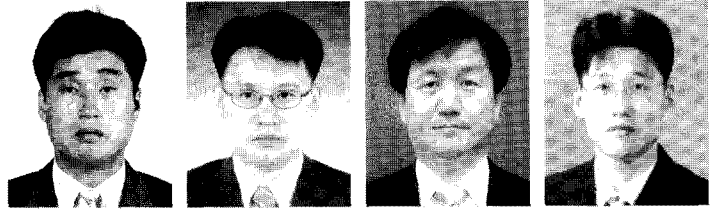


도로의 교량 바닥판콘크리트 열화제거를 위한 Hydro-demolition 소개



최 재 욱 | 정회원 · 한국도로공사 충청지역본부 구조물팀장
 조 병 찬 | 정회원 · 한국도로공사 충청지역본부 구조물팀 차장
 배 중 오 | 정회원 · (주)삼우아이엠씨 기술연구소장
 정 원 경 | 정회원 · (주)삼우아이엠씨 기술연구소 과장

1. 머리말

1970년대 이후 근대화 과정에서 도로를 건설함에 따라 다수의 교량을 증설하여 2005년 말 기준으로 국내 총 교량수는 22,871개소에 총연장 1,986,708m에 이르고 있다⁽¹⁾. 이중 철근 콘크리트 교량은 14,820개소로 전체교량의 약 65%를 차지하고 있으며, 철근 콘크리트 교량의 외부하중을 지지하는 상부 콘크리트는 일반적으로 교면포장에 의해 보호를 받는다. 교면포장(아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트, 노출포장 등)은 차량이 쾌적하고 안전하게 주행할 수 있도록 평탄한 주행면을 제공하는 것을 제1목표로 하며 교통하중의 충격 등에 의한 마모 및 전단에 저항하여 교량상판을 보호하고 빗물 등 기타 기상작용이나 화학약품 등 상판에 나쁜 영향을 끼치는 것으로부터 보호함으로써 교량구조물의 수명을 연장하는 중요한 역할을 하게 된다⁽²⁾. 이러한 교면포장은 직접적인 하중 및 외부 노출로 손상의 위험도가 높아 주기적인 유지관리가 요구된다. 특히, 교면포장은 교량

상부 콘크리트의 보호기능까지 겸하고 있어 교면포장의 손상을 방지할 경우 교면포장의 유지보수만으로는 교량의 공용성을 확보할 수 없는 경우에까지 이르게 된다.

교량의 바닥판은 교면포장 등에 가해지는 하중을 지지하여 직접 또는 거더를 통해서 하부구조로 힘을 전달시키는 역할을 한다. 그러므로 바닥판은 도로교의 주요부재에서도 가장 가혹한 하중, 응력을 받는 부분이라 말할 수 있다. 특히 노면의 마모, 손상에 의해서 교면 표면의 요철이 심하거나 신축이음의 손상 등에서 생기는 충격으로 더욱 불리한 상태가 될 수 있다. 철근콘크리트 상판의 결함으로는 다른 콘크리트 구조물의 경우와 같이 콘크리트의 균열, 박리, 철근노출, 부식, 누수 등이 일반적이는데, 최근 교통하중의 현저한 증대로 상판의 일부가 파손되는 경우도 발생한다. 상판은 차륜하중을 직접적으로 받으므로 결함이 생기면 급속히 악화된다. 그러므로 상판의 상태를 수시로 점검하고 조기에 결함을 발견하여 적절한 조치를 취하는 것이 필요하다⁽³⁾.

국토해양부 「교면포장 품질관리 매뉴얼」 5.5 교면포장의 유지보수편에는 교면포장의 파손구간을 보수하기 위해서는 슬래브의 열화된 부분은 완전히 제거하여 슬래브를 보호하도록 규정하고 있다. 이러한 열화부의 완전제거 목적은 보수 후 기존 구조체와 보수의 일체화 거동을 위한 소요 부착력 확보목적이 가장 크다. 소요 부착력은 열화부를 완전히 제거하고 건전부 콘크리트를 노출시킨 상태에서만이 확보가 가능하다. 신규 콘크리트의 일체화 거동을 위한 소요 부착력은 “고속도로 전문시방서, 10-2 콘크리트 덧씌우기 포장, 3.4.4 접착력 확보” 편에 최소 1.4MPa(14kgf/cm², 인장접착시험-KS F 2386, 도로포장체 부착면의 인장접착시험방법, 2003)의 접착강도로 규정하고 있다.

본 논고에서는 아스팔트콘크리트포장이 아닌 콘크리트 노출교면 재포장 또는 콘크리트포장 덧씌우기 보수평가방법에 있어 열화부 절삭방법에 따른 부착력을 평가하여 시멘트 콘크리트 도로포장의 보수보강 시 절삭방법에 따른 적용성을 평가하고자 하였다.

2. 교면포장 관리방안

2.1 교면포장의 주요 파손원인 및 대책

국내에서의 교면포장에 관한 연구 및 개발사례는 매우 다양하며 기술력 또한 향상되고 있는 것이 사실이다. 그러나 공용중인 교면포장에 대한 명확한 평가 기준 및 유지보수공법 기준에 대한 규정이 부족하다. 특히, 상판 콘크리트 상태와 결부된 보수방안 기준은 전무한 상태이다. 교면포장은 단일구조체이기도 하지만 그 기능면에 있어 상부 콘크리트에 직접적인 영향을 미치므로 이와 구분하여 평가, 관리하여서는 안 될 것이다. 따라서 교면재포장공법 선정에 있어 상부 콘크리트의 열화정도가 반드시 평가되어야 하며 이를 기초로 단순교면 재포장공법으로 할 것인지, 상부 콘크리트 열화부 제거 후 교면재포장을 시행할 것인지

사전에 평가 결정되어야 한다. 이러한 기준이 마련될 경우, 반복적이고 주기적인 교면재포장에 따른 유지보수비용 절감 및 상부 콘크리트 열화정도 관리 및 보수를 통한 구조물 공용연수 증대를 동시에 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

이에 대한 필요성으로 일부 연구기관에서 디지털 화상처리기술을 이용한 교량 바닥판 점검기법을 개발하고, 차량탐재형 GPR을 이용하여 교량 바닥판 상면 콘크리트의 열화정도를 평가한 사례는 가지고 있다^(5,8). 그러나 이러한 연구결과가 실제 교면재포장 공법 선정 시 활용되기 위해서는 교면포장에 대한 상태조사, 교면재포장 결정, 상부 콘크리트 평가, 보수 공법결정 등의 매뉴얼이 작성되어야 할 것으로 사료된다.

표 1. 현장채취 일자 및 장소

〈교면포장의 파손〉
교면포장의 파손은 교면방수층의 시공불량 또는 교면포장의 다짐부족에 의하여 대부분 발생되므로, 교면방수의 품질관리와 교면포장의 다짐관리를 준수하여야 한다.
〈교면방수 층면의 원인 및 대책〉
교면방수가 적정하게 시공되지 못하였을 경우 교면포장의 파손이 발생하며, 슬래브의 열화가 발생할 수 있으므로 교면방수의 설계 및 시공에 주의를 기울여야 한다. 특히, 적설지역에서는 제설용 염화물이 슬래브를 열화시키므로 침투수를 슬래브 표면에 체류하지 않게 하여야 한다.
〈교면포장의 유지보수〉
교면포장의 파손구간을 보수하기 위해서는 슬래브의 열화된 부분은 완전히 제거하여 슬래브를 보호한다. 침투식 방수로 시공된 경우는 침투식 방수로 재보수하는 것을 지양하고, 다짐 취약부가 발생하지 않도록 다짐관리를 철저히 준수한다.

교면포장에 대한 최근자료인 “교면포장 품질관리 매뉴얼(콘크리트 상판 위의 아스팔트 교면포장)”에서는 교면포장의 주요 파손원인 및 대책에 대하여 다음과 같이 구분하여 기술하고 있으며, 교면포장 파손구간의 보수 시 슬래브가 열화된 부분은 추가파손의 원

인이므로 완전히 제거하며, 열화된 부분이 국부적일 경우에는 초속경 콘크리트 또는 에폭시 콘크리트를 사용하여 보수하고, 슬래브가 전면적으로 열화되었을 경우에는 콘크리트 노출바닥판, 일반LMC, 초속경LMC 등을 사용하여 전면보수할 것을 권고하고 있다³⁾.

2.2 교면 및 바닥판 콘크리트 열화판정

(1) 국외 교량 바닥판 콘크리트 열화판정

국외에서 바닥판 콘크리트 열화정도를 평가하는 항목은 표 2와 같으며 주요평가는 상대유전율, 염화물 함량, 투수성, 염화물 사용량 등으로 바닥판 콘크리트의 철근부식 정도를 판별하기 위한 측정항목이 대부분을 차지하고 있다.

표 2. 교량상태 조사항목 및 기준

구분	조사 항목	기 준
1	Half-Cell Potentials (ASTM C 876)	>0.25V(CSE)
2	Chloride Ion Content	<0.6kg/m ³
3	Permeability to Chloride Ion (AASHTO T277)	4000 Coulombs <High 4000~2000 Moderate 2000~1000 Low 1000~100 Very low 100>Negligible
4	Average Daily Traffic (ADT)	5,000>L 5,000~25,000 H 25,000<H 52,000<VH
5	Salt Application Rates (kg/lane km/year)	1,410>L 1,410~2,820 = M 2,820<H
6	Map of Cracks and Patches	-
7	Photographic Recorder	-

(2) 국내 교량 바닥판 콘크리트 열화판정

한국도로공사에서는 표 3의 조사항목에 대하여 교

량 바닥판 콘크리트의 열화판정을 위하여 레이더를 이용한 방식(차량탐재형 GPR)으로 교면포장 두께, 상부철근 피복두께 및 상대유전율(12 이상일 경우 열화손상 발생)을 측정하여 바닥판의 손상률을 계산한 사례가 있다.

또한, 바닥판 상면의 콘크리트 코어를 이용하여 깊이별 염분침투량을 측정하여 임계염소이온농도 1.2kg/m³을 기준으로 철근부식에 의한 손상우려를 판단하거나 상태유전율 분포도를 도식화하여 열화정도, 철근부식정도 및 열화 깊이를 판단하고 있다^{5,6)}.

국외 조사항목과 같이 국내에서도 바닥판 콘크리트의 열화정도를 평가하는 가장 큰 인자는 철근부식 정도에 영향을 미치는 염화물농도와 콘크리트 수분 함유율로 조사되었다.

표 3. 바닥판 콘크리트 상태조사 항목

구분	조사 항목	기 준
1	자연전위차 E (V, CSE)	E > -0.2 부식없음 (90%이상 확률) -0.2 ≥ E > -0.35 부식발생 (50%확률) E ≤ -0.35 부식존재 (90%이상 확률)
2	임계염화물 함량	1.20kg/m ³
3	피복두께	설계피복만족여부
4	상대유전율	12이상은 열화발생

2.3 열화부 절삭방법

(1) 바닥판 열화부 절삭방법 및 깊이

바닥판 콘크리트의 상태평가 후 상대유전율 및 염화물이온농도가 상부철근의 부식에 영향을 줄 경우, 모든 열화부위는 슬래브의 추가파손의 원인이 되므로 완전하게 제거되어야 한다³⁾. 이를 위한 일반적인 콘크리트 열화 제거장비로는 로드커터, 유압식 브레이크, 샌드 블라스팅, 워터제트 등의 장비가 사용되고 있으며, 열화부 깊이, 열화면적, 시공성 등을 종합적으로 고려하여 장비를 선정하여야 한다.

(2) 워터제트에 의한 절삭방법

바닥판 콘크리트의 열화깊이가 상부철근 하면까지 진전된 경우 수평식 절삭장비인 로드커파머만으로는 완전제거가 불가능하다. 소규모 보수일 경우 유압식 브레이커를 사용할 수도 있으나 건전부에 새로운 균열을 유도할 수 있으므로 주의하여야 한다⁽¹⁰⁾.

국외에서는 열화된 콘크리트를 제거하고 건전부를 노출시키기 위한 절삭장비로 워터제트를 매우 다양하게 사용하고 있으며 국내에서도 2002년 교면재포장공사에서 일부 도입되어 적용되고 있다.

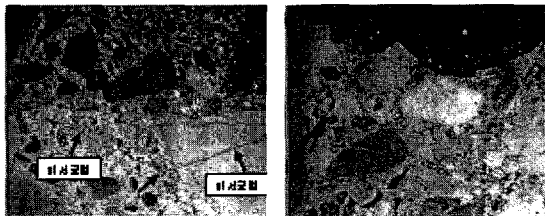
워터제트 공법은 물을 초고압, 초고속 상태의 제트류로 만들어 이를 해체대상 구조물에 분사시킴으로써 콘크리트에 세굴작용을 일으켜 콘크리트만을 선택적으로 파괴시킬 수 있는 공법이다. 고체내부의 세굴작용이 계속 더 진행되면 분사되는 물의 압력이 세굴된 고체내부의 벽면에 압력을 가하여 고체가 박리되는 충격파괴가 시작되며, 폭발적인 파괴작용을 일으키는 원리를 이용하는 것으로 제공되는 분사에너지보다 낮은 강도를 지닌 콘크리트는 파쇄되며 높은 강도를 지닌 건전부위는 남게 되는 원리이다. 이러한 워터제트는 열화된 콘크리트를 효과적으로 제거하고 건전부에는 전혀 영향을 주지 않을뿐 아니라 요철형성에 따른 신구재료의 부착력 증대 등을 가져온다⁽¹⁰⁾.

특히, 워터제트 공법은 일정강도 이하의 열화부 제거효과가 우수하여 철근부식임체치 깊이까지 제거가 가능하고, 더불어 기타 열화작용에 의한 콘크리트 강도저하 부위를 동시에 제거할 수 있다. 즉, Hydrodemolition에 의한 파쇄는 기존 구조물에 일정한 압력의 물을 분사하여 재료의 공극을 파고 들어가 취약부를 제거하므로 잔존하는 구조물은 소요강도 이상을 유지하게 되며, 철근의 손상 없이 콘크리트의 부식된 부위만을 선별하여 제거할 수 있게 된다.

이를 바닥판 콘크리트 열화부 제거에 활용할 경우 평가된 열화부 완전제거 및 기타 열화작용에 의해 손상된 콘크리트 강도저하부위를 제거하고 초기시공상태의 건전부를 노출시켜 보수효과를 극대화하는 것

표 4. 절삭장비별 특성

구분	특성
워터제트	<ul style="list-style-type: none"> • 인접구조물에 영향이 없음 • 철근을 살려둔 상태에서 콘크리트를 제거 • 모든 작업이 로봇에 의해 이루어짐 • 취약부의 국소제거가 가능 • 기계적 반복제어로 품질이 양호 • 일정강도 이하의 열화부 제거효과 우수
인력 브레이커	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모공사에 적합 • 강도와 관련없이 파쇄 • 소음, 분진에 의한 민원발생 우려 • 품질은 기능공의 숙련도에 의존 • 파쇄부위 주변에 충격력이 전달되어 미세한 크랙이 발생되며 이후 문제점 발생
Milling 장비	<ul style="list-style-type: none"> • 유압력을 이용하여 여러개의 소형브레이커가 회전하면서 타격 • 정해놓은 깊이만큼만 절삭해 나가므로, 부분적으로 열화가 깊이 진행된 곳은 재절삭하거나 인력으로 치핑할 수 밖에 없음 • 장비타격식 절삭이므로 기존 철근에 충격과 진동에 의한 손상발생 가능(인력치핑에 비해 약 20% 더 큰 진동)



(a) 인력브레이커 절삭 (b) 워터제트 절삭

그림 1. 절삭장비에 따른 콘크리트 손상

으로 판단된다.

국외에서는 워터제트를 이용한 바닥판 콘크리트 절삭 시 열화부를 제거하고 건전부의 0.6~1.3cm를 추가 제거하도록 규정하고 있다⁽⁷⁾.

따라서, 열화부 제거에 있어 어떠한 절삭장비를 이용하더라도 교면재포장공사의 부착력 확보와 열화부 미제거에 의한 추가파손의 원인을 제거하기 위하여

절삭되는 깊이는 평가된 열화부 깊이 +1cm 깊이로 완전하게 절삭하여야 할 것이다.

2.4 콘크리트 절삭방법에 따른 부착강도 특성

(1) 절삭방법에 따른 부착강도 시험

콘크리트 보수는 일반적으로 손상부를 절삭하고 보수재료를 덧씌우는 공정으로 이루어지며, 이 때 손상된 콘크리트를 제거하는 방법으로는 인력브레이커, 노면파쇄기, 슛블라스팅, 워터젯트 등을 이용하는 절삭방법이 있다. 이러한 절삭방법은 보수공사의 규모, 대상구조물, 절삭효율 등을 고려하여 적용하게 된다.

본 연구에서는 표 5에 나타난 바와 같이 보수 대상 콘크리트의 직접인발 인장강도(B/C, ①)를 기준으로 기존 보수공법에서 주로 적용되고 있는 절삭방법인 인력브레이커(A/B, ②)와 노면파쇄기(M/M, ④) 구간에 대하여 부착성능을 평가하고자 하였다. 그리고 VES-LMC공법에서 적용하고 있는 절삭방법인 Hydro-demolition(H/D, ③)에 대해서는 부착성능을 평가하였다.

절삭방법에 따른 VES-LMC의 부착특성을 살펴보고자 영동고속도로 강릉방향에 위치한 (구)동수원 Toll Gate 폐광장의 콘크리트 포장부에 구간별로 절삭방법을 달리하여 절삭한 후 VES-LMC로 덧씌우기를 실시하고, 직접인발 부착시험을 수행하였다. 그림 2는 인력브레이커, 노면파쇄기, 워터젯트를 이용하여 콘크리트를 절삭한 후 절삭면을 나타낸 것으로, 절삭방법에 따른 절삭면의 요철(凹凸)상태를 비교할 수 있었다.

표 5. 변수별 절삭방법 및 내용

구분	변수명	변수내용
①	B/C	Base Concrete (보수대상 콘크리트 구간)
②	A/B	Air Breaker(인력브레이커를 이용한 절삭구간)
③	H/D	Hydro-demolition (유압 : 2,500bar, 유량 : 82.0 l 노즐의 좌우이동속도 : 0.5m/sec)
④	M/M	Milling Machine(노면파쇄기를 이용한 절삭구간)

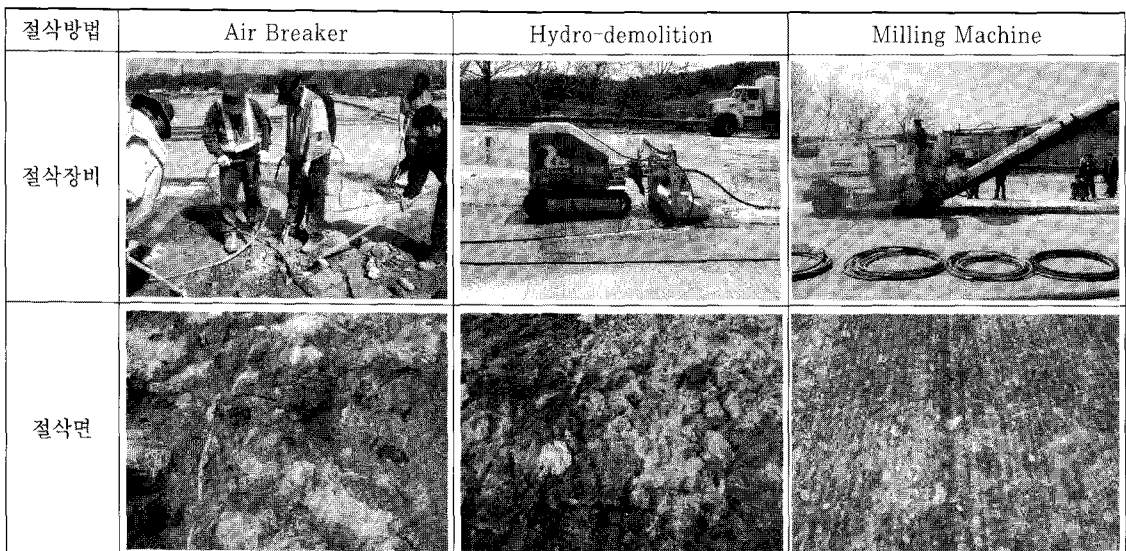


그림 2. 절삭방법에 따른 절삭면 비교

(2) 절삭방법에 따른 부착특성

본 연구에서는 기존 콘크리트의 직접인발 인장강도와 절삭방법에 따른 VES-LMC의 부착강도를 재령별로 14일과 28일에 측정하였으며, 그 결과는 표 6 과 그림 3에 나타난 바와 같다. 보수대상 구조물인 콘크리트 포장의 직접인발 인장강도는 1.54~2.00MPa로 나타났다.

절삭방법에 따른 VES-LMC의 부착강도를 살펴 보면, 인력브레이커 방법을 적용한 구간은 0.13~1.58MPa로 강도편차가 크게 나타났으며, 노면파쇄기 방법을 적용한 구간은 1.04~1.44MPa로 보수재료의 부착강도 기준인 1.40MPa보다 작게 나타났다. 이는 인력브레이커나 노면파쇄기를 이용한 절삭 방법은 절삭 시 충격에 의하여 기존 콘크리트에 손상을 유발하게 되므로 보수재료의 부착강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

표 6. 각 구간별 부착강도 및 파괴모드

구분	절삭 방법	부착강도(MPa)							
		14일				28일			
		1	2	3	평균	1	2	3	평균
①	B/C	1.54	2.00	1.81	1.78	1.71	1.95	1.79	1.82
②	A/B	1.58	0.31	0.45	0.78	1.41	0.13	0.59	0.71
③	H/D	1.54	1.84	1.75	1.71	1.74	1.72	1.90	1.79
④	M/M	1.20	1.44	1.26	1.30	1.43	1.33	1.04	1.27

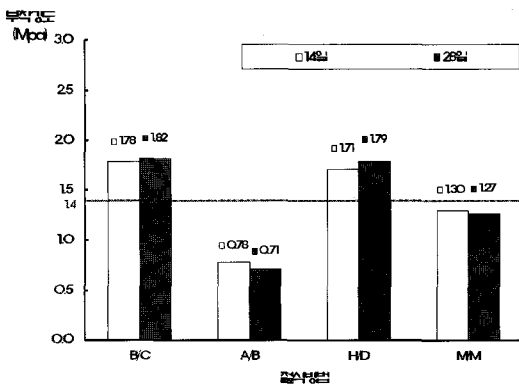


그림 3. 절삭방법에 따른 부착강도 특성

또한 Hydro-demolition을 적용한 구간은 1.54~1.90MPa로 모두 기준치를 상회하는 부착강도를 나타내었으며, 기존 콘크리트의 직접 인발인장강도와 거의 비슷하게 나타나 부착강도로만 평가하였을 경우 신·구 콘크리트가 일체화 되었다고 판단할 수 있었다.

3. 맺음말

구조물에 대한 유지관리의 목적은 이용차량의 대형화, 중량화 및 통행량의 증가 등에 따른 안전성을 평가하며, 노후화로 인한 열화와 손상을 조기에 발견하여 구조물을 적기에 효과적으로 보수보강 및 개축함으로써 도로의 기능을 보존시키고, 이용차량의 편의와 안전을 도모하는데 있다⁸⁾.

최근 건설되는 도로는 시가지나 산악지대를 통과하는 경우가 많으므로 구조물 설치가 필요한 경우가 많이 발생하고 있다. 이러한 관리대상 교량의 급격한 증가로 인해 점검작업의 중요성이 높아지고 있으나 대부분 육안조사에 의존하고 있기 때문에 점검자의 접근이 가능한 일부구간에만 한정적으로 수행되고 있으며 작업시 점검자의 주관이 포함되므로 획득된 자료의 객관성과 신뢰성이 부족하다는 문제점이 제기되고 있다⁸⁾.

콘크리트 보수 및 보강에 사용되는 재료는 구조물의 잔존수명동안 구조물 본래의 기능을 유지할 수 있도록 기존구조물과 일체가 되어야 한다. 보수재료와 기존구조물은 하나의 조합체로서 외부의 물리적, 화학적 변화에 견딜 수 있어야 하며, 그러기 위해서는 무엇보다도 두 재료 사이의 강력한 부착력이 요구된다. 신구 콘크리트의 계면에서는 압축, 인장, 전단, 지압, 비틀림 등이 다양하고 복합적인 힘으로 작용하게 되며, 이러한 하중에 대해서는 신·구 콘크리트 사이의 기계적 맞물림 작용(Interlocking Action)과 두 재료 사이의 화학적 부착력에 의해 저항하게 된다.

본 연구에서는 2003년부터 국내 교량의 바닥판콘

크리트 및 콘크리트포장 보수에 적용되고 있는 Hydro-demolition 개념에 대한 부착특성을 살펴 보았으며, 인력브레이커, 노면파쇄기, 워터젯 등 콘크리트를 절삭하는 방법에 따른 콘크리트의 부착특성에 대하여 고찰하여 파쇄방식별 차이를 실험적으로 고찰하였다.

(1) 인력브레이커를 이용한 절삭구간(A/B)과 노면파쇄기를 이용한 절삭구간(M/M)의 경우 부착강도는 보수재료의 부착강도 기준인 1.4MPa보다 작게 나타났으며, 이는 절삭 시 충격에 의하여 기존 콘크리트에 손상을 유발하게 됨으로 보수재료의 부착강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(2) 본 연구에서 적용된 Hydro-demolition은 유압 2,500bar, 유량 82.0 l, 노즐의 좌우 이동속도 0.5m/sec를 적용하였으며, 이 때의 부착강도는 1.54~1.90MPa로 나타났다. 이는 부착강도 기준은 1.4MPa을 훨씬 상회하는 값이며, 기존 콘크리트의 직접 인발인장강도와 유사한 값으로 실제 부착강도는 더욱 높을 것으로 판단된다.

(3) 보수공법의 가장 중요한 인자 중에 하나가 부착력임을 감안하였을 때, 인력브레이커나 노면파쇄기를 이용한 절삭방법보다 Hydro-demolition을 이용한 방법이 보수공법에 더욱 유리할 것으로 판단되며, 신·구콘크리트의 부착력 확보와 절삭공정의 효율성을 고려하여 인력브레이커나 노면파쇄기를 이용한 절삭과 Hydro-demolition을 이용한 방법을 병행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

(4) Hydro-demolition을 이용하여 손상된 콘크리트를 제거하는 방법이 부착강도 증진에 매우 유리한 것은 틀림없으나, 국내의 연구는 아직 미미한 실정이다. Hydro-demolition을 이용한 절삭방법이 국

내 보수공법에 폭넓게 적용되기 위해서 더 많은 연구와 함께 적용기준이 확립되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김영권(2006), "VES-LMC의 보수보강두께에 따른 철근 콘크리트 보의 휨 거동 특성", 강원대학교 산업대학원 석사학위논문, 2006. pp. 1.
2. 국토해양부(1995), "교량구조물의 보수보강공법 편람", pp. 23~97.
3. 국토해양부(2007), "교면포장 품질관리 매뉴얼(콘크리트 상판위의 아스팔트 교면포장)", pp. 66~80.
4. 정해문 외 3인(2006), "염해에 대한 콘크리트 구조물의 유지관리 사례", 콘크리트 구조물의 염해 내구성에 관한 국제 심포지엄, 한국콘크리트학회, pp. 229~257.
5. 한국도로공사 도로교통기술원(2006), "교량 바닥판 상태평가 기술자문 검토서", 구조물관리연구센터.
6. 한국도로공사 도로교통기술원(2004), "콘크리트 노출 바닥판 교량의 적용 및 유지관리에 관한 연구", 연구보고서, pp. 5~16.
7. 한국도로공사 도로교통기술원(2004), "디지털 화상 처리기술을 이용한 교량바닥판 점검기법 개발", 연구보고서, pp. 1~2.
8. MoDOT(2002), Hydro-demolition Specification for Job J810647, RDT 02-002.
9. Michael M, Sprinkel(1999), "Evaluation of The Installation and Initial condition of Fatex-Modified and Silica Fume concrete Overlays Placed on Six Bridges in Virginia, Virginia Transportation Research Council.No. VTRC 99-IR2, pp. 4~9.
10. Johan Silfwerbrand(1994), "Improving Concrete Bond in Repaired Bridge Decks", ACI Compilation 29, pp. 7~12.