

음식물쓰레기 관리의 최적화 방안 연구 -창원, 마산, 진해시를 중심으로-

이명희 · 박증석 · 김종오* · 백병천**

경상대학교 대학원 환경보전학과
*경상대학교 도시공학과/환경보전학과
**여수대학교 환경공학과

A Study on Optimization of Food Waste Management - Focused on Changwon, Masan, Jinhae City -

Myung-Hi Lee · Jung-Seok Park · Jong-Oh Kim* · Byeong-Cheon Paik**

Dept. of Environmental Protection, Graduate School, Gyeongsang National University
**Dept. of Urban Engineering/Environmental Protection, Gyeongsang National University*
***Dept. of Environmental Engineering, Yosu National University*

ABSTRACT

Limited landfill area and finance as well as a huge generation of waste, have called for systematic approaches towards potential cost savings. In this study, the management system of food wastes generated from the residential and commercial sources was considered in three cities: Changwon, Masan, and Jinhae city. Total thirteen alternatives were established and compared by applying the WRAP (Waste Resource Allocation Program). The following results were obtained:

1. While relatively small amounts were generated from the commercial sources such as cafeteria, restaurants, and market facilities, almost 80% of food wastes were generated from the residential sources.
2. Unit costs for food waste management in three cities were different according to their present situation, and the highest cost appeared in Jinhae city due to the most expensive construction of coastal landfill site.
3. Considering proper revenue, the whole conversion of food waste into animal feed was selected as the optimal alternative and represented 60% to 74% of the management cost of the whole landfill alternative in all cities. Comparing the other alternatives, composting of food waste was more economical than the landfill alternative and the incineration was the most expensive alternative.

Key Words : Solid Waste Management, Food Waste, Cost Estimation, Animal Feed, Composting, Landfill, Incineration

1. 서 론

심각해져가는 매립지 부족과 위생적인 처리에 대한 요구 등으로 인하여 국내에서의 음식물쓰레기 관리의 점차 복잡한 국면을 맞이하고 있으며 쓰레기 관리체계의 효율을 증진하기 위해 많은 대안들이 제시되고 있다. 전국 음식물쓰레기 발생량은 1996년말 1일 14,532톤으로 생활폐기물 발생량의 29.1%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 재활용을 위해 분리수거된 품목을 제외할 경우 39.4%로서 매립 또는 소각 처리되는 쓰레기의 상당부분을 차지하고 있다.¹⁾ 이에 따라 1996년 12월 환경부에서는 「음식물쓰레기 줄이기 종합대책」을 확정하고, 음식물쓰레기 감량 및 재활용 확대를 위한 제도 개선방안으로 음식물쓰레기 감량의무화 사업장의 범위를 확대 강화하였다.^{2,3)}

한편 경상남도의 생활폐기물의 발생량은 1996년말 1일 3,298톤에 이르고 있으며 지역적으로 인접한 창원, 마산, 진해 3개시에서만 약 31%에 해당하는 1일 1,019톤이 발생하였다. 또한 이들 3개시의 경우 생활폐기물의 71.7%가 매립되고 있으며 특히 음식물쓰레기인 경우 발생량의 90% 정도가 단순히 매립되고 있어, 이로 인한 매립지 고갈 및 침출수발생 등 많은 문제를 야기하고 있다.^{4,5)} 따라서 음식물쓰레기 발생량에 대한 정확한 자료와 각 배출원별 특성을 파악하여 음식물쓰레기의 적정관리방안을 모색하는 연구가 필요한 상황이다.

이에 본 연구는 창원, 마산, 진해 3개 도시의 음식물쓰레기 배출원별 발생량 및 배출특성 등 각종 자료를 체계적으로 수집분석하고 선택가능한 대안을 설정한 후 폐자원배정프로그램(WRAP: Waste Resource Allocation Program)을 이용하여 지역 특성에 맞는 음식물쓰레기 관리의 최적화 방안을

연구하였다.

2. WRAP 모델

2.1. WRAP 모델의 개발 배경 및 개념

도시쓰레기 관리체계는 관점에 따라 여러 가지 단계로 나누어 분석할 수 있지만, 일반적으로 발생원, 저장, 수거, 적환 및 수송, 처리, 처분의 6단계로 구분하고 있다⁶⁾. 각 단계의 구분은 폐기물을 발생원에서부터 최종적으로 처리하는 시설까지 인력과 장비를 적절히 활용하여 이동시키는 과정을 기초로 하여 나타낸 것이라 할 수 있다. 따라서 도시쓰레기 관리에 있어 최적화의 목적은 최소의 비용으로 적정 처리할 수 있는 관리체계를 모색하는 것이다. 쓰레기 처리시설의 설치운영에 있어 환경오염의 저감, 경제성, 그리고 정치 사회적인 문제 등을 중요하게 고려해야 하지만, 무엇보다도 먼저 경제성을 정량적으로 평가할 수 있는 시뮬레이션 모델에 관한 연구가 요구되고 있다. 즉 폐기물이 발생되어 수거, 처리, 처분되는 단계들을 모델로 구성하고 전체관리체계를 시뮬레이션 하여 폐기물 처리시설의 최적 위치 및 처리용량을 결정하도록 해야 한다. 이에 본 연구에서는 모델지역에서의 음식쓰레기 관리체계 확립을 위한 대안을 수립하고 미국 환경청(U.S. EPA)에서 개발한 폐자원배정프로그램(WRAP)^{7,8)}을 이용하여 대안별 경제성을 평가하여 음식쓰레기의 최적 관리방안을 모색하고자 하였다.

WRAP모델은 폐기물 처리시설의 최적 위치 및 처리용량을 결정하기 위한 것으로 폐기물 관리체계를 단순화하여 Fig.1과 같이 교점(node)과 연결(link)을 갖는 네트워크(network)로 모델링할 수

있다. 교점은 발생원(i), 처리화 및 소각 등의 중간처리장(j), 그리고 매립장을 나타내는 최종처분장(k)으로 나누어지며, 이때 각 교점은 쓰레기발생량(G_i), 처리량(P_j), 그리고 최종처분량(P_k)의 정량적인 수치를 갖는 것으로 표현된다. 한편 연결점은 각 교점을 연결하는 폐기물 수송량을 의미하며 다음과 같이 4가지 종류로 구분하여 고려하게 된다.

- ① 발생원에서 최종처분장으로의 수송량 (T_{ik})
- ② 발생원에서 중간처리장으로의 수송량 (T_{ij})
- ③ 중간처리장에서 또다른 중간처리장의 수송량 (T_{jj})
- ④ 중간처리장에서 최종처분장으로의 수송량 (T_{jk})

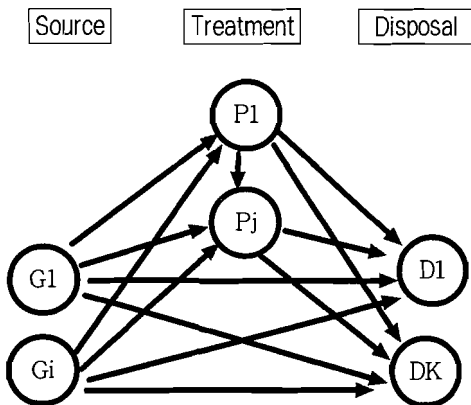


Fig. 1. Network modeling of WRAP

2.2. 모델의 수식화

WRAP모델의 목적은 몇 가지 제약요소를 만족하면서 배출된 폐기물을 최소비용으로 처리할 수 있는 방안을 찾고자 하는 것이다. 이에 따라 모델을 수식화하는데 있어서 목적함수는 총비용의 최소화가 되고, 제약식은 폐기물흐름에 대한 물질수지식(mass balance equations)으로 표현된다. 이때 결정변수들은 연결점에 해당하는 폐기물 수송량과 교점에서 표현되는 처리량과 처분량으로 나타난

다. WRAP모델을 수식화하여 표현하면 Table 1과 같으며 목적함수와 제약식으로 나누어 모델식을 살펴보고자 한다.

Table 1. WRAP as mathematical expressions

Objective function	
$\begin{aligned} \text{MIN (Transportation cost + Processing cost)} \\ = \sum \sum (C_{ij}T_{ij} + C_{ik}T_{ik} + C_{jj}T_{jj} + C_{kk}T_{kk}) \\ + \sum \sum (V_jP_j + F_j\delta_j + V_kP_k + F_k\delta_k) \end{aligned}$	
Constraints	
(Eq.1) Source Balance Equation	$\sum T_{ij} + \sum T_{ik} = G_i$ for each i-source
(Eq.2) Processing and Disposal Input Balance Equation	$\sum T_{ij} + \sum T_{jj} = \sum P_j$ for each j-site
	$\sum T_{jk} + \sum T_{kk} = \sum P_k$ for each k-site
(Eq.3) Processing Output Balance Equation	$\sum T_{jk} + \sum T_{jj} = b_j \sum P_j$ for each j-site
(Eq.4) Processing and Disposal Capacity Equation	$\sum P_j \leq L_j$ for each j-site
	$\sum P_k \leq L_k$ for each k-site
(Eq.5) Non-negativity Constraint	All of decision variables ≥ 0.0
(Eq.6) Integer Constraint	$\delta_j = 0$ if $P_j = 0$
	$\delta_j = 1$ if $P_j > 0$
where, C 's = Transportation unit cost (₩/ton-min.)	
T 's = Transportation activity (ton-min./year)	
V 's = Variable cost of process (₩/ton)	
F 's = Fixed cost of process (₩/year)	
P 's = Processing activity (ton/year)	
L 's = Maximum processing activity (ton/year)	
b = Output coefficient	
δ = Piecewise linear segment of processing cost curve	

1) 목적함수 (Objective function)

어떤 지역의 폐기물 총처리 비용은 크게 운송비용과 처리비용으로 나눌 수 있다. 특히 처리비용은 처리시설을 큰 용량으로 대형화하느냐 작은 용량으로 소형화하여 분산시키느냐에 따라 운송비용과 처리비용에 교환비교(trade-off) 현상이 나타난다. 즉 처리시설의 규모가 커짐에 따라 단위처리비용이 감소하는 현상인 규모의 경제성(economies of scale)이 나타나는 반면 운송해야하는 거리의 증가로 운송비용이 증가하게 됨으로, 총비용이 최소화되는 처리시설의 적정 위치 및 용량을 찾아 최

적화 하여야 한다.

엄격한 의미에서 운송이나 처리비용곡선이 모두 비선형이지만 운송비용곡선은 단일한 직선에 가깝기 때문에 쉽게 선형화하여 사용할 수 있으나, 처리비용곡선은 공정에 따라 서로 다르고 또한 단일한 직선으로 선형화하기 곤란한 경우가 많다. 그러므로 WRAP모델에서는 처리비용곡선을 여러 개의 직선으로 연속적으로 선형화(piecewise linear approximation)함으로써 규모의 경제성을 효과적으로 고려할 수 있고 실제 비용곡선에 근접시킬 수 있도록 하고 있다. 연속적 선형화방법에서는 선형화된 곡선들을 접점(intercept or fixed cost)과 기울기(slope or variable cost)로 나타내는데, 각 직선의 적용여부에 따라 접점이 달라져야 함을 고려하기 위해 0 또는 1중 한가지만 가질 수 있는 정수형 변수(δ)를 사용한다.

2) 제약식 (Constraints)

목적함수에 포함되어 있는 결정변수들은 몇 가지 제약조건을 만족하도록 해야하는데, 첫 번째 제약조건식(Eq.1)은 발생원의 모든 폐기물은 처리체계에 보내져야 한다는 것을, 두 번째 조건식(Eq.2)은 중간처리장과 최종처분장에 도달하는 모든 폐기물의 양이 그 처리시설의 처리용량이 되어야 한다는 물질수지식을 나타낸다. 세 번째 조건식(Eq.3)은 중간처리장에서 유출되는 폐기물도 처리체계에 포함되어야 하는 것을 나타내며, 네 번째 조건식(Eq.4)은 처리시설의 최대허용용량이 제한되어 있을 경우에 적용되는 물질수지식이다. 그리고 다섯 번째 조건식(Eq.5)은 모든 결정변수가 0을 포함한 양의 실수값을 취할 수 있다는 것을 의미하고, 여섯 번째 조건식(Eq.6)은 정수형 결정변수(δ)가 선형화된 직선의 적용여부에 따라 0 또는 1중 한가지만을 취할 수 있다는 것을 표현한다.

2.3. 컴퓨터 프로그램과 입력자료

WRAP은 약 11,300줄의 FORTRAN으로 구성되어 있으며 99개의 부프로그램을 갖고 있다. 프로그램을 실행하기 위한 입력자료에는 다음과 같이 네가지 형태가 요구된다.

- ① 발생원자료 : 각 발생원의 위치 및 연간 폐기물발생량, 처리시설까지의 운반비용
- ② 처리시설 후보지자료 : 설치 가능한 처리시설의 후보지 위치와 소요되는 부지정지비용
- ③ 처리시설 공정자료 : 공정별 유출물 및 밀도, 공정간의 연결관계, 선형화된 비용자료
- ④ 수송자료 : 발생원과 처리시설의 연결관계와 이에 따른 운송시간이나 운송거리

한편 발생원과 처리처분장간의 수송자료를 파악하는 작업은 많은 노력이 요구되기 때문에 각 지점의 위도와 경도의 자료를 이용하여 실제 수송거리를 근사적으로 구할 수 있는 방식으로 프로그램을 운영할 수도 있다.

3. 연구대상지역 음식물쓰레기 관리현황

3.1. 연구대상지역 생활폐기물 발생 및 처리 현황

1996년 경상남도와 연구대상지역인 창원, 마산, 진해 3개 도시에서 발생하는 생활폐기물의 발생 및 처리현황을 Table 2에 나타내었다.^{4,5,9)} 경상남도 생활폐기물중 가연성이 65.3%, 불연성이 16.7%, 재활용품이 18%로서 가연성 폐기물이 대부분이지만, 음식물쓰레기의 비중이 31.1%로 가연성폐기물의 절반정도를 차지함을 알 수 있다. 또한 창원시인 경우 전체 생활폐기물중 음식물쓰레기가 23.4%, 마산시는 37.1%, 진해시는 25.2%로 나타났으며, 이들 음식물쓰레기중 매립되는 비율을 보면 창원시 66.7%, 마산시 100%, 진해시 89.7%로 나타나

Table 2. Municipal solid waste generation in Kyungnam and three cities

구 분		경상남도 (톤/일)				창 원 시 (톤/일)				마 산 시 (톤/일)				진 해 시 (톤/일)			
		발생량	처리현황			발생량	처리현황			발생량	처리현황			발생량	처리현황		
			매립	소각	재활용		매립	소각	재활용		매립	소각	재활용		매립	소각	재활용
가 연 성	소 계	2,152	1,815	267	70	308	150	158	0	300	300	0	0	112	105	3	4
	음식물	1,026	967	38	21	90	60	30	0	178	178	0	0	39	35	0	4
	기 타	1,126	848	229	49	218	90	128	0	122	122	0	0	73	70	3	0
불 연 성		552	494	1	57	24	23	1	0	129	129	0	0	28	24	0	4
재활용품		594	21	3	570	52	0	2	50	51	0	0	51	15	0	0	15
총 량		3,298	2,330	271	697	384	173	161	50	480	429	0	51	155	129	3	23

2005년부터 전처리 없는 음식물쓰레기의 직매립을 금지한다는 법안을 마련하고 있는 상황을 감안할 때 대책마련이 시급한 실정이라 할 수 있다.

3.2. 음식물쓰레기 배출특성 및 처리 시설 배치

1) 배출원 및 처리시설의 구분

(1) 배출원의 구분과 배출원별 위치설정

WRAP모델을 적용하기 위해 각 배출원의 위치를 위도 및 경도로서 설정하여 처리시설까지의 거리자료를 파악할 수 있도록 해야하지만, 음식물쓰레기 배출원의 수가 무수히 많은 상황에서 배출원의 위치를 정확히 반영하기가 곤란하기 때문에

Table 3. Location data of food waste generation sources

구 분			위 도		경 도		
			도	분	도	분	
창 원 시	가 집 단 급 식 소 점	정 동	35	16.6	128	41.4	
		음 가 음 정 동	35	12.9	128	42.2	
		대 명 곡 동	35	15.0	128	38.5	
		규 반 송 동	35	14.0	128	40.3	
		모 팔 용 동	35	15.1	128	36.9	
	농수산물시장	농수산물도매시장	35	13.8	128	38.8	
	관광숙박시설	호텔	35	13.2	128	40.7	
마 산 시	가 집 단 급 식 소 점	정 진 동 면	35	06.7	128	29.4	
		음 합포구(면제외)	35	11.8	128	33.9	
		대 내 서 읍	35	14.7	128	31.5	
		모 회원구(읍제외)	35	13.2	128	35.1	
	농수산물시장	농산물공판장	35	11.9	128	34.5	
	관광숙박시설	수산물공판장	35	12.0	128	34.8	
		호텔(합포구)	35	12.4	128	34.7	
진 해 시	가 집 단 급 식 소 점	정 충 무 동	35	08.5	128	39.8	
		음 경 화 동	35	09.2	128	41.4	
		대 덕 산 동	35	08.7	128	42.1	
		모 웅 동 1 동	35	07.4	128	47.1	

Table 3에 나타난 바와 같이 가정, 집단급식소, 음식점, 대규모점포의 위치는 창원, 진해시인 경우 3~4개의 동을 합쳐서 하나의 대표배출원으로 설정하였으며, 마산시의 경우는 2개의 자치구와 구청에서 멀리 떨어진 읍과 면을 대표배출원으로 정하였다. 또한 비교적 배출원수가 적고 배출량이 대규모인 농수산물시장은 경도 및 위도 위치를 구하여 이용하였으며 관광숙박시설은 위치적으로 가운데 있는 호텔을 하나의 배출원으로 설정하였다.

(2) 처리시설의 종류 및 위치

음식물쓰레기 처리시설인 경우 Table 4와 같이 설치완료되어 운행중인 시설, 설치가 계획되어 있

는 시설, 그리고 본 연구에서 검토한 처리시설로 구분하여 소각, 퇴비화, 사료화, 매립 등 다양한 음식물쓰레기 관리대안을 구성하도록 하였다.⁹⁾

2) 배출원별 생활폐기물 배출량 산정

(1) 가정 배출량

가정에서 배출되는 음식물쓰레기인 경우 퇴비화 또는 사료화 방안을 적용하기 위해서는 분리수거가 필요한 것으로 평가되고 있으며, 소각처리를 할 경우에도 가연성 성분의 분리수거가 요구된다. 따라서 가정쓰레기를 처리하기 위해 선택할 수 있는 대안의 다양성을 고려하기 위해 단독주택과 공동주택으로 구분하여 가정쓰레기 성분을 Table 5와

Table 4. Location data of food waste management facilities

구 분		위 도		경 도	
		도	분	도	분
창 원 시	창곡동소각장 1 호 기 (완료)	35	12.3	128	39.1
	창곡동 퇴비화장 (계획)	35	12.3	128	39.1
	창곡동 사료화장 (검토)	35	12.3	128	39.1
	천선동 매립장 (완료)	35	10.5	128	42.2
마 산 시	가포동 소각장 (계획)	35	09.7	128	32.2
	진전면 퇴비화장 (완료)	35	06.3	128	24.2
	가포동 사료화장 (검토)	35	09.7	128	32.2
	덕동 매립장 (완료)	35	08.0	128	35.2
진 해 시	덕산동 소각장 (검토)	35	08.3	128	41.3
	덕산동 퇴비화장 (검토)	35	08.3	128	41.3
	덕산동 사료화장 (검토)	35	08.3	128	41.3
	덕산동 매립장 (완료)	35	08.3	128	41.3

Table 5. Major component distributions of residential solid wastes

종 류	구 분	음 식 물	가 연 성	불 연 성	계
단독주택	배출량원단위 (kg/인·일)	0.159	0.103	0.030	0.292
	구성비(%)	54.45	35.27	10.28	100
공동주택 (아파트)	배출량원단위 (kg/인·일)	0.175	0.099	0.023	0.297
	구성비(%)	58.92	33.33	7.75	100

Table 6. Residential solid waste generation quantity in three cities

도시	대 표 배출원	단독주택 거주인구 및 쓰레기발생량			공동주택 거주인구 및 쓰레기발생량		
		거주인구 (인)	음식물쓰레기 (천톤/년)	기타쓰레기 (천톤/년)	거주인구 (인)	음식물쓰레기 (천톤/년)	기타쓰레기 (천톤/년)
창원시	동 읍	30,854	1.79	1.50	13,719	0.88	0.62
	가음정동	35,722	2.07	1.73	120,375	7.69	5.36
	명곡동	82,204	4.77	3.99	22,046	1.41	0.99
	반송동	75,746	4.40	3.68	77,065	4.92	3.43
	팔용동	11,438	0.66	0.56	33,104	2.11	1.48
마산시	진동면	20,154	1.17	0.98	2,191	0.14	0.10
	합포구	134,760	7.82	6.55	49,279	3.15	2.19
	내서읍	5,540	0.32	0.27	22,770	1.45	1.01
	회원구	58,457	3.39	2.84	31,783	2.03	1.42
진해시	중앙동	11,823	0.69	0.57	11,733	0.75	0.52
	경화동	37,653	2.19	1.83	11,106	0.71	0.49
	덕산동	21,651	1.26	1.05	24,398	1.56	1.08
	웅동1동	13,900	0.81	0.67	1,079	0.07	0.05
총 계		539,902	31.34	26.22	420,941	26.87	18.74

같이 전국폐기물통계조사에 의한 배출량 원단위를 기초자료¹⁰⁾로 이용하였으며, Table 6과 같이 연구 대상지역 가정쓰레기 배출량을 산정하여 WRAP 모델의 발생원자료로 이용하였다.

집단급식소, 음식점, 대규모점포, 농수산물시장, 관광숙박시설중 퇴비화 및 사료화처리 등의 감량화를 실시해야 하는 감량의무화대상업소에 대해 행정부서에서 파악하고 있는 음식물쓰레기 감량의 무사업장현황 자료⁷⁾를 이용하여 Table 7과 같이 배출량을 산정하였다.

(2) 음식물쓰레기 감량의무사업장 배출량

Table 7. Food waste generation quantity from commercial facilities

도시	대 표 배출원	집단급식소		음 식 점		대규모점포		농수산물시장		관광숙박시설	
		업소수	발생량*	업소수	발생량	업소수	발생량	업소수	발생량	업소수	발생량
창원시	동 읍	10	0.240	63	0.431	0	0	1	0.156	4	0.085
	가음정동	61	1.467	62	0.424	10	0.220				
	명곡동	0	0.00	58	0.396	1	0.018				
	반송동	30	0.721	193	1.318	8	0.190				
	팔용동	54	1.298	40	0.273	3	0.156				
마산시	진동면	9	0.209	38	0.239	0	0	2	2.4	4	0.12
	합포구	24	0.455	187	0.824	6	0.190				
	내서읍	7	0.133	12	0.053	0	0				
	회원구	43	0.816	122	0.538	2	0.023				
진해시	중앙동	3	0.015	37	0.105	1	0.090	0	0	0	0
	경화동	4	0.019	7	0.020	0	0				
	덕산동	5	0.024	17	0.048	0	0				
	웅동1동	8	0.039	13	0.037	0	0				
합 계		258	5.435	836	4.669	31	0.887	3	2.556	8	0.205

* 발생량 단위는 천톤/년

Table 8. Distribution of food waste generation quantity in three cities

구 분		도시별 배출원별 구성비 (%)			3개 도시 발생량 합계	
		창원시	마산시	진해시	(천톤/년)	(%)
가 정	단 독	35.60	51.92	58.67	31.34	43.92
	공 동	44.23	27.68	36.62	26.87	37.65
	소 계	79.83	79.60	95.29	58.21	81.57
집 단 급 식 소		9.69	6.60	1.15	5.436	7.62
음 식 점		7.34	6.76	2.49	4.706	6.59
대 규 모 점 포		1.53	0.83	1.07	0.876	1.23
농 수 산 물 시 장		1.38	5.72	-	1.928	2.70
관 광 숙 박 시 설		0.23	0.49	-	0.205	0.29
합 계		100.0	100.0	100.0	71.361	100.0
도시별 발생량	(천톤/년)	38.465	24.459	8.437	71.361	
	(%)	53.90	34.28	11.82	100.0	

(3) 음식쓰레기 배출원 및 도시별 배출량 구성비

Table 8은 모델지역별 음식물쓰레기의 배출량의 구성비를 나타내었다. 가정에서 배출되는 음식물쓰레기가 차지하는 비중은 창원시 79.8%, 마산시 79.6%, 진해시 95.3%로 나타났으며 3개 도시 전체로는 약 80%로 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 이에 비해 감량의무화사업장은 가정에 비해 비교적 낮은 배출량 구성비를 나타내었으며, 3개 도시 전체적으로 집단급식소 7.6%, 음식점 6.6%, 농수산물시장 2.7% 순으로 나타났다.

4. 음식물쓰레기 적정관리방안

4.1. 대안의 설정

본 연구에서는 경상남도의 창원, 마산, 진해시 가정쓰레기와 음식물쓰레기 감량의무화사업장에서 발생되는 음식물쓰레기의 발생량 및 처리실태에 대한 현황자료를 분석하여 음식물쓰레기의 관리 및 처리 대안별 비용을 산출하고 비교 분석하여 효율적인 관리대안을 모색하고자 하였다. 특히, 연구대상지역에서 배출되는 음식물쓰레기의 적정관

리방안을 모색하기 위해 다음과 같은 사항들을 고려하여 대안을 설정하였으며, 재활용을 위해 퇴비화와 사료화에 중점을 두어 3개 도시에서 배출되는 음식물쓰레기를 중심으로 설정한 쓰레기 처리 대안을 정리하면 Table 9와 같다.

- ① 가정쓰레기 전체와 감량의무화사업장의 음식물쓰레기를 대상으로 연구
- ② 연구대상지역에서 고려하고 있는 처리방안을 검토하여 반영
- ③ 음식물쓰레기 배출원의 관리상 우선순위를 고려하여 처리체계를 구성
- ④ 가정에서 배출되는 음식물쓰레기의 경우 다양한 처리방식을 고려

4.2. 대안평가를 위한 비용자료 조사분석

1) 운송비용산정

음식물쓰레기 배출원에서 처리시설까지의 수집운반비용은 3개 도시의 현황자료를 이용하여 374(원/톤·분)으로 설정하였으며 처리시설간의 수송비용은 86(원/톤·분)으로 설정하였다.⁹⁾

Table 9. Simulation set of food waste management alternatives

대안 구분	처리방법에 따른 대상쓰레기 구분				비고
	퇴비화	사료화	소각	매립	
대안 1	-	-	-	전체쓰레기	기준안
대안 2	음식점	집단급식소 대규모점포 농수산물시장 관광숙박시설	-	나머지쓰레기	사료화 우선
대안 3	-	감량의무화사업장	-	"	
대안 4	-	감량의무화사업장 공동주택	-	"	
대안 5	-	음식물쓰레기전체	-	"	
대안 6	감량의무화사업장	-	-	"	
대안 7	감량의무화사업장 공동주택	-	-	"	퇴비화 우선
대안 8	음식물쓰레기전체	-	-	"	
대안 9	-	대안 2	가정쓰레기 음식점	소각잔재물	
대안10	음식점	대안 2	가정쓰레기	"	소각 우선
대안11	가정음식물쓰레기 음식점	대안 2	가정쓰레기 (가연성, 불연성)	"	
대안12	-	대안 3	가정쓰레기	"	
대안13	대안 6	-	가정쓰레기	"	

2) 처리시설 비용자료

WRAP모델에서 요구되는 시설용량별 건설비용
과 유지관리비용을 연간비용으로 나타내는 비용곡

선식을 도출하기 위하여 최근 전국에서 건설되고
있는 음식물쓰레기의 처리시설의 비용자료들^{1,3,4,11,12)}
활용하였으며, Table 11과 같이 비용곡선식을 도
출하여 이들을 대안별 비용평가에 이용하였다.

Table 10. Formulas of processing cost curve

처리시설	구간 구분	건설비용곡선식		유지관리비용곡선식		적용범위 (톤/일)
		가변비용 (백만원/ 천톤/년)	고정비용 (백만원/년)	가변비용 (백만원/ 천톤/년)	고정비용 (백만원/년)	
소각시설	1	7.912	50.011	8.542	261.830	전구간
퇴비화시설	1	2.720	0.003	1.446	31.333	전구간
사료화시설	1	5.133	1.323	27.236	43.026	10.0이하
	2	1.685	35.890	18.415	106.850	10.0이상
해안매립(진해)	1	40.455	0.000	3.270	0.000	전구간
육상매립	1	2.580	123.930	3.195	31.159	전구간

4.3. 음식물쓰레기 관리시스템의 대안별 비교평가

WRAP모형을 적용하여 3개 도시별 대안들에

따른 연간비용과 톤당비용을 평가하여 Table 11에서 Table 13까지 나타냈다. 연구대상지역의 음식물쓰레기 톤당비용은 그 지역의 상황에 따라 차이가 있어, 마산시인 경우 퇴비화시설까지의 운송비

Table 11. The cost estimation results in case of Changwon City

대안 구분	음식물쓰레기 관리비용				처리방법별 처리량 구성비 (%)				비고
	사료판매수입고려		사료판매수입제외						
	(원/톤)	상대비용	(원/톤)	상대비용	사료화	퇴비화	소각	매립	
대안 1	16,000	100.0	16,000	100.0	-	-	-	100.0	기준안
대안 2	16,902	105.6	18,913	118.2	8.0	4.5	-	87.5	사료화 우선
대안 3	16,526	103.3	19,686	123.0	12.5	-	-	87.5	
대안 4	13,117	82.0	23,254	145.3	40.1	-	-	59.9	
대안 5	9,912	62.0	25,712	160.7	62.5	-	-	37.5	
대안 6	15,949	99.7	15,949	99.7	-	12.5	-	87.5	퇴비화 우선
대안 7	15,056	94.1	15,056	94.1	-	40.1	-	59.9	
대안 8	13,945	87.2	13,945	87.2	-	62.5	-	37.5	
대안 9	30,446	190.3	32,450	202.8	8.0	-	92.1	12.4	소각 우선
대안10	30,335	189.6	32,339	202.1	8.0	4.5	87.5	11.8	
대안11	23,535	147.1	25,540	159.6	8.0	54.5	37.7	5.1	
대안12	29,960	187.3	33,110	206.9	12.5	-	87.5	11.8	
대안13	29,385	183.7	29,385	183.7	-	12.5	87.5	11.8	

Table 12. The cost estimation results in case of Masan City

대안 구분	음식물쓰레기 관리비용				처리방법별 처리량 구성비 (%)				비고
	사료판매수입고려		사료판매수입제외						
	(원/톤)	상대비율	(원/톤)	상대비율	사료화	퇴비화	소각	매립	
대안 1	17,986	100.0	17,986	100.0	-	-	-	100.0	기준안
대안 2	20,191	112.3	22,855	127.1	10.5	4.0	-	85.5	사료화 우선
대안 3	19,021	105.8	22,677	126.1	14.5	-	-	85.5	
대안 4	17,420	96.9	25,289	140.6	31.1	-	-	68.9	
대안 5	13,344	74.2	29,082	161.7	62.3	-	-	37.7	
대안 6	20,322	113.0	20,322	113.0	-	14.5	-	85.5	퇴비화 우선
대안 7	21,964	122.1	21,964	122.1	-	31.1	-	68.9	
대안 8	25,074	139.4	25,074	139.4	-	62.3	-	37.7	
대안 9	35,449	197.1	38,113	211.9	10.5	-	89.5	12.1	소각 우선
대안10	36,199	201.3	38,863	216.1	10.5	4.0	85.5	11.5	
대안11	36,283	201.7	38,947	216.5	10.5	51.7	37.7	5.1	
대안12	35,029	194.8	38,685	215.1	14.5	-	85.5	11.5	
대안13	36,330	202.0	36,330	202.0	-	14.5	85.5	11.5	

Table 13. The cost estimation results in case of Jinhae City

대 안 구 분	음식물쓰레기 관리비용				처리방법별 처리량 구성비 (%)				비 고
	사료판매수입고려		사료판매수입제외		사료화	퇴비화	소 각	매 립	
	(원/톤)	상대비율	(원/톤)	상대비율					
대안 1	46,495	100.0	46,495	100.0	-	-	-	100.0	기준안
대안 2	51,190	110.1	51,364	110.5	0.7	0.7	-	98.6	사료화 우 선
대안 3	49,049	105.5	49,398	106.2	1.4	-	-	98.6	
대안 4	40,963	88.1	46,891	100.9	23.4	-	-	76.6	
대안 5	28,008	60.2	42,653	91.7	57.9	-	-	42.1	
대안 6	48,111	103.5	48,111	103.5	-	1.4	-	98.6	퇴비화 우 선
대안 7	39,381	84.7	39,381	84.7	-	23.4	-	76.6	
대안 8	25,740	55.4	25,740	55.4	-	57.9	-	42.1	
대안 9	49,447	106.3	49,791	107.1	0.7	-	98.6	13.3	소 각 우 선
대안10	51,327	104.1	51,671	111.1	0.7	0.7	97.3	13.1	
대안11	41,133	88.5	41,477	89.2	0.7	57.2	42.2	5.7	
대안12	49,235	105.9	49,923	107.4	1.4	-	97.3	13.1	
대안13	48,270	103.8	48,270	103.8	-	1.4	97.3	13.1	

용 그리고 진해시인 경우 해안매립에 따른 비용이 다른 도시보다 상대적으로 높게 나타나 대부분의 대안에서 창원시, 마산시, 진해시의 순서로 음식물쓰레기 톤당관리비용이 높게 나타났다.

음식물쓰레기 관리대안별로 비교해 보면 대체로 사료판매수입을 포함한 사료화, 퇴비화, 매립, 사료 판매수입을 제외한 사료화, 그리고 소각의 순으로 톤당비용이 높게 나타났다. 특히 대안중에 사료화 시설을 포함하는 경우 사료판매수입을 고려하면 사료화 비율이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지지만 사료판매수입을 고려하지 않으면 톤당비용이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 사료화 시설을 고려하지 않은 대안들은 퇴비화 비율이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지는 경향을 보인다.

사료판매수입을 포함하는 경우 대안별 평가에서 3개 도시의 모든 대안들 중에서 사료화를 고려하는 창원시의 대안5가 톤당비용이 9,912원으로 가장 경제적인 것으로 나타났으며, 이 경우 창원시의 전체쓰레기 매립하는 방식인 대안1의 톤당비용인 16,000원을 100으로 환산하였을 때 62.0%에 해

당되는 것으로 나타났다. 마산시인 경우에도 대안5가 가장 경제적이었으나 진해시인 경우 대안8이 경제적인 것으로 나타났다.

사료판매수입을 고려하지 않을 경우 3개 도시의 모든 대안중 퇴비화를 고려하는 창원시의 대안8이 톤당비용이 13,945원으로 가장 경제적인 것으로 나타나 창원시의 전체쓰레기 매립방식인 대안1에 비해 상대비용이 87.2%에 해당된다. 진해시인 경우에도 대안8에서 가장 경제적이었으나, 마산시인 경우 원거리에 퇴비화시설이 위치하여 운송비용 상승으로 대안1이 경제적인 것으로 나타났다.

한편 음식물쓰레기 재활용, 매립량의 감소, 환경오염의 저감측면에서 음식점과 가정의 음식물쓰레기는 퇴비화하고, 음식점을 제외한 감량의무화사업장은 사료화하며, 가정의 가연성 및 불연성은 소각하고 소각잔재물은 매립하는 대안11이 가장 바람직한 것으로 판단된다. 그러나 대안11에 대한 톤당비용을 살펴보면 대안1에 대비하여 창원시는 약 150%, 마산시는 약 210%, 진해시는 약 90%로 나타나 해안매립으로 인한 매립비용부담이 큰 진

해시를 제외하고는 경제적이지 않은 것으로 나타났다. 그러나 향후 매립비용의 상승과 음식물쓰레기 직매립금지 등을 고려할 때 대안11에 대한 적극적인 검토가 필요하다 하겠다.

5. 결 론

음식물쓰레기 발생량과 관리현황을 분석하고 현행 규제체계 등을 고려하여 경상남도 창원, 마산, 진해시의 음식물쓰레기 적정관리방안을 제시하고자 하였다. 특히 가정 생활폐기물과 음식물쓰레기 감량화사업장의 음식물쓰레기 배출 특성을 근거로 매립, 퇴비화, 사료화, 소각이 포함된 13개의 관리대안을 설정하고 폐자원배정프로그램을 이용하여 지역 특성에 맞는 음식물쓰레기 처리의 최적화 방안을 도출하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 집단급식소, 음식점, 대규모점포등 상업시설 발생원은 음식물쓰레기의 발생량이 비교적 적은 반면에 가정 음식물쓰레기 발생량이 약 80%를 차지하였다.
2. 음식물쓰레기 톤당비용은 그 지역의 상황에 따라 차이가 있어, 마산시인 경우 퇴비화시설까지의 운송비용 그리고 진해시인 경우 해안매립에 따른 비용이 다른 도시보다 상대적으로 높게 나타났다. 이에 따라 3개 도시의 음식물쓰레기 톤당관리비용이 창원시, 마산시, 진해시의 순서로 높게 나타났다.
3. 음식물쓰레기 관리대안별로 비교해 보면 대체로 사료판매수입을 포함한 사료화, 퇴비화, 매립, 사료판매수입을 제외한 사료화, 그리고 소각의 순으로 톤당비용이 높게 나타났다. 특히 대안 중에 사료화시설을 포함하는 경우 사료판매수입을 고려하면 사료화 비율이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지지만 사료판매수입을 고려하지 않으면 톤당비용이 증가하는 것으로 나타났다.

한편 사료화 시설을 고려하지 않은 대안들은 퇴비화 비율이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지는 경향을 보인다.

4. 사료판매수입의 적용 여부에 따라 톤당비용이 현저히 다르게 나타나 음식물쓰레기 전량을 사료화하는 대안의 톤당비용의 경우 사료판매수입을 고려하지 않을 경우 60% 정도 비용이 상승하는 것으로 나타나 사료화시설을 설치하는 경우 수요처 확보가 중요한 변수가 될 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 환경부, '96 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (1997).
- 2) 환경부, 음식물쓰레기 줄이기 실무자료집 (1998).
- 3) 유기영, 서울시 음식물쓰레기 감량 및 자원화 방안, 서울시정포럼, 50~54 (1998).
- 4) 윤성운, 서정운, 경상남도 생활폐기물 처리실태 및 개선방안, 경남개발연구원 (1996).
- 5) 윤성운, 서정운, 경상남도 음식물쓰레기 처리 방안 연구, 경남개발연구원 (1997).
- 6) 남궁완, 이동훈 공역, 폐기물처리공학, 동화기술, 26-31 (1997).
- 7) U. S. EPA, WRAP: A Model for Regional Solid Waste Management Planning -User's Guide, EPA/530/SW-574 (1977).
- 8) U. S. EPA, WRAP: A Model for Regional Solid Waste Management Planning -Programmer's Guide, EPA/530/SW-573 (1977).
- 9) 경상남도, 창원시, 마산시, 진해시 내부 자료 (1997).
- 10) 환경부, '96 전국 폐기물 통계조사, 7-19 (1997).
- 11) 한국자원재생공사, 폐기물 처리방법별 경제성 및 환경성 비교평가 (1994).
- 12) 김광임, "음식물쓰레기 자원화 비용·편익 분석", 음식물쓰레기 줄이기 연구결과 공동발표회 자료집, 149-180 (1998).