

표면마감재를 시공한 콘크리트의 탄산화 억제성능 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of a Restrain-Performance for Concrete covered with Surface-Finishes against Carbonation.

이상현* 이한승** 강인석*** 정해문****
Lee, Sang Hyun Lee, Han Seoung Kang, In Seok Jung, Hae Moon

ABSTRACT

Many studies about carbonation experiments which result in deterioration of the Reinforced Concrete(from now on RC) structure have being done by now. But most of the studies are about RC itself without thinking of finishing materials. So in this study, we experimented to know restrain-effects which each finishing material has for carbonation. On the basis of experiments, we estimated velocity coefficient for carbonation. We want to show basis data about how much each surface-finish has a restrain-performance against carbonation.

1. 서론

기존의 탄산화 연구는 토목구조물과 같이 마감이 없는 콘크리트 자체물성에 따른 연구가 주로 이루어져왔다. 그러나 건축물의 경우에는 대부분 표면마감이 되어 있고, 실제 탄산화 깊이는 표면마감재에 따라 다르게 나타난다. 또한 내구성 설계시에는 일반 대기 조건으로 설계를 하여야 하나 대부분 탄산화 조건에서의 실험데이터들이다. 따라서 본 논문은 일반대기 조건에서 표면마감재에 따른 탄산화 억제효과를 평가하여, 효율적인 표면마감재를 알아보았다.

2. 실험 개요

변수인 표면마감재의 종류는 표 1과 같으며, 100mm×100mm×400mm 콘크리트 시험체 표면에, 소요 피복두께로 시공을 하였다. 사용된 골재의 특성과 콘크리트의 배합은 표 2, 3과 같다. 탄산화 촉진 시 탄산가스가 일방향으로만 침투할 수 있도록 실험체의 양면에 표면마감재를 시공하고, 나머지면은 에폭시로 도포하였다. 완성된 시험체는 표 1의 촉진수준에 맞춰 실시, 측정재령일에 KS F 2596에 준하여 실험체들의 탄산화 깊이를 측정하였다.

*정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 석사과정

**정회원, 한양대학교 공학대학 건축학부 조교수, 공학박사

***정회원, (주)토탈인포메이션서비스 과장, 공학석사

****정회원, 한국도로공사 도로교통기술연구원 재료환경연구그룹 책임연구원, 공학박사

표 1. 실험 인자 및 개요


표면마감재	피복두께 (mm)	측정 재령	촉진 수준
1 무도포	×	7일 14일 28일 42일 70일 	· CO ₂ 농도: 10% · 상대습도: 40% · 온도: 20℃
2 발수제	0.1		
3 수성페인트	0.2		
4 표면피복재	0.5		
5 단면수복재	10		
6 레미탈	10		
7 본타일	0.5		

표 2. 골재의 특성

골재 종류	입경 (mm)	절건 비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (F.M)
잔골재	5	2.57	0.04	1,580	-	2.89
굵은골재	25	2.63	0.81	1,520	57.8	7.08

표 3. 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위 중량 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	AD
55.6	50.5	181	326	895	890	1.63

3. 실험 결과 및 분석

촉진 탄산화 실험 시 표면마감재별 재령에 따른 탄산화깊이는 그림 2와 같다. 무도포의 경우 촉진양생 70일시 탄산화 깊이가 약 28mm이나, 발수제, 수성페인트의 경우 약 23mm, 표면피복재, 단면수복재의 순으로 알아져, 본타일의 경우 약 5mm로 크게 줄어들었다. 표면마감재를 시공하게 되면 무도포에 비하여 탄산화 깊이가 모두 줄어들어, 탄산화를 억제할 수 있으며, 그 효과는 수성페인트, 발수제의 경우는 약 14%로 미미한 수준이나, 본타일, 레미탈

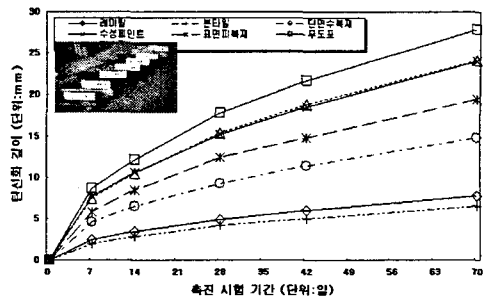


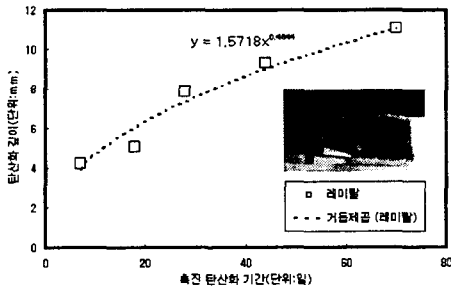
그림 2. 표면마감재별 재령에 따른 탄산화깊이

의 경우는 약 77%수준으로 상당한 억제효과가 있음을 알 수 있다. 그림 2에서 그래프의 기울기는 촉진탄산화속도계수이다. 이 기울기는 촉진재령이 경과할수록 점점 감소함을 알 수 있는데, 이는 탄산화에 의하여 콘크리트내 조직이 치밀해지고, 그로 인해 탄산가스의 침투가 어려워져 탄산화 진행속도가 느려지기 때문이다. 촉진탄산화 속도계수는 식(1)로 구할 수 있다. 임의의 두 점만으로 탄산화 속도계

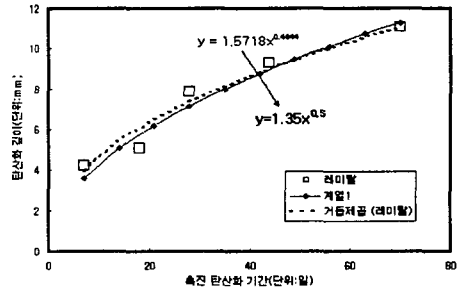
$$C = A \sqrt{t} \quad (1)$$

C: 탄산화깊이(mm), A: 탄산화속도계수(탄산화시험에 의한 계수 : mm · √t), t: 재령(주)

수 산정이 가능하나 탄산화 속도는 재령에 따라 감소하므로 모든 데이터들을 만족시키는 속도계수를 얻기 위해 추세선과 공식을 이용하였다. 그러나 이 공식은 시간에 대한 제곱근이 아니므로 이것을 일반적으로 사용되는 재령시간의 제곱근 형태, 즉 $C = A \cdot \sqrt{t}$ 로 식을 변형해 주면(그림 1-나), A의 값이 변한다. 이 A값이 바로 촉진 탄산화 속도계수(A_h)가 된다. 그런데 촉진 탄산화는 실험자에 의해 조건을 다르게 하여 실험할 수 있으므로, 탄산화 속도계수 비교를 위하여 동일조건으로 환산이 필요하며, 식(2)를 이용하였다.²⁾ 표준 촉진 탄산화 조건은 단면 100mm×100mm의 공시체를 사용하고 재령 28일까지 표준양생 한 후, 온도 20℃, 상대습도 60%의 조건으로 28일간 기건한 후, 온도와 습도는 계속 동일한 조건에서 탄산가스농도를 5%로 높여 탄산화실험을 행한 경우로 한다. 위 조건과 다를 시 식(2)를 이용



가) 탄산화 속도계수 산정



나) 제공된 형태에 맞춰 속도계수 변화

그림 1. 촉진 탄산화 속도계수 산정방법

하여 수정한다. 다음으로 보통 대기 중의 CO₂농도는 실내에서 0.03%, 실외에서 0.1%정도이나 표준 촉진 실험에서는 CO₂농도를 5%로 하여 실험한다. (그 외의 조건은, 온도 20℃, 습도 60%로 한다.) 따라서 일반 대기중에서의 탄산화 속도계수(Aa)는 식(3)²⁾을 통해 구한다. 표면마감재별 탄산화 조건에 따른

$$A = A_{size} \cdot A_{mature} \cdot A_{icure} \cdot A_{idry} \cdot A_{tem} \cdot A_{co_2} \cdot A_{Hu} \quad (2)$$

A_{size} : 단면 150mm×150mm의 경우, 0.94

A_{mature} : 밀봉양생의 경우, 1.08

A_{icure} : 0.97(0.8/t_{cure}+1), t_{cure} : 양생기간(일)

A_{Hu} = Hu(100-Hu)(140-Hu)/192000, Hu:촉진시험습도(%R.H)

A_{idry} = (tdry+157)/185, t_{dry} : 건조기간(일)

A_{tem} = (Tem-27.3)/47.3, Tem : 촉진시험온도(℃)

A_{CO2} = (CO₂/5)0.5, CO₂ : 탄산가스농도(%)

$$C = A \sqrt{CO_2/5} \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

C: 탄산화깊이(mm), A: 계수(촉진탄산화시험에 의한 계수: mm · √t), CO₂: 대기중의 CO₂농도(%), t: 재령(주)

표 4. 속도계수산정 (마감재+콘크리트)

	무도포	본타일	레미탈	단면 수복재	표면 피복재	수성 페인트	발수제	단위
촉진탄산화 속도계수(A _h): 20℃, 습도40%, CO ₂ 농도10%	3.33	0.78	0.93	1.76	2.31	2.87	2.88	$\frac{mm}{\sqrt{day}}$
표준촉진탄산화 속도계수(A _s): 20℃, 습도60%, CO ₂ 농도5%	5.89	1.38	1.64	3.11	4.08	5.07	5.09	$\frac{mm}{\sqrt{day}}$
일반 대기중에서의 속도계수(Aa): CO ₂ 농도 0.03%	8.725	2.019	2.452	4.615	6.057	7.5	7.5	$\frac{mm}{\sqrt{year}}$
100년 경과 시 탄산화 깊이	87.3	20.2	24.5	46.2	60.6	75.0	75.0	mm

속도계수는 표4와같다. 일반 대기중에서의 탄산화 속도계수(이하 Aa)는 무도포의 경우 약 8.7로 가장 크며, 발수제, 수성페인트는 7.5로 약간 낮아진 것을 알 수 있다. 탄산화 억제효과가 가장 큰 본타일이 약 2로 Aa가 가장 작았고, 그 뒤로 레미탈, 단면수복재, 표면피복재 순이었다. 본타일은 탄산화 억제효과가 상당히 큰데 이는 본타일의 조직이 치밀하여 탄산화에 필요한 수분과 CO₂의 침투가 어렵기 때문인 것으로 생각된다. 단면수복재나 레미탈의 경우는 시공시 피복두께가 두껍고, 탄산화 시 화학작용에 의하여 조직이 치밀해져 탄산가스의 침투를 억제하기 때문인 것으로 생각된다. 이에 비해 수성페인트, 발수제는 얇은 두께의 표면마감재 도포에 의한 시공방법이 수분과 CO₂의 침투를 적절히 억제하지 못하여 낮은 억제 효과를 나타낸 것으로 생각된다. 그림 4는 각 표면마감재를 시공한 콘크리트 피복두께 50mm인 구조물이 100년 경과시 탄산화 깊이를, 표 4의 일반 대기 중에서의 탄산속도계수와 식(1)을 이용하여 산정하였다. 무도포의 경우 탄산화 깊이가 약 87mm이지만, Aa가 가장 작은 본타일의 경우 약

20mm로 60mm 이상 탄산화가 억제된 것을 알 수 있다. 따라서 본타일 시공시 100년간은 탄산화에 대하여 안전하다고 예측할 수 있겠다. 반면 Aa가 7.5로 높은 수성페인트와 발수제의 경우에는 탄산화 깊이가 75mm로 무도포에 비하여 약 10mm 밖에 억제하지 못하였고, 철근깊이까지 탄산화가 진행되었음을 알 수 있다. 본 실험결과 표면마감재에 따른 산화 억제효과는 본타일 > 레미탈 > 단면수복재 > 표면피복재 > 수성페인트 > 발수제 순으로 확인할 수 있었다.

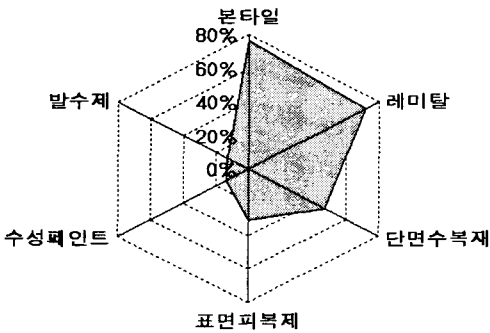


그림 3. 표면마감재별 탄산화 억제효과

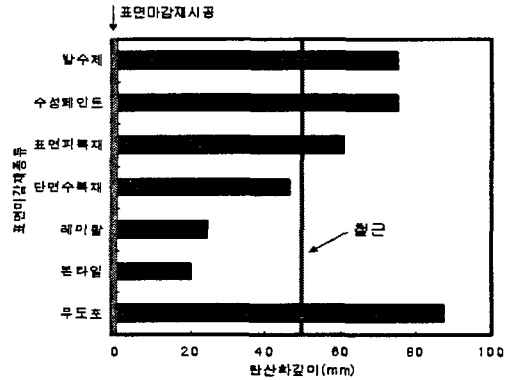


그림 4. 100년경과시 표면마감재별 탄산화 침투깊이 모식도

4. 결론

표면마감재가 탄산화억제에 미치는 영향에 관하여 실험 및 속도계수 산출 및 환산을 통하여 비교, 분석한 결과 본 실험의 범위에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 촉진 탄산화 실험을 통하여 표면마감재에 따른 일반 대기중에서의 시간에 따른 탄산화 깊이를 촉진탄산화 속도계수를 표준촉진탄산화 속도계수, 일반 대기중 탄산화속도계수로 환산을 하여 예측할 수 있다.
- 2) 일반대기중에서 100년 경과 후 탄산화 깊이를 예측한 결과 표면마감재의 탄산화 억제효과는 본타일 > 레미탈 > 단면수복재 > 표면피복재 > 수성페인트 > 발수제 순이었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업 지원으로 수행되었음.(# R11-2005-056-04003)

참고문헌

1. 阿部道彦・榊田佳寛・田中 齊・柳 啓・和泉意登志・友澤史紀:콘크리트의促進中性化試驗方法의評價に關する研究、日本建築學會構造系論文報告集, 第409, pp.1~10, 1990, 3.
2. 日本建築學會, “高耐久成鐵筋콘크리트造設計施工指針(案)・同解説”, pp.86-88, 183-184.