

국내산 납석의 활용현황 및 용도별 품질기준 제안

Suggestion on Quality Specifications of Domestic Pyrophyllite According to Utilization

고 상 모(Sang-Mo Koh)*

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부
(Geology and Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)

서 론

납석은 층상규산염광물의 2:1형 점토광물에 속하는 엽납석(pyrophyllite)으로 주로 구성되는 광석을 지칭하는 용어이나 산업계에서는 흔히 상품명으로도 사용되고 있다. 엽납석의 화학식은 $Al_2Si_2O_{10}(OH)_2$ 로 표시되며 이론적인 화학조성비는 SiO_2 66.7 wt%, Al_2O_3 28.3 wt%, H_2O 5.0 wt%로서 알루미늄 함유량이 높아 요업용으로 활용되어 온 중요한 산업원료광물 중 하나이다. 납석은 유리장섬유용, 내화물용, 농약용, 위생도기용, 타일용, 도자기용 및 시멘트 부원료로서 활용되고 있다. 순수하게 납석이 이용되는 용도는 유리장섬유용, 내화물용 및 위생도기용이며, 타일용, 도자기용 및 시멘트 부원료로는 납석질 도석이 주로 활용된다. 2000년 이후 시멘트 부원료의 활용이 증가 추세에 있으며 2005년도에는 58%를 차지하였다.

2005년 납석의 국내 생산량은 약 885,559톤이며 내수량이 749,284톤으로서 내수금액은 약 272억 원에 달하며, 국내에서 생산되는 산업원료광물 중 자급도가 100%를 초과하고 가장 많은 양이 수출되는 광종에 속한다(한국지질자원연구원과 산업자원부, 2006). 2005년 가행 광산

수는 26개 광산이나 100,000톤 이상 생산되는 광산은 5개 광산에 불과하다.

광석의 품위(grade)는 특정 광산이나 특정 광체에 산출하는 광석광물(ore mineral)의 상대적인 함량 정도를 나타내는 용어로서(Glossary of Geology, 1980), 정량화 된 기준은 없다. 단지 광산 현장이나 사용업체에서 편의상 주관적 관점에 의해 특급, 1급, 2급, 3급이나 고품위, 중품위 및 저품위와 같은 등급을 구분하는 용어로 사용한다. 따라서 사용자에 따라 품위 기준은 매우 차이가 크며 기준 항목 자체가 다를 수도 있다. 광석의 품질(quality)은 특정 용도에 최적의 조건을 보이는 광물조성, 화학조성 및 물리적 또는 열적 성질의 기준치를 의미한다. 납석의 품질 기준은 국가 또는 제조업체에 따라 다소 차이를 보일 수밖에 없다. 이는 납석이 산지에 따라 그 광물조성이 다르고 제조업체에 따라 품질을 평가하는 측정 항목이 다르거나 측정방법에서 차이를 보이기 때문이다. 따라서 납석을 포함하는 산업원료광물의 품질 기준 항목 및 기준치의 설정은 국가별 산업체의 특성 즉 사용원료 종류나 배합비, 공정과정 등 다양한 상황에 따라 변할 수 있으므로 업체에 적합한 기준이 설정되어 품질관리에 적용되고 있다.

*교신저자: kohsm@kigam.rc.kr

Table 1. Production and supply amount of pyrophyllite used for glass fiber by manufacturing and producing companies in Korea (Lee, 2005)

Manufacturing company	Production amount (t/y)	Locality	Supplying company	Supply amount (t/m)
Hankuk Fiber	20,000	Milyang city, Gyeongsangnamdo	Wang Pyo Chemical Co., Ltd.	1,000
KCC	20,000	Cheonan city, Chungcheongnamdo	Foosung Corp.	1,100
Korea Saint-Cobain Vetrotex	50,000	Gunsan city, Jeollabukdo	Seokwon Co. Ltd.	2,500
Korea Owens Corning	65,000	Kimcheon city, Gyeongsangbukdo	Korea Mineral Powder Co. Ltd.	3,300
Total	155,000			7,900

납석은 다양한 광물조성군으로 산출되기 때문에 품위 산정은 다소 복잡하지만 광물조성과 화학조성이 상호 보완적으로 고려되어 평가되는 기준이 Harben (1995)에 의해 제시된 바 있으며, 업납석을 포함한 점토광물들의 함량비가 화학조성과 더불어 납석의 품위 산정에 중요한 기준이 된다고 노진환(2005)에 의해 보고된 바 있다.

국내에서 납석은 요업용으로 주로 사용되며 이 용도 분야에서 사용되는 원료 광물 종류 자체가 매우 다양하고, 동일 광물종인 경우에도 여러 산지에서 산출되는 원료를 복합적으로 활용하고 있어 원료광물의 용도별 품질평가 항목의 선정이나 품질기준을 설정하기는 사실상 매우 어렵다(고상모 외, 2005). 또한 활용되는 원료광물들이 시기에 따라 바뀌기도 하기 때문에 기준 설정을 더욱 더 어렵게 만드는 요인이기도 하다. 원료광물의 가공업체나 제조업체에서 품질기준항목이나 그 기준치에 대해 공개하기를 꺼리고 있어 업체에서 정한 기준을 파악 하는 것도 한계를 가진다.

대부분의 산업원료광물의 품질평가에서 중요한 기준은 물성 기준, 화학적 기준 및 광물학적 기준으로 구분되어진다. 업체에서는 물성기준과 화학적 기준에만 의존하여 품질평가를 수행하여 왔다. 물성기준이나 화학적 기준은 광물조성비 즉 광물학적 기준에 의해 지배됨에도 불구하고 무시되어져 왔다. 따라서 이 연구에서는 광물학적인 기준을 추가함으로써 상호보완적인

자료를 마련하고자 시도되었다. 자연산 광물 자체가 이질적인 광물조성으로 산출되기 때문에 물성기준이나 화학적 기준처럼 일반화된 정량 자료를 제시하는데 한계를 가진다. 따라서 많은 시료를 대상하여 이러한 연구가 수행된다면 보다 일반화된 자료를 구축할 수 있으리라 생각되나 이 연구에서는 다소 제한된 대표시료에 대하여 시도하였다.

이 연구에서는 업체로부터 수집된 자료와 직접 분석된 자료의 공통점을 도출하여, 국내에서 대체적으로 인정되고 적용 될 수 있는 납석의 주요 용도별 품질기준을 제안코자 한다. 제안된 광물학적 기준은 납석광석에 흔히 수반되는 부성분광물(석영 및 점토광물류)이나 불순광물(황철석, 명반석, 장석, 강옥, 듀모티어라이트, 전기석 등)의 함량비에 따라 다를 수 있으나 가장 대표적이고 우세하게 산출되는 납석을 대상으로 조사하였다.

국내에서는 최초로 산업원료광물의 품질평가 또는 표준화와 관련된 연구가 고상모 외(2005)에 시도된 바 있으며, 산업원료광물 전자상거래 시스템 구축을 위한 산업원료광물 물품표준화 사업이 대한광업진흥공사(2005)에 의해 수행된 바 있다.

연구방법

가공산업체와 제조업체에서 수집된 납석의 용도별 품질기준은 크게 화학조성적 기준과 물

Table 2. Specifications of pyrophyllite used for glass fiber in three manufacturing and producing companies of Korea

Chemical compositions (wt%)	A company	B company	C company	Common range
SiO ₂	74.25 ± 0.50	73 ± 2.0	74.0~76.0	73~76%
Al ₂ O ₃	19.85 ± 0.15	20 ± 0.5	19.70~19.80	19~20%
Fe ₂ O ₃ (total Fe)	< 0.35	< 0.35	< 0.25	< 0.35%
CaO + MgO	< 1.0	< 2.0	< 0.5	< 2.0%
K ₂ O + Na ₂ O	< 0.8	< 0.8	< 0.6 (K ₂ O < 0.13)	< 0.8%
TiO ₂	< 0.6	< 0.7	< 0.55	< 0.7%
SO ₃	< 0.3	< 0.3	0.15~0.25	< 0.3%
P ₂ O ₅	-	< 0.2	< 0.2	< 0.2%
LOI	5.0	4.0±1.0	3.8-4.5	4.0~5.0%
Particle size	+43 μm < 2.0%	+43 μm < 2.0% +100 μm < 0.1% -250 μm 100%	+43 μm < 2.0% +125 μm < 0.1% -280 μm 100%	+43 μm < 2.0%
Moisture content	0.50%	< 0.4%	< 0.2%	< 0.5%

성기준으로 나누어진다. 물성기준은 업체에서 수집된 자료를 정리하여 그 기준을 설정하였으나 업체마다 다소 차이가 있고 자료공개를 꺼려 충분한 대비가 이루어지지 못하였다. 화학조성적 기준은 업체에서는 신뢰 할 수 있는 충분한 자료를 가지고 있지 않음으로써 업체에서 사용하는 시료를 직접 한국지질자원연구원 화학분석실에서 X-선 형광분석기(XRF)를 이용하여 분석하였다. 광물학적 기준은 현재 업체에서 사용하는 시료에 대해 X-선 회절분석을 통해 각 광석의 구성광물을 파악하고 정량적 광물조성비를 계산하여 광물학적 기준을 제안하였다. 사용된 X-선 회절분석기는 일본 Rigaku사 1000 series이며 정량분석은 SIROQUANT™ 프로그램을 사용하였다.

유리장섬유용 납석의 활용현황

유리섬유에는 장섬유와 단섬유가 있으며 장섬유는 용융된 그라스를 고속으로 인출하여 제조한 것이고, 단섬유는 용융된 그라스를 원심력법 또는 화염법으로 날려 면상으로 제조한 것이다. 유리장섬유용의 주 원료광물은 납석이며 그 외 석회석, 생석회 및 회붕석(붕산, 붕소) 등이 사용된다. 이 용도로 사용되는 납석은 완도광산, 노화광산 및 성산광산산이 이용되나 완도

및 노화광산은 납석질 광석이고 성산광산은 고풍토질 광석으로 그 차이가 크다. 국내에서의 유리장섬유 원료인 납석의 가공산업체 및 제조업체별 생산량 및 공급량은 표 1과 같다. 주요 제조회사는 국내업체인 (주)한국하이버와 (주)금강고려화학(KCC)이며 프랑스업체인 한국상고방베트로텍스(주)와 미국업체인 한국오웬스코닝이다. 납석은 특별한 가공공정을 거치지 않고 가공회사에서 분체 후 제품 제조회사로 운반되어 사용된다. 유리장섬유용으로 사용되는 납석은 연간 150,000~160,000 톤 사용되고 있으며 현재까지는 국내광석이 주로 사용되지만 국내에는 유리장섬유용으로 활용 가능한 고품위 내지 중품위 납석의 부존량이 많지 않아 앞으로 수입에 의존해야 할 것으로 전망된다.

유리장섬유용 납석의 품질기준

납석 분체 또는 가공회사 3개사와 유리장섬유 제조회사 3개사에서 2005년 관리규격이나 품질규격으로 설정한 항목 및 규격치를 종합하여 공통점을 도출하고, 2005년 이들 업체에서 사용하는 납석의 화학조성을 직접 분석하여 업체의 화학조성적 기준과 비교하여 공통범위를 품질 기준으로 제안하고자 한다. 또한 광물조성적 기준은 본 연구에서 계산된 정량자료를 이

Table 3. Chemical compositions of pyrophyllites used for glass fiber

unit: wt%

Sample no.	Deposit name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Ignition loss	Total
Wando-1	Wando	65.57	0.42	28.51	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.03	5.01	99.61
Wando-2	Wando	77.88	0.47	17.82	<0.01	0.08	<0.01	0.18	0.03	3.57	100.05
Wando-3	Wando	60.93	0.41	31.54	0.09	0.18	0.02	0.37	0.05	5.90	99.49
Nohwa-1	Nohwa	65.51	0.65	27.65	<0.01	0.08	0.25	0.28	0.05	5.22	99.70
Common range		61~78	<0.7	18~32	<0.10	<0.2	<0.25	<0.4	<0.05	>3.5	

Table 4. Quantitative analytical result of four pyrophyllite samples used for glass fiber

unit:%

Sample no.	Deposit name	Pyrophyllite	Quartz	Kaolinite	Diaspore	Dickite
Wando-1	Wando	78.0	22.0	-	-	-
Wando-2	Wando	75.7	16.2	-	8.1	-
Wando-3	Wando	90.5	1.4	-	8.1	-
Nohwa-1	Nohwa	32.1	44.9	2.5	16.0	4.6

Table 5. Suggested quality specifications of pyrophyllite available to glass fiber

Particle size (+43 μm)	Moisture content (%)	Chemical specifications (wt%)								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO +MgO	K ₂ O +Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	Ignition loss
<2.0	<0.5	<73	>19	<0.35	<2.0	<0.8	<0.7	<0.3	<0.2	>3.5
Mineralogical specifications										
Pyrophyllite 32~91%, Quartz 1~45%, Kaolinite 0~2.5%, Diaspore 0~16%, Dickite 0~4.6%										

용하여 제안코자 한다.

국내 3개 분체회사(가공회사)에서 기준으로 삼고 있는 화학조성적 기준과 입도 및 수분함량 기준 중에서 서로 공통적으로 해당되는 부분을 도출하여 정리한 결과, 화학적 기준은 SiO₂ 73~76 wt%, Al₂O₃ 19~20 wt%, Fe₂O₃ 0.35 wt% 이하, CaO+MgO 2.0 wt% 이하, K₂O+Na₂O 0.8 wt% 이하, TiO₂ 0.7 wt% 이하, SO₃ 0.3 wt% 이하, P₂O₅ 0.2 wt% 이하와 강열감량 4~5 wt%로 정리되었다(표 2). 입도 기준은 대부분 325#(43 μm) 체를 98% 이상 통과하여야 하며, 수분함량 기준은 0.5 wt% 이하이다(표 2).

실제적으로 각 업체에서 유리장섬유용으로 사용하는 우리나라 대표적 납석광산인 노화광산과 완도광산에서 산출되는 납석의 화학분석 결과는 표 3과 같으며, 각 산화물의 화학조성적

공통범위는 SiO₂ 61~78 wt%, TiO₂ 0.7 wt% 이하, Al₂O₃ 18~32 wt%, Fe₂O₃ 0.10 wt% 이하, Na₂O 0.2 wt% 이하, K₂O 0.25 wt% 이하, CaO 0.4 wt% 이하, MgO 0.05 wt% 이하 및 강열감량 3.5 wt% 이상으로 정리되어진다.

또한 납석의 화학조성이 파악된 완도 및 노화광산 4개 납석 시료의 광물조성은 엽납석, 석영, 카오린광물(카오리나이트 및 디카이트)과 다이아스포아로 주로 구성된다(그림 1). X-선 회절분석결과를 이용하여 계산된 양적 구성광물비는 표 4와 같으며 석영의 함량비 1.4~44.9%, 엽납석 32.1~90.5%, 카오린 광물 0~4.6% 및 다이아스포아는 0~16.0%이다. 본 연구에서 조사된 대표적 납석은 엽납석-석영, 엽납석-석영-다이아스포아, 엽납석-석영-다이아스포아-카오린광물군으로 구분되어진다.

정리된 화학적 기준과 물성기준에 정량적 광

Table 6. Specifications of pyrophyllite used for refractories in company

	Chemical compositions (wt%)				Physical properties				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	*Permanent linear change(%)	Volume density (g/cm ³)	Moisture content (%)	Refractoriness (SK)	Particle size
Specification range	77.05±4	17.0±4	<0.50	<0.30	+0.5~+3.0	<1.80	<0.40	>29	variable
Standard specification	76.0	18.0	0.30	0.25	1.20	2.0	0.2	29	variable

*Permanent linear change: linear change of the casting body (40 × 80 × 20 mm) after 1,350°C heating for 2 h.

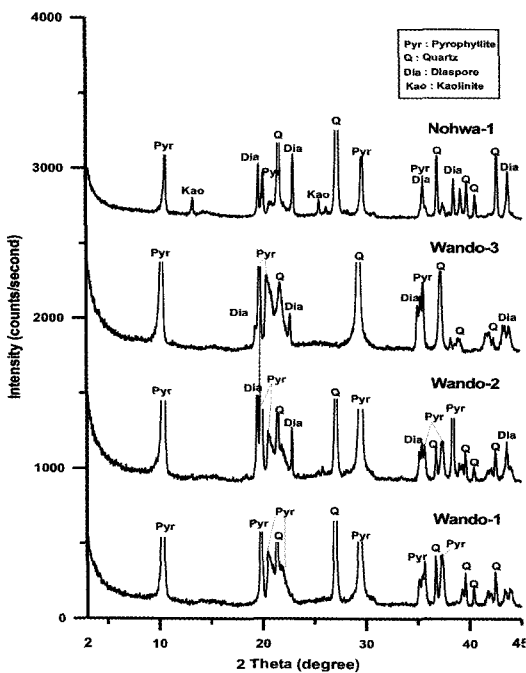


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of pyrophyllite used for glass fiber.

물조성비를 포함하여 종합적으로 유리섬유용 납석의 품질 기준을 제안하면 표 5와 같다. 이 중에서 가장 중요한 물성기준은 입도 +325# 2% 이하와 수분함량 0.5% 이하이며, 화학조성적 기준은 SiO₂ 73 wt% 이하, Al₂O₃ 19 wt% 이상, Fe₂O₃ 0.35 wt% 이하, Na₂O+K₂O 0.8 wt%이다. 광물조성기준은 엽납석-석영 광물군으로 구성되는 광석 즉 다이아스포아를 함유하지 않는 납석은 엽납석 함량비가 75% 이상이어야 하며, 엽납석-석영-다이아스포아(-카올린광물) 광물군을 나타내는 즉 다이아스포아를 함유

하는 광석은 엽납석 50% 이상, 다이아스포아 10% 이상으로 정리될 수 있으며 부가적으로 카올린광물의 함유여부는 매우 가변적으로서 그 기준을 정하기는 어렵다. 또한 납석에 흔히 수반되는 부성분광물들인 황철광, 명반석, 강옥 및 알카리의 주원인 견운모와 K-장석들의 함량비 기준 역시 정량적으로 나타내기 어려우나 이들 총 광물들의 함량비가 1% 미만정도 함유된다면 유리장섬유용으로 적합 할 것으로 추론된다.

내화물용 납석의 활용현황

국내 내화물 원료의 주요 공급업체는 한국분체와 왕포화학 등이며 제조업체는 조선내화, 아세아세라텍, 한국내화, 진주내화 및 동국내화 등이다.

내화물의 종류는 점토질 벽돌, 알루미나질 벽돌, 탄화규소질 벽돌, 내산 내열질 벽돌, 내화 단열벽돌, 특수질 벽돌(마그네시아 벽돌, 지르코니아 벽돌 등) 등이며 이 중에서 내화벽돌 및 부정형내화물에는 납석이 주로 사용되고 샤모트질 벽돌은 하소(calcined) 고령토가 사용된다. 최근에는 내화벽돌과 같은 정형 내화물보다 부정형내화물의 수요가 높아 총 내화물의 60% 이상 차지한다. 납석은 정형 점토질 내화벽돌 뿐만 아니라 부정형 내화물에 사용되는 주요 원료광물이다. 최근 내화물의 생산은 감소 추세에 있으며 2005년 내화물용 납석의 사용량은 3,341톤에 불과하다(한국지질자원연구원과 산업자원부, 2006).

Table 7. Chemical compositions of pyrophyllite used for refractories

unit: wt%

Sample no.	Deposit name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	ig-loss	total
Wando-4	Wando	75.57	0.62	20.70	0.48	0.04	0.02	0.08	0.05	3.03	100.59
Wando-5	Wando	57.81	0.16	35.08	0.08	0.06	<0.01	0.09	0.05	6.70	100.04
Milyang-1	Milyang	57.62	1.18	33.51	0.37	0.18	0.06	0.06	0.06	6.60	99.64
Common range		57~76	<1.2	21-35	<0.5	<0.2	<0.1	<0.1	<0.1	>3.0	

Table 8. Mineral quantitative analysis of pyrophyllites used for refractories

unit: %

Sample No.	Deposit name	Pyrophyllite	Quartz	Kaolinite	Diaspore
Wando-4	Wando	55.0	45.0	-	-
Wando-5	Wando	85.3	2.9	-	11.9
Milyang-1	Milyang	88.8	1.9	9.4	-

Table 9. Suggested specifications of pyrophyllite used for refractories

Particle size	Moisture content(%)	Chemical specifications (wt.%)				Physical and thermal properties		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	permanent linear change (%)	volume density (g/cm ³)	refractoriness (SK)
Variable	<0.4	<77	>18	<0.50	<0.3	+0.5~+3.0	<1.8	>29
Mineralogical specifications								
Pyrophyllite 55~88.8%, Quartz 1.9~45%, Kaolinite 0~9.4%, Diaspore 0~11.9%								

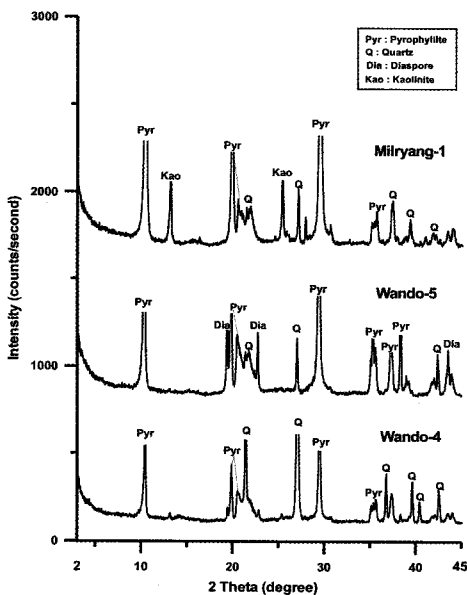


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of pyrophyllite used for refractories.

내화물용 납석의 품질기준

내화벽돌을 주로 생산하는 업체에서 사용하고 있는 점토질 내화벽돌이나 부정형 내화물용으로 사용하는 납석의 품질기준은 화학조성적 기준과 물성기준으로 나눈어진다. 화학조성적 품질 기준은 SiO₂ 77.05 ± 4 wt%, Al₂O₃ 17.0 ± 4 wt%, Fe₂O₃ 0.50 wt% 이하, K₂O + Na₂O 0.30 wt% 이하이다(표 6). 물성기준은 선변화율 +0.5 ~ +3.0% (분쇄한 원광을 1,350 °C로 2시간 소성 후 40 × 80 × 20 mm로 성형하여 소성전과 비교 된 선변화율), 부피비중 1.8 g/cm³ 이하, 부착수분 0.40% 이하, 내화도(SK) 29 이상이다(표 6). 입도는 제품에 따라 다양하며 부정형 내화물의 경우는 10 mm 이하, 보통 내화벽돌용은 4 mm 이하이나 대체적으로 325# 이하 입도를 가장 많이 사용한다(표 6).

현재 내화물업체에서 사용하는 완도광산 2개 시료와 밀양광산 1개 시료의 화학조성은 표 7

Table 10. Specifications of pyrophyllite used for sanitary wares

Specifications	Specific gravity (g/cm ³)	*Viscosity (sec.)	Thixotrophy (cps)	Dry strength (kg/cm ³)	Dry shrinkage (%)	**Firing shrinkage (%)	Ignition loss (%)	Whiteness
A company	1.785 ± 0.01	30 ± 5	500 ± 200	<30	2.4 ± 0.3	8.5 ± 0.5	4.5 ± 0.5	>65
B company	1.636	12.55	-	-	3.3 ± 0.3	10 ± 0.4	-	>60
C company	-	-	-	-	2.30	7.98	-	58.7

* Flow viscosity: time to pass the 500 cc funnel with 8 mm holes

** Firing temperature : 1,230°C

Table 11. Chemical compositions of pyrophyllite used for sanitary wares

unit: wt%

Sample no.	Deposit name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Ignition loss	Total
Sanne-1	Sanne	77.01	0.24	17.19	0.29	0.09	1.35	0.03	0.04	3.32	99.56
Sanne-2	Sanne	64.60	0.82	22.20	1.04	1.05	2.21	0.23	0.30	6.75	99.20
Jinhae-1	Jinhae	77.63	0.52	17.27	0.74	0.09	0.13	0.03	0.07	3.23	99.71
	Common range	65-78	<1.0	>17	<1.0	-	-	-	<0.5	>3.0	

Table 12. Quantitative analysis result of pyrophyllites used for sanitary wares

unit:%

Sample no.	Deposit name	Pyrophyllite	Quartz	Illite	Diaspore	Dickite
Sanne-1	Sanne	53.5	36.0	10.5	-	-
Sanne-2	Sanne	60.0	28.2	11.8	-	-
Jinhae-1	Jinhae	64.5	35.5	-	-	-

과 같다. 내화물용으로 사용되는 납석의 화학 조성은 SiO₂는 57~76 wt%, Al₂O₃는 21~35 wt%, Fe₂O₃ (총 Fe 함량)는 0.5 wt% 이하로서 매우 광범위한 범위를 보이며 동일광산산 일지라도 품위의 변화는 매우 크다(표 7).

이들 시료들의 X-선 회절분석 결과 엽납석, 석영, 다이아스포아 및 카오린 광물(카오리나이트)로 주로 구성되며(그림 2), 이를 이용하여 계산된 양적인 구성광물비는 석영 1.9~45%, 엽납석 55~88.8%, 카오린광물은 0~9.4%, 다이아스포아는 0~11.9%이다(표 8). 조사된 3개 납석은 엽납석-석영, 엽납석-석영-고령토광물 및 엽납석-석영-다이아스포아 광물군으로 구성된다.

이상 정리된 화학적 기준과 물성기준에 정량

적 광물조성비를 포함하여 종합적으로 내화물용 납석의 품질 기준을 제안하면 표 9와 같다. 이 중에서 가장 중요한 물성기준은 수분함량 0.4 %이하, 소성후 선변화율 +0.5~ +3.0 mm, 내화도 SK 29 이상이며, 화학적 기준은 SiO₂ 함량비가 77 wt% 이하, Al₂O₃ 함량비가 18 wt% 이상, Fe₂O₃ 0.5 wt% 이하, 알카리 총함량 0.30 wt% 이하이다. 이를 만족하는 광물조성비 기준은 엽납석 함량비가 55% 이상, 석영의 함량비가 40% 이하로 설정되어지나 카오리나이트와 다이아스포아와 같은 알루미늄이 높은 부 성분광물의 광물조합에 따라 달라 질 수 있으므로 절대적 일수는 없다.

Table 13. Suggested specifications of compound material and raw minerals used for sanitary wares

Physical and thermal specifications									
Specifications	Specific gravity (g/cm ³)	Flow viscosity (sec.)	Dry strength (kg/cm ³)	Dry shrinkage (%)	Firing shrinkage (%)	Total shrinkage (%)	Firing deformation (mm)		
	1.6~1.8	30 ± 5	20 ± 5	2.0~3.0	8~10	10 ± 1	30 ± 10		
Chemical specifications (wt%)									
Specifications	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Loss of ignition
	<78	<1.0	>17	<1.0	-	-	<0.2	<0.5	>3.0
Mineralogical specifications									
Pyrophyllite 53~65%, Quartz 28~36%, Illite 0~11.8%									

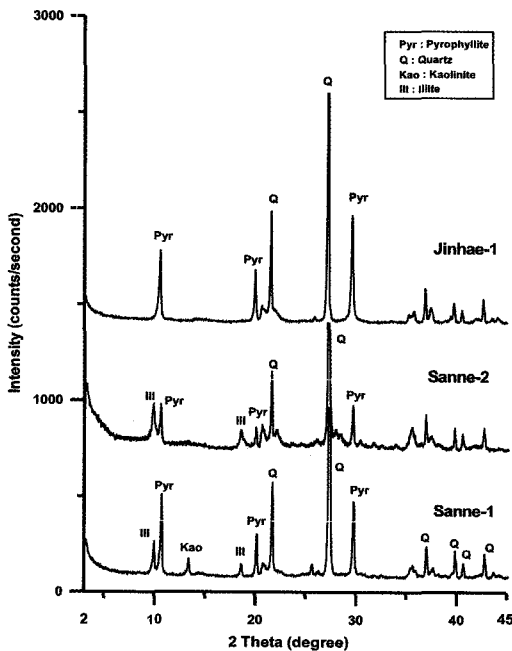


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of pyrophyllite used for sanitary wares.

위생도기용 납석의 활용현황

국내 주요 위생도기 업체는 계림요업, 대동요업, 대림요업 및 동서산업 등으로서 각 회사마다 사용원료에서 차이가 많다. 예로서 어떤 회사는 고령토계 원료를 많이 사용하는 반면 어떤 회사는 건운모계 또는 점토계 원료를 주로 사용한다. 또한 납석을 사용하는 업체가 있는

반면에 사용하지 않는 업체도 있다. 납석을 사용하는 업체의 경우 위생도기 소지용 원료광물은 납석(0~10%), 도석(15~40%), 장석(10~15%), 점토(25~30%) 및 고령토(10~25%)이며 파손된 도기파가 약 10% 사용된다. 납석을 사용하는 위생도기 업체의 경우 연간 약 1,500~2,000톤 가량 사용하며, 국내 전체 사용량은 타일을 포함하여 연간 약 55,000톤 사용된다.

위생도기용 납석의 품질기준

국내 위생도기 2개 업체에서의 품질검사 항목기준, 요업기술원(2004)에서 정리된 자료 및 업체에서 단미 시험한 자료를 종합하여 그 기준치를 제시하면 표 10과 같다. 그러나 이러한 수치는 절대적인 수가 없는 것이 업체마다 원료의 공급처가 다르고 측정방법에서 차이를 보이기 때문에 공통적으로 해당되는 항목을 기준으로 정리하였다. 소지용 복합물의 기준치와 실제 원료광물별로 측정된 자료에서 도출된 공통점은 납석 원료광물의 비중 1.6~1.8 g/cm³, 흐름점도 12~35 sec. 건조강도 30 (kg/cm³) 이하, 건조수축 2.0~3.0%, 소성수축 8~10%, 총수축 10 ± 1%, 400# 체를 통과하는 잔사량이 40 ± 10 g/L 및 백색도 60 이상이다(표 10).

각 원료광물의 화학조성적 기준을 파악하기 위해 직접 분석된 자료와 원료광물별로 화학성 분석 공통점을 정리한 것이 표 11이다. 화학조성비 공통치는 SiO₂ 65~78 wt%, TiO₂ 1.0 wt% 이하, Al₂O₃ 17 wt% 이상, Fe₂O₃ 1.0 wt%

Table 14. Suggested quality specifications of ceramic raw minerals

Specifictations	Physical and thermal specifications									
	Particle size (+325#)	Moisture content (%)	Flow viscosity (sec.)	Dry strength (kg/cm ³)	Shrinkage (%)			Permanent linear change (%)	Thermal expansion (mm)	Refractorness (SK)
					Dry	Firing	Total			
Glass fiber	<2	<0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Refractories	variable	<0.4	-	-	-	-	-	+0.5~+3.0	6 ± 1	>29
Sanitary wares	-	-	12~40	10~20	2~3	8~10	10~15	-	-	-
Specifications	Chemical specifications (wt%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	CaO + MgO		Loss of ignition			
Glass fiber	<73	>19	<0.35	<0.8	<2.0		>3.5			
Refractories	<77	>18	<0.5	<0.3	<0.5		>3.0			
Sanitary wares	<78	>17	<1.5	-	<1.0		>3.0			
Specifications	Mineralogical specifications									
	Glass fiber	1. Diaspore non-bearing ore: more than 75% pyrophyllite 2. Diaspore bearing ore: more than 50% pyrophyllite and 10% diaspore								
Refractories	More than 55% pyrophyllite and less than 40% quartz									
Sanitary wares	More than 50% pyrophyllite and less than quartz 40% quartz									

이하, MnO 0.5% 이하, 강열감량 3.0 wt% 이상으로 정리된다.

현재 업체에서 위생도기용으로 사용하는 납석의 X-선 회절분석을 통해 그 구성광물을 파악하였고(그림 3), 구성광물비는 석영 28.2~36.0%, 엽납석 53.5~64.5%, 일라이트-운모 10.5~11.8%로서 일라이트의 함량비가 높음이 특징이다(표 12). 업체에서 수집된 물성기준항목, 화학분석에 의해 도출된 화학조성적 공통점과 광물정량분석에 의해 파악된 원료광물별 광물조성적 기준을 정리하여 위생도기용 원료광물의 품질기준을 제안하면 표 13과 같다. 이 중에서 가장 중요한 물성기준은 흐름점도 $30 \pm 5 \text{ sec.}$, 건조수축 2~3%, 소성수축 8~10%, 총수축을 $10 \pm 1\%$, 변형률 $30 \pm 10 \text{ mm}$ 이며, 화학조성적 기준은 SiO_2 78 wt% 이하, Al_2O_3 17 wt% 이상, Fe_2O_3 1.0 wt% 이하이다. 이러한 화학적 기준과 물성기준을 만족시키는 광물조성기준은 엽납석 50% 이상, 석영 40% 미만이어야 하며 일라이트-운모의 함유비가 다소 높아야 한다.

종합결론

유리장섬유용으로 활용되는 납석의 가장 중요한 품질항목 물성 요인은 입도(+325# 2% 이

하)이며, 화학조성기준은 SiO_2 (73 wt% 이하), Al_2O_3 (19 wt% 이상), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (0.8 wt% 이하), Fe_2O_3 (0.35 wt% 이하)이고 이 화학조성요인을 만족시키기 위해서는 엽납석의 광물조성비가 75% 이상(다이아스포아 미함유 광석)이거나 엽납석 함량비가 50% 이상과 다이아스포아 10% 이상(다이아스포아 함유광석)의 최소조건을 만족시켜야 한다(표 14). 이 광물조성비 기준은 부성분광물이나 불순광물의 함유비에 따라 달라 질 수 있으나 현재 유리장섬유용으로 활용되고 있는 국내 대표적 납석광석의 경우 위와 같이 정리 될 수 있다는 것이다.

내화물용 납석의 가장 중요한 품질항목 물성요인은 내화도(SK 29이상)이며 $1,350^\circ\text{C}$ 로 소성 후 선변화율이 +0.5~+3.0% 범위를 만족시켜야 하며 화학조성기준은 SiO_2 (77 wt% 이하), Al_2O_3 (18 wt% 이상), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (0.3 wt% 이하), Fe_2O_3 (0.50 wt% 이하)이다. 이러한 물성기준과 화학조성적 기준을 만족시키기 위해서는 엽납석 광물 함량비가 적어도 55% 이상 및 석영의 함량비가 40% 이하이어야 한다. 이 광물조성비 기준도 유리섬유용과 마찬가지로 부성분광물의 조성비에 따라 달라 질 수 있다.

위생도기 소지용 납석은 성형하여 건조 및 소성시켰을 때 일어나는 변화가 중요하기 때문

에 수축율이 중요한 물성기준(건조수축 2~3%, 소성수축 8~10%)이다. 화학조성적 기준은 SiO₂ (78 wt% 이하), Al₂O₃ (17% wt% 이상), Fe₂O₃ (1.0 wt% 이하)이다. 이를 만족시키는 광물학적 기준은 엽납석 함량비가 50% 이상 및 석영의 함량비가 40% 미만 함유된 광석이며 부성분광물로서 일라이트-운모가 다소 함유 되어야 한다. 이 광물조성비 기준도 유리섬유용 및 내화물용 과 마찬가지로 부성분광물의 조성비에 따라 달라 질 수 있다.

사 사

이 연구는 2004년과 2005년도에 산업자원부 출연 연구사업으로 수행 되었다. 논문을 상세히 검토하여 주신 경상대학교 조현구 교수님과 익명의 심사위원에게 감사를 표한다.

참 고 문 헌

고상모, 유장한, 이한영, 송민섭 (2005) 산업원료광물의 품질표준화. 한국지질자원연구원 연구보고서, GAA 2005005-2005(1), 100 p.

노진환 (2005) 국내산 납석의 품위 및 품질평가. 제6회 산업광물 심포지움 논문집, 60-69.

대한광업진흥공사 (2005) 산업원료광물 B2B 네트워크 구축을 위한 산업원료광물 물품표준화. 389 p.

요업기술원 (2004) 위생도기 제조. 도자기 기술교육 교재-10, 340 p.

이경한 (2005) 국내산 납석의 수급분석. 제6회 산업광물 심포지움 논문집, 117-128.

한국지질자원연구원, 산업자원부(2006) 2005년도 광산물 수급현황. 334 p.

Glossary of Geology (1980) American Geological Institute Falls Church, Virginia.

Harben, P.W. and Kuzvart, M. (1995) Industrial Minerals: A global geology. Industrial Mineral Information LTD., 462 p.

2007년 3월 5일 원고접수, 2007년 3월 14일 게재승인.