

Geo-Bottle의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Compression Strength Characteristics for Geo-Bottle

이 승 은¹ Lee, Seung-Eun
존 바우더스³ John.J. Bowders

장 용 채^{2*} Chang, Yong-Chai
박 종 범⁴ Park, Jong-Beom

ABSTRACT

Use of disuse resources like PET (polyethylene terephthalate) bottle as construction materials will make environment-friendly approach to more efficient recycling of resources. In this study, to utilize PET bottle as substitute by EPS (expanded polystyrene) block, uni-axial test was performed on PET bottle, and compressive strengths were respectively compared and analyzed depending on whether dry ice is added or not. As a result, it was confirmed that PET bottle (Geo-bottle) can be applied to the field as substitute for EPS block.

요 지

불용 자원을 건설 자원화 한다면 자원재활용 측면에서 더욱더 효율적으로 친환경적인 접근이 가능할 것이다. 본 연구에서는 PET병을 EPS 블록 대용으로 활용하기 위하여 PET 병을 대상으로 압축강도 시험을 실시하였으며, 이를 드라이아이스 첨가 유무에 따라 압축강도를 각각 비교분석하였다. 그 결과 EPS 블록 대용으로 현장에 적용 가능성을 확인하였다.

Keywords : PET bottle, Dry ice, EPS block, Compression strength

1. 서 론

토목공사에서 건설재료로 사용되고 있는 기본재료로서 흙, 모래와 자갈, 쇠석 등이 있는데, 이들은 자연에서 채취되는 천연자원이라 말할 수 있다(이대수 등, 2006). 경제발전과 더불어 대규모의 토목공사들이 수없이 행하여지고 있는 현 시점에서 이러한 천연재료의 대량사용은 자연환경을 훼손시켜 생태계를 파괴하는 중요 원인이 될 수가 있다. 한편 물병이나 기타 음료수병 등으로 사용되고 버려지는 PET병은 대표적으로 골치 아픈 불용 자원이라 할 수 있다(허종오, 1997). 불용자원에 대한 연구는 그 필요성에

의해서 국내외적으로 많은 학자들에 의해 연구가 진행되고 있으나, PET병을 이용하여 만들어 지는 Geo-Bottle에 대한 연구는 국내외적으로 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Geo-Bottle을 토목재료로 효과적으로 활용할 수 있는 방안들을 검토하고자 하였다.

PET병에 Dry Ice를 첨가하고 밀봉하게 되면 고체가 기체로 변하는 승화(sublimation)현상으로 인해 압축강도(compression strength)가 큰 새로운 재료로 탈바꿈하게 된다. 다양한 용도로서의 사용이 가능하지만 본 연구에서는 지반공학에 적용시킨다는 의미에서 Dry Ice가 첨가된 PET 병을 Geo-Bottle이라 명명하였다(장용채 등, 2008). 지반

1 정회원, 목포해양대학교 해양시스템공학부 시간강사 (Member, Part-time Lecturer, Faculty of Ocean System Eng., Mokpo National Maritime University)
2* 정회원, 목포해양대학교 해양시스템공학부 부교수 (Member, Associate Professor, Faculty of Ocean System Eng., Mokpo National Maritime University, E-mail: geo@mmu.ac.kr)
3 비회원, 미국미주리주립대학교 토목환경공학부 교수 (Non-Member Professor, Dept. of Civil and Environmental Eng. The University of Missouri-Columbia)
4 정회원, (주)신명건설기술공사 이사 (Member, Chief, Shinmyeong Construction Engineering, Co., LTD)

재료로서 사용하기 위해서는 여러 연구가 필요하다. 즉, 성토재료 사용하려는 Geo-Bottle은 경량이며 압축강도는 높으나 일반 흙 입자에 비해서 크다. 그리고 성토재료로서 가장 중요한 마찰특성에 대한 검토도 필요하다.

먼저, 불용자원인 PET병을 기반재료로 활용하게 된다 면 환경측면에서의 국가 정책에 부응하며, 2차 수입을 창출할 수 있는 가능성이 존재한다. 플라스틱 음료수 PET병을 재활용한 Geo-Bottle은 값싼 건설재료이기 때문에 건설현장에서 경량재료로 활용한다면, 기존의 경량성토공법인 EPS(expanded polystyrene)블록 대용으로 사용될 수도 있기 때문에 경제적인 효과가 무척 클 것으로 판단된다(이승은, 2009).

따라서 본 연구에서는 Geo-Bottle이 건설현장의 EPS블록 대용으로 활용가능성을 알아보기 위하여 Geo-Bottle과 EPS블록의 압축강도특성을 비교 검토하였다.

2. 시험

2.1 시험재료 및 제작

본 연구에 사용한 시험재료는 마시고 버려지는 PET병과 토목건설현장에 사용되어지는 EPS 블록을 사용하였다. 먼저 PET병은 동일한 polyethylene terephthalate 열가소성 수지지만, 크게 두께가 얇은 종류(thin type)인 0.59ℓ, 2.0ℓ와 두꺼운 종류(thick type)로 0.59ℓ, 0.95ℓ 구별하여 시험재료를 제작하였다. 시험재료로 두께가 얇은 종류와 두꺼운 종류의 체적이 다른 이유는 두꺼운 종류의 PET병 체적으로는 2.0ℓ가 흔하지 않으므로 최대체적인 0.95ℓ를 사용하여 PET 병속에 Dry Ice를 첨가하여 Geo-Bottle을 만들었다.

EPS 블록 시료는 JIS K 7220 시험법에서 제안한 규격 50mm×50mm×50mm로 시료를 만들었으며, 그림 1과 2는

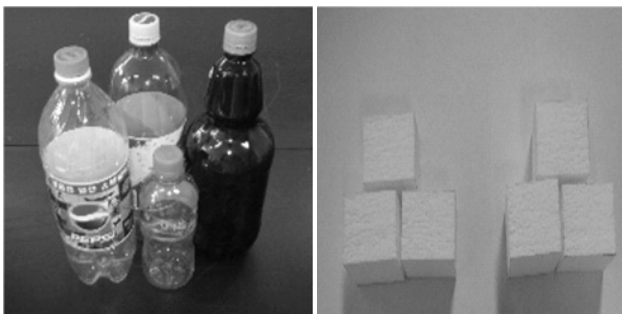


그림 1. 시험재료

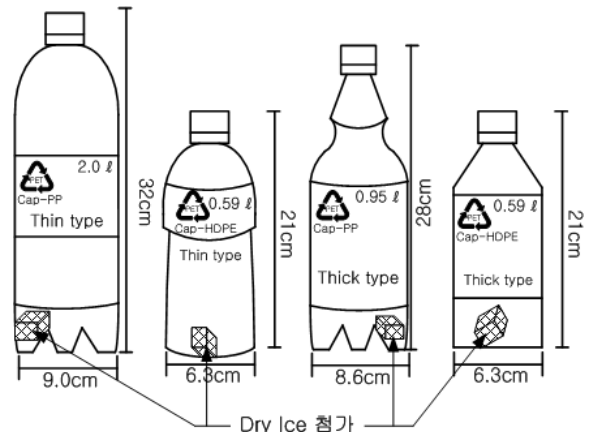
본 연구에서 사용한 시험재료의 모습과 그 상세도를 나타내고 있다.

2.2 시험내용 및 방법

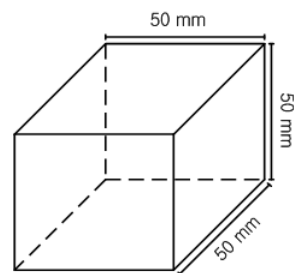
EPS 블록 대용으로 Geo-Bottle을 활용하기 위해서는 여러 가지를 고려하여야 하나 가장 중요한 부분이 PET 병속에 Dry Ice를 첨가하였을 때 Geo-Bottle의 압축강도이다. Geo-Bottle의 압축강도가 EPS의 표준압축강도에 만족하는 것이 관건이기 때문에 두께가 얇은 종류(thin type) 0.59ℓ, 2.0ℓ PET 병에 Dry Ice를 넣었을 때와 넣지 않았을 때, 마찬가지로 두꺼운 종류(thick type) 0.59ℓ, 0.95ℓ PET 병속에 Dry Ice를 넣었을 때와 넣지 않았을 때로 구분하여 압축강도 시험을 실시하였다. 아울러 PET 병에 Dry Ice를 무게(weight)별로 넣었을 때 PET 병속의 압력(pressure)을 체크하였다.

그림 3과 4는 PET 병속에 Dry Ice를 넣었을 때 무게별 압력을 측정하는 모습과 결과를 나타냈으며, PET 병속에 Dry Ice를 첨가한 후 병마개(cap)로 밀봉하여 장시간 방치하였을 때의 압력측정 결과를 나타내고 있다.

그림 3에서 두께가 얇은 종류(thin type)인 0.59ℓ, 2.0ℓ에



(a) Geo-Bottle

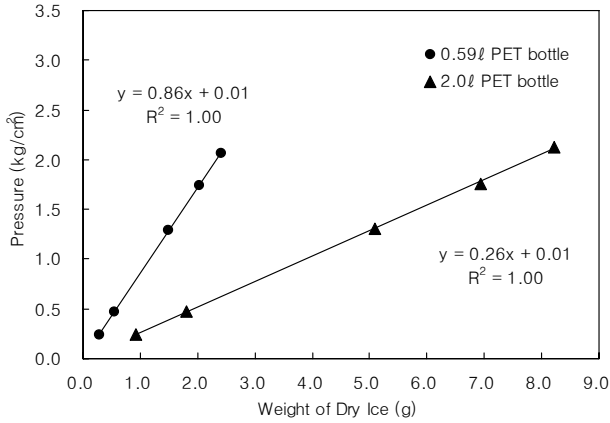


(b) EPS

그림 2. 시험재료 상세도



(a) Dry Ice 압력측정



(b) Dry Ice 압력측정 결과

그림 3. Dry Ice 압력측정 모습과 결과

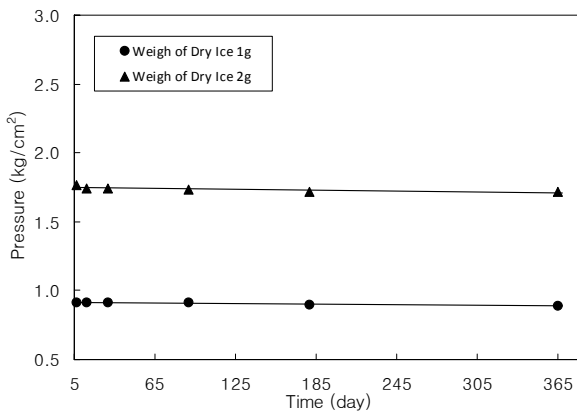


그림 4. 시간경과에 따른 압력측정 결과

대하여 압력측정 결과를 보여주고 있는데 Dry Ice의 무게를 증가시킬수록 압력이 증가함을 알 수 있었으며, 아울러 그림 3에서 나타내지는 않았지만 두꺼운 종류(thick type)의 PET 병 0.59l, 0.95l 속에 Dry Ice를 넣었을 때도 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

위 그림 4는 얇은 종류의 0.59l PET 병속에 Dry Ice를 각각 약 1g, 2g 첨가한 후 7, 14, 30, 90, 180, 365일 시간의 경과에 따른 병속의 압력을 측정하여 나타내주고 있다. 시간에 따른 결과 값을 보면 약 1g 첨가하였을 때 측정



그림 5. Geo-Bottle과 EPS(D-20) 압축강도시험

표 1. EPS의 압축강도

EPS 종류	단 위	1% 변형률	5% 변형률
토목용 1호(D-30)	kg/cm ²	0.9	1.8
토목용 2호(D-25)		0.7	1.4
토목용 3호(D-20)		0.5	1.0
토목용 4호(D-16)		0.35	0.7

된 압력값은 0.91kg/cm²로 유지되다 180일 때는 0.90kg/cm², 365일 0.89kg/cm²로 압력 값이 초기측정 값보다 0.01~0.02kg/cm² 정도 차이를 보이며, 2g 첨가 시에도 7일 측정값과 365일 측정값을 비교해 보면 1.76~1.72kg/cm²로 0.04kg/cm² 차이가 나타났다. 약 1년간 시간이 흐르고 Geo-Bottle 압력은 Dry Ice(고체)가 기체로 변하는 승화(sublimation)현상을 거쳤지만 거의 일정한 것으로 나타났다.

또한 그림 5는 Geo-Bottle과 EPS 압축강도를 측정하는 모습을 보여주고 있다. Geo-Bottle의 압축강도 시험에 있어서 현재 명확한 시험기준(KS, JIS, ASTM, BS)이 없기 때문에 EPS 압축강도 시험에서 제시한 10mm/min로 실시하였으며, EPS 압축강도 시험은 EPS 공시체를 JIS K 7220 시험법(규격 50mm×50mm×50mm, 재하속도 10mm/min)으로 시험을 실시하였다. EPS는 종별에 따른 허용압축응력과 품질관리시의 압축응력이 서로 다르며 본 연구에서는 건설현장에서 가장 많이 사용되는 토목용 3호(D-20)의 압축강도를 가지고 EPS 표준압축강도로 정하였다.

표 1은 EPS 종별에 따른 압축강도 표준치를 나타내고 있다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 EPS 압축강도 결과

그림 6은 토목용 3호(D-20)의 변형률에 따른 압축강도

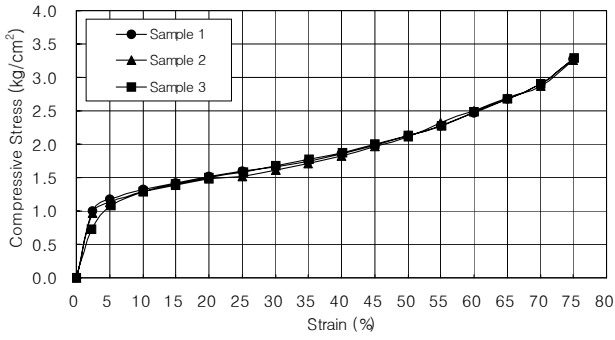


그림 6. EPS(D-20) 압축강도시험 결과

를 나타낸 그림이다. 일반적인 EPS의 거동은 약 1~2%의 변형에 이르기까지는 탄성거동을 하나 그이후로는 소성 거동을 하는 것으로 알려져 있다.

압축강도시험 결과 1% 변형시의 압축강도는 0.43 ~ 0.48kg/cm²이며, 5% 변형시의 압축강도 값은 1.12 ~ 1.15kg/cm²로 나타나 다소의 차이는 있지만 전체적으로 토목용 3호(D-20)의 압축강도 표준치의 근사 값을 만족함을 알 수 있었다.

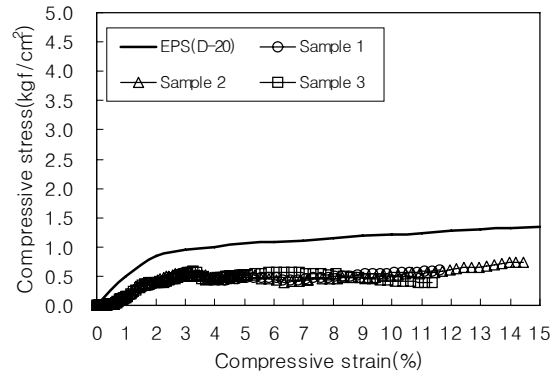
3.2 EPS와 PET병의 압축강도 비교

그림 7은 토목용 3호(D-20) EPS의 1%, 5% 변형률시의 압축강도와 PET 병(thin type) 0.59ℓ와 2.0ℓ PET 병(thick type) 0.59ℓ, 0.95ℓ PET 병에 Dry Ice를 첨가하지 않은 상태에서 압축강도 시험 결과를 나타내고 있는 그림이다.

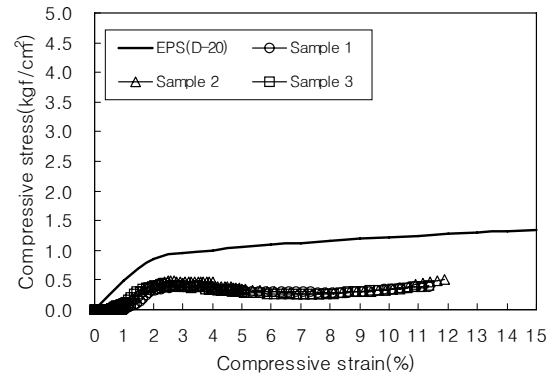
그림 7의 PET 병(thin type) (a) 0.59ℓ에서는 변형률 1%에서 약 0.16kg/cm², 5%에서는 0.48~0.49kg/cm²를 나타냈으며, (b) 2.0ℓ 1%일 때에는 0.1kg/cm², 5%일 때 0.31~0.38kg/cm²을 나타내었다. 또한 PET 병(thick type) (c) 0.59ℓ 1% 변형 시에는 0.49kg/cm², 5%에서는 0.73~0.81kg/cm²을 나타냈으며, (d) 0.95ℓ 1%에서는 0.18~0.31kg/cm², 5%에서는 0.39~0.52kg/cm²로 전반적으로 토목용 3호(D-20)의 표준압축강도를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

3.3 EPS와 Geo-Bottle의 압축강도 비교

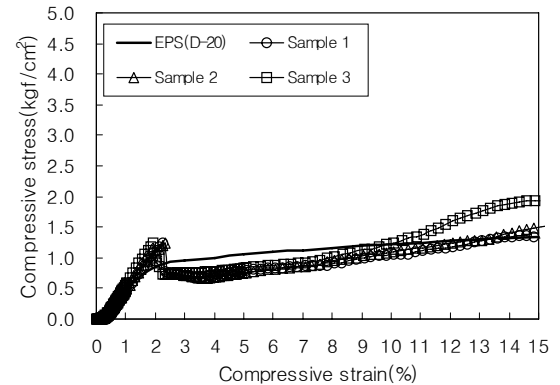
서론에서 언급 했듯이 Dry Ice가 첨가된 PET병을 Geo-Bottle이라 명명하였다. 그림 8은 토목용 3호(D-20) EPS와 0.59ℓ, 2.0ℓ Geo-Bottle(thin type), 0.59ℓ, 0.95ℓ Geo-Bottle(thick type)의 압축강도의 시험결과를 비교하여 나타낸 그림들이다.



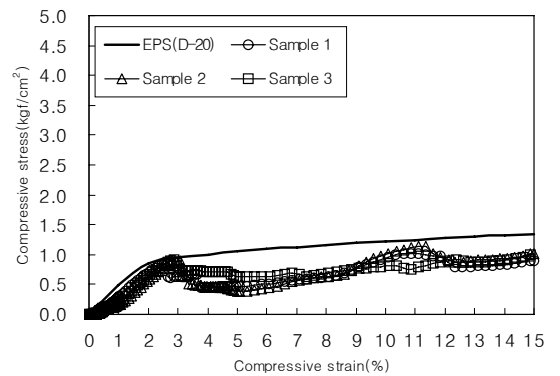
(a) 0.59ℓ PET병(thin type)



(b) 2.0ℓ PET병(thin type)



(c) 0.59ℓ PET병(thick type)



(d) 0.95ℓ PET병(thick type)

그림 7. EPS(D-20) 압축강도시험 결과

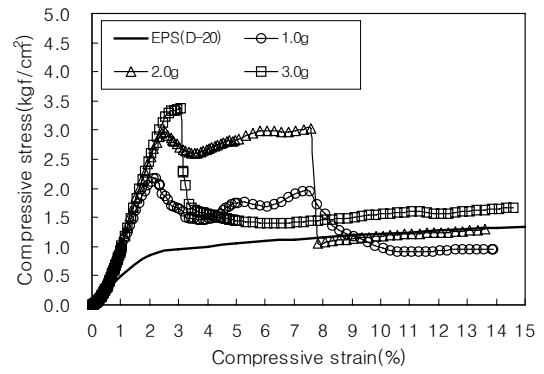
Dry Ice첨가는 그림 8(a)와 8(c) 0.59ℓ Geo-Bottle에 1.0g, 2.0g, 3.0g 첨가 하였으며, 그림 8(b) 2.0ℓ, (d) 0.95ℓ Geo-Bottle에서는 0.59ℓ Geo-Bottle의 Dry Ice 첨가 비율에 맞게(b) 2.0ℓ Geo-Bottle 크기 비율을 고려하여 Dry Ice 첨가량을 3.38g, 6.76g, 10.14g 첨가하였다. 아울러 (d) 0.95ℓ Geo-Bottle 또한 크기비율을 고려하여 Dry Ice 첨가량을 1.6g, 3.2g, 4.8g 첨가하였다.

이 결과를 근거로 하여 Geo-Bottle의 압축강도와 EPS 블록의 압축강도 특성을 비교해 보면, EPS 블록의 압축강도를 파악할 때에는 1% 변형률과 5% 변형률 값을 기준으로 EPS 블록의 강도특성을 적용하기 때문에 그림 8(a) 0.59ℓ Geo-Bottle(thin type)을 1% 변형 시 압축강도가 1.0kg/cm²로 나타났으며, 5% 변형 시에는 Dry Ice 1.0g 첨가 시 압축강도는 1.75kg/cm²이며, Dry Ice 2.0g 첨가 시에는 2.80kg/cm², Dry Ice 3.0g 첨가 하였을 때 압축강도는 1.50kg/cm²로 토목용 3호(D-20) EPS 블록의 강도 특성을 만족하였다.

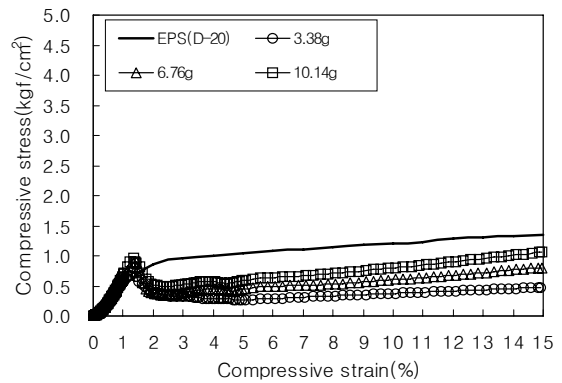
하지만 그림 8(b) 2.0ℓ Geo-Bottle(thin type)의 경우는 1% 변형 시에 Dry Ice 첨가량에 따라 Geo-Bottle의 압축강도가 0.60~0.74kg/cm² 사이의 값을 나타내 토목용 3호(D-20) EPS 블록강도 특성을 만족하였지만 변형률 5%에서는 Dry Ice 3.38g 첨가 시 0.26kg/cm², Dry Ice 6.76g 첨가 시 0.45 kg/cm², Dry Ice 10.14g 첨가 시 0.65kg/cm²을 나타내어 토목용 3호(D-20) EPS 블록 강도 1.0kg/cm²를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

마찬가지로 그림 8(c) 0.59ℓ Geo-Bottle(thick type)의 변형률 1%일 때 압축강도는 0.18~0.2kg/cm², 5% 일 때는 1.2~1.7kg/cm²로 토목용 3호(D-20) EPS 블록 변형률 1%, 5% 강도 특성을 만족하였으나, 그림 8(d) 0.95ℓ Geo-Bottle(thick type)은 변형률 1% 일 때 0.2kg/cm², 변형률 5% 일 때는 1.0~1.4kg/cm²로 토목용 3호(D-20) EPS 블록 표준 강도 1% 일 때 0.5kg/cm²를 만족하지 못하였으며, 5% 일 때 1.0kg/cm²을 만족하는 것을 알 수 있었다.

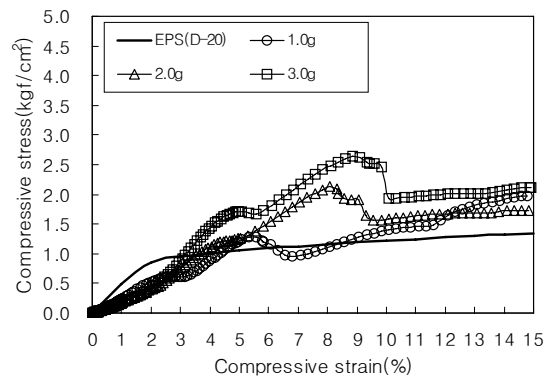
전체적으로 그림 7의 Dry Ice를 첨가하지 않은 경우와 그림 8의 Dry Ice를 첨가하였을 경우의 압축강도를 비교해 보면 PET 병의 크기와 두께에 따라 압축강도의 차이는 나타났지만, Dry Ice를 첨가하였을 경우에 강도 값이 증가함을 알 수 있었다. 이는 PET 병속에 Dry Ice가 승화(sublimation)하면서 발생하는 CO₂ 가스가 PET 병 내부를 단단하게 팽창시켜주기 때문이라고 판단된다. 또한, Dry Ice를 첨가한 0.59ℓ, 0.95ℓ, 2.0ℓ PET병(Geo-Bottle)의 변형률



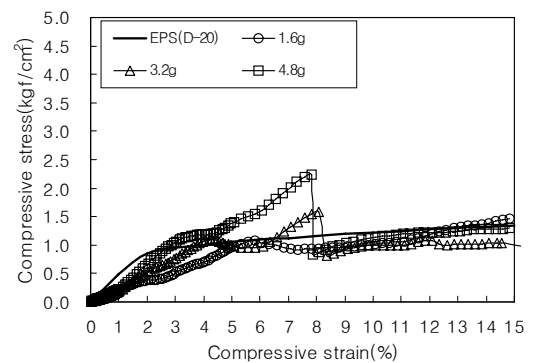
(a) 0.59ℓ PET병(thin type)



(b) 2.0ℓ PET병(thin type)



(c) 0.59ℓ PET병(thick type)



(d) 0.95ℓ PET병(thick type)

그림 8. EPS(D-20)와 Geo-Bottle 압축강도시험 결과

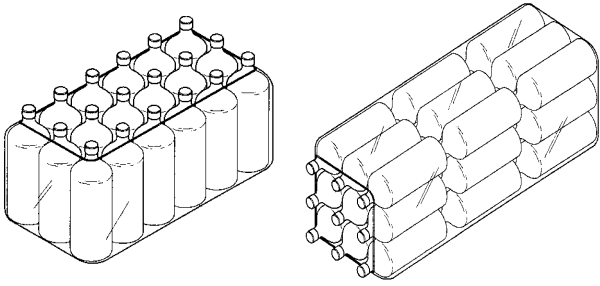


그림 9. Geo-Bottle의 블록화

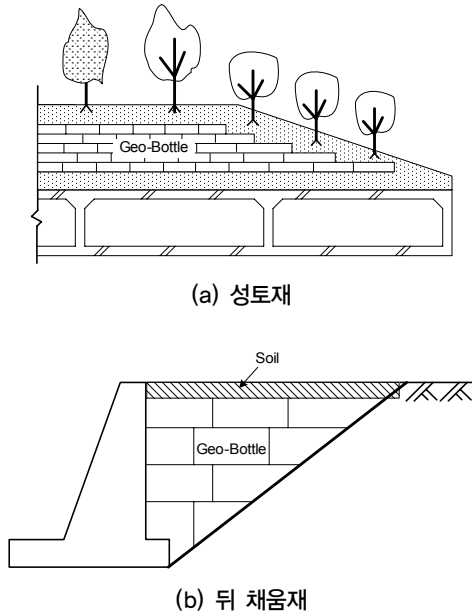


그림 10. Geo-Bottle의 현장적용

1%, 5%가 토목용 3호(D-20) EPS 블록 변형률 1%, 변형률 5%에 해당하는 압축강도와 비교하였을 때 모두 만족하지는 못하였다. 이런 이유는 Geo-Bottle의 형상과 직경에 따른 길이비가 압축강도 값에 영향을 주기 때문이라고 판단된다.

본 연구를 통하여 Geo-Bottle을 토목용 3호(D-20) EPS 블록 대용으로 활용이 가능하다고 판단되어지며 아울러, Geo-Bottle의 압축강도 결정에 있어서 Dry Ice의 첨가량이 중요한 변수로 작용하고 형상과 크기에 따라 압축강도나 변형률의 차이가 있으므로 반복적인 시험을 통하여 기준을 만드는 것이 중요하리라 판단된다.

4. Geo-Bottle 활용방안

건설현장에서의 Geo-Bottle 적용성을 알아보려고 한다. 일반적으로 연약지반 매립이나 절개지 등의 성토는 토사, 자갈 등과 같은 성토재를 사용하게 되는데, 이런 경우는

배면하중에 의하여 지반 내 응력이 증가하여 배면 토체의 침하나 지반활동 파괴, 측방유동 등의 문제가 발생하게 된다. 따라서 지반변형 현상을 최소화하기 위하여 근본적으로 하중을 경감시킬 때에는 주로 EPS(expanded polystyrene) 성토 공법이 활용되고 있다. 이와 같은 하중경감공법은 공사비가 많이 소요되기 때문에 경량재료이며, 재활용 가능한 Geo-Bottle을 이용하는 방법을 제안하고자 한다.

그림 9는 Geo-Bottle을 블록화 시켜놓은 모습을 나타내고 있다. 그림 10(a)와 10(b)는 EPS 대신 Geo-Bottle을 채움 재료로 사용할 경우를 나타내고 있는데 Geo-Bottle은 경량이기 때문에 옹벽이나 지반에 작용하는 토압을 경감시킬 수 있어 일반 옹벽이나 매립지 내부의 채움재 즉, 측압경감 재료로 사용할 수 있다. 사용방법은 블록화 시킨 Geo-Bottle을 일정 두께로 적층하면서 층간에 미끄럼방지수단과 보강 슬래브 층을 반복적으로 형성하여 적층된 성토층 위에 토사, 자갈 등을 복토함으로써 경량부재 층의 전단현상을 방지할 수 있다. 하지만 Geo-Bottle이 지중에 매설되므로 Geo-Bottle의 블록화 방안과 장기안정을 위해서는 현장의 하중 조건을 반영한 시간경과에 따른 압축강도와 하중으로 인한 기체의 누출 여부에 관한 밀봉 대책 등의 추가적인 연구가 필요하다. 이러한 여러 가지 문제점들을 개선시킨다면 토목용 3호(D-20) EPS 블록대용으로 적용이 가능하리라 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 건설현장의 토목용 3호(D-20) EPS 블록의 압축강도와 Dry Ice를 넣지 않은 PET 병의 압축강도, PET 병에 Dry Ice를 넣은 후(Geo-Bottle)의 압축강도를 비교하였으며, 시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) PET 병에 Dry Ice 첨가 무게를 증가할수록 선형적으로 압력 또한 증가함을 알 수 있었으며, PET 병속에 Dry Ice를 첨가한 후 병마개로 밀봉하여 장시간(365일) 방치 하였을 때 Geo-Bottle 압력은 Dry Ice 즉, 고체가 기체로 변하는 승화현상을 거쳤지만 거의 일정함을 알 수 있었다.
- (2) 토목용 3호(D-20) EPS 블록의 압축강도는 1% 변형시 $0.43 \sim 0.48 \text{ kg/cm}^2$ 이며, 5% 변형 시에는 $1.12 \sim 1.15 \text{ kg/cm}^2$ 로 나타나 차이는 있었지만 토목용 3호(D-20)의 압축강도 표준치를 만족함을 알 수 있었다.

- (3) Dry Ice를 첨가하지 않은 PET 병(thin type, thick type)의 압축강도는 토목용 3호(D-20) 1% 변형률인 허용압축강도 0.5kg/cm^2 , 5% 변형률인 품질관리 시 압축강도를 만족하지 못하는 것을 확인하였다.
- (4) Dry Ice를 첨가한 PET 병(thin type, thick type) 즉, Geo-Bottle에서는 PET 병의 크기와 두께에 상관없이 Dry Ice를 첨가하였을 경우에 압축 강도 값이 Dry Ice를 첨가하지 않은 경우 보다 증가함을 알 수 있었으며, 토목용 3호(D-20)의 변형률 1%와 변형률 5%에 해당하는 압축강도와 비교하였을 때 0.59L Geo-Bottle(thin type, thick type)이 토목용 3호(D-20)의 변형률 1%, 5%에 해당하는 압축강도를 만족하였으며, 0.95L, 2.0L Geo-Bottle은 토목용 3호(D-20)의 변형률 1%, 5% 모두다 만족하지는 못하였다. 이런 이유는 형상과 직경에 따른 길이비의 영향으로 압축강도 값에 영향을 주기 때문임을 알 수 있었다.

- (5) PET병을 재활용 하여 Geo-Bottle을 만들기 때문에 친환경적이며, 경량이기 때문에 연약지반이나 옹벽 등의 뒤채움 재료로 하중을 경감시킬 필요가 있는 곳에서 현장 적용의 가능성을 확인하였다.

참고문헌

1. 이대수, 김경열, 홍성연, 황성춘 (2006), “대형직접전단시험을 이용한 조립재료의 전단거동 특성(II)”, *한국지반공학회논문집*, Vol.22, No.4 pp.51-59.
2. 이승은 (2009), *불용 자원의 효율적 활용을 위한 공학적 연구*, 박사학위논문, 목포해양대학교.
3. 장용채, 이승은, 존 바우더스 (2008), “불용자원의 접촉면 마찰특성 평가”, *2008년도 한국지반공학회 가을학술발표회*, pp.1456-1462.
4. 허종오 (1997), “폐PET병의 리사이클링”, *한국자원리사이클링학회 논문집*, 제6권, 제2호, pp.42-46.

(논문접수일 2010. 2. 10, 심사완료일 2010. 3. 19)