

폐기물 매립시설의 배수층 및 보호층으로서의 Geo-Multicell-Composite(GMC)의 적합성에 관한 연구

A Feasibility Study on GMC (Geo-Multicell-Composite) of the Leachate Collection System in Landfill

정성훈¹, 오승진¹, 오민아¹, 김준하¹, 이재영^{2*}

Sung-Hoon Jung¹, Seungjin Oh¹, Minah Oh¹, Joonha Kim¹, Jai-Young Lee^{2*}

¹Graduate Student, Department of Engineering, University of Seoul, 163 Siripdae-ro, Dongdaemoon-gu, Seoul, 130-743, ROK

²Member, Professor, Department of Engineering, University of Seoul, 163 Siripdae-ro, Dongdaemoon-gu, Seoul, 130-743, ROK

ABSTRACT

Landfill require special care due to the dangers of nearby surface water and underground water pollution caused by leakage of leachate. The leachate does not leak due to the installation of the geomembrane but sharp wastes or landfill equipment can damage the geomembrane and therefore a means of protecting the geomembrane is required. In Korea, in accordance with the waste control act being modified in 1999, protecting the geosynthetics liner on top of the slope of landfill and installing a drainage layer to fluently drain leachate became mandatory, and technologies are being researched to both protect the geomembrane and quickly drain leachate simultaneously. Therefore, this research has its purpose in studying the drainage functions of leachate and protection functions of the geomembrane in order to examine the application possibilities of Geo-Multicell-Composite (GMC) as a Leachate Collection·Removal and Protection System (LCRPs) at the slope on top of the geomembrane of landfill by observing methods of inserting filler with high-quality water permeability at the drainage net. GMC's horizontal permeability coefficient is $8.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ to legal standards satisfied. Also crash gravel used as filler respected by vertical permeability is 5.0 cm/s, embroidering puncture strength 140.2 kgf. A result of storm drain using artificial rain in GMC model facility, maximum flow rate of 1,120 L/hr even spray without surface runoff was about 92~97% penetration. Further study, instead of crash gravel used as a filler, such as using recycled aggregate utilization increases and the resulting construction cost is expected to savings.

요 지

폐기물 매립시설은 침출수의 발생 및 누출로 인하여 인근 지표수나 지하수의 오염을 초래할 수 있기 때문에 각별한 관리가 요구된다. 침출수는 차수층의 설치로 인하여 외부로 누출되지 않으나, 매립 중 날카로운 폐기물이나 매립장비로부터 차수층이 손상 받을 우려가 있기 때문에 차수층을 보호할 수 있는 시설이 필요하다. 국내에서는 1999년에 폐기물관리법이 개정되면서 폐기물 매립시설 사면부 위 토목합성수지라이너를 보호하고 침출수를 원활하게 배수시키기 위한 보호 및 배수층의 설치를 의무화하였으며, 차수층을 보호하는 동시에 침출수를 신속히 배수시켜 줄 수 있는 기술들이 연구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 배수망에 투수성이 우수한 충전재를 삽입하는 방법을 착안하여 폐기물 매립시설 사면부 차수층 위에서 침출수 집배수 및 보호층(Leachate Collection·Removal and Protection System, LCRPs)으로서 Geo-Multicell-Composite(GMC)의 적용가능성을 알아보기 위하여 침출수의 배수기능과 차수층의 보호기능에 대하여 연구하고자 한다. GMC의 수평투과능계수를 측정된 결과 $8.0 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ 로 법적기준을 만족시켰다. 또한 GMC의 충전재로 사용된 쇄석은 수직투수계수가 5.0cm/s, 꿰뚫림강도는 140.2kgf로 매우 효과적인 것으로 나타났다. GMC 모형시설에서 인공강우를 통한 강우배출실험 결과, 최대유량인 1120L/hr로 살포시에도 표면 유출수 없이 약 92 ~ 97%가 침투되었다. 추후에는 충전재로 사용된 쇄석 대신 재활용골재 등을 사용하여 재활용골재의 활용성 증가와 그로 인한 시공비용 절감의 효과에 대한 연구가 기대된다.

Keywords : Geosynthetics, HDPE, Leachte, Drainage layer, Protection layer, Filler, Landfill

Received 24 May. 2013, Revised 16 Dec. 2013, Accepted 17 Dec. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-2-6490-2864; Fax: +82-2-6490-2859

E-mail address: leejy@uos.ac.kr (J. Y. Lee)

1. 서론

1.1 연구배경

폐기물 매립시설에서의 매립과정 중 강우에 의해서 또는 폐기물 내부에서 침출수가 발생하여 폐기물 매립시설 외부로 누출 시 인근 지표수 및 지하수오염 등 환경문제가 유발될 수 있기 때문에 차수층의 설치가 필요하며, 발생하는 침출수를 신속히 배출시켜야 한다. 특히, 폐기물 매립시설 사면부에서 매립 중 날카로운 폐기물이나 매립장비로부터 차수층이 손상을 입을 수 있기 때문에 차수층을 안전하게 보호시켜주기 위한 시설이 요구된다(Kim, 2004; Kim et al., 2003).

폐기물 매립시설 사면부에서의 차수층은 침출수 집배수 및 보호층(Leachate Collection·Removal and Protection System, LCRPs)으로 구성되는 시스템에 의해서 관리되어지고 있으며 모래, 자갈 등의 천연재료나 geocomposite, geonet, geotextile 등의 토목합성섬유가 주로 이용되고 있다(Kim et al., 2010). 일반적으로 폐기물 매립시설의 설계수명이 약 30년이며, 이 기간 동안 발생하는 침출수는 침출수 집배수 시스템을 통하여 침출수 처리 시설에 의해 제거된다(Brand and Pang, 1991).

국내에서는 2013년 폐기물관리법이 개정됨에 따라 매립 시설에는 토목합성수지 라이너를 보호하고 침출수를 원활하게 배출하고자 매립시설 바닥의 차수시설 위에는 침출수 집배수층(투수계수는 $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 이상이며 두께는 30cm 이상), 집배수관로 등 수평 집배수시설 및 수직집수정 등의 침출수 집배수시설을 설치하고, 매립시설의 측면에는 매립무게의 상태에서 투과능 계수가 ($3 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ 이상)인 geocomposite, geonet 또는 geotextile 등의 토목합성수지를 배수층의 설치를 의무화하였다.(The ministry of environment in Korea, 1999). 이에 따라 침출수 집배수 및 보호층에 관한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있으며 배수성이 높은 모래를 마대자루에 채우는 방법을 이용하는 공법, 페타이어 내부에 모래와 같은 배수재를 채우거나 페타이어 박편을 채우는 공법, 최근에는 페타이어를 주원료로 사용하는 투수성 고무칩블럭 공법이 개발되어 시공되고 있다(Moon, 2011). 그러나 모래마대를 이용하는 공법은 폐기물의 하중이나 날카로운 폐기물로 인한 마대의 손상으로 모래의 유출이 발생할 수 있고, 페타이어를 이용하는 공법은 페타이어 수급문제와 페타이어 내부에 침출수가 고임으로 인한 배수성 문제, 악취 및 해충문제가 발생할

수 있으며, 투수성 고무칩블럭을 이용하는 공법은 매립이 진행될수록 매립자중에 의한 자재의 변형이나 처짐현상이 일어나 추후에 보수작업 및 비용의 문제가 발생할 수 있다(Jeong et al., 2009; Alpha Hwasung Ltd., 2011).

1.2 연구목적 및 범위

본 연구에서는 폐기물 매립시설 사면부 차수층 위에서 침출수 집배수 및 보호층으로서 Geo-Multicell-Composite(GMC)의 적용가능성을 알아보기 위하여 침출수의 배수기능과 차수층의 보호기능에 대하여 분석하고자 한다.

먼저 GMC의 침출수 배수기능을 알아보기 위하여 국내 법적기준에 제시되어 있는 폐기물 매립시설 사면부의 수평투과능계수를 적용하여 법적기준치와 선행기술의 수평투과능계수를 비교함으로써 GMC의 침출수 배수성을 확인하였으며, GMC의 충전재로서 사용되는 쇄석의 투수성을 알아보기 위하여 국내 법적기준에 제시되어 있는 폐기물 매립시설 바닥부의 수직투수계수를 적용하여 법적기준과 선행기술의 수직투수계수를 비교함으로써 충전재(쇄석)의 투수성을 확인하였다(Jeong et al., 2008; The ministry of environment in Korea, 2011). 그리고 GMC의 실제 현장 적용 시 배수성을 확인하기 위하여 폭 4m, 길이 5m, 경사 45°의 모형시설을 설치하여 인공강우장도를 살수한 후 살수유량 대비 침출율을 산출하였다.

다음으로 GMC의 차수층 보호기능을 알아보기 위하여 꿰뚫림 강도를 측정하여 선행기술의 꿰뚫림 강도 결과와 비교하여 차수층의 보호성을 확인하였다.

추가적으로 GMC가 현장에 적용될 시 산성침출수에 장기간 노출되어 GMC 자체로부터 중금속이 용출될 수 있기 때문에 폐기물공정시험에 의거하여 중금속 5개 항목에 대해 용출시험을 실시하였다.

1.3 침출수 집배수 및 보호시스템(LCRPs)

폐기물 매립시설 내부에서 강우나 폐기물 자체로부터 침출수가 발생하기 때문에 차수층의 설치가 필요하고 신속한 침출수의 배수가 요구된다. 그러나 매립 중 날카로운 폐기물로부터 또는 매립장비로부터 사면부의 차수층이 파손될 우려가 있기 때문에 차수층을 안전하게 보호하기 위한 방안이 필요하다.

폐기물 매립시설 사면부에서 침출수 집배수 및 보호층은 차수층의 손상을 막는 동시에 침출수를 신속히 배수시

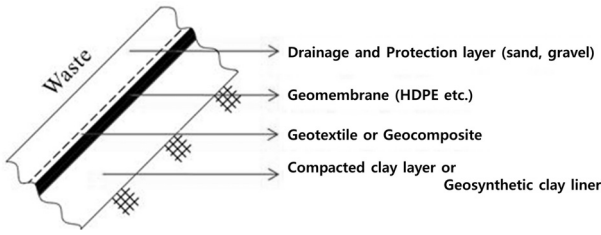


Fig. 1. A schematic cross-section of side slope in landfill

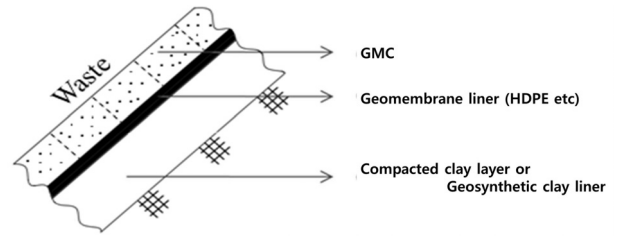


Fig. 2. A schematic cross-section with GMC in the side slope

Table 1. Index properties of GMC component

	Stress (kgf)	Strain (%)	Seam strength (kgf)	Permeability coefficient (cm/sec)	Specific gravity	Weight (g/m ³)
PET mat	70	10 ~ 30	1744.4	$1 \times 10^{-2} \sim 10^{-4}$	1.1	200
Felt	26	50	255	1×10^{-1}		200
Grid net	3	12				350



Fig. 3. GMC installation using the ultrasonic wave device

키기 위하여 Fig. 1과 같이 지오멤브레인 위에 모래, 자갈, geotextile 및 geocomposite와 같은 토목합성섬유를 이용하여 설치한다(Adams, 2000).

폐기물 매립시설에서 침출수가 외부로 누출되는 것을 막기 위하여 매립시설 바닥과 사면부에 폐기물의 성질, 상태, 매립 높이, 지형조건, 등을 고려하여 점토나 점토광물혼합토 등과 같은 점토류라이너, 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 또는 이에 준하는 재질의 토목합성수지라이너를 사용하여 차수시설을 설치하여야 하며, 이 경우 폐기물의 무게 및 성질 등에 대해 안전할 수 있도록 설계·시공하여야 한다(Go et al., 2000).

매립시설의 차수층이 설계·시공되면 폐기물관리법 시행규칙 [별표 9]의 침출수 집배수층 설치에 관한 법적기준에 따라 바닥부 법적기준은 투수계수가 1×10^{-2} cm/sec 이상, 두께가 30센티미터 이상인 침출수 집배수층 및 보호층이 포설되어야 하며, 사면부의 경우 투과능계수가 3.3×10^{-5} m²/sec 이상의 침출수 집배수층 및 보호층을 설치하도록 규제하고 있다.

1.4 Geo-Multicell-Composite (GMC)

GMC는 배수망에 투수성이 우수한 충전재를 삽입하는

방법을 고안하여 차수층 보호 및 침출수 배수기능을 가지는 geocomposite와 배수기능 보강자재인 geocell을 조합시킨 토목합성섬유로서 일반적인 침출수 집배수층 및 보호층의 포설부위에 설치한다(Fig. 2).

GMC는 폐기물 매립시설 사면부 위에서 매립 중 날카로운 폐기물이나 매립장비로 인한 차수층의 손상을 방지하며 신속하게 침출수를 배수시키는데 목적이 있다. 강도 확보를 위한 PET매트 위에 부직포(카본블랙처리)를 니들 펀칭공법으로 접하고 그 위에 네트를 접합하여 바닥부를 제조하며, 바닥부 상부에 수직가로망네트피를 열융착으로 접착시키는 동시에 서로 마주보는 수직가로망네트피 사이 수직세로망네트피를 열융착으로 접착시켜 다수의 배수골재 충전셀을 갖도록 구성한다.

이렇게 구성함으로써 사면부에서 충전재의 이동 및 유실을 방지하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 네트의 두께 및 셀간격을 변화시켜 충분한 내구성을 확보하도록 구성할 수 있고, 초음파 열융착장비를 휴대하여 시공함으로써 시공이 용이하며 안정적으로 시공할 수 있다(Fig. 3).

2. 연구내용 및 방법

2.1 충전재의 물리·화학적 특성시험

GMC의 충전재로서 쇄석을 사용하였고, 충전재의 최대 입경과 함수율 및 pH 시험을 실시하였다.

2.1.1 쇄석의 입경선별

침출수 집배수층의 기능을 하기 위해서는 GMC에 포설되는 충전재의 기능 중 침출수를 원활하게 배수시키는 기능이 가장 중요하다. 이 때 입경이 너무 작으면 투수계수가 낮아지기 때문에 투수력 저하의 문제가 발생할 수 있고, geocell의 그물코로부터 충전재의 유실이 일어날 수 있다. 반면에 충전재의 입경이 너무 크면 GMC층 공극 사이로 침출수뿐만 아니라 일부 폐기물이 함께 유출되어 차수층이 손상될 우려가 있기 때문에 적정 입경의 충전재가 GMC 내부에 포설되어야 한다.

충진 쇄석을 무작위로 5개 선별하여 버니어 캘리퍼스(Vernier calipers)를 이용 최대입경을 측정하였으며, 지오셀의 그물코와 비교, 충전재로서의 쇄석 사용가능성을 검토하였다.

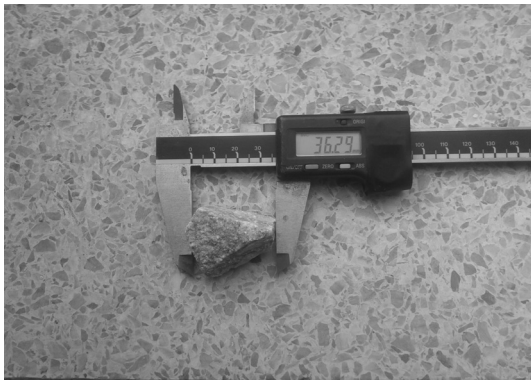


Fig. 4. Maximum particle size of filler (Crash gravel)

2.1.2 함수율

침출수 집배수 기능을 하는 GMC는 그 자체의 함수기능이 중요하다. 현장에서 GMC 시공 시 내부 충전재로 사용되는 쇄석은 약 12cm 높이로 포설되며, 따라서 본 실험에서는 함수율의 측정을 위해서 빈 용기에 바닥면의 넓이만큼 절단한 GMC를 깔고 그 위에 12cm 높이로 쇄석을 포설하여 함수율 시험을 준비하였다. 함수율은 KS F 2306 시험방법에 의해 실시하였으며, 3회 측정결과의 평균을 산출하였다.

자연건조상태에서 준비한 GMC와 쇄석의 함수율(초기 함수율)을 측정하였고, 강우 및 침출수로부터 흡수할 수 있는 수분의 양을 유추하기 위하여 GMC와 쇄석이 물에 충분히 젖게 한 후 더 이상 물이 아래로 떨어지지 않을 때의 습윤상태 함수율(임계함수율)을 측정하였다.

2.1.3 수소이온농도지수(pH)

충진된 쇄석의 pH에 따라 매립지 침출수의 성상이 변화할 수 있기 때문에 매립지 내 포설되는 자재의 pH는 매우 중요한 인자가 된다. 폐기물공정시험기준 ES 07320.1에 준하여 수소이온농도-유리전극법(pH-Electrometric)에 따라 pH meter(Neo PDC-700L Multimeter, Istek, Korea)를 이용하여 측정하였다. 충전재의 pH를 분석하기 위하여 쇄석과 정제수를 1 : 2.5 비율로 잘 교반하여 30분 이상 방치한 후 상층액의 pH를 측정하였다. 그리고 폐기물 매립시설에서 발생하는 침출수의 pH를 예상하여 pH 4부터 pH 8까지 5개의 인공침출수를 제조하였으며, 여기에 쇄석을 넣은 후 시간이 지남에 따라 pH가 어떻게 변화하는지 실험하였다. pH의 조절을 위하여 염산(HCl)과 수산화나트륨(NaOH)을 사용하였다.



Fig. 5. The measurement equipment of the moisture content and pH

2.2 GMC 기능성시험

GMC의 침출수 집배수 및 보호층으로서 적용성 평가를 위하여 투수시험 및 꿰뚫림강도 시험을 실시한 후 국내 법적기준 및 선행기술과의 비교, 고찰을 수행하였다.

2.2.1 꿰뚫림강도시험

날카로운 폐기물 또는 매립작업 중 매립장비로부터 차수층이 파손될 수 있기 때문에 GMC가 가지는 차수층 보호성을 국내 법적기준과의 비교를 통해 평가하고자 하였으나 국내 법적기준이 아직 제시되어 있지 않은 실정이다. 따라서 GMC의 선행기술인 D사에서 신기술인증을 받은 투수성 고무칩블럭의 꿰뚫림강도 값 비교를 통하여 GMC의 차수층 보호성을 평가하였다(Kim et al., 2010). 꿰뚫림강도시험은 KS K 0744 시험방법 (기술표준원 고시 제 2012-0822호)으로 실시하여 5회 평균값을 산출하였다.

2.2.2 투수시험

GMC의 배수성을 평가하기 위해 폐기물 매립시설 사면부의 법적기준인 수평투과능계수를 적용하여 ASTM D 4716 시험방법으로 3회 측정 후 평균값을 산출하였다. 충전재(쇄석)를 채운 GMC의 배수성을 평가하기 위하여 수평투과능계수를 측정하고자 하였으나, 쇄석의 파쇄로 인한 분석기기 손상의 우려로 측정할 수 없었다. GMC 충전

재로서 쇄석의 배수성을 평가하기 위해 폐기물 매립시설 바닥부의 법적기준인 수직투수계수를 적용하여 KS F 2322 시험방법으로 3회 측정 후 평균값을 산출하였다. 또한 선행기술인 투수성 고무칩블럭의 투수시험 결과와의 비교를 통하여 GMC 및 쇄석의 투수성을 평가하였다.

2.3 용출시험

GMC의 폐기물 매립시설 적용 시, 내부에서 발생하는 침출수에 장기간 침지되어있을 경우 GMC 자체가 중금속을 함유하고 있다면 산성상태에서 환경으로 용출될 가능성이 있다. 따라서 폐기물공정시험방법의 중금속용출시험(KSLT)에 준하여 GMC의 중금속 용출 가능성을 평가하였으며, 폐기물관리법 시행규칙 [별표 1]에 의거, 오염물질로 규정하고 있는 납(Pb), 비소(As), 카드뮴(Cd), 6가크롬(Cr⁶⁺), 구리(Cu) 등 총 5개 항목에 대하여 3회 분석을 수행하였다.

2.4 현장실험

본 연구에서는 현장설치 시의 GMC 배수성을 직접 확인하기 위하여 GMC 모형시설을 설치하였으며, 인공강우 살수 후 살수유량에 대한 침출율을 산출하였다. GMC 모형시설의 규모 및 살수조건은 다음 Table 1과 같다.



Fig. 6. Vertical permeability and puncture strength equipment

Table 1. The condition of test bed in field

Classification	Unit	Reference
Width	4m	-
Length	5m	-
Thickness	0.12m	The height in which the filler is filled
Slope	45°	Length:height = 1:1
Input rate (Artificial rainfall intensity)	420/hr	<ul style="list-style-type: none"> • Duration time : 1hr, 3hr, 5hr • Average of 3 times
	700L/hr	
	1120L/hr	

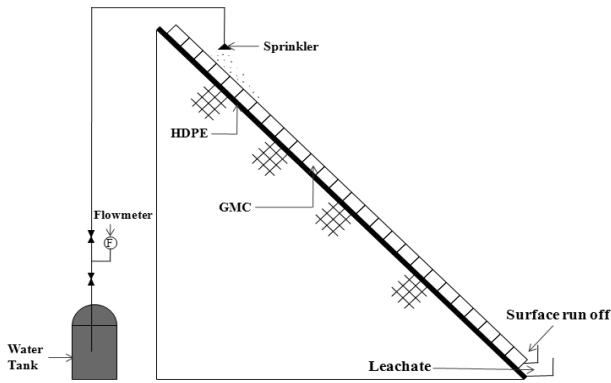


Fig. 7. A schematic of GMC installation

실험에 앞서 건설용 쇠파이프와 나무합판을 조립하여 45° 경사의 매립장 사면을 제작하였고, 사면 위에 차수재로 사용되는 HDPE 시트(두께 : 2mm)를 포설하고 그 위에 셀 크기 300mm × 270mm × 120mm의 GMC를 설치하였다(Fig. 7~8). 인공강우 살수를 통해 침출되는 유량을 측정하기 위하여 모형시설의 사면 아래에 도랑을 판 후 침출수 집수용 유량탱크를 땅에 묻어 자연유하식으로 침출수가 집수될 수 있도록 하였다. 침출수 집수용 유량탱크는 수위 차이로 유량을 측정할 수 있도록 제작하였고, 충분한 살수 유량을 확보하기 위해 인공강우 살수용 유량탱크를 설치하였으며, 침출수 집수용 유량탱크와 펌프로 연결함으로써 물을 순환시킬 수 있도록 제작하였다.

인공강우 살수용 유량탱크에 살수 펌프와 유량계를 설

치한 후 그 사이에 밸브를 설치함으로써 인공강우를 일정하게 살수할 수 있도록 하였으며, 인공강우를 GMC 모형 시설에 골고루 분사시키기 위하여 Fig. 9와 같은 스프링클러(sprinkler)식 분무기를 사용하였다. GMC 모형시설에 인공강우를 낮은 강우강도에서부터 서서히 높은 강우강도로 조정하여 1시간, 3시간, 5시간 동안 3회 측정하였으며, 살수종료 후에도 침출수가 발생하기 때문에 살수 종료 후 1시간동안 더 침출수를 집수시켰다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 충전재의 물리·화학적 특성시험

3.1.1 쇠석의 입경선별

쇠석을 GMC의 충전재로서 사용하기 위하여 무작위로 고른 쇠석 입자의 최대입경은 Table 4.1와 같이 26 ~ 48mm 범위로서, 그물코 크기가 7 ~ 8mm인 geocell과 비교하여 그 사이로 충전재의 유실없이 충분한 배수성을 나타낼 것으로 예상된다(Alpha Hwasung Ltd, Korea Environment Corporation., 2011).

3.1.2 함수율

GMC와 충전재인 쇠석이 정량적으로 흡수할 수 있는 침출수의 양을 임계함수율(습윤상태)과 초기함수율(자연



Fig. 8. The test bed for the drainage test of GMC in field

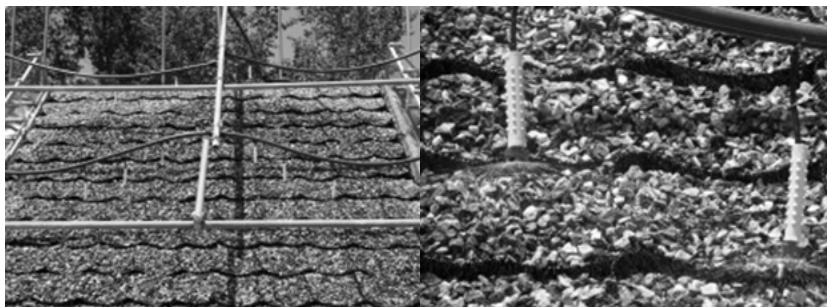


Fig. 9. The sprinkler of the test bed in field



Fig. 10. The crash gravel in filler

건조상태)의 차이를 이용해서 유추하고자 한다.

함수율 실험결과, 임계함수율이 2.98%, 초기함수율이 0.23%으로 나타나 폐기물 매립시설에서 침출수 발생 시 GMC와 충전재 중량의 약 2.75%에 해당하는 침출수를 GMC와 충전재가 함유할 수 있을 것으로 판단하였다.

3.1.3 수소이온농도(pH)

쇄석의 수소이온농도는 pH 8.85부터 pH 8.96의 범위로 pH 9에 근접한 약 염기성을 나타내었다. 이는 쇄석의 석

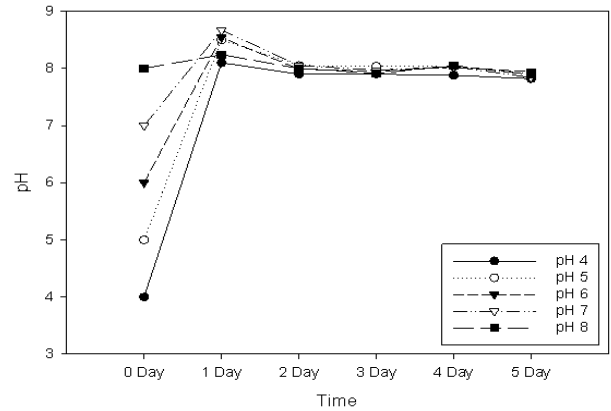


Fig. 11. The results of pH test

회질 성분으로 인하여 pH가 상승한 것으로 판단된다.

폐기물 매립시설 침출수를 모사한 인공침출수에 쇄석을 넣은 후 pH 변화를 확인한 결과, Table 4에 제시한 바와 같이 하루가 지나면서 5개의 인공침출수가 pH 8에 수렴한 후 시간이 더 지나도 거의 일정하게 유지되는 것을 확인하였다. 이를 통해 폐기물 매립시설에 산성 침출수가 발생할 경우, 침출수 처리장으로 유입되기 전 GMC에 집

Table 2. The results of maximum particle size test

No.	Maximum particle size (mm)	Average maximum particle size (mm)	Reference
#1	43	38.8	Filler : Crash gravel
#2	48		
#3	41		
#4	26		
#5	36		

Table 3. The results of moisture content test

Test	No.	Moisture content (%)	Average moisture content (%)
Initial moisture content	#1	0.23	0.23
	#2	0.26	
	#3	0.20	
Final moisture content	#1	2.91	2.98
	#2	3.14	
	#3	2.88	

Table 4. The results of pH test

Time	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	Reference
1 Day	8.10	8.50	8.54	8.67	8.24	pH of crash gravel (3 times): 8.85, 8.95, 8.96
2 Day	7.90	8.05	7.99	8.05	8.00	
3 Day	7.90	8.04	7.95	7.97	7.91	
4 Day	7.88	8.03	8.02	8.03	8.05	
5 Day	7.82	7.90	7.94	7.84	7.89	
11 Day	7.90	8.00	7.98	7.93	7.96	

배수된 침출수를 중화시켜 처리효율을 높일 수 있으며, 폐기물 매립시설 외부로의 침출수 누출 시 쇄석으로 인한 산성 침출수의 완충효과가 있을 것으로 판단하였다.

3.2 기능성시험

3.2.1 꿰뚫림강도시험

GMC와 선행기술인 투수성 고무칩블럭의 꿰뚫림강도를 비교한 결과는 Table 5에 제시한다. 실험결과, 투수성 고무칩블럭(79.9kgf)보다 GMC의 꿰뚫림강도(140.2kgf)가 더 높았으며, 따라서 날카로운 폐기물이나 장비로부터 GMC의 차수층 보호기능이 우수하다고 판단하였다.

더불어 문헌고찰(Lee et al., 2003)을 통하여 여러 종류의 토목합성수지와 GMC의 꿰뚫림 저항성을 비교한 결과 geocomposite의 경우 117kgf로 GMC의 꿰뚫림 강도가 더 높은 것으로 나타났으며, HDPE의 경우 153kgf로 GMC와 비슷한 값을 나타내었다. 또한 GMC는 152.5kgf/cm²의 HDPE에 준하는 항복인장강도 가지는 것으로 확인되어 폐기물의 무게에 대한 안정성 역시 확인할 수 있었다.

3.2.2 투수시험

폐기물 매립시설 사면부의 법적기준인 수평투과능계수

를 적용하여 GMC와 선행기술인 투수성 고무칩블럭을 비교한 결과는 Table 6과 같다. GMC의 수평투과능계수가 $8.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 로서 법적기준($3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)을 만족하는 동시에 침출수 집배수층 선행연구로 신기술 인증을 획득한 투수성 고무칩블럭($4.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$)보다 높아 침출수 배수성이 우수하다고 판단할 수 있다.

폐기물 매립시설 바닥부의 법적기준인 수직투수계수를 적용하여 GMC의 충전재인 쇄석과 투수성 고무칩블럭을 비교한 결과, 쇄석의 수직투수계수가 5.0cm/s로서 법적기준($1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$)과 투수성 고무칩블럭($7.5 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$)보다 높기 때문에 GMC의 충전재로서 사용하기에 적합하다고 판단한다.

3.3 용출시험

GMC를 폐기물용출시험방법에 따라 중금속 용출 후, 폐기물관리법시행규칙 [별표 1]에 의거하여 오염물질로 규정된 납(Pb), 비소(As), 카드뮴(Cd), 6가크롬(Cr⁶⁺), 구리(Cu) 총 5개 항목에 대하여 3회 측정된 결과는 Table 7에 제시한다. 측정 결과 5개 항목의 중금속 모두 국내 법적기준치 이내로 분석되었으며, 따라서 GMC에 자체가 함유한 중금속에 따른 매립지 내 오염 발생은 없다고 판단하였다.

Table 5. The puncture strength test results comparison with GMC and rubber chip block

Classification	Puncture strength (N)	Puncture strength (kgf)	Reference
GMC	1374.5	140.2	N = 9,80665 kgf
Rubber chip block	783.6	79.9	

Table 6. The permeability test results comparison with GMC and rubber chip block

Classification	GMC	Rubber chip block	Reference
Horizontal permeability (m ² /s)	8.0×10^{-4} (GMC)	4.6×10^{-4}	Legal standard (slope) : $> 3 \times 10^{-5}$
Vertical permeability (cm/s)	5.0 (crash gravel)	7.5×10^{-1}	Legal standard (bottom) : $> 1 \times 10^{-2}$

Table 7. The results of leaching test with GMC by KSLT

Classification	Standard (mg/L)	Concentration (mg/L)
Pb	3.0	1.5
As	1.5	0.9
Cd	0.3	N.D.
Cr ⁶⁺	1.5	0.2
Cu	3.0	2.0

N.D. : Not Detected

Table 8. The results of simulation in field

Artificial rainfall intensity	Duration time (hr)	Input rate (L)	Output rate (L)	Reference
420L/hr	1hr	420L	392L	Average of 3 times
	3hr	1260L	1181L	
	5hr	2100L	1975L	
700L/hr	1hr	700L	660L	
	3hr	2100L	2019L	
	5hr	3500L	3353L	
1120L/hr	1hr	1120L	1090L	
	3hr	3360L	3264L	
	5hr	5600L	5420L	

3.4 현장실험

GMC 모형시설에 인공강우의 강도를 서서히 높여가는 방법으로 GMC가 침출시킬 수 있는 최대 강우강도를 확인하고 GMC의 배수성을 평가하였으며 그 결과는 Table 8 과 같다.

먼저 420L/hr의 인공강우를 살수할 수 있도록 조정한 후 1시간, 3시간, 5시간 동안 살수한 결과 run off 없이 인공강우가 GMC 내부로 신속히 스며든 후 침출되었고, 인공강우강도를 700L/hr, 1120L/hr로 높여 동일한 조건으로 실험한 결과 역시 모든 인공강우가 GMC에 스며든 후 침출되는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 1120L/hr 이상의 인공강우강도에서는 스프링클러식 분무기의 회전속도가 높아짐에 따라 GMC 모형시설 외부로 살수유량의 직접적인 누출이 발생하였으며, 인공강우가 쇄석과 부딪힌 후 미세한 물입자의 형태로 누출이 발생하기 때문에 인공강우강도 1120L/hr 이상에서 GMC의 배수성을 확인할 수 없었다.

GMC 모형시설 사면의 넓이 20m²(폭 4m × 길이 5m)를 인공강우강도 1120L/hr에 나누면 0.056m/hr이므로 본 연구에서 사용한 GMC를 실제 현장에 적용 시 최소한 56mm/hr 이상의 강우강도에서도 침출수 집배수 시설의 역할을 충분히 할 수 있을 것으로 판단한다.

인공강우 살수 시 모든 강우가 표면 유출수 없이 GMC에 스며들었지만, 살수유량의 92~97%만 회수됨으로서 손실수량이 발생하였다. 살수유량 중 일부는 GMC와 쇄석에 의해 함유되었거나 햇빛에 의한 증발, 바람에 의해 손실된 것으로 추정된다. 다음 Fig. 12는 GMC 모형시설에서 살수유량과 침출수량을 그래프화한 것으로서 굵은 실선이 살수유량이고 점선이 침출수량이며 그 사이가 손실수량을 나타낸다.

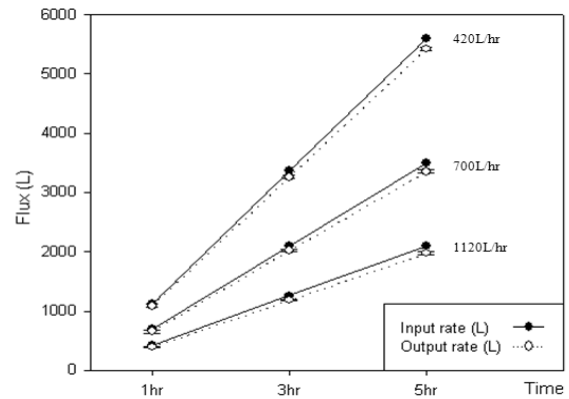


Fig. 12. The results of simulation in field

4. 결론

본 연구는 폐기물 매립시설 사면부에서 침출수 집배수층 및 차수재 보호층으로서 GMC의 적용가능성을 알아보는 데 그 목적이 있다. GMC의 투수성을 평가하기 위하여 국내 법적기준의 충족여부와 선행기술과의 투과능계수 및 투수계수를 비교하였고, GMC의 보호성을 평가하기 위하여 선행기술과의 꿰뚫림강도를 비교, 평가하였으며 GMC의 중요한 기능 중 하나인 배수성을 직접 검증하기 위하여 GMC 모형시설을 이용한 현장실험을 실시하였다. 상기 실험들을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 폐기물 매립시설 사면부의 법적기준인 수평투과능계수를 적용하여 GMC와 선행기술인 투수성 고무침블럭을 비교한 결과, GMC의 수평투과능계수가 $8.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 로서 법적기준($3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)을 만족하는 동시에 침출수 집배수층 선행연구로 신기술 인증을 획득한 투수성 고무침블럭($4.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$)보다 높아 침출수 배수성이 우수하다고 판단하였으며, 폐기물 매립시설 바닥부의 법적기준인 수직투수계수를 적용하여 GMC의 충전재인

쇄석과 투수성 고무칩블럭을 비교한 결과, 쇄석의 수직 투수계수가 5.0 cm/s로서 법적기준(1×10^{-2} cm/s)과 투수성 고무칩블럭(7.5×10^{-1} cm/s)보다 높기 때문에 GMC의 충전재로서 사용하기에 적당하다고 판단한다.

- (2) GMC와 선행기술인 투수성 고무칩블럭의 꿰뚫림강도를 비교한 결과, 투수성 고무칩블럭(79.9kgf)보다 GMC의 꿰뚫림강도(140.2kgf)가 더 높아 날카로운 폐기물이나 장비로부터 GMC의 차수층 보호기능이 우수하다고 판단하였으며, 문헌고찰(Lee et al., 2003)을 통하여 여러 종류의 토목합성수지와 GMC의 꿰뚫림 저항성을 비교한 결과 geocomposite의 경우 117kgf로 GMC의 꿰뚫림 강도가 더 높았고, HDPE의 경우 153kgf로 GMC와 비슷한 값을 나타내었다.
- (3) GMC 모형시설에서 인공강우강도를 420L/hr, 700L/hr, 1120L/hr로 살수할 수 있도록 조정 후 최대 5시간 동안 살수한 결과, GMC 위로부터 표면 유출수 없이 인공강우가 GMC 내부로 신속히 스며든 후 침출되었다. 인공강우강도를 700L/hr, 1120L/hr로 높여 동일한 조건으로 실험한 결과도 마찬가지로 표면 유출수 없이 인공강우가 GMC에 스며든 후 침출되는 것을 확인하였다. 살수유량 중 약 92~97%만이 최종적으로 회수되었고, GMC 내부로부터 일부 살수유량이 함유되거나 인공강우 살수 시 햇빛에 의한 증발이나 바람에 의한 손실이 일어난 것으로 사료된다.

본 연구에서는 GMC의 수평투과능계수 및 꿰뚫림강도가 국내 법적기준을 만족시키고 동시에 선행기술보다 높음으로서 GMC의 우수한 배수성과 보호성을 확인하였으며, 쇄석의 높은 수직투수계수로 인해 GMC의 충전재로서 사용하기에 적당하다고 판단하였다. 현장실험에서 최대 1120L/hr 강우강도의 침출율을 확인하였으나, 분무기의 갯수를 늘린 후 측정한다면 더 높은 강우강도에서의 침출율을 확인할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 GMC의 현장 적용 시 산성 침출수로부터의 장기간 노출로 인한 GMC의 물성저하가 우려되기 때문에 산성조건에서 GMC를 장기간 노출시킨 후 인장강도나 꿰뚫림강도를 측정하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 충전재로서 쇄석을 사용하였지만 쇄석 대신에 재활용골재와 같은 재료를 사용할 시에는 사용되는 골재에 대한 물성특성을 파악하여 충전재 변경에 따른 다른 환경적 영향이 없는지 검토하여야 한다. 이를 만족하는 재활용골재를 이용한 GMC의 구성은 재활

용골재의 활용성을 증가시킬 수 있는 장점과 더불어 시공 비용이 절감될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

References

1. Adams, M. W. (2000), "Forensic study of an HDPE geomembrane after 11 years exposure", University of Pennsylvania, Vol.16, No.4 pp.17-24.
2. Alpha Hwasung Ltd., Korea Environment Corporation (2011), "The feasibility study on drainage and protective layer of Geo-Multicell-Composite (GMC)".
3. Brand, E. W., Pang, P. L. R. (1991), "Durability of Geotextiles to Outdoor Exposure in Hong Kong", J. of Geotechnical Engineering, Vol.117, No.7, pp.979-1000.
4. Go, J. H., Noh, H. J., Lee, J. Y. (2000), "The Study on the Block of Geotextile in Landfill Leachate Catchment and drainage", Proceeding. of Korean Society of Waste Management, Seoul, Korea, pp.195-198.
5. Jeong, H. Y., Lee, G. Y., Chang, Y. C. (2009), "Evaluation of Engineering Properties of Geotextiles for Protection of Geomembrane Water Barrier", The Spring 2009 Geosynthetics Conference, pp.23-30.
6. Jeong, J. H., Lee, J. Y., Lee, M. H. (2008), "Characteristics of Reinforced Drainage Geotextile for Waste Treatment System", J. Korean Geosynthetics Society Vol.7, No.1 March. 2008 pp.31-37.
7. Kim, J. H., Lee, S., Jeong, S. K. (2003), "A Study on the Application of Lateral Vacuum Consolidation Method with Double Mats to the Dreged and Reclaimed Ground", Proceeding. of Korean Society of Civil Engineers, Seoul, Korea, pp. 3572-3577.
8. Kim, K. S., Park, S. I., Choi, C. S. (2010), "A Study on Using Horizontal Drains for Upper Sand Layer on the Soft Ground", J. of Korean Geo-Environmental, 11(3), pp.15-23.
9. Kim, Y. G. (2004), "A Study on the Chemical Stabilization about Artificial Aggregate Application in Landfill Drainage System", Proceeding. of Korean Society of Waste Management, Seoul, Korea, pp.422-425.
10. Lee, K. Y., Chung, J. G., Ahn, Y. S. (2003), "Resistance of Geosynthetics Due to Puncture Loads : Resistance Forces-deformation", J. Korean Geoenviron. Society, 19(5), pp. 263-272.
11. Moon, D. (2011), "Experimental Study on the Stability of Slope Protection Method using Eco-friendly Geo-comb", Univ. of Seoul, Degree of Master of Scienc.
12. The ministry of environment in Korea (1999), "The installation of waste disposal facility", Waste management act, Regulation, Appendix 7.
13. The ministry of environment in Korea (2011), "The installation of waste disposal or recycle facility", Waste management act, Regulation, Appendix 9.