

광물성 혼화재료의 종류 및 혼입율에 따른 샷크리트의 역학적 특성 및 염해 저항성

한승연^{1*}, 윤경구¹, 남궁경¹, 이겨레¹, 엄영도²
¹강원대학교 토목공학, ²대상이앤씨

Mechanical Properties And Chloride Penetration Resistance of Shotcrete according to Mineral Admixture Types and Supplemental Ratio

Seung-Yeon Han^{1*}, Kyong-Ku Yun¹, Kyeong-Gung Nam¹,
Kyeo-Re Lee¹, Young-Do Eum²

¹Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, ²DaeSang ENC

요약 본 논문에서는 샷크리트 구조물의 염해 내구성을 개선하고자 광물성 혼화재의 종류 및 혼입량에 따라 유럽의 시험 표준인 NT BUILD 492에 준하여 염해 저항성을 평가하였다. 또한 정적강도 및 염소이온 침투저항성 등의 역학적 특성을 함께 평가하였다. 부순 골재를 사용하여 굵은 골재 최대치수 10mm의 샷크리트용 혼합쇄석 골재를 제작하였다. 재령 28일 압축강도를 기준으로 실리카푼 15% 혼입 변수가 67.55MPa로 가장 높은 강도를 나타냈으며, 플라이애시와 고로슬래그는 혼입률이 증가할수록 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 염소이온 침투저항성 시험에서는 기본 배합에서 “높음” 등급으로 나타났으며, 혼화재료의 경우 플라이애시를 제외하고 모든 변수에서 침투저항성이 매우 증가하는 경향을 보였다. 촉진 염화물 확산 침투시험으로 KCL, ACI, FIB 기준에 대한 내구수명을 평가하였다. 시험결과 실리카푼 15%를 혼입한 변수에서 가장 낮은 확산계수를 얻었다, KCI 기준으로 약 65년의 내구수명을 갖는 것으로 나타났으며, FIB 기준으로 131년의 내구수명을 갖는 것으로 나타났다. KCI, ACI, FIB 기준 중 모든 변수에서 KCI 기준의 내구수명이 가장 낮은 것으로 평가되었다.

Abstract In this study to improve the chloride durability of the shotcrete structure depending on types and contents of mineral admixture chloride resistance was evaluated by NT BUILD 492 of european test standards. It was also evaluated with the mechanical properties such as static strength and chloride penetration resistance. For shotcrete mixed crushed stone aggregate of the maximum size 10mm of coarse aggregates was produced. Based on 28days compression strength the variable mixed with 15% silica fume showed the highest strength in 67.55MPa. As the content of fly ash and blast furnace slag increased, the strength lowered. In the chloride penetration resistance test, OPC showed "high grade" and In the case of admixture, the penetration resistance tended to increase in all variables except the fly ash. In order to evaluate the service life, the accelerated chloride penetration test was conducted by the standards of KCL, ACI, FIB. Test results were obtained with the lowest spreading factor in a variable mixed with silica fume of 15%. At the KCI standards, It was found to have a service life of about 65 years and at the FIB standards, It was found to have a service life of 131 years. Among standards, the service life of KCI standard in all of the variables was evaluated as the lowest.

Keywords : Durability, Diffusion Coefficient, Life Cycle Prediction, Mineral Admixture, Shotcrete

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 온실가스 배출 최소화를 위한 친환경 포장도로 연구의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Seung-Yeon Han(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-10-2952-7377 email: tmdus0420@kangwon.ac.kr

Received May 12, 2015

Revised (1st June 26, 2015, 2nd July 7, 2015)

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

1. 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 한정된 국토공간의 효율적인 이용 증가를 위해서 해양개발에 대한 필요성이 점차 증가되고 이에 따라 최근 해양환경에 건설되는 콘크리트 구조물이 증가하고 있으며 해양 콘크리트 구조물의 구조적 성능뿐만 아니라 장기적인 내구성에 대한 관심도 커지고 있는 실정이다. 이러한 해양환경에 노출된 콘크리트가 파손될 경우 일반적인 콘크리트 타설로는 유지보수의 어려움이 있다. 미국 및 캐나다 등의 슛크리트 선진국에서는 이러한 이유 때문에 해양구조물 보수 및 보강에 시공공정이 짧고 원형의 상태를 유지하기 적합한 슛크리트를 이용하고 빈도수가 늘어나는 추세이다.[1]

해안에 근접한 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받는 경우, 동결융해의 과정에서 콘크리트 조직이 팽창수축을 반복하면서 콘크리트의 조직이 이완되고 이때, 해수에 존재하는 염화물이온(CI⁻)이 콘크리트 내부에 침입하게 되면, 콘크리트 내부로 침투하는 염소이온에 의한 철근의 부식이 발생한다. 이는 콘크리트 구조물의 성능저하를 유발하는 가장 중요한 요인 중 하나이다. 철근의 부식은 철근 자체의 단면손실에 의한 구조물의 내하력 감소를 일으킬 뿐만 아니라, 철근의 부피팽창으로 콘크리트에 팽창균열 및 피복탈락을 유발하게 되어 구조물의 성능을 심각하게 손상시킨다.

그러나 염화물이온의 확산은 다양한 요인에 의해 영향을 받으므로 정확한 해석이 어려운 실정이다. 또한, 염해에 대한 내구성 설계를 위해서는 염화물 이온 확산을 합리적으로 고려한 염화물 이온 침투 해석이 요구된다. 현재 염화물이온 농도 변화를 고려한 여러 설계기법들이 제시되고 있으나, 다양한 영향인자의 변동성으로 인하여 해석과 설계에 있어 불확실성이 존재하고 있다. 그래서 본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로 국내의 염해 관련 시방서 및 염해에 대한 내구성 설계 방법, 콘크리트 내에서의 염화물이온 침투확산 특성을 문헌적으로 조사하고, 유럽의 시험 기준인 NT BUILD 492에 준하여 일반적으로 콘크리트에 많이 사용되는 광물성 혼화재료를 사용하여 혼화재료의 종류 및 혼입율에 따라 동결융해를 받은 콘크리트의 염해 저항성을 평가하였다. 염화물이온 이동계수를 도출하고 이를 바탕으로 내구수명을 예측하였다.[2]

NT BUILD 492의 개요는 염화물이온 농도에 따른 전위차에 의해 염화물이온을 강제적으로 이동시키는 방법으로 비교적 짧은 시간에 재료 등의 상대적인 염화물 이온 투과성을 평가할 수 있다. 이러한 방법을 이용하여 해안지역에 위치한 콘크리트건축물의 고내구화 및 장수명화를 구축하고 구조물의 시공 및 유지관리를 위한 기초적 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 개요

본 연구에서는 최대치수 10mm부터 0.15mm까지 혼합된 쇄석골재를 사용한 특성화 슛크리트 배합을 콘크리트 배합으로 선정하여 성능을 평가 하였다. 쇄석 골재의 입도분포는 슛크리트용 혼합골재의 권장 입도분포 범위를 적용하였다.

권장입도분포 범위에서 통과 백분율의 상한선과 하한선을 기준으로 이론적으로 5등분 중 중간에 있는 분포를 가지고 부순모래를 포함한 굵은골재 최대 치수 10mm의 쇄석골재를 제작하여 적용하였으며 광물성 혼화재의 종류 및 혼입률이 콘크리트에 미치는 영향과 내구성을 평가하고자 하였다. 혼화재의 혼입량은 통상적으로 사용되는 각 혼화재의 혼입률을 적용하였으며, 이는 혼화재에 포함된 SiO₂의 양으로 결정된다. 실험 변수는 Table 1 과 같다. 플라이애시는 FA, 실리카푼은 SF, 메타카올린은 MK, 고로슬래그 미분말은 GGBFS로 나타내었고, 혼입률을 숫자로 나타내었다.

Table 1. Types and substitution ratios of mineral admixtures

Shotcrete Before Pumping		
Control		
FA 10	FA 20	FA 30
SF 5	SF 10	SF 15
MK 5	MK 10	MK 15
GGBFS 30	GGBFS 40	GGBFS 50

2.2 실험 계획

본 연구에서 평가한 콘크리트의 굳기 전 공기량 시험과 슬럼프 시험, 굳은 후 강도특성 측정과 같은 물리적 특성 시험과 염소이온 침투 저항성 시험, 염해 저항성 실험을 통해 분석하고자 하였으며, 평가방법과 시험 재령은 Table 2와 같다.

Table 2. Durability test item

Test item	Test types	Note
Compressive strength test	KS F 2405	7, 28, 56 day
Rapid chloride ion permeability test	KS F 2711	28 day
Chloride Penetration Resistance test	NT BUILD 492	28 day

2.3 실험 재료

2.3.1 시멘트

규격에 만족하는 국내 S사에서 생산되는 1종 포틀랜드 시멘트(분말도 3,400 cm²/g, 밀도 3.15 g/cm³, 강열감량 1.02 %, 안정도 0.02 %)를 사용하였다.

2.3.2 골재

부순모래와 굵은 골재 최대치수 10mm인 세척 쇄석을 사용하였다. 부순모래와 굵은 골재는 각각 체가름을 수행하여 체의 크기에 따라 골재의 크기를 분류한 후 KS F 2577“숫크리트용 재료”에서 제시하고 있는 숫크리트용 혼합골재의 권장입도 분포에 기준하여 제작하였다. 혼합골재는 각 크기의 상한선과 하한선을 기준으로 중앙에 해당하는 입도를 선정한 후 체크기에 따라 분류된 골재를 혼합하였다. 혼합골재의 물리적 특성은 Table 3과 같고, KS F 2577 “숫크리트용 재료” 입도분포 곡선과 실험에 사용된 혼합골재의 입도분포 곡선은 Fig 1과 같다[3].

Table 3. Physical properties of mixed aggregate

Aggregate type	Specific gravity	Fineness modulus
Mixed aggregate	2.82	3.75

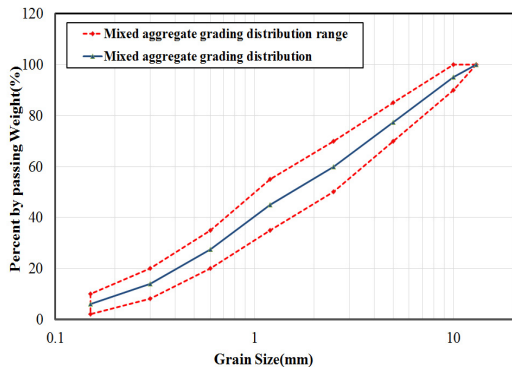


Fig. 1. KS F 2577 Distribution of mixed aggregate

2.3.3 혼화재료

1) 플라이애시

화력발전소 등 석탄을 연료로 사용하는 시설에서 석탄을 가루로 만들어서 태우고 나면 미세한 먼지가 날리게 된다. 이러한 먼지들을 수거한 것이 바로 플라이애시이다. 본 실험에서는 KS L 5405에서 규정된 1종 플라이애시를 사용하였고, Table 4는 실험에 사용된 플라이애시의 물리·화학적 특성을 나타낸 것이다.

2) 실리카폼

실리카폼은 수산화칼슘(Ca(OH)₂)과 활발한 반응을 유도하여 콘크리트 내부 구조가 치밀하게 되어 고강도를 발현할 수 있으며 재료분리 저항성, 수밀성, 내화학약품성이 향상되고 알칼리 골재반응의 억제효과 또한 기대할 수 있다. Table 5는 본 실험에서 사용된 실리카폼의 물리·화학적 특성을 나타낸 것이다.

3) 메타카올린

메타카올린의 원료인 카올린 광물은 최근 콘크리트 혼화재료로 폭넓게 사용되고 있다. 본 실험에서 사용된 메타카올린의 물리·화학적 특성은 Table 6과 같다.

4) 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 콘크리트 혼화재료 주로 사용되며, 수화반응이 늦게 일어나 조기강도가 문제가 되는 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 사용한 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 특성은 Table 7과 같다.

Table 4. Physical properties and chemical composition of fly ash

Type		Test
Physical Characteristics	Density(g/cm ³)	2.15
	C(%)	16.80
Chemical properties	Al ₂ O ₃ (%)	22.90
	CaO(%)	4.91
	Fe ₂ O ₃ (%)	1.84
	SiO ₂ (%)	41.50

Table 5. Physical properties and chemical composition of silica fume

Type		Test
Physical Characteristics	Fineness(cml/g)	263,000
	SiO ₂ (%)	92.5
Chemical properties	Al ₂ O ₃ (%)	1.68
	Fe ₂ O ₃ (%)	2.51
	CaO(%)	0.56
	lg.loss(%)	0.31

Table 6. Physical properties and chemical composition of meta kaolin

Type		Test
Physical Characteristics	Fineness (cm ² /g)	12,000
	SiO ₂ (%)	52.1
Chemical properties	Al ₂ O ₃ (%)	45.3
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.60
	CaO(%)	0.05
	TiO ₂ (%)	1.64
	Na ₂ O(%)	0.21
	P ₂ O ₅ (%)	0.10
	K ₂ O(%)	0.16

Table 7. Physical properties and chemical composition of ground granulated blast-furnace slag

Type		Test
Physical Characteristics	specific surface area (cm ² /g)	4,464
	SiO ₂ (%)	32.75
Chemical properties	Al ₂ O ₃ (%)	15.61
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.494
	CaO(%)	43.51
	MgO(%)	4.41
	SO ₃ (%)	3.59
	ignition loss, loss on ignition	0.01

2.4 배합 설계

본 연구의 배합 설계는 물-시멘트비 43%, 잔골재율 77.5%의 동일한 배합으로 진행하였다. 혼화재료의 혼입량은 Table 1에 나타낸바와 같으며, 모든 변수에서 목표 슬럼프를 같게 설정하였다. 배합은 혼합골재를 건비법 실시한 후 시멘트 추가 후 혼화재료를 투입하여 다시 건 배합을 실시하였다. 마지막으로 유동화제를 희석시킨 물을 혼입한 후 마지막 비빔을 수행하여 배합을 완료하였다. 혼화재료 미혼입의 기준배합, 플라이애시 10, 20, 30%, 실리카폼 5, 10, 15%, 메타카올린 5, 10, 15%, 고로슬래그 미분말 30, 40, 50%의 변수를 선정하였다. 배합표는 Table 8과 같다.

2.5 시험 방법

2.5.1 공기량 측정 방법

압축강도 및 내구성에 영향을 미치는 공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)에 준하여 시험을 실시하였다.

Table 8. Mixing properties of shotcrete

	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)						SP (%)			
			W	C	ADMIXTURE			S		G		
control	43	77.5	190	441	-				1326	376	1.1	
FA 10				397	44					1311	372	1.0
FA 20				353	88					1297	368	0.9
FA 30				309	132					1283	364	0.8
SF 5				419		22				1320	374	0.9
SF 10				397		44				1314	373	0.9
SF 15				375		66				1308	371	1.1
MK 5				419		22				1323	375	1.0
MK 10				397		44				1320	374	1.0
MK 15				375		66				1317	374	1.0
GGB FS 30				309					132	1315	373	0.8
GGB FS 40				265					176	1311	372	0.7
GGB FS 50				221					220	1308	371	0.6

2.5.2 슬럼프 측정 방법

굳지 않은 콘크리트의 유동성 측정방법의 일종인 슬럼프 시험은 KS F 2401(굳지 않은 콘크리트의 시료채취 방법)에 따라 시료를 채취하여 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)의 규정에 준하여 실시하였다.

2.5.3 압축강도 시험 방법

압축강도 시험은 ø100×200mm의 원주형 공시체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)규정에 따라 압축강도를 측정하였다. 재령 7일, 28일에 측정하였으며, 측정 장비로는 최대하중 100톤의 만능시험기(UTM)를 사용하였다.[4]

2.5.4 염소이온 침투저항성 시험

염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711에 의거하여 모든 조건이 만족하는 상태에서 수행되었다. 전원은 60±0.1V 정도로, 안정적인 직류전압이 공급될 수 있도록 하였다. 시험을 수행하는 동안 전해질 용액이 새지 않게 하기 위해 사용되는 방수제는 고무제품이고 무게는

20~40g 정도의 것으로 전극용기와 시편사이를 고정시켰다. 전극용기의 (-)전극에는 3.0%의 NaCl 용액을 채우고, (+) 전극쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채웠다. 이때 3% NaCl 용액은 물 900ml 에 NaCl 30g을 용해시킨 후 물을 가하여 1,000ml 의 용액을 만들고, 0.3N의 NaOH 는 물 1,000ml에 NaOH 12g을 용해시켜 제조하였다. 시험 시 용액의 초기온도는 20~25℃를 유지하도록 하였으며, 시험 중 용액의 온도는 90℃이하가 되도록 유지하였다. 시험 중 30분마다 0.2Ω에 걸리는 전압을 Data logger로 측정하여 기록하였다. 이때 전압은 0.1mV 까지 측정 가능해야 하고 ±0.1%의 정밀도를 갖는 장비를 사용하였다.[5]

2.5.5 염해저항성 시험

본 시험은 NT Build 492 “Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials : Chloride Migration Coefficient from Non-steady-state Migration Experiments”에 준하여 시험이 진행되었다. 본 시험에서는 Φ100×200mm의 원통형 시험편을 50±2mm 두께로 바깥쪽으로부터 10~20mm 두께정도로 축방향에 수직으로 잘라 시험편을 만들었다. 시험편 두께는 버니어캘리퍼스로 0.1mm 까지 측정하였으며, 사용되는 용액인 음극용액은 10% NaCl(물 900g, NaCl 100g, 약 2N)이고 양극용액은 0.3N NaOH(물 1liter, NaOH 12g)이며 20~25℃로 저장하였다. 음극액 저장소에 10% NaCl 용액을 채우고, 공시체에 고무관을 부착하고 조임쇠로 보호한 뒤 음극액 저장소에 있는 플라스틱 지지대 위에 놓는다. 공시체를 싸고 있는 관을 300mL의 양극용액(0.3N NaOH)으로 채우고 전원을 켜 후, 전압을 30V로 하고 공시체에 통하는 초기전류와 각 양극용액의 초기 온도를 기록하였다. 식 (1),(2)는 KCI에서 사용하는 산정식을 나타낸 것이다.

$$C_d = C_i + (C_0 - C_i) \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_p t}} \right) \right) \quad (1)$$

$$D_p = \frac{D_R}{1-m} \left[(1-m) + m \frac{t_c}{t} \right] \left(\frac{t_R}{t_c} \right)^m \quad (2)$$

Cd :콘크리트 깊이 x, 시간 t에서 염화물이온 농도

Ci : 초기염화물이온 농도

C0 : 콘크리트 표면염화물이온 농도

Gr : 기준 시간에서 염화물이온 확산계수

tR : 기준 시간(28일)

식 (3),(4)는 ACI의 산정식을 나타낸 것이다.

$$\frac{C}{C_0} = \operatorname{erfc} \left(\frac{(1-y)}{2\sqrt{r}} \right) \quad (3)$$

$$D(t) = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (4)$$

C0 : 콘크리트 표면염화물이온 농도

y : (L-x)/L

r : Dt/L²

t : 시간

x : 피복두께

L : 콘크리트 부재 두께

m : 재령지수

식 (5),(6)은 FIB에서의 산정식을 나타낸 것이다.

$$C_{crit} = C_0 + (C_{s,\Delta x} - C_0) \left[1 - \operatorname{erf} \frac{a - \Delta x}{2\sqrt{D_{app,C} t}} \right] \quad (5)$$

$$D_{app,C} = k_e D_{RCM,0} k_t A(t) \quad (6)$$

Ccrit : 임계염화물이온 농도

C0 : 초기염화물이온 농도

Cs,Δx : 깊이 Δx에서의 염화물이온 농도

DappC : 염화물 확산계수

Δx : 대류층 깊이(mm)

t0 : 기준재령(91일)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기량 및 슬럼프

컨트롤 배합 변수에서는 유동화제를 1.1% 혼입하여 진행하였으며, 플라이애시를 사용한 변수에서는 10, 20, 30% 변수와 실리카폼과 메타카올린 배합은 5, 10, 15% 변수에 각각의 목표슬럼프를 얻기 위한 차등을 두어 유동화제 혼입량을 결정하였다. 고로슬래그 미분말 변수 또한 30, 40, 50%에 따른 유동화제의 혼입량에 차등을 두어 대부분의 배합이 목표 슬럼프 100±20mm와 목표 공기량 기준에 맞게 결과가 나왔으나, 실리카폼 혼입 시 점성의 증가로 인한 슬럼프의 감소가 나타났다. Fig 2는 공기량 및 슬럼프 결과를 그래프로 보여주는 것이다.

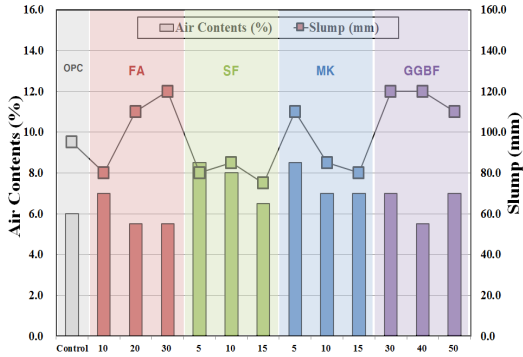


Fig. 2. Air content test and Slump test results

3.2 압축강도

광물성 혼화재 혼입율에 따른 압축강도 시험은 변수 별로 각각 재령 7일과 28일에 측정되었다. 압축강도 측정결과는 Fig 3에 나타내었다. 압축강도 시험 결과 실리카폼과 메타카올린은 혼입율이 증가할수록 강도의 증진이 일어나는 것으로 나타났으며, 플라이애시와 고로슬래그 미분말의 경우 혼입율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다. 실리카폼 15% 혼입 변수의 재령 28일 압축강도가 가장 우수한 것으로 나타났으며, 플라이애시 30% 혼입 변수의 압축강도가 가장 낮은 것으로 나타나 컨트롤 배합과 별다른 강도차이를 보이지 않았다. 결과적으로 압축강도에서 실리카폼이 가장 뛰어난 혼화재료로 판단된다.

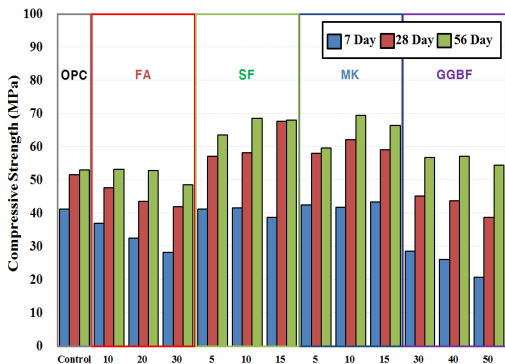


Fig. 3. Compressive strength test results

3.3 염소이온 침투저항성

재령 28일 시험편으로 염소이온 침투저항성 시험을 진행하였다. 실험결과 플라이애시를 제외한 모든 혼화재

료 투입변수에서 혼입율이 증가할수록 염소이온 침투저항성이 증가하는 경향을 보였으며, 플라이애시는 컨트롤 변수와 비슷한 결과를 나타냈다. 침투저항성 또한 실리카폼 변수가 가장 높은 저항성을 갖는 것으로 나타났다. Fig 4는 염소이온 침투저항성 시험 결과를 나타낸 그래프이다. 실리카폼 15% 혼입 변수가 2,512 Coulombs로 측정되어 “보통” 등급으로 가장 높은 침투저항성을 갖는 것으로 나타났다. 컨트롤 배합은 13,980 Coulombs으로 “높음” 등급을 보였으며, 플라이애시 10% 혼입 변수에서 가장 높은 15,955 Coulombs으로 “높음” 등급으로 나타났다. 메타카올린이나 고로슬래그 미분말 변수 또한 실리카폼 변수와 비슷한 경향을 보였지만, 침투 저항성 증가에는 실리카폼이 가장 효율적인 광물성 혼화재료로 판단된다.

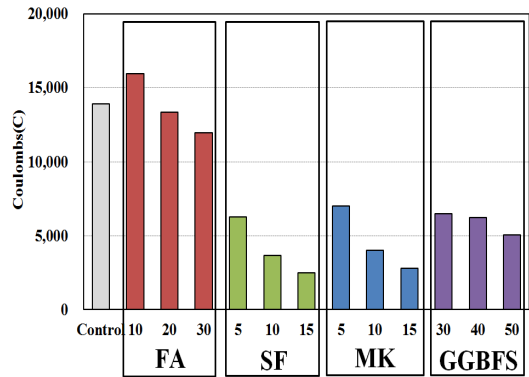


Fig. 4. Rapid chloride ion permeability test results

3.4 염해저항성

본 시험에서는 콘크리트 촉진 염화물 침투 확산 시험은 NT Build 492에 준하여 진행하였다. 내구수명 평가 시 초기 염화물 이온농도는 0kg/m³으로 적용하였으며, 표면염화물이온농도는 KCI에서 제안하고 있는 동해 해안선 안쪽 100mm로 적용하였다. 국내 규정에서 재령 지수를 플라이애시와 슬래그에 대한 보정값만 존재 하여 재령지수에 대한 보정은 하지 않았다. 임계 염화물이온 농도는 바인더량의 0.4%로 국내에서 규정하고 있는 값을 적용하였다. 피복두께는 흠에 접하거나 옥외 공기에 직접 노출되는 콘크리트를 50mm 규정되어 사용하였다. Table 9는 각 규정에 따른 입력 변수를 나타내고 있다. 기준 배합 결과 확산계수는 11.403× 10⁻¹²m²/sec으로 측정되었으며, 염화물 확산 깊이는 25.36mm로 측정되

었다. 내구수명은 규정에 따라 조금씩 차이가 있으며 18 ~30년으로 평가되었다. 플라이애시의 혼입은 염해저항성 성능 향상에 큰 영향을 미치지 않아 염해저항성 성능에 대해서는 뛰어나지 않은 혼화재료로 나타났다. 플라이애시 배합에서 혼입율이 증가 할수록 확산계수의 값은 증가하고 이에 따라 내구수명은 낮게 평가 되었다.

실리카폼의 혼입률에 따라 내구수명은 크게 증가 되었으며, 혼입량이 증가함에 따라 저항능력이 향상 되는 경향이 있다. 확산 계수 역시 기본배합에 비해 크게 감소 하였으며, 혼입량에 따라 $4.007 \times 10^{-12} \sim 7.063 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 측정되었다. 염화물 침투 깊이 또한 기본변수보다 감소하였으며, 18.08 ~21.03mm로 측정되었다. 내구수명은 혼입량이 증가함에 따라 증가 하는 경향을 보이고 있으며, 규정에 따라 다소 차이가 있다. 실리카폼 15% 변수에서 FIB 규정에서 121년으로 가장 높게 평가 되었다.

메타카올린 혼입은 실리카폼과 염화물 확산 계수가 비슷하여 플라이애시 보다는 염화물 확산 계수가 크게 감소함을 알 수 있었다. 모든 변수 중 MK 15%에서 가장 낮은 확산계수를 얻을 수 있었으며, 혼입량이 증가함에 따라 감소하는 경향으로 나타났다. 확산계수는 $4.265 \times 10^{-12} \sim 8.466 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 측정되었으며, 염화물 침투 깊이는 15.71 ~18.78mm로 감소하는 경향을 보이고 있다.

고로슬래그 미분말이라는 광물성 혼화재료는 다른 광물성 혼화재료보다 염해에 대한 저항이 가장 뛰어나다는 것을 확인 할 수 있다. 확산계수는 기본배합에 비해 크게 감소하였고, 혼입량에 따라 $5.205 \times 10^{-12} \sim 6.731 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 측정되었다. 염화물 침투 깊이 또한 감소하였으며, 13.50 ~20.20mm로 측정되었다.

Fig 5는 각 변수의 확산계수를 나타낸 그래프이며 Fig 6는 각 변수의 내구수명 결과를 그래프로 나타낸 결과이다.

Table 9. Parameters for Each Code

parameters					
Designation	C_i (kg/m^3)	C_0 (kg/m^3)	C_{lim} (kg/m^3)	m	x (mm)
KCI	0	4.5	0.004C	0.2	50
ACI	0				
FIB	0				

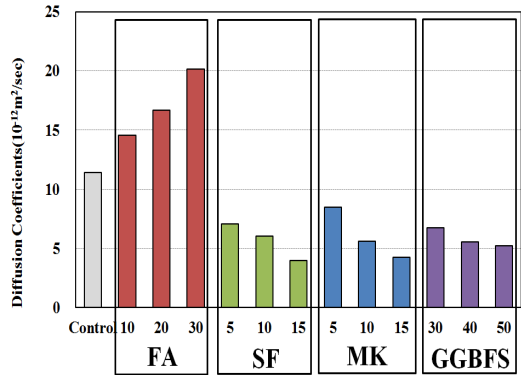


Fig. 5. Diffusion Coefficients test results

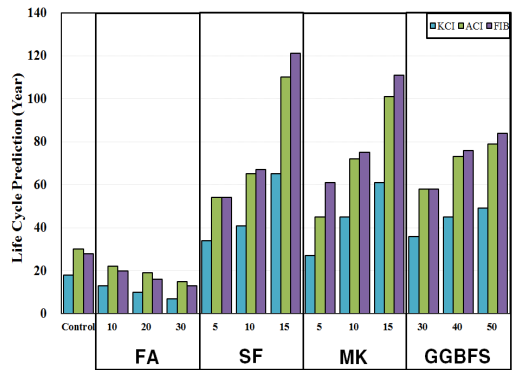


Fig. 6. Life Cycle Prediction test results

4. 결론

본 논문에서는 슛크리트 해양 구조물의 내구성 개선을 위해 부순 모래 및 굵은 골재 최재치수 10mm의 혼합 골재를 제작하였으며, 광물성 혼화재료를 혼입한 슛크리트의 염해 저항성 및 역학적 특성을 분석하였다.

- 1) 광물성 혼화재료 사용 시 대부분의 혼화재가 혼입율이 증가함에 따라 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났으며, 실리카폼 15% 혼입 변수가 재령 28일 압축강도가 67.55MPa로 가장 우수하였다.
- 2) 염소이온 투과 저항성 시험에서 컨트롤 배합은 “높음” 등급으로 나타났으며, 모든 광물성 혼화재 혼입 변수에서 혼입율이 증가함에 따라 염소이온 투과 저항성이 증진되었다. 하지만 플라이애시 혼입 변수에서는 “높음”등급으로 나타나 플라이애시 혼입에 따른 염소이온 투과 저항성의 증진효과

는 미미한 것으로 나타났다.

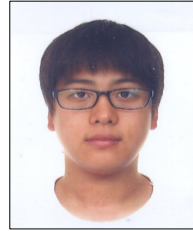
- 3) 축진 염화물 확산 침투시험을 통한 내구수명 평가에 있어서 국내 콘크리트표준시방서를 포함하여, 유럽과 미국의 코드를 통해 이루어졌다. 각 코드는 기본적인 산출 방법은 비슷한 형태를 이루고 있으나, 코드에 따라 약간의 특징을 보이고 있었다.
- 4) 실리카폼 15%를 혼입합 배합에서 축진 염화물 확산 침투시험 결과 가장 낮은 확산계수를 얻을 수 있었으며 KCI 기준으로 약65년의 내구수명을 갖는 것으로 평가 되었다. 하지만 KCI, ACI, FIB 등 각각의 규정에 따른 내구수명의 차이가 크며, 내구수명은 FIB 131 년으로 가장 높게 평가 되며, KCI 에서 가장 낮게 평가되었다. 모든 변수가 KCI규정 보다 FIB규정에서 높은 내구수명을 보여준다.
- 5) 본 실험에서는 초기재령 성능을 향상시키는 실리카폼, 메타카올린과 장기재령 성능을 향상시키는 플라이애시, 고로슬래그 미분말을 동시에 사용하였으나. 일반적인 재령인 28일에 성능시험을 실시하여 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 특성에 대한 반응이 미흡한 것으로 판단된다.
- 6) 따라서, 동일변수에 대한 재령 56일, 90일 등의 장기성능에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Hyo Jae, Hwang, "Evaluation of Chloride Attack Resistibility of Concrete Damaged Due to Freezing-Thawing", 1p Graduate School, Dong Eui University, 2010
- [2] Young Do, Eum, "Shotcrete Salt Damage Resistance according to Types and Supplement ratios of Mineral Admixture", Graduate School, Kangwon National University, 1p, 2013
- [3] KS F 2577, "Materials for shotcrete", KS Standard, 2002
- [4] KS F 2405, "Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete", KS Standard, 2010
- [5] KS F 2711, "Testing method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration", KS Standard, 2002
- [6] NT Build 492, "Concrete, Mortar and Cement-Based repair materials, ; Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments", Nordtest, 1999

한 승 연(Seung-Yeon Han)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2014년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 슛크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

윤 경 구(Kyong-Ku Yun)

[정회원]



- 1992년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학석사
- 1995년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학박사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목, 슛크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

남 궁 경(Kyeong Nam-Gung)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 슛크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

이 겨 레(Kyeo-Re Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2013년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

엄 영 도(Young-Do Eum)

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2013년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 대상이앤씨 (대리)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장