

탄산화를 받은 콘크리트의 동결융해 저항성

이승태, 박광필*
군산대학교 토목공학과

Resistance to Freezing and Thawing of Concrete Subjected to Carbonation

Seung-Tae Lee, Kwang-Pil Park*

Department of Civil Engineering, Kunsan National University

요약 공용중인 콘크리트 구조물의 내구성 연구는 한 가지 원인에 대한 단독열화 연구를 주로 연구하였지만 실제 구조물의 공용시기에는 두 가지 이상의 환경에 노출되어 있어 이러한 복합열화에 대한 관심이 최근 증가하고 있는 실정이다. 복합열화에 대해 일반적으로 염해와 동결융해에 대해서는 일부 연구가 진행되어 있지만 콘크리트의 양생 직후부터 발생하는 탄산화와 다른 내구성능저하에 대한 복합열화 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 탄산화를 중심으로 하는 복합열화는 탄산화의 경우 탄산화 진행시 콘크리트 조직이 치밀해진다는 문헌고찰에 따라 조직의 치밀해지는 이유로 연구가 미흡하다. 본 연구에서는 콘크리트의 탄산화 및 동결융해에 대한 복합열화를 평가 분석한 결과이다. 평가를 위하여 탄산화된 콘크리트를 동결융해 300사이클까지 복합열화 시험을 실시하여 동탄성계수와 압축강도를 측정하였다. 그 결과 물-결합재비에 대한 영향 평가에서 35%의 콘크리트가 55%의 콘크리트에 비해 복합열화 성능이 낮은 것을 확인하였고, 팽물질혼화재료를 사용한 경우 플라이애시와 고로슬래그미분말을 사용한 경우 동일 물-결합재비에서 보통포틀랜드 시멘트 사용 콘크리트보다 복합열화에 대한 성능이 개선되는 것으로 나타났다.

Abstract In this study, the degree of deterioration of concrete was investigated in the laboratory under conditions of carbonation and freeze-thaw cycling, which are the major causes of the deterioration of its performance. In this test, the carbonated concrete was subjected to combined freeze-thaw deterioration tests for up to 300 cycles, and its dynamic elastic modulus and compressive strength were measured. The evaluation of the effect of the water-binder ratio on normal concrete subjected to combined carbonization and freezing-thawing showed that its resistibility against such combined deterioration decreased more rapidly in the concrete with a water-binder ratio of 55% compared with that having a water-binder ratio of 35%. In the case where the concrete was blended with a mineral admixture consisting of fly ash and blast furnace slag at the same water-binder ratio, it showed an increase of its resistibility against combined deterioration.

Keywords : Concrete, Combined deterioration, Mineral admixtures, Freeze - thaw, Carbonation

1. 서론

국토의 효율적인 활용과 늘어나는 물류 교통량을 해소하기 위하여 최근 장대교량 및 터널과 같은 대형 SOC

구조물의 신설이 증가하고 있으며, 이러한 구조물의 성능향상을 위한 투자와 노력이 증가하고 있는 실정이다. 하지만 지구온난화등과 같은 이상기후, 골재수급 문제, 해양환경 구조물 축조, 환경오염 등 많은 요인으로 콘크

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 교통물류연구개발사업의 “온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구(17TLRP-B079261-04)” 연구과제에서 연구비를 지원받아 수행된 결과입니다. 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Kwang-Pil Park (Kunsan National Univ.)

Tel: +82-63-469-4877 email: pkp0527@gmail.com

Received January 10, 2018

Revised(1st January 25, 2018, 2nd January 29, 2018, 3rd February 1, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

리트의 내구성능 저하가 발생하게 된다[1].

지금까지 콘크리트 구조물의 내구성 연구는 한 가지 원인에 대한 단독열화 연구를 주로 연구하였지만 실제 구조물의 공용시기에는 두 가지 이상의 환경에 노출되어 있어 이러한 복합열화에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다.

콘크리트의 내구성을 저하하는 요인으로는 철근부식, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 염해 등으로 분류할 수 있으며, 복합열화라 함은 이러한 내구성저하 요인이 2가지 이상 복합적으로 영향을 미치는 경우를 복합열화 환경이라 한다[2,3]. 내구성능저하 원인에 대해 각각의 성능저하 원인 분석과 이에 대응하는 연구는 많이 진행되고 있는 실정이다. 그러나 복합열화에 대한 연구는 아직 미흡하고 이에 대한 대책마련 또한 시급한 실정이다.

복합열화에 대해 일반적으로 염해와 동결융해에 대해서는 일부 연구가 진행되어 있지만 콘크리트의 양생 직후부터 발생하는 탄산화와 다른 내구성능저하에 대한 복합열화 연구는 매우 미흡한 실정이다. 특히, 탄산화를 중심으로 하는 복합열화는 탄산화의 경우 탄산화 진행시 콘크리트 조직이 치밀해진다는 문헌고찰에 따라 조직의 치밀해지는 이유로 연구가 미흡하다[4,5]. 하지만 탄산화 중심의 복합열화는 구조물의 신축 직후 바로 다양하게 발생 할 수 있다는 문제점을 인식하여야 한다. 따라서 탄산화를 중심으로 발생하는 탄산화와 염해, 탄산화와 동해 등과 같이 복합열화를 받는 콘크리트의 내구성 저하에 대한 기초 연구가 필요한 실정이다[6,7].

본 연구에서는 콘크리트의 탄산화 발생시 일어나는 복합열화 중 동결융해에 대한 영향 요인을 평가하기 위하여 콘크리트의 결합재 종류에 따라 역학적 특성 분석과 단독 및 복합열화 특성을 실험적으로 검토하였고, 실험 및 분석을 통하여 도출된 결과를 이용함으로써 결합재 종류에 따른 콘크리트의 복합열화에 대한 저항성 향상을 위한 재료적 요인 파악과 탄산화 중심의 복합열화 환경에서 내구성이 우수한 콘크리트 재료 선정을 위한 기초자료를 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 결합재

본 연구에서 사용한 결합재료는 시멘트는 KS L 5201에 준하는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)이고, 광물질 혼화재료의 영향을 평가하기 위하여 광물질 혼화재료인 플라이애시(이하 FA), 고로슬래그미분말(이하 BS) 및 실리카퓌름(이하 SF)을 사용하였다. 광물질 혼화재료는 OPC에 대하여 FA는 20 %, BS는 40 %, SF는 5 %를 대체하여 사용하였으며, 시멘트 및 광물질 혼화재료의 화학성분을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of cement and mineral admixtures(%)

Types	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Density (g/cm ³)
OPC	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	3.14
FA	56.4	23.4	7.9	3.1	1.5	-	2.9
BS	34.2	17.1	0.31	41.2	4.8	2.2	2.9
SF	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	-	2.2

(2) 골재

잔골재(S)는 부순 잔골재와 천연 잔골재를 혼합하여 사용하였으며, 굵은 골재(G)는 부순 굵은 골재를 사용하였다. 본 실험에 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 또, 콘크리트의 적절한 유동성(슬럼프 150±15 mm) 및 공기량(4.5±1.0 %) 확보를 위하여 폴리카르본산 계열 고성능감수제 및 AE제를 각각 사용하였다.

Table 2. Physical properties of aggregates

Types	Gmax (mm)	Absorption (%)	Density (g/cm ³)
Sand	-	0.98	2.60
Gravel	25	0.85	2.67

2.2 배합

콘크리트의 노출환경에 따른 단독·복합열화에 따른 평가를 위하여 광물질 혼화재료를 사용하지 않은 기준배합(OPC 콘크리트)과 OPC에 FA, BS 및 SF를 FA는 20 %, BS는 40 % 및 SF는 5 %로 대체한 혼합시멘트계 콘크리트를 제조하여 실험을 수행하였으며, 각 콘크리트의 배합특성을 나타낸 것이 Table 3이다. 콘크리트의 W/B의 특성 분석을 위하여 W/B를 보통포틀랜드시멘트에 대해서만 35 %, 45 %, 55 %를 분석하였고, 혼합시멘트

Table 3. Mix proportions of concrete

types	G _{MAX} (mm)	Slump (mm)	Air content (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit mass (kg/m ³)						SP* (g)	AE** (g)	
						W	C	S	G	FA	BS			SF
OPC35	25	150± 15	4.5 ±1	35	42	187	534	654	906	-	-	-	0.7	1.0
OPC45 (OPC)				45		187	416	695	985	-	-	-	0.5	1.0
OPC55				55		187	340	721	1036	-	-	-	0.4	0.8
FA20				45		187	333	692	982	83	-	-	0.5	1.3
BS40						187	250	690	979	-	166	-	0.5	1.0
SF5						187	395	691	980	-	-	21	0.6	1.2

※. * SP : wt. of binder (%) / ** AEA : wt. of SP (%)

사용 콘크리트는 W/B 및 S/a를 각각 45 % 및 42 %로 고정하였다. 믹싱된 콘크리트는 제조 1일 후 탈형하여, (20±2) °C 조건에서 각각 수중 양생하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 압축강도

φ100×200mm의 원주형 공시체를 제작 1일 후 탈형하여 13일 동안 표준양생을 실시한 후 동결융해실험을 수행하였으며, 매 100 사이클마다 KS F 2405에 준하여 압축강도를 측정하였다. 동결융해 반복 작용에 의한 콘크리트의 압축강도비는 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$\text{압축강도비 (\%)} = \frac{C_f}{C_w} \times 100 \quad (1)$$

여기서,

C_f : 동결융해를 받은 콘크리트의 압축강도 (MPa)

C_w : 동일 재령에 양생한 콘크리트의 압축강도 (MPa)

2.3.2 동결융해시험

동결융해 저항성 평가 실험은 ASTM C 666의 B방법에 준하여 실시하였으며, 온도측정용 중심공시체의 온도가 4°C에서 -18°C를 거쳐 다시 4°C에 도달하는 과정을 1 사이클로 하여 총 300사이클을 진행하였으며, 매 30 사이클마다 콘크리트 공시체의 동탄성계수를 측정하였다. 동결융해 반복 작용을 받기 전 공시체의 동탄성계수에 대한 소정의 사이클에서의 동탄성계수를 식 (2)와 같이 상대동탄성계수로 나타내었다[8].

$$E_{d,c}(\%) = (n_1/n)^2 \times 100 \quad (2)$$

여기서,

$E_{d,c}$ = c 사이클에서 상대동탄성계수 (%)

n_1 = c 사이클에서의 공명진동수 (Hz)

n = 초기 공명진동수 (Hz)

2.3.3 탄산화된 콘크리트의 동결융해 시험

콘크리트는 경화 후부터 바로 이산화탄소에 접하게 되는 점을 고려하여 탄산화에 대한 열화가 가장 먼저 일어나는 것을 가정하고, 다음으로 다른 복합적인 열화 인자가 작용하여 콘크리트의 복합적인 열화가 진행되는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 순차적으로 발생하는 열화에 의한 콘크리트의 복합열화를 알아보기 위하여 탄산화를 먼저 4주 동안 진행한 후 -18 °C~+4 °C의 동결융해 작용 300 사이클을 진행하는 방식으로 복합열화 시험을 진행하였다. 탄산화촉진을 위한 조건은 Table 4와 같은 환경을 구성하였다. 동결융해시험 조건은 단독시험 조건과 동일하게 진행하였다.

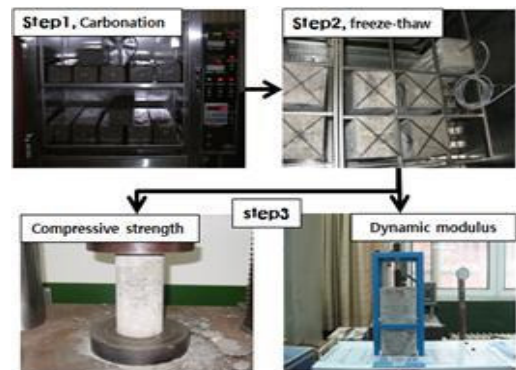


Fig. 1. Combined Deterioration test (Carbonation and Freeze-thaw)

Table 4. Carbonation test environment

Density(% , vol)	Temperature(℃)	Humidity(%)
5	25	60

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼합재료에 따른 강도특성

본 실험에서 사용한 7종류 콘크리트의 재령별 압축강도 특성을 나타낸 것이 Fig. 2와 Fig. 3이다. Fig. 2로부터 W/B의 영향을 평가한 결과 낮은 W/B의 강도가 초기부터 좋지만 재령이 경과함에 따라 28일에는 35 %와 45 %의 강도 차이가 크게 발생하지 않아 다른 콘크리트 제조시 W/B를 45 %로 설정하고자 하였다.

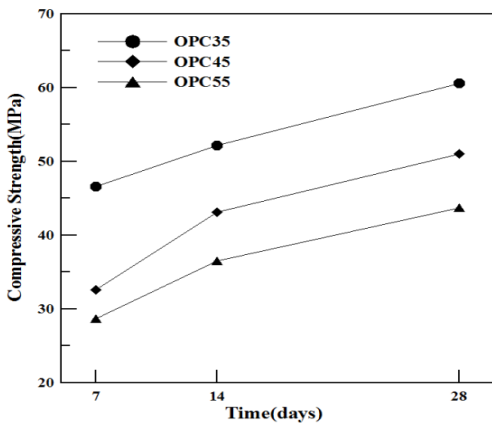


Fig. 2. Compressive strength of concretes(OPC)

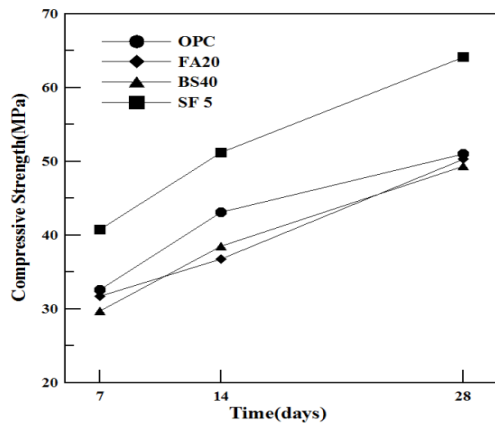


Fig. 3. Compressive strength of concretes(W/B=45 %)

또한 Fig. 3으로부터 OPC 콘크리트는 초기재령에서 FA20 및 BS40 콘크리트 보다는 압축강도가 크게 나타났고, SF를 사용한 콘크리트 보다는 초기 재령에서부터 압축강도가 작게 나타났다. 그러나 재령 28일에서는 FA20 및 BS40 콘크리트의 압축강도가 유사하게 나타났다.

SF5 콘크리트는 초기 재령에서 OPC보다 약 10MPa 큰 강도를 나타내었으며 28일 강도에서도 약 15MPa 큰 강도 값을 나타내었다. SF를 사용한 콘크리트는 SF의 필러효과, 포졸란반응, 친이대 개선효과 등으로 인하여 재령에 관계없이 4종류의 결합재 중 압축강도 발현이 가장 우수하게 나타났다[9]. FA20 및 BS40의 경우는 광물질화재료의 대체비율에 따라 다른 결과를 나타내었다. FA20의 경우 초기 재령은 낮게 측정되었지만 28일 강도에서는 OPC와 유사한 강도 수준을 나타내었고, BS의 경우는 초기부터 OPC보다 작은 압축강도를 나타내었으나 28일에서는 OPC와 유사한 강도 값을 나타내는 것을 확인하였다.

3.2 콘크리트의 탄산화 특성

Fig. 4는 배합표에 따라 제조된 콘크리트를 14일 양생이후 탄산화 시험기에 28일 축진 탄산화 시험 후 탄산화 깊이를 측정된 결과이다.

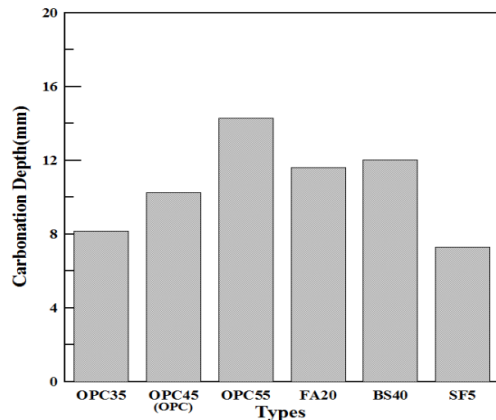


Fig. 4. Carbonation Depth(28days)

Fig. 4로부터 W/B의 값이 클수록 탄산화 깊이가 크게 나타나는 것을 확인하였으며, W/B 55 %의 경우 W/B 35 %보다 1.5배 이상 크게 측정되었다.

동일한 W/B의 광물질화재료를 사용한 콘크리트의 탄산화 깊이 측정 결과 BS40>FA20>OPC>SF5순으로

측정되었다. BS40, FA20에서 가장 크게 측정된 것은 광물질 혼화재료의 사용량이 많아 CO₂와 반응하는 수산화칼슘의 양이 적어 그 침투 속도가 크게 나타난 것으로 판단된다.

3.3 복합열화를 받은 콘크리트의 물-결합재비의 영향

Fig. 5와 Fig. 6은 물-결합재비 변화에 따라서 상대동탄성계수를 나타낸 결과로서 물-결합재비의 증가는 콘크리트의 조직을 느슨하게 만들어 상대동탄성계수가 작아지는 결과를 보였다.

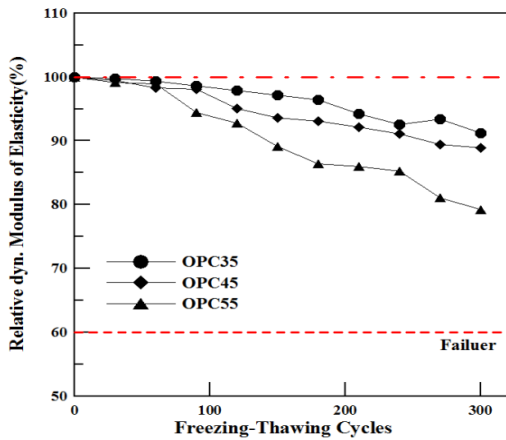


Fig. 5. Relative dynamic modulus of elasticity of OPC concrete(freezing-thawing action)

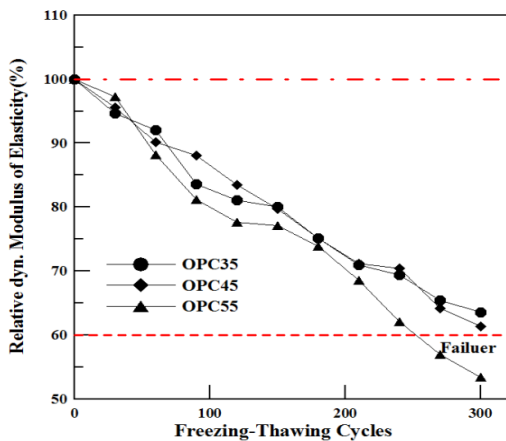


Fig. 6. Relative dynamic modulus of elasticity of OPC concrete (Combined action with freezing-thawing and carbonation)

Fig. 5와 Fig. 6으로부터 단독열화와 복합열화에 대한 상대동탄성계수를 분석한 결과 물-결합재비 55 %에서는 단독열화보다 복합열화의 상대동탄성계수의 감소율이 35 % 정도 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

반면, 물-결합재비 35 %의 보통콘크리트는 단독열화 평가에서 상대동탄성계수 90 % 이상을 나타내었지만 복합열화 평가에서는 상대동탄성계수 값이 단독열화 보다 18 % 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

단독열화와 복합열화에 대한 상대동탄성계수를 비교한 결과 물-결합재비의 값이 클수록 복합열화의 저하 속도가 커지는 것을 확인 할 수 있으며, 물-결합재비에 관계없이 복합열화를 받은 콘크리트의 열화가 증가하는 것을 알 수 있었다.

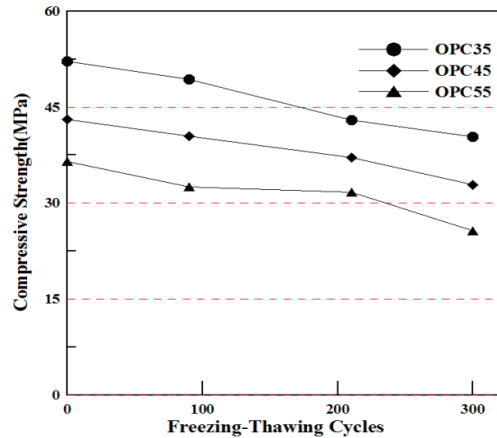


Fig. 7. Compressive Strength of elasticity of OPC concrete(freezing-thawing action)

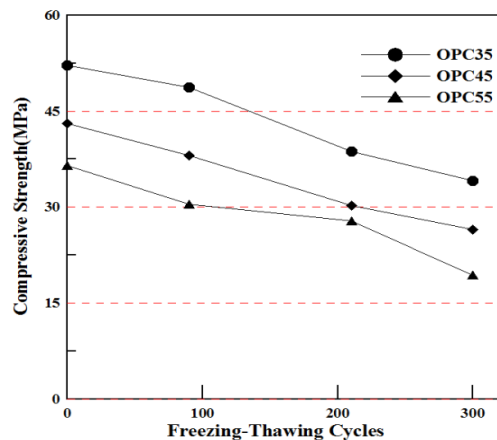


Fig. 8. Compressive Strength of OPC concrete (Combined action with freezing-thawing and carbonation)

탄산화와 동결융해를 동시에 받은 콘크리트의 물-결합재비의 차이에 따른 강도특성 분석을 통하여 Fig. 7과 Fig. 8의 결과를 얻었다. 그림에서 나타난 것과 같이 물-결합재비에 상관없이 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트에서는 단독열화보다 복합열화에 의한 압축강도의 감소 비율이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다[6,7].

Fig. 7로부터 단독열화의 경우 동결융해를 받은 콘크리트의 압축강도 감소 비율이 300사이클 완료 이후 30%미만으로 나타나는 것을 확인하였다. 그러나 물-결합재비가 증가 할수록 감소 비율은 커지는 것을 확인하였다.

Fig. 7과 Fig. 8로부터 복합열화를 받은 콘크리트 시험체와 압축강도 비교시 복합열화를 받은 콘크리트의 압축강도 감소 비율이 전체 적으로 30%이상을 나타내는 것을 확인하였으며, 물-결합재비가 증가 할수록 단독열화와 같이 55%의 결합재비에서 크게 나타나는 것을 확인하였다.

이와 같은 결과는 탄산화반응으로 인하여 표면 조직이 $Ca(OH)_2$ 에서 $CaCO_3$ 로 변화하여 조직의 치밀함의 증가로 인하여 초기 저하성은 커졌지만 지속적인 동결융해 반복으로 급속한 표면의 손상으로 나타난 결과라 사료된다.

3.4 복합열화를 받은 혼합시멘트계 콘크리트의 성능

Fig. 9와 Fig. 10은 물-결합재비를 고정하고 광물질혼화재료를 사용한 콘크리트의 상대동탄성계수를 나타낸 결과로서 광물질혼화재료의 특성에 따라 서로 상이한 결과를 나타내었다.

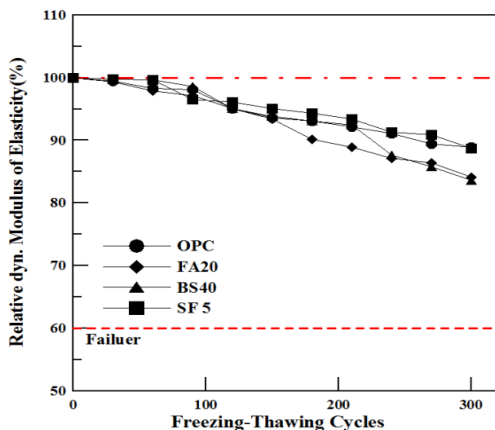


Fig. 9. Relative dynamic modulus of elasticity of mineral admixtures concrete(freezing-thawing action)

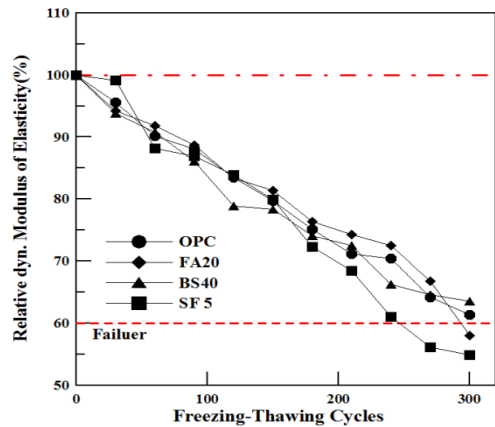


Fig. 10. Relative dynamic modulus of elasticity of mineral admixtures concrete (Combined action with freezing-thawing and carbonation)

Fig 9와 Fig. 10으로부터 플라이애시 대체는 동결융해 단독열화보다 탄산화와 동결융해의 복합열화의 상대동탄성계수 감소가 더 크게 나타났으며, 이는 쏫크리트의 탄산화-동결융해 복합열화 평가에서 복합열화를 받는 경우 상대 동탄성계수가 표면 열화시 급격히 낮아지는 결과를 나타낸 기존의 연구 문헌과 같은 동일한 결과를 나타냈었다[7,10].

FA20은 210 사이클 까지는 단독 및 복합 열화의 상대동탄성계수 결과 같은 경향으로 변화를 나타내었으나, 240 사이클 이후 급격한 상대동탄성계수의 변화가 나타났다. 이는 탄산화의 영향으로 수화 조직내의 수산화칼슘이 탄산화 작용과 포졸란 반응으로 인하여 표면의 조직을 치밀하게 만들어 동결시 발생하는 동결압에 대하여 저항성이 커진 것으로 사료된다.

BS40은 높은 혼입률에도 상대동탄성계수의 감소량이 단독열화의 경우 작게 나타나는 것을 확인하였다. BS40을 혼입한 콘크리트는 FA20을 혼입한 콘크리트와 다르게 초기에서부터 상대동탄성계수 측정값이 작아지는 것으로 나타났다.

이는 FA20과 동일한 결과로 나타났다. BS40 콘크리트는 광물질혼화재료의 혼입률이 높아 초기 양생시 소요 강도가 확보 되어도 고로슬래그미분말의 잠수경성반응 속도의 차이로 인하여 초기 동결융해부터 상대동탄성계수가 작아지는 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

실리카폼을 사용한 SF5 콘크리트의 탄산화와 동결융해 단독열화와 복합열화를 평가한 결과 상대동탄성계수가 단독열화에서는 90%이상의 결과를 나타내었지만

복합열화에서는 300 사이클 이전에 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지는 결과를 나타내었다.

광물질혼화제리사용 콘크리트는 탄산화 촉진기간동안의 수화반응 진행과 포졸란 및 잠재수경성 반응 촉진 및 탄산화로 인한 미세조직의 치밀화로 인해 동결융해 반복전까지 소요강도를 확보하여 초기 동해시 좋은 결과를 나타내었으나, 사이클의 증가에 따라 표면 조직의 파괴시 내부의 조직 치밀화로 동결압 완충을 위한 미세 공간의 부족으로 급격히 열화가 진행된 것으로 판단된다.

탄산화와 동결융해 복합열화에 대한 성능개선 효과를 알아보기 위하여 광물질혼화제리인 플라이애시, 고로슬래그미분말, 실리카폼을 혼입하여 탄산화와 동결융해의 복합열화를 평가하여 압축강도의 변화를 정리한 것이 Fig. 11에서 Fig. 12이다.

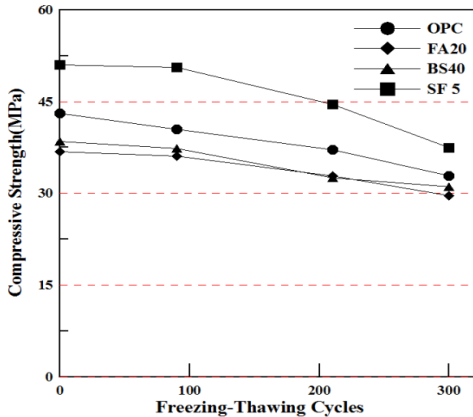


Fig. 11. Compressive Strength of elasticity of mineral admixtures concrete(freezing-thawing action)

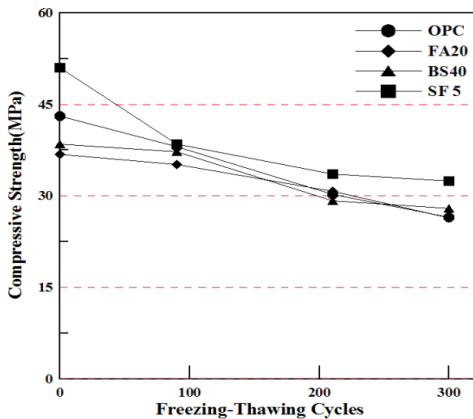


Fig. 12. Compressive Strength of elasticity of mineral admixtures concrete (Combined action with freezing-thawing and carbonation)

광물질혼화제리의 종류와 혼입률에 상관없이 탄산화와 300 사이클의 동결융해 복합열화를 받은 콘크리트의 성능저하는 단독열화를 평가한 결과보다 감소되는 것으로 나타났다.

Fig. 11과 Fig. 12로부터 FA20은 동일한 물-결합제비의 OPC 콘크리트 보다 복합열화가 개선되는 것을 확인할 수 있었으며 단독열화보다 복합열화 환경에 성능이 개선된 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 이는 탄산화 기간 동안 FA의 포졸란 반응으로 인한 내부 조직의 치밀화로 인하여 성능의 개선 효과가 나타난 것으로 사료된다.

BS40은 혼입률이 상대적으로 다른 광물질혼화제리에 비해 높아 초기 양생에 의한 강도가 확보가 되지 않는 경우 내구성능 저하에 큰 영향을 미치게 된다. BS40의 경우 동결융해 작용만 반복된 콘크리트 보다 복합열화를 받은 콘크리트의 압축강도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

고로슬래그미분말을 40 % 혼입한 콘크리트의 동결융해 300 사이클 평가 후 복합열화의 강도 감소량이 단독열화보다 각각 7.5 % 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 소요의 강도를 발휘하여도 내부의 조직에서 잠재수경성반응의 속도가 늦어지기 때문에 복합열화 작용으로 이러한 결과가 나타난 것으로 사료된다.

SF5 콘크리트의 탄산화와 동결융해 복합열화를 평가한 결과 실리카폼의 혼입은 동결융해 단독열화를 평가한 물-결합제비 45 %의 보통콘크리트와 같은 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었지만, 복합열화 평가에서는 보통콘크리트 보다 좋은 결과를 나타내었다.

3.5 복합열화를 받은 콘크리트의 성능에 대한 광물질혼화제의 영향

동일한 물-결합제비에서의 광물질혼화제리 혼입에 따른 성능개선 효과를 확인하기 위하여 복합열화 평가 결과를 보통콘크리트 기준으로 정리한 것이 Fig. 13과 Fig. 14이다.

결과로부터 복합열화 평가 결과 광물질혼화제리의 종류에 관계없이 유사한 경향을 나타내었다. 특히, FA20과 BS40은 광물질 혼화제리의 혼입율의 차이가 2배정도 있으나 유사한 감소량을 나타내었다.

하지만 실리카폼을 5 %치환한 콘크리트에서는 전체적으로 보통콘크리트보다 개선되었으나, 동결융해의 싸

이를 증가에 따라 강도의 감소량이 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 고로슬래그미분말의 혼입은 초기는 플라이애시와 같이 보통콘크리트보다 작게 나타났지만 동결융해 300 사이클에서는 보통콘크리트보다 좋은 결과를 나타내었다.

Fig. 14로부터 탄산화와 동결융해 복합열화를 받은 콘크리트의 상관관계를 분석한 결과 R²값이 0.68로 나타나 광물질혼화재료를 사용한 콘크리트의 압축강도와 상대동탄성계수의 상관이 크게 없는 것을 확인하였다. 이는 혼화재료의 각각의 복합열화의 저항 특성으로 인하여 나타난 것으로 판단되며, 탄산화와 동결융해를 동시에 받는 콘크리트의 경우 광물질혼화재료의 사용시 재료의 특성을 고려하여 혼입률에 대한 적절한 선택이 필요할 것으로 판단된다.

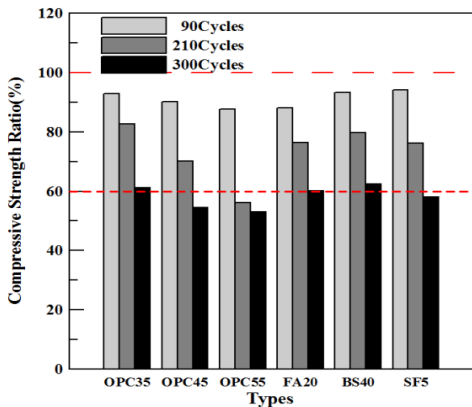


Fig. 13. Compressive strength ratio of concretes subjected to freezing-thawing action(W/B=45%)

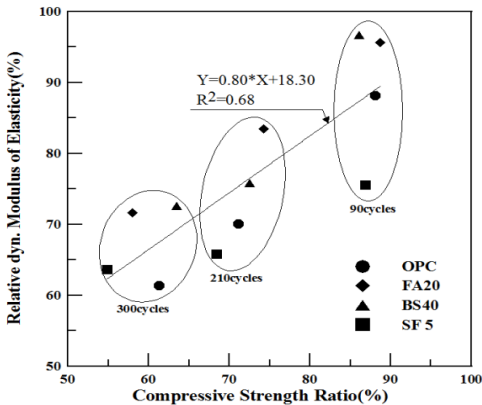


Fig. 14. Relationship between Compressive Strength Ratio and Relative Dyn. Modulus of Elasticity (W/B=45%)

4. 결론

본 연구는 콘크리트의 탄산화와 동결융해에 대한 복합열화 저항성에 영향을 미치는 요인을 실험적으로 평가한 것으로써, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 콘크리트 강도 특성에서 물-결합재비는 낮을수록 재령에 관계없이 강도가 높게 나타났으며, 동일한 물성에서의 광물질혼화재료의 혼입에 따른 압축강도는 SF>OPC>SF>BS순으로 나타났으며, 특히, SF의 경우는 OPC대비 약 15 %크게 나타났다.
2. 탄산화와 동결융해에 대한 물-결합재비 영향을 평가한 결과 35 %의 낮은 물-결합재비에서의 복합열화 및 단독열화 평가결과 높은 물-결합재비의 콘크리트 보다 저항성이 큰 것으로 나타났다.
3. 탄산화와 동결융해 복합열화에 따른 광물질혼화재료의 성능개선효과를 평가한 결과 플라이애시와 고로슬래그미분말을 사용한 경우 성능개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 실리카폼의 경우는 필리효과 등으로 강도는 크게 측정되었지만 미분말의 효과 및 포졸란반응으로 동결융해에서는 좋지 않은 결과를 나타내었다.
4. 본 연구 범위의 복합열화 저항성 평가에서 물-결합재비에 대한 영향이 있는 것으로 나타났으며, 광물질혼화재료의 영향은 종류에 따라 다른 결과가 나타났으며, 다양한 복합열화 환경에 대한 추가 연구가 지속되어야 복합열화 환경에 적합한 재료를 선정 할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Bryant Mather, "Concrete durability", Cement and Concrete Composites, vol. 88, Issue 1. pp. 3-4, 2010.
- [2] Vagelis G. Papadakis, Costas G. Vayenas, and Michael N. Fardis, "Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete", ACI Materials Journal, vol. 88, Issue 2, pp. 186-196, 1991.
- [3] ACI Committee 201. "Guide to Durable Concrete, ACI 201.2R-92) Manual of Concrete Practice, vol. 1. pp. 41, 1997.
- [4] Kazuhiko SAKURAMA, Junichi YAMAZAKI, Yu Yamada (2001), The study on the investigation by examining the complex deterioration of the neutralization and saltiness of salt. Japanese Concrete University Association, pp. 7-14.

- [5] Yuichiro Kawabata, Hiromichi Matsushita, Kazumasa FUJITA, Kenji TOWAI(2005), A Study on the Salt Powder Penetration and Combined deterioration of the neutral oxide in the Mixed Mortar, Concrete engineering annual paper, vol. 27, no. 1, pp. 841-846.
- [6] Z He, SW Tang, GS Zhao, E Chen, “Comparison of three and one dimensional attacks of freeze-thaw and carbonation for concrete samples”, vol. 127, Construction and Building Materials, pp. 596-606, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.069>
- [7] M Rao, M Li, H Yang, X Li, Y Dong , “Effects of carbonation and freeze-thaw cycles on microstructure of concrete”, Journal of Wuhan University of Technology(Materials Science Edition), vol. 31, Issue 5, pp. 1018 - 1025, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1484-7>
- [8] ASTM C 666(1984), “Resistance of Concrete to Rapid Freezing and thawing”, In Annual Book of ASTM Standards.
- [9] R, Siddique, “Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties”, Resources, Conservation and Recycling, vol. 55, no. 11, pp. 923-932, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>
- [10] Ma S. J., Lim, D. M., Choe, J. S., Kim, J. S.(2007), Evaluation of a Long Term Durability of Shotcrete Mixed Micro-Silica Fume using Combined Deterioration Test, Journal of Korean Civil Engineers, vol. 27, no. 1, pp. 79-85.
- [11] AP Aroumugame, VS Sethuraman, A Vallavan, LK Rex, “A Comparative Study on Flexural Strength of High Strength Concrete using Silica Fume”, international Research Journal of Engineering and Technology, vol. 03, Issue 12, pp. 289-295, 2016.
- [12] BN Kalyan, R Sridhar, MK Shivraj , “Study on Durability Parameters of High Strength Concrete Using Slag Sand and Quarry Sand”, international Research Journal of Engineering and Technology, vol. 03, Issue 8, pp. 1126-1131, 2016.
- [13] Park, K. P.(2010), Characterization of Combined Deterioration of Cement Concrete using the Mineral Admixtures, Ph. D. Dissertation, Daejin Univ., Korea.
- [14] M Rostami, K Behfarnia, “The effect of silica fume on durability of alkali activated slag concrete”, Construction and Building Materials, vol. 134, pp. 262-268, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.072>
- [15] Selih J.(2010), Performance of concrete exposed to freezing and thawing in different saline environments, Journal of Civil Engineering and Management, vol. 16, pp. 306-311. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.35>

이 승 태(Seung-Tae Lee)**[정회원]**

- 1999년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 군산대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

건설재료, 콘크리트 구조, 콘크리트 포장

박 광 필(Kwang-Pil Park)**[정회원]**

- 2003년 3월 : 대전대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 대전대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 군산대학교 토목공학과 연구교수

<관심분야>

건설재료, 콘크리트 내구성, 콘크리트 유지보수