

석탄폐석의 자열소성을 이용한 토양개량용 펠릿의 제조와 특성

김병곤 · 이계승* · 남철우 · 박종력

한국지질자원연구원 광물자원연구본부

Characteristics of Soil Conditioner Pellets Fabricated by Self-propagating Combustion Methods Using Coal Refuse

Byoung-Gon Kim, Gye-Seung Lee,* Chul-Woo Nam, and Chong-Lyuck Park

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) Mineral Resource Research Division
Gwahang-no 92, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea*

Calcined clay granules (pellet) have been used as a soil conditioner. The space among the pellets can secure drainage of water in soil and, simultaneously, can keep water for plants in the inner pore of that. However, the usage of the pellet has been restrained because fabrication of that requires a high energy and cost for heating over the temperate of 1000°C. Recently, SCS(Self-propagating Combustion and Sintering) method was developed and this method use the combustion energy of the preliminary mixed combustible. The SCS method is suitable to fabrication of small porous aggregate and requires a very low cost. This research applied the SCS method to coal refuses for fabrication of soil conditioner pellets. The coal refuses were pulverized under the size of 100 μ m and the pulverized powders were pelletized to the size of 4-6mm. The pellets were heated at the temperature of 1200°C in the SCS furnace that was specially prepared for this research. Characteristics of the pellets were investigated and were compared with that of ordinary calcined clay pellet of kaolin; porosity, pore size distribution, bulk density, pH and etc.. Characteristics of the moisture retention in the pellets were measured by the centrifugal method: ASTM D425-88. The pellets of the coal refuses showed the higher values of the field capacity and the plant-available water than that of kaolin pellet. These results suggest the very low cost process that can utilize the coal refuses and can fabricate the lightweight porous soil conditioner of the very high plant-available water.

Key words: Soil conditioner, Pellet, Moisture retention, Coal refuse, Self-propagating combustion and sintering

서 언

강우에 의한 수식(水蝕)은 토양침식 및 유실에 가장 영향을 미치는 인자 중 하나로서 이를 방지하기 위해서는 토양의 투수성을 높여 지표유거수의 발생을 줄여야 하고 토양의 내식성을 키워야 한다. 토양의 입단화같은 토양관리기법이나 내식성을 증가시키기 위한 식생기법 등은 우선적으로 고려될 수 있는 토양개량 방법이다. 이를 위해서는 토양의 배수성과 함께 유효 수분의 보유량을 증진시켜야 한다(Kim and Lee, 2002; Kim and Kang, 2002).

기존의 연구들은 대부분 토양의 입단화를 유도하여 배수성을 증가시키려 하였다(Jo et al., 1985). 그러나 다양한 토성에 맞춰 적용할 때에는 토성이나 환경에 관계없이 입단이 유지되는 방법, 즉 입단 자체를 혼합

해주는 방법이 좋을 수 있으며 이러한 것으로는 과립체(pellet)의 사용을 고려해 볼 수 있다.

점토와 같은 미립의 광물을 적절한 크기로 과립하고 소성(heating)하여 토양과 혼합하거나 복토하면 과립과 토양, 혹은 과립과 과립간에 생성된 공극으로 인해 유수의 침투와 배수가 원활하게 될 수 있다. 또한 광물의 과립체는 다공성으로서 내부에 수분과 양분을 흡수할 수 있으며, 높은 비표면적으로 토양의 물리화학적 성질을 식생에 유리하도록 조성하기 쉽다. 국내에 존재하는 많은 저품위의 점토광물을 과립화하여 활용한다면 토양보전과 함께 자원활용의 측면에서 유리하다. 그러나 이러한 과립체는 형상유지와 강도(strength)를 위해 고비용의 소성공정을 거쳐야 하는 단점이 있었다.

최근 개발된 자열소성법(self-propagating combustion and sintering)은 다공성 과립체의 제조시에 연소가 가능한 물질을 혼합하여 과립화하고 이의 연소열만으로

접수 : 2008. 9. 20 수리 : 2008. 11. 20

*연락처 : Phone: +82428683593,

E-mail: leegs@kis.kigam.re.kr

과립체를 연속적으로 소성할 수 있도록 만든 방법이다(Nam et al, 1999). 이 방법은 연소되는 물질이 소성에 필요한 충분한 열량을 발생시켜야 하고 연소 후에 생성되는 물질이 과립체의 사용에 문제가 없어야 한다는 제약이 있다. 그러나 가열에 별도의 에너지가 요구되지 않기 때문에 연소물질과 과립할 물질의 가격만 낮다면 저비용으로 과립체를 생산할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 이러한 자열소성법을 이용하여 토양개량이나 유실방지를 위한 점토의 과립체를 제조하고 이의 특성을 평가하여 토양개량제로 사용될 수 있는지의 여부를 검토하였다. 그리고 연소물질로는 국내에 다량으로 적치되어 있는 석탄폐석을 사용하였다. 석탄폐석은 석탄광의 굴진과정에서 배출된 굴진폐석(digging refuse)과 채굴된 석탄의 선탄과정에서 배출된 선탄폐석(coal-preparation refuse)으로 나뉘고, 일반적으로 석탄폐석(coal refuse)이라 함은 후자를 일컫는 경우가 많다. 석탄폐석을 여러 산업의 원료로서 이용하고자 하는 연구를 보면, 1960년대의 석탄사용량이 많을 당시와 1990년대 후반에 환경과 재활용에 관한 인식이 깊어진 후부터 현재까지 발표되었다. 그러나 대부분의 기술이 상용화 되지 않았고 많은 석탄폐석들이 아직 적치되어 있는 상황이다(Song et al., 1967, Han et al., 1997, Jung et al., 2005).

석탄폐석을 연소시킨 후 잔류하는 회분은 점토와 유사하여 시멘트나 세라믹원료로 사용하는 것이 가능하다(Jerry, 1982; Liu et al., 1996; Hyun, et al., 2005; Hyun, et al., 2006). 그리고 연소에 의해 생성된 공극은 과립의 공극률을 높여줄 수 있고 이것은 과립의 보수력을 높여줄 수 있을 것이다. 그러므로 석탄폐석을 혼합하여 제조한 과립을 자열소성법에 의해 소성하고 이를 토양개량용으로 사용할 수 있다면 많은 양이 적치되어 있는 석탄폐석을 활용할 수 있는 방법임과 동시에 저비용으로 토양개량제를 생산할 수 있는 방법이 될 것이다.

따라서 본 연구는 국내에 다량으로 부존되어 있는 석탄폐석과 저품위의 점토를 혼합하여 과립화하고 이를 자열소성법으로 소성하여 과립을 제조하였다. 그리고 이를 토양의 물리적 성질을 개선할 수 있는 개량제로 사용할 수 있는지의 여부를 판단하기 위해 bulk density, 공극률, pH 등을 조사하고 수분특성곡선을 작성하여 보수력을 검토하였다. 그리고 과립의 제조조건에 따른 상기 특성의 변화를 살펴보고 토양개량제로 사용할 수 있는지의 여부를 살펴보았다.

재료 및 방법

재료 본 연구에 사용한 석탄폐석은 화순탄광에서

채취한 것이다. 석탄의 정제과정에서 발생된 폐석을 쌓아둔 별도의 적치장에서 약 500kg의 시료를 무작위로 채취하였다. 시료는 크기가 5cm부터 50cm까지의 덩어리이며, 이를 육안으로 고, 저품위로 분류하고 각각 HCR, LCR이란 명칭을 붙였다. 이를 각각 Jaw crusher와 pulverizer를 사용하여 100 μ m 이하의 크기로 분쇄하여 사용하였다.

각 시료는 한국공업규격 [KS E 3705]에 따른 공업 분석(proximate analysis)을 통해 수분, 휘발분, 회분, 고정탄소의 양을 측정하였다. 시료와 회분의 성분은 SHIMADZU사의 XRF(X-Ray Fluorescence Spectrometers: MXF-1700)로 분석하였으며, 광물학적조성은 Rigaku사의 XRD(X-Ray Diffractometer: RU-200)로, 그리고 입도는 SEISHIN사의 laser micron sizer(LMS-30)을 이용하여 측정하였다.

점토로는 산청지방에서 산출된 저품위의 고령토를 사용하였다. 고령토는 가소성이 높아 여러 광물과 혼합하여 과립하기 용이하며, 예비실험의 결과에서 여러 점토 광물들이 소성 후에 약알칼성을 나타내었으나 고령토만이 식물의 생장에 유리한 약 6~7사이의 pH값을 나타내었기 때문에 토양개량제의 원료로 적절하다고 판단하였다. 또한 과립의 내부구조의 영향을 평가하기 위해서 팽창성의 2:1형 점토가 아닌 1:1의 고령토를 선택하였다.

과립 본 연구에서는 연속적으로 과립을 제조할 수 있는 과립기로서 Fig. 1의 pan type pelletizer를 사용하였다. Pan pelletizer는 경사져 회전하는 pan의 위에 일정한 속도로 분말을 투입하며 바인더용액을 분사한다. 바인더에 의해 뭉쳐진 입자들은 원심력에 의해 pan의 바깥쪽으로 이동하여 pan과 같이 회전한다. 상부에 도달한 과립은 pan의 중심부를 향해 떨어지고 다시 다른 입자들과 뭉쳐지며 회전과 낙하를 반복하게 된다. 이러한 과정에서 둥근 과립이 형성되며 과립의 강도는 일반적으로 과립의 자중과 낙하거리 등에 의해 좌우된다.

시료로는 고품위의 폐석(HCR)과 고령토를 각각 1:4 무게비로 혼합한 시료(HCR 20%)와 저품위의 석탄폐석(LCR)만을 사용한 시료, 그리고 고령토만을 사용한 시료의 총 3가지 시료를 사용하였다. 각 시료를 상기 과립기에 30kg/h의 속도로 투입하면서 PVA(polyvinyl alcohol) 2g/L의 용액을 바인더로서 분사하였다. Pan의 경사는 40°로 고정하고 회전속도를 20rpm으로 하여 과립을 제작하였다. 제조된 과립은 체가름을 통해 크기가 4~6 mm인 과립만을 선별하여 사용하였다.

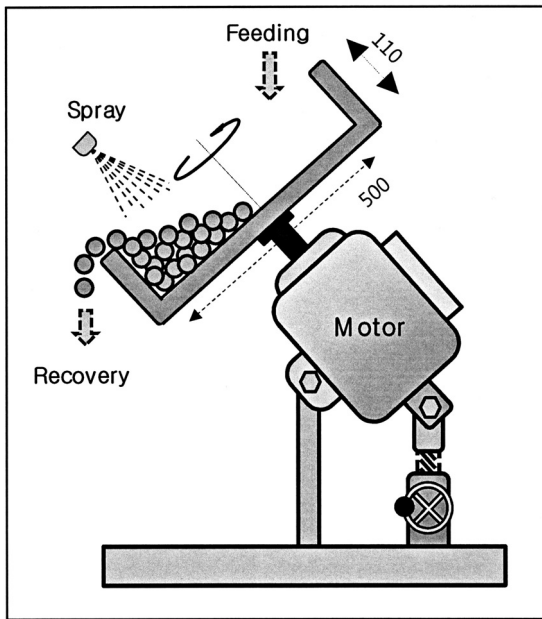


Fig. 1. Scheme of pan-type pelletizer.

자열소성 자열소성의 개념은 과거에 덩어리진 탄을 사용하던 석탄난로의 운영방식과 같다. 난로에 탄을 투입하고 착화한 후, 연소속도에 맞춰 하부로부터 회분을 빼내면서 탄을 계속 투입하면 난로내부에서 연소가 연속적으로 진행되며 난방이 가능하다. 이러한 방식을 다공성 과립의 소성에 이용하는 것이 자열소성방식이다. 착화 후에 별도의 에너지 투입 없이도 먼저 투입한 과립의 연소열이 나중에 투입된 과립의 착화에 사용되어 연소가 전파되고 소성이 이루어지므로 자열소성법(SCS: self-propagating combustion and sintering)이라 명명되었다. 이 방법으로 다공성 과립의 연속적인 소성이 가능하다는 것은 한국지질자원연구원에서 처음으로 실증되었다(Nam et al., 1999; Hong et al., 2000). 본 연구는 이 방법을 석탄폐석에 적용시켜서 제조한 과립의 특성과 그것이 토양의 물성을 개선하는 역할을 할 수 있는지의 여부를 판단하기 위한 연구이다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 자열소성로(自熱燒成爐)의 개략도이다. 상부로부터 연소물질을 포함한 과립을 투입하고 하부에서 투입속도에 맞춰 소성된 과립을 회수하는 방식이다. 연소는 상부로 전파되며 이 속도에 맞추어 과립의 투입량과 회수속도를 결정한다. 본 연구에서는 과립의 투입속도를 약 8~10kg/hour로 하였으며 이에 맞춰 하부로부터 시료를 회수하였다.

착화를 시키기 전에는 미리 연소시켜 소성한 과립을로의 중간까지 채우고 그 위에 소성할 과립으로 채운다. 그리고 전기에너지로 가열하여 로 내부의 온도가 850℃까지 올라가면 착화되었다고 보고 가열에너지공급을 멈춘다. 이후에는 과립을 투입하며 과립의 연소

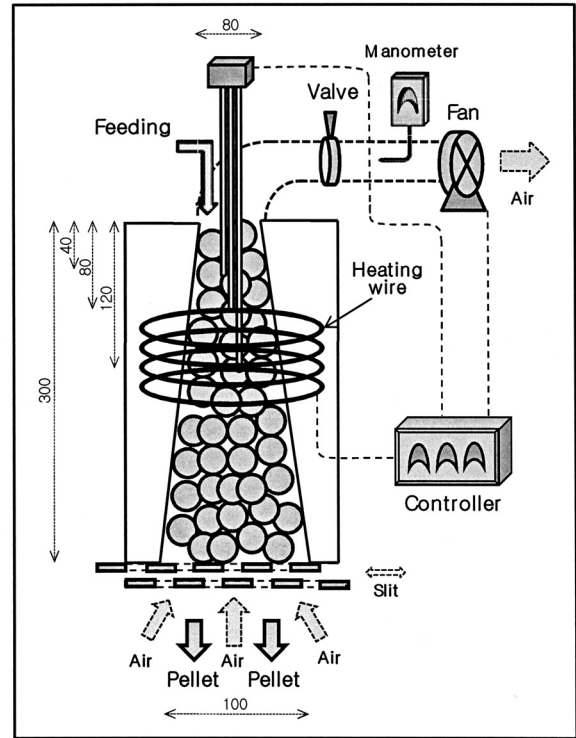


Fig. 2. Scheme of SCS furnace (Self-propagating Combustion and Sintering).

열만을 이용하여 연속적으로 과립을 소성하였다.

연소에 필요한 공기는 하부로부터 공급되어 상부로 배출되며 송풍기와 밸브를 통해 공기의 공급량을 조절한다. 공기의 공급량이 연소속도를 조절하는 주요 인자이며 이를 통해 로 내부의 온도도 조절된다. 본 연구에서는 배기 통로에 manometer를 장착하여 유량을 측정하였으며 밸브를 조절하여 항상 20m³/h의 유량으로 공기가 공급되도록 조정하였다. 그리고 로 내부의 최고온도는 연소물질의 특성에 많이 좌우되는데 석탄폐석의 과립을 연소시킬 경우에는 1300℃ 이상으로 소성하는 것이 가능하였다. 점토와 석탄폐석의 과립을 너무 높은 온도로 소성하면 과립이 용융되고 서로 융착되어 연속적인 과립의 흐름이 어려워진다. 따라서 본 연구에서는 로 내부의 온도측정기를 송풍기에 연결하여 로 내부의 온도가 1200℃ 이상이 되면 송풍을 멈추어서 연소속도를 늦추고 1200℃ 이하가 되면 다시 송풍하는 방법으로 로 내부의 온도를 조절하였다.

과립체의 물성측정 석탄폐석을 자열소성시켜 제조한 과립과 비교하기 위해서 석탄폐석을 사용하지 않은 과립을 한가지 제조하였다. 즉, 고령토만을 사용하여 상기와 같은 조건에서 과립한 후 이를 전기로에서 1200℃로 2시간 소성하였다. 이와 같이 제조한 총 3가지 시료의 내부공극의 크기와 공극률, pH 등을 각각 측정하고 수분보유특성을 측정하였다.

시료의 pH는 토양오염측정법에 따라 시료와 물을 1:5의 무게비율로 혼합한 후 한시간 후에 상등액의 pH를 측정하였다. 공극의 크기 분포는 mercury porosimeter(Micromeritics, Autopore IV 9500)를 이용하여 측정하였다.

토양의 수분보유특성은 ASTM D425-88 방법에 의해 측정하였다. 이 방법은 밀면이 다공판인 용기에 시료를 넣고 이를 원심분리기에 장착하여 회전시키며 가해진 원심력에 따른 시료무게의 변화를 통해 수분 방출량을 측정한다. 본 연구에 사용된 시료가 보유하는 수분은 대부분 과립내부의 공극에 흡수된 수분으로 생각할 수 있기 때문에 과립을 수분으로 포화시키는 것이 중요하다. 따라서 측정하기 전에 시료와 용기를 함께 끓는 물에 넣고 30분간 끓인 후 원심력을 가해 수분보유량의 변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

시료의 특성 Fig. 3은 실험에 사용된 석탄폐석과 고령토시료의 입도를 측정된 결과이다. 품위별로 나누고 분쇄하여 제조한 고품위와 저품위의 석탄폐석은 약 100 μm 이하의 크기로서 각각 15.12 μm , 14.88 μm 의 평균입도를 가지고 있었으며, 고령토는 약 50 μm 이하의 크기와 8.97 μm 의 평균입도를 가지는 것으로 나타났다.

상기의 석탄폐석을 공업분석하고 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 고품위폐석(HCR)은 저품위폐석(LCR)에 비해 높은 휘발분, 고정탄소량을 가지며 이

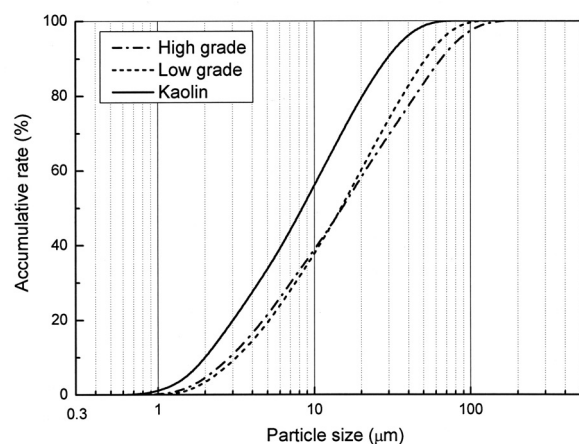


Fig. 3. Size distribution of samples.

것은 연소물질이 많기 때문에 소량을 혼합해도 소성이 가능하다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 HCR을 고령토에 20% 혼합하여 과립을 제조하고 이를 시험하였다.

LCR은 고정탄소량이 적기 때문에 연소시에 발생하는 열량이 충분치 못할 수 있으나, 소성에 필요한 충분한 열량만 발생한다면 회분이 점토를 대신할 수 있기 때문에 석탄폐석을 많이 사용할 수 있을 것이다.

석탄폐석의 연소 후에 잔류하는 회분을 분석하기 위해서, HCR과 LCR을 전기로에서 815 $^{\circ}\text{C}$ 로 2시간 가열하여 회분을 제조하고 이 시료와 고령토의 조성을 XRF로 분석하였다. 두 석탄폐석의 고정탄소의 비율이 매우 달랐음에도 불구하고 Table 2에 표시한 회분의 조성은 비슷한 것으로 나타났다. 그리고 회분과 고령토의 조성을 비교해보면 회분의 SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O 등의 비율이 높지만 전반적으로 일반적인 점토의 조성과는 비슷한 것을 알 수 있다.

Fig.4는 상기의 회분과 고령토의 X선 회절분석결과이다. 고령토는 주로 kaolinite와 albite로 구성되어 있으며, 두 가지 석탄폐석의 회분은 모두 quartz, muscovite, orthoclase로 구성되어 있음을 알 수 있다. 회분의 구성광물 또한 토양구성광물과 차이점이 크지 않기에 토양개량제로 적절한 조성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

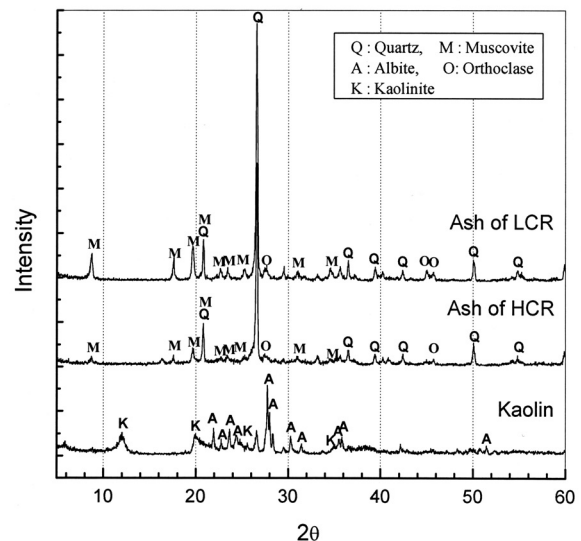


Fig. 4. XRD patterns of kaolin and ashes of coal refuse.

Table 1. Proximate analysis of coal refuses (wt. %).

Coal refuse	Name	Moisture	Volatile material	Ash	Fixed carbon
High grade	HCR	3.28	5.10	63.61	28.01
Low grade	LCR	0.76	5.03	84.55	9.66

Table 2. Composition of kaolin and ashes of coal refuses (wt. %).

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig./loss
Kaolin	46.41	35.11	3.87	0.50	0.38	0.37	0.10	13.31
HCR	59.88	26.56	4.94	1.11	1.14	3.92	0.27	0.36
LCR	60.53	25.25	5.52	0.9	1.04	4.35	0.23	0.54

과립체의 특성 HCR과 고령토를 1:4의 비율로 혼합한 HCR 20% 시료와 LCR 100% 시료를 각각 과립한 후 4~6mm 크기의 과립만을 선별하여 자연소성하였다. 두 시료 모두 최대소성온도를 1200°C로 조절하여 자연소성하였으며 Fig. 5는 소성된 시료의 사진이다. HCR 20% 시료(a)는 고령토의 혼합량이 많아서 일반 소성점토의 과립과 겉모습이 비슷하다. 반면 LCR 100% 시료는 겉표면이 거친데, 이는 LCR시료가 고령토보다 입도가 크고 석탄 특유의 판상입자가 많기 때문이다.

자연소성하여 제조한 시료와 비교하기 위해 고령토만으로 과립하고 전기로에서 1200°C로 소성하여 과립을 제조하였다. Fig. 6는 세가지 과립의 단면을 SEM으로 촬영한 사진이다. 과립체의 내부공극은 입자와 입자사이에 생성되므로 가장 입도가 작은 고령토로 제조한 과립이 작은 공극을 가진다고 볼 수 있다. 그리고 HCR의 과립은 80%가 고령토이기 때문에 상기 고령토과립의 구조와 거의 같으나 20%의 HCR로 인해 공극의 구조가 변형되었을 것으로 생각된다.

LCR의 과립은 주로 판상인 석탄폐석입자만으로 구성되었기 때문에 입자들 사이에 생성된 공극이 더 클 것으로 예상된다. 사진을 보면 입자사이의 공극 뿐만 아니라 입자내부에 가로방향으로 생성된 공극이 관찰된다. 이것은 판상의 적층구조인 석탄이 연소할 때 발생된 가스의 압력으로 판이 벌어지며 생성된 공극으로 생각된다. 이러한 공극으로 인해 LCR 과립의 공극률이 더욱 높아질 것으로 생각된다.

실질적인 공극률과 공극의 크기를 측정하기 위해 Hg intrusion 실험을 실시하였다. Fig.7은 압력에 따라 과립내부로 침투한 수은의 양을 나타내고 이것을 압력에 따라 침투되는 공극의 크기로 환산하여 표시하였다. LCR pellet은 약 5~20µm 크기의 공극을 갖고 있으며 HCR pellet은 1~10µm, kaolin pellet은 0.5~10µm 크기의 공극을 가지고 있다. 이 Hg intrusion 실험을 통해 얻을 수 있는 정량적 데이터를 Table 3에 표시하였다. 상기의 그래프에서 본 바와 같이 평균공극의 크기(median diameter)는 kaolin pellet이 2.58µm로 가장 작으며 LCR pellet이 13.33µm로 가장 컸다. 입도가 가장 작은 고령토로 만든 과립이 가장 작은 공극분포를 가지고 있으며 석탄폐석의 함량이 늘어날수록 공극의 크기도 커졌다.

공극률은 세가지 과립이 모두 비슷하게 나타났다. Bulk density의 값은 0.1 psi의 압력에서 수은이 침투되지 않은 공간을 과립의 부피로 간주하고 계산한 값으로서, 일반적으로 직경 약 400µm 이상의 공극과 공간까지 수은으로 채워지므로 그보다 작은 크기의 과립 내부의 공극과 과립이 차지하는 부피를 이용하여 계산된다. 결과를 보면 석탄폐석을 혼합하여 연소시킴으로써 bulk density가 더 낮아졌음을 알 수 있다. LCR 시료를 100% 사용한 pellet의 bulk density가 HCR을 20% 혼합한 pellet의 값보다 높은 것은 석탄폐석의 특징 때문이다. 고령토에 비하여 석탄폐석에는 비중이 큰 철분 등이 많이 함유되어 있으며 용점을 낮춰주는 Ca, Mg, Na, K 등이 많아서 미세공극들

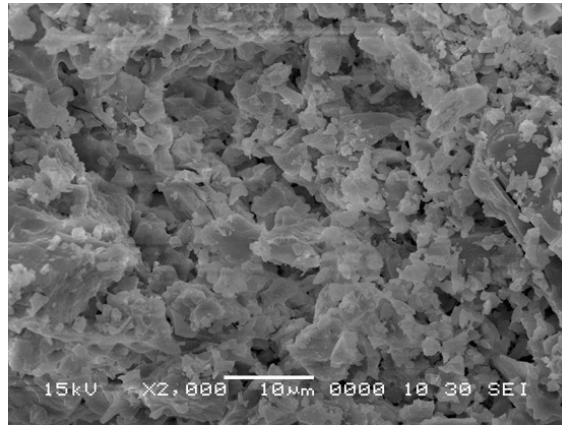


(a) HCR 20% pellet

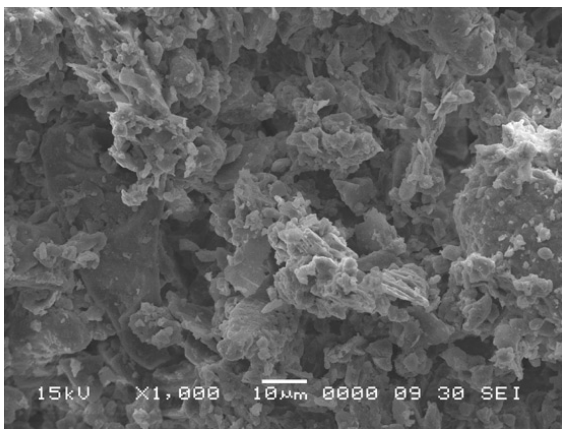


(b) LCR 100% pellet

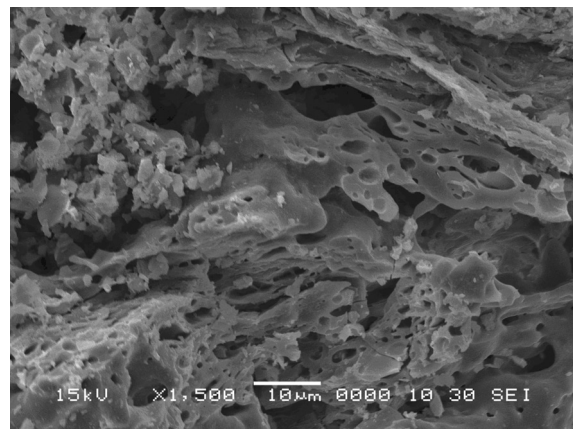
Fig. 5. Photograph of the fabricated pellets.



Kaolin pellet



HCR 20% pellet



LCR 100% pellet

Fig. 6. SEM photograph of cross section of pellets.

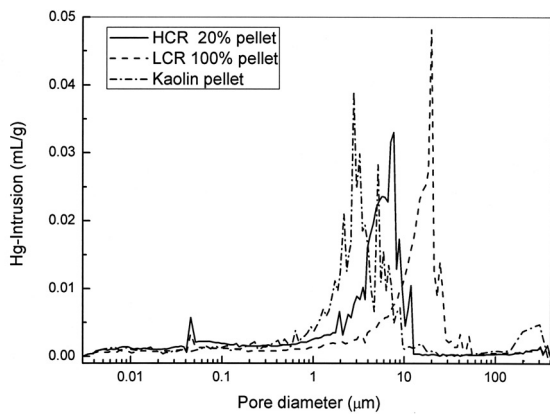


Fig. 7. Pore characteristics measured by mercury intrusion.

이 줄어들었다고 볼 수 있다. 이로 인해 석탄폐석만을 사용한 LCR pellet의 bulk density의 감소가 적었다고 볼 수 있으며, 실제로 Fig. 7의 공극분포를 보면 LCR pellet은 3µm이하의 공극이 거의 없음을 볼 수 있다.

토양개량제로의 특성 이상의 실험결과에서 보았듯이 자열소성법으로 제조한 과립은 일반소성점토과 비슷하지만 석탄폐석에 의해 조금씩 다른 특성들을 나타내었다. 이러한 과립을 토양에 복토하거나 혼합하여 토양의 유효수분보유량을 증진시킬 수 있을 지 파악하기 위해 상기 세가지 과립의 수분보유특성과 pH 등을 조사하고, 이를 Fig. 8과 Table 4에 나타내었다.

토양의 수분보유특성은 일반적으로 시료를 코어

Table 3. Characteristics of porous pellet measured by mercury intrusion.

Sample	Median diameter of pore	Porosity	Bulk density of pellet
	µm		
HCR 20% pellet	4.67	54.678	1.038
LCR 100% pellet	13.33	53.087	1.077
Kaolin pellet	2.85	58.945	1.114

Table 4. Water holding characteristics of samples and pH.

Sample	Field capacity	Plant-available water	pH
	at -33 kPa	at -0.033MPa~-1.5MPa	
	mL/sample 100g	mL/sample 100g	g mL ⁻¹
HCR 20% pellet	47.64	38.39	7.74
LCR 100% pellet	38.43	28.49	7.96
Kaolin pellet	35.77	24.70	6.50

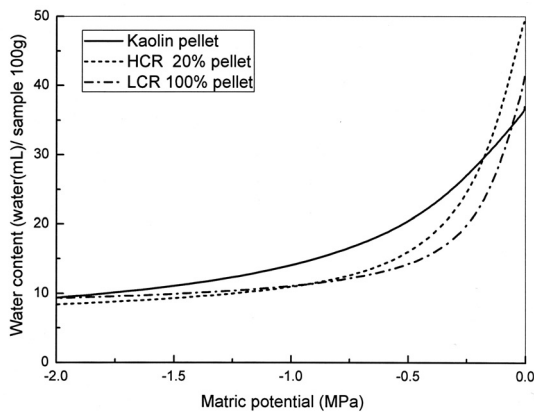


Fig. 8. Water retention characteristic of pellets measured by the centrifugal method.

(core)에 담아 세라믹의 다공판위에 놓고 가압하여 압력에 따라 유출되는 수분의 양을 측정하여 작성된다. 그러나 이러한 방법은 본 연구와 같이 과립과 과립사이의 공간에 의해 비포화흐름상태(unsaturated hydraulic properties)가 되는 시료에는 적용하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 ASTM D425-88 방법에 의해 과립이 보유하는 수분특성을 측정하였다. 이 방법은 matric potential의 변화와 관계없이 작용할 수 있는 체적력(body force)인 원심력을 이용하여 측정하기 때문에 다공성 과립체 내부에 흡수된 수분이 방출되는 특성을 측정할 수 있다 (Nimmo et al, 1987; Nimmo, 1990). 결과에서 보이는 바와 같이 석탄폐석의 혼합과 자열소성에 의해 포장용수량(field capacity)이 증가하였을 뿐만 아니라 유효수분(plant-available water)의 양도 증가하였다. 특히 LCR pellet보다 HCR pellet이 더욱 높은 증가율을 나타내었고, kaolin pellet에 비교하면 유효이용수분이 13.69mL/100g 증가하였다.

그리고 수분보유곡선을 보면 HCR과 LCR pellet이 kaolin pellet 보다 더 낮은 potential에 의해 수분을 방출하는 것을 알 수 있다. 포장용수량중 -0.5MPa 이내에서 방출되는 비율을 보면 kaolin pellet은 42.75%인 것에 비해 HCR과 LCR은 각각 66.71%와 63.02%로서, 석탄폐석을 혼합하여 제조한 과립이 더 낮은 potential에서 수분을 방출한다는 것을 알 수 있으며 이것은 식물이 더 쉽게 수분을 이용할 수 있다는 것

을 의미한다. 또한 위조점(-1.5MPa)에서의 수분보유량을 보면 HCR과 LCR pellet이 더 낮은 값을 나타내었고 이는 보유수분중에서 식물이 이용할 수 있는 수분인 유효수분의 비율이 높다는 것을 의미한다. 이러한 특징은 상기에서 측정된 평균공극 크기와 관계된다고 볼 수 있는데, 공극의 크기가 큰 HCR과 LCR pellet이 더 낮은 capillary force로 수분을 보유하기 때문으로 생각할 수 있다.

각 과립의 pH를 토양오염공정시험법에 따라 측정하였다. 석탄폐석을 혼합함으로써 Kaolin pellet에 비해 pH가 높아짐을 알 수 있다. 그러나 pH의 변화가 크지 않고 모두 8이하의 값을 가지고 있으므로 사용하고자 하는 토양의 특성에 맞춰 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

이상으로 석탄폐석을 사용하여 자열소성법에 의해 제조한 과립의 특성과 토양개량제로의 가능성을 살펴 보았다. 자열소성법은 다공성과립의 제조에 적절한 방법으로서 별도의 가열에너지가 요구되지 않기 때문에 저비용으로 과립을 대량생산할 수 있는 기술이다. 현재 국내에 다량 적치되어 있는 석탄폐석을 상기의 방법을 통해 과립으로 제조하고 이를 토양에 활용할 다면 토양환경개선에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

토양개량방법의 하나로서 다공성 소성 과립체를 토양에 사용하는 방법을 적용하고자 하였다. 석탄폐석을 토양개량제의 원료로 사용하면 자열소성방법에 의해 저비용으로 과립체를 생산할 수 있고, 더불어 국내에 대량으로 적치되어 있는 석탄폐석을 활용할 수 있는 방안도 될 것임을 착안하여, 석탄폐석을 분쇄, 과립하고 자열소성방법으로 소성하여 과립(pellet)을 제조한 후 이의 다공체로서의 특성과 수분보유특성, pH 등을 확인하였다.

고정탄소량이 약 28%인 시료 HCR을 고정토와 1:4의 무게비(20%)로 혼합하여 제조한 과립과 고정탄소가 약 9.66%인 LCR시료만을 사용한 과립을 자열소성한 결과, 별도의 가열에너지의 공급 없이 최대온도 1200°C 이하에서 연속적인 소성이 가능하였다. 이렇게

제조한 과립체를 고령토만 사용하여 제조한 일반 소성 점토과립과 비교하였을 때 평균공극의 크기가 커졌음이 확인되었다. 이렇게 변화된 공극의 특성으로 인해 HCR과 LCR 과립의 내부에 흡수된 수분이 kaolin 과립에 비해 더 낮은 potential에서 방출되었고, 식물이 더 이용하기 쉬운 상태로 수분이 보유됨을 확인하였다. 그리고 자열소성한 과립은 kaolin 과립에 비해 높은 포장용수량과 유효수분의 값을 나타내었다. 포장용수량은 HCR과 LCR 과립이 각각 47.64, 38.43 mL/100g값을 나타내었고, 유효수분의 양은 각각 38.39과 28.49mL/100g으로 나타났다. 자열소성한 과립의 pH는 6~8로서 토양에 활용이 가능함을 확인하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 20070101033033)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Han, D.J., Rim, J.M., Lee, C.K., Lee, H.S. 1997. Fundamental study on adsorption capacity and utilization of coal waste as adsorbents, *J. of KoSES*, 2(2):61-72.
- Hong, S.W., Choi, Y.Y., Kim, B.G., Nam, C.W. You, Y.T. 2000. A study on the manufacturing of light weight aggregates process for structural concrete form fly-ash. Research Report of Ministry of knowledge Economy, Republic of Korea, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, 1997C-CC02-P-03.
- Hyun, J.Y., Jeong, S.B., Chae, Y.B. 2005. Utilization of a coal-preparation refuse as a raw material for clay brick, *J. of Korean Inst. Of Resources Recycling*, 14(4):3-9.
- Hyun, J.Y., Jeong, S.B., Chae, Y.B., Kim, B.S. 2006. Development of fired clay bricks by coal-preparation refuse, *J. of the ceramic Soc. of Japan*, 114(5):404-407.
- Jerry G.R. 1982. Processing and material properties of energy-efficient sintered coal refuse lightweight aggregate, *Resources and Conservation*, 9:119-129.
- Jo, I.S., Cho S.J. De Boodt, M. 1985. Effect of soil aggregate stability and wettability on soil loss, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 18(4):373-377.
- Jung, S.B., Chae, Y.B., Kim, H.S. 2005. Effective utilization for the domestic coal refuse, Research Report of Ministry of knowledge Economy, Republic of Korea, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, GAA2004006-2005(2).
- Kim, H.T., Kang, I.G. 2002. Forecasting of soil loss and preclusive method, *J. of Korean Geo-Env. Sci.*, 3(1):30-40.
- Kim, S.Y., Lee, B.J. 2002. Soil loss, *J. of Korean Geo-Env. Sci.*, 3(1):20-29.
- Liu X., Xiao Q., Fu Y., Hu F. 1996. Study on the thermal insulation material made from coal refuse, *J. of Env. Sci. and health*, 23(2):451-461.
- Nam, C.W., Hong, S.W., Choi, Y.Y., You, Y.T., Oh, C.B. 1999. A study on the manufacturing of light weight aggregates process from fly-ash with self-sintering, *Workshop of recycling and application of resources and material*. 24:249-259.
- Nimmo, J.R., Rubin, J., Hammermeister, D.P. 1987. Unsaturated flow in a centrifugal field: measurement of hydraulic conductivity and testing of Darcy's law, *Water Resources Research*, 23(1):124-134.
- Nimmo, J.R. 1990. Experimental testing of transient unsaturated flow theory at low water content in a centrifugal field, *Water Resources Research*, 26(9):1951-1960.
- Park, H.G., Kim, N.O., Choi, M.H. 1999. A study on the utilization of coal refuses as subbase and layer in road construction, *J. of Korean Soc. of Civil Eng.*, 19(3-6):1143-1149.
- Song, T.Y., Ahn J.H., Kang H.J. 1967. Study on the utilization of coal-refuse: Fundamental studies on the production of fireproof material and lightweight aggregate from coal refuse (part 1), *J. of Korean sci. of Geosystem Eng.*, 4:21-28.