나는 지주의 변형

4. 결론

이미 1910년대에서부터 연구대상이 되어 왔으며 지금도 많은 연구자에 의해서 진행중인 연구과제로서, 압축강도라고 하는 콘크리트에 있어서 가장 기본적인 성질에 미치는 각종 시험조건의 영향을 기술하였다. 그 중에서도 지금까지 비교적 알려지지 않았던 외적요인에 대해서도 살펴보았으며 콘크리트의 고성능화 추세에 맞추어 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다. □