

수로교 손상 메커니즘 분석에 의한 보수설계 방법

Method of Repair Design by Analysis of Damage
Mechanism of Elevated Aquaduct

이 수 곤* 변 항 용** 송 창 영***
Lee, Soo-Gon Byun, Hang-Yong Song, Chang-Young

Abstract

In elevated irrigation aquaducts, one can observe a common damage pattern. That is, cracks, and crushing of concrete are usually repeated at a certain interval even if no faults are found in the design and construction of the structures. To investigate the causes of this damage, longitudinal deformations of several aquaducts have been measured. The analysis of the measured data suggests that the damages are mainly caused by cumulative repetition of extension and contraction due to temperature changes.

요 지

우리나라의 수로교는 구조검토결과 내력부족이 없고 시공결함이 없으며, 사용된 재료나 기술 및 시공된 후의 환경상태 등 모든 조건이 동일함에도 균열, 붕괴 등 구조안전을 위협하는 하자가 대부분 일정간격으로 반복되고 있다. 하자 보수 후 재 손상의 발생은 물론 보수 전 양호하였던 인접교각에까지 손상이 확대되어 감은 물론 보수를 하지 않고 장기간 방치된 경우에도 손상은 확대되었다. 또한 철거 후 재시공한 곳에서도 손상이 반복되는 양상을 보였다. 철근콘크리트 수로교가 불과 수년경과 후 발생될 수밖에 없었던 손상은 구조적인 결함 때문이 아니라 받침장치의 부식 및 신축유격의 부족 등 기능장치의 결함으로 「대기온도변화에 의한 수로의 길이방향 신·축 변형의 누적」이라는 손상 메커니즘의 결과 때문이었다. 따라서 원인과는 무관한 통상적인 방법을 이루어진 보수는 재 손상이나 이의 확산은 필연적이므로 손상 메커니즘이 형성되지 않도록 설계 및 시공되어야 수로교의 안전 및 내구성 확보가 가능하게 된다.

Keywords : Elevated aquaduct, cumulated damage, temperature changes, damage mechanism

핵심 용어 : 수로교, 누적 손상, 온도변화, 손상메커니즘

* 정회원, (주)한국구조물안전원이사장, 공학박사, 기술사

** 정회원, (주)고려E&C 대표, 기술사

*** 정회원, (주)한국구조물안전원 대표, 공학박사

E-mail : krenc@hanmail.net 011-601-0640

•본 논문에 대한 토의를 2005년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2005년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트구조물의 중성화가 문제되는 것은 알칼리 상태에 있는 콘크리트에 매입된 철근은 부식되지 않으나 콘크리트가 중성화 상태로 되면 철근이 부식되기 때문이다. 또한 콘크리트의 내구성은 Fig. 1과 같이 피복두께 및 콘크리트의 물·시멘트 비(W/C)에 따라 차이가 있으나 4cm피복, W/C=65%인 경우 내구성은 약120년인 것으로 추정할 수 있다.

그러나 현재 수로교 구조물은 대부분 1970년대 이후에 건설되어 15~30년밖에 경과하지 않았음에도 불구하고 현재의 공통적 상황은 신축이음에서의 누수, 교각 보 측면중앙 또는 받침장치 앵커위치에서의 균열과 철판 받침장치의 거의 예외 없는 부식이다. 일정구간마다 양호한 상태의 교각과 구조안전을 위협하는 교각은 동시에 분포되어 있는데, 열화, 탈락, 오염 등의 상태가 특히 심한 교각의 분포율은 표본 조사결과 대략 25%에 해당하는 것으로 조사되었다. 그러나 일반적인 철근콘크리트 구조물에서 쉽게 관찰되고 대부분을 차지하는 건조수축 등의 요인에 의한 것으로 추정되는 균열은 거의 없고, 휨 저항부족 징후 및 처짐의 현상 또한 찾아보기 어렵기 때문에 수로의 내력부족에 의한 원인으로는 판단되지 않는다.

25%에 해당하는 부분의 손상 상태는 교각 보(받침 앵커 주변)의 균열·열화·탈락이 대부분을 차지하나

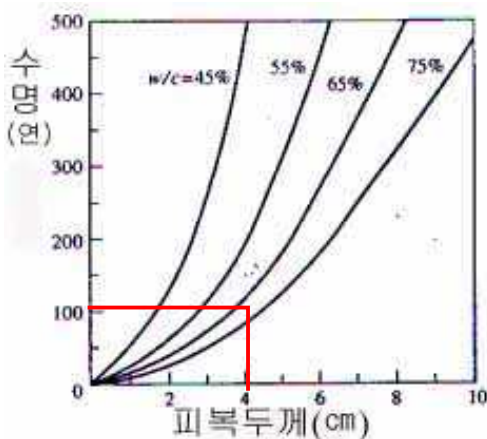


Fig. 1 콘크리트의 내구성 3

수로와 수로가 충돌되어 파손되거나, 교각의 기울음 발생, 기초가 침하되는 경우도 가끔 관찰할 수 있다. 그 밖에 피복두께, 다짐상태 불량 등 시공관리 결함에 의한 누수 시공이음 위치에서의 누수, 수로 내부 바닥의 침식 및 외부 천정면의 균열, 탈락, 부식 등의 손상상태도 있다.

수로교는 각각 독립된 일정길이의 수로와 교각이 수평, 수직 연결된 철근콘크리트구조물로 수로와 수로는 지수 기능재료인 신축이음장치에 의하여 수평 연결되고, 수로의 연직하중은 수로받침 기능장치에 의하여 아래로 전달되는 비교적 단순한 구조물이다. 또한 규모별 표준화가 용이하여 대부분 표준화된 도면에 의하여 시공되어왔다.

지금까지 전국에 시공된 수로교는 모두 사용된 재료나 기술은 물론 시공된 후의 환경상태까지 조건은 큰 차이가 없으나 균열, 붕괴 등 구조안전을 위협하는 교각은 반복 발생(≈25%)되었다. 보수 후 재 손상의 발생과 동시에 보수 전 양호하였던 인접교각으로까지 손상이 확대(≈30%)되었다. 보수를 하지 않은 채 다소장기간 방치된 경우에도 손상은 확대(≈20%)되었으며 일정 구간을 철거한 후 재시공한 곳에서도 손상이 다시 반복되는 현상은 똑같았다.(Table 4 참조)

지금까지 수로교의 분포현황 및 체계적인 조사나 연구는 이루어지지 않았으며, 일반적으로 콘크리트의 중성화 진행으로 인하여 열화·노후화 되었고, 지반 내력의 부족으로 기초 침하 또는 기울음이 발생되었으며, 내력부족으로 교각 보(coping)에 균열이 발생된 것이라고 간단하게 결론 내려져 왔을 뿐이었다.

그러나 수로교는 흔히 거론되는 대기오염, 오랜 시간의 경과, 산성비, 해사 사용, 염해 작용 등에 의하여 열화 되고 균열·붕괴 등의 사고가 발생 된 것이 아니라, 「온도가 변화하면 콘크리트의 길이도 변화 한다」는 지극히 간단한 원리로 손상 메커니즘이 형성되었기 때문이었으나 이런 원리가 무시되고 간과되어 왔기 때문에 구조내력 부족이나 시공과정에서의 결함이 없더라도 수로교에는 손상이 발생될 수밖에 없었고 보수 후에도 재 손상 및 손상의 확대를 가져왔다.

일반적인 RC구조물 보수보강공법은 지극히 간단한 원리에 근거하고 있고 실제 보수 설계 및 공사는 이들 원리에 따라 실시되고 있다. 그러나 앞으로는 수로교의 최초의 설계에서나 보수설계에서는 온도변화에 의

한 수로의 길이변화량을 흡수할 수 있도록 설계 및 공사되어야 한다.

2. 수로교의 구성 및 단면형상

2.1 수로교의 구성

수로교는 Fig. 2 수로교의 구성에서 보는 것처럼 관개용수를 공급하는 상부구조(수로)와 상부구조의 하중 즉 고정하중, 적재하중 및 기상하중(풍압 등) 등의 외력을 기초에 전달하는 하부구조(교각 보·기둥, 교각기초)로 구성되었으며 상부구조와 하부구조의 하중은 기초지반 또는 지정(기초파일)에 전달되어 안정상태를 유지하게 된다.

상부구조와 하부구조는 수로받침 장치를 통하여 서로 연결되고, 수로받침은 고정받침 2개와 상부구조가 대기의 온도변화로 수축 또는 팽창함에 따라 발생하는

수로 길이변화량의 수평응력이 수로받침을 통하여 직접 교각 보에 작용하지 않도록 하는 기능을 담당하는 이동받침 2개로 구성되었다. 또한 상부구조인 일정길이의 수로는 구조적으로 분리되고, 관개용수의 공급시 누수가 발생하지 않도록 신축이음재(대부분 PVC 지수판으로 시공됨)를 통하여 기능적으로 연결되었다.

위와 같이 수로교는 각각 받침장치를 통하여 독립된 구조물이 수직·수평 연결된 구조물이다.

2.2 수로교의 단면형상

현장조사결과 수로교의 단면형상은 다양한 형태를 보이고 있으나 상부구조의 인상하중에 따라 대표적인 단면형태를 편의상 아래와 같이 분류하였다.

Table 1 하중에 따른 수로 단면형상

| 유형 | 하중 (톤) | 교각 보 (W*L*H) | 수로 (W*H*L) | 수로받침 (W*L*H) |
|-----|--------|--------------|-------------|--------------|
| I | 100 | 0.9*4.1*0.6 | 3.9*2.85*16 | 0.4*0.5*30 |
| II | 80 | 0.9*3.9*0.6 | 3.7*2.7*16 | 0.4*0.4*30 |
| III | 60 | 0.8*3.1*0.6 | 2.9*2.2*14 | 0.35*0.35*25 |
| IV | 40 | 0.7*2.4*0.5 | 2.3*2.2*12 | 0.25*0.3*25 |
| V | 20 | 0.5*2.2*0.4 | 1.8*1.4*12 | 0.2*0.2*25 |
| VI | 10 | 0.5*1.4*0.5 | 1.2*1.5*12 | 0.2*0.2*20 |

※ 받침 : 철판 보강된 고탄성고무받침(KSF 4420)

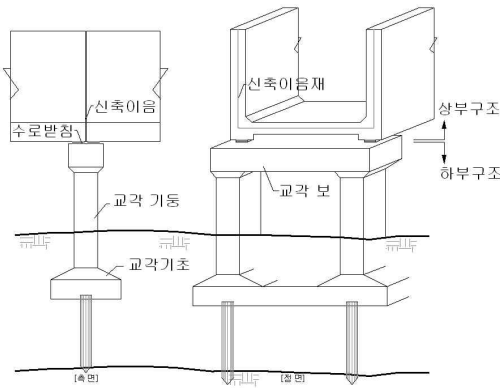


Fig. 2 수로교의 구성

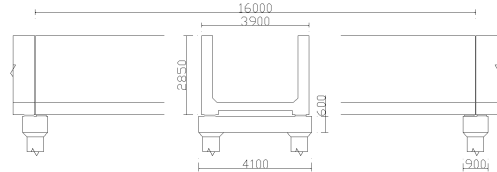


Fig. 3 유형 I 수로교 단면형상

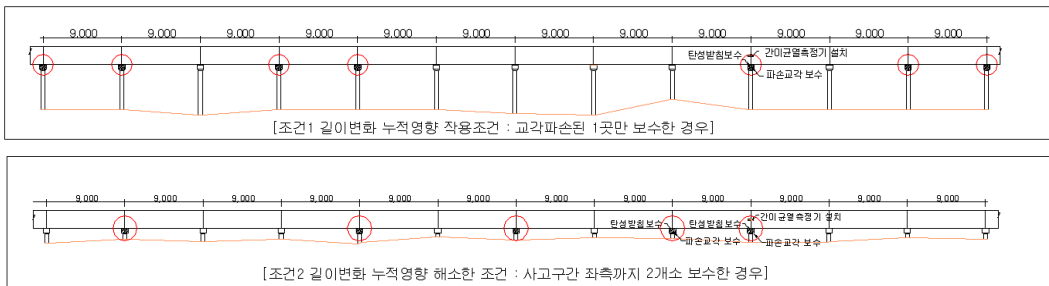
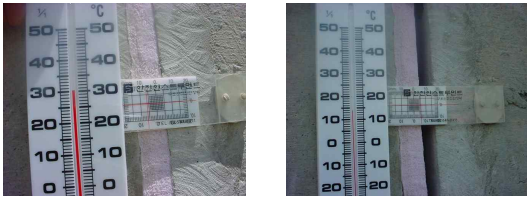


Fig. 4 간이 균열측정기 설치 수로교의 상태

3. 온도 변화에 따른 콘크리트의 길이변화

3.1 온도변화에 의한 수로교 유격변화 관찰 실험 1

온도변화에 의한 콘크리트의 선팽창계수 값은 대략 1.0×10^{-5} (1.2×10^{-5} : 철근)로 길이 10m, 10°C의 온도변화이면 1mm의 길이변화량으로 산출되나, 실제



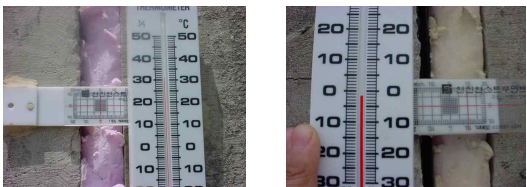
① 30°C 좌6mm'02.6.21pm01 ② 14°C 우6mm'02.6.21am05
Fig. 5 16°C 변화 시 조건1의 유격변화



③ 31°C 좌1mm'02.6.21pm02 ④ 15°C 우1mm'02.6.21am06
Fig. 6 16°C 변화 시 조건2의 유격변화



① 30°C 좌6mm'02.6.21pm01 ⑤ -3°C 우16mm'03.1.15am05
Fig. 7 33°C 변화 시 조건1의 유격변화



③ 31°C 좌1mm'02.6.21pm02 ⑤ -2°C 우10mm'03.1.15am06
Fig. 8 33°C 변화 시 조건2의 유격변화

Table 2 신축이음 변화상태 측정결과표

| 측정일 | 조건1 (누적 영향조건) | | | 조건2 (누적 영향 해소) | | |
|----------|------------------|------|-------|-------------------|------|-------|
| | 시간 | 온도 | 상태 | 시간 | 온도 | 상태 |
| '02.6.21 | pm01 | 30°C | 좌6mm | pm02 | 31°C | 좌1mm |
| '02.6.21 | am05 | 14°C | 우6mm | am06 | 15°C | 우1mm |
| '03.1.15 | am05 | -3°C | 우16mm | am06 | -2°C | 우10mm |

구조물에서의 길이변화량을 파악하기 위하여 간이균열측정기라는 간단한 방법을 이용하여 1년간에 걸쳐 변화량을 측정하였다. 신축이음 유격은 온도변화에 의한 길이변화량 $\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$ (ΔL : 길이변화량, α : 콘크리트의 선팽창계수, ΔT : 온도변화값, L : 길이) 외에 콘크리트의 건조수축, 크리프 및 활하중에 의한 보의 휨에 의한 변형도 있었으나 온도변화에 의한 변화량에 비하면 그 값이 대단히 작기 때문에 무시하여도 무방하다.

Table 2에서 조건1, 조건2는 모두 9m Span, 동일규격의 수로교로 상호간 간격은 승용차로 1시간 이동거리에 위치하고 있으며 측정시의 온도차는 16°C와 33°C로 동일하였다. 이론에 의한 길이변화량은 16°C에서 1.5mm, 33°C에서 3mm로 산출되나 $\Delta t = 16^\circ\text{C}$ 에서 조건1은 12mm(≒8배), 조건2는 2mm(≒동일)의 유격변화가 발생되었고, $\Delta t = 33^\circ\text{C}$ 에서 조건1은 22mm(≒8배), 조건2는 11mm(≒4배)의 변형이 측정되었다.

간이 균열측정기에 의한 측정결과를 검토해보면 수로교는 일교차가 큰 경우에는 하루에도 수축과 팽창활동을 반복하고 있으며, 인접구간의 변화량까지 누적되고 있음을 보여준다.

다만 조건2, $\Delta t = 33^\circ\text{C}$ 의 길이변화량이 산출 값보다 4배가 더 크게 된 것은 우측의 받침 장치를 고치지 않아 그로인한 영향을 확실하게 차단하지 못한 때문으로 판단되었다.

3.2 온도변화에 의한 도로교의 신축유격 변화 관찰실험 2

Fig. 9는 신축중인 경간50m인 강구조의 교량으로 150~200m간격(A1, P3, P7, A2)에 설치된 신축이

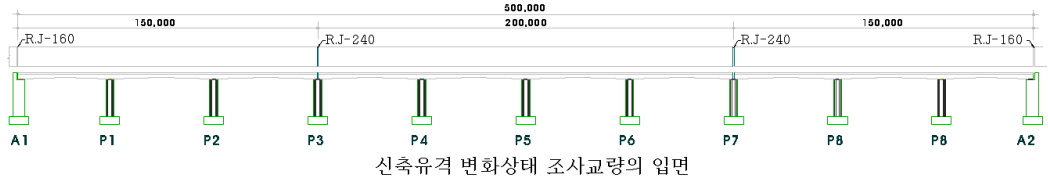


Fig. 9 강구조 도로교의 입면 및 전경

Table 3 강구조 도로교의 온도변화에 따른 신축유격변화 조사결과표

| 측정시의 온도 | 유격 변화상태 | | A1 | | P3 | | P7 | | A2 | | 비고 |
|----------------------|---------|------|-------|------|-------|------|-------|------|----|-----|--------|
| | 유격 | 변화량 | 유격 | 변화량 | 유격 | 변화량 | 유격 | 변화량 | 유격 | 변화량 | |
| '04.1.09 am11:30 6℃ | 192mm | - | 258mm | - | 223mm | - | 166mm | - | | | 기준 |
| '04.5.17 am11:00 18℃ | 174mm | 18mm | 230mm | 28mm | 200mm | 23mm | 149mm | 17mm | | | 12℃변화량 |
| '04.8.14 pm03:30 33℃ | 154mm | 38mm | 202mm | 56mm | 172mm | 51mm | 134mm | 32mm | | | 27℃변화량 |

음장치의 유격은 Table 3 신축유격변화 조사결과표에 서와 같이 강구조인 도로교도 수로교와 마찬가지로 대 기의 온도변화에 따라 수축과 팽창현상이 반복되고 있 음을 보여준다.

3.3 콘크리트와 일반물탈의 선폽창계수 차이에 의한 변화조사

Fig. 10은 동일한 지점에서 대기온도가 20℃ 변화 된 조건에서 구조물의 변형상태를 나타내는 사진으로 수로교 상부에 부착시켰던 물탈의 치숫음은 구조체인 수로에 처짐이 발생되었음을 의미하며, 온도변화에 따른 덧붙임 물탈과 콘크리트의 신축정도가 유사하고 물탈의 부착강도가 양호하였다면 사진에서와 같은 현



① '03.8.23 pm2:30 30℃



② '03.12.29 pm2:30 10℃

Fig. 10 콘크리트구조물의 신축활동

상은 없었을 것으로 추정된다. 사례의 사진은 RC구 조물 하자보수용 몰탈 선정 시의 필요충분조건을 보 여준다.

4. 온도변화에 의한 길이변화량 누적작 용 및 작용의 반복

4.1 길이변화량의 누적 작용으로 교각이 파손된 사례

Fig. 11은 경간10m, 8구간으로 구성된 수로교로 P4를 포함한 P1~P7은 모두 동일한 재료, 기술 및 기능인에 의하여 시공되었다. 동일 지역 동일 환경조 건에서 대략15년 정도 경과된 후의 사진에서 보는 것 처럼 P4의 교각은 상대적으로 더욱 심하게 열화가 진 행되어 붕괴위험의 상태에 있다.

8개의 전 구간 공통으로 철판 받침장치는 부식되었 으며, PVC지수관 파열로 누수가 계속되고 있으며, 신 축유격 또한 상실된 상태인바 P4교각의 손상원인을 염해작용, 산성비, 대기오염, 오랜 시간경과 또는 부적 절한 재료선택, 시공결함에 의한 것이라 판단해서는 안 된다.

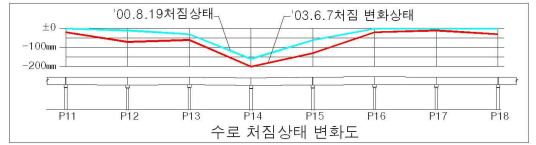
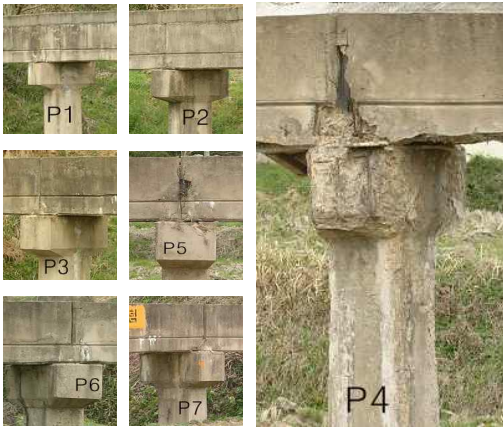


Fig. 12 30개월간의 침침 변화상태도 ('00.8.19 '03.6.7촬영)



Fig. 11 10m경간 8구간 사레수로교 전경

P4와 같은 교각을 받침장치, 신축유격, 신축이음 등의 기능보완 없이 강 구조체로 보강할 경우에는 P4 자체의 재 손상은 물론 P4 좌·우측의 교각에까지 손상이 확산될 수밖에 없게 된다.

그러나 지금까지는 손상의 원인과는 무관하게 결과로 나타난 하자 상태만 보고 보수보강 되었기 때문에 수로교의 손상은 더욱 확대되었다. P4 교각의 보수는 부식된 철관받침의 교체 및 신축유격을 확보하는 기능보완작업을 우선하지 않으면 안 된다.

4.2 길이변화량 누적으로 교각 기울음 및 기초침하의 발생

Fig. 12는 경간10m 30구간으로 총연장300m의 일직선상에 있는 수로교로 초기에는 P12~P15구간에서 침침 및 기울음이 발생되었으나 30개월이 경과된 후에는 P11~P18구간으로 침침(20~200mm) 및 기울음(기울기 1/28~1/50)이 확산·증가되었고, 12개월이 더 경과된 '04년 봄에는 예상과는 달리 기울음은 오히려 회복되었으나 양호하였던 P18의 상태가 심각하게 악화된 것을 보면 자정과 함께 이동도 일어나는

것으로 조사되었다.

4.3 길이변화량 누적으로 수로파손, 교각 기울음의 발생

Fig. 13은 193개 교각, 총 연장 1,544m의 수로교로 피해사례의 구간은 기둥 기울음 55mm(기울기 1/11), 수로 침침 110mm 및 수로 충돌파손 등이 있었으나 보 및 기둥에서의 균열은 전혀 관찰되지 않았다.



Fig. 13 교각 보 피복탈락, 기둥 기울음, 수로 충돌파손된 수로교



Fig. 14 누적영향 작용된 단주기동 사례

장주기동 사례에서와는 달리 단주기동에서는 Fig. 14와 같이 사 방향의 전단균열이 관찰되는 경우가 자주 있다.

4.4 길이변화량 누적작용의 반복 발생사례

Fig. 15는 양 측면이 Siphon으로 연결된 16m경간 총연장 320m인 수로교로 P0, P6, P9, P12, P19교각에 1차적으로 길이변화량 누적영향으로 파손되었고, P0보강 후 P1, P19보강 후 P17, P18, P20의 손상이 확대되었으며, P12는 보강 후 바로 재 손상 발생되어 P12로 인한 손상의 확대는 나타나지 않았다.

Table 4 누적반복 및 손상확대 현황

| 내용 | 1차 누적작용 교각 | 손상확대 교각 |
|----|----------------------|--|
| 위치 | P0, P6, P9, P12, P19 | P1, P4, P5, P7, P8, P10, P17, P18, P20 |
| 개소 | 5개소 | 9개소 |
| 비율 | ≈24% | ≈43% |

방치한 P6은 P4, P5, P7의 처짐을 유발하여 부적절한 보수 및 방치한 경우에도 손상의 확대는 비슷한 정도이다.

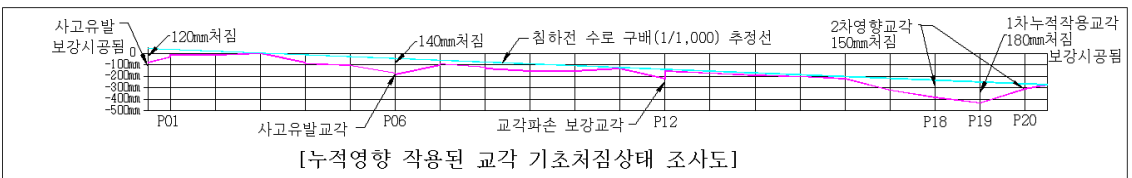
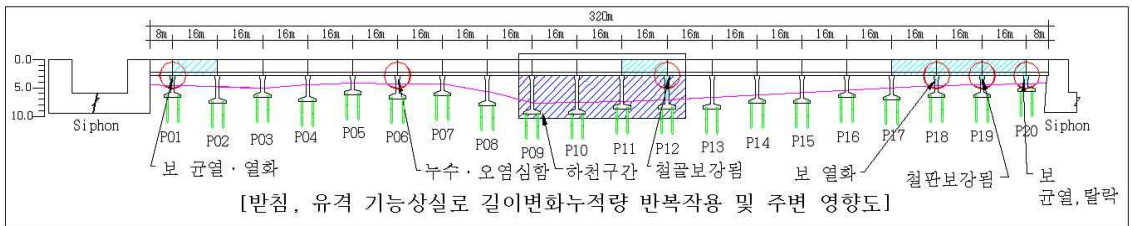


Fig. 15 길이변화량 누적 및 반복 작용상태

또한 Table 5 부위 및 위치별 구조물의 상태 조사 결과표에서와 같이 동일한 조건임에도 불구하고 중성화의 진행 깊이가 10mm미만의 부분에서 66mm까지 진행된 부분은 물론 콘크리트의 추정압축강도도 100kgf/cm² 미만과 250kgf/cm²이상인 부분이 동일 장소에 분포되어 있음을 볼 때 수로교의 손상은 기존의 중성화에 의한 내구성이론에 의한 것이 아니라 「온도변화에 의한 콘크리트의 길이변화량의 누적 및 누적영향의 반복」이라는 손상 메커니즘 형성에 의한 것임을 알 수 있다.

5. 수로교의 손상 메커니즘

이상과 같이 수로교가 손상된 근본적 원인은 철관 받침장치가 부식되고 신축유격이 상실되며 온도변화에 따라 누적된 수로의 길이변화량은 과도한 수평하중으로 변환되어 일정간격으로 집중 작용함에 따라 교각의 손상은 반복 될 수밖에 없었다. 파열된 PVC지수관을 통하여서는 누수가 계속되어 이로 인하여 철관의 부식과 교각 콘크리트의 열화는 더욱 촉진 되었다.

6. 결 론

앞으로 수로교의 보수설계는 온도변화에 의하여 발생된 수로의 길이변화량이 누적되지 않도록 설계 및 시공되어야 수로교의 안전 및 내구성이 확보될 수 있으며, 누적의 영향을 피하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- 1) 이미 부식이 진행되어 기능을 상실한 철관 받침장치는 수로를 인상한 후 부식의 우려가 없는 고탄성의 고무받침으로 교체한다. 부식된 철관받침 장치를 교체하기 위해서는 수로를 인상하여야만 가능한 작업으로 전체의 교체작업은 과도한 비용이 소요되므로 받침장치의 교체는 최소가 되도록 설계한다. 교체의 판단기준은 누적영향이 작용되지 않는 간격이다. 지금까지는 수로의 인상은 도로교와는 달리 대부분 연약지반에 설치되어 있고 형하고 및 연단거리가 전혀 없기 때문에 매우 난해한 작업이었으나 수로교의 인상에는 최적의 인상공법이 개발되어 더 이상 문제되지 않게 되었다.
- 2) 철관받침 장치를 교체한 경우에는 신축유격도 함께 확보되어야 한다. 신축이음의 유격이 30mm 이상이

Table 5 부위 및 위치별 구조물의 상태

| 위치 및 내용 | | 수로 | 보 | 기둥 |
|---------|----------------------------|------|-----|-----|
| P1 | 중성화깊이(mm) | 4~22 | 66 | 16 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 232 | 100 | 178 |
| P3 | 중성화깊이(mm) | 1~15 | 42 | 19 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 274 | 207 | 225 |
| P6 | 중성화깊이(mm) | 1~15 | 30 | 18 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 269 | 198 | 232 |
| P18 | 중성화깊이(mm) | 1~13 | 32 | 26 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 275 | 226 | 230 |
| P19 | 중성화깊이(mm) | 1~8 | 측정 | 10 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 246 | 불가 | 238 |
| P20 | 중성화깊이(mm) | 2~27 | 18 | 26 |
| | 압축강도(kgf/cm ²) | 226 | 261 | 311 |

될 경우 접촉면적 및 수압에 따른 내력증가 및 선형이탈 등 또 다른 문제점이 발생할 가능성이 높으므로 L40m 이내마다 20mm의 신축유격 또는 50m 이내마다 25mm의 유격이 확보되도록 한다.

- 3) 수로교의 신축유격은 기존의 절단 공구(cutter, wall saw 등)로는 절단할 수가 없다. 수로를 인상한 후 포터블 와이어 쏘 시스템을 적용하여야 용이하게 콘크리트를 절단하여 유격을 확보할 수는 있지만 장비의 가격이 고가인 단점이 있다.
- 4) 신축이음부에서 누수 현상이 일어나면 문제를 일으키게 된다. 대기의 온도가 내려가면 콘크리트는 수축하게 되므로 신축유격은 확장되어야 하나 기존의 PVC지수관은 오히려 딱딱하게 굳어져 유연성이 상실될 뿐만 아니라 수축되므로 특히 혹한기에 파단 발생될 가능성이 높아진다. 대기의 온도가 올라가면 반대로 콘크리트가 팽창되어 신축유격이 좁아지게 되며 이때는 신축유격이 부족한 경우에 압축 파괴 발생확률이 높아진다. 충분한 팽창유격의 확보와 혹한기에도 신축이 가능한 신축시트를 이용한 신축시트혼성이음시스템이나 에바조트 신축이음시스템 등은 대안이 될 수 있으나 에바조트 신축이음시스템은 좁은 간격에서의 시공 곤란 및 다소 고가인 단점이 있다.

참고문헌

1. 변항용, 수로교의 안전, 바른미디어, 2004.
2. 신현식 외, '건축시공학', 문운당, 1997.

(접수일자 : 2004년 11월 8일) (급행)