

동결융해 및 제설제에 노출된 고속도로 소구조물 콘크리트의 내구성 개선 연구

이병덕¹, 최윤석^{2*}, 김영근³, 최재석⁴, 김일순⁵

A Study on the Durability Improvement of Highway-Subsidiary Concrete Structure Exposed to Deicing Salt and Freeze-Thaw

Byung-Duk Lee¹, Yoon-Suk Choi^{2*}, Young-Geun Kim³, Jae-Seok Choi⁴, Il-Sun Kim⁵

Abstract: In the current concrete structure of the highway is still the major problem most of concrete deterioration caused by the freeze-thaw and deicing salt, which is of issues that are not completely resolved. In particular, a single freezing event does not cause much harm, durability of concrete under multi-deterioration environment by repeated freeze-thaw and deicing salt is rapidly degraded and reduce its service life. In this study, the exposure environmental condition according the regional highway points were established. The damage condition and chloride content of the concrete at general and severe environmental exposure condition were also investigated. In addition, the experimental test of chloride ion permeability, scaling resistant and freeze-thaw resistance were carried out to improve the durability of the mechanical placing concrete of subsidiary structure. According to the results of this study, in observation of concrete surface condition, the concrete exposed by severe environmental condition showed broad ranges of damage with high chloride contents. Meanwhile, the water-binder(W/B) ratio and the less water content, and fly ash concrete than the specified existing mix proportion is significantly improved the durability. Also, the optimal mix proportion derived for test is satisfied the strength and air contents, water-binder ratio, and durability criteria of concrete specifications, as well as service life seems greatly improved.

Keywords: Freeze-thaw, Deicing salt, Exposure environmental condition, Durability, Highway-subsidiary concrete structure

1. 서 론

현재 고속도로 소구조물 콘크리트에서 지속적으로 발생하는 가장 큰 문제는 동결·융해와 제설염에 의한 콘크리트 열화이다. 특히, 적설 한랭지에서 소구조물 콘크리트는 동절기의 반복적인 동결·융해 작용으로 동해를 입게 되며 강설 시, 도로의 안전한 차량흐름을 유지하기 위한 다량의 염화물계 제설제에 노출되어 있다(Aneta, 2013; Choi et al., 2014; Choi et al., 2006; Chung et al., 2014; Doh et al., 2008; Gintautas et al., 2013).

특히, 고속도로의 연간 강설량 변화가 크지 않은 것에 비해서 2002년 이전까지의 제설제 살포량은 2.0톤/2차선·km 이었

으나, 습염식(염화나트륨+염화칼슘 수용액, 7:3 중량비 %) 제설제 살포를 적용한 2002년 이후부터 최근까지 연평균 제설제 사용량이 대략 10.0톤/2차선·km으로 크게 증가하였다(Kim et al., 2014; Lee et al., 2005).

이러한 지역에서의 기계타설 콘크리트인 측구 및 다이크, 중앙분리대, 교량 난간방호벽과 같은 소구조물은 대부분 염화물계 제설제와 동결·융해 환경에 직접적으로 노출되어 있어, 표면 박리(scaling)와 굵은 골재의 노출, 염화물 이온의 침투에 의한 철근 부식 등으로 콘크리트의 조기손상 및 내구성이 급격하게 저하되고 있으며, 이에 대한 유지관리 비용도 크게 늘어나고 있는 추세이다(Choi et al., 2014; Kwon et al., 2015; Liu et al., 2015; Park and Jeong, 2014; Van den Heeda et al., 2013; Yang et al., 2006).

그러나 한국도로공사에서 제시하고 있는 염화물계 제설제와 동결·융해에 노출되어 있는 고속도로 소구조물 콘크리트의 표준 배합비는 콘크리트 종류에 따라 다소 차이는 있으나 공기량 4~6%, 물-결합재비 0.45~0.49, 압축강도 21~24 MPa로 규정하고 있다(Choi et al., 2012; Lee et al., 2010; Lee et al., 2015).

반면, 개정된 콘크리트 관련 시방서에는 구조물의 노출 상

¹정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원

²정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부 선임연구원, 교신저자

³정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부 수석연구원

⁴정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부 책임연구원

⁵정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부 연구원

*Corresponding author: yoons0305@kcl.re.kr

Convergence Technology Division, Korea Conformity Laboratories(KCL), Seoul, 08503, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

태 및 굵은 골재 최대치수에 따라 차이는 있지만 공기량의 경우, 4.5~7.5%이며 동절기에 수분과 지속적인 접촉이 이루어져 결빙이 되거나, 제빙화학제가 사용되는 경우 공기량 6.0% 이상을 요구하고 있다. 또한 물-결합재비는 습한 상태에서 동결-융해 혹은 제빙 화학제에 노출된 콘크리트의 경우 0.45 이하이며, 최소 설계기준압축강도(f_{ck})는 30 MPa로 정하고 있다. 특히, 기상작용이 심하고 동결-융해가 자주 반복될 경우에는 동결-융해작용에 대하여 구조물의 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계 값을 70% 이상으로 하고 있다 (KCI, 2009; KCI, 2012).

앞서 기술한 바와 같이, 도로공사에서 사용하고 있는 고속도로 소구조물의 콘크리트 배합과 콘크리트 표준시방서의 제설제 및 동결-융해 내구성 배합 기준은 다소 차이를 나타내고 있어, 제설제와 동결-융해에 의한 복합열화 환경에서 콘크리트 소구조물 콘크리트의 소요 내구수명을 만족시킬 수 있으며, 관련 기준에도 부합하는 설계기준배합을 도출하는 것이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 제설제와 동결-융해 열화에 취약한 기계타설 소구조물 콘크리트(중분대, 교량, 난간방호벽, L형 측구, 다이크)의 내구성과 공용성을 증진시키기 위해 주변 환경(제설제 살포량, 동결-융해 노출 정도)과 기후 특성(동결-융해 일수, 강설량 및 강설일)을 고려하여 전국 고속도로의 노출환경지역을 일반노출지역과 특수노출지역으로 구분하고 현행 배합 기준과의 비교 시험을 통해 각 노출지역에 적합한 도록 최적 설계 배합을 제시하고자 하였다.

2. 노출환경 등급 분류

2.1 노출환경의 분류

제설제 살포량, 동결-융해 일수 등의 노출환경과 콘크리트 상태와의 상관관계를 분석하기 위해 현재 공용중인 46개의 고속도로 관리노선, 건설 및 설계 중 또는 향후 계획에 포함되어 있는 11개 지역을 대상으로 2004년 11월부터 2009년 3월 까지의 연간 제설제 살포량, 일평균 기온이 0°C 이하 또는 일 최저기온이 -2°C 이하인 일수, 강설량 및 강설일, 해발을 조사하여 일반노출지역과 특수노출지역으로 분류하였다.

Fig. 1은 5년간(2004년~2008년) 고속도로에서의 지역별 연간 강설량 및 강설일, 제설제 사용량을 나타낸 것이다. 지역별 값은 각 도로공사 지사에서의 평균값으로 강설일 및 강설량이 많은 지역에서 제설제 살포량이 많은 것으로 나타났으며, 강원 및 호남지역에서 지역별 평균값 보다 강설량이 약 1.9배, 강설일은 약 1.4배, 제설제 사용량은 1.6~1.9배 높은 것으로 나타났다.

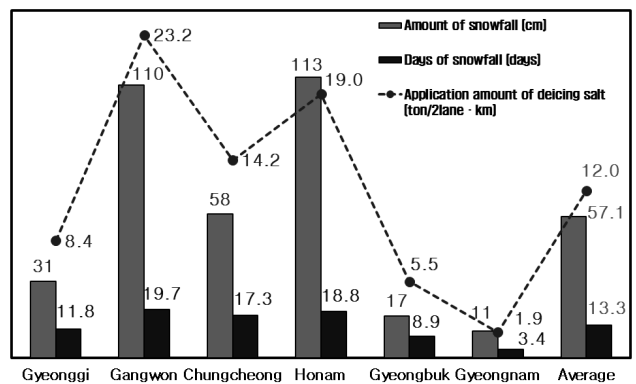


Fig. 1 Regional snowfall characteristics and application amount of deicing salt on highway

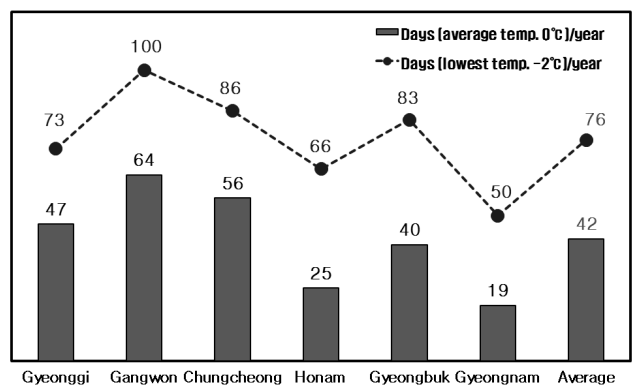


Fig. 2 Regional temperature characteristics

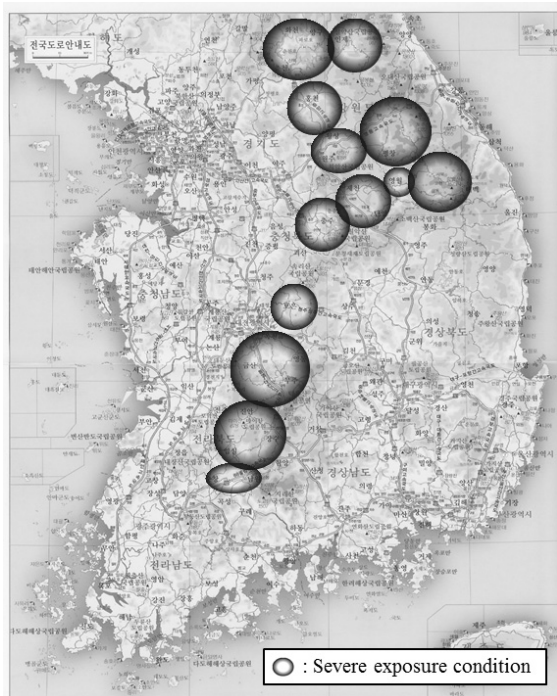


Fig. 3 Map of severe exposure condition

Fig. 2는 고속도로에서의 각 지역별로 겨울철 일평균 기온(1일 3시간 간격으로 총 8회 측정된 온도의 평균)이 0°C 이하인 일수를 정리한 것이며, 지역별 값은 도로공사 각 지사의 평균값을 나타낸 것이다. 일평균 기온이 0°C 이하인 일수가 많은 강원, 충청, 경기 지역 고속도로의 콘크리트가 동결·융해 작용에 노출된 정도가 심한 것으로 판단할 수 있다. Fig. 1과 Fig. 2를 바탕으로 강원 8개 지역, 충청 3개 지역, 호남 2개 지역으로 총 13개 지역을 특수노출지역으로 분류하였으며, 이를 Fig. 3과 같이 나타내었다.

2.2 노출환경에 따른 콘크리트 상태

제설제 살포량, 동결융해 일수 등의 노출환경과 콘크리트 상태와의 상관관계 도출을 위하여 콘크리트의 외관 및 염화물량을 조사하였다. 먼저, Fig. 4와 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 노출환경지역과 일반환경지역의 강설특성 및 제설제 살포량과 온도특성의 영향을 살펴보았다. Fig. 4는 노출환경에 따른 강설 특성과 제설제 살포량을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 특수환경노출 지역(13개)은 일반환경노출지역(46개)에 비해 강설량은 약 3배, 강설일은 1.6배, 제설제 살포량은 2.8배 정도

많은 것으로 나타났다. 또한, Fig. 5의 동결융해를 입을 수 있는 온도특성을 나타낸 것과 같이 특수환경노출 지역은 일반환경노출 지역에 비해 일최저온도 영하 2°C 이하의 일수가 약 1.4배, 평균온도 0°C 이하의 일수가 약 1.8배 가량 많은 것으로 나타났다. 이는 강설량 및 동결·융해 일수가 많고, 제설제 염화물 살포량이 많은 특수환경노출 지역에서의 콘크리트는 상대적으로 일반환경노출 지역에서의 콘크리트보다 장시간 동안 높은 수분 포화도(degree of saturation) 유지, 삼투압(osmotic pressure)의 발생 등 동결·융해로 인한 수축 팽창이 반복되어 동해 손상을 받을 가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다.

한편, 일반환경과 특수환경으로 분류된 각각의 1개 지역을 선정하여 콘크리트 포장에서의 침투 염화물량을 조사하였다. Fig. 6은 손상이 없는 부위(줄눈부에서 30 cm 이격), Fig. 7은 손상이 있는 부위(줄눈부)의 각각 4곳의 콘크리트 포장에서의 깊이별 염화물량을 분석한 결과이며, 염화물량 분석은 ASTM C 1152(Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete)에 의거하여 시행하였다. 결과를 살펴보면, 건전부(줄눈부에서 30 cm 떨어진 곳) 및 손상부(줄눈부)의 표면으로부터 1 cm 깊이에서 염화물량은 일반환경노출 지역에서 1.7 kg/m³ 및 3.7 kg/m³, 특수환경노출 지역에서 5.8 kg/m³,

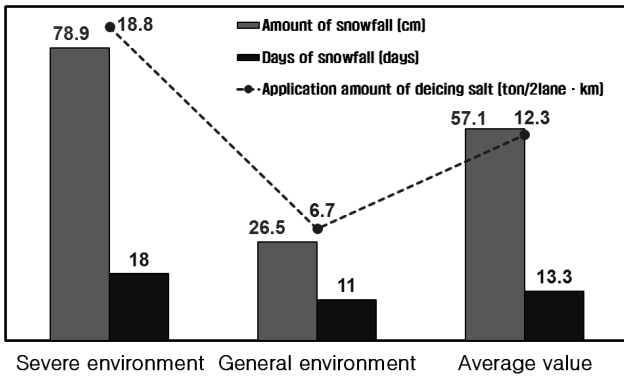


Fig. 4 Snowfall characteristics and application amount of deicing salt according to exposure condition

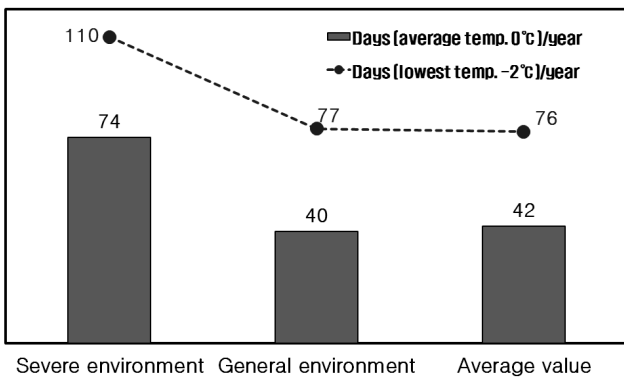


Fig. 5 Temperature characteristics according to exposure condition

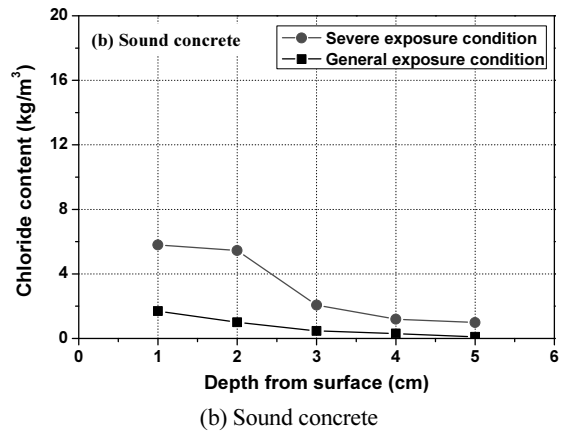
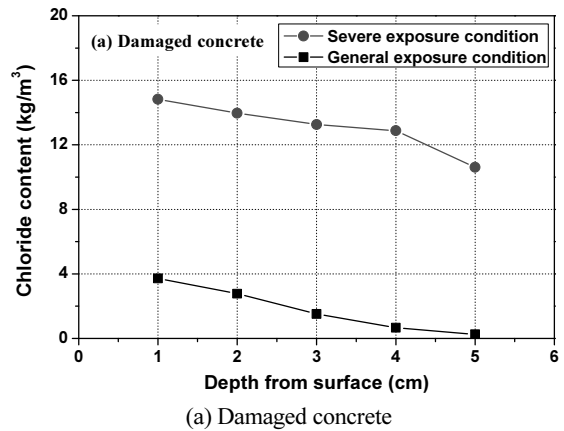


Fig. 6 Profile of chloride content

14.8 kg/m³으로 나타났다. 또한, 5 cm 깊이에서의 침투 염화물량은 일반환경노출 지역에서 0.1 kg/m³(건전부) 및 0.3 kg/m³(손상부), 특수환경노출 지역에서는 1.0 kg/m³(건전부) 및 10.6 kg/m³(손상부)으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 상대적으로 연간 동결·융해 횟수와 제설제 살포량이 적은 일반환경노출 지역(연평균 6.7톤/2차선·km)에 비해 염화물 제설제 살포량이 많은 특수환경노출 지역(연평균 18.8톤/2차선·km)에서 콘크리트 손상이 광범위하게 발생한 것을 알 수 있다.

또한, 일반환경노출 지역의 건전부(줄눈부에서 30 cm 이격) 콘크리트에서는 손상부(줄눈부)에서 보다 염화물량이 상대적으로 매우 낮은 경향을 보였으나, 특수환경노출 지역의 콘크리트에서는 손상부(줄눈부)와 유사하게 건전부에서도 염화물량이 높은 것으로 나타났다. 일반환경노출 지역의 건전부에서는 표면으로부터 깊이가 증가함에 따라 염화물량이 크게 감소하는 반면에 특수환경노출 지역의 콘크리트에서는 손상부(줄눈부)와 유사하게 건전부에서도 깊이에 따라 높은 염화물량 값을 나타냈다.

3. 실험 계획 및 방법

3.1 사용재료 및 배합

본 실험에서는 비중 3.15인 1종 보통포틀랜드 시멘트와 현

재 고속도로 건설공사에서 사용 중인 최대치수 25 mm, 비중 2.62의 굵은골재(쇄석골재)를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.59의 강사를 사용하였다. 또한 콘크리트 배합 시 사용한 혼화제로는 AE감수제(리그닌 설펜산염계)와 AE제(알킬에테르황산염계)를 사용하였다. 또한, 물-결합제비, 공기량, 플라이애시 혼입 등에 따라 도출한 기계타설 소구조물용 콘크리트의 내구성 개선 배합 콘크리트와 현행 설계기준 배합에 의한 콘크리트 배합비는 Table 1과 같다.

3.2 실험내용 및 변수

기계타설 콘크리트의 제설제와 동결·융해에 대한 내구성 향상을 검증하기 위하여 Table 2와 같은 실험을 구성하였으며, 콘크리트의 공시체 제작 방법과 압축강도 시험은 KS F 2405에 의해 실시하였다. 염소이온 투과시험은 ASTM C 1202(Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)의 방법에 따라 수행하였으며, 박리(스켈링) 저항성 시험은 ASTM C 672(Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals)에 의거하여 시행하였다.

콘크리트 동결·융해 저항성시험은 KS F 2456 “급속 동결 융해에 대한 콘크리트 저항 시험방법(A법 :수증)”에 따라 급속동결융해시험기(Model: HWS S-7500, 1 싸이클 : -18 ~ 4°C, 4시간)에서 300 싸이클까지 적용하였으며, 30 싸이클 주기로 동탄성계수 시험기(Model LDS V-101)로 공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수를 측정하였다. 시험용액은 담수와 소금

Table 1 Concrete mixture proportion

Type of mixture	G _{max} (mm)	W/B	S/a	Unit weight (kg/m ³)					W.R.A (C×%)	AE agent (W.R.A×%)	AE W.R.A (C×%)	Slump (mm)	Air (%)
				W	C	FA	S	G					
NCON		49	48	165	337	-	873	916	-	-	0.4	43	6.2
DCON-N		45	48	150	337	-	860	943	0.5	0.5	-	50	5.6
DCON-N-F	25	45	48	150	270	67	850	931	0.5	7.0	-	50	6.0
DCON-S		40	46	150	386	-	802	953	0.6	0.6	-	52	5.9
DCON-S-F		40	46	150	309	77	791	939	0.4	7.0	-	47	5.7

NCON : current design method of concrete admixture
 DCON-N-F : fly ash concrete for general environmental exposure
 DCON-S-F : fly ash concrete for severe environmental exposure
 AE : Air Entraining

DCON-N : concrete admixture for general environmental exposure
 DCON-S : concrete admixture for severe environmental exposure
 W.R.A : Water Reducing Agent
 AE W.R.A : Air Entraining and Water Reducing Agent

Table 2 Experimental variables

Item	Contents	Test Standards
Compressive strength	28 and 90 day curing concrete	KS F 2405
Chloride ion penetration	28 and 90 day curing concrete	ASTM C 1202
Scaling resistance	4.0% NaCl Solution, 50 cycle	ASTM C 672
Freeze-thaw resistance	freshwater and 4.0% NaCl Solution	KS F 2456(A method)

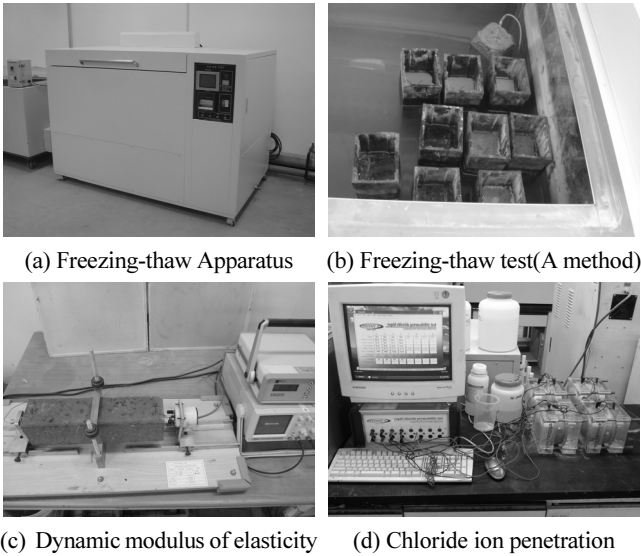


Photo 1 Photo of the test set up

용액(NaCl 4% 중량비)에서 실시하였다. Photo 1은 실험 전경을 나타낸 것이다.

4. 실험결과 및 분석

현행 설계기준 배합 콘크리트(NCON)의 내구성 향상을 위해 배합비를 개선한 콘크리트(DCON-N, DCON-N-F, DCON-S, DCON-S-F)의 염화물 침투성, 스케링, 동결·융해저항성을 비교·분석하였다. 콘크리트 종류에 따른 기호에서 28과 90은 양생기간을 의미하며, NCON은 현행 L형 측구 및 다이크용 콘크리트를 표기한 것이다. 또한, DCON-N-F의 N은 일반환경 노출 지역, DCON-S-F의 S는 특수환경노출 지역을 의미하며, F는 플라이애시를 혼합한 경우를 나타낸 것이다.

4.1 콘크리트 압축강도

Fig. 7은 현행배합과 실험배합 콘크리트의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다. 재령 28일에서 플라이애시를 혼합하지 않은 NCON과 DCON-N의 강도는 거의 유사하였다. 반면, 플라이애시를 혼합한 DCON-N-F의 경우, 재령 28일에서의 압축강도는 NCON과 DCON-N에 비해 약 92% 정도가 발현되었으나, 재령 90일에서는 약 24% 가량 높은 것으로 나타났다. DCON-S와 DCON-S-F에서도 재령 28일에서는 플라이애시를 혼합한 배합에 비해 플라이애시를 혼합하지 않은 배합에서 강도발현이 더 양호한 것으로 나타났다. 플라이애시를 혼합한 재령에 따른 강도는 재령 28일 대비 재령 90일에서의 강도 증진율이 DCON-N-F 콘크리트에서 35%, DCON-S-F 콘

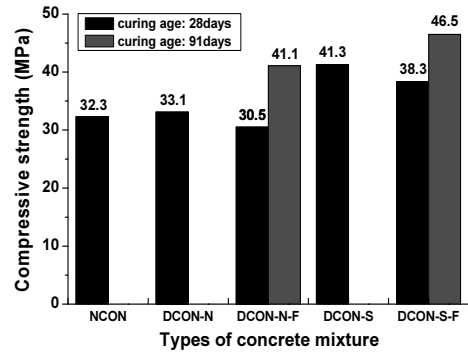


Fig. 7 Compressive strength with concrete mixture types

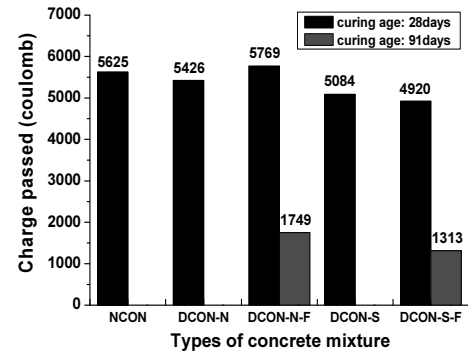


Fig. 8 Charge passed with concrete mixture types

Table 3 Chloride ion penetrability based on charge passed

Charge passed (Coulombs)	Chloride Ion Penetrability
> 4000	High
2000 ~ 4000	Moderate
1000 ~ 2000	Low
100 ~ 1000	Very low
< 100	Negligible

크리트에서 21% 정도인 것으로 나타났다.

4.2 염소이온 투과성

Fig. 8은 현행 기준 배합과 노출환경을 고려한 콘크리트 배합별로 급속염화물침투시험에 의한 통과전하량을 나타낸 결과이며, Table 3은 통과전하량에 따른 염화물이온침투성을 나타낸 것이다.

결과를 살펴보면, 플라이애시를 혼합하지 않은 현행 설계기준배합(NCON), 일반환경노출지역 콘크리트(DCON-N), 특수환경노출지역 콘크리트(DCON-S) 간에 통과전하량의 큰 차이를 보이지 않았으며, 4000 coulomb 이상의 값으로 염화물침투성이 다소 높은 결과를 나타냈다. 이러한 경향은 Power의 연구결과와 같이 다른 조건이 동일한 경우, 물-시멘트비

0.6 이하에서는 물-시멘트비 변화에 따라 투과성이 민감하지 않다는 결과와 유사한 것으로 판단된다(Neville, 2012; Power, 1958; Mehta, 2013).

반면, 플라이애시를 혼입한 DCON-N-F 및 DCON-S-F 콘크리트의 90일 재령에서의 통과전하량이 각각 1,749 coulomb, 1,313 coulomb으로 나타났는데, 이는 재령 28일의 투과성 5,769 coulomb, 4,920 coulomb에 비해 약 3배 이상 침투저항성이 크게 향상된 결과를 나타냈다. 따라서 특수환경노출지역과 같이 제설제 살포량이 많은 지역의 콘크리트는 혼화재를 혼입하고 포졸란 반응을 위한 충분한 양생재령을 확보하여, 염화물 침투 저항성을 향상시키는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.3 박리 저항성

Fig. 9는 박리(Scaling) 저항성 시험 결과를 나타낸 것인데, 현행 L형 측구 및 다이크용인 NCON 콘크리트에서는 전반적으로 스킨링에 의한 굵은골재의 노출현상이 나타났고, 패임 깊이가 5 mm 이상으로 표면 전체에 걸쳐 손상이 심하게 발생하였다. 50 사이클 후의 콘크리트 입자 박리량은 8.395 kg/m² 이 발생하였다. 나머지 콘크리트에서는 박리량이 0.14~0.86 kg/m²로 표면의 페이스트 부분만 탈리되었고, 굵은골재는 노출되지 않아 스킨링 저항성이 우수한 1~2 등급인 것으로 판단된다. 반면, 플라이애시를 혼입한 경우에는 장기재령에서 표면손상이 거의 나타나지 않아 콘크리트의 밀실도가 크게 개선된 것으로 판단된다.

4.4 동결융해 저항성

플라이애시 혼입 유무와 양생 재령에 따라 담수(freshwater) 및 염수(4% NaCl solution)에서 각 콘크리트 배합별 상대 동탄성계수를 측정하는 결과는 Fig. 10(a)와 (b)에 각각 나타내었다. 결과를 살펴보면, 현행 L형 측구 및 다이크용인 NCON 콘

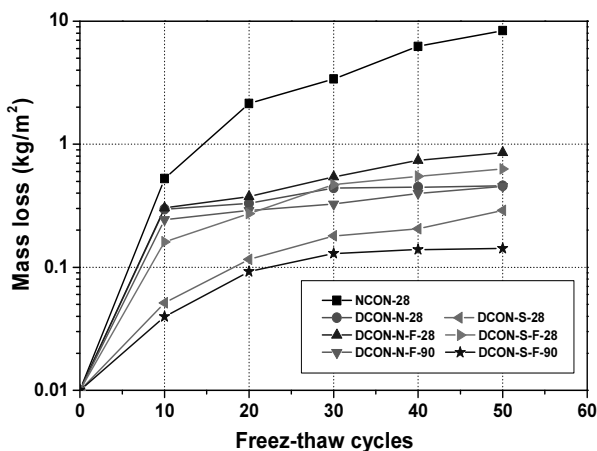
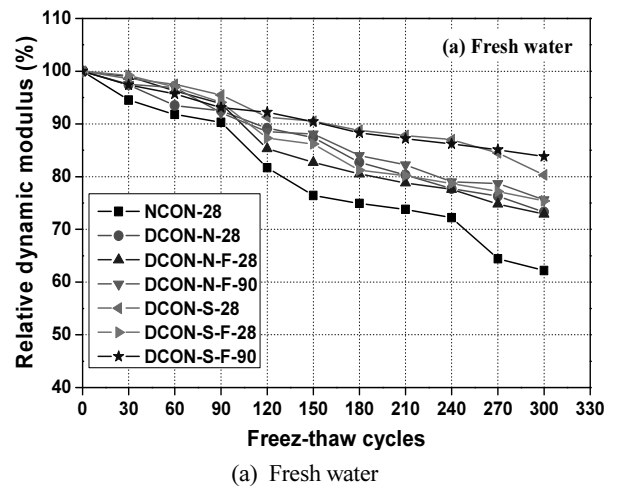


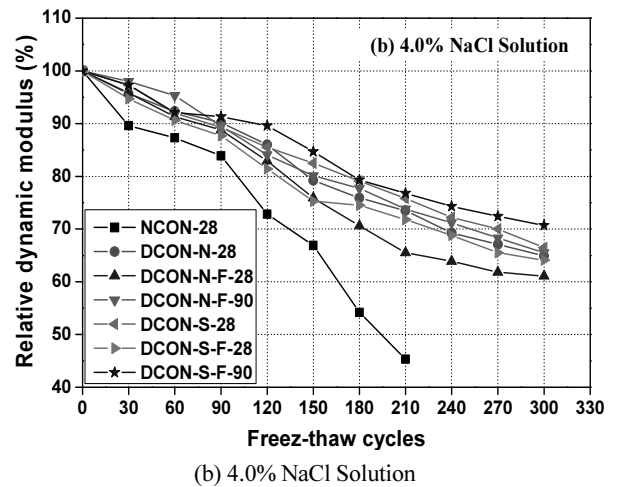
Fig. 9 Scaling resistance with concrete mixture types

크리트는 염수를 사용한 동결-융해 180 사이클에서 상대 동탄성계수가 54% 정도로 담수를 사용한 결과와 비교하여 동결-융해 저항성이 크게 저하되는 결과를 나타냈다. 또한 플라이애시를 사용한 재령 28일 DCON-N-F 및 DCON-S-F 콘크리트는 담수와 염수의 경우 모두 동결-융해 내구성이 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 재령 28일에 비해 재령 90일에서의 상대동탄성계수에 의한 동결-융해 내구성은 6~9% 정도 향상되는 결과를 나타냈다.

한편, 현행 설계기준 배합 콘크리트(NCON)를 제외하고 본 연구에서 제시한 노출환경에 따른 개선 배합 콘크리트의 경우, 상대 동탄성계수가 담수에서 70% 이상, 염수에서 60% 이상으로 나타나 동결-융해 작용이 자주 반복되는 노출조건에서도 동결-융해 작용에 대한 내구성이 확보될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 염화물계 제설제가 다량 살포되며 동결-융해 작용을 받는 복합열화 환경에서도 조기손상 없이 내구성이 확보될 수 있을 것으로 사료된다.



(a) Fresh water



(b) 4.0% NaCl Solution

Fig. 10 Relative dynamic modulus with concrete mixture types

5. 결 론

제설제와 동결·융해 열화에 취약한 전국 고속도로 소구조물 콘크리트의 설계기준배합을 개선하기 위한 본 연구의 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 지역별 고속도로 구간의 연간 강설량 및 강설일, 온도 특성, 제설제 사용량 등을 조사하여 노출환경등급을 구분한 결과, 특수환경노출 지역은 일반환경노출 지역에 비해 강설량이 약 3배, 강설일은 1.6배, 제설제 살포량은 2.8배 정도 많았으며, 일최저온도 영하 2°C 이하의 일수가 약 1.4배, 평균온도 0°C 이하의 일수가 약 1.8배 가량 많은 것으로 나타났다.
- 2) 일반환경과 특수환경으로 분류된 각 지역의 콘크리트 포장 상태를 분석한 결과, 특수환경 지역의 콘크리트는 손상 범위가 광범위하게 나타났으며, 일반환경에 비해 특수환경 지역의 콘크리트에서는 손상부와 건전부에서 염화물량이 상대적으로 높게 조사되었다.
- 3) 현행 설계기준배합(NCON), 일반환경노출지역 콘크리트(DCON-N), 특수환경노출지역 콘크리트(DCON-S) 간에 통과전하량의 큰 차이를 보이지 않았으나 플라이애시를 혼입한 DCON-N-F 및 DCON-S-F 콘크리트는 염화물침투 저항성이 향상되는 결과를 나타냈다. 따라서 제설제 살포량이 많은 특수환경노출지역의 소구조물 콘크리트 배합은 혼화재 혼입을 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 4) 현행 L형 측구 및 다이크용인 NCON 콘크리트에서는 전반적으로 스켈링에 손상이 심하게 나타났으며, 배합비를 개선한 콘크리트(DCON-N, DCON-N-F, DCON-S, DCON-S-F)의 경우 스켈링 저항성이 우수한 결과를 보였다.
- 5) NCON 콘크리트 경우, 염수를 사용한 동결·융해 180 사이클에서 동결·융해 저항성이 크게 저하되는 결과를 나타냈다. 반면, 노출환경에 따른 개선 배합 콘크리트의 경우, 상대 동탄성계수가 담수에서 70% 이상, 염수에서 60% 이상으로 나타나 제설제 및 동결·융해에 대한 저항성이 향상된 결과를 나타냈다.
- 6) 물-결합재(W/B) 비 및 단위수량을 적게 하고, 플라이애시를 혼합을 통하여 개선한 고속도로 소구조물용 콘크리트는 현행 기준 배합 콘크리트 보다 박리 저항성, 동결·융해 내구성이 향상되었다. 또한 이 결과에 따라 도출한 최적 배합비는 콘크리트 관련 시방서에서 제시하고 있는 강도 및 공기량, 물-결합재 비 등의 기준에 부합하였고, 내구성 기준에 만족하여 경제성과 공용수명 향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(14TLRP-C070424-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Aneta, N. M. (2013), Water-binder Ratio Influence on De-icing Salt Scaling of Fly Ash Concretes, *Procedia Engineering*, 57, 823-829.
- ASTM (2012), Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete, C 1152-12, ASTM International.
- ASTM (2012), Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, C 1202-12, ASTM International.
- ASTM (2012), Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals, C 672-12, ASTM International.
- Choi, Y. S., Jang, P. S., Choi, J. S., Kim, Y. G., and Yang, E. I. (2014), A Comparative Study of Evaluation and Test Methods for Effects of De-icing Salts on Concrete Freeze-Thaw Resistance, *Proceedings of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Conference*, 18(2), 308-310.
- Choi, Y. S., Kim, G. R., Kim, M. Y., and Yang, E. I. (2006), Characteristics of Chloride Penetration with Deicer Types, *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, 18(2), 549-552.
- Choi, Y. S., Won, M. S., Yi, S. T., and Yang, E. I. (2012), Characteristics of Pore Structure and Chloride Penetration Resistance of Concrete Exposed to Freezing-Thawing, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(6), 73-81.
- Choi, Y. S., Yi, S. T., Kim, M. Y., Jung, W. Y., and Yang, E. I. (2014), Effect of Corrosion Method of the Reinforcing Bar on Bond Characteristics in Reinforced Concrete Specimens, *Construction and Building Materials*, 54, 180-189.
- Chung, J. S., Kim, B. H., and Kim, I. S. (2014), A Case Study on Chloride Corrosion for the End Zone of Concrete Deck Subjected to De-icing Salts Added Calcium Chloride, *Journal of the Korean Society of Safety*, 29(6), 87-93.
- Doh, Y. S., Lee, B. D., Choi, K. S., and Kim, K. W. (2008), Evaluation of Deicing Performance and Effects of Deicers of the Winter Season, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 10(3), 149-158.
- Gintautas, S., Dzigit, N., Giedrius, G., Marija, V., and Erika B. (2013), The Cement Type Effect on Freeze-Thaw and Deicing Salt Resistance of Concrete, *Procedia Engineering*, 57, 1045-1051.
- Kim, H. S., Kim, J. C., and Rhee, J. Y. (2014), Field Investigation of Deterioration of Concrete on Road Structures by De-icing Salts, *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, 26(2), 489-490.
- Korea Concrete Institute (2009), Standard Specifications for Concrete Construction, Korea Concrete Institute.
- Korea Concrete Institute (2012), Specifications for Structural Concrete, Korea Concrete Institute.
- KS F 2405 (2010), Standard test method for compressive strength of concrete, Korean Agency for Technology and Standard. 1-6.

- KS F 2456 (2013), Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing, Korean Agency for Technology and Standard. 1-11.
- Kwon, S. J. (2015), Evaluation of Service Life in RC Column under Chloride Attack through Field Investigation: Deterministic and Probabilistic Approaches, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(5), 67-74.
- Lee, B. D. (2010), Effect of Air Contents, Deicing Salts, and Exposure Conditions on the Freeze-Thaw Durability of the Concrete, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 12(2), 107-113.
- Lee, B. D., Yun, B. S., Lee, J. K., and Chung, Y. H. (2005), Evaluation of the Deicing Performance and Concrete Structure Effect with Various Deicing Chemicals, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 7(4), 113-123.
- Lee, H. G., Oh, H. S., Sim, J. S., and Shim, J. W. (2015), An Experimental Study on Evaluation Methods for Scaling Resistance of Cement Concrete Pavement, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(3), 30-38.
- Liu, Z., and Hansen, W. (2015), Freezing Characteristics of Air- Entrained Concrete in the Presence of Deicing Salt, *Cement and Concrete Research*, 74, 10-18.
- Mehta, P. K. (2014), *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, McGraw-Hill, 4th Ed.
- Neville, A. M. (2012), *Properties of Concrete*, Prentice Hall, 5th Ed.
- Park, S. S., and Jeong, J. W. (2014), A Study of Accelerated Corrosion Test and Chloride Penetration Analysis with Artificial Seawater Immersion Condition, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(1), 93-100.
- Power, T. C. (1958), The Physical structure and Engineering Properties of Concrete, Bulletin 90, Portland Cement Association, Skokie, IL.
- Van den Heede, P., Furniere, P., and De Belie, N. (2013), Influence of Air Entraining Agents on Deicing Salt Scaling Resistance and Transport Properties of High-Volume Fly Ash Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 37, 293-303.
- Yang, E. I., Kim, M. Y., Lho, B. C., and Kim, J. H. (2006), Evaluation on Resistance of Chloride Attack and Freezing and Thawing of Concrete with Surface Penetration Sealer, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(1), 65-71.

Received : 04/11/2016

Revised : 04/20/2016

Accepted : 04/26/2016

요 지 : 현재 고속도로의 콘크리트 구조물에서 대부분 지속되고 있는 가장 큰 문제는 동결·융해와 제설염에 의해 발생하는 콘크리트 열화이고, 이는 완전하게 해결되지 않은 쟁점사항이다. 특히, 동결·융해만이 작용할 때와는 달리 동결·융해와 제설염의 복합열화 환경에서 콘크리트의 내구성능은 급격하게 저하되고 공용수명이 단축된다. 본 연구에서는 지역별 고속도로 구간의 노출환경등급을 수립하고 콘크리트 손상 정도와 염화물량을 조사하였다. 또한 기계타설 소구조물 콘크리트의 내구성 향상을 위해 배합조건을 개선한 콘크리트의 염화물 이온 투과성, 박리저항성, 동결·융해 저항성 시험을 수행하였다. 연구결과에 따르면, 특수환경에 노출된 콘크리트 표면의 손상범위가 광범위하게 나타났으며 내부 염화물량 또한 높게 나타났다. 한편, 물-결합비(W/B) 비 및 단위수량을 적게 하고, 플라이애시를 혼합하여 내구성을 개선한 콘크리트는 기존의 배합비 보다 내구성이 크게 향상되었다. 또한 노출한 최적 배합비는 콘크리트 관련 시방서에서 제시하고 있는 강도 및 공기량, 물-결합비 등의 기준에 부합하였고, 내구성 기준에 만족할 뿐 아니라 공용수명이 크게 향상될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 동결·융해, 제설제, 노출환경등급, 내구성, 고속도로 소구조물 콘크리트
