

# 철근 콘크리트의 중성화 현상과 그 영향요인에 관하여

鄭 載 東

〈KAIST 토목공학과 위촉연구원, 박사〉

## 1. 서 론

최근 철근 콘크리트 구조물의 내구성능과 보수, 유지관리 측면이 강조됨에 따라 구조물의 조기열화의 문제가 중요시 되고 있다.

콘크리트는 반영구적이라는 일반의 상식과는 달리 콘크리트 자체는 조기 열화의 요인을 많이 내포하고 있으며, 또한 이러한 열화 요인을 방치해 두면 의외로 단기간 중에 수명에 도달한다.

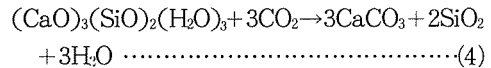
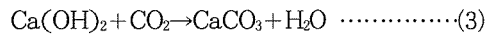
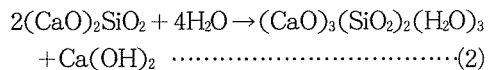
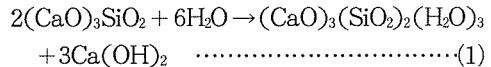
콘크리트 구조물의 열화 요인으로서 동해, 염해, 알칼리 골재 반응 등이 열거되나 이것들은 각각 지역적인 특수 요인에 기인하고 있다. 그러나 콘크리트의 중성화는 일반 환경하에 있어서도 확실하게 진행하며 철근의 부식에 관계하는 가장 기본적인 중요한 문제이다.

본고는 지금까지 연구되어온 중성화 현상의 기구와 영향요인 및 지연대책에 대하여, 기왕의 연구논문 및 필자의 실험결과를 중심으로 정리하고, 나아가서는 중성화에 관한 연구에 남겨진 문제점을 살펴 급후의 연구 방향을 전망함에 그 목적을 둔다.

## 2. 중성화 현상의 매카니즘

시멘트의 수화 반응에서 시멘트양의 약 1/3이 생성하는 수산화칼슘은 pH 12~13 정도의

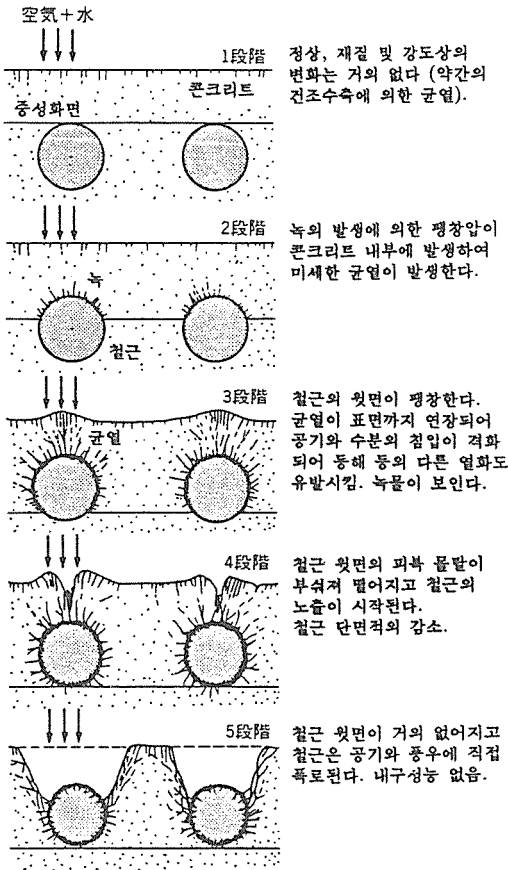
강알칼리성을 나타내며 또 이것이 시멘트 수화물 전체의 pH를 결정하고 있다. 수산화칼슘은 대기중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하여 다음과 같은 반응에 의하여 탄산칼슘과 물로 변화한다.<sup>1)</sup>



그리고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지는 것으로 인하여 중성화라고 불리운다(넓은 의미로는 탄산화를 포함한다). 시멘트 페이스트에 있어서의 탄산화 반응은 수산화칼슘 뿐만 아니라 각종의 수화 생성물 및 미수화물에서도 일어나지만 중성화에 관해서는 수산화칼슘의 영향이 가장 크다.

중성화는 콘크리트의 표면에서 내부를 향하여 진행하며 콘크리트는 탄산가스와 반응한 중량만큼 무거워 지고 치밀해 진다. 그리고 중성화 함에 따라 약간의 극히 미세한 균열이 발생하지만 문제가 될 정도는 아니다. 따라서 중성화에 의하여 물리적 열화가 생기는 것은 콘크리트 내부 철근의 녹슴에 의한 것이다.

콘크리트 내부의 pH가 11 이상에서 철근은



<그림 1> 중성화에 의한 콘크리트의 열화 진행의 모식도

표면에 부동태를 형성하므로 산소가 존재해도 녹슬지 않지만, 중성화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 철근에 녹이 발생하고 또 이러한 녹에 의하여 철근은 약 2.5배까지 체적이 팽창한다. 그리고 이 녹의 팽창 압력에 의해 콘크리트 내부에 균열을 발생시키며 철근 부착강도의 저하, 피복 콘크리트의 박리, 철근 단면적의 감소에 의한 저항 모멘트의 저하 등의 물리적 열화의 진행과 함께 중구적으로는 철근 콘크리트 구조물 전체의 위기를 초래한다(<그림 1> 참조).

### 3. 중성화 진행속도의 평가

중성화의 판별 방법으로서 공시체의 파단면

에 1% 페놀프탈레인-알콜 용액을 분무하여 변색의 여부를 관찰하는 방법이 가장 일반적이며, 무색이면 중성화한 것으로 적색으로 변화하면 비중성화(알칼리)부분으로 구분하게 된다.

그리고 중성화 진행속도는 콘크리트 표면으로부터 상술한 중성화 부분과 비중성화 부분의 경계면까지의 길이(이하 “중성화 깊이”로 칭함)와, 경과한 시간의 함수로서 나타낸다. 중성화 깊이와 경과년수와 관계는 일반적으로,

$$X = R \times \sqrt{t} \dots\dots\dots(5)$$

여기서, X : 기준이 되는 콘크리트 중성화 깊이(cm)

t : 경과년수(년)

R : 시멘트, 골재의 종류, 환경조건, 혼화재료, 표면마감재 등의 정도를 나타내는 상수

로 나타내며 상수 R은 실험에 의하여 구할 수 있다.

이 식은 하마다에 의하여 제안된 것으로<sup>2)</sup> 중성화 속도를 나타내는 가장 기본적인 가정으로 인식되어 지고 있다. 그리고 키시타니는 하마다의 식이 물시멘트비 60% 이하에서 자신의 실험식과 다소 차가 남으로 콘크리트의 종류를 인자로 한 중성화율에 의한 보정을 행하여 상기의 식을 수정하였으며, 또한 모리, 시로야마, 요다 등은 키시타니의 중성화율에 표면 마감재 및 환경조직에 관한 인자를 고려한 중성화 속도식을 제안하고 있다.

#### 3.1 하마다의 중성화 속도식<sup>3)</sup>

1928년 하마다는 1907년에 사노우가 시작한 자연폭로실험의 20년 후의 조사결과 및 자신의 실험결과로부터 철근이 녹슬기 시작하는 시간을 추정하는 식을 만들었다.

$$t = \frac{0.3(1.15 + 3W_0)X^2}{(W_0 - 0.25)^2} \dots\dots\dots(6)$$

여기서, t : 경과년수

X : 중성화깊이

W<sub>0</sub> : 물시멘트비

#### 3.2 키시타니의 중성화 속도식<sup>1)</sup>

키시타니는 하마다의 식을 기본으로 콘크리

트의 종류 및 배합에 관련하는 요인이 중성화에 끼치는 영향을 촉진 및 자연폭로시험으로부터 구한 후 이것들을 종합적으로 검토하여 다음과 같은 중성화 속도식을 제안하고 있다.

① 물시멘트비가 60% 이상인 경우

$$t = \frac{0.3(1.15 + 3W)X^2}{R^2(W - 0.25)} \dots\dots\dots(7)$$

② 물시멘트비가 60% 이하인 경우

$$t = \frac{7.2X^2}{R^2(4.6W - 1.76)^2} \dots\dots\dots(8)$$

여기서, W : 물시멘트비  
 X : 중성화 깊이(cm)  
 t : 시간(년)  
 R : 중성화율(=rc×ra×rs)  
 rc, ra, rs : 시멘트, 골재, 혼화제의 종류에 관한 계수

그리고 키시타니는 중성화 시험의 촉진성에 대해서도 연구하여 촉진시험(탄산가스농도 15%, 상대습도 85%)의 촉진 중성화 속도는 일반 환경하에 있어서의 중성화 속도에 비하여 약 40배 촉진된다고 밝히고 있다.

### 3.3 모리 등의 실험결과<sup>4)</sup>

모리 등은 시멘트의 종별, 환경 조건별로 10년간의 자연폭로(옥외, 옥내) 및 1년간의 농도 10%의 탄산가스 촉진시험결과로부터 다음과 같은 콘크리트의 중성화 속도추정식을 제안하고 있다.

$$t = \alpha\beta r \frac{Q}{(R \cdot W/C - P)^2} X^2 \dots\dots\dots(9)$$

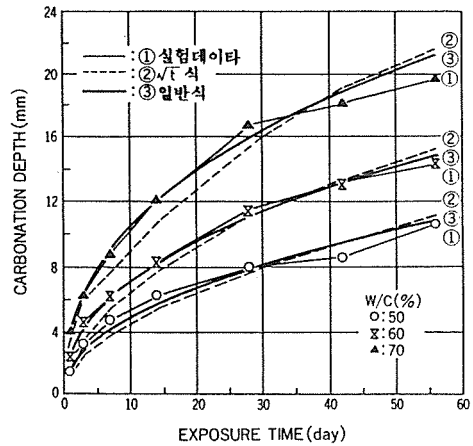
여기서, t : 시간(년)  
 α : 콘크리트의 품질계수(시공조건)  
 β : 표면마감재의 지연효과계수  
 r : 환경조건에 관한 계수  
 W/C : 물시멘트비  
 X : 평균중성화깊이  
 P, Q, R : 실험에 의하여 구해지는 계수

그리고 이 식에서는 중성화에 미치는 표면 마감재의 효과와 환경조건의 영향도 포함하고 있으며 중성화 억제제의 면에 있어서는 표면 마감재가 유효하고, 그 중에서도 모르타르나 타

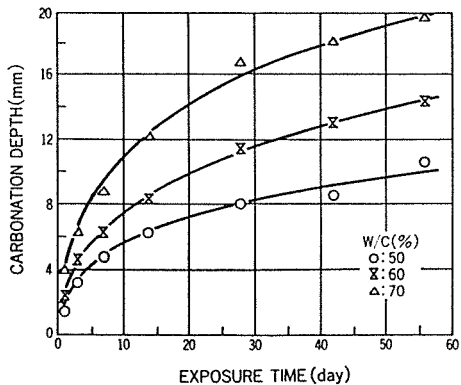
일 마감재가 페인트 계통으로 마감하는 것보다 효과가 있으며, 또한 환경조건 중에서는 온도의 영향이 큰 것으로 나타나 있다.

### 3.4 중성화 속도식의 재고<sup>5)</sup>

이상의 중성화 속도식은 전부가 하마다의  $X = R\sqrt{t}$ , 즉  $\sqrt{t}$  식을 기본으로 해서 유도된 식이지만, 필자가 행한 일련의 중성화 실험결과에서는  $\sqrt{t}$  식의  $X = Rt^{0.5}$  보다 작은  $X = Rt^{0.42}$ 가 얻어졌다. <그림 2>에서 그 대표적인 예를 표시한 바와 같이,  $\sqrt{t}$  식으로 구한 그래프 ②와 최소자승법으로 구한 일반식의 그래프 ③과는 다소 그 진행상의 차이가 있음을 알 수 있



<그림 2>  $\sqrt{t}$  그래프와의 비교



<그림 3> 중성화속도 그래프의 예

으며, 이러한 차는 폭로시간이 길어질수록 크게 벌어지는 경향이 있다. 그리고 실제의 데이터를 사용한 <그림 2>의 ①을 보면 장기 폭로 시간에 있어서의 중성화 깊이의 증가는  $\sqrt{t}$  식의 그것보다 점점 둔해져서 오히려 직선형으로 증가해 가는 경향이 나타난다. 이러한 경향은 중성화에 의하여 콘크리트 내부의 공극량이 감소하는 현상으로부터 설명할 수 있으며<sup>6)</sup> 그리고 만약에 이러한 현상 및 이유가 타당하다면, 상기의 식을 대신할 다른 식이 필요해 진다.

<그림 3>은, <그림 2>에서와 같은 데이터를 아래의 식에 의하여 구한 실험식의 결과이며,

$$D = \frac{a \times \sqrt{t}}{b + t} \dots\dots\dots (10)$$

여기서, D : 중성화 깊이

t : 폭로시간

a, b : 실험에 의하여 구해지는 계수

이 식을 이용하면 <그림 3>과 같이 전시간역에 있어서 실제의 데이터와 잘 부합함을 알 수 있으며 중성화 깊이 D는 많은 시간이 흐르면 어느 특정 값, 즉 a로 수렴함을 나타내며 이 a는 극한 중성화 깊이로 볼 수 있다.

또한 중성화 속도와 물시멘트와의 관계에서는, 물시멘트비가 50~60%의 범위에 있어서는 직선적으로 증가해지고 60%를 넘으면 직선의 기울기가 급해져 중성화가 가속화하는 경향이 있다.

후쿠시마<sup>7)</sup>는 중성화의 직접적 요인인 탄산가스 농도를 포함한 중성화과정을 모델화하여 비정상속도론에 기인한 해석을 하고 있다. 이것에 의하면 탄산가스의 확산을 율속으로서 수산화칼슘의 중성화반응만을 고려하면 중성화 깊이는  $\sqrt{t}$ 에 비례하는 형태로 되어 있다. 그러나 시멘트 겔수화물의 확산도 동시에 고려하면  $\sqrt{t}$  식과는 다른 형태로 된다.

이상과 같이 중성화의 메카니즘을 고려하여 중성화 진행속도를 일반적으로 표현하는 식을 확립하기 위하여서는, 금후 여러면에서 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 4. 중성화 속도에 영향을 미치는 요인

대기중에서 일정기간을 경과한 콘크리트의 중성화 진행속도는 시멘트의 종류, 골재의 성질, 배합조건, 혼화재료, 시공정도, 폭로조건 등의 영향을 크게 받는다. 이하 주요한 요인들의 중성화에 미치는 영향에 관하여 간단히 요약한다.

### 4.1 시멘트의 종류와 중성화

키시타니의 연구<sup>8)</sup>에 의하면 <표 1>과 같이 사용 시멘트의 종류에 따라서는 중성화 속도에 큰 차이가 난다. 혼합시멘트 혹은 실리카질의 혼화제를 사용하면 중성화 속도가 빠르고 철근 콘크리트의 내구성을 위해서는 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것이 유효하며 그중에서도 조강시멘트가 보통 시멘트보다 중성화가 늦고 더욱 좋은 효과가 얻어진다.

시로야미<sup>9)</sup>는 시멘트의 종류에 의한 중성화 속도비로서 <표 2>와 같은 결과를, 후쿠시<sup>10)</sup>는 “JHC중성화위원회”에서 행한 실험 및 조사의 일부로부터 <표 3>과 같은 결과를 보고하고 있다.

요다<sup>11)</sup>는 고로시멘트 콘크리트의 중성화속도에 관한 실험결과를 통하여 일반적으로 동일 물시멘트비의 보통 포틀랜드시멘트 콘크리트와 비교하여 슬래그가 함유된 시멘트일수록 중성화 속도는 빠르지만, 재령 28일의 동일 압축강도로 비교하면 보통포틀랜드 시멘트, 고로시멘트 A, B, C종의 사이에는 속도의 차가 거의 없는 것으로 보고하고 있다.

### 4.2 골재의 종류와 중성화 속도

콘크리트에 사용되는 골재는 그 종류에 따라서는 중성화의 진행속도에 크게 영향을 미친다. 보통의 강모래, 강자갈, 쇠석 등과 같이 밀실, 견고한 골재는 시멘트페이스트 부분보다 투기성이 낮으므로 탄산가스는 시멘트페이스트 부분을 통하여 진행한다. 그러나, 비중이 낮은 경량 골재 등을 이용한 콘크리트는 골재 내부에

수록 중성화가 늦고, 수화반응이 늦은 시멘트라도 충분한 양생을 하면 중성화 진행속도를 지연시킬 수 있음을 알 수 있다.

〈그림 8〉<sup>15)</sup>은 건물의 부위별 세공분포상태를 측정된 결과로서 건물의 슬래브 부분은 표면에 가까울수록 전세공량이 많고 큰 세공이 증가하고 있으며, 주각부의 NO.4는 전세공량 및 입경이 큰 세공도 적다. 이것은 블리딩(Bleeding) 및 콘크리트의 표면 건조의 영향에 의한 것이며, 동일 철근 콘크리트 건물에 있어서도 부위별 양생의 정도에는 큰 차이가 있음을 보여주고 있다.

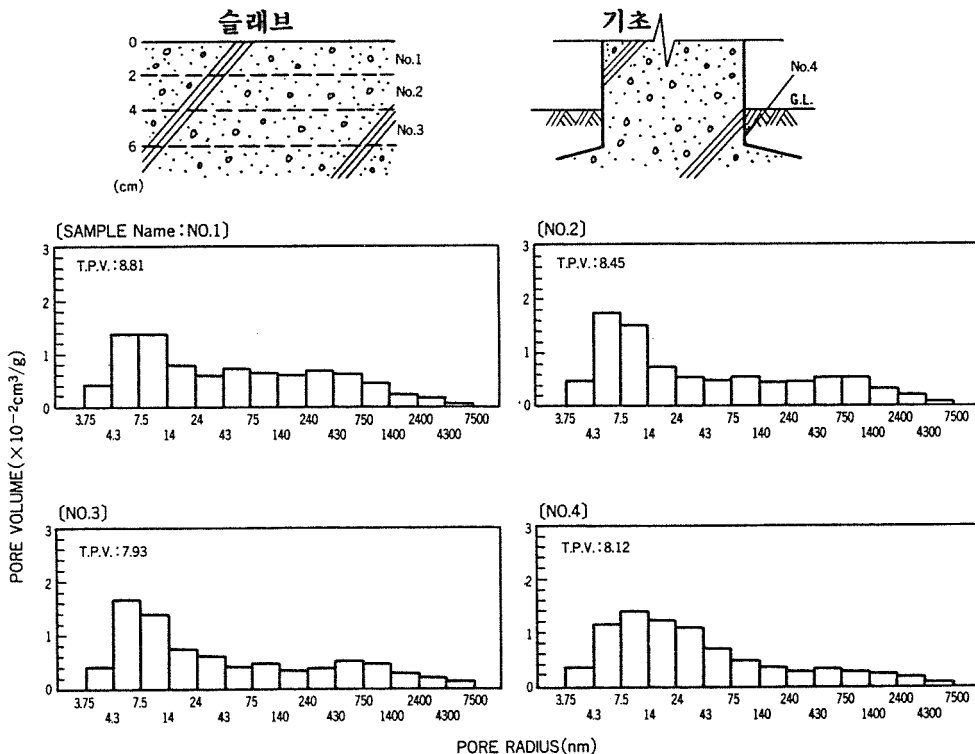
그리고 지노우<sup>16)</sup>는 콘크리트의 수중양생과 공기중양생의 차이 및 표층부에 있어서의 양생방법의 세공분포에의 영향을 〈그림 9〉와 같이 보고하고 있다. 즉 수중양생을 행하면 전 범위내의 세공이 확실하게 감소하는

것에 반해 기중양생의 경우는 콘크리트의 표면에 가까울수록 세공량은 많아지며 비교적 입경이 큰 세공쪽에 편중되는 경향을 보이고 있다.

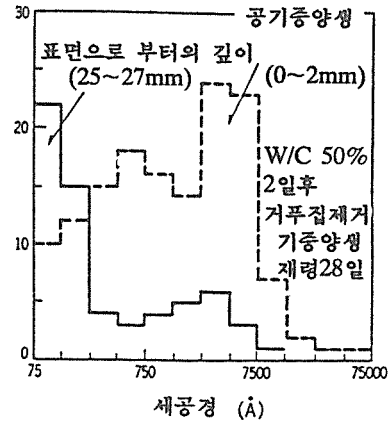
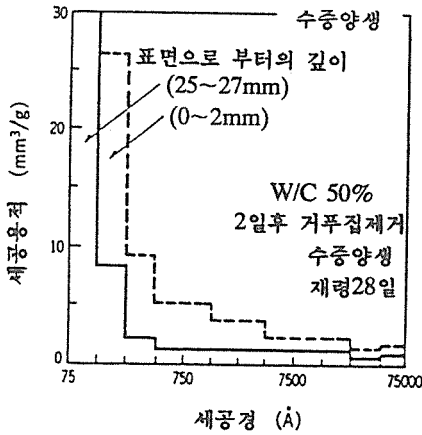
#### 4.3.2 세공량 및 물시멘트비의 영향

콘크리트의 물시멘트비는 중성화 진행속도에 가장 큰 영향을 끼치며, 물시멘트비가 커질수록 중성화가 빨라지는 것이 일반적이다. 그리고 콘크리트의 세공량도 물시멘트비의 증가와 함께 많아지는 것으로부터(〈그림 10〉 참조) 세공량의 증가는 중성화 진행속도를 촉진시키는 요인의 하나로서 간접적으로 추측할 수 있다.

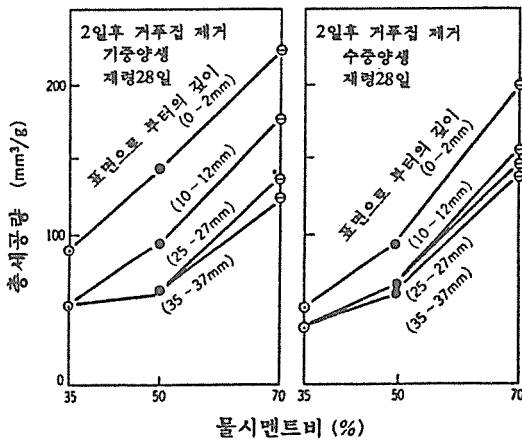
그러나, 세공량(분포상태)을 중성화속도 추정의 직접적인 인자로서 사용한 예는 아직 없으며, 금후 이 부분에 관한 연구의 진전이 기대된다.



〈그림 8〉 건물의 부위별 세공분포



〈그림 9〉 양생조건과 세공분포의 관계



〈그림 10〉 물시멘트비와 세공량의 관계

#### 4. 3. 3 투기계수와 중성화와의 관계

투기계수는 콘크리트에 사용되는 시멘트와 골재의 종류, 배합, 양생조건, 타설방법 등에 따라 크게 변화한다. 〈그림 11〉<sup>17)</sup>에 나타난 바와 같이 투기계수와 중성화 깊이는 밀접한 관계가 있으며, 콘크리트의 중성화 속도를 투기계수로부터 추정할 수 있다는 가능성을 시사하고 있다.

그리고 투기계수와 세공량(분포상태)과의

관계가 파악된다면 보다 간단하게 중성화 속도를 추정하는 것이 가능해질 것이다.

#### 4. 4 환경조건의 영향

중성화에 영향을 미치는 환경인자로서 온도, 습도, 탄산가스 농도, 옥내외, 방위 등이 있다. 온도는 기체인 탄산가스의 활성화와 콘크리트 내부의 확산속도 및 중성화 반응에 관계하며 온도가 상승하면 중성화는 빨라진다.

습도의 영향은 상대습도가 0% 혹은 100% 부근에서 중성화는 진행하지 않고, 상대습도 50에서 70%의 경우에 중성화 속도가 최대<sup>18)</sup>이며 그보다 습도가 높을 경우에는 콘크리트 내부공극중에 존재하는 수분으로 인하여 탄산가스의 확산이 저지되어 중성화는 늦어진다.

또한 옥외는 옥내보다 탄산가스농도가 낮기 때문에 중성화가 늦으며, 옥외라도 비에 젖는 부분보다 비에 젖지 않는 부분의 중성화가 빠르다.

#### 4. 5 압축강도와 중성화의 관계

콘크리트의 중성화에 영향을 미치는 인자는

〈표 1〉 시멘트 종류에 따른 중성화 속도비

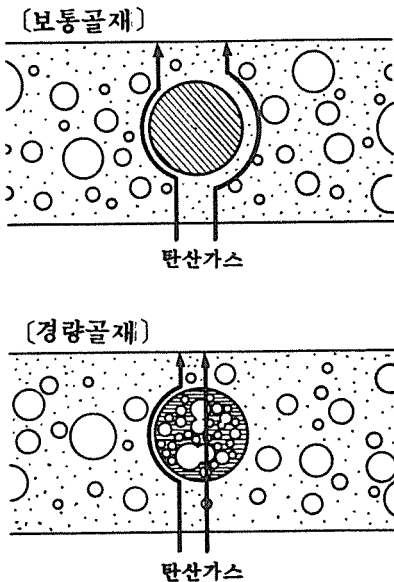
보통 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 시멘트	고로 시멘트 (슬래그 양, %)		실리카 시멘트	플라이애쉬 시멘트 (F : 20%)
		30-40	60 전후		
1.0	0.6	1.4	2.2	1.7	1.9

〈표 2〉 시멘트 종류에 따른 중성화 속도비

보통 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 시멘트	고로 시멘트			실리카 시멘트 B종	플라이애쉬 시멘트 C종
		A종	B종	C종		
1.0	0.79	1.29	1.41	1.82	1.82	

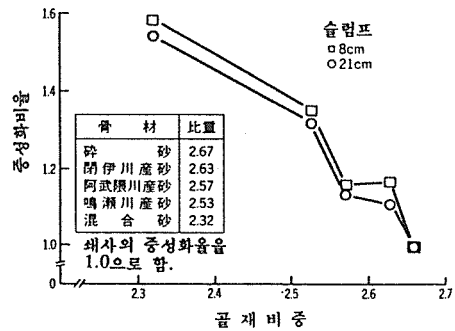
〈표 3〉 시멘트 종류와 중성화 비율

보통 포틀랜드 시멘트	조강 포틀랜드 시멘트	고로 시멘트	실리카 시멘트	플라이애쉬 시멘트
1.0	0.65	1.41	1.31	1.15



〈그림 4〉 탄산가스 침입의 모식도

많은 공극을 갖고 있기 때문에 탄산가스는 골재 내부를 통해서도 진행한다. 따라서 보통 콘



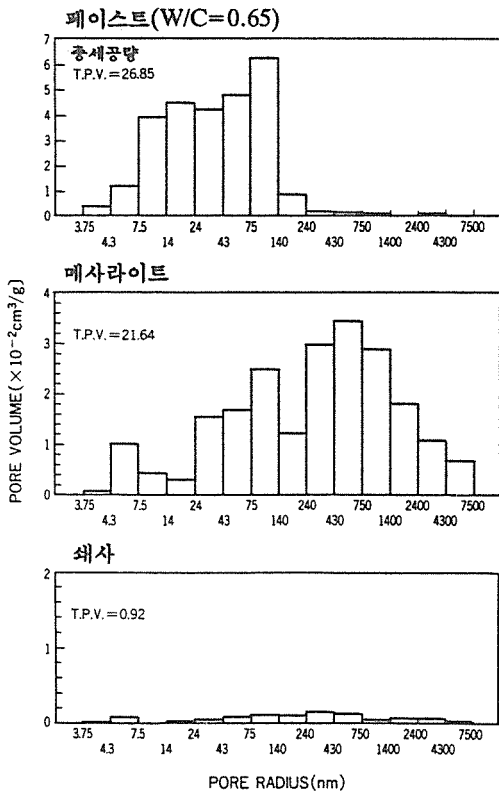
〈그림 5〉 골재의 비중과 중성화속도

크리트에 비하여 중성화가 빠르게 된다(〈그림 4〉).

하마다<sup>11)</sup>는 경량골재를 이용한 콘크리트는 강모래, 강자갈을 이용한 콘크리트의 약 3배, 우에무라<sup>12)</sup>는 1.1~1.5배 만큼 중성화가 빠르게 진행하며, 또한 이것을 개선하기 위해서는 AE제, 분산제 등의 표면 활성제를 적당량 사용하는 것이 효과적이라고 한다. 〈그림 5〉의 골재의

비중과 중성화의 관계에 대하여 실험한 예<sup>13)</sup>를 보면, 중성화 속도는 골재의 비중이 작아질수록 빨라지는 경향이 있으며, 그림의 시험 시리즈 중에서 슬럼프 8cm 콘크리트의 중성화 시험결과를 회기분석하면  $Y = -1.56X + 5.2$  ( $Y$ : 중성화율,  $X$ : 비중, 상관계수:  $-0.97$ )로 되며 높은 상관관계가 얻어짐을 알 수 있다.

또한 골재와 시멘트페이스트(보통 포틀랜드시멘트,  $W/C=65\%$ )의 내부는 <그림 6>과 같은 세공분포를 하고 있으며, 시멘트페이스트는 반경 240nm(=2400Å) 이상의 큰 공극이 거의 없으나 인공 경량골재(메사라이트)는 비교적 큰 곳에 공극이 집중해 있어 탄산가스가 골재의 내부를 통과할 수 있다는 가능성을 보여주



<그림 6> 골재와 페이스트의 세공분포

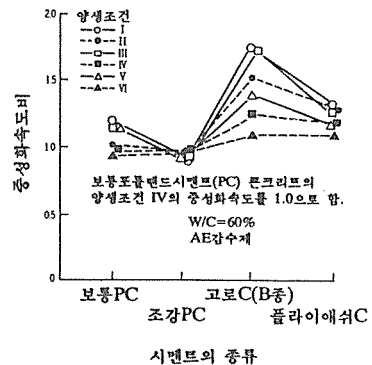
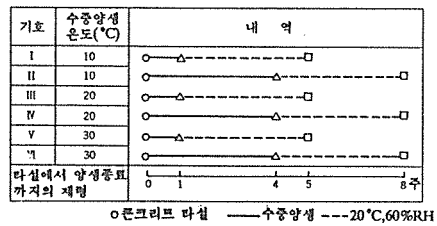
고 있다. 그리고 해석은 세공량의 절대량이 적어 그만큼 내부가 치밀하다는 것을 알 수 있다.

### 4.3 양생조건, 세공량, 물시멘트비와 중성화와의 관계

콘크리트 내부의 세공량과 그 분포상태는, 콘크리트의 내구성에 막대한 영향을 끼친다. 콘크리트의 동해에 미치는 세공의 영향에 관해서는 기존의 연구를 통하여 많은 것이 밝혀져 있으나, 중성화에 있어서의 세공의 역할은 투기성이 큰 콘크리트일수록 중성화가 빠르다는 것은 용이하게 예상되나, 세공량과 그 분포상태의 영향에 관해서는 거의 알려져 있지 않다.

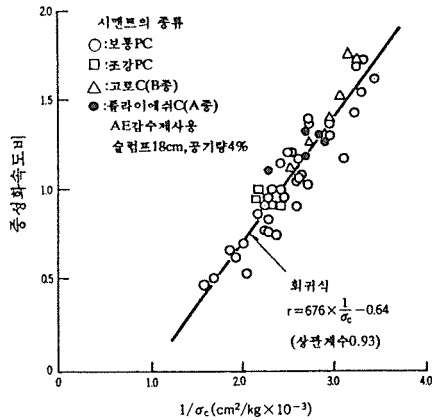
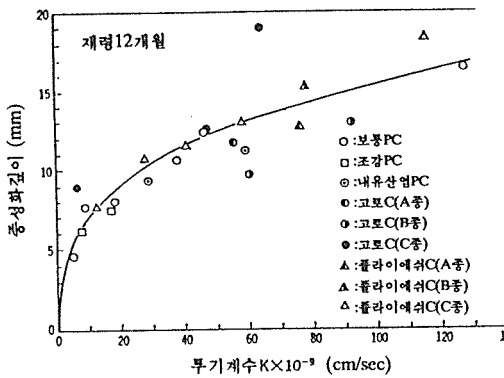
#### 4.3.1 양생조건에의 영향

일반적으로 수화반응이 진행할수록 세공량은 적어진다. <그림 7><sup>14)</sup>은 양생조건과 시멘트의 종류를 변화시킨 중성화 촉진시험의 결과이며 중성화 속도는 양생조건에 따라 큰 차이가 나며 수화반응이 빠른 시멘트일



<그림 7> 중성화속도에 미치는 시멘트의 종류 및 양생조건의 영향





상술한 바와 같이 매우 많으며, 또한 그러한 인자 상호간에도 서로 복합적으로 영향을 미치고 있으므로, 중성화 속도를 한마디로 표현하기는 아주 어렵다.

그러나 중성화의 제 영향인자중의 몇개의 요인에 의존하며 콘크리트의 대표적 특성이기도 한 압축강도를 그 대표특성으로서 중성화와의 관계를 나타낼 수도 있다. 압축 강도와 중성화 속도는 <그림 12><sup>10)</sup>와 같이 직선관계에 있으며 아주 높은 상관관계를 ( $r=0.93$ ) 보이고 있어 강도가 높은 콘크리트일수록 중성화에는 강하다고 할 수 있다.

또한 이것은 물시멘트비, 시멘트의 종류 및 양생조건 등에 관계없이 이러한 인자의 영향을 전부 포함한 결과이며, 콘크리트의 압축강도를

지표로 사용하면 중성화 진행 속도를 산정하기가 용이해질 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

이상에서 정리한 바와 같이 중성화는 철근 콘크리트의 내구성 부문에 있어서 가장 기본적인데 동시에 중요한 열화 요인의 하나이며, 중성화 진행에 의한 모재의 열화가 국부적인 것이라 하여도 부재의 수리 혹은 교환이 곤란하기 때문에 철근 콘크리트 구조물 전체의 내구 수명을 단축시킨다.

중성화에 관한 연구는 여러 나라에서 많은 연구가 되어 다수의 성과가 보고되어 있다. 그러나 상술한 바와 같이 중성화에 영향을 미치는 인자는 매우 많으며 인자 각각의 중성화에 미치는 영향 혹은 인자 상호간의 복합적인 영향에 대해서는 아직까지 명확하게 판명되지 않은 부분이 많다.

철근 콘크리트의 중성화에 의한 열화의 매카니즘, 즉 콘크리트 자체의 중성화와 그후 철근이 부식하여 콘크리트에 균열이 발생하기까지의 과정은, 철근 콘크리트 구조물의 수명을 예측하여 내구설계에 활용하기 위해서는 대단히 중요하고 필요불가결한 부분이므로 금후 기초 연구의 충실과 함께 연구의 폭을 넓혀 나갈 필요가 있는 것으로 사료된다.

마지막으로, 이상의 연구결과를 토대로 하여 금후에 남겨진 문제점을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 촉진시험과 자연폭로시험과의 중성화 진행상의 차이
- (2) 콘크리트 내부수분의 일산과정과 중성화 진행과의 관계
- (3) 세공량, 강도, 투기성 등의 콘크리트의 대표적 특성에 의한 중성화 속도의 정량적인 평가방법 혹은 예측방법의 확립 등

(본문은 Cement and Concrete지의 1988년 6월호에 실린 필자의 논문을 번역, 정리한 것이며 일본 동북대학의 히라이 카즈노부 박사와 한국과학기술원의 김진근 박사 양인의 지도와 협조가 있었음에 깊이 감사드립니다.)

## 〈參考文獻〉

- (1) 岸谷孝一, 鐵筋콘크리트의耐久性, 鹿島建設技術研究所出版部, 1963
- (2) 內田祥三, 田 稔, 鋼及び콘크리트의耐久試驗, 建築雜誌, 第516號, 1928
- (3) 田 稔, 콘크리트의中性化と鐵筋의腐食, セメント・ン크리트, No. 272, 1969
- (4) 森, 白山, 上村, 依田, 高爐セメント콘크리트의炭酸化について, セメント技術年報, XXVI, 1972
- (5) 鄭 載東, 콘크리트의中性化に及ぼす骨材品質の影響に關する實驗的研究, 東北大學昭和 60年度修士論文, 1986
- (6) 依田彰彦, 産業副産物高爐スラグの콘크리트用セメント 混和劑 骨材への有効利用に關する實驗研究, 研究論文, 1983
- (7) 福島敏夫, 콘크리트의炭酸化過程と中性化進行過程との關連性についての速度 論的考察, 日本建築學會學術講演梗概集, 1981
- (8) 日本建築學會, 콘크리트의調査設計 調査管理 品質檢査指針案, 同解説, 1976
- (9) 福土, 友澤, 工藤, 嵩, 콘크리트의中性化とその評價, セメント 콘크리트, No. 461, 1985
- (10) 依田彰彦, 高爐セメントの中性化, セメント・콘크리트, No. 429, 1982
- (11) 岸谷孝一, 鐵筋콘크리트の耐久性向上に關する考察, 日本建築學會論文報告集, 第65號, 1960
- (12) 上村克郎, 人工輕量骨材콘크리트の中性化, セメント 콘크리트, No. 273, 1969
- (13) 鄭 載東, 平井和喜, 몰タル의中性化に及ぼす骨材品質の影響, 日本建築學會東北支部研究 報告集, 第47號, 1986
- (14) 和泉, 嵩, 押田, 西原, 콘크리트의中性化に及ぼすセメントの種類及び養生條件の影響について, 第 7 回 콘크리트工學年次講演會論文集, 1985
- (15) 平井和喜, 콘크리트의Poput現象に關する二三の考察, 日本建築學會東北支部研究報告集, 第42號, 1983
- (16) 地濃茂雄, 仕入豊和, 콘크리트表層部その養生條件と細孔構造, セメント・콘크리트, No. 468, 1986
- (17) 笠井, 松井, 몰タル의透氣性に關する試驗, セメント・콘크리트, No. 436, 1983
- (18) 近藤蓮一譯, 콘크리트의炭酸化-鐵筋의防食に對する影響と作用-, セメント・콘크리트, No. 314, 1973. 4

## 광 고 안내

협회는 레미콘지를 계간으로 발간하여 그동안 레미콘업계뿐만 아니라 학계, 정부기관 각종 기업체의 성원으로 광범위한 독자층을 형성하고 있습니다. 당 협회는 레미콘지에 다음과 같이 표지면을 광고란으로 할애하여 관련업체의 광고, 홍보를 게재하고 있으니 귀사의 적극 이용을 바랍니다.

— 다 음 —

계 제 면	색 도	광 고 료	크 기
표지 2면	칼 라	50만원(부가세 별도)	전 면
표지 3면	칼 라	40만원(부가세 별도)	전 면
표지 4면	칼 라	60만원(부가세 별도)	전 면

- (1) 광고안은 인쇄가능한 원색 분해필름
- (2) 마감일: 년 4 회 발간(3, 6, 9, 12월호중 원하는 기간 선택) 수시접수
- (3) 문의처: 서울시 강남구 역삼동 832-2(우덕빌딩 8층)  
한국레미콘공업협회 기획과 566-7162, 7164