

고강도 콘크리트의 폭렬형태에 미치는 가열속도의 영향

Effect of Heating Rate on Spalling Type of High-Strength Concrete

황 의 철* 김 규 용*** 손 민 재* 서 동 균** 이 예 찬** 남 정 수****
Hwang, Eui-Chul Kim, Guy-Yong Son, Min-Jae Suh, Dong-Kyun Lee, Yae-Chan Nam, Jeong-Soo

Abstract

This study evaluated the vapor pressure and thermal stress of high-strength concrete according to spalling type. As a result, it was confirmed that the internal temperature gradient of the concrete varies depending on the heating rate, and the vapor pressure and thermal stress of the concrete are the main factors of spalling. In addition, it was confirmed that spalling type varies depending on the vapor pressure and thermal stress of the concrete.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 가열속도, 표면폭렬, 폭발폭렬, 링 구속 콘크리트

Keywords : high-strength concrete, heating rate, surface spalling, explosive spalling, ring-restrained concrete

1. 서 론

콘크리트는 일반적으로 화재에 강한 재료로 알려져 있다. 하지만, 최근 사용량이 증대되는 고강도 콘크리트의 경우, 보통강도 콘크리트에 비해 결합재량이 많으며 이에 의해 치밀한 내부구조를 형성하게 된다. 이러한 고강도 콘크리트가 화재와 같이 급격한 가열환경에 노출되면 폭렬현상이 발생할 가능성이 있다. 폭렬에 대한 연구는 지속적으로 이루어졌으며, 기존 연구들에서는 폭렬의 주요 요인을 콘크리트 내부의 수증기 압력, 열응력 또는 두 가지의 복합응력으로 보고하고 있다. 최근에는 가열속도가 낮은 경우에도 폭렬이 발생할 수 있다고 보고되고 있으며, 폭렬의 형태를 “표면폭렬”과 “폭발폭렬”의 두 가지로 정의하고 있다. 하지만, 폭렬의 형태에 따른 가열시 콘크리트의 수증기 압력과 열응력에 대한 검토가 부족한 상황이다.

한편, 기존연구에서는 같이 링 구속 시험체를 이용하여 급속 가열 조건에서 수증기 압력과 구속응력을 검토 한 사례가 보고되고 있으며, 이 방법은 콘크리트를 구속한 강관의 변형에서 콘크리트의 팽창응력을 계산할 수 있다고 보고하고 있다.

따라서, 본 연구는 링형 강관 구속 시험체를 제작하여 폭렬 형태에 따른 고강도 콘크리트의 수증기 압력, 열응력을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 100 MPa급 고강도 콘크리트를 대상으로 가열속도에 따른 폭렬형태에 대해 분석하기 위해 폭렬성상, 내부온도, 수증기 압력, 열응력을 평가하였다.

표 1. 실험계획 및 콘크리트 배합

F _{ck}	W/B	가열속도	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							평가항목
						W	C	SF	BFS	SO ₄	S	G	
100	0.145	급속가열 (ISO-834) 저속가열 (1℃/min.)	750 ± 100	2	35	150	651.72	124.14	206.90	51.72	488.55	848.74	- 폭렬성상 - 내부온도 - 수증기 압력 - 열응력

* 충남대학교 건축공학과 박사과정

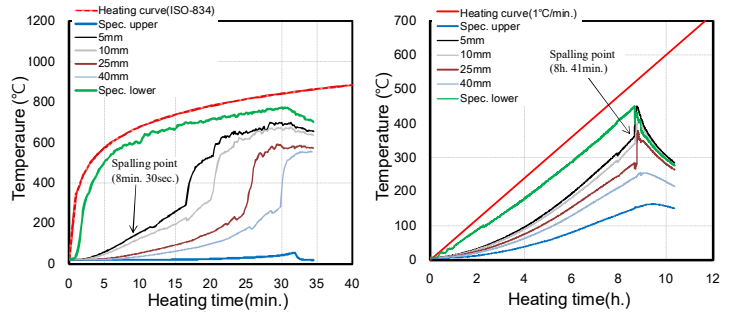
** 충남대학교 건축공학과 석사과정

*** 충남대학교 건축공학과 교수, 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)

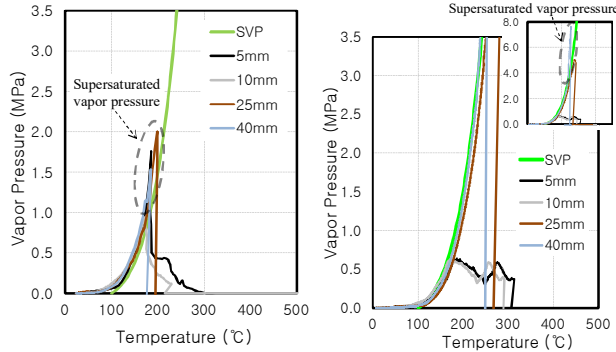
**** 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사



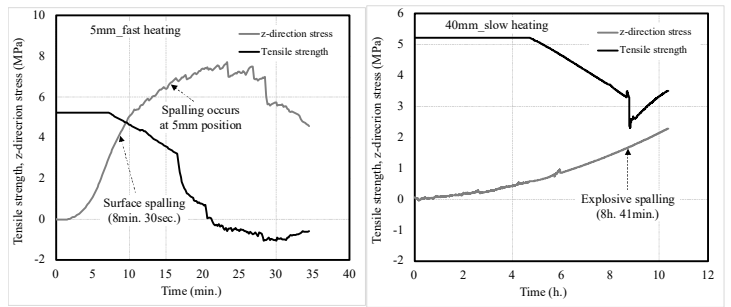
(a) 급속가열 (b) 저속가열
그림 1. 고강도 콘크리트의 폭발성상



(a) 급속가열 (b) 저속가열
그림 2. 가열속도에 따른 콘크리트의 내부온도



(a) 급속가열 (b) 저속가열
그림 3. 가열속도에 따른 콘크리트의 수증기압력과 포화수증기압 곡선의 비교



(a) 급속가열 (b) 저속가열
그림 4. 가열속도에 따른 콘크리트의 잔존인장강도와 열응력의 비교

3. 실험 결과 및 고찰

가열속도에 따른 고강도 콘크리트의 폭발성상을 그림 1에 나타냈다. 급속가열에서는 지속적인 표면폭렬이 저속가열에서는 폭발폭렬이 발생했다. 콘크리트의 내부온도는 그림 2에 나타낸 것처럼, 급속가열에서는 내부 온도차가 크게 나타났다. 표면폭렬에 의해 단면이 손실되어 열전대가 차례대로 노출되는 현상이 나타났다. 하지만 저속가열의 경우 콘크리트 내부 온도차가 작게 유지되었으며 한번의 폭발폭렬에 의해 5, 10, 25mm의 열전대가 노출되었다. 그림 3 및 그림 4에 나타낸 것처럼, 급속가열에서는 콘크리트 내부의 과포화된 수증기에 의해 가열면부터 수분응집층이 발생하고, 열응력은 가열온도에 따른 콘크리트의 잔존인장강도를 초과하게 된다. 저속가열의 경우에도 급속가열과 유사한 경향을 나타내지만, 과포화된 수증기압력의 크기가 약 3배이상 크게 나타나며, 콘크리트의 열응력은 비교적 천천히 발생했다. 폭렬이 발생하는 원인은 과포화된 수증기압력과 열응력이 동시에 작용하여 콘크리트를 가열면으로 밀어내기 때문이라고 생각된다.

4. 결 론

가열속도에 따라 콘크리트의 내부온도구배가 달라지며, 이는 콘크리트 내부의 수증기 압력과 열응력의 형성과정에 영향을 미친다. 이러한 콘크리트의 수증기 압력과 열응력은 폭발의 주요 요인인 것을 확인했으며, 폭발형태에 따라 다르게 작용하는 것을 확인했다.

Acknowledgement

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C2085867)

참 고 문 헌

- G. C. Choe, G. Y. Kim, H. S. Kim, E. C. Hwang, S. K. Lee, M. J. Son, J. S. Nam, Influence of amorphous metallic fibers on spalling properties of high-strength concrete exposed to high temperature, *Constr Build Mater* 263, pp.120711, 2020
- M. Ozawa, T. Tanibe, R. Kamata, Y. Uchida, K. Rokugo, S. S. Parajulia, Behavior of ring-restrained high-performance concrete under extreme heating and development of screening test, *Constr. Build. Mater.*, 162, pp.215~228, 2018