

廢棄 Garnet 微粉末의 赤壁瓦 原料로의 再活用に 관한 研究

黃京珍 · 金英任 · *金東秀 · 金俊秀*

梨花女子大學校 環境工學科, *韓國地質資源研究院 資源活用研究部

A study on Recycling of Waste Garnet Powder as a Raw Material for Clay Bricks

Kyoung-Jin Hwang, Young-im Kim, *Dong-Su Kim and Joon-Su Kim*

Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

**Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geology, Mining & Materials*

요 약

폐기처분되는 garnet 미분말의 재활용 측면에서 이를 적벽돌의 원료로 활용하는 방안에 관한 연구를 수행하였다. 적벽돌의 물리적 강도에 있어서 점토가 높은 SiO_2 , Al_2O_3 및 Fe_2O_3 함량과 점성을 가지는 것은 매우 중요한 성질이다. 그러나 폐 garnet 미분말의 경우 이들의 함량은 높지만 점성이 매우 작으므로, 점토를 대체할 수 없을 것으로 판단하여 모래의 대체제로 적용하고자 하였다. 점토의 화학성분 중 강도를 나타내는 함량이 폐 garnet 미분말에서도 상당히 높은 것으로 파악되었으며, 이는 적벽돌의 강도에 긍정적인 영향을 주는 것으로 파악되었다. 적벽돌 제조시의 원료 배합은 {점토-모래}, {모래-폐 garnet 미분말}, 그리고 {점토-모래-폐 garnet 미분말} 조합을 무게 비율로 각각 조절하였으며, 적벽돌 공시체의 물리적 특성 실험은 압축강도 · 흡수율 · 수축율 · 비중에 대하여 실시하였다. 그 결과 최적의 원료 배합 조건은 무게를 기준으로 할 때 {점토50%+모래 30%+폐 garnet 미분말 20%}인 것으로 파악되었다. 본 연구의 결과 폐 garnet 미분말을 재활용하여 제작한 적벽돌의 상업적 생산이 가능하며, 유효자원의 재이용 측면에서도 경제성을 가질 것으로 판단되었다.

주제어: 적벽돌, 폐 garnet 미분말, 압축강도, 흡수율, 재활용

ABSTRACT

The waste garnet powder as a raw material for clay bricks was studied its recycling. The physical strength of clay bricks are closely dependent both on the contents of SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 in clay and on the viscosity of it. Although the garnet powder has very high contents of SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 , it could not substituted to clay because of its low viscosity. Therefore the substitution of sand with waste garnet powder was considered to influence positively on the strength of clay bricks. Mixing ratios of {clay-sand}, {sand-garnet powder}, and {clay-sand-garnet powder} based on weight were controlled in the production of clay bricks. The properties of clay bricks such as compression strength, moisture absorption, shrinkage, and specific gravity has been evaluated. It was shown that the optimal mixing combination was found to be {clay (50%)-sand (30%)-garnet powder (20%)} as a weight basis. The present study indicated possibilities to produce commercially clay bricks with the waste garnet powder. An economical benefit will be produced in viable in view of recycling waste garnet powder.

Key words: clay brick, waste garnet powder, compression strength, moisture absorption, recycle

* 2002년 1월 4일 접수, 2002년 3월 5일 수리

* E-mail: dongsu@mm.ewha.ac.kr

1. 서 론

벽돌은 '점토를 반죽하여 규격품으로 성형하고 건조시켜 고온으로 소성한 건축 재료'로서 건축물의 내구성·건고성·단열성을 제공하는 재료로 사용되어져 왔으며,¹⁾ 다양한 원료를 이용한 벽돌 제조 시의 성질과 응용에 관한 연구가 진행되어 왔다.²⁻⁶⁾ 고온에서 소성된 양질의 벽돌은 높은 내압 강도와 풍화에 대한 저항성 및 내한성을 겸비하며, 열전도성이 낮아 열에너지의 손실을 방지할 수 있고, 기공율 및 통기율이 좋아 방음·방습·방열 등의 효과를 얻을 수 있다.⁷⁾ 벽돌은 그 종류가 매우 다양하지만, 크게는 고온으로 소성시켜 만든 소결 벽돌과 화학적 결합체에 의해 경화된 부소벽돌로 구분할 수 있다. 점토를 이용하는 벽돌은 고온에서 소성한 소결 벽돌로서 분류되는데, 그 중 적벽돌은 산화철 함량이 높은 점토와 모래 등으로 구성된 구조물이다. 적벽돌의 제조에 있어서 가장 중요한 구성 요소인 점토는 주로 알루미늄 규산염을 주성분으로 하는데, 습윤 상태에서는 가소성을 가지지만 건조된 이후에는 강성을 나타내는 특징이 있다. 이것은 고온으로 가열할 때 용해 및 반응 작용에 의해 소성된 점토가 단단한 구조체를 형성함으로써 건조 과정에서 수분 증발과 함께 강성을 발현하는 것이다. 점토의 화학적 성분은 주로 SiO₂와 Al₂O₃로 구성되어 있으며, 이외에도 Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, SO₃, H₂O 등이 미량 포함되어 있다. 이들의 함량은 내화도·수축성·가소성·소성변형·색채 등의 적벽돌 성질을 결정하며, 성질 개선을 위해 다른 점토 혹은 석영·장석·모래 등의 다른 원료를 첨가하는 경우도 있다.

연마제로 사용되는 garnet은 그 생산 과정에서 상당량의 미분말이 발생하며 대부분 폐기처분되고 있다. Garnet 미분말은 화학적으로 약 41%의 SiO₂, 약 20%의 Al₂O₃가 주요 구성 성분이며 그외에 FeO, Fe₂O₃, CaO, MgO, MnO 등을 함유하고 있으므로, 점토와 매우 유사한데 이는 적벽돌의 원료로서 페garnet 미분말을 활용할 수 있는 가능성을 나타낸다. 그러나 페garnet 미분말은 가소성이 매우 작아 점토를 대체하기 어려우므로 적벽돌의 성질 개선을 위해 첨가하는 석영·모래 등의 대체제로서 적용 가능할 것으로 판단된다. 현재 국

내에서 소비되는 garnet의 대부분이 수입에 의해 공급되고 있는 실정임을 감안할 때, 폐기물을 유효 자원으로 재활용하는 노력이 필요하다고 판단되었다.

이에 본 연구에서는 적벽돌 제작 시 페garnet 미분말을 원료로 활용하기 위하여 우선 점토와 모래, 페garnet 미분말의 비중과 점토의 물리화학적 성질을 분석하였다. 적벽돌 제작을 위해서 이들 세 물질 각각의 배합은 무게 비율로 결정하였으며, 벽돌 공시체의 압축 강도(혹은 내압 강도), 흡수율, 수축율, 및 비중 등 물리적 특성을 조사하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 점토, 모래 및 Garnet의 물리화학적 성질

점토(-50 μm)와 모래는 경기도 평택시 포승면에 위치한 야산으로부터 채취하였다. Garnet 미분말은 인도로부터 수입되어 연마제를 생산하는 과정에서 발생한 폐미분말을 수거하였다. 모래의 입도 분포는 ASTM Standard에 준하였으며, 점토와 페garnet 미분말은 입도 분석기(Particle Size analyzer, Microtrac, Inc., S3000)를 통하여 측정하였다. 비중과 강열 감량 측정은 한국 산업 규격 KS L 4201에 준하여 측정하였다.⁸⁾

점토 관련 TG/DTA(Termal Gravimetry/Differential Thermal Analysis)와 화학 성분 분석(Induced Coupled Plasma, Perkin Elmer)에 대한 분석을 실시하였다. 점토의 결정학적 성상 분석은 XRD(X-Ray Diffraction, DIFFRACTOMETER SYSTEM "GEIGERFLEX", D/MAX-RB)를 통해 실시되었다.

실험에 사용된 garnet의 조성은 분석을 통하여 확인한 바 Table 1에 나타난 바와 같으며, SiO₂와 Fe₂O₃ 및 Al₂O₃가 주성분을 이루고 있고, 그 외에 MgO, CaO, 그리고 미량의 수분이 함유되어 있는 것으로 파악되었다. 성분분석에 있어 MgO와 CaO는 ICPEs(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy, Perkin Elmer, JY138)를 이용하였고, Fe₂O₃의 분석은 UV/Vis Spectroscopy(Jasco, Model V-550 Uv/Vis Spectrophotometer)를 이용하였다. 또한, SiO₂ 및 H₂O의 분석과 Al₂O₃의 정량에는 중량분석법과 화학적정법이 각각 사용되었다.

Table 1. Composition of the undersize garnet powder used in the experiment

Composition	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	H ₂ O	Others
Content (wt. %)	35.11	33.64	20.23	5.68	1.64	0.08	3.62

Table 2. Mixing ratio of the raw materials on weight basis

Weight percent (%)								
clay vs. sand			sand vs. garnet powder			clay vs. sand vs. garnet powder		
clay	sand	garnet powder	clay	sand	garnet powder	clay	sand	garnet powder
10	90	0	50	0	50	10	54	36
20	80			5	45	20	48	32
30	70			10	40	30	42	28
40	60			15	35	40	36	24
50	50			20	30	50	30	20
60	40			25	25	60	24	16
70	30			30	20	70	18	12
80	20			40	15	80	12	8
90	10			45	10	90	6	4
100	0			-	-	-	-	-

2.2. 배합 비율 및 벽돌 제작

우리나라의 벽돌 규격⁹⁾에 맞추어 190 mm×90 mm×57 mm 크기의 철재 주형을 제작하여 벽돌 공시체(이하 공시체)를 제작하였다. 적벽돌 원료는 점토, 모래, 그리고 페garnet 미분말로서 100±5°C의 온도에서 1시간 이상 가열하여 수분을 제거한 후 방냉 과정을 거쳐 사용하였다. 원료 혼합물의 배합 비율은 Table 2 와 같다.

원료 혼합물에 약 19%의 수분을 가한 후 blade가 장착된 혼합기를 이용하여 고루 혼합하여 주형에 채웠으며, 압축강도기(Kyoung Do Precision MFG Co., Compression Testing Machine)를 이용하여 압력을 가함으로써 공시체를 제작하였다. 이 때 압축강도기의 압축 중심과 주형의 중심이 일치되도록 주의하였다. 이를 24시간 동안 자연 건조시킨 후, 1100±50°C의 Electric Furnace(아전가열산업, UP-350) 내에서 15시간 동안 소성시키고 이를 다시 공기 중에서 24시간동안 자연 건조시킴으로써 최종적인 공시체를 제작하였다.

2.3. 벽돌 공시체의 물리적 특성 실험

공시체의 물리적인 특성 실험은 압축 강도 · 흡수율 · 수축율 · 비중 항목에 대하여 실시하였으며, 이를 한국 산업 규격에서 요구하는 기준과 비교하였다.⁹⁾ 단, 압축 강도의 측정은 건조 시와 24시간 수중 정치 후의 수분 시 압축 강도에 대하여 실시하였다.

적벽돌의 수축율에 관해서는 규격화된 기준이 없으므로, 주형에서 꺼낸 후 즉시 세 면(190 mm, 90 mm, 57 mm에 해당하는 모서리)의 길이를 측정하고, 소성된 이후의 공시체의 동일 위치를 측정하여 각각의 길이 방향 수축율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 점토 및 모래의 물리화학적 특성

Table 3 은 점토, 모래 및 페garnet 미분말의 입도 분석 결과이다. 점토는 페garnet 미분말의 입도보다 미세한 분포를 가지며, 모래는 이와 비교시 상대적으로 큰

Table 3. Size distribution of sand · clay · garnet powder using in the production of clay bricks

Sample	Size distribution (Passing weight, %)						
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.08
Size (mm)							
Sand	100	95.2	78.5	63.7	11.1	3.2	1.9
Size (μm)							
Clay	100	99.4	96.2	93.7	92.8	92.2	-
Garnet powder	100	80.2	10.1	0.5	0.26	0.1	-

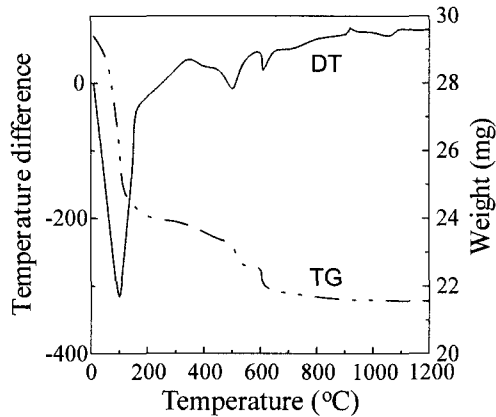


Fig. 1. TG/DTA curves for the viscous clay used in the production of clay brick depending on temperature (initial weight, 29.3 mg; heating rate, 20°C/min).

크기의 입자로 분포되었다.

점토의 비중은 1.78이고 모래는 1.75로서 매우 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. 그러나 페가넷 미분말의 비중은 3.95로서,¹⁰⁾ 점토나 모래에 비하여 매우 높기 때문에 공시체의 압축 강도에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 점토의 강열감량은 약 10.2%로서, 보통의 적벽돌에 사용되는 점토의 강열 감량 범위가 5~8% 정도인 것과 비교하면 약간 큰 값으로 나타났다. 강열 감량은 점토 중에 함유된 결정수, 탄산가스, 유기 물질 등이 연소 및 휘발되면서 방출된 양을 판단하는 기준으로서,¹¹⁾ 결과로부터 본 연구에 사용된 점토가 이러한 물질을 다량 함유하는 것으로 나타났다.

적벽돌 제작 시 소성 온도가 1100±50°C이며 소성 시간이 15시간 이상의 장시간임을 고려하여 점토의 열적 특성을 조사하였다. Fig. 1은 점토를 공기 중에서 측정 한 TG/DTA 분석 결과이다. TG 결과에서는 200°C까지의 온도 상승에 따라 무게 감소가 급격히 나타났는데, 이는 점토에 존재하던 결정수가 급격히 증발하는 것에 기인한다고 보여진다. 200~600°C 범위에서의 무게 감소는 점토 중의 휘발성 유기 물질이 고온 탄화됨으로써 나타난 현상으로 판단된다. DT 결과에서는 고온 가열에 의한 점토의 반응이 발열반응이며, 점토의 열전도성과 열용량을 의미하는 피크 높이가 온도

에 의존하여 변화함을 보이고 있다.¹²⁾

점토의 화학 성분 분석 결과를 Table 4에 제시하였으며, 주로 SiO₂와 Al₂O₃로 구성되어 있음을 확인하였다. 철산화물의 함량이 낮음으로 인해 벽돌 공시체의 색깔이 옅은 붉은색을 가질 것으로 판단되었으며, Ca·Mg·Na·K 산화물의 함량 또한 매우 낮게 나타났다. Table 4의 결과는 적벽돌의 생산에 이용되기 위한 점토의 화학 조성 범위에 잘 부합하는 것으로 파악되었다.¹¹⁾

3.2. 점토 및 모래의 배합 비율 변화에 따른 벽돌의 물성 변화

적벽돌 제작 시 garnet 미분말을 제외하고 점토와 모래만으로 구성된 공시체의 특성 실험을 실시하였다. Fig. 2는 공시체의 건조 및 수분 상태에서 측정 한 압축 강도 결과이며, 점토 함량이 증가할수록 두 상태에서의 압축 강도가 모두 증가하는 것으로 나타났다. 압축 강도는 점토를 소성함에 따라 그 일부 또는 대부분이 용융되어 반응한 후 냉각되는 과정에서 서로간에 밀착되는 현상으로 인하여 나타난다.^{13,14)} Fig. 2의 경향성은 공시체의 점토 함량이 높을수록 점성이 증가하여 점토-점토 및 점토-모래간 점착/밀착시키는 정도가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 점토 함량의 증가는 공시체를 구성하는 입자간 결합을 견고하게 형성하여 구조적인 치밀성을 유도함으로써 압력에 대한 저항 능력을 향상시키는 것으로 사료된다.

점토 성분 중 강도 증진에 긍정적인 영향을 주는 화합물은 주로 SiO₂, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃인 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ Table 4의 점토 성분 중 이러한 화합물의 함량이 상당히 높은 사실로부터 공시체의 압축 강도가 클 것으로 예상할 수 있다. SiO₂는 적벽돌의 골격을 구성하는데, SiO₂ 함량이 높으면 건조 속도를 촉진시키고 소성 과정에서 변형에 대한 저항성을 부여함으로써 강도를 높이는 효과를 나타낸다. Al₂O₃는 화학적으로 매우 안정한 화합물로서 점토의 점성을 증진시키는 역할을 한다. 따라서 점토 함량의 증가는 점성과 강도를 부여하는 성분의 증가를 의미하므로, 점토 함량과 압축 강도는 비례한다고 판단된다. 건조 시 뿐만 아니라 수중에 정지한 후의 압축 강도가 점토 함량 증가에 따라 커지는 것은 이미 소성화된 공시체는 수중에서도 분해

Table 4. Chemical composition of clay used in the production of clay brick

Chemical formula	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Contents (%)	65.5	18.69	5.1	0.12	0.14	0.1	0.15

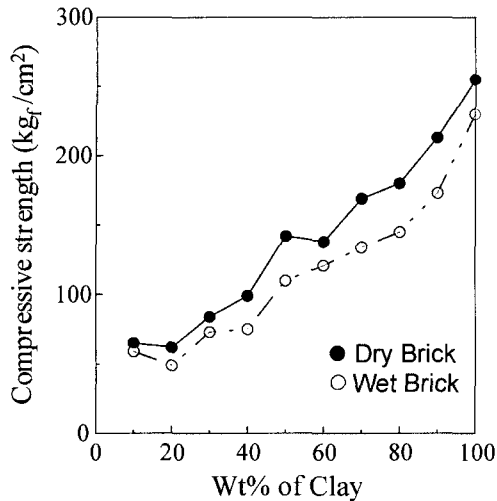


Fig. 2. Compression Strength of the dry and wet brick according to the content of clay.

되지 않음으로써 압축 강도 증가한 것으로 판단된다. 따라서 적벽돌과 수분의 접촉으로 인한 공시체의 강도 감소 및 파괴에 대한 가능성은 고려하지 않아도 될 것으로 파악되었다. Fig. 2의 결과를 한국 산업 규격 상의 압축 강도와 비교할 때, 점토 함량이 전체 벽돌 무게 중 50% 이상일 때 3종벽돌, 70% 이상일 때 2종벽돌, 90% 이상일 때 1종 벽돌로서 사용 가능한 것으로 파악되었다.

흡수율은 벽돌의 기공성과 수중 안정성을 평가하는 척도로서 활용되고 있다. 흡수율이 높은 벽돌은 동해나 풍화 등에 약할 뿐만 아니라 내구성이 약하여 그 수명이 짧은 특징이 있다. Fig. 3은 공시체의 흡수율을 점토 함량에 따라 제시한 결과이다. 점토 함량이 증가함에 따라 공시체의 흡수율도 증가하며, 그 경향이 Fig. 2와 유사하였다. 그러나 점토 함량 80% 이상인 공시체의 흡수율이 15% 이상인 것으로 조사되어, 압축 강도는 만족시키지만(Fig. 2), 흡수율 측면에서 벽돌 제품으로는 부적합한 것으로 파악되었다(Fig. 3). 일반적으로 흡수율은 공극 부분의 용적율을 나타낸다고 알려져 있으나,⁷⁾ 본 연구에서 높은 점토 함량을 가진 벽돌에서 큰 흡수율이 나타난 이유는 점토의 수분 보유력에 기인한다고 보여진다. 점토 함량이 높을수록 압축강도가 커지는 것은 가압에 의해 파괴되어 crack을 발생시킬 수 있는 벽돌의 공극율이 점차 감소한다는 것을 의미하기 때문이다. 따라서 높은 점토 함량을 가지는 공시체의 흡

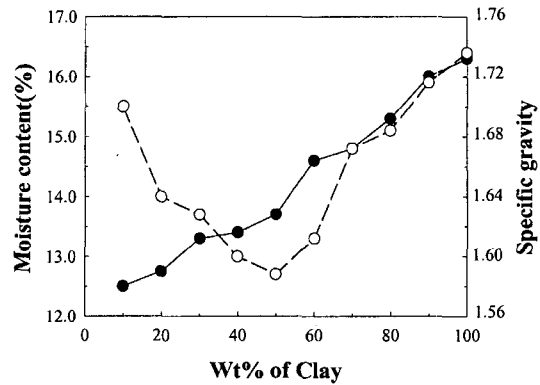


Fig. 3. Moisture absorption and specific gravity of the dry brick according to the content of clay.

수율 증가는 공극 내부로 흡수되어 들어간 수분을 의미하는 것이 아니라, 수분과 점토와의 반응으로 인한 점토의 팽윤 및 수분 보유에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig. 3은 점토 함량에 따른 공시체의 비중 변화를 도시한 결과이다. 결과에 의하면 점토 함량이 10%에서 50%로 증가할 때, 비중이 감소하다가 50% 이후 다시 증가하는 것으로 나타났다. 점토와 모래의 비중이 1.78과 1.75임을 감안할 때, 이들을 배합하여 소성시킨 벽돌의 비중이 원료 자체의 비중보다 감소하였음을 알 수 있다. 보통 800~1000°C의 고온에서 소성하면 점토가 용해되어 비중과 색이 변하게 된다. 점토 함량이 50% 이하인 경우에는 모래의 함량 증가에 따라 공시체 부피의 증가가 일어나 비중이 감소한 것으로 사료된다.

이것은 Table 3의 결과를 고려할 때, 점토보다 모래 입자의 크기가 상대적으로 큰 반면 비중은 작으므로 공시체 전체의 비중을 감소시킨 것으로 판단된다. 점토 함량 50% 이상에서는 점토 함량과 공시체 비중이 비례적으로 증가하나, 점토의 비중보다는 작은 값을 나타냈다. 이상의 결과로부터 {점토-모래}의 조합에서 가장 적절한 점토의 함량은 전체 무게의 50%인 것으로 파악되었다.

3.3. 모래와 Garnet 미분말의 혼합에 따른 벽돌의 특성 변화

{점토-모래} 조합의 결과로부터 점토 함량을 50%로 고정하였을 때, {모래-페가넷 미분말}의 배합 비율을 조절하여 변화 경향을 조사하였다. Table 2에서 점토를 50%로 고정시킨 경우, {모래-페가넷 미분말} 배합 비율에 의하여 나타난 압축 강도 변화를 건조 시와 수분 시에 대하여 각각 측정하여 Fig. 4에 제시하였다. 결과

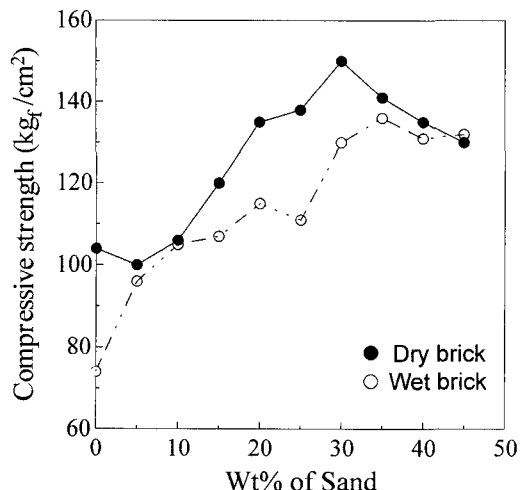


Fig. 4. Compression strength of the dry and wet brick varying the contents of sand and garnet powder with a fixed content of clay as 50%.

로부터 모래 함량 30%까지는 압축 강도가 증가하다가 그 이후 감소하였는데, 이로부터 페가넷 미분말의 함량이 많을수록 압축 강도가 감소함이 파악되었다. 최소 압축 강도는 모래 함량 5%(페가넷 미분말 45%)에서 나타났으나, 0%(페가넷 미분말 50%)인 경우와 거의 비슷하였다. 수분 시의 압축 강도에서도 이런 경향은 유지되었는데, 모래 함량이 많고 페가넷 미분말의 함량이 낮을수록 압축 강도가 증가하였다. 한국 산업 규격에 의거할 때, 모래 함량이 15%이상일 때 3종벽돌, 모래 함량이 30%일 경우 2종벽돌로의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

페가넷 미분말의 첨가는 공시체의 압축 강도를 낮추는 역효과를 나타내었는데, 이는 페가넷 미분말의 입도가 절대적으로 미세하기 때문인 것으로 사료된다. 즉 점토의 양은 한정적인 반면, 점토와 밀착/결합해야 하는 {모래-페가넷 미분말} 조합의 표면적이 페가넷 미분말의 함량 증가에 따라 넓어짐으로써 불충분한 밀착이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 압축 강도 측면에서는 점토 함량이 50%로 고정되었을 경우, 모래 함량 15% 이상 (페가넷 미분말 35% 이하)일 때 적벽돌로서 사용 가능할 것으로 판단되었다. 이상의 결과로부터 {모래-페가넷 미분말}의 배합 비율 최적 조건은 모래 30%와 garnet 미분말 20%의 조합인 것으로 판단하였다.

Fig. 5는 점토 함량이 50%로 고정되었을 때, 모래와

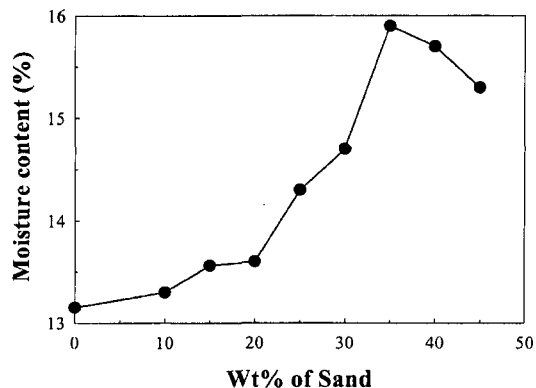


Fig. 5. Moisture absorption of the dry brick varying the contents of sand and garnet powder with a fixed weight percent of clay as 50%.

페가넷 미분말의 배합 비율 변화에 따른 공시체의 흡수율 변화를 도시한 결과이다. 모래 함량의 증가에 따라 35%에서 최대 흡수율을 보이다가 그 이후에는 흡수율이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상대적으로 큰 입도 분포를 가지는 모래 입자가 다량 존재함으로써 벽돌 공시체의 공극율이 증가했기 때문인 것으로 사료된다. 이와 더불어 페가넷 미분말 함량의 감소로 인한 표면적 감소가 흡수율 증가의 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 그러나 모래 함량이 35% 이상인 경우 흡수율이 감소하였음에도 불구하고 15% 이상을 나타내어 벽돌 제작이 불가능하였는데, 이는 모래 사이의 공극이 증가함으로써 공극 사이로 수분을 쉽게 통과시켰기 때문인 것으로 사료된다.

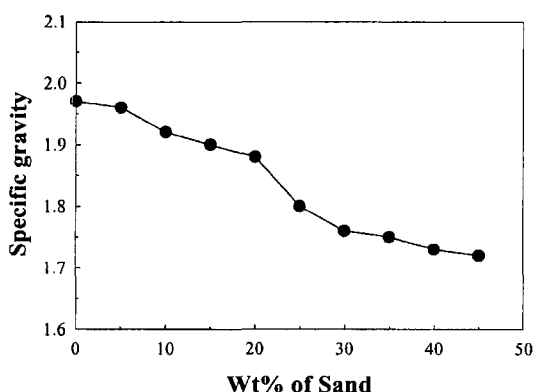


Fig. 6. Specific gravity of the dry brick varying the contents of sand and garnet powder with a fixed weight percent of clay as 50%.

공시체의 비중 변화는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 모래 함량 증가에 따라 점진적으로 감소하는 것으로 조사되었다. 모래의 증가는 벽돌 제작에 소요되는 원료의 부피 증가를 유발하므로 벽돌의 비중은 감소한다. 또한 모래의 증가는 페garnet 미분말의 감소를 뜻하므로 비중이 약 두 배 가량 큰 페garnet 미분말의 감소가 비중의 감소로 나타났다고 판단할 수 있다. 이것은 페garnet 미분말의 함량이 50%(모래 함량 0%)일 때 벽돌 공시체의 비중이 거의 2.0에 이르다가 페garnet 미분말이 5%(모래 함량 45%)인 경우 벽돌 공시체의 비중이 1.7까지 감소하는 것으로부터도 유추할 수 있다. 따라서 압축 강도, 흡수율 및 비중을 고려할 때, 점토 50% 첨가 시 {모래-페garnet 미분말}을 (30%-20%)로 조절하는 것이 적절하다고 판단하였다.

3.4. 점토, 모래 및 Garnet 미분말 조합시의 벽돌 물성

{점토-모래} 및 {모래-페garnet 미분말}의 배합 비율에 따른 결과를 바탕으로, {점토-모래-페garnet 미분말}의 배합 비율에 대한 공시체의 특성 실험을 실시하였다. 이때 {모래-페garnet 미분말=60:40} 조합과 점토의 비율을 Table 2와 같이 변화시켜 배합하였다.

Fig. 7은 배합 비율에 따른 압축강도를 제시한 결과이다. 건조 시와 수분 시의 벽돌 공시체의 압축 강도 변화 경향은 매우 유사하였으며, 최대 압축 강도는 점토 50%와 {모래-페garnet 미분말} 50%일 때 얻어졌다.

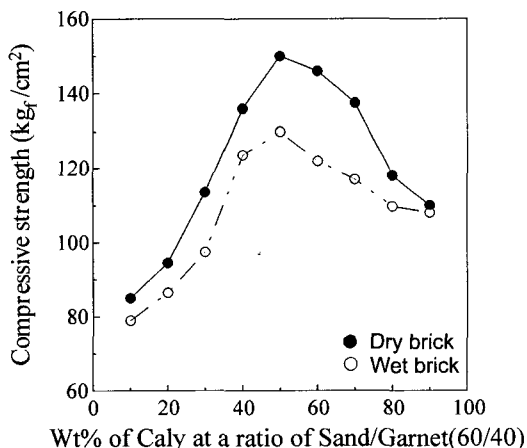


Fig. 7. Compression strength of the dry and wet brick varying the content of clay and 'sand+garnet powder' at a ratio of sand/garnet power as 60/40.

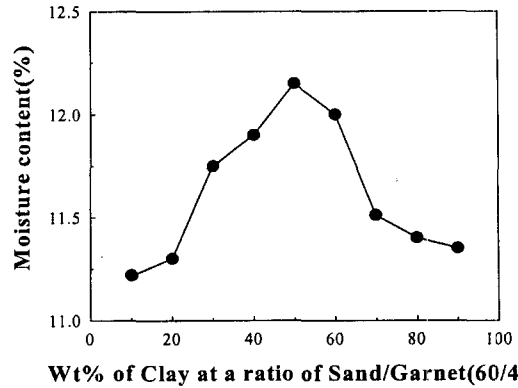


Fig. 8. Moisture absorption of the dry brick varying the content of clay and 'sand+garnet powder' at a ratio of sand/garnet power as 60/40.

결국 {점토 50% + 모래 30%+garnet 미분말 20%}의 배합 비율에서 공시체의 구조가 가장 견고한 것으로 조사되었다. 그러나 점토 함량이 30% 미만일 경우에는 일정 수준의 강도를 갖추지 못함으로써 벽돌로 활용될 수 없었다. 점토 함량 증가에 따른 경향성이 Fig. 2와 다른 것은 페garnet 미분말이 모래를 대체함에 있어서 SiO₂(모래의 주성분)이 부족하여 강도에 영향을 준 것으로 예상된다. 본 연구에서 {점토 50%+모래 30%+garnet 미분말 20%} 배합의 공시체는 한국 산업 규격과 비교 시 3종벽돌로 생산될 수 있었다.

Fig. 8은 배합 비율 변화에 따른 흡수율 변화를 점토 함량에 따라 나타난 것이다. Fig. 7에서 가장 큰 압축 강도를 나타낸 {점토 50%+모래 30%+페garnet 미분말 20%} 조합은 흡수율도 가장 크게 나타나 약 12.4%였으며, 점토 함량이 50%인 지점을 전후로 흡수율이 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 모든 배합 비율에 있어서 흡수율이 13% 미만인 결과를 얻었으며, 이를 압축 강도와 연관시키지 않을 때에는 2종벽돌로의 제작이 가능할 것으로 판단하였다.

Fig. 9는 배합 비율 변화에 따른 공시체의 비중 변화를 점토 함량 중심으로 도시한 결과이다. 전체 무게 중 점토의 비율이 10%에서 90%로 증가함에 따라, 공시체의 비중은 1.760에서부터 1.742까지 감소하였다. 점토 함량의 증가가 {모래-페garnet 미분말} 조합의 감소를 의미함을 생각할 때, 비중이 큰 페garnet 미분말의 감소로 인해 공시체의 비중 역시 감소한 것으로 간주할 수 있다. 그러나 비중의 감소 경향은 압축 강도 및 흡수율과는 큰 상관관계를 갖지 않는 것으로 나타났다.

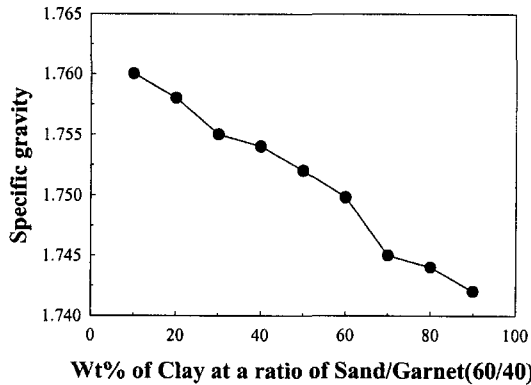


Fig. 9. Specific gravity of the dry brick varying the content of clay and 'sand+garnet powder' at a ratio of sand/garnet power as 60/40.

연구 결과, 수축율은 제시하지 않았는데 이는 모든 조합의 공시체에 있어서 성형한 후 측정된 공시체의 크기와 소성 및 건조 이후 측정된 공시체의 크기 변화가 거의 없어 그 수축율이 1/100%를 넘지 않았기 때문이다.

이상의 결과로부터, 적벽돌 제작에 있어 모래를 폐 garnet 미분말로 대체하는 것이 가능하며, 한국 산업 규격과 비교하여 볼 때 3종벽돌로서 생산 가능할 것으로 사료된다. 폐 garnet 미분말의 재활용 가능성은 폐기되거나 매립되고 있는 유효 자원을 재이용하고 경제성을 증진시킨다는 점에서 앞으로도 더욱 진행되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

폐기되는 garnet 미분말을 원료로 이용한 적벽돌을 제작하기 위하여, 점토·모래·폐 garnet 미분말의 배합 비율을 변화시킴에 따른 벽돌 공시체의 물리적 특성을 살펴보았다. 특성 실험은 압축강도·흡수율·수축율·비중 항목에 대하여 실시하였으며 이를 한국 산업 규격과 비교·검토하였다.

- {점토-모래}의 배합 비율 변화에 있어 점토가 50% 이상 첨가되어야만 한국 산업 규격 상의 최소 압축 강도 기준을 만족하였으나, 70% 이상인 경우 흡수율 조건을 만족시키지 못하므로 최 적의 점토 함량은 50%인 것으로 파악되었다.
- 점토의 함량을 50%로 고정하고 {모래-폐 garnet 미분말}의 배합 비율을 변화시켰을 때, {모래 : garnet 미분말=60 : 40}인 조건이 가장 좋은 압축 강도와

흡수율을 나타내는 것으로 조사되었다.

- {점토-모래-garnet 미분말}의 배합 비율 변화에 대하여서는 {점토 50%+모래 30%+폐 garnet 미분말 20%}으로 제작된 벽돌 공시체가 가장 높은 압축 강도를 보였으며, 모든 배합 비율에 있어서 흡수율이 만족되었다. 벽돌 공시체의 비중 측정 결과, 비중은 벽돌 공시체의 압축 강도와는 무관한 것으로 조사되었다.
- 위의 결과로부터 garnet 미분말을 활용한 적벽돌의 제작이 가능하며 그 때의 최적 배합 조건은 {점토 50%+모래 30%+garnet 미분말 20%}인 것으로 파악되었다. 산업의 발달에 따라 폐 기되거나 매립되는 유효 자원의 양이 점차 증가함을 생각할 때, 이를 재활용하는 노력은 앞으로 계속되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 에너지관리공단의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

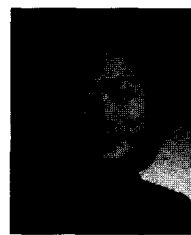
- 송재선, (우리나라) 벽돌, 한국점토벽돌공업협동조합, pp. 15-20, 193-203, 244-249 (1991).
- G. Lichun, P. Dayan, G. Ruiping, W. Zijiang and B. Yanqui, "Analysis on microstructure of hot pressed carbon brick", Proceedings of the International Symposium on Carbon Sci. Technol. for New Carbons-Extended Abstracts, pp. 102-105 (1998).
- R. Hewamanna, C. S. Sumithrarachchi, P. Mahawatte, "Nanayakkara, H. L. C., and Ratnayake, H. C., Natural radioactivity and gamma dose from Sri Lankan clay bricks used in building construction", Appl. Radiation and Isotopes, 54(2), 365-369 (2001).
- J. C. Kim, K. H. Auh and D. M. Martin, "Multi-level particle packing model of ceramic agglomerates", Modelling Simul. Mater. Sci. Eng., 8, 159-168 (2000).
- H. E. Kim, A. J. Moorhead, K. H. Riu and D. H. Lee, "Effects of heat treatment in a wet hydrogen atmosphere on the reliability of sintered α -silicon carbide", J. Am. Ceram. Soc., 78(6), 1708-1710 (1995).
- Y. K. Jeong, A. Narahira and K. Niihara, "Effects of additives on microstructures and properties of alumina-silicon carbide nanocomposites", J. Am. Ceram. Soc., 82(12), 3609-3612 (1999).

7. 송재선, 벽돌공학-상권, 한국적연와협회, pp. 49-71 (1987).
8. Methods for chemical analysis of clay, KS L 4007 (1993).
9. Clay brick, KS L 4201 (1997).
10. S. E. Kuh, K. J. Hwang, D. S. Kim and J. S. Kim, "Study on the Employment of Wasted Garnet Fines as Asphalt Concrete Filler", J. Korean Soc. Environ. Eng., 22(9), 1555-1567 (2000).
11. 송재선, 벽돌기술, 한국적연와협회, pp. 13, 38-47 (1989).
12. Pope, M. I. and Judd, M. D., Differential Thermal Analysis, Heyden & Sons Inc., UK, pp. 30-31 (1977).
13. 장기인, 한국건축대계II-벽돌, 보성문화사, pp. 14, 41-87 (1991).
14. 김무한, 신현식, 김문한 공저, 건축재료학, 문운당, pp. 341-346 (1991).



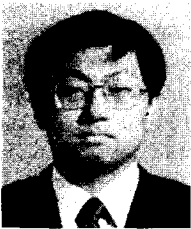
黃京珍

- 2002년 이화여자대학교 과학기술대학원 환경학과 석사 졸업
- 2002년 이화여자대학교 공과대학 환경공학과 졸업



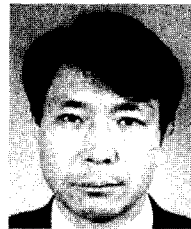
金英任

- 2001년 이화여자대학교 공과대학 환경공학과 졸업
- 현재 이화여자대학교 과학기술대학원 환경학과 석사 재학중



金東秀

- 현재 이화여자대학교 환경공학과 교수
- 本學會志 第10卷 第3號 參照



金俊秀

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용연구부 부장
- 本學會志 第10卷 第5號 參照