



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011년 8월

석사학위논문

인상흑연과 석탄의 품위향상을 위한
부유선별 연구

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

홍종원

인상흑연과 석탄의 품위향상을 위한
부유선별 연구

-Flotation for improving grade of crystalline graphite
and coal-

2011년 8월 25일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

홍종원

인상흑연과 석탄의 품위향상을 위한 부유선별 연구

지도교수 한 오 형

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2011년 04월

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

홍 종 원

홍종원의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 천 영 ㉠

위 원 조선대학교 교수 강 성 승 ㉠

위 원 조선대학교 교수 한 오 형 ㉠

2011년 05월

조선대학교 대학원

- 목 차 -

List of tables	i
List of figures	ii
Abstract	iv
제1장 서론	1
제1절 인상흑연	1
제2절 석탄	3
제2장 이론적 배경	6
제1절 비중선별	6
제2절 자력선별	7
제3절 정전선별	9
제4절 부유선별	11
제3장 시료 및 실험방법	15
제1절 시료	15
1. 인상흑연	15
2. 석탄	17
제2절 실험방법	20
제 4 장 실험 결과	23
제1절 인상흑연	23
1. 일반부선	23
가. 포수제 첨가 유무에 따른 영향	23

2. Microbubble column 부선	24
가. 분쇄 시간에 따른 영향	24
나. 기포제 종류에 따른 영향	25
다. 기포제 첨가량에 따른 영향	26
라. 억제제 종류에 따른 영향	27
마. 억제제 첨가량에 따른 영향	28
바. 세척수 첨가량에 따른 영향	29
3. SEM 및 원소별 mapping 결과	30
제2절 석탄	34
1. 일반부선	34
가. 포수제 종류에 따른 영향	34
나. 기포제 종류에 따른 영향	36
다. 억제제 종류에 따른 영향	37
2. Microbubble column 부선	38
가. 분쇄 시간에 따른 영향	38
나. 포수제 첨가량에 따른 영향	40
다. 기포제 첨가량에 따른 영향	40
라. 억제제 첨가량에 따른 영향	42
마. 공기 주입량에 따른 영향	43
바. 세척수량에 따른 영향	44
3. SEM 및 원소별 mapping 결과	45
제5장 토의	47

제6장 결론	48
참고문헌	52

List of tables

Table 1-1. Reserves of graphite in the world	1
Table 1-2. Reserves of coal in the world	3
Table 2-1. The work function of various unit elements materials	10
Table 3-1. Chemical composition of sample	15
Table 3-2. Result of wet screen analysis for sample	16
Table 3-3. Proximate analysis on raw sample	17
Table 3-4. Gross Calorific Value analysis of coal samples	17
Table 3-5. Result of wet screen analysis for sample	19

List of figures

Figure 1-1. Production of graphite in the world	2
Figure 1-2. Production of coal in the world	5
Figure 2-1. Basic jig construction	6
Figure 2-2. Schematic view of Hand jig	6
Figure 2-3. Principles of permroll magnetic separation	7
Figure 2-4. Principle of corona, induction and triboelectrostatic separation	10
Figure 2-5. Batch froth flotation	11
Figure 2-6. Schematic illustration of froth structure	12
Figure 2-7. Schematic view of column flotation	14
Figure 3-1. X-ray diffraction pattern of raw ore	16
Figure 3-2. X-ray diffraction pattern of raw ore	18
Figure 3-3. Batch laboratory flotation machine & flotation	20
Figure 3-4. microbubble column flotator & concentrate pictures	21
Figure 3-5. Thermogravimetric Determinator System	22
Figure 4-1. Effects of collector dosage on batch flotation	23
Figure 4-2. Effects of grinding time on microbubble column flotation	24
Figure 4-3. Effects of various frothers on microbubble column flotation	25
Figure 4-4. Effects of frother dosage on microbubble column flotation	26
Figure 4-5. Effects of various depressants on microbubble column flotation	27
Figure 4-6. Effects of depressant dosage on microbubble column flotation	28

Figure 4-7. Effects of wash-water on microbubble column flotation	29
Figure 4-8. SEM micrograph & Element mapping of microbubble column flotation concentrate	31
Figure 4-9. Effect of various collectors on batch flotation	35
Figure 4-10. Effect of various frothers on batch flotation	36
Figure 4-11. Effect of various depressants on batch flotation	37
Figure 4-12. Effect of grinding time on microbubble column flotation	39
Figure 4-13. Effect of collector dosage on microbubble column flotation	40
Figure 4-14. Effect of frother dosage on microbubble column flotation	41
Figure 4-15. Effect of depressant dosage on microbubble column flotation	42
Figure 4-16. Effect of air flow rate on microbubble column flotation	43
Figure 4-17. Effect of wash water on microbubble column flotation	44
Figure 4-18. SEM micrograph & Element mapping of microbubble column flotation concentrate	45

Abstract

- Flotation for improving grade of crystalline graphite and coal -

By Hong, Jong Won

Adv. Prof. : Han, Oh Hyung

Dept. of Energy Resource Engineering

Graduate School, Chosun University

Currently domestic graphite are excavated only in some mines due to the lack of international competitiveness. The use of coal is decreasing as increasing negative perception of domestic coal not being eco-friendly.

Therefore, in this study the possibility of high quality materials of carbon based crystalline graphite (fixed carbon 85.79%) and coal (fixed carbon 20.68%) was confirmed. Also, the mineralogical, physical/chemical and liberation characteristics was found with the aim of decrease in ash amount, during the pre-processing of clean coal technology.

In this study, batch flotation and micro-bubble column flotation that was appropriate for the processing of fine particles was used with the variation in kinds and quantity of frother, collector and depressant.

As a result of batch flotation, it was found that adding collector to the process, didn't show high efficiency of crystalline graphite flotation. In coal's case, using pulp density 20 %, collector DMU 101 + dodecyl amine (100 mL/ton), frother pine oil (200 mL/ton), depressant sodium silicate (1 kg/ton), obtained the result of ash removal 55.61 % and recovery 85.28 %.

In result of micro-bubble column flotation, the crystalline graphite with fixed carbon 97.65 % and recovery 99.23 % was obtained under the condition of pulp density 10 %, grinding time 20min., without collector, frother pine oil (32.4 L/ton), depressant sodium silicate (7.5 kg/ton), wash water 820 mL/min. and air

flow rate 960 mL/min.

In coal's case, the result was ash removal 66.42 % and recovery 73.12 % under the condition of pulp density 10 %, grinding time 5min., collector DMU101 + D.D.A (100 mL/ton), frother pine oil (28.8 L/ton), depressant S.M.P (3 kg/ton), wash water 450 mL/min. and air flow rate 1197 mL/min.

제1장 서론

제1절 인상흑연

인상흑연은 외관상 인상, 엽상, 침상 등으로 되어 있는 금속광택을 띠는 흑연으로써 육방정계 구조를 한 결정으로 다수의 얇은 조각이 겹쳐서 합쳐진 층상이다. 흑연의 비중은 2.1 ~ 2.3 이고 열전도율이 좋기 때문에 금속질감을 나타내며 화학 성분, 온도, 수축에 대한 저항력이 크고 마찰계수가 낮아서 산업용으로 널리 쓰인다.

전 세계 흑연의 매장량(Table 1-1)은 중국에 55,000 천 톤으로 전체 77.5%를 차지하고 있으며, 생산량(Fig. 1-1) 역시 중국이 72%로 가장 많이 생산하고 있어 향후 중국의 산업화에 따른 자국내의 수요증가로 인해 수출량이 감소하면, 국제가격에 영향을 미칠 가능성이 있다.

Table 1-1. Reserves of graphite in the world (unit : thousand ton)¹³⁾

Countries	Reserves (A)	Share (A/B) (%)
China	55,000	77.5
Mexico	3,100	4.4
Madagascar	940	1.3
India	5,200	7.3
Brazil	360	0.5
Other countries	6,400	9.0
Total	71,000 (B)	100

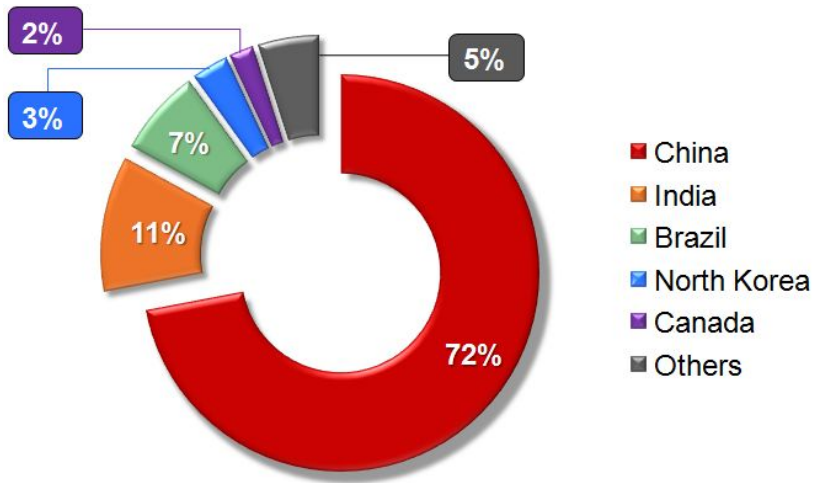


Fig. 1-1. Production of graphite in the world¹³⁾.

한편, 국내에도 약 260만 톤 정도의 흑연이 매장되어 있으나 국제 경쟁력을 갖지 못하여 2009년 지식경제부와 한국지질자원연구원의 광산물 수급현황을 기준으로 충북 영동의 내외광산에서만 48톤 생산하고 있는 실정이다.

최근 휴대용 전자제품의 수요가 급증함에 따라 고순도 흑연의 수요 역시 증가하고 있으나 현재 전량 수입에 의존하고 있어 고순도 흑연의 국산화를 위한 연구가 필요하다.

흑연 선광장에서는 분쇄와 일반부선을 한 조로 하는 공정을 도입하여 수차례 반복하여 고품위 정광을 생산하고 있지만 과도한 생산비뿐만 아니라 작업상의 어려움과 생산량에 제한을 주고 있다. 또한, 흑연의 경우 인편 사이에 미세한 불순물이 들어 있어 이들을 효과적으로 분리하기 위해서는 미분쇄가 필요하지만 미립자의 낮은 선별도 때문에 일반부선에 의해서는 고품위의 정광을 생산하기에 많은 제한이 따르고 있다¹¹⁾.

제2절 석탄

석탄은 주로 탄소질로 이루어진 암석 모양의 가연성 물질로 식물이 땅속에 매몰되어 장기간 물리/화학적 작용을 받아 생긴다. 석탄은 석유와 함께 대표적인 화석 연료이며, 현재 에너지원으로서 뿐만 아니라 화학공업상 유용한 각종 탄화수소원으로서 연구, 개발되고 있다. 석탄은 그 탄화 정도에 따라 토탄, 이탄, 갈탄, 목탄, 역청탄, 무연탄 등으로 나뉘며 전 세계적으로 볼 때, 무연탄은 역청탄 등에 비해 그 부존량 및 생산량이 적은 편이다. 무연탄은 85% 이상의 탄소 함량을 가지고 8% 미만의 휘발성 성분을 함유한다. 무연탄의 모르스 경도는 1.5-2.5 정도이고, 금속과 비슷한 특유의 광택을 내며 다른 탄종에 비해 높은 온도인 섭씨 400-500도 정도에서 연소하기 시작한다. 말 그대로 연소 시 연기가 별로 나지 않아 가정용 연료로 많이 사용된다.

Table 1-2는 전 세계 석탄 매장량으로써 2009년 기준 약 8,260억 톤이고, 50%는 탄화도가 높은 고등급 석탄(무연탄 및 유연탄)이며, 50%는 탄화도가 상대적으로 낮은 저등급 석탄(아역청탄과 갈탄)으로 구성되어있다. 대륙별 매장량을 살펴보면, 러시아를 포함한 유럽지역이 33%로 가장 많이 매장되어있으며, 호주를 포함한 아시아-태평양지역이 전 세계 매장량의 31.4%로 2위, 북미 대륙이 29.8%로 그 다음을 차지하고 있다. Fig. 1-2는 세계의 석탄 생산량을 대륙별로 나타낸 것이다. 세계 제 1의 석탄생산국인 중국을 포함한 아시아 지역이 전 세계의 65%를 생산하고 있음을 알 수 있다.

Table 1-2. Reserves of coal in the world (unit : million ton)⁸⁾

Countries	Anthracite and bituminous	Sub-bituminous and lignite	Total	Share of total	R / P ratio
US	109850	129358	238308	28.9%	245
Canada	3471	3107	6578	0.8%	105
Mexico	860	351	1211	0.1%	109
Total North America	113281	132816	246097	29.8%	235
Brazil	-	7059	7059	0.9%	*
Colombia	6434	380	6814	0.8%	95
Venezuela	479	-	479	0.1%	96
Other S. & Cent. America	51	603	654	0.1%	*

Total S. & Cent. America	6964	8042	15006	1.8%	181
Bulgaria	5	1991	1996	0.2%	74
Czech Republic	1673	2828	4501	0.5%	84
Germany	152	6556	6708	0.8%	37
Greece	-	3900	3900	0.5%	62
Hungary	199	3103	3302	0.4%	367
Kazakhstan	28170	3130	31300	3.8%	308
Poland	6012	1490	7502	0.9%	56
Romania	12	410	422	0.1%	14
Russian Federation	49088	107922	157010	13.0%	*
Spain	200	330	530	0.1%	52
Turkey	-	1814	1814	0.2%	22
Ukraine	15351	18522	33873	4.1%	460
United Kingdom	155	-	155	◆	9
Other Europe & Eurasia	1025	18208	19233	2.3%	293
Total Europe & Eurasia	102042	170204	272246	33.0%	236
South Africa	30408	-	30408	3.7%	122
Zimbabwe	502	-	502	0.1%	301
Other Africa	909	174	1103	0.1%	*
Middle East	1386	-	1386	0.2%	*
Total Middle East & Africa	33225	174	33399	4.0%	131
Australia	36800	39400	76200	9.2%	186
China	62200	52300	114500	13.9%	38
India	54000	4600	58600	7.1%	105
Indonesia	1721	2607	4328	0.5%	17
Japan	355	-	355	◆	277
New Zealand	33	538	571	0.1%	125
North Korea	300	300	600	0.1%	16
Pakistan	1	2069	2070	0.3%	*
South Korea	133	-	133	◆	53
Thailand	-	1354	1354	0.2%	72
Vietnam	150	-	150	◆	3
Other Asia Pacific	115	276	391	◆	19
Total Asia Pacific	155809	103444	259253	31.4%	59
Total world	411321	414680	826001	100	119
of which: European union	8427	21143	29570	3.6%	55
OECD	159012	193083	352095	42.6%	174
Former Soviet Union	93609	132386	225995	27.4%	474
Other EMEs	158700	89211	247911	30.0%	56

* More than 500 years.

◆ Less than 0.05%

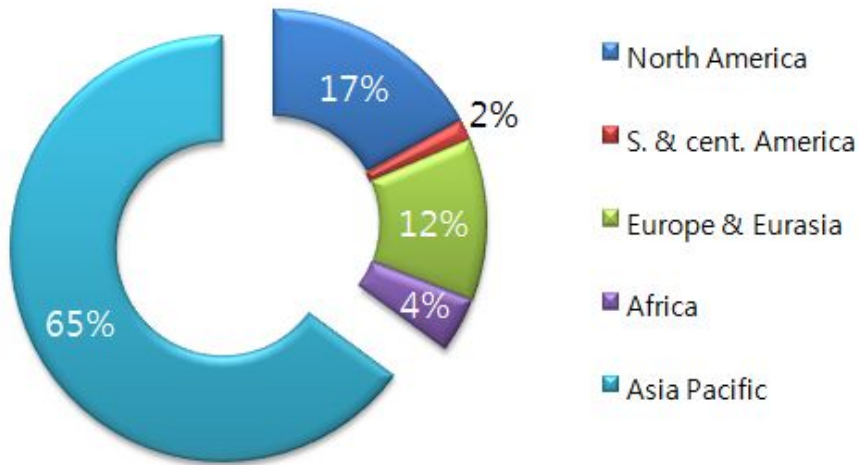


Fig. 1-2. Production of coal in the world⁸⁾.

현재 국내의 경우 석탄이 환경 친화적이지 않다는 부정적 인식의 확대로 인해 석탄 이용도가 갈수록 저하되고 있는 실정이다. 따라서 국내의 석탄 이용에 관한 연구개발의 참여율이 감소하였으며, 선진국에 대하여 기술개발 수준이 상당히 뒤쳐져 있다. 최근 국내에서도 석탄 가스화 및 액화관련 기술개발에 대하여 연구가 일부 진행되고 있으나 청정석탄의 생산 및 가공하기 위한 선탄, 선별, 성형, 건조, 안정화, 탈황, 탈회 등에 대한 연구는 1980년대 수준에 머물러 있는 수준이다.

일반적으로 청정석탄개발 및 활용기술(Clean Coal Technology, CCT)은 석탄의 선탄 및 선별에서 운반 및 저장을 위한 성형과 가공기술을 포함할 뿐만 아니라, 석탄가스화/액화, 석탄화학, 연소/발전, 코크스 제조 등의 기술에 이르기까지 석탄과 관련된 거의 전 분야를 포함하고 있으며, 석탄을 활용하는데 있어 모든 산업분야에서 이산화탄소를 저감시키고 활용 효율을 향상시키는 모든 기술을 포함하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 탄소로 구성된 인상흑연과 석탄을 대상으로 고품위 가능성 확인 및 CCT 기술의 전처리 과정으로서 Ash의 탈회를 위한 목적으로 광물학적, 물리화학적 및 단체분리 특성을 확인하고, 여러 가지 부선조건의 변화(기포제, 포수제, 억제제 종류 및 첨가량 변화 등)를 통한 실험을 수행하였다.

제2장 이론적 배경

탄소를 함유하는 광물을 선별하는 기술로는 물리적 성질을 이용한 비중선별과 자력선별, 정전선별이 있으며, 물리화학적 성질을 이용한 부유선별법이 있다⁹⁾.

이들의 분리특성을 살펴보면 다음과 같다.

제1절 비중선별

비중선별(gravity separation)은 목적광물과 맥석광물의 비중차이를 이용하여 유가금속을 함유한 입자와 맥석을 분리하는 기술이다. 이 방법은 부유선광법이 출현하기 전까지는 가장 중요한 선광법이었으나 현재는 부유선광 전, 후에 조합시켜 보조적인 선별방법으로 많이 활용되고 있다.

비중선별기는 크게 상하방향의 수직 왕복 수류 속에서 무거운 광물을 가벼운 광물보다 하층으로 침강 퇴적 시키는 Jig(Fig. 2-1, 2-2)와 침강한 알들을 평탄한 유막 속에서 무거운 알과 가벼운 알로 분리시키는 Table 등이 있으나 전자는 조립, 후자는 세립의 선별에 주로 이용되고 있다. 하지만 비중선별의 문제점은 입자가 작아지면 분리효율이 급격히 떨어지는 단점이 있기 때문에 선별 효율을 높이기 위해서는 가능한 균일한 입도로 만들어 주어야 한다.

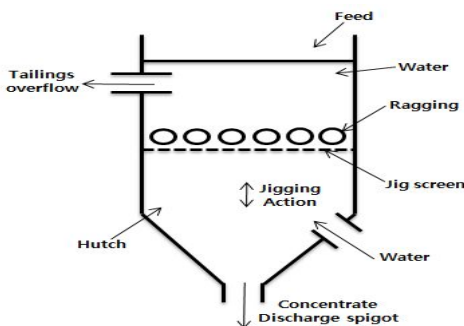


Fig. 2-1. Basic jig construction.

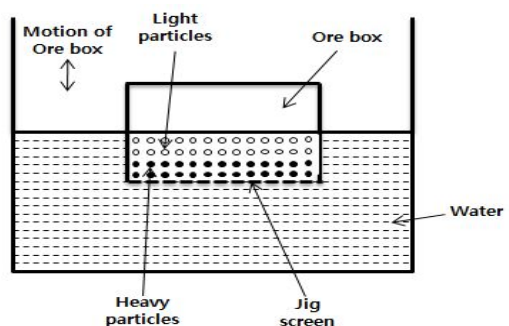


Fig. 2-2. Schematic view of Hand jig.

제2절 자력선별

광물 중에는 자석에 의해 끌리는 자성광물과 비자성광물이 있으며, 자성광물 중에서도 약한 자성에 쉽게 끌리는 강자성광물, 강한 자석에만 끌릴 수 있는 약자성 광물, 자계 안에 들어가면 반대방향의 자성을 얻어 자석으로부터 멀어지는 반자성 광물이 있다.

자력선별(magnetic separation)은 기본적으로 외부에서 주어지는 자력에 대한 광물들 간의 고유한 자화율(magnetic susceptibility)의 차를 이용하는 선별법으로 Fig. 2-3에서 알 수 있듯이 자화율의 차이에 따라 광물의 특성이 크게 세 가지로 나누어진다^{5),17)}.

① 반자성(diamagnetism) : 자력이 감소되는 방향으로 반발력이 작용한다.

반자성의 성질은 외부자장에 의하여 반대 방향으로 자기모멘트가 물질 내에 유도되는 것에 기인한다. 고강도 자석에 의하지 않고서는 자력에 의한 분리가 불가능하며 비자성(non magnetism)이라고도 한다. 반자성광물로는 황철광(FeS_2), 첨아연광(ZnS)그리고 조암광물인 석영, 장석, 운모 등이 있다.

② 상자성(para magnetism) : 자력이 증가하는 방향으로 끌리게 되어 자장의 흐름방향으로 입자들이 배열된다. 강한자석으로 분리가 가능하며 일명 약 자성이라고도 한다. 상자성 광물로는 적철광(Fe_2O_3), 능철광(FeCO_3), 철망간중석($(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$), 금홍석(TiO_2)등이 있다.

③ 강자성 (ferro magnetism) : 상자성 물질과 유사한 특성을 지니지만 약한 외부자장에 의해서도 강하게 자화되어 영구자석의 성질을 가지는 경우이다. 강자성 광물로는 자철광(Fe_3O_4), 티탄철광(FeTiO_3), 자류철광(Fe_{1-x}S)등이 있다.

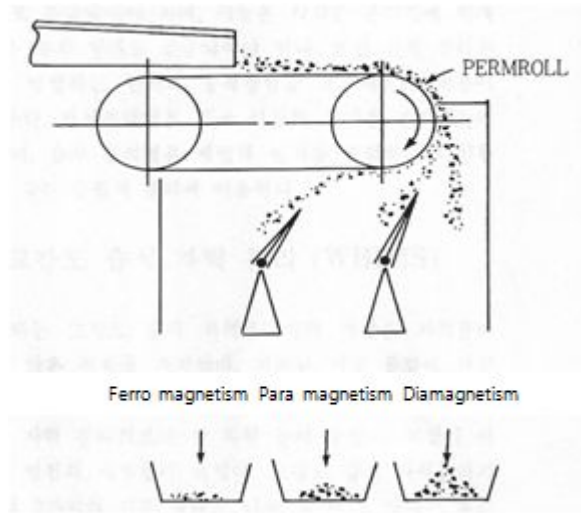


Fig. 2-3. Principles of permroll magnetic separation.

대표적인 자력선별기의 종류로는 드럼형 자력선별기, 유도롤형 자력선별기, 고구배 자력선별기, 초전도 자력선별기가 있으며 오늘날 자력선별기로 사용되고 있는 자석은 특수한 예외를 제외하고는 직류전자석이다. 전자석은 영구자석(permanent magnet)보다 강력하고 자력의 조절이 쉽다는 장점을 가지고 있다.

제3절 정전선별

정전선별법(Electronic separation)은 광물처리에 있어 철광, 티타늄, 칼륨, 금 그리고 다이아몬드와 같은 유용광물의 처리와 석탄 및 석탄회의 선별처리에 이용되어 왔다. 현재는 기존의 선광법으로 분리가 어려운 혼합물질의 분리와 폐자원의 재활용 분야에 확대 적용되고 있다. 정전선별은 주로 입자들의 하전 방식에 의존하므로 선별장치의 고안은 하전 메커니즘 방식에 의존한다. 또한 이 선별법은 높은 전기장의 영향 하에서 하전된 입자들을 인력이나 반발력에 기초하여 분리하는 고전압 선별법(high tension separation)이라고도 한다. 정전선별법은 선별 단계 이전에 입자들이 정전기적으로 하전 되어야 하며 이들의 하전은 입자의 전기저항과 전기적 표면구조의 차이로 발생되며, 입자에 대한 작용 힘은 하전입자와 전기장 사이의 상호작용에 기인한다. 정전선별법은 Fig. 2-4와 같이, 전도성 물질과 비전도성 물질이 혼합된 산물을 분리할 수 있는 정전유도형과 코로나 방전형, 그리고 전도성 물질과 비전도성 물질에 관계없이 혼합된 모든 물질의 분리가 가능한 마찰하전형이 있다. Table 2-1은 코로나 방전, 정전유도 그리고 마찰하전형 정전선별기의 하전장치와 분리에 적용된 물질들을 나타낸 것이다. 정전선별기 주요 핵심장치인 하전장치는 정전유도형과 코로나 방전형에서 회전드럼(Rotational Drum)과 진동형 및 벨트형 유도관이 주로 이용되었으며, 특히 재질분리에 있어 하전장치의 영향이 지배적인 마찰하전형의 경우 다양한 종류의 하전장치가 개발되었다. 지금까지 정전선별의 연구는 주로 광물을 대상으로 이루어졌으며, 플라스틱의 연구는 최근에 이루어지고 있다. 플라스틱의 재질분리에 이용할 수 있는 정전선별법은 비전도성 물질들의 분리가 가능한 마찰하전형 정전선별법으로, 이 방법의 장점은 모든 재질의 분리가 가능하고 처리비용이 저렴하며 처리용량이 크다는 것이다. 따라서 개발 즉시 상용화 가능성이 크다는 것이다.

정전선별기에는 정전 선별법은 대전방법에 따라 전기영동에 의한 방법으로

- ①코로나 방전형(charging by ion or electron bombardment)
- ②정전유도형(charging by conductive induction)
- ③마찰대전형(charging by contact or friction, triboelectrostatic)이 있다.

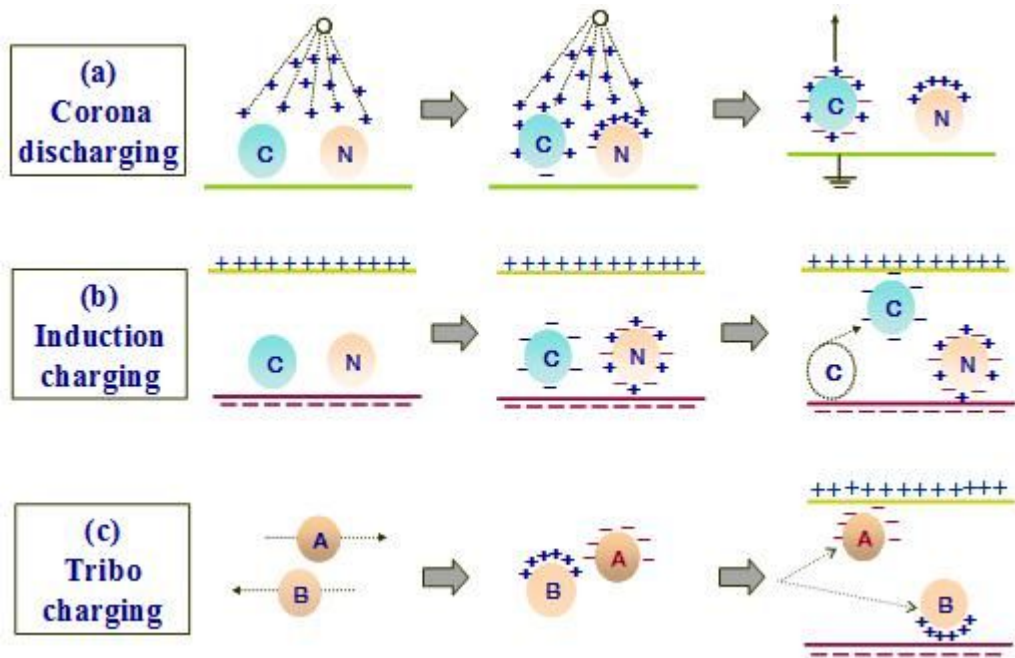


Fig .2-4. Principle of corona, induction and triboelectrostatic separation.

Table 2-1. The work function of various unit elements materials¹⁸⁾

Materials	Work Function(eV)	Material & Compounds	Work function(eV)
Chromium	4.50	Carbon	4.00
Copper	4.65	MoO ₃	4.25
Stainless Steel	4.69	Cu	4.38
Copper-Nikel Alloy	4.70	Al ₂ O ₃	4.70
PVC	5.13	MgO	4.70
Nickel	5.22	SiO ₂	5.00
Aluminium	5.42	Mineral	5.40

제4절 부유선별

부유선별(Froth flotation)은 분리하고자 하는 고체 입자의 표면특성, 즉 습윤도를 이용하는 물리화학적 선별법이다. 물에 잘 적셔지는 광물의 표면을 친수성이라 하며, 반면에 잘 적셔지지 않는 광물의 표면을 소수성이라고 하는데 고체 혼합물이 현탁되어 있는 광액(pulp)내에 기체를 주입하여 소수성 입자만 선택적으로 기포에 부착시켜 수면에 떠오르게 한다. 반면에 친수성 입자는 광액 내에 남게 되는 특성을 이용하여 분리가 가능하다.

이 방법은 주로 광석광물(ore mineral)과 맥석광물(gangue mineral)을 분리하는 선별법으로 이용되었는데 최근에는 폐플라스틱 상호분리, 폐지로부터 잉크제거, 석탄회정제 등 폐기물 처리 분야뿐만 아니라 폐수(waste water)처리에도 많이 이용되고 있다.

부유선별을 위해 처음 개발된 M. S. 표준형 부선기는 교반실과 포말실이 각기 분리되어 있고, 공기도입량을 자유로이 조절하기 어렵다는 단점이 있었다. Denver 공기 도입 부선기(Denver sub-A)는 M. S. 표준형 부선기의 단점을 보완하여 포말실이 교반실 위에 위치하도록 하여 면적을 절약하고, 각 구마다 공기 도입량을 임의로 조절할 수 있도록 개선되었다.

부선 cell에 급광된 광액은 시약들이 첨가되어 회수하고자 하는 광물의 표면을 소수성으로 변화시킨 후 다른 광물들과 impeller 회전(원심력)에 의해 주위로 분산된다. 한편, impeller 중심부는 회전에 의해 발생하는 압력차로 공기가 도입 및 분산되며, 소수성 광물들과 부착되어 광화된 기포들은 층을 이루며 정광으로 회수된다. Fig. 2-5는 Denver sub-A type 부선기의 개략도이다.

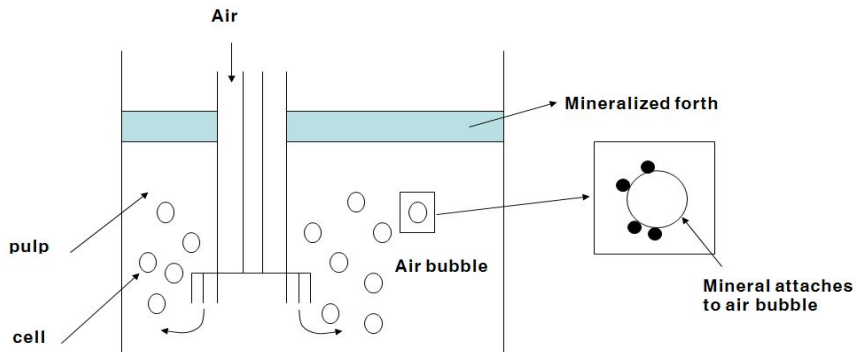


Fig. 2-5. Batch froth flotation.

Fig. 2-6은 기포에 광화된 여러 가지 형태를 보여주고 있다. 이들의 형태를 보면 광물이 기포에 attachment된 것과 미립이 존재하는 부선 공정에서 기포에 흡착한 소수성 입자들 사이에 미립이 끼워져 동반 흡착(entrapment)된 것, 지나치게 미립으로 존재하는 부선에서 친수성인 맥석이 기포 상승 시에 생기는 흡인력 등에 의해 기포와 기포사이에 혼입하여 상승하는 되는 현상(entrainment)을 보여주고 있다. 이와 같이 entrapment와 entrainment는 모두 부선 효율을 저하시키게 하는 원인이 된다^{2),5),17)}.

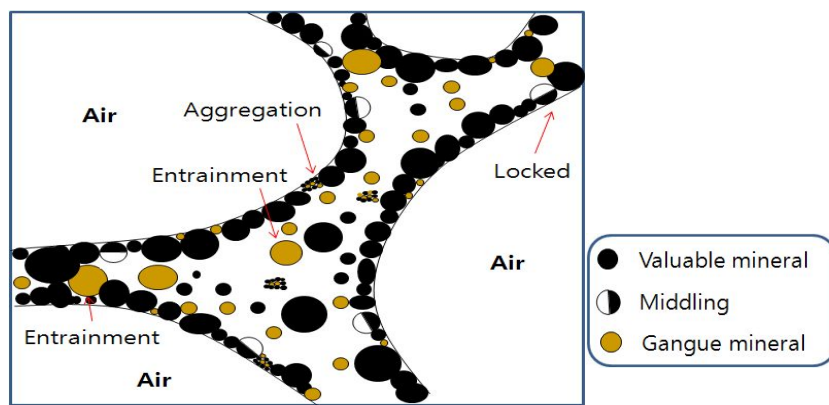


Fig. 2-6. Schematic illustration of froth structure.

Micro-bubble column 부선기는 Denver sub-A형 부선기와는 달리 최대 1 μm 입도까지도 분리가 가능하도록 100 μm 정도의 기포를 발생시킬 수 있으며 부선기의 개략도를 Fig. 2-7에 나타내었다. cell자체가 긴 column으로 되어 있어 선별영역이 매우 길며 상승하는 기포와 반대방향에서 급광이 되므로 급광된 시료가 상승하는 기포와 충돌하여 선택적인 포수가 일어난다.

또한 상승한 기포에는 세척수에 의한 맥석의 세척이 추가되므로 보다 고품위 정광을 얻을 수 있으며 1차적으로 기포에 부착되지 못한 광물은 재순환공정을 통해 재처리되므로 높은 회수율을 기대할 수 있다. 한편, 연속적인 선별작업이 가능하므로 조건조에서 일정 조건(pH나 포수제 등)을 부여한 후 시료가 연속적으로 공급되고 기포제 역시 공기와 함께 계속 공급되며 급광량, 공기주입량, 기포제첨가량 등을 쉽게 조절할 수 있는 구조를 가지고 있다. 실험절차를 요약해보면,

① 조건조에서 광액농도를 5~10%로 조정하고 pH 조절제나 포수제를 넣고 10분 이상을 교반하여 포수제와 접촉할 수 있는 충분한 조건을 부여하여 준다.

② ①의 과정이 진행되는 동안 column에 기포제와 공기량을 조절하여 최적 크기의 micro-bubble을 발생시켜 기포층이 안정화 된 후 상단 정광배출구로 광화된 기포가 넘치도록 한다.

③ 조건조에서 조정된 시료를 급광용 slurry pump로 급광을 시작하고 광미배출구의 높이를 조절하여 cleaning zone의 적정높이를 유지하게 한다.

④ 시료가 급광된 후 광화로 인해 기포층에 변화가 발생할 경우 flow meter에 연결된 공기량과 세척수의 량, 기포제의 량을 조절하여 기포의 안정화가 필요하다.

⑤ 실험과정에서 광미의 배출구 높이, 세척수의 량, 공기주입량, 기포제의 첨가량에 따라 기포층의 높이와 기포 크기가 변하면서 정광의 품위와 yield가 변함으로 이들의 최적조건을 찾을 수 있다.

일반 부선기와 micro-bubble column 부선기의 선별효율을 비교실험 한 결과 국내산 인상 흑연(22.05 % Fixed carbon)을 대상으로, 일반부선기에서는 1회 처리하여 53.30 %의 낮은 회수율과 함께 57.90 % F.C 산물을 얻을 수 있었으나 micro-bubble column부선기에서는 1회 처리하여 95.87 % F.C의 산물을 95 %의 높은 회수율을 얻을 수 있는 결과가 보고된 적이 있다⁷⁾.

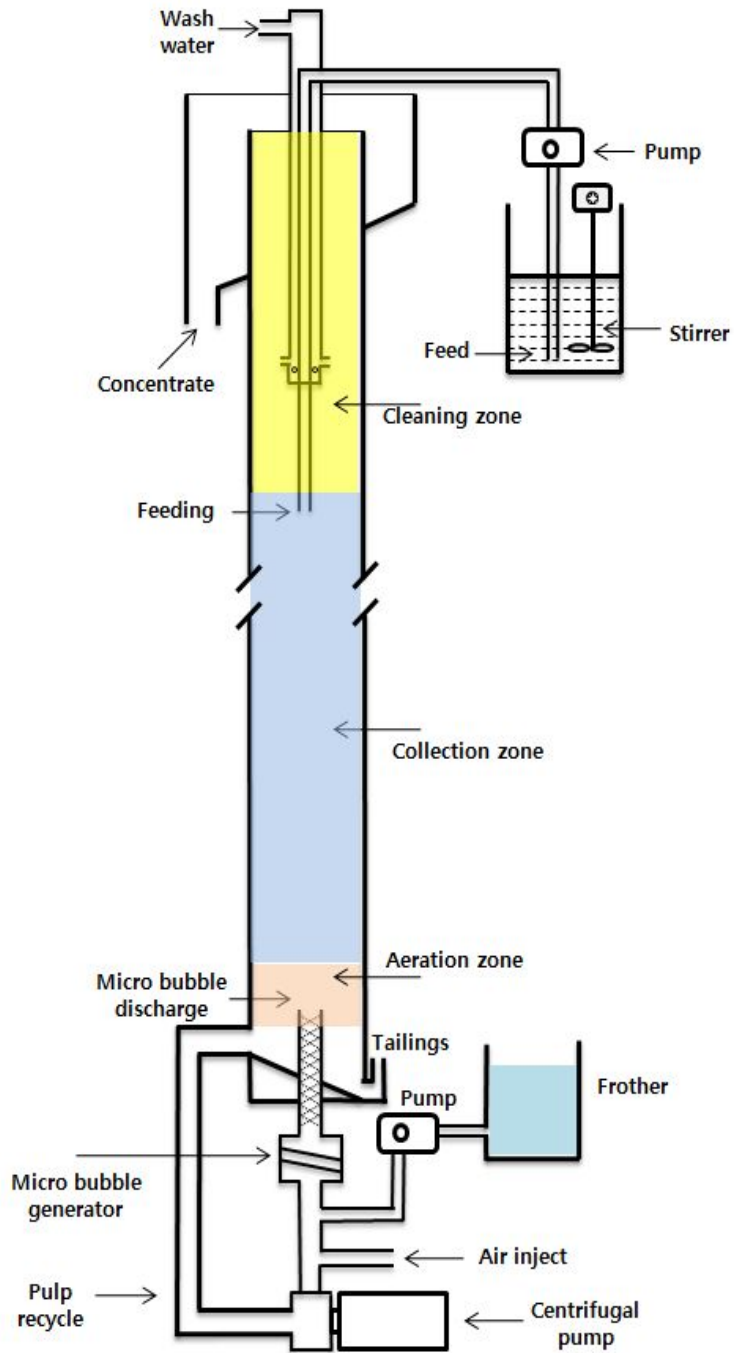


Fig. 2-7. Schematic view of column flotation.

제3장 시료 및 실험방법

제1절 시료

1. 인상흑연

본 연구에서 사용된 시료는 (주)미성T&C(중국 흑룡강성 계성시 이수구광산)에서 일반부선기를 이용하여 5~6회 정도 정선과정을 거쳐 회수된 최종 정광(85.79 % F.C)을 시료(이하 원 시료)로 사용하였다. Table 3-1은 원 시료를 성분 분석한 결과로써 탄소(C)가 주를 이루고 있었으며, 불순물로 Mg, Al, Si, K, Fe가 존재하였다.

Table 3-1. Chemical composition of sample

Chemical composition (%)					
Fixed carbon	Mg	Al	Si	K	Fe
85.79	0.21	3.24	5.86	1.09	3.81

Fig. 3-1은 원 시료를 XRD(FANalytical 사의 X'pert PRO MPD)로 분석한 결과이며 Illite($(K,H_3O)Al_2(Si,Al)_4O_{10}(H_2O,OH)_2$)와 Nacrite($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)가 맥석광물로써 주를 이루고 있었다.

Table 3-2는 체를 이용한 원 시료의 습식 입도 분석결과로, D_{50} 은 $215.9 \mu m$ 이며 일반부선에 적합하다고 알려진 60에서 140mesh 구간에 전체 무게비의 약 68 %를 차지하고 있었으며, 전체 고정탄소의 약 70 %가 분포되어 있다. 또한, 60 mesh 이상의 조립질이 전체무게비의 약 21 % 차지하고 있으며 고정탄소의 함량도 평균 함량보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 흑연 입자가 인상으로 되어 있어 맥석에 비해 분쇄효율이 낮아 비교적 조립질에 고품위 흑연이 분포되어 있는 것으로 사료된다. 반대로 -400 mesh 이하의 미립은 고정탄소 67.66 %로 평균품위에 비해 맥석의 함량이 높음을 알 수 있으며, +140 mesh 이상의 조립질 구간에 전체 고정탄소의

91 %이상이 분포되어 있기 때문에 140 mesh의 체를 이용한 단순 체질에 의해서 고정탄소 약 87 % 이상의 산물을 90 % 이상의 회수율로 얻을 수 있음을 알 수 있다.

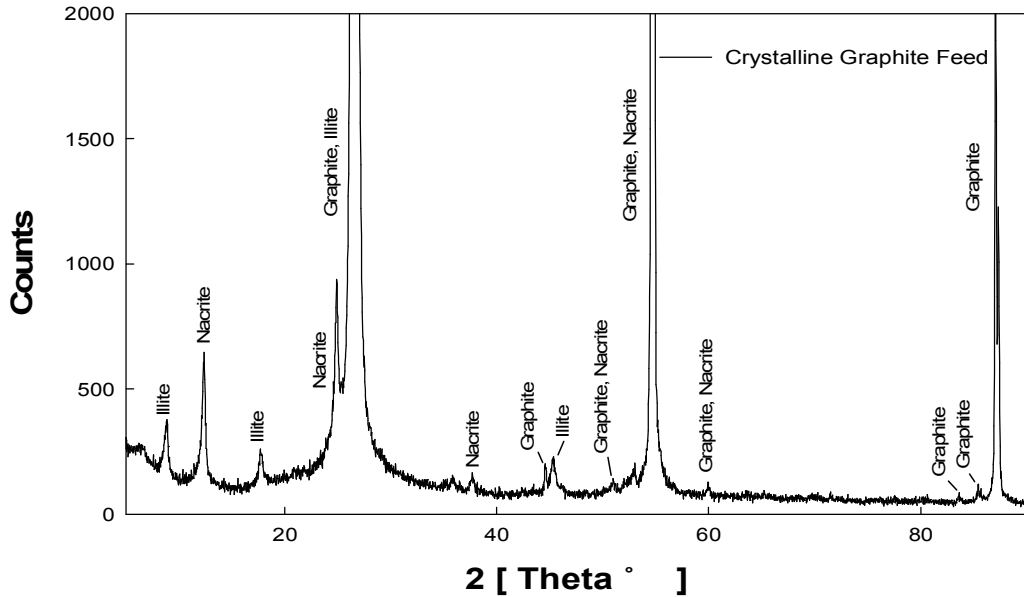


Fig. 3-1. X-ray diffraction pattern of raw ore.

Table 3-2. Result of wet screen analysis for sample (D₅₀ : 215.9 μ m)

Size	Weight	F.C Assay		F.C	Size	Cum.	Cum. F.C
mesh	(%)	(%)		Dist.(%)	(μ m)	under(%)	under(%)
-500	5.96	67.66	(4.03)	4.68	-37	100.00	100.00
325*400	0.71	81.36	(0.57)	0.66	37	94.04	95.32
270*325	0.15	74.37	(0.11)	0.13	43	93.33	94.66
200*270	2.43	84.43	(2.05)	2.37	53	93.18	94.53
140*200	0.83	87.13	(0.73)	0.84	74	90.75	92.15
100*140	14.97	85.66	(12.82)	14.87	113	89.92	91.31
60*100	53.67	87.57	(47.00)	54.49	147	74.95	76.45
+60	21.28	89.01	(18.94)	21.96	+246	21.28	21.96
Total	100.00		86.26	100.00			

2. 석탄

본 연구에서 사용된 시료는 경기도 연천의 경기 제일(서림) 광업소에서 직접 채취한 무연탄을 사용하였다. Table 3-3은 원 시료의 공업분석 결과를 나타낸 것이다. 분석 결과 고정탄소가 20.68 %였으며 휘발분 5.34 %, Ash 73.98 %로 존재함을 확인하였다.

Table 3-3. Proximate analysis on raw sample

Name	Proximate Analysis (%)			
	Moisture	Ash	Volatile	Fixed carbon
Raw sample	1.05	73.98	5.34	20.68

Table 3-4. Gross Calorific Value analysis of coal samples

Size (mesh)	Weight (%)	Fixed Carbon (%) (Dry basis)	Gross Calorific Value (Kcal/Kg) (Dry basis)
Raw sample	100.00	20.68	1,560
-30	36.46	34.16	2,730
+30	63.54	13.97	1,110
5 * 10	22.75	14.05	1,860
3.5 * 5	9.09	13.82	990
+3.5	8.21	9.09	560

Table 3-4는 원 시료와 입도별 구간의 발열량을 분석한 결과이다. 분석은 대한 석탄 공사 기술연구소에 의뢰하였으며 Table 3-4에서 볼 수 있듯이 원 시료의 발열량은 1,560 Kcal/kg 였으며, -30 mesh 구간의 발열량이 2,730 Kcal/Kg 으로서 가장 높음을 알 수 있었다. 한편 5 mesh 이상의 산물을 단순 체질에 의해서 분리하는 것만으로도 발열량을 2,000 Kcal/Kg 까지 올릴 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3-2는 원 시료 중에 존재하는 광물의 규명을 위한 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 분석 결과, quartz(SiO_2), muscovite($\text{K}(\text{OHF}_2)_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}$), pyro-phyllite($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), birnessite($\text{Na}_4\text{Mn}_{14}\text{O}_{27}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 등이 관찰되었다.

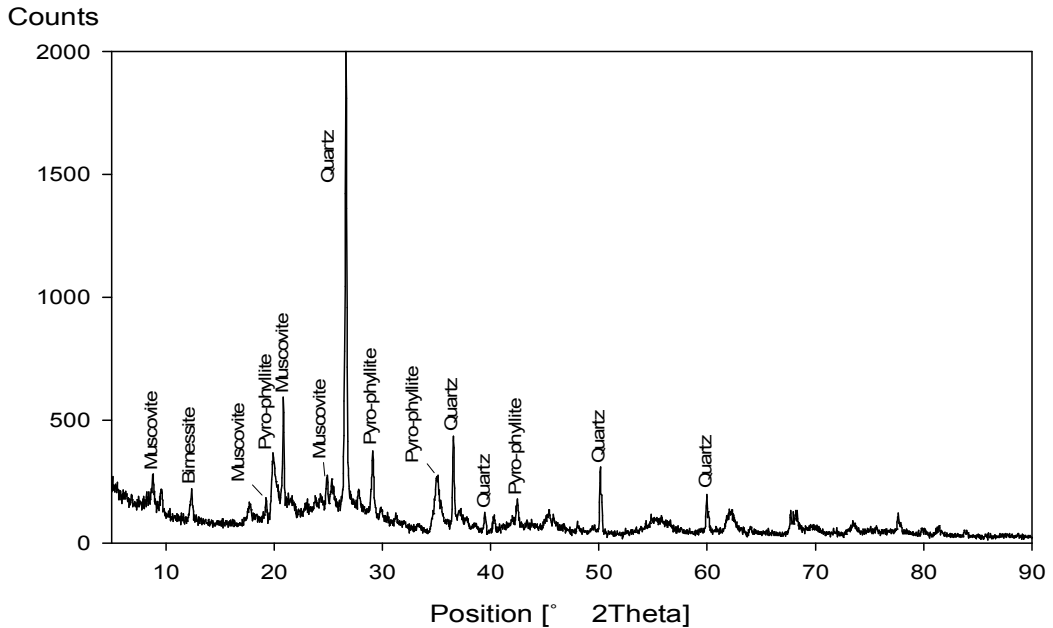


Fig. 3-2. X-ray diffraction pattern of raw ore.

Table 3-5는 체를 이용한 원 시료의 습식 입도 분석결과로, 메디안경 D_{50} 은 $78.257 \mu\text{m}$ 였으며 조립질인 +30 mesh 구간의 F.C의 품위가 낮은 것으로 나타났다. 이는 맥석광물이 단단하여 잘 깨지지 않아 조립질에 비교적 다량 분포하기 때문이며, 반대로 석탄은 매우 강도가 낮아 잘 부숴지기 때문에 비교적 미립의 F.C의 함량이 높은 것으로 사료된다.

Table 3-5. Result of wet screen analysis for sample

(D₅₀ : 78.257 μ m)

Size (mesh)	Weight (%)	F.C Assay	Size (μ m)	Cum. Under	F.C Dist.(%)	Cum. F.C Under(%)
-500	9.74	29.27 (2.85)	-25	100.00	13.69	100.00
400 * 500	5.44	40.97 (2.23)	500(25)	90.27	10.71	86.31
325 * 400	5.13	36.44 (1.87)	400(37)	84.83	8.98	75.60
270 * 325	1.54	47.89 (0.74)	325(43)	97.70	3.54	66.62
200 * 270	0.67	40.84 (0.27)	270(53)	78.16	1.31	63.08
140 * 200	0.13	38.90 (0.05)	200(74)	77.49	0.24	61.76
100 * 140	1.63	33.29 (0.54)	140(113)	77.36	2.61	61.52
60 * 100	0.74	33.67 (0.25)	100(147)	75.73	1.20	58.91
30 * 60	11.45	29.23 (3.35)	60(246)	74.99	16.08	57.71
10 * 30	23.49	14.75 (3.46)	30(600)	63.54	16.65	41.63
5 * 10	22.75	14.05 (3.20)	10(1,651)	40.05	15.36	24.98
3.5 * 5	9.09	13.82 (1.26)	5(3,962)	17.30	6.04	9.62
+3.5	8.21	9.09 (0.75)	3.5(5,613)	8.21	3.59	3.59
Total	100.00	(20.81)			100.00	

제2절 실험방법

원 시료에 함유된 고정탄소를 회수하기 위한 방법 중 하나인 부유선별법을 적용하여 실험을 진행하였다. 예비 실험으로써 미국 Metso 社의 Denver Sub-A형 부선기를 이용한 일반부선 실험을 실시하여 포수제, 기포제, 억제제의 사용 시약을 결정하였으며 광액 상태의 시료를 5분간 교반하여 준 후 포수제를 첨가하여 3분 교분, 기포제를 첨가하여 2분간 교반하였으며 공기를 주입하여 15분 내지 20분간 부유 산물을 회수하였다¹⁾.

Fig. 3-3은 batch 부선기와 인상흑연과 석탄의 부선 사진이다.

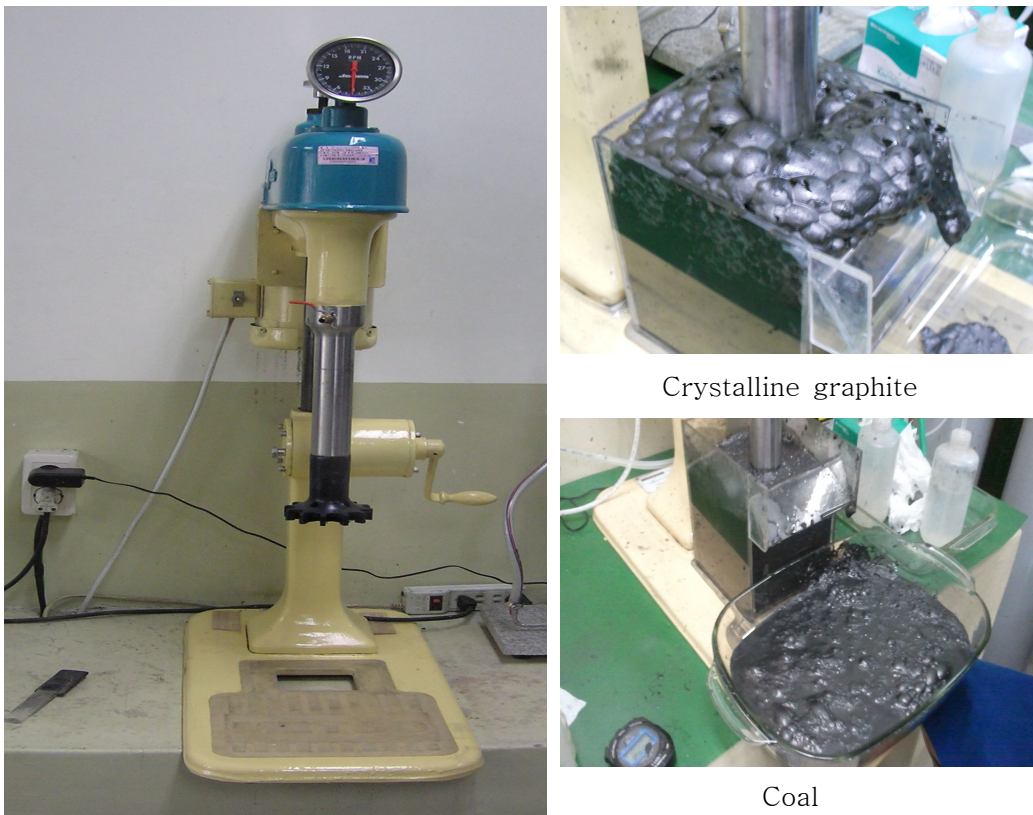


Fig. 3-3. Batch laboratory flotation machine & flotation.

또한 Microbubble column 부선에 적합한 입도로 조절하기 위해서 실험실용 Attrition mill을 사용하여 분쇄를 실시하였으며, 입도조절 된 미립자는 microbubble column부선기를 이용하여 포수제, 기포제, 억제제의 첨가량 및 air flow rate에 따른 영향 실험과 세척수량에 따른 변화 실험을 통하여 결론을 도출하였다. Fig. 3-4는 microbubble column 장치와 인상흑연과 석탄이 정광으로 배출되는 사진이다.

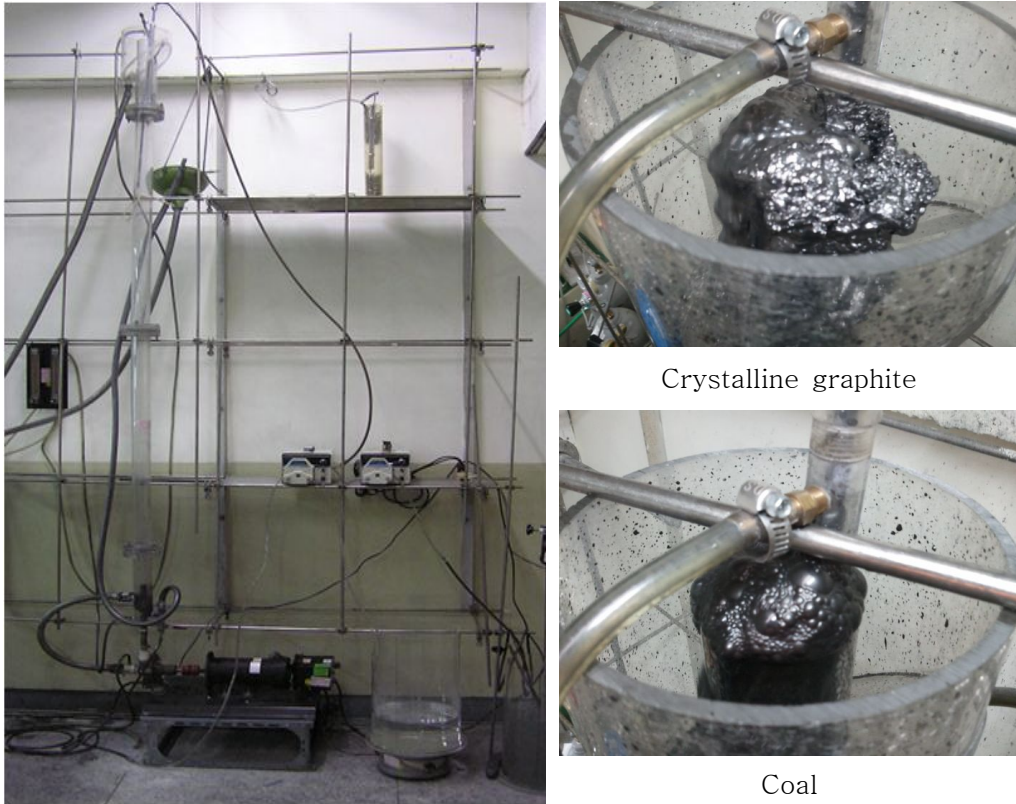


Fig. 3-4. microbubble column flotator & concentrate pictures.

회수된 정광과 광미는 Dry oven에서 105°C에서 약 24시간 건조한 후 LECO 社의 TGA701 모델의 공업분석기를 이용하여 Fixed carbon의 함량을 측정하였으며 탄소의 회수율과 선별도지수(selective index)는 (1)과 (2)의 식을 이용하여 계산하였다³⁾. Fig. 3-5는 공업분석기의 실제 사진이다.

$$R = \frac{Cw \times cm}{Fw \times fm} \times 100(\%) = \frac{cm(fm - tm)}{fm(cm - tm)} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{a}{a'} \times \frac{b'}{b}} \quad (2)$$

R = 회수율

S = 선별도 지수

Fw = 급광의 질량(g)

Cw = 정광의 질량(g)

Fm = 급광의 품위(ppm)

cm = 정광의 품위(ppm)

tm = 광미의 품위(ppm)

a = 정광의 유용성분의 품위(ppm)

b = 정광의 무용성분의 품위(ppm)

a' = 광미의 유용성분의 품위(ppm)

b' = 광미의 무용성분의 품위(ppm)

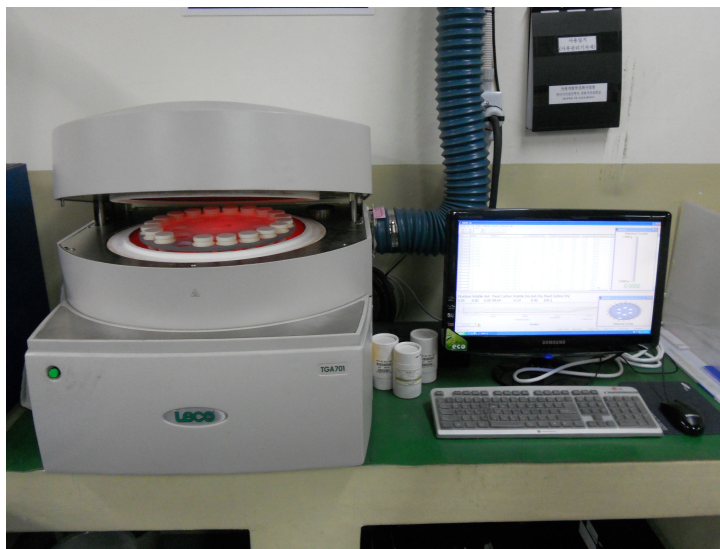


Fig. 3-5. Thermogravimetric Determinator System.

제4장 실험 결과

제1절 인상흑연

1. 일반 부선

가. 포수제 첨가 유무에 따른 영향

본 실험에 앞서 Denver sub-A형 일반부선기를 사용하여 예비실험을 실시한 결과 Fig. 4-1과 같이 포수제의 첨가 유무에 따른 부선효과는 원 시료의 F.C 85.79 %와 비교하였을 때 큰 차이가 없이 F.C 86.65 %, 회수율 97.66 %를 얻었다. 따라서 경제성과 공정의 단순화를 고려하여 이 후 실험에서는 포수제를 사용하지 않고 Microbubble column 부선기를 이용하여 일련의 실험을 실시하였다.

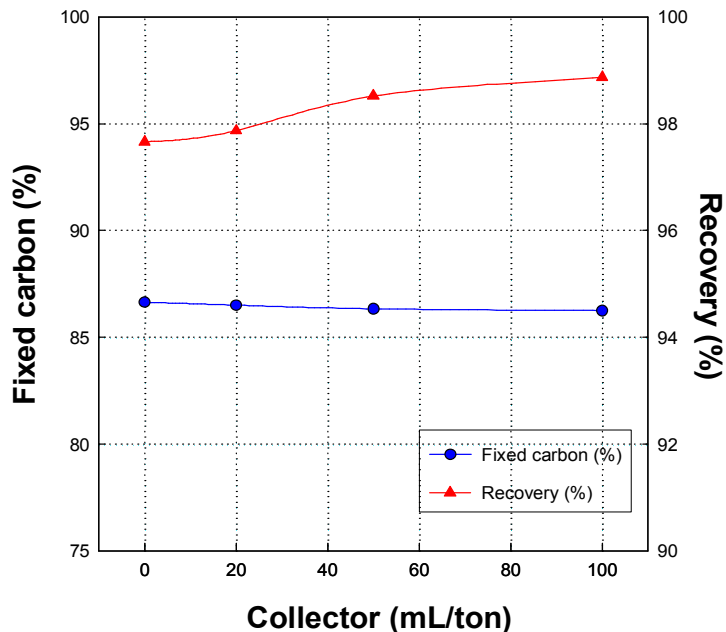


Fig. 4-1. Effects of collector dosage on batch flotation.

(Dp : 20 %, Collector : Kerosene, Frother : Pine oil (200 mL/ton),
Depressant : Sodium silicate (1 kg/ton))

2. Microbubble column 부선

가. 분쇄 시간에 따른 영향

단체 분리와 Microbubble column 부선에 적합한 입도를 확인하기 위하여 포수제는 사용하지 않고 기포제 Pine oil 10.8 L/ton, 억제제 Sodium silicate 5 kg/ton을 첨가하여 분쇄 시간에 따른 영향을 평가한 결과 Fig.4-2와 같다. Fixed carbon의 함량, 즉 품위는 분쇄시간 20분까지는 증가하고 회수율은 저하되었으며, 20분 이상에서는 반대로 품위는 저하되고 회수율은 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 20분 이상 분쇄하였을 때 시료가 과분쇄 되어 미립의 불순물이 정광으로 동반부유되기 때문이며 본 연구에서는 고정탄소 96.54 %, 회수율 98.16 %로 얻을 수 있는 20분이 적정 분쇄 시간으로 확인되었다.

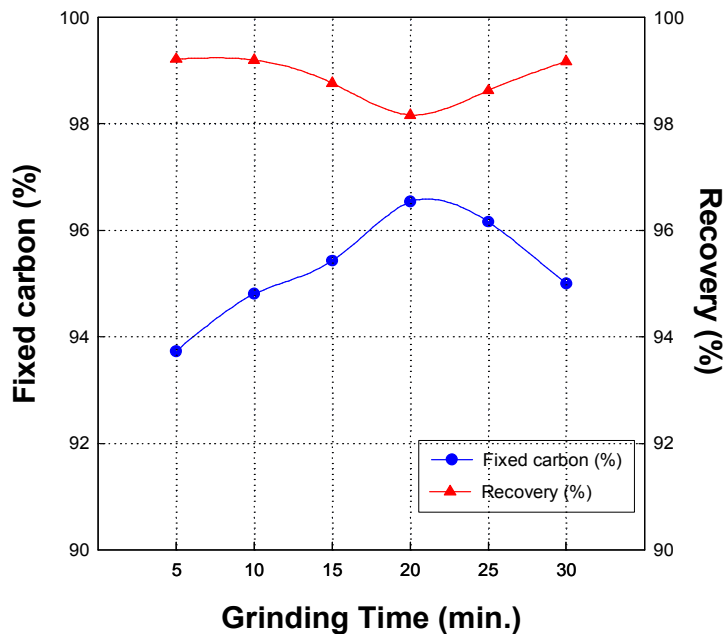


Fig. 4-2. Effects of grinding time on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : Pine oil (10.8L/ton),
Depressant : Sodium silicate (5 kg/ton), Wash water : 820 mL/min.,
Air flow rate : 960 mL/min.)

나. 기포제 종류에 따른 영향

기포제 종류에 따른 부선흡율을 확인하기 위해 Pine oil과 MIBC, AF65, DF250을 각각 사용하여 실험한 결과 Fig. 4-3과 같았다. Pine oil을 사용하여 F.C 96.46 %의 산물을 회수율 99.91%로 얻을 수 있어 MIBC (F.C 96.26 %, 회수율 99.34 %), AF65 (F.C 96.52 %, 회수율 91.02 %)에 비해 고정탄소의 품위는 큰 차이를 보이지 않았으나, 품위와 회수율을 고려하였을 때 Pine oil이 적정 기포제임을 확인하였다. 한편, 기포제에 따른 부선흡율의 차이가 크지 않은 이유는 자연부유도가 높은 인상흑연의 일반부선은 정광을 회수하는 시간이 길지 않아 높은 기포 유지력을 필요치 않았기 때문으로 사료된다.

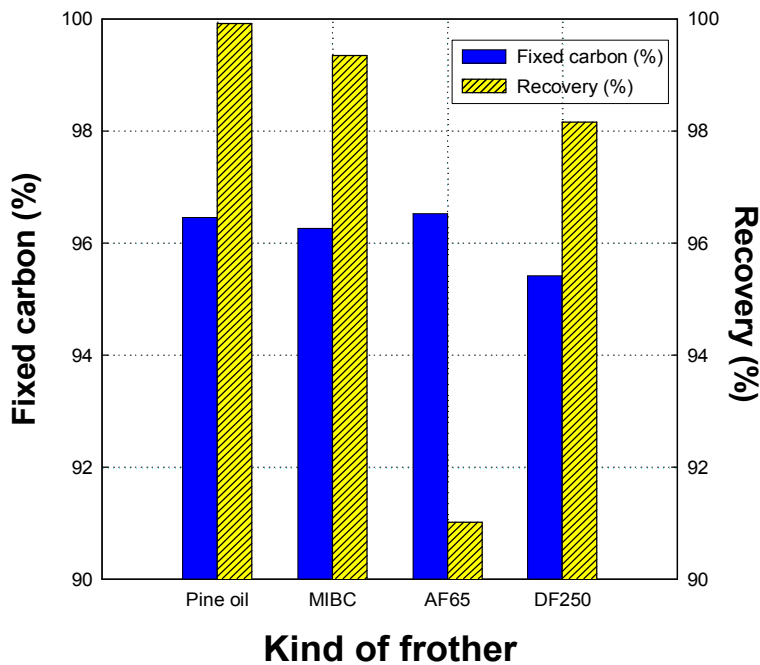


Fig. 4-3. Effects of various frothers on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : (7.2 L/ton),

Depressant : Sodium silicate (5 kg/ton), Grinding time : 20min.,

Wash water : 820 mL/min., Air flow rate : 960 mL/min.)

다. 기포제 첨가량에 따른 영향

Fig. 4-4는 기포제 종류별 실험에서 가장 효율이 좋았던 Pine oil을 사용하여 첨가량을 7.2 ~ 13.5 L/ton까지 변화를 시켜 실험을 실시한 결과이다. Pine oil의 첨가량이 10.8 mL/ton까지 증가 할수록 F.C의 품위는 96.46 %에서 96.54 %까지 증가하며 회수율은 99.13 %에서 98.66 %로 감소되었다. 그 이상의 첨가량에서는 반대로 품위는 감소하며 회수율은 증가 하였다. 이는 기포제의 첨가로 인해 기포의 크기가 감소되어 광물 입자의 포집을 증가시킴으로써 회수율은 증가되지만 일부 미립의 맥석광물까지 동반 부유(entrainment)되기 때문으로 사료된다¹⁶⁾.

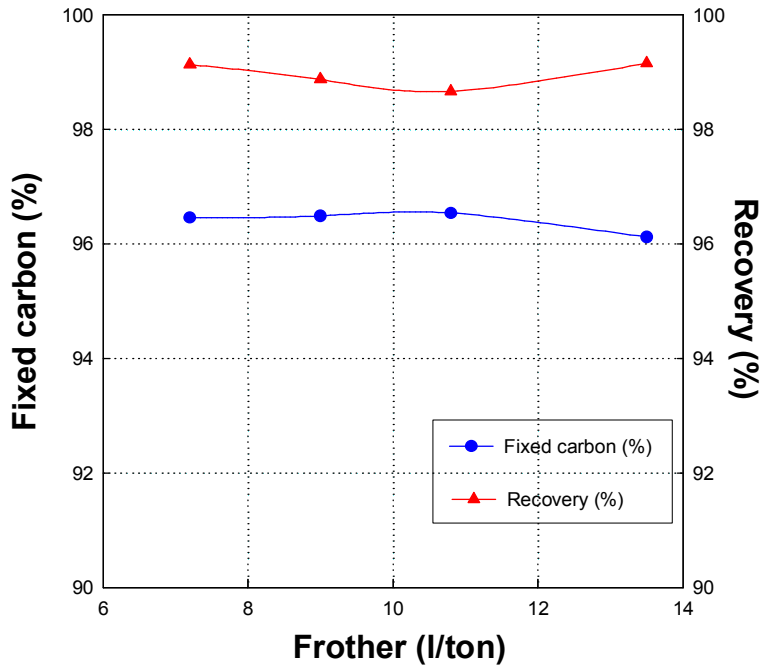


Fig. 4-4. Effects of frother dosage on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : Pine oil,

Depressant : Sodium silicate (5 kg/ton), Grinding time : 20min.,

Wash water : 820 mL/min., Air flow rate : 960 mL/min.)

라. 억제제 종류에 따른 영향

원시료의 고품위 가능성을 높이기 위해서는 Si, Al 등으로 구성된 맥석광물의 억제제를 위한 부선 시약이 필요하다. 따라서 억제제 종류에 따른 영향을 확인하기 위해 기포제는 Pine oil 10.8 L/ton, 억제제 첨가량은 7.5 kg/ton로 동일하게 한 후 Sodium silicate와 S.M.P(Sodium meta phosphate)를 각각 한 종류만을 사용하여 실험한 결과와, Sodium silicate와 S.M.P 2종류를 함께 사용하여 실험한 결과 Fig. 4-5와 같았다. Sodium silicate 한 종류만을 사용하였을 때 F.C 97.08 %의 산물을 98.72 %의 회수율로 얻었다.

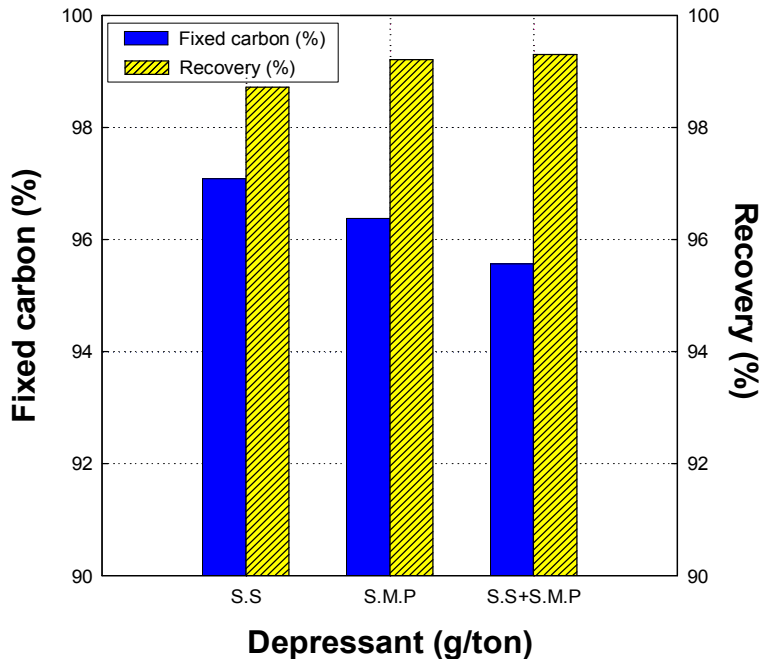


Fig. 4-5. Effects of various depressants on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : Pine oil (10.8 L/ton),

Depressant : 7.5 kg/ton, Grinding time : 20min.,

Wash water : 820 mL/min., Air flow rate : 960 mL/min.)

마. 억제제 첨가량에 따른 영향

Fig. 4-6은 F.C의 품위와 회수율을 높이기 위한 방법으로 규산염광물의 억제에 사용되는 sodium silicate 첨가량을 1 ~ 10 kg/ton 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 억제제 첨가량이 증가할수록 맥석인 Si계 광물의 분산과 억제로 인해 F.C의 품위는 증가하며 회수율은 증가하였다. 반면 억제제 첨가량이 7.5 kg/ton 이상 첨가되었을때 품위가 저하되는 이유는 Sodium silicate의 기포연화작용으로 인해 기포안정성이 저하되기 때문으로 사료된다. 따라서 Sodium silicate의 억제효과가 가장 높은 첨가량 7.5 kg/ton일 때, F.C 95.57 %, 회수율 98.59 %로 얻을 수 있어 적정 첨가량임을 알 수 있다.

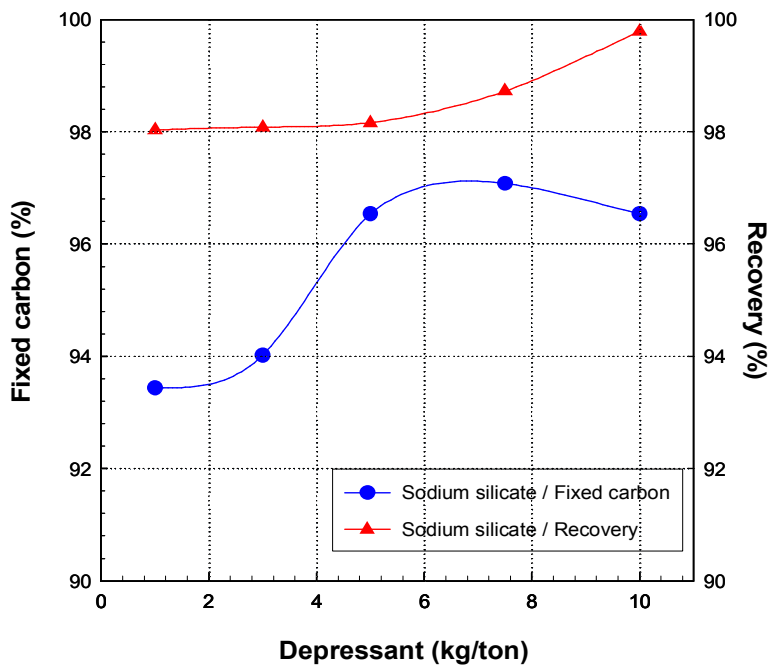


Fig. 4-6. Effects of depressant dosage on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : Pine oil (10.8 L/ton),

Depressant : Sodium silicate, Grinding time : 20min.,

Wash water : 820 mL/min., Air flow rate : 960 mL/min.)

바. 세척수 첨가량에 따른 영향

Column 부선은 일반부선과는 달리 세척수량을 변화하여 정광의 품위와 회수율을 조절할 수 있다. 따라서 적정 세척수량을 확인하기 위해 세척수량을 100 ~ 1000 mL/min.까지 변화시켜가면서 실험한 결과는 Fig. 4-7과 같았다. 세척수량이 증가할수록 맥석에 대한 세척력이 좋아져 F.C의 품위는 96.28 %에서 97.65 %까지 증가하였으나, 회수율은 99.95 %에서 99.23 %로 감소하였다. 이는 세척수에 의해 column 내부의 하향류 압력이 커져 미립의 탄소와 단체분리가 충분히 일어나지 않은 중광(middling)이 광미로 배출되기 때문이며 세척수량이 증가할수록 맥석광물의 세척효과가 향상되어 품위는 높아지나 회수율이 낮아짐을 확인하였다¹⁰⁾.

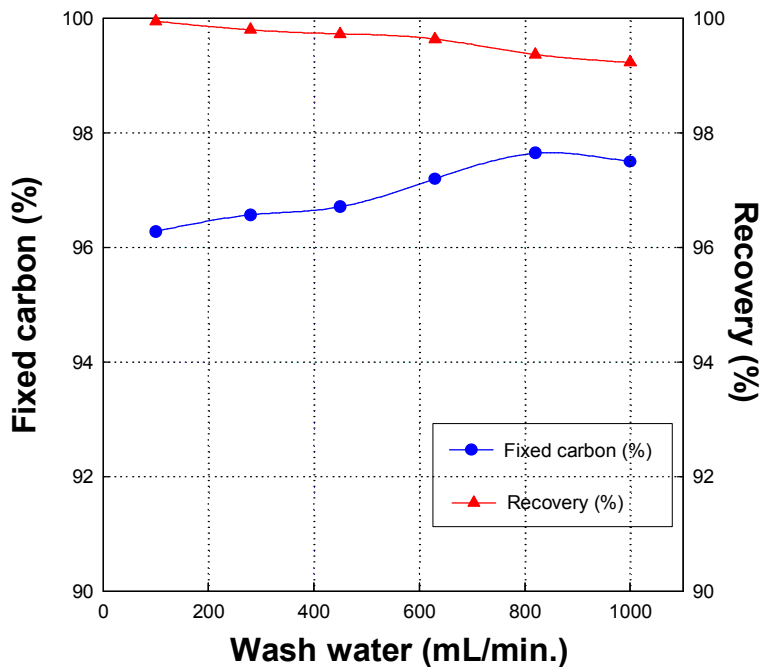
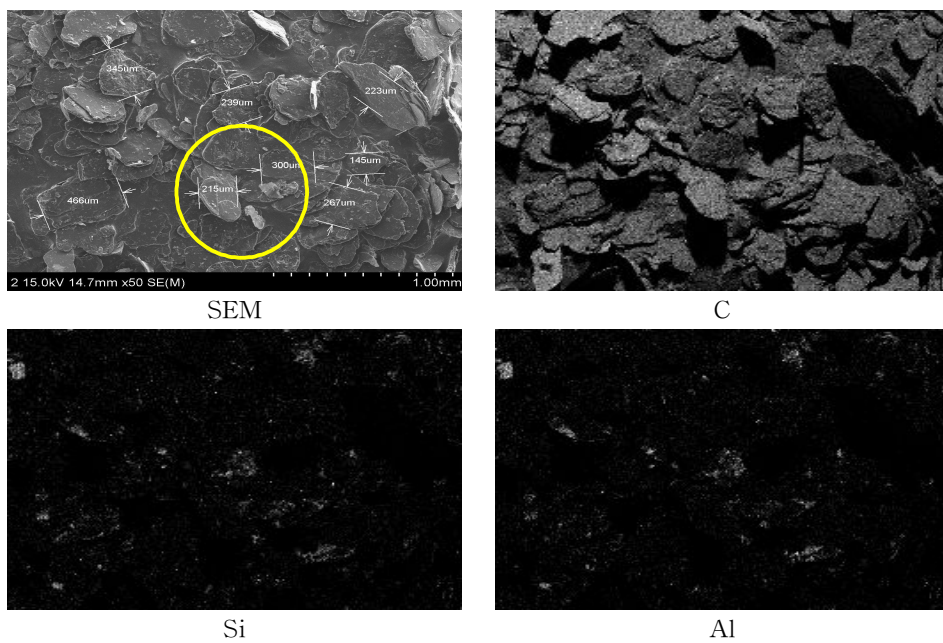


Fig. 4-7. Effects of wash-water on microbubble column flotation.

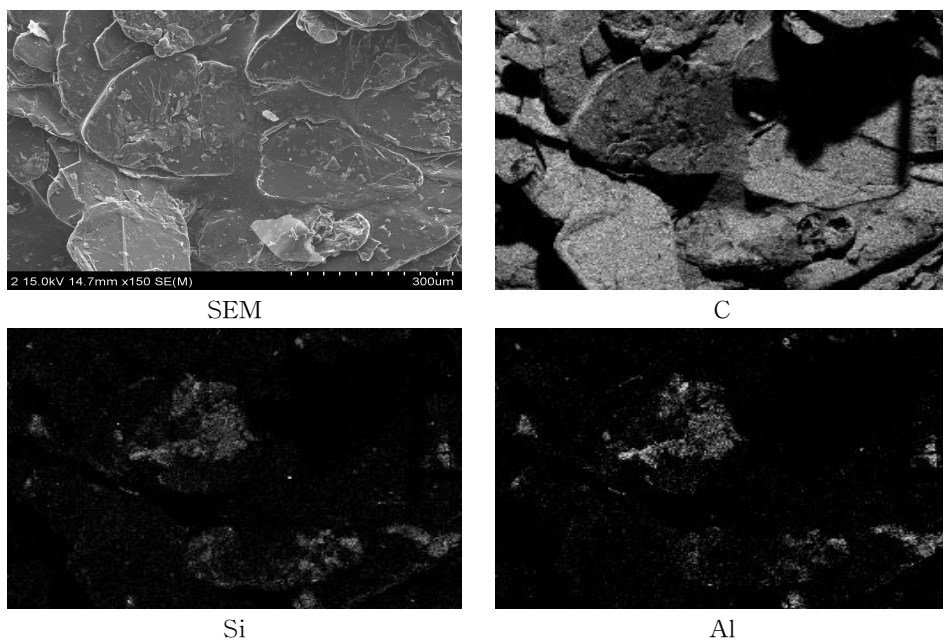
(Dp : 10 %, Collector : None, Frother : Pine oil (32.4 L/ton),
 Depressant : Sodium silicate (7.5 kg/ton), Grinding time : 20min.,
 Air flow rate : 960 mL/min.)

3. SEM 및 원소별 mapping 결과

인상흑연의 단체분리를 확인하기 위해 분쇄하지 않은 시료와 Attrition mill로 5 ~ 30분까지 분쇄한 시료를 동일한 조건에서 microbubble column 부선을 실시하여 얻은 정광을 SEM과 원소 mapping한 결과 Fig. 4-8과 같았다. (a)는 원 시료를 마광하지 않고 일반부선을 실시한 정광의 SEM과 원소별 mapping 사진으로 인상흑연의 입자에 표시된 circle 부분을 150배율로 확대한 결과 (b)와 같이 Si, Al 등의 맥석이 존재하고 있어 단체분리가 되지 않았음을 확인하였다. (c)는 10분 분쇄 한 시료의 microbubble column 정광으로써 circle 부분을 500배율로 확대한 결과 (d)와 같다. (d) 역시 인상흑연과 맥석과의 완벽한 단체분리가 이루어지지 않았음을 알 수 있다. (e)는 본 연구에서 선별효율이 가장 좋았던 20분 분쇄 시료의 부선 정광으로 인상흑연과 맥석이 거의 단체분리가 되었으며, 미립의 맥석이 독립적으로 일부 존재함을 알 수 있었다. (f)에서 보는바와 같이 30분 분쇄 시료의 부선 정광은 인상흑연과 맥석의 단체분리가 충분히 되었으나, 일부 미립의 맥석이 존재함을 확인하였다. 이는 Fig. 4-2의 분쇄시간에 따른 부선 선별확인 실험에서와 같이 분쇄 시간을 20분까지 증가시키면 인상흑연과 맥석이 단체분리 되어 선별효율이 향상되지만, 30분 분쇄 시 과분쇄(over-grinding)된 미립의 맥석이 동반 부유되어 선별효율이 저하됨을 알 수 있었다.

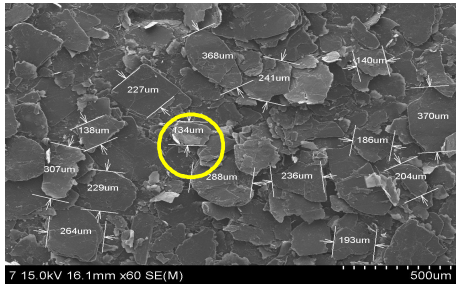


(a) Grinding for 0 minute. (×50)



(b) Grinding for 0 minute. (×150)

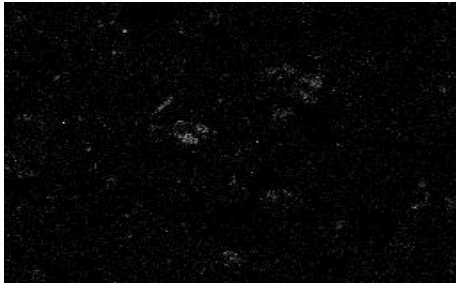
Fig. 4-8. SEM micrograph & Element mapping of microbubble column flotation concentrate.



SEM



C

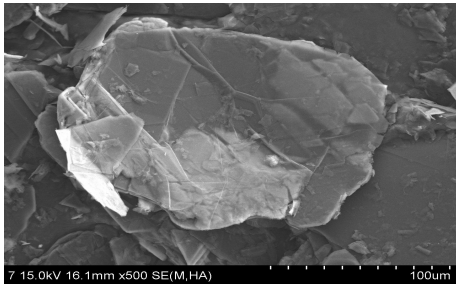


Si

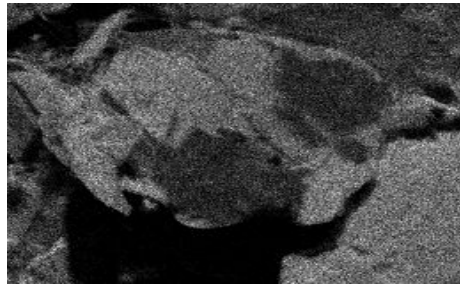


Al

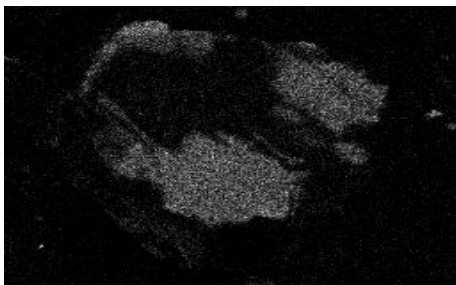
(c) Grinding for 10 minutes. ($\times 60$)



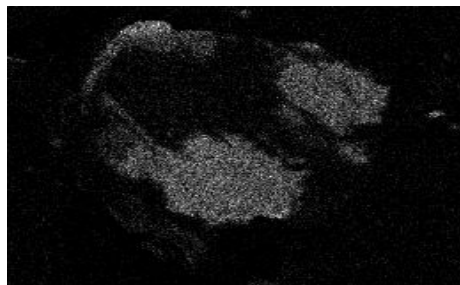
SEM



C



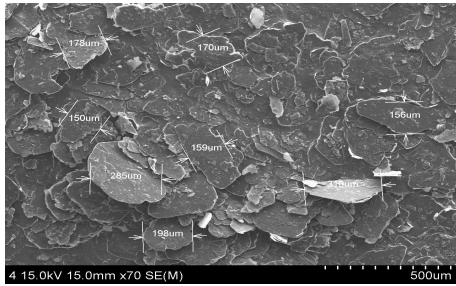
Si



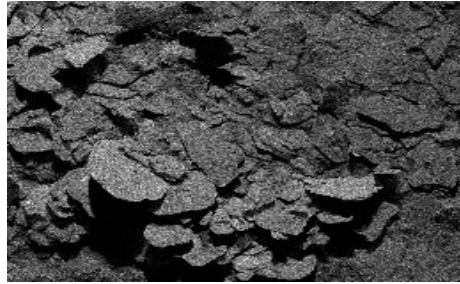
Al

(d) Grinding for 10 minutes. ($\times 500$)

Fig. 4-8. Continued.



SEM



C

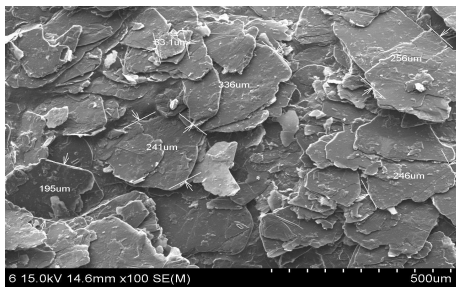


Si

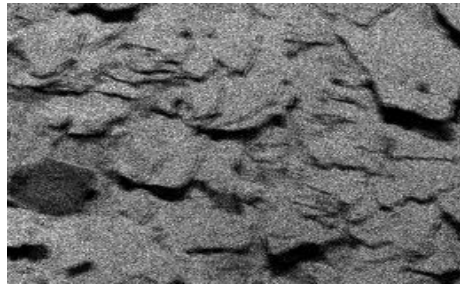


Al

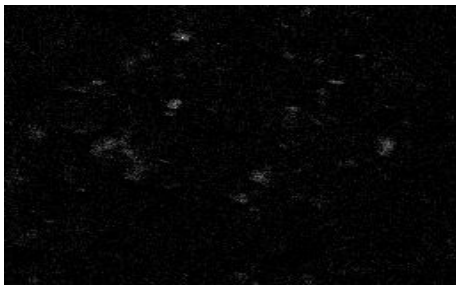
(e) Grinding for 20 minutes. ($\times 70$)



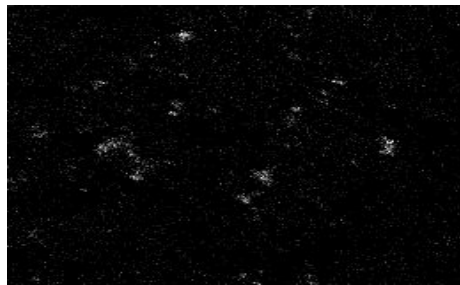
SEM



C



Si



O

(f) Grinding for 30 minutes. ($\times 100$)

Fig. 4-8. Continued.

제2절 석탄

1. 일반 부선

가. 포수제 종류에 따른 영향

경기도 연천의 경기 제일 광업소 무연탄의 Ash 제거율 향상을 위한 적정 포수제를 선정하기 위하여 Lane 등이 실시한 방법과 유사하게 포수제를 첨가하지 않은 시료와 석탄 부선에 가장 대표적으로 이용되는 비이온성 포수제인 Kerosene, 한국 지질자원연구원에서 개발한 석유류 시약과 기름류 시약의 혼합특성을 갖는 시약인 DMU-101⁴⁾과 D.D.A(Dodecyl amine), Kerosene과 D.D.A를 혼합하여 사용한 것과 DMU-101과 D.D.A를 혼합하여 사용했을 때를 대상으로 포수제 종류에 따른 영향을 확인한 결과 Fig. 4-9와 같았다. 먼저 DMU-101 한 종류를 시약으로 사용하였을 때 Ash 제거율 47.97 %, 회수율 71.1 %로 다른 결과들과 비교하여 회수율이 가장 높았으나 Ash의 제거율과 회수율을 함께 고려하여 Ash 제거율 58.33 %, 회수율 51.63 %를 얻을 수 있는 DMU-101과 D.D.A를 혼합하여 사용하였을 경우가 적정 시약으로 확인되어 이 후 실험의 포수제로 사용하였다.

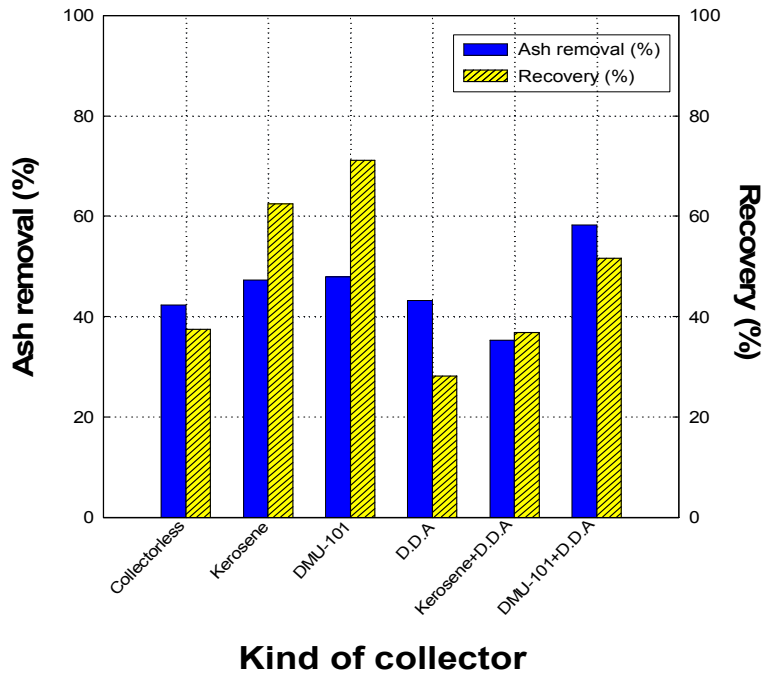


Fig. 4-9. Effect of various collectors on batch flotation.
 (Dp : 20%, Collector : 100mL/ton, Frother : MIBC(200mL/ton),
 Depressant : Sodium silicate(1kg/ton))

나. 기포제 종류에 따른 영향

기포제 종류에 따른 분리효과를 확인하기 위해 석탄 부선에 주로 쓰이는 기포제 중 MIBC, DF250, AF65, Pine oil,을 사용하여 적정 기포제 종류를 선정하기 위해 실험을 실시한 결과 Fig. 4-10과 같았다. 그림에서와 같이 기포제 종류에 따른 영향은 AF65의 경우 Ash 제거율 58.56 %, 회수율 60.71 %로 Ash제거율과 회수율을 고려하였을 때 가장 좋은 조건으로 확인되었지만, 본 연구에서는 석탄의 회수율을 좀 더 높이 올리고자 회수율이 68.90 %인 Pine oil을 기포제로 선정하여 실험을 실시하였다.

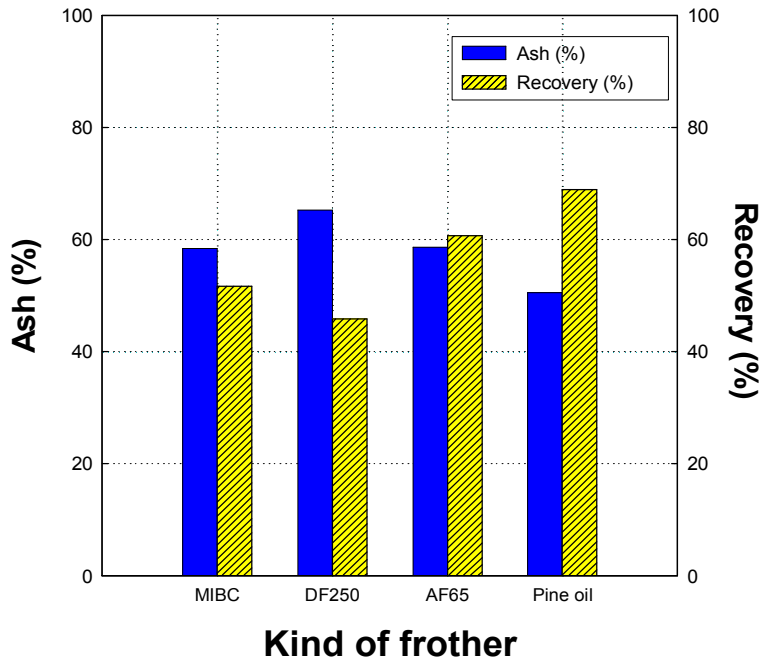


Fig. 4-10. Effect of various frothers on batch flotation.

(Dp : 20 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton), Frother : 200 mL/ton,
Depressant : Sodium silicate (1 kg/ton))

다. 억제제 종류에 따른 영향

XRD와 성분분석 및 원소별 mapping 결과, 원 시료의 Si, Al 등의 불순물 억제 효과를 확인하기 위해 억제제를 사용하지 않고 실험한 것과, Sodium silicate(S.S), Sodium meta phosphate(S.M.P), SiO₂ remover, Lime을 한 종류씩 각각 사용한 것과 S.S와 S.M.P 두 종류를 혼합하여 사용하여 억제제 종류에 따른 영향에 대해 실험한 결과 Fig. 4-11과 같았다. SiO₂ remover는 중국 흑룡강성 계서시 이수구 광산의 흑연 선광장에서 사용하는 시약으로서 제법과 성분은 알 수 없었다. 한편, S.M.P를 사용하였을 때 Ash 제거율 55.61 %, 회수율 85.28 %로 얻을 수 있어 억제효과가 가장 높음을 알 수 있다.

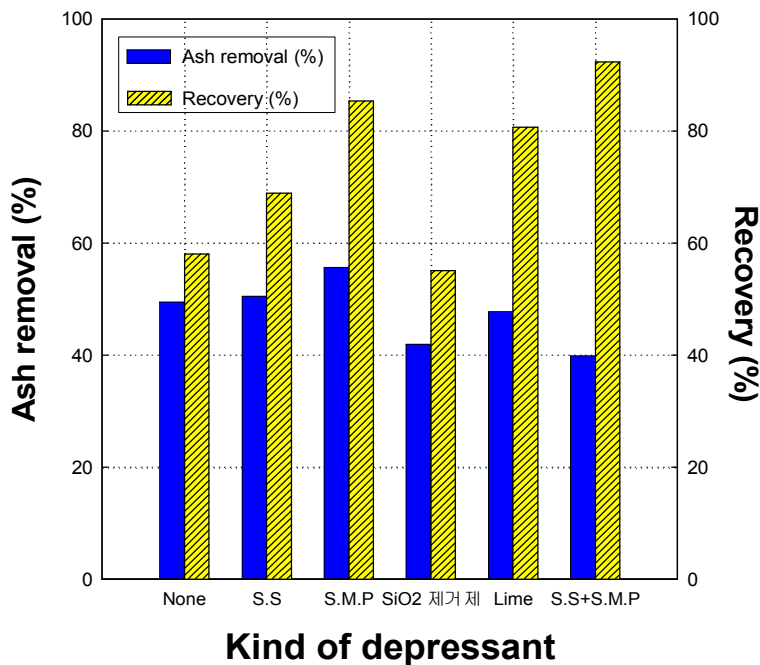


Fig. 4-11. Effect of various depressants on batch flotation.
 (Dp : 20 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),
 Frother : Pine oil (200 mL/ton), Depressant : 1 kg/ton)

2. Microbubble column 부선

가. 분쇄 시간에 따른 영향

경기도 연천의 경기 제일(서림) 광업소 원 시료를 대상으로 Microbubble column 부유선별에 적합한 입도를 확인하기 위해 분쇄시간을 0 ~ 10분까지 조절하면서 실험을 실시하여 Fig. 4-12와 같은 결과를 얻었다.

석탄은 강도가 매우 약하여 5분 분쇄만으로도 충분한 단체분리가 일어나 분쇄를 하지 않았을 경우와 비교하여 Ash 제거율 43.25 %에서 74.72 %, 회수율 28.24 %에서 66.06 %로 향상되었다. 그러나 10분 분쇄의 경우 품위와 회수율이 모두 저하되었다. 이는 미립으로 과분쇄된 맥석의 일부가 동반부유 되어 품위가 저하되었으며, 조립질 석탄의 표면에 부착된 미립의 맥석광물로 인해 소수력이 저하되어 광미로 배출되기 때문에 회수율도 저하되는 것으로 사료된다. 따라서 이 후 실험에서 5분 분쇄하여 microbubble column 부선을 실시하였다.

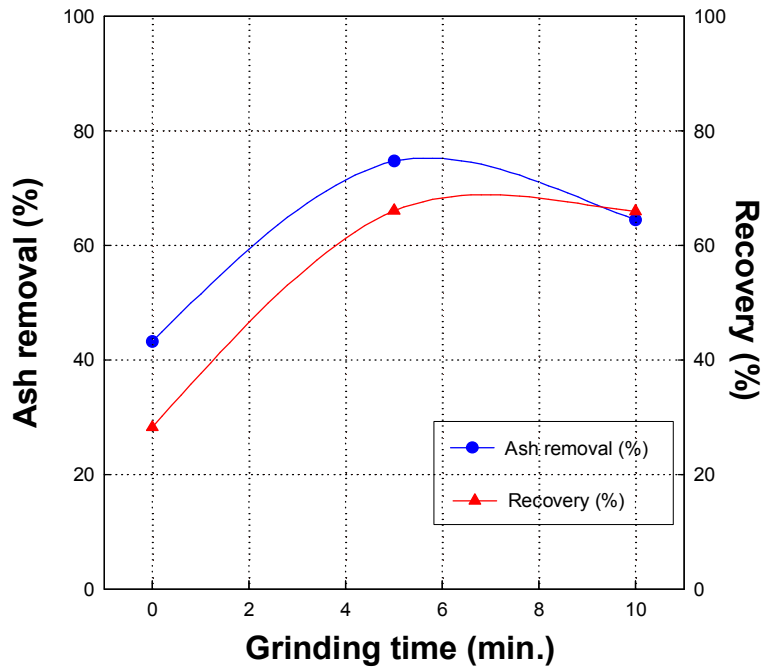


Fig. 4-12. Effect of grinding time on microbubble column flotation.
(Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),
Frother : Pine oil (28.8 L/ton), Depressant : Sodium silicate (1 kg/ton),
Wash water 450 mL/min., Air flow rate 1197 mL/min.)

나. 포수제 첨가량에 따른 영향

일반부선의 포수제 종류 변화 실험에서 부선효율이 가장 좋은 시약으로 확인된 DMU-101과 D.D.A를 혼합한 시약(이하 DMU-101 + D.D.A)을 대상으로 microbubble column 부선에서의 적정 사용량을 확인하기 위해 첨가량을 100 ~ 500 mL/ton까지 변화시키면서 실험을 실시한 결과 Fig. 4-13과 같았다. 첨가량이 증가할수록 품위는 저하되고 회수율은 향상되었으며, 이는 포수제가 입자의 표면을 보다 강한 소수성으로 바꾸어 주고 광화된 기포의 안정성을 높이기 위해서 필요하다. 그러나 일정량 이상의 포수제는 일부 맥석광물의 표면에도 영향을 끼쳐 부선효율에 영향을 주기 때문으로 사료된다. 따라서 포수제를 100 mL/ton 첨가하였을 때 Ash 제거율 74.72 %, 회수율 66.06 %를 얻을 수 있어 적정 첨가량으로 확인되었다.

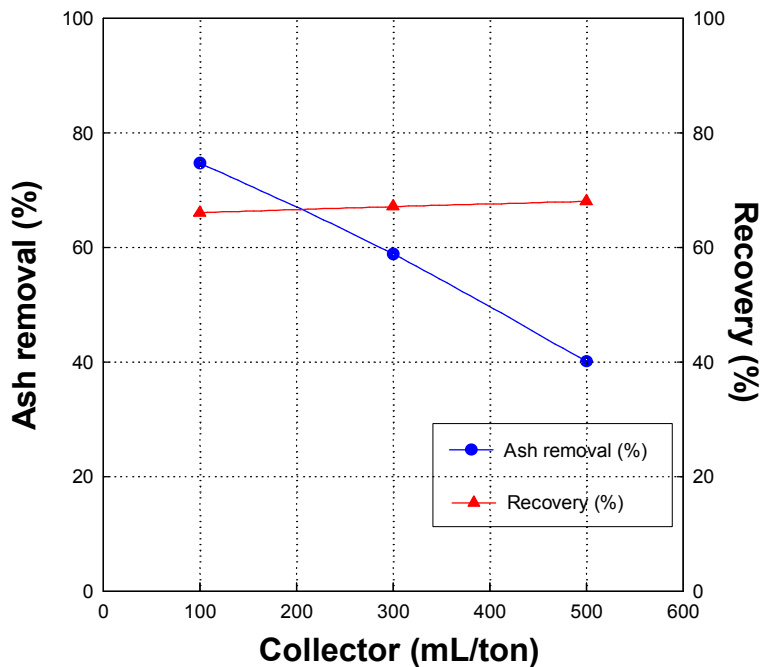


Fig. 4-13. Effect of collector dosage on microbubble column flotation.
 (Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A, Frother : Pine oil (28.8 L/ton),
 Depressant : Sodium silicate (1 kg/ton), Grinding time : 5min.,
 Wash water 450 mL/min., Air flow rate 1197 mL/min.)

다. 기포제 첨가량에 따른 영향

기포제 첨가량 변화에 따른 부선 효율을 확인하기 위해 포수제인 DMU-101 + D.D.A의 첨가량을 100 mL/ton로 고정한 후, 기포제인 Pine oil 첨가량을 변화시키면서 수행한 결과는 Fig. 4-14와 같다.

실험 결과에 나타나 있듯이 기포제 사용량을 21.6 ~ 36 L/ton까지 늘렸을 경우 Ash 제거율은 저하되며 회수율은 증가하였으나 36 L/ton 이상 첨가를 하게 되면 다시 Ash 제거율은 증가하고 회수율은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 첨가량이 증가하면서 기포의 크기가 미립의 석탄에 알맞게 조절되었기 때문이다. 반면 맥석은 기포의 크기에 비해 너무 커서 오히려 뜨지 못한 것으로 사료된다. 또한 기포제의 첨가량이 14.4 L/ton 이하에서는 기포의 유지력이 약해 광화된 후 기포가 깨지는 현상이 일어났다.

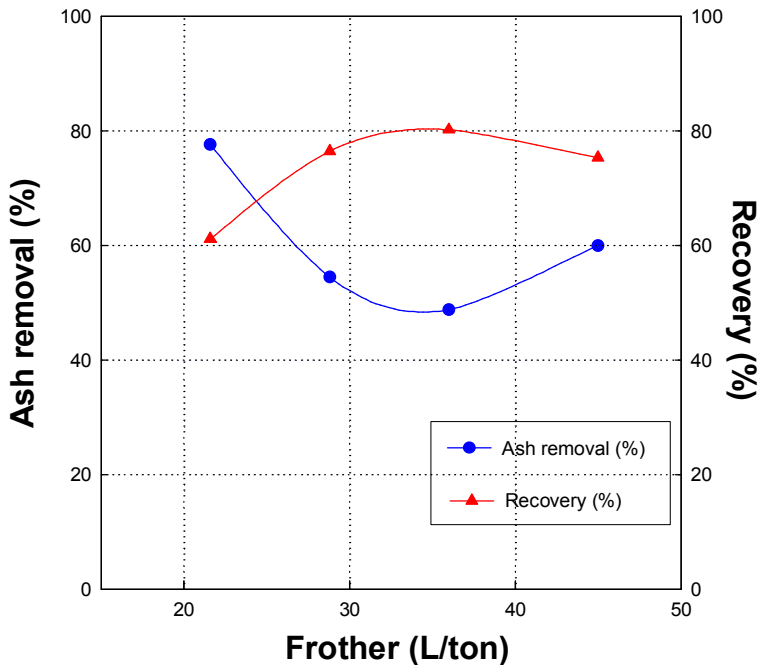


Fig. 4-14. Effect of frother dosage on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),
 Frother : Pine oil, Depressant : S.M.P (1 kg/ton), Grinding time : 5min.,
 Wash water 450 mL/min., Air flow rate 1197 mL/min.)

라. 억제제 첨가량에 따른 영향

Fig. 4-15는 Ash 제거율과 회수율을 높이기 위한 방법으로 일반부선 실험에서 가장 억제 효과가 좋았던 S.M.P를 사용하여 첨가량을 1 ~ 5 kg/ton 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 억제제 첨가량이 증가할수록 맥석광물의 억제로 인해 Ash 제거율이 증가하며 회수율은 감소하였다. 따라서 본 실험에서는 3kg/ton를 첨가하였을 때 Ash 제거율 66.42%, 회수율 73.12 %로 얻을 수 있었으나 Ash 제거율과 회수율을 고려하면 약 3.5 kg/ton의 첨가량이 부선효율이 가장 좋을 것으로 사료된다.

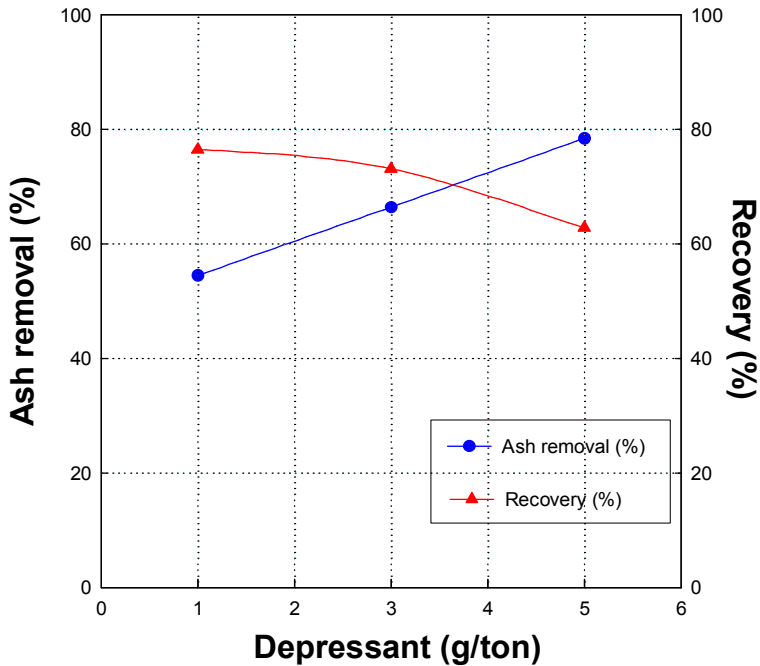


Fig. 4-15. Effect of depressant dosage on microbubble column flotation.

(Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),
 Frother : Pine oil (28.8 L/ton), Depressant : S.M.P, Grinding time : 5min.,
 Wash water 450 mL/min., Air flow rate 1197 mL/min.)

마. 공기 주입량에 따른 영향

공기 주입량이 늘어남에 따라 회수율은 향상되고 Ash 제거율은 저하되는데, 이는 기포체량이 일정할 때 공기량이 증가되면, Column내부의 bubble 사이즈가 커져 기포의 부력과 부유속도가 상승하여 정광으로 일부 맥석이 동반부유 되어 회수율은 증가하지만, 품위는 저하되기 때문이다.

Ash 제거율 향상을 위해 5분 마광한 시료를 대상으로 공기 주입량에 따른 영향을 확인한 결과, Fig. 4-16에서 보는 바와 같이 공기 주입량이 증가함에 따라 Column 내부의 bubble size가 증가하여 일부 맥석이 동반부유 되기 때문에, Ash 제거율은 저하되나 회수율은 향상됨을 알 수 있었다. 한편, 본 실험에서는 공기 주입량이 1197 mL/min. 일 때, Ash 제거율 74.72 %, 회수율은 66.06 %로 적정 조건임을 확인하였다.

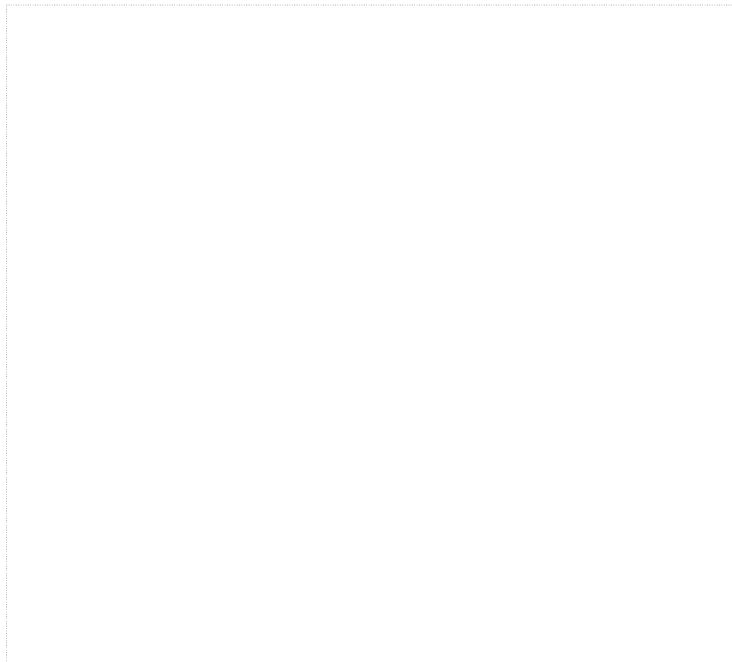


Fig. 4-16. Effect of air flow rate on microbubble column flotation.
(Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),
Frother : Pine oil (28.8 L/ton), Depressant : S.M.P (1 kg/ton),
Grinding time : 5min., Wash water 450 mL/min)

바. 세척수량에 따른 영향

Column 부선에서 세척수 첨가량은 정광의 품위를 조절할 수 있으므로, 이에 따른 선별효과를 확인하기 위해 세척수량을 100~630 mL/min.까지 변화시키면서 실험한 결과 Fig. 4-17과 같았다. 세척수량이 증가할수록 맥석에 대한 세척력이 좋아져, Ash의 제거율은 36.04 %에서 87.85 %까지 향상되나, 회수율은 75.46 %에서 52.43 %로 저하되었다. 이는 세척수량이 증가하면서 column 내부의 하향류 (underflow) 압력이 커져 미립의 석탄뿐만 아니라 맥석과 단체분리가 되지 않은 일부 조립질 middling이 광미로 배출되기 때문으로 판단된다¹⁴⁾.

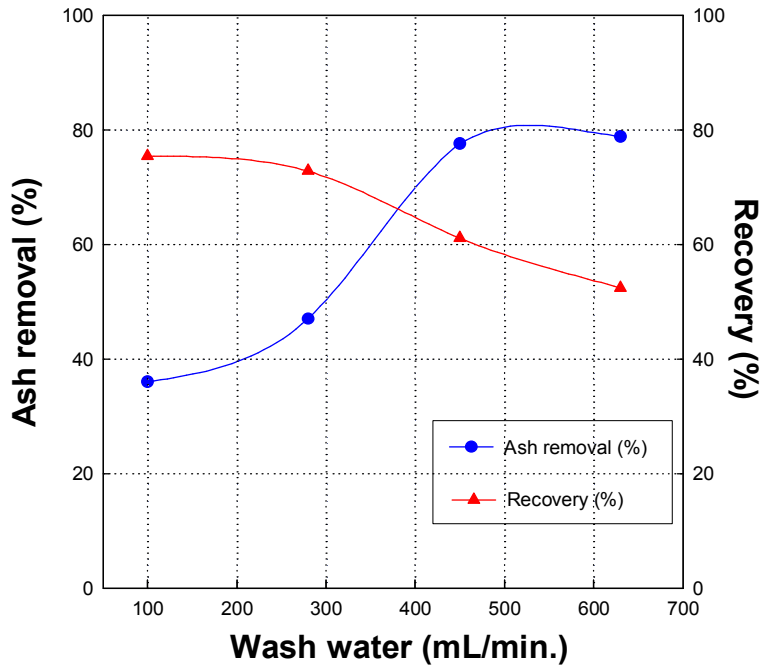


Fig. 4-17. Effect of wash water on microbubble column flotation.

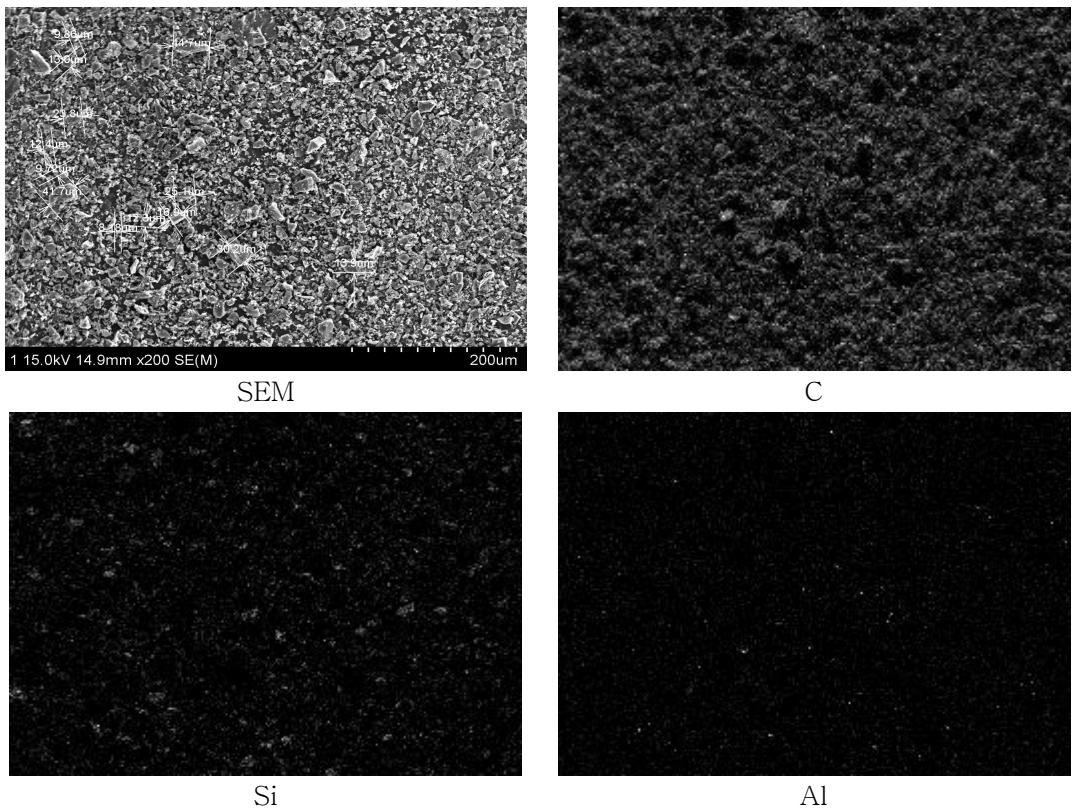
(Dp : 10 %, Collector : DMU-101+D.D.A (100 mL/ton),

Frother : Pine oil (21.6 L/ton), Depressant : S.M.P (1 kg/ton),

Grinding time : 5min., Air flow rate 1197 mL/min.)

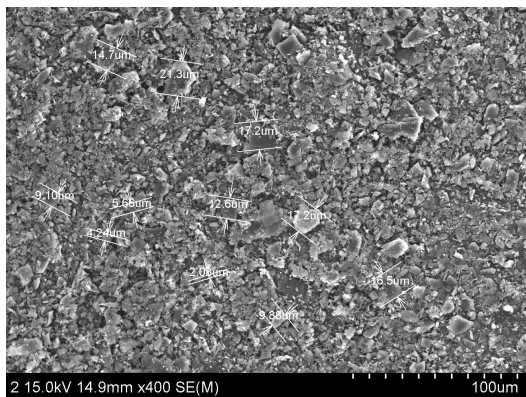
3. SEM 및 원소별 mapping 결과

석탄의 단체분리를 확인하기 위해 Attrition mill로 5 ~ 10분까지 분쇄한 시료를 동일한 조건에서 microbubble column 부선을 실시하여 얻은 정광을 SEM과 원소 mapping한 결과 Fig. 4-18과 같았다. (a)는 5분 분쇄한 시료의 microbubble column 정광으로써 5분 분쇄만으로 이미 석탄과 맥석이 거의 단체분리가 되었으며, 미립의 맥석이 독립적으로 일부 존재함을 알 수 있었다. (c)는 10분 분쇄한 시료의 microbubble column 정광으로써 인상흑연과 맥석의 단체분리가 충분히 되었으나, 과분쇄 되어 미립의 불순물이 정광으로 배출되었음을 확인하였다.

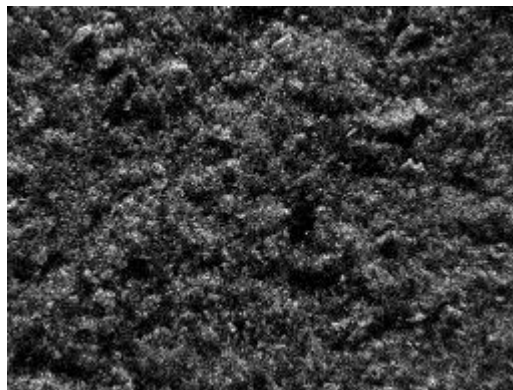


(a) Grinding for 5 minutes. ($\times 200$)

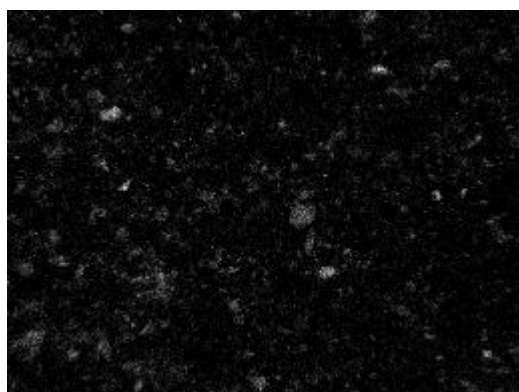
Fig. 4-18. SEM micrograph & Element mapping of microbubble column flotation concentrate.



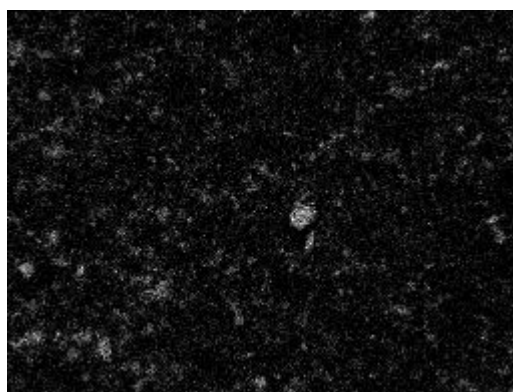
SEM



C



Si



Al

(b) Grinding for 10 minutes. ($\times 400$)

Fig. 4-18. Continued.

제5장 토의

인상흑연의 경우 원광의 F.C 품위 자체가 85.79 %의 높은 품위를 가지고 있어 정광으로 배출되어야 할 양이 많기 때문에 Microbubble column 부선에서의 일반적인 기포제의 양에 비해 비교적 많은 양이 첨가 되어야했다. 또한 S.S와 S.M.P를 혼합하여 억제제로 사용했을때 오히려 F.C의 품위가 저하되어 S.S와 S.M.P를 한 종류씩 사용하였을 때보다 억제 효과가 낮은 것으로 나타났다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 추가 실험을 통하여 규명할 예정이다.

석탄의 경우 기포제인 Pine oil의 기포상태가 매우 불안정하여 기포의 안정화를 유지하기가 힘들었다. 따라서, 일반부선과는 별개로 Microbubble column 부선에서의 기포제 종류에 따른 영향에 대해서 추가적인 실험이 요구된다. 또한, 억제제로 S.M.P를 사용하였을 때 종종 기포가 사라지며 굳는 현상이 나타났다. 이러한 이유에 대하여 규명할 수 있는 실험이 진행되어야 할 것으로 보인다.

제6장 결론

본 실험에서는 중국 흑룡강성의 이수구 광산의 일반부선을 5~6회 거쳐 회수된 인상흑연 최종정광(F.C 85.79 %)과 경기도 연천의 제일(서림)광업소의 석탄(F.C 20.68 %)을 이용하여 일반부선과 microbubble column 부선 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

인상흑연의 경우, 원 시료를 성분 분석한 결과 탄소(F.C 85.79 %)가 주를 이루고 있었으며, 불순물로 Mg, Al, Si, K, Fe가 존재하였고 XFD 분석결과 Illite와 Nacrite가 맥석광물로 확인되었다.

체를 이용한 원 시료의 습식 입도 분석결과, D_{50} 은 215.9 μm 이며 60에서 140 mesh 구간에 전체 무게비의 약 68 %를 차지하며 전체 고정탄소의 약 70 %가 분포되어 있다. 또한, 60 mesh 이상의 입도에 전체무게비의 약 21 % 차지하고 있으며 고정탄소의 함량도 평균함량보다 높아 조립질에 비교적 고품위가 분포되어 있음을 알 수 있다.

부선실험에서 포수제 첨가 유무에 따른 영향을 평가한 결과 포수제로 kerosene 을 100 mL/ton 까지 첨가하였으나 원 시료의 F.C 85.79 %와 비교하였을 때 큰 차이가 없이 F.C 86.65 %, 회수율 97.66 %를 얻어 이러한 결과는 흑연의 높은 자연 부유도 때문에 포수제의 영향은 매우 적은 것으로 확인되었다.

분쇄 시간에 따른 영향을 평가 한 결과, 20분 분쇄 하였을 때 고정탄소 96.54 %, 회수율 98.16 %로 얻을 수 있어 적정 분쇄 시간으로 확인되었으며 20분 이상 분쇄 하였을 때는 회수율은 증가하나 품위가 감소하여 이는 과분쇄로 인한 미립의 불순물이 정광으로 동반부유 되기 때문으로 보인다.

기포제 종류에 따른 부선효율을 확인한 결과 품위와 회수율을 고려하면 Pine oil을 사용하였을 때 고정탄소 96.46 %, 회수율 99.91 %로 얻을 수 있어 적정 기포제임을 확인하였으며, 첨가량을 7.2 ~ 13.5 L/ton까지 변화를 시켜 실험을 실시한 결과 10.8

L/ton 첨가하였을 때 고정탄소 96.54 %, 회수율 98.66 %를 얻었다.

흑연의 고품위 가능성을 높이기 위해서 맥석광물의 억제제 종류에 따른 영향을 평가한 결과, Sodium silicate 한 종류만을 사용하였을 때 F.C 97.08 %의 산물을 98.72 %의 회수율로 얻었으며, sodium silicate 첨가량을 1 ~ 10 kg/ton 까지 변화시켜 실험한 결과 첨가량 7.5 kg/ton일 때, F.C 95.57 %, 회수율 98.59 %로 얻을 수 있어 적정 첨가량으로 확인되었다.

적정 세척수량을 확인하기 위해 세척수량을 100 ~ 1000 mL/min.까지 변화시켜 가면서 실험한 결과, 세척수가 820 mL/min.일 때 선별효과가 가장 높은 고정탄소 97.65 %, 회수율 99.23 %를 얻었다.

인상흑연의 단체분리를 확인하기 위해 분쇄하지 않은 시료와 Attrition mill로 5 ~ 30분까지 분쇄한 시료를 동일한 조건에서 microbubble column 부선을 실시하여 얻은 정광을 SEM과 원소 mapping한 결과 20분 분쇄 시료의 부선 정광이 인상흑연과 맥석이 거의 단체분리가 되었으며, 미립의 맥석이 독립적으로 일부 존재함을 알 수 있었다.

석탄의 경우, 원 시료의 공업분석 결과 고정탄소가 20.68 % 였으며 휘발분 5.34 %, Ash 73.98 %로 존재함을 확인하였다. 한편, 원 시료와 입도별 구간의 발열량을 분석한 결과 원 시료의 발열량은 1,560 Kcal/kg 였으며, -30 mesh 구간의 발열량이 2,730 Kcal/Kg으로써 가장 높음을 알 수 있었다.

XRD 분석결과 Quartz, Muscovite, Pyrophyllite, Birnessite 등이 관찰되었으며. 체를 이용한 원 시료의 습식 입도 분석결과, 조립질인 +30mesh 구간의 고정탄소의 품위가 낮은 것으로 나타났다.

포수제 종류에 따른 영향을 확인한 결과 DMU-101과 D.D.A를 혼합하여 사용하였을 경우 Ash의 제거율과 회수율을 함께 고려하였을 때 Ash 제거율 58.33 %, 회수율 51.63 %를 얻을 수 있어 적정 포수제로 확인되었다.

기포제 종류에 따른 영향은 AF65의 경우 Ash 제거율 58.56 %, 회수율 60.71 %로 Ash제거율과 회수율을 고려하였을 때 가장 좋은 조건으로 확인되었지만, 본 연구에서는 석탄의 회수율을 좀 더 높이고자 회수율이 68.90 %인 Pine oil을 기포제로 선정하였다.

원 시료의 Si, Al 등의 불순물 억제효과를 확인하기 위해 억제제 종류에 따른 영향을 확인한 결과, S.M.P를 사용하였을 때 Ash 제거율 55.61 %, 회수율 85.28 %로 얻을 수 있어 억제효과가 가장 높음을 알 수 있었다.

Microbubble column 부유선별에 적합한 입도를 확인하기 위해 분쇄시간을 0 ~ 10분까지 조절하면서 실험을 실시한 결과, 5분 분쇄만으로도 충분한 단체분리가 일어나 분쇄를 하지 않았을 경우와 비교하여 Ash 제거율 43.25 %에서 74.72 %, 회수율 28.24 %에서 66.06 %로 향상되었다.

일반부선의 포수제 종류 변화 실험에서 부선효율이 가장 좋은 시약으로 확인된 DMU-101과 D.D.A를 혼합한 시약을 대상으로 microbubble column 부선에서의 적정 첨가량을 확인한 결과, 포수제를 100 mL/ton 첨가하였을 때 Ash 제거율 74.72 %, 회수율 66.06 %를 얻을 수 있어 적정 첨가량으로 확인되었다.

기포제인 Pine oil 첨가량을 변화시키면서 기포제 첨가량에 따른 영향을 확인한 결과 기포제 사용량을 21.6 ~ 36 L/ton까지 늘렸을 경우 Ash제거율은 저하되며 회수율은 증가하였으나 36 L/ton 이상 첨가를 하게 되면 기포 크기가 적어져 다시 Ash 제거율은 증가하고 회수율은 감소하는 것으로 나타났다.

S.M.P를 사용하여 첨가량을 1 ~ 5 kg/ton 까지 변화시켜 실험한 결과, 3 kg/ton를 첨가하였을 때 Ash 제거율 66.42 %, 회수율 73.12 %로 얻을 수 있었으나 Ash 제거율과 회수율을 고려하면 약 3.5 kg/ton의 첨가량이 부선효율이 가장 좋을 것으로 사료된다.

Ash 제거율 향상을 위해 5분 마광한 시료를 대상으로 공기 주입량에 따른 영향을 확인한 결과, 공기 주입량이 1,197 mL/min. 일 때, Ash 제거율 74.72 %, 회수율

은 66.06 %로 적정 조건임을 확인하였다.

부선흐과를 확인하기 위해 세척수량을 100~630 mL/min.까지 변화시키면서 실험한 결과, 세척수량이 증가할수록 맥석에 대한 세척력이 좋아져, Ash의 제거율은 36.04 %에서 87.85 %까지 향상되나, 회수율은 75.46 %에서 52.43 %로 저하되었다.

석탄의 단체분리를 확인하기 위해 Attrition mill로 5 ~ 10분까지 분쇄한 시료를 동일한 조건에서 microbubble column 부선을 실시하여 얻은 정광을 SEM과 원소 mapping한 결과, 5분 분쇄만으로 이미 석탄과 맥석이 거의 단체분리가 되었으며, 미립의 맥석이 독립적으로 일부 존재함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 유승우, 박홍규, 정문영, 2009: 연탄재 부유선별에서 고정탄소의 산화가 유상포수제 첨가량에 미치는 영향, 한국지구시스템공학회지 Vol. 46, No.5 pp. 582-588.
2. 이강문, 1985: “광물처리공학”, 반도출판사, 서울, 한국.
3. 정문영, 신희영, 박재구, 2000, “역부선별에 의한 국내산 무연탄회의 정제”, 한국자원공학회지, 제 37권, 제 1호, pp72-79
4. 최우진, 1994, “석탄의 고품위화를 위한 선별성 향상에 관한 연구”, 한국광물자원공사논문집, 제48권, pp.147-156
5. 최우진, 2004, “광산폐기물의 재활용 기술 동향과 전망”, 자원환경지질, 제37권, 제1호, pp113-119
6. 한오형, 강현호, 2006, “Microbubble column에 의한 인상흑연의 부선에 관한 연구”, 한국자원리싸이클링학회, Vol. 15, No. 2, pp37-44
7. BP Statistical Review of World Energy, 2010
8. E.E. Berry and R.T. Hemmings, 1986. “Beneficiation of Fly Ash : An Overview of a Resource.” 2nd Int. Conf. on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, Spain. April 1986
9. Finch and Dobby, 1990; Groopo and Parekh, 1990; Goodall and O'Connor, 1992; Tao et al., 2000
10. Fogg, C. T and Boyle, Jr., E. H. 1987: Flake and High Crystalline Graphite Availability - Market Economy Countries: A Minerals Availability Appraisal,

USBM Inf. Circ. 9122, 40.

11. Mineral Commodity Summaries, 2011

12. Subrahmanyam and Forsberg, 1988; Falutsu and Dobby, 1989; Finch and Dobby, 1990; Falutsu, 1994; Dennis, 1998; Kennedy, 2008

13. Wang, J., Hu, Qiu and Zhong, 2000, "*Use of Silver-bearing Concentrates in Bacterial Leaching of Chalcopyrite containing Ore Material*", Proceedings of 21st International Mineral Processing Congress, Rome, Italy.

14. Wills, B.A., 2006, "*Mineral processing technology(7th)*", Tim Napier-munn, Elsevier, Burlington, USA

15. Yoon. R. H., POC-Scale Testing of a Dry Triboelectrostatic Separation for Fine Coal Cleaning, U. S. Department of Energy Federal Energy Technology Center, 1998, pp.4-9.

감사의 글

어느덧 길고도 짧은 2년간의 대학원 생활을 마치면서 대학원 생활동안 저에게 항상 힘이 되어주신 분들께 서면으로나마 감사의 마음을 전하려고 합니다..

먼저 학부 생활부터 대학원 생활까지 이 작은 결실이 맺어지기까지 항상 웃음과 정으로 이끌어주신 지도교수이신 한오형 교수님께 정말 진심으로 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 저의 부족한 논문을 세심하게 심사해주며 많은 도움을 주신 박천영 교수님, 강성승 교수님, 학부시절부터 많은 애정과 관심으로 많은 가르침을 주신 박영석 교수님, 강추원 교수님, 고진석 교수님 분들께도 감사의 마음을 전해드리고 싶습니다. 앞으로 사회생활을 하게 되더라도 교수님들의 가르침 가슴에 간직하여 부끄럽지 않은 사람이 되겠습니다.

지금은 졸업했지만 광물처리 실험실에서 함께 지내며 저에게 많은 도움과 따뜻한 격려를 아끼지 않았던 현호형 너무 고생하셨고 감사드립니다. 마찬가지로 졸업한 상태에서 발벗고 나서며 저의 논문에 많은 도움을 주었던 승환이와 함께 실험실 막내로 들어와 즐거운 추억을 함께 가졌던 선홍이에게도 감사를 전합니다.

그리고 가족같은 우리 광물처리 실험실의 든직한 다와형과 앞으로 고등학교 동창이자 대학교 동기 신용이, 실험실 막내 쏘쿠리 준희와 쏘하이 민규에게 고마운 마음을 전하며 앞으로도 실험실 생활 잘하며 잘 이끌어나가길 응원합니다. 또한 대학 생활 지내면서 알게 된 많은 선, 후배님들께 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 특히 실험실 생활을 하지 않았더라면 만나지 못했을 선배님이신 박철현 선배님, 백상호 선배님과 전호석 박사님 정말 고생 많이 하셨습니다. 또한 대학생활의 폭넓은 경험을 쌓을 수 있도록 도와주신 김종균 선배님과 장호민 선배님, 유복현 선배님과 우리 동기 동광이, 찬우, 영호, 강희, 민재, 하림이, 정일이, 석범이형 그리고 후배 봉주, 대웅이, 미소와 Capston Design을 하면서 실험을 도와준 수민이, 찬권이, 용민이, 연희, 서현이, 우정이에게도 감사드립니다.

또한 내 인생에 오래두고 사귄 벗 아롱사태 패밀리 상훈이, 일엽이, 태준이, 동혁이, 영식이, 세윤이, 병준이, 영빈이, 성호와 우리 C.D.S 클럽 중희, 인후, 시원이와 성민이, 선환이, 은지 등 이름을 말하지 못한 친구들에게 미안하고 지금까지 함께 해줘서 고맙고 너희들이 있었기에 지금의 내가 있는 것 같아 고맙고 영원히 함께 했으면 좋겠다고 전해주고 싶습니다.

마지막으로 내가 힘들 때나 기쁠 때 언제나 내 곁에 있어주는 나의 가족, 아버지, 어머니, 누나 항상 말썽만 일으키고 문제아였던 저를 바로잡아주고 바른 가르침을 주셔서 언제나 힘이 되었습니다. 앞으로 더욱 든직한 아들이 되어 우리 가족 언제나 행복할 수 있게 더욱 열심히 하겠습니다. 아들의 미래를 위해 언제나 강한 믿음을 주신 아버지와 어머니께 진심으로 감사드리며, 이 작은 논문을 바치며 항상 건강하시길 바랍니다. 아버지, 어머니, 누나, 나를 아는 모든 분들 정말 사랑합니다.

저작물 이용 허용서

학과	에너지자원공학과	학번	20107094	과정	석사
성명	한글 : 홍 종 원 한문 : 洪 鍾 元 영문 : Hong jong-won				
주소	광주광역시 북구 문흥동 금호아파트 107동 506호				
연락처	E-MAIL : arong419@nate.com				
논문제목	한글 : 인상흑연과 석탄의 품위향상을 위한 부유선별 연구 영어 : Flotation for improving grade of crystalline graphite and coal.				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대()

2011 년 5 월 31 일

저작자: 홍 종 원 (인)

조선대학교 총장 귀하