

철도시설에 있어서의 구조물 거동대응형 방수기술의 적용

Structure movement-coping Waterproofing technology application for Railroad facilities

조일규† 이종용* 오상근*
Il-Kyu Cho Jong-Yong Lee Sang-Keun Oh

ABSTRACT

Recently, as construction market scale is getting bigger and transportation industry is developing, the underground structure construction such as subway, tunnel (excavation box) or shield tunnel structure is becoming more diverse, and its demand is gradually increasing. However, for the concrete structures constructed underground, the water leakage is occurred due to the expansion joint and construction joint, or movement, uneven settlement, excessive load and vibration during application causing cracks. Many waterproofing method and materials are used in jobsites, but areas such as underground railroad and subway that has movement and vibration at all times, the ability of waterproofing layer is declined causing repetitive water leakage due to crack, erosion and separation, which is a vicious cycle.

Therefore, this study evaluates the responsiveness to a movement for adhesive/flexible waterproofing material that can cope with the vibration and the movement of the structure. Also to recommend a waterproofing technology that can cope with structure movement through examples of actual jobsite applications such as subway and tunnel where there are constant movement and vibration.

국문요약

최근 건설시장 규모가 확대되고 교통산업이 발전하면서 지하철 및 터널 등과 같은 개착형 Box 혹은 Shield형 터널 구조물 등 지하구조물의 건설이 다양화되고, 그 수요도 점차 급증하고 있는 실정이다. 그러나 주로 지하에 건설되는 콘크리트 구조물은 시공시 신축이음 및 시공 조인트 등과 같은 다양한 형태의 조인트 발생과 구조물의 수축팽창에 따른 거동, 부동침하, 과다하중, 진동발생에 의한 균열로 인하여 누수가 발생되고 있다. 이에 다양한 방수공법 및 재료들이 현장에 적용되고는 있지만 지하철도, 지하철 등과 같은 진동 및 구조물의 거동이 상시적으로 발생하는 환경조건에서는 방수층의 성능이 저하되어 균열, 침식, 들뜸 등으로 물이 확산되어 재누수가 되는 악순환을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 진동 및 구조물의 거동에 대응 가능한 점착 유연형 복합방수공법을 대상으로 구조물의 거동 대응성 시험을 평가하고, 거동 및 진동이 상시적으로 발생하는 지하철, 터널 등을 대상으로 실제 현장에 적용 후 사례를 통해 구조물 거동에 대응 가능한 방수기술을 검토하였다.

이러한 거동 대응 특성을 검토한 결과 방수재가 기진 및 수중환경에서도 재료의 유연성과 부착성을 유지하여 물의 침투를 방지하고, 거동폭 5.0 mm(± 0.5) 범위에서도 거동에 대응 가능함을 알 수 있었다.

† 정회원, (주)리뉴시스템 기술연구소, 연구소장
E-mail : choeun123@re-new.co.kr
TEL : (02)414-0700 FAX : (02)414-4004
* 정회원, (주)리뉴시스템, 대표이사
** 정회원, 서울산업대학교 건축학부, 교수, 공학박사

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설시장 규모가 확대되고 교통산업이 발전하면서 지하철 및 터널 등과 같은 개착형 Box 혹은 Shield형 터널 구조물 등 지하구조물의 건설이 다양화되고, 그 수요도 점차 급증하고 있는 실정이다. 그러나 주로 지하에 건설되는 콘크리트 구조물은 시공시 신축이음 및 시공 조인트 등과 같은 다양한 형태의 조인트 발생과 구조물의 수축팽창에 따른 거동, 부동침하, 과다하중, 진동발생에 의한 균열로 인하여 누수가 발생되고 있다. 이에 다양한 방수공법 및 재료들이 현장에 적용되고는 있지만 지하철도, 지하철 등과 같은 진동 및 구조물의 거동이 상시적으로 발생하는 환경조건에서는 방수층의 성능이 저하되어 균열, 침식, 들뜸 등으로 물이 확산되어 재누수가 되는 악순환을 겪고 있는 실정이다.

본 논문에서는 철도 시설물이 처한 진동 및 거동환경에 대응이 가능하도록 개발된 점착 유연형 복합 방수공법을 대상으로 구조물의 거동 대응성 시험을 평가하고, 거동 및 진동이 상시적으로 발생하는 지하철, 터널 등을 구조물을 대상으로 실제 적용 후 그 성공 사례를 바탕으로 향후 철도구조물에서의 본격적인 활용이 가능한 방수기술로서 제안하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 범위

본 논문에서는 철도시설물의 누수발생 방지를 위해 있는 진동 및 거동에 대응 가능한 점착 유연형 복합방수공법을 대상으로 만능인장시험기를 이용하여 방수층에 대한 구조물 거동 대응 성능 시험 평가를 하였으며, 그 결과를 바탕으로 국내외 철도 관련 콘크리트 구조물 3건에 대한 현장 적용사례를 분석하여, 그 성능을 입증하였다.

2. 기존 방수기술의 문제점

철도시설과 같은 구조물의 경우 구조물의 거동으로 인한 균열발생과 주행수단(철도, 지하철 등)에 의한 반복하중, 진동, 충격 등의 역학적 작용, 온도 변화 등의 기상작용 등이 다양하게 발생하는 환경에 노출되고 있다. 특히 구조물의 거동 및 진동발생으로 콘크리트의 균열 발생시 방수층이 동시 파단되거나 들뜸 및 박리 등의 하자로 인해 외부에서 물이 침투한 후 확산되어 누수가 발생되고 있는 실정이다.



사진 1. 구조물 거동으로 인한 균열발생



사진 2. 균열발생으로 인한 누수현상



사진 3. 경화불량으로 인한 보수재 누출

3. 점착 유연형 복합방수공법의 개요

점착 유연한 복합방수공법은 개량 아스팔트 시트와 페타이어를 고온 열분해하여 액상화된 재료에 고무, 수지, 필러, 유화제 등을 혼합하여 경화되지 않고 양생시간이 불필요한 1액형 타입의 점착 유연형 도막재를 복합함으로써, 습윤바탕면에 부착이 가능하고 구조물의 진동, 거동시 방수재의 파단 및 바탕층과의 들뜸에 대응 가능한 방수공법이다. 특히 선행공법(방수층을 설치하고 콘크리트 타설하는 방법) 또는 후행공법(구조물을 형성한 후 방수층을 시공하는 방법)으로 시공이 가능하다.

4. 성능시험계획 및 방법

4.1 시험체 제작방법

시험체는 그림 1과 같이 상부와 하부로 구분하며, 콘크리트로 제작하여 만능인장시험기(UTM)에 장착이 가능하도록 제작한다. 하부시험체는 방수층을 통해 들어오는 물이 흘러내릴 수 있도록 가운데에 관을 삽입하고, 그 위에 상부시험체를 올려놓은 후 방수층을 시공하였다.

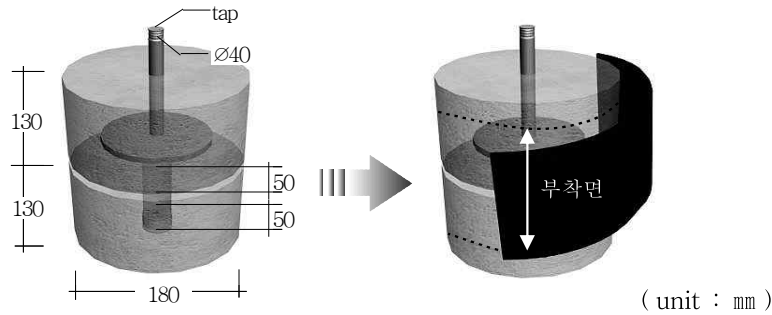


그림 1. 거동시험체 제작 개념도

4.2 시험조건 및 평가방법

본 방수공법을 대상으로 구조물 거동 대응성 평가시 현장의 다양한 환경조건 및 온도조건을 고려하여 사진 4, 사진 5와 같이 상온 및 저온환경에서 시험을 진행하였으며, 시험체도 건조바탕과 습윤바탕면으로 구분하여 평가하였다.

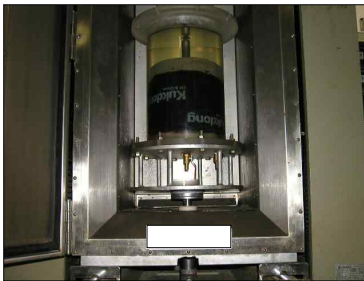


사진 4. 상온시험상태



사진 5. 저온 챔버 정치상태



그림 2. 거동시험하부 형상

거동시험은 표 1 과 그림 3과 같이 총 3단계로 구분하여 1차 평가는 상온($20\pm 3^{\circ}\text{C}$) 수중에서 시험체를 설치 후 50 mm/min 속도로 상하거동 100회 반복을 실시하며, 누수발생시 시험을 중단한다. 2차 평가는 저온(-10°C) 기건에서 1시간 정치한 후 1차 시험과 동일하게 50 mm/min 속도로 상하거동 100회 반복을 실시하며, 종료 후 육안으로 방수층의 박리 및 들뜸 현상 유무를 확인한다. 3차 평가는 1차 상온평가와 동일한 온도 및 조건에 따라 시험을 진행하였다.

표 1. 성능 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 각각100회 거동

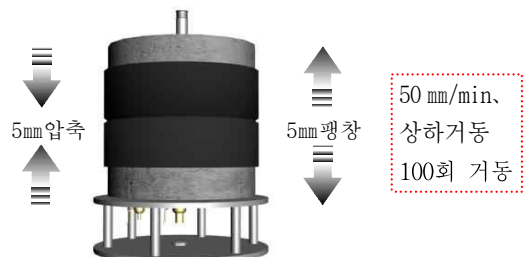


그림 3. 구조체거동시험개념도

시험결과 분석은 다음 그림 4와 같이 온도조건 및 바탕조건에 따라 거동 반복 후 방수재의 변형유무와 누수 발생시 상하부 시험체를 2분할하여 파단에 의한 누수인지 들뜸에 의한 누수인지 여부를 확인한다. 또한 내부 시험체 표면의 수분상태를 관찰하여 누수여부를 판단한다.

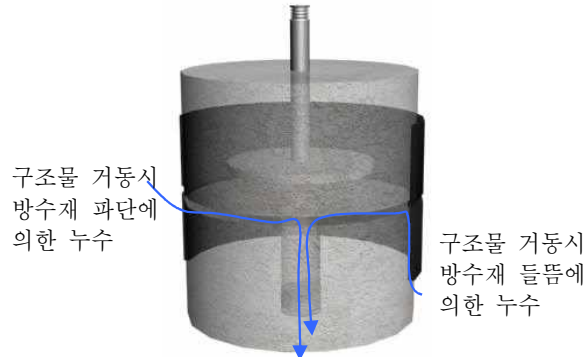


그림 4. 거동 시험에 의한 누수 경로

4.3 시험결과 및 고찰

본 방수공법을 대상으로 거동 대응성 시험결과 표 1과 같이 건조바탕조건에서 시험조건(상온, 저온) 별로 방수층의 들뜸 및 파단으로 인한 누수현상이 나타나지 않았으며, 습윤바탕면의 경우도 누수현상은 발생되지 않는 것으로 확인되었다. 또한 시험 종료 후 시험체 내부로 물의 유입 및 확산정도를 확인하기 위해 사진 6과 같이 방수층을 2분할하여 바탕 시험체 표면을 확인한 결과 건조상태를 유지하는 것으로 확인되었다. 이는 방수재가 기건 및 수중환경에서도 재료의 유연성과 부착성을 유지하여 물의 침투를 방지하고 거동폭 5.0 mm(± 0.5) 범위에서는 거동에 대응 가능한 것으로 판단된다.

표 1. 구조물 거동 대응성능 시험결과

구 분	순 서	시 험 조 건			절 단 후 누수유무
		수중 (20℃)	기중 (-10℃)	수중 (20℃)	
건조 바탕	1차	○	○	○	이상없음
	2차	○	○	○	이상없음
	3차	○	○	○	이상없음
습윤 바탕	1차	○	○	○	이상없음
	2차	○	○	○	이상없음
	3차	○	○	○	이상없음

※○ : 누수현상 없음, △ : 부분 누수, × : 누수



사진 6. 거동 대응성 시험 후 내부 상태

5. 국내의 현장적용 사례

(1) 서울지하철 00호선 현장

00지역에 위치한 지하철 구간으로써 00지역에서 00지역까지 약 10.2km에 이르는 지하철 운영을 위한 터널 구조물이다. 현장환경은 주변으로 하천이 위치하고 있어 외부로부터 물이 유입되거나 지형의 단차로 인해 지하구간으로 비교적 높은 수압이 작용하고 있는 지역이다. 이러한 환경조건으로부터 구조물을 보호하기 위해 습윤환경하에서도 시공이 가능하고 지하철 운행에 따른 진동 및 구조물 거동에 대응 가능한 공법 및 재료의 적용이 필요한 현장이다. 따라서 구조물을 형성 후 사진 7과 같이 습윤환경에서도 시공가능한 점착유연형 도막재와 개량 아스팔트 시트를 복합 적용하였다.

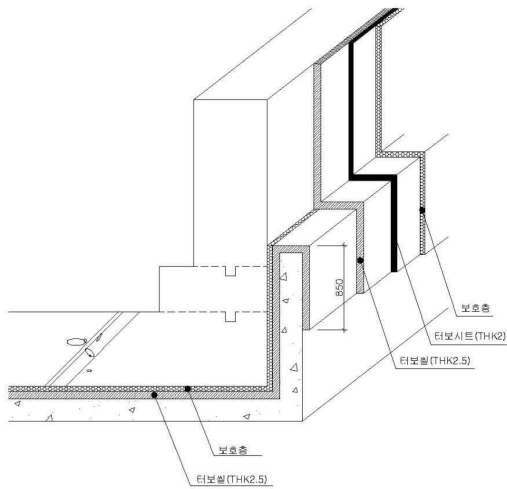


그림 5. 서울지하철 00호선 방수시공 상세도



(a) 점착유연형 도막재 시공

(b) 시트 시공



(c) 보호층 시공-1

(d) 보호층 시공-2

사진 7. 서울지하철 00호선 방수시공현황

(2) 부산지하철 00호선 현장

부산지역에 위치한 지하철 구간으로써 00지역에서 00지역까지 약 1.3km에 이르는 지하철 운영을 위한 터널 구조물이다. 현장 주변환경은 해안지역으로써 많은 양의 지하수가 흐르고 있고, 해상에서 간혹 약한 지진이 발생하여 간접적인 영향을 받는 지역이다. 이러한 환경조건으로부터 구조물을 보호하기 위해 습윤환경하에서도 시공이 가능하고 지하철 운행에 따른 진동 및 구조물 거동에 대응 가능한 공법 및 재료의 적용이 필요한 현장이다. 따라서 구조물을 형성 후 사진 8과 같이 환경에서도 시공가능한 점착유연형 도막재와 개량 아스팔트 시트를 복합 적용하였다.



(a) 점착유연형 도막재 시공

(b) 시트 시공

(c) 보호층 시공

사진 8. 부산지하철 00호선 방수시공현황

(3) 샌프란시스코 지하철(Bay Area Rapid Transit) 현장

본 현장은 샌프란시스코에 위치한 지하철 구간으로써 Fremont역에서 Warm Springs 구역까지 약 8.64km에 이르는 교통 관련 신설 구조물이다. 주변환경은 교통시설(철도, 차량, 지하철 등)이 운행되고 있으며, 다양한 지하 교통 터널들이 교차되고 밀집되어 있는 지역이다. 이러한 교통수단에 의해 진동 또는 구조물의 거동에 의한 균열발생 및 습윤환경의 노출에 의한 방수층의 파손(들뜸, 파단, 유실 등)을 방지하고 이에 대응한 가능한 공법 및 재료의 적용이 필요한 현장이다. 따라서 그림 6, 사진 9, 10 과 같이 선행방수 개념으로 CIP공법으로 형성된 벽체에 개량 아스팔트시트에 점착 유연형 도막재를 복합 적용하여 시공한 후 콘크리트를 타설하여 구조체를 형성하였다.



그림 6. 샌프란시스코(Bart) 시공구간



사진 9. 지하 터파기 현황



사진 10. 점착 유연형 도막재 시공

6. 결론

본 연구에서는 철도시설에 적용되는 점착 유연형 복합방수공법을 대상으로 구조물 거동 대응특성을 평가하여 환경 및 온도조건에 따른 거동 대응성을 확인하고, 이를 통해 실제 현장에 적용하여 시공성 및 거동, 진동 등의 의한 방수 안전성을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기건 및 수중환경에서 본 방수공법은 시험체의 반복거동 후에도 들뜸 및 파단 등과 같은 현상이 없는 것으로 확인되었고, 거동폭 5.0 mm(± 0.5) 범위에서 대응 가능한 것으로 나타났다.
- (2) 총 3개의 국내외 현장에 개량 아스팔트 시트와 점착 유연형 도막재로 방수층을 구성하여 적용한 결과 장기간 사용상에 따른 구조물의 균열 및 진동에서도 누수가 발생되지 않은 것으로 나타났다.

상기와 같이 국내 기술로 개발한 점착 유연형 복합방수공법의 유연성 및 부착특성은 향후 철도시설과 같은 다양한 교통 관련 시설물에 있어서 거동에 따른 균열 및 진동 등에 대응이 가능하고, 콘크리트 구조물의 내구성 수명 확보, 유지 보수 비용의 절감 효과는 물론, 독자적 국산 기술로서 해외시장 진출 및 수입 대체 효과를 크게 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 서울산업대학교 방수기술연구센터, 지하구조물 방수설계 및 누수보수건설신기술 보고자료, 2003
2. 한국콘크리트학회, 염해 환경하의 지하구조물의 방수공법 및 방수재에 대한 시방작성 연구, 2003
3. 한국 건설기술연구원, 건설기술 정보센터 방수시공 종합 정보집 1998.
4. 현대건설기술연구소, 실무자를 위한 방수공사 메뉴얼, 건설도서, 2003.4
5. 일본건축협회, 건축물 방수결합과 대책, 1996