

## 석분혼합토의 지반공학적 특성

### Geotechnical Engineering Characteristics of Mixed Soil Containing Stone Sludge

김찬기<sup>1)</sup>, Chan-Kee Kim, 김중철<sup>2)</sup>, Joong-Chul Kim, 박옥근<sup>2)</sup>, Wook-Geun Park, 김의조<sup>3)</sup>, Eui-Jo Kim, 김용철<sup>3)</sup>, Yong-Chul Kim

<sup>1)</sup> 대진대학교 건설시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Daejin University

<sup>2)</sup> 대진대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Daejin University

<sup>3)</sup> 대진대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Daejin University

**SYNOPSIS** : This study is conducted to investigate the possibility of the utilization of the mixed soil formed by mixing stone sludge, bentonite, and residual soil as a soil sealant sustaining both stability and capacity in the barrier system. And the mixed soil formed by mixing stone sludge, river sand is conducted to investigate the possibility of recycle.

A series of tests were performed on the mixed soil(stone sludge, bentonite, Cement and residual soil) to evaluate basic properties such as compaction, compressive strength, permeability of these materials. and the stone sludge-river sand mixed soil were performed the discharge capacity tests.

**Keywords** : Stone Sludge

## 1. 서론

여러 산업분야의 급속한 성장과 더불어 석·골재 자원의 수요 또한 꾸준히 증가하고 있다. 석·골재의 수요가 늘어남에 따라 이에 따른 문제점 또한 부각 되고 있는 실정이다. 석재를 가공하는 과정에서 석·골재의 30-60% 정도가 폐석이나 석분 및 슬러지로 산출되고 이러한 폐기물중 폐석과 석분의 일부만이 재활용되고 있다. 이에 따라 생산과 가공 시 발생하는 석분의 처리에 따른 환경문제가 대두 되고 있다.

본 연구는 우리나라 전역에 넓게 분포하고 있는 화강토에 벤토나이트와 석분, 화강토와 석분 그리고 시멘트를 혼합하여 각각의 혼합비에 따른 토질특성과 역학적 성질을 밝히고 이를 바탕으로 산업폐기물인 석분의 재활용방안을 제시하고자 한다.

## 2. 시험

### 2.1 시료의 물리적 성질

본 연구에 사용된 화강토는 경기도 포천 지역에서 채취한 시료를 실내에서 자연건조 시킨 후 #4번체를 통과한 시료이고 벤토나이트는 D벤토나이트에서 제작한 벤토나이트로 통일 분류법으로 분류하면 풍화 화강토는 SM이고 벤토나이트는 CL이다. 석분의 물리적 특성은 모암에 따라 그 성질이 다르지만 포천지역의 석분은 화강암의 가공물로서 통일 분류상으로 ML이다. 시멘트는 S시멘트에서 제작한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 그리고 각각의 시료에 대한 물리적 성질은 표 1에 나타낸바와 같으며 각각의 시료에 대한 입도분포곡선은 그림 1과 같다.

표 1. 시료의 물리적 특성(벤토나이트, 건설기술연구원, 1999)

시료	PI (%)	#200통과율 (%)	G <sub>s</sub>	Li(%)	통일 분류
화강토	NP	17.15	2.67	2.80	SM
벤토나이트	227.4	100	1.7	-	CL
석분	NP	97.84	2.65	-	ML
시멘트			3.15		

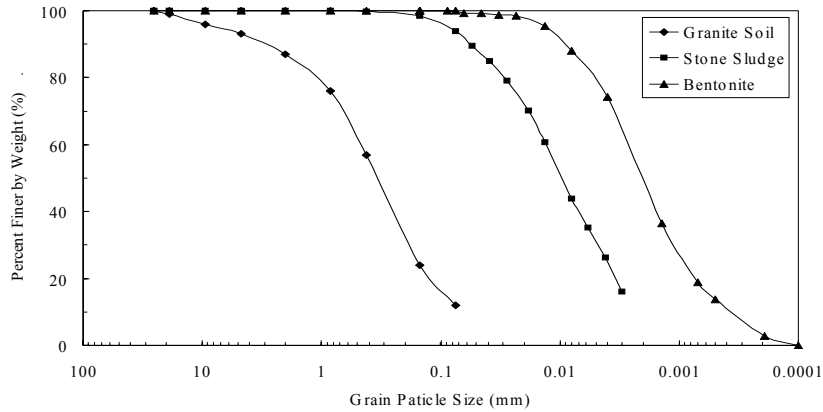


그림 1. 시료의 입도분포 곡선

## 2.2 시험 내용 및 방법

화강토에 석분과 벤토나이트를 혼합하여 인공호수 및 쓰레기 매립장 등의 차수공사에 사용할 수 있는 혼합토와 화강토와 석분 그리고 시멘트를 혼합하여 산책로 등의 포장재로 사용할 수 있는 혼합토를 개발하여 폐자원을 재활용하고자 한다. A, B, C, D혼합토는 일정한 화강토 중량에 대한 석분과 벤토나이트의 중량 비를 각각 달리하여 제작하였으며 혼합비에 따른 다짐특성, 투수특성 및 강도특성 등을 밝히기 위하여 각각의 시험을 실시한다. E혼합토는 물/시멘트 비를 500%로 맞춘 뒤 시멘트중량에 대한 화강토와 석분의 중량비를 달리하여 강도특성을 밝히기 위하여 시험을 실시한다. 각 시료의 혼합비는 표 2와 같다.

표 2. 시료의 혼합비 (S : 석분, B : 벤토나이트, G : 화강토, C : 시멘트)

구분	S(%)	B(%)	구분	S(%)	B(%)	구분	S(%)	B(%)	구분	S(%)	B(%)	구분	G(%)	S(%)
A-0	0	0	B-0	5	0	C-0	10	0	D-0	15	0	E-1	900	500
A-1	0	5	B-1	5	5	C-1	10	5	D-1	15	5	E-2	700	700
A-2	0	8	B-2	5	8	C-2	10	8	D-2	15	8	E-3	500	900
A-3	0	10	B-3	5	10	C-3	10	10	D-3	15	10	E-4	300	1100
A-4	0	15	B-4	5	15	C-4	10	15	D-4	15	15			

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 다짐특성

그림 2와 3은 석분과 벤토나이트의 함유량에 따른 최대건조밀도와 최적함수비의변화를 나타낸 그림이다. 석분 함유량이 증가되면 최대건조밀도는 전반적으로 현저하게 감소하는 경향을 보이고 있지만 석분의 함유량이 5%이상인 경우에는 최대건조밀도의 변화가 매우 작게 나타나고 있다. 또한 벤토나이트의

함유량이 증가하면 증가 할수록 최대건조밀도는 감소하는 경향을 보이고 있으며 벤토나이트 혼합비의 증가에 따라 최적함수비가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 벤토나이트 혼합비의 증가에 따라 물을 함유하고자하는 벤토나이트의 성질에 의한 영향으로 보인다.

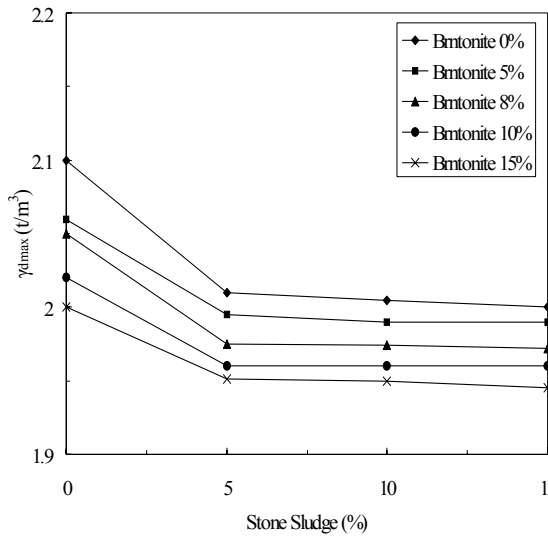


그림 2. 최대건조밀도 중량의 변화

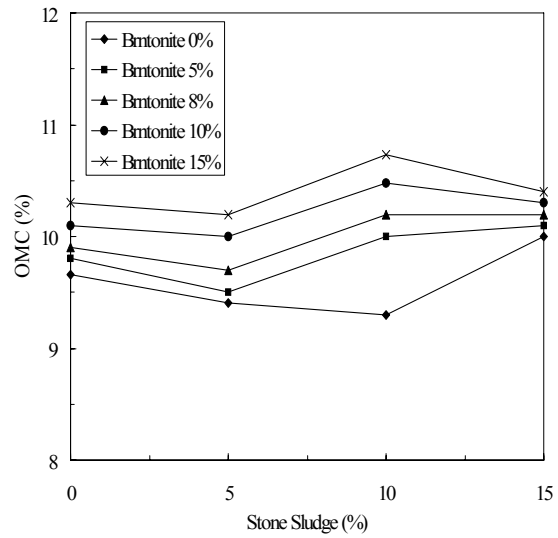


그림 3. 최적함수비의 변화

### 3.2 전단특성

그림 4와 그림 5는 벤토나이트와 석분의 혼합비에 따른 직접전단시험 결과로서 내부마찰각과 점착력의 변화를 나타낸 그림이다. 그림 4는 벤토나이트와 석분의 혼합비에 따른 점착력의 변화를 보여주고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 석분의 변화에 의한 점착력의 변화는 작은 반면에 점성의 성질이 큰 벤토나이트의 함유량을 증가하면 점착력 또한 증가하고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 내부마찰각의 변화를 보여주는 것으로 그림에 나타난바와 같이 입자가 미립분인 벤토나이트에 비해 입자의 입경이 큰 석분의 함유량변화에 더 큰 영향을 받고 있다. 입자의 크기가 클수록 그 비표면적이 커지면서 입자와 입자간의 마찰 저항력이 크게 발생하기 때문으로 생각된다.

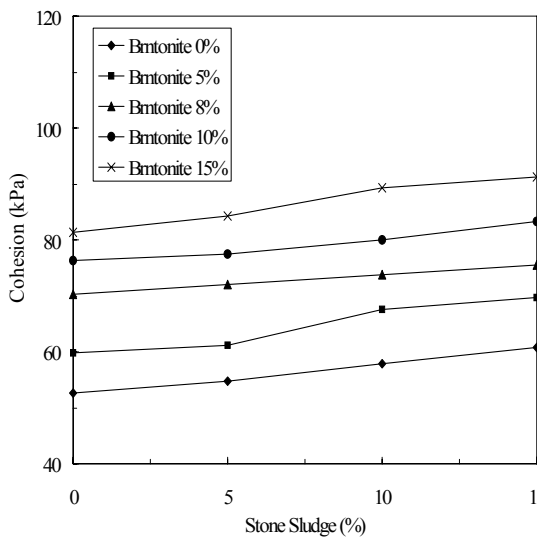


그림 4. 석분-벤토나이트 함량에 따른 c값의 변화

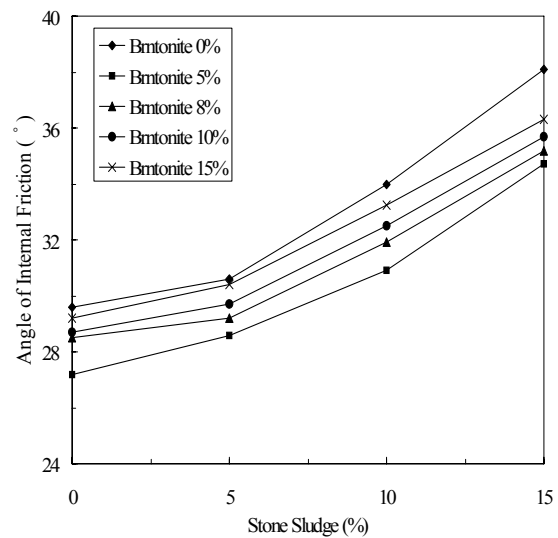


그림 5. 석분-벤토나이트 함량에 따른 φ값의 변화

### 3.3 투수특성

그림 6은 벤토나이트와 석분의 함유량에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에 나타난바와 같이 석분의 함유량이 증가하면 투수계수는 현저히 증가하고 있는 반면에 벤토나이트 함유량이 증가하면 투수계수는 감소하는 것을 알 수 있다. 특히, 차수재로서의 조건을 충족하기 위해서는 벤토나이트를 10%이상 함유하여야함을 알 수 있었으며 석분의 함유량 또한 10% 이내이어야 함을 알 수 있었다.

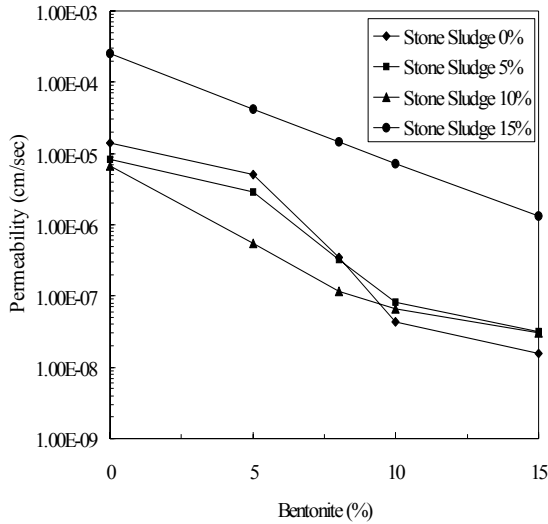


그림 6. 투수계수의 변화

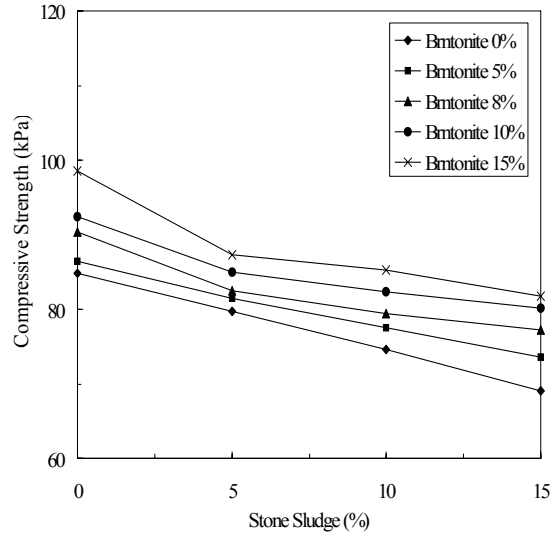


그림 7. A-D혼합토의 일축압축강도 변화

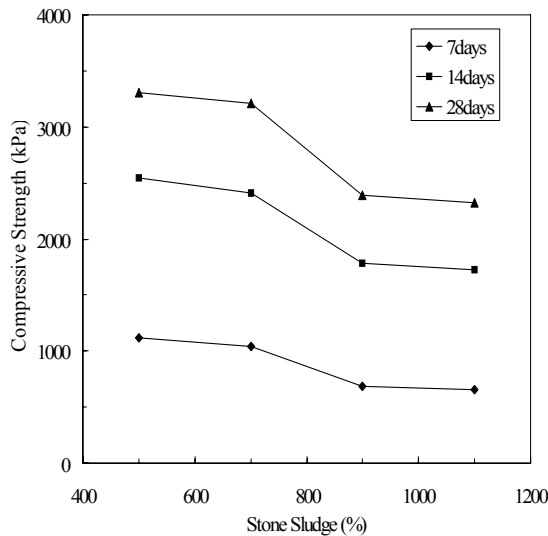


그림 8. E혼합토의 일축압축강도 변화

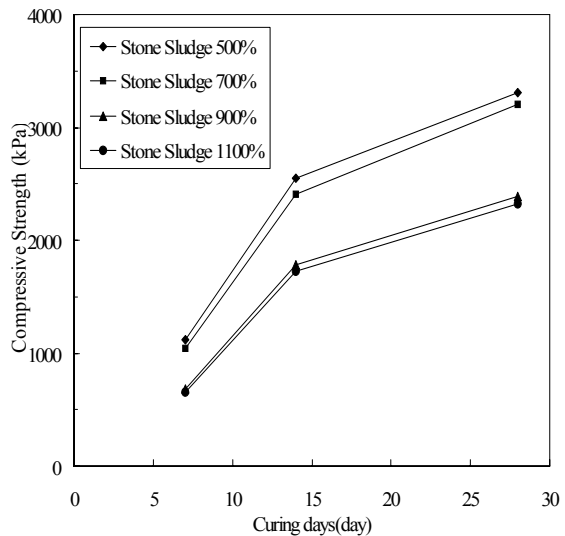


그림 9. 재령일에 따른 강도의 변화

### 3.4 일축압축 강도특성

그림 7은 A-D혼합토를 이용한 일축압축강도 시험으로 벤토나이트와 석분의 첨가량에 따른 압축강도의 변화를 보여주고 있다. 그림에 나타난바와 같이 벤토나이트 함유량이 증가하면 증가 할수록 일축압축강도는 증가 하지만 석분의 함유량이 증가하면 증가 할수록 강도가 저하되는 현상을 보여주고 있다. 그림 8과 그림 9는 E혼합토를 이용한 일축압축강도 시험으로 석분 함량에 따른 강도의 변화를 나타낸 그림으로 석분의 함량이 증가할수록 강도가 감소하는 것을 볼 수 있으며 그림 9는 양생기간에 따른 강

도의 변화를 나타낸 그림으로 양생기간에 갈수록 강도 증가가 일어나는 것을 볼 수 있다.

벤토나이트 함유량이 증가할수록 압축강도가 커지는 것은 화강토의 간극을 충전하고 벤토나이트의 높은 점성이 이들 간의 점착력의 증가로 이어져서 강도가 증가하는 것으로 보이며 사질토의 특성과 유사한 거동을 갖는 화강암의 미립자인 석분의 증가는 점성을 감소시켜 압축강도가 저하되는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 화강토와 벤토나이트에 석분, 화강토와 석분에 시멘트를 혼합한 석분 혼합토를 물성시험 및 역학시험을 실시하여 재활용 시 가장 적합한 혼합비를 찾고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 석분 함유량이 증가되면 최대건조밀도는 전반적으로 감소하는 경향을 보이며, 벤토나이트 함유량이 증가할수록 최적함수비는 증가하고 최대건조밀도는 감소하는 것으로 나타났다.
2. 혼합토가 차수재로서의 조건을 충족하기 위해서는 벤토나이트가 10%이상을 함유하고 석분의 함유량은 10% 이내이어야 한다.
3. 벤토나이트와 석분의 함유량이 증가할수록 점착력과 내부마찰각이 증가하지만 점착력은 벤토나이트의 영향을 내부마찰각은 석분의 영향을 더 크게 받는다.
4. 일축압축강도는 석분의 함량 증가에 따라 최대 40% 감소하며, 벤토나이트 함량 증가에 따라 최대 22% 증가, 재령일에 따라 최대 240% 증가한다.

#### 참고문헌

1. 손준익, 정하익, 장연수(1992), “폐기물 매립장을 위한 혼합 차수재의 물성에 관한 연구”, **한국지반공학학회지논문집**, 제8권, 3호, pp.51-60.
2. 김병일, 김영욱, 이승현(2002), “NSC를 첨가한 소일시멘트의 일축압축강도”, **한국지반공학학회지논문집**, 제18권, 4호, pp.159-165.
3. 한국건설기술연구원(1999) 강릉시 광역 쓰레기 매립장 벤토나이트 혼합층 품질관리 시험.
4. Boonsinsuk P., Pulles B. C. Kjartanson B. H., Dixon D.A.(1991), Prediction of Compactive Effort for a Bentonite-Sand Mixture, *Canadian Geotechnical Society 44th Canadian Geotechnical Conference*, Vol. 2, No. 64, pp. 1-12.
5. Kenny, T. C. Veen, W. A., Swallow, M. A., and Sungaila, M. A.(1991), Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite-Sand, *Canadian Geotechnical Society 44th Canadian Geotechnical Conference*, Vol. 2, No. 63, pp. 1-10.