

4성분계 콘크리트의 염해 저항성능에 관한 연구

이동운¹, 박현정^{2*}

¹동서대학교 건축토목공학부, ²신라대학교 건축학부

A Study on Chloride Attack Resistibility of Quaternary Concrete

Dong-Un Lee¹ and Hyun-Jung Park^{2*}

¹Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

²Division of Architecture, Silla University

요약 본 연구의 목적은 플라이 애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흄을 사용하여 4성분계 콘크리트의 염해 저항성능을 평가하기 위한 것이다. 본 연구에서는 압축강도, 탄성계수, 염수침지 시험, 염화물 확산계수 및 침투계수를 실시하였다. 4성분계 콘크리트의 염화물 확산계수와 침투계수는 재령 17주에 $0.032 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 와 650 coulomb으로 측정되었다. 또한 침지시험 결과 염화물 이온 침투깊이와 염화물량은 3.7 mm and 10.211 kg/m³로 측정 되었다. 이러한 결과로부터 플라이 애시, 고로슬래그 미분말, 실리카흄을 사용하여 제조한 4성분계 콘크리트는 염해 저항성능과 역학적특성이 매우 높을 것을 알 수 있었다.

Abstract The purpose of this study is to estimate Chloride Attack Resistibility and mechanical properties of quaternary concrete adding fly ash, blast-furnace slag, and silica fume. Compressive strength, modulus of elasticity, chloride migration coefficient, charge passed from Rapid chloride penetration test(RCPT), and immersion testing in 3% NaCl are tested. Chloride migration coefficient and charge passed of quaternary concrete measured $0.032 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ and 650 coulomb at 17 weeks, which are in a permitted limit. Also in immersion test, depth of chloride penetration and maximum chloride ion of quaternary concrete measured 3.7 mm and 10.211 kg/m³ respectively. From the results, quaternary concrete adding fly ash, blast-furnace slag, and silica fume denotes improvement of mechanical properties and chloride attack resistibility.

Key Words : Chloride Attack Resistibility, Chloride migration coefficient, Mechanical properties, Quaternary concrete, RCPT

1. 서론

콘크리트는 우수한 역학적 특성 및 내구성능으로 인하여 건설재료 중에서 가장 널리 사용되고 있으며 사용량은 매년 증가하고 있다. 그러나 토양, 지하수 및 해수환경에 영향을 직접적으로 받는 콘크리트 구조물은 염해, 동결융해, 탄산화, 황산염이온 등에 의하여 내구성능이 저하될 가능성이 있고 장기간 노출될 경우에 내구수명이 저하되는 문제점을 가지고 있다[1].

특히 부산지역과 같이 해안에 위치한 도시의 경우 건

축물이 축조됨과 동시에 외부 콘크리트가 염해환경에 직간접적으로 노출되게 된다. 이러한 콘크리트는 시공 후 해양환경 및 공단지역 등에서 발생하는 염분은 콘크리트 안으로 침투됨으로써 아노드·캐소드 반응을 통하여 콘크리트 속에 있는 철근을 부식 시키게 된다. 부식된 철근은 2.5배 이상의 체적 팽창을 일으켜 콘크리트의 균열이 발생함으로써 결과적으로 구조물의 내구성능을 저하시키게 된다[2].

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 플라이 애시, 고로슬래그, 실리카 흄과 같은 포졸란 재료를 혼합하

*Corresponding Author : Hyun-Jung Park(Silla Univ.)

Tel: +82-51-999-5724 email: phj@silla.ac.kr

Received September 30, 2013

Revised (1st November 25, 2013, 2nd November 28, 2013, 3rd December 9, 2013)

Accepted January 9, 2014

여 장기적으로 콘크리트의 내부 구조를 치밀하게 만들어 외부로부터의 염분 침투를 막아 콘크리트의 내구성을 향상시키는 방법이 있다[3].

그러나 앞서 언급한 포졸란 재료 중 하나 또는 두 가지를 함유한 2성분계나 3성분계 콘크리트의 내구성 관련 연구는 활발히 일어나고 있지만 최근에는 재료를 보다 효과적으로 혼합하여 보다 경제적이면서 우수한 내구성을 기대할 수 있는 4성분계 콘크리트에 관한 연구에 대해서는 미비한 실정이다[4]. 특히 4성분계 콘크리트의 경우 각각의 산업부산물에 의하여 시멘트 사용량이 감소함에 따라 수화열 발생을 저감시킬 수 있는 장점이 있지만, 수화열저감 이외의 내구성능에 대해서는 연구가 미비한 실정이기 때문에 4성분계를 사용한 콘크리트에 대한 내구성능을 규명할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 포졸란재료들의 혼입에 의한 장점을 극대화시키기 위해 4성분계 배합을 적용하여 콘크리트의 내염해저항성을 규명해 보고자 한다.

이에 본 연구에서는 4성분계 콘크리트의 역학적 특성을 확인한 후, 염화물 확산계수와 급속염화물 침투계수, 염수침지실험을 실시하여 4성분계 콘크리트의 염해 저항성능에 대하여 평가하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 배합설계 및 평가항목

본 연구에서는 Plain, 3성분계 콘크리트 및 4성분계 콘크리트의 재령별 압축강도와 탄성계수를 측정하고 후 비교·평가 하였다. 물결합재비를 34.4%로 고정하였으며, 예비 실험을 통하여 목표 공기량(3.5±1.5%)과 슬럼프 플로(650±50mm)를 만족하기 위해 고성능 감수제의 혼입율을 결정하였다. 그리고 4성분계 콘크리트의 염화물에 의한 철근부식 저항성을 평가하기 위하여 각 재령별 급속 염화물이온 침투시험, 염화물 확산계수, 염수침지시험 등을 통하여 내염해성 평가를 실시하였다.

기본적인 배합설계는 결합재양을 동일하게 한 후 시멘트만 사용한 Plain배합, 고로슬래그 미분말과 플라이 애시를 혼입한 3성분계 배합, 고로슬래그 미분말과 플라이 애시 및 실리카 흙을 혼입한 4성분계 배합을 설정하였다.

4성분계 결합재의 경우 현재 현장에서 수화열 저감을 위해 사용되고 있는 배합을 바탕으로 각각의 혼화재의 치환율을 시멘트 대비 중량으로 치환하여 고로슬래그 미분말 25%, 플라이 애시 10% 그리고 실리카 흙 5%를 치환하여 4성분계 결합재를 사용하여 콘크리트를 제작하였다.

그리고 3성분계 결합재의 경우 실리카 흙을 제외하고 배합설계를 실시하였으며 각각의 혼화재의 치환율은 시멘트 대비 중량으로 치환하여 고로슬래그 미분말 25%, 플라이 애시 10%를 치환하여 3성분계 결합재를 사용하여 콘크리트를 제작하였다.

본 연구를 위한 평가항목은 Table 1과 같으며 실험에 사용된 배합설계는 Table 2와 같다.

[Table 1] Experiment Assessment

Assessment	
Compressive strength Modulus of elasticity (Day)	7, 28, 56, 91
Rapid chloride penetration test (Week)	1, 2, 4, 8, 13 after 28 day
Chloride migration coefficient (Week)	
Immersion testing in 3% NaCl (Week)	

[Table 2] Mixing Design

Type	Specific Weight(kg/m ³)							Admixture (%)
	Water	Cement	Gr ound Granulated Blast Furnace Slag	Fly Ash	Silica Fume	Sand	Gravel	
Plain	155	450	-	-	-	935	797	1.35
3B	155	292.5	112.5	45	-	922	785	
4B	155	270	112.5	45	22.5	918	782	

2.2 실험재료

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 S사에서 제조된 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 시멘트의 화학적 성분과 물리적 성질은 아래의 Table 3에 자세히 나타내었다.

[Table 3] Chemical and Physical composition of Cement

Type		Type I Portland Cement			
Fineness(cm ² /g)		3,266			
Density(cm ³ /g)		3.15			
Chemical composition (%)	SiO ₂	20.71	Compound composition (%)	C ₃ S	48.20
	Al ₂ O ₃	5.56		C ₂ S	23.00
	Fe ₂ O ₃	3.03		C ₃ A	9.60
	CaO	62.25			
	MgO	3.40			
	SO ₃	2.50			
	L.O.I	1.42		C ₄ AF	9.20

2.2.2 골재

굵은골재는 20mm 이하의 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 5mm 이하의 강모래를 사용하였으며, 입도는 굵은골재와 잔골재 모두 표준입도분포곡선 안에 들도록 조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 Table 4에 나타났다.

[Table 4] Chemical and Physical composition of aggregate

Type	Coarse Aggregate	Fine Aggregate
Maximum size of aggregate (mm)	20	5
Fineness Modulus	6.8	2.85
Specific Gravity (g/cm ³)	2.57	2.57
Absorption(%)	1.32	2.33
Bulk Density of Aggregate (kg/m ³)	1,700	1,750

2.2.3 혼화재료

본 연구에서는 국내에서 생산된 3종 고로슬래그 미분말과 2종 플라이애시를 사용하였다. 그리고 실리카흄은 노르웨이에서 제작된 응축 실리카흄을 사용하였으며, 각각의 물리·화학적 특성은 Table 5와 같다.

[Table 5] Chemical composition of Mineral Admixture

Composition (%)	Ground Granulated Blast Furnace Slag	Fly Ash	Silica Fume
SiO ₂	34.29	61.20	92.01
CaO	42.41	1.82	0.60
Al ₂ O ₃	13.19	24.92	2.00
Fe ₂ O ₃	0.59	4.63	2.00
MgO	4.11	0.62	0.60
SO ₃	3.17	-	-
K ₂ O	0.31	0.96	-
Density(cm ² /g)	2.90	2.15	2.20
Fineness(cm ² /g)	4,847	6,192	200,000

2.3 실험방법

2.3.1 압축강도

경화된 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여 압축강도는 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법” 규정에 따라 측정하였다.

2.3.2 탄성계수

경화된 콘크리트의 탄성계수는 KS F 2438 “콘크리트 원주 공시체의 정탄성 계수 및 포아송비 시험 방법”의 규정에 따라 측정하였다.

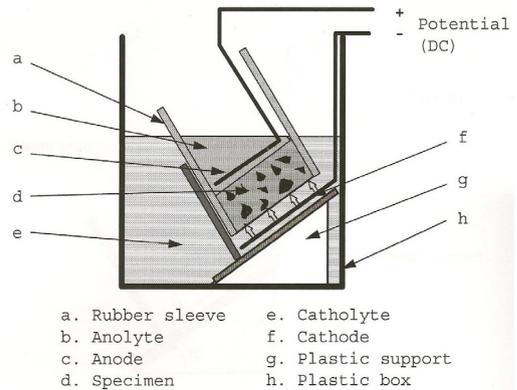
2.3.3 급속염화물이온 침투성 시험

급속염화물이온 침투성 시험은 KS F 2711 “전기 전도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험 방법”에 준하여 실시하였다.

2.3.4 염화물 확산계수

염화물 확산시험은 Fig. 1과 같이 유럽의 시험규준인 NT BUILD 492에 준하여 실시하였다. 염화물확산계수 시험은 콘크리트 시험체를 28일과 56일간 수증양생한 후, 각 재령에서 공시체의 일정부위를 50mm두께로 절단하여 제작한다.

양극액으로 수산화나트륨(NaOH), 음극액으로 염화나트륨(NaCl)을 사용하여 강제적으로 전류의 흐름을 통해 시편에 염화물을 주입하는 방법이다. 그리고 절단한 시편을 할열 파괴하여 10mm간격으로 양측부위를 제외한 7개 점을 측정한다.



[Fig. 1] Chloride Ion Migration Accelerated Test Device

2.3.5 염수 침지 시험

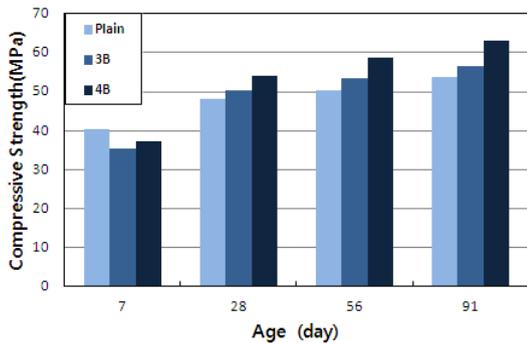
염수침지시험은 KS F 2737 “지시약에 의한 콘크리트의 염화물 침투깊이 측정방법”에 따라 실시하였다.

3. 실험결과

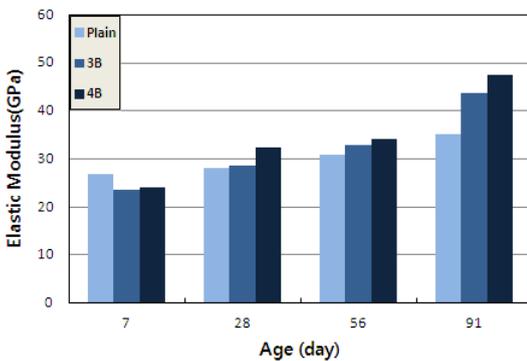
3.1 역학적 특성

콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여 압축강도

와 탄성계수를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다.



[Fig. 2] Compressive strength test result



[Fig. 3] Modulus of elasticity test result

재령 7일의 경우 Plain의 압축강도가 가장 높게 나타났으며 4성분계 콘크리트와 3성분계 콘크리트순으로 압축강도가 높게 나타났다.

특히 4성분계 콘크리트의 압축강도는 37.30MPa로 Plain보다는 낮게 나타났지만 3성분계 콘크리트 보다는 높게 나타났으며, 초기의 강도저하 현상도 크게 발생하지 않았다.

Plain의 경우 초기강도가 가장 높게 나타난 이유는 시멘트량이 450kg이기 때문에 배합수와의 수화반응이 활발히 일어난 것으로 판단된다.

4성분계 콘크리트의 경우 단위시멘트량이 3성분계 콘크리트보다 적음에도 불구하고 압축강도가 높게 나타난 이유는 초기에 실리카흄과 수산화 칼슘과의 포졸란 반응이 일어났기 때문으로 사료된다. 일반적으로 고로슬래그 미분말이나 플라이 애시의 경우 재령 14일 이후부터 잠재수경성 반응이나 포졸란 반응을 일으키게 되는데 실리카 흄을 일부 치환함으로써 다른 혼화재들보다 초기에 포졸

란반응이 먼저 일어나 이러한 결과가 나타난 것으로 사료된다. 따라서 초기에 반응성이 높은 혼화재료를 사용한 다면 단위시멘트량이 적어져도 강도 저하는 크게 일어나지 않을 것으로 예상된다.

그리고 재령 28일 이후에는 4성분계 콘크리트가 Plain이나 3성분계 콘크리트보다 높은 압축강도 발현이 일어난 것을 알 수 있는데 이는 고로슬래그 미분말과 플라이 애시의 잠재수경성 반응과 포졸란 반응이 재령이 지날수록 활발히 일어났기 때문으로 판단된다.

또한 재령이 장기화 되면서 3성분계 콘크리트의 강도 증진 현상보다 4성분계 콘크리트의 강도증진 현상이 크게 나타나 3종류의 혼화재료를 사용하였을 때 2종류의 혼화재료를 사용한 것보다 시너지 효과가 더 클 것으로 사료된다.

탄성계수의 경우 재령 7일, 28일, 56일, 91일에서 4성분계 콘크리트의 경우 24.01GPa, 32.33GPa, 34.11GPa, 47.62GPa로 측정되었으며 압축강도 결과값과 동일한 경향을 나타낸 것을 알 수 있다.

재령 28일을 기준으로 한국콘크리트학회 구조설계기준값인 29.57GPa와 ACI-363R 기준값인 27.36GPa를 비교하였을 때 실제 측정된 탄성계수는 32.33GPa로 나타나 상기기준과 비교하여 20%이상의 높은 탄성계수를 나타내어 4성분계 콘크리트의 탄성계수가 매우 양호한 값을 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 그리고 재령이 지날수록 압축강도와 탄성계수의 값은 증진되는 것으로 나타났다.

이는 앞선 압축강도 결과분석과 같이 고로슬래그의 잠재수경성 반응과 플라이애시, 실리카흄의 포졸란 반응으로 인하여 콘크리트의 내부구조가 재령의 증가와 더불어 더욱 밀실해진 결과로 판단된다.

3.2 내염해성 평가

3.2.1 급속염화물이온 침투실험 결과

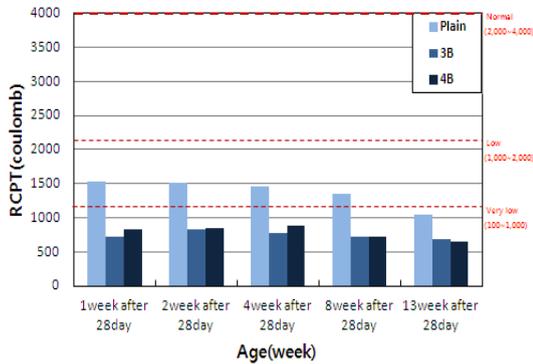
급속염화물이온 침투시험을 실시한 결과 Plain을 제외하고 3성분계 및 4성분계 콘크리트의 경우 재령에 관계없이 650 coulomb이하의 통과전하량이 측정되었으며 재령이 지날수록 통과전하량은 더 낮게 측정된 것을 알 수 있었다.

Plain의 경우 Table 6의 값을 참고하였을 때 통과전하량이 1000 coulomb이상이기 때문에 염소이온 침투성이 낮은 것으로 측정되었지만 타시편에 비하여 높은 침투성을 나타낸 것을 알 수 있다.

그러나 4성분계 콘크리트의 경우 56일까지의 재령에서 3성분계 콘크리트 보다 다소 높은 coulomb값을 나타내었으나 그 이후에는 더 낮은 통과전하량을 나타냈다.

따라서 통과전하량이 1000 coulomb이하일 경우 염소이온 침투성은 매우 낮은 것으로 판단하기 때문에 급속염화물 이온 침투에 대한 저항성은 높을 것으로 판단된다.

특히 장기재령으로 갈수록 통과전하량이 낮게 측정되는 이유는 고로슬래그 미분말과 플라이 애시 및 실리카흙이 지속적으로 반응함에 따라 강도증진현상과 더불어 내부가 타 시편에 비하여 더욱더 치밀해졌기 때문에 외부인자가 침투하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.



[Fig. 4] Rapid chloride penetration test result

[Table 6] Chloride ion permeability based on charge

The pass charge quantity (C)	Chloride ion permeability
>4000	High
2000~4000	Normal
1000~2000	Low
100~1000	Very low
<100	Ignore

3.2.1 염화물확산계수 측정결과

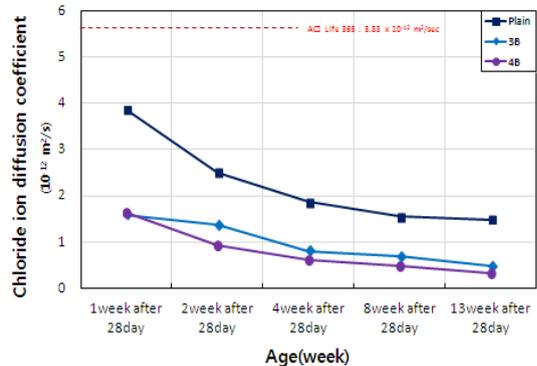
ACI Life-365 Model "Service Life Prediction Model for Reinforced Concrete Exposed to Chlorides"에서는 염화물확산계수를 이용하여 염화물이온의 침투 특성에 대한 안정성을 평가하는 기준을 제시하고 있다.

ACI Life-365 Model을 이용하여 콘크리트 배합과정에서 사용되는 인자들을 입력하면 염화물 확산계수를 예측하여 나타낸다. 본 실험에서는 재령일 28일을 기준으로 하고 물-결합재비를 34.4%, 고로슬래그시멘트의 사용과 광물성 혼화재료를 사용하지 않는 조건으로 모델링한 결과 $5.83 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 의 염화물확산계수를 얻을 수 있었다.

상기의 ACI Life-365 Model을 바탕으로 실제 실험을 통하여 염화물확산계수 측정값이 $5.83 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 이하가

된다면 염화물이온 침투 저항성이 안정적이라는 것이다.

본 실험에서 측정된 4성분계 콘크리트의 재령 28일의 염화물확산계수가 $1.633 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 나타나 ACI Life-365 Model을 이용하여 제시된 값보다 현격히 낮은 값을 보였다. 또한 Plain과 3성분계 콘크리트와도 비교하였을 때 4성분계 콘크리트가 더 낮은 값을 나타낸 것을 알 수 있다. 이는 앞서 급속염화물 침투시험과 마찬가지로 3종류의 혼화재들의 상호 작용으로 인하여 내염해성 증진에 도움이 된 것으로 판단된다.



[Fig. 5] Chloride ion diffusion coefficient

3.2.3 염수침지 시험 측정결과

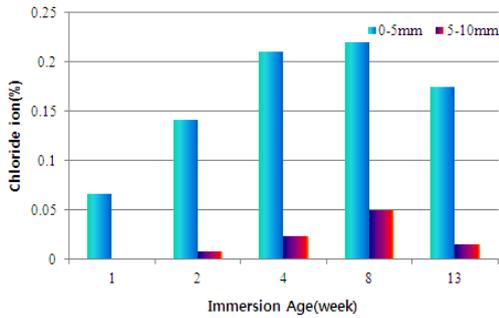
염수침지 시험은 KS F 2737"지시약에 의한 콘크리트의 염화물 침투깊이 측정방법"에 따라 콘크리트 시편을 28일간 수증양생한 이후 염수에 침지하였다. 침지한 시편들은 1주, 2주 4주, 8주, 13주에 일정 크기 만큼 절단한 후 질산은 용액을 절단면에 분무하여 변색된 부분이 안정화되면 침투깊이를 측정하였다.

Table 7,8 및 Fig. 6,7은 4성분계 콘크리트의 염수침지 시험 결과로서, 재령이 증가될수록 염화물 침투깊이 및 염화물 이온량의 값은 증가하였으나 유사배합 및 기존의 연구결과[5]와 비교하였을때 2배 정도 낮은 값을 나타내어 외부로부터의 염화물이온 침투 저항성이 높음을 확인할 수 있었다.

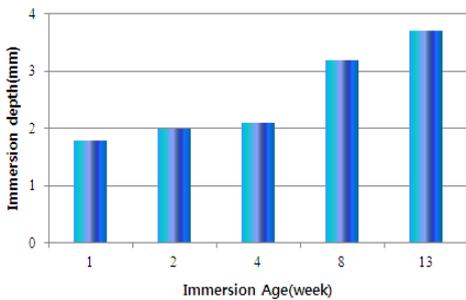
[Table 7] Immersion testing in 3% NaCl result - Chloride amount (%)

(Unit : %)

Immersion time (week)	1	2	4	8	13
0-5mm	0.0664	0.1410	0.2104	0.2199	0.1748
5-10mm	0.0035	0.0083	0.0233	0.0496	0.0151



[Fig. 6] Immersion testing in 3% NaCl result - Chloride amount (%)



[Fig. 7] Immersion testing in 3% NaCl result - Penetration depth (mm)

[Table 8] Immersion testing in 3% NaCl result - Penetration depth (mm)

(Unit : mm)					
Immersion time (week)	1	2	4	8	13
Immersion depth (mm)	1.8	2.0	2.1	3.2	3.7

4. 결론

본 연구는 4성분계 콘크리트의 염화물에 대한 철근부식 저항성을 평가하기 위한 연구로 4성분계 콘크리트의 역학적 특성을 확인한 후, 염화물 확산계수와 급속염화물 침투계수, 염수침지실험을 실시하여 내염해성능을 알아보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축강도 측정결과 실리카흙의 반응으로 재령 7일에서 37.30MPa로 매우 높은 압축강도를 나타내었으며, 재령 28일 이후에도 꾸준한 강도 증진을 보였는데 이는 초기에는 실리카흙의 포졸란 반응에 의

한 영향이며, 증기재령 이후로는 고로슬래그 미분말과 플라이 애시의 잠재수경성 반응과 포졸란 반응이 일어나면서 Plain이나 3성분계 콘크리트에 비하여 밀실한 구조가 된 것으로 판단된다.

2. 4성분계 콘크리트의 탄성계수의 경우 재령 28일을 기준으로 32.33GPa로 나타나 한국콘크리트학회 구조설계기준값인 29.57GPa와 ACI-363R 기준값인 27.36GPa를 비교하였을 때 20%이상의 높은 탄성계수를 나타내어 4성분계 콘크리트의 탄성계수가 매우 양호한 값을 나타낸 것을 확인할 수 있었다.
3. 4성분계 콘크리트의 내염해성 평가 결과 염소이온 침투성은 1,000 coulomb 이하로 나타나 매우 낮음으로 측정되었고, 염화물확산계수는 ACI Life-365 모델의 해석값의 약 64%정도 수준으로 측정되었다. 또한 재령이 지남에 따라 이러한 저항성이 더욱 증가한 것을 확인할 수 있었다.
4. 염수침지시험에서는 4성분계 콘크리트의 경우 재령이 증가될수록 염화물 침투깊이 및 염화물 이온량의 값은 증가하였으나 2성분계나 3성분계로 동일한 배합설계를 실시한 결과값과 비교하였을때 2배 정도 낮은 값을 나타내어 외부로부터의 염화물이온 침투 저항성이 높음을 확인할 수 있었다.

향후 4성분계 콘크리트에 관한 연구로는 사용되는 혼화재료의 적절한 배합비율의 경우 수화열 저감을 하기 위한 연구가 따른 압축강도 및 내구특성을 알아낸다면 보다 효율적인 재료의 사용과 더불어 경제적인 4성분계 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 예상된다.

References

- [1] Brown, P. W. and Doerr, A., "Chemical Changes in Concrete Due to the Ingress of Chemical Species," Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.411~418.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00266-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00266-5)
- [2] O. S. B. Al-Amoudi, M. Maslehuddin. The Effect of Chloride and Sulfate Ion on Reinforcement Corrosion. Cement and Concrete Research. 1993 Jan;23(1):139-146.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90144-X](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(93)90144-X)
- [3] ACI Committee 222. Corrosion of Metal in Concrete. ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. 2012.
- [4] M.D.A Thomas, "Use of ternary cementitious systems containing silica fume and fly ash in concrete", Cement and Concrete Research 29, 1999, pp.1207~1214

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00096-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00096-4)

- [5] Jong-Man Shin, A Study on the Chloride Ion Migration Coefficient of Concrete by Using Rapid Chloride Penetration Test, Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Dong Eui University, 2010
- [6] M. P. Luxan, F. Madruga, J. Saavedra, Rapid Evaluation Pozzolanic Activity of Natural Products by Conductivity Measurement. Cement and Concrete Research. 1989 Jan;19(1):63-68.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(89\)90066-5](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(89)90066-5)
- [7] Kim YS, Lee DW. A Study on the Steel Corrosion Properties of the Concrete Containing Wasted Tile Powder. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2010 Jan;26(1):105-8.
- [8] W. A. Rasheeduzzafar, "Sulfate Resistance and Chloride Penetration Characteristics of High-Strength Concrete", SP-149, ACI, Detroit, 1994, pp.123~129.
-

이 동 윤(Dong-Un Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 1월 : (주) 본구조 엔지니어링 이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공

박 현 정(Hyun-Jung Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 5월 ~ 2003년 2월 : (주) 유진구조
- 2003년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 건축학부 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공