

# 고로슬래그 미분말 콘크리트의 공극구조가 동결융해 저항성능에 미치는 영향

## Effects of Pore Structure of Ground Granulated Blast-Furnace Slag Concrete on Freezing-Thawing Resistance

이 보 경\*      김 규 용\*\*      김 래 환\*\*\*      신 경 수\*      이 준\*\*\*  
 Lee, Bo-Kyeong      Kim, Gyu-Yong      Kim, Rae-Hwan      Shin, Kyoung-Su      Lee, Jun

### Abstract

In this study, effects of pore structure of ground granulated blast-furnace slag concrete on freezing-thawing resistance are reviewed. As a result, degradation of freezing-thawing resistance performance was occurred as replacement ratio of ground granulated blast-furnace slag increases under same specified concrete strength condition. It is considered that pore structure of internal binder affects freezing-thawing resistance performance.

키 워 드 : 고로슬래그 미분말, 콘크리트, 동결융해, 공극구조  
 Keywords : ground granulated blast-furnace slag, concrete, freezing-thawing, pore structure

### 1. 서 론

콘크리트 구조물은 다양한 열화인자에 노출되어 내구성이 저하되지만, 콘크리트의 혼화재료로서 고로슬래그 미분말을 치환하여 사용할 경우 내구성이 개선되며, 특히 동결융해 저항성능의 향상을 도모하는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 그러나 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 압축강도의 저하가 발생하기 때문에, 동결융해 저항성능에 대한 정량적인 실험 결과를 도출하는데 문제점이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 설계기준 강도를 동일하게 설정하여 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 콘크리트의 동결융해 저항성능을 검토하고 콘크리트 내부 공극구조와의 관계를 도출하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

표 1은 실험계획 및 콘크리트 배합을 나타낸 것으로 고로슬래그 미분말의 치환율은 0, 40, 70, 100%로 설정하였다. 설계기준강도는 24MPa로 설정하여, 동결융해 개시 시점에서 유사한 압축강도를 발현하도록 각 시험체의 배합을 계획하였다. 동결융해 작용에 따른 콘크리트의 내부 공극구조 변화를 분석하기 위해 공극률 시험은 ASTM D 4284에 준하여 동결융해 개시 시점인 재령 14일에 수은압입법으로 분석하였다. 또한, 동결융해 시험은 ASTM C 666에 따라 실시하였으며 동결융해 작용을 받은 시험체의 건전성을 평가하기 위해 상대동탄성계수와 질량변화를 측정하였다.

표 1. 실험계획 및 콘크리트 배합

시험체	F <sub>ck</sub> (MPa)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )						평가항목	
						W	C	BFS <sup>1)</sup>	PS <sup>2)</sup>	CS <sup>3)</sup>	S		G
C100	24	180 ± 30	4.0 ± 1.0	60	49	202.20	337.00	-	-	-	816.38	879.58	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 슬럼프 (mm)</li> <li>▪ 공기량 (%)</li> <li>▪ 압축강도 (MPa)</li> <li>▪ 공극률 (%)</li> <li>▪ 상대동탄성계수 (%)</li> <li>▪ 질량감소율 (%)</li> </ul>
BFS40				60	49	202.20	202.20	128.06	6.74	-	811.54	874.36	
BFS70				53	49	178.61	101.10	224.95	10.95	-	837.53	902.36	
BFS100				45	49	180.00	0.00	312.00	60.00	28.00	803.61	865.82	

1) BFS : ground granulated blast-furnace slag, 2) PS : pig iron preliminary treatment slag, 3) CS : anhydrous gypsum

\* 충남대학교 건축공학과 박사과정  
 \*\* 충남대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 교신저자(gyuyongkim@cnu.ac.kr)  
 \*\*\* 충남대학교 건축공학과 석사과정

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 슬럼프 및 공기량 측정결과를 나타낸 것으로 목표 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

그림 2는 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로 동결융해 개시 시점인 재령 14일의 압축강도는 18.10~21.69 MPa로 측정되어 유사한 압축강도 발현을 확인했다. 일반적으로 동결융해 작용에 영향을 미치는 주요인자인 공기량과 압축강도가 유사한 수준으로 측정된 것을 확인했으며, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 동결융해 저항성능에 미치는 공극구조의 영향을 분석하고자 하였다.

그림 3과 4는 동결융해 작용을 받은 시험체의 상대동탄성계수 및 질량감소율 측정결과를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트의 경우 치환율이 증가할수록 상대동탄성계수가 저하되었으며, 동결융해 작용에 의해 표면 박리 현상이 발생하여 질량변화율도 큰 폭으로 증가하는 경향을 확인하였다.

그림 5와 6은 동결융해 작용을 받기 전의 누적 공극량 및 공극 크기별 분포를 나타낸 것이다. 배합에 따른 누적 공극량은 큰 차이를 나타내지 않았으나 공극 크기별 분포가 상이한 결과를 나타내었고, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트에 비해 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트의 미세 공극이 증가하였다. 또한, 표 2는 공극률 및 평균 공극 직경 측정결과를 나타낸 것으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라서 공극률 및 평균 공극 직경이 다소 증가하는 것을 확인하였으며, 결합재 내부의 공극 구조의 차이에 기인하여 동결융해 저항성능이 상이한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 고로슬래그 미분말 콘크리트의 공극구조가 동결융해 저항성능에 미치는 영향에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 기존의 연구에서는 동결융해 저항성능이 공기량 및 동결융해 개시 시점의 압축강도의 영향에 대해 분석하고 있지만, 본 실험을 통해 결합재 내부의 공극구조 차이에 따라 동결융해 저항성능이 달라지는 것을 확인하였다.

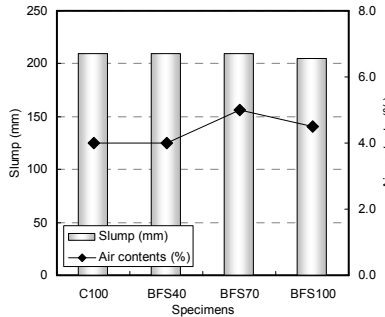


그림 1. 슬럼프, 공기량 측정결과

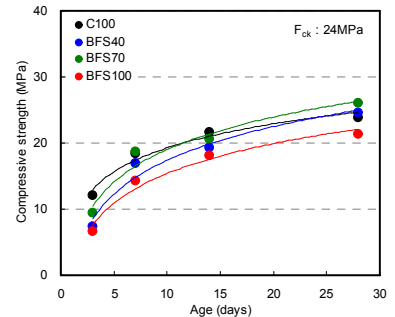


그림 2. 압축강도 측정결과

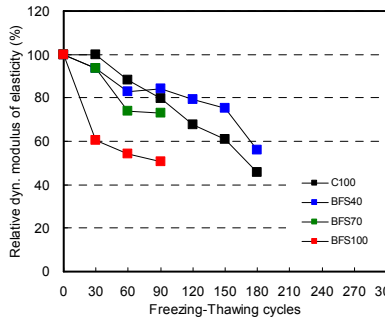


그림 3. 상대동탄성계수 측정결과

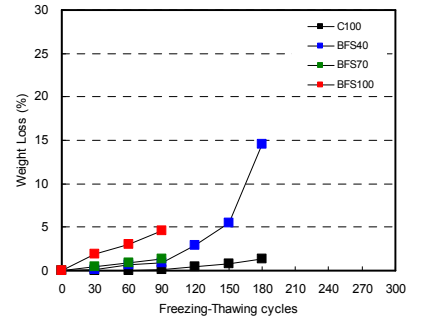


그림 4. 질량감소율 측정결과

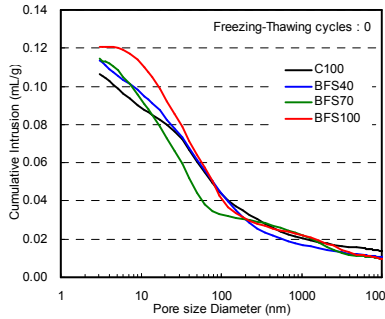


그림 5. 누적 공극량 측정결과

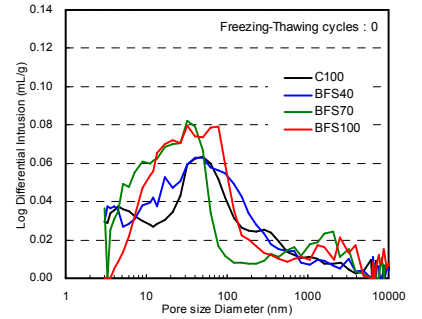


그림 6. 공극 크기별 분포

표 2. 공극률 및 평균 공극 직경 측정결과

구분	C100	BFS40	BFS70	BFS100
공극률 (%)	20.8	22.0	22.2	23.2
평균 공극 직경(nm)	21.6	18.8	21.0	31.1

### Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(2012H1B8A2025606)으로 수행된 연구결과임. 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 류동우, 김우재, 양완희, 유조형, 고정원, 고로슬래그 미분말을 대량 사용한 콘크리트의 염해 및 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제12권 제3호, pp.315~322, 2012