



콘크리트 직접인장강도의 세장비 효과

홍건호¹⁾*

¹⁾호서대학교 건축공학과

(2002년 9월 3일 원고접수, 2003년 2월 7일 심사완료)

Effect of Aspect Ratio in Direct Tensile Strength of Concrete

Geon-Ho Hong¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hoseo University, Chung-Nam Do, 336-795, Korea

(Received September 3, 2002, Accepted February 7, 2003)

ABSTRACT

Although concrete members are not normally designed to resist direct tension, the knowledge of tensile strength is of value in estimating the cracking load. In general, there are three types of test method for tensile strength ; direct tension test, flexural tension test, and splitting tension test. Though direct tensile strength represents the real tensile strength of concrete, direct tension tests are seldom carried out, mainly because it is very difficult to applicate a pure tension force.

The purpose of this paper is to investigate the test methods, effect of aspect ratio, and the size effect on the direct tensile strength. Direct tension test, using bonded end plates, follows RILEM and U.S.Bureau of Reclamation. And other test methods follow ASTM provisions. Four kinds of aspect ratio and two kinds of size effect are tested. Same variables are tested by direct tension test and splitting tension test for comparison between the two test methods.

Test results show that direct tensile strength of concrete is more affected by aspect ratio and size than other kinds of strength.

Keywords : direct tensile strength, splitting tensile strength, flexural tensile strength, aspect ratio, size effect

1. 서 론

콘크리트는 주로 압축력에 저항하도록 설계되는 것이 일반적이며, 재료의 특성상 인장력에 저항하도록 설계되는 경우는 없으나, 콘크리트 인장강도의 크기는 부재의 균열 강도를 산정하기 위해서는 필수적으로 필요한 요소이다. 철근콘크리트 구조물에서 콘크리트의 균열은 부재의 건전한 사용성 확보 및 철근의 부식방지를 위하여 반드시 고려되어야 할 요소 중 하나이다. 콘크리트의 균열은 하중에 의한 응력으로부터 발생하는 휨인장 혹은 사인장균열이나 건조수축, 온도응력 등으로부터 발생하게 되는데, 콘크리트 인장강도에 대한 정보는 실제 부재의 내력설계 시에 고려되지는 않더라도, 이와 같은 균열강도를 예측함으로써 구조물의 내구성 설계를 위해서는 반드시 필요한 요소이다.^{1,2)} 특히, 댐과 같은 무근 콘크리트 구조물의 설계 및 계산을 위해서는 콘크리트의 인장강도가 필수불가결한 요소라 할 수 있다.

일반적으로 콘크리트의 인장강도는 직접인장강도(direct tension), 휨인장강도(flexural tension, 파괴계수), 및 쪼갬 인장강도(splitting tension) 등 3가지로 구분되는데, 이 중에서 직접인장강도가 가장 직접적인 콘크리트의 인장강도로 볼 수 있으나 실험상의 어려움으로 실제 연구 및 현장에서 활용되지 못하고 있는 것이 사실이다.³⁾

이에 따라 본 연구에서는 실험적 연구를 통하여 콘크리트 직접인장강도 시험방법의 타당성 검증과 직접인장강도 시험시 시험체의 세장비효과 및 크기의 영향에 대한 분석을 그 목적으로 하였으며, 동시에 동일 실험변수에 대한 타 시험방법과의 비교를 통해 인장강도 시험방법 간의 관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

콘크리트의 강도시험을 위해서는 일반적으로 콘크리트 타설시 별도로 제작된 실린더형 공시체나 실존부재로부터 코아를 채취하여 얻은 코아 시험체를 대상으로 하게 된다.

* Corresponding author
Tel : 041-540-5774 Fax : 041-548-5126
E-mail : honggh@office.hoseo.ac.kr

이때, 별도 제작된 공시체의 경우에는 표준크기 및 표준 직경과 높이의 비(1:2)를 갖게 되나, 실존 부재로부터 코아를 채취하는 경우에는 이와 같은 조건을 만족시키기 어려운 것이 사실이다. 특히, 건축물의 경우에는 부재의 두께가 얇은 경우가 많으므로, 표준 직경과 높이의 비를 만족시키는 현실적으로 힘든 것이 사실이다. 이에 따라 본 연구에서는 콘크리트 직접인장강도에 대한 시험체의 세장비 효과를 분석하기 위하여 직경과 높이의 비를 표준 비율로부터 변화시켜 각각 1:3, 1:2, 1:1 및 1:0.5 등 총 4 가지 경우에 대한 실험을 실시하도록 하였다. 동시에 공시체의 크기에 따른 효과를 분석하기 위하여 표준 직경과 높이의 비인 1:2인 경우에 대하여 직경 10cm 와 15cm의 공시체에 대한 직접인장강도시험을 실시하도록 하였다.

실험결과와 신뢰성 평가 및 인장강도 시험방법간의 관계를 규명하기 위하여 동일한 변수에 대하여 조깅인장강도시험을 실시하였으며, 시험체의 형태상 동일한 변수의 선정은 곤란하나 상대적 강도의 비교를 위한 휨인장강도시험도 실시하도록 하였다.

각 변수별 3개의 공시체를 시험하였으며, 콘크리트의 압축강도는 시험 시작 전과 시험 후 2회에 걸쳐 시험한 후 평균값을 사용하도록 하였다. 이상과 같은 실험내용을 정리하면 다음의 Table 1과 같다.

2.2 실험방법

콘크리트의 직접인장강도 시험에서 가장 문제가 되는 부분은 편심을 배제한 직접인장력의 가력방법에 대한 고려라고 볼 수 있다. 콘크리트 시편의 고정 및 가력을 위한 방법으로 1960년 O'Cleary등이 사용한 lazy-tong 그림은 일차적인 성공을 가져왔으나, 실질적으로 그림 및 매립스터드에 의한 2차응력을 제거하기가 곤란하였다.⁴⁾ 1975년 RILEM의 규정 CPC7⁵⁾에서는 단부 보강편(end plates)을 이용한 콘크리트 시험편의 직접인장강도 시험방법을 제안하였으며, 1992년 U.S. Bureau of Reclamation⁶⁾에서는 RILEM의 규정을 보완하여 콘크리트의 직접인장강도 및 탄성계수의 측정에 관한 실험방법을 규정하였다. 유사 규정으로서 ASTM D 2936-95⁷⁾에서는 코아를 채취한 암

Table 1 Test variables

| | Variables | Remarks |
|-------------------|----------------------------------|----------------------|
| Direct tension | D/H ratio : 1:3, 1:2, 1:1, 1:0.5 | Φ10 |
| | Size effect : Φ10×20, Φ15×30 | |
| Splitting tension | D/H ratio : 1:3, 1:2, 1:1, 1:0.5 | Φ10 |
| | Size effect : Φ10×20, Φ15×30 | |
| Flexural tension | 10×10×30 cm prism (span : 25cm) | Center point loading |
| Compression | Φ15×30 | |

석시편에 대한 직접인장시험방법을 규정하고 있으며, 본 규정의 경우에는 시험대상 재료의 종류가 상이함에 따른 약간의 차이 이외에는 대체적으로 동일한 시험방법을 규정하고 있다.

본 연구에서는 기본적으로 U.S. Bureau of Reclamation의 규정을 따르되, 부분적으로 RILEM 및 ASTM D 2936의 규정을 병행하여 실험하도록 하였다.

실험의 주요 과정을 요약 정리하면 다음과 같다.

(1) 인장강도 시험용 공시체의 제작은 콘크리트 강도시험용 공시체의 제작방법에 따라 콘크리트를 타설하고, 타설 후 28일간 상온에서 밀봉양생을 실시한다.

(2) 28일의 양생 후 공시체의 양단에 인장시험을 위한 단부 보강편(end plates)을 부착한다. 단부 보강편의 부착 작업을 위하여 사전에 콘크리트 공시체의 양단 및 보강편의 표면정리 작업을 실시한다. 이때, 표면 정리작업은 이물질의 제거 및 부착력의 증진을 위하여 적절한 표면 거칠기를 갖도록 샌드블라스트(sandblast)작업을 실시한다. 이와 같은 샌드블라스트 작업은 콘크리트 표면의 레이턴스를 제거하고 부착에 양호한 표면거칠기를 부여함으로써, 강도시험시 보강편의 부착파괴를 방지하기 위한 사전단계이다. 가공된 공시체는 보강편과 공시체의 수직을 유지시켜줄 수 있는 적절한 장치(Fig. 1)를 통하여 부착을 시킨다.



Fig. 1 Bonding frame

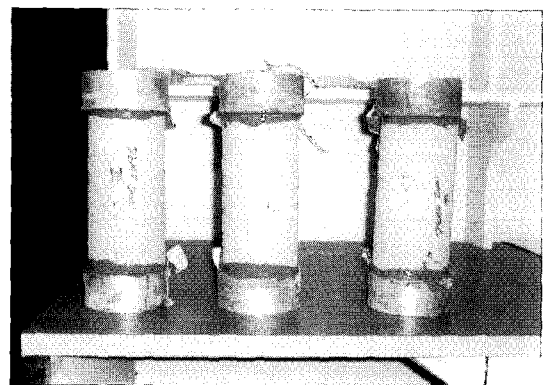
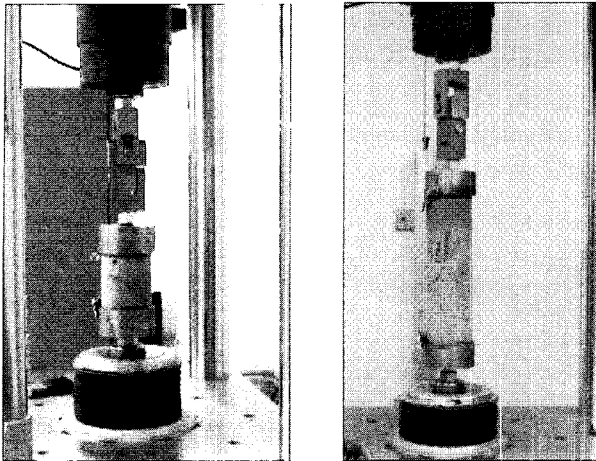


Fig. 2 Direct tensile specimens with end plate



(a) Aspect ratio 1:0.5 (b) Aspect ratio 1:3

Fig. 3 Direct tension test view

부착에 사용되는 접착제로는 고강도, 고강성의 에폭시를 사용하며, 적절한 점성을 가짐으로써 경화 전에 과도하게 흘러내리는 것을 방지하여야 한다.

(3) 부착틀에서 24시간 이상의 경화과정을 거친 후 시험체는 다시 상온에서 6일 이상의 양생기간을 거친다.

(4) 실험시에는 양단 보강편이 설치된(Fig. 2~3) 공시체를 시험기에 편심이 없도록 설치한 후, 파괴시까지 일정한 속도로 가력한다. 본 연구에서는 몇차례의 사전실험을 통하여 충격이 가해지지 않고 양호한 실험결과를 얻을 수 있는 속도로서 0.5 mm/min (0.02 in./min)의 속도로 변위조절을 실시하였다.

쪼갠인장시험은 ASTM C 496-96⁸⁾의 규정을 따르도록

Table 2 Test results

| Specimen (D×H) | Direct tension | | | | Splitting tension | | | | Direct/splitting (%) | Direct/flexural (%) | Direct/compression (%) |
|----------------|------------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| | Test result (kgf/cm ²) | Remark | Average (kgf/cm ²) | Ratio with 10×20 | Test result (kgf/cm ²) | Average (kgf/cm ²) | Ratio with 10×20 | Splitting/compression (%) | | | |
| 10×5 | 35.7 | Glue failure | 35.7 | 1.13 | 49.5 | 48.2 | 1.23 | 13.1 | 74.0 | 78.3 | 9.7 |
| | 27.2 | | | | 47.2 | | | | | | |
| | 35.8 | | | | 47.8 | | | | | | |
| 10×10 | 35.7 | | 35.0 | 1.10 | 43.9 | 42.0 | 1.07 | 11.4 | 83.3 | 76.8 | 9.5 |
| | 34.5 | | | | 43.1 | | | | | | |
| | 34.7 | | | | 39.1 | | | | | | |
| 10×20 | 30.4 | *P.G | 31.7 | 1.00 | 35.0 | 39.3 | 1.00 | 10.7 | 80.7 | 69.5 | 8.6 |
| | 32.6 | | | | 44.3 | | | | | | |
| | 32.2 | | | | 38.6 | | | | | | |
| 10×30 | 27.8 | *P.G | 27.1 | 0.85 | 42.5 | 40.8 | 1.04 | 11.1 | 66.4 | 59.4 | 7.4 |
| | 24.6 | | | | 38.2 | | | | | | |
| | 28.8 | | | | 41.8 | | | | | | |
| 15×30 | 19.2 | *P.G | 21.2 | 0.67 | 30.0 | 28.7 | 0.73 | 7.8 | 73.9 | 46.5 | 5.8 |
| | 22.8 | | | | 27.5 | | | | | | |
| | 21.7 | | | | - | | | | | | |

*P.G : partial glue failure

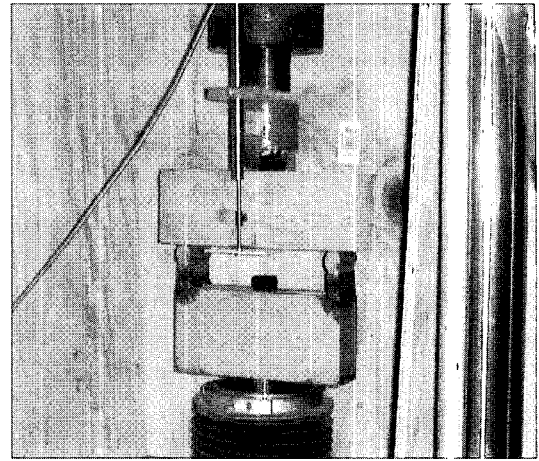


Fig. 4 Flexural tension test view

하였으며, 휨인장시험은 시험체의 크기를 고려하여 중앙점 하중법인 ASTM C 293-00의 규정을 준용하였다.(Fig. 4)

3. 실험결과 및 분석

3.1 직접인장강도의 세장비 효과

본 연구의 실험결과를 정리하면 다음의 Table 2와 같다. 공시체의 직경 10cm인 경우에 대하여 공시체의 길이를 증가시킨 결과, 그 내력이 점차로 감소하고 있음을 알 수 있으며, 그 경향은 Fig. 5에 나타나는 바와 같다. 즉, 공시체의 직경과 길이의 비가 1:0.5에서 1:1, 1:2, 1:3으로 증가함에 따라 직접인장강도의 값은 거의 선형으로 감소하게

되며, Fig. 5를 1차식으로 회귀분석해보면 다음과 같다.

$$y_1 = -0.36x_1 + 38.3 \quad (R^2 = 0.88) \quad (1)$$

단, y_1 : 직접인장강도 (kgf/cm^2)

x_1 ; 직경 10cm 인 공시체의 길이 (cm)

국내의 콘크리트 재료시험관련 규격에서 규정하고 있는 공시체의 표준규격은 직경과 높이의 비가 1:2를 기준으로 하고 있으므로, 본 연구의 실험결과를 높이 20cm인 경우에 대하여 비교해 보면 다음과 같은 회귀식을 얻을 수 있다.

$$y_2 = -0.11x_2 + 1.2 \quad (R^2 = 0.98) \quad (2)$$

단, y_2 : 세장비 2에 대한 직접인장강도비율

x_2 : 공시체의 세장비 (높이/직경)

한편, 동일한 변수에 대한 조갸인장강도의 실험결과를 살펴보면, 직경과 높이의 비가 1:0.5인 경우를 제외하고는 대체적으로 유사한 강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 세장비 1, 3인 경우에 대한 조갸인장강도의 강도비율은 표준세장비 2에 대하여 각각 1.07, 1.04를 나타냄으로써, 재료시험의 강도편차를 고려할 때 1:1 이상의 직경과 높이의 비를 갖는 조갸인장강도의 세장비 효과는 없으므로 판단할 수 있다.

Hutchinson 등에 의하여 발표된 콘크리트 압축강도 공시체의 세장비 효과⁹⁾에 따르면, 세장비 1.5 이상에서는 비교적 선형으로 강도가 감소하게 되나, 그 이하의 세장비에 대해서는 강도의 변화가 급격하게 이루어지는 것으로 보고되었다. 즉, Hutchinson 등의 실험결과에 따르면, 공시체의 세장비가 0.5, 1, 2, 3으로 증가함에 따라 강도비는 160, 115, 100, 96%로 변화되는 것으로 보고되고 있다. 그러나, 압축강도 시험에서 직경과 높이의 비가 1.5 이하에서 공시체의 강도가 급격하게 증가하는 원인은 가압면의 마찰력에 의한 구속효과와 공시체 압축응력의 분포 특성에 기인하는 반면, 인장강도 시험의 경우에는 가압면에서의 구속효과가 나타나지 않고, 공시체의 타설 방향에 따른 구성 재료의 비중 차에 의하여 공시체의 하단부분에 골재의 집중현상이 커짐에 따라 세장비가 증가할수록 그 강도차가 더욱 커지는 현상을 관찰할 수 있다.

본 연구의 실험결과에서 나타나는 각 변수의 표준편차를 살펴보면, 직접인장강도 실험의 경우 공시체의 길이 5, 10, 20, 30cm에 대하여 각각 0.05, 0.52, 0.96, 1.79 kgf/cm^2 을 나타냄으로써, 공시체의 길이 30cm인 경우를 제외하고는 모두 평균값의 3% 이내의 편차를 나타내고 있으며, 30cm 길이의 경우에도 6.6%의 변동계수(coefficient of variation)로서 비교적 신뢰성있는 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편, 조갸인장 실험의 경우에는 공시체의 길이가 5, 10, 20, 30cm로 증가함에 따라 각각 1.0, 2.1, 3.8, 1.9 kgf/cm^2 의 표준편차를 나타내어, 직접인장실험의 경우 보다는 큰 변동계수를 나타내기는 하나, 이 역시 대체적으

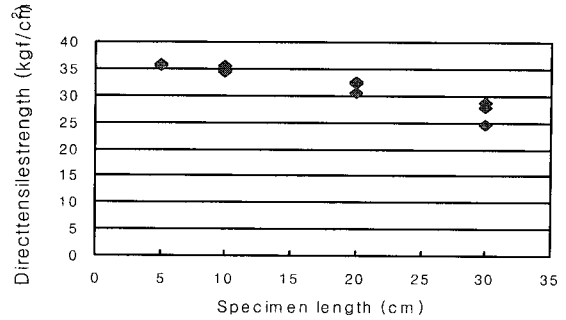


Fig. 5 Effect of specimen length

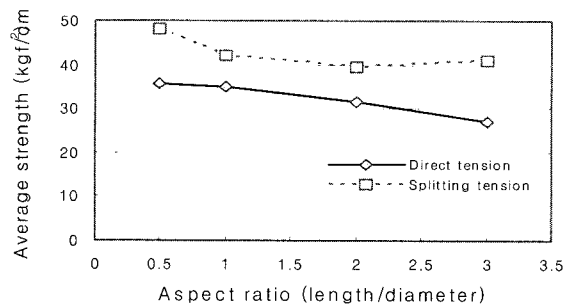


Fig. 6 Effect of aspect ratio on the tensile strength

로 10 % 이내의 편차를 가짐으로써 실험결과에 대한 신뢰성을 가질 수 있었다.

본 연구의 실험결과에 따라 직접인장강도의 세장비 효과는 강도의 크기에 영향을 미칠 수 있으며, 실험결과와 표준화를 위하여 적절한 보정계수를 도입하는 것이 타당하다고 판단된다. 식 (2)의 세장비에 따른 직접인장강도의 회귀분석 결과에 따라 본 연구에서는 다음과 같은 보정계수를 제안한다.

$$f_t = \alpha \cdot f_{t, test} \quad (3)$$

단, f_t : 표준 직접인장강도

$f_{t, test}$: 직접인장강도의 실험결과

α : 세장비 보정계수

| 세장비 | 0.5 | 1 | 2 | 3 |
|----------|------|------|-----|------|
| α | 0.87 | 0.92 | 1.0 | 1.15 |

* 규정 이외의 값은 직선보간

3.2 인장강도에 대한 공시체 크기의 효과

콘크리트의 강도에 대한 공시체의 크기효과는 기존의 많은 연구자들에 의하여 연구되어 왔다. 표준형상 (직경과 높이의 비가 2 실린더형)인 공시체의 경우 공시체의 직경이 증가할수록 압축강도 및 조갸인장강도의 값이 감소되는 것으로 보고되고 있으나, 직경이 457mm (18 in.) 이상인 경우에는 강도 감소의 비율이 현저하게 줄어드는 것으로

분석되고 있다.⁹⁻¹¹⁾ (Fig. 7 참조)

이와 같은 현상의 원인은 공시체의 직경이 일정하고 이상으로 증가하게 되면 시험체의 확실적인 균질성을 어느 정도 확보할 수 있기 때문으로 볼 수 있으나, 현장에서는 이와 같은 대형 공시체를 사용할 수 없는 것이 사실이다.

이에 따라 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 10×20cm와 15×30cm의 공시체에 대한 인장강도실험을 통하여 공시체의 상대적인 크기효과를 살펴보았다. 즉, 본 연구에서는 인장강도의 절대적인 크기효과보다는 현장에서 많이 사용되고 있는 공시체 크기의 상대적인 강도비율을 비교·분석하도록 하였다.

실험결과 Fig. 8에서 나타나듯이 공시체의 크기가 증가할수록 콘크리트의 인장강도가 감소하는 것을 알 수 있으며, 직경이 10cm에서 15cm로 변화함에 따라 직접인장강도의 경우에는 67%, 쪼갬인장강도의 경우에는 73%의 강도를 나타내었다. 이와 같은 실험결과를 분석할 때, 직접인장강도는 단면적이 증가함에 따라 $1/\sqrt{A}$ 에 비례하고 있음을 알 수 있다.

Rossi 등이 여러 종류의 압축강도를 가진 콘크리트 공시체에 대하여 직접인장강도의 크기효과를 실험한 결과는 Fig. 9와 같다. 그림에서 콘크리트의 크기효과는 강도가 적을수록 큰 영향을 받게 되는 것을 알 수 있으며, 초고강도 콘크리트의 경우에는 혼합재료의 크기가 적어짐에 따라 상대적으로 적은 크기에서 균질한 내부구성을 얻게 되는 결과로 크기효과의 영향이 적게 나타나는 것으로 분석하고 있다. 본 연구의 결과와 Rossi 등의 실험결과를 비교하여 보면, Fig. 8에서 나타나듯이 본 연구의 결과에서 나타난 공시체 크기의 효과가 Rossi 등의 실험결과보다 약간 크게 나타나고 있는 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 결과로부터 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 비하여 공시체 크기의 효과가 더 크다는 것을 알 수 있으며, 직접인장강도의 경우에는 쪼갬인장강도보다 더 큰 영향을 받는다고 볼 수 있다.

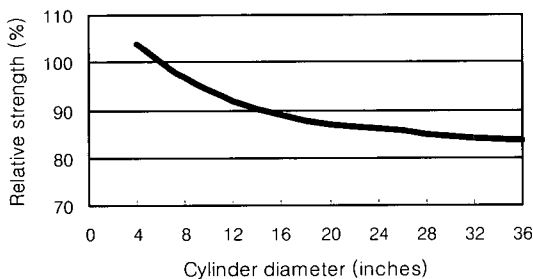


Fig. 7 Influence of the specimen diameter on the compressive strength⁹⁾

3.3 인장강도간의 상관관계

본 연구에서는 콘크리트 강도의 상관관계를 살펴보기 위하여 압축강도, 휨인장, 쪼갬인장, 직접인장강도에 대한 실험을 수행하였다. 콘크리트의 압축강도는 15×30cm의 실린더형 표준 공시체를 사용하였으며, 제령 28일까지 상온에서 밀봉보관후 실험 시작전과 실험 종료후 각각 3개씩의 공시체를 ASTM C39-96에 의하여 실험하였다. 실험결과 공시체의 평균강도는 368 kgf/cm²로 나타났으며, 중앙점 하중법에 의한 콘크리트 보의 휨인장강도는 45.6 kgf/cm²으로 나타났다.

콘크리트 인장강도간의 관계를 살펴보면 Fig. 10에서 나타나듯이 대체적으로 모든 경우에서 휨인장강도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 다음으로 쪼갬인장강도, 그리고 직접인장강도가 가장 적은 것으로 나타났다. 각 강도의 비율은 공시체의 세장비에 따라 약간씩 변화하는 것을 알 수 있으며, 이는 앞절에서 살펴본 바와 같이 직접인장강도의 경우 공시체의 세장비에 반비례하는 반면, 쪼갬인장강도의 경우에는 그 영향이 미미하기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 공시체의 표준 세장비인 2인 경우를 살펴보면 직접인장강도는 휨인장강도의 69.5%, 쪼갬인장강도의 80.7%로 나타났으며, 쪼갬인장강도는 휨인장강도의 86.2%인 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구결과에서 나타나고 있는 강도의 크기순과 일치하는 것으로 볼 수 있으며, 이와 같은 강도의 상관관계는 공시체의 세장비가 감소할수

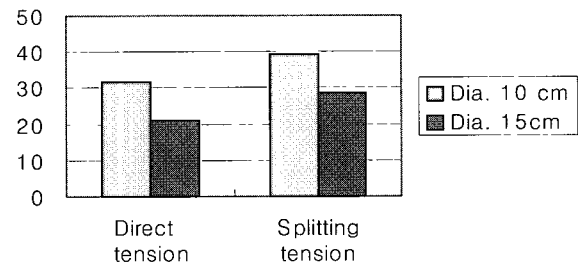


Fig. 8 Effect of specimen size

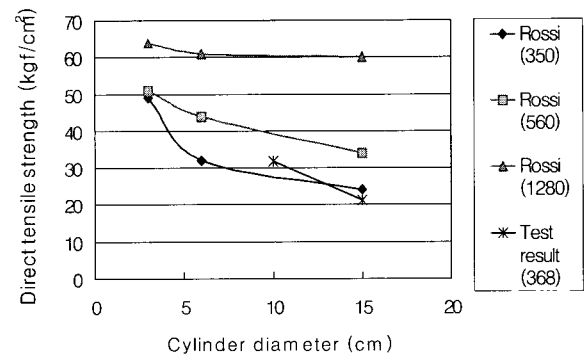


Fig. 9 Test results by Rossi et al. and this test

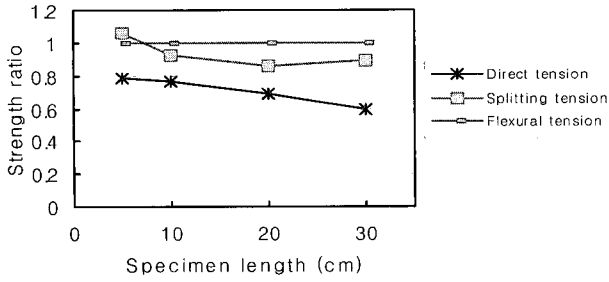


Fig. 10 Strength ratio of various tensile strength against the flexural tension

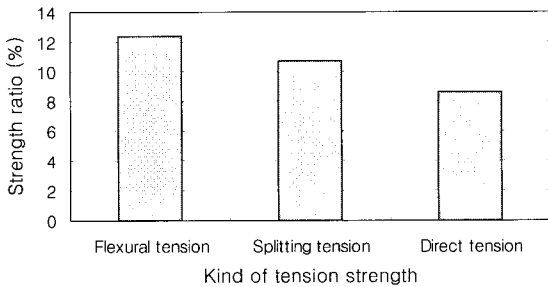


Fig. 11 Strength ratio of various tensile strength against the compressive strength

록 그 차이가 감소되고 있음을 Fig. 10에서 알 수 있다.

콘크리트의 압축강도와 각 실험방법에 따른 인장강도를 비교하여 보면 표준공시체의 강도비를 도식화한 Fig. 11에서 나타나듯이, 그 값은 대체적으로 압축강도의 10% 내외의 값을 나타내고 있으며, 이때 휨인장강도는 압축강도의 12.4%, 쪼갠인장강도는 표준공시체의 경우에 10.7%, 직접인장강도는 8.6%인 것으로 나타났다. 국내 콘크리트 관련규정에서 규정하고 있는 콘크리트의 휨인장강도($f_t = 2.0\sqrt{f_{ck}}$)와 쪼갠인장강도($f_{sp} = 1.8\sqrt{f_{ck}}$)의 값과 비교할 때, 본 연구의 실험결과는 각각 119%, 114%의 값을 나타내어 국내 콘크리트 관련 규정에서의 정의가 비교적 타당한 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

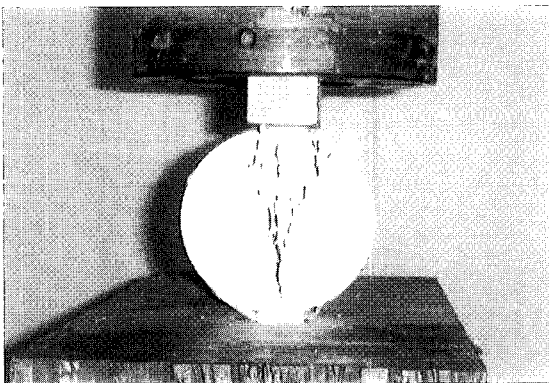


Fig. 12 The splitting test

3.4 파괴양상 분석

인장강도의 실험방법에 따른 공시체의 파괴양상을 분석하여 보면, 먼저 쪼갠인장강도의 경우에는 Fig. 12에서 나타나듯이 공시체 상하단에 설치한 합판의 스트립(packaging material)이 시험기로부터의 압축응력을 공시체에 균등하게 분포시키게 되고, 공시체에 도입된 압축응력은 공시체의 중앙부에 균등한 인장응력을 유발함으로써, 공시체 전체 높이의 중앙단면이 인장응력에 저항하다가 공시체가 2부분으로 쪼개지는 파괴양상을 나타내게 된다. 이때, 파괴에 저항하는 단면은 공시체의 전체 높이에 해당하므로 비교적 균일한 인장강도의 값을 나타내는 것으로 분석할 수 있으며, 이때 시험기의 하중을 공시체에 균등하게 전달하는 합판 스트립의 역할이 8% 내외인 것으로 기존의 연구에서는 분석하고 있다.⁸⁾ 직접인장강도 시험의 경우에는 시험체의 전체 높이 중 가장 강도가 취약한 부분에서 공시체가 2등분되는 파괴 양상을 나타내게 되며, 이에 따라 공시체의 세장비가 증가되면 취약부의 발생확률이 증가되는 것으로 분석할 수 있다. 공시체의 파괴발생 부분은 Fig. 13과 같이 공시체의 중앙부에서 발생하는 경우도 있으나, Fig. 14에서와 같이 공시체의 하단부에서 발생하는 경우가 대부분이다.

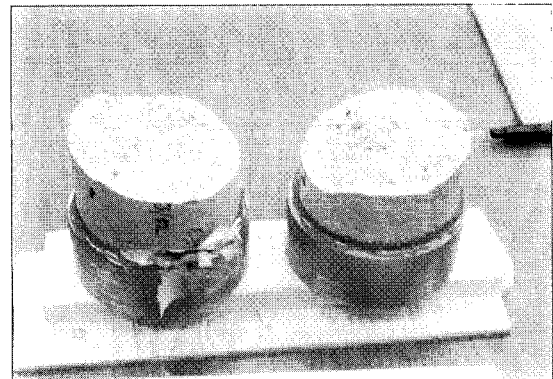


Fig. 13 Failure aspect 1 of direct tension

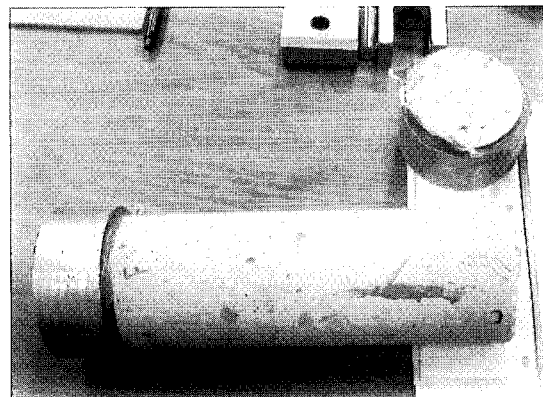


Fig. 14 Failure aspect 2 of direct tension

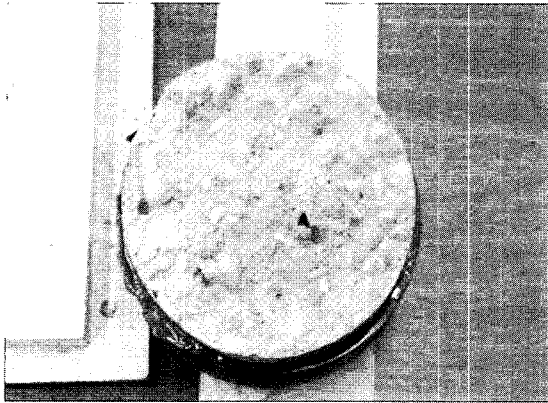


Fig. 15 Fracture surface of direct tension

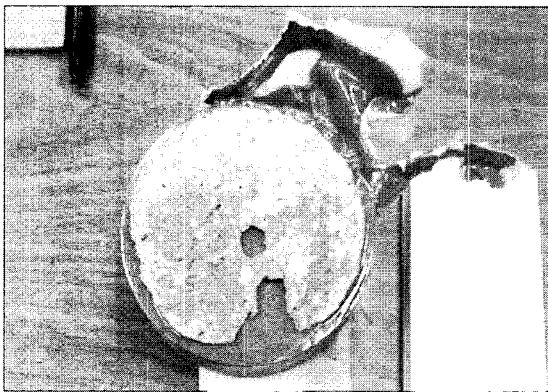


Fig. 16 Bond failure of direct tension

이와 같이 공시체의 하단부에서 파괴가 발생하는 원인은 공시체의 타설시 중량의 골재가 공시체의 하단부에 집중됨에 따라 상대적으로 접착제의 역할을 담당하는 모르타르의 양이 감소하게 되고, 이와 같은 모르타르의 감소는 재료의 인장강도를 취약하게 만드는 것으로 볼 수 있다. 공시체의 파괴단면을 확대한 Fig. 15를 살펴보면 상당한 양의 골재가 파괴단면에서 발견됨을 알 수 있으며, 파괴면은 굵은 골재의 표면을 따라 진전되고 있으며, 골재의 파괴는 전혀 발견할 수가 없었다. 이와 같은 파괴양상 및 파괴면의 분석으로부터 공시체의 직접인장강도에 대한 취약지점은 타설방향의 하단부임을 추정할 수 있으며, 이와 같은 파괴양상은 타 실험방법과는 상당한 차이를 가지게 됨을 알 수 있다.

직접인장강도 시험시 가장 유의해야 할 점으로는 공시체와 양단부 가력용 보강편의 부착파괴를 들 수 있으며, 본 연구에서는 공시체의 파괴시 부착파괴의 면적이 공시체 단면적의 0~30%인 경우를 부분 부착파괴(Partial glue failure), 30% 이상인 경우를 부착파괴(Glue failure)로 규정하고, 부착파괴인 경우에는 그 실험결과를 통계처리에서 배제하도록 하였다. 본 연구에서 부착파괴가 발생한 10×5

공시체의 경우를 살펴보면 접착용 에폭시의 흐름도(flow)가 과다하여, Fig. 1과 같은 부착틀에서의 경화도중에 에폭시가 흘러내림으로써 부착면에 기포의 유입 및 부착면적이 감소된 결과인 것으로 분석된다. 이에 따라 Fig. 16에서와 같이 부착부분의 파괴면적이 전체 파괴면적의 약 70%를 차지하는 부착파괴의 양상을 나타내었다.

4. 결 론

콘크리트의 직접인장강도에 대한 본 연구의 실험결과에 따라 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) U.S. Bureau of Reclamation에서 제안하고 있는 콘크리트의 직접인장강도 시험방법은 타당한 실험결과를 얻을 수 있다.
- 2) 콘크리트의 직접인장강도는 공시체의 세장비가 증가함에 따라 선형으로 감소한다. 이에 따라 본 연구에서는 공시체의 세장비 효과를 고려하는 세장비 보정계수를 제안하였다.
- 3) 콘크리트의 직접인장강도는 쪼갠인장강도에 비하여 공시체의 세장비 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- 4) 콘크리트의 인장강도는 압축강도에 비하여 크기에 따른 효과가 더 크게 나타난다. 특히, 직접인장강도는 쪼갠인장강도에 비하여 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 5) 실험방법에 따른 콘크리트의 인장강도는 휨인장, 쪼갠인장, 직접인장의 순으로 나타났으며, 휨인장강도를 중심으로 비교하였을 경우 쪼갠인장강도는 약 86%, 직접인장강도는 약 70%의 강도를 나타내는 것으로 분석되었다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-Doc. 연수지원비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. ACI, "Control of cracking in concrete structures(ACI 224R-90)," ACI Manual of Concrete Practice Part 3, 1997.
2. 박선규, "콘크리트의 비틀림 인장강도에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1996, pp.160-165.
3. P.K.Mehta, "Concrete - structure, properties, and materials," Prentice-Hall, 1986, pp.64-69.
4. D.P.O'Clery and J.G.Byrne, "Testing Concrete and Mortar in Tension", Engineering, Mar. 1960, pp.384-385.

5. RILEM CPC7 Recommendation, "Direct tension of concrete specimens," 1975.
6. U.S.Bureau of Reclamation 4914-92, "Direct tensile strength, static modulus of elasticity, and Poisson's ratio of cylindrical concrete specimens in tension," 1992, pp.726-731.
7. ASTM D2936-95, "Standard test method for direct tensile strength of intact rock core specimens," 1995, pp.273-274.
8. ASTM C496-96, "Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens," 1996, pp.263-266.
9. U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual," 1975, pp.574-575.
10. W.H.Price, "Factors influencing concrete strength," *Journal of ACI, Proc.*, Vol.47, No.6, 1951, pp. 417-432
11. "Concrete Manual 8th Edition," John Wiley & Sons, 1981, pp.16-25.

요 약

콘크리트 부재는 직접 인장력에 저항하도록 설계되지는 않는 것이 일반적이나, 부재의 균열강도 등을 산정하기 위해서는 반드시 확인하여야 하는 재료 특성 중의 하나이다. 콘크리트의 인장강도 시험방법은 주로 직접인장, 휨인장, 쪼갬인장의 3가지로 구분하고 있으나, 이 중 직접인장시험법은 시험체에 순수인장력을 가력할 수 있는 실험방법상의 문제로 거의 수행되지 못하여 온 것이 사실이다.

본 연구에서는 직접인장시험방법의 검토 및 시험체의 세장비, 크기 등이 직접인장강도에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 단부 보강편을 이용한 직접인장강도의 실험은 RILEM 및 U.S.Bureau of Reclamation의 규정을 사용하였으며, 총 4가지 종류의 세장비와 2가지 크기의 시험체에 대한 연구를 수행하였다. 실험의 결과는 동일변수의 쪼갬인장강도 및 휨인장강도와 비교·분석을 실시하였으며, 이를 신뢰성있는 선행 연구자들의 연구결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

핵심용어 : 직접인장강도, 쪼갬인장강도, 휨인장강도, 세장비, 크기