

접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 초속경화 첨가재 현장 혼합 폴리머 개질 콘크리트의 적용성 연구

Application of In-Situ Mixing Hydration Accelerator on Polymer Modified Concrete for Bonded Concrete Overlay

김영규	Kim, Young Kyu	정회원 · 강릉원주대학교 방재연구소 전임연구원 · 공학박사 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
홍성재	Hong, Seong Jae	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 · 박사수료 (E-mail : zkdwlw@nate.com)
이승우	Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Recently, bonded concrete overlay has been used as an alternative solution in concrete pavement rehabilitation since its material properties are similar to those of the existing concrete pavements. Deteriorated concrete pavements need rapid rehabilitation in order to prevent traffic jams on Korean expressways. Moreover, speedy and effective repair methods are required. Therefore, the use of bonded concrete overlay with ultra-rapid hardening cement has increased in an effort to reopen promptly the expressways in Korea. However, mobile mixer is required for ultra-rapid hardening cement concrete mixing in the construction site. The use of mobile mixer causes various disadvantages aforementioned such as limitation of the construction supply, open-air storage of mixing materials, increase in construction cost, and etc. In this study, therefore, hydration accelerator in-situ mixing on polymer modified concrete produced in concrete plant is attempted in order to avoid the disadvantages of existing bonded concrete overlay method using ultra-rapid hardening cement.

METHODS : Bonded concrete overlay materials using ultra-rapid hardening cement should be meet all the requirements including structural characteristics, compatibility, durability for field application. Therefore, This study aimed to evaluate the application of hydration accelerator in-situ mixing on polymer modified concrete by evaluating structural characteristics, compatibility, durability and economic efficiency for bonded concrete overlay.

RESULTS : Test results of structural characteristics showed that the compressive, flexural strength and bond strength were exceed 21MPa, 3.15MPa and 1.4MPa, respectively, which are the target strengths of four hours age for the purpose of prompt traffic reopening. In addition, tests of compatibility, such as drying shrinkage, coefficient of thermal expansion and modulus of elasticity, and durability (chloride ions penetration resistance, freezing-thawing resistance, scaling resistance, abrasion resistance and crack resistance), showed that the hydration accelerator in-situ mixing on polymer modified concrete were satisfied the required criteria.

CONCLUSIONS : It was known that the hydration accelerator in-situ mixing on polymer modified concrete overlay method was applicable for bonded concrete overlay and was a good alternative method to substitute the existing bonded concrete overlay method since structural characteristics, compatibility, durability were satisfied the criteria and its economic efficiency was excellent compare to the existing bonded concrete overlay methods.

Keywords

Bonde Concrete Overlay, Hydration Accelerator In-Situ Mixing, Polymer Modified Concrete, Structural Characteristics, Compatibility, Durability

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor
Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National
University, 7, Jukheon-Gil, Gangneung City, Gangwon Province, Korea
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.641.1391
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Dec. 10, 2014 Revised Dec. 11, 2014 Accepted Jun. 2, 2015

1. 서론

노후화된 콘크리트 포장은 구조적/기능적 성능이 저하되어 도로이용자의 불편을 초래하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 노후화된 콘크리트 포장의 유지보수 시 덧씌우기 공법을 적용하고 있으며, 이를 통한 기존 콘크리트 포장의 구조적/기능적 성능을 회복시키고 있다(ACPA, 2008). 국내의 경우 1983년부터 콘크리트 포장이 본격적으로 시행된 이후 산업의 급격한 발달과 증차량의 증가로 꾸준하게 신설 및 확장되어 왔다. 최근 들어 콘크리트 포장의 공용연수가 10년 이상 경과된 노선이 늘어남에 따라 많은 구간에서 열화에 의한 파손이 발생되어 유지보수 및 재건설을 필요로 하고 있다(이승우 외, 2011).

덧씌우기 공법은 노후화된 콘크리트 포장과의 단일거동을 위하여 유사한 물성을 나타내는 포장재료를 사용하는 것이 유리하나, 국내의 경우 시공경험이 풍부하고 저렴하며, 조기교통개방을 실시할 수 있는 아스팔트 덧씌우기 공법을 일반적으로 사용하고 있다. 그러나 아스팔트 덧씌우기의 경우 기존 콘크리트 포장과의 재료물성 및 열팽창계수 등의 특성이 상이하여 줄눈부에서 발생하는 반사균열과 함께 포트홀 등의 다양한 포장 파손으로 인하여 잦은 유지보수를 시행하고 있다. 이로 인하여 국내의 경우 콘크리트 포장의 효과적인 유지보수 공법을 필요로 하게 되었으며, 기존 콘크리트 포장의 구조적 파손을 예방하고 공용성을 확보하기 위한 방안으로 접착식 콘크리트 덧씌우기에 관한 연구를 수행하였다(한국도로공사, 1997). 접착식 콘크리트 덧씌우기는 교통량 증가 및 증차량에 대한 하중지지 능력이 우수하고, 기존 콘크리트 포장과의 재료물성이 유사하여 유지보수 후 포장 파손 발생이 적다는 장점이 있다. 또한 최근 들어 다양한 초속경성 재료의 도입으로 콘크리트 덧씌우기의 조기 교통개방 성능을 확보하여 국내 현장 적용실적이 증가하고 있는 추세이다(김영규 외, 2013).

접착식 콘크리트 덧씌우기의 장단기 공용성을 확보하기 위한 방안으로는 기존 콘크리트 포장층이 건전해야 하며, 적정 부착성능을 확보하여 완전부착을 통한 일체화 거동을 나타내야 한다. 따라서 구조적으로 기존 콘크리트 포장과 동질재료를 사용하는 것이 적합하나 국내 고속도로와 같이 교통량이 많은 구간의 경우 짧은 시간 동안 보수공사가 이루어져야 하므로 조기 교통개방성 및 부착력 확보 등을 위하여 고가의 속경 또는 초속경 콘크리트 덧씌우기 공법의 사용이 불가피하다. 또한 접착식 콘크리트 덧씌우기의 부착강도 및 휨강도 증진과

함께 염소이온의 확산을 방지하고자 고분자 폴리머 재료를 콘크리트에 혼입하여 시공할 수 있는 공법이 개발되어 활발히 시공되어 왔다. 그러나 신속한 양생을 위하여 사용되는 초속경 시멘트의 경우 작업성 및 경제성을 저하시키는 주요 원인으로 작용하고 있으며 초속경 폴리머 개질 콘크리트는 재료의 특성상 일반 콘크리트 생산공장에서 배합하여 운반할 수가 없기 때문에 현장에서 바로 배합하여 타설할 수 있도록 모바일 믹서와 같은 특수한 전용 시공장비를 보수현장에 설치해야하는 제약이 있다. 모바일 믹서의 경우 배합속도가 현저히 느리며, 시멘트 및 골재 등의 원재료를 현장 부근에 적치 보관해야 하므로 혼잡한 도심지에서는 적절한 공간확보가 어려울 수 있다. 또한 기상상황에 따라 골재의 함수율 변동이 심하여 품질관리가 용이하지 못하며 모바일 믹서 장비 구성의 한계로 인하여 콘크리트의 물성 향상과 품질관리가 용이하지 않다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 기존공법들의 단점을 보완하기 위하여 모바일 믹서를 사용하지 않고 폴리머 개질 콘크리트를 콘크리트 생산공장에서 안정적으로 혼합하여 보수현장으로 이동한 후 초속경화 첨가제를 현장 혼합하여 초속경성을 확보할 수 있는 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 대한 적용성을 검토하였다. 이를 통하여 초속경 시멘트의 사용을 제한하면서 최적화된 조성의 폴리머 및 초속경화 첨가제를 이용하여 접착식 콘크리트 덧씌우기의 시공성 및 경제성을 향상시키고자 하였다.

2. 초속경화 첨가제 현장 혼합 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기의 특성

2.1. 공법의 정의

접착식 콘크리트 덧씌우기는 기존 콘크리트 포장의 파손상태가 비교적 양호한 경우 시행하여 구조적, 기능적 개선을 위한 것으로 기존 콘크리트 포장 위에 콘크리트를 접착시키는 공법이다. 일반적으로 기존 포장층과 덧씌우기층을 단일체에 가깝게 접착시키는 것이 포장체의 구조적 강화에 매우 효과적이라는 관점에서 비롯된 것으로 층간 부착이 매우 중요하다. 기존 콘크리트 포장이 실질적으로 재시공이 필요하거나 D형 균열 등의 내구성에 문제가 있는 경우를 제외하면 노후화된 콘크리트 포장에 널리 사용할 수 있는 보수공법이다(ACPA, 2008).

접착식 콘크리트 덧씌우기는 구조적인 관점에서 기존

콘크리트 포장과 동질재료를 사용하는 것이 적합하나 국내의 경우 상시 교통량이 많으며 짧은 시간 동안 보수 공사가 이루어져야 하므로 조기 교통개방성 및 부착력 확보 등을 위하여 일반적으로 초속경 콘크리트 재료를 사용하고 있으며, 접착식 콘크리트 덧씌우기의 성능 개선을 위하여 고분자 폴리머 재료를 콘크리트에 혼입하는 다양한 공법이 개발되어 현장 적용이 이루어지고 있다(김영규, 2014). 그러나 신속한 양생을 위하여 사용되는 초속경 시멘트의 경우 작업성 및 경제성을 저하시키는 주요 원인으로 작용하고 있으며 초속경 폴리머 개질 콘크리트는 재료의 특성상 일반 콘크리트 생산공장에서 배합하여 운반할 수가 없기 때문에 현장에서 바로 배합하여 타설할 수 있도록 모바일 믹서와 같은 특수한 전용 시공장비를 보수현장에 설치해야하는 제약이 있다. Fig. 1은 기존의 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 작업공정을 나타낸 것으로 작업구간을 확인하여 신속하게 교통차단을 실시한 후 단면절삭, 콘크리트 포설장비 및 모바일 믹서 배치, 콘크리트 생산, 포설, 거친면 마무리, 양생, 수축줄눈 설치, 교통개방 순으로 실시된다. 이와 같이 기존의 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 경우 모바일 믹서를 사용하는 현장배합의 특성 상 재료 적치, 모바일 믹서 투입 및 생산 등의 복잡한 공정과 장비 조합의 원인으로 시공비의 증가 및 일일 시공능력의 한계가 존재한다.

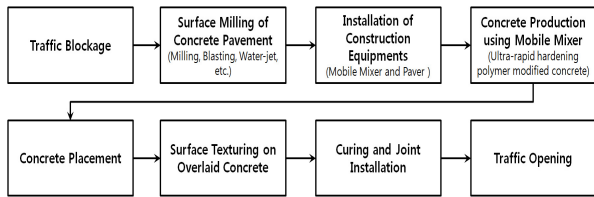


Fig. 1 Restoration Process of Existing Bonded Concrete Overlay Methods

본 연구에서는 기존 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 단점을 보완하고자 Fig. 2와 같이 모바일 믹서를 사용하지 않고 일반적인 콘크리트와 폴리머를 콘크리트 생산공장에서 안정적으로 혼합하여 보수현장으로 이동한 후 초속경화 첨가제를 현장 혼합하여 초속경성을 확보할 수 있는 초속경화 첨가제 현장 혼합 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기(이하 CRS; Concrete Resurfacing by Semi-concrete) 공법을 모색하였다. 본 공법을 사용하여 접착식 콘크리트 덧씌우기 시공 시 기존 콘크리트의 전처리과정 및 콘크리트 포설 이후 시공과정은 동일하나 콘크리트 생산공장에서 폴리머 에멀전을 혼합한

레디믹스트 콘크리트를 생산한 후 레미콘 차량으로 현장까지 이송하며, 도로 보수 현장에서는 전단믹서를 사용하여 초속경화 첨가제를 혼합한 후 포설공정을 진행할 수 있다. 본 연구에서 사용한 폴리머의 경우 고분자 계면활성제를 사용하여 초기 콘크리트의 재료분리, 필름형상 및 슬럼프 손실을 방지하였다. 따라서 폴리머가 첨가된 콘크리트 혼합물은 이송거리 및 시간에 제약을 받지 않고 장거리 운송이 가능하며, 해상운송 및 펌프카를 이용하는 원거리 이송 또한 가능하게 된다. 또한 콘크리트 생산공장에서 콘크리트를 제조함으로써 원재료의 상태를 일정하게 유지할 수 있으며, 모든 재료의 정량계량이 가능하여 슬럼프 및 공기량 등의 요구 품질에 적합한 콘크리트를 생산할 수 있다. 따라서 초속경 시멘트의 사용을 제한하면서 접착식 콘크리트 덧씌우기에 최적화된 폴리머 및 초속경화 첨가제를 사용하여 시공성 및 경제성을 향상시킬 수 있다.

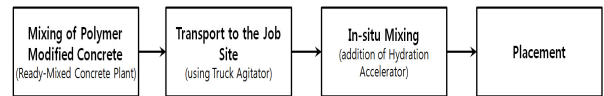


Fig. 2 Characteristics of CRS (Concrete Resurfacing by Semi-concrete) Method

2.2. 재료 특성

일반적인 시멘트의 입자를 구성하는 시멘트 화합물 (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF 등)은 물과 반응하여 수화물을 생성 및 유동성이 없어지면서 응결하고 시간이 더 경과함에 따라 수화반응이 진행되어 경화한다(Mehta et al., 2006). 초속경시멘트의 경우 물이 가해지면 C_4A_3S 가 $Ca(OH)_2$ 무수석고 등과 반응하여 $Al(OH)_3$, $C-A-H$, C_3ACSH_{12} 등의 수화물을 생성하기 시작한다. 이 수화물은 $CaSO_4$ 의 용해분과 연속적으로 반응하여 칼슘알루미늄모노설페이트 수화물 ($C_3A \cdot CS \cdot H_{12}$)이나 에트린자이트($C_3A \cdot 3CS \cdot H_{32}$)를 생성하여 우수한 초기강도를 발현하게 되며, 칼슘실리케이트 상의 수화반응에 의해 에트린자이트 수화물 골격사이에서 $C-A-H$ 수화물이 생성되어 안정적으로 장기강도가 증진된다(김현호, 2002). 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 기존공법에서는 초기 및 장기강도 발현을 위하여 초속경 시멘트를 사용해야 하며 공법의 특성상 모바일 믹서를 사용하여 현장 배합을 실시해야 한다. 그러나 모바일 믹서의 경우 시간당 $7m^3$ 의 콘크리트만을 배합할 수 있기 때문에 시간당 시공할 수 있는 작업량이 매우 작다는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 콘크리트 생산공장에서 일반적

인 콘크리트 생산 시 폴리머를 혼합하여 도로 보수 현장으로 이송한 후 전단믹서를 사용하여 초속경화 첨가제를 추가하는 방식을 도입하였다. 콘크리트 생산공장에서 혼합되는 폴리머의 경우 아크릴에멀전 수지, 고분자 계면활성제, 글리세린, 아민계 강도촉진제, 알루미늄계 수화촉진제 및 감수제가 혼합된 것으로, 기존 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 사용된 초속경 폴리머 개질 콘크리트의 경우 현장 배합 시 콘크리트의 유동성이 20~30분 정도로 짧게 유지되는 특성이 있었으나 본 연구에 사용된 폴리머의 경우 고분자 계면활성제를 사용하여 콘크리트의 이상응결과 슬럼프 손실을 방지하였다.

또한 레미콘으로 운반된 폴리머 개질 콘크리트의 속경성을 발현하고자 초속경화 첨가제를 현장 혼합하여 고가의 초속경 시멘트의 성능을 대체하였다. 이를 통하여 초속경 시멘트를 사용하지 않고 동일조건 및 동일시간에 월등히 많은 콘크리트 혼합물을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 폴리머 개질 콘크리트의 장단기 강도를 증진시키고자 하였다. 사용된 초속경화 첨가제는 고강도재, 급결재, 발열재, 응결촉진제, 안정제, 지연제 및 고성능

감수제로 구성되었다. 고강도재료의 경우 침강실리카, 실리카폼 및 II형 무수석고로 이루어졌으며, 비정질칼슘알루미네이트(Amorphous $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$; C12A7) 및 CSA($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$; $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$)로 구성된 급결재, 규산나트륨분말(Na_2SiO_3 ; sodium silicate)과 티널화이트(Al_2O_3) 및 리튬카보네이트로 구성된 응결촉진제, 고보수성폴리머로 이루어진 안정제 및 폴리카르본산계 고성능 감수제로 구성된다.

2.3. 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장 재료의 적용 기준

덧씌우기를 위한 국내 시멘트 콘크리트는 교통개방까지의 양생시간을 고려하여 보통형, 조강형 및 초속경형으로 구분하며, 일반적으로 보통 포틀랜드 시멘트, 조강 포틀랜드 시멘트 및 초속경 시멘트 또는 첨가제로 급경화제를 사용한다. 본 연구에서 사용된 접착식 콘크리트 덧씌우기 재료는 콘크리트 생산공장에서 제조된 폴리머 개질 콘크리트를 초속경성 재료 특성을 만족하기 위하여 초속경화 첨가제를 사용하고 있으며, 충분한

Table 1. Criteria for Bonded Concrete Overlay using Ultra Rapid Hardening Cement

Test types		Application Standard	Required Criteria	
			Bridge Deck Pavement	Mainline Pavement
Structural Characteristics	Compressive Strength (MPa)	KS F 2405	above 21 (4 hours curing)	above 21 (4 hours curing)
	Flexural Strength (MPa)	KS F 2408	N/A	above 3.15 (4 hours curing)
	Bond Strength (MPa)	KS F 2762	above 1.4 (4 hours curing)	above 1.4 (4 hours curing)
Compatibility	Drying Shrinkage (%)	KS F 2762	below 0.15 (1~7 days)	below 0.15 (1~7 days)
	Coefficient of Thermal Expansion ($1/^\circ\text{C}$)	AASHTO T336-11 (AASHTO TP 60)	$4.0 \sim 20.0 \times 10^{-6}$ (7 days curing)	$4.0 \sim 20.0 \times 10^{-6}$ (7 days curing)
	Modulus of Elasticity (MPa)	KS F 2438	$1.13 \sim 7.8 \times 10^{-4}$ (7 days curing)	$1.13 \sim 7.8 \times 10^{-4}$ (7 days curing)
Durability	Chloride Ions Penetration Resistance (coulomb)	KS F 2711	below 1,000 (28 days curing)	below 2,000 (7 days curing)
	Freezing-Thawing Resistance (%)	KS F 2456	above 80 (28 days curing)	above 80 (14 days curing)
	Scaling Resistance (56cycle, kg/m^2)	SS 13 72 44 (A Type)	above Acceptable	above Acceptable
			less than 1.0 (28 days curing)	less than 1.0 (7 days curing)
	Abrasion Resistance(mm)	ASTM C 779 (B Type)	below 2.0 (during 30 minutes, 7 days curing)	below 2.0 (during 30 minutes, 7 days curing)
Crack Resistance	ASTM C 1581	No-crack (1~56 days)	N/A	

작업성 확보 및 조기 교통개방이 가능해야 하므로 성공적인 시공을 위하여 사용재료의 적정기준이 요구된다. 이를 위하여 Table 1에 제시한 바와 같이 한국도로공사에서 제시하고 있는 초속경 계열의 상용시험항목 및 품질기준인 구조특성, 적합특성 및 내구특성을 만족해야 한다.

3. CRS 공법의 배합 특성

3.1. 사용재료

국내 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 공용 중인 도로의 긴급보수공사를 수행해야 하므로 시공초기에 높은 압축강도 및 부착강도를 발현해야 하며, 시공 시 충분한 작업성을 확보해야 한다. 따라서 기존 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에서는 초속경 시멘트를 전량 사용하여 초속경 폴리머 개질 콘크리트를 현장 배합하는 방법을 사용하였으나 본 연구에서는 콘크리트 생산공장에서 제조된 폴리머 개질 콘크리트를 현장으로 운반하여 초속경화 첨가제 혼합을 통한 초속경성을 발현할 수 있다. 본 연구를 진행하기 위하여 물/시멘트비, 잔골재율, 초속경화 첨가제 치환율 및 혼화제 사용량 등의 다양한 배합 변수를 고려하여 슬럼프, 응결시간 및 압축강도에 대한 사용 가능성을 판단하였다. 1차 배합된 폴리머 개질 콘크리트의 경우 초결 전 재료분리, 필름현상 및 슬럼프 저하가 발생하지 않도록 적정 슬럼프를 유지해야 하며, 최종적으로 Table 2와 같이 슬럼프(15~22cm), 공기량(5~7%) 압축강도(4시간 기준 21MPa 이상) 및 응결시간(초결 25~40분, 종결 40~60분)을 만족하는 시방배합을 도출하여 이에 대한 구조특성, 적합특성 및 내구특성을 판단하고자 하였다. 이에 폴리머 개질 콘크리트의 배합을 선행하여 슬럼프와 공기량을 측정하였으며 일정시간 경과 후 초속경화 첨가제를 추가 혼합하였다.

Table 2. Mixture Proportion of Concrete

G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a(%)	Content (kg/m ³)						
			Water	Polymer	Binder		Fine Agg.	Coarse Agg.	Etc.
					Cement	Hydration Accelerator			
19	45	42	108	71	300	120	719	951	Retarder (C×0.8%) Defoaming agent (C×0.6%)

3.2. 작업성 확보를 위한 CRS 공법의 배합 특성

작업성 확보와 조기 교통개방이 가능한 CRS 공법 재료의 구조특성, 적합특성 및 내구특성을 평가하기 위하여 합리적인 콘크리트 배합 선정이 우선 시 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 Table 2에서 제시한 CRS 공법의 사용배합에 대하여 Fig. 3과 같이 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하여 요구성능에 만족하는 사용재료의 작업성 확보 가능성을 확인하였다.



(a) Concrete Slump



(b) Air Contents



(c) Setting Time

Fig. 3 Fundamental Evaluation of CRS Mixture

Table 3은 CRS 공법의 배합특성을 나타낸 것으로 폴리머 개질 콘크리트의 경우 슬럼프 측정결과 흐름의 결과를 나타내었으나 운반시간을 고려하여 일정시간 경과 후 초속경화 첨가재를 혼합한 경우 210mm의 슬럼프를 확보하여 시공 시 콘크리트 타설 후 공정상의 지체시간이 없을 경우 충분한 작업성을 확보할 것으로 판단하였다. 또한 기존 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 사용된 초속경 폴리머 개질 콘크리트의 경우 현장 배합 시 콘크리트의 유동성이 짧게 유지되는 특성이 있으나 본 연구에 사용된 폴리머의 경우 고분자 계면활성제를 사용하여 콘크리트의 슬럼프 손실을 방지하였다. 공기량의 경우 소포제 사용을 통하여 AB콘크리트의 공기량 범위인 6%를 확보하였으며, 이를 통하여 동결융해에 대한 저항성이 충분할 것으로 판단된다. 또한 초기강도를 발현하기 위하여 사용된 초속경화 첨가제의 특성을 확인하고자 응결시간을 측정한 결과 25분 내외에서 초결이 진행되었으며 40분 내외에서 종결하여 충분한 작업성을 확보할 것으로 판단된다.

Table 3. Mixing Characteristics of CRS Method

	Test results
Slump	Polymer modified concrete : flow after hydration accelerator in-situ mixing : 210mm
Air contents	6%
Setting time	Initial set (25 min.), Final set (40 min.)

4. 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 CRS 공법의 적용성 평가

국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 적용을 위한 CRS 공법의 경우 콘크리트 생산공장에서 제조된 폴리머 개질 콘크리트를 초속경성 재료특성을 확보하기 위하여 초속경화 첨가재를 사용하며, 이에 Table 1에서 제시한 바와 같이 초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기 재료의 요구특성을 만족해야 한다. 따라서 본 연구에서는 CRS 공법의 구조특성, 적합특성 및 내구특성 검토와 함께 대용량 시공 및 장비조합의 간소화에 따른 경제성 확보 특성을 고찰하였다.

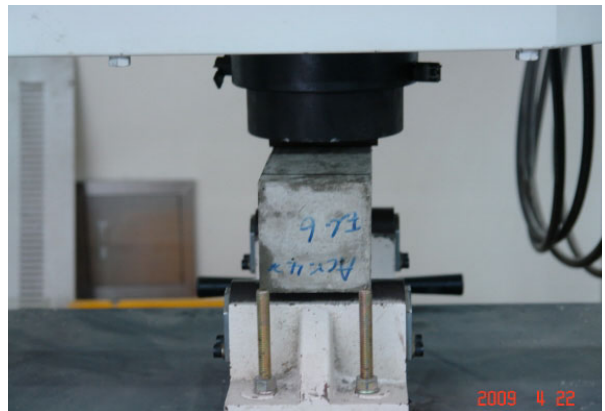
4.1. 구조특성 검토

대용량 초기 교통개방이 가능한 CRS 공법의 구조특성 검토항목으로는 압축강도, 휨강도 및 부착강도가 있

다. 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 고속도로와 같이 교통량이 많은 구간에 적용하기 때문에 짧은 시간 동안 보수공사가 이루어져야 하므로 초기 교통개방성이 매우 중요하다. 이에 초속경성 재료를 사용하는 접착식 콘크리트 덧씌우기는 배합 후 4시간 이내에 21MPa 이상의 압축강도와 3.15MPa 이상의 휨강도를 확보해야 한다. 또한 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 기존 콘크



(a) Measurement of Compressive Strength and Modulus of Elasticity



(b) Flexural Strength Measurement



(c) Bond Strength Measurement by Pull-out Test

Fig. 4 Structural Characteristics Measurements

리트포장과 덧씌우기층과의 부착력 부족으로 인한 파손이 확대되는 경우가 빈번히 발생하므로 적정 부착강도 이상의 높은 부착력 확보가 필수적이며, 배합 후 4시간 이내에 1.4MPa 이상의 부착강도를 확보해야 한다. 따라서 본 연구에서는 직접인발실험을 통하여 기존 콘크리트 포장층과 CRS 공법이 적용된 덧씌우기층 사이의 부착강도를 평가하였다.

압축강도는 KS F 2405를 참조하여 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 실린더형 공시체를 제작한 후 재령 4시간을 기준으로 측정하였으며, 경화 콘크리트 공시체의 휨 강도 시험은 KS F 2408에 따라 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 의 크기로 제작된 시편을 사용하였다. 또한 기존 콘크리트 포장과 CRS 공법이 적용된 덧씌우기층 사이의 부착 특성을 확인하기 위하여 KS F 2762에 제시된 직접인발실험을 통한 부착강도를 평가하였다. 부착강도 측정 시 보통 포트랜드 시멘트 콘크리트 시편을 사전 제작한 후 양생을 실시하였으며, CRS 공법 재료를 5cm 덧씌우기하여 재령 4시간 경과 시 직접인발실험을 진행하였다. Fig. 4는 CRS 공법의 구조특성을 검토하기 위한 압축강도, 휨강도 및 부착강도 측정과정을 나타낸 것이다.

Table 4는 초속경화 첨가재를 혼합한 폴리머 개질 콘크리트의 압축강도, 휨강도 및 부착강도 측정결과를 나타낸 것이다. 재령 4시간 경과 후 압축강도는 23MPa, 휨강도는 3.51MPa를 확보하여 초속경 시멘트를 대체하는 초속경화 첨가재의 초기강도 발현 특성을 확인할 수 있으며, 신속한 조기 교통개방을 위한 CRS 공법의 접착식 콘크리트 덧씌우기 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 부착강도 측정결과 재령 4시간에서 평균 1.7MPa를 확보하여 기준치인 1.4MPa를 상회하는 결과를 나타내었다. 이를 통하여 CRS 공법의 부착강도 특성이 매우 우수한 것을 확인하였으며 기존 콘크리트와의 부착력 부족으로 인해 발생할 수 있는 초기 부착균열 및 파손의 영향은 적으로 것으로 판단된다.

Table 4. Structural Characteristics of CRS Method

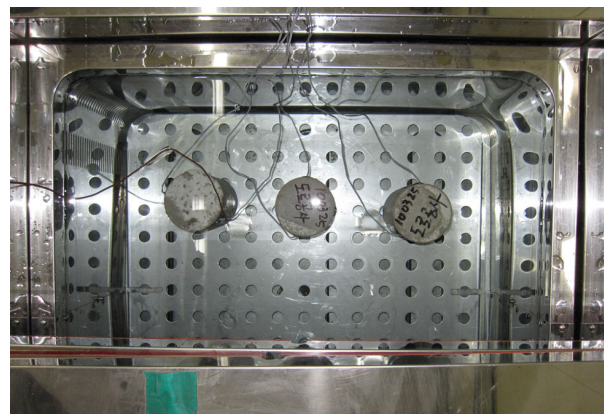
	Application Standard	Required Criteria	Test Results
Compressive Strength (MPa)	KS F 2405	21	23
Flexural Strength (MPa)	KS F 2408	3.15	3.51
Bond Strength (MPa)	KS F 2762	1.4	1.7

4.2. 적합특성 검토

초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기의 적합특성 검토 항목은 건조수축, 열팽창계수 및 탄성계수가 있으며, Fig. 5는 CRS 공법 재료의 적합특성 측정과정을 나타낸 것이다. 건조수축은 콘크리트가 응결 및 경화 후 함유된 수분을 잃고, 콘크리트의 건조에 의해 부재의 길이 혹은 체적이 감소하는 성질로써 콘크리트 포장 덧씌우기 시공 시 건조수축으로 인한 기존포장과 시공단면사이의 마찰에 의하여 덧씌우기 단면에 균열이 발생할 수 있으므로 반드시 검토해야 한다. 본 연구에서는 KS F 2726에 의한 건조수축실험을 수행하였으며, $400\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 크기에 시편에 강력접착제를 이용하여 15cm 간격으로 디택 게이지를 설치한 후 공시체의 길이 변화를 측정하였다. 타설 후 온도 20℃의 습윤상태에서 양생하여 탈형 후 1회 및 재령 7일째 2회를 측정하였으며, 온도 20℃ 및 습도 60%의 항온항습실에 보관하여 지속적인 건조수축 길이변화를 측정하였다. 열팽창계수는 AASHTO T336-11에 따라 제작된 시편을 7일 양생 후 수침상태에서 온도변화 (10~50℃)에 따른 시험체의 변형률을 측정하였다. 또한 탄성계수의 경우



(a) Drying Shrinkage Measurement



(b) Measurement of Coefficient of Thermal Expansion

Fig. 5 Compatibility Measurements

압축강도 공시체를 7일 양생 후 Fig. 4(a)에서 제시된 것과 같이 LVDT(변위센서)를 2개 설치하여 변형률 측정에 따른 탄성계수를 도출하였다.

Table 5는 CRS 공법의 건조수축, 열팽창계수 및 탄성계수 측정결과를 나타낸 것이다. 건조수축은 초기균열 및 장기내구성에 큰 영향을 미치는 인자로 재령 7일 차에 길이변화를 측정된 결과 0.03%의 건조수축량을 나타내었다. 이는 적용기준 0.15% 이하보다 현저히 낮은 수치로써 건조수축에 의한 초기균열 방지 및 장기적인 내구성 확보가 가능할 것으로 판단된다. 열팽창계수 또한 적용기준 $4.0\sim 20.0\times 10^{-6}$ 범위를 만족하는 5.5×10^{-6} 를 나타내었다. 탄성계수 측정결과 2.39×10^4 MPa를 나타내어 초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기의 적합특성에 만족하였다.

Table 5. Compatibility of CRS Method

	Application Standard	Required Criteria	Test Results
Drying Shrinkage (%)	KS F 2762	below 0.15 (1~7 days)	0.03
Coefficient of Thermal Expansion ($1/^{\circ}\text{C}$)	AASHTO T336-11 (AASHTO TP 60)	$4.0\sim 20.0\times 10^{-6}$ (7 days curing)	5.5×10^{-6}
Modulus of Elasticity (MPa)	KS F 2438	$1.13\sim 7.8\times 10^4$ (7 days curing)	2.39×10^4

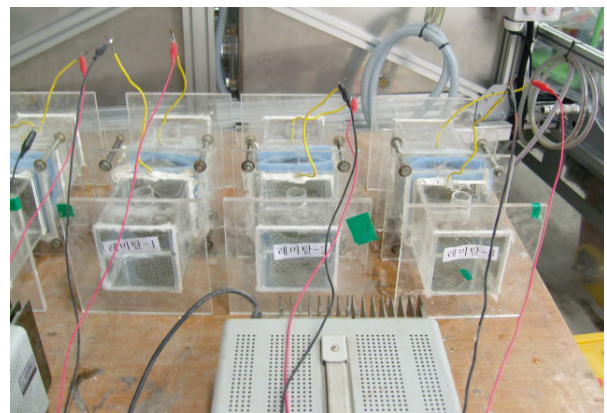
4.3. 내구특성 검토

Table 4에서 제시한 바와 같이 초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기의 내구특성 검토항목은 염분침투저항성, 동결융해저항성, 스케일링저항성 및 마모저항성이 있다. 국내의 경우 계절별, 일별 온도차가 크게 발생하기 때문에 동결융해저항성은 도로포장에서 매우 중요한 요소이다. 이를 위하여 CRS 공법 재료의 동결융해 급속 반복 사이클에 대한 저항성을 평가하기 위한 실험으로 KS F 2456에 따라 공기 중에서 급속동결하여 수중에서 융해시키는 반복된 실험과정을 수행하였다. Fig. 6과 같이 시편의 크기는 $412\text{mm}\times 101\text{mm}\times 76\text{mm}$ 로 제작하였으며, 동결융해 사이클은 공시체의 온도를 2~4시간 사이에서 교대로 4°C 에서 -18°C 로 떨어뜨리고 -18°C 에서 4°C 로 상승하는 과정을 반복하여 총 300사이클 동안 무게감소 및 동탄성계수 변화를 측정하였다. 염분침투저항성은 콘크리트의 염소이온 침투에 대한 저항성을 빠른 시간에 알아내기 위한 목적으로 KS F 2711에 따라 콘

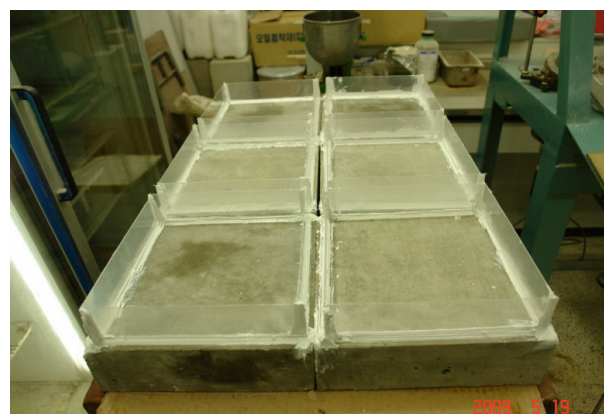
크리트의 전기 전도도를 결정하는 실험을 실시하였다. 실험 공시체는 신뢰도를 높이기 위해 $\phi 100\times 200\text{mm}$ 공시체의 가운데 부분을 두께 5cm로 커팅하여 거치하였으며, 용액은 증류수에 시약등급의 염화나트륨 3.0%를 가한 염화나트륨 수용액과 0.3M 수산화나트륨 용액을 제조하여 실험을 실시하였다. 스케일링저항성의 경우 고체염화물 제설제의 살포는 시간이 경과함에 따라



(a) Freezing-Thawing Resistance



(b) Chloride Ions Penetration Resistance



(c) Scaling Resistance

Fig. 6 Durability Measurements

차로에서 도로 가장자리로 흩어지고 백색의 염화물 제설제 분말이 차로에 남아있게 된다. 그러나 염화물 제설제의 분말은 제거되지 않고 일정기간 동안 낮에는 백색 가루로 존재하다가 밤과 낮의 온도차로 인해 동결융해 현상이 반복됨에 따라 표면박리현상이 발생되어 도로 포장의 내구성 및 공용성을 저하시킨다. 따라서 본 연구에서는 표면박리현상에 따른 저항성을 검토하였으며, SS 13 72 44 A법에 의거하여 표면박리를 통한 육안관찰을 매 5사이클 마다 측정하여 총 50사이클을 수행하였다. 시편의 사이즈는 300mm×300mm×100mm로 제작하여 시험체의 가장자리 15mm에 깊이 20mm로 커팅을 실시하여 아크릴판을 부착하였으며, 침투용액은 증류수에 3%의 염화칼슘을 용해시켜 사용하였다. 표면박리 저항성을 평가하기 위하여 17시간동안 -18℃에서 동결하였으며, 7시간은 상온에서 융해과정을 거치는 1 사이클을 총 56사이클 동안 반복 수행하였다.

Table 6은 CRS 공법 재료의 내구특성 검토결과를 나타낸 것으로 염분침투저항성, 동결융해저항성, 스케일링저항성, 마모저항성 및 균열저항성을 모두 만족하였다. 염분침투저항성의 경우 수정통과전하량은 763C로 나타나 매우 낮은 수준(100~1,000C)로 평가되었다. 이에 따라 해안가 지역의 염분유입 및 제설제 사용으로 인한 도로포장의 파손은 적을 것으로 판단된다. 동결융해저항성 실험결과 90%의 상대동탄성계수를 나타내었으며, 28일 양생에 대한 적용기준 80% 이상을 만족하여 동결융해에 따른 장기적인 내구성 측면에서 우수할 것으로 판단된다. 스케일링저항성 실험 후 시편의 무게 변화는 거의 발생하지 않았으며 육안관측에 의한 표면상태의 경우 기준치 이상을 만족하였다. 마모저항성은

시험장비를 30분 가동 후 마모깊이를 측정한 결과 적용 기준 2.0mm 이내인 0.6mm를 나타내어 차륜에 의한 장기적인 마모는 적을 것으로 판단하였으며, 균열저항성의 경우 56일간 제작된 시편의 균열 발생여부를 측정한 표면상태가 매우 건전하였다.

4.4. CRS 공법의 경제성 고찰

국내의 경우 고속도로와 같이 교통량이 많은 구간의 경우 짧은 시간 동안 보수공사가 이루어져야 하므로 조기 교통개방성 및 부착력 확보 등을 위하여 초속경 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기 공법을 사용하고 있다. 그러나 신속한 강도발현을 위하여 사용되는 초속경 시멘트의 경우 작업성 및 경제성을 저하시키는 주요 원인으로 작용하고 있으며 초속경 폴리머 개질 콘크리트는 재료의 특성상 일반 콘크리트 생산공장에서 배합하여 운반할 수 없기 때문에 현장에서 바로 배합하여 타설할 수 있도록 모바일 믹서와 같은 특수한 전용 시공장비를 보수현장에 설치해야하는 제약이 있다. 모바일 믹서의 경우 시간당 7m³의 콘크리트 배합능력을 확보하여 기존 초속경성 재료를 사용하는 접착식 콘크리트 덧씌우기의 일일 작업량은 30m³ 내외가 되며, 이는 평균 보수두께 8cm, 1차로 폭 4.1m 기준으로 약 90m의 공정을 진행할 수 있다. 반면에 콘크리트 생산공장에서 일반적인 콘크리트 생산 시 폴리머를 혼합하여 도로 보수현장으로 이송한 후 전단믹서를 사용하여 초속경화 첨가재를 추가혼합하는 방식의 CRS 공법은 일일 작업량을 최대 100m³을 확보할 수 있으며, 1차로 기준 약 300m의 공정을 진행하여 기존 초속경성 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기와 비교 시 3배 이상의 보수공사를 진행할 수 있다.

기존 접착식 콘크리트 덧씌우기의 배합공정 상 모바일 믹서를 사용하여 현장에서 직접 재료를 혼합할 경우 시멘트 및 골재 등의 배합재료들을 포대에 담아 야적한 후 작업당일 상차 및 운반하여 모바일 믹서로 이적해야 하므로 추가적인 장비 및 인력의 활용이 불가피하다. 그러나 초속경성을 발현하기 위한 CRS 공법의 경우 모바일 믹서가 불필요하며, 재료운반량 극소화(100m³ 생산 기준으로 기존방법 230ton, CRS 공법 12ton)와 이적장비 등이 불필요하나 현장 재혼합용 배치믹서가 필요하다. 따라서 국내 콘크리트 포장 보수를 위하여 일반적으로 사용되는 초속경성 폴리머 개질 콘크리트를 CRS 공법으로 대체할 경우 3배 이상의 일일 작업량을 확보할 수 있으며 모바일 믹서 사용에 따른 기계경비 및 노무비를 감소시켜 직접공사비를 기준으로 약 40%의 초

Table 6. Durability of CRS Method

	Application Standard	Required Criteria	Test Results
Chloride Ions Penetration Resistance (7 days curing, coulomb)	KS F 2711	below 1,000 (bridge deck) below 2,000 (mainline)	763
Freezing-Thawing Resistance (%)	KS F 2456	above 80	90
Scaling Resistance (56 cycles, kg/m ²)	SS 13 72 44 (A Type)	above Acceptable (less than 1.0)	Good (mo=0.16)
Abrasion Resistance (mm)	ASTM C 779 (B Type)	below 2.0 (during 30 minutes, 7 days curing)	0.60
Crack Resistance	ASTM C 1581	No-crack (1~56 days)	No-crack

기 시공비를 저감시킬 수 있다. 또한 노후화 된 콘크리트 포장의 일반적인 가열아스팔트 덧씌우기 공법과 비교 시 일일 작업량 및 초기 공사비는 유사할 것으로 판단되나 아스팔트 덧씌우기의 특성상 기존 콘크리트 포장과의 재료적 물성이 상이함으로 일체화 거동이 불가하여 소성변형 및 부차면 파손을 포함하는 잦은 파손으로 유지보수비용이 증가하게 된다. 따라서 일반 아스팔트 덧씌우기와 비교 시 생애주기비용(LCC; Life Cycle Cost) 측면에서는 CRS 공법의 경제성이 우수할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 기존 초속경 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기 공법의 단점 중 하나인 모바일 믹서 사용 문제점과 일일 시공능력의 부족을 해소하고자 폴리머 개질 콘크리트를 콘크리트 생산공장에서 안정적으로 혼합하여 보수현장으로 이동한 후 완성혼합물의 5% 내외인 소량의 초속경화 첨가재를 현장 혼합하는 방식으로 초속경성을 확보할 수 있는 공법에 대한 적용성 및 경제성을 검토하였다. 이에 대한 주요 결론은 다음과 같다.

1. 초속경화 첨가재를 현장 혼합하는 폴리머 개질 콘크리트 덧씌우기 공법의 현장 적용성을 확인하고자 구조특성을 검토하였다. 초기타설 후 재령 4시간 경과 시 압축강도는 23MPa, 휨강도는 3.51MPa를 확보하여 초속경 시멘트를 대체하는 초속경화 첨가재의 초기강도 발현 특성을 확인할 수 있으며, 신속한 조기 교통개방을 위한 CRS 공법의 접착식 콘크리트 덧씌우기 적용이 가능할 것으로 판단된다.
2. 건조수축의 경우 초기균열 및 장기내구성에 큰 영향을 미치는 인자로서 재령 7일차에 길이변화를 측정한 결과 0.03%의 건조수축량을 나타내어 초기균열 방지 및 장기적인 내구성 확보가 가능할 것으로 판단된다. 열팽창계수 $5.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 및 탄성계수 $2.39 \times 10^4 \text{MPa}$ 를 나타내어 적용기준에 만족하였으며, 이를 통하여 초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기의 적합특성에 만족하여 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.
3. CRS 공법 재료의 내구특성을 검토한 결과, 염분침투 저항성, 동결융해저항성, 스케일링저항성, 마모저항성 및 균열저항성을 모두 만족하였다. 염분침투저항

성의 경우 수정통과전하량은 매우 낮은 수준으로 염분유입 및 제설제 사용으로 인한 도로포장의 파손은 적을 것으로 판단된다. 동결융해저항성 실험결과 90%의 상대동탄성계수를 나타내어 동결융해에 따른 장기적인 내구성 측면에서 우수할 것으로 판단된다. 스케일링저항성 실험 후 시편의 무게변화는 거의 발생하지 않았으며 육안관측에 의한 표면상태의 경우 기준치 이상을 만족하였다. 마모저항성의 경우 적용 기준 2.0mm 이내인 0.6mm를 나타내었으며, 균열 저항성 실험 후 시편의 표면상태가 매우 건전한 것을 확인하였다.

4. CRS 공법의 경제성을 검토한 결과 국내 콘크리트 포장 보수를 위하여 일반적으로 사용되는 초속경성 폴리머 개질 콘크리트를 CRS 공법으로 대체할 경우 동일조건에서 3배 이상의 일일 작업량을 확보할 수 있으며 모바일 믹서 사용에 따른 혼합물 품질의 불균질성과 기계경비 및 노무비를 감소시켜 약 40% 내외의 초기시공비를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 노후화 된 콘크리트 포장의 일반적인 가열아스팔트 덧씌우기 공법과 비교 시 일일 작업량 및 초기 공사비는 유사할 것으로 판단되어 CRS 공법의 우수한 경제성을 확인하였다.

본 연구에서는 폴리머 개질 콘크리트를 콘크리트 생산공장에서 안정적으로 혼합하여 보수현장으로 이동한 후 초속경화 첨가재를 현장 혼합하는 방식으로 초속경성을 확보할 수 있는 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 대한 구조특성, 적합특성 및 내구특성을 확인하였으며, 이를 통하여 국내 보수공사에 대한 적용 가능성을 확인하였다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 향후 현장시험시공을 통한 구조적, 기능적 특성 및 경제성에 대한 공법의 우수성을 검증하고자 하며, 초속경성 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위한 최적 적용방안을 제시하고자 한다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 이봉희 회장님 및 초속경화 첨가재의 개발에 도움을 주신 (주)제이엔티아이엔씨 노재호 대표님 이하 관계자분들에게 감사드립니다.

BIBLIOGRAPHY

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

- Expressway and Transportation Research Institute, 1997, Pavement Rehabilitation by Concrete Overlay (III), Korean Expressway Corporation
- 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 Korean Society of Civil Engineers, KSCE, Seoul, Korea, Vol.33, No.3, pp.1153-1163
- Kim, H. H., 2002, Enhanced Performance of High Early Strength Concrete with Regulated Set Cement, Master's Thesis, Konkuk University
- Kim, Y. K., 2014, Bond-Behavior of Bonded Concrete Overlay, Doctoral Dissertation, Gangneung-Wonju National University
- Lee, S. W., Kim, Y. K., and Lee, P. H., 2011, A Study on the Application of Very Rapid Hardening Acrylic Polymer Modified Concrete for Bonded Concrete Overlay Method, Journal of Korean Society of Road Engineers, KSRE, Seoul, Korea, Vol.13, No.1, pp.139-148
- P. Kumar Mehta, and Paulo J. M. Monteiro, 2006, Concrete Microstructure, Properties, and Materials, Third Edition, McGraw-Hill Education