

열화억제형 방수공법에 대한 검토

A Study of the Deterioration Restraining Agent Drainage method of Construction

오대철*

Oh, Dai Chul

김은겸**

Kim, Eun kyum

김대상***

Kim, Dae-Sang

ABSTRACT

In the case of the railway bridge, there are following the progress of works after the drainage method of a bridge surface - vibration proof rubber establishment, track gravel construction and rail construction etc.

But these works are not enforced consecutively by the execution and economical reason.

This is the reason of the long period of exposure after drainage execution. In many case, from the deterioration phenomenon by long term exposure of surface, there are a lot of occasions that do not keep primitive penetration depth waterproof primitive time.

It is the most important that select the drainage method that have durability - it is not fallen in long-term exposure of surface.

The major objective of this study is to deduce objective analysis result through examination about the Deterioration Restraining Agent method and to master KNOW-HOW of DRA drainage method.

Through the study, minimize economical damage by frequent repair and reinforcement and present the reasonable standard of judgement fot drainage method of construction.

key words : drainage method (방수공법),

deterioration phenomenon (열화현상)

deterioration restraining agent drainage method(열화억제형 방수공법)

(국문요약)

철도교량의 경우 교면방수 시공 후 방진매트, 케도자갈 및 침목부설, 레일 설치 등의 후속공정이 뒤따르고, 시공 및 경제적인 여건으로 인해 위의 공정이 연속적으로 시행되지 못하고 일정 구간 단위로 후속 공정이 이루어지는 특수성을 갖고 있다.

이로 인해 교면방수 시공 이후 표면의 노출이 장기화 되는 것이 불가피한 실정으로, 시간 경과에 따른 열화현상으로 인해 발수재의 분해 및 용출이 발생하여 방수시공 초기의 침투깊이를 유지하지 못하고 있는 경우가 많다.

이처럼, 철도교량이 갖고 있는 시공적인 특수성과 케도자갈이 부설되지 않고 영구적으로 표면이 노출되는 부분을 고려한다면 표면의 장기적인 노출에도 방수성능이 저하되지 않는 내구성을 갖고 있는 방수공법을 선택하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 장기간 표면노출에 따른 열화현상을 방지하는 열화억제형 방수공법(DRA방수공법)에 대하여 시험시공을 통한 객관적인 분석 결과를 도출하고, DRA 방수 공법의 KNOW-HOW를 습득하는 것으로, 이를 통하여 철도교량의 교면방수 열화현상으로 인해 발생하는 하자를 방지하여 찾은 보수와 보강으로 인한 경제적 손실을 최소화하고 현장에서의 시공관계자들이 방수공법을 선정하는데 따른 합리적인 판단 기준을 제공하는데 있다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, 현대건설(주) 토목사업본부 상무, 정회원
E-mail : dco5050@hanmail.net

** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 정회원

*** 한국철도기술연구원 케도노반연구팀 선임연구원, 정회원

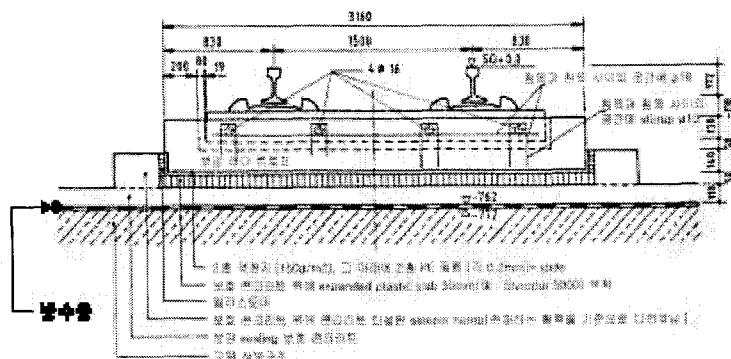
2. 본 론

1) 철도교량 바닥판 교면방수 현황 분석

가. 철도교량 바닥판 단면구조

최근 건설되는 철도교량 바닥판은 대부분 콘크리트와 철근의 조합으로 이루어진 콘크리트 판구조로 이루어져 있다. 철도교량의 형상은 교량형식 및 궤도 형식에 따라 매우 다양하게 형성될 수 있으나 콘크리트 도상에 시공된 교면방수층을 중심으로 한 상·하부 구성층을 살펴보면 다음 Fig 1과 같다.

Fig 1. 철도교량 상 콘크리트 궤도 단면(예)



교량 바닥판의 슬래브 두께는 교량형식에 따라 상이하나 일반적으로는 평균 400mm로써 이중 상부철근 위 피복두께는 4cm로 설계되어 있으며, 방수층, 보호층, 콘크리트 도상, 침목, 레일 순으로 시공된다.

나. 철도교량 바닥판 단면 구성층에 대한 이해

① 궤도

- 노반 위에 부설된 자갈 또는 콘크리트 도상, 침목 및 레일로 구성되는 부분을 궤도라 부르며, 궤도는 고속으로 주행하는 열차에 대한 직접의 통로로 되므로 차량의 중량 및 충격·진동에 충분히 견딜 수 있는 강도와 탄성이 필요하다.

도상은 열차로부터 레일·침목을 거쳐 오는 하중을 넓게 분산하여 노반으로 전하며, 차량의 이동 및 온도 변화에 의한 레일 신축에 따른 침목의 이동을 방지하고 진동에너지 흡수 및 배수를 용이하게 하는 기능을 갖는다.

② 바라스트매트

- 철도 케도에 사용되는 바라스트매트는 교량 상부 및 도심지 인구 밀집 지역의 철로에 설치하여 소음, 진동으로부터 교량 구조물의 안정성 확보, 케도 구조물에 대한 응력 및 마모 감소 및 인근 주민들의 소음, 진동에 대한 환경 피해를 최소화하기 위한 고무재질의 매트이다.

③ 보호층

- 비노출 방수층에 적용되는 방수재료는 대부분 외부에서 가해질 수 있는 충격, 하중, 마모 등에 취약하기 때문에 이를 보호하기 위하여 철도교량 바닥판의 경우 보호볼탈 타설 또는 아스콘을 포설하여 보호층의 역할을 대신한다.

④ 방수층

- 교면방수공법은 기본적으로 외부의 수분을 차단할 수 있도록 방수기능을 갖추고 있어야 하고, 차량하중 등에 의해 균열이 발생해도 방수 기능은 유지할 수 있는 성능이 보장되어야 한다.

⑤ 통기층

- 기포가 예상되는 곳에는 공기압을 없애기 위해서 바닥판면과 방수층 사이에 통기층을 사용해야 한다.

⑥ 프라이머

- 프라이머는 먼지를 빼아들이고, 방수층과의 접착력을 개선하기 위해 표면에 적용하는 얇은 액상재를 의미한다.

⑦ 표면처리, 줄눈 및 배수관

-

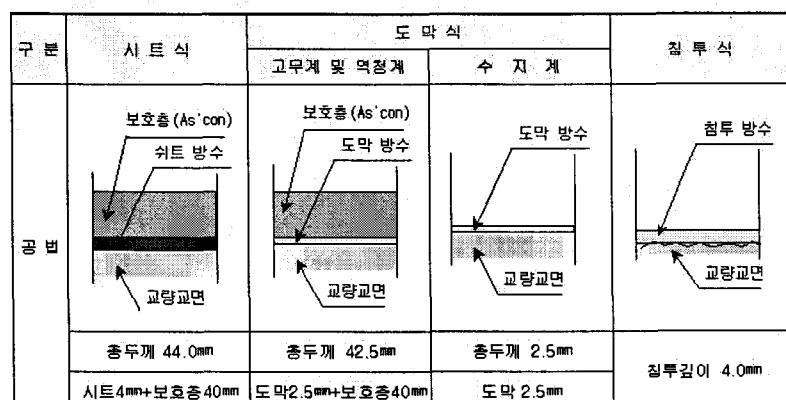
2) 교면방수 시스템 개요

- 콘크리트 교면에 사용되는 방수재는 여러 종류의 재료로 구성되어 있으며, 아스팔트 고무, 수지, 섬유, 광물질, 휘발성 용제와 같은 원재료를 두 가지 이상 혼합하여 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, 침투식, 복합식 등 크게 4종류로 구분되며, 재료의 화학적 특성을 따르면 열경화성 또는 열가소성, 개질 또는 비개질, 보강 또는 비보강 등으로 구분 할 수 있다. 일반적으로 교면방수 시스템 구성은 Fig 2 와 같다.

Fig 2. 교면 방수공법의 일반적 분류



* 복합식의 경우 시트, 도막, 침투공법 중 2개 이상의 공법을 격중하여 적용하는 공법임

철도교량 콘크리트 바닥판의 교면방수층은 궤도 차량에 의한 반복하중, 진동, 충격, 전단 등의 역학적 작용, 온도변화 등의 기상작용, 바닥판의 수축 팽창 작용 등이 복잡하게 작용하는 환경에 설치되므로 교면 방수의 궁극적인 목적은 경제적이며 시공성이 우수한 방수재로 교량의 내구성을 증진시키는데 있다.

Table 1. 각 방수공법에 따른 주요 재료

재료별 공법명		주 방수재료
침투식	무기질	· 가용성광물염류, 수지염류
	유기질	· 합성고무, 합성수지
시트식	· 합성고무 시트, 개량아스팔트함침시트, 폴리에틸렌시트	
도막식	· 합성고무, 합성수지, 아크릴산애스테르계, 클로로크レン 고무, 아스팔트계	
포장계	· 시트아스팔트, 탄성고무 개질 아스팔트, 구스아스팔트	

3) DRA의 특성

① 발수형 방수공법과의 차별성

- 발수형 방수공법은 표면장력을 증대시킴으로서 공극사이로 물이 침투되지 못하도록 하는 효과를 이용한 공법으로, 콘크리트와 결합하지 않으므로 자외선에 의한 분해 및 수분에 의한 용출에 의해 장기적으로 성능이 저하되는 현상을 보인다.

반면 DRA는 콘크리트와의 반응에 의해 장기적으로 안정한 수화물을 형성함으로써, 방수성능과 함께 콘크리트의 열화억제성능 부여는 물론 자기적인 내구성을 향상 시킨다.

- DRA는 실리케이트의 반응에 의해 공극을 충진함으로써 물이 들어오지 못하도록 하는 방수 효과를 나타내는 것으로 콘크리트와의 화학적 반응에 의해 콘크리트의 수화물이 파괴될때(30년이상) 까지 방수 효과를 나타내게 된다.

Fig 3. DRA가 침투한 콘크리트(5,000배율)

- 대부분의 공극에 DRA가 침투하여 강결한 $\equiv\text{O}-\text{Si}-\text{O}\equiv$ 결합을 이룸으로써 밀실한 조직을 구성함
- 치밀한 조직 사이로 미세한 기공이 존재하여, 통기성을 발휘할 것으로 판단됨.

② DRA의 반응 메커니즘

- DRA는 무기질 침투성 바수재로 콘크리트 표면에 도포하여 콘크리트의 조직을 강화시킴으로써 수분, 염소이온, CO_2 가스 등의 열화 물질을 억제 및 방수성능을 부여하는 물질이다.

Fig 4. DRA의 반응 메커니즘

③ DRA의 방수 효과는 다음과 같이 공극충전에 의한 수분침투 차단 효과와 도포 후 콘크리트에 발생하는 2mm이하 균열을 메우는 자기치유 효과가 합쳐져 발휘된다.

④ 수분침투 차단 및 발수 효과를 나타내는 메커니즘은 다음과 같다.

- R_2O 계 실리케이트는 콘크리트 중의 칼슘이온(Ca^+)과의 반응에 의해 칼슘실리케이트 수화물을 형성하여 공극 및 0.2mm 이하 균열 등의 취약조직을 겔상의 반응 생성물로 충전하고, 해조류 추출물인 sodium alginate와 R_2O 계 실리케이트와 이온화된 리튬폴리케이트는 $\text{Si}-\text{o}-\text{Si}$ 형태의 사슬 결합을 이룸으로써 콘크리트 자체에 단단한 방수층을 형성하고 통기성을 좋게하는 “수분침투 차단 및 발수 효과”가 발휘된다.

4) DRA방수 시험시공

① 경원선 의정부고가 2개소

Fig 5. 의정부고가 상부슬래브 DRA방수 시험시공 전경

② 경원선 가능고가 5개소

Fig 6. 가능고가 상부슬래브 DRA방수 시험시공 전경

③ 경원선 녹양고가 8개소

Fig 7. 녹양고가 상부슬래브 DRA방수 시험시공 전경

5) 방수확인 검사(현장시험) 및 코어채취

- 방수확인 검사결과 물의 침투량이 다음과 같이 분석됨

의정부고가 평균 $0.084\text{g}/\text{cm}^2$

가능고가 $0.0871\text{g}/\text{cm}^2$

녹양고가 $0.1051\text{g}/\text{cm}^2$

시방서 기준인 $1\text{g}/\text{cm}^2$ 이하를 만족하고 있음.

6) 채취코어의 국가공인시험기관 의뢰 및 결과 분석

① 전자현미경(SEM)에 의한 수화조직 분석

- 대부분의 공극에 DRA가 침투하여 밀실한 조직을 구성함
- 치밀한 조직 사이로 미세한 기공이 존재하여, 통기성을 발휘할 것으로 판단됨

Fig 8. DRA가 침투한 콘크리트(5,000배율)

② 수은압입법에 의한 공극 변화 분석

- 콘크리트 표면으로부터 30mm까지 기공율이 27%정도 감소하며, $0.01\mu\text{m}$ 이하의 작은 기공이 증가하여 콘크리트 조직이 상당히 치밀해지고 있음을 알 수 있음.

Fig 9. 기공용적 분포

③ X-선 회절분석에 의한 결합 성분 분석

- DRA와 콘크리트의 결합성물로 추정되는 Torbermorite 및 Orthoclase가 관찰되어, DRA가 콘크리트와 화학적으로 강력한 결합을 이루고 있음을 나타냄

Fig 10. DRA 침투 콘크리트의 XRD Spectrum

⑤ 중성화 억제 성능 분석

- DRA를 도포함으로서 중성화 진행속도가 억제되는 것은 콘크리트 조직이 치밀해져 이산화탄소 가스의 침투가 어려워졌기 때문으로 판단됨

Fig 11. 콘크리트 강도별 중성화 시험결과

⑥ 동결융해 저항 성능 분석

- DRA를 도포함으로서 동결융해 저항성이 향상된 것은 DRA가 콘크리트 내부에 침투하여 공극을 메워 동결 가능한 수량을 감소시켰고 또한 방수층이 형성되어 동결에 필요한 수분이 콘크리트 내에 침투하기 어려웠기 때문으로 판단됨

Fig 12. 동결융해 저항성 결과

⑦ 복합 열화 저항 성능 분석

- 시험종료인 50사이클수에서 DRA를 도포함으로써 Plain에 비해 크캐링 손실 억제효과가 2.7~3.5배 정도 증가하는 것으로 나타남

Fig 13. 복합시험의 공시체 개요

⑧ 강도 증진 성능 분석

- DRA를 도포함으로써 콘크리트의 설계기준강도에 따라 압축강도가 1.06~1.35배 정도 증가하며, 설계기준강도가 낮은 콘크리트 일수록 DRA 도포 효과가 증진되는 것으로 나타남

Fig 14. DRA 도포 유무에 따른 압축강도

⑨ 균열 치유 성능 분석

- DRA의 균열치유 성능을 공극율 측면에서 평가한 결과, 동결융해 시험 이후 재령91일에서 동결융해를 받기 전에 DRA를 도포한 콘크리트인 경우 1.42배 정도, 동결융해를 받은 후에 DRA를 도포한 콘크리트인 경우 1.73배 정도의 공극률이 감소되는 효과가 있는 것으로 나타남

Fig 15. DRA의 균열치유 성능 평가시험(공극율)

⑩ 장기 내구 성능 예측

- DRA를 도포한 콘크리트는 시험재령 1년이 경과한 시점에서 압축강도, 수밀성 모두 특별한 저하가 없는 것으로 나타남
- DRA를 콘크리트에 도포함으로서 장기 내구 성능이 향상될 것으로 분석됨

Fig 16. 장기 내구성능 예측 결과

3. 결 론

시험시공 및 시험결과를 분석한 결과 다음과 같은 DRA교면 방수에 대한 성능을 확인하였다.

- 1) 일부 DRA의 침투시간이 다소 지연되지만 충분한 침투깊이가 확보 되는 등 적용상 문제점은 없는 것으로 판단된다.
- 2) DRA에 대한 SEM/XRD 및 내구성능 분석결과, DRA는 콘크리트 수화물과의 구체 결합에 의해 방수 성능이 발휘되므로 콘크리트 수화물의 분해가 시작되는 약40년 까지 방수성능을 발휘할 수 있는 것으로 판단된다.
- 3) DRA의 적정 사용량은 전철 운행시의 진동하중 등에 의한 구조물의 균열발생 가능성 및 구조물의 중요성을 감안할 때, 0.4 l/m^2 를 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

1. 류금성, 최원성, 고경택, 김도겸, 김성욱, “에폭시 수지계 주입재의 물성 및 강도특성에 관한 실험적연구”, 2000.10
2. 고경택, 박정준, 이종석, 김도겸, 김성욱, “무기질계 단면복구재의 개발에 관한 연구”, 2001.11
3. 이대형, “교면방수 시스템의 인장접착 성능 개선을 위한 영향인자 분석”
4. 한국도로공사 도로연구소, 이병덕, “교면 방수재료 시공에 따른 적용성 연구(I)”, 2000.12
5. 철도공사 전문 시방서, 토목편, 1999
6. 현대건설, 교면방수 시공보고서, 2004.09