

소성블릭 제조를 위한 무연탄 석탄회의 특성 연구

† 柳然太 · 金炳圭* · 崔榮允* · 南哲佑* · 李用錫** · 金仟淳**

全北大學校 工科大学 工學研究院 新素材工學部

*韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部, ** (株)大平세라믹스産業

A Study on the Characterization of Anthracite Fly Ash for the Fabrication of Calcinated Brick

†Yeon-Tae Yu, Byoung-Gyu Kim*, Young-Yoon Choi*, Chul-Woo Nam*
Yong-Seok Lee** and Cheon-Sun Kim**

Division of Advanced Materials Engineering, Engineering Research Institution, College of Engineering, Chonbuk National Univ.

**Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources*

***Daepyeong Ceramics Industry Co.*

요 약

무연탄 석탄회의 재활용 향상을 위하여, 무연탄 석탄회의 특성을 유연탄 석탄회의 특성과 비교하였다. 특히, 무연탄 석탄회를 소성블릭의 원료로 활용하기 위하여, 무연탄 석탄회의 고온 특성이 열분석, 고온현미경 및 X선 회절 분석에 의해 조사되었다. 무연탄 석탄회의 Al_2O_3/SiO_2 비는 평균 0.62이고 유연탄 석탄회는 Al_2O_3/SiO_2 비가 0.34로 무연탄 석탄회 중 Al_2O_3 성분의 조성이 높았다. 무연탄 석탄회 중 SiO_2 는 석탄회 중의 Al_2O_3 와 반응하여 1000°C의 고온에서 새로운 몰라이트 결정을 형성하였고, 그 결과 우수한 내화도를 나타내었다. 또한, 무연탄 석탄회의 첨가량 변화에 따른 혼합시료의 압출 성형 특성을 평가하기 위하여 고령토와의 혼합시료가 제조되었고, 무연탄 석탄회 첨가 성형 벽돌의 압출속도는 혼합시료 중 석탄회의 첨가량이 증가할수록 감소하였으며, 압출 성형 가능한 무연탄 석탄회의 최대 첨가량은 60 wt%이었다.

주제어: 무연탄, 유연탄, 석탄회, 고온특성, 압출성형

Abstract

To increase the recycling rate of anthracite fly ash, the properties of anthracite fly ash were compared to that of bituminous fly ash. Especially, the high temperature properties of the fly ash are investigated by using thermal analysis, high temperature microscope and X-ray diffraction analysis for utilizing anthracite fly ash to prepare the calcinated bricks. The average ratio of Al_2O_3/SiO_2 for anthracite is 0.62 and the ratio for bituminous is 0.34. The content of Al_2O_3 in anthracite fly ash was higher than that of bituminous fly ash. The SiO_2 of anthracite fly ash reacted with the Al_2O_3 in the fly ash and formed new mullite crystal at over 1000°C, so anthracite fly ash showed high fire resistance. And, the fly ash mixtures having kaolin were prepared, and then extruded in vacuum to evaluate the extruding property of anthracite fly ash mixture. The extruding velocity was decrease with increasing the addition amount of fly ash in the mixture, and the maximum addition amount of fly ash that could be extruded was 60 wt%.

Key words: Anthracite, Bituminous, Coal Fly ash, High temperature property, extrusion

† 2003년 6월 23일 접수, 2004년 4월 6일 수리

* E-mail: yeontae@chonbuk.ac.kr

1. 서 론

석탄 화력발전소에서 석탄의 연소 후에 발생하는 석탄회(coal ash)는 발전설비 중 발생 장소에 따라 비산재(fly ash)와 바닥재(bottom ash)로 구별된다. 이 중 비산재는 전기집진기에서 배출되는 것이고, 바닥재는 보일러의 바닥에서 회수되는 것을 말한다. 또한, 석탄회는 연료의 종류에 따라 유연탄을 연료로 사용하는 발전소에서 발생하는 것을 무연탄 석탄회, 무연탄을 연료로 사용하는 발전소에서 발생하는 것을 무연탄 석탄회라고 한다. 국내의 경우, 유연탄은 호주와 중국 등에서 많이 수입하여 사용하고 있고, 무연탄은 국내탄을 사용하고 있다.

국내 석탄회의 총 발생량은 2001년을 기준하여 490만 톤으로, 이중 유연탄 석탄회가 365만 톤이고, 무연탄 석탄회는 126만 톤이다.¹⁾ 석탄회는 그 성상에 따라, 콘크리트 혼화제, 시멘트 원료, 시멘트 2차 제품, 건축용 재료, 담체, 비료, 토양 개량제 등의 분야에서 재활용이 가능하다.²⁻⁶⁾ 국내 석탄회의 재활용은 2001년을 기준하여 유연탄 석탄회가 약 66%이고 무연탄 석탄회가 약 56%로, 무연탄 석탄회가 유연탄 석탄회보다 저조한 재활용률을 보이고 있다. 2010년도 석탄회의 재활용 목표가 80%인 것을 감안할 때, 무연탄 석탄회의 재활용률을 향상시키는 것은 중요하다고 할 수 있다. 또한, 2010년 총 석탄회의 발생량은 신규 석탄 화력발전소의 증설로 약 600만 톤에 이를 것으로 예상됨으로, 이에 따른 회처리장 부지 확보의 어려움, 환경훼손 및 투자비 증가 등과 같은 문제점이 발생될 것으로 예측되는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 석탄회의 새로운 재활용 분야의 개척이 시급한 실정이다.

국내 무연탄 석탄회(특히 비산재)의 재활용률을 향상시키기 위해서, 무연탄 석탄회의 특성을 정확히 조사할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 무연탄 석탄회의 특성에 대한 이해를 높이기 위하여 무연탄 석탄회와 그 특성을 직접 비교 하였다. 또한, 무연탄 석탄회를 소성블럭의 원료로 사용하는 것을 검토하기 위하여, 고온 소성특성과 성형 특성에 대한 기초적인 조사를 수행하였다.

2. 시료 및 실험방법

무연탄 석탄회는 서천화력 발전소의 전기집진기에서 발생하는 비산재를 사용하였고, 유연탄 석탄회는 보령 화력 발전소의 전기집진기에서 발생하는 비산재를 사용

하였다. 또한, 고령토와 장석이 무연탄 석탄회의 압출 성형 특성을 평가하기 위한 혼합시료의 부가재로 사용되었다. 고령토와 장석은 각각 하동과 부여에서 산출되는 것을 사용하였다. 석탄회의 특성 평가는 석탄회의 형상 관찰, 조성, 입도, 결정구조 분석, 고온특성 및 압출 성형 특성을 분석하여 수행되었다. 형상관찰에는 주사전자현미경(SEM Jeol Co., JSM 5410)이 이용되었으며, 조성분석은 XRF(X-ray Fluorescence, Shimadzu Co., MXF 2100)로 수행하였다. 석탄회의 평균입경은 입도분석기(Seishin Co., LMS-30)를 이용하여 분석하였고, 고온특성은 DTA/TG 분석기(Shimadzu Co., DTG-60H) 및 고온현미경(Leitz Wetzlar Co.)에 의해 평가되었다. DTA/TG 분석은 공기 중에서 10°C/min의 승온속도로 1350°C까지 가열하면서 수행하였으며, 석탄회의 결정구조 분석은 CuK α 를 선원으로 사용한 분말 X선 회절 분석 장치(RIGAKU CO., RTP300RC)를 사용하였다.

석탄회의 압출 성형 특성의 조사에서는 먼저 석탄회, 고령토, 장석을 혼합한 시료 2kg을 준비하였다. 혼합시료 중 장석은 10 wt%로 고정하고 석탄회의 첨가량을 20 wt%에서 60 wt%까지 변화시켰다. 고령토와 장석은 각각 하동과 부여에서 산출되는 국내산을 사용하였다. 무연탄 석탄회는 전처리 없이 혼합 원료로 사용하였고, 고령토 및 장석은 전기 오븐에 건조한 후 0.7 mm 체로 걸로 통과분만을 혼합시료의 원료로 사용하였다. 이 혼합시료는 beater mixer로 60~180분 동안 혼합하였다. 혼합시료의 수분함량은 총 중량의 16 wt%로 조절하였다. 혼합시료의 성형에는 진공압출성형기(Miyazaki Iron Works Co., FM-30)가 사용되었다. 압출 성형체의 가스성은 혼합시료의 장입 및 토출 가능 여부, 성형체의 토출속도를 체크하여 평가하였고, 성형체의 강도는 토출시의 자중에 의해 파단되는 최대길이를 측정하여 평가하였다.

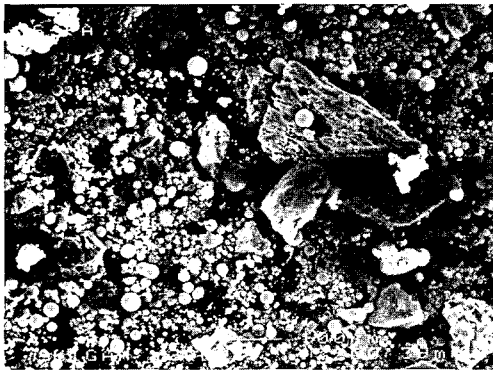
3. 결과 및 고찰

3.1. 석탄회의 화학조성 및 결정구조

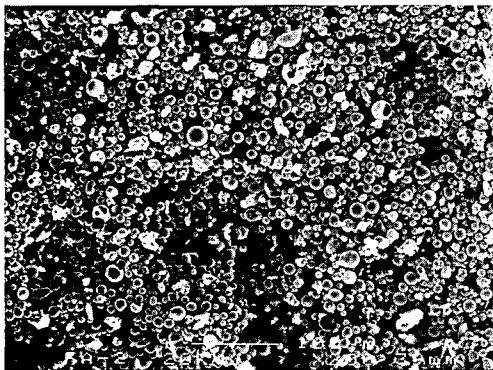
Table 1은 무연탄과 유연탄 석탄회 각각 2종류(채집시기별)의 시료에 대한 조성분석 결과이다. 무연탄 석탄회에는 유연탄 석탄회와 비교하여 Al₂O₃와 K₂O 성분의 함량이 높았고, 특히 미연탄소의 함유량은 13 wt% 이상으로 높은 값을 나타내고 있다. 유연탄 석탄회의 경우에는 SiO₂ 성분의 함유량이 비교적 높고, Fe₂O₃와 CaO 성분은 무연탄 석탄회와 비교하여 약간 높은 함량

을 나타내었다. 소성시 플럭스로 작용할 수 있는 알칼리의 총량은 무연탄 석탄회와 유연탄 석탄회가 거의 비슷한 값을 나타내었다. 이와 같이 유연탄 석탄회와 무연탄 석탄회의 화학적 조성이 다른 이유는 근본적으로 석탄의 생성지역의 차이로 볼 수 있다. 국내 화력 발전소에서 사용되는 석탄 중 유연탄은 중국, 호주, 인도네시아에서 수입이 되고 있고, 무연탄은 국내에서 채굴되고 있다. 미연탄소의 함량의 차이는 무연탄이 유연탄보다 탄화도가 높아 안정한 편이고 불순물(맥석)의 함유량이 많기 때문으로 생각된다. 평균입경은 유연탄 석탄회가 19 μm 이고, 무연탄 석탄회가 26 μm 로 유연탄 석탄회가 더 작았지만, 모두 미세한 분체 상을 나타내고 있다. 무연탄 석탄회 중 미연탄소의 함유량은 유연탄 석탄회에 비교하여 약 2~5배 높았다.

석탄회의 SEM 사진을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 (a)가 무연탄 석탄회인데, 구형의 석탄회 이외에 무정형의 입자들이 다량 존재하고 있다. 사진에서 표면이



(a)



(b)

Fig. 1. SEM photographs of fly ashes for (a) anthracite and (b) bituminous.

비교적 치밀한 무정형의 물질들은 유리질 SiO_2 를 많이 함유하고 있는 석탄회이고, 표면이 다공질인 무정형 물질들은 미연탄소이다. Fig. 1의 (b)는 유연탄 석탄회를 나타내고 있으며, 무연탄 석탄회와 비교하여 구형의 입자들이 많고 미연탄소와 같은 무정형 물질들도 거의 보이지 않는다.

Fig. 2는 무연탄과 유연탄 석탄회의 결정구조를 조사한 결과이다. 무연탄 및 유연탄 석탄회는 모두 석영, 플라이트, 산화철, 유리질(비정질)로 구성되어 있음을 알 수 있다. Fig. 2의 (a)는 무연탄 석탄회의 X선 회절 분석 결과인데, 특징적인 것은 플라이트의 X선 회절 피크 강도가 비교적 높다는 것과 $25^\circ(2\theta)$ 부근에서 비정질 물질(주로 유리질 SiO_2 와 미연탄소)에 기인한 것으로 생각되는 halo 패턴의 반값폭이 넓은 X선 회절선이다. 한편, 유연탄 석탄회의 경우는 석영의 X선 회절 강도가 매우 높은데, 조성분석 결과에서 보여 주었듯이, 결정성이 우수한 SiO_2 가 다량 함유되어 있음을 의미한

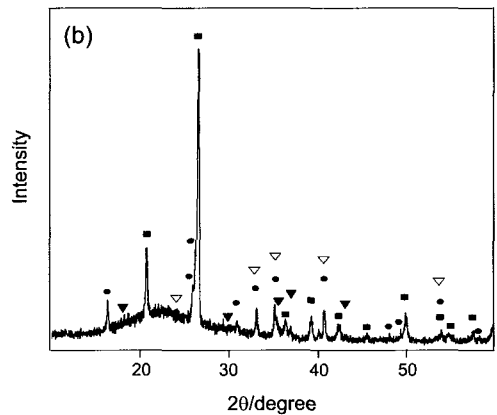
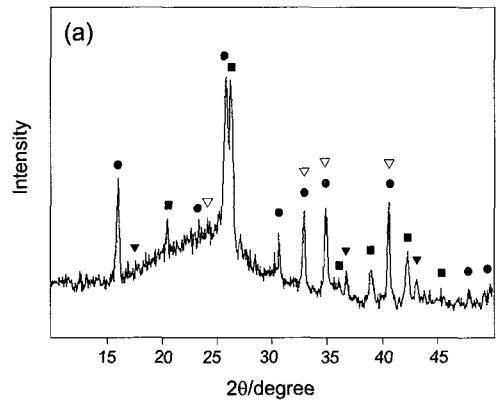


Fig. 2. X-ray diffraction profiles for fly ashes of (a) anthracite and (b) bituminous. (■; Quartz, ●; Mullite, ▽; Magnetite, ▼; Hematite)

다. 이들 결과로부터, 무연탄 석탄회 중에 함유되어 있는 SiO₂ 성분은 석영, 물라이트, 비정질의 형태로 존재하는데, SiO₂가 석영의 형태 이외에 물라이트 또는 비정질 형태로도 상당량 존재하고 있음을 알 수 있다. 물라이트는 잘 알려져 있는 바와 같이 고온 특성이 우수한 재료이기 때문에, 무연탄 석탄회는 유연탄 석탄회에 비교하여 고온 특성(내화도)이 우수할 가능성을 시사해주는 결과이다. 이러한 석탄회의 결정학적 특성은 석탄회의 재활용 분야를 결정하는 중요한 정보를 제공해 준다고 생각된다.

3.2. 석탄회의 고온소성 특성

결정구조 분석 결과, 무연탄 석탄회는 물라이트 구조의 결정을 다량 함유하고 있기 때문에 고온 특성이 우수할 것으로 예상되었으므로, 여기에서는 석탄회의 고온 특성을 조사하기 위하여 열분석과 고온현미경 관찰을 시도하였다.

Fig. 3은 Table 1의 Anth-FA1과 Bitu-FA2 시료에 대한 DTA/TG 분석 결과를 나타낸 것이다. 3의 (a)는 무연탄 석탄회의 열분석 결과로, 약 540°C까지는 서서히 감량되다가 550°C 이후부터 약 870°C까지 급격히 감량이 일어난다. 초기의 감량은 무연탄 석탄회 중의 수분과 유황 성분의 휘발에 의한 것이고, 540°C 이후의 급격한 감량은 석탄회 중 미연탄소의 연소에 기인된 것이다. 미연탄소의 연소에 의한 발열피크는 690°C에서 나타났다. Fig. 3의 (b)는 유연탄 석탄회의 열분석 결과를 나타낸 것으로, 초기 감량 변화와 540°C 이후의 급격한 감량 현상이 무연탄 석탄회와 매우 유사함을 알 수 있다. 유연탄 석탄회 중 미연탄소의 함량이 5 wt%인 것을 시료로 사용하였기 때문에, 시료의 감량은 750°C 부근에서 종료되었다. 또한, 유연탄 석탄회의 경우, 미연탄소의 연소에 의한 발열피크는 630°C에서 나타나는 데, 이 결과로부터 무연탄 석탄회 중 미연탄소와 비교하여 발화점이 낮고 연소속도는 빠르다고 하는 사실을 알 수 있다.

이들 석탄회의 열적 거동은 발전소의 연료로 사용되고 있는 무연탄과 유연탄의 광물학적 성질이 그대로 반영되어 있다고 생각할 수 있다.⁷⁾ 한편, 유연탄 석탄회의 DTA 곡선에서 살펴보면, 1330°C에서 흡열피크가 나타나고 있다. 이것은 유연탄 석탄회의 용융에 기인하는 것으로, 위의 X선 회절 분석 결과에서 예측되었듯이 무연탄 석탄회가 유연탄 석탄회 보다 더 높은 용점을 갖고 있음을 입증해 주는 결과이다.

고온에서 무연탄 석탄회와 유연탄 석탄회의 정확한 용융 거동을 조사하기 위하여, 고온현미경에 의한 관찰을 시도하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 여기에서,

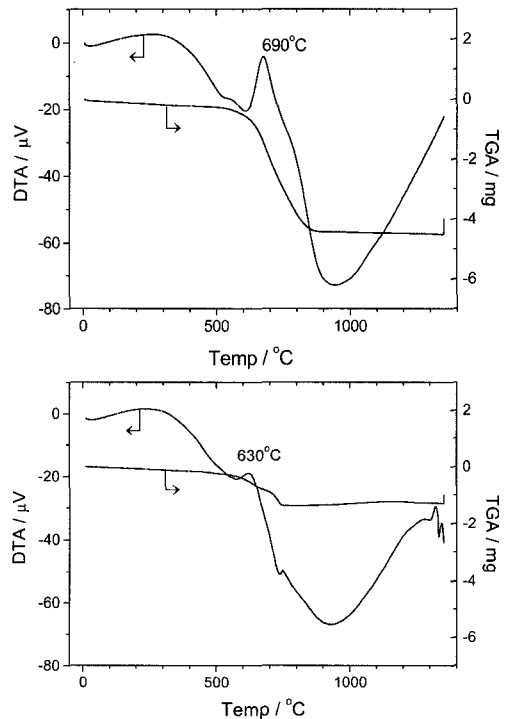


Fig. 3. DTA/TG profiles for fly ashes of (a) anthracite and (b) bituminous.

Table 1. Chemical content of fly ashes of anthracite and bituminous.

Fly Ash	Chemical Content (wt%)											Particle Size (μm)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	F.C.	
Anth. FA 1	52.7	33.5	5.15	1.47	0.87	4.05	0.26	1.73	0.06	0.21	14.4	25.2
Anth. FA 2	53.7	32.8	5.10	1.41	0.87	4.22	0.17	1.81	0.05	0.21	13.5	27.3
Bitu. FA 1	69.7	18.4	7.0	2.05	0.39	0.72	0.49	1.30	0.03	0.15	2.8	18.27
Bitu. FA 2	61.5	25.5	3.8	3.93	1.17	1.16	1.32	1.59	0.05	0.11	5.0	19.99

초기 변형점(initial defromation point)은 소결현상에 의해 시편이 수축하는 온도이고, 반구점(hemisphere point)은 용융 초기의 온도이고, 흐름점(flowage point)은 완전히 용융된 상태를 의미한다. 용융점은 반구점에 해당한다고 볼 수 있다. 무연탄 석탄회의 반구점은 1590°C이고, 유연탄 석탄회는 1530°C를 나타내었다. 이 결과로부터 역시 무연탄 석탄회의 내화도가 더 높은 것을 알 수 있으며, DTA/TG 분석 결과와 같은 경향을 보인다.

위의 분석 결과로부터 무연탄 석탄회가 유연탄 석탄회보다 내화도가 높다는 사실을 확인할 수 있다. 고온에서 무연탄 석탄회가 더 높은 내화도를 나타내는 이유

Table 2. Results of high temperature microscope for fly ashes of anthracite and bituminous.

	Anth. Fly Ash 1	Bitu. Fly Ash 1
Initial Defromation	1230°C	1200°C
Hemisphere	1590°C	1530°C
Flowage	1650°C	1590°C

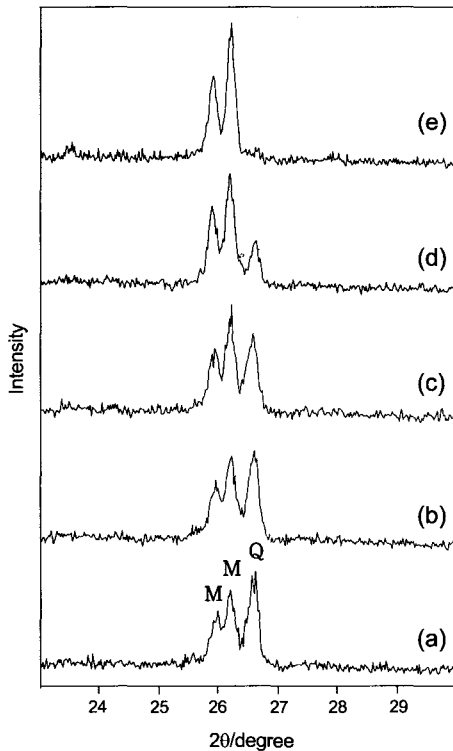


Fig. 4. X-ray diffraction profiles of anthracite fly ash according to calcination temperature. (a) 900°C (b) 1000°C (c) 1100°C (d) 1200°C (e) 1300°C M; Mullite, Q; Quartz

를 조사하기 위하여, 각 시료를 900°C에서 1300°C까지 100°C 간격으로 가열한 후 X선 회절 분석을 행하였다. 승온율은 100°C/hr로 하였고, 각 온도에서 열처리 시간은 5시간으로 하였다. Fig. 4는 무연탄 석탄회의 열처리 온도에 따른 X선 회절 분석 결과이다. 900°C에서 열처리한 시료의 경우, 25°(2θ) 부근에서의 halo 패턴의 X선 회절피크가 사라졌고, 석영의 피크가 증가되어 있음을 확인할 수 있다. 이것은 미연탄소의 연소와 비정질의 SiO₂의 결정화에 기인된 것으로 생각된다. 열처리 온도의 상승함에 따라 몰라이트의 회절 피크 강도는 상승하고, 석영의 회절 피크 강도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나, 1300°C에서 열처리 한 시료의 경우에는 석영의 X선 회절 피크는 거의 사라지고, 몰라이트의 X선 회절 피크만이 관찰되었다. 이 결과로부터 열처리 온도의 증가에 따라 석탄회 중 SiO₂ 성분은 Al₂O₃ 성분과 반응하여 몰라이트를 형성하고, 이 때문에 무연탄 석탄회가 고온에서 높은 내화도를 보이고 있다고 말할 수 있다. Jung 등은⁸⁾ 석탄회에 α-Al₂O₃를 혼합한

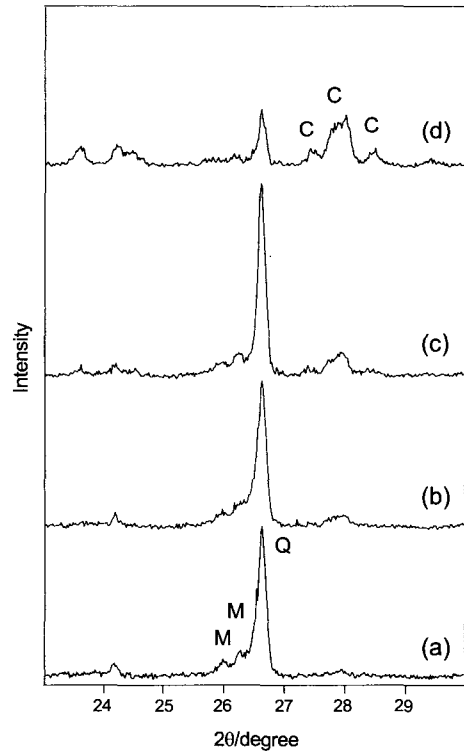


Fig. 5. X-ray diffraction profiles of bituminous fly ash according to calcination temperature. (a) 900°C (b) 1000°C (c) 1100°C (d) 1200°C (e) 1300°C M; Mullite, Q; Quartz, C; (Ca, Na)(Al, Si)₂Si₂O₈

후 1400°C에서 2시간 열처리하여 물라이트를 제조한 연구 결과를 보고하였다. 그러나, 본 연구의 무연탄 석탄회 경우에는 유연탄 석탄회와 비교하여 Al₂O₃의 성분의 함유량이 높기 때문에 추가적인 α-Al₂O₃의 첨가 없이도 물라이트의 합성이 확인되었고, 무연탄 석탄회를 고온 재료의 원료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

Fig. 5는 유연탄 석탄회의 열처리 온도에 따른 X선 회절 분석 결과이다. 열처리 온도가 900°C인 시료에서 25°(2θ) 부근의 halo 패턴 회절선이 사라진 것은 무연탄 석탄회와 동일한 현상으로 생각되지만, 27.9°(2θ)에서 새로운 X선 회절 피크가 출현하였다. 이 회절선의 피크 강도는 온도의 상승에 따라 같이 증가하고, 반대로 물라이트와 석영의 피크는 감소하는 경향을 보이고 있다. 27.9°(2θ)에서 나타난 X선 회절 피크는(Ca, Na)(Al, Si)₂Si₂O₈(JCPDS No. 20-0528)에 기인된 것으로, 이것은 유연탄 석탄회 중 알칼리 성분인 Ca와 Na가 SiO₂와 우선 반응하여 화합물을 형성하고 다시 물라이트와 반응하여 생성된 물질로 판단된다. 이러한 산알칼리 반응에 의해서 생성된 화합물은 일반적으로 융점이 낮고, 결국 유연탄 석탄회의 고온 내화도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다.

3.3. 무연탄 석탄회의 성형 특성

위에서 언급한 실험결과로부터, 무연탄 석탄회는 물라이트 결정 성분이 많고, 고온에서 추가적으로 물라이트를 형성하기 때문에 유연탄 석탄회 보다도 더 높은 고온 내화도를 나타내게 된다는 사실을 알 수 있었다. 이러한 특성은 소성블릭의 제조에 있어서 매우 유리한

점으로 평가되지만, 소성블릭을 제조하기 위해서는 무연탄 석탄회의 성형 특성이 매우 중요하다. 그러나, 예비실험에서 무연탄 석탄회 자체만으로는 가소성이 매우 낮기 때문에 진공압출성형은 불가능하였다. 따라서, 본 실험에서는 소성블릭의 주요 원료인 고령토와 장석을 혼합하여 혼합시료를 제조하였고, 무연탄 석탄회의 고령토 대체 비율에 따른 성형 특성을 조사하였다.

Fig. 6은 혼합시료 중 석탄회 함량의 변화에 따른 압출 속도와 압출 성형체의 강도를 나타내고 있다. 혼합시료 중 장석의 함량을 10 wt%로 고정하고, 고령토와 석탄회의 대체율을 20 wt%에서 60%까지 증가시키면서 성형 특성을 조사하였다. 이때 수분 첨가량은 총 시료량의 16 wt%로 하였고, 시료 혼합시간은 120분으로 하였다. 석탄회를 첨가하지 않고 고령토 90 wt%와 장석 10 wt%를 혼합한 시료의 경우, 압출 성형체의 토출속도는 5.1 cm/min을 나타내었다. 여기에 고령토 대신 석탄회를 20 wt% 대체하면, 성형체의 토출속도는 7.1 cm/min으로 증가되어 오히려 성형특성이 개선되는 현상이 나타났다. 고령토와 장석만을 혼합한 시료의 압출속도가 낮은 것은 고령토의 강한 점결력 때문으로 생각된다. 이와 같이 석탄회의 첨가로 토출속도가 증가하는 현상은, 입경이 미세하고 구형의 형태를 갖고 있는 석탄회의 첨가에 의해 고령토의 강한 점결력이 부분적으로 약화되고, 이러한 현상은 오히려 성형체의 토출속도를 개선하는 효과를 가져왔다고 보여진다. 그러나, 가소성이 부족한 석탄회의 함량이 40 wt%를 넘게 되면서 성형체의 토출속도가 급격히 저하하였고, 석탄회의 함량이 많아질수록 성형체의 표면도 거칠어졌다. 성형체의 강도

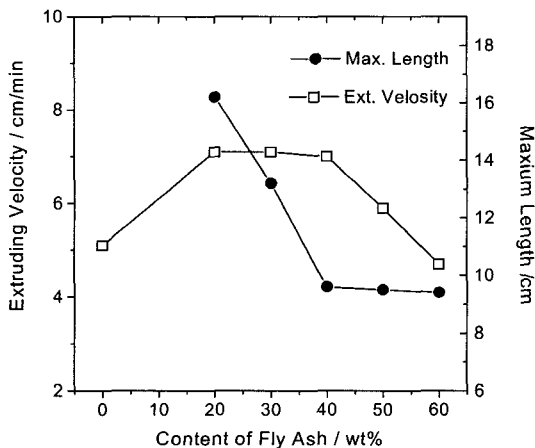


Fig. 6. Change of extruding velocity and maximum length according to the content of fly ash in mixtures.

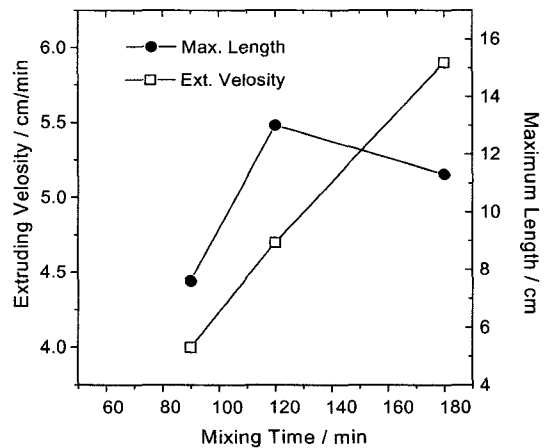


Fig. 7. Change of extruding velocity and maximum length according to the mixing time of fly ash mixtures.

는 가소성이 낮은 석탄회의 첨가에 의해 급격히 감소하는 현상을 나타내었지만, 석탄회 함량이 40wt% 이상에서는 더 이상 저하하지 않고 60wt%까지 거의 일정한 값을 보였다. 그러나, 65wt% 이상 석탄회를 첨가한 혼합시료는 압출성형기에 시료의 장입이 곤란하였고 결과적으로 압출 성형되지 않았다. 혼합시료에 석탄회를 65wt% 이상 첨가하여 성형하기 위해서는 가소성 증진제의 첨가 등과 같은 추가적인 조치가 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 7은 시료의 혼합시간에 따른 압출속도와 성형체의 강도 변화를 나타낸 것이다. 혼합시료의 석탄회 함량은 60 wt%이고, 수분은 16 wt%로 하였다. 혼합체의 혼합시간이 증가할수록 토출속도는 증가하였으나, 성형체 강도는 혼합시간이 120분일 때 최대값을 보였다. 이 결과로부터 혼합시료 중 수분의 분포 상태는 혼합시료의 점결력을 결정하는 매우 중요한 인자임을 알 수 있다. 그러므로 적정 수분 첨가량이라고 하는 것은 혼합조건과 시간에 따라 달라질 수 있다. Fig. 7의 실험 결과에서도 혼합시간이 길어지게 되면 오히려 성형체의 강도가 저하하게 되는데, 이것은 혼합시간 180분에서는 수분의 분포가 더욱 균질해지기 때문에 16 wt%의 수분 첨가량이 과다하다는 것을 의미한다. 즉, 동량의 수분이 존재하지만 혼합시간이 길어지면 시료 전체에 균일하게 분포하기 때문에 더 적은 양의 수분으로도 최대 점결력을 보일 수 있는 것이다. 따라서 본 실험에서 무연탄 석탄회의 첨가량이 60 wt%이고, 수분이 16 wt%인 시료의 최적 혼합시간은 120분임을 알 수 있었다.

4. 결 론

1. 무연탄 석탄회 중 미연탄소의 함량은 13~15wt%이고 Al_2O_3/SiO_2 비는 평균 0.62로, 유연탄 석탄회와 비교하여 각각 약 10 wt%와 0.28 더 높은 값을 보였다. 또한, 무연탄 석탄회의 평균입경은 26 μm 로 유연탄 석탄회의 평균입경 19 μm 보다 큰 값을 나타내었다. 석탄회의 주요 결정구조는 두 시료 모두 석영, 물라이트, 산화철 및 유리질로 구성되어 있었지만, 특히 무연탄 석탄회 중에는 물라이트 결정이 다량 함유되어 있었다. 무연탄 석탄회 중의 SiO_2 성분은 석영, 물라이트, 비정질

의 형태로 존재하고 있으며, 고온에서 Al_2O_3 와 반응하여 추가적인 물라이트를 형성하였고, 결과적으로 생성된 물라이트 결정이 무연탄 석탄회의 고온 내화도를 향상시키는 역할을 하였다.

2. 무연탄 석탄회의 성형특성을 조사한 결과, 혼합시료 중 무연탄 석탄회의 함량이 40 wt%를 넘게 되면서 압출 성형체의 토출속도가 급격히 저하하였고, 성형체의 강도는 석탄회 첨가량이 40 wt%까지 감소하는 경향을 나타내었지만 그 이상의 첨가량에서는 일정한 값을 보였다. 무연탄 석탄회의 첨가량이 65 wt% 이상에서는 성형이 불가능하였다.

3. 시료의 혼합시간은 수분의 분포 상태와 밀접한 관계가 있었으며, 압출 성형체의 토출속도 및 강도에 영향을 주었다. 혼합시료 중 무연탄 석탄회가 60 wt%이고, 수분이 16 wt%일 때에는 최적 혼합시간은 120분이었다.

참고문헌

1. 이희상, 2002: 국내의 석탄회 발생 및 처리현황, 석탄회활용기술워크숍, 1-16.
2. Kishimoto, K., and Watanabe, M., 1997: Utilization of coal fired power plant by-products -Utilization of coal ash-, *에너지·자원*, **18**(6), 530-535 (1997).
3. Moreno, N., Pereira, C.F., and M.J., 2001: Jubkovicova: Utilization of zeolites synthesized from coal fly ash for the purification of acid mine waters, *Environ. Sci. Technol.*, **35**, 3526-3534.
4. Foner, H.A., Robl, T.L., Hower, J.C., and Graham, U.M., 1999: Characterization of fly ash from israel with reference to its possible utilization, *Fuel*, **78**, 215-223.
5. Phair, J.W., Van Deventer, J.S. and Smith, J.D., 2000: Mechanism of polysialation in the incorporation of zirconia into fly ash based geopolymers, *Ind. Eng. Chem. Res.* **39**, 2925-2934.
6. Leroy, C., Ferro, M.C., Monteiro, R.C.C. and Fernandes, M.H.V., 2001: Production of glass-ceramics from coal ashes, *J. European Ceramic Soc.*, **21**, 195-202.
7. Demir, I., Hughes, R.E., and DeMaris, P.J., 2001: Formation and use of coal combustion residues from three types of power plants burnig illonis coals, *Fuel*, **80**, 1659-1673.
8. Jung, J.S., Park, H.C., and Stevens, R., 2001: Mullite ceramics derived from coal fly ash, *J. Mater. Sci. Let.*, **20**, 1089-1091.



柳 然 太

- 82-86년 전북대학교 금속공학과 학사
- 86-88년 전북대학교 금속공학과 석사
- 89-93년 일본동북대학교 재료공학 박사
- 93-03년 한국지질자원연구원 선임연구원
- 현재 전북대학교 신소재공학부 조교수



金 炳 圭

- 76-80년 전북대학교 화학공학과 학사
- 83-85년 전북대학교 화학공학과 석사
- 89-93년 일본동북대학교 응용화학 박사
- 현재 한국지질자원연구원 책임 연구원



崔 榮 允

- 74-81년 전북대학교 화학공학과 학사
- 82-86년 한국과학기술원(KAIST) 화학공학과 석사
- 01-04년 전북대학교 화학공학 박사
- 현재 한국지질자원연구원 책임 연구원



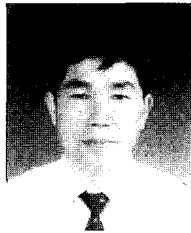
南 哲 佑

- 79-85년 전북대학교 금속공학과 학사
- 92-94년 충남대학교 금속공학과 석사
- 95-99년 전북대학교 금속공학과 금속공학 박사
- 현재 한국지질자원연구원 선임연구원



李 用 錫

- 91년 (주)삼정연와 창업
- 99년 (주)대평세라믹스산업 창업
- 현재 (사)한국환경상품제조협회 이사
- 현재 (사)GR협회 이사



金 仟 淳

- 91-2000년 우성세라믹스공업(주)
- 현재 (주)대평세라믹스산업 부장

《광 고》 本 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I, II, III, IV 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서) 440쪽 價格 : 15,000원 "