

초속경 라텍스개질 콘크리트의 현장적용사례

Field Application Examples of Very-Early Strength Latex-Modified Concretes

최판길* 최성용** 정원경*** 윤경구**** 김기현*****

Choi, Pan-Gil Choi, Sung-Yeung Jeong, Won-Kyong Yun, Kyong-Ku Kim, Ki-Heun

1. 서 론

1970년도 이후 국내 교량의 수는 총20,453개이고 교량 총연장은 1,743,898m에 달한다. 2003통계자료에 따르면, 고속국도의 경우 교량의 수가 5,390개, 총 연장이 613,395m로 집계되었다.(건설교통부 통계자료). 교량은 일반 토공부에 비하여 구조물이 가설되는 위치가 대부분 교통의 요지에 위치하게 되므로 보수에 따른 교통 차단이나 우회가 대단히 어렵다. 이 때문에 교면포장은 건설 당시에 장기적인 공용성을 갖도록 설계되고 시공되어야 한다. 더불어 교면포장은 안전한 주행성의 확보, 유지보수 빈도 최소화 등의 특별한 요건을 갖추어야 한다. 그러나 현재 시공된 교량의 교면포장의 경우 여러 가지 요인으로 제 수명을 다하기 전에 파손되는 경우가 많다. 이러한 원인으로는 중차량 통행에 따른 소성변형, 충격에 따른 파손, 해당 지역의 심한 기후변화, 및 동결융해의 영향 등이 있다. 따라서 교면포장은 이러한 원인에 저항할 수 있는 특성을 지녀야 한다. 파손된 교면포장을 보수하기 위한 방법으로 아스팔트 덧씌우기 공법, LMC교면포장, 에폭시 부분보수 등이 있다. 아스팔트 덧씌우기 공법은 방수 공사의 어려움, 상대적인 교량 바닥판의 보호 기능저하, 파손이 심한 교량에 적용할 경우 손상을 촉진 등의 문제점을 안고 있다. LMC교면포장 공법은 재료적 성질이 우수한 특성을 가지고 있으나 14일 이상 양생하여야하므로 장기교통 차단이 요구되는 단점이 있다. 아크릴계 폴리머 콘크리트 박층포장 보수 공법은 경화시간이 짧아 조기 교통개방이 가능한 특성이 있으나, 강도 및 변형량의 차에 의해 보수부분에 균열이 발생하고 박리, 탈락되는 문제점이 있는 것으로 알려졌다. 그 밖에 에폭시 부분보수 등이 있으나 전단면 보수에 적용하기에는 상당히 부적합하다.

위와 같이 기존 보수공법의 문제점을 보완할 수 있는 방법이 바로 VES-LMC를 사용한 교면포장 보수공법이다. VES-LMC는 부착성, 수밀성, 균열저항성 및 내구성이 우수하며 특히 조기강도발현이 가능하여 교통개방시간을 앞당길 수 있는 장점을 가진다.1) 국내에서는 2001년부터 윤경구 교수에 의해 VES-LMC에 대한 연구가 처음으로 진행되었다. VES-LMC의 역학적 특성 및 내구특성에 대한 우수성이 입증된 바 있다.2) 2003년 초에 모의시험시공을 통한 현장적용성이 입증되었고, 2003~2004년에 걸쳐 실제 공용중인 교량바닥판 보수에 적용 적용되었다. 본 논문에서는 수차례 현장 적용을 통해 정립된 VES-LMC 교면포장보수공법과 1대성교에 적용된 VES-LMC의 재료적 특성과 시공절차 및 적용성 평가에 대하여 기술하였다.

2. 재료선정 및 시공절차

2.1 재료선정

2.1.1 초속경시멘트(Very-Early Strength Cement)

공용중인 콘크리트 포장이나 구조물의 긴급한 보수가 이루어져야 하는 경우, 시멘트는 초속경의 성질을 가져야하고 단시간 내에 소요 강도를 발현할 수 있는 것이어야 한다. 본 연구에서 사용된 시멘트는 국내 S사에서 개발한 시멘트이며, 위의 조건들은 모두 충족시킨다. 표 1에 물리화학적 특성을 나타내었다.

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 (033-250-6240, E-mail : pangil@hotmail.com)
** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 (033-250-6240, E-mail : pangil@hotmail.com)
*** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사후과정 · 공학박사 (033-250-6240, E-mail : jeong@hotmail.com)
**** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 (033-250-6236, E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)
***** 정회원 · (주)삼우IMC 대표이사 · 공학석사 (033-255-6230, E-mail : kikeun@hotmail.com)



2.1.2. 라텍스(Latex)

라텍스는 콘크리트의 투수저항성과 동결융해저항성을 비롯한 기타 내구성을 향상시키는 특성을 가지고 있다. 또한 라텍스 입자의 불배어링 작용으로 굳지 않은 콘크리트의 작업성을 증대시키는 특성도 가지고 있다. 라텍스는 미국 D사의 DL470을 선정, 사용하였고, Styrene-Butadiene 라텍스로 시멘트 모르타르와 콘크리트에 사용하게끔 생산된 제품이며 가장 많이 연구, 시공되고 있는 것이다. 라텍스의 물리적 특성은 표2 와 같다.

2.1.3. 굵은 골재(Coarse Aggregate)

VES-LMC용 굵은 골재는 최대치수 13mm 석산 쇠석골재가 사용된다. 최대치수 13mm의 굵은 골재는 보통 아스콘 제작용에 주로 사용되는 것으로, 그 수요가 일정치 않아 필요시마다 한시적으로 생산된다. 따라서 굵은 골재를 선정하기에 앞서 골재의 생산여부, 석산의 가동여부 및 골재관리 상태 등의 사전조사가 철저히 이루어져야 한다.

그림 1은 굵은 골재의 체가를 시험결과를 나타내는 것으로, KS규정 범위 안에 정확하게 들고 있으며, 조립률은 6.18로 계산되었다. 표 3에 굵은 골재 시험결과를 나타내었다.

2.1.4. 잔골재

교면 포장의 경우 동결융해작용과 염해의 작용을 많이 받는 구조물이므로 해사의 사용은 가급적 피해야 하며, 천연 강모래를 사용하는 것이 바람직하다. 부득이하게 해사를 사용해야하는 경우에는 세척 등의 전처리 과정을 거쳐, 염화물함량 등의 적정성 여부를 평가를 위한 충분한 조사를 거친 후에 사용하여야 한다.

최근 골재원의 1일 반출량 규정강화, 환경보호 등의 이유로 천연강모래의 수급이 상당히 어렵고, 콘크리트용 골재의 기준을 만족하는 잔골재는 거의 찾아보기 힘들다. 따라서 보통 골재원 1~2개소에서 생산된 천연강모래를 적절하게 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다.

현장 VES-LMC배합에 사용된 잔골재도 이와 마찬가지로, 가정리 골재와 가평골재를 1:2의 중량비율로 혼합하여 사용하였다. 제1골재원 모래의 경우 유기물 함량과 점토덩어리 함량이 거의 0%에 가까운 장점을 가지고 있으나, 비교적 입자의 크기가 크다는 단점을 가지고 있었다. 제2골재원의 경우는 유기물함량과 점토덩어리 함량이 기준치보다 약간 웃도는 단점을 가지고 있었다. 각각 골재원의 잔골재는 체가를 데이터를 사용한 수치해석 방법을 통하여 적정혼합비를 도출되었다. 그림 2는 혼합 잔골재의 체가를 시험결과를 나타내고 있으며, 표 4는 혼합 잔골재의 시험결과를 나타내고 있다.

표 1. VES Cement 물리화학적 특성

Cement	Chemical Composition (%)						Blaine (cm ² /g)	Specific Gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
VES-Cement	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	5,400	2.90

표 2. 라텍스의 물리적 특성

Solids Content (%)	pH	RVT Brookfield viscosity (mPa.s)	Surface tension (dynes/cm)	Particle size (nm)	Stabilizer type	minimum film forming temperature(°C)
43~46	9.5~11.0	40	30~35	180~210	anionic	< 4

표 3. 굵은 골재

구 분	SSD 비중	흡수율	조립률
결 과	2.63	0.74%	6.18
규 정	KS F 2503	KS F 2503	KS F 2502

표 4. 혼합잔골재

구 분	SSD 비중	흡수율	조립률
결 과	2.62	0.80%	6.18
규 정	KS F 2504	KS F 2504	KS F 2502

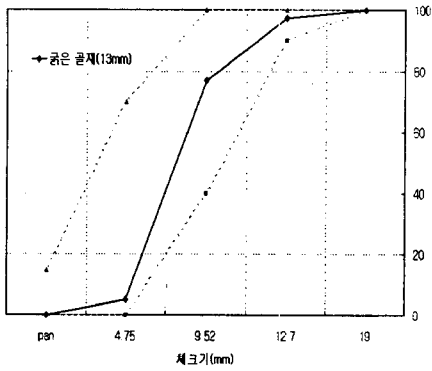


그림 1. 굵은 골재 체가름곡선

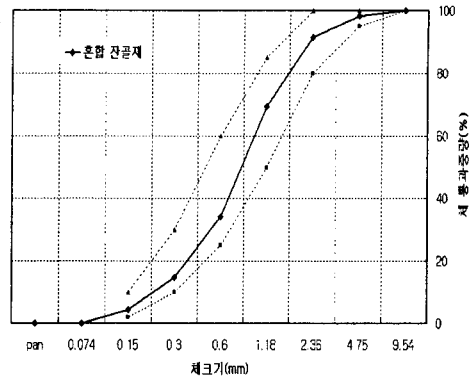
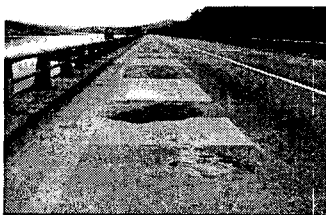


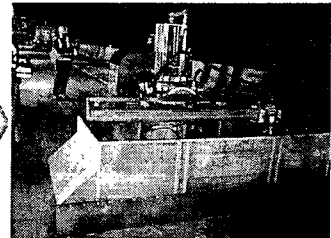
그림 2. 혼합 잔골재의 체가름 곡선



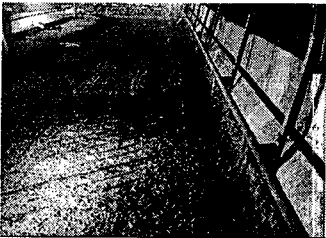
① 현장정밀조사 및 계획 수립



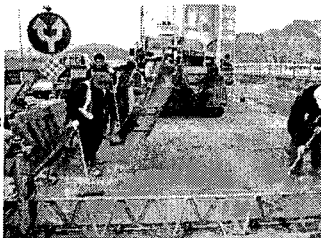
② 1차절삭 (노면파쇄기)



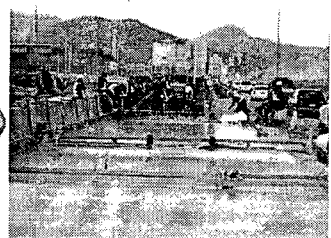
③ 2차절삭 (워터젯트)



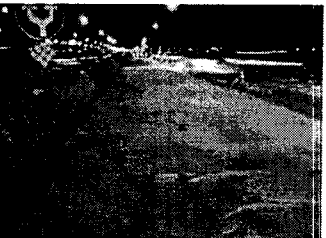
④ 청소



⑤ 생산



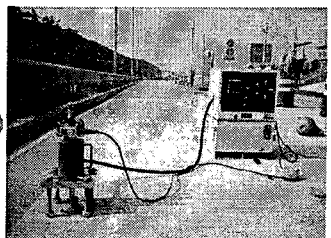
⑥ 포설·마무리



⑦ 양생



⑧ 교통개방



⑨ 평가

그림 3. VES-LMC 시공절차



2.2 시공절차 및 적용사례

VES-LMC 시공절차는 그림 3과 같고, 공법의 특징은 크게 교량바닥판의 준비, VES-LMC의 생산 및 마무리 등의 세 단계로 나눌 수 있다.

첫째로, 열화된 교량 바닥판의 준비이다. 콘크리트가 기상작용, 염화물 침투 및 동결융해작용을 지속적으로 받게 되면 표면박리를 비롯한 열화현상이 두드러지게 발생하게 되고, 이는 곧 콘크리트의 강도를 현저하게 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서 강도특성을 이용하여 열화 부위를 적절하게 제거하는 것이 시공품질에 상당히 크게 작용할 수 있다. 본 공법에서는 워터젯(Water Jet)을 이용한 고압의 물을 분사하여 열화부위를 효율적으로 제거하는 방법이 사용되고 있다. 즉, 열화정도에 따라 워터젯의 수압을 조절하여 일정압력 이하의 콘크리트가 모두 제거되는 방식이다. 열화부위를 제거한 후 진공흡입펌프를 이용하여 보수대상을 깨끗하게 청소한 후 상판을 최대한 표면건조포화상태에 가까운 상태가 될 수 있도록 준비한다.

둘째는 VES-LMC의 효율적인 생산이다. VES-LMC 생산은 지속적인 장비의 개발(모빌믹서)로 인해, 콘크리트 제조에 사용되는 재료의 양을 리모트컨트롤 할 수 있어 균질한 품질의 콘크리트를 생산할 수 있는 방식이 사용되고 있다.

세 번째 단계는 포설 및 마무리이다. 포설은 일반의 경우와 마찬가지로 포설이 되고, 마무리는 트러스 레이저스크리드를 사용하여 평탄성을 확보하는 방식이 사용되고 있다.

표 5는 2003~2004년까지 VES-LMC가 적용된 사례를 나타내고 있다. 해당 교량은 모두 전체 단면에 걸쳐 보수가 이루어졌고, 총 보수 단면적은 21,616 m²에 달하며 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

표5. VES-LMC 현장적용사례(2003~2004)

교 량 명	시공일자	시공수량
평동육교(통영방향)-중부선250.179K	2003.09.17	32.6m ²
평동육교(하남방향)-중부선250.179K	2003.10.29 - 2003.10.30	80m ²
모현교(순천방향)-호남선107K	2003.11.26 - 2003.12.03	244m ²
송갈교(하남방향)-중부선 320K	2004.06.01 - 2004.06.03	150m ²
삼호교(하남방향)-중부선 290.16K	2004.08.23 - 2004.08.24	352m ²
속창육교(서울방향)-경부선 324.93K	2004.08.25 - 2004.08.30	330m ²
병천1교(서울방향)-경부선 323.55K	2004.09.01 - 2004.09.23	3,257m ²
평동육교(하남방향)-중부선 255.06K	2004.10.04 - 2004.10.11	1,696m ²
백곡천교(하남방향)-중부선 277.90K	2004.10.12 - 2004.10.15	1,500m ²
백곡천교(통영방향)-중부선 277.90K	2004.10.18 - 2004.10.20	750m ²
학천철육교(서울방향)-경부선 307.00K	2004.10.12 - 2004.10.15	553m ²
학천육교(서울방향)-경부선 307.00K	2004.10.18 - 2004.10.21	756m ²
1대성교(순천방향)-국도46호선	2004.10.25 - 2004.11.12	5,655m ²
삼가교(순천방향)-호남선 (94.08K)	2004.11.15 - 2004.11.16	918m ²
원평교(순천방향)-호남선 (152.31K)	2004.11.17 - 2004.11.18	1,008m ²
금호대교(금호방향)-구마선2 9.28K	2004.11.20 - 2004.11.30	4,255m ²
계	16개소	21,616m ²



3. 현장적용(1대성교)

3.1 교량제원 및 현황

아래 표 5에 VES-LMC보수대상 교량인 1대성교의 교량제원을 나타내었다. 교량형식은 PC Beam교량이고, DB-24하중을 전달하는 1등급 교량으로 설계·시공 되었다.

3.2 교량손상 상태

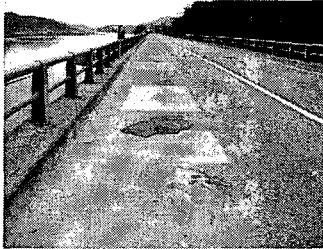
3.2.1 교량 바닥판 하부 손상상태

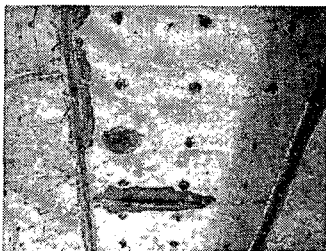
교량의 하부구조는 상부구조로부터 전달되는 하중을 지반에 전달시킬 목적으로 설치되는 구조물로서 교대 및 교각으로 구분되는데, 본 교량의 교각과 교대에서는 문제점이 발견되지 않았다.

VES-LMC 교면포장 보수는 상부구조의 보수에 국한되는 것으로 하부구조의 지나친 손상이나 열화가 진행된 교량에 적용하기 위해서는 소정의 절차를 거쳐야 한다. 하부구조가 지나치게 손상되었을 시에는 1차적으로 하부구조를 보수보강한 후 2차적으로 상부구조를 보강하는 것이 일반적인 순서라 할 수 있다. 본 교량에서도 역시 VES-LMC를 적용하기 이전에, 교량바닥판의 하부 손상상태를 파악하여 VES-LMC 공법 적용에 따른 시공 중 예상되는 문제점에 대한 대책을 수립하고, 시공관리 중점 대상 선정 및 향후 추적관리의 기초 자료로 활용하기 위하여 조사를 실시하였다.

조사결과 하부강판보강이 되어있는 구간에서는, 일부 구간에서 그림 4 a 같이 강판의 부식 현상을 볼 수 있었다. 교량의 전체 상태평가등급은 C등급으로서 평가되었다. 그러나 일부 바닥판 두께가 확보되지 않은 구간은 구조적 안정성을 확보하기 위하여 바닥판을 증가시킬 필요성이 부각되었고, 그림 4 b와 같은 펀칭홀(Punching-Hole) 현상이 발생한 구간과 하부 주철근이 노출된 구간에서는 별도의 보수작업이 선행된 후에 VES-LMC 전단면보수가 가능한 것으로 평가되었다.

표 5. 교량제원(1대성교)

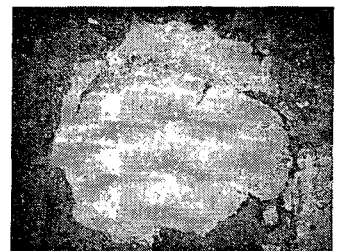
구 분	내 용	교량전경
교량위치	국도46호선	
교 량 명	1대성교(춘천방향)	
교량형식	PC Beam	
설계하중	DB-24	
교량연장	668.47m	
교 량 폭	10.0m	
보수물량	5,655m ³	



a. 하부강판 부식



b. 펀칭홀(Punching Hole)



c. 펀칭홀 보수

그림 4. 1대성교 손상상태



3.2.2 교량 바닥판 상부 손상상태

교량 바닥판의 상부는 원활한 차량의 이동, 운전자의 주행성을 확보 및 경우에 따라서는 미끄럼 방지를 통한 교통사고예방 등의 기능을 수행한다. 최근 교량들은 하부구조의 안전성에도 불구하고, 제 수명을 다하기 이전에 교면포장의 열화로 인해 주행성 저하, 교통사고 유발 등 상당한 문제점이 발생하곤 한다. 교량 바닥판 상부는 잦은 부분보수로 인해 이미 누더기화 되어 주행성 및 안전성이 심각하게 저하된 상태임을 알 수 있다. 특히, 그림 4 b와 같이 편칭홀이 발생한 부위는 심각한 교통사고의 위험을 내재하고 있기 때문에, 교량 하부구조의 안전성에도 불구하고 교량의 제 기능을 발휘하지 못하는 원인이 된다.

이렇듯 본 교량의 바닥판 상부는 잦은 부분보수로 인한 급격한 주행성저하로 크고 작은 교통사고의 원인을 내재하고 있으며, 운전자의 생명까지도 위협할 수 있는 정도의 편칭홀 등의 손상정도를 보이고 있어 전단면보수가 요구되어지는 교량이라 판단되었다.

4. 현장평가

4.1 작업성 평가

4.1.1. 재료특성에 의한 평가

초기 슬럼프 시험은 KS F 2402에 준하여 실시하였고, 현장 조건에서의 작업성 평가를 목적으로 슬럼프경시변화시험을 실시하였다. 초기 슬럼프 시험결과 모든 경우에서 슬럼프 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 물, 라텍스 등과 같은 콘크리트의 작업성에 영향을 미치는 인자들의 제어가 정확하게 이루어지고 있음을 시사하는 결과이다.

현장 콘크리트 타설시 온도가 8.0~9.0 ℃로 일정하게 유지되었기 때문에 온도변화로 인한 초기슬럼프변화의 영향은 판단할 수 없었다. 슬럼프경시변화의 경우는 실내시험의 경우 타설 30분까지 5cm 내외를 보인데 반해, 현장시험에서는 바람 등의 수분증발의 영향으로 응결시간이 다소 짧아져서, 작업시간이 일부분 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 영향이 전체적인 타설 공정에 영향을 미치지지는 않았다. 그림 5는 초기슬럼프 및 슬럼프경시변화를 나타내는 그래프이다.

4.1.2. 작업원 및 장비조합에 의한 평가

콘크리트공사 및 기타 토목공사에서 작업원의 숙련도, 기술자적 양심 및 장비의 시공능력에 따라 시공품질은 좌우된다는 것은 이미 알려진 사실이다. 따라서 작업원의 정기교육, 장비의 정기 점검상태 등이 시공품질에 지대한 영향을 미친다. 특히, 콘크리트공사의 경우 현장조건과 골재 등의 함수상태와 같은 재료조건이 콘크리트의 품질을 좌우되므로 기술자의 판단이 시공품질에 지대한 영향을 미치게 된다.

본 공사의 경우, 지속적인 장비의 개발(모빌믹서)과 작업원의 기술력 향상 및 정기교육을 통한 기술자적 양심의 배양으로 인해 처음 공법이 개발된 시기보다 작업시간이 현저하게 단축된 상태이다. 따라서 현장에서 발생할 수 있는 일부 작업성 저하로 인한 문제는 이와 같은 기술력 향상으로 극복되었다 하겠다.

4.2 강도조사

4.2.1. 파괴시험

압축강도 및 휨강도 시험시편은 KS F 2403에 준하여 현장에서 직접 제작하였으며, 소정의 경화시간이 지난 후 시편을 운반하여 충격으로 인한 시편의 손상이 없도록 하였다. 압축강도와 휨강도 시험시편은 KS F 2408 및 KS F 2423에 준하여 각각 제작하였다. 압축강도 시험은 현장 여건과 교통개방시기를 고려하여 콘크리트타설 4~6시간 사이에서의 강도를 중점적으로 조사하였고, 정밀안전진단결과 일부 교량 바닥판 두께가 부족하다고 판단되는 구간에서는 추적조사를 위하여 장기강도까지 조사하였다. 압축강도 실험은 KS F 2405, 휨강도 시험은 KS F 2408 규정에 따라 각각 실시하였고, 측정 장비는 시험실내 만능시험기(Universal Test Machine)을 사용하였다.



표 6은 현장에서 직접제작한 시편의 압축강도 및 휨강도를 나타내는 표이다. 4시간 강도가 압축강도 휨강도에서 각각 24MPa이상 4.8MPa 이상 발휘되어 소정의 강도를 만족하여 교통개방에 전혀 문제가 되지 않는 것으로 나타났다. 또한 강도의 편차가 거의 없어 양질의 콘크리트가 생산되었음을 알 수 있다.

4.2.2. 비파괴시험

비파괴 검사법은 콘크리트의 표면 강도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 판정하는 검사 방법이다. 반발 경도법은 타격법 중의 하나의 방법이며, 콘크리트의 표면을 해머로 타격하여 표면의 손상정도나 반발 정도를 측정한다. 특히, 반발경도를 구하는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법은 콘크리트의 강도에 따라 반발경도가 변화하는 점을 이용한 방법으로서 시험방법이 간편하고 국제적으로 표준화된 장점이 있다.

본 실험의 간접강도측정은 슈미트해머를 사용하여 수행하였다. 반발경도 시험은 콘크리트 타설 24시간 후의 강도를 조사하였다. 조사구간으로는 1일 타설 구간을 시작, 중간 및 종점부 세 구간으로 나누어 수행하여 각각의 구간의 측정값을 평균하여 산출하였다. 그림 6은 압축강도 추세를 나타내는 그래프이다. 약간의 VES-LMC 포설시간 차이로 인해서 시작부에서 종점부로 갈수록 강도측정치가 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 1일 강도가 전 구간에 걸쳐 30MPa 이상으로 발휘되어 기준강도를 만족하는 것으로 나타났다.

표 6. 압축강도 [단위 : MPa]

재령 타설일	4hr	5hr	6hr	7hr	8hr	27hr	7day
	압축강도						
10월 29일		25.1	27.7				
10월 30일	24.1				27.6	30.3	
11월 03일	23.6			27.4		31.0	
11월 05일	26.5			26.8			39.5
11월 09일	24.5			26.5		32.0	
	휨강도						
11월 09일	4.8			5.8		6.2	

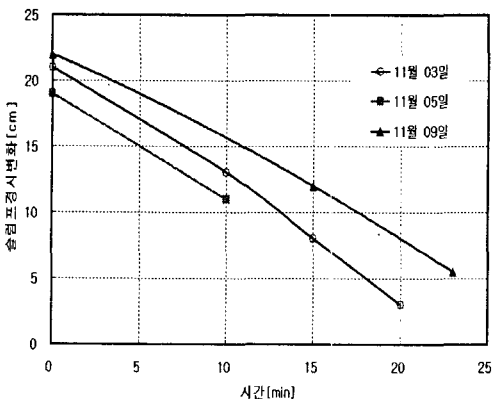


그림 5. 슬럼프 경시변화특성

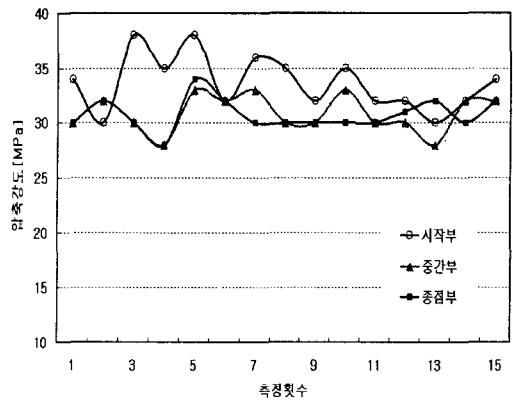


그림 6. 슈미트해머를 이용한 압축강도 결과



5. 결 론

본 논문에서는 2003~2004년에 걸쳐 실제 공용중인 교량바닥판 보수에 적용 적용된 VES-LMC의 현장적용성에 대해 기술하였다. 수차레 현장 적용을 통해 개선된 VES-LMC 교면포장보수공법은 현재 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 1대성교 보수공사를 통하여 얻어진 결론을 간략히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지속적인 VES-LMC 교면포장보수공법의 개량(열화부위의 적절한 제거, 청소장비, 콘크리트 타설 장비 및 마무리 장비)으로 적용범위가 크게 증가하고 있다.
- (2) 1대성교 보수공사를 통한 작업성 평가에서는 바람 등의 영향으로 작업성이 다소 떨어지는 결과를 나타내었다. 그러나 작업원의 숙련도 향상 및 포설면 마무리 장비의 개발(트러스 스크리트)로 인해, 전체적인 보수작업 공정에 영향을 미치지지는 않았다.
- (3) 파괴시험을 통한 강도조사 결과, 4시간 압축강도 및 휨강도가 각각 24MPa이상, 4.8MPa로 발견되어 교통개방에 필요로 하는 소정의 강도를 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 비파괴시험을 통한 강도조사 결과, 교통개방 1일 후에도 전 구간에 걸쳐 30MPa 이상으로 발견되어 강도 측면에서 상당히 양호한 결과를 보였다.

참 고 문 헌

1. 윤경구, 홍창우, 이정호, 최상룡., "초속경시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 강도 및 투수특성", 한국콘크리트학회, Vol.14, No.3, 2002. 6, pp299-306.
2. 최성용, 윤경구, 박원일, 김기현, "초속경라텍스개질 콘크리트 현장적용을 위한 장비개선", 한국콘크리트학회 Vol.6, No.2, 2004, pp769~772
3. Kuhlmann, L. A., "Performance History of Latex -Modified Concrete Overlays", ACI Publication SP-69 : Application of Polymer Concrete, 1981, pp205-218.
4. Patricia M. Buchanan(2002), "Shrinkage of Latex-Modified and Microsilica Concrete Overlay Mixtures" M. S Thesis in Virginia Polytechnic Institute and State University
5. Sprinkel, Michael M., "Very-Early-Strength Latex-Modified Concrete Overlay, " Technical Report, VTRC99-TAR3, Virginia Transportation Research Council, December, 1998.
6. Sprinkel, Michael M.(1988), "High-Early-Strength Latex-Modified Concrete Overlays." Transportation Research Record 1204, TRB, National Reserch Council, Washington, D. C, pp.42~51.