



다양한 알칼리도를 가진 붕소화합물이 혼입된 모르타르의 특성 검토

이빛나¹⁾ · 이종석^{1)*} · 민지영¹⁾ · 이장화¹⁾

¹⁾한국건설기술연구원 구조융합연구소

Examination of the Characteristics of Mortar Mixed with Boron Compounds Presenting Various Levels of Alkalinity

Binna Lee,¹⁾ Jong-Suk Lee,^{1)*} Jiyoung Min,¹⁾ and Jang Hwa Lee¹⁾

¹⁾Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-do 10223, Rep. of Korea

ABSTRACT This study examines the characteristics of mortar mixed with various boron compounds. The adapted boron compounds, classified into acid, slightly alkaline and strongly alkaline with respect to the value of the pH are acid-based boron (AA), low-alkaline-based boron (AB), and high-alkaline-based boron (HB). The pH test, setting test and compressive strength test are performed to evaluate the physical and chemical properties of mortar, and SEM imaging is conducted to analyze the microstructure of mortar. The measured pH shows that the specimens mixed with boron compounds have lower pH than the basic mortar without boron and that loss of pH occurs according to time. The setting test reveals that the initial and final setting times of the specimens mixed with boron compounds occur later than the basic mortar, which disagrees slightly with the previous literature stating that the setting time can be shortened according to the alkalinity. From the compressive strength test and SEM imaging results, it is recommended to determine the optimal content of boron considering type and composition of the boron compounds.

Keywords : boron compound, alkalinity, pH measurement test, scanning electron microscope (SEM)

1. 서 론

최근 국내에서는 의료 및 연구/산업 현장에서 가속기 등의 방사선 발생 장치의 사용이 증가하는 추세이다.^{1,2)} 이러한 방사선 시설의 증가 및 사용 방사선 에너지의 고준위화에 따라 해당 시설의 차폐 및 방호기술의 중요성이 증대하고 있다.^{3,4)}

그중 콘크리트는 고밀도·고중량 재료로 가격이 저렴하고 차폐성능이 우수하여 방사선 활용 시설 등에서 차폐체로 널리 사용되고 있다. 또한, 콘크리트의 차폐 성능을 향상시키기 위해 고속 중성자를 저속 중성자로 저감할 수 있는 수소(H)기반의 고분자 화합물을 혼입하거나, 붕소 등과 같이 중성자를 포획하는 성질이 있는 재료를 추가하는 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.⁵⁻⁸⁾ 하지만, 이와 같이 고분자 화합물 및 붕소 화합물을 혼입한 경우 초기 건설비용의 증가 및 물리적 성능 저하 등과 같은 문제가 발생하기 때문에 현장 적용시 어려움이 있다. 특히, 붕소의 경우 생산지가 제한적이

기 때문에 가격대가 높고 콘크리트의 경화 지연 등과 같은 물리적 성능에 영향을 미치기 때문에 혼입량을 제한하고 있다.⁹⁻¹⁰⁾

붕소화합물 중 분자적 결합이 강하고 콘크리트 내에서 비활성화되는 탄화붕소 역시 일정량 이상으로 첨가될 경우 콘크리트의 역학적 성능이 급격하게 저하되며, 가격이 매우 고가이기 때문에 경제적 측면에서 다소 부적절하다. 붕소를 직접적으로 혼입하는 방법 외에 간접적으로 붕소가 포함되어 있는 광물 즉, 회분광 같은 광물을 골재 대체제로 사용하는 방법이 있으나^{11,12)} 역시 생산지가 제한적이며 물리적 성능 저하가 발생하기 때문에 현장 적용에 어려움이 있다. 이처럼 탄화붕소나 회분광을 대체제로 활용하는 연구가 중점적으로 진행되고 있으나 그 외의 붕소화합물을 활용하거나 이를 개선한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 논문에서 사용한 붕소화합물은 기존 산업폐기물 등을 재활용한 제품으로 기존 생산되는 붕소보다 가격이 약 95% 이상 저렴한 제품으로 수급이 용이하고 경제성이 우수한 붕소화합물을 대상으로 기초 실험을 수행하였다. 또한, 붕소화합물을 혼입한 시험체의 알칼리 정도에 따라 물리적 성능을 개선시킬 수 있다는 기존 문헌을 참고하여 알칼리도에 따른 붕소화합물에 대한 기초 물성실험을 수행하였다.¹³⁾

*Corresponding author E-mail : jslee@kict.re.kr

Received November 2, 2016, Revised December 22, 2016,

Accepted January 17, 2017

©2017 by Korea Concrete Institute

붕소화합물의 알칼리도에 따른 물리적 특성 검토를 위해 붕소화합물의 pH를 측정하고 물성 실험을 수행하였으며 모르타르 내에서 붕소화합물의 영향을 확인하기 위해 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM) 촬영을 수행하였다.

2. 실험

2.1 실험개요

본 연구에서 붕소화합물을 혼입한 모르타르의 물리적 성능 및 미세구조 분석을 위해 Table 1과 같이 실험을 계획하였다. 붕소화합물의 종류 및 치환율에 따라 총 6가지 배합으로 자세한 사항은 Table 2와 같다.

사용된 붕소화합물은 수급이 용이하며 경제성이 우수한 붕소화합물 중 산성 및 알칼리성에 따라 총 3가지 타입을 선별하였다.

붕소화합물을 혼입한 모르타르의 물리적 성능 실험은 재령별 pH를 측정하여 모르타르 내에서 붕소화합물로 인한 pH 변화량을 검토하였으며, 혼입량에 따라 응결시험과 재령 3일, 7일, 28일에 대한 압축강도 시험을 수행하였다. 이때 재령별 압축강도 시편을 수거하여 경화 시간에 따른 내부구조의 변화를 비교하고자 SEM 촬영을 수행하였다. 붕소화합물의 함량은 기존 문헌 및 사전 실험을 통해 잔골재의 0.2% 및 0.4%에 해당하는 양을 기준으로 치환하여 혼입하였

Table 1 Experimental plan

	Factor	Type
Mixture	W/C	0.485
	Boron contents(wt%)	0.2/0.4
	Boron compound types	Acidic boric acid(AA) Alkali borax(AB) High alkali borax(HB)
Experiment	Physical properties	pH measurement Setting time test Compressive strength SEM

Table 2 Details of tested mortar mixtures

	W/C (%)	Cement (g)	Fine aggregate (g)	Boron compound contents (%)
Mor	48.5	564.94	1392.45	0
AA-0.2			1389.66	0.2
AA-0.4			1386.88	0.4
AB-0.2			1389.66	0.2
AB-0.4			1386.88	0.4
HB-0.2			1389.66	0.2
HB-0.4			1386.88	0.4

다.^{14,15)} 또한, pH 실험에는 붕소화합물이 알칼리도에 미치는 영향을 극대화하고자 붕소의 혼입량을 제한하는 ASTM C637 및 C638의 규제와 기존 연구(Kula et al)를 참고하여 붕소화합물을 1% 이내를 원칙으로 하여 최대 혼입량 0.8%로 설정하여 추가로 수행하였다.¹⁶⁻¹⁸⁾

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 3.15 g/cm³, 분말도 3,800 cm/g)이고, 잔골재는 국내 A사 제품으로 자세한 사항은 Table 3 및 Table 4와 같다.

한편, 사용된 붕소화합물은 사전에 붕소화합물과 증류수를 혼입하여 각각의 pH를 측정하였고 측정 값에 따라 산성 및 약알칼리성, 강알칼리성으로 구분하여 선별하였다. 산성 기반인 붕산(Acidic boric acid: AA)은 중국에서 생산된 B사 제품이며, 약알칼리 기반인 붕사(Alkali borax: AB)와 강알칼리성인 붕사(High alkali borax: HB)는 터키에서 수입된 C사 제품이다. 붕소의 함량 및 성분은 Table 5와 같다.

붕소의 함량(B₂O₃)은 AA가 56.3%로 가장 많으며 HB가 40%, AB가 22.8%이다. 붕소화합물 HB는 붕소를 제외한 화합물이 Ca(OH)₂와 CaO로 구성되어 있으며 이로 인해 다른 붕소화합물보다 수화 반응 및 강도 면에서 우수할 것으로 기

Table 3 Chemical composition of OPC

Cement	Main components(%)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO
OPC	21.01	6.40	3.02	2.14	61.33

Table 4 Physical properties of aggregates

Size (mm)	Density (20°C, g/cm ³)		Percentage of water absorption (%)	Fineness modulus (FM)
	Surface dry	Oven dry		
≤ 10	2.56	1.09	2.62	2.59

Table 5 Physical properties of aggregates (%)

	AA	AB	HB
B ₂ O ₃	56.3	22.8	40
Ca(OH) ₂			40
Al ₂ O ₃		0.038	
CaO		0.057	20
K ₂ O		0.042	
Na ₂ O		40.36	
Fe ₂ O ₃	0.0007	0.026	
S(SO ₄)	0.05	3.18	
Cl	0.001		
pH	3.9 (Acid)	9.2 (Alkali)	12.8 (High alkali)

대된다. 반면, AB는 붕소의 함량이 가장 적으며 기타 불순물이 많이 혼입되어 있어 붕소로 인한 응결 지연의 영향이 다른 붕소보다 적을 것으로 기대된다.

2.3 실험체 제작 및 실험방법

붕소화합물을 혼입한 모르타르의 pH 시험은 KS F 2103¹⁹⁾에 따라 모르타르 30 g과 증류수 50 ml를 혼입·교반하여 수행하였으며, 측정시점은 굳지 않은 상태(fresh), 재령별 1, 3, 7, 28일에 pH를 측정하였다. pH 측정은 재령별 시험체를 미분쇄하여 증류수에 혼입하여 측정하였으며 한 배합당 시편을 3번씩 채취하여 3번 측정하였다.

모르타르의 응결 시험은 KS F 2436²⁰⁾에 근거하여 수행하였으며, 배합당 2회씩 응결시간을 측정하였다. 응결시험은 모르타르의 관입 저항이 3.5 MPa과 28 MPa이 될 때 까지 소요되는 시간을 각각 초결과 종결 시간으로 정의하여 수행하였으며 48시간 이내에 종결되지 않을시 시험을 중단하였다.

압축강도 시험은 KS L 5105²¹⁾에 준해 50×50×50 mm인 정육면체 공시체를 배합당 3개씩 제작하였고 재령 3일, 7일 28일에 압축강도를 측정하였다.

한편, 모르타르 내 붕소화합물의 형상 및 시멘트 매트릭스의 구조 등을 확인하고자 주사전자현미경(SEM) 촬영을 수행하였다. 촬영한 주사전자현미경은 Philips XL30sFEG (Netherland)제품이며 시편 코팅 재료는 금(Au ion coating)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 pH 측정 시험

Fig. 1은 붕소화합물을 혼입한 모르타르의 재령별 굳지 않은 상태(fresh) 및 재령별(1일, 3일, 7일, 28일) pH를 측정한 그래프로 붕소화합물의 종류에 따라 (a)~(c)로 구분하였다. 붕소화합물을 혼입한 시험체는 전반적으로 기본 시험체(MOR)보다 pH가 낮게 측정되었다. 이러한 원인은 붕소(B₂O₃)가 수화 반응에서 생성되는 OH⁻ 이온과 빠르게 결합하고 이로 인해 MOR 보다 알칼리 수산화물 이온의 발생량이 적기 때문인 것으로 판단된다.²²⁾

Fig. 1(a)의 AA 붕소화합물의 경우 함량이 증가함에 따라 굳지 않은 상태에서의 pH가 점차 산성 값을 나타내지만 AB 및 HB에서는 그러한 경향이 보이지 않았다. AA 붕소화합물을 첨가한 경우 앞의 Metin Davraz²²⁾의 연구와 같이 알칼리 수산화물 이온의 발생량이 적어지기 때문에 매트릭스 내부를 구성하는 주된 성분이 산성 성분(Acid)이며, AB 및 HB의 경우 알칼리 수산화물 이온의 발생량이 줄어들어도 알칼리성(Alkali)을 나타내는 성분의 비율이 높기 때문에 이러한 차이가 나타난 것으로 추정된다.

한편, Fig. 1의 전반적인 pH 변화량의 경향에서 붕소화합물을 혼입한 시험체의 pH 변화량은 초기 pH 값에 상관없이

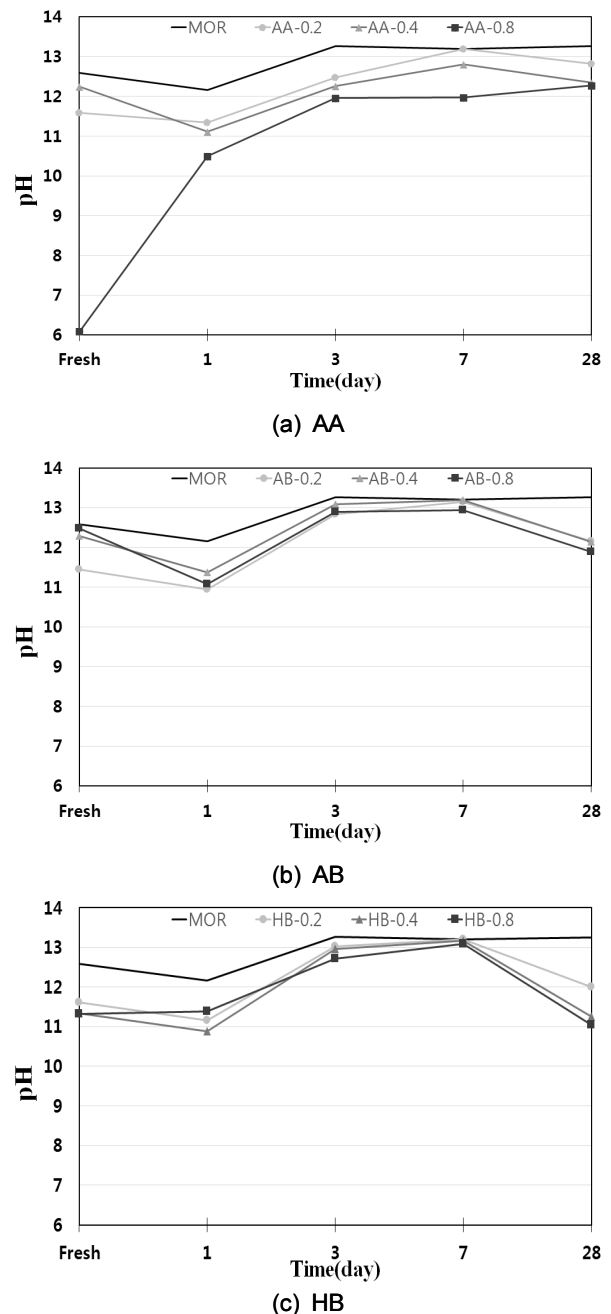


Fig. 1 pH of boron compounds

재령 7일이 되는 시점까지 증가하다 그 시점 이후에는 다시 하락하는 경향을 보였다. 이러한 원인은 pH 시험시 미반응 붕소가 시멘트 매트릭스 내에 포함된 상태에서 분쇄 및 교반되어 증류수에 그대로 녹아 영향을 미친 것으로 추정된다. 이에 대한 자세한 원인 분석은 향후 추가 연구를 통해 수행할 예정이다.

3.2 응결 시험

Table 6과 Fig. 2는 붕소화합물을 혼입한 모르타르의 응결 시험결과를 나타낸 자료이며, Table 7은 초결과 및 종결이 되는 시점에서의 pH를 Fig. 1을 참고하여 추정된 값을 정리한

표이다. 다음 표와 같이 붕소화합물의 종류 및 함량에 관계 없이 전반적으로 기본 시험체보다 초결 및 종결 시점이 늦게 나타났다. 본 연구에서 사용한 붕소화합물인 붕산 및 붕사의 경우 시멘트 수화 메커니즘에 영향을 미쳐 응결 및 경화 등의 영향을 미치지 않지만,^{9,10)} 탄화붕소는 이러한 응결 지연 등이 발생하지 않았다. 이는 붕소로 인한 응결지연이 아닌 붕소와 함께 있는 화합물로 인한 것으로 사료된다. 이런 붕소화합물의 응결지연은 Metin davraz 등의 연구에서와 같이 Ca^{2+} 와 OH가 반응하여 $Ca[B(OH)_4]_2$ 를 생성하고 이렇게 생성된 화합물이 시멘트 입자의 표면을 둘러싸아 물과의 접촉

을 차단하여 수화반응 및 기타 화학반응을 지연시키기 때문으로 판단된다.^{23,24)}

또한, 붕소화합물의 종류에 따라 응결 지연 경향이 다르게 나타났는데 AB 시험체는 다른 붕소화합물에 비해 초결이 가장 빠르게 나타났으며, HB 시험체는 다른 시험체보다 경화가 빠르게 발생하였다(Table 6 참조). 특히나 HB의 시험체의 경우 다른 붕소화합물보다 높은 알칼리 환경임에도 불구하고 응결지연 현상이 가장 크게 발생하였다(Table 7 참조). 이는 기존의 강알칼리성 환경에서 붕소를 혼입한 모르타르의 응결 지연 현상을 저감할 수 있다는 문헌과 다소 다른 결과 값을 보였다.¹³⁾ 따라서 붕소화합물을 혼입한 모르타르의 경우 알칼리도에 따라 응결 지연에 영향을 미치지 않지만 그 외의 다른 지배적 요인이 있을 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6 Setting time of cement paste with boron component

Sample	Initial setting time (hour:min)	Final setting time (hour:min)
MOR	4:20	8:10
AA-0.2	26:55	45:30
AA-0.4	over 48h	over 48h
AB-0.2	7:35	18:10
AB-0.4	3:40	27:25
HB-0.2	12:20	14:12
HB-0.4	16:45	over 48h

3.3 압축강도 시험

붕소화합물을 혼입한 모르타르 시험체에서는 전반적으로 강도저하가 발생하였으며, 특히 AA를 0.4% 혼입한 경우 기본 대비 약 65%가 저하되었다. 강도 데이터의 표준편차는 재령별로 평균 0.9, 1.1 및 1.4였으며, 대부분 표준편차 2 이내로 전반적으로 양호한 수준을 나타내었다.

Fig. 3은 AA를 혼입한 시험체의 강도를 나타낸 그래프로 혼입량이 증가함에 따라 초기 및 전체 강도가 감소하는 양상을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 혼입된 붕소화합물로 인해 시멘트의 수화반응이 제대로 발현되지 않았다는 기존 연구와 유사한 원인으로 파악된다.^{25,26)} 특히나 Table 6의 응결 시험 결과에서도 AA의 경우 초결 및 종결이 가장 늦게 나타났으며, 혼입량이 0.2%에서도 거의 48시간이 다되어 종결이 나타났다. 이러한 원인은 B_2O_3 의 함량이 다른 붕소 화합물보다 높으며 이로 인해 0.2%를 초과한 경우 응결지연으로 인해 강도에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 4은 AB의 함량 및 재령별 압축강도를 나타낸 그래프로 앞의 AA와 다른 경향을 보였다. AB의 경우 전반적으로 기본 대비 강도가 저하되었지만 AB의 함량이 증가할수록

Table 7 Physical properties of boron compounds

Sample	pH at initial setting time		pH at final setting time	
	Age (day)	pH	Age (day)	pH
MOR	1	12.6	1	12.6
AA-0.2	2	11.9	2	12.5
AA-0.4	fresh	13.09	fresh	13.09
AB-0.2	1	11.4	1	11
AB-0.4	1	12.3	2	12.2
HB-0.2	1	11.6	1	11.2
HB-0.4	1	11.3	fresh	11.9

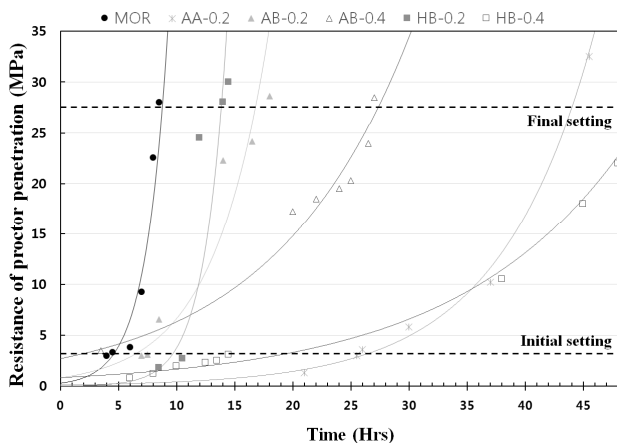


Fig. 2 Setting time test of boron compounds

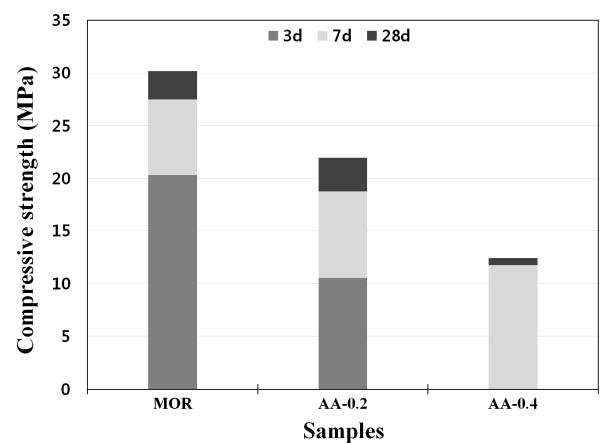


Fig. 3 Compressive strength of AA

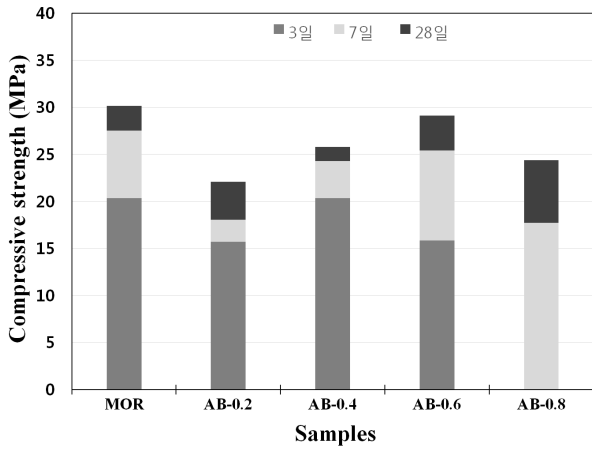


Fig. 4 Compressive strength of AB

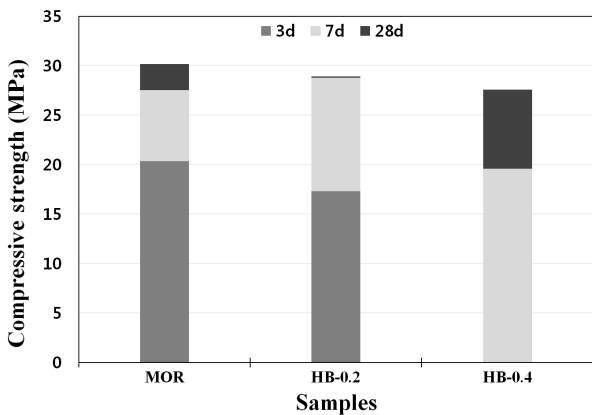


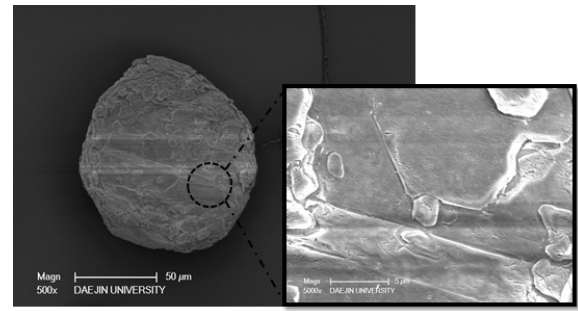
Fig. 5 Compressive strength of HB

강도가 증가하는 양상을 보였다. 이에 대해 혼입량을 최대 0.8%까지 증가하여 추가 실험을 수행한 결과 0.6%까지 강도가 증가하다 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 붕소 화합물의 함량 및 성분에 따라 응결 및 강도 특성이 다를 수 있다는 것을 나타내며 따라서, 붕소 화합물을 첨가할 경우 이러한 특성을 검토한 후 최적 혼입량을 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

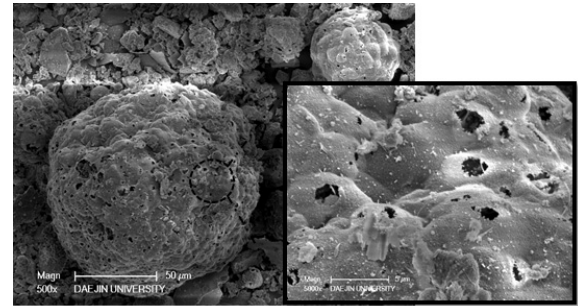
HB의 함량별 압축강도 그래프는 Fig. 5와 같으며 붕소 화합물 중에서 MOR 대비 강도 저하율이 가장 낮았다. HB-0.4 시험체의 경우 재령 3일차 강도가 발현되지 않았으나 앞의 AA보다 전체 강도가 우수하게 나타났다. 이러한 원인은 다른 화합물보다 강도 발현에 긍정적인 영향을 미치는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 함량이 높기 때문인 것으로 사료되며 이로 인해 수화생성물이 많이 발생하여 붕소로 인한 경화 지연 현상을 감쇄시켰기 때문인 것으로 판단된다.^{27,28)}

3.4 주사전자현미경(SEM)에 의한 이미지 분석

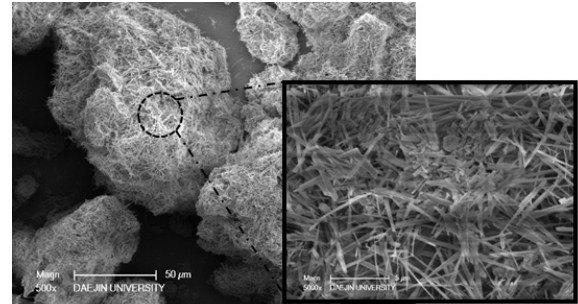
Fig. 6은 붕소 화합물의 형상을 촬영한 사진으로 붕소 화합물의 종류에 따라 형상 및 사이즈가 다음과 같다. AA는 약 60 μm 의 둥근 형태로 표면이 매끈하며, AB는 약 130 μm 의



(a) AA



(b) AB



(c) HB

Fig. 6 SEM images of boron compounds

구형으로 표면에 굴곡이 있으며 굴곡 사이에 작은 구멍들이 분포되어 있다. 반면, HB의 경우 바늘처럼 가느다란 형태가 서로 엉켜 덩어리를 이루고 있으며 크기 및 형상이 불규칙적이다. HB의 이러한 형상은 다른 붕소 화합물에 비해 시멘트 매트릭스와의 부착에 매우 유리한 형태로 판단된다.²⁹⁾ 따라서, HB를 혼입한 시험체의 경우 다른 붕소 화합물을 혼입한 시험체보다 압축강도 등과 같은 물리적 특성이 우수한 것으로 판단된다.

Fig. 7는 붕소 화합물의 종류 및 재령에 따라 주사전자현미경으로 촬영한 사진이다. MOR를 기준으로 재령 3일차에서는 침상의 에트링가이트(Ettringite), 판형태의 수산화칼슘 및 칼슘실리케이트(Calcium silicate hydrate: C-S-H) 등이 관찰되었다. 또한, 재령 7일차에는 수화생성물로 시멘트 매트릭스의 공극이 대부분 채워진 치밀한 시멘트 매트릭스 조직을 확인할 수 있었다.

재령 3일차 붕소 화합물을 혼입한 시험체에서도 붕소의 종류에 상관없이 매트릭스 곳곳에서 에트링가이트 등의 수화생성물이 생성되었다. AB 및 HB의 경우 시멘트 매트릭스 내에서

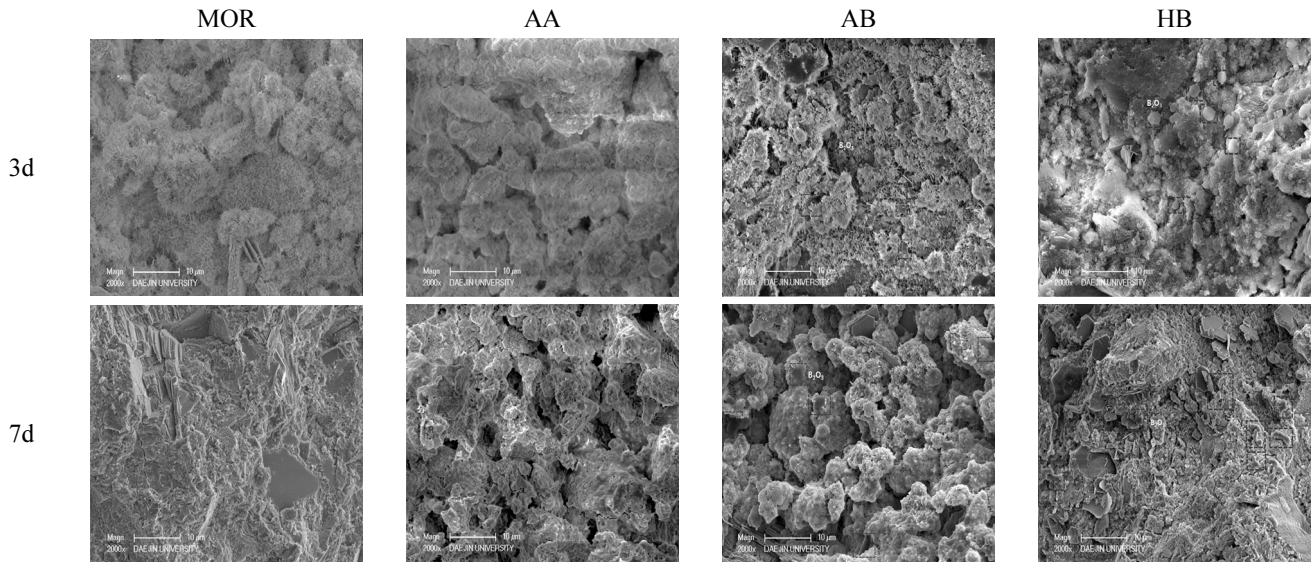


Fig. 7 SEM images according to the age and type of boron compounds

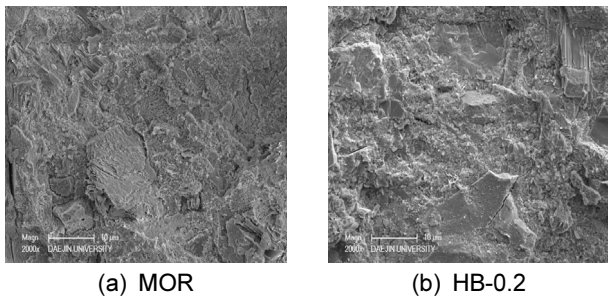


Fig. 8 SEM images according to the age and type of boron compounds

붕소로 판단되는 불규칙한 형상(사진상 파선으로 표기)이 관찰되었으나, AA의 경우에는 이러한 형상이 보이지 않았다.

붕소화합물을 혼입한 재령 7일차의 시험체에서도 재령 3일차와 유사하게 AB 및 HB의 경우 붕소의 형태가 관측되었으나, AA의 경우 붕소의 형상이 관측되지 않았다. Fig. 7의 재령 7일차 AB의 SEM 사진에서 붕소들이 주변의 매트릭스 조직과 합쳐지면서 서서히 정착되어 경화하는 것을 확인할 수 있었으며, HB의 경우 주변의 붕소들이 하나로 합쳐지는 형상이 관측되었다. 이러한 형상은 Fig. 8과 같이 재령 28일에는 관측되지 않았으며 이는 시멘트 매트릭스 조직과 물리적인 결합을 통해 경화하면서 매트릭스 조직이 점차 치밀해짐에 따라 확인되지 않는 것으로 판단된다. 또한, 붕소화합물을 혼입한 시험체는 화합물의 종류에 따라 재령별 시멘트 매트릭스의 치밀한 정도가 다르게 나타났다. MOR를 제외하고 HB 시험체가 재령 3일 및 7일 모두에서 가장 치밀한 조직을 구성하며 이러한 원인은 HB가 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 함량이 높기 때문인 것으로 사료되며 이러한 영향이 Fig. 3~5의 압축강도 결과에서 나타난 것으로 판단된다.^{27,28,30} 따라서 붕소를 혼입한 모르타르의 경우 붕소화합물의 종류 및 성분에 따라 응결 지연 정도 및 물리적 성능이 결정되므로 이를 고려하여 최적 혼입량을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 결 론

혼입된 붕소화합물의 알칼리도에 따른 물리적 특성 및 SEM을 활용한 미세구조 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 알칼리도에 따른 붕소화합물의 pH 변화량은 화합물의 종류에 상관없이 전반적으로 MOR보다 낮게 측정되었으며 시간이 갈수록 저하되는 양상을 보였다.
- 2) 붕소화합물을 혼입한 모르타르의 경우 알칼리도에 따라 응결 지연에 일부 영향을 미치지만 그 외의 다른 지배적 요인이 있을 것으로 판단된다.
- 3) 압축강도는 붕소화합물의 종류에 상관없이 전반적으로 감소하는 경향을 보이지만 HB를 혼입한 시험체의 경우 MOR 대비 강도 저하율이 가장 적게 나타났다. 따라서, 붕소화합물의 특성을 검토하여 최적 혼입량을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 4) 또한, SEM 분석결과에서도 붕소의 종류 및 성분에 따라 수화생성물의 결정 생성 정도가 다르게 관측되었으며 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 많이 포함된 HB의 시험체가 가장 치밀한 시멘트 매트릭스 조직을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2013년 산업통상자원부의 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구과제(2013152020430)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Sato, K., Tanosaki, T., Fugii, H., and Miura, T., "Analysis of Induced Radionuclides in Low-activation Concrete (Limestone Concrete) Using the 12 GeV Proton Synchrotron Accelerator

- Facility at KEK”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 116, No. 1-4, 2005, pp. 647-652.
2. Park, S. J., “Neutron Shielding and Low-activation Characteristics of Borated Concretes”, Master’s Thesis, 2013.
 3. Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP), “Development of Epoxy Nanocomposite, Based Neutron Shielding Materials for Spent Fuel Cask”, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI), 2013.
 4. Ministry of Trade Industry Energy(MOTIE), “Development of Radiation Shielding Material Usings an Ultra-fine Boron Dispersed Polymer Matrix”, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI), 2009.
 5. Cho, S. H., Kim, I. S., Do, J. B., Ro, S. G., and Park, H. S., “Fabrication and Characteristics of Modified and Hydrogenated Bisphenol-A type Epoxy Resin Based Neutron Shielding Materials”, *Hwahak Konghak*, Vol. 35, No. 5, 1997, pp. 661-666.
 6. Pyzik Aleksander, J., and Aksay Ilhan, A., “Processing of Boron Carbide-aluminum Composites”, *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 72, Issue. 1, 1989, pp. 775-780.
 7. Jun, J. H., Kim, J. W., Bae, Y. J., and Seo, Y. S., “Enhancement of Dispersion and Adhesion of B4C Particles in Epoxy Resin Using Direct Ultrasonic Excitation”, *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 416, Issue. 3, 2011, pp. 293-297.
 8. Kharita, M. A., Yousef, S., and Alnassar M., “Review on th Addition of Boron Compounds to Radiation Shielding Concrete”, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 53, Issue. 2, 2011, pp. 207-211.
 9. Polley, C., Cramer, S. M., and De La Cruz, R. V., “Potential for Using Waste Glass in Portland Cement Concrete”, *J. Master.Civ.Eng.*, Vol. 10, No. 4, 1998, pp. 210-219.
 10. Jang, B. K., “Properties of Mortar with Borosilicate Glass Used to Enhance Neutron Shielding Performance, Master’ Thesis, 2016.
 11. Okuno, K., “Neutron Shielding Material Based on Colemanite and Epoxy Resin”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 115, No. 1-4, 2005, pp. 258.
 12. Yasemin. Y., and Ahmet, B., “Investigation of Neutron Shielding Efficiency and Radioactivity of Concrete Shields Containing Colemanite”, *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 212-215, Part B, 1994, pp. 1720-1723.
 13. You, K. S., Fujimori, H., Ioku, K., and Goto, S., “Effect of Boric Acid on Hydration of Calcium Sulfoaluminate”, *Journal of the Society of Inorganic Materials*, Vol. 3 No. 298, 2002, pp. 137-142.
 14. Min, J., Lee, J. S., Lee, B., and Lee, J. H., “Studies on Setting Time and Compressive Strength of Mortar Incorporating Boric Acid”, *The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 2015, pp. 409-410.
 15. Lee, B., Lee, J. S., Min, J., An, G. H., and Lee, J. H., “The Physical Properites of Mortar Containing Boron Compounds”, *KCI Concrete Journal*, Vol. 26, No. 2, 2015, pp. 663-664.
 16. Kula, I., Olgun, A., Sevinc, V., and Erdogan, Y. “An Investigation on the Use of Tincal ore Waste Fly Ash and Coal Bottom Ash as Portland Cement Replacement Materials”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, Issue. 2, 2002, pp. 227-232.
 17. ASTM C637 Standard specification for aggregates for radiation-shielding concrete, ASTM International, 3pp.
 18. ASTM C638, Standard descriptive nomenclature of constituents of aggregates for radiation-shielding concrete, ASTM International, 4pp.
 19. Korean Industrial Standards, Standard test method for pH of soils (KS F 2103), Korean Agency for Technology and Standards, 2013, 4pp.
 20. Korean Industrial Standards, Testing method for time of setting of concrete mixture by penetration resistance (KS F 2436), Korean Agency for Technology and Standards, 2007, 9pp.
 21. Korean Industrial Standards, Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars (KS L 5105), Korean Agency for Technology and Standards, 2007, 5pp.
 22. Metin, D., “The Effect of Boron Compounds on the Properties of Cementitious Composites”, *Science and Engineering of Composite Materials*, Vol. 17 No. 1, 2010, pp. 1-18.
 23. Metin, D., “The Effect of Boron Compound to Cement Hydration and Controllability of This Effect”, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol. 128, No. 2-B, 2015, pp. 26-33.
 24. Volkman, D. E. and Bussolini, P. L., “Comparison of Fine Particle Colemanite and Boron Frit in Concrete for Time-Strength Relationship”, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 20, Issue. 1, 1992, pp. 92-96.
 25. Olguna, A., Kavash, T., Erdogana, Y., and Once, G., “Physico Chemical Characteristics of Chemically Activated Cement Containing Boron”, *Building and Environment*, Vol. 42, Issue. 6, 2007, pp. 2384-2395.
 26. Targan, S., Olgun, A., Erdogan, Y., and Sevinc, V. “Effects of Supplementary Cementing Materials on the Properties of Cement and Concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, Issue. 10, 2002, pp. 1551-1558.
 27. Shi, C., and Day, R.L., “Pozzolanic Reaction in the Presence of Chemical Activators, Part II. Reaction Products and Mechanism”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, Issue. 4, 2000, pp. 607-613.
 28. Lee, C. Y., Lee, H. K., and Lee, K. M., “Strength and Microstructural Characteristics of Chemically Activated Fly Ash-cement System”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, Issue. 3, 2003, pp. 425-431.

29. Metha, P. K., "Concrete-structure, Properties, and Materials",
Prentice-Hall, 1986, pp. 64-69.
30. Shi, C., and Day, R. L., "Comparison of Different Methods

for Enhancing Reactivity of Pozzolans", *Cement and
Concrete Research*, Vol. 31, Issue. 5, 2001, pp. 813-818.

요 약 본 연구에서는 붕소화합물을 혼입하여 제작한 모르타르의 특성에 대한 검토를 수행하였다. 사용된 붕소화합물은 pH 값에 따라 산성 및 약알칼리성, 강알칼리성으로 구분하여 선별한 것으로 산성 기반인 붕산(AA)과 약알칼리 기반의 붕사(AB), 강알칼리성인 붕사(HB)이다. 실험은 모르타르의 물리적·화학적 특성을 파악할 수 있는 pH 측정 및 응결 시험, 압축강도 시험을 수행하였으며 모르타르 내 미세구조 분석을 위해 SEM 촬영을 수행하였다. pH 측정 결과 붕소화합물을 혼입한 시험체 전반적으로 기본 모르타르보다 pH가 낮게 측정되었으며 시간이 지남에 따라 pH가 저하되는 양상을 보였다. 또한, 응결 시험에서도 기본 시험체보다 초결 및 종결 시점이 늦게 발생되었으며 알칼리도에 따라 응결 지연을 저감할 수 있다는 기존 문헌과 다소 다른 결과를 나타냈다. 압축 강도 및 SEM 촬영 결과, 붕소화합물의 종류 및 성분에 따라 강도 등의 물리적 성능이 결정되기 때문에 이를 고려하여 최적 혼입량을 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 붕소화합물, 알칼리도, pH 측정 시험, 주사전자현미경(SEM)