

# Vitrified Glass를 혼입한 콘크리트의 물리·역학적 특성

## The Study on the Physical and Mechanical Properties of Concrete Used Vitrified Glass

민정기\* · 조일호 · 남기성 · 한영규 · 성찬용 (충남대)

Min, Jeong Ki · Cho, Il Ho · Nam, Ki Sung · Han, Young Kyu · Sung, Chan Yong

### Abstract

Over 4.1 billion metric tons of non-hazardous solid wastes are generated in the United States annually. Therefore, there is a need to reuse or reprocess as many products or by-products as possible.

In this report, the aggregates produced from Naval Shipyard and Charleston area dredge spoils are designated as NC and DS, respectively.

The major objective of this portion was to determine the feasibility of the use of these aggregates in concrete mixtures.

According to test results, the unit weight of concrete mixtures containing NC and DS (vitrified glass) was lower than the control mixture, and the control mixture produced higher compressive and bending strength compared to mixtures containing vitrified glass.

However the mixtures containing vitrified glass still could be used in the field based on the minimum criteria set for the mix design.

### I. 서론

최근 국내에서는 산업의 발달로 인한 산업폐기물 및 부산물의 발생량이 매년 증가함에 따라, 이를 처리하기 위한 노력이 다양하게 진행되고 있는데, 이 중 한 분야가 건설산업에 이들 폐기물을 재활용하는 방법이다.

이는 천연골재 자원의 고갈대책에 관한 여러 가지 방안 중 쇄석골재 채취로 인한 환경파괴를 방지하고, 폐기물을 재처리 과정을 거치지 않고 매립함에 따른 환경오염을 방지할 수 있다.

미국에서도 매년 41억 톤의 고품폐기물이 발생되는데, 이들 대부분의 폐기물은 재활용이나 재처리의 노력이 부족하여 대부분이 일반 매립장에 매립되어 지고 있다.

Environmental Protection Agency (EPA)는 향후 20년내로 현존하는 매립지의 약 20%가량이 폐쇄될 것이며, 다른 매립지를 개발하거나 준비하는데는 상당한 예산이 소요될 것으로 추정하고 있다.

미국의 South Carolina주는 다른 주와 마찬가지로 많은 군사기지를 가지고 있었으나, 현재는 예산삭감 등의 이유로 여러 곳이 폐쇄되었다. 이들 시설 중 Naval Complex라고 불리는 곳이 있는데, 이는 Charleston에 위치해 있고 1996년 폐쇄된 곳으로 조선소 시설을 가지고 있으며, 여러 해 동안 오염이 되어졌던 곳이다.

본 연구는 이 지역에 위치한 회사와 Clemson University가 공동으로 Charleston Naval Complex와 Charleston Harbor Dredge Spoils로부터 나온 오염된 토양을 건설재료로 활용하기 목적으로 실시되었으며, 이는 그 연구 결과의 일부이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 조·세골재는 화강암 채석과 채사를 사용하였다.

Vitrified process는 Charleston Naval Complex (NC)와 Charleston Harbor Dredge Spoils (DS)에서 채취된 두 종류의 폐기물을 대상으로 하였으며, 이들 골재에 대한 물리적 성질은 표 1과 같다.

본 실험에 사용된 vitrified glass는 조골재 치환용으로써 4.75mm이상 25mm이하의 것을 사용하였다.

Table 1. Physical properties of NC and DS

Property	NC	DS
Bulk specific gravity (SSD)	2.669	2.707
Percent absorption (%)	1.23	1.79
Fineness modulus	5.41	4.93
Los angeles abrasion (%)	40.4	45.3

### 2. 공시체 제작

#### 가. 콘크리트 배합

본 실험에서 control의 압축강도가 재령 28일에서  $280\text{kgf/cm}^2$  이상이 되고, 슬럼프는 10+1cm가 되도록 ACI-211에 의하여 배합설계를 하였고, 이 배합비를 기준으로 재 처리된 골재의 사용량을 사용 조골재의 5, 10, 15%로 첨가량을 달리하였으며, 이의 배합설계결과를 나타내면 표 2와 같다.

Table 2. Mix design of vitrified glass concrete

(Unit : kgf/m<sup>3</sup>)

Mix		Cement	Aggregate		Water	NC	DS	Slump (cm)
			Fine	Coarse				
Control		423	668	978	202	-	-	10±1
NC	5%	423	668	929	210	49	-	
	10%	423	668	880	224	98	-	
	15%	423	668	831	230	147	-	
DS	5%	423	668	929	218	-	49	
	10%	423	668	880	231	-	98	
	15%	423	668	831	239	-	147	

#### 나. 공시체 제작 및 양생

압축강도 측정용 공시체는 각 배합비별로  $\phi 6'' \times 12''$ 의 원주형 공시체를, 휨강도 측정용은  $3'' \times 3'' \times 14''$ 의 공시체를 각각 3개씩 제작하여, 24시간 정치 후 탈형하여  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도가 100%로 유지되는 습윤양생실에서 재령 28일까지 양생하였다.

### 3. 시험방법

제작된 콘크리트의 공기량 시험은 ASTM C 173-78에 의하여 콘크리트 혼합 후 바로 측정하였으며, 단위중량은 ASTM C 138, 압축강도는 ASTM C 39, 휨강도는 ASTM C 293, 응력-변형시험은 ASTM C 469의 시험규정에 준하여 실시하였다.

## III. 결과 및 고찰

실험 결과를 나타내면 그림 1과 같다.

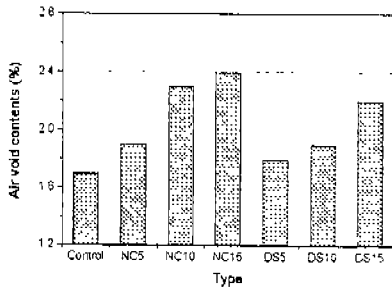
### 1. 공기량

공기량은 control보다 vitrified glass를 함유한 콘크리트에서 증가하는 것으로 나타났고, 각 배합비별 vitrified glass의 함유량이 증가 할수록 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 그리고 동일 첨가량에서는 NC가 DS보다 더 많은 공기량을 함유하는 것으로 나타났다.

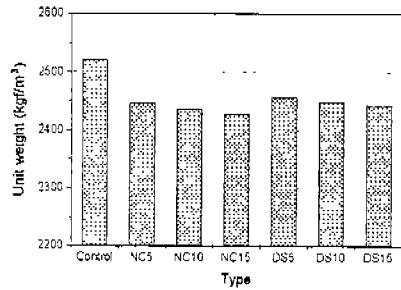
### 2. 단위중량

단위중량은 control보다 vitrified glass를 사용함에 따라 감소하였고, 그 사용량이 증가할 수록 단위중량이 감소하는 것으로 나타났으며, NC보다는 DS의 사용에 의한 단위중량의 감소효과가 크게 나타났다.

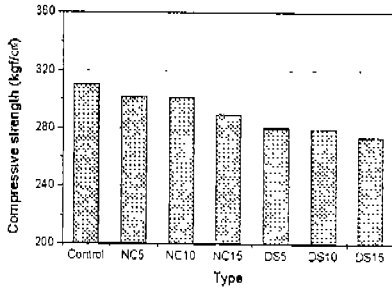
이는 표 1에 나타난 것과 같이, NC의 단위중량이 DS보다 작고, 또 동일량 첨가시 DS보다 더 많은 공기량이 발생되기 때문에 나타난 결과라고 생각된다.



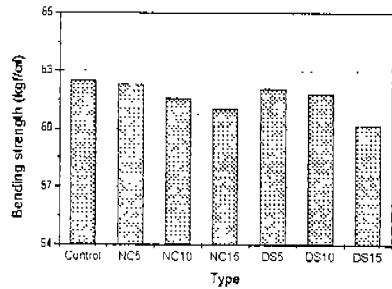
(a) Air void contents (%)



(b) Unit weight (kgf/m³)



(c) Compressive strength (kgf/cm²)



(d) Bending strength (kgf/cm²)

Fig. 1. Test results of vitrified glass concrete

### 3. 강도

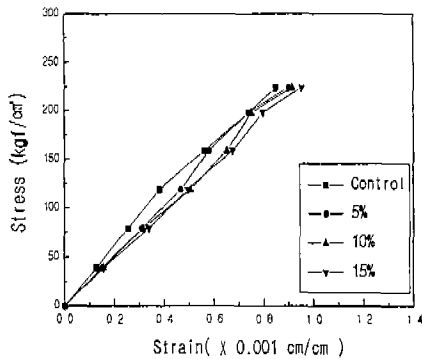
압축강도는 control과 비교하여 vitrified glass를 사용한 콘크리트에서 작게 나타났으며, 강도 감소율은 NC가 5% DS가 10%내외로 control과 비교하여 상당히 양호한 압축강도를 발휘하는 것으로 나타났는데, 이는 NC와 DS를 콘크리트용 대체 골재로서의 사용 가능성이 상당히 높다는 것을 의미한다.

휨강도는 control과 비교하여 vitrified glass 골재의 종류 및 각 배합비별 혼입량 차이에 의한 변화가 거의 없는 것으로 나타남에 따라, vitrified glass 골재 사용에 의한 콘크리트의 휨강도는 거의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다.

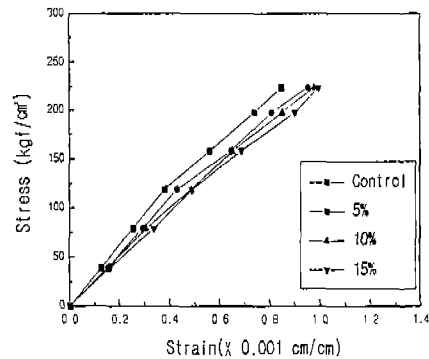
### 4. 응력-변형특성

응력-변형시험 결과는 그림 2와 같다.

여기서 보는 바와 같이, NC를 혼입한 콘크리트의 탄성계수는  $2.28 \times 10^5 \sim 2.54 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ , DS를 혼입한 콘크리트는  $2.34 \times 10^5 \sim 2.43 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 값을 보였으며, NC 15%를 혼입한 경우를 제외하고는 모두 control의 90%이상의 값을 보임에 따라, vitrified glass 혼입에 의한 콘크리트의 탄성계수는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.



(a) NC



(b) DS

Fig. 2. Stress-strain curve of vitrified glass concrete

따라서, vitrified glass를 사용한 콘크리트는 내부 공기량이 증가되고 단위중량은 작아지는 경향을 보였고, 압축강도는 5-10% 내외로 감소되고 휨강도는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 탄성계수 역시 양호하게 나타남에 따라, 콘크리트의 대체 골재로서의 성능에 문제가 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공기량은 vitrified glass의 첨가량이 증가할 수록 증가하는 경향을 보였으며, NC보다는 DS에서 더 많은 공기량을 함유하는 것으로 나타났다.
2. 단위중량은 vitrified glass를 첨가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.
3. 압축강도는 vitrified glass를 사용함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 휨강도는 control과 비교하여 거의 동등수준으로 나타났다.
4. 탄성계수는 vitrified glass를 첨가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, control과 비교하여 그 감소율은 10% 이내로 작게 나타났다.

## 인 용 문 헌

1. Min, Jeong-Ki, 1997, Utilization of vitrified glass as an aggregate source in asphalt concrete mixtures, Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers, 39, pp.51-56.
2. Amirkhanian, S. and Manugian, D., 1994, A feasibility study of the use of waste materials in highway construction, Report FHWA-SC-94-01, Clemson University, Civil Engineering Department, Clemson, SC 29534-0911.
3. Amirkhanian, S., 1997, Utilization of waste materials in highway industry, The Journal of Solid Waste Technology and Management, 24(2), pp.94-103.
4. ASTM C 39, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, American Society for Testing and Materials, Vol. 04. 02, 1990.
5. ASTM C 138, Standard test method for unit weight, yield, and air content of concrete, American Society for Testing and Materials, Vol. 04. 02, 1990.
6. ASTM C 293, Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with center-point loading), American Society for Testing and Materials, Vol. 04. 02, 1990.
7. ASTM C 469, Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression, American Society for Testing and Materials, Vol. 04. 02, 1990.