양생조건 및 함수율이 콘크리트의 중성화 및 투기성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Effect of Curing Condition and Moisture Content Ratio on the Carbonation and Air Permeability of Concrete

○유 재 강* 이 강 우* 강 석 표**

Yoo, Jae Kang Lee, Kang Woo Kang, Suk Pyo

권 영 진*** 배 기 선**** 김 무 한*****

Kwon, Young Jin Bae, Kee Sun Kim, Moo Han

ABSTRACT

Hardened concrete contains pores of varying types and sizes, and therefore the transport of air through concrete can be considered. The rate of permeability will not only depend on the continuity of pores, but also on the moisture contents in concrete.

In this paper, the effects of curing conditions and moisture content ratios on the carbonation and air permeability are investigated according to the accelerated carbonation test.

The results are as follows

1) Compressive strength, carbonation velocity and air permeability are influenced by the moisture content and curing method.
2) The relationship between carbonation velocity coefficient and air permeability coefficient has been quite well established

1. 서 론

콘크리트는 골재와 시멘트 수화물에 의한 매트릭스 구조로 구성되어진 다공체이기 때문에 공기를 투과시키는 성질을 갖으며, 이러한 성질은 탄산가스의 침투에 의한 콘크리트의 중성화와 염분을 함유한 콘크리트의 경우 산소의 침투확산에 의한 철근 부식에 직접적인 영향을 미치게 되므로 철근콘크리트 구조물에 있어서 내구성과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.[1)]

이에 투기계수를 요인으로 콘크리트의 중성화를 평가하기 위한 연구와 투기계수 및 중성화에 미치는 제요인에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편, 투기성은 경화콘크리트 조직의 치밀성에 영향을 받을 뿐만 아니라 콘크리트 세공내부의 잉여수분 및 외부환경습도에 의해 영향을 받기 때문에 함수율이 모르터 및 콘크리트의 투기성에 미치는 영향은 큰 것으로 보고되고 있다.[1)]

본 연구에서는 콘크리트의 양생조건이 콘크리트의 중성화 속도와 투기성에 미치는 영향을 평가하고 투기성능에 영향을 미치는 시험체의 함수율에 대한 평가를 함으로서, 향후 철근콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 기초자료로서 제시하고자 하였다.

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 쌍용엔지니어링 안전기술부 이사 · 공박

**** 정회원, B&K 방수기술연구소 소장 · 공박

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수 · 공박

표 1. 실험계획

물시멘트비 (%)	양생 조건	측정 항목	시험체 종류	촉진중성화 조건	측정 재령
50	· 수중1일+기건27일 · 수중3일+기건25일 · 수중28일	· 압축강도	· φ10×20cm	· 온도 20℃ · 습도 50% · CO_2농도 5%	· 촉진중성화 전, 촉진재령 1, 4, 8주
		· 중성화 깊이	· 7.5×10×40cm		· 촉진재령 1, 4, 8주
60		· 기중 투기량	· φ10×3cm		· 촉진중성화 전, 촉진재령 1, 4, 8주
		· 함수율	· φ10×3cm		· 촉진중성화 전, 촉진재령 1, 4, 8주
		· 절건 투기량	· φ10×3cm		· 촉진중성화 전, 촉진재령 1, 4, 8주

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 물시멘트비 50% 및 60%의 콘크리트 시험체를 제작하였으며, 탈형 후 양생조건이 콘크리트의 중성화 및 투기성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 양생조건을 1일 수중양생 + 27일 기건양생, 3일 수중양생 + 25일 기건양생, 28일 수중양생의 3수준으로 하였다. 28일 양생이 종료한 후 양생조건의 차이에 따른 함수율의 영향을 고려하여 촉진중성화시험의 전 양생으로서 1주간 기건양생을 실시하였다.

표 2. 콘크리트 배합 및 굳지않은 성상

물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위중량 (kg/m^3)				슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		물	시멘트	잔골재	굵은골재		
50	48	176	352	838	993	21	2.5
60	52	191	318	902	915	19	2.3

표 3. 사용재료의 물리적성질

시멘트	종류 : 1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,200cm^2/g
잔골재	종류 : 제염사, 최대치수 : 5mm 비중 : 2.56
굵은골재	종류 : 부순자갈, 최대치수 : 20mm 비중 : 2.65

촉진중성화시험은 온도 20℃, 상대습도 50%, CO_2농도 5%의 조건에서 실시하였고, 촉진중성화 전과 촉진중성화 재령별 압축강도, 기중투기량, 함수율 및 절건투기량을 측정하였으며, 촉진중성화에 따른 중성화 깊이를 소요의 재령에서 측정하였다. 본 실험의 콘크리트 배합 및 굳지않은 성상을 표 2에 나타냈다.

2.2 사용재료 및 시험체 제작

본 실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 3과 같다.

중성화깊이 측정용 시험체는 7.5×10×40cm의 시험체로 제작하였으며, 촉진중성화를 실시하기 전에 타설면에 직각인 한 면을 선정한 후 나머지 면은 에폭시로 코팅하여 탄산가스의 침투를 억제하였다.

투기계수 측정용 시험체는 커팅에 따른 영향을 고려하여 28일 양생직후 φ10×20cm의 원주형 시험체의 일정부위를 두께 3cm로 절단하여 제작하였으며, 커팅 후 측면을 에폭시로 코팅하였다.

2.3 측정항목 및 측정방법

중성화 깊이 측정은 1%의 페놀프탈레인 용액을 이용한 알콜용액법으로 실시하였으며, 시험체의 표면으로부터 발색되지 않은 깊이의 5개소를 측정하여 평균으로 구하였다. 재령에 따른 중성화 깊이 측정결과를 바탕으로 기존의 제안식인 岸谷式[2)]을 통해 중성화 속도계수를 산출하였다.

투기계수는 그림 1에서 보는 바와 같이 직경 7cm의 실린더에 시험체를 고정시켜 실링을 한 후 2kgf/cm^{2}의 압력을 가하여 투과되는 공기를 수중에서 메스실린더를 사용해 물과 치환하는 방법으로 투기량을 측정하였으며, 측정된 투기량 측정결과로부터 식(1)에 준하여 투기계수를 구하였다.

$$K=\frac{2P_2h\gamma}{P_1^2-P_2^2}\cdot\frac{Q}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{식(1)}$$

여기서 K : 투기계수 (cm/sec)

P_1 : 재하압력 (kgf/cm^2)

P_2 : 대기압 ($1.0332kgf/cm^2$)

h : 시험체의 두께 (cm)

Q : 투기량 (cm^3/sec)

A : 투기면적 ($38.465cm^2$)

γ : 기체의 단위용적중량

(공기 : $1.205\times10^{-6}kgf/cm^3$)[3]

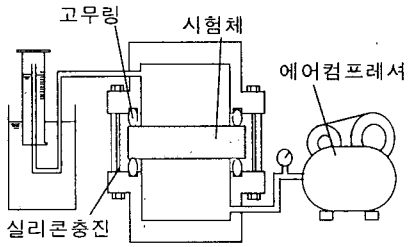


그림 1. 투기성 시험장치

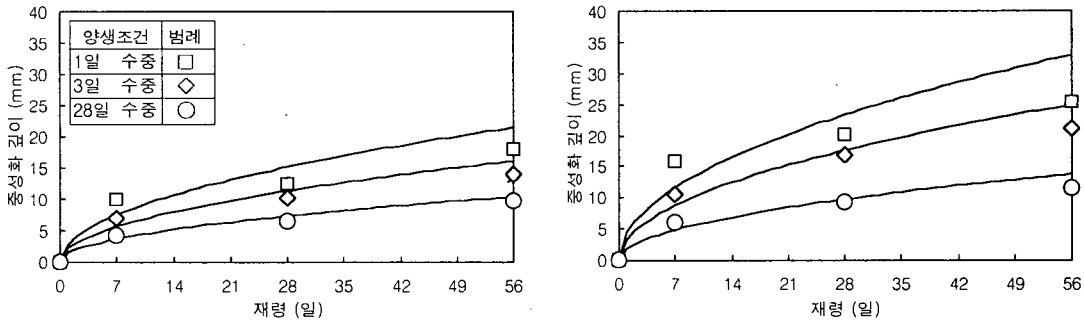
함수율이 콘크리트의 투기성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 투기계수 측정용 시험체와 동일하게 시험체를 제작한 후 촉진중성화를 실시하였으며, 측정재령에서 시험체의 중량(W_1)을 측정하고 80±5℃의 건조기 내에서 중량이 일정하게 될 때(함수율 0%)까지 건조된 시험체의 중량(W_2)을 측정하여 $(W_1-W_2)/W_2$의 백분율을 함수율로 하였다.[3] 또한 함수율을 측정한 시험체의 절건투기계수를 상기의 투기계수 측정방법에 의해 측정하였다.

3. 실험결과 분석 및 검토

3.1 중성화 속도 분석 및 검토

그림 2는 물시멘트비 및 양생조건에 따른 재령별 중성화 깊이를 나타낸 것으로서, 동일 재령에 있어서 수중양생 기간이 길수록 중성화 깊이는 작게 나타났다. 물시멘트비에 따른 중성화 속도계수는 동일 양생조건에 있어서 물시멘트비 60%가 물시멘트비 50%에 비하여 1.3~1.6배정도 큰 것으로 나타났다. 물시멘트비에 따른 중성화 속도계수의 차이는 물시멘트비 50%의 콘크리트가 60%에 비하여 단위용적당 차지하는 시멘트량이 많기 때문에 수화조직이 치밀하게 되었으며, 시멘트 수화시 생성되는 수산화칼슘의 양이 많기 때문인 것으로 사료된다.[4]

한편, 28일 수중양생을 실시한 시험체에 대하여 1일 및 3일 수중양생을 실시한 시험체의 중성화 속도계수는 물시멘트비 50%의 경우 2배 및 1.5배, 물시멘트비 60%의 경우 2.4배 및 1.8배로 나타났다. 이는 수중양생 기간이 길수록 시멘트의 수화정도가 크게되어 조직이 상대적으로 치밀하게 되었을 뿐만 아니라, 시멘트 수화시 생성되는 수산화칼슘의 양이 상대적으로 많게 되었기 때문인 것으로 사료된다.



(a) 물시멘트비 50%　　(b) 물시멘트비 60%

그림 2. 재령에 따른 중성화 깊이

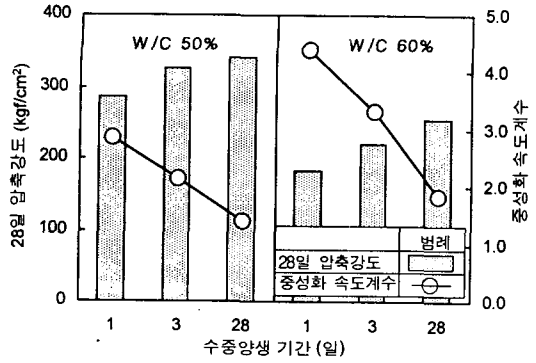


그림 3. 물시멘트비 및 양생조건에 따른 28일 압축강도와 중성화 속도계수의 관계

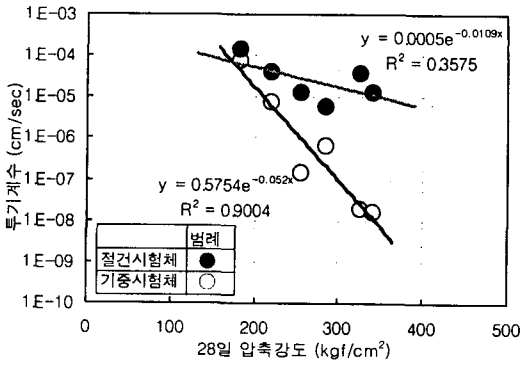


그림 4. 28일 압축강도와 투기계수의 관계

3.2 압축강도와 중성화 속도계수의 관계 분석 및 검토

그림 3은 물시멘트비 및 양생조건에 따른 28일 압축강도와 중성화 속도계수의 관계를 나타낸 것으로서, 각각의 물시멘트비에 있어서 수중양생 기간이 길수록 압축강도는 증가하는 경향을 나타내고 있으며 중성화 속도계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다.

이러한 경향은 기존의 보고[5]와 일치하는 것으로서 콘크리트의 중성화 속도계수는 물시멘트비가 낮을수록 작게 되며, 동일 물시멘트비에 있어서도 시멘트의 수화가 충분히 진행하도록 함으로서 중성화 속도를 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

3.3 투기계수와 압축강도의 관계 분석 및 검토

그림 4는 28일 압축강도와 기중 및 절건 투기계수의 관계를 나타낸 것으로 압축강도가 증가함에 따라 투기계수는 모두 감소하는 경향을 나타내고 있다.

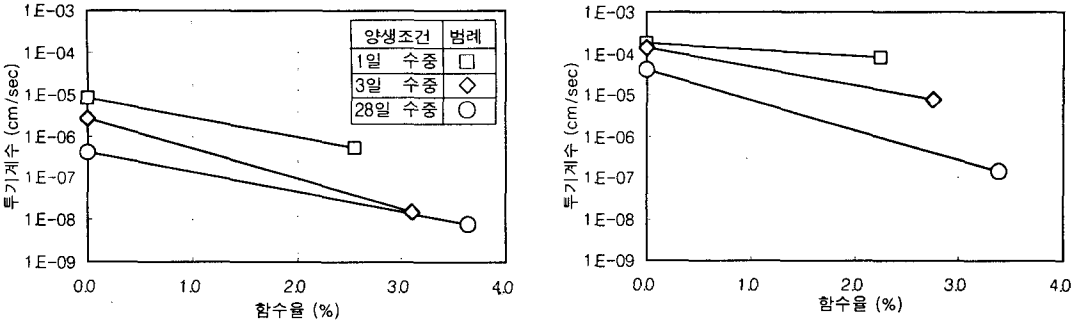
절건 투기계수는 동일한 물시멘트비 및 양생조건으로 제작한 기중 투기계수 시험체와 동일하게 제작한 시험체로서 측정재령에서의 함수율을 0%로 한 시험체이기 때문에 기중 투기계수와의 차이는 함수율에 의한 것으로 사료된다. 함수율에 따른 투기계수의 차이는 압축강도 200kgf/cm^2 내외의 영역에서는 거의 유사한 수준을 보이고 있으나 300kgf/cm^2 이상의 영역에서는 큰 차이를 나타내고 있다.

이는 절건 투기계수의 강도에 따른 변화에서 알 수 있듯이 강도가 클수록 조직의 치밀성이 증가하게 되어 투기계수가 저하하는 요인과 콘크리트 내부의 잉여수분이 미세공극을 채우고 있기 때문인 것으로 사료된다.

3.4 함수율이 콘크리트의 투기성에 미치는 영향

그림 5는 촉진중성화 재령 1주의 양생조건별 함수율과 투기계수의 관계를 나타낸 것으로서 모든 물시멘트비에 있어서 함수율이 커짐에 따라 투기계수는 감소하는 것으로 나타났다. 양생조건에 따라 물시멘트비 50%의 경우 기중 투기계수는 5.2×10^{-7}~7.8×10^{-9}cm/sec, 절건 투기계수는 8.4×10^{-6}~4.2×10^{-7}cm/sec의 범위로 나타났으며, 물시멘트비 60%의 경우 기중 투기계수는 7.8×10^{-5}~1.5×10^{-7}cm/sec, 절건 투기계수는 1.8×10^{-4}~3.8×10^{-5}cm/sec의 범위로 나타났다.

양생조건별 함수율의 차이는 모든 물시멘트비에서 수중양생 기간이 길수록 함수율은 크게 나타났으며, 물시멘트비 60%의 1일 수중양생 시험체는 함수율 2.25%의 시험체와 절건 시험체의 투기계수가



(a) 물시멘트비 50%　　(b) 물시멘트비 60%

그림 5. 촉진중성화 재령 1주의 양생조건별 함수율과 투기계수의 관계

다른 시험체에 비하여 다소 유사한 값을 나타내고 있다. 이에 반해 수중양생 기간이 길수록 함수율의 증가와 더불어 투기계수의 저하폭도 증가하는 것을 알 수 있다.

이상의 결과는 기존에 보고[6]된 바와 같으며 동일재령의 투기계수는 함수율의 영향과 양생조건의 영향을 크게 받고 있는 것을 알 수 있다. 함수율이 크면 미세공극을 잉여수분이 채우게 되어 공기를 통과시키는 세공의 양을 감소시키게 되며, 수중양생 기간이 길수록 함수율이 커지는 이유는 콘크리트 수화정도에 기인한 치밀한 조직 때문에 콘크리트 내부의 수분증발이 억제되었기 때문인 것으로 사료된다.

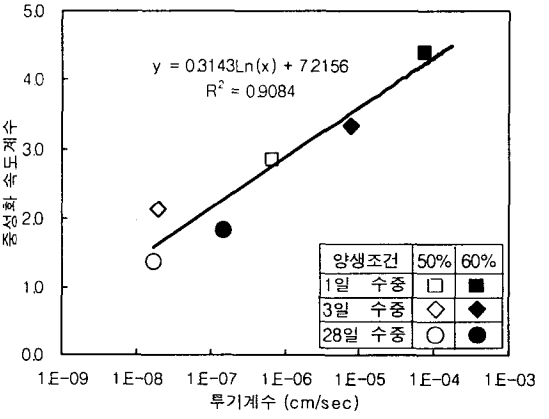


그림 6. 투기계수와 중성화 속도계수의 관계

3.5 투기계수와 중성화 속도계수의 관계 검토 및 분석

그림 6은 물시멘트비 및 양생조건에 따른 투기계수와 중성화 속도계수의 관계를 나타낸 것으로 투기계수가 증가할수록 중성화 속도계수도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 물시멘트비에 따른 투기계수 및 중성화 속도계수는 다소 다른 영역의 값을 갖는 것으로 나타나고 있으며, 양생조건에 따라서도 큰 차이를 나타내고 있다. 그러나, 각각의 물시멘트비 및 양생조건에 대한 투기계수와 중성화 속도계수의 관계는 일정한 식에 대하여 밀접한 관계를 나타내고 있다. 기존의 연구[7]에 있어서도 콘크리트의 투기계수는 콘크리트의 배합, 양생방법 등에 따른 경화콘크리트의 투기성능을 나타내는 요인으로서, 콘크리트의 중성화 속도와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있어, 향후 콘크리트의 중성화속도를 평가함에 있어 투기계수를 요인으로 하여 추정하는 것이 가능한 것으로 사료된다.

4. 결 론

양생조건 및 함수율이 콘크리트의 중성화 및 투기성에 미치는 영향에 관한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일 배합조건이라 하더라도 수중양생 재령이 짧을수록 중성화 속도는 빠르게 진행하였고, 투기계수는 크게 나타났으며, 압축강도 발현이 저하하는 것으로 나타났다.

(2) 물시멘트비 및 양생조건에 따른 압축강도와 중성화 속도계수는 반비례의 관계를 나타내고 있다. 중성화 속도에 영향을 미치는 물시멘트비의 영향은 단위용적당 차지하는 시멘트량의 차이에 의해 조직의 치밀도 및 수산화칼슘 생성량이 다르게 되기 때문인 것으로 사료되며, 양생조건에 따른 영향은 수화정도에 기인한 것으로 사료된다.

(3) 압축강도가 증가함에 따라 절건 및 기중 투기계수 모두 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 함수율이 0%인 절건 투기계수가 기중 투기계수보다 다소 높게 나타났다. 또한, 압축강도에 따른 절건 투기계수 및 기중 투기계수의 차이는 강도가 증가할수록 크게 나타나고 있다.

(4) 동일재령에 있어서 함수율은 물시멘트비 및 양생조건에 의해 영향을 받으며, 함수율에 따라 투기계수는 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

(5) 본 연구에 있어서 콘크리트의 투기계수는 콘크리트의 배합, 양생방법 등에 따른 경화콘크리트의 투기성능을 나타내는 요인으로서, 콘크리트의 중성화 속도와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타남에 따라 향후 콘크리트의 중성화속도를 평가함에 있어 투기계수를 요인으로 하여 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 田中享二 ほか, 水分を含む状態でのセメントモルタルの透気性, 日本建築学会, 第469号, 1995, pp.9～15
2. 岸谷孝一 ほか, コンクリート構造物の耐久性シリーズ ー中性化ー, 技報堂出版, 1988, pp.21～40
3. 千葉一雄 ほか, モルタルコンクリートの透気性と透気性が中性化に及ぼす影響, セ技年報 41, 昭和62年, pp.347～350
4. 鄭載東 ほか, 中性化速度に及ぼすコンクリートの調合及び細孔構造の影響に関する実験的研究, 日本コンクリート工学協会, 第1巻 第1号, 1990, pp.61～73
5. 長瀧重義 ほか, コンクリートの中性化深さの予測, セ技年報 41, 昭和62年, pp.343～346
6. 笠井芳夫 ほか, セメントモルタル板の透気性試験, セ技年報 36, 昭和57年, pp.440～443
7. 笠井芳夫 ほか, モルタルの透気性に関する試験, セメント・コンクリート No.436, 1983, pp.8～15
8. 김무한외, 알카리성 부여제 도포에 의한 중성화된 콘크리트의 알카리성 회복성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회, Vol.19, No.2, 1999. 5, pp.473～476
9. 김무한외, 중성화에 영향을 미치는 물시멘트비와 마감재 종류에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회, Vol.11, No.2, 1999. 11, pp.667～670
10. 김무한외, 모르터 및 콘크리트의 중성화에 영향을 미치는 투기계수에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회, Vol.12, No.1, 2000. 5, pp.700～703
11. 日本建築学会, 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, 1997, pp.15～28
12. コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム, 日本コンクリート工学協会, 昭和 63年
13. 鄭載東外, モルタルの中性化速度に及ぼす温度・湿度の影響に関する実験的研究, 日本コンクリート工学協会, 第1巻 第1号, 1990.1, pp.85～93