Journal of the Korea Concrete Institute
Vol.13, No.4, pp.397~405, August 2001

동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하 평가

고경택[1)*] · 김도겸[1)] · 김성욱[1)] · 조명석[2)] · 송영철[2)]

[1)]한국건설기술연구원 [2)]한국전력공사 전력연구원

(2001년 4월 17일 원고접수, 2001년 7월 21일 심사완료)

A Compound Deterioration Assessment of Concrete Subjected to Freezing-Thawing and Chloride Attack

Kyung-Taek Koh[1)*], Do-Gyeum Kim[1)], Sung-Wook Kim[1)], Myung-Suk Cho[2)], and Young-Chul Song[2)]

[1)] Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea
[2)] Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, 305-380, Korea

(Received on April 17, 2001, Revised on July 21)

ABSTRACT

In clod weather regions, a strong seasonal wind brings sea salts to the land. In addition to it, recently, the spreading amount of deicing salts has increased numerously for purpose of removing snow and ice. Thus the salts environment around concrete structures becomes so severe that various damages of concrete due to applied salts will be brought up. Much of countries such as America, Europe etc. is carried out study for effects of deicing salts on concrete. However, there are not test methods for deterioration of concrete subjected to both freezing-thawing and chloride in Korea. In this study, we carried out test for the compound deterioration subjected to both freezing-thawing and chloride attack, to investigate the effects of sodium chloride on the deterioration of concrete. The test was performed to investigate the effects of cement type, strength and air content on the scaling deterioration of concrete. As a result, the scaling deterioration was accelerated in the presence of salts. And the resistance to scaling was strongly influenced by the type of cement, the strength and air content of concrete.

Keywords : freezing-thawing, chloride attack, compound deterioration, scaling deterioration, deicing salt

1. 서 론

해안에 근접한 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 경우, 내륙 콘크리트 구조물에 비해 내구성능 저하가 촉진된다고 알려져 있다[1)]. 그 원인으로서는 해수 작용에 의해 침투압이 발생하여 콘크리트 표면부의 세공구조가 다공성(porous)으로 변함에 따라 동결 가능한 수량이 증가되어 동결융해 작용을 받을 때 수압이 크게 발생하기 때문이다[2~4)].

최근 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로 및 교량에 염화칼슘, 염화나트륨 등 제설제의 산포량이 현격히 증가하고 있으며 이로 인해 내륙 콘크리트에서도 해안 콘크리트와 마찬가지로 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 내구성능 저하가 염려된다. 제설제의 염화물 이온이 콘크리트에 주는 영향은 해수의 경우와 동일한 것으로 알려져 있다[5,6)]. 그리고 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하는 주로 스케링(scaling)이 발생한다[7)].

미국, 유럽 등에서는 제설제가 콘크리트에 미치는 영향에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다. 1971년에 ASTM C 672[8)]로서 시험방법이 규정되었으며, RILEM에서도 ASTM 시험방법을 참고로 한 시험방법이 규정되어 있다. 최근에는 RILEM TC 117위원회가 제설제 용액을 모관 흡수시키는 CDF시험[9)](capillary suction of deicing chemicals and freeze thaw test)방법을 제시하였다. 그러나 국내에는 동결융해와 염해에 대한 각각의 단일 작용에 관한 연구는 이루어지고 있으나, 동결융해와 염해에 대한 복합 내구성능 저하 시험방법은 규정되어 있지 않으며 또한 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 실정이다[10)].

따라서 본 연구에서는 동결융해와 염화물의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하를 평가하는 방법을 검토하기 위해 복합 내구성능 저하 실험을 실시하였다.

동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 내구성능 저하의

* Corresponding author
Tel : 031-910-0537 Fax : 031-910-0121
E-mail : ktgo@kict.re.kr

평가는 스케링과 염화물 침투량으로 하였고, 콘크리트의 스케링은 ASTM C 672의 육안관찰에 의한 정성적인 평가와 스케링 양을 측정하여 정량적인 평가를 병용하였다. 그리고 스케링에 의한 콘크리트의 손상정도를 비파괴적으로 평가를 하기 위해 초음파 속도, 투수성을 평가하였고, 동결융해에 따른 염화물 침투량도 평가하였다.

2. 시험 개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(I종 시멘트)와 내황산염 포틀랜드 시멘트(V종 시멘트)를 사용하였고, 시멘트의 화학적 특성과 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. 그리고 굵은골재는 쇄석으로서 최대치수 19 mm의 골재를 사용하였고, 잔골재는 강사를 사용하였다. 골재의 특성을 Table 2에 나타내었다. 고성능 감수제는 나프탈렌 설폰산염 고축합물계를 사용하였으며 AE제는 음이온계를 사용하였다.

2.2 배합

본 연구에 사용한 배합을 Table 3에 나타내었다. 배합은 시멘트의 종류별로 설계기준 강도 210, 280, 350 kgf/㎠를 사용하였다. 그리고 공기량의 영향을 검토하기 위해 I종 시멘트를 사용한 210 kgf/㎠의 배합에 대해 Non-AE (2.0%), 4.5%, 7.0%, V종 시멘트를 사용한 210 kgf/㎠의 배합에 대해 Non-AE(2.0%), 4.5%의 공기량을 연행하였다. 설계기준강도 280, 350 kgf/㎠의 배합에 대해 4.5 %의 공기량에 대해서만 검토하였다.

2.3 공시체 제작

본 연구에서 복합시험에 사용한 콘크리트의 공시체의 개요를 Fig. 1에 나타내었다. 공시체는 PVC 관으로 만든 ϕ240×130 mm 몰드에 높이 100 mm 정도까지 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 몰드 밑면은 비닐로 밀봉하여 염화물이 콘크리트 밑면으로 새지 않도록 하였다. 양생은 콘크리트 윗면(타설면)에 약 10 mm 물을 넣어 28일간 실시하였다. 블리딩의 영향을 줄이기 위해 복합시험을 실시하기 전에 쇠솔을 사용하여 콘크리트 윗면의 레이턴스를 제거하였다. 그리고 콘크리트와 PVC관의 접하는 타설면을 봉합하여 염화물이 새지 않도록 하였다.

2.4 복합시험 방법

ASTM C 672 규준에는 공시체를 동결 환경과 융해 환경의 사이에서 1일에 2회 이동하도록 되어있어 공시체 이동작업이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 공시체의 이동작업을 생략할 수 있도록 온도 자동 제어방식을 사용하였다. Fig. 2에 복합시험의 온도조건을 나타내었다. 1사이클의 소요 시간은 24시간으로 동결은 -20 ℃에서 18시간, 융해는 +22 ℃에서 6시간으로 하였다. 이것은 야간에 동결하고 낮에는 융해하는 조건을 묘사한 것이다.

복합시험의 염화물 용액은 NaCl 3.6 % 수용액을 사용하였고, 염화물 용액을 침적시킨 공시체와 비교를 하기 위해 일반 수도물을 침적시킨 공시체에 대해서도 동일한 실험을 실시했다.

2.5 스케링 평가 방법

ASTM C 672에서 동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 콘크리트의 스케링 평가를 육안관찰만 하도록 규정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 콘크리트의 스케링 평가를 육안관찰에 의한 정성적인 평가와 스케링 손실량(mass of scaled offparticles)의 측정에 의한 정량적인 평가를 병용하였다. 스케링의 정성적인 평가는 ASTM C 672에 정한 육안등급(visual rating)을 사용하였다. Table 4에 ASTM C 672에 정한 스케링의 육안등급을 나타내었다. 본 연구에서 사용한 스케링 손실량은 용액 중에 박리한 콘크리트 덩어리를 추출하여 75 ㎛ 체 위에서 증류수로 콘크리트 중의 염분을

Table 1 Properties of cement

Item \ Type	Type I	Type V
SiO_2 (%)	21.01	22.37
Al_2O_3 (%)	6.40	3.87
Fe_2O_3 (%)	3.12	4.67
CaO (%)	61.33	62.77
MgO (%)	3.02	2.54
SO_3 (%)	2.14	1.75
Ig. loss	1.61	1.40
Specific gravity	3.15	3.15
Specific surface area	3.228	3.260

Table 2 Properties of aggregate

Type \ Item	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Unit weight
Gravel	2.68	0.45	6.69	1.560
Sand	2.60	1.27	2.64	1.537

Table 3 Mix design

Strength (kgf/㎠)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit content(kg/㎥)				REA (ml)	AE (ml)
				W	C	S	G		
210	2.0	62	45	165	265	855	1077	813	-
210	4.5	62	45	165	265	826	1041	813	16
210	7.0	62	45	165	265	797	1004	813	31
280	4.5	48	46	178	370	771	891	852	16
350	4.5	42	46	169	401	754	891	923	13

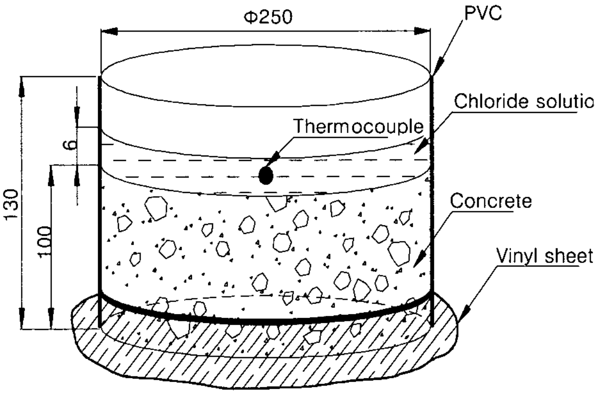


Fig. 1 Layout of specimens (Unit : mm)

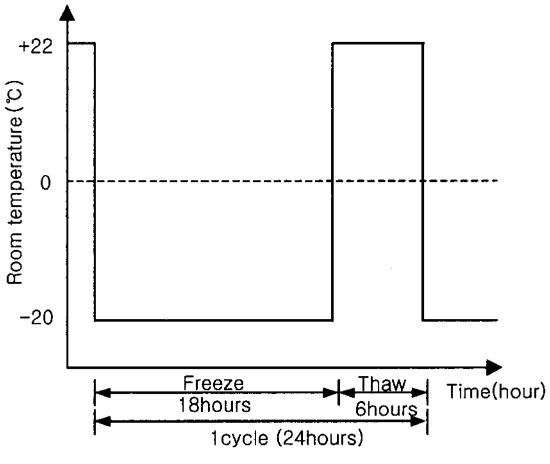


Fig. 2 Temperature history of test

제거한 다음 건조시켜 무게를 측정하여 단위면적 당의 스케링 양을 계산하였다.

2.6 염화물 침투 평가

동결융해 작용에 의한 염화물 이온의 침투 정도를 파악하기 위해 복합시험을 50사이클까지 실시한 콘크리트와 복합시험을 실시하지 않고 50일 동안 3.6 % NaCl 수용액을 담아둔 콘크리트의 표면으로부터 15 mm 간격으로 시료 40 g을 채취한 후, 일본 콘크리트 공학협회 규준(안) "경화한 콘크리트 중의 염분량 측정방법"에 의해 염화물을 추출한 다음 이온 전극법(일본 K사 제품의 AG-100)을 사용하여 수용성 염화물 이온량을 측정하였다.

2.7 손상도 평가

본 연구에서는 스케링에 의한 콘크리트의 손상도를 초음파 속도와 투수성의 측면으로부터 평가하는 방법을 검토하였다. 초음파 속도는 복합시험을 50사이클 실시한 후 콘크리트 공시체를 20 ℃에서 48시간 동안 수중에 침적시킨 다음 측정하였다. 투수성은 복합시험을 50사이클 실시한 후 콘크리트 공시체를 20 ℃에서 48시간 동안 수중에 침적시킨 후 다시 온도 20 ℃, 상대습도 60 %인 실내에서 2일간 건조시킨 다음 측정하였다. Fig. 3은 투수성 시험 장치의 개요이다.

Table 4 Visual rating of scaled surface(ASTM C 672)

Rating	Condition of surface
0	No scaling
1	Very slight scaling
2	Slight to moderate scaling
3	Moderate scaling (some coarse aggregate visible)
4	Moderate to severe scaling
5	Severe scaling (coarse aggregate visible over entire surface)

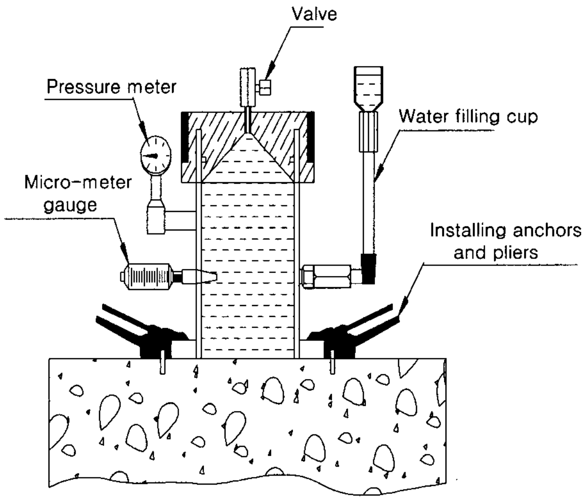


Fig. 3 Layout of water permeability tester

3. 시험결과 및 고찰

3.1 스케링 측정 결과

Fig. 4는 4.5 %의 공기량을 연행시킨 콘크리트에 대해 설계기준강도와 시멘트 종류가 콘크리트의 스케링 손실량에 미치는 영향이다. V종 시멘트를 사용한 배합은 설계기준강도에 관계없이 I종 시멘트를 사용한 배합보다 동결융해와 염해의 복합작용에 의해 스케링이 많이 발생함을 알 수 있다. 이것은 V종 시멘트를 사용한 배합이 I종 시멘트를 사용한 배합보다 염화물 이온이 콘크리트 내부로 빨리 확산[11]되어 염화물에 의한 침식작용에 의한 침투압이 발생하여 세공조직이 다공질화(porous)됨으로써 동결융해 작용에 의해 스케링 손실이 많이 발생한 것으로[2~4] 판단된다.

설계기준강도가 스케링 손실량에 미치는 영향은 시멘트 종류에 관계없이 설계기준강도 210 > 280 > 350 kgf/㎠의 순서로 스케링이 많이 발생하였다. 이것은 강도가 클수록 콘크리트의 조직이 치밀했기 때문이다.

콘크리트 표준 시방서[12]에는 제설제 사용 환경의 콘크리트와 해상 대기중의 콘크리트 경우에는 물-시멘트비를 45 %로 규정하고 있다. 본 연구에서 얻어진 결과에서 복합시험에 의해 스케링이 적게 발생한 설계기준강도 280과 350 kgf/㎠의 물-시멘트비가 각각 48 %, 42 %인 점을 감안하면, 콘크리트 표준 시방서에 규정하는 물-시멘트비 45 %가 타당한 것으로 판단된다. 또한 콘크리트 표준 시방서에는 단위 시멘트량에 대해서도 정하고 있으며 해상 대기중의 콘크리트 경우에는 최소 단위 시멘트량을 330 kg/㎥으로 정하고 있다. 본 연구에 사용한 설계기준강도 280 kgf/㎠, 공기량 4.5 % 배합의 단위 시멘트량은 370 kg/㎥으로 스케링 저항성이 크게 개선되는 결과를 고려한다면, 콘크리트 표준 시방서에서 정한 최소 단위 시멘트량은 타당한 것으로 판단된다. 그러나 물-시멘트비와 단위 시멘트량이 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트에 미치는 영향에 대해서는 향후 많은 실험결과를 토대로 광범위한 검토가 필요하다.

Fig. 5에 설계기준강도 210 kgf/㎠ 콘크리트에 대해 공기량이 스케링 손실량에 미치는 영향을 나타내었다. V종 시멘트를 사용한 경우, AE제를 사용하지 않은 콘크리트에 비해 공기량 4.5 %를 연행한 콘크리트가 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 스케링 손실량이 상당히 적어지고 있으며 I종 시멘트를 사용한 배합에서도 스케링 손실량 정도에는 차이가 있지만, V종 시멘트를 사용한 경우와 유사한 결과를 얻었다. 즉 일반적인 동결융해 저항성과 마찬가지로 동결융해와 염화물의 복합작용에 대한 저항성을 향상시키기 위해 소정의 공기량 확보가 필요하다고 판단된다.

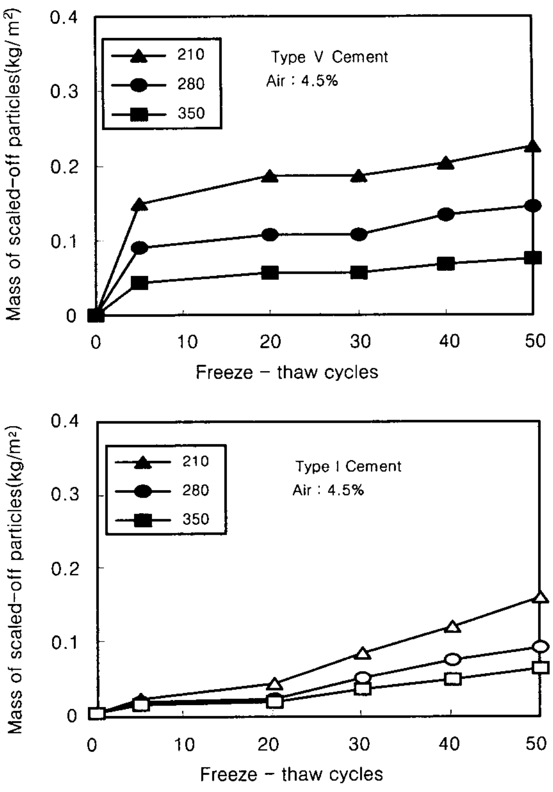


Fig. 4 Influence of cement type and strength on mass of scaled-off particles

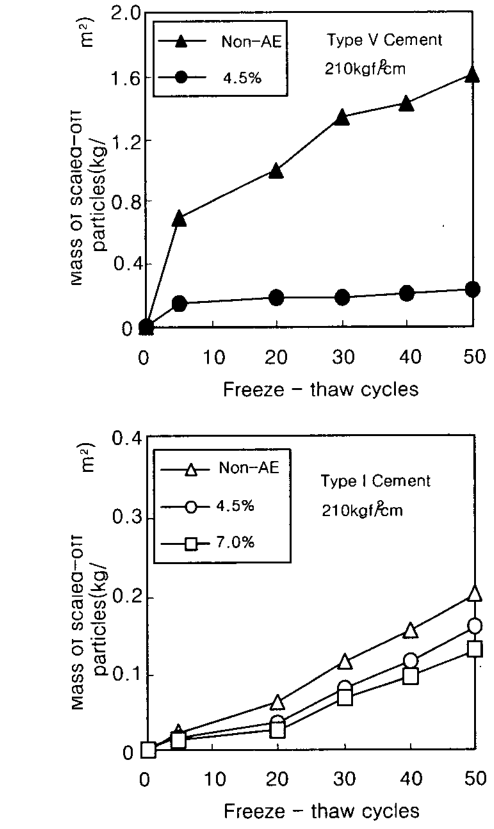


Fig. 5 Influence of air content on mass of scaled-off particles

이상의 결과로부터 동결융해와 염화물의 복합작용에 대한 저항성을 향상시키기 위해 적절한 시멘트 사용, 높은 설계기준강도(즉 낮은 물-시멘트비), 소정량의 공기량 확보가 필수적이라고 판단된다.

Fig. 6은 V종 시멘트를 사용한 210 kg/㎠의 배합 중 스케링이 많이 발생한 AE제를 사용하지 않은 콘크리트에 대해 NaCl 3.6 % 수용액과 수돗물을 비교한 결과이다. NaCl 3.6 %를 사용한 콘크리트가 수돗물을 사용한 콘크리트에 비해 스케링이 많이 발생함을 알 수 있다. 그리고 다른 배합에서도 동일한 결과를 얻었다. 이것은 염화물 침투에 의해 콘크리트 표면 세공조직이 다공질화(porous) 되었기 때문으로 사료된다[1]. 본 연구의 결과로부터 외부로부터 염화물이 침투하는 콘크리트가 동결융해 작용을 경우에는 스케링의 내구성능 저하가 촉진됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에 4.5 %의 공기량을 연행한 배합에 대해 설계기준 강도별로 동결융해 50 사이클에서 육안 관찰에 의한 등급과 스케링 손실량의 결과를 나타내었다. ASTM C 672에 따라 등급을 평가한 결과, 등급 2를 표시한 V종 시멘트를 사용한 210 kgf/㎠ 배합을 제외하고는 모두 등급 1로 평가되었다. 그러나 스케링 손실량은 배합에 따라 약간의 차이가 있는 결과를 나타내었다.

Fig. 8은 본 연구에서 얻어진 실험결과에 대해 육안 등급과 스케링 손실량의 관계를 나타내었다. 실험 데이터 수가 적어 정확한 관계를 파악하기 어렵지만, 지수 함수적인 대응관계를 가지고 있다. 육안 등급에 의한 평가는 등급이 동일하더라도 스케링 손실량은 차이가 있는 경우가 있으므로 경험이 적으면 평가에 큰 개인적인 오차가 발생할 위험성이 있다. 즉 정확한 평가를 하기 위해서는 본 연구와 같이 정량적인 평가를 병용해야 할 것으로 판단된다.

3.2 염화물 침투 상황

Fig. 9는 시멘트 종류와 설계기준 강도가 염화물 침투에 미치는 영향을 나타내었다. 설계기준강도에 상관없이 V종 시멘트가 I종 시멘트 보다 염화물이 더 빨리 침투됨을 알수 있다. 그리고 시멘트 종류에 상관없이 설계기준 강도가 작을수록 염화물 침투가 더 빠르다.

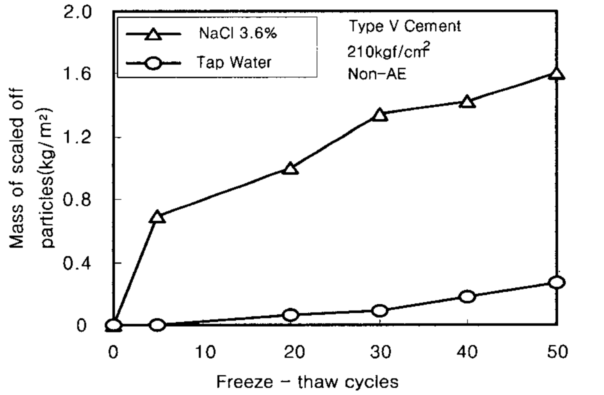
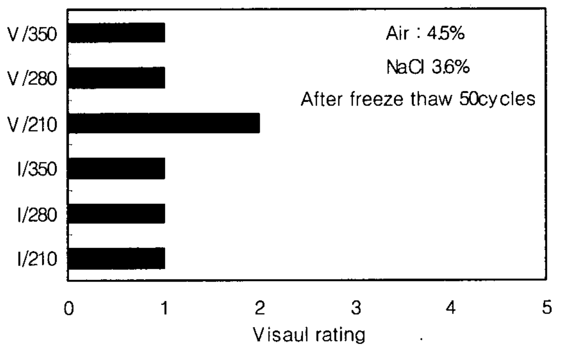
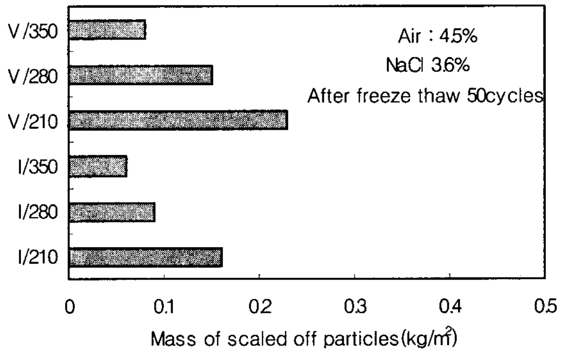


Fig. 6 Influence of water type on mass of scaled-off particles



(a) Results of ASTM C 672 visual rating



(b) Results of mass of scaled off particles

Fig. 7 Results of mass of scaled-off particles and ASTM C 672 visual rating after 50 freezing and thawing cycles

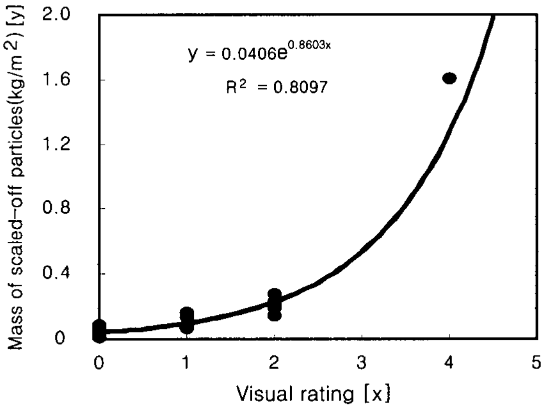


Fig. 8 Relationship between the mass of scaled-off particles and ASTM C 672 visual rating after 50 freezing and thawing cycles

Fig. 10은 공기량이 염화물 침투에 미치는 영향을 나타내었다. 시멘트 종류에 상관없이 AE제를 사용하지 않은 콘크리트가 공기를 연행한 콘크리트보다 염화물의 침투가 더 됨을 알 수 있다. 이것은 콘크리트에 공기를 연행시킴으로써 동결융해 작용에 의한 콘크리트 수축 팽창이 적게 발생하여 염화물 침투가 적었기 때문으로 판단된다[3].

Fig. 11은 동결융해 작용의 유무에 따른 염화물 침투에 미치는 영향을 나타내었다. 동결융해 작용이 추가됨으로써 염화물이 상당히 빨리 침투됨을 알 수 있다. 즉 해안지역에 있는 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 경우, 동결융해 작용에 의한 수축 팽창으로 콘크리트 구조물에 염화물 침투가 촉진될 것으로 판단된다.

3.3 손상도 평가

3.3.1 초음파 속도

Fig. 12는 공기량 4.5 %에 대해 시멘트 종류와 설계기준강도에 따른 동결융해와 염해의 복합시험 종료 후 초음파 속도를 측정한 결과이다. 시멘트 종류와 설계기준강도에 관계없이 0 사이클의 초음파 속도에 비해 복합시험을 실시한 콘크리트의 초음파 속도가 작아지고 있으며, NaCl 3.6 % 수용액을 사용한 콘크리트가 수돗물을 사용한 콘크리트에 비해 초음파 속도가 더 작아지고 있음을 알 수 있다. 그리고 일반적으로 I종 시멘트 사용 콘크리트보다 V종 시멘트 사용 콘크리트의 초음파 속도 값이 작음을 알 수 있다. 이런 결과는 초음파 속도가 스케링에 의한 역학적 성질의 저하를 반영하고 있는 것으로 판단된다.

3.3.2 투수성

Fig. 13은 복합시험을 실시하기 전과 종료 후의 투수성 시험을 실시한 결과이다. 수돗물을 사용한 콘크리트의 경우, 복합시험을 실시하기 전과 종료 후의 투수계수 값은 큰 차이를 보이지 않으나, NaCl 3.6 % 수용액을 사용한 콘크리트의 경우, 복합시험을 실시하기 전과 종료 후의 투수계수는 큰 차이를 보이고 있다. 이 결과는 스케링 발생과 대응하는 경향을 나타낸 것이다. 즉 투수성 시험은 스케링에 의한 손상도를 투과성 측면에서 간편히 평가할 수 있는 유효한 방법으로 생각되며, 향후 많은 시험을 통해 내구성능 저하 정도와의 관계를 정량적으로 검토할 필요가 있다.

3.3.3 표면박리의 발생과 손상도 변화율의 관계

Table 5에 표면박리의 발생 정도와 비파괴 시험값의 변화율을 배합별로 정리한 것이다. V종 시멘트를 사용한 설계기준강도 210 kgf/㎠의 AE제를 사용하지 않은 콘크리트

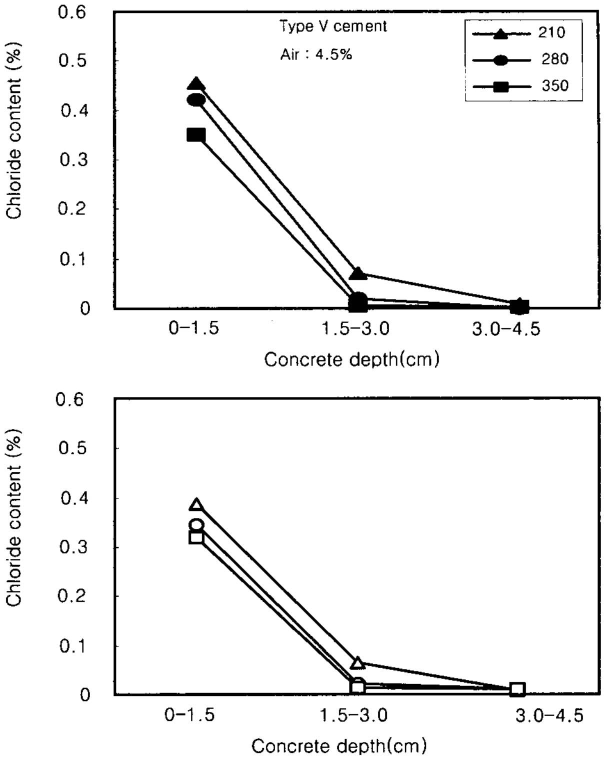


Fig. 9 Influence of strength and cement type on chloride content

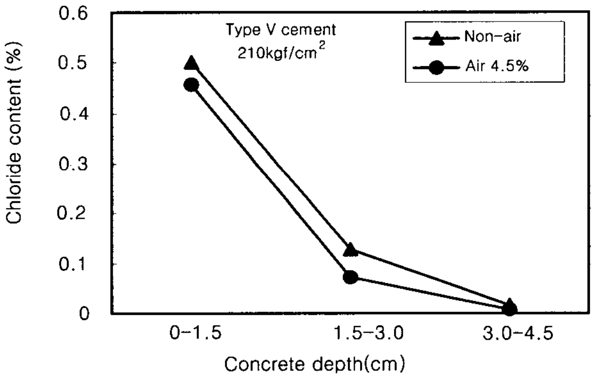


Fig. 10 Influence of air content on chloride content

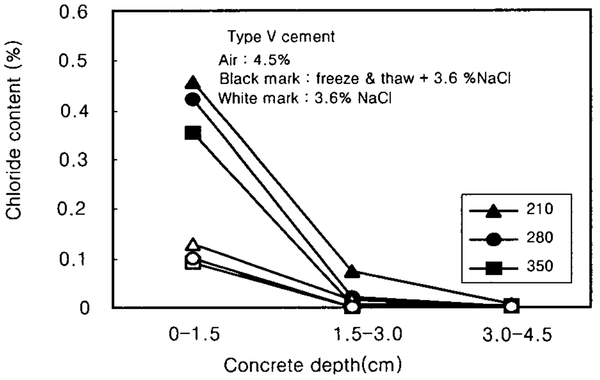


Fig. 11 Influence of freeze-thaw on chloride content

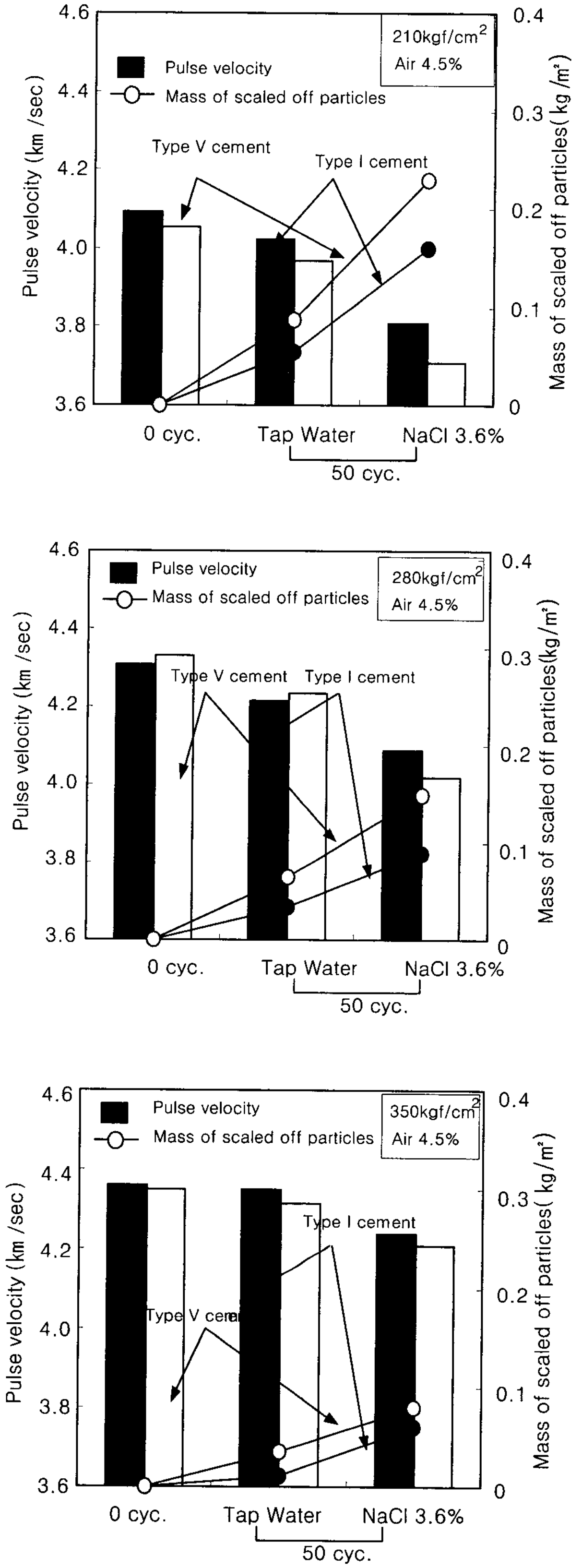


Fig. 12 Results of pulse velocity after freezing and thawing 50 cycles

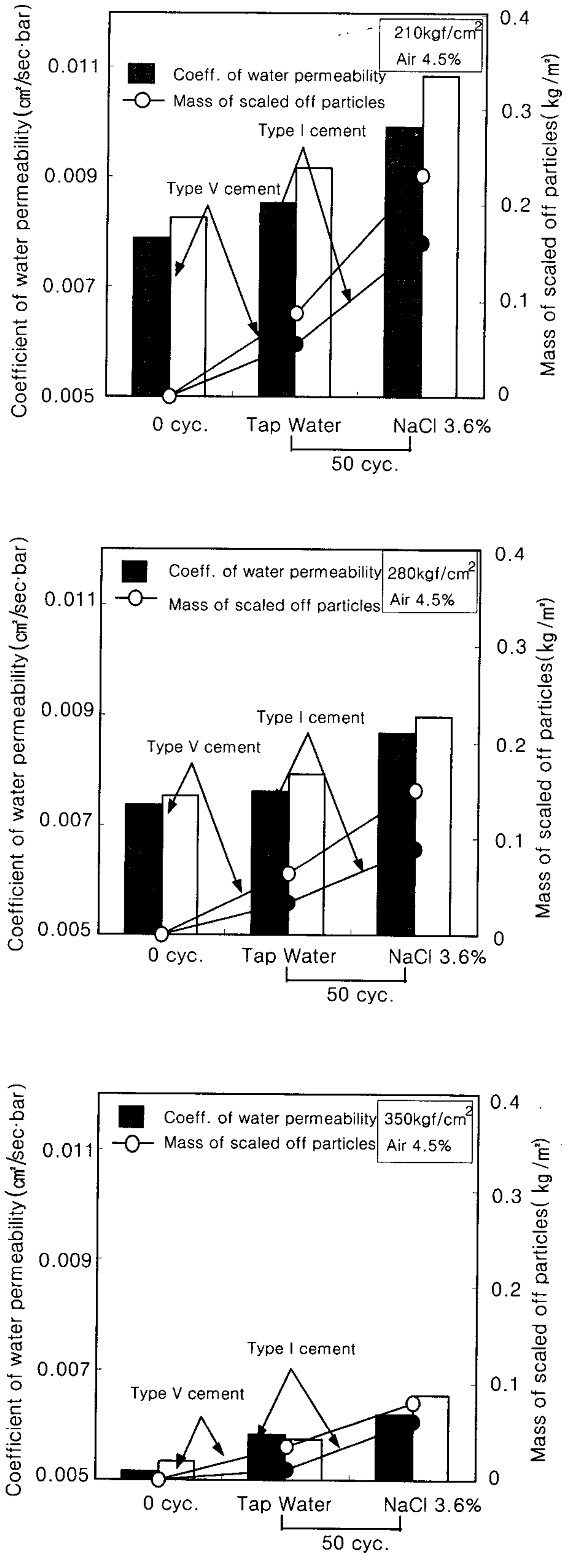


Fig. 13 Results of coefficient of water permeability after freezing and thawing 50 cycles

Table 5 *Relationship between the condition of scaled surface and the changes of nondestructive testing*

Name of specimens		Testing condition	Mass of scaled off particles(kg/m²)	Visual rating	Pulse velocity(%)*	Coeff. of water permeability(%)*
Type I cement	210 -2.0	Tap water 50 cyc.	0.062	0	97.3	108.5
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.204	2	90.5	132.5
	210 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.055	0	98.3	108.1
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.162	1	93.1	125.7
	210 -7.0	Tap water 50 cyc.	0.037	0	99.5	107.1
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.132	1	97.5	117.5
	280 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.034	0	97.9	103.2
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.093	1	94.9	117.5
	350 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.011	0	99.7	113.0
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.062	1	96.5	120.5
Type V cement	210 -2.0	Tap water 50 cyc.	0.273	2	95.7	118.7
		NaCl 3.6% 50 cyc.	1.605	4	87.4	178.6
	210 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.087	1	97.9	111.0
		NaCl 3.6% 50 cyc	0.231	2	91.6	131.4
	280 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.064	0	97.8	105.3
		NaCl 3.6% 50 cyc	0.153	1	92.9	119.1
	350 -4.5	Tap water 50 cyc.	0.035	0	99.2	107.3
		NaCl 3.6% 50 cyc.	0.081	1	97.4	122.3

* (results at 50 cycles / result at 0 cycle)×100

의 경우, 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 스케링 손실량은 1.605 kg/m²이고, 육안 등급은 4였으며, 초음파 속도는 복합시험을 실시하기 전의 값에 대해 87 %정도이고 투수계수는 복합시험을 실시하기 전의 값에 대해 178.6 %가 증가되었다. 그리고 단일의 동결융해 작용을 받은 콘크리트(즉, 수돗물을 사용한 콘크리트)의 스케링 손실량은 0.0273 kg/m²이고, 육안 등급은 2였으며, 초음파 속도는 복합시험을 실시하기 전의 값에 대해 95.7 % 정도이고 투수계수는 복합시험을 실시하기 전의 값에 대해 118.7 %가 증가되었다. 즉 스케링의 발생 정도와 초음파 속도, 투수성의 비파괴시험 결과의 변화율은 비슷한 경향을 하고 있다. 그리고 다른 배합에서도 염해와 동결융해의 복합작용에 의한 스케링의 발생 정도와 초음파 속도, 투수성의 변화율과 전반적으로 유사한 경향을 하는 것으로 나타난다.

이상과 같이, 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 스케링 정도와 초음파 속도 및 투수성의 손상도는 대응하는 관계가 있다. 즉 스케링에 의한 손상에 대해 본 연구에서 사용된 강도와 투과성 시험은 간편하고 종합적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하를 평가하는 방법을 검토하기 위해 복합 내구성능 저하 시험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 저항성을 향상시키기 위해 적절한 시멘트 사용, 높은 설계기준강도(즉 낮은 물-시멘트비), 소정의 공기량 확보가 필수적이다.

2) ASTM C 672에서 규정한 육안등급과 본 연구에서 사용한 스케링 손실량은 지수 함수적인 대응관계가 있지만, 육안등급은 정성적인 평가로서 개인적인 오차가 발생할 위험성이 있으므로 정확한 스케링 평가가 필요한 경우에는 정량적인 평가방법으로서 스케링 손실량을 측정하여

병용할 필요가 있다.

3) 콘크리트의 초음파 속도는 스케링에 의한 역학적 성질의 저하를 반영하고, 투수계수는 스케링에 의한 투과성 저하를 반영한다. 스케링에 의한 손상은 이런 방법을 사용하면 간편하고 종합적인 내구성능 저하 평가가 가능할 것이다.

4) 향후 제설제의 종류 및 농도가 스케링에 미치는 영향, 광범위한 배합에 대한 시험결과를 토대로 육안등급과 스케링 손실량과의 관계 구명, 스케링에 의한 손상도 평가에서 내구성능 저하 지표 값의 설정 등에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 今井益隆, "コンクリート構造物の凍害調査," コンクリート工學, Vol. 14, No. 11, 1976.
2. Neville, A. M., " *Properties of Concrete*," Fourth and Final Edition, Logman, 1995.
3. 鮎田耕一, "コンクリート構造物の耐久性上の問題點と對策, 凍害," コンクリート工學, Vol. 32, No. 10, 1994.
4. Verbeck, G. H. and Klieger, P., "*Studies of Salts Scaling of Concrete*," Highway Research, No.128, 1956, pp.1~19
5. ACI 210. 2R-92, "Guide to Durable Concrete," *ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and General Properties of Concrete*, 1994.
6. 三浦尙, "融雪劑による鐵筋コンクリート構造物の劣化," コンクリート工學, Vol. 38, No. 6, 2000. pp.3~8.
7. Pigeon, M. and Pleau, R., "*Durability of Concrete in Cold Climates*," E&FN SPON, May, 1992.
8. American Society for Testing and Materials, "*Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals* Salts Scaling of Concrete," *Highway Research*, ASTM Standards C 672, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, pp.341~343.
9. RILEM TC117 FDC, "Draft Recommendation for Test Method for the Freeze-Thaw Resistance of Concrete Test with Water (CF) or with Sodium Chloride Solution (CDF)," *Materials and Structures*, 1995
10. 정용, 김원기, 정재동, 한기성, 최상흘, "해수환경하 콘크리트 경화체의 동결융해 저항성에 관한 연구," 한국콘크리트 학회지, 제4권 3호, 1992. pp.157~166.
11. Page, C.L., Short, N.R. and Holden, W.R., "The Influence of Cements on Chloride Induced Corrosion of Reinforcing Steel," *Cement and Concrete Research*, Vol. 16, No. 1, 1986, pp.79~86.
12. 콘크리트 표준 시방서, 건설교통부, 1999.
13. Saito, M., Ohta, M., and Ishimori, H., "Chloride Permeability of Concrete Subjected to Freeze-Thaw Damage," *Cement and Concrete Composite*, Vol. 16, 1994, pp.23~29.
14. 문한영, 김성수, 류재석, 김홍삼, "융빙제 사용으로 인해 열화된 콘크리트 구조물의 내구성 조사," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제8권 1호, 1996. pp.77~82.
15. 문한영, 김성수, 류재석, "해양환경하에 있는 콘크리트 구조물의 염해에 대한 고찰," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제8권 1호, 1996. pp.83~88.

요 약

해안에 근접한 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 경우, 내륙 콘크리트에 비해 내구성능 저하가 촉진된다. 그리고 최근 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로 및 교량에 염화칼슘 등의 제설제의 산포량이 현격히 증가하고 있으며 이로 인해 내륙 콘크리트 구조물도 해안 콘크리트 구조물과 마찬가지로 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 내구성능 저하가 염려된다. 미국, 일본 및 유럽 등에서는 제설제가 콘크리트에 미치는 영향에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 제설제가 콘크리트에 미치는 영향을 검토하는 시험방법이 제정되었다. 그러나 우리 나라에서는 동결융해와 염해에 대한 복합 내구성능 저하 시험방법은 제정되어 있지 않으며 또한 이에 대한 연구가 이루지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하를 평가하는 방법을 검토하기 위해 복합 내구성능 저하 실험을 실시하였다. 복합시험에서 시멘트 종류, 강도, 공기량 등이 스케링에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과, 염화물 존재 하에서 동결융해 작용을 받는 경우, 콘크리트의 스케링 손실이 촉진된다. 또한 스케링에 대한 저항성은 사용 시멘트 종류, 콘크리트의 강도, 공기량의 영향을 크게 받는다.

핵심용어 : 동결융해, 염해, 복합 내구성능 저하, 표면박리, 제설제