

인산염 종류와 붕사 첨가율에 따른 무기접착재의 특성

Properties of Inorganic Adhesives according to Phosphate Type and Borax Ratio

송 하 영¹ 임 정 준² 길 배 수³ 이 상 수^{1*}

Song, Ha-Young¹ Lim, Jeong-Jun² Khil, Bae-Su³ Lee, Sang-Soo^{1*}

Professor, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea ¹
Master's course, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea ²
CEO, Tripod Co., Inc, Daejeon, 34136, Korea ³

Abstract

Epoxy resin adhesives are currently used as adhesives in buildings. Epoxy resin adhesives, which are organic materials, generate harmful substances when producing adhesives, and toxic substances are high in the residential space after installation. In addition, a large amount of carbon monoxide generated from organic materials in the case of a building fire leads to personal injury. This study evaluates the feasibility of inorganic adhesives using pure inorganic materials such as magnesia, phosphate, and borax as inorganic adhesives to replace existing organic adhesives. As a result of the experiment on the selection of adequate phosphate and the characteristics of the addition rate of borax used as a retarder, the potassium phosphate monobasic was obtained as a suitable phosphate and the characteristics according to the borax addition rate were compared with the quality standard of KS F 4923 The hardening shrinkage and heat change rate satisfied the quality standards. The tensile strength was satisfactory when the borax addition rate was 4% or more, but the adhesive strength did not meet the quality standards. Further studies are needed to improve adhesion strength.

Keywords : epoxy resin adhesives, inorganic adhesives, phosphate, magnesia oxide, borax

1. 서 론

현재 접착제는 광범위한 산업에 적용되고 있다. 2014년부터 2016년까지는 수요의 50% 가량을 차지하는 건축 산업의 호황으로 점 · 접착제 수요가 전반적으로 증가했다. 그러나 2017년부터 현재까지 건설업의 착공면적이 점차 감소해 접착제 전체 수요가 감소하고 있는 추세이다.

범용인 초산비닐, 에폭시 및 합성고무 접착제는 건설, 섬유 등 전방산업의 성장 둔화에 따라 수요 감소가 불가피한 것으로 예상된다. 따라서 범용 접착제는 수요처 다각화와

대체 시장 발굴 등 시장 축소 대응 전략이 필요하다. 따라서 국내 점 · 접착제 제조기업은 제품의 품질, 성능 향상을 통해 고기능, 고부가가치 산업으로의 진입이 필요한 시점이다.

건축, 토목용 재료로 접착제, 발포 충전재, 바닥재, 코팅재 등 여러 용도로 폴리우레탄수지 및 에폭시수지가 응용되고 있다. 건축물에 사용되는 접착제는 주로 유기질 재료인 에폭시 수지 접착제가 사용되고 있다.

유기질 재료인 에폭시 수지 접착제는 접착성능이 우수하여 널리 사용 되고 있지만 유기성 물질로 접착제 생산 시 알킬페놀(alkyl phenol), 하이드로퀴논(hydroquinone), 카테콜(catechol) 등의 유해물질이 발생한다. 이러한 유해 물질에 의해 도장작업의 종사 근로자, 접착제를 사용하는 수리공 등은 화학물질 노출에 의한 백반증 등의 직업성 피부염 질환에 시달리고 있다. 시공 후에도 아세트알데히드(acetaldehyde), 포름알데히드(formaldehyde) 등의 유

Received : January 21, 2019

Revision received : March 26, 2019

Accepted : June 5, 2019

* Corresponding author : Lee, Sang-Soo

[Tel: 82-42-821-1635, E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

해물질이 실내거주공간에서 높게 나타나 새집증후군의 원인이 되기도 하며 건축물 내외부의 화재가 발생할 경우 유기 재료에서 발생하는 다량의 일산화탄소가 인명피해를 일으킬 위험성을 높게 된다[1].

마그네시아-인산염 시멘트는 순수 무기계로 구성되어 있고, 산-염기반응으로 초속경의 특성을 가지며, 시멘트의 수산화칼슘과 인산염의 반응으로 시멘트 콘크리트와의 부착성능이 우수하여 국내 및 국외에서는 이를 도로 응급 보수재로 활용한 연구[3-9]가 많이 진행되었다. 이러한 특징을 가진 마그네시아-인산염 시멘트를 활용하여 기존 에폭시 충전 접착제의 기능을 대체할 수 있을 것으로 본다. 이에 본 연구는 친환경적인 순수무기계 재료를 사용하면서 초속경 특성을 가진 마그네시아 인산염 접착제의 성능을 실험을 통해 측정하여 기존 유기 접착제를 대체 할 무기 접착재로의 활용가능성을 평가하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 에폭시 수지 접착제

에폭시 수지 접착제의 구성은 에폭시 수지, 경화제, 충전제, 희석제 등과 기타 첨가제를 기본 베이스로 하고 있는 열경화성 수지계 접착제이며, 에폭시 수지는 상온에서 경화 후 기계적 특성이 뛰어나며 접착력이 강하고 내열성, 전기절연성이 뛰어나다. 또한 반응 시 부생성물이 없어 가정용, 공업, 건축, 자동차, 항공기 등 많은 곳의 산업분야에서 널리 사용되고 있으며, 특히 내구성이 요구되는 곳에 주로 사용된다. 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)에 따른 품질기준은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Quality standard of epoxy resin adhesive

Test condition	Adhesive strength (MPa)	Rate of harden shrinkage (%)	Rate of heat change (%)	Tensile strength (MPa)
Standard condition	3.0 or higher	3 or less	5 or less	1.0 or higher

2.2 유·무기 접착제의 작용 메커니즘

에폭시 수지는 크게 열 경화형과 상온 경화형으로 분류되며, 쉽게 열경화성의 물질로 만들 수 있다. 이렇게 경화하기 위해서는 경화제가 사용되며 일반적으로 Amine계 경화제가 주로 이용된다. 경화제는 반응을 통해 직접 반응물의

한 부분이 된다. 경화반응은 발열반응을 동반하고 가열을 통해 경화반응의 시간을 단축시킬 수 있다.

에폭시의 경화반응을 Figure 1에 나타내었다. 에폭시의 glycidyl기의 -O- 부분이 opening되어 amine의 수소와 결합하고 glycidyl기의 -CH₂가 amine과 결합하면서 경화반응이 진행된다.

마그네시아 인산염 시멘트는 마그네시아 시멘트, 인산염 시멘트로서 알려진 특수 시멘트를 개량하여 마그네시아와 염산의 반응을 이용한 마그네시아 인산염 시멘트이며, 이렇게 개발된 시멘트로 소성 마그네시아의 종류, 인산염의 선택, 지연제의 응용 등의 개량을 더해 초조강성 보수재로서 실용화되어 있다. 마그네시아 인산염 시멘트의 주성분은 산화마그네시아와 인산염이며 산-염기반응을 통해 스트루바이트계 광물을 형성하며 경화한다. 주요 화학반응식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 화학 반응의 경우 급결성을 보이기 때문에 작업시간을 확보하기 위해 비빔 이전에 응결 지연제의 혼입이 불가피하다[2].

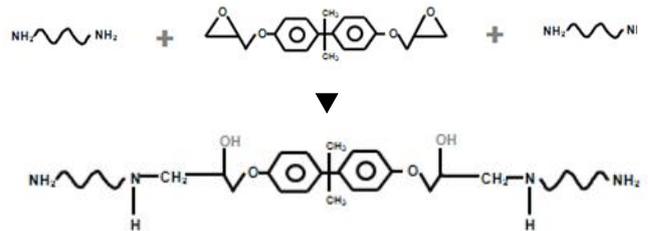


Figure 1. Epoxy curing mechanism



3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구는 기존의 유기 접착제의 단점을 보완하기 위해 친환경적인 순수무기계 재료인 산화마그네슘, 인산염, 붕사 등을 사용하여 산화마그네슘과 인산염의 산-염기반응을 통해 생기는 초속경 특성을 활용한 무기 접착제 개발을 위한 연구이다. 이를 위한 기초연구로서 산화마그네슘의 자극제 선정에 위한 인산염의 종류는 제1인산암모늄(NH₄H₂PO₄), 제1인산 칼륨(KH₂PO₄), 제1인산나트륨(NaH₂PO₄)으로 총 3가지를 사용하였다. 적정 자극제의 종류와 사용량 선정에 위해 가사 시간, 응결특성, 압축강도 및 휨강도를 평가하였다[9].

본 연구의 실험에서는 마그네시아 인산염 시멘트의 빠른 응결 특성을 활용하고자 할 때 요구되는 지연제의 첨가율에 따른 가사시간에 대한 실험을 진행하였다. 이전의 연구를 통해 도출된 배합설계와 실험계획에 따라 제작한 시험체에 대하여 마그네시아 인산염 접착제의 활용성 검토를 위하여 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)에 의거하여 접착강도, 경화 수축률, 인장강도 및 가열변화율을 측정하였으며 두 가지의 부재를 접착하는 접착제의 활용 용도에 따라 수직 응력을 받을 경우도 있기 때문에 다양한 방향에서 고려하고자 압축강도와 휨강도를 측정하였다.

3.1.1 기초실험 (적정 인산염 선정 실험)

기초실험은 마그네시아 인산염을 활용한 무기 접착재에 맞는 적절한 인산염 선정을 위한 실험으로 제1인산암모늄, 제1인산칼륨, 제1인산나트륨 등 3가지 종류에 대한 실험을 진행하였다. 본 실험의 수준 및 요인은 Table 2에 나타내었으며, 이전의 실험을 토대로 W/B는 50% 로 고정하였다. 또한, 인산염은 제1인산암모늄, 제1인산칼륨 및 제1인산나트륨 총 3가지를 사용하였으며, 각각의 첨가율은 동일하게 20, 30, 40, 50, 60 (%)로 실험을 실시하였다. 응결 지연을 위한 봉사의 첨가율은 4%로 고정하였고 양생은 기건양생을 실시하였다.

Table 2. Factors and levels of fundamental experiment

Factors	Experimental levels	
W/B	50 (wt.%)	1
Binder	Magnesium oxide	1
Phosphate type	KHPO ₄ , NaH ₂ PO ₄ , NH ₄ H ₂ PO ₄	3
Phosphate ratio	20, 30, 40, 50, 60 (wt.%)	5
Borax ratio	4 (wt.%)	1
Curing condition	Temperature(25±2)°C, Humidity(60±5)%	1
Test content	Compressive strength, Pot life	2

3.1.2 본 실험 (봉사 첨가율별 특성 실험)

본 실험은 기초실험을 통해 도출된 적정 인산염과 첨가율에 대한 최적의 배합에 지연제인 봉사의 첨가율에 따른 무기 접착제의 특성을 분석하기 위한 실험이다. 본 실험의 수준 및 요인은 Table 3에 나타내었다. W/B를 50%로 고정하고 기초실험을 통해 도출된 적정 인산염인 제1인산칼륨의 첨가율을 50%로 고정하여 실험을 진행하였다. 마그

네시아와 인산염의 산-염기반응을 통해 생기는 초속경 특성으로 적합한 작업성을 가지기 위해 지연제인 봉사를 사소 마그네시아 중량 대비 4, 4.5, 5(%) 씩 첨가하여 가사시간 유형별 지연제의 첨가율 실험을 진행하였다. 마그네시아 인산염 접착제의 활용성 검토를 위하여 압축강도, 가사시간, 접착강도, 경화 수축률, 인장강도, 가열변화, 포름알데히드 발생여부 실험을 실시하였다.

Table 3. Factors and levels of main experiment

Factors	Experimental levels	
W/B	50 (wt.%)	1
Binder	Magnesium oxide	1
KHPO ₄ ratio	50 (wt.%)	1
Borax ratio	3, 3.5, 4, 4.5, 5 (wt.%)	5
Curing condition	Temperature(25±2)°C, Humidity(60±5)%	1
Test contents	Compressive strength, Flexural strength, Pot life, Adhesive strength, Tensile strength, Rate of harden shrinkage, Rate of heat change,	7

3.2 실험방법

본 실험의 배합은 사소마그네시아와 인산염 그리고 봉사를 무기 접착재 제작 버킷에 재료를 투입하여 120초 동안 비빔을 진행하였다. 비빔방법에 대한 모식도를 Figure 2에 나타내었다.

무기 접착재의 비빔이 끝난 후 가사시간 측정을 위해 30초 간격으로 타설 후 초결까지의 시간을 측정하였으며 압축강도 및 휨강도를 측정하기 위해 시멘트의 강도 시험방법(KS L ISO 679)에 의거하여 40×40×160(mm)의 형태로 성형한 시험체를 1시간, 3시간, 12시간으로 나누어 기건양생을 한 후 강도를 측정하였다.

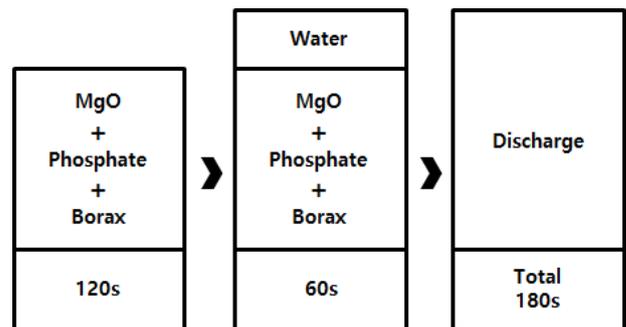


Figure 2. Mixing method

가열변화율, 접착강도, 경화수축률 및 인장강도는 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)에 따랐으며, 인장강도의 경우 KS M ISO 527-1에 의거한 몰드로 성형하여 기건양생 후 재령 7일에 측정하였다. 접착강도는 2개의 모의 부재 40×40×80(mm)를 제작한 뒤 두 부재 사이를 무기 접착제로 접착한 후 수중양생 후 재령 28일의 접착강도를 측정하였다. 경화수축률은 크기 30mm의 입방체 몰드를 제작하여 시험하였으며, 가열변화율은 10×3×100(mm)의 시험체를 제작하여 시험을 실시하였다.

3.3 사용재료

실험에 사용한 재료의 특성을 Table 4, 5와 같으며, 산화마그네슘은 순도 98% 이상의 사소마그네시아를 사용하였다. 산화마그네슘의 밀도는 3.42g/cm³이며 비표면적은 3,539cm²/g이다. 응결지연제로써 사용한 붕사는 밀도 1.73g/cm³, 순도 99.9% 이상인 것이다. 반응성 자극제로 사용한 인산염은 제1인산암모늄, 제1인산칼륨 및 제1인산나트륨 총 3가지를 사용하였다.

산화마그네슘과 인산염은 산-염기반응으로 스트루바이트(struvite)계 광물을 형성하며 경화한다. 산화마그네슘과 인산염은 몰비 1:1로 반응하며, 산화마그네슘과 사용된 인산염별 화학반응식은 식(2), 식(3), 식(4)에 나타내었다[2].

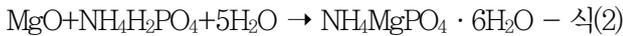


Table 4. Properties of used materials

Materials	Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Purity (%)
MgO ¹⁾	3.42	3,539	98
Borax	1.73	-	99.9

1) MgO: Magnesium oxide

Table 5. Properties of phosphate

Type	Purity (%)	pH (1%sol'n)	Iron (FE)	Sulfate (SO ₄ , %)	Appearance
KHPO ₄ ¹⁾	98.0	4.2-4.7	0.01	0.02	White Crystal
NaH ₂ PO ₄ ²⁾	98.0	4.3-4.39	0.05	-	White powder
NH ₄ H ₂ PO ₄ ³⁾	98.0	4.3-5.0	0.05	0.05	White Crystal

1) KHPO₄: Potassium phosphate, 2) NaH₂PO₄: Sodium phosphate

3) NH₄H₂PO₄: Ammonium dihydrophosphate

4. 실험결과 및 분석

4.1 기초실험결과 및 분석

4.1.1 압축강도

인산염의 종류와 첨가율에 따른 시험체의 재령별 압축강도의 변화를 Figure 3, 4, 5에 나타내었다.

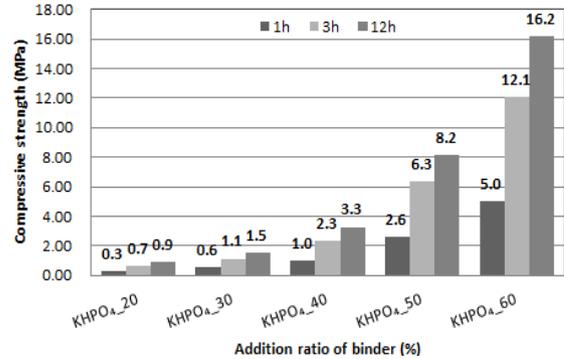


Figure 3. Compressive strength according to KHPO₄ addition ratio

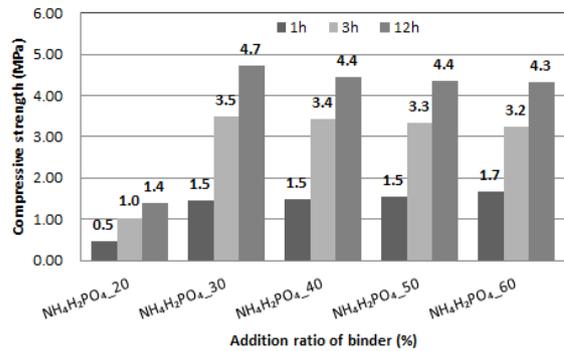


Figure 4. Compressive strength according to NH₄H₂PO₄ addition ratio

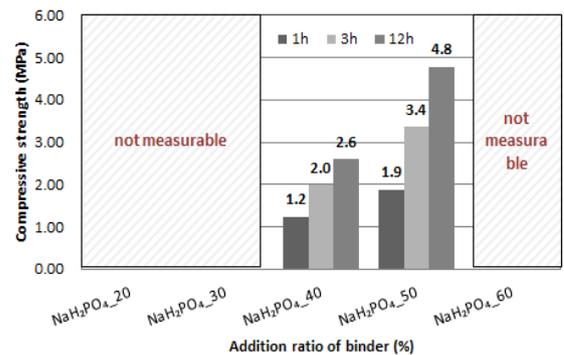


Figure 5. Compressive strength according to NaH₂PO₄ addition ratio

제1인산암모늄의 경우 첨가율 30%에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 이후 첨가율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 제1인산암모늄의 화학반응으로 발생하는 가스에 의한 팽창으로 생기는 균열에 의한 것으로 판단된다. 제1인산암모늄의 첨가율이 증가할수록 화학반응으로 발생하는 가스에 의한 균열이 증가함에 따라 첨가율 30% 이후의 강도가 감소하는 것으로 사료된다.

제1인산나트륨의 경우 첨가율 20, 30(%)의 시험체는 시험체 제작 후 재령별 압축강도 측정 시 강도가 매우 낮아 측정이 불가하였다. 40% 이상의 첨가율에서는 첨가율이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었으며 매우 빠른 속경성을 나타내어 첨가율 60%는 시험체의 제작이 불가하였다. 제1인산칼륨의 경우 첨가율이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 제1인산칼륨의 첨가율이 증가하면서 사소마그네시아와 반응하는 양이 증가하여 속경성이 촉진되어 단시간에 강도를 발현하는 것으로 판단된다[10].

4.1.2 가사시간

가사시간은 타설 후 초결까지의 시간을 측정하였으며 Figure 6은 인산염의 첨가율별 가사시간을 나타내었다.

인산염은 종류에 관계없이 첨가율이 증가할수록 가사시간이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 첨가율이 증가하면 사소마그네시아와 반응하는 인산염의 양이 증가하면서 반응이 활성화되고 속경성이 증진되어 가사시간이 감소되는 것으로 보인다[11].

제1인산칼륨이 가장 높은 가사시간을 가졌으며 제1인산암모늄의 경우 암모늄 특유의 악취가 나면서 제1인산칼륨에 비하여 급격한 속경성을 보였다. 또한, 제1인산나트륨의 경우 악취는 없었으나 암모늄 보다 더 급격한 속경성을 보였다. 원활한 작업성을 확보하기 위해 최소 300초 이상의 가사시간을 확보하는 것이 필요하다고 볼 때, 제1인산암모늄과 제1인산나트륨의 이상응결 현상을 방지하기 위해 지연제인 붕사의 첨가율을 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

4.1.3 경화형상

Figure 7은 인산염별 경화형상에 대한 경화체의 표면사진이다. 제1인산암모늄은 경화가 진행됨에 따라 표면에서 가스가 발생하고 부풀어 오르며 팽창하는 모습을 보였다. 이는 제1인산암모늄은 열에 불한정하여 수화열에 의해 열분해가 이루어져 발생하는 암모니아 가스로 인해 팽창이

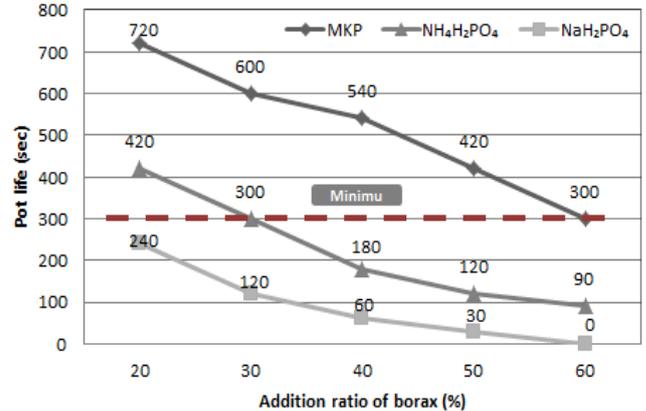


Figure 6. Pot life according to phosphate types



Figure 7. Hardening shapes according to phosphate types

나타나는 것으로 판단된다. 제1인산나트륨은 수축하는 모습을 보였는데, 이는 제1인산나트륨의 높은 수분 흡수율에 의해 초기 수분을 다수 흡수하여 제조 시에 문제가 없지만 경화과정에서 다량의 수분이 배출되고 증발되면서 수축이 발생하는 것으로 판단된다. 인산칼륨은 팽창이나 수축 없이 안정적으로 경화하는 모습을 보였다.

4.2 소결론

기초실험은 사소마그네시아를 기반으로 적정 인산염을 선정하기 위한 실험으로 제1인산암모늄, 제1인산칼륨, 제1인산나트륨 총 3가지에 대한 인산염을 첨가한 결과, 제1인산칼륨은 3가지 인산염 중 강도 발현이 높으며 경화시 안정적인 상태를 보였다. 가사시간의 경우 제1인산나트륨과 제1인산암모늄은 빠른 속경성으로 인해 붕사의 첨가율이 증가하므로 제1인산칼륨이 적절한 인산염으로 판단된다.

제1인산칼륨의 경우 첨가율이 증가하면서 경화체 표면으로 반응하지 못한 인산염이 떠오르게 되는데 이는 가사시간이나 강도에 영향을 주지 않는 것으로 사료되지만, 부재간의 접착에 영향을 줄 것으로 예상된다. 이에 따라 첨가율 60%에서는 떠오르는 인산염의 양이 많기 때문에 인산염의 적정 첨가율은 60%이하 중 강도가 높은 50%로 판단된다.

4.3 본 실험결과 및 분석

4.3.1 접착강도 및 인장강도

붕사 첨가율에 따른 접착강도 및 인장강도의 변화를 Figure 8에 나타내었다. 접착강도 및 인장강도의 측정은 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)에 의거하여 진행하였으며 접착강도 측정을 위한 시험체는 표준 상태에서 7일간 양생 후 강도를 측정하였다.

붕사의 첨가율이 증가할수록 인장강도는 증가하는 경향을 보이지만 접착강도는 감소하는 경향을 보인다. 붕사 첨가율 3%의 접착강도 1.24MPa에 대한 첨가율 5%의 접착강도 비는 88%이며 인장강도의 경우 붕사 첨가율 3%에 대한 첨가율 5%의 인장강도 비는 127%로 측정되었다.

접착강도는 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)의 품질 기준인 3MPa에 5가지 수준 모두 미치지 못하였다. 가장 높은 접착강도를 가지는 첨가율 3%의 경우 1.24MPa로 기준 강도인 3MPa의 41%수준이다.

인장강도의 경우 붕사 첨가율 4%이상의 시험체는 크리트 구조물 보수용 에폭시 수지(KS F 4923)의 품질 기준인 1MPa에 충족하는 강도를 가지지만 첨가율 3.5%이하의 시험체는 기준 강도인 1MPa에 충족되지 못하는 강도를 나타내었다.

접착강도는 5가지 수준 모두 기준 강도를 충족하지 못했으며 인장강도의 경우 2가지 수준이 기준 강도를 충족하지 못하였다. 본 실험은 가사시간 유형별 무기 접착제의 특성을 측정하여 유기 접착제를 대체할 무기 접착제의 활용 가능성을 평가하는 실험으로서, 접착강도와 인장강도의 측정 결과에 따르면 유기 접착제의 품질 기준을 충족하기 위해서는 강도증진에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 본다.

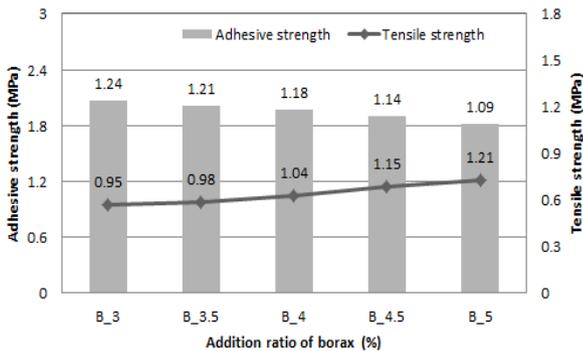


Figure 8. Adhesive strength and tensile strength according to borax addition ratio

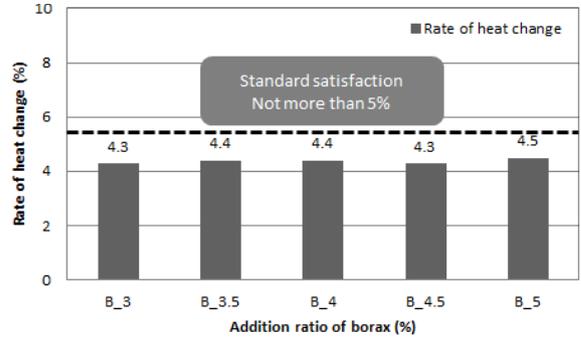


Figure 9. Rate of heat change according to borax addition ratio

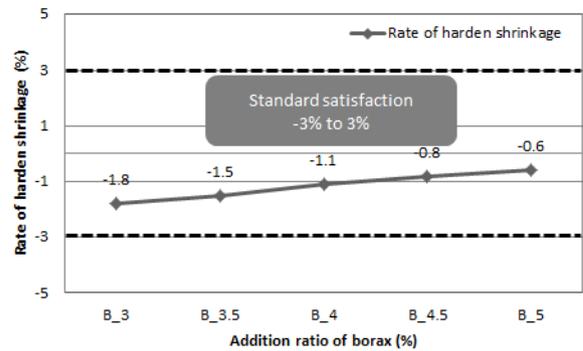


Figure 10. Rate of harden shrinkage according to borax addition ratio

4.3.2 가열변화율

붕사 첨가율에 따른 가열변화율을 Figure 9에 나타내었다. 가열변화율은 시험체에 대해 공기 중에서의 질량을 측정하고, 온도 110±3℃의 순환식 공기 건조기 중에 7일간 방치한 후 공기 중에서의 질량을 측정하여 질량 변화율을 산출했다.

가열변화율을 측정한 결과 5가지 수준 모두 유사한 값으로 측정되었다. 가열변화율의 범위는 4.3~4.5%로 'KS F 4923'의 품질기준인 5%이하의 값에 만족하는 것으로 나타났다. 이는 인산염과 사소마그네시아의 산·염기 반응으로 인해 발생하는 약 60℃의 발열로 인해 경화 과정 중 경화를 마치고 남은 수분이 증발한 것이 가열변화율 측정 시 무게 변화율을 낮추기 때문에 5%이하의 품질기준 값을 만족시킨 것으로 판단된다.

4.3.3 경화 수축률

붕사 첨가율에 따른 경화 수축률을 Figure 10에 나타내었다. 경화 수축률은 5가지 수준별로 30mm 입방체 크기인

몰드로 제작한 각 각의 공시체에 대하여 측정된 액비중과 고체비중으로부터 산출하였다. 액비중은 'KS M3705'의 비중컵 법에 따르고, 고체비중은 'KS M3016'의 A법(수중치환법에 따른 측정 방법)에 따라 측정하였다.

사소마그네시아의 팽창하는 성질로 인해 경화 수축률이 음의 값을 갖는 것으로 판단된다. 'KS F 4923'의 경화 수축률 품질기준은 3%이하로 팽창에 대한 기준이 명시되어 있지 않다. 접착제의 경화 수축률이 3%를 초과하게 되면 시공불량이 발생할 수 있기 때문에 본 실험에서 사소마그네시아의 팽창하는 성질로 인해 경화 수축률의 기준 값을 -3~3%로 설정하였다.

5가지 수준 모두 설정한 경화 수축률의 기준 값을 충족하며 봉사의 첨가율이 증가함에 따라 경화 수축률이 0에 가까워지는 경향을 나타내었다. 이는 봉사의 첨가율이 증가하면서 단시간에 높은 열이 발생하지 않고 서서히 반응하여 경화가 이루어지기 때문에 봉사의 첨가율이 증가할수록 반응이 지연되어 경화 수축률이 0에 가까워지는 것으로 판단된다.

4.3.4 가사시간

봉사 첨가율에 따른 가사시간을 측정한 결과는 Figure 11에 나타났었다. 지연제인 봉사의 첨가율이 증가할수록 가사시간은 증가하는 경향으로 나타났으며, 봉사의 첨가율이 0.5%씩 증가할 때마다 가사시간 증가 폭이 더 커지는 현상을 보였다. 이는 봉사의 첨가율이 증가하면서 B4O7²⁻이온이 MgO입자의 표면에 흡착되는 양이 많아져 마그네시아 봉산염 성분의 층이 두터워지며 인산염과 산화마그네슘의 접촉을 방해하여 가사시간이 증가하는 것으로 판단된다.

원활한 작업성을 확보하기 위해 최소 300초 이상의 가사시간을 확보하는 것이 필요하다고 볼 때, 봉사는 3.5%이상 첨가되어야 할 것으로 판단되며, 봉사 첨가율을 조절하여

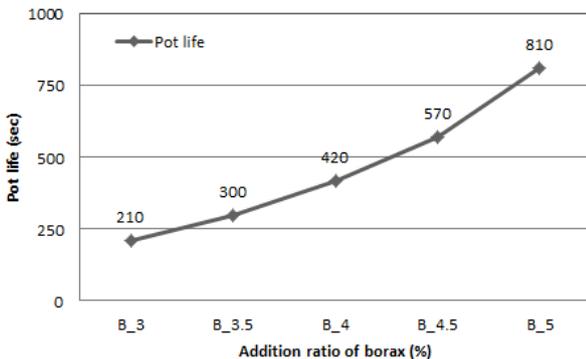


Figure 11. Pot life according to borax addition ratio

가사시간에 따른 여러 타입의 접착재를 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3.5 압축강도 및 휨강도

지연제로 사용된 봉사의 첨가율별 압축강도 및 휨강도의 변화를 Figure 12, 13에 나타내었다.

압축강도와 휨강도 모두 봉사의 첨가율이 증가할수록 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 첨가되는 봉사의 B₄O₇²⁻이온이 MgO입자의 표면에 흡착되면서 마그네시아 봉산염 성분의 층이 형성되어 인산염과 산화마그네슘의 접촉을 방해하여 지연효과를 얻는다. 이에 따라 지연제인 봉사의 첨가율이 증가함에 따라 응결시간이 증가하여 강도발현 속도가 저하되면서 단시간 내에 압축강도 및 휨강도가 낮게 측정된 것으로 판단된다.

봉사의 첨가는 강도발현 속도를 낮출 뿐 강도의 증진 또는 감퇴에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 따라서 시간이 지남에 따라 봉사 첨가율 5%의 압축강도 및 휨강도는 첨가율 3%와 비슷한 강도를 나타낼 것으로 판단된다.

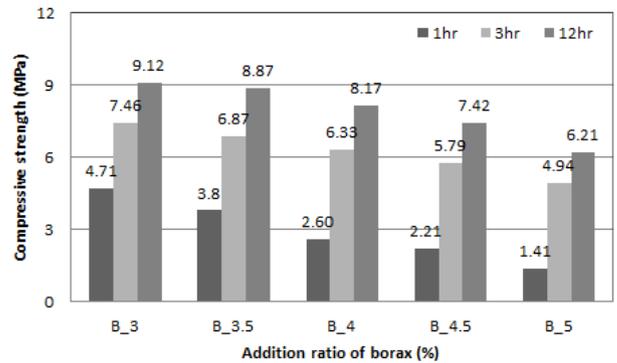


Figure 12. Compressive strength according to borax addition ratio

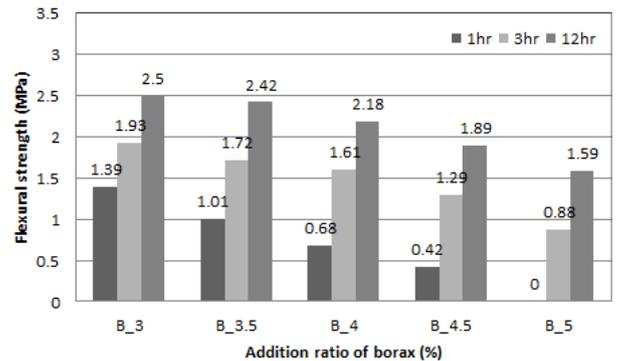


Figure 13. Flexural strength according to borax addition ratio

5. 결 론

요 약

본 연구는 순수무기계 재료인 산화마그네시아, 인산염, 붕사를 사용한 무기 접착제에 대해 기존 유기 접착제를 대체 할 활용가능성을 평가한 연구로서 적정 인산염 선정에 관한 실험과 지연제로서 활용한 붕사의 첨가율에 대한 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 인산염별 압축강도를 측정한 결과 제1인산칼륨이 제1인산암모늄과 제1인산나트륨에 비해 높은 강도발현을 나타내었다. 가사시간은 제1인산칼륨이 가장 높은 가사시간을 나타내었으며 제1인산암모늄의 경우 제1인산칼륨에 비하여 급격한 속경성을 보였다. 또한, 제1인산나트륨의 경우 제1인산암모늄 보다 더 급격한 속경성을 나타내었다. 경화형상은 제1인산암모늄은 팽창하는 특성을 보였으며 제1인산나트륨은 수축하는 특성이 나타났다. 제1인산칼륨의 경우 경화 시 눈에 띄는 팽창이나 수축 없이 안정적으로 경화하는 모습을 보였다.
- 2) 붕사의 첨가율별 압축강도 및 휨강도를 측정한 결과 붕사의 첨가율이 증가할수록 강도가 저하하는 경향을 나타내었다.
- 3) 붕사의 첨가율이 증가할수록 인장강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 첨가율 3.5%이하의 시험체는 'KS F 4923'의 품질기준인 1MPa에 충족하지 못하였다.
- 4) 붕사의 첨가율이 증가할수록 접착강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 접착강도는 5가지 수준 모두 'KS F4923'의 품질기준인 3MPa를 충족하지 못하였다.
- 5) 가열변화율은 5가지 수준 모두 유사한 값으로 측정되었으며, 'KS F 4923'의 품질기준인 5%이하의 값에 만족하는 것으로 나타났다.
- 6) 경화수축률은 5가지 수준 모두 설정한 경화 수축률의 기준 값을 충족하며 붕사의 첨가율이 증가함에 따라 경화수축률이 0에 가까워지는 경향을 나타내었다.
- 7) 가사시간은 붕사의 첨가율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

현재 건축물에 사용되는 접착제는 주로 유기질 재료인 에폭시 수지 접착제가 사용되고 있다. 유기질 재료인 에폭시 수지 접착제는 유기성 물질로 접착제 생산 시 유해물질이 발생하며, 시공 후에도 유해물질이 실내거주공간에서 높게 나타난다. 또한 건축물 화재 시 유기 재료에서 발생하는 다량의 일산화탄소가 인명피해로 이어진다. 본 연구는 순수무기계 재료인 산화마그네시아, 인산염, 붕사를 사용한 무기 접착제에 대해 기존 유기 접착제를 대체 할 무기 접착재로의 활용가능성을 평가한 연구이다. 적정 인산염 선정에 관한 실험과 지연제로서 활용한 붕사의 첨가율에 대한 특성을 실험한 결과 적정 인산염으로 제1인산칼륨이 도출되었으며, 붕사 첨가율에 따른 특성을 측정한 결과 KS F 4923의 품질기준과 비교하여 경화수축률과 가열변화율은 품질기준을 만족하였으며, 인장강도는 붕사 첨가율 4% 이상에서 만족하는 결과가 나왔지만 접착강도의 경우 품질기준을 충족하지 못하였다. 향후 접착강도 증진을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

키워드 : 에폭시수지접착제, 무기접착제, 인산염, 마그네시아, 붕사

Acknowledgement

This research was supported by the research fund of Hanbat National University in 2018

ORCID

Ha-Young Song, <http://orcid.org/0000-0002-7946-0901>

Jeong-Jun Lim, <http://orcid.org/0000-0002-0682-9501>

Bae-Su Khil, <http://orcid.org/0000-0002-9174-1378>

Sang-Soo Lee, <https://orcid.org/0000-0002-4310-8084>

References

1. Kim TH, Sin JH, Lee SS. Mechanical properties of matrix using dead burn magnesia and phosphate according to addition ratio FA, Spring Conference of the Korea Concrete institute; 2016 May 11-13; Yeosu, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete

-
- Institute; 2016, p. 633–4.
2. Kim TH. Properties of inorganic filler adhesive utilizing dead-burn magnesia and fly ash [master's thesis]. [Daejeon (Korea)]: Hnabat University; 2018. 60 p.
 3. Lee KH, Yoon HS, Yang KH. Effect of phosphate to binder and water to binder ratio on magnesia–potassium phosphate cement. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2017 Jun; 29(3):275–81. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2017.29.3.275>
 4. Kang IS, Ahn MY, Paik MS, Jung SJ. A study on field and hydration properties ultra rapid hardening mortar using magnesia–phosphate cement. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2008 Feb;24(2): 79–86.
 5. Lee HG, Ahn KY, Sim JS. Experimental study on performance of mgo-based patching materials for rapid repair of concrete pavement. *International Journal of Highway Engineering*. 2016 Feb;18(1):43–55. <https://doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.1.043>
 6. Kang IS, Ahn MY, Paik MS, Lim NG, Moon JS, Jung SJ. 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*. 2007 Aug;23(8):139–48.
 7. Lee HG, Lee JM, Lee IH, Kim YJ, Oh HS. Compressive strength characteristics of mpc mortar according to magnesia and binder ratio. *Spring Conference of the Korea Concrete institute*; 2016 May 11–13; Yeosu, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2016, p. 635–6.
 8. Ma H, Xu B, Liu H, Pei H, Li Z. Effect of water content, magnesia–to–phosphate molar ratio and age on pore structure, strength and permeability of magnesium potassium phosphate cement paste. *Materials and Design*. 2014 Dec;64:497–502. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.073>
 9. Choi YW, Lee JH, Choi BK, Oh SR. Workability and compressive strength properties of magnesia–potassium phosphate composites for biological panel. *Journal of the Academy Industrial Cooperation Society of Korea*. 2017 Jul;18(7):357–64. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.7.357>
 10. Ahn MY. The properties of ultra rapid hardening mortar for repair using magnesia–phosphate cement [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Dankook University; 2008. 175 p.
 11. Yang N, Shi C, Yang J, Chang Y. Research progresses in materials magnesium phosphate cement-based materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2014 Oct;26(10):1–8. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT,1943-5533,0000971](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT,1943-5533,0000971)