

신기능 콘크리트

장수명 콘크리트 Long Life Concrete



윤재환*

1. 서 언

최근 철근콘크리트구조물의 早期劣化로 인한 耐久年數 감소현상이 국·내외적으로 현저화하고 있으며, 지구환경의 보전, 자원에너지의 절감이라는 점에서도 콘크리트구조물의 고내구화, 해체콘크리트의 재사용에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 이것은 철근콘크리트구조물의 수명을 半永久적으로 보았던 과거의 잘못된 인식에서 벗어나 오래 지속하는 수명이 긴 콘크리트구조물을 만들기 위해서는 어떻게 하면 되는가 하는 인식에서 출발한 것이다.

이러한 목적을 위하여 오래 지속되는 성능을 가진 콘크리트를 高耐久性콘크리트, 超高耐久性콘크리트, 長壽命콘크리트, 超壽命콘크리트 등 여러 가지 이름으로 불리워지고 있다. 이러한 콘크리트에 대한 정의는 명확하지 않으며 주택의 수명에 관해서는 일본은 30년, 미국은 103년, 영국은

141년, 프랑스는 86년, 독일은 79년이라고 하는 통계가 있다. 지금까지 요구된 콘크리트의 수명은 주요한 구조물은 약 150년 정도, 특수한 기념비 등은 약 200년 정도가 요구된 사례도 있으나, 방사선편기물 처리시설에 적용이 고려되고 있는 콘크리트는 약 300년에서 1000년 정도의 내구성이 요구되고 있다.

오래 지속하기 위한 콘크리트구조물이 되기 위해서는 구조물의 기능과 성능이 오래 만족되도록 설계해야 될 뿐만 아니라, 유지관리에 따른 Life cycle cost 의 문제, 사회적인 환경변화에의 대응, 구조물의 물리적, 화학적, 구조적 열화에 대한 안정성이 중요하며, 여기에서는 주로 물리적, 화학적인 안정성에 대하여 기술한다.

2. 철근콘크리트구조물의 열화원인

철근콘크리트구조물의 주요한 열화원인으로서 는 다음 4가지를 들 수 있다.

* 정회원, 수원대학교 건축·도시공학부 부교수

① 건축물의 지상부나 지하내벽의 경우에는 탄산가스나 NOx, 자동차의 배기가스 등에 의한 콘크리트의 중성화에 의해 내부철근을 부식시킨다.

② 해안지역의 구조물에서는 염화물이 침투·확산하여 내부철근을 부식시킨다.

③ 건조수축이나 수화열 등에 의한 균열이 발생하여 산성가스나 염분이 부분적으로 내부로 침입하여 내부철근의 부식을 일으킨다.

④ 하수관의 콘크리트의 경우에는 하수 중의 박테리아의 번식에 의해 황산의 생성에 의한 콘크리트와 철근의 부식.

이들 현상의 대부분은 콘크리트 외부로부터 유해물질의 침투·확산에 의한 것이며, 콘크리트의 건조수축이나 구조적인 원인에 의한 균열이 존재하는 경우에는 이 균열에 따라 열화가 지속되어 철근콘크리트구조물의 수명은 더욱더 단축된다.

이와 같이 콘크리트의 내구성은 개개 구조물의 사용환경에 따라 문제가 되는 열화요인이 다르며, 균열에 의해 열화현상의 촉진이 일어나기 때문에 장수명화 하기 위한 개량·개선기술에는 적용대상에 따라 여러 가지 방법이 고안되고 있다.

국내에 이에 관련된 연구로서는 오병환교수에 의해 1994년부터 2년간 고품질 시공을 위한 고내구성콘크리트의 개발 및 실용화연구가 행해졌다. 그는 콘크리트구조물의 내구성에 영향을 미치는 대표적인 요인으로 동결융해작용, 황산염작용, 철근의 부식, 알칼리·골재반응, 중성화작용, 해수와 염분에 의한 피해 및 물의 침식작용 등을 들고 있다.

3. 장수명화를 위한 기술

3.1 내구성 개선제를 사용한 콘크리트의 성질

일반적으로 대기 중의 탄산가스에 의한 중성화의 진행에 따른 내부철근의 발청·부식에 의해 콘크리트구조물의 수명에 달한다고 생각되지만 해안지역에서는 염분침투, 온천지에서는 아황산가스 등의 산성가스나 황산이온도 문제가 되는 경우가 있다. 콘크리트 외부로부터 침입해오는 이들 유해물질을 어떻게 shut out 시킬 것인가, 콘크리트조직을 치밀화하여 유해물의 침입을 억제하

는 화학혼화제에 대하여 기술한다.

내구성 개선제는 油性的 콘크리트용 혼화제이며, 콘크리트조직의 세공구조를 치밀화하고 각종 유해물질의 침입을 억제하는 효과를 가지고 있다. 소정량 사용한 경우 중성화깊이는 1/3정도로, 염분침투깊이는 절반정도로 감소 가능하다. 또한 이 세공구조의 변화에 대해 건조수축을 60% 정도로 감소하는 효과도 같이 가지고 있으며, 균열이 작은 내구성이 높은 콘크리트를 제조할 수 있다.

내구성 개선제는 조직을 치밀화하여 각종 내구성의 향상과 건조수축의 감소에 효과가 있는 글리콜 에테르유도체와 내부철근의 부식원인이 되는 산성물질이나 염분을 흡착하는 아미노 알콜유도체의 혼합물이다.

글리콜 에테르유도체가 조직을 치밀화하는 모습을 그림1에 나타냈다. 글리콜 에테르유도체는 대단히 미세한 시멘트 수화물의 겹공극을 감소시키며, 이것이 콘크리트조직 내부에서의 수분, 탄산가스, 염분 등의 이동을 억제한다고 생각된다.

한편, 아미노 알콜유도체는 그림 2와 같은 기구로서 탄산가스를 비롯한 산성물질이나 염소이온을 흡착하여 콘크리트 내부로 이들 물질이 침입하는 것을 방지한다. 장수명 콘크리트는 그림3에 나타낸 바와 같이 2종류 유도체의 기능이 서로 작용하여 위에 기술한 바와 같은 건조수축의 감소, 중성화나 염분침투억제, 차수성과 같은 기능을 콘크리트에 부가하고 있다고 생각된다.

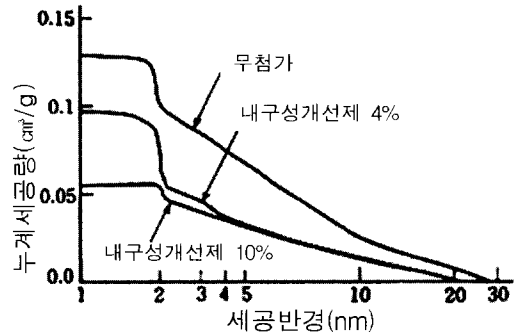
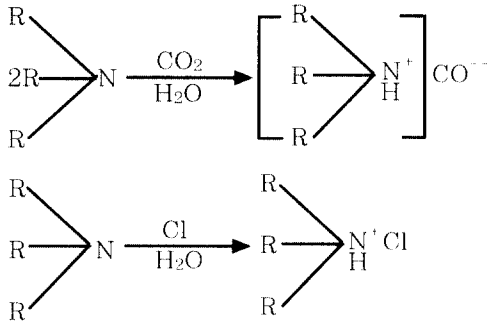


그림 1 시멘트 페이스트(W/C=0.5)에 글리콜 에테르유도체를 첨가한 때의 세공량의 변화(질소가스흡착법에 의한 측정결과)



(R은 수소기 또는 알킬기)
 그림 2 아미노 알콜유도체의 기능

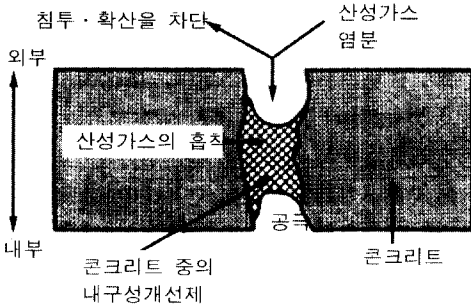


그림 3 내구성개선제의 적용기구개념도

내구성 개선제를 사용한 콘크리트의 용도로서는 현재까지는 종교시설을 중심으로 적용되고 있다. 앞으로 장수명콘크리트의 적용이 요망되는 구조물로서는 문화재시설과 고품질의 집합주택, 방사성폐기물 처리시설, 기념비 등을 들 수 있다.

3.2 장수명 콘크리트에 대한 다른 기술

콘크리트의 치밀화기술로서는 낮은 물시멘트비의 콘크리트나 폴리머함침 콘크리트, 布製거푸집 등의 이용 등 많은 기술이 개발되어 있다. 내구성 개선제를 사용한 콘크리트를 포함하여 각각 기능, 가격, 의장성에 일장일단이 있으며, 구분하여 사용되고 있는 것이 현재 상황이라고 생각된다.

일반건축물을 대상으로 하는 중성화나 염분침투를 억제하는 기술로서는 콘크리트 피복두께의 최적설계가 있다. 콘크리트 피복두께의 최적설계는 이들 기술의 기본이라고 할 수 있는 것이며, 부재에 따라 피복두께의 최저값이 규정되어 있다

는 것은 주지의 사실이다.

고강도콘크리트는 낮은 물시멘트비의 콘크리트이며, 중성화를 억제하는 효과가 크다는 것이 알려져 있다. 개정된 일본건축학회 표준시방서 JASS 5에서는 내구성 등급으로서 일반, 표준, 장기(사용기간을 각각 30년, 65년, 100년으로 상정하고 있다)의 3종류로 규정되었다. 이중 장기로 규정된 것은 내구설계기준강도가 30N/mm²의 고강도콘크리트이다.

더욱이 낮은 물시멘트비의 초고강도콘크리트의 경우에도 중성화의 진행이 대단히 늦기 때문에 수 백년을 넘는 추정수명을 얻을 수 있다. 다만 이 경우, 낮은 물시멘트비화에 의한 피해로서 자기수축량의 증가, 수화열에 의한 온도응력의 발생 등 문제가 있으며, 앞으로의 기술개발·발전이 요망된다.

또한, 콘크리트의 내구성에 대하여 고려하는 경우에는 콘크리트 자체의 품질과 콘크리트구조물 품질의 양쪽을 고려하지 않으면 안된다. 콘크리트 자체의 고내구화는 비교적 용이하며, 예를 들면 물시멘트비를 35% 이하로 하면 중성화저항성과 투수저항성, 염분차단성은 비약적으로 향상한다. 그러나 콘크리트구조물로서의 내구성을 고려했을 때에는 균열, 타설불량부, 타설이음부, 피복두께부족 등을 고려하여야 한다. 콘크리트 자체를 고내구화하여도 이들 문제가 해결되지 않으면 구조물로서의 내구성은 향상되지 않을 것이다. 장수명콘크리트를 만들기 위해서는 이 모두에 대한 검토가 필요 불가결하다.

폴리머함침콘크리트도 표면을 치밀화하여 중성화를 억제하는 기능을 가지므로 장수명콘크리트 기술로서 들 수 있다. 앞으로 수명 추정을 행하기 위하여 폴리머함침 깊이의 정량적 평가방법의 확립과 폴리머 자체의 내구성에 대한 연구가 요망된다.

하수도 시설용의 콘크리트로서 방균제를 사용한 기술이 개발되어 있다. 이것은 황화수소로부터 황산을 발생시키는 균의 번식을 방지함으로써 콘크리트 및 철근의 건전성을 확보하는 것이다.

최근 전기화학적방법에 의해 중성화된 콘크리트에 알칼리성분을 콘크리트내부에 다시 부여하는 기술이 개발되어 개보수공사에 사용되고 있다.

장수명을 기대하는 건설물의 사용기간 중 유지관리되는 필수적이며 콘크리트를 정기적으로 내구성 진단하여 필요에 따라 알칼리성분의 회복을 포함한 유지관리를 해가는 것이 앞으로 중요한 기술의 하나가 되리라 생각한다.

4. 장수명 콘크리트의 배합

장수명 콘크리트의 성질은 기본이 되는 콘크리트

사용재료나 배합을 내구성의 관점에서 음미한 뒤에 내구성 개선제의 효과에 의해 내구성 등의 향상을 기하는 것이다. 따라서 콘크리트의 재료, 제조, 운반 및 타설, 양생, 마무리, 피복두께, 철근조립과 거푸집의 정밀도, 품질관리는 품질확보의 관점으로부터 건축공사 표준시방서 제5장 철근콘크리트공사 5.18 고내구성 콘크리트에 준한다. 단지 배합에 대해서는 다음의 조건을 권장한다.

표 1 초고내구성 콘크리트의 배합 예⁴⁾

타설부위	배합강도 (kgf/cm ²)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물시멘트 비(%)	굵은골재 최대치수 (mm)	잔골재율 (%)	단 위 량 (kg/m ³)				
							물	시멘트	잔골재	내구성 개선제	감수제
기초·지중보	270	8	1.0	54.7	20	45.2	175	320	825	9.60	0.640
B 3 F	270	12	1.0	50.0	20	47.2	170	340	861	10.20	3.400
B 2 F	270	15	1.0	47.2	20	49.1	169	358	884	10.74	3.580
B 1 F	270	15	1.0	47.1	20	45.2	165	350	848	10.50	3.500
I F-RF	270	18	1.0	50.0	20	47.2	175	350	835	10.50	3.500

표 2 각 구조물의 내구성 적정배합⁷⁾

종류	항목	항목별 중요도				강도 등급	추천배합
		동해	부식	황산염	투수		
토목 구조물	교량						
	가) 지역별						
	- 중부이륙 및 산간지방	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆	2, 3	N1-F15, B25, S5-0.04
	- 해안지역	☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	1, 2, 3	N1-F15, B25, S5-0
	나) 교량별						
	- PC, 장대 교량	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	1, 2, 3	H1-F15, S10-0 H1-F15, B25, S5-0
	- 일반교량	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆		N1-F15, B25-0
	콘크리트댐	☆☆	☆	☆☆	☆☆☆	3	N1-F15, B25-0
	박스구조물						
	가) 지하철	☆	☆☆☆	☆☆	☆	2, 3	N1-F15, B25 0
	나) 수로	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	3	N1-F15, B25-0.04
	다) 지하 통로	☆	☆	☆☆	☆☆	3	N1-F15, B25-0
	하수처리장	☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆	3	N1-F15, B25, S5-0
방사능폐기물 저장소	☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	2, 3	N1-F15, S5-0	
화학물 저장소	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆☆	2, 3	N1-F15, S5-0.04	
터널	☆	☆	☆☆☆	☆☆☆	3	N1-F15, B25-0	
항만시설	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	3	N1-F15, B25-0.04	
원자력발전소	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	1, 2	N1-F15, S5-0.04 N1-F15, S10-0.04	
건축 구조물	공공건물(학교, 백화점, 터미널, 박물관 등)	☆	☆☆☆		☆	3	N1-F15, B25-0.04
	아파트						
	20층 이하	☆	☆☆		☆	3	N1-F15, B25-0
	20층 이상(고층아파트)	☆	☆☆		☆	2, 3	N1-F15, B25, S5-0 H1-F15-0
일반건물	☆	☆☆		☆	3	N1-F15, B25-0	

☆ : 보통, ☆☆☆ : 약간 중요함, ☆☆☆☆ : 중요함, ☆☆☆☆☆ : 매우 중요
· 강도등급 ... 1 : 450kg/cm² 이상, 2 : 500kg/cm² ~ 300kg/cm², 3 : 300kg/cm² 이하

* : ' '로 표시된 것은 두 가지를 나타낸 것임
배합기호 N : 단위시멘트량 380kg/m³, W/C = 0.43, s/a = 0.45
H : 단위시멘트량 550kg/m³, W/C = 0.28, s/a = 0.35
F : 플라이애쉬, B : 고로슬래그, S : 실리카흄, AF:제량 : 0~0.04%

- 1) 감수제나 고성능감수제를 사용하는 경우 타설 슬럼프는 18cm 이하, 다만 타설부위에 따라 될 수 있는 한 슬럼프를 작게 한다.
- 2) 단위수량은 $175\text{kg}/\text{m}^3$ 이하
- 3) 물시멘트비의 최대값은 55% 이하로 하며, 50% 이하가 바람직하다.
- 4) 콘크리트의 염화물량은 염화물이온량으로서 $0.20\text{kg}/\text{m}^3$ 이하
- 5) 공기량은 0% 로서 계산
- 6) 내구성 개선제 사용량은 $10\text{kg}/\text{m}^3$
- 7) 알칼리·골재 반응성이 없는 골재의 사용

이들 조건을 고려하여 시험비밀하여 콘크리트의 배합을 결정한다. 참고적으로 일본에서 시공된 초고내구성 콘크리트의 배합의 일례와 국내 서울대 오병환교수에 의해 이루어진 내구성 적정배합 예를 표 1, 2에 나타냈다.

5. 결 언

이상 간단하게 장수명콘크리트에 대하여 현재의 기술에 대하여 알아보았다.

그러나 장수명콘크리트에 대한 명확한 정의도 아직 확립되어 있지 않으며, 장수명 콘크리트의 내구성을 어떻게 보장할 것인지, 또 어떠한 실험을 하여 평가할 것인지 하는 것도 미해결의 문제이다. 이것은 포틀랜드시멘트가 발명된 역사가 불과 150년에 불과하며, 콘크리트 사용환경도 다양하고 가혹해졌기 때문이다.

그러나, 로마·그리스 시대에 만들어진 유적이 지금까지 남아있으며, 또 후세에 영구히 남을 건설구조물을 만들고 싶다는 욕망은 우리 모두의 꿈일 것이다. 우리 모두 오래 지속되어 오래 사용할 수 있는 수명이 긴 콘크리트구조물을 만들기 위한 연구·노력이 필요하다.

- 1) 오병환 "내구성향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용" 콘크리트학회지, 제6권1호, 1994.2, pp. 44~51
- 2) 정상진, "초고내구성 콘크리트의 개발", 콘크리트학회지 Vol. 6, No. 1, 1994. 2, pp. 62~65
- 3) 오병환, 정원기, "국내의 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화", 콘크리트학회지 제7권 5호, 1995. 10, pp. 58~65
- 4) 柳橋邦生 外2人, "超高耐久性コンクリート", 콘크리트工學, Vol. 32, No. 7, 1994. 7, pp. 91~94
- 5) 米澤 敏男, "第5回 : 超壽命コンクリート", 콘크리트工學, Vol. 35, No. 12, 1997. 12, pp. 41~43
- 6) 柳橋邦生, "長壽命コンクリート", 콘크리트工學, Vol. 36, No. 1, 1998. 1, pp. 56~58
- 7) 동아건설산업(주) 서울대, "고품질 시공을 위한 고내구성콘크리트의 개발 및 실용화연구", 최종보고서, 1996. 10 