

자중계를 활용한 건설폐기물 수집·운반 차량의 과적 예방효과 연구

A Study on the Overload Prevention Effect of Construction Waste Collection and Transportation Vehicles Using On-Board Truck Scale

김종우^{1*} · 정영우²Jong-Woo Kim^{1*} · Young-Woo Jung²

(Received October 8, 2020 / Revised November 5, 2020 / Accepted November 9, 2020)

In this study, On-Board Truck Scale was installed on the construction waste collection / transportation vehicles to monitor the weight of the waste at all stages from generation to final treatment. It was performed as a case study of a construction waste control technology that can efficiently manage the total generating and recycling amount using real-time weight/location information obtained by the On-Board Truck Scale device. As a result of the study, it was confirmed that the total amount of construction waste can be monitored in real time, and a plan for efficient logistics transportation can be derived through the analysis of operation patterns by managing the real-time transport volume, transport distance, and transport time of the construction waste collection / transportation vehicles. It was confirmed that overloading can be prevented in advance by controlling the loading also.

키워드 : 자중계, 건설폐기물, 수집운반, 과적**Keywords :** On-board truck scale, Construction waste, Collection / Transportation, Overloading

1. 서론

우리나라는 2003년 12월 31일 건설폐기물의 적정처리와 재활용 활성화를 위하여 건설폐기물의 관리와 재활용 촉진을 위한 「건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률, 이하 건폐법」이 제정된 이후 건설폐기물의 친환경적인 적정처리, 발생 및 처리단계에서의 관리 강화, 재활용의 활성화 및 건설폐기물 발생의 최소화를 위한 정책 수립, 제도 마련 및 기술개발 등이 꾸준히 추진되어 건설폐기물의 효율적인 관리를 위한 제도적·기술적 기반을 만드는데 다양한 성과를 거두어 왔다.

Table 1과 같이 환경부에서 제공하는 “전국 폐기물 발생 및 처리 현황(2018년도)”에 의하면 18년도 건설폐기물 발생량은 206,951톤/일(전년(196,262톤/일) 대비 5.4% 증가한 것으로 집계되었고 해마다 꾸준히 증가하는 추세이다. 이 중 재활용 관점에서 중요하게 다루어지는 폐콘크리트와 페아스팔트는 172,356톤/일(전

체 건설폐기물 중 약 83%를 차지하고 있다. 하지만 이 폐기물은 중량 폐기물로서 처리장의 부족과 처리 비용의 과다하다는 이유로 건설폐기물 중에서 불법투기가 가장 많이 이루어지는 품목으로 보고되고 있는데, 1996년 한국건설산업연구원에서 보고한 “건설폐기물의 적정처리 및 재활용 정책방안”에 따르면 폐콘크리트 및 페아스팔트(35.7%), 건설토사(25.3%), 혼합폐기물 (24.4%)이 그 특성상 重量일뿐더러 대량으로 발생하고 처리가 곤란하다는 이유로 불법으로 투기되고 있음이 보고된 바 있다.

한편, 이러한 통계정보는 환경부의 폐기물 적정처리를 위한 전산프로그램(이하 ‘올바로시스템’)을 통한 실적전송 또는 환경청 및 시·도(시·군·구) 제출하는 서면 실적자료를 통하여 얻어지는데, 건설폐기물의 발생원이나 수집, 운송을 포함한 모든 과정에서 얻어지는 데이터가 아니라 주로 중간처리단계에서 얻어지는 자료가 대부분이다.

2019년 한국건설순환자원학회 가을학술발표 논문집에 강기웅

* Corresponding author E-mail: michael@udnsk.co.kr

¹주에이티맥스 기술연구소 CTO (ATMACS Co. Ltd., Gyeonggi-do, 13112, Korea)²주유디엔에스 기술연구소 차장 (UDNS Co. Ltd., Gyeonggi-do, 16871, Korea)

Table 1. Status of construction waste properties

(Unit : ton/day)

Index	'13	'14	'15	'16	'17	'18	
Total amount	183,538	185,382	198,260	199,444	196,262	206,951	
Construction waste	Sub total	150,331	151,026	163,190	166,494	162,139	172,356
	Waste concrete	111,653	114,908	124,451	128,092	123,248	131,040
	Waste asphalt	35,398	33,725	35,509	35,192	35,861	37,759
	Etc	3,280	2,393	3,230	3,210	3,030	3,557
Combustible construction waste	Sub total	2,418	2,519	2,588	2,237	2,614	2,652
	Waste wood	704	866	923	806	800	805
	Waste synthetic resin	1,695	1,586	1,654	1,420	1,803	1,826
	Etc	19	67	11	11	11	21
Non-combustible construction waste	Sub total	1,058	877	1,036	2,012	1,871	1,300
	Construction sludge	1,052	707	995	1,922	1,822	1,250
	Etc	6	170	41	90	49	50
Construction soil waste	5,067	5,863	7,659	6,478	7,478	7,101	
Mixed construction waste	24,664	25,097	23,787	22,223	22,160	23,542	

- Construction waste materials, etc.: waste bricks, waste blocks, disposal
- Combustible construction waste, etc.: waste fiber, waste wallpaper
- Non-combustible construction waste, etc.: scrap metals, waste glass, waste tiles and waste ceramics

등이 기고한 “건설폐기물의 수집·운반 및 중간처리 체계의 문제점 및 개선안”에 따르면 2017년 수집·운반업에서 집계한 건설폐기물의 수집량은 73,253,643톤인데 반하여 중간처리업체의 처리량은 82,303,962톤으로 보고되어 서로 상이한 결과를 보여주고 있다. 이는 건설폐기물의 발생 및 수집·운반 그리고 중간 또는 최종처리 전 과정에서 건설폐기물의 총량을 모니터링하기 어렵다는 현실을 나타낸다.

하지만 건설폐기물의 효율적인 관리를 위해서는 발생시점에서부터 수집·운반 및 중간처리 그리고 최종처리까지 모든 과정에서의 중량관리가 필요한데, 운반용 차량에서 모든 단계별 중량을 실시간으로 알 수 있다면 매우 효과적인 중량관리정보가 될 것은 자명하다. 본 연구에서는 건설폐기물 운송차량에 적재된 중량을 자동으로 측정할 수 있는 차량탑재형 적재중량표시기(이하 ‘자중계, 自重計’)를 설치하여 건설폐기물의 수집·운반 시 실시간 중량의 측정 가능성을 확인하고 운반차량의 운행패턴을 분석하여 최근 관심이 고조되고 있는 자중계의 과적예방효과를 검토하였다.

2. 자중계(自重計)기술의 현황분석

화물차량의 적재중량 측정장치에 대한 기존 국내연구는 1995년부터 자동차생산업체 등에서 차량 축하중에 작용하는 무게를 측정하는 기술적인 개념은 발표되었으나, 이를 적재화물에 대한

축중량을 손쉽게 운전자가 확인할 수 있는 시스템은 2000년 중반에서야 시장에 소개되기 시작했다. 화물차의 중량 측정에 대한 아이디어들은 1980~2000년대에 여러 방향의 특허 출원이 이뤄졌으나, 현실적으로는 화물차량 현가장치 등 난해한 구조거동 특성과 현상환경에서 극복해야 할 차량의 각종 전자기적 노이즈의 제거 방법, 온도충격과 수분침입에 의한 고 내구성 센서의 요구 등이 해결이 쉽지 않아 실제 제품화된 아이디어는 거의 없었다.

2.1 국내외 자중계의 기술현황

국내외의 자중계 기술현황을 조사한 결과, 차량의 적재중량을 측정하는 제품을 해외시장에서는 ‘On-board Truck Scale’이라 명칭하며, 아래의 Fig. 1과 같이 로드셀 방식과 에어서스펜션 압력 측정방식, 적재함 실린더 유압측정 방식의 세 가지 제품군으로 구

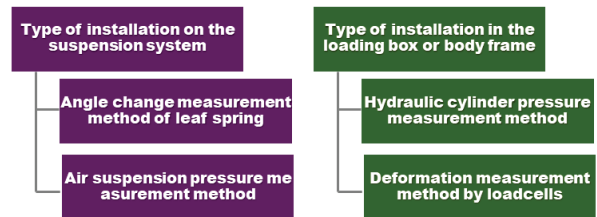


Fig. 1. Classification of On-board truck scale type according to measurement method

Table 2. Heavy vehicle On-Board mass monitoring - capability review

Supplier	A	B	C	D	E	F	B	G	C	E
Sensor type	Loadcell	Loadcell	Loadcell	Loadcell	Loadcell /Air	Air	Air	Air	Air	Air
Temp range (°C)	-40 to 85		0 to 50				-40 to 85	-25 to 70	0 to 50	
Accuracy	Tare within 140kg	GVW ± 1.0% / Tare ±0.5%	GVW ± 1.0%	GVW ± 1.0%	GVW ± 1.0%	GVW ± 1.0%	GVW ±3 to 5%	GVW ± 2.0% / Tare ±1.0%	GVW ± 1.0%	GVW ± 2.0%
Accuracy GVW=42t Tare=20t	-	420kg /100kg	420kg	420kg	420kg	420kg	1260 - 2100kg	840kg / 200kg	420kg	840kg
Cost	\$1000-1500 per axle group	\$3500 for loadcells / turntable	-	\$400-600 per loadcell	-	\$1000-1500 per axle group	-	\$1500-2000 per unit		
Installation in Australia	-	30	8000 (incl air sensors)	200	Produces 1000 loadcells/yr	100	30	-	8000 (incl loadcells)	-

분하고 있다. ‘On-board Truck Scale’은 초기에는 로드셀과 압력계(유압, 공압) 등에 의한 방식이 영국, 미국, 일본 등에서 개발되었으나, 가격 및 차량구조 상의 제한적인 적용으로 아직까지는 널리 활용되고 있지 못한 실정이었다. 하지만 최근에는 미국은 에어서스펜션 압력측정방식이 일본과 대만에는 유압실린더 압력계 방식이 자리 잡고 있다.

위의 Table 2는 호주 Transport Certification Australia에서 발표한 “Heavy Vehicle On-Board Mass Monitoring – Capability Review(First published August 2007)”의 한 부분을 발췌한 것이다. 호주에서는 행정기관 차원에서 각종 ‘On-board Truck Scale’에 대한 검증을 위해 로드셀과 에어 압력 센서 방식에 대한 현장 성능시험을 실시하여 보고서를 작성하였는데 정확도는 로드셀 방식이 우수하나 경제성은 에어압력 방식이 우수함을 알 수 있다.

2.2 자중계의 폐기물 관리 및 과적예방 적용사례

환경부에서는 2017년 1월 1일부터 가축분뇨 전자인계관리시스템의 사용을 의무화하여 이 시스템의 의무설치를 전국적으로 확산하고 있는데, 이 사업의 근거를 마련하기 위하여 ‘가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률(약칭: 가축분뇨법)’이라는 법제화를 추진하였다. Fig. 2와 같이 가축분뇨 및 액비의 배출, 수집운반, 처리 및 살포시 마다 전자인계서의 작성을 의무화하도록 하여 전국의 모든 가축분뇨 수집운반 및 액비 살포차량에 대하여 중량센서 및 위성항법장치 등이 포함된 차량설치장비를 의무적으로 도입 확산하였다. 그 결과 가축분뇨의 수집 시 중량을 정확히 수집하고 운반차량

의 이동 중 위치와 중량을 실시간 모니터링함으로써 폐기물중량의 변화여부를 감시할 수 있게 되어 불법투기 등을 미연에 예방할 수 있게 되었다.

일본의 경우, 과적방지 대책으로 1965년부터 “토사 등을 운반하는 대형 차량에 의한 교통사고의 방지 등에 관한 특별조치법”을 제정함으로써, Fig. 3와 같이 토사 운반 5톤 이상 덤프차량에 자중계 설치를 의무화한 후, 과적발생은 60% 이상 감소하였고, 사망사고도 75% 이상 감소하는 효과를 거두었다(e-Gov Japan, 2020). 이는 건설폐기물의 한 종류인 건설공사의 사토를 운반하는 수집·운반차량의 중량관리 및 이를 응용확대한 과적예방 정책으로서 시사하는 바가 크다. 즉, 자중계는 관리주체의 입장에서는 수집 당시의 중량정보를 취득하는 수단으로, 한편 화물차 운전자들에게는

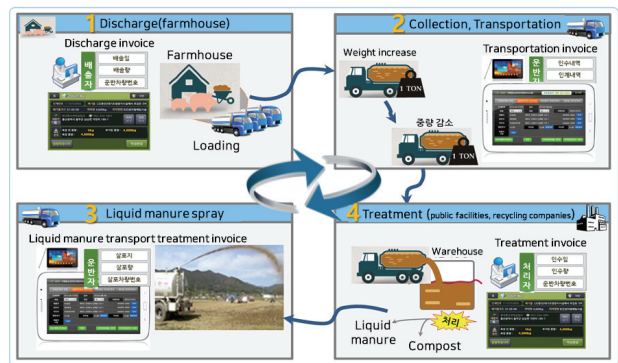


Fig. 2. Case of operation of livestock manure electronic delivery system by weight sensor

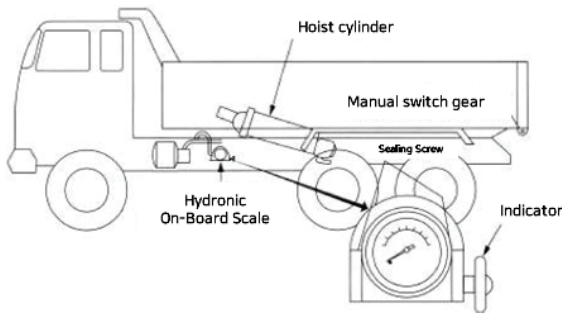


Fig. 3. Japanese analog type on-board scale

자신의 적재중량을 인지하지 못함에서 오는 부득이한 과적을 예방하기 위한 수단으로 매우 유용한 기술임을 알 수있다.

3. 건설폐기물 운송차량의 자중계 적용연구

건설폐기물 운송차량의 자중계 적용을 통한 운행패턴 분석과 자중계의 활용이 과적예방에 미치는 효과를 분석하기 위해서 기존 건설폐기물 운송차량의 운행정보를 분석하였다.

또한 건설폐기물의 이동노선과 운행패턴 등을 조사하고 이를 바탕으로 대표차량에 자중계를 시범 적용하여 중량정보와 위치정보를 수집 모니터링 함으로써 건설폐기물의 수집부터 처리까지의 과정에서의 운행패턴과 수집과정에서의 과적예방효과까지 분석 연구를 진행하고자 한다.

3.1 현장시험 개요

자중계를 설치하여 적용성을 확인하기 위해 선정된 건설폐기물 운송 차량은 총 30대로 각각의 운행사 및 설치정보는 아래의 Table 3과 같다.

시범설치에 적용된 자중계는 국내 U사의 제품으로 환경부의 폐기물 적정처리사업에 적용되고 있는 경사계 방식을 사용하고 있

다. 아래의 Fig. 4에는 설치된 자중계의 시스템구성도를 나타내었고 이 시스템을 통하여 실시간으로 매 1분당 1개의 중량 및 위치정보를 LTE모뎀을 통해 수신하여 분석에 활용하였다.

Table 3. Test truck list

No.	Company	Pltaes No.	Installed date
1	'G'	충남06고40XX	2020-05-06 02:36:51
2	'G'	충남06고40XX	2020-05-06 02:36:04
3	'G'	충남06고40XX	2020-05-06 02:36:54
4	'G'	충남06고42XX	2020-05-06 04:31:55
5	'G'	충남06노16XX	2020-05-07 01:49:59
6	'G'	충남06로50XX	2020-05-11 01:46:38
7	'G'	충남06로63XX	2020-05-06 02:59:18
8	'G'	충남06로80XX	2020-05-11 01:47:32
9	'J'	충남06도75XX	2020-05-06 06:48:02
10	'J'	충남06로57XX	2020-05-06 06:45:49
11	'J'	충남06로69XX	2020-05-06 06:30:19
12	'J'	충남06로69XX	2020-05-06 06:46:39
13	'J'	충남06로87XX	2020-05-06 05:40:46
14	'S'	경기06조76XX	2020-05-06 02:33:41
15	'S'	서울06거56XX	2020-05-06 02:34:22
16	'S'	서울06거65XX	2020-05-08 04:35:25
17	'S'	서울06거66XX	2020-05-06 02:33:56
18	'S'	서울06타75XX	2020-05-11 02:51:39
19	'S'	서울06파58XX	2020-05-08 14:46:22
20	'S'	서울06파76XX	2020-05-06 02:34:35
21	'S'	서울06하54XX	2020-05-08 02:30:45
22	'S'	서울06하63XX	2020-05-08 01:35:06
23	'S'	서울06하84XX	2020-05-11 01:11:48
24	'S'	인천06사61XX	2020-05-11 02:17:03
25	'Y'	서울06거66XX	2020-05-12 02:47:55
26	'Y'	서울06거66XX	2020-05-12 02:47:02
27	'Y'	경기06오82XX	2020-05-12 06:40:32
28	'Y'	서울06하60XX	2020-05-12 01:15:16
29	'Y'	서울06하70XX	2020-05-12 02:47:38
30	'Y'	서울06하82XX	2020-05-11 07:42:11

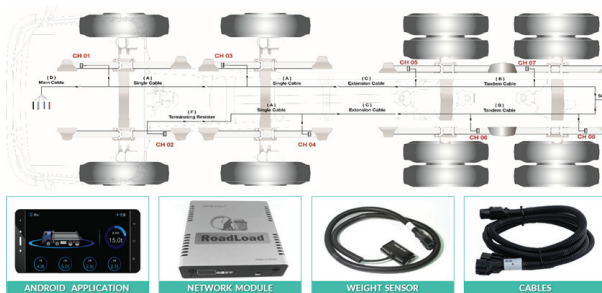


Fig. 4. On-Board scale diagram of 'U' company

3.2 자중계 설치차량의 운행패턴 분석결과

자중계 설치차량의 2020년 06월 01일부터 07월 31일까지 2달 간 서버로 수신된 운행 데이터를 분석한 결과, Table 4와 같이 총 누적 운송횟수는 6,625회로 나타났다. 누적 운송량은 160,883톤으로 누적 운송거리는 342,545km로 집계되었다. 전체 운송횟수 중에 과적은 779회인 전체 운송의 약 11.8%로, 건설폐기물 수집운반 차량의 10대 중 약 1.2대는 과적운행을 하고 있는 것으로 나타났

다. 이렇게 매우 높은 과적 비율이 나타나는 것은 고의적인 과적이 라기 보다는 건설폐기물의 특성상 부피가 비정형화된 적재물로서 상차 후 총중량 및 축하중을 유추하기 어렵기 때문으로 판단된다.

Table 4. Test truck monitoring result

Index		Summation
Cumulative number of transportation	Total [cycle]	6,625
	Normal [cycle]	5,846
	Overload [cycle]	779
Cumulative transport volume	Total [ton]	161,883
	Normal [ton]	139,333
	Overload [ton]	22,550
Cumulative transport distance	Total [Km]	342,545
	Normal [Km]	305,868
	Overload [Km]	36,677
Cumulative transport time	Total [min]	254,207
	Normal [min]	233,234
	Overload [min]	20,973

3.3 자중계의 과적예방효과 분석결과

자중계 설치 차량의 과적예방효과를 정량적으로 분석하기 위하여 설치 후 1달간은 운전자에게 자중계로부터 측정된 중량 정보를 확인할 수 없도록 하여 통상 운행을 유도하였으며, 설치 후 1달이 지난 시점부터는 Fig. 5와 같이 측정 중량정보를 확인할 수 있는 스마트폰 앱을 배포하여 장착 전후 효과를 비교할 수 있도록 운행 데이터를 수집하였다.

설치 전후 데이터를 분석한 결과, 자중계를 설치 전 과적운송 횟수의 비율은 전체의 17.3%에서 설치 후 6.8%로 10.4%가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 전체 운송량 중 과적운행으로 운반된

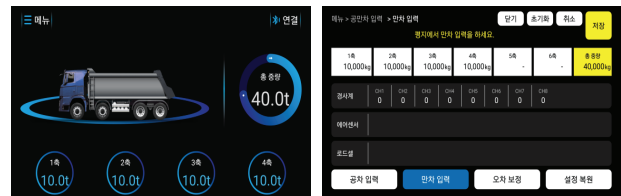


Fig. 5. On-Board scale smart phone app screen

Table 5. Comparison before and after test truck installation

Index	Pattern	Summation	Before	After	Change
Cumulative number of transportation	Normal [cycle]	5,846	2,590	3,256	666
	Overload [cycle]	779	540	239	-301
	Overload rate [%]	11.8%	17.3%	6.8%	-10.4%
Cumulative gross weight	Normal [ton]	222,532	97,643	124,889	27,246
	Overload [ton]	35,572	24,661	10,911	-13,750
	Overload rate [%]	13.8%	20.2%	8.0%	-12.1%
Cumulative transport volume	Normal [ton]	139,333	60,934	78,399	17,465
	Overload [ton]	22,550	15,460	7,090	-8,370
	Overload rate [%]	13.9%	20.2%	8.3%	-11.9%
Cumulative transport distance	Normal [Km]	305,868	138,535	167,333	28,798
	Overload [Km]	36,677	26,949	9,728	-17,221
	Overload rate [%]	10.7%	16.3%	5.5%	-10.8%
Cumulative transport time	Normal [min]	233,234	116,963	116,271	-692
	Overload [min]	20,973	13,990	6,983	-7,007
	Overload rate [%]	8.3%	10.7%	5.7%	-5.0%
Average gross weight	Normal [ton]	38.07	37.70	38.36	0.66
	Overload [ton]	45.64	45.67	45.59	-0.08
Average transport volume	Normal [ton]	23.84	23.53	24.08	0.55
	Overload [ton]	28.93	28.63	29.62	0.99
Average transport distance	Normal [Km]	52.32	53.49	51.40	-2.09
	Overload [Km]	47.06	49.91	40.64	-9.26
Average transport time	Normal [min]	39.90	45.16	35.71	-9.45
	Overload [min]	26.91	25.91	29.18	3.27
Transport efficiency	Normal [ton*k/m/min]	31.26	27.87	34.66	6.79
	Overload [ton*k/m/min]	50.60	55.15	41.26	-13.89

운송량이 설치 전 전체 운송량의 20.2%였던 것에 비하여 설치 후 8.0%로 12.1%가 감소되었다.

반면에 정상운행 시에는 오히려 운송 효율(분당 톤킬로미터)이 증가하였는데, 설치 전 27.87ton*km/min에서 34.66 ton*km/min로 운송효율이 6.79ton*km/min이 증가하였으며, 이는 운전자들이 운행 전 적재량을 인식하게 됨으로써 1회 운송량을 과적 기준에 미치지 않은 범위에서 극대화할 수 있고, 과적 단속을 우려하여 원거리로 우회 주행을 할 필요가 없어 운송거리와 시간이 줄어들었기 때문에 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 건설폐기물 수집운반 차량에 자중계를 시범설치하여 운송효율과 과적예방효과를 평가하였다. 섭외된 총 30대의 건설폐기물 수집운반 차량에 자중계를 시범 설치 후 운행 데이터를 실시간으로 수집하였으며, 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2달간 자중계 시범운영에 따른 건설폐기물 수집운반 차량의 운송횟수는 총 6,625회, 운송량은 총 160,883톤으로 누적 운송거리는 342,545km로 집계되었다.
2. 시범대상 건설폐기물 수집운반 차량의 적재중량은 자중계 설치전에 비하여 10.4%의 감소효과를 나타내어 운전자 스스로가 적재량을 조절할 수 있어 과적 예방효과가 있는 것으로 나타났다.
3. 정상운행 시에는 1회 상차 중량 극대화가 가능하고 및 단속 회피를 위한 우회주행이 불필요하여 6.79ton*km/min의 운송효율의 증가를 확인할 수 있었다.
4. 건설폐기물 수집운반 차량의 자중계 확대 설치 시 전국에서 수집 운반되는 건설폐기물의 총량을 효율적으로 관리하고,

과적예방 및 운송효율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20SCIP-C146569-03)

References

e-Gov Japan Law Information Search, (2020) <http://elaws.e-gov.go.jp/>, Japan.

Kang K.W., Kim J.M., Lee D.H. (2019). Problems and Improvement for Collection, Transportation and Intermediate Treatment system of Construction Waste, Korea Recycled Construction Resources Institute, 49-50 [in Korean].

Kim J.W., Jung Y.W., (2018) An Analysis of Driving Pattern and Transportation Efficiency of Commercial Vehicle using Installing On-board Truck scale, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, **18(6)**, 76-95 [In Korean].

Mark Leader Editorial Department (2019). New Approaches to Waste Treatment and Industry Outlook Report, Mark Leader Consulting, Seoul, 38-39 [in Korean].

Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, (2019). National Waste Generation and Treatment Status in 2018, Incheon, 21-22 [in Korean].

Transport Certification Australia, (2007.) Heavy Vehicle On-Board Mass Monitoring-Capability Review, Victoria, 26-27.

자중계를 활용한 건설폐기물 수집·운반 차량의 과적 예방효과 연구

본 연구에서는 건설폐기물의 발생에서부터 수집·운반 및 중간처리 또는 최종처리까지의 모든 단계에서의 폐기물 의 중량을 모니터링 하기 위하여 차량탑재형 중량표시기(이하 자중계)를 운송차량에 설치하고, 여기서 얻어진 실시간 중량/위치정보를 활용하여 효율적으로 건설폐기물의 총량 및 재활용량을 관리할 수 있는 관계기술의 사례연구를 수행하였다. 연구결과 건설폐기물의 총량을 실시간으로 모니터링 할 수 있으며, 운송차량의 실시간 운송량, 운송거리, 운송시간 등을 관리하여 운행패턴 분석을 통한 물류운송 효율화 방안을 도출할 수 있음을 확인하였으며, 과적의 발생 시 적재를 제어함으로써 사전에 과적운행을 예방할 수 있음을 확인하였다.