

물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투과성 및 염화물 이온의 침투성에 관한 연구

A Study on the Permeability and Chloride Ion Penetration of Concrete

형 원 길*	소 형 석**	소 승 영***	소 양 섭****
Hyung, won gil	So, Hyoung-Seok	So, Seung-Young	Soh, Yang-Seob

Abstract

The permeability of concrete influences the durability of concrete remarkably. This paper describes a programme of permeability tests carried out to determine the differences between permeability coefficients derived using water, oxygen and chloride ions. Tests have been carried out on three concretes having water/cement ratios of 0.45, 0.55, 0.65 to measure their water, chloride-ion and gas permeability coefficients.

The test results indicate that the permeability of concrete increase with the increase water cement ratios. The water and gas permeability coefficients is presented from 1.43×10^{-10} to 19.01×10^{-10} m/s and from 0.88×10^{-18} to 1.59×10^{-18} m² for concrete of different water cement ratios. The current intensity passing through the concrete is presented from 4504 to 4920 C.

1. 서론

콘크리트는 타설 직후부터 지중, 수중 또는 대기 중에 노출되어 사용년한 동안 각종 물리·화학적인 영향을 받게 된다. 콘크리트 외부에 존재하는 황산염, 염화물 이온이나 이산화탄소 등과 같은 각종 유해 성분들은 장기간에 걸쳐 용액 또는 기체 상태로 콘크리트 표면으로부터 내부로 확산되어 콘크리트 조직의 성분변화와 팽창에 의한 균열 발생 및 보강철근을 부식시키는 등의 피해를 입힐 수 있으며 유해성분의 농도가 높거나 콘크리트 내부로의 확산이 용이할 경우 콘크리트 내구년한과 내력을 현저하게 감소시킬 수 있다^{1),2)}. 따라서 콘크리트 외부의 각종 유해 성분들이 콘크리트 내부로 확산되는 것을 억제하는 것이 콘크리트의 내구성을 향상시키는 중요한 인자 중 하나이다.

최근 급속한 산업화에 따른 산업폐수는 오염도 증가와 토양오염 및 자동차에 의한 대기오염의 현저한 증가로 노출된 각종 콘크리트 구조물의 조기 성능저하가 우려되고 있어 콘크리트 투과특성이 내구성 저하를 억제하는 중요한 인자가 됨에도 불구하고 콘크리트 투과성 측정방법이나 한계치에 대한 국

* 전북대학교 대학원 건축공학과

** 정희원, 서남대학교 건축공학과 교수

*** 정희원, 전남도립담양대학 건축과 교수

**** 정희원, 전북대학교 건축공학과 교수

내·외 기준은 거의 없는 실정이다. 이는 실험실에서와 같은 한정된 조건하에서의 실험이 폭로된 콘크리트의 다양한 환경조건을 반영할 수 없고 실험상태와 폭로상태의 콘크리트 수분조건 설정도 어렵기 때문이다^{3),4)}. 그러나 최근 각국에서는 콘크리트 투과성에 대한 중요성을 인식하고 기체, 액체에 대한 폭넓은 일련의 실험을 통해 침투물질에 따른 확산계수에 의해 투과성에 대한 정의를 시도하고 있다⁵⁾.

본 연구는 철근콘크리트 내구설계에 중요한 인자인 콘크리트의 투과성 평가를 위한 일련의 실험 중 배합조건에 따른 콘크리트의 투과특성을 투수, 투기성 및 염화물 이온 침투성을 통해 평가하고자 실시되었다.

2. 실험계획 및 방법

본 연구는 콘크리트의 배합조건에 따른 콘크리트의 투과특성을 평가하기 위해 물-시멘트비 45%(단위시멘트량 462kg/m³), 55%(단위시멘트량 351kg/m³), 65%(단위시멘트량 308kg/m³)를 변수로 투수, 투기성 및 염화물 이온 침투성 실험을 수행하였다.

2.1. 공시체 제작 및 양생

콘크리트의 배합은 국내산 보통포틀랜드시멘트(제 1종 시멘트)와 최대 골재크기가 20mm인 쇄석골재, 강모래를 사용하였으며, 이들 변수에 대한 배합은 표 1과 같다. 이때 공시체는 Ø100×200mm 원주공시체로 제작하여 28일 수중양생 후 50mm 두께로 삼등분 하였고, 원주공시체의 상·하부 25mm는 타설 및 양생시의 영향에 따른 오차를 줄이기 위해 실험 공시체에 포함시키지 않았다. 또한 공시체의 표면누출 방지를 위해 절단면을 제외한 원주면을 에폭시 수지에 의해 5mm 두께로 코팅하였다.

표 1 콘크리트의 배합표

Test Series	W/C (%)	Unit Weight (kg/m ³)				Slump (cm)	Air Contents (%)
		Cement	Water	Sand	Gravel		
N45	45	462	208	604	972	8	1.6
N55	55	351	193	731	978	8	1.7
N65	65	308	200	769	956	8	1.4

2.2. 실험방법

1) 투수실험

본 연구에서 수행된 투수실험은 그림 1에 나타난 실험링^{6),7)}을 이용하여 측정하였다. Taywood Engineering Limited에 의해 설계된 이 실험링은 1975년 이후 광범위하게 이용되었고, 오랜 세월동안 이 분야의 다른 연구자⁸⁾들에 의해 사용된 Cell 및 Cement and Concrete Association^{3),5)}의 Cell 개념과 유사하다.

본 연구에서 투수계수는 다음 식을 이용하여 산정되었다⁹⁾.

$$K_v = \frac{Xp^2v}{2ht} \text{ ----- (1)}$$

여기에서, K_v =투수계수(m/s), h =물의 높이(m), Xp =침투깊이(m), $t = Xp$ 만큼 침투되는 데 걸린 시간(s)

v = 침투부분에서 물에 의해 충전된 공극의 체적(실험전, 후의 시편 중량측정으로 부터 결정됨)

2) 투기실험

본 연구에서 수행된 투기성 실험은 투명한 아크릴과 강재로 구성된 상판이 그림 2에 나타난 바와 같이 강재판으로 대체된 것을 제외하고 그림 1의 투수 실험링과 같다.

준비된 공시체는 실험링에 장치되고, 10.5 kgf/cm²의 압력으로 공시체의 밀표면에서 제공된다. 이때 사용가스는 산소(O₂)였으며, 유량계(gas bubble flowmeter)를 이용하여 콘크리트를 통과하는 산소의 흐름비율을 측정하였다.

산소를 이용하여 측정된 투기계수는 다음 식에 의해 산정 되었다.

$$K_g = \frac{QX \cdot 2P_2}{A(P_1^2 - P_2^2)} \quad \text{----- (2)}$$

여기에서, K_g =투기계수(m^2), Q, A, X ,는 전술한 바와 같으며, P_1 =입구에서의 압력(kgf/cm^2), P_2 =출구에서의 압력(kgf/cm^2)이다. 흐름비율 Q 는 하부표면에서 측정된 값이다.

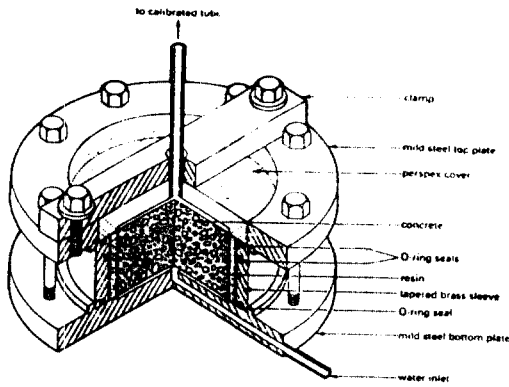


그림 1 투수 실험링

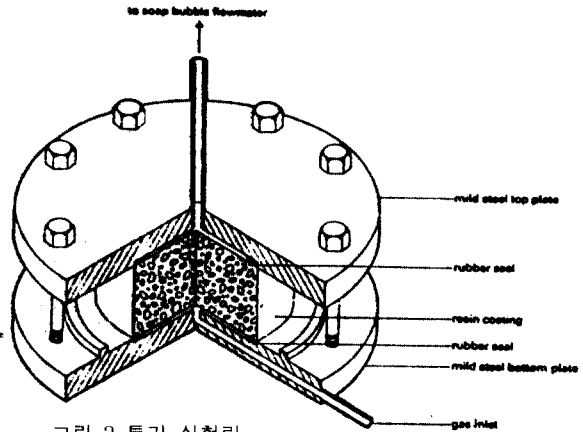


그림 2 투기 실험링

3) 염화물 이온 침투성 실험

본 연구의 염화물 이온 침투성 실험은 ASTM C 1202-91 "Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration"¹⁰⁾과 AASHTO T 277-831¹¹⁾의 방법에 의거하여 수행하였으며, 실험방법은 그림 3,4와 같다.

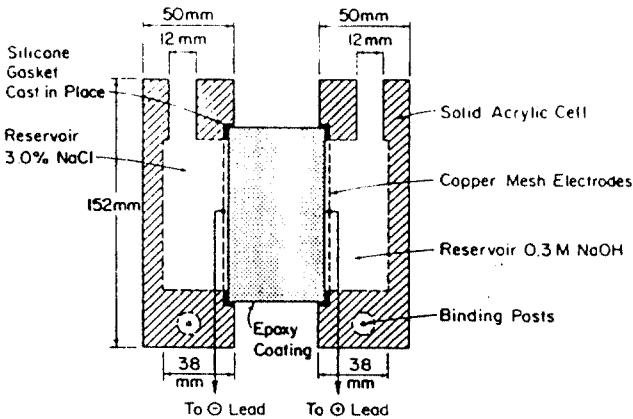


그림 3 염화물 이온 침투성 장치

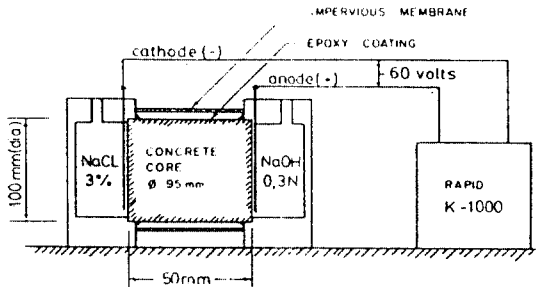


그림 4 Applied Voltage Cell

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투수성

표 2와 그림 5에는 물-시멘트비(45%, 55%, 65%)에 따른 콘크리트의 투수성에 대한 실험 결과를 나타내었다. 표 3과 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 물-시멘트비가 증가함에 따라 투수계수는 증가하고 있으며, 물-시멘트비 55% 이상에서 큰 폭으로 증가하였다.

본 연구로부터 측정된 투수계수는 $1.43 \times 10^{-10} \sim 19.01 \times 10^{-10}(\text{m/s})$ 수준으로 나타나 일반적인 콘크리트의 투수계수⁵⁾인 $10^{-9} \sim 10^{-13}(\text{m/s})$ 의 범위내에 있음을 알 수 있었다. 물-시멘트비 변화에 따른 콘크리트의 투수성을 살펴보면, 물-시멘트비 45%(단위시멘트량 462 kg/m^3)에 대해 물-시멘트비 55%(단위시멘트량 351 kg/m^3)의 경우, 약 2.8배 정도, 물-시멘트비 65%(단위시멘트량 308 kg/m^3)의 경우, 약 35배 정도로 증가되었다.

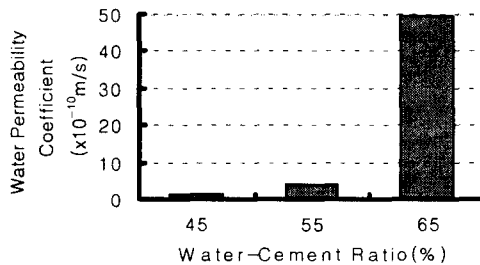


그림 5 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투수성

표 2 콘크리트의 투수실험 결과

Water-Cement Ratio(%)	Penetration		Thickness of specimen(mm)	Weight gain(g)	Water Permeability coefficient $K_L(\text{m/s})$
	Depth(mm)	Time(days)			
45	24	7	50	15	1.43×10^{-10}
55	32	7	50	22	4.06×10^{-10}
65	50	2.67	50	46	49.53×10^{-10}

3.2. 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투기성

표 3과 그림 6에는 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투기성에 대한 실험결과를 나타내었다. 표 4와 그림 6에서 보는 바와 같이 물-시멘트비가 증가함에 따라 투기계수는 증가하고 있으며, 투수성 실험결과와 같이 물-시멘트비 55% 이상에서 큰 폭으로 증가하였다.

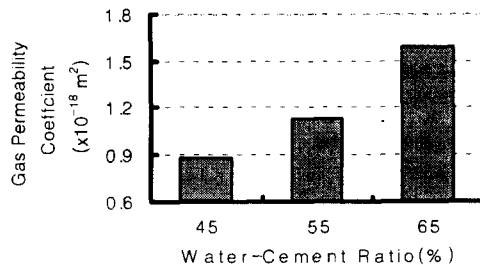


그림 6 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투기성

표 3. 콘크리트의 투기실험 결과

Water-Cement Ratio(%)	Time for 1ml flow (s)	Flow rate ($\times 10^{-5}$ m ³ /s)	Gas Permeability coefficient Kg(m ³)
45	93	0.108	0.30×10^{-18}
55	24	0.417	1.13×10^{-18}
65	17	0.588	1.59×10^{-18}

물-시멘트비 변화에 따른 콘크리트의 투기성을 살펴보면, 물-시멘트비 45%(단위시멘트량 462 kg/m³)에 대해 물-시멘트비 55%(단위시멘트량 351 kg/m³)의 경우, 약 1.6배 정도, 물-시멘트비 65%(단위시멘트량 308 kg/m³)의 경우, 약 2배 정도로 증가되었다.

본 연구로부터 측정된 콘크리트의 투기계수는 $0.88 \times 10^{-18} \sim 1.59 \times 10^{-18}$ (m²) 수준이었다.

3.3. 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 염화물 이온 침투성

표 4와 그림 7에는 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 염화물 이온 침투성에 대한 실험결과를 나타내었다. 표 4와 그림 7에서 보는 바와 같이 염화물 이온 침투실험에 의한 통과 전하량은 물-시멘트비가 증가함에 따라 증가하였고, 약 4504~4920C 수준으로 나타났다. 이는 표 5에서 보는바와 같이 ASTM C 1202의 염화물 이온 침투성에 따른 콘크리트의 투과성 분류에서 높은 투과성을 갖는 콘크리트로 분류된다.

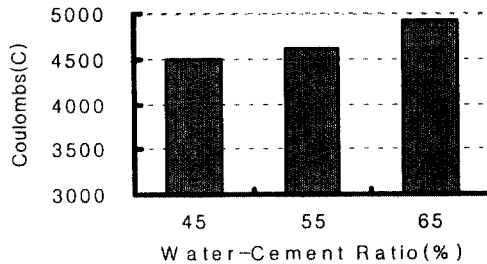


그림 7. 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 염화물 이온 침투성

표 4. 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 염화물 이온 침투성 실험 결과

Water-Cement Ratio(%)	Charge Passed (Coulomb)
45	4504
55	4606
65	4920

표 5. 통과 전하량에 기초한 염화물 이온 침투성¹⁰⁾

Currents(C)	Chloride Ion Penetrability
> 4000	High
2000-4000	Moderate
1000-2000	Low
100-1000	Very Low
100 <	Negligible

4. 결론

본 연구는 철근콘크리트 내구설계에 중요한 인자인 콘크리트의 투과성 평가를 위한 일련의 실험 중 배합조건에 따른 콘크리트의 투과특성을 투수, 투기성 및 염화물 이온 침투성을 통해 평가하고자 실시되었으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 콘크리트의 투수, 투기, 염화물 이온 침투성은 물-시멘트비가 증가함에 따라 증가되었고, 물-시멘트비 55% 이상에서 큰 폭으로 증가됨을 알 수 있었다.

② 물-시멘트비의 변화에 따른 콘크리트의 투수계수는 $1.43 \times 10^{-10} \sim 19.01 \times 10^{-10}(\text{m/s})$ 수준으로 나타났고, 투기계수는 $0.88 \times 10^{-18} \sim 1.59 \times 10^{-18}(\text{m}^2)$ 수준으로 나타났다.

③ 본 연구의 배합조건으로 제작된 콘크리트의 염화물 이온 침투실험에 의한 통과 전하량은 4504~4920C 수준으로 나타났으며, 이는 ASTM C 1202의 염화물 이온 침투성에 따른 콘크리트의 투과성 분류에서 높은 투과성을 갖는 콘크리트로 분류된다.

참고문헌

1. Neville, A. M. Properties of concrete, Third edition, London, Pitman, 1981, pp.433.
2. Levitt, M, In-situ permeability of concrete, Developments in Testing Concrete for Durability, Papers for a one-day Conference, London, september 1984, The Concrete Society, 1985, pp.59-64.
3. Lawrence, C. D. Durability of concrete : molecular transport processes and test methods, Slough, Cement and Concrete Association , 1981, pp.25.
4. Bakker, R. F. M. Diffusion within and into concrete, Paper presented at The Institute of Concrete Technology, 13th Annual Convention, University of Loughborough, March 1985, pp.25-27.
5. The Concrete Society, Permeability testing of site concrete - a review of mothodes and experience, Report of a Concrete Society Working Party , Permeability of Concrete and its control, Papers for a one-day Conference, London, 12 December 1985, The Concrete Society, 1985, pp.1-68.
6. Bamforth, P. B. The relationship between permeability coefficients of concrete using liquid and gas, Magazine of Concrete Research, V.39, N.138, March 1987, pp.3-11.
7. Bamforth, P. B. The water permeability of concrete and its relationship with strength, Magazine of Concrete Research, V.43, N.157, December 1991, pp.233-241.
8. Taylor Woodrow Research Laboratories, Marine durability survey of the Tongue Sands Tower, Published for the Concrete in the Oceans Management Committee by the Cement and Concrete Association, Slough, 1980, 141pp. Publication 15.615, Technical Reports No.5.
9. Valenta, O. The permeability and durability of concrete in aggressive conditions, Proceedings of 10th International Congress on Large Dams, Montreal, 1970, pp.103-117.
10. Annal Book of ASTM Standard, C 1202, Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, 1990.
11. Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Fourteenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO), Washington D. C., 1986.