

지하 콘크리트 구조물의 거동에 대한 방수층의 대응성 평가에 관한 실험적 연구

Performance Test Method on the Influence Waterproofing as Behavior of Concrete Structure

○ 노 종 수* 권 시 원** 광 규 성*** 권 기 주**** 오 상 근*****
Noh. Jong- Soo Kwon. Shi-Won Kwak. Kyu-Sung Kwon. Kee-Joo Oh. Sang-Keun

Abstract

The massive structures are not free to move with vibration, differential settlement, thermal stresses because, construction and expansion joint, crack etc., can be large enough to cause leakage as deformation of waterproofing. It has been depended on the test method of tensile/tear strength which is waterproofing performance as behavior of concrete structure crack. However, not to practically confirm the creep applied to concrete surface, even waterproofing membrane have more performance than definite strength and elasticity.

Therefore, in this study will focus on the test method to consider a resistance performance about loose adhesion and deformation of waterproofing and behavior of concrete structure as construction/expansion joint, crack.

Performance test method on the influence as behavior of concrete structure crack is to choose waterproofing materials and construction method which possible to confront with behavior of 50mm crack in the atmosphere and low temperature.

Examine the deformation of waterproofing membrane and loose adhesion which can occur to structure in general job site, suggest standard testing method to analyze correlation waterproofing membrane and structure with 5-types of materials used in this study, such as Adhesion membrane and sheet complex, sheet and urethane complex, self-adhesive sheet, spray poly-urea, spray membrane of rubberized Asphalt.

키 워 드 : 거동대응성, 균열, 지하콘크리트구조물, 부착성능
Keywords : Resist of Behavior, Crack, Underground Concrete Structure, Adhesive Property

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

균열부, 이어치기부, 익스펜션 조인트부 등은 구조물 진동, 부등침하, 온도변화에 따른 수축 팽창시 가장 변위가 크므로 누수 사고가 잦은 취약부이다. 누수사례의 조사분석 결과, 원인은 크게 재료의 불균질성, 현장 시공 여건의 미충족, 방수 시공 후 구조물의 거동 및 변형에 대한 재료의 대응성 부족 등에서 찾을 수 있다.

이에 방수 실패 및 누수요인을 설계단계에서부터 분석하여 취약부의 구조 및 재료적 변위율을 감소시킬 수 있도록 방수층의 대응성에 관련한 성능시험 평가방법이 필요하다. 특히 오늘날과 같이 방수공법이 다양해지고 환경 및 시공조건에 따라 큰 차이를 나타내고 있는 방수공법을 합리적으로 평가

하여 실제 적용한다는 것은 무엇보다 어려운 일이다.

그러나 일반적으로 사용환경에 따라 방수재료 및 공법적용을 달리해야하며, 현장작업 역시 수작업에 의존하는 경우가 많으므로 현장환경을 고려한 보다 실증적인 평가검증을 통한 적정 방수공법의 선택이 중요할 것이다.

1.2 연구의 내용

현재 구조물의 균열에 대한 방수층의 평가방법으로는 인장시험 또는 인열시험으로 평가되고 있으나 콘크리트 구조물 표면에 부착된 방수재의 실질적 변형 성능을 확인할 수 없으며, 특히 일정 이상의 강도와 탄성을 유지할 경우 변별력을 전혀 가질 수 없다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 균열부 등에서 구조체 거동과 방수층의 파손 및 방수층 접착면 들뜸에 대한 저항성능을 실무적으로 고찰할 수 있는 실험방법을 제시하고 5가지 형태의 방수공법을 대상으로 평가하여 그 결과를 분석하고자 한다.

* 정회원, 서울산업대학교 산업대학원, 석사과정

** 정회원, BK방수기술연구소, 연구원

*** 정회원, BK방수기술연구소, 소장

**** 정회원, 한전전력연구원 구조연구실, 그룹장

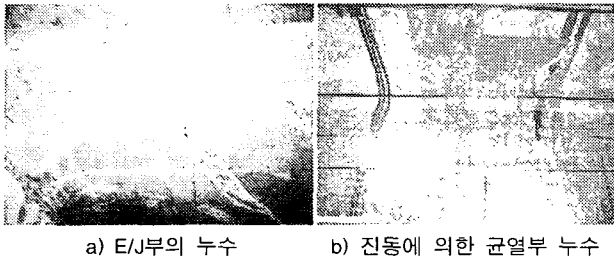
***** 정회원, 서울산업대학교 건설대학 교수

2. 지하 구조물의 누수원인

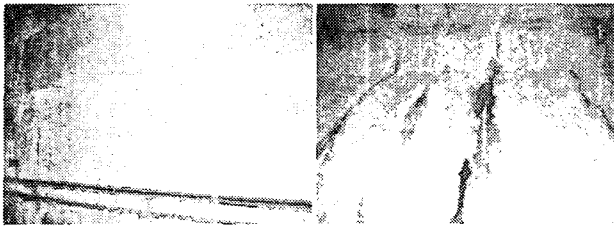
2.1 구조체 결함에 따른 누수형태

최근 국내에는 지하 통신구, 지하 전력구, 지하차도 및 터널 등과 같은 개착형 Box 혹은 Shield형의 터널 구조물 등 지하구조물의 건설이 다양화되고, 그 수요도 점차 급증하고 있는 실정이다.

사진 1은 지하 콘크리트 구조물에 발생된 누수현황으로서 구조체의 부식 및 침식현상, 구조 안정성의 훼손됨을 알 수 있으며, 그에 따른 누수보수에 의한 사회비용도 증가하고 있는 실정이다.



a) E/J부의 누수 b) 진동에 의한 균열부 누수



c) 이어치기부의 누수 d) 구조체 수축팽창에 의한 누수

사진 1. 지하구조물의 누수현황

2.2 누수결함 발생원인

1) 지하콘크리트 구조물의 환경요인

일반적으로 지하콘크리트 구조물에서 발생하는 누수원인은 다음 표1과 같이 분류될 수 있으며, 이러한 환경조건 및 사용조건에 따라 E/J부, 이어치기부 등 구조물의 취약부에 온도변화에 따른 구조체의 수축팽창, 구조물 사용상 발생하는 각종 진동 및 부등침하에 의해 방수층의 피로파괴, 조인트부의 탈락이나 물이 확산 등을 증대시키는 요인이 된다.

표 1. 지하콘크리트 구조물의 주변환경 및 사용조건

· 저장수조건	· 음용수, 오폐수, 화학처리수 외 기타)
· 거동영향(내외부 진동)	· 부등침하조건
· 온도영향(열팽창수축현상)	· 수압 및 수량조건
· 지하수조건(담수, 해수, 오폐수 외)	

2) 구조체 및 방수층 결함별 요인

구조체 및 방수층의 누수유형을 살펴보면 표 2와 같이 분류할 수 있다. 흔히 누수발생을 방수층 자체의 결함에 의한 것을 평가하는 경우 많지만, 실질적으로 구조체의 결함에서 누수사고가 다소 높은 비율로 발생됨을 알 수 있다.

사례를 통하면, 구조체 바탕의 미건조(22.4%), 바탕의 균열 발생(11.7%) 등 대체적으로 높은 비율을 차지하는 결함으로 나타났으며, 이 외에 방수재 품질불량, 방수시공불량, 바탕의 미건조, 끝단고정 불량, 기타 등의 원인이다.

표 2. 원인별 사고현황(일본건축학회 자료)

원인	사고유형	부풀림	파 단	박 리	계(건)	비율 (%)
바탕의 균열		23	56	21	100	11.7
바탕의 미건조		180	3	8	191	22.4
끝단고정 불량		16	6	106	128	15.0
방수재품질 불량		21	16	7	44	5.2
방수시공 불량		96	20	81	197	23.1
방수사양선택실수		25	11	11	47	5.5
치켜올림부족		-	-	18	18	2.1
누름층의 거동		-	21	10	31	3.6
물구배부족		5	1	2	9	0.9
타공공에 의한 손상		-	12	-	12	1.4
유지관리 부실		-	11	-	11	1.3
기 타		19	18	29	66	7.7
계		385	175	293	853	100
비 율(%)		45.9	20.5	34.3	100%	

2) 방수층의 피로파괴 원리

지하 콘크리트 구조물의 방수층은 바탕 콘크리트의 각종 요인에 의해 수축 팽창에 의해 파단 됨을 알 수 있다.

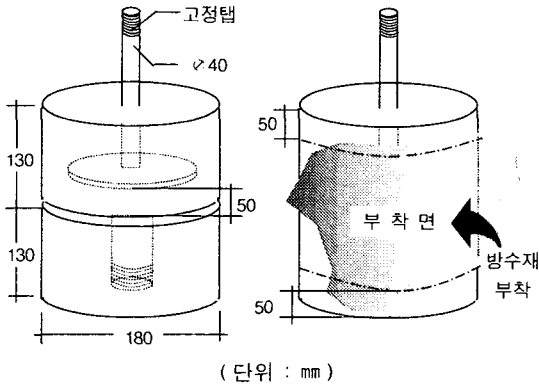
표 3. 콘크리트의 균열 발생에 따른 밀착 방수층 파단 원리

밀착공법의 균열발생에 따른 방수층 파단	비고
<p>보호 모르타르 방수층(밀착시공) 바탕 콘크리트 수축팽창</p>	
<p>바탕 균열 수축팽창</p>	균열 발생
<p>수축팽창</p>	균열 확대
<p>방수층 파단 수축팽창</p>	누수 사고 발생

3. 방수층의 구조체 거동 대응성 평가

3.1 시험체 제작

시험체는 그림 1 및 사진 2와 같이 상부와 하부로 구분되고, 콘크리트로 제작하여 UTM (Universal Test Machine)에 장착이 가능하도록 하였다.



(단위 : mm)
그림 1. 거동시험체의 제작 개념도



(a) 상부시험체 제작 (b) 하부시험체 제작 (c) 방수재의 부착
사진 2. 구조체 거동시험체 제작순서

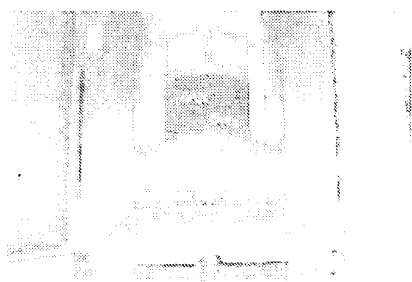


사진 3. 상온 시험 상태

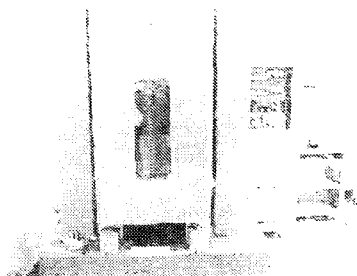
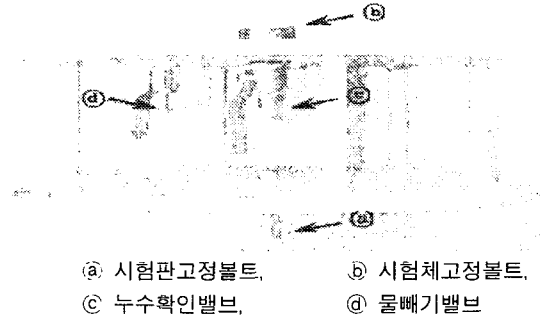


사진 4. 저온 챔버 정지 상태

사진 2(b)의 하부시험체에는 방수층을 통해 들어오는 물(누수)이 흘러내릴 수 있도록 가운데에 관을 삽입하고, 그 위에 사진 2(a)의 상부 시험체를 올려놓은 후 사진 2(c)와 같이 방수층을 시공했다. 사진 3의 시험판 장치를 사진 4와 같이 UTM 기기의 하부에 고정하고, 그 위에 방수층이 시공된 시험체를 올려놓고 고정된 후 상부시험체와 UTM을 연결한다.



(a) 시험판고정볼트, (b) 시험체고정볼트,
(c) 누수확인밸브, (d) 물빼기밸브

사진 5. 구조체 거동 시험판 형상

3.2 거동 대응 성능 평가 조건

방수층의 균열 거동에 대한 대응 성능 평가의 시험조건 및 평가방법은 표 4와 같다. 1차로 상온($20 \pm 3^\circ\text{C}$)에서 표 4의 시험조건에 따라 시험한 후, 누수가 확인되면 해당 방수공법은 시험을 중단한다. 1차 상온 시험에서 누수가 없으면, 2차 저온 평가를 위해 시험체를 -10°C 에서 1시간 정지한 후에 상온 평가와 동일 방법으로 평가한다.

표 4. 시험조건 및 평가방법

항 목	조 건
· 바탕상태	· 건조바탕, 습윤바탕
· 거 동 폭	· 5.0 mm (허용오차 ± 0.5 이내)
· 거동속도	· 50 mm/min, 상하거동 100회 반복
· 평가방법	· 수중(상온)-저온-수중에서 각각 100회 거동 -거동 중 누수가 발생하면 시험 중단

3.3 방수층의 조건

방수층은 점착형 도막재+시트 복합방수층, 시트+우레탄 도막 복합 방수층, 자착형 시트 방수층, 뿔칠형 폴리우레아 수지 도막방수층, 고무아스팔트 뿔칠형 도막방수층 등 5가지 공법을 대상으로 하였다.

3.4 거동 대응성 평가 결과 해석

균열거동 대응성은 콘크리트 구조체 균열부에서 상온 및 저온에서 50mm의 반복 거동에 대응할 수 있는 방수공법을 선정하는 방법으로서, 현장 및 실제 구조물에서 일반적으로 발생될 수 있는 부착면 탈락 및 방수층 파손을 동시에 평가하여 구조체와 방수층과의 상관관계를 면밀히 해석할 수 있는 표준적 시험방법으로 제안한다.

1) 방수층 파손

거동횟수에 따른 방수층의 균열발생에 따라 누수량 및 균열 폭, 균열의 형상 등을 자세히 평가할 수 있다.

2) 부착면 탈락

누수의 원인은 육안관찰로도 불가능한 곳에서 발생할 수 있으므로 거동시험이 끝난 시험체를 절단하여 내부의 현상을 통하여 방수층의 들뜸, 부풀음, 접합부의 변화 등을 정확히 관찰할 수 있다.

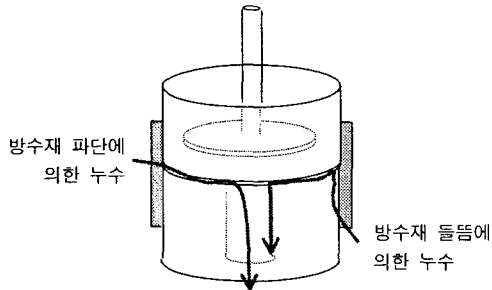


그림 2. 거동 시험에 의한 누수 경로도

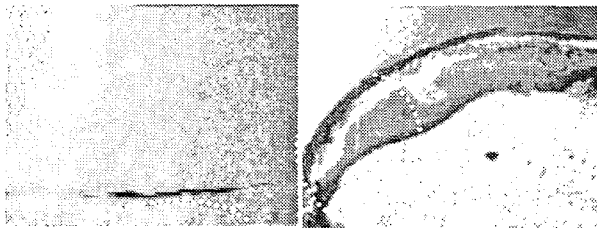


사진 6. 방수층 파손

사진 7. 부착면 탈락





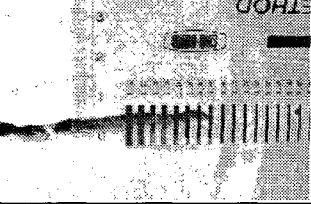
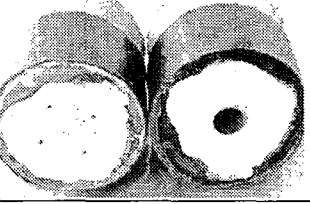
4. 공법별 평가 결과 및 분석

다음 표 5는 국내의 지하구조물에 적용 가능한 방수재료 및 공법별로 평가한 결과이다. 본 시험에 의해 구조물 거동 및 진동의 영향에 의해 방수층의 찢김, 손상, 들뜸 등이 발생하는 유형을 확인할 수 있었다. 이는 각종 방수재료 및 공법별로 균열 등의 취약부가 거동에 의해 방수층에 미치는 영향을 평가할 수 있는 시험방법으로서의 가능성이 크다는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

방수 시공 이후, 수중환경에서 반복되는 구조물 거동시 방수층의 손상으로 유입된 물은 방수층과 콘크리트 구조체 표면사이에 형성된 들뜸 부위를 통해 확산 이동하면서 균열, 이어치기, 공극 등 구조물의 취약부위를 통해 누수로 연결됨을 알 수 있다. 지금까지 모든 방수재료는 신장률 및 부착력을 동시에 실험하여 방수층 성능을 평가하고 있으나 부착력이 클 경우 균열 발생률이 높고, 신장률이 클 경우 들뜸 발생률이 큰 재료의 이중적 특성으로 인해 해결하지 못했던 평가방법을 상기의 구조체 거동 대응 성능 시험방법에 의해 평가가 가능하다. 이는 부착면 탈락, 방수층의 파손을 동시에 평가할 수 있으므로 구조물의 방수공법 및 재료의 우수성을 판단하는 중요한 성능평가방법이 될 것으로 판단된다.

표 5. 방수재료 및 공법별 거동대응 성능평가 결과

방수층의 종류	평가 내용
점착형 도막+시트 복합방수	 <ul style="list-style-type: none"> · 습윤, 건조바탕 모두 전시험 과정에서 누수현상 없음.
우레탄 도막 +강판시트 복합방수	 <ul style="list-style-type: none"> · 시험체 모두 강판시트의 들뜸 확인, 누수현상 없음
매스틱 도막+시트 복합방수	 <ul style="list-style-type: none"> · 접합부 시공불량 및 부직포의 흡수가 누수의 주원인. 초기 약10회 거동시 누수
시트계 방수(자착식)	 <ul style="list-style-type: none"> · 시트상의 점침부 처리불량 시험체(1차 건조바탕)를 제외한 모든 시험체는 누수현상 없음.
뿔침형 도막 방수 (폴리우레아 수지계)	 <ul style="list-style-type: none"> · 시험체 모두 초기 (약 45회 전후) 거동시 방수층 파단 및 찢김, 모두 누수
도포형 도막 방수 (고무아스팔트계 복합수지)	 <ul style="list-style-type: none"> · 거동시험 후 방수층 표면에 잔균열 발생으로 누수

참 고 문 헌

1. 지하구조물 방수설계 및 누수보수건설신기술 보고자료, 서울산업대학교 방수기술연구센터, 2003
2. 염해 환경하의 지하구조물의 방수공법 및 방수재에 대한 시방작성 연구, (사)한국콘크리트학회, 2003
3. 오상근, 콘크리트 방수의 현황과 대책, 콘크리트학회지, 제6권 2호, 1994.4

4. 吳祥根, ケイ酸質微粉末混合 セメント系塗布防水材料の湿潤環境下のコンクリートおよびモルタルにする水密性改善効果に関する研究, 1992
5. 日本建築學會：建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋 コンクリート工事, 1986, 11
6. 日本建築学会, コンクリートの調査設計指針同解説, 1999.
7. P. kumar Mehta Concrete structure, properties and materials, 2nd edition, pp89-112 ,
8. 콘크리트の水密性と콘크리트構造物の水密性設計, 村田二郎 著, 技報堂出版, 2002. pp 82