

관상-링형 구속시험방법의 시험체 치수에 따른 콘크리트 수축균열 특성 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluating Shrinkage Cracking Properties of Concrete by Size of Specimen of Plat-Ring Restrained Test Method

최형길* 남정수** 나철성** 백용관*** 김규용**** 김무한*****
Choi, Hyeong-Gil Nam, Jeong-Soo Na, Chul-Sung Back, Yong-Kwan Kim, Gyu-Yong Kim, Moo-Han

ABSTRACT

In this study, it is willing to present that fundamental data for proposing quantitatively shrinkage cracking evaluation method such as plat-ring type restrained test method. To examine suitable size of specimen of plat-ring type restrained test method, Evaluated concrete about restrained shrinkage crack properties of numerical analysis of 3D solid element using the MIDAS program, drying shrinkage deformation, restrained shrinkage stress, crack area and crack point with inside ring diameter of specimen in 100mm, 150mm, 200mm and high of Specimen in 30mm, 50mm after curing in condition of constant temperature and usual habit of temperature $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, humidity $60\pm 5\%$. As a result, it was available about suitable estimation with inside ring diameter of specimen in more than 150mm and high of Specimen in 50mm.

Hereafter, it is considered that the study concerning environmental condition and mixing factor in plat-ring type restrained test method is need.

요 약

본 연구에서는 관상-링형 구속시험방법의 유효성 평가를 위하여 그 특성을 국내·외에서 제안된 콘크리트 구속수축시험방법과 비교하여 간편하고 정량적인 수축균열 평가방법의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 관상-링형 구속시험방법의 적정 시험체 치수를 검토하기 위하여 시험체 내부 링 직경 100, 150 및 200mm, 시험체 높이 30 및 50mm에 대하여 온도 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, 습도 $60\pm 5\%$ 의 항온항습조건에서 양생 후 미다스 프로그램을 이용한 3D Solid 요소의 수치 해석, 건조수축변형, 구속수축응력, 균열면적 및 균열 포인트 측정 등 콘크리트의 구속수축균열 특성을 평가하였으며, 그 결과 콘크리트 링 시험체 내부 링 직경 최소 150mm이상, 높이 50mm에서 변별력 있는 평가가 가능한 것으로 나타났다.

본 연구를 바탕으로 향후, 관상-링형 구속시험방법에 있어서 온도, 풍속 등의 환경조건 및 배합조건에 따른 콘크리트의 구속수축균열특성에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

- * 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정
- ** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정
- *** 정회원, 한국원자력 안전기술원 건설관리팀, 공학박사
- **** 정회원, 충남대학교 건축학부, 조교수·공학박사
- ***** 정회원, 충남대학교 건축학부, 명예교수·공학박사

1. 서론

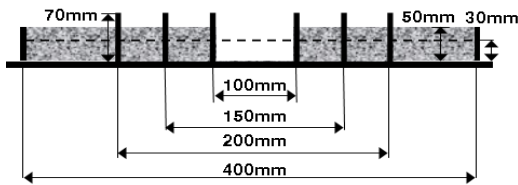
콘크리트는 타설되는 시점부터 응결과정을 거쳐 종결에 이르기까지 소성 및 건조수축으로 인한 균열이 크고 작게 발생하게 된다. 이러한 균열을 저감시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 콘크리트의 소성 및 건조수축으로 인한 균열의 평가방법이 국내·외에서 정량적으로 구축되어 있지 않은 실정이다. 국내에서는 이러한 콘크리트의 수축균열평가를 위한 시험방법으로 일본의 JIS에서 규격화하고 있는 콘크리트의 건조수축 균열 평가방법과 유사한 시험방법으로 아령형 구속건조수축물드를 활용한 콘크리트의 건조수축균열 평가방법을 KS에서 규격화하여 활용하고 있으며 또한, 국제적으로도 링 시험방법을 통한 콘크리트의 균열발생시점과 그에 따른 구속응력에 관한 연구 및 규격화가 이루어지고 있지만, 이러한 방법은 소성 및 건조수축에 의해 발생하는 균열정도에 대한 정량적 평가가 어려운 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 판상-링형 구속시험방법의 개발 및 시험방법의 유효성 평가를 위하여 시험체 내부 링 직경 및 높이의 변화에 따른 콘크리트의 구속수축균열특성 평가를 통하여 최적 시험체 치수를 선정하여 정량적인 수축균열 평가방법 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 판상-링형 구속시험방법의 개요 및 실험계획

그림 1은 판상-링형 구속시험방법에 이용되는 링형 몰드의 모식도를 나타낸 것으로 외부 링 직경은 400mm로 고정하였으며, 내부 링 직경을 100, 150 및 200mm, 시험체 높이를 30 및 50mm로 변화하여 내부링 직경 및 시험체 높이에 따른 균열평가와 그 영향성을 검토하였다. 사진 1은 Crack Scale을 사용한 판상-링형 시험체의 균열면적 측정 장면이며, 그림 2는 ASTM C 457 『Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete1』의 Procedure A-Linear Traverse Method를 참고한 것으로 링 시험체의 일정 범위내의 균열 포인트를 측정하는 방법을 도식화 한 것이다.

또한, 표 1은 판상-링형 구속시험방법의 시험체 치수에 따른 균열 특성을 검토하기 위한 실험계획 및 콘크리트 배합을 나타낸 것으로 시리즈 I은 내부 링 직경 변화, 시리즈 II는 시험체 높이 변화에 따른 시험체 치수의 최적화를 위한 실험계획으로 판상-링형 시험체를 온도 20±3℃, 습도 60±5%의 항온항습조건에서



몰드 재원 : KS D 3530 일반구조용 경량형강

그림 1 판상-링형 구속시험체의 모식도



사진 1 Crack Scale을 이용한 균열면적 측정

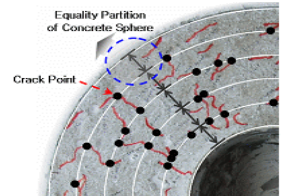


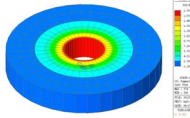
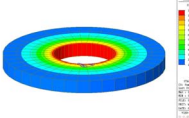
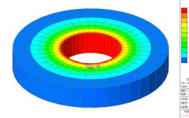
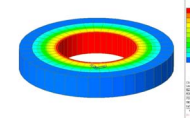
그림 2 ASTM C 457을 활용한 균열포인트 측정 방법

표 1. 실험계획 및 콘크리트 배합

| 시리즈 | 실험요인 및 수준 | | W/C (%) | S/a (%) | 단위수량 (kg/m ³) | 단위중량 (kg/m ³) | | | 평가항목 |
|-----|----------------|--------------------------|---------|---------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|---|
| | | | | | | C | S | G | |
| I | 내부 링 직경(mm) 변화 | 400×100×50 ¹⁾ | 50 | 47.0 | 175 | 350 | 804.49 | 946.48 | <ul style="list-style-type: none"> 수치해석 균열면적 (mm²) 균열포인트 수축변형량 구속수축응력 (MPa) |
| | | 400×150×50 | | | | | | | |
| | | 400×200×50 | | | | | | | |
| II | 시험체 높이(mm) 변화 | 400×150×30 | 50 | 47.0 | 175 | 350 | 804.49 | 946.48 | |
| | | 400×150×50 | | | | | | | |

1) 내부링 직경 × 외부링 직경 × 시험체 높이(단위 : mm)

표 2. 수치 해석에 의한 구속응력 분포

| 시험체 종류 | 400×100×50 | 400×150×30 | 400×150×50 | 400×200×50 |
|---------------|---|---|---|---|
| 시험체 형상 |  |  |  |  |
| 응력분포 (MPa) | 1.220 ~ 0.081 | 1.871~0.132 | 1.372 ~ 0.187 | 1.433 ~ 0.367 |

양생 후 수치해석(Numerical Analysis) 프로그램인 MIDAS Gen을 이용하여 3D Solid 요소를 적용하여 내부 링 직경과 시험체 높이에 따른 구속응력의 차이를 비교하고자 하였으며, 다음으로 각각의 시험체 치수별 콘크리트의 수축균열특성으로 수축변형, 구속수축응력, 균열면적 및 균열 포인트를 비교·평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수치해석에 의한 판상-링형 구속시험체의 구속응력분포 해석

수치해석 프로그램을 활용한 판상-링형 구속시험방법의 응력분포정도에 대한 해석을 실시한 결과, 표 2에서 보는 바와 같이 내부 링 직경 및 시험체 높이의 변화에 따라 콘크리트 시험체에 미치는 응력분포가 다르게 나타나 실제 콘크리트 수축균열실험결과에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 내부 링 직경 100mm, 150mm 및 200mm에 따른 각각의 콘크리트 시험체에 대한 최대 및 최소 응력분포범위는 1.220~0.081, 1.372~0.187 및 1.433~0.367 MPa로 내부 링의 직경이 증가할수록 시험체에 작용하는 응력이 증가하는 것으로 나타났으며, 시험체 높이에 따른 최대 및 최소 응력분포범위는 높이 30mm 및 50mm의 경우 각각 1.871~0.132 및 1.372~0.187MPa로 높이가 작을수록 시험체에 작용하는 응력이 다소 증가하는 경향을 보이지만 대체로 응력분포의 범위는 유사한 수준을 보였다.

3.2 건조수축변형 및 구속수축응력

그림 3 및 4는 판상-링형 구속시험방법에 의한 건조수축변형 및 구속수축응력을 나타낸 것으로 건조수축변형 및 구속수축응력은 재령의 경과에 따라 증가하였으며, 내부 링 직경 100mm의 시험체가 내부 링 직경 150 및 200mm인 시험체에 비하여 건조수축변형 및 구속수축응력이 상대적으로 적게 나타났다. 또한, 시험체 높이에 따른 검토에 있어서는 시험체 높이 30mm 보다 50mm의 시험체에서 건조수축변형 및 구속수축응력이 다소 크게 나타나는 경향을 보여 판상-링형 시험체의 내부 링 직경 150mm 이상, 높이 50mm인 조건에서 건조수축변형 및 구속수축응력의 변별력 있는 평가가 가능할 것으로 사료된다.

3.3 균열면적 및 균열포인트

판상-링형 구속시험방법의 내부 링 직경 및 시험체 높이 변화에 따른 콘크리트 시험체의 균열면적 및 균열 포인트를 평가한 결과, 표 3에 보는 바와 같이 시험체 내부 링 직

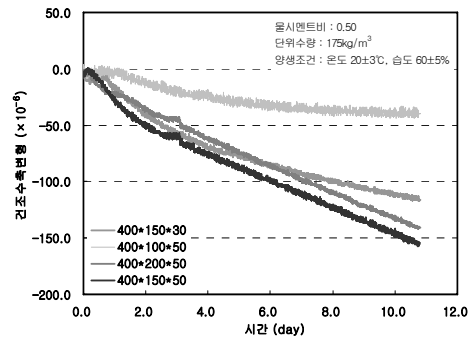


그림 3. 판상-링형 구속시험방법에 의한 건조수축변형

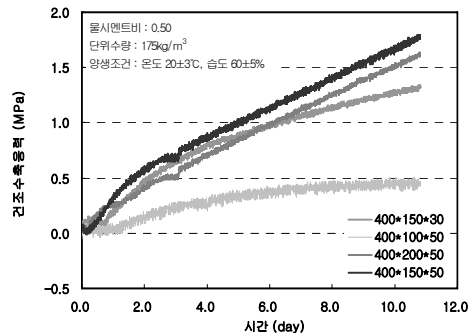






그림 4. 판상-링형 구속시험방법에 의한 구속수축응력

표 3. 균열면적 및 균열 포인트

| 시험체 종류 | 400×100×50 | 400×150×30 | 400×150×50 | 400×200×50 |
|-------------------------|---|---|---|---|
| 균열 형상 |  |  |  |  |
| 균열 면적(mm ²) | 2.88 | 162.24 | 155.00 | 163.15 |
| 균열 포인트 | 3 | 45 | 51 | 48 |

경 100mm의 경우 균열면적 3mm² 이하, 균열포인트 3포인트 이하로 나타나 균열발생량이 매우 미미하여 시험체 상호간의 구속수축균열 발생량에 대한 정량적 비교·평가는 어려울 것으로 판단되었으며, 시험체 내부 링 직경 150mm 및 200mm의 경우의 균열면적은 164.24 및 163.15mm², 균열포인트는 51 및 48 포인트로 매우 유사한 수준으로 나타났으나, 콘크리트 시험체의 표면면적이 내부 링 직경 150mm의 시험체가 200mm의 시험체에 비하여 보다 넓기 때문에 내부 링 직경 150mm의 경우가 실험결과에 대한 보다 높은 변별력을 가질 수 있을 것으로 사료된다. 한편, 시험체 높이에 따른 균열면적 및 균열포인트는 높이 30mm 시험체에서 155.00mm² 및 45 포인트로 높이 50mm의 시험체보다 다소 낮은 경향을 보여 시험체 높이 30mm보다 50mm가 더 유리하다고 판단된다. 따라서 판상-링형 구속시험방법의 시험체 내부 링 직경이 최소 150mm 이상, 시험체 높이 50mm의 콘크리트 링 시험체 조건에서 실험요인 상호간의 수축균열의 정량적 비교 및 검토가 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

판상-링형 구속시험방법의 시험체치수에 따른 콘크리트 수축균열 특성 평가에 관한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 링형 구속시험방법을 사용하여 콘크리트 시험체의 관통균열을 유도해 균열발생시점 및 구속수축응력을 평가하기 위한 규격인 ASTM 1581-04 시험방법을 보완한 판상-링형의 구속시험방법은 초기재령 콘크리트의 표면균열 발생량의 정량적 평가가 가능하였다.
- 2) 판상-링형 구속시험방법의 적정 시험체 치수를 검토하기 위하여 시험체 내부 링 직경 100, 150 및 200mm, 시험체 높이 30 및 50mm에 대하여 마이다스 프로그램을 이용한 수치해석, 건조수축변형, 구속수축응력, 균열면적 및 균열 포인트 등 콘크리트 구속수축균열특성을 평가한 결과, 콘크리트 링 시험체 내부 링 직경 최소 150mm이상, 높이 50mm에서 변별력 있는 평가가 가능한 것으로 나타났다.
- 3) 콘크리트의 초기수축 균열발생량에 대한 정량적 평가를 목적으로 하는 판상-링형 구속시험방법의 개발을 위해서는 향후 온도 및 풍속 등의 환경요인과 사용골재 및 결합재 등의 배합요인이 판상-링형 구속시험방법에 미치는 영향에 관한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 한국학술진흥재단 신진교수연구지원사업(기초과학분야) 「링형 구속에 의한 초기재령 콘크리트의 소성/건조수축 및 균열평가기법」에 관한 일련의 연구로 수행되었고, 논문에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. ASTM C 1581-04, "Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage" 2004
2. KS F 2595, "콘크리트의 건조수축 균열 시험방법", 2004