

혼화제 사용 모르터의 염분 확산에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Diffusion of Chloride Ion in Mortar using Mineral Admixtures

문 한 영* 김 성 수** 류 재 석***
Moon, Han Young Kim, Seong Soo Ryou, Jae Suk

Abstract

The steel in concrete structures under the environment of seawater easily corrode as the seawater penetrate into concrete. The purpose of this study is to analysis the properties of chloride diffusion in mortar using mineral admixtures, as a part of study to examine the chloride penetration of concrete.

The results show that the chloride diffusion in mortar increased with higher water-cement ratio. In the case of mortar using mineral admixtures the scope of diffusion coefficient($\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$) increased SF20(0.9), SG60(3.3), FA20(3.9), and OC(6.1) in order at the same water-cement ratio 50%.

1. 서 론

콘크리트 구조물속에 묻힌 철근의 부식 원인은 콘크리트 구조물 제조시 이미 함유되어 있는 내부염분과 구조물이 완성된 후에 침투되는 외부염분으로 크게 구분할 수 있다.

내부염분은 콘크리트 제조시 해수, 해사를 사용하거나 혼합수에 염분이 함유되어 있거나 혼화제 등 기타 재료에 의해 콘크리트중에 혼입되는 경우이며, 외부염분은 해수 또는 해염 입자가 콘크리트 표면에 부착하여 흡수와 침투에 의해 확산된다.

특히 해안지역이나 해수중에 건설된 콘크리

트 구조물에 침투, 축적되는 염분은 콘크리트 구조물의 종류와 위치 및 기상과 입지조건 등에 따라 각각 다르게 나타나므로 구조물의 종류와 위치에 따른 염분의 함유정도를 파악하기가 쉽지 않다고 한다.⁽¹⁾ 일반적으로 콘크리트중의 염분의 확산계수는 일정기간 염분 환경하에 있는 콘크리트의 깊이에 따른 염분량을 측정하여 구하며, 이 확산계수를 이용하여 5년, 10년 후의 장기재령에서 콘크리트 구조물중의 염분량을 산출 할 뿐만아니라 철근의 부식 정도도 추정이 가능하다고 한다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 모르터 시험편을 제조하여 실험실에서 염분 침투 확산실험을 실시한 후 시험체에 침투된 염분량으로 확산계수를 구하여 해안지역 및 염해를 받는 콘크리트 구조물의 염해 정도를 추정하기 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

***한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

표 1. 시멘트 및 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

종류	화 학 성 분 (%)							비중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss		
보통시멘트	21.8	5.84	3.56	60.62	3.54	2.58	0.95	3.12	3,422
고로시멘트	25.0	11.0	2.0	53.1	4.6	2.2	1.2	3.02	3,825
플라이애쉬	56.4	26.6	5.5	0.02	0.3	-	4.25	2.14	4,092
슬래그분말	29.8	16.7	0.9	42.1	6.6	1.2	1.4	2.90	3,778
실리카흙	90.0	1.5	0.3	2.0	0.3	-	3.0	2.33	204,700

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

(1) 시멘트 및 혼화제

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(이하 보통시멘트로 약함) 및 고로슬래그 시멘트(이하 고로시멘트로 약함)이며 혼화제는 플라이애쉬, 고로슬래그 분말(이하 슬래그 분말로 약함) 및 실리카흙 3종류로서 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

(2) 골재

실험에 사용된 잔골재는 KS L 5100의 표준 모래를 사용하였으며, 비중은 2.62였다.

(3) 인공해수용액

염분 확산실험에 사용된 인공해수용액은 ASTM D 1141에 따라 제조하여 사용하였다.

2.2 실험 방법

(1) 모르터의 염분확산 실험

염분확산 실험용 모르터시험편은 두께 5mm, 130×130mm 정사각형의 얇은 판으로 제조, 재령 1일에 탈형하여 7일 및 28일 동안 21±1℃의 수중에서 양생한 후, 그림 1과 같이 A용기에는 NaCl 농도 3.27%인 인공해수를, B용기에는 증류수를 채운 플라스틱용기 사이에 모르터 시험편을 고정시켜 이 장치의 A용기에서 B용기로 침투된 염분의 농도를 Salt Meter

(CL-203)로써 측정하여 식(1)에 의하여 모르터의 확산계수를 구하였다.

$$D_m = \frac{\Delta Q_m}{\Delta t} \times \frac{l}{\Delta C_n} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

D_m : 모르터의 확산계수 (cm²/sec)

ΔQ_m : 침투속도가 일정한 시간 사이에 침투한 염분량 (%/cm²)

l : 시험편의 두께 (cm)

ΔC_n : A축과 B축의 염분의 농도 (%/cm³)

Δt : 침투속도가 일정한 구간의 시간 (sec)

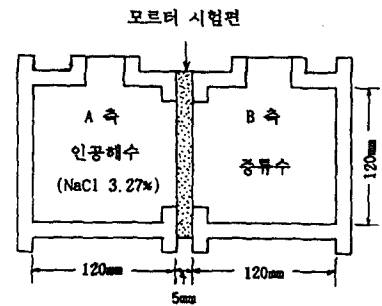


그림 1. 염분의 확산실험 장치

(2) 모르터 압축강도 실험

모르터 압축강도 실험용으로 50×50mm 입방체 공시체를 제조하여 28일의 압축강도를 KS F 2405 의하여 측정하였다.

2-3. 모르터의 배합

보통시멘트(OC)의 물-시멘트비를 40, 50 및 60%로 변화시킨 모르터와 보통시멘트에 슬래그 분말 20, 40 및 60% 혼합한 모르터(SG20, SG40, SG60), 플라이애쉬를 10, 20 및 30% 혼합한 모르터(FA10, FA20, FA30) 및 실리카흄을 5, 10 및 20% 혼합한 모르터(SF5, SF10, SF20)등을 KS L 5105에 의하여 제조하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 모르터중의 염분 침투량과 염분 확산과의 관계

모르터중의 염분 침투 확산을 알아보기 위하여 모르터 시험편을 각각 재령 7일 및 28일 동안 수증양생한 후, 확산실험을 실시한 결과를 나타낸 것이 표 2이다.

그림 2는 물-시멘트비가 상이한 보통모르터의 재령에 따른 염분의 침투량을 나타낸 것으로서 모르터 시험편의 염분 침투량은 재령이 증가할수록 물-시멘트비가 클수록 크게 증가하며 확산실험 전의 수증양생 기간 7일에 비해 28일의 경우가 더 적게 나타났다.

그림 3은 물-시멘트비가 50%이고, 시멘트-잔골재비가 상이한 3종류 보통모르터의 재령에 따른 염분 침투량을 나타낸 것으로서 단위 잔골재량이 많을수록 염분 침투량이 많음을 알 수 있었다.

한편 고로슬래그, 플라이애쉬 및 실리카흄을 보통시멘트에 혼합한 모르터의 염분 침투량을 나타낸 것이 그림 4로서 혼화제를 혼합한 경우가 염분 침투량이 적게 나타났으며 특히 실리카흄의 경우 보통모르터에 비해 약 1/3 정도에 지나지 않음을 알 수 있었다.

표 2. 모르터의 염분 확산실험 결과

항목 종류	물- 결합재 비(%)	결합재: 잔골재 (중량비)	7일간 수증양생한 시험편		28일간 수증양생한 시험편	
			염분침투량 ($\times 10^{-3}\%$)	확산계수 ($\times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{sec}$)	염분침투량 ($\times 10^{-3}\%$)	확산계수 ($\times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{sec}$)
OC	40	1:1	11	3.6	-	-
		1:2	18	5.9	13	4.3
		1:3	46	15.1	-	-
OC	50	1:1	17	5.5	-	-
		1:2	26	8.5	18	6.1
		1:3	49	16.1	-	-
OC	60	1:1	27	8.9	-	-
		1:2	46	15.1	34	11.2
		1:3	77	25.1	-	-
SG20	50	1:2	20	6.6	14	4.6
SG40			16	5.2	11	3.6
SG60			17	5.5	10	3.3
FA10	50	1:2	24	8.2	16	5.2
FA20			25	8.4	12	3.9
FA30			30	9.4	15	4.9
SF5	50	1:2	11	3.6	6	1.9
SF10			9	3.0	4	1.3
SF20			8	2.6	3	0.9

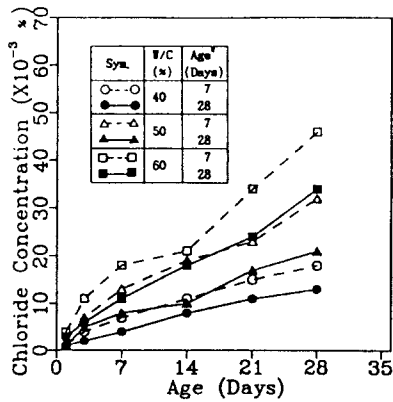


그림 2. 보통모르터 시험편의 재령과 염분 침투량(* 확산실험 전의 수중양생 기간)

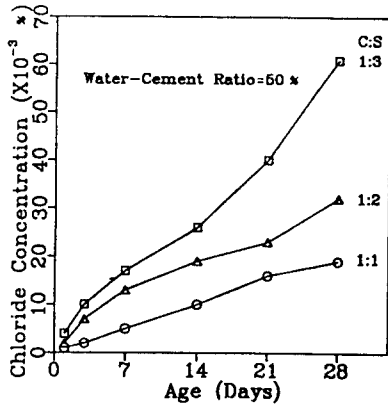


그림 3. 보통모르터 시험편의 잔골재비와 염분 침투량

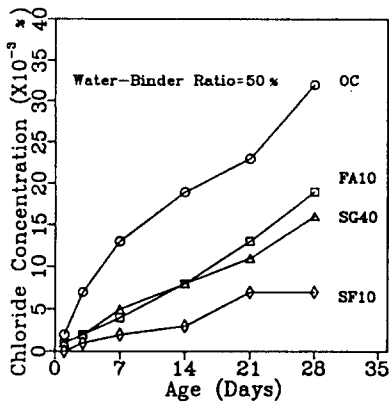


그림 4. 모르터시험편의 종류별 염분 침투량

그림 5는 물-시멘트비와 시멘트-잔골재비가 각각 다른 보통모르터의 확산계수를 나타낸 것으로서 물-시멘트비가 클수록 또한 단위잔

골재량이 많을수록 확산계수는 급격히 증가되고 있음을 알 수 있다. 특히 물-시멘트비 50%에서 시멘트:잔골재가 1:3인 모르터는 1:1 모르터에 비하여 약 3배 정도 크게 나타났다.

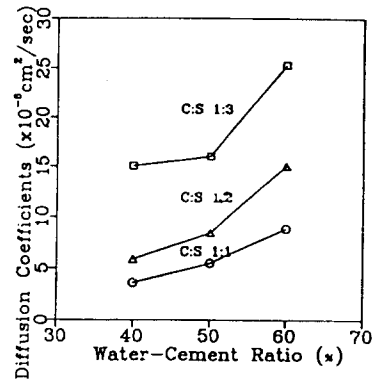


그림 5. 모르터의 물-시멘트비와 확산계수와의 관계

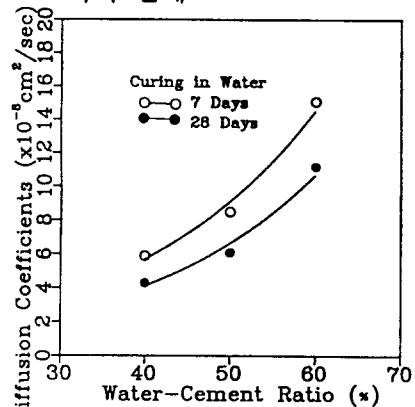


그림 6. 양생기간이 상이한 모르터의 물-시멘트비와 확산계수와의 관계

그림 6은 보통모르터의 확산실험 실시 전의 양생기간에 따른 확산계수를 나타낸 것으로서 물-시멘트비에 관계없이 수중양생 기간 7일에 비하여 28일 양생한 모르터의 확산계수가 약 27% 정도로 적게 나타났다.

또한 내해수성이 우수한 것으로 알려져 있는 혼화재인⁽⁴⁾ 고로슬래그, 플라이 애쉬 및 실리카흄을 보통시멘트에 혼합물을 달리하여 혼합한 모르터의 확산실험 결과를 나타낸 것이 그림 7, 그림 8 및 그림 9이다.

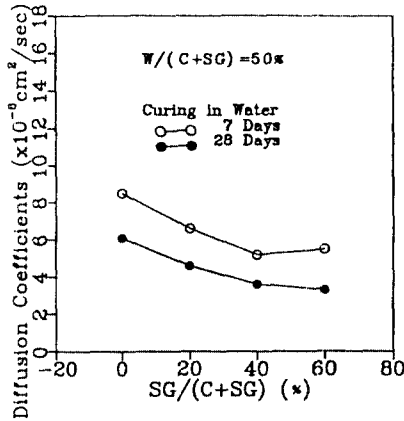


그림 7. 슬래그 분말 혼합 모르터의 혼합률과 확산계수와의 관계

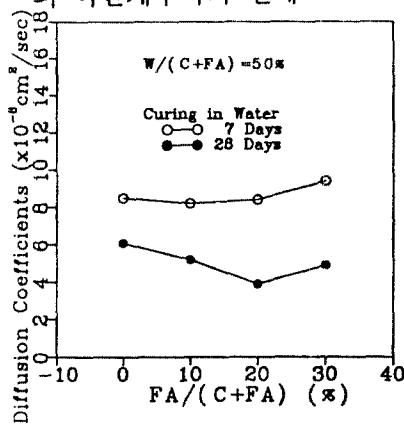


그림 8. 플라이애쉬 혼합 모르터의 혼합률과 확산계수와의 관계

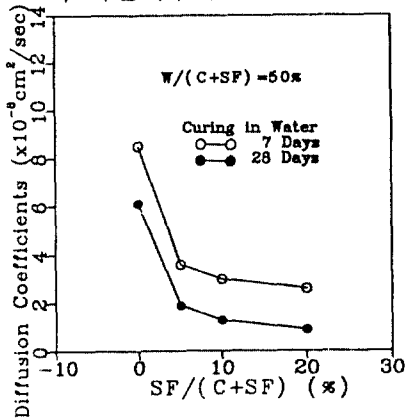


그림 9. 실리카흄 혼합 모르터의 혼합률과 확산계수와의 관계

그림 7은 슬래그 분말 20%, 40% 및 60%를 보통시멘트에 혼합하여 제조한 모르터의 확산

계수를 나타낸 것으로서 수중양생 기간이 28일인 경우 확산계수는 $3.3 \sim 4.6 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도이며 수중양생 기간이 28일인 경우에는 7일에 비하여 약 40%정도 감소되고 있음을 알 수 있다. 또한 고로슬래그의 혼합량이 증가할수록 대체로 확산계수가 감소하고 있다.

그림 8은 플라이애쉬 10%, 20% 및 30%를 보통시멘트에 혼합하여 제조한 모르터의 확산계수를 나타낸 것으로서 수중양생 7일인 경우에는 플라이애쉬를 혼합하지 않은 보통모르터의 확산계수인 $8.5 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 와 거의 비슷한 $8.2 \sim 9.4$ 정도의 확산계수를 보이나 수중양생 28일인 경우에는 플라이애쉬를 혼합하지 않은 보통모르터보다 적은 확산계수를 보이고 있다. 특히 플라이애쉬 혼합량이 20%인 경우가 가장 적은 확산계수를 보이고 있다.

그림 9는 보통시멘트에 실리카흄 5%, 10% 및 20% 혼합한 모르터의 확산계수를 나타낸 것으로서 실리카흄을 혼합한 모르터의 수중양생 기간이 28일인 경우 확산계수가 $0.9 \sim 1.9 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도로 보통모르터에 비하여 $1/3 \sim 1/6$ 정도로 적게 나타났다. 또한 실리카흄의 혼합량이 많을수록 확산계수가 적어지고 있음을 알 수 있다.

3-2. 모르터의 확산계수와 압축강도와의 관계

모르터의 확산계수와 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 그림 10 및 그림 11이다.

그림 10 및 그림 11에서 모르터의 압축강도가 증가함에 따라 확산계수가 적어지며 압축강도와 확산계수 사이에는 좋은 상관관계가 성립함을 알 수 있다. 또한 혼화재를 혼합한 경우에도 보통모르터와 마찬가지로 좋은 상관관계가 있으나 보통모르터에 비하여 직선의 기울기가 완만함을 알 수 있다. 즉 수중양생 기간 28일에서 압축강도가 $350 \text{kg}/\text{cm}^2$ 정도인

보통모르터의 확산계수는 약 $6.2 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도이지만 혼화재를 혼합한 모르터는 확산계수는 약 $2.2 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도로 보통모르터에 비하여 약 1/3정도에 지나지 않은 결과를 나타내었다.

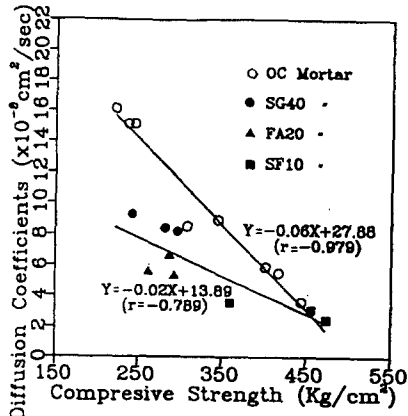


그림 10. 모르터의 확산계수와 압축강도와 의 관계 (7일간 수중양생)

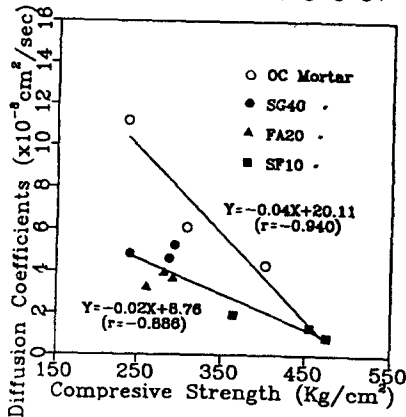


그림 11. 모르터의 확산계수와 압축강도와 의 관계 (28일간 수중양생)

4. 결론

1. 보통모르터의 확산계수는 $6.1 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도였으며 물-시멘트비가 적을수록 단위시멘트량이 많을수록 확산계수는 감소하였다. 또한 수중양생 기간 7일에 비하여 28일 양생 모르터의 확산계수가 적게 나타났다.

2. 플라이애쉬를 혼합한 모르터의 확산계수는 수중양생 기간이 7일인 경우 보통모르터와

비슷하였으나 수중양생 28일에 플라이애쉬 20% 혼합한 경우에는 보통모르터에 비하여 훨씬 적어졌다. 슬래그 분말을 혼합한 모르터의 확산계수는 $3.3 \sim 4.6 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도였으며 고로슬래그의 혼합량이 증가할수록 대체로 확산계수가 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 실리카흄을 혼합한 모르터의 확산계수는 수중양생 기간 28일에 $0.9 \sim 1.9 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 정도로 보통모르터에 비해 1/3~1/6 정도로 적게 나타났으며 실리카흄 혼합량이 20% 일때 확산계수가 가장 적게 나타났다.

4. 혼화재 사용 유무에 따라 모르터의 확산계수와 압축강도 사이에는 서로 상이한 상관관계가 있음을 알 수 있으며 압축강도가 적을 경우 혼화재를 사용한 모르터의 확산계수가 훨씬 적은 값을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 迫田恵三 外, "海洋環境下における各種コンクリートの鹽分浸透と鐵筋の腐食の進行狀況", 콘크리트工學年次講演會論文集, pp. 487-492, 1988
2. D. Baweja, H. Roper, S. Guirguis, and V. Sirivivatnanon, "Measurement of Corrosion of Steel Reinforcement under High Chloride Conditions", Proceedings Fourth International Conference, ACI SP-132, 1992
3. 小林豊治 外, "鐵筋腐食の診斷", 森北出版社, 1993
4. 文翰英, 金成秀, "化學藥品溶液에 浸漬한 콘크리트의 劣化에 대한 研究", 大韓土木學會論文集, 第12卷 第2號, pp. 55-66, 1992
5. Uirosh Uchikawa, "Effect of Blending Components on Hydration and Structure Formation", 8th Inter. Con.Chem.Cem, Vol. I, pp. 249-279, 1986