

## 매립처분 오폐수의 에너지회수이용 가능량 산정에 관한 연구

문희성, 김규연<sup>†</sup>, 손지환, 전태완, 신선경  
국립환경과학원 환경자원연구부 폐자원에너지연구과

### A Study on Estimation of Recycling Potential by Thermal Recovery of Landfilled Sludge

Heesung Moon, Kyuyeon Kim<sup>†</sup>, Jihwan Son, Taewan Jeon, Sunkyoung Shin  
Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received: Aug. 25, 2017 / Revised: Aug. 23, 2017 / Accepted: Aug. 23, 2017)

**ABSTRACT:** With the purpose of energy recovery from sludge having calorific value as fuel we investigated the current status and characteristics of sludge in Korea in order to understand the type and amount of sludge that can recover energy. 'The Status Report on Waste Generation and Treatment in Korea' announced that 152 million tons of wastes were generated nationwide in 2015 and 9.2 % of the whole waste disposed into landfills which includes 15.1 % of the total industrial wastes. The average of upper calorific values of sewage sludge was 3,021 kcal/kg and that of wastewater sludge was 2,472 kcal/kg respectively. In order to determine the sludge as fuel, each correlations between calorific value, carbon content and combustibility ratio were evaluated. In the study, the current status and characteristics of sludge in Korea were investigated in order to understand the type and amount of sludge as fuel to recover energy. It is predicted that if the energy of sludge having a calorific value of 6 MJ/kg( $\cong$ 1,500 kcal/kg) or more is recovered as fuel, the amount of the sludge disposed into landfills can be reduced about 40 %.

**Keywords:** Landfill reduction, Sludge, Calorific value, Energy recovery

**초 록:** 우리나라는 매립지로 반입되는 폐기물의 억제를 위해 다양한 정책을 추진하고 있다. 매립지로 처분되는 유기성 폐기물 중 하·폐수처리오니가 다량 포함되어 있다. 연료로 사용가능한 일정 발열량 이상의 오폐수를 발생원에서 분리·건조·가공 등 공정을 통해 에너지를 회수 할 수 있다. 본 연구에서는 한국의 오폐수 현황 및 특성을 조사하여 에너지를 회수 할 수 있는 오폐수의 종류와 양을 산정하고자 여러 오폐수의 배출특성을 조사하였다. 2015 년 발생 폐기물의 9.2 %, 사업장배출시설계폐기물의 15.2 %가 매립으로 처분되었다. 조사결과, 유·무기성하수처리오니의 고위발열량 평균값은 3,021 kcal/kg, 유·무기성폐수처리오니의 평균 고위발열량은 2,472 kcal/kg이다. 본 연구에서는 오폐수의 특성과 에너지회수 대상에 대한 고찰을 통해 6 MJ/kg 이상의 오폐수를 연료로 회수이용 할 수 있을 것으로 판단되었으며, 오폐수매립처분량의 약 40%를 줄일 수 있을 것으로 추산되었다.

**주제어:** 매립저감, 오폐수, 발열량, 에너지회수

<sup>†</sup> Corresponding author(e-mail : [qykim@korea.kr](mailto:qykim@korea.kr))

## 1. 서론

우리나라는 다양한 산업 활동의 진행과 경제성장에 따라 배출되는 폐기물이 매년 증가하고 있다. 낮은 경제성과 인식의 부족으로 단순 매립처리되는 폐기물은 에너지재활용 기피와 환경적 문제를 나타내고 있다. 따라서 정부는 매립되는 폐기물의 재활용을 극대화 시키고 환경적인 피해를 최소화하기 위해서 미처리폐기물의 매립제로화 정책을 추구하고 있다. 또한 자원순환법 제정과 폐기물관리법 개정을 통해 폐기물에 대한 재활용 방향성을 확대되었고, 제 4차 국가환경종합계획에서 매립처리 폐기물의 억제를 통해서 2035년까지 매립처리비율 1%까지 저감 목표를 설정 하였다.

2015년도 국내에서 배출된 전체폐기물에서 매립처리 폐기물은 38,308 톤/일이며, 폐기물 발생량 대비 9.2 %의 매립비율로 조사되었다. 이중 산업현장에서 배출되는 사업장배출시설폐기물의 매립처리량은 24,606 톤/일이며, 전체 매립폐기물의 약 65 %로 높은 비중을 차지하고 있다. 이중 울바로시스템 인계정보 분석을 통해 유기성오니류의 하수처리오니, 폐수처리오니와 무기성오니류의 폐수처리오니가 높은 것을 확인하였다.

현재 국내 폐기물관리법 시행규칙에서 가연성 고품폐기물로서 에너지회수 조건으로 혼합되지 않은 폐기물의 저위발열량 3,000 kcal/kg 이상과 에너지회수효율이 75 % 이상으로 규정되어 있고, 재활용 방법으로 유기성오니류는 부숙도, 탄화, 녹화도 등, 무기성오니류는 보조기층재, 도로기층재, 매립복토재 등이 적용되고 있다. 하지만 국내 사정상 오니류의 생물학적 재활용이 어려운 점과 특성상 수분량이 매우 높아 가연성 고품폐기물의 에너지회수 조건에 부합되기 어렵다.

따라서 경제적 유인책이나 정책수립을 통해 오니류의 수분 전처리와 적극적인 에너지회수 방안을 적용하여 매립량을 감소할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내 배출사업장 업종 별 유·무기성오니류의 처리현황 및 매립처리현황을 조사하고, 유럽연합의 매립지반입기준과 국외 폐기물에너지 조건을 조사하여 국내 오니류 폐기물연료회수

조건을 제시하고자 하였다. 또한 폐기물연료회수 가능 조건 적용을 통해 매립처리되는 오니류의 수분 전처리를 통한 에너지회수 이용 가능량을 산정하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 조사대상 및 범위

매립 처리되는 유·무기성오니류의 주요현황을 살펴보기 위해 국가 통계자료를 분석하고, 전자 폐기물 인계 정보인 울바로시스템을 이용하여 국내 업종 별 하·폐수처리오니를 세분화하여 배출 및 처분 정보를 검토하였다.

국내 사업장의 업종분류는 한국표준산업분류코드(9차)에 따라 등록하게 되어있으며, 사업장배출시설폐기물을 배출하는 사업장도 한국표준산업분류코드에 따라 울바로시스템에 등록하게 되어 있다. 폐수처리오니의 경우 생산된 품목에 따라 성상이 매우 다양 할 것으로 예측되었다. 따라서 제조업(C)의 경우 중분류 항목이 24개로 유사성을 고려하여 Table 1과 같이 8개 항목으로 재분류하였다.

매립 처리되는 유·무기성오니류의 에너지회수 가능량을 산정하기 위해서 업종별 매립처리량 조사 및 성분분석을 실시하였다. 매립 처리비율이 높은 업종을 대상으로 우선 시료채취를 진행하였고, 채취한 업종을 포함한 다양한 업종별 데이터를 확보하기 위해 문헌조사를 추가적으로 진행하였다.

### 2.2. 오니류 성분분석 방법

시료의 채취는 슬러지 탈수장치에서 직접 채취하였으며, 전처리로는 오니류의 높은 수분보유력 때문에 105 °C 조건에서 하루 동안 건조시킨 후 방냉하였다. 발열량 분석은 Bomb식 열량계(LECO AC500)을 이용하여 건조고위발열량을 구하였고, 고위발열량 계산은 유럽환경청(EU) 규격인 DIN EN 15170을 이용하여 계산하였다.

Table 1. Re-classification of the manufacturing industries[C]

Code	Classification of equipment manufacturing industry	Type of reclassification
C(10)	food manufacturing industry	1. food & beverage
C(11)	beverage manufacturing industry	
C(12)	cigarette manufacturing industry	
C(13)	textile manufacturing industry: without clothes	2. textile & leather
C(14)	clothes and accessories manufacturing industry	
C(15)	leathe bag and shoes manufacturing industry	
C(16)	wood manufacturing industry: without furniture	3. wood & paper
C(17)	pulp and paper manufacturing industry	
C(18)	printing and recording manufacturing industry	
C(19)	cokes, briquet and oil product manufacturing industry	4. petrochemical
C(20)	chemical manufacturing industry without medical	
C(21)	madical materials manufacturing industry	
C(22)	rubber and plastic manufacturing industry	5. non-metallic
C(23)	Non-metabolic manufacturing industry	
C(24)	metal manufacturing industry	6. metallic
C(25)	metal-processor manufacturing industry: without machinery and furniture	
C(26)	electronic components(computer, videos, acoustics) equipment manufacturing industry	7. electronic & machinery
C(27)	medical, precision, optics, clockwark equipment manufacturing industry	
C(28)	electrical equipment manufacturing industry	
C(29)	others equipment manufacturing industry	
C(30)	automobile and trailer manufacturing industry	
C(31)	others automobile equipment manufacturing industry	
C(32)	furniture manufacturing industry	3. wood & paper
C(33)	others equipment manufacturing industry	8. others

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 오폐수 발생 및 처리현황

국내 사업장에서 배출된 오폐수 처리현황은 ‘전국 폐기물발생 및 처리현황(2015)’ 및 ‘지정폐기물 발생 및 처리현황(2015)’ 통해 조사하였으며, 사업장배출시설계폐기물의 매립량은 23,577 톤/일로 전체매립량의 약 62%를 차지하고 있다. 매립 처리되는 유기성오폐수가 3,847 톤/일, 무기성오폐수가 5,079 톤/일이었다. 또한 에너지회수 이용가능량을 산정하기 위해 폐기물의 배출사업장 및 최종처리 현황을 위해 울바로시스템의 인수인계 정보를 고찰하였다.

울바로시스템은 과거의 종이인계서로 진행되던 폐기물관리방법을 사업장에서의 배출부터 수집·운반, 최종처리 전 과정에 대해 전자인계관리시스템으로

관리하는 폐기물종합관리시스템으로<sup>1)</sup> 2015년 전체 유기성오폐수의 매립량은 2,489 톤/일이며, 하수처리오니의 매립량은 1,189 톤/일로 유기성오폐수 매립량의 약 48 %이고, 폐수처리오니의 매립량은 1,044 톤/일로 유기성오폐수 매립량의 약 42 %로 나타났다.

유기성폐수처리오니에서 제조업의 경우 폐수처리오니 매립량의 약 76 %를 차지하고 있으며, 높은 매립량을 나타내는 업종으로 석유·화학의 260.5 톤/일과 식·음료의 225 톤/일이다. 제조업을 제외한 높은 매립량 업종은 환경복원업으로 241.7 톤/일로 나타났다.

전체 무기성오폐수의 매립량은 4,446 톤/일이며, 폐수처리오니의 매립량은 2,157 톤/일로 무기성오폐수 매립량의 약 49 %이다.

무기성폐수처리오니에서 제조업의 경우 폐수처

리오니 매립량의 약 86 %를 차지하고 있으며, 높은 매립량을 나타내는 업종으로는 금속제조업의 966.8 톤/일과 석유·화학제조업의 351.4 톤/일이다. 제조업을 제외한 높은 매립량 업종은 환경복원업으로

227.5 톤/일로 나타났다.

본 연구에서 에너지회수 이용 가능량을 산정하기 위해 업종별 구분이 가능한 올바로스시스템의 매립현황 자료를 이용하고자 하였다.

Table 2. Current status of organic wastewater sludge by Korean Standard Industrial Classification(9th)

Classification [Allbaro-system]	Generation (ton/year)	Landfill (ton/year)	Landfill ratio(%)	Landfill / Generation(%)
Sum	2,027,219	381,224	100	18.81
A agriculture, forestry and fishery	8,230	70	0.02	0.85
B mining	0	0	0	0
C manufacturing	1,650,975	289,668	75.98	17.55
1. food & beverage	526,196	82,126	21.54	15.61
2. textile & leather	182,272	36,118	9.47	19.82
3. wood & paper	533,205	55,077	14.45	10.33
4. petrochemical	211,846	95,070	24.94	44.88
5. non-metallic	4,022	3,015	0.79	74.96
6. metallic	6,252	1,515	0.40	24.23
7. electronic & machinery	187,172	16,737	4.39	8.94
8. others	10	10	0.003	100
D electricity plants	321	318	0.08	99.07
E environmental industry	335,824	88,233	23.14	26.27
F construction & demolition	25,086	1,028	0.27	4.10
others <sup>1)</sup>	6,784	1,907	0.50	28.11

※ others<sup>1)</sup> Sum of wholesale and retail business, transportation industry, lodging industry and etc

Table 3. Current status of inorganic wastewater sludge by Korean Standard Industrial Classification(9th)

Classification [Allbaro-system]	Generation (ton/year)	Landfill (ton/year)	Landfill ratio(%)	Landfill / Generation(%)
Sum	4,056,911	787,338	100	19.41
A agriculture, forestry and fishery	668	655	0.08	98.05
B mining	455,808	34	0.004	0.01
C manufacturing	3,145,313	673,490	85.54	21.41
1. food & beverage	18,352	6,463	0.82	35.22
2. textile & leather	142,385	87,738	11.14	61.62
3. wood & paper	9,808	3,276	0.42	33.40
4. petrochemical	239,970	128,266	16.29	53.45
5. non-metallic	179,917	23,108	2.93	12.84
6. metallic	1,984,630	352,865	44.82	17.78
7. electronic & machinery	569,959	71,537	9.09	12.55
8. others	293	237	0.03	80.89
D electricity plants	31,984	12,803	1.63	40.03
E environmental industry	366,049	83,040	10.55	22.69
F construction & demolition	39,215	7,976	1.01	20.34
others <sup>1)</sup>	17,872	9,341	1.19	52.27

※ others<sup>1)</sup> Sum of wholesale and retail business, transportation industry, lodging industry and etc

Table 4. Sample distribution of collected samples and references

Classification		sample analyzed	reference reviewed	No. of total data [organic/inorganic]	
Sum		60	173	233[169/64]	
sewage sludge		23	55	78[64/14]	
waste water sludge	manufacturing industry	1. food & beverage	0	35	35[31/4]
		2. textile & leather	13	15	28[24/4]
		3. wood & paper	0	9	9[8/1]
		4. petrochemical	3	8	11[10/1]
		5. non-metallic	0	0	0
		6. metallic	0	15	15[2/13]
		7. electronic & machinery	8	5	13[6/7]
		8. others	0	4	4[2/2]
	electricity plants		4	0	4[0/4]
	environmental industry		3	20	23[14/9]
water purification		3	0	3[0/3]	
sludge in manufacturing process		2	2	4[2/2]	
FU & AM (faecal sludge & animal manure)		1	5	6[6/0]	

### 3.2. 오니류 성상분석 결과

매립처리량이 많은 업종을 우선적으로 선정하여 하수처리 23개, 폐수처리 31개, 정수처리 3개, 공정 2개 분뇨처리 1개 시료를 채취하였고, 문헌조사를 통한 분석결과는 총 173건으로 하수처리 55개, 폐수처리 111개, 공정 2개, 분뇨처리 5개 조사하였다<sup>2)-10)</sup>.

본 연구에서 에너지회수 이용 가능량을 산정하기 위한 분석 및 문헌조사된 시료는 총 233건이며, 유기성오니류 169건, 무기성오니류 64건이다.

유·무기성 분류는 폐기물관리법 시행규칙에 따라 건시료 기준 가연분/총고형물(VS/TS) 40 % 이상을 유기성으로 40 % 이하를 무기성으로 분류하였다.

고위발열량 결과 전체 하수처리오니의 평균 발열량 값은 3,021 kcal/kg, 전체 폐수처리오니의 평균 발열량 값은 2,472 kcal/kg으로 분석되었다.

유기성 하수처리오니의 경우 1,589 ~ 6,020 kcal/kg의 범위로 평균 3,239 kcal/kg으로 분석되었고, 폐수처리오니의 식·음료 및 담배제조업의 경우 1,528 ~ 5,929 kcal/kg의 범위로 평균값 3,626 kcal/kg, 석유 및 화학제조업의 경우 2,339 ~ 5,084 kcal/kg 범위로 평균값은 3,828 kcal/kg으로 분석되었다.

무기성 하수처리오니의 경우 1,123 ~ 4,058 kcal/kg의 범위로 평균 2,025 kcal/kg으로 분석되었고, 폐수

처리오니의 금속제조업의 경우 0 ~ 3,718 kcal/kg의 범위로 평균값 629 kcal/kg, 섬유 및 가죽제조업의 경우 639 ~ 1,591 kcal/kg 범위로 평균값은 951 kcal/kg으로 분석되었다.

### 3.3. 오니류 에너지회수이용 가능량 산정

유럽연합의 매립 처리비율이 낮은 회원국은 공통적으로 폐기물에 대해 매립반입기준을 설정하여 매립억제정책을 실시하고 있으며, 직매립을 금지하여 중간처리과정으로 유도하고 있다. 유럽연합의 매립반입기준으로 총유기탄소(TOC), 고위발열량(HHV), 강열감량(LOI)이 대표적이다. 독일에서는 MBT시설 잔재물의 경우 TOC 18%와 HHV 6MJ/kg을 설정하고 있고<sup>11,12)</sup>, 오스트리아는 HHV 6.6 MJ/kg이다<sup>13)</sup>.

이처럼 유럽연합 회원국의 경우 매립반입기준 적용을 통해 폐기물의 에너지를 최대한 회수이용하고 매립을 억제하고 있다. World Bank에서는 폐기물이 연료로서 회수가능 조건으로 고위발열량 6 MJ/kg (≒약 1,500 kcal/kg)을 제시하고 있고, 고형물 25 % 이상, 수분 50 % 이하, 회분 40 % 이하 일 때 에너지자원으로서 가치를 인정하고 있다<sup>14)</sup>.

본 연구에서 매립 처리되고 있는 오니류의 에너지이용 가능량을 산정하기 위해 현재 매립되고 있

는오니류의 매립처리량을 업종 구분에 따라 세분화 하고, 폐기물연료회수기준인 6MJ/kg을 만족하는 대상을 산정하고자 하였다. 대부분의 오니류는 건조 등 수분전처리를 통해 폐기물연료회수기준을 만족할 수 있으므로 원시료(무건조), 고품연료 비성형기준 수분 25 % 이하(건조), 고품연료 성형기준 수분 10 % 이하(건조)로 수분함량조건을 설정하였다.

분석 및 문헌조사 된 233 건 시료 고위발열량에 각각 수분함량을 대입하여 습윤고위발열량으로 변환하고, 폐기물연료회수기준 6 MJ/kg(≒약 1,500 kcal/kg)에 해당 유·무에 따라 해당시료 개수를 전체 시료 개수 비율로 나누어 전체 에너지이용 가능

량을 산정하였다. 원시료(무건조)의 경우 오니류의 수분량이 매우 높아 에너지회수하기 위해 건조 전처리가 요구되므로 수분 25 % 이하와 같이 산정하였다.

유기성오니류 분석결과 하수처리오니류는 원시료 및 수분 25 % 이하에서 시료 64 건에서 60 건이 폐기물연료회수기준 조건에 해당되는 것으로 분석되었고, 매립 처분되는 434,097 톤/년에서 약 94 %인 406,966 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정되었다. 폐수처리오니의 식·음료 및 담배제조업은 원시료 및 수분 25 % 이하에서 시료수인 약 94 %인 76,828 톤/년, 섬유 및 가죽제조업은 시료수의 약 92 %인 33,109 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정되

Table 5. Estimation of reduction potential on organic sludge landfilling(2015)

Classification	landfill (ton)	sample (NO.)	HHV avg (kcal/kg) [range]	estimation of recyclable potential						
				nomal sample		moisture ≤ 25 %		moisture ≤ 10 %		
				ton	No.	ton	No.	ton	No.	
Sum	908,707	169	2,948 [184-4,374]	89,890	9	709,349	139	67,538	14	
sewage sludge	434,097	64	3,239 [1,589-6,020]	6,783	1	400,183	59	27,131	4	
waste water sludge	manufacturing industry [1]	82,126	31	3,626 [1,528-5,929]	2,649	1	74,179	28	5,298	2
	manufacturing industry [2]	36,118	24	3,561 [1,518-5,778]	3,010	2	30,099	20	3,010	2
	manufacturing industry [3]	55,077	8	1,675 [956-2,667]	-	-	20,654	3	6,885	1
	manufacturing industry [4]	95,070	10	3,828 [2,339-5,084]	-	-	95,070	10	-	-
	manufacturing industry [5]	3,015	-	-	-	-	-	-	-	-
	manufacturing industry [6]	1,515	2	184 [0-368]	-	-	-	-	-	-
	manufacturing industry [7]	16,737	6	3,639 [2,562-5,152]	-	-	16,737	6	-	-
	manufacturing industry [8]	10	2	2,610 [1,839-3,381]	-	-	5	1	5	1
	environmental	88,233	14	2,204 (1,449-3,188)	6,302	1	50,419	8	25,209	4
	others <sup>1)</sup>	3,323	-	-	-	-	-	-	-	-
water purification	237	-	-	-	-	-	-	-	-	
manufacturing process	60,144	2	3,486 [3,019-3,953]	60,144	2	-	-	-	-	
FU & AM	33,006	6	4,374 [3,880-5,392]	11,002	2	22,004	4	-	-	

※ other<sup>1)</sup> : agriculture, mining, electricity plants, etc.

었다. 환경복원업에서 매립되는 폐수처리오니의 경우 시료수의 약 64 %인 56,721 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정되었다. Table 5와 같이 유기성오니류의 에너지회수량은 원시료 및 수분 25 % 이하로 전처리 할 경우 매립량의 약 88 %인 799,239 톤/년으로 추산되고, 최대 수분 10 % 이하로 전처리 할 경우 매립량의 약 95 %인 866,777 톤/년으로 추산된다.

무기성오니류 분석결과 하수처리오니는 원시료 및 수분 25 % 이하에서 시료 14 건에서 6 건이 폐기

물연료회수기준 조건에 해당되는 것으로 분석되었고, 매립 처분되는 54,700톤/년에서 약 43 %인 23,443 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정되었다. 폐수처리오니의 금속제조업은 원시료 및 수분 25 % 이하에서 시료수인 약 8 %인 27,143 톤/년, 식·음료 및 담배제조업은 시료수의 약 75 %인 4,847 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정되었다. 환경복원업에서 매립되는 폐수처리오니의 경우 시료수의 약 11 %인 9,227 톤/년이 에너지회수 가능량으로 산정

Table 6. Estimation of reduction potential on inorganic sludge landfilling

Classification	landfill (ton)	sample (NO.)	HHV avg (kcal/kg) [range]	estimation of recyclable potential						
				nomal sample		moisture ≤ 25 %		moisture ≤ 10 %		
				ton	No.	ton	No.	ton	No.	
Sum	1,622,688	64	1,096 [31~2,835]	-	-	67,936	12	76,086	10	
sewage sludge	54,700	14	2,025 [1,123~4,058]	-	-	23,443	6	15,629	4	
waste water sludge	manufacturing industry [1]	6,463	4	2,835 [1,713~3,863]	-	-	4,847	3	1,616	1
	manufacturing industry [2]	87,738	4	951 [639~1,591]	-	-	-	-	21,935	1
	manufacturing industry [3]	3,276	1	2,791 [2,791]	-	-	3,276	1	-	-
	manufacturing industry [4]	128,266	1	31 [31]	-	-	-	-	-	-
	manufacturing industry [5]	23,108	-	-	-	-	-	-	-	-
	manufacturing industry [6]	352,865	13	629 [0~3,718]	-	-	27,143	1	-	-
	manufacturing industry [7]	71,537	7	374 [1~1,042]	-	-	-	-	-	-
	manufacturing industry [8]	237	2	544 [528~561]	-	-	-	-	-	-
	electricity plants	12,803	4	414 [8~1,198]	-	-	-	-	-	-
	environmental	83,040	9	1,307 [2~2,660]	-	-	9,227	1	36,907	4
others <sup>1)</sup>	18,005	-	-	-	-	-	-	-	-	
water purification	64,169	3	1,053 (1,014~1,108)	-	-	-	-	-	-	
manufacturing process	515,409	2	195 [64~325]	-	-	-	-	-	-	
construction & demolition	98,038	-	-	-	-	-	-	-	-	
dredged material	103,034	-	-	-	-	-	-	-	-	

※ other <sup>1)</sup> agriculture, mining, etc.

되었다. Table 6과 같이 무기성오니류의 에너지회수량은 원시료 및 수분 25 % 이하로 전처리 할 경우 매립량의 4.1 %인 67,936 톤/년으로 추산되고, 최대 수분 10 % 이하로 전처리 할 경우 매립량의 8.8 %인 144,022 톤/년으로 추산된다.

따라서 매립 처리되고 있는 유·무기성에너지의 잉여에너지를 이용한 거점 별 건조시설 확충과 건조공정의 고효율화 기술이 확대 보급된다면, 원시료 및 수분 25 % 이하 건조조건에서 유기성오니류의 799,239 톤, 무기성오니류의 67,936 톤이 폐기물연료회수 조건으로 해당되며, 총 867,175톤인 34.2 %가 에너지회수 이용 가능할 것으로 평가 되었다. 또한 적극적이고 경제적인 건조방법으로 수분 10 % 이하까지 건조를 한다면 유기성오니류 67,538톤, 무기성오니류 76,086이 폐기물연료회수 조건에 추가적으로 해당되어 총 1,010,800톤인 약 40 % 오니를 열적회수공정을 통해 에너지를 회수할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 폐기물의 매립처분에 대한 다양한 정책의 지원으로 2035년 매립률 1.0 % 목표를 달성하기 위해 국가통계와 올바로시스템을 이용하여 매립현황을 검토하였으며, 또한 재활용 활성화 개선방안으로 오니류의 에너지회수 이용 가능량을 평가하고자 하였다. 매립처분 비율이 높은 유·무기성오니류의 업종 별 세분화에 따른 에너지회수 가능성 평가를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 국내 폐기물통계 조사결과 2015년 전체폐기물 기준 재활용 84.3 %, 소각 6.1 %, 매립 9.2 %로 나타났으며, 유·무기성오니류의 매립량은 8,926 톤/일로 사업장배출시설계 매립량의 37.8 %를 차지하고 있다.

2. 폐수처리오니는 제조업에 따른 성상의 다양성을 고려하여 올바로시스템을 이용한 현황분석을 하였으며, 유기성 제조업의 오니매립비율은 약 76 %를 차지하고, 높은 업종은 석유·화학제조업과 식·음료 및 담배제조업 이었다. 무기성 제조업의 오니매립비율은 약 86 %를 차지하고, 높은 업종은 금속

제조업과 석유·화학제조업 이었다.

3. 유럽연합은 매립반입 기준으로 TOC, HHV, LOI 등을 이용하여 유기물질에 대해 매립억제를 실행하고 있으며, 폐기물의 연료로서의 가치에 따른 에너지회수 조건으로 HHV 6 MJ/kg( $\cong$ 1,500 kcal/kg)을 적용하고 있어 국내 오니류 폐기물연료회수 조건으로 HHV 6 MJ/kg을 설정하였다.

4. 국내 유기성오니류의 고위발열량은 184~ 4,374 kcal/kg의 범위로 평균 2,948 kcal/kg이었으며, 무기성오니류는 31 ~ 2,835 kcal/kg의 범위로 평균 1,096 kcal/kg으로 나타났다.

5. 폐기물연료회수 조건을 적용한 오니류의 에너지이용 가능량의 산정 결과, 원시료 및 수분 25 % 이하의 전처리를 통한 에너지회수는 15년도 오니매립처리량의 약 34 %로 예측되었고, 수분 10 % 이하의 적극적인 건조의 경우 약 40 %가 에너지회수 이용 가능할 것으로 추산되었다.

#### References

1. Allbaro System, <http://www.allbaro.or.kr>, March, 2016.
2. [이영희, “산업단지에서 발생하는 폐수슬러지의 자원화방안에 관한 연구”, 계명대학교 대학원 박사학위 논문] Lee, Y. H., “A study on the method of waste water sludge produced at industrial complexes”, Ph.D Thesis, Keimyong University, pp. 58~66. (2012).
3. [전창훈, “석유화학산업 폐수슬러지의 탄화 및 탄화물 재활용에 관한 연구”, 영남대학교 대학원 석사학위논문] Jeon, C. H., “Pyrolysis and recycling of petroleum chemical industrial sludge”, M.S Thesis, Yeungnam University, pp. 32~41. (2009).
4. [하홍원, 배성근, “염색폐수 슬러지의 탄화특성”, 한국폐기물자원순환학회지] Ha, H. W., Bae, S. K., “Carbonization characteristics of dyeing wastewater sludge”, Journal of Korea Society of Waste management, 26(8), pp. 741~747. (2009).



5. [김형우, 김경호, 김지원, 박홍석, “울산지역 산업 폐수슬러지의 에너지자원화를 위한 특성 조사” Kim, H. W., Kim, K. H., Kim, J. W., Park, H. S., “characterization of wastewater sludges collected from ulsan industrial complexes for energy recovery”, Journal of Korea Society of urban environment, 11(1), pp. 19~27. (2011).
6. [국립환경과학원, “유기성폐기물 종합관리기술 구축(1) 유기성폐기물 처리실태 및 특성조사” National Institute of Environmental Research, “A study on the establishment of organic waste management technology”, pp. 14~17. (2004).
7. [변정주, “폐수슬러지의 성상분석 특성에 따른 업종별 자원화 방향 연구“ 서울과학기술대학교 대학원 석사학위 논문] Byeon, J. D., ”A study on recycling directions by analyzing characteristics of industrial wastewater sludge according to its classification“, M.S Thesis, Seoul National University of Science and Technology, pp. 43~54. (2013).
8. [김혜원, “저온 열수가압탄화반응에 의한 하수슬러지의 Biochar 특성연구“ 서울시립대학교 대학원 석사학위 논문] Kim, H. W., ”A study on the characteristics of biochar with the sludge sewage by low temperature hydrothermal carbonization“, M.S Thesis, The University of Seoul, pp. 26~29. (2013).
9. [황진우, “하· 폐수슬러지의 건조소각 연계처리 시스템의 검토” 서울과학기술대학교 대학원 석사학위 논문] Hwang, J. W., “A study on the incineration with dryer for the treatment of sewage and wastewater sludge”, M.S Thesis, Seoul National University of Science and Technology, pp. 29~41. (2001).
10. [고재철, 김승호, 박영구, 전제열, 김진호, 박준석, “제지공정에서 발생하는 슬러지의 열분해 특성”, 유기물자원학회지] Ko, J. C., Kim, S. H., Park, Y. K., Jeon, J. Y., Kim, J. H., Park, J. s., “ Pyrolysis Characteristics of Sludge Discharged from Paper Mill Process”, Journal of the organic resource recycling association. 17(1), pp. 80-87. (2009).
11. Federal Ministry for the Environment, “Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland”, (2006).
12. Federal Ministry for the Environment, “Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen”, (2001).
13. ETC/SCP, “Overview of the use of landfill taxes in Europe”, (2012).
14. The World Bank Washington D.C, “Municipal solid waste incineration”, (1999).