

석탄회-점토계 벽돌소지의 곡강도와 미세구조

이기강, 김동원

경기대학교 재료공학과, 경기도 수원시, 440-760

Bending Strength and Microstructure of Brick Body from Fly-ash and Clay Mixture

Ki Gang Lee and Dong Won Kim

Department of Materials Science and Engineering, Kyonggi University, Suwon, 440-760, KOREA

요약

대용량 석탄 화력 발전소의 계속적인 가동 개시와 함께 석탄회 발생량은 연간 약 200만톤에 달하고 있다. 매립비의 상승, 환경 문제와 석탄회 발생량의 증가 때문에 석탄회 재사용에 대한 요구가 높아지고 있다.

본 논문은 석탄회와 점토를 혼합하여 제작된 벽돌소지에 대하여, 곡강도와 미세구조와의 관계를 검토했었다.

기공의 크기와 양, 기공과 기공을 연결하는 기지의 소결정도, 조립 석영입자에 의한 균열이 곡강도와 밀접한 관계가 있음을 밝혀냈으며, 석탄회가 15wt.% 첨가된 시편이 전 소성온도 범위에서 우수한 곡강도를 보였다.

ABSTRACT

Owing to consecutive start of operation of large-scale coal-fired power plants in Korea, the ash production amounts to about 2 million tons per year. The impact of rising disposal costs, looming environmental problems and increased ash tonnages has heightened the concerns about coal ash utilization.

The paper mainly describes the correlation between bending strength and microstructure of brick body from fly ash and clay mixture.

The results show that bending strength depends mainly on the size and quantity of pore, the sinterability of matrix, and the crack due to the coarse quartz grain, and that the brick body added 15 wt.% fly ash has the best bending strength over the whole firing range.

1. 서 론

석탄은 전 세계의 매장자원중 장기간 채굴가능하고 지역적으로 가장 넓게 분포되어 있는 화석연료의 일종으로서 에너지의 안정적 공급이라는 정책적인 차원에서 석탄화력 발전소의 신규건설이 증대됨으로서 석탄의 사용량은 지속적으로 늘어날 전망이다. 그리고 한국전력공사의 장기전원 개발계획에 의하면 무연탄 사용량은 점차적으로 줄이는 반면 유연탄 화력설비는 1996년에 718만KW, 2001년에 1,172만KW를 계획하고 있다.

석탄화력 발전과정에서 부산물로서 생성되는 석탄회는 원탄량의 15~40% 비율로 생성되기 때문에 설비 용량 기준으로 연간 약 200만톤, 1996년에는 연간 약 400만톤이 생산될 것으로 예측하고 있다. 석탄회는 크게 분류하여 bottom ash와 fly ash로 나타낼 수 있으며 bottom ash는 석탄회 총 발생량의 10~25%이며 fly ash는 75~90%를 차지한다. 이러한 석탄회는 폐기물 관리법에 의거 일반 폐기물로 분류되어 있어 이들을 처리하는데 많은 어려움이 있으며 부적절한 처리로 인한 환경에 여러 가지 문제점을 야기시키고 있다. 그러므로 폐기물의 재활용과 폐기물의 감량정책의 일환으로서 이들 석탄회의 재사용 방안은 공공차원에서 연구가 계속되어야 할 것이다[1].

미국에서는 1937년부터 fly ash라는 이름으로 연구가 활발해 졌으며, 1940년 콘크리트 혼화재료로서 fly ash를 땅공사에 활용하게 되었다. 또 일본은 1955년부터 시멘트, 콘크리트 혼화재로 이용량이 급격히 증가하였으며, 영국

은 1957년 이후 석탄회 이용을 의무화하면서 조직적인 판매 활동이 전개되는 등 선진 각국에서의 연구개발은 매우 활발한 편이다[2-3]. 반면에 국내에서는 석탄회 재활용도가 약 10%정도밖에 안되는 미비한 실정으로 유효활용을 위한 연구가 시급한 시점이다. 국내 석탄회 연구의 방향은 대부분이 시멘트 및 콘크리트 혼화재로 이용되어 왔으며 이 용도면에서 그 활용이 단순한 편이었다.

본 연구에서는 석탄회로 적벽돌 및 습식타일의 원료인 저급점토를 대체하는 것을 목적으로 하며, 기존의 적벽돌 및 습식타일 제조공정을 변화시키지 않는 범위에서 석탄회의 치환 가능성을 검토하였다. 즉 저급 점토에 석탄회를 50wt.%까지 첨가하여 벽돌소지를 성형하였고, 소성된 시편을 KS규격에 따라 흡수율과 곡강도를 측정하였다. 또한 SEM 관찰을 통하여 곡강도에 미치는 미세구조의 영향을 분석하여 최대 치환량과 최적 조건을 규명하는데 의의를 두었다.

2. 실험방법

2.1. 원료

실험에 사용된 석탄회는 구미 화력발전소에서 나오는 석탄회로서 그 화학성분은 Table 1과 같다. 점토는 현재 대보 요업에서 습식타일을 제조하는 원료로서 본 실험에서는 이 점토에 대한 석탄회의 호환성을 검토하였다. XRD (PW 1830, Philips) 분석을 통하여 결정상 관찰을 하였고, X-ray sedigraph(MSG-1, Quantachrom)로 입도분석을 하였으며, SEM(SX-30E,

Table 1. Chemical analysis of fly ash and clay

	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ig.loss
Fly	0.08	0.72	Tr.	Tr.	19.22	0.90	54.40	0.61		25.07
Ash	0.07	0.71	0.23	0.13	21.26	1.14	52.37	0.72	0.33	22.46
Clay	0.52	2.05	0.21	1.18	14.43	5.41	69.21	0.73		6.56

Topcon)으로 석탄회 입자의 형태 및 크기를 분석하였다. 또한 계면 화학적 성질은 Zeta potential(Zeta-meter 3.0)을 측정하여 특성을 고찰하였다.

2.2. 성형 및 소성

원료조합은 점토에 대하여 중량비로 석탄회를 5% 단위로 50% 까지 치환하였으며, 조합된 원료를 혼합하기 위하여 pot mill에서 30분간 습식 혼합하였다. 혼합된 원료는 건조시켜 50g 씩 채취하여 윗면길이 20mm, 밑면길이 30mm, 높이 12mm, 길이 100mm인 사다리꼴 형태의 금형에 분말상태로 충진하여 1 ton/cm³ 압력으로 건식 가압 성형하였다.

성형된 시편은 전기로에서 1170°C, 1200°C, 1230°C, 1250°C, 1270°C로 각각 소성하였으며, 승온속도는 최고온도까지 승온하는데 11시간이 걸리도록 하였다. 또 각각 최고 온도에서 1시간씩 유지시킨 후 노냉하였다.

2.3. 물성측정

소성된 시편에 대하여 흡수율, 곡강도를 측정하였다. 흡수율은 KSL 3114에 의하여 측정되었으며 곡강도는 cross head speed 0.066mm/min의 속도로 3점법에 의하여 Instron(4204, National Instrument)으로 측정하였다.

2.4. 미세구조관찰

제조된 시편의 기계적 강도는 미세구조와 밀접한 관계가 있다. 따라서 미세구조를 관찰함으로써 강도의 예측과 강도를 증가시키는 방법도 고찰될 수 있다. 미세구조 관찰은 SEM으로 하였으며, 파단면을 polishing하여 입자의 형태 및 크기, 기공의 분포상태, crack(균열) 발생여부 등을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 석탄회 특성 분석

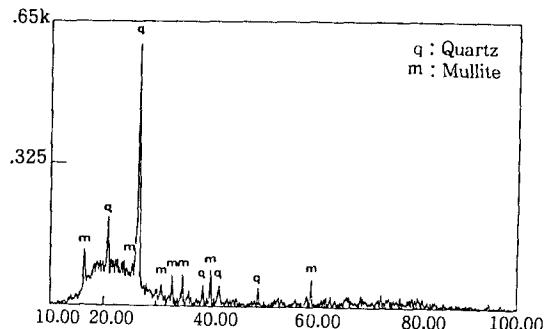


Fig. 1. X-ray diffraction analysis of fly ash.

Fig. 1은 석탄회의 XRD 분석결과이다. 석탄회는 Mullite($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)와 Quartz(SiO_2)의 두 결정상이 주 광상을 이루고, 나머지 결정상은 불순물 형태로 존재하여 XRD 분석이 불가능하였다. 석탄회는 주된 결정상이 Mullite와 Quartz로 구성되어 있으며, Table 1을 관찰하여 보면 조성상 알루미나와 실리카의 몰당량비가 1:4~1:5사이인 알루미노 실리케이트 광물임을 알 수 있으며 따라서 점토의 대체 원료로 가능하다는 것을 말해준다. 또한 점토는 약 600°C부근에서 결정수의 탈락으로 인한 수축이 크게 발생하는데 비하여 석탄회는 안정된 결정상인 Mullite를 포함하고 있으므로 수축은 거의 발생하지 않아서 소성시 균열을 방지할 수 있는 장점이 있다[4].

Fig. 2는 석탄회와 점토의 입도분석 결과이다. 석탄회는 10μm 이하의 입자가 약 50% 정도 존재하며 평균 입경이 15μm이며, 점토는 10μm 이하의 입자가 45% 정도 존재하며 평균 입경이 13μm이므로 석탄회와 점토의 입도크기 및 분포들이 정성적으로 잘 일치한다고 할 수 있다.

Fig. 3은 석탄회의 SEM사진인데, 입자형태가 구형이고 미세한 입자가 많아서 전형적인 석탄회 형태를 보인다[5-6]. 기공이 많은 큰 입자들은 미연탄소분이고, 미세한 구형 입자들은 Mullite와 Quartz로 판명되었다[3,7].

Fig. 4는 석탄회와 점토의 계면화학적 성질

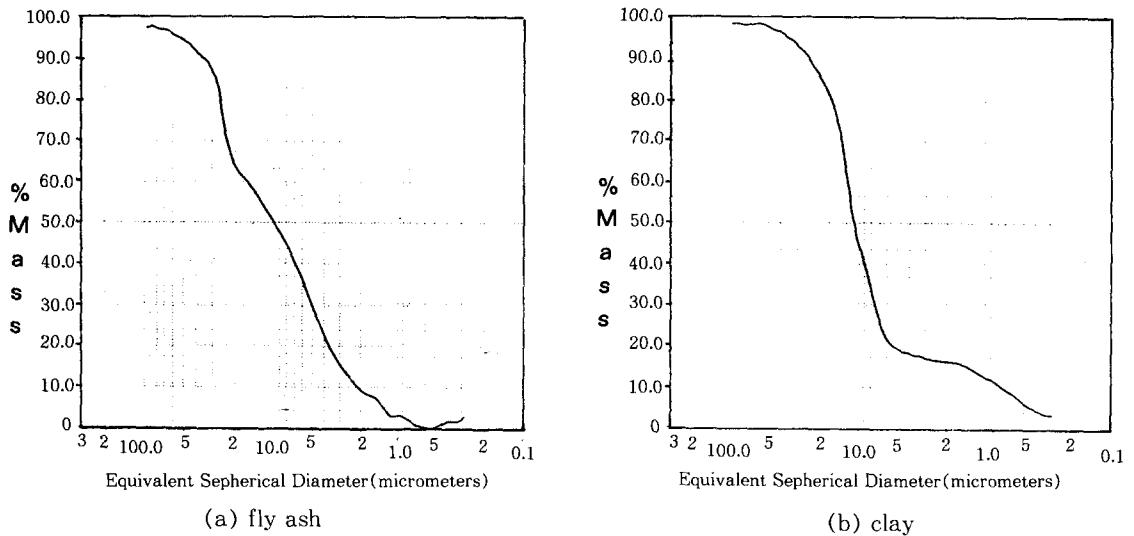


Fig. 2. Particle size distribution of fly ash and clay.

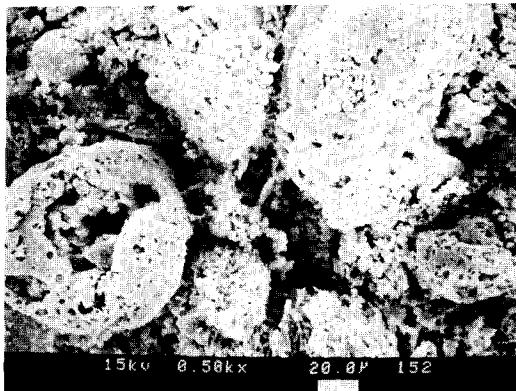


Fig. 3. SEM photograph of fly ash.

을 측정하기 위하여 Zeta potential 측정을 한 결과이다. Ceramic 입자가 물에 분산되었을 때 입자 계면에 정전기적 힘이 존재하며 이 힘은 Zeta potential에 비례한다. 이 정전기적 힘 때문에 입자와 입자사이에 인력과 척력이 존재하게 된다. 고전적 DLVO 이론에 의하면 Zeta potential이 클수록 전기이중층이 넓어져서 입자와 입자사이에 강한 척력이 존재하고 따라서

입자들은 응집하지 않고 고르게 분산될 수 있다. 따라서 Zeta potential이 큰 조건을 찾는다는 것은 입자를 고르게 분산시킬 수 있다는 것을 의미하며, 치밀하고 균일한 미세구조를 얻는 기본조건이 된다[8-10].

Fig. 4에서 보면 두 경우 다 Zeta potential이 0이 되는 점은 PH 3정도이며 PH 7에서는 최대값을 갖는다. 석탄회와 점토를 물에 분산시키면 PH가 약 6.5~7.5 정도가 되므로 응집이 일어나지 않고 잘 분산되어 균일한 혼합을 기대할 수 있다[11-12].

3.2. 소성특성

소성된 시편의 흡수율을 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 0%, 15%, 40%는 각각 석탄회 첨가량을 의미한다. 석탄회가 40wt.%까지 첨가된 시편들은 모두 흡수율이 14wt.%이하를 보이므로 KSL 4201의 벽돌 규격을 만족한다. 그럼에서는 점토 100wt.%(0%)와 석탄회 첨가한 시편 중 가장 좋은 흡수율을 보인 점토 85wt.%와 석탄회 15wt.%의 조합(15%)과 가

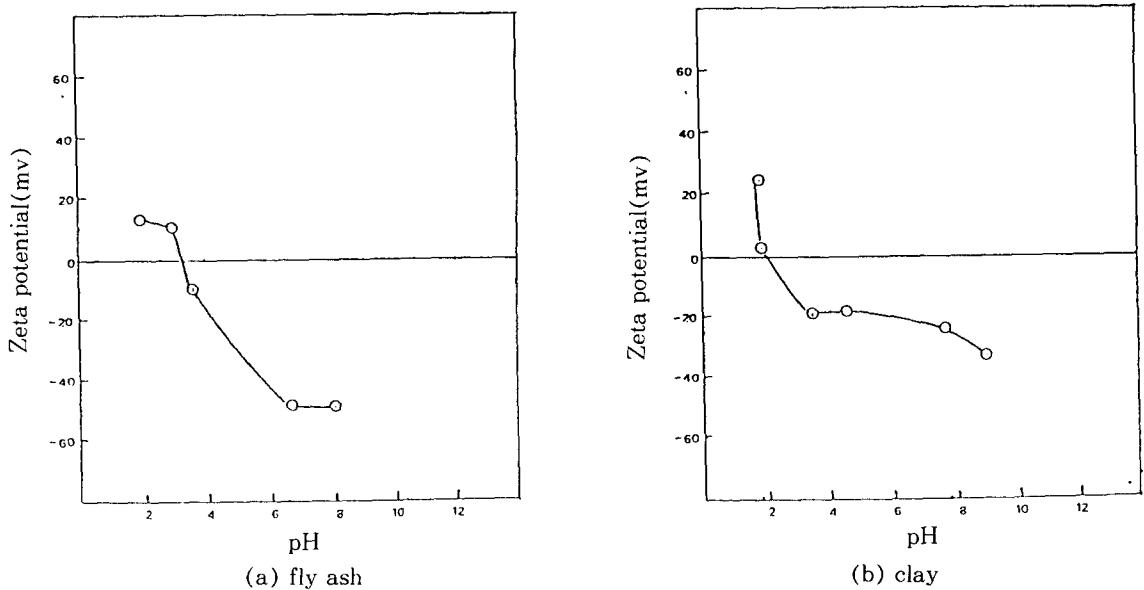


Fig. 4. Zeta potential of fly ash and clay.

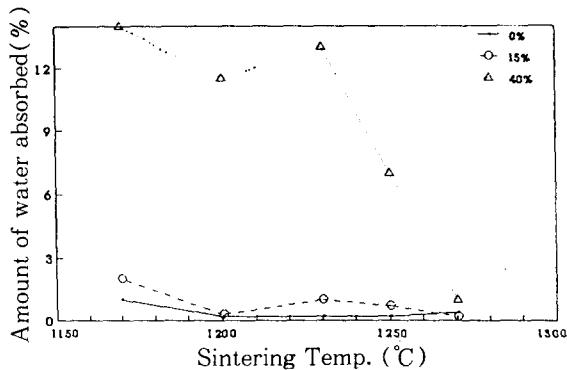


Fig. 5. Amount of water absorbed VS sintering temperature.

장 나쁜 흡수율을 보인 점토 60wt.%와 석탄회 40wt.%의 조합(40%)을 도시하였다. 점토 100wt.%의 경우는 1170°C~1270°C 전 범위에서 흡수율이 1% 이하로 자기화가 일어났다고 할 수 있으며 석탄회 15wt.%와 점토 85wt.%의 조합은 1200°C~1270°C 범위에서 자기화가 일어났다. 또한 석탄회 40wt.%와 점토 60wt.%의 조합은 1270°C에서만 자기화가 일어났으며, 따라서 석탄회 첨가량이 증가할수록 자기화 온도는 상승한다는 것을 알 수 있다. 이와같은

결과는 석탄회의 주결정상이 Mullite와 Quartz로 되어 있으며, flux양도 점토에 비하여 적으므로 점토 100wt.% 시편의 경우에 비하여 액상 생성량이 적으며 따라서 소결의 진행이 늦다는 것을 의미한다.

Fig. 6은 흡수율이 가장 좋은 경우(석탄회 15wt.% 첨가)와 가장 나쁜 경우(석탄회 40wt.% 첨가)를 점토 100wt.%인 경우와 비교하여 꼭강도 값을 도시한 그림이다. 석탄회의 첨가량이 40wt.% 이상일 경우에는 석탄회의 미연탄소성분 때문에 성형이 거의 이루어지지 않았다. 문헌에 의하면[3-4] 물유리등의 결합제를 사용하면 성형이 가능하다 하였으나, 본 실험에서는 기존의 제조공정을 변경시키지 않고저하였으므로 결합제의 첨가없이 성형하였다. 또한 미분쇄에 의하여 성형성 향상도 고려되나 역시 원단가 상승의 요인이 되므로 시도하지 않았다. Fig. 6의 석탄회 40wt.% 첨가의 경우(40wt%)는 매우 낮은 꼭강도값(50Kg/cm^2 이하)을 나타내는데 이는 성형이 제대로 이루어지지 않았고, 또한 점토보다 고내화도의 석탄회가 다량 첨가되어 소결도 제대로 이루어지지 않았기 때문이라 사료된다. 점토 100wt.%로 제조된 시편(0%)은 1170°C에서 약 110Kg

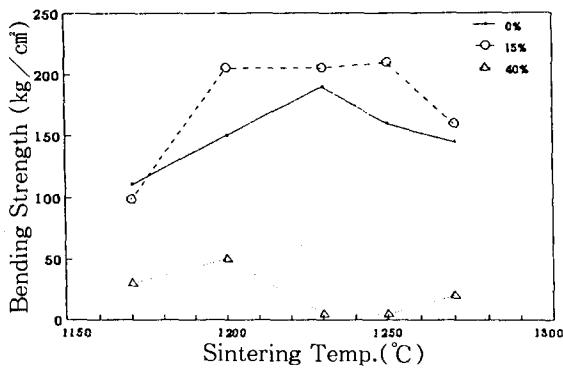


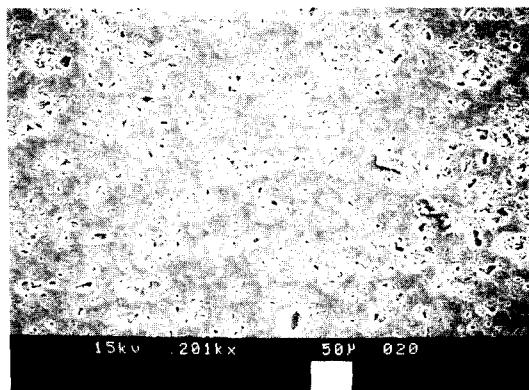
Fig. 6. Bending strength vs. sintering temperature.

/cm²의 낮은 곡강도값을 보이고 1200°C~1270°C에서는 150~200Kg/cm²의 곡강도를 보임으로써 KSL4201에 규정한 1, 2종 벽돌 규격을 만족한다. 또한 석탄회 15wt.% 첨가한 시편(15%)은 1170°C에서는 약 100Kg/cm²의 낮은 강도값을 보이나 1200°C~1250°C에서는 200Kg/cm²의 높은 곡강도값으로 KSL4201의 1종 벽돌 규격을 만족한다. 또한 1270°C에서도 약 160Kg/cm²의 값으로 KSL4201의 2종 벽돌 규격을 만족한다. 전반적으로 석탄회 15wt.%을 첨가한 시편이 점토 100wt.% 시편보다 1170°C를 제외하고는 1200°C~1270°C 범위에서 높은 곡강도를 보임으로써 석탄회로 점토를 치환할 수 있다고 말할 수 있다.

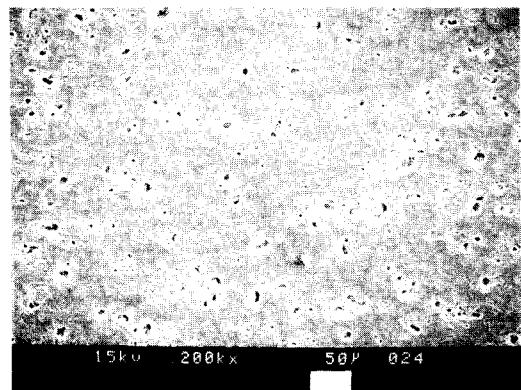
곡강도는 시편의 미세조직에 따라 민감하게 변하므로[7] 이들의 상관관계를 알아보기 위하여 다음과 같이 SEM으로 미세구조를 관찰하였다. Fig. 7, 8은 점토 100wt.%로 제조한 시편의 소성 온도별 SEM사진이다. 시편의 곡강도는 기공의 크기와 양, 기공과 기공을 연결하는 기지 부위의 강도에 따라 좌우되기 때문에 Fig. 7은 기공의 분포를, Fig. 8은 기지 부위를 관찰하였다. 1170°C 시편 (Fig. 7(a))은 기공의 수가 매우 많고 큰 기공과 작은 기공이 고루 분포되어 있어 매우 넓은 기공분포를 보인다. 1200°C(b)와 1230°C(c)로 소성온도가 높아지면 기공의 수는 줄어들고 분포도 좁아지고 있

으며 이는 소결이 진행되면서 점토에 포함되어 있는 장석분의 물질이나 알카리가 석영과 반응하여 생성된 액상[13]이 작은 기공을 메꾸고 있는 과정이 일어나기 때문이다. 더욱 온도가 높아져 1250°C(d)가 되면 1230°C(c)보다 기공수는 더욱 적어지지만 기공이 커지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 폐기공안에 있는 기체의 팽창으로 인한 것으로 사료되며, 1270°C(e)에서는 기체의 팽창이 기공을 파괴하면서 많은 균열이 발생하고 기공도 매우 커져 있는 것을 관찰할 수 있다. 한편 기지부위의 미세구조를 관찰한 Fig. 8을 살펴보면 (a)는 소결이 덜 진행된 것을 알 수 있으며, 1200°C~1250°C(b-d)까지는 치밀하게 소결이 진행되었고, 1270°C(e)에서는 미세한 균열이 관찰되었다. Fig. 7(e)와 Fig. 8(e)를 비교하여 보면 균열은 기공주위에 많이 존재하며, 기지부위에는 ring형태의 균열이 발견되었다. 이는 균열의 생성원인이 다른 것으로 사료된다.

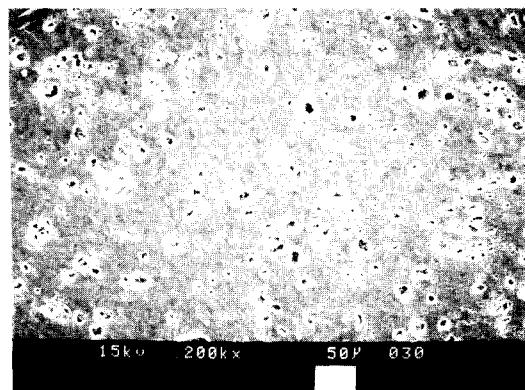
Fig. 9는 점토 100wt.% 시편을 1250°C와 1270°C에서 소성한 것이다. Fig. 9(a)는 1250°C 시편에서 기공을 15,000배 확대하여 관찰한 사진으로 미세균열을 관찰할 수 있었다. 이 미세균열은 폐기공에 존재하는 기체가 온도가 상승함에 따라 팽창하여 기공이 파괴되는 과정이라 사료되며, 바로 이러한 미세균열이 1270°C에서 기공주위의 많은 균열의 시점이 된다. 또 Fig. 9(b)는 1270°C에서 소성한 시편의 기지부위에서 발견되는 균열을 1,300배로 확대한 사진인데, ring모양의 균열을 발견할 수 있다. 이 균열은 조립 석영입자가 1200°C 이상의 온도에서 점토에 있는 알카리와 반응하여 액상막을 형성하면서 모서리가 둥글게 변한 것으로 사료되며[13-15], 석영입자와 석영입자 표면의 액상과의 열팽창계수의 차이에 의하여 냉각중 생성된 균열이라고 사료된다. 이를 확인하기 위하여 EDAX 분석을 한 결과가 Fig. 9(c), ((d))이다. 그럼 (c)는 사진에서 구형입자를 분석한 결과인데 Si만 관찰됨으로써 석영입자라고 확



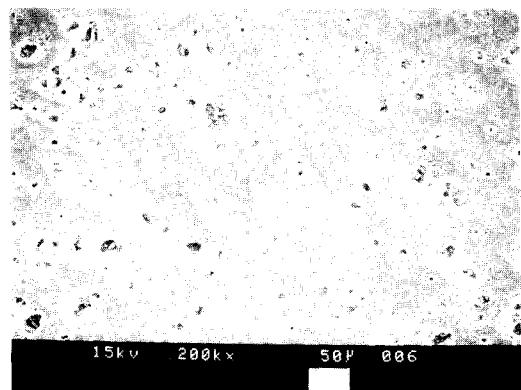
(a)



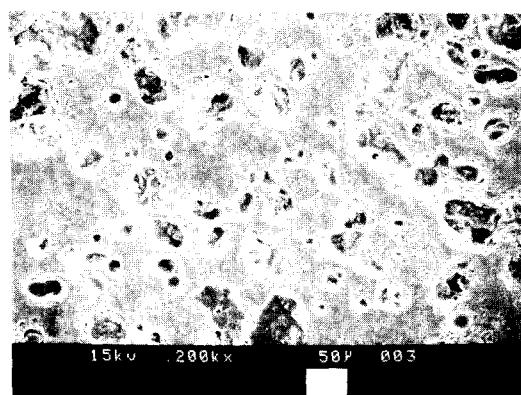
(b)



(c)

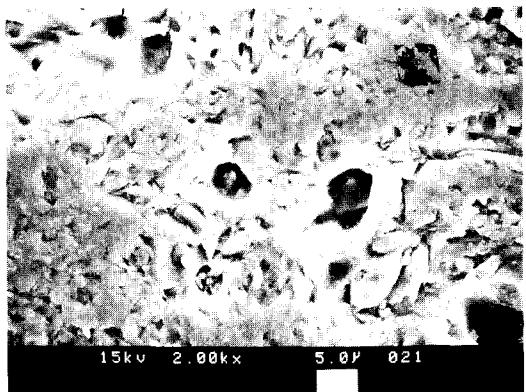


(d)

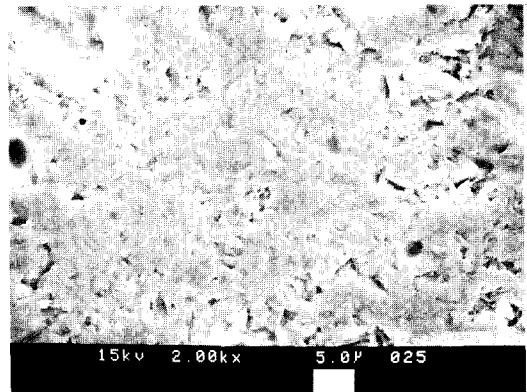


(e)

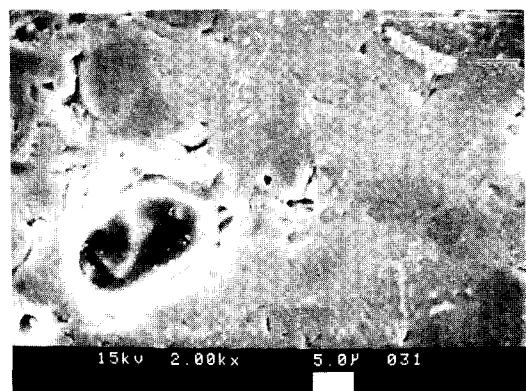
Fig. 7. SEM photographs of lapped surface of bodies from 100wt.% clay fired at (a) 1170°C, (b) 1200°C, (c) 1230°C, (d) 1250°C, and (e) 1270°C.



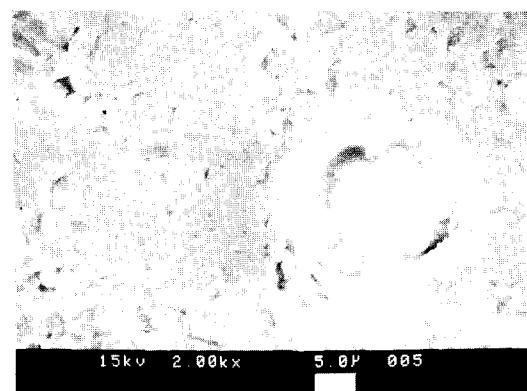
(a)



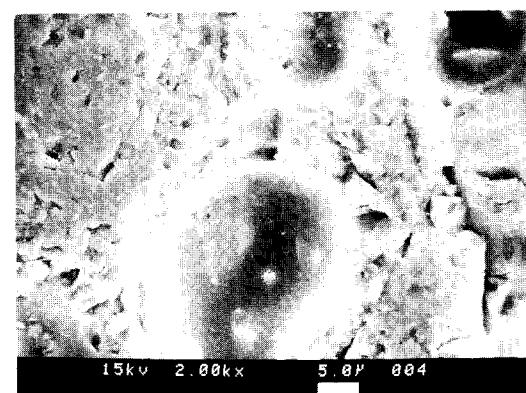
(b)



(c)

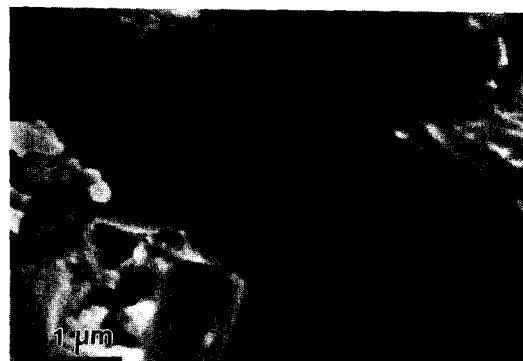


(d)

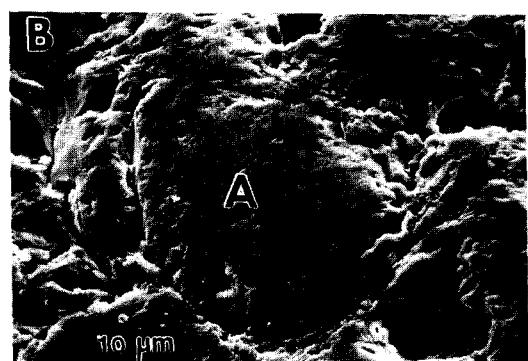


(e)

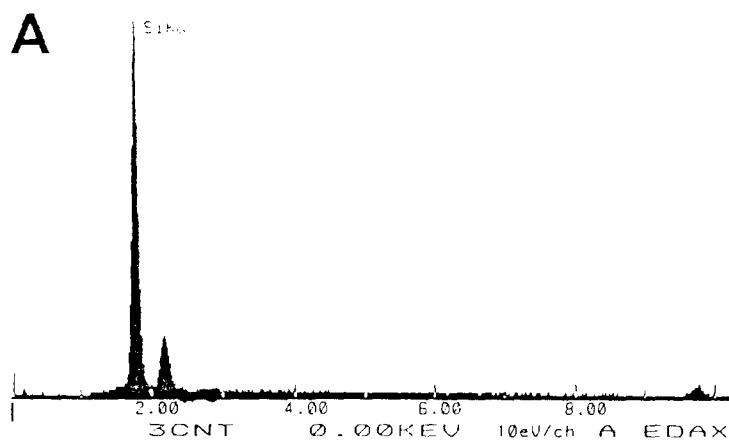
Fig. 8. SEM photographs of lapped surface of bodies from 100wt.% clay fired at
(a)1170°C, (b)1200°C, (c)1230°C,
(d)1250°C, and (e)1270°C.



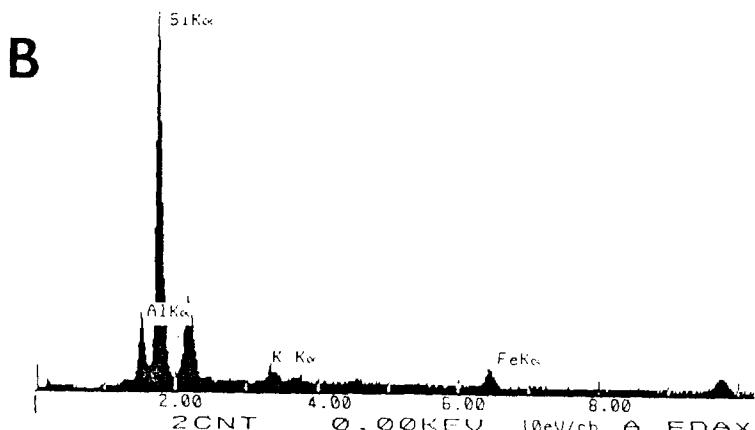
(a) 1250°C



(b) 1270°C



(c)



(d)

Fig. 9. SEM photographs and EDAX of lapped surface of bodies from 100wt.% clay.

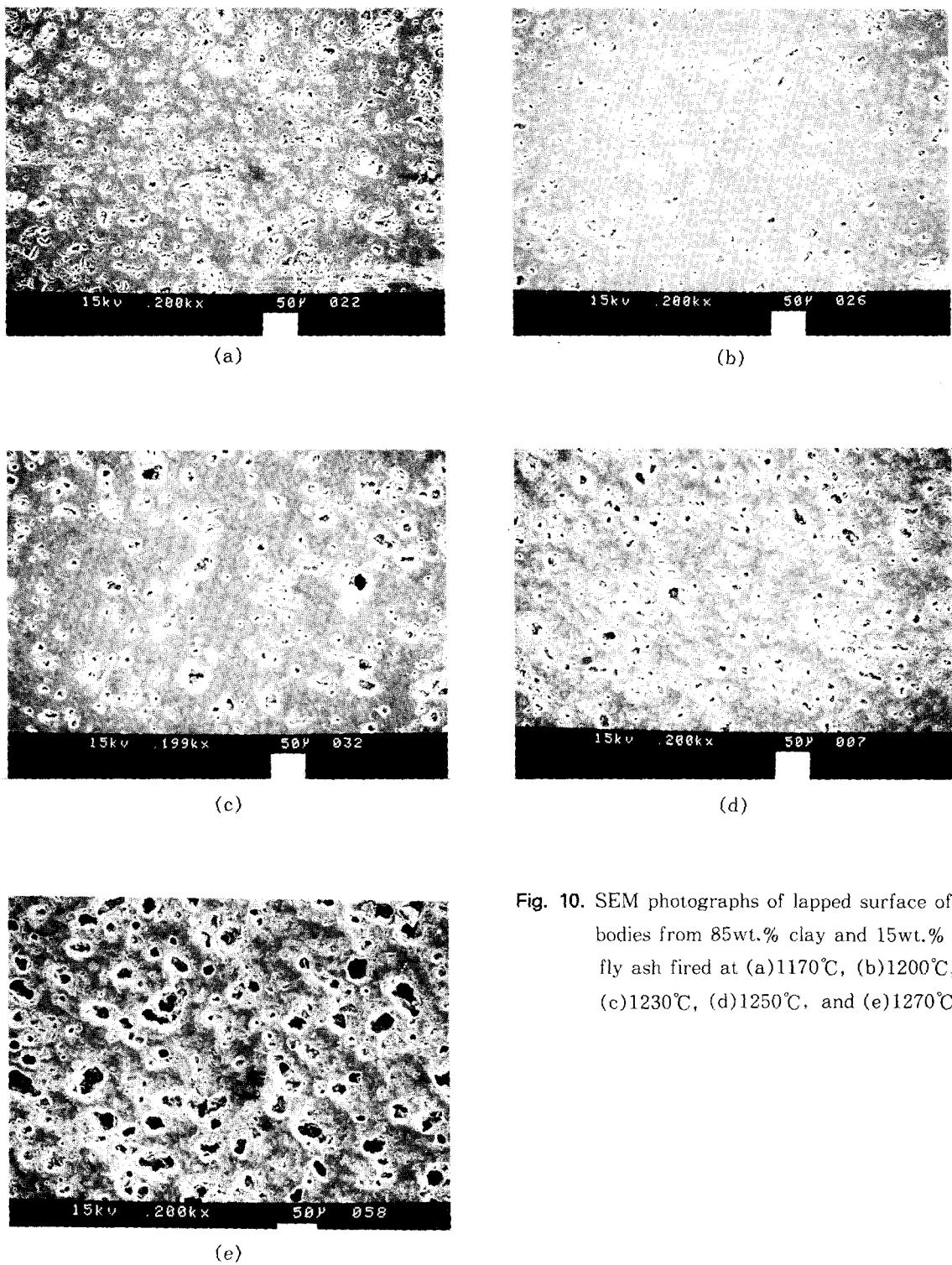
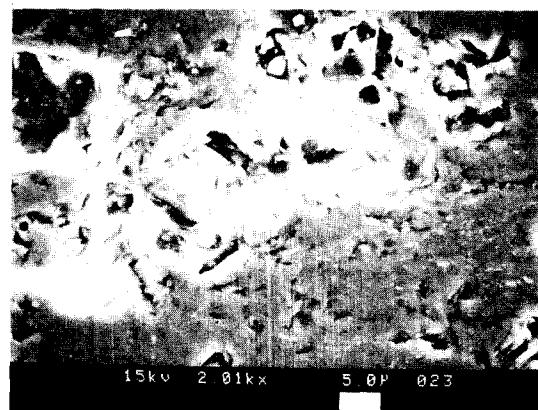
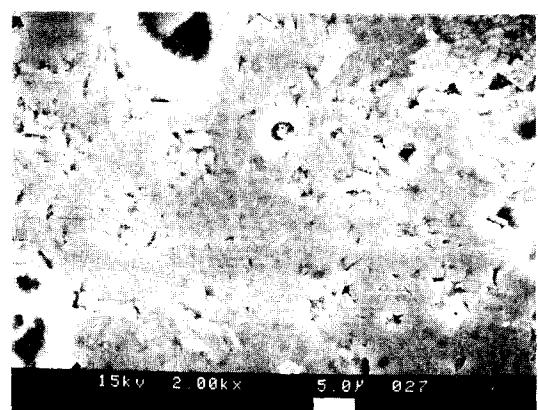


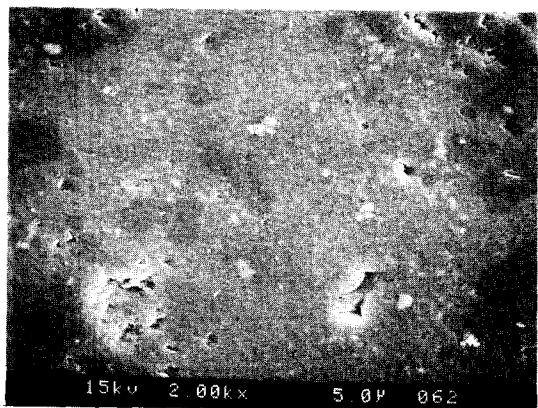
Fig. 10. SEM photographs of lapped surface of bodies from 85wt.% clay and 15wt.% fly ash fired at (a)1170°C, (b)1200°C, (c)1230°C, (d)1250°C, and (e)1270°C.



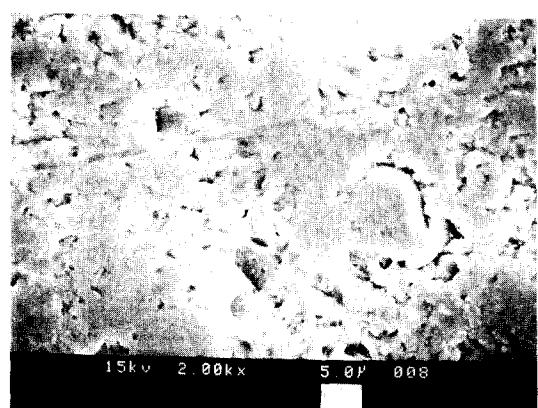
(a)



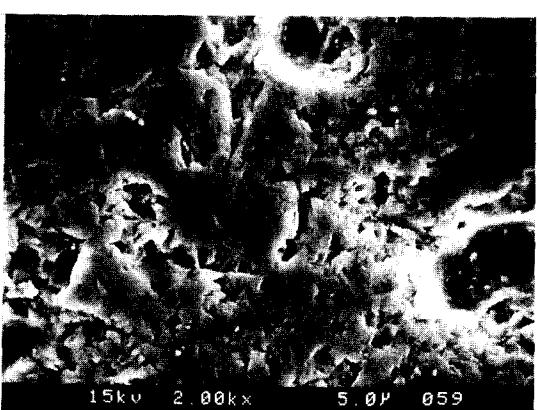
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 11. SEM photographs of lapped surface of bodies from 85wt.% clay and 15wt.% fly ash fired at (a)1170°C, (b)1200°C, (c)1230°C, (d)1250°C, and (e)1270°C.

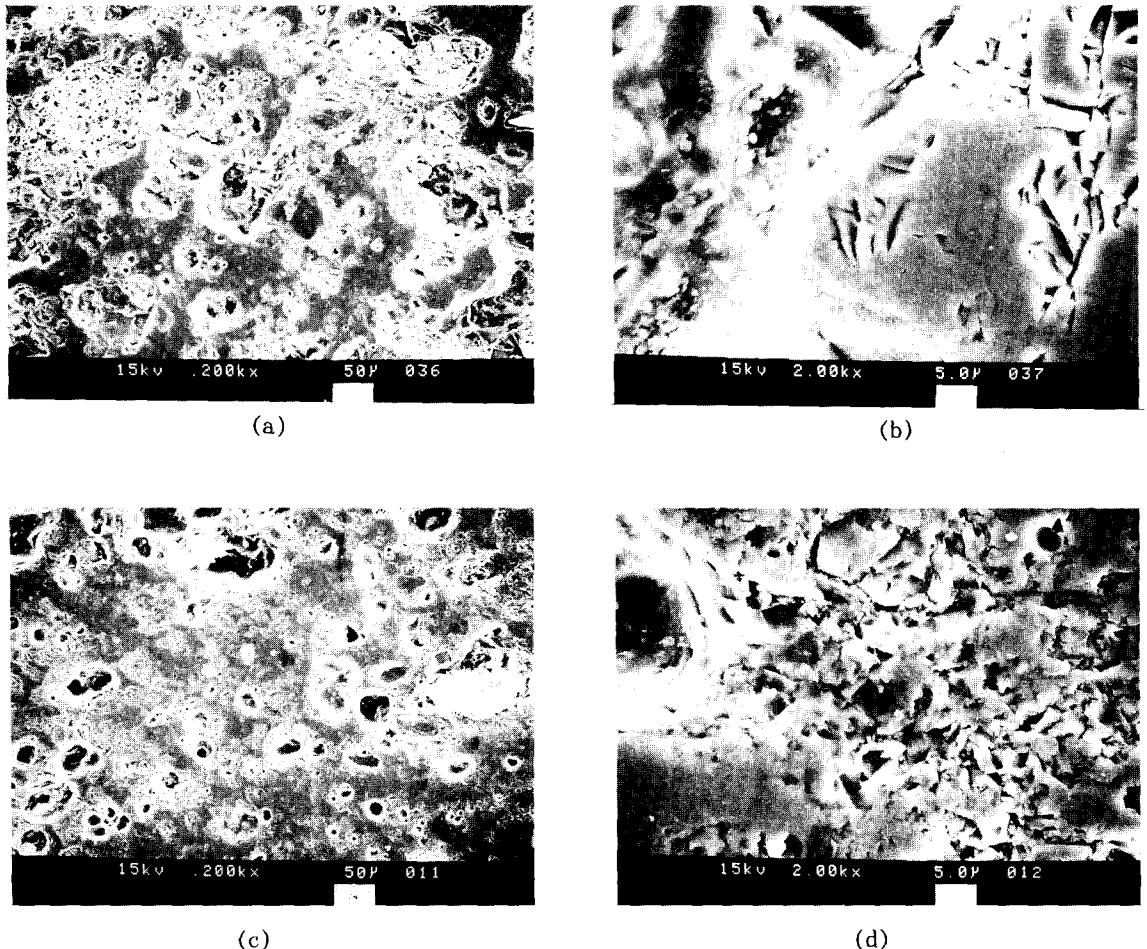


Fig. 12. SEM photographs of lapped surface of bodies from 60wt.% clay and 40wt.% fly ash fired at (a)1230°C, (b)1230°C, (c)1270°C, and (d)1270°C.

인할 수 있으며, 그림(d)는 Si, Al가 주 peak로 관찰되므로 석영입자가 아니라 Mullite등의 결정물로 볼 수 있다. 따라서 곡강도를 저해하는 요인은 폐기공의 팽창으로 인한 기공 주위의 균열과 조립 석영입자와 기지 사이의 열팽창계수 차이로 생성되는 ring형태의 균열 두가지로 추정되며 이를 방지하기 위하여서는 기공 주위의 균열은 기공의 수와 크기를 줄여야하고, 기지의 조립 석영입자에 의한 균열은 석영입자를 미세하게 하거나 액상량을 줄여야한다

고 생각된다. 본 실험에 사용된 석탄회는 입도 분포가 점토보다 미분이 더욱 많고 또한 내화도가 높기 때문에 위의 조건을 충족시키므로 곡강도가 높을 것으로 예상되며 이는 Fig. 6의 곡강도 값과 잘 일치한다.

Fig. 10과 11은 석탄회 15wt.%와 점토 85wt.% 조합한 시편의 소성온도별 SEM 사진이다. Fig. 10은 기공의 분포를 나타내었으며, Fig. 11은 기지부위를 관찰하였다. Fig. 10에서 (a)의 경우 Fig. 8(a)보다 기공의 수는 비슷하

나 기공 크기에 따른 분포도가 좁은 것으로 관찰되었다. 이는 석탄회의 미분이 성형체의 공극을 메꾸어 미세한 기공이 줄어들고 반면에 석탄회 중 미연 탄소분이 연소하고 남은 기공이 존재하기 때문에 기공수는 비슷하나 분포가 좁게 나타났다고 사료된다. 온도가 올라감에 따라 기공의 수는 감소하고 기공의 크기도 균일해지는 것을 관찰할 수 있으며, Fig. 10(e)의 경우 Fig. 7(e)에 비하여 기공의 크기가 작으며 균열도 거의 관찰되지 않았다. 또한 Fig. 11의 기지부위를 관찰하여 보면 그림 (a)의 경우는 소결이 거의 진행되지 않았으며 그림 (b)~(e)는 치밀한 구조를 형성함을 관찰할 수 있었고, 그림 (e)의 경우에도 균열은 거의 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 Fig. 6의 곡강도 결과와 잘 일치하며 1170°C의 경우는 점토 100wt.% 경우보다 기지부위의 소결도가 떨어져 강도가 저하된 것으로 추정되며 그 이상의 온도에서는 기공의 수가 적고, 균열이 발견되지 않았기 때문에 높은 곡강도 값을 보인다고 생각된다.

반면에 석탄회 40wt.%와 점토 60wt.% 조합의 경우(Fig. 12)는 미연탄소분이 연소하여 생긴 기공이 많고, 또한 기지 부위의 소결도는 고내화도인 석탄회의 첨가량이 많아서 미소결 상태이므로 곡강도가 매우 나쁜 것으로 나타났다.

따라서 이상의 결과들을 종합하여 보면 곡강도에 영향을 미치는 미세구조는 기공 및 기지부위의 소결정도에 따른 조직의 치밀성, 그리고 균열 등이며, 점토에 비하여 고내화도이며 입도가 미세한 석탄회를 15wt.%까지 첨가하면 곡강도를 증진시켜 점토의 대체원료로 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

구미 화력발전소에서 나오는 석탄회를 적별돌이나 습식타일의 원료로 사용되는 저급점토의 대체원료로 사용하기 위하여, 점토와 석탄

회를 중량비로 50%까지 5%단위로 조합하여, 전식가입 성형하여 1170°C, 1200°C, 1230°C, 1250°C, 1270°C로 소성하여 흡수율, 곡강도 및 미세구조를 관찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 석탄회는 결정상이 Mullite와 Quartz로 구성되어 있으며, 화학조성은 알루미나와 실리카의 비가 1:4~1:5이며, 입도분포와 계면화학적 성질이 저급점토와 정성적으로 잘 일치하므로 벽돌 소지인 저급점토와 대체하는 것이 가능하다.
- 2) 벽돌소지의 곡강도를 저해시키는 균열은 폐기공의 팽창으로 발생하는 균열과, 조립 석영입자의 열팽창계수차에 의하여 생성되는 균열로 크게 구분할 수 있다.
- 3) 석탄회를 15 wt.% 대체한 경우 석탄회가 저급점토보다 미세한 입자가 많고, 고내화도이므로 벽돌소지의 균열을 막을 수 있어 곡강도를 증가시킬 수 있다.
- 4) 석탄회를 40 wt.% 이상 대체한 벽돌소지는 성형성이 매우 나쁘고, 미연탄소분의 연소로 생기는 기공과 저급점토보다 고내화도이기 때문에 소결이 덜 진행되어 곡강도가 매우 감소하였다.

감사의 글

이 논문은 (주)한백상사의 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 세계기술 뉴스브리프, 산업기술정보원 제 103호 (92-19) (1992)
- [2] 윤영철, 건국대학교 산업대학원 석사논문 (1989)
- [3] S. Torry, Coal Ash Utilization, (NOYES DATA CORPORATION, 1978)
- [4] 中塚英和, 공개특허공보(A) 平1-97603, (1985)

- [5] 廣瀬利雄, Cement-Concrete, 444(1984), 2
- [6] E. E. Berry and F. P. Glasser, Fly Ash and Coal Conversion by-product : Characterization, Utilization and Disposal V, (MRS, Pennsylvania 1989)
- [7] H. Y. Cho, et.al., J. Korean Ceram. Soc., 27(1990), 833
- [8] J. Th. G. Overbeek, J. Colloid Interf. Sci., 58(1977), 431
- [9] R. D. Vold, et.al., Colloid and Interface Chemistry, (Addison-Wesley, 1983)
- [10] R. J. Hunter, Zeta Potential in Colloid Science, (Academic Press, 1981)
- [11] K. G. Lee, et.al, Ceramic Powder Science III, G. L. Messing, et.al., Ed., (Am. Cer. Soc., 1990) p.395
- [12] K. G. Lee, et.al., J. Korean Ceram. Soc, 27 (1990), 91
- [13] 이응상, 제1회 도자기 심포지움, (한국요업학회, 1987) p. 34
- [14] Kenya Hamano, et.al, J. Jap. Cer. Soc., 99 (1991), 1110
- [15] Yuichi Kobayashi, et.al., J. Jap. Cer. Soc., 99(1991), 495