

# 국내 화강암류를 이용한 일부 인공쇄석사 제조과정에서 생기는 스러지의 광물·물리화학적 특성

유장한<sup>1)\*</sup> · 안기오<sup>1)</sup> · 장준영<sup>2)</sup>

## 1. 서론

천연모래의 점차적인 고갈에 의해 인공쇄석사 사용은 지속적으로 늘어날 전망이다. 내수용 모래 중에 쇄석사는 30% 정도를 차지하며, 수도권에서는 운송가격의 상승에 의해서 그 점유율이 50% 정도까지 된다. 운송거리의 증가에 의한 대도시 주변에서의 모래가격 상승은 선진국에서도 비슷한 추세이며, 미국의 골재 생산은 연료광물을 제외한 천연자원 생산량의 절반을 차지한다. 국내 인공쇄석사는 그 원석으로서 유색광물류를 비교적 적게 포함하는 화강섬록암 및 화강암류를 주로 이용하고 있다. 그러나, 미국에서는 쇄석사 등의 점유율이 높지 않으며, 건설, 도로의 유지 및 보수 등에 사용되는 쇄석사제조에 석회석 및 백운석류가 71%로 우세하고, 화강암류 15%, 화산암류 및 비 입상 조직의 암석류 7%, 나머지 7%는 사암, 규암, 대리암, 스테이트 등으로 다양하다(Tepordei, 2004).

연구를 위한 스러지는 삼표(주)에서 운영하는 경기도 파주, 양주(봉재), 화성, 안성과 경북 경주의 삼영(주) 등의 5개 쇄석사공장에서 채취하였으며, 경주 시료만이 중생대 백악기의 불국사 화강암이고 나머지는 쥐라기의 대보화강암류이다. 쇄석사 제조에서 남는 스러지(Sludge)는 원석을 부수어 모래를 만드는 과정에 수반되는 실트 및 점토(63마이크론이하)입자로 구성된다. 스러지를 sand입자와 분리하기 위해 음이온 성질의 유기 고분자응집제(Polyacrylamide type)를 투입하고 세척·교반하는 과정을 거치며, 중량대비 15% 내외의 스러지가 회수된다.

화강암류는 풍화에 약하며 조성광물 중 장석, 운모 등이 다양한 광물류로 변화하여 쇄석사 제조에 나쁜 영향을 주고 있다. 또한, 스러지는 미세한 입자로 구성되므로 불투수성이 높아 폐기시에 지표수 및 지하수의 흐름을 방해하여 환경폐기물로 분류되고 있다. 쇄석사의 사용증가는 필연적인 추세이나 스러지의 폐기·처분과 함께 제조시에 투입되는 응집제(Poly acrylamide 등의 고분자 유기물)도 환경규제 물질로서 주목되고 있다(박철환, 1998).

## 2. 본론

### 1) X-선 회절분석

스러지의 광물동정을 위하여 매스 실린더에서 점토입자를 분리하여 가열(550℃), Ethylene glycol처리 및 정량을 위한 분말상 X-선 회절분석을 하였다. 스러지는 실트 및 점토입자로 주로 구성되지만 석영 및 장석류(정장석 및 사장석)를 66.4-87.1%(wt.)나 포함하며, 부구성 광물로서 14Å 광물류(녹니석 및 질석), 운모류, 고령토류, 각섬석류, 스�멕타이트류 및 방해석 등을 포함하기도 한다. 지질시대가 오래지 않은 백악기의 경주시료는 14Å 광물류 및 고령토류를 거의 포함하지 않으며, 스�멕타이트류도 극소량으로 포함하여 운모 및 장석류의 변이가 일어나기에는 짧은 지질시대 및 환경이었음을 추정케 한다(Fig. 1).

---

주요어 ; 인공쇄석사, 스러지, X-선 회절분석, 불투수성, 응집제, 입도분포, 수리전도도.

1) 한국지질자원연구원(jhyoo@kigam.re.kr)

2) 삼표산업주식회사

지질시대가 오래지 않은 백악기의 경주시료는 14Å 광물류 및 고령토류를 거의 포함하지 않으며, 스멕타이트류도 극소량으로 포함하여 운모 및 장석류의 변이가 일어나기에는 짧은 지질시대 및 환경이었음을 추정케 한다. 반면에, 시대가 좀 더 오랜 경기지역 대보화강암류 시료들은 다소 풍부한 고령토류, 14Å 광물류 및 스멕타이트류를 포함한다(Brady and Weil, 1996). 또한, 방해석은 스멕타이트류가 확인되지 않는 경주 및 안성 시료에서는 포함되지 않으며, 국내 화강암류에서 풍화도가 심한 화강암류 및 세맥 등에서 확인되는 벤토나이트가 Ca계임을 생각할 때, 방해석 역시 사장석 등에서 방출된 Ca의 부산물로 추정된다.

## 2) 화학성분

화강암 원석과 스러지에 대한 주요 10원소의 화학성분 분석에서 SiO<sub>2</sub> 및 Na<sub>2</sub>O 함량은 다소 감소를 나타내지만 그 밖의 성분들은 대체적으로 증가를 나타낸다. 스러지에서 SiO<sub>2</sub>의 감소는 풍화에 강한 석영류가 스러지에 상대적으로 적게 포함되며, Na<sub>2</sub>O의 감소 역시, 실트 및 점토입자에 사장석류가 적게 포함되고, 알바이트 등 사장석류의 풍화 진행정도가 늦은데 원인이 있음을 추정케 한다.

풍화에 약한 정장석류 및 아놀사이트 장석류를 구성하는 K<sub>2</sub>O 및 CaO 성분은 실트이하 입도에서 다소 농집되어 나타나며, 풍화도가 약한 경주시료 및 유라기 안성시료의 K<sub>2</sub>O 함량은 적게 나타난다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 외에도 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub>, MnO 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등 유색광물을 구성하는 성분들은 전체 스러지에서 뚜렷한 증가를 나타낸다.

## 3) 입도분포

스러지의 입도분포 측정은 Malvern Instruments Ltd. 에서 제작한 Mastersizer 2000 Ver. 2.00를 사용하였다. 입도분석 결과는 토양조직분류를 위한 Clay-Silt-Sand의 삼각도표에서 silt loam의 범주에 속함을 확인하였다(Brady and Weil, 1996). 입도별 함량비는 대략 clay 6-12%, silt 53-61%, 그리고 sand는 32-38%이며, 예상보다 clay의 함량은 낮은 편이다. 스러지시료들은 대체적으로 비슷한 입도분포를 나타내고, 지질시대가 짧은 경주시료는 fine silt 입도가 다소 적게 포함됨을 보여준다(Fig. 2).

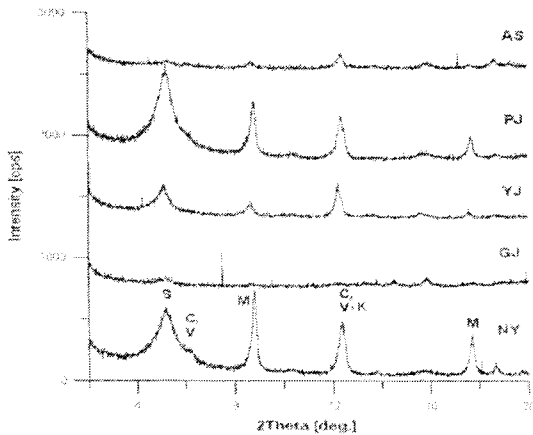


Fig. 1 XRD traces(Cu radi., E.G. treat.) of five oriented sludge samples. (AS) Anseong, (YJ) Yangju, (NY) Namyang, (PJ) Paju, and (GJ) Gyungju areas. (S: smectites, M: micas, C: chlorites, V: vermiculites, K: kaolinites, K-Id: k-feldspars, Pl: plagioclases).

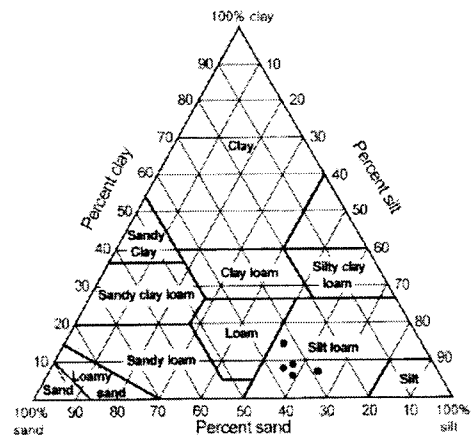


Fig. 2 The triangle shows that all of sludges (solid circles) belong to silt loam in the soil textural classes.

## 4) 투수율

스러지는 silt 및 clay 입자로 주로 구성되는 높은 불투수성에 의해 물의 유동을 어렵게 하

기 때문에 민원의 소지가 되는 등 환경오염물로 구분되고 있다. 본 연구에서는 비교적 낮은 수리전도도를 가지는 퇴적물 등 고화되지 않은 물질의 측정에 사용되는 변수두 투수측정기(Falling-head permeameter)를 이용하였다(Fig 3). 측정된 스러지의 수리전도도는 대략  $1.20 \times 10^{-7} \sim 9.94 \times 10^{-8}$  (cm/s)로서 silt가 우세하고 clay 및 sand를 다소 적게 포함하는 특징을 나타낸다(Boeker and Grondelle, 1995 ; Smith and Mullins, 2001). 안성 및 경주지역 시료는 고령토 및 스멕타이트 광물류를 비교적 적게 포함하여 다소

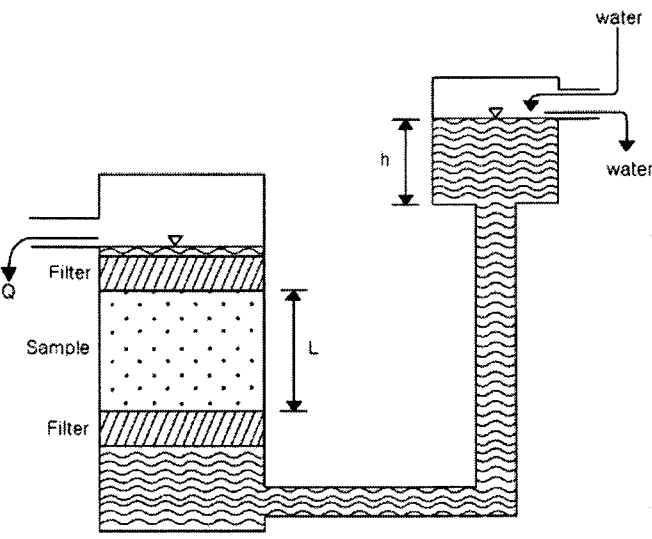


Fig.3 Schematic drawing of falling - head permeameter

높은 투수계수를 나타낸다. 일반적으로, 고령토와 스멕타이트류는 함수능력이 높은 점토광물류이며, 스멕타이트류는 물을 흡수·팽창하는 특성까지 가지고 있어, 유체의 흐름을 어렵게 할수 있다. 스러지의 수리전도도는 대전 일원에서 채취한 sand 및 silt입도의 화강암 풍화토( $1.15 \times 10^{-5} \sim 7.31 \times 10^{-4}$  cm/s)에 비해 한층 낮게 나타낸다(정지곤 외, 2006).

### 3. 결론

- 1) 스러지의 주구성 광물로서 석영 및 장석류를 66.4-87.1%(wt.)나 포함하며, 부구성 광물로서 14Å 광물류(녹니석 및 질석), 운모류, 고령토류, 각섬석류, 스멕타이트류 및 방해석 등 다양한 광물들을 포함한다.
- 2) 백악기에 속하는 경주지역 시료는 14Å 광물류 및 고령토류를 거의 포함하지 않으며, 스멕타이트류도 다소 소량으로 포함하여 14Å 광물류 및 고령토 등으로의 변이가 일어나기에 비교적 짧은 지질시대 및 환경이었음을 추정케 한다. 반면에, 주라기의 경기지역 화강암류는 고령토류가 확인되고, 안성지역시료를 제외하고는 스멕타이트류도 미량으로 포함한다.
- 3) 스러지에서 SiO<sub>2</sub> 및 Na<sub>2</sub>O의 감소는 풍화에 강한 석영류 및 사장석류가 적게 포함된 것이며, 알바이트 사장석 등의 풍화 진행정도가 낮고, 풍화에 약한 정장석류 및 아놀사이트 장석류의 K<sub>2</sub>O 및 CaO성분이 농집된 연유이다. 화강암 원석에 비해 스러지는 K<sub>2</sub>O의 함량이 적으며, 점토광물류의 주요 성분인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 함께 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub>, MnO 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등 유색광물을 구성성분들은 뚜렷한 증가를 나타낸다.
- 4) 입도분석 결과를 Clay-Silt-Sand의 삼각도표에 표시하면, 스러지들은 Silt loam의 범주에 속한다. 입도별 함량비는, silt 53-61%, sand 32-38%, 그리고 clay는 6-12%로서 예상보다 함량이 낮은 편이다.
- 5) 스러지의 수리전도도는  $1.20 \times 10^{-7} \sim 9.94 \times 10^{-8}$  (cm/s)로서 silt가 우세하고 clay 및 sand를 다소 소량 포함하는 매체의 특징을 나타내며, 입도분석 결과 및 함수능력이 큰 고령토 및 스멕타이트 등의 점토광물류가 적게 포함되는 결과와도 거의 일치한다.