

## 방수공사의 종류와 시공기술의 이해



안 상 로\*



최 성 민\*\*\*



곽 규 성\*\*



오 상 근\*\*\*\*

도 건설 산업의 부실로까지 이어지는 사회적 문제로 인식되고 있으므로 이에 대한 해결책으로서 관련 전문 기술인력의 양성 및 제도적 뒷받침이 시급히 요구되고 있다.

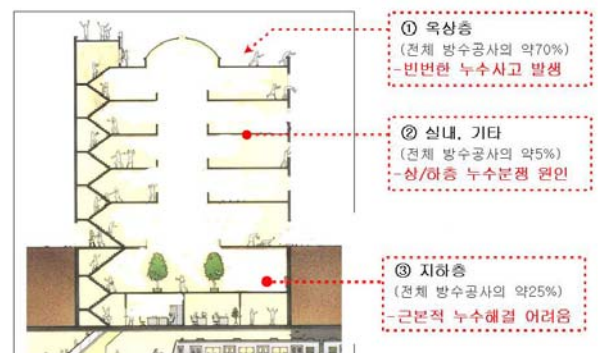


그림 1. 방수대상 부위별 문제점

### 1. 방수기술의 이해와 필요성

#### 1.1 사회기반시설 내구수명 저하 문제 해결

현실적으로 건축물의 누수문제는 건설산업 분야에서 일반적인 문제로 인식되어 해결이 어려운 기술로 인식되어지고 있다. 더욱이 국내 건설기술자도 대부분이 적정방수공법 선정에 대한 전문적인 지식 부족 및 회의적 사고로 인해 구조물의 방수를 형식적으로 도입하거나, 누수사고 발생 시에도 이를 근본적이고 적극적으로 해결하려는 노력보다는 실내로의 유입수를 유도 처리하는 방법으로 근본적인 누수차단 기술의 적용을 소홀하게 처리하고 있는 것이 현실이다.

이러한 풍토는 웰빙시대를 맞이하여 쾌적한 사용환경을 영위하고, 구조물의 고내구성을 확보한다는 차원에서 완전 방수를 지향하기 위한 방수관련 기술발전을 저해하는 요소로 작용하고, 방수공사가 건설산업 분야에서 가장 낙후된 공사로 인식되게 하고 있으며, 이러한 기술적 사항 이외에

특히, 지하구조물의 경우에도 최근 지하수가 자원이란 인식이 높아지고 있는 반면, 밀폐된 지하 공간에서 라돈이란 방사선 물질이 검출됨에 따라 지하구조물에 있어서의 방수는 구조물의 안정성과 내구성 확보뿐만 아니라, 지하수의 보존 및 지하 종사자의 근무 안전성, 시설물의 보호 및 쾌적한 사용이란 측면에서 새롭게 인식되고 있으며 이러한 이유로 건설업계는 사회단체 및 공공 기관으로부터 완전한 방수공사의 실현을 강도 높게 요구받고 있다.

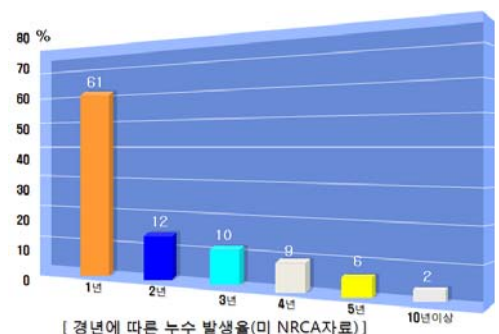


그림 2. 시설물 준공 후 누수 발생률 (3년 이내 전체의 83%)

\* 한국시설안전공단 교육훈련팀 실장

\*\* BK방수기술연구소 소장, 박사수로

\*\*\* 건설신소재연구소 소장, 공학박사

\*\*\*\* 서울산업대학교 건축학부 교수, 공학박사

상기 그림 2의 조사 결과에서도 알 수 있듯이 시공 후 1년 이내의 하자발생율이 61%에 달한다는 사실은 방수재료의 내구성의 문제라기보다는 부적절한 설계 및 시공상의 하자가 주요원인이라 할 수 있다.

## 1.2 건축물에 대한 내구수명 확보 요구

철근콘크리트에 있어서 지하수는 성능변화(열화)의 매개체 역할을 한다. 특히, 지하수에 포함된 각종 오염물질은 콘크리트의 중성화 및 철근 부식을 급격히 진행시켜 구조물의 내구성을



사진 1. 누수 및 철근 부식발생 (내구성 저하)

급격히 저하시키게 되므로 누수가 발생하지 않는 완전방수를 지향하기 위한 전문기술 습득 및 방수시공 관리가 필요한 실정이다.

특히 최근 유류 유출에 의한 토양오염이 심각한 만큼 방수층 손상으로 인한 누수가 문제시 되는 경우도 있으며, 해안가 매립지에 건설되는 시설물의 경우 건축물 지하에서의 누수는 곧 염수의 침입을 의미하므로 콘크리트 염해 및 철근 부식 등 철근콘크리트의 내구성 및 안전성에 직접적 영향을 끼치고, 내부설비 및 각종시설, 내장마감재 등의 훼손이 우려된다.

예를 들어 인천 송도신도시 및 인천공항(배후단지 포함) 등과 같이 해안가에 건설되는 각종 구조물은 염해환경에 놓이게 되고, 특히 건축물의 지하는 상시 지하수(염수) 및 부동산침하의 영향을 받게 되므로 종래의 지하방수 개념만으로 접근 할 경우 구조물의 누수 방지에 큰 어려움이 따르게 된다. 즉, 건축물은 건설 이후 사용 과정에서 환경적 영향을 크게 받게 되고, 부동산침하 등의 구조적 영향으로 조인트 접합부 및 균열 등에서 미세한 거동이 발생할 수 있는 조건이므로, 이와 같은 환경조건에 대응할 수 있는 기술 및 전문기술 인력이 확보되어야 한다.

## 1.3 사회기반시설 유지관리 비용의 절감 효과의 적합성

방수는 소재적 특성에 맞도록 환경을 개선한 뒤 시공 할 수 있으나 누수 보수는 방수와는 달리 누수 환경에 방수재(누수보수재)가 부합되어야 하므로 방수에 비해 기술적 난이

도가 높다. 이러한 이유로 일단 누수가 발생된 구조물은 완전 누수보수가 안된다고 보는 것이 지금까지 건설업계의 정설로 되어 왔다. 그러므로 방수의 실패는 구조물의 내구 수명저하 뿐만 아니라 반복적인 누수보수비용의 지출에 따른 유지관리비의 상승을 가져왔다.

특히, 천공 및 파치 등 콘크리트 구조물의 손상을 필연적으로 수반하는 누수 보수 및 구조물 보수보강공법의 특성과 손상된 콘크리트에 대한 완벽한 복원 기술이 없다는 기술적 현실을 감안 할 때 잦은 보수행위 자체가 곧 구조물의 손상을 의미하게 되므로 이것을 방지할 수 있는 환경대응성이 우수하고 유지관리성까지 고려된 방수공법이 설계단계에서 반영되어야 한다.

특히, 건축물의 옥상부 및 지하구조물에서의 누수는 사용성 및 유지관리 차원에서 계속적인 보수보강을 하여야하므로 막대한 비용을 반복적으로 지출하게 되며, 이는 현재의 보수보강 기술 수준의 한계를 감안할 때 오히려 콘크리트 구조물에 대한 안정성 및 사용수명을 급격히 저하시키는 요인이 되므로 만일의 누수시 이에 대비한 적절한 사후 유지관리 기술(보수보강 기술)을 확보한 전문 기술인력 양성 또한 절실히 요구되고 있다.

## 1.4 방수를 필요로 하는 시설물

방수를 필요로 하는 시설물은 표 1과 같이 크게 토목구조물과 건축구조물, 기타 특수 구조물로 나눌 수 있다.

표 1. 방수대상 시설물의 종류

| 구분    | 시설명        | 대상 구조물                                |
|-------|------------|---------------------------------------|
| 토목 분야 | 지하 공동구     | 전력구, 통신구                              |
|       | 터 널        | 산악도로 및 철도 터널, 지하터널, 인공터널              |
|       | 수조 시설      | 상·하수도 수처리 시설(정수장, 오폐수 처리장), 축산폐수시설    |
|       | 지하 교통시설    | 지하철, 지하도로                             |
|       | 교 량        | 교량 상판                                 |
| 건축 분야 | 지 붕        | 모든 건축물(옥상 슬래브)                        |
|       | 외 벽        | 콘크리트, PC 구조물, 커튼월 등 모든 건축물의 지상·지하 외벽  |
|       | 지하 주차장     | 모든 건축물                                |
|       | 수영장        | 건물 내부 설치 모든 수영장                       |
|       | 저장시설 (창고등) | 유류, 탄약 및 무기고, 화학약품, 농수산품, 각종 유통물품 저장소 |
| 기타    | 수중 구조물     | 해저 터널                                 |
|       | 인공지반 녹화시설  | 옥상녹화, 벽면녹화, 콘크리트 기반(인공지반) 녹화 등        |
|       | 댐·수로       | 수밀 콘크리트                               |

## 1.5 방수재료의 이해

방수층이란 연속적인 막(Membrane) 재료를 이용하여 물의 이동을 방지하는 건축 구성 요소이다. 즉, 각종 물이 직접적으로 구조체에 영향을 주지 못하도록 이를 보호하는 재료를 방수재료라 한다.

방수재는 크게 시트계과 도막계의 방수재가 주로 사용되어 왔으며 이를 멤브레인(Membrane) 방수재이라고 칭하였다. 건설 기술의 발전과 신소재의 개발로 방수재료의 종류도 점차 증가하게 되었고, 구조물의 부위별 특성을 고려하여 아스팔트 방수계, 시멘트 모르타르계, 금속 재료계, 시트 도막 복합계, 발수제 등 다양한 재료가 방수 시장에서 사용되고 있다.

방수재료는 구성하는 재료의 유형에 따라 정형재료(시트형, 패널형, 매트형 재료)와 부정형재료(액상형, 분말형 재료)가 있고, 그 재료의 조합에 의해 여러가지 방수공법이 성립한다.

## 1.6 방수공사의 이해

일반적인 방수공사의 종류는 아래 그림 3과 같다.



그림 3. 방수공법의 종류

## 1.7 방수공사의 품질관리

### 1.7.1 방수층 부풀음(Air Pocket)

바탕의 건조가 불충분한 경우 바탕으로부터 프라이머층을 통과하는 습기에 의해 방수층과의 경계면에 수분이 존재하

게 된다. 특히 시공시에 혼합된 수분 외에 강우, 강설에 의해 침투되거나 신축건물인 경우 콘크리트 내부에 혼입된 다량의 수분을 혼합하고 있을 수 있으므로 표면이 건조되었다 하더라도 내부 수분에 의해 서서히 증기압이 발생하므로 부풀음의 원인이 된다.

### 1.7.2 방수층 파단

방수층의 손상은 주로 바탕 구조체나 누름층의 거동에 의해 파단되며, 파단된 방수층 사이로 유입된 물에 의해 누수는 물론 방수층의 들뜸이 가속화 되어 구조물 누수의 범위가 확대된다.

즉, 콘크리트 구조물은 열적 환경 또는 구조적 환경에 의해 균열의 발생 빈도가 매우 높으며, 이와 같은 균열 발생은 신축성이 우수한 방수재료라 하더라도 완전 밀착 시공된 경우 지속적으로 반복되는 균열 거동으로 방수층 동시 파단의 직접적인 원인이 된다.

### 1.7.3 수축 · 팽창응력에 의한 방수층 들뜸

외기 온도의 변화에 따라 방수재의 수축팽창 응력이 작용되었을 경우 물리적 강도가 높은 경질재료(에폭시계, FRP계 등)는 별다른 외력의 작용이 없다고 가정 하더라도 열팽창계수가 다른 콘크리트 바탕체의 수축팽창 응력이 함께 작용하게 되면 방수층 전체가 들떠 일어나는 박라박락 현상 및 균열 발생 등의 직접적인 원인이 된다.

### 1.7.4 방수층의 뚫림 및 찢김

신축성이 우수한 노출 방수재료 및 공법은 외부에서 가해지는 보행충격, 낙하물의 충격, 이동하중(운하중) 등 물리적 충격에 비교적 쉽게 파손(뚫림 또는 찢김 등)될 수 있다. 이는 장기적인 측면에서 누수의 전이 및 확산으로 방수층의 들뜸 및 누수의 원인이 된다.

### 1.7.5 접침 이음부의 누수

일반적으로 시트 방수 시공시에는 반드시 시트간의 접합부가 많이 발생하게 된다. 특히, 접합부 시공 시 2장(또는 4장) 접침 부위는 시공불량에 따른 누수의 직접적인 주요 원인이 된다. 접합부(Joint)처리 미흡은 하자의 원인이 되기도 하며, 접합부 시공시에도 접착제의 부족이나 열용착시 부분 부착되

어 상호 긴밀한 부착이 되지 않는 문제점을 안고 있다.

또한, 콘크리트 구조물의 장기적인 거동에 따른 수축팽창 시 접합부의 접합 불량으로 시트가 들뜨게 되어 누수의 원인이 되기도 한다.

## 1.8 방수공사 유지관리

### 1.8.1 보호용 탑-코팅재 재 도포

도막방수층을 자외선, 동결융해, 염해, 산성비 및 마모로부터 보호하기위해 방수층 위에 도포하는 탑-코팅재는 시공에 지장이 없고, 양호한 내후성을 가지며, 방수층의 품질을 저하시키지 않는 것으로 방수재 제조자가 지정하는 것을 사용한다. 우레탄 도막 방수층은 장기적인 자외선 노출과정에서 물리적 특성이 저감될 수 있다. 이에 도막 방수층의 장기적인 내구성을 확보하기 위해서는 약 2~3년에 한번씩 주기적으로 탑-코팅재의 재도장을 통해 내구성을 증진시키는데 도움이 될 수 있다.

### 1.8.2 손상방지

방수층의 상부에서 아래와 같은 작업을 하는 경우, 또는 방수층의 보호·마감을 하는 경우에는 방수층을 손상시키지 않도록 충분히 주의한다.

- 불꽃이 떨어질 염려가 있는 용접, 용접기에 의한 절단 및 연마 작업.
- 콘크리트 압송관, 공사용 손수레 등의 운반차 또는 발판, 사다리 등을 사용하는 작업.
- 설비배관, 실외기 등 기기의 설치작업
- 가설재료, 기자재의 운반, 설치 및 철거작업

### 1.8.3 정기점검

구조물의 유지관리 형태는 다양하지만 기본이 되는 것은 구조물의 상태를 주기적인 정기점검을 통하여 파악하고, 안전에 악영향을 미칠 손상을 사전에 예방하거나 조기에 발견하여 적절한 조치를 취함으로써 누수 안전성을 확보하는 것이다.

즉, 점검결과로부터 구조물의 변화를 인지하고 이로부터 적절한 유지관리 및 보수 계획을 수립 적용하여 결과적으로 구조물의 수명을 연장시킬 수 있다.

## 2. 건축 부위 및 시설물별 방수공사 난이도의 고려사항

현재 방수공사는 관련 전문 기술자의 육성이 활성화되어 있지 않은 상태에서 다양한 방수공사 및 재료가 사용되고 있으며, 초고층 건설공사, 지하공사, 해양공사, 산악공사, 녹화공사 등을 고려할 때 기술적 관리, 시행을 위한 수준의 난이도는 “상”에 해당하는 기술이다.

## 2.1 건축물 방수공사 난이도

### 2.1.1 지붕방수

초고층 건축물의 지붕 방수공법 검토에 있어서 일반적인 재료 및 공법별 요구성능은 물론, 특별히 고려해야할 사항으로 풍압조건에 따른 방수층의 안전성을 확보하기 위해서 내풍압 조건의 강화가 필요하다.

또한 초고층 건축물의 경우 구조물의 거동 및 진동의 영향은 물론 외기 온도의 변화에 따라 바탕체의 수축 팽창 응력이 함께 작용하게 되므로 방수층의 피로저항 또는 내균열 저항성능에 관한 관리 지침이 필요하다.



① 도막 방수공사



② 시트 방수공사



③ 노출형 시트 방수공사



④ 풍압으로 방수층 손상



⑤ 거동으로 인한 균열발생



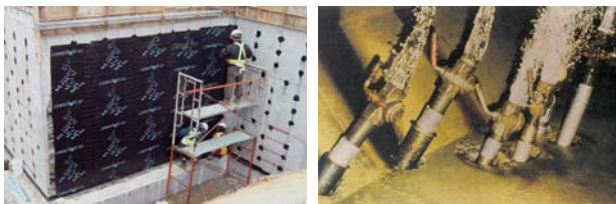
⑥ 내균열(파단) 저항성능

사진 2. 지붕 방수의 종류 및 하자사례

### 2.1.2 지하방수(바닥, 외벽)

도심의 초고층 건축물 지하방수는 일반적으로 합벽구간의 내부방수를 적용하는 경우가 많으며, 진동·거동으로 구조체 균열 발생은 물론 깊은 심도로 인한 수압작용으로 지하수가 유입되는 누수사고가 발생되고 있다. 현행 일반적인 합벽구간의 내부 방수는 시멘트 액체방수 또는 규산질계 분말형 도포방수(침투성 방수)공법 등이 채택되는 경우가 많은데, 이 경우 진동·거동으로 방수층 동시 파단이 발생되어 누수 안전성을 확보하기 어렵게 된다.

이에, 초고층 건축물 지하 기계실, 전기실 등 주요 시설물이 위치하는 곳의 외벽 방수공법은 미리 바닥, 외벽에 방수층을 선 설치하는 외방수공법을 우선적으로 고려하는 것이 유리하며, 높은 수압작용에서 누수 안전성을 확보하고, 방수층 동시 파단현상을 방지할 수 있는 재료 및 공법 등의 시공 관리 지침이 필요하다.



지하 외방수 공법 시공

지하 수압작용으로 누수

사진 3. 지하 방수의 하자사례

### 2.1.3 실내방수(욕실, 화장실, 식당주방)

최근 초고층 건축물 실내 방수는 일반적으로 건식벽체에 방수시공이 이루어지는 사례가 많다. 상부로 갈수록 건축물의 좌우 진동은 물론 건식벽체의 진동으로 패널류의 접합부에서 방수층이 파단되는 사례가 많다.

이에, 물의 사용량이 많은 욕실, 화장실, 주방 등 건식벽체의 접합부 및 관통 파이프 주변 등의 방수층 파단현상을 방지 하고 내수성(방수성)을 확보할 수 있는 시공 관리 지침이 필요하다.



관통 파이프 보강용 실링재

욕실 내수성(방수성)

사진 4. 실내 방수의 보수 사례

### 2.1.4 창호(커튼월 방수)

도심의 초고층 건축물 창호는 일반적으로 커튼월을 많이 적용하고 있으며, 창호 방수재료로는 백업재와 실리콘 등이 주로 사용되고 있다. 그러나, 도심의 초고층 건축물의 창호에는 국지 돌풍의 영향으로 많은 진동이 발생될 수 있으며, 이로 인해 창호를 연결고정하는 접합부로 빗물이 유입되어 누수되는 경우가 많이 발생되고 있다.

이에, 창호 방수재료 시공시 외부 빗물이 유입되지 않도록 면밀한 성실시공(바탕면 이물질 확인, 실리콘 연결부 수밀성 유지 등)은 물론 국지 돌풍의 영향으로 진동에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 특히, 외부 자외선 및 오존에 직접 노출되고, 잦은 진동으로 열화되기 쉬운 만큼 이에 대한 방수재료의 선정과 방수 시공 관리 지침이 필요하다.



진동 및 거동으로 균열 발생

자외선 및 오존 열화

사진 5. 창호의 하자사례

### 2.1.5 녹화공간 및 인공지반 방수

최근 모든 건설공사에서는 지구환경 보전을 위하여 이산화탄소 배출 저감, 유해화학물질 발생 억제, 쓰레기 배출 감소, 신재생에너지의 활용 등 친환경 녹색 기술의 사용을 권장하고 있다. 이에 방수산업분야에서도 콘크리트 등 인공지반(옥상 슬래브, 지하주차장 상부 슬래브, 기타 콘크리트 바탕 등) 위에 조경 식재를 함으로서 친환경 건축을 지향하고 있다. 옥상녹화 방수기술은 시대적 요구에 부응하여야 하는 분야의 기술로서 새로운 기술 개발과 도입이 필요한 방수 분야이다.

인공지반 녹화시스템은 식재층이 항상 수분을 포함하고 있기 때문에 콘크리트 기반층의 보호를 위한 방수계획이 가장 우선적이다. 반면 녹화 조성의 인공 지반층은 뿌리의 영향에 의해 방수층이 손상되면 구조체에 미치는 안전상의 영향 뿐만 아니라, 구조물 사용에 있어서도 많은 불편을 초래한다.

따라서 녹화시스템의 구성층으로는 여러 종류의 물로부터 구조물을 보호하는 방수층과 뿌리로부터 방수층을 보호하는 방근층으로 동시에 구성되어야 한다. 지금까지 인공지반 녹화 방수에 시공되어지는 방수재료는 단일재료로 사용될 경우 식재의 뿌리에 의하여 관통되거나, 내균열성능의 부족으로 시공이 불가능한 재료가 많다.

이러한 방근성능이 없는 방수재료를 사용할 시에는 방수층을 보호해 줄 방근층이 필수적으로 필요하다. 지금까지는 방수와 방근을 별도로 생각하여 왔으나, 최근들어 방수층에 방근의 기능이 겸용된 재료 및 공법도 개발되어 사용되고 있다.

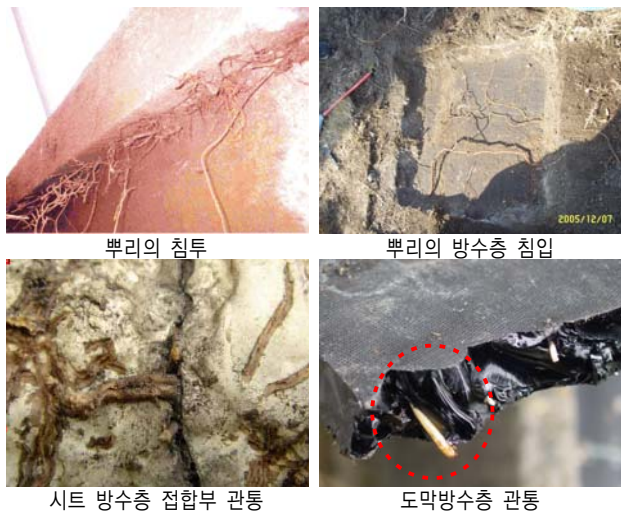


사진 6. 인공지반 녹화층의 뿌리에 의한 방수층 손상 사례

옥상녹화를 계획할 경우 녹화에 따른 방수층에 대한 여러 가지 영향과 빗물의 유출 등, 녹화를 하지 않을 경우와 다른 새로운 조건이 발생한다. 따라서 옥상녹화에 관해 방수구조 및 배수구조에 대한 충분한 배려가 필요하다.

방수층이 노화되는 주된 원인은 자외선과 온도변화 때문이며 식재를 함으로써 그 부분의 노화현상을 막을 수 있다. 반대로 식재하지 않은 부분과의 경계선이나 식재하지 않은 장소에서의 노화가 진행된다. 따라서 옥상 전면을 식재기반으로 덮고 그 위에 통로 등을 마련하는 것도 고려할 수 있다. 옥상녹화에 관한 방수층의 성능조건으로는 종래의 태양열에 의해 재료가 늘어나는 인장응력, 신축성, 내열노화성, 내충격성 등의 성능과 함께 경우에 따라서는 내근성(耐根性), 내토성(耐土性), 박테리아성, 내약품성 등을 고려할 필

요가 있다.

실내·외 녹화공간, 지하주차장 1층 상부슬래브 지상녹화 공간은 장기적인 관점에서 성장력이 강한 식물의 뿌리에 의해 방수층이 뚫리고, 결국 누수사고로 이어질 수 있다. 이에, 녹화공간에 있어서 방수층 시공시 반드시 방근층을 설치하고, 방근성능에 관한 관리 지침이 필요하다.

그 밖에 식재관리를 위해 주기적으로 비료나 농약 등을 사용하게 되므로 내약품성과 토양 중에 사상균, 방선균, 박테리아, 곰팡이, 효모 등에 의해 침식되지 않는 내박테리아성, 토양, 식재 등 적재하중에 눌리거나 손상되지 않는 내하중성 등을 고려한 시공 관리 지침이 필요하다.



사진 7. 방근재료의 종류 및 하자사례

## 2.1.6 수조류(축열조/음용수조/정화조 등)

수조류 중 내부 방수로 “시트 또는 패넬류” 등을 적용하는 경우 방수층에 들뜸, 찢김, 패임, 미접착 부분의 유무, 내산/내알칼리 성능에 관한 시공 관리 지침이 필요하다. 또한, 내부 방수로 “에폭시 수지계, 폴리우레아 수지계, FRP 수지계” 등 도막방수재료를 적용하는 경우 들뜸, 찢김, 패임은 물론, 핀홀, 균질한 도막두께 확보 유무, 내산/내알칼리 성능 등에 관한 시공 관리 지침이 필요하다.

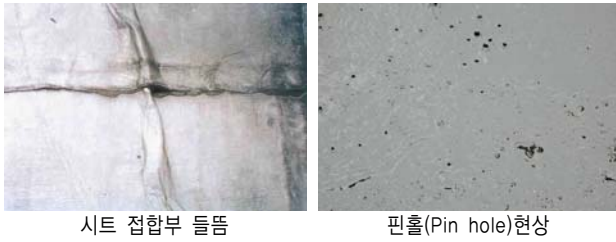


사진 8. 수조류 방수의 하자사례

### 2.1.7 기타 부위의 방수 공사

기타 구조물의 수밀상 취약부위(대수로, 관로, 댐, 유류탱크 등)에 대한 방수시공 및 품질관리 지침이 필요하다

## 2.2 토목 구조물 공사의 난이도

### 2.2.1 교량 방수(고가차도 포함)

#### 1) 철도교량의 교면방수

최근 건설되는 철도교량 바닥판은 대부분 콘크리트와 철근의 조합으로 이루어진 콘크리트 판구조로 이루어져 있다. 그러나 차량하중 및 다양한 환경조건(동결융해, 우수 및 용빙제 등)에 직접적으로 노출되어 있는 도로교 부재에 비교해서 자갈도상, 콘크리트 도상에 의해 일정부분 보호를 받는 구조로 되어있다.

교량 바닥판의 경우, 슬래브두께는 교량형식에 따라 상이하나 일반적으로는 평균 400mm로써 이중 상부철근 위 피복두께는 4cm로 설계되어있으며, 방수층, 보호층, 콘크리트 도상, 침목, 레일 순으로 시공되어 있다. 따라서 이러한 기본적인 구조물의 형상과 구조에 대응할 수 있는 교면방수공법 및 재료의 선정, 유지관리 방안 등에 대한 전문적 검토 및 관련 지침이 필요하다.

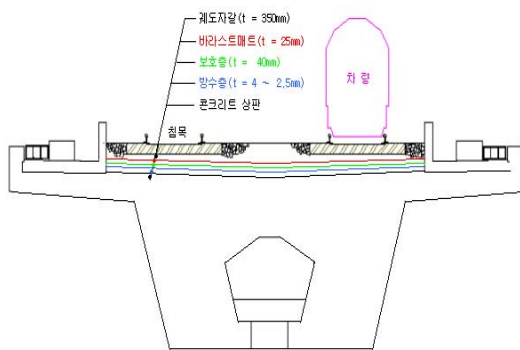


그림 4. 고속철도교량의 단면 구조(PSC BOX)

#### 2) 일반 도로교량의 교면방수

일반 도로교량의 콘크리트 교면에 사용되는 방수재는 여러 종류의 재료로 구성되어 있으며, 아스팔트 고무, 수지, 섬유, 광물질, 휘발성 용제와 같은 원재료를 두 가지 이상 혼합해서 사용한다. 방수재의 재료성상과 사용방법 또는 내구성 등은 원재료의 성능에 크게 좌우되므로 원재료에 대하여 잘 알고 사용하는 것이 중요하다.

방수재는 주로 공법 및 재질에 따라 분류할 수 있는데, 일반적으로 공법에 따라 1차 분류하고, 재료의 구성성분, 화학적 특성, 형태 등에 따라 2차 분류를 한다. 일반적으로 시트식, 도막식, 흡수방지식(콘크리트 혼입용 방수재와 액상형 흡수방지재, 이하 「흡수방지식」이라 표기함), 복합식(시트+도막과 같이 2가지 이상 종류를 복합한 방수재, 이하 「복합식」이라 표기함) 등 크게 4종류로 구분되며, 재료의 화학적 특성을 따르자면 열경화성 또는 열가소성, 개질 또는 비개질, 보강 또는 비보강 등으로 구분할 수 있다. 일반적으로 교면방수 시스템 구성은 다음 표 2와 같으며, 다양한 적용방안에 대한 검토가 필요하다.

표 2. 교면 방수공법의 일반적 분류

| 구분  | 구성                                            | 공법                            |
|-----|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| 시트식 | 시트 4mm<br>+<br>보호층 40mm                       | 보호층 (As'con)<br>시트 방수<br>교량교면 |
| 도막식 | 고무계 및<br>역청계<br><br>도막 2.5mm<br>+<br>보호층 40mm | 보호층 (As'con)<br>도막 방수<br>교량교면 |
| 수지계 | 도막 2.5mm                                      | 도막 방수<br>교량교면                 |
| 침투식 | 침투깊이 4.0mm                                    | 침투 방수<br>교량교면                 |

## 2.2.2 터널 방수

기존 터널 방수 공법(ECB방수공법)은 경질 ECB시트를 란델을 사용하여 고정시킴으로서 그림 5에서와 같이 라이닝 콘크리트 타설시 숏크리트면의 굴곡에 의해 경질 ECB 시트에 응력이 발생하여 숏크리트에 강결점으로 고정된 란델부위에 응력이 집중되어 시트가 찢어지는 현상이 발생할 수 있는 구조로 되어있다.

그러나 관련 신기술에서는 그림 6에서 보는 바와 같이 직접적으로 시트와 숏크리트면이 강결점으로 고정되어 있지 않고 부직포 날개 부분이 기계 고정 방식에 의해 숏크리트면에 고정되어 있어, 라이닝 콘크리트 타설시 시트 전체가 숏크리트 굴곡에 따라 대응하여 밀착하기 때문에 시트에 응력이 발생하지 않아 방수막의 파단을 미연에 방지하는 구조로 개발되어 적용되고 있다.

터널 방수는 사회의 지속적인 발전과 더불어 안전하고 경제적이며, 환경친화적인 도로 터널 건설이 요구되어 지고 있으며, 실질적으로 사용자와 시공자 모두가 현실적으로 체감할 수 있는 부분인 방수공사의 중요성이 터널 공사의 중요한 공사의 하나로 부각되어가고 있다.

또한 고속철도의 건설, 전국의 고속도로망 확충(바둑판 모양), 기존 도로의 고속화에 따른 선형개량(직선화) 등의 터널 공사 수요가 계속적으로 증대되고 있는 실정이므로 이에 대한 관련 기술개발이 필요하다.

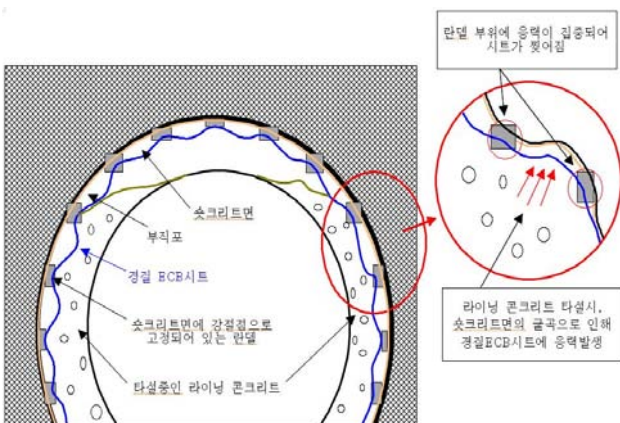


그림 5. 터널 방수공법(라이닝 콘크리트) 타설시 시트 파단

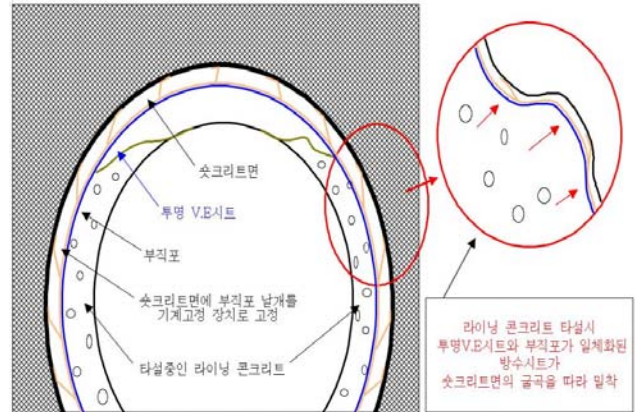


그림 6. 특수구조를 통한 신기술 터널 방수시트의 파단 방지

## 2.3 지하공간 방수(개착식 전력구)

방수의 관점에서 지하 전력구조물의 구조는 철근콘크리트 구조물 등의 종류에 따라 방수 형태를 결정하게 된다. 이러한 구조물과 구조적으로 연결되는 터널 및 지하차도 등 기존 구조물과의 접합부에서는 거동이 크게 작용하며, 이로 인하여 방수층이 파손되어 누수가 발생한다.

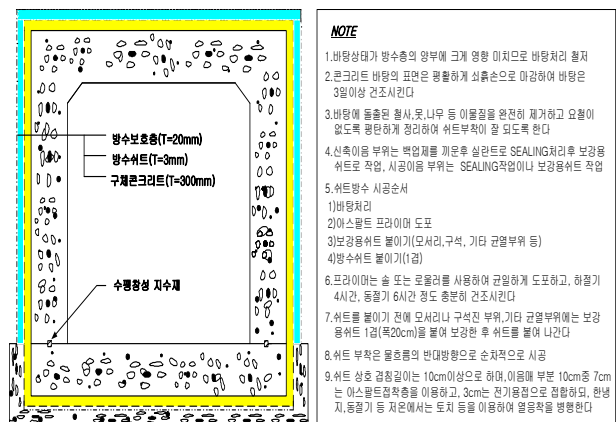


그림 7. 개착식 전력구 방수 표준도



개착식 구조물 시공현황

개착식 구조물의 누수

사진 9. 개착식 구조의 시공현황 및 누수사례

## 2.4 수조구조물 방수

### 2.4.1 수조용 구조물의 외벽면에 대한 방수기술

콘크리트는 그 시공과정에서 수밀상의 결함(균열, 시공이음부, 폼타이, 곰보 등)이 반드시 발생하므로 구조물의 안정성 및 외부로부터 작용하는 수압을 콘크리트 층에서부터 1차적으로 차단할 수 있도록 결함부에 대한 보수작업이 반드시 필요하다.

그러나 수조용 구조물의 경우는 그 시공단계에서 콘크리트 외측에 제대로된 방수시공을 하지 않고, 타르우레탄 등으로 간단히 표면처리만 하는 정도에 그치고 있으므로 콘크리트 바탕면에서 발생하는 결함에 의한 누수의 유입이나, 수밀성 부족으로 인한 수분흡수를 막는것이 근본적으로 불가능한 상태이다. 따라서 저장 음용수가 외부로 새어나가지 않더라도 지하구조물의 특성상 외부로부터 침입하는 물에 대해서는 취약한 구조물이 될 수밖에 없는 것이다. 즉, 콘크리트 수조의 바닥부 및 외벽부에 대한 완전한 방수작업 없이 내측에만 방식층을 형성할 경우는 방수능능적 측면에서 볼 때 콘크리트구조물은 방수능능을 잃은 상태가 되므로 콘크리트 누수가 지속될 시 내부 방식층과 콘크리트 사이의 계면으로 물길이가 형성되어 종국에는 방식층 단독으로만 저수조역할을 하는 것이나 다름이 없는 상태가 되는 것이다. 따라서 이러한 수조구조물의 방수에 대한 적정방수공법 선정, 품질기준설정, 유리관리지침 작성등이 필요하다.

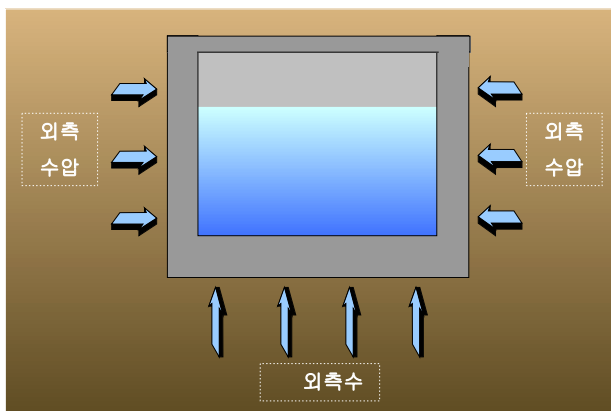


그림 8. 콘크리트 외측 수압작용에 대한 개념도

### 2.4.2 수조용 구조물에 대한 방식처리 기술

수처리 시설은 국민의 생활과 직결되는 식수용 음용수를 생산 공급하는 주요 국가 보호 기반 시설물이다.

수처리 시설은 크게 착수정, 혼화지, 응집침전지, 여과지, 정수지, 송수 펌프실, 배출수지, 농축조, 배수지 등으로 구성되고, 이들 구조물은 대부분 철근



사진 10. 배수지 내부기동 열화

콘크리트 구조로 건설되고 있다. 이들 수처리 시설들은 음용수의 생산 및 공급 과정에서 각 시설별로 화학약품에 이용한 응집, 살균, 소독의 과정을 거치면서 장시간 염소, 염산, 황산, 가성소다 등의 영향을 받아 표층부가 열화되면서 콘크리트가 침식되고, 철근이 부식되어 구조적 안전성을 해치고, 음용수의 수질을 오염시킬 수 있다.

따라서 이를 방지할 목적으로 콘크리트 수처리 시설의 내부에는 방식재를 도포하여 콘크리트의 열화(부식)를 방지하여 왔다.

수처리 시설물의 안전은 크게 구조적 안전과 위생안전으로 구분한다. 구조안전은 구조체의 균열을 통한 음용수의 누출로 지반이 약화되거나, 수처리 과정에서 사용되는 각종 화학약품에 의한 콘크리트의 침식으로 내구수명이 단축되는 것이다. 위생안전은 구조체 균열을 통한 외부 오염수의 유입이나, 구조체 내부에 도포한 방식재에 포함된 유해 성분이 음용수에 용출되거나, 콘크리트의 침식에 따른 시멘트 모르타르 성분, 알칼리 성분(수산화 칼슘)등의 용출에 의한 수질의 변화이다.



방식재 균열 및 열화



방식층 균열 및 수산화칼슘 용출

사진 11. 방식층 하자사례 및 현황

이를 방지하기 위하여 그 동안 수처리 시설 내부에는 에폭시수지계 방식도료를 도포한 방식기술이 적용되어왔다. 그러나 이 에폭시수지계 방식공법은 계절의 변화에 따른 시공관리, 사용 재료의 지속적 품질 안정성, 시공 후 방식재의 유지관리 등에 있어서 어려움이 따르고, 장기적 내구성 및

수질에 미치는 환경 영향 등에 있어서 많은 개선의 필요성이 제기되어 왔다.

이러한 이유로 최근에는 에폭시수지계 방식공법을 대체하기 위해 스테인레스 금속판, 강화유리, PE 시트 등 새로운 재료 및 공법이 개발되어 시범적으로 적용되고 있으며, 적극적인 사용도 검토하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 신소재 및 공법이 수처리 시설의 요구 성능에 적합한 성능을 가지고 있는 지, 현장 적용성, 장기적 내구성 및 유지관리 성능, 경제성 등을 확보하고 있는 지에 새로운 의문이 제기되고 있다.

특히, 현 단계에서는 이러한 신소재, 신공법이 확보하여야 할 요구 성능에 대한 기준 및 평가 방법이 마련되지 않은 상황에서 해당 시설을 설계, 시공하는 엔지니어의 입장에서도 명확한 판단 기준이 없이 제품 선정에 곤란을 겪고 있는 실정이다.

지금까지의 수처리 시설에 있어서 방식에 대한 요구 성능이 불명확하였다. 기존의 수처리 기술은 주로 염소처리 방식에 의한 것이었고, 최근에는 정수처리 기술의 발전으로 오존을 이용한 고도수처리 방식 기술도 도입되고 있다.

기존의 재료 중심 공법 선정 방법은 다양한 방식 재료별로 각각의 시방서 및 품질기준이 있기 때문에 설계자 및 시공자가 각 재료에 대한 전문성을 이해하기 어렵고, 재료별 경쟁이 크므로 설계, 시공 및 유지관리 관점에서 많은 문제점을 발생 시켜왔다. 따라서 향후 서울시 상수도사업본부는 방식 성능, 환경 문제, 정밀시공 및 품질 관리, 유지관리 등을 고려하여 공법 선정상의 합리성 제고, 기술의 발전에 대한 적절한 대응 전략으로서 아래의 수처리 시설에 필요한 요구 성능의 기준을 설정하고, 이에 합당한 재료 및 공법을 선정하는 내부 방식 시공 및 품질기준의 정립이 필요하다.

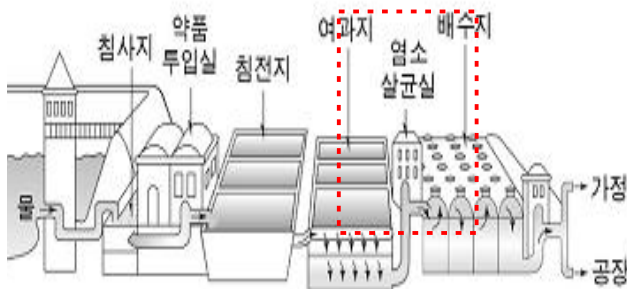


그림 9. 염소를 이용한 정수방법

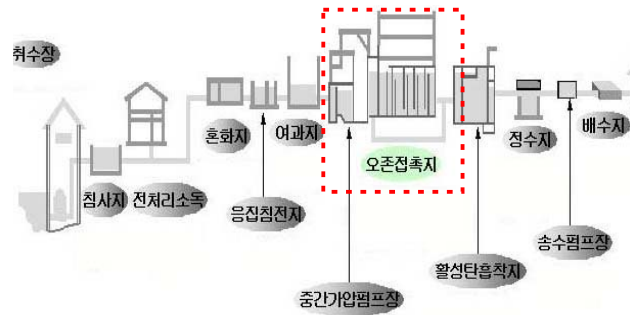


그림 10. 오존을 이용한 정수방법

## 2.5 하저(해저) 공간 방수

### 2.5.1 부산-거제간 연결도로(해저구간)

부산광역시 강서구 천성동 가덕도에서 거제시 장목면 유포리까지 8.2km를 도로 폭 21.6m(왕복 4차선)로 해상에 건설하는 공사로서 사업시행자가 자본금을 투입하고



사진 12. 침매터널 내부

시설물을 완공하여 정부로 소유권을 넘긴 뒤 그 운영권을 일정기간 사업시행자가 가지며, 운영에 따른 통행료 수입으로 사업의 수익을 얻는 BTO(Build-Transfer-Operate)방식으로 약 2조3천억 원의 사업비를 투자하여 2004년 착공하여 2010년에 준공할 계획이다. 이 도로가 완공되면 부산에서 거제까지 육상으로 돌아가는 140km의 거리가 약 60km로 줄어들며 시간도 2시간 30여분에서 40분으로 대폭 단축되어 파급효과가 매우 크다. 이 구간의 일부는 해저의 침매터널로 건설되는데 침매터널(Immersed tunnel)이란 지상 또는 수면 상에서 제작한 합체를 물에 띄워서 원하는 위치까지 이동하고 준설선에 의해 미리 수중 굴착된 Trench 저면에 침설시킨 후 수중에서 합체를 연결하고 사석 등으로 되메우기를 하여 터널을 완성시키는 침매공법으로 건설된 터널을 말한다.

침매공법(Sinking Type)은 1910년 미국 디트로이트 하저의 철도 터널 건설로부터 발달했다. 80m 길이의 10개 강철튜브를 수심 15m 하저에 설치하고 이들을 연결한 뒤 그 외벽을 수중 콘크리트로 타설하여 만든 것이다. 침매 터널의 공정은 우선 작업야드(드라이 독)에서 터널 구조체를 만들어 해저 터널이 설치될 장소로 이동시켜 미리 조성된 해저 작업구간에 모래를 깔고 그 위에 구조체를 설치한 뒤 구

조체 외부를 흙과 돌을 쌓아 손상을 방지한다.

이때 가장 중요한 것이 침매구조체와 구조체 사이(조인트)부의 수밀처리 및 콘크리트의 수밀성확보이며, 이와 관련된 기술요소에 대한 지속적 기술 확보 및 개선이 필요하다.

### 2.5.2 해외(싱가폴 Kallang/Paya Lebar 고속도로)

Kallang/Paya Lebar간 총연장 12km 고속도로 건설공사 중 왕복 6차선 지하 터널 구조물로 싱가포르 육상 교통청(LTA: Land Transport Authority)이 발주한 구조물이다. 2002년 착공하여 2007년 완공하였다.

구조물 외벽에 적용된 방수공법은 시공이 간편한 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법(비투션 냉공법, 2 Layers)이 적용되었으며 방수층 보호를 위해 25mm의 폴리스티렌 프로텍션 보드와 75mm 블록쌓기의 2중 보호층을 설치하였다.

우리나라도 도심지 주요간선도로를 하저에 설치하기 위해 계획중이며, 대표적으로 동부간선도로 하저화 공사, 서부간선도로 하저화 공사 등이 있으며, 이에 대한 설계, 시공, 품질, 유지관리 등에 대한 기술적 검토가 필요하다.

## 3. 결 론

- 1) 21세기에 들어 우리나라의 건설분야(초고층 건축물, 원전 발전소, 대수로 건설, 고속철도 건설, 교량건설 등)가 최근 세계적인 경쟁력을 확보하는 눈부신 발전과 함께, 국가적으로도 시설물 안전 및 유지관리가 선진국 수준으로 한 단계 도약하기 위해서는 무엇보다 설계 엔지니어링 기술, 시공기술, 시설물 유지관리 기술, 안전진단 기술 분야의 조직과 해당 전문 기술자의 역량 강화가 한층 더 발전하여야 하는 시점이다.
- 2) 최근 유비쿼터스 도시건설, 초고층 건설, 해양건설, 저심도(지하) 건설, 대공간 건설 등과 관련하여 국가기반 시설 및 사회간접자본, 민간자산 등의 장기적, 경제성 관리 기술을 비롯해 시설물 안전 및 유지관리 분야의 기술이 신속하게 발전하고 있는 것을 감안할 때 국내 시설물의 안전 및 유지관리가 선진국 수준으로 도약하기 위해서는 시설물의 방수 기술의 발전과 인력 양성도 필수적이다.

- 3) 이러한 시설물의 건축, 시공, 설계, 안전 및 유지관리에 관한 기술 사항 중 가장 중요하게 대두되고 있는 문제 중의 하나가 시설물에서의 누수 문제로서 인한 안전성 훼손, 내구수명 단축, 이의 보수를 위한 막대한 비용의 손실(매년 총 건설비용의 2%이상 투입으로 추산)과, 시설물 안전에 커다란 장애가 됨으로써 이에 대한 대책으로 방수 기술 분야의 전문 인력 양성 및 기술 수준 향상이 시급하게 요구되고 있는 실정이다.
- 4) 과거 성수대교, 삼풍백화점의 붕괴사고 이후 '95년 "시설물안전을 위한 특별법"의 제정, 건설기술관리법의 제정을 통하여 시설물 설계, 시공, 품질, 안전 및 유지관리의 법적 체계가 구축되었으며, 이 기초 위에 시설물의 건설, 안전 및 유지관리 체계가 발전되고, 기술인력·산업·정보화 기반도 일정수준 조성돼 향후 시설물의 건설, 안전 및 유지관리 선진화를 위한 기반을 구축하였다.
- 5) 그러나, 국가 기반시설(초고층 건축물, 공공주택, 교량, 댐, 지하도로 고가도로, 터널, 해저시설, 상하수도 시설, 발전소 등) 안전 및 유지관리 실태에 대한 검토 결과 아직도 지자체, 민간 관리주체 등 많은 시설물에서의 품질, 안전 및 유지관리 역량이 미흡한 점, 운차 제적 성격이 있는 입낙찰제도 하에서 영세한 다수의 민간진단업체와 유지관리업체가 존재하여 부실진단 및 보수/보강이 이뤄지는 점, 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술자에 대한 체계적인 인력양성체계가 미흡하고, 동 분야 기술이 아직 선진국의 60~70% 수준에 불과한 점, 이외 소규모 취약시설물에 대한 체계적 설계, 품질, 시공, 안전관리가 미흡한 점 등 추가적인 개선이 필요한 점 등의 문제점이 존재하고 있다.
- 6) 정부 및 지방자치단체, 한국토지주택공사, 한국도로공사, 한국수자원공사, 한국철도공사, 한국전력공사 등 정부투자기관들에서 발주하는 모든 건설공사, 약 2000여개의 일반 건설 회사에서 건설하는 민간 건설 공사에는 필수적으로 방수공사를 수행하게 된다.
- 7) 방수산업은 국민생활과 직접적으로 관계하는 사회기반 시설의 장기적 안정성 확보, 내구 수명 확보, 사용의 편리성 확보를 위해 필요한 건설기술로서 도시안전성 확보 차원에서 공익적 성격이 강한 기술 분야이므로

국가차원의 검증이 필요하다.

- 8) 따라서 국가에서는 국내외적으로 시설물(국가기반시설, 사회간접자본 시설 등)의 장기적 안전성과 유지관리의 경제성 확보를 위하여, 또한 국제적인 경쟁력 확보와 기술 인력 수출을 위한 장기적 비전을 가지고 방수 산업기술 분야의 경쟁력 강화를 위한 연구 개발 및 교육 프로그램을 구축하여 전문 기술자를 양성해 나갈 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

1. 기문당, 건축기술핸드북시리즈 방수공사, 2008
2. 대한건축학회, 건축공사표준시방서 방수공사 편, 1994
3. 대한전문건설협회, 방수공사핸드북, 1998
4. 청우미디어, 건축방수시스템의 설계와 시공 CD-ROM, 1997
5. 建築工事標準仕様書 同解説 JASS 8 防水工事 日本建築學會, 2002
6. 東京の地下技術-特殊な地下を掘る-かんき出版, 2002
7. 日本水道協會, 高度淨水施設導入ガイドライソ, 1998
8. 地下防水の決め手-地下防水の設計と施工-建築技術, (株)建築技術, 1992
9. U.S. EPA, Summary of drinking Water Regulations Since SDWA Amendments of 1986, 1991
10. Waterproofing Concrete Foundations, The Aberdeen Group, 1999
11. Waterproofing-the Building Envelope-Michael T Kubal, McGraw Hill, 1993