J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 21 No. 4 December 2019
http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2019.21.4.045
ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

건축용 내화 단열재 개발을 위한 제주도 현무암 석분 슬러지 화학조성에 대한 연구

김 민 균*·감 상 규**·전 용 한***·김 남 진****
*제주대학교 기계공학과·**제주대학교 환경공학과·
상지영서대학교 소방안전과·*제주대학교 에너지공학과

A Study on the Chemical Compositions of Powdered Sludge of Basalt on Jeju Island

Min-Gyun Kim*·Sang-Kyu Kam**·Yong-Han Jeon***·Nam-Jin Kim****
*Dept. of Mechanical Engineering, Jeju National University
**Dept. of Environmental Engineering, Jeju National University
***Dept. of Fire and Protection, Sangji-Youngseo College.
****Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Jeju National University

Abstract

The basalt fiber is expected to become a trend for industrial fibers as they have better properties of heat-resistant, non-combustion, absorbent, soundproof, moistureproof, lightweight, corrosion resistant, and high strength properties. Also, the fiber is found to be non-toxic and harmless to the human body. Therefore, in this study, we analyzed the chemical and mineral compositions of powdered sludge of basalt produced at seven sites on Jeju Island for the development of fire resistance insulating material for a building. The results showed that the basalt stone sludge is made from only sodium calcium aluminum silicate and ferridioside components unlike the basalt rock.

Keywords : Basalt Fiber, Inorganic, Insulation Material, Waste Stone, Powdered Sludge

1. 서 론

샌드위치 판넬은 앞뒤 양면이 철판으로 된 판넬 사이에 스티로폼이 끼워져 있는 것을 지칭하고, 보온단열성과 가격적인 측면은 우수하나 화재안전성이나 구조적인 측면에서는 큰 단전이 있다. 특히 판넬 속 스티로폼은 가연성이 높아 불에 타기 쉬울 뿐만 아니라 철판으로 된 판넬속에 막혀 있기 때문에 진화하기 어렵고 다량의 유독성가스까지 발생하기 때문에 일단 불이 나면 판넬이 불쏘시개 역할을 하므로 대형 참사로 이어지는 확률이 매우 높다. 석면은 발암물질로 인하여 퇴출되었고, 석면을 대체할 수 있는 소재로 유리섬유가 각광을 받아오다가 최근 잠재적인 발암 가능물질로 규정되었다. 따라서 독성이 없고 인체에 무해하여 내화성이 높은 단열재가 필요하다. Al_2O_3, SiO_2, MgO, Fe_2O_3 등과 같은 높은 내열 성능을 가지고 있는 성분으로 구성된 현무암을 이용하여 만들어지는 현무암 단열재 섬유는 우수한 내화, 단열, 내열, 방음, 흡음, 방습, 내부식성, 고강도 등의 특성을 갖고 있으며, 색상은 탄소섬유와 비슷하고 성질은 유리섬유와 흡사하여 외국에서는 산업용 단열재의 재료로 널리 사용되고 있다[1,2,3,4]. 특히 현재는 열적 특성이 우수한 섬유와 내화성이 높은 현무암섬유의 합성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5,6]. 그러나 많은 우수한 특성에도 불구하고 활성화가 어려운 점은 현무암의 원료수급과 현무암섬유의 생산이 어렵기

†본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다(19RDRP-B148598-06).
†Corresponding Author : Nam-Jin Kim, Nuclear & Energy Eng., Jeju National University 102 Jejudaehak-ro, Jeju, M·P: 010-8916-8585, E-mail: jnkim@jejunu.ac.kr
Received November 25, 2019; Revision December 13, 2019; Accepted December 13, 2019

[Figure 1] Wast stone(a) & powdered sludge(b) on Jeju Island.

때문이다. 제주도는 유럽-아시아 판 가장자리에 위치하고 2만5천년전까 여러 차례의 화산폭발에 의해 형성되어진 화산섬이고, 북동동에서 남서서 방향으로 74km와 북서서에서 남동동 방향으로 32km의 타원형의 섬으로 면적은 1,849.13 km^3이다[7]. 한국지질자원연구원의 보고서에 따르면 제주도를 이루고 있는 암석은 역암, 마그마분출에 의해 만들어진 화산암, 화산폭발에 의해 화산 쇄설암이 있다[8]. 화산암은 광물조성과 화학성분에 있어서 현무암, 현무암질 조면안산암, 조면현무암, 안산암, 조면안산암 및 조면암으로 구분되고, 제주도 현무암은 비현정-미정질 조직으로만 나타나는 암석이므로 반정광물이 나타나는 현무암과 반정광물이 없거나 소량으로 구성되어 있는 현무암으로 구분된다. 또한 제주도내에 석재가공용 현무암 원석을 생산하기 위한 석산과 현무암 가공 석재사가 약 50여군데 운영되고 있으며 배출되는 석분 슬러지는 21,000~29,400ton으로 추정된다[9,10]. 그리고 석재사로부터 발생되는 현무암 석분 슬러지는 물리적 침전방식과으로 처리 한 후 물리적 처리 방식으로 발생한 슬러지는 콘크리트 침전조 를 여러개 만들어 자연 침전시킨 후 슬러지가 쌓이면 중장비를 이용하여 석분 슬러지를 퍼내고, 창고형 건조장에서 자연풍으로 건조 및 필터프레스로 여과한 후 폐기물처리업자에게 위탁처리하고 있다. 그러나 석분 슬러지는 모두 환경처리 사업자에게 위탁처리하도록 법제화되어 있기 때문에 석재 가공공장에서 환경처리업자에게 처리비용을 지급하면서도 보관기한을 넘기게 되면 석분슬러지는 사업장 내부에 쌓이게 되어 수질 및 대기오염 등의 환경문제를 발생시킬 수 있다. 아울러 제주도에서는 연간 약 일백만ton의 현무암 폐기물이 발생하고 있는데[11], 현무암 가공 후 폐기물을 건축용 내화 단열재로 가공할 경우 도내에서 발생하는 폐기물를 부가가치가 높은 고기능성의 물질로 재 자원화하는 기술개발에 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 제주도에서 발생하는 현무암 석분 슬러지를 이용하여 고기능성 건축용 내화 단열재를 개발하기 위한 연구로 제주지역에서 발생하는 현무암 석분 슬러지에 대한 화학성분을 분석하여 단열재 재료로서의 가능성을 예측하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시료채취

[Figure 2] Locations for collecting powdered sludge

<Table 1> Measurement Conditions

Ratio K-Alpha2/K-Alpha1	0.5
K-Alpha1 wavelength	1.540598
K-Alpha2 wavelength	1.544426
Anode material	Cu
Divergence slit	Fixed
Monochromator used	YES
Receiving slit	0.2
Generator voltage	40
Unit Cell	Multi
Tube current	30
Miller index(h k l)	0, 0, 0
Scan range	5
Scan axis	2Θ-Omega
Omega offset	0
Scan step size	0.02
No. of points	2750
Scan type	CONTINUOUS
Time per step	2

석분슬러지의 원광특성 분석을 위해 폐수처리시설을 보유한 석재사 13개 업체를 전수 조사하였으나, 6개 업체만이 정상 운행 중인 것으로 확인되어 해당 업체에서 각 1종의 석분슬러지를 채취하였다. 따라서 석산 1 곳을 포함하여 총 7개의 시료를 채취하였으며, 채취지점은 Fig. 2와 같다. 채취된 현무암 석분 슬러지 시료를 직사광선이 닿지 않는 장소에 넓게 펼쳐 놓고 자연풍으로 건조시킨 다음 대략 일차 분쇄한 후 분쇄용 유발에서 이차 분쇄하여 입자를 미세하게 만든 후 이를 입경 150μm의 100 mesh 표준체로 거른 약 200g을 사분법으로 균일하게 혼합하여 분석용 석분 슬러지 시료를 만들었다.

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

2.2 실험방법

본 연구개발에서 채취한 현무암 석분슬러지 시료의 화학성분을 알아보기 위해 이를 한국기초과학지원연구원 대구센터에 의뢰하여 분석하였다. 본 시료의 광물조성은 <Table 1>과 같은 조건으로 X-선 회절분석기(XRD, Philips X`pert APD, Netherland)를 이용하여 2Θ가 5~50 범위에서 일반속도로 분석하였다. 화학조성을 분석하기 위해서 시료를 1,100℃의 고온에 녹여 파장분산형 X-선 형광분석기(WD-XRF, Bruker Co., S8 Tiger)를 이영하여 glass bead법으로 5회 측정하여 평균값 제시하였다.

3. 실험결과 및 토의

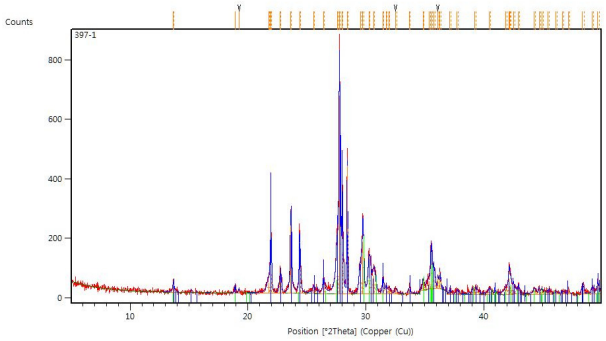
3.1 현무암 시료의 광물조성

채취한 7개의 현무암 석분 슬러지 시료의 광물조성 분석을 위해 시료의 X-선 회절(XRD) 실험결과 및 관련 광물(reference card)의 XRD 패턴을 [Figures 3~9]에 나타내었다. 채취한 시료의 XRD 패턴에 대해 정확히 일치하는 광물의 reference card가 없어 측정한 XRD 패턴과 최대한 유사한 광물의 reference card로 평가하였으며, 관계되는 각 광물의 합을 100%로 하였을 경우 각 광물의 함량을 [%]로 나타내었다.

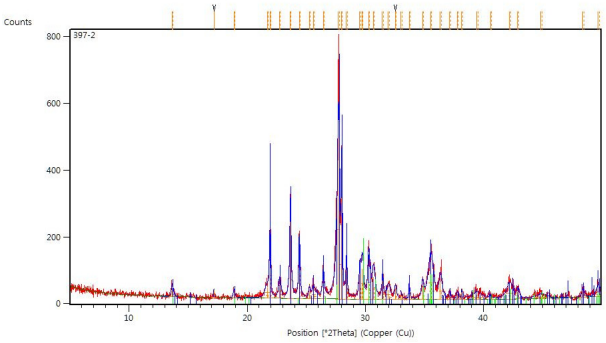
[Figure 3]의 시료 1의 경우 Sodium calcium aluminum silicate (reference card 01-079-1149) 88%와 Ferridioside (referen cecard 98-008-5686) 12%로 대부분이 Sodium calcium aluminum silicate로 조성되어 있음을 알 수 있었고, [Figure 4]의 시료 2의 경우도 Sodium calcium aluminum silicate (reference card 01-079-1149) 90%와 Ferr idioside (reference card 98-008-5686) 10%로 조성되어 있음을 알 수 있었다.

[Figures 4~5]에서 알 수 있듯이 시료 3과 4의 경우 Sodium calcium aluminum silicate (reference card 01-079-1149)가 각각 82와 83% 그리고 Ferridioside (reference card 98-008-56 86)도 각각 12와 13%로 조성되어 있다. 시료 1과 2의 조성과 마찬가지로 대부분이 Sodium calcium aluminum silicate로 조성되어 있음을 알 수 있었다.

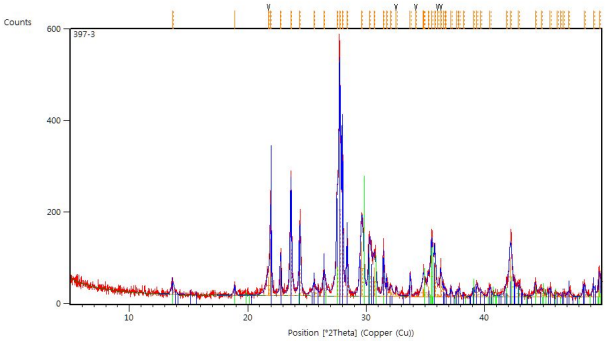
[Figure 6]의 시료 5의 경우 Sodium calcium aluminum silicate (reference card 01-079-1149) 82%와 Ferri-dioside (referen ce card 98-008-56 86) 18%로 대부분이 Sodium calcium aluminum silicate로 조성되어 있음을 알 수 있었고, [Figure 7]의 시료 2의 경우도 Sodium calcium aluminum silicate (reference card 01-079-1149) 87%와 Ferri dioside (reference card



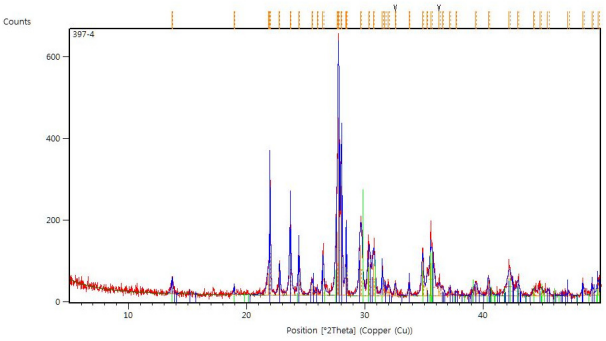
[Figure 3] XRD of Sample 1.



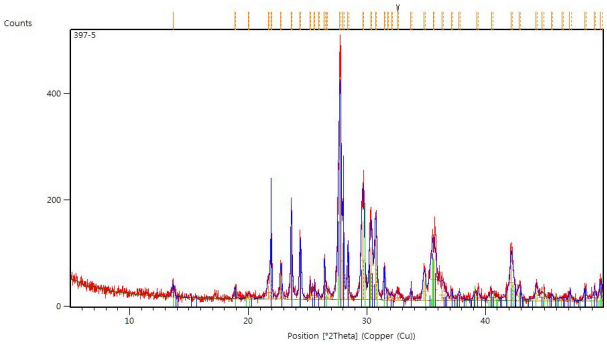
[Figure 4] XRD of Sample 2.



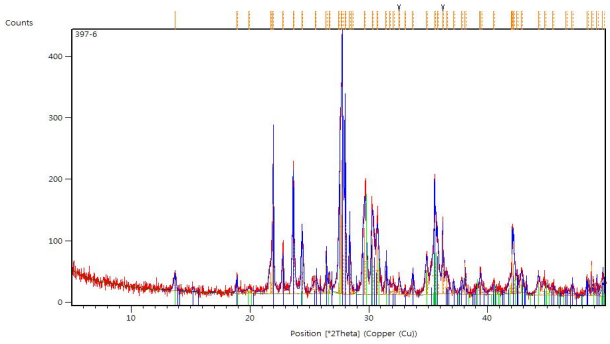
[Figure 5] XRD of Sample 3.



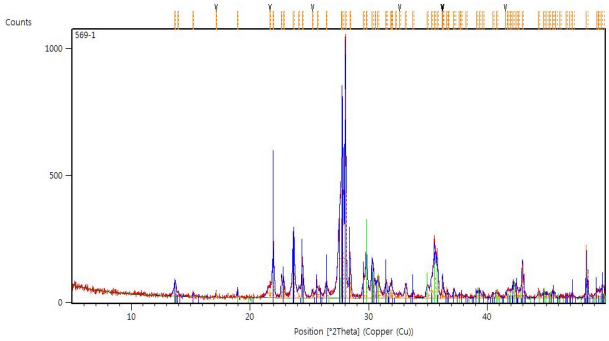
[Figure 6] XRD of Sample 4.



[Figure 7] XRD of Sample 5.



[Figure 8] XRD of Sample 6.



[Figure 9] XRD of Sample 7.

98-008-5686) 13%로 조성되어 있음을 알 수 있었다. 그러나 [Figure 9]는 석산에서 채취한 석분 슬러지의 경우로 [Figure 3~8]에 표시된 석재사에서 채취한 석분 슬러지의 성분과 다르게 중성장석(Ande sine, reference card 98-006-6127) 83%, 보통휘석(Augite, 98-005-6937) 17%이고, 2019년 석산의 현무암 성분과 비교하면 주광물의 구성성분은 비슷하나 각 성분의 함량 및 결정구조 차이로 인해 조성 광물은 다소 차이를 보임을 알 수 있었다[13].

3.2 현무암 시료의 화학조성

제주지역 석재사에서 채취한 현무암 석분 슬러지 시료 6종의 화학조성은 <Table 2>에 표시하였다. Table에서 볼 수 있듯이 SiO_2 51.44~ 53.75 (평균 52.55)%, Al_2O_3 13.35~16.65 (평균 14.93)%, Fe_2O_3 9.30~12.50(평균 11.05) %, CaO 8.42~8.80(평균 8.65)%, MgO 5.77~8.58(평균 7.15)%, Na_2O 2.27~3.00(평균 2.60)%, K_2O 0.57~1.24(평균 0.81)%, TiO_2 1.69~ 2.11(평균 1.86)%이고, 기타 성분(P_2O_5, MnO 및 Cr_2O_3)는 1% 미만으로, 주성분은 SiO_2+ Al_2O_3+Fe_2O_3이며 함량은 77.29~ 79.79%를 나타내고 있다. 시료 중의 강열감량(LOI)는 광물의 가연성 성분의 함량을 나타내는 것으로, 채취한 석분슬러지는 0.00~0.05%로, 가연성 성분은 거의 함유하지 않은 것으로 판단된다. 또한 석산에서 채취한 석분 슬러지의 경우도 석재사에서 채취한 시료 6가지와 화학조성에는 큰 차이가 없음을 확인하였다.

또한 석산에서 채취한 현무암 시료[13]의 화학성분 함량을 평균농도로 비교하여 보면 SiO_2의 경우 각각 52.55와 51.75%, Al_2O_3는 각각 14.93와 15.56%, Fe_2O_3의 경우 각각 11.05와 11.51%, CaO의 경우 각각 8.65와 7.84%, MgO는 각각 7.15와 6.54%, Na_2O는 각각 2.60와 2.93%, K_2O의 경우 각각 0.81와 1.38%, TiO_2의 경우 각각 1.86와 1.95%로 석분슬러지 시료는 2019년 채취한 폐석 시료보다 SiO_2, CaO 및 MgO에서 다소 높은 함량을, Al_2O_3, Fe_2O_3, Na_2O 및 K_2O에서 다소 낮은 함량을 보임을 알 수 있었으며, TiO_2는 유사한 농도로 분포하고 있었다.

<Table 2> Chemical compositions of basalt powdered sludge

No.	Chemical composition(wt%)											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3	LOI
1	52.17	15.16	11.14	8.68	7.12	2.67	0.85	1.80	0.23	0.14	0.04	0.00
2	53.41	16.65	9.30	8.42	5.77	3.00	1.24	1.69	0.32	0.12	0.03	0.05
3	53.75	15.53	10.51	8.53	6.04	2.70	0.84	1.73	0.21	0.14	0.03	0.00
4	52.60	14.69	11.21	8.72	7.34	2.52	0.67	1.87	0.19	0.14	0.04	0.00
5	51.44	13.35	12.50	8.80	8.58	2.27	0.57	2.11	0.17	0.16	0.04	0.00
6	51.93	14.19	11.65	8.72	8.03	2.45	0.69	1.95	0.20	0.15	0.04	0.00
7	51.17	16.52	10.82	7.88	6.16	3.29	1.66	1.90	0.42	0.16	0.02	0.00

4. 결 론

채취한 6종의 현무암 석분슬러지 시료의 화학성분은 광물조성과는 달리 채취시료에 따라 다른 화학조성을 보였으며, 평균 함량은 SiO_2 52.55%, Al_2O_3 14.93%, Fe_2O_3 11.05%, CaO 8.65%, MgO 7.15%, Na_2O 2.60%, K_2O 0.81%, TiO_2 1.86%이고, P_2O_5, MnO 및 Cr_2O_3 등의 기타 성분은 1% 미만이다. 주성분은 78.53%를 차지하는 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3이며 가연성 성분은 거의 함유하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 단열재 생산시 본 연구의 결과를 이용하여 첨가물의 종류와 양을 결정할 수 있을 것이고, 또한 시료별 화학조성의 차이가 크지 않아 모든 시료를 하나의 배합비율로 단열재를 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

5. References

[1] N. Ayrilmis, S. Jarusombuti, V. Fueangvivat, P. Bauchongkol, R. H. White(2011), "Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications." Fibers Polym. 12:919 - 926.

[2] Y. Yao, Y. C. He, Z. W. Chen(2016), "Microwave dielectric properties of basalt fiber and its composites." Fiber Reinforced Plastics /Composites, 5:65-67.

[3] Y. Yao, P. Xu, L. Liu(2015), "Comparative study on corrosion resistance of basalt fiber at home and abroad." China synthetic fiber industry, 38: 9-11.

[5] L. Zongwen, M. Jianxun, M. Hongmin, X. Xin(2018), "Properties and applications of basalt fiber and its composites." IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 186:1-7.

[6] V. Fiore, G. Di Bella, A. Valenza(2011), "Glass - basalt/epoxy hybrid composites for marine applications." Mater. Des. 32:2091 - 2099.

[7] V. Dhand, G. Mittal, K. Y. Rhee, S. J. Park, D. Hui(2015), "A short review on basalt fiber reinforced polymer composites." Compos. Part B. 73:166 - 180.

[8] www.jeju.go.kr

[9] KIGAM,(2000), A Study on the Application of Powered Basalt, KIGAM report, pp. 3-32.

[10] K. Y. Kim(2006), "A study on the application of powdered basalt sludge in construction engineering and its special characteristic." Ph. D. Dissertation, Jeju National University, South Korea.

[11] D. S. Kim(2010), Manufacture of castings using basalt sludge and waste stone on Jeju Island, JGEC Report.

[12] Ministry of Environment(2016), National waste occurrence and disposal, Annual Report, pp. 55-78.

[13] http://chemistry-reference.com

[14] M. B. Gang, S. G. Kam, N. J. Kim(2019), "A Study on the Chemical Compositions of Jeju Basalt for the Development of an Inorganic Insulation Material." Korea Society of Geothermal Energy Engineers, 15(3):1-6.

저자 소개

김 민 균
제주대학교 기계공학과 석/박사 통합과정
관심분야: 기계가공, 재료열전달 등

감 상 규
부산대학교 제약학과 학사, 석사, 박사 취득.
현재 제주대학교 환경공학과 교수 재직 중
관심분야: 환경화학, 환경계측 등

전 용 한
인하대학교 기계공학과 학사, 석사, 박사 취득.
현재 상지영서대학교 소방안전과 부교수 재직 중
관심분야: CFD 해석, 터널화재, 열전달 등

김 남 진
인하대학교 기계공학과 학사, 석사, 박사 취득.
전 대우자동차 기술연구소 근무. 현 제주대학교 에너지공학과 교수 재직 중
관심분야: 열 및 유체공학 분야