

C₁₂A₇계 알루미나시멘트 및 아질산염을 사용한 저온환경 보수시공용 시멘트 모르타르의 특성

박정훈^{1*}

Properties of Repair Cement Mortar with C₁₂A₇-based Alumina Cement and Nitrite for Low Temperature Curing

Jung-Hoon Park^{1*}

Abstract: The purpose of this study is to evaluate the basic performance of cement mortar for repair using alumina cement and nitrite can be cured in low temperature environment. For this purpose, the repair mortar used in the domestic construction site was selected and the experimental evaluation was carried out by adjusting the mixing amount by substituting alumina cement and nitrite for the blending ratio. The experimental test results confirmed that alumina cement and nitrite were replaced with the repair mortar, the initial strength was improved. Also, the chemical resistance was improved, the shrinkage behavior was decreased, and the resistance to freezing and thawing was increased. As a result, applying alumina cement and nitrite at a ratio of 2:1 at 7.5%, the surface condition was maintained for 5 months or longer and it was judged to be excellent in practical use for external structures.

Keywords: Low temperature, Aluminate cement, Nitrite, Repair mortar

1. 서 론

콘크리트건축물 및 토목구조물은 시공이후 유지관리측면에서 보수 및 보강되어야 하며 특히 부분적으로 충격, 진동, 하중에 의해 내구성이 취약한 부분에 대하여 정기적인 보수시공이 요구된다. 보수공법은 국내 현실에 맞게 다양한 재료 및 시공방법에 따라 개량 및 개발되어 적용되고 있다. 일반적으로 시멘트 및 골재를 주성분으로 하는 보수용 시멘트 모르타르는 폴리머 등을 비롯한 다양한 혼화재료가 프리믹스 형태의 제품으로 시판되고 있으며, 건설현장에서 물과 즉석으로 혼합하여 별도의 장비 없이 쉽게 시공할 수 있어 다양한 현장에서 널리 사용되고 있다(Han et al., 2000).

보수용 시멘트 모르타르는 외기온도가 영하상태의 저온환경에서는 시멘트가 수화하기 위해 필요한 혼합수가 결빙되거나 시공과정에서 작업성 저하 등의 문제점이 발생되며, 모르타르가 경화된 이후 표면에 균열이 발생하는 등 초기동해로

인한 피해가 보고되고 있다. 보수용 모르타르는 외부환경조건에 노출된 상황에서도 물리적 및 화학적 저항성능을 발휘하는 것이 필수적이며, 상기 초기동해로 인한 피해를 방지하기 위해 일부 공사현장에서는 난방설비 등을 설치하여 가열 및 보온양생을 적용하는 경우가 있으나, 공사현장이 넓은 산간지방이나 하수, 하천 등 실외에서는 설치가 어렵고 비용이 높게 발생되어 보온양생을 적용하는데 불가능한 실정이다(Jung, 2007).

최근 한중콘크리트공법의 기술개발에 관한 연구의 일환으로 영하상태에서 혼합수가 결빙되는 것을 방지하고 시멘트의 수화반응을 촉진시키기 위한 재료로서 초속경시멘트, 고발열형 시멘트, 방동제, 내한축진제가 개량 및 개발되어 극한지 콘크리트공사에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 알루미나시멘트는 CaO, Al₂O₃의 함량이 80% 이상이며 성분의 조성형태에 따라 C₃A, CA, C₁₂A₇ 등의 형태로 구성되고 초기에 급격한 수화반응으로 인한 높은 수화열이 발생하는 특징이 있다(Onder 2006). 이와 같은 고발열형시멘트의 높은 수화열은 저온환경 시공에서 모르타르가 동결하는 것을 방지하고 수화반응을 촉진시켜 조기에 강도발현이 우수하여 저온환경에서 동결피해를 방지하는 특성을 나타내었다(Min et al., 2016). 아질산염은 콘크리트 방동제 및 내한축진제의 원료로

¹정회원, 케미콘 기술연구원 연구원, 교신저자

*Corresponding author: jhpark@chemicon.co.kr

Chemicon co., Ltd, Jincheon, Chungbuk, 46241, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

사용되는 NO₂를 함유하는 화합물로서 아질산칼슘, 아질산나트륨이 물에 쉽게 용해되며 물의 어는점을 낮추는 기능과 동시에 시멘트의 수화반응을 촉진시키는 특성을 나타낸다(Cho et al., 2009). 그러나 아질산염의 사용량이 과도하게 사용될 경우 시멘트의 이상응결을 유발할 수 있으며 사용에 주의가 필요하다(Park et al., 2006). 이러한 알루미늄시멘트 및 아질산염을 기존 보수용 시멘트 모르타르에 적용하여 저온환경에서 사용가능한 보수재료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 기능성을 지닌 재료를 보수용 모르타르에 사용하여 저온환경에서 시공성 및 내구성에 대한 실질적 평가 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄시멘트와 아질산염을 사용한 저온환경 보수시공용 시멘트 모르타르의 시공성과 내구성을 평가하기 위해 플로우, 응결시간, 길이변화, 압축강도, 휨강도, 부착강도, 내화학성 실험을 실시하였고, 비교를 위해 시판되는 보수 모르타르 제품과 비교하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 저온환경에서 경화가 가능한 알루미늄시멘트 및 아질산염을 사용한 보수용 시멘트 모르타르의 기초성능을 평가하고자 하였다. 이를 위해 국내 건설현장에서 사용하는 보수

Table 1 Experiment plan

Specimen	W/M ¹⁾ (%)	Mix design of mortar (%)			Retarder ⁵⁾ (M×wt%)	Curing temperature
		Binder ratio of repair mortar ²⁾	CAC/S/G ³⁾	CN ⁴⁾		
Plain		100	0	0	-	
AC		92.5	7.5	0		
ACN-2:1	17%	92.5	5	2.5		
ACN-1:1		92.5	3.75	3.75	0.04	
ACN-1:2		92.5	2.5	5		-5°C
N		92.5	0	7.5		

- 1) W/M: Water - mortar ratio
- 2) Binder ratio of repair mortar: compound of OPC, CSA and gypsum(without filler and chemical admixture)
 - OPC: Ordinary portland cement
 - CSA: Calcium sulfo aluminate
- 3) CAC/S/G: Compound of aluminate cement, slag and gypsum
- 4) CN: Calcium nitrite
- 5) Retarder: Citric acid

용 모르타르를 선정하였으며, 이를 대상으로 배합비율에 대한 알루미늄시멘트, 아질산염을 치환하여 혼입량 조절에 따른 실험평가를 실시하였다. 보수용 모르타르를 대상으로 알루미늄시멘트 및 아질산염을 치환하여 배합비율에 따른 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 물-모르타르비(W/M)는 보수 모르타르의 적정사용비율에 따라 17%로 설정하였으며, 본 연구에 앞서 사전실험을 통해 알루미늄시멘트 및 아질산염을 시멘트에 혼입하여 사용할 경우 시멘트의 급결발생 및 작업성이 저하하는 현상이 나타났으며, 이를 개선하기 위해 지연제로서 무수구연산을 모르타르 대비 0.04%로 설정하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 보수용 모르타르

본 연구에서 선정한 보수용 모르타르는 국내 건설자재 제조업체 B사에서 생산되는 프리믹스 형태의 보수용 폴리머 시멘트 모르타르제품으로서, 제조사의 협조를 통해 해당제품에 사용된 재료를 조사하였고, 이를 바탕으로 배합비율을

Table 2 Characteristics of repair mortar

Product type	Composition of materials		
	Binder	Mixed Filler	Chemical admixture
Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure (KS F 4042)	OPC, CSA, gypsum	Calcium carbonate	VAE ¹⁾ polymer, plasticizer, defoamer

1) VAE: Vinyl acetate ethylene polymer

Table 3 Chemical composition of repair mortar

Materials	Chemical composition(%)
Cement	SiO ₂ : 21.86, Al ₂ O ₃ : 4.95, Fe ₂ O ₃ : 3.66, CaO: 61.70, MgO: 2.75, SO ₃ : 2.16
CSA	SiO ₂ : 3.85, Al ₂ O ₃ : 39.21, Fe ₂ O ₃ : 0.14, CaO: 44.40, MgO: 0.38, SO ₃ : 10.85
Gypsum	CaO: 38.50, SO ₃ : 55.10

Table 4 Properties of repair mortar

Materials	Principal properties
Cement	Specific gravity: 3.15 Blaine: 3,280 cm ² /g
Sand	Specific gravity: 2.53 Fineness modulus: 2.20
CSA	Specific gravity: 2.85 Blaine: 4,950 cm ² /g
VAE polymer	Appearance: White powder Apparent density: 0.55 Glass transition temperature: 5°C

조절하여 실험을 실시하였다. 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC), 석고는 무수석고, 골재는 5호사, 6호사가 일정비율로 혼합된 쉐사를 사용하였다. 조강형 재료로서 칼슘숯포알루미네이트(이하 CSA)와 충전형 재료로서 CaCO₃가 사용되었고, 기능성 재료로서 VAE계 분말수지를 비롯한 기타 첨가제로서 PC계 고성능유동화제, 소포제가 사용되었다. 실험에서 사용한 보수모르타르 제품의 주요재료와 혼합재료들의 종류, 화학성분 및 물리적 특성을 Tables 2~4에 나타내었다.

2.2.2 알루미늄시멘트

알루미늄시멘트는 국외 K사에서 개발된 탄산칼슘 및 산화알루미늄, 수산화알루미늄 분말이 가열되는 공정에서 제조되어 C₁₂A₇계로 구성된 형태의 제품을 선정하였다. C₁₂A₇의 경우 CA계로 구성된 알루미늄시멘트 대비 높은 반응성을 나타내며 수화열이 높고 수화반응속도가 매우 빠른 특징이 있다. 초기의 급격한 수화반응은 건조수축현상을 유발하며 이후 장기간에 걸쳐 지속적으로 수축되어 내구성이 악화될 수 있다. 이에 대하여 기존 연구사례에서 석고 및 슬래그를 사용할 경우 수화반응 속도를 조절하고 팽창정도를 제어하는데 효과가 있는 것으로 조사되었다(Onder 2006). 이에 본 연구에서는 알루미늄시멘트 제조사의 협조를 통해 수화열의 발생은 높으며 초기반응성 및 팽창성능이 조절된 알루미늄시멘트, 석고 및 슬래그가 일정비율로 혼합된 형태의 제품(이하 CAC/S/G)을 사용하였다. Fig. 1은 XRD 분석에 의한 실험결과이며 Table 5는 XRF 실험에 의한 CAC/S/G의 화학적 성분분석 결과를 나타낸 것이다.

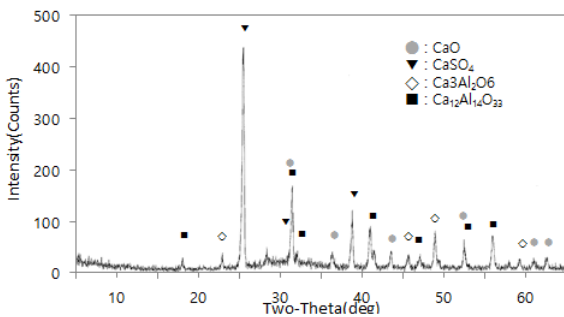


Fig. 1 XRD analyse result of CAC/S/G

Table 5 Chemical composition of aluminate cement

Materials	Chemical composition(%)
Aluminate Cement (CAC/S/G ¹⁾)	SiO ₂ : 2.15, Al ₂ O ₃ : 15.91, Fe ₂ O ₃ : 0.63, CaO: 53.36, MgO: 0.24, SO ₃ : 26.26

1) CAC/S/G : Calcium aluminate cement + slag, gypsum

Table 6 Properties of calcium nitrite

Materials	Properties
Calcium nitrite	Chemical symbol: Ca(NO ₂) ₂ Freezing temperature(34% solution): -20°C Corrosion inhibit component: NO ₂ ⁻

2.2.3 아질산염

아질산염은 한중콘크리트공사에 사용되는 방동제의 주요 원료로서 국내에서는 아질산칼슘 및 아질산나트륨이 주로 사용된다. 아질산칼슘은 철근의 부식을 방지하는 효과가 있어 방청제의 원료로도 사용되며(Moon 2012), 아질산나트륨의 경우 알칼리성분이 높은 골재를 사용할 경우 알칼리골재반응으로 인한 내구성악화가 유발될 수 있어 사용에 다소 제약이 있다(Kim et al., 2011). 이에 본 연구에서는 보수용 모르타르에 사용하기 위한 방동제의 원료로서 방청성 및 내구성을 고려하여 아질산칼슘을 선정하였다. 아질산칼슘의 세부 특성을 Table 6에 나타내었다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 기존 보수용 모르타르 제품에 알루미늄시멘트 및 아질산염을 혼합하여 저온환경에서 시공할 경우 보수용 모르타르의 시공성, 굳기 전 특성 및 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 시험을 수행하였다. Table 7에 측정항목에 대한 실험방법을 나타내었다. 시험체는 실험실의 온도를 5±2°C로 설정하여 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)의 규정에 따라 제작하였으며, 굳기 전

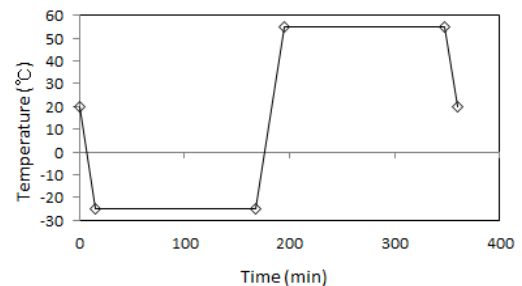


Fig. 2 Freezing-thawing temperature cycle

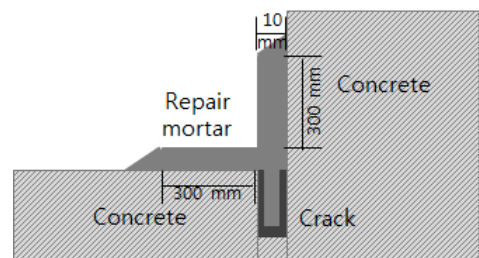


Fig. 3 Constructed section of repair mortar

Table 7 Contents of experiment

Experimental contents		Test methods	
Workability	Flow	Table flow test (KS F 2476)	
	Setting time	Penetration resistance test (KS F 2436)	
	Mortar curing	Temperature: -5°C (by 28 days in thermo-hygrostat)	
Principal properties	Dimensional variation	Mortar size: 40×40×160 mm, 1 ea (KS F 2424)	
	Compression strength	Mortar size: 40×40×40 mm, 3 ea (KS F 2476)	
	Flexural strength	Mortar size : 40×40×160 mm, 3 ea (KS F 2476)	
	Adhesive strength	Base mortar : 300×300×50 mm core mortar diameter : 50 mm, 3 ea (KS F 2762)	
	Chemical resistance	Acid resistance	Soak 28 days cured mortar(-5°C) into Ca(OH) ₂ saturated solution (KS F 4042)
Alkali resistance		Soak 28 days cured mortar(-5°C) into Na ₂ SO ₄ 10% solution (ASTM C 1012)	
Freezing- thawing resistance		Set 28 days cured mortar in thermo-hygrostat -25 to 55°C	Adhesive strength, base mortar : 300×300×50 mm, core mortar diameter: 50 mm, 3 ea (KS F 2762)
		6 hours×30 cycles (KS F 2472)	

모르타르 수준에서 플로우, 응결시간을 측정하였다. 시험체의 양생은 -5°C로 설정된 항온습습기를 사용하였으며 스트레 인게이지, 데이터로거를 이용하여 길이변화를 측정하였고 3일, 7일, 28일에 대한 압축강도, 휨 및 부착강도를 측정하였다. 보수용 모르타르의 화학저항성을 평가하기 위해 KS F 4042의 품질기준 내용 중 내알칼리성 시험방법과 ASTM C 1012(Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution)의 내산성 시험방법을 참조하여 -5°C의 온도에서 28일동안 양생된 시험체를 포화 수산화칼슘 수용액과 황산나트륨 10% 수용액에 28일간 침지하여 압축강도를 평가하였다. 동결융해 저항성을 평가하기 위해 -5°C의 온도에서 28일동안 양생된 시험체를 KS F 2472 (콘크리트 보수, 보호재의 기건 동결융해 시험방법)의 규정에 의거하여 Fig. 2에서 표시된 것과 같이 20°C에서 -25°C까지 냉각하고 55°C까지 온도를 상승시켜 6시간을 1사이클로 설

정하여 총 30회 반복하여 시험하였으며, 사이클 완료 후 7일간 표준상태에서 양생한 뒤 부착강도를 측정하였다. 또한 국내 동절기 외기환경에서 작업성 및 수축거동에 의한 표면상태를 검토하기 위해 Fig. 3과 같은 외부 구조물에 미장용 흙손을 이용하여 300×300 mm의 넓이에 10±2 mm의 두께로 1월에 시공하였으며 5개월간 시험체별 표면과 시공된 부착면의 상태를 관찰하였다.

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 플로우 및 응결시간

보수용 모르타르에 알루미나시멘트 및 아질산염을 혼입하여 작업성에 대한 평가를 플로우와 응결시간 측정실험을 통해 검토하였으며, 측정된 결과는 Table 8과 같다.

플로우 측정결과, Plain은 180 mm이며, 아질산염 대비 알루미나시멘트 함량이 증가할수록 플로우값은 감소하였다. 알루미나시멘트가 7.5% 치환된 AC의 경우 165 mm로 측정되었고 아질산염이 7.5% 치환된 N의 경우 Plain 대비 유동성이 증가하여 190 mm로 나타났다. 이는 알루미나시멘트와 물이 빠르게 수화반응에 참여하여 수화물을 생성시키는 것으로 추정되며, 아질산염의 경우 알루미나시멘트 대비 용해도가 높으며 수화반응 초기에 자유수의 비율이 증가되기 때문에 플로우가 증가하는 것으로 추정된다. 알루미나시멘트와 아질산염이 동일한 비율로 혼입된 ACN-1:1의 경우 Plain과 플로우가 유사하였으며, 알루미나시멘트와 아질산염을 함께 치환할 경우 플로우에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

응결시간 측정결과, Plain은 초결 8시간30분, 종결은 9시간이었으며 아질산염 대비 알루미나시멘트의 함량이 증가할수록 응결시간이 단축되는 것으로 나타났다. 알루미나시멘트가 7.5% 사용된 AC의 경우 초결과 종결이 각각 50분, 30분만큼 단축되었고, 아질산염이 7.5% 사용된 N의 경우 Plain과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 알루미나시멘트와 석고, 물

Table 8 Table flow and setting time test result

Specimen	Flow(mm)	Setting time(hour: min)	
		Initial set	Final set
Plain	180	8:30	9:00
AC	165	7:40	8:30
ACN-2:1	173	7:50	8:40
ACN-1:1	182	7:50	8:50
ACN-1:2	187	8:00	8:50
N	190	8:20	9:00

이 반응하여 에트링자이트가 생성되어 초결을 단축시키고 이 때 생성된 에트링자이트가 모노설페이트로 변하는 시간이 증가됨에 따라 초결에서 종결까지의 시간 차이가 증가된 것으로 추정된다. 아질산염의 경우 모르타르 시험체 전체에 대한 아질산염이 치환된 만큼 시멘트 함량이 감소되어 응결시간이 지연되었고 아질산염이 시멘트의 수화반응을 촉진시킨 효과의 정도가 유사하여 응결시간의 차이가 미비한 것으로 판단된다.

3.2 길이변화

길이변화 측정용 보수용 모르타르 시편은 -5°C의 항온항습기에서 스트레인게이지 및 데이터로거를 이용하여 측정하였으며 3일간 몰드 내에서 구속된 형태로 측정되었고 3일 이후 몰드를 탈형한 형태로 측정되었다. 알루미늄시멘트 및 아질산염의 함량에 따른 모르타르의 수축형태를 조사한 길이변화 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 길이변화 측정결과, 전반적으로 1일 동안 응결되는 과정에서 급격한 수축현상이 나타난 뒤 1일 전후로 팽창하였으며 몰드에서 탈형한 3일 이후부터는 지속적으로 수축하는 것으로 나타났다. 이는 초기 응결단계에서 혼합수의 증발과 시멘트의 경화반응으로 인해 수축현상이 급격하게 진행되었으며, 일정수준 경화가 진행된 이후 에트링자이트가 생성되며 일시적으로 모르타르가 팽창한 것으로 판단된다. 시멘트의 응결과정에서 Plain의 경우 수축 및 팽창하는 정도가 초기에는 완만하였으나 3일 이후부터 수축 거동이 가장 크게 증가하였다. 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량이 증가할수록 3일 이후부터 수축하는 정도가 감소하였다. 이는 저온상태에서 수화반응이 지연됨에 따라 알루미늄시멘트가 사용될 경우 저온상태에서도 수화반응이 진행됨과 동시에 에트링자이트의 생성과 모노설페이트의 변환과 석고의 팽창현상이 발생되어 수축보상현상이 나타난 것으로 추정된다. 알루미늄시멘트가 7.5% 사용된 AC의 수축현상이 가장 완만한 것으로 나타났으며, 이는 상대적으로 에트링자

이트 생성량이 높은 것을 의미한다. Al_2O_3 와 석고의 함량이 클수록 에트링자이트의 생성이 활발하고, 생성된 에트링자이트의 팽창성에 의해 수축보상의 효과를 나타낸다(Jeong et al., 2002). 아질산염을 7.5% 치환한 N의 경우 7일까지 수축현상이 가장 작게 나타났으나, 7일 이후 수축현상이 증가하여 28일 전후로는 알루미늄시멘트와 아질산염을 함께 혼입한 시험체와 유사한 수축거동을 나타내었다. 이는 알루미늄시멘트를 사용한 시험체 대비 시멘트의 양이 작아서 초기에는 수축현상이 작게 나타났으나 장기재령에서는 수화가 진행됨에 따라 수분손실로 인한 공극량의 증가하였으며 이로 인해 수축정도가 증가한 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

압축강도 측정용 모르타르 시편을 28일간 -5°C의 항온항습기에서 양생한 뒤 탈형 후 6시간동안 상온에서 해빙한 뒤 측정하였다. 알루미늄시멘트와 아질산염을 사용한 보수용 모르타르의 압축강도 측정결과를 Fig. 5에 나타내었다. 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량이 증가할수록 3일, 7일강도가 증진되었고, 28일 강도는 큰 차이가 없었다. 아질산염을 7.5% 치환한 N의 경우 3일, 7일 강도가 증진되었으나, 28일 강도는 저하되었다. 이는 알루미늄시멘트와 아질산염이 초기 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 3일, 7일 압축강도가 증진되었으며, 28일에서는 아질산염의 경우 초기에 수화반응이 집중된 요인과 상대적으로 시멘트의 함량이 부족하여 강도발현이 저하된 것으로 추정된다. 알루미늄시멘트의 경우 석고의 팽창으로 인하여 수밀성이 증대되어 강도발현이 저하되는 것을 방지한 것으로 판단된다. 전반적으로 알루미늄시멘트와 아질산염을 함께 사용할 경우 알루미늄시멘트와 아질산염을 단독으로 사용한 시험체 대비 강도발현이 우수하였으며, 특히 알루미늄시멘트와 아질산염의 함량비가 2:1인 시험체의 경우 3일, 7일, 28일 강도가 모두 증가하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 알루미늄시멘트만 단독으로 사용된 시험체의 경우 석고의 과도한 팽창으로 28일강도가 저하되었으나 아질산염과 알루미늄시멘트를 함께 치환할 경우 석고의 과도한 팽창이 발생하는 것

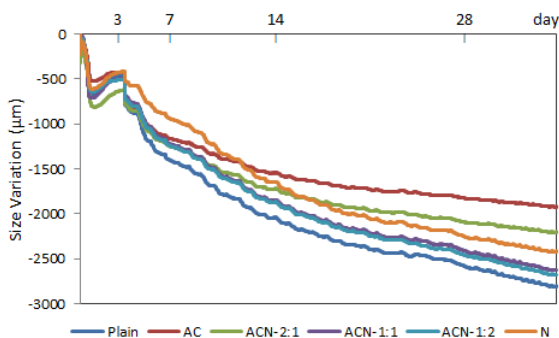


Fig. 4 Dimensional variation of repair mortar

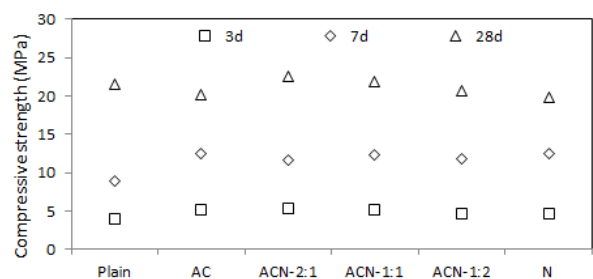


Fig. 5 Compressive strength of repair mortar

을 방지하여 28일에서도 강도가 증진된 것으로 추정된다.

3.4 휨강도 및 부착강도

휨강도, 부착강도 측정용 모르타르 시편은 28일간 -5°C의 항온항습기에서 양생한 뒤 탈형 후 6시간동안 상온에서 해빙한 뒤 측정하였다. 알루미늄시멘트와 아질산염을 사용한 보수용 모르타르의 휨강도 및 부착강도 측정결과를 Fig. 6에 나타내었으며 전반적으로 휨강도와 부착강도의 경향이 서로 유사하게 나타났다. Plain 시험체의 휨강도는 5.7 MPa, 부착강도는 1.25 MPa로 나타났다. 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량이 증가할수록 휨강도와 부착강도가 소폭 증가하였으며 아질산염의 함량이 증가할수록 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 특히 아질산염을 7.5% 치환한 N의 경우 휨강도와 부착강도가 Plain보다 저하되었다. 이는 알루미늄시멘트와 아질산염이 저온환경에서 초기 시멘트 수화반응을 촉진시켜 동결피해를 입기 전에 일정수준 이상의 강도가 발휘되었고 이를 통해 휨강도 및 부착강도가 증진된 것으로 판단된다.

3.5 화학저항성

화학저항성 측정용 모르타르 시편을 28일간 -5°C의 항온항습기에서 양생한 뒤 탈형 후 6시간동안 상온에서 해빙하였고, 이를 포화 수산화칼슘 수용액과 황산나트륨 10% 수용액에 28일간 침지하여 압축강도를 평가하였다. Fig. 7은 시험체별 화학저항성 시험결과이다. Plain은 수산화칼슘에 침지하여 강도저하가 크지 않았지만 황산나트륨 10%에 침지한 시편은 5

MPa만큼 강도저하가 나타났다. 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량이 증가할수록 황산나트륨에서 강도저하가 감소하였으며 수산화칼슘에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 특히, 알루미늄시멘트를 7.5% 치환한 AC의 경우 강도저하가 거의 없는 것으로 나타났으며, 아질산염을 7.5% 치환한 N의 경우 강도저하가 증가되었다. 알루미늄시멘트의 수화생성물인 $C_{12}A_7$ 은 OPC의 수화물보다 중성에 가까우며 산에 대한 내구성이 우수한 것으로 알려져 있으며, 알루미늄이 겔이 치밀하게 생성되어 수산화칼슘 및 황산염의 침투가 어려워지고 경화체 자체의 강도가 증진되어 산과 알칼리에 대한 내구성이 증가한 것으로 판단된다(Onder 2006).

3.6 동결융해 저항성

동결융해저항성 측정용 모르타르 시편을 28일간 -5°C의 항온항습기에서 양생한 뒤 6시간동안 상온에서 해빙하였고, 이를 -25°C에서 55°C까지 6시간 사이클로 30회만큼 동결융해하였고, 이에 대한 부착강도를 평가하였다. Fig. 8은 시험체별 동결융해 부착강도 시험결과이다. 동결융해 시험결과, Plain은 강도가 0.1 MPa 저하되었으며 알루미늄시멘트를 7.5% 치환한 AC의 경우 강도저하가 거의 없었으며, 아질산염을 7.5% 치환한 N의 경우 강도가 0.2 MPa 저하되었다. 알루미늄시멘트와 아질산염을 2:1, 1:1의 비율로 치환할 경우 강도저하가 감소하였으며 알루미늄시멘트의 함량이 아질산염보다 많을 경우 동결융해조건에 대한 부착강도 저하가 감소하는 것으로 판단된다. 부착강도는 시멘트와 폴리머의 특성에 영향을 크게 받으며, 이는 알루미늄시멘트의 사용에 따라 저온환경에서 초기수화반응 및 수화열발생으로 인해 시멘트와 폴리머의 결합반응이 향상되어 부착강도가 증진된 것으로 추정된다.

3.7 현장 적용성

알루미늄시멘트와 아질산염을 함께 사용하여 작업성 및 기초물성이 향상됨을 확인하였으며, 이를 바탕으로 동절기 외부 구조물에 보수용 모르타르를 시공하였으며 5개월 뒤 시험체의 표면상태와 부착상태를 관찰하였다. 보수용 모르타르

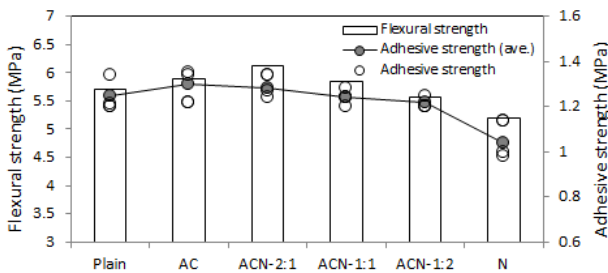


Fig. 6 Flexural strength and adhesive strength of repair mortar

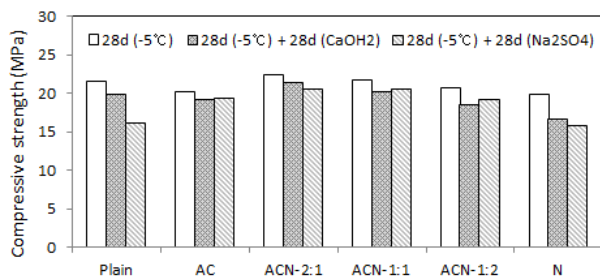


Fig. 7 Chemical resistance of repair mortar

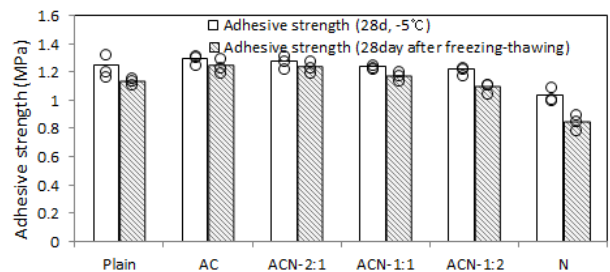


Fig. 8 Freezing-thawing resistance of repair mortar

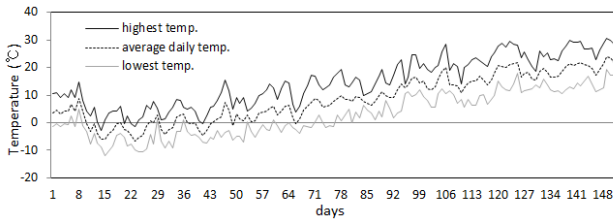


Fig. 9 Temperature history of repair mortar constructed site

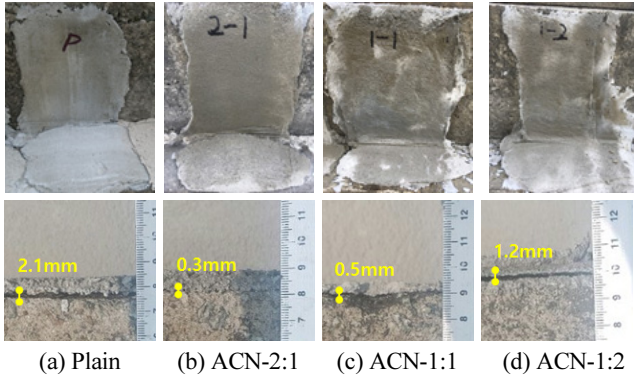


Photo 1 Constructed repair mortar

시공 표면과 부착면의 모습을 Photo 1에 나타내었다. 시공당 일 온도는 약 5°C이며 별도의 보온양생을 적용하지 않고 외기에 노출된 상태에서 양생하였으며 시험시공지역의 5개월간 날씨정보를 Fig. 9에 나타내었다. 모르타르의 표면상태는 아질산염의 함유량이 늘어날 경우 표면에 흰색형상의 결정이 석출되는 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 알루미늄시멘트와 아질산염을 2:1, 1:1로 치환하여 시공된 시편은 구조체에 부착된 상태로 유지되었으며 모르타르와 바닥면과의 공간이 1 mm 이내로 나타났다. 알루미늄시멘트와 아질산염이 1:2로 치환한 시편과 Plain의 모르타르 시편은 바닥면에서 1~2 mm 탈락된 것이 확인되었다. 모르타르의 탈락현상은 시멘트의 경화과정에서 자기수축으로 인해 부착면에서 탈락된 것으로 판단되며 알루미늄시멘트 함량이 증가할수록 수축보상현상이 증가하여 탈락현상이 감소한 것으로 분석된다.

4. 결론

본 연구에서는 저온환경에서 경화가 가능한 알루미늄시멘트 및 아질산염을 사용하여 보수용 시멘트 모르타르의 특성을 분석하였다. 이를 위해 국내 건설현장에서 사용되고 있는 보수용 모르타르를 대상으로 알루미늄시멘트, 아질산염의 혼입량 조절에 따른 기초성능을 평가 및 비교하였으며 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 저온환경에서 알루미늄시멘트와 아질산염을 보수용 모르타르에 총 중량의 7.5% 치환하여 사용할 경우 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 모르타르의 3일, 7일 압축강도와 28일 휨강도, 부착강도가 증가하여 초기 동결피해를 방지하고 물성을 향상시키는 유리한 것으로 나타났다.
- 2) 알루미늄시멘트를 단독으로 보수용 모르타르에 치환하여 사용할 경우 시멘트의 유동성이 감소되었고 아질산염을 단독으로 치환하여 사용할 경우 유동성이 증가하였으며, 알루미늄시멘트와 아질산염을 함께 사용할 경우 기존 Plain 제품과 유사한 유동성을 나타내었다.
- 3) 저온환경에서 알루미늄시멘트와 아질산염을 보수용 모르타르에 치환하여 사용할 경우 Plain 대비 14일간 수축거동이 증가하였으며, 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량이 증가할수록 14일 이후부터 수축현상이 감소되는 것으로 나타났다.
- 4) 알루미늄시멘트와 아질산염을 보수용 모르타르에 치환하여 저온환경에서 제작한 모르타르 경화체는 Plain 대비 수산화칼슘 및 황산나트륨수용액에 대한 내화학성이 증가하였으며, 압축강도의 저하가 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 아질산염 대비 알루미늄시멘트의 함량을 높게 보수용 모르타르에 치환하여 사용할 경우 동결융해시험 이후 부착강도의 저하가 거의 없었으며 동결융해에 대한 저항성이 증진되는 것으로 나타났다.
- 6) 알루미늄시멘트와 아질산염을 2:1의 비율로 보수용 모르타르에 7.5% 치환하여 동절기 외부구조물에 사용할 경우 표면상태가 5개월 이상 양호하게 유지되었으며, 실제 외부구조물에 대한 보수용 모르타르의 사용성이 우수한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부이다(16CTAP-0078650-03).

References

- Cho, H. K., Yoo, J. H., and Lee, H. S. (2009), Experimental Study on the Penetration Depth and Concentration of Corrosion Inhibitor Using Press-in Method Into the Inside of Concrete. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 13(5), 160-168.
- 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*, 16(6), 163-170.
- Han, C. G., and Han, M. C. (2000), Determination of the Protecting Periods of Frost Damage at Early Age in Cold Weather Concreting, *Journal of Korea Concrete Institute*, 12(3), 47-55.
- Jeong, S. C., Song, M. S., Lee, K. H., and Han, C. G. (2002), Hydration of Expansive Materials with CSA-System, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 14(5), 631-637.
- Jung, J. Y., Min, K. H., Lee, D. K., and Choi, H. S. (2016), A Study of Characteristics Change of Low-Shrinkage Normal Strength Concrete According to Mixing Factors and Curing Temperature, *Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society*, 17(7), 342-347.
- Jung, S. G. (2007), Study on the Development of Ultra-Low Temperatures Hardening Repair Cement Mortar for Repairing Cold Storage, Ph. D Thesis, Hanyang University, Seoul.
- Kim, H. J., Lee, B. D., and Lee, J. G. (2008), Comparative Study on Freeze-Thaw Durability of General Concrete and Pavement, *Korea Concrete Institute Semiannual*, 20(1), 561-564.
- Kim, Y. S., Moon, D. I., and Lee, D. W. (2011), An Experimental Study on Alkali-Silica Reaction of Alkali-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag Mortars, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 11(4), 345-352.
- Lee, H. K., Sohn, Y. S., Kim, H. J., and Lee, S. H. (2006), An Experimental Study on the Improvement of Freezing-Thawing Resistance of Gutter Concrete, *Korea Concrete Institute Semiannual*, 18(2), 577-580.
- Min, T. B., Mun, Y. B., Kim, H. C., Choi, H. K., Kim, J. Y., and Lee, H. S. (2016), A Fundamental Experiment on Preventing Frost Damage at Early Age of Mortar in Low Temperature using Reduction Slag, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 16(1), 1-7.
- Moon, B. C. (2012), An experimental study on the development of setting time control of nitrate corrosion inhibitor. Ph. D Thesis. Hanyang University, Seoul.
- Onder, K. (2006), Temperature Effect on Calcium Aluminate Cement Based Composite Binders. Ph. D Thesis. Middle East Technical University, Ankara.
- Park, S. H., Chu, Y. S., Seo, S. K., and Park, J. W. (2013), Properties of Shrinkage Reducing Agent and Mortar Used Anhydrite and C₁₂A₇-based Slag, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 1(2), 101-106.
- Park, W. J., Lee, H. S., and Tae, S. H. (2006), Influence of the Type of Nitrite Inhibitors and Mixing Ratio on Congealment of Cement Paste, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 16(1), 1-7.
- Song, H. S., Lee, C. Y., and Min, C. S. (2007), Effects of Admixtures in Properties of Polymer Cement Mortar for Concrete Repair, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 11(1), 85-94.

Received : 06/02/2017

Revised : 06/20/2017

Accepted : 06/29/2017

요 지 : 본 연구는 저온환경에서 경화가 가능한 알루미늄시멘트 및 아질산염을 사용한 보수용 시멘트 모르타르의 기초성능을 평가하고자 하였다. 이를 위해 국내 건설현장에서 사용되고 있는 보수용 모르타르를 조사 및 선정하였으며, 이를 대상으로 알루미늄시멘트, 아질산염을 치환하여 혼입량 조절에 따른 실험평가를 실시하였다. 그 결과, 알루미늄시멘트, 아질산염을 보수용 모르타르에 치환하여 사용할 경우 초기 강도 발현이 증진되었다. 또한 내화확성이 개선되었고 수축거동이 감소하였으며 동결융해에 대한 저항성이 증대되었다. 알루미늄시멘트와 아질산염을 2:1의 비율로 7.5% 치환하여 외부구조물에 시공한 결과 표면상태가 5개월 이상 양호하게 유지되었으며, 실제 외부구조물에 사용성이 우수한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 저온환경, 알루미늄시멘트, 아질산염, 보수용 모르타르
