

# 하천통과 지하구조물의 누수 보수 대책

## A Case Study on Repairing Work of Leakage of River-crossing Underground Structure

이종은\*, 최석원\*\*, 노현창\*\*\*

Lee Jong Eun\*, Choi Suk Won\*\*, Noh Hyun Chang\*\*\*

### ABSTRACT

Until recently as a method of repairing leaking problem, generally urethane series were used for many structures as subway, box culvert etc. However the lacking of sufficient penetration capacity have made it difficult to repair such structures completely. Now, we could achieve enhanced quality of repairing work by using new material which was compounded of urethane series and cement series properly. This material can penetrate concrete structure efficiently and move interactively with the structure in case of the thermal expansion.

Besides of this, we could prevent expecting leakage through several improvements on the aspects of design, materials and site implementation.

### 1. 서론

콘크리트 구조물, 특히 하천을 통과하는 구조물은 필연적으로 지하수와의 필사적인 전쟁을 치루어야 하기 마련이며 각 지하철의 예를 보더라도 시공 후 방수에 대한 보수 작업이 그 규모면에서나 비용 면에서 적지 않은 것을 볼 수 있다. 지하철 구조물 등에 발생하는 누수를 보수하기 위한 방안으로, 그동안 우레탄 계열이 많이 사용되어왔으나 상당히 두꺼운 콘크리트 벽체에 충분히 침투하지 못하는 단점 때문에 완벽한 보수가 어려웠으며 지속적인 A/S가 필요하였다. 이에 대하여 두산건설에서는 하천을 통과하는 구조물에 발생한 누수문제를 해결하기 위해서 업계, 학계 그리고 외국의 전문가와 합동으로 그 원인을 분석하고 대책을 수립한 후 철저히 보수하였다.

본 보고서는 이 과업에 사용된 보수방법과 기존의 방수공법에 대한 개선작업을 제시함으로써 여러 시공사에서 고민하는 방수, 누수 보수 문제에 조금이라도 도움이 되고자 하는 목적으로 작성되었다.

### 2. 과업 개요

#### 2.1 공사 개요

본 연구의 대상 구조물은 한강 지류인 안양천을 통과하는 구조물로서 높이 8.0 m, 폭 10.8 m, 길이 450 m인 R.C 라멘 BOX 형식이다. 상부 슬라브에 작용하는 지하수위는 최대 15.8 m 정도이며 하절기 장마철에는 수위 상승으로 인하여 인근 제방이 범람할 가능성이 컸기 때문에 장마 전에 돌판작업으로

\* 정회원, 두산건설 상무, \*\* 정회원, 두산건설 부장, \*\*\* 정회원, 두산건설 차장

하천을 통과하였다. 본 구조물에는 지하수의 침투에 대비하여 WATER STOP, 방수 쉬트, 보호물탈 등이 시공된 상태였으며 독일의 감리단이 감리를 하는등 품질관리에 주의를 기울여 왔으나 다음과 같이 누수현상이 관측되었다.

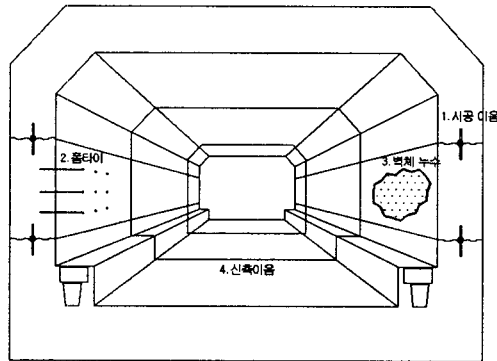


그림 1 누수현상 발생 개요도

1999년 7월경 신축 이음부, 시공 이음부, 소수의 벽체 일부, 폼타이 구멍 충전부에서 누수 현상이 발견되었으며 특히 10 m 혹은 15 m 마다 설치한 신축이음부에서의 누수가 가장 심하였으나 물이 치솟는 정도는 아니고 약간 흐르는 수준이었다.

## 2.2 연구 과업 개요

본 연구의 대상 구조물에 발생한 누수의 원인을 파악하고 철저한 대책을 세우기 위해서 발주처와의 협의를 통하여 다음과 같이 업무를 진행하였다. 즉, 안전진단을 통하여 구조물의 전체적인 안전성과 품질을 검증하면서 외국의 방수 관련 전문 기술자를 투입하여 대책을 수립하고 학계의 전문가로부터 이를 종합 검토하는 방안을 수립한 것이다. 외국 기술자들은 스위스와 독일, 일본에서 참여하였으며 일주일간 현장에 체류하면서 누수 원인과 대책을 협의하였으며 귀국한 후 상세한 보고서를 제출하였다. 국내 학계 및 학회의 관련 교수진과 저명한 기술자들도 직접 현장을 돌아보았으며 평범한 누수현상이므로 적절히 보수하면 문제가 없을 것으로 단정되었고 교수진중에서 일부가 과업에 참여하였다.



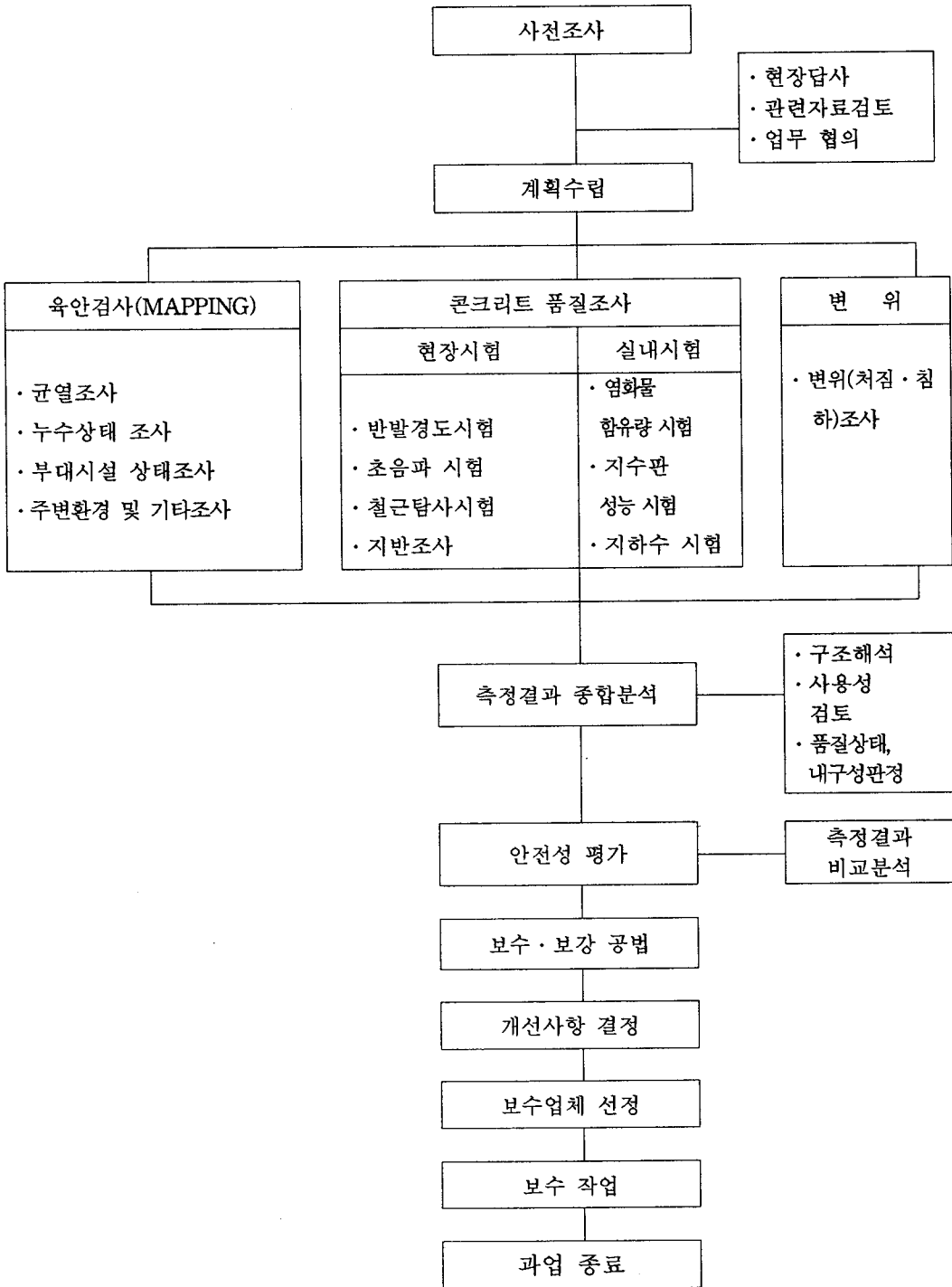


그림 2 과업 흐름도

### 3. 안전진단 결과

안전진단 팀에서 위의 절차를 통하여 검토한 결과 본 연구의 대상 구조물은 구조적으로 안전하며 그 기능을 발휘하기에는 전혀 문제가 없고, 다만 당시에 발견된 누수현상에 대한 보수대책을 세우고 향후 재발을 방지하기 위하여 시공법 및 일부 사용자재의 개선 계획을 수립하면 되는 것으로 결론지어졌다.

표 1 안전진단 결과 판정표

	항 목	결 과
1	구조적 안전성	구조해석 결과 충분한 공칭력 확보됨.
2	비파괴 시험 /성분검사	콘크리트 비파괴 시험결과 강도 양호
		초음파 검사결과 철근배치 양호
		염분농도시험결과 허용치 이내로 양호
3	지수판 성능 시험	지수판 인장시험결과에 따르면 인장력 양호/ 성능 발휘에 문제 없으나 용접 방법에 문제있음.
4	시공 상태	방수슈트가 일부 손상된 곳이 있고 구체와 슈트가 쉽게 분리되며 골재분리 현상이 부분적으로 발견됨. 뒷채움시 시공방법/ 상태 양호 배합설계 및 품질관리 상태 양호

### 4. 누수의 원인 분석

누수가 되는 원인은 다음의 세가지로 구분할 수 있는데 첫째, 설계적인 원인 둘째, 시공 측면에서의 원인 그리고 셋째, 방수 자재 자체의 원인등이다. 먼저 설계적인 원인을 언급하자면 지하구조물을 설계하는 구조 설계자의 일반적 관행을 들 수 있겠다. 즉 수압의 강도와 용도를 불문하고 일정한 방식의 지수판울 도면에 표기한다든지 이에 대한 시방기준 또한 아직 미비한 것은 앞으로 해결해야할 과제이다. 또한 고무슈트 방수공법을 채택하면서 완전히 벽체를 건조시키는 조건을 부여했는데 이것은 지하구조물 특히 하천을 횡단하는 구조물에는 현실적으로 불가능한 일이며 또한 연역한 자재로 설계된 방수보호재도 되메우기 등의 공사시 보호역할을 충실히 발휘하지 못하였다. 이에 따라 구체와 슈트가 100%완벽하게 접착이 되지 못하고 일부는 파손되어 수압에 취약한 곳을 따라 물길기 생겼을 것이라는 아쉬움이 남는다.

그러나 무엇보다도 누수의 원인이 된 것은 장마전 대형 구조물을 시공 완료해야하는 공사의 시급성 때문에 다음과 같이 시공상의 문제가 큰 것으로 판단된다. 첫째, 방수슈트가 제 역할을 못한다고 가정할 때 2.0 m가량 되는 콘크리트 구체가 밀실했다면 벽체등에서 누수의 흔적은 발견하기 어려웠을 것이고 이것은 골재분리가 있었다는 추측이 된다. 또한 시공조인트에서 발생한 누수현상은 시공조인트의 접합이 완전치 못하고 WATER STOP의 시공이 불량했다는 것이 된다.

그밖에 자재상의 원인으로는 WATER STOP의 폭과 형상이 이 엄청난 수압에 견딜 수 있는 정도가 아니었으며 FORM TIE에 지수링이 없어서 지수의 효과를 보지 못하였고 그 시공방법에도 개선의 여지가 많다고 판단되었다.. 다음은 누수의 원인과 대책을 나열한 것이다.

표 2 누수의 원인 분석표

누수 원인	설계	재료선택	시 공	설 명	대 책
지수판 용접부 신장률 부족	○	○		상세한 용접재료 기준 없어서 경질PVC 재료가 사용됨.	열융착 용접등의 용접방법 개선 돌기를 고려한 용접
지수판 용접시 돌기(RIB)의 절단	○		○	상세한 용접방법에 대한 기준이 없이 시공시 돌기가 무시된 채로 용접됨.	
방수쉬트와 구체의 일체화 불량	○	○	○	지하수에 항상노출되어 있는 구조물에 쉬트방수 및 프라이머가 선택된 것은 누수경로의 차단에 문제가 있으며 시공시 충분한 양생/건조 및 부착이 이루어지지 못함.	* 철저한 건조 * 철저한 면갈이 * 방수공법 변경 (예, 벤토나이트/아스팔트 쉬트) * 저발열 시멘트 사용으로 수화열 저감/수밀성 증대
양생시 콘크리트의 부분 침하 BLEEDING 현상에 의한 폼타이 하부 공극 발생		○		폼타이 대신 다른 결속방안이 채택되었는가 폼타이에 지수재가 포함되어야 함.	폼타이에 2개 이상의 차수링 부착 이형강봉 사용
콘크리트 내부 공극		○	○	다짐이 철저하게 이루어지지 않음.	진동다짐 철저(고주파 진동기) 저발열 시멘트로 수밀성 증대

## 5. 보수 방안

### 5.1 보수의 수준

본 연구의 대상 구조물의 건조 수준은 100% 건조상태에 이르도록 하는 것이 가장 바람직하겠으나 외국의 사례에 비추어 보면 EXP. JOINT의 경우는 약간의 누수를 허용하면서 유도배수를 시키고 있으며 더구나 본 구조물의 설계시 터널 및 OPEN 구간의 유입수를 예상하여 상당히 큰 배수도가 설치된 점을 고려하여 철저히 보수하되 보수 후 사용중 발생할 수 있는 지하수는 유도배수 시키는 것으로 설정하였다. 나머지 시공조인트와 같은 부분은 완전방수의 수준으로 보수하는 것을 원칙으로 하였다.

### 5.2 보수 공법의 선정

#### (1) 보수공법 선정시 고려사항

##### - 신축이음부

구조물의 온도변화에 의한 변위와 보수후 사용중 진동에 의한 영향을 고려하여 신축률이 좋고 충분한 부착강도와 내구성을 갖는 주입재 선정.

##### - 시공이음부, FORM TIE부

보수액이 구체에 넓게 침투되어 외벽의 철근까지 영향을 줄 수 있고 천공 간격도 최대한 크게 함으로써 구조물의 손상을 최소화 할 수 있는 주입재 선정.

#### (2) 보수공법 비교

표 3 보수 공법 비교표

	1 안	2 안	3 안
구성원료	시멘트계열	아크릴레이트계열	우레탄 계열
성분	초미립자 시멘트 WGS(분산재)	수용성 아크릴계 에스테르모노머	폴리우레탄
장점	침투성능/부착성능 우수 내구성 좋음 국내 실적 있음. 국내제품 시공 가능	진동흡수성 뛰어난 신율 가장 좋음 환경 영향 무해 선진국형	국내 실적 많음 대규모 누수시 초기보수에 적합 신율 좋음 국내 제품 시공 가능 저가
단점	업체 한정 고가 신율 부족	초결시간이 너무 빠름 제품 수입 비용 고가	발포 시간이 너무빨라 침투에 불리함. 2차 주입 필요 내구성 부족함
결정	1안인 시멘트 계열을 사용하되 신축이음부는 신축율이 좋은 우레탄 계열을 합성하여 보수.		

(3) 보수 공법 상세

위에서의 1안을 각 부위별로 적용함에 있어서 다음과 같이 공법 및 재료를 구분하여 적용하였다.

표 4 보수 공법 상세

구분	시공이음부	폼타이부	벽체 공동부	신축이음부
보수 수준	완전 건조	완전 건조	완전 건조	상부슬라브 : 완전 건조 벽체 : 완전건조후 유도방수
보수 방법	전면 그라우팅	전면 그라우팅 상하2개소에 천공후 주입	전면그라우팅 천공깊이 연장	충전방수 그라우팅 (1차, 2차) 유도배수관 삽입
보수 재료	마이크로 시멘트 + WGS			마이크로 시멘트 + 우레탄 + WGS
보수 시기	곧바로 실시			구조물의 최대수축 이 일어난 직후(겨울철, 초봄)

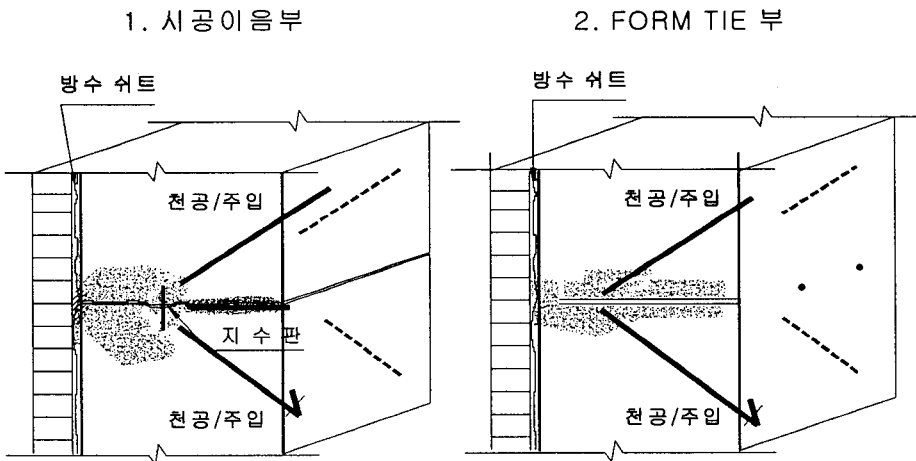


그림 3 보수 개요도-1

그림에서와 같이 시공이음부와 FORM TIE부는 지수판 전면에서 지그재그로 천공하여 충전하였다.

### 3. 벽 체 부

### 4. EXPANSION JOINT

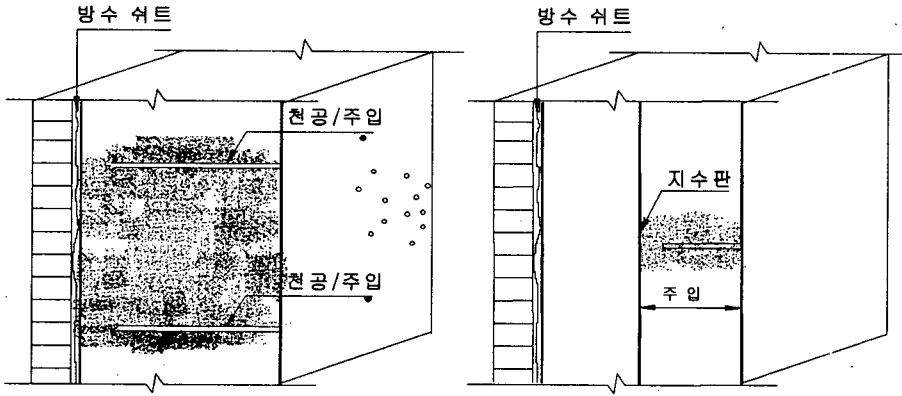


그림 4 보수 개요도-2

### 6. 개 선 방 안

위와 같은 보수 작업을 실시한 후 기타 구간의 재발을 방지하기 위하여 다음과 같은 사항을 개선하였으며 이는 설계자가 제시한 시공방법이나 재료를 보완하면서 철저한 시공방법을 통하여 유사 조건에서의 타구간 시공품질에 완벽을 기하기 위함이다.

표 5 방수공 개선 사항

부 위	기 준 시 공	개 선 사 항
시공이음부	지수판 시공	외벽 철근과 콘크리트 피복 사이에 지수재 추가(예: 벤토실)
폼타이	폼타이볼트로 원형강봉 사용 수팽창 고무 지수링 없음	이형 강봉 사용 수팽창 지수링 2개 삽입 구멍에는 무수축방수몰탈 충전후 프 라이머 3회 도포
지수판	용접시 경질 PVC 용접봉 사용	지수판이 중립에 위치하도록 유의 용접시 열 융착기로 용접 돌기(RIB)의 형상을 유지하여 용접 T형, +형 접합이 만나는 곳은 공장용 접한 후 현장에서는 1면 용접만 하도록 함.
신축 이음부	JOINT FILLER 설치 내부 벽체에 SEALANT 처리	좌와 동일하나 지수재(벤토셀 또는 벤토겔)와 보강쉬트(벤토나이트)를 외부에 설치.



부 위	기 존 시 공	개 선 사 항
구체와 방수보호벽의 접합부	모서리 라운드 처리후 보강시트 부착	접합부에 지수재 추가
바닥 슬라브 신축 이음부	보강 슈트	보강시트(벤토나이트) 추가 부착
상부 슬라브	보호재(EVA 고무스폰지)	fck = 180 Kg/cm <sup>2</sup> 의 콘크리트(10cm)로 변경, 비닐+부직포+WIRE MESH 추가
벽 체	보호재(EVA 고무스폰지)	벽돌쌓기로 변경
H-PILE 판통부	H-PILE 하단부에 철판 용접	1차 철판 용접후 2차 보강철판 추가
단면변화 구간	-	변화구간 신축이음부에 시트 보강 변화구간의 외벽을 완만하게 처리.
방수 슈트	고무 슈트	고무화 아스팔트 슈트

## 7. 결 론

이상에서 언급한 바와 같이 콘크리트 구조물에 발생한 누수 문제는 현장 조건을 충분히 반영하지 않은 설계관행과 시방서의 미비에서부터 출발하여 자재 선택 분야에 있어서 충분한 실적을 가진 자재를 선택하지 못한점과 현장조건에 부합되는 자재를 선택하지 못한 아쉬운 부분, 그리고 시공시의 오류등 전반적인 범위에 걸쳐 비롯된 것이라고 말할 수 있다. 이 중에서 시공시의 품질관리가 특히 중요하며 충분한 시간을 두고 세밀하게 시공할 수 있는 여건이 아쉬운 실정이다. 특히 높은 수압을 받는 지하구조물은 약간의 시공 오차가 있을 경우에도, 누수 현상을 피할 수 없다. 따라서 품질관리에 만전을 기하고 이제까지 언급한 개선사항대로 시공한다면 좀 더 완벽한 방수를 보장할 수 있을 것이다.

외국에서 초빙한 기술자들은 water stop의 형상과 구성이 유럽의 것에 비하여 미흡하다는 지적을 하였고 현장조건과 용도에 따라 water stop의 종류를 다르게 설계한다는 사실을 지적하였다. 이러한 부분은 앞으로 우리가 풀어야 할 과제라 생각하며 본 글이 많은 시공 기술자들에게 참고가 되었으면 하는 마음 간절하다.

## 참 고 문 헌

1. 콘크리트표준시방서, 사단법인한국콘크리트학회, 1999
2. DIN4030 "Beurteilung betonangreifender Wasser, Boden und Gase": 독일기술자 보고서에 인용.
3. DB RL 853.010 "Eisenbahntunnel planen bauen und Instandhalten, Abdichtung und Entwässerung"
4. 천병식, 최준식, 최현석, 방수그라우팅시스템에 의한 지하철BOX구조물 누수 보수.보강 사례 연구, 한국구조물진단학회,1998
5. '안양천 지하BOX 구조물의 누수보수대책', 한국구조물진단학회, 한국건설품질관리연구원, 1999