

3차원기법을 이용한 폐기물매립지 정보관리시스템 구축 연구

박진규, 조성윤*, 김병태**, 이남훈***†

(주)에코윌플러스
안양대학교 소프트웨어학과*
대진대학교 환경공학과**
안양대학교 환경에너지공학과***

Information Management System of Solid Waste Landfill based on 3 Dimensional Method

Jin-Kyu Park, Sung-Youn Cho*, Byung-Tae Kim**, Nam-Hoon Lee***†

Ecowillplus Co., Ltd.
Department of Software, Anyang University*
Department of Environmental Engineering, Daejin University**
Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University***

(Received: Oct. 14, 2016 / Revised: Nov. 17, 2016 / Accepted: Nov. 18, 2016)

ABSTRACT: An information management system for a solid waste landfill site was developed, in this study, to optimize the operation and management of solid waste landfill in real time in addition to provide the information of landfill status to the landfill operator, public official concerned and local residents. The landfill information management system is composed of two systems (Solid waste landfill history management system and landfill operation and performance management system). The solid waste landfill history management system based on automated RFID/LPR system allows landfill operators to provide information of waste collection vehicles and received waste. In addition, the system aids in the identification of 3-dimensional (3D) position for landfilled solid wastes. Using the landfill operation and performance management system based on 3D laser scanner delivers information about landfill volume, settlement, landfill density, and current landfill capacity to landfill operators in real time, resulting in optimum space utilization. Ultimately, this system would dramatically reduce exposure of landfill operators to hazardous materials and improve the productivity of landfill operations.

Keywords: Sustainable landfill, Landfill information management system, RFID/LPR, 3D laser scanner

초 록: 본 연구에서는 폐기물매립지 운영자, 관계 공무원 및 지역주민들에게 폐기물매립에 관한 정보 제공은 물론 실시간으로 폐기물매립지의 운영 및 관리를 최적화할 수 있는 매립 정보관리 시스템을 개발하였다. 매립 정보관리 시스템은 두 개의 시스템 (폐기물 매립이력 관리 시스템 및 매립 진척상황 관리 시스템)로 구성되어 있다. 자동화된 RFID / LPR 방식에 의한 고형 폐기물 매립이력 관리 시스템은 폐기물 수거 차량과 반입폐기물의

† Corresponding Author (e-mail: nhlee@anyang.ac.kr)

정보를 관리하며, 또한 폐기물매립지 외각에 설치된 추적 카메라를 이용하여 폐기물의 매립위치 및 매립시간 등의 정보를 3차원으로 DB화하여 향후 매립폐기물의 자원화 및 사후토지 이용 시 필요한 매립이력을 제공할 수 있도록 하였다. 매립진척상황 정보관리 시스템은 레이저 스캐너를 이용하여 실시간으로 매립지 부피 및 용량을 3차원으로 관리하여 매립진척상황을 실시간으로 산정할 수 있도록 하여 향후 매립지 잔여용량 분석을 통한 수요예측이 가능하도록 하였다.

주제어: 순환형 매립, 매립정보관리 시스템, RFID/LPR, 3D 레이저스캐너

1. 서론

폐기물 처리 및 재활용에 관한 새로운 기술들이 지속적으로 개발되고 있지만 여전히 처리 또는 재활용할 수 없는 폐기물들이 다량 발생되고 있는데, 이러한 이유로 향후에도 폐기물 관리시스템에서 매립처분 방법이 중요한 역할을 담당하게 될 것으로 예상된다.

최근의 폐기물 매립기술은 폐기물매립지로 인한 주변 환경의 오염을 차단하는 기술개발에서 매립폐기물의 안정화 촉진기술 개발¹⁻⁴⁾과 폐기물매립지 내부에서 발생하는 다양한 일련의 거동(Fig. 1 참조)을 평가하는 모니터링과 측정기술로의 개발로 변화하고 있다⁵⁾. 이러한 기술의 변화를 이끌어 내는 주요 이유 중 하나는 매립지에 적용되는 차수기술이 장기간에 걸쳐 주변환경 오염 방지를 보증할 수 없기 때문이다⁶⁾. 따라서 폐기물매립의 조기 안정화 기술은 매립지로 인한 주변환경의 오염 가능성을 감소시킬 수 있을 것이며, 환경인자들에 대한 모니터링 및 측정기술의 개발을 통해 매립지에서 발생하는 일련의 현상을 규명한다면 폐기물매립지에서의 오염원 제어에 중요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

폐기물매립지에서 지속가능성을 언급할 때 안정화, 매립 및 사후관리 종료, 주변 환경의 오염 가능성 등이 항상 거론되는 항목들이다. 폐기물매립지

에서 배출되는 오염물질이 주변 환경에 더 이상 악영향을 미치지 않는 수준에 도달하기까지는 아주 장시간이 소요된다⁷⁾. 특히 2000년대부터 밀폐(Capping)형 최종복토가 적용되면서 폐기물매립지의 수분 공급이 이루어지지 않아 폐기물매립지 안정화에는 더 많은 시간이 소요될 것으로 예측되고 있다. 폐기물매립지의 안정화와 예측하는데 시간은 더 이상 신뢰할 만한 변수로 활용할 수 없는 지경에 이르렀다고 볼 수 있다. 더욱이 산업폐기물 매립지들은 상당량의 오염물질 배출 잠재성을 가지고 있으며, 오염물질의 농도는 시간경과와 더불어 점차 감소하지만 법적으로 배출허용기준치를 만족한다는 명분하에 저농도의 오염물질을 주변 환경으로 꾸준히 배출하게 된다. 따라서 지속가능한 매립을 위하여 폐기물매립지에서의 안정화 기간 단축을 포함한 오염물질 배출의 제어와 이러한 오염물질뿐만 아니라 폐기물매립지의 운영 및 성능을 실시간으로 최적화할 수 있는 통합적 관리가 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 지속가능한 매립의 개념과 지속가능한 매립을 달성하기 위한 당면과제를 살펴보고, 이를 극복하기 위한 폐기물매립지의 통합적 관리방안으로 3차원 기법을 기초로 하는 매립진척 상황 및 매립이력 정보관리 시스템을 제시하고자 한다.

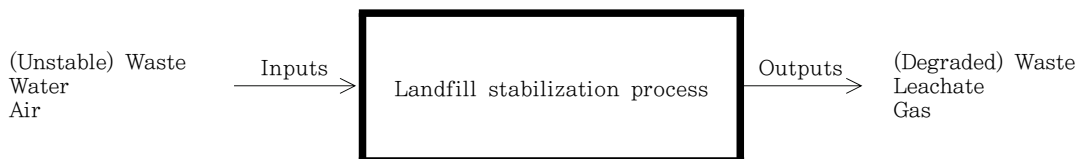


Fig. 1. Inputs and outputs of a landfill stabilization process.⁴⁾

II. 지속가능한 매립의 개념과 필요정보

2.1 지속가능한 매립

기존의 전통적인 혐기성 매립의 경우 Fig. 2와 같이 오염물질의 배출이 매우 장시간에 걸쳐 일어나고, 매립지 운영기간중에 최대 오염물질 누적량이 도달한 후 사후관리 기간 동안 천천히 감소하게 된다⁸⁾. 현재 폐기물매립지의 사후관리기간은 국내 외적으로 30년으로 제시되고 있으나, 사후관리를 30년 동안 진행한 폐기물매립지가 거의 없어 사후관리기간 적정성에 대한 논란이 있으며 특히 현재 매립 종료 시 최종복토 형식이 밀폐화(Capping)가 이루어지는 위생매립지의 사후관리 기간은 30년도 부족하며 많은 부정적 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 따라서 기존 혐기성 매립기술은 사후관리기간인 30년 후에도 누출되는 오염물질의 누적량(M_{30})이 환경에서 수용 가능한 양(M_a)을 초과하기 때문에 30년 후에도 매립지를 오염원으로 고려해야 하는 것을 의미하며, 또한 매립지 운영자가 사후관리를 위해 적립한 경제적 비용을 초과하는 것을 나타낸다.

폐기물매립지의 경우 지속 가능성의 정의는 명확하지 않으며, 매립지의 지속가능성은 매립지 운영자, 지역주민, 담당 공무원에 따라 상반되는 의미를

나타낼 수 있다. 따라서 국제적으로 지속가능한 매립에 대한 정의는 도출되지 않았지만, 기존 문헌들에서의 지속가능한 매립의 정의를 살펴보면 공통적으로 안정화 기간 동안 주변 환경이나 인체에 위대한 영향을 미치지 않아야 하며, 사후관리비용이 계획된 사후관리기간 내에 더 이상 주변 환경이나 인체에 위해를 주지 않는 안정화 상태에 도달하여야 하는 의미를 나타내고 있다^{10,11)}. 특히 여기서의 안정화는 폐기물의 물리적, 생물학적, 화학적 특성과 매립지 특성을 고려하여 완전한 자연 상태로 환원되는 안정화를 의미하는 것이 아닌 향후 토지 이용 방안을 고려하여 오염물질이 배출되지만 주변 환경이 허용 가능한 수준, 즉 평형상태(M_a)에 도달하여야 하는 안정화 상태를 의미한다. 이에 2009년 Sardinia 심포지엄에서 개최된 The Sustainable Landfilling Task Group of the International Waste Working Group에서는 지속가능한 매립에 대해 매립지의 현실성을 인정하고 실현가능한 방법을 적용하기로 합의하였다. 즉, 지속 가능성(Sustainability)의 달성보다는 Fig. 2와 같이 준비된 사후관리비용 내에서 매립지의 위해성이 주변 환경에 허용 가능한 수준까지 낮추는 실현가능한 방법을 적용하기로 한 것이다. 이러한 실현가능한 방법으로는 매립지 운영 단계에 따라 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

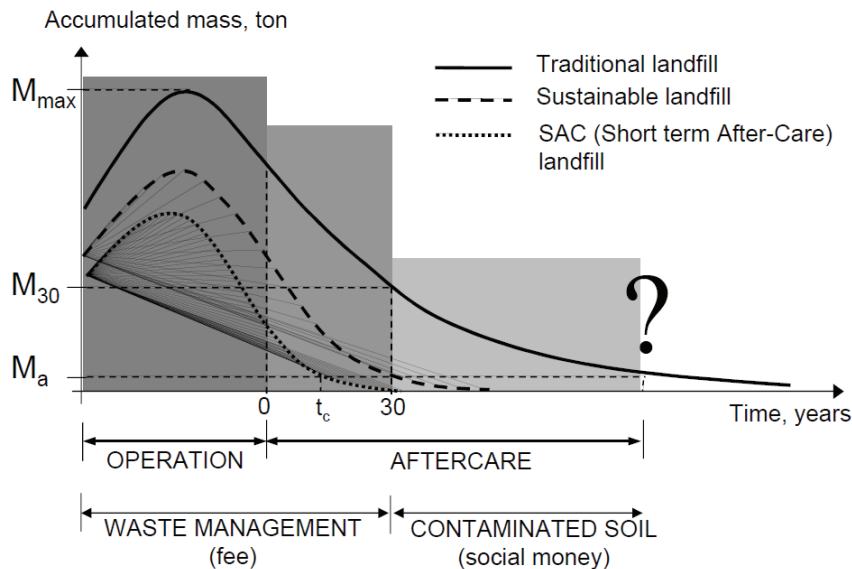


Fig. 2. Qualitative trend of the accumulation of the mass of carbon or nitrogen along the landfill lifetime for different kinds of landfill.⁸⁾

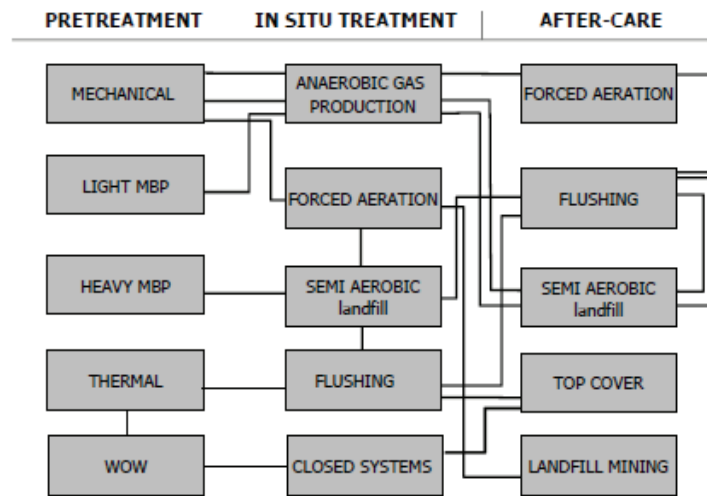


Fig. 3. Possible technologies in different lifetime phases for sustainable landfill.⁸⁾

2.2 지속가능한 매립을 위한 당면과제

많은 지역주민들과 담당 공무원들은 폐기물매립지 내부에서 벌어지는 기작을 알 수 없는 블랙박스(Black box)처럼 고려하고 있다. 이러한 블랙박스 생각은 환경보호를 목적으로 하는 예방적 방법을 적용하여 오염물질의 배출을 방지하기 위해 폐기물매립지에는 차수시설의 기준을 점차 더 강하게 요구하게 되었으며, 매립지 종료시 폐기물매립지를 밀폐화(Capping)까지 요구하기에 이르렀다¹²⁾. 그러나 앞에서 언급한 것처럼 차수기술은 주변 환경의 오염을 영구히 방지할 수 있다고 보증할 수 없으며, 폐기물매립지의 밀폐화는 안정화 기간의 증가 등 많은 부정적인 효과들을 나타내고 있음에도 불구하고 여전히 폐기물매립지를 블랙박스로 보는 시각은 변하지 않고 있다. 이는 폐기물매립지 내부에서 발생하는 시공간적 현상에 대한 객관적 자료가 부족하기 때문이다.

상기에 나타낸 바와 같이 지속가능한 매립의 목적은 주변환경과 평형상태의 안정화 상태에 도달하는 것이다. 이러한 목적 달성을 위한 전제조건으로는 어떻게 이러한 안정화 상태에 도달하였는지 완전히 이해가 되어야 하며, 이에 따라 폐기물의 분해 특성에 관한 더 많은 지식이 요구된다¹³⁾. 이와 함께 사후관리 평가 방법도 실시간으로 구축되는 매립지 운영 자료를 기초로 비용 효율적이며 매립지 특성을 고려한 통합적 평가 방식으로 바뀌어야 한다. 폐

기물매립지의 사후관리가 종료되는 시점은 남아있는 위해성에 대한 책임이 폐기물매립지 운영자에서 사회로 전환되는 순간이다. 따라서 이때의 중요한 이슈는 폐기물매립지의 위해성과 사후관리 종료시점 그리고 사후관리 평가 방법이라고 할 수 있다¹⁴⁾.

현재의 사후관리 평가는 Table 1과 같이 크게 3가지로 구분하고 있으며, 국내의 경우에는 기준치(Target value) 만족여부에 따라 사후관리 종료를 평가하고 있다. 그러나 기준치 만족여부의 경우 현재까지 대부분의 매립지들이 30년 동안 사후관리가 진행된 매립지가 없다보니 기준치가 주변 환경에 위해성을 미치지 않을지 불확실한 부분이 있으며, 매립지별 특성을 반영하지 못하는 문제점이 있다. 따라서 Laner et al.¹⁵⁾은 기준치 방법은 사후관리 종료평가에 충분하지 않으며, 다만 다른 사후관리 평가의 스크린 방법으로 활용하는 것이 유용할 것으로 제시하고 있다. 위해성 기반 평가(Impact/risk assessment)의 경우 지하수 오염과 같은 특정 환경의 위해성을 고려한 사후관리 종료 평가를 진행하지만 사후관리 종료평가를 위한 통합 체계는 아니다. 성능 기반(Performance-based) 평가방법은 침출수 관리, 매립가스 관리, 지하수 모니터링, 복토 유지의 4가지 요소를 기초로 한 모듈식 접근법(Modular approach)으로 Fig. 4와 같이 3단계의 구조로 사후관리 종료를 평가하는 것이다.

Table 1. Overview of Main Characteristics of Different Approaches to evaluate Aftercare¹⁵⁾

Characteristic	Target value approaches	Impact/risk assessment approaches	Performance-based approaches
Site specific	No	Yes	Yes
Data collection in addition to standard emission monitoring	Waste sampling and analysis (i.e. leaching and biodegradability tests)	Waste sampling and analysis (potentially) More extensive monitoring (potentially)	More extensive monitoring (potentially)
Outcome verification	Not necessary	Not included	Included
Status of approach	Conceptual to partially operative	Partially operative	Partially operative to operative
Level of expertise	Low	Very high	Very high
Usability of approach	Mostly prescriptive	Flexible	Flexible

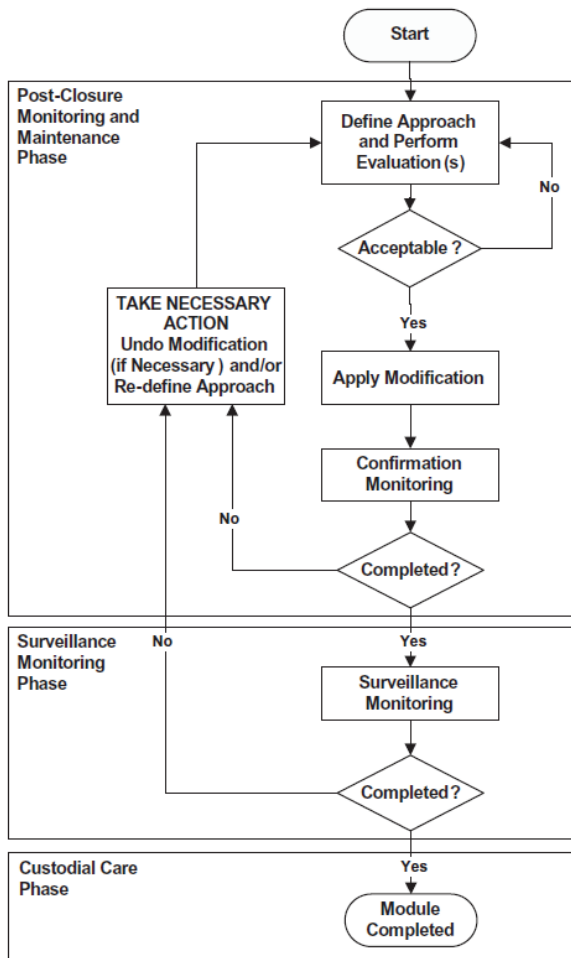


Fig. 4. Structure of modules.¹⁶⁾

첫 번째 단계는 사후관리 모니터링 및 모듈 유지 단계이며, 두 번째 단계는 감시 모니터링 단계, 마지막 세 번째 단계는 관찰 단계이다. 다른 평가방법

의 경우 하나의 항목이 안정화되지 않은 것으로 나타나면 향후에 안정화 평가를 진행할 때 전 항목에 대하여 다시 평가가 이루어져야 하나 이 방법은 4 가지 모듈 중 하나의 모듈이 주변 환경에 더 이상 악영향을 미치지 않을 것으로 판단되면 그 모듈은 더 이상 안정화 평가를 위한 추가 데이터를 획득하지 않아도 된다. 그러나 이러한 성능 기반의 평가방법을 적용하기 위해서는 매립지에 대한 물리적, 생물학적, 화학적 반응에 대한 이해와 향후 매립지의 거동에 관한 예상을 위해 충분한 자료가 존재하여야 한다¹⁶⁾.

따라서 지속가능한 매립으로 발전하기 위한 전제 조건으로 폐기물매립지의 효율적인 운영 및 시공간적 매립작업 정보관리가 필요하며 이를 위해서는 폐기물매립지에 대한 발전된 운영관리 및 정보 시스템이 요구되고 있다. 이러한 시스템은 향후에 폐기물매립지 현장 특성에 기초한 대상 매립지의 오염물질 배출원의 정량화를 위한 도구를 개발하는 것이 가능할 것이며 사후관리 종료 시점을 정확히 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

III. 매립이력 및 매립진척상황 정보관리 시스템 구축 및 적용

3.1 매립이력 정보관리

지금까지의 폐기물매립지는 매립이력에 관한 정보관리체계가 구축되어 있지 않아 매립지에서 환경

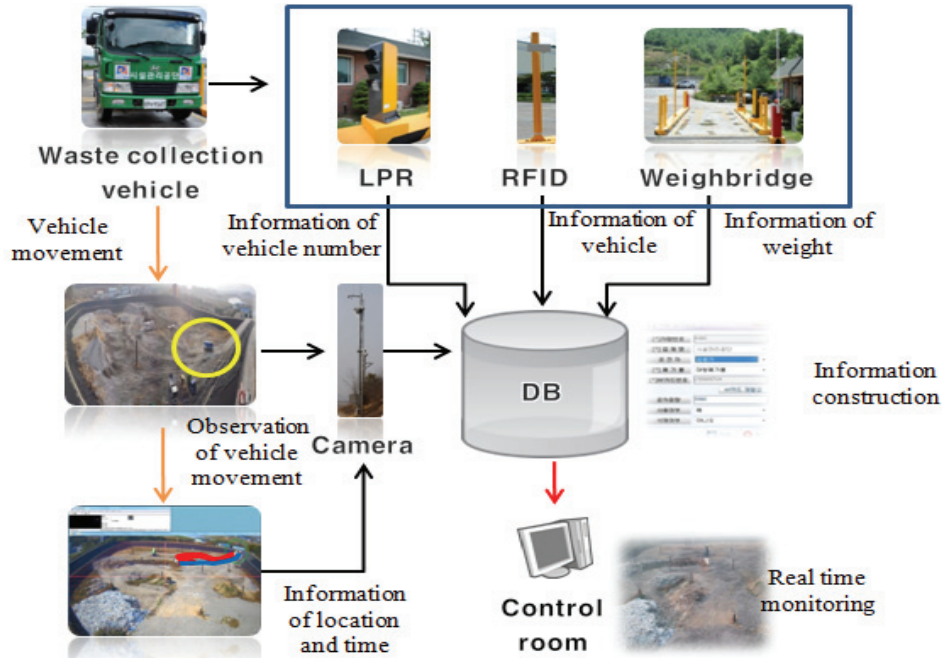


Fig. 5. Flowchart of management system for solid waste landfill history informations.

오염사고 발생 시 설계, 시공, 운영상의 원인을 분석하기에 어려운 점이 있었다. 또한 최근 국내에서 진행되고 있는 순환형매립지 조성 사업과 같은 매립폐기물의 자원화 또는 사후토지 이용 시 매립지 내부의 매립이력이 매우 중요하나 현재의 기술로는 폐기물매립지의 불균질성을 고려하였을 때 매립폐기물의 종류와 특성을 정확히 평가하여 설계에 반영하기에는 한계점이 있다. 따라서 폐기물매립지 운영 시 반입되는 폐기물의 양과 성상을 파악하는 것뿐만 아니라 매립되는 폐기물의 위치와 시간을 3차원 형태로 DB화하여 정보를 보존한다면 상기에서 나타난 문제점들을 해결할 수 있는 방안이라 판단된다.

Fig. 5는 본 연구에서 개발한 매립이력 정보관리 시스템에 대한 흐름도를 나타낸 것으로 폐기물차량이 반입폐기물의 중량 측정을 위해 계량대로 진입하면 RFID(Radio frequency identification)와 LPR이 각각 독립적으로 작동하게 된다. 이는 RFID 또는 LPR(License plate recognition) 상에서 오류가 발생할 경우를 대비한 조치이다. RFID는 반입차량에 부착된 RFID 태그 정보를 판독하여 반입차량의 폐기물 종류 등의 정보를 확인하고 LPR은 반입차량의 차량번호를 확인하여 최종적으로 차량의 정

보를 판단한다. 이렇게 구축된 시스템은 기존방식으로의 업무처리 시간이 50%이상 단축되는 것으로 나타났다¹⁷⁾.

반입허가 차량이 매립지로 진입하는 순간부터 폐기물매립지에 설치된 카메라에 의해 Fig. 6과 같이 이동경로를 추적받게 된다. 이때 카메라 해상도는 1980×1080의 HD급 카메라를 사용하였고, 차량의 위치추적과 영상과 실제 거리사이의 차이를 보정해 주기 위한 알고리즘의 구현을 위해 Visual C++로 프로그램을 작성하였다. 동영상에서 처리할 정지영상의 캡처를 위해 SampleGrab 필터를 추가하여 동영상의 원하는 시점에 화면을 캡처하도록 하였으며 동영상위에 처리결과를 표시할 수 있도록 VMR9 렌더러를 사용하였다. 이동경로와 폐기물의 배출위치를 동영상에 표시하기 위해서 오버레이용 정지화면을 Mixing 할 수 있도록 하였다. 카메라는 차량의 위치를 추적하다가 차량이 정차할 경우 카메라 영상을 확대하여 폐기물의 덩핑 시 영상화면과 매립지점 및 시간을 저장하고 차량이 이동 시에서 다시 차량의 이동경로를 추적하게 된다. 따라서 매립이력 정보관리 시스템을 통하여 폐기물매립지 내에서의 반입과정 및 매립과정전반에 관한 것을 감시함으로써 불법투기 및 환경오염의 사전 방지와 작업

효율성이 향상되게 되었다. 또한 매립이력에 관한 체계적인 정보관리 체계가 구축됨으로서 향후 사후 토지이용계획 및 매립폐기물의 에너지화를 위한 정보 제공이 가능하게 되었다.



Fig. 6. Shape of vehicle route and dumping point.¹⁸⁾

3.2 매립진척상황 정보관리

폐기물매립지에 폐기물이 반입되면 계량대에서 중량을 측정 후 매립되게 된다. 그러나 폐기물매립지의 계획매립량은 계획된 매립공간에 반입할 수 있는 폐기물 부피로 산정되기 때문에 중량으로 반입된 폐기물에 매립밀도를 적용하여 부피로 환산하여 관리하고 있다. 그러나 현장측정된 매립폐기물 밀도 값의 부정확성으로 인하여 매립량 통계에 오차발생 및 신뢰성이 저하되는 문제점이 발생하고 있다. 이외에도 매립작업 시 다짐밀도 및 잔여 매립용량 관리가 이루어지지 않아 향후 매립가능 연한 산정 및 폐기물매립지 수요예측이 곤란한 문제점 있다.

이에 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 로봇 레이저 스캐너를 이용하여 매립지 부피 및 용량을 3차원으로 관리하며, 매립밀도(다짐) 등의 매립진척상황을 실시간으로 파악할 수 있는 정보관리 시스템을 개발하였다. 레이저 스캐너는 매립용량 및 침하량 측정에 효율적인 방식¹⁹⁾으로 로봇 레이저 스캐너는 일반적으로 많이 사용되는 1D 레이저 스캐너를 Gymbol 로봇 메카니즘을 이용하여 이를 제어함으로써 3D 레이저 스캐너로 변환하는 방식이다. 이 방식은 카메라 멀티 측정에 의한 3차원 영상 취득 방법에 비해 정밀하고 조명에 대해 영향을 받지 않으므로 밤낮에 구분 없이 옥외에서 지형정보 등의 3

차원 형상 측정이 가능한 방법이다²⁰⁾. 레이저 스캐너의 스캔 방법은 Time of flight 방식이며, 최대 스캔거리는 1,500m, 3D 스캔정밀도는 100m에 10mm 오차범위 이내이다. 로봇의 위치제어에 사용된 모터는 DD(Direct drive)모터를 사용하였다.

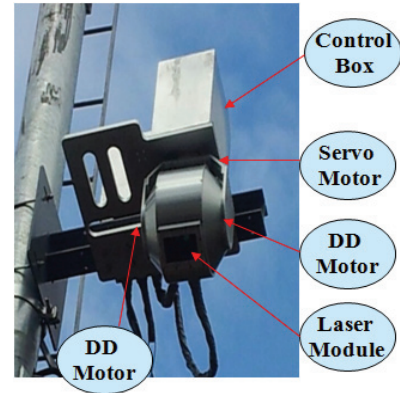


Fig. 7. 3D laser scanner.

Fig. 8은 레이저 스캐너를 이용하여 기매립된 폐기물의 부피를 측정하는 방식을 나타낸 것이다. 측정방식을 살펴보면 관리 시스템에서 정기적으로 네트워크를 통해 포인트 클라우드 서버로 전송되고 서버는 레이저 스캐너에 매립지의 형상 스캐닝 명령을 내리게 된다. 레이저 스캐너는 Fig. 9와 같이 매립지 표면에 포인트 클라우드(Point cloud)의 획득 및 처리를 행하여 현재까지 매립된 폐기물 부피 계산을 행하게 된다.

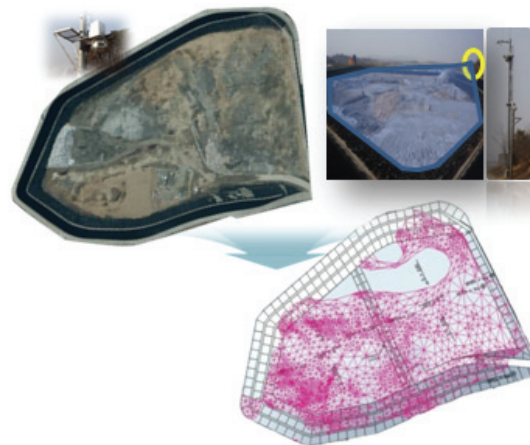


Fig. 8. Measurement system of landfilled waste volume using 3D laser scanning.

Table 2. Comparison of traditional Surveying and 3D Laser Scanning (Unit : m³)

Item	19 th of July	6 th of August	22 th of August	5 th of September	27 th of September	Ave.
Traditional surveying	153.8	154.3	130.8	128.8	170.5	-
3D laser scanning	158.8	148.3	125.7	123.3	164.1	-
Accuracy (%)	103.2	96.1	96.1	95.7	96.2	97.5
Standard deviation (%)	3.2	3.9	3.9	4.3	3.8	3.8

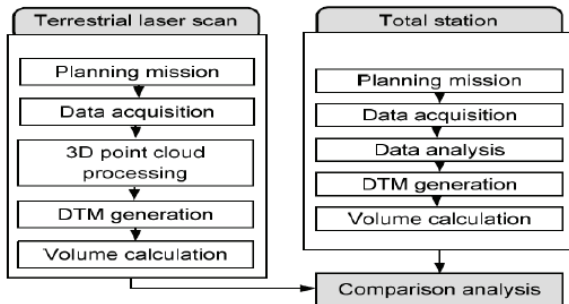
Fig. 9. The procedure of point cloud processing.²⁰⁾

Table 2는 기존의 측량방식과 레이저 스캐너를 통하여 2013년 7월부터 9월까지 5회에 걸쳐 이 기간 동안 반입되어 매립된 폐기물의 부피를 측정 후 측정데이터를 비교한 것이다. 기존 측량방식과 비교하였을 때 레이저 스캐너의 정확성은 평균 97.5% (95.7~103.2%), 표준편차는 평균 3.8%(3.2~4.3%)로 나타나 매우 높은 정확성을 나타내었다. 그러나 기존 측량방식의 경우 측량이 가능한 측정 지점의 수가 많지 않으나 레이저 스캐너는 단 시간 내에 측량 가능한 측정 지점의 수가 수천 지점 이상 가능하기 때문에 매립용량 측정에 훨씬 효율적이며, 지속적인 매립 용량의 측정으로 폐기물매립지의 침하량도 측정이 가능하다.

따라서 본 연구에서 개발한 시스템을 통하여 폐기물매립지 정확한 용량관리 및 잔여용량 관리가 가능하게 되었으며, 향후 각 매립지별로 용량에 대한 DB가 구축이 되면 국가적으로도 정확한 폐기물매립지의 사용가능연수 파악이 용이할 뿐 아니라 폐기물매립지에서의 매립밀도 관리가 가능하게 되어 매립지의 수명연장도 기대된다. 또한 지속적인 부피 및 침하량의 측정은 앞으로 폐기물매립지 내부에서 발생하는 여러 물리화학적 반응 및 생물학적 반응과 연계한 폐기물매립지의 구조적 특성을 이해하는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

IV. 결론

최근 폐기물매립지의 위상에 대한 사회적 요구와 함께 지속가능한 매립을 실현하기 위하여 다양한 시도가 이뤄지고 있다. 이러한 지속가능한 매립으로의 발전을 위한 필요조건으로 폐기물매립지의 효율적인 운영 및 폐기물매립지의 시공간적 정보의 구축이 필요하며 이를 위해서는 폐기물매립지에 대한 발전된 운영관리 및 정보 시스템이 요구되고 있다.

본 연구에서는 이러한 요구사항을 충족시키고 지속가능한 매립을 달성하기 위하여 3차원 기법을 이용한 매립이력 및 매립진척상황 정보관리 시스템을 개발하였다. 매립이력 정보관리 시스템은 RFID/LPR 시스템을 이용하여 반입되는 폐기물의 출처 및 종류를 자동적으로 파악하여 전산화되도록 하였다. 또한 폐기물매립지 외곽에 설치한 추적 카메라를 이용하여 매립되는 폐기물의 매립위치 및 시간 등의 정보를 3차원으로 DB화하여 향후 매립폐기물의 자원화 및 사후토지 이용 시 필요한 매립이력을 제공할 뿐만 아니라 불법매립을 차단하도록 하였다.

매립진척상황 정보관리 시스템은 레이저 스캐너를 이용하여 실시간으로 매립지 부피 및 용량을 3차원으로 관리하여 매립진척상황을 실시간으로 산정할 수 있도록 하여 향후 매립지 잔여용량 분석을 통한 수요예측이 가능하도록 하였다. 이와 함께 매립진척상황에 관한 정보들을 분석하여 매립밀도 관리와 복토작업을 효율적으로 진행할 수 있으며, 상세화 및 제어화된 매립작업 계획을 세워 작업종사자의 건강 및 안전을 고려할 수 있도록 하였다.

따라서 본 연구에서 개발한 3차원 기법의 폐기물매립 정보 시스템은 기존의 폐기물매립지 운영 및 관리 시스템을 실시간 3차원으로 구축되는 매립 정보를 기반으로 하는 비용 효율적이며 정확한 용량

관리 그리고 일련의 매립 작업 흐름 속에서 각종 정보가 각각의 목적에 따라 유기적으로 표현될 수 있는 통합적 방식의 매립지 운영 및 관리방식의 전환이 가능하게 되었다.

사 사

본 연구는 환경부 환경산업기술원의 차세대 EI 사업인 “3차원 기법을 이용한 폐기물매립지 실시간 관리시스템 개발”과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Kim, K., Park, J.-K., Yoon, S.-P. and Lee, N.-H. : Performance Evaluation of a Solid Waste Landfill Pre-stabilization System by the Injection of Air with Dry Fog, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 1. 30(7), pp. 755-764. (2013).
- Park, J.-K., Jung, S.-R., Yoon, S.-P. and Lee, N.-H. : An Estimation Method of Air Injection Quantity for Pre-stabilization of Landfilled Wastes in a Sustainable Landfill, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 30(3), pp. 257-264. (2013).
- Ritzkowski, M. and Stegmann, R. : Landfill Aeration Worldwide: Concepts, Indications and Findings, *Waste Management*, 32(7), pp. 1411-1419. (2012).
- Yoo, S.-P. and Lee, N.-H. : Comparison of Bioreactor Landfill and Conventional Landfill with Respect to Economical and Environmental Aspect, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 22(7), pp. 676-684. (2005).
- Butt, T. E., Lockley, E. and Oduyemi, K. O. K. : Risk Assessment of Landfill Disposal Sites - State of The Art, *Waste Management*, 28(6), pp. 952-964. (2008).
- Heimovaara, T. J., Cossu, R. and van der Sloot, H. A. : State of The Art and Perspectives for Sustainable Landfill, *Proceeding Sardinia 07, 11th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 1-5. (2007).
- Scharff, H., Kok, B. and Krom, A. H. : The Role of Sustainable Landfill in Future Waste Management Systems, *Proceeding Sardinia 07, 11th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 1-5. (2007).
- Cossu, R. : The Sustainable Landfilling Concept, *Proceedings Sardinia 05, 10th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 3-7. (2005).
- Kim, Y.-J., Choi, B.-S. and Lee, D.-H. : Consideration on Issues and Trends of Final Disposal Facilities for Municipal Solid Wastes in Korea, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 27(1), pp. 1-9. (2010).
- Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K. and Ritzkowski, M. : Discussion of Criteria for The Completion of Landfill After Care, *Proceedings Sardinia 03, 9th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 6-10. (2003).
- Hjelmar, O. and Hansen, J.B. : Sustainable Landfill: The Role of Final Storage Quality, *Proceedings Sardinia 05, 10th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 3-7. (2005).
- Mathlener, R. A., Heimovaara, T., Onk, H., Luning, L., van der Sloot, H. A. and van Zomeren, A. : Opening the Black Box: Process-Based Design Criteria to Eliminate Aftercare of Landfills, *Dutch Sustainable Landfill Foundation, s'-Hertogenbosch*, (2006).
- Scharff, H. : Sustainability and The EU landfill Directive, in *Sustainable Landfilling*, R. Cossu and H. van der Sloot, Editors, CISA, Padova, pp. 75-83. (2013).
- Scharff, H., van Zomeren, A. and van der Sloot, H. : Landfill Sustainability and Aftercare Completion criteria, *Waste Management & Research*, 29(1), pp.

- 30-40. (2011).
15. Laner, D., Crest, M., Scharff, H., Morris, J.W.F. and Barlaz, M. A. : A Review of Approaches for The Long-term Management of Municipal Solid Waste Landfills, *Waste Management*, 32(3), pp. 498-512. (2012).
16. Morris, J.W.F. and Barlaz, M. A. : A Performance-base System for The Long-term Management of Municipal Waste Landfills, *Waste Management*, 31(4), pp. 649-662. (2011).
17. Lee, S.-H., Yun, Y.-J., Lee, Y.-D. and Cho, S.-Y. : Landfill Bringing Management System Using on RFID/LPR, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 12(4), pp. 161-166. (2012).
18. Lee, D.-G., Lee, Y.-D. and Cho, S.-Y. : Calculation of Dumping Vehicle Trajectory and Camera Coordinate Transform for Detection of Waste Dumping Position, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 13(1), pp. 243-249. (2013).
19. Olivier, F., Lhomme, D., Gourc, J.P. and Midra, M. : The Measurement of Landfill Settlement Using Terrestrial 3D Laser Scanner Imaging, *Proceedings Sardinia 05, 10th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 3-7. (2005).
20. Cho, S.-Y., Lee, Y.-D. and Ryu, S.-K. : Monitoring System to Measure the Waste Volume of Landfill Facility using 3D Laser Scanner, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 13(3), pp. 135-140. (2013).