

활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Resistance of Chloride Infiltration of Concrete Using Activated Hwangtoh Admixture

이강우^{*} 장중호^{*} 최희용^{**} 구자술^{***} 황혜주^{****} 김무한^{*****}
Lee, Kang Woo Jang, Jong Ho Choi, Hee Yong Goo Ja Sul Hwang Hey Zoo Kim, Moo Han

ABSTRACT

The Salt attack is one of the primary factors that cause the deterioration of durability in steel reinforced concrete structure. And to depreciate the deterioration from the Salt attack in concrete structure, pozzolanic materials are used widely in recent years.

In this study, experiments about the resistance of chloride infiltration of concrete according to the replacement ratios of Activated Hwangtoh and various pozzolanic materials(silica fume, fly ash, blast furnace slag and non Activated/Activated Hwangtoh) are performed and the results of this study were shown as follows:

1) As the replacement ratios of Activated Hwangtoh were getting higher, the strength of concrete was increased and in case of various pozzolanic materials, strength of Activated Hwangtoh in specimen was better than that of fly ash, blast furnace slag and non Activated Hwangtoh.

2) As the replacement ratios of Activated Hwangtoh were getting higher, the resistance of chloride infiltration of concrete was increased and in case of various pozzolanic materials, silica fume is better than any other pozzolanic materials and Activated Hwangtoh was better than that of fly ash, blast furnace slag and non Activated Hwangtoh.

1. 서론

콘크리트 구조물은 연속된 모세공극을 갖는 다공질 재료인 콘크리트와 얇은 부동태 피막(두께 20~60Å인 γ -Fe₂O₃·nH₂O)을 갖는 강재로 이루어져 설계·시공된 후 염해, 중성화, 동해, 화학적 침식 등 수많은 성능저하 요인에 노출되어 그 수명이 다할 때까지 인간의 삶에 이바지하는 구조체이다.

이 수많은 내구성 저해 요인 중 염해는 콘크리트 구조물의 내부철근의 부식을 촉진시켜 콘크리트 구조물의 균열과 열화를 초래하는 중요한 성능저하 요인으로서 해수에 의해 직접적인 영향을 받는 해양 구조물 및 해양 인접 구조물 뿐만 아니라 겨울철 제설제 등의 과다사용 등에 의해서 교량 및 교량 인접 구조물 등에 치명적인 성능저하를 초래할 수 있기 때문에 이에 대한 다각적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

- * 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과
- ** 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사수료, G-plus 생태건축연구소 선임연구원
- *** 정희원, 동양중앙연구소 선임연구원
- **** 정희원, 목포대학교 건축조경학부 교수, 공학박사
- ***** 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

이에 수많은 연구가 행하여지고, 그 성과가 보고되고 있으며, 염해에 의한 성능저하를 저감시키는 방법 중 하나로 포졸란계 혼화재 사용에 의한 수밀화가 대두되고 있는 실정이다. 그러나 각각의 혼화재는 그 종류에 따라 구조물에 미치는 영향은 다양하게 나타나고 있어, 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

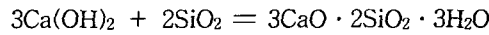
따라서, 본 연구에서는 활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성을 활성황토의 대체율 및 혼화재 종류별로 비교·검토하였고, 콘크리트용 혼화재로서 활성황토의 활용범위를 확대하여, 콘크리트 구조체 적용을 위한 기초적 자료로서 제시하고자 한다.

2. 황토의 포졸란반응 메카니즘

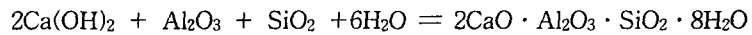
천연상태에서의 황토는 포졸란반응이 활발하지 않으므로, 황토를 고온가열하여 급랭시켜 활성화시킨 경우, 포졸란반응성이 활발한 것으로 보고되고 있으며, 특히 550~950℃ 정도에서 가열한 후 냉각시킨 활성황토의 경우 포졸란반응을 일으키는 것으로 연구보고 되고 있다^{1),2)}.

활성황토의 포졸란반응 메카니즘은 다음과 같다¹⁾.

- 포졸란반응 - CSH gel 생성



- Strätlingite반응 - CASH gel 생성



3. 실험개요

3.1 실험요인 및 수준

본 연구의 실험요인 및 수준은 활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성의 비교 및 검토를 위한 것으로 활성황토의 대체율별(0, 10, 20, 30%) 4수준 및 혼화재 종류별 4수준으로 실험을 실시하였으며, 혼화재의 대체율은 기존에 실시한 혼화재 종류 및 대체율별 모르타의 압축강도 시험결과¹⁾ 가장 양호한 수준을 나타낸 대체율 20%를 채택하여 사용하였다.

표 1 실험배합

물결합재비 (%)	목표슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	혼화재 종류	대체율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	결합재량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)				
							시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	
55	17±2 ¹⁾	48	AHT ²⁾	0	179	325	325	0	833	934	
				10			293	33	829	930	
				20			260	65	826	926	
				30			228	98	823	923	
			FA ³⁾	20	179	325	260	65	822	922	
							SF ⁴⁾	260	65	822	922
							BFS ⁵⁾	260	65	831	932
							NHT ⁶⁾	260	65	826	926

1) 목표슬럼프 만족시키는 소정의 고성능감수제 사용

2) AHT : 활성황토, 3) FA : 플라이애시, 4) SF : 실리카흄, 5) BFS : 고로슬래그미분말, 6) NHT : 비활성황토

본 연구에서는 경화성상의 검토를 위하여 활성황토의 대체율별 및 혼화제 종류별로 재령별(3, 7, 28, 56일) 압축강도를 측정하였고, 염소이온 침투 저항성의 검토를 위하여 ASTM C 1202에 준하여 시편 통과 전하량(28, 56일)시험을 실시하였고, 일본 건축학회의 『鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説』의 3.8절에 규정된 염화물이온 침투성시험인 플로리신나트륨법에 의해 염소이온 침투깊이(28일 수중 양생 후 2.5% NaCl 수용액 침지재령 7, 28일)를 측정하여 비교·검토하였다.

또한, 조직의 공극구조가 염소이온의 침투에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수은압입법에 의한 공극경 분포를 측정하였다.

3.2 실험배합

본 연구의 실험배합을 표 1에 나타내었다.

활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성의 평가를 위하여 활성황토의 대체율을 0, 10, 20, 30%로 한 4수준 및 혼화제 종류별(FA, SF, BFS, NHT)로 20% 동일 대체한 4수준에 대하여 물결합재비를 55%, 단위수량을 179kg/m³으로 한 콘크리트를 목표슬럼프 17±2cm수준을 만족시키도록 소정의 고성능감수제를 첨가하여 제작하였다.

3.3 사용재료 및 비빔방법

본 실험에서 사용한 사용재료를 표 2에 나타내었으며, 황토의 주요 화학성분은 표 3에 나타내었다.

사용된 황토는 비활성황토와 비활성황토를 850℃로 하소시킨 활성황토를 사용하였으며, 시멘트는 비중 3.15의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였고, 혼화제로서 플라이애시, 실리카흙, 고로슬래그미분말 및 활성/비활성황토를 사용하였다.

또한, 골재로서 잔골재는 비중 2.56의 제염사를 굵은골재는 비중 2.58의 부순자갈을 사용하였다.

비빔방법은 그림 1에 나타낸 바와 같이 100ℓ 강제식 팬타입믹서를 사용하여 비빔을 실시하여 목표슬럼프 17±2cm를 만족시키는 수준에서 토출하였으며, 총 비빔시간은 2분~2분 30초가 소요되었다.

4. 실험결과의 분석 및 검토

4.1 경화성상의 분석 및 검토

그림 2 및 그림 3은 재령별 활성황토 대

표 2 사용재료의 물리적 성질

재료	종류	물성
시멘트	1종보통시멘트	비중: 3.15 분말도: 3,200 cm ² /g
혼화제	고성능감수제	나프탈렌계 비중: 1.04
혼화제	플라이애시	비중: 2.2 분말도: 2,976 cm ² /g
	실리카흙	비중: 2.2 분말도: 220,000 cm ² /g
	고로슬래그미분말	비중: 2.99 분말도: 4,379 cm ² /g
	황토(활성/비활성)	비중: 2.5 분말도: 3,300 cm ² /g
골재	잔골재	제염사 5 mm 비중: 2.56 조립율: 3.16
	굵은골재	부순자갈 20 mm 비중: 2.58 조립율: 6.02

표 3 황토의 주요 화학 성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.loss
40.0	32.9	7.79	0.39	1.54	0.76	1.73	13.7

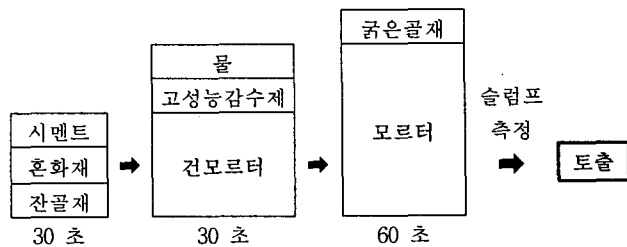


그림 1 비빔방법

체율 및 혼화재 종류에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다.

활성황토의 대체율이 증가할수록 압축강도도 증가하는 것으로 나타났으며, 대체율 20% 및 30%는 대체로 유사한 수준으로 나타나고 있다. 또한 일반적으로 포졸란재료의 사용시 초기재령에서 압축강도의 저하가 나타나는 것으로 보고되고 있으나, 활성황토의 경우 활성SiO₂와 활성Al₂O₃에 의해 초기강도발현성상이 향상되어 초기재령에서의 압축강도의 증진이 활발하였으며, 초기재령에서의 강도확보가 가능할 것으로 사료된다.

또한 재령별 혼화재 종류에 따른 압축강도의 변화에 있어서는 실리카흙을 혼입한 SF 20의 경우가 압축강도의 발현이 가장 우수하였으며, 비활성황토의 경우가 가장 낮은 압축강도를 발현하였다. 또한, 활성황토를 20% 대체한 AHT 20의 경우, 플라이애시 및 고로슬래그미분말과 유사하거나 상대적으로 우수한 압축강도를 발현하고 있어 점토질 포졸란이 플라이애시보다 활발한 포졸란 반응을 일으킨다는 기존의 연구보고^{2),5)}와 일치하고 있어 혼화재료로서 활성황토의 사용 가능성이 매우 클 것으로 사료된다.

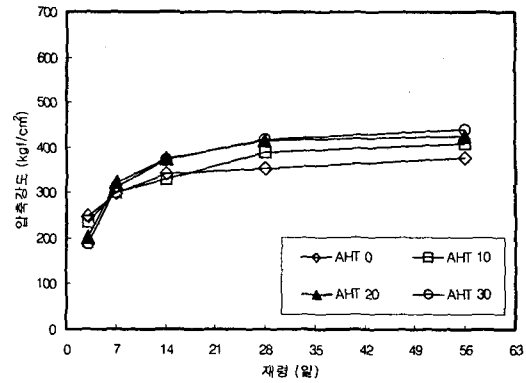


그림 2 활성황토 대체율별 압축강도

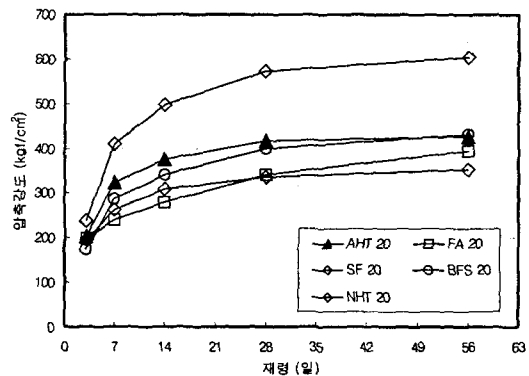


그림 3 혼화재 종류별 압축강도

4.2 염소이온 침투저항성 분석 및 검토

4.2.1 염소이온 침투깊이

그림 4는 활성황토 대체율 및 혼화재 종류별 염소이온 침투깊이의 측정결과를 나타낸 것으로 염소이온 침투깊이는 침지재령 7일에서는 대체로 유사하게 나타난 반면 침지재령 28일에서는 활성황토를 대체한 경우가 대체하지 않은 AHT 0에 비하여 현저히 작은 침투깊이를 나타내고 있으며 대체율 20%가 가장 우수하였다.

또한, 혼화재 종류별 염소이온 침투깊이는 SF 20이 가장 우수하였으며, 활성황토 대체의 경우가 FA 20 및 BFS 20의 경우에 비하여 염소이온 침투저항성이 우수한 것으로 나타나고 있다. 이는 실리카흙의 경우와 마찬가지로 미립자에 의한 마이크로필러 효과와 더불어 포졸란반응이 더불어 진행된 결과라 사료된다.

4.2.2 시편 이동전류량

그림 5은 재령 56일에서의 활성황토 대체율 및 혼화재 종류별 시편 이동전류량의 측정결과를 나타낸 것으로 시편 이동전류량은 활성황토의 대체율이 증가할수록 저감하였으며 특히 20, 30% 대체의 경우가 상대적으로 우수하였다.

또한 혼화재 종류별 시편 이동전류량은 SF 20의 경우가 가장 우수하였으나, 활성황토 20% 대체의 경우가 FA 20, BFS 20 및 NHT 20에 비하여 낮은 값을 가지는 것으로 나타나 염소이온 침투저항성

이 상대적으로 우수하였다.

4.2.3 시편 통과전하량

그림 6은 재령 56일에서의 염소이온 침투깊이와 시편통과 전하량의 관계를 나타낸 것으로 시편 통과 전하량이 감소할수록 염소이온 침투깊이도 감소하는 경향을 나타내었다.

활성황토의 대체율이 증가할수록 시편 통과전하량도 감소하였다.

또한, 혼화재 종류별 시편 통과 전하량은 실리카 흙의 경우 다른 혼화재에 비하여 현저히 낮은 값을 보였으며, 활성황토를 20% 대체한 경우가 다른 혼화재에 비하여 상대적으로 우수하게 나타났고, 염소이온 침투깊이도 대체로 이와 유사한 경향을 나타내었다.

4.2.4 염소이온 침투 저항성과 공극구조

그림 7은 재령 56일에서의 염소이온 침투깊이와 평균공극경의 관계를 나타낸 것으로 평균 공극경이 감소할수록 염소이온의 침투도 감소하는 것으로 나타났다.

활성황토의 대체율이 증가할수록 평균 공극경은 감소하였으며, 대체율 20%의 경우가 가장 우수하였고, 염소이온 침투깊이도 이와 유사한 경향을 가지는 것으로 나타났다.

또한, 혼화재 종류별 평균 공극경의 분포도 시편 통과전하량의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

그림 8은 재령 56에서의 시편 통과전하량과 평균 공극경의 관계를 나타낸 것으로 대체로 평균공극경이 감소할수록 시편 통과전하량도 감소하는 것으로 나타나 조직의 수밀화와 염소이온 침투저항성이 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다.

4. 결론

활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성에 관한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 활성황토의 대체율이 증가할수록 압축강도도 증

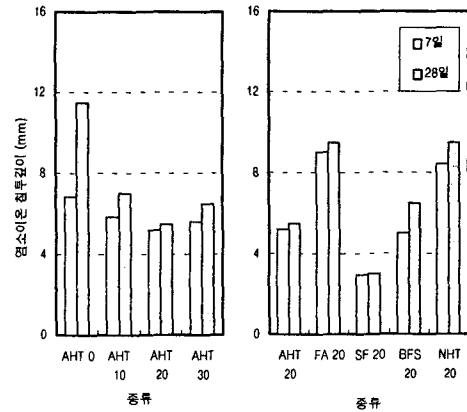


그림 4 염소이온 침투깊이

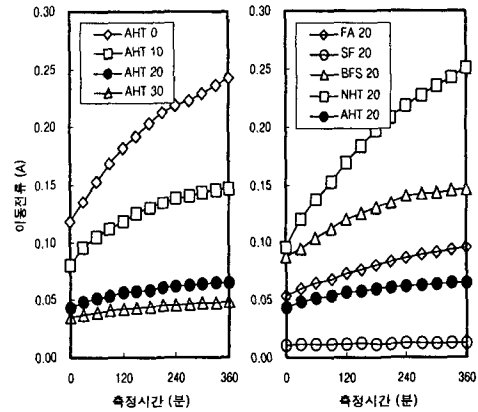


그림 5 시편 이동전류량 (재령 56일)

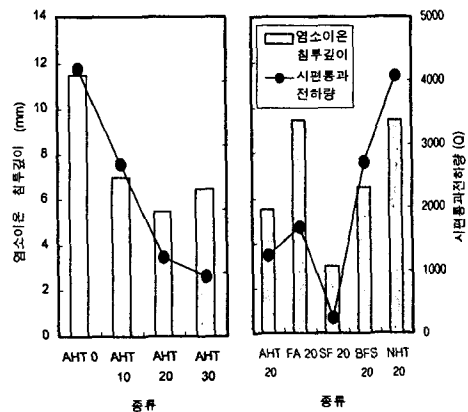


그림 6 염소이온 침투깊이 및 시편 통과전하량 (재령 56일)

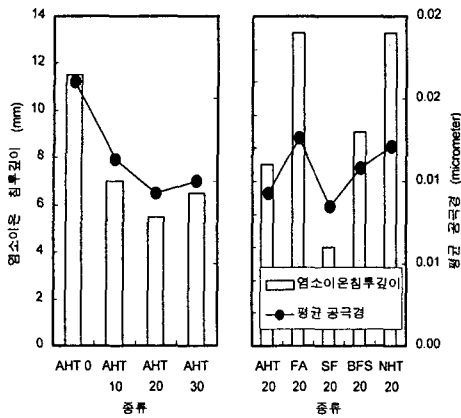


그림 7 염소이온 침투깊이 및 평균 공극경
(재령 56일)

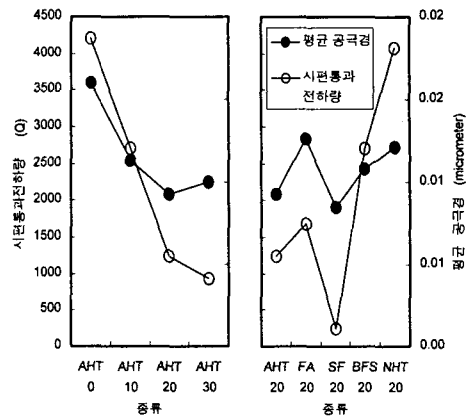


그림 8 시편통과전하량과 평균 공극경
(재령 56일)

가하는 것으로 나타났으며, 혼화제별 20% 동일 대체율의 경우에는 실리카 흙이 가장 우수하였으나, 활성황토의 경우가 다른 혼화제의 경우에 비하여 우수한 압축강도를 가지는 것으로 나타났다.

- 2) 혼화제를 대체한 경우의 염소이온 침투깊이, 시편 통과전하량 및 평균 공극경은 혼화제를 대체하지 않은 경우에 비하여 현저히 낮은 값으로 나타났으며, 혼화제 종류별로는 실리카흙과 활성황토 대체의 경우가 상대적으로 우수하였다.
- 3) 활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투저항성은 활성황토의 대체율이 증가할수록 우수하였으며, 실리카흙을 제외한 FA 20, BFS 20, NHT 20의 경우에 비하여 유사하거나 우수한 수준으로 나타나고 있어 염소이온 침투저항성 확보를 위하여 활성황토의 사용이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김무한 외, 시멘트 Mortar로의 적용을 위한 황토혼화제 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2000. 6, pp. 95~102.
2. M. Frias, The effect that the pozzolanic reation of metakaolin has on the heat evolution in metakaolin-cement mortars, CEMENT AND CONCRETE RESEARCH, 2000. FEB, pp. 209~216.
3. 김무한 외, 황토의 Pozzolan 제조방법에 관한 실험적 연구, 제5회 한국·일본 건축재료·시공 JointSymposium, 2000 .8, pp. 117~128.
4. 문희수, 점토광물학, 1996.3, pp. 292~594.
5. A .M. DUNSTER, The pozzolanic reation of metakaolin and its effects on Portland cement hydration, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 28, 2000. APL, pp. 1345~1350.
6. N. J. COLEMAN, The solid state chemistry of metakaolin-blinded ordinary Portland cement, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 35, 2000. JUN, pp. 2701~2710.
7. 鉄筋コン크리트造建築物)의耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説, 日本建築学会, 1997, pp.200~201.
8. 변근주 외, 엽분이 콘크리트의 제성질에 미치는 영향, 한국레미콘공학협회 기술분과 위위회, 1991.1, pp. 22~30, 38~39.