

음식물쓰레기 관리의 광역적 최적화 방안
- 경남 3개 도시를 중심으로 -

이명희, 박증석, 김종오*

경상대학교 대학원 환경보전학과
*경상대학교 도시공학과 및 환경보전연구소

Regional Optimization of Food Waste Management
- Focused on Three Cities in Kyungnam Province -

Myung-Hi Lee, Jung-Seok Park, Jong-Oh Kim*

Dept. of Environmental Protection, Graduate School, Gyeongsang National University
*Dept. of Urban Engineering and RIPT, Gyeongsang National University

ABSTRACT

Limited landfill area and finance as well as a large generation of food wastes, have called for systematic approaches towards potential cost savings. In this study, the regional management system of food wastes generated from the residential and commercial sources was considered in three cities bounded each other: 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 such as the type and location of major generation sources and treatment facilities. Especially, 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.

4. Some of the regional management systems using common food waste processing facilities together in three cities showed to be more economical than the single management system. Therefore, more detailed research for the regional management systems of food waste was recommended.

Key Words : Solid waste management, Food waste, Cost estimation, Regional optimization, animal feed, Composting, Incineration, Landfill

초 록

폐기물 발생량 증가뿐만 아니라 매립장 고갈과 재정부족으로 인해 폐기물처리비용 절감을 위한 계획적인 접근이 요구되고 있다. 본 연구에서는 지리적으로 연결한 경상남도 창원, 마산, 진해 3개 도시의 주거 및 상업 지역으로부터 발생하는 음식물쓰레기를 적정하게 관리하기 위한 대안들을 설정한 후 비용평가를 위해 WRAP 모델을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 집단급식소, 음식점, 시장 등 상업시설에서의 음식물쓰레기 발생량은 비교적 적은 반면에 가정에서 발생하는 음식물쓰레기가 약 80%로 대부분을 차지하였다.
2. 음식물쓰레기 관리를 위한 톤당비용은 발생원분포 및 처리시설 위치 등의 각 도시별 상황에 따라 차이가 있었으며, 특히 해안매립지 조성에 많은 비용이 소요된 진해시에서 톤당비용이 가장 높게 나타났다.
3. 음식물쓰레기 관리대안별 비교검토에서 사료판매수입을 포함하는 경우 음식물쓰레기 사료화대안이 가장 경제적인 것으로 나타났으며, 톤당비용이 매립대안의 60~70%로 나타났다. 또한 음식물쓰레기 퇴비화대안이 매립보다 경제적이었으며, 소각대안이 가장 비용이 많이 소요되는 것으로 나타났다.
4. 3개 도시지역이 공동으로 음식물쓰레기 처리시설들을 운영하는 광역적 관리시스템인 경우 사료화를 제외하고는 개별적 독립관리시스템으로 운영하는 대안들보다 경제적인 것으로 나타났다. 이에 따라 광역적인 관리 시스템에 대한 검토가 요구된다.

주제어 : 폐기물관리시스템, 음식물쓰레기, 대안별 비용평가, 광역적 최적화, 사료화, 퇴비화, 소각, 매립

1. 서 론

전국적으로 심각해져가는 매립지 부족과 위생적인 처리에 대한 요구 등으로 인하여 음식물쓰레기 관리는 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(환경부, 1997a). 이에 따라 1996년 12월 환경부에서는「음식물쓰레기 줄이기 종합대책」을 확정하고, 음식물쓰레기 감량 및 재활용 확대를 위한 제도 개선방안으로 음식물쓰레기 감량의무화사업장의 범위를 확대 강화하였다(환경부, 1998; 유기영, 1998).

한편 경상남도의 생활폐기물의 발생량은 1996년 말 1일 3,298톤에 이르고 있으며 지역적으로 연접한 창원, 마산, 진해 3개시에서만 약 31%에 해당하는 1일 1,019톤이 발생하였다. 또한 이들 3개 도시의 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(윤성운 등, 1996, 1997). 따라서 음식물쓰레기 발생량에 대한 정확한 자료와 각 배출원별 특성을 파악하여 음식물쓰레기의 적정관리방안을 모색하는 연구가 필요하며 특히 연접해 있는 이들 3개 도시의 입지적 이점을 살려 음식물쓰레기 처리시설들을 공동으로 활용하는 광역적 관리시스템을 고려해 볼 가치가 있다.

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 및 광역화 방안을 연구하였다.

2. 폐자원 배정 프로그램 (WRAP)

도시쓰레기 관리체계는 관점에 따라 여러 가지 단계로 나누어 분석할 수 있지만, 일반적으로 발생원, 저장, 수거, 적환 및 수송, 처리, 처분의 6단계로 구분하고 있다(남궁 완 등, 1997). 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 최적화는 최소의 비용으로 적정 처리할 수 있는 관리체계를 모색하는 것이라 할 수 있는데, 최적화연구를 위해서는 폐기물이 발생되어 수거, 처리, 처분되는 단계들을

모델로 구성하고 전체관리체계를 고려하여 폐기물 처리시설의 최적 위치 및 처리용량을 결정하도록 해야 한다. 이에 본 연구에서는 미국 환경청 (U.S. EPA)에서 개발한 폐자원배정프로그램(WRAP: U.S.EPA, 1977a, 1977b)을 이용하여 대안별 경제성을 평가하고자 하였다.

WRAP에서는 폐기물 관리체계를 단순화하여 교점 (node)과 연접(link)을 갖는 네트워크체계(net work system)로 모델링하는데, 이때 교점은 발생원, 퇴비화 및 소각 등의 중간처리장, 그리고 매립장을 나타내는 최종처분장으로 구분하며, 연접은 각 교점을 연결하는 폐기물 수송량으로 결정변수가 된다. WRAP은 몇 가지 제약요소를 만족하면서 배출된 폐기물을 최소비용으로 처리할 수 있는 방안을 찾고자 하는 것으로 Table 1과 같이 선형계획기법으로 수식화할 수 있다. 수식화에 있어 목적함수는 총비용의 최소화가 되고, 제약식은 폐기물흐름에 대한 물질수지식(mass balance equations)으로 표현된다. 이때 결정변수들은 연접에 해당하는 폐기물 수송량과 교점에서 표현되는 처리량과 처분량으로 나타난다. WRAP은 약 11,300줄의 FORTRAN으로 구성되어 있으며 99개의 부프로그램을 갖고 있다. 발생원과 처리처분장간의 수송자료를 파악하는 작업은 많은 노력이 요구되기 때문에 각 지점의 위도와 경도의 자료를 이용하여 실제 수송거리를 근사적으로 구할 수 있는 방식으로 프로그램을 운영할 수 있다.

Table 1. WRAP as Mathematical Expressions

Objective function	
MIN (Transportation cost + Processing cost)	
= $\sum \sum (C_{ij}T_{ij} + C_{ik}T_{ik} + C_{j\beta}T_{j\beta} + C_{k\alpha}T_{k\alpha})$	
+ $\sum \sum (V_{j\beta}P_{j\beta} + F_{j\beta}\delta_{j\beta} + V_{k\alpha}P_{k\alpha} + F_{k\alpha}\delta_{k\alpha})$	
Constraints	
(Eq.1) Source Balance Equation	
$\sum T_{ij} + T_{ik} = G$	for each i-source
(Eq.2) Processing and Disposal Input Balance Equation	
$\sum T_{ij} + T_{j\beta} = P_{j\beta}$	for each j-site
$\sum T_{ik} + T_{k\alpha} = P_{k\alpha}$	for each k-site

(Eq.3) Processing Output Balance Equation	$\sum T_{jk} + T_{jj} = b_j \sum P_{ji}$	for each j-site
(Eq.4) Processing and Disposal Capacity Equation	$\sum P_{ji} \leq L_j$	for each j-site
	$\sum P_{ki} \leq L_k$	for each k-site
(Eq.5) Non-negativity Constraint	All of decision variables ≥ 0.0	
(Eq.6) Integer Constraint	$\delta = 0$ if $P_i = 0$	
	$\delta = 1$ if $P_i > 0$	
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	
l =	Piecewise linear segment of processing cost curve	

1996,1997; 경상남도, 1997). 경상남도 생활폐기물 중 가연성이 65.3%, 불연성이 16.7%, 재활용품이 18%로서 가연성 폐기물이 대부분이지만, 음식물쓰레기의 비중이 31.1%로 가연성폐기물의 절반정도를 차지함을 알 수 있다. 또한 전체 생활폐기물중 음식물쓰레기는 창원시인 경우 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 2005년부터 전처리 없는 음식물쓰레기의 직매립을 금지한다는 폐기물관리법 시행규칙을 감안할 때 대책마련이 시급한 실정이라 할 수 있다(환경부, 1997b).

3. 연구대상지역 음식물쓰레기 관리현황

3.1 생활폐기물 발생 및 처리 현황

1996년 경상남도와 연구대상지역인 창원, 마산, 진해 3개 도시에서 발생하는 생활폐기물의 발생 및 처리현황을 Table 2에 나타내었다(윤성운 등,

3.2 음식물쓰레기 배출원 및 처리시설

3.2.1 배출원 및 처리시설의 설정

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 2. Municipal Solid Waste Management Situation 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	
가연성	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
불연성		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

Table 3. Location Data of Food Waste Generation Sources

구 분			위도		경도	
			도	분	도	분
창원시	가정·집단·음식점·대규모점포	동읍	35	16.6	128	41.4
		가음정동	35	12.9	128	42.2
		명곡동	35	15.0	128	38.5
		반송동	35	14.0	128	40.3
		팔용동	35	15.1	128	36.9
	농수산물시장	농수산물도매시장	35	13.8	128	38.8
	관광숙박시설	호텔	35	13.2	128	40.7
마산시	가정·집단·음식점·대규모점포	진동면	35	06.7	128	29.4
		합포구(면제외)	35	11.8	128	33.9
		내서읍	35	14.7	128	31.5
		회원구(읍제외)	35	13.2	128	35.1
	농수산물시장	농산물공판장	35	11.9	128	34.5
		수산물공판장	35	12.0	128	34.8
	관광숙박시설	호텔(합포구)	35	12.4	128	34.7
호텔(회원구)		35	13.8	128	34.7	
진해시	가정·집단·음식점·대규모점포	충무동	35	08.5	128	39.8
		경화동	35	09.2	128	41.4
		덕산동	35	08.7	128	42.1
		응동 1동	35	07.4	128	47.1

Table 3에 나타낸 바와 같이 가정, 집단급식소, 음식점, 대규모점포의 위치는 창원, 진해시인 경우 3~4개의 행정동을 합쳐서 하나의 대표배출원으로

설정하였으며, 마산시의 경우는 2개의 자치구와 구청에서 멀리 떨어진 읍과 면을 대표배출원으로 정하였다. 또한 비교적 배출원수가 적고 배출량이 대

Table 4. Location Data of Food Waste Management Facilities

구 분		위도		경도	
		도	분	도	분
창원시	창곡동 소각장 1호기 (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
마산시	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
진해시	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

규모인 농수산물시장은 경도 및 위도 위치를 구하여 이용하였으며 관광숙박시설은 위치적으로 가운데 있는 호텔을 하나의 배출원으로 설정하였다.

음식물쓰레기 처리시설인 경우 Table 4와 같이 설치완료되어 운행중인 시설, 설치가 계획되어 있는 시설, 그리고 본 연구에서 검토한 처리시설로 구분하여 사료화, 퇴비화, 소각, 매립 등 다양한 음식물쓰레기 관리대안을 구성하도록 하였다(경상남도, 1997).

3.2.2 배출량 산정

가정에서 배출되는 음식물쓰레기인 경우 사료화 또는 퇴비화 방안을 적용하기 위해서는 분리수거가

필요한 것으로 평가되고 있으며(강호 등, 1998), 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 같이 전국폐기물통계조사에 의한 배출량 원단위를 기초자료(환경부, 1997c)로 이용하였으며, Table 6과 같이 연구대상지역 가정쓰레기 배출량을 산정하여 WRAP모델의 발생원 자료로 이용하였다. 집단급식소, 음식점, 대규모점포, 농수산물시장, 관광숙박시설중 감량의무화대상업소에 대해 행정부서에서 파악하고 있는 음식물쓰레기 감량

Table 5. Major Component Distributions of Residential Solid Wastes

종류	구분	음식물	가연성	불연성	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	대표 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	동읍	30,854	1.79	1.50	13,719	0.88	0.62
	가읍정동	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
총계		539,902	31.34	26.22	420,941	26.87	18.74

Table 7. Food Waste Generation Quantity from Commercial Facilities

도시	대표 배출원	음식점		집단급식소		대규모점포		농수산물시장		관광숙박시설	
		업소수	발생량*	업소수	발생량	업소수	발생량	업소수	발생량	업소수	발생량
창원시	동읍	63	0.431	10	0.240	0	0	1	0.156	4	0.085
	가음정동	62	0.424	61	1.467	10	0.220				
	명곡동	58	0.396	0	0.00	1	0.018				
	반송동	193	1.318	30	0.721	8	0.190				
	팔용동	40	0.273	54	1.298	3	0.156				
마산시	진동면	38	0.239	9	0.209	0	0	2	2.4	4	0.12
	합포구	187	0.824	24	0.455	6	0.190				
	내서읍	12	0.053	7	0.133	0	0				
	회원구	122	0.538	43	0.816	2	0.023				
진해시	중앙동	37	0.105	3	0.015	1	0.090	0	0	0	0
	경화동	7	0.020	4	0.019	0	0				
	덕산동	17	0.048	5	0.024	0	0				
	용동1동	13	0.037	8	0.039	0	0				
합계		849	4.706	258	5.436	31	0.887	3	2.556	8	0.205

Table 8. Distribution of Food Waste Generation Quantity in Three Cities

구분		도시별 배출원별 구성비 (%)			3개 도시 발생량 합계	
		창원시	마산시	진해시	(천톤/년)	(%)
가정	단독주택	35.60	51.92	58.67	31.34	43.92
	공동주택	44.23	27.68	36.62	26.87	37.65
	소계	79.83	79.60	95.29	58.21	81.57
집단급식소		9.69	6.60	1.15	5.436	7.62
음식점		7.34	6.76	2.49	4.706	6.59
대규모점포		1.53	0.83	1.07	0.876	1.23
농수산물시장		1.38	5.72	-	1.928	2.70
관광숙박시설		0.23	0.49	-	0.205	0.29
합계		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	

* 발생량 단위는 천톤/년

의무사업장 현황자료를 이용하여 Table 7과 같이 배출량을 산정하였다.

Table 8에 연구대상 3개 도시의 음식물쓰레기 배

출량 현황을 요약하였다. 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. 한편 연접한 3개 도시별 음식물쓰레기 발생량은 창원시 53.9%, 마산시 34.3%, 진해시 11.9%로 나타났다.

4. 음식물쓰레기 적정관리방안

4.1 관리대안의 설정

본 연구에서는 연구대상 3개 도시 가정쓰레기와 음식물쓰레기 감량의무화사업장에서 발생하는 음식물쓰레기의 적정관리방안을 모색하기 위해 발생량 및 처리실태에 대한 현황자료를 분석하고 다음

과 같은 사항들을 고려하여 Table 9와 같이 총 13가지의 관리대안을 설정하였다. 이들 관리대안의 대안별 비용을 산출하고 비교분석하여 효율적인 관리대안을 제시하고자 하였다.

- 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
- ⑤ 도시별 독립관리시스템과 통합적 광역관리시스템의 비교

Table 9. Simulation Set of Food Waste Management Alternatives

대안구분	처리방법에 따른 대상쓰레기 구분				비고
	사료화	퇴비화	소각	매립	
대안1	-	-	-	전체쓰레기	기준안
대안2	집단급식소 대규모점포 농수산물시장 관광숙박시설	음식점	-	나머지쓰레기	사료화 우선
대안3	감량의무화사업장	-	-	"	
대안4	감량의무화사업장 공동주택	-	-	"	
대안5	음식물쓰레기전체	-	-	"	
대안6	-	감량의무화사업장	-	"	
대안7	-	감량의무화사업장 공동주택	-	"	퇴비화 우선
대안8	-	음식물쓰레기전체	-	"	
대안9	대안2	-	가정쓰레기	소각잔재물	
대안10	대안2	음식점	가정쓰레기	"	소각 우선
대안11	대안2	가정음식물쓰레기 음식점	가정쓰레기 (음식물 이외)	"	
대안12	대안3	-	가정쓰레기	"	
대안13	-	대안6	가정쓰레기	"	

4.2 비용기초자료 조사분석

음식물쓰레기 배출원에서 처리시설까지의 수집 운반비용은 3개 도시의 현황자료를 이용하여 374(원/톤·분)으로 설정하였으며 처리시설간의 수송비용은 86(원/톤·분)으로 설정하였다(경상남도, 1997). WRAP모델에서 요구되는 시설용량별 건설비용과 유지관리비용을 연간비용으로 나타내는 비용곡선식을 도출하기 위하여 최근 전국에서 건설되

고 있는 음식쓰레기의 처리시설의 비용자료를(환경부, 1997a; 유기영, 1998; 윤성운 등, 1996; 한국자원재생공사, 1994; 김광임, 1998) 활용하였으며, Table 10과 같이 비용곡선식을 도출하여 이들을 대안별 비용평가에 이용하였다. 또한 사료화방안인 경우 사료판매비용을 25,280(원/톤)으로 설정하였으며(김무영, 1998), 퇴비화인 경우에는 퇴비판매비용을 고려하지 않았다.

Table 10. Formulas of Processing Cost Curve

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

Table 11. Percentage Distribution of each Treatment Method for Thirteen Alternatives (%)

대안 구분	창 원 시				마 산 시				진 해 시				비고
	사료화	퇴비화	소 각	매 립	사료화	퇴비화	소 각	매 립	사료화	퇴비화	소 각	매 립	
대안 1	-	-	-	100.0	-	-	-	100.0	-	-	-	100.0	기준안
대안 2	8.0	4.5	-	87.5	10.5	4.0	-	85.5	0.7	0.7	-	98.6	사료화 우 선
대안 3	12.5	-	-	87.5	14.5	-	-	85.5	1.4	-	-	98.6	
대안 4	40.1	-	-	59.9	31.1	-	-	68.9	23.4	-	-	76.6	
대안 5	62.5	-	-	37.5	62.3	-	-	37.7	57.9	-	-	42.1	퇴비화 우 선
대안 6	-	12.5	-	87.5	-	14.5	-	85.5	-	1.4	-	98.6	
대안 7	-	31.1	-	68.9	-	31.1	-	68.9	-	23.4	-	76.6	
대안 8	-	62.3	-	37.7	-	62.3	-	37.7	-	57.9	-	42.1	소각 우 선
대안 9	8.0	-	92.0	12.4	10.5	-	89.5	12.1	0.7	-	99.3	13.4	
대안10	8.0	4.5	87.5	11.8	10.5	4.0	85.5	11.5	0.7	0.7	98.6	13.3	
대안11	8.0	54.3	37.7	5.1	10.5	51.8	37.7	5.1	0.7	57.2	42.1	5.7	
대안12	12.5	-	87.5	11.8	14.5	-	85.5	11.5	1.4	-	98.6	13.3	
대안13	-	12.5	87.5	11.8	-	14.5	85.5	11.5	-	1.4	98.6	13.3	

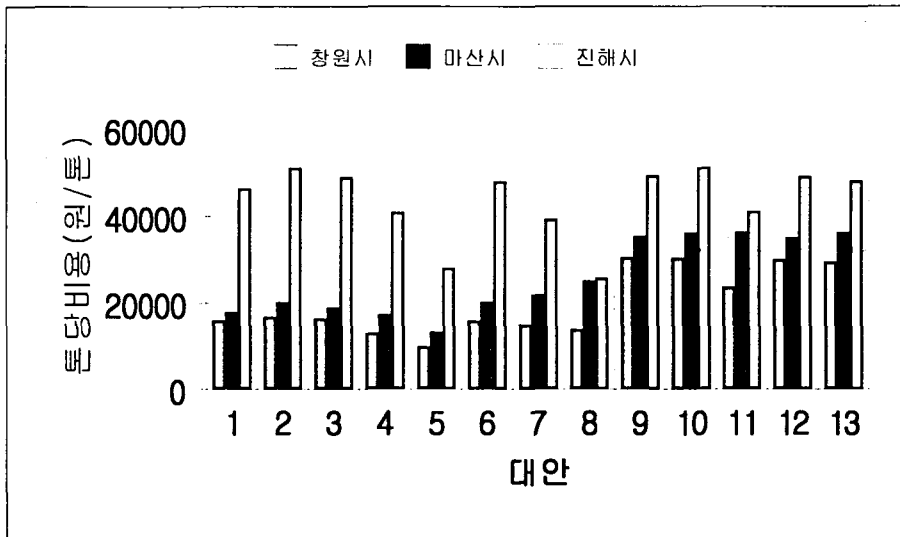


Fig.1. Comparison of estimated costs for thirteen alternatives in case of including revenue as animal feed.

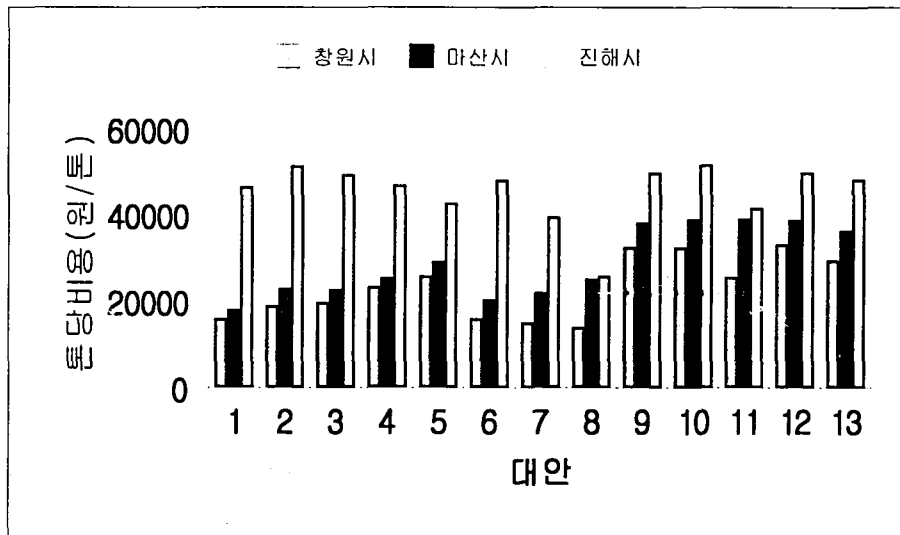


Fig.2. Comparison of estimated costs for thirteen alternatives in case of excluding revenue as animal feed.

4.3 각 도시별 독립관리시스템의 비교평가

WRAP모델을 적용하여 3개 도시별 대안들에 따른 처리방법별 처리량 구성비율을 Table 11에 나타내었으며, 이때 전체쓰레기 톤당관리비용을 사료판매비용을 포함하는 경우와 사료판매비용을 고려하지 않을 경우로 구분하여 각각 Fig.1과 Fig.2에 나

타내었다. 연구대상지역의 음식물쓰레기 톤당비용은 그 지역의 상황에 따라 차이가 있어, 마산시인 경우 퇴비화시설까지의 운송비용 그리고 진해시인 경우 해안매립에 따른 비용이 다른 도시보다 상대적으로 높게 나타나 대부분의 대안에서 창원시, 마산시, 진해시의 순서로 음식물쓰레기 톤당관리비용

이 높게 나타났다. 또한 음식물쓰레기 관리대안별로 비교해 보면 대체로 사료판매수입을 포함한 사료화, 퇴비화, 매립, 사료판매수입을 제외한 사료화, 그리고 소각의 순으로 톤당비용이 높게 나타났다. 특히 대안중에 사료화시설을 포함하는 경우 사료판매수입을 고려하면 사료화 비율이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지지만 사료판매수입을 고려하지 않으면 톤당비용이 증가하는 것을 알 수 있었다. 한편 사료화 시설을 고려하지 않은 대안들은 퇴비화비용이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지는 경향을 보인다.

대안별 비교평가하면 사료판매수입을 포함하는 경우 Fig.1에서 알 수 있듯이 3개 도시의 모든 대안들 중에서 사료화를 고려하는 창원시의 대안5가 톤당비용이 9,912원으로 가장 경제적인 것으로 나타났다으며, 이 경우 창원시의 전체쓰레기 매립하는 방식인 대안1의 톤당비용인 16,000원을 100으로 환산하였을 때 62.0%에 해당되는 것으로 나타났다. 마산시인 경우에도 대안5가 가장 경제적이었으나 진해시인 경우 퇴비화를 우선적으로 고려하는 대안

8이 경제적인 것으로 나타났다.

사료판매수입을 고려하지 않을 경우 Fig.2에서 알 수 있듯이 3개 도시의 모든 대안중 퇴비화를 고려하는 창원시의 대안8이 톤당비용이 13,945원으로 가장 경제적인 것으로 나타나 창원시의 전체쓰레기 매립방식인 대안1에 비해 상대비율이 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 재활용품 및 음식물쓰레기를 제외한 나머지는 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 진해시를 제외하고는 경제적이

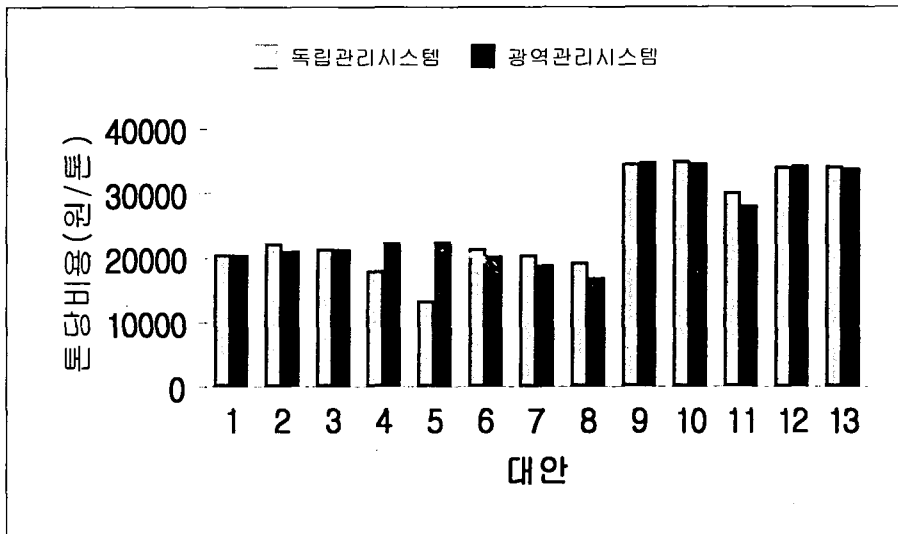


Fig.3. Comparison of estimated costs for each single and regional.

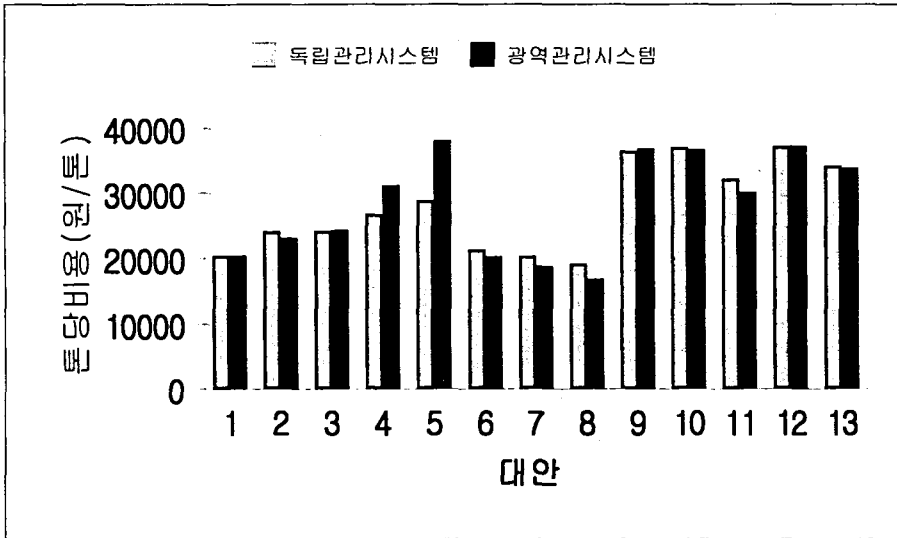


Fig.4. Comparison of estimated costs for each single and regional systems in case of excluding revenue as animal feed.

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

4.4 독립관리시스템과 광역관리시스템의 비교 평가

서로 연결해 있는 3개 도시의 입지적 특성을 활용하고 음식물쓰레기 처리시설의 중복투자 및 입지 선정시 어려움을 해소할 수 있는 방안으로 광역적 관리시스템을 구상하였다. 광역관리시스템은 이미 설치운영되고 있는 처리시설을 최대한 활용하기 위해 매립은 3개 도시별 매립장을 이용하고, 사료화시설은 마산시의 가포소각장 위치에 설치하고, 퇴비화시설은 계획된 창원시의 재활용센타를 이용하도록 하며, 소각시설은 운영중인 창원시 소각시설과 계획된 마산시 가포소각시설을 이용하도록 설정하였다. 독립적 관리시스템과 광역적 관리시스템을 비교분석하기 위해 WRAP모형을 이용하여 각 대안별 톤당비용을 평가하였으며 사료판매비용을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나누어 Fig.

3과 Fig.4에 각각 나타내었다.

먼저 사료판매수입 포함하는 경우에는 Fig.3에 나타난 바와 같이 독립관리시스템에서는 사료화대안들이 경제적인데 비하여 광역관리시스템에서는 퇴비화우선대안이 경제적으로 나타났다. 또한 소각우선대안들은 독립시스템과 광역시스템에서 모두 가장 비용이 많이 소요되는 것으로 나타났다. 한편 사료판매수입을 고려하지 않을 경우에는 Fig.4에 나타난 바와 같이 독립시스템과 광역시스템 모두 퇴비화우선대안들이 가장 경제적인 것으로 나타났다. 광역관리시스템을 전체적으로 평가할 때 사료화대안을 선택하는 경우를 제외한 대부분의 대안에서 독립관리시스템과 비슷하거나 경제적인 것으로 나타났다. 특히 퇴비화방안에 있어 독립시스템보다 경제적인 것으로 나타났으나 광역적인 관리시스템에 대한 적극적인 검토가 요구된다.

5. 결 론

음식물쓰레기 발생량과 관리현황을 분석하고 현

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

1. 집단급식소, 음식점, 대규모점포등 상업시설 발생원은 음식물쓰레기의 발생량이 비교적 적은 반면에 가정 음식물쓰레기 발생량이 약 80%을 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 대안중에 사료화시설을 포함하는 경우 사료판매수입을 고려하면 사료화 비용이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지지만 사료판매수입을 고려하지 않으면 톤당비용이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 사료화시설을 고려하지 않은 대안들은 퇴비화 비용이 높아질수록 톤당비용이 저렴해지는 경향을 보인다.
4. 사료판매수입의 적용 여부에 따라 톤당비용이 현저히 다르게 나타나 음식물쓰레기 전량을 사료화하는 대안의 톤당비용의 경우 사료판매 수입을 고려하지 않을 경우 60% 정도 비용이 상승하는 것

으로 나타나 사료화시설을 설치하는 경우 판매처 확보가 중요한 변수가 될 수 있음을 알 수 있었다.

5. 서로 연결해 있는 3개 도시의 입지적 특성을 활용할 수 있도록 음식물쓰레기 공동처리를 위한 광역적 관리시스템을 구상하여 각 도시별 독립적 관리시스템과 비교검토하였다. 전체적으로 평가할 때 광역관리시스템은 사료화대안을 선택하는 경우를 제외한 대부분의 대안에서 독립관리시스템보다 대부분의 대안에서 독립관리시스템과 비슷하거나 경제적인 것으로 나타나 광역적인 관리시스템에 대한 적극적인 검토가 요구된다.

참고문헌

- 강호, 이옥임, 김종원, 허형우, 한승호 (1998), "배출원별 음식물쓰레기 발생특성 및 아파트단지에서의 퇴비화 방안", 한국유기성폐자원학회, 폐기물자원화, 제6권 제1호, pp.53-66.
- 경상남도, 창원시, 마산시, 진해시(1997), "폐기물관리부서 내부자료".
- 김광임(1998), "음식물쓰레기 자원화 비용·편익 분석", 음식물쓰레기 줄이기 연구결과 공동 발표회 자료집, pp.149-180.
- 김부영(1998), "음식물쓰레기 사료화 처리기술 및 실천사례", 월간폐기물, 제61호, pp.92-109.
- 남궁완, 이동훈 공역 (1997), "폐기물처리공학", 동화기술, pp.26-31.
- 유기영(1998), "서울시 음식물쓰레기 감량 및 자원화방안", 서울시정포럼, pp.50-54.
- 윤성윤, 서정윤(1996), "경상남도 생활폐기물 처리 실태 및 개선방안", 경남개발연구원.
- 윤성윤, 서정윤(1997), "경상남도 음식물쓰레기 처리 방안 연구", 경남개발연구원.
- 한국자원재생공사(1994), "폐기물 처리방법별 경제

성 및 환경성 비교평가”.
환경부(1997a), “’96 전국 폐기물 발생 및 처리현황”.
환경부(1997b), “폐기물관리법 시행규칙 개정”.
환경부(1997c), “’96 전국 폐기물 통계조사”, pp.7-19.
환경부(1998), “음식물쓰레기 줄이기 실무자료집”.

U. S. EPA(1977a), “WRAP: A Model for Regional Solid Waste Management Planning-User’s Guide”, EPA/530/SW-574.

U. S. EPA(1977b), “WRAP: A Model for Regional Solid Waste Management Planning - Programmer’s Guide”, EPA/530/SW-573.