

방식재료가 콘크리트의 투수성에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Corrosion Inhibitors for Concrete Permeability

이상엽*
Lee, Sang Yup

한만엽**
Han, Man Yop

이차돈***
Lee, Cha Don

엄주용****
Eum, Joo Yong

Abstract

Reinforced concrete is in general known as high durability construction material under normal environments due to strong alkalinity of cement. Marine and harbour concrete as well as concrete mixed with seasand for fine aggregate are exposed to detrimental saltwater which cause to accelerate corrosion of reinforcing steel in concrete. If corrosion resistance of concrete gets to weaken due to carbonation and crack in cover concrete, concrete durability rapidly decrease by corrosion of reinforcement steel embedded in concrete.

This research is to investigate basic physical properties of various corrosion inhibitors and to evaluate their corrosion resistance in concrete mixed with seasand. The object of this study is develop appropriate corrosion protection systems so as to enhance the durability of concrete.

1. 서 론

국내에서는 이미 천연골재의 부족에 따라 건축공사에 다량의 해사를 사용한 실적이 있으며, 이러한 해사의 사용은 사용량이 점차 증가할 것으로 예상되어 앞으로 심각한 염해가 예견되고 있다. 최근 신도시를 포함한 건축물의 상태조사 결과, 상당수 건축물의 염화물 함량이 기준치를 초과하고 있는 것으로 보고되고 있다. 국내에서는 이와 관련된 대책 수립과 보수 보강 공법의 연구 개발이 극히 미미한 실정으로서, 국내 실정에 맞는 건축물의 내구성을 증진시키기 위한 기술적인 자료가 부족하여, 대책 수립의 어려움이 더욱 크다고

* 정회원, 아주대 토목설계공학과 석사과정

** 정회원, 아주대 토목설계공학과 부교수

*** 정회원, 중앙대 건축공학과 부교수

**** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

할 수 있다. 염화물로부터 철근을 보호하기 위한 방식 기술은 현재까지 매우 다양하게 제시되고 있다.

그러나 구조물로의 염화물 침투경로가 다양하기 때문에, 각각의 경우에 적합한 다양한 방식 기술들 중 경제성 등을 고려한 적절한 공법이 선정, 사용되어야 한다. 따라서 다양한 방식 기술을 여러 가지 환경조건으로 시험 검증하여 그 성능을 비교 평가하고, 환경조건에 합당한 내부식 기술을 개발하여, 시공성을 평가, 개조된 뒤에 건설현장에서 적용되어야 한다.

본 연구에서는 철근콘크리트 구조물에서 사용되는 다양한 철근방식 기법들을 시험 검증하고, 새로운 기술을 개발하기 위하여 다양한 시험방법에 따라 이미 시공 실적이 있는 기존의 여러 방식제를 사용하여 투수특성의 변화와 염분의 확산 특성, 염분의 침투량, 콘크리트의 중성화 속도 등을 측정하여, 방식재료의 성능을 평가하고, 방식 메커니즘을 규명하기 위하여, 방식재료의 내부식 성능에 관한 기초적 물성을 측정하는 연구를 수행하였다.

2. 실험계획 및 측정방법

2.1 실험계획

본 실험은 기준배합을 표준으로 하여 물-시멘트비, 양생조건, 해수에 대한 노출조건, 도포형, 혼합형방식제 처리 등 각각의 변수에 따른 콘크리트의 투수특성과 강도특성을 파악하기 위하여 투수계수, 확산계수와 압축강도, 휨강도를 측정하였고, 실험변수 및 배합물성값은 다음의 표 1에 나타내었다.⁽¹⁾

표 1 실험변수 및 배합물성값

그룹(G)	인식표(Index)	W/C(%)	공기량(%)	슬럼프(cm)	비고
표준	ST	60	5.5	9	기준배합(W/C=0.6)
	HS	50	6.3	9.8	W/C=0.5
	LS	70	7.2	10	W/C=0.7
	WC	60	4.3	12	수중양생
	AC	60	5.1	8.5	기건양생
	CP	60	7.2	12	연속침수양생
	PP	60	5.5	12	간헐침수양생
도포형	SA	60	5.5	12	M2
	SB	60	5.5	12	S3
	SC	60	5.5	15	발수톤
충전형	IG	60	5.5	11	S1
혼합형	AH	60	6.0	12	M5
	AK	60	5.7	13	S32
	AI	60	4.0	12	Silica Fume
	AJ	60	3.5	12	Fly Ash
	AL	60	5.4	16	CSA 시멘트
	AM	60	5.6	12	Latex

2.2 측정방법

2.2.1 GWT 시험방법⁽³⁾⁽⁴⁾

GWT 시험방법은 콘크리트 표면에 물탱크를 부착하여 수압을 가함으로써 표면의 투수계수를 측정할 수 있는 방법이다. 본 방법은 시험체에 적절한 속도로 수압을 가하여 발생된 최대 압력과 도달시간,

그리고 이때 이동한 마이크로미터의 이동거리를 측정하여 투수계수를 측정한다.

2.2.2 포로스코프 시험방법⁽³⁾

콘크리트의 확산계수는 포로스코프를 이용하여 측정하였다. 먼저 시험용 구멍을 만들고 공기를 주입하여 구멍내의 기압이 50KPa에 이르도록 가압한다. 구멍내로 계속 공기를 주입해서 55KPa이상이 되도록 만들고 공기주입을 멈춘다. 포로스코프는 55KPa에서 작동을 시작하여 기압이 다시 50KPa로 압력이 떨어지는 시간을 측정한다. 이러한 방법으로 기압이 5KPa이 확산되는데 걸리는 시간을 이용하여 확산계수를 구할 수 있다.

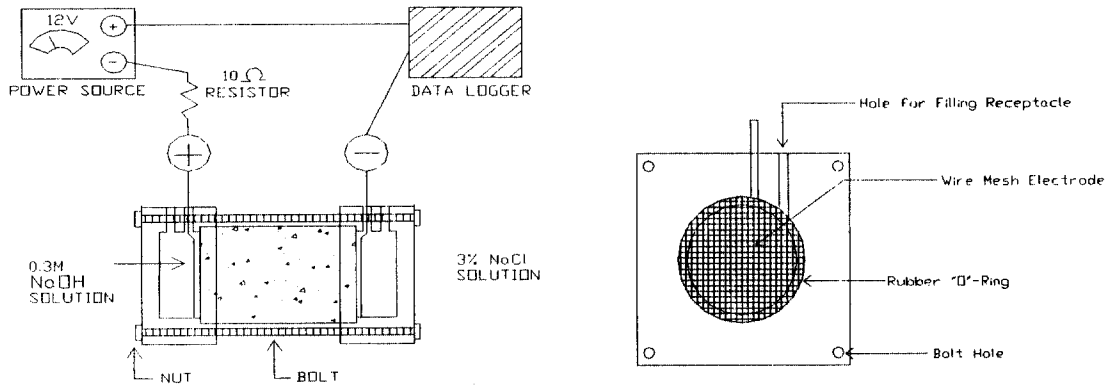


그림 1 염소이온 투과시험장치

2.2.3 염소이온 투과에 의한 전하량 측정방법⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

그림 1은 염소이온 투과시험장치의 개요도이다. 염소이온 투과시험은 28일동안 수중양생한 직경 10cm의 콘크리트 시편을 두께가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험재령일까지 상대습도 95%이상을 유지하거나 수침시킨다. 전극 용기의 (-)전극에는 3.0%의 NaCl용액을 채우고 (+)전극쪽에는 0.3N의 NaOH용액을 채운다. 측정은 6시간동안 30분 간격으로 0.2Ω에 걸리는 전압을 Data Logger로 기록한다.

2.2.4 염분침투

28일동안 수중양생한 직경 10cm, 높이 20cm의 콘크리트 시편을, 농도 15%인 NaCl용액에 1cm 침수시켜, 실험재령에 따라 일정높이 간격에 대하여 염분농도측정기를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 콘크리트의 방식성능을 측정하기위해서, GWT 측정기와 염소이온 투과에 의한 통과 전하량측정하여 투수특성을 살펴보고, 포로스코프 측정기와 염분침투량 측정을 통하여 확산계수를 살펴왔다. 본 고에서는 투수특성과 강도특성에 대해서만 논하였다.

3.1 GWT에 의한 투수특성

3.1.1 물-시멘트비에 따른 투수계수

물-시멘트비에 따른 재령-투수계수의 결과를 그림 2에 나타내었다. 14일 이전의 초기재령에서는 물성적인 변화가 급격히 발생하고, 그에 따른 편차가 큰 것을 볼 수 있지만, 28일 이후의 장기재령에서는 각 변수별 투수계수의 측정편차가 감소하였다.

3.1.2 양생방법에 따른 실험결과

그림 3에 나타난 양생방법에 따른 투수계수의 결과를 살펴보면, 재령 28일 이전에는 각각의 값들이 뚜렷한 경향을 보이지 않지만, 재령 28일에는 수중양생방법이 표준양생방법에 비하여 약 35%의 투수계수감소를 보이고 있고, 이는 수중양생이 콘크리트의 투수계수를 낮게 개선하는 효과가 있음을 보여주는 것이다. 그러나, 기건양생의 경우는 처음부터 낮은 투수계수에서 시작하였기 때문에 본 실험에서 비교판단하기에 적절하지 못한 결과를 보여주고 있다.

3.1.3 염분노출방법에 따른 투수계수

그림 4에는 염분에 대해 노출시키는 조건에 따른 투수계수 특성을 나타내었다. 간헐폭로(PP)의 경우 재령 28일까지는 기준배합에 비하여 낮아진 투수계수를 보이고 있으나, 재령 90일에서는 오히려 투수계수가 증가하는 측정값을 얻었는데, 이는 수분침투와 건조하는 양생조건이 콘크리트의 내구성을 저하시킨 것으로 사료된다. 연속폭로시험의 경우 기준배합에 비해 재령 28일 일 때 약 18%정도 낮은 값을 보이고 있으며, 이는 지속적인 수분공급에 의하여 수화반응이 계속되어 투수계수가 낮아진 것으로 추정된다.

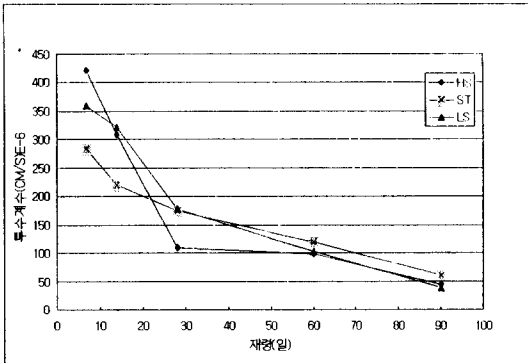


그림 2 물-시멘트비에 따른 투수계수

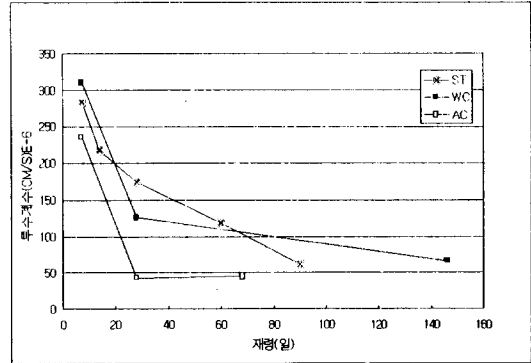


그림 3 양생방법에 따른 투수계수

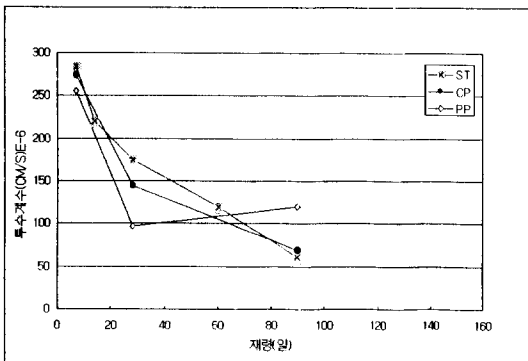


그림 4 염분노출방법에 따른 투수계수

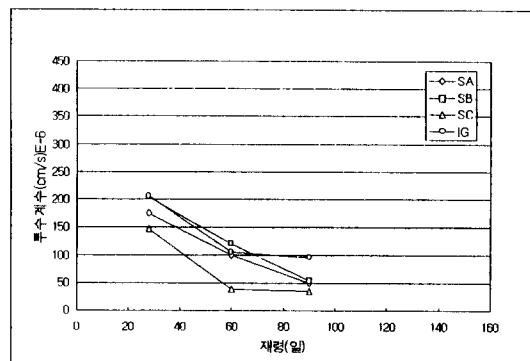


그림 5 방식재료에 따른 투수계수

3.1.4 방식재료에 따른 투수계수

방식재료에 따른 콘크리트의 투수특성을 보여주고 있는 그림 5을 살펴보면 기준배합에 비해 대부분의 방식처리된 콘크리트의 투수계수가 낮아지는 것을 볼 수 있다.¹⁴⁾ 특히 도포제인 발수톤의 경우 50~60%의 낮은 투수계수를 보인다. 그러나 S3의 경우 기준배합보다 오히려 저하되는 것을 볼 수 있는데 이는 화학적인 방식재료 이기때문인 것으로 사료된다.

3.2 통과전하량에 의한 투수특성

본 실험은 각각의 변수에 따라 방식된 콘크리트에서의 염소이온의 침투에 따른 통과전하량의 측정 결과를 분석하였다. 통과전하량을 측정하는 것은 염소이온 측정방법의 개량형으로서 그 측정의 편리성과 신속성 때문에 최근에 널리 연구되고 있는 투수계수 측정방법의 하나이다. 재령 7일과 28일의 통과전하량을 그림 6에 나타내었다. 재령초기에는 기준배합, 수중양생, W/C가 0.5인 콘크리트의 순으로 투수계수가 낮게 나타나고 있으나, 재령 28일에는 기준배합 콘크리트가 고강도 콘크리트보다 15% 향상되는 것을 볼 수 있는데, GWT에서 얻은 결과와 상이한 측정값을 보이고 있다.

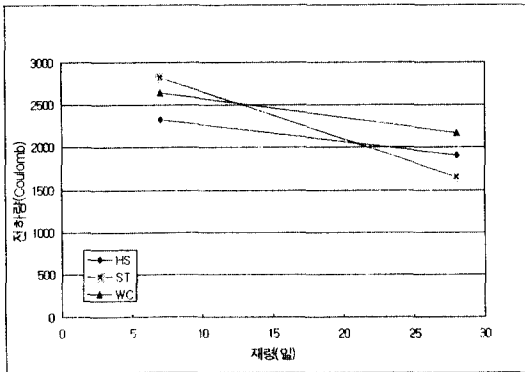


그림 6 통과전하량

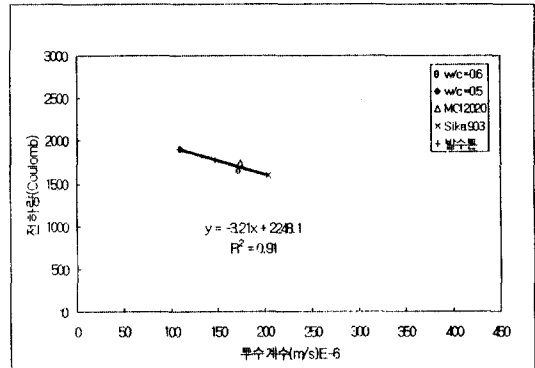


그림 7 투수계수 - 통과전하량

3.3 강도특성

기준배합(W/C=0.6)의 경우 221kg/cm²의 압축강도가 측정되었고, W/C가 0.5인 콘크리트는 284kg/cm², W/C가 0.7인 콘크리트는 196kg/cm²의 강도가 측정되었다. 혼화재인 실리카푼과 왕겨재를 사용한 경우는 400kg/cm²이상의 높은 강도가 측정되었으나, 염분에 노출된 콘크리트는 163kg/cm²의 낮은 강도가 측정되었다.

4. 상호분석

각각의 변수별, 실험방법별에 따른 상호분석이 다양하게 이루어질 수 있다. 본 고에서는 GWT에 의한 방법과 통과전하량 측정방법의 결과를 상호분석하여 그림 7에 나타내었고, 투수계수와 압축강도, 통과전하량과 압축강도의 상호분석 결과를 각각 그림 8, 9에 나타내었다.

4.1 투수계수와 통과전하량과의 관계

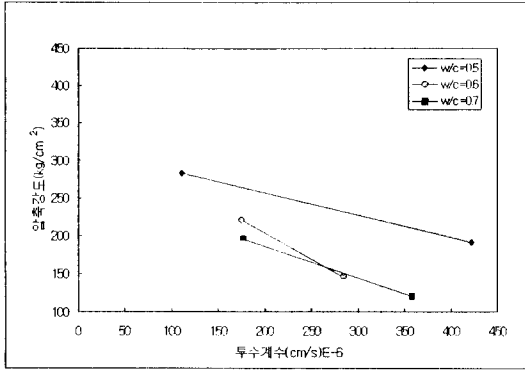


그림 8 투수계수와 압축강도와의 상호관계

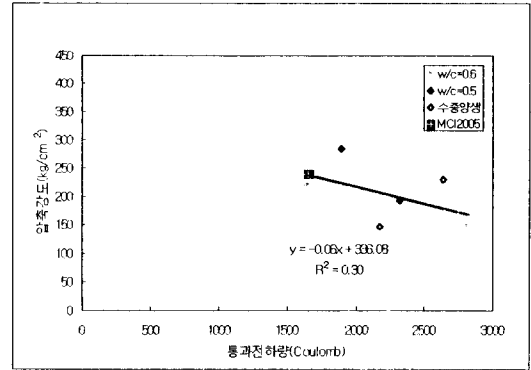


그림 9 통과전하량과 압축강도의 상호관계

GWT에 의해서 측정된 투수계수와 통과전하량 시험에 의해서 측정된 전하량간의 상호분석결과에 따른, 콘크리트의 통과전하량 추정식은 다음과 같이 제시된다.

$$E = -3.21K + 2248.1, R^2 = 0.91$$

여기서 E는 통과전하량을 쿨롬(Coulomb)단위로 측정한 값이고, K는 콘크리트의 투수계수이다. 이들 추정식의 상관계수 R^2 는 0.91이고, 이는 추정식이 상당히 신뢰도가 높음을 의미한다. 따라서, 현장에서 사용 가능한 GWT시험기를 이용하여 측정된 투수계수를, 통과전하량의 측정값으로 추정할 수 있으므로, 현장에서 내구성의 검증에 활용할 수 있는 주요한 검사방법이 될 수 있다.

4.2 투수계수와 압축강도와의 관계

물-시멘트비에 따라서 투수계수와 압축강도와의 관계를 살펴보면, 물-시멘트비에 상관없이 재령에 따른 강도증가에 따라 투수계수가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 즉, 재령이 지나면서 강도가 증가하는 것은 수화반응에 의한것으로서 수화물이 콘크리트의 내부공극을 채워 투수계수가 감소한다고 볼 수 있다.

4.3 통과전하량과 압축강도와의 관계

통과전하량이 감소함에 따라 강도가 증가하는 경향을 보이지만, 상관계수 R^2 은 0.30으로 매우 낮은 상관관계를 보이고 있다. 이것은 수중양생의 경우 통과전하량이 감소함에 따라 압축강도가 감소하는 특이한 결과 때문인데 이는 실험오차로 간주할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 방식처리된 콘크리트의 투수성과 강도에 대한 기존의 연구자료와 측정자료방법에 관한 자료를 조사, 분석하고, 이에관한 실험결과를 분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 물-시멘트비에 따른 변수에서는 재령 28일 이전에는 물-시멘트비의 감소에 따라 투수계수가 감소하는 경향을 보이지만, 재령 28일 이후에는 물-시멘트비에 따른 변수간의 측정값들의 편차가

줄어들기 때문에, 투수계수의 감소효과를 기대하기 어렵다.

- 2) 양생방법에 따른 변수에서는 수중양생 방법이 기건양생방법에 비해 낮은 투수계수값을 기대했지만, 오히려 기건양생이 더 낮은 투수계수값을 보였다. 그러나 기건양생의 경우 측정값간의 표준편차가 수중양생에 비해 크게 나타나므로, 기건양생의 투수계수값이 낮게 나타나는 것은 실험오차로 사료된다.
- 3) 염분에 대한 노출조건에 따른 변수에서는 간헐폭로에 비해서 연속폭로 조건이 투수계수를 낮추는데 효과적이었다.
- 4) 방식제를 사용한 경우에는 혼합형이 가장낮은 투수계수를 보였으며, 특히 혼화재(混和材)를 사용한 경우 투수성과 강도면에서 우수한 특성을 보였다. 이는 도포제형이나 충전형의 방식제가 물리적인 침투억제제 기능보다는 화학적인 방식기능에 대한 제품이기 때문이라고 사료된다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾

참 고 문 헌

1. J.Kropp and H.K. Hilsdrof, "Performance Criteria for Concrete Durability", 1992, pp. 138-279.
2. "Concrete, Hardened-Determination of the Depth of Penetration of Water under Pressure", ISO/DIS 7031, Germann, 1988.
3. "Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration", ASTM C1202-91, pp.623-628, 1989.
4. C.Ozyildirim and W.Halstead, "Resistance to Chloride Ion Penetration of Concretes Containing Fly Ash, Silica Fume, or Slag" Proceedings, Journal of ACI vol 26, 1929, pp. 101- 141.
5. David Whiting, Arthur Wakit, "PERMEABILITY OF CONCRETE" ACI SP-108, July, 1988
6. D.Roy, R.Malek, and P.Licastro, "Chloride Permeability of FlyAsh-Cement Paste and Mortar", ACI-SP 100-74, pp.1450-1475.
7. B.Mobasher and T.M.Mitchell, "Laboratory Experience with the Rapid Chloride Permeability Test", ACI-SP 108-7, pp.117-144.
8. 건설부, "콘크리트 표준시방서", 1988.12.
9. ASTM, Annual book of Astm standards, "Concrete and Aggregate," 1990, Vol. 04.02.
10. 한국건설기술연구원, 도로기술자료집, 하권, 1992.