

제강슬래그의 투수성 연구

A Study for Permiability of Steel Slag

허준희* (전남대) · 이광찬 (전남대) · 오제화 (조선대) · 이문수 (전남대)

Heo, Jun Hui · Lee, Kwang Chan · Oh, Jae Hwa · Lee, Moon Soo

ABSTRACT

This study was carried out to analyze permeability of steel slag. Three molds with the same grading of raw steel slag were used to measure the coefficient of permeability. Darcy's law could be applied to the steel slag below 0.5 of critical hydraulic gradient because the water flow changed from laminar flow to turbulent flow above the critical hydraulic gradient. Also, the velocity of flow changed according to hydraulic gradient. The coefficient of permeability of the specimen was $\alpha \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$.

I. 서론

하천의 골재의 고갈과 자연회손방지에 따른 석산개발의 어려움으로 양질의 천연골재를 얻기가 어렵게 되는 것이 우리의 현실이다. 또한 건설공사가 매년 대형화, 해양화(인공섬 축조, 매립공사)되면서 연약지반 개량공사에 사용된 Sand mat용 모래의 고갈로 대체 재료의 개발이 시급하다.

제철을 생산할 때에 산출되는 슬래그는 고로슬래그와 제강 슬래그로 분류되는데 전자는 포장용 보조기층재료로 그 활용도가 매우 높은 반면에 후자는 여러 가지 이유 때문에 그 활용도가 미흡하였다. 특히 제강 슬래그는 강의 제조방법에 따라 전로 슬래그와 전기로 슬래그로 구분된다. 제강슬래그를 사용하기 위해서는 장기간에 걸쳐 안정화시켜야 한다. 현재는 용융상태의 제강 슬래그에 산소를 불어 넣어 유리석회를 충분히 슬래그화시켜 안정된 광물로 만드는 방법과 서서히 식힌 제강슬래그를 적절한 입도로 파쇄한 후 대기중에 방치하여 충분히 수화반응을 일으켜 안정화 시키는 방법이 있다. 전자를 개질처리 방법이라 하고 후자를 에이징 처리라 한다. 에이징 처리는 우리나라 뿐만 아니라, 일본, 구미에서도 널리 실행되고 있는 가장 일반적인 방법이다. 본 실험에서는 항온수조를 이용하여 Aging 처리를 하였다. 처리과정은 슬래그를 반입하여 80℃의 항온수조에서 4일간 처리한후 이틀간 방치 하였다. 에이징처리의 확인을 위해서 슬래그의 수침 팽창비와 황화칼슘 이온을 검출할수 있는 표준액으로 확인 하였다.

본 연구는 제강(製鋼) 슬래그(Slag) 입도에 따른 투수계수와 Aging 처리후(일정시간 경과후) 해수와 담수를 이용하여 투수계수를 검토함으로써 적절한 투수성이 확보되면 연약지반 개량공사를 위한 샌드매트(Sand Mat) 대체 재료로서의 이용 가능성 여부를 판정하여, 경제적인 시공

을 유도하고 자원의 재활용을 도모하는데 연구 목적이 있다.

II. 실험 및 방법

본 연구를 수행하기 위하여 첫째로 시료(일명 제강(製鋼) 슬래그(Slag))를 반입하여 기본적인 물성시험 및 화학분석시험을 실시하고 이를 바탕으로 투수시험을 면밀히 수행하였다. 공시체 제작은 먼저 적절한 직경과 높이를 확보하기 위해 일본의 Rockfill담 재료에 대한 투수시험 장치를 Model로 하였다. 일반적인 모든 실내 시험장치, 즉 역학 시험장치는 사용하고자 하는 재료 입경이 사질토(굵은 자갈, 모래, 암석덩어리)이면 사용 재료 입경의 10배 정도를 공시체 직경으로 하고 높이는 직경의 1.5배~2.0배로 제작하면 연구목적을 달성할 수 있으리라 기대하고 우선 대형 Mold 제작에 앞서 슬래그(Slag) 입경을 최대 10mm로 제안하여 CBR Mold를 개조하여 시험을 수행하였다. 공시체 내에서 시료의 현장 밀도를 재현하기 위해 입경의 대소로 구분하여 시험다짐시 시행착오를 거친 후 시험 Model을 선정하고 Case별로 시험을 계속 수행중이다. 본 시험에서는 특히 순수한 슬래그의 투수계수를 측정하려는 의도에서 측벽에 1.5cm의 황토층(일명 불투수층)을 만들어 측벽을 타고 흐르는 물의 흐름을 차단하였다. 연구보고에 의하면 통상 사질토(암석 덩어리, 자갈, 입경이 큰 모래질)의 흐름은 Darcy 법칙이 적용되지 않고(즉, 층류에 한정) 난류 흐름이 적용된다는 사실에 유념하고 시험을 계속하고 있다. 해수를 사용해서 투수시험이 완료되면 담수(하천수 또는 빗물)를 사용해서 얻은 값과 상호 비교하였으며 에이징 처리후 같은 시험을 반복하여 슬래그의 투수계수를 결정하려고 한다. 이때 가능한 온도의 영향도 고려한다. 끝으로 모래(또는 부순돌)와 제강(製鋼) 슬래그(Slag)의 투수성을 비교하기 위하여 투수시험을 실시하고 또한 담수, 해수를 반복 사용하여 결과를 유추중에 있다.

III. 결과 및 고찰

제강슬래그는 석탄(CaO) 및 실리카(SiO₂)를 주성분으로 하여 기타 마그네시아(MgO), 산화철(FeO, Fe₂O₃) 및 산화망간(MnO)등을 함유하고 있다. 제강슬래그는 석탄과 산화철이 많기 때문에 제강슬래그 특유의 화학적, 물리적인 성질을 나타낸다. 제강슬래그의 화학성분의 결과를 표-1에 나타낸다. 석회는 실리게이트(silicate)상, 베스타이트(wüstite)상 등을 구성하나 일부는 미용해상태의 Mg, Mn, Fe 등을 고용한 라임(lime)상(유란석탄을 말함)을 형성한다. 여기서 유리석회는 물과 반응하여 체적이 팽창장하기 때문에 제강슬래그의 팽창안정성을 지배하는 요인이 된다. 또한 산화과정에 의해 철의 일부가 산화되어 슬래그 중에 들어가므로 특히 비중에 영향을 미친다.

표-1 제강슬래그의 화학 구성성분 결과

항 목	단위	SiO ₂	T-CaO	Free CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	T-S	P ₂ O ₅
제강슬래그	중량%	12.53	45.56	3.31	1.50	6.27	1.41	4.81	13.23	9.04	0.09	2.14

본 연구에 이용된 제강슬래그의 물리적 성질을 표-2에 나타낸다. 표-2에 의하면 대체로 비중이 크고 수침에 의한 팽창비가 0.5%이내이다. 비중 및 마찰감량, 함수율은 대체로 포장용 골재의 시방규정을 만족한 것으로 나타났다. 또한 수침팽창비 효과는 3개월 재료에서는 5%이내이고 에이징 기간이 6개월이 경과되면 전반적으로 팽창비가 저하하여 3%이하로 감소하는 경향이 있다.

표-2 제강슬래그의 물리적 성질

항목	함수율 (%)	200체 통과율 (%)	비중	PI (%)	흐름치	수침 신장비	가열 변질	마찰율 (%)
제강슬래그	5	3~7	3.1	NP~8.5	36.6	0.45	없음	14.1

그림-1은 한국도로공사와 일본과 미국에서 적용되고 있는 모래포설공의 소요입도 분포와 9mm미만의 제강슬래그 입도를 도식화 한 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 Sand Mat의 재질에 대한 규정은 Sand Drain용 모래(즉 연직배수용 모래)보다 엄격하지 않다. 그림-1에서 좌측으로 갈수록(즉 입경이 커질수록) 또 입도곡선이 완만해 질수록(즉 입도분포가 양호할수록) 투수계수가 작게 될 것이다. 제강슬래그의 200번체 통과율은 2~7%미만이였다.

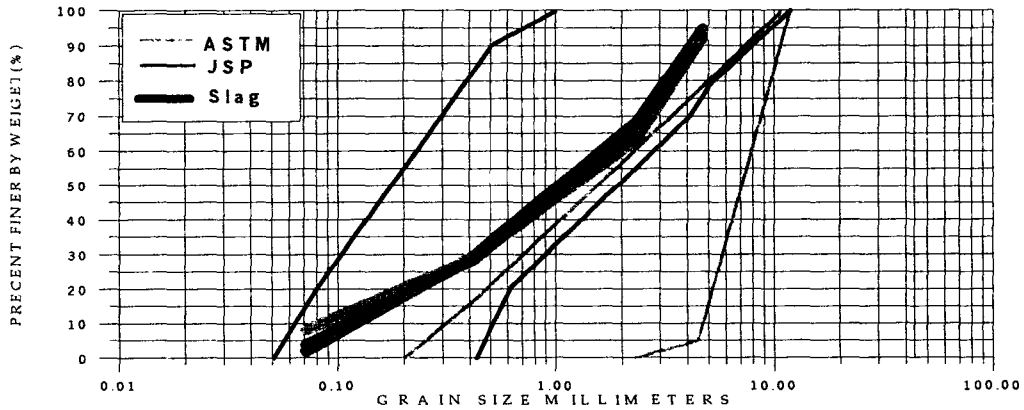


그림-1 입도분포곡선

입경으로부터 투수계수를 구하는 방법은 입경이 비교적 균질한 사질토에 대하여 사용하고 있다. 자연토는 일반적으로 크고 작은 입경의 입자로 구성되어 있고, 또 다짐도(간극비)도 다르기 때문 입경으로 구해진 투수계수는 개략적인 값으로 판단된다. 표-3은 토립자의 입경, 간극의 크기와 투수계수의 관계에 대한 문헌상의 제안공식과 실험실에서 구한 입도를 중심으로 구한 투수계수 값을 나타낸 것이다. 계산값의 범위는 대체로 $\alpha \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 이내로 나타났다. 그리고 표-4는 해수와 담수를 이용한 투수계수와 Aging처리를 한후의 투수계수값을 일반쇄석의 값과 비교하였다.

표-3 기존 경험식으로 부터 계산치 추정

제안자	경험식	계산치
Terzaghi	$k = \frac{C_T}{\mu} \left(\frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right)^2 d_{10}^2$ <p>여기서 C_T는 원형의 모래로서 균등계수 $U_c = 1.18$일 때 1.0, 현저히 모난 하천모래로써 $U_c = 1.40$ 일 때 6, 현저히 모난 입자로서 로움질 하천 모래로서 $U_c = 5.84$일 때 2.6을 취한다.</p>	$C_T = 10,$ $n = 41(\%)$ $d_{10} = 0.1$ $k = 6.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
Zunker	$k = \frac{C_k}{\mu} \left(\frac{n}{1-n} \right)^2 d_w^2$ <p>여기서 C_k는 2.3(등근모양), 1.75(등근 모양의 하천모래)</p>	$C_k = 2.3$ $n = 41\%$ $d_w = 0.12$ $k = 1.6 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$
Kozeny	$k = \frac{C_K}{\mu} \frac{n^3}{(1-n)^2} d_w^2$ <p>여기서 C_K는 토립자의 종류로 매우모난 모래는 1.0, 모난 석영 및 석회질 모래는 2.3, 등글고 균일한 하천모래는 3.6, 유리구슬은 5.2, Kozeny의 반이론식 8.2 이다.</p>	$C_K = 2.3$ $n = 41\%$ $d_w = 0.12$ $k = 6.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
Creager	대표경으로서 d_{20} 을 이용 도표화함	$k = 1.4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$

표-4 투수시험 결과

용도별 재료	단위	해수 상용시		담수 사용시	
		자연상태	에이징 처리후	자연상태	에이징 처리후
제강슬래그	cm/sec	4.3×10^{-3}	5.5×10^{-3}	5.6×10^{-3}	8.5×10^{-3}
일반쇄석		1.0×10^{-3}	-	1.22×10^{-3}	-

IV. 결론

해수를 이용한 제강슬래그는의 투수계수는 $a \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 으로 측정되어 Sand Mat용으로 사용되는 모래의 k 값과 차이가 없으며 동일퍼센트의 입도를 이용한 일반쇄석과도 큰 차이를 보이지 않았다. 다만 수경성의 영향을 검토한 결과 투수계수중 차수(order)는 변하지 않고 a

인자가 큰 차이를 보일 뿐 이다. 특히, 침투유속에 따라 층류에서 난류로 변하는 사실이 확인 되었으며 Darcy 법칙이 적용되는 한계동수구배(i)가 0.5이하와 9mm이하의 입경에 한정되고 그 이상의 입경에서는 난류로 변화되는 경향이 확인되어 그 한계입경과 원인을 연구중에 있다.

참고문헌

1. 제강슬래그의 발생량 저감 및 자원화 결과보고서, 일본철강협회, 1997
2. (사)국제환경노동문화원 ILE환경연구소: 제철소 철강슬래그 제품의 환경친화성 평가.1995.12
3. 高田直俊·小林一三 : 自然堆積土層の透水性の異方性, 土木學會第39回年次學術講演會講演論文集, III,pp.199~200,1984
4. 松尾新一郎·木야幕敬二 : 碎石の透水性に関する實驗,土と基礎, Vol.18, No.2, pp.5~10, 1970.
5. 且味勳·橋本保 : 砂の透油試驗, 第11回土質工學研究發表會講演集, pp.137~140, 1976.
6. 酒井武郎·川北糧 : 放射流式透水試驗機による土の透水係數の測定法, 土と基礎, Vol.8, No.5, 1960
7. Lambe, T. W. and Whitman, R.V. : Soil Mechanics, John Wiley & Sons, pp.290,1969