

# 국내 음식물쓰레기 온실가스 저감을 위한 선순환체계 구축

## Development of Sustainable Food Waste Management for Reducing Greenhouse Gases Emissions in Korea

이새로미<sup>1</sup> · 박재로<sup>2</sup> · 안창혁<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 환경자원재생연구센터 전임연구원, <sup>2</sup>한국건설기술연구원 환경자원재생연구센터 선임연구위원, <sup>3</sup>한국건설기술연구원 환경자원재생연구센터 수석연구원

Saeromi Lee<sup>1</sup>, Jae Roh Park<sup>2</sup> and Chang Hyuk Ahn<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Specialist, Environmental Resource Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

<sup>2</sup>Senior Research Fellow, Environmental Resource Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

<sup>3</sup>Senior Researcher, Environmental Resource Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

Received 17 September 2020, revised 18 October 2020, accepted 27 October 2020, published online 31 December 2020

**ABSTRACT:** In this study, we analyze the current state of domestic food waste (FW) recycling and propose a management plan for greenhouse gas (GHG) emissions. First, the composting potential of the GW demonstrates considerable promise. In particular, the GW (phytoplankton, periphyton, macrophyte, etc.) as a third-generation biomass shows strong performance as a functional additive that mitigates the disadvantages associated with composting FW and improves the quality of the final composted product. Alternatively, the final product (e.g., soil ameliorant) can be used to produce bio-filters that are effective pollutant buffers, with high applicability for green infrastructure. The proposed ecological approaches create new opportunities for FW as a resource for the reduction of GHG emissions, and are expected to contribute to the establishment of effective net-zero carbon systems in the future.

**KEYWORDS:** buffer zone, food waste, green house gas, green waste, third-generation biomass

**요약:** 본 연구에서는 국내 음식물쓰레기 (food waste, FW) 분야에 대한 재활용 현황을 분석하고 green house gases (GHG) 배출 관리방안에 대해 고찰하였다. 연구 결과, FW의 자원 활용성을 향상시키고 GHG 배출을 부가적으로 저감시키기 위해서는 적절한 선순환체계가 필요하다는 결론을 얻었다. 효과적인 퇴비화를 위해서 우선 GW의 활용이 고려되었다. 특히 3세대 바이오매스로써의 GW (phytoplankton, periphyton, macrophyte etc.)는 퇴비화 공정에서 FW의 단점을 보완하고 질적 능력을 향상시킬 수 있는 좋은 기능성 첨가제로 판단된다. 또 하나의 접근법은 최종산물 (예: 토양개량제)을 오염물질 완충이 가능한 bio-filter로 가공하여 그린인프라에 적용하는 방안이다. 이러한 생태공학적 접근과 시도는 안정화된 재활용 산물의 기존 활용 이외에도 FW 자원화에 대한 새로운 적용처를 제시할 수 있으므로 향후 효과적인 탄소 넷제로 (Net-Zero) 시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심어:** 완충지역, 음식물쓰레기, 온실가스, 녹색 폐기물, 3세대 바이오매스

\*Corresponding author: chahn@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-6761-0693

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

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.

## 1. 서론

음식물쓰레기 (food waste, FW)는 대표적인 도시고형폐기물 (municipal solid waste, MSW)로써 중요한 환경, 경제, 사회적 이슈로 인식되고 있다. FW 문제는 근본적으로 도시의 확장과 인구증가로부터 기인하며 침출수, 유해물질, 가스오염물질, 악취 발생과 같은 환경 문제뿐만 아니라 운송 및 처리과정에서 막대한 경제적 손실을 야기한다 (Stoknes et al. 2016, Mak et al. 2020).

이를 해결하기 위해 국내에서는 쓰레기종량제를 포함한 정부의 적극적인 폐기물 관리정책을 통해 FW 재활용률을 약 95% 수준까지 향상시켰다. 그럼에도 불구하고 2013년 런던협약 이후 해양투기가 금지되면서 최근에는 유기성 고형물의 회수, 분리, 활용에 대한 중요성이 강조되는 추세이다 (Ju et al. 2016). 국외는 European Commission (EC)이 유럽연합 국가들을 대상으로 2020년까지 FW의 30%를 삭감하겠다는 목표 하에 순환경제 (circular economy) 실천방안에 대한 연구가 진행 중이다 (Edjabou et al. 2016). 하지만 국외에서는 매립이나 소각에 대한 의존도가 높으며, 특히 직접매립은 GHG (green house gases) 관리측면에서 최악의 폐기방법이라고 보고된 바 있다 (Moult et al. 2018).

FW는 주로 축산, 농업, 에너지 등의 분야에 재활용된다. ME (2017)에 의하면 국내 음식물류폐기물의 재활용은 사료화 49%, 퇴비화 29%, 기타처리 8%, 바이오가스/연료화 7%, 파쇄/탈수 4%, 시설 외 처리 3% 등으로, 대부분의 활용처는 사료 및 퇴비 분야(78%)이며 최근에는 바이오가스/연료화 분야가 증가하고 있다. 하지만 실질적인 FW 재활용에 대해서는 활용처의 한계, 중앙집중시설 운송, 품질관리, 환경오염 등의 문제가 꾸준히 거론되는 실정이다. 특히 FW 특성 상 운송 및 노동비가 많고 불순물 함량이 많은 점은 사료나 퇴비로 재가공 되더라도 소비자의 이용이 원활하지 않아 장기간 방치되는 등 2차적인 문제점이 있다 (Song et al. 2019).

FW처리, 가공, 활용과정에서 발생하는 GHG는 기후 변화와 관련된 또 하나의 중요한 이슈이다. 국외에서는 FW와 GHG 관련된 연구들이 2000년대 이후 일부 진행되고 있지만 아직 국내사례는 거의 없다 (Nakakubo et al. 2012, Ebner et al. 2014, Munesue et al. 2015, Schott et al. 2016, Moult et al. 2018). EC는 CO<sub>2</sub> 배출

95% 감축을 주요 목표로 제시하였으며 구체적으로는 혐기성소화 (anaerobic digestion) 공정 이후 절감된 GHG를 폐쇄형 온실 시스템 내에서 에너지 및 작물생육에 활용하는 순환체계를 제시하였다 (Stoknes et al. 2016). 또한, Moult et al. (2018)는 FW 처리과정에서 GHG 배출을 감축하기 위해 사전에 FW를 1차 가공(사료, 퇴비, 혐기성소화 등) 한 후 최종 폐기하는 방안을 제안한 바 있다.

FW의 전반적인 문제를 이해하기 위해서는 FW 순환체계에 기반한 생애주기의 검토가 필요하다. Mak et al. (2020)은 FW 관리에 있어서 지속 가능한 순환 바이오경제 (circular bioeconomy) 구축의 중요성에 대해 강조하였으며, Ju et al. (2016)은 국내 FW에 기반한 solid recovery rate 사례를 보고하였다. 이들은 공통적으로 life cycle assessment (LCA), life cycle costing (LCC), social life assessment (S-LCA)와 같은 생애주기 접근법이 필요하다고 주장한다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 국내 FW의 재활용 현황을 조사하고, 국내에서는 미진한 GHG 관리에 대한 중요성과 2차 활용처에 대한 고찰을 실시하고자 한다. 특히 FW 관리 방법 중 타 공정과 연계 활용도가 높은 퇴비화 기법을 중심으로 국내 실정에 적합한 FW 재활용 선순환체계를 제시하고자 한다.

## 2. 국내 FW 재활용 현황과 GHG 발생

### 2.1 국내 FW 재활용 현황

2018년 기준 국내 FW 일 발생량은 지역별로 큰 차이를 보였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 전국평균은 851.6 ton day<sup>-1</sup> (중앙값 629.1 ton day<sup>-1</sup>) 수준임에도 불구하고 경기도와 서울은 매우 높거나 (각각 3,511.6 ton day<sup>-1</sup>,

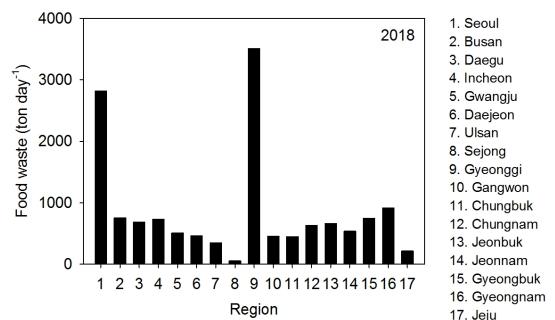


Fig. 1. Daily food waste emissions by domestic region.

2,818.8 ton day<sup>-1</sup>) 세종은 매우 낮아(54.1 ton day<sup>-1</sup>) 지역별로 편차가 크게 나타났다. 하지만 인구수로 비교할 경우 지역별 편차가 상당히 줄어들었다. 인구수 대비 전국평균은 284.5 g day<sup>-1</sup> 인<sup>-1</sup> (중앙값 288.4 g day<sup>-1</sup> 인<sup>-1</sup>)로써 이러한 결과는 국내 FW 발생과 분포가 인구수보다는 대도시나 인구밀도와 밀접한 관련이 있음을 보인다.

지역별 FW 재활용 수용력을 검토하였다. Fig. 2에서 나타난 전국 재활용 업체현황과 FW 발생량을 비교한 결과 서울 및 주요광역시에서 100 ton day<sup>-1</sup> company<sup>-1</sup> 이상의 처리 필요량을 보였는데 (서울 564 ton day<sup>-1</sup> company<sup>-1</sup>, 대구 137 ton day<sup>-1</sup> company<sup>-1</sup>, 광주 127 ton day<sup>-1</sup> company<sup>-1</sup>), 이는 대도시 지역 내에서 재활용 처리가 감당 되지 않는 수준을 의미하며 인접지역이 보완하고 있다는 것을 추정할 수 있다. 이러한 부분은 MSW 관리관점에서 도시집중화, 운송, 활용처의 한계성과 관련이 있다. 결국 국내 FW 재활용 최종산물이 주로 사료 및 퇴비인 점을 감안하면 대도시에서는 소비가 원활하지 않아 생산품이 누적될 수도 있을 것이다.

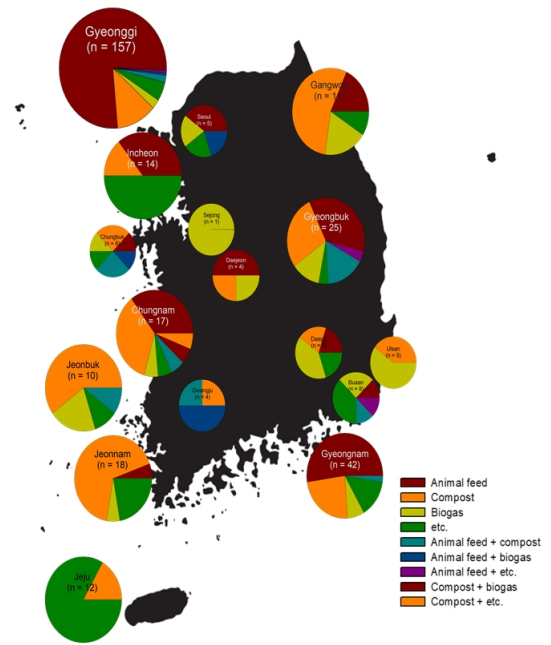


Fig. 2. Recycling companies of food waste by region.

Table 1. Treatment processes of domestic recycling companies

Recycling application field	Complex application field		Dry	Wet	Aero-bic	Anaerobic	Com-posting	Decom-position	Diges-tion	Fragmen-tation	Fermen-tation	Dehyd-ration	etc.	Total	Ratio
	Yes	No													
Animal feed		x	x											25	7.2
Animal feed		x		x										143	41.3
Animal feed		x	x	x										3	0.9
Animal feed	x (b*)		x										x	4	1.2
Animal feed	x (c**)			x			x							8	2.3
Compost		x					x							52	15.0
Compost		x			x		x							19	5.5
Biogas		x											x	3	0.9
Biogas		x				x		x						3	0.9
Biogas		x				x			x					6	1.7
Biogas		x											x	13	3.8
Etc.		x											x	5	1.4
Etc.		x								x			x	5	1.4
Etc.		x								x			x	3	0.9
Etc.		x								x			x	7	2.0
Etc.		x	x									x		11	3.2

b\*: biogas, c\*\*: compost.  
 Except for a ratio of 0.6% or less.  
 Source: Ministry of Environment (2019).

환경부의 “2019년 음식물류폐기물 처리현황”에 따르면 국내업체가 주로 활용하는 재활용 방법은 사료화 55.8%, 퇴비화 23.4% 바이오가스화 7.8%, 기타 13.0%의 비율로 나타났다. 2015년과 비교했을 때 퇴비화와 바이오가스화가 일부 감소한 것을 확인할 수 있었다. 대부분이 단일 활용처로 이루어져 있었고 분야별 세부 공법은 사료 (wet) 41.3%, 퇴비 (composting) 15.0%, 바이오가스 (etc.) 3.8%로 나타났다 (Table 1). 퇴비화 시설은 농업지역에 집중되어 있었고 사료화 시설은 일부 지역에는 존재하지 않았으며 바이오가스 시설은 산업지역과 연계하여 분포할 것으로 예상되었다 (Fig. 2).

즉, 국내 FW 발생 및 재활용 특성은 대도시나 인구 밀도뿐만 아니라 지역적 특징 (농업, 산업 등)에 따라 상이하며 최근 선호되는 기술의 집중도에 따라 관련 업체가 분포하는 경향을 확인 하였다. 또한, 활용처의 제한으로 지역 내에서 충분히 소화되지 않는 FW 재활용 산물들에 대해서는 2차 활용처 측면에 대한 고민이 필요한 것으로 사료된다.

## 2.2 FW 퇴비화와 GHG 관리방안

퇴비화 공정은 FW를 경제적이고 안정적으로 처리할 수 있다는 측면에서 매우 유용한 방법 중 하나이지만 공정과정에서 다양한 가스상 물질이 생성될 수 있다 (Sánchez et al. 2015). FW에서 발생하는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O는 이미 많은 연구를 통해 널리 알려진 대표적인 GHG이다. 일반적으로 시설운영 (전기, 연료사용 등)이 아닌 생물기원 (biogenic) 형태의 CO<sub>2</sub>는 기후변화에 심각한 영향이 없다고 인식되지만 상대적으로 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 경우는 CO<sub>2</sub>보다 각각 25배, 298배 강력한 GWP (global warming potential) 항목으로 보고되고 있다 (Andersen et al. 2010). 이러한 가스상 물질은 미시적으로는 퇴비화 과정 중 발생하는 물질순환, 영양물질 보존, 안정화, 미생물 활성도, 최종산물의 품질과 관련된 중요한 의미를 가질 뿐만 아니라, 거시적으로는 대기로 배출되어 기후변화에 잠재적인 영향을 줄 수 있음에도 현재까지 수행된 연구는 미흡한 편이다 (Beck-Friis et al. 2001).

GHG 배출관리 측면에서 중요하게 고려되어야 할

**Table 2.** Systematic characteristics of GHG emissions from composting factors. The main waste type was contained different additives depending on the each experimental conditions. This data was prepared by reanalyzing the raw data of Pardo et al. (2015)

Description	CO <sub>2</sub> -C (%)		CH <sub>4</sub> -C (%)		N <sub>2</sub> O-N (%)		References <sup>4</sup>
	N	Average ± SD <sup>2</sup> (%)	N	Average ± SD (%)	N	Average ± SD (%)	
Waste type							
Food waste	24	33.2 ± 22.2	6	1.9 ± 3.6	7	1.9 ± 2.2	[2-4][7][12]
Green waste	3	85.1 ± 26.6	3	2.0 ± 0.8	2	0.3 ± 0.2	[1][4][8]
Treatment type							
Turned	2	68.1 ± 14.0	2	1.5 ± 0.3	2	0.3 ± 0.2	[1][8]
FA <sup>1</sup>	3	46.0 ± 28.3		ND <sup>3</sup>	3	0.3 ± 0.2	[2]
FA+Turned	19	38.4 ± 28.1	7	2.1 ± 3.4	4	3.0 ± 2.3	[3,4][12]
Initial C/N ratio							
<15	3	17.4 ± 4.0		ND <sup>3</sup>		ND <sup>3</sup>	[3][7]
15-30	12	34.0 ± 22.5	2	1.0 ± 0.8	5	0.7 ± 0.7	[2-4][7,8][12]
>30	11	48.9 ± 33.1	6	2.4 ± 3.6	3	3.3 ± 2.6	[3,4][12]
Duration							
<1 month	20	33.9 ± 21.6	6	2.1 ± 3.6	7	1.9 ± 2.2	[2-4][8][12]
1-3 month	5	61.9 ± 39.4	2	1.7 ± 1.4	1	0.4 ± 0.0	[2][4][7]
>3 month	2	33.3 ± 20.8	1	1.2 ± 0.0	1	0.08 ± 0.0	[1] [7]

<sup>1</sup>Forced aeration; <sup>2</sup>Standard deviation; <sup>3</sup>No data;

<sup>4</sup>[1] Andersen et al. (2010); [2] Beck-Friis et al. (2001); [3] Chang and Hsu (2008); [4] de Guardia et al. (2010); [5] Eklind and Kirchmann (2000); [6] Francou et al. (2008); [7] Grigatti et al. (2020); [8] Hellebrand (1998); [9] Jeong and Hwang (2005); [10] Komilis and Ham (2006); [11] Wang et al. (2013); [12] Yang et al. (2013).

부분은 크게 원재료의 물리화학적 특징, 퇴비화 공정 체계, 최종 활용처 등으로 구분할 수 있다 (Sánchez et al. 2015). Table 2에는 이러한 점들을 고려하여 FW 퇴비화 공정에서 GHG 배출을 관리하고 최적화할 수 있는 요소와 평균배출농도를 제시하였다. 그러나 제시된 자료는 선행연구의 데이터가 제한적이고 실험조건과 측정단위가 상이한 한계점을 감안할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 폐기물 유형별 GHG 배출은 FW의 경우 CO<sub>2</sub>-C 33.2 ± 22.2%, CH<sub>4</sub>-C 1.9 ± 3.6%, N<sub>2</sub>O-N 1.9 ± 2.2% 수준을 나타내었고, 첨가제인 green waste (GW)는 CO<sub>2</sub>-C 85.1 ± 26.6%, CH<sub>4</sub>-C 2.0 ± 0.8%, N<sub>2</sub>O-N 0.3 ± 0.2%로 GW에서 GWP가 낮은 특징을 보였다. FW는 수분함량이 높고 공극이 작아 호기성분해 (aerobic degradation)의 활성도가 낮은 재료이므로 단독적용의 경우 GHG 배출이 높지만 (Yang et al. 2013), cellulose 나 lignin이 풍부한 GW를 첨가제로 활용할 경우 bulking agent 역할뿐만 아니라 N<sub>2</sub>O 방출이 적어 전체적인 GHG 관리에 유리할 수 있다 (Francou et al. 2008, Yang et al. 2013, Pardo et al. 2015).

퇴비화 공정과 관련된 GHG 배출관리는 산소공급, C/N비, 부숙기간, 수분, pH, 반응조 형태, 더미의 크기 등의 요소가 관여된다 (Beck-Friis et al. 2001, Sánchez et al. 2015, Grigatti et al. 2020). Hellebrand (1998)는 초기단계의 높은 산소공급은 NH<sub>3</sub> stripping, 질산화, 탈질 저해 등의 영향으로 최종적인 N<sub>2</sub>O 형성을 억제할 수 있다고 보고하였으며, Jeong and Hwang (2005)과 Wang et al. (2013)은 FW를 퇴비화할 경우 가스상 질소손실을 억제할 수 있는 결정화 방법을 제안하였다. 또한 C/N비가 지나치게 높거나 낮으면 호기성분해 활성도가 저해되어 잠재적인 질소 손실로 진행되기 때문에 미생물이 쉽게 이용 가능한 탄소와 질소의 최적 혼합비 (C/N비 15-30)를 사전에 설정하는 것이 중요하다 (Eklind and Kirchmann 2000). 부숙기간은 혼합물이 최종 안정화되는 시간이며, 일반적으로 mesophilic 및 thermophilic 단계에 많은 GHG가 발생할 수 있어 이를 고려한 방법론적 접근이 요구된다.

결국 퇴비화 공정은 MSW인 FW를 물리화학적으로 안정화시킨 후 탄소를 토양에 저장할 수 있는 기후변화에 대응 가능한 연계적 공법이기 때문에 최종산물의 영양학적 특성 이외에도 GHG관리를 위한 공법이 검토 및 제시될 필요가 있을 것이다.

### 3. FW를 이용한 생태공학적인 자원화 방안

#### 3.1 FW/GW 활용방안

GW는 농업, 임업, 조경, 도시 녹지, 자연환경을 통해 얻을 수 있는 식물 바이오매스에서 유래한 재료로서 생체 또는 건조물을 활용한다는 측면에서 green manure와 유사한 개념이다. GW는 바이오매스 변천과정과도 밀접하며 1세대 (곡물계) → 2세대 (목질계) → 3세대 (미세 및 거대조류)로 전환되면서 연구방향과 관련 기술의 적용성이 변화하고 있다. GW는 FW 처리 공정에서 GHG 배출을 절감시킬 수 있는 장점 이외에도 독성 물질 완충, 식물성장 보완, 미생물 활성도 증가, 토양 질적 향상 등의 기능이 있는 것으로 알려진다 (Mattei et al. 2017). 또한 FW가 가지는 작은 공극, 약한 물리적 구조, 높은 함수율, 낮은 C/N비, 빠른 가수분해, 높은 염분 등의 불리한 조건을 퇴비화 첨가제로써 중재시키고 질적 능력을 향상시킬 수 있는 기능성 재료로 활용이 가능할 것으로 판단된다 (Hellebrand 1998, Francou et al. 2008).

이 중 3세대 바이오매스인 미세 및 거대조류는 가공이 용이하고 단위면적당 생산성이 높으며 육지 자원과 경쟁할 필요가 없는 이유로 최근 많은 주목을 받고 있다. 이들은 green compound를 생성할 수 있는 biorefinery로써 잠재력을 가지고 있으며 최근 수질관리, 하폐수처리, 바이오에너지, 의약품, 식량/사료 등의 목적으로 많은 연구가 진행 중이다. 최근 하천 및 호수에서 발생하는 담수조류 (phytoplankton, periphyton)나 macrophyte 또한 재생가능한 유기성폐기물이며 이들이 염분함량이 낮고 수중에서 흡수한 영양염류 (N, P, K, Si 등)는 원료로 재활용할 수 있기 때문에 단순히 폐기하기보다는 경우에 따라 유용한 bio-fertilizer가 될 수 있다. 특히 남조류 (cyanobacteria)는 자가영양능력 뿐만 아니라 특정 미생물에 따라 추가적인 질소 고정 능력이 가능할 뿐만 아니라 토양 자체의 물리적 향상에도 기여한다는 사례가 보고된 바 있다 (Han et al. 2014, Prakash and Nikhil 2014). 그러나 미세 및 거대조류는 퇴비화 과정에서 GHG 배출 절감이 가능하지만 N<sub>2</sub>O와 CH<sub>4</sub>에 대해서는 주시할 필요가 있다 (Han et al. 2014).

USEPA에서 제시한 food recovery hierarchy는 재활용 방법 중 퇴비화가 가장 경제적이자 환경적인 방법으로 제시하였으며 실제로 많은 국가들이 선택하고

있다. 현재 FW의 발생은 지속적이므로 이를 해결할 수 있는 중앙 및 분산처리시설의 적절한 운영, GW를 활용한 기능성 향상 및 GHG 배출 절감, 순환경제에 기여할 수 있는 다양한 적용처 확대 등에 대한 고찰이 더욱 필요할 것이다.

### 3.2 FW 선순환 체계를 위한 적용처 확대

FW를 지속가능한 자원으로 재활용하기 위해서는 선순환 체계 도출이 필요하다. 효율적인 순환경제를 위해서는 발생된 폐기물을 적절하게 재활용하고 최종적으로 환경적 부담을 최소화 해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서 상기 검토한 내용을 중심으로 적용단계를 설정하면 1) FW 물리화학적 특징, 2) 처리방법 및 공정, 3) 최종 활용처로 구분하여 선순환 체계를 제안할 수 있다 (Fig. 3). 먼저 FW의 물리화학적 특징을 감안하면 GW를 첨가제로 활용할 경우 원재료 성능의 상호보완이 가능할 것이다. 다음으로 처리방법 및 공정은 GHG를 감축하고 단시간에 처리가 가능한 고속처리 (rapid fermentation or composting)가 기능적 및 경제적으로 유용할 것으로 판단된다. 마지막으로 최종 활용처의 확장 차원에서는 최종산물을 토양개량제 (soil ameliorant) 로써 제조 및 추가 가공하여 농경지뿐만 아니라 오염물질 완충지역 (buffer zone) 확대하는 방안이다. 최근 기후변화에 의한 강우패턴 변화는 유역 내 토양 침식, 비점 오염원 유입, 부영양화 발생 등의 다양한 문제를 겪고

있다 (Song et al. 2019). 따라서 퇴비화 공정에 의해 부식화되고 안정화된 FW/GW 산물을 도로비탈면, 건설 현장, 농경지, 도시 녹지, 생태하천, 수변지역 (riparian) 및 습지와 같은 완충지역에 적절한 형태로 활용한다면 오염물질의 사전 저감뿐만 아니라 식생의 조기확립 등의 효과로 탄소 넷제로 (Net-Zero)에 기여할 수 있을 것이다. 추가적으로 관련 범위에 대한 자원활용 및 GHG 분야 생애주기 검토를 통해 순환 바이오경제 (circular bioeconomy) 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 국제적 이슈인 FW 문제점을 제기하고 국내 재활용 현황에 대해 고찰하였다. 또한 퇴비화 공법을 중심으로 GHG 관리방안과 이를 해결하기 위한 선순환체계 사례연구 방안을 제시하였다. 본 연구 결과에 의하면 국내는 높은 수준의 FW 재활용률에도 불구하고 폐기물 발생이 지속적이고 적용처가 제한적이라는 한계성이 있었다. FW가 도시와 인구에서 유래한 MSW인 것을 감안하면 일부 지역에서는 소비가 원활하지 않아 생산품이 누적되고 결국 적절한 활용이 어려울 수 있을 것이다.

또 다른 점은 FW를 재활용하는데 있어 GHG도 함께 고려해야 하며 적용처 확대 측면에서 “탄소 저장고”로서의 역할을 부여하는 것이 중요할 것으로 판단되었다.

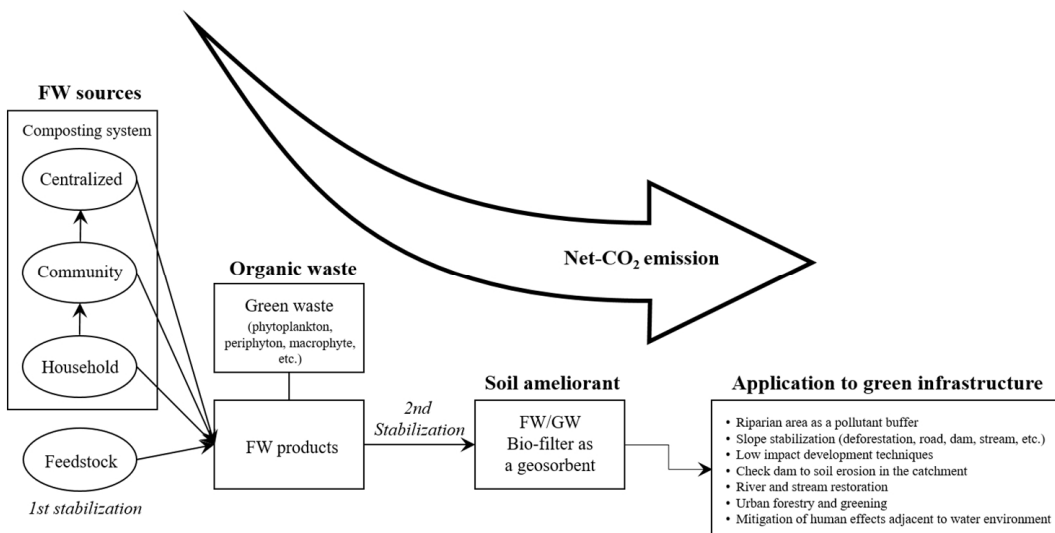


Fig. 3. Conceptual diagram of food waste recycling strategy as carbon Net-Zero system in this study.

즉, FW자원화는 폐기물의 최종적인 안정화를 전제로 하되 원재료의 특징을 최대한 활용할 수 있는 형태로 가공하여 사용처를 확장할 필요가 있다. 또한 궁극적으로는 탄소 넷제로 (Net-Zero) 시스템 구축을 위한 탄소발자국 (carbon footprint) 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 FW의 자원순환을 극대화하고 GHG 배출을 최소화하기 위한 선순환체계 방안을 제시하였으며 세부적으로는 1) FW 물리화학적 특징, 2) 처리방법 및 공정, 3) 최종 활용처의 순서에 근거하여 GW 활용, 고속처리 공정, 토양개량제 가공, bio-filter 기능을 활용한 그린인프라 (green infra) 적용과 같은 생태공학적인 대안을 제시하였다. 뿐만 아니라 관련 범위에 대한 자원활용 및 GHG 분야 생애주기 검토가 동반된다면 향후 녹색경제에 기여할 수 있는 순환 바이오경제 구축이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 주요사업의 연구비지원 (20200648)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., and Scheutz, C. 2010. Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). *Waste Management & Research* 28: 1010-1020.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., and Kirchmann, H. 2001. Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78: 423-430.
- Chang, J.I. and Hsu, T.E. 2008. Effects of compositions on food waste composting. *Bioresource Technology* 99: 8068-8074.
- de Guardia, A., Mallard, P., Teglia, C., Marin, A., Pape, C.L., Launay, M., Bemoist, J.C., and Petiot, C. 2010. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting. Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. *Waste Management* 30: 402-414.
- Ebner, J., Babbitt, C., Winer, M., Hilton, B., and Williamson, A. 2014. Life cycle greenhouse gas (GHG) impacts of a novel process for converting food waste to ethanol and co-products. *Applied energy* 130: 86-93.
- Edjabou, M.E., Petersen, C., Scheutz, C., and Astrip, T.F. 2016. Food waste from Danish households: generation and composition. *Waste Management* 52: 256-268.
- Eklind, Y. and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II : nitrogen turnover and losses. *Bioresource Technology* 74: 125-133.
- Francou, C., Linères, M., Derenne, S., Villio-Poitrenaud, M.L., and Houot, S. 2008. Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting. *Bioresource technology* 99: 8926-8934.
- Grigatti, M., Barbanti, L., Hassan, M.U., and Ciavatta, C. 2020. Fertilizing potential and CO<sub>2</sub> emissions following the utilization of fresh and composted food waste anaerobic digestates. *Science of the Total Environment* 698: 134198.
- Han, W., Clarke, W., and Pratt, S. 2014. Composting of waste algae: a review. *Waste Management* 34(7): 1148-1155.
- Hellebrand, H.J. 1998. Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69: 365-375.
- Jeong, Y.K. and Hwang, S.J. 2005. Optimum doses of Mg and P salts for precipitating ammonia into struvite crystals in aerobic composting. *Bioresource Technology* 96: 1-6.
- Ju, M., Bae, S.J., Kim, J.Y., and Lee, D.H. 2016. Solid recovery rate of food waste recycling in South Korea. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 18: 419-426.
- Komilis, D.P. and Ham, R.K. 2006. Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste. *Waste Management* 26: 62-70.
- Mak, T.M., Xiong, X., Tsang, D.C., Iris, K.M., and Poon, C.S. 2020. Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities. *Bioresource Technology* 297: 122497.
- Mattei, P., Pastorelli, R., Rami, G., Mocali, S., Giagnoni, L., Gonnelli, C., and Renella, G. 2017. Evaluation of dredged sediment co-composted with green waste as plant growing media assessed by eco-toxicological tests, plant growth and microbial community structure. *Journal of Hazardous Materials* 333: 144-153
- ME (Ministry of Environment). 2017. Research on food waste disposal status and management plan. Korea. pp. 1-216.
- Moult, J.A., Allan, S.R., Hewitt, C.N., and Berners-Lee, M. 2018. Greenhouse gas emissions of food waste disposal options for UK retailers. *Food Policy* 77: 50-58.

- Munesue, Y., Masui, T., and Fushima, T. 2015. The effects of reducing food losses and food waste on global food insecurity, natural resources, and greenhouse gas emissions. *Environmental Economics and Policy Studies* 17(1): 43-77.
- Nakakubo, T., Tokai, A., and Ohno, K. 2012. Comparative assessment of technological systems for recycling sludge and food waste aimed at greenhouse gas emissions reduction and phosphorus recovery. *Journal of Cleaner Production* 32: 157-172.
- Pardo, G., Moral, R., Auilera, E., and Prado, A.D. 2015. Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. *Global Change Biology* 21: 1313-1327.
- Prakash, S. and Nikhil, K. 2014. Algae as a soil conditioner. *International Journal of Engineering & Technical Research (IJETR)* 2(4): 68-70.
- Sánchez, A. Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrera, R., Gabriel, D., Sánchez-Monedero, M.Á., Roig, A., Cayuela, M.L., and Mondini, C. 2015. Greenhouse gas from organic waste composting: Emissions and measurement. *Environmental Chemistry Letter* 13: 223-238.
- Schott, A.B.S., Wenzel, H., and la Cour Jansen, J. 2016. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management-an analytical review. *Journal of Cleaner Production* 119: 13-24.
- Song, W.C., Kim, S.E., and Sung, J.E. 2019. The Characteristic of Social Problem-Solving Research of Public Research Institute. *Korean Association of Science and Technology Studies* 19(1): 53-90.
- Stoknes, K., Scholwin, F., Krzesiński, W., Wojciechowska, E., and Jasińska, A. 2016. Efficiency of a novel "Food to waste to food" system including anaerobic digestion of food waste and cultivation of vegetables on digestate in a bubble-insulated greenhouse. *Waste management* 56: 466-476.
- Wang, X., Selvam, A., Chan, M., and Wong, J.W.C. 2013. Nitrogen conservation and acidity control during food wastes composting through struvite formation. *Biore-source Technology* 147: 17-22.
- Yang, F., Li, G.X., Yang, Q.Y., and Luo, W.H. 2013. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere* 93: 1393-1399.