

고인성 시멘트복합체를 사용한 국내외 보수공법의 현황

The State of Repair Methods Using HPFRCCs at Home and Abroad



한병찬*
Byung-Chan Han



김재환*
Jae-Hwan Kim



임승찬**
Seung-Chan Lim



森井直治**
Naoharu Mori



전용재***
Yong-Jae Joen



권영진****
Young-Jin Kwon

1. 서 언

최근, 시멘트계 또는 모르타르계 매트릭스에 고장력 마이크로 단섬유를 적정량 첨가하여 제조하는 고인성 시멘트복합체 (high performance fiber reinforced cementitious composite, 이하 HPFRCC라 함) 가 개발되어 각종 건설재료로서의 활용이 기대되고 있다. 이러한 HPFRCC는 기존의 시멘트복합체 (폴리머시멘트계 보수재료도 포함)와는 달리 휨하중 또는 인장하중 작용하에서 초기균열이 발생한 후에도 응력이 저하되지 않고 변형의 증가와 함께 응력이 지속적으로 증가되는 변형경화거동(Strain hardening behavior)과 이 과정에서 균열폭이 일정하게 제어된 복수의 미세균열인 멀티플크랙 (multiple crack)을 발현하는 특징을 가지고 있으며, 이러한 특성에 의해 균열이 발생한 후에도 방수성, 물질투과저항성, 내구성 등을 유지할 수 있어 노후 콘크리트 구조물의 보수·보강재료로서의 다각적인 활용이 시도되고 있다^{1,4)}.

본고에서는 균열제어성능, 물질투과저항성 및 내구성의 향상을 목적으로 HPFRCC를 노후 콘크리트 구조물, 즉 옹벽, 농수로, 교량 구조물에 적용한 보수공사 사례를 문헌조사를 바탕으로 소개하고자 한다.

2. HPFRCC의 개요

휨모멘트 또는 인장력 작용하에 있어서 균열발생 후에도 응력의 저하가 없고, 길보기 변형의 증가와 함께 응력이 증가하는 변형경화특성과 다수의 미세균열이 분산하는 멀티플크랙 특성을 나

타내는 HPFRCC가 국내외에서 적어도 10개 이상의 기관에서 연구·개발되고 있다. 예를 들면, 이런 종류의 복합재료 중에서 대표적으로 ECC(engineered cementitious composite)라 불리는 재료는 직경이 수~수십 마이크로인 폴리에틸렌(PE)섬유나 비닐론(PVA)섬유 등의 유기섬유나 강섬유를 체적으로 1~2% 정도 함유하고 있으며, 수%의 변형능력을 갖는 변형경화 특성과 멀티플크랙 특성을 나타낸다. 철근을 HPFRCC 중에 매립한 인발시험 공시체의 균열발생 상황을 <사진 1>에 나타내었다^{1,4)}.

이 재료는 <사진 2>와 같이 일반적인 콘크리트의 취성적인 성질을 극복하고 있기 때문에 콘크리트계 구조요소의 구조성능

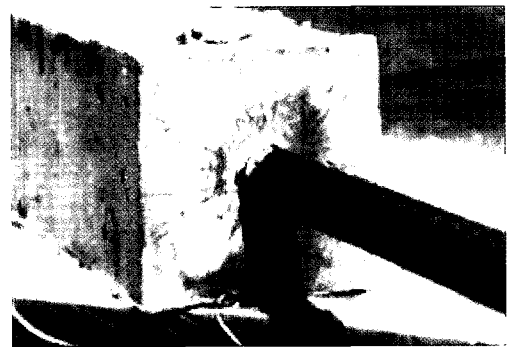


사진 1. HPFRCC를 사용한 인발시험체의 균열발생 상황

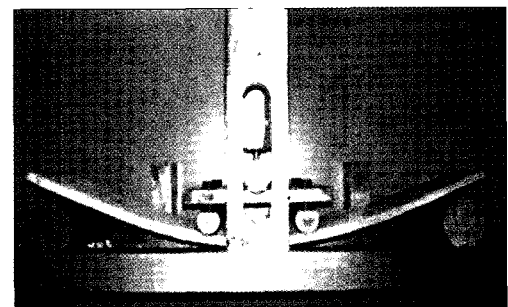


사진 2. HPFRCC 시험체의 휨시험 일례

* 정희원, (주)AMS엔지니어링 기술이사
kih0999@empal.com

** 일본 (주)DEROS 책임연구원

*** 정희원, (주)발해건설 대표이사

**** 정희원, 호서대학교 소방방재학과 교수

이나 내구성의 대폭적인 향상이 기대된다. 더욱이 기존의 시멘트계(폴리머시멘트계 포함) 재료에 대신하여 고성능 보수재료, 충격완충재료, 강재의 피복재 등 새로운 각종 용도가 기대되며, 토목 및 건축의 콘크리트 공학 분야에서 기술혁신을 가져올 가능성이 있다¹⁾.

3. HPFRCC를 사용한 보수공법의 국외 사례

3.1 중력식 콘크리트옹벽의 표면보수/보강공사^{2,3)}

3.1.1 개요

본 시공은 2003년 4월에 실시된 것이며, 뿔칠재료나 보강재의 조합에 따른 차이가 보수효과에 미치는 영향을 확인하기 위한 시험시공이다. 대상으로 한 구조물은 일본 岐阜縣 東濃用水道사무소 내에 있으며, 1960년대 말에 시공된 중력식 콘크리트 옹벽(폭 18m×높이 5m) 이고, 알칼리골재반응(ASR)에 의한 균열이 발생한 콘크리트 옹벽에 대하여 HPFRCC의 뿔칠(두께 50~70 mm)에 의해 표면보수를 실시하였다.

〈표 1〉과 〈그림 1〉에 나타난 것처럼 뿔칠재료 3종류, 보강근 2종류, 균열부 실링재의 유/무를 조합하여 총 9조건으로 9개 블록을 시공하였다. 1블록의 치수는 폭 1.8M×높이 5M이다. 뿔칠시공 전에 초고압 워터젯 장비를 활용하여 옹벽의 표면을 수 mm 깊이로 치핑처리를 하였다. 블록 No.4와 No.8에서는 HPFRCC의 인장성능이 충분히 발휘되도록 HPFRCC와 균열부 근방의 콘크리트와의 부착력을 저하시키기 위해 균열부를 실링재로 처리하였다.

또한, 뿔칠시공 2일 후에는 모든 블록에 있어서 옹벽의 하단으로부터 2M의 범위에 1액형 아크릴계 도료를 도포하였다. 〈사진 3〉은 중력식 콘크리트옹벽의 표면보수 전경을 시공순서에 따라 나타낸 것이다.

3.1.2 설계 및 시공에 관한 고찰

(1) 대상 구조물의 열화정도

이 옹벽은 1994년에 실시된 내진진단/열화진단에 있어서 ASR에 의한 거북이등 모양의 균열이 발생하고 있다는 것이 확인되었으며, 균열주입공법과 표면피복공법에 의한 보수가 실시되었다. 그러나 〈사진 3(a)〉에 나타난 것처럼 2002년의 재조사에 있어서 옹벽표면에 균열이 다시 발생하고 있었다.

콘크리트의 잔류팽창량을 조사한 결과, JCI-DD2법에 의한 축진팽창시험에서는 전팽창량이 0.005~0.011%로 평가되었다. 일반적으로 0.1% 이상으로 잔류팽창량이 있다고 판정되기 때문에 급히 대상으로 한 콘크리트의 잔류팽창량은 적다고 판단되었다.

표 1. 시공조건에 대한 일람

뿔칠보수재료	블록 No.	보강근	균열부 실링재	블록하부 표면피복
보수재료 A* (㈜DEROS)	1	용접철근망	-	유
	2	익스팬드메탈	-	유
	3	-	-	유
	4	-	유	유
보수재료 B** (鹿島建設)	5	용접철근망	-	유
	6	익스팬드메탈	-	유
	7	-	-	유
	8	-	유	유
보수재료 C*** 무보수	9	용접철근망	-	유
	10	-	-	-

* ㈜DEROS 시공

- 분류 : HPFRCC 뿔칠 모르타르
- 섬유 : PVA+고강력PE
- 섬유혼입률 : 1.5 vol. %
- 모르타르의 형태 : 프리믹스형 폴리머모르타르

** 鹿島建設 시공

- 분류 : HPFRCC 뿔칠 모르타르
- 섬유 : 고강도 PVA
- 섬유혼입률 : 2.1 vol. %
- 모르타르의 형태 : 프리믹스형 모르타르

*** 鹿島建設 시공, 보수용 뿔칠 모르타르

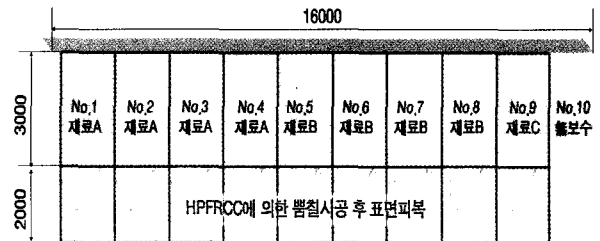


그림 1. 시공블록의 분할(약 1800 × 5000 mm/블록)

(2) 보수방법의 선택

ASR에 의해 균열이 발생한 구조물의 보강에 있어서는 예를 들어, 교각 등에서는 RC에 의한 증설이나 강판 또는 시트접착에 의한 보강, 프리스트레스의 도입 등이 있다. 그러나 대상으로 한 중력식 콘크리트 옹벽의 용도나 입지조건 등을 감안하여 외관을 주목적으로 한 보수를 실시하기로 하였다. 기존의 균열부가 개구되지 않고 표면에도 폭이 큰 균열이 발생되지 않을 것으로 기대되었지만, 기존의 균열이 개구한 경우에 있어서 HPFRCC의 균열분산성능에 의해 표면에서 관찰되는 균열폭을 저감시킬 수 있는 효과를 기대하였다.

(3) 보수두께의 설정 및 보강재의 배치

뿔칠두께(50 ~ 70 mm) 등의 부재설계를 실시하는데 있어서는 시공 가능한 뿔칠두께를 고려하여, 보강재를 배치하는 것을 기본방침으로 하였다. 특히, 후자에 관해서는 ASR의 잔재팽창량의 불확정성을 고려하여 예상보다도 큰 팽창(기존 균열의 확

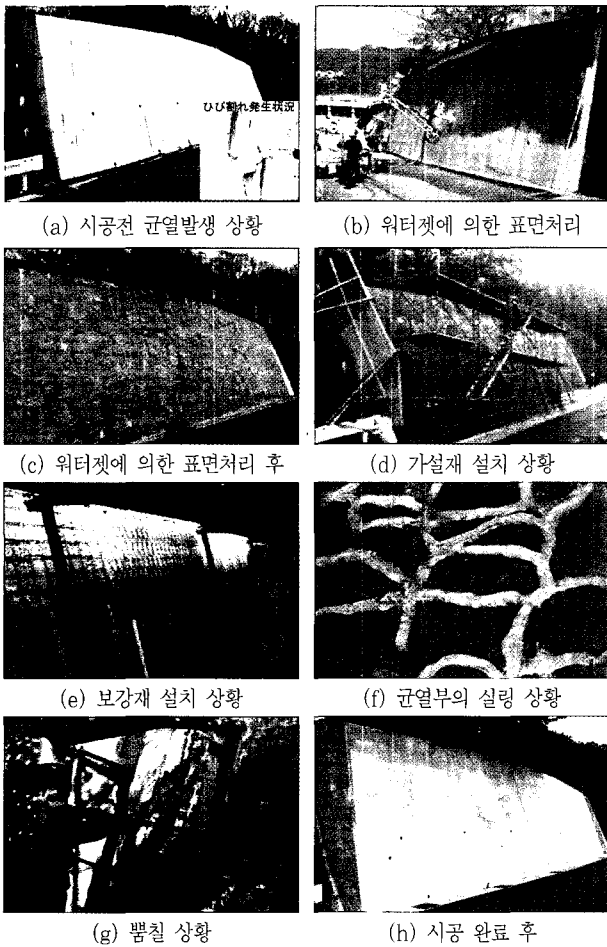


사진 3. HPFRCC에 의한 중력식 콘크리트옹벽의 표면보수

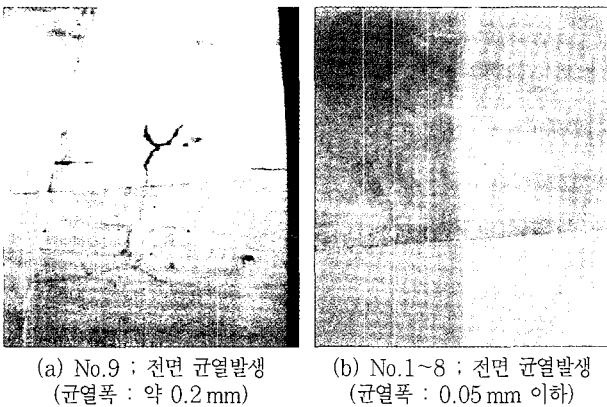


사진 4. 시공후 10개월에서의 균열발생 상황 비교

대)이 발생할 경우에도 표면에 큰 균열이 발생하지 않도록 보강재(익스펜드메탈 또는 철근망)를 배치하고, 더욱이 보강재의 부식이 발생하지 않도록 피복두께를 40 mm 이상이 확보될 수 있도록 설계하였다.

(4) 균열부의 실링(블록 No.4 와 No.8)

옹벽에 발생한 균열의 개구를 보다 넓은 범위의 HPFRCC가

부담할 수 있도록 HPFRCC와 균열 주변 콘크리트와의 부착을 저하시키기 위해 1액형 폴리우레탄계 실링재를 이용하여 균열 부를 실링(폭 30 mm, 두께 5 mm) 하였다.

3.1.3 적용 후의 균열발생 상황

육안 및 크랙게이지에 의한 균열발생상황의 계측은 시공 후 1, 2, 3, 7, 10, 12개월에 측정하고, 더욱이 12개월에 있어서는 높이 2m의 위치에서부터 상하 1m의 범위에 대하여 해상해석에 의해 균열분포도를 작성하였다.

〈사진 4〉에 시공 후 10개월에 있어서 균열발생상황, 〈사진 5〉는 시공 후 12개월에서의 균열발생상황을 각각 나타낸다.

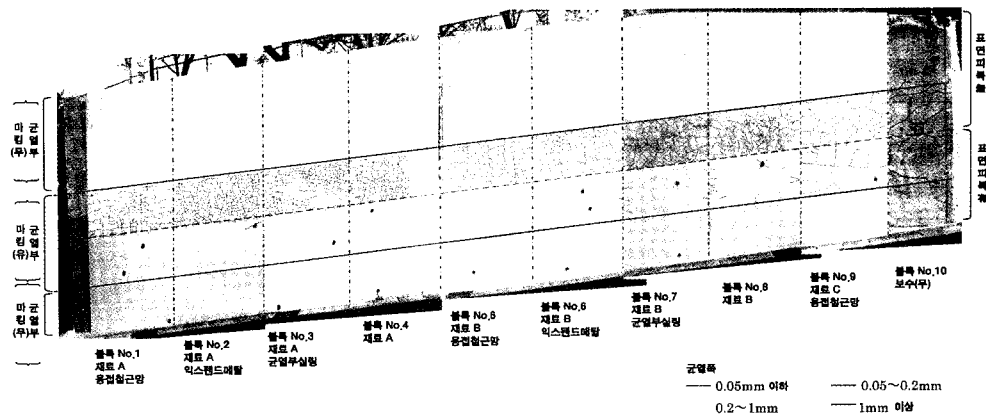
보수용 뿔칠모르타르(C)를 이용한 블록 No. 9에서는 시공 후 1개월부터 미세균열이 육안에 의해 확인되었으며, 시공 후 3개월에서는 종방향으로 균열(폭 약 0.03 mm, 길이 약 4.5 m)이 확인되었다. 또한, 시공 후 10개월에서는 블록 전면에 거북이등 모양의 균열이 발생하였고, 최대균열폭은 약 0.2 mm 정도이었다. 시공 후에는 재령의 경과와 함께 균열이 많이 발생되고 있으며, 시공 후 24개월에 있어서 최대균열폭은 약 0.3 mm 정도이었다. 한편, HPFRCC 뿔칠모르타르(A 및 B)를 이용한 블록에서는 시공 후 7개월까지는 균열이 관찰되지 않았으며, 시공 후 10개월에 있어서도 모든 블록(No.1 ~ No.8)에 있어서 최대균열폭이 0.05 mm 이하이었다. 시공 후 10개월 이후에 있어서는 HPFRCC 뿔칠모르타르 A(No.1 ~ 4)의 경우, 시공 후 12 및 24개월과 재령의 경과와 함께 균열의 발생수가 많게 되는 결과를 얻었다. 그러나 HPFRCC 뿔칠모르타르 B(No.5 ~ 8)의 경우, 시공 후 12 및 24개월의 발생균열수의 차이는 거의 없는 것으로 확인되었다. 이는 HPFRCC 뿔칠모르타르 A에 비해 B의 경우 대기중의 분진 등에 기인한 표면오염에 의해 균열의 관찰이 용이하지 않았기 때문이다. 또한, 시공 후 24개월에 있어서 최대균열폭은 HPFRCC 뿔칠모르타르 A 및 B 모두 약 0.12 mm 이하이었다.

3.2 농업용수로의 라이닝 보수공사^{1,5)}

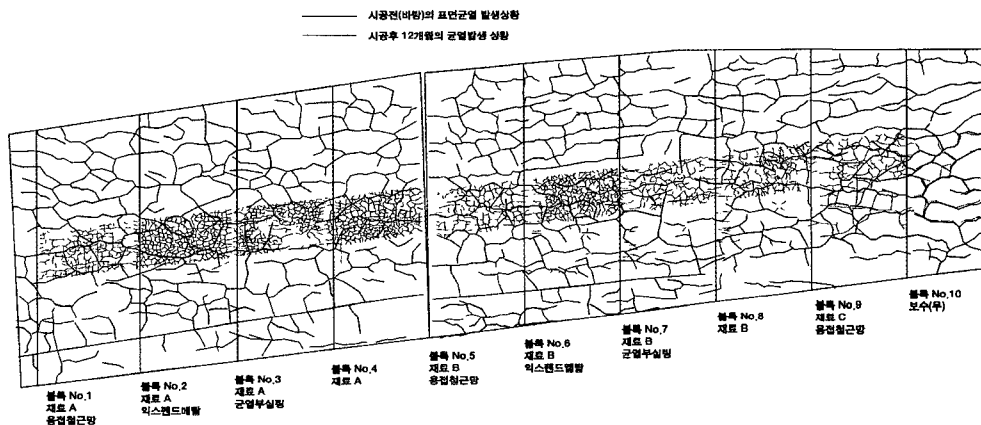
3.2.1 개요

일본에 있어서 주요 농업용수로의 총연장은 4.5만 km에 달하며, 이미 시공 후 수십년 이상 경과한 것이 대부분이어서 기능적으로 열화가 진행되고 있다. 이에 따라 건설된 농업용수로에 있어서 효과적인 기능회복을 위한 단면복구 및 표면피복(이하, 라이닝이라 함) 재료의 개발 및 보수기술의 확립이 중요시되고 있다.

현재, 농업용수로의 보수에는 내마모성이나 표면조도계수가



(a) 시공후 12개월에서의 균열발생 상황(균열부 마킹)



(b) 시공전과 시공후 12개월에서의 균열발생 상황 비교

사진 5. 시공후 보수면 표면의 균열발생 상황

비교적 우수한 수지계 라이닝재가 많이 적용되고 있지만, 수지계 라이닝재의 경우 자외선에 의한 열화가 심하고, 보수표면이 습윤상태인 경우 시공이 곤란하며, 시공후 부풀음이나 박리 등의 원인으로 되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 본 시공에서는 수지계 라이닝재에 비하여 자외선 열화 및 표면건습상태의 영향을 받기 어려운 시멘트계 표면라이닝재를 이용하여 농업용수로의 보수효과 및 시공성에 대하여 각각 평가하였다.

3.2.2 시공 개요

(1) 대상 구조물

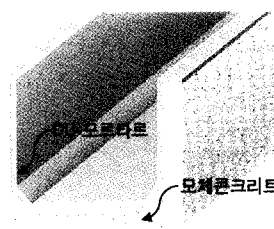
시험시공은 2005년 3월에 중앙간선수로 및 芹谷野용수로 2개소에서 실시하였으며, <그림 2>에 농업용수로의 보수개요 및 보수시공 플로우를 나타낸다.

① 중앙간선수로

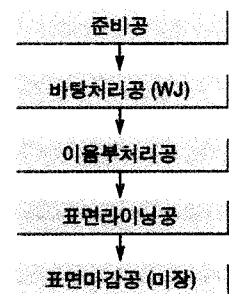
중앙간선수로(측벽 : 약 1.1m, 밑판 : 약 1.5m)의 경우

표 2. 대상 구조물과 표면라이닝재

대상 구조물	라이닝 재료	시공 방법	물성 압축강도	마모질량
중앙간선수로 및 芹谷野용수로	· 인성모르타르(HPFRCC) · 프리믹스 타입 · $V_f=1.5 \text{ vol. \%}$ (PVA)	미장 및 뿔칠	35 MPa (28일)	1.35 g (JIS K 7204)
중앙간선수로	· 기존 폴리머모르타르 · 프리믹스 타입 · 유리섬유 · 초고강도 폴리머모르타르 · 프리믹스 타입 · $V_f = 0.6 \text{ vol. \%}$ (탄소섬유)	미장	28 MPa (28일) 50 MPa (3일)	- 0.70 (JIS A 1453)



(a) 보수개요



(b) 보수시공 플로우

그림 2. 농업용수로의 보수개요 및 보수시공 플로우

표면의 모르타르가 유수에 의해 마모·세굴되어 표면 전체에 굽은골재가 노출되고 있으며, 일부 개소에서는 단면결손도 확인되었다. 균열발생 상황에 대해서는 폭 약 1 mm 정도의 중방향 균열이 약 1 m 간격으로 발생하여 있었다.

② 芦谷野용수로

芦谷野용수로(측벽 : 약 1.1 m, 석축측벽 : 약 2.4 m, 밀판 : 2.0 m)도 중앙간선수로와 같이 표면의 모르타르가 유수에 의해 마모·세굴되어 표면 전체에 굽은골재가 노출되어 있으며, 밀판부의 단면결손이 일부 확인되었다. 또한, 석축측벽의 경우에는 하부의 채움모르타르가 유수에 의해 심하게 파손되어 있으며, 석축의 내부까지 세굴이 확인되었다. 그러나 균열은 거의 발견되지 않았다.

(2) 사용재료

〈표 2〉에 본 공사에서 사용된 시멘트계 표면라이닝재 및 이의 시공방법을 나타낸다. 우선, 중앙간선수로에서는 HPFRCC 인 인성모르타르, 인성모르타르와 압축강도(30 MPa) 및 가사시간(약 3시간)이 거의 동등한 기존 폴리머모르타르를 이용하였다. 또한, 공기가 짧은 경우를 고려하여 가사시간이 약 10~20분으로 짧지만 재령 1일의 압축강도가 약 30 MPa(재령 28일 : 약 90 MPa)정도인 초고강도 폴리머모르타르에 대해서도 평가를 실시하였다.

(3) 바탕처리

현재, 농업용수로의 보수공사에 사용되는 바탕처리공법(표면처리공법)은 데스크샌드공법, 고압세정공법, 워터젯공법 등이 있지만, 시공비가 저가인 고압세정공법이 일본에서 주로 활용되고 있다. 그러나, 본 시공에서는 고압세정공법이 열화부 또는 취약부를 확실하게 제거하는 것은 곤란하다고 생각하여 상기 3종류의 바탕처리공법에 대하여 시험시공을 실시하여 사용될 바탕처리공법을 선정하였다. 바탕처리공법의 선정을 위한 시험시공은 상기 3종류의 바탕처리공법에 따라 약 500×500 mm 범위의 바탕처리를 실시하고, 에폭시수지를 이용하여 40×40 mm의 구대를 부착시켜 견연식 시험기에 의해 부착시험을 실시하였다. 시험 결과, 부착강도는 워터젯공법이 1.8 MPa로 가장 높았으며, 데스크샌드공법(약 0.95 MPa), 고압세정공법(약 0.65 MPa)의 순으로 나타났다. 한편, 파단위치에 대해서는 워터젯공법의 경우 모두 모체가 파괴되었으며, 고압세정공법의 경우에는 접착재와 처리표면의 경계면에서 파괴되었다. 또한, 데스크샌드공법의 경우 접착재와 처리표면의 경계면이 1개소, 모체에서의 파괴가 2개소이었다.

이상과 같이 중앙간선수로 및 芦谷野용수로 모두 바탕처리공법은 열화부 또는 취약부의 제거가 확실하게 기대되는 워터젯공법에 의해 실시하기로 결정하였다.

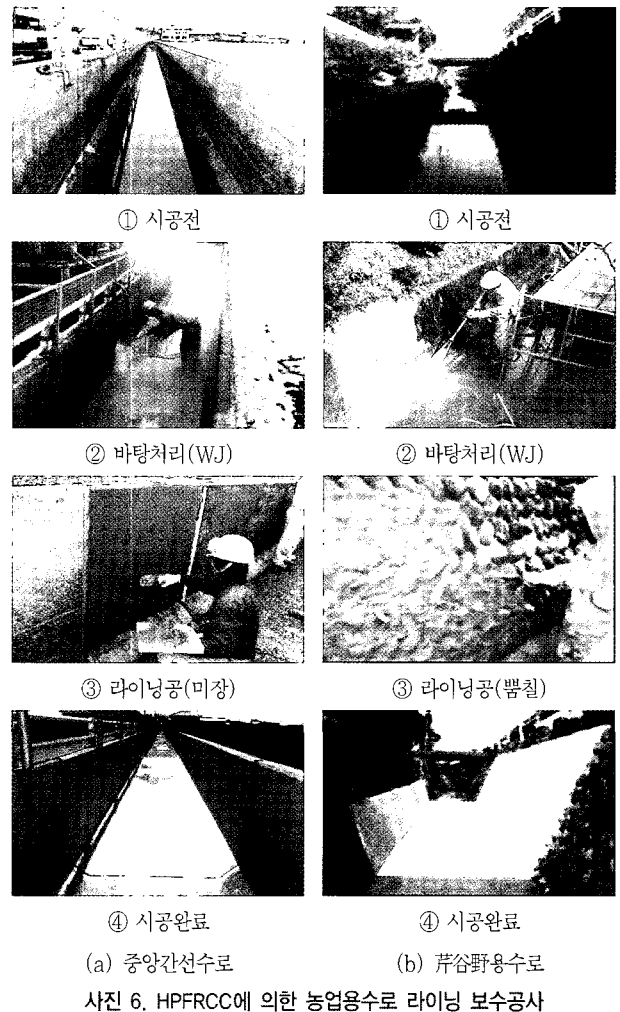
(4) 표면라이닝

전술한 바와 같이 중앙간선수로는 미장공법에 의해, 芦谷野용수로는 뽕칠공법에 의해 시공하였다. 〈사진 6〉은 각각의 시공상황을 나타낸 것이다.

① 미장공법

표면라이닝재로는 HPFRCC의 일종인 인성모르타르, 기존 폴리머모르타르 및 초고강도 폴리머모르타르의 3종류로 하였다. 전체 시공면적인 36 M² 정도이므로 각 표면라이닝재의 시공면적은 약 12 M² 정도이었다. 또한, 모든 라이닝재에 있어서 도포두께는 측벽의 경우 6 mm, 유수에 의한 마모량이 측벽에 비해 비교적 큰 밀판의 경우 10 mm로 설정하였다. 미장작업의 작업성과 밀접한 관계가 있는 프레쉬상태의 유동성, 즉 플로우치는 인성모르타르의 경우 135 mm 정도이며, 기존 폴리머모르타르 및 초고강도 폴리머모르타르의 경우 160 mm 정도이었다. 또한, 초고강도 폴리머모르타르의 경우 가사시간이 20분 이하로 짧기 때문에 지연제의 혼입에 의해 30분 정도로 지연시켰으며, 1회 비빔량은 다른 재료의 반정도로 실시하였다.

또한, 경년변화에 따른 각 표면라이닝재의 부착성상을 평가



④ 시공완료 (a) 중앙간선수로 (b) 芦谷野용수로
사진 6. HPFRCC에 의한 농업용수로 라이닝 보수공사

하기 위해 3종류의 라이닝재에 대하여 동일방법으로 부착시험 용 시험체 (400×600×100 mm) 를 제작하였다. 제작된 시험체는 수로의 밑판에 설치하고, 시공후 1, 3, 6 및 12개월에 있어서 표면상태 및 부착성능에 대하여 각각 평가하였다.

② 뽐칠공법

芹谷野용수로에서는 부배합의 인성 모르타르(섬유혼입률 V_f : 0.8 vol.%) 를 이용하여 석축측벽의 요철부를 채운 후, HPFRCC를 이용하여 뽐칠시공에 의해 두께 6 mm의 표면라이닝을 실시하였다. 또한, 콘크리트부의 측벽이나 밑판은 중앙간선수로와 동일하게 측벽 6 mm, 밑판 10 mm로 하였다. 또한, 뽐칠시공에 있어서도 미장공법과 동일하게 인성 모르타르의 플로우치는 135 mm 정도로 하여 시공을 실시하였다. 뽐칠시공의 경우 미장공법에 비해 약 2~3배 정도의 작업능률이 향상되었으며, 라이닝 두께의 편차(목표 라이닝 두께보다 약 0.5 ~ 1.5 mm 정도 두껍게 시공)도 미장공법과 동등하였다.

3.2.3 적용 후의 상황

뽐칠공법 및 미장공법에 의한 3종류의 라이닝재 모두 표면들뜸 등의 결함이 없이 평활한 마감면이 얻어졌다.

(1) 중앙간선수로의 상황

수로에 용수가 개시되어 유수 내부(밑판)의 상태변화는 확인되지 않았지만, 시공 7일 후에 있어서 각 표면라이닝재 모두 균열 등의 결함은 발생하지 않았다. 시공 후 1개월에서는 초고강도 폴리머모르타르의 경우 측벽의 천단부 2개소에 균열이 육안에 의해 관찰되었으며, 기존 폴리머모르타르에서는 종방향 균열이 약 0.5 M 간격으로 5개소에서 관찰되었다. 이들 2재료 모두 균열폭은 <사진 7>에 나타난 바와 같이 약 0.05 mm 정도이었으며, 인성모르타르의 경우에는 균열이 관찰되지 않았다.

또한, 각 표면라이닝 재료별 부착성능을 평가한 결과, 초고강도 폴리머모르타르의 평균 부착강도가 3.26 MPa 로 가장 높았고, 인성 모르타르가 2.99 MPa, 기존 폴리머모르타르가 2.0 MPa로 평가되었다. 파단위치는 인성 모르타르 및 초고강도 폴리머모르타르의 경우 모체 및 계면에서 파괴되었지만, 기존 폴리머모르타르의 경우에는 라이닝재 내부에서 파괴되었다. 또한, 기존 폴리머모르타르 및 초고강도 폴리머모르타르의 경우 시험체 제작시에는 보이지 않았던 보수표면의 잔골재 및 기포가 유수의 마모작용에 의해 육안상 관찰되었다.

(2) 芹谷野용수로의 상황

시공 후 7일 및 1개월에 있어서는 육안관찰에 의한 변성은 보이지 않았으며, 기존 농수로 라이닝공법의 약점으로 지적되고 있는 하류측의 세굴부도 단면결손 등의 손상이 확인되지 않았다. 또한, 모든 부착시험개소에 있어서 모체가 파괴되었으며, 평균 부착강도는 2.71 MPa 로 미장공법에 비해 약간 작은 값

을 나타내었다. 이는 미장공법에 의한 중앙간선수로의 경우 모체로서 채령 1개월이 경과된 시험체를 이용하였지만, 芹谷野용수로의 경우 시험시공장소와 동일한 개소에서 뽐칠시공에 의해 시험체를 제작하였고, 이에 의해 부착시험 개소의 모체 자체의 강도가 작게 되었기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 교각의 보수공사¹⁾

3.3.1 개요

본 시공은 호쿠리쿠(北陸) 지방을 종단하는 일본도로공단 호쿠리쿠 자동차도로의 ASR에 의해 열화를 받은 교량에 있어서 시험시공을 실시한 것이며, ASR대책으로서 2001년도에 발주된 보수공사이다. <사진 8>은 대상 구조물의 단면도와 사전조사에 의한 균열분포도를 나타낸다. 대상 구조물은 富山縣 내에 있는 역T형 교각(폭 25 m×높이 6 m)이며, 준공 후 30년 이상이 경과하였고, 종벽에는 ASR에 의한 거북이등 모양의 균열이 무수히 발생한 상황이었다. 보수공사의 개요는 콘크리트표면을 워터젯공법에 의해 두께 150 mm 정도를 치핑하고, HPFRCC인 인성모르타르의 습식뽐칠에 의해 단면복구를 실시하였다. ASR에 의해 열화된 구조물, 특히 잔류팽창량이 확인된 구조물에서는 보수재의 변형(균열) 추종성이 요구되기 때문에 대단면의 ASR 대책으로서 신재료인 HPFRCC의 적용을 실시하였다.

3.3.2 사전조사

사전조사는 다음법에 의한 들뜸 및 박리 등의 열화상황에 대하여 실시함과 동시에 고해상도의 디지털카메라로 시공면의 분

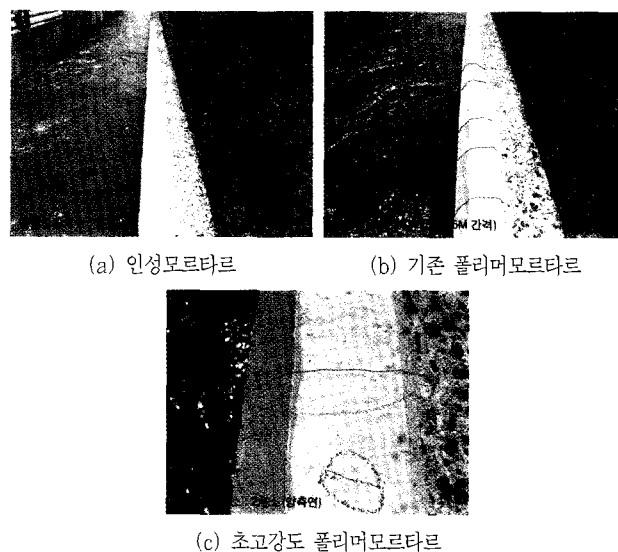


사진 7. 시공 1개월 후의 균열발생상황 (중앙간선수로)

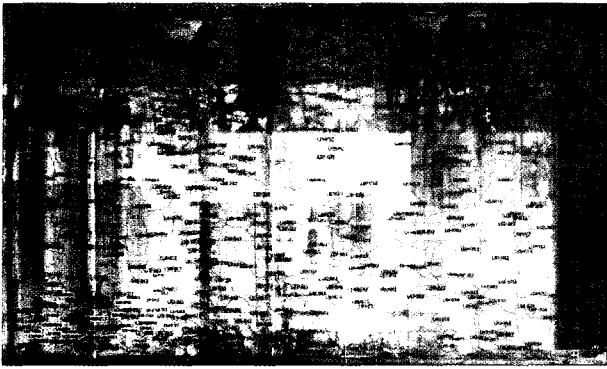


사진 8. 교각의 균열패턴 상황

할사진을 촬영하고, 화상처리소프트웨어를 이용하여 균열발생의 위치, 연장, 폭 등의 표면열화상황도를 <사진 8>과 같이 작성하였다. 표면열화 상황은 거북이등 모양의 균열이 고밀도로 발생하고 있으며, 최대균열폭은 약 5 mm 정도이었다. 또한, 사전조사에 의해 표면의 거북이등 균열이 배면으로부터의 누수나 유리석회의 석출 등을 유발시키기 때문에 워터젯공법에 의해 교각 전면의 철근배면까지 치핑(치핑두께 150 mm 정도)하여 철근의 부식상태나 파단 등에 대하여 확인하였다. 조사 결과, 철근의 파단도 없으며, 철근의 부식정도도 새로운 철근의 보강을 필요로 하는 정도는 아니었다.

3.3.3 재료 선정 및 시공 순서

(1) 사용 재료

시공 당시 일본에서는 단면복구재로 폴리머시멘트모르타르가 주로 사용되고 있었으며, HPRFRC인 인성 모르타르에 관한 인지는 낮고 축적된 시험데이터도 적었다. 이러한 사정을 고려하여 사전 시험시공에 의해 PVA 섬유혼입률과 압축·휨·부착강도 및 동결융해성능의 관계를 명확히 하여 부재성능, 워커빌리티, 경제성을 종합적으로 검토한 후, 섬유혼입률을 선정하였다. <그림 3>은 각 시험 결과를 나타낸 것이다. 우선, 부착시험

(40×40 mm, 건연식 부착시험)에 있어서 부착강도는 재령 7일의 경우 섬유를 혼입하지 않는 배합이 가장 크지만, 재령 28일에서는 섬유혼입률 1.8 vol.%까지는 부착강도가 증가하다가 2.4 vol.%에서는 저하하는 경향을 보였다. 또한, 휨시험 (20×100×900 mm 시험체, 4점 휨재하) 결과, 섬유의 혼입률이 증가할수록 최대하중 및 최대하중시의 변위가 증가하였으며, 섬유혼입률 1.8 및 2.4 vol.%의 경우 유사한 값을 나타내었다. 또한, 섬유혼입률이 증가할수록 복수의 미세균열이 많이 발생하였으며, 섬유혼입률 1.8 및 2.4 vol.%의 경우 유의할만한 차이는 보이지 않았다. 동결융해시험에 대해서는 섬유를 혼입하지 않은 경우 동결융해사이클 300회에서 다른 배합과 비교하여 상대동탄성계수가 약간 저하하는 경향을 보였지만, 섬유를 혼입한 모든 배합의 경우 동탄성계수의 저하는 보이지 않았다. 이상의 결과를 정리하면, ASR에 의해 균열이 진전될 경우의 보수재 성능으로서 가장 중요하다고 판단되는 균열분산성이나 부착성능은 PVA섬유의 혼입률이 증가할수록 양호하게 나타났으며, 이 때 파크는 대략 1.8 vol.% 정도라는 결과를 얻었다. 또한, 모든 배합에서 작업성은 양호하였으며, 경제성을 고려하여 섬유혼입률을 1.8 vol.% 설정하여 본 시공을 실시하기로 하였다.

(2) 표면치핑처리 및 방청처리

<사진 9>에 시공 상황을 나타낸다. 본 공사는 단면복구면적 및 두께가 비교적 크기 때문에 표면치핑처리 및 단면복구 모두 기계시공을 전제로 한 시공계획이 바람직하였다. 이에 따라 표면치핑처리로서는 콘크리트 처리표면이나 철근에 손상을 끼칠 위험성이 없고, 치핑처리와 동시에 철근표면의 부식부분 제거를 병행할 수 있는 워터젯공법을 적용하였다. 또한, 방청처리에 대해서는 표면치핑처리 후 1일 이내에 시멘트계 재료를 이용하여 방청처리를 실시하였다.

(3) 뿔칠시공

표면치핑두께가 150 mm이고, 기설 철근이 100 mm로 충분한 피복두께를 확보하고 있어 현상복구를 목적으로 두께 150

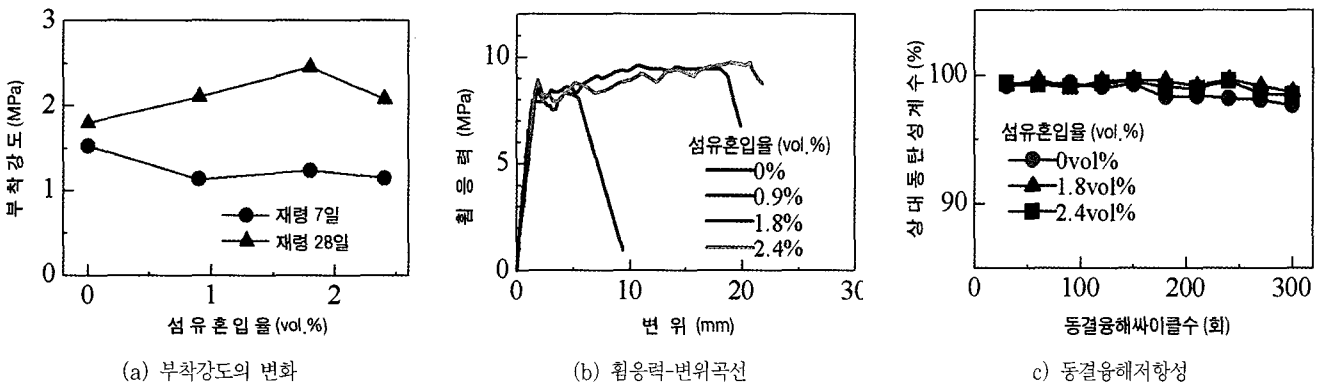


그림 3. HPRFRC의 물성평가 결과

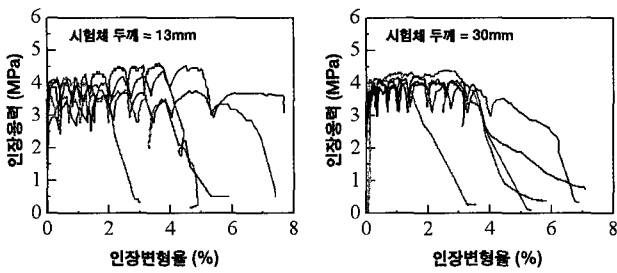
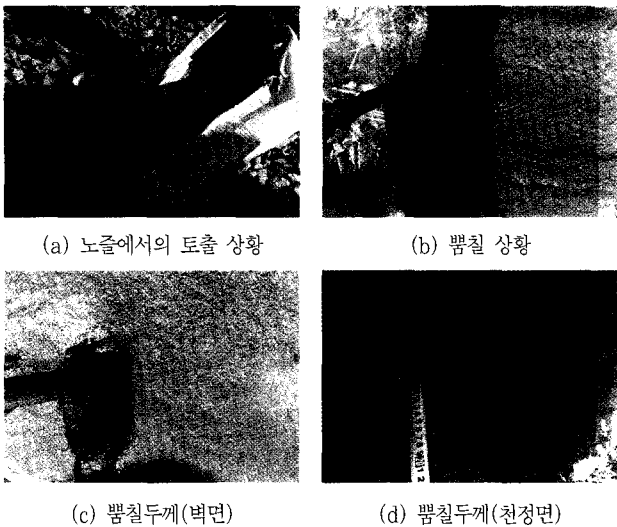


그림 4. HPFRCC의 인장응력- 변형곡선

2000년 이후부터 각 연구기관, 학계 및 업계를 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 본 기술과 관련하여 특허 제0549724호가 2006년에 등록된 바 있다. 본 특허기술에 의하면, 단면복구재로 사용되는 HPFRCC의 직접인장변형성능은 <그림 4>와 같이 약 1~5% 정도로 나타났다. 또한, <사진 9>는 HPFRCC의 뿔칠시험시공 상황을 나타낸 것으로, 섬유혼입률 2.0 vol.%에 있어서도 폐색현상이 발생하지 않고 안정적인 뿔칠시공이 가능하였으며, 1회 뿔칠두께가 벽면에서 100 mm, 천정면에서 80 mm까지 가능한 것으로 나타났다.



(a) 노즐에서의 토출 상황 (b) 뿔칠 상황
(c) 뿔칠두께(벽면) (d) 뿔칠두께(천정면)

사진 9. HPFRCC의 뿔칠시공시험 장면(국내)

5. 맺음말

본고에서는 최근 선진외국을 중심으로 연구개발이 활발히 지속되고 있는 고인성시멘트복합체(HPFRCC)를 사용한 노후 콘크리트 구조물의 보수공법에 관하여 일본의 적용사례를 바탕으로 기술하였다. 즉, 일본에서는 HPFRCC를 사용한 보수공법이 전술한 웅벽, 농수로, 교각 구조물 이외에도 교량상판, 댐 구조물, 지하구조물, 터널구조물 등 우수한 균열제어성능 및 내구성능이 요구되는 각종 보수공사에 적극적으로 활용되고 있음을 확인할 수 있었다.

한편, 국내의 여러 연구기관 및 업계에서도 HPFRCC의 제조 및 활용기술 개발에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며, 특히 HPFRCC의 우수한 균열제어성능, 방수성능, 내구성능 및 피로성능을 활용하여 노후화 된 각종 콘크리트 구조물의 보수재료로의 활용이 기대되고 있다. 아울러, 현재 개발된 HPFRCC의 제조 및 활용기술이 건설산업 분야에서 적극적으로 실용화되기 위해서 제도적 차원에서의 체계적인 지원이 확립될 수 있기를 기대하며 본고를 마친다. □

mm의 단면복구를 기본 방침으로 하였다. 뿔칠시공에 있어서는 단섬유의 연결 작용에 의해 1층 뿔칠에 의해 150 mm 두께를 뿔칠하는 것이 가능하였으며, 리바운드율도 10% 이하이었다. 또한, 시공직후의 상황은 평활한 마감면을 확보하였으며, 변색이나 균열은 전혀 관찰되지 않는 양호한 표면 상황이었다.

3.3.4 시험시공 결과

이번의 공사에서는 뿔칠시공에 의해 대단면 보수개소에 인성 모르타르를 적용한 경우 1회의 뿔칠두께를 두껍게 하는 것이 가능하였으며, 리바운드율도 10% 이하로 적기 때문에 기존의 폴리머모르타르에 비하여 작업효율의 향상이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한, 단섬유를 혼입함으로써 부착강도의 향상에 의한 모재와 단면복구재의 일체화, 휨응력하에서의 균열분산성 및 내동결융해성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

4. HPFRCC를 사용한 보수공법의 국내사례⁵⁾

국내에서도 HPFRCC를 사용한 보수공법에 관한 연구개발이

참고문헌

1. 콘크리트 기술 시리즈, “複數微細ひび割れ型纖維補強モルタル의評價と利用”, 日本土木學會, 2005. 7, pp.11~32.
2. 擁壁表面補修へのECC適用検討會, “ECC(靱性モルタル)による重力式コンクリート擁壁の表面補修試験施工”, 2004. 5.
3. 六郷恵哲ほか, “ECCによる重力式コンクリート擁壁表面補修の試験施工と要素部材の引張特性評價”, JCI高靱性セメント複合材料に関するシンポジウム, 2003, pp.133~140.
4. 日本コンクリート工業協會, “高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う”, 高靱性セメント複合材料の性能評價と構造利用研究委員會報告書, 2002.01.
5. 한병찬 외, “균열제어형 DFRCC를 사용한 RC구조물의 보수 공법”, 콘크리트학회지, 18권1호, 2006. 1, pp.56~61.