

하동지역 티탄철석의 개발을 위한 선별기술 개발

전호석¹⁾, 양정일¹⁾, 박철현¹⁾, 배광현¹⁾, 조성백¹⁾, 김상배¹⁾

1. 서 론

지구상에 존재하는 티타늄 원료 광물중 TiO_2 성분을 1%이상 함유한 천연광물은 약 140여종에 이르고 있으나, 공업적으로 이용할 수 있는 가치있는 광물은 10여종에 불과하다. 그러나 이들 광물 중 실제로 TiO_2 성분을 이용하고 있는 광물은 금홍석과 티탄철석이며, 이중 금홍석은 매장량은 적고 일부 지역에 국한되어 있으며 가격 또한 티탄철석보다 5배 이상 높아 티탄철석의 의존도가 높다.

티타늄은 우수한 재질특성을 갖고 있어 용도가 다양하여 매년 사용량이 크게 증가하고 있다. 특히, 과학과 산업의 발달이 티타늄의 용도를 더욱더 넓히고 있어 미래의 티타늄 관련산업의 전망은 아주 밝다. 이러한 티타늄의 이용은 크게 금속상태와 이산화티탄 백분의 산화물상태로 이용되는데, 금속 티타늄은 고강도, 내고온, 내저온, 내부식, 무독성 기체흡수성 그리고 초전도체 성질 등으로 인하여 초음속 항공기, 우주왕복선, 잠수함의 몸체 등에 중요한 합금 원료로 사용되고 있으며, 인공치아, 인공관절 등의 재료로, 그밖에 용접봉, 전자요업용, 석유화학공업용 등으로도 널리 사용되고 있다. 또한 산화물 상태에서는 높은 백색도와 반사특성 그리고 밝은 분사특성을 갖고있어 오랫동안 Ti 백색분말의 형태로 페인트, 제지, 고무, 플라스틱 및 기타 산업의 백색안료로 사용되어 왔다.

티타늄 광석의 세계 매장량은 약 10억톤 정도로 추정하고 있으며, 호주, 브라질, 인도, 스리랑카, 미국, 캐나다 그리고 말레이시아 등이 주요 부존 국가이며 생산국가 이다. 우리 나라의 경우 1996년 기준 티타늄광의 총 수요량이 약 50만 톤으로, 이중 국내 생산이 40만 톤 그리고 10만 톤은 말레이시아, 호주, 인도 등으로부터 수입에 의존하고 있다. 그러나 국내에서 생산되고 있는 티타늄광물의 전망은 자철광, 적철광 등을 함유한 함티탄철광으로 제철소의 용광로 노벽보호제로만 이용되고 있을 뿐, 제련용 고품위 티탄철광(TiO_2 48% 이상)은 전량 수입에 의존하고 있다. 이는 함티탄철석의 경우 광물학적 특성상 TiO_2 함량을 35% 이상 높일 수 없기 때문이다.

그러나 본 연구에서 수행한 하동지역 티탄철석의 경우 함티탄철석이 아니기 때문에 효과적인 선별기술만 개발된다면, 국내에서도 제련용 고품위 티탄철석을 생산할 수 있는 기회를 얻을 것으로 생각된다. 특히, 이 지역에 매장된 티탄철석의 경우 이미 언론을 통해 알려진 바와 같이 세계 매장량 10억 톤보다 2배나 많은 약 20억 톤으로 약 110조원의 경제적 가치를 지니고 있기 때문에 선별기술의 개발에 따라 큰 부대효과가 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 하동 지역에 대량으로 매장되어 있는 저품위 티탄철석으로부터 전량 수입에 의존하고 있는 제련용 고순도 티탄철석을 생산할 수 있는 효율적인 선별기술을 개발하는데 있다. 또한 이 지역의 지리적인 여건을 고려하여 선별공정에서 중광물로 처리되는 산물을 용광로 노벽보호제로 활용할 수 있는 조건도 확립하여 티탄철석의 회수율을 높이는 공정도 확립하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 제련용 고순도 티탄철석을 생산할 수 있는 선별기술을 개발하기 위하여 비중선별, 자력선별 그리고 정전선별 각각에 대한 최적 조건을 확립한 다음, 이들 선별법을 효과적으로 혼합한 선별공정을 개발하였다.

2. 티타늄 광물의 조건

일반적으로 티타늄 원료광물의 경우 용접봉 용도와 같이 정제된 원광석을 직접 이용하는 분야도 있지만 대부분 침출과 제련 및 정련공정을 거쳐 금속티타늄이나 이산화티타늄 백분으로 제조하여 사용하게 된다. 따라서 티타늄 원광석의 경우 금속티타늄이나 이산화티타늄 백분의 제조를 위한 일정한 품질조건을 갖추어야 되는데, Table 1은 상업용 티타늄 광물의 품질 허용기준을 나타낸 것이다. 특히, 이산화티타늄백분 제조용의 경우는 발색 원인이되는 Cr₂O₃과 V₂O₅ 성분의 허용기준이 엄격함을 알 수 있다.

그러나 티타늄 광물의 경우 제련공정 및 기술수준 그리고 제조된 산물의 용도에 따라 정광의 품질기준이 달라질 수 있는데, Table 2는 각 국가별로 생산된 제련용 티탄철석의 품질을 나타낸 것으로 TiO₂ 함량이 44%~60% 까지 다양함을 알 수 있다. 즉, 인도산과 미국의 Florida 그리고 호주산의 경우는 TiO₂ 품위가 52% 이상이지만, 노르웨이의 Stavanger사와 미국의 Tahawus사 및 브라질의 티탄철석의 경우는 TiO₂ 품위가 각각 44.4%와 44.5% 그리고 48.3%로 낮은 품위를 사용하기도 한다. 따라서 국내에 대량 부존 되어있는 하동지역 저품위 티탄철석의 경우도 TiO₂ 품위가 48% 이상인 선별공정만 개발된다면 국내 티탄철석을 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 1. Speculations of Ti Bearing Minerals for Commercialization.

Components	Ilmenite	Rutile	Titanium Slag	Synthetic Rutile
TiO ₂	52% up	95% up	85% up	92% up
FeO	8% less	1% less	5% less	-
SiO ₂	0.7% less	0.5% less	10% less	1.4% less
Cr ₂ O ₃	0.05% less	0.2% less	0.2% less	0.2% less
V ₂ O ₅	0.1% less			0.2% less

Table 2. Grade of Ilmenite Concentrate by Country.

Components	India		U. S. A.		Austalia	Norway Stavanger	Brazil
	Quilon	Manava-lakuricki	Florida	Tahawus			
TiO ₂	60.4	54.0	57.5	44.5	52.12	44.40	48.3
Fe ₂ O ₃	24.9	17.0	24.6	5.2	16.65	12.44	16.6
FeO	8.7	23.0	12.3	39.1	29.04	34.00	32.4
Al ₂ O ₃	1.3	-	1.24	3.0	-	-	0.3
Cr ₂ O ₃	0.08	0.05	-	0.15	0.04	0.01	0.5
V ₂ O ₅	0.05	0.18	-	0.10	0.14	0.175	0.06
ZrO ₂	-	0.83	-	-	-	-	0.1
P ₂ O ₅	0.2	0.22	0.03	0.01	-	0.015	-
SiO ₂	0.76	1.18	2.14	3.0	0.18	3.79	1.4

3. 시료 및 실험방법

3-1. 시료의 특성

본 연구에 사용된 시료는 경상남도 하동군 옥종면에 위치한 하동 티탄철광에서 채취한 것으로, TiO₂ 품위가 각각 다른 두 종류의 시료를 대상으로 실험하였다. Table 3은 본 실험에 사용된 티탄철석 원광의 화학분석 결과를 나타낸 것으로, 최적 실험조건을 확립하기 위해 본 연구에서는 Rock-1

시료를 대상으로 실험하였으며, Rock-2는 원광의 품위변화가 정광에 미치는 영향 비교를 위해 사용한 시료이다. 원 시료에 대한 성분분석 결과 Rock-1 시료의 경우 TiO_2 와 Fe의 함량이 각각 9.31%와 16.12%로 Rock-2 시료보다 TiO_2 품위가 3.93% 정도 더 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 1은 원광에 대한 화학분석 결과 확인된 각 구성 원소들의 근원 광물을 규명하기 위한 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 원광에 대한 XRD 분석결과 티탄철석 이외에 각섬석, 석영, 녹니석 그리고 회장석등이 관찰되나, 맥석광물의 대부분이 각섬석과 회장석으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 또한 원광에 대한 XRD 분석에서는 관찰되지 않았지만, 정제실험 후 회수된 각 산물에 대한 XRD 분석결과, 석류석, 자류철광, 자철광, 황철광, 지르콘 그리고 조장석 등도 존재함을 확인하였다. 그리고 원광석 중 맥석광물로 다량 존재하는 각섬석은 Magnesio 그룹임을 알 수 있다.

Table 3. Chemical Analysis on Raw Sample.

Sample	TiO_2	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	MnO
Rock-1	5.38	18.45	43.59	10.64	10.11	1.54	0.47	2.56	0.26
Rock-2	9.31	16.12	39.26	10.44	11.55	1.54	0.55	2.74	0.35

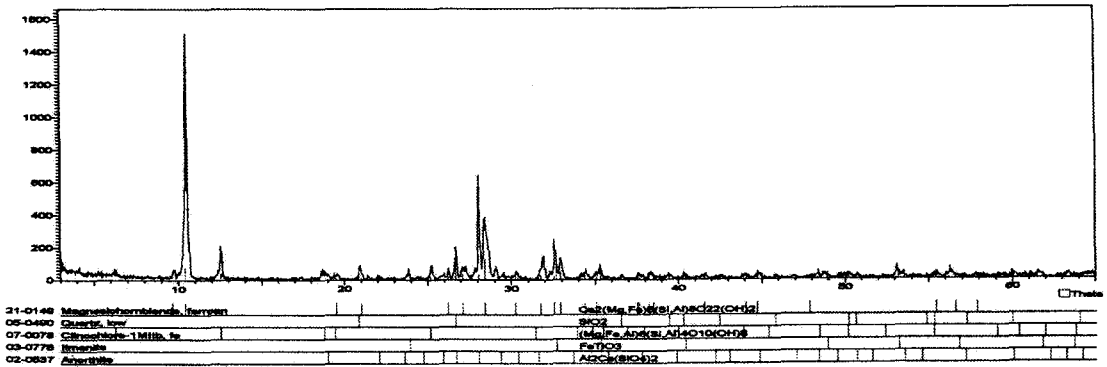


Fig. 1 X-ray Diffraction on Illmenite Ore from Hadong Mine

3-2. 실험방법

Fig. 2는 제련용 고품위 티탄철석을 생산하기 위해 본 연구에서 개발된 혼합실험 공정도를 나타낸 것으로, 원광중에 다량 존재하고 있는 각섬석과, 회장석 등의 규산염 광물은 비중선별법에 의해, 티탄철석과 비중은 비슷하지만 자화율이 다른 맥석 광물들을 자력선별에 의해, 그리고 자력선별 후 아직도 정광산물 중에 남아있는 불순물 즉, 티탄철석과 전기적 특성이 다른 맥석 광물들은 정전선별법을 이용하여 제거하는 종합적인 처리공정을 나타낸 것이다.

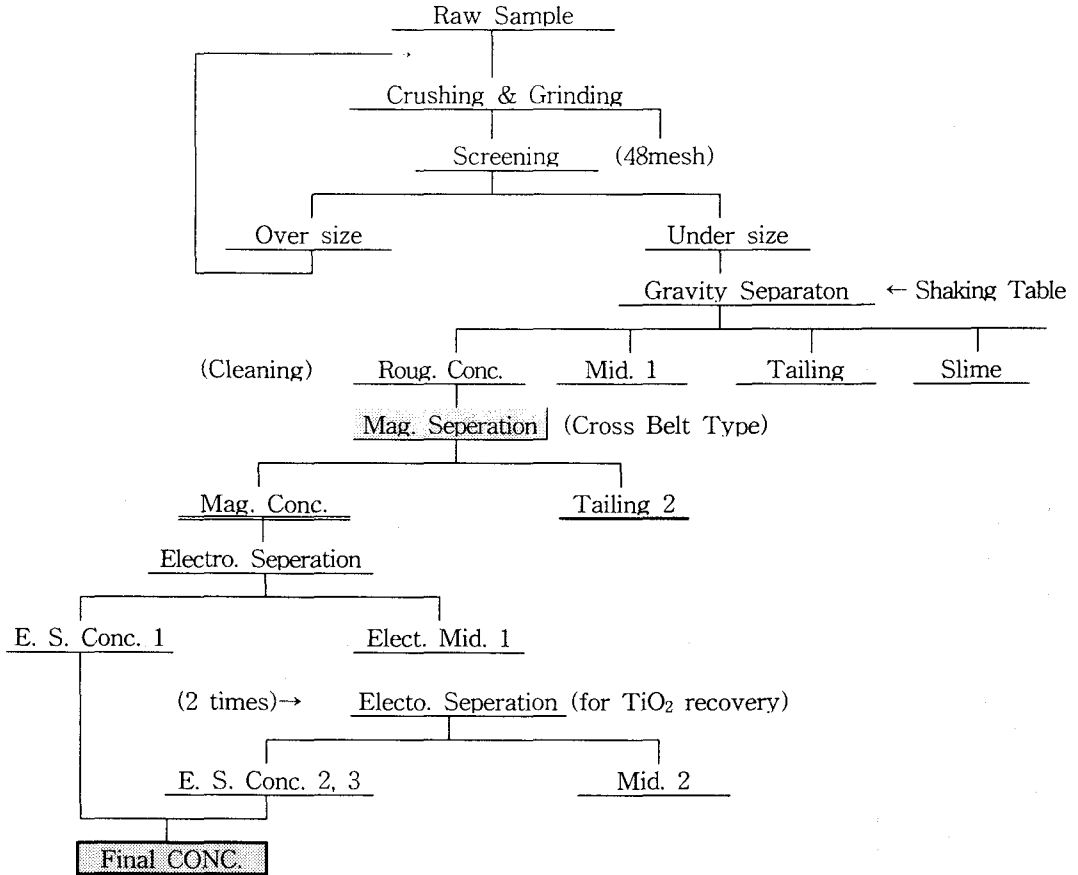


Fig. 2 Combination Process using Gravity, Magnetic and Electrostatic Separation for the Recovery of Illmenite Concentrate.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3의 실험결과는 TiO_2 함량 9.31%인 원광으로부터 제련용 고품위 정제 티탄철석을 얻기 위한 정전선별 실험결과를 나타낸 것이다. 실험방법에서 언급하였듯이 제련용 고품위 티탄철석을 얻기 위해 먼저 비중선별법을 적용하여 티탄철석보다 비중이 낮은 각섬석과 회장석 그리고 규산염 광물들을 제거하여 TiO_2 품위가 41.25%인 정광을 산물을 얻었다. 그리고 비중선별 정광산물은 재차 자력선별 실험을 적용하여 티탄철석과 비중은 비슷하지만 비자성 산물들을 제거하여 TiO_2 품위가 46.01%인 정광을 회수하였다. 그러나 비중 및 자력선별 실험을 통해 얻은 정광산물은 여전히 목표로 했던 TiO_2 품위 50%에 미달하기 때문에 정전선별법을 적용하였으며, 다음 Fig. 3은 이에 대한 실험결과이다.

Table 5는 실험결과를 각 공정별로 비교분석하여 나타낸 것이며, Table 6은 최적 선별공정으로부터 회수된 각 산물의 결과 및 이들의 이용 가능한 용도를 나타낸 것이다. 공정별 비교실험결과 비중→자력→정전선별법을 혼합한 선별공정만이 목적인 TiO_2 품위 50%에 도달하는 것을 알 수 있다. 그리고 최적실험 조건에서 얻은 산물의 경우 중광물로 회수된 용광로 노벽보호제까지 포함할 경우 회수율이 66.8%에 달하는 것을 알 수 있다.

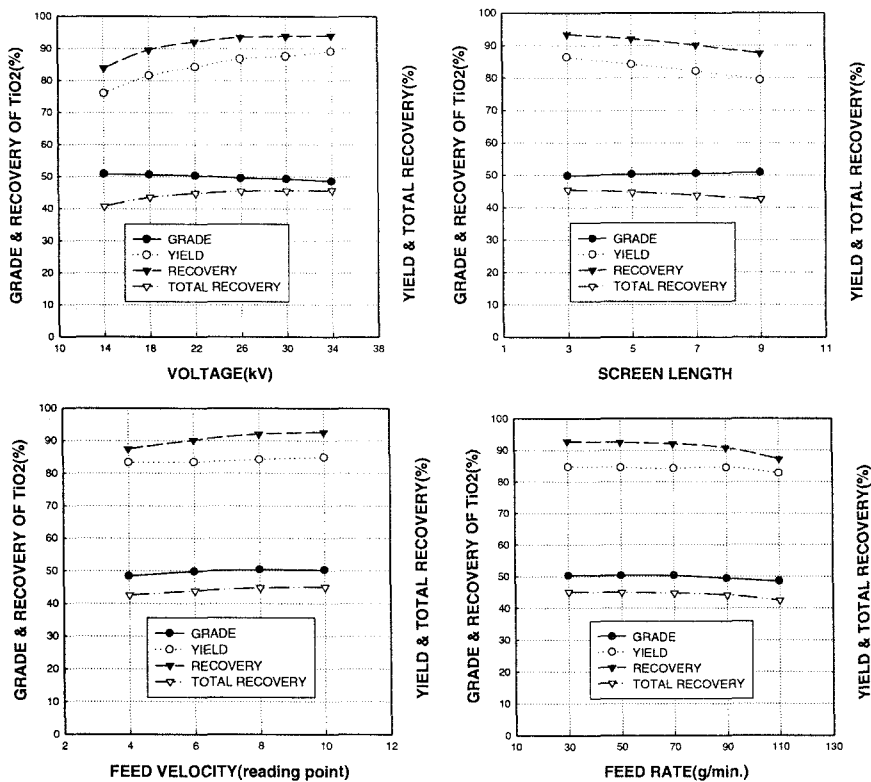


Fig. 3 Results of Electrostatic Separation for getting the High Grade Ilmenite from the Products obtained from Gravity and Magnetic Separation.

Table 4. Comparison of Test Results obtained from Various Separation Methods

Processing	Chemical Components(%)		Recovery of TiO ₂ (%)	Total Recovery of TiO ₂ (%)
	TiO ₂ (%)	Fe(%)		
Gravity Separation	41.25	33.12	57.78	53.43
Gravity & Magnetic Separation	46.01	34.25	91.02	48.63
Gravity & Electrostatic Separation	48.23	34.26	89.10	47.61
Gravity, Magnetic and Electrostatic Separation	50.27	35.25	92.01	44.74

Table 5. Result of Separation on Ilmenite Ore.

Product	Yield (wt. %)	Grade(%)		Recovery (TiO ₂ %)	Use
		TiO ₂	Fe		
Concentrate	8.29	50.27	33.06	44.8	· Ti refining
Middling	10.80	19.00	20.00	22.0	· Protecting of erosion of Fe hearting refractory
Tailing	80.91	3.81	13.87	33.2	· Cement · Light weight aggregate
Total	100	9.31	16.12	100	

5. 결 론

경상남도 하동군 옥종면 지역에 매장되어 있는 약 20억 톤의 티탄철석을 개발하기 위한 선별기술 개발결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

- 본 연구에서 얻은 TiO_2 50.27%의 티탄철석 정광을 생산할 수 있는 종합 처리공정은 1차로 굵은 입자에서 건식 자선처리를 하여 30%의 맥석 광물을 제거한 다음 비중선별→자력선별→정전선별법을 응용한 혼합공정으로, 비중선별에서 TiO_2 손실이 많아 최종 정광산물의 회수율은 44.8%에 불과하다. 그러나 비중선별에서 중광물로 처리된 산물과 자력선별 및 정전선별에서 제거된 산물은 노벽보호제로 이용할 수 있는 품위이기 때문에 실제적인 TiO_2 회수율과 중량비는 각각 66.80%와 21.09%에 이른다.

- 최적 처리공정에서 회수된 정광산물의 제련용 이용 가능성 규명을 위한 적용실험결과 활성 TiO_2 가 약간 낮으나 이산화티탄 백분 제조시 가장 엄격히 규제하는 CrO_3 와 V_2O_5 함량이 각각 0.01%와 0.14%로 모두 허용규제치 내에 있어, 매우 좋은 조건을 갖추고 있다는 결과를 (주) 한국티타늄으로부터 얻었다.

주요어 : 티탄철석, 선별공정, 비중선별, 자력선별, 정전선별,

1) 한국지질자원연구원 자원활용연구부