

# 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트의 중성화 문제에 대한 이해

- Reevaluation for Carbonation of Blended Cement Concrete -



강석화\*



송용순\*\*



이근성\*\*\*

## 1. 혼합 시멘트의 사용에 따른 시대적 배경

콘크리트 제조시 사용하는 포틀랜드 시멘트의 일부 성질을 개선할 목적으로 혼합하는 재료를 통상 혼합재라고 하며, 이러한 혼합재를 일정한 비율로 포틀랜드 시멘트 클링커와 혼합하여 만든 시멘트를 이른바 혼합 시멘트(blended cement)라 한다.

현재, 혼합 시멘트에서 KS규격에 규격화되어있는 시멘트로는 슬래그 시멘트, 플라이 애쉬 시멘트 그리고 포졸란 시멘트 등이 있고, 비록 비KS제품이기는 하지만, 매스 콘크리트 구조물이나 해양 구조물 등에 많이 사용되고 있는 3성분계 혼합형 또는 4성분계 혼합형 시멘트 등이 있다.

이러한 혼합 시멘트는 최근 다음과 같이 사회환경적인 측면과 품질적인 측면 등 두 가지 측면에서 사용이 권장되고 있는 실정이다.

### 1.1 사회환경적 측면

① 에너지 절감 : 혼합 시멘트에 사용되는 혼합재들의 대부분이 산업부산 폐기물로, 자원의 효율적 활용의 차원에서 큰 역할을 한다. 또한 2차적인 혼합만을 하면 되므로 시멘트를 생산하는 데 소비되는 에너지를 절감할 수 있다.

② 환경보존 : 시멘트산업은 다른 산업과 달리, 에너지를 깨끗한 것(예, 천연가스)으로 전환해도 기본적으로는 이산화탄소의 발생을 막을 수 없다. 시멘트의 소성과정에서 석회석의 탈탄산이 발생하기 때문이다. 혼합재를 사용하게 되면 혼합된 양만큼 포틀랜드 시멘트의 생산이 줄어들기 때문에 탄산가스의 발생도 절감되어 지구온난화 방지 등 환경보존에 의의가 있다.

### 1.2 품질적 측면

① 내구성 향상 : 포틀랜드 시멘트 중에도 수화열을 낮춘다든지(2종 중용열 시멘트 또는 4종 저열 시멘트) 황산염저항성을 향상시키기 위한 시멘트(5종 내황산염 시

멘트)가 있지만, 특유의 포졸란 반응을 통해 경화체의 조직을 치밀화시키고 화학적으로 안정화시켜 물, 염류, 황산염, 해수 등의 침투를 억제할 수 있다. 또한 알칼리-골재반응 효과도 기대할 수 있다.

② 수화열 저감 : 고로 슬래그 미분말이나 플라이 애쉬 등과 같은 포졸란 재료는 일반 시멘트보다 수화발열량이 적기 때문에, 혼합사용시 현행의 1종 시멘트만 사용하는 경우보다 최대 30%까지 수화열의 저감이 가능하여 시멘트의 수화열에 의한 온도균열 발생을 줄일 수 있고, 타설고를 높일 수 있기 때문에 시공비 절감효과도 기대할 수 있다.

이러한 사회환경적 측면 및 품질적인 측면에서의 우수성 때문에 유럽에서는 각종 혼합재의 사용이 적극 장려되어 일반 시멘트에 각종 혼합재를 비율별로 혼합시킨 이른바 CEM 시멘트가 총 162종류로 나뉘어져 시판되고 있으며, 이웃 일본의 경우도 혼합 시멘트가 전체 시멘트 사용량의 20%를 차지하고 있는 실정이다.

한편, 이러한 혼합형 시멘트는 위에 기술한 바와 같은 우수한 장점을 가지고 있

\* 정희원, 동양시멘트(주) 중앙연구소 연구소장

\*\* 정희원, 동양시멘트(주) 중앙연구소 연구개발팀 선임연구원

\*\*\* 동양시멘트(주) 기술지원담당 상무

음에도 불구하고 재료 구성의 특성상 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 일반 시멘트보다 적게 생성되기 때문에 중성화에 매우 취약하여 내구성 측면에서 오히려 문제가 있을 수 있다는 연구결과가 제시되면서 사용상에 논란이 일어나고 있다.<sup>1)</sup>

따라서, 본 검토서에서는 상기와 같이 다소 혼란을 가져오고 있는 혼합형 시멘트의 중성화 문제에 대하여 기술적으로 검토하고, 아울러 올바른 사용방법에 대하여 개선방향을 제시하고자 한다.

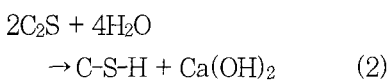
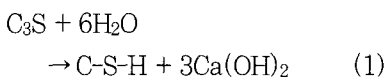
## 2. 콘크리트의 중성화 문제

### 2.1 콘크리트의 중성화 발생기구

일반적으로, 콘크리트는 재령이 길어짐에 따라 알칼리성이 증가하여 pH가 12 이상의 강알칼리를 나타내지만, 대기 중에 노출된 콘크리트 표면이 외부에서 침투된 이산화탄소 등의 반응하여 수산화칼슘이 탄산가스(CaCO<sub>3</sub>)로 변하여 pH가 점점 저하하는 현상이 발생하는데, 이를 중성화(neutralization) 또는 탄산화(carbonation)라고 한다.

중성화가 일어나는 기구(mechanism)를 시멘트 화학반응을 통하여 알아보면 다음과 같다.

일반 시멘트는 주로 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF로 지칭되는 4대 광물과 석고 등으로 이루어져 있다. 시멘트는 물과 혼합하면 시멘트가 수화반응을 일으켜 각종 수화물을 생성시켜 조직을 치밀하게 하고 응결 및 강도를 나타낸다. 주된 수화생성물의 생성 반응식을 알아보면 다음과 같다.



윗 식에서 C-S-H 수화물은 화학양론적으로는 3CaO·2SiO<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O로 표현되거나 미세한 겔(gel)상의 저결정성 수화물이고

Ca(OH)<sub>2</sub>는 수 μm의 커다란 육각주 형태의 결정으로서, 거의 수화한 시멘트 경화체 중에서 이 두 수화물이 차지하는 비중이 약 70~80% 정도이며, 이들 수화물 중 특히 Ca(OH)<sub>2</sub>가 콘크리트의 pH를 높게 유지시켜 주는 주된 수화물이다. (그림 1 참조)

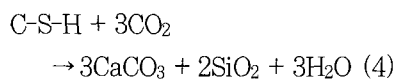
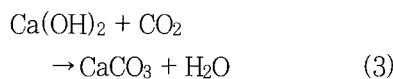


그림 1. 시멘트의 수화반응을 통해 생성되는 Ca(OH)<sub>2</sub>

중성화는 이들 수화물들이 여러 가지 작용을 받아 새로운 생성물이 생성되면서 pH가 저하하는 과정으로 이러한 여러 가지 작용을 알아보면 다음과 같다.

#### 2.1.1 탄산가스(CO<sub>2</sub>)에 의한 작용

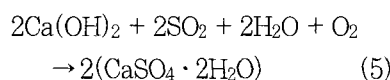
대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스와 접촉하여 다음과 같은 반응으로 탄산칼슘과 물로 변화된다.



위의 반응중 수산화칼슘의 탄산화 반응이 훨씬 더 지배적으로 일어난다.

#### 2.1.2 아황산가스에 의한 작용

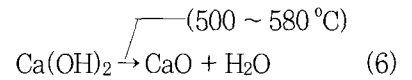
탄산가스 이외에 다른 가스로서는 아황산 가스도 콘크리트의 중성화를 일으키는데, 그 반응식은 다음과 같다.



#### 2.1.3 열에 의한 작용

화재 등에 의해 고온이 되면, 콘크리트

중의 수산화칼슘이 500°C부터 탈수되어 산화칼슘(CaO)으로 되면서 강알칼리성을 잃어버리는 것으로,



위의 세 가지 작용중 실제로 중성화에 가장 많이 관여하는 것은 대기중의 탄산가스에 의한 작용이라 할 수 있다.

### 2.2 중성화에 의한 콘크리트의 열화 메커니즘

중성화에 의해 콘크리트 표면이 탄산화하면 침투된 탄산가스의 양만큼 콘크리트의 중량은 무거워지고 조직도 치밀해지며 강도측면에서는 오히려 약간 증가하는 것으로 알려져 있다. 물론 생성물의 변화로 조직의 구조가 변화하여 미세균열의 발생을 예상할 수도 있으나 그 영향은 크지 않다. 그러나 철근 콘크리트 중에서는 콘크리트의 중성화가 콘크리트 구조물의 내구력을 저하시키는 주요한 현상으로 취급된다. 즉, 철근 콘크리트 중의 철근은 pH가 11이상인 알칼리 분위기에서는 표면에 부동태 피막을 형성하므로 산소가 존재하더라도 녹슬지 않지만 콘크리트가 중성화하여 pH가 11이하로 낮아지게 되면 철근에 녹이 발생하게 되고 약 2.5배의 체적팽창으로 팽창압이 발생하면서 내부적으로 균열을 야기해 결과적으로는 콘크리트 구조물 자체가 가지고 있는 내력을 크게 저하시키게 된다. (그림 2)는 중성화가 철근까

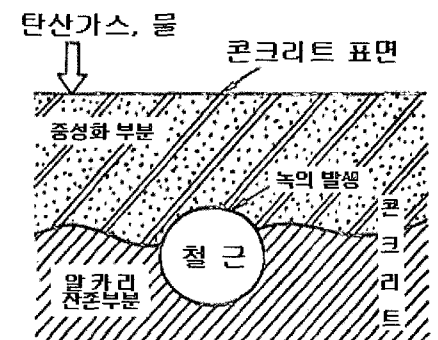


그림 2 중성화가 일어난 콘크리트의 단면 모습도

지 진행된 경우의 철근 콘크리트 내부 단면을 모식화한 것이다.

### 3. 혼합 시멘트 사용에 따른 중성화 문제

#### 3.1 혼합 시멘트의 중성화 문제에 대한 편견

이미 앞에서 언급한 바와 같이, 고로 슬래그, 플라이 애쉬, 실리카 폼 등의 혼합재를 첨가한 혼합 시멘트의 경우는 일반 시멘트에서의 수화반응과 약간 다른 반응을 하게 되는데, 그 주된 것은 일반 시멘트로부터 생성된 수산화칼슘이 혼합재 중의 SiO<sub>2</sub> 나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 이른바 포졸란 반응이라고 하는 반응을 일으켜 C-S-H나 C-A-H 등과 같은 2차 수화물을 생성시킨다. 이때 생성된 C-S-H 수화물은 일반 시멘트에서 생성된 것보다 더 낮은 CaO/SiO<sub>2</sub> 비를 나타내는 안정한 수화물로 결과적으로 혼합 시멘트의 경우는 일반 시멘트보다 Ca(OH)<sub>2</sub> 량이 상대적으로 적어 낮은 pH를 나타낸다. 그렇기 때문에 혼합 시멘트로 제조된 콘크리트 표면에 이산화탄소가 침투하게 되면 침투된 이산화탄소를 탄산칼슘으로 고정화시킬 수 있는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 양이 부족하여 일반 시멘트 보다는 더 쉽게 콘크리트 내부로 침투되고 중성화가 빠르게 일어나고 결과적으로는 철근의 부식이 빨리 일어나는 것으로 인식되고 있다.

그러나, 실제로는 Ca(OH)<sub>2</sub>를 소비하는 포졸란 반응에 의해 경화체의 조직이

보다 치밀해져 외부로부터의 CO<sub>2</sub> 가스의 유입이 잘 안된다는 측면도 있고, 현재 촉진중성화시험을 실시하는 28일 재령의 경화체 조직구조와 실구조체의 조직구조는 매우 다르기 때문에 혼합재료를 사용하면 일률적으로 중성화가 빠르다고 단정하기는 곤란하다.<sup>2)</sup>

#### 3.2 경화체 조직의 치밀성이 중성화에 미치는 영향

학계에 보고된 연구결과에 의하면, 콘크리트의 중성화 속도는 콘크리트 중에 포함되어 있는 세공량에 크게 영향을 받는데 것으로 보고되고 있다<sup>3),4)</sup>. 특히 鄭<sup>3)</sup>에 의하면 <그림 3>과 같이 세공반경 75 ~ 7,500 nm사이의 총 세공량과 중성화는 매우 큰 상관성이 있어 세공량의 증가는 중성화 속도를 빠르게 진행시키는 것으로 보고되고 있다.

이러한 콘크리트 조직속의 세공량과 중성화의 관계는 콘크리트의 압축강도와 중성화 속도와의 관계로 표현이 가능하다. <그림 4>는 콘크리트의 압축강도와 중성화 속도의 관계를 나타낸 그림으로서<sup>5)</sup>, 이 그림에 의하면 사용하는 시멘트의 종류에 관계없이 압축강도가 커질수록 중성화 깊이는 작아지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 다시 말해서, 콘크리트 경화체가 동일한 압축강도를 가지고 있다면 혼합재료의 사용에 관계없이 중성화 침투속도 및 침투 깊이는 거의 비슷하다고도 할 수 있다.

한편, <그림 5> 및 <그림 6>은 일반 포

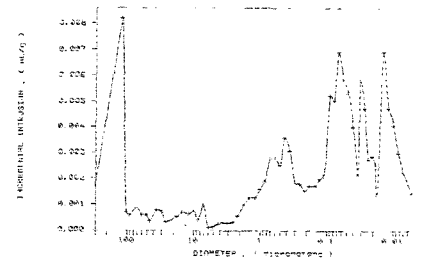


그림 5. 일반 포틀랜드시멘트만으로 제조한 콘크리트 경화체의 세공경 분포

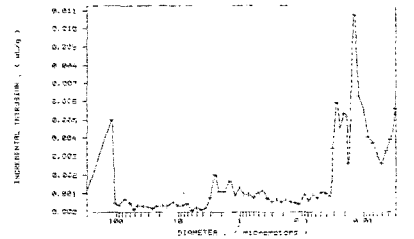


그림 6. 혼합 시멘트로 제조한 콘크리트 경화체의 세공경 분포

틀랜드 시멘트만을 사용한 경우와 혼합 시멘트를 사용한 경우의 콘크리트의 미세 공극분포를 측정된 결과로서<sup>6)</sup>, 이 결과를 통해 일반 시멘트만을 사용한 경우에는 0.5 ~ 1 μm의 공극이 혼합 시멘트를 사용한 경우보다는 많은 반면, 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트는 포졸란 및 잠재수경성 혼합재의 반응에 의해 생성된 수화물이 모세관 공극을 메워줌으로써 결국 공극의 크기를 줄인다는 사실을 확인할 수 있다.

또한, 콘크리트 경화체 조직의 치밀도는 주사전자현미경의 관찰을 통해서도 확인이 가능하다. <사진 1> 및 <사진 2>는 혼합재를 사용하지 않은 경우와 혼합형 시멘트로 제조한 콘크리트의 경화체 조직을 SEM 촬영을 통해 확인한 결과로서, 혼합재를 사용하지 않은 경우에는 연속 공극으로 판단되는 큰 공극들이 발견되었으나, 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트의 경우에는 연속 공극으로 판단되는 것은 거의 나타나지 않은 것으로 나타났다.

이와 같은 분석결과로 볼 때, 혼합형 시멘트를 사용한 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 장기적으로 포졸란 및 잠재수경성 반응 등에 의해 조직이 치밀해지는 것으로 나타났으며, 이러한 조직의 치밀성으로 인

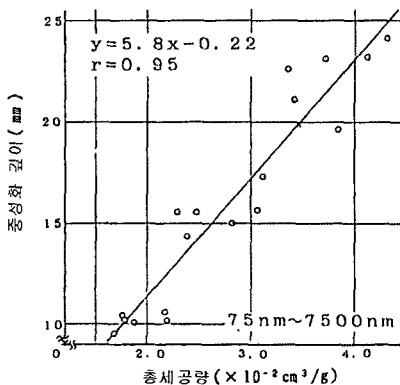


그림 3. 세공량과 중성화의 관계 (세공반경 75 ~ 7500 nm)

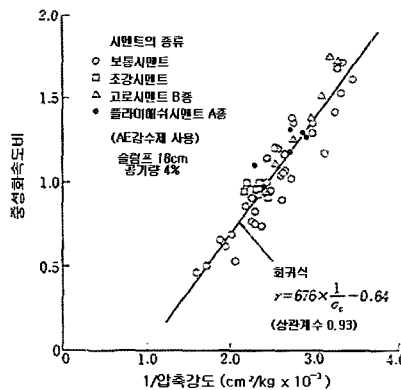


그림 4. 압축강도와 중성화 속도비와의 관계



사진 1. 일반 포틀랜드 시멘트만으로 제조한 콘크리트 경화체 조직의 SEM 사진

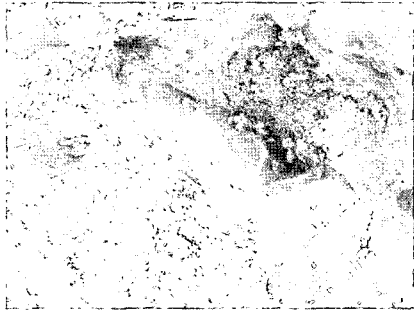


사진 2. 혼합 시멘트로 제조한 콘크리트 경화체 조직의 SEM 사진

해 외부로부터의 탄산가스의 침투는 훨씬 어려워지고 이러한 특성이 결국은 중성화에 대한 저항성을 향상시키는 것으로 판단할 수 있다.<sup>7)</sup>

### 3.3 현행 촉진중성화 시험방법의 문제점

통상적인 환경하에서 콘크리트 중성화는 오랜 기간에 발생하지만, 이것을 그 기간에 걸쳐 측정하기가 현실적으로 곤란하기 때문에 장기간에 걸쳐 일어날 수 있는 환경조건을 가정해 실시하는 것이 촉진 중성화 시험이다.(사진 3 참조)

일반적으로 촉진 중성화시험은 고농도의 탄산가스 양생조 내에서 콘크리트의 중성화를 촉진시켜 콘크리트 구조물중의 강재부식이나 콘크리트의 중성화 속도에 미치는 각종 요인을 검토하는 것을 주목적으

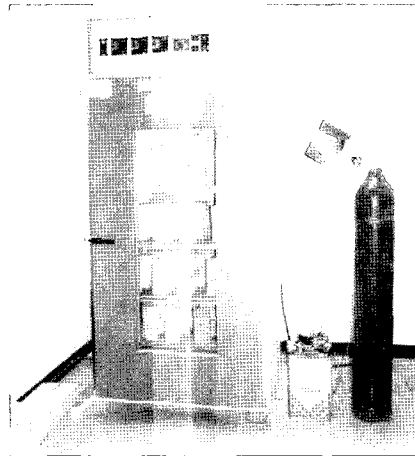


사진 3. 콘크리트 촉진 중성화시험기

로 하는데 사용되고 있다.

그러나 현재로서는 촉진 중성화시험을 실시한 것과 일반 환경에 폭로시킨 것과의 상관성 부분에 애매한 부분이 있기 때문에 표준 시험방법으로서 확립되어 있지 않은 실정이며, 현재 주로 실시하고 있는 CO<sub>2</sub> 촉진시험에 의한 중성화시험 결과에 대한 평가에 있어서는 주의할 점이 있다.

첫째, 현재 많이 사용하고 있는 중성화 촉진시험은 실내자연폭로상태 및 실외자연폭로상태를 가정하여 시험조건을 결정하고는 있지만, 현재로서는 장기간에 걸쳐서 자연폭로상태일 경우와 촉진 중성화시험에 의한 경우와의 상호관련성에는 불명확한 부분이 많이 남아 있다는 점이다.

시험조건에 있어서는 대부분이 ① 탄산가스 농도, ② 온도, ③ 습도를 자연조건보다 반응이 쉽게 일어나도록 하여 시험하는 경우가 많지만, 특히 탄산가스 농도에 대해서는 고농도로 하는 것이 일반적이다. 그러나 그 중에는 ④ 탄산가스 압력을 증대하여 촉진시키는 것도 있다.

가장 간단히 중성화를 촉진시키는 방법은 탄산가스의 농도를 높이는 것으로서 탄산가스 농도를 100%로 하는 경우도 있

지만, 5%~20%의 조건에서 하는 경우가 많다. 그러나 중성화와 함께 콘크리트 품질의 변화 등을 목적으로 하는 경우 탄산가스 농도를 높인 촉진시험에서는 탄산가스와 반응으로 인해 콘크리트 표층부가 치밀하게 되므로 자연환경에서 폭로한 것과 품질이 다르게 되는 것에 주의를 해야 한다<sup>8)</sup>. 예를 들면 <표 1>과 같이 온도 20℃, 습도 80%, CO<sub>2</sub> 농도 10%로 하여 1년간 콘크리트 공시체를 촉진시키면 실외 자연폭로의 40년에 상당하는 것이 간주하고 있으나, 비록 이러한 시험조건이 많은 연구결과에 의해 결정되었다고는 하지만, 여전히 연구의 대상이라 할 수 있다.

둘째로는, 현재의 중성화촉진 시험은 대부분 28일 양생을 실시한 공시체를 대상으로 고농도의 CO<sub>2</sub> 가스 분위기(보통 5~10%) 상태에서 시험을 수행하고 있지만, 실구조체의 경우는 28일 양생 공시체에 비해 훨씬 경화가 진행되었기 때문에 조직의 치밀도 측면에서 상당한 차이가 있다는 점이다. 특히 고로 슬래그 미분말이나 플라이 애쉬와 같이 28일 이후 또는 90일 이후부터 본격적인 포졸란 반응에 의해 조직이 형성되는 경우에는 촉진중성화시험에 의한 결과와 실구조물의 중성화 진행정도는 상당한 차이를 보일 수 있다. 실제로 약 20년 이상 경과된 고로 시멘트 콘크리트의 평균 중성화 깊이는 압축강도를 동일하게 하여 비교를 할 경우, 일반 포틀랜드 시멘트만으로 제조한 콘크리트의 중성화 깊이와 그다지 차이가 없다는 연구 보고도 있다.<sup>9),10)</sup>

### 3.4 혼합형 시멘트의 중성화 문제에 대한 재인식

콘크리트의 중성화는 주로 경화체 조직

표 1. 콘크리트의 중성화 속도를 추정하기 위한 촉진시험방법의 일례

자연폭로의 경우	일반 실외(CO <sub>2</sub> 농도 0.03%)을 1로 한 경우	일반 실내(CO <sub>2</sub> 농도 0.1%)은 1.5~3배		
		온도 20℃ 습도 80% CO <sub>2</sub> 농도 10%	온도 40℃ 습도 40% CO <sub>2</sub> 농도 10%	온도 40℃ 습도 80% CO <sub>2</sub> 농도 10%
CO <sub>2</sub> 촉진의 경우	실내자연폭로(CO <sub>2</sub> 농도 0.1%)를 1로 한 경우	25배	90배	50배
	실외자연폭로(CO <sub>2</sub> 농도 0.03%)를 1로 한 경우	40배*	145배	80배

의 알칼리도와 치밀도에 의해 지배되고 있다. 경화체의 알칼리도는 주로 시멘트의 수산화반응에 의해 생성되는 수산화칼슘 등에 의해 지배되고 중성화는 그 알칼리도에 지배되고 있다.

그러나 중성화라는 문제는 알칼리도에 지배를 받고 있지만, 경화체의 조직이 치밀해져서 외부로부터 탄산가스 등이 침투해 들어오지 않으면 중성화에 다른 철근부식은 발생하지 않는다. 따라서 중성화 문제를 해결하기 위해서는 알칼리도를 올리는 것보다는 외부로부터 탄산가스 등이 침투해 들어오지 못하도록 조직을 치밀화하는 것이 더욱 중요하다.

그런 점에서 실리카 폼이나 고로 슬래그 미분말 그리고 플라이 애쉬와 같이 경화체의 pH치를 지배하는 수산화칼슘을 소비하는 경우에는 재료적인 특성상 어쩔 수 없이 pH가 낮아질 수밖에 없지만, 반응성 미분말의 혼합사용은 모세관 공극량의 감소를 가져와 조직의 치밀화를 가져오고 탄산가스 및 수용액의 침투속도를 저하시키는 효과를 가지고 있기 때문에, 일률적으로 중성화 속도가 빠르다고 단정하기는 곤란하다. 그리고 오히려 콘크리트 배합설계시에 사용재료의 구성성분이나 배합량에 주의를 기울이기만 한다면 혼합 시멘트의 사용이 경우에 따라서는 포틀랜드 시멘트만을 사용한 콘크리트보다도 중성화에 따른 철근부식 문제를 해결할 수도 있다.

#### 4. 경화체 조직의 치밀화를 통해 중성화를 방지할 수 있는 방안

콘크리트의 중성화 진행속도에 영향을 미치는 요인에는 외부의 온습도, 탄산가스의 농도, 그리고 실내의 등과 같은 환경적 요인, 시멘트, 골재, 혼화재료 등 사용하는 재료의 종류에 따른 요인, 그리고 물-시멘트비, 단위수량, 슬럼프 등의 배합조건 및 타설, 다짐방법, 양생 등의 시공조건이 있다.

이상과 같은 많은 요인 중에서 환경적인 요인은 어쩔 수 없지만, 재료적인 요인

및 배합조건 그리고 시공조건 등을 조절하면 충분히 콘크리트의 경화체 조직을 치밀하게 하면 어느 정도 중성화 문제를 해결할 수 있다.

현장에서 비교적 손쉽게 콘크리트 표면의 조직 치밀화를 통해 중성화를 막을 수 있는 몇 가지 방안에 대해서 정리하면 다음과 같다.

##### ① 양질의 골재를 사용하고 물-시멘트비를 가능한 한 작게 한다.

콘크리트의 조직을 치밀하게 하는 가장 큰 요인은 물-시멘트비이다. 중성화 깊이는 물-시멘트비가 클수록 증가하며, 작을수록 감소한다. 그러나, 현실적으로 보통 강도 레벨의 콘크리트에서 물-시멘트비를 무작정 낮추려고 한다면 단위시멘트량을 증가시키거나 혼화재량을 늘리지 않고서는 여의치 않다. 따라서 어느 정도 이상의 강도 레벨이 아니면 적용하기가 곤란하다.

〈그림 7〉은 물-시멘트비가 중성화 속도에 미치는 영향을 정량적으로 나타낸 그림으로서<sup>11)</sup>, 그림에서는 물-시멘트비가 60%인 경우의 중성화 속도를 기준으로 하고 있다. 이 측정결과는 촉진중성화시험을 통해 얻어진 결과이지만, 그림을 보면 물-시멘트비가 50% 이상인 경우에는 혼합 시멘트가 일반 포틀랜드 시멘트보다는 다소 중성화 속도가 큰 것으로 나타나 있지만, 50% 이하일 경우에는 비록 촉진중성화시험결과라 하더라도 혼합 시멘트의 경우가 오히려 중성화 속도가 느린 것으로 나타났다. 이는 결국 혼합 시멘트를 사용하는 경우 물-시멘트비가 작게되면 콘크리트 경화체 조직이 더욱 치밀해져서 외부로부터의 탄산가스 침투가 어려워졌기 때문으로 사료된다.

##### ② 콘크리트 타설후 양생을 철저히 실시한다.

앞의 2.2절의 압축강도와 중성화의 상관성에서 볼 때 타설한 콘크리트를 초기 재령시 충분한 양생을 통하여 강도를 확보해 주면 중성화 속도를 감소시킬 수 있다. 이러한 양생효과와 일례를 〈그림 8〉 및 〈그림 9〉에 나타내었다.<sup>11)</sup>

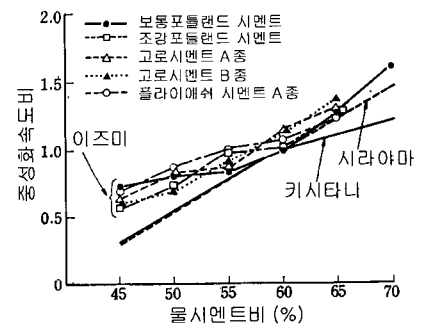


그림 7. 물-시멘트비에 의한 중성화 속도비

〈그림 9〉는 〈그림 8〉과 같이 각종 시멘트에 물-시멘트비 60%, 공기량 4%, 슬럼프 18 cm의 배합조건으로 콘크리트를 제작하여 6종류의 양생을 실시한 후 중성화 속도를 촉진시험(CO<sub>2</sub> 농도 5%, 30°C, 60% RH)에 의해 측정된 결과를 그림으로 나타낸 것으로서, 혼합 시멘트의 경우도 초기양생을 철저히 행할 경우 일반 시멘트에 근접한 중성화 속도를 보이고 있음을 알 수 있다.

또한, 주변의 온도가 낮을 경우에는 거푸집의 탈형시기를 조금 늦추어 충분한 양생이 되도록 하는 방안도 중성화 방지에 매우 도움이 된다. 〈그림 10〉은 콘크리트의 양생온도와 중성화의 관계를 나타낸 그림으로서<sup>10)</sup>, 양생온도가 낮으면 중성화가 크게 되는 것으로 나타났다. 이런 현상은

기호	수중양생 온도(°C)	양생 조건
I	10	○ 콘크리트 타설 후 양생 60% RH
II	10	
III	20	
IV	20	
V	30	
VI	30	

그림 8. 콘크리트의 양생조건

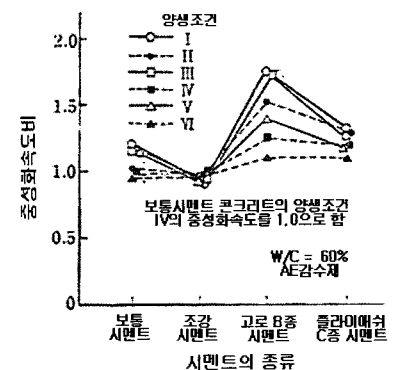


그림 9. 중성화 속도에 미치는 시멘트의 종류 및 양생조건 영향

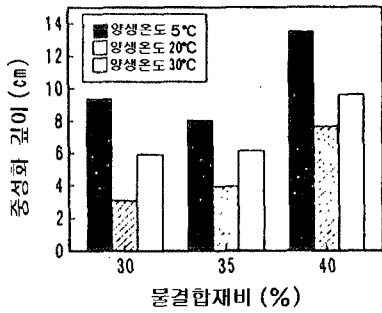


그림 9. 양생온도별 중성화 깊이 비교의 예

초기양생조건과 경화체 조직의 치밀 정도 및 압축강도가 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다.

③ 공기연행성이 있는 혼화제를 사용한다.

키사타니의 연구에 의하면<sup>12)</sup>, 공기연행성이 있는 AE제나 AE감수제를 사용하면 콘크리트의 중성화 속도를 줄일 수 있는 것으로 나타나 있다. 공기연행제를 사용하지 않은 보통 콘크리트의 중성화 속도를 1로 가정할 경우, AE제를 사용하면 0.6, AE감수제를 사용하면 0.4인 것으로 나타나 공기연행성 혼화제를 사용하면 중성화 속도를 현저히 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있다.

일반적으로 콘크리트 중의 공기량이 많아질수록 중성화 속도는 커지는 것으로 생각되고 있지만, AE제나 AE감수제를 사용한 공기량 4% 정도의 콘크리트에서는 플레인 콘크리트의 경우보다 공기량이 증가하여 중성화가 빨라지는 부분과 시멘트의 분산이 잘 이루어져 단위수량이 작은 밀실한 조직을 형성하게 됨에 따라 중성화가 늦어지는 부분이 서로 상쇄되어 결과적으로는 혼화제의 사용이 중성화의 속도를 약간 늦게 하는 효과를 가져온 것으로 추정된다.

④ 탄산가스의 침투를 보다 근본적으로 차단하기 위하여 중성화 억제효과가 큰 투기성이 작은 표면마감재를 사용한다.

적당한 표면 마감재의 사용은 탄산가스의 침입을 억제하여 중성화 속도를 지연시킬 수 있다. 따라서, 표면 마감재는 예폭시, 혹은 아크릴 수지 등의 고분자 계통이 억제효과가 크며 일반적인 타일에 의한 마

감도 억제효과 높은 것으로 알려져 있다. 표면마감재에 의한 중성화 속도비를 보면 <표 2>와 같다.<sup>13)</sup>

표 2. 표면 마감재에 의한 중성화 속도비

마감재 사용안함	페인트	모르타르	타일
1.00	0.71	0.58	0.38

5. 결 론

혼합형 시멘트는 사회환경적인 측면과 품질적인 측면에서의 우수한 장점을 가지고 있음에도 불구하고 재료 구성의 특성상 Ca(OH)<sub>2</sub>가 일반 시멘트보다 적게 생성되기 때문에 중성화 문제에 취약하여 내구성 상에 문제가 야기될 수 있다는 지적이 있어 사용상에 다소 혼란을 가져오고 있는 실정이다. 혼합형 시멘트가 일반 시멘트보다는 중성화가 더 진행될 수 있는 재료적인 요인을 내포하고 있는 것은 사실이지만, 재료입자의 크기 차이에 따른 충전 효과(filler effect)와 포졸란 반응, 잠재수 경성 반응 등에 의해 장기적으로 모세관 공극량을 감소시켜 조직이 치밀화되기 때문에 탄산가스 및 수용액의 침투속도를 저하시키는 효과를 가지고 있어 비록 경화체의 pH도가 일반 시멘트만을 사용한 경우 보다는 낮다 하더라도 일률적으로 중성화 속도가 빠르다고 단정하기 곤란하다.

앞의 본문에서도 언급한 바와 같이 콘크리트의 중성화 속도 및 침투깊이는 사용하는 시멘트의 종류에 관계없이 콘크리트 경화체가 동일한 압축강도를 가지고 있다면 혼합재료의 사용에 관계없이 중성화 침투속도 및 침투깊이는 거의 비슷하며, 오히려 배합 및 양생조건, 골재, 혼화제, 표면마감재의 종류 등에 의한 차이가 더 클 것으로 사료된다

한편, 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트는 재료적인 특성상 어쩔 수 없이 초기에 있어서의 상태가 장기간의 물성을 좌우하는 것이 일반적이므로 레미콘 공장에서는 품질관리, 시공 및 양생에 특히 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다. □

참고문헌

- 이창수, 설진성, 윤인식, 박종혁, "플라이 애시와 고로슬래그미분말을 복합사용한 콘크리트의 내구성능 향상 효과", 2002년도 가을학술발표회 논문집, 2002년 10월, pp.23~26.
- 日本コンクリート工學協會, "超流動コンクリート研究委員會報告書(II)", 1994년 5월, pp.188~192.
- 鄭載東, 平井和喜, 三橋博三, "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實驗的研究", 콘크리트工學論文集 第1卷第1号, 1990년 1월, pp.61~73.
- 長瀧重義, 大賀宗行, 荒井俊晴, "高爐スラグ微粉末を混和したコンクリートの中性化", 高爐スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム, 土木學會, 1987년 3월, pp.143~150.
- 和泉意登志, 喜多達夫, 前田照信 "콘크리트構造物의 耐久性 시리즈 -中性化", 技報堂出版, 1986년 4월, pp.21~40.
- 송용순, 노재호, 강석화, "혼합형 저발열시멘트를 사용한 콘크리트의 초유동성 및 내해수성에 관한 연구", 콘크리트학회지 제 10권 6호, 1998년 12월, pp.281~289.
- 日本コンクリート工學協會, "超流動コンクリート研究委員會報告書(I)", 1993년 5월, pp.180~182.
- 笠井芳夫, 池田尙治, "콘크리트의試驗方法(下編)", pp.172~179.
- 依田彰彦, "高爐セメントコンクリートの中性化(20年間自然暴露した結果から)", セメントコンクリート, No.429, Nov.1982., pp.26~32.
- 依田彰彦, "高爐セメントを用いた鐵筋コンクリート構造物의 耐久性", セメントコンクリート, No.562, Dec.1993., pp.35~45.
- 和泉意登志ほか, "콘크리트의中性化に及ぼすセメントの種類, 調合および養生條件の影響について", 第7會回コンクリート工學年次講演會, 1985.
- 岸谷孝一, "鐵筋コンクリートの耐久性", 鹿島建設技術研究所出版部, 1963.
- 日本建築學會, "콘크리트의調合設計・調合管理・品質檢査指針案・同解説", 1976.