

탄소섬유시트를 활용한 터널의 보수·보강

The Repair and Reinforcement of Tunnel using The Carbon Fiber Sheet

권영진* 전형기** 이병훈**** 최 롱***** 김무한*****
Kwon, Young Jin Chun, Hyoung Ki Lee, Byung Hun Choi, Long Kim, Moo Han

Abstract

Most of existing tunnels in Korea have structural and material defects, such as lack of the thickness in the crown and presence of an opening behind the lining as a result of its construction. In Japan, it is said that carbon fiber sheet is very attractive for the upgrading damaged tunnel due to its good tensile strength, handability and resistance to corrosion.

This report is the summary of the applicability of continous carbon fiber sheet for a repair and reinforcement of existing tunnel located in Masan. It is the aim of this study to analyze the site data related to construction method used carbon fiber sheet.

1. 서 론

최근 구조물의 안전에 관한 관심이 높아 지면서 구조물에 대한 안전진단과 더불어 구조물의 지속적인 안전성 확보를 목적으로 하는 유지관리에 대한 관심이 고조되고 있으며 이에따라 그동안 국내에는 소개되지 않았던 다양한 보수·보강공법들이 국내에 도입되어 이들 공법에 대한 연구와 함께 공법을 바탕으로 한 보수·보강 공사가 증가하고 있다. 그중에서도 경량성, 내식성, 인장강도등, 보수·보강 성능의 우수성과 공기단축, 작업시의 안전성, 시공시의 편의성으로 인하여 탄소섬유시트 공법이 주목을 받고 있으며 현재 국내에서도 지하주차장 및 노후된 건축물의 슬래브 등을 중심으로 탄소섬유시트 공법의 시공실적이 늘어나고 있는 추세이다.¹⁾

그러나 선진 외국의 경우, 탄소섬유시트에 관한 연구가 뒷바침되어 터널, 교량상판 등의 구조물에도

* 정회원 쌍용안전기술사업단·보수사업팀·과장·공학박사
** 쌍용안전기술사업단·보수사업팀
*** 쌍용안전기술사업단·보수사업팀·팀장·기술사
**** 정회원 쌍용안전기술사업단·보수사업팀·이사·공학박사
***** 정회원 충남대 교수·공학박사

다양하게 적용이 되고 있으나 국내의 경우 정확한 시방없이 영세업체의 경험에 의존하여 무리하게 공사가 추진되므로 소요의 보수보강 효과를 기대하기 어려운 사례도 상당한 것으로 알려지고 있다.

본 보고는 당 사업단에서 탄소섬유시트 공법으로 도로 터널을 보수·보강한 예를 약술한 것으로 시공사례를 통하여 얻어진 탄소섬유시트의 시공방법, 그리고 시공시 주의사항 등에 대하여 정리를 하여 터널 보강기술의 한 소개자료로 활용하고자 한다.

2. 균열조사 및 보수보강 설계

2.1 균열조사 및 균열발생 원인조사

D터널은 2차선 쌍굴형태의 터널로 아치형 구조 (B : 10.2M, H : 6.5M)로서 반단면 굴착 콘크리트 2차 복공법을 이용하여 시공된 터널이다. 정밀 안전진단에 의한 균열조사 결과, J시행터널, M시행터널의 시공점부 OPEN CUT 구간에 토압의 유동으로 인한 과도한 종방향 균열이 발생되어 있었으며 일부균열에 대해서는 보수를 하였으나 원형 균열이나 반달형 균열들은 낙반의 가능성이 있었다.

2.1 방수 및 보수보강 설계

시공이음부 구간에서 누수가 되고 있으므로 누수부 중앙을 보링하여 유공관을 삽입하고 주변을 V커팅하여 하부 배수로에 연결시킨후 복구하였다.

또한 본 터널의 경우 균열의 보수보강에 대한 목적으로서는 ① 분리되어 있을 가능성이 높은 크랙의 일체화 도모 ② 진동 등에 의한 크랙의 낙하방지가 중요한 개념으로 판단되어 ①에 대한 대책으로서 크랙의 일체화를 도모하기 위하여 대폭시수지의 주입을 행하였고 ②에 대한 대책과 아울러 향후의 구조적인 문제를 해결하기 위한 방법으로 탄소섬유를 접착시키는 것으로 결정하였다. 보강효과에 관한 검증으로서는 일본 철도종합기술연구소에서 검증한 결과 즉 탄소섬유시트로 보강한 케이스는 시트의 박리 또는 섬유파단이 단계적으로 발생하고 급격한 하중지하가 나타나지 않은 상태에서 큰 변형량까지 내력을 유지하고 있다는 결과에 기초하여 균열의 방향이 2방향으로 나타나고 있어 각각의 방향에 따라 탄소섬유시트를 접착시키는 것으로 하였다. 또한 시공점부 OPEN CUT 구간의 토사를 제거하여 터널 천단으로 재하되는 하중을 감소시켰으며 균열의 진전을 억제하였다. [그림 1]

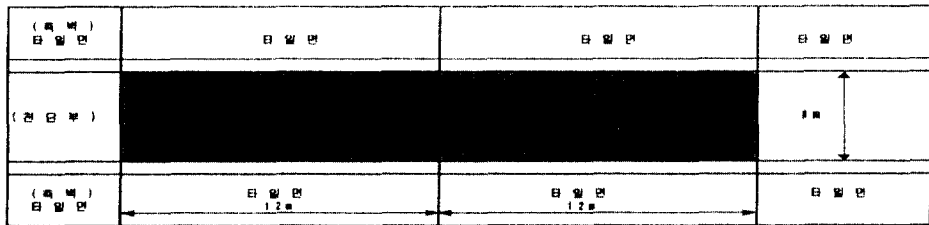


그림 1 탄소섬유시트 보강부위

3. 탄소섬유시트를 활용한 보수·보강 시공

그림 2와 같은 순서로 본 공사를 시공하였다.

3.1 면처리 및 균열보수

탄소섬유시트와 터널구조체 사이의 완벽한 접착을 통한 일체화를 위해서는 구조체의 바탕처리가 매우 중요하다. 균열보수를 위해 터널 상부면 콘크리트의 도막을 전동샌더를 이용하여 제거한 후, 균열부위에 실링작업 및 에폭시 주입기를 이용하여 에폭시를 충전한다. [사진 1] 에폭시 양생 후 에폭시 주입기와 실링제를 제거한 후 전동 샌더를 사용하여 터널 상부의 표면열화층(풍화, 레이턴스, 이형재, 박리모르타르, 도장, 불순물, 배연) 및 도막을 제거한 후 표면을 단차 1mm 이내로 수정하고 고압진공청소기 및 세정기를 이용하여 먼지, 불순물을 제거한다.

바탕처리를 한 후에는 콘크리트 박락으로 인한 철근노출, 철근의 부식, 표면의 단차부분에 단면복구를 행하며 철근이 노출이 되었을 경우에는 노출부분에 방청처리를 하고 퍼티처리를 행하여 단면을 복구한다. [사진 2]

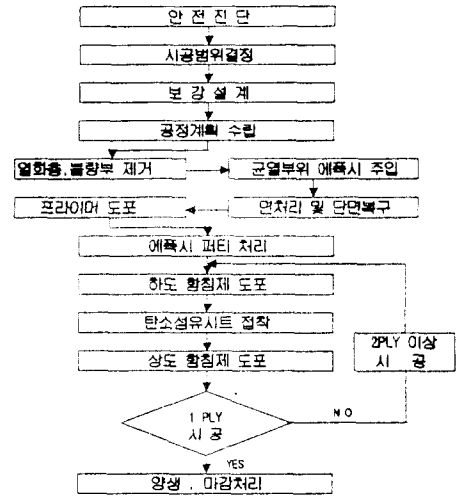


그림 2 시공순서

3.2 프라이머 도포 및 에폭시 퍼티작업

바탕처리 후 프라이머를 주재와 경화제의 배합비에 의하여 전동교반기를 사용하여 약 2분간 교반하고 로울러를 이용하여 터널면에 도포한다. [사진 3] 도포 후 요철부위에 에폭시 퍼티 처리를 하여 최종적으로 접착면을 수정한다.

3.3 하도 함침제(레진)의 도포

탄소섬유시트와 터널면의 확실한 접착을 위해 도포된 프라이머 위에 레진을 도포한다. 레진은 프라이머 도포 후 약 3~12시간의 경화시간이 지난 다음 주재, 경화제의 일정한 배합비 (3 : 1)에 준하여 용기에 담아 전동교반기를 사용하여 2분정도 교반하고 1회 비빔량은 가사시간 내에 작업할 수 있는 량으로 한다. [사진 4]

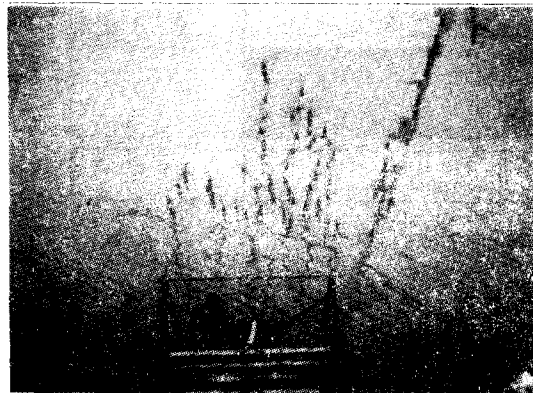


사진 1 균열부위 에폭시 주입

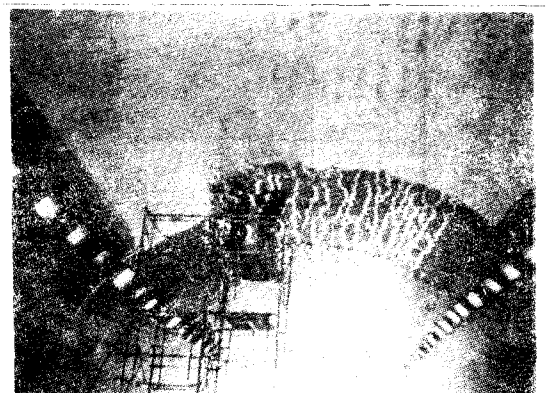


사진 2 면처리 및 단면복구

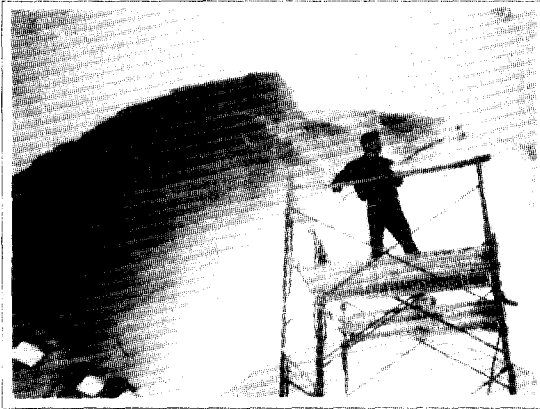


사진 3 프라이머 도포

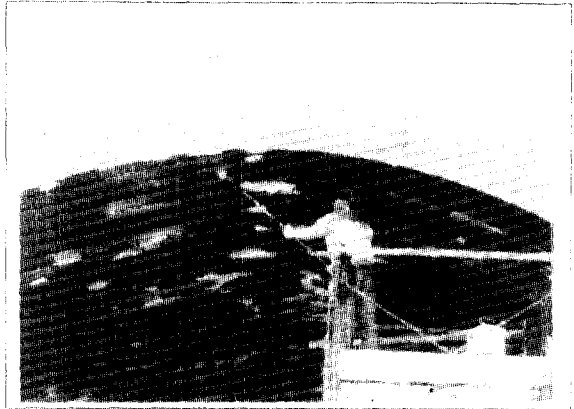


사진 4 하도함침제 도포

3.4 탄소섬유시트의 부착

하도 함침제가 가사시간을 초과하기전에 탄소섬유시트를 보강부위에 맞게 절단한 뒤 부착을 한다. 부착시 절단을 하여 접착을 할 경우에는 섬유방향으로는 반드시 10cm 이상의 이음길이를 확보하도록 하고 폭방향으로는 이음길이는 불필요 하다.

본 1차 접착에서는 약 4m의 길이로 잘라 터널 직각방향으로 접착을 하였으며 섬유방향 이음길이를 10cm 이상 확보하였다. 접착시에는 고무헤라, 로울러 등으로 섬유면 방향에 따라 수회 강하게 눌러 밀어주며 기포를 제거하여 시트와 터널면이 일체화 되도록 하였다. 탄소섬유시트 접착시 시트와 면사이에 기포가 생기게 되면 보강에 필요한 내력을 발휘할 수 없으므로 기포제거 작업을 확실히 한다.[사진 5]

3.5 상도함침제(레진)의 도포

접착된 시트위에 레진을 다시 도포하며 레진이 탄소섬유에 완전히 함침이 될 수 있도록 충분히 도포한다. 1PLY 로서 작업을 마치기 위해서는 여기서 작업이 종료된다. (사진 6)

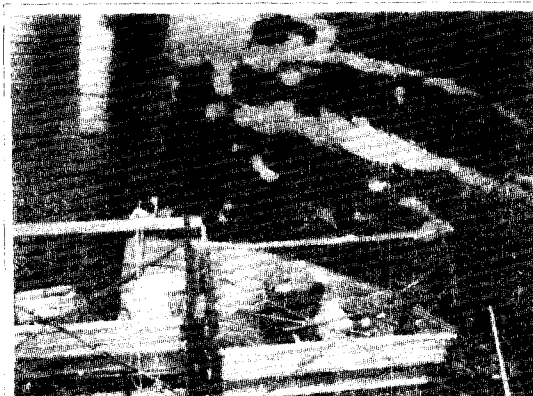


사진 5 탄소섬유시트 부착

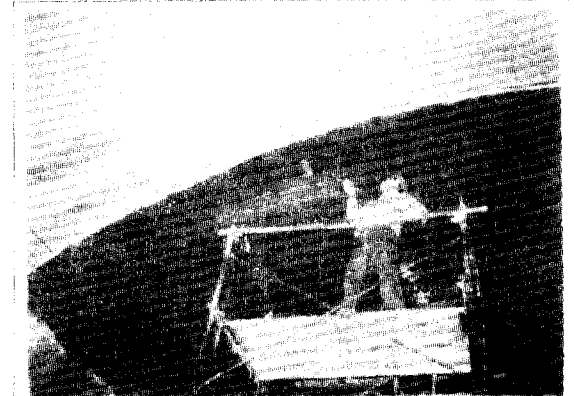


사진 6 상도함침제 도포

3.6 터널 직각방향 탄소섬유시트 부착

1차로 부착한 탄소섬유시트위에 도포한 상도 함침제가 경화한 후(약 30분 후) 2차 부착을 하기위해 1차 부착때의 공정을 반복하여 다시 하도함침제로서 레진을 재 도포 한다. 재 도포 후 터널 직각방향으로 탄소섬유시트를 부착하여 횡방향 강도를 확보한다. [사진 7]

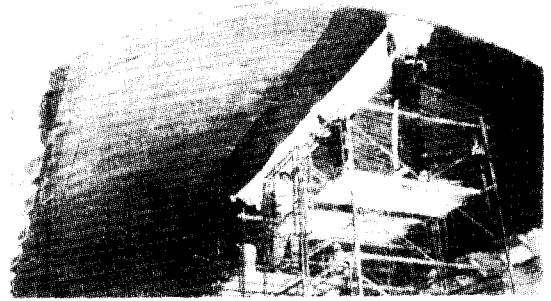


사진 7 2PLY 부착

3.7 상도 함침제 도포 및 마감

2차 탄소섬유시트 접착이 끝난 후 상도함침제를 시트전면에 완전히 함침시켜 도포를 한다. [사진 8] 도포 후 양생은 24시간 이상으로 하며 재료가 설계강도에 이르기 위해서는 평균 10℃일때 2주간, 20℃일때 1주일의 양생기간이 필요하다. 양생이 완료된 후 도장등의 마감을 할 수 있으며 일반적인 시공법과 같게 마감처리를 하면된다. [사진 9]

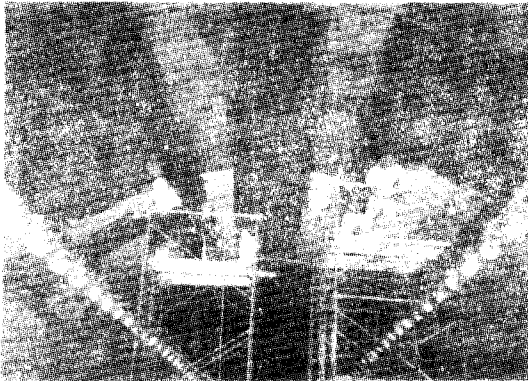


사진 8 상도함침제 도포

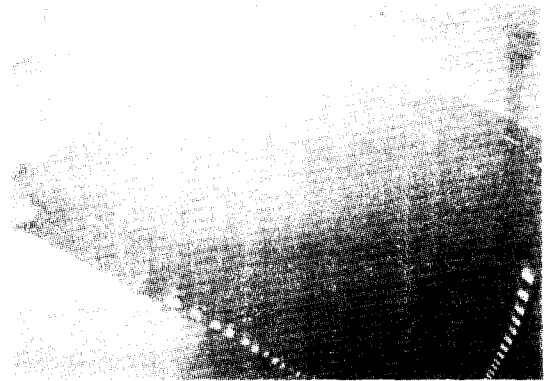


사진 9 마감처리 후 상태

3. 결론 및 향후계획

탄소섬유시트를 사용하여 국내에는 적용사례가 없는 터널에 적용하여 사용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 터널 시공시 사전 조사결과 라이닝 콘크리트의 열화현상, 다수의 균열과 이에따른 누수 현상이 발견되어 확실한 보강 효과를 얻기위해 균열보수 공사와 지수공사, 열화층 제거 후의 단면복구를 부착전에 행하였으며 마감시 내후성 도료를 사용하였다. 또한 기존의 타 보강공법과 비교하여 시공기간이 짧았기 때문에 터널의 조기개통이 가능하였고 작업의 편이성으로 인해 비교적 큰 범위의 보강공사임에도 노동력을 줄이고 작업시 안전성을 높일 수 있었다.
- (2) 일반적으로 탄소섬유시트를 이용한 보강공사는 작업이 용이하고 공정이 간단하기 때문에 누구

나 시공을 할 수 있는 것으로 알려져 있으나 먼치리 작업과 에폭시의 함침, 탄소섬유 부착시의 기포제거 작업이 중요하므로 이에대한 숙련된 감독자의 철저한 관리와 시공방법의 준수가 필요하며 공인된 정품의 재료 사용이 요구된다.

(3) 탄소섬유시트공법을 사용하여 터널을 보강한 경우의 보강효과에 대한 정량적인 파악에 관하여 향후 실증적으로 검토할 예정이다.

● 참고문헌 ●

1. 권영진외, Z"보수보강재로서의 탄소섬유시트의 활용기술", '96 콘크리트학회 불학술발표대회 논문집, 1996
2. 朝倉俊弘 外, "トンネル覆工缺陷の環境と對策工の効果", 第9回 岩石力學 日本 シンポジウム 論文集, 1994