

Sintering process에 의한 MSWI fly ash를 혼합한 一次粘土와 赤黃土 公試體의 特性[†]

柳承哲 · 權問先* · †朴商敏**

全北大學校, *湖原大學校, ** (株)多產環境

Characteristics of Specimens Made from Primary Clay and Red Hwangto with MSWI Fly Ash by Sintering Process[†]

Seung-Chol Yoo, Moon-Sun Kwon* and †Sang-Min Park**

Chonbuk National University

*Howon University

**Dasan Environment. Co. LTD.

요 약

본 연구는 소성공정으로 MSWI fly ash를 혼합한 일차점토와 적황토 공시체의 특성을 알아보기 위하여 진행되었다. 최대 20 wt% MSWI fly ash를 혼합한 공시체는 SEM, UTM, ICP 등의 방법으로 분석되었으며, 그 결과 P₁₀공시체는 휨강도가 증가하였고, R₅공시체는 압축강도와 휨강도가 증가하였다. 또한 중금속 용출량도 기준치를 만족하였다. 이것은 MSWI fly ash가 소성공정에 의한 벽돌제조에서 기존 재료의 부분대체에 적합하다는 것을 나타내는 것이다.

주제어 : 소각비산재, 공시체, 일차점토, 적황토

Abstract

This research investigates the feasibility of ceramic specimens made from Primary clay and Red Hwangto with MSWI fly ash. Specimens produced by mix-design maximum 20 wt% MSWI fly ash were analysed by SEM, UTM, ICP, etc. As a result of measurement, P₁₀ specimen was improved on bending strength and R₅ specimen was improved on compressive and bending strength. Also amount of extracted heavy metal was suitable for regulatory limits. This indicates that MSWI fly ash is indeed suitable for the partial replacement of ceramic materials in bricks.

Key words : MSWI fly ash, Specimen, Primary clay, Red hwangto

1. 서 론

폐기물 처리방법 중 소각처리는 좁은 국토의 효율적 활용 측면에서 매립처리의 부지확보 및 2차적인 환경문제 해결의 대안으로 제시되고 있으며, 또한 기술수준의 향상으로 소각장 가동시 발생하는 폐열로 전기를 생산하는 등 효율적이고 환경 친화적인 방향으로 발전하고 있

다. 전체 폐기물의 효율적인 처리를 위하여 2011년까지 환경부는 폐기물에 대한 관리계획으로 매립을 17%로 줄이고, 소각은 30%로 늘리는 계획을 수립하여 지속적으로 소각시설을 확충하고 있다.¹⁾

2007년에 우리나라의 35개 대형소각장으로 반입되는 생활폐기물의 양은 약 278만톤을 넘어섰다. 이 많은 생활폐기물을 소각하여 발생한 소각재의 양은 약 52만톤으로 소각전 중량의 18.7%이다. 소각재는 소각바닥재와 소각비산재로 구분되어지는데, 바닥재가 83.6%이고, 비산재가 17.4%를 차지하고 있다. 이렇게 발생한 소각재

[†] 2008년 9월 29일 접수, 2008년 11월 18일 1차수정
2010년 1월 11일 2차수정, 2010년 2월 18일 수리

[‡] E-mail: kpsm@sunchon.ac.kr

는 대부분 매립에 의존하고 있으며, 그 처리비용도 133 억원으로 2003년에 비하여 35.7% 증가하였고 제한된 매립용량과 대량 재활용방법의 부재로 처리비용은 가파르게 증가할 것으로 예상된다. 또 소각바닥재와 소각비산재의 재활용률은 각각 11.1%, 9.0%로 2003년도에 비해 소각바닥재는 2배 이상, 소각비산재는 13배 이상 증가하였으나 아직도 전체발생량의 10% 수준에 머무르고 있는 실정이다.²⁾

암석이 풍화작용, 열수작용(Hydrothermal action)을 받아서 변질하면 점토가 생겨나는데 이를 카올린화(Kaolinization)라고 한다 이렇게 생긴 카올린이 풍화작용을 받은 곳 또는 그 근처에 남아있을때는 이 점토를 일차점토 또는 잔류점토(Residual)라고 부른다. 이 일차점토가 바람과 물의 작용으로 멀리 떨어진 곳으로 이동하게 되면 따로 퇴적(Sedimentation)하게 된다. 이와 같이 분리되어, 입자가 작은 점토가 퇴적하여 생긴 점토를 이차점토 또는 퇴적점토(Sedimentary clay)라고 부른다. 일반적으로 황토는 우수한 통기성과 습도조절능력, 항곰팡이 성능, 탈취성능, 적조방지능력, 실온유지능력, 방열효과, 우수한 원적외선 방사량 등의 장점 때문에 특히 우리주변에서 주거문화와 연관해서 많이 활용되고 있으며, 항장분야에서도 황토의 장점을 이용해 제품이 많이 활용되고 있다.³⁾

소각재중 소각비산재를 재활용하기 위한 연구로 Polettine 등은 장석을 생산할 때 나오는 폐기물과 유리조각, 비산소각재를 혼합한 혼합물을 고온으로 처리한 결과, 열처리후에도 납, 카드뮴, 아연은 여전히 주요한 관심대상이라고 보고하였다.⁴⁾ Hadal 등⁵⁾과, Li 등,⁶⁾ 박 등,⁷⁾ 이 등,⁸⁾ 정 등⁹⁾은 소각재를 플라스틱에 혼합하여 강화재로서의 활용을 연구하였다. Lin¹⁰⁾은 소각비산재 슬래그를 벽돌공정에 적용하였을때 흡수율은 감소하고 압축강도는 증가하였으며, 부분적으로 점토의 대체재로 적합하다고 보고하였다. 시멘트대체재로 활용하기 위한 연구로는 김 등¹¹⁾은 도시폐기물 소각비산재를, 송 등¹²⁾은 소각바닥재를 시멘트대체재로 사용한 콘크리트의 특성을 연구한 결과 소각비산재는 5%, 소각바닥재는 10~20%를 대체했을때가 가장 효율적이라고 보고하였으나, 늘어나는 발생량에 비해 활용방안에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 소각비산재에 의한 환경오염문제, 매립에 따른 문제해결 및 폐기물의 재활용을 목적으로 도시폐기물 소각비산재와 일차점토, 적황토를 배합설계에 따라 혼합하여 세라믹제품으로의 공시체를 제작한

후, 그 특성을 분석하고 안정성을 평가하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 실험재료

본 연구에서 사용할 소각비산재를 충남 천안시에 소재한 200ton/day 규모의 도시 생활폐기물 자원회수시설에서 채취하였다. 소각비산재를 제외한 다른 재료들 중 일차점토는 경남산청에서 채취되어 Ceramics 제품을 만드는 전북 여산소재의 H공장의 원료를 사용하였고, 적황토(赤黃土)는 전북 여산의 야산에서 채취하여 채가름하여 사용하였다.

적황토(赤黃土)는 풍화작용의 산물이며 1차광물은 석영, 장석, 운모 등이며, 2차광물은 녹니석(Chrolite)과 카올리나이트이다.¹³⁾

2.2. 실험재료의 특성

일차점토(Primary clay), 적황토(Red hwangto), 소각비산재(MSWI fly ash)의 화학적조성을 EDX(Energy Dispersive X-Ray Spectrometer)로 분석한 결과는 Fig. 1에, XRD분석결과는 Fig. 2에 나타내었다. 소각비산재가 다른 재료들과 다른점으로는 CaO의 함량이 높고 이산화규소, 산화철의 함량이 다소 낮았는데 이는 소각장에서 소각공정중에 생석회를 다량 사용하기 때문에 소각비산재에서도 그 성분이 다량 포함된 것으로 판단된다. Fig. 1의 (a)와 (b)에서 일차점토와 적황토에서는 SiO₂가 각각 62.9, 53.0%이고 Al₂O₃가 각각 23.4, 23.1%로 주 성분임을 나타내고 있다. 소각비산재의 입도분포를 보면 입자크기의 범위는 1.2~166 μm이며 4.18 μm이하의 입자는 10%이하이고, 53.35 μm이하의 입자가 90%이하로 대다수를 차지하며 평균입자의 크기는 18.08 μm이었다.

Fig. 2 (a)에서 primary clay는 Kaolinite인 Al₂Si₂O₅(OH)₄와 Andisine, Quartz, Indialite 등이 peak를 나타내었고, red hwangto는 Quartz, Montmonillonite인, Halloysite, Muscovite의 광물이 peak를 나타내었다.

2.3. 제작방법

공시체(供試體)를 제작하기 위해서는 실험에 사용되는 재료인 소각비산재, 일차점토, 적황토를 일정한 비율로 혼합후 제작해야 하는데, 소각비산재의 혼합에 따른 특성을 알아보기 위하여 적황토와 일차점토에 소각비산재를 각각 0~20wt%까지 5 wt%씩 양을 늘려서 혼합하

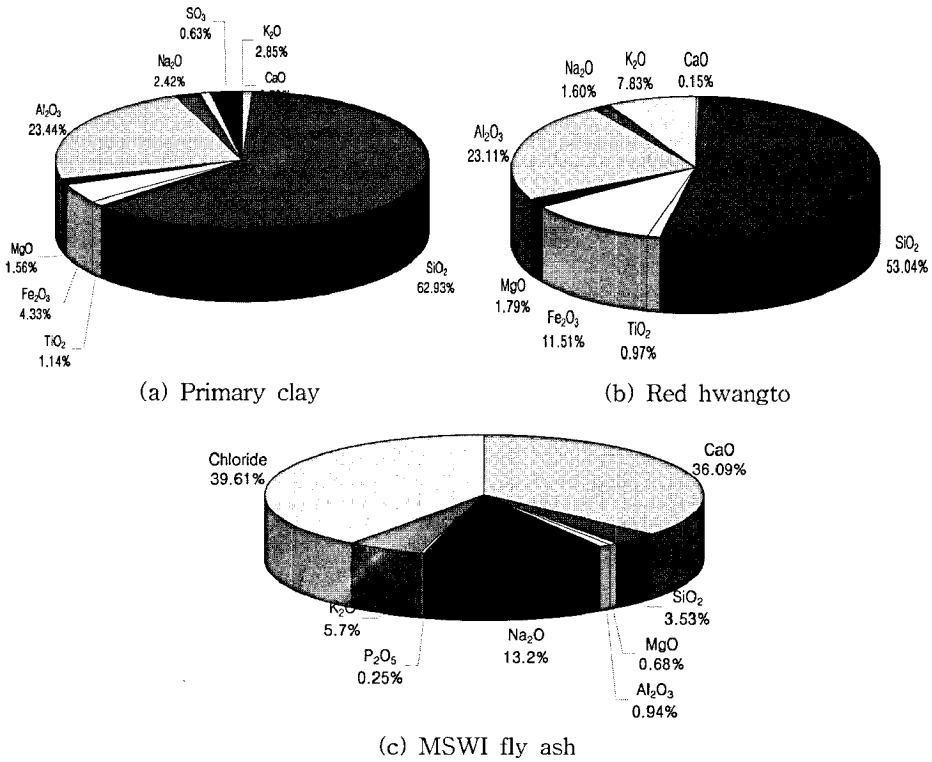


Fig. 1. Chemical composition of the experimental materials.

여 공시체를 제작하였다. 그 비율에 따라서 P₀~P₂₀까지, R₀~R₂₀로 제작하였으며 그 혼합비율을 Table 1에 나타내었다.

공시체는 세라믹재료인 점토벽돌의 제작방법인 KS L 4201 방법으로 제작되었으며, 각 재료별로 무게비로 고르게 혼합한 후에 적당량의 증류수를 뿌린 후 기계적특성의 분석에 적합한 성형볼드로 Fig. 3의 과정을 거쳐서 제작되었으며, 완성된 시편의 사진은 Fig. 4에 나타내었다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 공시체의 절단면 분석

일차점토, 적황토에 소각비산재를 0~20 wt.%로 혼합하여 제작된 공시체의 물리특성 및 파단면을 관찰하기 위하여 순간적으로 파쇄한 조각을 SEM(Scanning Electron Microscope: JSM-6400)으로 단면의 형태와 표면을 관찰하였다.

2.4.2. 강열감량 및 흡수율

강열감량을 측정하는 이유는 소각 잔사 중에 남아 있

는 미연분의 중량%를 나타내는 값으로 소각처리에 있어서 무공해화, 안정화의 정도를 나타내는 지표이고 매립처분시에도 유기물의 함량 및 매립가스의 발생량 등을 평가하는데 중요한 항목이기 때문이다.¹⁴⁾

흡수율은 시료 내부의 공극과 표면의 상태에 따라 변화한다. 수분 흡수 정도는 동결·융해 저항성, 내화학적과 같은 성질에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 항목으로, 시험방법은 KS L 4201의 방법에 따라 측정하였다.

2.4.3. 기계적강도

본 연구에서 강도시험은 UTM(Universal Testing Machine) 만능시험기(SHIMADZU, UH-100A)를 사용하여 각 시편의 기계적강도를 측정하였다. 휨 강도시험은 KS F 2413, ASTM C190방법에 의하여 시험하였으며 Limit Load는 2ton으로 하였고, 압축 강도는 KS F 2408, 2422에 따라서 휨 강도 측정 후 그 공시체를 사용하여 측정하였으며 Limit Load는 50ton으로 하였다.

2.4.4. 중금속 용출

본 연구에서 중금속용출시험은 우리나라의 KSLT(Korean

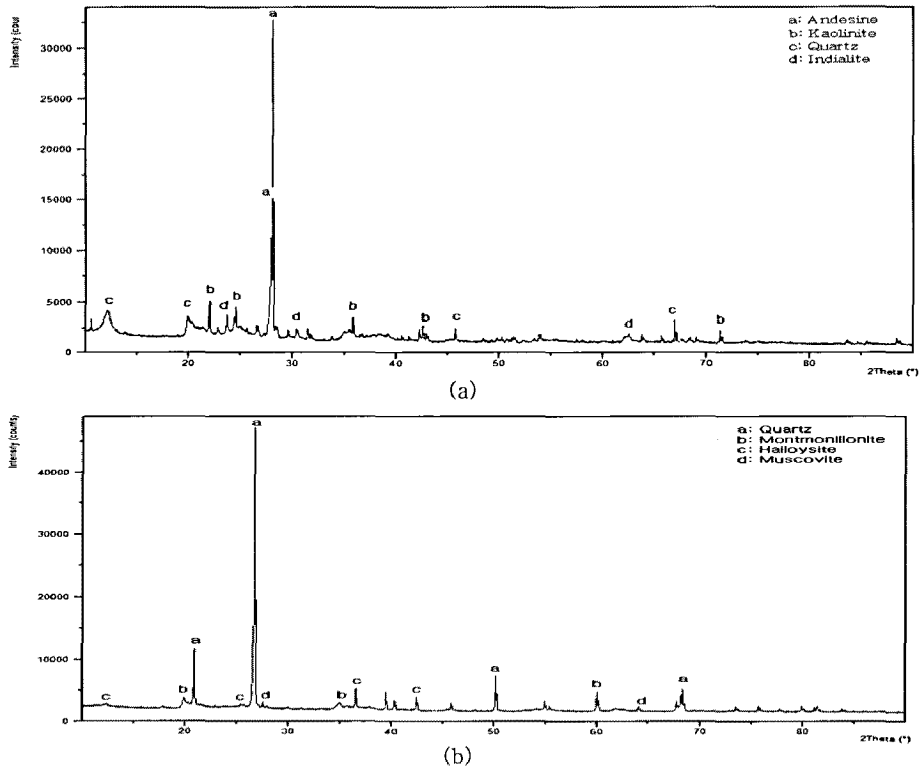


Fig. 2. XRD patten of primary clay(a) and red hwangto(b).

Table 1. Mix-design of the MSWI fly ash, Primary clay and Red hwangto for the production of specimen <Unit :%>

MSWI fly ash	0	5	10	15	20
Primary clay	100(P ₀)	95(P ₅)	90(P ₁₀)	85(P ₁₅)	80(P ₂₀)
Red hwangto	100(R ₀)	95(R ₅)	90(R ₁₀)	85(R ₁₅)	80(R ₂₀)

Standard Leaching Test)방법과 미국에서 사용되는 TCLP (Toxicity Characteristics Leaching Procedure)방법을 사용하여 얻어진 용출액을 1 GFF와 0.7GFF를 이용하여 여과한후 그 여과액을 시험용으로 사용하였다.¹⁵⁾ 분석항목으로는 폐기물공정시험방법에 있는 Cu, Pb, Cd, As, Hg, Cr 6가지를 분석하였으며, 자세한 분석방법은 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 미세구조고찰

소각비산재를 일차점토와 적황토에 혼합후 1200로 소성하여 제작된 공시체의 파괴 단면을 주사 전자현미경 (SEM)으로 촬영한 사진을 Fig. 5, 6에 나타내었다. 일

차점토는 다양하고 많은 크기의 원형모양의 입자들로 구성되어 있으며, 소결성이 가장 높은 것으로 알려져 있으며, 타 시편과 비교하여도 더 치밀하게 형성되어 있으며 강도실험에서도 그 결과가 입증되었다.

P공시체의 경우 진한 갈색을 띄고 있는데 이는 일차 점토의 성분중 산화철이 무게혼합비가 증가함에 따라 고온으로 소성될 때 용제로서 역할을 하여 소결성이 증가되어 나타난 것으로 판단된다. 소성 후의 일차점토 시편의 단면은 소각비산재 혼합률이 많아짐에 따라 입자간 공극이 점점 줄어들어 P₁₅와 P₂₀의 경우 입자간 공극이 거의 보이지 않았고, 기계적공정이 아닌 수작업으로 제작성형 하였기 때문에 고온에서 공극팽창하여 불규칙적인 파괴단면이 나타났다. 적황토 공시체에서는 내부에 많은 기공이 있는 특성과 수작업으로 인한 압력이

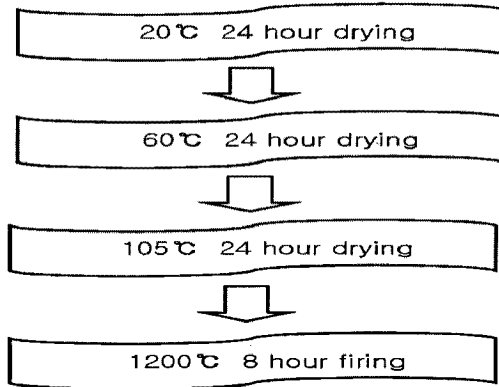


Fig. 3. Flowchart of specimen production.

충분치 않아 내부에 많은 공극이 나타났다.

R공시체의 경우 강도에서는 R₅가 가장 높아서 소결성이 좋을것으로 판단되나, SEM사진에서는 차이점이 분명하진 않았다. 그리고 소각비산재의 비율이 증가함에 따라 용융정도도 증가했으며 고온소성으로 인해 내

부 공극의 팽창으로 불규칙적으로 기공이 형성되었는데 이는 강도 저하의 원인이 될 수가 있다.

3.2. 강열감량

강열감량은 50ton/day 규모이상의 대형소각시설의 경우 10%이내로 규제하고 있으며, ASTM에서는 5~6%이하로 규정하고 있다. 이는 대부분이 연소가 안된 탄소가 원인으로 제품생산시 강도저하의 원인이 되기 때문이다. 실험재료의 강열감량을 Fig. 7에 나타내었으며, 소각비산재의 경우 10.4%로 10%를 초과하고 있다. 이는 소각비산재가 대기중의 이산화탄소를 흡수하여 탄산칼슘을 생성한것이 원인인 것으로 판단된다. 황토의 경우 7.5%로 ASTM 기준을 초과했는데 황토는 실트 크기의 입자로 구성된 연황색-황갈색 퇴적물로서 균질하고, 비충상이며, 기공이 많으며 쉽게 부스러지는 성질을 가지고, 약한 점착력이 있으며, 석회질이 포함된 경우가 많으며, 황토는 유기물질을 상대적으로 많이 함유하고 있기 때문에 강열감량이 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

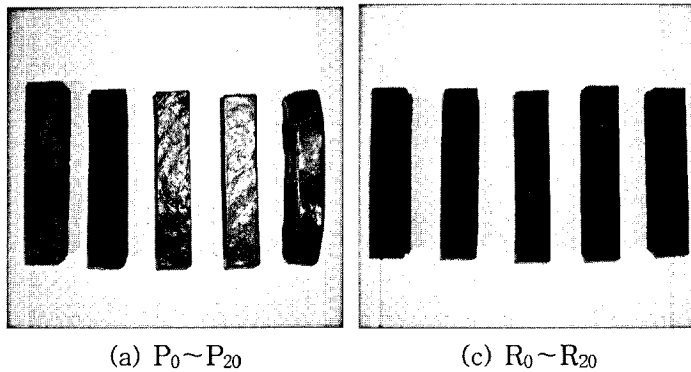


Fig. 4. Photograph of Specimens.

Table 2. Method of heavy metal extraction.

Condition \ Method	KSLT	TCLP
Liquid Solution(pH)	HCl(pH: 5.8~6.3)	Acetic acid(pH: 4.93 ± 0.05)
Liquid:Solid Ratio	10 : 1	20 : 1
Size of Sample	0.5~5 mm	<9.5 mm
Temperature	21°C(room temp.)	22.3 ± 3
Agitation Apparatus	Shaking Stroke: 4~5 cm Speed: 200 rpm	Shaking Stroke: 4~5 cm Speed: 30 rpm
Leaching time	6 hours	18 hours
Filter size	1 μm GFF	0.8 μm GFF

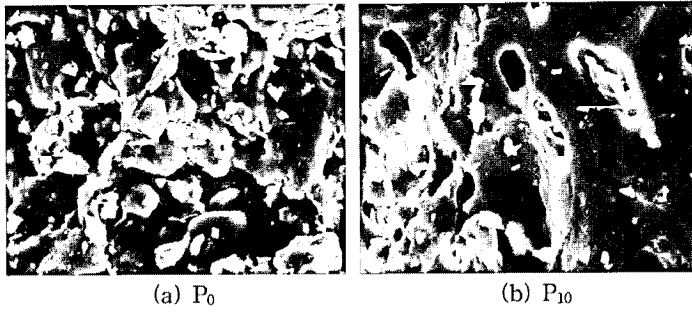


Fig. 5. SEM photograph of Primary clay specimens.

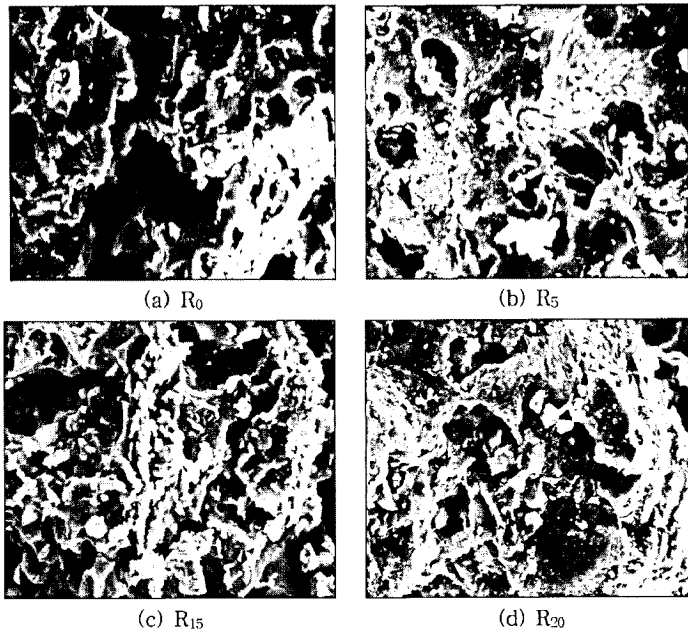


Fig. 6. SEM photograph of Red hwangto specimens.

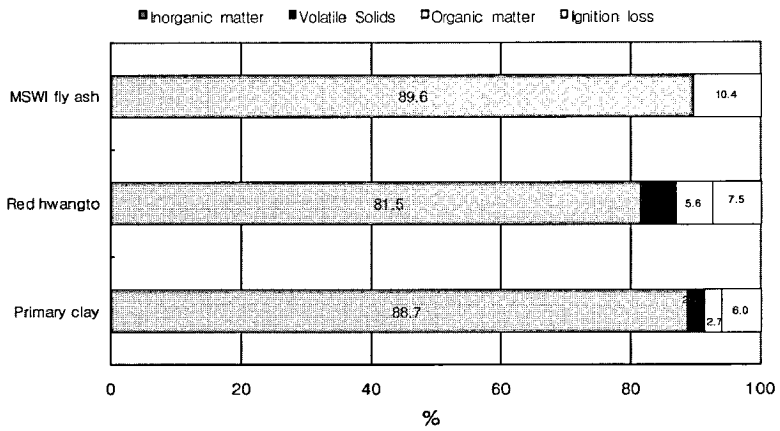


Fig. 7. Ignition loss of Primary clay, Red hwangto and MSWI fly ash.

3.3. 흡수율

제작된 공시체의 흡수율은 Fig. 8에 나타내었다. 소각비산재를 혼합하지 않은 P₀, R₀의 경우 각각 5.1%, 황토 13.4%에서 P₂₀, R₂₀의 경우 각각 0.3%, 14.4%로 일차점토에 소각비산재의 혼합량을 증가시킨 P공시체는 흡수율이 감소하였고, 적황토에 소각비산재를 혼합시킨 R공시체는 R₅가 가장 낮았으며 그 이상을 혼합시켰을때는 증가하였다. 이것은 공시체 제작시 가압성형이 아닌 반죽 성형을 하였기 때문에 공시체의 표면 및 내부에 불규칙적 공극들이 형성되고 소각비산재의 분산도가 낮아 공극의 연결성이 형성되어 결과적으로 높은 흡수율을 나타낸 것으로 보여진다. P공시체의 경우 P₀가 5.1%, P₂₀는 0.2%의 흡수율을 나타냈는데, 이는 입자의 크기가 작고, 유기질물질을 많이 함유하고 있는 가소성(可塑性)이 큰 점토의 특징에 있다. P공시체를 보면 비산재의 혼합률이 높을수록 시편 표면이 광택을 띄고 있는 것을 볼 수 있으며, 이는 점토의 구성물질 중 알칼리 성분과 SiO₂, Al₂O₃의 반응에 의하여 생성된 유리 용융에 의해 시편의 표면이 광택을 나타낸다는 연구보고에도 나타나 있다.¹⁶⁾ 이 현상은, 소각비산재의 대표적인 처리방법중 하나인 열적 처리법에도 부합된다는 것을 나타내 주고 있다.¹⁷⁾ 1200°C에서 소성한 공시체들 중에서 P공시체의 경우 R공시체보다 상대적으로 높은 가소성 때문에 높은 소결성을 나타내 흡수율에도 영향을 준 것으로 판단된다.

3.4. 기계적강도

소각비산재를 적정비율로 혼합제작한 공시체의 압축

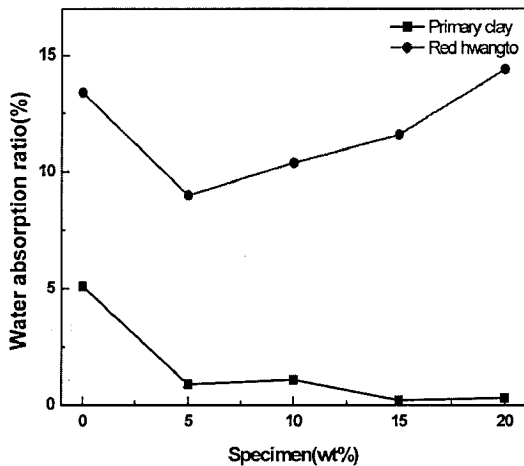


Fig. 8. Water absorption of Primary clay and Red hwangto specimens.

강도를 UTM으로 측정된 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 일차점토를 혼합한 P공시체에서 P₀는 69.9MPa이고, P₂₀는 64.8MPa로 혼합량이 증가함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 나타냈다. 적황토를 혼합한 R공시체에서는 P₅가 29.2MPa로 가장 높은 강도를 나타냈으며 그 이상이 혼합될수록 강도가 낮아졌으며 15%이상이 혼합되면 점토자체의 강도보다 낮게 측정되었다.

한국점토벽돌공업협동조합(KCBIC)에서 제정한 규격에 따르면 1종점토벽돌의 압축강도는 27.4MPa 이상, 2종은 24.5MPa 이상, 3종은 22.5MPa로 규정되어 있는데 P시편과 R시편 중 R₁₅, R₂₀만 1종점토벽돌의 규정을 만족시키지 못하였으나 그 차이가 미미하여 생산공정에서 충분히 만족시킬 수 있는 수치로 판단된다. 그 이유로는 공시체 제작시 가압프레스나 진공가압프레스를 사용하지 않고 수작업에 의한 반죽성형으로 성형시 압력이 불충분하여 공시체 내부에 공극이 생겨 강도저하를 유발시켰기 때문으로 판단된다.

소각비산재를 적정비율로 혼합제작한 시편의 휨강도를 UTM으로 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. P공시체의 경우 소각비산재가 10%혼합된 P₁₀이 가장 높게 나타났으며, R공시체는 5%혼합된 R₅가 가장 높게 측정되었다. 두 공시체 모두 증가 후 감소하는 결과를 나타내었는데, 증가의 경우는 재료의 유리화에 따른 시편내부의 결정화도가 증가한것이 원인으로 판단되며, 감소의 경우는 소각비산재가 완전혼합이 안되고 분산화가 완전히 되지 못한 것이 원인으로 나타났다.

실험에 사용된 모든 시편에서 염화물의 영향은 나타

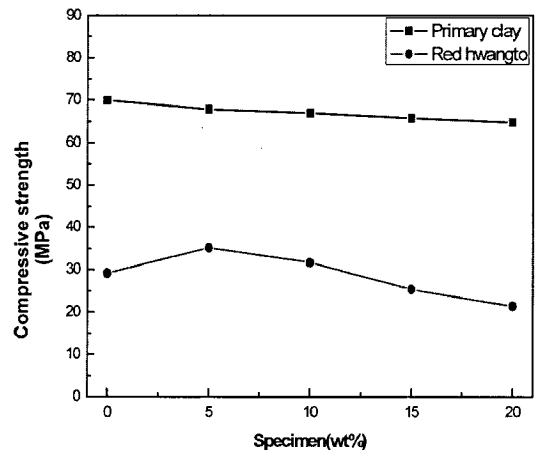


Fig. 9. Compressive strength of Primary clay and Red hwangto specimens.

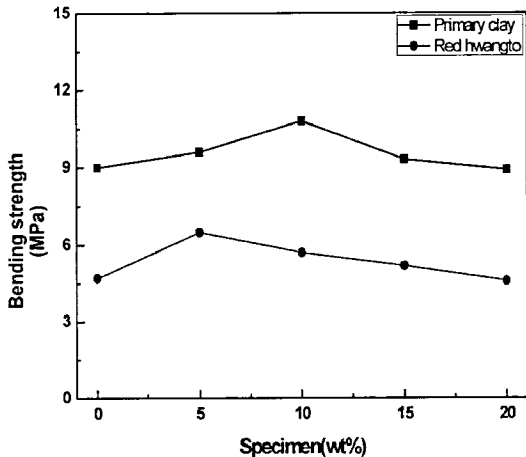


Fig. 10. Bending strength of Primary clay and Red hwangto specimens.

나지 않았는데, 이는 재료를 소각장에서 수거후 창고에서 약 한 달의 숙성기간을 거치면서 안정화되었기 때문이라고 판단되며, 이의 정확한 검증을 위해서는 장기적인 관찰과 모니터링 등의 추가 실험이 필요할 것으로 사료된다.

3.5. 중금속용출

일차점토와 적황토에 소각비산재를 혼합한 P와 R공시체를 KSLT, TCLP법 두가지의 중금속용출시험법으로 분석한 결과를 Table 3, 4에 나타내었다. 용출시험 기준농도로 보면 우리나라의 용출시험 기준농도가 미국인

EPA 기준농도에 비해 더 엄격하게 규제하고 있으나 용출조건이 다르기 때문에 단순수치로 비교하기는 어렵다고 할 수 있다. 크롬, 카드뮴, 수은의 경우는 모든 공시체에서 전혀 검출되지 않았으며, 구리는 기준치의 1/10 미만의 값을 나타내었다. 비소는 기준치의 기준치의 수십배 이하의 적은 양이 검출되었고, 납도 마찬가지였다. 이는 고온에서의 소성으로 유리화가 진행되어 안정화 되었음을 나타내주고 있다.

4. 결 론

소각비산재에 의한 환경오염문제, 매립에 따른 문제해결 및 폐기물의 재활용을 목적으로 도시폐기물 소각비산재와 일차점토, 적황토를 배합설계에 따라 혼합제작한 공시체의 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공시체의 SEM분석결과 소각비산재의 혼합률이 증가함에 따라 소성에 의해 소결성이 증가되었으며 입자간 공극도 감소한 것으로 나타났다. 다만 수작업에 의한 반죽성형으로 인한 불규칙적이 공극이 관찰되었고 이는 부분적인 강도저하의 원인으로 판단된다.

2. 소각비산재의 강열감량은 일반토양에 비해 높은편인데 이는 대기중의 이산화탄소를 흡수하여 탄산칼슘이 생성되었기 때문이며, 황토의 경우 황토고유의 특성과, 석회질의 함유로 강열감량이 다소 높게 나타났다.

3. P공시체는 입자가 작고 가소성이 점토의 특징 때문에 소각비산재의 혼합률이 증가함에 따라 흡수율이

Table 3. Heavy metal extraction of specimens by KSLT

<Unit : mg/l>

Item	Kind	KSLT					
		P ₀	P ₁₀	P ₂₀	R ₀	R ₁₀	R ₂₀
Cu		0.106	0.286	0.241	0.102	0.144	0.218
As		0.034	0.031	0.037	0.031	0.031	0.036
Pb		0.006	0.042	0.021	N.D	N.D	0.001

※ Cr, Cd, Hg : Not detected

Table 4. Heavy metal extraction of specimens by TCLP

<Unit : mg/l>

Item	Kind	TCLP					
		P ₀	P ₁₀	P ₂₀	R ₀	R ₁₀	R ₂₀
Cu		0.076	0.074	0.076	0.090	0.098	0.092
As		0.029	0.035	0.018	0.041	0.036	0.038
Pb		0.005	0.008	0.002	N.D	0.006	N.D

※ Cr, Cd, Hg : Not detected

감소했으며, R공시체보다 더 낮은 흡수율을 나타냈다.

4. 소각비산재의 혼합률이 증가함에 따라 P공시체의 압축강도는 감소하였으며, R공시체는 R₅시편이 가장 높은 강도를 나타내었다. 휨강도는 P공시체의 경우 P₁₀이 가장 높게 나타났으며, R시편은 R₅가 가장 높게 측정되었다. 따라서 소각비산재를 부분사용하여 세라믹 제품의 제조시 적합하다고 판단된다.

5. 중금속용출시험에서 크롬, 카드뮴, 수은은 불검출되었으며, 구리, 비소, 수은은 기준치를 하회하는 값을 나타내었다. 이는 고온에서의 소성으로 유리화가 진행되어 안정화되었음을 나타내주고 있다.

사 사

본 논문은 호원대학교 교내 학술연구조성비의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박성부, 2003: 최신 폐기물 처리공학, 성안당.
2. 전국생활폐기물소각시설운영협의회, 2008: 2007년도생활 폐기물 자원회수시설운영현황, 환경부.
3. 박상민, 2007: 도시폐기물 소각비산재의 재활용 및 세척수 유해성분 제거특성에 관한 연구, 전북대학교 대학원, 박사학위 논문.
4. A. Poletini, R. Pomi, L. Trinci, A. Muntoni, and S. Lo Mastro, 2004: Engineering and environmental properties of thermally treated mixtures containing MSWI fly ash and low-cost additives, *Chemosphere* **56**, pp. 901-910.
5. R. S. Hadal, and R. D. K. Misra, 2004: The influence of loading rate and concurrent microstructural evolution in micrometric talc-and wollastonite-reinforced high isotactic polypylene composites, *Materials Science and Engineering*, **A374**, pp. 374-389.
6. Park, S. M. and Kim, H. G., 2006: Characteristics and Strength Evaluation of the Mixed Material of Fly ash from Municipal Solid Waste Incinerator and the Recycled

- Polypropylene, *Environmental Engineering Research*, Vol. 11, No. 5, pp. 257-265.
7. Y. Li, Q. F. Fang, Z. G. Yi, K. Zheng, 2004: A study of internal friction in polypropylene(PP) filled with nanometer-scale CaCO₃ particles, *Materials Science and Engineering*, **A 370**, pp. 268-272.
8. 이종훈 등, 2003: 몬모릴로나이트로 강화된 폴리프로필렌 나일론 나노복합재료의 난연특성 및 기계적 특성, *Polymer(Korea)*, **27(6)**, pp. 576-582.
9. 정정조, 김영규, 2004: 제지 폐수슬러지 소각재와 페플라 스틱 혼합체의 공학적특성, *대한토목학회논문집*, **23(2B)**, pp. 171-175.
10. Kae Long Lin, 2006: Feasibility study of using brick made from municipal solid waste incinerator fly ash slag, *Journal of Hazardous Materials B137*, pp. 1810-1816.
11. 김혁중, 배주성, 2008: 도시쓰레기 소각비산재를 활용한 콘크리트의 특성연구, *한국폐기물학회지* **25(4)**, pp. 339-345.
12. 송준호, 배주성, 2006: 도시쓰레기 소각 바닥재를 시멘트 대체재로 활용한 콘크리트 특성에 관한 연구, *한국폐기물학회*, **23(4)**, pp. 309-315.
13. 정두영, 2008: 황토와 적황토는 다르다, *한국지반공학회지*, Vol. 24, No. 3. pp. 54-56.
14. 환경부, 2004: 폐기물 공정시험방법주해, 신평문화사.
15. Bricka. R. M., Holmes. T. T., and Clulinane. J., 1991: A Comparative Evaluation of Two Extraction Procedure : The TCLP and the EP, EPA/600/2-91/049, U. S. EPA, Cincinnati, Ohio.
16. 김경남, 권재혁, 신대용, 2001: 석탄회-점토계의 세라믹스 벽돌제조, *한국폐기물학회지*, **18(5)**, pp. 459-467.
17. Boccaccini, A. R., Kopf, M. and Stumpfe, W., 1995: Glass-Ceramics From Filter Dusts From Waste Incinerators, *Ceramics International*, **21**, pp. 231-235.

柳承哲

• 2009년 전북대학교 토목공학과 박사

權問先

• 현 호원대학교 토목공학과 교수

朴商敏

• 1995년 명지대학교 화학공학과 학사
• 2007년 전북대학교 토목공학과 박사
• 현 (주)다산환경 책임연구원
