

# 아스팔트 도로 포트홀에 사용되는 인산염계 초속경성 긴급보수재료의 개발을 위한 기초재료 실험연구

## Development of Rapid Setting Material Containing Phosphate for Emergency Repair of Potholes

이재영\* · 김재환\*\*

Lee, Jaeyoung\*, and Kim, Jaehwan\*\*

### Abstract

In the asphalt that is used in road construction, potholes tend to occur, in which a part of the surface layer or the entire surface layer is lost. This may cause accidents, and hence, emergency repair work is necessary. This study suggests improvements and summarizes the advantages and disadvantages of existing materials used in repair work. In addition, basic material tests were conducted to develop emergency repair materials. Phosphate and magnesium oxide were selected as the main composition materials to rapidly achieve the desired hardness. In the experiment, the curing characteristics, early compressive strength, and surface finish were investigated. The characteristics of each material were identified according to the material mixing design. The results can be used as a basis for the optimum design of the mixing proportion.

**Key words :** Asphalt, Pothole, Rapid Curing Repair Material, Phosphate, Oxide of Magnesium

### 요 지

도로의 아스팔트는 물, 교통하중 그리고 온도변화 등에 따라 표층부의 일부 또는 층 전체가 소실되는 포트홀 현상이 발생되며, 이는 사고 유발의 원인이 될 수 있기에 긴급보수공사가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 기존 보수재의 장단점에 대한 분석을 통하여 개선되어야 할 사항에 대하여 검토하였다. 또한, 이러한 점을 보완 할 수 있는 긴급보수재료의 개발을 목적으로 기초 재료실험을 수행하였다. 본 연구에서는 초속경성을 발현하기 위하여 인산염과 산화마그네슘을 보수재료의 주원료로 선정하였으며, 재료배합에 따른 경화특성, 조기강도발현특성 및 마감성능에 대하여 검토하였다. 기초 재료실험을 통하여 최적배합설계를 위한 재료특성을 파악할 수 있었으며, 그 결과를 설명하였다.

**핵심용어 :** 아스팔트, 포트홀, 초속경성, 보수재, 인산염, 산화마그네슘

### 1. 서 론

Yoon (1998)은 아스팔트 포장재의 내용연수에 대한 연구를 수행하였으며, 아스팔트는 약 10년으로 보고 있다. 다만, 실제의 내용연수는 주변 환경 및 차량의 통행량 등에 따라 크게 달라질 수 있다.

한편 아스팔트로 포장된 도로에서 움푹 패인 현상이 발생하며 우리는 이를 포트홀(Pothole) 현상이라 말한다. Hwang (2012)의 보고서에서는 1990년대 이후 포트홀 현상의 급격한 증가에 대한 지적과 대책마련의 필요성을 제기했으며, Son (2013)에 의하여 포트홀 현상 발생 저감을 위한 도로포장의 품질관리 강화대책까지 발표되었다. 이러한 포트홀은

\*교신저자, 정회원, 동의대학교 소방방재학과 조교수(Tel: +82-51-890-4297, Fax: +82-51-890-4290, E-mail: lee\_jy@deu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Fire Administration and Disaster Management

\*\* (주)에이엠에스 엔지니어링, 공학박사, 대표이사

Ph.D (Architectural engineering), CEO, AMS Engineering

직경 및 깊이가 일정규모 이상의 크기로 발전되었을 때 대형 사고로 이어질 수 있으며, Jo and Ryu (2016)는 포트홀 현상과 차량사고의 관계에 대하여 문제점을 제기한 바가 있다. 또한 작은 포트홀도 차량의 하중(이하, 교통하중)에 의하여 손실면적이 점점 증대되기에 가볍게 여길 수 없다.

Maruyama et al. (2014)은 포트홀의 발생에 영향을 미치는 요소로서 물의 존재, 하중, 온도변화의 3가지 작용이며, 여러 개의 요인이 복합적으로 관여한다고 설명하고 있다. 포트홀 발생 원리는 크게 두 가지로 설명되어진다. 그 하나는 경년열화에 의하여 포장 재료의 표면에 발생한 균열이나 포장의 이음매 등으로부터 침투된 물과 교통하중이 작용하여 포장의 열화 및 손상이 확대되는 것으로 표층부 중심의 작은 포트홀이 발생된다. 또 다른 하나는 아스팔트 포장 층과 입상 노반층(모래와 자갈 등으로 이루어진 지반층)의 경계인 내부로부터 포장 층으로 균열이 발생 및 확대된 경우로서, 입상 노반층에 침투한 물이 노반층 입자를 침하시켜 지반층에 공극을 유발함으로써 교통하중의 작용과 더불어 아스팔트 포장 층 전체가 파괴 되는 것이다.

이러한 포트홀이 발생했을 때에는 도로를 통제하고 긴급 공사를 진행하여 응급복구가 수행되고 있다. 그러나 긴급도로 보수재는 상온아스팔트를 이용한 보수재가 주로 사용되고 있으나 기존 도로의 재료와 유사한 재료로서 6~7개월 이내에 다시 열화되는 단점을 가지고 있다. 또한 도로 보수재의 열화 현상은 기존 도로포장(가열식 아스팔트)에서 나타나는 발생 원리와 동일하거나 보수 한 곳 주변으로 2차 열화현

상을 야기함으로써 포트홀 발생을 억제하지 못하는 단점도 가지고 있다. 따라서 짧은 기간 내에 열화 현상이 발생하는 긴급보수재가 아닌 내용연수가 긴 긴급보수재의 개발이 필요하다는 판단에 이르게 되었다.

긴급보수재의 경우 2차 포트홀 발생 억제와 더불어 긴 내용연수를 갖기 위해서는 다음과 같이 높은 압축강도, 휨강도, 부착강도 그리고 염해·동해의 저항성이 요구된다. 더불어 시공성능을 고려하기 위해서는 적절한 유동성이 요구된다.

따라서 본 연구에서의 가열식 아스팔트의 내용연수와 기존 보수재료의 내구성을 고려하여 최소 2년 이상의 내용연수를 확보 할 수 있는 긴급보수재의 개발을 목표로 설정했다. 본고에서는 포트홀 보수재료로서 갖추어야 할 재료특성의 고찰 결과와 본 연구에서의 포트홀 보수재료 개발에 있어서 재료배합이 경화시간, 압축강도, 표면성상에 미치는 영향에 대한 기초실험의 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 국내외 관련기술의 현황 및 개발 목표

### 2.1 아스팔트 긴급보수재의 특성 조사 및 요구 성능

국내외에 사용되고 있는 긴급도로 보수재에 대한 조사를 통하여 긴급도로보수재가 갖추어야 하는 성능에 대하여 확인하고자 하였다. 국내외 각각 4개사 제품을 통하여 분석을 진행하였으며, 국내 제품의 특성은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Development Status of Emergency Road Repair Materials in Korea

Investigation item	Company			
	A	B	C	D
Type	Room temperature hardening repair material		Water curable repair material	
Construction method	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cleaning of repair surface</li> <li>Material A laying</li> <li>Flat work</li> <li>Compaction work used machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cleaning of repair surface</li> <li>Material B laying</li> <li>Compaction work</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cleaning of repair surface</li> <li>Material C laying</li> <li>Water spraying and mixing</li> <li>Compaction work</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cleaning of repair surface</li> <li>Material D laying</li> <li>Water spraying and mixing</li> <li>Compaction work</li> </ul>
Traffic opening	After 30 minute	After 60 minute	After 60 minute	After 30 minute
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low cost</li> <li>No heating and No mixing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can be used in rainy weather</li> <li>No heating or No mixing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can be used in rainy weather</li> <li>Eco-friendly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can be used in rainy weather</li> <li>No required sand spray</li> </ul>
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vulnerable to fire as a volatile material</li> <li>No construction in winter</li> <li>Vulnerable to water</li> <li>Requires compaction machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Attached to tires</li> <li>Occurred Slip phenomenon.</li> <li>Long-term durability deterioration</li> <li>In winter, a thermal protection device necessary</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Water is required during construction</li> <li>Low uniformity</li> <li>Difficult filling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Water is required for construction</li> <li>High Initial cost</li> <li>Compaction work required</li> <li>Low adhesion to tar components in asphalt</li> </ul>

긴급도로 보수재료는 상온경화형과 수경화성으로 구분할 수 있다. 시공방법 및 시공과정에 있어서는 제품별로 다소 상이하나 전반적인 시공 프로세스는 유사하며, 기본적으로 보수시공 부위의 표면처리(부착성능과 관련), 보수 재료의 포설 및 다짐(재료 충전), 표면처리(평탄작업)로 진행된다. 수경화성 보수재의 경우에는 보수재의 포설 후, 물의 살포 및 재료와의 혼합과정이 추가적으로 요구된다. 한편, 국외의 기술개발현황에 대한 조사결과 대부분 개질아스팔트(Asphalt emulsion)를 사용하고 있는 것으로 조사되었으며, 여기에 분말(필러/골재+경화제)을 혼입하여 각종 도로응급보수재로서 활용하고 있음을 알 수 있다. 이러한 재료는 높은 유동성과 충전성을 동시에 갖는 것이 장점으로 판단된다.

기존의 제품을 비교 및 분석한 결과 도로의 긴급공사는 착공으로부터 교통 개방까지의 시간 단축이 매우 중요한 요인이다. 국내외 사용되는 긴급 보수재는 약 30분~60분의 경화시간이 요구되는 것으로 조사되었으며, 상온경화형과 수경화성에 따른 경화시간의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 한편, 교통개방시간의 단축을 위해서는 경화시간과 더불어 작업공정의 단축을 함께 해야만 한다고 판단된다.

따라서 보수재료로서 요구되는 성능으로 공정단축 및 공정 시간단축과도 관련이 있는 조기 압축강도의 발현, 유동성(충진성), 내한성 및 저온 강도발현성의 확보가 필요하다고 판단된다. 또한 내구성과 관련한 압축강도, 인장강도, 부착강도, 내수성과 내화화성의 향상이 요구됨을 확인할 수 있다.

## 2.2 기술개발의 목표

본 연구에서의 인산염을 포함한 초속경성 무기질계 구성물 Chemically Bonded Phosphate Ceramics (이하 CBPC)를 이용하여 아스팔트 포트홀용 보수재를 개발하고자 하며, 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 순수 무기재료로 구성된 CBPC 소재를 활용하여 내수성에 강하고 열화인자의 침투가 어려워 장기적으로 도로의 기능 및 수명을 연장시킬 수 있을 거라 사료된다.

둘째, 고유동성의 CBPC는 파손부위의 미세한 공극까지 충전 가능하도록 하며, Ceramic Bonding에 의한 고접착성으로 인해 기존의 포장재(모체)와의 일체거동이 가능할 것으로 사료된다.

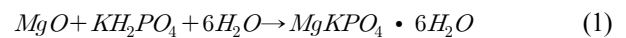
셋째, 초속경성 CBPC의 발열반응을 이용하여 영하 10℃ 이하의 극저온이나 우천 시에도 경화발현을 통해 시공이 가능하다고 사료된다.

넷째, 안정적인 주행을 위한 평탄성 확보 및 제설제에 대한 저항성(내화화성)의 확보가 중요하며, 배물림 시공을 하지 않음으로서 평활도를 유지할 수 있다고 사료되며, 무기재료로 구성된 치밀한 조밀성을 구성함으로써 내화화성이 기대된다.

다섯 째, CBPC소재의 초속경성을 이용하여 최단시간에 교통개방이 가능하게 하고자 한다.

## 2.3 인산염과 마그네슘의 반응 메커니즘

Hall et al. (2001)는 인산염, 마그네슘과 그리고 물과의 수화반응에 대하여 설명하였다.  $K^+$  및  $H_2PO_4^-$  이온이  $MgO$  및  $Mg^{2+}$ 의 표면에 도달하여 마그네슘 붕산염 필름에 성공적으로 분산될 때 마그네시아 입자 주변에 인산염의 무정형 수화겔이 최초로 형성되며, 단시간 내에 인산염의 수화가 형성되고 서서히 결정화된다. 이후 인산염의 수화에 의한 체적팽창으로 인해 마그네시아 붕산염의 필름이 파괴되며, 이로서 더 많은  $K^+$  및  $H_2PO_4^-$  이온이  $Mg^{2+}$ 와 접촉할 수 있고, 더 많은 양의 인산염의 수화가 빠르게 진행된다. 장기적으로 인산염의 수화가 지속적으로 증대되어 마그네시아 입자를 부착시키며, 마지막으로 모든 마그네시아 입자가 인산염 수화물에 의해 둘러싸여 CBPC페이스트가 경화될 수 있도록 서로 맞물리게 되어 점차 강력한 경화체(Struvite crystalline 및 Bobierite)를 형성시킨다. 이는 조기강도를 좌우하는 중요한 반응생성물이 된다. Wagh (2016)의 저서에는 CBPC 구성물인 인산칼륨, 산화마그네슘 그리고 물의 화학적 반응식은 Eq. (1)과 같이 나타내고 있다.



그 밖에 다양한 연구자에 의하여 인산칼륨과 산화마그네슘과의 초속경성에 대한 연구가 진행되었으며, Yoshizaki et al. (2004)에 의한 보수·보강용 모르타르 개발에 관한 연구, Kang et al. (2007)에 의한 초속경 보수 모르타르의 기초특성 분석에 관한 연구, Cho et al. (2012)에 의한 배합과 양생온도를 실험 조건으로한 마그네시아 인산염 복합체의 기초물성 평가에 대한 연구 그리고 Kim (2014)에 의한 문화재 보호를 위한 모르타르 개발에 관한 연구 등이 진행되었다.

## 3. 사용 재료 및 실험 방법

기초 배합실험의 목적은 기초강도, 유동특성, 경화시간 및 균열억제성능을 파악하기 위함이다. CBPC의 주요 구성재료는 제1인산칼륨 ( $KH_2PO_4$ ), 산화마그네슘( $MgO$ ) 그리고 모래(화강암계 인조규사)이며, 그 밖의 혼화재로서 플라이 애시(Fly-ash)와 실리카 흙(Silica-fume)을 상정하고 있다. 본 기초실험에 사용되는 제1인산칼륨과 산화마그네슘의 조성물 및 물성값을 Tables 2~3에 나타냈다.

그 밖에 최적배합설계를 위한 목적으로서 일반적으로 많이 사용되는 경화지연제 붕산을 이용하였다. 인산염과 산화마그네슘의 시멘트에 있어서 붕산에 의한 경화지연효과와는 Hall et al. (2001)에 의하여 언급된 바 있다.

한편, 균열발생 억제성능 분석을 위해 섬유질 충전재로서 규회석분말( $CaSiO_3$ ), 해포석(Sepiolite), 고장력 PVA섬유(6~12 mm)를 사용하였다. 이러한 섬유질은 시멘트 제품에 있어서 인장강도 증가 및 균열억제를 위하여 사용되어지고 있다.

**Table 2.** Composition of KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

Appearance	Purity	pH (1%sol'n)	Sulfate (SO <sub>4</sub> )	Iron (Fe)
White Crystal	98.0 %up	4.2-4.7 %	0.02 %max	0.01 %max

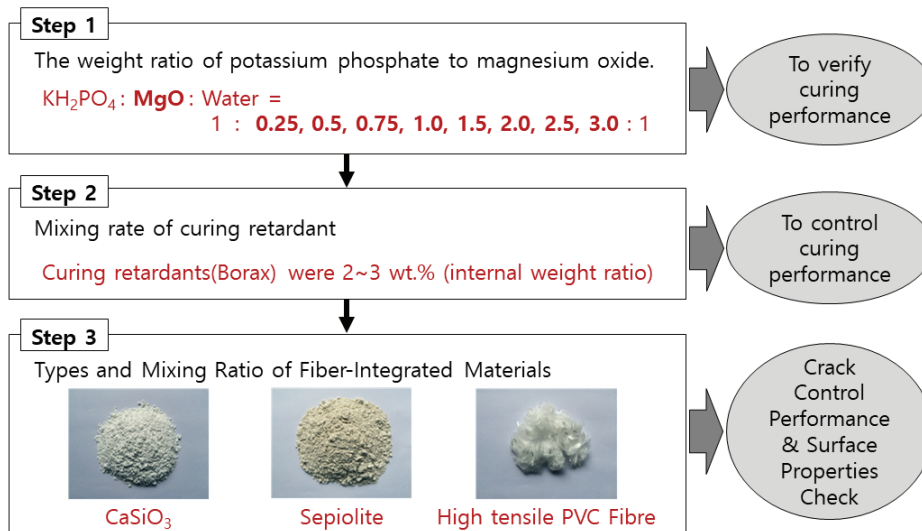
**Table 3.** Composition of MgO (powder type)

Mg	Al	Si	P	S	Ti	Mn	Fe	Co	Cu	Zn	Sn
86.3	0.66	2.69	1.08	0.01	0.02	0.23	3.26	0.02	0.01	0.03	0.03

재료기초실험의 과정은 Fig. 1에 나타낸바와 같이 총 3단계이다. Step 1 인산염과 마그네슘의 혼합비율이 경화속도에 미치는 영향, Step 2 지연제 붕사(Borax)의 혼입이 경화시간과 초기압축강도에 미치는 영향, Step 3 균열발생억제능과 표면마감성에 관한 실험이다. 즉, Step 2와 Step 3은 단점을 보완하기 위한 일련의 과정이며, Table 4에는 각각의 실험에

서의 배합비를 나타냈다.

실험체의 사이즈는 50 × 50 × 50 mm이며, 제작과정은 Fig. 2와 같다. 바인더를 약 30초간 건비빔 후, 배합수를 투입하여 3분간 비빔을 진행했다. 타설 후 경과시간에 따라 실험체 탈형 및 압축강도 측정을 수행하였다.



**Fig. 1.** Examination Process

**Table 4.** Mix Proportion

W/B (%)	Step 1			Step 2		Step 3		
	Phoshate (g)	MgO (g)	W (g)	W/B (%)	Borox (%)	CaSiO <sub>3</sub> (%)	Sepiolite (%)	PVA (%)
80	100	25	100	30	2, 3, 4, 5, 6	18, 24, 29	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
67		50						
57		75						
50		100						
40		150						
33		200						
29		250						
25		300						

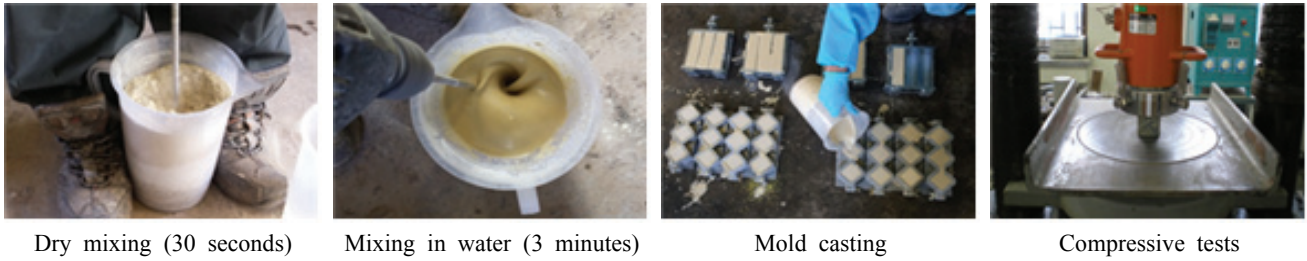


Fig. 2. Specimen Production Process

## 4. 실험 결과

### 4.1 인산염과 마그네슘의 혼합비율이 경화성능에 미치는 영향(기초물성평가)

인산염, 마그네슘과 물과의 혼합비(wt.%)를 1:0.25~3:1의 8수준으로 설정하여 CBPC의 경화성, 농도 그리고 유동성을 평가하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 여기서 W/B비의 증가는 마그네슘의 혼합량의 증가를 의미한다. 마그네슘의 혼합량의 증가에 따라 경화속도가 증가하는 것이 확인되었다. W/B 67%와 80%의 경우에는 45분이상의 매우 높은 경화시간이 요구되었다. 농도의 경우 W/B비가 높을수록 열어지는 것으로 확인되었다. 유동성(table flow)의 경우는 W/B비 30%이하에서 유동성이 급격히 낮아지는 것이 확인되었다. 이러한 결과로부터 10분 이하의 경화시간, 중간 정도의 농도, 높은 유동성을 종합적으로 고려한 결과 W/B비 30%가 적절한 배합비로서 선택되었다.

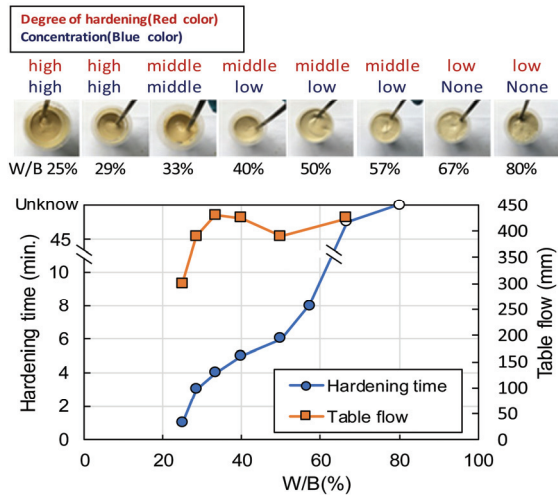


Fig. 3. Relationship Between W/B and Hardening Time, Between W/B and Table Flow

### 4.2 지연제(붕사)의 혼입에 따른 경화시간조정 및 초기압축강도

CBPC는 초속경성을 갖고 있기에 경화 시간을 조절이 필요하며, CBPC에 적용되는 대표적인 지연제로서는 붕사(Borax)이다. 본 연구에서는 W/B비 30%의 배합조건을 기준

으로 내함 중량비 2-6 wt.%의 5수준으로 설정하여 지연성능과 강도특성을 검토하였다.

W/B와 초기압축강도와의 관계를 Fig. 4에 나타낸다. 지연제의 혼입을 증가는 2시간 이내의 범위에서 초기압축강도가 점진적으로 낮아지는 것이 확인되었다. 이러한 결과는 포트홀 응급보수용 CBPC의 최적배합설계 시 적정 지연제 혼입율의 검토에 있어서 기초자료로서 활용이 가능하다.

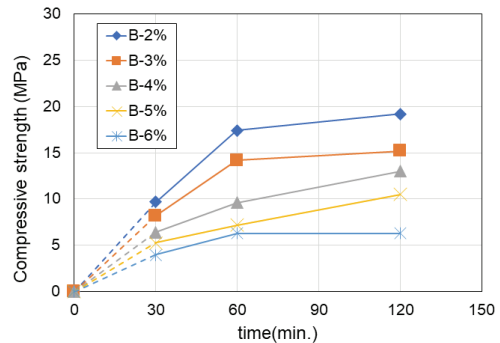


Fig. 4. Relationship Between W/B and Compressive Strength

Fig. 5에 나타낸바와 같이 본 배합의 CBPC를 이용하여 옥외의 콘크리트 열화부위에 타설하였다. 양생 후의 표면에는 균열이 발생한 것이 확인되었다. 이는 초기에 반응하지 못한 인산염이 시간경과에 따라 마그네슘과의 연쇄반응하며, 본래 인산염이 차지하고 있던 공간이 공극으로 변함으로서 수축이 발생하고, 종국적으로 균열이 발생한 것으로 추정된다.

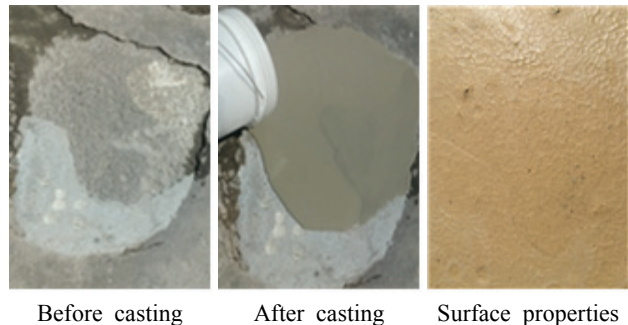


Fig. 5. Casting on Concrete Member in Outside and Surface Properties

#### 4.3 섬유질 충전제의 종류와 균열발생억제 성능과의 관계

모르타르 균열억제를 위한 방안으로 규회석분말, 해석포 및 PVA섬유 등의 섬유질 혼입공법은 널리 사용되어지고 있다. Kim et al. (2005), Kim et al. (2006), Kang et al. (2008) 등의 연구에서 그 내용을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 균열발생억제를 위하여 섬유질로 이루어진 충전제를 3가지 선정하여 기초배합실험을 실시하였다. 규회석분말(CaSiO<sub>3</sub>)의 혼입율은 18, 24, 29 wt.%의 3수준, 해포석(Sepiolite)의 혼입율은 2.0, 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 wt.%의 5수준, 고장력 PVA섬유의 혼입율은 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 wt.%의 5수준으로 설정하였으며, 표면성상과 강도특성을 관찰하였다.

Fig. 6은 섬유질 충전제의 종류와 혼입량에 따른 표면성상을 나타낸 것이다. 우선 섬유질을 충전함에 따라 표면에서의 균열발생은 억제되는 것을 확인하였다. 다만, 충전제의 혼입율 증가에 따라 표면 마감성능은 매우 거칠다는 것이 확인되었다. 특히 PVA섬유는 표면평활도가 매우 불량함이 확인되었다. 전체적으로는 규회석분말을 혼입한 경우가 표면성상이 가장 양호하게 나타났다.

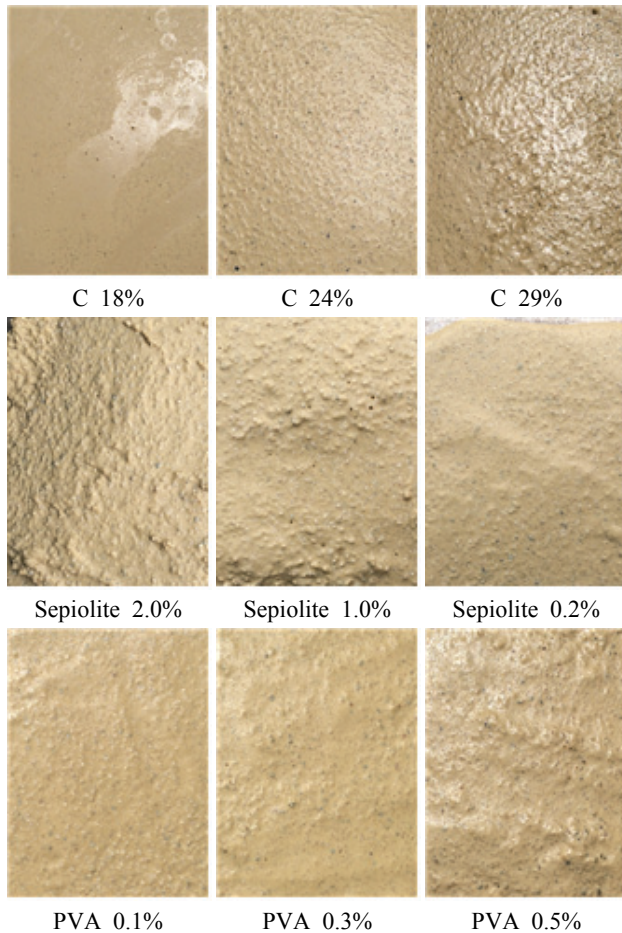


Fig. 6. Surface Appearance

Fig. 7은 규회석분말의 혼입율과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 규회석분말의 혼입율 증가는 압축강도를 증가시키는 결과로 나타났다.

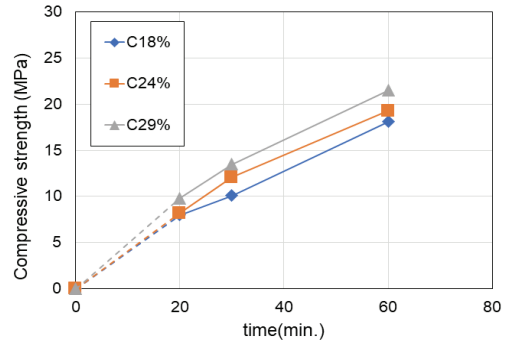


Fig. 7. Relationship Between Mixing Rate CaSiO<sub>3</sub> and Compressive Strength

Figs. 8~9는 해포석의 혼입율과 압축강도와의 관계, 고장력 PVA섬유의 혼입율과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 본 실험의 범위에서 해포석 및 고장력 PVA섬유의 혼입율과 초기압축강도와의 관계는 불분명한 것으로 나타났다. 섬유질의 불균일한 분포가 그 원인으로 사료된다.

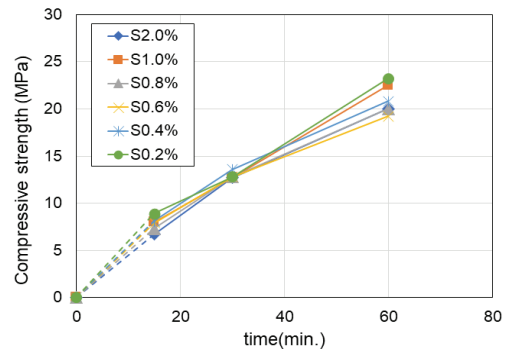


Fig. 8. Relationship Between Mixing Rate Sepiolite and Compressive Strength

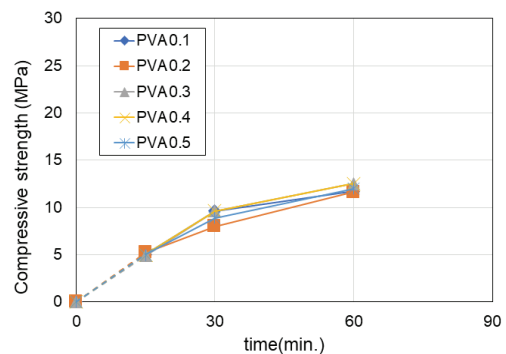


Fig. 9. Relationship Between Mixing Rate PVA Fibre and Compressive Strength

## 5. 결론

본 연구에서는 포트홀용 고내구성 긴급보수재의 개발을 목표로 기존연구 및 제품분석 그리고 보수재 개발을 위한 기초실험을 수행하였다.

기존연구 및 제품분석을 통하여 재료는 내구성, 내수성, 평탄성(마감성), 경화시간의 단축과 내구성확보, 비수축성 그리고 내한성 등이 요구됨을 확인되었다. 그 밖에도 시공단계의 철차단축 및 특별한 장비의 비사용은 시공시간의 단축으로 이어짐을 확인되었다.

CBPC복합체의 기초실험을 수행하였으며, 시험조건으로서 인산염과 산화마그네슘과의 비율에 따른 경화특성, 봉산(지연제)을 이용한 경화시간조절 능력의 파악 그리고 섬유질 충전제를 이용한 균열억제특성 및 평탄성에 대한 기초실험을 시행하였다. 그 결과 인산염, 마그네슘 그리고 물과의 배합에 따른 경화특성을 확인하였으며, 지연제의 혼입량에 따른 지연성능을 보다 면밀히 확인하였다. 한편, 표면에서 발생하는 균열을 억제하기 위해 섬유질 충전제를 혼입함으로써 균열억제성능을 파악하였다. 다만, 섬유질 충전제는 마감성능을 저해하는 요인이기에 적절한 배합비를 선택하는 것이 중요함을 확인했다.

## 감사의 글

본 연구는 2014년도 상반기 중소기업 기술혁신개발사업 연구비 지원에 의해 수행된 것입니다. 또한 이 논문은 2019학년도 동의대학교 교내연구비(201901880001)의 지원을 받았습니다.

## References

Cho, H.W., Kang, S.T., Shin, H.S., and Lee, J.H. (2012). Fundamental properties of magnesia-prospate composite considering mix conditions and curing temperature. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 16, No. 6, pp. 163-170.

Hall, D.A., Stevens, R., and El-Jazairi, B. (2001). The effect of retarders on the microstructure and mechanical properties of magnesia-phosphate cement (MPC) mortar. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 31, No. 3, pp. 455-465.

Hwang, S.D. (2012). *Aseupalteu pojang-ui poteuhol eogjeleul wihan sigong pumjilgwanli gijun mich yujibosu jichim gaebal* [in Korean]. Trend and Research Report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

Jo, Y.T., and Ryu, S.K. (2016). Pothole detection algorithm based on saliency map for improving detection

performance. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 15, No. 15, pp. 104-114.

Kang, H.J., Song, M.S., and Kim, Y.S. (2008). The effects of sepiolite on the properties of portland cement mortar. *J. Korean Ceram. Soc.*, Vol. 45, No. 8, pp. 443-452.

Kang, I.S., Ahn, M.Y., Paik, M.S., Lim, N.G., Moon, J.S., and Jung, S.J. (2007). A study on the basic properties analysis of ultra rapid hardening mortar using magnesia-phosphate cement. *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*, Vol. 23, No. 8, pp. 139-148.

Kim, D.Y. (2014). *Physical and chemical characteristics of MgO based mortar for cultural heritage conversation*. Master's thesis, Seoul National University.

Kim, J.H., Han, B.C., Jang, S.Y., Back, Y.K., and Kwon, Y.J. (2006). New repair & retrofitting methods of RC structures using ECC, *KSMI Journal*, Vol. 10, No. 5, pp. 29-36.

Kim, M.H., Kim, J.H., Kim, Y.R., and Kim, Y.D. (2005). An Experimental study on the mechanical properties of HPFRCCs reinforced with the micro and macro fibers. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 17, No. 2, pp. 263-271.

Maruyama, K., Abe, R., and Kumagai, M. (2014). *Yūsetsu-ki ni hassei suru hosō no sonshō jittai to sonshō no mekanizumu* [in Japanese]. 57<sup>th</sup> Profile of Hokkaido Development.

Son, J.C. (2013). poteuhol jeogam-eul wihan dolopojang-ui pumjilgwanli ganghwadaechaeg [in Korean]. *Magazine of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 15, No. 4, pp. 39-43.

Wagh, A.S. (2016). *Thermodynamic basis of CBPC formation. Chemically bonded phosphate ceramics: Twenty-First Century materials with diverse applications* (2nd ed.). Chapter6, Elsevier.

Yoon, M.H. (1998). *A study on the appraiser of service life in asphalt concrete pavements*. Master's thesis, Hanyang University.

Yoshizaki, Y., Masuda, Y., and Motouri, M. (2004). Mix proportion and properties of repair mortar using magnesia-phosphate cement. *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, Vol. 69, No. 582, pp. 1-6.

---

Received	October 17, 2019
Revised	October 17, 2019
Accepted	November 12, 2019