

동결융해작용을 받는 부순모래 콘크리트의 수명예측

The Service Life Prediction of Concrete with Crushed Sand in Condition of Freezing and Thawing

강수태* 류금성* 박정준* 이장화** 고경택***

Kang, Su Tae Ryu, Gum Sung Park, Jung Jun Lee, Jang Hwa Koh, Kyung Taek

ABSTRACT

In this study, we predicted the service life against the freezing and thawing. as a result, we found that in the case of using the low quality crushed sand with high water-cement ratio, there is the possibility of deterioration. but in any other case, we concluded that there is no chance to deteriorate if we have the required air contents by using AE agent.

we are going to improve the method to evaluate more exactly the durability of the concrete with crushed sand by acquiring data from the specimen which are exposed to field for long time.

1. 서론

콘크리트의 수명예측 하는 것은 합리적인 배합 설계, 내구성 설계 및 유지관리를 할 수 있으므로 중요한 사항이다. 콘크리트의 수명 예측하는 방법으로는 여러 방법들이 제안되고 있으며, 최근 들어 일본토목학회 및 한국콘크리트학회 등에서 내구성 설계기법을 제안하고 있다. 그러나 콘크리트의 수명예측은 장기적으로 성능을 평가한 데이터로부터 실시하는 것이 가장 바람직하나, 국내에는 이런 데이터가 부족한 상황이다. 본 연구에서는 부순모래를 사용한 콘크리트 시험체에 대해 장기성능을 평가하기 위해 앞선 기존의 실험결과를 토대로 하여 부순모래를 콘크리트의 동결융해에 대해 수명예측을 실시하여 장기적인 시험체의 성능평가의 자료로 활용하고자 하였다.

2. 수명저하 예측 모델

실내 축진동결융해시험에서는 동결 최저온도 조건이 일정하게 작용하기 때문에 동결융해 1사이클로 인한 손상을 일으키는 힘은 동일하지만, 자연환경 하에서는 동결 최저온도가 일정하지 않으므로 불규칙한 힘의 크기로 콘크리트에 작용하게 된다. 따라서 실제 구조물의 동결융해 작용에 의한 내구성능 저하를 예측하기 위해서는 불규칙한 동결 최저온도를 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 온도요인 중에서 가장 영향이 클 것으로 판단되는 동결 최저온도만을 고려하였으며, 동결융해시험에서 콘크리트의 내구성능 저하 과정을 나타내는 지표로서 일반적으로 사용되는 상대동탄성계수를 이용했다.

*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 기획조정실장

***정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

2.1 예측 기본 모델식

본 연구에서 사용한 동결융해 저항성 저하 예측 기본 모델식은 식 (1)과 같다. 이 모델식은 Non-AE 콘크리트의 배합으로 ASTM C 666 A법의 급속 수중동결 수중융해 시험을 실시한 결과로부터 동결 최저온도와 W/C를 변수로 하여 파괴 사이클을 예측하는 식이다. 여기서 파괴 사이클의 정의는 상대동탄성계수가 60% 이하가 되는 사이클 수를 말한다.

$$F_n = 10^{((0.14 \ln(C/W) + 0.004)\theta) + (3.15 \ln(C/W) + 1.43)} \quad (\text{식 1})$$

여기서, F_n 은 파괴 사이클수를 말하며, θ 는 동결 최저온도, 그리고 C/W 는 시멘트-물비를 의미한다.

식 (2)는 물-시멘트비와 동결 최저온도의 영향을 동시에 표현하기 위해 기준이 되는 물-시멘트비와 동결 최저온도에 대해 구하자고 하는 물-시멘트비와 동결 최저온도에서의 파괴 사이클수의 비를 나타낸 가중계수이다.

$$\phi = \frac{N_d[(C/W)_t, (\theta)_t]}{N_d[(C/W)_{st}, (\theta)_{st}]} \quad (\text{식 2})$$

여기서, ϕ 는 가중계수, $N_d[(C/W)_{st}, (\theta)_{st}]$ 는 기준이 되는 물-시멘트비와 동결 최저온도에서의 파괴 사이클수, $N_d[(C/W)_t, (\theta)_t]$ 는 구하고자 하는 물-시멘트비와 동결 최저온도에서의 파괴 사이클수이다.

2.2 자연환경 하에 있어서 동결융해 사이클수 산출

실내 동결융해시험의 결과를 토대로 자연환경 하에서의 불규칙한 동결 최저온도를 고려할 수 있는 동결융해 사이클수를 <표 1>과 같은 산출과정을 통해 산출하였다.

<표 2> 자연환경 하에서 동결융해 사이클수 산출 과정

	산출과정	관계식	비고
1	년 평균 동결융해 사이클수 산출	$NFT_{av} = \frac{\sum (NT_i \times T_i)}{T_{av}}$	NFT_{av} : 년 평균 동결융해 사이클수 NT_i : 동결 최저온도 i 에 있어서 동결융해 사이클수 T_i : 0.5℃마다 산출한 동결 최저온도 T_{av} : 년 평균 동결 최저온도
2	파괴 사이클수 및 가중계수 산출	식 (1), 식(2) 참조	
3	누계 동결융해 사이클수 산출	$N = \sum_{i=1}^n N_i = \frac{\{NT_i\}}{\{\phi_i\}}$	N : 누계 동결융해 사이클수 $\{NT_i\}$: 동결 최저온도 i 의 동결융해 사이클수 $\{\phi_i\}$: 동결 최저온도 i 의 가중계수
4	대응계수 산출	$K = \frac{N}{NFT_{av}}$	
5	자연환경 하에 있어서 동결융해 사이클수 산출	$N_{na} = K \times N_{ro}$	N_{na} : 자연환경하에 있어서 동결융해 사이클수 K : 대응계수 N_{ro} : 실내 축진동결융해시험의 동결융해 사이클수

2.3 상대동탄성계수와 동결융해 사이클수의 관계

실내 축진동결융해시험에서 얻어진 상대동탄성계수와 자연환경 하에서의 동결융해 사이클수와의 관계를 식 (3)의 형태로 회귀분석을 통해 추정한다.

$$R_{ed} = 100 \text{Exp}(a \times N_{na}) \quad (\text{식 3})$$

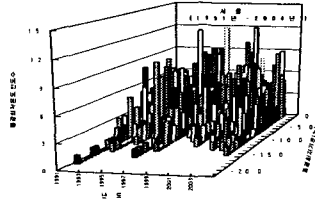
여기서, R_{ed} 는 상대동탄성계수를 의미하고, 변수 a 는 콘크리트 배합 및 환경조건에 따른 계수이다.

3. 기상 데이터

본 연구에서는 기상청의 홈페이지(<http://www.ma.go.kr/>)에서 제공되는 기상 데이터로부터 0°C에서 동결·융해가 발생한다고 가정하여 1990년부터 2004년까지 14년 동안의 동결융해 사이클수를 동결 최저온도 0.5°C 간격으로 산출하였다. 년 평균 동결융해 사이클수와 년 평균 동결 최저온도를 <표 2>에 나타내었다. <그림 1>에 년도별로 조사한 서울지역의 기상 데이터를 나타내었다.

<표 2> 국내의 동결융해에 관한 기상 데이터

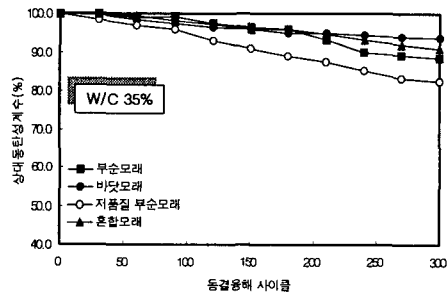
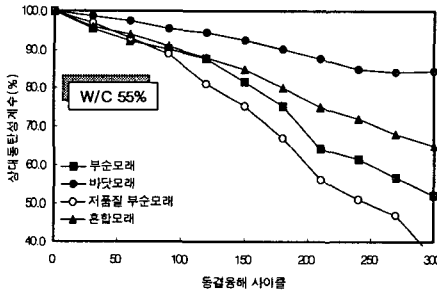
지역	년 평균 동결 최저온도 (°C)	년 평균 동결융해 사이클수
춘천	-6.5	127
서울	-5.1	90
대전	-4.8	98
대구	-3.7	80
광주	-3.5	78
부산	-3.1	40



<그림 1> 서울지역의 기상 데이터

4. 실내 동결융해 시험결과

<그림 2>는 물-시멘트비 55%와 35%의 콘크리트에 대해 잔골재 종류에 따른 동결융해 시험결과이다. 여기서, 부순모래는 KS 규격을 만족하는 것이고, 저품질 부순모래는 입형이 불량한 것, 혼합모래는 저품질 부순모래와 바닷모래가 혼합되어 입형을 개량한 것이다.

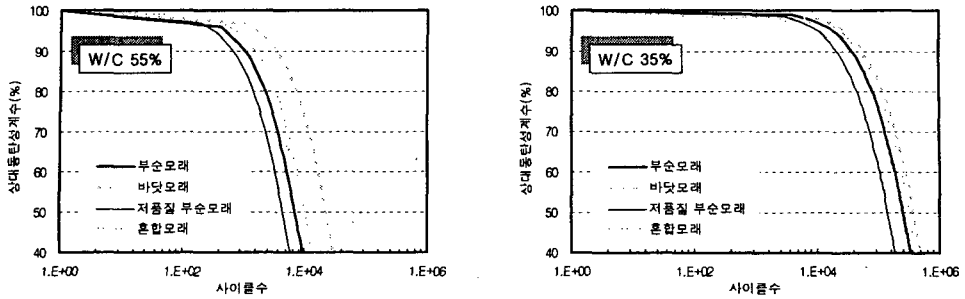


<그림 2> 실내 동결융해 시험결과((a) W/C=55% 경우, (b) W/C=35%)

5. 동결융해작용에 대한 수명예측

식 (1)에서 구성한 수명 저하 예측 모델식에 기상 데이터 및 실내 시험결과를 입력하여 동결융해 작용을 받는 콘크리트의 수명 저하 과정을 추정하였다. <그림 3>에 서울지역에 대해 상대동탄성계수 변화곡선을 추정한 결과를 나타내었다. <표 3>에 콘크리트 파괴 과정으로 구분하여 동결융해 사이클수를 산출한 결과를 나타내었다.

물-시멘트비에 관계없이 바닷모래, 혼합모래, 부순모래, 저품질 부순모래 순으로 동결융해에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 저품질 부순모래를 사용한 W/C=50% 콘크리트는 내구성능 저하 징후가 나타나는 상대동탄성계수 90%이하로 저하되는 것은 5.8년, 콘크리트가 파괴되는 시점인



<그림 3> 잔골재 종류에 따른 동결융해 예측((a) W/C=55% 경우, (b) W/C=35%)

상대동탄성계수 60% 이하가 되는 것은 28.3년으로 계산되었다. 그러나 부순모래, 혼합모래 및 바닷모래를 사용한 콘크리트는 저품질 부순모래를 사용한 콘크리트에 비해 사용수명이 2.9~3.3배 정도 향상 되는 것으로 계산되었다. 또한 W/C=35%는 사용수명이 200년 이상으로 AE제를 사용하여 소정의 공기량은 확보한다면 동결융해에 대한 저항성은 문제가 없는 것으로 판단된다.

<표 3> 내구성능 저하 과정별 동결융해 사이클수 산출결과(서울)

잔골재 종류 \ W/C	55%		35%	
	R ₉₀	R ₆₀	R ₉₀	R ₆₀
부순모래	1,505	7,295	35,050	169,995
바닷모래	3,500	16,990	105,099	509,500
저품질 부순모래	525	2,546	19,970	102,050
혼합모래	1,505	8,490	52,500	255,000

6. 결론

본 연구에서는 부순모래를 사용한 콘크리트의 동결융해에 대해 수명예측을 실시하였다. 잔골재 종류에 따른 동결융해 작용을 받는 콘크리트에 대한 수명을 예측한 결과, 저품질 부순모래를 사용하고 물-시멘트비가 높은 콘크리트는 사용수명 동안에 동결융해 작용에 의한 내구성능 저하를 발생시킬 소지가 있으나, 다른 잔골재 및 물-시멘트비가 낮은 고강도 콘크리트에서는 AE제를 사용하여 소정의 공기량을 확보할 경우, 동결융해에 대한 저항성은 문제가 없을 것으로 분석되었다. 그리고 동결융해 작용을 받는 부순모래 콘크리트에 대한 보다 정확한 수명을 예측하기 위해 장기폭로시험체의 데이터를 획득하여 평가기법을 개발 또는 개선시킬 예정이다.

감사의 글

본 연구는交通部 2004년도 건설기술기반구축사업 과제 '대체골재를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술 개발'에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "대체골재를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술 개발", 건설교통부, 2005
2. 고경택, 김도겸, 조명석, 송영철, "동결융해 작용을 받는 콘크리트 구조물의 내구성능 저하 예측 방법에 관한 연구", 한국구조물진단학회지, 제5권 1호, 2001. 1