

# 철근콘크리트 복개구조물의 내구성 평가

## Evaluation on the Durability of RC Structure Covered Creek for Road Vehicle

문 한 영\*      김 성 수\*\*      김 홍 삼\*\*\*      안 기 용\*\*\*\*  
Moon, Han Young      Kim, Seong Soo      Kim, Hong Sam      Ann, Ki Yong

### ABSTRACT

Reinforced concrete structures covered creek for road vehicle located in urban areas have been experiencing corrosion of concrete and reinforcing steel caused by  $H_2S$  gases generated by anaerobic bacteria.  $H_2S$  gases react with oxygen and water to form sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ). This acid chemically attacks concrete, and sulfate ions penetrate into the concrete, causing rebar corrosion.

In this work, to determine the conditions of RC culvert boxes which were constructed in the 1970s, various tests were conducted, including carbonation depth, compressive strength, half-cell potential measurements, and XRD analyses.

Results indicated that the concrete deterioration was caused by sulfate attack and rebar corrosion. This paper discusses the evaluation on the durability of reinforced concrete structures covered creek for road vehicle.

### 1. 서 론

일반적으로 철근콘크리트 하수박스에는 가정, 식당, 사무실 및 공장에서 배출되는 오, 폐수(汚, 廢水) 중에 포함되어 있는 황을 포함한 물질이 혐기성 박테리아의 작용으로 인하여 황화수소( $H_2S$ ) 및 각종 유해 가스가 발생된다. 이들 가운데 황화수소 가스는 하수박스 내의 산소 및 수분과 반응하여 콘크리트 표면에 황산이 생성됨으로써 콘크리트가 화학적 침식을 받게 되며, 콘크리트 중에 침투, 확산된  $SO_4^{2-}$  이온은 철근의 부동태피막을 파괴함으로써 철근의 부식을 유발한다고 알려져 있다.

본 연구에서는 1958~1979년에 걸쳐 건설된 라멘조 철근콘크리트 복개구조물의 내구성을 평가하기 위하여 복개구조물의 일부구간을 대상으로 중성화 깊이, 비파괴 강도 및 자연전위를 측정하였으며, 현장에서 채취한 코어 시험체를 대상으로 코어강도를 측정하였다. 또한 열화된 콘크리트 부위에서 채취한 시료에 대해 XRD분석을 실시하여 철근콘크리트 복개구조물의 열화원인에 대하여 고찰하였다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 대진대학교 토목공학과 조교수

\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

## 2. 구조물의 제원 및 측정

(1) 구조물의 제원 : 조사대상 복개구조물은 1979년에 준공된 라멘조 철근콘크리트 구조물 가운데 중앙구간(폭 29,7m, 길이 24m)과 종점구간(폭 72m, 길이 34m)을 대상으로 하였으며, 단면도는 그림 1과 같다.

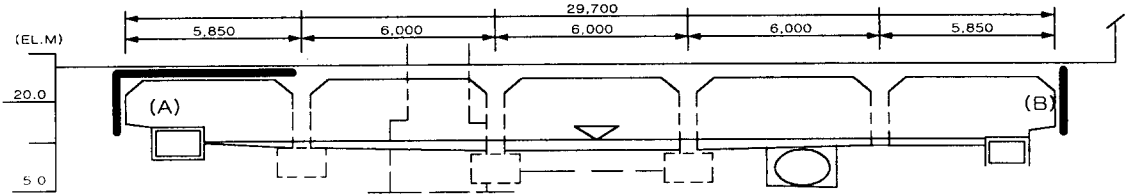


그림 1. 복개 구조물의 단면도 ( ■ : 전위측정구간, 단위 : m )

(2) 외관조사 및 코어 채취 : 조사대상 구간의 현황을 파악하기 위하여 콘크리트의 균열상태, 철근의 노출 및 부식상태를 조사하였으며, 철근의 부식정도에 따라 I, II, III, IV, V의 5등급으로 구분하였다. 또한, 습식 드릴을 사용하여  $\varnothing 7 \times 15\text{cm}$  정도의 코어 시험편을 채취하였다.

(3) 중성화 깊이 측정 : 현장 콘크리트 구조물의 중성화 깊이를 측정하기 위하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 콘크리트 표면에서부터 변색되지 않은 부분을 중성화 깊이로 나타내었다.

(4) 콘크리트 중의 철근 자연전위측정 : ASTM C 876에 의하여 고압력저항의 전위차계와 포화황산 동 전극을 이용하여 콘크리트 중의 철근의 자연전위를 측정하였다.

(5) X-ray 회절분석 : 콘크리트의 박편을 부위별로 채취하여 X선 회절분석(측정조건 : CuK(Ni Filter) : 30kV, 20mA, Scanning Speed :  $6^\circ/\text{min}$ , Full scale : 2000cps,  $2\theta : 5 \sim 60^\circ$ )을 실시하였다.

## 3. 현장조사 및 실내시험 측정결과

복개구조물 내부의 기둥, 벽체 및 슬래브 하면에 대한 현장조사 결과, 콘크리트는 부분적으로 탈락 내지는 표면열화가 진행된 상태였으며, 특히 기둥부위의 경우 전반적으로 표면이 흰색으로 변색되어 가장 심한 열화상태를 나타내고 있음을 확인 할 수 있었다. 복개구조물의 조사대상 구간에서의 콘크리트의 품질 및 철근의 부식상태를 평가한 결과는 표 1과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 콘크리트 표면의 열화가 심하게 진행된 부위의 비파괴 압축강도는  $107\text{kg/cm}^2$ , 건전부위는  $189 \sim 191\text{kg/cm}^2$ 였으며, 코아강도는  $198 \sim 274\text{kg/cm}^2$  정도의 범위로 조사되었다.

표 1. 복개구조물의 철근부식 상태 및 시험결과

구간 \ 항목	부 위	철 근의 부식상태*	비파괴강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )**	코아강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	중성화 (mm)	덮 개 (mm)
중 앙	벽 체	III	189	207	5	56
	슬래브	III	-	274	5	28
중 점	벽 체	II	191	198	5	59
	슬래브	III	-	-	5	25
	기 둥	IV	233(107)	-	30	25

\* II: 구조물의 표면에 약간의 녹 발생, III: 구조물에 철근 부식으로 인한 균열이 발생되고 철근표면에 얇은 흰 녹이 광범위하게 발생, IV: 구조물 전체에 팽창성의 녹이 발생하였으나 콘크리트의 탈락이나 단면손상이 비교적 적은 상태

\*\* 슈미트해머에 의한 값, ( )안은 열화부위의 비파괴 강도의 평균값.

#### 4. 콘크리트 열화의 원인에 대한 고찰

일반적으로 콘크리트 구조물의 열화의 원인을 분류하면, 구조의 부적절, 계산의 착오내지 오류 등에 의한 설계요인과 콘크리트 품질불량, 부적절한 재료의 사용 등의 시공요인 및 하중의 증가, 화학작용 등의 외적조건의 변화 3가지로 크게 분류할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 외적 요인과 관련한 콘크리트의 열화를 중심으로 고찰하기 위하여 대상 콘크리트의 각 부위에서 채취한 콘크리트 분말시료에 대한 XRD분석 결과를 그림 2에 나타내었다.

코어시험체의 건전부위에서 채취한 분말시료(Sound conc.)의 경우, 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘(Portlandite)과 골재에서 기인되는 석영(Quartz) 및 장석(Feldspar)의 피크를 확인할 수 있었다. 한편, 벽체와 슬래브의 경우, 건전한 콘크리트에 비해 수산화칼슘이 적게 검출된 반면 탄산칼슘(Calcite)이 생성되어 있으며, 에트링가이트(Ettringite)로 추정되는 피크도 확인되었다. 반면 중성화가 약 30mm 정도로 진행된 종점부의 기둥부위에서 채취한 시료에서는 수산화칼슘의 피크는 거의 찾아볼수 없으며 다량의 탄산칼슘의 피크가 검출되었다.

콘크리트의 열화부위에서 확인된 탄산칼슘은 주로 콘크리트 내부로 침투한 CO<sub>2</sub>와 시멘트의 수화 생성물인 수산화칼슘의 반응으로 나타난 것으로 추정된다. 또한 에트링가이트는 황산과 시멘트 중의 C<sub>3</sub>A나 그 수화물과 반응하여 생성되는 것으로 알려져 있다.

이와 같은 콘크리트의 열화현상은 종점부의 기둥부위가 가장 심하였으며, 슬래브, 벽체 순으로 조사되었다.

위의 열화현상의 평가결과를 토대로 콘크리트의 열화원인을 고찰하면, 기둥의 경우 높은 CO<sub>2</sub> 농도와 적절한 습도에 의한 중성화와 하천수에 직접 접하는 부위에서의 산에 의한 침식이며, 슬래브 및 벽체의 경우는 오수 및 하수 중의 혐기성 박테리아의 분해작용에 의해 생성되는 H<sub>2</sub>S가스가 구조물 내부에 존재하는 산소 및 수분과 결합하여 콘크리트 표면에 형성된 황산에 의한 침식으로 추정되며, 이들의 반응 메카니즘은 다음과 같다.

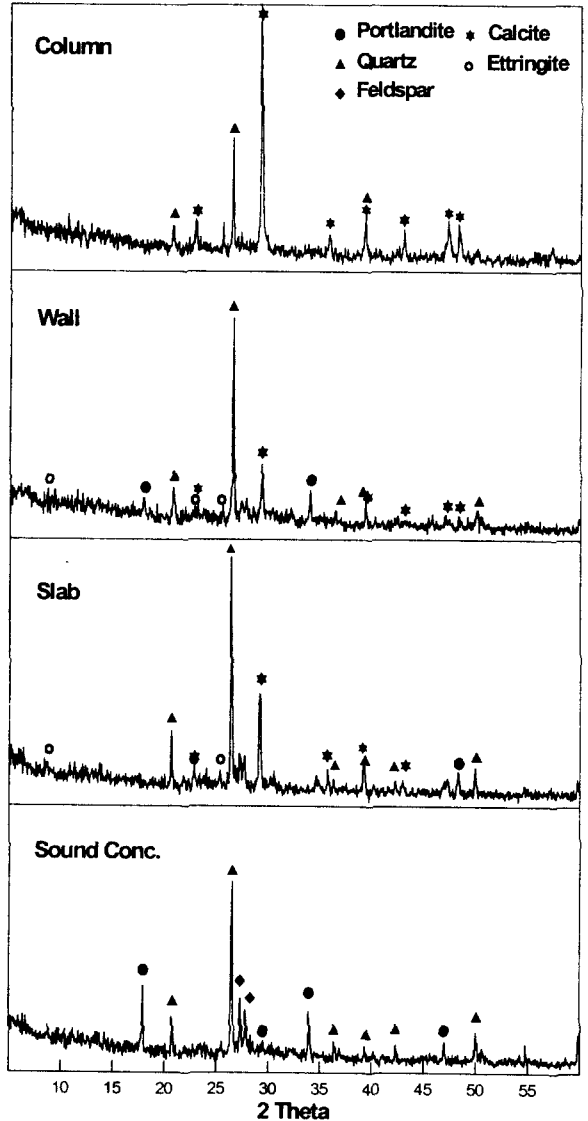
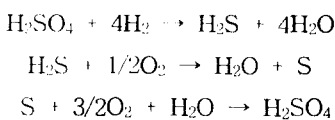


그림 2. 콘크리트의 열화 부위별 X-ray 회절 패턴

## 5. 철근부식 정도에 대한 평가

복개구조물의 조사대상 구간에서의 철근부식 상태를 현장에서 조사, 평가한 결과는 표 1과 같으며, 이 표에서 알 수 있듯이 중앙구간에서의 철근 부식상태는 전반적으로 III 등급이었으며, 종점구간은 II~IV등급에 해당되었으며, 특히 IV 등급인 기둥의 경우, 스테럽 철근의 부식팽창으로 덮개가 탈락된 부위가 여러 곳에서 발견되었다.

그래서, 종점구간 중의 일부 부위(22×24m) 콘크리트 중의 철근부식 정도를 평가하기 위하여 실시한 자연전위 측정결과를 등전위선도로 나타낸 것이 그림 3이다. 이 그림에서 좌, 우측의 시공이음부에서의 철근부식이 가장 심한 것을 알 수 있으며, 철근부식은 그림의 하단부 벽체보다는 윗쪽의 슬래브에서 심한 것으로 조사되었다. 이때 등전위선도에 의한 철근의 부식정도과 육안조사에 의한 부식상태는 대체로 잘 일치함을 확인 할 수 있었다. 그러나, 일부 부위에서 덮개 콘크리트를 제거한 후 철근을 노출시켜 부식정도를 육안으로 확인한 결과, 철근의 부식이 불확실한 영역인 -250 ~ -270mV의 전위를 나타낸 부위에서도 철근표면에 녹이 생성되어 있음을 확인하였다.

조사대상 구조물 중의 철근부식 원인을 종합 평가해 보면, 콘크리트의 덮개 부족과 덮개 콘크리트의 화학적 침식 및 중성화에 의해 철근의 부동태 피막이 파괴되어 부식된 경우와 덮개 콘크리트의 탈락으로 인하여 노출된 철근이 유해가스, 습기, 산소 등의 영향으로 인하여 부식이 심화된 것으로 생각된다.

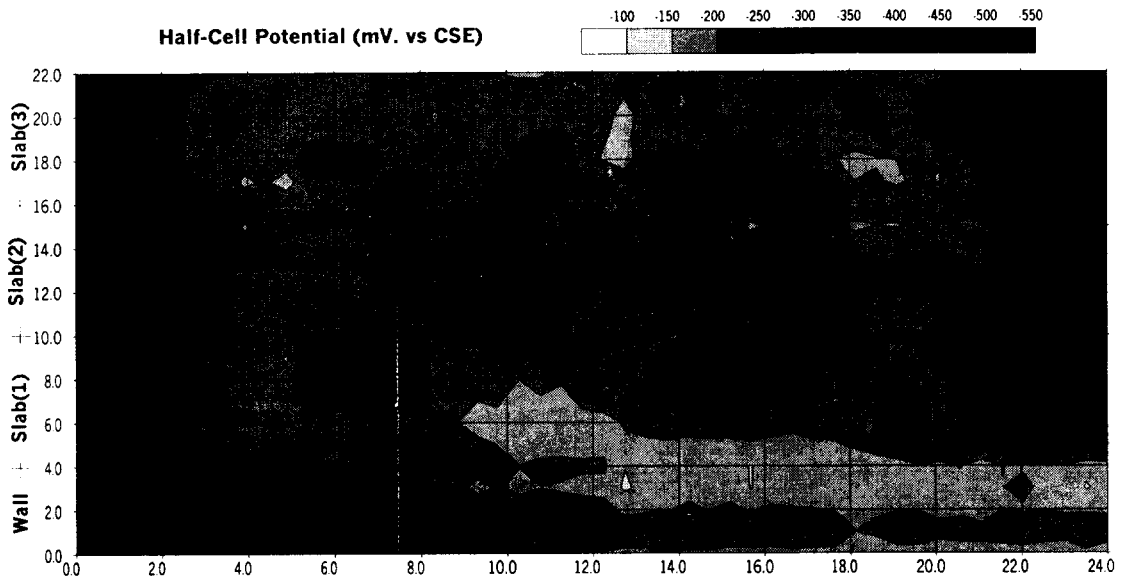


그림 3. 종점구간의 등전위선도

## 6. 결 론

- (1) 콘크리트의 열화원인은 오·폐수 중의 산과 혐기성 박테리아에 의해 발생된 황화수소가스와  $SO_4^{2-}$  이온에 의한 화학적 침식 및 중성화로 생각되며, 열화의 정도는 하수에 직접 접하는 기둥부위가 가장 심하였으며, 슬래브 하면, 벽체 순으로 나타났다.
- (2) 콘크리트 중의 철근부식의 원인은 콘크리트의 덮개 부족, 덮개 콘크리트의 화학적 침식 및 중성화에 의한 철근의 부동태피막의 파괴로 추정되며, 특히, 덮개 콘크리트의 탈락으로 인하여 노출된 철근이 유해가스, 습기 및 산소 등의 영향으로 철근의 부식이 심화된 것으로 생각된다.