

농수로 구조물의 내구성 저하 요인

Deterioration Factors of Agricultural Hydraulic Structures

조 성 현* 김 진 만** 김 기 동**
Joe, Sung-Hyun Kim, Jin-Man Kim, Kee-Dong
고 만 기** 김 중 옥***
Ko, Man-Gi Kim, Jong-Ok

Abstract

Deterioration of agricultural hydraulic structures(AHS), which are under harsh environmental conditions, is more severe than other ordinary structures. To investigate the deterioration factors of AHS, various physical and chemical analyses are performed. The porosity of AHS increases more rapidly than ordinary structures because they are subject to frequent water permeation and water-soluble materials are easily emitted to surface area. Thus, AHS are tend to be damaged by freezing and thawing more easily due to the increase of water containment inside concrete.

1. 서론

농업용 수로구조물은 농산물의 생산에 있어 중요한 역할을 수행하고 있는 구조물로 대부분 콘크리트로 구성되어 있다. 농수로 구조물은 제방 및 농로교를 제외하고 대부분 지반 위에 놓여 있어 구조적 손상이 있을 경우에도 직접적인 인명피해를 주지 않는 특징을 갖고 있으며, 구조물이 매우 방대한 지역에 분포하고 있어 적절한 유지관리를 위하여 인력 및 비용이 많이 소요되기 때문에 유지관리의 사각지대로 남아있는 실정이다.

농수로구조물은 항상 유수에 의한 물리적 힘을 받는 환경에 놓여 있고 일사, 풍우, 기온 등에 노출되어 있기 때문에 일반 구조물에 비하여 좀 더 가혹한 환경에 놓여 있음에도 불구하고 유지관리의 부재로 인하여 농수로구조물의 성능저하는 매우 심각한 상황에 이르고 있다. 현재 대부분의 농수로구조물은 내구년한에 도달하기 훨씬 이전부터 구조물의 본질적 역할인 물의 이동통로로서의 기능을 적절히 수행하지 못하고 있으며, 이는 매년 막대한 양의 수자원을 유실시키는 결과를 초래하고 있다.

본 연구에서는 농수로구조물의 하나인 수로교를 대상으로 성능저하의 현상을 파악하고 각종 물리, 화학적인 분석을 통하여 성능저하의 원인을 규명함으로써 농수로 구조물의 성능 저하의 방지 및 성능회복을 위한 방안을 제안하고자 한다

* 정회원, 공주대학교 방재연구센터 연구원

** 정회원, 공주대학교 건설환경건축공학부 조교수, 공학박사

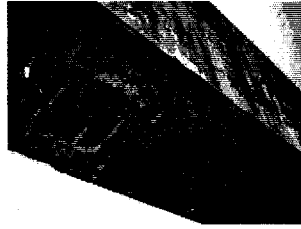
*** 공주대학교, 농공학부 교수, 공학박사

2. 진단 대상 구조물의 현황

본 연구의 진단 대상 구조물은 1982년 11월에 완공되어 약 17년간 사용되어온 농수로교 구조물로서 현재 사진 1과 같이 조인트의 누수로 인한 교각부의 박리·박락, 슬라브 하면의 철근부식과 균열, 슬라브 측면의 백화 등 다양한 성능저하 현상을 보이고 있다.



(a) 교각부의 박리·박락



(b) 슬라브 하면의 철근부식



(c) 슬라브 측면의 백화

사진 1. 조사대상 농수로교의 성능저하 현황

3. 진단계획 및 방법

진단 플로우를 나타내고 있는 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 농수로교의 성능저하 원인을 검토하기 위하여 물리적 성능검토와 화학분석 및 조직분석을 실시하였다. 물리적 성능검토에서는 육안조사, 반발도에 의한 압축강도 추정, 코아 압축강도, 중성화 깊이 측정, 피복두께 측정 등을 실시하였고, 화학분석 및 조직분석에는 X-ray 회절 분석, 열중량 분석, SEM 촬영, 수은압입법을 수행하였다.

4. 진단결과 및 분석

4.1 육안조사

사진 1에서 알 수 있는 바와 같이 교각부에서는 주로 누수시 동해에 의한 것으로 추정되는 균열로 인하여 교각부가 깊게는 5cm 정도 박락 되는 등 많은 부위에서 철근 노출이 관찰되었다.

슬라브 하면에서는 피복두께 부족으로 인한 철근 노출과 누수에 의해 용출된 탄산칼슘 고드름 및 골재분리 현상이 많은 부위에서 관찰되었으며, 슬라브와 측벽의 조인트 부위에서는 많은 양의 칼드조인트와 다량의 균열 및 박락과 백화현상이 많은 곳에서 관찰되었다.

4.2 압축강도 조사

표 1은 반발도에 의한 추정 압축강도와 코아 압축강도의 결과를 중성화 깊이의 측정 결과와 함께

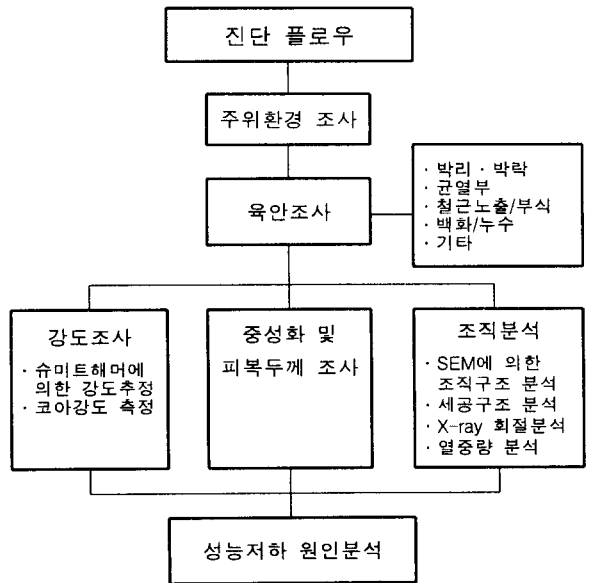


그림 1. 성능저하 원인분석을 위한 진단 플로우

나타낸 것이며, 그림 2는 반발도에 의한 주요 부재별 압축강도를 추정한 결과이다.

그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 슬라브 측면, 기둥, 슬라브 하면 순으로 압축강도가 낮게 추정되었으며, 추정강도는 대체로 설계강도인 210kgf/cm² 이상을 보이고 있다.

그러나 P10, P12, P14의 교각을 대상으로 코아 압축강도를 조사한 결과 P12, P14의 압축강도는 설계강도보다 낮게 나타나고 있는데, 이의 원인은 코아 공시체의 내부의 골재분리에 기인하는 것으로 사료된다. 이러한 골재분리가 슬라브 하 면에서도 여러 곳이 관찰된 점을 고려하면, 시공시 상당히 묽은 비법의 콘크리트를 사용한 것으로 추정된다.

4.3 중성화 및 피복두께 조사

그림 3 및 4는 기둥과 슬라브의 건전부위를 대상으로 한 중성화 및 철근 피복두께의 측정결과이다.

중성화 깊이는 35mm로 나타난 것도 있으나 대체적으로 5~20mm의 범위로 나타났으며, 철근에 대한 피복두께는 50mm 이상의 것도 있으나 대체적으로 20~40mm 사이에 분포하고 있어 시공시 충분한 피복두께를 확보하지 않았음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 슬라브 하 면에서 심하게 나타나고 있다.

4.4 조직분석

표 2는 수은압입법에 의한 공극 구조 분석과 TGA에 의한 열중량 분석의 결과를 나타낸 것으로 건전부위에 대비하여 중성화 된 부위는 낮은 기공율을, 성능저하부위는 높은 기공율을 보이고 있다. 이는 성능저하부위의 경우 수분의 이동에 의해 많은 양의 수용성물질이 구조체 밖으로 용출되었기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 또한 열중량 분석의 결과는 예상한 바와 같이 중성화부위와 성능저하부위에서 탄산칼슘의 양이 증가하고 있는 것으로 나타났다.

사진 2는 건전한 부위와 동해에 의해 성능저하가 생긴 것으로 판단되는 박리·박락부위의 SEM촬영 결과이다. 건전부위는 CSH가 잘 발달

표 1. 코아강도와 추정강도의 비교 및 중성화 측정결과

구분	반발도				압축강도 (kgf/cm ²)			중성화 깊이 (mm)
	평균 (R)	보정 (△R)	타격 각도 (α)	재령 계수 (αn)	추정 강도	코아 강도	설계 강도	
P10	41				220	223		21.8
P12	42	0	0°	0.63	231	174	210	35.7
P14	44				243	178		29.1

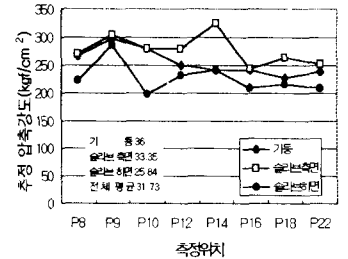


그림 2 반발도에 의한 압축 강도 추정결과

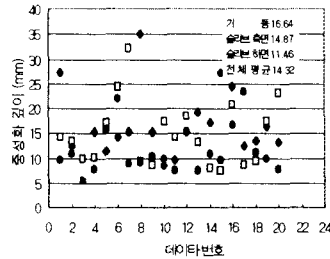


그림 3. 중성화 깊이 측정결과 (범례는 그림2와 동일)

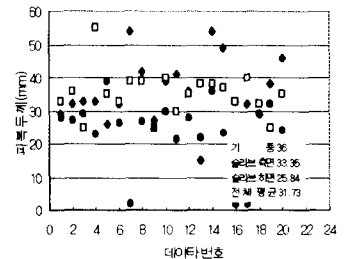


그림 4. 피복두께 측정결과 (범례는 그림2와 동일)

표 2. 기공율 및 열중량 분석 결과

시 료	기공율 측정 결과			열중량 분석결과	
	수은 침입량 (ml/g)	기공 면적 (m ² /g)	기공 평균직경 (μm)	Ca(OH) ₂ (%)	CaCO ₃ (%)
건전부위	0.1238	20.159	0.0246	3.29	4.55
중성화 부위	0.1115	14.538	0.0307	0.82	10.23
성능저하 부위	0.1559	29.410	0.0212	0	6.36

되어 치밀한 조직을 형성하고 있으나 박리·박락에 의해 성능이 저하된 부위에서는 부분적으로 수용성 물질의 용출에 의한 다공성을 나타내고 있다.

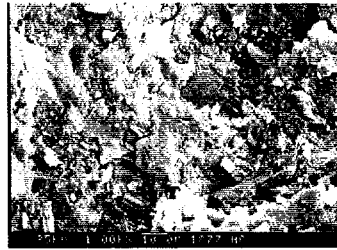
수은압입법에 의한 공극구조 분석 결과와 SEM 사진의 결과를 보면, 성능저하부위의 경우 다공성을 나타내고 있어 수분에 의한 동결융해의 피해를 크게 입을 가능성이 높은 것으로 사료된다.

그림 7은 X-ray 분석결과를 나타낸 것으로 점토질의 Muscovite가 모든 부위에서 나타나 시공시 콘크리트에 다량의 점토가 유입된 것으로 추정된다. 또한, 건전한 부위에 비교하여 중성화 부위와 성능저하 부위에서는 Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 피크점이 매우 미약하고, Calcite(CaCO_3)의 피크점도 높지 않은 것으로 나타나고 있는데, 이는 Portlandite가 Calcite로 전이된 후 수분에 용해되어 구조체 밖으로 용출되었기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

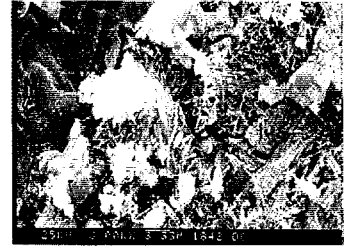
5. 결론

농수로구조물에 대한 성능저하 현상과 성능저하원인을 분석한 결과 농수로구조물의 내구성능 저하의 주요원인을 시공적인 측면과 사용환경적인 측면에서 분석하면 다음과 같다.

- 1) 시공시 철근에 대한 피복두께를 충분히 확보하지 않았으며, 콘크리트에 많은 양의 점토를 함유한 상태에서 묽은 비빔 콘크리트로 시공함으로써 재료분리가 야기되어 구조체 콘크리트의 내구성이 크게 손상된 것으로 사료된다.
- 2) 농수로구조물의 특성상 다른 구조물에 비하여 물의 침투가 빈번하여 구조체의 수용성 물질이 외부로 용이하게 용출됨으로 구조체의 다공화가 촉진된 것으로 사료된다.
- 3) 수용성 물질의 용출에 의해 생긴 공극 속에 상대적으로 많은 양의 수분을 함유하여 동절기에 동결융해에 의한 피해를 크게 받기 때문에 구조체의 균열 및 박리가 심화된 것으로 사료된다.



(a) 건전부위



(b) 성능저하부위

사진 2. SEM 사진

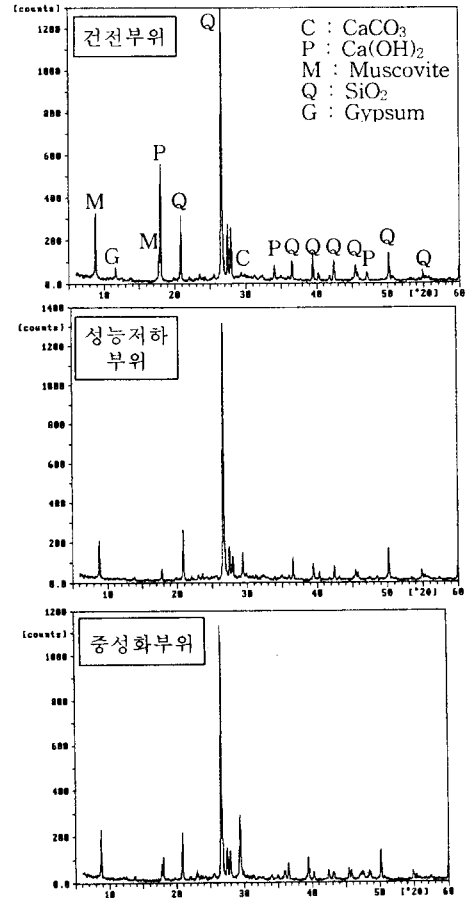


그림 5. X-ray 분석결과

參 考 文 獻

- 1) 石橋忠良外2人, 經年RC構造物よりみた耐久性設計について、コンクリート構造物の殘命豫測と耐久設計に関するシンポジウム、日本コンクリート工學協會, 1988, ppl~6
- 2) 長谷川壽夫, 藤原忠司; 콘크리트構造物의 耐久性 시리즈 凍害, 技報堂出版社, 1988