

Research Paper

페로니켈슬래그 순환자원을 활용한 점토기와의 성능평가

Study of Characteristics of Clay Roof Tiles Using Ferro Nickle Slag Recycled Resources

김순호*

Kim, Soon-Ho*

Professor, Industry-University Cooperation Foundation, Changwon University, Uichang-Gu, Changwon, 51139, Korea

*Corresponding author

Kim, Soon-Ho

Tel : 82-55-213-3885

E-mail : shkims@changwon.ac.kr

Received : June 9, 2021

Revised : June 23, 2021

Accepted : June 28, 2021

ABSTRACT

To reduce the environmental load of the construction industry, there is a need to minimize construction and demolition by strengthening the eco-friendliness of building materials and extending the durable lifespan. Therefore, while many Hanok roof finishing methods have been proposed to address these problems, the current trend is to use the existing method due to issues such as economic feasibility, weight, and durability. The manufacturing method of clay roof tiles used as roofing materials for Hanok buildings is optimized by using a mixture of 64.5% Gyeongju clay, 15.0% kaolin, 15.0% FNS(Ferro Nickel Slag), and 5.5% MAS(Magnesia Aluminum Silicate) under optimal conditions. The results of the experiment involving firing at 1,125°C showed that flexural strength of 12,102N, which is higher than the standard of KS F 3510, an absorption rate of 6.08%, a volume specific gravity of 2.15g/cm³, and the freeze-thaw properties were satisfied. A method for securing stable quality was studied.

Keywords : hanok, ferro nickel slag, resources, traditional korean roof tile, magnesia alumino silicate

1. 서론

1.1 연구의 목적

건설산업의 환경부하를 저감하기 위해서는 건설재료의 친환경성 강화와 함께 내구수명 연장을 통한 신규건설 및 철거를 최소화하는 것이 필요하다. 즉, 환경오염 및 기후변화를 초래하는 산업일 뿐만 아니라 기후변화로 인한 영향력이 매우 큰 산업으로 기후변화 대응·적응력 강화가 요구되고 있으며, 기후변화로 인한 온·습도 증가, 폭우·태풍 발생빈도 증가, 해수면 상승에 따른 염해 등은 건축·구조물의 안전성에 심각한 문제를 초래할 것으로 해결의 필요성이 있다[1,2]. 최근의 재택근무 및 실내생활이 일상화가 되었고 도시 내에서도 타인과의 접촉을 최소화할 수 있는 공간의 계획·활용이 요구되면서 컨택(Contact)과 커넥트(Connect)를 위한 언택트 공간의 가속화가 진행되기 시작했다. 가장 개인적인 공간인 주택을 나만을 위한 공간으로 만들기 위한 기능복합과 공간기능의 다양화가 본격화되고, 좀 더 넓은 공간소비에 대한 욕구, 외부와의 연결통로이자 나만의 공간이 되는 발코니 공간의 활용 등 다양한 시도들이 늘어날 것이다[3]. 일상의 변화, 사회적 거리두기, 그리고 선택적 관계 맺기를 위한 차별화된 공간으로서의 역할을 주택 내부공간, 아파트 단지 등 특정공간을 사람들의 끼리끼리 문화는 더욱 가속화될 것이다[3]. 따라서 이러한 문제점과 다양성을 개선하기 위하여 건식기와, 시멘트기와, 스페니시기와, 유약기와 등 많은 지붕재의 마감 색상 및 건축공법들이 제안되어 왔으나 경제성과 중량, 내구성 등의 문제로 기존의 공법을



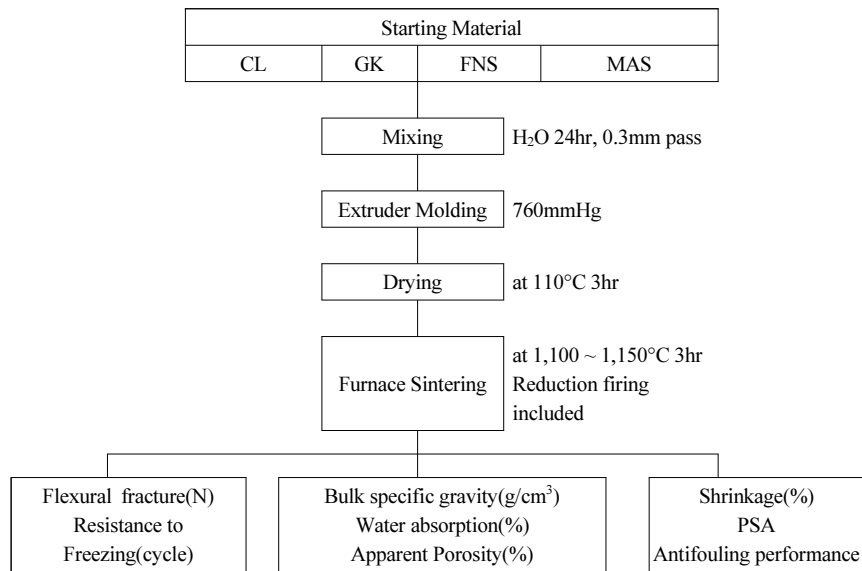
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사용하고 있는 것이 현 추세이다[4,5]. 우리나라 전통 건축물을 대표하는 한옥 지붕 마감재로 점토기와와의 제조방법에 경주 지역에서 생산되는 점토와 고령토 그리고 포항지역 S사의 페로니켈슬래그(Ferro Nickel Slag, FNS)순환자원을 활용하여 문제를 해결하고자 하였다[7]. 전통한식 점토기와로서의 요구되는 물성을 만족하는 사용재료의 최적배합과 제조공정을 설계하고 이를 통해 전통한식 점토기와 소재 개발에 관한 특성을 연구하여 관련 기초자료를 제시하고자 한다[5,6].

2. 연구방법 및 개발목표

2.1 연구방법

본 연구에서 개발하고자 하는 전통한식 점토기와는 점토질 광물로써, 점토와 고령토, 마그네시아 알루미늄 실리케이트 (MAS) FNS 등을 조합해서 성형성 및 작업성, 수축율을 고려하여 소성조건에 대한 예비실험을 실시하였으며 최적배합을 선정 후, 소성온도별 시편을 제작하여 전통한식 점토기와의 물리적 특성을 검토하였다(Figure 1 참고).



CL: Clay, GK : Gyeongju Kaolin, FNS: Ferro Nickel Slag, PSA : Particle Size Analysis
MAS: Magnesia Alumino Silicate,

Figure 1. Experimental procedure to manufacture and evaluate FNS clay roof tile

2.2 개발목표

본 연구에서 FNS는 페로니켈 생산에 사용된 원료인 니켈광석, 유연탄 등이 고온에서 용융되어 페로니켈과 분리된 후 생산되는 일종의 산업부산물이다. 페로니켈 슬래그는 물리적, 화학적 성질이 우수한 친환경적 자원으로 국내에서는 주로 콘크리트용 골재(KS F 2790), 주물사, 연마재, 사문암 대체제 등으로 활용되고 있다[7,8]. FNS 미분말은 FNS를 콘크리트용 잔골재 등으로 가공하는 과정에서 발생하며, 중량으로 약 10% 정도 발생하는 것으로 보고되고 있다[8,9]. 이러한 FNS 미분말은 현재 대부분 폐기하고 있으나 FNS를 활용하여 전통한식 점토기와의 물리적 특성을 알아보기 위하여 Table 1과 같이 4가지로 구분하고 목표품질을 달성하기 위한 기준값의 흡수율은 KS F 3510을 기준으로 10% 이하와 부피비중과 기공율은 KS L 4013을 적용하여 2.15와 20%이하를 목표로 하였다. 휨강도는 KS F 3510를 기준으로 2,800N 이상의 값을 목표로 하였다[5,10].

Table 1. Target values of clay roof tile test analysis

Performance indicator	Unit	Target Values	Criteria
1. Water absorption	%	< 10	KS F 3510
2. Bulk specific gravity	-	< 2.2	KS L 4013
3. Flexural strength	N	> 2,800	KS F 3510
4. Apparent Porosity	%	< 20	KS L 4013

3. 순환자원을 활용한 점토기와 제작

3.1 사용재료

3.1.1 페로니켈슬래그(Ferro Nickel Slag : FNS)

FNS 미분말은 콘크리트 골재로 사용하기 위해 분쇄하는 과정에서 부산물로 생산된 S사의 FNS 미립자로 화학성분과 입도는 Table 2에 나타내었으며, 주성분은 실리카(SiO_2), 마그네슘(MgO) 및 철(Fe_2O_3) 성분이었다. 미분쇄 조건은 Pot mill에서 24시간동안 물: FNS: Ball을 1:1:1조건으로 분쇄 후 건조한 가공분말로 밀도는 $2.96\text{g}/\text{cm}^3$ 정도로 측정되었다.

Table 2. Chemical composition of materials

Material	Composition(wt%)										
	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	SO_3	LOI	Patical size
Clay	64.89	14.13	0.44	1.18	0.44	0.55	8.35	0.82	0.94	8.26	16.75
Kaolin	55.30	30.30	0.64	3.46	0.04	0.44	0.73	0.71	0.30	8.74	20.92
FNS	47.60	8.36	0.00	0.00	1.10	32.90	8.89	0.00	0.90	0.25	15.20
MAS	60.31	5.80	1.88	0.66	0.64	22.66	6.73	0.06	0.00	1.26	0.09

3.1.2 점토(Clay : CL)

점토는 경주지역의 점토원광을 분말상태로 가공하고, 주성분은 SiO_2 로 60.7%로 건축용 재료, 내화물용으로 사용된다. Table 2는 화학조성 및 입도이다.

3.1.3 고령토(Kaolin : GK)

고령토는 경주 안강지역의 광산원광을 건조(250°C)하여 Ball Mill로 분쇄한 분말로 카올린족 할로이사이트 계통의 주광물에 속한다[6]. 이는 α -Quartz가 2차상으로 존재하여 Fe_2O_3 가 0.90% 이하로 함유하고 있다. Table 2는 화학조성 및 입도이다.

3.1.4 마그네시아 알루미늄실리케이트(Magnesia alumino silicate : MAS)

마그네시아 알루미늄 실리케이트는 저온소성용 프리트류 Ball Mill 및 Pot Mill로 나노급으로 분쇄한 것이며 화학조성은 Table 2와 같다.

3.2 예비시험

전통한식 점토기와의 배합설계는 각 원재료의 물리적 특성과 화학성분을 Table 2와 같이 분석하고 1,100°C에서 1150°C 까지 25°C간격으로 소성하여 예상 배합을 설정하였다. 또한 소성온도별 제조한 전통한식 점토기와의 물리적 특성을 알아보기 위해 비율을 변화시켜 예비실험을 실시하였다.

3.2.1 출발원료의 예비실험 조건 실험 배합

출발원료 Table 2의 사용은 1,150°C 이하의 소성으로 부피비중 2.20 이하, 흡수율 10% 이하 등의 조건을 고려한 최적배합을 도출하기 위한 예비실험을 Table 3의 배합비율을 변화시키며 진행하였다. 위의 조건을 만족하기 위하여 MAS는 5.5% 이상 첨가시 과소성으로 곤란하며 수축율과 내화도를 보안을 위해 고려한 고령토는 최소 15%가 필요하였으며 FNS는 점토의 가소성으로 20%이상 가능하나 내화도가 높아짐으로서 소결력 부족 우려 되었다.

Table 3. Mixing ratio of materials for clay roof tile experiment

	Compounding ratio(wt/%)			
	CL	GK	FNS	MAS
Compounding	40.0~89.9	5.0~25.0	5.0~25.0	0.1~10.0

CL: Clay, GK : Gyeongju Kaolin, FNS : Ferro Nickel Slag, MAS : Magnesia Alumino Sillicate

3.2.2 전통한식 점토기와 최적배합조건의 도출 배합

예비 배합실험결과, 결합재의 종류 및 배합비율에 따른 고령토 15%와 MAS 5.5%는 선정되고 점토의 대체로 FNS를 0%에서 20%까지 최적 배합은 Table 4와 같이 주 원재료인 점토를 64.5%, FNS 15.0%, 경주 고령토 15.0% 그리고 저융점의 결합재인 MAS를 5.5%로 하는 최적조건으로 배합 도출되었다.

Table 4. Mixture proportion of clay roof tile

Mixture	Materials(%)			
	CL	GK	FNS	MAS
FNS-0	79.5	15.0	0.0	5.5
FNS-5	74.5	15.0	5.0	5.5
FNS-10	69.5	15.0	10.0	5.5
FNS-15	64.5	15.0	15.0	5.5
FNS-20	59.5	15.0	20.0	5.5
PT-Sample	64.5	15.0	15.0	5.5

FNS-0 : Mixed clay rooftile with FNS 0%

FNS-5 : Mixed clay rooftile with FNS 5%

FNS-10 : Mixed clay rooftile with FNS 10%

FNS-15 : Mixed clay rooftile with FNS 15%

FNS-20 : Mixed clay rooftile with FNS 20%

PT-Sample : Reduction-fired FNS clay roof tile prototype sample

3.2.3 전통한식 점토기와 성형배토 및 소성공정

원료조합은 Table 3과 같이 도출된 배합을 Ball Mill과 Pot mill에서 각각 24시간 milling한 후, 표준체 44 μ m를 전통하는

입도하였다. 입도분석(Particle Size Analyzer)은 Horriba사 LA-950으로 동적광산란식 입도분포 측정하였으며, 측정범위는 0.1~8,000nm이다. 그리고 싱글 나노입자의 평가 등을 고감도, 고정도로 3가지 항목(나노입자측정·제타전위측정·분자량 측정)을 추가 분석하였다. 또한 성형방법은 금형을 50×15mm 사각형 mold로 습식 압출성형하고 항량으로 건조 후 소성온도 1,100~1,150°C까지 각각 25°C 간격으로 승온 후 1시간 동안 유지 후 냉각하였다.

3.3 기와제작 및 성능시험

3.3.1 최적조건 기와배합 및 제작

FNS를 활용한 점토기와의 최적의 조성은 Table 4와 같이 중량(wt%)을 기준으로 MAS는 5.5%, 경주고령토는 15.0%를 포함하는 배합을 기본으로 FNS는 0%~20%까지 점토를 대체하여 배합시험으로 도출되었다. 이 전통한식 점토기와 조성의 배토를 토련기로 토련하고 24시간이상 숙성한 조건에서 보온 및 보습하여 기와를 성형하였다. 이후 성형된 기와를 상온에서 서부터 서서히 승온속도 0.5°C/min로 100~120°C까지 23~25시간 동안 건조하였다. 또한 건조된 점토기와는 1100~1,150°C에서 1시간 동안 소성한 후 상온까지 냉각하였으며, 이에 최종적으로 상기와 같이 처리된 기와를 820~980°C에서 1시간 동안 환원 분위기를 유지하였으며 특히 5 내지 10분간 미연소 성분을 LPG 가스를 분사시켜 탄소성분을 점토기와에 흡착시킨 후 냉각하여 기와를 제조하였다.

3.3.2 휨 파괴 하중

휨 파괴 하중시험은 Figure 2와 같이 소성 후 점토기와 제품으로 측정을 실시하였다. 휨 파괴 하중시험시 기와는 스펠 200mm의 지지봉에 밀착시켰으며 이때 지지봉의 지름은 약 30mm 이상의 강재로 하였다. 스펠 중앙에 지지봉과 평행하게 지름 약 30mm의 강재 환봉을 걸어 하중 49.0 N/s의 속도로 재하 하였다.

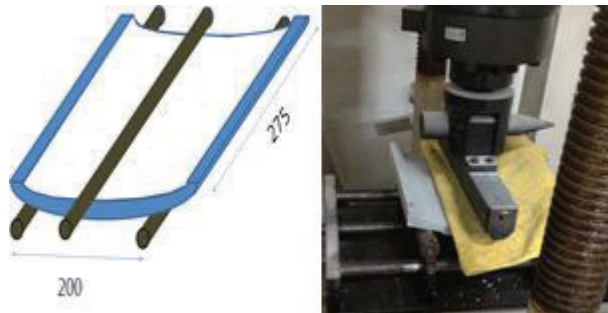


Figure 2. Flexural fracture load test

3.3.3 흡수율 및 부피비중, 기공률

1) 흡수율은 단위 중량당의 흡수량을 백분율로 나타낸 값으로, 흡수율 시험은 시험체의 절건질량과 표건질량을 구하고 식 (1)에 따라 산출하였다.

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Q : 흡수율(%)

m_1 : 시험체의 표건질량(g)

m_2 : 시험체의 절건질량(g)

2) 부피비중(Bulk specific gravity, BD)

시험체의 부피에 대한 무게비중을 말한다.

3) 겉보기 기공률(Apparent Porosity, AP) 겉보기 기공률(%)은 시험체의 총부피 중 개기공이 접하는 용적을 백분율로 나타낸다.

3.3.4 수축율 측정

수축율은 버니어캘리퍼스를 사용하여 시편을 30mm 간격으로 성형하고 건조 및 소성 후, 각각의 시편 길이의 변화를 KS F 4914 기준으로 측정하였다.

3.3.5 내동해성

내동해성 시험은 KS F 3510에 따라 실시하였다. 시험체를 20±5°C의 맑은 물속에 24시간 담근 후 꺼내어 -20±3°C의 냉동조에 넣어둔다. 8시간 이상이 경과 후 다시 20±5°C의 맑은 물속에 6시간 이상 담근다. 이후 시험체의 균열, 유약의 들뜸 유무 등을 관찰하는 것을 1회로 하여 총 30회의 동결 융해에 관한 내동해성 시험을 실시하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

본 연구에서 개발한 최적 배합실험을 통한 점토기와의 대해 상기 시험결과를 Table 1의 목표치를 확인하기 위해 최적 소성온도의 소성시험 결과 및 물리적 특성을 살펴보았다.

4.1 힘 파괴 하중

힘 파괴강도(Flexural fracture strength)는 KS F 3510 기준의 2,800N 이상으로 안정적으로 FNS-0의 9,520N에서 최고 FNS-3의 12,102N까지 측정한 결과는 Table 5와 같이 나타났다.

Table 5. Results of flexural strength test

	Flexural strength(N)				
	FNS-0	FNS-5	FNS-10	FNS-15	FNS-20
Average strength	9,520	9,560	10,203	12,102	9,012

4.2 흡수율 및 부피비중과 기공율

흡수율은 Figure 3(a)와 같으며 소성온도 1,100°C와 1,125°C, 1,150°C에서는 KS F 3510기준의 9%이하로 나타났으나 1,100°C경우는 다소 흡수율의 한계에 접근할 수 있었으며, 1,125°C이상에서는 안정적인 흡수율 6%를 보이며 FNS의 첨가량에 따라 다소 흡수율이 증가하는 현상은 보이나 15%범위에서 안정적으로 나타났다. FNS의 첨가량이 20%의 경우는 흡수율이 증가하며 Figure 3(b,c)에서 보이는 기공율과 흡수율 또한 마찬가지로 증가하는 현상으로 나타나는 것은 FNS의 영향

으로 자체비중이 높고 주광물의 점토보다 내화도가 높은 것으로 확인하였다. 반면 사전 예비시험에서 소성온도 1,100°C에서는 MAS를 첨가하지 않으면 점토기와 흡수율 10%이상으로 개발조건을 벗어나는 것을 알 수 있었다. 이는 Flux로 MAS 저온소결재가 필요한 것을 확인하였다. 이를 확인하고자 내부 형상구조인 SEM분석을 4.6에서 확인하였다. 또한 각 배합에 따른 부피비중은 Figure 3(b)와 같으며 소성온도 1,125, 1,150°C에서 FNS첨가 5%일 때 2.15를 최고점으로 하고 FNS가 증가할수록 부피비중은 다소 낮아지는 것을 볼 수 있다. 또한 기공율은 Figure 3(c)와같이 소성온도 1,100°C이하에서는 모두 20%이하로 나타났다. 이는 저온소성에서 MAS가 Flux역할로 저온소결이 이루어진 것으로 나타났으며 1,100°C에서는 점토광물의 특성상 재결정이 이루어져 Mullite화 및 치밀화가 이루어진 것으로 확인되었다.

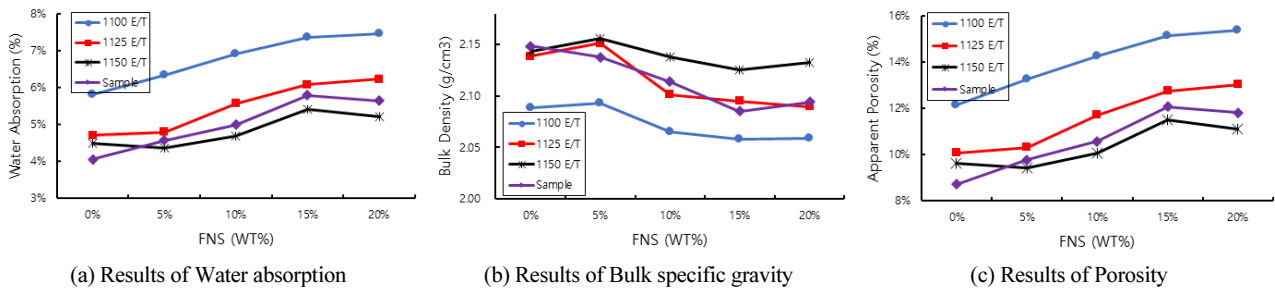


Figure 3. Manufacture of clay roofing tile: Physical properties of specimens prepared at different sintering temperatures at 1,100~1,150°C

4.3 전통한식 기와의 경량화 및 소결온도 검토

FNS 순환자원을 활용한 전통기와의 점토기와의 설계 및 경량화는 경량다공재료의 함유와 기공의 분포 및 크기 제어 가능하며, 특히 1,100°C 미만에서 소결력이 부족하여 흡수율이 증가하는 문제점은 MAS의 저온소결재의 소결과정으로 부피비중 2.15이하를 달성하는 체적의 소성온도 조건은 1125°C로 나타났다(Figure 3(b) 참조). 또한 최적 배합비율조건과 소성온도별 부피비중을 확인한 바, 소성온도가 1,125°C이상으로 올라가면 부피비중 2.15 이상으로 나타났다. 이는 FNS의 비중증가로 점토기와의 비중도 증가한 것으로 보인다.

4.4 전통한식 기와 수축율 검토 및 금형설계

1,150°C 이하에서 치밀성을 가지는 특성은 매질과 골재의 개념으로 설명할 수 있다. 특히 치밀화는 세라믹 산화물 자유에너지의 감소정도에 따라 자화와 소결성이 결정된다. 이는 자유에너지의 감소가 되며 편재화된 산화물의 고유 용융온도에 근접하기 때문이다. 이에 통상적으로 고온에서 저온경화는 거의 불가능하였다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 기존의 열 에너지를 이용하는 Flux 투입에 따른 치밀화로 결합강도 증가를 유도하였다. 본 연구에서의 최적배합의 조건으로 성형된 시편의 물리적인 특성을 확보한 상태에서 향후 저온소성용 점토기와의 시제품 크기를 가정할 경우 제품을 연속 성형하기 위해 각 공정별 수축율 확인이 필요하다. 이에 최적 소성온도 조건의 물성은 1,125°C(Figure 3 참조)이며, 수축율은 10.84%(Table 6)로 나타났다. 이때 금형설계 조건은 토련기로 압출성형방법으로 시편을 성형하여 측정한 결과로 나타났다.

Table 6. Test results of total shrinkage

	Total shrinkage(%)				
	FNS-0	FNS-5	FNS-10	FNS-15	FNS-20
Average shrinkage(%)	11.78	10.98	10.06	10.84	10.66

4.5 전통한식 기와 동결융해성 시험결과

내동해성 시험은 KS F 3510에 따라 총 30회 동결융해를 실시하였으며, 그 결과 모든 배합조건(FNS-0, FNS-5, FNS-10, FNS-15, FNS-20)의 기와에서 외관의 균열이나 박리 등의 결점이 발생하지 않았다. KS 기준에서는 내동해성 시험은 10회 이상으로 규정되었으나 총 30회 실시한 바, 결점이 발생하지 않았기에 충분한 내동해성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

4.6 전통한식 기와 SEM 분석결과

점토기와의 최적배합을 도출하여 해당 시험편을 각각 1,125°C 소성온도별 결정상 미세구조의 변화를 SEM사진으로 분석한 결과는 Figure 4과 같이 나타났다. 소성온도 1,125의 경우, Figure 4(a)와 같이 전체적으로 점토광물의 유형인 Mullite상이 서서히 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, (b)의 경우 5%의 FNS는 점토와 MAS의 Flux 액상으로 용착된 상태에서 서서히 결정성장 SEED가 확인 가능한 상태로 나타나기 시작하였다. Figure 4(c)는 재결정성장이 S양금처럼의 SEED를 확인 가능한 상태로 나타나기 시작하였다. 그리고 Figure 4(d)의 경우, FNS가 15%로 점점 액상이 증가함으로 내부결정은 선명하게 확인하였다. 이는 일부 결정이 석출되고 결정성장의 SEED가 전체적으로 확인 가능한 상태가 되고 Mullite 결정상이 선명하게 주상 전체로 분포되어 나타났다. Figure 4(d)의 경우, 뚜렷한 침상결정의 성장을 확인할 수가 있었으며 특히 FNS 15%일 때 최적의 조건으로 확인하였다.

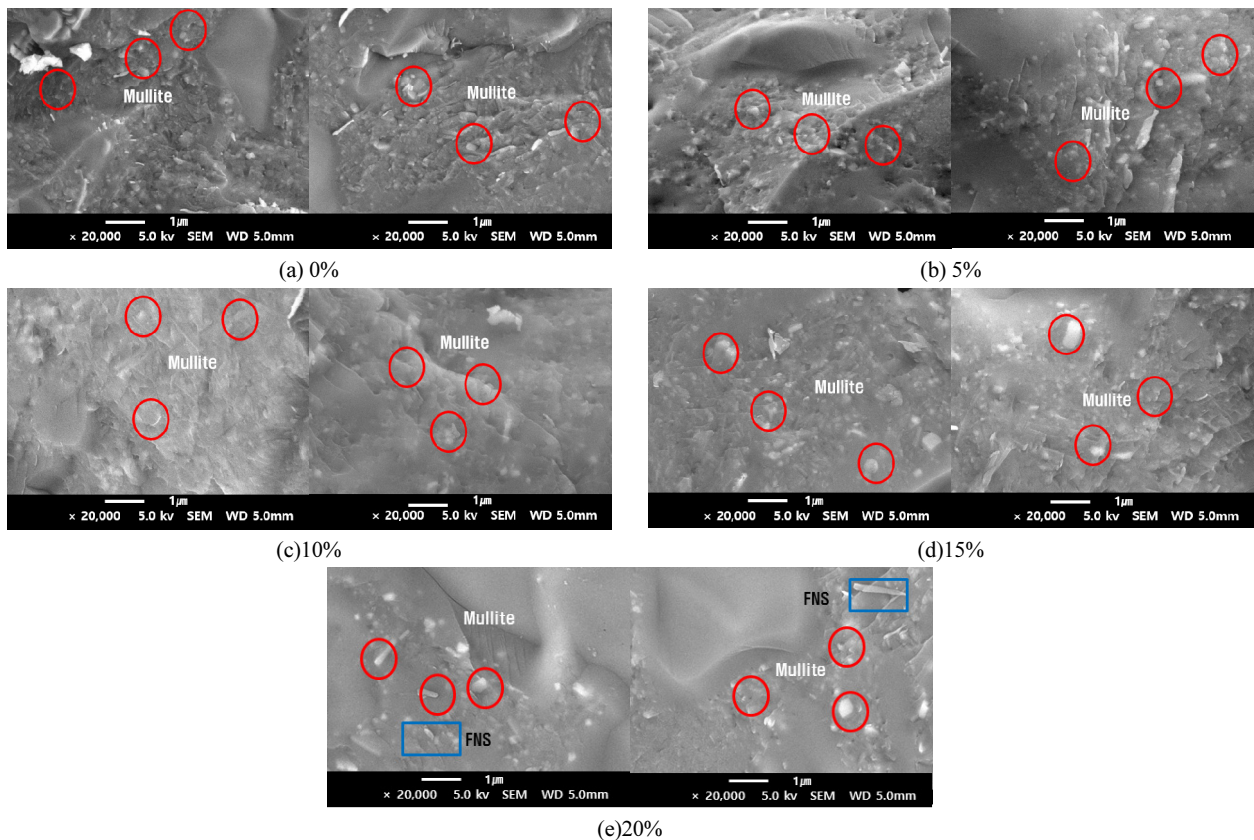


Figure 4. FNS 0% to 20% addition SEM 20000 magnification analysis result 1125°C calcined clay tile

또한 결정의 성장이후 전체적으로 유리액상이 용착되는 것을 확인 가능한 상태로 나타났으며 Mullite 결정상이 유리상으로 완전히 코팅되는 형태로 나타났다. Figure 4(e)의 경우는 과량의 FNS가 석출됨을 볼 수가 있었다.

4.7 전통한식 기와의 색상 고찰

주원료인 국내산 자철석을 포함한 점토는 환원소성 환경에서 짙은 흑색으로 점토기와의 발색하게 된다[11].

Figure 5에 나타난바와 같이 FNS첨가는 성분내의 함유하는 Fe_2O_3 9%정도로 소성온도 및 환경에 크게 영향을 받지 않으나 Fe_2O_3 함유한 점토와 혼합하였을 때는 짙은 흑색으로 발색하였다.



Figure 5. Photo of color change produced by oxidative firing and reduction firing according to the addition of FNS to clay roof tiles

5. 결론

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 본 연구를 통한 순환자원 FNS를 활용하여 전통한식 점토기와의 최적배합조건은 중량기준으로 기와용 점토 64.5%, FNS 15.0%, MAS 5.5%, 고령토 15.0%로 나타났다.
- 2) 최적배합조건 FNS 15%에서 휨 강도는 12,102N로 나타났으며, 부피비중 2.15이하, 흡수율은 6.08%로 KS F 3510의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- 3) 특히 소성온도 1,125°C의 조건에서의 물성조건을 만족하는 범위를 찾기 위하여 저온소성의 용점을 낮추도록 MAS와 고령토를 첨가하는 조건으로 설정하였다. 또한 MAS 첨가량을 증가시켜 소성 및 강도가 증가할 수 있었으나 수축율의 증가로 향후 생산을 위한 가소성과 금형설계에 문제점을 고려한 최적배합을 설정하였다.
- 4) SEM사진 분석결과 MAS의 Flux에 의한 액상으로 용착된 상태에서 서서히 결정 성장의 SEED결정상이 나타났으며, 1,125°C 부근에서 재결정화로 이어져 점점 Mullite 결정이 증가되는 경향을 볼 수 있었다.
- 5) 최적의 배합 및 소성온도 조건에서 총 수축율의 변화는 10.84% 정도로 나타났다
- 6) 이에 본 연구에서 전통한식 점토기와는 FNS를 활용한 순환자원의 재이용과 점토, 고령토 MAS를 활용한 배합설계로, 지붕용 외장 마감재로 적용이 가능한 것으로 확인하였다.

본 연구에서 개발한 전통한식 점토기와는 고령토와 같은 천연 광물질이 갖는 우수한 특성과 순환자원 FNS 활용기술 및 조성·분쇄를 적용하여 전통한식 점토기와를 제조함으로써 흡수율 및 휨 강도 등 우수한 특성의 최적배합과 제조공정을 설계하고 이를 통해 전통한식 점토기와 개발에 관한 것으로 세라믹 건축자재의 개발이 가능하게 되었다.

요약


건설산업의 환경부하를 최소화하기 위해서는 건축 자재의 친환경성을 강화하고 내구수명을 연장하여 신축 및 철거를 최소화하는 필요성이 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 많은 한옥의 지붕 마감 공법이 제안되었지만 현재는 경제성, 무게, 내구성 등의 문제점으로 기존공법을 사용하는 추세이다. 한옥 건물의 지붕재로 사용되는 점토기와의 제조방법에 경주에서 생산된 기와용 점토와 고령토와 S사의 재활용 FNS(Ferro Nickel Slag) 활용하여 문제를 해결하고자 연구를 진행하여 한국전통 점토기와의 개발 특성과 재료를 연구하고 관련 기초자료를 제시한다.

키워드: 한옥, 페로니켈슬래그, 재이용, 전통한옥기와, 마그네시아 알루미노 실리케이트

Funding

This study is part of the results of the research fund support for the 2021 Chang-won University Research Support Project.

ORCID

Soon-Ho Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-1376-2309>

References

1. Kim EH, Yeo HJ, Lee YK. A study on reasonable policy direction for strengthening building safety. Seoul (Korea): Architecture & Urban Research Institute; 2016. p. 75-145.
2. Kim SH, Hong SW, Lee DW, Kim SW, Shin CH, Kim KT. On study of the energy analysis with mock-up house to HIP green home. Proceeding of the Architectural Institute of Korea; 2010 Oct 15-16; Daegu, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2010. p. 575-8.
3. KIM JE. Housing trends after COVID-19 [Internet]. Seoul (Korea): Korean Specialized Construction Newspaper; 2021 May 3. Available from: <http://www.koscaj.com/news/articleView.html?idxno=218456>
4. Song KL, Choi JL, Song JK, Cheon DY, Lee BY. Properties of eco-friendly korean traditional roof tile based on alkali-activated blast. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2013 Aug;15(4):77-83.
5. Kim SH, Choi JM. A study on the characteristics of low temperature sintering ceramic siding using natural minerals. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2019 Dec;35(12):149-56. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.12.149
6. Kim SH. A study properties of traditional korean roof tile by adding nano alumino silicate. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2020 Oct;20(5):425-32. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2020.20.5.425>
7. Park SH, Chu YS, Song H, Lee JK, Seo SK. Fabrication of Mg(OH)₂ from ferro-nickel slag. Resources Recycling. 2013 Feb;22(1):42-7. <https://doi.org/10.7844/kirr.2013.22.1.42>

8. Choi WJ, Kim HS, Ann KY. A study on the hydration characteristics and fundamental properties of ternary blended cement using ferronickel slag. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2020 Mar;8(1):39-48. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2020.8.1.39>
9. Lee KH. Characterization of flowable fill with ferro nickel slag dust. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2017 May;18(5):16-21. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.5.16>
10. Kim SH. Zero energy hip Green Home Construction Case and Energy Analysis. *Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*. 2011 Mar;01:279-88.
11. Choi JW, Han MS. Characteristics of Expression according to Iron Oxide Content in Ceramic Glaze. *Journal of Conservation Science* 2020;36(5):393-404. <https://doi.org/10.12654/JCS.2020.36.5.09>