

순수 등방성 휨인장강도 시험법 개발

Development of a Three Dimensional Modulus of Rupture Test

지 광 습* · 오 홍 섭**

Zi, Goangseup · Oh, Hong Seub

ABSTRACT

The classical two dimensional modulus of rupture test was generalized to three dimensions. Using this new method, the biaxial tensile strength can be measured with only one actuator. A circular plate is used in this method unlike a prismatic beam in the classical modulus of rupture test. The stress field in this specimen is isotropic and uniform in a plane parallel to the bottom surface of the specimen. The relation between the applied load and the maximum stress is derived analytically using Timoshenko's solution. A set of experimental data is presented.

Keywords: Biaxial tensile strength, new test method, modulus of rupture, quasibrittle materials

1. 서 론

직접 인장시험법으로 인장시험을 수행하는 경우는 균열길이와 개수에 따라 소산되는 에너지가 달라지기 때문에 시험을 제어하기 위해 고도로 숙련된 기술과 노력이 필요하다. 이러한 문제로 인해 인장강도를 얻기 위해 실무에서는 직접 인장시험법보다는 휨파괴 시험이나 할렬파괴시험을 선호한다. 전통적으로 사용되는 휨파괴시험은 4점 재하시험을 기본으로 하며, 두 재하점 사이의 응력은 길이방향으로 일정하도록 설계된다. 응력의 구배가 미리 정해져 있기 때문에 직접 인장시험법에서 발생하는 불안정성은 발생하지 않는 장점이 있다.

휨파괴시험에서 얻어지는 일방향 인장강도와는 달리 실제 여러 가지 문제에서는 이방향 인장문제도 분류될 수 있다. 예를 들면, 도로와 이방향 슬래브가 이에 해당되며, 콘크리트에 발생하는 불규칙한 건조수축 균열도 이에 해당된다. 기존 연구에 의하면 이방향 인장강도는 일방향 인장강도와 거의 같다고 알려져 있으나, 평균치에 관한 것이며, 파괴확률을 논하기 위해서는 평균치 뿐 만 아니라 표준편차까지도 동시에 고려해야 한다. 더욱이 전통적인 장식으로 측정된 이방향 휨인장강도는 4개의 가력기를 동시에 이용한 것으로서 다수의 가력기에 가해지는 힘을 일정하도록 동시에 제어해야 하는 어려움을 극복했는가는 의문시된다.

본 연구에서는 콘크리트의 이방향 휨인장강도를 단 한 개의 가력기를 이용해서 손쉽게 측정할 수 있는 새로운 휨인장시험법을 개발하였다. 그 이론적인 근거와 시험 예를 제시하였다.

* 교신저자 · 정희원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 조교수 Email: g-zi@korea.ac.kr

** 정희원 · 국립진주산업대학교 토목공학과 조교수 Email: hongseob@hotmail.com

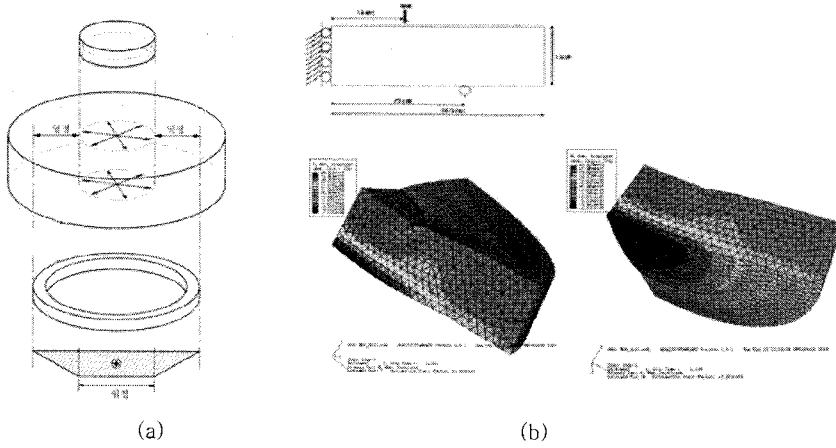


그림 1 (a) 순수 등방성 휨인장 시험체, (b) 삼차원 유한요소 해석결과

2. 삼차원 휨인장 시험체

본 연구에서 제안하는 삼차원 휨인장 시험체와 그림 1a에 도시되었다. 기존의 휨인장 시험체는 양 지지점에서 동일한 거리만큼 떨어진 위치에 두 개의 동일한 하중을 재하하여 하중 재하부 사이에 동일한 모멘트가 형성되도록 고안되어 있다. 이 원리를 삼차원을 일반화한 것이 그림 1a의 시험체이다. 일축 시험체와는 달리 원반형 시험체가 사용되고, 이 시험체는 고리형 지지판에 재하된다. 재하판 또한 고리형이고, 시험체, 지지판, 재하판의 원점이 일치하도록 배치하여 시험을 수행한다. 지지점 끝단에서 하중이 재하되는 점까지의 길이가 일정하므로 원형의 재하판 내부에서 동일한 모멘트가 형성되는데, 이 모멘트는 판의 어느 방향으로든 일정한 등방성을 가진다.

상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용한 삼차원 유한요소 해석결과를 그림 1b에 도시하였다. 예상한 바와 같이 시험체 하면의 주응력이 일정한 것으로 확인되었다. 본 시험법을 순수 등방성 휨인장강도 시험법이라고 명명한다.

3. 재하하중과 최대 작용응력

원형 판에 대한 Timoshenko 외(1989)의 해를 이용하면 그림 1a의 문제에 관한 해석적인 해를 얻을 수 있다. 본 시험체를 고리형 재하판을 기준으로 (1) 재하판 내부의 원형판과, (2) 내부에 구멍이 뚫린 재하판 바깥 부위로 구분하면 두 가지 문제에 대한 해를 앞서 언급한 문헌에서 얻을 수 있다. 변위와 변위각의 연속성 조건을 이용하면 재하판 내부의 모멘트는 다음과 같이 주어진다.

$$M = \left\{ \frac{(1-\nu)[1-(b/a)^2]}{8\pi} - \frac{(1+\nu)\log(b/a)}{4\pi} \right\} P \quad (1)$$

여기서 ν =포아송 비, a =지지판의 반지름, b =재하판의 반지름이다. 정정 구조이기 때문에 모멘트는 탄성 계수 등 강성에 영향을 받지 않는다. 모든 방향으로 모멘트가 일정하므로 하면의 응력은 방향에 상관없이

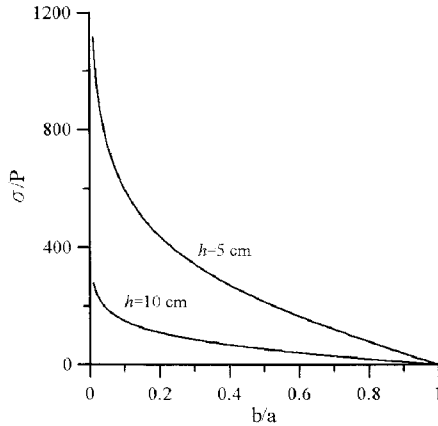


그림 2 재하판과 지지판 크기 비율에 따른 응력대 하중 비

표 1. 콘크리트 배합표

W/C (%)	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	S/a (%)	단위량 (kg)				SP (C×wt.%)	AE (C×wt.%)
				W	C	S	G		
35	120	5	39.45	193.9	553.9	642.4	1036.3	0	0

다음 식으로 얻어진다.

$$\sigma = \frac{6M}{h^2} \quad (2)$$

여기서 h 는 판의 두께이다. 위의 두 식으로부터 가해진 하중 P 와 응력 σ 사이의 관계는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\sigma = \frac{3}{4\pi h^2} \{ (1-\nu)[1-(b/a)^2] - 2(1+\nu)\ln(b/a) \} P \quad (3)$$

그러므로 응력은 지지판과 재하판의 크기 비 b/a 의 비선형 함수이다. 그림 2에는 포와송 비를 0.18로 가정하고, 5cm와 10cm 두 개의 시험체에 대해 b/a 와 응력 간의 관계를 도시하였다. 이방향 인장강도는 가해진 하중을 식 (3)에 대입함으로써 구할 수 있다.

4. 실험 예

본 논문에서 제시한 순수 등방성 휨인장파괴시험법을 이용해서 표 1의 배합비로 제작된 지름 75cm, 높이 12cm의 시험체를 휨 인장파괴시험하였다. 콘크리트의 단위중량은 $3.14t/m^3$ 의 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 배합하였으며, 배합강도는 38MPa, 28일 목표강도를 30MPa로 설계하였다

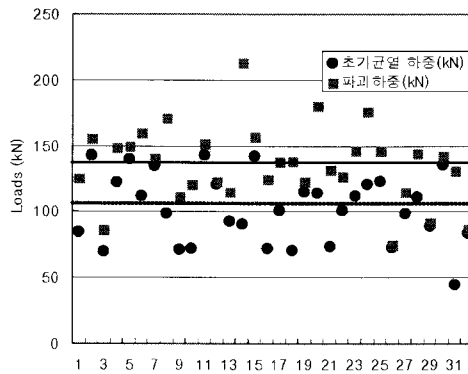


그림 3 균열하중 및 파괴하중 분포

실험결과 그림 3과 같은 균열하중 및 최대 파괴하중을 얻었다. 식 (3)에 따라 응력을 산정한 결과 초기 균열발생시의 평균 다축휨인장응력은 2.34MPa이고, 최대 하중작용시의 평균 다축인장강도는 4.83MPa로 산정되었다.

5. 결론

기존의 휨인장 시험법을 삼차원으로 일반화하여 이방향 휨인장강도를 측정할 수 있는 새로운 시험버을 개발하였다. 재하하중으로부터 해당 인장응력을 산출할 수 있도록, 재하하중과 강도와의 관계를 해석적으로 유도하였다. 본 시험법을 이용하면, 이방향 인장하중에 노출된 구조체의 균열위험도를 합리적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기반구축사업 05 기반구축 D04-01과 건설핵심기술사업 05 건설핵심 D11의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 지광습, 오홍섭 (2007) 콘크리트의 순수 등방성 휨인장강도 시험법: 이론, 대한토목학회논문집
 오홍섭, 박준혁, 지광습 (2007) 콘크리트의 순수 등방성 휨인장강도 시험법: 실험, 대한토목학회논문집
 (2007) 콘크리트의 순수 등방성 휨인장강도 시험법: 이론, 대한토목학회논문집
 Timoshenko, S.P., Woinowsky-Krieger, S. (1989). *Theory of Plates and Shells*, Engineering Mechanics Series, McGraw-Hill, Tokyo.