낙동강유역 시멘트혼합토의 강도특성
Strength characteristics of cemented sand of Nak-dong river

김영수[1], Young-Su Kim, 정우섭[2], Woo-seob Jeong
김기영[3], Ki-Young Kim, 이상웅[4], Sang-woong Lee

[1] 경북대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, KNU
[2] 경북대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, KNU
[3] 한국수자원연구소 선임연구원, Member, Senior Researcher, DSRC/KIWE
[4] 일진인터내셔날(주) 부장, Department manager, Iljin international corp.

SYNOPSIS : There were huge damages of human beings and their properties in many areas of the basin of the Nak-Dong river by the unusual weather and the localized downpour recently.

In this research against disasters, we want to know the special quality of strength of the cemented sand that is mixed with cement and poor-graded sand which is the materials of riverbed in the basin of the Nak-Dong river as levee's material.

For that, we want to provide the fundamental data which need in the examination of adaptation of levee's material, design and analysis by investigating compressive strength by curing period and cement ratio, elastic modulus and stress by transformation from compaction test, CBR test, unconfined compression test, triaxial compression test as changing ratio of sand and cement from 2% to 8% at two points in the basin of the Nak-Dong river.

Key words : Levee, Cemented sand, Unconfined compression test, Triaxial compression test

1. 서 론

낙동강유역의 경우 지구의 온난화에 의한 이상홍수와 제방의 노후화에 따른 홍수시 제방의 붕괴로 해마다 인명 및 재산의 피해가 급증하고 실정이다. 예로서, 2000년 봉산제, 2002년 백산제 및 2003년 미천제등의 붕괴로 인해 막대한 피해가 발생하였다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 제방설계기준은 안전측면에서 충분한 검증이 미흡한 상태이며, 제방의 유지관리 및 안전진단 기술 또한 선진국에 비해 미숙하며 수준이 낮은 실정이다.

제방자체를 이용한 치수안전도를 극대화시키기 위해서는 제방설계기술의 개발이 필수적이다. 제방설계기술이란 단지 설계기준에 제시되어 있는 계획홍수량에 따른 제방단면의 크기를 결정하여 간단한 안정성검토를 수행하는 것만을 의미하는 것은 아니며 제방은 하천의 일부이며 하천이 구간마다 고유의 특성을 가지고 있듯이 제방도 그 형상이나 축조재료에 다양한 특성을 가질 수밖에 없다. 이러한 특성을 설계에 반영시키기 위해서는 각각의 특성을 고려하여 설계할 수 있는 기초기술이 필요하다.

축조재료의 선택에 있어 경제성과 시공성을 고려한 하상 및 하안재료의 사용, 규정에 적합하지 않는 재료의 사용으로 인한 안정성, 누수등 여러 가지 문제발생가능성의 검토가 필요할 것이다. 그러므로, 제체재료에 따라서 어떤 재료를 사용하여 어떻게 다짐을 하고 이로 인해 안정성이 얼마나 증가하며 얼마나 경제적인 효과를 기대할 수 있는 방법을 제시할 수 있는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 하천제방

의 축조재료로서 CSG(Cemented Sand and Gravel)공법의 적용성을 평가하기 위해 낙동강유역의 두 지역을 선정하여 공학적 성질을 평가하였다.

2. 실내시험

2.1 시료채취 및 선별

실내시험에 사용할 하상재료의 채취를 위하여 낙동강 유역의 성주대교 및 경남 창녕의 장천제 지역을 선정하였다. 낙동강 유역의 하상재료는 육안상으로 대부분 입도가 균등한 모래로 구성되어 있으나 선별되지 않은 하상재료를 모재료로 하는 CSG공법의 특성의 반영을 위해 실내시험 및 현장시공시 최소한의 혼합 및 선별을 통한 모재료의 확보가 가능한 지역을 선정하였다. 사진 1과 같이 대상지역의 표토를 대략 1m 정도 제거하고 잡초 및 기타 불순문을 장비와 인력을 동원하여 제거하였다. 실내시험에서 사용되는 재료의 최대입경은 시험장비의 규모에따라 달라지나 다짐시험 및 강도시험시에 사용되는 최대입경은 약 40mm이하로 제한하고 있다. 낙동강유역의 두지점에서 채취한 시료의 경우 입자의 크기가 충분히 작으므로 선별과정을 거치지 않았다.

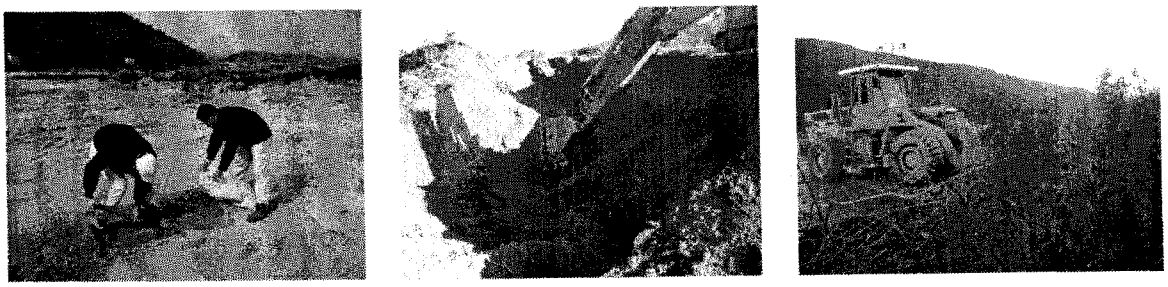


사진 1. 실내시험을 위한 시료채취장면

2.2 기본물성시험

성주대교 및 장천제에서 채취한 하상재료의 기본적인 물리특성 및 입도분포 결과는 그림 1 및 표 1과 같다. 균등계수는 1.5-2.1, 곡률계수는 0.8-1.1의 범위로 입도분포가 균등하며 통일분류법상 SP에 해당한다. 낙동강 본류에 위치한 두지역은 입도분포의 편차가 크게 나타나지는 않았지만 낙동강유역의 하상재료의 대표적 특성을 나타내므로 두지역의 입도를 기준으로 실내시험을 실시하였다.

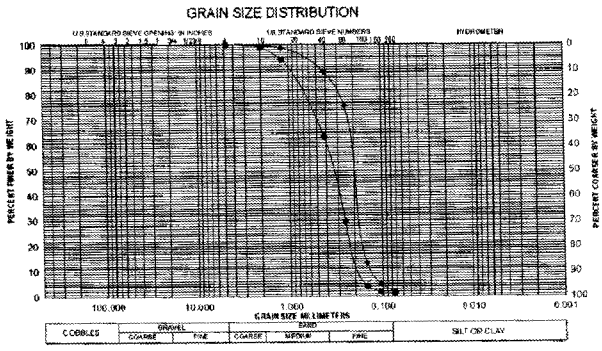


그림 1. 입도분포곡선

표 1. 낙동강유역시료의 물리적 특성

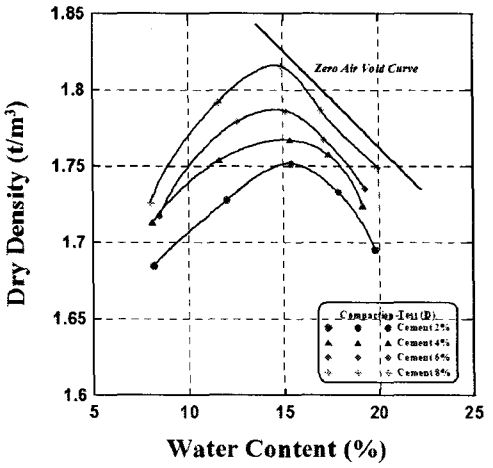
항목 \ 위치	성주대교	장천제
비중(Gs)	2.67	2.68
유효입경(D_{10}, mm)	0.19	0.14
균등계수(C_u)	2.1	1.5
곡률계수(C_g)	0.8	1.1
시멘트 비중(G_s)	3.15	3.15
USCS	SP	SP

2.3 다짐 및 CBR시험

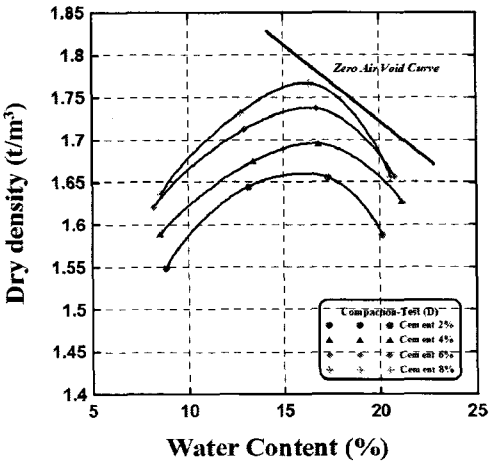
강도시험을 위한 재료의 성형을 위해 시멘트혼합비를 2%, 4%, 6% 및 8%로 달리하여 수정다짐[KSF 2319]에 의한 다짐시험을 실시하고 각 단위시멘트량에 따른 최대건조단위중량 및 최적함수비를 도출하였다. 아래 그림 2는 시멘트혼합비를 변화시켜 실시한 다짐시험결과를 도시한 것으로 시험결과 시멘트혼합비가 다짐특성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 표 2와 같이 최적함수비는 대략 13.9~15.7% 정도이며, 최대건조단위중량은 1.65 - 1.81ton/m3로 시멘트혼합비에 따라 약간의 차이는 있으나 거의 비슷한 범위의 값을 가지는 것으로 나타났다.

표 2. 다짐 및 CBR시험 결과

구분	시멘트 혼합비	최적함수비 (%)	최대건조단위중량 (t/m^3)	CBR (%)
성주대교	2%	14.2	1.74	86
	4%	14.0	1.77	107
	6%	15.1	1.78	89
	8%	13.9	1.81	209
장천제	2%	15.1	1.65	79
	4%	15.7	1.70	123
	6%	15.3	1.73	120
	8%	15.1	1.76	107.7



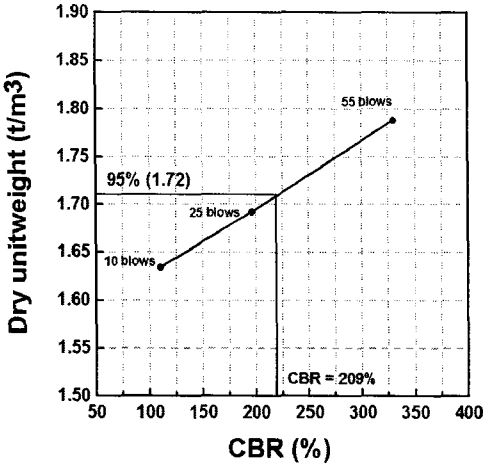
(a) 성주대교 (D 다짐)



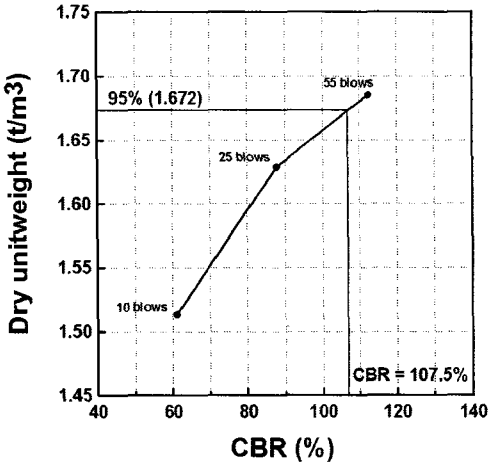
(b) 장천체 (D 다짐)

그림 2. 시멘트혼합비에 따른 다짐시험결과

하천제방설계기준(2002)에서 제시하는 지지력비를 평가하기 위해 CBR시험을 실시하였으며 시멘트혼합비의 증가에 따라 뚜렷한 경향은 없지만 증가양상이 나타났다. 상대적으로 입자의 크기가 크며 양입도인 성주대교지점이 지지력비의 편차가 심한 것으로 나타났다. 그림 3은 각각 성주대교지점과 장천제 지점시료에 대한 시멘트혼합비가 8%일 때 CBR시험의 결과를 나타내고 있다.



(a) 성주대교 8%



(b) 장천제 8%

그림 3. 시멘트혼합비에 따른 다짐시험결과

2.4 강도시험

강도시험은 다짐시험에서 구해진 최적함수비와 최대건조단위중량을 기준으로 규격화된 몰드(직경 15cm* 높이 30cm)를 이용하여 공시체를 성형한 후 재령별로 일축압축시험 및 삼축압축시험등을 실시하게 된다. 이러한 강도시험은 대상 구조물의 허용설계기준을 만족하는 가장 합리적인 시멘트혼합비를 결정하기 위한 것으로 경제성과 시공성에 직접적인 영향을 미치게 되는 점에서 중요한 실내시험 항목이다. 특히 CSG 공법설계가 주로 탄성해석으로 이루어지는 만큼 강도시험을 통한 재료의 탄성계수 측정에 신중을 기해야 한다. 표 3은 일본의 연구동향을 기준으로 살펴본 공시체 제작방법과 CSG 공법과 유사한 미국 RCC 공법의 배합설계에서 추천하고 있는 표준공시체 제작방법을 요약한 것이다.

표 3. 강도시험시 CSG 재료의 표준공시체 제작

일 본	미 국
□ 재료준비 ·CSG재료는 목표한 시험입도가 되도록 입경별로 계량. ·스크린 작업을 통해 최대입경은 40mm로 제한. □ 다짐기계 ·가진력 : 140-150kg (50-60Hz) ·회전수 : 3000-3600회/분 □ 공시체제작 ·공시체 치수 : 지름 150mm, 높이 300mm ·재료분리가 생기지 않게 3층으로 나누어 다짐 ·각층을 다짐봉으로 15회 다진후 진동탬퍼로 약 1분간 다짐 □ 양생 ·20°C 항온실에서 양생 ·3일, 7일 28일, 91일 양생후 강도시험	□ Proctor test(ASTM D 1557) ·비교적 넓은범위의 혼합 Workability에 사용. ·Workability의 성질이 변화될 수 있음. □ Hilti or Kango vibrating method(ASTM C 1435) ·습윤범위내의 Workability에 적합 ·현장다짐 시험장비와 유사한 조건을 재현할 수 있음. ·일반적으로 3층 다짐으로 실시, 4-5층 으로 분할다짐 가능. □ Pneumatic tamper method ·ASTM 기준에 명시되어 있지 않음. ·습윤범위내의 Workability에 사용. ·실내시험자가 쉽게 사용하기 어려움. ·현장조건을 재현하기 쉽지 않음.

일축압축시험의 경우 시멘트혼합비의 변화에 대한 강도특성을 파악하기 위하여 시멘트혼합비를 2%, 4%, 6% 및 8%로 나누어 시험을 수행하였으며, 각 시멘트혼합비에 대한 재령을 3일, 7일 그리고 28일로 달리하여 강도특성을 평가하였다. 각 재령별로 3개의 공시체를 제작하여 실험시 오차를 줄였으며 삼축압축시험 역시 일축압축시험과 동일한 시멘트혼합비를 적용하고 재령은 7일 강도만을 고려하여 실시하였다. 표 4는 본 연구에서 수행한 강도시험의 종류를 요약한 것이다.

표 4. 강도시험 종류

시멘트 혼합비	일축압축시험			삼축압축시험		
	재령			재령	구속압(kpa)	압밀 및 배수조건
2%	3일 (No.1-3)	7일 (No.13-15)	28일 (No.25-27)	7일	50, 100, 200	등방, 배수(CD)
4%	3일 (No.4-6)	7일 (No.16-18)	28일 (No.28-30)	7일	50, 100, 200	등방, 배수(CD)
6%	3일 (No.7-9)	7일 (No.19-21)	28일 (No.31-33)	7일	50, 100, 200	등방, 배수(CD)
8%	3일 (No.10-12)	7일 (No.22-24)	28일 (No.34-36)	7일	50, 100, 200	등방, 배수(CD)

2.5 기타시험

이밖에 시멘트혼합토의 제체재료로서의 적용성을 평가하기위해 제체의 투수성파악을 위한 실내투수시험, 유속에 의한 유수저항시험, 온도변화에 따른 내구성을 판단하는 급속동결융해시험 그리고 내화학성시험 등이 있다. 그리고 수질 및 주변환경에 미칠수 있는 영향의 평가를 위한 페놀시험등이 필요할 것으로 판단된다.

3. 실내시험의 결과 및 고찰

3.1 일축압축시험

3.1.1 재령-시멘트혼합비-일축압축강도관계

시멘트량에 상관없이 재령 7일 강도는 재령 28일 강도의 약 60% 이상 수준으로 나타나고 있으며, 이러한 경향은 일본 토목기술(2000.7) 자료의 CSG 강도특성에 관한 연구결과와 유사하다. 이 연구에서 재령과 강도증가는 서로 비례하며 단위시멘트량 80kg/m^{3}을 기준으로 재령 28일 강도는 7일강도의 약 2배 92일 강도는 약 3배 가량 증가하는 것으로 나타났다.

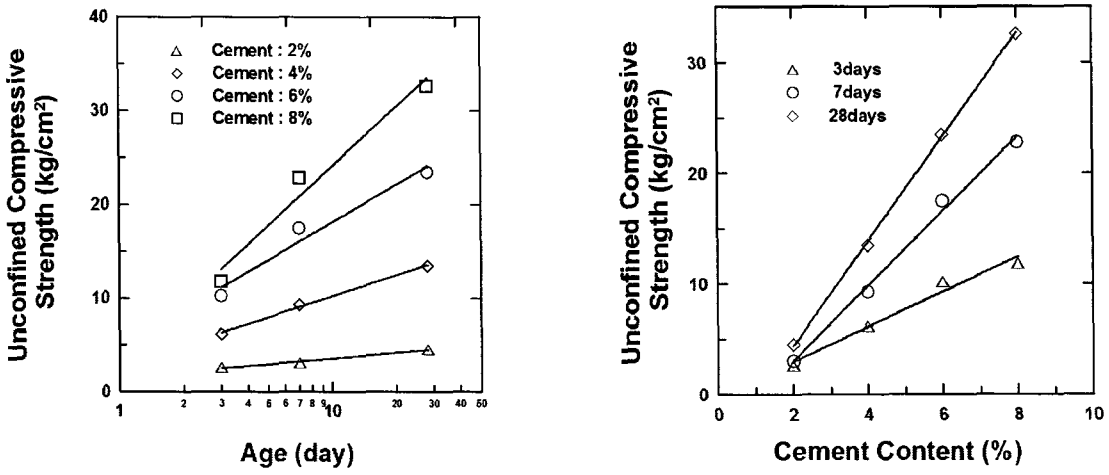


그림 4. 재령-시멘트혼합비-일축압축강도

표 5는 재령에 따른 일축압축강도와의 관계에 대해 상관식을 수립하였다. 성주대교 및 장천제 지점의 상관계수는 0.95이상으로 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

표 5. 재령(X)-일축압축강도(Y) 상관관계

위치	시멘트혼합비	상관식(일축압축강도)	R^2
성주대교 (재령 : 3~28일)	2%	Y = 0.88 * ln(X) + 1.53	0.97
	4%	Y = 3.24 * ln(X) + 2.73	0.99
	6%	Y = 5.76 * ln(X) + 4.79	0.96
	8%	Y = 9.10 * ln(X) + 3.06	0.97
장천제 (재령 : 3~28일)	2%	Y = 0.96 * ln(X) + 0.83	0.99
	4%	Y = 1.86 * ln(X) + 2.62	0.95
	6%	Y = 3.51 * ln(X) + 4.26	0.99
	8%	Y = 6.91 * ln(X) + 2.92	0.97

일본 토목기술(2000.7) 자료에 의하면 단위시멘트량을 20-100kg/cm^{3}으로 변화시켜 고찰한 일축압축강도의 경우 시멘트량이 증가함에 따라 일축압축강도는 증가하지만 단위시멘트량이 커질수록 강도의 오차범위가 크게 나타나는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구결과에서는 시멘트혼합비의 증가에 따라 강도증가는 비례하여 증가하지만 강도편차의 범위는 크게 나타나지 않았다.

표 6은 재령에 따른 일축압축강도와 시멘트혼합비의 상관 관계식을 나타낸 것으로 각 인자별 상관성은 0.97-0.99로 매우 높게 나타났다. 균등한 입도분포 및 작은 입자의 크기가 상관성을 증가시킨 것으로 판단된다.

표 6. 시멘트혼합비(X)-일축압축강도(Y) 상관관계

위치	재령	상관식	R^2
성주대교 (시멘트혼합비 : 2~8%)	3일	Y = 1.58 * X - 0.22	0.97
	7일	Y = 3.37 * X - 3.68	0.99
	28일	Y = 4.71 * X - 5.05	0.99
장천제 (시멘트혼합비 : 2~8%)	3일	Y = 1.34 * X - 0.795	0.98
	7일	Y = 2.50 * X - 2.775	0.98
	28일	Y = 3.57 * X - 4.395	0.97

3.1.2 재령-시멘트혼합비-탄성계수관계

본 연구에서 도출된 탄성계수는 초기 변형률에서 나타나는 곡선부를 제외하고 선형구간의 기울기만을 고려하여 도출하였으며 그 상관성이 모든 시멘트혼합비에 대하여 0.88-0.94로 만족할만한 수준을 나타내었다. 그림 5는 시멘트혼합비와 탄성계수와의 관계를 재령별로 도시한 것으로 시멘트혼합비와 탄성계수는 서로 비례하고 있음을 확인할 수 있다.

재령과 탄성관계의 상관계수는 0.84-0.99로 시멘트혼합비와 탄성계수의 상관계수인 0.93-0.99보다 낮게 나타나 상관성이 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났다.

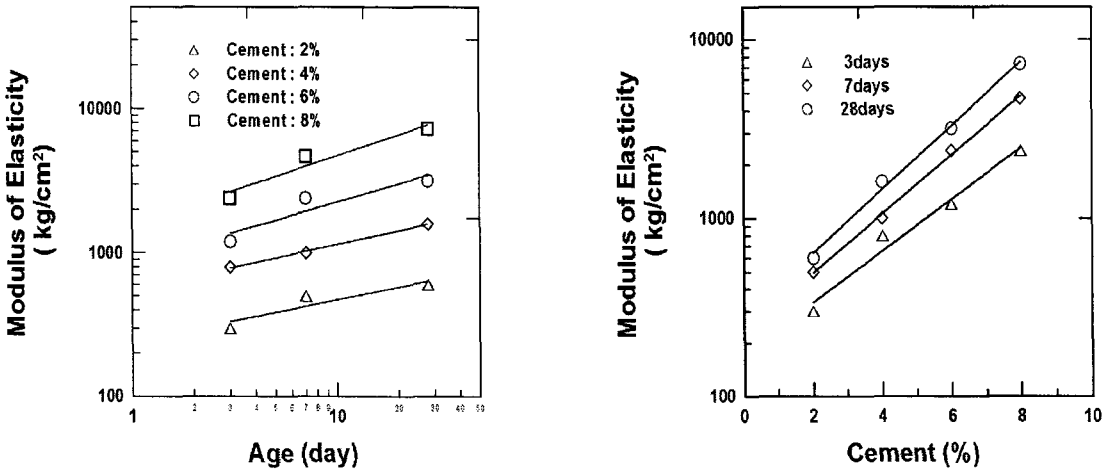


그림 5. 재령 및 시멘트혼합비에 따른 탄성계수의 변화

표 7. 재령(t)-탄성계수(E)(kg/cm^2) 상관관계

위치	시멘트혼합비	상관식(탄성계수)	R^2
성주대교 (재령 : 3~28일)	2%	ln(E) = 0.29 * ln(t) + 5.48	0.84
	4%	ln(E) = 0.31 * ln(t) + 6.32	0.99
	6%	ln(E) = 0.42 * ln(t) + 6.76	0.87
	8%	ln(E) = 0.48 * ln(t) + 7.36	0.93
장천제 (재령 : 3~28일)	2%	ln(E) = 0.14 * ln(t) + 5.51	0.86
	4%	ln(E) = 0.06 * ln(t) + 6.61	0.86
	6%	ln(E) = 0.31 * ln(t) + 6.60	0.99
	8%	ln(E) = 0.42 * ln(t) + 7.06	0.95

표 8. 시멘트혼합비(c)-탄성계수(E)(kg/cm^2) 상관관계

위치	재령	상관식(탄성계수)	R^2
성주대교 (시멘트 혼합비 : 2~8%)	3일	ln(E) = 0.33 * c + 5.15	0.97
	7일	ln(E) = 0.38 * c + 5.44	0.99
	28일	ln(E) = 0.41 * c + 5.64	0.99
장천제 (시멘트 혼합비 : 2~8%)	3일	ln(E) = 0.27 * c + 5.33	0.93
	7일	ln(E) = 0.37 * c + 5.04	0.98
	28일	ln(E) = 0.40 * c + 5.19	0.99

3.2 삼축압축시험

3.2.1 축차응력-축변형률-체적변형률 관계

그림 6과 그림 7은 각각 축차응력-축변형률 및 체적변형률-축변형률의 관계를 도시한 것이다. 구속응력의 증가에 따라 축차응력의 증가양상이 뚜렷하며 변형초기에 거의 선형적인 강도의 증가를 보인후 소성상태에 가까운 거동을 나타낸다. 전반적인 거동양상이 시멘트혼합비가 적을 때 최대강도가 뚜렷하지 않고 소성거동을 보이는 반면 시멘트혼합비가 8%일때는 최대강도이후 연화현상을 보이고 있다.

성주대교지점의 시료와 시멘트의 혼합토가 장천제지점보다 구속응력에 대한 축차응력의 증가가 더 크게 나타났으며 입도에 의한 마찰저항의 증가에 의한 것으로 추정된다.

시멘트혼합비에 따라 조금씩의 차이는 있으나 대부분 축변형률이 1%-1.5% 범위에서 최대강도가 발현되고 있음을 알 수 있다. Coop & Atkinson(1993)은 시멘트가 첨가된 흙의 거동양상을 크게 세 가지로 대분하고 있는데 그 중 하나의 양상으로 시멘트의 접착강도에 비하여 낮은 구속압에서 전단될 경우 응력-변형곡선의 최대축차응력은 매우 작은 변형률에서 발생한다고 발표한 바 있다. 이러한 경향은 Fernando Schnaid et. al(2001)의 삼축시험을 이용한 시멘트 함유 모래의 강도특성 연구에서 찾아볼 수 있으며 시멘트량을 1, 3, 5%로 변화하여 실시한 배수시험결과 시멘트의 양이 증가할수록 최대강도는 크게 나타나며, 시멘트량에 상관없이 축변형률이 2% 내에서 최대강도가 발현되고 이후 급격한 파괴가 발생된다고 발표한 바 있어 본 연구결과와 매우 비슷한 경향을 보였다.

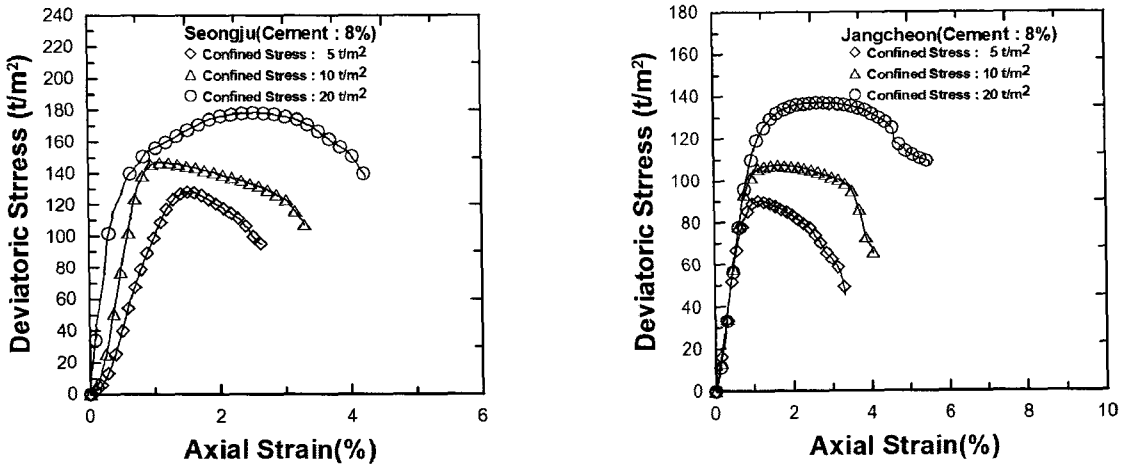


그림 6. 축차응력-축변형률 관계

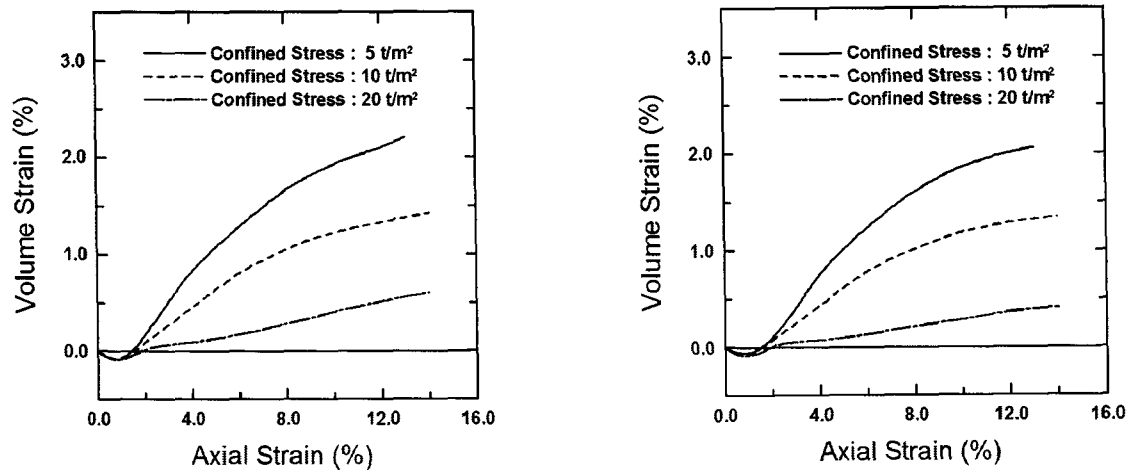


그림 7. 체적변형률-축변형률 관계

3.2.2 강도정수

표 9는 각 시멘트혼합비에 따른 강도정수를 요약한 것으로 시멘트혼합비가 증가할수록 유효내부마찰각은 약 35-40°의 범위로 명확하지 않으나 점착력은 시멘트혼합비의 증가에 따라 증가양상이 뚜렷하게 나타났다. 그림 8과 같은 응력경로를 이용한 강도정수의 평가에서 성주대교지점의 경우 점착력 1.49-27.3 t/m^2, 유효마찰각은 38.9-40.9°로 장천제지점의 점착력2.97-19.07 t/m^2 유효마찰각 35.9-37.9° 보다 큰 값을 나타내었으며 이는 성주대교지점의 시료가 장천제지점의 시료보다 상대적으로 입자의 크

기가 크며 입도분포도 양호한 결과인 것으로 판단된다. Omae et al.(2003)은 CSG 재료의 대형 삼축압축시험에서 단위 시멘트량 60kg/m^{3}인 경우 재령 7일에서의 유효 마찰각이 대략 52.7°, 점착력은 5.6kg/cm^2 정도의 값을 가진다고 발표함으로써 본 연구 결과보다 상대적으로 작은 단위시멘트에서 유효마찰각은 크게 나타났으나 점착력은 시멘트혼합비 4%일때만 거의 유사하며 시멘트혼합비가 증가함으로서 점착력은 더 큰 값을 나타내었다. 이러한 차이는 재료별 입도분포의 차이로 분석할 수 있는데 위 실험의 경우 4.76mm이하의 세립분이 약 25% 이하인 반면 본 연구에 사용된 CSG 재료의 전반적인 입도분포는 세립분이 95% 이상을 차지하는 것으로 나타나 세립분이 강도특성에 영향을 미치는 주요 인자임을 알 수 있었다. 또한 Fernando et al.(2001)은 일련의 연구에서 시멘트의 양을 1, 3, 5%로 변화시켜 고찰한 Cemented Sand 재료의 강도특성 연구에서 시멘트량과 점착력은 비례하지만 유효마찰각과 시멘트량과의 상관관계는 일정하게 명확치 않다고 발표한바 있으며, 이러한 경향은 Clough et al.(1979), Clough et al.(1981), Clough et al.(1989), Dupas and Pecker (1979), Acar and EL-Tahir(1986) 그리고 Rad and Tumay(1986) 의 연구결과에서도 찾아 볼 수 있다.

표 9. 혼합토에 대한 강도정수

시멘트	성주(성주대교)		장천(장천제)	
	C(t/m^2)	Φ(°)	C(t/m^2)	Φ(°)
2%	1.49	38.9	2.97	36.3
4%	5.75	40.9	6.18	37.9
6%	12.9	39.0	7.52	35.9
8%	27.3	38.2	19.07	36.8

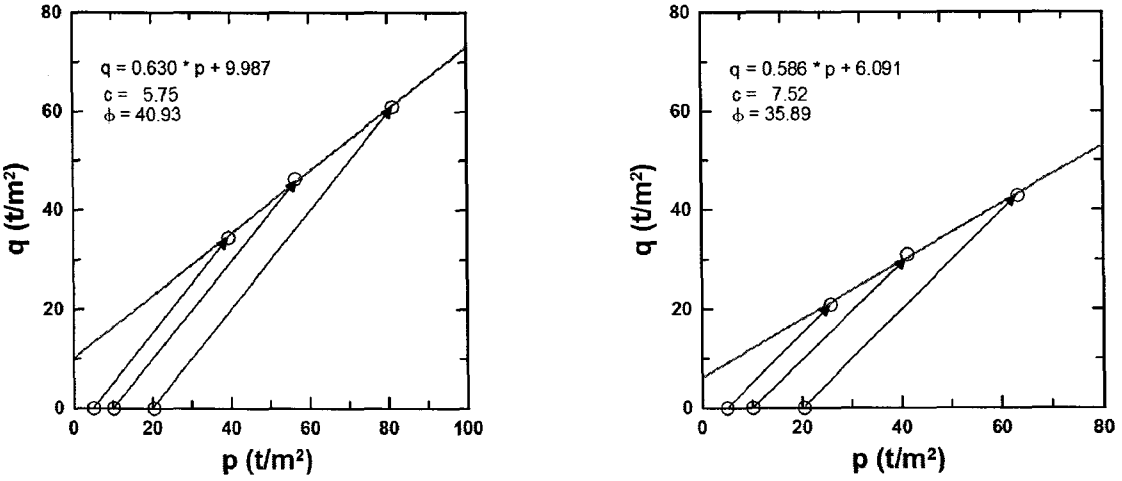


그림 8. 응력경로 및 K_f Line

4. 결 론

1. 낙동강유역의 하상재료 자체의 모래는 입도가 균등한 빈입도를 나타냄으로서 설계기준에서 제시하는 입도분포기준에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.
2. 혼합토에 대한 다짐시험으로부터 시멘트혼합비의 증가에 따라 건조단위중량의 증가로 입도가 균등한 모래에 대해서도 다짐효과가 나타났다.
3. 시멘트혼합비의 증가에 따라 수침 CBR값의 증가가 뚜렷하며 약 50~100%정도의 값을 나타내며 하천제방설계기준에서 제시하는 2.5%를 초과하는 것으로 나타났다.

4. 일축압축시험 결과 혼합토의 전반적인 응력-변형특성은 작은 변형률에서 최대강도를 발현한 후 급격한 취성파괴를 나타내는 탄성체적 거동이 지배적인 것으로 나타났으며 이러한 현상은 시멘트혼합비와 재령이 증가할수록 증가 하였다.
5. 일축압축시험 결과 재령과 탄성계수, 시멘트량과 탄성계수는 서로 밀접한 관계가 있으며 각 요소 별 상관관계는 최소 0.85 이상으로 나타났다. 또한 실험결과를 바탕으로 각 인자와의 상관관계식을 제안하였다.
6. 중형삼축시험 결과 응력거동 특성은 변형초기 선형적인 강도증가와 함께 최대강도를 발현하고 급격한 연화현상을 나타내었으며, 최대축차응력은 모든 단위 시멘트량에 대하여 축변형률 1.5% 범위내에서 발생하였다. 시멘트혼합비의 증가에 따라 점착력은 비례하여 증가하였으나 유효마찰각은 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다.

참 고 논 문

1 . 건설교통부 (1992), "낙동강 봉산제 수해복구공사 보고서."

2 . 한국수자원학회 (2002), "2002년 홍수피해 종합보고서."

3 . Dey and Morrison (1989), "Resistivity modelling for arbitrarily shaped three-dimensional structures", Geophys. Prosp., V.27 p.106-136.

4 . Acar, Y. B., and El-Tahir, A. E. (1986), "Low strain dynamic properties of artificially Cemented Sand", ASCE Vol.112, No.11, pp.1001-1015.

5 . Ali A. Abdulla, Panos D. Kiousis. (2003), "Behavior of cemented sands - I. Testing", 2Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, The University of Arizona, Tucson AZ 85721, U.S.A.

6 . Clough, G. W., Kuck, W. M., and Kasali, G. (1979), "Silicate-stabilized sand", ASCE, Vol.105, No.GT1, pp.65-81.

7 . Clough, G. W., Sitar, N., Bachus, R. C., and Rad, N. S. (1981), "Cemented sands under static l ading", ASCE, Vol.107, No.GT6, pp.799-817.

8 . Clough, G. W., Iwabuchi, J., Rad, N. S., and Kuppusamy, T. (1989), "Influence of cementation on liquefaction of sands", ASCE, Vol.115, No.8, pp.1102-1117.

9 . Coop, M. R., and Atkinson, J. H. (1993), "The mechanics of cemented carbonate sands", Geotechnique, Vol.43, No.1, pp.53-67.

10. Fernando S., Pedro D. M., Prietto., and Nilo C. C. (2001), "Characterization of cemented sand in triaxial compression", ASCE, Vol.127, No.10, pp.857-868.

11. Reddy, K R; Saxena, S K. (1992), "Constitutive modeling of cemented sand", Mech Mater V14, N2, Dec, pp. 155-178.

12. Krishna R. Reddy and Surendra K. Saxena. (1992), "Constitutive modeling of cemented sand", Mechanics of Materials, Volume 14, Issue 2, pp. 155-178.

13. Pekau, O A, Gocevski, V. (1989), "Elasto-plastic model for cemented and pure sand deposits", Computers and Geotechnics, Volume 7, Issue 3, pp. 155-187.