레미콘을 이용한 긴급복구용 현장재배합 초조강 콘크리트 포장 기초물성에 대한 연구

A Study on the Basic Properties of High Early Strength Concrete Pavement for Field Remix and Emergency Repair Using Ready Mixed Concrete

최성용* · 이겨레** · 윤경구*** · 조영종****

Choi, Sungyong*, Lee, Gyeore**, Yun, Gyeonggu***, and Jo, Yeongjong****

Abstract

In Korea, frequent damages to aging concrete pavements cause route blockages for repair works. To resolve potential economic losses due to these blockages, ultra-rapid cement has been used for the repairs. However, due to high price and complicated onsite application, ultra-rapid cement can no longer be used except for urgent works. In this study, a quick-setting admixture composed of silica fume (7%), latex (3.5%), and polymer powder (3.5%) was added to ready mixed concrete, and the strength and durability of the concrete were tested. The result of the experiment showed that all variables except the control variable satisfied the Korea Highway Corporation quality standard. Among these variables, SF7L5 was determined to be the most suitable and therefore can be used as a concrete pavement material for 24 hours.

Key words : Emergency Recovery, Field Remixed, High Early Strength Concrete

요 지

국내 콘크리트 포장의 노후화로 인하여 발생하는 파손과 보수 시 도로 차단으로 발생하는 경제적인 손실들을 해결하기 위한 방안으로써 초속경시멘트를 사용하지만 가격이 비싸고 현장적용이 까다롭다는 점 때문에 현재 긴급공사에만 사용하고 있다. 그래서 레미콘 배합에 속경성 혼화재료를 첨가하고, 실리카폼 7%, 라텍스 3, 5%, 폴리머 분말 3, 5%를 첨가한 후 현장재배합하여 초조강 콘크리트의 문제점인 내구성능을 확보하는 물성 시험을 진행하였다. 시험 결과, Control 변수를 제외한 모든 변수에서 강도와 내구성능이 한국도로공사 품질기준에 만족하는 결과를 보였고, 그 중 SF7L5 변수가 가장 적합하다고 판단되었다. 따라서, 24시간 콘크리트포장재료로써 사용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 긴급복구, 현장재배합, 초조강 콘크리트

1. 서 론

기후변화에 따른 토석류 및 산사태 발생이 빈번하며,

이로 인해 산악지역의 도로는 유실 또한 빈번하게 발생한다. 도로유실은 도로 사용자의 불편과 함께 임시 보수로 도로유실이 재발생 할 우려가 있다. 또한 집중호우에 의한

*교신저자, 정회원, 대상이앤씨(주) 연구소장(Tel: +82-33-749-8017, Fax: +82-33-744-3226, E-mail: choisy@dsenc.co.kr)

Corresponding Author, Member, Director of research center, Daesang ENC

**강원대학교 토목공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Kangwon University

***강원대학교 토목공학과 교수

Professor, Department of Civil Engineering, Kangwon University

****대상이앤씨(주) 연구원

Researcher, Daesang ENC

지반약화로 포트홀 발생 또한 증가하고 있어 이에 대한 긴급포장 공법개발이 필요하다. 최근 노후 콘크리트포장은 보수비가 급증하고 있으며, 더불어 노후 콘크리트포장의 연장 역시 앞으로 빠른 속도로 증가할 것으로 보인다 (Lee, 2008). 따라서 앞으로 급증할 노후 콘크리트 물량을 생각할 때 우리나라도 노후 콘크리트 포장의 근본적인 보수/보강대책 마련이 시급하다. Fig. 1은 도로 파손 사례이다 (Yun et al., 1999).

Fig. 1. Case of Road Damage

또한, 현재 콘크리트 도로포장의 파손에 대한 적절하고 시급한 보수 및 보강능력을 향상 시키고 교통지연 및 시공비용을 최소화하기 위한 방법들이 재료, 배합, 시공 등의 다각적인 측면에서 시도되고 있다. 해마다 도로연장의 증가로 유지보수단면이 증가하고, 특히 교통량의 증가에 따른 신설 도로 확장공사구간이 늘어나고 있는 추세이다(Park, 2009). 이와 같이 증가되는 공사구간에 의해 차량지체현상이 주기적으로 발생하며 사용자비용 또한 증가되고 있다. 이러한 사용자비용을 감소시키기 위해서는 조기교통개방을 위한 체계적이고 안정적인 보수공법이 적용되어야 한다.

이러한 조기교통개방을 위해 가장 광범위하게 사용되고 있는 기술이 초속경 라텍스 개질 콘크리트(VES-LMC)이다. 그러나 초속경 라텍스 개질 콘크리트(VES-LMC)의 경우

가장 중요한 재료인 초속경시멘트의 단가가 148만원/톤으로 보통 포트랜드 시멘트의 단가인 8만원/톤 보다 18배 이상 단가가 높아 도로 긴급 보수/보강 시공비가 높아져 경제성이 떨어지는 단점이 있다(Han, 2015). 이를 보완하기 위해 낮은 단가의 경제성 있는 초조강 시멘트 제조방법에 대한 연구가 필요하다(Jung, 2014).

본 연구에서는 현장 근처의 레미콘을 이용하여 콘크리트 제조방법 중 가장 경제적으로 슬립화 되어있는 현장레미콘을 이용하고 현장에서 속경성 혼화재료, 실리카폼, 폴리머 분말, 라텍스를 후첨가하여 재배합한다. 그리고 높은 분말도로 현장에서 혼입이 어려워 혼합시멘트 형태로 생산되어지던 실리카폼 혼합시멘트를 현장재배합 장비를 이용하여 혼화재료로 후첨가하기 때문에 설계가 및 공사비 절감이 가능할 것으로 판단된다. 빠른 초결 및 종결로 인해 현장배합 장비(모빌믹서)를 이용해야만 했던 초조강 콘크리트에 현장 배합장치 및 포설 장비를 설치하여 경제적이고, 현장에서 콘크리트 물성 조절이 가능하게 하고자 기초 물성 시험을 진행하고자한다.

따라서, 본 논문에서는 긴급보수가 가능한 초조강 콘크리트를 속경성 혼화재료, 실리카폼, 폴리머 분말, 라텍스를 첨가하여 기초물성평가를 통하여 적정배합을 찾고자 한다.

2. 재료 시험 계획 및 방법

2.1 배합설계

속경성 혼화재료는 유니온제품을 선정하여 사용하였고, 혼입율은 10%로 고정시켜 시험을 진행하였다. 추가로 실리카 폼, 라텍스, 폴리머 분말을 첨가하여 각각의 혼입율에 따른 정적 강도 및 내구 특성을 비교 분석하여 최적배합을 도출하기 위하여 시험을 진행하였다. 조기강도 콘크리트가 내구특성이 좋지 않은 이유는 콘크리트 내 공극이 많기 때문이다(Ham, 2009; UNION Corp.).

따라서 혼화재료를 첨가함으로써 밀실한 콘크리트를 만들어 고내구성 조기강도 콘크리트를 개발하는 것이 목적이다.

Table 1. Concrete Mixing Design to Improve Durability of Concrete

Concrete											
Division	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight kg/m ³								SP (%)
			Binder			W	Latex	P.P	S	G	
			Cement	S.F	SPEED - U						
Control	38	58	378.0	0.0	42.0	159.6	0.0	0.0	1045.2	771.4	1.0
SF7			348.6	29.4		159.6	0.0	0.0	1059.3	781.8	
SF7L3			348.6	29.4		146.0	26.3	0.0	1079.8	797.0	
SF7L5			348.6	29.4		136.9	43.8	0.0	1093.6	807.1	
SF7PP3			319.2	29.4		136.9	0.0	12.6	1107.6	817.5	
SF7PP6			319.2	29.4		127.8	0.0	25.2	1121.4	827.6	

* SPEED-U: Quick Setting Admixture, SF: Silica Fume, L: Latex, PP: Polymer Powder

본 배합은 단위바인더량 420 kg/m³, 물~바인더비 (W/B) 38%, 잔골재율 (S/a)은 58%로 정하였고, 속경성 혼화재료 (10%)를 기본변수(Control)로 두고, 실리카 폼은 7%로 고정하여 control 변수를 제외한 모든 변수에 첨가하였고, 라텍스 3%, 5%, 폴리머 분말 3%, 6%로 변화를 주어 총 6가지 변수로 배합설계를 진행하였다(Jo, 2017).

단순 배합만을 통하여 콘크리트를 생산하기 때문에, 분말 형태의 혼화재료 등의 분산을 확실히 도모하기 위하여 믹싱시간을 충분히 두어 시험을 진행하였다. 슬럼프는 100 mm 이상, 공기량은 3~6%로 설정하여 진행하였다. Table 1은 초조강 콘크리트의 내구특성을 향상시키기 위한 콘크리트 배합설계에 사용된 배합표이다. SPEED-U는 속경성 혼화재료, SF는 실리카폼, L은 라텍스, PP는 폴리머 분말의 명칭이다.

2.2 시험 방법

Table 2는 실시한 시험 항목 및 평가 방법을 표로 정리하였다.

Table 2. Test Items and Evaluation Methods

Test Items	Test Method	Test Schedule
Air Content of Fresh Concrete by the Pressure Method	KS F 2421	After Mixing
Concrete Slump	KS F 2402	After Mixing
Setting Times of Concrete Mixture by Penetration Resistance	KS F 2436	After Mixing
Compressive Strength of Concrete	KS F 2405	12, 24hours
Flexible Strength of Concrete	KS F 2408	24hours
Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Decing Chemicals	ASTM C 672	28days, 50cycle
Resistance to Chloride Ion Penetration by Electrical Conductance	KS F 2711	7, 14, 28days
Abrasion Resistance of Concrete Surfaces	ASTM C 779	7, 14days

2.2.1 응결 시험

응결 시험은 Ø165 × 155 mm의 원주형 공시체를 제작하여 KS F 2436 (2007)의 규정에 의거하여 실시하였다. 시험에는 모르타르 시험용기와 관입침, 재하장치가 필요하다. 이 시험은 모르타르로 시험을 진행하며 모르타르는 굳지 않은 콘크리트의 대표 시료로부터 채로 쳐서 얻으며, 용기에 담아서 온도 20~25℃에 보관하여 시험을 진행한다. 시험은 시멘트와 배합수가 처음 접촉한 시간을 기준으로 진행한다. 규칙적인 간격으로 표준침의 관입에 대한 모르타르의 저항값을 측정한다. 경과 시간에 따라 초결(3.5 MPa) 및 종결(28 MPa)

시간을 결정한다.

2.2.2 압축강도 시험

압축강도 시험은 Ø100 × 200 mm의 원주형 공시체를 제작하여 KS F 2405(2010)의 규정에 따라 수행 하였다. 재령 28일과 56일에 압축강도를 측정하였으며, 3개의 평균값을 사용하였다.

2.2.3 휨강도 시험

휨강도 시험은 100 × 100 × 400 mm 의 각주형 공시체를 제작하여 KS F 2408 (2000)의 규정에 따라 수행 하였다. 3등분 재하방법으로 재령 28일의 휨강도를 측정하였으며, 3개의 평균값을 사용하였다.

2.2.4 표면박리저항성 시험

표면박리 저항성 시험은 콘크리트 표면이 화학 제빙제를 포함하여 동결융해에 노출 되어 있을 때 표면 박리에 대한 저항성의 결정을 목적으로 한다. 정략적으로는 Swedish Standard SS 13 72 44 (2005)방법을 이용하여 무게를 잰 후 표면박리 저항성 등급을 판별하는 방법으로 수행한다. 시각적으로 판단하게 되는 시험인 ASTM C 672 (2012)방법은 표면사진을 5 cycle마다 찍어 육안으로 확인한 후 등급을 설정하게 된다.

2.2.5 염소이온침투저항성 시험

염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711 (2002)의 규정에 의거하여 실시하였다. Ø100 × 200 mm의 공시체를 사용하여 시편을 제작하여 50 mm두께로 절단한다. 그 후 시험을 수행하기 전까지 상대습도 95%이상을 유지하거나 수침을 시킨다. 시험 시작 전 시험편은 시험셀(Test cell)에 고정시키고 회로를 구성하는 것이 원칙이다. 구성된 회로에 60±0.1 V의 직류를 안정적으로 공급할 수 있도록 전원공급장치가 있어야 하고, 시험이 진행되는 동안 용액(NaCl, NaOH)이 시험 셀(Test cell) 밖으로 새지 않도록 한다. 이때 방수를 위하여 고무로 된 링을 사용하여 전극용기와 시편 사이를 고정시키는데 사용한다. 재령 7, 14일에 측정을 하였고, 시편 상, 하 로 구분하여 2개 평균값을 사용하였다.

2.2.6 마모저항성 시험

마모 저항성 시험은 Ø295 × 120 mm의 원주형 공시체를 제작하여 ASTM C 779 (2012)의 규정에 의거하여 실시하였다. 시험편을 만든 후 시험할 표면을 연마하여 면을 평평하게 만든다. 그 후 초기 깊이를 측정하여 0.025 mm이내에 들어오는지를 확인한 후, 만족할 시 시험을 진행한다. 시험은 총 30분에 걸쳐 진행하였고, 15분에 멈춘 후 마모된 표면가루를 붓으로 털어내고 시험을 진행하였다. 재령 7, 14일에 측정을 하였고, 시편 상, 하 로 구분하여 2개 평균값을 사용하였다.

3. 시험 결과

3.1 응결 시험

응결 시험은 콘크리트의 작업시간이 얼마나 확보되는지를 확인하는 시험이다. 초결시간 전까지를 작업시간으로 간주한다. 재료 특성상 작업시간을 확보하는 것이 최종 배합을 선정하는데 가장 중요한 요소이다. Table 3은 초결시간과 종결시간 값을 정리한 표이다. 혼화재료를 첨가한 조기강도 콘크리트의 응결 시험 결과는 control 변수는 작업시간이 18분이 나왔고, 실리카폼을 첨가 시 기준 변수와 비슷한 결과를 나타내었고, 거기에 라텍스를 추가 첨가 시 혼입율에 따라 작업시간이 확보되었고, 폴리머 분말 추가 첨가 시 혼입율에 따라 작업시간이 줄어들은 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Initial and Final Setting Time Division

Items	Setting Time	Time (Min)	Items	Setting Time	Time (Min)
Control	Initial Setting	18	SF7	Initial Setting	28
	Final Setting	42	L5	Final Setting	65
SF7	Initial Setting	17	SF7	Initial Setting	15
	Final Setting	43	PP3	Final Setting	48
SF7 L3	Initial Setting	21	SF7	Initial Setting	13
	Final Setting	52	PP6	Final Setting	41

3.2 압축강도 시험

압축강도 시험은 12시간, 24시간 강도를 측정하여 Fig. 2와 같이 그래프로 정리하였다. 24시간 강도가 모든 변수에서 도로포장 품질기준(KECRI, 2017)인 개방시간 21 MPa를 만족하였고, 실리카폼을 콘크리트에 첨가할 시 압축강도 증진에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 폴리머 분말과 라텍스는 필름막을 생성하여 정적강도 및 내구특성에 좋은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있지만 압축강도에는 영향을 미치는 정도가 미비하였다(Yoo, 2007).

Fig. 2. Compressive Strength Test Results

3.3 휨강도 시험

휨강도는 24시간 강도를 측정하여 Fig. 3과 같이 그래프로 정리하였다. 모든 변수에서 도로포장 품질기준(KECRI, 2017)인 개방시간 3.15 MPa를 만족하였고, 실리카폼을 첨가할 시 휨강도 증진에 영향을 주지만, 미비한 것으로 확인되었다. 하지만 폴리머 분말과 라텍스는 필름막을 생성하여 정적강도 및 내구특성에 좋은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있고, 휨강도에 가장 큰 영향을 주는 것으로 다른 문헌을 통하여 확인한 바 있어 추후 강도결과를 확인해보아야 할 것이다(Yoo, 2007).

Fig. 3. Flexible Strength Test Results

3.4 염소이온 침투저항성 시험

염소이온 침투저항성 시험은 7, 14, 28일 측정하여 Fig. 4와 같이 그래프로 정리하였다. control 변수를 제외한 모든 변수에서 도로 포장 품질기준(KECRI, 2017)인 14일에 2000 쿨롱 이하를 만족하였다. control 변수도 28일에는 539 쿨롱으로 기준값을 만족하였다. 그리고 실리카폼만 첨가하여도 기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 라텍스와 폴리머 분말 첨가 시 혼입율에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4. Chloride Ion Penetration Resistance Test Results

3.5 표면박리저항성 시험

표면박리저항성 시험은 50 cycles을 측정하여 Fig. 5와 같이 그래프로 정리하였다. 도로 포장 품질기준(KECRI, 2017)인 50 cycles 후 1.0 kg/m^2 이하인 적정(Acceptable) 기준을 모든 변수에서 만족한 것을 확인함은 물론 적정등급보다 두 등급이나 높은 0.1 kg/m^2 이하인 매우 좋음(Very Good)기준을 모든 변수에서 만족하였다. 실리카폼 첨가 시 확연히 감소한 것을 확인할 수 있었고, 라텍스를 추가로 첨가할 시 실리카폼만 넣은 변수와 거의 동일하였고, 폴리머 분말 추가 첨가 시 박리량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5. Scaling Resistance Test Results

3.6 마모저항성 시험

마모 저항성 시험은 7, 14일을 측정하여 Fig. 6과 같이 그래프로 정리하였다. 모든 변수에서 도로 포장 품질기준(KECRI, 2017)인 14일에 2 mm 이하를 모두 만족하였다. 마모량은 실리카폼을 첨가 시 감소하는 것을 확인할 수 있고, 라텍스와 폴리머 분말을 추가 첨가 시 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 6. Abrasion Resistance Test Results

3.7 시험 결과 고찰

본 논문에서는 속경성 혼화재료를 첨가한 조기강도 콘크리트의 강도 및 내구특성을 연구함으로써, 선정된 속경성 혼화재료가 24시간용 도로 포장 유지보수재료로써 사용 가능한지 알아보려고 시험을 진행하여 강도 및 내구특성을 시험하였고, 도로공사 품질기준에 적합한지 확인해 본 결과는 다음과 같다.

- (1) 응결 시험결과, 초결 및 종결시간에 있어서 배합수를 첨가함과 동시에 수화반응이 발생하여 콘크리트를 타설한 직후 17~28분 사이에서 모든 변수가 초결이 일어났다. 초결 후 응결이 조금 지연되어 종결은 41~65 분경에 일어났다. 실리카폼과 폴리머 분말을 첨가할 시 작업시간에 영향이 거의 없거나, 오히려 줄어드는 경향을 보인 반면, 라텍스 첨가 시 작업시간이 확보되는 경향을 보였기 때문에 라텍스가 작업시간 확보에 영향을 주는 것을 확인하였다. 따라서, 지연제약을 줄여 지연제를 사용함으로써 발생하는 강도 및 내구성 저하를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 압축강도는 평균 23.81 MPa로 모든 변수에서 기준보다 조금 높은 값을 보였고, 휨강도는 기준보다 평균 5.46 MPa 1.5배정도 높은 값을 보여 도로 포장에 적합한 콘크리트라는 것을 확인하였다. 여기서, 실리카폼을 콘크리트에 첨가할 시 휨강도 증진에 영향을 주지만, 미비한 것을 확인하였다. 폴리머 분말과 라텍스는 초기 강도에는 영향을 주지 못하지만 장기강도에 영향을 주는 것으로 다른 문헌을 통하여 확인하였다(Yoo, 2007).
- (3) 염소이온 침투 저항성과 시험결과 혼화재료를 첨가한 변수는 첨가하지 않은 변수에 비해 매우 우수한 결과를 나타냈다. control 변수는 도로포장 품질기준인 14일 2000C보다 높은 4290C을 보였고, 나머지 변수는 모두 기준보다 절반도 안되는 1,000C이하의 값들을 보여 기준 변수를 제외한 모든 변수에서 염소이온 침투저항성이 매우 우수하다는 것을 확인하였다.
- (4) 표면박리 저항성 시험결과 control 변수를 제외한 모든 변수에서 도로포장 품질기준인 1 kg/m^2 “적정(Acceptable)”을 만족하는 동시에 더 높은 등급인 “매우 좋음(Very Good)”을 만족하는 것을 확인하였다.
- (5) 마모저항성 시험결과 모든 변수에서 도로포장 품질기준인 2mm를 만족하였다. 실리카폼 첨가 시에는 큰 변화가 없어 실리카폼은 마모저항성에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 확인되었고, 라텍스와 폴리머 분말 첨가 시에는 혼입율이 증가함에 따라 마모 저항성이 좋아지는 경향을 확인하였다.

속경성 혼화재료를 첨가한 조기강도 콘크리트의 강도

및 내구특성 시험결과 혼화재료 첨가 시 모든 변수에서 내구성 시험기준을 통과하지만, 작업시간은 라텍스 첨가 시에만 확보되는 것을 확인하였기 때문에 최적혼입율을 SF7L5 변수로 선정하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 선정된 속경성 혼화재료를 첨가하여 재료 물성을 파악하는 시험을 진행하였다. 강도 및 내구성능은 도로포장 품질기준에 적합한 변수들이 있었지만, 작업시간은 추가적으로 더 확보하는 시험이 필요하다고 판단된다. 그리고 레미콘을 받아서 현장재배합 장비에서 재배합을 하는 과정에서 사용하는 혼화재료들이 고분말 재료들이기 때문에 유동성 및 분산성을 확보하는 시험도 추가적으로 진행할 필요가 있다. 레미콘에서 일반 콘크리트를 받아 혼화 재료를 현장에서 후첨가하는 방식의 기술을 도입하기 위해서는 현장재배합 장비에 따른 혼입 순서 및 첨가 방법을 개발하여야 한다. 또, 속경성 재료를 현장에서 첨가하기 위해서는 재배합하는 시간 및 첨가 방법 등을 검토하여 재료 및 장비 조합을 구축하여야 한다. 즉, 현장재배합 장비시스템을 구축하고, 그에 따른 혼화재료의 혼입방법, 순서, 최적배합을 도출하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 지역특성화사업의 연구비지원(산악지역 기후 변화 대응형 폐유리 혼합 고성능콘크리트 활용기술개발)에 의해 수행되었습니다.

References

- ASTM C672. (2012). *Standard test method for scaling resistance of concrete surfaces exposed to deicing chemicals*.
- ASTM C779. (2012). *Standard test method for abrasion resistance of horizontal concrete surfaces*.
- Eom, G.J. (2001). *Durability characteristics of synthetic fiber reinforced ultra high speed concrete*. Master's thesis, Kangwon National University.
- Gong, T.W. (2005). *Enhanced durability performance of regulated set cement concrete*. Master's thesis, Konkuk University.
- Ham, S.H. (2009). *A study on early-age strength and durability characteristics of very-early-strength dry-mix shotcrete*. Master's thesis, Kangwon National University.
- Han, G.Y. (2015). *Fresh and mechanical properties of hybrid cellular sprayed concrete for bridge deck overlay*. Master's thesis, Kangwon National University.
- Jo, Y.J. (2017). *Durability characteristics of high-early-strength concrete adding quick setting admixture*. Master's thesis, Kangwon National University.
- Jeong, W.K., Kim, Y.G., Kim, K.H., and Yun, K.K. (2005). *Rehabilitation of Concrete Pavement with VES-LMC overlay. Research Report the Institute of Industrial Technology*, Kangwon National University, Vol. 25, No. B, pp. 3-10.
- KS F 2421. (2006). *Method of test for air content of fresh concrete by pressure method*. Korea Standards Association.
- KS F 2402. (2002). *Method of test for slump of Concrete*. Korea Standards Association.
- KS F 2436. (2007). *Testing method for time of setting of concrete mixture by penetration resistance*. Korea Standards Association.
- KS F 2405. (2010). *Standard test method for compressive strength of concrete*. Korea Standards Association.
- KS F 2408. (2000). *Method of test for flexural strength of concrete*. Korea Standards Association.
- KS F 2711. (2002). *Testing method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. Korea Standards Association.
- Kim, H.H. (2002). *Enhanced performance of high early strength concrete with regulated set cement*. Master's thesis, Konkuk University.
- Lee, S.W. (2008). *Mix proportion and performance evaluation of high early strength concrete for bridge deck overlay rehabilitation*. Master's thesis, Konkuk University.
- Swedish Standards SS 13 72 44. (2005). *Concrete testing - hardened concrete - scaling at freezing*. Svensk Standard.
- KECRI (Korea Expressway Corporation Research Institute). (2017). *Quality Criteria for Construction Materials* (17th rev.). Retrieved from <http://www.ex.co.kr/site/com/pageProcess.do>
- Park, M.Y. (2009). *A special concrete material using optimized aggregate mix for traffic opening at early age*. Master's thesis, Chung-Ang University.
- UNION Corp. Retrieved from <http://www.unioncement.com/index.php>
- Yoo, D.R. (2007). *A study on the engineering properties of latex modified concrete using recycled aggregate*. Ph.D. dissertation, Chonnam National University.

Yun, K.K., Kwon, S.M., and Eum, J.Y. (1999). Full depth repair of concrete pavement using rapid-set cement. *Proceedings of 1999 Conference*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 4, pp. 195-198.

<i>Received</i>	■	July 31, 2018
<i>Revised</i>	■	August 6, 2018
<i>Accepted</i>	■	August 21, 2018