

# 유도레일 및 고압살수를 이용한 열화교각의 절삭 및 숏크리트 보수재료 개발

Development of shotcrete material and hydrodemolition leading rail for repairing the deteriorated concrete piers



윤경구 Kyong-Ku Yun  
강원대학교 토목공학과  
교수  
E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr



이계근 Kye-Guen Lee  
(주)삼형건설  
대표이사  
E-mail : leek6693@naver.com



김정규 Jung-Gyu Kim  
(주)삼형건설  
전무이사  
E-mail : kimjg003@naver.com



하태호 Taeho Ha  
강원대학교 토목공학과  
박사과정  
E-mail : gkxogh2810@kangwon.ac.kr

## 1. 서론

최근 공용년수 30년 이상의 교량 구조물들이 늘어나고 있는 추세이며, 도로, 교량 및 터널 현황조사에 따르면 공용년수 20~30년에 해당되는 교량 수는 10,289개로 향후 10년 이내에 공용년수 30년 이상의 교량 구조물이 증가할 것으로 예상된다. 그에 따른 노후된 콘크리트는 핸드 브레이커 및 고압살수를 이용하여 제거하고 모르타르에 의한 샌드위치식 보수가 주를 이루고 있는 실정이다.

하지만 핸드브레이커에 의한 열화부위 제거 방식은 작업자 숙련도에 따른 절삭면의 균질성을 확보하기 어려우며 기존 구조물에 충격을 줄 수 있어 내구성에 영향을 미칠 수 있다. 그리고 원형 및 타원형 교각의 특성상 기존 고압살수 장비의 진입이 어려운 단점이 있다. 또한 모르타르에 의한 단면 보수는 고품질의 보수가 어려우며 양생조건의 어려움에 따른 균열 발생 가능성이 높아 시공이 불량할 경우 공사 기간 연장에 따른 경제적 손실이 발생할 수 있다. 하천 노출이 있는 교각의 경우 내구성이 보장된 콘크리트를 사용할 필요성이 있으며 콘크리트는 거푸집 설치 및 철근 배근 공정 등이 추가되는 단점이 있다.

이에 따라 기존 고압살수 장비가 진입하기 어려운 시공현장에서 유도레일을 통하여 고압살수 장비를 이동하여 절삭하는 기술의 개발 및 숏크리트 공법을 사용하고 자연섬유를 혼입하여 균열을 줄인 고성능 보수재료를 개발하고, Mock-up test를 통하여 절삭 속도, 절삭 심도 및 숏크리트의 붙임성 및 역학적 특성을 평가하고자 하였다.

## 2. 유도레일 고압살수 장비 개발

장비의 전체 중량감소를 위하여 프레임은 알루미늄 합금소재를 사용하였으며, 교각에 안정적인 체결을 위하여 띠형태의 체결 유닛과 교각과 절삭장비의 접촉을 위한 리프팅 유닛을 설계하여 제작하였다. 또한 상하좌우로 이동하여 일정 면적을 절

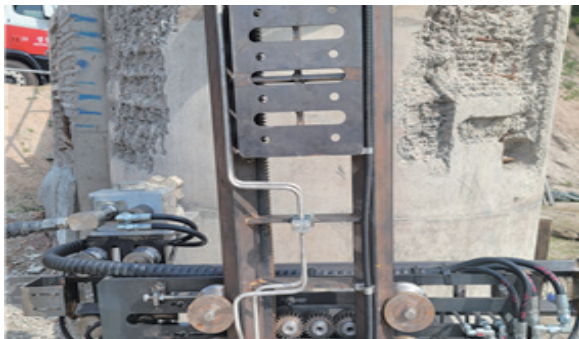
삭할 수 있는 유도레일을 각기 제작하여 연결하였다. 열화부위 절삭을 위한 노즐과 노즐의 회전속도와 이동속도 제어, 유압 컨트롤, 냉각 시스템 등을 조절할 수 있는 제어 시스템을 구축하였으며, 작업자의 무선 조정을 위한 무선 컨트롤러 등을 설계하여 제작하였다.



(a) 고압살수 장비



(b) 노즐



(c) 상하 이동 유도레일



(d) 좌우 이동 유도레일



(e) 리프팅 유닛



(f) 체결 유닛

그림 1. 유도레일 고압살수 장비

### 3. 고성능 숏크리트 보수재료 개발

#### 3.1 배합설계

자연섬유는 콘크리트 내 존재하는 잉여수를 흡수하고 경화 과정에서 물을 내뿜어 Internal Curing 역할을 하여 소성균열 억제에 사용되며, 열화교각의 보수과정의 특성상 양생의 어려움에 따른 소성수축 균열 억제를 위하여 자연섬유를  $1\text{ kg/m}^3$  혼입하였다. 또한 소성수축 균열 이외의 수축균열을 억제하기 위하여 팽창제 분말을 단위시멘트 중량 대비 2% 치환하였다.

하천에 영향을 받기 쉬운 교각의 특성상 내구성 및 수밀성 향상에 초점을 맞추어 단위시멘트량 460kg을 사용하였다. 수밀성 증대를 위하여 포졸란반응에 이용되는 실리카 흙과 경화 과정에서 필름막을 생성시키는 폴리머 분말을 사용하여 단위시멘트 중량 대비 7%, 2%를 각각 치환하였다. 또한 동결융해 저항성을 위하여 AE제를 혼입하였다.

#### 3.2 실험항목

본 연구의 실험방법으로 건식 숏크리트 공정을 사용하였으

며 숏크리트의 조기강도와 역학적 특성을 분석하기 위하여 재령 3, 28일의 압축강도와 재령 28일의 휨강도를 각각 KS F 2405, KS F 2408에 의거하여 진행하였다. 또한 내구성 및 수밀성 특성 분석을 위하여 재령 28일의 염소이온침투저항성(RCPT) 실험과 재령 14일의 동결융해 저항성 실험을 각각 KS F 2711, KS F 2456에 의거하여 실험하였다.

#### 3.3 실험결과

재령 3일의 압축강도는 25.0MPa, 재령 28일의 압축강도는 58.2MPa로 측정되어 높은 조기강도 발현 및 고강도의 압축강도 특성을 보여주었다. 또한 폴리머 혼입에 따른 재령 28일의 휨강도가 10.11MPa로 높게 측정되었으며, <그림 2>는 압축강도 및 휨강도 결과이다.

염소이온침투저항성(RCPT)의 측정결과 777 Coulombs로 측정되어 '매우 낮음' 등급으로 평가되었으며, <그림 3>은 염소이온 침투저항성 실험결과이다. 재령 14일 기준의 동결융해 실험결과 [표 2]와 같이 측정되었으며, 300 Cycle 종료에 의한 상대 동탄성계수는 86.5%로 동결융해 저항성이 우수한 것으로 판단된다.

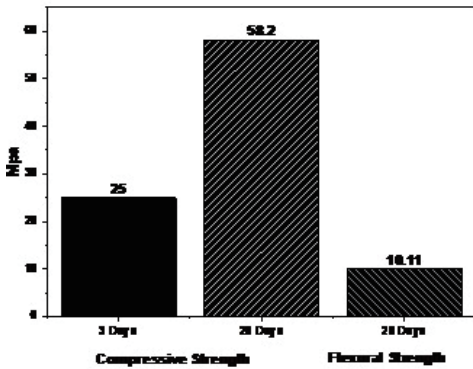


그림 2. 압축 및 휨강도

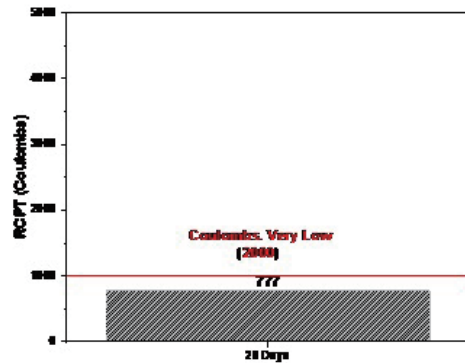


그림 3. 염소이온침투 저항성

[표 1] 배합표

G <sub>max</sub> (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )										
				W	C	SF	PP	EA	S	G	SP	AE	NF	
10	5±2	40	75	184	409	32.2	9.2	9.2	1202	407	3.22	0.46	1	

SF: 실리카 흙

EA: 팽창제

PP: 폴리머 분말

NF: 자연섬유

AE: AE제

SP: 고성능 감수제

[표 2] 동결융해 시험결과

Cycle	변수	1차 공명진동수(Hz)	상대 동탄성계수
0	1	2109	100
	2	2099	100
30	1	2073	97
	2	2064	97
60	1	2113	100
	2	2088	99
90	1	2087	98
	2	2071	97
120	1	2088	98
	2	2069	97
150	1	2056	95
	2	2023	93
180	1	2044	94
	2	2011	92
210	1	2016	91
	2	1992	90
240	1	2001	90
	2	1987	90
270	1	2003	90
	2	1979	89
300	1	1976	88
	2	1940	85

## 4. Mock-up Test

### 4.1 모형 제작

개발된 유도레일 고압살수 장비 및 슛크리트 재료의 적용성 평가를 위하여 교각의 일부분을 제작하였으며, 대상 교각의 개요는 다음과 같다.

- 직경 : 2.5m, 높이 : 4m
- 형태 : 원주형 교각
- 강도 : 40.0MPa
- 수직철근 : 직경  $\Phi$ 13mm, 간격 250mm
- 수평철근 : 직경  $\Phi$ 13mm, 간격 300mm
- 피복두께 : 100mm



그림 4. Mock-up Test용 교각



그림 5. Mock-up Test 전경

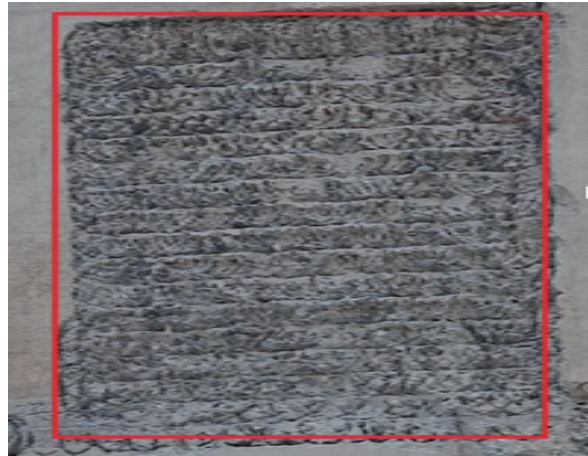


그림 6. 유도레일 고압살수 절삭부위



그림 7. 슛팅 전경



그림 8. 보수 작업면 마무리

#### 4.2 고압살수 Mock-up Test 결과

<그림 5>는 Mock-up Test에서의 교각과 유도레일 고압살수 장비의 시험 전경이며, <그림 6>은 유도레일 고압살수를 이용한 절삭부위이다.

리프팅 유닛과 체결 유닛에 의하여 고압살수 유도레일 장비가 교각에 정상적으로 체결되었으며 무선컨트롤러를 통하여 콘크리트의 절삭과정이 이루어졌다.

고압살수 유도레일 장비는 절삭 부위 가로 0.8 m, 세로 1.1 m의 절삭면적을 시행하였으며, 절삭 심도는 5.5 cm로 측정되어 일반적으로 사용되는 절삭 심도 5 cm를 초과함을 보였다. 또한 해당 면적을 절삭하는데 총 520초의 시간이 소요되었으며, 절삭 심도 5 cm 기준에서의 절삭 속도는 6.702 m<sup>2</sup>/

hr이다. 또한 해외 장비 Sweden Aquaget의 절삭 속도가 4.0 m<sup>2</sup>/hr인 것과 비교 시 상대적으로 우수한 절삭 속도를 보유하였다.

#### 4.3 Mock-up Test 슛크리트 결과

슛팅 과정에서의 재료가 절삭면적에 잘 부착되었으며, <그림 7>은 보수재료 슛팅 후 전경이다. 또한 손미장이 가능할 정도의 워커빌리티를 확보하였으며, 하이드로노즐을 사용하여 리바운드와 재료의 분진을 줄였다.

### 5. 결론

유도레일 고압살수 장비의 성능 테스트 결과 기존 해외업체의 장비보다 우수한 절삭속도를 보여 작업속도의 개선이 가능할 것으로 보여지며, 기존 궤도 장비의 진입 문제를 해결하여 장비 진입이 어려운 현장에서의 사용성이 뛰어날 것으로 판단된다. 하지만 장비 운용 및 공정에 대한 연구가 미흡하여 더욱 연구가 필요한 부분이다. 또한 기존 모르타르 보수가 아닌 고성능 및 내구성이 우수한 슛크리트 재료개발로 공사기간 및 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 최성용, 김용곤, 윤경구. 고압살수를 이용한 해양 콘크리트구조물 보수공법 개발. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2018, 30.2: 729-730.
2. 정원경, 김기현, 윤경구, & 김용곤. Hydrodemolition에 의한 콘크리트 파쇄기준 제안을 위한 실험적 연구. 대한토목학회논문집 D, 2009, 29(1D), 73-80.
3. 김성권, 심도식, 이봉학, & 윤경구. VES-LMC로 보수·보강된 구조물의 부착강도에 미치는 Hydrodemolition의 영향. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2006, 397-400.
4. 정원경, 김기현, 김용곤, 윤경구, & 최성용. 프리믹스 슛크리트와 Hydro-demolition을 이용한 경사구조물 보수공법 개발. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2008, 797-800.
5. 최성용, 서재엽, 정범석, 윤경구, 김기현, & 김용곤. 고성능 습식 슛크리트와 고압살수 표면처리를 이용한 경사구조물 보수공법의 현장적용성 평가. 대한토목학회 학술대회, 2009, 2385-2388.
6. MOMBBER, Andreas. Hydrodemolition of concrete surfaces and reinforced concrete, Elsevier, 2011.
7. WENZLICK, John D. Hydrodemolition and repair of bridge decks, 2002.
8. SILFWERBRAND, J. Concrete repair with shotcrete. In: DURABILITY OF STRUCTURES. IABSE SYMPOSIUM, SEPTEMBER 6-8 1989, LISBON (IABSE REPORT VOLUME 57/2), 1989.
9. ZAFFARONI, P., et al. High performance shotcrete. L'industria italiana del cemento, 2000, 7.8: 598-602.
10. YUN, Kyong-Ku, et al. Hydrodemolition and its Effect on Bond Strength of Concrete Repair. In: 10th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, 2013.
11. YUN, Kyong-Ku, et al. Effect of Hydrodemolition and Cutting Diameter of Pull-off Test on the Bond Strength of LMC Bridge Deck Pavement. In: 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements, Springer, Dordrecht, 2016, p. 641-646.
12. YUN, Kyong-ku, et al. Rehabilitation of Marine Concrete Structure with Under-Water Hydrodemolition and Sprayed Concrete. In: MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2018, p. 07009.

담당 편집위원 : 김승원(강원대학교)