

## 최대입경 및 시료 크기에 따른 C.S.G의 강도특성

### Strength characteristics of C.S.G by the maximum grain size and the specimen size

김기영<sup>1)</sup>, Kim Ki-Young, 박한규<sup>2)</sup>, Park Han-Gyu, 이종욱<sup>3)</sup>, Lee Jong-Wook, 조성은<sup>1)</sup>, Cho Sung-Eun

<sup>1)</sup>수자원연구원 지반구조연구소 선임연구원, Senior Researcher in KIWE

<sup>2)</sup>수자원연구원 지반구조연구소 소장, Senior Researcher in KIWE

<sup>3)</sup>수자원연구원 댐안전연구소 선임연구원, Principal Researcher in KIWE

**SYNOPSIS** : Recently, the use of C.S.G is gradually increasing as the construction material for dam, road, revetment and so on. The strength characteristics of C.S.G is affected by various influence factors such as specimen size, maximum grain size and water contents. Therefore, When designing and constructing the C.S.G structure, it is very important for us to understand the nature of used materials well and to test it's quality. Commonly, C.S.G strength test is used the cylinders specimen size of 15X30 at KS F2405. But, the specimen size extracted from the field structure is not regular. This paper aims at offering the experimental data about the compressive strength and elasticity modulus by change of the specimen size for the effective quality control of the C.S.G structure

**Keywords** : C.S.G method, Specimen size, Unconfined Compressive Strength, Elastic modulus

## 1. 서론

C.S.G(Cemented Sand and Gravel) 공법은 원지반으로부터 채취된 골작토를 소량의 시멘트, 물과 혼합한 다음 진동 로울러를 이용하여 댐을 연속적으로 시공해 나가는 공법으로 재료의 활용도를 극대화하고 연속시공을 통한 공기단축으로 시공 효율성을 높일 수 있는 공법이지만 재료의 시방조건을 따로 규정하지 않고 국내의 경우 표준화된 시험방법이 정립되어 있지 않아 기존의 암반이나 콘크리트의 시험기준 또는 C.S.G 공법과 유사한 RCD, RCC 공법의 시험기준을 참고하여 시행하고 있다. C.S.G의 강도는 입도분포, 단위시멘트량, 함수비 등 다양한 요인에 의하여 영향을 받는 것으로 보고되고 있으며(김기영외 2005, 2006), 일반 콘크리트의 경우 시험용 공시체의 형상, 크기 등에 의해서도 강도특성이 변하는 것으로 알려져 있다.(진영길외 2001) C.S.G는 일반 콘크리트와는 달리 소량(중량대비 2~4%)의 시멘트로 배합설계가 이루어지며, 최대골재치수를 보통 150mm까지 허용하기 때문에 골재치수에 따른 강도특성 변화를 연구할 필요성이 있다. 이 연구의 주 목적은 C.S.G 공법의 국내 도입에 앞서 C.S.G 공법의 효율적인 설계 및 품질관리에 필요한 강도시험 기준을 정립하고자 공시체의 크기 및 최대입경에 따른 압축강도, 인장강도 그리고 탄성계수의 차이를 고찰함으로써 보다 효율적인 품질관리와 함께 C.S.G 공법의 체계화된 기술 표준화를 구현하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험개요

콘크리트 강도 시험용 공시체는 KS F2405 "콘크리트 압축강도 시험방법"에서 원주형인 경우  $\phi 10\text{cm} \times \text{H}20\text{cm}$  또는  $\phi 15\text{cm} \times \text{H}30\text{cm}$ 의 표준공시체를 사용하고 있다. 우리나라 보다 앞서 C.S.G 공법을 도입한 일본의 경우에도 C.S.G의 일축압축 강도시험은 일반적인 콘크리트의 표준공시체(직경 15cm×높이 30cm)를 사용하고 있다. 그러나 현장 품질관리를 위한 코어 채취시 대형공시체를 사용할 경우 인력과 시간이 많이 소요되고 샘플

플 수를 늘이기가 어려워 C.S.G 성토체에 대한 품질관리시 대표성을 입증하기 힘들다. 본 연구에서는 C.S.G의 일축압축시험 및 인장강도시험을 KS F2405 기준에 의거하여 실시하고 시료의 크기만을 4가지(5cm, 7cm, 10cm, 15cm)로 달리하여 강도특성의 변화를 살펴보았다. 단, 공시체의 직경과 높이의 비는 1:2로 일정하다. 강도시험기는 Kwater 대형삼축압축시험기를 활용하였으며, 재하능력은 최대 70ton이다. 현장코어는 실내 배합설계를 바탕으로 oo댐 현장에서 시험시공을 실시한 후 재령 92일에 채취하였으며, 현장다짐은 10ton 진동롤러를 이용하여 무진동 2회 진동 6회(왕복)로 실시하였다. 또한 최대입경이 C.S.G 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 시험시공 시 동일지역의 최대골재치수를 40, 80, 150mm로 변화시킨 후 각각의 경우에 대한 단위시멘트량과 재령별 강도특성을 검토하였다. 표 1은 본 연구에서 실시된 시험조건 및 종류를 요약한 것이다.

표 1. 시험조건 및 종류

[재료량 : m<sup>3</sup>당]

시료크기(D×H) (cm)	시멘트량 (kg)	시험방법	재령 (일)	최대골재치수 (mm)	함수량 (kg)	골재량 (kg)	다짐횟수
5.5cm×11cm	80	압축	92	150	142.4	2072	왕복6회
6.5cm×13cm		인장					
10cm×20cm		압축					
15cm×30cm	60	압축*	3,7,28	40,80,150	152	2079	
	80	압축,인장	92	150	142.4	2072	
		압축*	3,7,28	40,80,150			
	100	압축*	3,7,28	40,80,150	155	2092	

\*:Sample : 1,2,3   : Sample 4

## 2.2 재료

시험시공에 사용된 현장입도는 체바가지를 이용하여 최대입경을 150mm, 80mm, 40mm 이하로 각각 선별하였으며 최대입경별 입도분포는 그림 1과 같다.

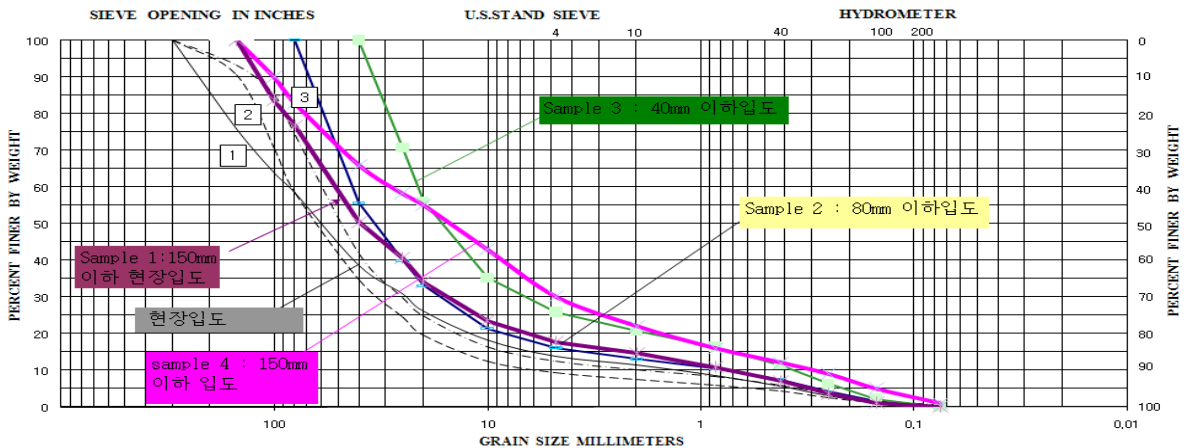


그림 1. 시료별 입도분포

## 3. 시험결과

### 3.1 시료크기에 따른 일축 및 인장강도

일반적으로 콘크리트의 파괴역학적 이론에 의하면 작은 공시체에 대한 강도값이 큰 공시체 보다

커야한다. 시험시공 후 사진1과 같이 현장에서 코아 드릴로 채취한 C.S.G의 일축압축강도를 시료 크기에 따라 고찰한 결과는 표 2 및 그림 2, 3과 같다. 평균 최대강도는 직경이 10cm 이하의 시료가 표준공시체에 비하여 약 10~29%, 탄성영역에서의 최대강도는 약 1~27% 정도 크게 나타나 콘크리트의 파괴역학적 이론과 유사한 결과를 도출하였다. 그러나 이는 콘크리트 재료가 균질하다는 가정하에 유도된 이론으로 재료적 편차가 발생할 가능성이 큰 CSG 재료에선 참고자료로 활용할 뿐 과신해서는 안되며, 직경 10cm와 15cm의 시료의 강도차이가 비교적 크게 나타나는 경향은 좀 더 많은 양의 시료를 추가 확보하여 실험을 실시할 예정이다. 평균 인장강도는 직경 5.5cm에서 15cm 기준시보다 약 51% 크게 나타났으며 나머지 직경에는 각각 -4%, +21% 가량 가감되어 나타났다. 그러나 탄성영역에서의 평균값은 직경 5.5cm를 제외하고는 큰 차이가 없었으며, 직경 6.5cm와 15cm는 거의 비슷하게 나타났다. 현장코아 채취시 시료의 직경이 너무 작을 경우 최대골재 크기의 영향을 비교적 많이 받아 코아가 끊어지는 현상이 자주 발생해 원하는 크기의 코아를 채취하기가 힘들고 시료의 직경이 너무 큰 경우에 인력과 시간이 많이 소모되므로 충분한 양의 코아를 채취하기 힘들어 품질관리시 강도의 대표성에 문제를 발생시킬 여지가 있다. 경험적으로 최대골재치수 150mm 이하의 코아 회수율은 코아드릴의 직경이 10cm 일때 가장 효율적으로 채취되었다.



사진 1 현장 코아채취 전경



사진 2. 시료 크기별 현장코아

표 2 시료크기에 따른 일축 및 인장강도

시료 크기 (cm)	C.S.G 압축강도						시료 크기 (cm)	C.S.G 인장강도					
	평균			직경 15cm 기준				평균			직경 15cm 기준		
	최대 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	최대 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 계수 (kg/cm <sup>2</sup> )		최대 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	최대 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성 계수 (kg/cm <sup>2</sup> )
5.5X11	98.3	73.9	14949	1.18	1.01	1.09	5.5X5.5	17.12	16.30	1545	1.51	1.47	0.65
6.5X13	91.6	75.5	16726	1.10	1.03	1.22	6.5X6.5	10.89	10.63	1687	0.96	0.96	0.71
10X20	107.1	93.1	21402	1.29	1.27	1.32	10X10	13.70	12.55	2145	1.21	1.13	0.90
15X30	83.3	73.3	16037	1.00	1.00	1.00	15X15	11.37	11.07	2388	1.00	1.00	1.00

### 3.2 시료크기에 따른 탄성계수

C.S.G 공법의 설계는 일반적으로 탄성해석을 기본으로 한다. 따라서 탄성계수는 매우 중요한 설계인자라 할 수 있다. 시료크기에 따른 92일 재령에서의 탄성계수의 변화를 살펴본 결과는 그림 5와 같다. 여기서 탄성계수는 응력-변형에서 나타나는 직선구간만의 기울기로 정의하며 단위시멘트량 80kg/m<sup>3</sup>에서의 탄성계수는 시료크기에 따라 평균 약 13670~21402kg/cm<sup>2</sup>사이로 나타났다. 시료직경 15cm의 평균 탄성계수를 1로 기준할 경우 직경 5.5cm의 시료는 약 9%와 6.8cm는 약 3% 정도의 차이를 보였으나 직경 10cm인 경우엔 약 32% 크게 나타났다. 콘크리트의 경우 탄성계수는 공시체의 직경 보다는이 높이/직경 비에 영향을 크게 받는 것으로 보고되고 있다.

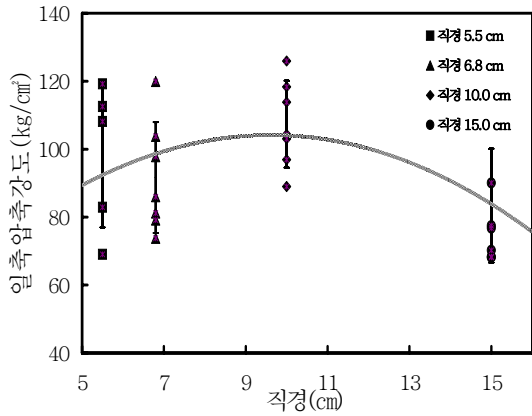


그림 2 시료크기에 따른 C.S.G의 일축압축강도

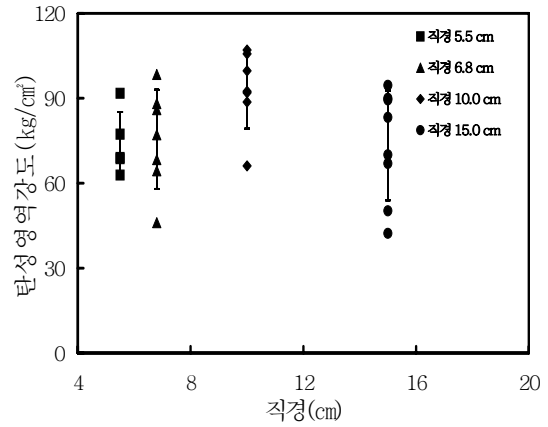


그림 3 시료크기에 따른 C.S.G 탄성영역강도



사진 3. 일축압축시험



사진 4 인장시험

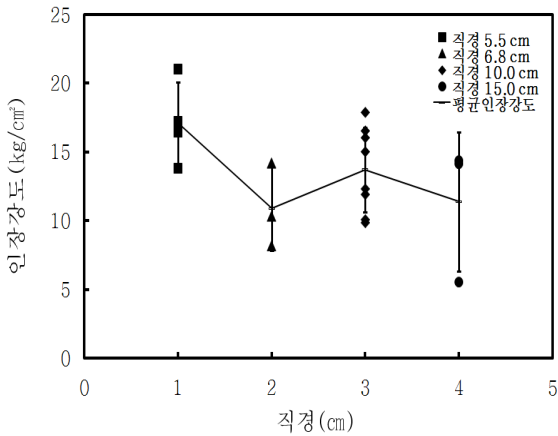


그림 4 시료크기에 따른 인장강도의 변화

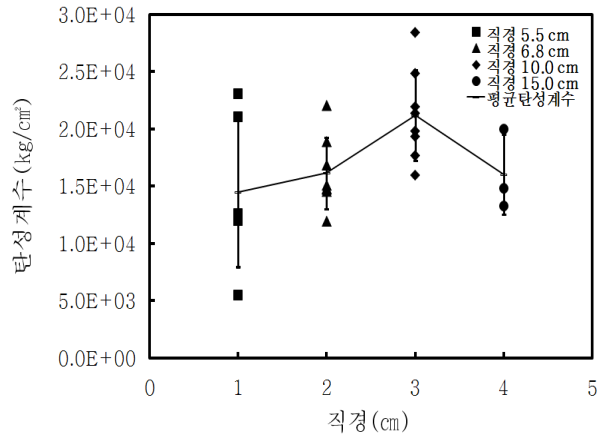


그림 5 시료크기에 따른 탄성계수의 변화

### 3.3 최대골재입경에 따른 강도특성

그림은 샘플 1,2,3 시료의 동일한 단위시멘트량과 단위수량 그리고 다짐조건을 기준으로 최대골재 치수에 따른 C.S.G의 평균 강도를 나타낸 것으로 동일 재령에서 최대골재치수가 증가함에 따라 일축강도는 증가하는 양상을 나타내었으며, 시험범위의 모든 단위시멘트량에서 동일한 경향을 나타내었다. 일반적으로 콘크리트에서 굵은 골재의 최대치수가 크면 시멘트 페이스트량 즉 단위시멘트량 및 단위수량을 감소시키기 때문에 강도, 내

구성 및 경제성에서 유리한 것으로 보고되고 있다. 따라서 실용 가능한 범위에서 굵은 골재의 최대치수를 크게 선택하는 것이 유리하다. 그러나 굵은 골재의 치수가 40mm 정도를 초과하게 되면 감수효과로 인한 강도증가는 골재와 시멘트 페이스트의 접촉면적의 부족과 큰 입자 때문에 생기는 불연속성으로 부배합의 콘크리트에서는 강도가 오히려 감소하는 것으로 알려져 있으며 빈배합의 경우에만 강도가 증가하는 것으로 보고되고 있다. C.S.G 공법은 단위시멘트량이 일반적으로 60~100kg/m<sup>3</sup> 으로 매우 소량이지만 강도증가 현상이 우수하고 최대골재 입경에 따른 강도특성 역시 일반적인 빈배합 콘크리트의 특성과 유사한 것으로 나타났다.

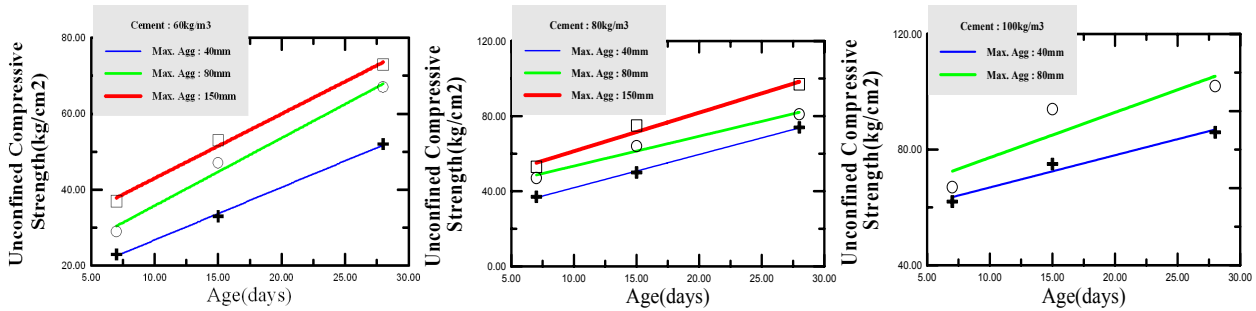


그림 6 최대입경에 따른 C.S.G의 일축압축강도변화

#### 4. 결론

C.S.G 재료는 현장 발생재료를 그대로 활용하는 만큼 동일한 시멘트량으로 배합설계를 실시했다 하더라도 품질관리측면에서 강도 편차가 발생할 가능성이 있다. C.S.G 재료의 품질관리 및 강도 시험기준을 표준화하기 위하여 공시체의 크기 및 최대 골재입경에 따른 강도특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 직경 15cm 표준공체의 일축압축강도는 나머지 3가지 직경에 비하여 상대적으로 낮은 강도특성을 나타냄으로써 빈배합 콘크리트의 특성과 유사하였으며 작은 공시체를 사용할 경우 강도에 대한 보정이 필요한 것으로 판단된다.
- 2) 코아 채취시 코아 드릴의 직경이 너무 작을 경우 최대골재치수의 영향으로 코아 회수율이 낮아질 수 있으므로 최대골재 치수를 고려한 코아 드릴의 선택이 필요하며 경험상 최대골재 150mm 이하의 C.S.G 시공에는 최소 외경 6.5cm 이상의 코아드릴을 선택하는 것이 강도시험과 코아 회수율 측면에서 보다 유리한 것으로 판단된다.
- 3) 인장강도의 경우 직경 6.5cm가 표준공시체의 인장강도에 가장 근접하였으며 압축강도와 탄성계수등을 종합적으로 검토할 경우 다른 직경의 공시체보다 상대적으로 표준공시체의 강도특성과 가장 유사하였다. 따라서 품질관리시 작은 공시체를 대량 채취하거나 제작하여 확실적인 대표강도를 검토하는 것이 보다 효율적인 설계에 도우며 될 것으로 판단된다.
- 4) 모든 조건이 동일할 경우 굵은 골재의 최대입경이 커질수록 C.S.G의 일축압축강도는 증가하는 양상을 나타내었으며, 이는 일반적인 빈배합 콘크리트의 강도특성 경향과 유사하다. 따라서 시공시 재료분리가 심하지 않고 150mm이하의 최대골재 치수를 확보하는 것이 CSG 성토체의 안정성과 경제성 확보 차원에서 보다 효과적인 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김기영, 박한규, 전제성(2005)."Cemented Sand and Gravel 재료의 강도특성", 한국지반공학회논문집 제21권 제10호 pp.61-71.
2. 김기영, 전제성, 김용성(2006)."C.S.G공법의 실내배합설계", 한국지반공학회논문집 제22권 제5호 pp.27-37.
3. 김기영(2006)."C.S.G 재료의 일축압축강도에 미치는 영향인자", 한국지반공학회논문집 제22권 제10호 pp.33-45.
4. 진영길, 유호영, 김광서(2001). "콘크리트 공시체 크기에 따른 압축강도 및 탄성계수의 실험적 연구", 대한건설학회논문집 구조계 17권 2호 pp.67-73.