

플라이 애쉬 치환율에 따른 콘크리트의 염소이온 투과특성

Effect of Fly-Ash on the Characteristic of Chloride Ion Penetration in Concrete

하재담* 김태홍** 유재상*** 이종열**** 박찬규***** 김상윤*****
Jae-Dam Ha Tae-Hong Kim Jae-Sang Ryu Jong-Ryul Lee Chan-Kyu Park Sang-Yun Khym

ABSTRACT

Chloride attack of concrete is one of the important causes of corrosion of reinforcing steel in concrete with carbonation and frost damage.

In this paper, the effect of fly-ash on the chloride attack were investigated by varying water binder ratio and fly-ash contents according to the chloride ion penetration test.(ASTM C 1202-94)

The principal conclusions from this research were as follows:

- 1) The compressive strength of concrete at large ages, depends more on C_2S contents of base cement than fly-ash contents.
- 2) On the other hand, the chloride ion penetration of concrete at large ages, principally depends on fly-ash contents and the influence of type of base cement is insignificant.

1. 서론

콘크리트의 염소이온 투과특성에 영향을 미치는 인자로 재료적인 측면에서는 시멘트 종류, 혼화재 종류, 단위결합재량, 물-시멘트비 등이 있으며 외부적인 측면에서는 환경조건으로 온도, 염소이온 농도 등이 있다. 본 연구에서는 1종 시멘트 및 4종 시멘트에 플라이 애쉬를 10, 15, 20% 치환하여 ASTM C 1202-94 방법에 의한 염소이온 투과시험을 통하여 플라이 애쉬의 염소이온투과에 대한 저항성을 평가하고자 하였다.

2. 실험개요 및 방법

2.1. 사용재료

본 연구에서 시멘트는 보통 및 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 플라이 애쉬는 비표면적이 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 정도인 삼천포산 플라이 애쉬를 사용하였으며 화학혼화제로는 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 결합재 중량에 1.0~1.6% 첨가하였다. 결합재의 화학성분 및 물리성능을 다음 표에 나타내었다.

* 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사
** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
*** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사
**** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
***** 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원, 공학박사
***** 정희원, (주)대화 품질보증팀 시험실장

표 1 결합재의 화학성분과 광물조성

항목	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1종	21.0	5.9	3.2	62.5	2.1	0.8	49	23	10	9
4종	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.5	29	50	3	9
플라이애쉬	62.4	23.6	6.1	3.9	0.4	1.5	-	-	-	-

표 2 시멘트의 물리성능과 수화열

시멘트	항목	비중	Blaine (cm ² /g)	응결(h:m)		압축강도(kgf/cm ²)				수화열(cal/g)		
				초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
1종		3.15	3,200	4:30	6:50	195	290	376	465	81	92	99
4종		3.22	3,500	5:50	9:20	126	175	360	550	55	67	78

또한 본 실험에 사용된 골재는 비중이 2.60인 강모래를 사용하였고 굵은 골재는 비중이 2.67인 쇄석을 사용하였으며 물리적 특성을 표 3에 나타내었다.

표 3 골재의 물리적 특성

항목	비중	흡수율(%)	단위중량(kg/m ³)	조립율	씻기 손실량(%)
잔 골재	2.60	1.25	1,560	2.65	1.30
굵은 골재	2.67	1.18	1,550	6.75	0.8

2.2 검토 배합

플라이 애쉬 치환율에 따른 염소이온 투과특성을 평가하기 위한 배합은 다음 표 4에서 보는 바와 같이 베이스 시멘트를 1종 및 4종 시멘트로 하였고 플라이 애쉬 치환율은 1종 시멘트인 경우에는 20%로 1수준이고 4종 시멘트인 경우에는 10, 15 및 20%로 3수준이다. 또한 물-결합재비는 45, 42.5 및 40%로 하였으며 슬럼프의 범위는 21.0±2.5cm, 공기량의 범위는 5.5±0.5%로 하였다.

표 4 염소이온 투과시험을 위한 배합표 및 굳지 않은 콘크리트의 특성

Mix	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				AD (B×%)	Slump (cm)	Air (%)	Temp. (°C)	
			W	B		S					G
				C	F/A						
NF20-45	45.0	48.0	165	294	73	845	923	1.2	23.0	5.2	
NF20-42.5	42.5			310	78	836	913	1.4	23.0	5.8	
NF20-40	40.0			330	83	825	901	1.6	23.0	5.9	
LF10-45	45.0	48.0	165	330	37	855	933	1.0	22.5	5.5	
LF10-42.5	42.5			349	39	846	924	1.2	22.5	5.2	
LF10-40	40.0			372	41	836	913	1.4	23.5	5.7	
LF15-45	45.0	48.0	165	312	55	851	929	1.0	23.5	5.4	
LF15-42.5	42.5			330	58	843	920	1.2	23.0	5.8	
LF15-40	40.0			351	62	832	908	1.4	23.5	5.4	
LF20-45	45.0	48.0	165	294	73	848	925	0.9	22.5	5.5	
LF20-42.5	42.5			310	78	839	915	1.1	22.5	5.1	
LF20-40	40.0			330	83	828	904	1.3	23.0	5.2	

2.3 실험방법

염소이온 투과시험은 ASTM C 1202-94(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration)에 의하여 시험 재령까지 표준양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 길이 5cm로 절단한 후, 실험을 수행하기 전까지 상대 습도 95% 이상을 유지하며 공극수가 투과특성에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 진공 장치를 사용하여 전처리하였으며 염소이온 투과시험은 동일조건인 시험에 대하여 공시체 수를 2개 이상으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 물-결합재비에 따른 압축강도 특성

결합재 종류에 관계없이 동일 물-결합재비에서 재령 28일의 압축강도는 동등 수준으로 발현되었으며 장기 강도발현율이 높은 4종 시멘트를 사용한 배합인 경우에는 재령 56일 및 91일에서 높은 강도발현율을 나타내었으며 이는 4종 시멘트의 C₂S 함유량이 많아 장기 강도발현율이 높기 때문이다.

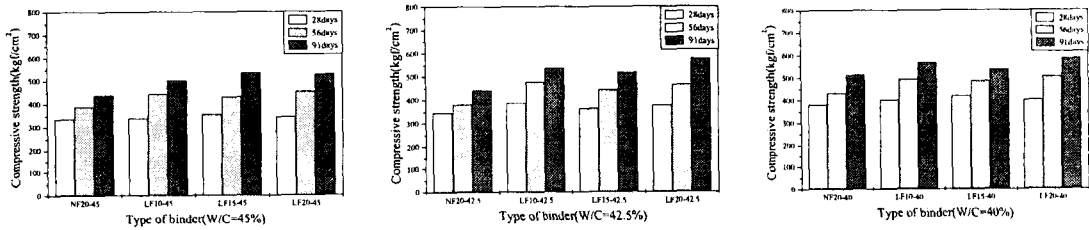


그림 1 재령별 물-결합재비에 따른 압축강도 특성(W/C=45, 42.5, 40%)

3.2 플라이 애쉬 치환율에 따른 염소이온 투과특성

동일 물-결합재비에서 재령 28일의 염소이온 투과특성은 1종 시멘트를 사용한 배합이 4종 시멘트를 사용한 배합보다 유리하게 나타났으나 장기재령으로 갈수록 역전되는 것으로 나타났다. 또한 플라이 애쉬 치환율이 높을수록 28일 이후의 모든 재령에서 동등 이상의 염소이온 투과특성이 나타났으며 이는 플라이 애쉬의 포졸란 반응으로 인하여 치밀한 조직이 되는 것을 알 수 있으며 특히 중요한 것은 플라이 애쉬를 10~20% 사용한 동일 물-결합재비의 콘크리트의 배합에서는 베이스 시멘트에 상관없이 재령 28일 이후의 장기재령에서는 거의 동등한 염소이온 투과특성을 나타내어 염소이온 투과특성은 베이스 시멘트인 1종 및 4종 시멘트의 영향은 적은 것으로 판단되며 단지 플라이 애쉬 치환율에 따라 결정되는 것을 알 수 있다.

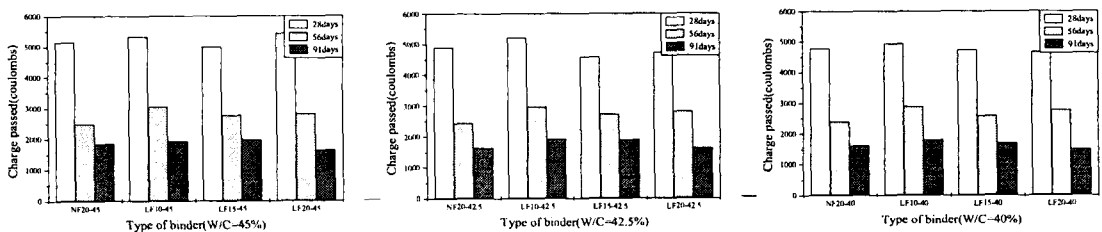


그림 2 재령별 플라이 애쉬 치환율에 따른 염소이온 투과특성(W/C=45, 42.5, 40%)

압축강도 특성 및 기타 실험결과를 다음 표에 나타내었다.

표 5 압축강도 특성 및 염소이온 투과특성

Mix	Compressive strength (kgf/cm ²)			Charge passed (coulombs)		
	28d	56d	91d	28d	56d	91d
NF20-45	338	388	439	5,166	2,491	1,857
NF20-42.5	348	381	443	4,902	2,434	1,651
NF20-40	381	433	514	4,783	2,397	1,621
LF10-45	341	444	503	5,337	3,051	1,941
LF10-42.5	387	479	538	5,217	2,977	1,918
LF10-40	402	494	569	4,926	2,897	1,817
LF15-45	356	433	536	4,991	2,766	1,981
LF15-42.5	365	445	517	4,590	2,740	1,901
LF15-40	419	486	536	4,731	2,578	1,703
LF20-45	347	455	529	5,444	2,822	1,642
LF20-42.5	376	467	578	4,725	2,816	1,572
LF20-40	402	505	587	4,665	2,776	1,502

4. 결 론

본 연구에서는 플라이 애쉬가 콘크리트의 염소이온 투과특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 베이스 시멘트로 1종 및 4종 시멘트를 사용하고 플라이 애쉬를 10, 15 및 20% 치환하여 ASTM C 1202-94 방법에 의하여 염소이온 투과시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도 특성은 사용한 결합재의 종류에 관계없이 동일 물-결합재비에서 재령 28일에는 동등 수준이고 그 이후의 재령에서는 플라이 애쉬 치환율보다는 베이스 시멘트인 1종 및 4종 시멘트의 특성에 따라 주로 결정되는 것을 알 수 있었으며 이는 베이스 시멘트의 장기발현에 기인하는 C₂S 함유량에 따른 것으로 사료된다.
- 2) 염소이온 투과특성은 동일 물-결합재비에서 베이스 시멘트인 1종 및 4종 시멘트의 영향은 적은 것으로 나타났으며 플라이 애쉬의 치환율에 따라 결정되는 것을 알 수 있었으며 이는 플라이 애쉬의 포졸란 반응으로 콘크리트가 치밀한 조직이 되기 때문인 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리 지침 (안),” 2002.
2. 김홍삼, “전기화학적 기법에 의한 콘크리트 중의 염소이온 확산특성 및 철근부식 개시시기 예측,” 한양대학교 박사학위논문, 2000.12.
3. ASTM C 1202-94, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration.”
4. 岸谷孝一 他, “コンクリート構造物の耐久性シリーズ-鹽害(I),” 1986.