



## 고성능 콘크리트의 설계와 시공

# 국내의 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 Development and Application of High Durability Concrete in Korea



오 병 환\*



정 원 기\*\*

### 1. 서 언

콘크리트 구조물에 있어서 이상적인 요구사항은 원래의 성능을 다하면서 목표기간동안 존재하는 것이나 시설물은 설치될 때부터 시설물의 특성, 설치 지역등에 따른 여러 침해요인의 영향을 받는다. 구조물에 작용하는 침해적인 물리적, 화학적 환경은 구조물에 손상 즉, 구조물의 성능저하(deterioration)를 일으키게 된다. 이러한 구조물의 성능저하 현상에 의하여 구조물은 일정한 수명, 즉 내구연한을 가지게 되고, 이 내구연한은 목표수명기간동안 시설물들이 사용성을 유지할 수 있도록 확보되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 콘크리트의 강도 및 내구성에 대한 체계적 관리가 필요하며, 이를 위하여서는 고강도 및 고품질화 된 콘크리트의 생산과 활용이 필수적인 요소로 대두되고 있다.

최근 들어 콘크리트의 제조기술은 새로운 혼화제 및 혼화재의 도입으로 역학적 성질, 내구성 및 워커빌리티가 우수한 콘크리트의 생산을 가능하

게 하였으며, 이러한 새로운 종류의 콘크리트를 특히 고성능 콘크리트라고 부른다. 고성능 콘크리트의 기본개념은 고강도 콘크리트를 포괄하며 여기에 콘크리트의 제문제를 가장 합리적인 방법으로 운용, 제어하여 성능이 우수한 콘크리트를 만드는 것이다. 이러한 기본 개념에서 같이 출발한 여러나라 혹은 연구기관 상호간에 견해차는 있으나 궁극적으로 지향하는 바는 같다고 볼 수 있다. 다만 고성능 콘크리트의 개념이 고강도 콘크리트만을 의미하는 것은 아니며 내구성능과 유동성 등 모든 성능이 우수한 콘크리트를 모두 포함하고 있다. 그러나, 그 동안 고강도 콘크리트만 관심을 가져왔으나 최근 들어 구조물의 성능저하와 내구성능이 크게 문제되고 있어 이에 대한 대책이 크게 요구되고 있다.

본 소고에서는 콘크리트의 내구성 향상에 영향을 미치는 인자들에 대하여 간단히 살펴보고, 고내구성 콘크리트에 대한 국내의 연구동향을 살펴보고자 한다.

### 2. 고내구성 콘크리트에 대한 국내 연구동향

최근 들어, 콘크리트 대형 구조물 즉, 국도상의

\* 정희원, 서울대학교 토목공학과 교수, 공박  
\*\* 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구소 선임연구원, 공박

교량, 댐, 항만 등의 국가의 기반 시설물로서 그 중요성이 날로 부각되고 있으며, 우리 나라의 공업화 당시에 건설된 각종 구조물들은 성능저하로 그 구조물의 기능에 대하여 의문이 제기되고 있으며, 예를 들어 건설 예정되어 있는 영종도 신공항, 서해고속도로 등이 콘크리트에 좋지 않은 환경에 노출되어 콘크리트 구조물의 내구성에 심각한 고려가 요구되고 있다. 이러한 환경하에서의 콘크리트는 다른 환경에서 보다 빠른 성능저하를 가져오는 것으로 알려져 있으며, 해외 각국에서도 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 통하여 국가 기반 시설물들의 유지 및 보수 비용절감을 위한 연구가 활발히 진행중이다.

내구성을 향상시킨다고 함은 앞 절에서 언급한 일련의 성능저하 과정을 멈추거나 그 진행을 늦추는 것을 의미하는 것으로, 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화는 이러한 성능저하과정을 억제함으로써 이루어 질 수 있다. 이러한 성능저하과정을 억제 또는 늦추는 방법은 성능저하현상 각각에 대하여 많은 연구 결과들이 국내 외에서 보고되고 있으나 그 구체적인 적용사례와 현장적용성 등에 대한 연구 결과는 아직 빈약한 실정이며, 고내구성 콘크리트의 광범위한 활용을 위해서는 실제 적용성과 고내구성 콘크리트의 경제적 효과에 대한 많은 연구와 검토를 수행중에 있는 것으로 보고되고 있다.

우리 나라에서도 중요 국가 기반시설물인 각종 대형콘크리트 구조물에 발생하는 성능저하 및 열화 원인을 분석·규명과 국가 중요 구조물의 내구성을 증진하는 방안에 대한 연구의 필요성 인식으로 국가적인 차원에서 연구가 수행되고 있으며, 현재 진행되고 있는 고성능 콘크리트 연구의 세 가지 방향 중에서 “고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”에 대한 연구가 1994년 가을부터 2년간 동아건설산업(주)와 서울대학교 공학연구소 공동으로 진행되고 있다. 고내구성 콘크리트를 실용화하기 위하여 포괄적인 연구가 수행되고 있으며 구체적인 연구내용 및 범위는 아래의 표 1과 같다.

고내구성 콘크리트의 실용화에 관한 연구는 주로 혼화제와 혼화재의 종류 및 AE제의 첨가유무

에 따른 재료의 기초적인 역학적 특성과 내구성 특성 확보를 위한 연구가 수행중이며, 현장 실용화를 위하여 현장(당진 화력 발전소 방파제 현장) 적용 실험(그림 1)도 동시에 수행하여 실내 촉진 시험과의 상관관계를 연구중에 있다. 이러한 연구를 통하여 현장에 직접 적용할 수 있는 고내구성 콘크리트의 개발이 기대되며, 이를 통하여 국가 주요 구조물 뿐만 아니라 일반 콘크리트 구조물 까지도 내구성을 증대 시킴으로써 국내 콘크리트 구조물의 신뢰성 증대와 유지 보수 비용의 절감으로 국가 경쟁력을 향상시킬 것으로 기대 된다.

표 1 고내구성 콘크리트의 연구내용 및 범위

1 차 년 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 구조물의 성능저하 및 원인 규명</li> <li>• 콘크리트 구조물의 내구성 향상 기법 연구</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 적정배합 도출을 위한 실험 종류 및 방법</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 적정배합 도출을 위한 실험 결과 및 분석</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 적정배합 도출</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 현장 적용을 위한 1차 적용 실험</li> </ul>
2 차 년 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고내구성 콘크리트의 현장 시험체 제작 및 현장 실제 실험</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 현장 적용으로 인한 제반 문제 및 특성 고찰</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 실용화로 인한 수명 연장 효과 분석</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 적용으로 인한 경제성 절감 효과 및 기대 효과</li> <li>• 고내구성 콘크리트의 설계 및 시공지침 작성</li> </ul>



그림 1 고내구성 콘크리트 현장 1차 시험 시공 전경 (당진 화력발전소 Tetrapod 현장)

### 3. 고내구성 콘크리트의 성능개선 시험

#### 3.1 개요

구조물의 성능저하 현상(deterioration)은 외부적, 내부적 영향과 물리, 화학적 요인 등에 의하여 재료의 품질, 기능 등 구조물의 성능이 시간경과에 따라 저하되는 현상을 의미한다.

이러한 구조물의 성능저하는 구조물이 가지는 내구성(durability)과 관련되어 있는 개념이다. 구조물의 내구성이라 함은 구조물이 존재하는 동안 만족할 만한 수준의 신뢰성(reliability)과 사용성(serviceability)을 유지하는 능력이다. 여기서 사용성이란 구조물의 설계, 시공시에 목표한 기능을 충분히 수행할 수 있는 능력을 말한다. 따라서 구조물의 내구성이라 함은 구조물이 풍화 작용, 화학 작용, 마모 또는 다른 성능저하 과정 등에 의하여 구조물에 발생하는 성능저하 현상에 저항하는 능력으로 정의될 수 있다.

콘크리트 구조물은 사용기간 중에 내적 및 외적 환경요인에 의하여 균열, 수축, 체적 팽창 및 콘크리트 내부 철근의 부식으로 인하여 사용성의 저하를 초래하기도 하며, 그 기능을 상실한다. 내부 및 외부환경에 의한 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 대표적인 요인은 동결융해작용, 황산염작용, 철근의 부식, 알칼리-골재반응, 중성화작용, 해수와 염분에 의한 피해 및 물의 침식작용 등을 들 수 있다.

##### 3.1.1 동결융해에 의한 성능저하

콘크리트 구조물은 자연적인 혹은 인위적인 온도의 상승, 강하로 인하여 콘크리트 내부의 온도가 간극수의 동결점 아래에서 그 이상으로, 동결점 이상에서 그 이하로 떨어지는 온도변화가 있을 때 구조물 성능저하의 원인이 되는 동결융해 작용(freezing and thawing)을 받게 된다.

콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받아 콘크리트의 팽창압력이 인장강도를 넘었을 때 콘크리트에 손상이 가해지고 콘크리트 구조물의 성능저하가 발생하게 된다. 손상의 정도는 표면의 층분리로부터 시작되어 구조물 두께로 진전되는 일음

층에 의하여 콘크리트 구조물에 국부적인 응력 집중을 유발하거나 구조물의 완전한 붕락까지 다양한 형태의 손상을 유발한다.

##### 3.1.2 황산염 반응에 의한 성능저하

콘크리트가 황산염을 함유한 지하수나 흙에 접하여 황산염에 노출된 경우 반복된 건조과정을 통해 주위환경에 의한 상당량의 황산염이 콘크리트에 축적된다. 콘크리트 내에 축적된 황산염의 화학적 반응(sulfate attack)에 의해 궁극적으로 콘크리트의 성능저하가 발생하며 다른 성능저하 작용에 알맞은 환경을 제공함으로써 다른 원인에 의한 콘크리트의 성능저하가 가속화된다. 또한 황산염이 콘크리트내에 축적됨으로서 염소이온과 같이 콘크리트에 부정적인 영향을 미치는 파괴적인 염들이 반응을 활성화시켜 콘크리트의 성능저하가 가속화 된다.

포틀랜드 시멘트 내의 트라이 칼슘 알루미늄 트(tricalcium aluminate,  $C_3A$ ) 함량이 콘크리트의 황산염 반응 저항성에 큰 영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 따라서 ASTM C150에서는  $C_3A$ 의 함량이 최대 5%를 포함한 Type V의 내황산염 시멘트,  $C_3A$ 의 함량이 최대 8%를 포함한 Type II의 중간정도의 내황산염 시멘트에 관하여 규정하고 있다. 또한 포틀랜드 시멘트가 함유하는 알루미늄 페리트( $C_3AF$ )가 콘크리트내의 황산염 반응을 지연시키는 것으로 알려지고 있으며, 콘크리트에 포졸란 또는 고로 슬래그를 첨가하거나 이들을 혼합한 시멘트를 사용함으로써 콘크리트의 황산염 반응 저항성을 증진시킬 수 있다.

##### 3.1.3 철근부식에 의한 성능저하

주기적, 장기적으로 콘크리트 구조물이 부식환경에 노출된 경우 철근주위의 부동태피막이 파괴되고 철근의 부식이 발생하여 철근 자체의 성능저하와 콘크리트 피막의 탈락을 유발하여 전반적인 구조물의 성능저하를 일으킨다. 철근의 부식에 의하여 철근의 체적이 본래의 약 2.5배로 팽창하고 그 팽창압으로 인하여 콘크리트에 균열이 발생하게 된다. 균열이 발생하면 산소나 물의 공급이 용이하게 되어 콘크리트 구조물에 유해한 화학물질

등의 침투가 용이하게 되며 철근의 부식이 가속화되어 결국에는 피복 콘크리트가 탈락하게 되며 철근 부식에 의한 철근 단면의 감소는 구조물의 내하력에 심각한 저하를 초래하게 된다.

### 3.1.4 알칼리-골재반응에 의한 성능저하

알칼리-골재반응(alkali-aggregate reaction)이란 콘크리트의 알칼리를 주성분으로 하는 세공용액이 골재에 포함되어 있는 알칼리 반응성 광물과 반응하는 것을 말하며, 이 반응은 콘크리트의 부피를 팽창시켜 균열을 발생하게 한다. 알칼리-골재반응은 반응기구에 따라서 알칼리-실리카반응, 알칼리-탄산염반응, 알칼리-실리케이트반응으로 나뉜다.

알칼리-골재반응은 알칼리-실리카 겔을 형성시키고 골재의 경계를 변화시키는데 이 겔은 극한 팽창형태로 수분을 흡수하고 콘크리트의 체적을 증가시키며 주위 시멘트 경화체에 둘러싸여 내부압력을 유발시키고 결국에는 시멘트 경화체의 팽창(expansion), 균열(crack), 탈락(pop-outs)을 초래한다. 따라서 콘크리트 구조물에서의 알칼리-골재반응을 방지하기 위해서는 다음과 같은 조치를 취해야 한다.

- 반응성 골재를 피한다.
- 저알칼리 포틀랜드 시멘트 사용( $\text{Na}_2\text{O}$ 의 0.6% 이하 함유).
- 콘크리트내의 알카리 함량이  $3\text{kg}/\text{m}^3$  이내이어야 한다.
- 포졸란의 결합재 사용(플라이애쉬, 고로슬래그, 실리카흙)

### 3.1.5 중성화에 의한 성능저하

콘크리트는 시멘트의 수화반응(hydration)을 통하여 강도를 발휘하는데, 이 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘은 pH 12~13 정도의 강알칼리성으로 시멘트수화물 전체의 pH를 결정하는 요인이 된다. 수산화칼슘은 대기중에 포함되어 있는 탄산가스( $\text{CO}_2$ )와 접촉하여 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )과 물로 변화한다. 이러한 반응을 통하여 생성된 탄산칼슘은 pH 8.5~10 정도로 낮아지는데 이러한 현상을 탄산화(carbonation) 혹은 중성화(neutralizat-

ion)라고 한다. 콘크리트의 중성화는 콘크리트 내부의 철근을 둘러싸고 있는 알칼리성 부동태피막을 불안정하게 함으로써 철근의 부식을 유발하여 구조물의 성능저하를 야기한다.

### 3.1.6 물의 침식작용에 의한 성능저하

콘크리트의 구조물 중의 물의 침식작용에 의해 피해를 볼 수 있는 대표적인 예로는 수리구조물, 지하구조물, 해양구조물 그리고 교량의 교각등을 들 수 있다. 이 들 구조물은 물의 주기적이고도 연속적인 침식작용으로 인하여 철근을 둘러싸고 있는 콘크리트를 탈락시키고 철근을 부식시켜서 구조물로서의 기능을 저하시킬 수 있다. 또한, 수분의 침투와 건조가 반복되면 팽창과 수축의 반복작용으로 콘크리트가 급속하게 성능저하 과정을 밟게 된다. 이들에 대한 저항성을 증가시키기 위해서는 투수성과 투기성을 가능한 적게하여 수밀한 구조물을 만들어야 한다.

본 연구에서는 이 중에서 각종 내구성 콘크리트 배합에 대한 동결융해 저항성 시험, 내투수성 시험, 황산염 시험, 철근 부식 실험을 수행하였으며 시험의 개요에 대하여 간략히 소개 하겠다.

## 3.2 시험변수

표 2 고내구성 콘크리트 시험 변수표

실험변수	항목	목표강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	혼화제			AE제 (%)
			FA	SF	BS	
보 통 강 도	N1-0-0	350				
	N1 Fa-0	350	○			
	N1-Fb-0	350	○			
	N1 Fa-0.04	350	○			0.04
	N1 Sa-0	350		○		
	N1-Sb-0	350		○		
	N1 Sa-0.04	350		○		0.04
	N1-Ba-0	350			○	
	N1-Bb-0	350			○	
	N1 Fa, Sa-0.04	350	○	○		0.04
고 강 도	N5-0-0	350				
	N5 Fa-0.04	350	○			0.04
	N5 Sa-0.04	350		○		0.04
	N5-Ba-0	350			○	
	H1-0-0	600				
고 강 도	H1-Fa-0.04	600	○			0.04
	H1 Sa-0.04	600		○		0.04
	H1 Fa, Sa-0.04	600	○	○		0.04

고내구성 콘크리트의 내구성능 평가를 위하여 여러 가지 변수들에 대하여 기본적인 내구성능 시험을 수행하였다. 시험변수는 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 5종 황산염 시멘트를 사용하였다. 목표강도는  $350\text{kg/cm}^2$ ,  $600\text{kg/cm}^2$ 의 두 가지에 대하여 그리고 세 가지 종류의 혼화재 즉 실리카흙, 플라이애쉬 그리고 고로슬래그를 혼입한 경우에 대하여 배합비를 산정하였다. 또한 동결융해 저항성을 고찰하기위해 공기연행체를 넣은 것과 넣지 않은 것의 변수를 선정하여 시험을 수행하였으며 이를 표 2에 나타내었다. 시공시 작업성을 확보하기 위하여 배합직후 슬럼프를 18cm 이상이 되도록 고유동화제량을 조정하였다.

### 3.3 투수성 시험

콘크리트의 투수성은 콘크리트 시편에 대한 자연 상태의 수압 또는 기압에 의하여 실험하여야 하지만 이러한 방법은 콘크리트의 투수성 측정에 많은 시간이 소요되고 실제 투수되는 수량이 극히 작으므로 장시간의 시험으로 인하여 많은 문제점이 노출되고 있다.

이에 반하여 전위차에 의한 염소이온의 침투를 이용한 방법은 각 시편들간의 뚜렷한 특성이 나타나고 있으며 또한 빠른 시간안에 콘크리트 시편에 대한 투수성에 대한 상대적인 지표(표 3)를 얻을 수가 있다는 점이 장점으로 인식된다. 일반 콘크리트는 4000 Coulombs 이상의 값을 유지하나 고내구성 콘크리트는 2000 Coulombs 이하의 값을 나타내고 있으며 특히 실리카흙을 사용한 배합비는 1000이하의 매우 낮은 수치를 보이고 있다.

염소이온 투과시험은 ASTM C1202-91 Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration와 AASHTO T259의 방법(그림 2, 3)에 의거하여 수행하였다.

표 3 통과전하량에 따른 염소이온 투과성

통과 전하량(Coulombs)	염소이온 투과성
4000이상	높음
2000~4000	보통
1000~2000	낮음
100~1000	매우 낮음
100이하	무시할만함

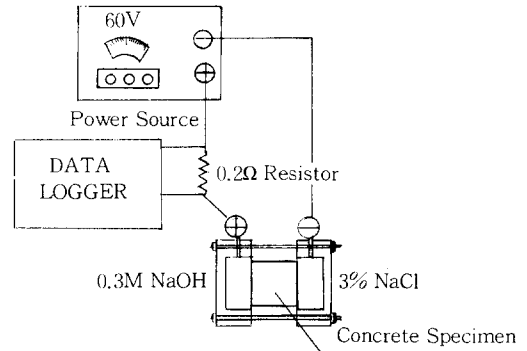


그림 2 염소이온 투과시험의 장치도

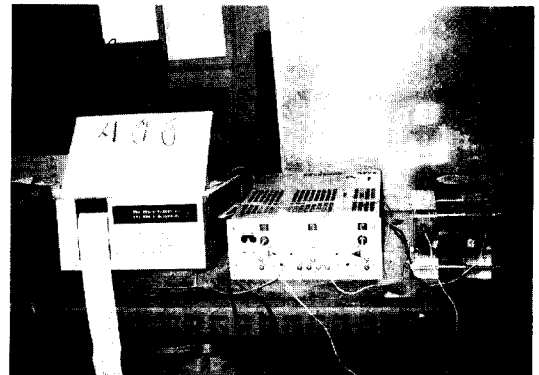


그림 3 염소이온 투과시험 장면

### 3.4 동결융해 시험

콘크리트의 동결융해 작용에 의한 성능저하 및 내구성을 측정하기 위한 시험은 콘크리트 시편에 간극수의 빙점이하의 온도, 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하는 실험으로 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험법), ASTM C666(Resistance of concrete to rapid freezing and thawing)에 표준시험 방법에 의거 시험을 수행하여 각종 변수별 공기연행에 따른 동결융해 저항성을 고찰하고 아울러 콘크리트의 내구성 증진을 목적으로 사용되는 혼화재의 첨가가 동결융해 저항성에 미치는 영향을 시험을 통하여 규명하고자 한다.

### 3.5 철근부식 시험

콘크리트에 매설된 철근의 부식실험 방법 중 자연 침투방법은 장시간의 실험시간이 필요하고 이러한 방법은 장시간의 관리가 어려운 점이 있다. 따라서 촉진시험이 보편화되어 있고 촉진방법으로는 오토클레이브에 의한 촉진과 전압에 의한 촉진으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 전위차에 의한 부식촉진 실험(그림 4, 5)을 수행하였다. 전위차에 의한 강제 부식방법은 실험에 소요되는 시간이 자연 침투방법과 다른 촉진 실험에 비해 매우 짧고 또한 각 시편간의 특성들이 명확하게 나타내어지는 장점이 있다. 물론 이러한 방법이 실제 환경에서의 부식과는 정도의 차이는 있겠지만 동일한 콘크리트 덮개가 부식을 차단하는 저항성에 대한 비교 지표로는 충분한 자료로 활용 가능할 것으로 사료된다. 본 연구의 부식성 시험은 결합재

의 종류, 부여량 및 철근피복두께(1cm, 2cm, 4cm)에 따른 콘크리트의 철근부식 저항성을 고찰한다.

### 3.6 내황산염 시험

콘크리트에 미치는 황산염해의 반응기구는 명확히 규명되지 않고 있어 기존의 표준시험법과 황산염 침해를 받는 콘크리트의 내구연한과 거동을 예측하는 모델을 확신할 수 없는 것이 현실이다. 따라서 황산염해에 관한 촉진시험법, 적절한 측정 항목, 실험자료의 분석방법, 황산염해에 의한 파괴기준 및 시멘트 페이스트와 콘크리트 내구성과의 관계를 정립하는 체계적인 연구가 이루어져야 한다. 또한 이러한 연구와 더불어 포졸란 또는 다른 결합재가 내황산염 저항성에 미치는 영향을 규

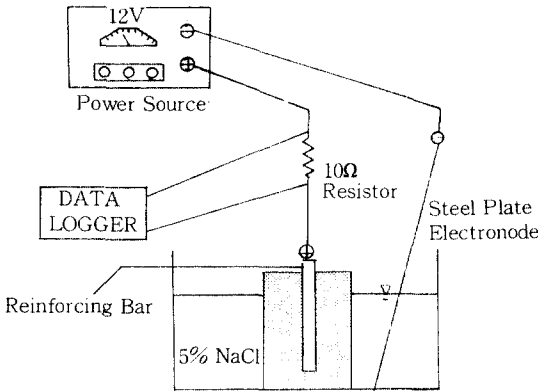


그림 4 철근 부식실험의 장치도

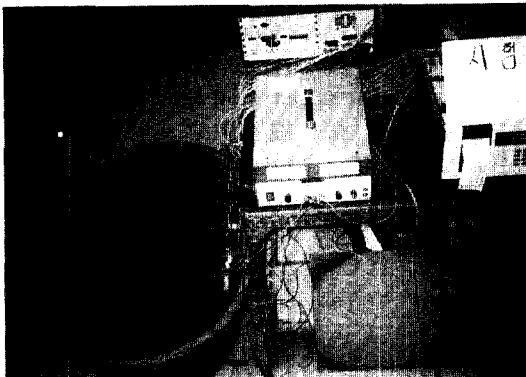


그림 5 철근부식 시험장면

표 4 각 구조물의 내구성 적정배합

종 류	항 목	항목별 중요도				강도 등급
		동상	부식	황산염	투수	
토 목 구조물	교량					
	가) 지역별	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆	2.3
	-중부이북 및 산간지방	☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	1.2,3
	-해안지역					
	나) 교량별	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	1.2
	-PC, 장대 교량	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	2.3
	-일반교량					
	콘크리트댐	☆☆	☆	☆☆	☆☆☆	3
	박스구조물					
	가) 지하철	☆	☆☆☆	☆☆	☆	2.3
나) 수로	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	3	
다) 지하 통로	☆	☆	☆☆	☆☆	3	
건 축 구조물	하수처리장	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	3
	방사능폐기물 저장소	☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	2.3
	화학물 저장소	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	2.3
	터널	☆	☆	☆☆☆	☆☆☆	3
	항만시설	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	3
	원자력발전소	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	1.2
	공공건물(학교, 백화점, 터미널, 박물관 등)	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	3
	아파트					
	20층 이하	☆	☆☆	☆☆	☆☆	3
	20층 이상(고층아파트)	☆	☆☆	☆☆	☆☆	2
일반 건물	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	2	

☆: 보통, ☆☆: 약간 중요함, ☆☆☆: 중요함, ☆☆☆☆: 매우 중요

1: 450kg/cm<sup>2</sup> 이상, 2: 450kg/cm<sup>2</sup>~300kg/cm<sup>2</sup>.

3: 300kg/cm<sup>2</sup> 이하

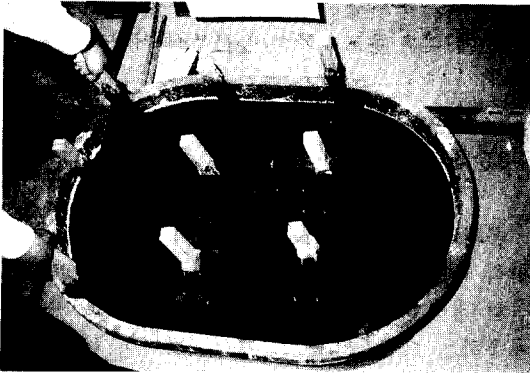


그림 6 황산염 시험장면

명하여야 한다. 따라서 본 연구는 보통 포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트에 포졸란계통의 결합재를 혼입한 경우의 내황산염 저항성을 규명하는 것을 그 목적으로 한다.

황산염해에 관한 접근 방법은 다양하나 본 실험은 US Bureau of Reclamation Test Method 4908B인 10% 황산나트륨에 대한 콘크리트의 내황산염 저항성에 근거하여 길이변화를 측정하고 아울러 중량감소를 측정하였다(그림 6).

#### 4. 고내구성 콘크리트의 적용 방안

고내구성 콘크리트의 실용화는, 모든 구조물에 적용할 수 있는 일률적인 콘크리트의 배합을 결정하여 적용하는 것보다 구조물의 중요도와 노출 환경에 따라서 적절한 내구성능을 가진 콘크리트를 적용하는 것이 보다 합리적이고 경제적인 측면에서 효과적이라 할 수 있다. 따라서, 어떤 대상 구조물에 대하여 구조물의 중요도를 결정하고, 그 다음 투수성에 대한 환경조건, 동결융해 저항성에 대한 환경조건, 부식성에 대한 환경조건, 황산염에 대한 환경조건 및 설계강도를 각각 세 등급으로 나누고, 이에 따라 적정배합을 결정하는 적용 방법을 추천한다.

예를 들면, 각각의 대상 구조물에 따른 각 항목별 중요도를 아래의 표 4와 같이 분류할 수 있을 것이다.

#### 5. 결 언

콘크리트는 건설 구조물의 구조재료로서 광범

위하게 사용되고 있어 매우 중요한 역할을 하고 있다. 콘크리트 구조물이 안전성과 사용성 등 제 기능을 다하기 위해서는 강도뿐만 아니라 외부적인 요인 및 내부적인 요인으로 인한 콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 인자들에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

고내구성 콘크리트의 실용화에 관한 연구는 주로 혼화재의 종류 및 AE제의 첨가유무에 따른 재료의 기초적인 역학적 특성과 내구성 특성 확보를 위한 연구가 수행중이며, 현장 실용화를 위하여 현장 적용 실험도 동시에 수행되고 있다. 이러한 연구를 통하여 현장에 직접 적용할 수 있는 고내구성 콘크리트의 개발이 기대되며, 이를 통하여 국가 주요 구조물의 내구성을 확보함으로써 국민 생활의 안정과, 유지 보수 비용의 절감으로 국가 경쟁력을 향상시킬 것으로 기대된다.

그리고, 고내구성 콘크리트의 사용과 적용에 따른 제도적 장치로 설계 및 시공을 위한 별도의 규정이 필요하며, 이를 위하여 현행의 각종 시험 방법들에 대한 적용성과 새로운 시험 방법 도입을 위한 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다. 또한 합리적인 내구연환을 예측하는 새로운 기법 개발을 위하여 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. ACI Manual of Concrete Practise, 1992.
2. Manual Book of ASTM Standard, 1989.
3. Neville, A. M., Properties of concrete, 3rd edition, 1981.
4. Mehta, P. K., Concrete : Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Inc., 1986.
5. Mehta, P. K. and Aitcin, P. C., "Microstructural Basis of Selection of Materials and Mix Proportions for High-Strength Concrete," SP121-14, High-Strength Concrete, Second International Symposium, Berkeley, pp. 265-286, 1990.
6. Powers, T. C., "A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete," ACI Journal, Proceedings V. 41, No. 4, Feb. 1945.
7. Bazant, Z. P., Chern, J. C., "Mathematical

- Model for Freeze-Thaw Durability of Concrete," *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 9, No. 71, 1988, pp. 776-783.
8. Papadakis, V. G., Vayenas, C. G., Fardis, M. N., "Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete," *ACI Journal*, March 1991, pp. 186-195.
  9. Halstead, S., and Woodworth, L. A., "The Deterioration of Reinforced Concrete Structures under Coastal Conditions," *Transactions, South African Institution of Civil Eng.*, V. 5, No. 4, pp. 115-134.
  10. Stratfull, R. F., "Half Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete," Presented at the 52nd Annual Meeting of Highway Research Board, 1973.
  11. Stanton, Thomas, E., "Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate," *Proceedings ASCE*, V. 66, Dec. 1940, pp. 1781-1821.
  12. Chatterji, S., "Mechanism of Alkali-Silica Reaction and the Significance of Calcium Hydroxide-Discussion," *Cement and Concrete Research*, Vol. 22, 1992, pp. 190-192.
  13. Papadakis, V. G., Vayenas, C. G., Fardis, M. N., "Experimental Investigation and Mathematical-Modelling of the Concrete Carbonation Problem," *Chemical Engineering Science*, Vol. 46, 1991, pp. 1333-1338.
  14. Ravindra K. Dhir and Andrew W. F. Yap, "Superplasticized Flowing Concrete : Durability Properties," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 36, No. 127, Jun. 1984.
  15. Colin Lobo and Menashi D. Cohen, "Effects of Silica Fume on Expansion Characteristics of Expansive Cement Pastes," *ACI Materials Journal*, pp. 481-490, Sep. -Oct. 1992.
  16. M. N. Haque, B. W. Langan, and M. A. Ward, "High Fly Ash Concretes," *ACI Journal*, pp. 54-60, Jan. -Feb. 1984.
  17. Parker, K. M., and Roy, D. M., "Porosity, Permeability and Microstructure of Portland-Blast Furnace Slag Cement Pastes," *American Ceramic Society Bulletin*, V. 61, p. 345, 1982.
  18. Rasheeduzzafar, S. S. Al-Saadoun, and A. S. Al-Gahtani, "Reinforcement Corrosion-Resisting Characteristics of Silica Fume Blended-Cement Concrete," *ACI Materials Journal*, pp. 337-344, Jul. -Aug. 1992.
  19. Bakker, Robert F. M., "Permeability of Blended Cement Concretes," *Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Other Mineral By-Products in Concrete*, SP-79, American Concrete Institute, Detroit, pp. 589-605, 1983.
  20. ACI Committee 363, "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete," *ACI Journal*, pp. 364-411, Jul. -Aug. 1984.
  21. R. D. Hooton, "Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Physical Properties and Resistance to Sulfate Attack, Freezing and Thawing, and Alkali-Silica Reactivity," *ACI Materials Journal*, pp. 143-151, Mar. -Apr. 1993.
  22. Abdul-Hamid J. Al-Tayyib and Mohammad Shamim Khan, "Corrosion Rate Measurements of Reinforcing Steel in Concrete by Electrochemical Techniques," *ACI Materials Journal*, pp. 172-177, May-Jun. 1988.
  23. Larry M. Bryant, Paul F. Mlakar, "Predicting Concrete Service Life in Cases of Deterioration Due to Freezing and Thawing", Technical Report REMR-CS-35, USAE Waterways Experiment Station Structures Laboratory, 1991.
  24. James R. Clifton, "Predicting the Remaining Service Life of Concrete", NISTIR 4712, National Bureau of Standards U. S. Department of Commerce, 1991.
  25. Robert L. Day, "The Effect of Secondary Ettringite Formation on the Durability of Concrete : A Literature Analysis", *PCA Research and Development Bulletin RD108T*, 1992.
  26. R. J. Dewiler, K. O. Kjellsen and O. E. Gjrv, "Resistance to Chloride Intrusion of Concrete Cured at Different Temperature," *ACI Materials Journal*, pp. 19-24, Jan. -Feb. 1991.
  27. C. Ozildirim, "Laboratory Investigation of Low-Permeability Concretes Containing Slag and Silica Fume," *ACI Materials Journal*, pp. 197-202, Mar. -Apr., 1994.
  28. M. D. Cohen and B. Mather, "Sulfate Attack on Concrete-Research Needs," *ACI Materials Journal*, pp. 62-69, Jan. -Feb., 1991. 