

콘크리트 포장 부분단면보수 재파손 구간의 적정 보수 방안

Re-Repair Method for Deterioration of Partial Depth Repair Section in Portland Cement Concrete Pavement

이용현	Lee, Yong Hyeon	(주)한국건설품질시험연구원 R&D연구실 과장 (E-mail : bosslyh@naver.com)
김현석	Kim, Hyun Seok	정회원 · (주)한국건설품질시험연구원 R&D연구실 부장 (E-mail : glower1@naver.com)
정원경	Jung, Won Kyong	정회원 · (주)한국건설품질시험연구원 대표이사 (E-mail : wonkyong@hanmail.net)
오한진	Oh, Han Jin	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 박사후연수자 · 교신저자 (E-mail : ohj85@ex.co.kr)
김형배	Kim, Hyung Bae	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to suggest the construction and quality control method for the re-repair of a deteriorated partial depth repair for sections of Portland cement concrete pavement.

METHODS : An experimental construction was conducted to extend the repair width for removing an existing repair section. A removal method was used to ensure early performance for a deteriorated partial depth repair section. Bond strength and split tensile strength were measured at the near vertical interface layer between the existing pavement and repair material. The area was analyzed for various conditions such as the extended repair area and the removing method of the existing repair section.

RESULTS : As a result of analysis of bond strength and split tensile strength, the bonding performance of a milling removed section was improved over a cutting and hand breaker removed section. The bond strength was analyzed to increase slightly as the extended repair width for removing the existing repair section increased. The split tensile strength did not show a clear relationship to an increased extended repair width of an existing removed repair section.

CONCLUSIONS : The milling removal method should be applied in the removal of existing deteriorated partial depth repair sections. The extended repair width for a re-repair section should be wider than the existing partial depth repair with at least a 75-mm length and width for the bond strength and the split tensile strength.

Keywords

re-repair, partial depth repair, bond strength, split tensile strength, extended repair width, removing method

Corresponding Author : Oh, Han Jin, Postdoctoral Researcher
Korea Expressway Corporation Research Institute, 208-96, Dongbudaero
922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.31.8098.6285 Fax : +82.31.8098.6279
E-mail : ohj85@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jun. 07, 2017 Revised Aug. 31, 2017 Accepted Sep. 13, 2017

1. 서론

최근 국내 콘크리트 포장은 건설 단계의 양질 재료 부족 및 시공 관리 미흡과 유지관리 단계의 가혹한 기후환경 변화, 교통량 증가 및 제설제 사용량 증가 등으로 인

하여 공용수명에 다다르기 전에 조기 파손 발생이 증가하고 있다. 국내 콘크리트 포장의 주요 형식인 준노 콘크리트 포장은 이와 같은 요인들로 인하여 균열, 스펀링, 블로우업 등의 파손이 발생하며, 이에 따른 유지보

수 역시 증가하고 있다.

콘크리트 포장 파손의 대표적인 유지보수 공법으로 부분단면보수(Partial depth repair)와 접착식 콘크리트 덧씌우기(Bonded concrete overlay) 등이 있다. 부분단면보수는 주로 균열, 스폴링 등 국부적인 손상을 보수할 때 주로 사용되는 공법으로, 손상부위를 일정 면적과 두께로 제거한 후 새로운 콘크리트 재료로 보수하는 방식이다. 접착식 콘크리트 덧씌우기는 일정 구간에 걸쳐 일정 두께를 제거한 후 콘크리트를 포설하고 하부 콘크리트와 완전 부착을 통해 구조적 내구성을 확보하는 공법이다(FHWA, 2014; KEC 2012).

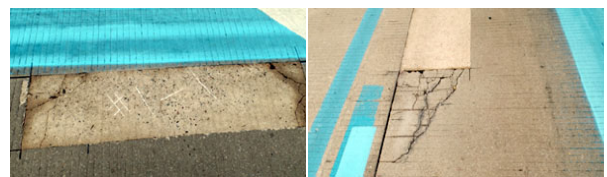
접착식 콘크리트 덧씌우기는 내구성이 양호한 노후 콘크리트 포장 또는 교면포장에 주로 사용되며, 비교적 공사규모가 크고, 시공 후 포장상태 등급(HPCI: Highway Pavement Condition Index)에 직접적인 영향을 미치기 때문에 공용성 확보를 위한 많은 설계, 재료 및 시공 관련 연구가 진행되고 있다(Kim et al., 2012; Park et al., 2013; Jung et al., 2016). 접착식 콘크리트 덧씌우기의 핵심 공용성 인자는 기존 콘크리트와 보수 콘크리트의 경계면에서 두 층의 완전한 부착이며, 부착강도를 주요 품질관리 인자로 사용하고 있다.

부분단면보수는 접착식 콘크리트 덧씌우기에 비하여 적은 공사물량 등으로 단순 손상 부위를 보수하는 것으로 인력위주의 시공이 주를 이루며, 관련 기준 역시 손상부위의 보수면적, 재료 물성 및 부착강도만을 제시하고 있다(KEC 2012). 부분단면보수 역시 접착식 콘크리트 덧씌우기와 동일하게 초속경성 콘크리트 재료를 주로 사용하기 때문에 보수 재료에 대한 연구는 재료 생산 업체들이 자체 진행 중이나 공용성 확보를 위한 시공방법 등 부착확보 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다(Yang et al., 2009).

이에 한국도로공사에서는 고속도로 콘크리트 포장의 부분단면보수를 위해 재료의 물성기준, 현장 상용화평가 등의 운영체계를 갖추어 부분단면보수 공법의 공용성 확보를 위한 관리시스템을 시행 중에 있다(Park et al., 2017). 그러나 일부 구간에서는 부분단면보수 시공 품질 미흡, 유지관리 단계에서 가혹한 환경하중 및 교통하중 등으로 인하여 부분단면보수 구간에서 조기 재파손이 발생하고 있는 실정이다.

부분단면보수의 재파손 형태는 크게 부분단면보수재의 파손, 부분단면보수재 주위 기존 포장의 파손 및 보수재와 보수재 주위 포장의 복합 파손 등 세 가지로 구분되며, Fig. 1은 기 시공된 부분단면보수 구간의 재파

손 형태를 보여준다. Fig. 1(a)는 보수가 시행된 보수재가 파손된 형태, Fig. 1(b)는 보수재 주위에서 재파손이 발생한 형태를 보여준다. 이러한 파손은 유지보수 공사의 특성상 촉박한 공사시간으로 인한 시공관리 및 품질관리 미흡, 적정 보수범위 산정 미흡 등 여러 가지 요인에 기인한 것으로 판단되나 구체적인 연구사례는 미흡한 실정이다. 따라서 최초 파손부의 부분단면보수와 부분단면보수 재파손 구간은 보수공법을 달리 적용해야 함에도 불구하고 최초 파손구간에 적용되는 기존 부분단면보수 매뉴얼에 의존하여 재파손 구간의 보수공법을 적용하고 있으며, 재파손 구간에 대한 적절한 보수 공법 및 지침이 제시되어 있지 않은 실정이다.



(a) Distress of Repair Part (b) Distress Around Repair Part

Fig. 1 Deterioration Case of Partial Depth Repair Section

공용기간의 경과에 따라 늘어나는 콘크리트 포장의 부분단면보수 재파손부 및 제한된 유지관리 예산이라는 한계상황을 고려할 때, 부분단면보수 재파손부의 보수 공법에 대한 적정 설계 및 명확한 품질관리 방안이 제시되어 콘크리트 포장의 장기공용성 확보가 절실히 필요한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 기존 콘크리트포장에 국부적인 손상이 발생하여 시행된 부분단면보수의 재파손부에 대하여 보수 후 공용성 확보를 위한 적정 보수 범위 및 시공방법 개선을 위한 시험시공을 실시하고, 재파손부 유지관리방안의 적정성 평가를 위한 초기 공용성 평가를 수행하였다. 이를 통해 콘크리트 포장 부분단면보수 공법의 시공 및 품질관리 방안을 제시하였다.

2. 부분단면보수 재파손 구간 적정보수 방안 수립을 위한 시험시공

2.1. 구간 선정 및 실험 계획 수립

부분단면보수 재파손 구간의 적정 보수방안 수립을 위한 시험시공은 경부고속도로 서울영업소 부산방향 1, 2차로 하이패스 구간에서 시행되었다. 시험시공 대상 구간은 영업소 광장부 진입 포장으로 각 차로의 중앙부에 세로줄눈이 추가로 설치되어 있으며, 세로줄눈부에 기존 단면보수가 다수 시행되어 있다. Fig. 2는 해당 구간에서 조사된

기존 단면보수 시행 구간을 간략히 보여준다. 1차로 13개소, 2차로 9개소로 총 22개소의 기존 단면보수가 시행되었다. 기존 단면보수 구간의 표기는 차량 진행방향을 조사방향으로 발견 순서대로 정의하여 1차로의 경우 1-n, 2차로의 경우 2-n으로 표기하였다. 또한, 재파손 구간 보수구간과 초기 공용성 비교를 위하여 표면 손상이 발생하였으나 사전 보수가 시행되지 않은 최초 단면보수 구간을 2개소 선정하였으며, 1-R-1, 1-R-2로 표기하였다.

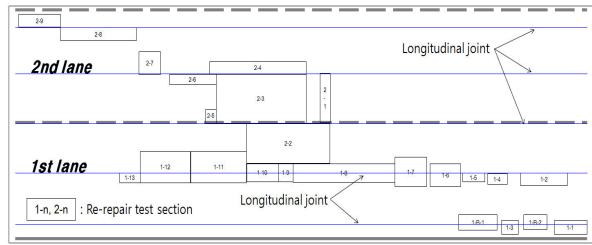


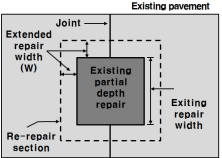
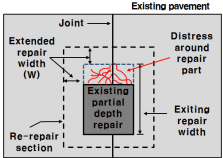


Fig. 2 Schematic of Experimental Construction Section

부분단면보수 재파손 구간에 대한 적정 보수방법 수립은 파쇄방법과 보수범위 산정 등 총 2가지 변수를 선정하였으며, 변수 선정 방법을 Table 1에 나타내었다. 파쇄방법에 대한 변수는 보수범위에 해당하는 기존보수재의 제거를 밀링장비를 이용한 방법과 보수범위를 소형 커팅장비로 절단한 후 인력 브레이커로 제거하는 방법으로, 총 2가지 변수를 선정하였다. 보수범위에 대한 변수는 기존 단면보수 폭에 대하여 추가적인 폭으로 보수범위를 산정하는 방법으로 각각 0, 50, 75 및 150mm에 대한 총 4가지 변수를 선정하였다. 보수범위 산정은 기존 보수재에만 파손이 발생한 경우에는 기존 부분단면 보수

Table 1. Variable Selection of Experimental Construction

Variable	Milling	Cutting+Breaker
Removing method		
Variable	W + 0, 50, 75, 150mm	
Extended repair width (W)		

재 폭에서 보수범위 변수를 적용하였으며, 기존 보수재 주위에 재파손이 발생한 경우에는 기존의 부분단면보수 매뉴얼을 준용하여 기존단면보수와 재파손부를 포함한 범위를 기존단면 보수범위로 가정하고, 재파손 보수면적 변수를 적용하였다.

Fig. 2에 나타낸 22개소의 부분단면보수 재파손 구간의 적정 단면보수 시험시공 구간과 2개소의 1차 부분단면보수 구간에 대하여 Table 1에서 설명한 바와 같이 파쇄방법 및 보수범위 변수를 적용하여 Table 2에 나타

Table 2. Plan of Experiment Each Variables

1st lane						
Section no.	Existing repair section(mm)		Design repair section(mm)		Variable	
	Width	Length	Width	Length	Removing method	W+Extended width(mm)
1-1	400	1600	700	2000	Milling	150
1-2	550	2100	850	2400	Milling	150
1-3	500	950	650	1100	Milling	75
1-4	650	1150	800	1300	Milling	75
1-5	550	1400	650	1500	Milling	50
1-6	1150	1950	1250	2050	Milling	50
1-7	1450	2000	1450	2000	Milling	0
1-8	1000	6400	1000	6400	Milling	0
1-9	900	950	900	950	Milling	0
1-10	900	2200	900	2200	Milling	0
1-11	1600	3400	1600	3400	Milling	0
1-12	1800	3350	1800	3350	Milling	0
1-13	500	1300	500	1300	Milling	0
1-R-1	-	-	800	1500	Milling	0
1-R-2	-	-	800	2500	Milling	0
2nd lane						
Section no.	Existing repair section(mm)		Design repair section(mm)		Variable	
	Width	Length	Width	Length	Removing method	W+Extended width(mm)
2-1	2600	500	2750	650	Cutting+Breaker	75
2-2	2200	5100	2350	5250	Milling	75
2-3	2600	5900	2600	5900	Milling	0
2-4	700	6000	700	6000	Cutting+Breaker	0
2-5	750	650	900	800	Cutting+Breaker	150
2-6	550	3050	700	3200	Cutting+Breaker	150
2-7	800	1300	900	1400	Cutting+Breaker	50
2-8	700	4800	800	4900	Cutting+Breaker	50
2-9	700	2800	800	2900	Cutting+Breaker	50

내었다. 보수면적에서 차량진행방향의 횡방향을 폭 (Width), 차량진행방향을 길이(Length)로 정의하였다. 또한 각 구간마다 시험 변수인 파쇄방법(Removing method)과 추가 보수폭(W+extended width)을 나타내었다. 보수 두께는 일반적인 부분단면보수가 약 50mm 깊이로 시행되는 것을 감안하여, 기존 단면보수재를 모두 제거할 수 있도록 약 100mm로 선정하였다.

시공성 확보를 위해 1차로의 전구간과 2차로의 대단면 보수구간(2-2, 2-3)은 밀링 장비를 이용하였으며, 그 이외 2차로 구간은 커팅과 브레이커를 이용하여 기존 단면보수부를 제거하였다. 추가 보수 폭은 기존 보수구간의 형상, 인접 구간과의 연속성, 시공성 등을 고려하여 선정하였다.

2.2. 시험시공

단면보수 재파손 구간의 적정 보수방안 정립을 위한 시험시공은 일반적인 부분단면보수 시공과 동일하게 1일 8시간에 걸쳐 수행되었다. 시험시공은 2016년 11월 21일에 시행되었으며, 시험시공 과정을 Fig. 3에 나타내었다. 기존 단면보수 재파손 구간의 제거 깊이는 밀링파쇄 제거구간의 경우 약 110~130mm로 비교적 일정하게 파쇄되었다. 커팅+브레이커 파쇄 구간은 우선 커팅기로 파쇄면적의 모서리를 약 50mm 깊이로 절단한 후 브레이커를 이용하여 내부 콘크리트를 제거하였으며, 제거된 파쇄면

의 깊이는 약 100~200mm로 바닥면이 매우 불규칙하게 파쇄되었다. 또한 기존 보수재 파쇄 후 바닥면에서 Fig. 4에 나타난 바와 같이 기존포장의 열화가 심각하게 진행된 구간(1-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-12)이 발생하였다. 이러한 구간은 브레이커를 이용하여 열화부위가 제거될 때까지 추가적인 파쇄를 수행하였으며, 실험변수의 의미를 상실하여 초기공용성 분석 구간에서 제외하였다. 기존 단면보수재의 제거 깊이는 파쇄 방법 및 기존 포장의 열화 상태에 따라 다소 차이가 발생하였으나, 파쇄 면적을 실측한 결과 각 구간별 설계 범위와 매우 근사한 크기로 제거되었다. 보수 재료는 라텍스를 혼입한 초속경 콘크리트를 사용하였으며, 배합비를 Table 3과 기본적인 물성치의 실험결과를 각각 Table 4에 나타내었다.



(a) Core Specimen at Transverse Crack (b) Transverse Joint of Existing Pavement

Fig. 4 Field Investigation of Transverse Crack at 2-1 section



Fig. 3 Experimental Construction Process of Partial Depth Repair

Table 3. Mix Design of Latex Modified Concrete

	Mix design		
	Specification	Field	
Gmax (mm)	19		
Slump (mm)	160~220		
Air content (%)	3~6		
W/C (%)	37		
S/a (%)	54		
Content (kg/m ³)	Water	86	20
	Cement	350	350
	Sand	920	1017
	Gravel	799	793
	Latex	89	89

Table 4. Test Result of Material Property

Test items	Standard		Test value	
	4hrs	28days	4hrs	28days
Compressive strength (MPa)	21.0	30.0	20.1	39.17
Flexural strength (MPa)	3.15	4.5	3.92	5.54
Chloride Penetration Resistance (Coulomb)	-	Under 2000	-	786

3. 초기 공용성 평가

초기 공용성 평가는 육안조사, 현장 부착강도 분석 및 보수부와 기존포장의 경계면 코어채취를 통한 조깅인장강도 분석으로 구성되었으며, 시험시공으로부터 약 2주 후인 2016년 12월 5일에 시행되었다.

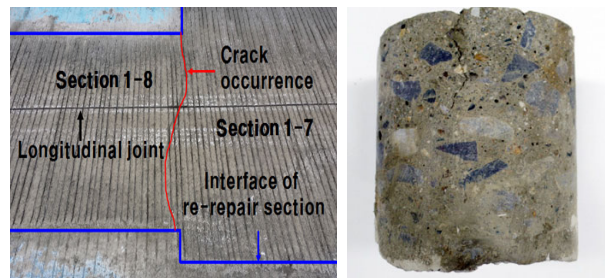
3.1. 육안조사

육안조사 결과, 1차로에 위치한 1-7과 1-8 구간의 접속부와 1차로와 2차로에 위치한 2-1과 2-2 구간에서 총 2개의 횡방향 균열이 발생하였다. 2-1, 2-2 구간에 발생한 횡방향 균열부에서 채취한 코어 상태를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 그림을 보면 횡방향 균열부에서 채취한 코어는 시험시공 부분은 상부 약 100mm 두께의 재파손 보수재부터 하부까지 횡방향 균열이 관통한 것을 알 수 있다. 또한 횡방향 균열로 인하여 완전히 절단된 하부의 기존포장은 횡방향 균열을 따라 전 두께에 걸쳐 열화가 매우 심각하게 진행된 것으로 분석되었다.

Fig. 4(b)는 보수재 제거 후 기존포장에 횡방향 줄눈이 존재한 것을 보여준다. 따라서, 시험시공 후 2-1과 2-2 구간에 걸쳐 발생한 횡방향 균열은 하부 기존 포장의 횡방향 줄눈부의 거동으로 기인한 반사균열로 판단된다.

상부 단면보수재가 의도한 수축줄눈부가 아닌 하부 기존 포장층의 줄눈부 거동으로 의도하지 않은 반사균열이 발생한 경우에는 균열틈 사이로 우수 및 제설제의 침투로 하부 기존포장의 손상을 가속시킬 가능성이 있다. 따라서 단면보수 재파손 구간의 적정 보수 방안으로 하부 기존 포장에 수축줄눈이 존재할 경우 이에 맞춰 적절한 줄눈처리를 시행하여 표면으로부터 우수 및 제설제의 침투를 억제하여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 5(a)는 시험시공 1-7과 1-8 구간의 접속부에 발생한 횡방향 균열을 보여준다. 그림을 보면 세로줄눈을 따라 단면보수재의 폭이 변화하는 구간에서 횡방향 균열이 발생하는 것을 알 수 있다. 시험시공 1-7, 1-8 구간 접속부에 발생한 횡방향 균열부에서 채취한 코어를 Fig. 5(b)에 나타내었다. 그림을 보면 횡방향 균열은 표면에서부터 발생하였으며 포장 하부로 내려갈수록 균열 폭은 좁아지며, 균열 깊이는 약 50mm인 것으로 분석되었다. 또한 코어 채취 과정에서 보수재와 기존 포장의 바닥면에서 부착이 원활히 이루어지지 않았다. 따라서 시험시공 1-7, 1-8 구간에 발생한 횡방향 균열은 보수 범위 산정에서 세로줄눈을 따라 변단면으로 단면보수가 시행됨에 따라 단면적이 좁아지는 구간에서 부등 건조 수축이 발생하며 횡방향 균열이 발생한 것으로 판단된다. 따라서, 연속적으로 단면보수가 시행될 경우에는 보수범위가 서로 상이하더라도 동일한 폭으로 보수를 시행해야 할 것으로 분석되었다.



(a) Transverse Crack Occurrence (b) Core Specimen

Fig. 5 Field Investigation of Transverse Crack at 1-7 section

3.2. 부착강도 분석

현장 부착강도 평가는 시험시공 중 기존 단면보수재 제거 후 하부 기존포장의 심각한 열화로 실험변수의 의미를

상실한 구간을 제외하고, 파쇄방법과 제거면적에 대하여 총 7개의 변수를 산정하였으며, 이를 Table 5에 나타내었다. 부착강도 측정은 교통차단 시간 등의 현장 제반 여건으로 인하여 각 변수별 4개의 코어시편으로 수행하였다. 측정 위치는 기존 단면보수재 제거 추가 폭에 대한 변수를 반영하기 위하여, 재보수 된 단면보수재와 기존포장 경계면에서 단면보수재 내부로 약 30mm 이격하여 측정하였다. 시험 방법은 KS F 2386 도로 포장재 부착면의 인장접착강도 시험방법을 준용하였으며, 상세 규정은 한국도로공사 QPI 평가방법-환경품질처의 규정에 의거하여 코어 직경 $\phi 75\text{mm}$, 하중속도 0.35MPa/s로 시행하였다.

Table 5. Design of Bond Strength Test

Variable	Test section	Note
B1	Milling - W+0mm	1-11, 1-12
B2	Milling - W+50mm	1-5, 1-6
B3	Milling - W+75mm	1-3, 1-4
B4	Milling - W+150mm	1-1, 1-2
B5	Cutting+Breaker - W+75mm	2-1
B6	Cutting+Breaker - W+150mm	2-5
B7	Milling - W+0mm	1-R-1, 1-R-2 First repair

각 변수별 현장 부착강도 측정 결과를 Table 6에 나타내었다. 부착강도 측정 시험 중 코어 형성 및 디스크 부착 후 인발시험 전에 부착면에서 파괴가 발생하여 부착강도를 측정할 수 없는 시편의 결과값을 Error로 표기하였다. 따라서 보수재와 기존포장과의 부착에 탈락이 발생한 결과값(Error)의 포함 유무에 따라 평균값을 같이 나타내었다.

Table 6. Result of Bond Strength Test

Variable		Bond strength (MPa)					
		Specimens				Average	
		1	2	3	4	With error	Without error
B1	Milling - W+0mm	0.55	0.35	0.56	0.73	0.55	0.55
B2	Milling - W+50mm	0.27	Error	0.53	0.29	0.27	0.36
B3	Milling - W+75mm	1.36	Error	1.05	0.40	0.70	0.94
B4	Milling - W+150mm	0.93	0.17	0.92	1.08	0.78	0.78
B5	Cutting+Breaker-W+75mm	0.54	0.38	0.23	0.09	0.31	0.31
B6	Cutting+Breaker-W+155mm	Error	Error	Error	0.45	0.11	0.45
B7	Milling-W+0mm (First repair)	Error	0.89	0.08	Error	0.41	0.55
		0.39	1.45	0.10	0.38		

* Error: Bond failure in bond interface layer = non bonded

부착강도 결과값을 보면 대부분의 측정값이 부분단면

보수 부착강도 기준인 1.0MPa보다 낮게 측정되었으며, 기존 포장과 보수재료와의 부착면에서 부착불량(Error)이 발생한 구간도 다수 존재하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 제한된 시험시간과 현장여건으로 단면보수부 중앙부에서 부착강도 측정을 수행하지 못하였다. 일반적으로 부분단면보수, 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 시공 후 부착강도 측정은 보수부위의 중앙부 또는 경계면으로부터 1m 이격된 위치에서 측정하며, 규정에 의거한 시공법을 준수하면 일반적으로 부착강도 기준 단면보수 1.0MPa, 접착식 덧씌우기 1.4MPa를 만족한다(Bonaldo et al., 2005; Jung et al., 2016; KECRI, 2013; Kim and Lee, 2013). 따라서 본 부착강도 측정결과와 비교하여 볼 때, 부분단면보수의 가장 자리 경계부는 시공성 및 품질관리가 매우 어려우며 부분단면보수 중앙부에서는 부착력이 일정강도 이상 확보되었다고 경계면 부근에서는 중앙부보다 부착력이 다소 감소하며 기준 이하로 떨어질 수 있는 것을 의미한다. 또한 이는 경계부의 부착력 감소로 인해 경계면으로부터 단면보수재 및 인접부위의 파손이 발생 및 진전할 가능성이 높은 것으로 판단된다.

파쇄방식에 따른 부착강도 분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 분석에 사용한 결과값은 부착불량(Error)을 제외한 평균값을 사용하였다. 부착강도 비교 결과, 동일한 추가 절삭폭(W+75mm, W+150mm)에 대하여 밀링 파쇄 방식이 커팅+브레이커 파쇄 방식보다 부착강도가 더 높은 것으로 분석되었다. 파쇄방식에 따른 평균 부착강도를 보면 밀링파쇄는 약 0.86MPa, 커팅+브레이커는 약 0.38MPa로 밀링파쇄가 커팅+브레이커 파쇄방식보다 약 2배 이상 부착강도가 높은 것으로 분석되었다.

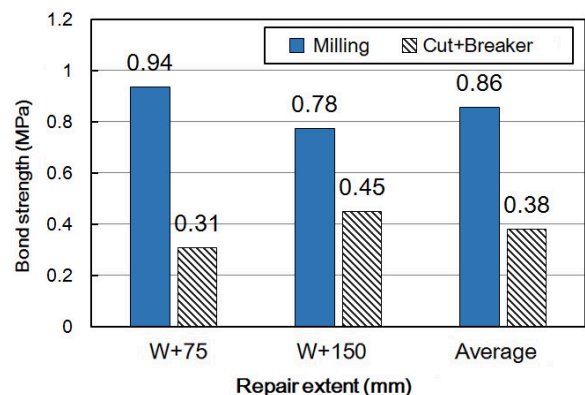


Fig. 6 Bond Strength Depending on Removing Method

Fig. 7은 기존 단면보수재 파쇄 및 물청소 후 파쇄 방식에 따른 표면을 보여준다. Fig. 7(a)는 밀링 파쇄 방

식의 표면을 보여주며, 경계면에 가까운 가장자리도 파쇄면 표면이 고르게 형성되는 것을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 커팅+브레이커 파쇄 방식의 표면을 보여준다. 커팅으로 제거한 모서리부는 반듯하게 제거되었으나, 커팅 절삭면 하부 및 보수부위 내부는 인력브레이커로 제거하여 파쇄면이 매우 불규칙한 것을 알 수 있다. 부착면의 불규칙한 단면은 부착면적을 넓혀 부착에 유리할 수 있으나, 기존 보수재 및 포장의 열화부가 충분히 제거되지 않아 오히려 부착에 불리한 것으로 판단된다.

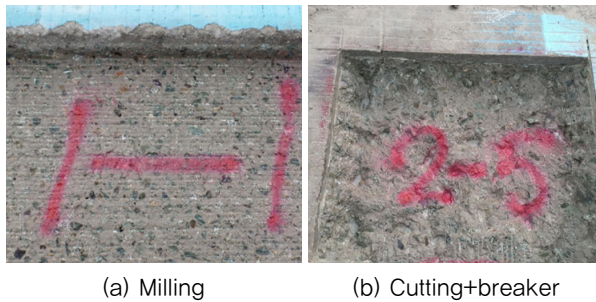


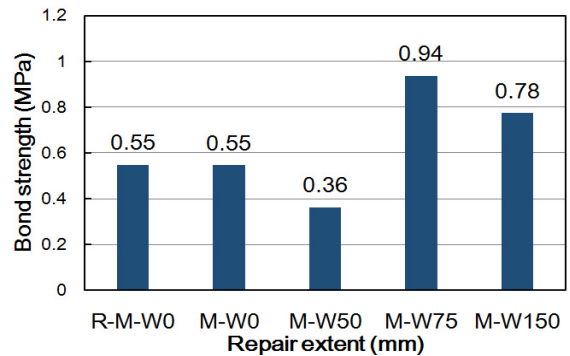
Fig. 7 Surface Texture Depending on Removing Method

추가 절삭폭에 따른 부착강도 분석결과를 Fig. 8에 나타내었다. 파쇄방식에 따라 밀링파쇄는 M, 커팅+브레이커는 CB로 나타내었으며, 추가 절삭폭을 W로 나타내었다. 예를 들어 밀링파쇄-추가 절삭폭 75mm의 경우 M-W75로 나타내었다. 1차 부분단면보수의 경우 R-M-W0으로 나타내었다.

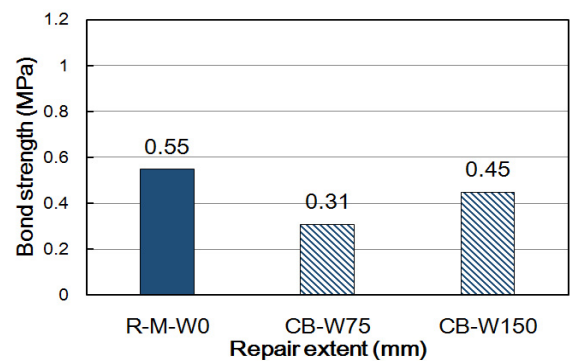
밀링 파쇄 방식의 추가 절삭폭에 대한 부착강도 변화를 Fig. 8(a)에 나타내었다. 추가 여유폭이 0mm(M-W0)인 경우와 최초 부분단면보수 구간(R-M-W0)의 부착강도는 0.55MPa로 동일한 크기로 측정되었다. 이는 부분단면보수 재파손구간의 재보수를 수행할 시 열화부를 충분히 제거하면 최초 부분단면보수와 동일한 성능을 확보할 수 있는 것을 보여준다. 추가 절삭폭이 50mm(M-W50)의 부착강도는 0.36MPa로 가장 작게 측정되었으나, 추가 절삭폭이 75mm 이상 더 넓어질수록 추가 절삭폭이 0mm인 구간보다 부착강도 결과가 우수한 것으로 분석되었다. Fig. 8(b)는 커팅+브레이커를 이용한 파쇄구간의 추가 절삭폭에 따른 부착강도 변화를 보여준다. 밀링파쇄와 마찬가지로 추가 절삭폭이 넓어질수록 부착강도 역시 증가하는 경향을 보였으나, 전술한 바와 같이 파쇄방식에 따른 차이로 인하여 부착강도가 밀링파쇄 구간보다 낮게 측정된 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 부분단면보수부 재파손에 의한 재보수 시 기존 보수부와 동일한 범위를 재시공할 경

우 부착성능의 증진은 기대하기 어려운 것으로 판단되며 보수범위 산정 시 기존 콘크리트 부분단면보수부 이상의 보수가 유리한 것으로 판단된다.



(a) Milling Removal



(b) Cutting+breaker Removal

Fig. 8 Bond Strength Depending on Extended Repair Width

3.3. 쪼갬인장강도 분석

부분단면보수 경계면 주위의 부착 특성 이외에, 기존 포장과 부분단면보수부의 수직방향 경계면에서의 수평방향 부착 특성을 분석하기 위하여 기존 콘크리트와 보수부 단면의 경계면에서 코어를 채취하여 쪼갬인장강도 분석을 수행하였다. 쪼갬인장강도 평가 역시 시험시공 중 기존 단면보수재 제거 후 하부 기존포장의 심각한 열화로 실험변수의 의미를 상실한 구간을 제외하고, 파쇄방법과 제거면적에 대한 변수를 산정하여 총 6개의 변

Table 7. Design of Split Tensile Strength Test

Variable	Test section	Note	
S1	Milling - W+50mm	1-5, 1-6	
S2	Milling - W+150mm	1-1, 1-2	
S3	Cutting+Breaker - W+0mm	2-4	
S4	Cutting+Breaker - W+50mm	2-7, 2-8	
S5	Cutting+Breaker - W+150mm	2-6	
S6	Existing pavement	-	No interface

수를 산정하였으며, Table 7에 나타내었다. 각 변수별로 4개의 코어를 이용하여 쪼갬인장강도를 측정하였으며, 기존 포장과의 비교를 위해 부분단면보수부에 인접한 구간에서 2개의 코어를 채취하였다.

Fig. 9는 쪼갬인장강도 시험 과정을 보여준다. 부분 단면보수 경계면에서 채취한 코어에서 기존 콘크리트와 보수재와의 부착면을 기준으로 코어 시편을 절단하여 쪼갬인장강도 시험을 수행하였다. 시험방법은 'KS F 2423 콘크리트의 쪼갬인장강도 시험방법'에 의거하여 코어직경은 $\phi 100\text{mm}$, 하중속도는 $0.06 \pm 0.04\text{MPa/s}$ 로 평가를 시행하였다.

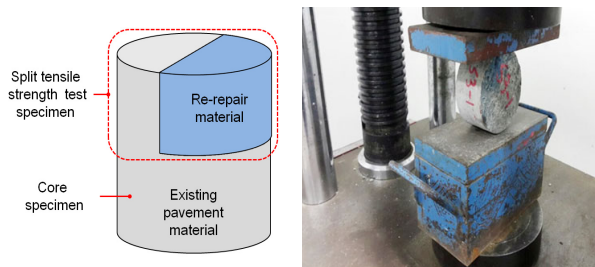


Fig. 9 Split Tensile Strength Test

쪼갬인장강도 측정 결과를 Table 8에 나타내었다. 부착강도 분석과 마찬가지로 경계면에서 부착불량이 발생하여 쪼갬인장강도 시험이 불가능한 경우를 Error로 표기하였으며, 부착불량 유무에 따른 평균을 각각 나타내었다. 밀링파쇄의 경우 부착불량이 발생하지 않았으나 커팅+브레이커의 경우 모든 변수에서 부착불량이 1~2개 발생하였다. 이러한 부착 불량율은 파쇄방법에 따른 시공성 및 품질관리의 어려움을 단적으로 보여주는 것으로 판단된다.

Table 8. Result of Split Tensile Strength Test

Variable	Bond strength (MPa)						
	Specimens				Average		
	1	2	3	4	With error	Without error	
S1	Milling-W+50mm	4.19	3.82	3.01	3.79	3.70	3.70
S2	Milling-W+150mm	3.75	3.87	2.53	3.55	3.43	3.43
S3	Cutting+Breaker-W+0mm	Error	1.44	2.70	2.65	1.70	2.26
S4	Cutting+Breaker-W+50mm	Error	Error	2.67	1.95	1.16	2.31
S5	Cutting+Breaker-W+150mm	0.52	0.12	3.37	Error	1.00	1.34
S6	Existing pavement	4.74	4.32	-	-	4.53	4.53

*Error: Bond failure in bond interface layer = non bonded

파쇄방식과 추가 절삭폭에 따른 쪼갬인장강도를 Fig.

10에 나타내었다. 분석에 사용한 결과값은 부착불량(Error)을 제외한 평균값을 사용하였다. 기존 포장의 부분단면보수가 없는 경계면에서 측정된 쪼갬인장강도는 RSS(Reference Split Strength)로 표기하였다. 분석결과, 쪼갬인장강도는 기존 포장체는 약 4.53MPa, 밀링파쇄 방식을 이용한 경계면의 경우 평균 약 3.56MPa, 커팅+브레이커 파쇄 방식은 약 1.97MPa로 분석되었다. 부분단면보수 경계면이 없는 기존 포장체의 쪼갬인장강도(RSS)에 대비하여 밀링파쇄의 쪼갬인장강도는 약 76~82%, 커팅+브레이커 방식은 30~51% 밖에 발견되지 않아 밀링파쇄 방식이 부착강도와 마찬가지로 쪼갬인장강도 측면에서도 우수한 것을 확인하였다.

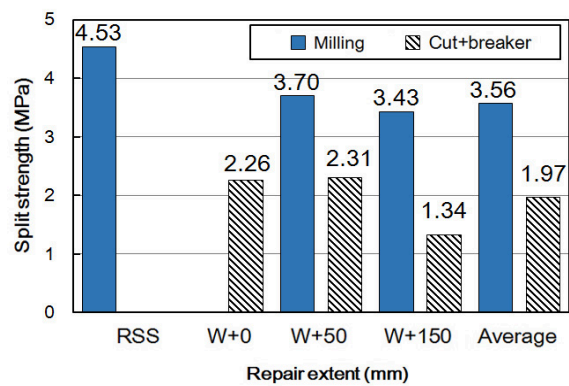


Fig. 10 Result of Split Tensile Strength Test

쪼갬인장강도 시험 후 파쇄방식에 따른 경계면을 Fig. 11에 나타내었다. 커팅+브레이커를 이용한 절삭방식의 경우 다량의 분진이 절삭면에 부착되어 있으며 경계면의 상태가 요철부 형성이 불가능한 것이 신·구재료의 경계면 부착능력이 저하되는 원인이라고 분석되었다. 커팅+브레이커 파쇄방식의 경우 쪼갬인장강도는 추가 절삭폭 0mm(W+0)는 2.26MPa, 추가 절삭폭 50mm(W+50)는 2.31MPa, 추가 절삭폭 150mm(W+150)은 1.34MPa로 측정되었다. 시험 후 경계면에서 커팅 깊이를 확인한 결과, 쪼갬인장강도 측정용 시편의 길이는 약 100mm이며, W+0, W+50의 경우 커팅 깊이가 약 50mm, W+150의 경우 커팅 깊이가 약 70mm로 시공된 것으로 확인되었다. 따라서 커팅+브레이커 파쇄의 경우 추가 절삭폭보다 커팅된 절삭면의 깊이가 쪼갬인장강도에 지배적인 것으로 분석되었다. 밀링파쇄의 경우 경계면의 요철부 형성이 양호하여 골재 맞물림 및 경계면적 증가 등으로 인하여 커팅+브레이커보다 쪼갬인장강도가 우수한 것으로 판단된다. 따라서 기존단면보수 및 열화부를 일정 구간 제거한다면 추가 절삭폭에 따른 쪼갬인장강도는 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않는 것으로 판단된다.



(a) Milling (b) Cutting-breaker

Fig. 11 Interface Texture Depending on Removal Method

이와 같은 결과로 밀링파쇄 적용의 어려움으로 커팅+브레이커절삭 적용이 불가피한 여건상의 유지보수를 시행하게 된다면 커팅 공정으로 인해 발생된 이물질의 완전제거가 우선적으로 수행되어야 접착성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 향후 추가적인 연구를 통하여 커팅+브레이커의 사용을 지양하고 밀링파쇄 및 개선된 시공방법의 적용에 관한 대책수립이 필요하다고 판단된다.

파쇄방식 및 추가 절삭폭에 따른 결과를 종합적으로 분석해 보면, 유지보수 시공을 함에 있어 커팅+브레이커 파쇄 적용 시 밀링파쇄 적용에 비하여 부착성능이 현저하게 저하됨을 확인하였다. 또한 추가 절삭폭에 대한 분석결과를 바탕으로 부분단면보수부 재파손으로 인한 재보수 시 기존 보수부 폭만큼의 보수는 부착성능을 향상시키기 어려운 것으로 분석되었다. 따라서 추가 절삭폭을 기존 보수 폭+75mm 이상(W+75mm)으로 재시공을 시행하여야 부착성능 향상을 통한 콘크리트 포장체의 내구성 증진 및 공용성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 콘크리트 포장의 주요 파손에 대한 원인분석 및 보수공법 제시, 적극적인 포장보수 예산투입 등 많은 노력에도 불구하고 부분단면 보수 구간의 재파손이 발생하는 실정으로 인하여 다양한 조건의 시험시공구간을 대상으로 성능평가를 시행하여 보수방안의 적정성 평가 및 성능개선안을 도출하는데 기초자료를 제공하고 자 하였으며, 다음과 같은 분석결과를 도출하였다.

1. 상부 부분단면보수재가 하부 기존 포장층의 줄눈부거동으로 의도하지 않은 반사균열이 발생한 경우에는 균열틈 사이로 우수 및 제설제의 침투로 하부 기존 포장의 손상을 가속시킬 가능성이 있다. 따라서 하부 기존 포장에 수축줄눈이 존재할 경우 이에 맞춰

적절한 줄눈처리를 시행하여 표면으로부터 우수 및 제설제의 침투를 억제하여야 할 것으로 분석되었다.

2. 변단면으로 단면보수가 시행됨에 따라 단면적이 좁아지는 구간에서 부등 건조수축이 발생하며 횡방향 균열이 발생할 가능성이 있다. 따라서, 연속적으로 단면보수가 시행될 경우에는 보수범위가 서로 상이하더라도 동일한 폭으로 보수를 시행해야 할 것으로 분석되었다.
3. 절삭방식에 따른 접합면의 특성 평가결과, 밀링파쇄 적용구간과 달리 커팅+브레이커 파쇄 적용구간의 경우 커팅 공정 시 발생하는 다량의 분진의 완벽한 제거가 이루어지지 않아 접착면에 이물질이 잔존해 있는 구간이 확인되었으며, 하부 접착면의 경우 브레이커의 높은 파쇄압으로 인한 기존 바닥면의 파손과 불규칙한 파쇄면, 열화부의 잔존 등으로 부착성능을 기대하기 어려운 것으로 분석되었다.
4. 현장 부착강도 평가결과, 밀링파쇄 적용구간이 커팅+브레이커 파쇄 적용구간에 비하여 부착성능이 월등히 우수한 것을 확인하였으며 기존 보수범위 산정 시 기존 보수폭 대비 최소 75mm 이상 재시공을 하여야 부착성능을 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
5. 실내 쪼갬인장강도 평가결과, 파쇄방법에 따라 상기 결과와 동일하게 커팅+브레이커 절삭 적용 시 기존 포장체의 쪼갬인장강도 이상을 기대하기 어려운 것으로 확인되었으며, 밀링파쇄의 경우 기존 보수폭 대비 50mm 이상 재시공을 하여야 접착성능이 향상되어 포장체의 내구성 및 공용연수 증가를 확보할 수 있을 것으로 분석되었다.
6. 이와 같은 결과를 종합적으로 분석해 보면, 절삭방식에 있어서 밀링파쇄 적용을 지양해야 하며, 부분단면 보수부의 재파손으로 인한 재보수 시행 시 기존 보수폭 대비 최소 75mm 이상으로 보수범위를 산정하여 시공 시 부착성능을 확보해야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 부착강도 및 쪼갬인장강도 분석 결과는 제한적인 현장여건과 시험구간으로 인해 분석 자료에 다소 한계성이 있으므로, 보다 다양한 조건으로 추가적인 연구를 통하여 적정보수방안 수립을 위한 근거자료 확보가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비 지원(계약번호 제 2016118310220036호)에 의해 수행된 것

으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bonaldo, E., Barros, J. A., and Lourenço, P. B. (2005). "Bond characterization between concrete substrate and repairing SFRC using pull-off testing," *International journal of adhesion and adhesives*, Vol.25, No.6, pp.463-474.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2014). *Concrete pavement preservation guide, second edition*.
- Jung, W. K., Kim, H. B., Park, J. Y., Kwon, O. S., Oh, H. J., and Kim, H. S. (2016). "Properties on bonded concrete overlay pavement of bond strength by temperature conditions," *Korean Society of Civil Engineers 2016 Convention*, JeJu, Korea, pp.11-12.
- Jung, W. K., Kim, H. S., Kwon, O. S., Kim, H. B. (2016). "Estimation of Bond Performance Improvement by Surface Treatment Equipments and Polymer Content by Bonded Concrete Overlays," *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol.36, No.1, pp.39-47.
- Korea Expressway Corporation (KEC) (2012). *Expressway pavement management and maintenance manual*.
- Korea Expressway Corporation Research Institute (KECRI) (2013). *Design and Evaluation of Long-term performance for the bonded concrete overlays (Ⅱ)*.
- Kim, Y. K., Lee, S. W., Han, S. H. (2012). "A Study on the Bond-Behavior of Bonded Concrete Overlays," *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol.14, No.5, pp.31-45.
- Kim, Y. K., and Lee, S. W. (2013). "Comparative study on the bond strength between direct tensile test and indirect tensile test for bonded concrete overlay," *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol.33, No.3, pp.1153-1163.
- Park, J. W., Kim, Y. K., Lee, S. W., Han, S. H. (2013). "Bond Strength Characteristics of Bonded Concrete Overlay," *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol.15, No.4, pp.1-9.
- Park, J. Y., Ryu, S. W., Kim, H. B. (2017). "Evaluation of construction quality of partial depth repair method of concrete pavement by application of coefficient of variation of field bond strength," *Proceedings of the 2017 Spring Conference, KSRE*, pp.59, Seoul, Korea.
- (박준영, 류성우, 김형배 (2017). "현장 부착강도의 변동계수 적용에 따른 콘크리트 포장의 부분 단면보수 공법 시공품질 평가", 한국도로학회 2017 봄 학술대회, 한국도로학회, 59 쪽, 서울, 대한민국)
- Yang, S. C., Hwang, I. D., Han, S. W., Kim, S. M. (2009). "Mechanical and Durability Properties of Partial-Depth Patch Materials using Polymer Materials for Concrete Pavement," *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol.11, No.3, pp.23-32.