

# 모르터의 물리·화학적 특성에 미치는 중성화의 영향

## The Influence of Carbonation on Physical and Chemical Property in Mortar

문소현\*

소승영\*\*

소양섭\*\*\*

Moon, Soh Hyeon Soh, seung young Soh, yang seob

### ABSTRACT

There are carbonation, salt attack, freezing & thawing and alkali-aggregate reactions as the cautions of durability lowering of concrete structure. Generally, these cautions complicatedly lower the durability of structure and among these cautions the most serious problem is salt attack and carbonation. This study is intending to get the data about physical and chemical changes of cement mortar caused by the carbonation phenominon, that among cement calcium hydroxides change into calcium carbonate by responding to carbon nitrogen in the air.

#### 1. 서론

콘크리트의 중성화는 철근콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미치는 요인중의 하나로 시멘트의 수화 과정에서 생성된 pH 12이상의 강알칼리성인 수산화칼슘이 대기중의 탄산가스와 화학반응에 의해 pH 10이하의 탄산칼슘을 생성하는 것을 말한다.

중성화는 시멘트 수화물의 미세구조 변화 및 철근의 방청 기능 상실로 인해 내구성 저하 및 보강철근에 녹을 발생함으로써 피복 콘크리트의 균열·박리 등을 발생시킬 가능성이 높기 때문에 중성화 메카니즘과 중성화한 철근콘크리트 구조물의 수명예측에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다. 지금까지의 연구는 중성화 메카니즘의 규명과 중성화 속도에 영향을 미치는 재료·환경적인 요인에

집중되어 왔으나, 중성화가 진행된 시멘트 수화물의 물리·화학적 특성에 대한 연구는 아직 규명되지 않은 부분이 많다.

따라서 본 연구에서는 중성화가 진행된 시멘트 수화물의 물리·화학적 특성에 대하여 고찰함으로써 중성화가 콘크리트의 물성에 미치는 영향을 검토하고자 실시하였다.

#### 2. 실험개요 및 방법

##### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 시멘트

시멘트는 국내 S사의 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 산화 조성비는 표 1. 같다.

표 1. 시멘트의 화학적 특성

화학성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
(%)	20.57	5.48	3.18	63.03	3.41	2.23
화학성분	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ig.loss
(%)	0.80	0.09	0.37	0.22	0.22	1.24

##### 2.1.2 잔골재

잔골재는 KS L 5100의 규격품인 주문진산 표

\* 정희원, 전북대 대학원 석사과정

\*\* 전북대 강사, 공박

\*\*\* 전북대 교수, 공박

준사를 사용하였다.

### 2.1.3 혼합수

혼합수는 모르터 공시체의 pH 및 화학반응에 영향을 미치지 않기 위해 이온교환수를 사용하였다.

## 2.2 배합

각 공시체의 배합은 표2와 같다.

표 2. 배합표

TYPE	Cement : Sand (by Weight)	Water (%, by Cement weight)
A	1 : 2	40
B		50
C		60

### 2.3 공시체 제작 및 양생

중성화 깊이 측정, X-ray 회절 실험용 공시체는 3[□-60×60×240mm의 몰드를 이용·제작하여, 성형 48시간 후 탈형하였다. 촉진중성화용 공시체는 20±2℃에서 28일간 기중양생한 후, 공시체의 양단면에서만 이산화탄소가 침입하도록 2단면을 제외한 부분을 에폭시 실링하여 촉진중성화 시켰다.

투수성 실험용 공시체는 φ150×40mm의 몰드를 이용하여 3개씩 제작하였으며, 성형 48시간 후 탈형하여 20±2℃에서 19일간 습공양생한 후 전단면에 걸쳐 중성화가 진행되도록 설치하여 촉진중성화 시켰다.

산침적 실험용 공시체는 φ75×150의 원형공시체를 이용·제작하였으며, 48 시간 후 탈형하여 20±2℃에서 28일간 기중양생하여 소정농도의 황산용액에 침적시켰다.

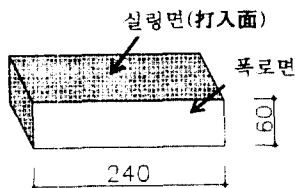


그림 1. 촉진중성화 실험용 모르터 공시체 실링

### 2.5 중성화 깊이 측정

공시체는 양생완료후 촉진중성화기틀 이용하

여, 40℃, 60%RH, CO<sub>2</sub>농도 10%의 조건하에서 소정기간 보존한 후, 절단면에 페놀프탈레인 1%용액을 분무하여, 적색반응에 의해 중성화 깊이를 측정하였다. 중성화 깊이 측정시 공시체의 절단은 우상부분의 영향을 배제하기 위해 단부에서 25mm위치를 절단, 실내에서 24시간 건조 후, 공시체의 파단면에 합수 페놀프탈레인 1%용액을 분무하였다.<sup>2)</sup>

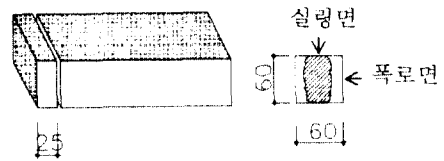


그림 2. 중성화 깊이 측정 방법

### 2.5 분말X선회절실험과 주사현미경 관찰

촉진중성화조에서 중성화한 공시체의 시멘트 수화물 변화를 검토하기 위하여, 촉진 중성화 8주된 동일공시체에서 페놀프탈레인 용액으로 착색된 부분과 착색되지 않은 부분의 시료를 채취하여 하여 분말 X선회절 실험과 주사현미경관찰을 실시하였다. (분말X선 회절 실험-사용기기 : Rigaku, MAX/III-A형, Japan, 측정조건 CuKα : 30Kv, 20mA, Scan speed : 2°/min, 2θ : 5-60, 주사현미경사진-측정조건 : 10Kv, 1,500배)

### 2.6 투수 실험

중성화로 인한 공시체의 물리적 특성변화를 검토하기 위해 투수 실험을 실시하였다. 투수 실험은 JIS A 1404에 따라 0.1kgf/cm의 수압을 1시간 동안 가해 얻은 결과를 투수량과 투수율로서 표시하였다.

$$\text{투수량} = W_2 - W_1$$

(단, W<sub>1</sub>은 절진후 실내공기중에 1시간 보존한후의 질량(g)

W<sub>2</sub>는 1시간 동안 0.1kgf/cm의 수압을 가한 직후의 질량(g))

$$\text{투수율} = \frac{\text{투수량(g)}}{\text{공시체의 절진중량(g)}}$$

### 2.7 산침적 실험

중성화로 인한 공시체의 물리적 특성을 검토하기 위하여 ASTM C 267에 따라 황산 5%용액에 침적하였다. 공시체는 촉진중성화기간 8주 - 중성화 깊이 10mm -로 산침적 28일후 중량감소율을 측정하였다.

$$\text{중량감소율} = \frac{\text{산침적 전 공시체중량} - \text{산침적 후 공시체의 중량}}{\text{산침적 시킨 공시체의 중량(g)}}$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 중성화 기간 및 물시멘트비에 따른 중성화 깊이

중성화 속도는 그림3에서와 같이 물시멘트비가 커짐에 따라 증가하였으며 물시멘트비 40~50%보다, 50~60%경우가 훨씬 높은 증가율을 보임을 알 수 있다. 즉 물시멘트비 50%는 40%에 비해 37%의 중성화 증가율을 보였으나, 물시멘트비 60%는 50%에 비해 48%의 증가율을 보이고 있다. 이와 같이 중성화 속도가 빨라지게 되는 것은, 물시멘트비가 커질수록 공시체내의 모세관공극등 큰 공극이 많아지게 되어, 이산화탄소와 수분의 침투가 용이하게 되기 때문이다.

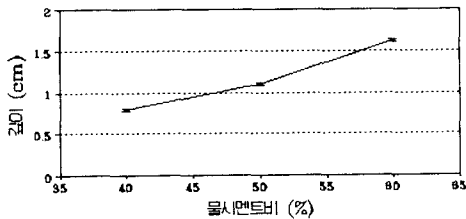


그림 3. 물시멘트비에 따른 중성화 깊이 (촉진중성화 8주)

촉진 중성화 기간에 따른 중성화 속도는 그림4에서와 같이 초기 4주까지는 크게 증가하나, 기간에 따라 증가폭은 감소하였다.

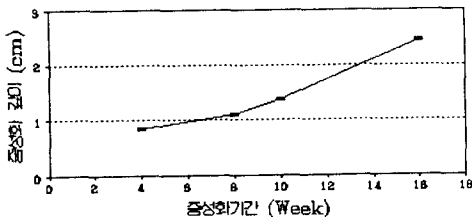
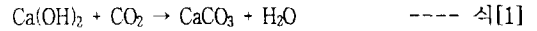


그림 4. 촉진중성화 기간에 따른 중성화 깊이

#### 3.2 분말 X선회절실험과 주사현미경 관찰

시멘트 수화물 중 pH 12-13 정도의 강알칼리성을 갖는 수산화칼슘은 모세관등의 공극을 통해 혼입된 이산화탄소와 식[1]과 같이 반응하여 탄산칼슘을 생성하게 된다.



위와 같은 반응은 분말 X선 회절 실험을 통해 확인할 수 있었다. 즉, 그림6과 같이 페놀프탈레인에 의해 착색된 부분과 착색되지 않은 부분의 분말 X선 사진 결과는, 중성화 되지 않은 부분의 수산화칼슘이 중성화된 부분에서는 감소하는 대신 탄산칼슘이 생성됨을 알 수 있다. 한편 지금까지의 연구는 중성화의 개념을 주로 식[1]과 같은 반응에 의해 콘크리트의 pH가 낮아지는 것으로 정의 하였으나, 사진 (1)에서 에트링가이트도 이산화탄소와 반응하여 변화하는 것임을 알 수 있다. 즉, 사진 1(a)와 같이 미중성화 부분에 나타나는 침상형의 에트링가이트는 사진 1(b)와 같이 중성화된 부분에서는 전혀 관찰되지 않고 중성화 특유의 괴상조직만이 관찰되고 있다. 이와같은 반응은 식[2]로 설명할 수 있다.

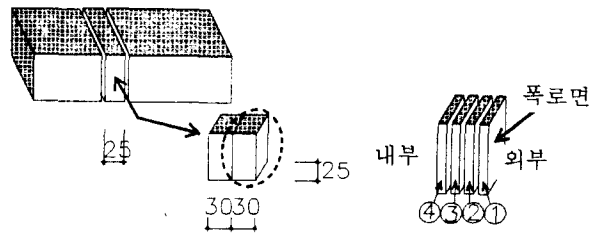
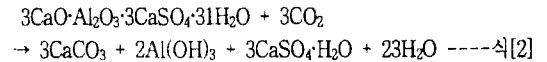
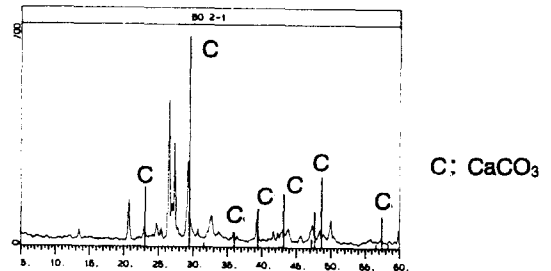
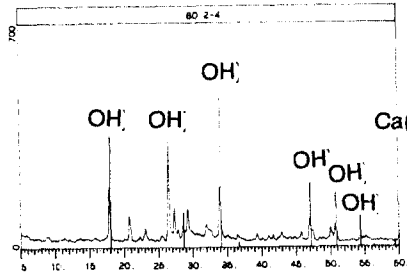


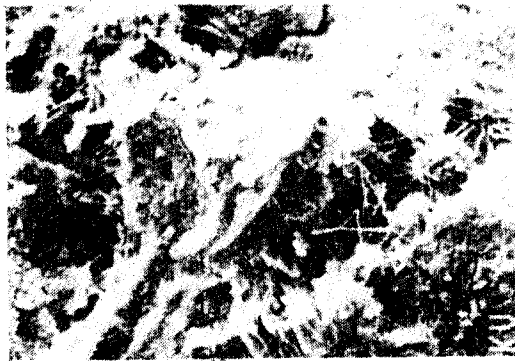
그림 5. 분말 X선 회절실험 시편



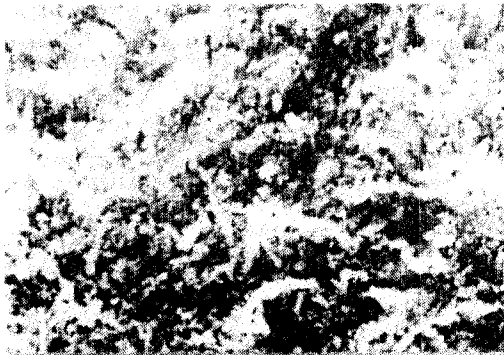
(a) 시편 ①의 탄산칼슘 피크



(b) 시편 ②의 수산화칼슘 피크  
그림 6. X선 회절실험



(a) 중성화 개시전 시편의 조직



(b) 중성화 후의 시편의 조직  
사진 1. 시편의 SEM사진

### 3.3 투수 실험

변형이나 파괴없이 재료내의 공극등에 물이 통과할 수 있는 성질을 투수성이라 하는데, 투수성이 적을 수록 재료의 조직이 치밀함을 알 수 있다. 중성화에 의한 시멘트 경화체조직의 투수성 변화는 표 3에서와 같이 중성화 부분이 약 66%의 투수율 저감효과를 보여 중성화 부분이 미중성화된 부분보다 조직이 치밀해짐을 알 수 있다. 이는 수산화칼슘이 탄산가스에 의해 중성화되어 탄산칼

슘을 생성할 때, 체적이 증가되기 때문이라 판단된다.

표 3. 투수 실험결과

	미중성화 공시체	중성화 공시체
절건중량(g)	1384	1444
투수량(g)	28	10
투수율(%)	2.02	0.693

### 3.4 산침적 실험

시멘트의 수산화칼슘은 황산이나 질산등의 산성분과 반응하여 석고결정을 형성, 구조물 표면을 팽창분리 시켜 구조물을 부식시킨다. 중성화로 인해 수산화칼슘이 감소한 콘크리트의 산에 대한 저항성을 알아보기 위하여 실시한 산침적 공시체의 중량감소는 표 4와 같다. 표 4에서 알 수 있듯이 미중성화한 공시체인 경우 27%의 중량감소율을 보이는 것에 비해, 중성화한 공시체의 경우 25% 감소율을 보이고 있어 중성화한 공시체가 미중성화한 공시체 보다 산에 대한 저항성이 약간 증진함을 알 수 있다.

표 4. 산침적 실험결과

	미중성화한 공시체	중성화된 공시체
절 건 중 량(g)	1326	1322
산침적 28일 후 중량감소량(g)	358	334
중량감소율(%)	27	25

## 4. 결론

I. 물시멘트비 증가에 따른 중성화 깊이는 물시멘트비가 커질수록 증가하였으며, 증가율은 물시멘트비가 60%이상이 되면, 중성화 진행속도가 가속화되는 경향을 확인할 수 있다. 또한 촉진중성화 기간에 따른 중성화 속도는 초기 4주까지는 전체 중성화 깊이의 35%정도로 빠르게 증가하나 촉진기간이 길어짐에 따라 증가폭은 감소한다.

II. 분말 X선 회절실험과 주사현미경 관찰에 의하여 탄산칼슘의 생성뿐만 아니라 탄산가스와 에트리링가이트의 반응을 통해 시멘트 수화물의 미세조

적이 중성화로 인해 변화하는 것을 알 수 있다.

Ⅲ. 모르터 공시체의 촉진중성화후 투수 실험과 산침적 실험결과, 투수 실험의 경우 중성화된 공시체가 미중성화 공시체 보다 66%의 저감효과가 있으며, 산침적 실험결과 중성화한 공시체가 미중성화한 공시체 보다 산에 대한 저항성을 약간 증진시켜 중성화가 콘크리트 조직을 치밀하게 함을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. 佐伯龍彦, 大賀宏行, 長瀧重義, 콘크리트의 중성화의기구, 콘크리트工學年次報告論文集, Vol.11, No.1, 1989, pp563-568
2. 飛坂基夫, 콘크리트의 중성화試驗, 建材試驗情報, 1983, pp.37-43
3. 鄭載東, 콘크리트의 중성화에及ぼす影響要因に關する試驗的研究, 東北大學博士學位論文, 1988
4. 정재동, 철근 콘크리트의 중성화 현상과 대책, 콘크리트학회지, Vol.4, No.1, 1992, pp.17-24.
5. 炭酸化研究委員會報告集, 콘크리트의炭酸化に關するシンポジウム, 日本콘크리트工學協會, 1993.
6. 小林 一輔, 콘크리트에對する二酸化炭素의作用, 生産研究, Vol.42, No.9, 1990, pp.525-534.
7. 小林一輔, 宇野祐一, 콘크리트의炭酸化의 메카니즘, 콘크리트工學論文集, Vol.1, No.1, 1990, pp.37-48
8. 鄭載東, 平井和喜, 三橋傳三, 中성화速度에 콘크리트配合及細工構造의影響に關する試驗的研究, 콘크리트工學論文集, Vol.1, No.1, 1990, pp.61-73
9. 鄭載東, 平井和喜, 三橋傳三, 몰타르의中성化速度에及溫度·濕度의影響に關する試驗的研究, 콘크리트工學論文集, Vol.1, No.1, 1990, pp.85-94
10. 小林一輔, 構造物의早期劣化と耐久性診斷, 森北出版株式會社, 1991. pp.9,134-150.