



## 유럽의 요업과 고령토: 혼합의 이점

### 편집부

유래 없이 경쟁이 치열한 시장에서 원료공급사와 요업제품제조사 간의 협력은 필수적인 요소이다. 이번에 요업용 소지(素地, body, 도자기 몸체)에서의 고령토의 중요성과 광산에서의 원료혼합이 수요자에 주는 이점들에 대하여 다루고자 한다. 요업 소지의 정확한 조성을 결정할 때, 고령토의 품질은 단순히 그 자체의 광물 조성이나 화학조성보다는 최종제품의 완성도와 관련시켜 평가해야 한다.

영국 남서부의 콘월은 지질학적으로 매우 흥미로운 곳이다. 역사적으로 광물이 매우 풍부하게 매장되어 있어서 다량의 주석과 구리, 그리고 소량의 비소, 납, 아연, 텅스텐, 은, 우라늄이 채굴되었다. 현재는 모래와 골재 외에 연 2백만 tpa가 생산되는 고령토가 대량으로 채굴되는 유일한 광물이다.

다트무어(Dartmoor), 보드민무어(Bodmin Moor), 세인트 오스텔(St Austell), 랜드스 엔드(Lands End)의 화강암체들은 약 2억 7천만 년 전에 데본기의 퇴적암, 이암, 셰일을 관입하였다. 화강암은 서로 비슷한 비율의 석영, 장석, 운모로 구성되어 있으며 소량의 전기석, 토파즈, 인회석을 함유하고 있다.

세인트 오스텔 화강암은 고지열 생산암(high heat producing, HHP)으로 분류되고 있다. 화강암의 높은 지열에너지로 발생한 증기를 이용

한 발전계획이 추진된 바 있다. 우리나라의 붕괴과정에서 발생한 열로 뜨겁게 데워진 지하수가 대류하면서 화강암 내 장석은 수 백만 년에 걸쳐서 캐올리나이트로 변질되었다. 세인트 오스텔 화강암은 사실 세계에서 가장 심하게 고령토화 된 암석이다. 물의 대류가 좀더 용이한 광물 맥과 단층에서 고령토화 작용이 가장 심하다.

이 과정에서 깔때기 모양의 고령토대가 형성되었다. 세인트 오스텔의 모든 화강암이 고령토화된 것은 아니어서 동부는 상대적으로 변질되지 않았고, 서부에는 단단한 화강암체들이 남아 있다. 변질대 내에서도 고령토화 정도는 서로 상이한데, 고령토화가 잘 진행된 동쪽에서는 정제된 고령토에 캐올리나이트, 운모, 석영만이 함유되어 있지만, 부분적인 고령토화 작용을 받은 서쪽의 화강암에는 캐올리나이트, 운모, 석영 외에도 스�멕타이트와 K-장석이 함유되어 있다.

### 도자기사

콘월의 고령토는 18세기에 발견되었는데, 유럽의 고령토는 그보다 30년 앞서 독일 마이센(Meissen)에서 처음 발견되었다. 스타포드셔(Staffordshire)의 도자기 제조업자들이 콘월에서 처음으로 고령토를 채굴하였으며, 그 후 콘월 주민들이 인수한 채굴산업은 크게 번창하였

다. 최근 생산과정이 기계화되기는 하였지만, 추출, 정제, 건조 등의 기본적인 기술은 크게 변하지 않았다. 채굴장마다 고령토화 정도가 다르고 정제 고령토의 성질도 다르다.

물로 씻어 추출하는 광물 혼합물을 'matrix'라 하는데, 그 조성도 다양하다. 오늘날에는 표토를 기계적으로 제거한 후에 고령토가 함유된 노출면(stope)에 분당 6000리터의 물을 20기압의 고압으로 분사하여 고령토를 씻어낸다.

이때 얻어진 물, 고령토, 모래의 슬러리(slurry)는 채굴장의 가장 낮은 곳으로 고이며 펌프로 스크린 정제와 몇 단계의 습식 입도분리 과정을 거친다. 슬러리의 고형물 함량은 3-5%이기 때문에 혼합건조 과정에 들어가기 전에 25%로 증가시킨다. 실제 원광의 특성이 매우 다양하기 때문에 일정한 품질의 고령토를 얻는 것은 매우 복잡한 과정이다.

### 요업용 고령토 전문회사: 군빈(Goonvean)

(주)군빈은 250,000tpa의 생산능력을 갖고 있는 유럽에서 4번째로 큰 고령토 생산회사이며 또한 가장 큰 개인회사이다. 이 회사는 영국 남서부의 콘월에 5개의 고령토 채굴장에 200명의 사원을 고용하고 있다. 군빈과 요업산업과의 긴밀한 거래관계는 이 회사 총 수입의 50%가 요업산업에서 창출되었으며, 그 외의 수입은 제지산업과 일부 페인트, 고무, 의약품, 플라스틱 등의 특수분야에서 나왔다는 사실로 알 수 있다.

군빈은 세인트 오스텔 화강암체 서부에 요업용으로 적합한 대규모 고령토 광상을 보유하고 있는데, 이 지역 고령토는 천연적으로 강도가 높고 가소성이 크며, Fe함량은 작고 K함량이 높다. 이 고령토는 동부에서 채굴된 조립질의 약한 고령토와 습식 및 건식으로 혼합되어 고객의 특정 요구에 맞춘 주문식 제품을 생산하고 있다.

고령토 생산 부산물인 모래와 골재는 다용한

용도로 사용된다. 골재는 활주로, 대형가스관, 다리, 매립지 여과층, 철도, 지방도로건설에 이용된다. 모래는 건설용 모르타르, 파이프 매설, 콘크리트, 레미콘, 벽돌제조에 사용된다. 군빈의 최고급 모래는 골프 코스에 널리 사용된다. 1998년 판매된 총 70만 톤의 모래는 이 사업에 중요한 기여를 하고 있다.

### 요업 고령토의 생산

요업제품의 주성분은 고령토이지만, 각 제조업체들이 나름대로의 배합법을 갖고 있기 때문에 반드시 그런 것은 아니다. 그러나 높은 소성(燒成) 백색도와 반투명성, 그리고 가소성(可塑性)이 요구되는 분차이나와 자기의 소지(素地)에는 필수 주성분이다.(표1)

표 1. 요업 소지의 조성

	자기	분차이나	위생도기	토기
고령토	56	25	29	26
불점토	4	2	25	25
장석	15	25	20	15
석영	25	-	26	34
뼈	-	48	-	-

불점토(ball clay)는 가소성을 크지만 소성색이 좋지 않다. 토기에는 가소성이 큰 불점토의 소성색을 개선하기 위하여 혼합되며, 위생도기에는 주조(casting)의 성공률을 높이기 위해서 사용된다.

고령토 광상의 다양한 광물조성이 군빈에게는 행운이라 할 수 있다. 심하게 고령토화 되어 스펙타이트나 장석이 거의 없는 세인트 오스텔 광상 동부의 광석은 조립질 이어서 빠르게 주조할 수 있다. 그러나 잘 부스러지기 때문에 서부의 세립질 고령토와 섞어야한다. 일차 혼합은 압착여과(filter pressing)전에 습식으로 시행되며,

건조되어 사일로에 저장된 후에는, 고객의 요구에 맞추어 최종적으로 혼합비율을 조정한다. 이 사일로는 컴퓨터 중량손실계산 시스템에 의해 운영되며 그 정확도는  $\pm 0.5\%$ 이다.

### 늘어나는 주조용 고령토 수요

위생도기의 압착주조법이 점점 널리 사용되면서 투자대비 적정이윤을 보장하기 위해서는 주조시간이 적당해야 한다. 고령토 공급사들은 이를 위해 여러 가지 해법을 찾고 있는데, 문제는 빠른 속도로 주조되는 고령토는 주조시간이 짧아 생소지강도(生素地 強度, green strength)가 약하다. 따라서 구멍을 뚫거나 이음매처리가 어려워 좋은 제품을 생산할 수 없다. 이를 위해 어느 정도의 주조시간 증가를 감수해서라도 가소성이 높은 성분을 첨가하여 강도를 높이는 등의 방법으로 적절한 배합비율을 찾아야 한다.

### 두 가지 대조적 조성의 고령토

균빈은 폴리머 응집제와 기타 첨가제를 이용하여 고령토의 주형거동 개선을 고려한 바 있으나, 현재는 정제과정에서 입도 분포를 조절하는 방법을 선호하고 있다. 다른 한편으로는 강도를 개량하기 위해 가소성 점토를 첨가하지 않고 원래 함유되어 있는 스�멕타이트를 이용하여 고객의 요구에 맞추어 혼합비를 조절하기도 한다. 표2는 균빈 광산에서 채굴되는 정제 고령토의 두 가지 다른 유형으로서 원료의 두 극단적인 예를 보여주고 있다.

고강도 원료는 부분적으로 고령토화된 광상에서 산출되는데 K장석과 스�멕타이트가 상당량 함유되어 있다. 장석과 운모의 양은 화학분석의  $K_2O$  값에서 알 수 있다. 운모는 주로 백운모이고 진월다이트(zinnwaldite)와 흑운모가 소량 포함되어 있다. 높은 규산 함량은 장석에 의한 것이다. 스�멕타이트 함량이 높아서  $CaO$ 와

$MgO$ 의 함량이 높고, 파괴지수, 메틸렌블루 지수, 비표면적, 입도가 크다. 이 두 개의 극단 사이에 여러 가지 조성의 고령토가 있으므로 위생도기든, 식기든 최종 수요자에 맞는 어떤 조성의 배합도 가능하다.

표 2. 정제 고령토의 특성

	화학분석%	저강도	고강도
$SiO_2$		47	52
$Al_2O_3$		37	30
$Fe_2O_3$		0.9	0.5
$CaO$		0.06	0.28
$MgO$		0.25	0.54
$K_2O$		2.1	4.7
소성손실량		12.3	10.4
광물조성			
캐올리나이트		85	52
운모		13	21
K-장석		1	12
석영		1	7
스멕타이트		0	8
물성			
파괴계수( $kg/cm^2$ )		5	60
메틸렌블루 지수(m.eq/100g)		3	12
비표면적( $m^2/g$ )		9	14
% $2\mu g$ 이하		37	51

조립질 고령토는 저온자력분리가 매우 잘되기 때문에 흑운모와 전기석 등의 함철광물제거율을 20%까지 올릴 수 있다. 또 이와 함께  $K_2O$  함량도 낮아질 수 있다.

이 자석은 액체헬륨으로  $-269^\circ C$ 까지 냉각된 상태에서 작동하는 5 Tesla(또는 50,000 Gauss) 급의 초전도 자석으로서 전기소비량이 매우 적다. 보통 자석으로 이 정도의 자기장을 유지하려면 비용이 많이 소모된다. 좋은 색과 반투명성이 생명인 자기 제조에는 철분제거가 매우 중요하다.

### 상호협력은 필수

모든 고령토 공급업체들은 기술적 진보가 있는 산업에서 그들의 고객과 함께 새로운 제품을 개발하고 싶어한다. 이를 위해서는 양쪽 분야에서의 교육이 필요하며 공급자는 제조업체가 원하는 바를 이해해야 한다. 또 공급자는 제조업체들에게 이용 가능한 원료를 최대한 효율적으로 사용하며, 원료 자체보다는 그 원료를 써서 만들어진 최종 제품의 상태가 더 중요하다는 점을 인식시켜야 한다.

협력의 한 예로서 K<sub>2</sub>O 함량이 높거나 낮은 고령토를 들 수 있다. 식기제조업체들은 새 고령토를 보면 일단 자체의 규정에 따라 분석해본 다음, 「예, 당님들은 이 고령토가 우리가 쓰고 있는 고령토보다 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 작다고 합니다만, 그래도 소성색은 더 어둡습니다」라고 말하곤 한다. 이는 이 고객이 고령토를 자신의 가마에서 동일한 조건에서 구워 서로 비교하여 보았고, K<sub>2</sub>O가 많은 고령토는 유리화가 더 진행되어서 색이 보다 어둡기 때문이다. 예를 들어 군빈의 자기용 고령토 상품인 DP와 DP-Plus를 비교해 보면, DP는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 작지만 K<sub>2</sub>O 함량이 높아서 소성시 유리화가 잘되며 어떤 면에서는 더 좋은 색감을 줄 수도 있다. 수분 흡수도를 보면 DP는 높은 K<sub>2</sub>O 함량 때문에 좀더 유리질화 되었으며, 백색도를 보면 색이 어두워졌음을 알 수 있다(표 3).

표 3. 고령토 시험결과

	DP	DP-Plus
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.65	0.70
% K <sub>2</sub> O	2.9	1.8
1,250℃ 소성후		
% 수분흡수율	0.4	4.5
색, L (백색도)	87.7	94.7
a(+적, -녹)	-0.1	-0.1
b(+황, -청)	6.8	5.9

고령토만을 비교하는 요업업체들은 이를 부정적으로 판단하는 것 같지만, 실제로는 그렇지 않

다. 표 4처럼 두 고령토(DP와 DP-Plus)의 용제 함량을 고려하여 소지의 장식/석영비를 조절하면 결과는 달라진다. 이렇게하여 K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O로 대표되는 총 용제 함량이 같아진다면, 백색도가 거의 같아져서 자기의 유리화에 큰 차이가 나타나지는 않을 것이다. 또한 고령토의 혼합 비율은 같기 때문에 가소성의 차이도 없을 것이다.

표 4. 소지 조성과 소성결과

	소지A	소지B
% 고령토	60(DP)	60(DP-plus)
% K-장석	12	20
% 석영	28	20
% 소지 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.42	0.44
% 소지 K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O 함량	4.04	3.99
1,250℃ 소성후		
색, L(백색도)	88.9	88.4
a(+적, -녹)	-0.1	-0.2
b(+황, -청)	6.7	6.7

사용량의 변화가 없다면 세라믹 제조업체들이 쓰고 있던 고령토를 다른 고령토로 대체하는 일은 매우 간단하다. 특히 대체함으로서 더 높은 가소성, 보다 훌륭한 색상과 반투명성, 그리고 비용까지 낮출 수 있다면 위에서 언급한 좀더 넓은 관점에서의 접근이 필요하다. 사실상 일부 고객은 세립질 고령토의 K<sub>2</sub>O 함량이 신속한 유리질화와 소성시간 단축에 기여하며, 균질하게 압착된 소지에서 좀더 쉽게 용해된다는 점을 인지하고 있다. 이러한 이유로 교육과 대화가 필요한 것이다. 그렇게 될 경우, 고령토 공급업체는 소지 조성의 개량을 위해, 실험실 수준, 그 다음에는 시험공장, 그리고 실제 공장에 적용하기까지 최선을 다할 것이다. 일관성과 품질은 우리 모두가 생존하기 위한 조건이 될 것이다. 세라믹 생산에서 혁신적 기술 개발이 계속될 것은 틀림없으며, 이러한 변화에 대처하기 위해서는 원료 공급업체와 세라믹 제조업체 사이의 지속적인 대화가 필요하다.

(Industrial Minerals, 2000, 자료정리 : 정기영)