

## 콘크리트의 내구성과 중성화 Durability of a Carbonated Concrete



박 기 근\*

### 1. 콘크리트의 성능저하

현대인의 생활은 콘크리트 숲속에서의 생활이라고 비유되고 있다. 사실 도시에서의 생활은 말 할 것도 없고 대부분의 시골에서의 생활도 콘크리 트로 지은 집에서 잠자고 콘크리트 마당에 곡식을 말리며 콘크리트로 된 다리를 건너다니는 생활을 하고 있다.

콘크리트는 원하는 곳에서 형체를 생각대로 만들 수 있고 돌처럼 단단하며 값이 저렴한 매력 때문에 사용량이 급증하고, 일반적으로 그 수명도 기의 영구적인 것으로 신뢰받고 있다. 그러나 이 콘크리트도 생각보다 많은 취약점을 가지며 경우에 따라서는 다른 건설재료보다 더 짧은 기간에 붓쓰게 되는 수가 있으며 한편 설계, 시공, 관리가 적절하게 이루어진 콘크리트 구조물은 우리의 기대에 어긋남이 없이 오랫동안 남을 수 있는 '내구 성 콘크리트'가 된다.

콘크리트의 중요한 원재료인 시멘트 즉 포틀랜 드 시멘트로 만든 콘크리트의 내구성이란 풍화작용, 화학물질의 작용 또는 마모등 기타원인에 의

한 성능저하에 대항하는 저항성을 뜻한다. 내구성 콘크리트는 그 본래의 형상이나 질 및 사용기능이 대기에 오랫동안 노출된 후에도 그대로 유지되는 것이다.

풍화 작용은 동질기에 콘크리트가 젖어 있을 때 동결과 융해가 반복되어 손상을 입어 강도가 저하 되는 현상으로 반복회수가 커지면 붕괴되는 결과를 초래하게 된다.

화학 물질의 작용은 부식성 화학물질과 콘크리 트가 접촉할 때 콘크리트에 피해를 입히는 경우에 해당한다. 이 때 화학약품은 건조된 상태일 때에 비하여 용액상태일 때 더 큰 피해를 주며, 어느 정도 이상의 농도에서 작용하므로 산이나 알칼리를 취급하는 공장등 특수한 환경에서 주로 피해가 발생하지만 토양이나 콘크리트 주위를 흐르는 지하수에 황산칼륨, 황산 칼슘 또는 황산 마그네슘 등이 자연적으로 존재하는 지역에서 콘크리트가 피해를 입는 경우도 있다. 우리나라 건설업체가 중 동지역의 건설공사에 참여한 초기에 건조지대의 지표면에 축적되어 있는 황산염의 작용으로 구조물의 피해를 입어 애로를 겪은 경험이 여기에 속 한다.

콘크리트는 사용하는 중에 마모된다. 신발이나

\* 국립건설시험소 기사재 시험과 과장

물체의 운반으로 인한 마모, 무거운 화물자동차나 스노우 타이어의 못에 의한 차도의 마모, 물에 의하여 운반되는 돌 또는 모래등 마모성 물체에 의한 댐의 여수로, 터널, 교량의 교각이나 교대 등 수공 구조물의 침식 또는 수로에서 유속이 빠를 때 부압(負壓)으로 생기는 Cavitation등이 이에 속한다.

골재의 화학반응에는 알칼리-규산 반응과 시멘트-골재반응 및 알칼리-탄산염 반응 등이 있다. 알칼리 규산 반응은 가장 주목을 받고 있으며 제일 먼저 알려져 있는 반응으로서 시멘트 또는 기타 콘크리트재료에 함유된 알칼리성분( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ )과 골재 중에 함유되어 있는 특정구조의 규산질 성분과의 반응이다. 처음에는 알칼리 골재반응이라 불렀으나 지금은 보통 알칼리-규산질반응이라고 한다.

시멘트-골재반응은 비교적 최근에 조사된 반응으로서 주로 시멘트에서 높은 pH의 원인이 되는 알칼리성분과 골재 중에 다량 함유된 수산기(水酸基) 및 규산기(硅酸基)사이에 일어나는 반응이다. 그러나 반응성 조제품재로 만든 콘크리트의 현상변화상태를 보면 시멘트의 알칼리의 함량과의 연관성이 잘 일치하지 않는다. 팽창성 알칼리-탄산염 반응은 어떤 종류의 석회암을 골재로 사용했을 때 팽창균열에 의한 손상을 가져오는 반응으로서 점토질 백운석등의 암석이 주로 관여한다.

이처럼 콘크리트 골재와 시멘트중의 주로 알칼리 성분이 화학적인 반응을 일으켜서 콘크리트의 내구성을 해치는 작용은 콘크리트용 암석을 잘 선별하여 사용하거나 시멘트 중의 알칼리 성분을 반응성 농도 이하로 조절함으로써 예방이 어느 정도 가능하다.

이러한 반응들에 의한 피해는 구조물이 만들어진 후 20년 가까운 장기간이 지난 다음에야 발생되는 경우가 많아서 아직 발견되지 않고 있을수도 있겠으나 우리 나라에서 피해가 조사된 예는 없다. 이는 지금까지 우리 나라에서는 강모래, 강자갈등 오랜 세월 풍화되어 가장 단단한 부분이 남아있는 암석을 골재로 사용하거나 화강암질의 쇄석을 골재로 사용한 점이 이러한 피해를 작게 하

는 원인일 수도 있다. 반응성 암석을 사용하기 전에 판별하는 방법은 골재의 암석 분류시험 방법, 물탈봉에 의한 잠재반응성 시험방법, 잠재반응성의 화학적인 실험방법, ASTM C342의 실험시험 등이 이용되고 있다.

이외에도 콘크리트에 매설된 강재등 재료가 부식하여 콘크리트에 피해를 주는 경우가 많다. 특히 보강철근의 부식은 콘크리트 구조물의 내구성과 장기간의 안정성에 영향을 주는 가장 중요한 인자인 것으로 현재 인식되고 있다. 보강철근의 조기 부식 원인은 많겠으나 여기에서는 콘크리트의 중성화와 콘크리트중의 염분이 보강철근의 부식에 어떻게 영향을 주며 이 영향을 최소화 하기 위하여 어떤 조치들이 필요한 지를 국립건설시험소에서 시험조사한 내용과 함께 기술하고자 한다.

## 2. 콘크리트의 중성화

### 2.1 시멘트 및 시멘트 수화

콘크리트를 구성하는 재료는 골재, 시멘트, 물 및 필요에 따라 첨가되는 콘크리트 혼화재료이다. 이중 시멘트는 골재를 결합시켜 강도를 가지게 하는 중요성분이며, 콘크리트의 내구성에 영향을 주는 여러 가지 현상도 주로 이 시멘트가 수화된 부분에서 일어난다. 시멘트도 여러가지 종류가 있으나 일반적으로 우리가 시멘트라고 부를 때는 포틀랜드 시멘트를 지칭한다.

시멘트는 석회석, 점토, 규석, 칠광석 등을 필요한 성분이 적량 포함되도록 취하여 분쇄, 혼합과정을 거쳐 고온(약 1450℃)에서 소성한후 분쇄하여 제조한다.

소성과정에서 각 원료에 함유된 석회, 규산, 산화알루미늄, 산화철등 시멘트의 주된 성분은 보그(Bogue)의 시멘트 광물이라고 호칭되는 화합물로 변하는데 그 광물의 종류와 양은 포틀랜드 시멘트의 종류에 따라 다음과 같다.

표 1 각종 포틀랜드 시멘트의 광물 조성

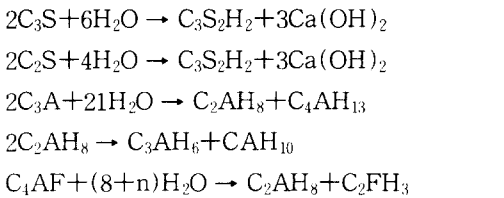
시멘트 종류	시멘트의 광물 조성 범위(%)			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
보통 시멘트	45-52	24-29	8-11	8-10
조강 시멘트	53-68	10-20	7-10	7-9
중용열 시멘트	30-42	34-44	4-6	12-14
내황산염시멘트	37-39	41-45	3-5	7-9
백색 시멘트	28-35	40-45	12-14	1-2

※ C<sub>3</sub>S : 3CaO · SiO<sub>2</sub>  
 C<sub>2</sub>S : 2CaO · SiO<sub>2</sub>  
 C<sub>3</sub>A : 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 C<sub>4</sub>AF : 4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

이 시멘트 조성광물은, 콘크리트를 만들기 위하여 물을 가할 때 미세한 시멘트 입자 표면으로부터 물과 반응하여 수화물을 형성하기 시작하여 실온에서 28일이 경과하면 대부분(약 80%)이 반응하여 수화물로 변한다.

이 수화물은 처음에 물이 차지하고 있던 공간에 아교질(Gelatine)상태로 분포하여 시멘트 수화겔이라고 부르며 과량의 물이 존재할 때는 겔의 밀도가 적고 모세관등 공극이 커져 강도가 저하될 뿐 아니라 내구성이 좋지 않은 콘크리트로 된다.

각 시멘트 광물의 수화반응을 화학양론식으로 표시하면 다음과 같다.



여기에서 C, S, A, F, H는 각각 CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 H<sub>2</sub>O이다.

## 2.2 콘크리트의 중성화와 보강철근의 부식

윗 식에서 알 수있는 바와 같이 콘크리트 중에서 시멘트광물이 물과 반응하여 수화물을 형성할 때 다량(시멘트 량의 약 1/3)의 수산화칼슘 Ca(OH)<sub>2</sub>이 생성되어 콘크리트 내부에 남아 있게 된다. 이 수산화석회는 강도발현에 기여하지는 않지만 콘크리트가 강한 알칼리성이 되게한다. 콘크리

트가 강한 알칼리성을 유지하는 것은 보강철근의 부식방지에 매우 중요한 역할을 한다.

철은 산소와 물의 존재 하에서 쉽게 산화철로 변한다. 철에 녹이 발생하여 부스러지는 것은 주위에서 흔하게 보는데 갓 깨어진 콘크리트 속에서 수 십년이 지난 오래된 철근이 그대로 있는 것을 볼 수 있다. 그 원인은 첫째 콘크리트가 강한 알칼리성이어서 철근의 부식을 막아 주기 때문이며, 또 콘크리트가 수분이나 산소의 공급을 방해하는 때문이다.

콘크리트 속에 있는 철근은 pH 12 이상의 높은 알칼리성 환경 하에서 철근 표면에 얇고 매우 치밀한 산화피막이 형성되어 있어(부동태피막) 더 이상의 부식진행이 없이 오랫동안 유지된다.

그러나 콘크리트의 강한 알칼리성을 유지시켜 주는 수산화 칼슘은 대기중의 탄산가스(CO<sub>2</sub>) 및 아황산가스등 산성오염성분과 반응하여 탄산칼슘 등 염으로 변하면서 콘크리트표면으로부터 차츰 내부로 향하여 반응이 진행되며, 탄산칼슘 등으로 변한 부분의 pH는 8.5~10 정도로 되어 비교적 중성 쪽으로 된다.

이 현상을 콘크리트의 중성화(neutralization) 또는 탄산화(carbonization) 반응이라고 하며 이때 콘크리트가 중성화 또는 탄산화 되었다고 한다.

이렇게 콘크리트 내부를 향하여 진행되는 중성화 반응이 철근까지 도달하고 산소와 습기가 있으면 철근주위의 콘크리트는 철근부식을 억제하는 기능을 잃게되고 철근의 부식이 시작된다. 부식이 진행되면 새로이 생성된 산화철의 부피가 원래의 철의 부피보다 2~4배 커지기 때문에 그 압력으로 인하여 피복콘크리트에 균열이 발생하여 이 균열을 통하여 산소와 습기의 공급이 더욱 원활해지고 철근의 부식은 가속된다.

부식이 더 진행되면 피복철근의 탈락과 철근단면의 감소가 뒤따르기 때문에 구조물의 외관손상은 물론 콘크리트부재의 내력에도 영향을 주게 된다.

## 2.3 중성화 속도와 속도 지배인자

### 2.3.1 중성화 속도

구조물을 구성하는 콘크리트는 자연환경에서 탄산가스에 노출되는 것을 피할 수 없으므로(대기 중에는 0.03~0.1%의 탄산가스가 존재함) 중성화되는 것이 숙명적이라 하겠다. 다만 중성화가 빨리 진행되느냐 늦게 진행하느냐가 그 구조물 속의 철근을 어느때 까지 오래 보존할 수 있느냐 하는 문제와 직접적인 관련을 가지게 된다. 즉 철근까지 중성화가 도달하는 시간을 늦추어 줌으로써 그 구조물이 중성화로 인하여 수명이 단축되는 것을 막아 줄 수 있는 것이다.

중성화 속도에 관한 연구는 일본에서 일찍부터 이루어져 이미 1907년에 佐野利器 박사는 자연폭로 시험을 시작하였다. 그 20년후 하마다 박사는 중성화 깊이가 경과시간의 제곱근에 비례한다는 식을 제안하였다.

$$t = k/R \times C^2$$

여기에서  $k=0.3(1.15+3x)/(x-0.25)$

$C$  = 중성화 깊이(cm)

$t$  =  $C$ 까지 중성화되는데 소요되는 기간(년)

$x$  = 물-시멘트 비

$R$  = 시멘트, 골재 또는 혼화제의 종류에 따라 결정되는 정수

지금은 岸谷, 白山, 依田博士 등에 의하여 중성화 속도식이 제안되어 있으나 岸谷식이 일반적으로 이용되고 있다. 岸谷식은 강도상의 물-시멘트 비에 따라 다음의 식을 제안하였다.

$$t = \frac{0.3(1.15+3x)}{R^2(x-0.25)} C^2 \quad (x \geq 60)$$

$$t = \frac{7.2}{R^2(4.6x-1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 60)$$

여기에서  $t$  :  $C$ 까지 중성화되는 기간(년)

$x$  : 강도상의 물-시멘트 비

$C$  : 중성화 깊이(cm)

$R$  : 조건에 따른 중성화 비율(표 참조)

표 2 콘크리트의 종류별 중성화 비율(R)

구분	강모래·강사갈			강모래·火山사갈			火山사갈		
	PLAIN	AE제	AE 함유제	PLAIN	AE제	AE 함유제	PLAIN	AE제	AE 함유제
보통포틀랜드시멘트	1.0	0.6	0.4	1.2	0.8	0.5	2.9	1.8	1.1
조강포틀랜드시멘트	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7
고로시멘트 (슬래그 30~40%)	1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6
고로시멘트 (슬래그 60% 함유)	2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6
플라이애쉬시멘트	1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0

### 2.3.2 중성화 속도 지배인자

중성화를 촉진시키는 요인을 크게 나누어 재료, 배합, 시공, 표면마감 처리 등 구조물 자체의 요인과 구조물이 접하고 있는 환경 요인으로 구분하여 볼 수 있다.

가. 내부 요인

#### 1) 시멘트의 종류

시멘트의 종류에 따라서 중성화 속도가 큰 차이가 난다. 동일한 조건에서 보통 포틀랜드 시멘트의 중성화 속도를 1.0이라 할때 조강포틀랜드시멘트는 0.6, 슬래그를 30~40% 혼합한 슬래그 시멘트는 1.4, 플라이 애쉬 20%를 혼합한 플라이애쉬 시멘트는 1.9 등으로 상대적인 중성화 속도가 다르다. 위에 나타난 바와 같이 보통포틀랜드시멘트에 고로슬래그 또는 플라이애쉬등 포졸란을 혼합하면 중성화 속도가 촉진됨을 알 수 있다.

#### 2) 골재

골재는 일반 골재를 사용한 보통 콘크리트에 비하여 다공질인 천연 또는 인공 경량골재를 사용한 경량콘크리트가 중성화 속도가 크다.(보통 콘크리트의 1.1~1.5)

이유는 골재의 다공성으로 인하여 수분이나 탄산가스의 확산이 용이하기 때문이라고 알려져 있다.

#### 3) 콘크리트 혼화제

콘크리트의 성능을 개선하거나, 작업성을 높이기 위하여 대부분의 콘크리트에는 1종 이상의 콘크리트 혼화제를 사용하는 것이 최근의 현실이다. 혼화제를 사용한 콘크리트의 중성화 속도는 동일한 물-시멘트 및 동일 슬럼프인 보통콘크리트와는 일반적으로 차이가 없으나, 감수효과에 의하여

물-시멘트 비가 작아지는 경우 중성화가 지연된다. 일반적으로는 콘크리트 중에 공기량이 많아짐에 따라 중성화 속도가 커질 것으로 예상되나, AE제나 AE감수제를 첨가하여 공기량이 4% 정도로 된 콘크리트에서는 공기량이 증가하여 중성화가 촉진되는 양을, 시멘트의 분산을 좋게 하거나 단위 수량을 감소시킴으로써 인한 콘크리트의 밀실화 효과에 의하여 상쇄하는 것으로 추측하고 있다.

#### 4) 물-시멘트비

콘크리트의 다른 조건이 일정할 때 물-시멘트 비가 커지면 강도가 저하될 뿐만 아니라 수밀성도 저하한다. 콘크리트 속의 시멘트를 수화시키는데 소요되는 물의 양은 이론상 시멘트 중량의 28-30%이며 그 이상의 물은 시멘트 수화물로 된 GEL의 공극을 크게 하여 모세관을 형성하여 수밀성을 저하시킨다.

그러나 콘크리트의 위커빌리티를 향상시키기 위하여 W/C가 50% 이상 되는 콘크리트가 일반적으로 사용되고 있으나 혼합의 양은 필요한 최소한의 양이 되도록 노력하는 것이 좋다. 과량의 물은 재료분리 또는 블리딩의 원인이 되어 품질이 매우 조악한 콘크리트가 되게하는 원인이 된다.

다음 표는 동일한 조건에서 W/C를 변화시켰을 때, 피복 콘크리트의 두께인 3cm 및 5cm까지 중성화가 도달되는 기간을 岸谷식으로 환산한 값을 나타내고 있다.

이 표에서 보면 피복두께 3cm까지 중성화가 도달하는 기간은 W/C를 55%에서 65%로 변화시켰을 때 거의 반으로 감소하는 것을 보여주며 콘크리트를 치기 전에, 작업을 편히 하겠다고 무심히 물을 가하는 단순한 현장 노동자의 부주의 또는 감독의 감독 소홀히 그 구조물의 수명을 반으로 감하는 무서운 결과를 초래할 수 있음을 나타내고 있다 하겠다.

표 3 岸谷식 환산치

W/C	두께	3cm	5cm
	55%	109년	303년
60%	71년	196년	
65%	52년	145년	

※ 비교 - 물 재 : 강자갈과 강모래  
 - 시멘트 : 보통포틀랜드 시멘트  
 - 혼화재 : 사용하지 않음

#### 5) 시공의 정도

시공이 잘못되는 경우 중성화가 크게 촉진된다. 白山의 제안식에 의하면 시공정도를 우수, 양호, 보통 및 불량 4종류로 분류하여 구분할 때 중성화 속도비를 각각 0.5 : 0.7 : 1.0 : 1.4로 적용하고 있다. 依田은 콘크리트의 다짐도를 충분, 보통의 상, 보통의 중, 다지지 않음의 4종으로 구분하여 속도비를 1.00 : 1.22 : 1.41 : 2.00이라고 제안하고 있다.

시공시에 중성화속도에 영향을 주는 요소로서의 다짐정도 외에, 콘크리트를 칠 때 재료분리를 일으켜 부분적으로 조골재가 모여서 공극이 심하게 발생하거나, 불량 거푸집의 사용 또는 조립 불량으로 인하여 콘크리트가 굳기 전에 혼합수가 흘러나오면서 시멘트풀이 함께 외부로 유출되어 국부적인 시멘트부족을 초래하거나 또는 이어치기를 할 때 발생하는 콜드 조인트 공극등을 들 수 있으며 실제로 구조물 조사에서 이러한 시공불량 부위를 관찰할 수 있었다.

#### 6) 콘크리트의 양생

초기양생이 적절하지 못하면 표면에 균열이 발생하여 수분이나 탄산가스의 통로역할을 하게 된다. 콘크리트가 굳어지기 전에 강한 직사광선이나 심한 바람에 직접 노출되면 표면에 건조수축으로 인한 균열이 발생하며, 철근에 가까운 부위에 발생한 균열이 더 큰 피해원인이 된다.

#### 7) 염분

콘크리트 중에 함유된 염분이 중성화를 촉진시킨다. 국립건설시험소에서 필자가 시험한 결과에 의하면 동일한 조건에서 건조된 골재중량의 0.2%의 염분을 함유한 콘크리트의 10년후의 중성화 깊이는 다음 표에서 보는 바와 같이 염분을 포함하지 않은 콘크리트의 측정값의 2배를 나타내고 있

표 4 염분함유량과 중성화 깊이

염분(%)	평균깊이(mm)		최대깊이(mm)	
	슬럼프 7cm	슬럼프 17cm	슬럼프 7cm	슬럼프 17cm
0.00	4.8	4.9	8.8	9.8
0.01	5.1	5.2	8.4	10.4
0.04	5.0	5.1	9.6	10.0
0.10	6.3	6.4	9.8	11.6
0.20	6.1	10.0	10.4	13.0
0.50	8.8	10.2	14.0	13.4

다.

이 표에서 평균값은 동일한 공사처의 여러 부위에서 측정된 값을 평균한 값이며 최대값은 측정된 값이중 가장 큰 값이다.

### 8) 표면 마감

콘크리트 구조물의 표면을 몰탈바름, 페인트 도장 또는 타일바름등으로 처리하였을 때 중성화가 억제된다.

### 나. 환경 요인

콘크리트구조물의 주위 환경에 따라서 중성화 속도가 영향을 받는다. 중성화는 주로 대기중의 탄산가스에 의하여 일어나며, 탄산가스의 농도가 클수록 속도가 빨라진다.

일반적으로 실내에 있는 공기중의 탄산가스농도가 바깥보다 크며 따라서 건축물의 실내 쪽의 콘크리트가 바깥을 뺀 부분보다 중성화가 빨리 진행된다.

습기가 중성화에 영향을 크게 미친다. 콘크리트가 건조한 상태에 있을 때나 물에 완전히 젖어 있을 때는 중성화가 매우 느리게 진행된다.

대기의 상대습도가 50~70%일 때가 가장 빠르며 건조와 습윤이 반복되는 경우도 빠른 속도로 진행된다.

최근 여러 조사보고에 중성화 속도가 예상보다 큰 값으로 나타나는 경우가 많은데 그 이유를 산성비 또는 대기오염의 증가 때문으로 추정하고 있다.

## 3. 중성화에 의한 성능저하 대책

구조물이 초기에 중성화되어 보강철근의 부식을 초래하게 되지 않게 하기 위하여 설계 또는 시공단계에서 유의하여야 할 사항들은 다음과 같다.

### 3.1 설계단계

구조물의 예측수명, 주위환경, 콘크리트의 종류, 예상되는 시공정도등을 고려하여 피복콘크리트의 두께를 충분하게 확보하도록 설계에 반영하여야 한다. 건설부가 제정한 콘크리트 표준시방서 및 건축공사 표준시방서의 피복콘크리트 두께에

관한 기준을 참고하고 시공능력을 감안하는 것이 좋다.

콘크리트의 품질을 결정한 때 중성화대책을 고려하여 물-시멘트비의 상한치와 단위시멘트량의 하한치를 결정하고 콘크리트혼화제의 사용여부와 품질을 정하여 수밀콘크리트가 시공될 수 있도록 한다.

중성화 측면에서만 본다면 제물치장콘크리트보다는 몰탈마부리나 타일붙임 또는 페인트도장등으로 마무리하는 것이 유리하므로 이를 고려하여 정한다.

염분의 과다한 혼입은 중성화와 관계없이 철근의 부식을 촉진시키는 경우도 있으며 중성화 속도를 크게 하는 짐을 고려하여 허용상한치를 가능한 낮게 정하여 주는 것이 좋다.

### 3.2 시공단계

시공단계에서 지켜져야 할 여러 가지 시방규정들은 대부분이 그 구조물을 중성화에 의한 피해로부터 보호하기 위한 조치들이다. 설계된 강도를 확보하기 위하여서는 콘크리트를 배합하고 타설하는 과정에서 완결성을 가지도록 하는 것이 중요하다. 콘크리트를 치기 직전에 물을 가하는 것은 수밀성을 저하시키고 재료분리를 초래하여 중성화를 촉진시킨다. 콘크리트의 다짐은 철저히 하여야 하지만 표면에 물이 떠올라 고일 정도로 마감 손질을 하면 표면부분의 수밀성이 저하되어 나쁜 결과를 초래한다. 거푸집은 틈이 생기지 않도록 조립하여야 하며 콘크리트의 중량으로 인하여 변형이 발생하는 일이 없도록 튼튼하게 조립되고 지지되어야 한다.

피복콘크리트의 두께를 설계된 값으로 확보하기 위하여 치수가 정확한 스케이서를 적당한 간격으로 배치하여 철근과 거푸집사이의 간격이 정확하게 유지되도록 하여야 한다.

초기 양생 시에는 강한 직사광이 표면에 장시간 비치지 않도록 조치하며 바람이 심할 때는 방풍이 필요하다.

## 4. 우리 나라 콘크리트구조물의 중성화 깊이 상태

### 4.1 콘크리트의 중성화 깊이

우리 나라에 있는 콘크리트구조물의 중성화 현상을 알아보기 위하여 1920년대부터 1980년대에 걸쳐 시공된 62개를 임의 선정하여 중성화 깊이를 조사한 결과가 다음 표와 같다.

표 5 콘크리트의 재령별 중성화 깊이

년 대	20년대	30년대	40년대	50년대	60년대	70년대	80년대
시료수(개)	8	13	4	9	15	10	3
평균깊이(mm)	8	5	4	6	5	4	7
최대깊이(mm)	20	15	5	16	16	8	11
예상깊이(mm)	31	29	28	24	20	17	12

이 표에서 평균깊이는 같은 연대에 건설된 구조물 각각의 중성화깊이를 산술평균한 값이며, 최대 깊이는 당해년대의 구조물중 가장 중성화가 많이 진행된 구조물의 중성화깊이를 여러부위에서 측정된 값의 평균값이다.

예상깊이는 岸谷式으로 계산한 중성화 예측값으로서 일반 콘크리트에 대하여 물-시멘트비가 60%일 경우에 해당하는 값이다. 이 측정조사결과에서 보면 20년대 구조물의 최대 중성화 깊이가 20mm로서 중성화 예상깊이 31mm보다 작은 값이며 피복콘크리트두께인 50mm에 미치지 못하고 있음을 알 수 있고 사실 보강철근도 70년이 지난 지금까지 부식되지 않고 있음이 확인되었다. 연대별 평균깊이를 보면 20년대에서 40년대의 구조물이 비교적 중성화 깊이가 예상깊이보다 작은 값을 보이고 있는데 이는 당시의 콘크리트배합이 지금의 배합과 상이하하여 표면부분에 세골재가 없는 대신 시멘트량이 매우 많은, 지금의 인조석과 유사한 배합을 택하고 있었는데 기인하는 것으로 판단된다.

이 결과에서 주목할 사항은 최대깊이를 보이고 있는 구조물들이다. 50년대와 60년대에 시공된 구조물중 가장 많이 중성화된 것의 깊이는 16mm로서 이 표에서 비교해 보기 위하여 산출한 물-시멘트비 60%인 보통콘크리트의 예상깊이 24mm

또는 29mm보다는 작은 값이지만 건축구조물에 이러한 콘크리트가 사용되었다고 가정한다면 이 구조물은 내구성이 충분하지 못한 것으로 분류가 될 것이다.

### 4.2 기존 구조물의 중성화 촉진요인 추정

기존구조물의 중성화 깊이를 조사하면서 추정된 중성화의 촉진요인을 열거하면 다음과 같다.

1) 배합의 불충분 : 레미콘 또는 효율적인 콘크리트 믹서 사용이 일반화되지 않았던 시기에 시공된 구조물에서 부분적인 불균질 상태를 관찰할 수 있었다.

2) 과도한 물-시멘트비 : 단면이 작은 부재에서 중성화 깊이가 큰값을 보이고 있는 것은, 다지기 좋게 하기 위하여 과도한 혼합수를 가한 것으로 추정된다. 이러한 부분은 감수제의 사용이 중성화 대책으로 바람직하다.

3) 환경요인 : 잦은 자동차 통행에 의하여 커진 탄산가스 농도가 영향을 준 부분도 관찰되었다. 특히 콘크리트 교량의 난간부분에서 교각등 다른 부위보다 큰 중성화 깊이가 측정된다.

## 5. 염화물에 의한 콘크리트의 성능저하

콘크리트에 염분이 혼입되면 일반적으로 철근의 부식을 촉진시킨다. 철근의 부식을 촉진시키는 염분의 양은 콘크리트의 조건, 자연환경조건에 따라 다르고 연구자들에 따라서도 달라서 염분허용한도를 여러가지로 정하여 관리하고 있으나 우리나라에서는 콘크리트시방서 및 레미콘규정에서 건조된 세골재의 중량에 대하여 NaCl(소금)로 환산하여 0.04% 이하로 규정하고 있으며, 콘크리트 종류등 여러 현장여건을 감안하여 책임기술자의 동의를 얻은 경우에도 0.1% 이상이어서는 안된다고 규정하고 있다. 이때 책임기술자가 고려해야 할 사항은 그 구조물의 여러 요건이 중성화를 지연시키는 여러 조건에 합당한가의 여부인 것이다. 염분이 콘크리트에 혼입되는 경로중에 가장 흔한 예가 바다모래를 골재로 사용하면서 충분히 세척하지 않고, 염분축적을 소홀하게 하는 경우이다.

바다모래를 사용할 때는 충분히 세척을 하고, 염분함유량을 측정하여 시방규정에 맞도록 관리하여야 하며, 레미콘을 사용하는 경우에는 현장에 반입된 콘크리트의 염분함유량을 측정기로 시험하여  $0.3\text{kg}/\text{m}^3$  이하인 것을 확인하여야 한다.

구조물의 사용 중에도 제설제(주로  $\text{CaCl}_2$  또는  $\text{NaCl}$ )의 사용이나 바닷물과의 접촉등에 의하여 염분이 콘크리트 내부로 침입하며 이러한 염분도 그 양이 많은 때는 철근부식의 요인이 된다. 따라서 이러한 조건에서 이용되는 구조물에 쓰이는 레미콘에는 허용염분량을 더 엄격히 적용하여야 한다.

## 6. 맺음말

콘크리트 구조물의 수명을 여러 가지 복합적인 요인에 의하여 달라진다. 그러나 시공과정에서 예방할 수 있는 요인들중 지금까지 검토한 사항들은 그 영향이 매우 큰 인자들이면서도 결과가 수년후 때로는 수십년이 지나야 나타나는 현상들로서 시공당시에 소홀히 지나칠 수도 있는 것들이다.

콘크리트 공사에 관련된 여러 가지 표준시방서, 설계서, 작업지시서, 품질 관리지침서 등에는 콘크리트구조물의 성능저하를 최소화하고, 수명을 연장시키기위한 여러가지 세세한 지침들이 포함되어 있다. 지침을 준수하지 않았을때 어떤 영향이 얼마만큼 미칠 것이라고 시방규정등에 기록하는 것은 기술적으로 불가능할 것이며 사실 그러한 내용은 생략되어 있다.

일견 사소한 것처럼 보이는 여러 규정 또는 지침서의 요구사항들이 구조물의 수명에 매우 큰 영향을 주는 인자들이며, 꼭 지켜져야만 소기의 내구성 구조물을 기대할 수 있을 것이다.

규정을 지키는데 필요한 것은 관련 기술자와 기능인들의 마음가짐과 정성에 관련된 사항이며, 공사비의 증가는 후에 수명연장에 의하여 얻어지는 경제적 이익에 비하면 큰 문제가 되지 않는다.

요약하여 본다면 내구성 구조물을 만들어 후손들에게 자랑스럽게 물려주는 길은 시방규정들을 꼼꼼하고 정성 드려 지켜서 설계하고, 시공하는 것이 시작이며 끝이라 하겠다.

## 참 고 문 헌

1. 岸谷孝一等, 中性化(콘크리트 구조물의 耐久性 시리즈) 1986, 技報堂
2. 友澤史紀, 中性化による問題, 건축기술시공, 1985. 1.
3. ACI Publication 201, 2R-77 (82), GUIDE TO DURABLE CONCRETE.
4. ACI Publication 222, R-85, CORROSION OF METALS IN CONCRETE.
5. ACI 515, 1R-79(85), A GUIDE TO THE USE OF WATERPROOFING, DAMPPROOFING, PROTECTIVE, AND DECORATIVE BARRIER SYSTEMS FOR CONCRETE
6. Eivind Hognestad, DESIGN OF CONCRETE FOR SERVICE LIFE, Concrete International / June 1986.
7. 福島敏夫, 鐵筋콘크리트造 建築物の壽命, 1990. 6. 技報堂
8. 岡田 清, 콘크리트의 耐久性, 朝倉書店.
9. 金秀馬, 外裝技術 資料 集成, 建設文化社.
10. 金秀馬, 品質管理 檢査技術, 1991, 名文社.
11. 和泉意登志, 콘크리트의 中性化 速度에 關する 研究, 日本建築學會 構造系論文報告書 第 394 號 昭和63年 12月
12. 小林一輔, 宇野祐一, 콘크리트의 炭酸化 메카니즘, 콘크리트 工學論文集 第1卷 第1輯, 1990. 1.
13. 和泉意登志, 炭酸가스가 콘크리트의 中性化 速度에 及ぼす 影響, 콘크리트 工學 年次論文報告輯 12-1, 1990
14. 佐伯龍彦等, 降雨に 依る 水分의 供給에 受ける 콘크리트의 中性化, 콘크리트 工學年次報告書 1991.
15. 小林一輔等, 酸性雨による 콘크리트 구조물의 劣化機構에 關する 考察, 콘크리트 工學, 1991.
16. 崔亨植, 水工構造물의 劣化要因과 調査方法, 大韓土木學會誌 (1)(2)(3), 1993. 4, 6, 8.
17. 小林一輔, 콘크리트 구조물의 早期劣化와 耐久性診斷, 森北出版株式會社
18. ACI 224, IR-(84), CAUSES, EVALUATION and REPAIR of CRACKS in CONCRETE STRUCTURE. 