

최 종  
연구보고서

# 농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성 향상 기술개발 연구

The Studies on Developing Technology of Improving  
the Durability of Concrete Irrigational Structures

농업기반공사  
연구기관

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성 향상 기술개발 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 12월 2일

주관연구기관명 : 농업기반공사  
총괄연구책임자 : 박 광 수  
연 구 원 : 신 수 균  
연 구 원 : 김 석 열  
연 구 원 : 김 명 원  
연 구 원 : 김 관 호  
연 구 원 : 이 준 구  
연 구 원 : 전 상 옥  
연 구 원 : 박 미 현  
연 구 원 : 장 문 기

# 요 약 문

## I. 제 목

농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성 향상 기술개발 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

농업기반 콘크리트 수리구조물은 농업용수의 개발과 공급을 주목적으로 목표내구연한 동안 그 기능이 유지될 것이라 기대하고 투자효율을 높이는 방향으로 설계, 시공, 사용되어 왔다.

이에 따라 정책적으로는 설계기준강도가 낮은 콘크리트, 즉 저가의 콘크리트로 구조물을 축조하여 음에 따라 사용기간동안의 열악한 환경조건과 맞물려 콘크리트 수리구조물의 수명이 단기화 되는 요인을 제공하였다.

한편, 콘크리트 수리구조물은 주로 동절기 단기간에 공사를 수행해야 하며, 소형인 구조물이 넓은 지역에 산재되어 있으므로 공사중 품질관리가 매우 어려우며, 접근로가 제대로 갖추어져 있지 않아 공사용 장비의 접근이 용이치 않으며, 콘크리트 양생에 사용할 물조차 구하기 어려운 산간지에 설치되는 것이 대부분이다. 따라서 이러한 여건에서 시공된 콘크리트 수리 구조물은 품질의 변동이 매우 크기 때문에 목표내구연한을 채우지 못하고 수명을 다하는 경우가 많다.

그 외에도 농업기반 콘크리트 수리구조물의 공사기간은 경지정리공사에서 보는 것처럼 콘크리트의 내구성 시험에 소요되는 기간보다 단기간인 경우가 많으므로 내구성을 사전에 확인하는 것이 쉽지 않다.

또한 콘크리트 수리구조물은 농업용수의 공급과 단수로 인해 사용중 건조와 습윤이 반복된다. 또한 그늘에 놓여있는 구간이 많아 습한 표면이 장시간 유지되며, 동절기에는 관개기 동안 콘크리트 조직내부로 침투한 물이 동결되어 콘크리트 조직을 파괴하는 등 구조물의 수명을 매우 단축시키는 환경하에 놓여 있다. 따라서 공사 중 높아진 품질변동폭으로 인해 내부 공극이 과도한 구조물이 이러한 환경하에 놓일 경우

그 수명은 가속적으로 단축된다.

한편 최근에는 수리시설물의 유지관리 편리성과 수로내 물손실 저하를 목적으로 흙수로를 콘크리트 구조물로 대체하고 있다. 농업기반공사에서 관리하는 용수간지선 33,732km의 경우에도 연평균 약 1,500억원(연평균 600km)씩 투입하여 콘크리트 용수개로 보강 중이며, 흙수로로 남아있는 14,096km를 모두 구조물화 하는데 약 4,961,520백만원이 소요될 것으로 추정된다. 따라서 이처럼 막대한 비용을 투입할 콘크리트 수리구조물의 내구연한이 짧아질 경우 국가적인 재정부담은 막대하다. 더구나 콘크리트 구조물을 헐어버릴 경우 폐기물 처리를 위한 새로운 국토공간의 잠식이 불가피하며, 재시공용 콘크리트를 생산하기 위한 신규 골재장의 개발 등 환경적 피해도 커지게 된다. 또한 개보수 또는 재시공 기간동안에 입을 수 있는 자연재해나 지역주민의 생활환경 악화로 인한 손실등도 계량할 수도 없을 정도이다.

따라서 콘크리트 수리구조물의 내구연한을 증대시키기 위한 적정 설계기준강도와 배합설계 기술을 규명하고, 단시간 내 내구성을 판정하는 기술을 개발하며, 배합성분을 역추적하는 기술을 개발·보급할 경우 콘크리트 수리구조물의 내구성이 지금보다 대폭 향상될 것이므로 파급효과는 막대할 것으로 추정된다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

농업기반 콘크리트 수리구조물은 설계·시공·사용의 각 단계에서 구조물의 내구성을 떨어뜨리는 요인이 상존한다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 콘크리트의 내구성 증대기술 개발과, 콘크리트의 내구성 조기평가 기법 개발 및 콘크리트 배합비 역추정기법 개발이라는 세 가지 주제 연구를 수행하였다.

콘크리트의 내구성 증대 기술을 개발하기 위해서, 먼저 농업용 수리구조물 중 그 규모가 커서 시공 중 품질변동폭이 상대적으로 적을 것으로 기대되는 저수지를 선정하여 예비답사와 현장정밀조사를 실시하고, 현장조사자료와 실내분석자료를 이용하여 콘크리트의 노후이력과 개선필요 사항을 분석하였다.

현장정밀조사 시 구조물 배면의 흙과 물 시료를 채취하여 화학분석을 실시함으로써 유해성분에 의해 내구연한에 영향이 있는지를 분석하고자 하였다. 또한 현장 정밀조사시 구조물에서 채취한 콘크리트 코어를 이용해 파괴 압축강도와 초음파 압축강도를 측정하였으며, 중성화정도를 측정하고 역추정 배합비를 추정하였다. 이 때 중성화

정도는 TG/DTA분석과 지시약 분석을 통해 측정하였다.

조사대상 구조물의 잔존내구연한을 예측하기 위해서 사용연한별 탄산칼슘의 함량 변화를 분석하였다. 한편, 현재의 코어 강도와 시공당시의 콘크리트의 강도를 비교하면 수리구조물에서 노후작용에 의한 콘크리트의 강도 감소비율을 구할 수 있다. 그러나 시공당시의 압축강도에 대한 자료가 없으므로 채취된 코어의 성분을 분석한 다음 이를 토대로 코어의 배합비를 역추정하고 재현배합을 통해 시공당시의 강도를 추정코자 하였다.

현재 콘크리트 수리구조물에 사용되는 대부분의 콘크리트는 레미콘이므로 레미콘을 대상으로 한 콘크리트의 내구성 조기평가 기법을 개발할 경우 본 연구성과의 실용성을 높이게 된다. 이에 따라 전국에 걸쳐 레미콘을 조사하고, 조사된 자료를 분석하여 가장 대표적인 레미콘의 배합비를 선정한 다음, 선정된 배합에 대하여 역학적 특성과 내구적 성질을 동시에 분석하였다. 역학적 특성으로 압축강도와 휨강도, 내구적 성질로는 염소이온 투과 저항성, 동결융해 저항성, 철근 부식저항성을 분석하였다. 이러한 실험결과를 토대로 역학적 특성과 내구적 성질의 상관성을 분석함으로써 단시간에 내구적 성질을 평가할 수 있는 기술을 정립하고자 하였으며, 내구성을 확보하기 위해 콘크리트가 갖추어야 할 물리·역학적 특성과 배합비를 규명하여 향후 계획설계 기준자료로 활용코자 하였다.

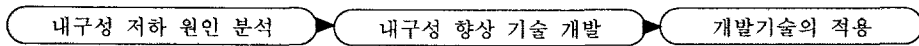
콘크리트 배합비 역추정 기법을 개발하기 위해서, X-선 형광분석기(XRF)를 활용하여 콘크리트내 시멘트함량을 분석하고, 면적과 체적의 비례관계를 이용하여 굵은골재량을 추정하고, 고흡수화생성물의 시멘트 중량대비 비율을 산정하여 잔골재량을 추정하는 기법을 개발하였다. 개발된 역추정 기법을 활용하여 현장정밀조사 시 채취한 콘크리트 코어의 배합비를 역추정하고, 추정된 배합비로 시공당시의 배합을 재현함으로써 구조물 축조 당시의 콘크리트 강도를 추정하여 이를 토대로 내구성 증대를 위한 배합설계기준으로 제안하였다.

그 외에도, 콘크리트의 내구성을 향상시키기 위한 요소로서 동절기 레미콘 공사에 대한 개선, 소량의 레미콘 공사를 위한 설계와 시공단계에서의 품질관리 기준에 대한 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 이에 따라 동절기 공사 시 보온덮개의 보온효과의 실험분석과 품질관리 기준에 대한 검토를 수행하였으며, 소량의 레미콘 품질관리를 위한 기준 개선사항을 분석하였다.

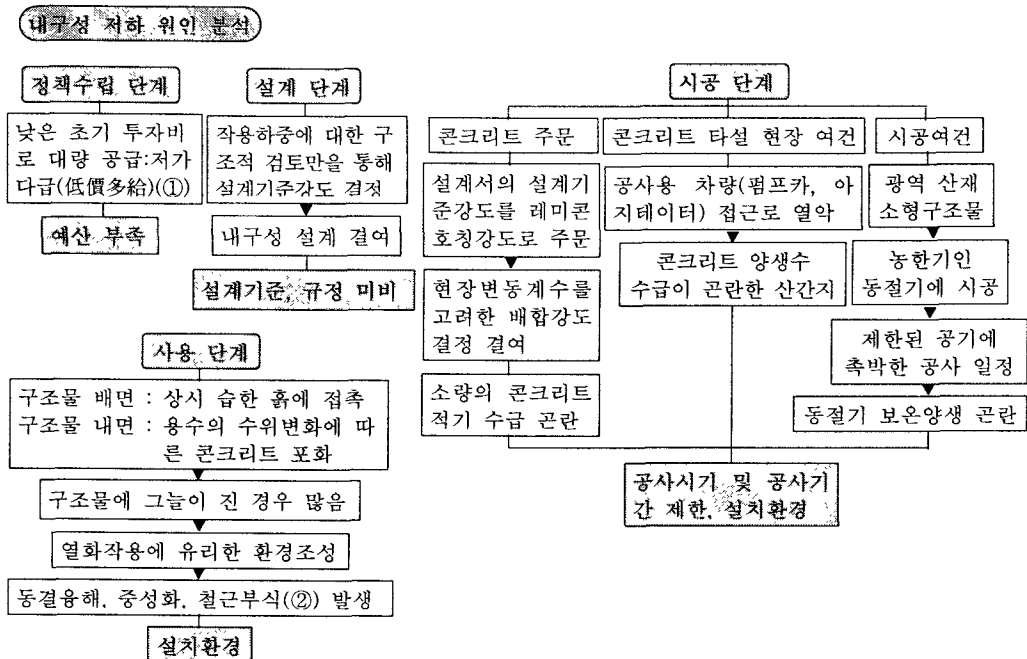
#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

농업기반 콘크리트 수리구조물은 초기투자비를 낮추기 위해 설계기준강도가 낮은 콘크리트를 사용하여 수명이 단기화 되고 있다. 또한 주로 동절기 단기간에 수행해야 하는 열악한 공사여건 등에 의한 품질변동폭 과다와 사용 중 계속적 건습 반복과 같은 열악한 환경 등이 수명단축을 부채질하고 있다.

이처럼 정책수립·설계·시공·사용 단계별로 내재된 내구성 저하원인을 각각 분석하고, 이의 해결에 필요한 기술, 즉 내구성 향상 기술을 개발하며, 개발된 기술을 각 단계별로 어떻게 적용할 것인지를 요약한 것이 < 그림 1 >이다.

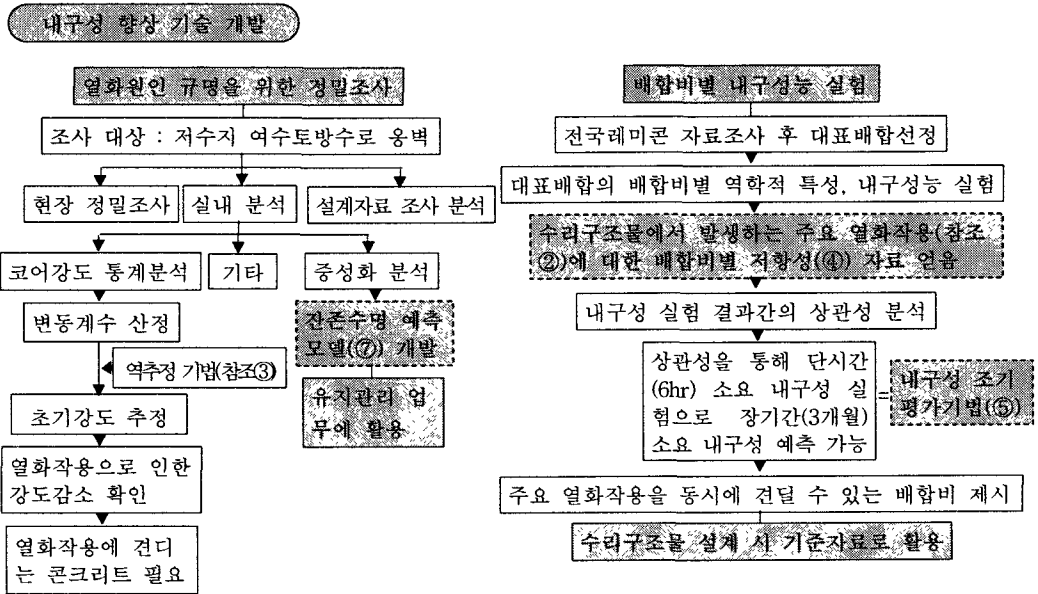


(a) 연구 수행 순서도

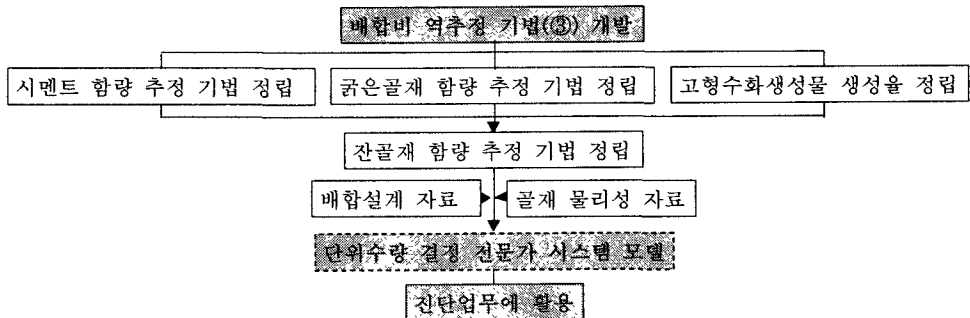


(b) 내구성 저하 원인 분석

< 그림 1 > 내구성 증대 기술개발 흐름도((a)~(d))



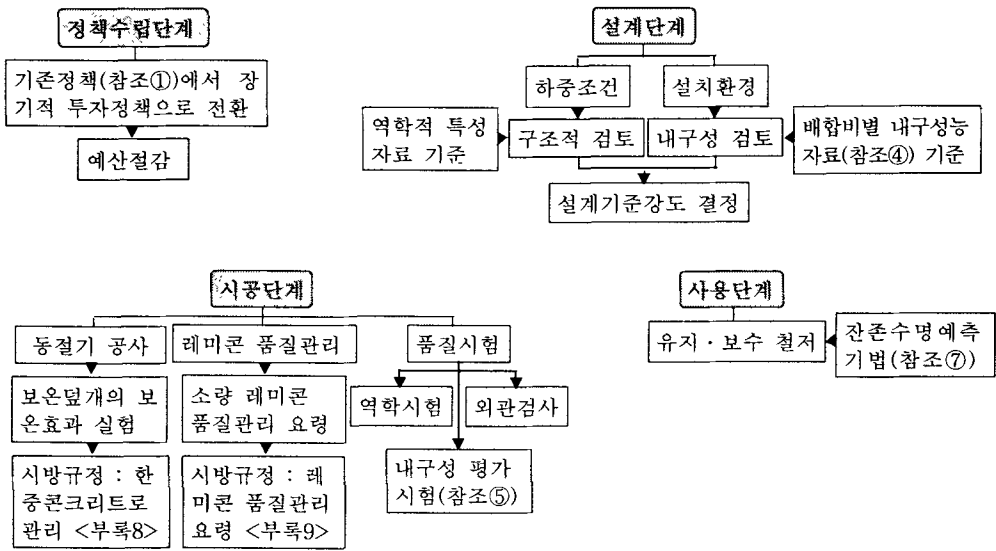
(c) 내구성 증대 기술개발



(c) 내구성 증대 기술개발(계속)

< 그림 1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속)

**개발기술의 적용**



(d) 개발기술의 적용

< 그림 1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속)

**1. 콘크리트 수리구조물의 내구성 증대기술 개발**

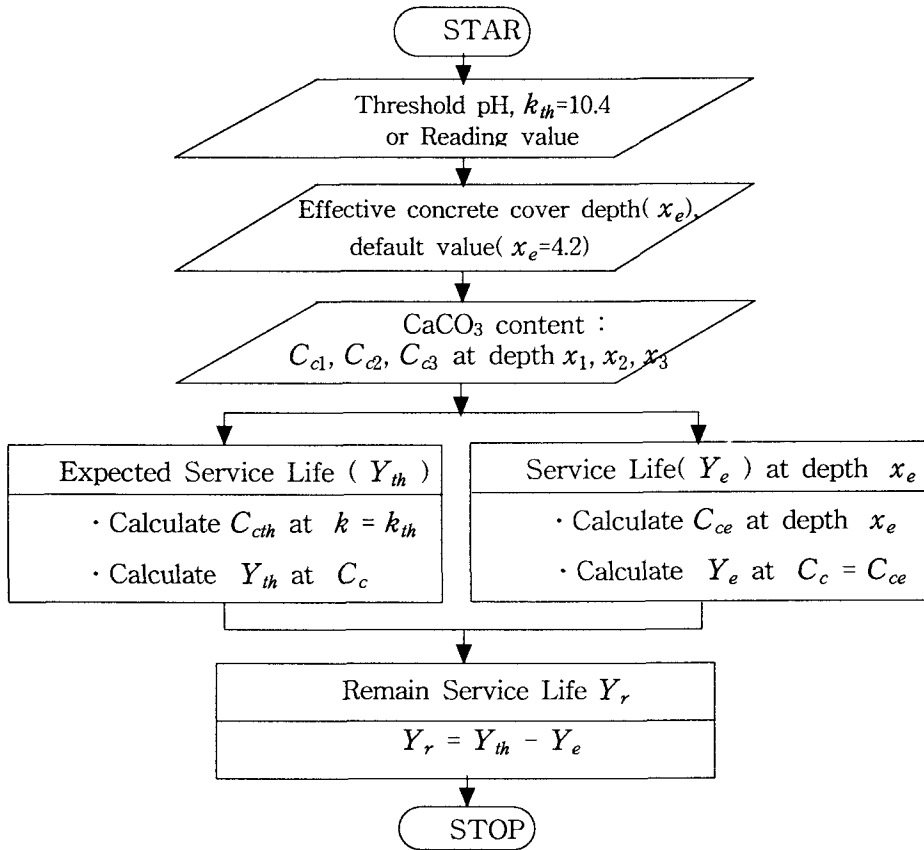
농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성을 증대시키기 위해서는 우선적으로 내구연한이 짧은 원인을 규명하고 그 대책을 수립해야 한다. 내구성이 낮은 원인을 규명하기 위해서 분석대상 구조물로서 콘크리트 수리구조물 중 시공중 품질변동폭이 비교적 적었을 것이라고 믿어지는 농업용 저수지 부속구조물을 택하되 전국적으로 사용연한 10~35년 된 100개 저수지를 선정하여 현장정밀조사를 수행하였다.

정밀현장조사에서 수집한 설계자료를 분석한 결과 가장 많이 조사된 설계기준강도 자료는 180kgf/cm<sup>2</sup>이었으나, 채취한 콘크리트 코어의 압축강도는 평균 162kgf/cm<sup>2</sup>, 표준편차 34kgf/cm<sup>2</sup>로 분석되었으며, 하위 5%는 106kgf/cm<sup>2</sup>으로 분석되었다. 또한 배합비 역추정 기법을 통하여 추정된 대표 배합비로 공시체를 제작하고 재령 28일에 압축강도



를 측정하였을 때  $196\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타났다. 이 압축강도를 시공당시의 콘크리트 초기 강도로 볼 때, 초기강도  $196\text{kgf/cm}^2$ 인 콘크리트가 사용연한 10~35년 동안에 점차 노화 되어 드디어 평균강도  $162\text{kgf/cm}^2$ 까지 낮아진 것으로 볼 수 있다. 즉, 약 17%의 강도감소가 발생한 것이다. 일반적으로 표준양생한 콘크리트의 재령별 압축강도는 재령이 증가할수록 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 구조물이 사용기간 동안 노후작용을 받을 경우 압축강도는 감소하게 되는데, 그 감소폭은 콘크리트의 품질과 사용중의 구조물 환경에 따라 달라질 수 있다. 따라서 최대 사용연한인 35년 동안 콘크리트 수리구조물의 압축강도 감소율로서 17%를 가정한다면 저수지의 목표내구연한 60년 동안에 설계기준강도  $180\text{kgf/cm}^2$ 을 유지하기 위해서는 초기강도가  $255\text{kgf/cm}^2$ 이상 되어야 한다고 볼 수 있다.

현장정밀조사 자료를 이용하여 개발된 또 하나의 기술이 콘크리트 수리구조물의 잔존수명예측 모델이다. 구조물 콘크리트는 사용연한이 커짐에 따라 중성화되어 콘크리트내에 탄산칼슘량이 증가한다. 탄산칼슘이 증가하여 콘크리트가 철근의 부식을 막아주는 능력을 잃게 되면 철근에 부식이 발생하여 결국은 구조물이 수명을 다하게 된다. 따라서 현재의 탄산칼슘량과 부식이 발생하는 임계점의 탄산칼슘량을 알면 남아 있는 수명을 예측할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 100개 정밀조사 대상지구에서 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량변화를 이끌어내고, 임계탄산칼슘의 함량을 결정함으로써 저수지 부속 콘크리트 구조물의 잔존수명예측 시스템을 다음과 같이 개발하였다.



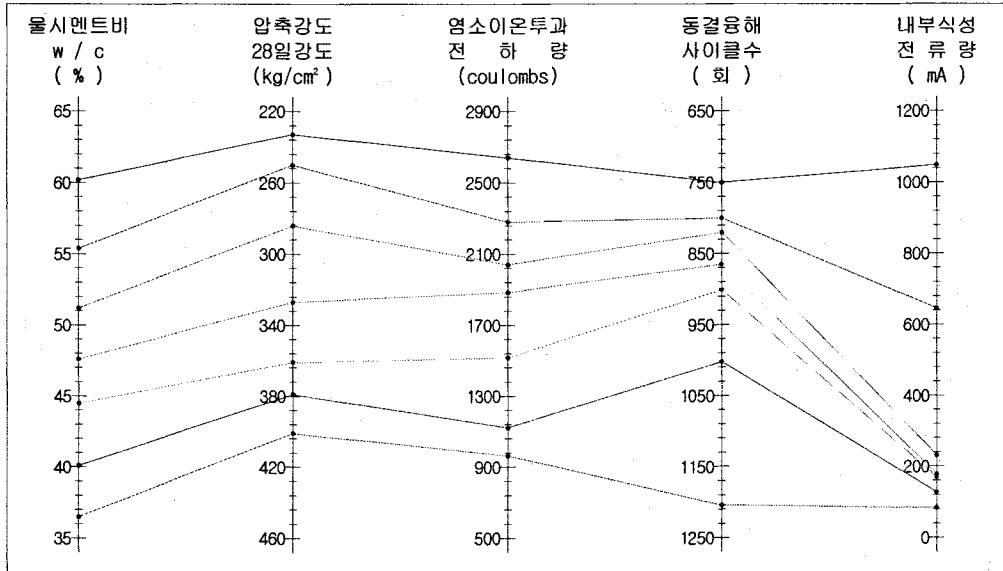
< 그림 2 > 잔존수명 예측모델

## 2. 콘크리트 수리구조물의 내구성 조기판정 기법 개발

현장정밀조사 대상 구조물은 40mm 강자갈을 사용하여 현장에서 타설한 콘크리트였다. 그러나 최근의 구조물은 대부분 25mm 쇄석을 이용한 레미콘을 타설하여 축조한다. 이에 따라 내구성 조기평가기법은 전국적인 레미콘 조사자료를 토대로 내구성 평가실험을 수행하고, 단기간의 공사기간내에 내구성을 평가할 수 있는 시험법을 개발하였다.

이를 위해서, 전국의 레미콘 자료를 조사·분석하여 대표 배합비로 21가지 선정하였다. 내구성 실험은 콘크리트 수리구조물에서 가장 많이 발생되는 열화작용인 동결융해, 중성화, 철근부식을 고려하여 동결융해 저항성, 염소이온 투과저항성, 부식 저항성 실험을 대표배합비 21가지에 대하여 각각 수행하였다. 각각의 배합비별로 역학적

특성과 내구적 성질을 비교·분석하였으며, 그 결과의 예를 < 그림 2 >와 같이 정리 함으로서 실험시간이 많이 소요되는 동결융해 저항성을 실험시간이 적게 걸리는 염소 이온 투과 저항성으로 평가할 수 있도록 개발하였다.



< 그림 3 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도( OPC-25mm-Air 6.5%)

동결융해저항성, 염소이온 투과 저항성, 철근부식 저항성의 실험결과를 분석하여 세 가지의 열화작용 모두에 대해 저항성을 확보한 배합비를 분석한 결과, 목표공기량 6.5%, 구분 270이상의 배합비를 갖춘 콘크리트로 제안할 수 있었다. 구분 270 배합비는 단위시멘트량이 382kg이며, 물시멘트비 47.6%, 28일 재령 압축강도 327kgf/cm<sup>2</sup>를 발휘할 수 있는 배합비이다.

농업기반 콘크리트 수리구조물은 항상 물과 접하여 동결융해에 취약한 시설이므로 국내기준('99 콘크리트 표준시방서)은 물/시멘트비 50%이하, 설계기준강도 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 요구하고 있으며, 미국기준(ACI318-99)은 물/시멘트비 45%이하, 설계기준강도 316kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 결과와 국내외 시방규정을 비교하면 물/시멘트비는 국내시방규정과 미국시방규정의 사이에 해당하며, 28일 재령 압축강도는 국내시방규정과 미국시방규정 모두를 만족하는 것으로 나타났다.

### 3. 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발

기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발하기 위해서 본 연구에서는 시멘트함량, 굵은골재 함량 및 잔골재 함량을 순서적으로 역추정하는 기술을 개발하였다.

시멘트함량을 추정하는 기술을 개발하기 위해 콘크리트보다 변수가 적은 모르타르를 대상으로 분석하였다. 콘크리트의 구성성분 중 시멘트에 가장 많이 함유되어 있으며, 골재 등 다른 성분에는 미량 함유되어 있는 성분이 Ca 성분이다. 따라서 시멘트함량을 변화시키면서 시멘트 함량( $C_e$ )-칼슘 세기( $I_{c_s}$ )의 상관식을 분석한 결과, 모르타르의 경우 추정식은  $C_e = 165.11I_{c_s} - 71.42$ 로 나타났으며, 결정계수  $R^2 = 0.905$ 로 분석되었다. 굵은골재를 함유한 콘크리트를 대상으로 분석한 결과 상관식  $C_e = 92.217I_{c_s} + 34.273$ 로 나타났으며, 결정계수  $R^2 = 0.7$ 로 분석되었다.

굵은골재의 함량을 추정하기 위해 콘크리트의 절단면에 드러난 굵은골재의 모양을 스케치하여 전체에 대한 면적비를 구하였다. 콘크리트 전체에 대한 굵은골재의 체적비와 면적비를 비교한 결과 거의 일치함을 발견하고, 배합비를 달리하면서 반복실험하여 그 신뢰도를 확인하였다. 굵은골재의 중량을 산정하기 위해서는 굵은골재의 비중값을 체적비에 곱하면 된다. 굵은골재 중량 추정 기법의 검증실험에서 평균오차 4.7%의 신뢰도를 갖는 것으로 확인됐다.

잔골재의 중량을 추정하는 기법은 콘크리트 전체의 중량에서 추정된 시멘트 중량, 추정된 굵은골재 중량, 수화시 생성되는 고흡수화생성물의 중량을 빼면 된다. 콘크리트 수화반응 시 생성되는 고흡수화생성물의 중량을 추정하기 위해 시멘트 수화메카니즘을 분석하고, 시멘트 대비 중량비를 산정하는 실험을 수행하여 고흡수형생성물의 중량은 시멘트대비 약43%에 해당하는 것을 밝혀냈다. 잔골재의 함량 추정을 위해 세가지 대표 배합을 대상으로 신뢰성 실험을 수행한 결과 평균정도 93.3%, 표준편차 3.35로 나타났다.

이러한 과정을 통해 정립된 콘크리트 배합비 역추정 기법을 정밀조사 시 채취한 코어의 배합비 역추정에 적용하였으며, 추정된 배합비로 시공당시의 배합을 재현하는 재현배합을 실시하여 구조물의 시공 시의 콘크리트 강도를 추정하였다.

이러한 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법은 수리시설물의 정밀안전진단업무에 활용될 경우 큰 효과가 있을 것으로 판단되었다.

#### 4. 콘크리트의 품질관리

농업기반 콘크리트 수리구조물 대부분 농한기인 동절기 공사가 많은데 기온이 낮을 경우 시멘트의 수화반응을 지연시키고 심할 경우 양생수를 동결시켜 수화조직을 파괴하는 등 구조물의 품질을 크게 떨어뜨린다. 이러한 점을 개선 해보고자 콘크리트의 양생 시 사용되는 보온덮개의 효율성을 실험한 결과 보온덮개로 덮지 않은 경우보다 약 6.8℃의 온도상승이 있음을 확인하였다. 따라서 콘크리트 타설시기가 동절기인 경우 보온덮개로 덮으면 적은 비용으로 보온 양생을 할 수 있을 것이며, 적어도 양생수의 동결로 인한 수화조직 파괴가 없어 구조물의 수명을 연장할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이와 아울러 동절기 공사가 주류인 농업기반 콘크리트 시설물의 품질을 향상시키기 한중콘크리트 품질관리기준을 검토하였으며, 이를 부록에 수록하였다.

이외에도 농업기반 콘크리트 수리구조물은 소량의 레미콘을 주문하여 시공하는 경우가 많다. 그러나 현행 콘크리트 시방서나 건설기술관리법에 규정된 레미콘 품질관리 기준은 대량의 레미콘 사용을 전제로 제정된 것이므로 이를 그대로 농업기반 콘크리트 수리구조물에 적용하기가 곤란하다. 따라서 품질변동폭을 줄여 구조물의 내구연한을 증대시키기 위해서는 소량 공사시 레미콘의 품질관리에 대한 기준을 설계단계와 시공단계별로 정비해야 한다. 이를 위해서 소량공사가 주류인 농업기반시설 공사용 레미콘의 품질관리비와 품질관리회수 산출기준 등을 포함하여 제반사항을 별도로 검토하였으며, 그 결과를 부록에 수록하였다.

또한, 현재 품질관리 시 품질시험은 역학적인 부분만을 실시하고 있으나, 농업기반 콘크리트 수리구조물은 작용하는 하중이 작은데 반해 사용중 환경이 매우 열악하여 내구성이 크게 저하되므로 설계단계나 시공단계에서 내구성 평가시험도 추가하여야 할 것이며, 공사기간이 제한되어 있을 경우 조기 내구성 평가 기법을 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

## 5. 활용방안 및 건의

- 내구성 조기관정 기법을 계획설계기준으로 제정 및 시공 시 품질관리 기준으로 활용
- 내구성 향상을 위한 설계기준강도, w/c, 공기량, 시멘트량을 농업기반 수리구조물의 계획설계기준으로 개정
- 품질 판정방법으로 역학적인 측면의 품질검사와 외관검사 외에 내구성 측면의 판정이 의무화되도록 농업기반 수리구조물의 계획설계기준 개정
- 콘크리트 구조물의 잔존수명을 예측하는 모델과 콘크리트 배합비 역추정 전문가 시스템의 프로그램화를 위한 추가적인 지원으로 실용화 추진

# SUMMARY

## **I. Subject**

The Studies on Developing Technology of Improving the Durability of Concrete Irrigational Structures(CIS)

## **II. Objectives and Importances of the Study**

CIS, aiming at developing and supplying irrigation water, have been planned, constructed and used in the direction of increasing the investment efficiency.

Accordingly CIS have been determined politically to be constructed with low-cost concrete. And together with poor condition during service life, this became another factor of causing the service life of CIS much shorter.

The difficulty of quality control condition during construction stage has arisen frequently from short period during winter season as well as the scattering of small sized-structures in a wide area. The poor access road to the site and the difficult condition of obtaining curing water have caused the variation of quality of the structures wider as well as the service life of them shorter.

Besides, the shorter period shown in many cases of constructing CIS than that required of testing durability has made it harder to confirm durability in advance.

Drying and wetting of CIS have been repeated continuously due to supplying and stopping irrigation water. Since larger area was kept in the shade, the surface of CIS have been kept wet for a long time. And the freezing pressure of water kept inside the gel or capillary void has frequently destructed internal structures

of CIS during winter season. Due to these, CIS have been confronted with harmful environment of decreasing service life. Thus, more voids formed in CIS from wider variation of quality control condition have accelerated reduction of service life.

On the other hand, it is a recent tendency of remodeling the current earth canal to CIS. For this, about 4,961 billion Won was estimated as a total cost of constructing CIS of 14,096km, which has been managed by KARICO(Korea Agriculture and Rural Infrastructure Cooperation) and left to earth canal up to now. Thus, the shortening of service life of CIS will cause unbearable financial burden on this country. Besides, the area required for reclaiming the waste of CIS, which have no longer service life, inevitably encroaches a new territory, which finally causes pollution of the environment. In other words, the shortening of service life of CIS will cause environmental pollution, too.

Therefore, for economical and environmental purposes, the design strength and the technology of determining mixing design of CIS, the technology to determine durability within short period, and the technology of pursuing former mixing proportion is to be studied and investigated to elongate service life.

### **III. Scopes and Contents**

Several factors to deteriorate CIS are included in each stage of planning, design, construction, and usage, as mentioned previously. Thus, the following three subjects were studied to solve the cause of deterioration. First, developing a technology of improving the durability of CIS, second, developing a technology of early estimating durability of CIS, and the last, developing a technology predicting mix proportion of concrete.

In order to develop a technology of improving the durability of CIS, several reservoirs were selected and preliminary survey and close inspection of the



structures were performed. The history of deterioration of CIS as well as the improvements required were studied through analyzing the data surveyed and experimented in lab.

The rear-side water and soil were sampled during close inspection and analyzed chemically in lab to find out the harmful effect on CIS. Besides, failure compressive strength, ultrasonic compressive strength, and the degree of neutralization were measured using cores drilled out. For this, TG/DTA and indicator were used to measure the degree of neutralization.

The model predicting remaining service life of CIS was also developed by analyzing the carbonation depth of the concrete. The yearly reduction rate of compressive strength in CIS was obtained through correlation analysis between the current core strength and the initial compressive strength of specimens, which had been made with the same pursued amount of every material.

Since the current prevailing concrete is a ready-mixed concrete( REMICON here-after), developing the technology of early estimating the durability of CIS will be sure to increase the application effect of this study. Thus, the mix proportion rate of REMICON was surveyed nation-widely, and representative mix proportion was selected. The properties of strength and durability were tested for the mixtures selected simultaneously. Not only compressive and flexural strength as the properties of strength but also the ability to resist chloride ion penetration, freezing and thawing, steel corrosion as the properties of durability were examined. The correlation analysis between the properties of strength and each kind of durability was performed. Through this, trials to develop a new technology estimating the durability in early days were performed.

Developing a technology of predicting mix proportion of concrete, X-ray fluorescence(XRF here-after) was used to check cement contents within CIS. The coarse aggregate contents was predicted by using the proportional relation between area ratio exposed and volume ratio. The fine aggregate was predicted by finding the weight ratio of cement to the solid products of hydration in concrete.

The initial mix proportion of concrete core was predicted by these methods and every material were remixed to the initial mix proportion predicted. The compressive strength tested might be regarded as the strength of concrete at the beginning of construction. And using this compressive strength, a criteria for designing mix proportion was suggested to increase the durability of CIS.

Besides, since the degree of quality control during planning and construction stage was another important factor, guides to improve the quality control of CIS were prepared.

#### **IV. Results and Recommendations**

The service life of CIS seems to be very short because of using low level of design compressive strength, lower quality resulting from rapid construction and poor environment of the site, and harmful environment during service life.

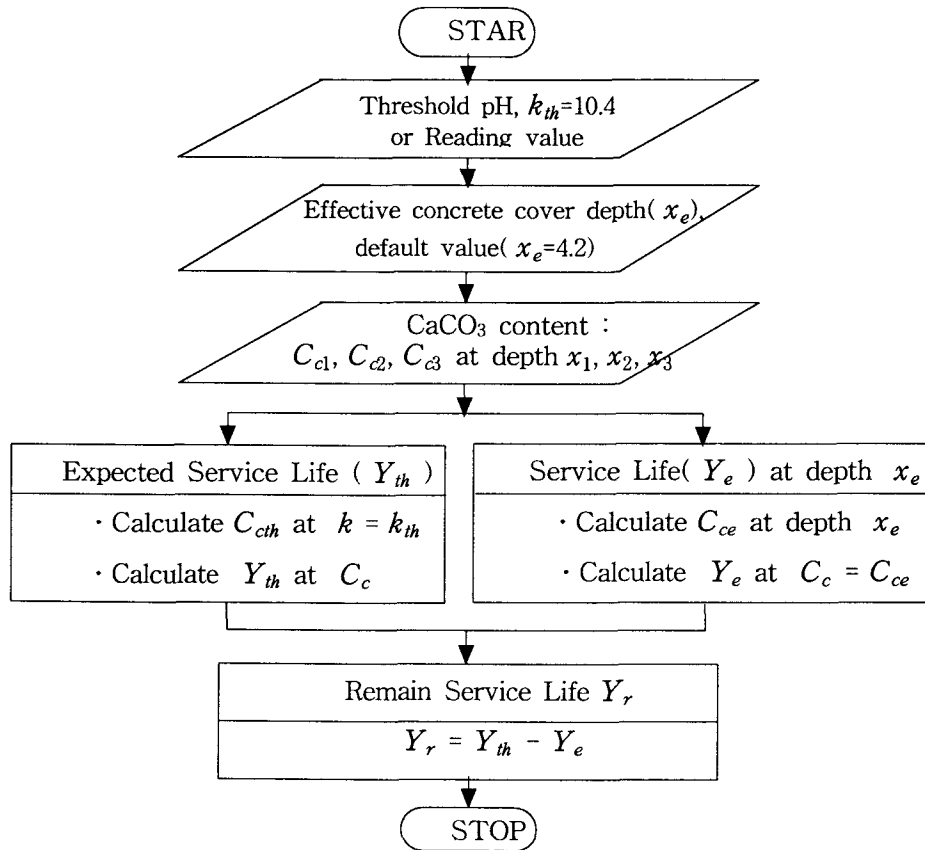
Thus, enhancing the durability of CIS requires solving every cause of deterioration included in each stage of planning, design, and construction.

##### **1. Developing a technology of improving durability of CIS**

100 reservoirs with 10~35 years of age were selected for close investigation nation-widely. when looking over the surveyed data from structural specifications, prevailing design compressive strength was found to be 180kgf/cm<sup>2</sup>. But when the compressive strength of core was analyzed statistically, that was drilled out during the stage of close investigation, the average of the compressive strengths was found to be 162kgf/cm<sup>2</sup> and the standard deviation 34kgf/cm<sup>2</sup>, core compressive strength of low-tailed 5% 106kgf/cm<sup>2</sup>. The mix proportion of the core was predicted by the developed technology of predicting mix proportion and the compressive strength of remixed concrete was found to be 196kgf/cm<sup>2</sup> at 28 days. And this value of strength could be regarded as a representative compressive strength of

CIS at an initial age. Thus, it was reasonably estimated that compressive strength of concrete in CIS was reduced to about 17% for 35 years. Assuming the degradation ratio of concrete compressive strength as 17% for 35 years, the initial strength should be higher than 255kgf/cm<sup>2</sup> to satisfy the requirement of keeping the design strength of 180kgf/cm<sup>2</sup> to the minimum for 60 years of economical service life.

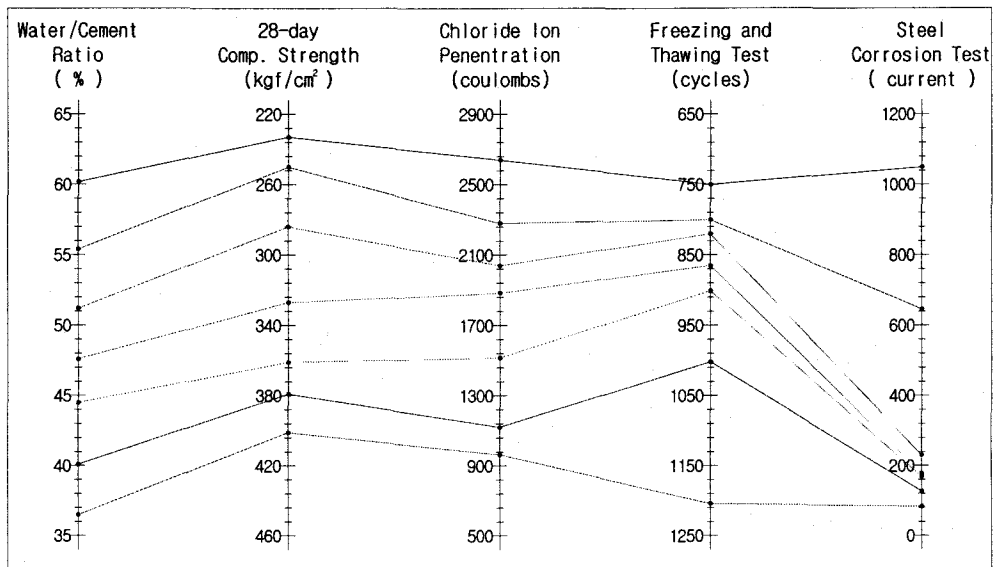
Though this study, a new technology predicting service life survived. As time passed, concrete structures changed to be neutralized and calcium carbonate increased. The increment of calcium carbonate decreased the ability of protecting corrosion of embedded steel. Thus, if critical contents of calcium carbonate is known, then it is possible to predict service life survived. Using this principal and 100 surveyed data, a system, shown in the following figure, to predict service life survived was developed.



< Fig 1 > A Model predicting service life survived

## 2 .Developing the technology of early estimating durability of CIS

Since the current prevailing concrete is REMICON, a new technology to estimate durability of CIS at early age was studied and developed. For this, mix proportion data of REMICON were obtained throughout the country. These data were classified into 21 groups through careful study. For each group of mix proportion, durability tests were performed to find out the ability of concrete to resist freezing and thawing, chloride ion penetration, and steel corrosion. The result of these tests were derived from analysis of correlation between strength and each properties of durability with the magnitude of w/c ratio, and shown in the following figure.



< Fig 2 > Relation chart to predict service life at early age

The mixture that have sufficient durability was proved to be the concrete which has at 28 days, 6.5% of air contents, and target slump of 15cm.

For durability the current domestic code specifies the condition of maximum 50% of w/c ratio, minimum compressive strength of 300kgf/cm<sup>2</sup>. Whereas ACI specifies 45% and 300kgf/cm<sup>2</sup>, respectively. Thus, comparing with the study result, w/c ratio suggested in this study is a in-between value and compressive strength satisfies both the specifications.

### 3. Developing a technology predicting mix proportion of concrete

The technology predicting components of concrete was developed after developing a technology of estimating cement content, coarse aggregate content, and fine aggregate contents.

The technology estimating cement contents of mortar was performed first and that in concrete later. In case of mortar, the relation between cement content( $C_e$ )

and calcium intensity( $I_{c_a}$ ) was found to be  $C_e = 165.11 I_{c_a} - 71.42$  with  $R^2=0.905$ . But in case of concrete, the relation function was changed to  $C_e = 92.217 I_{c_a} + 34.273$  with  $R^2=0.7$ .

A technology to estimate the weight of coarse aggregate was developed and suggested in this study too, which had 4.7% of mean error.

A technology to estimate fine aggregate weight was developed and suggested using 43%, which was a experimented ratio of hydrated solid products to cement contents. The technology showed mean accuracy of 93.3% and mean error of 3.35% for three representative mixtures. This technology developed was applied to predict mix proportion of concrete core drilled during close investigation. And initial compressive strength just after construction of concrete was reasonably estimated using the test data.

#### **4. Quality control of concrete**

Most of the CIS are constructed during winter season. If air temperature is low, hydration and the resultant strength increment are retarded. In case of very low temperature, the hydrated cements are frequently destroyed due to expanding pressure of freezing water and finally result in shortening the service life. Thus, temperature rise inside the insulation sheet, which is of low price, was experimented and 6.8°C increment of temperature was found in this study. Besides, several criteria to protect early-aged concrete were suggested and attached in this paper.

In addition, to enhance the quality of concrete during the stage of planning and constructing small sized-CIS scattered in a wide area, several other criteria were suggested and attached in this paper.

#### **5. Applications and recommendations**

- Codifying the technology of early estimating durability of CIS as well as

applying it as a standard of quality control during construction stage

Codifying the design strength, w/c ratio, air content, unit cement content technology suggested in this study to increase durability of CIS.

Revising and codifying the quality control criteria by adding durability testing method in advance

Additional financial support for developing a software combining the model of predicting remain service life with expert system to predict mix proportion, which have developed in this study.

# CONTENTS

## SUMMARY

<b>Chap. 1 Preliminary</b> .....	1
Par. 1 Background .....	1
Par. 2 Purpose & Scope .....	3
Par. 3 Contents .....	4
<b>Chap. 2 Present Status of Domestic &amp; Overseas Research Trend</b> .....	7
<b>Chap. 3 Technology of Improving the Durability of CIS</b> .....	9
Par. 1 Developing Technology of Improving the Durability of CIS .....	9
1. CIS Selection as a Object of Preliminary Investigation .....	9
2. Preliminary Investigation & Survey .....	11
3. In-Situ Close Inspection .....	15
4. The Properties of Compressive Strength of Concrete Core .....	25
5. The Properties of Concrete Carbonation .....	34
6. Chemical Analysis of Components of Concrete Core .....	49
7. Prediction of Mix Proportion of Concrete Core .....	50
8. The Test of Water Permeability .....	56
9. The Suggestion for Improvement of Durability of CIS .....	57
Par. 2 Developing Technology of Quick Estimating Durability of CIS .....	59
1. Concrete Mixture .....	60
2. The Properties of Concrete Strength .....	67



3. The Ability to Resist Freezing and Thawing .....	79
4. The Ability to Resist Chloride Ion Penetration .....	103
5. The Ability to Resist Steel Corrosion .....	109
6. The Analysis of Correlation .....	114
7. Quick Estimation of Concrete Durability .....	120
<b>Par. 3 Developing Technology Predicting Mix Proportion of Concrete</b> .....	<b>124</b>
1. Introduction .....	124
2. Process of Developing Technology .....	124
3. The Working Principle of XRF .....	126
4. The Hydration of Cement .....	132
5. The Chemical · Physical Analysis of Cement and Aggregate .....	141
6. Prediction of Mix Proportion at Mortar .....	143
7. Prediction of Mix Proportion at Concrete .....	147
<b>Par. 4 Quality Management of Concrete</b> .....	<b>155</b>
1. Keeping Warm Effect Test of Warm-Cover in Winter .....	155
2. Quality Management of Ready-Mixed-Concrete .....	157
3. Quality Test of Concrete .....	159
<b>Chap. 4 General Conclusion</b> .....	<b>161</b>
Par. 1 Introduction .....	161
Par. 2 Developing Technology Improving Durability of CIS .....	164
Par. 3 Developing Technology of Quick Estimating Durability of CIS .....	166
Par. 4 Developing Technology Predicting Mix Proportion of Concrete .....	169
Par. 5 Quality Management of Concrete .....	170
<b>Chap. 5 Recommendation for Application</b> .....	<b>171</b>
Par. 1 Specification and Regulation Defining .....	171

Par. 2 Building Data Base of Close Inspection Data .....	172
1. Making Schema of the Analysis Results of Close Inspection Data .....	172
2. Programming Data Management System .....	174
<b>References</b> .....	<b>179</b>

# 목 차

요 약 문 .....	i
제1장 서 론 .....	1
제1절 연구배경 .....	1
제2절 연구목적 및 필요성 .....	3
제3절 연구내용 및 범위 .....	4
제2장 국내의 기술 개발 현황 .....	7
제3장 콘크리트 수리구조물의 내구성 향상 기술 .....	9
제1절 콘크리트 수리구조물의 내구성 증대기술 개발 .....	9
1. 예비답사 대상구조물 선정 .....	9
2. 예비답사 및 자료조사 .....	11
3. 현장 정밀조사 .....	15
가. 정밀조사 위치 .....	15
나. 정밀조사 내용 .....	15
다. 시험체 명명 .....	16
4. 콘크리트 코어의 역학적 특성 .....	25
가. 코어의 압축강도와 탄성계수 .....	25
나. 슈미트햄머에 의한 비파괴 강도 .....	31
다. 초음파에 의한 비파괴 강도 .....	32

5. 콘크리트의 중성화 특성 .....	33
가. 시차열증량(TG/DTA) 분석 .....	35
나. 지시약에 의한 중성화 분석 .....	40
다. 콘크리트 코어의 산도(pH)측정 .....	41
라. 잔존수명예측 모델 .....	43
6. 콘크리트 코어의 화학성분 분석 .....	49
가. 코어의 화학성분 분석 .....	49
나. 설치 환경 자료 분석 .....	49
7. 콘크리트 코어의 배합비 역추정 .....	50
가. 콘크리트의 수화율 .....	51
나. 배합비 역추정 .....	52
8. 콘크리트 투수실험 .....	56
가. 콘크리트 투수실험 .....	56
9. 내구성 증대 방안 .....	57
<b>제2절 콘크리트 수리구조물의 내구성 조기판정 기법 개발 .....</b>	<b>59</b>
1. 콘크리트 배합설계 .....	60
가. 사용재료 .....	62
나. 배합비 .....	64
2. 콘크리트의 역학적 특성 .....	67
가. 압축강도 .....	67
나. 휨강도 .....	68
다. 재현배합 강도 .....	76
3. 동결융해 저항성 .....	79
가. 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향 인자 .....	79
나. KS F 시험방법 .....	82
다. 국내의 기상조건 .....	89
라. 실험결과 및 고찰 .....	91

4. 염소이온 투과 저항성 .....	103
가. 실험개요 .....	103
나. 측정방법 .....	103
다. 결과분석 및 고찰 .....	107
5. 부식 저항성 .....	109
가. 실험개요 .....	109
나. 실험방법 .....	110
다. 결과분석 및 고찰 .....	112
6. 상관성 분석 .....	114
가. 염소이온 투과 저항성과 동결융해 저항성 .....	117
나. 물시멘트비별 압축강도 .....	118
다. 물시멘트비별 전하량 .....	119
라. 물시멘트비별 전류량 .....	119
7. 내구성 조기판정 .....	120
<b>제3절 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발 .....</b>	<b>124</b>
1. 개요 .....	124
2. 기법 개발 절차 .....	124
3. XRF의 작동원리 .....	126
가. XRF의 작동원리 .....	126
나. XRF의 구성 .....	128
4. 시멘트의 수화 .....	132
가. 개요 .....	132
나. 문헌연구 .....	133
다. 실험방법 .....	136
라. 결과분석 및 고찰 .....	137
5. 시멘트 및 골재의 물리·화학적 특성 분석 .....	141
가. 시멘트의 물리적·화학적 특성 및 성분 분석 .....	141

나. 전국 골재의 물리적 특성과 화학 성분 .....	142
6. 모르타르의 배합비 역추정 .....	143
가. 시멘트 함량분석 .....	143
7. 콘크리트의 배합비 역추정 .....	147
가. 실험개요 .....	147
나. 시멘트 함량 추정 .....	148
다. 굵은골재 함량 추정 .....	149
라. 잔골재 함량 추정 .....	151
마. 배합수량 추정 .....	152
<b>제4절 콘크리트의 품질관리 .....</b>	<b>155</b>
1. 동결기 콘크리트의 보온효과 실험 .....	155
가. 개요 .....	155
나. 보온덮개 효과실험 .....	156
2. 레미콘 품질관리 요령 .....	157
가. 개요 .....	157
나. 설계단계에서 레미콘의 품질관리 .....	157
다. 시공단계에서 레미콘의 품질관리 .....	158
3. 품질시험 .....	159
가. 개요 .....	159
나. 물리·역학적 측면의 품질시험 .....	159
다. 내구성 평가 시험 .....	159
<b>제4장 종합결론 .....</b>	<b>161</b>
<b>제1절 개 요 .....</b>	<b>161</b>
<b>제2절 콘크리트 수리구조물의 내구성 증대기술 개발 .....</b>	<b>164</b>
<b>제3절 콘크리트 수리구조물의 내구성 조기판정 기법 개발 .....</b>	<b>166</b>
<b>제4절 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발 .....</b>	<b>169</b>

제5절 콘크리트의 품질관리 .....	170
제5장 실용화 방안 .....	171
제1절 관련 규정 및 지침 제정 .....	171
제2절 정밀조사자료 데이터베이스화 .....	172
1. 정밀조사 분석자료의 정리 .....	172
2. 자료관리 프로그램 .....	174
참고문헌 .....	179
부    록 .....	183
부록 1 지구별 예비 조사자료 .....	185
부록 2 정밀조사대상지구 목록 .....	205
부록 3 수리구조물의 배면 토성 및 수질분석 자료 .....	213
부록 4 조사 골재 물리성 시험자료 .....	221
부록 5 콘크리트 코어 압축강도 측정자료 .....	229
부록 6 콘크리트 코어 화학성분 분석자료 .....	237
부록 7 콘크리트 코어의 역추정 배합비 자료 .....	241
부록 8 한중 콘크리트 .....	243
부록 9. 레미콘 품질관리 요령 .....	249

# 여 백



## 표 목 차

< 표 3.1.1.1 > 준공연도별 예비답사 대상구조물 .....	10
< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(일부분: < 부록 1 > 참조) .....	12
< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 .....	26
< 표 3.1.4.2 > 코어 압축강도 분포 분석 .....	27
< 표 3.1.4.3 > 정탄성계수에 미치는 굽은골재의 영향 .....	29
< 표 3.1.4.4 > 제안식과 시방규정식의 비교 .....	30
< 표 3.1.5.1 > 지시약에 따른 pH 지시범위 .....	40
< 표 3.1.5.2 > 실험결과와 예측 잔존수명(일부분) .....	48
< 표 3.1.5.3 > 예측 잔존수명을 통한 진단 .....	48
< 표 3.1.6.1 > 콘크리트 코어의 화학성분 분석 결과(일부분-부록3 참조) .....	49
< 표 3.1.6.2 > 구조물 배면의 흙, 물시료의 화학성분분석 결과(일부분-부록참조) ...	50
< 표 3.1.7.1 > 콘크리트의 배합설계표(40mm-강자갈) .....	52
< 표 3.1.7.2 > 콘크리트 수화율 산정 .....	52
< 표 3.1.7.3 > 콘크리트 코어의 역추정 배합비(일부분 : 부록 7참조) .....	54
< 표 3.1.8.1 > 투수계수 시험결과 .....	57
< 표 3.2.1.1 > 시멘트의 물리적 성질 .....	62
< 표 3.2.1.2 > 잔골재의 물리적 성질 .....	62
< 표 3.2.1.3 > 굽은골재의 물리적 성질 .....	63
< 표 3.2.1.4 > 혼화재의 물리적 성질 .....	63
< 표 3.2.1.5 > 혼화제의 물리·화학적 성질 .....	64
< 표 3.2.1.6 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-OPC) .....	65
< 표 3.2.1.7 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-BFS) .....	65
< 표 3.2.1.8 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-FA) .....	66
< 표 3.2.1.9 > 콘크리트의 배합설계표 (20mm-OPC) .....	66

< 표 3.2.1.10 > 콘크리트의 배합설계표 (40mm-OPC) .....	66
< 표 3.2.2.1 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-OPC) .....	69
< 표 3.2.2.2 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-BFS) .....	69
< 표 3.2.2.3 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-FA) .....	69
< 표 3.2.2.4 > 콘크리트의 역학적 특성 (20mm-OPC) .....	70
< 표 3.2.2.5 > 콘크리트 코어의 대표 재현 배합비 .....	77
< 표 3.2.2.6 > 콘크리트의 역학적 특성 (40mm-OPC) .....	78
< 표 3.2.3.1 > 국내의 동결융해에 관한 기상 데이터 .....	90
< 표 3.2.3.2 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-OPC) .....	92
< 표 3.2.3.3 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-BFS) .....	93
< 표 3.2.3.4 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-FA) .....	93
< 표 3.2.3.5 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - OPC - 3.0 % ) .....	94
< 표 3.2.3.6 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - BFS - 3.0 % ) .....	95
< 표 3.2.3.7 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - FA - 3.0 % ) .....	96
< 표 3.2.3.8 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - OPC - 6.5 % ) .....	97
< 표 3.2.3.9 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - BFS - 6.5 % ) .....	98
< 표 3.2.3.10 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - FA - 6.5 % ) .....	99
< 표 3.2.4.1 > 투과된 전하량을 통한 염소이온 투과성 평가(30) .....	105
< 표 3.2.4.2 > 콘크리트 염소이온 투과량(25mm) .....	107
< 표 3.2.4.3 > 콘크리트 염소이온 투과량(20mm-OPC) .....	108
< 표 3.2.5.1 > 콘크리트의 부식저항성 실험 결과(25mm) .....	113
< 표 3.2.5.2 > 콘크리트의 부식저항성 실험 결과(20mm-OPC) .....	113
< 표 3.2.6.1 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-OPC ) .....	115
< 표 3.2.6.2 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-BFS ) .....	116
< 표 3.2.6.3 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-FA ) .....	116
< 표 3.2.6.4 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 20mm-OPC ) .....	117
< 표 3.3.3.1 > 필터종류 .....	129
< 표 3.3.3.2 > 크리스탈 교환기의 종류와 분광기 .....	131

< 표 3.3.3.3 > X-ray 튜브, 크리스탈, 검출기의 조합 .....	132
< 표 3.3.4.1 > 시멘트 수화시 성분 구성비 .....	134
< 표 3.3.4.2 > 시멘트의 물리적 성질 .....	137
< 표 3.3.4.3 > 시멘트 페이스트의 배합비 .....	137
< 표 3.3.4.4 > 수화시간동안 수화수량의 증량변화 .....	139
< 표 3.3.4.5 > 수화시간에 따른 수화시멘트의 증량변화 .....	139
< 표 3.3.5.1 > 국내산 시멘트의 물리적 성질 .....	142
< 표 3.3.5.2 > 국내산 시멘트의 화학성분 구성표 .....	142
< 표 3.3.5.3 > 지구별 잔골재의 물리적 성질(일부분 : <부록 4> 참조) .....	143
< 표 3.3.6.1 > 모르타르내 시멘트 함량분석 .....	144
< 표 3.3.7.1 > 콘크리트 배합설계표 .....	147
< 표 3.3.7.2 > 시멘트 함량 추정 오차 .....	149
< 표 3.3.7.3 > 굵은골재 추정 오차 .....	150
< 표 3.3.7.4 > 잔골재 함량추정 오차 .....	152
< 표 4.1.1.1 > 내구성 측면에서 콘크리트의 품질조건 .....	168
< 표 5.2.1.1 > 정밀조사 분석자료 요약표 (예 : 78년준공, 공주시지부 관할) .....	173

# 여 백

## 그 립 목 차

< 그림 1.3.1.1 > 연구개발 추진체계 .....	6
< 그림 3.1.3.1 > 경기도내 정밀조사 대상지구 .....	18
< 그림 3.1.3.2 > 충청도내 정밀조사 대상지구 .....	19
< 그림 3.1.3.3 > 충청남도내 정밀조사 대상지구 .....	20
< 그림 3.1.3.4 > 전북도내 정밀조사 대상지구 .....	21
< 그림 3.1.3.5 > 경남도내 정밀조사 대상지구 .....	22
< 그림 3.1.3.6 > 전남도내 정밀조사 대상지구 .....	23
< 그림 3.1.4.1 > 히스토그램 설명 .....	26
< 그림 3.1.4.2 > 콘크리트 코어 압축강도 분포 .....	28
< 그림 3.1.4.3 > 콘크리트 코어 압축강도분포 분석 .....	28
< 그림 3.1.4.4 > 콘크리트 압축강도와 정탄성계수 .....	30
< 그림 3.1.4.5 > 콘크리트 코어 압축강도와 슈미트햄머 추정 압축강도의 관계 .....	31
< 그림 3.1.4.6 > 슈미트햄머 추정 압축강도와 초음파 추정 압축강도의 관계 .....	32
< 그림 3.1.4.7 > 코어 압축강도와 초음파 추정 압축강도의 관계 .....	33
< 그림 3.1.5.1 > TG/DTA 분석 결과(예 : 경기 안성 노곡저수지 '68) .....	37
< 그림 3.1.5.2 > 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량 .....	38
< 그림 3.1.5.3 > 깊이에 따른 탄산칼슘의 함량변화(샘플지구:대동지) .....	39
< 그림 3.1.5.4 > 깊이에 따른 탄산칼슘의 함량변화 .....	39
< 그림 3.1.5.5 > 구조물의 사용연한에 따른 중성화깊이(지시약) .....	41
< 그림 3.1.5.6 > 탄산칼슘의 함량에 따른 콘크리트의 산도변화 .....	43
< 그림 3.1.5.7 > 전기화학 부식과정 모식도 .....	45
< 그림 3.1.5.8 > 잔존수명 예측 모델 .....	46
< 그림 3.1.7.1 > 콘크리트 코어의 추정시멘트 함량 분포 .....	55
< 그림 3.1.7.2 > 추정시멘트 함량과 압축강도의 분포 .....	55
< 그림 3.2.1.1 > 배합설계의 흐름도 .....	61

< 그림 3.2.2.1 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-OPC) .....	70
< 그림 3.2.2.2 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-BFS) .....	71
< 그림 3.2.2.3 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-FA) .....	71
< 그림 3.2.2.4 > 혼화재의 종류에 따른 28일 재령 압축강도(25mm) .....	72
< 그림 3.2.2.5 > 혼화재의 종류에 따른 91일 재령 압축강도(25mm) .....	72
< 그림 3.2.2.6 > 콘크리트 재령별 휨강도(25mm-OPC) .....	73
< 그림 3.2.2.7 > 콘크리트 재령별 휨강도(25mm-BFS) .....	73
< 그림 3.2.2.8 > 콘크리트 재령별 휨강도(25mm-FA) .....	74
< 그림 3.2.2.9 > 혼화재의 종류에 따른 28일 재령 휨강도(25mm) .....	74
< 그림 3.2.2.10 > 혼화재의 종류에 따른 91일 재령 휨강도(25mm) .....	75
< 그림 3.2.2.11 > 콘크리트 재령별 압축강도(20mm-OPC) .....	75
< 그림 3.2.2.12 > 콘크리트 재령별 휨강도(20mm-OPC) .....	76
< 그림 3.2.2.13 > 물시멘트비별 압축강도 비교 .....	76
< 그림 3.2.2.14 > 콘크리트 재령별 압축강도(40mm-OPC) .....	78
< 그림 3.2.2.15 > 물시멘트비에 따른 압축강도 변화(40mm-OPC) .....	78
< 그림 3.2.2.16 > 콘크리트 재령별 휨강도(40mm-OPC) .....	79
< 그림 3.2.3.1 > 콘크리트의 동결융해 .....	81
< 그림 3.2.3.2 > 동탄성계수 측정기 .....	87
< 그림 3.2.3.3 > 전국주요지역의 연평균최저 기온 분포 .....	90
< 그림 3.2.3.4 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-OPC, 공기량3.0%) .....	100
< 그림 3.2.3.5 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-BFS, 공기량3.0%) .....	100
< 그림 3.2.3.6 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-FA, 공기량3.0%) .....	101
< 그림 3.2.3.7 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-OPC, 공기량6.5%) .....	101
< 그림 3.2.3.8 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-BFS, 공기량6.5%) .....	102
< 그림 3.2.3.9 > 상대동탄성계수의 변화 (25mm-FA, 공기량6.5%) .....	102
< 그림 3.2.4.1 > 전기 회로도 .....	105
< 그림 3.2.4.2 > 전압 재하 장치 .....	106
< 그림 3.2.4.3 > 구분(호칭강도)과 염소이온 투과 저항성(25mm) .....	108

< 그림 3.2.4.4 > 물시멘트비와 염소이온 투과 저항성(25mm) .....	108
< 그림 3.2.4.5 > 공기량의 변화에 따른 염소이온투과 저항성(25mm) .....	109
< 그림 3.2.5.1 > 내부식성시험장치도 .....	111
< 그림 3.2.5.2 > 내부식성 시험체 .....	111
< 그림 3.2.5.3 > 호칭강도별 부식저항성 비교(25mm) .....	114
< 그림 3.2.5.4 > 공기량에 따른 부식저항성 비교(20mm-OPC, 25mm-OPC) .....	114
< 그림 3.2.6.1 > 염소이온 투과량과 동결융해 사이클수 .....	118
< 그림 3.2.6.2 > 물시멘트비에 따른 압축강도 .....	118
< 그림 3.2.6.3 > 물시멘트비에 따른 전하량 .....	119
< 그림 3.2.6.4 > 물시멘트비에 따른 전류량 .....	120
< 그림 3.2.7.1 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도 .....	121
< 그림 3.2.7.2 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도 .....	122
< 그림 3.2.7.3 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도 .....	122
< 그림 3.2.7.4 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도 .....	123
< 그림 3.3.3.1 > XRF시스템 구성 : 스톡커에 시료준비 .....	127
< 그림 3.3.3.2 > XRF시스템 구성 : X-ray 가동 .....	127
< 그림 3.3.3.3 > XRF시스템 구성 : 분석 .....	128
< 그림 3.3.4.1 > 물시멘트비 42%에서 수화시멘트 페이스트의 체적변화의 도시 ...	135
< 그림 3.3.4.2 > 수화시간에 따른 수화수량의 중량변화(초기시멘트량:100g) .....	140
< 그림 3.3.4.3 > 수화시간에 따른 수화시멘트페이스트의 중량변화 .....	140
< 그림 3.3.6.1 > 이론강도와 계측강도의 차 .....	146
< 그림 3.3.6.2 > 모르타르의 X-선 강도와 시멘트 함량 .....	146
< 그림 3.3.7.1 > 콘크리트 내 시멘트 함량 추정식 .....	149
< 그림 3.3.7.2 > 굵은골재 스케치 그림 .....	150
< 그림 3.3.7.3 > 경화콘크리트 성분별 추정 흐름도와 전문가 시스템 개요도-1 .....	153
< 그림 3.3.7.3 > 경화콘크리트 성분별 추정 흐름도와 전문가 시스템 개요도-2 .....	154
< 그림 3.1.9.1 > 콘크리트의 보온 보온덮개의 보온 효과 .....	157
< 그림 4.1.1.1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속) .....	161

< 그림 4.1.1.2 > 잔존수명 예측모델 .....	165
< 그림 5.2.2.1 > Access의 초기화면 .....	174
< 그림 5.2.2.2 > 수리구조물 정보입력 .....	175
< 그림 5.2.2.3 > 입력자료 보기 .....	175
< 그림 5.2.2.4 > 콘크리트의 역학적 특성 .....	176
< 그림 5.2.2.5 > 지구전경 등 사진입력 .....	176
< 그림 5.2.2.6 > 종합정보 창 .....	177



## 사 진 목 차

< 사진 1.1.1.1 > 콘크리트의 내구성 저하 현상 .....	3
< 사진 3.1.2.1 > 전북 전주 괴목 '78 예비조사 (여수토 방수로) .....	13
< 사진 3.1.2.2 > 전북 전주 '86 예비조사 (여수토 방수로) .....	13
< 사진 3.1.2.3 > 충북 괴산 신항 '85 예비조사 (여수토 방수로) .....	14
< 사진 3.1.2.4 > 충남 천안 입성지 '72 예비조사 (여수토 방수로) .....	14
< 사진 3.1.3.1 > 현장정밀조사 전경 .....	24
< 사진 3.1.5.1 > pH, TG/DTA 분석을 위해 절단된 시험편 .....	36
< 사진 3.1.8.1 > 투수 시험 장치 .....	56
< 사진 3.2.3.1 > 동결융해 실험(a)~(b) .....	85
< 사진 3.2.3.2 > 동탄성계수 측정 모습(a)~(b) .....	88
< 사진 3.2.4.1 > 염소 이온 투과시험 .....	106
< 사진 3.2.5.1 > 부식저항성 실험(a)~(b) .....	112

# 제1장 서론

## 제1절 연구배경

농업토목에 사용되는 구조물의 대부분은 콘크리트 구조물이며, 지금까지의 투자 방향은 초기 투자비를 줄이기 위해서 설계기준강도가 낮은 저품질의 콘크리트를 널리 보급하여 왔다. 최근에는 콘크리트의 품질을 높이기 위해 공장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 제품이나 레미콘이 광범위하게 사용되고 있다. 콘크리트는 재료비가 싸고 임의의 형상인 시설물일지라도 축조할 수 있는 장점과 강도와 내구성이 뛰어나기 때문에 농업토목 수리시설물의 대부분이 콘크리트로 추구하고 있다. 이러한 현상은 유지관리의 편리성 추구하고 수로 내에서의 관개용수 손실 저하를 위해서 가속적으로 확산되는 추세이다. 콘크리트 수리구조물 중에는 현장에서 콘크리트를 타설하여 구조물을 축조하는 경우와 공장에서 미리 제작된 콘크리트 제품으로 만들어지는 경우가 있다. 특히, 최근에는 공사기간의 단기성을 감안하여 공장제품의 사용량이 증가하고 있다.

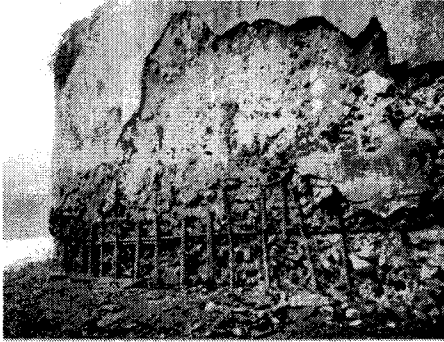
콘크리트 수리구조물은 일반 콘크리트 구조물과 달리 관개기간 동안 관개용수와 지속적으로 접하고 있으며, 비관개기에는 구조물 배면 흠에 포화된 물이 콘크리트 조직에 형성된 공극을 통하여 표면으로 유출되어 나오기도 한다.

콘크리트는 제조 당시 강한 알칼리성(pH=12~13)을 띄는데 대기중의 약산성 탄산가스(약 0.035%)가 콘크리트 표면에서부터 모세관 공극을 통해 침투하여 수산화칼슘이 용해되어 있는 콘크리트 내부의 세공용액과 접촉하면서 안정한 탄산칼슘과 물로 변화된다. 탄산칼슘은 콘크리트 내부 공극벽면에 침착하여 콘크리트 조직을 치밀하게 하고, 물은 증발하거나 화학반응에 계속 사용된다. 특히, 콘크리트가 충분히 습하여 콘크리트 조직내부에서 표면으로 잉여수가 흘러나올 때 탄산칼슘이나 나트륨염, 칼륨염(알칼리 탄산염) 등이 함께 흘러나와 콘크리트 표면에 조금씩 계속 침착하여 하얀색을 띤 물흐름 모양을 형성하게 되는데 이를 백화현상이라 한다. 이러한 반응을 통해 콘크리트는 강한 알칼리성에서 점차 중성(pH=8)으로 바뀌게 된다. 강한 알칼리성을 띠는 때는 철근을 보호하는 부동태 피막을 형성하지만 중성으로 바뀌면 부동태 피막

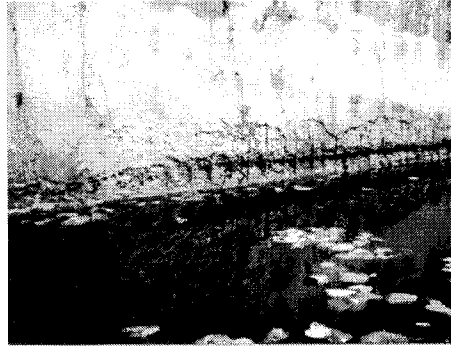
은 파괴된다. 즉, 중성화(Neutralization) 현상은 콘크리트 압축강도에는 문제가 되는 것이 아니고, 콘크리트 내부에 보강근으로 사용한 철근에 부식을 유발시키는 환경을 만들기 때문에 문제가 된다. 환경측면에서 볼 때 탄산가스의 농도가 높고, 적정 습도(50~75%)가 유지되는 환경에서 촉진되는 것으로 알려져 있다. 습도가 너무 높은 경우, 탄산가스가 유입되는 콘크리트의 내부 공극을 막는 효과가 있어 오히려 중성화를 저해하며, 건조와 습윤이 반복되는 환경에서 빠른 속도로 중성화가 진행된다.

콘크리트 조직이 물과 접하게 되는 경우는 물 속에 완전히 잠기는 것을 의미하는 것이 아니고, 콘크리트 조직의 공극에 수분이 들어있는 경우를 의미한다. 콘크리트 조직의 공극에 적정 수분이 들어있을 경우 동결융해, 중성화, 철근부식 등 내구성 저하의 주요 요인이 된다. 동결융해 작용은 콘크리트 조직에 들어있는 수분이 얼어서 그 체적이 9%가량 팽창하게 된다. 조직 내부에서 체적이 팽창하면 모르타르와 골재사이의 부착에 손상을 주게 되어, 골재와 모르타르 사이에 미세한 틈이 생기게 된다. 밤에 얼었던 조직 내부의 물이 낮에는 융해되고, 융해된 물은 미세한 틈 사이로 이동하게 된다. 또 밤이 되면 틈새의 물은 얼어서 체적이 팽창한다. 결국 틈새는 조금씩 확장되어 콘크리트의 조직을 표면에서부터 조금씩 파괴시키게 된다. 표면에서부터 조금씩 파괴된 콘크리트는 해가 거듭할수록 지속되어 결국 철근이 있는 위치까지 파괴되고 만다. 철근에는 산소와 수분이 부식되기에 좋은 정도로 공급되는 환경에 놓이게 된다. 철이 부식되면 그 체적이 2.5배에서 7배까지 팽창하게 된다. 철근의 부식으로 그 체적이 팽창하면 동결융해 작용에 추가하여 콘크리트를 파괴시킨다. 마침내 표면에 드러난 철근은 계절을 가리지 않고 계속해서 부식이 이루어진다.

이처럼 관개를 주목적으로 하는 콘크리트 수리구조물은 설치환경에서 일반 콘크리트 구조물보다 쉽게 진행되는 환경에 놓이게 된다.



(a) 여수토 산측 옹벽 하부



(b) 진수지 옹벽하부

< 사진 1.1.1.1 > 콘크리트의 내구성 저하 현상

## 제2절 연구목적 및 필요성

농업기반 콘크리트 수리구조물은 농업용수의 개발과 공급을 주목적으로 목표내구연한 동안 그 기능이 유지될 것이라 기대하고 투자효율을 높이는 방향으로 설계, 시공, 사용되어 왔다.

이에 따라 정책적으로는 설계기준강도가 낮은 콘크리트, 즉 저가의 콘크리트로 구조물을 축조하여 음에 따라 사용기간동안의 열악한 환경조건과 맞물려 콘크리트 수리구조물의 수명이 단기화 되는 요인을 제공하였다.

한편, 콘크리트 수리구조물은 주로 동절기 단기간에 공사를 수행해야 하며, 소형인 구조물이 넓은 지역에 산재되어 있으므로 공사중 품질관리가 매우 어려우며, 접근로가 제대로 갖추어져 있지 않아 공사용 장비의 접근이 용이치 않으며, 콘크리트 양생에 사용할 물조차 구하기 어려운 산간지에 설치되는 것이 대부분이다. 따라서 이러한 여건에서 시공된 콘크리트 수리 구조물은 품질의 변동이 매우 크기 때문에 목표내구연한을 채우지 못하고 수명을 다하는 경우가 많다.

그 외에도 농업기반 콘크리트 수리구조물의 공사기간은 경지정리공사에서 보는 것

처럼 콘크리트의 내구성 시험에 소요되는 기간보다 단기간인 경우가 많으므로 내구성을 사전에 확인하는 것이 쉽지 않다.

또한 콘크리트 수리구조물은 농업용수의 공급과 단수로 인해 사용중 건조와 습윤이 반복된다. 또한 그늘에 놓여있는 구간이 많아 습한 표면이 장시간 유지되며, 동절기에는 관개기 동안 콘크리트 조직내부로 침투한 물이 동결되어 콘크리트 조직을 파괴하는 등 구조물의 수명을 매우 단축시키는 환경하에 놓여 있다. 따라서 공사 중 높아진 품질변동폭으로 인해 내부 공극이 과도한 구조물이 이러한 환경하에 놓일 경우 그 수명은 가속적으로 단축된다.

한편 최근에는 수리시설물의 유지관리 편리성과 수로내 물손실 저하를 목적으로 흙수로를 콘크리트 구조물로 대체하고 있다. 농업기반공사에서 관리하는 용수간지선 33,732km의 경우에도 연평균 약 1,500억원(연평균 600km)씩 투입하여 콘크리트 용수개거로 보강 중이며, 흙수로로 남아있는 14,096km를 모두 구조물화 하는데 약 4,961,520백만원이 소요될 것으로 추정된다. 따라서 이처럼 막대한 비용을 투입할 콘크리트 수리구조물의 내구연한이 짧아질 경우 국가적인 재정부담은 막대하다. 더구나 콘크리트 구조물을 헐어버릴 경우 폐기물 처리를 위한 새로운 국토공간의 잠식이 불가피하며, 재시공용 콘크리트를 생산하기 위한 신규 골재장의 개발 등 환경적 피해도 커지게 된다. 또한 개보수 또는 재시공 기간동안에 입을 수 있는 자연재해나 지역주민의 생활 환경 악화로 인한 손실등도 계량할 수도 없을 정도이다.

따라서 콘크리트 수리구조물의 내구연한을 증대시키기 위한 적정 설계기준강도와 배합설계 기술을 규명하고, 단시간 내 내구성을 판정하는 기술을 개발하며, 배합성분을 역추적하는 기술을 개발·보급할 경우 콘크리트 수리구조물의 내구성이 지금보다 대폭 향상될 것이므로 파급효과는 막대할 것으로 추정된다.

### 제3절 연구내용 및 범위

농업기반 콘크리트 수리구조물은 설계·시공·사용의 각 단계에서 구조물의 내구성을 떨어뜨리는 요인이 상존한다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 콘크리트의 내구성 증대기술 개발과, 콘크리트의 내구성 조기평가 기법 개발 및 콘크리트 배합비 역추정기법 개발이라는 세 가지 주제 연구를 수행하였다.

콘크리트의 내구성 증대 기술을 개발하기 위해서, 먼저 농업용 수리구조물 중 그 규모가 커서 시공 중 품질변동폭이 상대적으로 적을 것으로 기대되는 저수지를 선정 하여 예비답사와 현장정밀조사를 실시하고, 현장조사자료와 실내분석자료를 이용하여 콘크리트의 노후이력과 개선필요 사항을 분석하였다.

현장정밀조사 시 구조물 배면의 흙과 물 시료를 채취하여 화학분석을 실시함으로써 유해성분에 의해 내구연한에 영향이 있는지를 분석하고자 하였다. 또한 현장 정밀조사시 구조물에서 채취한 콘크리트 코어를 이용해 파괴 압축강도와 초음파 압축강도를 측정하였으며, 중성화정도를 측정하고 역추정 배합비를 추정하였다. 이 때 중성화정도는 TG/DTA분석과 지시약 분석을 통해 측정하였다.

조사대상 구조물의 잔존내구연한을 예측하기 위해서 사용연한별 탄산칼슘의 함량 변화를 분석하였다. 한편, 현재의 코어 강도와 시공당시의 콘크리트의 강도를 비교하면 수리구조물에서 노후작용에 의한 콘크리트의 강도 감소비율을 구할 수 있다. 그러나 시공당시의 압축강도에 대한 자료가 없으므로 채취된 코어의 성분을 분석한 다음 이를 토대로 코어의 배합비를 역추정하고 재현배합을 통해 시공당시의 강도를 추정코자 하였다.

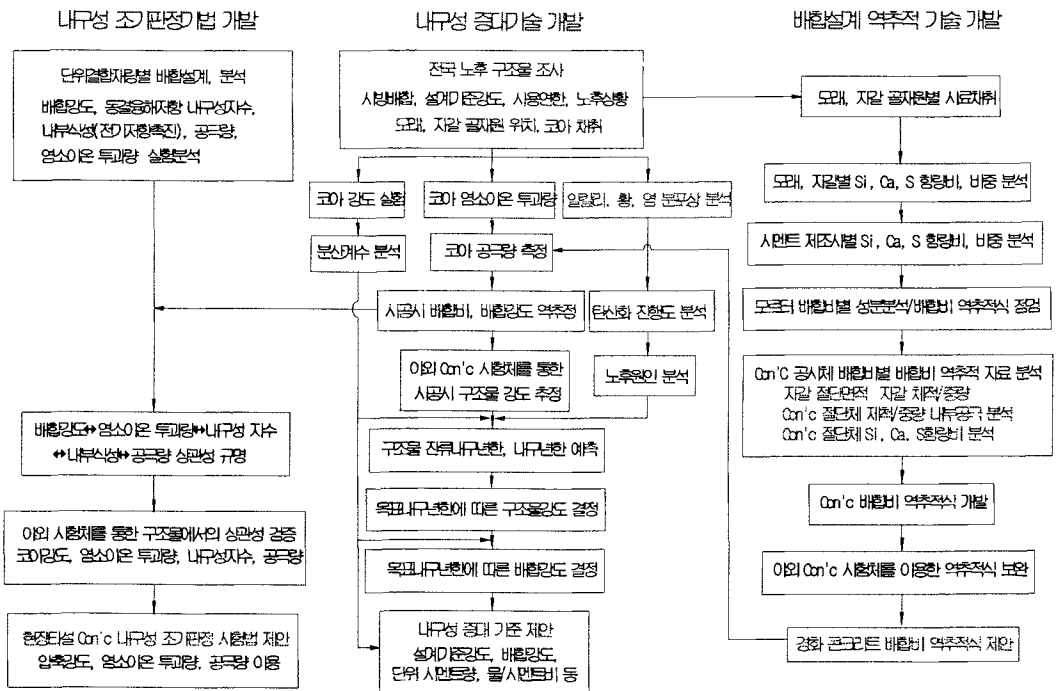
현재 콘크리트 수리구조물에 사용되는 대부분의 콘크리트는 레미콘이므로 레미콘을 대상으로 한 콘크리트의 내구성 조기평가 기법을 개발할 경우 본 연구성과의 실용성을 높이게 된다. 이에 따라 전국에 걸쳐 레미콘을 조사하고, 조사된 자료를 분석하여 가장 대표적인 레미콘의 배합비를 선정한 다음, 선정된 배합에 대하여 역학적 특성과 내구적 성질을 동시에 분석하였다. 역학적 특성으로 압축강도와 휨강도, 내구적 성질로는 염소이온 투과 저항성, 동결융해 저항성, 철근 부식저항성을 분석하였다. 이러한 실험결과를 토대로 역학적 특성과 내구적 성질의 상관성을 분석함으로써 단시간에 내구적 성질을 평가할 수 있는 기술을 정립하고자 하였으며, 내구성을 확보하기 위해 콘크리트가 갖추어야 할 물리·역학적 특성과 배합비를 규명하여 향후 계획설계 기준자료로 활용코자 하였다.

콘크리트 배합비 역추정 기법을 개발하기 위해서, X-선 형광분석기(XRF)를 활용하여 콘크리트내 시멘트함량을 분석하고, 면적과 체적의 비례관계를 이용하여 굵은골재량을 추정하고, 고흡수화생성물의 시멘트 중량대비 비율을 산정하여 잔골재량을 추정하는 기법을 개발하였다. 개발된 역추정 기법을 활용하여 현장정밀조사 시 채취

한 콘크리트 코어의 배합비를 역추정하고, 추정된 배합비로 시공당시의 배합을 재현함으로써 구조물 축조 당시의 콘크리트 강도를 추정하여 이를 토대로 내구성 증대를 위한 배합설계기준으로 제안하였다.

그 외에도, 콘크리트의 내구성을 향상시키기 위한 요소로서 동절기 레미콘 공사에 대한 개선, 소량의 레미콘 공사를 위한 설계와 시공단계에서의 품질관리 기준에 대한 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 이에 따라 동절기 공사 시 보온덮개의 보온효과의 실험분석과 품질관리 기준에 대한 검토를 수행하였으며, 소량의 레미콘 품질관리를 위한 기준 개선사항을 분석하였다.

본 연구의 사업시행계획 수립단계의 연구개발 추진체계를 < 그림 1.3.1.1 >과 같이 나타냄으로서 이상에서 언급한 총 3개년 동안 수행한 연구 내용과 비교해 볼 수 있다.



< 그림 1.3.1.1 > 연구개발 추진체계

## 제2장 국내외 기술 개발 현황

국내의 기온분포가 여름에는 높지만 겨울에는 매우 혹독한 추위를 나타내고 있다. 더구나 담수관개는 국내 벼농사의 기본이므로 관개기간동안에는 콘크리트 수리구조물의 표면과 배면이 항상 물에 접촉하고 있으며, 비관개기에는 배면의 포화토로부터 끊임없이 수분이 구조물에 공급되므로 콘크리트 수리구조물의 내부의 알칼리분이 급속히 손실되어 구조물의 수명이 단축된다.

그러나 국내 농업토목용 콘크리트수리구조물에 적합한 설계기준강도와 배합강도의 크기가 결정되지 않았기 때문에 공사비가 적게드는 낮은 설계기준강도의 콘크리트를 관행적으로 사용하여왔다. 따라서 콘크리트 수리구조물의 내구성을 높이기 위해서는 수리구조물에 적합한 설계기준강도의 크기를 결정하여야하나 아직까지 결정되지 않았다. 배합강도는 구조물 압축강도의 품질변동폭에 기초한 할증계수를 설계기준강도에 곱하여 구하여야 한다. 한편 농업토목 수리구조물의 품질변동폭은 국내농업토목현장의 열악한 시공여건에 좌우되나 아직까지 이를 정량화하기 위한 어떠한 시도도 없었다.

또한 내구성을 사전에 예측할 수 있는 방법으로서 동결융해 시험이나 알칼리-골재 반응 시험 및 중성화 시험, 내황산염 실험, 내부식성 실험 등 여러 방법이 있다. 그러나 이들 시험 방법은 첫째 장기간의 시험기간이 소요되므로 공사기간이 비관개기의 짧은 기간에 한정된 농업토목공사에서는 적용할 수 없다. 또한 현장에 구조물을 설치하고 사용 시 구조물의 내구연한이 어느 정도 될 것이라는 지표가 아니고 시험실 수준에서 상대적으로 내구성이 있는지의 여부에 대한 상대적인 비교평가 지표만을 보여 줄 뿐이다. 이외에도 이들 방법은 품질판정의 기준치로서 양호한 환경하에 놓여 있는 일반 콘크리트에 대한 개략적인 시험치를 기준치로 설정하였으므로 항상 물과 접하는 콘크리트 수리구조물에는 적용할 수가 없다.

한편 콘크리트 속에 함유된 시멘트의 량을 대략적으로 측정할 수 있는 현재까지의 기술로서는 콘크리트 속의 실리카량을 측정하고 이 양이 모두 시멘트 성분 속의 실리카로부터 나타난다고 가정하여 사용된 시멘트량을 추정하는 방법이 있으나 이는 콘크리트 용적의 70~80%에 해당하는 골재에 함유된 실리카의 일부까지 측정될 수 있는



오류를 내포하고 있다. 또한 콘크리트내 포함된 골재의 양을 예측하는 방법은 아직까지는 전혀 알려져 있지 않다. 특히, 농업기반 콘크리트 구조물의 설치 환경적 여건을 종합적으로 고려하고, 내구성 측면을 고려한 경제성 분석을 실시한 사례가 없다.

## 제3장 콘크리트 수리구조물의 내구성 향상 기술

### 제1절 콘크리트 수리구조물의 내구성 증대기술 개발

내구성 향상기술을 개발하기 위해서는 먼저 수리구조물의 내구성 저하원인을 분석하고 대책을 도출해야 한다. 이를 위해서 내구성 저하원인 그 분석대상 구조물의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 대상 구조물로서 저수지에 부속된 콘크리트 수리구조물을 선정하였다. 그 이유를 살펴보면 첫째, 오래 전에 시공된 구조물부터 최근 몇 해 전까지 시공된 구조물이 고루 분포해 있어 콘크리트 구조물의 서비스과정에서 발생하는 열화의 노후이력규명이 용이 할 것이기 때문이었다. 또한 중요한 구조물이기 때문에 용배수로 구조물보다는 시공당시 품질관리가 철저하여 사용연한에 따른 압축강도 변화가 시공당시의 품질 양부에 영향을 적게 받을 것이 분명하였다. 이로서 구조물이 용배수로 구조물보다 대형이므로 코어채취를 위한 작업공간이 확보될 수 있으며, 마지막으로 중요 구조물이기 때문에 용배수로 구조물보다는 자료관리가 철저하여 사용 중의 개보수 이력자료와 시공당시의 품질자료를 쉽게 구할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

현지 조사의 효율성을 높이기 위해 먼저 예비답사하여 대상 구조물을 선정한 다음, 예비답사를 실시하여 정밀현장조사 대상 저수지를 선정하였다. 정밀현장조사를 통해 코어를 채취하여 압축강도와 노후진행도를 측정하고 시공 당시의 재료를 수집하고 사용한계를 조사하였다. 이러한 조사를 기초로 시공당시의 압축강도를 추정하고 이를 토대로 내구성향상을 위한 설계기준강도, w/c, 공기량, 시멘트량 등을 규명하고자 하였다.

#### 1. 예비답사 대상구조물 선정

주관연구기관의 수리시설물 전산시스템에 관리되고 있는 정보와 과거 30여년간 축적한 골재원별 기초자료를 검색하여 예비답사 대상 구조물 선정을 위한 데이터 베

이스를 별도로 구축하였으며, 이를 토대로 예비답사 가능구조물로서 저수지에 부속된 콘크리트 구조물을 303개를 선정하였다. 다시 설계자료 구득 유무, 사용지역, 사용연한, 현장조사 정밀도 향상 등을 고려하여 230개 지구(당초계획 200개지구) 예비답사 대상지구로 확정하였으며, 준공연도를 기준으로 사용연한(10~15년, 16~20년, 21~25년, 26~30년, 30년 이상)에 따라 5개 그룹으로 구분하였다.

본 연구에서는 예비답사 대상 구조물로서 저수지 부속 콘크리트 시설물을 선정하되, 본 연구기관에서 관리하고 있는 '수리시설물 정보관리시스템'을 검색하여 전국 시도별, 사용기간(10년부터 35년)별로 저수지 303개를 < 표 3.1.1.1 >과 같이 선정하고, 이를 예비답사 대상구조물을 선정하기 위한 기초자료로 활용하였다.

< 표 3.1.1.1 > 준공연도별 예비답사 대상구조물 (단위 : 개소)

		시도별 계	저수지 준공연도 그룹 분류				
			'65~'70	'71~'75	'76~'80	'81~'85	'86~'90
준공연도 그룹별 계		303	53	65	71	62	52
광역시	인천	6	-	-	5	-	1
	대전	1	-	-	1	-	-
	대구	1	-	1	-	-	-
	울산	2	-	1	1	-	-
도	경기	23	6	7	4	4	2
	강원	20	1	5	8	4	2
	충북	37	7	-	3	23	4
	충남	41	4	9	17	4	7
	전북	31	2	14	6	2	7
	전남	73	21	15	15	12	10
	경북	45	12	4	10	8	11
	경남	23	-	9	1	5	8

## 2. 예비답사 및 자료조사

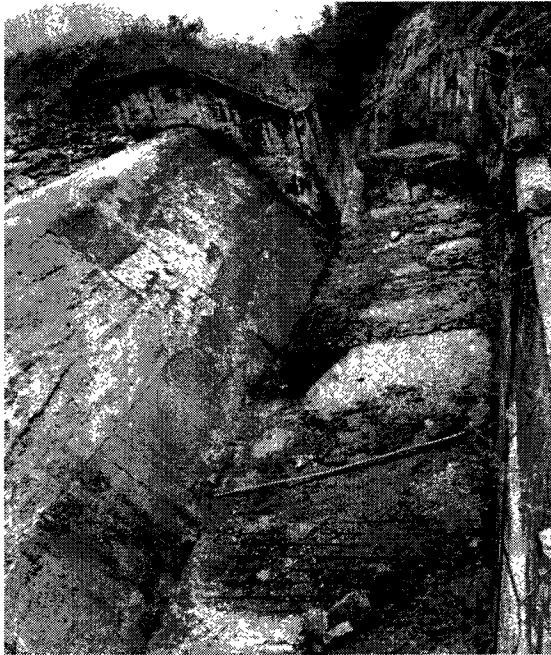
정보관리 시스템을 활용하여 선정한 303개 지구의 기초자료를 토대로 사용연도와 지역적인 분배 및 코어채취 가능성을 고려하여 303개의 구조물 중 예비답사 대상 지구 230개를 선정하였다. 예비답사 대상지구를 당초 연구계획에서는 200개 계획하였으나 연구성과의 정밀도를 향상시키기 위해서 예비답사지구를 230개로 상향조정하여 예비답사를 실시하고 자료를 조사하였으며, 조사자료는 < 부록 1 >에 수록하고 그 중 일부를 < 표 3.1.2.1 >에 나타내었다. 또한 예비답사 중 촬영한 일부 수리구조물의 사진을 < 사진 3.1.2.1 >~< 사진 3.1.2.4 >에 나타내었다.

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(일부분: < 부록 1 > 참조)

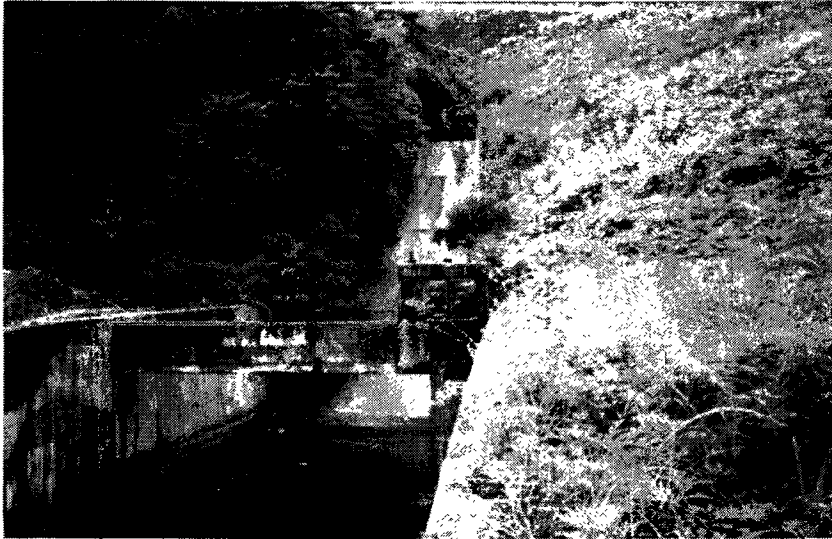
도별	저수 지명	설계기준 강도	시방배합표								골재원위치	
			C	w/c	S/a	Gmax	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
경기	노곡68	180	316	52	38	40	7.5	701	1,176	안성,금광,금광	안성,양성,노곡	
경기	노곡68	180	323	55	42	25	7.5	755	1,071	안성,금광,금광	안성,양성,노곡	
경기	이동72	내부192	208	61	-	40	4	583	1,495	용인이동곽터리(제 당동북방2km침수지)	용인이동어비(제당 에서수몰지내0.7km)	
경기	이동72	외부251	254	50	-	40	3	601	1,466	"	용인남사방아리 (제당서쪽하류0.7km), 용인남사내기리 (제당하류2km)	
경기	청룡74	1:2:4170	309	54	36	50	12.5	687	1,227	진천군백곡면 구수리	안성군 신기리	
경기	마둔75	1:2:4	-	-	-	-	-	-	-	금광면 내우리앞 안성천3km	현장부근하천 3km	
경기	용담78	180	329	-	-	-	-	0.54	0.78	안성 보개면 금광리 24.5km	원삼면 가좌리 태평촌 파전리7km	
경기	용설85	180	322	53	39	40	7.5	730	1,143	충북중원군가금면가 흥리,양성면 조천리	안성군일죽면방초리(오 방동),화곡리(평촌동)	
경기	용설85	180	329	54	43	25	7.5	791	1,046	"	"	
충남	장계86	180	322	53	39	40	7.5	730	1,143	"	"	
충남	장계86	180	329	54	43	25	7.5	791	1,046	"	"	
충남	두창92	210	320	50	42	25	7.5	754	1,068	용인외사박곡산44-1 입(갯자갈)	안성군일죽면 방초리(청미천)	
충남	두창92	180	306	49	38	40	7.5	699	1,174	"	"	
충남	두창92	180	310	51	42	25	7.5	759	1,076	"	"	



< 사진 3.1.2.1 > 전북 전주 괴목 '78 예비조사 (여수토 방수로)



< 사진 3.1.2.2 > 전북 전주 '86 예비조사  
(여수토 방수로)



< 사진 3.1.2.3 > 충북 괴산 신항 '85 예비조사 (여수토 방수로)



< 사진 3.1.2.4 > 충남 천안 입성지 '72 예비조사 (여수토 방수로)

### 3. 현장 정밀조사

#### 가. 정밀조사 위치

예비답사자료를 분석하여 정밀현장조사에 대비한 접근 용이성, 코어채취 공간의 확보 용이성, 정밀조사시 연구목적에 적합한 자료의 확보 가능성, 사용연한의 균등분배, 지역적 분배성을 고려하여 100개의 정밀조사 대상지구를 선정하였다. 선정된 지구를 도별로 정리한 것이 < 그림 3.1.3.1 >~< 그림 3.1.3.6 >이며, 도별 위치, 저수지명, 코어채취위치를 연차별로 정리하여 < 부록 2 >에 수록하였다.

#### 나. 정밀조사 내용

정밀현장조사 대상 100개 구조물 중 1차 년도에 30개지구, 2차년도에 60개지구, 3차년도에 10개지구를 현장정밀 조사하였다. 현장정밀조사시 조사내용은 문헌조사와 시료채취로 나누어 실시하였는데, 문헌조사는 예비조사자료를 기초로 설계기준강도, 배합강도 등의 설계자료 재차 확인조사와 구조물 콘크리트에 사용된 골재원 조사이며, 시료채취는 환경시료로서 구조물 배면 흙시료와 물시료, 그리고 콘크리트 코어시료를 채취하였다.

콘크리트 코어채취는 철근탐지기로 철근위치를 탐사한 다음, 철근이 손상되지 않도록 부위를 마크하고 코어를 채취하였으며, 코어를 채취한 부분은 무수축 모르타르와 초속경모르타르를 사용하여 보수하였다. 콘크리트 코어는 구조물당 6개를 채취하였으며, 이중 3개는 압축강도측정용, 1개는 염소이온투과성 실험용, 1개는 투수실험과 공극량 측정용, 나머지 한 개는 화학분석용으로 사용하였다. 현장측정으로는 콘크리트 코어채취시 철근의 손상을 피하기 위한 철근탐지, 콘크리트 비파괴시험으로 슈미트햄머 타격시험, 중성화깊이측정을 위한 지시약 분무시험을 수행하였다.

콘크리트 코어내 화학성분으로서  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Ca-K}\alpha$  등을 분석하였다. 또한, 채취한 흙시료와 물시료는 본 연구기관에서 pH,  $\text{Cl}^-$ , EC,  $\text{SO}_4^{2-}$  등을 분석하였다.

한편, 콘크리트의 복합강도 측정을 위해 실내에서 초음파측정기를 통해 코어의 초음파를 측정하여 현장 측정자료인 슈미트햄머 타격값과 조합하여 복합 비파괴 콘크리



트 코어강도를 추정하였다.

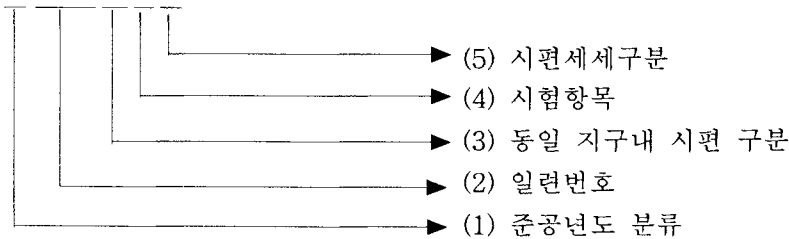
콘크리트의 중산화 정도 측정은 콘크리트 코어에 페놀프탈레인용액을 분무하여 측정하는 지시약 측정법과 시차열중량 측정법( TG/DTA )을 사용하여 측정하였다. 현장정밀조사 주요 현장 장면을 < 사진 3.1.3.1 >에 담아보았다.

### 다. 시험체 명명

예비답사를 통해 정밀조사 대상지구로 선정한 100지구의 정밀조사 자료를 시험항목별로 일목요연하게 관리하기 위해 다음과 같은 코드를 정하여 시험체를 명명하기로 하였다.

예)

**A0011C1**



(1) 준공년도 분류

준공년도	구분
60~70	A
71~75	B
76~80	C
81~85	D
86~92	E

(2) 일련번호

준공년도	일련번호
60~70	001~020
71~75	021~040
76~80	041~060
81~85	061~080
86~92	081~100

(3) 동일 지구내 시편 구분

- 콘크리트코어 경우 : 1지구내에 5~9개의 시편을 채취했는데 그 시편을 1~9번으로 구분
- 잔골재, 굵은골재의 경우 : 동일 시료가 1개 또는 2개 이상인 경우, 2로 표기, 없는 경우 1로 표기하여 구분

(4) 시험항목

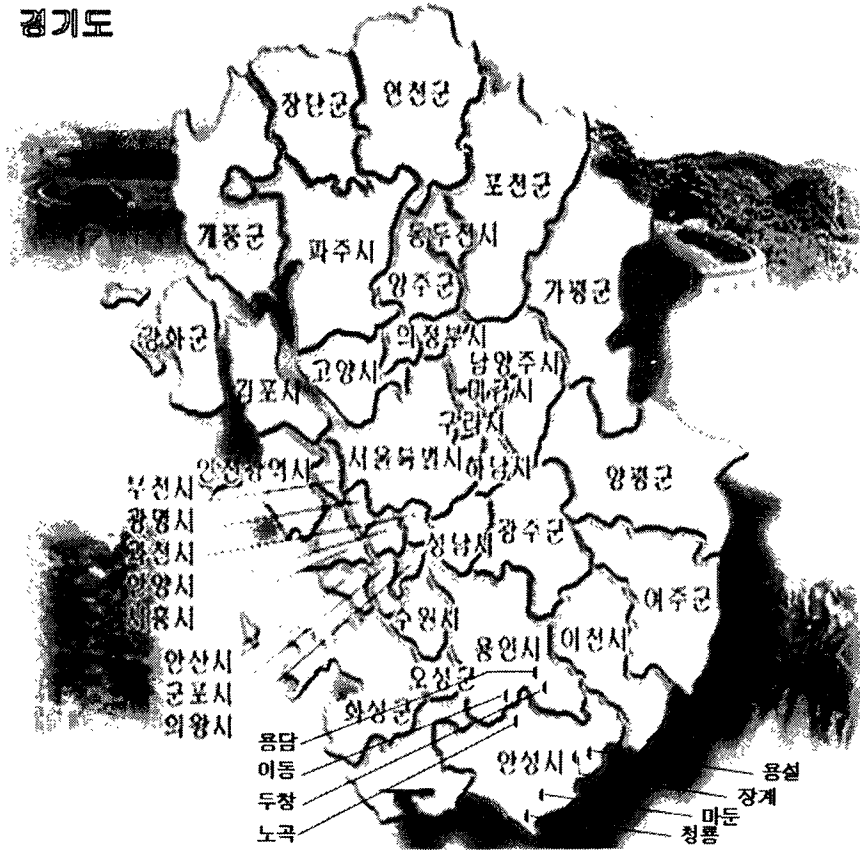
시 험 항 목	구 분
동양중앙연구소(콘크리트분석:TG/DTA)	D (Dong yang)
염소이온투과시험	C (Chloride penetration test)
초음파시험	U (Ultra Sonic test)
투수성/총공극량	P (Penetration test)
압축강도	F (Fracture strength)
XRF	X (X-ray fluorescence)
잔골재	S (Sand)
굵은골재	G (Gravel)

(5) 시편 세세구분

동일 시험 항목내 시편(시료) 구분

- 동일 시료내 구분이 있는 경우 1, 2, 표기
- 없는 경우 모두 0으로 표기
- 상, 중, 하 구분은 각각 1, 2, 3으로 구분

# 경기도

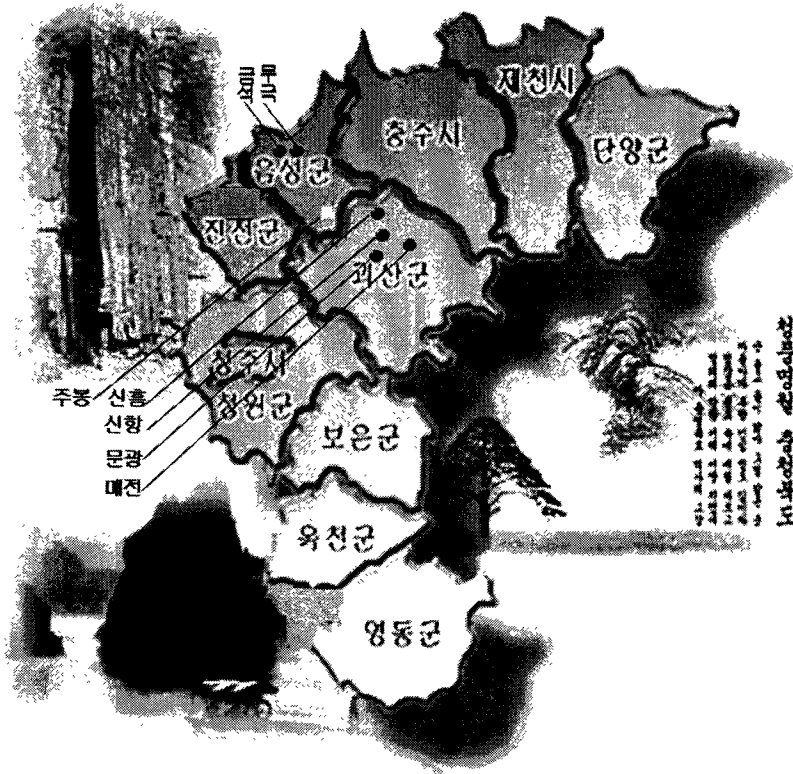


< 그림 3.1.3.1 > 경기도내 정밀조사 대상지구

## ○경기(8개 지구)

구 분	경 기	
지 부	소계	기 호
총 계	8	8
66-70	1	노곡 68
71-75	3	이등 72, 청룡 74, 마둔 75
76-80	1	용담 78
81-85	1	용설 85
86-90	2	장계 86, 두창 92

## 충청북도



< 그림 3.1.3.2 > 충청도내 정밀조사 대상지구

○충북( 7개 지구)

\* 3차년 : 2002년 정밀조사대상지구

구 분	충 북		
	소계	음성	괴산
총 계	7	3	4
66-70	0	-	
71-75	0	-	
76-80	2	-	문광78(3차년), 매전78(3차년)
81-85	2	무극82연(3차년), 금석82연(3차년)	
86-90	3	주봉86	신흥(3차년), 신항(세평)85(3차년)

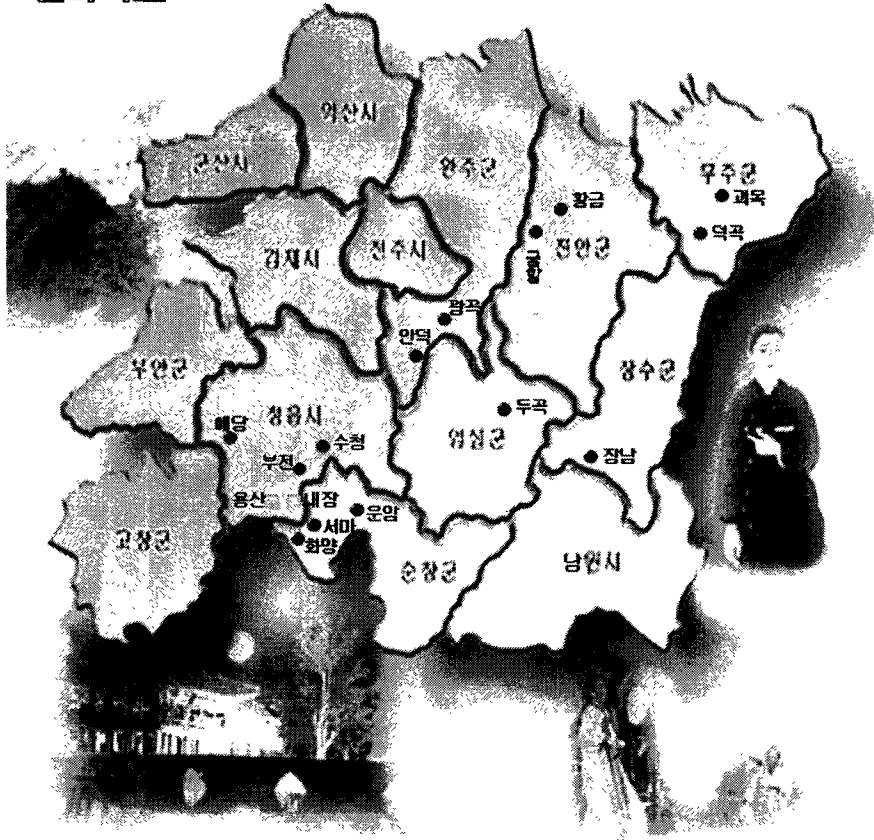


< 그림 3.1.3.3 > 충청남도내 정밀조사 대상지구

○ 충청(22개 지구)

구 분	충 청 남				
	소계	서산	천안	홍성	공주
총 계	22	8	4	4	6
66-70	5	부성암(산수)62, 성암 67, 고남(성연)68	용연(목천)66		계룡64
71-75	3		업성지72, 울금(석곡)72 성거(천홍)73		
76-80	5	신창(정미)77 송현(의항)78		광천78	기산78 정안(운궁)76
81-85	5	서산(풍전)82, 대사 85, 신송(고북)85		가곡 84, 공리85	
86-90	4			광천(장곡)88	요룡 87, 월곡 88 우목(용봉)88

## 전라북도



< 그림 3.1.3.4 > 전북도내 정밀조사 대상지구

### ○전북( 16개 지구)

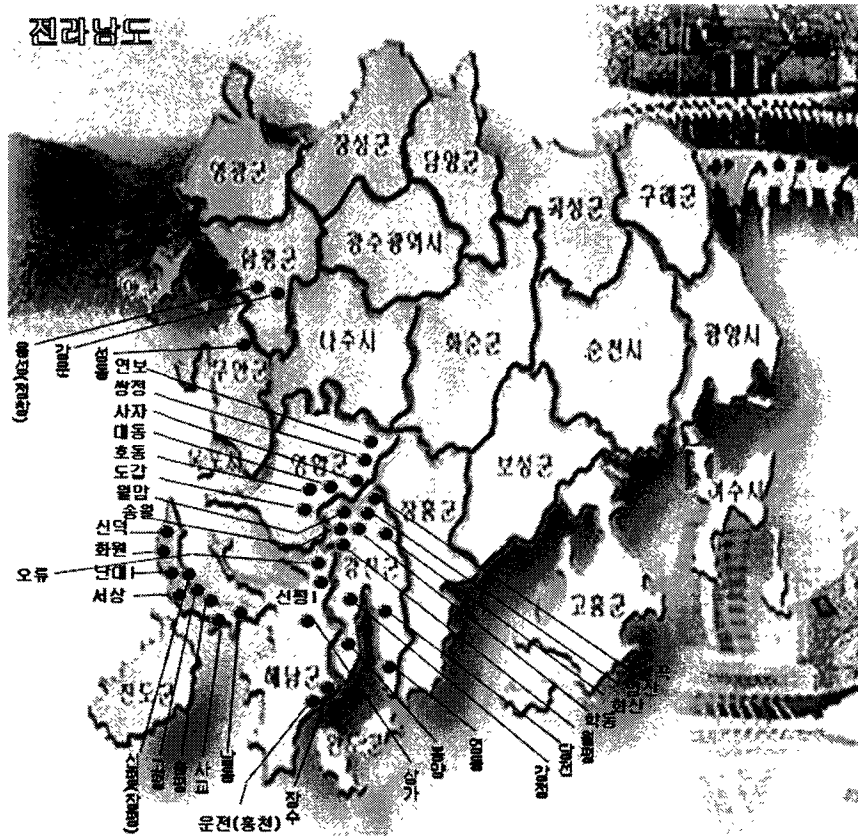
구 분	전 북				
	소계	전주	정읍	순창	남원
총 계	16	7	5	3	1
66-70	2		내장 64(3차년), 용산 66(3차년)		
71-75	5	안덕 74	애당(주동) 71	서마 72, 화양 74 운암 74	
76-80	3	황금 76, 두곡 78 괴목 78,			
81-85	2	덕산 81			장남84
86-90	4	궁항 86, 광곡 88	수청 86, 부전 86		



< 그림 3.1.3.5 > 경남도내 정밀조사 대상지구

○경남( 13개 지구)

구 분	경 남		
	소계	울산	진산
총 계	13	8	5
66-70	-		
71-75	2	척과74(3차년), 월평75(3차년)	
76-80	6	정자76, 다개78, 두산78, 인보78 고련76, 두돌76	
81-85	5		냉정, 동향, 웅석, 남성, 슬기,
86-90	0		



< 그림 3.1.3.6 > 전남도내 정밀조사 대상지구

○전남( 34개 지구)

구 분	전 남					
	소계	강진완도	해남	영암	영산강	무안신안
총 계	34	10	15	6	2	1
66-70	12	월남67, 화산69, 학동70	난대1 68, 서상 68, 장평(신평) 69 신평1 70, 강정(동령)70, 충평1 70	쌍정69, 대동69, 호동69		
71-75	7	송월 74	장수 72, 오류 75, 운전(홍천)75		강운 73, 용성(정창)75	성동 75
76-80	3	영동 78	남동 77	도갑 76		
81-85	5	당전 84	사교 83, 고평 83, 상가 84	사자 81		
86-90	7	월평90, 월곡93 봉양93, 영산93	화원 86, 신덕 86	연보 89		





(a) 여수토 옹벽 비파괴 실험



(b) 코어채취 장면



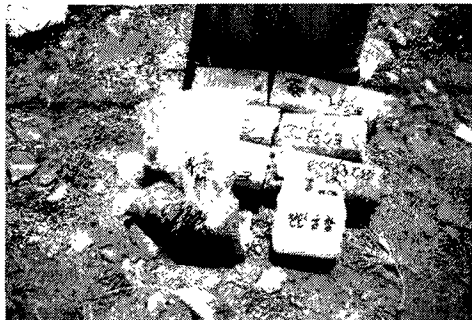
(c) 코어채취 후 복구



(d) 골재 시료 채취



(e) 흙시료 채취



(f) 채취된 시료

< 사진 3.1.3.1 > 현장정밀조사 전경

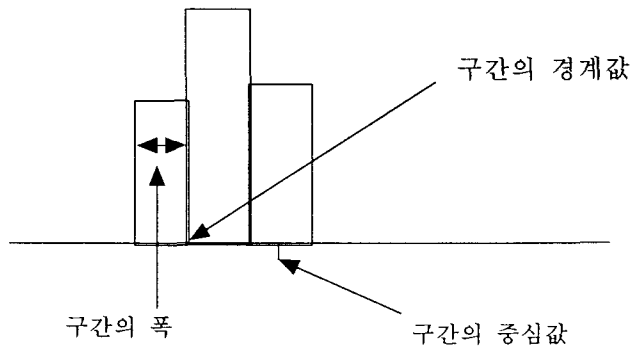
## 4. 콘크리트 코어의 역학적 특성

### 가. 코어의 압축강도와 탄성계수

현장정밀조사에서 채취한 콘크리트 코어의 역학적 특성을 분석하기 위해 KS F 2422, 2405와 KS F 2438의 규정에 따라 압축강도와 탄성계수를 측정하였다. 하중과 길이방향 변위 계측은 다이알 게이지 대신 길이변화센서(LVDT)가 부착된 콤프레소미터와 로드셀을 이용하였으며, 센서신호는 자동자료입력장치(DATA ACQUISITION SYSTEM)를 이용하여 실시간으로 측정하였다. 하중과 변위 자료를 통하여 응력-변형을 곡선을 그린 후 할선계수를 탄성계수로 하였다. 측정된 압축강도는 회귀분석을 통하여 그 분포특성을 규명하였으며, 40mm간자갈을 사용한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 상관관계를 분석하였다.

#### 1) 압축강도의 통계분석

콘크리트 코어의 압축강도는 지구당 3개를 측정하여 그 평균값을 대표값으로 하였다. < 표 3.1.4.1 >에 나타난 총 100개 지구의 압축강도 자료를 통계분석하기 구간 폭의 크기를 15로 하여 16개 계급으로 나누었다(< 그림 3.1.4.1 >참조). 각 계급별 도수와 중심값을 < 표 3.1.4.2 >와 같이 정리하였다. 도수분포를 정규분포로 바꾸기 위해 평균과 표준편차를 구하여 정규분포함수 값을 산정하여 < 그림 3.1.4.2 >와 같이 도시하였으며, 정규분포를 이루는 콘크리트 코어의 압축강도의 하위 5%의 값을 나타내기 위해 < 그림 3.1.4.3 >과 같이 도시하였다. 콘크리트의 강도분포는 70~320kgf/cm<sup>2</sup>사이에서 분포되었으며, 평균 162, 최빈 140, 표준편차 34kgf/cm<sup>2</sup>을 갖는 정규분포(Normal distribution)에 가까운 분포를 따름을 알 수 있었다.



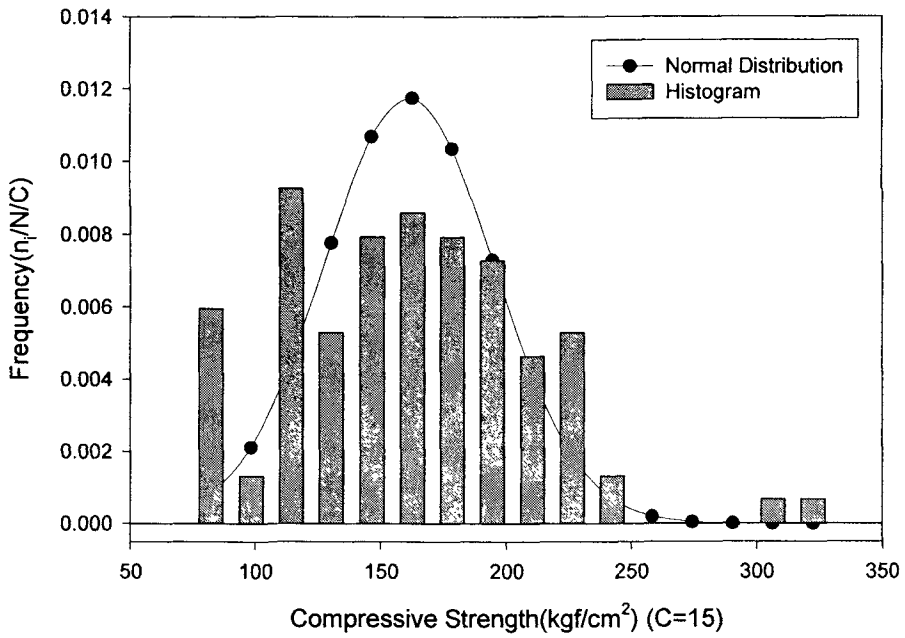
< 그림 3.1.4.1 > 히스토그램 설명

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도

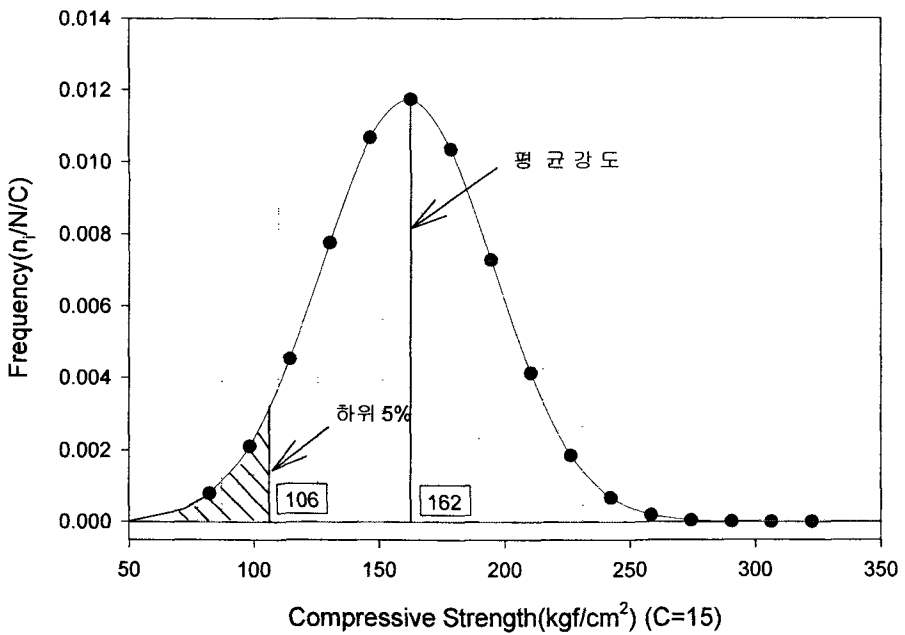
No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$	No.	$f_c$
1	73	11	101	21	116	31	127	41	147	51	154	61	168	71	181	81	194	91	216
2	74	12	106	22	117	32	134	42	148	52	154	62	168	72	183	82	200	92	216
3	76	13	107	23	119	33	135	43	149	53	155	63	170	73	184	83	202	93	217
4	76	14	110	24	120	34	136	44	150	54	155	64	170	74	185	84	203	94	219
5	79	15	111	25	120	35	138	45	150	55	157	65	172	75	186	85	204	95	224
6	82	16	111	26	122	36	139	46	151	56	160	66	172	76	187	86	205	96	224
7	83	17	112	27	123	37	141	47	151	57	162	67	173	77	191	87	205	97	226
8	87	18	114	28	125	38	141	48	153	58	165	68	173	78	191	88	207	98	232
9	90	19	115	29	126	39	143	49	153	59	166	69	174	79	192	89	212	99	294
10	94	20	116	30	127	40	144	50	153	60	167	70	174	80	193	90	213	100	315

< 표 3.1.4.2 > 코어 압축강도 분포 분석

No.	구간	중심값(M)	n	M*n	$(M - \mu)^2$	f(M)	frequency(n/N/C)
1	75~90	82.5	9	742.5	6222.054	0.00079	0.00595
2	91~105	98.5	2	197	3953.894	0.00211	0.00132
3	106~120	114.5	14	1603	2197.734	0.00453	0.00926
4	121~135	130.5	8	1044	953.5744	0.00777	0.00529
5	136~150	146.5	12	1758	221.4144	0.01068	0.00793
6	151~165	162.5	13	2112.5	1.2544	0.01175	0.00860
7	166~180	178.5	12	2142	293.0944	0.01035	0.00793
8	181~195	194.5	11	2139.5	1096.934	0.00730	0.00727
9	196~210	210.5	7	1473.5	2412.774	0.00413	0.00463
10	211~225	226.5	8	1812	4240.614	0.00187	0.00529
11	226~240	242.5	2	485	6580.454	0.00068	0.00132
12	241~255	258.5	0	0	9432.294	0.00020	0.00000
13	256~270	274.5	0	0	12796.13	0.00005	0.00000
14	271~285	290.5	0	0	16671.97	0.00001	0.00000
15	286~300	306.5	1	306.5	21059.81	0.00000	0.00066
16	301~315	322.5	1	322.5	25959.65	0.00000	0.00066



< 그림 3.1.4.2 > 콘크리트 코어 압축강도 분포



< 그림 3.1.4.3 > 콘크리트 코어 압축강도분포 분석

## 2) 압축강도와 정탄성계수의 관계

콘크리트 압축강도와 탄성계수를 관계를 회귀분석하여 콘크리트 압축강도를 통하여 탄성계수를 계산할 수 있는 회귀식을 제안하였다. 콘크리트 탄성계수는 일반적으로 사용한 굵은골재의 암질과 콘크리트의 압축강도, 비중에 따라 달라지는 특성을 갖는다. 따라서 국내외 시방규정에서는 콘크리트의 강도 크기에 따라 적용식을 달리 하고 있으며, CEB-FIP에서는 < 표 3.1.4.3 >와 같이 암질별 적용영향계수를 제안하고 있다.

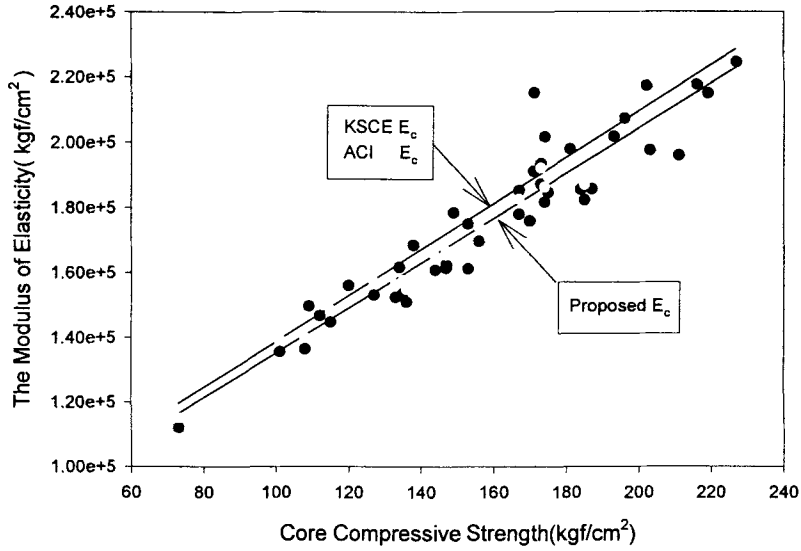
< 표 3.1.4.3 > 정탄성계수에 미치는 굵은골재의 영향

Coarse aggregate	Effect factor
Basalt, dense limestone	1.2
Quartzite	1.0
Limestone	0.9
Sandstone	0.7

본 연구 대상구조물은 준공 후 15~40년이 지난 시설물로서 여수토방수로 옹벽은 하천 강자갈( $G_{max} = 40\text{mm}$ )을 이용하여 현장에서 타설된 콘크리트 구조물로서, 설계 자료의 조사결과에 따르면 콘크리트의 설계기준강도는  $130\sim 210\text{kgf/cm}^2$ 의 범위를 갖으며, 주로  $180\text{kgf/cm}^2$ 으로 설계되어있다. 총 100개 저수지의 여수토 방수로 옹벽에서 콘크리트를 채취하였으며, 압축강도는 100개 지구에서 모두 측정하였으나, 압축강도와 탄성계수를 동시에 측정한 지구는 42개 지구이다. 탄성계수와 동시에 측정한 결과는 압축강도를 통해 탄성계수를 구하는 회귀식 도출자료로 활용되었다.

콘크리트 코어의 압축강도와 탄성계수를 동시에 측정한 자료를 < 그림 3.1.4.4 >와 같이 분석하여 압축강도를 통한 탄성계수 추정식을 < 표 3.1.4.4 >과 같이 콘크리트 표준시방서(KSCE), 미국 콘크리트시방서(ACI), CEB-FIP식들과 같이 강도와 비중의 함수로 제안할 수 있었으며, KSCE, ACI식은 제안식에서 3% 벗어나 있음을 알 수 있다. 이는 CEB-FIP에서 제안한 굵은골재의 암질에 따른 영향계수가 강자갈에서는 0.97임을 의미하며, 강자갈을 사용한 콘크리트의 탄성계수를 강도와 비중을

사용하여 계산할 경우는 압질 영향계수 0.97을 적용하여야할 것으로 판단되었다.



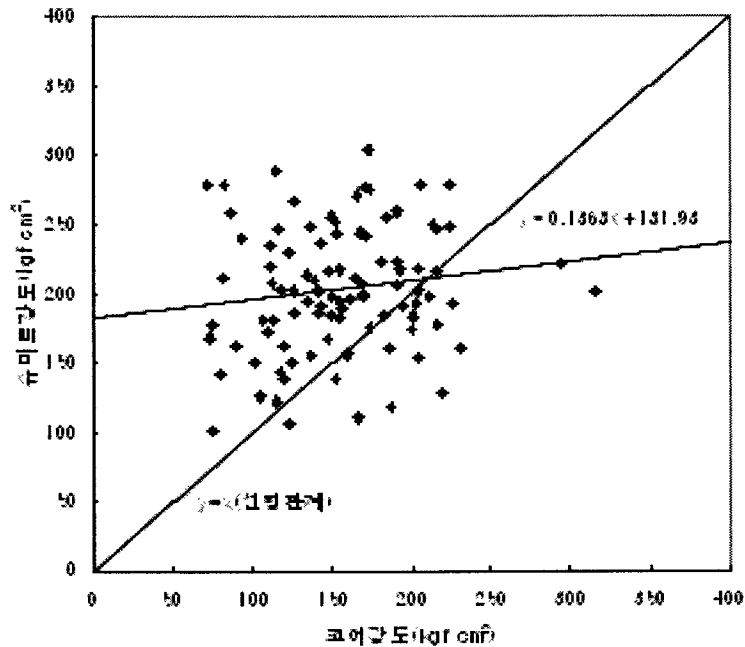
< 그림 3.1.4.4 > 콘크리트 압축강도와 정탄성계수  
( $G_{max} = 40\text{mm}$  강자갈)

< 표 3.1.4.4 > 제안식과 시방규정식의 비교

Specification	Equation
Proposed	$4,162w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
KSCE	$4,270w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
ACI	$w_c^{1.5} \times 33\sqrt{f_c'} \text{ (in psi)}$
CEB-FIP	$E_c = 2.15 \times 10^4 (f_{cm}/10)^{1/3} \text{ N/mm}^2$ , $f_{cm}$ : average compressive strength at 28days(measured value) ( $\text{N/mm}^2$ ), or $f_{cm} = f_{ck} + 8$ , coarse aggregate = quartzite

## 나. 슈미트햄머에 의한 비파괴 강도

콘크리트의 비파괴 강도를 측정하기 위해 정밀조사시 현장에서 비파괴시험장비로서 가장 많이 활용되고 있는 Schumit Hammer를 이용하여 코어 채취부위의 비파괴 압축강도를 측정하였다(<부록 5> 참조). 측정된 발발경도를 이용한 강도추정값의 신뢰도를 고려하여 콘크리트 표면에 평활작업(3mm그라인딩)으로 매끈하고 깨끗하게 처리하여 25회 타격하였으며, 측정값의  $\pm 20\%$ 이 되는 값은 버리고 나머지를 산술평균하여 값을 구하고, 타격방향 및 기타 영향인자에 대한 값을 보정하여 측정지점의 반발도를 구하였다. 코어압축강도와 슈미트햄머를 통하여 추정한 압축강도의 관계를 < 그림 3.1.4.5 >에 도시하였다. 슈미트햄머를 통하여 측정한 비파괴강도가 코어를 통하여 측정한 파괴강도보다 높게 나타남을 알 수 있다.

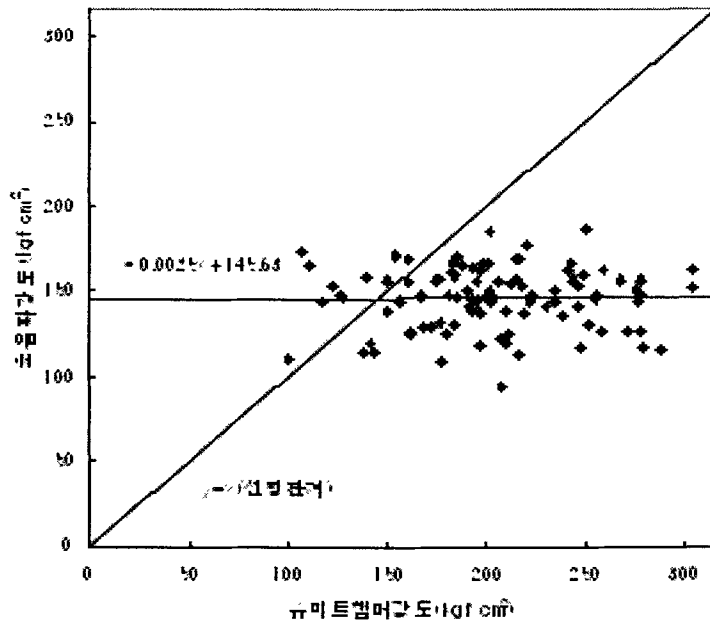


< 그림 3.1.4.5 > 콘크리트 코어 압축강도와 슈미트햄머 추정 압축강도의 관계

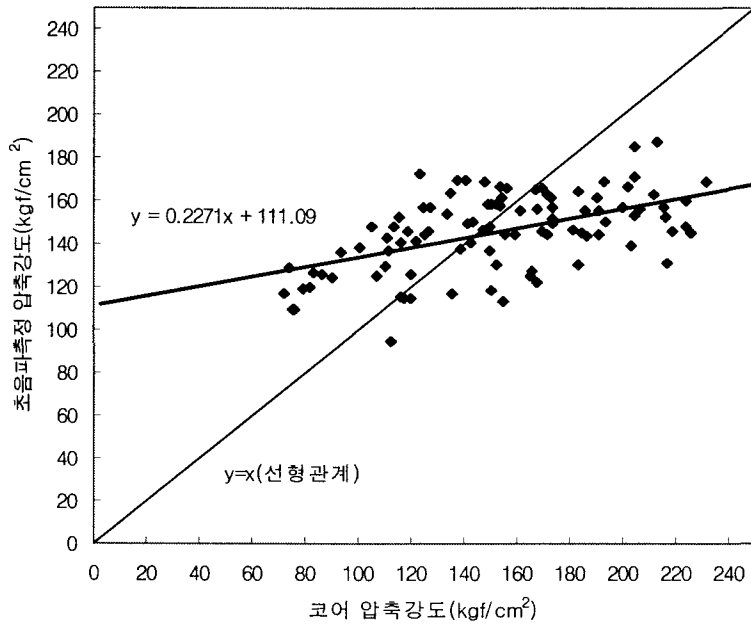


#### 다. 초음파에 의한 비파괴 강도

콘크리트의 비파괴 압축강도 측정을 위해 콘크리트 코어의 초음파속도를 측정하여 콘크리트의 압축강도를 추정하였다(< 부록 5 > 참조). 3개의 코어에서 측정한 초음파 속도의 평균값을 대표값으로 하였으며, 그 결과를 슈미트햄머의 반발도에 의해 추정한 콘크리트 압축강도와 비교하여 < 그림 3.1.4.6 > 에 도시하였다. 슈미트 햄머의 반발도에 의해 추정된 콘크리트의 압축강도가 초음파속도 값에 의해 추정된 코어 강도보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 콘크리트 코어를 통하여 측정한 강도와 초음파속도에 의해 추정한 압축강도의 관계를 < 그림 3.1.4.7 >에 도시하였다. 초음파속도에 의해 추정한 압축강도의 변화폭이 코어압축강도의 변화폭보다 작음을 알 수 있다. 즉, 강도의 변화에 따른 초음파속도의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.



< 그림 3.1.4.6 > 슈미트햄머 추정 압축강도와 초음파 추정 압축강도의 관계



< 그림 3.1.4.7 > 코어 압축강도와 초음파 추정 압축강도의 관계

## 5. 콘크리트의 중성화 특성

콘크리트는 제조 당시 강한 알칼리성(pH=12~13)을 띄는데, 이는 콘크리트중의 시멘트 광물이 물과 반응하여 수화물을 형성할 때 다량의 수산화 칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 생성되어 콘크리트 속에 남아 있으며 강한 알칼리성을 띄기 때문이다. 이 수산화칼슘은 강도발현에는 기여하지 않지만 부동태 피막(Passive Protective Oxide Film)을 형성하여 콘크리트 내부에 배근되어 있는 철근의 부식을 방지하는데 중요한 역할을 한다.

이러한 콘크리트가 중성화되어 가는 과정을 보면 대기중의 약산성 탄산가스(약 0.035%)가 콘크리트 표면에서부터 모관공극을 통해 침투하여 수산화칼슘이 용해되어 있는 콘크리트 내부의 세공용액과 접촉하면서 안정한 탄산칼슘과 물로 변화되어 탄산칼슘은 콘크리트 내부 공극벽면에 침착하여 콘크리트 조직을 치밀하게 하고, 물은 증발하거나 화학반응에 계속 사용된다. 특히, 콘크리트가 충분히 습하여 콘크리트 조직

내부에서 표면으로 잉여수가 흘러나올 때 탄산칼슘이나 나트륨, 칼륨염(알칼리 탄산염) 등이 함께 흘러나와 콘크리트 표면에 조금씩 계속 침착하여 하얀색을 띤 물흐름 모양(백화현상)을 형성하게 된다. 콘크리트 내부 공극 벽면에 침착한 탄산칼슘은 중성을 띄므로 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 변화되어가는 정도에 따라서 폐하(pH)는 점차 강알칼리성(pH=13)에서 중성(pH=8)으로 변화되어간다. 탄산가스와 물이 침투하기 쉬운 표면부터 점차 중성화된다. 이러한 중성화 과정을 통하여 콘크리트의 중성화는 콘크리트의 품질측면에서 볼 때 공극이 크고, 수밀성이 낮은 높은 물시멘트의 콘크리트와 고로슬래그미분말이나 플라이애쉬와 같은 포졸란을 혼입한 시멘트를 사용한 콘크리트에서 촉진되며, 환경측면에서 볼 때 탄산가스의 농도가 높고, 적정 습도(50~75%)가 유지되는 환경에서 촉진되는 것을 알 수 있다. 습도가 너무 높은 경우, 탄산가스가 유입되는 콘크리트의 내부 공극을 막는 효과가 있어 오히려 중성화를 저해하며, 건조와 습윤이 반복되는 환경에서 빠른 속도로 중성화가 진행된다.

콘크리트의 탄산화(Carbonation)과정에서 나타나는 중성화(Neutralization) 현상은 콘크리트 자체에는 문제가 되는 것이 아니고, 콘크리트 내부에 보강근으로 사용한 철근에 부식을 유발시키는 환경을 만들기 때문에 문제가 된다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 부동태 피막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 중성화에 의해 pH가 11보다 낮아지면 부동태 피막이 파괴되어 철근이 부식되기 시작한다. 금속의 부동태 현상은 그 성질이 복잡하고 발생 조건이 특수하기 때문에 정의를 내리기가 힘들다. 근본적으로, 부동태란 특수한 환경 하에서 어떤 금속 또는 합금의 화학반응성이 손실되는 것과 관련된다. 그리하여 기전력 계열에서는 활성인데도 불구하고 대단히 느린 속도로 부식되는 금속을 부동태금속(passive metal)이라 일컫는다. 부동태(passive)라는 말은 1836년 스위스의 Schönbein이 맨 처음 사용했는데 그는 내식상태(耐蝕狀態)의 Fe를 “부동태 상태”에 있다고 정의했다. Pourbaix에 따르면 콘크리트의 부동태피막은 폐하(pH) 10.4이하에서 파괴되어 철근의 부식이 시작된다. 강알칼리성 콘크리트가 중성화되어 폐하10.4이하로 떨어졌다는 점은 곧 탄산가스와 습기가 침투했음을 의미하는 것이다. 시멘트 화학에서 콘크리트의 탄산화 과정에서 탄산칼슘과 물이 생성되는 것으로 알려져 있다. 즉, 철근이 위치한 깊이까지 중성화가 진행되어 폐하 10.4를 나타내면 이 철근은 부식이 진행될 수 있는 환경에 노출된 것으로 볼 수 있다.

Parrott에 의하면 중성화에 의한 부식은 수분과 산소의 공급이 중요한 요소이기 때문에 상대습도 95~98%에서 가장 빠르다고 하며 상대습도 60%미만에서는 중성화가 일어나도 부식이 거의 일어나지 않는다고 한다. 철의 녹은 원래부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 체적이 팽창하여 콘크리트 내부에 균열이 발생되고, 철근의 부착강도 저하, 피복콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 내구성 측면에서 중성화를 파악하는 것이 중요하다.

콘크리트의 탄산화(carbonation)는 알칼리성인 콘크리트가 탄산가스(CO<sub>2</sub>)에 의해 탄산화되는 현상을 일컫으며, 중성화(neutralization)는 탄산가스 뿐만 아니라, 황산염 등에 의해 콘크리트의 폐하가 중성으로 되는 모든 현상을 일컫는 것으로 국내 콘크리트학회 내구성분과 위원회에서 발표한 바 있다.

콘크리트의 탄산화 깊이를 측정하는 방법은 시차열중량분석법(TG/DTA), 지시약에 의한 측정법, X선회절분석법, 현미경분석법, 화학적 분석법, 적외선흡수스펙트럼분석법 등이 있는데, 본 연구에서는 첫 번째와 두 번째 방법을 사용하여 중성화를 측정하였다.

## 가. 시차열중량(TG/DTA) 분석

### 1) 실험개요

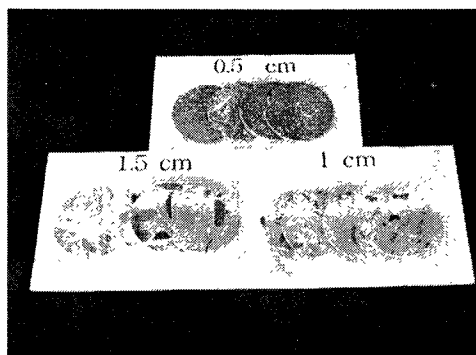
시멘트 화학에서 사용되는 방법으로서 가열 또는 냉각하는 과정에서 결정구조가 변화할 때 흡수 또는 방출하는 에너지를 열량으로 변환하는 열변화를 통해 결합수와 흡착수 등의 이탈과정의 열변화를 측정하는 방법으로, 온도변화에 따라서 일어나는 반응이 흡열인가 발열인가를 조사하는 시차열분석(DTA : Differential Thermal Analysis), 열변화에 의한 중량변화를 측정하는 열중량분석(TG : Thermo Gravimetric analysis)을 동시에 실시한다.

시멘트 수화물의 온도를 높이면 100℃부근에서 자유수의 탈수, 100~300℃부근에서 모노설페이트(mono-sulfate) 등의 탈수, 400~500℃에서 수산화칼슘의 탈수, 650~900℃에서 탄산칼슘의 탈탄산이 발생한다. 물론 시멘트 수화물의 조성은 복잡해서, 반드시 이러한 반응들만이 일어나는 것은 아니지만, 이들 반응이 지배적이므로, 시멘트 수화물에 열을 가하여 400~500℃에서 수산화칼슘의 탈수와 650~900℃에서 탄산칼슘

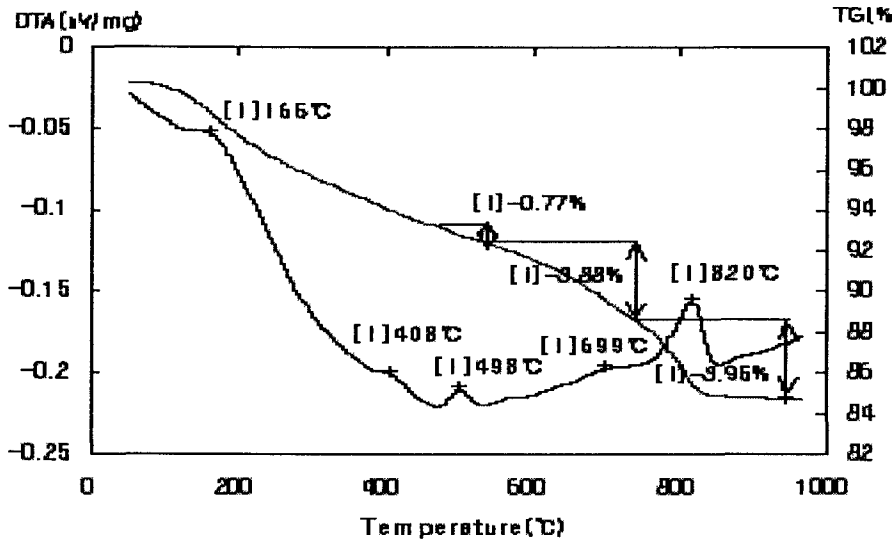
의 탈탄산 시의 중량변화를 측정함으로써  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와  $\text{CaCO}_3$ 의 정량적인 측정이 가능하다.

## 2) 실험방법

시차열중량분석을 위해 < 사진 3.1.5.1 >과 같이 코어를 대기과 접한 부분부터 0.5cm의 두께로 절단하여, 3단계의 깊이로 3개의 코어에서 절단하였다. 깊이별로 3개의 슬라이스를 잘게 부수어  $150\mu\text{m}$ 체(No.100)로 미세분말을 선별하여 시차열중량분석을 실시하였다.



< 사진 3.1.5.1 > pH, TG/DTA 분석을 위해 절단된 시험편



< 그림 3.1.5.1 > TG/DTA 분석 결과(예 : 경기 안성 노곡저수지 '68)

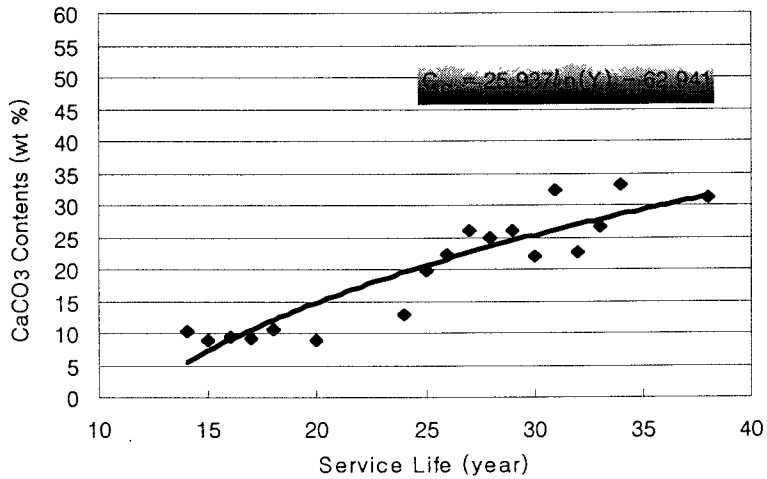
### 3) 사용연한에 따른 콘크리트의 중성화

분석대상 지구는 총 100개 지구이나 1차년도 분석시 코어의 깊이를 상·중·하로 구분하여 20cm의 코어를 삼등분하여 TG/DTA를 각각 분석하였는데 깊이별 중성화의 변화를 관찰할 수 없었다. 따라서 2차년도와 3차년도에는 0.5cm의 두께로 3개의 얇은 시편을 < 사진 3.1.5.1 >과 같이 제작하여 분석하였다. 중성화의 변화를 조사대상 구조물의 사용연한별로 정리하였는데, 동일한 사용연한의 중성화 측정값은 평균값을 대표값으로 하였다.

TG/DTA 분석을 통하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와  $\text{CaCO}_3$ 의 함량을 정량적으로 측정함으로써 중성화정도를 평가하였다. 사용연한에 따른 콘크리트 표면(깊이 0.5cm)의 탄산칼슘의 함량을 정량적으로 분석하여 그래프로 도시한 것이 < 그림 3.1.5.2 >이다. 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량변화 관계식이 식 (3.1.5.1)과 같이 도출되었다.

$$C_c = 25.937 \ln(Y) - 62.941 \quad (3.1.5.1)$$

여기서,  $C_c$  : 탄산칼슘(wt %),  $Y$  : 사용연한(년), 단,  $Y \geq 12$



< 그림 3.1.5.2 > 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량

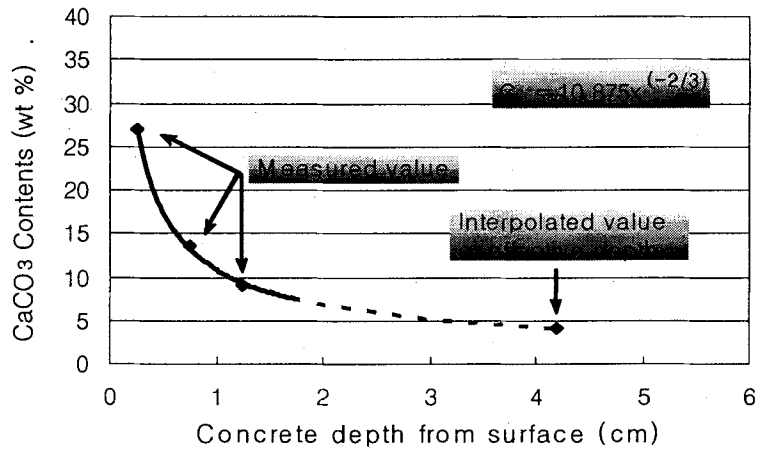
#### 4) 깊이에 따른 탄산칼슘의 함량 변화

콘크리트 코어의 표면에서부터 깊이 0.25cm, 0.75cm, 1.25cm에서 미세분말을 채취하고, 시차열중량분석법(TG/DTA)을 통하여 미세분말에 함유된 탄산칼슘( $CaCO_3$ )과 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ )의 함량을 측정하였다. 콘크리트 깊이에 따른 탄산화 정도를 알아보기 위해 깊이별 탄산칼슘의 경향을 분석하고, 그 예로서 전남지역 대동지(1969년 준공)의 콘크리트 깊이별 탄산칼슘의 함량을 < 그림 3.1.5.3 >에 도시하였다. 콘크리트의 깊이 깊어질수록 탄산칼슘의 함량은 작아지는 경향을 갖는데, 깊이(x)와 함량( $C_c$ )의 관계는 지수함수 관계임을 알 수 있었다. 70개 지구 모두에서 깊이와 함량의 관계가 지수함수를 갖는지를 분석한 결과 < 그림 3.1.5.4 >와 같이 대표함수식(3.1.5.2)로 나타낼 수 있었다. 대동지의 경우 깊이 4.2cm에서 탄산칼슘의 함량을 추정할 결과 < 그림 3.1.5.3 >에서 보는 바와 같이 4.18wt%로 추정할 수 있었다.

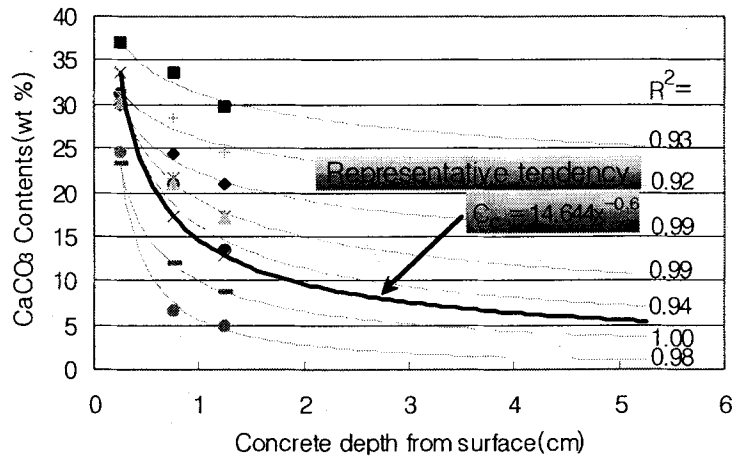
임의의 깊이에서 탄산칼슘의 함량을 추정하기 위해선 콘크리트 표면에서부터 깊이별 3점이상의 측정값을 통한 추세식을 통하여 추정하여야 그 신뢰도가 높을 것으로 판단된다.

$$C_c = 14.644x^{-0.6} \quad (3.1.5.2)$$

여기서,  $C_c$  : 탄산칼슘(wt %),  $x$  : 측정깊이(cm)



< 그림 3.1.5.3 > 깊이에 따른 탄산칼슘의 함량변화(샘플지구:대동지)



< 그림 3.1.5.4 > 깊이에 따른 탄산칼슘의 함량변화 (대표 경향)



## 나. 지시약에 의한 중성화 분석

### 1) 실험개요

탄산화 깊이를 측정하는 가장 간단한 방법으로 99%의 알콜에 1%의 페놀프탈레인을 용해한 지시약을 콘크리트에 분무하면 중성화된 부분은 무색, 중성화되지 않은 부분 즉, 알칼리성을 갖는 부분은 적색으로 변화되어 콘크리트표면에서 중성화된 부분까지의 깊이를 측정할 수 있는 방법이다. 일반적으로 페놀프탈레인의 지시범위는 pH 8.3~9.5의 범위에 있으며, Table 3과 같이 pH지시약에 따라 pH의 지시범위가 다르다.

< 표 3.1.5.1 > 지시약에 따른 pH 지시범위

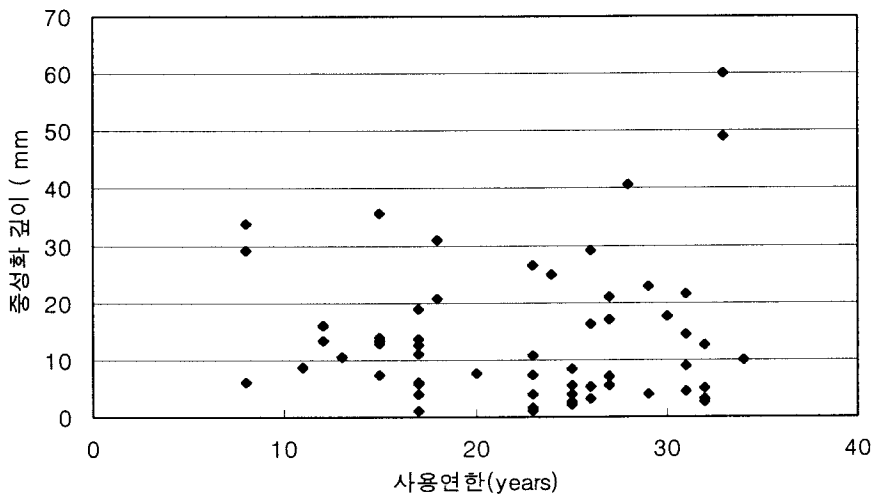
Indicator	pH range
Tropaeolin O	pH 11.1~12.7
Alizarin yellow R	pH 10.2~12.2
Thymolphthalein	pH 9.3~10.5
Phenolphthalein	pH 8.3~9.5

### 2) 실험방법

콘크리트 품질이 낮고 사용연한이 많이 경과한 구조물에서 채취한 콘크리트 코어 일수록 코어채취 일의 경과에 따라 절단면에서부터 중성화깊이를 판별하기 어렵게 된다. 코어 채취 시 발생하는 미립분이 코어 표면이나 공극에 붙어있어 색의 변화를 관찰하기 곤란하다. 따라서 할렬인장시험법과 같은 방법을 택하여 코어의 중심부를 절개한 후 콘크리트 절개면에 페놀프탈레인용액을 충분히 분무하였다. 중성화가 진행된 부분은 콘크리트의 색이 변하지 않았으며 아직 알칼리성인 부분은 적색으로 변화하였다. 버니어캘리퍼스를 이용하여 중성화된 부분의 깊이를 최대깊이, 최소깊이, 평균깊이로 나누어 측정하였다.

### 3) 결과분석 및 고찰

조사대상 구조물당 2개의 콘크리트 코어에서 측정한 중성화 깊이의 평균값을 사용연한별로 도시한 결과 < 그림 3.1.5.5 >와 같이 사용연한에 따른 경향을 찾아보기 어려웠으며, 조사대상 구조물의 설치환경적 측면을 분석한 결과 수중에 잠기는 시간이 많은 콘크리트 구조물에서는 중성화가 적게 진행되었음을 관찰할 수 있었으며, 지시약을 이용하여 측정한 중성화깊이를 통해 사용연한의 예측은 물과 항상 접하고 있는 수리구조물에서는 적용하기 어려운 것으로 판단되었다.



< 그림 3.1.5.5 > 구조물의 사용연한에 따른 중성화깊이(지시약)

#### 다. 콘크리트 코어의 산도(pH)측정

콘크리트의 pH는 콘크리트가 만들어질 당시는 강알칼리성을 띄지만 대기중의 탄산가스에 의해 중성화되어 중성을 띄게된다. 콘크리트의 pH는 콘크리트내에 수산화칼슘의 함량에 따라 달라진다. 수산화칼슘은 중성화에 의해 탄산칼슘으로 변화되고 pH도 중성으로 변화되어간다. 콘크리트가 중성화되어가는 정도를 측정하는 지표로 활용할 수 있으며, 콘크리트내에 묻혀있는 철근의 부식과 관련되는 부동태피막의 파괴 정도를 측정할 수 있다.

이러한 콘크리트의 pH를 측정하는 방법은 콘크리트가 경화하기 전에는 콘크리트의 블리딩 수를 측정할 수 있으나, 경화 후에는 고압추출법을 통해 콘크리트내의 세공용액을 추출하여 pH를 측정할 수 있다. 경화콘크리트에서 세공용액을 추출하는 방법은 고난도의 기술과 고가의 장비가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 경화콘크리트를 얇게 절단하여 미세분말로 만든 후 증류수를 사용하여 측정하였다.

### 1) pH 메타

본 연구에서 사용한 콘크리트 분말용액의 pH측정 장치는 탁상용 pH 메타로서 교정데이터를 자동으로 기억하며, 측정하고자 하는 pH범위를 미리 선정하여 그 정확도를 높일 수 있는 장비이다. 또한 온도센서가 pH프로브(전극)와 동시에 측정용액에 들어가기 때문에 온도에 따른 보정이 이루어지며, 자동 정지기능이 있어 측정값이 안정되면 자동으로 정지(Auto Hold)하여 계측값 판독이 용이하다.

### 2) 콘크리트의 깊이별 pH 측정

콘크리트의 깊이에 따른 pH값을 측정하기 위해 콘크리트 코어 3개를 표면에서부터 0.5cm간격으로 3겹 절단하여 3개의 코어에서 절단한 동일 깊이의 박편 3개를 잘게 부수어 굵은골재를 선별한 후 모르타르 부분을 조크라서에 넣고 조심스럽게 부수어 잔골재와 페이스트가 격리되도록 하였다. 잘게 부수워진 모르타르분말을 150 $\mu$ m (No.100)체로 쳐서 미세분말을 선별하였다. 한 개의 지구당 각 깊이별로 세 점의 분말 시료를 만들었으며, 미세분말 1그램(g)과 증류수 10cc를 잘 섞어 교정액으로 교정단계 를 거친 pH 메타를 통해 깊이별 pH를 측정하였다.

### 3) 중성화에 따른 콘크리트의 산도(pH) 변화

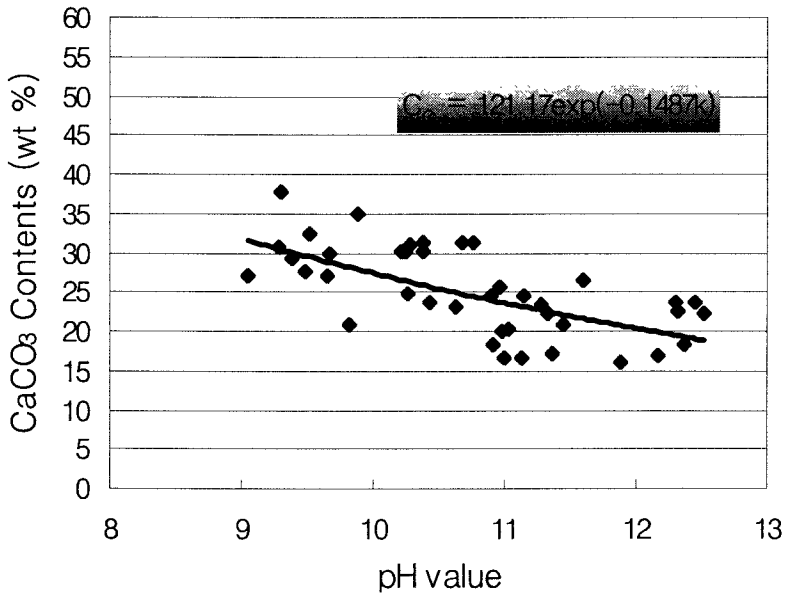
콘크리트는 배합직 후 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ )과 수산화 알칼리( $Na^+$ ,  $K^+$ )성분의 영향으로 강알칼리성(pH=13정도)을 띠는 것으로 알려져 있으며, 사용연한이 경과함에 따라 콘크리트 구조물이 처하는 여러 가지 환경여건 하에서 탄산화(중성화)가 이루어져 콘크리트내부 세공에 탄산칼슘(pH=8.5~10)이 침적하는 것으로 알려져 있다. 콘크리트가 중성화되는 유리한 조건은 습도(60 $\pm$ 5%RH), 온도(20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C)가 적정수준을 유지

하고, 탄산가스(실외 0.03%, 실내 0.1%)의 농도가 높은 경우이다.

본 연구에서는 시차열중량분석 시 채취한 미세분말시료를 증류수에 희석시켜 깊이별로 폐하를 측정하였다. 탄산칼슘의 함량과 폐하의 관계를 유도하기 위해 깊이 0.25cm인 위치의 측정값을 < 그림 3.1.5.6 >와 같이 도시하였다. 탄산칼슘의 함량과 폐하의 관계는 지수함수인 식 (3.1.5.3)과 같이 나타났다.

$$C_c = 121.17 \exp(-0.1487k) \quad (3.1.5.3)$$

여기서,  $C_c$  : 탄산칼슘(wt %),  $k$  : 폐하(pH)



< 그림 3.1.5.6 > 탄산칼슘의 함량에 따른 콘크리트의 산도변화

### 라. 잔존수명예측 모델

콘크리트의 내구성 변화중 비교적 시간에 의존적인 내구성이 중성화일 것으로 판단하고, 사용연한에 따른 중성화변화를 분석한 결과 콘크리트의 잔존수명을 예측할 수 있는 모델을 도출할 수 있었다. 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량변화, 탄산칼슘의 함량에 따른 콘크리트의 산도(pH)변화, 철근이 부식하는 임계 탄산칼슘의 함량 등을 분석하여 사용중인 콘크리트 구조물의 잔존 수명을 예측하는 모델을 제안하였다.

## 1) 유효피복덮개

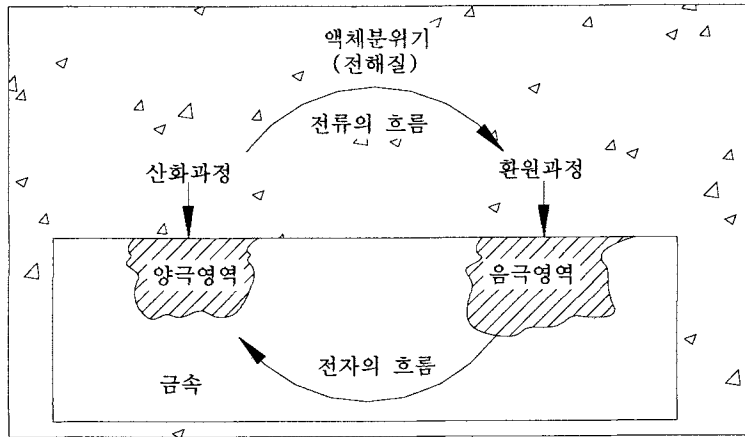
잔존수명예측을 위해선 예측대상 구조물의 유효피복 덮개 산정이 무엇보다 중요하다. 콘크리트의 유효피복 덮개는 설계시 기준이 되는 피복덮개에서 대상구조물에서 실측한 피복덮개의 표준편차를 제한 값으로 하였다. 대상구조물에서 피복덮개를 실측할 수 없는 경우 다음 기준을 적용하였다.

콘크리트 구조설계기준에 의하면 '흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트의 경우 직경 2.54cm(D25)이하의 철근에서는 최소 피복두께를 5cm로 규정하고 있다. 본 연구에서 분석대상으로 한 저수지의 여수토 방수로 옹벽의 경우, 피복두께는 5cm로 설계되고 있으며, Weyers의 연구에 의하면 시공 시 오차를 고려한 유효 피복두께는 4.2cm로 추정할 수 있다. 잔존수명예측 적용 예에서는 유효피복덮개를 4.2cm로 하였다.

## 2) 철근의 부식

콘크리트에 묻혀있는 철근의 부식은 콘크리트의 중성화로 인하여 부동태피막이 파괴됨으로서 발생하는 경우와 염소이온의 침투에 의해 발생하는 경우로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 육지콘크리트 구조물인 저수지의 콘크리트 부속구조물을 대상으로 하였기 때문에 전자의 경우만을 고려하였다.

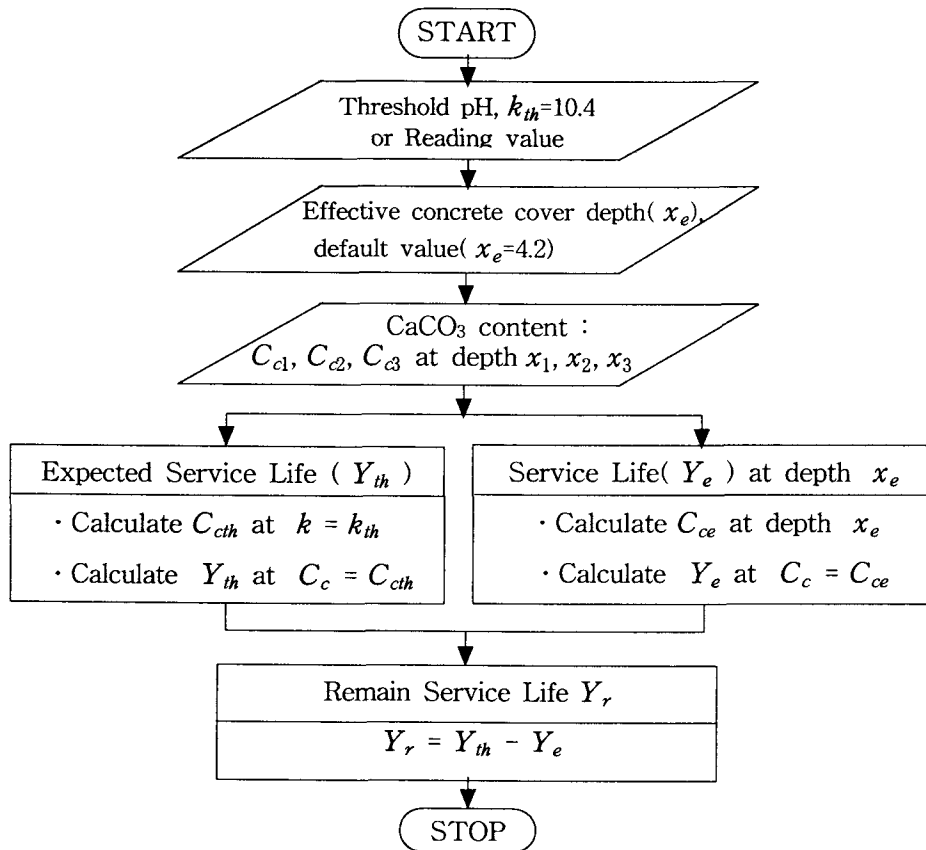
콘크리트 속에 묻혀있는 철근은 콘크리트가 강한 알칼리성을 갖기 때문에 철근표면에 부동태피막(passive protective oxide film)을 형성하여 부식에 저항하는 것으로 알려져 있다. 따라서 철근주위에 산소가 있더라도 철근은 부식되지 않는다. 그러나 콘크리트가 중성화되어 알칼리성을 잃고 중성으로 바뀌면 이 부동태 피막은 파괴된다. 본 연구에서는 부동태피막이 파괴되는 시점의 pH를 pourbaix의 연구에 따라 10.4를 적용하였다. 부식 과정의 전기화학적 성질은 < 그림 3.1.5.7 >에 나타나 있다.



< 그림 3.1.5.7 > 전기화학 부식과정 모식도

### 3) 제안모델

40mm 강가갈을 사용하여 현장에서 타설제작 된 농업용 주수원공인 저수지의 여수토 방수로 옹벽을 대상으로 콘크리트 중성화를 측정하여 콘크리트구조물의 잔존 수명을 예측하는 모델을 < 그림 3.1.5.8 >에 제시하였으며, 간략히 설명하면, 부동태 피막이 파괴되고 부식이 시작되는 pH값( $k_{th}$ )을 읽고, 콘크리트 구조물의 유효피복두께( $x_e$ )를 읽는다. 콘크리트 표면에서부터  $x_1, x_2, x_3$  깊이에서 측정한 탄산칼슘의 함량  $C_{d1}, C_{d2}, C_{d3}$ 값을 읽는다. pH값이 부식시작의 임계값인  $k_{th}$ 를 나타낼 때의 탄산칼슘의 함량인  $C_{cth}$ 를 식(3.1.5.3)을 통해 계산해낸다. 그리고 탄산칼슘의 함량이  $C_{cth}$ 일때의 사용연한인  $Y_{th}$ 를 식(3.1.5.1)을 통해 계산한다.  $Y_{th}$ 는 조사대상 콘크리트 구조물의 철근에 부식이 발생하는 시작년을 의미한다. 다음은 읽어들이 깊이  $x_1, x_2, x_3$ 와 각각의 깊이에서 탄산칼슘의 함량  $C_{d1}, C_{d2}, C_{d3}$ 의 회귀함수를 유도하고 유효깊이 ( $x_e$ )에서 탄산칼슘의 함량( $C_{ce}$ )을 추정한다(< 그림 3.1.5.3 >). 그리고 식(3.1.5.1)을 통해 유효깊이에서의 탄산칼슘의 함량,  $C_{ce}$ 가 검출될 때까지의 사용연수를 의미한다. 끝으로, 조사대상구조물의 잔존수명, 즉, 조사시점으로부터 콘크리트 내부철근에 부식이 발생하기 시작할 때까지의 잔여사용연수를 계산한다. 잔존수명  $Y_r$ 은  $Y_{th}$ 에서  $Y_e$ 를 감한 사용연수이다.



< 그림 3.1.5.8 > 잔존수명 예측 모델

## Notation

$Y$	: Service life (year)
$Y_r$	: Remaining service life
$Y_{th}$	: Threshold service life that corrosion appeared at rebar
$Y_e$	: Service life that $C_{ce}$ measured at depth $x_e$
$Y_{used}$	: Used year
$C_c$	: CaCO <sub>3</sub> content in concrete (weight percent)
$C_{ce}$	: CaCO <sub>3</sub> content predicted from regression function at depth $x_e$
$C_{cth}$	: CaCO <sub>3</sub> content when the concrete pH become $k_{th}$
$C_{c1}, C_{c2}, C_{c3}$	: CaCO <sub>3</sub> content measured at depth $x_1, x_2, x_3$
$x$	: Concrete cover depth(cm)
$x_e$	: Effective concrete cover depth
$x_1, x_2, x_3$	: Depthes that CaCO <sub>3</sub> content measured from surface in order.
$k$	: pH value of concrete.
$k_{th}$	: pH value of concrete that service life is $Y_{th}$

### 4) 모델적용

조사대상 지구 중 일부지구의 분석결과를 < 표 3.1.5.2 >와 같이 정리하였다. < 표 3.1.5.3 >는 철근이 위치한 유효깊이( $x_e$ )에서 pH( $k_{th}$ )가 10.4를 나타낼 때까지의 사용연수를 콘크리트 구조물의 공용연수로 결정하였다.

콘크리트의 유효피복 덮개( $x_e$ )는 실측덮개자료가 없어 weyers의 연구결과를 인용하여 4.2cm으로 하였다 조사대상지구의 부식시작 임계 사용연수  $Y_{cth}$ 는 30.62년으로 분석되었으며, 준공된 후 2002년까지의 사용연수를  $Y_{used}$ 로 표기하였다. < 표 3.1.5.2 >에서 서상지는 68년에 준공되었으며 깊이 1.25cm에서 pH값이 9.72, 탄산칼슘( $CaCO_3$ )의 함량이 34.23(wt%)임을 알 수 있으며 수산화칼슘( $Ca(OH)_2$ )은 검출되지 않았음을 알 수 있다. 코어강도는  $79 \text{ kgf/cm}^2$ 를 발현하고 있으며 페놀프탈레인 지시약을 사용하여 측정된 중성화 깊이는 48.98mm(평균깊이)로 측정되었음을 나타내고 있다. < 표 3.1.5.2 >에서는 서상지가 조사대상인 다른지구에 비하여 중성화가 가속되



고 있으며 추정한 잔존수명보다 짧아질 확률이 있음을 알 수 있다. 또한 잔존수명이 음의 값을 갖는 것은 이미 같은 햇수만큼의 기간동안 철근에 부식발생이 진행되고 있음을 의미한다. 반면 대상지는 33년 된 저수지로서 조사대상지구의 평균적 기준으로 볼 때 2.38년간 철근에 부식이 진행되어야 하나 계측한 결과 잔존수명이 17.32년이나 남아 있는 것으로 계측되었으므로 평균보다 중성화 진행이 더디게 일어나고 있으며 추정된 잔존수명보다 길어질 확률이 클 것으로 판단할 수 있다. 준공된 지 1년 차이 밖에 나지 않은 서상지에 비해 대동지의 콘크리트 압축강도가 76% 더 높다는 점이 이러한 결과를 잘 설명해주고 있다.

< 표 3.1.5.2 > 실험결과와 예측 잔존수명(일부분)

Province	The name of reservoir	Completion year	pH value			Calcium Carbonate(wt %)			Calcium Hydroxide (wt %)			Core strength	Carbonation depth
			0.25	0.75	1.25	0.25	0.75	1.25	0.25	0.75	1.25		
Chonnam	Seasang	68	9.3	9.72	9.72	37.73	35.34	34.23	0.00	0.00	0.00	79	48.98
Chonnam	Daedong	69	9.05	9.81	11.99	27.06	13.71	9.12	0.00	2.34	3.62	139	-
Chonnam	Ohryu	75	10.38	11.3	12.25	31.27	25.52	17.90	0.00	3.74	3.33	127	29.13
Chonbuk	Ducsan	81	9.65	11.36	11.41	27.04	14.26	10.35	0.00	3.62	3.82	141	7.50
Chonnam	Walpung	90	10.73	11.81	12.62	36.68	26.59	15.19	0.00	4.15	4.65	165	8.70

\* Unit : Concrete core strength : kgf/cm<sup>2</sup>, Carbonation depth( average depth) : mm, Remaining service life : year, Measuring depth : 0.25, 0.75, 1.25cm

< 표 3.1.5.3 > 예측 잔존수명을 통한 진단

The name of reservoir	Used year	$Y_{th} - Y_e$	$Y_{th} - Y_{used}$	Diagnosis of current status
Seasang	34	-8.01	-3.38	Accelerated
Daedong	33	17.32	-2.38	Retarded
Ohryu	27	11.85	3.62	Retarded
Ducsan	21	16.85	9.62	Retarded
Walpung	12	14.43	18.62	Accelerated

## 6. 콘크리트 코어의 화학성분 분석

### 가. 코어의 화학성분 분석

콘크리트 코어의 화학분석은 중성화분석과 pH측정 시 채취한 시료의 일부를 이용하여 XRF로 분석하였다. XRF는 가압성형 분말시료와 글래스비드시료 두 종류를 사용할 수 있는데 본 연구에서는 글래스 비드를 제작하여 성분분석하였다. 콘크리트 코어내 화학성분으로서  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  등을 분석하여 < 표 3.1.6.1 >에 일부분을 나타냈으며, < 부록 3 >에 전문을 수록하였다.

< 표 3.1.6.1 > 콘크리트 코어의 화학성분 분석 결과(일부분-부록3 참조)

No.	신일련번호	콘크리트 코어 화학성분				
		$K_2O$	$Na_2O$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$MgO$
1	A001	0.9366	0.0105	0.8601	1.5752	0.0298
2	A002	0.8200	0.0123	0.8244	1.5715	0.0266
3	A003	0.7632	0.0089	0.9406	1.4849	0.0366
4	A004	1.0846	0.0130	0.8225	1.7160	0.0321
5	A005	0.8500	0.0140	1.2127	2.4563	0.0520
6	A006	1.0730	0.0130	1.0671	1.7545	0.0355
7	A007	0.6463	0.0079	0.9153	2.2115	0.0546
8	A008	0.7181	0.0132	0.9735	2.0344	0.0361
9	A009	0.9479	0.0072	0.9575	1.9613	0.1077
10	A010	0.7438	0.0090	1.0516	2.4047	0.0590

### 나. 설치 환경 자료 분석

현장 정밀조사시 채취한 흙시료와 물시료는 공인시험기관인 본 연구기관에서  $pH$ ,  $Cl^-$ ,  $EC$ ,  $SO_4^{2-}$ 등을 분석하였으며, 그 결과를 < 부록 3 >에 수록하였다.

< 표 3.1.6.2 > 구조물 배면의 흙, 물시료의 화학성분분석 결과(일부분-부록3참조)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과						
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	Cl <sup>-</sup> (습식법) ppm	SO <sub>4</sub> (습식법) ppm	IC(SO <sub>4</sub> ) ppm
1	경기	기호	노곡	68	6.23	168.4	17.6	69.4	-	0.28	3.20	1.85	113.28	88.99	89.09
2	경기	기호	이동	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	경기	기호	청룡	74	6.54	71.9	23.8	56.2	-	0.54	1.95	1.39	69.03	66.96	66.55
4	경기	기호	마둔	75	6.40	142.4	20.6	17.9	-	0.32	1.75	0.42	61.95	19.97	19.61
5	경기	기호	용담	78	6.32	100.8	25.6	21.8	-	0.47	2.00	0.61	70.80	29.45	30.26
6	경기	기호	용설	85	6.74	75.6	23.1	75.2	-	1.79	3.60	2.13	127.44	102.48	103.49
7	경기	기호	장계	86	6.60	101.6	22.5	29.1	-	0.65	1.85	0.67	65.49	32.38	32.39
8	경기	기호	두창	92	6.21	78.0	19.2	61.1	-	1.16	1.85	1.70	65.49	81.75	81.76
9	충남	천안	용연	66	6.59	76.6	317.0	43.3	-	1.78	8.40	1.14	297.36	54.52	54.52
10	충남	천안	업성	72	6.64	177.1	46.3	97.9	-	0.64	3.80	2.80	134.52	134.17	134.19

## 7. 콘크리트 코어의 배합비 역추정

기 시공된 콘크리트 구조물로서 설계자료가 충분하지 못할 경우 콘크리트의 열화이력에 대한 원인규명이 어려운 경우가 많다. 본 연구에서 정밀분석 대상구조물인 여수토방수로 옹벽의 열화 원인에 대한 규명자료로 활용코자 배합비의 역추정을 실시하였다. 경화된 콘크리트의 배합비를 역추정하기에는 여러 가지 어려운 점이 있으나 최근 분석장비의 발달로 인하여 물리·화학적인 방법을 동원하여 배합비를 분석하고 있다. 본 연구에서는 제 3 절에서 배합비 역추정에 대한 기법연구를 상세히 다루었으며, 본 항에서는 현장정밀조사시 채취한 콘크리트 코어를 대상으로 배합비를 분석하였다. 먼저, 현장에서 채취한 콘크리트 코어가 강자갈로 이루어진 점을 고려하여 강자갈로 배합한 콘크리트의 수화수량 정량화를 실시하고, 코어를 대상으로 배합비를 추정하였다.

## 가. 콘크리트의 수화율

콘크리트의 양생과정에서 생성되는 고품 수화생성물의 중량을 산정하기 위해 제 3 절 4항 ‘시멘트의 수화’ 편에서 수화수량 정량화 실험을 수행하였으며, 본 연구에서 조사대상으로 한 여수도 방수로 용벽의 콘크리트가 강자갈을 사용한 콘크리트인 점을 고려하여 김포시 한강변에서 생산하는 강자갈을 구입하여 강자갈을 굵은골재로 한 콘크리트를 대상으로 수화반응시 생성되는 고품 수화생성물의 중량비를 시멘트비율로 산정하였다. 실험에 사용한 콘크리트의 배합비는 < 표 3.1.7.1 >과 같으며, 시험체 제작은 코어의 배합비와 가장 유사할 것으로 조사된 시험번호 51, 54, 57을 각각 2~3개씩 제작하였다. 콘크리트의 수화는 경우에 따라 다르지만 장기간에 걸쳐 이루어지는 것으로 알려져 있다. 그러나 표준양생 시 재령 28일까지 약 90~95% 정도의 수화가 이루어지는 점을 고려하여 실험재령을 28일로 하였다. 실험체는 압축강도시험용 표준공시체인 15×30cm를 사용하여 제작하였다. 재령28일에 표건중량, 노건중량, 수중중량을 측정하여 공시체의 부피를 계산하였다. 실험용 공시체 1개에 해당하는 양의 콘크리트를 제작하는데 필요한 시멘트량, 굵은골재량, 잔골재량을 계산하고, 노건중량에서 이들 각 계산량을 모두 제하면 콘크리트가 28일 동안 수화되면서 생성된 2차 수화생성물의 중량을 산정할 수 있다. 수화생성물의 중량을 시멘트대비로 나타낸 것이 수화율이다. 강자갈을 사용하여 제작한 콘크리트의 수화율은 물시멘트비 51~57%에서 평균 39.4%로 나타났다. 수화생성물의 시멘트 대비 중량비를 실험하는 일련의 과정을 < 표 3.1.7.2 >로 정리하여 나타내었다.

< 표 3.1.7.1 > 콘크리트의 배합설계표(40mm-강자갈)

시험 번호	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )				
						물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제 (C×%)
42	40	15±2.5	2.0	42	35.8	176.99	421.40	628.02	1168.26	0
45	40	15±2.5	2.0	45	36.2	177.59	394.64	642.46	1174.58	0
48	40	15±2.5	2.0	48	36.6	178.19	371.22	656.07	1178.90	0
51	40	15±2.5	2.0	51	37.0	178.79	350.56	668.97	1181.59	0
54	40	15±2.5	2.0	54	37.4	178.59	330.73	676.29	1178.02	0
57	40	15±2.5	2.0	57	37.8	178.19	312.62	689.57	1180.83	0

< 표 3.1.7.2 > 콘크리트 수화율 산정

w/c (%)	표건 중량 (a)	노건 중량 (b)	(a)/(b)	수중 중량 (c)	부피 (ml)	시멘트 중 량 (d)	굵은골 재중량 (e)	잔골재 중 량 (f)	잔량 (g=b-d -e-f)	수화량 (h)	수화율 (h/d*100) (%)	비고
51	12,569.6	12,175.9	0.968	7,304	5,266	1,845.9	6,221.8	3,522.5	4,108.2	585.7	31.7	· 평균수화 율:39.4%  · 단위:g  · 비중:2.39
	12,643.1	12,295.1	0.972	7,347	5,296	1,856.7	6,258.2	3,543.1	4,180.2	637.1	34.3	
54	12,718.9	12,357.0	0.971	7,391	5,328	1,762.2	6,276.7	3,603.4	4,318.2	714.8	40.6	
	12,693.0	12,345.2	0.972	7,376	5,317	1,758.6	6,263.9	3,596.0	4,322.7	726.7	41.3	
57	12,695.4	12,311.1	0.969	7,377	5,318	1,758.9	6,265.1	3,596.7	4,287.1	690.4	39.3	
	12,611.4	12,269.8	0.973	7,328	5,283	1,651.6	6,238.5	3,643.1	4,379.7	736.7	44.6	
	12,807.5	12,452.6	0.972	7,442	5,365	1,677.3	6,335.5	3,699.7	4,439.9	740.1	44.1	

## 나. 배합비 역추정

콘크리트 코어의 배합비를 역추정하는 데는 제 3 절의 배합비 역추정 기법이 적용되었다.

시멘트함량추정을 위해 중성화 및 pH분석 시 가공한 미세분말의 일부에서 글래스 비드를 제작하여 X-선 형광분석기로 시멘트함량을 추정하였으며, 굵은골재량은 일차

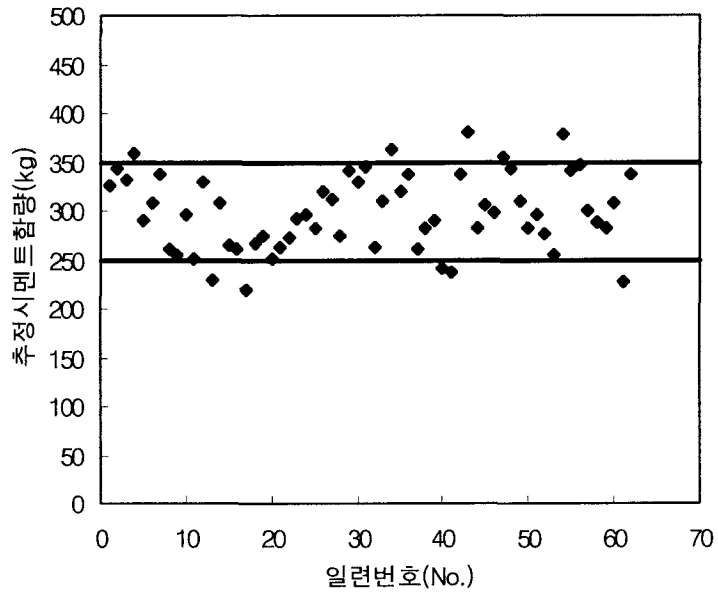
적으로 콘크리트코어의 표면을 스케치하여 캐드를 이용하여 면적비를 산정하고 이를 체적비로 하였다. 굵은골재량을 추정하기 위해 현장 정밀조사시 채취한 굵은골재의 물리성 자료(< 부록 4 >) 중 비중과 스케치로 산정한 체적비를 통해 계산하였다. 물리성 자료는 구조물에 사용되었을 가능성이 가장 큰 골재장(하천 등)에서 채취한 골재의 실내분석 자료이다. 코어의 직경과 높이를 측정하여 부피를 계산하고, 중량을 측정하였다. 수화량 산정은 선행 실험을 통해 얻은 수화생성물의 평균 중량비 39.4%를 적용하여 추정된 시멘트량에 의해 결정되도록 하였다. 잔골재량은 코어의 건조중량에서 추정된 시멘트, 굵은골재, 수화량을 모두 제하여 산정하였다. 코어의 배합비역추정에 사용된 자료와 추정결과의 일부를 < 표 3.1.7.3 >에 나타냈으며, < 부록 7 >에 모두 수록하였다.

콘크리트 코어의 시멘트 함량은 < 그림 3.1.7.1 >과 같이 250~350kg사이에 분포함을 알 수 있었다. 현장정밀조사시 설계자료를 조사하여 얻은 < 표 3.1.2.1 >에서의 시멘트량보다 적은 것으로 나타났다.

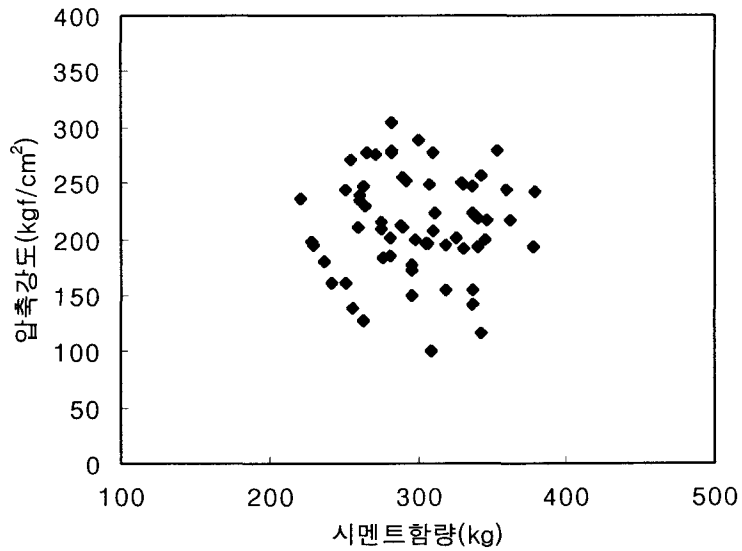
콘크리트의 압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 시멘트의 량으로 볼 수 있다. 따라서 추정시멘트 함량과 코어의 압축강도를 < 그림 3.1.7.2 >와 같이 도시하여 보았다. 콘크리트의 압축강도와 추정 시멘트량의 관계점이 한곳에서 군을 이루고 있는 것은 정밀조사대상 구조물인 저수지 여수토 방수로 옹벽의 콘크리트 구조물의 배합이 거의 유사하였음을 의미하는 것으로 판단할 수 있다.

<표3.1.7.3> 콘크리트코어의 역추정 배합비(일부분:부록7참조)

도별	저수지명	용적비 (%)	Ca세기	굵은골재 비중	단위용적 중량 (t/m <sup>3</sup> )	수화량 (kg)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )		
							시멘트	굵은골재	잔골재
충남	부성암(산수)	31.3	3.159	2.56	2.37	128	326	802	1114
충남	성거(천홍)	30.7	3.353	2.65	2.21	135	343	813	916
전남	송월	42.1	3.216	2.54	2.31	130	331	1070	781
전북	안덕	32.9	3.526	2.54	2.20	142	359	836	865
전북	운암	55.2	2.775	2.44	2.23	114	290	1348	478
경남	척과	37.6	2.974	2.61	2.23	122	308	982	818
경기	청룡	34.4	3.281	2.61	2.28	133	337	898	908
전북	화양	45.5	2.447	2.44	2.26	102	260	1111	787
경기	마둔	50.1	2.400	2.6	2.32	101	256	1303	665
전남	성동	53.5	2.833	2.48	2.30	116	295	1326	559
전남	오류	48.9	2.352	2.49	2.23	99	251	1218	662
전남	용성(정창)	50.7	3.210	2.48	2.32	130	330	1257	599
전남	운전(홍천)	49.5	2.119	2.63	2.31	91	230	1303	683



< 그림 3.1.7.1 > 콘크리트 코어의 추정시멘트 함량 분포



< 그림 3.1.7.2 > 추정시멘트 함량과 압축강도의 분포



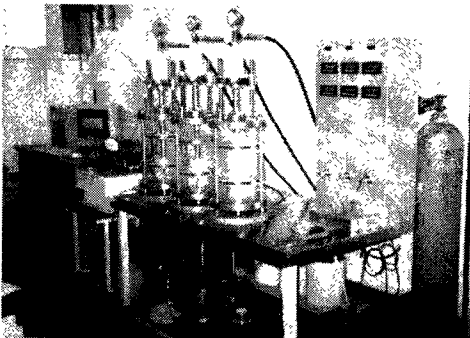
## 8. 콘크리트 투수실험

### 가. 콘크리트 투수실험

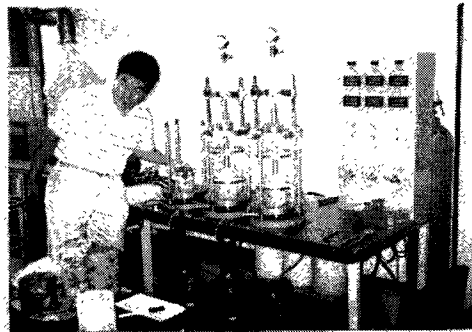
콘크리트코어 투수계수는 코어의 내부에 1인치의 홀을 드릴을 이용하여 만든 후 홀내부에 수압을 가하여 콘크리트 표면으로 투과된 물이 흘러나오도록 한다. 흘러나온 물은 집진될 수 있도록 제작된 바닥판을 지나 고정도의 저울에 의해 개량될 수 있도록 구성되어있다. 코어의 높이가 일정하지 않더라도 실험이 가능한 시스템으로 구성되어있다.

홀 내부의 수압, 투과된 수량, 투과시간, 투과거리를 계측하여 투수계수를 산정한다. 본 연구에 사용된 시험장치는 총 3개의 셀로 이루어져 있으며 최대 수압  $40\text{kg/cm}^2$ 까지 재하할 수 있다.

시스템은 < 사진 3.1.8.1 >과 같으며 콘크리트의 품질을 평가할 수 있는 기초자료로 활용하기 위해 정밀조사 대상지구에서 채취하여온 콘크리트 코어를 대상으로 투수계수를 측정하여 그 자료를 수집하고 있으며, 콘크리트의 품질에 따라 소요되는 시간의 차이가 상이하였으며, 분석된 자료는 < 표 3.1.8.1 >과 같다.



(a) 투수실험장치 설치전경



(b) 투수실험을 위한 시험체 설치중

< 사진 3.1.8.1 > 투수 시험 장치

< 표 3.1.8.1 > 투수계수 시험결과

도별	저수지명	준공년도	명명자(舊)	투수계수(cm/sec)	코어강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
충남	부성암(산수)	'62	A001	K=2.73*E-08	315
충남	계룡	'64	A002	K=7.39*E-03	153
충남	용연(목천)	'66	A003	K=3.17*E-05	202
충남	고남(성연)	'67	A005	K=1.97*E-04	174
경기	노곡	'68	A006	K=2.57*E-06	115
경기	용담	'78	C042	K=6.49*E-05	114
충남	장곡(광천)	'78	C045	K=2.18*E-05	154
충남	기산	'78	C046	K=4.55*E-05	186
충남	서산(풍전)	'82	D061	K=5.13*E-07	217
충남	신송(고북)	'85	D065	K=1.13*E-06	149
충남	우목(용봉)	'87	E083	K=1.95*E-04	134
충남	광천	'88	E084	K=2.95*E-07	187

## 9. 내구성 증대 방안

코어의 압축강도 분포분석(<그림 3.1.4.3 >), 조사된 설계자료(< 표 3.1.2.1 >)와 재현배합강도(< 그림 3.2.2.15 >)를 종합 분석하면 설계자료에서 설계기준강도로 가장 많이 조사된 자료는 설계기준강도 180kgf/cm<sup>2</sup>으로 되었으나, 현장정밀조사에서 채취한 콘크리트 코어의 압축강도는 평균 162kgf/cm<sup>2</sup>, 표준편차 34kgf/cm<sup>2</sup>로 분석되었으며, 하위 5%는 106kgf/cm<sup>2</sup>으로 분석되었다. 또한 배합비 역추정 기법을 통하여 추정된 대표 배합비로 재현된 콘크리트 압축강도는 재령 28일에서 196kgf/cm<sup>2</sup>으로 추정되었다. 설계당시 기록된 자료의 배합비가 콘크리트 타설시 그대로 반영되지 않았다고 한다면 배합비 역추정에서 추정한 배합비로 재현한 콘크리트 압축강도가 설계당시의 콘크리트 초기강도로 볼 수 있다. 초기강도 196kgf/cm<sup>2</sup>은 사용연한 10~35년 동안에 코어의 평균강도 162kgf/cm<sup>2</sup>로 낮아진 것이다. 약 17%의 강도감소가 발생된 것이다. 콘크리트의 압축

강도 감소율이 강도의 크기에 따라 달라질 수 있지만, 최대사용연한 35년에 감소율을 17%로 본다면 저수지 목표내구연한 60년 동안에 설계기준강도 180을 유지하기 위해 선 초기강도가 255이상을 발현해야 한다고 볼 수 있다. 40mm 강가갈 배합표 < 표 3.2.1.10 > 및 압축강도 결과표 < 표 3.2.2.5 >에서 가장 가까운 구분을 찾으면 240의 배합비를 사용하여야 한다는 결론을 내릴 수 있었다.

콘크리트 코어의 배합비 역추정 결과에서 보듯이 설계자료에서 조사한 시멘트 량 보다 추정된 시멘트 함량이 적음을 알 수 있었다. 역추정 기법의 신뢰도에 따라 다소 달라질 수는 있으나 설계자료에서 조사된 량과 차이가 있는 것으로 나타났다. 사용 시멘트량을 추정하고, 코어의 압축강도를 동시에 측정한다면 대상 콘크리트구조물의 내구성 평가가 보다 용이할 것이다. 콘크리트 구조물의 설계시 반드시 콘크리트의 배합자료를 보고서에 명시하고, 시공시 타설관리 자료를 보존한다면, 별도의 역추정 작업이 필요 없을 것이며 콘크리트 구조물의 유지관리 및 내구성 진단에 도움이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

콘크리트 양생시 사용하는 보온덮개의 보온효과 실험을 통해 콘크리트 타설시기가 동절기인 경우는 반드시 보온덮개를 덮어 보온 양생을 시켜야 할 것으로 판단할 수 있었다. 별다른 효과가 없을 것으로 생각하는 고정관념들을 깰 수 있는 기술적 보급과 홍보가 필요할 것으로 판단하였다.

이상과 같은 설계부터 품질관리까지 내구성 향상에 기준을 두고 콘크리트 구조물을 설계, 시공하여야 하며, 적정 시기마다 잔존내구연한을 예측하여 적기에 유지보수 함으로서 구조물의 경제적 효용가치를 극대화하는 것이 곧 내구성 향상 기술이라 할 수 있을 것이다.

## 제2절 콘크리트 수리구조물의 내구성 조기판정 기법 개발

콘크리트의 내구성(durability)이란 기상작용, 침식작용, 마모작용, 중성화, 강재의 부식, 반응성 골재의 영향 등, 기타 콘크리트의 사용상 발생하는 여러 가지의 작용에 저항하여 장기간의 사용에 걸쳐 견딜 수 있는 성질을 의미한다.

농업토목 콘크리트 수리구조물은 작용하중이 작기 때문에 초기투자비를 줄이기 위해 설계기준강도가 낮은 콘크리트, 즉 조직내부 공극이 많은 콘크리트 구조물을 축조하였으며, 또한 공사기간이 농한기의 단기간에 밀집되므로 습윤 또는 보온양생이 어렵고 다짐이 불충분하여 조직내부에 공극이 많이 발생하게 되며, 소규모 구조물이 광역에 산재되어 있으므로 품질관리 여건이 미흡으로 인한 품질변동폭이 커서 내구연한이 짧게 되었다. 또한 관개기에는 관개용수에 의해 조직내부 공극으로 물이 쉽게 침투해 들어가며, 비관개기에는 배면에 포화된 물이 다시 조직 내부의 공극의 침투해 들어가므로 콘크리트 내부의 알칼리 이온을 외부로 쉽게 방출시켜 중성화를 유발시키며 나아가 동결기 혹한에 노출됨에 따라 조직내부의 물이 동결팽창압을 일으켜 콘크리트의 균열을 유발시킨다. 이로 인해 내부 철근이 쉽게 부식하여 팽창압에 의한 균열이 쉽게 발생하고, 발생한 균열을 통해 물과 공기의 이동이 더욱 자유로워 균열과 표면 박리가 가속화된다. 따라서 농업토목 콘크리트 수리구조물은 역학적 특성보다는 내구성에 의해서 구조체가 결정되어야 한다.

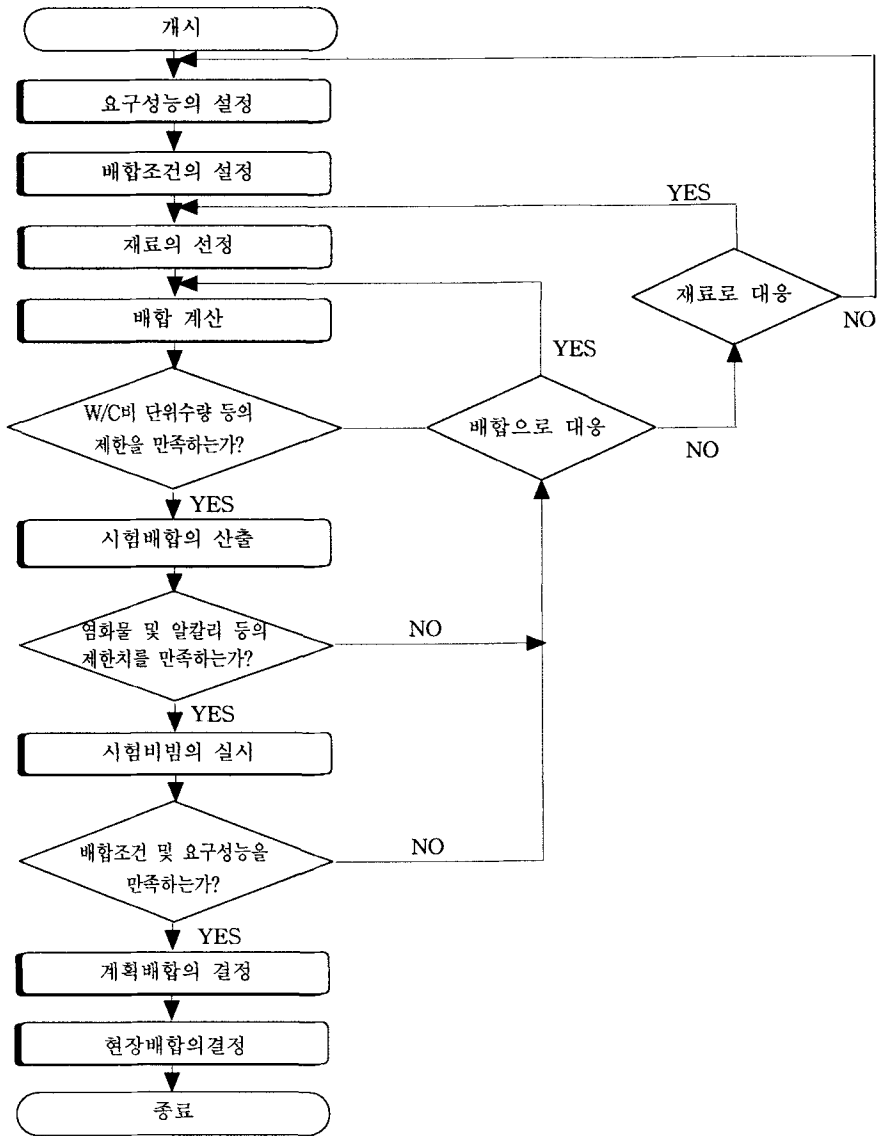
그러나 기존에 알려진 콘크리트의 내구성 평가방법은 결과에 대한 신뢰도가 낮거나 사용방법이 복잡하고 측정기간이 장시간 소요되므로 사용성이 낮다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 수단으로서 콘크리트수리구조물의 내구성을 조기에 판정하기 위한 연구는 선진외국뿐만 아니라 국내 관련 학계에서도 활발하나 연구결과가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 농업기반 콘크리트수리구조물의 역학적 특성을 토대로 다양한 변수(단위결합재량, 물시멘트비, 공기량)를 주어 표준양생 시험체를 제작한 다음, 역학적 특성(압축강도, 휨강도) 실험, 염소이온투과 저항성 실험, 철근부식 저항성 실험, 동결융해저항성 실험을 수행하였다. 역학적 특성과 내구성의 상관관계를 분석하여 내구성을 조기에 평가할 수 있는 상관관계를 유도함으로써, 현행의 내구성 평가 방법

상의 문제점을 보완·개선하며, 이를 농업기반 콘크리트 수리구조물 설계시 설계지침으로 활용하고자 하였다.

## 1. 콘크리트 배합설계

농업기반 콘크리트 시설물에 사용될 수 있는 콘크리트의 범위를 조사하고, 내구성 조기평가에 사용할 콘크리트 시험체 제작을 위해 배합설계를 실시하였다. 굵은골재는 종전의 19mm로 불리우던 20mm, 25mm, 40mm크기, 생산방식에 따라 쇄석과 강자갈이 사용되었다. 잔골재는 남한강 하천변의 육상사, 시멘트는 1종보통포틀랜드 시멘트, 혼화제는 강도에 따라 고성능AE감수제와 AE감수제를 사용하였다. 물시멘트비는 종전의 현장배합으로 만들어진 구조물의 평가를 위한 것과 최근 레미콘을 주로 사용하여 제작하는 구조물의 평가를 위한 것으로 나누어 선택하였다. 종전의 현장타설 콘크리트에서는 혼화제를 사용하지 않고 물, 시멘트, 골재만을 사용하여 현장에서 비벼서 타설하였던 것으로 조사되었다. 이렇게 제작된 콘크리트 구조물의 평가를 위해 혼화제를 사용하지 않고 만든 콘크리트를 선택하였다. 하지만 요즘은 레미콘을 대부분 현장에서 사용하고 있기 때문에 본 연구에서도 레미콘을 조사하여 가장 대표적인 배합을 호칭강도별로 선별하여 콘크리트를 만들었다. 레미콘 조사자료에 따르면 계절별로 배합비를 달리하고 있었으며, 혼화제의 혼입량도 지역별로 다소 차이를 보였지만 가장 대표적인 배합을 선택하였다.



< 그림 3.2.1.1 > 배합설계의 흐름도

## 가. 사용재료

콘크리트 배합에 사용된 재료의 물리·화학적 특성에 대한 자료를 < 표3.2.1.1 >~< 표 3.2.1.5 >에 나타내었다.

### 1) 시멘트

시멘트는 1종 시멘트인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 < 표 3.2.1.1 >과 같다.

< 표 3.2.1.1 > 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비 중	응결시간		분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		초결(min)	종결(hr)		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
보 통 포틀랜드	3.14	228	6.14	3,338	190	218	310

### 2) 잔골재

잔골재는 남한강 상류지역인 여주 하천사와 충주 육상사를 사용하였다. 1차년도에는 여주산을 2, 3차년도에는 충주산을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 < 표 3.2.1.2 >과 같다.

< 표 3.2.1.2 > 잔골재의 물리적 성질

항목 시료	비 중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/cm <sup>3</sup> )		200번체통과량 (%)	조립율
			호트리진상태	다진상태		
하천사 (여주)	2.55	1.08	1.402	1.560	1.80	2.56
육상사 (충주)	2.62	1.14	1.410	1.580	2.26	3.01

### 3) 굵은골재

굵은골재는 안성산 부순돌을 사용하였으며, 1차년도에는 굵은골재 최대치수 20mm, 2, 3차년에는 25mm를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 < 표 3.2.1.3 >과 같다.

< 표 3.2.1.3 > 굵은골재의 물리적 성질

항목 시료	굵은골재 최대치수(mm)	비 중	흡수율 (%)	단위용적중량(tf/m <sup>3</sup> )		조립율	마모율 (%)
				호트러진상태	다진상태		
부순돌 (안성)	25	2.66	0.73	1.455	1.643	6.71	12.0
부순돌 (안성)	20	2.71	0.60	1.553	1.634	6.53	28.2
강자갈	40	2.58	1.75	1.374	1.593	7.36	28.0

#### 4) 혼화제

혼화제(admixture)는 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 사용하였다. 최근 레미콘 공장에서는 계절에 따라 호칭강도별 배합비를 다르게 관리하며, 포졸란계의 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 사용하여 굳지 않은 콘크리트의 작업성과 역학적 측면을 만족시키면서 경제적으로 유리한 배합비를 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 지역별 레미콘 공장으로부터 조사한 배합비를 분석하여 < 표 3.2.1.4 > 과 같은 혼화제를 사용하였다.

< 표 3.2.1.4 > 혼화제의 물리적 성질

혼화제 종류	비 중	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	비 고
고로슬래그 미분말	2.93	4,500	광양 쌍용 고로슬래그 공장
플라이애쉬	2.17	3,200	보령 화력발전소 산

#### 5) 혼화제

혼화제(Chemical admixture)는 고성능AE감수제, AE감수제를 사용하였다. 고성능AE감수제는 구분 300~400, AE감수제는 구분 180~270에서 사용하였으며, 목표 공기량을 맞추기 위해 AE제를 별도로 첨가하여 목표 시공성을 맞추었다. 사용한 혼화제의 물리·화학적 성질은 < 표 3.2.1.5 > 와 같다.



< 표 3.2.1.5 > 혼화제의 물리·화학적 성질

종류	비중	pH	고형분 (%)	표준사용량(%) (시멘트 중량비)	주 성분	비 고
AE제 (Air Entraining Agents)	1.04±0.05	-	-	0.03 ~ 0.08	VINSOL계	암갈색 액상
감수제 Water-Reducing Agents	1.185±0.05	-	-	0.15 ~ 0.5	변성리그닌	암갈색 액상
고성능AE감수제 High Water-Reducing/Air-Entraining Agents	1.17±0.05	8.0	41	0.5 ~ 1.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	암갈색 액상

## 나. 배합비

본 연구에서 사용한 콘크리트의 배합비는 < 표 3.2.1.6 > ~ < 표 3.2.1.10 >에 나타내었다. 콘크리트의 배합은 크게 세가지 부류로 분류되는데, 그 첫째가 레미콘조사를 통하여 결정한 배합비이며, 둘째는 레미콘이 보편화되기 전인 현장에서 타설하던 시기의 콘크리트, 즉, 감수제(water-reducing admixtures)로 사용하는 혼화제(chemical admixture)가 보편화되기 전의 콘크리트 배합비이다. 끝으로, 본 연구에서 주요 연구대상구조물인 저수지 여수토 방수로의 옹벽 콘크리트의 배합비를 역추정하여 가장 대표적인 배합비를 본 연구의 연구대상 마지막 배합비로 하였다.

< 표 3.2.1.6 > ~ < 표 3.2.1.8 >은 레미콘 조사자료를 분석하여 얻은 농업기반 콘크리트 수리구조물에 사용될 대표적인 배합비 혼화제를 혼입하지 않은 기준콘크리트(Ordinary Portland Cement, OPC), 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트(Blast Furnace Slag, BFS), 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트(Fly Ash, FA)로 구별하였으며, 각각에 대해 레미콘 호칭강도 180~400(7종)을 선정하였다.

< 표 3.2.1.9 >는 레미콘이 보편화되기 전 현장에서 타설하던 시기의 콘크리트 배합비와 가깝게 만든 배합표이다. 감수제인 혼화제를 사용하지 않았기 때문에 레미콘 배합비와 비교할 때 동일 물시멘트비에서 단위수량과 단위시멘트량이 많이 사용되었음을 알 수 있다.

< 표 3.2.1.10 >은 본 연구에서 정밀조사대상 구조물인 저수지의 여수토방수로 옹벽 콘크리트의 재현 배합비이다. 콘크리트의 배합비 역추정기법은 3.3장에 자세히 설

명되어있다. 정밀조사시 채취한 콘크리트 코어를 분석하여 배합비를 추정하고, 추정된 배합비중 대표값을 선정하였다.

< 표 3.2.1.6 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-OPC)

구 분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제 <sup>1)</sup> (C×%)	AE제 <sup>2)</sup>
180	15±2.5	5.0±1.5	60.2	47	178.8	297.0	845.5	968.0	0.5	1.0
210	15±2.5	5.0±1.5	55.4	46	180.1	325.0	815.2	971.6	0.5	1.0
240	15±2.5	5.0±1.5	51.2	45	181.2	354.0	785.3	974.4	0.5	1.0
270	15±2.5	5.0±1.5	47.6	44	182.0	382.0	745.0	963.0	0.5	0.5
300	15±2.5	5.0±1.5	44.5	43	183.0	411.0	717.0	964.0	1.0	0.3
350	15±2.5	5.0±1.5	40.1	42	183.0	456.0	684.0	959.0	1.0	0.3
400	15±2.5	5.0±1.5	36.5	41	184.0	504.0	661.2	967.0	1.0	0.3

※) 1) 180~270까지는 AE감수제, 300~400까지는 고성능AE감수제 사용, 시멘트대비 비율 (C×%)

2) AE제는 혼화제 대비 비율(혼화제×%)

< 표 3.2.1.7 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-BFS)

구 분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )						
					물	시멘트	혼화제 (BFS)	잔골재	굵은골재	혼화제 <sup>1)</sup> (C×%)	AE제 <sup>2)</sup>
180	15±2.5	5.5±1.5	60.2	47	178.8	297.0	14.9	839.3	960.8	0.7	0.7
210	15±2.5	5.5±1.5	55.4	46	180.1	292.5	32.5	814.3	970.5	0.7	0.4
240	15±2.5	5.5±1.5	51.2	45	181.2	318.6	35.4	784.3	973.3	0.8	0.6
270	15±2.5	5.5±1.5	47.6	44	182.0	343.8	38.2	755.6	976.4	0.8	0.6
300	15±2.5	5.5±1.5	44.5	43	183.0	357.6	53.4	726.5	977.8	1.0	0.3
350	15±2.5	5.5±1.5	40.1	42	183.0	396.7	59.3	693.7	972.6	1.0	0.3
400	15±2.5	5.5±1.5	36.5	41	184.0	438.5	65.5	659.6	963.6	1.0	0.3

※) 1) 180~270까지는 AE감수제, 300~400까지는 고성능AE감수제 사용, 시멘트대비 비율 (C×%)

2) AE제는 혼화제 대비 비율(혼화제×%)

< 표 3.2.1.8 > 콘크리트의 배합설계표 (25mm-FA)

구 분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )						
					물	시멘트	혼화제 (FA)	잔골재	굵은골재	혼화제 <sup>1)</sup> (C×%)	AE제 <sup>2)</sup>
180	15±2.5	5.5±1.5	60.2	45	178.8	297.0	14.9	801.4	994.5	0.8	0.6
210	15±2.5	5.5±1.5	55.4	44	180.1	292.5	32.5	744.4	1000.7	0.8	0.6
240	15±2.5	5.5±1.5	51.2	43	181.2	318.6	35.4	744.7	1002.2	0.8	0.5
270	15±2.5	5.5±1.5	47.6	42	182.0	343.8	38.2	716.3	1004.2	0.7	0.6
300	15±2.5	5.5±1.5	44.5	41	183.0	357.6	53.4	685.9	1002.1	0.6	0.3
350	15±2.5	5.5±1.5	40.1	40	183.0	396.7	59.3	653.3	994.8	0.8	0.3
400	15±2.5	5.5±1.5	36.5	39	184.0	438.5	65.5	619.4	983.6	0.8	0.3

※) 1) 180~270까지는 AE감수제, 300~400까지는 고성능AE감수제 사용, 시멘트대비 비율(C×%)

2) AE제는 혼화제 대비 비율(혼화제×%)

< 표 3.2.1.9 > 콘크리트의 배합설계표 (20mm-OPC)

구 분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )				
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제 (C×%)
57	15±2.5	2	57	42	206	361.4	739.7	1018.3	0
54	15±2.5	2	54	42	208	385.2	729.6	1003.6	0
51	15±2.5	2	51	42	207	405.9	722.9	995.1	0
48	15±2.5	2	48	42	208	433.3	712.0	980.1	0
45	15±2.5	2	45	42	210	466.7	698.0	960.8	0
42	15±2.5	2	42	42	206	490.5	694.0	955.4	0

< 표 3.2.1.10 > 콘크리트의 배합설계표 (40mm-OPC)

구 분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제 (C×%)
180	15±2.5	1.5	58.0	39	190.2	328.0	706.4	1100.6	-
210	15±2.5	1.5	52.0	38	186.2	358.0	682.8	1109.7	-
240	15±2.5	1.5	46.4	37	180.0	388.0	661.5	1122.1	-

## 2. 콘크리트의 역학적 특성

### 가. 압축강도

콘크리트의 압축강도는 공시체 제작에서 양생, 압축강도 시험에 이르기까지 KS 규정에 따라 수행하였다. 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405에 따라 실시하였으며, 공시체의 크기는 지름 10cm, 높이 20cm을 사용하였다. 실험 재령은 3일, 7일, 28일, 91일로 하였으며, 레미콘 조사자료를 분석하여 결정한 배합의 압축강도 시험 결과는 < 표 3.2.2.1 >~< 표 3.2.2.3 >에 나타내었다. 레미콘 공장에서 호칭강도로 사용하는 구분 값보다 28일 재령의 압축강도 값이 180~270은 OPC의 경우 평균 22%, BFS의 경우 30%, FA의 경우 31%, 300~400은 OPC의 경우 평균 10%, BFS의 경우 17%, FA의 경우 8% 높은 것으로 나타났다. 구분에 따른 재령별 압축강도의 분포를 비교하기 위해 < 그림 3.2.2.1 >~< 그림 3.2.2.3 >에 도시하였다. OPC, BFS, FA의 재령 28일과 91일 압축강도를 < 그림 3.2.2.4 >~< 그림 3.2.2.5 >에 도시하여 서로 비교하였다. 고로슬래그미분말을 혼입한 콘크리트는 장기재령에서 강도발현율이 유리한 것으로 알려져 있으나 본 연구의 결과에서는 OPC보다 낮게 나왔다. 이는 혼화제의 치환율이 장기재령에 유리한 결과를 가져오는 배합보다 낮은 비율로 치환되었기 때문인 것으로 판단된다.

혼화제의 사용이 범용화되기 전인 현장 타설 콘크리트를 재현한 배합의 재령별 콘크리트 압축강도 결과를 < 표 3.2.2.4 >에 나타내었다. 재령별 압축강도의 변화를 그래프로 도시한 것이 < 그림 3.2.2.11 >이다. < 그림 3.2.2.13 >는 혼화제를 사용한 콘크리트인 25mm-OPC와 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트인 20mm-OPC를 동일 물시멘트비에서 압축강도를 직접 비교한 그래프이다. 동일 물시멘트비지만 단위시멘트량은 < 표 3.2.1.6 >과 < 표 3.2.1.9 >를 보면 혼화제를 사용하지 않은 배합(20mm-OPC)이 혼화제를 사용한 배합(25mm-OPC)보다 평균 18% 많이 사용되었다. 그러나 압축강도는 25mm-OPC가 20-OPC 보다 겨우 평균 5%가량 높게 나타남을 알 수 있다. 즉, 동일 물시멘트비, 동일 슬럼프를 갖는 배합을 혼화제를 사용하지 않던 종전보다 혼화제를 사용한 최근배합에서 보다 작은 단위수량과 작은 단위시멘트량으로 목표품질을 만족할 수 있는 배합을 할 수 있음을 알 수 있다. 단위수량과 단위시

멘트량이 작다는 의미는 단위 체적내에서 작은 시멘트 페이스트로 모래와 자갈을 부착시킬 수 있음을 의미한다.

## 나. 휨강도

콘크리트의 휨강도는 압축강도시험과 같이 공시체 제작에서 양생, 휨강도 시험에 이르기까지 KS 규정에 따라 수행하였으며, 콘크리트의 휨강도 시험 규정은 KS F 2407, 8이다. 휨강도 시험용 공시체의 크기는 가로 412mm, 세로 76cm, 높이 101mm를 사용하였다. 실험 재령은 3일, 7일, 28일, 91일로 하였으며, 레미콘 조사자료를 분석하여 결정한 배합의 휨강도 시험 결과는 < 표 3.2.2.1 >~< 표 3.2.2.3 >에 나타내었다. 휨강도는 압축강도에 비하여 구분 180~270까지는 OPC의 경우 평균 1/3.6, BFS의 경우 1/4.2, FA의 경우 1/4.6, 300~400까지는 OPC의 경우 평균 1/4.8, BFS의 경우 1/4.9, FA의 경우 1/5.2인 것으로 나타났다. 구분에 따른 재령별 휨강도의 분포를 비교하기 위해 < 그림 3.2.2.6 >~< 그림 3.2.2.8 >에 도시하였다. OPC, BFS, FA의 재령 28일과 91일 휨강도를 < 그림 3.2.2.9 >~< 그림 3.2.2.10 >에 도시하여 서로 비교하였다. 28일 재령에서는 FA가 OPC나 BFS에 비하여 구분 180~270까지는 평균 13%, 300~400까지는 평균 10%가량 낮은 것으로 나타났다. 91일 재령에서는 FA가 OPC나 BFS에 비하여 구분 180~270까지는 평균 11%가량 낮은 것으로 나타났으나, 300~400에서는 오히려 OPC나 BFS보다 평균 1%가량 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

콘크리트는 구조물을 설계할 경우 부재나 부위에 따라 동일한 물리적 성질을 갖는 것으로 설계하지만, 재료과학 분야에서는 강재나 유리재와 달리 비균질 재료로 분류하고 있다. 즉, 콘크리트재료는 통계적 자료를 기준으로 그 경향이나 설계에 사용되는 기준값을 결정한다는 점이 바로 이러한 이유 때문이라 할 수 있다.

본 연구에서 분석한 콘크리트의 역학적 특성은 레미콘 공장에서 사용하고 있는 배합비를 조사하여 가장 대표적인 배합비를 선정하여 만든 표준공시체를 통하여 얻은 결과로서 레미콘 공장에서 사용하는 호칭강도를 실내실험으로 확인한데 그 의미가 있으며, 콘크리트가 갖는 재료적 특성을 분석한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

혼화제의 사용이 범용화되기 전인 현장 타설 콘크리트를 재현한 배합의 재령별 콘크리트 휨강도 결과를 < 표 3.2.2.4 >와 < 그림 3.2.2.12 >에 나타내었다.

< 표 3.2.2.1 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-OPC)

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				휨강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			3일	7일	28일	91일	3일	7일	28일	91일
180	12.0	6.5	128	147	233	267	33.7	39.7	68.3	68.9
210	16.0	7.0	138	225	250	321	37.0	58.9	70.1	71.0
240	13.5	7.5	158	230	284	343	44.3	61.4	73.5	74.6
270	16.5	6.5	221	292	327	408	50.1	66.7	74.9	76.6
300	15.5	6.5	236	294	361	415	56.3	72.5	77.1	79.9
350	14.5	6.5	296	352	379	502	60.1	73.7	80.7	80.8
400	14.5	6.5	312	389	401	496	70.8	74.5	82.4	83.1

< 표 3.2.2.2 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-BFS)

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				휨강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			3일	7일	28일	91일	3일	7일	28일	91일
180	9.5	7.9	172	225	259	289	41.8	52.1	66.8	67.0
210	14.0	7.5	180	230	283	301	42.4	52.9	69.6	71.4
240	14.0	7.5	195	279	288	338	42.5	58.8	71.6	76.3
270	14.0	6.5	202	280	329	342	50.9	68.4	74.3	79.8
300	15.0	6.5	235	335	378	388	60.2	69.1	76.7	83.4
350	15.0	6.0	291	344	396	416	62.5	73.0	79.6	84.3
400	15.0	6.0	301	399	449	457	64.4	78.3	83.1	86.6

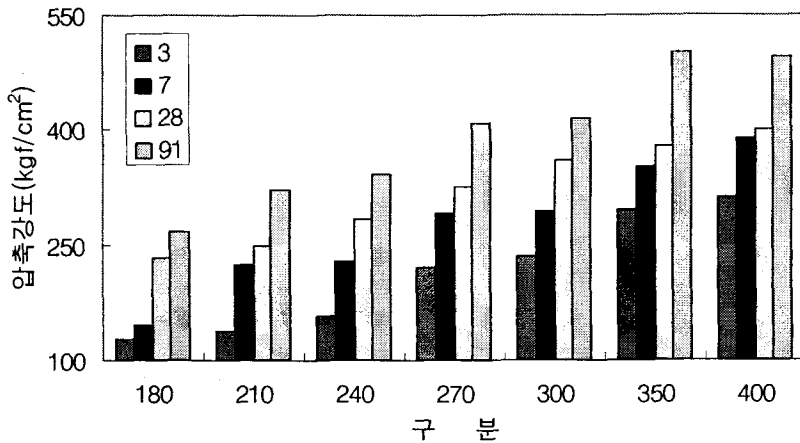
< 표 3.2.2.3 > 콘크리트의 역학적 특성 (25mm-FA)

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				휨강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			3일	7일	28일	91일	3일	7일	28일	91일
180	14.5	7.0	129	216	261	281	48.8	54.6	54.6	55.4
210	15.0	6.5	133	237	287	289	50.1	60.2	61.2	64.7
240	15.0	7.5	154	250	297	347	50.6	60.3	65.6	68.3
270	16.0	6.0	178	255	325	345	54.7	60.6	66.3	71.4
300	15.0	6.5	183	261	332	396	57.9	62.3	68.7	77.5
350	16.5	6.5	211	305	385	422	58.9	65.7	70.3	80.8
400	17.5	6.0	254	315	411	446	60.6	74.4	76.1	87.3

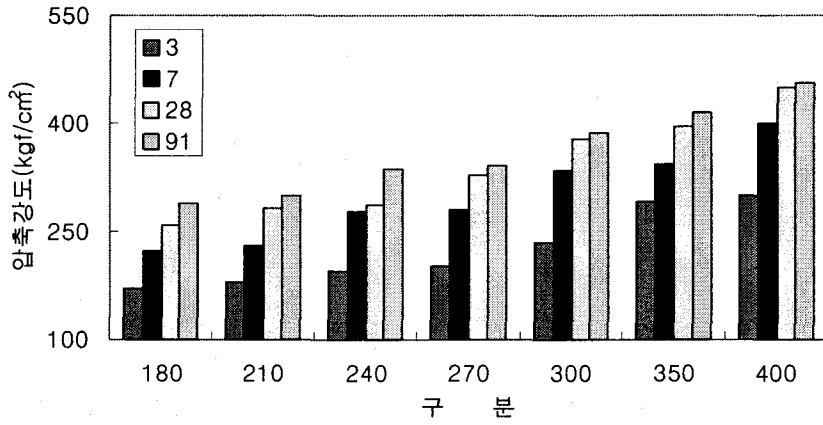
< 표 3.2.2.4 > 콘크리트의 역학적 특성 (20mm-OPC)

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				휨강도 <sup>1)</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
			3일	7일	28일	91일	
57	14.5	1.7	153	204	264	322	59
54	16.0	1.5	163	240	282	339	59
51	17.0	1.7	176	251	295	350	63
48	15.0	1.8	205	284	345	438	70
45	16.0	2.0	213	301	357	434	71
42	15.0	1.8	242	318	392	434	80

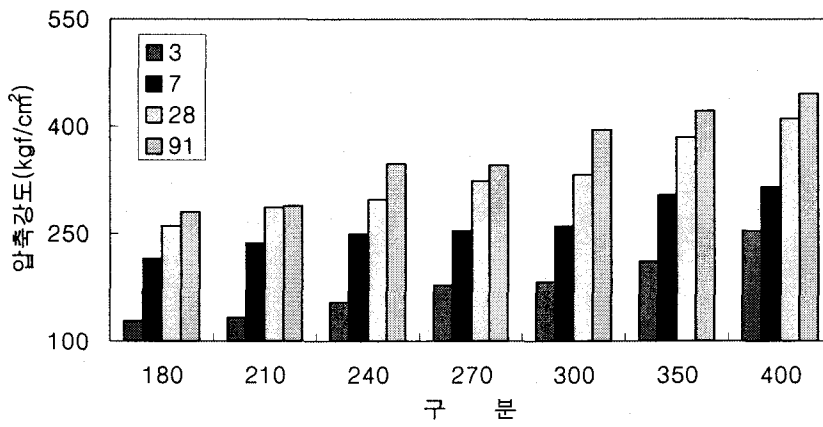
1) 휨강도는 재령 28일의 시험값.



< 그림 3.2.2.1 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-OPC)

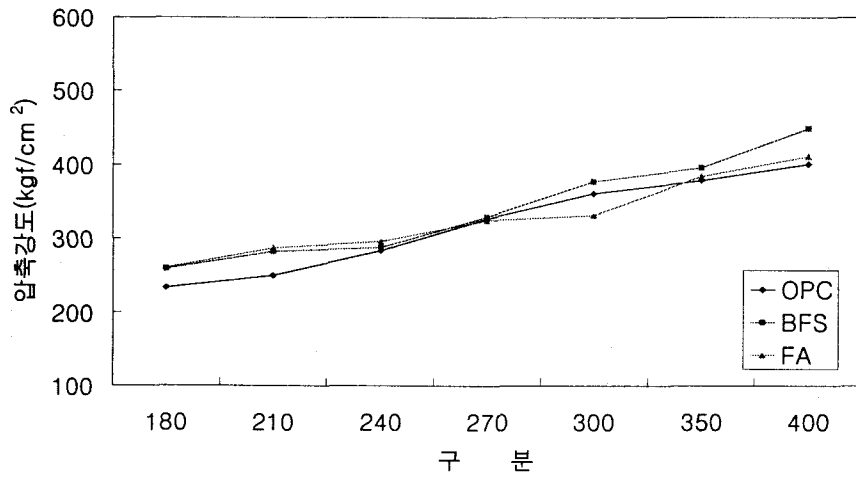


< 그림 3.2.2.2 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-BFS)

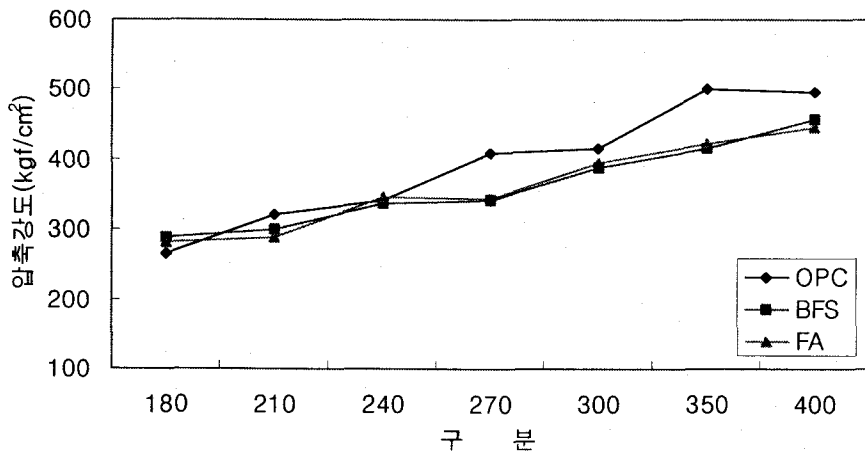


< 그림 3.2.2.3 > 콘크리트 재령별 압축강도(25mm-FA)

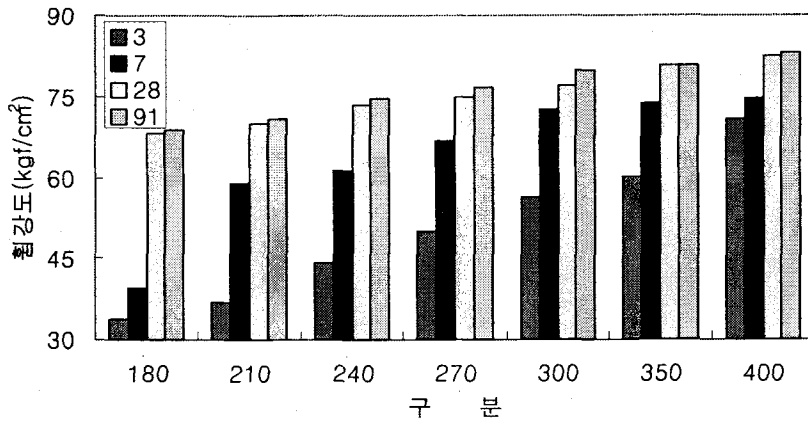




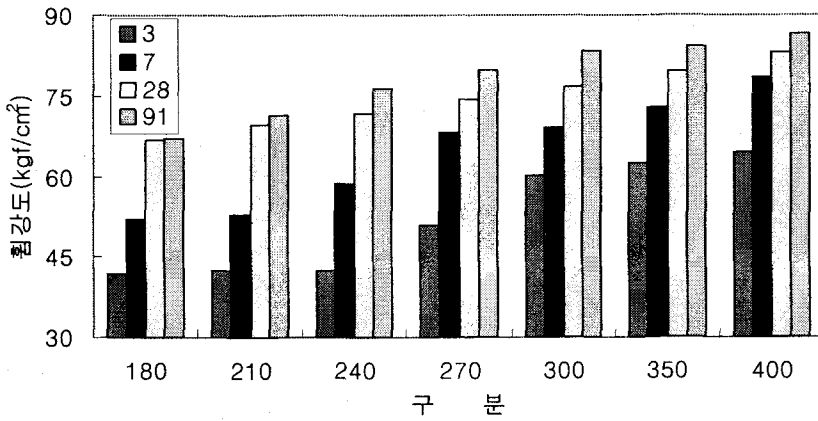
< 그림 3.2.2.4 > 혼화재의 종류에 따른 28일 재령 압축강도(25mm)

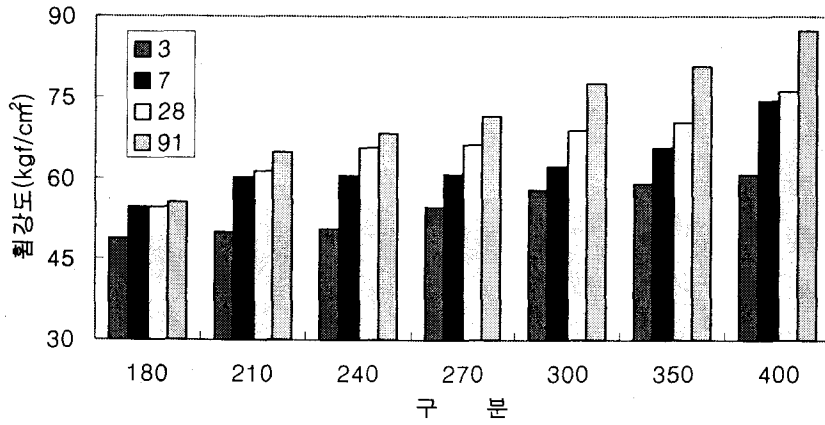


< 그림 3.2.2.5 > 혼화재의 종류에 따른 91일 재령 압축강도(25mm)

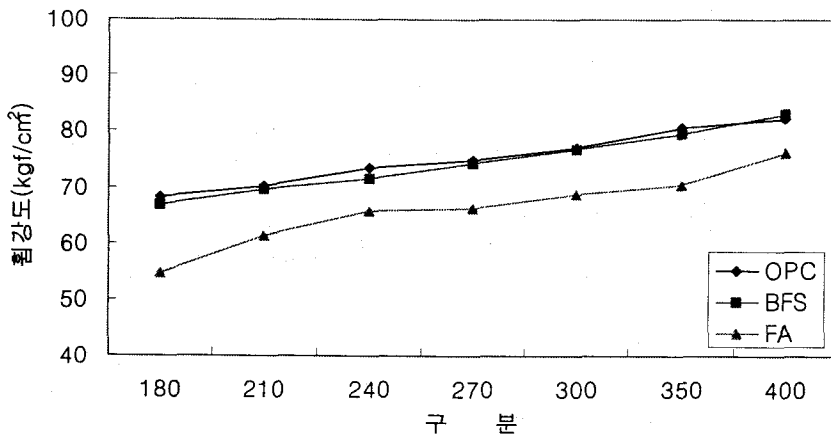


< 그림 3.2.2.6 > 콘크리트 재령별 휨강도(25mm-OPC)

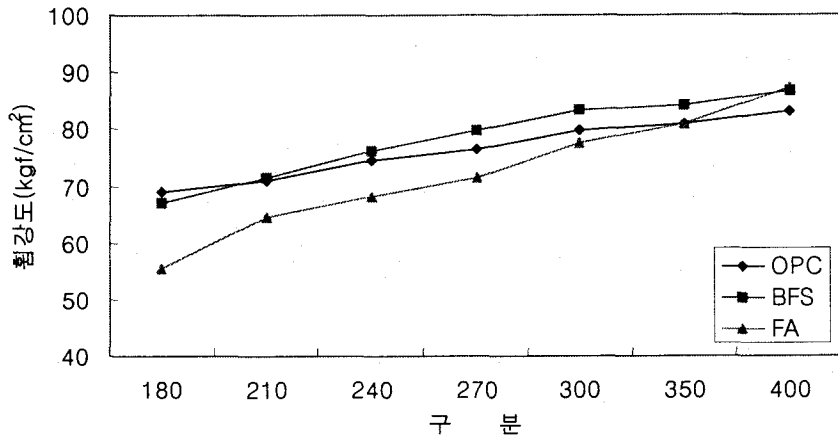




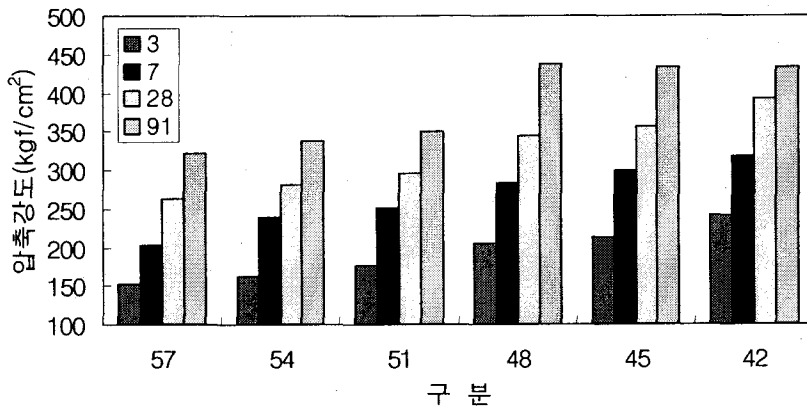
< 그림 3.2.2.8 > 콘크리트 재령별 휨강도(25mm-FA)



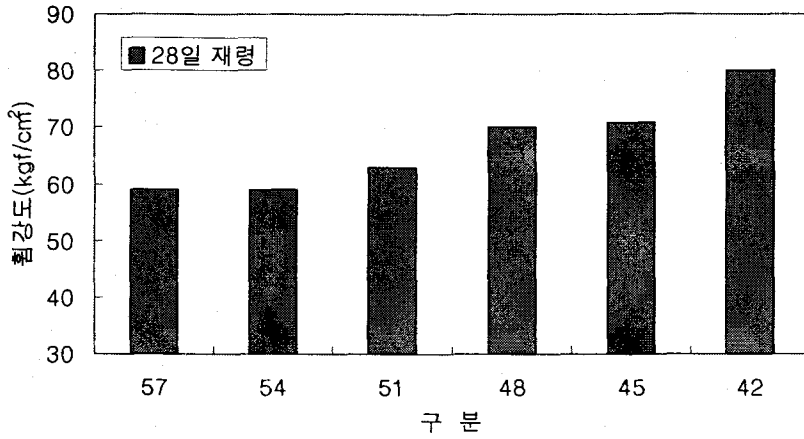
< 그림 3.2.2.9 > 혼화제의 종류에 따른 28일 재령 휨강도(25mm)



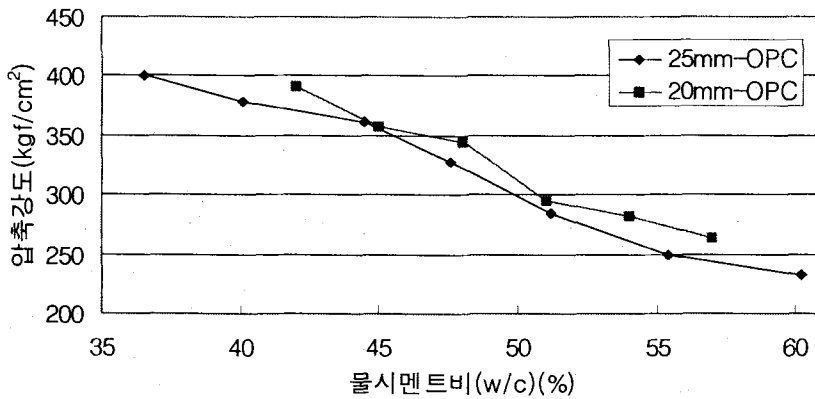
< 그림 3.2.2.10 > 혼화제의 종류에 따른 91일 재령 휨강도(25mm)



< 그림 3.2.2.11 > 콘크리트 재령별 압축강도(20mm-OPC)



< 그림 3.2.2.12 > 콘크리트 재령별 휨강도(20mm-OPC)



< 그림 3.2.2.13 > 물시멘트비별 압축강도 비교

#### 다. 재현배합 강도

현장정밀조사시 채취한 콘크리트 코어를 분석하여 배합비를 역추정하고, 추정된 배합비의 대표값을 선정하여 콘크리트 압축강도 및 휨강도 실험을 수행하였다. 정밀 조사 대상구조물의 설계자료( < 부록 1 > 지구별 예비조사자료 참조)를 조사하여 분

석한 결과 설계기준강도는 180이 가장 많았으며, 코어 배합비 역추정 과정의 하나인 코어 표면스캐치자료 분석결과 굵은골재는 40mm 강자갈을 사용한 것으로 판단되었다. 따라서 굵은골재로 사용된 강자갈 40mm는 김포시 한강변 골재채취장에서 채취하여 재현배합설계를 수행하였다. 시멘트, 잔골재, 굵은골재의 단위량은 < 표 3.2.1.10 > 와 같으며, 시험번호 180, 210, 240을 선정하여 물시멘트비별 압축강도 추정 함수를 유도코자 하였다. 압축강도 및 휨강도 시험은 앞 절에서와 같이 KS 규격에 따라 수행하였으며, 재령별 압축강도, 휨강도 결과는 < 표 3.2.2.5 >, < 그림 3.2.2.14 > 및 < 그림 3.2.2.16 >와 같이 나타났다. 물시멘트비별 압축강도의 추정 함수는 < 그림 3.2.2.15 >에 도시하였다. 배합비 역추정 자료인 < 표 3.1.7.3 > 및 < 부록 7 >에 따르면 추정된 시멘트함량의 평균값은 299kg이며, 굵은골재의 평균단위량은 1149kg, 잔골재의 평균단위량은 721kg으로 나타났다. < 그림 3.2.2.15 >에 따르면 추정 배합비의 평균은 물시멘트 64%의 배합비에 해당되며(< 표 3.2.2.5 >), 물시멘트비별 압축강도 추정함수에 의하면 28일 재령 압축강도 195kgf/cm<sup>2</sup>를 산정할 수 있었다.

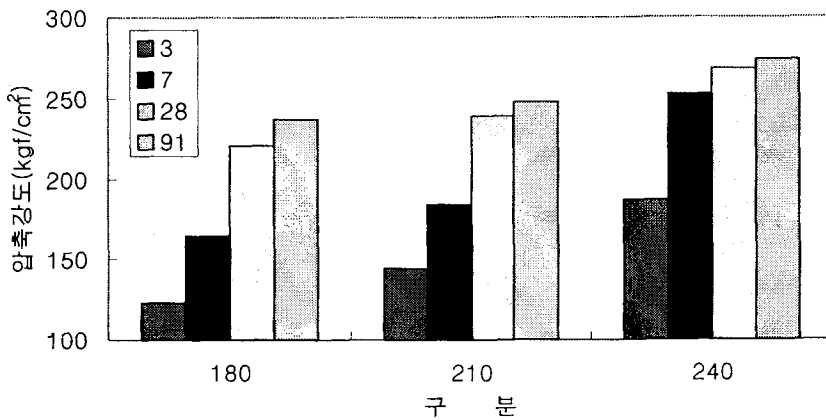
저수지 여수토 방수로 옹벽의 평균 설계당시 배합비로 재현한 표준양생 콘크리트 공시체의 28일 재령 압축강도는 평균 196kgf/cm<sup>2</sup>으로 추정할 수 있었다. 준공년도가 다르지만 정밀조사 대상지구에서 채취한 콘크리트 코어의 압축강도 분포를 분석한 결과(< 그림 3.1.4.2 >참조)인 평균압축강도 162kgf/cm<sup>2</sup>와 비교하면, 코어강도는 설계당시의 표준양생 공시체강도의 약 83%에 해당하는 값이다. 조사대상 구조물이 10~35년 된 구조물이므로 그 평균 사용연한을 13년으로 본다면, 이상의 결과로부터 저수지 여수토방수로 옹벽으로 사용된 구조물의 콘크리트 압축강도가 13년간에 걸쳐 약 17%의 강도감소가 발생된 것으로 추정 할 수 있었다.

< 표 3.2.2.5 > 콘크리트 코어의 대표 재현 배합비

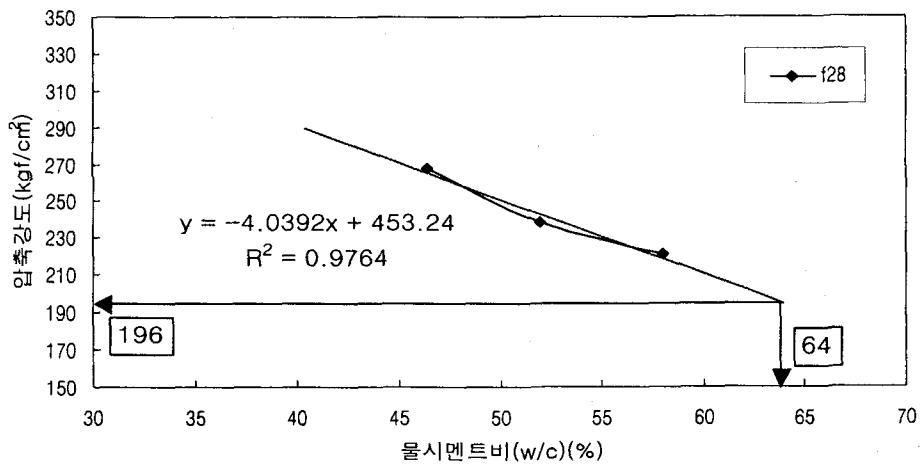
시험번호	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제 (C×%)
180	15±2.5	1.5	58.0	39	190.2	328.0	706.4	1100.6	-
재현	15±2.5	1.5	64.0	38	191.4	299.0	721.0	1149.0	-

< 표 3.2.2.6 > 콘크리트의 역학적 특성 (40mm-OPC)

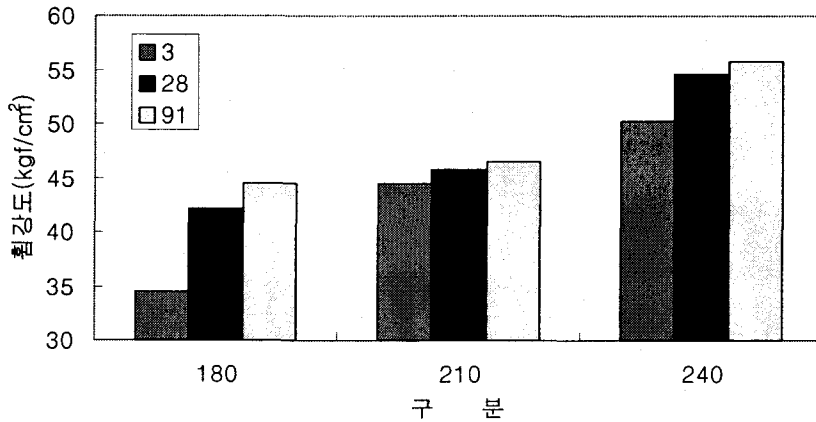
구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				휨강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			3일	7일	28일	91일	3일	7일	28일	91일
180	10.5	1.7	123	165	221	237	34.5	-	42.2	44.5
210	9.5	1.8	144	184	239	248	44.5	-	45.8	46.5
240	9.0	1.8	187	253	268	274	50.3	-	54.6	55.8



< 그림 3.2.2.14 > 콘크리트 재령별 압축강도(40mm-OPC)



< 그림 3.2.2.15 > 물시멘트비에 따른 압축강도 변화(40mm-OPC)



< 그림 3.2.2.16 > 콘크리트 재령별 휨강도(40mm-OPC)

### 3. 동결융해 저항성

#### 가. 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향 인자

콘크리트의 동결융해 저항성에 영향을 미치는 인자에 대한 문헌자료 조사내용을 간략히 정리하였다. 콘크리트의 내동해성은 일반적으로 기포조직 및 분포에 따라 크게 영향을 받으며, 물시멘트비 및 콘크리트의 강도와도 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 콘크리트는 동결융해 사이클이 진행됨에 따라 상대동탄성계수가 감소하여 < 그림 3.2.3.1 >과 경향의 곡선을 그리며, 내구성지수 90이상에서는 내구성 저하 징후가 나타나는 과정, 90~60사이에는 내구성능저하가 명확하게 나타나는 과정, 60이하에서는 콘크리트가 파괴되는 과정으로 크게 나누어 볼 수 있다.

#### 1) 공기량

콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 일반적으로 공기량이나 기포의 분포와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 콘크리트의 강도나 수밀성에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 콘크리트의 동결에 의한 파괴는 콘크리트의 내부 공극에 가득 차 있는 물이 동결할 때 약 9%의 체적팽창을 일으키고, 이때 콘크리트 내에서 내압이 발생하게



되어 파괴가 일어나게 된다. 이 내압의 정도는 내부 공극에 얼마의 물이 차 있는가에 따라 다르고 포화 상태에 가까울수록 높은 내압을 발생하여 파괴에너지가 커지게 된다. 또한 콘크리트중의 공극이 완전히 물로 채워져 있지 않다면 동결에 의한 얼음의 팽창압은 물로 채워져 있지 않은 공극에 흡수되어 콘크리트는 열화를 받지 않거나, 완화되게 된다. 이렇듯 공극과 관련된 콘크리트의 공기량은 콘크리트의 열화에도 큰 영향을 미친다.

굳은 콘크리트의 공극구조는 겔공극, 모세관 공극, 공기포, 골재 하면의 수막으로 나누어진다.

#### 가) 겔공극

시멘트 풀을 구성하는 겔 내부에는 28% 정도의 일정한 공극을 갖고 있으며 수화가 진행될수록 겔공극의 양은 증가한다. 내부에는 층간수, 물리적 흡착수, 자유수 같은 물이 존재하고 시멘트 겔내의 물은 겔의 표면장력에 의해 물분자의 유통이 잘 일어나지 않아 얼음으로 변화되기 어려워 0℃보다 낮은 온도에서는 초냉각수로 존재하며 -78℃이하에서 얼게 된다.

#### 나) 모세관 공극

고유수축과 수화에 사용되지 않은 물에 의해서 발생하며 수화가 진행될수록, 물-시멘트비가 적을수록 모세관 공극의 양은 감소한다. 물은 겔입자 표면력의 영향을 받지 않는 자유수이므로 빙점인 0℃이하에서 얼게 된다. 공극내의 물이 얼게 되면 체적이 팽창되고, 이 체적의 증가가 공극의 체적을 초과하면 콘크리트의 내부에 압력이 발생하여 시멘트 풀이 손상을 받게 된다. 또한 공극의 체적을 초과하는 물은 겔공극을 통하여 비교적 크기가 큰 공기포로 이동하게 되는데, 공기포와 거리가 멀수록, 물의 이동통로가 작을수록 압력이 커져 통로인 시멘트겔이 손상된다.

저품질 콘크리트의 경우는 모세관공극을 통해 공기포로 쉽게 물이 이동되고, 겔공극을 통해 이동되는 양보다 많기 때문에 공기포가 쉽게 포화된다. 포화된 공기포내의 물이 동결할 때 공기포의 체적을 초과하는 압력이 겔공극내의 압력에 비해 매우 크게 되며, 강도가 낮은 저품질 콘크리트는 그 압력에 심한 손상을 받게 된다.

### 다) 공기포

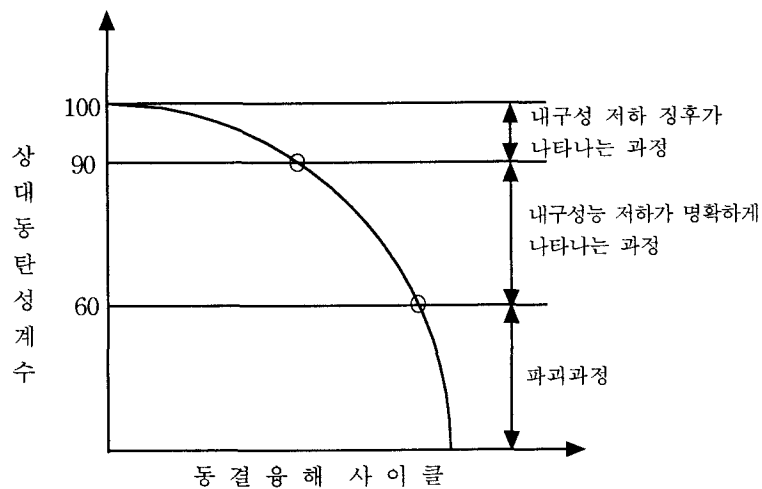
콘크리트의 재료를 혼합하는 과정에서 굳지 않은 시멘트풀 내에 갇힌 공기와 콘크리트의 동결융해 내구성, 수밀성, 워커빌리티 등의 향상을 목적으로 AE 혼화제에 의해 인위적으로 발생하는 연행공기가 있으며, 공기포 내에는 공기가 가득 차 있으므로 상압으로 인한 물의 영향은 받지 않는다고 알려져 있다.

### 라) 골재 하면의 수막

콘크리트 타설 후 골재와 시멘트 입자의 침강현상이 일어나는데 이로 인하여 시멘트 반죽내의 물과 미세입자가 부상하고 이때 굵은 골재에 의해 물의 상승이 억제되면 골재 밑면에 수막현상이 발생한다. 이 내부 블리딩 현상에 의하여 콘크리트가 경화한 후에는 골재 하면은 공극으로 남게된다.

### 마) 공극의 크기

공극의 크기는 겔공이 지름 15~20Å 정도이고 모세관 공극은 5000Å 정도이며 공기포의 크기는 수  $\mu\text{m}$ 에서 수 mm에 이른다.



< 그림 3.2.3.1 > 콘크리트의 동결융해

## 2) 물-시멘트비

단위결합재량 변화에 따른 물-시멘트비는 모세관 공극과 밀접한 관계를 가지고 있어 동해에 대한 콘크리트 저항성에 중요한 영향을 미친다.

저품질의 콘크리트, 다시 말해 물-시멘트비가 높은 콘크리트의 경우는 수화에 사용되지 못한 물이 많기 때문에 모세관 공극의 수와 양이 많아지고 연결이 잘 되어 동결시 물의 이동량이 많고 인접한 모세관 공극을 통하여 공기포로 이동하게 되어 동결융해시 낮은 저항성을 갖게 된다. 그러나 물-시멘트비를 너무 낮춘다면 충분한 수화가 일어나기 전에 자연상태에 노출되기 때문에 오히려 동결융해 저항성이 작아지는 것으로 알려져 있다.

## 3) 혼화제

실리카흙, 고로슬래그, 플라이애쉬 등의 혼화제를 이용한 콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 이루어지고 있으나 혼화제의 사용에 따른 동결융해 저항성의 변화에 대한 상관성은 아직 분분한 상태이고 정확한 해답을 이끌어 내지 못하고 있다.

## 나. KS F 시험방법

### 1) 동결융해 시험 방법(KS F 2456)

#### 가) 동결융해 장치

동결융해 장치는 공시체가 소정의 동결융해 사이클을 받는 데 적당한 체임버, 동결 및 가열장치 고정요의 요구 온도 하에서 연속적이고 자동적으로 재현성 사이클을 발생시킬 수 있는 장치로 구성된다. 장치가 자동적으로 작동이 되지 않을 경우에는 1일 24시간 기준으로 연속적인 수동 조작을 해야 되고 또는 장치가 작동하지 않을 때는 모든 공시체는 동결 상태로 저장해야 한다. 그리고 동결 단계시 공기 중, 융해 단계시 수중에 놓이도록 배치되어야 한다.

#### 나) 동결융해 사이클

정상적인 동결융해 사이클은 공시체의 온도를 2시간 내지 4시간 사이에서 교대

로, 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고, 다음에 -18℃에서 4℃로 상승시키는 것이다. 총시간의 20%보다 적게 사용해서는 안된다. 냉각 기간이 끝나는 순간의 공시체의 중심온도는  $-18 \pm 2^\circ\text{C}$  이어야 하며, 가열시간이 끝나는 순간의 온도는  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  이어야 하고, 언제라도 공체의 온도가  $-19^\circ\text{C}$  이하 또는  $6^\circ\text{C}$  이상이 되어서는 안된다.

임의의 공시체 중심에서의 온도가 3℃에서  $-16^\circ\text{C}$ 로 떨어지는데 소요되는 시간은 냉각시간의 1/2 이하가 되어서는 안되고, 또  $-16^\circ\text{C}$ 에서 3℃로 상승하는데 소요되는 시간은 가열시간의 1/2 이하가 되어서는 안된다.

상호 비교를 목적으로 하는 공시체에서는 임의의 공시체의 중심 온도가 2℃에서  $-12^\circ\text{C}$ 로 변화하는데 소요되는 시간이 다른 공시체에서 소요되는 시간이 다른 공시체에서 소요되는 냉각 시간의 1/6 이상 차이가 나서도 안된다.

또, 임의의 공시체의 중심 온도가  $-12^\circ\text{C}$ 에서 2℃로 변하는데 소요되는 시간이 다른 공시체에서 소요되는 가열 시간의 1/3 이상 차이가 나서는 안된다.

장치 내에서 공시체의 저항 하중을 일정하게 유지하면 쉽게 균등한 온도와 시간조건을 조절할 수 있다. 공시체의 저항 하중을 이용할 수 없을 경우에는 빈 공간을 임의의 모조 공시체로 채워야 한다. 또한 공시체의 중심과 표면의 온도차는 항상  $28^\circ\text{C}$ 를 초과해서는 안된다.

동결융해에서 상태가 바뀌는 순간의 시간이 10분을 초과해서는 안된다.

#### 다) 시험 방법

특별히 다른 재령으로 규정되어 있지 않는 한, 공시체는 14일간 양생한 후 동결융해 시험을 시작한다.

동결 상태의 초기에 용해수 내에 공시체를 넣고 동결융해 시험을 시작한다. 동결융해 사이클이 36사이클을 초과하지 않는 범위의 간격으로 용해 상태에서 장치로부터 공시체를 꺼낸다. 다음에 바로  $6 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도 조건 하에서 가로 1차 주파수 시험을 하고, 무게를 단 후 다시 시험 장치내로 옮긴다.

공시체가 온전히 용해상태에 있는지, 그리고 어떤 특정 온도 조건으로 조절 수조 내에 놓여 있는지를 확인하고, 또한 용해 사이클이 끝날 때까지 시험 중인 각 공시체 전체가 이런 상태가 되도록 공시체를 충분히 동결해 시험기 내에 두었는지를 확인한다.

공시체를 장치에서 꺼낸 동안 함수량의 손실이 없도록 보호하고, 다시 넣을 때는 양 끝이 반대가 되도록 돌려 놓는다.

각 공시체는 특별한 제한이 없는 한, 300사이클이 될 때까지 또는 초기의 최초 시험에 측정된 탄성계수의 60%가 될 때까지 시험을 계속해야 한다.

1차 진동 주파수 시험은 공시체마다 매번하며, 또한 육안으로 관측한 공시체의 상태를 기록하고, 그 기록지에 나타난 결점에 대한 평가도 기록한다.

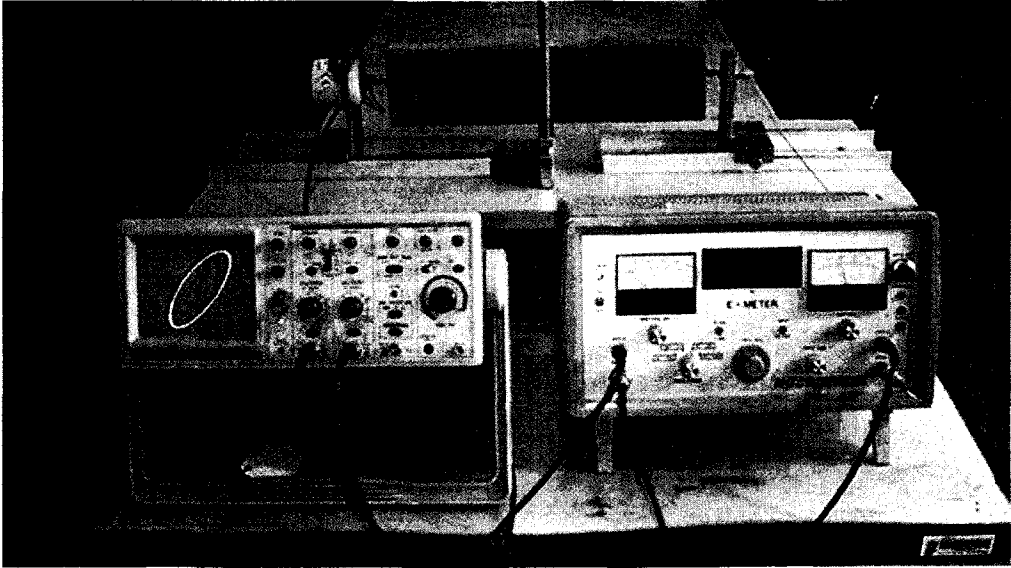
공시체의 질이 급격히 저하될 우려가 있을 경우, 초기 동결융해시의 가로 1차 진동 주파수시험은 10 사이클을 초과하지 않는 범위 내에서 하여야 한다. 상대 동탄성 계수가 50% 이하로 떨어진 후에는 공시체의 시험을 계속해서는 안된다.

장치의 고장 또는 다른 이유로 어떤 기간 동안 사이클을 중지해야 한다면, 수분의 손실을 방지하면서 동결상태로 공시체를 저장해야 한다. 용기 속에 공시체를 놓아 두기가 어려우면 가능한 한 습한 상태로 봉한 후에  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ 인 차가운 방이나 냉장고 속에 저장 해야 한다.

일반적으로 공시체를 2사이클 이상 융해조건 내에 두는 것이 바람직하지 못하지만, 전체 시험을 하는 동안 이런 일이 한 두 번만 있게 된다면 기간이 길어져도 무방하다.



(a) 동결융해 시험기



(b) 상대동탄성계수 측정  
 < 사진 3.2.3.1 > 동결융해 실험(a)~(b)

## 2) 동탄성 계수 측정(KS F 2437)

이 시험은 콘크리트의 원주형 및 각주형 공시체의 종 진동, 변형 진동 및 비틀림 진동의 1차공명 진동수를 구하여, 여기서 동탄성계수를 구하는 시험이다.

### 가) 시험용 기구

구동회로, 픽업(Pick up)회로, 공시체의 지지대로 이루어져 있다.

#### (1) 구동회로

구동 회로는 진동수가 가변인 발진기, 증폭기 및 구동단자로 되어 있다. 발진기는 진동수가 500~10000Hz의 범위에 있는 것을 표준으로 하며, 오차  $\pm 2\%$  이내로 진동수를 조정할 수 있는 것이라야 한다. 이 조정에 있어서 진동수의 검정에는 음극선 역전류 검출관(Oscilloscope)과 표준 발진자(1000Hz의 음 표준 발진자)를 사용한다.

발진기와 증폭기를 조합시킨 것은 소요의 출력을 낼 수 있으며, 그 출력을 적당히 제어할 수 있는 것이어야 한다. 공시체에 진동을 일으키게 하는 구동 단자는 발진기

와 증폭기의 출력을 최대로 한 경우에도 잘 작동해야 한다. 구동 단자의 진동 부분의 무게는 시험 결과에 영향을 미치지 않는 정도로 아주 작아야 한다. 발전기와 증폭기를 조합시켰을 때의 출력 전압은 발전기의 진동수의 전 범위내에서는  $\pm 20\%$  이상의 변화를 가져서는 안 된다.

또, 공시체의 구동 단자를 접촉시켰을 때, 위공명(공시체의 1차 공명 진동과는 무관계한 것을 말한다)이 일어나지 않도록 해야 한다. 구동 단자의 지지물은 시험결과에 영향을 미치거나 공시체의 진동을 구속해서는 안 된다.

## (2) 픽업(Pick up) 회로

픽업 회로는 픽업, 증폭기 및 지시기로 구성된다. 픽업은 공시체의 진폭 진동의 속도 또는 가속도에 비례한 전압을 발생하는 것으로서, 그 진동 부분의 무게는 공시체의 진폭 진동의 속도 또는 가속도에 비례한 전압을 발생하는 것으로서, 그 진동 부분의 무게는 공시체의 무게에 비교하여 매우 작아야 한다. 증폭기는 그 출력이 지시기를 움직이는데 충분한 것임과 동시에 출력을 제어할 수 있는 것이어야 한다. 지시기(음극선 역전류 검출관을 사용해도 되지만, 일반적으로 미터형의 지시기를 사용하는 쪽이 편리하다. 다만, 1차 공명 진동수가 있는 것을 확인하는데 음극선 역전류 검출관을 이용하는 것이 좋다.)는 전압계 또는 미소 전류계로 한다. 픽업(1차 공명진동수는 공시체의 치수 기타의 이유로 인하여 많이 변하므로 거기에 따른 픽업을 사용하여야 한다.)을 사용하는 진동수의 범위내에서 평탄한 것이어야 한다.

## (3) 공시체의 지지대

지지대는 공시체가 너무 구속되지 않고 진동될 수 있는 것이어야 한다. 지지대의 치수는 그 고유 진동수가 사용하는 진동수의 범위에 있도록 하여야 한다.

### 나) 시험 방법

#### (1) 종 진동 경우의 공명 진동수 결정

공시체는 양 끝 자유 종진동으로 될 때는 너무 구속되지 않고 진동되도록 지지대 위에 놓아야 한다. 구동력은 공시체의 끝면에서 여기에 직각으로 가하고, 픽업은 공시체의 진동 방향으로 작동하도록 콘크리트의 다른 끝면에 접촉시켜야 한다.

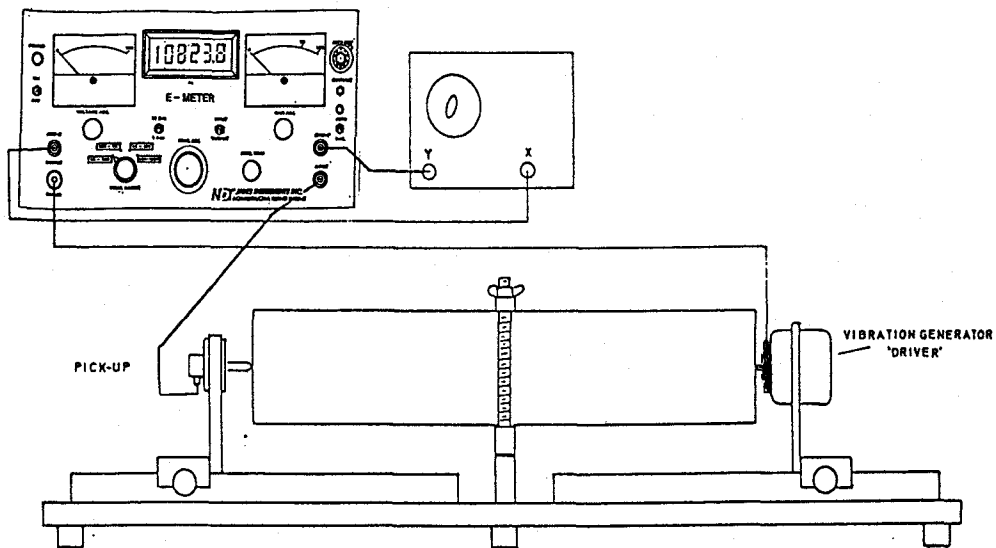
발진기의 진동수를 바꾸고, 여기에 따라 공시체가 진동하도록 구동력을 가하면서, 증폭된 픽업의 출력 전압을 관측한다. 지시기는 명확한 최대의 흔들림을 생기게 하고, 더구나 진동의 파절을 측정할 결과, 즉 진동의 파절이나 복부(腹部)의 위치를 확인하는데, 픽업을 공시체의 길이 방향으로 이동시켜 지시기의 움직임을 측정하면된다. 또한 파절에 있어서는 지시값이 최소치를 나타내고, 복부에 있어서는 최대치를 나타낸다. 음극선 역전류 검출관을 구비한 장치라면 리사주의 도형이 파절의 전후에서 위상이 변하는 것을 역전류 검출관에 의하여 확인해도 좋다. 이러한 것이 1차 공명진동임을 확인했을 때는, 이경우의 진동수를 종진동의 1차 공명 진동수로 한다.

(동탄성 계수의 계산)

$$E_D = C_1 W f_1^2$$

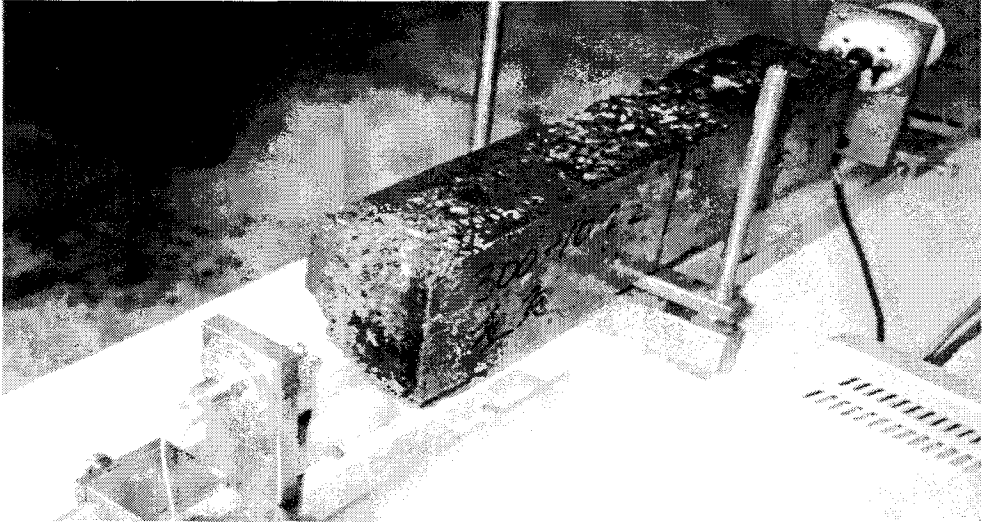
다만,  $C_1 = 408 \times 10^{-5} \frac{L}{A} (s^2/cm^2) \{s^2/mm^2\}$

- 여기서  $E_D$  : 동탄성 계수(kgf/cm<sup>2</sup>){N/mm<sup>2</sup>}
- $W$  : 공시체 무게(kgf){N}
- $f_1$  : 종진동의 1차 공명 진동수(Hz)
- $L$  : 공시체의 길이 (cm){mm}
- $A$  : 공시체의 단면적(cm<sup>2</sup>){mm<sup>2</sup>}

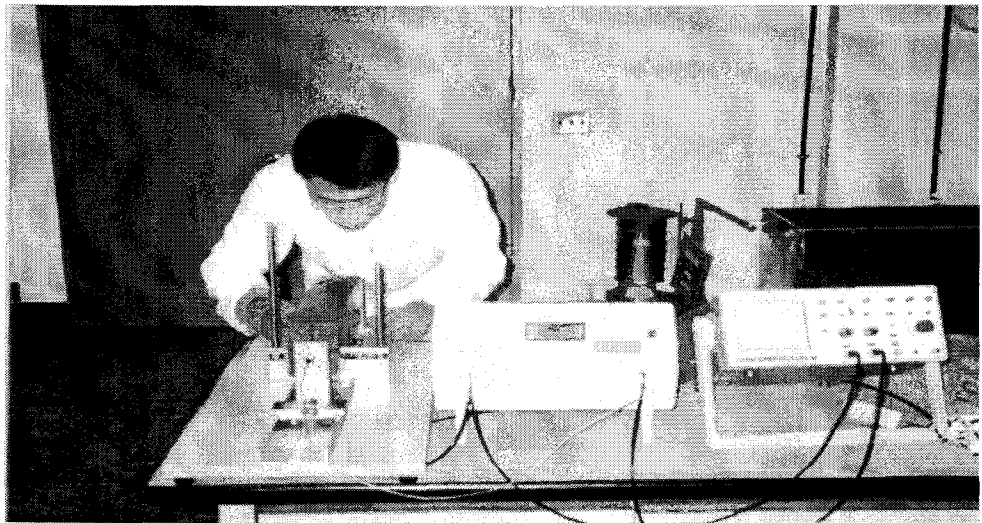


< 그림 3.2.3.2 > 동탄성계수 측정기





(a)



(b)

< 사진 3.2.3.2 > 동탄성계수 측정 모습(a)~(b)

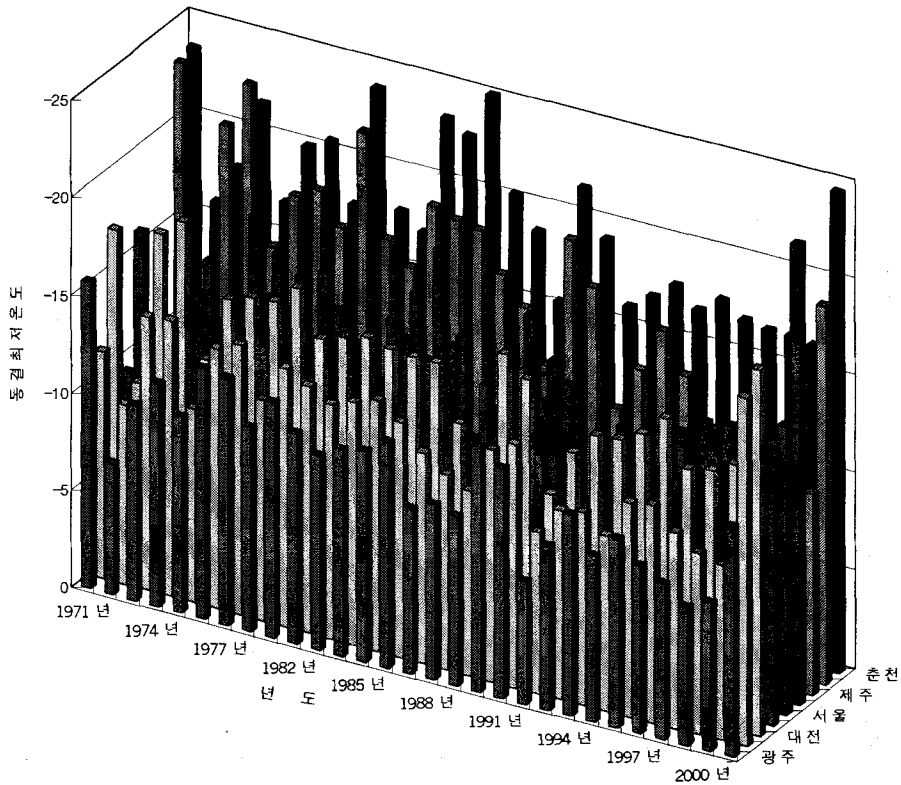
## 다. 국내의 기상조건

동결융해 작용에 미치는 온도요인으로서의 동결 최저온도, 동결속도, 융해온도 및 동결 최저온도의 지속시간이 있으나 이 중에서 동결 최저온도가 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 내구성능 저하에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그리고 동결속도, 융해온도 및 동결 최저온도의 지속시간은 일반적인 자연환경하의 온도범위에서 동결융해 저항성에 별다른 영향을 주지 않는다고 알려져 있다.

< 표 3.2.3.1 >은 국내 동결융해에 관한 기상 데이터이고 < 그림 3.2.3.3 >은 연도별로 조사한 전국주요도시의 기상데이터이다. 기상청에서 1971년부터 2000년까지 30년 동안 제공되는 기상데이터로부터 0℃에서 동결·융해가 발생한다고 가정하여 년 평균 동결최저온도와 년 평균 동결융해 사이클수를 산출한 결과이다. 춘천은 년 평균 동결 최저온도가 -16.0℃이고 년 평균 동결융해 사이클수가 108회 정도로 조사 지역 중에서 동결융해 작용을 가장 많이 받고 있다. 서울은 년 평균 90사이클 정도의 동결융해작용을 받고 있으며 년 평균 동결 최저온도는 -14.0℃ 정도이다. 그리고 대구, 광주, 울진은 년 평균 동결융해 사이클수가 75회 정도. 년 평균 동결 최저온도가 -10℃ 정도로 거의 동등한 동결융해 작용을 받는 것으로 조사되었다. 부산은 년 평균 동결융해 사이클 수가 40회 정도이고 년 평균 동결융해 최저온도도 -9.3℃로 조사한 지역 중에서 동결융해 작용을 가장 적게 받는 것으로 나타났다. 이상과 같이 우리나라는 다소 정도의 차이는 있지만, 전국적으로 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 우려가 있으며, 특히, 농업기반 콘크리트 수리구조물은 상시 물이나 습한 흙에 접하게 되는 환경에 놓여있으며 동절기 중 응달에 놓일 확률이 높다. 따라서 소요강도의 확보 못지 않게 동결융해 저항성을 고려한 내구성 설계가 필요하다고 판단된다.

< 표 3.2.3.1 > 국내의 동결음해에 관한 기상 데이터

지 역	년 평균 동결 최저온도 ( ℃ )	년 평균 동결음해 사이클수
청 주	-16.0	-
춘 천	-6.5	108
대 전	-14.4	98
서 울	-14.0	90
울 진	-12.1	75
대 구	-11.4	80
광 주	-10.0	78
부 산	-9.3	40
제 주	-3.6	-



< 그림 3.2.3.3 > 전국주요지역의 연평균최저 기온 분포

### 가) 실험방법

콘크리트의 동결융해 저항성 실험은 수중 동결 수중융해 방법과 공기 중 동결 수중융해 방법 2종류가 있으며, 본 연구에서는 후자의 방식으로 실험을 수행하였다. 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 평가할 수 있는 본 실험은 장시간이 소요되는 내구성 실험중의 하나이다. 동결융해 저항성 실험은 KS F 2456에 따라 수행하였으며, 동탄성 계수의 측정은 KS F 2437에 따라 수행하였다.

내구성 조기평가기법 개발을 위해 역학적 특성 분석을 수행하고 내구성 실험으로 동결융해 저항성 분석을 수행하였다. 콘크리트의 배합비는 < 표 3.2.1.6 >~< 표 3.2.1.8 >와 같으며, 시험체는 76×101×412mm의 치수를 사용하였다.

전 절에서도 설명하였듯이 동결융해에 대한 저항성은 공기량과 밀접한 관계가 있음은 익히 잘 알려져 있는 사항이며, T.C Powers는 동결융해에 대한 저항성을 기포 간의 간격계수에 의해 설명하였으며, 김등은 물시멘트비 25%, 30%, 및 35%에서 공기량을 각각 1.5, 1.6~3.5, 4~6, 7%로 구분하여 동결융해 실험을 수행하여 물시멘트비에 관계없이 공기량이 5%이상에서 동해저항성을 확보한다는 결론을 얻었다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 시험체를 OPC, BFS, FA 배합에서 구분별 2개의 시험체를 제작하였으며, 목표공기량은 3%, 6.5%로 변화시키면서 시험체를 제작하였다.

## 라. 실험결과 및 고찰

### 1) 공기량에 따른 동결융해 저항성

콘크리트의 공기량에 따른 동결융해 저항성을 분석하기 위해 목표공기량 3%와 6.5%에 대한 동결융해 저항성 실험을 수행하였다. 고성능AE감수제, AE감수제의 사용으로 공기연행량 조절할 수 있었으며, 콘크리트의 공기함량에 따라 동결융해 저항성의 차이는 큰 것으로 나타났다. < 표 3.2.3.2 >~< 표 3.2.3.4 >에 나타난 바와 같이 강도의 증가분에 따른 저항성의 증가보다 공기량의 증가에 따른 내구성 증가가 훨씬 큼을 알 수 있다.

### 2) 혼화제의 종류에 따른 동결융해 저항성

최근 현장에서 주로 사용하고 있는 콘크리트는 레미콘이 대부분이며, 많은 공장

에서 혼화재를 사용하고 있다. 이러한 혼화재를 혼입한 콘크리트와 혼입하지 않은 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 살펴볼 수 있었다. 기준콘크리트인, OPC, 고로슬래그를 혼입한, BFS, 플라이애쉬를 혼입한, FA에 대해 각각 호칭강도별 동결융해 저항성 결과를 < 표 3.2.3.5 > ~ < 표 3.2.3.10 >에 나타내었다. 목표 공기량이 6.5%인 경우는 OPC의 호칭강도 400에서 최대 사이클 수가 1204을 나타냄에 따라 내구성 지수(Durability Factor)를 계산하는데 KS F 2456에서 “동결융해에의 노출이 끝날 때의 사이클 수”로 정의된 M값을 1200으로 사용하였으며, 목표공기량이 3.0%인 배합에서는 OPC의 호칭강도 350에서 최대 사이클 수가 368을 나타냄에 따라 M값을 370으로 사용하였다. 일반적으로 M값을 300으로 적용하여 계산하는 내구성 지수와 비교할 경우 상대비교가 되지 않을 것을 고려하여 KS F 2456에서 “시험을 단속시킬 수 있는 소정의 최소값이 된 순간의 사이클 수, 또는 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수”로 정의된 N값을 내구성 지수와 같이 표기하였다.

혼화재의 종류에 따른 동결융해 저항성은 별다른 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 고로슬래그미분말이나 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 경우 혼입하지 않은 OPC 보다 최대 사이클 수가 약간 작게 나타남을 알 수 있다. 문헌에 따르면 아직 분명히 밝혀지지 않는으나 혼화재를 혼입한 경우 수화반응이 둔화되는 현상이 발생하게 되는데 이러한 시점에서 동결융해를 받을 경우 저항성이 떨어지는 것으로 언급되고 있다. 혼화재의 종류별로 호칭강도에 따른 동결융해 저항성 실험결과를 < 그림 3.2.3.4 > ~ < 그림 3.2.3.9 >에 도시하였다.

< 표 3.2.3.2 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-OPC)

구 분		180	210	240	270	300	350	400
OPC	N(cycles)	90	145	252	220	291	368	340
	내구성 지수1)	23.9	29.6	57.0	36.5	63.2	76.0	60.0
공기량 (3%)		2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	3.0	3.5
OPC	N(cycles)	750	805	820	865	893	1002	1204
	내구성 지수2)	56.9	42.7	46.7	43.7	59.4	51.9	62.3
공기량 (6.5%)		6.5	7.0	7.5	6.5	6.5	6.5	6.5

※ 1) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=370 적용  
 2) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=1200 적용

< 표 3.2.3.3 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-BFS)

구 분		180	210	240	270	300	350	400
BFS	N(cycles)	105	140	197	203	227	215	230
	내구성 지수1)	23.4	24.4	43.7	43.0	37.6	42.5	49.0
공기량 (3%)		3.0	2.5	2.5	3.0	3.5	3.5	3.0
BFS	N(cycles)	712	750	780	843	893	989	1103
	내구성 지수2)	38.5	37.8	41.9	42.6	45.1	55.4	61.3
공기량 (6.5%)		7.9	7.5	7.5	6.5	6.5	6.0	6.0

※ 1) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=370 적용

2) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=1200 적용

< 표 3.2.3.4 > 공기량에 따른 동결융해 저항성 비교(25mm-FA)

구 분		180	210	240	270	300	350	400
FA	N(cycles)	75	94	183	197	220	201	196
	내구성 지수 <sup>1)</sup>	16.9	21.8	34.2	46.3	38.3	33.5	33.4
공기량 (3%)		2.5	2.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0
FA	N(cycles)	700	770	800	840	900	952	982
	내구성 지수 <sup>2)</sup>	35.9	47.2	47.5	47.4	54.1	57.7	54.5
공기량 (6.5%)		7.0	6.5	7.5	6.0	6.5	6.5	6.0

※ 1) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=370 적용

2) 내구성 지수(DF =PN/M) 산정시 M=1200 적용

< 표 3.2.3.5 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - OPC - 3.0 % )

cycles	상대동탄성계수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	96.6	98.6	96.3	96.8	96.6	97.8	98.1
31 ~ 60	97.6	98.2	89.7	80.7	96.7	98.3	98.6
61 ~ 90	98.3	100.0	97.7	-	-	99.2	98.3
91 ~ 120	-	87.3	97.5	97.5	97.4	-	-
121 ~ 150	-	75.5	97.7	97.2	98.0	99.1	96.3
151 ~ 180	-	-	97.5	97.5	97.9	99.9	97.6
181 ~ 210	-	-	97.5	98.8	97.9	100.0	98.8
211 ~ 240	-	-	99.3	61.5	90.0	99.5	97.6
241 ~ 270	-	-	83.8	-	95.9	98.7	97.6
271 ~ 300	-	-	-	-	80.3	99.3	96.8
301 ~ 330	-	-	-	-	-	98.4	70.5
331 ~ 360	-	-	-	-	-	99.2	65.3
361 ~ 370	-	-	-	-	-	76.4	-
N <sup>1)</sup>	90	145	252	220	291	368	340
내구성지수 <sup>2)</sup>	23.9	29.6	57.0	36.5	63.2	76.0	60.0

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

2)  $DF=PN/M$ ,  $M=2400$  적용.

< 표 3.2.3.6 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - BFS - 3.0 % )

cycles	상대동탄성계수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	100.0	98.6	97.5	98.1	-	97.8	98.1
31 ~ 60	100.0	98.2	100.0	97.1	96.6	98.3	98.6
61 ~ 90	100.0	100.0	96.2	99.0	96.7	99.2	98.3
91 ~ 120	82.5	100.0	-	98.9	97.4	99.1	96.3
121 ~ 150	-	64.5	98.4	98.9	98.0	99.9	97.6
151 ~ 180	-	-	98.5	98.4	97.9	100.0	98.8
181 ~ 210	-	-	82.0	78.4	74.8	-	936.6
211 ~ 240	-	-	-	-	61.3	73.1	78.8
N <sup>1)</sup>	105	140	197	203	227	215	230
내구성지수 <sup>2)</sup>	23.4	24.4	43.7	43.0	37.6	42.5	49.0

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

2) DF=PN/M, M=2400 적용.



< 표 3.2.3.7 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - FA - 3.0 % )

cycles	상 대 동 탄 성 계 수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	99.9	97.4	97.7	-	-	100.0	97.2
31 ~ 60	94.6	-	-	100.0	95.5	98.7	98.8
61 ~ 90	83.3	100.0	100.0	99.7	100.0	98.7	99.3
91 ~ 120	-	85.8	97.4	100.0	97.0	97.3	98.4
121 ~ 150	-	-	89.0	100.0	98.9	96.2	98.9
151 ~ 180	-	-	77.3	100.0	98.5	76.6	71.9
181 ~ 210	-	-	69.1	86.9	73.2	61.6	63.0
211 ~ 240	-	-	-	-	64.4	-	-
N <sup>1)</sup>	75	94	183	197	220	201	196
내구성지수 <sup>2)</sup>	16.9	21.8	34.2	46.3	38.3	33.5	33.4

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

2) DF=PN/M, M=240 적용.

< 표 3.2.3.8 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - OPC - 6.5 % )

cycles	상 대 동 탄 성 계 수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	100.0	99.1	96.9	-	-	96.7	97.7
31 ~ 60	97.1	99.8	-	97.7	94.7	96.7	-
61 ~ 90	98.5	99.5	89.4	95.0	95.6	98.5	96.0
91 ~ 120	97.7	100.0	97.8	93.6	95.1	97.9	97.1
121 ~ 150	97.3	100.0	97.4	93.6	91.2	97.3	97.5
151 ~ 180	97.5	100.0	97.7	93.6	91.2	96.9	95.6
181 ~ 210	98.2	100.0	97.9	93.5	90.8	96.5	96.0
211 ~ 240	98.4	-	99.7	92.8	88.6	97.3	99.2
241 ~ 270	-	100.0	98.6	93.9	89.3	97.8	99.7
271 ~ 300	98.8	100.0	98.6	90.3	90.0	97.3	100.0
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
750 ~ 1204	91.0	63.7	68.3	60.7	79.8	62.2	62.1
N <sup>1)</sup>	750	805	820	865	893	1002	1204
내구성지수 <sup>2)</sup>	56.9	42.7	46.7	43.7	59.4	51.9	62.3

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

2) DF=PN/M, M=1200 적용.

< 표 3.2.3.9 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - BFS - 6.5 % )

cycles	상 대 동 탄 성 계 수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	-	-	-	100.0	-	100.0	100.0
31 ~ 60	95.6	97.4	98.1	100.0	97.1	100.0	-
61 ~ 90	96.4	98.2	98.5	100.0	91.8	100.0	100.0
91 ~ 120	95.3	98.7	98.4	100.0	100.0	100.0	100.0
121 ~150	96.6	99.4	99.1	-	97.3	-	100.0
151 ~ 180	100.0	99.9	100.0	100.0	95.7	100.0	98.1
181 ~ 210	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0
211 ~ 240	99.3	99.8	100.0	100.0	97.1	95.3	100.0
241 ~ 270	100.0	100.0	100.0	100.0	91.8	99.6	100.0
271 ~ 300	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.7	100.0
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
700 ~ 1200	64.9	60.4	64.5	60.7	60.6	67.2	66.7
N <sup>1)</sup>	712	750	780	843	893	989	1103
내구성지수 <sup>2)</sup>	38.5	37.8	41.9	42.6	45.1	55.4	61.3

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

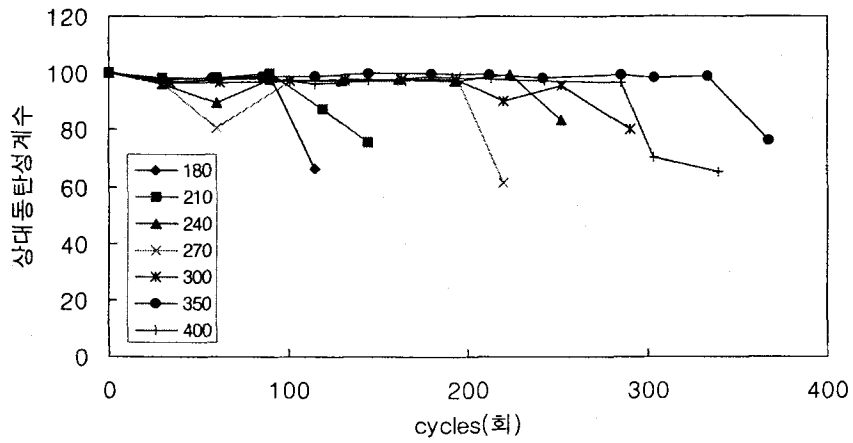
2) DF=PN/M, M=1200 적용

< 표 3.2.3.10 > 콘크리트 동결융해 시험 ( 25mm - FA - 6.5 % )

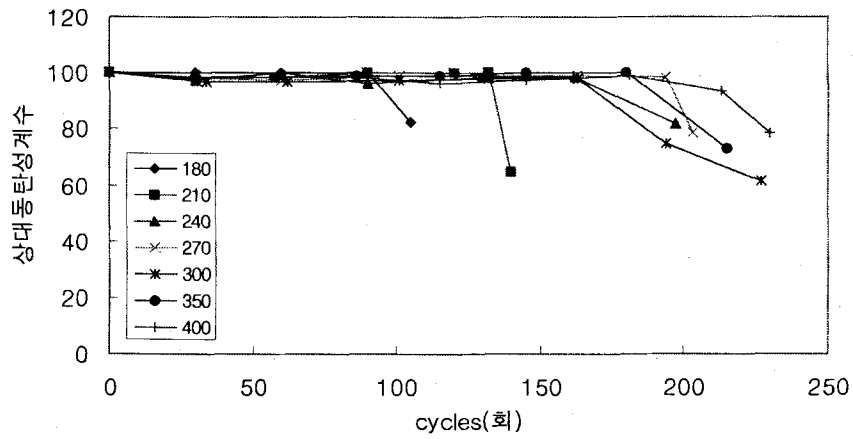
cycles	상 대 동 탄 성 계 수						
	180	210	240	270	300	350	400
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 ~ 30	97.6	99.5	100.0	-	-	99.1	99.8
31 ~ 60	-	100.0	-	97.8	97.6	-	-
61 ~ 90	100.0	100.0	100.0	98.5	95.9	99.7	99.4
91 ~ 120	96.3	100.0	99.4	96.9	95.9	99.7	98.9
121 ~150	99.1	100.0	99.7	96.9	96.1	100.0	96.2
151 ~ 180	98.5	100.0	96.3	98.5	97.2	100.0	96.6
181 ~ 210	99.3	100.0	100.0	97.0	97.0	99.9	98.8
211 ~ 240	99.1	100.0	98.9	97.7	100.0	98.4	96.7
241 ~ 270	97.9	100.0	96.8	96.9	100.0	98.7	97.5
271 ~ 300	100.0	100.0	96.4	93.8	97.2	99.0	96.4
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
700 ~ 1200	61.6	73.5	71.3	67.8	72.1	72.7	66.6
N <sup>1)</sup>	700	770	800	840	900	952	982
내구성지수 <sup>2)</sup>	35.9	47.2	47.5	47.4	54.1	57.7	54.5

※ 1) 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

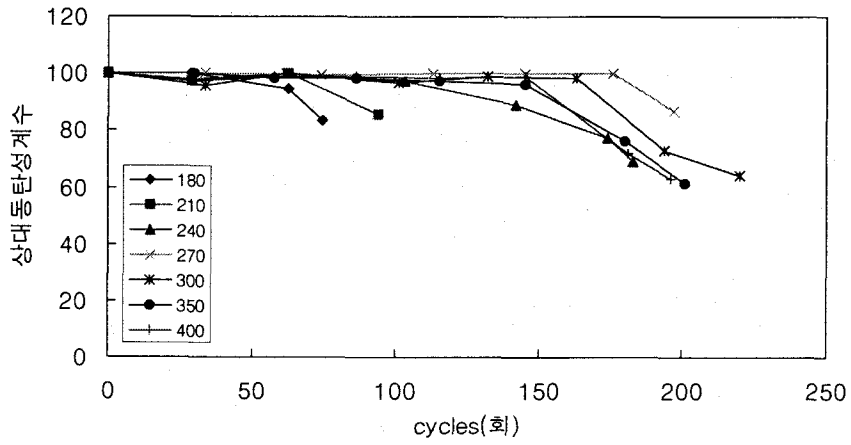
2) DF=PN/M, M=1200 적용.



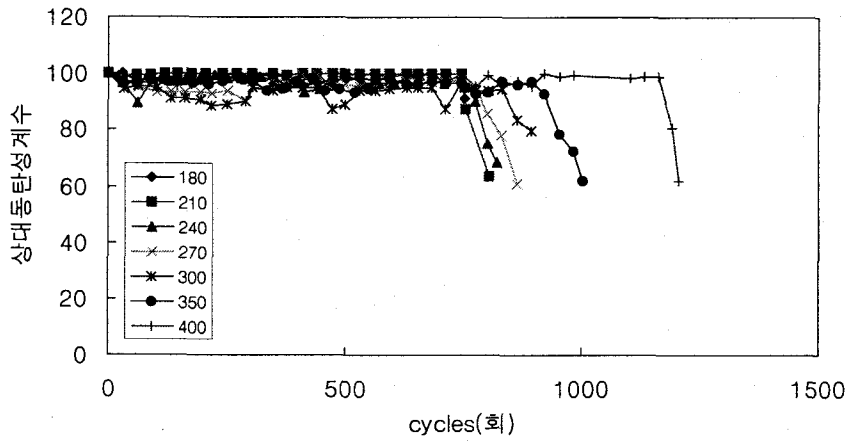
< 그림 3.2.3.4 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-OPC, 공기량3.0%)



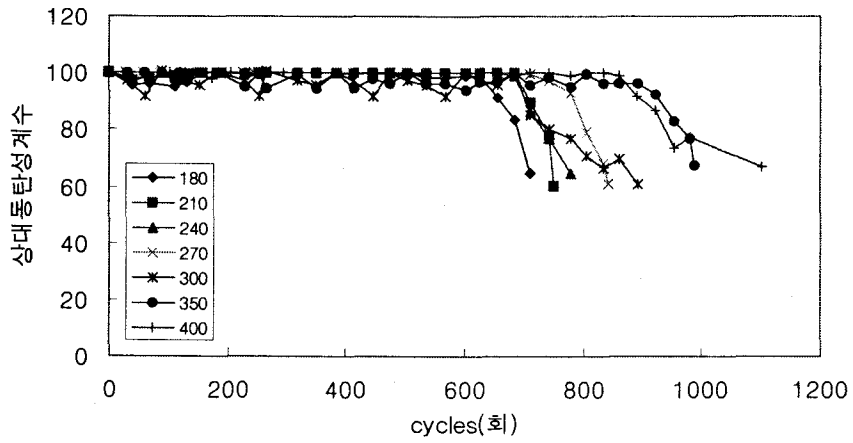
< 그림 3.2.3.5 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-BFS, 공기량3.0%)



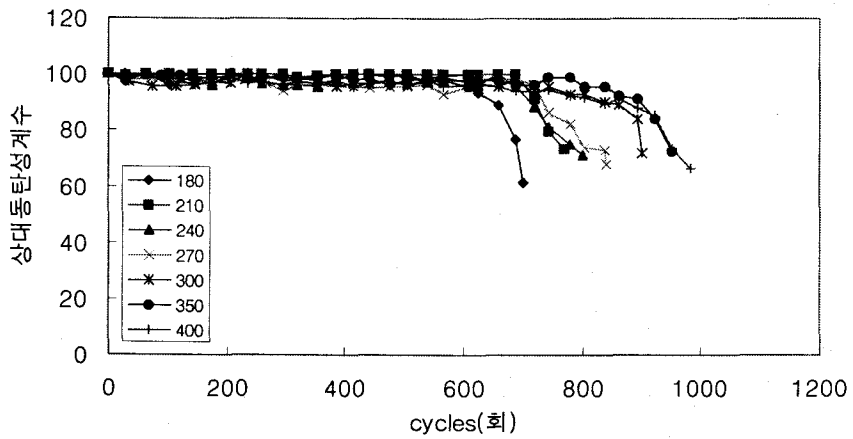
< 그림 3.2.3.6 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-FA, 공기량3.0%)



< 그림 3.2.3.7 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-OPC, 공기량6.5%)



< 그림 3.2.3.8 > 상대동탄성계수의 변화(25mm-BFS, 공기량6.5%)



< 그림 3.2.3.9 > 상대동탄성계수의 변화 (25mm-FA, 공기량6.5%)

## 4. 염소이온 투과 저항성

### 가. 실험개요

콘크리트의 내구성을 조기에 평가하기 위해 선택한 배합에 대해 역학적 실험을 수행하고 내구성 평가실험으로 동결융해 저항성 실험에 이어 염소이온 투과 저항성 실험을 수행하였다.

본 실험방법은 콘크리트의 내구성을 평가하는 실험방법으로 염소이온의 투과성에 저항하는 콘크리트의 저항능력을 전기적인 지시값으로 나타내주는 촉진형 실험방법중 하나이다. 또한, 이 실험방법은 콘크리트의 염소이온 투과 저항성을 단시간에 획득함으로써 콘크리트 시험체의 전기적 전도성을 실험적으로 평가할 수 있다. 본 연구에서는 콘크리트의 품질을 평가하는데 역학적 측면은 단기간(약 1개월)이면 평가가 가능하나 장기적인 내구적 성질을 평가하는 데는 많은 기간(최소 3개월)이 소요되는 점을 감안하여 짧은 시간에 내구적 성질을 평가하고자 본 실험방법을 택하게 되었다. 다음 절에서 설명이 되겠지만 본 실험방법은 순수실험시간이 6시간정도면 측정이 가능한 실험방법이다.

실험조건은 OPC, BFS, FA를 대상으로 원주형 공시체를 절단하여 ASTM C 1202의 규정에 따라 수행하였다. 각 조건별 시험체는 4개를 제작하였으며, 결과분석은 4개 시험값의 평균을 적용하였다.

### 나. 측정방법

본 실험은 전위차를 이용한 염소이온의 이동을 알 수 있는 T. Zhang 와 O. E. Gjov3)등에 의해 제안된 전기적 방법을 응용하였으며, 장치는 < 그림 3.2.4.1 >, < 그림 3.2.4.2 >과 같다.

염소이온투과시험은 ASTM C 1202에 따라 < 사진 3.2.4.1 >와 같이 장치를 구성하였다.

시편은  $\phi 10 \times 20$  cm인 원형공시체를 측정값의 신뢰도를 높이기 위하여 중간부분에서  $5 \pm 0.2$  cm 높이를 갖도록 절단하였다.

준비된 시편을 Applied Voltage Cell(이하 A.V. Cell)에 정치한 후 A.V. Cell (+)전



극 쪽에는 0.3 N의 수산화나트륨(NaOH)을, (-)전극 쪽에는 3.0%의 염화나트륨(NaCl)의 전해질용액을 주입하였다.

실험 중 30분마다 저항 0.2Ω에 걸리는 전압은 데이터 로거(Data logger)장치를 이용하여 측정하였으며, 측정값은 다음 식 3.2.4.1에 의하여 전류값으로 환산하였다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.2} \text{ ----- (3.2.4.1)}$$

여기서,

I = 전류(A),

V = 전압(V),

R = 저항(Ω).

염소이온투과실험은 매 시편마다 6시간이 소요되고 30분 간격으로 전압값을 측정하였으며, 측정된 전압은 전류로 환산한 후 다음 식 3.2.4.2를 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 계산하였다.

$$Q = 900 \times ( I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360} ) \text{ ----- (3.2.4.2)}$$

여기서,

Q = 통과 전하량 (coulombs),

$I_0$  = 전압이 걸린 직후 전류 (amperes)

$I_i$  = 전압이 걸린지  $i$  분후 전류 (amperes)

만약 시편의 염소이온투과직경이 95mm가 아닐 경우 투과면적에 대해 보정해야 하고, 이는 다음 식 3.2.4.3을 따른다.

$$Q_s = Q_x \times \left( \frac{95}{x} \right)^2 \text{ ----- (3.2.4.3)}$$

여기서,

$Q_s$  = 직경 95mm 시험체를 통과한 전하량

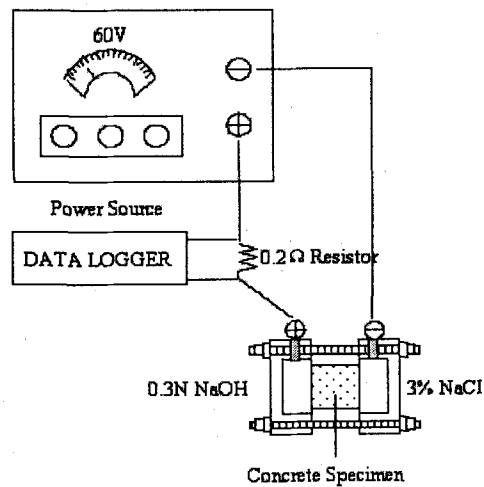
$Q_x$  = 직경 x mm 시험체를 통과한 전하량

x = 비표준시험체의 직경

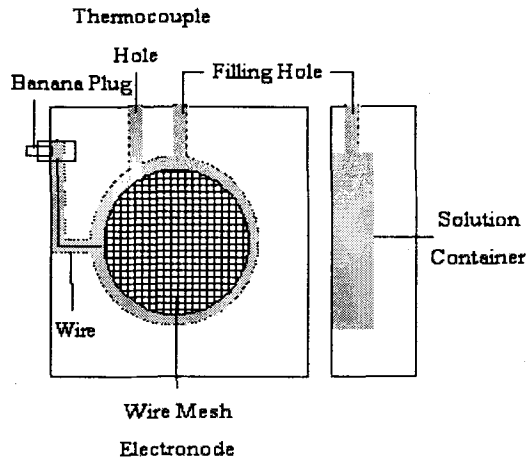
ASTM의 규정에는 < 표 3.2.4.1 >과 같이 본 실험에서 산정된 전하량을 염소이온 투과성과 비교하는 자료를 제시하고 있다.

< 표 3.2.4.1 > 투과된 전하량을 통한 염소이온 투과성 평가<sup>(30)</sup>

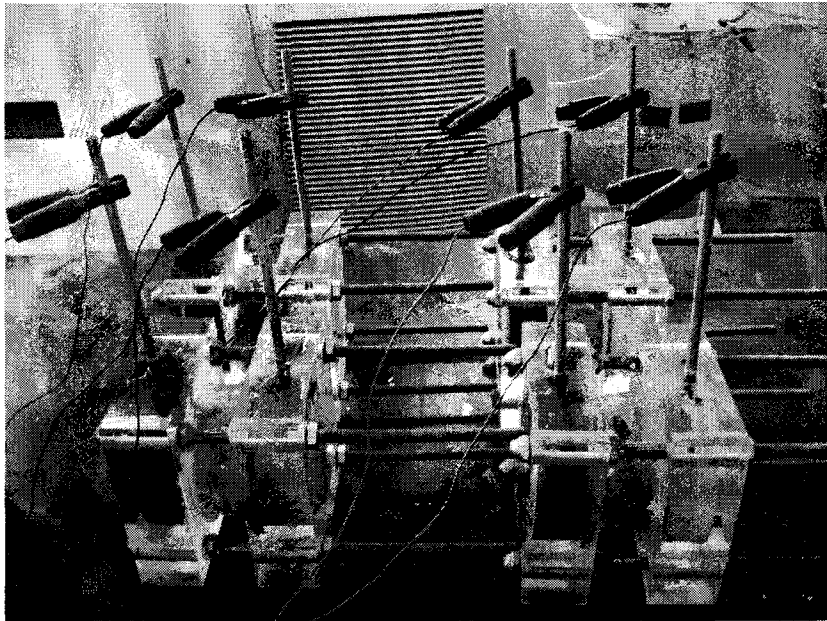
통과 전하량 (coulombs)	염소이온 투과성
>4,000	High
2,000~4,000	Moderate
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very Low
<100	Negligible



< 그림 3.2.4.1 > 전기 회로도



< 그림 3.2.4.2 > 전압 재하 장치



< 사진 3.2.4.1 > 염소 이온 투과시험

### 다. 결과분석 및 고찰

목표공기량 6.5%의 OPC, BFS, FA의 호칭강도별 투과전하량은 강도가 증가할수록 전하량이 감소하는 경향을 보이며, 혼화재의 종류에 따른 변화는 작은 것으로 나타났다. < 그림 3.2.4.3 >에서 플라이애쉬를 혼입한 FA에서 OPC나 BFS보다 작은 값을 보임을 알 수 있다. 전하량이 작은 것은 콘크리트내의 염소이온이 지나갈 수 있는 경로가 작음을 뜻하며, 이는 내부조직에 공극이 작고 조직이 치밀함을 의미한다. 반면 전하량이 크면 공기량이 많고 조직이 느슨하여 염소이온이 투과할 수 있는 경로가 많이 형성될 수 있음을 의미한다. < 그림 3.2.4.4 >에는 물시멘트비에 따른 염소이투과량을 혼화재의 종류별로 도시하였다.

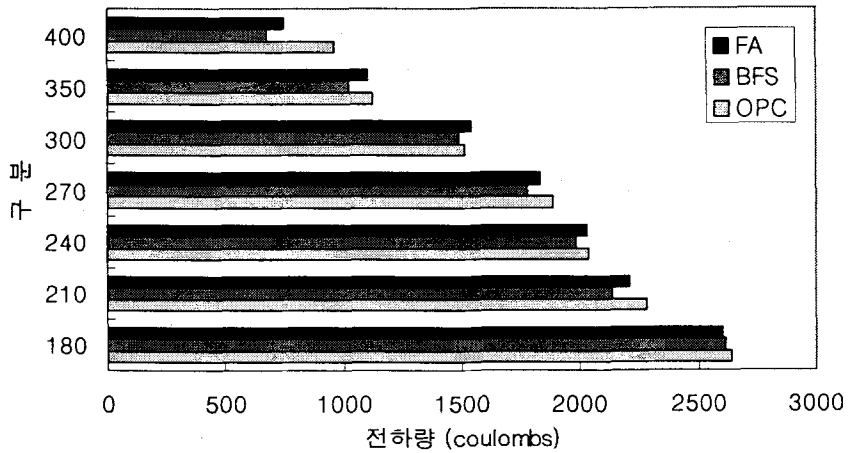
< 그림 3.2.4.5 >는 굵은골재 최대치수 20mm의 OPC 배합에서 목표공기량 2%, 굵은골재 최대치수는 25mm의 OPC 배합에서 목표공기량 6.5%의 염소이온투과저항성을 비교한 것이다. 공기량이 적은 경우 물시멘트비의 변화에 따른 투과전하량의 변화가 완만한 반면 공기량이 많은 경우는 물시멘트비의 변화에 따라 투과전하량이 공기량이 적은 경우보다 크게 변화함을 알 수 있다.

< 표 3.2.4.2 > 콘크리트 염소이온 투과량(25mm)

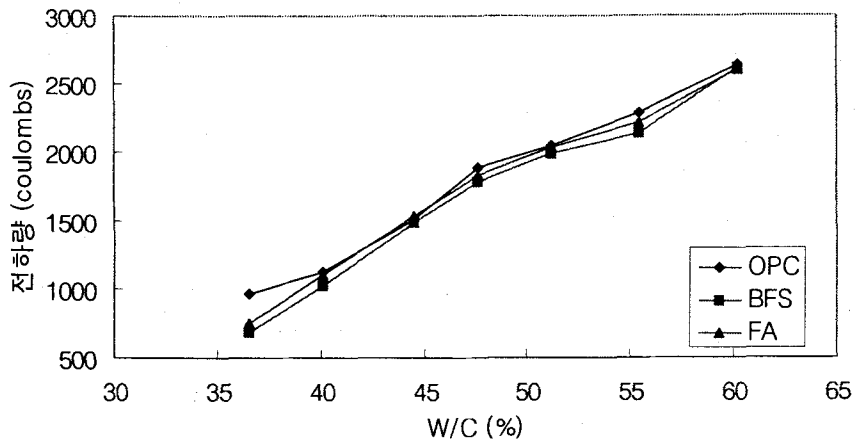
구 분	전하량 ( coulombs )		
	OPC	BFS	FA
180	2640	2615	2600
210	2280	2134	2212
240	2040	1985	2034
270	1884	1780	1832
300	1516	1488	1538
350	1121	1020	1103
400	964	678	750

< 표 3.2.4.3 > 콘크리트 염소이온 투과량(20mm-OPC)

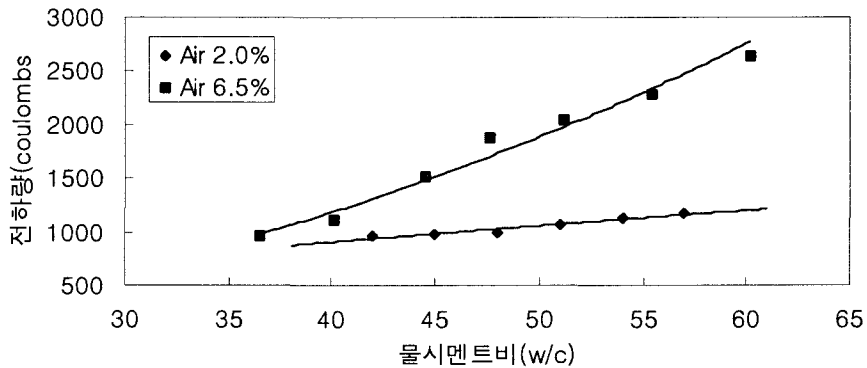
	구 분					
	42-2	45-2	48-2	51-2	54-2	57-2
전하량 ( coulombs )	962	980	1000	1066	1125	1178



< 그림 3.2.4.3 > 구분(호칭강도)과 염소이온 투과 저항성(25mm)



< 그림 3.2.4.4 > 물시멘트비와 염소이온 투과 저항성(25mm)



< 그림 3.2.4.5 > 공기량의 변화에 따른 염소이온투과 저항성(25mm)

## 5. 부식 저항성

### 가. 실험개요

콘크리트의 배합성분 중 염분이 포함되지 않는다면 부식이 발생하는 메카니즘은 염소이온이 콘크리트 내부로 확산되어 철근의 위치에서 염소이온의 농도가 부식을 활성화시키게 되어 철근 부식이 시작된다. 따라서 본 연구에서 수행한 콘크리트의 염소이온 투과성이 철근의 부식에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 된다. 콘크리트에 매설된 철근의 부식방법 중 자연 침투방법은 장시간의 실험시간이 필요하고 이러한 방법은 장시간의 관리가 어려운 점이 있다. 따라서 촉진시험이 보편화 되고 있고 촉진 시험으로는 오토클레이브에 의한 촉진과 전압에 의한 촉진으로 나눌 수 있고 본 연구에서는 전위차에 의한 부식촉진 실험을 수행하였다. 전위차에 의한 강제 부식방법은 실험에 소요되는 시간이 자연 침투방법과 다른 촉진 실험에 비해 매우 짧고 또한 각 시편간의 특성들이 명확하게 나타내어지는 장점이 있다.

콘크리트 수리구조물은 조직내부의 공극을 따라 물과 대기중의 산소 및 염화물이 자유롭게 출입하여 철근의 부식을 일으키며, 부식으로 발생하는 부식 팽창압에 의해

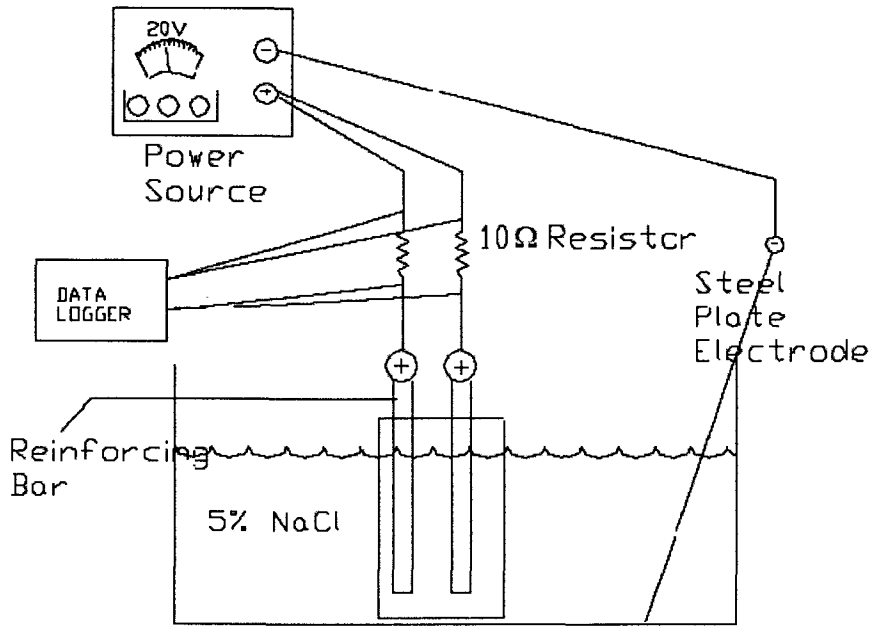
표면에 균열이 발생하고 나아가 피복 콘크리트가 탈락된다. 따라서 철근부식은 피복 역할을 하는 콘크리트의 투수성과 밀접한 관계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 다양한 변수로 제작된 콘크리트시편에 철근부식실험을 실시함으로써 부식을 차단하는 저항성에 대한 비교 지표를 구하고, 그 결과를 통해 콘크리트수리구조물에서 철근의 부식을 차단하는 최적의 물-시멘트비와 연행 공기함량, 골재의 종류 등 배합설계의 기본자료를 제시하고자 하였다.

## 나. 실험방법

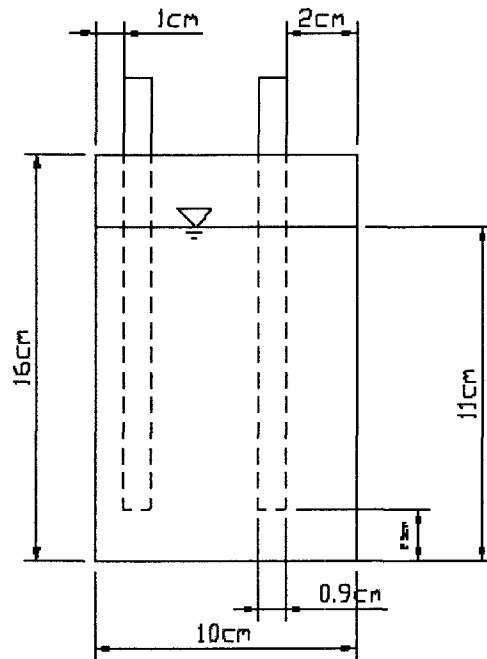
본 연구에서는 콘크리트내 철근에 부식을 유발시킬 수 있는 변수를 굵은골재의 최대치수, 물시멘트비, 공기량으로 선정하고 철근부식에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 굵은골재의 최대치수는 20mm, 25mm, 공기량은 2%, 6.5%, 물시멘트비는 36~60%(7종류)로 선정하였다. 실험조건별로 철근이 매립된 표준양생 공시체를 제작하여 철근의 부식에 대한 내구성의 상대지표를 비교분석코자 하였다.

철근부식 실험방법은 그 결과가 상대적인 비교 지표이므로 부식에 의해 균열이 생길 때까지 지속한다. < 그림 3.2.5.1 >과 같은 장치에 5%의 NaCl 용액에 철근을 매설한 시편을 침지하고 (+)극은 철근에, (-)극은 NaCl 용액에 연결한 후 20V 직류를 공급한다. < 그림 3.2.5.2 >와 같이 콘크리트 시편의 높이는 16cm이고, 철근덮개는 1cm, 2cm 두 종류, 5%용액에 침지한 높이는 11cm이다. 철근의 덮개가 일정하도록 < 사진 3.2.5.1 >에서 보는 바와 같이 아크릴로 제작된 스페이서를 몰드내에 미리 설치한 후 콘크리트를 타설하여 시험체를 제작하였다.

시편의 부식측정방법은 철근의 부식으로 인한 팽창압으로 균열이 생겨 콘크리트의 균열사이로 전해질이 침투해 전류량이 갑자기 크게 증가하게 된다. 이러한 시점을 측정하기 위한 장치로 각 시편마다 10 $\Omega$ 의 저항에 걸리는 전압을 측정하여 전류로 환산한다. 직류전압의 측정은 Data Logger를 이용하여 30분다 측정하며 부식에 의해 균열이 발생하면 실험을 종료한다.

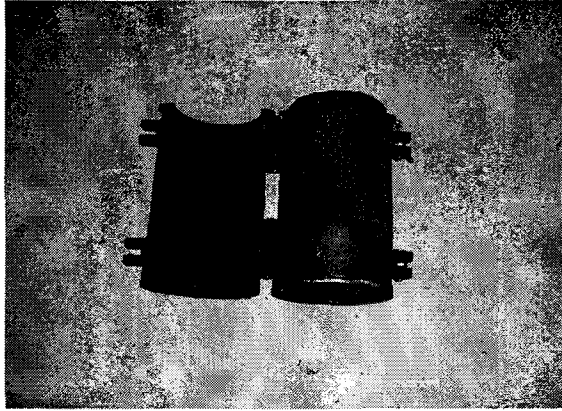


< 그림 3.2.5.1 > 내부식성시험장치도

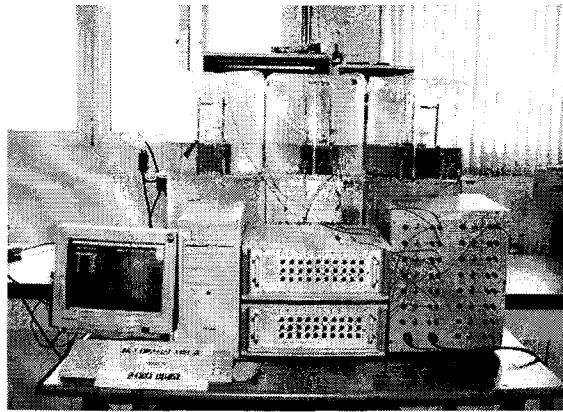


< 그림 3.2.5.2 > 내부식성 시험체





(a) 탈형하고 있는 시편



(b) 부식저항성 실험 전경

< 사진 3.2.5.1 > 부식저항성 실험(a)~(b)

#### 다. 결과분석 및 고찰

콘크리트의 부식저항성 평가는 매립된 철근에 부식 발생이 시작되고, 점차 부식이 진행되어 철의 체적팽창으로 덮개에 균열이 발생하게 되어 전류량이 급격히 증가하게 된다. 콘크리트의 부식저항성을 평가하기 위해 실험시작 시간에서 130시간이 경과한 시점에서의 전류량을 상대적으로 비교분석하였다.

OPC, BFS, FA에서 호칭강도별 전류량을 < 표 3.2.5.1 >에 나타내었다. < 그림

3.2.5.3 >에서 보면 호칭강도 400~240까지는 강도의 변화에 따른 전류량의 변화가 작으나 호칭강도 210이하에서는 전류량이 급격히 커지는 것을 볼 수 있다. 혼화재의 종류에 따른 전류량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

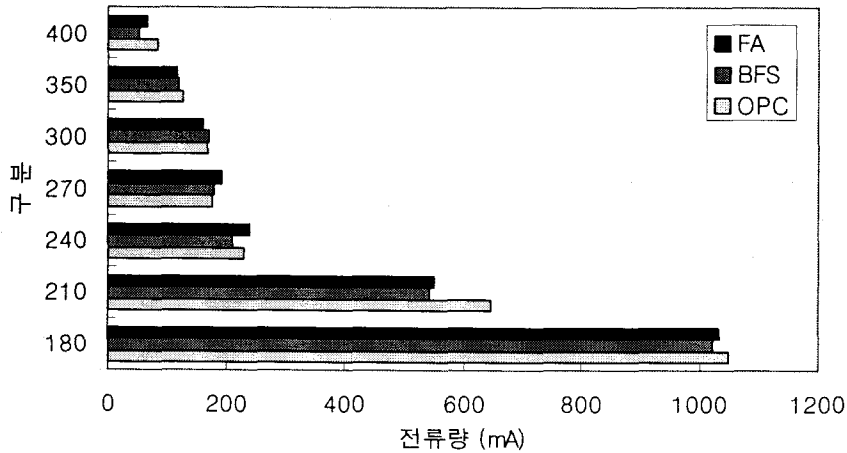
< 그림 3.2.4.4 >는 굵은골재 최대치수 20mm의 OPC 배합에서 목표공기량 2%, 굵은골재 최대치수는 25mm의 OPC 배합에서 목표공기량 6.5%의 부식저항성을 비교한 것이다. 공기량이 적은 경우 물시멘트비의 변화에 따른 전류량의 변화가 완만한 반면 공기량이 많은 경우는 물시멘트비의 변화에 따라 전류량이 공기량이 적은 경우보다 크게 변화함을 알 수 있다. 이는 염소이온 투과 저항성의 경향과 같은 경향으로 콘크리트의 공기량에 따른 내구성변화를 판단할 수 있는 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

< 표 3.2.5.1 > 콘크리트의 부식저항성 실험 결과(25mm)

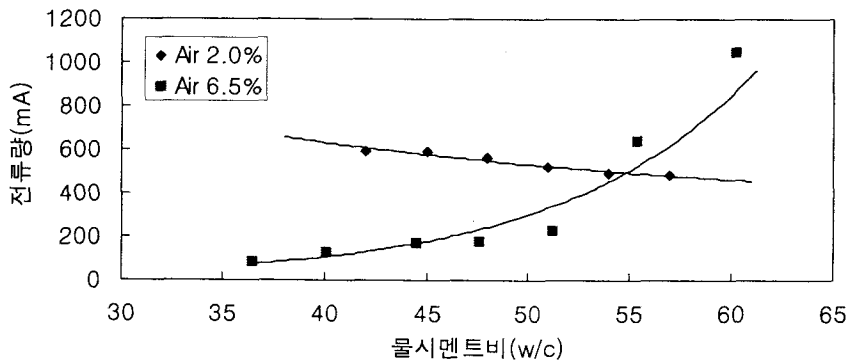
구 분	전류량 ( mA ) ( 130hr )		
	OPC	BFS	FA
180	1050	1022	1032
210	646	544	552
240	231	211	241
270	178	180	192
300	169	172	162
350	127	120	117
400	84	54	67

< 표 3.2.5.2 > 콘크리트의 부식저항성 실험 결과(20mm-OPC)

구 분	전류량( mA ) (130hr)					
	42-2	45-2	48-2	51-2	54-2	57-2
OPC	487	495	520	562	5942	596



< 그림 3.2.5.3 > 호칭강도별 부식저항성 비교(25mm)



< 그림 3.2.5.4 > 공기량에 따른 부식저항성 비교(20mm-OPC, 25mm-OPC)

## 6. 상관성 분석

콘크리트는 내구성이 우수하여 반영구적인 구조재료로 인식되어 왔으나, 근래에 들어 여러 가지 환경적, 물리적 및 화학적 요인들에 의해 콘크리트 구조물의 성능이 저하됨으로써 콘크리트의 내구성에 대한 문제가 사회적으로도 대두되고 있다. 한국콘크리트 학회에서는 “콘크리트 내구성 설계 및 수명평가 연구 소위원회”가 발족되고 이분야에 연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

서두에서도 언급하였지만, 일반 콘크리트 구조물에 비하여 농업토목 수리구조물은

내구성 상실의 영향을 받을 환경에 처한 경우가 많다. 동결융해 메카니즘을 보면 기온이 낮더라도 물에 젖어있지 않을 경우 동해를 입지 않으며, 일산화탄소나 이산화탄소에 노출되더라도 적정온도와 습도가 맞추어지지 않으면 중성화반응은 잘 일어나지 않는다. 철근의 부식 역시 염분이 침투하거나 중성화로 인하여 콘크리트의 부동태 피막이 파괴되기까지의 일련의 과정이 적정 온도와 습도가 맞추어지지 않으면 진행이 느리다. 이러한 내구성을 저하시키는 환경적 요건은 농업용 수리시설물이 설치된 곳에서는 쉽게 발생될 수 있는 조건들이다.

일반 콘크리트 구조물의 공사시기는 대체로 연중 아무 때나 이루어지지만 농업용 수리시설물은 연중 농한기인 동절기에 이루어져야 하는 경우가 대부분이다. 제한된 공사시기에 공정을 맞추어야 하는 한계를 안고 구조물을 시공해야 한다.

이러한 내구성을 저하시키는 환경과 제한된 공사시기를 극복하기 위한 노력의 일환으로 콘크리트의 내구성을 조기에 평가하여, 내구적인 콘크리트 시공을 위해 수행한 본 연구를 통해 몇 가지 결론을 얻었다.

내구성을 조기에 평가한다는 것은 쉽지 않은 문제이나 실내에서 자연현상을 촉진형 실험을 통해 예측하는 일련의 분석을 통해 동결융해 저항성, 염소이온투과 저항성, 내부식 저항성, 압축강도의 관계를 < 표 3.2.6.1 > ~ < 표 3.2.6.4 >에 나타내었다.

< 표 3.2.6.1 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-OPC )

구 분	W/C (%)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전하량 (coulombs)	사이클수 (회)	전류량 (mA)	공기량 (%)
180	60.2	233	2640	750	1049.7	6.5
210	55.4	250	2280	800	645.7	7.0
240	51.2	284	2040	820	230.8	7.5
270	47.6	327	1884	865	177.5	6.5
300	44.5	361	1516	901	169.2	6.5
350	40.1	379	1121	1002	127.2	6.5
400	36.5	401	964	1204	83.9	6.5

< 표 3.2.6.2 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-BFS )

구 분	W/C (%)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전하량 (coulombs)	사이클수 (회)	전류량 (mA)	공기량 (%)
180	60.2	259	2615	720	1021.7	7.9
210	55.4	283	2134	750	543.7	7.5
240	51.2	288	1985	780	210.8	7.5
270	47.6	329	1780	843	180.0	6.5
300	44.5	378	1488	893	172.2	6.5
350	40.1	396	1020	989	120.2	6.0
400	36.5	449	678	1103	53.9	6.0

< 표 3.2.6.3 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 25mm-FA )

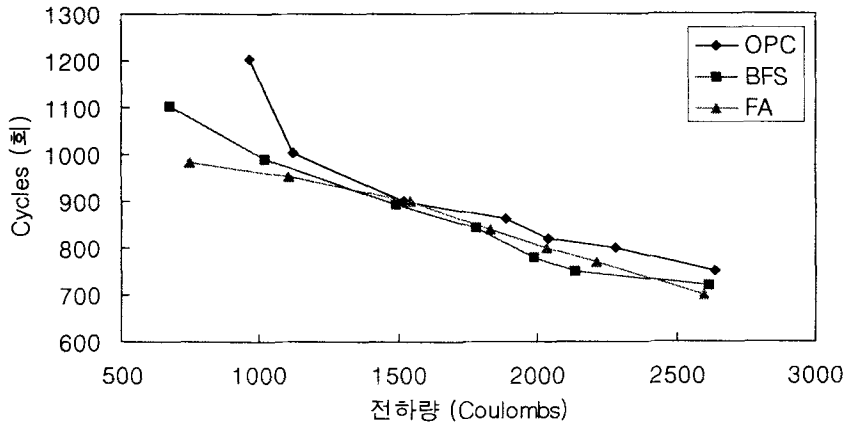
구 분	W/C (%)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전하량 (coulombs)	사이클수 (회)	전류량 (mA)	공기량 (%)
180	60.2	261	2600	700	1032.3	7.0
210	55.4	287	2212	770	552.3	6.5
240	51.2	297	2034	800	240.7	7.5
270	47.6	325	1832	840	192.2	6.0
300	44.5	332	1538	900	162.3	6.5
350	40.1	385	1103	952	117.2	6.5
400	36.5	411	750	982	66.5	6.0

< 표 3.2.6.4 > 물시멘트비에 따른 내구성실험 결과와 압축강도( 20mm-OPC )

구 분	W/C (%)	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	전하량 (coulombs)	사이클수 (회)	전류량 (mA)	공기량 (%)
42-2	42	392	962	345	487	1.8
45-2	45	357	980	297	495	2.0
48-2	48	345	1000	250	520	1.8
51-2	51	295	1066	239	562	1.7
54-2	54	282	1125	189	594	1.5
57-2	57	264	1178	127	596	1.7

### 가. 염소이온 투과 저항성과 동결융해 저항성

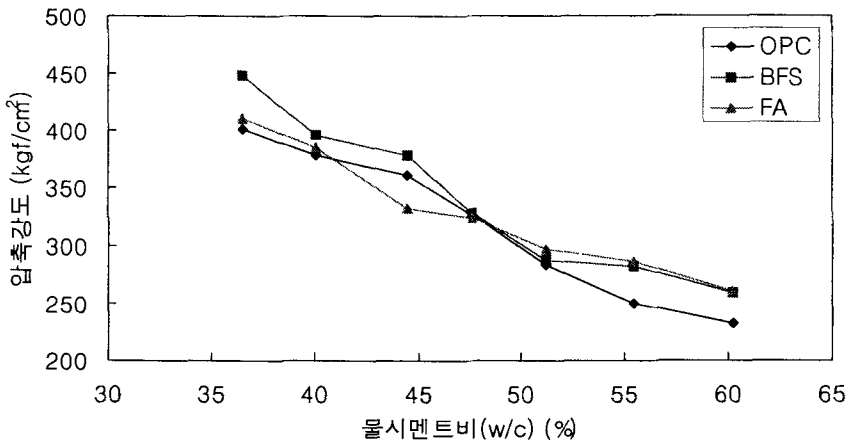
염소이온 투과 저항성은 공기량에 따라 물시멘트비별 전하량이 < 그림 3.2.4.5 >와 같은 경향을 보였으며, 동결융해 저항성은 공기량에 따라 < 표 3.2.3.2 >와 같은 현저한 차이를 보임을 알았다. 따라서 정확한 값을 제시하기엔 다소 부족하지만, 동결융해 저항성을 확보하기 위해선 목표 공기량을 6.5% 전후로 정하여야 할 것으로 판단할 수 있다. < 그림 3.2.6.1 >은 염소이온 투과실험을 통해 얻은 투과전하량과 동결융해 저항성 실험을 통해 얻은 동결융해 사이클 수와의 관계를 도시한 그래프이다. 전하량과 사이클 수의 관계는 반비례관계에 있음을 알 수 있으며, 혼화재의 종류에 따른 차이는 작은 것으로 나타났다.



< 그림 3.2.6.1 > 염소이온 투과량과 동결융해 사이클수

### 나. 물시멘트비별 압축강도

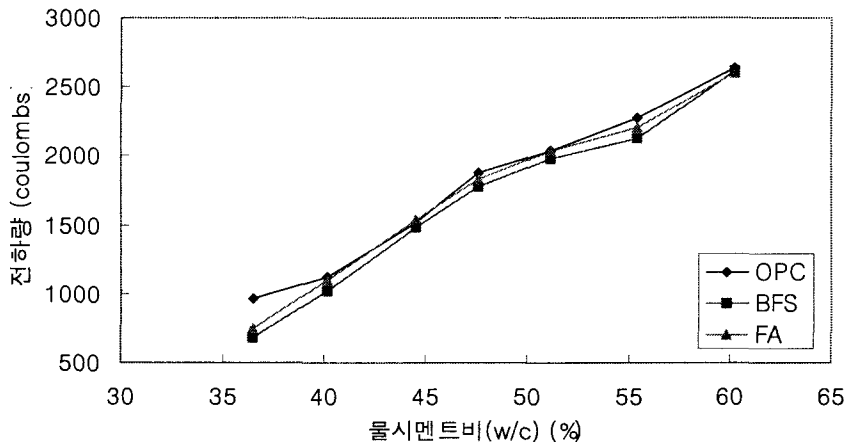
물시멘트비에 따른 압축강도의 변화를 < 그림 3.2.6.2 >에 도시하였다. 물시멘트비와 압축강도의 관계식은 다양한 식들이 제안되고 있으나 본 연구결과 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 낮은 물시멘트비에서는 고로슬래그나 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 압축강도가 OPC 보다 높게 나타났는데 이는 혼화재를 치환하지 않고 첨가하여 배합하였기 때문으로 판단된다.



< 그림 3.2.6.2 > 물시멘트비에 따른 압축강도

### 다. 물시멘트비별 전하량

< 그림 3.2.6.3 >은 물시멘트비에 따른 콘크리트의 염소이온 투과 전하량을 도시한 그래프이다. 가 절에서도 언급하였듯이 목표 공기량 6.5%의 배합에서 전하량을 측정된 것이며 물시멘트비가 커질수록 전하량이 커지는 관계를 가짐을 알 수 있었다.

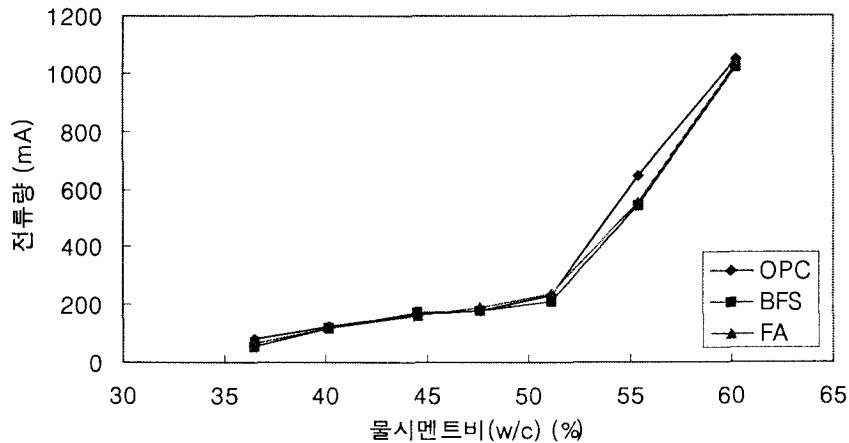


< 그림 3.2.6.3 > 물시멘트비에 따른 전하량

### 라. 물시멘트비별 전류량

물시멘트비에 따른 콘크리트의 부식저항성을 < 그림 3.2.6.4 >에 나타내었다. 물시멘트비 51%를 기준으로 큰 경우는 전하량이 급격히 증가하는 경향을 보이며, 작은 경우는 물시멘트비의 변화에 완만한 증가 경향을 보임을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 콘크리트가 부식저항성을 갖기 위해서는 가급적 낮은 물시멘트비를 사용하여야 하며, 충분한 자료는 아니지만 본 연구결과에 미루어보면 50%미만을 사용하여야 할 것으로 판단할 수 있었다.





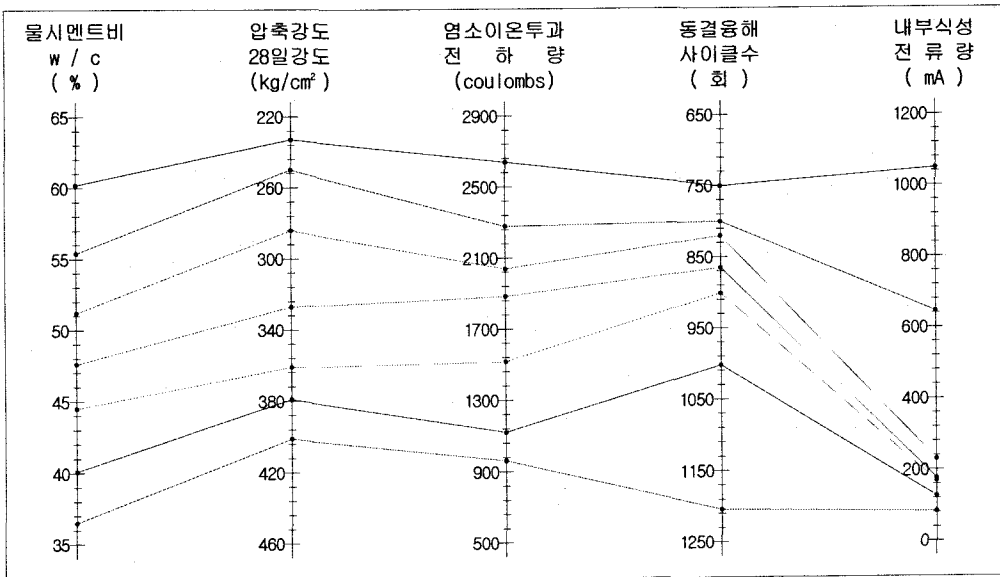
< 그림 3.2.6.4 > 물시멘트비에 따른 전류량

## 7. 내구성 조기판정

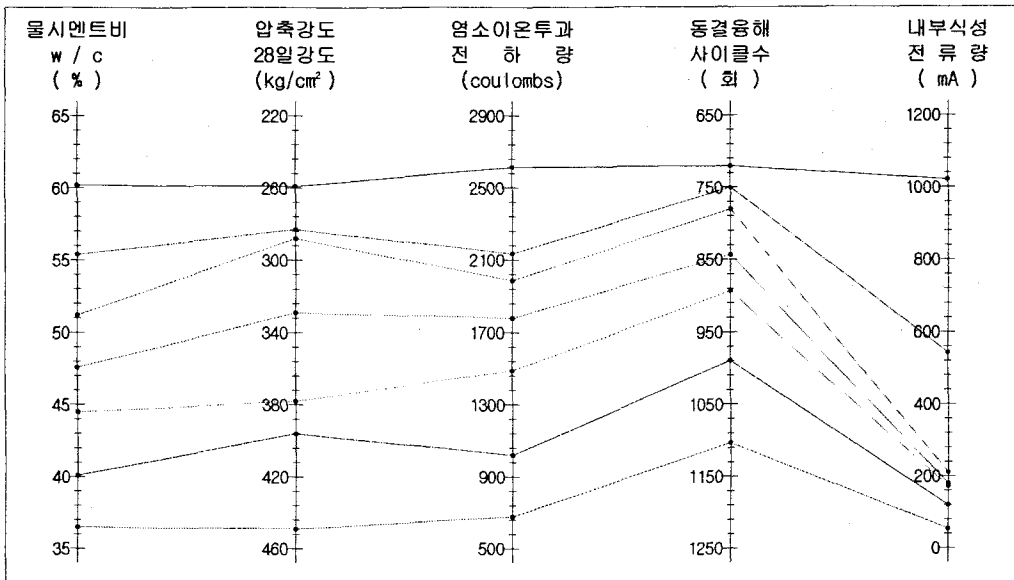
본 연구의 세가지 소 주제 중 두 번째 주제인 콘크리트의 내구성 조기판정기법 개발에 관한 연구의 결과를 요약하였다. 내구성 평가에 관한 많은 연구가 이루어졌고 또 이루어지고 있는 현 시점에서 본 연구에서는 농업용 수리구조물의 설치 환경적 특성을 고려하여 동결융해 저항성, 염소이온 투과저항성, 철근부식저항성에 대한 내구성 분석을 수행하였으며, 역학적 특성으로는 압축강도와 휨강도를 측정하였다. 내구성 실험에는 시간이 많이 소요되는 실험이 있는가 하면 비교적 짧은 시간에 완료할 수 있는 실험도 있다. 그리고, 내구성 실험에는 콘크리트의 품질평가를 위해 반드시 수행하여야 함에도 불구하고 실험에 소요되는 시간이 많이 필요하여 수행하지 못하는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 근래에 와서 가장 많이 사용되는 콘크리트를 선정하여 내구성 실험과 역학적 실험을 동시에 수행하여 서로의 상관관계를 그림으로 도시함으로써 짧은 시간에 완료할 수 있는 내구성 실험값을 통하여 장기간 소요되는 내구성 실험결과를 추정할 수 있도록 하였다. 물론 제시한 그림은 선정된 배합 즉, 굵은골재 최대치수나 공기량이 고정된 경우에 한하지만, 내구성실험을 선행하여 반드시 갖추어야 할 콘크리트의 물리적 성질을 반영한 배합이다.

< 그림 3.2.7.1 >은 물시멘트비에 따른 재령 28일 압축강도, 염소이온 투과저항성 실험에서 얻은 전하량, 동결융해 저항성 실험에서 얻은 동결융해 사이클 수, 부식저항성 실험에서 얻은 전류량을 하나의 그림으로 나타낸 것이다. 배합조건은 혼화재를 혼입하지 않았으며, 굵은골재 최대치수는 25mm, 목표공기량은 6.5%인 배합이다. 그래프의 활용의 예를 들면, 임의의 콘크리트가 재령 28일 압축강도에서 233kgf/cm<sup>2</sup>와 250kgf/cm<sup>2</sup>사이의 값을 나타내었다면 이 콘크리트의 동결융해저항성은 750사이클과 800사이클 사이값을 갖을 수 있음을 예측할 수 있다. 물론 이 콘크리트는 앞에서 언급한 배합조건을 갖춘 배합이어야 한다.

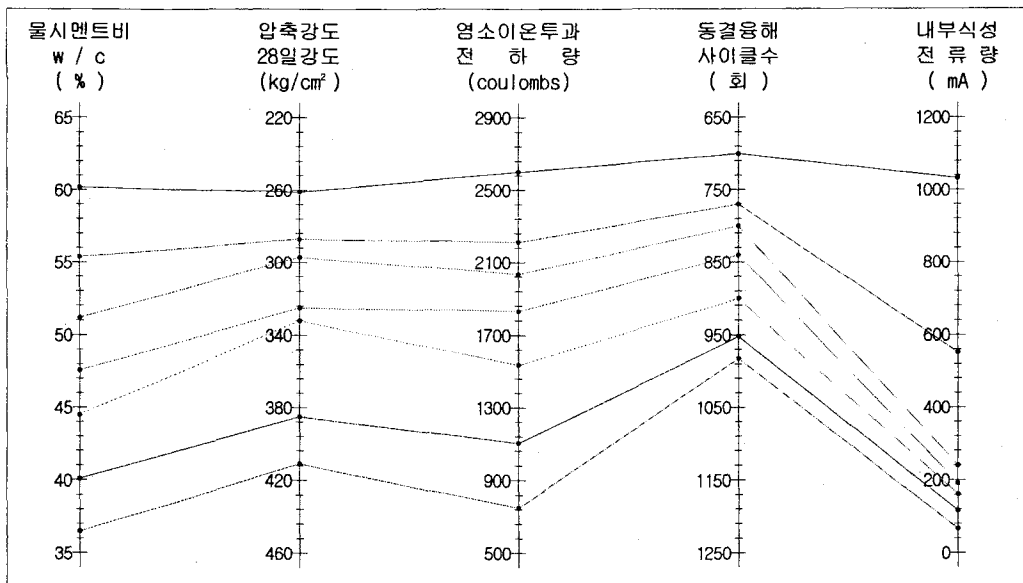
< 그림 3.2.7.2 >~< 그림 3.2.7.3 >은 각각 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트에 대한 내구성 조기 평가를 위한 그래프이며, < 그림 3.2.7.4 >는 혼화재를 혼입하지 않았으며, 굵은골재 최대치수 20mm, 목표공기량 2.0%의 배합에 대한 내구성 조기평가를 위한 그래프이다. 목표공기량이 2.0%의 경우에 대한 콘크리트 내구성 자료 예측을 위해 < 그림 3.2.7.1 >~< 그림 3.2.7.3 >과 비교하여 도시하였다.



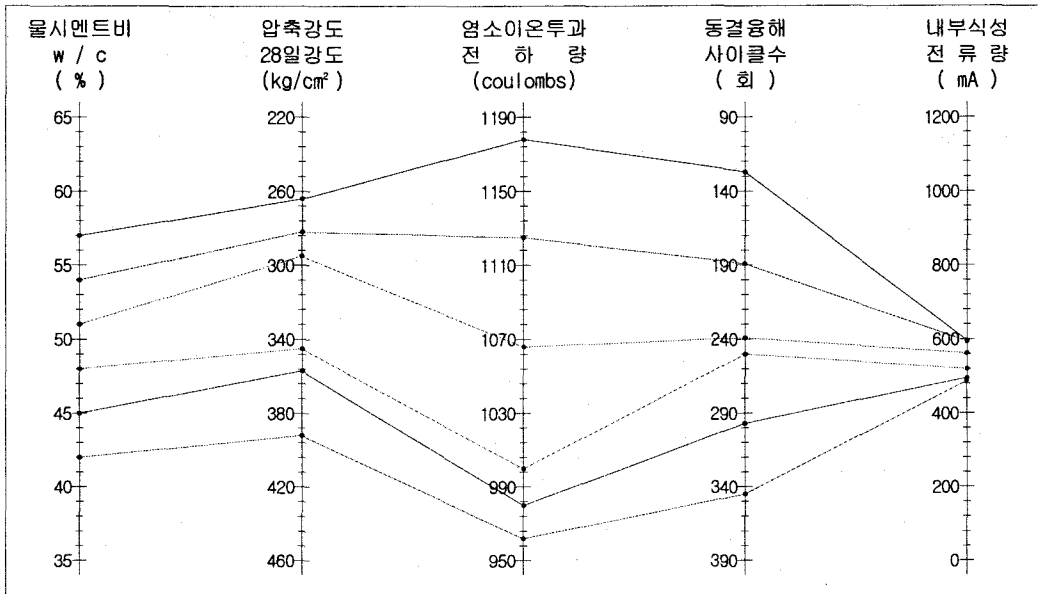
< 그림 3.2.7.1 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도  
(25mm-OPC, 공기량 6.5%)



< 그림 3.2.7.2 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도  
(25mm-BFS, 공기량 6.5%)



< 그림 3.2.7.3 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도  
(25mm-FA, 공기량 6.5%)



< 그림 3.2.7.4 > 물시멘트비에 따른 내구성 분석결과와 압축강도  
(20mm-OPC, 공기량 2.0%)

## 제3절 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발

### 1. 개요

농업토목 콘크리트 수리구조물의 내구성을 향상시킬 수 있는 기법에 대한 연구의 일환으로 사용연수별 구조물 내 콘크리트 압축강도의 변화를 규명하고, 이를 토대로 목표내구연한을 충족시킬 수 있는 설계기준강도나 배합강도를 규명하는 연구를 수행하게 되었다.

이를 위해서는 시공 당시 구조물에 사용된 콘크리트의 압축강도를 규명해야 하며, 시공 당시 구조물 콘크리트 압축강도 규명을 위해서는 경화된 콘크리트 배합비를 역추정하는 기법을 도입하여, 배합비를 역추정하고, 역추정된 배합비에 따라 배합설계를 재현함으로써 시공 당시의 구조물 압축강도를 추적할 수 있다.

콘크리트는 자갈, 모래, 시멘트와 물의 수화생성물 및 내부 공극으로 이루어져 있는 복합재료의 부산물이므로 시공 당시 구조물 콘크리트의 배합비를 역추정하기 위해서는 구조물로부터 코어를 채취한 다음 이로부터 사용재료(시멘트, 모래, 자갈 및 물량)별 함량을 규명해야 한다. 규명하는 방법에는 화학약품을 사용하는 습식법과 기계를 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 후자를 이용하였는데 기계식은 습식법에 비하여 분석시간이 짧으며 화학약품을 사용하지 않는 장점이 있다. 본 연구에서는 경화 콘크리트 배합비 역추정 기법을 개발하였다.

### 2. 기법 개발 절차

시멘트와 골재(모래)내 포함된 원소 중 가장 뚜렷한 차이를 보이는 것은 Ca이다. 이는 석회석을 소성 분쇄하여 시멘트를 제조하였으므로 시멘트 또는 시멘트 수화생성물 내에는 모래에는 거의 없는 Ca가 다량 함유되었기 때문이다. 따라서 기존 콘크리트내 시멘트 사용량을 역추정 하기 위해서는 경화된 콘크리트 또는 모르타르내의 시멘트 함량은 XRF를 이용해 Ca를 측정함으로써 추정이 가능하다. 그러나 시멘트는

제조사별 Ca함량이 약간씩 다를 수 있으며, 또한 전국에 산재한 농업토목 콘크리트 수리구조물에 사용된 골재(모래, 자갈)도 다양한 골재 채취장에서 운반하여 왔기 때문에 그 속에는 일정량의 Ca가 함유될 수도 있다.

이에 따라 본 연구에서는 기존 콘크리트의 배합비를 역추정하는 방법으로 콘크리트 내 굵은골재를 제거하고 남은 모르타르내에서 시멘트 함량을 먼저 규명하는 방법을 채택하였다. 한편 XRF를 활용한 Ca성분 검출 방법으로 경화된 콘크리트내 시멘트 함량을 역추정하기 위해서는 먼저 국내산 시멘트를 제조사별로 시료를 수집한 다음 이를 분석할 필요가 있으므로 본 연구에서는 국내산 시멘트를 수집하여 물리·화학적 특성을 분석하였다.

반면 콘크리트내 굵은골재의 함량은 절단면적 비례법을 통해 굵은골재의 체적을 추정한 다음 비중과 흡수율을 이용하여 굵은골재 사용중량을 추정할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 정밀분석 대상 구조물에 사용된 굵은골재를 수집한 다음 이의 물리·화학적 특성을 분석하기로 하였다.

또한 콘크리트내 모래 사용량은 전체 중량에서 굵은골재의 중량과 시멘트 중량 및 수화생성물의 중량을 제하면 예측이 가능하다.

경화된 콘크리트 내 공극은 굳기 전 콘크리트속의 물, 갇힌공기, 연행공기에 의해 생성된다. 굳지 않은 콘크리트가 경화하면서 소비되는 물의 양은 시멘트 사용량의 일정비율 즉, 물시멘트비로 표시될 수 있다. 또한 콘크리트가 경화될 때 블리딩현상에 의해 소비되는 물의 양도 물시멘트비의 함수로 나타낼 수 있다. 따라서 굳지 않은 콘크리트내의 공기량과 물량을 물시멘트비별로 측정하고 경화 후 공극량을 측정함으로써 공극량과 물시멘트비의 상관관계를 규명할 수 있으므로 이를 이용하여 경화된 콘크리트내 공극량을 측정하면 시공당시의 사용된 물의 양을 추정할 수 있다. 물론 사용량을 모르는 혼화제의 사용으로 인한 연행 공기가 섞여 있을 경우는 표준사용량을 기준으로 할 수 있다.

본 연구에서 정밀분석할 기존의 농업토목 콘크리트 수리구조물은 불특정하므로 콘크리트의 배합비와 골재원 및 골재의 물리화학적 특성을 사전에 예측할 수 없다. 따라서 먼저 실험실에서 사전에 골재원과 배합비 및 사용재료별 물리·화학적 특성을 알고 있는 재료를 사용하여 콘크리트 또는 모르타르 시편을 제작하고 이의 성분분석을 통해 사용재료별 함량비를 역추하는 기법을 개발한 다음, 이를 기존 콘크리트 수

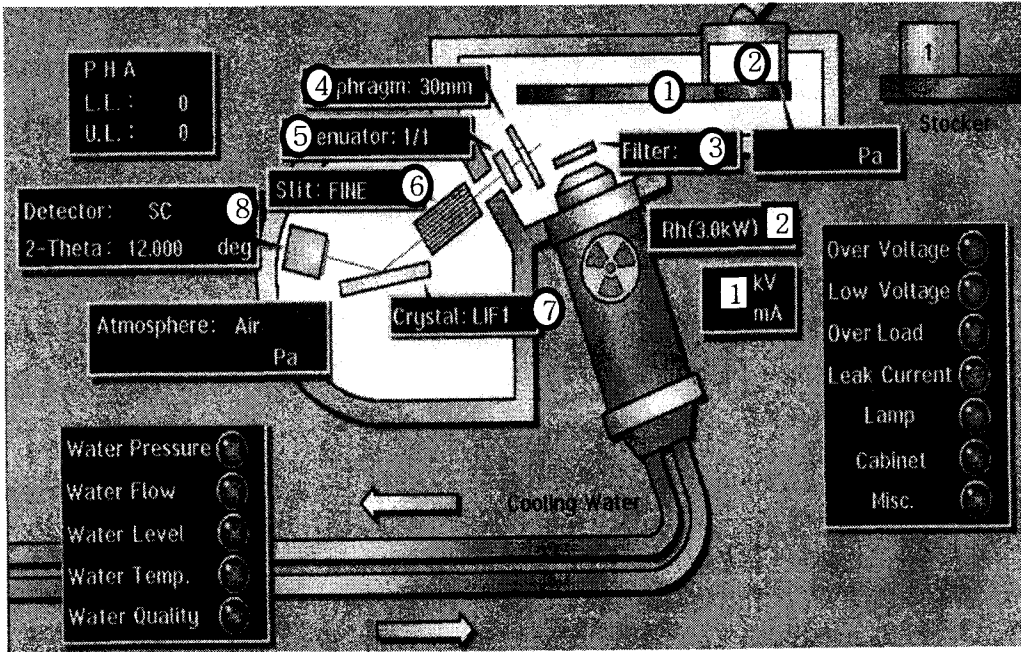
리구조물의 시공당시 배합비 역추정에 확장하는 절차가 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 먼저, 주관연구기관이 과거 30여년 동안 설계·시공하였던 수많은 사업지구별 시방배합비 자료와 골재원 자료 및 설계기준강도 자료를 조사하여 이를 본 연구를 위한 데이터베이스로 구축하였다.

콘크리트는 사용재료가 다양하므로 신뢰성 있게 배합비를 역추정하기 위해서는 먼저 사용재료의 변수가 적고 품질이 상대적으로 균질한 모르타르(시멘트 수화물과 모래로 구성)를 대상으로 실내시험을 통해 배합비 역추정 기법을 개발하고, 이의 신뢰성 검증을 통해 콘크리트로 확장할 수 있는지 여부를 먼저 판단하여야 하므로 본 연구에서는 이러한 절차를 채택하였다.

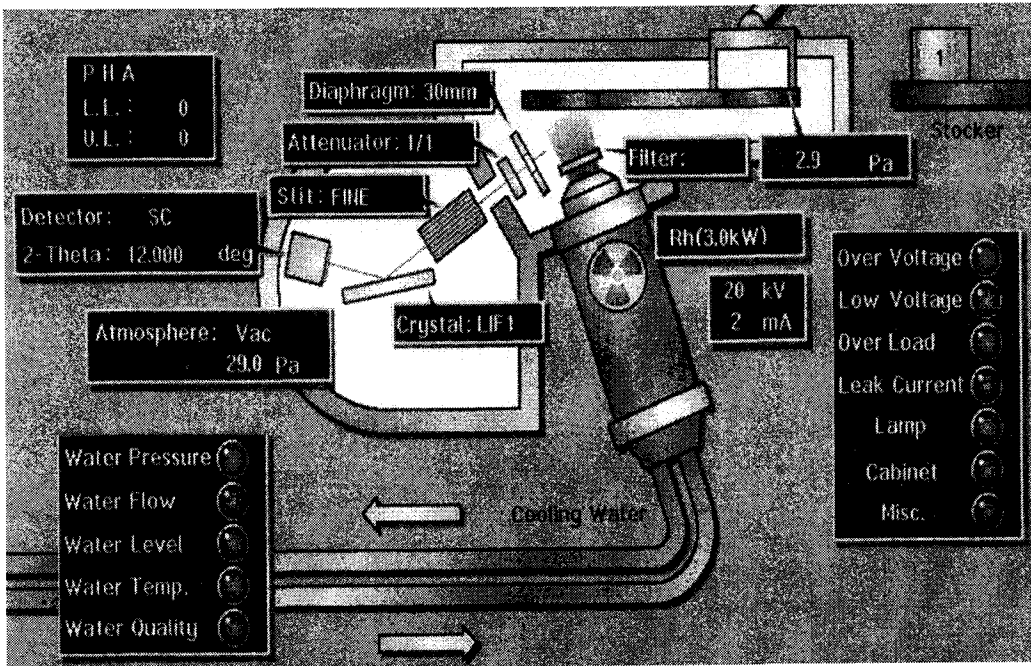
### 3. XRF의 작동원리

#### 가. XRF의 작동원리

진공중에서 고속의 전자를 대음극에 충돌시킬 때 방출되는 일차 X-선을 시료에 조사하면 시료의 구성요소인 원자로부터 내각궤도 전자가 방출되고 빈자리에 위층궤도로부터 전자가 채워진다. 이때 궤도 에너지 차이에 의한 전자파가 발생하는데 이것을 형광 X-선이라 한다. 이 형광 X-선은 각 원소 고유의 에너지를 갖고 일정 파장으로 나타나는데 분광계에 의해 각각의 에너지를 갖고 일정 파장으로 나타나는데 분광계에 의해 각각의 파장을 분리하여 강도를 측정함으로써 정성 및 정량분석을 한다. 고체, 액체 및 기체시료의 분석에 이용되고, 비파괴 분석으로서 표준시료 비교법에 의해 정량 분석한다.

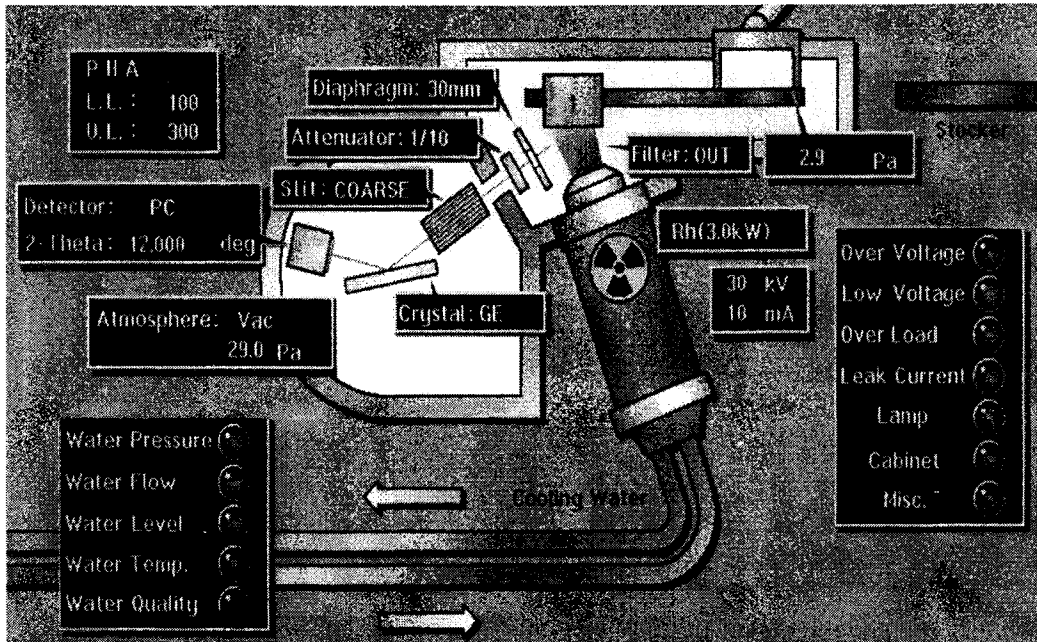


< 그림 3.3.3.1 > XRF시스템 구성 : 스톡커에 시료준비



< 그림 3.3.3.2 > XRF시스템 구성 : X-ray 가동





< 그림 3.3.3.3 > XRF시스템 구성 : 분석

## 나. XRF의 구성

본 연구기관에서 소장하고 있는 XRF의 모델은 RIX-2000이며 그 구성요소는 크게 X-ray generator와 Spectrometer Assembly로 구성된다.

첫째 X-ray Generator는 X-ray generator 와 voltage/current controller , X-ray 튜브, 열교환기로 이루어지며, ① X-ray generator 와 voltage/current controller는 X-ray 튜브에 공급할 높은 전압을 만들며 전압과 전류를 안정화한다. ② X-ray Tube는 단창형이며 target으로 Rh, Cr, W, Mo, 그리고 Pt가 쓰일 수 있다.

둘째, Spectrometer Assembly는 외부 샘플 교환기(external sample exchanger)와 샘플 챔버(sample chamber), 일차 X-ray 필터(primary X-ray filter), visual field limiting slit (DIAPHRAGM), 감쇄기[ATTENUATOR], Soller Slit[SLIT], Crystal changer와 분광요소(spectroscopic elements)[CRYSTAL], 검출기[DETECTOR] (SC/PC), 검출기 개스[DETECTOR GAS], 방위계[GONIOMETER]로 구성되어 있다. 각 구성요소의 역할은 다음과 같다.

- ① External Sample Changer : 여섯 개의 샘플을 놓을 수 있는 회전형 스토커로 구성된다. 스토커에 있는 샘플은 하나씩 샘플챔버로 들어가며, 분석이 끝나면 스토커로 되돌아온다.
- ② Sample Chamber : 회전형 터릿으로 되어있고, 측정될 샘플은 X-ray 조사 위치로 올라간다.
- ③ Primary X-ray Filter : X-ray 튜브의 Be창을 커버함으로써 검출 감도를 높이는 데 사용된다. 이는 요소 스펙트럼에 겹치는 특성 X-ray와 X-ray 튜브에서 백그라운드를 야기하는 불필요한 X-ray를 지운다.  
다음과 같은 네 가지의 필터에서 하나를 선택한다.

< 표 3.3.3.1 > 필터종류

Material (Thickness)	X-Ray Tube	Application
Ti(20 $\mu$ m)	Cr, W, Rh, Au	Cr, Co, Fe, Zn 분석
Al(25 $\mu$ m)	Rh	Rh-L $\alpha$ 제거 Cd-L $\alpha$ 분석
Ni(20 $\mu$ m)	Rh	As-K $\alpha$ , Pb-L $\alpha$ 분석
Zr(140 $\mu$ m) : standard	Rh	Rh-K $\alpha$ 제거

- ④ Visual Field Limiting Slit [DIAPHRAGM] : X-ray 튜브에서 나오는 X-ray는 측정할 샘플뿐만 아니라 샘플 마스크와 샘플홀더까지 조사한다. 그래서 그 마스크나 홀더의 재질에 따른 형광과 흐트러진 X-ray가 나온다. 이러한 것이 검출기에까지 이르면 분석정도를 떨어뜨리게 된다.  
측정할 샘플에서 발하는 X-ray만을 측정하기 위해 다이아프램 (diaphragm)으로 된 이 장비는 마스크나 홀더 등에서 나오는 X-ray는 차단한다.  
표준모델은 직경이  $\phi 35$ ,  $\phi 30$ ,  $\phi 25$ ,  $\phi 20$ ,  $\phi 10$ ,  $\phi 5$ 인 여섯 종류의 다이아프램을 갖은 변환기로 되어있다.

- ⑤ Attenuator : 여러 시료에서 여러 요소를 측정하기 위해서는, 분석정도와 카운트손실을 고려하면서 최적 X-ray 세기가 얻어져야 한다. 이 장비는 X-ray세기를 조정하기 위해 감쇄기 변환기를 사용한다. 그래서, X-ray튜브 전류는 해석될 대상체에 따라 변화될 필요가 없다. 감쇄율은 1/10이다.
- ⑥ Soller Slit : 형광 X-ray와 산란 X-ray는 X-ray튜브에서 나오는 일차 X-ray에 조사 받은 샘플에서 다양한 방향에서 나온다.  
 샘플과 크리스탈사이에 위치한 Soller Slit은 X-ray를 같은 방향으로 정돈하고 이 X-ray가 분광크리스탈에 이르도록 한다. 스펙트라의 해상도를 높이고, 수직발산을 억누르기 위한 방향과 평행하게 정돈된 얇은 쉬트들로 되어있다. COARSE/FINE Soller Slit과 Slit 교환기는 COARSE/FINE slit중 하나를 선택하기 위해 붙는다.  
 COARSE slit(얇은 판의 거리 :  $450\mu\text{m}$ )은 보통 무겁고 가벼운 요소의 측정에 적절하다. 반면 FINE slit(얇은 판의 거리 :  $150\mu\text{m}$ )은 이웃스펙트라와 구별할 수 있는 높은 해상도가 필요한 경우에 사용된다.  
 이 장비로 백그라운드의 세기율과 스펙트라를 개선하거나 해상도를 높이기 위해서 슬릿( $150\mu\text{m}$ 와 SC,  $450\mu\text{m}$ 와 PC)또한 검출기에 앞서 맞추어져야 한다.
- ⑦ Cristal changer and Spectroscopic elements [CRYSTAL] : 여덟 위치 크리스탈 교환기가 부착되어 있다. 사용 가능한 분광기는 다음과 같다.

< 표 3.3.3.2 > 크리스탈 교환기의 종류와 분광기

Division	Spectroscopic elements	Applicable components
Standard	LiF (200)	: For $_{22}\text{Ti}$ through $_{92}\text{U}$
	PET(002)	: For $_{13}\text{Al}$ through $_{21}\text{Sc}$
	TAP(100)	: For $_{8}\text{O}$ through $_{12}\text{Mg}$
	GE (111)	: For $_{15}\text{P}$ through $_{21}\text{Sc}$
Optional	LiF (200)-F-PC	: For $_{19}\text{K}$ through $_{36}\text{Zn}$
	RX-40	: For $_{7}\text{N}$ through $_{8}\text{O}$
	RX-60	: For $_{6}\text{C}$
	RX-4	: For $_{14}\text{Si}$ exclusively
	RX-5	: For $_{6}\text{C}$ exclusively
	RX-8	: For $_{5}\text{B}$ exclusively
	RX-35	: For $_{9}\text{F}$ , $_{11}\text{Na}$ and $_{12}\text{Mg}$
	RX-70	: For $_{5}\text{B}$ exclusively
	LiF (220)	: For $_{24}\text{Cr}$ through $_{92}\text{U}$

- ⑧ Detector(SC/PC) : 검출기에는 섬광검출기(scintillation counter)와 개스 흐름 비례검출기(gas flow proportional counter) 두종류의 검출기가 사용된다. 일반적으로 섬광검출기는  $\text{Ca-K } \alpha$ :0.336nm보다 짧은 파장을 측정할 때 사용되며, 비례검출기는  $\text{Cu-K } \alpha$ :0.154nm보다 긴파장을 측정할 때 사용된다. 사용되는 검출기는 크리스탈 교환기(CRYSTAL exchanger)의 위치를 선택할 때 자동적으로 결정된다.( CRYSTAL 1과 8 : 섬광검출기, CRYSTAL 2에서 7까지 : 비례검출관)
- ⑨ Detector Gas : 개스 흐름 비례 검출기를 통과하는 PR 개스가 일정한 율로 흐르도록 한다. 흐름율은 플로우메타를 관찰하면서 흐름조절 밸브를 돌려 50ml/min으로 조절되어야 한다.
- ⑩ Goniometer : Spectroscopic crystal과 검출기는 속도 1:2의 비율로goniometer 축의 주위에서 스캔한다. goniometer는 입사각과 반사각이 서로 같도록 spectroscopic crystal을 유지하면서 회전하게 한다.

Crystal SC가 사용될 경우 측정을 위한 스캐닝각도 범위는  $5^\circ (2\theta)$ 에서  $118^\circ (2\theta)$ 이고, Crystal PC가 사용될 경우  $8^\circ (2\theta)$ 에서  $148^\circ (2\theta)$ 이다. 그리고 X-ray 튜브, 크리스탈, 검출기의 조합은 다음표와 같다.

< 표 3.3.3.3 > X-ray 튜브, 크리스탈, 검출기의 조합

X-ray Tube	Rh	=====
	Cr	=====
	W/Mo	Al =====
X-ray Tube	LiF(200)	K =====
	LiF(220)	V =====
	PET	Al =====
	Ge	P =====
	TAP	O =====
	RX	B =====
X-ray Tube	SC	=====
	F-PC	=====

5 6 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100  
B C Na Ca Zn Zr Sn Nd Yb Hg Th

## 4. 시멘트의 수화

### 가. 개요

시멘트의 수화에 대한 연구는 콘크리트 수화생성물의 시멘트대비 중량비를 정량적으로 규명하기 위해 수행되었다. 콘크리트의 수화메카니즘 규명에 앞서 콘크리트보다 변수가 작은 시멘트 페이스트의 수화메카니즘을 분석하였다. 먼저, 시멘트가 경화하는 과정에서 필요로 하는 수량은 얼마나 되는지를 정량적으로 규명하였다.

콘크리트의 배합에 사용되는 배합수는 블리딩 현상에 의해 일부는 시공과정에서

콘크리트 표면으로 올라와 증발하는 과정을 겪는 블리딩수와 시멘트와 수화반응을 통해 수화생성물을 형성하는 결합수(chemical combined water), 그리고 이러한 과정을 겪고 난 후에 콘크리트 내부에 남아 수 $\mu\text{m}$ 에서 수 $\text{mm}$ 에 이르는 크기의 공기포를 형성하고 증발하는 모관수(capillary water)로 세분화 될 수 있다. 물·시멘트비가 클수록 콘크리트 내부에 갇힌 잉여배합수에 의해 생성되는 공극량은 크다. 콘크리트내에 경화 후 남게 되는 공극은 공기포에 의한 공극, 물에 의한 공극으로 나눌 수 있으며 공기포 공극은 공기연행제에 의한 연행 공극(entrained air)과 갇힌 공기에 의한 갇힌 공극(entrapped air)으로 구별될 수 있다.

시멘트의 수화메카니즘을 화학양론적으로 화학반응식을 통해 표현하는데 아직은 어려움이 있다. 또한 시멘트의 수화반응은 그 구성 성분에 따라서 수화반응속도와 수화에 쓰이는 물의 양이 다르다. 또한 수화생성물의 양과 역학적 특성 또한 다르다. 이렇듯 서로 다른 특성의 구성성분이 모여서 시멘트의 수화특성을 나타내고 또한 콘크리트의 수화 및 경화특성을 나타낸다. 이 실험에서는 기 연구자의 이론적 배경을 바탕으로 물시멘트비와 수화시간을 변수로 하여 수화에 사용되는 수량을 정량적으로 계측하여 분석하였다.

## 나. 문헌연구

### 1) 시멘트의 수화메카니즘

시멘트는 물과 반응하여 수화물을 생성하고 응결, 경화한다. 따라서 수화와 경화는 밀접한 관계가 있다. 시멘트 수화는 시멘트 중에 존재하는 소위 시멘트 화합물의 수화가 주체를 차지하고 있지만, 그것들의 수화를 하나로 해도 그 기구와 속도에 관해서는 아직도 명확하지 않은 점이 많다. 시멘트의 수화기구에 관해서는 두 가지 고찰 방향이 있다. 하나는 시멘트 화합물이 일단 용해되어서 그 과포화 용액으로부터 수화규산염이 침전한다는 설이고, 또 하나는 시멘트를 물과 혼합해도 액상 중의  $\text{SiO}_2$  성분과  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 성분의 농도는 꽤 낮으므로 시멘트 화합물이 직접 물과 토포케미컬(topochemical\*)하게 반응하여 시멘트 입자 표면에 수화물 층을 형성한다고 하는 가설이다. 현재로서는 둘 다 지지 받고 있는데, 전자는 시멘트 초기 수화과정을, 후자는 장기 수화과정을 각각 지배한다고 보고되고 있다.

## 2) 수화물의 용적

수화물의 총공간은 배합시 첨가된 물과 건조시멘트의 절대용적으로 구성된다. 여기서 블리딩에 의한 물의 손실과 건조수축은 무시된다. 화학적으로 C<sub>3</sub>S와 C<sub>2</sub>S에 결합되는 물은 대략 각각의 중량비 24%와 21%로 나타났으며, C<sub>3</sub>A와 C<sub>4</sub>AF는 각각 중량비 40%, 37%로 나타났다. 시멘트 수화물의 화학양론(stoichiometry)에 대한 지식이 화학적으로 결합된 물의 양을 나타내는데 부적절하기 때문에 이들의 화학반응식은 정확하지가 않다. 따라서 다음 절에서 소개하는 시멘트의 수화에 쓰이는 물을 구별하는 방식은, 특수한 조건에서 결정된 비중발수는 수화될 시멘트의 중량비 23%에 해당하는 것으로 본다. 시멘트 수화생성물의 용적은 순수시멘트의 용적과 비중발수의 합보다 비중발수 용적비 0.254만큼 작다. 한편 수화물의 평균비중은 공극을 포함하고 가능한 가장 밀실한 구조일 때 포화상태에서 2.16이다. 따라서 100g의 시멘트 수화를 예를 들어 분석해보면, 건조시멘트 비중이 3.15일 때 수화되지 않은 시멘트 절대용적은 100/3.15=31.8ml이다. 따라서 비중발수는 시멘트 중량의 23%인 23ml이며, 수화 생성물의 용적은 수화되지 않은 시멘트의 용적과 비중발수의 체적의 0.254만큼 작은 물의 합과 같다. 즉, 31.8+0.23×100(1-0.254)=48.9ml

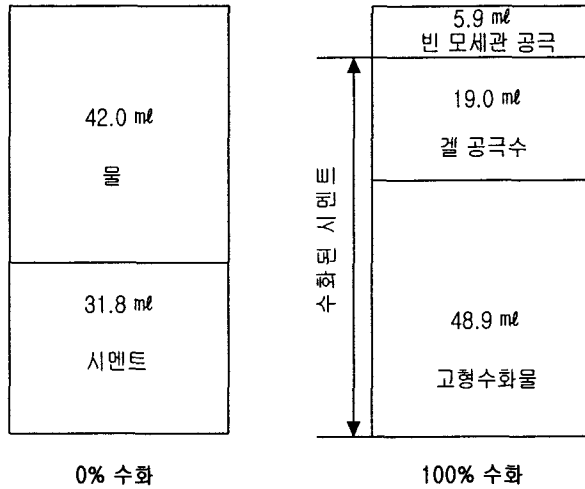
이러한 조건에서 페이스트 28%가량의 특성공극을 갖기 때문에 겔공극수의 용적 (W<sub>g</sub>)은 다음과 같다.  $\frac{W_g}{48.9 + W_g} = 0.28$  따라서, W<sub>g</sub> = 19.0ml 그리고, 수화시멘트의 체적은 48.9+19.0=67.9ml

요약하면 < 표 3.3.4.1 >과 같다.

< 표 3.3.4.1 > 시멘트 수화시 성분 구성비

① 건조시멘트의 중량	② 건조시멘트 절대 용적	③ 결합수중량	④ 겔공극수용적	⑤ 배합에 쓰인 총 물량	⑥ 중량에 의한 w/c
100g	31.8ml	23.0ml	19.0ml	42.0ml(23+19)	0.42(42/100)
⑦ 체적에 의한 w/c	⑧ 수화시멘트 용적(②+⑤-⑩)	⑨ 시멘트와 물의 진짜용적	⑩ 수화에 의한 체적 감소	⑪ 1ml의 건조시멘트의 수화량(⑧/②)	
1.32(42/31.8)	67.9ml	73.8ml	5.9ml	2.1ml	

수화시험은 물의 이동이 없는 봉합된 실험 용기내에서 이루어졌다. 체적감소 5.9ml는 수화페이스트 전체에 분포한 빈 모세관 공극을 나타낸다.



< 그림 3.3.4.1 > 물시멘트비 42%에서 수화시멘트 페이스트의 체적변화의 도식

< 그림 3.3.4.1 >은 단지 근사적일 뿐이다. 그러나 총물량은 42ml보다 작게 갖는다. 이는 완전수화에서는 부적절하다. 그 이유는 겔공극은 화학반응과 형성된 겔공극의 충전 모두에서 충분한 물이 유용가능할 때만 겔이 형성되기 때문이다. 겔공극수는 견고하게 잡혀있어 모관공극(capillary)으로 이동될 수 없다. 따라서, 봉합된 시험편에서 수화는 결합수가 초기수량의 절반가량이 될 때 더 이상의 수화는 일어나지 않을 것이다. 봉합된 시험편에서 배합수가 적어도 화학반응에 필요한 수량의 두배일 때 완전수화가 가능하다. 배합은 중량비로 물시멘트비 50%가량을 갖는다. 실제로, 위의 예에서, 수화는 사실상 완전히 진행되지 않을 것이다. 즉, 수화는 심지어 모세관 공극내의 물이 다 쓰이기도 전에 수화는 멈추게 될 것이다.

### 3) 수화시멘트 페이스트에 묶여 있는 물

수화된 시멘트내의 물을 측정하는 것은 쉽지 않다. 조사만을 목적으로 수화 시멘트에서 물을 측정하는 쉬운 방법으로는 일정압력에서 항량이 될 때까지 시멘트 페



이스트를 건조시켜 증발가능한 것과 증발되지 않는 것으로 나누는 방법이 있다. 증발 가능한 물은 105℃의 높은 온도로 건조하는 방법, 낮은 온도로 얼려 건조하는 방법, 그리고 용제(solvent)를 사용하여 건조하는 방법 등으로 건조시킬 수 있다. 증발되지 않는 물은 시멘트와 화학적으로 결합되어 있는 물과 화학적 부착력에 의해 잡혀있지 않은 약간의 물로 구성되며 수화가 진행될수록 많아진다. 하지만 완전 포화된 시멘트 페이스트에서 페이스트내의 모든 물의 반이상을 넘지는 않는다. 이 비증발수는 수화가 잘 이루어진 시멘트(well-hydrated cement)에서는 수화될 수 있는 물질(anhydrous material)의 중량비 18%가량 되며, 더 이상의 수화가 일어나지 않는 시멘트(fully hydrated cement)에서는 23%까지 올라간다. 따라서 비증발수량은 시멘트의 수화 정도를 측정하는데 사용되기도 한다.

#### 다. 실험방법

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 < 표 3.3.4.2 >와 같다. 시멘트가 수화하는데 필요한 수량을 정량적으로 측정하기 위해 밀봉된 용기를 사용하여 중량의 변화를 측정하는 방식을 택하였다. 수화가 진행되는 시간에 따른 수화수량 변화를 측정하기 위해 일정 수화시간 마다 증발수(evaporable water)를 제거하는 방식에는 용제를 사용하는 방식, 저온건조방식, 고온건조방식이 있다.

본 연구에서는 간편한 고온건조방식(105±5℃, 72시간)을 사용하였다. 물시멘트비는 < 표 3.3.4.3 >와 같이 5%씩 증가하여 10%에서 45%까지 변화시켰으며, 측정시간은 아홉단계(0.5, 1, 3, 5, 10, 24, 48, 72, 168시간)로 나누어 측정하였다.

시멘트 배합은 모르타르 믹서를 사용하여 제1속도와 제2속도로 비빈후 일정량을 밀봉된 용기에 담은 후 중량을 측정하고 항온실에서 수화가 진행될 수 있도록 하였다. 측정시간이 되면 중량을 측정하고 건조실에 넣는다. 배합수를 넣은 직후부터 측정시간까지의 시멘트수화수량을 측정하고자 하였다. 단, 건조실내에서 진행되는 수화는 모든 실험에서 동일하며 그 양이 작음으로 무시하였다. 또한 중량만을 측정하는 시험체를 별도로 제작하여 수화진행동안 중량변화를 측정하였다. 동일한 변수마다 시험체를 각각 세 개씩 제작하여 그 평균치를 사용하였다.

< 표 3.3.4.2 > 시멘트의 물리적 성질

Types of Cement	Specific Gravity	Setting Time		Fineness of Cement (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Initial Setting(min)	Final Setting(hr)		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
Ordinary Portland Cement	3.15	229	6.17	3,338	192	227	314

< 표 3.3.4.3 > 시멘트 페이스트의 배합비

W/C	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Air(%)
0.10	2,359.51	235.95	1.5
0.15	2,107.13	316.07	1.5
0.20	1,903.53	380.71	1.5
0.25	1,735.80	433.95	1.5
0.30	1,595.24	478.57	1.5
0.35	1,475.74	516.51	1.5
0.40	1,372.90	549.16	1.5
0.45	1,283.45	577.55	1.5

### 라. 결과분석 및 고찰

물시멘트비별 수화시간에 따른 수화수량을 < 표 3.3.4.4 >에 정리하였으며, < 그림 3.3.4.2 >와 같이 도시하였다. 밀봉된 용기에 일정량의 시멘트 페이스트를 담아 실험을 하였으나 분석된 결과의 이해를 돕기 위해 시멘트 중량을 100g으로 환산하고 각각의 물시멘트비에서 사용된 수량으로 나타내었다. 예를 들면 물시멘트비 10%에서 샘플시료를 110g채취하였는데 그 중 시멘트가 100g, 물이 10g으로 구성됨을 의미한다. 3시간의 수화가 진행되는 동안 3.92g의 물이 수화에 쓰였다는 의미다.

물시멘트비 10%~30%까지는 시멘트 페이스트 공극에 자유수가 있음에도 불구하고 충분한 수화가 이루어지지 못함을 관찰할 수 있다. 예를 들어 물시멘트비 10%의 경우를 관찰하여보면, 수화시간 1시간에서 시멘트 100g에 7.87g(40%)의 배합수가 수화반응에 쓰일 수 있으나 불과 3.88g의 배합수가 쓰였음을 알 수 있다.

시멘트가 충분한 수화반응을 일으킬 수 있는 배합수량은 시멘트 중량의 40%이상인 것으로 나타났다. 이는 단지 시멘트와 물을 배합하였을 경우의 결과이며 콘크리트의 경우는 골재의 영향으로 인하여 상당한 변수가 발생될 것으로 판단된다.

Nevile은 시멘트가 수화하는데 필요한 순수 화학적 결합수량, 즉 비중발수는 수화가 충분히 일어난 경우 시멘트 중량의 23%까지 올라간다고 하였다. 그러나 시멘트의 수화속도와 역학적 특성은 시멘트의 구성성분에 따라 각각 다른 것으로 알려져 있으며, 평균적으로 3일(72시간)재령에서 65%의 수화가 진행되는 것으로 본다. 따라서 이를 적용하면 시멘트 페이스트가 수화반응과정에서 필요로 하는 순수 결합수량은  $23.3g(15.17g/0.65 = 23.3g)$ 이다. 즉, 100g의 시멘트에 23.3g의 배합수량이 필요하므로 시멘트 중량대비 23.3%에 해당하는 것으로 나타났다.

수화시간이 경과하더라도 봉합된 시험체의 수화에 소요되는 결합수가 초기수량의 절반에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

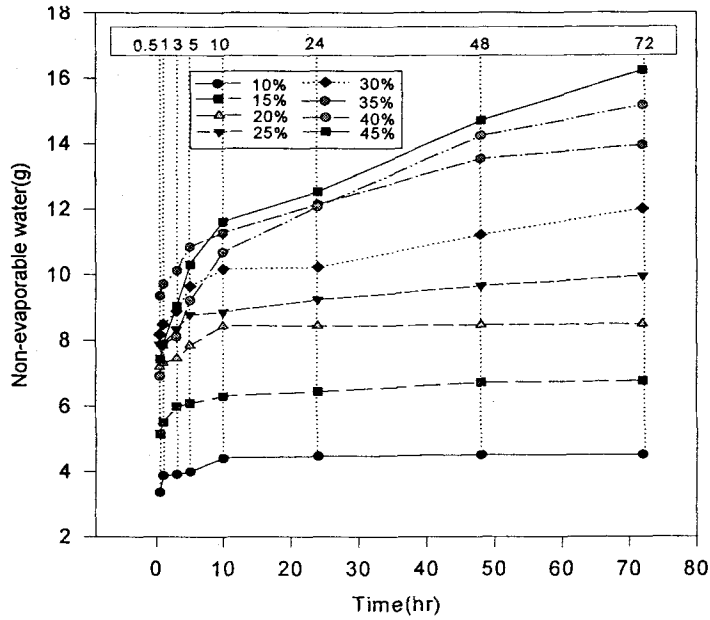
< 표 3.3.4.5 >는 중량측정용 시험체를 대상으로 분석한 결과를 나타냈으며, < 그림 3.3.4.3 >에 도시하였다. < 표 3.3.4.4 >에서와 같이 분석결과의 이해를 돕고자 초기 시험량을 100g으로 환산하여 정리하였다. 수화반응에서 발생하는 수화열은 시멘트 중량대비 120cal/g의 열량이 발생하는 것으로 알려져 있다. 서로 다른 물시멘트비의 시험편은 수화과정 동안 중량이 감소하는데 물시멘트비 35%이상에서는 중량의 감소가 크며, 30%이하에서는 작은 것으로 나타났다. 이는 충분한 배합수량이 함유된 물시멘트비 35%이상의 시험체에서는 활발한 수화반응이 진행되는 반면 배합수량이 충분치 못한 시험편에서는 수화반응이 둔화되는 것으로 판단된다.

< 표 3.3.4.4 > 수화시간동안 수화수량의 증량변화

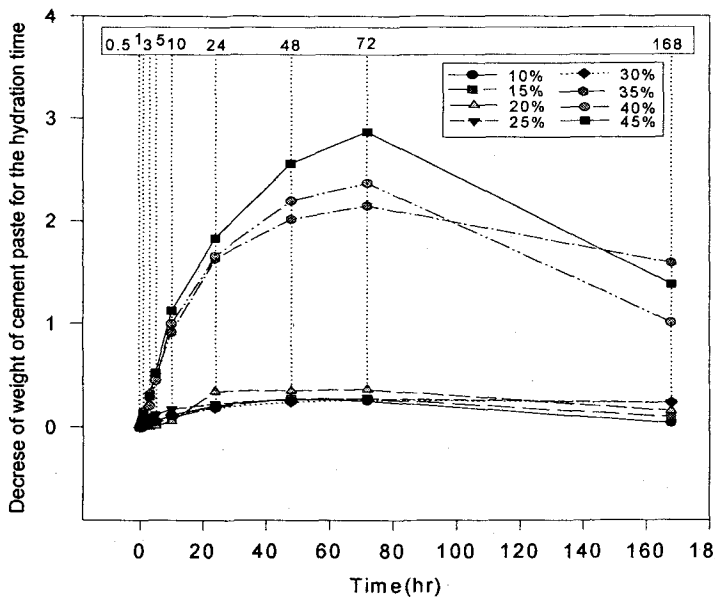
w/c	Initial value		Non-evaporable water content during for the time							
	c	w	0.5hr	1hr	3hr	5hr	10hr	24hr	48hr	72hr
0.10	100	10	3.36	3.88	3.92	4.00	4.41	4.47	4.51	4.51
0.15	100	15	5.14	5.50	5.99	6.09	6.31	6.45	6.73	6.77
0.20	100	20	7.20	7.32	7.46	7.85	8.44	8.44	8.47	8.49
0.25	100	25	7.88	7.88	8.34	8.79	8.86	9.24	9.66	9.96
0.30	100	30	8.18	8.48	8.89	9.65	10.17	10.23	11.22	12.01
0.35	100	35	9.36	9.72	10.13	10.85	11.28	12.15	13.54	13.96
0.40	100	40	6.92	7.87	8.12	9.21	10.68	12.08	14.24	15.17
0.45	100	45	7.44	7.88	9.04	10.31	11.61	12.53	14.71	16.24

< 표 3.3.4.5 > 수화시간에 따른 수화시멘트의 증량변화

w/c	Weight of hydrated cement paste along hydration time(g)									
	0hr	0.5hr	1hr	3hr	5hr	10hr	24hr	48hr	72hr	168hr
0.10	100	99.9630	99.9461	99.9755	99.9455	99.8804	99.7869	99.7181	99.7381	99.9617
0.15	100	99.9630	99.9461	99.9752	99.9602	99.9048	99.8003	99.7183	99.7221	99.9011
0.20	100	99.9630	99.9918	99.9965	99.9864	99.9408	99.6481	99.6446	99.6272	99.8371
0.25	100	99.9853	99.9694	99.9036	99.8761	99.8230	99.7677	99.7318	99.7202	99.7612
0.30	100	99.9971	99.9927	99.9656	99.9366	99.8808	99.8095	99.7508	99.7257	99.7559
0.35	100	99.9363	99.8460	99.6757	99.4912	99.0833	98.3658	97.9816	97.8541	98.4097
0.40	100	99.9493	99.9008	99.7908	99.5464	99.0014	98.3420	97.8035	97.6293	98.9935
0.45	100	99.9469	99.8760	99.6964	99.4736	98.8756	98.1661	97.4354	97.1278	98.6221



< 그림 3.3.4.2 > 수화시간에 따른 수화수량의 중량변화(초기시멘트량:100g)



< 그림 3.3.4.3 > 수화시간에 따른 수화시멘트페이스트의 중량변화 (초기시멘트량:100g)

## 5. 시멘트 및 골재의 물리·화학적 특성 분석

시멘트 및 골재의 물리적 특성과 화학적 성분은 기존 콘크리트구조물의 배합비 역추정 과정에서 단위시멘트량을 계산하는데 필요하다.

한편 본 연구에서 분석대상으로 하고 있는 전국 콘크리트 수리구조물은 건설 당시 근거리에서 생산되는 골재를 사용하여 현장 비빔 콘크리트 또는 레미콘으로 구조물을 축조하였고, 또한 사용시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트(1종시멘트)를 사용한 것으로 추정된다. 이에 따라 본 연구에서는 주관연구기관이 보유하고 있는 자료로부터 구축한 전국 골재장별 물리적 특성치의 데이터 베이스 자료를 이용하고, 화학적 특성치는 골재장별로 골재를 수집하여 분석한 뒤 이를 데이터 베이스에 보강하기로 하였다.

또한 최근에 생산되는 국내산 1종 시멘트 시료를 제조사별로 수거하여 물리화학적 특성치를 분석하였다.

### 가. 시멘트의 물리적·화학적 특성 및 성분 분석

국내산 시멘트의 제조사별 비중, 표준주도, 응결시간, 분말도와 재령별 압축강도 등 물리적 특성값의 실험결과는 < 표 3.3.5.1 >과 같으며, 화학성분 분석치는 < 표 3.3.5.2 >와 같이 나타났다. 동 표를 살펴보면 전체적으로 허용치 이내로서 제조사에 관계없이 거의 균질하다는 것을 알 수 있다.

< 표 3.3.5.1 > 국내산 시멘트의 물리적 성질

항목	제조사	구분	A	B1	B2	C	D	E	F	G	K·S 허용값
비중			3.14	3.13	3.13	3.11	3.16	3.14	3.09	3.09	
표준주도(C×%)			26	25	26	27	27.5	27	25	27	
응결시간	초결(분)		228	218	217	181	168	224	165	194	60이상
	종결(시간)		6.15	6.00	5.55	5.10	5.00	6.14	5.15	5.50	10이하
분말도(cm <sup>3</sup> )			3,338	3,115	3,415	3,547	3,663	3,658	3,366	3,656	2,800이상
압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_3$		194	187	174	210	234	222	226	221	130이상
	$\sigma_7$		219	205	226	276	270	283	269	257	200이상
	$\sigma_{28}$		308	301	314	345	338	310	342	343	290이상

< 표 3.3.5.2 > 국내산 시멘트의 화학성분 구성표

제조사	성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	Total
	A		20.53	5.46	2.50	0.25	0.05	2.79	63.33	0.25	1.14	2.99	0.90
B		20.66	4.62	3.11	0.28	0.05	2.31	61.76	0.20	0.82	3.25	2.82	99.88
C		20.05	4.78	3.38	0.26	0.04	2.32	62.94	0.26	0.42	2.88	3.00	100.33
D		20.44	6.40	3.02	0.33	0.09	3.53	63.41	0.18	0.99	0.63	0.65	99.67

### 나. 전국 골재의 물리적 특성과 화학 성분

콘크리트 수리구조물 중 예비답사 대상지구로 선정된 230개 저수지에 사용된 골재원 중 대표적인 곳의 물리성 데이터의 일부를 <표 3.3.5.3>에 요약하여 나타내었으며, 나머지는 <부록 4>에 수록하였다. 전국 골재의 물리적 특성과 화학성분에 대한 자료는 계속 조사하여 이를 데이터베이스화함으로써 배합비 역추정에 활용할 계획

이다. 또한 잔골재에 함유된 Ca 량은 XRF를 이용하여 분석한 뒤 이를 데이터베이스화하여 콘크리트 코어내 시멘트함량 분석에 활용할 계획이다.

< 표 3.3.5.3 > 지구별 잔골재의 물리적 성질(일부분 : <부록 4> 참조)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
충남	부성암(산수)	'62	굵은골재	2.55	2.27	32.3	7.48	-	서산 해미 산수
			잔골재	2.55	1.99	-	2.89	0.45	서산 해미 앞하천
충남	계룡	'64	굵은골재	2.53	3.01	33.7	7.49	-	공주시 대금리
			잔골재	2.59	2.01	-	2.84	1.34	공주시 대금리
충남	용연(목천)	'64	굵은골재	2.57	1.75	34.5	7.65	-	천안 목천 서리
			잔골재	2.58	1.72	-	3.28	0.41	천안 목천 서리
충남	성암(목천)	'67	굵은골재	2.52	3.21	29.6	7.34	-	서산 운산 운산천
			잔골재	2.55	1.99	-	3.93	4.3	사산 음암 성암
충남	고남(성연)	'67	굵은골재	2.54	3.01	26.7	7.51	-	서산 해미 산수, 서산 성연 고남
			잔골재	2.55	1.99	-	2.89	0.45	서산 해미 앞하천

## 6. 모르타르의 배합비 역추정

### 가. 시멘트 함량분석

#### 1) 실험개요

본 연구에서는 콘크리트보다 변수가 작은 모르타르내 시멘트 함량을 분석함으로써, 경화된 콘크리트내 모르타르내의 시멘트 함량분석에 XRF 분석기법을 적용할 수 있는지 여부를 타진하고자 하였다. 이를 위해서는 모르타르 시편 제작시 시멘트 사용량을 달리하면서 일곱 종류의 모르타르배합을 실시하고(< 표 3.3.6.1 >) 채령 28일에서 시료를 채취하여 Ring Mill로 시료 입자 크기를 150 $\mu$ m 이하가 되도록 분쇄한 다음, 분쇄된 시료 7g에 3% Starch용액 1ml를 넣어 반죽하여 알루미늄 컵에 눌러 담고 압착하여 XRF를 통해 분석할 수 있는 시료를 제조하였다.



모르타르내의 시멘트 함량을 X-선 세기를 통해 분석하기 위해서 먼저, 순수 시멘트와 순수 모래시료를 각각 XRF-Scanning하여 정량분석 한 다음, 모래에는 없거나 아주 미량이지만 시멘트에는 다량 함유된 한 개의 성분을 추출한 결과 칼슘(Ca)이라는 결론을 도출하였다. 여기서 순수시멘트 시료만을 조사(irradiation)하여 측정된 Ca-K $\alpha$ 의 강도는 9.785kcps(kilo count per second,  $\alpha$ )이며, 순수 모래시료를 조사하여 얻은 Ca-K $\alpha$ 의 강도는 0.058kcps( $\beta$ )로 나타났다.

실내에서 사전에 배합비를 알고 있는 모르타르를 제작할 경우, 배합비별 시멘트 함량은  $\alpha, \beta$ 를 이용하여 < 표 3.3.6.1 >의 (g)열과 같이 시멘트와 모래의 Ca-K $\alpha$  강도를 합산하여 이론적으로 계산할 수 있다. 또한 모르타르에 X-선을 직접 조사하여 Ca함량을 측정함으로써 시멘트 함량(< 표 3.3.6.1 > (h))을 측정할 경우 측정된 값은 이론적으로 계산된 시멘트함량과 비교하여 추정방법의 신뢰성을 평가할 수 있다.

< 표 3.3.6.1 > 모르타르내 시멘트 함량분석 (단위 : kgf)

모르타르배합표 (kg/m <sup>3</sup> )			배합비율(%)		시멘트의 Ca-K $\alpha$ 강도(kcps)					오차평균 (i)=(g)-(h)
					배합비에 의한 계산강도			직접조사강도		
Cement (a)	Sand (b)	Water	Cement (c)=a/(a+b)	Sand (d)=b/(a+b)	Cement (e)= $\alpha$ a) · (c)	Sand (f)= $\beta$ b) · (d)	Mortar (g)=(e)+(f)	1회 (h)	2회 (h)	
500	1514	270	30	70	2.9296	0.0406	2.9703	2.692	2.71	0.269
550	1472	270	33	67	3.2072	0.0390	3.2462	3.194	3.136	0.081
600	1430	270	36	64	3.4822	0.0374	3.5196	3.405	3.447	0.094
650	1388	270	38	62	3.7524	0.0358	3.7881	3.711	3.611	0.127
700	1346	270	41	59	4.0220	0.0342	4.0562	3.885	3.823	0.202
750	1304	270	44	56	4.2917	0.0326	4.3242	5.038	5.035	-0.7125
800	1262	270	47	53	4.5591	0.0310	4.5901	5.169	5.124	-0.5565

※ a)  $\alpha$ :순수시멘트 ,Ca-k $\alpha$  강도(intensity)  $\alpha$ =9.785kcps

b)  $\beta$ :순수시멘트 ,Ca-k $\alpha$  강도(intensity)  $\beta$ =0.058kcps

## 2) XRF의 신뢰성 검증

### 가) 추정오차

< 그림 3.3.6.1 >은 단위시멘트량에 따른 이론강도(Intensity)와 모르타르의 직접 조사강도(Intensity)를 그래프로 도시한 것이다. 단위시멘트량 500~700kg까지는 이론 강도에 대한 직접조사강도의 평균오차가 4.8%로 높은 상관도를 갖는 것으로 나타났으나, 750~800kg은 평균오차 12.5%의 상관도를 갖는 것으로 나타났다. 이는 시멘트의 함량이 전체의 44%이상을 차지할 경우 이론강도에 대한 계측 강도의 오차가 커질 수 있음을 의미하는 것으로 판단되었다. 또한, 시험편의 제조과정에서 프레스의 압력세기, 펠렛 컵에 담은 시료의 양, 시료의 분말도 등에 따라 차이가 발생하였다. 보다 정확한 자료를 얻기 위해 최적의 분말도를 선정함이 중요하여 본 연구기관에서는 질소 흡착형 BET 시험기를 통해 분말도를 측정하였다.

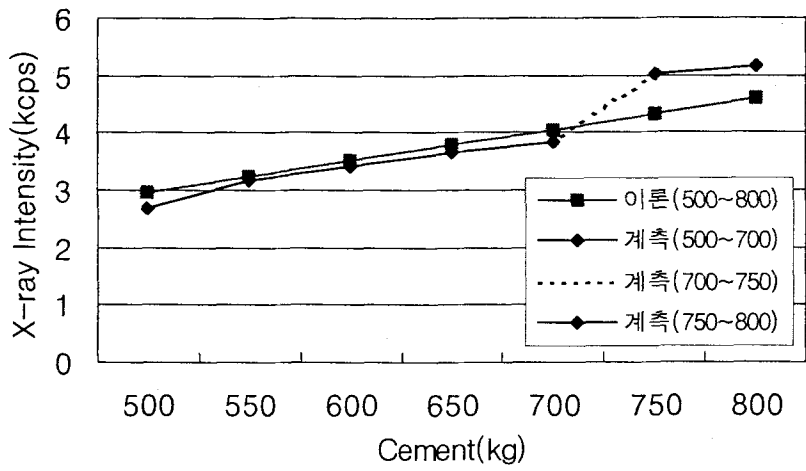
### 나) 추정함수

배합비율을 알고 있는 모르타르를 대상으로 24회의 반복분석을 통해 < 그림 3.3.6.2 >와 같은 결정계수(R<sup>2</sup>) 0.905를 갖는 선형회귀식 (3.3.6.1)을 도출하였다.

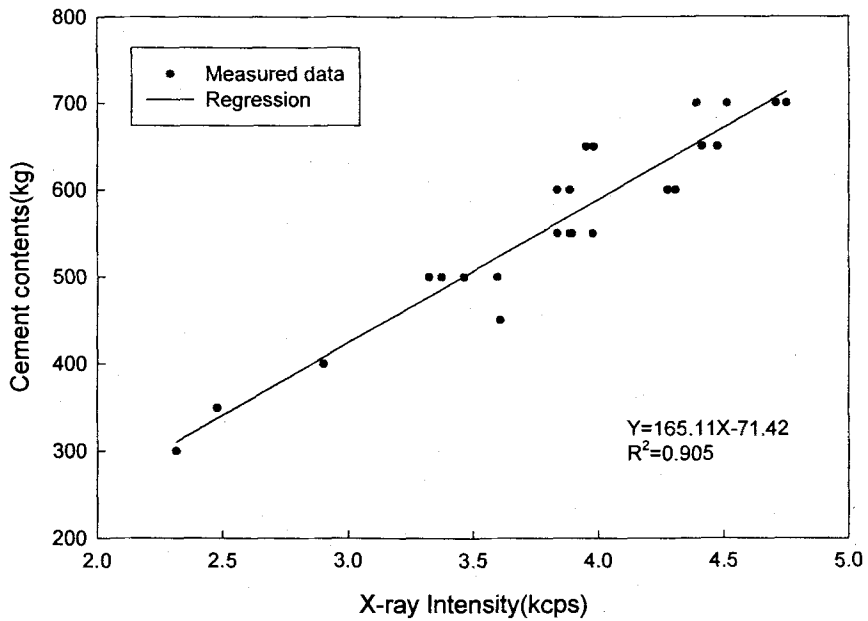
$$Y = 165.11X - 71.42 \quad (3.3.6.1)$$

여기서, X : X-선의 강도(Intensity, kcps), Y : 시멘트 함량(kg)

따라서 배합비를 모르는 임의의 모르타르 내에 함유된 시멘트함량을 추정하기 위해서는 모르타르에서 시료를 채취한 다음 X-ray조사용 시험편을 제작하여 Ca-K $\alpha$  강도(Intensity)를 측정한다. 측정 강도를 X라 하고 (3.3.6.1)식에 대입하면 시멘트 함량을 추정할 수 있다. 또한 (3.3.6.1)식의 결정계수가 높기 때문에 경화된 콘크리트에서 굵은골재를 제외한 모르타르를 대상으로 콘크리트내의 시멘트 함량을 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.



< 그림 3.3.6.1 > 이론강도와 계측강도의 차



< 그림 3.3.6.2 > 모르타르의 X-선 강도와 시멘트 함량

## 7. 콘크리트의 배합비 역추정

### 가. 실험개요

모르타르를 대상으로 분석기법점검 단계에서는 모르타르 전체에 X선을 조사하고 순수 모래에 조사한 백그라운드를 감하는 비례방식을 적용하였으나 콘크리트를 대상으로 한 경우에는 굵은골재를 제거한 모르타르에서 체를 사용하여 모래 성분을 제거하고 시료를 제조하여 측정 시편을 제작하였다.

콘크리트의 구성성분별 추정을 위해 성분에 따라 추정방법을 단계별로 설명하였으며, 최종적으로 물시멘트비 결정은 데이터베이스를 활용한 전문가시스템을 구축하여 배합당시 단위 배합표를 도출해 내는 것을 그 목표로 하고 있다. 각 성분별 분석법에 대한 신뢰성 검증은 물시멘트비 42~57%까지 3%씩 변화시켜 배합을 실시하고 각 분석법별 시험체를 제작하였으며, 배합설계표는 < 표 3.3.7.1 >과 같다. 추정값과 실제값을 비교하는 방식으로 신뢰성을 검토하였으며, 분석방법에 따라서는 추가적인 실험을 거쳐 정립한 경우도 있다.

< 표 3.3.7.1 > 콘크리트 배합설계표

시료 번호	굵은골재최대 치수(mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )				
						물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제(C×%)
1	20	15±2.5	4	42	42	202	480.95	701.88	966.18	0.12
2	20	15±2.5	4	45	42	205	455.56	707.51	973.94	0.12
3	20	15±2.5	4	48	42	202	420.83	723.15	995.46	0.12
4	20	15±2.5	4	51	42	198	388.24	739.16	1017.5	0.12
5	20	15±2.5	4	54	42	194	359.26	753.88	1037.76	0.14
6	20	15±2.5	4	57	42	200	350.88	750.14	1032.61	0.14

## 나. 시멘트 함량 추정

### 1) 추정방법

콘크리트의 성분 중 가장 비중 있게 다루어지는 것은 시멘트일 것이다. 경화된 콘크리트내에 함유된 시멘트 함량을 알기 위한 여러 가지 분석방법이 알려져 있다. 염산등 화학약품을 사용하는 습식법은 KS에도 규정되어 있다. 또한 물리적인 방법과 기계장치를 이용하는 방식이 있다. 본 연구에서는 후자를 이용하였다. 분석용 기계장치는 엑스선 형광분석기(XRF)이며, 콘크리트내 시멘트검출을 위해 사용된 성분은 모래에 미량 함유되어 있으며 시멘트에는 다량 함유된 칼슘이다. 칼슘의 검량선을 유도하고 신뢰성을 검토하기 위해 시멘트함량을 달리한 모르타르배합을 대상으로 분석한 후 콘크리트를 분석대상으로 하였으며 실험순서는 < 그림 3.3.7.4 (②) >와 같다.

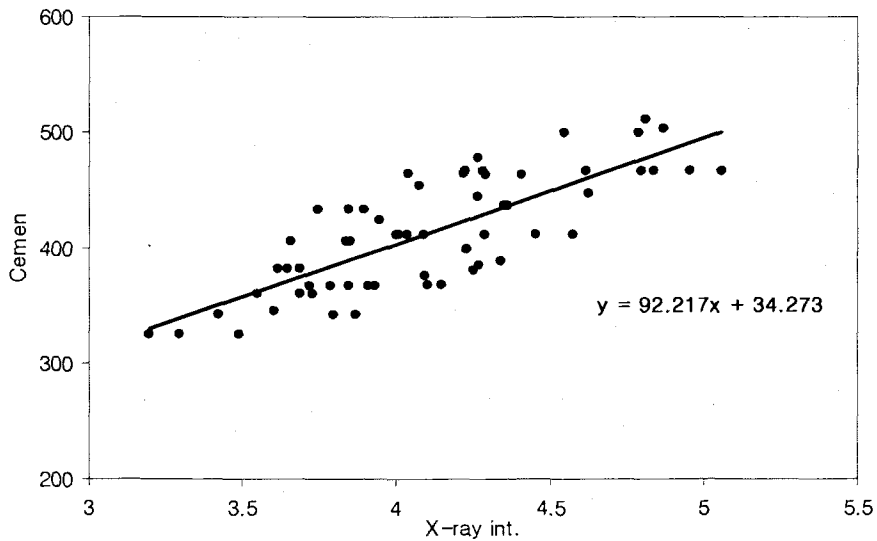
아울러 본 연구의 기간동안 정립한 노하우를 계승하여 혼화재를 혼입한 콘크리트에 대한 적용 및 콘크리트전체를 분석대상으로 하여 분석시편제작과정의 간소화를 체계화하는 연구를 계속 수행할 계획이 있음 밝혀둔다.

### 2) 추정결과

많은 콘크리트 시험체의 분석을 통해 < 그림 3.3.7.1 >과 같은 검량선을 유도하고 본 실험에서 분석대상으로 한 콘크리트의 시험결과를 < 표 3.3.7.2 >와 같이 나타냈다. 배합당시 사용했던 시멘트함량대비 추정 시멘트 함량비를 분석한 결과 평균정도 96.7%, 표준편차 3.92를 갖는 것으로 나타났다. 검량선 유도를 위한 표준시료가 완성되면 보다 정밀한 추정값을 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

< 표 3.3.7.2 > 시멘트 함량 추정 오차

시료 번호	Ca값	추정시멘트 함량	실제시멘트 함량	오차 (%)
1	4.525	461.020	480.950	-4.323
2	4.325	439.424	455.560	-3.672
3	4.099	415.094	420.830	-1.382
4	3.797	382.458	388.240	-1.512
5	3.746	376.982	359.260	4.701
6	3.652	366.867	350.880	4.358
평균정도(표준편차)				96.7% (3.92)



< 그림 3.3.7.1 > 콘크리트 내 시멘트 함량 추정식

## 다. 굵은골재 함량 추정

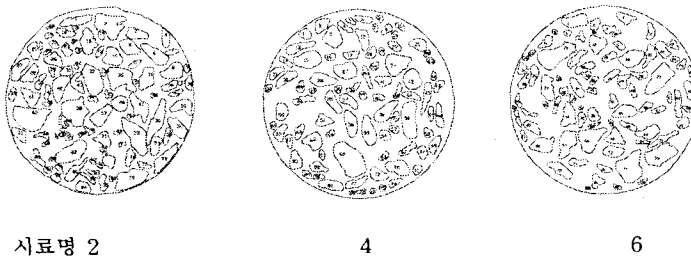
### 1) 추정방법

두 번째 성분은 굵은골재 함량이다. 콘크리트내에 함유되어 있는 굵은 골재의 함량을 추정하기 위해 코어의 절단된 부분의 굵은골재 윤곽을 스케치하고 트랜싯페이

퍼로 옮겨 그린다. 스캐너를 이용하여 스케치된 그림을 이미지파일로 변환 후 캐드 (Cad)를 이용하여 전체면적에 대한 굵은골재의 면적비를 산출하였다. 배합설계표에서 계산된 실제 굵은골재용적비에 대한 추정용적비를 비교하여 본 추정법의 신뢰성을 검증하였으며 실험순서는 < 그림 3.3.7.4 (①) >과 같이 간략히 표현하였다. 굵은골재 최대치수가 40mm이상인 경우를 대비하여 원주형 코어의 표면적을 스케치하여 신뢰성검토를 실시하였다.

## 2) 추정결과

추정방법 편에서도 언급하였지만 굵은골재 최대치수 40mm일 경우 원형단면과 원주형 코어의 표면적의 면적비 분석을 수행한 결과, 단면적 만을 통해서도 굵은골재 용적비를 산출할 수 있는 것으로 나타났으며, 분석대상으로 한 콘크리트는 물시멘트 비 45, 51, 57%에 대하여 실시하였다. 실제 배합시 사용된 굵은골재 용적비 대비 추정 굵은골재용적비는 평균정도 95.3% 표준편차 2.08로 나타났으며 그 결과는 < 표 3.3.7.3 >과 같고, 단면의 굵은골재를 스케치한 그림을 < 그림 3.3.7.2 >에 나타냈다.



< 그림 3.3.7.2 > 굵은골재 스케치 그림

< 표 3.3.7.3 > 굵은골재 추정 오차

시료번호	추정 굵은골재 용적비 (%)	실제 굵은골재 용적비 (%)	오 차 (%)
2	37.16	35.7	-1.46 (4%)
4	34.03	36.6	2.57(7%)
6	36.28	37.4	1.12 (3%)
평균정도(표준편차)			95.3%(2.08)

## 라. 잔골재 함량 추정

### 1) 추정방법

세 번째는 잔골재량이다. 경화된 콘크리트내에 함유된 잔골재량을 추정하기 위해 콘크리트의 배합 전 각각의 성분의 중량과 배합 후 경화된 콘크리트의 중량을 비교하여 보면, 시멘트, 자갈, 모래, 물이 배합 전 중량검토 성분이며, 배합 후 경화된 콘크리트의 무게는 배합 전 각각의 성분의 합과 같아야 하나 배합 후 콘크리트내에서는 시멘트와 물이 만나 수화반응을 일으킨다. 배합에 사용된 물은 블리딩 현상에 의해 증발되는 양과 시멘트와 결합하여 고형 수화생성물로 남는 양으로 크게 나눌 수 있을 것이다. 수화반응에 의해서 생성된 고형수화생성물은 중량을 증가시키는 것으로 나타났다. 즉, 경화된 콘크리트의 중량에서 시멘트, 굵은 골재, 고형수화생성물의 중량을 제하면 모래의 중량이 된다. 제 3 절 4항 ‘시멘트의 수화’편에서 수화반응 시 소요되는 수량과 중량의 변화를 시멘트 함량비로 정량화 하였으며, 제 1 절 7항 가. ‘콘크리트의 수화율’ 편에서와 같이 굵은골재 최대치수 20mm의 배합인 < 표 3.3.7.1 >중에서 시료번호 2, 4, 6번의 배합에 대해서 고형수화생성물의 시멘트 대비 중량비를 산정하는 실험을 수행하고 < 표 3.3.7.4 >와 같이 정리하였다. 구조물에서 채취한 콘크리트 코어를 대상으로 잔골재 함량을 추정하는 실험의 흐름도는 < 그림 3.3.7.3 (③) >에 나타냈다.

### 2) 추정결과

시멘트 수화메카니즘을 분석하고, 수화반응 시 시멘트와 결합되어 증발되지 않은 배합수량의 일정비율을 단위시멘트 함량비로 정량화하는 연구를 선행하여, 수화에 필요한 순수결합수량이 시멘트중량의 23.3%이며 젤공극수는 시멘트중량의 약19.7%임을 분석해내고, 수화반응 시 생성되는 고형수화생성물의 중량이 시멘트 중량대비 약 43% 가량되는 것으로 분석되었다. 콘크리트 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 수중중량, 노건조중량을 측정하여 잔골재량을 추정하였으며 < 표 3.3.7.4 >에 정리하였다. 잔골재 함량 추정값은 평균정도 93.3%, 표준편차 3.35로 나타났으며, 각 성분별 추정법의 신뢰도를 향상시킬 경우 잔골재의 함량추정 신뢰도 역시 향상될 것으로 기대하였다.



< 표 3.3.7.4 > 잔골재 함량추정 오차

No.	단위량(kgf/m <sup>3</sup> )				시험체 노건 중량	시험체 용적	추정시멘 트(kg)	추정굵은 골재(kg)	고형수화생 성물(kg)	추정잔골 재(kg)	오차 (%)
	물	시멘트	모래	자갈							
2	205	455.56	707.51	973.94	3.601kg	1.565 ℓ	439.4	1013.8	195.9	651.7	8.5
4	198	388.24	739.16	1017.5	3.611kg	1.566 ℓ	382.5	946.1	166.9	810.2	8.7
6	200	350.88	750.14	1032.61	3.545kg	1.547 ℓ	366.9	1001.7	150.9	772.3	2.8

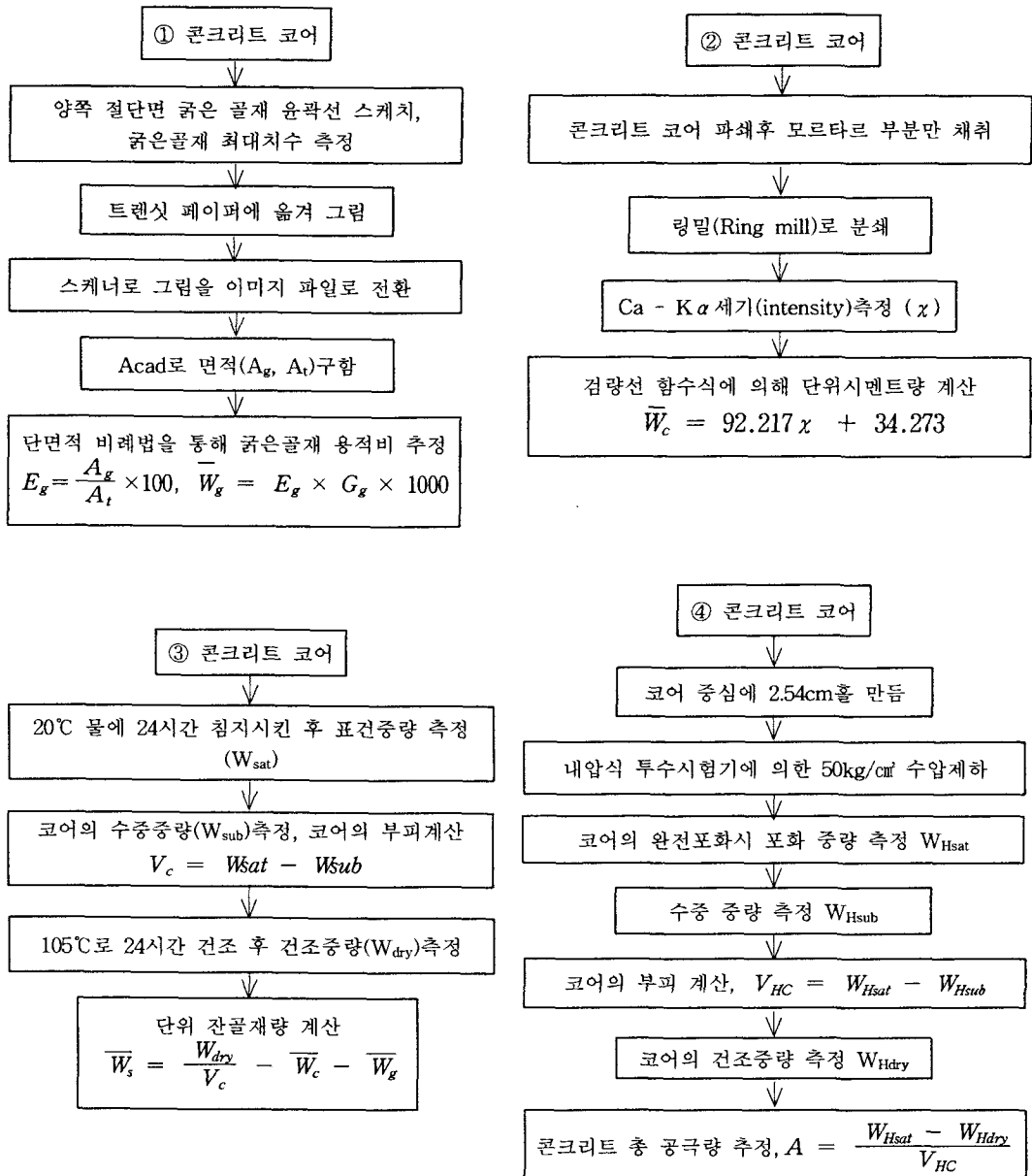
## 마. 배합수량 추정

### 1) 추정방법

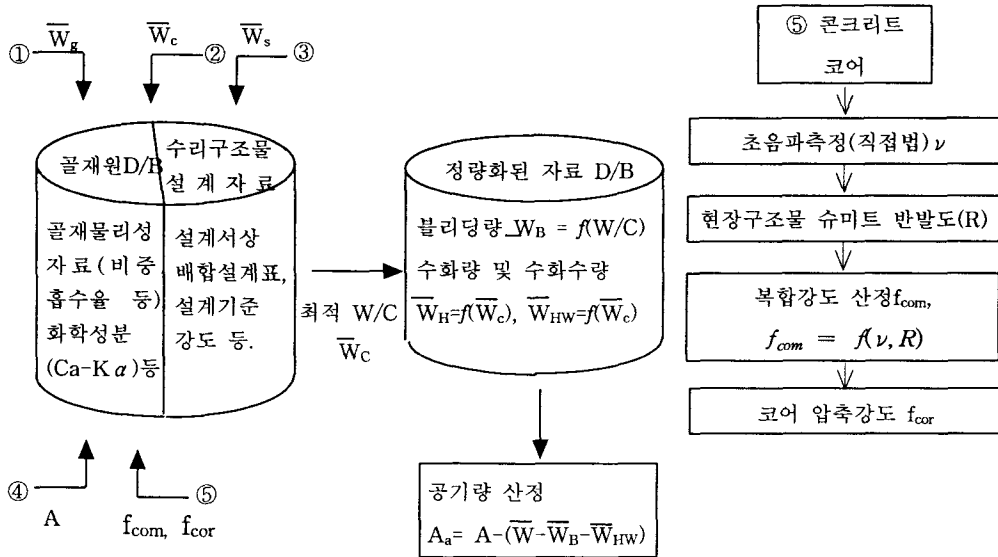
배합당시 사용된 수량은 앞 항에서 추정된 성분 함량을 데이터베이스를 기초로 하는 전문가 시스템에 입력하고, 콘크리트 코어의 역학적 특성자료와 총 공극량이 추가적으로 입력되면 최적의 물시멘트비가 결정되는 체계를 따르며 단위시멘트량을 기준으로 그 값이 결정된다. 전문가 시스템은 기존의 많은 배합설계자료와 역학적 특성치를 기초로 하며, 총 공극량에 따라 연행공기의 유무를 결정하고 혼화제의 사용여부를 판단하여 최적의 물시멘트비를 결정하는 시스템으로 구성할 계획이다. 전반적인 역추정 실험수행 절차는 < 그림 3.3.7.3 >에 간략히 나타내었다. 추후로 충분한 예산과 연구기간이 주어지면 지속적인 연구를 통해 이부분을 완성할 계획임을 밝혀둔다.

### 2) 추정결과

시멘트 함량, 굵은골재 함량, 잔골재 함량을 추정하고, 콘크리트의 역학적 특성자료와 구조물의 설계자료 및 콘크리트 공극량, 시공당시 사용되었을 슬럼프의 범위, 혼화재료 등이 데이터베이스로 갖추어진 전문가 시스템을 통해 물시멘트비가 결정될 것으로 기대한다.



< 그림 3.3.7.3 > 경화콘크리트 성분별 추정 흐름도와 전문가 시스템 개요도-1



< 그림 3.3.7.3 > 경화콘크리트 성분별 추정 흐름도와 전문가 시스템 개요도-2

여기서,

- |   |   |
|---|---|
| $A_g$ : 코어의 단면내 굵은골재 면적                       | $\overline{W}_H$ : 고탄수화생성물(=0.43 $W_c$ )(kg)        |
| $A_t$ : 코어의 단면 전체면적                           | $\overline{W}_{BH}$ : 수화수량(수화생성물 생성시 소요되는 순수수량)(kg) |
| $E_g$ : 굵은 골재 용적비                             | $A_a$ : 배합시 콘크리트내 공기량                               |
| : 단위굵은 골재량(kg/m <sup>3</sup> )                | $G_s$ : 굵은골재 비중(전국 골재원 D/B)                         |
| $W_{sat}$ : 코어의 표건중량                          | $W_{Hsub}$ : 중공 코어 주중중량                             |
| $W_{sub}$ : 코어의 수중중량                          | $W_{Hsat}$ : 중공 코어 표건중량                             |
| $W_{dry}$ : 코어의 건조중량                          | $W_{Hdry}$ : 중공 코어 건조중량                             |
| $V_c$ : 코어의 부피                                | $V_{HC}$ : 중공코어 부피                                  |
| $\overline{W}_c$ : 단위시멘트량(kg/m <sup>3</sup> ) | $A$ : 총 공극량   |
| $\overline{W}_s$ : 단위잔골재량(kg/m <sup>3</sup> ) | $\nu$ : 콘크리트의 초음파 속도                                |
| $\alpha$ : Ca - K $\alpha$ 세기(kcps)           | $R$ : 슈미트 햄머 반발도                                    |
| $\overline{W}_B$ : 블리딩량(kg)                   | $f_{com}$ : 콘크리트 복합강도(kgf/cm <sup>2</sup> )         |
|   | $f_{cor}$ : 코어 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )           |

## 제4절 콘크리트의 품질관리

농업기반 콘크리트 수리구조물은 정책수립단계, 설계단계, 시공단계, 사용단계 각각에서 내구성을 저하시키는 요인들이 상존하고 있었다. 설계단계와 시공단계에 상존하는 원인을 해결하기 위해 콘크리트의 품질관리 측면에서 내구성을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하였다. 공사시기가 농한기인 동절기에 주로 집중되는 이유로 인하여 동절기의 콘크리트 시공에 대한 주의 사항을 검토하였으며, 광역에 산재되어 있는 소형 구조물에 소량의 콘크리트를 타설하기 위해 레미콘을 주문하게 된다. 현행 레미콘 품질관리기준에서는 일반 건설공사에 맞추어져 있어 적용하기에 어려운 점이 많다. 따라서 농업기반 콘크리트 수리구조물의 건설공사 시 적용할 수 있는 기준 안을 제시하였다. 또한 품질시험으로 물리·역학적 시험만을 수행하고 있으나 농업기반 콘크리트 수리구조물과 같이 열화작용에 노출되어 있는 경우는 내구성 시험을 병행해야 하는 이유에 대하여 설명하였다.

### 1. 동절기 콘크리트의 보온효과 실험

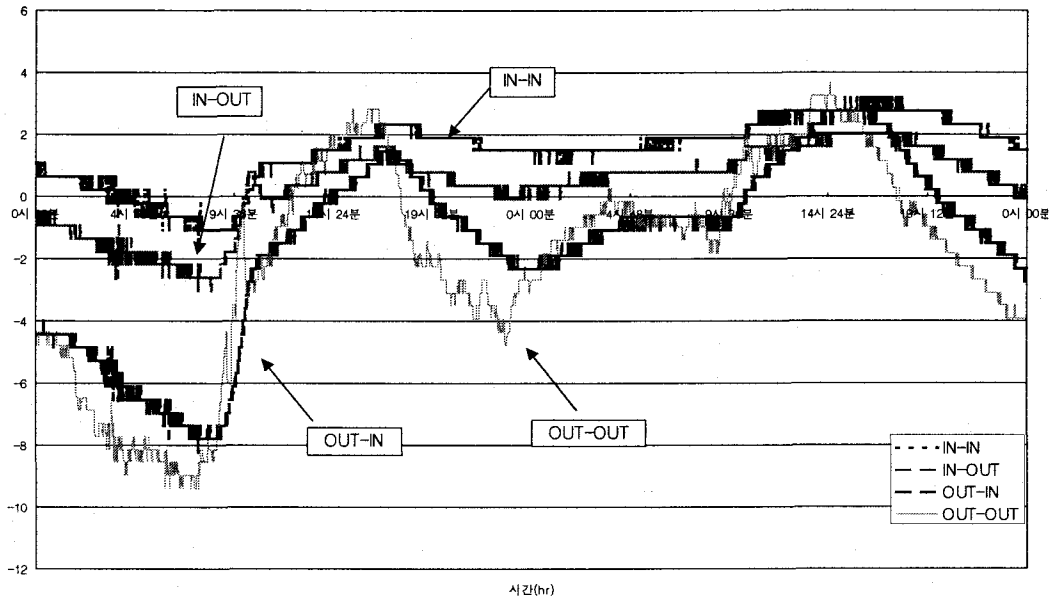
#### 가. 개요

농업기반 콘크리트 구조물시공은 부득이하게 농한기인 동절기에 시행하여야 하는 경우가 많이 발생되어왔다. 콘크리트타설을 동절기에 실시할 경우 한중 콘크리트 타설 요령에 따라 시공하게 되어있으나, 공사의 규모나 현장여건이 뒷받침되지 않아 규정대로 시행하기 쉽지 않은 경우가 적지 않은 것으로 조사되었다. 시공회사나 공사감독은 공기에 맞도록 공정을 맞추어가기 위해선 규정맞지 않지만 어쩔수 없이 타설 하는 경우가 왕왕 있는 것으로 조사되었다. 동절기 콘크리트 공사시 타설된 콘크리트는 반드시 보온시설을 하도록 되어있다. 그러나 이러한 보온 시설을 갖추는 것이 쉽지만은 않은 일이다.

## 나. 보온덮개 효과실험

본 연구에서는 광역에 산재되어 있는 소형구조물을 시공할 때 종종 사용되는 보온덮개의 보온 효과를 분석하였다. 네 가지의 온도 조건을 동시에 제작하여 실시간으로 온도를 측정하였다. 콘크리트 시험체를 2개 제작하여 온도센서를 콘크리트 내부에 묻어서 경화시켰다. 보온덮개로 시험체 1개를 덮고, 한 개는 보온덮개 밖에 두었다. 온도센서를 추가로 2개준비하여 보온덮개내부에 한 개, 보온덮개 밖에 한 개를 두었다. 따라서 총 4개의 온도센서는 보온덮개 내부 콘크리트 내부(IN-IN), 보온덮개 내부 콘크리트 밖(IN-OUT), 보온덮개 밖 콘크리트안(OUT-IN), 보온덮개 밖 콘크리트 밖(OUT-OUT)으로 명명할 수 있었다. 실험을 실시한 시기는 12월 중순이었다.

< 그림 3.1.9.1 >은 3일동안의 4개의 온도센서가 가리키는 온도변화를 그래프를 도시한 것이다. 아침 7시경의 OUT-OUT온도가 가장 낮은 온도 영하 9℃정도를 가리키며, 동일시간에 OUT-IN은 영하 7.8℃를 나타내고 있다. 하지만, IN-IN온도는 영하 1도시를 나타내고 있어 OUT-IN과는 약 6.8℃의 온도차가 있음을 알 수 있었다. 낮 시간에 가까워오면 OUT-OUT과 IN-OUT온도는 빠른 속도로 영상으로 회복하여 오후 4시 30분 경 가장 높은 온도 2.9, 1.4℃의 온도에 이른다. 하지만 IN-IN은 OUT-OUT에 비하여 느린 속도로 영상온도로 회복한다. 이러한 일련의 과정들이 주야를 통해 계속 반복된다. 제 2 절에서 내구성 실험으로 수행한 경화된 콘크리트의 동결융해 실험에서 잘 알 수 있듯이 경화되어 소정의 강도를 갖는 콘크리트도 동결과 융해의 반복에 의해 파괴된다. 시방규정(< 부록 8 >참조)에서는 굳지 않은 콘크리트가 동해를 입을 경우 체적팽창으로 인해 파괴되므로 반드시 제거하게 되어있다. 결국 콘크리트의 동해를 보호하는 보온덮개의 효과는 대기 온도가 낮을수록 클 것이며, 그 효능은 < 그림 3.1.9.1 >을 통하여 충분히 입증할 수 있었다.



< 그림 3.1.9.1 > 콘크리트의 보온 보온덮개의 보온 효과

## 2. 레미콘 품질관리 요령

### 가. 개요

농업기반 콘크리트 수리구조물은 소량의 레미콘을 주문하여 시공하는 경우가 많아 레미콘의 품질관리에 대한 기준의 정비가 필요하였다. 설계시점에서의 품질관리비의 계상과 시공시 품질관리 회수에 대한 기준이 일반콘크리트 건설공사와 많이 상이하여 설계단계와 시공단계로 나누어 검토하였으며, 건설기술 관리법과 KS F 4009의 '레디믹스트 콘크리트'의 주요내용을 중심으로 개선해야 할 사항을 요약하여 < 부록 9 >에 수록하였다.

### 나. 설계단계에서 레미콘의 품질관리

콘크리트의 품질관리를 위해서는 설계단계에서 품질시험비를 반영하여야 하며, 품질시험비는 품질시험 회수에 따라 달라질 수 있기 때문에 품질시험의 빈도를 결정하

는 것을 중요한 사항이다. 건설기술관리법에는 1회의 품질시험 기준물량이 450m<sup>3</sup>으로 규정되어 있으나 경지정리지구와 같은 소량의 콘크리트를 타설하는 지구에서는 잘 맞지 않은 규정이다. 따라서 이러한 지구에 적용할 수 있도록 '98년도 경기도 내 사업지구별 1일 콘크리트 타설량 분석치를 기준으로 다음과 같이 예외 규정을 제안하였다. '경지정리 지구는 40m<sup>3</sup> 당 1회의 빈도, 기타사업은 70m<sup>3</sup>당 1회의 빈도로 적용할 수 있다.' 품질시험종목은 압축강도, 공시체 제작, 캡핑, 슬럼프, 공기량, 염화물 시험을 구분하여 시험비를 반영토록 하였다.

#### 다. 시공단계에서 레미콘의 품질관리

콘크리트의 시공시점에서 품질관리는 반드시 시행하도록 건설기술관리법에 정하여져 있으며, 농업기반 콘크리트 수리구조물을 시공할 경우도 동법을 따르고 있다. 시료 채취에서부터 시험체의 제작, 시험, 판정까지의 과정을 시험종목별로 검토하였다. 레미콘 운반차의 배출시점에서 품질검사 시료를 채취하는 경우에는 30초동안 고속 교반 후 50리터를 제외하고 채취하여야 한다. 압축강도시험은 동일한 공장에서 동일한 배합으로 1일 동안 운반될 레미콘 운반차 중 임의의 운반차 3개를 선정하여 각 차에서 3개의 공시체를 제작토록 정하고 있으나, 1일 타설량이 운반차 3대에 미치지 못할 경우에는 합리적으로 운반차를 구분하여 3조의 공시체를 제작토록 정하였다. 공시체 제작은 공시체의 직경에 따라 다짐회수가 다른데, 직경 15cm의 경우 3층 25회, 10cm의 경우 2층 12회의 비율로 다진다. 압축강도 시험용 공시체의 캡핑은 시멘트 페이스트를 개어서 탈형 전에 실시하는 경우와 탈형 후 유황화합물로 실시하는 경우가 있다. 페이스트 캡핑의 경우, 유리판 등을 이용하여 평활하게 한 후 24시간이상 48이상 이내로 양생시키며 이 시간 동안 수분의 증발을 막아야 한다. 압축강도시험은 매초 2~3kgf/cm<sup>2</sup>의 속도로 응력을 증가시킨다. 공기량 시험은 KS F 2421, 2409, 2449에 따라 실시할 수 있으며, 염화물 함유량시험은 KS F 4009의 부속서 1에 따라 실시하며, 레미콘 공장에서 측정한 값으로 대치할 수 있도록 규정하고 있다. 이러한 품질시험을 통하여 합격여부를 매 회 판정하며, 불합격한 경우 재시공하는 것을 원칙으로 정하고 있다.

### 3. 품질시험

#### 가. 개요

현재 품질관리 시 품질시험은 역학시험인 압축강도와 물리성 시험인 공기량시험과 염화물 함유량 시험을 실시하고 있다. 그러나 농업기반 콘크리트 수리구조물과 같은 설치환경이 열악한 콘크리트 구조물의 건설공사에서는 물리·역학적 품질시험과 더불어 내구성 평가 시험을 추가하여야 할 것으로 판단되었다.

#### 나. 물리·역학적 측면의 품질시험

콘크리트 구조물의 설계 시 설계기준강도의 결정은 작용하중에 대한 구조적 검토를 거쳐 내력이 확보될 수 있는 값으로 결정되며, 경우에 따라서는 경제성을 고려하여 결정하기도 한다. 이렇게 결정된 설계기준강도는 시공 시 그대로 반영된다. 설계서에 명시된 설계기준강도와 동일한 크기의 호칭강도가 주문되고, 콘크리트 타설시점에서 현장품질관리를 실시하게 된다. 품질관리 시험으로는 앞 절에서 설명하였듯이 공기량 측정, 염화물 함유량 측정, 압축강도 시험을 실시한다.

#### 다. 내구성 평가 시험

농업기반 콘크리트 수리구조물의 사용수명을 살펴보면 일반 콘크리트 수리구조물의 경우 평균 20년으로 조사되었다. 설계당시 목표내구연한을 40년으로 설계한 구조물인데 불과 약 50%의 수명밖에 채우지 못하였다. 제 3 장 제 1 절의 정밀조사분석 결과 콘크리트의 사용연한에 따른 강도감소의 원인이 열화작용인 것으로 분석되었듯이 농업기반 콘크리트 수리구조물은 설계시점에서 품질관리시점까지 내구성에 대한 검토를 반드시 거쳐야 할 것으로 판단할 수 있었다. 따라서 품질관리 시험 시 물리·역학적 측면의 품질시험 뿐만이 아니라 내구성 측면의 품질시험을 실시하여야 할 것으로 판단되었다. 내구성 평가를 위한 품질시험법은 제 3 장 제 2 절에서 분석하였듯이 내구성 조기평가기법을 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.



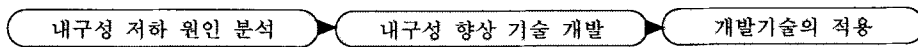
여 백

## 제4장 종합결론

### 제1절 개요

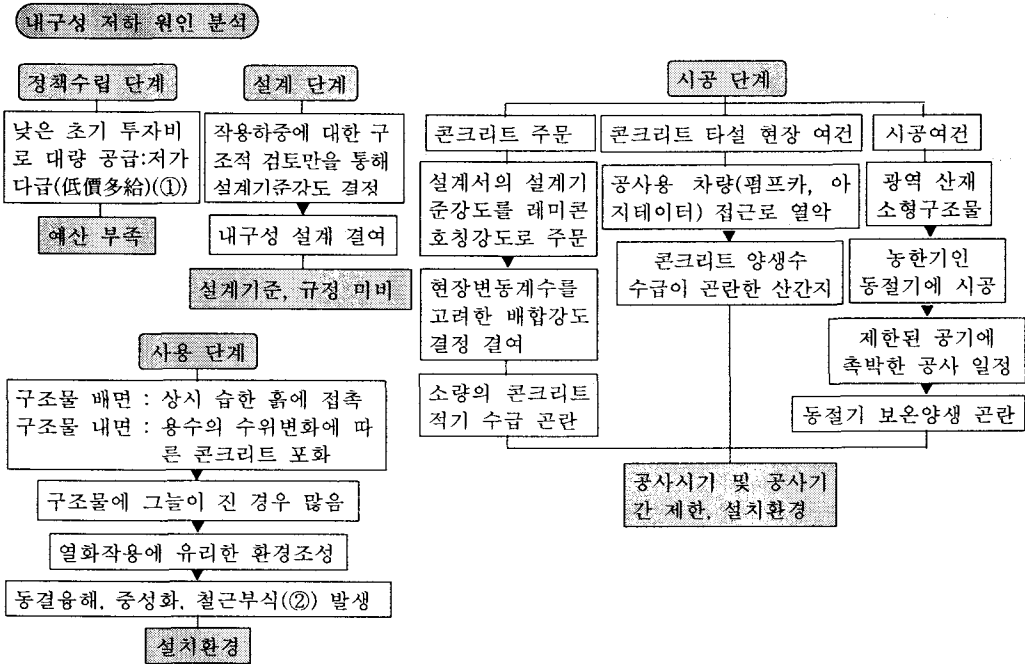
농업기반 콘크리트 수리구조물이 일반 콘크리트 구조물보다 내구성 측면에서 보강되어야 하는 기술적 이유를 콘크리트의 열화 기구의 약술을 통해 주장하였다. 농업기반 콘크리트 수리구조물은 초기투자비를 낮추기 위해 설계기준강도가 낮은 콘크리트를 사용하여 수명이 단기화 되고 있다. 또한 주로 동절기 단기간에 수행해야 하는 열악한 공사여건 등에 의한 품질변동폭 과다와 사용 중 계속적 건설 반복과 같은 열악한 환경 등이 수명단축을 부채질하고 있다.

이처럼 정책수립·설계·시공·사용 단계별로 내재된 내구성 저하원인을 각각 분석하고, 이의 해결에 필요한 기술, 즉 내구성 향상 기술을 개발하며, 개발된 기술을 각 단계별로 어떻게 적용할 것인지를 요약한 것이 < 그림 4.1.1.1 >이다.

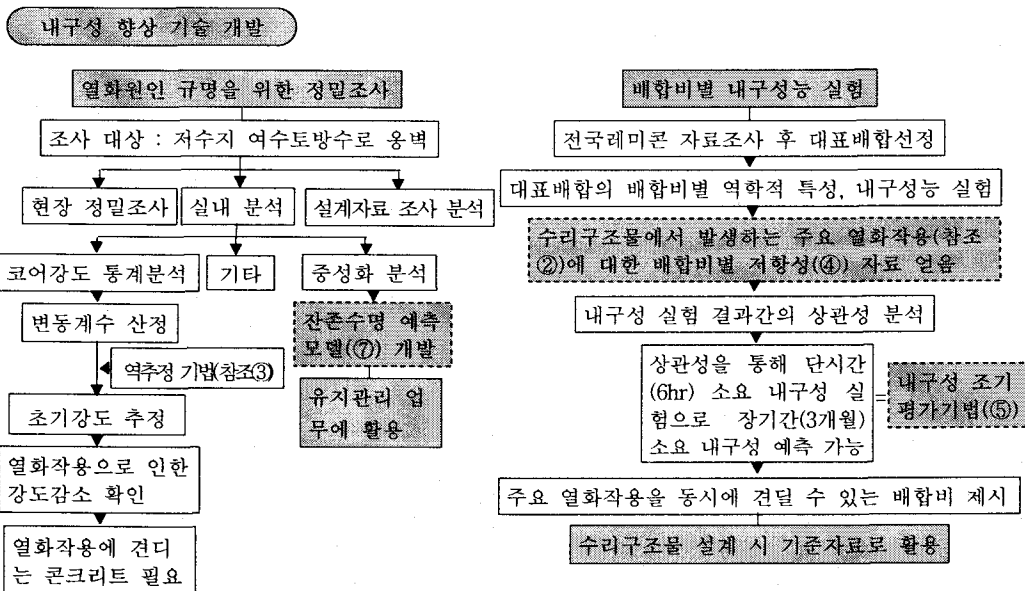


(a) 연구 수행 순서도

< 그림 4.1.1.1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속)

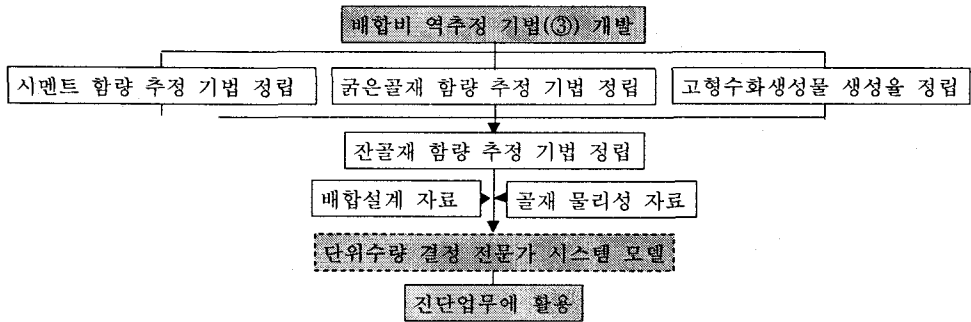


(b) 내구성 저하 원인 분석

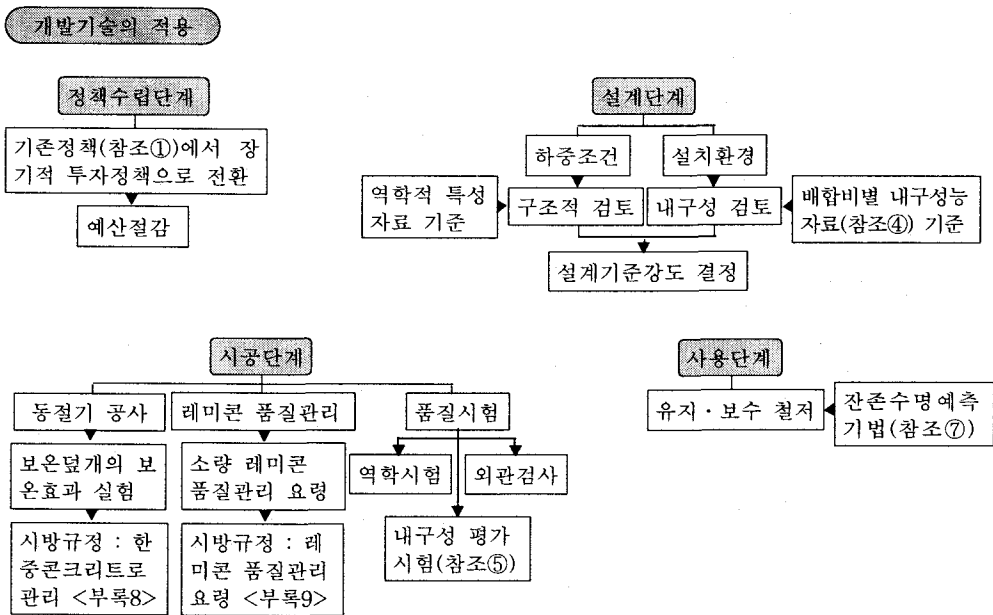


(c) 내구성 증대 기술개발

< 그림 4.1.1.1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속)



(c) 내구성 증대 기술개발(계속)



(d) 개발기술의 적용

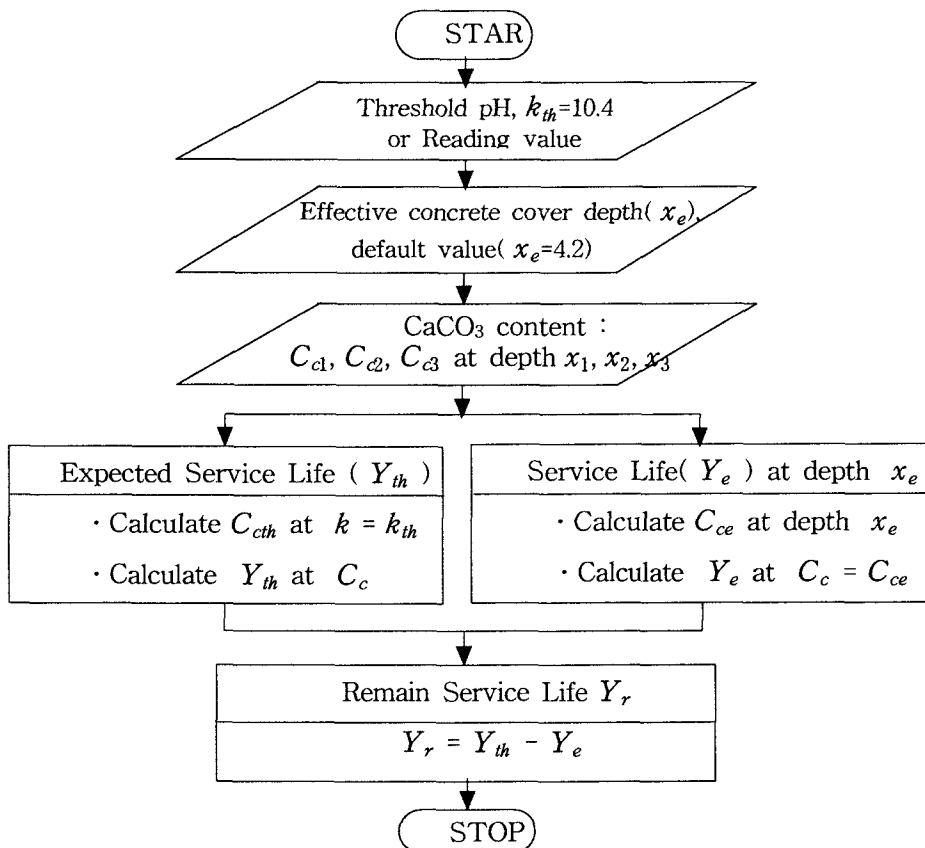
< 그림 4.1.1.1 > 내구성 증대기술 개발 흐름도((a)~(d))(계속)

## 제2절 콘크리트 수리구조물의 내구성 증대기술 개발

농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성을 증대시키기 위해서는 우선적으로 내구연한이 짧은 원인을 규명하고 그 대책을 수립해야 한다. 내구성이 낮은 원인을 규명하기 위해서 분석대상 구조물로서 콘크리트 수리구조물 중 시공중 품질변동폭이 비교적 적었을 것이라고 믿어지는 농업용 저수지 부속구조물을 택하되 전국적으로 사용연한 10~35년 된 100개 저수지를 선정하여 현장정밀조사를 수행하였다. 각 지구의 관찰 지소에 방문하여 설계단계의 자료 조사, 환경 영향조사를 위해 지역별 기온 자료를 기상대로부터 검색 조사, 구조물 주위의 물과 흙 채취, 골재원에서 골재 채취, 현장에서 구조물의 비파괴 시험 수행, 코어를 채취 등 전반적인 현장조사를 마치고, 실내분석에서는 중성화 분석으로 코어의 중성화 깊이 측정, 탄산칼슘과 수산화 칼슘의 함량 측정, 역학적 특성 분석으로 초음파측정, 코어 압축강도, 탄성계수 측정, 물리적 성질 분석으로 투수계수 측정, 화학분석으로 화학 성분분석과 배합비의 역추정을 실시하였다. 이러한 정밀분석을 통해 내구성 증대방안을 검토한 결과, 코어의 압축강도 분포분석(<그림 3.1.4.3 >), 조사된 설계자료(< 표 3.1.2.1 >)와 재현배합강도(< 그림 3.2.2.15 >)를 종합 분석한 결과, 조사된 설계기준강도 자료는  $180\text{kgf/cm}^2$ 이었으나, 채취한 콘크리트 코어의 압축강도는 평균  $162\text{kgf/cm}^2$ , 표준편차  $34\text{kgf/cm}^2$ 로 분석되었으며, 하위 5%는  $106\text{kgf/cm}^2$ 으로 분석되었다. 또한 배합비 역추정 기법을 통하여 추정된 대표 배합비로 공시체를 제작하고 재령 28일에 압축강도를 측정하였을 때  $196\text{kgf/cm}^2$ 으로 나타났다. 이 압축강도를 시공당시의 콘크리트 초기강도로 볼 때, 초기강도  $196\text{kgf/cm}^2$ 인 콘크리트가 사용연한 10~35년 동안에 점차 노화되어 드디어 평균강도  $162\text{kgf/cm}^2$ 까지 낮아진 것으로 볼 수 있다. 즉, 약 17%의 강도감소가 발생된 것이다. 일반적으로 표준양생한 콘크리트의 재령별 압축강도는 재령이 증가할수록 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 구조물이 사용기간 동안 노후작용을 받을 경우 압축강도는 감소하게 되는데, 그 감소폭은 콘크리트의 품질과 사용중의 구조물 환경에 따라 달라질 수 있다. 따라서 최대 사용연한인 35년 동안 콘크리트 수리구조물의 압축강도 감소율로서 17%를 가정한다면 저수지의 목표내구연한 60년 동안에 설계기준강도  $180\text{kgf/cm}^2$ 을 유지하기 위해서는 초기강도가  $255\text{kgf/cm}^2$ 이상 되어야 한다고 볼 수 있다.

현장정밀조사 자료를 이용하여 개발된 또 하나의 기술이 콘크리트 수리구조물의

잔존수명예측 모델이다. 구조물 콘크리트는 사용연한이 커짐에 따라 중성화되어 콘크리트내에 탄산칼슘량이 증가한다. 탄산칼슘이 증가하여 콘크리트가 철근의 부식을 막아주는 능력을 잃게 되면 철근에 부식이 발생하여 결국은 구조물이 수명을 다하게 된다. 따라서 현재의 탄산칼슘량과 부식이 발생하는 임계점의 탄산칼슘량을 알면 남아 있는 수명을 예측할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 100개 정밀조사 대상지구에서 사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량변화를 이끌어내고, 임계탄산칼슘의 함량을 결정함으로써 저수지 부속 콘크리트 구조물의 잔존수명예측 시스템을 다음과 같이 개발하였다.



< 그림 4.1.1.2 > 잔존수명 예측모델

### 제3절 콘크리트 수리구조물의 내구성 조기판정 기법 개발

현장정밀조사 대상 구조물은 40mm 강자갈을 사용하여 현장에서 타설한 콘크리트였다. 그러나 최근의 구조물은 대부분 25mm 쇄석을 이용한 레미콘을 타설하여 축조한다. 이에 따라 내구성 조기평가기법은 전국적인 레미콘 조사자료를 토대로 내구성 평가실험을 수행하고, 단기간의 공사기간 내에 내구성을 평가할 수 있는 시험법을 개발하였다. 이를 위해 사용된 배합비를 정리하면, 먼저 전국에서 레미콘 자료를 수집하여 계절별로 다른 배합자료를 분석하여 가장 대표적인 7가지의 배합종류를 선정한 후, 내구성 실험을 위해, 혼화재의 종류(3종류), 굵은골재의 종류(3종류), 공기량(3종류) 등을 변수로 하여 배합종류를 추가하였다. 레미콘 자료를 분석하여 얻은 배합비 21종류(7×3(OPC, BFS, FA)-Air 6.5%), 동결융해 저항성 비교실험을 위해 공기량을 변화시킨 7종류 배합(7×1(OPC)-Air 3%), 굵은골재 최대치수를 변화시킨 배합(6×1(20mm)-Air 2.0%), 시공당시의 압축강도 추정을 위해 만든 재현배합(3×1(강자갈 40mm)), 총 38종류의 배합을 수행하여 각각 최적 배합비를 도출하였다. 역학적 특성으로 압축강도와 휨강도 시험을 수행하였으며, 내구성 실험은 콘크리트 수리구조물에서 가장 많이 발생하는 열화작용인 동결융해, 중성화, 철근부식을 고려하여 동결융해 저항성, 염소이온 투과저항성, 부식 저항성실험을 대표배합비 21가지에 대하여 각각 수행하였다. 각각의 배합비별로 역학적 특성과 내구적 성질을 비교·분석하였으며, 그 결과를 < 그림 3.2.7.1 >~< 그림 3.2.7.4 >와 같이 정리함으로써 실험시간이 많이 소요되는 동결융해 저항성을 실험시간이 적게 걸리는 염소이온 투과 저항성으로 평가할 수 있도록 개발하였다.

< 그림 3.2.7.1 >은 물시멘트비에 따른 재령 28일 압축강도, 염소이온 투과저항성 실험에서 얻은 전하량, 동결융해 저항성 실험에서 얻은 동결융해 사이클 수, 부식저항성 실험에서 얻은 전류량을 하나의 그림으로 나타낸 것이다. 배합조건은 혼화재를 혼합하지 않았으며, 굵은골재 최대치수는 25mm, 목표공기량은 6.5%인 배합이다. 그래프의 활용의 예를 들면, 임의의 콘크리트가 재령 28일 압축강도에서 233kgf/cm<sup>2</sup>와 250kgf/cm<sup>2</sup>사이의 값을 나타내었다면 이 콘크리트의 동결융해저항성은 750사이클과 800사이클 사이값을 갖을 수 있음을 예측할 수 있다. 물론 이 콘크리트는 앞에서 얻

급한 배합조건을 갖춘 배합이어야 한다.

< 그림 3.2.7.2 >~< 그림 3.2.7.3 >은 각각 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트에 대한 내구성 조기 평가를 위한 그래프이며, < 그림 3.2.7.4 >는 혼화재를 혼입하지 않았으며, 굵은골재 최대치수 20mm, 목표공기량 2.0%의 배합에 대한 내구성 조기평가를 위한 그래프이다. 목표공기량이 2.0%의 경우에 대한 콘크리트 내구성 자료 예측을 위해 < 그림 3.2.7.1 >~< 그림 3.2.7.3 >과 비교하여 도시하였다.

내구성실험의 결과를 살펴보면, 동결융해 실험에서는 공기량에 따른 동결융해 저항성이 현저하게 차이를 알 수 있었다. < 표 3.2.3.2 >에 따르면 목표 공기량이 3%인 경우는 목표공기량이 6.5%인 경우에 비해 약 1/4의 사이클에서 파괴되는 것을 알 수 있다.

염소이온 투과저항성 실험에서는 < 표 3.2.4.1 >의 염소이온 투과성 평가에 준하여 볼 때 < 표 3.2.4.2 >의 염소이온 투과량은 구분 270~400까지는 “Low”등급을 받을 수 있었으며, < 그림 3.2.4.5 >에 따르면 목표 공기량이 2.0%일 경우에 비하여 목표 공기량이 6.5%일 때, 물시멘트비의 변화에 민감해짐을 알 수 있었다.

부식성 저항성 실험에서는 < 그림 3.2.5.3 >의 전류량을 볼 때 구분 240~400과 180~210은 현저한 차이를 보임을 알 수 있었다. 또한, < 그림 3.2.5.4 >에 따르면 염소이온 투과저항성 실험과 같이 목표공기량 2%의 경우에 비하여 목표공기량 6.5%의 경우가 물시멘트비에 따라 민감하게 변화함을 알 수 있었다.

이상의 내구성 실험결과를 종합해보면 동결융해 저항성을 확보하기 위해서는 반드시 공기량 6.5%를 만족해야하며, 염소이온 투과 저항성이 “Low”등급을 받기 위해서는 구분 270이상의 배합비를 갖추어야할 것으로 판단할 수 있었다. 또한, 부식에 대한 저항성을 확보하기 위해선 구분 240 이상의 배합비를 갖추어야 할 것으로 판단할 수 있었다.

따라서 이상 세 가지의 내구성에 대해 모두 만족하기 위해서는 목표공기량 6.5%, 구분 270이상의 배합비를 갖춘 콘크리트로 제안할 수 있었다. 구분 270 배합비는 단위시멘트량이 382kg이며, 물시멘트비 47.6%, 28일 재령 압축강도 327kgf/cm<sup>2</sup>를 발현한 배합비이다.

국내 콘크리트 표준시방서와 미국 콘크리트 시방서(ACI318-99)에서 규정된 내구성 측면에서 콘크리트 구조물이 가져야 할 품질조건을 정리하면 < 표 4.1.1.1 >과 같다.



동 표에서 알 수 있는 바와 같이 내구적인 콘크리트를 제조하기 위한 품질조건에서 미국의 콘크리트 시방서가 국내 시방서 보다 더욱 엄격함을 알 수 있다. 콘크리트 수리구조물은 항상 물과 접하여 동결융해에 취약한 시설이므로 국내기준에 의하면 물시멘트비 50%이하, 설계기준강도 300kgf/cm<sup>2</sup>이상에 해당하며, 미국기준에 의하면 물시멘트비 45%이하, 설계기준강도 316kgf/cm<sup>2</sup>이상에 해당된다.

본 연구에서 얻은 콘크리트 수리구조물에 대한 결과와 국내외 시방규정의 결과를 비교하여 보면 물시멘트비는 국내시방규정과 미국시방규정의 사이에 해당하며, 28일 재령 압축강도는 국내시방규정과 미국시방규정 모두를 만족하는 것으로 나타났다.

< 표 4.1.1.1 > 내구성 측면에서 콘크리트의 품질조건

구조물의 노출상태	구 시방서④		개정시방서		ACI	
	최대 W/C(%)	최소 $f_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	최대⑤ W/C(%)	최소 $f_{ck}$ ⑥ (kg/cm <sup>2</sup> )	최대⑤ W/C(%)	최소 $f_{ck}$ ⑥ (kg/cm <sup>2</sup> )
보통의 노출상태	60	-	-	-	-	-
물에 노출되어 수밀성이 요구되는 콘크리트	55①	-	0.55	300	0.50	281
습한상태에서 동결과 융해에 노출된 콘크리트(농업기반수리구조물)	55	-	0.50	300	0.45	316
제빙화합물, 소금, 낮은농도 소금물 또는 마닷물에 노출되거나 제빙화합물, 소금, 낮은농도의 소금물이 뿌려진 (철근)콘크리트에 대한 보호	해중 50②	-	0.45	350	0.40	352
	해상대기중, 물 보라지역 45③					

※ 주. ④ : AE콘크리트이며 단면이 얇은 경우, ⑤ : 일반 콘크리트의 경우,

⑥ : 일반콘크리트와 경량콘크리트의 경우

① : 구 시방서 수밀 콘크리트 기준, ②,③ : 구 시방서 해양 콘크리트 기준

## 제4절 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발

기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법 개발하기 위해서 본 연구에서는 시멘트 함량, 굵은골재 함량 및 잔골재 함량을 순서적으로 역추정하는 기술을 개발하였다.

시멘트함량을 추정하는 기술을 개발하기 위해 콘크리트보다 변수가 적은 모르타르를 대상으로 분석하였다. 콘크리트의 구성성분 중 시멘트에 가장 많이 함유되어 있으며, 골재 등 다른 성분에는 미량 함유되어 있는 성분이 Ca 성분이다. 따라서 시멘트 함량을 변화시키면서 시멘트 함량( $C_e$ )-칼슘 세기( $I_{c_s}$ )의 상관식을 분석한 결과, 모르타르의 경우 추정식은  $C_e = 165.11I_{c_s} - 71.42$ 로 나타났으며, 결정계수  $R^2 = 0.905$ 로 분석되었다. 굵은골재를 함유한 콘크리트를 대상으로 분석한 결과 상관식  $C_e = 92.217I_{c_s} + 34.273$ 로 나타났으며, 결정계수  $R^2 = 0.7$ 로 분석되었다.

굵은골재의 함량을 추정하기 위해 콘크리트의 절단면에 드러난 굵은골재의 모양을 스케치하여 전체에 대한 면적비를 구하였다. 콘크리트 전체에 대한 굵은골재의 체적비와 면적비를 비교한 결과 거의 일치함을 발견하고, 배합비를 달리하면서 반복실험하여 그 신뢰도를 확인하였다. 굵은골재의 중량을 산정하기 위해서는 굵은골재의 비중값을 체적비에 곱하면 된다. 굵은골재 중량 추정 기법의 검증실험에서 평균오차 4.7%의 신뢰도를 갖는 것으로 확인됐다.

잔골재의 중량을 추정하는 기법은 콘크리트 전체의 중량에서 추정된 시멘트 중량, 추정된 굵은골재 중량, 수화시 생성되는 고흡수화생성물의 중량을 빼면 된다. 콘크리트 수화반응 시 생성되는 고흡수화생성물의 중량을 추정하기 위해 시멘트 수화메카니즘을 분석하고, 시멘트 대비 중량비를 산정하는 실험을 수행하여 고흡수형생성물의 중량은 시멘트대비 약43%에 해당하는 것을 밝혀냈다. 잔골재의 함량 추정을 위해 세 가지 대표 배합을 대상으로 신뢰성 실험을 수행한 결과 평균정도 93.3%, 표준편차 3.35로 나타났다.

이러한 과정을 통해 정립된 콘크리트 배합비 역추정 기법을 정밀조사 시 채취한 코어의 배합비 역추정에 적용하였으며, 추정된 배합비로 시공당시의 배합을 재현하는 재현배합을 실시하여 구조물의 시공 시의 콘크리트 강도를 추정하였다.

이러한 기존 콘크리트의 배합비 역추정 기법은 수리시설물의 정밀안전진단업무에

활용될 경우 큰 효과가 있을 것으로 판단되었다.

## 제5절 콘크리트의 품질관리

농업기반 콘크리트 수리구조물 대부분 농한기인 동절기 공사가 많은데 기온이 낮을 경우 시멘트의 수화반응을 지연시키고 심할 경우 양생수를 동결시켜 수화조직을 파괴하는 등 구조물의 품질을 크게 떨어뜨린다. 이러한 점을 개선 해보고자 콘크리트의 양생 시 사용되는 보온덮개의 효율성을 실험한 결과 보온덮개로 덮지 않은 경우보다 약 6.8℃의 온도상승이 있음을 확인하였다. 따라서 콘크리트 타설시기가 동절기인 경우 보온덮개로 덮으면 적은 비용으로 보온 양생을 할 수 있을 것이며, 적어도 양생수의 동결로 인한 수화조직 파괴가 없어 구조물의 수명을 연장할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이와 아울러 동절기 공사가 주류인 농업기반 콘크리트 시설물의 품질을 향상시키기 한중콘크리트 품질관리기준을 검토하였으며, 이를 부록에 수록하였다.

이외에도 농업기반 콘크리트 수리구조물은 소량의 레미콘을 주문하여 시공하는 경우가 많다. 그러나 현행 콘크리트 시방서나 건설기술관리법에 규정된 레미콘 품질관리 기준은 대량의 레미콘 사용을 전제로 제정된 것이므로 이를 그대로 농업기반 콘크리트 수리구조물에 적용하기가 곤란하다. 따라서 품질변동폭을 줄여 구조물의 내구연한을 증대시키기 위해서는 소량 공사시 레미콘의 품질관리에 대한 기준을 설계단계와 시공단계별로 정비해야 한다. 이를 위해서 소량공사가 주류인 농업기반시설 공사용 레미콘의 품질관리비와 품질관리회수 산출기준 등을 포함하여 제반사항을 별도로 검토하였으며, 그 결과를 부록에 수록하였다.

또한, 현재 품질관리 시 품질시험은 역학적인 부분만을 실시하고 있으나, 농업기반 콘크리트 수리구조물은 작용하는 하중이 작는데 반해 사용 중 환경이 매우 열악하여 내구성이 크게 저하되므로 설계단계나 시공단계에서 내구성 평가시험도 추가하여야 할 것이며, 공사기간이 제한되어 있을 경우 조기 내구성 평가 기법을 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

## 제5장 실용화 방안

### 제1절 관련 규정 및 지침 제정

본 연구에서 개발한 내구성 조기판정 기술에 관한 결과는 설계시 기준자료로 활용할 수 있을 것이며, 건설공사 관련 기술자들에게 보급하여 활용할 수 있을 것이며, 농업기반 콘크리트 수리구조물의 내구성을 증대시키는 설계기준강도와 배합설계 기술을 설계/시공/품질관리 지침으로 제정하여 보급함으로써 실무에 반영할 수 있을 것이다.

농업기반 콘크리트 수리구조물의 품질 판정방법으로 기존의 역학적 측면의 품질판정과 외관 판정 이외에 내구성 측면의 판정 방법이 의무화하도록 설계/시공/품질관리 지침의 개정 작업이 필요할 것으로 판단된다.

현장 정밀 조사시 수집한 자료와 실내분석을 통하여 수집한 자료를 데이터 베이스로 구축함으로써 콘크리트의 배합비 역추정에 활용할 뿐만 아니라 콘크리트 구조물의 열화이력과 원인 분석하는 중요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단하여 마이크로소프트사의 액세스를 활용하여 그 초안을 작성하였다.

콘크리트 구조물의 잔존수명을 예측하는 모델과 콘크리트 배합비 역추정 전문가 시스템을 프로그램으로 작성하여 비전문가도 손쉽게 활용할 수 있도록 하는 실용화 방안이 있다.

본 연구에서 개발한 내구성 조기판정 기법은 제 4 장 제 1 절에서 도시한 바와 같이 계획설계기준으로 제정할 수 있고, 시공 시 품질관리 기준으로 활용하는 방안이 있다. 배합비별 역학 실험과 농업기반 콘크리트 수리구조물에서 주로 발생될 수 있는 열화작용에 대한 저항성 실험으로 동결융해 저항성, 염소이온 투과저항성, 철근부식 저항성의 실험결과를 종합하여 얻은 설계기준강도, w/c, 공기량, 시멘트량을 농업기반 수리구조물의 계획설계기준으로 개정·보급하는 활용방안이 있다.

제 3 장 제 4 절에서 언급하였듯이 품질 판정방법으로 역학적인 측면의 품질검사와 외관검사 외에 내구성 측면의 판정이 의무화되도록 농업기반 콘크리트 수리구조물의 계획설계기준으로 개정하여 활용할 수 있다.


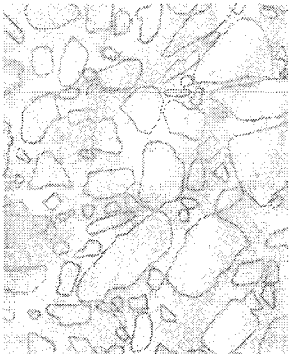
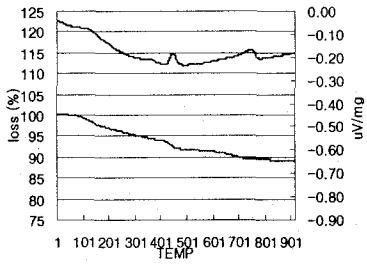
사용연한에 따른 탄산칼슘의 함량변화를 이용하여 개발한 콘크리트 구조물의 잔존 수명 예측 모델과 콘크리트 배합비 역추정 전문가 시스템의 프로그램화를 위한 추가적인 지원으로 실용화를 추진할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제2절 정밀조사자료 데이터베이스화

### 1. 정밀조사 분석자료의 정리

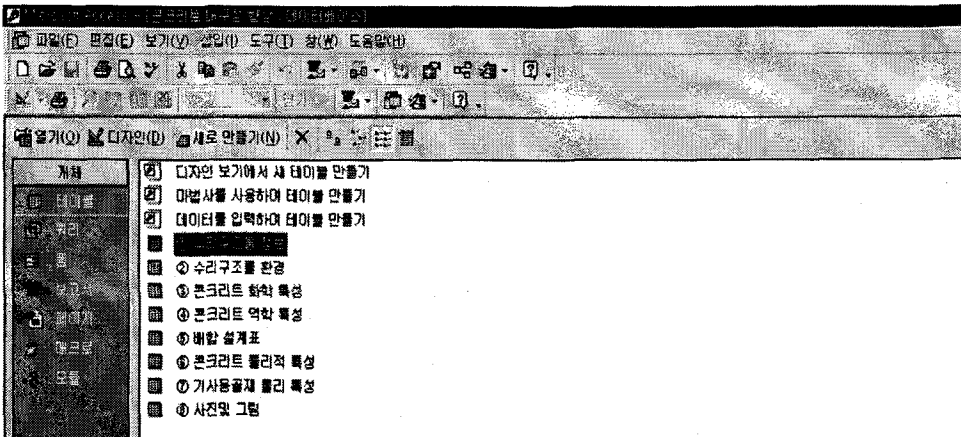
현장 정밀조사 자료 및 실내시험분석 자료를 지구별로 정리하여 지구별 상황분석이 용이하도록 하였으며, 정밀조사대상지구 전체의 자료를 데이터베이스화하여 종목별 검색이 가능하도록 할 수 있을 것이며, 충남 공주시 계룡읍 기산리 소재 기산저수지(78년준공, 공주시지부 관할)의 분석된 자료 요약표를 < 표 5.2.1.1 >에 예시하였다.

< 표 5.2.1.1 > 정밀조사 분석자료 요약표 (예 : 78년준공, 공주시지부 관할)

① 수리구조물 정 보	일련번호	C050	저수지명	기산	준공 년도	'78	관할지부명	공주							
	위 치	충남 시/도 공주 시/군			계룡 읍/면/동	기산 리/반	번지/호								
② 수리구조물 의 주변환경	흙				물										
	PH	-	EC μs/cm	1.51	Cl <sup>-</sup> mg/l	3.70	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	0.61	PH	6.96	EC μs/cm	107.6	Cl <sup>-</sup> mg/l	24.8	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l
③ 콘크리트의 역학적 특성	슈미트 햄머	161	초음파측정 복합강도	156	코 어 강 도	186	설계기준강 도	180							
④ 배합설계표	구 분	G <sub>max</sub> (mm)	air(%)	w/c(%)	s/a(%)	단 위 량(kg/cm <sup>3</sup> )									
	역추정	40	1.5	65	진행중	W	C	S	G	혼화재					
	설계자료	40	-	-	-	-	332	0.51	0.73	-					
⑤ 콘크리트의 물리적 특성	재료분리 정도				공 동										
	⊕( ) , ⊙( ) , ⊗( o )				⊕( ) , ⊙( ) , ⊗( o )										
	코 어		굵은골재 입도 분포			투수계수		4.55E-5 cm/s							
	직경(cm)	높이(cm)	⊕( ) , ⊙( o ) , ⊗( )												
10	20	충공극량		- %		염소이온투과량		1393.1 coulombs							
⑥ 콘크리트의 화학적 특성	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Ig.loss	Cement Ca-K α					
5.3	12.0	0.3875	0.0077	-	0.9061	3.4145	0.0913	-	9.785						
⑦ 지구에 사용되었을 시료의 물리적 특성	구 분	비 중	흡수율	마모율	조립율	Ca-K α		시멘트 비중							
	굵은골재	2.62	1.4	16.5	7.46	-		3.15							
	잔 골 재	2.59	1.28	-	2.66	0.058									
															
지구 전 경	콘크리트 코어표면골재 스케치				열분석(TG/DTA) 그래프										

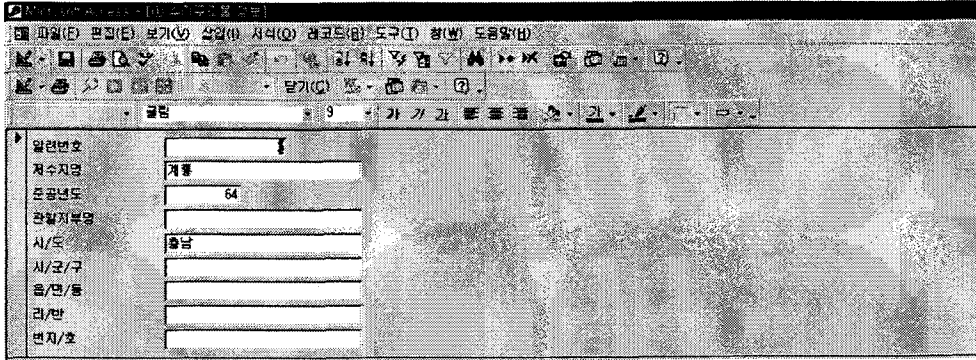
## 2. 자료관리 프로그램

농업기반 콘크리트수리구조물의 내구성 향상을 위한 정밀조사 분석 자료를 데이터베이스화하였다. 데이터베이스화함으로써 콘크리트의 내구성향상을 위한 자료의 단일분석과 다차원적인 분석이 가능하도록 하였다. 콘크리트 수리구조물의 정밀 조사자료를 효율적으로 분석하고 관리하기 위해서 D/B화는 마이크로소프트(Microsoft)사의 액세스 데이터베이스 프로그램(Access database program)을 이용하였다. 본 프로그램은 인포믹스나 오라클과 같은 전문 D/B PG에 비하여 데이터 입·출력(I/O)과 수정이 용이하고 프로세스가 쉬울 뿐만 아니라 가격이 저렴한 장점이 있다. 본 D/B의 구성은 콘크리트수리구조물의 일반정보, 주변환경, 콘크리트 코어의 물리·화학적 특성, 기시공 콘크리트 수리구조물에 사용된 굵은골재·잔골재의 물리적 특성 등으로 각각 분류하여 데이터의 입력이 쉬우며, 시스템의 속도 향상과 사용자의 요구에 따른 자료관리와 출력을 쉽게 하였다. < 그림 5.2.2.1 >은 Access의 초기화면이고 < 그림 5.2.2.2 ①~그림 5.2.2.6 ⑧ >은 위에서 각각 분류된 테이블들이며 입·출력이 모두 가능하다. 자료를 입력하기 위해서는 방향키 및 마우스를 이용하면 된다.



< 그림 5.2.2.1 > Access의 초기화면

< 그림 5.2.2.2 >은 수리구조물 정보를 입력하는 창으로 별도의 방향키 없이 엔터 키만을 이용하여 입력 탭으로 이동 가능하다. 수정 또한 가능하다.



< 그림 5.2.2.2 > 수리구조물 정보입력

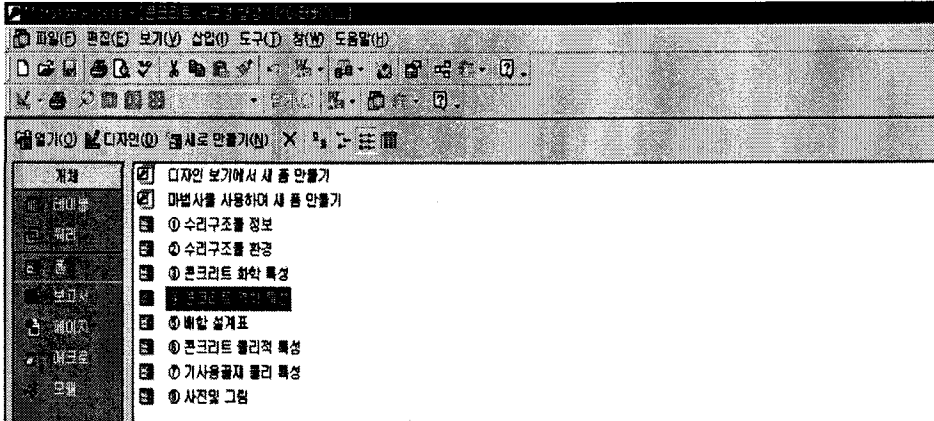
< 그림 5.2.2.3 >은 앞에서 수리구조물 정보가 입력된 테이블이며, 입력된 자료가 레코드(Record) 및 필드(field)별로 자료를 한눈에 볼 수 있다. 여기에서도 자료의 입·출력, 수정이 모두 가능하다.

일련번호	저수지명	준공년도	관할지부명	시/도	시/군/구	읍/면/동	리/면	번지/호
1	부성암(산수)	62		울남				
2	계룡	64		울남				
3	용연(북면)	66		울남				
4	송암	67		울남				
5	고남(성면)	67		울남				
6	노곡	68		경기				
7	(일련 번호)	0						

< 그림 5.2.2.3 > 입력자료 보기

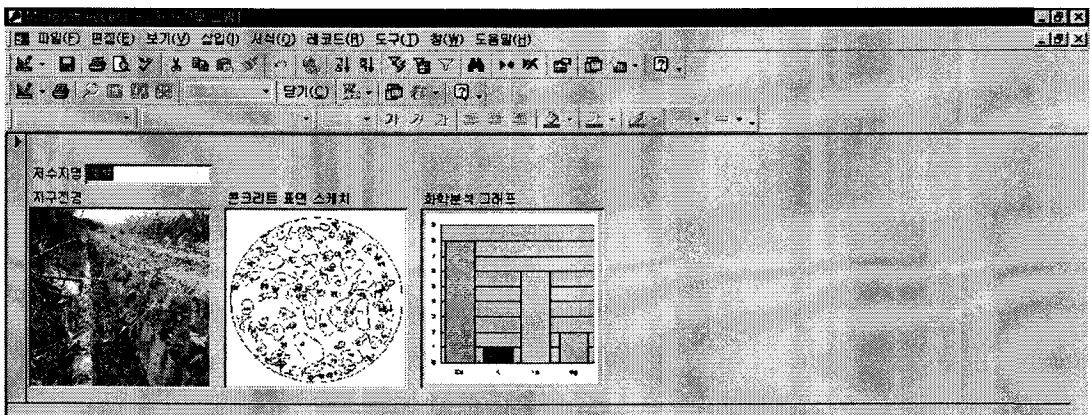
< 그림 5.2.2.4 >은 콘크리트 역학적 특성을 관리하는 항목으로 코어의 직경과 높이 압축강도, 투수계수, 염소이온투과량 등을 입력하고자 할 때 이용되는 메뉴 바이다.





< 그림 5.2.2.4 > 콘크리트의 역학적 특성

< 그림 5.2.2.5 >은 지구전경 및 콘크리트 단면 스케치, 콘크리트의 구성 성분중 화학성분 결과를 그래프로 나타내는 창이다. 각 정밀조사에 대한 주변과 콘크리트의 단면을 볼 수 있으며, 또한 콘크리트의 화학성분을 동시에 볼 수 있어 콘크리트의 이해를 쉽게 할 수 있다.




< 그림 5.2.2.5 > 지구전경 등 사진입력

< 그림 5.2.2.6>은 농업기반 수리구조물의 내구성 향상과 평가자료를 위한 정밀조사 분석 결과표이다. 수리구조물의 일반정보, 주변환경 등 각각 입력된 자료가 하나의 품으로 출력되었다. 이를 통하여 정밀 분석된 결과를 사용자가 원하는 대로 아래의 품으로 출력할 수 있으며, 모든 필드마다 소팅 및 정렬이 가능하다.

**정밀조사 분석 결과표**

수리구조물 명	번호/일련   일련번호   일련번호   제수지명   제수지명   준공년도   준공년   조사년도   준공년   관할지부명   관할지
위 치	시/도   시/도   시/군/구   시/군/구   읍/면/동   읍/면/동   리/면   리/면   번지/호   번지/호
수리구조물 분	비면토   물
수리구조물 분	Ph   soil_PH   EC   soil   Cl   soil_C   SO4   soil_S   Ph   water   EC   water   Cl   water   SO4   water
콘크리트 역학특성	수이트합머   수이트합머   조출파속도   조출파속도   코어강도   코어강도   설계기준강도   설계기준강도
배 합 설계표	구 분   Gmax (mm)   Air (%)   W/C (%)   S/a (%)   단위량(kg/m3)   W   C   S   G   Ad
	역추정   추정_Gm   추정_air   추정_air   추정_air   추정_W   추정_C   추정_S   추정_G   추정_AD
	설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료   설계자료
콘크리트 물리특성	재료분리 정도   재료분리정도   재료분리 정도   중량   비 고   공률
	코 어   굽은골재 입도   투수계수   투수계수
	직경(cm)   높이(cm)   굽은골재입
	코어_직경   코어_높이   골공극합   골공극합   염소이온투과량   염소이온투
콘크리트 화학특성	Ca(OH)2   CaCO3   K2O   Na2O   CaO   Al2O3   Fe2O3   MgO   lg_loss   Cement Ca-Ka
	Ca(OH)2   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3   CaCO3
사용골재 물리특성	구 분   배 정   흡수율   마모율/200   조립율   Ca-Ka   시멘트 배중
	잔골재   S-비중   S_흡수율   S_200번체통과   S_조립율   S-Ca-Ka   시멘트 배중
	굽은골재   G-비중   G_흡수율   G_마모율   G_조립율   G-Ca-Ka
현장시각 평가표	시멘트 배중   시멘트 배중   시멘트 배중

 농업기반공사 농어촌연구원

< 그림 5.2.2.6 > 종합정보 창

여 백

## 참고문헌

1. 건설교통부, 1996, 콘크리트 표준시방서
2. 건설교통부, 1999, 콘크리트 표준시방서
3. 건설교통부, 1999, 철근 콘크리트 구조계산서
4. 건설교통부, 2001.2, 2000년도 골재채취 현황
5. 경제기획원, 1982, 투자심사편람<농업부문>
6. 김도겸, “콘크리트 구조물의 사용수명 평가 프로그램 개발”, 건설기술정보. 2001. 9.
7. 김도수의, 1996, “불산부생 II-형 무수석고와 포졸란 미분체가 혼입된 시멘트·모탈 유동성 및 압축강도 특성”, 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집.
8. 김생빈, “고강도 콘크리트의 동결융해저항성에 미치는 기포조직 및 수밀성의 영향”, 동국대학교, 1993
9. 김영의, “콘크리트의 강도, 중성화, 화재손상부 비파괴검사 방법”, 콘크리트 학회지 제 10권 2호, 1998. 4.
10. 김진근, 김훈, 노재호, 1995. 10. “공명주기식 동탄성계수를 이용한 초기재령 콘크리트의 역학적 성질 예측”, 콘크리트 학회지 제7권 5호
11. 농림부, 1969.12, 농업용수개발 총람
12. 농림부, 2000.10, 농업생산기반정비사업통계연보
13. 농림수산부, 1991.12, 농업토목핸드북
14. 농어촌진흥공사, 1998.12, 농촌용수계획설계편람
15. 농업기반공사, 2000.4, 2000년 농업경제조사·분석기준
16. 류영호, “글루콘산 나트륨에 의한 경화콘크리트의 단위시멘트량 추정 방법에 관한 연구“, 대한 건축학회논문집 14권 1호, 1998. p369~376.
17. 문한영, 1984, “건설재료학”, 동명사, p37~60.
18. 박광수, 2000.3, 레미콘 KS규격 개정에 따른 레미콘 설계 및 시공시 주의사항, 농어촌과환경, pp82~106
19. 박기근, 1995, “콘크리트의 내구성과 중성화”, 콘크리트학회지 제7권 2호
20. 박성계, “열분석기의 원리 및 응용”, 울산대학교, 공동기기센터 1998.

21. 박승범, 2000, “최신 토목재료실험”, 문운당
22. 배수호, 정영수, 박광수, 이준구. 1999. 4 “콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적 연구” 콘크리트학회지 제11권 2호
23. 산업자원부,기술표준원, 1999.11, KSF4009(레미콘) 규격 개정 설명회 자료집
24. 쌍용양회공업주식회사, 중앙연구소, 2000, “시멘트 화학 총론”, p.110~198
25. 연구소위원회 발표집, 2000, “콘크리트 내구성 설계 및 수명평가” 한국콘크리트학회
26. 윤상대의 3인 : “콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구”, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 연구보고서, 1997. 12
27. 이승헌, “플라이애쉬중의 유리질 정량방법”, 시멘트, 1998. 6월, 한국양회공업협회 p47~53.
28. 이용호, 1994. 2. “공기량 및 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 동결융해 특성에 관한 실험적 연구”, 서울대학교 대학원, 공학석사 학위논문
29. 이종득 감수, 1996, “콘크리트 구조물의 조기열화내구성 진단”, p.120~138
30. 이종득, “콘크리트 구조물의 조기열화 내구성 진단”, 도서출판 일광.pp 120~137. 1996. 5.
31. 이준구의 4인, “시멘트 페이스트의 수화수량 정량화에 관한 기초적 연구”, 한국농공학회, 2000
32. 이준구의 4인, “콘크리트의 사용연한에 따른 중성화 진행에 관한 실험적 연구“, 한국농공학회 학술발표회 논문집, 2001.
33. 임창덕, 1995.12, 건설시장 개방을 앞둔 시멘트산업계의 국내현실과 대응, 한국콘크리트학회지, pp16~22
34. 정우용외 3인, “철근부식에 의한 육지 콘크리트 잔존수명 예측”, 콘크리트 학회논문집 제12권 5호 2000. 10.
35. 최세규외 2인 : “축시양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한연구” 콘크리트학회 논문집 제8권 4호 1996.8
36. 태평양 시멘트(주), 1999.9, 각종 시멘트 및 콘크리트의 Eco-Balance
37. 한국농촌경제연구원, 2000.8, 수리시설 유지관리 국고보조제도 개선연구

38. 한국산업규격 KS F 2416, “경화된 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법.”
39. 한국산업규격 KS F 2456 “급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법“
40. 한국콘크리트학회, 2000.7, 21세기를 향한 시멘트와 콘크리트산업의 경쟁력 제고방안
41. 한상목, 최세규, 김생빈, 1998. 2 “고강도 경량콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험적 연구”, 콘크리트 학회지 제 10권 1호 pp. 125~132
42. 홍성목 “프리캐스트 콘크리트 공법활용의 필요성 및 특성”, 콘크리트학회 논문집, 제6권 5호 1994. 10
43. Ali A. Ramezani pour, A. Tarighat, A. Miyamoto “Concrete Carbonation Modelling and Monte Carlo Simulation Method for Uncertainty analysis of Stochastic Front Depth” Mem Fac Eng Yamaguchi Univ. Vol.50 No.2, 2000
44. ASTM C 1084-92, “Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete.”
45. H.OLMEZ and Z.HEREN, 1992, “Making a Pozzolan Rice-Husk Ash and its Use in Acid Resistance Cements”, Istanbul Conference
46. Hughes, C.A, “The Durability of Cement Mortars”, Proceedings, ASTM, Vol.33, 1933.
47. M. Tokyay and F.H. Hubbard, 1992, “Mineralogical Investigations of High-Lime Fly Ashes”, Proceedings Fourth International Conference.
48. Neville, 1981, “Properties of Concrete”, Pitman, Toronto, p1~62
49. Neville, 1981, “Properties of Concrete”, Pitman, Toronto, p391~395
50. P.Kumar Mehta · Paulo J.M.Monterio, 2000, “콘크리트 공학” pp 95~130, 도서출판 일광
51. Panchenko, 1997, “Some Aspects of the Concrete Frost Resistance.”, ACI International Conference, Australia.
52. Pourbaix M. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press, Oxford, 1966. p. 307-21

53. Powers, T.C., "A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete", ACI Journal, Proceedings Vol.41, no4, pp.245~272, 1945.
54. R.G. Smith and G.A. Kamwanja, 1986. "The Use of Rice Husks for Making a Cementitious Material", Building Research Establishment, pp.1~6, Oct.,
55. RIGAKU, RIX 2000 " X선 형광 분석기 사용 매뉴얼".
56. S. K. Roy, K.B Poh, D.O Northwood "Durability of concrete - accelerated carbonation and weathering studies", Building and Environment 34 1999.
57. Sher Ali Mirza, M. ASCE, Michael Hatzinikolas, and James G. MacGregor, F. "STATISTICAL DESCRIPTIONS OF STRENGTH OF CONCRETE" ASCE, 1979.
58. The Canadian Housing Information Centre, 1993 "Concrete Carbonation in Canadian Buildings", Research Highlights
59. Weyers, R.E "Service Life Estimates (SHRPS-668),"Strategic Highway Research Program. National Research Council, 1993.
60. 高橋和雄, "現場 コンクリート あれこれ" 社団法人 セメント協會.
61. 杉田修一 : "無駄力ら 加値入の轉換", セメント・コンクリート, No.550, 1992.12, pp.36~38
62. 杉田修一・庄谷征美, 1995, "ポゾラン材としてのモみ力" ら灰の有効利用に関する基  
石楚 的研究, 土木學會論文集, pp.43~52, 11.
63. 岸谷孝一等, 1986 "中性化(コンクリート構造物 の耐久性シリス)", 技報堂

# 부 록

1. 지구별 예비 조사자료
2. 정밀조사대상지구 목록
3. 수리구조물의 배면 토성 및 수질분석 자료
4. 조사 골재 물리성 시험자료
5. 콘크리트 코어 압축강도 측정자료
6. 콘크리트 코어 화학성분 분석자료
7. 콘크리트 코어의 역추정 배합비 자료
8. 한중 콘크리트
9. 레미콘 품질관리 요령



# 여 백

부록 1. 지구별 예비 조사자료

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료

경기 기호지부

도별	저수지명	설계기준 강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
경기	노곡68	180	316	52	38	40	7.5	701	1,176	안성,금광,금광	안성,양성,노곡
경기	노곡68	180	323	55	42	25	7.5	755	1,071	안성,금광,금광	안성,양성,노곡
경기	이동72	내부192	208	61	-	40	4	583	1,495	용인이동곽터리 (제당동북방 2km침수지)	용인이동어비 (제당에서수물 지내0.7km)
경기	이동72	외부251	254	50	-	40	3	601	1,466	"	용인남사방아리 (제당서쪽 하류0.7km) 용인남사내기리 (제당하류2km)
경기	청룡74	1:2:4170	309	54	36	50	12.5	687	1,227	진천군백곡면 구수리	안성군 신기리
경기	마둔75	1:2:4	-	-	-	-	-	-	-	금광면내우리앞 안성천3km	현장부근하천 3km
경기	용담78	180	329	-	-	-	-	0.54	0.78	안성 보개면 금광리 24.5km	원삼면 가좌리태평촌 파전리7km
경기	용설85	180	322	53	39	40	7.5	730	1,143	충북중원군가금 면가흥리 양성면조천리	안성군일죽면 방초리(오방동), 화곡리(평촌동)
경기	용설85	180	329	54	43	25	7.5	791	1,046	"	"
충남	장계86	180	322	53	39	40	7.5	730	1,143	"	"

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

경기 기호지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	장계86	180	329	54	43	25	7.5	791	1,046	"	"
충남	두창92	210	320	50	42	25	7.5	754	1,068	용인외사박곡산4-1임(괘자갈)	안성군일죽면방초리(청미천)
충남	두창92	180	306	49	38	40	7.5	699	1,174	"	"
충남	두창92	180	310	51	42	25	7.5	759	1,076	"	"

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 서산지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	
충남	부성암(산수)62	-	-	-	-	-	-	-	-	지구내	5.6km
충남	성암67	1:2:4	-	-	-	-	-	-	-	운산면 운산천(12.12km)	지구내하천
충남	고남(성연)67	-	-	-	-	-	-	-	-	지구내	해미대교리앞하천(15km)
충남	고풍74	철근 40mm	316	-	-	-	-	0.50	0.73	운산면 용장리하천(0.9km)	당진용연리하천(6km) 해미면 읍내리하천

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 서산지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	고풍 74	무근	223	-	-	-	-	0.53	0.88	제당하류부 (운산천)	당진읍 용연리
충남	신창 (정미) 77연	철근인력	328	-	-	-	-	0.54	0.82	운산면 신창리	홍성군 갈산면, 정미면
충남	신창 (정미) 77연	무근인력, 기계	234	-	-	-	-	0.62	0.89	운산면 신창리	홍성군 갈산면, 정미면
충남	구들78	유근 40mm	318	-	-	-	-	0.53	0.79	태안동문 19km	23.30km
충남	구들78	무근 50mm	312	-	-	-	-	0.55	0.81	태안동문 20km	23.31km
충남	송현 (의향)78		상동	-	-	-	-				
충남	서산 (풍전)82	무근 40mm	264	-	-	-	-	0.57	0.8	서산운산용장 (운산천)	홍성갈산내갈리 (와룡천)
충남	서산 (풍전)82	철근 50mm	320	-	-	-	-	0.55	0.77	서산운산용장 (운산천)	홍성갈산내갈리 (와룡천)
충남	대사85										
충남	신송 (고북)85	180	328	53	39	40	7.5	703	1122	홍성갈산가곡 (와룡천)	홍성갈산내갈리
충남	신송 (고북)85	130	228	57	40	50	5.5	797	1227	홍성갈산가곡 (와룡천)	홍성갈산내갈리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 홍성지부

도별	저수지명	설계기준 강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	장곡 (광천)78	철근 40mm	319	-	-	-	-	713	1,134	홍성갈산내갈리 (외룡천)	장곡면 죽전리 하천
충남	장곡 (광천)78	무근 50mm	235	-	-	-	-	744	1,785	운산면운산천 (12.12km)	지구내하천
충남	가곡84	180	329	54	43	25	7.5	782	1,046	청양읍벽천리 (괘자갈)	홍성갈산 내갈리
충남	가곡84	180	307	54	39	40	7.5	735	1,156	청양읍벽천리 (괘자갈)	홍성갈산 내갈리
충남	공리85	180	307	53	39	40	7.5	729	1,139	예산군신양면 강변리	홍성갈산 내갈리
충남	공리85	180	326	53	43	25	7.5	778	1,038	예산군신양면 강변리	홍성갈산 내갈리
충남	광천88	180 철근1.15 할증	323	54	37	40	8	815	1,200	예산 대홍지상류	홍성갈산 내갈리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 천안지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	용연 (목천)66	1:2:4	300	-	-	-	-	0.43	0.84	700m	2.7km
충남	용연 (목천)66	1:3:6	210	-	-	-	-	0.44	0.88	700m	2.7km
충남	업성72	1:2:4	300	-	-	-	-	0.43	0.84	천안시안터4.3km m	지구내하천1.8km m
충남	업성72	1:3:6	210	-	-	-	-	0.44	0.88	천안시안터4.4km m	지구내하천1.9km m
충남	매주72	50mm	321	-	-	-	-	0.53	0.78	21.55km	3.8km
충남	울금 (석곡)72	50mm	321	-	-	-	-	0.53	0.78	26km	3km
충남	성거 (천홍)73	1:2:4	307	55	37	40	-	772	1,239	9.1km	9.1km
충남	성거 (천홍)73	1:3:6	258	60	33	60	-	720	1,373	9.1km	9.1km
충남	왕림72	철근	321	-	-	-	-	0.54	0.79	25.2km	5.1km
충남	왕림72	무근	279	55	31	80	-	0.44	0.91	25.3km	5.2km
충남	신월72	개보수	-	-	-	-	-	-	-		
충남	문암 (요방)77	철근	0.332 톤	-	-	-	-	0.77 톤	1.16톤	풍무면 보성리, 풍서리	풍무면 보성리, 풍서리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 공주지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	계룡64	1:2:4	300	-	-	-	-	0.43	0.84	2.0km	
충남	계룡64	1:3:6	210	-	-	-	-	0.44	0.88	2.0km	
충남	경천(양화)68	1:2:4	314	-	-	-	-	0.43	0.84	경천지부근하천, 주막리부근7km	1,800m
충남	경천(양화)68	1:3:6	210	-	-	-	-	0.44	0.88	경천지부근하천, 주막리부근8km	1,800m
충남	기산78	철근	332	-	-	-	-	0.51	0.73	연기금남면 봉기리(금강)	계룡면 상왕리 대오교
충남	기산78	무근	232	-	-	-	-	0.56	0.81	연기금남면 봉기리(금강)	계룡면 상왕리 대오교
충남	정안(운궁)76	1:2:4,40mm	320	-	-	-	-	0.51	0.77	정안지구평야부1.2km	정안지구평야부 2.14km
충남	정안(운궁)76	1:3:6	230	-	-	-	-	0.51	0.89	정안지구평야부 1.3km	정안지구평야부 2.15km
충남	유계87	180, 40mm	326	-	-	-	-	0.55	0.79	사곡면 화월리	정안면 북계리
충남	유계87	180, 25mm	334	-	-	-	-	0.59	0.72	사곡면 화월리	정안면 북계리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충남 공주시부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	요룡87	180	320	53	38	40	7.5	710	1,173	공주 탄천대학리	공주계룡면 상왕리
충남	요룡87	180	323	53	42	25	7.5	768	1,074	공주 탄천대학리	공주계룡면 상왕리
충남	월곡88	180, 40mm	326	-	-	-	-	0.55	0.79	사곡면 화월리	정안면 북계리
충남	월곡89	180, 25mm	334	-	-	-	-	0.59	0.72	사곡면 화월리	정안면 북계리
충남	우목 (용봉)87	180	320	53	38	40	7.5	710	1,173	공주탄천대학 (금강)	공주계룡면 상왕리(금강)
충남	우목 (용봉)88	180	328	53	42	25	7.5	768	1,074	공주탄천대학 (금강)	공주계룡면 상왕리(금강)



< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전남 영암지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
전남	도갑	180-25	315	49	37	25	7.5	665	1,141	영암군 학산면 상월리	영암군 영암읍 추도리
전남	도갑	180-40	310	49	34	40	7.5	619	1,211	영암군 학산면 상월리	영암군 영암읍 추도리
전남	도갑	130-50	225	52	32	50	5.5	637	1,365	영암군 학산면 상월리	영암군 영암읍 추도리
전남	사자	180(유근)	320	-	-	-	-	701	1,126	영암군 군서면(22.2km)	영암군 군서면 (26.14km)
전남	사자	130(무근)	234	-	-	-	-	776	1,218	영암군 군서면 (22.2km)	영암군 군서면 (26.14km)
0전남	연보	180-25	324	54	40	25	7.5	735	1,089	장흥군 유치면 덕산리	장흥군 유치면 덕산리
전남	연보	180-40	315	53	34.5	40	7.5	647	1,213	장흥군 유치면 덕산리	장흥군 유치면 덕산리
전남	연보	130-40	234	62	37	40	5.5	728	1,256	장유치면 덕산리	장흥군 유치면 덕산리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전북 순창지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위차		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
전북	서마72	1:2:4 1:3:6	-	-	-	-	-	-	-	-	내부유용	내부유용
전북	화양74	180	332	56	42	25	7.5	765	1,040	순창군 북흥면	정읍 정주읍 망제리	
전북	화양74	180	326	56	38	40	7.5	697	1,116	순창군 북흥면	정읍 정주읍 망제리	
전북	운암 (제2쌍)74	180	332	56	42	25	7.5	765	1,040	-	-	
전북	운암 (제2쌍)74	180	326	56	38	40	7.5	697	1,116	-	-	

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전남 강진지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
전남	월남	1:2:4									9.8km	5.8km
전남	학동	1:2:4									7.3km	5.2km
전남	화산	1: 2: 4									6.4km	6.4km
전남	송월	170 -40	323	54	37	40	10	764	1,205	월하리 훈드동 앞 하천	성전면 명산리 앞 하천	
전남	송월	130-50	282	59	34	50	10	693	1,300	월하리 훈드동 앞 하천	성전면 명산리 앞 하천	
전남	송월	170-25	348	54	41	25	10	825	1,096	월하리 훈드동 앞 하천	성전면 명산리 앞 하천	
전남	영동	180	325					684	1,115	25.7km	14.6km	
전남	영동	130	230					706	1,679	25.7km	14.6km	
전남	영동	180	332					748	1,038	25.7km	14.6km	
전남	당전	180-25	331	54	41	25	7.5	731	1,065	대구면 계율리	군동면 덕천리	

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전남 강진지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
전남	당전	180-40	324	53	37	40	7.5	673	1,163	대구면 계율리	군동면 덕천리
전남	당전	130-40	244	61	38	40	5.5	736	1,222	대구면 계율리	군동면 덕천리
전남	월평	180-25	328	53	40.5	25	7.5	732	1,077	군동면 풍동리	군동면 풍동리
전남	월평	180-40	313	53	36.5	40	7.5	675	1,180	군동면 풍동리	군동면 풍동리
전남	월평	130-40	242	62	38.5	40	5.5	750	1,203	군동면 풍동리	군동면 풍동리
전남	월곡	180-25	329	54	42	25	7.5	755	1,056	군동면 석교,덕천, 용소리	군동면 석교,덕천, 용소리
전남	월곡	180-40	322	53	38	40	7.5	696	1,152	군동면 석교,덕천, 용소리	군동면 석교,덕천, 용소리
전남	월곡	130-40	239	61	39	40	5.5	765	1,217	군동면 석교,덕천, 용소리	군동면 석교,덕천, 용소리

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전남 해남지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
전남	강정	1:2:4	6.00대						0.42	0.83	3.0Km	7.3km
전남	강정	1:3:6	4.33대						0.44	0.88	3.0Km	7.3km
전남	신평1	1:2:4	6.00대						0.42	0.83	3.2km	1.8km
전남	신평1	1:3:6	4.33대						0.44	0.88	3.2km	1.8km
전남	영춘	1:2:4	6.00대						0.42	0.83	1.2km	1.2km
전남	영춘	1:3:6	4.33대						0.44	0.88	1.2km	1.2km
전남	운전	180	332						768	1,161	33.5km	9.1km
전남	운전	130	227						816	1,344	33.5km	9.1km
전남	상가	180-25	326	54		25	7.5	697	1,113	계곡면 신평리	계곡면 신평리	
전남	상가	180-40	319	54	37	40	7.5	681	1,159	계곡면 신평리	계곡면 신평리	
전남	상가	130-40	250	63		40	5.5	736	1,198	계곡면 신평리	계곡면 신평리	
전남	화원	180-40	296	54	41	40	7.5	756	1,083	강진 군동 용소리	강진 군동 용소리	
전남	화원	180-40	320	54	38	40	7.5	709	1,137	강진 군동 용소리	강진 군동 용소리	
전남	화원	130-40	224	65	43	40	5.5	814	1,101	강진 군동 용소리	강진 군동 용소리	

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전북 남원지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
전북	장남84	180	-	-	-	40	-	-	-	-	지구내생산	금지면 기성리52km

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전북 전주지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
전북	안덕74	1:2:4	-	-	-	-	-	-	-	-	5.8km	15.5km
전북	안덕74 (물넘이,방수로)	1:3:6	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9km	15.6km
전북	황금76	180	325	56	37	40	7.5	666	1,141	진안군부귀면 수항리	진안군상전면 수동리	
전북	황금76	180	330	57	40	25	7.5	803	1,241	"	"	
전북	두곡78	180	324	57	36	40	7.5	657	1,170	임실군관촌면 덕천리	임실군덕과면 둔기리	
전북	두곡78	180	329	57	40	25	7.5	725	1,089	"	"	
전북	괴목78	용수가통 b190	-	-	-	50	-	-	-	무주군 굴암리잠두 21km	-	
전북	덕산 (덕곡)81	180	324	57	38	40	7.5	694	1,129	무주 안성 진도 구명천	무주 안성 진덕리 29km	

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전북 전주지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
전북	덕산(덕곡)81	180	330	57	43	25	7.5	759	1,004	"	"
전북	궁항86	210	-	-	-	25	-	-	-	정천면 구룡리	정천면 용평리
전북	궁항86	180	-	-	-	40	-	-	-	"	"
전북	광곡88	180	324	54	37	40	7.5	665	1,153	완주군구의면항가리(구의천)	완주군구의면항가리(구의천)
전북	광곡88	180	330	54	42	25	7.5	751	1,060	"	"

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

전북 정읍지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	
전북	내장64	1:2:4 1:3:6	-	-	-	-	-	-	-	내부유용	내부유용
전북	용산66	1:3:6	-	-	-	-	-	-	-	내부유용	내부유용
전북	보화69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
전북	애당(주동)71	1:2:4	-	-	-	-	-	-	-	11km	6.2km
전북	수청86	180	322	54	38	40	7.5	691	1,142	정읍 산외정량리 도원천	김제 금산성계리 원평천
전북	부전86	180	328	58	39	40	7.5	691	1,126	정읍 내장송산리 내장천	정읍 이평오금리 정읍천

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

충북 음성, 진천, 괴산지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
충남	송림(이월)76	1:2:4:170	309	54	36	50	12.5	687	1,227	진천군 백곡면 구수리	안성군 신기리
충남	문광 78	철근	330	-	-	-	-	0.52	0.52	10.1km	10.8km
충남	문광 78	철근 50mm	330					0.52	0.52	"	"
충남	매전 78	1:2:4	332	-	-	-	-	0.55	0.76	8km	8km
충남	매전 78	1:3:6	228	-	-	-	-	0.63	0.83	"	"
충남	덕평87	180-40	301	-	-	-	-	0.49	0.87	괴산 배마무여울	괴산 배마무여울
충남	신흥 85	180	323	54	40	40	7.5	735	1,129	괴산 불정면 목도리 미륵(신흥천)	괴산 불정면 목도리 미륵(신흥천)
충남	신흥85	180	323	54	40	40	7.5	735	1,129	괴산 불정면 목도리 미륵(신흥천)	괴산 불정면 목도리 미륵(신흥천)
충남	하당78	180	314	53	38	40	7.5	729	1,205	충주시 금농동 탄금대	충주시 금농동 탄금대



< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속) 충북 음성, 진천, 괴산지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	
충남	부극82	180	314	53	38	40	7.5	729	1,205	충주시 금농동 탄금대	충주시 금농동 탄금대
충남	금석82	180	313	53	37	40	7.5	686	1,193	음성읍 용산리	음성군 갑곡면 (장호원)
충남	용계82	180	317	52	40	40	7.5	737	1,137	음성군 생극면 팔성리(토끼실)	음성 금왕 삼봉(새터)
충남	맹동83	180	312	53	39	40	7.5	719	1,167	진천읍 장관리	진천군 이월 중산리(미호천)
충남	주봉86	180	315	52	39	40	7.5	716	1,189	충주시 금농동 탄금대	진천군 이월 중산리(미호천)

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

경남 진산, 울산지부

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
경남	송정74	1:2:4	310	-	-	-	-	0.45	0.85	송정천1.1km	송정천2.4km
경남	송정74	1:3:6	225	-	-	-	-	0.48	0.92	송정천1.2km	송정천2.5km
경남	천상75	1:2:4	346	-	-	-	-	0.53	0.61	3.6km 태화강변	울산시 다운동 11.6km
경남	천상75	1:3:6	312	-	-	-	-	0.48	0.72	3.6km 태화강변	울산시 다운동 11.6km
경남	척과74	1:2:4	346	-	-	-	-	0.53	0.61	4.1km(척동천)	7.6km(척동천)
경남	척과74	1:3:6	312	-	-	-	-	0.48	0.72	4.1km(척동천)	7.6km(척동천)
경남	월평75	1:2:4	326	-	-	-	-	0.44	0.74	25km	25km
경남	월평75	1:3:6	224	-	-	-	-	0.50	0.81	25km	25km
경남	정자76	기계	320	-	-	40	-	618	1,289	1.5km	18km
경남	정자76	인력	320	-	-	40	-	618	1,289	1.5km	18km

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

경남 진산, 울산지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치	
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재
경남	다개78	180	325	51	35	40	7.5	656	1,246	울주군 두서면 봉계리	울산 다운 삼호교옆
경남	두산78	인력철근40mm	344	-	-	-	-	0.51	0.81	울산 다운 삼호교옆	울산 다운 삼호교옆
경남	두산78	인력철근25mm	354	-	-	-	-	0.55	0.77	울산 다운 삼호교옆	울산 다운 삼호교옆
경남	인보78	180	325	51	35	40	7.5	656	1,246	울주군 두서면 봉계리	울산 다운 삼호교옆
경남	고련76	일반용	346	-	-	-	-	0.54	0.61	0.7km	-
경남	고련76	기타	346	-	-	-	-	0.49	0.71	0.7km	-
경남	두돌76	1:2:4	326	-	-	-	-	0.44	0.74	21km	21km
경남	두돌76	1:3:6	224	-	-	-	-	0.50	0.81	21km	21km
경남	죽전88	180	322	53	39	40	7.5	722	1,143	합천 교동 황강	합천 야로 정대리(가야천)
경남	황산88	180	322	53	39	40	7.5	722	1,143	합천 교동 황강	합천 야로 정대리(가야천)
경남	설매84	200	350	-	-	-	-	833	1,140	운천지에서16km	운천지에서27km

< 표 3.1.2.1 > 지구별 예비조사자료(계속)

경남 진산, 울산지부 (계속)

도별	저수지명	설계기준강도	시방배합표							골재원위치		
			C	W/C	S/a	G <sub>MAX</sub>	Slump	S	G	굵은골재	잔골재	
경남	냉정84	200	350	-	-	-	-	-	833	1,140	"	"
경남	오방84	200	350	-	-	-	-	-	833	1,140	"	"
경남	동향84	00	350	-	-	-	-	-	833	1,140	"	"
경남	어욱84	200	350	-	-	-	-	-	833	1,140	"	"
경남	월암84	200	350	-	-	-	-	-	833	1,140	"	"
경남	용석84	200	342	-	-	-	-	-	746	1,231	7.74km	6.9km
경남	용석84	180	246	-	-	-	-	-	832	1,322	7.74km	6.9km
경남	남성84	200	342	-	-	-	-	-	746	1,231	7.74km	6.9km
경남	남성84	180	246	-	-	-	-	-	832	1,322	7.74km	6.9km
경남	술기84	200	342	-	-	-	-	-	746	1,231	7.74km	6.9km
경남	술기84	180	246	-	-	-	-	-	832	1,322	7.74km	6.9km
경남	움골92	210	329	51	6	40	8.5	745	1,232	진양 대평,대평	진양 대평,대평	
경남	움골92	180	317	53	36	40	8.5	748	1,239	진양 대평,대평	진양 대평,대평	

여 백

## 부록 2. 정밀조사 대상지구 목록

( 표 3.1.3.1) 1차년도(2000년) 정밀조사대상지구 목록

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
1	경기	노곡68	안성	양성,노곡	여수토옹벽,방수로하단월류부
2	경기	이동72	용인	이동,어비	용수로제수문,방수로옹벽,여수토
3	경기	청룡74	안성	서운,창용	방수로옹벽,여수토옹벽,여수토
4	경기	마둔75	안성	금광,장죽	방수로하단부옹벽통관옹벽
5	경기	용담78	용인	원삼,사암	통관,방수로옹벽,여수토옹벽
6	경기	용설85	안성	죽산,용설	여수토옹벽,가통
7	경기	장계86	안성	죽산,장계	여수토옹벽,방수로옹벽
8	경기	두창92	용인	원삼,두창	여수토옹벽,방수로옹벽,가통

소계 : 8 지구

1	충남	부성암(산수)62	서산	해미,산수	방수로바닥,옹벽,계단,유말부
2	충남	계룡64	공주	계룡,하대	여수토옹벽,방수로옹벽,통관
3	충남	용연(목천)66	천안	목천,교촌	여수토옹벽
4	충남	성암 67	서산	음암,성암	통관,제수문,방수로옹벽
5	충남	고남(성연)67	서산	성연,고남	여수토옹벽,방수로옹벽,통관
6	충남	업성72	천안	업성,업성	방수로옹벽,통관,제수문
7	충남	율금(석곡)72	천안	성환,율금	방수로옹벽

( 표 3.1.3.1 ) 1차년도(2000년) 정밀조사대상지구 목록 (계속)

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
8	충남	성거(천홍)73	천안	성거,천홍	여수토옹벽,방수로옹벽,제수문
9	충남	신창(정미)77	서산	운산,신창	방수로말단옹벽,통관
10	충남	정안76	공주	정안,고성	제수문
11	충남	송현(의항)78	태안	소원,의항	방수로옹벽,사동
12	충남	장곡(광천)78	홍성	장곡,죽전	여수토옹벽,방수로옹벽,통관
13	충남	기산78	공주	계룡,기산	여수토옹벽,방수로말단옹벽
14	충남	서산(풍전)82	서산	인지,풍전	방수로바닥,옹벽
15	충남	가곡84	홍성	갈산,가곡	여수토옹벽,통관옹벽
16	충남	대사85	홍성	갈산,대사	여수토옹벽,제수문,통관
17	충남	신송(고북)85	서산	고북,신송	여수토옹벽,통관,방수로말단옹벽
18	충남	공리85	홍성	구항,공리	방수로옹벽,가동,통관
19	충남	요룡87	공주	의당,요룡	여수토물넘이,여수토옹벽
20	충남	우목(용봉)87	공주	우성용봉	방수로옹벽,통관,가동
21	충남	광천88	예산	덕산,광천	여수토옹벽,통관,방수로옹벽
22	충남	월곡88	공주	의당,월곡	여수토옹벽,방수로옹벽
소계 : 22 지구					
계 : 30 지구					

( 표 3.1.3.1 ) 2차년도(2001년) 정밀조사대상지구 목록(계속)

\* 준공연도순

번호	도별	지수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
1	충북	주봉86	음성	운남, 주봉	여수토옹벽
소계 : 1 지구					
2	전남	월남 67	강진	성전, 월남	통관
3	전남	화산 69	강진	군동, 화산	가통, 통관
4	전남	학동 70	강진	작천, 학동	여수토옹벽, 통관
5	전남	송월 74	강진	성전, 송월	통관, 방수로옹벽
6	전남	영동 78	강진	마량, 영동	방수로옹벽, 개거
7	전남	당전 84	강진	대구, 용운	방수로옹벽, 가통
8	전남	월평 90	강진	성전, 월평	가통 방수로옹벽
9	전남	월곡 93	강진	음천, 월곡	통관, 방수로옹벽
10	전남	봉양 93	강진	신전, 수양	방수로옹벽, 통관
11	전남	영산 93	강진	음천, 영산	방수로옹벽, 통관
12	전남	난대1 68	해남	문내, 난대	여수토 옹벽
13	전남	서상 68	해남	문내, 서상	여수토 옹벽
14	전남	장평(신평)69	해남	화원, 장춘	여수토옹벽
15	전남	신평1 70	해남	계곡, 신평	방수로
16	전남	강정(동평)70	강진	도암, 지식	여수토, 가통
17	전남	충평1 70	해남	문내, 충평	여수토옹벽



( 표 3.1.3.1) 2차년도(2001년) 정밀조사대상지구 목록(계속)

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
18	전남	장수 72	해남	북일, 흥촌	여수토옹벽
19	전남	오류 75	해남	계곡, 성진	여수토옹벽
20	전남	운전(홍천) 75	해남	북일, 운전	가통, 통관
21	전남	남동77	해남	황산,연당	여수토옹벽
22	전남	사교 83	해남	문내, 용암	여수토옹벽
23	전남	고평 83	해남	문내, 고평	여수토옹벽
24	전남	상가 84	해남	삼산, 상가	방수로, 통관
25	전남	화원 86	해남	화원, 산호	여수토옹벽
26	전남	신덕 86	해남	화원, 신덕	여수토옹벽
27	전남	쌍정 69	영암	영암, 개신리	가통, 제수문
28	전남	대동 69	영암	영암, 회문리	여수토, 방수로
29	전남	호동 69	영암	군서, 월곡	여수토, 방수로
30	전남	도갑 76	영암	군서, 도갑	여수토, 방수로
31	전남	사자 81	영암	영암, 개신	여수토, 방수로
32	전남	연보 89	영암	금정, 연보	통관, 방수로
33	전남	강운 73	함평	대동, 강운	여수토
34	전남	용성(정창)75	함평	대동, 용성	여수토
35	전남	성동 75	무안	무안, 성동	여수토
소계 : 34 지구					

( 표 3.1.3.1) 2차년도(2001년) 정밀조사대상지구 목록(계속)

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
36	전북	안덕 74	완주	구이, 안덕	여수토 옹벽
37	전북	황금 76	진안	백운, 신안	방수로 옹벽
38	전북	두곡 78	임실	임실, 두곡	방수로 옹벽
39	전북	괴목 78	무주	적상, 괴목	여수토 옹벽
40	전북	덕산 81	무주	안성, 덕산	방수로 옹벽
41	전북	궁항 86	진안	부귀, 궁항	방수로 옹벽
42	전북	광곡88	완주	구이, 광곡	방수로 옹벽
43	전북	애당(주동)71	정읍	소성, 주천	제수문
44	전북	수청 86	정읍	칠보, 수청	여수토 옹벽
45	전북	부전 86	정읍	정읍, 내장	여수토 옹벽
46	전북	서마 72	순창	북흥, 서마	여수토 옹벽
47	전북	화양 74	순창	북흥, 화양	방수로 옹벽
48	전북	운암 74	순창	쌍치, 운암	여수토 옹벽
49	전북	장남 84	장수	번암, 국포	방수로 옹벽
소계 : 14 지구					

( 표 3.1.3.1) 2차년도(2001년) 정밀조사대상지구 목록(계속)

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
50	경남	정자 76	울산	북구, 무룡	여수토
51	경남	다개 78	울주	연양, 다개	여수토
52	경남	두산 78	울주	범서, 두산	여수토
53	경남	인보 78	울주	두서, 인보	여수토
54	경남	고런 76	울주	웅촌, 고런	여수토
55	경남	두돌 76	울주	두동, 봉계	복통
56	경남	냉정 84	진주	집현, 냉정	여수토
57	경남	동향 84	진주	미천, 향양	여수토
58	경남	용석 84	진주	집현, 냉정	여수토
59	경남	남성 84	진주	명석, 남성	여수토
60	경남	솔기 84	진주	명석, 신기	여수토

소계 : 11 지구

총계 : 60 지구

( 표 3.1.3.1) 3차년도(2002년) 정밀조사대상지구 목록

\* 준공연도순

번호	도별	저수지명	위치		코어채취 위치
			군	면	
1	충북	문광78	괴산	문광 신기	여수토
2	충북	매전78	괴산	감물 매전	여수토
3	충북	신흥85	괴산	불정 신흥	여수토
4	충북	신행(세평)85	괴산	괴산 신행	여수토, 사통
5	충북	무극82	음성	음성 사정	여수토
6	충북	금석82	음성	금왕 금석	여수토
소계 : 6 지구					
7	전북	내장64	정읍	내장	방수로옹벽
8	전북	용산66	정읍	과교	방수로말단옹벽, 여수토옹벽
소계 : 2 지구					
9	경남	척과74	울주	범서 척과	여수토
10	경남	월평75	울주	두동 월평	여수토
소계 : 2 지구					
총계 : 10 지구					

여 백

### 부록 3. 수리구조물의 배면 토성 및 수질분석 자료

< 표 3.1.6.2 > 수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료 (1차년도 조사자료)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과						
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	Cl (습식법) ppm	SO <sub>4</sub> (습식법) ppm	IC(SO <sub>4</sub> ) ppm
1	경기	기호	노곡	68	6.23	168.4	17.6	69.4	-	0.28	3.20	1.85	113.28	88.99	89.09
2	경기	기호	이동	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	경기	기호	청룡	74	6.54	71.9	23.8	56.2	-	0.54	1.95	1.39	69.03	66.96	66.55
4	경기	기호	마둔	75	6.40	142.4	20.6	17.9	-	0.32	1.75	0.42	61.95	19.97	19.61
5	경기	기호	용담	78	6.32	100.8	25.6	21.8	-	0.47	2.00	0.61	70.80	29.45	30.26
6	경기	기호	용철	85	6.74	75.6	23.1	75.2	-	1.79	3.60	2.13	127.44	102.48	103.49
7	경기	기호	장계	86	6.60	101.6	22.5	29.1	-	0.65	1.85	0.67	65.49	32.38	32.39
8	경기	기호	두창	92	6.21	78.0	19.2	61.1	-	1.16	1.85	1.70	65.49	81.75	81.76
9	충남	천안	용연	66	6.59	76.6	317.0	43.3	-	1.78	8.40	1.14	297.36	54.52	54.52
10	충남	천안	업성	72	6.64	177.1	46.3	97.9	-	0.64	3.80	2.80	134.52	134.17	134.19
11	충남	천안	율금 (석곡)	72	7.02	218.1	18.8	29.3	-	0.73	1.80	0.67	63.72	32.27	32.28
12	충남	천안	성거 (천흥)	73	7.32	83.8	36.2	74.4	-	0.43	2.20	2.06	77.88	98.83	98.84
13	충남	공주	계룡	64	9.50	89.2	48.6	39.9	-	0.65	2.37	1.02	83.90	48.96	48.97
14	충남	공주	정안	76	9.60	140.7	26.0	18.3	-	0.42	1.88	0.45	66.55	21.54	21.54
15	충남	공주	기산	78	6.96	107.6	24.8	22.6	-	1.51	3.70	0.61	130.98	29.48	29.49

< 표 3.1.6.2 > 수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(1차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과						
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	Cl (습식법) ppm	SO <sub>4</sub> (습식법) ppm	IC(SO <sub>4</sub> ) ppm
16	충남	공주	요룡	87	7.25	77.4	67.7	81.3	-	0.50	2.75	2.21	97.35	105.91	105.93
17	충남	공주	월곡	88	7.15	86.2	36.0	20.3	-	0.33	2.15	0.45	76.11	21.79	21.79
18	충남	공주	우목 (용봉)	88	8.98	97.8	26.3	43.2	-	0.60	1.95	1.19	69.03	57.02	57.03
19	충남	홍성	광천	78	7.38	89.5	20.9	30.7	-	0.47	1.90	0.79	67.26	37.86	37.86
20	충남	홍성	가곡	84	7.39	70.4	54.1	49.3	-	0.32	2.43	1.28	86.02	61.64	61.65
21	충남	홍성	공리	85	7.62	80.5	49.1	68.7	-	0.24	4.24	1.88	150.10	90.33	90.34
22	충남	홍성	광천 (장곡)	88	7.97	43.8	154.4	388.5	-	0.88	6.00	10.61	212.40	509.06	509.14
23	충남	서산	부성암 (신수)	62	7.47	104.7	37.3	186.1	-	0.55	2.15	4.54	76.11	218.09	218.13
24	충남	서산	성암	67	6.95	224.5	12.7	28.6	-	0.13	3.60	0.61	127.44	29.09	29.09
25	충남	서산	고남	68	7.11	130.5	44.9	114.1	-	0.66	2.43	3.09	86.02	148.49	148.52
26	충남	서산	신창	77	7.22	72.2	16.5	99.9	-	1.14	1.87	2.69	66.20	129.16	129.18
27	충남	서산	송현	78	7.63	101.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	충남	서산	서산 (풍전)	82	7.38	202.6	31.9	49.3	-	0.65	2.25	1.25	79.65	59.80	59.81
29	충남	서산	대사	85	7.59	161.3	15.0	90.1	-	0.47	1.80	2.52	63.72	120.78	120.80
30	충남	서산	신송 (교북)	85	7.47	138.3	18.1	19.8	-	0.15	1.90	0.41	67.26	19.61	19.62

< 표 3.1.6.2 >수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(2차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과					
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm
1	전남	강진	월남	67	7.1	82.7	6.7	6.4	7.6	0.45	0.31	0.39	10.99	18.73
2	전남	강진	화산	69	6.8	68.7	5.6	4.3	7.0	0.14	0.57	0.61	20.21	29.30
3	전남	강진	학동	70	8.9	51.6	5.3	3.0	6.8	0.47	1.71	0.55	60.62	26.42
4	전남	강진	송월	74	7.3	69.9	6.7	5.1	7.3	0.23	1.45	0.56	51.40	26.90
5	전남	강진	영동	78	7.1	83.6	8.5	5.2	7.6	0.38	1.03	0.99	36.51	47.55
6	전남	강진	당전	84	7.4	56.4	6.0	4.1	7.4	0.07	0.29	0.23	10.28	11.05
7	전남	강진	월평	90	7.2	46.0	5.3	4.6	7.0	0.18	0.56	0.56	19.85	26.90
8	전남	강진	봉양	93	7.1	44.4	5.6	3.1	7.2	0.56	0.48	0.73	17.02	35.06
9	전남	강진	영산	93	7.0	34.3	3.8	2.6	7.2	0.14	0.91	0.32	32.26	15.37
10	전남	강진	월곡	93	7.2	75.6	6.0	4.3	6.6	0.31	1.01	0.76	35.80	36.50
11	전남	무안 신안	성동	75	7.2	88.7	8.5	9.2	7.3	0.49	0.89	0.73	31.55	35.06
12	전남	영산 강	강운	73	7.7	52.1	6.0	6.3	6.3	0.77	1.26	0.89	44.67	42.75
13	전남	영산 강	용성	75	7.0	70.8	7.4	6.6	7.5	0.42	1.62	1.18	57.43	56.68
14	전남	영암	대동	69	8.3	44.0	6.0	5.3	7.1	0.14	0.42	0.54	14.89	25.94
15	전남	영암	쌍정	69	7.3	114.1	8.5	5.7	7.2	0.17	0.70	0.50	24.82	24.02



< 표 3.1.6.2 >수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(2차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과					
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm
16	전남	영암	호동	69	7.1	44.1	7.4	4.9	6.9	0.64	1.15	1.72	40.77	82.61
17	전남	영암	도갑	76	6.9	82.3	6.7	4.7	7.9	1.33	4.81	2.40	170.51	115.27
18	전남	영암	사자	81	7.3	83.8	6.7	3.9	6.8	0.49	0.55	0.44	19.50	21.13
19	전남	영암	연보	89	7.3	109.7	8.1	7.2	7.5	0.10	0.34	0.23	12.05	11.05
20	전남	해남	난대1	68	8.3	238.7	27.6	21.7	7.3	0.24	1.10	0.57	39.00	27.38
21	전남	해남	서상	68	8.6	308.8	45.7	39.6	6.6	0.64	1.48	1.06	52.47	50.91
22	전남	해남	장평	69	7.2	66.2	10.9	8.5	6.8	0.55	1.89	0.60	67.00	28.82
23	전남	해남	강경	70	6.9	103.1	11.6	5.5	6.7	0.34	1.44	0.86	51.05	41.31
24	전남	해남	신평1	70	8.9	42.3	4.6	2.9	6.1	0.51	1.60	0.39	56.72	18.73
25	전남	해남	충평1	70	8.0	119.9	16.3	12.2	6.4	0.17	0.96	0.48	34.03	23.05
26	전남	해남	장수	72	8.0	119.9	16.3	12.2	6.4	0.19	1.14	0.42	40.41	20.17
27	전남	해남	오류	75	8.2	45.7	6.0	3.4	7.5	0.54	1.16	0.82	41.12	39.38
28	전남	해남	운전	75	7.2	70.9	7.0	4.0	7.2	0.39	0.58	0.60	20.56	28.82
29	전남	해남	남동	77	7.1	41.2	5.6	3.1	7.6	0.47	2.30	1.57	81.54	75.41
30	전남	해남	고평	83	6.9	163.9	21.6	10.4	7.1	0.48	1.36	0.82	48.21	39.38

< 표 3.1.6.2 >수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(2차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과					
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm
30	전남	해남	고평	83	6.9	163.9	21.6	10.4	7.1	0.48	1.36	0.82	48.21	39.38
31	전남	해남	사교	83	7.1	88.2	12.0	9.8	7.7	1.46	4.48	5.37	158.82	257.92
32	전남	해남	상가	84	7.2	267.5	27.2	22.1	7.1	0.13	0.84	0.40	29.78	19.21
33	전남	해남	신덕	86	7.4	68.0	5.6	3.6	7.3	0.40	1.40	1.14	49.63	54.75
34	전북	남원	장남	84	7.1	85.0	5.7	11.0	7.6	0.17	0.46	0.67	16.31	32.18
35	전북	순창	서마	72	7.2	50.0	6.9	5.5	6.8	0.10	0.48	0.29	17.02	13.93
36	전북	순창	운암	74	6.9	68.0	6.5	5.6	7.4	0.29	1.10	0.75	39.00	36.02
37	전북	순창	화양	74	6.9	56.0	6.0	6.1	7.4	0.11	0.38	0.40	13.47	19.21
38	전북	전주	안덕	74	7.0	88.0	8.7	9.0	7.2	0.22	0.74	0.59	26.23	28.34
39	전북	전주	괴목	78	7.1	127.0	6.2	9.9	6.8	0.91	0.79	2.03	28.01	97.50
40	전북	전주	두곡	78	6.8	77.0	7.9	6.8	7.1	0.34	1.32	0.30	46.79	14.41
41	전북	전주	황금	78	6.7	33.0	3.0	5.0	7.6	0.27	1.95	0.37	69.13	17.77
42	전북	전주	궁항	86	7.2	47.0	3.9	4.7	7.6	0.73	0.63	0.77	22.33	36.98
43	전북	전주	광곡	88	7.4	146.0	6.0	34.9	7.6	0.18	0.23	0.82	8.15	39.38
44	전북	전주	오봉	89	7.2	55.0	4.6	7.0	8.1	0.40	0.56	0.92	19.85	44.19
45	전북	정읍	애당	71	7.0	174.0	27.2	14.7	6.8	0.16	0.49	0.78	17.37	37.46

< 표 3.1.6.2 > 수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(2차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과					
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/ℓ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/ℓ	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm
46	전북	정읍	부전	86	9.3	120.0	10.8	14.3	7.3	0.20	1.12	0.66	39.70	31.70
47	전북	정읍	수청	86	7.4	82.0	8.3	8.6	7.9	0.79	0.49	3.46	17.37	166.18
48	경남	울산	두돌	76	6.8	73.0	6.0	12.0	7.6	0.28	1.23	0.73	43.60	35.06
49	경남	울산	정자	76	7.0	106.0	10.3	14.4	-	-	-	-	-	-
50	경남	울산	고련	76	6.8	52.0	6.1	6.2	7.8	0.38	0.82	0.87	29.07	41.79
51	경남	울산	인보	78	6.8	74.0	7.5	6.7	7.6	0.12	0.26	0.46	9.22	22.09
52	경남	울산	두산	78	6.8	84.0	9.7	11.7	7.9	0.32	1.29	0.65	45.73	31.22
53	경남	울산	다개	78	6.6	56.0	4.4	5.7	7.1	0.15	0.70	0.35	24.82	16.81
54	경남	진주	남성	84	6.9	68.0	3.5	6.0	7.9	0.12	0.11	0.35	3.90	16.81
55	경남	진주	냉정	84	7.2	110.0	3.3	9.6	8.0	0.27	0.90	0.95	31.91	45.63
56	경남	진주	동향	84	7.3	81.0	2.7	7.3	7.3	0.39	3.71	0.79	131.52	37.94
57	경남	진주	솔기	84	7.2	62.0	3.2	4.7	8.3	0.57	1.36	1.12	48.21	53.79
58	경남	진주	용석	84	7.1	69.0	3.5	4.2	7.6	0.15	0.18	0.56	6.38	26.90
59	경북	경주	명계	81	6.8	89.0	8.9	10.4	7.9	1.27	11.73	2.99	415.83	143.61
60	충북	음성	주봉	86	7.0	80.4	3.5	5.9	7.5	0.36	0.39	0.50	13.83	24.02

< 표 3.1.6.2 >수리구조물의 배면토성 및 수질분석 자료(3차년도 조사자료)(계속)

No.	구 분				수질분석결과				토양분석결과					
	지역	지부	지구명	준공	pH	EC dS/m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	pH	EC dS/8m	Cl <sup>-</sup> me/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> me/l	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm
1			문광 02-04		7.7	-	4.6	6.169	6.7	0.18	-	0.40	-	-
2			매전 02-05		7.2	-	7.4	6.815	7.6	0.28	-	0.58	-	-
3			신흥 02-06		7.2	-	2.8	4.526	6.7	0.46	-	0.30	-	-
4			신허 02-07		7.2	-	7.8	6.576	7.0	0.33	-	0.77	-	-
5			무극 02-08		7.3	-	5.7	7.518	6.5	0.17	-	0.47	-	-
6			금석 02-09		7.4	-	4.6	7.286	6.6	0.37	-	0.39	-	-
7			내장 02-10		7.3	-	12.4	8.491	8.0	0.35	-	0.68	-	-
8			용산 02-11		7.1	-	7.1	5.647	6.6	0.25	-	0.45	-	-
9			척과 02-12		6.9	-	5.0	6.970	6.9	0.13	-	0.30	-	-
10			월평 02-13		6.8	-	7.1	5.511	8.8	0.14	-	0.30	-	-

여 백

#### 부록 4. 조사 골재 물리성 시험자료

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
충남	부성암(산수)	'62	굵은골재	2.55	2.27	32.3	7.48	-	서산 해미 산수
			잔골재	2.55	1.99	-	2.89	0.45	서산 해미 앞하천
충남	계룡	'64	굵은골재	2.53	3.01	33.7	7.49	-	공주시 대금리
			잔골재	2.59	2.01	-	2.84	1.34	공주시 대금리
충남	용연(목천)	'64	굵은골재	2.57	1.75	34.5	7.65	-	천안 목천 서리
			잔골재	2.58	1.72	-	3.28	0.41	천안 목천 서리
충남	성암(목천)	'67	굵은골재	2.52	3.21	29.6	7.34	-	서산 운산 운산천
			잔골재	2.55	1.99	-	3.93	4.3	사산 음암 성암
충남	고남(성연)	'67	굵은골재	2.54	3.01	26.7	7.51	-	서산 해미1 산수, 서산 성연 고남
			잔골재	2.55	1.99	-	2.89	0.45	서산 해미 앞하천
경기	노곡	'68	굵은골재	2.60	1.83	26.4	7.26	-	안성 금광 금광
			잔골재	2.57	1.43	-	2.35	1.28	안성 양성 노곡
경기	이동	'72	굵은골재	2.58	2.41	28.0	7.36	-	용인 이동 어비
			잔골재	2.60	1.80	-	3.50	0.38	용인 이동 어비
충남	업성	'72	굵은골재	2.65	1.81	27.1	7.43	-	천안 풍세 풍서
			잔골재	2.58	1.94	-	3.59	0.27	천안 업성동 하천
충남	울금(석곡)	'72	굵은골재	2.65	1.81	27.1	7.43	-	천안 풍세 풍서
			잔골재	2.58	1.94	-	3.59	0.27	천안 업성동 하천
충남	성거(천홍)	'73	굵은골재	2.65	1.81	27.1	7.43	-	천안 풍세 풍서
			잔골재	2.58	1.94	-	3.59	0.27	천안 업성동 하천
경기	청룡	'74	굵은골재	2.61	1.95	25.9	7.63	-	진천 백곡 구수
			잔골재	2.58	1.67	-	3.10	0.22	안성 서운 청룡, 신기

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
경기	마둔	'75	굵은골재	2.60	1.79	32.7	7.45	-	안성 금광 내우 안성천
			잔골재	2.61	1.04	-	2.96	1.55	안성 금광 내우 안성천
충남	신창(정미)	'77	굵은골재	2.53	3.33	30.3	7.48	-	서산 운산 신창
			잔골재	2.54	2.01	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
경기	용담	'78	굵은골재	2.60	1.83	26.4	7.26	-	안성 금광 금광
			잔골재	2.58	1.72	-	3.28	0.41	용인 원삼 가좌 태평촌
충남	정안	'76	굵은골재	2.61	1.69	31.1	7.5	-	공주 정안면 평야부
			잔골재	2.60	1.76	-	3.13	0.5	공주 정안면 평야부
충남	송현(의항)	'78	굵은골재	-	-	-	-	-	서산 성연 고남
			잔골재	2.56	1.93	-	3.71	2.61	태안 인평 강수
충남	장곡(광천)	'78	굵은골재	2.63	2.09	30.4	7.55	-	청양읍 벽천리(괘자갈), 홍성 장곡 죽진
			잔골재	2.64	1.76	-	2.40	1.51	홍성 갈산 내갈
충남	기산	'78	굵은골재	2.62	1.4	16.5	7.46	-	연기 금남 봉기(금강)
			잔골재	2.59	1.28	-	2.66	0.76	공주 계룡 상왕
충남	서산(홍천)	'82	굵은골재	2.53	3.33	30.3	7.48	-	서산 운산 운산천
			잔골재	2.64	1.76	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
충남	가곡	'84	굵은골재	2.62	1.45	27.8	7.94	-	청양읍 벽천리(괘자갈)
			잔골재	2.64	1.76	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
경기	용설	'85	굵은골재	2.58	1.82	33.4	7.48	-	충주 양성 조천
			잔골재	2.55	1.86	-	3.55	0.30	안성 일죽 청미천
충남	대사	'85	굵은골재	2.56	1.89	32.4	7.58	-	홍성 갈산 가곡
			잔골재	2.54	2.01	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
충남	신송(고북)	'85	굵은골재	2.56	1.89	32.4	7.58	-	홍성 갈산 가곡
			잔골재	2.54	2.01	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
충남	공리	'85	굵은골재	2.58	2.44	35.8	7.57	-	예산 신양 강변
			잔골재	2.54	2.01	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
경기	장계	'86	굵은골재	2.58	1.82	33.4	7.48	-	안성 죽산 장계, 충주 가급 가홍
			잔골재	2.55	1.86	-	3.55	0.30	안성 일죽 청미천
충남	요룡	'87	굵은골재	2.60	1.18	14.0	7.39	-	공주 의당 요룡, 공주 탄천 대학
			잔골재	2.59	1.28	-	2.66	0.76	공주 계룡 상왕
충남	우목(용봉)	'87	굵은골재	2.60	1.18	14.0	7.39	-	공주 우성 용봉, 공주 탄천 대학
			잔골재	2.59	1.28	-	2.66	0.76	공주 계룡 상왕
충남	광천	'88	굵은골재	2.63	2.09	30.4	7.55	-	홍성 장곡 죽전
			잔골재	2.54	2.01	-	2.65	0.34	홍성 갈산 내갈
충남	월곡	'88	굵은골재	2.65	1.17	23.4	7.54	-	공주 정안 북계, 공주 사곡 화월
			잔골재	2.59	1.94	-	3.22	0.33	공주 정안 북계
경기	두창	'92	굵은골재	2.58	1.82	33.4	7.48	-	용인 원삼 가좌 태평촌
			잔골재	2.55	1.86	-	3.55	0.30	안성 일죽 청미천
전남	강운	'73	굵은골재	2.48	4.64	24.6	7.35	-	함평 대동 용성
			잔골재	2.59	1.91	-	3.37	0.41	무안 현경 해운
	용성(정창)	'75	굵은골재	2.48	4.64	24.6	7.35	-	함평 대동 용성
			잔골재	2.59	1.91	-	3.37	0.41	무안 현경 해운
	성동	'75	굵은골재	2.48	4.64	24.6	7.35	-	함평 대동 용성
			잔골재	2.59	1.91	-	3.37	0.41	무안 현경 해운
전남	쌍정	'69	굵은골재	-	-	-	-	-	
			잔골재	2.59	1.60	-	2.34	2.03	영암 영암 추도
	대동	'69	굵은골재	-	-	-	-	-	
			잔골재	2.59	1.60	-	2.34	2.03	영암 영암 추도



< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
	호동	'69	굵은골재	-	-	-	-		
			잔골재	2.59	1.60		2.34	2.03	영암 영암 추도
	사자	'81	굵은골재	-	-	-	-		
			잔골재	2.59	1.60	-	2.34	2.03	영암 영암 추도
전남	연보	'89	굵은골재	2.59	3.01	19.2	7.37	-	장흥 유치 덕산
			잔골재	2.59	1.35	-	2.49	1.29	장흥 유치 덕산
전남	신평1	'69	굵은골재	2.56	1.86	22.0	7.35	-	해남 계곡 신평
			잔골재	2.60	1.45	-	2.33	1.77	해남 월평
전남	강정(동령)	'70	굵은골재	2.56	1.86	22.0	7.35	-	해남 계곡 신평
			잔골재	2.55	1.91	-	3.45	0.87	강진 도암 석문
	상가	'74	굵은골재	2.56	1.45	22.0	7.35	-	해남 계곡 신평
			잔골재	2.60	1.45	-	2.33	1.77	해남 월평
전남	장수	'72	굵은골재	2.63	1.92	27.2	7.43	-	해남 삼산 평활
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	운전(홍천)	'75	굵은골재	2.63	1.92	27.2	7.43	-	해남 삼산 평활
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
전남	난대1	'68	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	서상	'68	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	장평(신평)	'69	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	총평1	'70	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
전남	남사교	'83	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
	고평	'83	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	화원		굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
	신덕	'86	굵은골재	2.51	3.76	19.8	7.36	-	강진 군동 석교
			잔골재	2.61	1.23	-	2.34	3.81	강진 군동 석교
전남	화산	'69	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	영동	'78	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
전남	월평	'90	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	월곡	'93	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	봉양	'93	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	영산	'93	굵은골재	2.53	3.49	22.7	7.37	-	강진 군동 풍동
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	당전	'86	굵은골재	2.53	3.13	20.90	7.42	-	강진 대구 계율
			잔골재	2.59	1.89	-	2.45	1.64	강진 군동 풍동
	월남	'67	굵은골재	2.49	4.25	32.2	7.31	-	강진 성전 성전
			잔골재	2.55	1.93	-	2.55	1.40	강진 성전 명산
	학동	'70	굵은골재	2.49	4.25	32.2	7.31	-	강진 성전 성전
			잔골재	2.55	1.93	-	2.55	1.40	강진 성전 명산
	오류	'75	굵은골재	2.49	4.25	32.2	7.31	-	강진 성전 성전
			잔골재	2.55	1.93	-	2.55	1.40	강진 성전 명산

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
	송월	'74	굵은골재	2.54	2.90	32.5	7.32	-	강진 월하 혼도
			잔골재	2.55	1.93	-	2.55	1.40	강진 성전 명산
	도갑	'76	굵은골재	2.50	3.54	31.9	7.33	-	영암 학산 상월
			잔골재	2.59	1.60	-	2.34	2.03	영암 영암 추도
충북	주봉	'86	굵은골재	2.80	0.78	14.0	7.36	-	충주 금릉 탄금대
			잔골재	2.59	1.14	-	3.40	1.81	진천이월중산미호천
전북	광곡	'88	굵은골재	2.54	2.90	25.2	7.31	-	완주 구이 향가
			잔골재	2.57	1.86	-	2.51	0.45	완주 구이 향가
	안덕	'74	굵은골재	2.54	3.67	20.1	7.38	-	완주 구이 계곡
			잔골재	2.57	1.86	-	2.51	0.45	완주 구이 향가
	황금	'76	굵은골재	2.55	2.30	17.7	7.35	-	진안 부귀 수향
			잔골재	2.61	1.10	-	3.0	0.51	진안 상전 수동
전북	궁항	'86	굵은골재	2.61	1.49	23.5	7.34	-	진안 청천 용평
			잔골재	2.59	1.45	-	2.82	1.37	진안 청천 용평
	부전	'86	굵은골재	2.46	4.72	37.0	2.35	-	정읍 송산 내장천
			잔골재	2.55	2.12	-	1.95	2.29	정읍 이평 오금정읍천
	애당(주동)	'71	굵은골재	2.46	4.72	37.0	7.34	-	정읍 송산 내장천
			잔골재	2.55	2.22	-	2.0	1.01	정읍 망계
	화양	'74	굵은골재	2.44	5.15	20.6	2.38	-	순창 복흥 화양
			잔골재	2.55	2.22	-	2.0	1.01	정읍 망계
	운암	'74	굵은골재	2.44	5.15	20.6	2.38	-	순창 복흥 화양
			잔골재	2.55	2.22	-	2.0	1.01	정읍 망계
	서마	'72	굵은골재	2.41	6.04	25.7	7.44	-	순창 복흥 서마
			잔골재	2.56	1.88	-	2.26	8.25	순창 복흥 서마
	두곡	'78	굵은골재	2.57	3.09	19.8	7.37	-	임실 관촌 덕천
			잔골재	2.60	1.29	-	2.91	0.69	임실 덕과 둔기

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
	장남	'84	굵은골재	-	호박돌	시험무	-	-	장수 빈안 국포
			잔골재	2.59	1.37	-	2.80	0.59	남원 금지 귀석
	수청	'86	굵은골재	2.60	2.92	25.3	7.32	-	정읍 산외 정량
			잔골재	2.57	1.49	-	3.07	1.20	김제 봉남 화봉
	덕산	'81	굵은골재	2.53	3.99	21.2	7.29	-	무주 안성 진도
			잔골재	2.59	1.35	-	2.49	1.29	무주 안성 진도
경남	두돌	'76	굵은골재	2.59	1.90	16.3	7.31	-	중구 다운 삼호교
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
	다개	'78	굵은골재	2.53	3.17	13.8	7.34	-	울주 두서 봉계
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
	두산	'78	굵은골재	2.53	3.17	16.3	7.31	-	울주 두서 봉계
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
	인보	'78	굵은골재	2.53	3.17	16.3	7.31	-	울주 두서 봉계
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
경남	정자	'76	굵은골재	2.65	1.13	10.8	7.29	-	북구 정자동
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
	고연	'76	굵은골재	2.62	1.98	17.6	7.36	-	울주 웅촌 고련
			잔골재	2.55	1.99	-	1.82	0.95	중구 다운 삼호교
	용석	'84	굵은골재	2.70	1.14	13.9	7.33	-	진주 집현 신당 덕오
			잔골재	2.60	1.91	-	1.89	0.54	진주 집현 신당 덕오
	남성	'84	굵은골재	2.70	1.14	13.9	7.33	-	진주 집현 신당 덕오
			잔골재	2.60	1.91	-	1.89	0.54	진주 집현 신당 덕오
	술기	'84	굵은골재	2.79	1.14	13.9	7.33	-	진주 집현 신당 덕오
			잔골재	2.60	1.91	-	1.89	0.54	진주 집현 신당 덕오
	냉정	'84	굵은골재	2.79	1.14	13.9	7.33	-	진주 집현 신당 덕오
			잔골재	2.60	1.91	-	1.89	0.54	진주 집현 신당 덕오

< 표 3.3.5.3 > 조사 골재 물리성 시험결과(계속)

도별	저수지명	준공연도	구분	비중	흡수율 (%)	마모율 (%)	조립율	No. 200 (%)	채취위치
	동향	'84	굵은골재	2.79	1.14	13.9	7.33	-	진주 집현 신당 덕오
			잔골재	2.60	1.91	-	1.89	0.54	진주 집현 신당 덕오
전북	괴목	'78	굵은골재	2.57	1.68	25.7	7.35	-	무주 부남 굴암
			잔골재	2.60	0.90	-	1.82	3.80	무주 부남 굴암
	오봉	'89	굵은골재	2.57	2.10	23.2	7.36	-	임실 관촌 대리
			잔골재	2.59	1.14	-	2.50	0.96	임실 삼계
충북	문광	78	굵은골재	2.71	1.30	12.4	7.54	-	괴산 불정 목도(신항천)
			잔골재	2.56	1.14	-	2.69	1.62	괴산 불정 목도(신항천)
충북	매전	78	굵은골재	2.71	1.30	12.4	7.54	-	괴산 불정 목도(신항천)
			잔골재	2.56	1.14	-	2.69	1.62	괴산 불정 목도(신항천)
충북	신흥	85	굵은골재	2.71	1.30	12.4	7.54	-	괴산 불정 목도(신항천)
			잔골재	2.56	1.14	-	2.69	1.62	괴산 불정 목도(신항천)
충북	신흥(세평)	85	굵은골재	2.71	1.30	12.4	7.54	-	괴산 불정 목도(신항천)
			잔골재	2.56	1.14	-	2.69	1.62	괴산 불정 목도(신항천)
충북	부극	82	굵은골재	2.80	0.78	14.0	7.36	-	충주 금릉 탄금대
			잔골재	2.59	1.14	-	3.40	1.81	진천이월중산미호천
충북	금석	82	굵은골재	2.80	0.78	14.0	7.36	-	충주 금릉 탄금대
			잔골재	2.59	1.14	-	3.40	1.81	진천이월중산미호천
전북	내장	64	굵은골재	2.50	3.79	12.3	7.50	-	정읍 내장 내부유용
			잔골재	2.56	0.94	-	2.87	1.82	정읍 내장 내부유용
전북	용산	66	굵은골재	2.50	3.97	17.0	7.44	-	정읍 파교 내부유용
			잔골재	2.54	1.31	-	3.06	1.11	정읍 파교 내부유용
경남	척과	74	굵은골재	2.61	2.07	9.8	7.42	-	울주 범서 척동천
			잔골재	2.59	0.86	-	3.65	1.61	울주 범서 척동천
경남	월평	75	굵은골재	2.61	2.07	9.8	7.42	-	울주 두동 월평
			잔골재	2.59	0.86	-	3.65	1.61	울주 두동 월평

## 부록 5. 콘크리트 코어 압축강도 측정자료

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
1	충남	부성암 (산수)	62	A001	A001	1년차	40	315	201	167
2	충남	계룡	64	A002	A002	1년차	38	153	139	159
3	충남	용연 (목천)	66	A003	A005	1년차	36	202	183	167
4	충남	성암	67	A004	A007	1년차	35	119	203	146
5	충남	고남 (성연)	67	A005	A006	1년차	35	174	176	158
6	경기	노곡	68	A006	A010	1년차	34	115	122	152
7	경기	이동	72	B021	B025	1년차	30	167	110	165
8	충남	업성	72	B022	B023	1년차	30	184	-	165
9	충남	울금 (석곡)	72	B023	B024	1년차	30	200	174	157
10	충남	성거 (천홍)	73	B024	B028	1년차	29	106	126	148
11	경기	정릉	74	B025	B033	1년차	28	194	190	151
12	경기	마둔	75	B026	B035	1년차	27	154	-	158
13	충남	신창 (정미)	77	C041	C048	1년차	25	232	161	169
14	경기	용담	78	C042	C058	1년차	24	74	168	129
15	충남	정안	76	C043	C044	1년차	26	151	-	159

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
16	충남	송현 (의항)	78	C044	C056	1년차	24	123	106	173
17	충남	장곡 (광천)	78	C045	C060	1년차	24	154	182	162
18	충남	기산	78	C046	C050	1년차	24	186	161	156
19	충남	서산 (풍전)	82	D061	D065	1년차	20	217	177	132
20	충남	가곡	84	D062	D068	1년차	18	117	143	115
21	경기	용설	85	D063	D077	1년차	17	87	258	126
22	충남	대사	85	D064	D079	1년차	17	191	206	155
23	충남	신송 (고북)	85	D065	D080	1년차	17	149	184	159
24	충남	공리	85	D066	D078	1년차	17	141	185	170
25	경기	장계	86	E081	E087	1년차	16	294	221	178
26	충남	요룡	87	E082	E089	1년차	15	147	167	147
27	충남	우북 (용봉)	87	E083	E090	1년차	15	134	213	154
28	충남	광천	88	E084	E092	1년차	14	187	117	144
29	충남	월곡	88	E085	E093	1년차	14	224	249	160
30	경기	두창	92	E086	E097	1년차	10	168	244	156

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
1	전남	월남	67	A007	A008	2년차	35	185	255	146
2	전남	난대1	68	A008	A009	2년차	34	76	101	110
3	전남	서상	68	A009	A011	2년차	34	79	142	119
4	전남	대동	69	A010	A012	2년차	33	139	210	138
5	전남	쌍정	69	A011	A013	2년차	33	120	138	115
6	전남	장평 (신평)	69	A012	A014	2년차	33	101	151	138
7	전남	호동	69	A013	A015	2년차	33	90	162	125
8	전남	화산	69	A014	A016	2년차	33	143	191	141
9	전남	강정 (동령)	70	A015	A017	2년차	32	155	195	145
10	전남	신평1	70	A016	A018	2년차	32	111	219	137
11	전남	충평1	70	A017	A019	2년차	32	150	197	137
12	전남	학동	70	A018	A020	2년차	32	122	230	141
13	전북	애당 (주동)	71	B027	B021	2년차	31	94	240	137
14	전북	서마	72	B028	B022	2년차	30	144	235	151
15	전남	장수	72	B029	B026	2년차	30	207	278	157



< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
16	전남	강운	73	B030	B027	2년차	29	112	208	95
17	전남	송월	74	B031	B029	2년차	28	153	243	167
18	전북	안덕	74	B032	B030	2년차	28	216	246	153
19	전북	운암	74	B033	B031	2년차	28	174	276	150
20	전북	화양	74	B034	B034	2년차	28	153	252	130
21	전남	성동	75	B035	B036	2년차	27	76	178	110
22	전남	오류	75	B036	B037	2년차	27	127	185	146
23	전남	용성 (정창)	75	B037	B038	2년차	27	135	194	164
24	전남	운전 (홍천)	75	B038	B039	2년차	27	181	223	147
25	경남	고련	76	C047	C041	2년차	26	148	216	169
26	전남	도갑	76	C048	C042	2년차	26	203	193	139
27	경남	두돌	76	C049	C043	2년차	26	213	250	188
28	경남	정자	76	C050	C045	2년차	26	170	199	166
29	전북	황금	76	C051	C046	2년차	26	219	128	146
30	전남	남동	77	C052	C047	2년차	25	168	207.25	122

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
31	전북	괴목	78	C053	C049	2년차	24	193	217	169
32	경남	다개	78	C054	C051	2년차	24	138	155	170
33	전북	두곡	78	C055	C052	2년차	24	216	216	157
34	경남	두산	78	C056	C053	2년차	24	204	154	171
35	전남	영동	78	C057	C057	2년차	24	111	235	143
36	경남	인보	78	C058	C059	2년차	24	205	201	186
37	전북	덕산	81	D067	D061	2년차	21	141	202	150
38	전남	사자	81	D068	D062	2년차	21	82	211	120
39	전남	고평	83	D069	D066	2년차	19	120	162	126
40	전남	사교	83	D070	D067	2년차	19	107	180	125
41	경남	남성	84	D071	D069	2년차	18	116	246	141
42	경남	냉정	84	D072	D070	2년차	18	172	242	163
43	전남	당전	84	D073	D071	2년차	18	173	304	152
44	경남	동향	84	D074	D072	2년차	18	162	195	156
45	전남	상가	84	D075	D073	2년차	18	170	199	146

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
46	경남	솔기	84	D076	D074	2년차	18	224	279	148
47	경남	웅석	84	D077	D075	2년차	18	150	256	148
48	전북	장남	84	D078	D076	2년차	18	172	277	145
49	전북	궁항	86	E087	E083	2년차	16	83	278	127
50	전북	부전	86	E088	E084	2년차	16	110	172	130
51	전북	수청	86	E089	E085	2년차	16	183	184	130
52	전남	신덕	86	E090	E086	2년차	16	166	272	127
53	충북	주봉	86	E091	E088	2년차	16	226	193	145
54	전북	오봉	89	E092	E095	2년차	13	116	288	116
55	전북	광곡	88	E093	E091	2년차	14	205	218	153
56	전남	연보	89	E094	E094	2년차	13	155	217	113
57	전남	월평	90	E095	E096	2년차	12	165	212	125
58	전남	봉양	93	E096	E098	2년차	9	73	279	117
59	전남	영산	93	E097	E099	2년차	9	136	248	118
60	전남	월곡	93	E098	E100	2년차	9	151	197	119

< 표 3.1.4.1 > 콘크리트 코어 압축강도 측정 결과 (계속)

번호	도별	저수지명	준공년도	일련번호	신일련 번호	조사연차	used year	코어강도	슈미트추 정강도	초음파추 정강도
1	전북	내장	64	A019	A003	3년차	38	114	180	148
2	전북	용산	66	A020	A004	3년차	36	126	202	145
3	경남	척과	74	B039	B032	3년차	28	191	259	162
4	경남	월평	75	B040	B040	3년차	27	157	188	166
5	충북	문광	78	C059	C055	3년차	24	127	268	157
6	충북	매전	78	C060	C054	3년차	24	125	150	157
7	충북	무극	82	D079	D064	3년차	20	160	156	145
8	충북	금석	82	D080	D063	3년차	20	192	223	145
9	충북	신흥	85	E099	E082	3년차	17	173	304	162
10	충북	신항(새평)	85	E100	E081	3년차	17	212	197	163

# 여 백

## 부록 6. 콘크리트 코어 화학성분 분석 자료

< 표3.1.6.1 > 콘크리트 코어 화학분석 결과

No.	신일련번호	콘크리트 코어 화학성분				
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
1	A001	0.9366	0.0105	0.8601	1.5752	0.0298
2	A002	0.8200	0.0123	0.8244	1.5715	0.0266
3	A003	0.7632	0.0089	0.9406	1.4849	0.0366
4	A004	1.0846	0.0130	0.8225	1.7160	0.0321
5	A005	0.8500	0.0140	1.2127	2.4563	0.0520
6	A006	1.0730	0.0130	1.0671	1.7545	0.0355
7	A007	0.6463	0.0079	0.9153	2.2115	0.0546
8	A008	0.7181	0.0132	0.9735	2.0344	0.0361
9	A009	0.9479	0.0072	0.9575	1.9613	0.1077
10	A010	0.7438	0.0090	1.0516	2.4047	0.0590
11	A011	0.7828	0.0160	0.7972	1.7003	0.0562
12	A012	0.8481	0.0133	0.9400	1.7215	0.0535
13	A013	0.7533	0.0076	0.9915	1.9042	0.0407
14	A014	0.7795	0.0017	0.7695	1.8004	0.0492
15	A015	0.9481	0.0151	0.9670	1.7030	0.0439
16	A016	0.4254	0.0055	0.8268	2.0043	0.0634
17	A017	0.6463	0.0026	0.6667	1.3877	0.0348
18	A018	0.8613	0.0036	0.8132	1.6567	0.0375
19	A019	0.5599	0.0047	0.7145	1.8415	0.0756
20	A020	0.5732	0.0033	0.7299	1.6584	0.0374
21	B021	0.8773	0.0099	0.9383	1.8006	0.0549
22	B022	1.1431	0.0172	1.0585	1.6645	0.0312
23	B023	0.8905	0.0133	1.0819	2.0241	0.0507
24	B024	0.7479	0.0109	1.0337	2.2303	0.0368
25	B025	0.5428	0.0079	1.0835	2.6239	0.0585
26	B026	0.4435	0.0068	0.7261	1.8506	0.0483
27	B027	1.0553	0.0103	0.8667	1.8516	0.0448
28	B028	0.5730	0.0117	1.0409	2.1991	0.0314
29	B029	0.9436	0.0122	0.8594	2.2868	0.0409
30	B030	0.7242	0.0121	0.9945	2.1248	0.0764
31	B031	1.1152	0.0111	0.9189	2.0193	0.0512
32	B032	0.8215	0.0194	0.9760	2.0173	0.0586
33	B033	0.6506	0.0120	1.0001	2.2636	0.0621

< 표3.1.6.1 > 콘크리트 코어 화학분석 결과(계속)

No.	신일련번호	콘크리트 코어 화학성분				
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
34	B034	0.9531	0.0101	1.1022	1.5032	0.0934
35	B035	-	-	-	-	-
36	B036	1.0185	0.0068	1.0402	2.1556	0.0718
37	B037	0.6700	0.0066	0.7037	1.8958	0.0422
38	B038	0.7536	0.0086	0.7851	1.7265	0.0751
39	B039	0.5955	0.0067	0.7896	1.7097	0.0467
40	B040	0.5884	0.0115	0.0010	2.3548	0.0620
41	C041	0.8207	0.0137	1.0759	1.9080	0.0549
42	C042	0.7771	0.0092	0.8254	1.7172	0.0436
43	C043	0.5010	0.0139	0.9173	2.0443	0.0805
44	C044	0.5810	0.0068	0.8779	2.4172	0.0619
45	C045	0.5840	0.0107	0.8760	1.9648	0.0776
46	C046	0.7632	0.0096	1.0386	2.2404	0.0706
47	C047	0.4894	0.0071	0.8054	1.7703	0.0481
48	C048	0.5917	0.0103	0.9066	2.1776	0.0479
49	C049	0.5603	0.0075	0.7896	1.8789	0.0691
50	C050	0.3875	0.0077	0.9061	3.4145	0.0913
51	C051	0.5968	0.0134	1.0377	2.3720	0.0767
52	C052	0.8290	0.0102	1.0041	1.6228	0.0730
53	C053	0.5010	0.0144	1.0399	1.9375	0.0966
54	C054	0.6754	0.0093	0.8544	1.9728	0.0787
55	C055	0.6639	0.0084	0.8456	1.9980	0.0723
56	C056	0.4586	0.0053	0.8083	2.2116	0.0802
57	C057	0.7531	0.0093	1.0128	1.9077	0.0786
58	C058	0.8729	0.0102	1.0890	2.3311	0.0545
59	C059	0.6545	0.0150	1.0923	2.0735	0.0768
60	C060	-	-	-	-	-
61	D061	0.7389	0.0142	1.0585	2.3374	0.0546
62	D062	0.7513	0.0091	0.9408	2.0954	0.0544
63	D063	0.6653	0.0090	0.8461	1.9126	0.0664
64	D064	0.6398	0.0078	0.8358	1.8190	0.0525
65	D065	0.8921	0.0138	1.0564	1.9534	0.0430
66	D066	0.9194	0.0083	1.0809	2.4714	0.0681

< 표3.1.6.1 > 콘크리트 코어 화학분석 결과(계속)

No.	신일련번호	콘크리트 코어 화학성분				
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
67	D067	0.5810	0.0048	0.8713	2.0505	0.0624
68	D068	0.6943	0.0126	0.9850	1.9570	0.0551
69	D069	0.6155	0.0141	0.9673	2.1540	0.0697
70	D070	0.5092	0.0106	0.9128	2.0076	0.0677
71	D071	0.5701	0.0089	0.9417	1.9496	0.0868
72	D072	0.6165	0.0123	0.9716	2.3978	0.0637
73	D073	0.5837	0.0055	0.7904	1.6673	0.0804
74	D074	0.5534	0.0126	0.8651	2.0835	0.0683
75	D075	0.5660	0.0123	0.9704	2.0921	0.0680
76	D076	0.8259	0.0120	0.9017	1.7649	0.0537
77	D077	0.9148	0.0146	1.0680	1.9544	0.0596
78	D078	0.7348	0.0106	0.9222	1.8144	0.0501
79	D079	0.8588	0.0191	1.0655	1.9346	0.0527
80	D080	0.8920	0.0137	0.9988	1.9648	0.0528
81	E081	0.5840	0.0079	0.7901	1.9640	0.0067
82	E082	0.6725	0.0095	0.8140	1.9035	0.0627
83	E083	0.6507	0.0086	0.9946	2.1172	0.0657
84	E084	0.9834	0.0117	0.9716	1.8328	0.0924
85	E085	0.8035	0.0136	0.9598	1.6824	0.0779
86	E086	1.1301	0.0139	0.8843	2.0685	0.0772
87	E087	0.8242	0.0113	0.8503	1.9623	0.0626
88	E088	0.5752	0.0088	0.7936	2.0977	0.0657
89	E089	0.5788	0.0082	0.7804	1.8562	0.0706
90	E090	0.4629	0.0062	0.8545	2.0646	0.0660
91	E091	0.6726	0.0097	0.8850	1.6943	0.0561
92	E092	0.7262	0.0085	0.8600	1.7914	0.0545
93	E093	0.7025	0.0090	0.8113	2.0115	0.0520
94	E094	0.5239	0.0065	0.8619	2.0431	0.0656
95	E095	0.6800	0.0104	0.9867	1.8134	0.0533
96	E096	0.6515	0.0086	0.9383	2.1726	0.0525
97	E097	0.6116	0.0125	0.9290	2.5633	0.0905
98	E098	1.2575	0.0142	0.9636	2.2762	0.0783
99	E099	0.8315	0.0122	0.9145	1.9039	0.0479
100	E100	1.1710	0.0158	1.0218	1.9762	0.0601



# 여 백

## 부록 7. 콘크리트 코어의 역추정 배합비 자료

< 표 3.1.7.1 > 콘크리트 코어의 역추정 배합비

도별	저수지명	용적비 (%)	Ca세기	굵은골재 비중	단위용적 중량 (t/m <sup>3</sup> )	수화량 (kg)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )		
							시멘트	굵은골재	잔골재
충남	부성암(산수)	31.3	3.159	2.56	2.37	128	326	802	1114
충남	성거(천홍)	30.7	3.353	2.65	2.21	135	343	813	916
전남	송월	42.1	3.216	2.54	2.31	130	331	1070	781
전북	안덕	32.9	3.526	2.54	2.20	142	359	836	865
전북	운암	55.2	2.775	2.44	2.23	114	290	1348	478
경남	척과	37.6	2.974	2.61	2.23	122	308	982	818
경기	청룡	34.4	3.281	2.61	2.28	133	337	898	908
전북	화양	45.5	2.447	2.44	2.26	102	260	1111	787
경기	마둔	50.1	2.400	2.6	2.32	101	256	1303	665
전남	성동	53.5	2.833	2.48	2.30	116	295	1326	559
전남	오류	48.9	2.352	2.49	2.23	99	251	1218	662
전남	용성(정창)	50.7	3.210	2.48	2.32	130	330	1257	599
전남	운전(홍천)	49.5	2.1193	2.63	2.31	91	230	1303	683
경남	고련	50.2	2.960	2.62	2.23	121	307	1314	483
전남	도갑	59.2	2.491	2.5	2.23	104	264	1480	383
경남	두돌	53.6	2.458	2.59	2.24	103	261	1389	486
충남	정안	51.7	2.020	2.61	2.19	87	221	1351	535
경남	정자	49.8	2.510	2.65	2.37	105	266	1319	684
전북	황금	57.2	2.609	2.55	2.31	108	275	1460	467
전남	남동	46.5	2.345	2.48	2.28	99	251	1153	782
충남	신창(정미)	49.0	2.488	2.53	2.26	104	264	1239	658
전북	괴목	34.8	2.573	2.57	2.22	107	272	894	947
충남	기산	29.1	2.791	2.62	2.23	115	292	764	1060
경남	다개	40.1	2.840	2.53	2.23	117	296	1014	801
전북	두곡	47.4	2.680	2.57	2.23	111	281	1217	621
경남	두산	40.9	3.088	2.53	2.17	126	319	1035	693
충북	매전	36.6	3.002	2.71	2.35	123	311	993	920
충북	문광	53.9	2.607	2.71	2.34	108	275	1461	493
충남	송현(의향)	32.0	3.318	2.53	2.27	134	340	811	982
전남	영동	45.3	3.205	2.53	2.43	130	330	1146	827
경기	용담	32.4	3.367	2.6	2.20	136	345	842	874
경남	인보	51.0	2.482	2.53	2.37	104	263	1290	715
충남	장곡(광천)	52.0	2.988	2.63	2.23	122	310	1368	428

<표3.1.7.1>콘크리트코어의역추정배합비(계속)

도별	저수지명	용적비 (%)	Ca세기	굵은골재 비중	단위용적중량량 (t/m <sup>3</sup> )	수화량 (kg)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
							시멘트	굵은골재	잔골재	
전북	덕산	35.0	3.552	2.53	2.32	143	362	884	930	
전남	사자	44.6	3.087	2.56	2.38	126	319	1143	788	
충북	무극	44.6	3.280	2.8	2.36	133	337	1249	642	
충남	서산(풍전)	46.0	2.450	2.53	2.27	103	260	1164	748	
전남	고평	46.3	2.683	2.51	2.41	111	282	1162	851	
충남	가곡	40.0	2.767	2.62	2.24	114	289	1049	791	
경남	남성	47.6	2.253	2.7	2.22	95	242	1286	601	
경남	냉정	36.3	2.197	2.79	2.23	93	237	1012	887	
전남	당전	54.8	3.281	2.53	2.35	133	337	1386	497	
경남	동향	66.6	3.744	2.79	2.47	150	380	1857	88	
전남	상가	52.2	2.696	2.56	2.32	111	283	1336	595	
경남	솔기	50.9	2.942	2.79	2.42	120	306	1420	574	
경남	웅석	47.6	2.865	2.7	2.32	118	298	1286	619	
전북	장남	40.0	3.469	2.59	2.34	140	354	1035	809	
경기	용설	50.2	3.346	2.58	2.45	135	343	1294	681	
충남	공리	35.5	2.998	2.58	2.26	122	311	915	912	
충남	대사	44.4	2.690	2.56	2.22	111	282	1136	690	
충남	신송(고북)	46.3	2.836	2.56	2.21	117	296	1185	615	
충북	신항(세평)	51.9	2.625	2.71	2.22	109	276	1405	432	
충북	신흥	44.1	2.389	2.71	2.22	100	255	1194	669	
전북	궁항	42.2	3.731	2.61	2.30	149	378	1101	669	
전북	부전	48.0	3.322	2.46	2.20	134	341	1182	547	
전북	수정	31.4	3.386	2.6	2.33	137	347	815	1030	
전남	신태	31.4	2.887	2.51	2.30	118	301	789	1089	
경기	장계	40.5	2.754	2.58	2.32	114	288	1045	877	
충북	주봉	39.8	2.695	2.8	2.18	111	283	1114	671	
충남	요룡	36.9	2.973	2.6	2.32	122	308	959	931	
충남	우목(용봉)	40.7	2.105	2.6	2.37	90	228	1057	999	
경기	두창	37.8	3.282	2.58	2.24	133	337	974	792	
						평균	:	299	1149	721

## 부록 8. 한중콘크리트

### 1. 일반사항

가. 동절기에 하루 평균기온이 4℃ 이하가 되는 기상조건에서는 콘크리트의 응결경화반응이 지연되고, 동결되어 콘크리트 구조물로서의 기능을 발휘할 수 없기 때문에 한중콘크리트로 시공해야 한다.

나. 한중 콘크리트의 시공방법은 기온, 구조물의 종류와 크기 등에 따라 다르나 일 최저기온에 따라서 대략 다음과 같이 관리해야 한다.

<표-1> 한중 콘크리트의 시공방법

구 분	일최저기온	시 공 방 법
일반콘크리트 시공	4℃이상	상온의 시공방법
한중콘크리트 시공	4℃~0℃	간단한 주의와 보온으로 시공
	0℃~-3℃	물 또는 물과 골재를 가열할 필요가 있는 동시에 어느 정도의 보온 필요
	-3℃이하	물과 골재를 가열하여 콘크리트의 온도를 높일 뿐만 아니라 필요에 따라 적절한 보온, 급열에 의하여 친 콘크리트를 소요의 온도로 유지 하는등 본격적인 한중 콘크리트 시공방법으로 시공

다. 한중 콘크리트의 시공에 있어 주의할 사항은 다음과 같다.

- 응결경화 초기에 동결되지 않아야 한다.
- 양생 종료 후 봄까지 받는 동결융해작용에 대하여 충분한 저항성을 가져야 한다.
- 공사중의 각 단계에 예상되는 하중에 대하여 충분한 저항강도를 가져야 한다.
- 한중콘크리트로 시공하고자 할 경우 사업시행 부서장은 한중콘크리트 타설 시공 계획서를 작성하여 시험실시 부서장의 승인을 얻어야 한다.

## 2. 운반 및 콘크리트 치기

- 가. 콘크리트의 운반 및 치기는 열량의 손실을 가능한 한 줄일 수 있도록 운반기계 및 부어넣기 장비의 보온을 시행하여야 한다.
- 나. 치기 직전의 콘크리트 최저온도는 구조물의 단면치수, 기상조건등을 고려하여 결정해야 하나, 일반적인 적정온도의 범위는 5~20℃이다.
- 다. 철때의 콘크리트 최저온도는 부재 최소두께에 따라 <표-2>를 기준으로 한다.
- 콘크리트를 치는 시점에서 콘크리트 온도는 적정온도보다 11℃이상 높지 않아야 한다.
  - 콘크리트 온도가 지나치게 높으면 슬럼프의 저하속도를 증가시키고 급속한 응결의 원인이 될 수 있으며, 열응력과 소성수축으로 표면균열의 발생 원인이 된다.
- 라. 콘크리트를 칠 때는 철근이나, 거푸집 등에 빙설이 부착해 있어서는 안된다.
- 마. 시공이음부에 구(舊)콘크리트가 동결되어 있는 경우에는 적당한 방법으로 이것을 녹이고 완전한 시공이음을 얻도록 해야 한다.
- 여기서 구(舊)콘크리트가 동결되어 있는 경우란 콘크리트가 동해를 받은 경우가 아니고 굳어져 있는 구콘크리트의 온도가 0℃이하로 생각되어 있는 경우와 같이 단순히 동결되어 있는 경우를 말함
- 바. 치기가 끝난 콘크리트는 보온(또는 급열)양생을 시작할 때까지 콘크리트 표면의 온도가 급랭한지 않도록 콘크리트를 친 후 즉시 시트나 기타 적당한 재료로 표면을 덮고 특히, 바람을 막아야 한다.

< 표-2 > 한중콘크리트(레미콘)의 배합 및 타설 시 콘크리트의 최저온도 기준(ACI 기준)

구 분	단면 최소두께(mm)				비 고
	300이하	300-900	900-1800	1800이상	
콘크리트 타설시 최저온도(℃)	13	10	7	5	

주) 상기 온도는 치기 직전의 콘크리트(레미콘) 온도를 말함

### 3. 양 생

가. 양생방법 및 양생기간은 외기온도, 배합비, 구조물의 종류 및 크기 등을 고려하여 정해야하며, 양생방법으로는 보온양생과 급열양생 등이 있다.

- 1) 보온양생 : 단열성이 높은 재료로 콘크리트 주위를 덮어서 시멘트의 수화열을 이용하여 소정강도가 얻어질 때까지 보온하는 것
- 2) 급열양생 : 보온양생 만으로 동결온도 이상의 온도를 유지할 수 없을 때 온풍기 등과 같은 인위적 열원을 이용한 급열에 의하여 양생하는 것

나. 양생중인 콘크리트는 설계자가 특별히 지정한 경우를 제외하고 <표-3>의 압축강도가 얻어질 때까지 콘크리트의 온도를 5℃이상으로 유지해야 하며, 특히 양생이 끝난 후 최소 2일간은 콘크리트의 급랭을 방지하기 위하여 콘크리트 온도를 0℃이상이 되도록 유지한다.

- 추위가 심한 경우 또는 부재 두께가 얇은 경우에는 양생중인 콘크리트 온도가 10℃ 정도 되도록 하는 것이 바람직하다.
- <표-3>의 강도를 얻기에 필요한 양생일수는 시험에 의하여 정하는 것이 원칙이나 콘크리트의 온도가 5℃ 및 10℃되도록 양생할 경우 일반적인 표준은 <표-4>에 따른다.
- 강도 측정을 위한 공시체 제작은 6조 나항에 따른다.

다. 콘크리트에 열을 가할 경우 콘크리트가 급격히 건조되거나 국부적으로 가열되지 않도록 한다.

라. 콘크리트가 보온 또는 급열양생이 끝난 후 저온에 노출되면 그 후의 강도증진이 완만하다. 따라서 초기동해에 대하여 저항하는데 필요한 강도<표-4>를 얻은 후에도 콘크리트 노출면을 시트, 기타 적절한 재료로 틈새없이 덮고 양생을 계속하되 예상되는 하중에 대하여 필요한 강도를 얻을 때까지 실시한다.

<표-3> 콘크리트의 양생(보온, 급열) 종료시 소요되는 압축강도 표준( $kgf/cm^2$ )

사용중 구조물의 노출 단 면	단 면	얇은경우	보통의 경우	두꺼운 경우
		(1) 계속해서 자주 물로 포화되는 부분	150	120
(2) 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않은 부분	50	50	50	

<표-4> 소요의 압축강도를 얻는 양생일수의 표준

구조물의 노출상태	단 면 시멘트의 종류	보통의 경우		
		보통포틀랜드 시멘트	조강포틀랜드 +보통포틀랜드 +축진제	혼합시멘트 B종
(1) 계속해서 자주 물로 포화되는 부분	5℃	9일	5일	12일
	10℃	7일	4일	9일
(2) 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않은 부분	5℃	4일	3일	5일
	10℃	3일	2일	4일

주) 5℃, 10℃ : 양생중인 콘크리트의 온도

#### 4. 거푸집 및 동바리

가. 거푸집은 보온성이 좋은 것을 사용한다.

- 목재 거푸집이 강재 거푸집보다 열전도율이 적어 보온 효과가 크다. 강재 거푸집을 사용할 경우 외기온도의 급격한 변화의 영향을 받기 쉬우므로 보온조치를 더욱 세심하게 하여야 한다.

나. 동바리의 기초는 지반의 동상이나 동결된 지반의 융해에 의하여 변위를 일으키지 않도록 지반의 동결을 막거나 말뚝기초로 시공하여야 한다.

다. 거푸집을 떼어내는 시점에서 콘크리트의 압축강도는 설계자가 특별히 지정한 경우를 제외하면 <표-5>를 기준으로 한다.

라. 거푸집을 떼어낼 경우 외기의 온도가 낮을 경우에는 장기간 거푸집을 남겨두는 것이 좋다.

## 5. 동해를 받은 콘크리트

가. 동해를 받은 콘크리트는 제거해야 하는데, 치기 후 바로 동결한 콘크리트는 결빙에 의해 콘크리트 조직이 체적팽창에 의하여 파괴되므로 반드시 제거해야 한다.

## 6. 품질관리 시험

가. 레미콘 품질관리 및 시험관련사항은 “레미콘 품질관리요령”에 따르며, 한중콘크리트에 사용되는 재료에 대한 일반사항 및 배합은 콘크리트표준시방서 제8장 한중콘크리트 2항 재료편을 따른다.

나. 초기동해에 대하여 저항하는데 필요한 압축강도 <표-3>] 또는 거푸집 해체시기 결정용 압축강도 <표-5>를 측정하기 위해서 최소 3개의 공시체를 추가로 만들어 구조물내의 콘크리트와 가능한 한 동일한 양생조건(온도, 장소 등)이 되도록 양생한다.

<표-5> 거푸집 해체에 필요한 소요압축강도

부 재	콘크리트 압축강도 ( $f_{cu}$ )
확대기초, 보옆, 기둥, 벽등의 내벽	50 kgf/cm <sup>2</sup> 이상
슬래브 및 보의 밑면, 아치 내면	설계기준강도 X 2/3 ( $f_{cu} \geq 2/3 f_{ck}$ ) 다만, $f_{cu}$ 는 140 kgf/cm <sup>2</sup> 이상

여기서:  $f_{cu}$ =콘크리트압축강도,  $f_{ck}$ =설계기준강도

다. 보온(급열)양생기간 중 양생온도의 관리는 콘크리트의 온도(주변온도 또는 기온이 아님)를 기준으로 관리하며, 콘크리트가 동결될 우려가 적은 경우에는 주위의 온도를 자동기록하여 관리해야 한다.

- 온도의 측정위치는 고온과 저온이 예측되는 장소의 바닥으로부터 1m높이에 3개소 이상 설치한다.



## 7. 기 타

가. 설계자들은 콘크리트 구조물 설계시 한중콘트리트로 공사계획을 수립코자 할 경우에 보온 또는 급열양생 등에 대한 계획을 수립하고 이에 소요되는 비용을 공사비에 반영하여야 하며, 초기강도 또는 거푸집해체 추정용 공시체 제작에 소요되는 비용 등은 공사비(품질관리비)에 반영하여야 한다.

## 부록 9. 레미콘 품질관리 요령

### 1. 적용범위

농업기반 콘크리트 수리구조물을 시공하는 모든 건설공사에 사용되는 레미콘의 품질관리에 대하여 적용할 수 있다. 단, 허가·인가·승인청이나 발주자가 별도로 정하는 경우에는 예외로 한다.

### 2. 시험방법 및 품질기준

가. 레미콘의 품질시험 방법 및 기준은 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)에 의한다.

나. 레미콘의 강도, 슬럼프 및 공기량은 공사현장에 도착한 레미콘 운반차의 배출지점에서 시료를 채취하여 측정하며, 측정결과는 다음 조건을 만족시켜야 한다.

#### 1) 강도

- ① 임의의 1조(공시체 3개)의 시험값 평균치는 지정한 호칭강도 값의 85% 이상이어야 한다.
- ② 3조(공시체 9개) 각각의 평균치를 평균할 경우 지정한 호칭강도값 이상이어야 한다.
- ③ 강도시험을 위한 공시체의 재령은 별도의 지정이 없는 경우 28일로 하며, 별도로 재령이 지정된 경우 그에 따른다.

2) 슬럼프 : 지정한 슬럼프별 허용오차의 크기는 <표1>에 따른다.

**<표1> 슬럼프의 허용차**

지정 슬럼프	슬럼프의 허용차(cm)
2.5	±1
5 및 6.5	±1.5
8이상 18이하	±2.5
21	±3.0

3) 공기량 : 공기량 측정치는 <표2>의 조건을 만족하여야 한다. 다만, 공기량이 별도로 지정된 경우 그에 따른다.

**<표2> 공기량의 허용차**

콘크리트 종류	공기량(%)	공기량의 허용차(%)
보통 콘크리트	4.5	± 1.5
경량 콘크리트	5.0	

4) 염화물 함유량

레미콘의 염화물 함유량은 공사현장에 도착한 레미콘 운반차의 배출지점에서 측정하며 측정된 염화물이온량 (Cl<sup>-</sup>)은 0.3kg/m<sup>3</sup> 이하여야 한다.

**3. 설계단계에서 레미콘의 품질관리**

가. 품질관리비 계상

- 1) 설계자는 사업지구에 공급되는 레미콘의 품질관리에 소요되는 비용(이하 '품질관리비'라 한다)을 산출하여 공사비에 계상하여야 한다.
- 2) 품질관리비는 '품질시험비'와 '기타 품질관리비'를 합한 값을 말하며, '기타 품질관리비'는 '품질시험비'의 10% 이상을 계상하여야 한다.
- 3) 레미콘의 '품질시험비'는 레미콘의 품질시험 및 검사 총 소요회수에다 다음 <표

3>에 주어진 1회당 품질시험비(b)를 곱하여 산출하여야 한다. 특히 압축강도를 측정하기 위해서는 공시체 제작과 공시체의 캐핑이 선행되어야 하므로 이들 비용이 누락되지 않도록 주의하여야 한다.

<표3> 품질시험비 산출기준

시험종목	1 회 당 반복시험	1회당 시험비 단가 기준		1회당 품질시험비 (b)
		관련규정	적용단가항목(a)	
압축강도	3반복(3조× 3개/조)	우리공사 수탁시험 수 수 료	압축강도	(a) × 3
공시체제작	3반복(3조× 3개/조)		공시체 제작	(a) × 3
캐 팅	3반복(3조× 3개/조)		공시체 캐핑	(a) × 3
슬럼프	2 반복		슬럼프	(a) × 1
공기량	2 반복		공기량	(a) × 1
염화물	2 반복		염화물	(a) × 1

4) 레미콘의 품질시험 및 검사 소요회수는 다음 <표5>를 기준으로 하여 산출한다. 다만, 1일 콘크리트 타설량이 <표5>의 1회당 기준 물량에 미달하는 소량이라고 판단되는 경우 다음 <표4>를 참고하여 산출할 수 있다.

<표4> 사업별 레미콘 품질시험 소요회수 산출기준

구 분	소요회수 산출기준	비고
경지정리	40m <sup>2</sup> 당 1회	'98 경기도 내 사업지구별 1일 콘크리트 타설량 분석치
기타사업	70m <sup>2</sup> 당 1회	

#### 4. 시공단계에서 레미콘의 품질관리

##### 가. 품질시험 및 검사 기준

- 감독소장은 공사현장에 공급되는 레미콘이 KS표시품일지라도 운반 중 품질변동 가능성이 있으므로 건설기술관리법 시행령 제42조제3항에 의거 공사현장에 도착한 레미콘에 대하여, 건설업자가 <표5>의 기준에 따라 압축강도, 슬럼프, 공기량

및 염화물 함유량시험을 반드시 실시하도록 지도·감독하여야 한다. 다만, 염화물 함유량은 운반중 변화가 거의 없으므로 레미콘 공장에서 출하 시 시험을 실시할 수 있다.

- 감독소장은 레미콘 생산자로부터 KS F 4009의 표5~표6에 의한 배합보고서와 매 레미콘 운반차별 납품서를 받아서 보관하도록 건설업자를 감독하여야 한다.
- 배합(호칭강도, 슬럼프, 공기량, 염화물 함유량)이 달라질 경우마다 또는 생산공장이 달라질 경우마다, 1일 타설량에 따라, 다음 <표5>의 기준에 의거 품질시험 및 검사를 실시하여야 한다.
- 감독소장은 건설업자가 실시하는 레미콘의 품질시험 및 검사에 대하여 확인이 필요한 경우 시험업무지침 제18조에 따라 시험실시부서장에게 확인시험을 의뢰하여야 한다.

<표5> 시험종목별 1회당 품질시험 및 검사 기준

시험종목	1회당 기준물량	품질시험 및 검사 회수	관련규정
압축강도	450m <sup>3</sup>	1일 타설량≥450m <sup>3</sup> 인 경우 : 450m <sup>3</sup> 마다 1회 1일 타설량 <450m <sup>3</sup> 인 경우 : 1회/일	KSF4009
슬럼프	150m <sup>3</sup>	1일 타설량≥150m <sup>3</sup> 인 경우 : 150m <sup>3</sup> 당 1회 1일 타설량 <150m <sup>3</sup> 인 경우 : 1회/일	
공기량	150m <sup>3</sup>	1일 타설량≥150m <sup>3</sup> 인 경우 : 150m <sup>3</sup> 당 1회 1일 타설량 <150m <sup>3</sup> 인 경우 : 1회/일	
염화물	150m <sup>3</sup>	1일 타설량≥150m <sup>3</sup> 인 경우 : 150m <sup>3</sup> 당 1회 1일 타설량 <150m <sup>3</sup> 인 경우 : 1회/일	

나. 시료채취

- 레미콘 운반차의 배출지점에서 품질검사 시료를 채취하는 경우에는 레미콘 운반차의 아지데이터를 30초 동안 고속으로 교반 후 최초로 배출되는 콘크리트 약 50L를 제거한 후 콘크리트 흐름의 전횡단면에서 채취하여야 한다.
- 시료는 채취한 콘크리트가 그 본래의 성질과 상태를 대표할 수 있도록 대표성 있게 채취하여야 하며, 채취할 양은 다음 <표6>에서 주어지는 양 이상을 채취

하여야 한다.

<표6> 시험용 시료 채취량

시험구분	시료량	비고
압축강도	20L 이상	공시체 1조(3개)용
슬럼프	5L이상	
공기함유량	5L이상	
염화물 함유량	3L이상	

- 압축강도 시험용 공시체를 제작하기 위해서는 동일한 공장에서 동일한 배합으로 1일동안 운반될 레미콘 운반차 중 임의로 운반차 3개를 선정하고, 각각의 운반차 배출구에서 1조의 공시체(3개) 제작용 시료를 각각 채취한다. 다만, 1일 타설량이 레미콘 운반차 3대에 못 미치는 소량인 경우 합리적으로 운반차를 구분하여 3조의 공시체를 제작하기 위한 시료를 채취하여야 한다.
- 공기량과 슬럼프 및 염화물함유량 시험(이하 ‘기타시험’이라 한다)용 시료는 레미콘운반차를 합리적으로 구분하여 채취한다.
- 채취된 시료는 압축강도 시험용 공시체를 성형할 장소 또는 시험이 행하여질 장소로 운반하여 균일하게 되도록 거듭 비벼야 한다. 비빈 콘크리트로부터 시료를 취하여 강도시험용 공시체 제작 또는 기타시험을 실시하여야 하며, 이에 필요한 시간이 15분을 초과하지 않도록 하여야 한다. 또한, 이 시간동안 시료가 햇빛이나 바람에 쬐지 않도록 보호해야 한다.

다. 강도시험

1) 공시체 제작

- ① 강도시험용 공시체 제작은 KS F 2403에 의하며, 굵은골재 최대치수에 따라 아래 <표7>과 같이 제작함을 원칙으로 한다.

<표7> 굵은골재 최대치수에 따른 공시체의 치수

구 분		공시체의 치수	채우기층 및 다지기회수
압축강도	굵은골재의 최대치수가 50mm 이하	15×30cm	3층 각 25회/층
	굵은골재의 최대치수가 25mm 이하	10×20cm	2층 각 12회/층
휨 강도	굵은골재의 최대치수가 50mm 이하	15×15×15cm	2층 각 23회/층

② 공시체 제작시 감독소장은 공시체 바닥에 아래의 표시를 부착하여 공시체를 제작토록 입회, 지도감독하여야 한다.

지구명	:
규격	:
구조물명	:
시료채취위치	:
시료채취일	:
시료채취자서명:	
감독소장 서명 :	

※ 규격란에는 설계기준강도-굵은골재최대치수-슬럼프 순으로 기재(예 : 210-25-12)

2) 압축강도 시험용 공시체 캐핑

① 압축강도 시험시 공시체가 집중하중이나 편심하중을 받지 않도록 성형된 공시체의 상단 표면을 캐핑하여야 한다. 캐핑의 두께는 얇아야 하며, 마무리면의 평편도는 0.05mm 이내여야 한다.

② 공시체를 캐핑하는 시기는 공시체에서 몰드를 떼어내기 전에 하는 방법과 몰드를 떼어낸 후 하는 방법이 있으므로 공사현장의 사정을 감안하여 적절한 방법을 선택하여야 한다.

- 몰드를 떼어내기 전 캐핑하는 방법

- 콘크리트를 몰드에 다 채우고 나서 시멘트의 초기 응결이 끝나는 시점에 윗면의 레이턴스를 제거하고 물로 닦아낸 후 시멘트 페이스트를 넣고 압판으로 몰드 꼭대기면까지 일정하게 누른다.

- 시멘트 페이스트(물-시멘트비 27~30%, 초조강 포틀랜드 시멘트르 사용하는 경우는 34~37%)는 사용하기 2시간 전(초조강 포틀랜드 시멘트를 사용하는 경우는 1시간반 전)에 개어두고 물을 가하지 않고 다시 개어서 사용한다. 다만, 페이스트가 경화된 후에 윗면을 바르고 평활하게 연마 마무리하고자 할 경우에는 금방 갠 시멘트 페이스트를 사용하여도 좋다.
- 압판이 시멘트 페이스트에 고착되는 것을 방지하기 위하여 압판 아래면에 튼튼한 얇은 종이를 끼워야 한다.

- 몰드를 떼어낸 후 캐핑하는 방법

- 몰드를 떼어낸 후 캐핑을 하려면 황과 광물질 분말의 혼합물, 경질석고 혹은 경질 석고와 포틀랜드 시멘트의 혼합물 또는 초조강 포틀랜드 시멘트를 사용한다.
- 강도시험때까지 시간적 여유가 있는 경우는 조강 포틀랜드 시멘트 또는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 수 있으며, 3일 이상 경과시켜야 한다.

③ 캐핑 후 공시체로부터 몰드를 떼어내는 시기는 24시간 이상 48시간 이내로 하며, 이 시간 동안 공시체 윗면은 판유리, 강판 또는 젖은 천으로 덮어 수분의 증발을 방지 하여야 한다.

④ 캐핑을 하지 않을 경우 양생이 끝난 공시체로 압축강도 시험하기 전에 공시체의 끝면을 연마하여 평활하게 마무리하여야 한다.

3) 강도시험용 공시체의 양생

① 몰드를 제거한 공시체는  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도로 습윤상태(수조 안, 젖은 모래 안, 포화습기 중)에서 강도시험을 할 때 까지 양생하여야 한다.

② 습윤상태 유지를 위해 사용하는 물은 깨끗한 물이어야 한다.

③ 현장에서 만든 공시체를 양생실로 운반하고자 할 경우 운반도중의 진동이나 고온 등에 의해 공시체에 손상이 발생하지 않는 범위내에서 빨리 옮겨야 한다.

④ 설계서나 제반 기준에 별도로 지정되지 않은 경우 재령 28일을 기준으로 양생하며, 재령이 별도로 지정된 경우 그에 따른다.



#### 4) 양생 완료 공시체의 강도시험

- ① 강도시험은 KS F 2405에 의하여 실시한다.
- ② 시험공시체의 재령은 28일의 것을 사용하나, 재령이 별도로 별도로 지정되어 있는 경우 지정된 재령의 공시체를 사용한다.
- ③ 압축강도는 공시체의 건조, 온도 상태에 따라 강도변화가 있으므로 양생을 마친 직 후의 상태에서 시험을 실시하여야 한다.
- ④ 압축강도시험은 공시체에 충격을 주지 않도록 일정한 속도로 하중을 가하여야 하며, 하중을 가하는 속도는 원칙적으로 압축응력도의 증가가 매초  $0.2 \sim 0.3 \text{N/mm}^2$  { $2 \sim 3 \text{kg/cm}^2$ }가 되도록 하여야 한다.
- ⑤ 압축강도는 유효숫자 3자리로 끝맺음 하며, 결과표시는 소수점 1자리를 0으로 하여  $\text{N/mm}^2$  으로 표시한다

#### 라. 슬럼프 시험

- 1) 슬럼프시험은 KS F 2402에 따라 실시한다.
- 2) 슬럼프 콘을 젖은 걸레로 닦은 후 평평하고 습한 비흡수성의 단단한 평판위에 놓고 콘크리트를 채워 넣을 동안, 두 개의 발판을 움직이지 않도록 잘 밟아 고 정시켜야 한다.
- 3) 시료는 슬럼프 콘 용적의 약 1/3씩(바닥에서 7, 16, 30 cm) 되도록 채우며, 각 층을 다짐대로 각 25회씩 아래층을 약간 관입할 정도로 끌고루 다진다.
- 4) 다지고 난 후 콘을 수직으로 벗기고, 벗기는 시간은 약 5초 정도로 끝내야 하며, 콘 채우기부터 벗길 때까지의 전 작업은 2분 30초 내로 끝내야 한다.
- 5) 슬럼프의 측정은 0.5cm 정밀도로 측정하여 cm 단위로 표시하며, 슬럼프 시험이 끝난즉시 콘크리트의 측면을 다짐대로 가볍게 두들겨서 콘크리트의 워커빌리티를 판단 할 수 있다.

#### 마. 공기량 시험

- 1) 공기량 시험은 다음의 방법에 따라 실시할 수 있다.
  - ① KSF 2421 : 굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법  
(공기실 압력방법)

② KSF 2409 : 굳지않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량 시험방법  
(중량방법)

③ KSF 2449 : 굳지않은 콘크리트의 용적에 의한 공기량 시험방법(용적방법)

2) KSF 2421(굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법)은 다음과 같이 실시한다.

3) 이 시험법은 최대치수 50mm 이하의 보통골재를 사용한 굳지 않은 콘크리트에 대하여 적용하며, 인공경량골재 및 다공질 골재를 사용한 굳지않은 콘크리트에 대하여는 적당하지 않다.

- ① 공기량 측정에 앞서 용기의 검정, 초기압력의 결정, 공기량 눈금의 검정등을 실시한다.
- ② 시료를 약 1/3까지 넣고 고른 후, 용기의 바닥이 튀어나오지 않도록 다짐봉으로 25회 균등하게 다진다. 콘크리트의 표면에 큰 거품이 보이지 않도록 하기 위하여 옆면을 10~15회 나무망치로 두드린다.
- ③ 바닥층과 마찬가지로 중간층과 맨 꼭대기층에 대하여 똑같은 조작을 반복한다.
- ④ 진동기로 다질 경우는 KS F 2409의 4.2에 준하여 한다.
- ⑤ 용기의 플랜지 윗면과 뚜껑의 플랜지 아랫면을 완전히 닦은 후, 뚜껑의 안팎을 공기가 통하도록 하여 가만히 뚜껑을 엮어 공기가 새지 않도록 잠근 후 뚜껑의 안쪽과 수면사이의 공기가 다 빠져나갈 때까지 물을 넣는다.
- ⑥ 공기실 내의 기압을 초기 압력에 일치시키고 약 5초가 지난 후, 작동밸브를 충분히 연 다음 용기의 옆면을 나무망치로 두드린다.
- ⑦ 다시, 작동밸브를 충분히 연 다음, 지침이 안정되고 나서 압력계의 공기량 눈금을 읽는다.
- ⑧ 눈금은 소수점 이하 1자리로 읽고, 그 눈금을 콘크리트의 겉보기 공기량으로 한다. 콘크리트의 공기량은 겉보기 공기량에서 골재의 수정계수를 뺀 값을 달하며 골재의 수정계수는 KS F2421 6. 에 의하여 구한다. 다만, 골재의 수정계수가 0.1% 이하인 경우는 생략해도 좋다.

바. 염화물 함유량 시험

- 1) 콘크리트에 포함된 염화물 함유량은 굳지않은 콘크리트에서 채취한 물의 염소이온 농도와 배합설계에 사용된 단위수량을 곱하여 구한다.
- 2) 굳지않은 콘크리트중 물의 염소이온 농도 시험은 KSF 4009 부속서 1에 따른다. 다만, 이온전극법에 의한 염소이온 농도로부터 염화물 함유량을 검사할 경우 정밀도가 확인된 염분함유량 측정기를 사용할 수 있다.
- 3) 이온전극법을 이용하는 염분함유량 측정기를 사용할 경우 다음과 같이 측정한다.
  - ① 전극을 검교정한 후 측정모드를 생 콘크리트 모드로 맞춘다.
  - ② 굳지않은 콘크리트를 KS F 2401(굳지않은 콘크리트의 시료채취 방법)에 따라 약3L를 채취하여 녹이 슬지 않는 원통형 용기(대략,  $\Phi$  20× H 15 cm 정도)에 넣고 진동을 가하여 블리딩물이 윗 표면에 올라오도록 촉진시킨 후 측정 전극이 들어갈 수 있도록 콘크리트 표면에 약 3cm 깊이로 웅덩이를 만든다.
  - ③ 검교정과 시료의 준비가 끝난 후 전극을 증류수로 세척하여 물기를 제거한 후 시료에 담그고 염화물 함유량을 측정한다.
  - ④ 시험결과는 2 반복 시험한 값의 평균치를 소수점이하 2자리까지 반올림한 값으로 한다.

사. 품질판정

- 1) 레미콘 품질의 합격여부 판정은 매 회당 실시한다.
- 2) 레미콘 품질의 합격여부는 다.~ 바. 까지의 시험결과로부터 <표8>의 레미콘 품질판단치를 구한 다음, <표8>의 합격판정기준과 비교하여 판정한다.
- 3) 압축강도 시험결과 불합격으로 판정될 경우 해당 레미콘을 사용하여 시공한 구조물은 철거하고 재 시공하는 것을 원칙으로 한다.
- 4) 슬럼프, 공기량 및 염화물 함유량 시험결과 합격판정기준에 미달될 경우 해당 레미콘은 즉시 현장에서 반출토록 조치하여야 한다.

<표8> 레미콘의 품질검사 기준

시험종목	레미콘 품질판단치	합격판정 기준
압축강도	1조(3개) 평균치 3조(9개) 평균치	각 조의 평균치는 호칭강도의 85% 이상일 것 3조의 평균치는 호칭강도 값 이상일 것
슬럼프	2 반복시험 평균치	2 반복시험 평균치가 지정치 이상일 것
공기량	2 반복시험 평균치	2 반복시험 평균치가 지정치 이상일 것
염화물 함유량	2 반복시험 평균치	2 반복시험 평균치가 지정치 이상일 것

5. 기타사항

필요한 산업규격(KS)은 <http://standard.ksa.or.kr> 에서 PDF본(Acrobat Reader필요) 을 다운로드하여 보거나, 인쇄본을 주문 구입하여 볼 수 있음

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.