



수용성 고화재와 규산염광물 결합재를 활용한 지반개량재의 실험적 연구

김성욱¹ · 최은경² · 조진우³ · 이주형⁴ · 이규환⁵

(주)지아이 대표¹, (주)지아이 지반정보연구소 책임연구원², 한국건설기술연구원 지반연구소 수석연구원³, 한국건설기술연구원 지반연구소 연구위원⁴, 건양대학교 해외건설플랜트학과 교수⁵

An Experimental Study for Strength Improvement of Soft Ground using Hardening Agent and Silicate Mineral Power

Kim, Sung-Wook¹·Choi, Eun-Kyeong²·Cho, Jinwoo³·Lee, JuHyung⁴·Lee, Kyu-Hwan⁵

¹Dr, GI Co. Ltd., Geo-Information Institute, Busan, Korea

²Senior Researcher, GI Co. Ltd., Geo-Information Institute, Busan, Korea

³Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi, Korea

⁴Researcher, Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi, Korea

⁵Professor, International Civil & Plant Engineering, Konyang University, Chungnam, Korea

Abstract: The demand for environmental consideration is on the increase in civil engineering. This study focuses on the development of technology to reduce the use of carbonate cement and improve its performance by using a silicate mineral and hardening agents, and presents the test results for the demonstrative evaluation of the properties of the raw material. Highly active feldspar was used as a binder to augment the bonding of the carbonate cement, and their change in strength was observed after test piece construction with the addition of soluble hardening agent. The uniaxial compression strength of the test piece of the general Portland cement with the addition of 0.5% soluble hardening agent, showed an increase by 33% and that of the test piece of cement with the addition of 70% substituted with feldspar increased by 28%. The strength of viscous soil, classified as soft ground, showed an increase of a maximum of 1.7 times when it was mixed with cement and solidifier depending on the curing period. These tests confirmed that a soluble solidifier is effective for improving the strength of a cement binder and that the highly active feldspar can be used as a binder.

Key Words: hardening agent, silicate mineral, feldspar, binder, uniaxial compression strength

1. 서론

탄산염계 광물을 기반으로 한 시멘트는 건설재료원에서 사용과 활용빈도가 매우 높다. 그러나 환경을 고려한 수요자들의 다양한 요구가 증가하는 추세에 있고 이에 부합하기 위한 순화자원의 활용과 친환경적

인 자원을 활용하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있다. 그 중 대표적인 것으로 규산염계 광물과 풍화에 의해 생성된 점토광물을 이용한 것과 탄산염계 시멘트에 비해 낮은 압축강도와 표면경도를 보완하기 위한 고화재 연구 등이 있다.

주요어: 고화재, 규산염광물, 장식, 결합재, 압축강도

Corresponding author: Kim, Sung-Wook

GI Co. Ltd., 11, Jungang-daero 1048beon-gil, Yeonje-gu, Busan 47598, Korea
 Tel: +82-51-506-9261, Fax: +82-51-502-9260, E-mail: suwokim@chol.com

Received October 6, 2015 / Revised October 21, 2015 / Accepted October 30, 2015

그러나 산업광물로서 규산염광물의 이용 빈도가 제한적이고 시멘트의 체계적인 자료와 배합기준 등이 확립되지 않아 확대보급이 되지 못하고 있다.

20C 후반 도시화에 따른 개발사업의 요구에 따라 대량생산이 체제를 갖춘 탄산염계 시멘트가 건설재료원으로 대체되었고, 근래에 들어 친환경 재료에 대한 관심이 높아지면서 카올린 등의 규산염광물을 이용한 혼화재료와 시멘트의 대체하기 위한 고화제를 활용한 경화 및 강도 증진에 대한 연구가 증가하고 있다. 1990년대부터 카올린을 주성분으로 한 고투포를 포함한 콘크리트 모르타르 연구(Lee et al., 2010; Choi, Hwang & Kim, 1997; Hwang, Kim & Yang, 2006) 등에서 규산염광물의 활용가능성이 제시된 바 있다.

최근 다양한 건설재료원 개발을 위한 연구에서 콘크리트 포졸란반응에 관계되는 혼화재료로 메타카올린의 효과(Brooks & Megat Johari, 2001)와 크립 및 소성 수축 연구(Gleize, Cyr & Escadeillas, 2007), 염소 및 황산염 침투 저항성 개선을 위한 재료원 개발(Lee et al., 2015) 등이 있다. 한편 지반개량의 목적으로 하중에 의한 침하 발생과 피해 저감을 위해 경량재료원에 대한 연구가 활발하다(Yoon and You, 2004; Song, 2009; Lee et al., 2012). 경량화는 하중경감과 유동성의 조절, 시공성의 장점이 있는 반면, 경화과정에서의 수축현상과 내구성 저하 등으로 실무 적용이 미진한 상태에 머물러 있다.

이 연구는 토목, 건축, 방재시설에 이용되는 충전재료원 개발에 필요한 기술 축적을 위한 것으로 충전재로 사용되는 탄산염계 시멘트의 높은 밀도와 충분한 강도를 발현하기까지 요구되는 재령시간을 단축한 재료원에 필요한 기술개발을 목적으로 하고 있다. 연구를 위해 규산염 소재의 결합체가 가지는 고유한 성능과 단점을 보완하기 위한 방법들을 시도하고 있으며 이번 연구에서는 규산염과 고화제를 배합한 충전재료의 압축강도 관찰결과와 향후 연구 내용과 방법에 제한하여 기술하고 있다.

2. 입자의 결합경화제

1. 규산염 바인더

광의의 시멘트는 물질과 물질을 접합하는 의미로 사용되나 건설용의 시멘트는 무기질의 결합경화제를 지칭한다. 이 중에서 시멘트는 흔히 석회석으로 통칭되는 방해석(calcite)을 기반으로 실리카, 알루미늄산화철 등을 용융·소성하여 제조된 포틀랜드시멘트를 지칭하는 용어로 사용되고 있다. 이에 반해 토목용이나 건축용으로 사용되는 규산염 바인더는 규산염광물에

기반을 둔 무기질의 시멘트로 카올린, 일라이트, 메타카올린, 벤토나이트, 클로라이트 등이 이에 속하며 이들은 대부분 규산염 광물이 연속적인 풍화에 의해 형성된 것으로 대부분의 점토광물이 여기에 속한다(Fig. 1).

물질의 결합재로 이용되고 있는 점토광물의 대부분은 규산염광물이 풍화되어 생성된 것이다. 이에 반해 이 연구에서는 산업광물로서 활성도가 높은 장석이 재료의 변형을 방지하는 역할과 화학작용에 대한 저항성, 기계적 강도 증가, 물질의 반응 촉진제 등으로 사용되는 것을 반영하여 결합 특성에 대한 예비적 연구를 수행하였다.

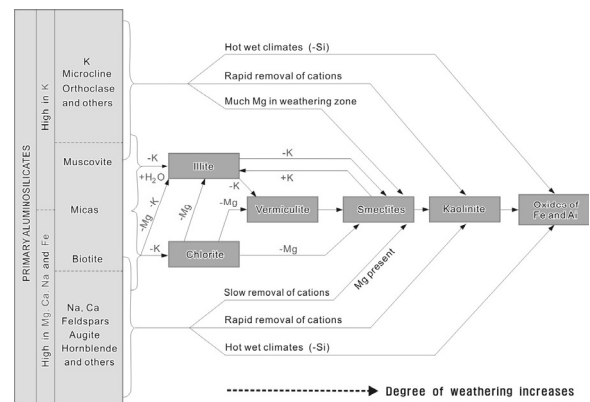


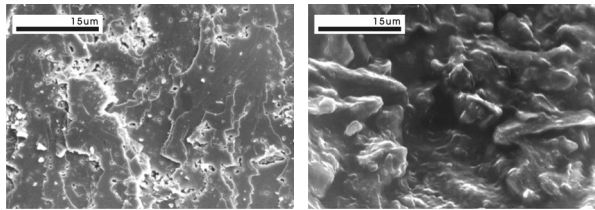
Fig. 1 Weathering products of weathering process (modified from Mason, 1966)

장석은 지각을 구성하는 물질 중 가장 흔한 자연계의 기반물질이자 산업광물로 유리, 도료 등의 제조에 이용되고 있다. 장석은 광물학적으로 매우 복잡한 광물상을 이루고 있어 광물자원의 물질적 특성과 용도 개발에 대한 연구가 거의 이루어지지 않아 광물자원의 잠재적 가치가 상당히 낮게 평가되고 있고, 활용 방안이 확립되지 않아 저급한 용도로 사용되는 일반적이다.

장석은 albite, orthoclase, anorthite의 단성분과 이들의 고용체(solid solution)로 이루어져 있고 다양한 미세구조를 가지고 있는 것이 특징이다. 화학조성과 함께 물리적인 구조는 광물의 기능적 특성에 변화를 나타내며, 장석의 광물구조는 1차적으로 Al과 Si의 배열-비배열, 쌍정, 연정, 이들의 복합적 구조와 연관되어 있고(Parsons, 1994; Smith & Brown, 1988; Deer, Howie & Zussman, 2001), 2차적으로 풍화 및 변질에 의한 미세구조로 구분된다. 장석은 풍화과정에서 미세 공극에 의한 다공체의 표면조직이 발달하는 특징을 보인다.

시멘트를 포함하여 무기질 결합체는 분말의 형태

로 제조되며, 100 μm이하의 나노분말은 입자의 미세화에 따라 비표면적의 증가와 입자내의 전/자기적 성질의 변화에 따른 특이한 물리적 특성을 나타낸다. 풍화에 의한 다공체 구조는 입자 크기의 감소에 의한 원자 비율의 증가 외에도 비표면적이 증가하여 체적특성은 감소하고 표면특성이 증대되고 이에 따른 전기/자기적, 광학적 성질이 발현된다(Park & Lee, 2000). 장석은 풍화과정 중 특징적인 다공체의 표면조직이 관찰되며 비표면적을 증대시켜 반응력을 높이게 된다. 또한 분말의 형태가 되면 반응력은 더욱 증대된다. Fig. 2(a)와 같이 SEM 영상에서 관찰되는 다공체의 빈도는 1 cm²의 부피에 80,000에서 200,000개의 공동을 포함하고 있다. 무기질 결합체의 제조에서 고온에서 가열하는 방법이 일반적이거나 고온에서 소성한 장석은 Fig. 2(b)와 같이 광물의 용융에 의해 다공체 구조가 사라지는 것을 볼 수 있다. 따라서 규산염을 기반으로 한 결합경화제의 제조에 있어 물리적 표면구조를 이용하는 경우 광물에 따라 용융온도의 설정은 매우 중요한 요소로 판단된다.



(a) Porous structure observed in weathered feldspar (b) Surface structure of the heated feldspar (> 600°C)

Fig. 2 Surface change of the feldspar due to weathering and heating

풍화단계의 장석은 활성도가 증가되며 이에 의한 특성으로 흡착작용, 용출작용, 중화작용 및 이온작용이 활성화되는 것으로 알려져 있다(Hwang, Yang & Koo, 1996). 친환경 건축 재료로 시멘트의 혼화제 등으로 이용되는 황토 등은 카올린, 일라이트와 같이 점토광물의 다공성과 비표면적에 의한 기능성을 강조하고 있으나 낮은 압축강도와 제한적인 산출, 가공에 소요되는 비용으로 인해 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

연구에 사용한 장석은 풍화변질과정에 있는 화강섬록암 중 장석반정의 발달하는 암석을 채취하여 분말로 제작한 후 저온에서 소성하였다. Fig. 3은 실험에 사용한 화강섬록암에 포함된 장석반정의 실제현미경과 편광 편광현미경 사진으로 장석은 누대구조와 쌍정이 발달하며 풍화과정에서 견운모, 녹니석 등의 점토광물과 방해석이 생성되어 심하게 변질된

조직을 보인다. 장석은 열수 변질에서 고령토화, 불석화, 녹염석화 몬모릴로나이트화가 일반적인 것에 반해 탄산염화 작용이 수반된 것으로 판단된다.

Table 1은 대상암석의 화학조성을 나타낸 것으로 모암은 전형적인 산성암에 해당한다. 구성 원소는 대표적인 포졸란 물질에 속하는 SiO₂와 Al₂O₃ 함량이 69.59~71.58%, 13.07~14.13%의 범위를 보이며, FeO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O는 5% 미만으로 포함되어 있다. 화학조성에 함량을 보여 전형적인 산성암임을 알 수 있다.

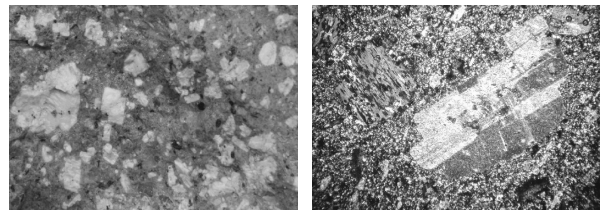


Fig. 3 Granodiorite showing well developed feldspar porphyry(left). Photomicrography showing weathered texture in granodiorite(right)

Table 1. Chemical composition of major elements. (wt.%)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	SUM
①	69.59	0.49	13.07	2.49	0.05	1.61	2.56	4.53	2.70	0.13	2.46	99.67
②	70.28	0.49	14.13	2.94	0.04	1.32	1.08	4.42	2.91	0.14	1.42	99.16
③	70.58	0.48	14.02	2.64	0.05	1.30	0.97	4.64	3.13	0.12	1.52	99.44

2. 수용성 고화제

일반적으로 사용 빈도가 높은 고화제는 유기질토, 고함수토 등 연약지반 안정용으로 이용되는 것과 대기오염 및 수질오염에 의한 산업폐기물의 안정화 등의 용도로 사용되고 있다. 국내에서 흔히 사용되는 고화제는 포졸란 물질, 시멘트, 무수석고, 칼슘설펜이트계 화합물(calcium sulfur aluminate:CSA) 등을 혼합하여 시멘트의 사용량을 줄이면서 강도증진 효과 및 팽창저감효과를 발휘할 수 있도록 개발된 제품이 일반적이다.

현재 개발되어 사용되고 있는 고화제의 형태는 분말형과 액상형으로 구분되며, 분말형은 비산이 발생하는 작업환경을 고려한 발진 억제형 고화제, 유동화처리공법에 사용되는 속경성고화제, 입상화 처리를 위한 고화제, 고화제의 성능향상을 고려한 초지경성 고화제와 초고유기질토용 고화제, 산업폐기물을 이용한 고화제 등이 있으며, 현장에서 물과 희석시켜 수용액 상태로 분사 혼합하는 방식의 액상형 고화제가 있다. 이러한 액상형 고화제는 수용액 상태로 혼합되기 때문에 혼합과정에서 합수비의 조절

이 가능한 장점이 있다(Kang, 2015).

이 연구에 사용한 고화제는 무기질과 금속염류 (Table 2의 ②), 구연산 등의 화합물로 제조되었고 토양과 수환경에 위해성이 높은 중금속과 독성원소를 포함하고 있지 않는 친환경적인 재료로 구성되어 있다(Table 2). 고화의 개념은 안정화보다는 고형화에 목적이 있으므로 무기질을 이용하는 것이 보다 적극적인 방법이 될 수 있다.

Table 2. Chemical composition of Hardening agent

Element	Hardening agent-①		Hardening agent-②	
	Weight (%)	Atomic (%)	Weight (%)	Atomic (%)
Na ⁺	6.85	10.29	8.04	12.01
Mg ²⁺	3.88	5.51	4.26	6.02
Cl ⁻	60.19	58.68	60.22	58.36
K ⁺	20.16	17.82	16.50	14.50
Ca ²⁺	8.93	7.70	9.71	8.33
Fe ²⁺			1.27	0.78
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0

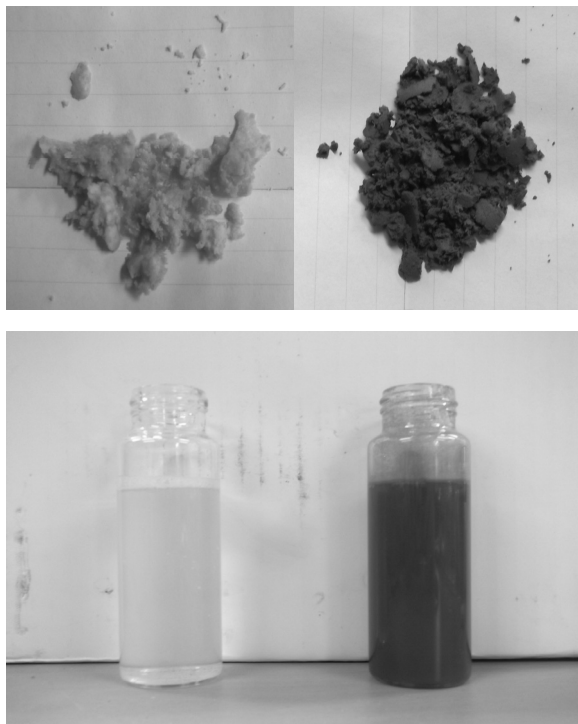
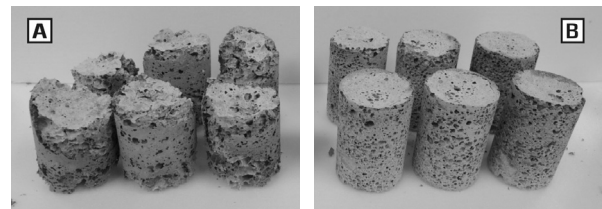


Fig. 4 Photographs of powder (upper) and aqueous solution (lower) of hardening agent.

토립자 사이의 수화반응을 저해하는 유기물이 함유된 고유기질토나 점토성 토질 입자에 밀착되어 부식산(humid acid)의 작용을 약화시켜 결합력을 높이고 공극 내에 침상의 무기질 결정체를 형성하여 토

립자의 연결성을 높이고, 이에 따라 표면구조가 치밀해지고 지지력이 증가된다. 무기질 결정체의 형성은 시멘트의 경화보다 빠르게 진행되어 연약점토 등의 취약지반의 흡수팽창과 동결융해에 대한 저항력을 제공할 수 있다.

Fig. 5는 고화제를 이용하여 경량기포토에 적용한 실험적 사례를 나타낸 것이다. 경량기포는 양생되는 온도에 따라 소포에 의한 수축현상과 기포의 팽창에 의한 부풀음 현상이 발생하며(Lee et. al., 2012), 실용화의 주요한 개선점이 되고 있다. Fig. 5(a)는 경량기포를 이용하여 제작한 시편이며, Fig. 5(b)는 동일 조건에서 0.3% 수용성 고화제를 경량기포에 첨가하여 제작한 것이다. 양생은 경량기포토의 최적조건에 해당하는 25℃, 습도 80%에서 양생되었고 단위중량은 3.5 N/m³이다. 경량기포만을 사용한 시편은 양생 6시간 이내에 수축과 입자의 분리 현상이 발생하여 공시체의 형태를 유지하지 못한 반면 고화제를 포함한 시편은 원통형의 공시체 형태를 유지하고 있고 입자의 분리현상이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 즉 수용성 고화제가 진술한 바와 같이 입자의 결합력을 증가시키고 역학적 특성으로 하중지지력 증가와 내구성 증가에 기여하는 것을 알 수 있다. 현 단계에서 육안관찰에 의한 기능적 특성을 제시하고 있으나 경량재료원의 문제점과 이를 개선하기 위한 지속적인 시도가 필요하다.



(a) Specimen of Portland cement mixed with lightweight forming agent
(b) Specimen of Portland cement mixed with lightweight form and hardening agent (0.5%)

Fig. 5 Photographs for lightweight aerated concrete using forming agent

3. 공시체 제작

수용성 고화제와 활성장식 분말 결합체의 강도 특성을 파악하기 위한 공시체는 지름 3.5 cm, 높이 4.1 cm의 원통형 시편을 제작하였다. 사용한 탄산염계 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 S사 제품인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 수용성 고화제는 Table 2의 ②에 해당하는 고화제를 사용하였고, 공시체 전체 중량의 0.5%에 해당하는 분말형 무기질고화제를 용해하여 혼합하였다. 규산염결합재로 이용한

활성장석은 시멘트에 중량의 70%에 해당하는 무게만큼 혼합하였고, 입자의 평균입경은 80 μm 로 하였다. Table 3은 공시체의 특성을 정리한 것으로 규산염결합재를 첨가한 시편의 무게가 9% 감소하였다.

Table 3. The characteristics of specimens

Type	Content Ratio (%)			Number	Diameter (mm)	Length (mm)	Volume (cm^3)	Ave.wt. (g)
	PC	FP	HA					
A	100.0	-	-	4	35	41	39.4	63.2
B	100.0	-	0.5	4	35	41	39.4	63.1
C	30.0	70.0	0.5	4	35	41	39.4	57.6

PC: Portland Cement, FP: Feldspar powder, HA: Hardening agent

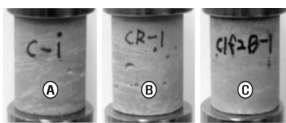
3. 결과 및 고찰

1. 일축압축강도

일반포틀랜드시멘트와 활성장석분말, 고화재를 첨가하여 제작한 공시체의 일축압축강도를 측정하였다. 일반포틀랜드시멘트로 제작된 공시체의 압축강도는 12.2~14.7 MPa의 범위를 보였고, 중량비 0.5%의 고화재를 첨가한 공시체는 15.4~19.1 MPa 범위의 압축강도가 측정되었다. 그 결과 고화재를 첨가한 시편의 압축강도는 일반시멘트에 비해 33% 정도 강도가 증가하였다. 포틀랜드시멘트의 중량 중 70%를 활성장석분말로 대체한 시편의 압축강도는 15.4 ~ 18.2 MPa의 압축강도를 보였고 평균 압축강도는 일반포틀랜드시멘트에 비해 28% 증가하였다(Table 4).

Table 4. Uniaxial compressive strength of specimens

Type	Uniaxial compressive strength(MPa)			
	①	②	③	mean
A	13.3	12.2	14.7	13.4
B	19.1	15.4	18.8	17.8
C	18.2	15.4	17.9	17.2



고화재와 규산염 분말을 이용한 실험의 결과는 고화재가 결합공시체의 강도 증가에 기여하는 것을 지시한다. 규산염 분말을 결합재로 첨가한 시편의 압축강도가 시멘트에 고화재를 첨가한 시편에 비해 압축강도가 높지 않았으나 일반 시멘트에 비해 강도가 증가한 것을 알 수 있다. 제한된 숫자의 예비적 연구이기는 하나 활성도가 높은 장석이 물질의 결합재의 역할을 하는 것으로 판단된다.

2. 표면 조직

일축압축강도에 사용된 공시체의 표면조직과 화학조성을 주사전자현미경(SEM-EDS)으로 분석하였다(Fig. 6). 일반시멘트의 시편(Fig 6 (a))에 비해 고화재를 첨가한 시편(Fig 6 (b))과 규산염 분말을 첨가한 시편(Fig 6 (c))에서 입자 사이의 조직이 치밀해진 것을 볼 수 있다.



(a) Electron image of Portland cement specimen (b) Electron image of specimen adding Hardening agent (c) Electron image of specimen adding Feldspar powder & Hardening agent

Fig. 6 SEM image of the specimens

시편 중 일축압축강도가 낮게 측정된 공시체(Table 4 ②)는 혼합과정에서 발생한 구형의 기포가 포함되어 다른 시편들에 비해 낮은 강도를 지시하고 있다(Fig. 7). 고화재와 결합재의 비교 평가를 위해서 충분한 수량의 공시체 제작과 기포발생을 줄이기 위한 충분한 교반이 필요할 것으로 판단된다.

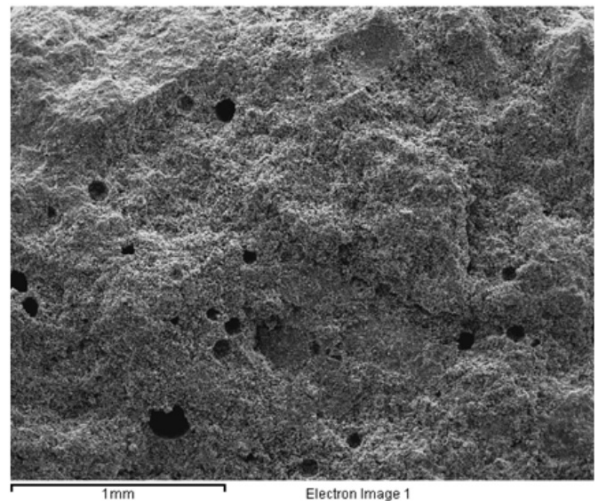


Fig. 7 SEM image of the specimen with bubbles

Table 5는 일반 포틀랜드시멘트와 고화재 및 규산염 분말을 첨가한 공시체의 SEM-EDS 화학조성을 나타낸 것으로 고화재가 첨가된 시편(B, C)은 고화재 성분 중 Na와 Cl가 검출되고 있다. 고화재를 중량 대비 0.5%로 일정하게 적용하였고 효과적인 배합

을 위해 분산이 용이한 수용성 재료를 물에 희석하여 사용하였으나 분석 결과에서 다소의 차이를 보이고 있다. 고화재를 이용한 연약지반 개량이나 토양 안정재 이용 시 일정한 지반강도를 유지하기 위해서 주의가 요구된다.

Table 5. Representative chemical composition of specimens

Type	Element weight (%)									
	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
A	-	1.94	2.94	13.28	3.47	-	1.16	73.77	2.55	100.0
B	0.82	1.72	3.12	11.16	2.73	0.89	3.15	73.63	2.80	100.0
C	1.60	3.14	7.24	29.55	2.49	1.33	4.69	43.89	6.06	100.0

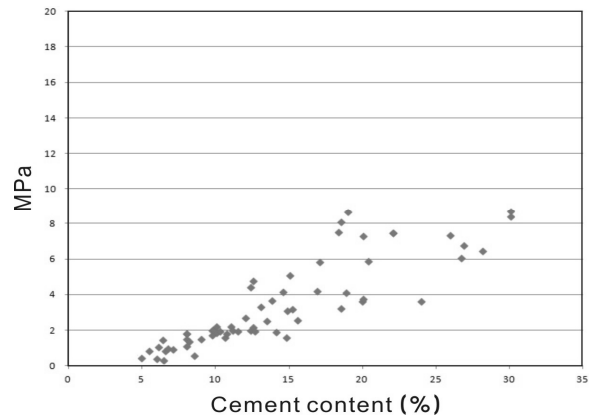
Table 5의 C는 규산염 분말은 탄산염의 주요 원소인 Ca의 함량이 44% 정도이며, 일반 시멘트로 구성된 A와 B 시편의 74%에 비해 낮은 수치를 보인다. 반면 Al과 Si는 각각 7%와 30% 정도로 탄산염의 시멘트에 비해 2-3배 높은 함량을 지시한다. 이러한 물질은 대표적인 포졸란 물질로서 탄산염계 시멘트에서 기원된 Ca(OH)₂와 반응하여 결합능 증가에 기여한 것으로 판단되며, 규산염의 포졸란 반응에 대한 지속적인 연구가 요구된다.

3. 시멘트 함량별 고화재에 의한 강도 특성

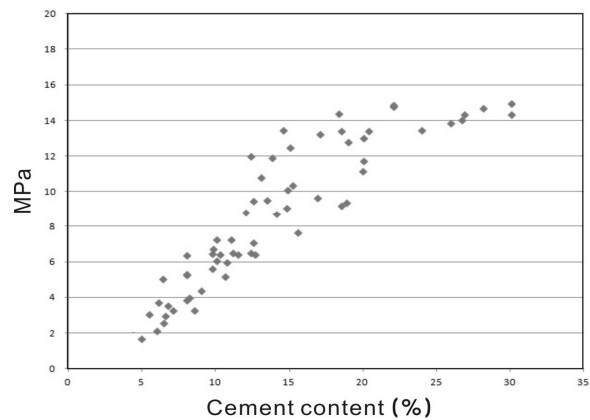
점성토를 포함하는 연약지반의 토양시료를 대상으로 일반 시멘트 첨가량을 5%에서 30%까지 점진적으로 증가시켜가며 압축강도의 변화를 관찰하였고, 동일한 방법으로 수용성 고화재 0.5%를 첨가하여 압축강도를 측정하였다. 점성토 시료는 낙동강 하구의 조간대에 분포하는 점성토 지층의 토양시료를 채취하여 사용하였다.

지름과 높이를 3.5cm와 4.1cm로 만들어진 64개의 공시체를 28일 간 상온에서 건조하여 압축강도를 측정하였다. 점성토의 중량을 기준으로 시멘트의 첨가량에 비례하여 압축강도는 점진적으로 증가하였으며, 30% 첨가 시 최대 압축강도는 8.6 MPa에 도달하였다. 이에 반해 고화재를 첨가한 시편은 시멘트 첨가량에 비례하여 압축강도가 증가하였으나 일반 시멘트와 달리 최대 압축강도가 14.9 MPa로 측정되었고, 일반시멘트 대비 1.7 배 증가하였다(Fig. 8).

예비적 실험에서 시멘트와 고화재 첨가량과 강도의 증가가 완전히 일치되지 않는 것은 앞서 제시된 바와 같이 공시체 제작시 불균질 혼합이나 기포 등의 영향으로 판단되며, 시멘트 함량과 고화재 첨가량이 강도 증가에 유의적 상관성을 보이는 것을 인지할 수 있다. 또한 고화재가 강도 증가에 효과적임을 알 수 있다.



(a) Strength change of the cement contents



(b) Strength change of the cement contents adding hardening agent

Fig. 8 Strength change of the cement content

4. 입도별 일축압축강도

무기질의 결합재는 분말의 크기에 따라 비표면적과 입자내의 물리적 특성이 변화된다. 규산염 결합재의 입도와 압축강도의 상관성을 파악하기 위해 다공체 구조를 가진 활성장석과 메타카올린을 8:2로 배합하여 공시체를 제작하고 이를 건조 후 압축강도를 측정하였다. 장석과 메타카올린 분말은 불밀을 이용하여 분체한 후 건식 분급기를 이용하여 크기에 따라 구분하였다.

규산염의 입경이 작아질수록 압축강도는 증가하는 경향을 보이며, 50 μm에서 최대 강도를 보였다(Fig. 10). 실험에 사용한 입자의 최소 입경인 20 μm의 경우 압축강도가 감소하였다. 공시체의 제작 시 충분한 혼합과 교반을 거쳤으나 불균질 혼합이나 기포에 의한 강도 저감이 완전히 배제할 수 없으므로 50 μm의 입경이 규산염 결합재의 최적 입경으로 단정할 수 없다. 추후 지반개량의 개발에서 입도별 강도 특

성에 대한 충분한 실험과 검증이 필요할 것으로 판단된다.

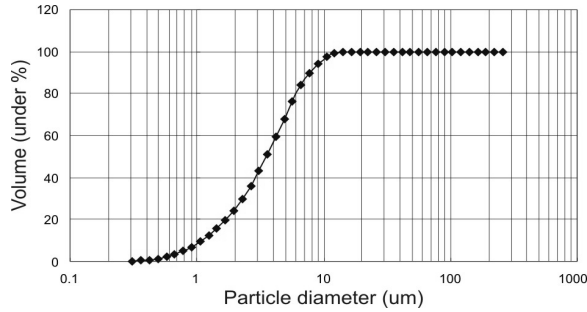


Fig. 9 Cumulated curve of grain-size distribution of sample

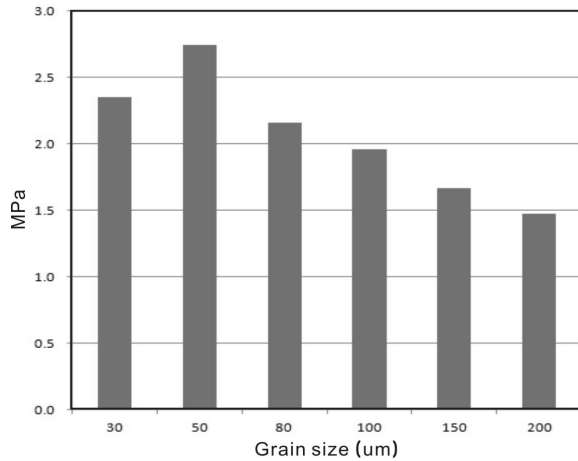


Fig. 10 Uniaxial compressive strength according to the grain size of the feldspar powder

4. 결론

규산염 광물 중 산출빈도가 높은 활성장석 분말과 수용성 고화재를 첨가한 공시체를 제작한 후 일축강도 강도변화를 관찰하였다.

일반포틀랜드시멘트에 수용성고화재를 0.5%첨가한 공시체의 일축압축강도는 33% 증가하였고, 시멘트 중량의 70%를 장석으로 대체한 공시체는 압축강도가 28% 증가하였다. 지반개량이 필요한 점성토에 시멘트와 시멘트-고화재를 혼합한 시편은 재령기간에 따라 최대 1.7배까지 압축강도가 증가하였다. 이러한 실험 결과는 연구에 적용한 수용성 고화재가 강도개선에 효과적임을 지시한다. 또한 탄산염계 시멘트의 사용을 줄이고 기능을 개선하기 위해 적용한 활성장석이 일반포틀랜드시멘트를 대체하는 친환경 자원으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

실험적인 연구로부터 규산염광물을 물질의 결합재로 활용하기 위한 최적 입도와 배합비 선정, 수용성 고화재의 혼합 방법과 경화시간 단축, 그리고 경량 재료의 기능성 개선을 위한 지속적인 연구 필요성을 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 한국건설기술연구원 2015년도 주요사업 “시나리오 기반 인명구호용 수평굴착 및 안정화 기술 개발” 과제의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Brooks, J. J., and Megat Johari, M. A. (2001). “Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete.” *Cement & Concrete Composites*, Vol. 23, pp. 495-502.
- Choi, H. Y., Hwang, H. Z., and Kim, M. H. (1997). “An Experimental Study on the mechanism of the Red-Clay Reactions.” *Proceeding of Architectural Institute of Korea*, Vol. 17, No. 2, pp. 1257-1261. (in Korean)
- Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J. (2001). “Rock-Forming Minerals.” Vol. 4A, 2nd eds., *Framework Silicates; Feldspars and Their Reaction*, Kluwer Academic Publishers, pp. 221-269
- Gleize, P. J. P., Cry, M., and Escadeillas, G. (2007). “Effects of metakaolin on autogenous shrinkage of cement pastes.” *Cement & Concrete Composites*, Vol. 27, pp. 80-87.
- Hwang, H. Z., Kim, J. G., and Yang, J. H. (2006). “A Study on the Chemical Properties and Strength Development of Regional Hwangto.” *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 6, No. 2, pp. 11-18. (in Korean)
- Hwang, J. B., Yang, M. O., and Koo, M. S. (1996). “Extraction of Minerals and Elimination Effect of Heavy Metals in Water by Nohwado Quartz Porphyry (I).” *Analytical Science & Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 210-219. (in Korean)
- Kang, Y. G. (2015). “A Study on the Mechanical Performance Improvement of Hwangto Compacted Structure by Mixing Solidifications.” *Doctor Thesis. Department of Architectural Engineering*.

- Gyeongsang National University,*
Gyeongsangnam-do, Korea. (in Korean)
- Lee, H. J., Bae, S. H., Kwon, S. O., Lee, K. M., and Jeon, J. T. (2015). "Resistance against Chloride Ion and Sulfate Attack of Cementless Concrete" *J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc.*, Vol. 6, pp. 63-69. (in Korean)
- Lee, M. A., Kim, S. W., Choi, D. K., Park, L. K., and Kim, T. H. (2012). "Effect of Curing Temperature on the Strength Characteristics of lightweight Air-Trapped soil." *Journal of the Korean geotechnical society*. Vol. 20, No. 9, pp. 125-131. (in Korean)
- Lee, S. H., Jung, Y. W., Jang, S. S., Yeo, I. D., and Choi, J. O. (2010). "Strength Properties of Loess Mortar Using Eco-friendly Loess Binder." *Conference of Korea Concrete Institute*. pp. 285-286. (in Korean)
- Park, J. K., and Lee, K. J. (2000). "Current Status of the Nanotechnology Development." *Trends in Metals & Materials Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 38-52. (in Korean)
- Parsons, I. (1994). "Feldspars and Their Reaction." *Kluwer Academic Publishers*, 650p
- Smith, J. V., and Brown, W. L. (1988). "Feldspar Minerals." *Springer-Verlag*. 828p.
- Song, J. H. (2009). "Analysis of Compressive Strength of Lightweight Air-Mixed soil according to the Properties of Soil." *Master Thesis. Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, Korea*. (in Korean)
- Yoon, G. L., and You, S. K. (2004). "Strength and Deformation Characteristics of Lightweight Foamed Soil Using In-situ Soil." *Journal of the Korean Geotechnical Society*. Vol. 20, No. 9, pp. 125-131. (in Korean)