

(사) 한국토양환경학회  
추계 학술 발표회 논문집  
1999년 10월 29일 제주대학교

## 폐석고의 공학적 특성 및 환경적 영향 분석에 관한 연구 Geotechnical Properties and Environmental Effect of Waste Gypsum

신은철\* · 오영인\*\* · 이희재\*\*\*

\* 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 조교수

\*\* 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 대학원 박사과정

\*\*\* 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 대학원 석사과정

### ABSTRACT

Waste gypsum is produced about 2.6million tons per year as a by-product in the process of  $\text{TiO}_2$  production. Geotechnical properties such as natural water content, specific gravity, Atterberg limits were determined to figure out the engineering characteristics waste gypsum. Grain-size distribution, compaction, CBR tests, and unconfined compression test for various mixing ratios between waste gypsum and decomposed granite soil & dredged soil. The environmentally adverse effect for mixed specimen with waste gypsum is far below than those of regulatory requirement.

---

**key word** : Waste gypsum, Geotechnical properties, Environmental effect, Recycle, pH value

### I. 서론

고도화된 산업사회에서는 대량생산과 대량소비가 필연적으로 수반되기 때문에 제반 생산 시설의 고 활용도, 원료의 대량소비가 발생된다. 따라서 부차적으로 발생하는 각종 산업폐기물에 의한 환경오염이 매우 심각한 문제로 제기되고 있다. 이러한 문제해결을 위해서는 원천적으로 산업폐기물이 발생되지 않도록 하거나, 기존의 생산공정을 재검토하여 폐기물 발생을 최소화하는 방안을 강구해야만 할 것이다. 또한 공정 상 부득이 발생하는 폐기물의 경우는 무공해 상태로 변환시키거나 부가가치가 있는 재활용 자원으로 변환시킬 수 있도록 연구를 수행하여야 한다. 본 연구에서는 건축 공업용 페인트, 인쇄 잉크, 제지, 플라스틱, 섬유, 직물, 고무, 도자기 등에 이용되는, 이산화티타늄( $\text{TiO}_2$ )을 생산하는 과정에서 발생하는 다량의 폐석고를 재활용하여 보다 값싸고 양질의 건설재료로 개발하기 위하여 폐석고의 공학적 특성 및 환경적 영향에 대하여 연구를 수행하였다.

## II. 공학적 특성시험

본 연구에서는 폐석고의 지반공학적 특성과 환경적인 영향을 알아보기 위하여 실내토질 시험과 환경실험을 실시하였다. 실내토질시험은 폐석고에 대한 기본물성시험과 폐석고를 준설토와 혼합하여 재활용할 경우의 공학적 특성을 분석하기 위하여 역학적 시험과 실내모형 실험을 실시하였다.

### 2-1. 기본물성시험

본 연구에 사용된 시료는 크게 폐석고와 해안 준설매립에 사용되는 준설매립토로 구성된다. 일반적으로 대부분의 폐석고는  $\text{TiO}_2$ 를 생산하는 황산법공정 중, 폐수를 중화하기 위해 투입되는 소석회나 석회석과의 반응에 의해 발생되며, 연간 발생량은 전국적으로 약 260만 톤 이상이 발생되고 있다. 본 연구에 사용된 폐석고는 인천광역시 서구 가좌동 소재 (주)한국티타늄에서 발생되고 있는 폐석고이며, 혼합토로 사용한 준설토는 인천 송도매립지에서 사용되고 있는 준설토를 사용하였다. 실내 기본물성시험결과 준설토는 통일분류법에 의하여 SP-SM으로 분류되며, 폐석고는 압축성이 낮은 유기질 또는 실트질 점토인 OL 또는 ML로 분류된다. 폐석고와 준설토의 기본물성치는 표 2.1에 나타낸 바와 같으며, 폐석고의 입도분포곡선과 다짐곡선은 그림 2.1과 2.2에 나타낸 바와 같다. 또한 준설토의 다짐곡선은 그림 2.3에 나타내었다.

표 2.1 폐석고와 준설토의 기본물성치

토질정수 시료	$w_n$ (%)	$G_s$	LL (%)	PL (%)	PI (%)	$\gamma_{d(max)}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)	통일분류법
폐석고	119.2	2.79	43.10	38.96	4.14	1.02	51.2	OL 또는 ML
준설토	17.4	2.66	-	NP	NP	1.56	16.75	SP-SM

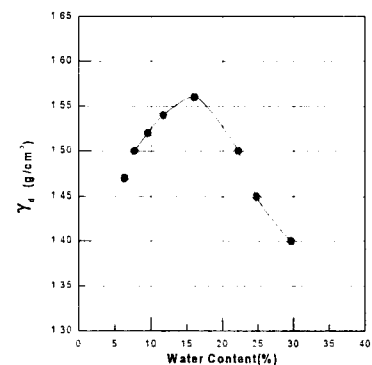
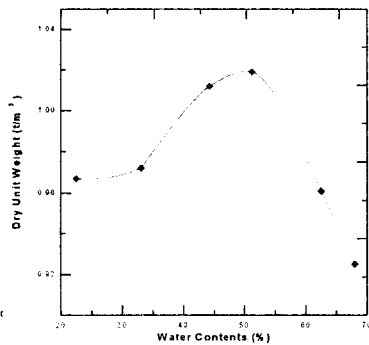
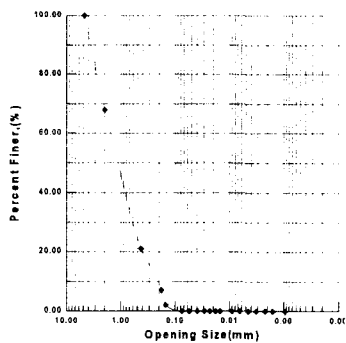


그림 2.1 폐석고의 입도분포곡선

그림 2.2 폐석고의 다짐곡선

그림 2.3 준설토의 다짐곡선

## 2-2. 혼합토의 역학적 특성시험

### 가) 혼합비에 따른 다짐시험

폐석고와 일반토사와의 혼합비에 따른 다짐특성을 연구하기 위하여, 폐석고와 화강풍화토를 각각 10%, 20%, 30%, 40%별로 혼합하여 다짐시험을 실시하였으며, 각각의 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )를 산출하였다.

시험결과는 표 2.2와 그림 2.4에 나타난 바와 같다. 그림 2.4에서 도시되어 있는 바와 같이 폐석고의 혼합비가 증가할수록 최대건조밀도는 감소하며, 최적함수비는 증가하는 것을 알 수 있다.

표 2.2 혼합비에 따른 다짐시험결과

구 분	폐석고 혼합비			
	10%	20%	30%	40%
$\gamma_{d(max)}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.81	1.76	1.72	1.68
$W_{opt}$ (%)	12.4	13.7	14.1	14.8

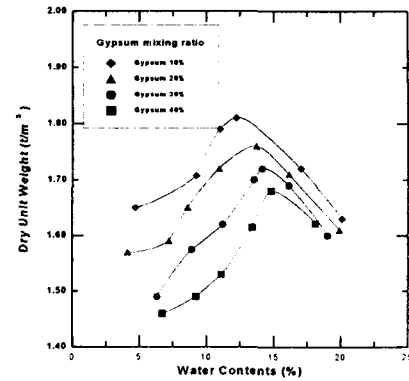


그림 2.4 폐석고의 혼합비에 따른 다짐곡선

### 나) 층구성에 따른 CBR 모형시험

폐석고의 층별 혼합에 따른 강도변화를 살펴보기 위하여 실내 CBR 시험방법을 통한 모형시험을 실시하였다. 폐석고의 층별구성은 그림 2.5와 같으며, 그림 2.6은 CBR모형시험결과를 나타낸 것으로 폐석고 층이 증가할수록 강도 또한 증가함을 알 수 있었다.

### 다) 양생일에 따른 일축압축강도시험

폐석고의 양생에 따른 단기적인 강도변화를 알아보기 위하여 각각 0일, 1일, 2일, 4일까지 단기양생을 시킨 후, 일축압축강도시험을 실시하였다. 시험결과는 그림 2.7에 나타난 바와 같으며, 양생기간이 일축압축강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

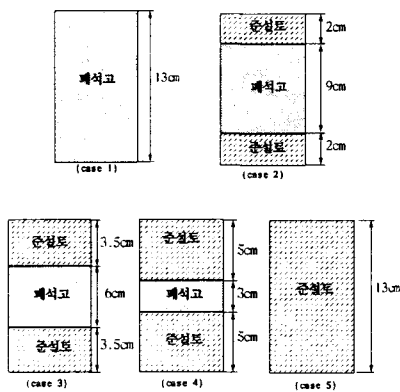


그림 2.5 CBR모형시험 층구성

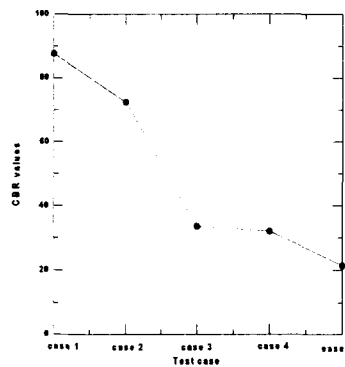


그림 2.6 CBR시험결과

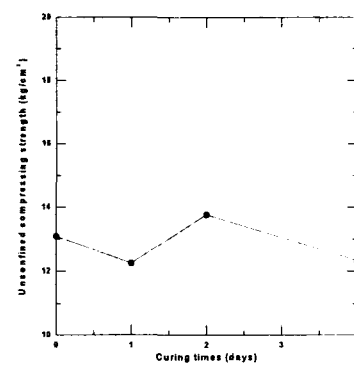


그림 2.7 양생일에 따른 일축압축강도

### III. 환경적 영향분석 시험

#### 3-1. 용출시험에 의한 폐석고의 유해성조사

폐석고가 환경적으로 유해한 요소가 함유되어 있는지 알아보기 위하여 용출 시험을 실시하였다. 용출시험은 KSM 방법 및 TCLP 시험방법에 의거하여 실시하였고, 6개 중금속에 대한 농도를 측정하였다. 용출액 중의 농도를 측정한 결과는 표 3.1과 같으며, 전 항목에서 미국 RCRA기준과 국내기준치보다 낮은 측정치를 나타냈다.

#### 3-2. pH시험에 의한 폐석고의 환경영향분석

폐석고의 pH값을 각각 0일, 3일, 7일, 14일, 21일로 나누어 측정하여 양생별 pH값의 변화를 관찰하였다. 폐석고와 준설토를 혼합하여 각각 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 100%로 혼합하여 pH를 측정하였다. 혼합비와 양생일에 따른 pH시험결과는 그림 3.1에 나타낸 바와 같으며, 준설토의 pH값이 폐석회의 혼합으로 감소되는 것을 알 수 있다. 혼합비에 따른 pH값 분포는 거의 일정한 값을 나타냈다. 따라서 폐석고는 양생기간 및 준설토와의 혼합비별에 따른 pH값의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

표 3.1 용출시험 결과와 유해성 평가기준

검사항목 (mg/l)	기 준		연구 결과	
	국내 기준	RCRA 기준	KSM	TCLP
납	3.0	5.0	0.346	0.385
카드뮴	0.3	1.0	0.080	0.029
6가크롬 화합물	1.5	5.0	0.065	0.107
구리	3.0	-	0.020	0.047
수은	0.005	0.2	불검출	불검출
비소	1.5	5.0	불검출	불검출

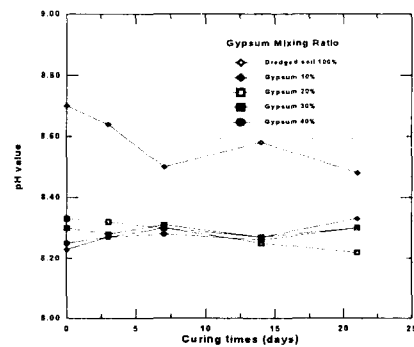


그림 3.1 양생일과 혼합비에 따른 pH변화

### IV. 결론

1. 폐석고는 통일분류법으로 OL 또는 ML이며, 비중은 일반적인 흙보다도 높게 나타났다. 액성한계(LL)는 각각 43.1%, 소성한계(PL)는 38.96%이며, 소성지수(PI)는 4.14%로 나타났다. 또한 폐석고의 최적함수비는 51.2%이고 최대건조밀도는  $1.02\text{g/cm}^3$ 로 나타났다.
2. 폐석고의 혼합비에 따른 다짐특성은 혼합비가 증가할수록 최적함수비는 증가하며, 최대건조밀도는 감소하는 경향을 보였다. 또한 CBR 모형시험결과 폐석고층이 증가할수록, 강도 또한 증가함을 알

- 수 있었으며, 양생일에 따른 일축압축강도는 양생일에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
3. 폐석고의 용출시험을 실시한 결과, 전 항목에서 미국 RCRA기준과 국내기준치보다 낮은 측정치를 나타냈으며, pH값은 양생일 및 혼합비에 대하여 큰 변화가 없는 것으로 판명되었다.

#### 참 고 문 헌

1. B. M. Das(1998) "*Principles of Geotechnical Engineering*" 4th Ed. PWS
2. J. K. Mitchell(1993) "*Fundamental of Soil Behavior*" Second Ed. Johns Wiley & Sons
3. "폐석고를 활용한 매립성토재 개발에 관한연구" 인천대학교, 연구보고서 ICGE-97-06-01, 1997
4. B. M. Das, 신은철 역(1999) "토질역학" 제 3판, 구미서관