

# 지하 콘크리트 구조물의 적정 방수공법 선정을 위한 평가시스템 제안에 관한 연구

## Improvement of Selection System of Waterproofing Methods for Concrete Structure

**오 상 근\***  
Oh, Sang Keun

**곽 규 성 \*\***  
Kwak, Kyu Sung

**최 성 민\*\*\***  
Choi, Sung Min

**권 시 원\*\*\***  
Kwon, Shi Won

### Abstract

Water leakage could be caused deterioration of environmental conditions, user condition, reduction of life span and long term safety in underground concrete structure. Many materials and construction method to repair on these problems have been developed, however, it is not proper to successful repair or raise problem of increasing repair cost.

However, there are many limitations as practical appraisal methods due to different view of reliability for test methods. Because, it was not enough that the technical objectivity could be lack and also application of environmental condition is inadequate.

In this paper, we suggest varied test methods divided to appraisal for property of matter, construction, manufacturing, specification and maintenance, friendly environmental condition. It could be more practical as a objective standard considering various angles.

In summy, it should be subdivided and differentiated to accomplish proper application and to select proper materials and construction method for repair even if the synthetical condition is very complicated.

키워드 : 물성평가, 시공기술, 생산기술, 시방서 유지관리지침, 친환경성

Keywords : Property of matter, Construction, Manufacturing, Specification and Maintenance, Friendly Environmental Condition

## 1. 서 론

지하 콘크리트 구조물에 있어서의 누수 문제는 장기적 안전성을 저해하거나, 내구 수명을 단축시키는 요인이 되고, 사용환경을 열악하게 하는 원인이 되고 있다. 이에 대해 누수 부위를 보수·보강하기 위한 재료 및 공법은 다양하지만, 많은 경우 적합한 기술이 적용되지 않거나 시공의 실패로 오히려 유지관리 비용만 증가되는 문제도 사회적으로 지적되고 있다.

이러한 문제 해결을 위해 민간 기업에서는 구조물의 장기적인 내구수명 유지와 사용상의 안정성 확보 차원에서 신기술을 지속적으로 개발하여 왔다. 그 결과 최근에는 지하 콘크리트 구조물의 방수와 누수 보수를 위한 기술이 다양화되고 있다. 그러나, 이러한 기술을 적용하는 현장의 환경 및 시공 조건도 까다로워지고 있고, 품질관리 수준도 높아지고 있어 현장 적용성 및 성능을 검증할 수 있는 시험평가 방법의 확립도 중요하게 요구되고 있다.

이에 방수 및 누수의 하자발생 원인을 설계단계에서부터 분석하여 취약부위의 구조적·재료적 성능저하에 대응 가능한

방수 기술의 적합성 유무를 판단할 수 있는 성능 평가 방법을 제안하고자 한다.

## 2. 방수공법 선정 평가방법 구축의 필요성

### 2.1 지하 콘크리트 구조물에 대한 안전한 방수의 사회적 요구

현실적으로 콘크리트 구조물의 누수 문제는 방수 기술 수준의 한계로 인해 전 세계적으로도 해결이 어려운 기술로 인식되어지고 있다. 선진 기술국에서도 허용누수량을 전제로 하여 지하구조물의 방수 및 배수를 관리하고 있다. 더욱이 국내의 많은 건설기술자들도 완전 방수에 대한 회의적 시각으로 인해 지하 콘크리트 구조물의 방수를 형식적으로 도입하거나, 누수 사고 발생시에도 이를 근본적으로 해결하려는 적극적 노력보다는 실내로의 유입수를 유도 처리하는 방법으로 처리하고 있다.

이러한 고정 관념은 방수 관련 기술의 발전을 저해하는 요소로 작용하고 있으며, 방수공사가 건설공사에 있어서의 중요성을 인식하면서도 낙후된 공사로서 낙인되고 있는 것도 현실이다. 또한 누수문제는 건설 산업의 부실로까지 이어지는 사회적 문제로 확산되고 있으므로 이에 대한 해결책으로서 안전한 방수공법의 개발과 선택시스템의 구축이 필요하다.

\* 서울산업대학교 공과대학 건축학부 교수, 공학박사

\*\* BK방수기술연구소 소장

\*\*\* 건설신소재응용평가연구소 소장

\*\*\*\* 서울산업대학교 산업대학원 석사과정

## 2.2 콘크리트 구조물에 대한 시설 보전 및 내구수명 확보

기간 시설물, 에너지 저장시설물, 교통시설물, 군사시설물 등 대형의 지하 콘크리트 구조물은 부등침하, 온도변화, 교통 진동, 수압 등에 의한 변위 발생이 크므로 균열부, 이어치기부, 익스펜션 조인트부 등은 누수 취약부가 될 수 있다. 더욱이 장기적으로 누수 취약부가 거동, 수압, 진동, 온도차 등의 영향을 받게 되면 누수발생으로 인한 내부 시설의 훼손은 물론이고 구조물의 장기 내구수명에까지 영향을 끼치게 된다. 이에 대해 장기적 내구수명 확보가 가능한 적정 방수 공법의 개발 및 선정시스템의 구축이 필요하다.

## 2.3 구조물 손상저감 및 유지관리 비용 절감의 요구

방수는 재료적 특성에 맞도록 환경을 개선한 뒤 시공할 수 있으나, 누수 보수는 누수 환경에 보수재가 부합되어야 하므로 방수에 비해 기술적 난이도가 높다. 기존의 다양한 누수보수 재료나 공법이 있음에도 불구하고 계속적으로 재누수가 발생하는 것은 현재 해결되어야 할 방수기술의 문제점이기도 하다. 누수와 같이 반복되는 하자 발생은 구조물의 내구 수명 저하뿐만 아니라, 반복적인 보수비용의 지출에 따른 유지관리비의 상승을 초래한다.

특히 보수를 위한 천공 및 파치 등은 지하 콘크리트 구조물의 손상을 필연적으로 수반하고, 손상된 콘크리트에 대한 완벽한 복원이 어려운 기술적 현실을 감안할 때 보수행위 자체가 곧 구조물의 손상을 의미하게 되므로 이것을 방지할 수 있도록 안전한 방수기술이 설계 단계에서 선정되어야 한다.

## 3. 방수공법 선정 평가 시스템의 도입

### 3.1 평가시스템의 제안 목적

지금까지 지하 콘크리트 구조물에 대한 방수공법의 선정 방법은 지하 구조물이 처한 각종 열화 환경조건을 극복하기 위하여 있어서 성능설계 개념보다는 단순히 방수재료를 중심으로 선정되어 왔다. 때문에 지금까지는 많은 방수재료와 공법이 사용되어 왔지만 여전히 누수하자문제가 발생하고 있고 이는 또 다른 설계상의 혼란을 가져오게 하고 있다.

본 평가시스템 제안의 목적은 지하 콘크리트 구조물이 처할 수 있는 환경요인(방수성능을 저하 요인)을 설계단계에서 분석하고, 시공 중에 발생하는 각종 실패 요인을 현장 사례 중심으로 분석하여 지하 콘크리트 구조물의 환경 조건에서 반영구적으로 대응할 수 있는 방수공법 및 재료를 선정하고자 함이다. 이는 현장에서 적합한 시방 기준의 적용 및 품질관리의 수행을 체계화 할 수 있을 것이다.

### 3.2 평가시스템 적용 절차

지하 콘크리트 구조물의 최적 공법 선정을 위해서는 지하 구조물의 규모, 구조형태, 건설지역의 환경조건, 위치, 유지관리 대책, 경제성 등의 시공환경과 각종 방수공법 분류에 따른 재료적 특성(제품의 종류 및 시방)을 전체적으로 고려해 그 적용성을 면밀히 판단할 필요가 있다. 최적의 지하방수를 선정하

기 위해서는 먼저 적용대상이 되는 구조물의 구조형식 및 부위별 시공특성에 대해 분석한다. 그 분석결과에 따라 적용 가능한 방수공법을 선정(다수의 적정 공법)한 후 방수재가 처할 수 있는 환경조건 및 적용 부위별 적용성을 고려하여 최종적인 적정 지하방수공법을 선정(소수의 적정 공법) 한다.

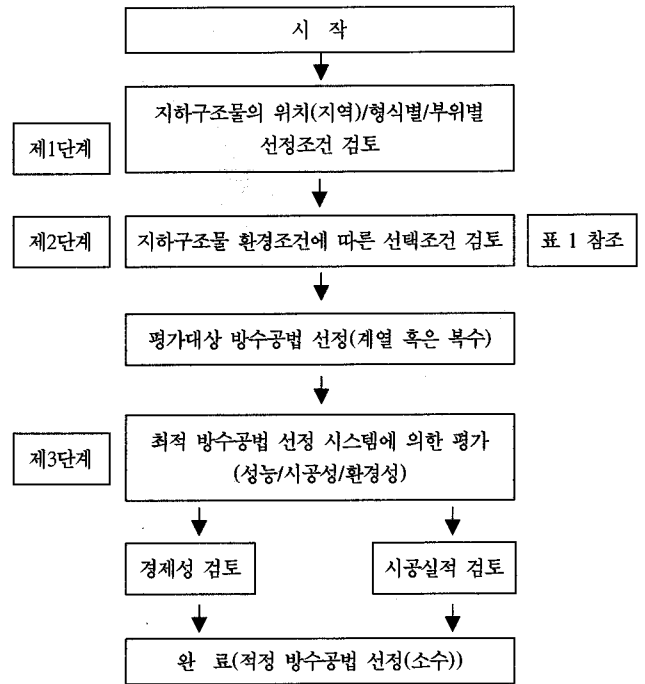


그림 1. 평가시스템의 흐름

표 1. 지하구조물 설치지역 환경조건

구분	환경조건	평가사항
도심	주변의 구조물 사용조건에 의해 영향을 받는 지역	진동·거동
전원, 산간계곡	구조체에 대한 자연환경열화가 경미하다고 예측되는 지역	동결융해 진동·온도·수압
공장지구	공장과 인접 지구로 이산화 탄소 및 질산화물, 지하수 오염(화학수, 유류) 등의 영향으로 부식의 진행이 빠른 지역	중성화 화학저항성 수압·온도
대기오염지구	도시 등에서 오염도가 대단히 높아서 부식의 진행이 대단히 빠른 지역	중성화 화학저항성 수압·온도
해안지구	해안이 가까운 지구로 해수 및 해염입자의 영향으로 부식의 진행이 빠른 지역	염해 동결융해 수압·온도
해저지구	해저에 설치된 구조물 또는 이와 동등한 부식환경에 놓여 있는 지역	염해 수압
해변공업지구	해안과 공장의 환경조건이 중복된 지역	염해 중성화 화학저항성 수압·온도

표 2. 방수공법의 시험평가 항목

평가 구분	평가항목		평가내용	
성능 시험	공법	1. 열화환경저항성	각 재료별로 현장의 환경조건(동결융해, 중성화, 염해, 화학적환경, 온도변화 등)에 따라 필요항목을 선택하여 관련 시험을 실시한다.	
		2. 상온침적 부착안전성	상온에 장기간에 걸쳐 방수층이 정착되었을 경우 재료 및 공법상의 품질이 유지되고 있는지의 성능을 평가한다.	
		3. 구조물 거동대응성	a. 전조바탕 b. 습윤바탕 균열 및 이어치기, 익스팬션 조인트 등 누수 취약 부분에 시공된 방수층이 구조물의 거동 및 진동으로부터 발생된 영향력에 의해 찢김 손상 혹은 들뜸이 발생하는가의 여부를 평가한다.	
	재료	1. 방수성	각종 처리과정을 통한 방수층의 수밀성이 저하여부를 평가한다.	
		2. 내외력성능	a. 골재폐입내구성	토사, 골재 및 방수 바탕의 요철부에 의한 국부적이고, 지속적인 재하에 대한 방수층의 파손 및 두께손실 등을 평가한다.
			b. 내충격성	
		3. 접착성	콘크리트 내부에 포함된 수분의 증발, 외부의 토양이나 수압, 구조물의 시공조인트 및 균열부의 거동에 의해 방수층이 들뜨거나 파단 혹은 접착성이 저하되는지 여부를 평가한다.	
		4. 접합부 안전성	시트간 접합 조인트부에 집중응력에 의한 접합부 시공에 따른 안전성능을 평가한다.	
		5. 반복거동에 대한 저항성	a. 내피로	재료자체의 반복거동 즉, 피로를 반복적으로 가함에 따른 재료적 피로반응과 탄성 및 신축성을 평가할 수 있는 항목이다.
			b. Crack Bridging	
c. 내균열성				
시공 기술	공통	바탕처리 방법 (단차처리, 이어치기 및 EJ조인트, 균열보수보강은 기본적으로 수행함)	시공의 간편성을 위하여 콘크리트 표면의 레이턴스, 굽보 및 핀홀처리 등의 바탕처리 시행 유무를 평가한다.	
		공정수(바탕처리 제외)		
		기본공정 (프라이머 도포/방수재 처리/보호층 설치)	공사관리의 간편성과 시공의 정밀성 확보를 위하여 방수공사의 총 공정수를 평가한다.	
		양생기간	시공품질 확보 및 공사기간의 관리를 위하여 해당 공법에 대한 방수 시공 시작부터 방수 시공 종료(완전건조)까지의 기본공정에 소요되는 일수(단위면적당)를 평가한다.	
	도막	도포방법	도막재의 방수시공방법이 방수층의 두께 균일성·시공성 등을 고려하여 뽕칠형 혹은 도포형(로울러, 주걱 등) 인지를 평가한다.	
		두께 균질성	도막재 시공 후 건조까지의 두께 균질성을 평가한다.	
	시트	시트간 접착	시트간 접합부의 수밀성 확보를 위한 시공기술의 간편성을 평가한다.	
		바탕면 접착	시트와 바탕간의 수밀성 및 부착 안전성 확보를 위한 시공기술의 간편성을 평가한다.	
	복합	시트간 접착	바탕재와 방수재의 접착부 수밀성 및 부착안전성 확보를 위한 시공기술의 간편성을 평가한다.	
		재료간 접착	방수재와 방수재의 접착부 수밀성 및 부착안전성 확보를 위한 시공기술의 간편성을 평가한다.	
생산 기술	생산공장	해당 제품의 원활한 공급 및 생산 품질관리의 신뢰성을 평가한다.		
	기술인증	해당 방수재료 및 공법에 대한 정부공인 유무를 평가한다.		
시방서/유지관리 지침	시방서	해당 방수기술의 현장 품질확보를 위한 시공기술지침(시방서 등)의 작성, 준비 정도로 평가한다.		
	누수보수대책	해당 방수기술의 시공 중 방수층관리 및 시공 후 누수보수 대책기술의 확보 유무를 평가한다.		
친환경성	친환경자재사용	방수자재의 친환경적 생산과정 및 시공이후의 친환경성을 평가하고, 시공과정상 인체에 유해한 용제계재료의 사용 유무를 평가한다.		
	폐기물 발생 및 재활용성	사용 주자재 및 보조재료의 시공 및 보수과정에서의 폐기물 발생량과 재활용 가능성 수준을 평가한다.		
참고사항	경제성	각 공법별 일위대가를 기준으로 단위면적당 평균적 시공비 제상을 통해 경제성을 평가한다.		
	국내외 적용실적	각 재료 및 공법별 국내·외적용 실적을 평가한다.		
	현장 시공기술 평가	시공의 용이성, 시공의 안전성, 방수층의 품질관리 용이성, 자재의 운반, 취급 등 현장 Mock-up 시험의 타당성 등을 종합적으로 분석한다.		

## 4. 방수공법 선정 평가 항목

방수재가 갖추어야 할 성능은 구조물이 요구하는 조건에 따라 다양하게 설정될 수 있다. 예를 들어 해안가에 건설되는 구조물은 염해 환경조건을 고려해야 하며, 대형구조물의 경우는 콘크리트의 수축팽창에 따른 익스펜션 조인트부나 균열부 등의 거동으로 인하여 반복적인 피로가 발생한다. 이와 같이 콘크리트 구조물이 처한 환경조건에 따라 적용되는 방수재료 및 공법은 구조물 전체의 안전성과 사용성에 큰 영향을 미치므로 설계 및 시공 단계에서 완벽한 방수 품질을 확보할 수 있는 방법이 도입되어야 한다. 이와 관련하여 방수품질 및 성능을 검증할 수 있는 시험 및 평가방법을 표 2와 같이 구분하여 제안하고자 한다.

### 4.1 재료 물성의 평가

방수재가 갖추어야 할 성능은 구조물이 요구하는 조건에 따라 다양하게 설정될 수 있다. 해안가에 건설되거나 제빙제를 사용하는 구조물은 염해 환경 조건을 고려하고, 대심도 지하구조물의 경우는 토압·수압 및 지반의 침하 등에 대한 장기적 내구성능(균열 거동 저항 성능)이 요구될 것이다. 따라서 구조물의 환경조건에 따른 방수공법 및 재료의 선택은 구조물 전체의 안전성과 사용성에 큰 영향을 미치므로 설계 및 시공 단계에서 안전한 방수 품질을 확보할 수 있는 방법이 도입되어야 한다. 따라서 구조물의 방수공법 및 재료적 성능 평가는 열화환경저항성(동결융해, 중성화, 염해, 화학적 환경, 온도변화 등), 구조물 거동 대응성, 습윤면 부착성, 방수성, 내외력성, 접합부 안전성, 반복거동에 대한 저항성 등의 내구성능 평가가 필요하다.

### 4.2 시공 기술의 평가

방수는 최종적으로 인력(기능공의 기술)에 의해 완성된다. 그러므로 사용재료 및 시공 관리가 복잡하고, 양생기간이 오래 걸리는 등 공법에 대한 작업자의 인식정도 및 숙련도, 작업 자세, 관리 정도, 안정성 등에서 품질의 결과가 크게 달라질 수 있다. 이와 같은 실패요인이 가장 적은 시공 기술을 적정 방수 공법으로 선정할 필요가 있다. 시공기술 평가 항목은 바탕처리, 용제계 재료 사용 유무, 공정수, 양생기간, 도포방법, 두께 균질성, 시트의 접합 방법, 재료간 접착 방법 등의 시공기술도 평가 방법으로 요구된다.

### 4.3 생산 기술의 평가

방수재의 원료는 각각의 제조사 및 공급책 별로 성능에서 차이가 있을 수 있어 방수재 조사는 원료의 구매처가 변경될 경우 시험 생산을 통해 종래 생산 제품과의 균질성 여부를 파악하며, 경우에 따라서는 배합비를 변경하기도 한다. 그러나 원료 공급사에서는 공급 수량이 부족할 경우 타회사의 물품을 제조사와 합의 없이 조달하여 공급하므로써 제조사의 품질관리 시스템이 미비한 경우 제품의 부실 생산으로 연결되기도 한다. 이와 같은 국내 기술 상황에 따라 원활한 현장 시공 및 품질관리를 위하여 생산기술 평가방법이 요구되며, 평가 항목은

생산 공장의 보유 유무, 국가공인 기술의 인증 유무, 국내의 현장 적용 실적 등도 평가 대상으로 한다.

## 4.4 시방서 및 사후 유지관리 지침의 평가

방수 공정이 인력에 의존한다는 관점에서 본다면 재료의 생산 및 시공과정에서의 부실(접합부 수밀성, 바탕처리, 이어치기부 처리, 균열처리 등)은 피할 수 없는 사실이라 볼 수 있다. 또한 방수재는 고분자 유기화합물로 구성되어 완벽히 시공되었다 하더라도 일정 기간이 지나면 부분적 또는 전체적으로 방수 기능을 상실할 수 있다. 그러므로 구조물 누수는 시점에서 차이가 있을 수 있으나 어느 정도 발생된다는 사실을 염두해 두고 방수설계 시 반드시 누수 처리방안(사후유지관리)도 동시에 고려되어야 한다. 따라서 각 방수공법 및 방수재가 가지는 시방서 및 사후 유지관리 지침(누수보수 대책)의 기술 정도를 평가한다.

## 5. 방수공법 선정 평가 내용 및 지표

### 5.1 공법 및 재료물성 평가

#### 5.1.1 열화환경 저항성 시험

##### (1) 동결융해 시험

콘크리트 구조물은 동결융해 작용을 받으면 콘크리트 중의 수분이 동결팽창하고, 이들의 반복적인 작용에 의해 콘크리트 표면의 조직이 파괴에 의하여 균열, 스텔링, 팝-아웃 등이 발생되며, 표면부 부터 성능이 저하된다. 이와 같은 동해를 고려하여 평가할 경우 동해에 의한 성능저하는 물론이고, 동해를 간접요인으로 해서 콘크리트 구조물에 작용하는 각각의 영향도 고려하여야 한다.

##### (2) 중성화 시험

중성화는 철근 표면의 부식보호막(부동태피막층)을 잠식하여 철근의 보호막을 일단 파손한 후에 철근을 부식시키는 다른 물질, 즉, 습기, 산화물과 기타 유해물질이 철근에 접촉함으로써 부식이 시작된다.

따라서 구조물이 처한 환경조건상 중성화 가능성이 높은 오염지역일 경우 반드시 중성화에 대한 저항성 확보여부를 확인할 수 있는 평가 항목이다.

##### (3) 염해저항성 시험

해안부 철근콘크리트 구조물에 있어서 성능저하의 주원인은 염소이온의 침입에 의한 철근의 부식이다. 현재 철도교량의 대부분은 내륙지방에 건설되고 있지만 현재 계획되고 있는 동해선과 같이 해안 인근에 건설될 경우 적절한 염해대응성 확보여부는 교면방수층의 성능평가에 있어서 중요한 변별력을 가진다.

##### (4) 화학저항성 시험

콘크리트 구조물의 화학적 침식이란 콘크리트의 시멘트 수화물이 어떤 종류의 화학물질(부식성 물질)과 반응하여 용출됨

에 의하여 조직이 다공화 되거나 반응에 의하여 팽창을 일으켜 구조물의 성능이 저하하는 현상을 말한다. 이와 같은 화학적 침식은 산, 알칼리, 염류를 사용하는 각종 공업, 동식물성 기름, 유기산 및 당류를 사용하는 식품공법, 온천지대, 산성 하천 유역 및 하수도, 하수처리 시설 등의 콘크리트 구조물에서 나타나고, 성능저하 상황은 각각 다르다. 따라서 콘크리트에 대한 대표적인 부식성 물질인 산, 동식물성 기름, 황산염, 기타의 염류, 부식성 가스, 당류 및 강알칼리 등에 대한 성능평가가 필요하다.

**(5) 온도변화시험**

지하구조물의 건설조건, 지역조건 등에 따라 주변의 온도변화에 방수층은 많은 영향을 받게된다. 온도 영향은 구조체가 받는 것과 방수재가 받는 것으로 구분하여 공법적·재료적 안전성을 평가하여야 한다.

**5.1.2 구조물의 거동 대응성 시험**

인장시험기 상부지그와 체결

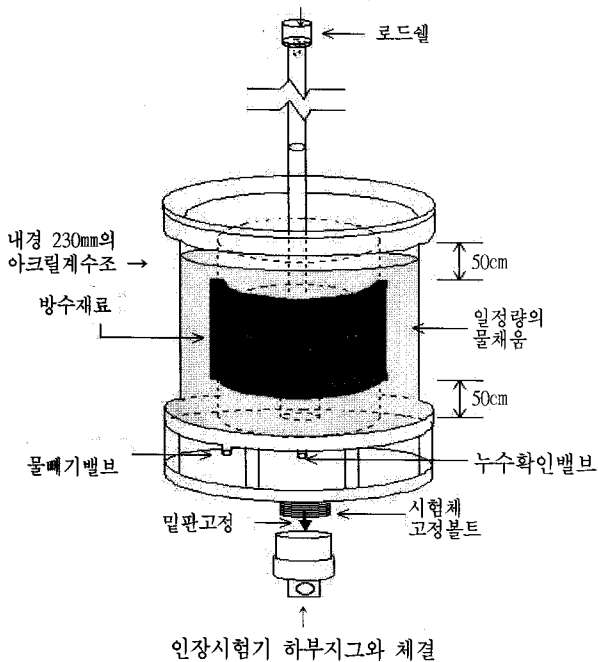
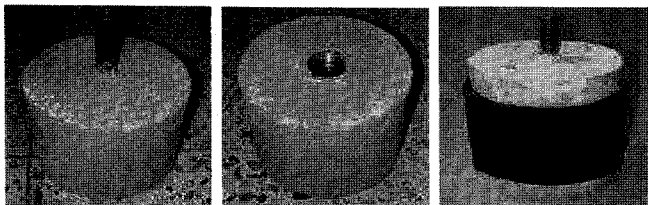


그림 2. 시험체가 장착된 시험체 구성개요



(a) 상부 (b) 하부 (c) 완성된 시험체

사진 1. 시험체 제작 과정

구조물의 균열 및 이어치기, 익스펜션 조인트부 등 누수 취약 부분에 시공된 방수층이 구조물의 거동 및 진동으로부터 발생된 영향력에 의해 찢김, 손상 혹은 들뜸이 발생할 수 있다. 이러한 배경을 바탕으로 구조물의 거동 대응성 시험을 통해 방

수 시공 이후 방수층의 성능 정도를 평가한다. 시험장치 및 시험체 구성은 사진 1과 같고, 시험체는 그림 2와 같이 시험수조 내에 설치하여 인장시험기 상·하부 지그에 체결한다. 시험은 3 단계(상온, 저온, 저온수중)로 진행되며, 거동폭 5.0mm(허용 오차 ±0.2mm이내), 거동 속도 50mm/min 로 100회 반복 시험한다. 시험결과를 통해서 손상된 방수층으로 유입된 물이 방수층과 콘크리트 구조물 표면 사이에 형성된 들뜸 부위를 통해 확산, 이동하는지에 대한 누수경로를 파악하여 실질적인 원인을 찾을 수 있다.

**5.1.3 방수성**

방수성능은 방수재료가 가져야 할 필수성능이므로 반드시 평가해야하는 항목이며, 투수시험 전에는 각종 전처리 과정(무처리, 동결융해처리, 건조·침수처리, 냉온반복처리, 장기침수 처리)을 거친 시험체를 투수시험기(300kg/cm<sup>2</sup> 압력, 3시간 가압)로 투수 시험하여 방수층의 수밀성을 평가한다. 단, 시트의 경우 접합부의 투수성 시험을 위해 접합부가 생기도록 방수층을 시공한다.

**5.1.4 내외력성**

방수시트 설치 후 흠뻑메우기에 대한 방수층의 보호시, 누름층 및 프로텍션 보드 등을 설치하는데, 이때 보호층이 골재나 방수 바탕의 요철부에 의해 국부적이고, 지속적인 재하를 받게 된다. 이와 관련하여 본 내외력성 평가는 골재패임 내구성, 내충격성시험을 통해 방수층의 파손 및 두께손실 등의 유무 관찰이 가능하다.

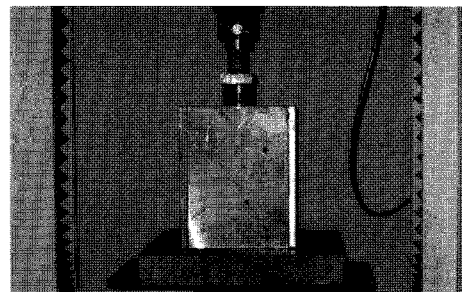


사진 2. 골재패임 내구성 시험

**5.1.5 집착성(집착강도)**

방수층이 시공된 이후에는 콘크리트 내부에 포함된 수분의 증발 등에 의해 방수층이 들뜨게 되거나, 구조물의 시공조인트 및 균열부의 거동, 외부 토압이나 수압의 영향 등에 의해 방수층의 들뜸부가 파단된다.

한편 들뜸부는 집착성이 저하되어 방수층의 기능이 손실되는 경우가 발생되므로 콘크리트 구조체와 방수층 간의 충분한 부착성이 요구된다. 시험방법은 상기 5.1.3항에 따라 각종 전처리 과정이 끝난 시험체를 대상으로 부착시험을 통해 평가한다.

**5.1.6 접합부 안전성(접합강도)**

방수층이 시공된 이후 구조물의 시공조인트, 균열 등의 거동에 따라 방수층은 계속적인 응력을 받게 된다. 특히, 재료자체의 자기수축 및 팽창 등에 의해 시트간 접합부는 집중응력이 가해져 파단이 발생하게 된다. 따라서 접합부의 수밀성이 중요

하게 요구되므로 접합부 시공에 따른 안전성을 평가하는 것이 중요하다.

### 5.1.7 반복거동에 대한 저항성

본 시험항목은 5.1.2항과 같이 구조물의 거동에 따른 재료의 대응성을 평가하는 것과는 다르게, 재료자체의 거동을 반복적으로 가하여 재료적 피로반응과 탄성 및 신축성을 평가할 수 있는 항목이다.

내피로시험(KS F 4917방법 준용), Crack Bridging 시험(ASTM C 836준용), 내균열성시험(KS F 4931, 4932준용)으로 시험체의 부착 상태 또는 균열발생, 손상여부 등을 평가한다.

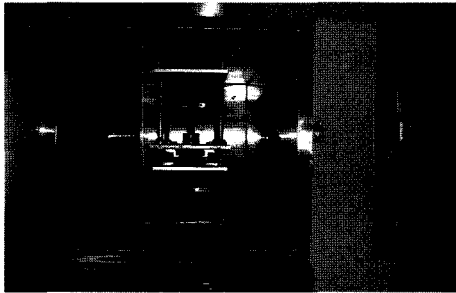


사진 3. Crack Bridging 시험

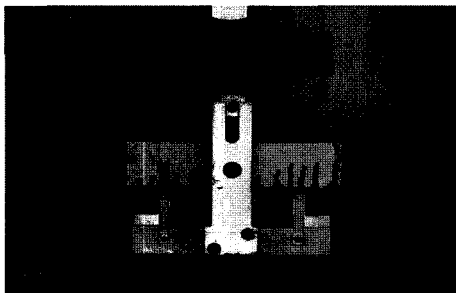


사진 4. 내균열성시험

## 5.2 시공 기술 평가

시공 성능은 작업자에 대한 기능 요구가 적어 반드시 숙련공이 아니더라도 손쉽게 시공하므로 하자율을 줄일 수 있는가를 다음 사항을 중심으로 우선적으로 평가한다.

### 5.2.1 공통사항

#### (1) 바탕 처리 방법

바탕처리는 단차처리, 이어치기 및 익스펜션 조인트, 균열보수보강은 기본적으로 수행하도록 하되, 시공의 편리성을 위하여 콘크리트 표면의 레이턴스, 곰보 및 핀홀처리 등의 바탕처리 시행 유무를 평가한다.

#### (2) 용제계 재료 사용 유무

틀루엔 등 유기용제 등이 함유된 프라이머나 도막재는 발암 물질을 함유하고 있어 작업자에게 직접적인 위해를 가할 뿐만 아니라, 시공성 측면에서도 외기 온도에 따라 시공성능(여름철 핀홀(기포) 발생, 겨울철 점도 상승)이 좌우되므로 시공 품질의 균질성을 확보하기가 곤란하다. 또한 수용성 물질도 습윤바탕면에 시공될 경우 삼투압 작용에 의해 인근 수분이 작용하

로 점도가 낮아지게 되며, 이로 인해 방수재에 함유된 물질의 비중 차에 따라 재료분리 현상이 발생됨으로 부착력 저하란 결과를 초래하므로 용제 타입별로 구분하여 평가한다.

#### (3) 습윤면 시공성

현장 공사 관리의 편리성을 위하여 특히, 지하 구조물이 처하게 되는 습윤환경으로 콘크리트 바탕면이 젖어있을 때, 시공이 가능한 공법인지의 유무를 평가한다.

#### (4) 공정수

인력에 의존하는 방수 공사에서 공정의 다과는 시공 인력에 의한 부실의 다과를 의미하므로, 공정수가 적은 공법일수록 부실의 가능성이 줄어든다. 또한 적은 공정은 공사시간에 여유를 제공하므로 무리한 공정의 강행에 따른 부실시공을 방지할 수 있다. 그러므로 방수의 품질 확보 및 현장 공사 관리의 편리성을 위하여 충분한 방수성능을 확보하고, 바탕처리를 제외한 순수 방수공정이 적은 공법일수록 현장 품질관리가 우수한 것으로 평가한다.

#### (5) 양생기간

방수재의 경화는 기후 및 온도와 밀접한 영향을 받는다. 경화시간이 짧은 재료는 적합한 기후 및 온도에 적합한 시간에 시공할 수 있으므로 적정 방수 품질을 확보하기가 유리하다. 그러므로 시공품질 확보 및 공사시간의 관리를 위하여 해당 공법에 대한 방수 시공 시작부터 방수 시공 종료(완전건조)까지의 기본공법에 소요되는 단위면적당 일수를 평가한다.

표 3. 시공 기술 평가 기준 1

항 목	평 가 지 표
공 통	바탕처리를 하지 않아도 되는 공법
	바탕처리를 보통으로 수행한 공법(물청소, 건조)
	바탕처리를 정밀히 수행한 공법(곰보, 핀홀처리, 바탕조정제 바름 등)
기 본 공 정	공정수가 3회인 공법
	프라이어 도포
	방수재처리
양 생 기 간	공정수가 4회인 공법
	보호층 설치
	공정수가 5회 이상인공법
양 생 기 간	소요일수 1일
	소요일수 2일
	소요일수 3일 이상

### 5.2.2 계열별

방수는 재료의 성질 및 특성에 따라 시공난이도가 달라질 수 있으며 또한 시공자에 따라 품질의 차이가 발생되므로 계열별 평가가 이루어져야한다. 즉, 도막계 도포방법 및 두께 균질성을 평가하고, 시트계는 시트간의 접착성 및 바탕면 접착성을 평가하고, 복합계의 경우는 시트간 접착성 및 재료간 접착성을 평가한다. 각 항목별 공통사항 및 계열별 시공기술평가의 기준은 표 4와 같다.

표 4. 시공 기술 평가 기준 2

항 목		평 가 지 표
도 막 계	도포방법	뿔칠형 도포형
	두께 균질성	균질 불균질
시 트 계	시트간 접착	자착식(접착제)
		열융착식 접착제
	바탕면접착	자착식(접착제)
		열융착식 접착제
복 합 계	시트간접착	자착식(접착제)
		열융착식 접착제
	재료간접착	자착식(접착제)
		열융착식 접착제

### 5.3 생산 기술 평가

#### 5.3.1 공장관리(생산공장)

해당 제품의 원활한 공급 및 생산 품질관리의 우수성 및 신뢰도를 평가한다.

#### 5.3.2 기술인증

건설신기술, NT, KT, 특허기술 등과 같은 해당 방수재료 및 공법에 대한 공인 유무를 평가한다.

표 5. 생산 기술 평가 기준

항 목	평 가 지 표	
생 산 공 장	공장보유(자체생산)	
	위탁생산	1개 제품
		2개 제품이상
기 술 인 증	건설신기술+특허기술(NT/KT포함)	
	건설신기술	
	특허기술	
	없음	

### 5.4 시방서 및 유지관리 지침 평가

본 항목은 표 6과 같이 각 사가 작성한 시방서를 분석하여 관련 담당자의 기술적 수준, 문서상에서의 의사전달 능력, 기타 관리 능력 등을 간접 평가하고, 사후 유지관리는 건설된 구조물의 내구성 확보 측면과 유지관리비의 절약이란 측면에서 대단히 중요하다. 즉 누수가 발생된 이후 즉각적이고도 근본적인 대응 방법이 없을 경우 무분별한 보수 방법의 적용으로 보수가 반복되며 비용의 소모뿐만 아니라 철근 부식 및 구조물 훼손 등 열화가 진행되어 장기적으로 구조적 결함의 원인을 제공하게 된다.

특히 현재의 기술력으로는 한번 손상된 콘크리트의 복원이 불가능하다는 사실을 조건으로 할 때 누수보수 공법이 시공 과정에서 천공파치 등 콘크리트 손상을 기본적으로 수반하게 되므로, 보수의 반복은 오히려 구조물의 손상을 가중시켜 내구성에 치명적 영향을 주게 된다.

그러므로 방수는 재료의 생산 및 시공단계에서의 부실, 시공 이후 재료 누수가 발생될 가능성이 있으므로 본 유지관리 항목은 방수재료 및 공법의 선정 평가 항목 전체와 동일한 가치를 두어 평가할 필요가 있다.

표 6. 시방서 및 유지관리 지침 평가 기준

항 목	평 가 지 표
시방서	양호
	보통
누수보수대책	있음
	없음

### 5.5 친환경성 평가

#### 5.5.1 친환경성 자재사용 유무

톨루엔 등 유기용제 등이 함유된 프라이머나 도막재에서 발생된 냄새는 섬세한 공정을 수행해야하는 작업자에게 심리적 불안감을 조성하므로 작업 안정성을 해치며, 그 자체에 발암물질을 함유하고 있어 작업자에게 직접적인 위해를 가한다. 유기용제는 오존층을 파괴하는 물질을 함유하고 있으며, 시공성 측면에서도 외기 온도에 따라 시공성능(여름철 뒤틀림(기포) 발생, 겨울철 점도 상승)이 좌우되므로 시공 품질의 균질성을 확보하기가 곤란하다. 수용성 물질도 습윤바탕면에 시공될 경우 삼투압 작용에 의해 인근 수분이 작용하므로 점도가 낮아지게 되며, 이로 인해 방수재에 함유된 물질의 비중 차에 따라 재료분리 현상이 발생되므로 부착력 저하란 결과를 초래한다. 즉 점도가 낮아짐에 따라 필러 등 비중이 무거운 물질은 침강되며 반대로 비중이 적은 고분자 물질은 상승된 상태에서 경화되므로 부착력이 약해지거나 방수층의 균질성이 반감된다. 그러므로 본 항목에서는 유기용제 타입, 수용성 타입, 무용제 타입 등으로 구분하여 평가한다.

#### 5.5.2 폐기물 발생/재활용성

폐기물 발생과 관련하여서는 보호공법에 사용되는 주재료의 사용주기(재료자체의 내구년수를 감안하여)를 중점 고려하였고, 재활용성에서는 현재 폐기물 재활용 기술과 실적 등을 감안하여 검토한다.

표 7. 친환경성 평가 기준

구 분	평 가 내 용	평 가 지 표
친 환 경 자 재 사 용	방수자재의 친환경적 생산과정 및 시공이후의 친환경성을 평가하고, 시공과정상 인체에 유해한 용제계 재료의 사용 유무를 평가한다.	무기질 재료 사용
		유무기질 복합재료 사용
		유기화합물의 사용
폐 기 물 발 생 및 재 활 용 성	사용 주자재 및 보조재료의 시공 및 보수과정에서의 폐기물 발생량과 재활용 가능성 수준을 평가한다.	용제계 재료 사용(주재료)
		폐기물 발생량 적고 재활용성 높음
		폐기물 발생량 적고 재활용성 낮음
		폐기물 발생량 많고 재활용성 높음
폐기물 발생량 많고 재활용성 낮음		

표 8. 평가 대상의 방수공법 및 재료에 대한 시험 결과 종합표(예시)

평가 구분	열해 환경하의 방수공법 및 재료성능 (40점)										시공기술 (25점)						생산기술 (10점)		시방서,유지관리 (5점)		친환경성 (10점)		참고사항 (10점)		총점 (100점)		
	공법 (20점)					재료 (20점)					공통 (15점)			계열별 (각각 10점)			기술인증 (5점)		시방서 확보	누수보수대책	친환경 소재사용	폐기물 발생 및 재활용성	경제성	국내·외 적용실적		현장 시공기술 평가	
	열화 환경 저항성	구조물 거동 대응성	습윤면 부착 안전성	방수성	내외 력성능	접착성	접합부 안전성	반복 거동에 대한 저항성	바탕 처리 방법	공정수 기간	양생 기간	도막계 (10점)		시트계 (10점)	복합계 (10점)		공장 보유 (KS / ISO)	기술인증 (5점)									
												도포 방법	두께 균질성	시트 간 접착	바탕 면 접착	시트 간 접착		재료 간 접착									건설 신기술
배점	10	5	5	5	5	2.5	2.5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2	3	2	5	5	5	3	2	2	100
A공법	10	3	5	5	5	2.5	2.5	5	5	5	5	3	-	-	-	-	5	3	2	3	2	5	5	3	2	2	93

비고 : 본 표의 점수는 이해를 돕기 위한 것으로서 임의로 설정된 것임.

## 5.6 참고사항

### 5.6.1 경제성

각 공법별 일위대가를 기준으로 단위면적당 평균적 시공비 계산을 통해 경제성을 평가한다. 지하 콘크리트 구조물 환경에 적합한 LCC개념의 장기적인 경제성 평가를 위해서는 검토되는 방수공법들의 장기 내구성 확보수준에 대한 정량적 지표가 마련되어야 하나 아직 우리나라에는 이러한 내구성 지표로 활용할 수 있는 자료가 없으며, 지속적으로 개발 보완되는 방수 재료 개발 과정의 특성상 일률적인 기준의 적용이 사실상 어렵다.

### 5.6.2 국내·외 적용실적

각 재료 및 공법별 국내·외 적용 실적을 평가한다. 즉, 국내·외 적용 실적이 많을수록 재료 및 공법의 우수성을 인정받을 수 있으며, 재료 및 공법적 노하우(know-how)가 크다고 볼 수 있다.

### 5.6.3 현장 시공기술 평가

방수는 최종적으로 인력(기능공의 테크닉)에 의해 완성된다. 그러므로 특정 공법에 대한 작업자의 인식정도 및 숙련도, 작업 자세 등에 따라 품질의 결과는 크게 달라질 수 있다. 따라서 이와 같은 실패요인이 가장 적은 시공법을 갖는 방수기술을 선정한다.

시공 성능은 작업자에 대한 기능 요구도가 적어 숙련공이 아니더라도 손쉽게 시공하므로 하자를 줄일 수 있는가를 우선적으로 평가하며, 그 이외에 재료 접합부의 성능 및 단차 발생 여부, 습윤 바탕표면에서의 시공 용이성, 구조물의 굴곡부위에서의 시공 용이성, 재료의 친환경성(용제 타입과 비용제 타입의 구별), 기타 자가치유성능 등 기능성 유무 등을 평가함으로써 방수층의 안전성을 확보할 수 있다.

추천된(평가대상) 방수 및 누수 보수공법을 대상으로 국내 시공현장을 방문하여, 시공의 용이성, 시공의 안전성, 방수층의 품질관리 용이성, 자재의 운반, 취급 등 현장 Mock-up 시험의 타당성 등을 종합적으로 분석한다.

## 6. 결론

- 1) 현재까지 일반적인 재료적 물성 시험만으로는 기술평가의 객관성 부족, 실험 시 현장조건의 적용 미비 등으로 인하여 업체 및 시험평가연구기관 등에서 방수시스템 적용시의 평가방법에 대한 신뢰성 여부에 이견 많아 실질적인 평가방법으로서는 한계점이 있었다.
- 2) 본 연구에서 제안한 지하 콘크리트 구조물의 적정 방수시스템을 선정하기 위한 공법 및 재료물성평가, 시공기술평가, 생산기술평가, 시방서 및 유지관리 지침 평가, 친환경성 평가 등의 방수시스템 평가방법은 표 8의 예시와 같이 정리하여 표현할 수 있으며, 이 방법은 재료적 측면 이외에 현장 기술 및 생산 기술 그리고 사후 유지관리 부분까지도 다각도로 평가 가능한 종합적이고, 객관적인 지표로서 활용될 수 있다. 그 밖에도 경제성 평가를 통해 좀 더 실질적인 공법 선정이 이루어질 수 있을 것이다.
- 3) 본 연구에서 제안한 선정평가방법은 향후 보다 복잡한 건설 환경 조건에도 적절한 공법의 선택과 적용이 이루어질 수 있도록 세분화·차별화·다각화된 방법으로 활용되며, 발전되어야 한다.

## 참고문헌

1. 오상근(2004), 건설구조물의 방수공사 감리의 전문성 제고, 「건설감리」
2. 대한주택관리사협회, 한국건설기술연구원(1998), 「공동주택의 방수공사 유지관리매뉴얼」
3. 서울특별시 시설관리공단(2005), 「21세기 공동구 발전방안」
4. 한국콘크리트학회, 유신코퍼레이션(2004), 「열해 환경하의 지하구조물의 방수공법 및 방수제에 대한 시방 작성 연구」