

세립재의 유무에 의한 조립재료의 강도특성 연구

A Study on Strength Characteristics of Sand and Gravel with/without Fines

임은상¹⁾, Eun-Sang Im, 신동훈²⁾, Dong-Hoon Snin, 조성은¹⁾, Seong-Eun Cho, 전제성¹⁾, Jea-Seong Jeon

¹⁾한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원, P. Researcher, Geotech.&Struct. Research Center, Kwater

²⁾한국수자원공사 수자원연구원 팀장, Head. Researcher, Geotech.&Struct. Research Center, Kwater

SYNOPSIS : In this study, large triaxial compression tests of sand-gravel soils were carry out to clarify the influence of fines on shear strength characteries. Two soil specimens with/without fines that is used for construction material of dam were prepared. One was reproduced with wide range of grain size and the other was removed fines below 2mm from the one. The compaction tests proposed by our center were performed to obtain relative density of the specimens, and then each specimen was adjusted two dry density. The large triaxial compression tests were carry out under CD condition. Based on the results, the sand-gravel soils with low fines content has no effect on shear strength characteries.

Key words : large triaxial compression tests, sand-gravel soils, fines, shear strength characteries, CFGD

1. 서 론

최근 댐의 대규모 성토구조물을 축조하는데 있어서 경제성과 친환경성이 댐의 형식을 결정하는데 중요한 조건이 됨에 따라서 댐 수몰지의 모래·자갈을 이용한 축조형식인 표면차수벽형 사력댐(CFGD)을 축조하는 경우가 증가하고 있다. 특히, 이 CFGD는 콘크리트 차수벽 및 차수벽 지지층의 차수효과로 인해 댐체 내부에 간극수압이 발생하지 않아 시공이 용이하며, 지진시에도 매우 안정한 댐형식으로 알려져 있다. 그러나 1993년 8월에 중국의 Gouhou댐(H=84m)의 경우에는 빈입도의 하상 사력재료를 사용하였기 때문에 댐체의 투수성이 좋지 않아서 차수벽을 통한 누수로 인하여 붕괴되는 사례가 발생하였다. 이와 같이 차수벽에 균열이 발생하여 과다한 누수가 발생하는 수 있기 때문에 배수존의 설치하여 댐체의 안전을 도모할 필요성 대두되었고, CFGD설계 시에 세립분을 제거한 배수층의 설계하는 개념이 도입되었다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 CFGD의 주 축조재료인 사력재료에서 2mm이하의 세립분을 제거한 축조재료에 대한 대형삼축압축시험을 수행하여, 세립분의 유무에 의한 강도특성을 파악하는데, 본 연구의 목적이 있다.

2. 기본물성시험 및 다짐시험

2.1 시료 및 기본 물성시험

본 연구에 사용된 시료는 댐 축조재료를 사용하였는데, 이 원입도의 최대입경은 500mm로서 공시체의 직경이 300mm인 대형삼축시험기에서 시험을 수행할 수 없기 때문에 시험이 가능한 입경인 최대입경 50mm로 상사하여 제조한 사력이며, 배수존으로 설계된 시료는 상기의 시료에서 원입도의 2mm에

해당하는 상사입경인 0.2mm이하를 제거하여 재형성하였다.

본 연구에 사용된 시료 및 입도분포는 그림 1과 같으며, 기본물성시험 결과는 표 1에 나타냈다.

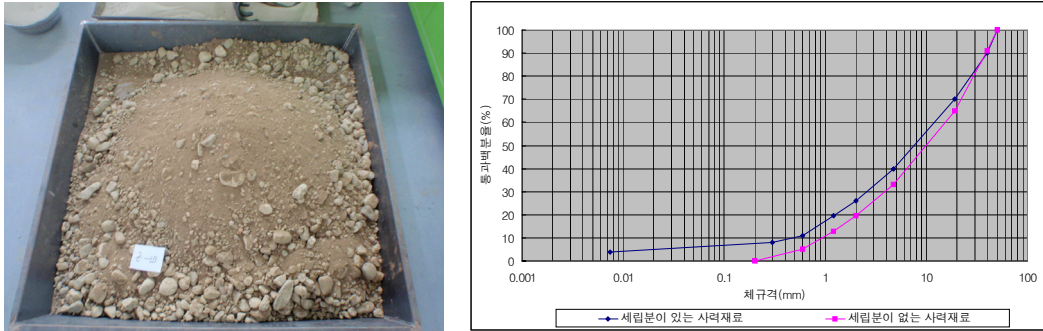


그림 1. 사용 시료 및 입도분포

표 1. 기본 물성 시험 결과

	비중	흡수율	마모율(%)	최대밀도(t/m ³)	균등계수	곡률계수	비 고
세립분 유	2.650	0.65	32.1	2.195	22	1.14	
세립분 무	2.600		30.8	2.194	16	0.79	

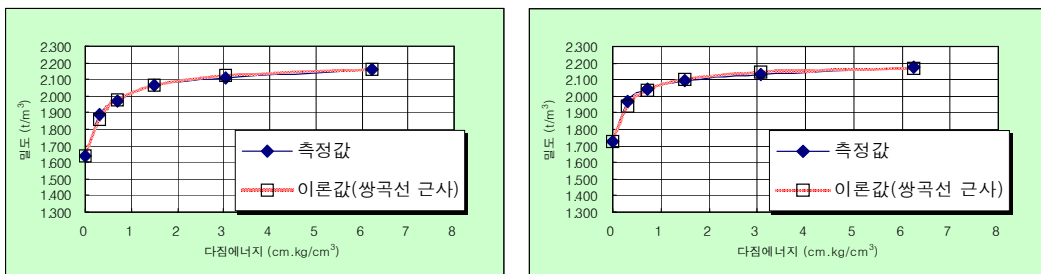
2.1 다짐 시험

본 연구에서는 다짐에너지를 0~5.562 kgf·cm/cm³로 변화시켜 가며 다짐시험을 실시하여 얻어진 다짐에너지와 밀도의 관계를 식(1)과 같이 쌍곡선(Hyperbola)에 근사시켜 이론적으로 가능한 최대 밀도값을 산정하였다. 실험계수 a와 b는 식(1)을 식(2)와 같이 선형화하여 산정하였다.

$$\gamma_d = \frac{E_c}{a + b \cdot E_c} \quad (1)$$

$$\frac{E_c}{\gamma_d} = a + b \cdot E_c \quad (2)$$

여기서, γ_d : 건조밀도 (tf/m³), E_c : 다짐에너지, a 및 b : 실험계수이며, 다짐시험결과를 그림 2에 보였다.



a. 세립분이 있는 사력재료

b. 세립분이 없는 사력재료

그림 2. 다짐시험결과

3. 대형삼축압축시험

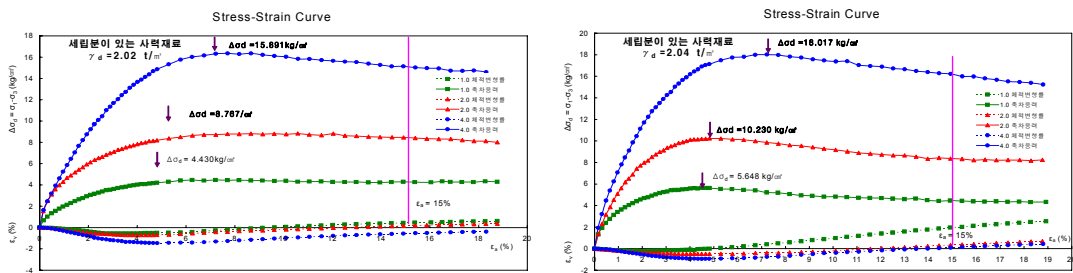
본 연구에서 사용한 대형삼축압축시험기는 댐 공사는 물론 방파제 등의 항만공사, 철로공사, 도로공사 및 기타 흙막이 공사 등 조립재료를 사용하는 지반구조물의 설계·시공 및 안정성 평가 등에 활용하기 위하여 신동훈(2001)이 개발한 시험기로서 공시체의 직경 300mm, 높이 600로 최대입경 50mm까지 실험이 가능한 있는 시험기이다.

3.1 시험 개요

두 시료가 동일 초기밀도와 상대밀도 조건에서 세립분유무의 영향을 검토하기 위하여 초기밀도를 2 가지로 달리한 한 총 4 Case에 대하여 구속압은 1, 2, 4 kg/cm²로 압밀배수시험을 수행하였다.

3.2 시험 결과 및 분석

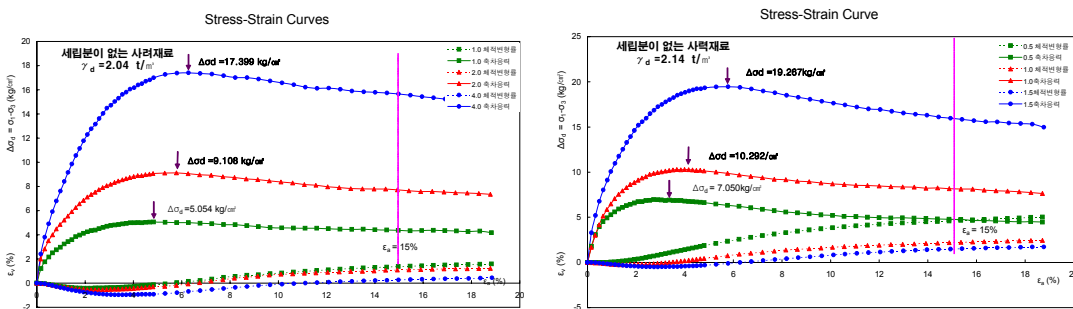
세립분이 있는 사력재료와 세립분이 없는 사력재료의 응력-축변형률 관계와 체적변형률-축변형률 관계를 각각 그림 3과 4에 나타냈다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 동일한 시료에서는 초기밀도가 큰 경우의 체적변위가 크게 팽창할 뿐만 아니라 최대 축차응력이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 축조 시의 다짐관리가 얼마나 중요한지를 보여주는 결과라고 하겠으며, Dilatancy에 의한 강도증가의 영향에 대해서는 추후에 검토하도록 하겠다.



(a) 초기밀도 : 2.02 (t/m³)

(b) 초기밀도 : 2.04 (t/m³)

그림 3. 세립분이 있는 사력재료의 응력-변형률 곡선



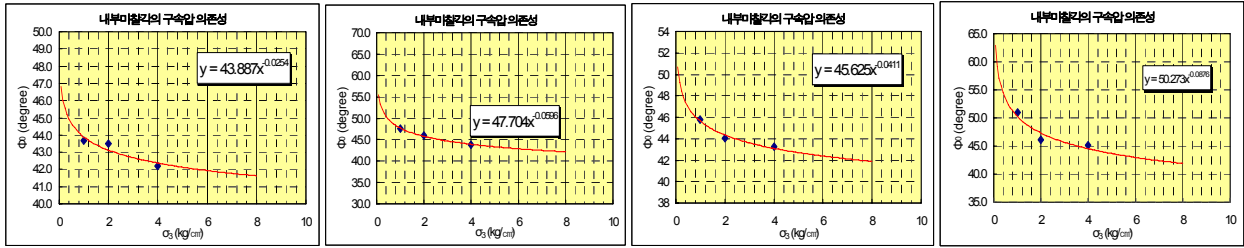
(a) 초기밀도 : 2.04 (t/m³)

(b) 초기밀도 : 2.14 (t/m³)

그림 4. 세립분이 없는 사력재료의 응력-변형률 곡선

또한, 각 Case에 대한 내부마찰각의 구속압 의존성을 검토하기 위하여 각 구속압에서의 내부마찰각을 산정하여 그림 5에 나타냈으며, 이 구속압 의존성에 대한 상대밀도의 관계를 살펴보기 위하여 지수함수로 회귀분석한 관계식에서 초기내부마찰각 ϕ_0 와 구속압 10 kg/cm²에서의 내부마찰각을 구하여 그 차이

를 내부마찰각차 $\Delta\phi$ 로 정의하여 상대밀도와와의 관계를 그림 6에 나타냈다. 또한, 초기밀도가 공시체의 초기체적 V_0 과 압밀량 ΔV 의 비로 정의한 압밀도 $\Delta V/V_0$ 에 미치는 영향을 그림 7에서 검토하였고, 대형 삼축시험의 결과 요약을 표 2에 나타냈다.



(a) 세립분유 2.02(t/m³) (b) 세립분유 2.04(t/m³) (c) 세립분무 2.04(t/m³) (d) 세립분무 2.14(t/m³)
그림 5. 내부마찰각의 구속압 의존성

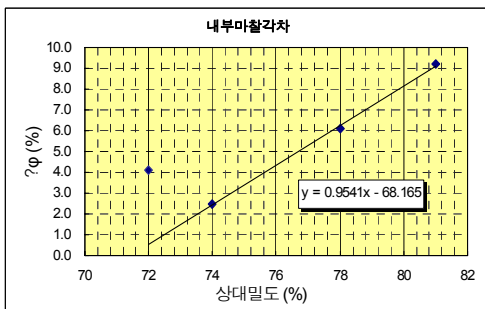


그림 6. 상대밀도-내부마찰각차 관계

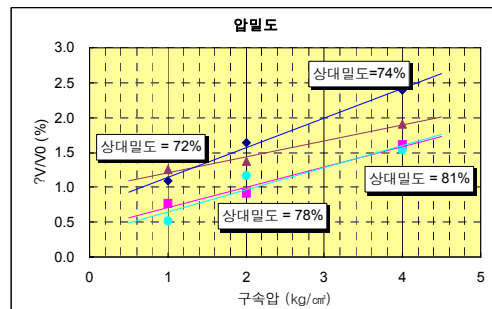


그림 7. 상대밀도별 압밀도

표 2. 대형 삼축압축 시험결과 요약표

	Density (t/m ³)	상대밀도 (%)	강도정수		ϕ_0 (°)	$\Delta\phi$ (°)	$\Delta V/V_0$ (%)			비 고
			c(t/m ²)	ϕ (°)			1	2	4	
세립분유	2.02	74	1.57	41.5	43.9	2.5	1.10	1.64	2.39	저밀도
	2.04	78	3.86	42.2	47.7	6.1	0.77	0.91	1.61	고밀도
세립분무	2.04	72	2.04	42.3	45.6	4.1	1.25	1.38	1.91	저밀도
	2.14	81	5.09	42.8	50.3	9.2	0.52	1.17	1.54	고밀도

상기의 대형 삼축압축 시험결과를 종합하여 살펴보면, 강도정수 특히 내부마찰각에 있어서는 세립분의 유무에 관계없이 초기밀도에 비례하는 것을 확인할 수 있는데 이는 제거되었던 세립분이 전체 중량의 8%정도로 비교적 그 양이 적기 때문일 가능성이 있기 때문에 차후 이를 확인하기 위한 시험을 수행할 계획이며, 압밀도의 경우에는 1 kg/cm² 구속압에서 상대적으로 많은 압밀이 발생한 세립분이 없는 시료의 저밀도를 제외하면 상대밀도에 관계없이 일정한 기울기를 보이는 것을 확인하였다. 또한, 내부마찰각차의 경우 역시 세립분이 없는 시료의 저밀도를 제외하면 아주 좋은 비례관계를 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 세립분의 중량비가 8%정도인 사력재료의 경우에는 이 세립분을 제거하더라도 강도특성에 큰 영향이 미치지 않는다는 것을 확인하였으며, 추후 세립분의 혼합율에 따른 강도특성에 대한 연구를 추가할 계획이다.