

접착식 콘크리트 덧씌우기 경계면 처리 방식 및 폴리머 혼입률에 따른 부착성능 평가

정원경* · 김현석** · 권오선*** · 김형배****

Jung, Won Kyong*, Kim, Hyun Seok**, Kwon, Oh Seon***, Kim, Hyung Bae****

Estimation of Bond Performance Improvement by Surface Treatment Equipments and Polymer Content by Bonded Concrete Overlays

ABSTRACT

Repair methods of aging concrete pavement are generally used composite structure pavements, such a composite structure is subjected to a large impact on the mechanical behavior and ensure long-term commonality integrated under vehicle loads, environmental loads of the public in accordance with the bond strength between old and new concrete. A common of bonded concrete overlays that are currently available is Interface arrangements using a variety of equipment to ensure the excellent bond strength between old and new concrete than standard concrete, mixed with a material such as a polymer in order to improve the adhesion with the material itself. However, these method of constructions are being applied, depending on the developer site presents no special specifications apply when a specific application criteria objectively, this is due to the situation of each individual method, which is based on the difficulty in quality control of the site manager. In this study by performing a field test for polymer content via the variables that contribute most significantly to ensure bond strength and the field element core of the interface processing method and materials to ensure bond strength between the old and the new concrete, it was to derive the construction site construction method that can improve the performance of the bond strength through a review of the construction around the correlations and the bond strength according to the effective performance analysis of the conventional surface treatment process and variation of polymer volume fraction.

Key words : Bonded concrete overlays, Polymer volume fraction, Surface treatment, Cracking width, Bond strength

초록

노후 콘크리트포장의 가장 일반적인 보수 방법은 복합 구조체 포장구조인 접착식 덧씌우기 방법이 일반적으로 사용되고 있으며, 이와 같은 복합 구조체는 신·구 콘크리트 간 부착력에 따라 공용 중 차량하중, 환경하중 하에서 일체화된 역학적 거동의 확보유무에 따라 장기 공용성 확보에 커다란 영향을 받게 된다. 현재 상용화 되고 있는 접착 덧씌우기 공법들은 우수한 신구 접착력을 확보하기 위하여 다양한 장비를 이용한 경계면 처리 방식과 더불어 재료자체의 접착력을 향상시키고자 폴리머 등의 혼화재료를 사용하고 있다. 그러나 이들 공법들은 현장 적용 시 객관화된 명확한 적용기준 없이 각 공법에서 제시하고 있는 시공장비 및 사용재료에 의존하여 적용 중이며 이러한 각 개별공법의 기준으로 인하여 현장 관리자들의 품질관리에 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신구 콘크리트 간 부착력 확보에 가장 핵심적인 현장요소인 경계면 처리 방식과 재료의 부착력 확보에 가장 크게 기여하는 폴리머 함량을 변수로 현장시험을 실시함으로써 시공 전 기준 면처리 공정에서의 효과 분석 및 폴리머 혼입률 변화에 따른 부착강도 성능과의 상관성 검토를 통하여 부착강도의 성능을 개선 할 수 있는 현장시공방법을 도출하고자 하였다.

검색어 : 접착식 콘크리트 덧씌우기, 폴리머 혼입률, 표면처리, 균열폭, 부착강도

* 중신회원·(주)한국건설품질시험연구원 대표이사, 공학박사 (Korea Construction Quality Test Institute·wonkyoung@hanmail.net)

** 중신회원·(주)한국건설품질시험연구원 기술연구소, 공학석사 (Korea Construction Quality Test Institute·glower1@naver.com)

*** 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원, 공학석사 (Korea Expressway Corporation Research Institute·pooh2461@ex.co.kr)

**** 교신저자·한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사

(Corresponding Author·Korea Expressway Corporation Research Institute·kimhyun3@ex.co.kr)

Received April 1, 2015/ revised November 9, 2015/ accepted December 31, 2015

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

국내 고속도로의 콘크리트포장은 88고속도로를 시작으로 중차량에 대한 지지력이 뛰어나고, 낮은 유지보수 비용 등의 장점 등으로 지속적으로 증가하여 왔다. 그러나 88, 호남 및 경부고속도로 확장 구간 등 주요고속도로의 콘크리트포장 구간이 설계수명 20년을 초과함에 따라 노후 콘크리트포장의 공용성을 회복시킬 수 있는 보수/보강대책마련이 필요한 실정이다(ACPA, 2008).

노후 콘크리트의 보수 방법에는 기존 콘크리트를 보호함과 동시에 공용기간 중 콘크리트의 내구성 증진을 위하여 복합 구조체로 형성된 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장이 일반적으로 사용되고 있으며, 이와 같은 복합 구조체는 신·구 콘크리트 간 부착력에 따라 공용 중 차량하중, 환경하중 하에서 일체화된 역학적 거동과 장기공용성 확보에 커다란 영향을 받게 된다(Jang et al., 2002).

현재 상용화 되고 있는 콘크리트계 접착 덧씌우기 공법들의 공통점은 일반 콘크리트보다 우수한 신구 접착력을 확보하기 위하여 다양한 장비를 이용한 경계면 처리 방식과 더불어 재료자체의 접착력을 향상시키기 위하여 폴리머 등의 혼화재료를 사용한 것이다.

이러한 개선을 주도한 초기공법으로는 2000년에 개발된 SB라텍스를 사용한 라텍스 개질콘크리트(LMC)가 대표적이며 이를 기초로 폴리머 종류, 무기질 바인더 사용 및 그에 따른 폴리머 함량 조절 등 다양한 공법들이 개발, 적용되고 있다. 그러나 이들 공법들은 각각의 개별공법의 기준으로 인하여 현장 관리자들의 품질관리에 어려움이 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부착강도에 영향을 미치는 공정에 한하여 실내 평가 시의 우수함에도 불구하고 현장적용 후 신·구 콘크리트간의 부착강도 성능의 저하로 발생할 수 있는 품질관리의 어려움 및 유지보수의 경제적 부담을 해결하고자 하였다. 이에 따라 신·구 콘크리트 간 부착력 확보에 가장 핵심적인 현장요소인 경계면 처리 방식과 재료의 부착력 확보에 가장 크게 기여하는 폴리머 함량에 대한 변수를 통하여 현장시험을 실시함으로써 시공 전 기존 면처리 공정에서의 효과 분석 및 폴리머 혼입물 변화에 따른 부착강도 성능과의 상관성 검토를 통하여 부착강도의 성능을 개선할 수 있는 현장시공방법을 도출하고자 하였다.

1.2 부착강도 메커니즘

폴리머 개질 콘크리트에서는 타설 시 시멘트 입자의 수화작용과 더불어 폴리머 필름의 형성이 다음과 같이 3단계로 이뤄지게 된다(Ohama, 1987).

- 1단계 : 콘크리트 혼합 시 시멘트의 수화반응과 함께 폴리머(라

텍스)는 시멘트 입자 표면으로 침전하게 되며 이때 생성된 수산화칼슘과 에트리나이트가 계면에서의 부착을 지배하게 된다.

- 2단계 : 수화반응의 진행에 따라 내부가 밀실하게 되고 모세공극에서의 폴리머 입자들끼리 결합하여 기존 콘크리트 및 골재 표면에 연속적인 막을 형성하게 된다.
- 3단계 : 시멘트의 수화에 따른 수분 증발로 생성된 폴리머 필름은 더욱 밀실하게 되며, 콘크리트를 구성하는 제 입자들을 하나로 묶는 막을 형성하게 되고, 이러한 필름막은 미세균열간의 교량역할을 통하여 응력을 분산시키고, 균열의 진전 및 전파를 방지하는 역할을 하게 된다.

1.3 신구 콘크리트 접착력 영향인자

1.3.1 면처리 방식에 따른 인자

국내에서 시행된 많은 연구결과에서 신·구 콘크리트간의 부착강도 성능은 면처리의 방식에 따라 차이가 크다고 알려져 있다. 이와 같은 면처리 장비에는 인력파쇄, 로드커터, 워터블라스트, 워터젯, 슛블라스트, 평삭기, 샌드블라스트 등 다양한 장비가 현재 고속도로 시공 중에 사용되고 있다. 국내에서 진행된 연구 중 인력파쇄, 로드커터와 워터젯의 면처리 방식에 의한 현장부착강도의 성능을 분석한 결과를 살펴보면, 인력파쇄와 로드커터를 사용한 구간에 비해 워터젯 사용 구간이 현저히 높은 성능의 부착강도가 평가되었다. 이는 인력파쇄의 경우 브레이커의 사용으로 인한 충격으로 높은 균열발생을 초래하였고, 로드커터 또한 충격식 절삭으로 인한 접착면의 균열이 발생되어 초래된 결과이며, 워터젯 사용 구간은 손상된 표면을 완전제거 하였기에 높은 부착성능을 획득하였다고 기술되어 있다(Kim et al., 2005).

또 다른 연구결과를 통해 샌드 그라인딩 및 와이어 브러쉬를 통한 표면처리의 경우가 단순 절단한 경우 보다 부착성능이 약49% 이상 증대되는 결과를 확인하였고, 이는 건설표면처리의 경우 접합면이 매끈하거나(무처리) 레이턴스층의 미세거시 접합면이 거친(면처리 시행) 경우에 비해 부착강도 성능이 저하된다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 현장 부착강도 및 표면처리에 따른 표면분석을 통하여 부착성능을 극대화시킬 수 있는 연구가 필요하다고 판단되며, 본 연구에서는 상기의 필요성을 바탕으로 교량슬래브 모사 포장 시험체를 제작하여 부착강도 성능 개선을 위한 연구를 실시하고자 하였다.

1.3.2 폴리머 혼입물에 따른 인자

현재 상용화 중인 교면 콘크리트포장 공법 중 대부분의 폴리머는 라텍스를 적용하고 있는 실정이다. 라텍스는 스티렌(Styrene)과

부타디엔(Butadiene)을 주 모노머(Monomer)로 중합 반응한 폴리머를 물속에 고르게 분산시킨 것으로 콘크리트와 부합되면서 작업성 및 조기강도발현, 부착력, 균열저항성, 수밀성, 내구성능의 성능 개선을 위해 사용되는 재료이다.

기존 연구결과에 따르면 라텍스 폴리머 콘크리트 배합 시 골재와 시멘트풀 사이에 충전효과가 있으며 그 작용으로 인해 골재간의 부착력을 증진시켜 인장강도를 증진시킨다고 기술하고 있다. 이와 같은 결과로 라텍스 혼입률의 증가에 따라 부착강도 성능이 향상되는 결과를 나타내었고, 혼입률 0~20%와의 결과를 비교해보면 약 40%의 부착강도 성능이 향상되는 것으로 보고되고 있다(Yun et al., 2001).

2. 현장 Mock-up 시험

2.1 시험체 제작 및 시험방법

2.1.1 바닥판 슬래브 제작

콘크리트계 교면포장재를 이용한 신설교량 교면포장 시 부착강도 기준 1.4MPa 이상을 만족하기 위한 시공방안(면처리) 및 재료적



Fig. 1. Process of Bonded Overlay on Concrete Slab

Table 1. Mixing Properties of Base Slab(OPC)

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
			W	C	F,A B.S	S	G
Remicon	48.5	50	168	347	139	962	909

* F.A : Fly Ash, B.S : Blast Furnace Slag

특성(라텍스 혼입률)에 의한 부착강도 변화 분석을 수행하고자 Fig. 1과 같이 교량슬래브 모사 바닥판 콘크리트를 제작하여 시험하였다. 콘크리트 물성은 Table 1과 같이 레미콘을 이용하여 24MPa 이상의 콘크리트를 T=10cm로 타설하였으며 28일 양생 후 면처리를 수행하였다.

2.1.2 각 변수에 따른 면처리 실시

콘크리트 덧씌우기를 시행하기 전 표면처리에 따른 부착강도의 정밀분석을 위하여 Table 2와, Fig. 2와 같이 무처리, 평삭기 절삭, 슛블라스팅 등 각 변수에 따라 면처리를 시행하였으며, 면처리 직후 바닥판 콘크리트의 표면확대 분석을 위한 코어링을 실시하였다.

Table 2. Surface Treatments and Overlays on Base Slab

Factors of surfaces treated	Polymer contents	Total factors
·Un-treatment, Cold milling(C.M) ·Shotblasting(SB) 2, 4times ·Cold milling + Shotblasting 2times ·Cold milling + Shotblasting 4times	·Latex 5% ·Latex 15%	12

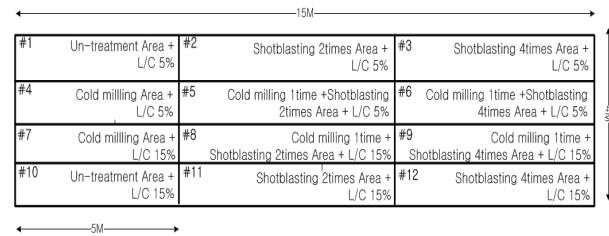


Fig. 2. Design of Surfaces Treated by Factors

2.1.3 면처리 사용장비

신구 콘크리트 간 부착력 확보를 위한 경계면 처리는 접착식 덧씌우기공법에 있어 매우 중요한 공정이며 이를 위해 매우 다양한 장비가 적용되고 있다. 현재 일반LMC에서는 레이턴스 및 이물질 제거를 목적으로 평삭기와 슛블라스팅을 적용하고 있으며 일부 공법에서는 워터블라스팅을 적용하여 부착력 확보를 도모하고 있다. 이러한 면처리 장비는 일정압력이상으로 기존 면에 충격을 가하여 표면을 탈리시킴으로써 레이턴스 및 이물질 제거와 동시에 접합면의 비표면적을 확대시켜 부착력 향상에 도움을 주는 것을 목적으로 사용된다.

본 연구에 사용된 면처리 장비는 Fig. 3과 같이 신설교면포장의 콘크리트계 공법에 사용되고 있는 평삭기와 슛블라스팅 장비를 사용하였으며 주요 특징으로는 평삭기 1회 작업폭은 약 40cm, 슛블라스팅 작업폭은 약 80cm의 폭을 지닌다. 평삭기는 회전식

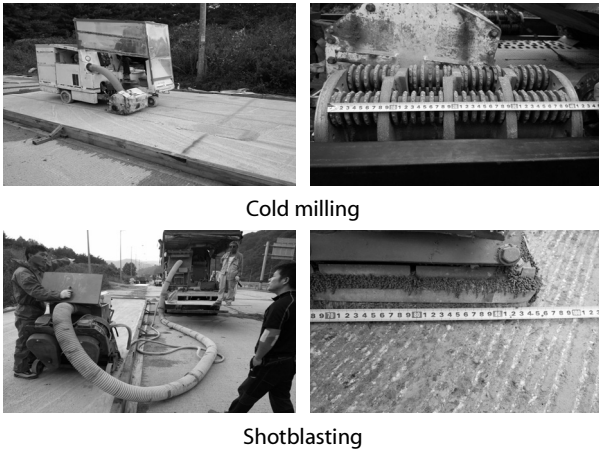


Fig. 3. Equipments of Surface Treatment



Fig. 4. Microscope of Image Analysis (EGVM-452M)

나사선 비트에 의해 기존 면에 요철을 형성하는 방식이며 슛블라스팅은 강철구를 공기압으로 표면에 타격하여 이물질들을 제거하는 방식이다.

2.1.4 표면처리 방식에 따른 화상분석 방법

표면화상분석은 Fig. 4와 같이 영상현미경(EGVM-452 M)을 이용하여 실시하였으며, ‘Mega’ 배울렌즈의 지원으로 저배율에서 고배율($\times 3600$)까지 정밀분석이 가능하고, 표면에서 관찰된 미세균열에 대한 균열폭 측정이 가능한 장비이다. 본 장비의 활용목적은 기존 면처리 방식에 사용된 장비로 인하여 표면 손상 유무에 대한 정량적 평가를 위해 표면 확대에 따른 균열발생 유무를 판별하고자 하였다.

이를 위하여 각 면처리 방식의 변수에 따라 채취된 코어를 대상으로 표면화상분석을 실시하였으며 코어표면을 300배 배율로 확대하여 표면 균열발생 유무 및 크기를 확인하였다.

2.1.5 폴리머 개질 콘크리트를 이용한 접착덧씌우기 실시

본 연구에서는 폴리머 혼입물에 따른 부착성능 변화를 검토하기 위하여 Table 3과 같이 Latex 5%와 15%, 2변수에 대한 라텍스 개질 콘크리트 덧씌우기를 실시하였다. 포설은 현장 이동식 ‘Mobile-mixer’를 이용하여 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기를 실시하였다.

Table 3. Typical and Modified Mix Proportions of LMC

Types	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m^3)				
			W	C	S	G	SB Latex
L15%	33	58	65	400	962	710	127
L05%	45	58	157	400	948	699	42



Fig. 5. Process of Pull-off Test

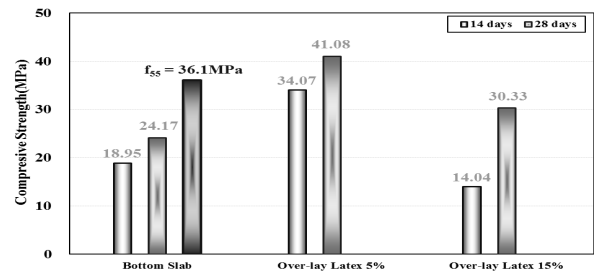


Fig. 6. The Compressive Strength Estimated from Slab and Overlay

2.1.6 포장 시험체 현장부착강도 시험방법

부착강도 평가는 28일의 양생 후 Fig. 5와 같이 면처리 방식 12변수에 대해 5공씩 총 60공을 실시하였다. 부착강도 평가는 코어채취기를 이용하여 $\varnothing 75\text{mm}$ 의 두께로 천공을 실시하였다. 또한 접착본드를 이용하여 디스크와 부착면을 견고하게 부착시켰고, DY -225(by procep) 부착강도 시험기를 이용하여 0.05MPa/s (184N/s)의 일정한 하중속도로 부착강도 시험을 진행하였다.

2.1.7 기본 물성 평가 결과

일반 콘크리트로 포설된 기초슬래브와 폴리머 개질 콘크리트로 타설된 덧씌우기 재료의 재령별 압축강도 발현 특성을 살펴보면, Fig. 6에서와 같이 일반 콘크리트는 설계기준강도 $f_{28}=24\text{MPa}$ 를 만족하였으며, 면처리 시행 당시의 압축강도는 $f_{35}=36.1\text{MPa}$ 로 측정되었다. 폴리머 개질 콘크리트는 혼입물 5%는 약 41MPa, 15%는 30MPa를 나타내어 폴리머 혼입물 감소에 따른 물/비인더 증가로 압축강도가 감소되는 기존 연구문헌의 결과와 일치하는 결과를 나타내었다. 이를 통해 현장배합을 통해 이루어진 폴리머 개질 콘크리트의 물성치에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

3. 시험결과 분석

3.1 면처리 방식에 따른 표면상태 육안분석결과

Fig. 7과 같이 면처리 방식별 표면상태를 육안으로 평가한 결과, 평삭기 1회의 경우는 약 2~3mm 깊이로 기초 슬래브 콘크리트가 절삭되는 형상을 관찰할 수 있었다. 이러한 요철형성은 경계면의 비표면적을 증대시켜 물리적 측면에서는 부착력 향상을 기대할 수 있으나 콘크리트 표면에 큰 충격을 줌으로 인해 미세한 손상이 발생할 가능성이 매우 큰 것으로 평가되었다.

숫블라스팅 2회 처리방식은 표면에 매우 얇은 타격흔적을 나타내어 일부 골재가 노출되는 효과를 나타내었으며 숫블라스팅 4회는 기초 슬래브의 골재를 노출시킬 정도의 수준으로 표면을 연마하는 효과를 나타내었다.

평삭기 1회 절삭 후 숫블라스팅 2회를 적용한 표면은 평삭기에 의한 요철부가 완전히 제거되지는 못하였으나 평삭기 1회보다는 요철흔적이 많이 제거되는 수준이었으며, 평삭기 1회 후 숫블라스팅 4회는 평삭기에 의한 요철부가 완전히 제거되는 수준까지 표면이 연마되는 것으로 나타났다.

이를 종합적으로 분석하여 볼 때, 평삭기에 의한 접합면 처리는 과도한 물리적 타격 및 절삭으로 인해 비표면적은 증대하나 절삭부에 대한 기존 콘크리트의 손상이 예상되며 평삭기 절삭면에 대한 숫블라스팅 작업은 최소 2회 이상 적용해야 평삭기에 의해 형성된 요철이 제거되는 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 숫블라스팅 단독적용 시에는 부착력 향상을 위한 레이턴스층 제거를 위해서는 최소 2회 이상 반복 적용해야 기초 슬래브의 골재 노출 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 평가되었다.

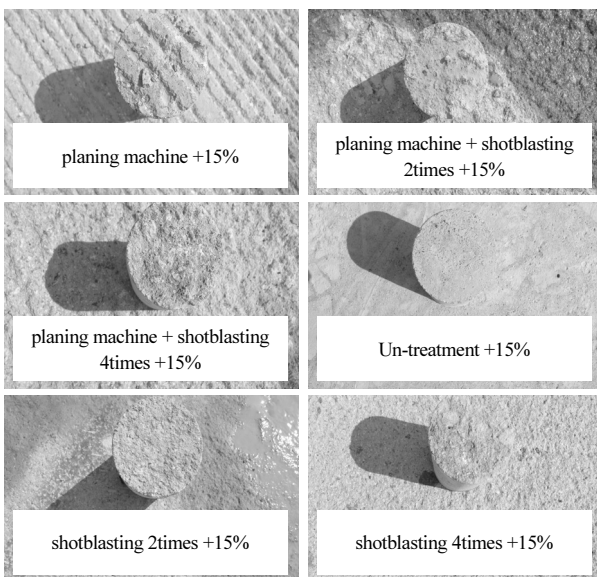


Fig. 7. Surfaces Properties of Used Equipments

3.2 면처리 방식에 따른 표면상태 화상분석결과

3.2.1 무처리 표면상태

무처리 구간은 Fig. 8에서 알 수 있듯이 코어 샘플 4EA에 대해 모두 ‘균열 없음’을 나타내었다. 무처리 구간에서의 표면상태 확대결과, 외부충격에 의한 손상으로 분석할 수 있는 균열 등은 관찰할 수 없었으며 모든 시편에서 매우 양호한 표면상태를 나타내었다.

3.2.2 평삭기를 이용한 면처리 구간 표면상태

평삭기 단독 절삭 구간은 코어샘플 모두에서 균열이 관찰되었으며 관찰 균열수는 Table 4와 Fig. 9에서 알 수 있듯이 총 7개소로

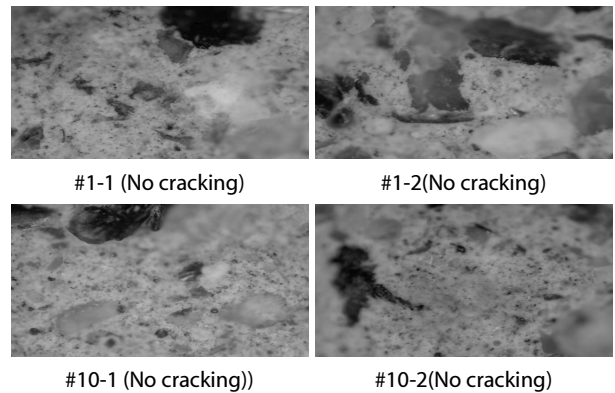


Fig. 8. Surface Images of Un-Treatment Area

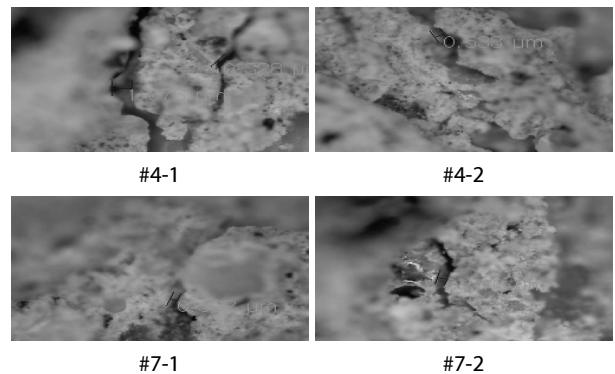


Fig. 9. Surface Images of Area Using Cold Milling

Table 4. Character of Cracks on Area Using C.M

#4-1		#4-2		#7-1		#7-2	
Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm
1	1.07	5	0.53	6	0.39	7	0.51
2	0.32						
3	0.32						
4	0.26						

평가되었다. 또한 균열 현황을 보면 최대 균열폭 1.076 μm 에서 최소 0.261 μm 까지 고르게 관찰되었으며 평균 균열폭은 약 0.489 μm 로 측정되었다. 이들 균열을 확대하여 살펴보면, 무처리 구간에서는 발생되지 않았던 균열로 시멘트모르타르 및 골재와의 경계면 등에서 외부충격에 의해 손상된 것임을 알 수 있다.

3.2.3 슛블라스팅을 이용한 면처리 구간 표면상태

스�블라스팅만을 적용한 구간에 대한 표면상태 분석결과, 평삭기 단독 적용구간과 달리 균열발생 구간이 매우 적었으며 균열폭 또한 작은 것으로 평가되었다. 이를 자세히 살펴보면, 슛블라스팅 2회 적용구간은 Fig. 10과 Table 5에서 알 수 있듯이 코어샘플 4EA 중 1EA 코어샘플에서 균열이 관찰되었으며, 평균 균열폭 또한 0.105 μm (균열관찰 1개소)의 결과를 나타내었다. 슛블라스팅 4회 구간은 Fig. 11과 Table 5에서 알 수 있듯이 코어샘플 4EA에 대해 3EA 코어샘플에서 균열이 관찰되었으며, 평균 균열폭은 0.288 μm (균열관찰 6개소)로 측정되었다.

즉, 표면손상이 없는 구간에 슛블라스팅을 적용할 경우 2회

이상의 슛블라스팅 작업은 충격량의 누적으로 표면에 손상을 발생시킬 수 있으며 그 손상의 크기 또한 증대되어 균열폭 확대로 이어지는 것으로 판단되었다. 그러나, 슛블라스팅 2회까지는 균열 발생 가능성이 낮았으며 발견된 균열폭 또한 0.1 μm 로 매우 미소하여 표면손상 측면에서는 양호한 결과를 갖는 것으로 평가되었다.

3.2.4 평삭기 및 슛블라스팅을 적용한 복합 면처리 구간 표면상태

평삭기를 이용한 면처리 후 슛블라스팅 2회 및 4회씩 적용된 구간에서의 표면상태를 분석한 결과, 평삭기 절삭 + 슛블라스팅 2회 구간의 시편 4EA 모두에서 균열이 관찰되었으며, 평삭기 절삭 + 슛블라스팅 4회 구간의 시편 4EA에서는 3EA 시편에서 균열이 관찰되었다.

이를 각 변수별로 살펴보면, Fig. 12와 Table 6과 같이 평삭기 + 슛블라스팅 2회의 균열관찰 수는 총 8개소에 평균균열폭이 0.202 μm 였으며 Fig. 13과 Table 6과 같이 평삭기 + 슛블라스팅 4회 구간의 균열관찰 수는 총 6개소에 평균 균열폭 0.323 μm 로 측정되었다. 즉, 슛블라스팅 2회 적용 시 평삭기 사용으로 발생된 균열이 감소하

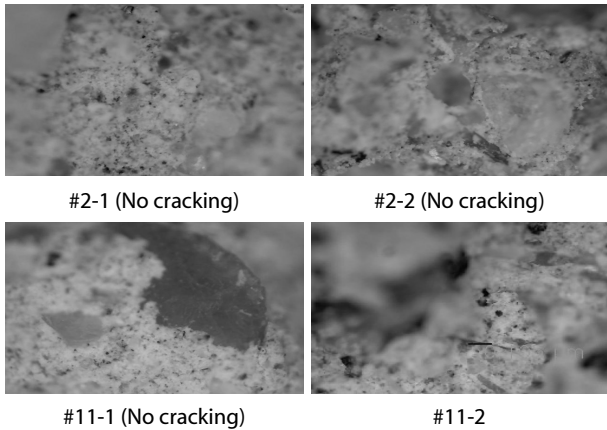


Fig. 10. Surface Images of Area Using SB 2 Times

Table 5. Character of Cracks on Area Using S.B

Shotblasting 2 times							
#2-1		#2-2		#11-1		#11-2	
Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm
No		No		No		1	0.10
Shotblasting 4 times							
#3-1		#3-2		#12-1		#12-2	
Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm	Num.	width, μm
No		1	0.56	2	0.48	6	0.21
				3	0.13		
				4	0.22		
				5	0.10		

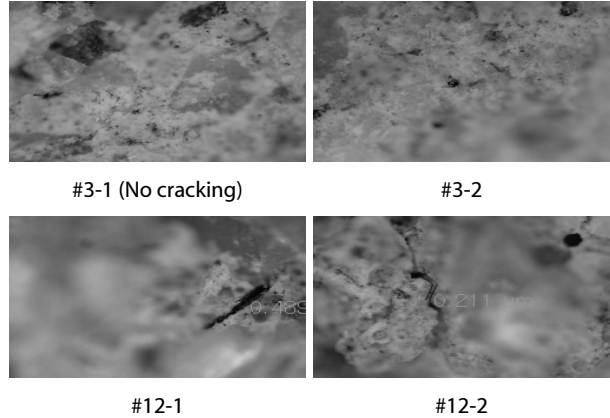


Fig. 11. Surface Images of Area Using SB 4 Times

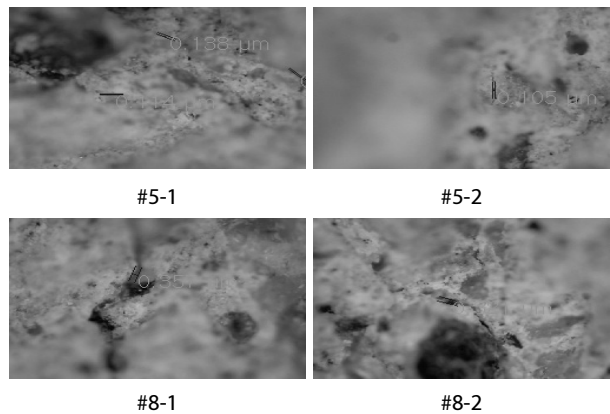


Fig. 12. Surface Images of Area Using C.M&SB 2 Times

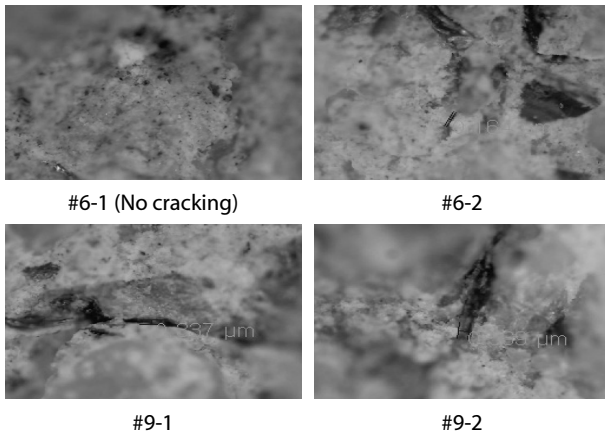


Fig. 13. Surface Images of Area Using C.M&SB 4 Times

Table 6. Characteristic of Base Slab Cracking with Cold Milling and Shotblasting

(Cold milling + Shotblasting 2times)							
#5-1		#5-2		#8-1		#8-2	
Num.	width, μM	Num.	width, μM	Num.	width, μM	Num.	width, μM
1	0.11	5	0.10	7	0.35	8	0.32
2	0.13	6	0.28				
3	0.11						
4	0.18						

(Cold milling + Shotblasting 4times)							
#6-1		#6-2		#9-1		#9-2	
Num.	width, μM	Num.	width, μM	Num.	width, μM	Num.	width, μM
No		1	0.16	2	0.33	5	0.56
				3	0.18	6	0.33
				4	0.3		

는 것을 확인하였으나, 슛블라스팅 4회 적용 시에는 오히려 균열폭이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

이를 평삭기 단독 구간과 비교하여 보면, 평삭기 절삭 시 표면층에 충격을 가하여 시멘트모르타르 및 골재경계에 균열을 유발할 수 있으며 균열폭 또한 1.0μm이상으로 크게 발생됨을 알 수 있다. 그러나 평삭기 이후 슛블라스팅을 적용할 경우 평삭기로 인해 표면에 발생된 균열부가 슛블라스팅에 의해 일부 제거되어 균열폭이 감소되는 것으로 측정되었으나 슛블라스팅을 과도하게 시행할 경우 오히려 감소되었던 균열폭이 더 크게 증가되는 결과를 나타냄으로써 평삭기에 의한 균열제거를 위해서는 적절한 슛블라스팅의 적용제한이 있어야 할 것으로 판단되었다.

3.2.5 표면처리 방식에 의한 화상분석의 종합적인 결과

Table 7에서 알 수 있듯이 영상현미경(EGVM-452M)을 통한

Table 7. Results of Surface Crack by Surfaces Treated

Cracking	un-treatment	Cold milling			Shotblasting	
		C.M 1time	SB 2times	SB 4times	SB 2times	SB 4times
Cracking Core	0/4	4/4	4/4	3/4	1/4	3/4
Cracking Incidence Rate	-	100%	100%	75%	25%	75%
Cracking Number	-	7	8	6	1	6
Cracking Width (μm)	-	1.076 ~0.261	0.357 ~0.105	0.569 ~0.164	0.105	0.489 ~0.102
Average Width (μm)	-	0.489	0.202	0.323	0.105	0.288
Standard Deviation	-	0.278	0.103	0.149	0	0.193

표면처리 방식에 따른 화상분석 결과 무처리 구간의 균열관찰 '0%'의 결과를 나타내었으나, 부착강도측면에서는 표면 레이턴스층의 미세거로 신·구 콘크리트간의 부착성능 저하가 예상될 수 있다.

그러나 표면의 균열발생유무만으로 평가할 경우 현재 신설교면 포장시공에 사용되는 평삭기 절삭에 의한 면처리는 균열발생을 '100%'의 높은 균열발생의 결과를 나타내었고, 평삭기 적용 이후 슛블라스팅을 적용할 경우 평삭기로 발생한 균열폭이 감소하는 경향을 나타내었으나, 적용횟수가 증가될수록 오히려 균열폭이 증가하는 것으로 관찰되었다. 즉, 평삭기의 충격으로 표면에 발생된 균열부가 슛블라스팅의 작업으로 일부 제거되는 효과를 얻을 수 있으나 적용횟수가 증가할 경우 강철구의 충격량 증대로 새로운 균열의 발생 또는 기존 균열부의 확대를 가져오는 것으로 관찰되었다. 이는 슛블라스팅 단독사용 시보다 높은 균열발생율과 균열폭을 통해 유출할 수 있는 사실이다.

스�블라스팅 단독사용은 2회 및 4회의 반복사용 구간 분석을 통해 2회에서 4회로의 누적시행 시 균열발생율이 증가하는 경향을 확인하였으며, 이는 슛블라스팅 사용의 2회 이상은 표면에 많은 미세균열을 유발할 수 있다는 사실을 보여주는 것이다.

3.3 면처리방식 및 폴리머 혼입률에 따른 부착강도 평가 결과

3.3.1 폴리머 혼입률에 따른 부착강도 평가 결과

폴리머의 사용은 재료적 측면에서 부착력을 확보하는데 매우 효과적인 것으로 알려져 있으며 많은 연구결과, 일반적인 경우에 있어서는 시멘트 대비 폴리머 고흡분비를 약 15% 첨가했을 경우 가장 우수한 작업성, 내구성 및 부착력을 갖는 것으로 보고되고 있다.

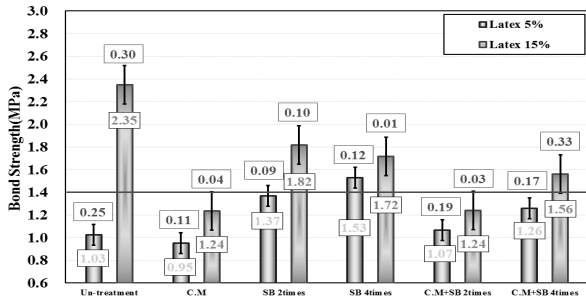


Fig. 14. Comparison Between Pull-off Tests Resulting in Contact Surfaces Treated

본 연구에서는 이러한 폴리머 함량에 따른 부착강도 변화가 현장에서도 구현되는지 평가하기 위하여 P/C비 5%와 15%에 대해 현장시험을 실시하였다.

Fig. 14의 폴리머 혼입률에 따른 부착강도 성능 변화를 분석해보면 라텍스 혼입률이 5%에서 15%로 증가함에 따라 모든 면처리 변수에서 평균적으로 약 41%의 부착강도 증가율을 보였으며, 이는 폴리머 혼입률의 조절을 통한 부착성능 개선이 가능하다는 결과를 나타내는 것이다. 즉, 면처리 방법에 상관없이 폴리머 사용량을 증대시키면 부착강도 증진율이 평균 41%정도 증가되는 것으로 평가되었다.

그러나, 폴리머 함량 5%에서는 면처리 변수 6구간 중 슛블라스팅 4회 구간을 제외한 나머지 5개 구간 모두에서 기준강도를 만족시키지 못하였으며 폴리머 함량 15%는 면처리 방식 6가지 중 평삭기 단독구간 및 평삭기+스프트블라스팅 2회 구간 등 2개소에서 기준강도 1.4MPa를 만족시키지 못하는 결과를 나타내었다. 이를 통해 폴리머 함량이 증대될 경우 부착력 측면에서는 그 향상이 매우 뚜렷하나 폴리머 함량 증대만으로는 현재의 부착강도 기준을 만족시킬 수는 없다는 사실을 알 수 있었다.

또한 폴리머 함량이 낮아질 경우 보다 신중한 접합면 처리가 요구되며 폴리머 함량이 높더라도 면처리 방식에 오류가 있을 경우 부착력이 저하되므로 적절한 사전 면처리 작업이 반드시 선행되어야 할 것으로 평가되었다.

3.3.2 표면처리방식에 따른 부착강도 평가 결과

본 연구에서는 접합면 표면처리 방식에 따른 부착강도 특성을 분석하고자 다양한 장비를 이용한 면처리를 시행한 후 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기에 대한 부착강도를 측정하였다.

Table 8은 각 변수에 따른 부착강도 평가 결과를 나타낸 것으로 이를 살펴보면, 측정된 부착강도 측면에서는 무처리 방식 > 슛블라스팅 4회 > 슛블라스팅 2회 > 평삭기+스프트블라스팅 4회 > 평삭기+스프트블라스팅 2회 > 평삭기 순으로 부착강도가 높게 측정되었다. 즉, 경계면에 어떠한 처리도 하지 않은 무처리 조건이 가장 높은 부착강도를 나타내었으나 이를 보다 자세히 살펴보면, 무처리 구간에서의

Table 8. Comparison Between Pull-off Tests Resulting in Contact Surfaces Treated and Polymer Contents

Remark	Bond strength averages(MPa)					
	Un-treatment	C.M	C.M+SB 2times	C.M+SB 4times	SB 2times	SB 4 times
PC 5%	1.03	0.95	1.07	1.26	1.37	1.53
PC 15%	2.35	1.24	1.24	1.56	1.82	1.72
Ave. (MPa)	1.69	1.10	1.16	1.41	1.60	1.63
Crack num.	-	7	8	6	1	6
Crack width (μm)	-	1.076~0.261	0.357~0.105	0.569~0.164	0.105	0.489~0.102
Ave. width (μm)	-	0.489	0.202	0.323	0.105	0.288

측정값간의 분산이 0.25~0.30으로 매우 크게 측정되어 측정위치별 부착력의 차이가 크게 발생하는 것으로 평가되었다.

스프트블라스팅 단독 사용구간은 타 변수에 비해 높은 부착강도 발현을 나타내었으며, 슛블라스팅 4회 면처리 구간은 폴리머 함량에 상관없이 부착강도 허용기준 1.4MPa를 만족하는 결과를 나타내었다. 전반적인 경향을 분석해 보면 평삭기 절삭을 적용한 구간은 타 변수에 비해 다소 부착강도 발현이 저하되는 경향을 보였으며, 무처리 구간은 레이턴스층을 제거하지 못함으로 인해 부착강도 평가 간 큰 편차를 보였으며, 슛블라스팅 단독 사용 시 전체적으로 부착강도 발현이 증대되는 경향을 확인하였다.

이를 회상분석에서 정리된 균열폭과 비교하여 보면, 균열이 관찰되지 않은 무처리 구간이 가장 높은 부착력을 나타내었으나 측정값간 분산이 높아 신뢰성이 다소 낮았으며 평삭기 단독적용구간은 균열폭이 가장 큰 구간으로 부착강도에서는 가장 낮은 값을 나타내었다. 그러나 기타 구간에서는 평균 균열폭과 부착강도간에 뚜렷한 상관성을 발견할 수는 없었으나 면처리 과정에서 발생된 균열폭이 크거나 그 수가 많을 경우 부착강도는 현저하게 저하되는 것으로 평가되었다. 이러한 상관성에 대해서는 향후 많은 시편과 측정데이터를 활용할 경우 보다 정량적인 분석이 가능할 것으로 판단되었다.

3.4 표면상태와 부착강도와의 상관성 분석

각 변수별 표면회상분석과 부착강도 평가 결과를 비교분석해 보면 Fig. 15에서 알 수 있듯이 전반적으로 평균 균열폭이 작은 구간의 부착강도 성능이 좋은 것으로 평가되었다. 보다 세밀하게 분석해 보면, 평삭기 적용 구간이 표면회상분석에 따른 평균 균열폭

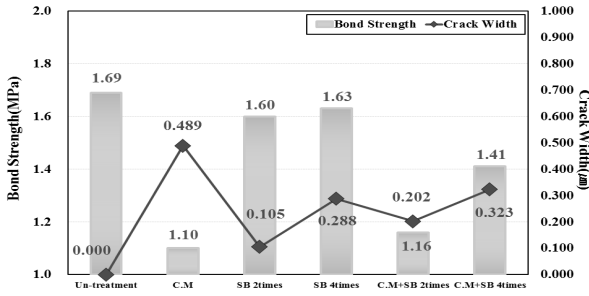


Fig. 15. Relationship of Bond Strength and Surface Crack by Using Surface Treated Equipments

이 0.489 μ m으로 가장 큰 균열폭과 더불어 가장 낮은 부착강도로 측정되었고, 평삭기 절삭 + 슛블라스팅 동시 적용 구간 또한 슛블라스팅 단독사용 구간에 비해 높은 평균 균열폭과 더불어 낮은 부착강도로 평가되었다.

무처리구간은 균열이 관찰되지 않음에 따라 상기의 경향과 같이 가장 높은 부착성능을 나타내었으나, 무처리 구간의 제거되지 않은 레이턴스층으로 인한 편차가 큰 부착강도 성능을 나타내었으므로 일관성 있는 부착강도 성능을 발휘하지 못할 것이라고 판단된다.

본 연구에서 목표로 제시한 적정시공방법 도출에 있어서 면처리 공정에 있어서 평삭기의 사용은 부착강도 성능 저하를 일으킬 수 있는 요인이 있어 시공시 사용이 부적합 하다고 판단되며, 평삭기 절삭 + 슛블라스팅의 동시 적용 또한 슛블라스팅의 단독사용에 비해 성능이 저하될 것이라 판단된다. 따라서 시공방법의 면처리 공정에 있어 슛블라스팅의 단독 사용을 제시하고자 하나, 추가적인 연구를 통하여 보다 더 다양한 변수 설정을 바탕으로 교면포장의 부착강도 성능을 최적화 시킬 수 있는 수행이 필요하다고 판단된다.

4. 결론

시공방법(면처리)과 폴리머 혼입률에 따른 종합적인 부착강도 성능 평가 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 평삭기를 이용한 표면처리 시 균열발생 가능성이 매우 높으며 균열폭 또한 크게 발생될 수 있다.
- (2) 슛블라스팅을 이용한 표면처리 시 2회 이상 반복사용은 균열발생 가능성을 높이며 균열폭의 증대를 가져올 수 있다.
- (3) 평삭기 적용 후 슛블라스팅 적용은 발생된 일부 균열을 제거하는데 효과적이나 발생된 균열을 모두 제거하지는 못하며 특히 2회 이상의 반복사용은 오히려 균열을 증대시킬 수 있다.
- (4) 균열발생 가능성면에서는 평삭기 사용 시 슛블라스팅에 의한 후처리여부에 상관없이 균열발생 가능성이 가장 높았으며, 슛블라스팅 단독 2회가 가장 적은 것으로 평가되었으나 발생된

균열폭 또한 0.1 μ m이하의 미세균열로 이러한 경계면에서의 균열이 덧씌우기 이후 접착면에서의 부착성능에 미치는 영향은 추후 지속적인 추가연구가 필요할 것으로 판단되었다.

- (5) 적정폴리머 이상 첨가된 재료에 한하여 무처리 구간도 기준강도 이상의 부착강도를 기대할 수 있으나 측정값간의 분산이 큰 단점이 있다.
- (6) 평삭기 단독 적용 구간은 폴리머 함량에 상관없이 기준 부착강도를 만족하기 어려운 면상태를 나타내었다.
- (7) 슛블라스팅 단독 적용 구간은 폴리머 함량에 상관없이 기준 부착강도를 만족시킬 수 있으나 최소 2회 이상 4회 이하로 적용해야 면처리 시 발생하는 균열의 영향을 최소화할 수 있을 것으로 판단되었다.
- (8) 평삭기 이후 슛블라스팅 적용은 최소 4회 이상 적용해야 평삭기에 의한 표면균열의 영향을 최소화시킬 수 있으며 또한 기준치 이상의 폴리머가 함유되어야 기준강도를 만족시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

References

American Concrete Pavement Association (2008). Guide to concrete overlays: Sustainable for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavement, Second Edition, ACPA Publication TB021.02P.

Jang, H. K., Hong, C. W., Jeong, W. K., Lee, B. H. and Yun, K. K. (2002). "Proposal of bond strength evaluation method for bridge deck overlay." Korea Concrete Institute, *Journal of 2002 Spring Conference*, pp. 349-354.

Kim, K. H., Jeong, W. K., Lee, J. B., Lee, B. H. and Yun, K. K. (2005). "Properties of VES-LMC adhesive strength for surface removal methods." Korea Concrete Institute, *Journal of 2005 Autumn Conference*, Vol. 17, No. 2.

Kim, S. W., Jeong, W. K., Jang, H. K., Kim, K. H. and Yun, K. K. (2002). "Appropriate method of concrete pull-out test for measure bond strength between new and existing concrete." Korean Society of Road Engineers, *Journal of 2002 autumn Conference*, pp. 133-138.

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 1162 Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 3, pp. 1153-1163.

Korea Expressway Corporation (KHC) (2011). 2010 Statistics of Korea Highway traffic. p. 17 (in Korean).

Yun, K. K., Jang, H. K., Lee, N. J., Lee, S. J. and Hong, C. W. (2001). "Evaluation for adhesion in tension of SBR polymer modified concrete tensile by uniaxial method." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 3, No. 4, pp. 117-126.

Yun, K. K., Lee, J. H., Choi, S. L. and Kim, K. H. (2001). "Bond strength properties of latex modified concrete." *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 13, No. 5, pp. 507-515.