

실리케이트계 급결제를 혼입한 글라이코 캘릭스 코팅재의 응결시간 및 압축강도 발현 특성

Setting Time and Compressive Strength Gains of Glycocalix Coating Materials with Silica-based Accelerating Agents

정윤지¹ · 윤현섭² · 양근혁^{3*}

Yun-Ji Jeong¹ · Hyun-Sub Yoon² · Keun-Hyeok Yang^{3*}

(Received December 30, 2019 / Revised March 16, 2020 / Accepted March 19, 2020)

The present study examined the effect of the silica-based accelerating agents on the setting time and compressive strength gain of biomimetic glycocalix coating materials that has been developed for protecting the substrate of concrete exposed to chemical and microbiological attacks. The accelerating agent contents varied from 10mL/L to 40mL/L in the mixtures of glycocalix coating materials determined for shotcrete and lining techniques. Test results showed that the setting time of coating materials containing accelerating agents was affected by the contents of the bacteria carrier. When the accelerating agent content was 40mL/L, the final setting time was 80 minutes for shotcrete mixtures and 318 minutes for lining mixtures. Meanwhile, the compressive strength gain of coating materials with accelerating agents tended to be lower than that of counterpart materials without accelerating agents.

키워드 : 박테리아, 글라이코 캘릭스, 코팅재, 응결시간, 압축강도

Keywords : Bacteria, Glycocalix, Coating material, Setting time, Compressive strength

1. 서론

하수관거와 같은 지중 구조물의 열화는 지속적인 화학적 부식 환경에 노출됨에 따라 내력 안전성 상실의 문제로 이어질 수 있으며, 그로 인한 구조물의 붕괴 및 싱크홀 등의 발생은 사회적으로도 큰 이슈가 되고 있다(Shin et al. 2019; Yoon et al. 2018). 지중 구조물은 지속적인 유지관리가 어려운 설치여건을 고려할 때, 점검 및 재보수를 최소화 할 수 있는 유지관리-프리의 보수·보강 기술 개발이 요구되어 지고 있다(Park et al. 2018). 최근에는 하수환경에서 박테리아의 자생적 활동에 기반 한 생태학적 보수 재료 등 유지관리를 최소화 할 수 있는 지속가능한 보수 기술의 개발이 수행되어지고 있다(Yang et al. 2016).

하수관 및 암거 등의 지중 구조물의 보수를 위한 시공 방법으로 서 단면 뿜어 붙이기 및 라이닝 공법을 예로 들 수 있다. 하지만 이들 공법에서 사용되는 보수재료는 대부분이 시멘트 모르타르로서 응결시간이 다소 늦고 조기 강도 발현이 낮은 단점이 있다(Yoon et al. 2017). 특히, 단시간 작업이 요구되거나 차량 통행에 의한 충격이 지속적으로 발생하는 구간에서 보수를 시행하는 경우에는 모르타르의 경화부족으로 보수 재료 박락의 문제가 발생하기도 한다. 이에 대한 대안으로서 급결제의 사용이 가장 일반적이다. 급결제는 시멘트의 응결 및 경화를 촉진시키기 위한 재료로서 주로 알루미늄 이트계, 알칼리프리트계 및 실리케이트계가 사용되고 있다. 알루미늄 이트계의 경우에는 pH 11~14의 강염기성의 독성이 강한 재료로서, 사용자의 피부 자극 및 화상의 위험성을 내포한다. 시멘트계 재료의 특성에 따라 급결의 효과가 상이하며, 장기강도의 저하가 발생하는

* Corresponding author E-mail: yangkh@kgu.ac.kr

¹경기대학교 건축공학과 석사과정 (Depart. Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea)

²경기대학교 건축공학과 박사과정 (Depart. Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea)

³경기대학교 건축공학과 교수 (Depart. Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea)

문제점을 갖는다(Park et al. 2004). 알칼리프리게 급결제는 황산알루미늄과 같은 알루미늄염을 주성분으로 하는 재료로서 장기강도 저하의 문제가 적고 인체 유해성이 적은 제품이나, 초결이 느리고 비교적 높은 단가의 문제가 있다(Lee et al. 2005). 무기염계의 실리케이트 급결제의 경우에는 국내에서 보편적으로 사용되는 재료로 속경성 확보에 있어 유리한 특징을 갖는다. 이와 같이 보수재료에서 급결제의 사용은 보편화되어 지고 있는 추세이나, 재료의 혼입량 변화에 대한 보수재료의 응결특성의 변동 범위 및 강도 발현 특성에 대한 체계적인 연구는 여전히 미흡한 실정이다. 특히, 적절한 양의 급결제를 첨가하지 않는 경우에는 보수재료의 물성저하 및 급결 성능 저하의 문제를 내포하고 있어 그 사용량의 결정에 있어 주의를 필요로 한다(Jeon et al. 2012).

이 연구에서는 Yoon et al.(2019)의 연구에서 제시된 화학적 열화 및 생물학적 열화에 노출된 콘크리트 하수관 및 암거의 생태학적 보수재료인 글라이코 칼릭스(glycocalix) 코팅재의 속경성 향상 및 조기 강도 증진을 위한 급결제 혼입의 특성을 검토하였다. 글라이코 칼릭스 코팅재의 적용처에 따라 제안된 단면 뿔어 붙이기용 및 라이닝용 코팅재 배합에서 실리케이트계 급결제의 첨가량을 10mL/L, 25mL/L 및 40mL/L로 변화하였으며, 이에 따른 코팅재의 응결 및 강도발현 특성을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

글라이코 칼릭스 코팅재 제작을 위해 결합재로 사용된 보통포틀랜드시멘트(ordinary portland cement, OPC)의 물리적 특성 및 화학적 조성을 Table 1에 나타내었다. OPC의 밀도 및 분말도는 각각 3.15g/cm³ 와 3,284cm²/g이다. OPC의 주요 화학조성은 CaO 및 SiO₂로서 각각 전체 화학조성비의 62.4% 및 21.7%를 차지하고 있다. 코팅재 제작에 사용된 폴리머는 밀도 및 평균입자 크기가 각각 0.5g/cm³ 와 100μm의 에틸렌 초산 비닐(ethylene vinyl acetate, EVA)계 재유화형 분말이다(Table 2). 폴리머의 분산성 확보 및 공기연행 방지를 위한 재료로서는 밀도 0.5g/cm³의 분산제와 소포제를 사용하였다. 코팅재 제작을 위한 골재로서는 0.05~0.17mm, 0.17~0.25mm 및 0.25~0.7mm의 입경을 갖는 규사(silica sand)를 사용하였으며, 첨유로서는 밀도 1.3g/cm³ 및 직경 120μm의 폴리에틸렌(polyethylene, PE) 재료가 사용되었다. 코팅재의 경화 속도 조절을 위한 재료로서는 규산나트륨(Na₂SiO₂ · nH₂O)을 주요 성분으로 하는 밀도 1.25g/cm³의 실리케이트계 액상형 재료를 사

Table 1. Physical properties and chemical composition of ordinary portland cement

Materials	Physical properties		Chemical composition(%)						
	Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI ¹
OPC	3.15	3,260	21.7	5.3	3.1	62.4	1.6	1.7	0.8

Note] 1: Loss on ignition

Table 2. Properties of polymer used

Density (g/cm ³)	Viscosity (mPa · s)	Glass transition temperature (°C)	pH	Average particle size (μm)
0.5	2,000	16	6~8	100

용하였다.

글라이코 칼릭스 형성 박테리아는 Table 3의 조성을 갖는 배양액에서 10⁹cell/mL 농도로 배양된 *Rhodobacter capsulatus*가 이용되었으며, Yoon et al.(2018)이 제시한 고정화 기술에 따라 다공성의 팽창질석에 고정화 되었다. 박테리아 생장처 제공을 위한 다공성의 팽창질석은 밀도 0.25g/cm³ 및 양이온교환 용량(cation exchange capacity, CEC) 120~150meq/100g의 재료이다.

Table 3. Media compositions for *Rhodobacter capsulatus*

27s Medium composition	Quantity
Yeast extract	1.0g
Disodium succinate hexa-hydrate	1.0g
Absolute ethanol	0.5mL
Ferric citrate solution (0.5%)	1.0mL
KH ₂ PO ₄	0.5g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.4g
NaCl	0.4g
NH ₄ Cl	0.4g
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.05g
NaCl	0.4g/L
Trace-element solution	1mL/L
Distilled water	1L
Carbon source: succinate	Medium wt.×0.3%

2.2 실험상세 및 측정

글라이코 캘릭스 코팅재의 경화속도 및 압축강도 특성 평가를 위한 배합상세를 Table 4에 나타내었다. 배합실험은 코팅재 적용 위치에 따라 제안된 단면 뿔어 붓이기용(shotcrete) 배합 및 라이닝용(lining) 배합의 두 그룹으로 구분하였다. 이들 배합실험에서의 주요 변수는 경화속도 조절을 위한 급결제 첨가량이다. 두 그룹에서 급결제의 첨가량은 10mL/L, 25mL/L 및 40mL/L로 변화하였다. 이와 함께 박테리아가 고정화된 팽창질석의 치환율을 골재 부피의 10% 및 35%로 변화하여 급결제 변화량이 코팅재의 경화 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

각 배합에서는 비교를 위해 박테리아 고정화 재료 및 급결제를 첨가하지 않은 배합을 기준으로 하였다. Table 4의 실험체 명에서 S10-10의 경우 단면 뿔어 붓이기용(shotcrete) 배합으로서 팽창질석의 치환율 및 급결제 혼입량이 각각 10% 및 10mL/L임을 의미한다. 단면 뿔어 붓이기용 배합의 물-결합재비(water to binder ratio, W/B) 및 골재-결합재비(sand to binder ratio, S/B)는 각각 34% 및 2.0으로 하였다. 폴리머의 혼입비율은 전체 결합재 질량의 5%로 하였으며, 분산제와 소포제의 혼입량은 폴리머 질량의 0.5%로 하였다. 단면 뿔어 붓이기용 배합에서 골재의 사용은 0.25~0.7mm의 규사로 하였다. 이와 함께 섬유 혼입량은 0.2%로 하였다. 라이닝용 배합의 W/B 및 S/B는 각각 35% 및 2로 하였다. 폴리머의 혼입비율은 10%로 하였으며, 분산제와 소포제의 혼입량은 단면 뿔어 붓

기용과 마찬가지로 폴리머 질량의 0.5%로 하였다. 더불어 라이닝용 배합에서 골재의 사용은 0.05~0.17mm, 0.1~0.25mm 및 0.25~0.7mm의 규사를 동일한 질량비로 혼입하여 사용하였으며, 섬유는 혼입하지 않았다.

코팅 모르타르 배합은 KS ISO 679(2016)에 따라 실시하였으며, 배합시 *Rhodobacter capsulatus*가 고정화된 다공성 재료를 혼입하여 제작하였다. 박테리아가 고정화된 다공성 재료를 혼입하는 배합의 경우에는 고정화 재료의 흡수율을 고려하여 배합수의 투입량을 조정하였다. 모르타르의 비빔은 기계식 믹서를 사용하여 잔골재와 결합재를 1분간 저속으로 사전 혼입한 후 배합수를 첨가하여 1분간 고속으로 혼입하였다. 배합이 완료된 코팅모르타르에서는 경화속도 조절을 위해 계획된 급결제를 정량 혼입 한 후 1분간 추가적으로 고속 혼입하였다. 급결제 첨가 후 혼입이 완료된 시료는 KS F 2763(관입 저항침에 의한 콘크리트 보수재의 응결시간 측정방법; 2018)에 따라 지름 75mm, 깊이 100mm의 용기에 타설하여 응결시간을 측정하였다. 응결시간 측정에서는 관입 저항이 0.5MPa 및 3.5MPa인 경우를 각각 초결시간 및 종결시간으로 하였다. 이와 함께 압축강도 측정을 위한 시험체는 50×50×50mm의 큐브형 몰드에 타설하였으며, 항온항습 (습도 60±5%, 온도 20±1°C)의 환경에서 양생을 실시하였다. 코팅 모르타르의 압축강도 측정은 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법; 2017)에 따라 재령 1일, 3일, 7일, 28일에서 측정하였다.

Table 4. Mixture proportions for glycolcalix coating materials and summary of test results

Specimens	W/B (%)	S/B	Binder composition(%)		Volume fraction of fiber (%)	Replacement ratio of expanded vermiculite (sand vol. %)	Accelerating agent contents (mL/L)	Test results					
			OPC	Polymer				Setting time(Min.)		Compressive strength(MPa)			
								Initial	Final	1 day	3 days	7 days	28 days
S-Control	34	2	95	5	0.2	0	0	292	465	8.2	14.1	22.1	38.9
S10-10						10	85	378	9.1	15.1	21.8	34.9	
S10-25						25	30	230	10.2	14.5	20.2	32.6	
S10-40						40	18	80	10.4	13.2	18.8	31.6	
S35-10						10	168	345	8.3	12.1	15.7	30.5	
S35-25						25	107	293	8.8	11.5	14.2	27.8	
S35-40						40	25	285	8.4	11.4	12.8	25.1	
L-Control						35	2	90	10	0	0	0	255
L10-10	10	160	380	12.2	18.5						25.8	38.7	
L10-25	25	87	340	13.2	17.2						24.1	37.0	
L10-40	40	32	318	14.1	16.6						23.8	35.2	
L35-10	10	231	450	11.4	16.1						21.0	32.9	
L35-25	25	168	400	12.8	15.8						20.1	30.5	
L35-40	40	108	360	13.1	15.5						19.3	28.5	

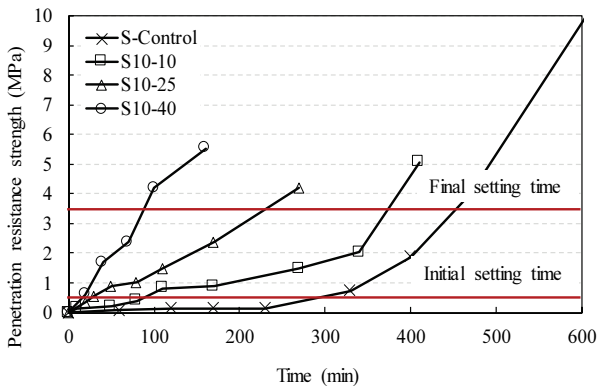
3. 실험결과 및 분석

3.1 응결시간

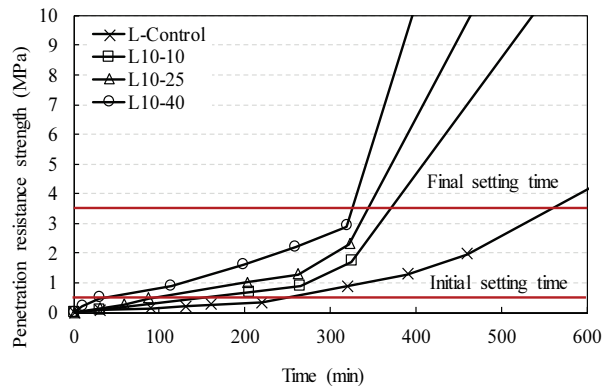
글라이코 캘릭스 코팅재 배합에서 급결제 혼입량 변화에 따른 응결시간의 측정결과를 Table 4에 요약하였다. 단면 뿔어 붙이기용 코팅재의 응결시간은 박테리아 고정화 재료의 치환율 변화에 관계 없이 급결제의 혼입량이 10mL/L에서 40mL/L로 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1). 박테리아 고정화 재료 치환율이 10%인 경우 코팅재의 응결시간은 급결제 혼입량이 40mL/L인 경우 초결 및 종결시간이 각각 18분 및 80분으로 가장 빠르게 나타났다. 급결제 혼입량이 25mL/L, 10mL/L인 시험체의 경우에는 초결시간은 각각 30분 및 85분으로 40mL/L 시험체 대비 각각 1.67배 및 4.72배 증가하였다. 박테리아 고정화 재료의 치환율이 35%인 경우에는 고정화 재료의 치환율 10%인 경우와 마찬가지로 급결제의 혼입량이 많을수록 응결시간이 감소하는 결과를 보였으며, 급결제 혼입량이

40mL/L인 경우 25분으로 가장 빠르게 나타났다. 급결제 혼입량이 25mL/L, 10mL/L인 시험체의 경우에는 초결시간은 각각 107분 및 168분으로 그 혼입량이 40mL/L인 시험체 대비 각각 4.28배 및 6.72배 증가하였다. 급결제를 혼입하지 않은 S-Control 시험체의 초결 및 종결시간이 각각 292분 및 465분으로, 가장 낮은 응결 특성을 나타내었던 S35-10 초결 및 종결시간이 각각 1.74배 및 1.35배 증가하였다. 응결시간의 측정결과에서 박테리아 고정화 재료의 치환율이 35%인 경우가 10%인 배합에 비해 초결과 종결시간이 증가하는 결과를 보였다. 이러한 결과는 규사에 비해 비교적 낮은 밀도의 다공성 재료인 팽창질석의 사용이 코팅재 내부구조의 치밀성과 경화 속도 저하에 영향을 미친 것으로 판단된다.

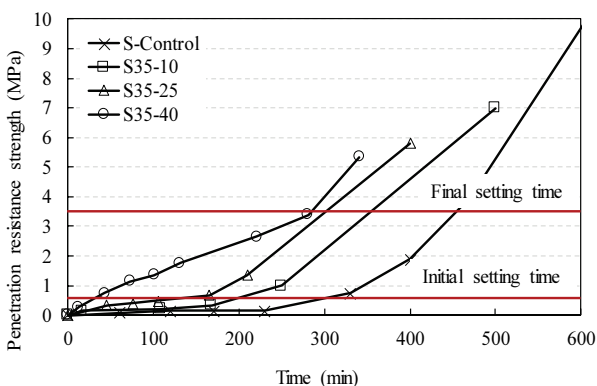
라이닝 공법용 코팅재의 응결시간 측정 결과는 단면 뿔어 붙이기용 배합의 결과와 마찬가지로 급결제의 혼입량이 10mL/L에서 40mL/L로 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig 2). 박테리아 고정화 재료 치환율이 10%인 경우 라이닝 공법용 코팅재의 응결시



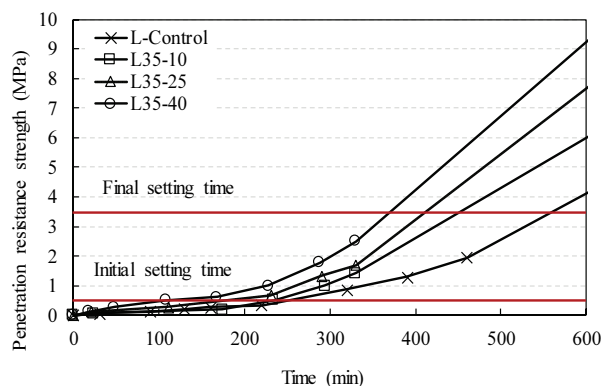
(a) Replacement ratio of bacteria carrier = 10%



(a) Replacement ratio of bacteria carrier = 10%



(b) Replacement ratio of bacteria carrier = 35%



(b) Replacement ratio of bacteria carrier = 35%

Fig. 1. Setting time behavior of glycolix coating materials for shotcrete technique

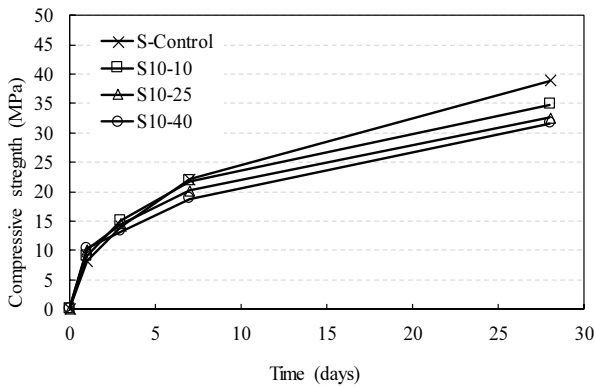
Fig. 2. Setting time behavior of glycolix coating materials for lining technique

간은 급결제 혼입량이 40mL/L인 경우 초결 및 종결시간이 각각 32분 및 318분으로 가장 빠르게 나타났다. 급결제 혼입량이 25mL/L, 10mL/L인 시험체의 경우에는 초결시간은 각각 87분 및 160분으로 그 혼입량이 40mL/L인 시험체 대비 각각 2.78배 및 5배 증가하였다. 박테리아 고정화재료의 치환율이 35%인 배합에서 급결제 혼입량을 40mL/L로 한 경우에는 초결시간이 108분으로 가장 빠르게 나타났으며, L10-25, L10-10 시험체의 초결시간이 S10-40 시험체 대비 각각 1.56배 및 2.14배 증가하였다. 이와 함께 박테리아 고정화 재료의 치환율이 35%인 경우가 10%인 배합에 비해 초결 및 종결시간은 증가하는 결과를 보였으며, 급결제를 혼입하지 않은 L-Control 시험체의 경우 초결 및 종결시간은 각각 255분 및 570분으로 가장 느린 응결 특성을 보였다. 더불어 고정화 재료를 10% 혼합한 라이닝용 배합에서는 급결제의 혼입량이 10mL/L에서 40mL/L로 변화함에 따라 종결시간이 380분에서 318분으로 소폭 감소한 반면, 고정화 재료를 10% 혼합한 단면 뿔어 붙이기 배합에서

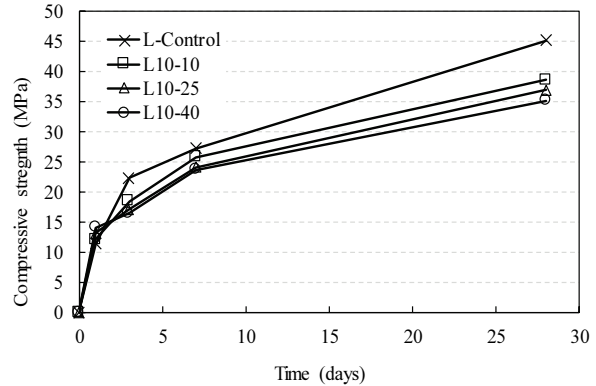
는 급결제의 혼입량이 증가함에 따라 종결시간이 378분에서 80분으로 크게 감소하였다. 이러한 결과는 단면 뿔어 붙이기용 배합의 경우 라이닝용 배합에 비해 더 많은 양의 시멘트를 사용함에 따라 급결제의 알칼리 성분과 만나 알루미나-실리카 겔 반응을 이루는 시멘트 중의 알루미늄이네이트 성분이 더 많이 포함될 수 있음을 의미하며, 이는 글라이코 캘릭스 코팅재의 경화속도에 있어 비교적 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

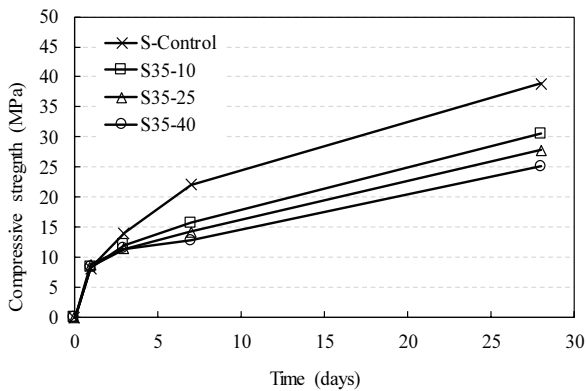
단면 뿔어 붙이기용 코팅재의 재령 28일 압축강도는 급결제를 혼입하지 않은 S-Control 시험체의 경우가 38.9MPa로 가장 높은 결과를 보였으며, 이를 제외한 시험체에서는 급결제의 첨가량이 10mL/L에서 40mL/L로 증가함에 따라 감소하는 결과를 보였다(Fig. 3). 반면 재령 1일의 압축강도 결과에서는 급결제를 첨가한 모든 배합이 S-Control에 비해 높은 결과를 보였으며, 재령 3일 이후 강도 발현



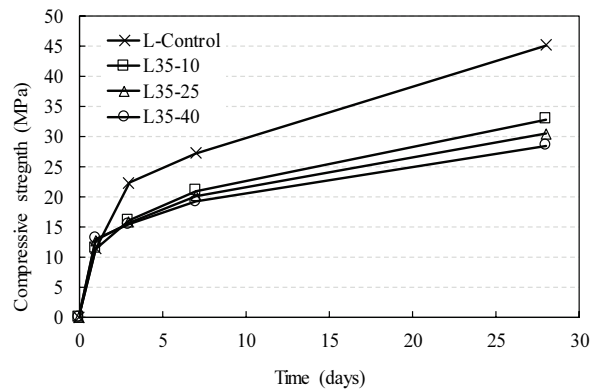
(a) Replacement ratio of bacteria carrier = 10%



(a) Replacement ratio of bacteria carrier = 10%



(b) Replacement ratio of bacteria carrier = 35%



(b) Replacement ratio of bacteria carrier = 35%

Fig. 3. Compressive strength development of glycolix coating materials for shotcrete technique

Fig. 4. Compressive strength development of glycolix coating materials for lining technique

의 크기가 S-Control에 비해 감소하는 결과를 보였다. 급결제를 첨가한 시험체 중 재령 1일의 압축강도가 10.4MPa 및 8.4MPa로 가장 컸던 S10-40 및 S35-40 시험체는 재령 28일 압축강도는 각각 31.6MPa 및 35.1MPa로 가장 낮은 결과를 보였다. 이들 시험체의 재령 1일 대비 재령 28일의 압축강도 증가 수준은 약 3배로서 약 4.7배의 강도발현 수준을 보인 S-Control 시험체에 비해 낮았다. 일반적으로 실리케이트 등의 알칼리계 급결제를 사용한 시험편의 장기강도는 급결제를 사용하지 않은 배합보다 20~25% 수준 감소되는 것으로 보고되고 있는데(Prudencio Jr 1998), 이는 급결제를 구성하는 알칼리성분이 시멘트 중의 알루미늄이온 성분과 반응하여 생성되는 알루미늄-실리카 겔의 반응 축진의 영향이다(Kim and Ryu 2004). 이러한 현상은 시멘트의 정상적인 수화를 방해하여 강도 발현성능 저하의 영향을 미친다. 이에 따라 본 실험결과에서도 급결제를 다량 첨가한 배합의 경우가 재령 28일에서의 압축강도 발현이 가장 낮은 결과를 보인 것으로 판단된다.

라이닝 공법용 코팅재의 재령 28일 압축강도 측정 결과에서도 급결제를 첨가하지 않은 L-Control 시험체가 45.2MPa로 가장 높은 결과를 보였다. 이와 함께 재령 1일에서 가장 높은 수준의 강도 발현을 보인 L10-40 시험체 및 L35-40가 재령 28일에서는 각각 35.2MPa 및 28.5MPa로 가장 낮았다. 이들 시험체의 재령 1일 대비 재령 28일의 강도 증가 수준은 각각 2.5배 및 2.2배 수준으로 3.9배의 강도증가를 보인 L-Control 시험체에 비해 각각 36% 및 43% 낮았다. 가장 적은 양의 급결제를 첨가한 L10-10 및 L35-10 시험체에서 재령 1일 대비 재령 28일 압축강도의 증가수준은 각각 3.2배 및 2.9배로 급결제를 40mL/L 첨가한 배합에 비해 높았지만, 이 값 또한 L-Control 시험체에 비해 각각 18% 및 25% 낮았다. 글라이코 캘릭스 코팅재의 압축강도 발현은 박테리아 고정화 재료를 35% 혼합한 배합의 경우가 10%를 혼합한 배합에 비해 비교적 낮은 결과를 보였는데, 이는 응결시간의 측정 결과와 마찬가지로 규사에 비해 비교적 낮은 밀도의 다공성 재료인 팽창질석 사용에 의한 영향으로 판단된다.

4. 결론

글라이코 캘릭스 코팅재의 적용처에 따라 제안된 단면 뿔어 붙이기용 및 라이닝용 코팅재 배합에서 실리케이트계 급결제의 첨가량 변화에 따른 응결시간 및 강도발현 특성 평가 결과 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단면 뿔어 붙이기용 코팅재의 종결시간은 S10-40 시험체가

80분으로 가장 빠르게 나타났으며, 박테리아 고정화 재료의 치환비율이 낮고 급결제의 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 결과를 보였다.

2. 라이닝용 코팅재의 배합에서 L10-40 시험체의 종결시간은 318분으로 가장 빨랐는데, 이 결과는 단면 뿔어 붙이기용 S10-40 배합에 비해 약 4배 느린 결과이다.
3. 단면 뿔어 붙이기용 코팅재에서 급결제를 40mL/L 첨가한 L10-40 및 L35-40 시험체의 재령 28일 압축강도 증가 수준은 재령 1일의 결과대비 약 3배 수준으로, 약 4.7배의 강도 증가를 보인 S-Control 시험체에 비해 36% 낮았다.
4. 라이닝용 코팅재의 압축강도 또한 급결제를 혼합하지 않은 L-Control 시험체의 재령 28일 압축강도가 45.2MPa로 가장 높았으며, 규사에 비해 비교적 낮은 밀도의 다공성 재료인 팽창질석을 35% 혼합한 배합의 강도발현은 팽창질석을 10%를 혼합한 배합에 비해 비교적 낮았다.
5. 본 연구는 화학적 열화 및 생물학적 열화에 노출된 콘크리트의 표면 보호를 위해 개발된 글라이코 캘릭스 코팅재의 경화 성능 제어를 위한 기초 연구로서, 향후 실제 현장에서 급결제가 혼합된 코팅재의 시공 성능 등에 대한 평가가 수행 될 필요가 있다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비 지원(19SCIP-B103706-05)에 의해 수행되었습니다.

Reference

Jeon, J.T., Park, H.T., Lee, Y.K. (2012). Experimental study on reduced amount of rebound in wet process shotcrete works by upon accelerator contents, *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, **32(6D)**, 615-622.

Kim, J.C., Ryu, J.H. (2004). Setting time and strength characteristics of cement mixtures with set accelerating agent for shotcrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **16(1)**, 70-78 [in Korean].

KS L ISO 679. (2016). *Methods of Testing Cements – Determination*

- of Strength, KSSN, 1–16 [in Korean].
- KS F 2763. (2018). Standard Test Method for Setting Times of Cementitious Concrete Repair Materials by Penetration Resistance, KSSN, 1–5 [in Korean].
- KS L 5105. (2017). Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, KSSN, 1–5 [in Korean].
- Lee, S.H., Kim, Y.H., Hahm, H.G., Kim, K.J. (2005). Setting time, strength and rebound rate of shotcrete according to accelerators, Journal of the Korea Concrete Institute, **17(3)**, 427–434 [in Korean].
- Prudencio Jr, L.R. (1998). Acceleration admixtures for shotcrete, Cement and Concrete Composites, **20(2–3)**, 213–219.
- Park, H.G., Lee, M.S., Won, J.P., Kim, J.K. (2004). Performance of wet-mixed shotcrete with powder types cement mineral accelerator, Journal of the Korean Society of Civil Engineering, **24(1C)**, 65–69 [in Korean].
- Park, J.S., Park, K.T., Park, H.B., Kim, B.C. (2018). Concrete repair and rehabilitation code and post-reinforcement evaluation technology, Magazine of the Korea Concrete Institute, **30(4)**, 21–26 [in Korean].
- Shin, S.B., Kim, G.Y., Nam, J.S., Shin, K.S., Lee, B.K. (2019). Material properties of repair mortar considering accelerator type and curing conditions, Journal of the Korean Institute of Building Construction, **19(4)**, 299–306 [in Korean].
- Yang, K.H., Yoon, H.S., Lee, S.S. (2016). Sulfate resistance coating technology for concrete drain pipe using bacteria slime, Magazine of the Korea Concrete Institute, **28(3)**, 18–22 [in Korean].
- Yoon, H.S., Lee, K.H., Yang, K.H. (2017). Tests on magnesium phosphate composite mortar mixtures with different molar ratios of MgO-to-KH₂PO₄, Journal of the Korean Institute of Building Construction, **17(3)**, 211–217 [in Korean].
- Yoon, H.S., Yang, K.H., Lee, S.S. (2018). Bacteria mobilizing approach for developing biomimic coating materials for concrete protection, Journal of the Korea Concrete Institute, **30(2)**, 147–155 [in Korean].
- Yoon, H.S., Yang, K.H., Lee, S.S. (2019). Evaluation of sulfuric acid resistance of biomimetic coating mortars for concrete surface protection, Journal of the Korea Concrete Institute, **31(1)**, 61–68 [in Korean].

실리케이트계 급결제를 혼입한 글라이코 캘릭스 코팅재의 응결시간 및 압축강도 발현 특성

이 연구에서는 화학적 열화 및 생물학적 열화에 노출된 콘크리트의 보호를 위해 개발된 글라이코 캘릭스(glycocalix) 코팅재의 응결속도 및 압축강도 발현에 대한 실리케이트계 급결제 혼입의 영향을 검토하였다. 글라이코 캘릭스 코팅재의 적용처에 따라 제안된 단면 뿔어 붙이기용 및 라이닝 공법용 코팅재 배합에서 실리케이트계 급결제의 첨가량을 10mL/L, 25mL/L 및 40mL/L로 변화하였다. 글라이코 캘릭스 코팅재의 경화속도는 박테리아 고정화 재료 양에 의해서도 영향을 받았는데, 40mL/L의 급결제를 첨가한 단면 뿔어 붙이기 및 라이닝 공법용 배합의 종결시간은 각각 80분 및 318분이었다. 급결제를 첨가한 글라이코 캘릭스 코팅재의 강도 발현은 급결제 첨가량이 증가함에 따라 일반 코팅재에 비해 낮은 결과를 보였다.