

지리정보체계를 활용한 국내 폐기물 매립지 시계열 분석에 관한 연구

A Study on Time Series Analysis of Domestic Waste Landfill Sites Using Geo Information System

김혜미¹ · 박 훈^{2*} · 최지영³

Hye-Mi Kim¹ · Hoon Park^{2*} · Ji-Young Choi³

(Received April 23, 2021 / Revised August 31, 2021 / Accepted September 24, 2021)

To dispose of waste, there are methods such as landfill, incineration, recycling, and sea discharge. Since the landfill wastes accumulate, there is a limit to the landfill site to accommodate them. In this paper, a time series analysis and current status of landfill allowance was analyzed over 20 years of landfills distributed throughout the country using GIS to understand the status of waste reclamation. As a result, the emissions of waste were gradually increasing, and as the emissions increased, the amount of landfill increased. The landfills in the Seoul metropolitan area have been saturated and need to be resolved as soon as possible.

키워드 : GIS, 폐기물, 폐기물 매립지, 시계열분석

Keywords : GIS, Waste, Waste landfill, Time series analysis

1. 서론

해마다 폐기물 발생량이 점점 증가하고 있는 가운데 폐기물의 재활용율은 증가하고 있지만, 매립 의존도가 높아 폐기물 매립지의 신규 설치가 필요한 것이 현실이다.

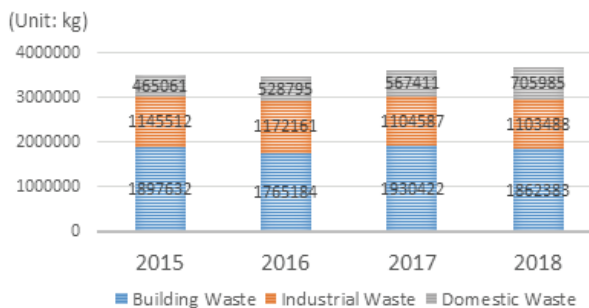


Fig. 1. Current status of waste brought into the metropolitan area landfill

* Corresponding author E-mail: urispac@kangwon.ac.kr

¹강원대학교 건설융합학부 연구교수 (Department of Architecture, Kangwon University, Gwangwon-do, 25913, Korea)

²강원대학교 건설융합학부 건축학전공 부교수 (Department of Architecture, Kangwon University, Gwangwon-do, 25913, Korea)

³강원대학교 건설융합학부 건축학전공 학부연구원 (Department of Architecture, Kangwon University, Gwangwon-do, 25913, Korea)

Copyright © 2021 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

료, 인적자원의 통합적 시스템으로 정의되고 있으나, 이 논문에서는 공간적으로 분포하는 정보를 처리, 관리하는 정보시스템으로 GIS를 활용했으며, 공간통계 분석이 가능하기에 시계열 분석을 하고자 하는 이 연구에 적합한 분석도구이자 방법이다.

2. 이론적 고찰

폐기물은 ‘사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 않게 된 물질’을 뜻하며 대기오염, 수질오염과 같은 대표적인 환경 유해 요인 중 하나이다. 폐기물 자체의 유해성보다는 처리 과정에 의한 유해도가 높고 폐기물의 소각이 대기를 오염시키며 폐기물의 매립이 토양과 수질을 오염시키기 때문이다.

폐기물 처리 방법으로는 재활용, 소각과 함께 매립에 의한 처분이 최종 처분 방법으로 활용되고 있으며, 소각 후에도 소각량의 약 10% 정도가 잔재로 발생해 이를 다시 매립처분한다.

폐기물의 분류 및 폐기물 매립지의 분류는 아래와 같다.

2.1 폐기물의 분류와 정의

폐기물은 크게 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분되며, 사업장 폐기물은 다시 사업장 생활계 폐기물, 사업장 배출 시설계 폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 세분된다.

2.1.1 생활폐기물

생활폐기물이란 인간의 모든 생활에서 사용되었으나 그 필요성을 잃어 사용치 않고 버리게 된 산업폐기물 이외의 물질을 말한다. 사업장 폐기물 이외의 것을 생활폐기물이라 정의하고 있으며 생활 폐기물의 처리방법은 소각·매립·해양투기 및 우주 공간에 버리는 방법이 있다.

2.1.2 사업장폐기물

사업장폐기물이란 공장배치 및 공장설립에 관한 법률 제2조제 6호의 규정에 의해 공장으로서 대기환경보전법·수질환경보전법 또는 소음·진동규제법의 규정에 의하여 배출시설을 설치·운영하는 사업장, 그 외에 지정폐기물을 배출하는 사업장, 폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 일련의 공사·작업등으로 인하여 폐기물을 5톤 이상 배출하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말한다.

2.1.3 건설폐기물

건설폐기물이란 「건설산업기본법」 제2조 4호에 따라 건설공사

의 착공부터 완공까지 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물을 뜻하며, 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 시행령 별표1에서 정하는 건설폐기물을 말한다.

건설폐기물은 한번 발생하면 다량으로 나타나기 때문에 재활용 가능성이 높지만 공사 현장에서 대부분의 폐기물은 혼합 배출되기 때문에 재활용률이 낮을 뿐만 아니라 효율적인 처리 체계를 구축하지 못해 매립지의 수명을 단축한다.

2.2 폐기물 발생 현황

2.2.1 폐기물 종류별 일평균 발생량

폐기물발생량은 폐기물 종류별 일평균 발생량에서 보는 바와 같이 1996년과 2017년 사이 일평균 18만 573톤에서 44만 6102톤으로 147.0% 증가하였다.

폐기물 종류별로 보면 생활폐기물은 큰 변화가 없으나 사업장 폐기물은 크게 증가하였으며, 생활폐기물은 1995년 쓰레기종량제 시행 이후인 1996년부터 2017년까지 일정한 범위 내에서 증감을 반복하고 있다.

사업장배출 시설계 폐기물의 경우 1996~2006년까지 일정 범위 내에서 증감을 반복하다가 2007년부터 뚜렷한 증가 추세를 보이고 있다. 건설폐기물은 1996년부터 2010년까지 매우 급속하게 증가하였고, 전체 폐기물에서 차지하는 비중도 1996년 15.7%에서 2017년 46.4%로 급증하였다. 같은 기간 지정폐기물은 발생량이 적더라도 유해성 때문에 주요 관리 대상이기 때문에 각별한 관리가 필요하다.

2.3 폐기물 매립지의 정의 및 분류

폐기물 매립지는 지반에 폐기물을 매립처분하기 위하여 사용되는 물리적 시설을 말한다. 과거에는 계곡 진 지형이나 움푹 파인 구덩이에 폐기물을 밀어 넣고 상부에 토사로 덮는 비위생적 처분이 대다수였지만 최근 우리가 사용하고 있는 매립시설의 형태는 환경적인 영향을 최대한 줄이기 위해 시행하는 위생매립지라 할 수 있다.

차단형 매립지는 주변의 지하수 또는 빗물의 유입을 차단하기 위해 콘크리트 구조물 내에 매립하는 시설이며 추가적 분해가 필요없는 무기성 폐기물을 주로 매립하고 수분이 없도록 건조 후 매립하는 것을 말한다. 폐기물 처리용량에 비해 고비용이기 때문에 특수한 경우에 적용된다.

관리형 매립지는 침출수의 유출을 방지하기 위해 배립시설의 바닥, 측면을 폐기물의 성질, 매립고, 지형 등을 고려해 방수 및

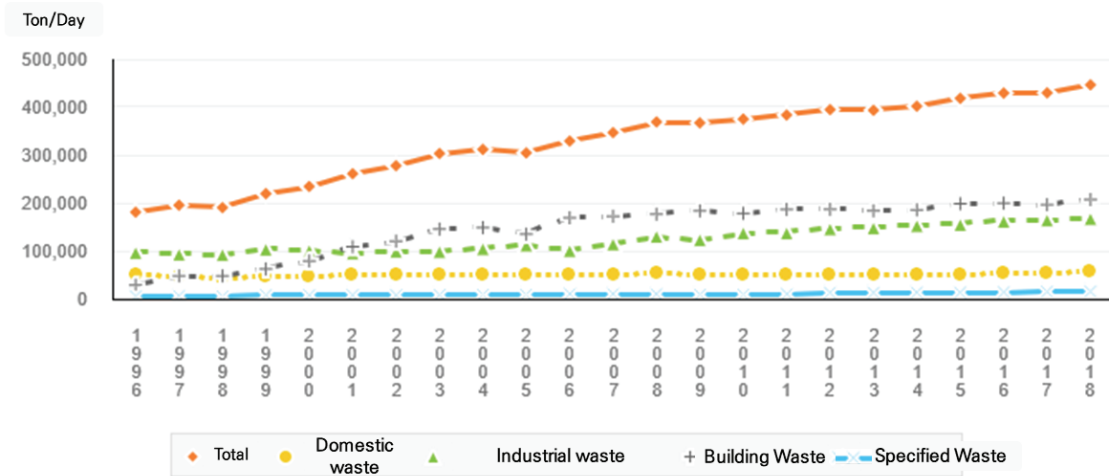


Fig. 2. Average daily generation by waste type

차수 처리한 매립시설이다. 주요 구성 시설은 기초지반, 저류 구조물, 차수시설, 우수 집배수 시설, 침출수 배제 및 처리시설, 매립가스 처리시설 등으로 이루어진다. 관리형 매립지의 종류로는 지정 폐기물 관리형 매립지와 일반폐기물 관리형 매립지가 있는데, 현재 매립지 확보가 필요한 시설은 일반폐기물 관리형 매립지에 해당한다.

3. GIS를 활용한 폐기물 매립지 현황 시계열 분석

1997년, 2007년, 2017년의 지자체단체별로 폐기물 데이터를 확보하여 지역별 현황 파악을 위해 폐기물 매립지의 개수와 매립지별 수용량, 매립지 면적을 연도별, 지역별로 시계열 분석한 결과, 다음과 같이 기존 매립시설 현황을 파악할 수 있었다.

3.1 폐기물 매립지 면적 분석

Fig. 3은 연도별 전국 폐기물 매립지 면적을 분석한 것으로, 매립지의 면적이 가장 크게 변화한 곳은 서울특별시와 인천광역시라는 것을 확인할 수 있다. 범례에 나온 수치들을 바탕으로, 컬러링된 숫자의 총합은 폐기물 매립지 면적의 총합을 나타내며, 2007년에 매립지 면적이 크게 줄었다가 2017년에 1997년과 비슷한 수준으로 확대되었음을 알 수 있다. 또한 1997년에는 서울의 폐기물 매립지 면적이 가장 높은 수치를 기록했으나, 2007년에 사라지고 2017년 인천에 폐기물 매립지의 면적이 가장 높은 수치를 보이고 있는 것을 볼 때, 서울지역의 폐기물을 인천에서 처리하고 있음을

유추할 수 있다.

연도별 폐기물 매립지의 비교분석을 위한 정확한 면적은 Table 1과 같다.

Table 1. Waste landfill area by year

District	Landfill area (1997)	Landfill area (2007)	Landfill area (2017)
Seoul	19,581,869	0	0
Busan	396,058	758,342	747,922
Daegu	597,764	585,334	853,400
Incheon	21,260	226,895	15,418,818
Kwangju	279,208	157,995	337,860
Daejeon	570,413	608	695,877
Ulsan	142,663	194,163	360,276
Sejong	-	-	27,818
Kyunggi	384,680	560,779	549,698
Gangwon	1,093,256	921,247	1,269,640
Chungbuk	522,431	392,795	451,960
Chungnam	908,810	665,555	596,480
Jeonbuk	1,027,111	909,881	818,063
Jeonnam	1,413,714	1,580,011	1,376,203
Kyungbuk	1,254,656	1,233,122	1,083,071
Kyungnam	1,242,988	2,023,391	2,049,254
Jejudo	350,917	315,122	320,648
Total	29,787,798	10,525,240	26,956,988

(unit: m²)

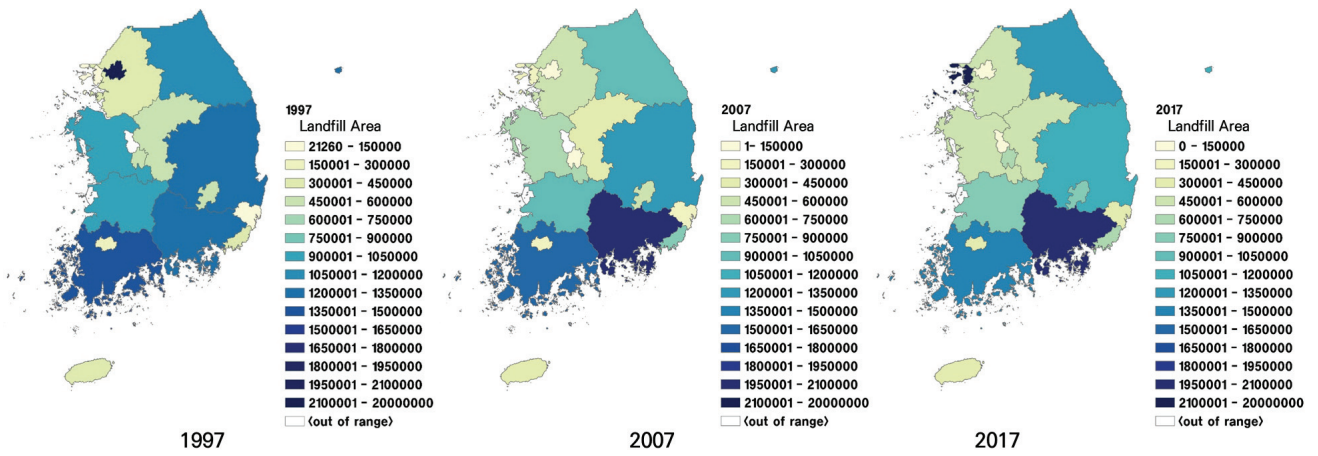


Fig. 3. A graphical presentation of changes in the area of waste landfill in Korea by year

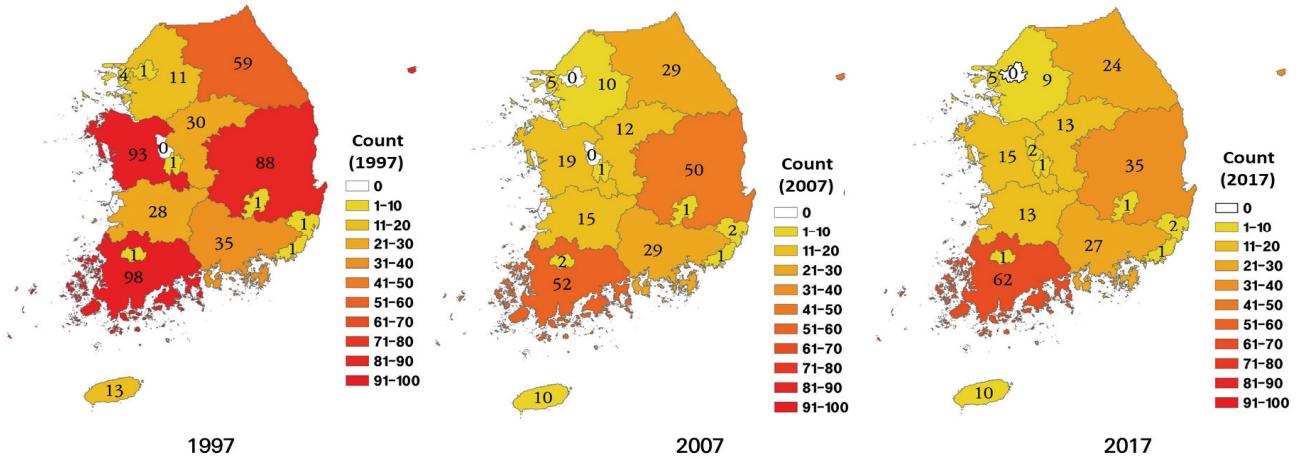


Fig. 4. A graphical presentation of changes in the number of waste landfill sites in Korea by year

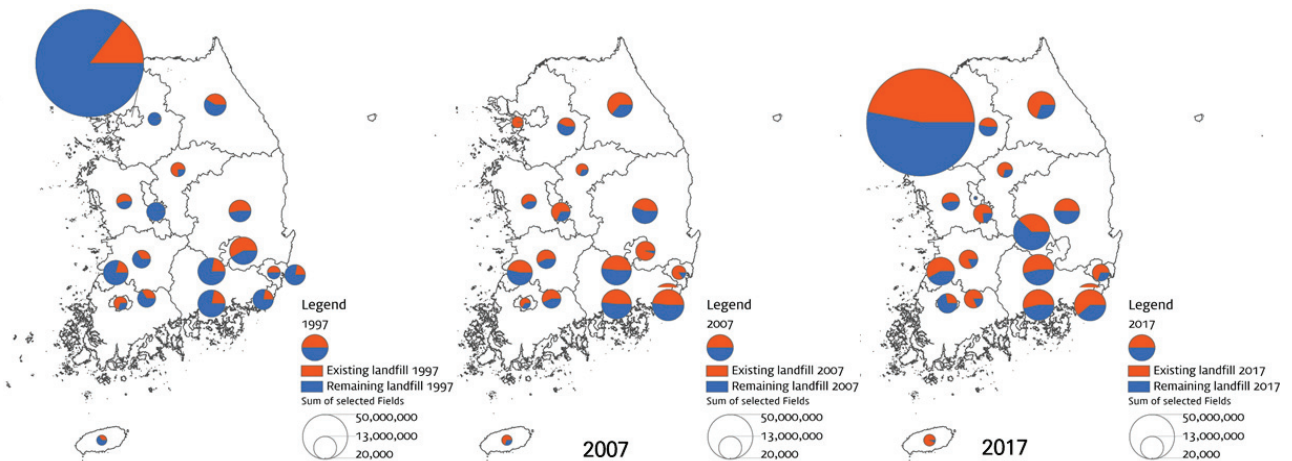


Fig. 5. A graphical presentation of national waste landfill volume in Korea by year

3.2 폐기물 매립지 개수 분석

Fig. 4는 연도별 전국 폐기물 매립지 개수 변화를 분석한 것으로, 1997년 충청남도과 경상북도, 전라남도를 기준으로 폐기물 매립지 개수는 최대치였으나 2007년 충청남도 경상북도, 전라남도의 매립지 개수가 절반쯤으로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

특히, 지역별 추이에서는 경상북도는 시간의 흐름에 따라 폐기물 매립지의 개수가 지속적으로 줄어들었으며, 충청남도는 1997년 가장 많은 폐기물 매립지를 보유하고 있었으나 2007년 확연히 감소하여, 2017년에도 유사한 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 전라남도는 1997년, 폐기물 매립지의 개수가 최대치였으나, 2007년에 다소 감소하였다가 2017년에 약소하게 증가한 사실을 알 수 있었다.

범례를 토대로, 컬러링 된 지역의 폐기물 매립지 개수를 시계열 분석한 결과, 대한민국 폐기물 매립지 개수는 전반적인 감소세임을 확인할 수 있다.

3.3 폐기물 매립지 매립량 분석

시도별 총 매립용량에서 연도별 전국 폐기물 매립지의 배립량은 Table 2에서 확인할 수 있으며, GIS를 활용해 시계열로 표현한 내용은 결과는 Fig. 5와 같다. 원의 크기는 폐기물 매립 총량과 비례하며, 빨간색은 기매립량, 파란색은 매립 가능량을 나타낸다. 1997년 폐기물 매립총량과 2017년의 폐기물 매립총량은 비슷한 크기를 나타내고 있으며 2007년에는 1997년에 비해 폐기물 매립총량이 확연히 줄어들었으나, 2017년의 폐기물 매립지의 매립총량은 13개 시도가 모두 증가세를 보이며 폐기물 배출량 및 매립량이 증가했음을 확인할 수 있다.

Table 2와 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 1997년 폐기물 매립총량은 서울이 가장 컸으나 2007년 사라지고 2017년 인천의 폐기물 매립총량이 가장 크게 나타나는 것으로 보아, 서울의 폐기물은 매립은 인천에 위치한 수도권 매립지를 사용하는 것으로 보여진다. 2017년 폐기물 매립지의 매립가능량을 기준으로 전체 매립량 대비 30%이하의 매립가능량을 보이는 지역은 대전, 충청북도, 전라북도, 제주도 지역이며, 폐기물 매립지 증설이 머지않았음을 확인할 수 있었다.

Table 2. Waste landfill volume by year

District	Total landfill (1997)	Existing landfill (1997)	Remaining landfill (1997)	Total landfill (2007)	Existing landfill (2007)	Remaining landfill (2007)	Total landfill (2017)	Existing landfill (2017)	Remaining landfill (2017)
Seoul	289,329,000	42,501,989	246,827,011	0	0	0	0	0	0
Busan	10,342,576	2,267,316	8,075,260	24,494,000	11,806,000	12,688,000	24,494,000	14,963,646	9,530,354
Daegu	18,750,000	10,894,000	7,856,000	9,224,941	8,815,745	409,196	32,378,541	12,291,484	20,087,057
Incheon	53,200	13,900	39,300	3,219,068	3,208,201	10,867	289,347,381	135,686,619	153,660,762
Kwangju	4,369,000	3,058,300	1,310,700	2,924,905	1,912,573	1,012,332	9,480,000	2,656,795	6,823,205
Daejeon	8,465,000	83,000	8,382,000	8,762,000	5,959,115	2,802,885	8,762,000	6,692,071	2,069,929
Ulsan	4,225,142	2,156,908	2,068,234	4,904,750	4,151,966	752,784	7,064,656	4,888,492	2,176,164
Sejong	0	0	0	0	0	0	296,592	59,033	237,559
Kyunggi	5,304,009	1,269,235	4,034,774	7,737,446	3,319,911	4,417,535	8,285,336	3,874,846	4,410,490
Gangwon	11,847,330	4,924,861	6,922,469	14,864,726	9,841,877	5,609,989	18,648,568	12,961,104	5,687,464
Chungbuk	5,011,986	3,780,556	1,231,430	3,673,873	2,542,356	1,131,517	5,721,099	4,080,474	1,640,625
Chungnam	5,780,736	3,177,245	2,603,491	5,483,325	3,233,231	2,250,094	7,670,004	4,128,980	3,541,024
Jeonbuk	7,997,400	2,719,184	5,278,216	8,746,129	4,975,687	3,770,442	8,592,899	7,026,275	1,566,624
Jeonnam	15,093,575	3,175,019	11,918,556	15,940,602	7,235,980	8,347,596	19,486,918	11,310,434	8,176,484
Kyungbuk	11,987,329	6,334,911	5,652,418	15,683,949	7,033,871	8,650,078	15,957,782	7,922,513	8,035,269
Kyungnam	18,327,905	4,058,779	14,269,126	21,828,865	10,491,656	11,337,209	23,817,908	12,810,865	11,007,043
Jejudo	2,528,125	868,953	1,659,172	2,668,913	1,849,431	819,482	3,410,812	3,189,660	221,152
Total	419,412,313	91,284,156	328,128,157	150,157,492	86,377,600	64,010,006	483,414,496	244,543,291	238,871,205

(unit: kg)

3.4 폐기물 매립지 분석 결과

GIS를 통해 폐기물 매립지의 개수 및 면적과 허용량을 시계열 분석으로 살펴본 결과 1997년에 폐기물 매립지의 개수 및 면적, 매립량 등의 비율이 가장 크게 나타났으나 2007년에는 서울의 폐기물 매립지가 사라지고 타 시도의 폐기물 매립지 규모도 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3에서 확인한 바와 같이 서울의 폐기물 매립지가 사라졌다는 것은 서울시의 폐기물을 서울시에 매립하는 것이 불가능하다는 사실을 알 수 있으며 2017년에는 인천광역시의 매립량이 갑자기 증폭함을 통해 인천에 수도권매립지가 선정되었음을 알 수 있다. 폐기물 매립지의 개수는 1997년에 가장 큰 비율이 나타났고 그에 비해 2017년에는 현저히 줄어들었으나 면적의 변화에 있어서는 2007년에 크게 줄어들고 2017년에는 1997년과 비슷한 수준인 것으로 확인되었다.

Fig. 4와 Fig. 5을 함께 분석한 결과, 1997년 매립지 면적과 매립지의 개수는 최고치였고 2007년에 매립지 면적과 개수는 크게 줄어들었지만 2017년 매립지의 면적은 1997년과 비슷한 수준으로 확대되었기에 2017년 매립지의 개수가 2007년과 비슷한 점을 토대로 매립지의 개수는 증가하지 않았지만 매립지의 규모가 커졌음을 알 수 있다.

2017년의 폐기물 매립총량을 보면 폐기물 매립지가 존재하는 전체 16개 시도 가운데, 기 매립량이 50%를 넘는 지역이 10개, 그 중 30%이하의 매립가능량을 보이는 지역은 3개로 포화가 머지 않았다는 사실을 알 수 있으며 해당 지역에 신규 매립지가 필요할 것임을 예상할 수 있다.

4. 결론

이 논문은 폐기물 증가에 따른 폐기물 매립지 증설이 불가피함에 향후 폐기물 매립지 선정에 위한 기초자료로서 GIS를 이용해 폐기물 매립지를 시계열 분석한 논문이다.

1997년, 2007년, 2017년의 시도별 지방자치단체에서 관리하는 폐기물 데이터를 확보하고 GIS로 폐기물 매립지 개수, 매립지별 수용량, 매립지 면적을 분석한 결과 1997년의 폐기물 매립지 개수, 면적, 매립량 등이 가장 크게 나타났으나 2007년 서울의 폐기물 매립지가 사라지고 타 시도의 폐기물 매립지 규모도 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 이후 수도권 매립지의 매립량이 증가한 것도 확인할 수 있었으며 폐기물 매립지의 개수 및 면적과 허용량을 통합해서 살펴본 결과, 폐기물 매립지의 개수는 1997년에 비해 2017년에는 줄어들었으나 폐기물 매립지의 면적은 비슷한 수준인

것으로 확인되었으므로, 폐기물 매립지 자체의 규모가 커진 것으로 유추할 수 있었다.

전체 13개 시도 가운데, 기 매립량이 50%를 넘는 지역이 9개로, 포화가 머지않았다는 사실을 알 수 있었으며 폐기물 매립지의 특성을 고려해 개수를 줄이고 대규모 폐기물 매립지를 위한 위치선정이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구결과는 지리정보시스템을 활용해 매립 폐기물량의 확보 및 향후 신규 폐기물 매립지를 선정하기 위한 기초자료로 수도권 매립지의 확충 및 전반적인 폐기물 매립지의 현황을 분석한 것이며 향후 폐기물 매립지의 구체적인 위치선정을 위해서는 시도 단위의 분석보다 읍면동 단위의 공간분석이 요구되어질 것으로 판단된다. 특히, 읍면동 단위 분석 및 국토환경성 평가 지도와 같이 환경적인 요소를 고려해 분석한다면 폐기물 매립지의 위치 및 현황 파악에 대해 정밀하게 분석 가능하며 포화상태에 이르는 수도권 매립지에 관한 향후 추가 매립지 선정을 제안하는 데에도 도움이 될 수 있을 것이다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 연구비 지원에 의해 수행되었습니다 (과제번호: 2019R111A3A01044091, 2020R111A3061734).

References

Bae, M.K., Chang, B.M. (1998). A study on selection of proposed waste facilities sites using geographic information system, *Korean Association of Geographic Information Studies*, **1(2)**, 14–25.

Kim, H.M., Park, W.J., Kim, Y.C., Ryu, J.R. (2019). The study on time series analysis and status analysis of domestic waste landfill using GIS, *Proceedings of Korean Recycled Construction Resource Institute, Jeju*, Korea 213–214.

Kim, H.M., Son, B.H., Kim, Y.C., Hong, W.H. (2011). A study of how to improve of building waste management systems using by 'BIM / GIS', *Korean Spatial Information Research*, **19(5)**, 53–60.

Kim, J.W. (2011). A Fundamental Study on the Reuse of a Waste Landfill, Master's Thesis, Hoseo University, [in Korean].

- Lee, N.H. (2004). Current status of waste landfill facilities in Korea, Korean Geo-Environmental Society, **2004(3)**, 8-18.
- Regulations on the Promotion of Recycling of Construction Wastes and Cases of Civil Complaints (2008). Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, Seoul, 233-364.
- Special Act on the Installation and Operation of Public Waste Resources Management Facilities and Resident Support, Korean Law Information Center, <https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2§ion=lawNm&query=waste&x=31&y=42#lBbgcolor3>
- Statistics Korea, <https://kosis.kr/>
- The Geological Society Of Korea, <http://www.gskorea.or.kr>
- Waste Generation and Disposal Status Nationwide (2017). Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, Seoul, 107-666.
- Yi, S.R., Cho, J.H., Lim, J.H., Lee, W.J., Park, H.J. (2017). A Study on the Analysis of the Amount of Recycled Utilization of Reclamation Resources and the Establishment of Future Landfill Management Strategies, Basic Research Report **2017(D)**, Seoul, 6-20.
- Yoo, J., Kim, S.G., Lee Y.S., Jeong, H.J. (2009). Standards for installation and management of waste landfill facilities, Korean Geo-Environmental Society, **10(4)**, 33-39.

지리정보체계를 활용한 국내 폐기물 매립지 시계열 분석에 관한 연구

폐기물을 처리하기 위해서는 매립, 소각, 재활용, 해역배출과 같은 방법이 있다. 이 중 매립하는 폐기물은 누적되기 때문에 이들을 수용하기 위한 폐기물 매립지는 한계가 있다. 이 논문에서는 폐기물 매립 실태를 파악하기 위해, GIS를 활용해 전국에 분포되어 있는 폐기물 매립지의 20여년간 매립 허용량의 시계열 분석 및 현황을 분석하였다. 그 결과 폐기물의 배출량은 점차 늘어나는 추세였고 배출량 증가에 따른 폐기물 매립량도 늘어났음을 알 수 있었다. 이를 수용하기 위한 폐기물 매립지의 매립현황은 50%이상의 매립량인 지역이 9개였으며 포화가 임박함에 따라 추가 매립지 확보의 기초자료 확보를 위해 기존 폐기물 매립지를 분석했다.