

國產 無煙炭과 폐플라스틱을 使用하는 合金鐵用 코크스의 製造에 관한 研究†

李桂承* · †宋泳俊** · 徐鳳源*** · 李大永*** · 李成龍** · 윤시내**** · 金胤彩**

*韓國地質資源研究院, **江原大學校, ***太白機械工業高等學校, ****大邱産業情報大學

A Study on Manufacturing Cokes for Ferroalloy Using Domestic Anthracite and Waste Plastic†

Gye Seung Lee*, †Young Jun Song**, Bong Won Seo***, Dae Young Lee***
Sung Riong Lee***, Si-Nae Yoon**** and Youn Che Kim**

*Korea Institute of Geoscience and mineral resources, **Kangwon National Univ.

Taebaek Machanical Technical High School, *Daegu Polytechnic College

요 약

본 연구는 플라스틱과 무연탄을 혼합한 다음 소결하여 합금철용으로 사용 가능한 코크스를 얻기 위하여 수행 되었으며, 무연탄과 플라스틱의 연소 특성 및 물성을 조사하고, 선탄기조실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 1. 삼척지역의 3종 무연탄 시료에 대한 물질 측정 결과 각 무연탄 시료에는 100 μm 이상의 회분들이 25~30% 정도 함유되어 있으며 발열량은 태안시료 5,205cal/g, 장성시료 4,893cal/g, 경동시료 4,873cal/g 이었다. 2. 선탄 기조 실험 결과 3종의 국산 무연탄을 중액선별로 선탄하는 경우에 중액의 비중이 2.4이고 석탄의 입도는 35~140mesh로 조절하는 것이 적당할 것으로 나타났다. 3. 플라스틱의 열분해 특성상 코크스용 점결제로 사용이 가능한 플라스틱은 분말 페놀수지, 액상 페놀수지, SAN, 멜라민수지 등 이며, 공정의 단순화를 위해서는 액상 페놀수지가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

주제어 : 무연탄, 합금철용, 코크스, 선탄실험, 점결제

Abstract

The aim of this study is to produce cokes which can be used for the production of ferroalloy, for this purpose, domestic anthracite mixed with plastic was sintered at various condition. The combustion and physical properties of anthracite and plastic, coal separation, and the influence of factors on the strength of coke were investigated. The results of this study are as follows: 1. The three kinds of anthracite from the Samcheok region contained 25 to 30% ash of 100 μm over size, and have the caloric value of 5,205 cal/g(TaeAn), 4,893 cal/g(JangSung), 4,873cal/g(KyongDong). 2. The recommendable conditions for heavy-fluid separation of the Samcheok coal are to set the specific gravity of heavy fluid to 2.4 and control the size of coal to 35~140mesh. 3. It is concluded that phenolic resin powder, liquefied phenolic resin, SAN, and melamine resin can be used as a binder for the anthracite cokes, from the thermal analysis of various plastics. Especially, the liquefied phenolic resin was considered as the most suitable binder as it would simplify the process.

Key words : anthracite, ferroalloy, cokes, coal preparation, binder

1. 서 론

우리나라의 코크스 수요량은 약 2,000만 톤 정도로

추산되며 이 중 60만 톤 정도가 완성품 형태로 수입되어 사용되고 있고 나머지는 수입 유연탄(점결탄)을 원료로 하여 국내에서 제조하여 사용하고 있다^{1,2)}. 수입되고 있는 코크스 중 15만톤 정도가 합금철용으로 추정되며 그 가격은 2003년 까지는 200\$/톤(FOB기준) 정도를 유지하여왔으나 2004년도부터 급등락이 반복되는

† 2008년 4월 22일 접수, 2008년 7월 21일 수리

* E-mail: yjsong64@kangwon.ac.kr

매우 불안정한 상태에 있으며, 2008년 3월 현재는 500-510\$/톤에 거래가 이루어지고 있다³⁾. 이러한 가격 불안정은 2005년부터 시작된 세계 자원대란의 영향으로 생각되며 2008년 3월 현재 유가는 100\$/barrel을 넘어섰고, 유연탄 가격도 CIF Korea 기준으로 160\$/ton을 넘어섰다⁴⁾. 코크스 가격의 불안정과 함께 합금철 업체를 괴롭히고 있는 것은 코크스의 공급을 거의 중국에 의존하게 됨으로써 그 품질과 수급마저도 매우 불안정한 상태가 계속되고 있다는 점이다. 이와 같은 상황이 계속되자 그동안 수입코크스 또는 대규모 국내 제철소의 코크스를 주로 사용해 오던 합금철 제조업체에서도 코크스의 자체 제조를 고려하기 시작 하였다.

코크스는 각종 제철-계강 공정 또는 화학공업에서 연료 또는 환원제로 이용되고 있으며 그 종류는 용도에 따라 용광로용, 주물용, 비철금속 제련용, 가스화용, 카바이드용, 일반용 등으로 구분되며 각 용도에 따라 요구하는 품질요건이 다르다⁵⁾. 현재 이러한 코크스들은 대부분 점결탄을 원료로 하여 각 품질요건을 만족시킬 수 있는 공법으로 제조되고 있으며, 이 중에서도 특히 합금철제조용으로 사용되는 코크스는 주로 submerged type arc furnace에 사용되기 때문에 품질요건 중 그 전기적 성질을 매우 중요시 한다.

국산 무연탄을 원료로 한 코크스의 제조에 관한 연구는 1970년경에 몇몇 연구자들에 의해 연구^{6,7)}되었으나 이들은 주로 점결탄 혹은 타르피치를 점결제로 사용하고 있으며, 코크스의 강도향상에 주안점을 두고 있다.

본 연구에서는 우선 국산 무연탄과 페플라스틱을 사용하여 합금철용 코크스를 제조하고자 할 경우 필요한 기초 자료를 얻는 목적으로 무연탄과 플라스틱의 연소 특성 및 물성을 조사하고, 선탄기초 실험, 코크스 제조 실험 등을 행하였다.

2. 실험 방법

2.1. 시료

본 연구를 위하여 사용된 시료는 국산 무연탄과 코크스이다. 국산 무연탄은 경동탄광, 장성탄광, 태안산업의 저탄장에서 채취하였으며 고품위 부분을 정광, 저품위의 것을 광미로 구분하여 사용하였다. 코크스 시료는 동부 메탈에서 제공한 일본산 NKK코크스와 Chiba 코크스를 사용하였다. 플라스틱 시료는 LDPE, HDPE, PP, GPPS, SAN, PET, ABS, 멜라민수지, 복합수지, 액상페놀수지, 분말페놀수지 등 범용 플라스틱 12종을 선택하여 사용

하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 조직 관찰

현미경을 이용하여 시료의 미세구조를 관찰하였으며 사용된 현미경은 광학현미경인 Nikon Optiphot-Pol(UFX-DXII)이다. 미세조직의 화학조성을 관찰하기 위하여 주사전자현미경-에너지 분산, X-선분석기(SEM/EDS: JSM-6300, JEOL, Japan/ISIS-300, Oxford, England)를 사용하여 그 조성을 분석하였다. 이때 시료에 도전성을 부여하여 상 장애 요인인 charging의 감소, 이차전자 발생량을 양호하게 하여 이미지 분해능을 향상, EDS분석의 용이성 등을 고려하여 gold coating하였다.

2.2.2. 성분 검사

회분 등의 성분조사를 위하여 X-선 형광분석기(XRF: Rh target ZSX100e, Rigaku, Japan)를 이용하였으며, XRF 분석을 위하여 마노유발을 이용하여 시료를 분쇄한 후 auto press에서 20ton으로 \varnothing 30 mm pellet을 만들어 분석에 사용하였다.

2.2.3. 열적특성 검사

시료의 열적 특성을 조사하기 위하여 시차 열량분석기(DTA: STA409PC, Netzsch, Germany)를 사용하여 분석하였다. 이때 분석조건은 승온속도 10°C/min으로, 분위기 가스는 Ar과 압축공기를 사용하였고 유량은 공히 100 ml/min.으로 하였다.

2.2.4. 입도측정

laser광을 이용하는 Cilas 1064 Particle Size Analyser를 이용하여 알콜에 시료를 분산시킨 후 초음파를 조사하면서 입도를 측정하였다.

2.2.5. 강도의 측정

강도의 측정은 정밀 강도측정기인 미국 Instron사의 Fast track 8801을 사용하였으며 하중속도는 1cm/min으로 고정하였고 동일조건인 시료를 3개 이상 측정하여 그 평균치를 구하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 무연탄과 코크스의 미세 조직

국내 무연탄과 코크스의 조직을 관찰하기 위하여 각

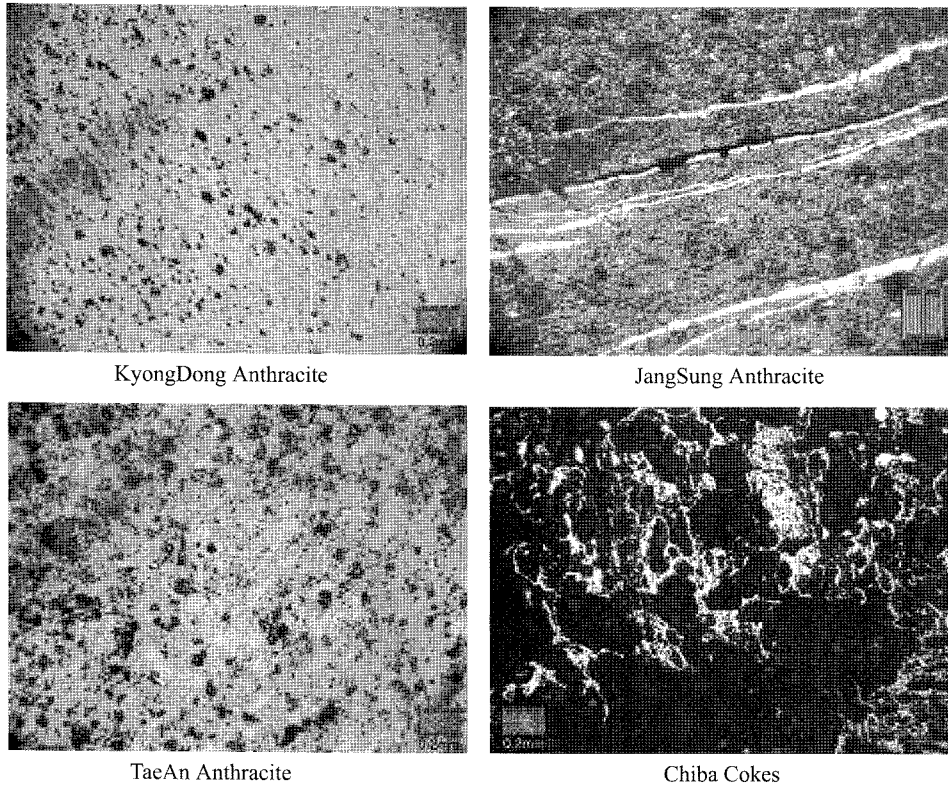


Fig. 1. Microphotograph of domestic anthracite and cokes.

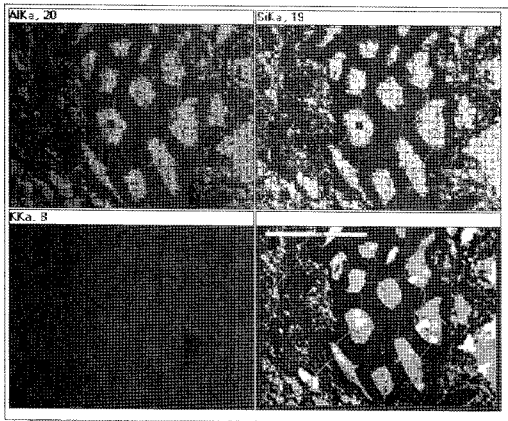


Fig. 2. SEM-EDS image of KyongDong anthracite.

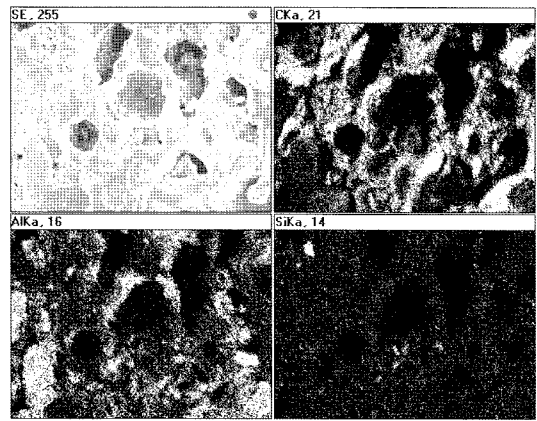


Fig. 3. SEM-EDS image of Chiba cokes for ferroalloy.

시료를 연마편으로 만들고 현미경 관찰을 행하였다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 경동 무연탄에는 0.02~0.05 mm 정도의 불순물(흑색)들이 전체적으로 균일하게 분포하고 있었고, 장성 무연탄의 경우는 밝은색으로 보이는 피상의 불순물들이 다수 관찰되었으며, 이들은 대

부분 세일일 것으로 생각된다. 태안 무연탄인 경우는 불순물의 분포 상태는 경동 무연탄과 유사하였으나 석탄 부분에서는 수지상 화석들이 다수 관찰되는 특징을 보였다. 이와 같은 사실들은 태안 무연탄이 탄화도가 가장 낮아 휘발성분을 많이 함유하며 장성 무연탄인 경우

는 탄화도가 매우 높다는 기존의 연구⁸⁻¹⁰⁾들과도 유사한 결과를 나타낸다.

코크스의 경우는 NKK와 Chiba 시료 모두 0.1~2 mm의 기공들이 불균일하게 분포하는 경향을 보였다.

Fig. 2는 경동무연탄에 대한 SEM-EDS분석 결과이며 무연탄에 함유되어 있는 불순물들이 Al과 Si를 다량 함유하는 조립질 물질임을 보여준다. Fig. 3은 Chiba 코크스에 대한 SEM-EDS분석 결과이며 Al를 주로 함유하는 불순물이 극미립의 상태로 탄소와 함께 균일하게 분포하고 있음을 보인다.

3.2. 발열량 및 연소 특성 조사

Fig. 4는 무연탄과 코크스의 온도에 따른 무게변화를 분석한 TG 그래프로서 무연탄 정광의 경우 회분함량은 장성정광 30.01%, 경동정광 30.04%, 태안정광 25.06%이며, 무연탄 광미인 경우 회분함량은 경동광미가 62.07%를 나타냈으며, 코크스인 경우는 반응이 끝났을

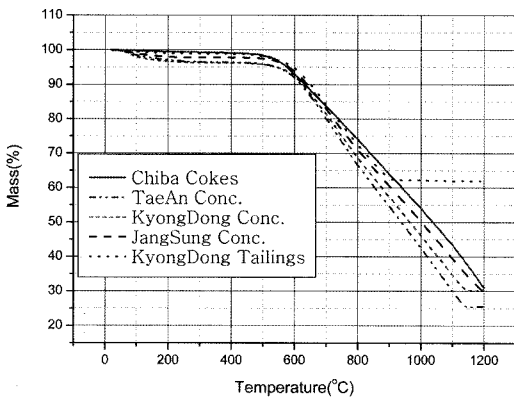


Fig. 4. TG curves on domestic anthracite and cokes sample.

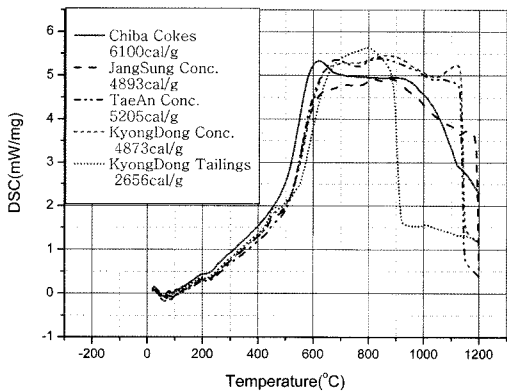


Fig. 5. DSC curves on domestic anthracite and cokes sample.

경우 회분함량이 약 13% 정도 까지 내려갈 것으로 생각된다. 결론적으로 가장 품질이 좋은 것은 태안정광임을 알 수 있다. TG곡선상의 연소속도는 기울기로 알 수 있는데 코크스가 가장 느리고, 태안정광이 가장 빠른 특성을 보이고 있음을 나타낸다.

Fig. 5는 무연탄과 코크스의 발열량 분석 결과를 보여주는 DSC 그래프로서 DSC 상의 곡선의 면적으로부터 무연탄과 코크스의 발열량을 계산하면 코크스 6,100cal/g, 장성정광 4,893cal/g, 태안정광 5,205cal/g, 경동정광 4,873cal/g, 경동광미 2,656cal/g 임을 알 수 있었다.

3.3. 불순물의 입도와 화학조성

5종의 괴상시료 약 20 g을 정확히 칭량하여 기록하고 자체도가니에 넣어 산화 분위기의 로(爐)에서 700°C 6 시간 동안 완전 연소 시킨 다음 연소 잔사의 무게를 측정하고, 그 입도와 화학 조성을 분석하였다.

입도 분석 결과를 나타낸 Fig. 6의 각 그래프들로부터 코크스 내에 함유되어 있는 회분의 입도는 최대빈도경으로 나타낼 경우 Chiba가 1.16 μm, NKK가 0.68 μm로 매우 미세하며 국산 무연탄의 경우는 100~500 μm임을

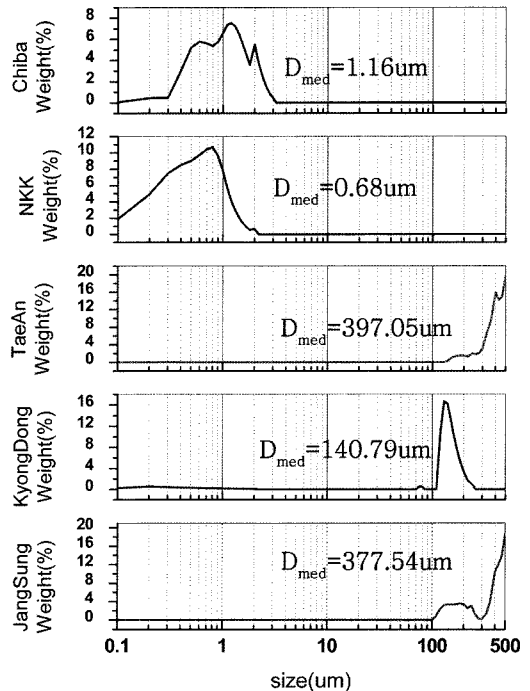


Fig. 6. Particle size distribution of ash contained in domestic anthracite and cokes.

Table 1. Chemical composition of ash contained in domestic anthracite and cokes.

Sample	Ash(%)	Major contents(%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	etc.
Chiba Cokes	13.19	53.2	28.7	7.12	1.49	9.49
NKK Cokes	17.61	57.6	28.8	3.41	1.69	8.5
TaeAn Conc.	25.30	48.1	38.4	2.54	3.82	7.14
JangSung Conc.	28.79	48.5	36.9	3.84	4.74	6.02
KyongDong Conc.	29.32	49.5	38.3	4.17	3.98	4.05

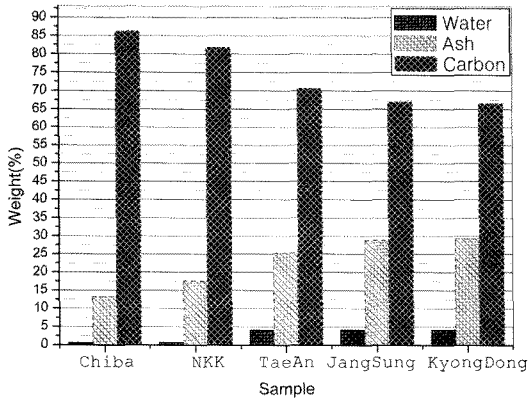


Fig. 7. Major contents of domestic anthracite and cokes.

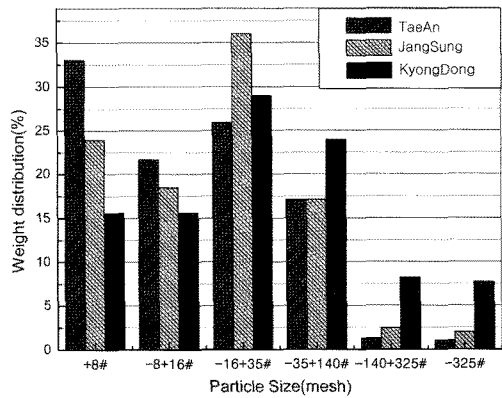


Fig. 8. Particle size distribution of domestic anthracite.

알 수 있다. 그 중에서도 경동 무연탄에 함유되어 있는 회분의 입도가 140.79 μm로 가장 미세하고 태안과 장성인 경우는 각각 397 μm와 377 μm로 비슷한 크기를 보였다. 이러한 사실들로부터 무연탄을 선별 하고자 하는 경우 분쇄입도는 100 μm 이하로 하여야만 완전한 단체분리가 이루어짐을 의미한다.

코크스와 무연탄 시료에 함유되어 있는 회분의 함량 및 그 조성을 나타낸 Table 1의 결과에서 코크스에 함유되어 있는 회분의 함량은 13~18%이고 국산 무연탄의 경우는 25~30%임을 알 수 있다.

회분의 조성은 5종 시료 모두 SiO₂와 Al₂O₃가 주성 분임을 알 수 있다. Fig. 7의 결과에서는 코크스에 함유되어 있는 수분 함량은 1% 정도이고 국산 무연탄에 함유되어 있는 수분 함량은 4% 정도임을 알 수 있다.

3.4. 원탄의 입도와 입단별 회분 조성 변화

3종 무연탄 시료의 입도분포와 입단별 회분함량 및 그 조성의 변화를 조사하기 위하여 각각의 시료를 4mesh, 8mesh, 18mesh, 35mesh, 140mesh, 325mesh로 사분하고 각 입단의 무게를 측정하여 원탄의 입도

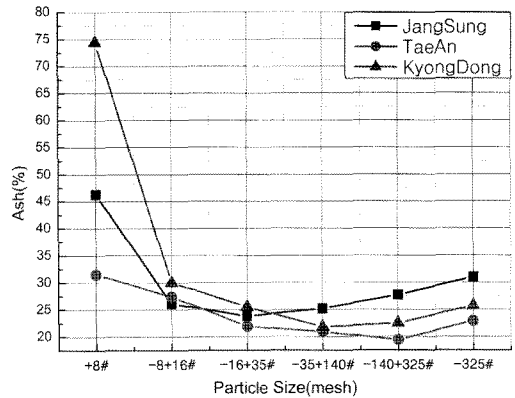


Fig. 9. Ash contents of domestic anthracite as a function of particle size.

분포를 구하였으며, 각 입단의 시료 중 일정량을 채취하여 700°C 6시간 동안 산화한 다음 잔류하는 연소 잔사의 양으로부터 회분의 함량을 조사하고 이에 대한 XRF 분석으로 그 조성을 분석하였다. Fig. 8의 입도분포 조사결과에서 3종의 무연탄은 대부분 140mesh이상의 입단으로 구성되어 있으며 태안무연탄의 경우는 비

Table 2. Chemical composition of ash contained in domestic anthracite of various size group.

Sample		ASH (%)	Major contents(%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	etc.
TaeAn	+8mesh	31.53	42.00	34.30	0.76	3.58	19.36
	-8+16mesh	27.36	48.30	36.90	2.20	3.95	8.65
	-16+35mesh	21.89	47.70	39.80	2.52	3.67	6.31
	-35+140mesh	20.90	48.00	39.90	2.41	3.61	6.08
	-140+325mesh	19.40	48.30	39.80	2.46	3.55	5.89
	-325mesh	22.89	49.80	39.70	2.94	2.83	4.73
JangSung	+8mesh	46.31	48.50	41.00	0.66	5.35	4.49
	-8+16mesh	26.11	45.30	36.00	4.96	4.58	9.16
	-16+35mesh	23.76	48.60	33.80	5.93	4.72	6.95
	-35+140mesh	25.25	49.10	37.90	1.99	4.64	6.37
	-140+325mesh	27.72	48.00	39.10	2.82	4.33	5.75
	-325mesh	31.00	48.30	39.20	2.82	3.97	5.71
KyongDong	+8mesh	74.40	53.60	37.50	0.45	6.08	2.37
	-8+16mesh	30.00	50.50	34.40	7.26	3.58	4.26
	-16+35mesh	25.50	50.00	36.20	6.29	3.60	3.91
	-35+140mesh	21.84	48.50	40.20	2.58	4.11	4.61
	-140+325mesh	22.55	49.50	40.20	2.51	3.77	4.02
	-325mesh	25.74	50.70	40.10	2.09	3.60	3.51

교적 조립인 8mesh 이상의 입자들이 다량 함유되어 있음을 알 수 있었다. 입단별 회분함량 변화를 나타낸 Fig. 9에서는 3종의 시료 공회 16~325mesh의 입단에서 회분함량이 가장 낮은 25% 이하를 나타내었으며 그 중에서도 태안무연탄의 140~325mesh 입단에서는 회분함량이 가장 낮은 19% 정도를 나타내었다. Table 2에 는 각 입단별 회분의 화학조성을 나타내었다.

이상의 결과는 3종의 국산 무연탄을 단순히 사분하여 8~325mesh의 입단만을 취할 경우 약 3~5%의 회분함량을 감소시킬 수 있음을 의미 한다.

3.5. 선택 파쇄 후 입단별 회분 함량 및 회분 조성 변화

무연탄에 함유되어 있는 혈암(shale) 등의 불순물은 무연탄에 비하여 경도와 강도가 높고 무연탄은 조립의 열편상으로 파쇄되는 특성을 갖는다. 따라서 적당한 강도의 파쇄조건에서 분쇄할 경우 무연탄과 불순물의 입도가 달라질 수 있을 것이며 이를 사분하면 무연탄과 불순물을 분리하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 이러

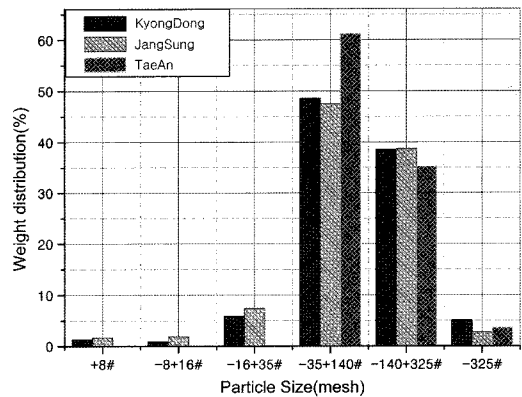


Fig. 10. Particle size distribution of domestic anthracite after selective crushing.

한 선택파쇄에 의한 무연탄의 선별에 관한 기초연구를 행하고자 하였다.

3종의 원탄 시료를 조크러셔에서 4mesh 이하로 분쇄한 다음 한 개의 룯드(Rod)만을 장입한 룯드밀에서 2 시간 동안 150rpm으로 분쇄한 후 사분을 하고 각 입

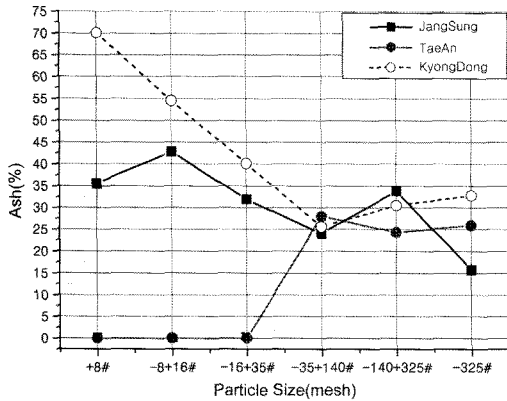


Fig. 11. Ash contents of domestic anthracite as a function of particle size after selective crushing.

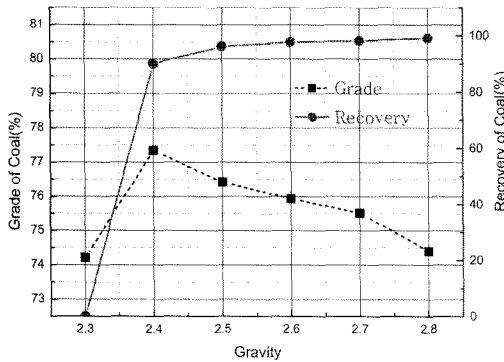


Fig. 12. Grade and recovery of coal as a function of fluid's gravity in heavy-fluid separation.

단별 중량 분포와 회분함량 변화를 분석하였다.

분쇄 후의 입단별 중량분포를 나타낸 Fig. 10의 결과에서 3종 무연탄 시료가 모두 분쇄에 의하여 35~325mesh로 입도가 조정되었음을 알 수 있다. 이들 각 입단의 시료에 대한 회분함량 분석 결과를 나타낸 Fig. 11의 결과에서는 장성과 경동 무연탄은 35~325mesh의 입단에서 불순물 함량이 25~30%로 타 입단에 비하여 낮은 특성을 보였지만 태안 무연탄은 과분쇄 됨에 따라 평균 품위인 25%가 되어 분리효과가 전혀 없었음을 알 수 있다. 이러한 결과들은 선택 파쇄에 의한 회분제거 가능성이 매우 높음을 보여 준다.

3.6. 중액선별 효과에 미치는 선별비중의 영향 분석

Fig. 12는 테트라브로모메탄과 벤젠의 혼합비를 조절하여 비중이 2.3~2.8이 되도록 제조한 중액의 비중에 따른 부유된 석탄의 회수율(recovery)과 품위(grade)를

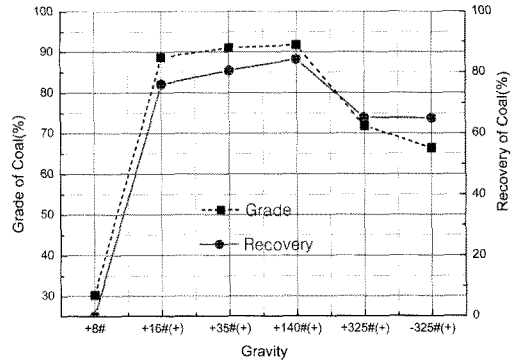


Fig. 13. Grade and recovery of coal as a function of particle size in heavy-fluid separation.

나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 선별비중이 2.3인 경우는 석탄과 불순물이 모두 침강하여 분리가 전혀 이루어지지 않았으나 선별비중이 2.4가 되면 회수된 석탄의 품위가 최대치인 77.5%이고 회수율도 91%정도로 높은 최고의 선별효율을 나타내었다. 2.5 이상의 선별비중에서는 단계분리가 안 된 불순물을 포함하는 석탄들도 부유하여 석탄의 회수율은 거의 100%에 달하지만 회수되는 석탄의 품위는 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 국내 무연탄의 중액선별을 위한 중액의 선별비중은 2.4 정도가 적당할 것으로 판단된다.

Fig. 13은 중액선별의 효율에 미치는 입도의 영향을 조사한 결과이다. 태안 정광 시료를 4mesh, 8mesh, 18mesh, 35mesh, 140mesh, 325mesh로 사분하고 각 입단에 대하여 비중 2.4에서 중액선별하여 회수율과 품위를 조사하였다. 그림에서 8mesh 보다 큰 입자들은 모두 침강하여 부유층에서 회수된 석탄 입자들은 전혀 없었고 침강한 입자 내에 약 30% 정도의 석탄입자들이 내포되어 있음을 알 수 있었다. 16mesh~140mesh의 입도에서는 석탄의 품위가 90%(회분함량 10%)정도로 높고 회수율도 80~90%로 높아 매우 우수한 선별효율을 나타내었다. 140mesh 이하의 입단에서는 회수율과 품위가 모두 저하하는 경향을 보였다. 이와 같이 입도가 작을수록 중액선별 효율이 낮아지는 것은 미립의 석탄입자와 불순물 입자들이 응집하여 함께 거동하기 때문으로 생각된다. 따라서 중액 선별을 위한 최적의 조건은 석탄을 35~140mesh 정도의 크기가 되도록 분쇄하고 비중이 2.4 정도인 중액을 사용하는 것이다.

3.7. 각종 플라스틱의 열분해 특성 분석

무연탄의 코크스화를 위한 점결체를 선정하기 위하여

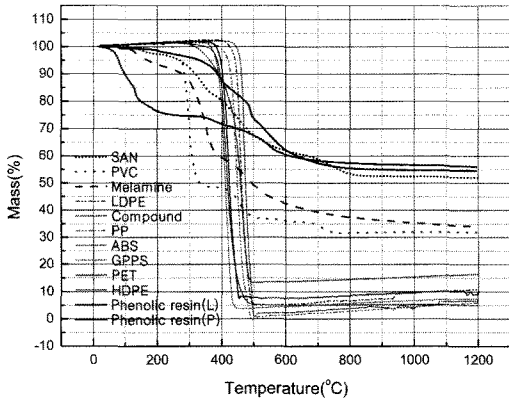


Fig. 14. TG curves on various plastics.

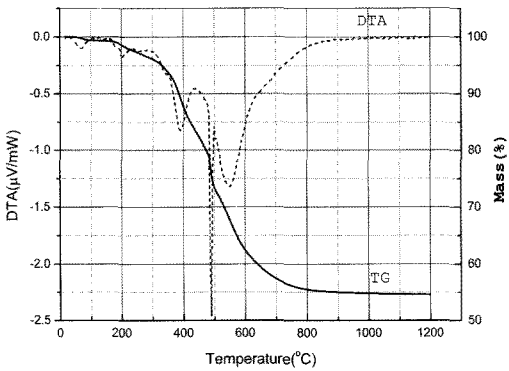


Fig. 15. TG-DTA curves on phenolic resin powder.

12종의 상용 플라스틱 시료들에 대하여 Ar분위기에서 TG분석을 행하여 그 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 그림의 결과에서 열분해 온도가 비교적 높고 잔류 탄소 함량도 많아 점결제로 사용하기에 유리한 플라스틱으로는 분말페놀수지, 액상페놀수지, SAN, 멜라민수지, PVC 등임을 알 수 있다. 이중에서도 분말 페놀수지는 열분해 온도가 350~600°C로 매우 높고 잔류탄소 함량도 55%로 높음을 알 수 있다. 액상페놀수지의 경우는 50~150°C 범위에서 1차 분해반응이 일어나고 350~600°C에서 2차 분해 반응이 일어나며 잔류 탄소의 함량은 가장 높은 56% 정도를 나타내었다. 따라서 무연탄의 코크스화를 위한 점결제로는 페놀계 수지와 SAN이 가장 적당할 것으로 판단된다. Fig. 15과 Fig. 16은 각각 분말페놀수지와 액상페놀수지의 열분해 특성을 보다 자세히 관찰하기 위하여 TG-DTA를 실시한 결과이다.

이 그림들에서 TG곡선은 상기 Fig. 14에 나타낸 것과 동일하며, Fig. 15에서 분말페놀수지의 DTA 곡선을

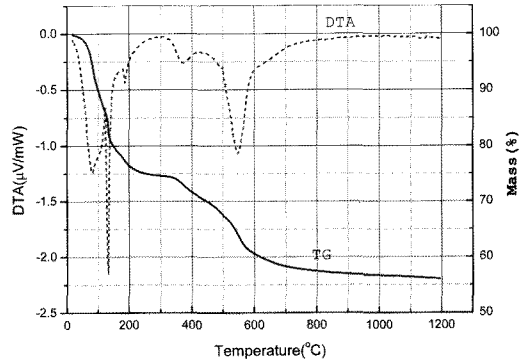


Fig. 16. TG-DTA curves on liquified phenolic resin.

살펴보면 60°C 부근에서 부착수와 미량의 유기용제 등의 휘발에 의한 낮은 흡열피크가 나타나고 200°C 부근에서 결정핵의 생성에 따른 미소한 흡열피크가 나타난다. 200~300°C 범위에서는 결정성장(경화)에 따른 발열피크가 낮고 넓게 나타나고 390°C, 490°C, 550°C에서 페놀기의 분해와 휘발에 따른 흡열피크가 비교적 강하게 나타난다. 이외는 달리 액상페놀수지(Fig. 16)의 경우는 60°C와 130°C에서 수분과 용제의 휘발에 의한 흡열피크가 크게 나타나고 190°C에서 결정핵의 생성을 위한 미소 흡열피크가 나타난다. 190~360°C에서 경화에 따른 발열피크가 크게 나타나고 380°C와 550°C에서는 페놀기의 분해와 휘발에 따른 흡열피크가 나타났다. 그러나 분말페놀수지에서와 같은 490°C의 예리하고 큰 흡열피크는 나타나지 않았다. 이는 액상페놀수지와 분말페놀수지의 경화 및 분해 메카니즘이 서로 다름을 의미한다. 본 연구의 결과로부터 페놀수지의 경화온도는 190~360°C임을 알 수 있다.

3.8. 코크스 제조 실험

코크스 제조를 위하여 점결제와 증류수를 혼합한 점결액 18%와 100mesh 이하의 무연탄 분말(주로 태안정광을 사용) 82%를 혼합하고 2g씩을 직경이 1.128cm(단면적 1cm²)인 성형 몰드에서 50kgf의 압력으로 압축 성형하여 원주형 펠릿을 제조하였다. 제조된 펠릿은 50°C에서 6시간 동안 탈수한 다음 200°C에서 2시간 동안 경화하고 엘리베이터 타입 승강식 전기로에서 1200°C로 6시간 동안 소결하였다. 동일 조건에서의 시료의 수는 5개 이상으로 하였으며, 전기로의 승온속도는 공히 10°C/min으로 고정하였다. 이 때 점결액의 조성 중 점결제인 액상 페놀수지와 분말페놀수지의 첨가량을 0~18% 범위에서 변화시키고 코크스의 강도에

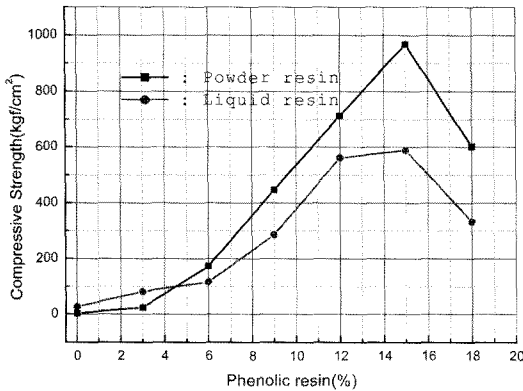


Fig. 17. Compressive strength of cokes made with various additional ratio of phenolic resin.

미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 17의 결과에서 분말페놀수지가 액상페놀수지에 비하여 전체적으로 높은 강도를 나타내며 두 경우 공히 15%의 첨가량에서 최대의 강도를 보임을 알 수 있다. 점결제의 첨가량이 18%일 때 강도가 저하하는 것은 과도한 점결제를 첨가할 경우는 360~600°C에서 일어나는 분해반응 시 발생가스의 압력이 과다하게 높아져 코크스 내부에 균열을 발생시키기 때문으로 생각된다. 따라서 최대 강도를 얻기 위한 페놀수지의 첨가량은 15%이지만 본 연구의 비교대상인 NKK와 Chiba 코크스의 강도가 100~150kgf/cm²임을 감안 할 때 6%정도가 적당 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

국산 무연탄과 플라스틱을 혼합하여 합금철용 코크스를 제조하기 위하여 수행된 본 연구에 있어서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 삼척지역의 3종 무연탄 시료에 대한 물성 측정 결과 각 무연탄 시료에는 100 μm 이상의 회분들이 25~30% 정도 함유되어 있음을 알았으며 발열량은 태안 무연탄이 5,205cal/g, 장성 무연탄이 4,893cal/g, 경동 무연탄이 4,873cal/g 이었다.
2. 선탄 기초 실험 결과 3종의 국산 무연탄은 현재의 상태에서 단순히 8~325mesh의 입단만을 취하여도 3~5%의 회분함량을 감소시킬 수 있으며, 선택 파쇄를

하여 35~325mesh로 입단을 조절하면 석탄의 회수율은 더욱더 높아질 것으로 기대 되었다. 국산 무연탄을 중액선별로 선탄하고자 하는 경우는 비중액의 비중이 2.4 이고 석탄의 입도는 35~140mesh로 조절하는 것이 적당할 것으로 판단되었다.

3. 각종 플라스틱의 열분해 특성을 분석한 결과 코크스용 점결제로 사용이 가능한 플라스틱은 분말 페놀수지, 액상 페놀수지, SAN, 델라민 수지 등이었으며, 이 중에서 공정의 단순화를 위해서는 액상 페놀수지가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

Acknowledgement

This work was supported by grant No. RTI05-01-02 from the Regional Technology Innovation Program of the Ministry of Commerce, Industry and Energy (MOCIE)

참고문헌

1. 이대영, 2007 : 국내 무연탄과 페플라스틱을 이용한 합금철용 코크스의 제조에 관한 연구, 강원대학교 대학원 석사학위논문.
2. 서봉원, 2007 : 국산무연탄과 페플라스틱으로부터 제조된 코크스의 물성, 강원대학교 대학원 석사학위논문.
3. 윤용선, 2008 : “철스크랩업계 매점 매석 매도 ... 빨랐다.” 스틸데일리 2008. 3. 13 기사, <http://www.steeldaily.co.kr/news>
4. 정보협력팀, 2008 : 광물가격정보(KOMIS), 대한광업진흥공사, <http://www.kores.net/mining/priceInformation.jsp>
5. 산업표준심의회, 1974 : “코크스”, 한국표준협회, 한국산업규격 KS E 3751.
6. 송태윤, 안재휴, 김주환, 1968 : 무연탄을 주원료로한 제철용 코크스의 제조 방법에 관한 연구, 광산학회지, 5, pp. 34-38.
7. 송태윤, 안재휴, 박광원, 1971 : 무연탄 성형 코크스의 열간 마모강도에 관하여, 광산학회지, 8, pp. 20-26.
8. 이계수, 정병선, 1965 : 국산무연탄의 탄질에 관한 고찰, 대한화학회지, 9(11), pp. 55-60.
9. 신희순, 1989 : 삼척탄좌 석탄의 물리 역학적 특성, 한국자원공학회지, 26, pp. 378-386.
10. 이시훈, 박철우, 손승권, 1992 : 국내무연탄의 화학적 성질과 연소 특성과의 관계, 화학공학회지, 30(3), pp. 368-378.

李 桂 承

- 2002년 인하대학교 자원공학과 공학박사
- 현재 한국지질자원연구원 post doc
- 당 학회지 제15권6호 참조

宋 泳 俊

- 1997년 인하대학교 자원공학과 공학박사
- 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 재료금속공학과 부교수
- 당 학회지 제15권6호 참조

**徐 鳳 源**

- 1981년 충남대학교 금속교육공학과 학사
- 2007년 강원대학교 대학원 재료금속공학과 석사
- 현재 태백기계공업고등학교 교사

**李 大 永**

- 1981년 충남대학교 기계교육공학과 학사
- 2007년 강원대학교 대학원 재료금속공학과 석사
- 현재 태백기계공업고등학교 교사

**李 成 龍**

- 동아대학교 금속공학과 공학사
- 동아대학교 대학원 금속공학과 석사
- 동아대학교 대학원 금속공학과 박사
- 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 재료금속공학과 부교수

윤 시 내

- 2006년 동신대학교 보석공학과 공학박사
- 현재 대구산업정보대학 겸임교수
- 당 학회지 제15권6호 참조

金 胤 彩

- 1981년 와세다대학 금속공학 석사
- 1987년 와세다대학 금속공학 박사
- 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 재료금속공학과 교수
- 당 학회지 제15권6호 참조