

# 콘크리트의 동결융해 내구성에 공기량이 미치는 영향 분석

## Affecting Analysis of Air Content on the Freeze-Thaw Durability of Concrete

이 병 덕\*                      김 현 중\*\*                      강 혜 진\*\*\*  
Lee Beung Duk              Kim, Hyun Joong              Kang Hye Jin

### ABSTRACT

Domestic area of most be happened chloride deicer damage. Because daily mean temperature is below 0°C from the area of domestic most. Concrete durability influence Air Content. Presently, We used to AE(air-entraining agent) for increase freeze-thaw durability. So, on concrete Air Spacing ratio used 200 $\mu$ m~230 $\mu$ m in Canada and under 250 $\mu$ m in Japan institution. Use of Air content has been and will continue to be a major part of concrete durability and scaling. Chloride-containing chemicals such as calcium chloride or rock salt are main deicers for the road.

The prepared optimum mix concrete in this study show that freeze-thaw and scaling resistance of Non-AE(air content 1.5%) and AE (air content 4.5%, 7.2%). Solution concentrations of deicing agent were good result, and the pore system and change of hydration products is not difference comparing before freeze-thaw test.

### 요 약

우리나라의 경우 매년 전국적으로 일평균기온이 0°C 이하로 되는 경우가 대부분이므로 거의 모든 지역의 콘크리트가 반복되는 동결융해의 피해를 입고 있다고 볼 수 있다. 이러한 동결융해의 반복에 대한 콘크리트의 내구성은 콘크리트의 공기량과 매우 관계가 깊다. 따라서, 현재 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 향상시키기 위해 AE제 등을 사용하고 있으며 콘크리트의 기포간극계수를 250 $\mu$ m 이하로 권장하고 있다. 외국의 경우도 마찬가지로 AE제 및 감수제에 관한 품질규격에서 기포간극계수를 캐나다의 경우 각각 200 $\mu$ m 이하 및 230 $\mu$ m 이하로 규정하고 있으며 일본학회에서도 기포간극계수 250 $\mu$ m 이하가 적당하다고 보고되고 있다. 또한, 융설제와 동결융해의 복합작용에 의해 콘크리트의 스킨링 저항성을 향상시키는 데에도 일반 동해와 마찬가지로 공기량이 상당히 중요하다고 알려져 있다.

따라서, 반복되는 동결융해에 의한 동해를 동시에 받는 복합열화 환경하에 있는 일반콘크리트의 내구성에 크게 영향을 미치는 인자로 알려져 있는 공기량에 따른 동결융해 내구성을 알아보고자 Non AE(공기량 1.5%), AE(공기량 4.5%, 7.2%) 콘크리트를 통해 동결융해에 따른 상대동탄성계수와 중량 감소율, 스킨링 저항성 및 공극특성을 비교검토 하였다.

\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원·공학박사  
\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원·공학석사  
\*\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원·공학석사

## 1. 서 론

### 1.1 실험내용 및 변수

공기량은 Non AE 콘크리트의 경우 1.5%, AE 콘크리트의 경우는 4.0%, 7.2%의 3종류, 물-시멘트비는 45%로 일정하게 하였고, 동결융해 사이클에 따른 상대 동탄성계수 및 중량 감소율, 스킨링 저항성을 측정하였고, 동결융해 전후의 기공율을 조사하였으며 단위수량은 모두 155kg/m<sup>3</sup>로 일정하게 하였다. 실제 측정 공기량은 각각 5.5, 5.1, 5.0% 였고, 28일 수중양생 후 동결융해 사이클에 따른 상대 동탄성계수 및 중량 감소율을 측정 하였다.

### 1.2 사용재료 및 배합비

시멘트는 시판되고 있는 보통 포틀랜드 시멘트(비중: 3.15), 잔골재의 비중이 2.60, 굵은골재는 비중이 2.63인 최대 치수 25mm인 것을 각각 사용하였다. 혼화제는 고성능 AE제감수제를 사용하였으며 공기량에 따른 콘크리트 배합비는 표 1와 같다.

표 1 공기량에 따른 콘크리트 배합비

G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Air (%)	단위 재료사용량 (kg/m <sup>3</sup> )				고성능 AE감수제
					W	C	S	G	
25	45.0	43.0	12.5	1.5	155	344	811	1088	-
25	45.0	43.0	11.5	4.5	155	344	778	1034	C×0.4
25	45.0	43.0	10.5	7.2	155	344	744	998	C×0.7

### 1.3 실험방법

동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 28일 동안 수중양생한 100×75×400mm 시편으로, KS F 2456 A 법(수중 동결, 수중 융해)으로 30 사이클 마다 질량 감소율 및 상대 동탄성계수를 측정하였다.

스킨링 저항성 시험은 30×30×10cm 크기의 콘크리트 시편에 폭 및 두께가 1×1cm인 고무재질 다이 크를 설치한 후 ASTM C 672에 의거하여 실시하였고, 7, 14, 28, 42, 56사이클에서의 콘크리트 표면 박리량을 중량 손실량으로 측정하였다. 동결융해 사이클은 7시간 동안 16℃에서 0℃로 떨어뜨리고, 0℃에서 -10℃로 5시간 떨어뜨리고, 4시간 동안 -10℃에서 동결, 8시간 동안 -10℃에서 16℃로 상승시킨 것을 1 사이클로 하였다. 콘크리트 경화체 내부의 공극 측정은 동결융해 시험 전후의 기공율을 분석하였다. 세공특성 평가는 수은압입법(Model : AUTOPORE II 9220,마이크로메릭티스사)에 의한 방법으로서 수은을 셀과 시료에 압입하고 그 때 압력과 압입한 수은의 용적을 측정하여 압입을 바꾸어 대기압까지 사이에서 수십회로 나누어 실시한 후 시료의 용기를 고압실에 세트하고 압력을 증가시켜 4300 kgf/cm<sup>2</sup> 까지 압입하고 압력과 수은의 용적을 기록하였다.

## 2. 시험 결과 및 고찰

### 2.1 공기량에 따른 동결융해 및 중량감소율

Non AE 콘리트의 경우, 동결융해 초기의 90 사이클에서 부터 질량감소율이 급격하게 증가하는 것으로 나타났으며 동결융해 300 사이클에서 공기량이 7%인 AE 콘크리트에 비해 중량 감소율이 3배, 공기량이 4.5%인 AE 콘크리트에 1.8배 가량 큰 것을 확인할 수 있다. 그림1 에서 알 수 있듯이, Non AE 콘크리트에 비해 AE 콘크리트에서 전체적으로 질량감소가 적어지고 있다는 사실을 알 수 있다.

Non-AE 콘크리트에 있어, 동결융해 180 사이클부터 상대 동탄성계수는 급속하게 저하되어 240 사이클 이후에서는 60%를 이하로 나타났고, 동결융해에 의한 질량 감소율 시험 결과에 있어서도 내구성

지수의 감소에 따라 시험체에 심한 스켈링이 발생하여 질량이 감소되고 있음을 알 수 있다.

AE 콘크리트의 경우는 공기량이 4.5%에 비해 7.0%에서 상대 동탄성계수의 저하가 전체적으로 완만한 경향을 나타내었고, 연행 공기량이 높을수록 질량감소율과 마찬가지로 동해열화가 억제되는 경향을 보였다. 따라서, Non-AE 콘크리트의 경우에는 동결융해, 제설제 염화물로 인한 층간동결 및 급격한 열충격, 삼투압으로 인한 얼음결정의 성장 등의 작용으로 인해 적절한 크기와 간격의 공극을 확보하지 못하는 Non-AE 콘크리트에서 더 큰 피해를 입을 수 있다는 것을 예상할 수 있다.

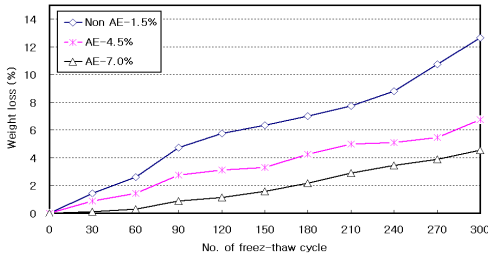


그림 1 공기량에 따른 중량 감소율

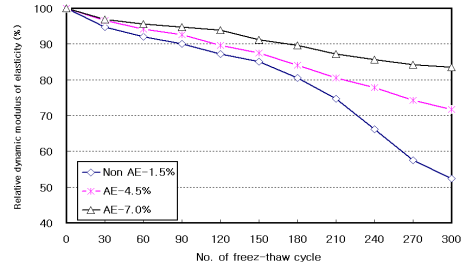


그림 2 공기량에 따른 상대 동탄성계수

## 2.2 공기량에 따른 스켈링 저항성

공기량이 4.5%인 AE 콘크리트에서는 Non AE 콘크리트에 비해 박리정도가 작게 나타났으나 표면 손상이 발생하였다. 이에 반해 공기량이 7%인 AE 콘크리트에서는 표면 손상이 거의 발생하지 않았으며, 내동해성이 우수한 것으로 나타났다. 이 시험법에 의거하여 시험한 콘크리트에서 동결융해 56 사이클 후 일반적으로 콘크리트의 박리량이  $1\text{kg}/\text{m}^2$ 을 초과하지 않는다면 적절한 스켈링저항성을 가진 것으로 간주하고 있다. 따라서 AE제의 사용에 의한 적절한 공기연행은 동결융해를 받는 환경하에서도 내구성을 확보할 수 있는 하나의 방법이라고 판단된다. 따라서 물-시멘트비를 낮게 조절하는 것도 중요하지만 연행공기에 의한 콘크리트 내부의 공극구조 개선 또한 스켈링저항성을 현저하게 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다. 또한, AE제의 사용에 의해 콘크리트 중에 기포를 다수 연행시키면 내부열화에 대한 저항성이 크게 향상될 수 있는데, 물이 동결할 때의 체적 증가에 의해 부동수의 이동이 생기면, 이에 수반하여 수압이 발생한다. 기포는 이 수압을 완충시키는 장소로서의 기능을 하며, 기포의 절대량보다 기포 간격이 작은 것이 유효하다고 판단된다.

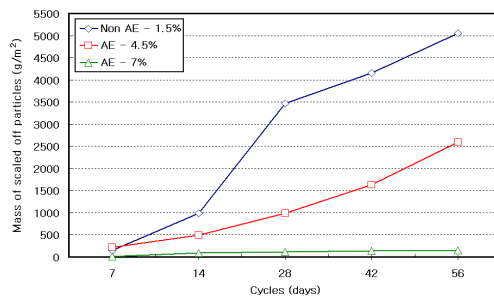


그림 3 공기량에 따른 스켈링저항성

## 2.3 공기량에 따른 공극특성

공기량이 7%인 AE 콘크리트의 경우, 동결융해시험 전의 기공 분포는 젤 공극(Gel pore)에 의한 기공( $0.001\sim 0.003\mu\text{m}$ ) 영역이 5~10%, 모세관 공극(capillary pore,  $0.015\sim 5\mu\text{m}$ 의 기공 크기의 범위를 갖는 기공)이 70~80% 정도인 것을 알 수 있다. 그리고 내동해성에 중요한 크기가  $50\sim 200\mu\text{m}$  정도의 독립한 구형의 연행공극이 10% 정도가 존재하는 것으로 나타났다. 공기량이 4%인 AE 콘크리트에서는 크기

가 5 $\mu\text{m}$ 의 기공이 70~80% 정도인 것으로 나타나 공기량이 7%인 AE 콘크리트 보다 감소한 것을 알 수 있다. 크기가 50~200 $\mu\text{m}$ 의 연행공기는 10% 이하로 나타났으며 Non AE 콘크리트의 경우 AE 콘크리트에 비해 겔공극 및 모세관 공극이 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

동결융해시험 후의 기공을 결과를 그림 5에 나타내었다. 이 시험 결과에서 알 수 있듯이 Non AE 콘크리트의 경우, 동결융해시험 전과 비교하면 콘크리트 내에 존재하는 모세관 공극은 감소하였으며 겔 공극은 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 동결융해 작용을 받게 되면 콘크리트 내부의 기공크기가 작은 모세관 공극과 연행공기포가 동결융해작용을 받아 기공이 변화되는데, 공기량 7% AE 콘크리트에서는 이러한 증가 경향이 Non AE 콘크리트에 비해 적은 것으로 나타났다. 이는 많이 형성된 미세한 기공포의 완충작용에 의해 동결융해에 대한 저항성이 증가하였기 때문이라고 판단된다.

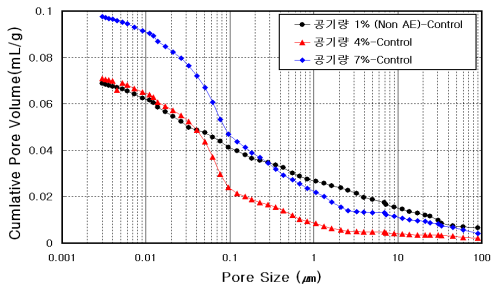


그림 4 공기량에 따른 공극 특성

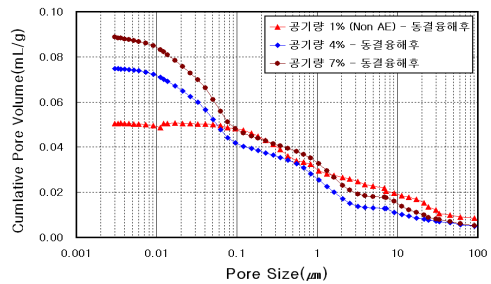


그림 5 동결융해 후 공기량에 따른 상대 공극 특성

### 3. 결론

- (1) 동결융해 싸이클의 경과와 더불어 질량감소율은 Non AE 콘리트에서 크게 증가 하였는데, 동결융해 300 싸이클에 있어서 공기량이 7%인 AE 콘크리트에 비해 중량 감소율이 3배, 공기량이 4.5%인 AE 콘크리트에 1.8배 가량 큰 것을 확인하였다.
- (2) Non-AE 콘크리트에 있어, 동결융해 180 싸이클부터 상대 동탄성계수는 급속하게 저하되었고 240 싸이클 이후에서는 60%를 이하로 나타났다. AE 콘크리트의 경우 공기량이 4.5%에 비해 7.0%에서 상대 동탄성계수의 저하가 전체적으로 완만한 경향을 보이고 있으며 연행 공기량이 높을수록 질량감소율과 마찬가지로 동해열화가 억제되는 경향을 보였다.
- (3) 스킨링저항성 시험에 있어, Non AE 콘크리트에서는 동결융해 14 싸이클 이후부터 콘크리트 박리가 크게 발생하였고, 공기량이 4.5%인 AE 콘크리트 에서는 Non AE 콘크리트 보다는 박리정도가 작았지만 표면 손상이 발생하였다. 이에 반해 공기량이 7%인 AE 콘크리트에서는 표면 손상이 거의 발생하지 않았으며, 내동해성이 우수한 것으로 나타났다.
- (4) 동결융해 작용을 받게 되면 콘크리트 내부의 공극구조는 동결융해작용을 받아 기공이 변화되는데, 공기량 7% AE 콘크리트에서는 이러한 경향이 Non AE 콘크리트에 비해 적은 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 이병덕, 이주광, “콘크리트의 열화에 공기량, 제설제, 노출조건이 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 2007년 봄학술발표회 논문, pp. 685~688, 2007. 5.
2. ASTM C 672-84: Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals, ASTM Standard, pp. 332~334, 1984.
3. Wendell Dubberke & Vernon J. Marks, “The Effect of Decing Salt on Aggregate Durability”, TRR No. 1031, 1985.