

제 1 장 序 論

1.1 研究의 必要性

1.2 研究의 目的

1.3 研究內容

제 1 장 序 論

1.1 研究의 必要性

인구증가, 생활수준의 향상등에 따라 處理·處分해야 할 쓰레기의 양은 급격히 增加하였고 현재까지 서울시에 그 대부분을 埋立에 의존하여 處分하여왔다.

그러나 난지도매립지의 使用 終了는 서울시로 하여금 行政區域內에는 埋立地로 이용할 토지가 절대적으로 부족한 金浦首都圈埋立地の 조성에 참여토록 하였고 현재는 수도권매립지로 쓰레기를 運搬하여 埋立處分하고 있는 실정이다. 또한 埋立地の 설치가 지역주민들에 의해 완강히 拒否되고 있는 실정이므로 향후 埋立地の 확보는 더욱 어려워질 전망이다. 따라서 현재 확보되어 있는 埋立地の 수명을 연장하고, 쓰레기로부터 최대한 有用資源을 회수하기 위한 목적으로 쓰레기 中間處理方法의 필요성이 절실히 대두되고 있다. 쓰레기의 中間處理方法으로는 壓縮, 粉碎 및 選別 등의 物理的 方法, 燒却과 熱分解 등의 화학적 방법 및 堆肥化와 嫌氣性消化 등의 生物學的 方法 등이 있다. 근래에 서울시에서는 위의 방법중에서 燒却에 의해 발생하는 모든 쓰레기를 처리하도록 계획하였으나 燒却施設의 설치에 대한 인근주민들의 반대로 시행에 차질을 가져오고 있다. 또한 쓰레기를 燒却處理할 경우에는 낮은 발열량에 의한 補助燃料의 과다사용과 大氣汚染 등의 문제가 발생한다. 쓰레기의 발열량은 수분함량과 재의 함량에 의해 변화되며, 특히 높은 수분함량은 발열량의 저하 뿐 아니라 排氣가스의 양을 증대시키는 원인이 되기도 한다.

따라서 본 研究에서는 다양한 쓰레기 處理方法의 적용을 위해 쓰레기의 수분함량을 증가시킬 뿐 아니라 腐敗性으로 인하여 수거시 惡臭發生의 원인이 되는 음식물쓰레기를 대상으로 하여 쓰레기 處理方法의 하나인 堆肥化의 가능성을 검토하고자 한다. 음식물쓰레기를 堆肥化하여 처리할 경우 最終處分해야할 쓰레기의 양이 감소되어 埋立地の 수명이 연장될 뿐 아니라 土地改良劑로서 토양에 還元되므로 쓰레기를 유효이용할 수 있다.

1.2 研究의 目的

본 研究의 目的은 아래와 같다.

- 1) 발생원 및 계절에 따른 음식물쓰레기의 發生量 및 性狀把握
- 2) 음식물쓰레기 처리방법으로서 堆肥化工法の 적용가능성 검토
- 3) 음식물쓰레기를 堆肥化에 의해 처리할 경우 堆肥化施設의 設計 및 運轉因子 導出
- 4) 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 與件檢討
- 5) 堆肥化施設의 設置 및 運營方案 檢討

1.3 研究內容

본 研究는 크게 나누어 음식물쓰레기의 발생량과 성상을 調査하는 基礎調査, 外國의 음식물쓰레기 處理實態 및 規制現況調査, 堆肥化技術의 檢討 및 基礎資料導出, 음식물쓰레기 堆肥化의 與件檢討, 堆肥化施設의 설치 및 운영방안에 관한 調査로 수행하였다.

1.3.1 基礎調査

음식물쓰레기의 排出源은 가정, 음식점, 시장, 대형유통센터 및 집단급식소 소로 나뉘어질 수 있다. 본 研究에서는 서울시의 1 개구를 調査對象地域으로 선정하여 調査對象地域내 가정, 음식점, 시장, 대형유통센터 및 집단급식소에서 계절에 따른 발생량 및 성상을 調査하였다.

또한 調査된 性狀資料를 이용하여 堆肥化工法은 물론 기타 음식물쓰레기 處理工法の 적용가능성여부를 檢討하였다.

1.3.2 外國의 處理現況

우리나라의 경우 埋立에 의해 거의 모든 쓰레기의 處分이 이루어져 왔으므로 쓰레기의 堆肥處理에 대한 技術開發이 거의 없는 실정이다. 따라서 비교적 堆肥化施設의 運轉經驗이 축적되어 있는 일본의 堆肥化施設現況을 調査하여 본 研究의 참고자료로 활용하였다.

1.3.3 堆肥化技術의 檢討 및 可能性 分析

일반쓰레기에 대한 堆肥化研究는 많은 연구자에 의해 수행되어 왔고 실제 많은 시설이 운전되고 있으나 음식물쓰레기만을 대상으로 堆肥化시킨 예는 많지 않다. 따라서 본 研究에서는 음식물쓰레기만을 대상으로 하여 Pilot plant 실험을 실시하여 堆肥化 가능성여부를 판단한 후, 실제 堆肥化에 필요한 設計 및 運轉資料를 산출하였다.

1.3.4 堆肥化 여건검토

음식물쓰레기를 堆肥化하여 처리하기 위해서는 堆肥化施設의 設置 및 需給에 따른 법적인 규제과 活用方案의 檢討가 이루어져야 한다. 따라서 음식물쓰레기를 堆肥化하여 處理할 수 있는 法的 根據, 對象業所 現況 및 堆肥化施設의 環境 汚染物質 排出基準 등을 고려하여 堆肥化施設의 위치를 결정하였다. 또한 생산된 堆肥의 품질을 고려한 活用方案을 檢討하였다.

1.3.5 堆肥化施設의 設置 및 運營方案

음식물쓰레기를 堆肥化에 의해 처리할 경우 각 發生源에 따른 처리방안의 비교를 통하여 적절한 處理方案을 檢討하였으며, 堆肥의 수급을 고려한 堆肥化施設의 규모를 算定하였다. 또한 堆肥化施設의 설치시 유지관리비의 算定과 管理方案에 대해 檢討하였다.

제 2 장 음식물쓰레기 發生量

2.1 發生量 原單位

2.2 음식물쓰레기의 發生源 現況

2.3 發生量 算定

제 2 장 음식물쓰레기 發生量

2.1 발생량 原單位

2.1.1 調査方法

음식물쓰레기의 발생장소는 크게 주거지역, 대중음식점, 집단급식소, 대형유통센터 등으로 나눌 수 있다. 이들 발생원에서의 발생량을 정확하게 算定하기 위해서는 주거지역은 住居形態別로, 각종 사업장은 業種別·規模別로 발생량 原單位를 실측하여 전체 발생량을 推算하는 단계를 거쳐야 한다. 더욱이 구단위별로 標本調査를 실시한다면 보다 정확한 발생량을 산출할 수 있을 것이다. 그러나 본 研究와 관련된 기존의 調査(環境處, 1992)에서 위의 發生源現況에 대하여 비교적 상세하게 調査가 수행된 바 있으므로 본 研究에서는 발생량 原單位(kg/인·일, kg/m²·일 또는 kg/bed·일)算定을 위한 調査에 중점을 두고 수행하였다. 실측자료에 근거하여 算定된 발생원별 原單位는 발생원별·지역별 음식물쓰레기량을 추정하는데 이용되었다.

발생량 原單位の 算定을 위하여 선정된 調査地點은 <표 2-1>과 같으며, 調査地域은 강남구내의 事業場과 관공서를 대상으로 하였다. 음식점은 한식과 양식부페로 구분하여 調査하였는데 음식점 業態中 양식부페의 경우는 單位發生量이 상이할 것으로 예상되었기 때문이다.

現場實測調査는 계절별 調査를 원칙으로 하였으며, 필요에 따라 <표 2-1>에서 나타난 바와 같이 調査地點을 추가하였다. 또 음식물쓰레기는 요일에 따라 발생량에 많은 차이를 보이므로 每 調査時마다 평일(금요일), 주말(토요일), 휴일(일요일)에 걸친 3일 連續測定을 실시하여 原單位를 算定하였다. 또 가정의 경우에는 자체제작한 비닐봉지를 예정된 調査時期前에 미리 각 가정에 배포하여 일괄회수하는 방법을 취하였다.

實測調査 時期 및 期間은 <표 2-2>와 같다.

〈표 2-1〉 發生量 原單位 算定을 위한 實測調査 地點

대 분 류	소 분 류	조사지점 (개)	비 고
가 정	아 파 트	30	아파트 1개동 및 연구수행기관 연구 원의 가정
음 식 점	한 식	1	2차조사시기부터 추가
	양식부페	1	-
유통센터	백 화 점	2	1개소는 2차조사시기부터 추가
	농수산물시장	1	관리공사의 자체자료 이용
집단급식소	백 화 점	2	1개소는 2차조사시기부터 추가
	병 원	1	-
	관 공 서	1	2차조사시기부터 추가

〈표 2-2〉 現場調査 時期 및 期間

구 분	季 節	조 사 일 시
1차조사	冬季	1993. 2. 19~21
2차조사	春季	1993. 4. 16~18
3차조사	夏季	1993. 8. 13~15
4차조사	秋季	1993. 10. 22~24

2.1.2 發生量 原單位

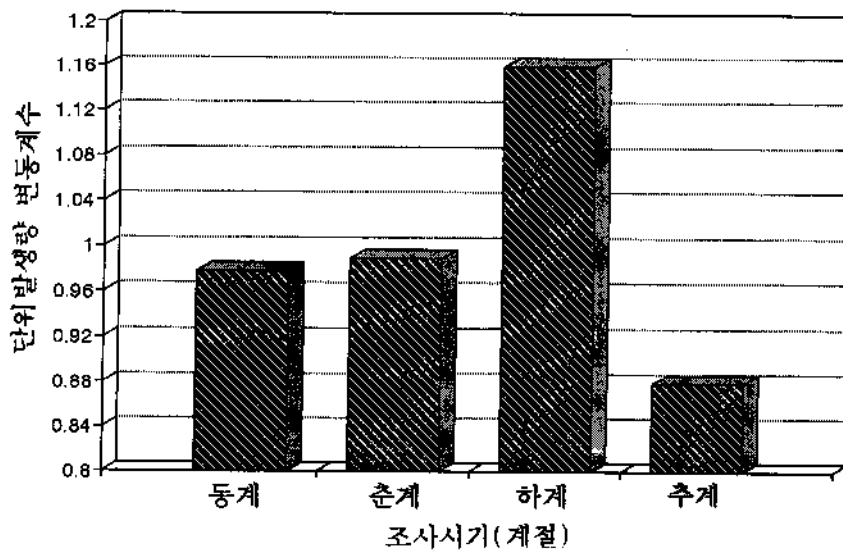
가. 가정

가정에서 배출되는 음식물쓰레기량은 〈표 2-3〉과 같이 추계 0.160 kg/인·일, 하계 0.211 kg/인·일로서 각각 최소와 최대 單位發生量을 보이고 있다. 동계와 춘계는 약 0.180 kg/인·일로서 대략 유사하였다. 하계의 單位發生量이 큰 이

유는 채소 및 과일성분이 많기 때문인 것을 現場調査時에 확인할 수 있었다. 이러한 결과에 따라 4계절의 平均 單位發生量은 동계 및 춘계와 유사한 0.182 kg/인·일로 나타났다. 單位發生量의 계절별 변동상황은 <그림 2-1>과 같다.

<표 2-3> 가정에서의 음식물쓰레기 排出量

區 分	冬季	春季	夏季	秋季	平 均
發生量(kg/주)	136	137	149	119	135
對象人員(인)	109	109	101	106	106
單位發生量(kg/인·일)	0.178	0.180	0.211	0.160	0.182



<그림 2-1> 가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 季節別 變動係數

나. 음식점

음식점에서 발생하는 음식물쓰레기량은 <표 2-4> 및 <표 2-5>에 나타난 바와 같다. 한식음식점에서 발생하는 음식물쓰레기의 單位發生量은 $0.220 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{일}$, 양식부페는 $0.704 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{일}$ 로서 調査地點의 선정시에 예상되었던 바와 같이 한식음식점 單位發生量의 3배를 초과하고 있다. 양식부페에서의 單位發生量이 이렇듯 높은 이유는 다양한 음식류를 취급하고 이를 준비하는 과정에 있다고 판단되며, 영업종료후 廢棄되는 부분도 상당량에 이를 것으로 추측된다.

<그림 2-2>는 양식부페의 單位發生量에 관한 계절별 變動係數로서 특이한 사항은 가정의 單位發生量 變動係數 경향과 반대양상을 띠는 점이다.

<표 2-4> 한식음식점에서의 음식물쓰레기 발생량

區 分	夏季	秋季	平 均
發生量(kg/주)	784	740	762
規 模 (m^2)	495	495	495
單位發生量($\text{kg/m}^2 \cdot \text{일}$)	0.226	0.214	0.220

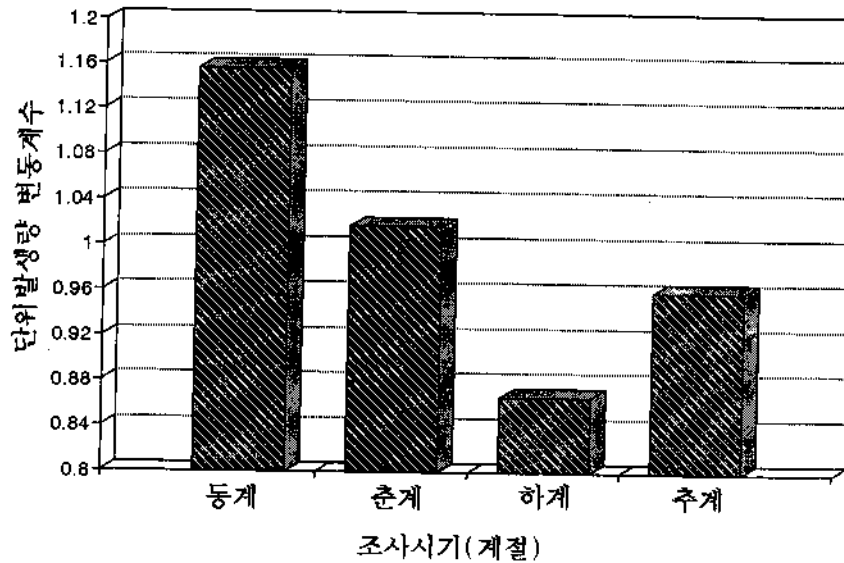
<표 2-5> 양식부페음식점에서의 음식물쓰레기 발생량

區 分	冬季	春季	夏季	秋季	平 均
發生量(kg/주)	1,197	1,052	897	994	1,035
規 模 (m^2)	210	210	210	210	210
單位發生量($\text{kg/m}^2 \cdot \text{일}$)	0.814	0.716	0.610	0.676	0.704

다. 대형유통센터

백화점으로부터 발생하는 음식물쓰레기의 양은 전체 매장면적 중 식료품을 취급하는 매장면적의 비율과 백화점에서 식료품의 직접 加工與否에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 본 研究에서는 2개의 백화점을 선택하여 발생량을 調査한 후 평균값을 單位發生量으로 선정하였다.

백화점 식품부나 매장이음식점에서 발생하는 음식물쓰레기량은 春季에서 秋季까지는 $0.022 \sim 0.026 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{일}$ 의 비교적 고른 單位發生量을 보였으나 冬季에는 타



〈그림 2-2〉 양식부패음식점의 음식물쓰레기 단위발생량 季節別 變動係數

계절과 비교하여 2배에 가까운 0.044 kg/m^2 ·일의 단위발생량을 보였다. 이러한 결과는 동계조사시에는 2개의 조사대상 백화점 중 비교적 단위발생량이 높은 1개 백화점만이 調査되었기 때문이다. 백화점매장에서는 <표 2-6>과 같이 0.029 kg/m^2 ·일의 음식물쓰레기가 발생하는 것으로 나타났다.

대형농산물시장에서 발생하는 음식물쓰레기는 채소·과일이 주류를 이루었으며 단위발생량이 대단히 높은 것으로 나타났다. <표 2-7>은 서울시에 소재하는 3개의 대형농산물시장중 1개소의 음식물쓰레기 발생량 현황이다. 1990~1992년의 월별 발생량 변화를變動係數로부터 검토해보면 7월~10월 사이에 평균발생량을 1.3배 이상 초과하는 많은 량이 발생하는 반면에 1월~2월에는 절반이하의 음식물쓰레기가 발생하여 계절적으로 큰 차이를 보였다. 1993년 이후 金浦首都圈埋立地로의 반입이 시작되면서 실측된 9개월간의 중량톤 자료와 1990~1992년의 월

별變動係數를 이용하여 이후 3개월의 발생량을 추정하여 算定한 결과, 대형농산물시장에서는 $3.209\text{kg}/\text{m}^2$ ·일의 음식물쓰레기가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 2-6> 백화점 매장의 음식물쓰레기 발생량

區 分	冬季	春季	夏季	秋季	平均
發生量(kg/주)	9,389	6,675	5,839	5,400	-
面積(m^2)	30,417	39,725	39,725	39,725	-
單位發生量(kg/m^2 ·일)	0.044	0.026	0.023	0.022	0.029

주) 면적은 2개지점의 평균면적으로서 지점1의 면적 $30,417\text{m}^2$, 지점2의 면적 $49,033\text{m}^2$

자료: 서울특별시 산업경제국, 1993

<표 2-7> 대형농산물시장의 음식물쓰레기 발생량

월	1990~1992		1993		1993년 음식물쓰레기 발생량 ²⁾ (중량톤)
	총쓰레기발생 량 (부피톤)	變動係數	총쓰레기발생량 (부피톤)	(중량톤)	
1	7,549	0.435	6,622	4,117	3,644
2	7,472	0.444	7,120	4,779	4,253
3	10,657	0.615	9,517	5,904	5,254
4	12,561	0.715	12,254	8,566	7,624
5	18,389	1.058	17,946	14,568	12,966
6	20,355	1.147	20,024	16,290	14,498
7	22,901	1.300	21,090	18,525	16,487
8	25,899	1.456	21,021	18,077	16,088
9	22,895	1.533	23,335	17,418	15,502
10	20,568	1.382	21,011	15,694 ¹⁾	13,968 ¹⁾
11	13,361	1.118	17,001	12,698 ¹⁾	11,302 ¹⁾
12	9,943	0.795	12,084	9,026 ¹⁾	8,033 ¹⁾
평 균	16,046	1.000	15,752	12,139	10,802
日發生量(톤/일)			355.176		
市場面積(m^2)			110,699		
單位發生量(kg/m^2 ·일)			3.209		

주) 1): 1990~1992년의變動係數를 이용한 계산치

2): 1992년의 총 쓰레기발생량 중 음식물쓰레기(배추/무/과일/야채)의 발생량비 89% 적용

자료: 서울특별시 농수산물 도매시장, 1993

라. 集團給食所

집단급식소가 설치되어 있는 곳은 백화점, 병원, 관공서, 일반기업체 등이다. 본 研究에서 실측한 백화점, 병원, 관공서내 집단급식소의 單位發生量 평균치는 백화점 0.101 kg/인·일, 병원 1.167 kg/bed·일, 관공서 0.056 kg/인·일로 나타났다. 백화점과 관공서내 집단급식소의 單位發生量이 0.051~0.180kg/인·일로 가정에 비해 비교적 적은 것은 음식물쓰레기를 줄이기 위해 여러가지 방법이 채택되어 시행되고 있기 때문인 것으로 생각된다. 병원의 경우는 급식인원보다는 병상수에 의한 單位發生量이 전체발생량을 算定하는데 유리하므로 병상수를 기준으로 발생량을 算定하였다. 병원에 설치되어 있는 집단급식소에서는 單位 병상당 3.209 kg/일의 음식물쓰레기가 발생하는 것으로 실측되었는데 환자 이외의 직원등을 고려하더라도 백화점과 관공서내 집단급식소에 비해 매우 많은 양이 발생되고 있다.

백화점, 병원, 관공서의 집단급식소에 발생하는 음식물쓰레기량은 <표 2-8>과 같다.

<표 2-8> 集團給食所에서의 음식물쓰레기 발생량

구 분		1차조사	2차조사	3차조사	4차조사	평 균
백 화 점	發生量(kg/주)	635	2,528	2,763	5,533	0.101 kg/인·일
	人 員(인)	1,000	4,400	4,400	4,400	
	單位發生量(kg/인·일)	0.053	0.082	0.089	0.180	
병 원	發生量(kg/주)	3,646	3,799	3,899	3,686	1.167 kg/bed·일
	病 床(bed)	460	460	460	460	
	單位發生量(kg/bed·일)	1.132	1.180	1.210	1.145	
관 공 서	發生量(kg/주)	-	293	250	280	0.056 kg/인·일
	人 員(인)	-	700	700	700	
	單位發生量(kg/인·일)	-	0.060	0.051	0.057	

주) 백화점의 경우, 2차 조사부터는 2개의 백화점에서 조사한 결과임

마. 각 發生源에서의 음식물쓰레기 發生量原單位

지금까지 기술한 음식물쓰레기의 單位發生量을 發生源별로 다시 정리하면 <표 2-9>과 같다.

본 研究에서는 特定廢棄物로 분류되어 있는 수산시장의 음식물쓰레기 및 재래식시장, 사무용빌딩 등 소량의 排出源은 조사대상에서 제외하였다.

<표 2-9> 음식물 쓰레기의 單位 發生量

구분	가정 (kg/인·일)	대형유통센터		집단급식소		음식점 (부패 식당) (kg/m ² · 일)
		백화점 (kg/m ² ·일)	농산물시장 (kg/m ² ·일)	일반 (kg/인·일)	병원 (kg/bed·일)	
발생 원단위	0.182	0.029	3.209	0.101	1.167	0.220 (0.704)

2.2 음식물쓰레기의 發生源 現況

2.2.1 가정

1991년 기준 서울시의 총인구는 10,904,527명이며 각 區別로는 <표 2-10>과 같이 성동구, 구로구, 도봉구의 순으로 많은 인구가 거주하고 있다.

2.2.2 음식점

1990년 현재 서울시에는 80,833개의 음식점이 영업중에 있으며, 이들의 총면적은 5,317,567m², 객석은 2,533,439개이다. <표 2-11>에는 區別 음식점 현황이 나타나 있다.

〈표 2-10〉 서울시의 區別 人口 現況

구		남	여	계
종로		119,127	17,679	236,806
중구		93,312	90,830	184,142
용산		147,914	146,427	294,341
성동	대문	401,375	387,639	789,014
중대	랑	242,828	236,948	479,776
성북		227,075	223,653	450,728
도봉		273,509	269,023	542,532
노원		373,908	370,972	744,880
은평		263,000	262,500	525,500
서대문		245,477	250,053	495,530
마포		196,281	196,305	392,586
양천		220,887	221,384	442,271
강서		255,927	252,074	508,001
구로		205,712	202,964	408,676
영등포	로	381,977	365,646	747,623
동작		233,772	228,587	462,359
관악		216,432	212,741	429,173
서초		298,078	290,560	588,638
강남		208,731	212,052	420,783
송파		258,052	259,166	517,218
강동		342,060	346,061	688,121
		279,919	275,910	555,829

자료: 서울특별시, 서울통계연보, 1992.

〈표 2-11〉 區別 飲食店 現況

구	사업체수 (개소)	객석수	사업장면적 (㎡)
종로구	4,955	192,122	401,867
중용산구	4,706	169,483	377,272
성동구	2,869	95,030	216,684
성동구	6,017	175,633	319,822
대문구	4,750	136,917	282,532
중랑구	2,826	79,056	141,500
성북구	3,715	107,658	188,387
도봉구	4,058	112,960	207,500
노은구	1,819	54,783	114,311
노은구	2,712	73,666	145,576
서대문구	3,006	99,089	185,648
마포구	3,082	94,707	182,460
양천구	2,110	56,464	113,087
강서구	2,334	59,972	141,781
강서구	4,624	133,055	248,862
영등포구	5,607	191,423	400,362
동작구	2,377	64,428	127,079
관악구	3,309	99,821	187,710
서초구	3,585	123,172	332,768
강남구	4,662	184,124	504,599
송파구	3,982	120,527	276,223
강동구	3,728	109,349	221,525
계	80,833	2,533,439	5,317,567

자료: 통계청, 총사업체 통계조사보고서, 1991.

2.2.3 대형유통센터

서울시내에서 영업중인 대형유통센터 중 대형백화점수는 총 28개이며, 區別 백화점 현황은 〈표 2-12〉와 같다.

〈표 2-13〉은 대형농산물시장의 현황을 보여주고 있다. 대형유통센터에서 수산물시장이나 屠畜廢棄物 發生源을 제외한 이유는 加工工程에서 발생하는 생선 찌꺼기의 경우 特定廢棄物로 분류되고 있고, 屠畜場에서 발생하는 屠畜廢棄物은 堆肥化 原料로서 부적당한 물질이 대부분이기 때문이다.

〈표 2-12〉 區別 대형백화점 현황

구		백화점수	대지면적(㎡)	건축연면적(㎡)	매장면적(㎡)
중용성동대문노서영서강송강	구	6	39,205	162,334	93,952
	산	1	2,954	22,638	8,791
	동	1	3,318	11,177	4,198
	대문	2	6,269	19,614	13,287
	북	1	4,916	19,840	10,400
	원	3	24,978	152,814	54,767
	대문	1	6,036	53,948	26,731
	포	2	21,288	60,952	37,292
	초	3	25,823	119,530	36,588
	남	5	39,053	193,630	104,485
송	파	1	128,246	221,750	99,265
	동	2	8,832	42,531	19,771
계		28	310,918	1,080,758	509,527

자료: 서울특별시 산업경제국, 1993.

〈표 2-13〉 농산물시장 현황

명 칭	부지면적(㎡)	건축연면적(㎡)	비 고
노량진 시장	5,069	3,644	청과부
용두동 시장	16,500	7,346	"
가락동 시장	547,265	110,699	"

자료: 1) 가락동 농수산물센터, '91월간 쓰레기운반 실적서, 1992.

2) 서울특별시 농수산물도매시장, 1992.

2.2.4 集團給食所

1993년 현재 서울시에는 〈표 2-14〉와 같이 857개의 집단급식소가 있다. 규모 별로 볼 때 500인 이상이 553개소로서 가장 많고, 1,500인 이상 규모의 집단급식소도 20개소가 있는 것으로 나타났다.

병원현황은 〈표 2-15〉와 같이 66개의 종합병원과 84개의 일반병원이 있다. 區別 병상수에서는 종로구가 가장 많아 3,308개이며 영등포구, 동대문구의 순서로 많다.

〈표 2-14〉 서울시의 集團給食所 現況

구	500인 이하	500~1000인	1000~1500인	1500인 이상	계
강남	36	13	-	2	51
강동	22	2	3	-	27
강서	32	2	-	-	34
관악	10	7	-	1	18
구로	164	15	-	-	179
노원	16	2	-	1	19
도봉	33	4	-	-	37
대문	17	6	-	-	23
동작	23	-	4	-	27
마포	14	4	-	-	18
서대문	15	-	8	1	24
서초	27	11	5	2	45
성동	47	7	9	2	65
성북	24	2	3	-	29
송파	23	3	1	2	29
양천	12	1	-	-	13
영등포	56	21	-	-	77
용산	15	9	-	-	24
은평	12	1	-	2	15
종로	19	11	1	2	30
중구	35	12	7	4	58
중랑	11	-	-	1	12
계	663	133	41	20	857

자료: 서울특별시 보건사회국, 1993.

〈표 2-15〉 서울시 병원현황

구 명	종합병원		병 원		계	
	개 소	병 상 수	개 소	병 상 수	개 소	병 상 수
종 로	5	3,128	3	180	8	3,308
중 구	6	2,076	2	56	8	2,132
용 산	4	1,298	3	88	7	1,386
성 동	7	2,049	5	220	12	2,269
동대문	6	2,186	3	109	9	2,295
증 랑	1	450	4	168	5	468
성 북	1	1,050	7	293	8	1,343
도 봉	3	861	2	40	5	901
노 원	2	950	-	-	2	950
은 평	2	319	3	206	5	525
서대문	2	1,570	5	270	7	1,840
마 포	-	-	4	197	4	197
양 천	1	85	5	290	6	375
강 서	-	-	6	280	6	280
구 로	3	815	5	243	8	1,058
영등포	8	2,554	6	346	14	2,900
동 작	1	300	2	105	3	405
관 악	-	-	7	359	7	359
서 초	1	769	2	310	3	1,079
강 남	3	1,079	7	321	10	1,400
송 파	4	1,676	1	21	5	1,697
강 동	6	1,592	2	121	8	1,713
계	66	24,807	84	4,223	150	29,030

자료: 서울특별시, 제32회 서울통계연보, 1992.

2.3 發生量 算定

2.3.1 가정

일반가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 발생량을 <표 2-9>의 單位發生量 0.182 kg/인·일과 <표 2-10>의 區別 인구현황을 이용하여 算定하면 <표 2-16>과 같다. 서울시의 가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 양은 1991년의 인구를 기준으로 하여 1일 1,985톤이 발생하는 것으로 추정되었다. 區別로는 성동구 143.6 톤/일, 구로구 136.0 톤/일, 도봉구 135.5 톤/일의 순서로 다량의 음식물쓰레기가 발생하고 있는 것으로 계산되었다.

<표 2-16> 가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 區別 發生量

구	인구(인)	발생량(톤/일)
중로	236,806	44.1
중구	184,142	33.5
용산	294,341	53.5
성동	789,014	143.6
대문	479,776	87.3
중랑	450,728	82.0
성북	542,532	98.8
도봉	744,880	135.5
노원	525,500	95.6
은평	495,530	90.2
서대문	392,586	71.5
마포	442,271	80.5
양천	508,001	92.5
강서	408,676	74.3
구로	747,628	136.0
영등포	462,359	84.1
동작	429,173	78.1
관악	588,638	107.1
서초	420,783	76.5
강남	517,218	94.2
송파	688,121	125.2
강동	555,829	101.2
계	10,904,527	1,985.3

2.3.2 음식점

음식점에서 발생하는 음식물쓰레기량은 <표 2-17>에 나타난 바와 같이 일 1,169.7톤으로 算定되었다. 區別로는 강남구가 110.9톤/일로서 他區와 비교하여 월등히 많은 량이 발생하는 반면 양천구의 경우는 강남구의 25% 정도의 가장 적은 량이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 2-17> 음식점에서의 區別 음식물쓰레기 發生量

구	연 면 적 (㎡)	발 생 량 (톤/일)
종로구	401,867	88.4
중구	377,272	83.0
용산구	216,684	47.7
성동구	319,822	70.3
동대문구	282,532	62.2
중랑구	141,500	31.1
성북구	188,387	41.4
도봉구	207,500	45.6
노원구	114,311	25.1
은평구	145,576	32.0
서대문구	185,648	40.9
마포구	182,460	40.2
양천구	113,087	24.9
강서구	141,781	31.2
구로구	248,862	54.7
영등포구	400,362	88.1
동작구	127,079	28.0
관악구	187,710	41.3
서초구	332,768	73.2
강남구	504,599	110.9
송파구	276,223	60.7
강동구	221,525	48.8
계	5,317,567	1,169.7

2.3.3 대형유통센터

서울시에 소재하고 있는 백화점에서의 음식물쓰레기 발생량은 1일 31.4톤, 연간 11,461톤이 발생하는 것으로 추정되며 推定結果는 <표 2-18>과 같다.

대형유통센터중 대형농산물시장에서 발생하는 음식물쓰레기량은 <표 2-19>과 같이 1일 390.5톤으로 나타났다.

<표 2-18> 백화점의 음식물쓰레기 發生量

구	건축연면적 (㎡)	발생량 (톤/일)
중 구	162,334	4.7
용 산 구	22,638	0.7
성 동 구	11,177	0.3
동대문구	19,614	0.6
성 북 구	19,840	0.6
노 원 구	152,814	4.4
서대문구	53,948	1.6
영등포구	60,952	1.8
서 초 구	119,530	3.5
강 남 구	193,630	5.6
송 파 구	221,750	6.4
강 동 구	42,531	1.2
계	1,080,758	31.4

〈표 2-19〉 大形流通業所別 음식물쓰레기 발생량

업 소	매 장 면 적 (㎡)	발 생 량 (톤/일)	비 고
노량진 시장	3,644	11.7	동 작 구 동대문구 송 파 구
용두동 시장	7,346	23.6	
가락동 시장	110,699	355.2	
계	121,689	390.5	-

2.3.4 집단급식

집단급식소는 일반급식소와 병원집단급식소로 구분하여 발생량을 算定하였다. 전술한 바와 같이 일반집단급식소의 경우는 1일 1회 정도의 頻度로 정규급식인원이 식사를 하는 경우가 많지만 병원의 집단급식소는 환자와 그에 소속된 인원이 상주하며 식사를 하는 경우가 많아 음식물쓰레기의 발생량이 相異하게 다르기 때문이다.

이러한 분류기준에 따라 각 區別로 일반급식소와 병원집단급식소에 발생하는 음식물쓰레기를 算定한 결과는 〈표 2-20〉 및 〈표 2-21〉과 같다. 일반집단급식소에서는 1일 43.8 톤, 병원집단급식소에서는 1일 33.8톤이 발생하는 것으로 추정되었다.

〈표 2-20〉 一般集團給食所에서의 음식물쓰레기 발생량

구 별	급식인구(인)	발 생 량 (톤/일)
종 로 구	18,250	1.9
중 구	26,625	2.7
용 산 구	10,500	1.1
성 동 구	32,250	3.2
동대문구	8,750	0.9
중 랑 구	4,750	0.5
성 북 구	11,250	1.2
도 봉 구	11,250	1.2
노 원 구	7,500	0.8
은 평 구	7,750	0.8
서대문구	15,750	1.6
마 포 구	6,500	0.7
양 천 구	3,750	0.4
강 서 구	9,500	1.0
구 로 구	52,250	5.3
영등포구	29,750	3.0
동 작 구	10,750	1.1
관 악 구	9,750	0.9
서 초 구	25,250	2.6
강 남 구	103,750	10.5
송 파 구	13,250	1.3
강 동 구	10,750	1.1
계	356,750	43.8

〈표 2-21〉 병원 집단급식소의 음식물쓰레기 발생량

구	병상수(개)	발생량 (톤/일)
종로구	3,308	3.9
중구	2,132	2.5
용산구	1,366	1.6
성동구	2,269	2.7
동대문구	2,295	2.7
중랑구	468	0.5
성북구	1,343	1.6
도봉구	901	1.1
노원구	950	1.1
은평구	525	0.6
서대문구	1,840	2.2
마포구	197	0.2
양천구	375	0.4
강서구	280	0.3
구로구	1,058	1.2
영등포구	2,900	3.4
동작구	405	0.5
관악구	359	0.4
서초구	1,079	1.3
강남구	1,400	1.6
송파구	1,697	2.0
강동구	1,713	2.0
계	29,030	33.8

2.3.5 發生源에 따른 음식물쓰레기량의 區別 推定値

지금까지 추정된 발생원별 음식물쓰레기 발생량을 각 區單位로 취합·정리하면 <표 2-22>과 같다. 송파구에서 가장 많은 550.8톤/일의 음식물쓰레기가 발생하며, 강남구, 성동구의 순서로 많이 발생되고 있다. 송파구의 높은 발생량은 가락동 농산물시장의 영향이 절대적이며, 강남구는 음식점 그리고 성동구는 주거지역의 발생량 비율이 높다. 이러한 區別資料를 합산한 결과 서울시에서는 1일 3,654.4톤의 음식물쓰레기가 발생하며, 발생원별로는 가정에서의 발생량이 전체 발생량의 54.3%, 음식점 32.0%로서 장래 음식물쓰레기를 별도로 처리한다고 가정할 경우 상기 2개의 발생원에 대한 적절한 대응이 중요한 위치를 차지할 것으로 판단된다. 또 농산물시장은 單位發生源중 큰 比重을 차지하고 있으므로 이들에 대한 對處도 전체 쓰레기처리측면에서 중요한 사항으로 대두될 것이다.

본 研究에서 추정한 음식물쓰레기량을 1일 金浦首都圈埋立地 전체 쓰레기 搬入量 12,470톤과 비교하면 약 30% 정도이다. 본 研究에서는 업무용 사무실이나 재래식 시장, 도·소매업에서 발생하는 음식물쓰레기량은 고려되어 있지 않기 때문에 실제 음식물쓰레기 발생량 및 전체쓰레기에 대한 비율은 다소 높아질 것으로 생각된다.

〈표 2-22〉 각 區別 음식물쓰레기 발생량

(單位:톤/일)

구	가정	음식점	대형유통센터 (농산물시장)	집단급식소	병원	계
종로구	44.1	88.4	-	1.9	3.9	138.3
중구	33.5	83.0	4.7	2.7	2.5	126.4
용산구	53.5	47.7	0.7	1.1	1.6	104.6
성동구	143.6	70.3	0.3	3.2	2.7	220.1
동대문구	87.3	62.2	24.2 (23.6)	0.9	2.7	177.3
중랑구	82.0	31.1	-	0.5	0.5	114.1
성북구	98.8	41.4	0.6	1.2	1.6	143.6
도봉구	135.5	45.6	-	1.2	1.1	183.4
노원구	95.6	25.1	4.4	0.8	1.1	127.0
은평구	90.2	32.0	-	0.8	0.6	123.6
서대문구	71.5	40.9	1.6	1.6	2.2	117.8
마포구	80.5	40.2	-	0.7	0.2	121.6
양천구	92.4	24.9	-	0.4	0.4	118.1
강서구	74.3	31.2	-	1.0	0.3	106.8
구로구	136.0	54.7	-	5.3	1.2	197.2
영등포구	84.1	88.1	1.8	3.0	3.4	180.4
동작구	78.1	28.0	(11.7)	1.1	0.5	119.4
관악구	107.1	41.3	-	0.9	0.4	149.7
서초구	76.5	73.2	3.5	2.6	1.3	157.1
강남구	94.2	110.9	5.6	10.5	1.6	222.8
송파구	125.2	60.7	361.6 (355.2)	1.3	2.0	550.8
강동구	101.2	48.8	1.2	1.1	2.0	154.3
계	1,985.2	1,169.7	421.9 (390.5) [11.5]	43.8 [1.2]	33.8 [1.0]	3,654.4 [100]
[%]	[54.3]	[32.0]				

주) 업무용사무실, 재래식 시장, 소형도소매업에서 발생할 수 있는 음식물쓰레기량은 제외되어 있음.

제 3 장 음식물쓰레기의 性狀

3.1 調査 및 分析方法

3.2 음식물쓰레기의 性狀

제 3 장 음식물쓰레기의 性狀

3.1 調査 및 分析方法

3.1.1 試料의 採取

음식물쓰레기의 性狀分析用 試料는 發生量 調査와 동일한 기간에 동일장소에서 채취하였다. 즉, 발생량 調査期間인 3일중 1일을 任意로 선택하여 채취하였고, 정확한 특성파악을 위해 백화점과 같이 殘飯, 과일, 채소, 생선 등을 쉽게 구분할 수 있는 發生源에서는 각각의 試料를 조성별로 채취·분석한 후 重量比를 이용하여 發生源別 代表特性을 산출하였다.

3.1.2 試料의 保管 및 前處理

음식물쓰레기는 腐敗되기 쉽고, 腐敗될 경우 쓰레기로 배출될 때의 질적특성이 변화하게 되므로 가능한 한 試料가 채취된 즉시 乾燥시켰다. 乾燥된 쓰레기는 각종 性狀分析에 적합하도록 가정용 전기 Mixer와 Hammer Mill을 이용하여 작은 粒子狀으로 破碎한 후 보관용 용기에 보관되었고, 실험일정에 따라 일정량씩 분취하여 사용되었다. 보관은 4℃ 항온실에서 보관기간이 3일이상 초과되지 않도록 하였다.

3.1.3 分析項目 및 分析方法

분석항목은 三成分含量(水分, 可燃分, 灰分), 化學적조성(C, H, N, O, S, Cl), 발열량, 有機物, 窒素含量등 이었다.

三成分含量중 水分含量은 80 ~ 85℃의 온도에서 충분히 乾燥될 수 있도록 2일이상 乾燥시켜 측정하였으며 可燃分含量은 850℃의 온도에서 1시간동안 燃燒시켜 측정하였다. 또한 化學적조성은 元素分析器, 발열량은 Bomb Calorimeter에 의해 각각 측정하였다. TOC와 TKN은 토양의 化學分析法에 준하여 분석하였다.

〈표 3-1〉은 分析項目에 따른 分析器機 및 分析方法을 보여주고 있다.

〈표 3-1〉 음식물쓰레기 分析項目에 따른 分析器機와 分析方法

分析項目	分析器機 및 分析方法
三成分	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 水分含量: 80~85℃, 2~3일, 대형오븐(Mechanical Circulation Oven, YuYu, Korea) ◦ 可燃分含量: 850℃, 1시간, 전기로(Electric Muffle Furnace, Seo Bo, Korea)
化學的組成	<ul style="list-style-type: none"> ◦ C, H, N: 원소분석기(CHNCORDER MT-5, Yanaco, Japan) ◦ S: 황분석기(AQS-7 WD, TANAKA Scientific Instrument Co., Japan) ◦ Cl: ASTM D4280-88 ◦ O: 100-[C + H + N + S + Cl]
發熱量	◦ Bomb Calorimeter (Parr, Model 1261EA, U.S.A)
TOC, TKN	◦ 土壤化學分析法

分析項目중 발열량의 경우는 乾燥狀態에서 측정되어지므로 습량기준 高位發熱量 및 低位發熱量은 다음의 식(1), 식(2)로 산출하였다.

$$H_h = H_{h_0} \cdot (1 - W/100) \quad \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$H_l = H_h - 6 \cdot [9 \cdot H \cdot (1 - W/100) + W] \quad \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

여기에서 H_h : 기기에서 측정된 發熱量(Kcal/kg)

H_{h_0} : 습량기준 高位發熱量(Kcal/kg)

H : 건량기준 水素含量(%)

W : 水分含量(%)

3.2 음식물쓰레기의 性狀

3.2.1 發生源別·季節別 음식물쓰레기의 性狀

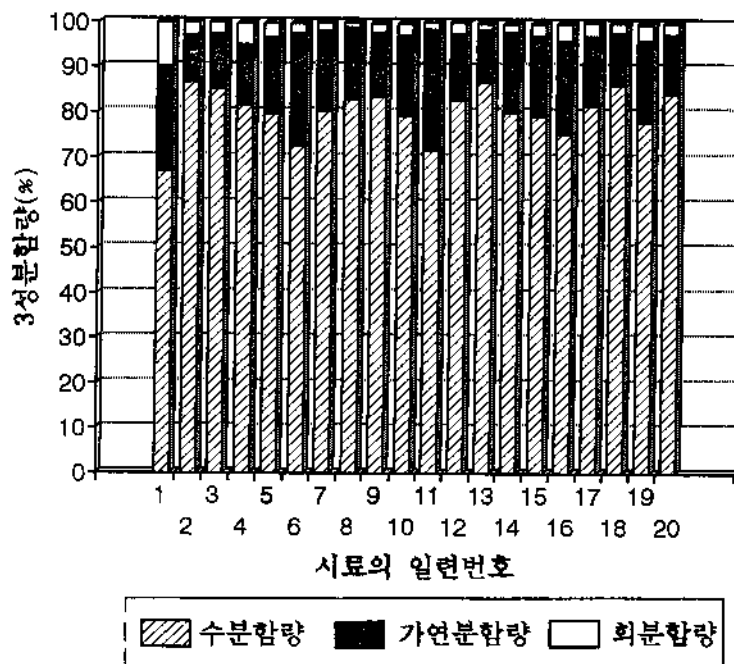
가. 三成分含量

음식물쓰레기의 水分含量은 예상한 바와 같이 본 研究에서 실측한 각 지점

및 계절별 결과에서 매우 높게 나타났다. <표 3-2> ~ <표 3-5>에 나타난 바와같이 농산물시장을 제외한 전 調査時期 및 發生源에서 모든 음식물쓰레기는 66.9 ~ 86.8%, 평균 80.1%의 높은 水分含量을 보였고, 發生源에 따른 음식물쓰레기의 水分含量은 음식점에서 발생하는 음식물쓰레기가 66.9 ~ 75.0%로 가장 낮은 함량을 보였다. 반면에 농산물시장에서 발생하는 음식물쓰레기는 주로 야채와 과일 등이기 때문에 87.4%의 높은 水分含量을 보였다.

음식물쓰레기의 可燃分含量은 농산물시장을 제외한 發生源에서 10.3 ~ 26.9%의 값을 보여주고 있으며 평균은 16.9%였다. 灰分含量은 1.2 ~ 9.8%의 범위로 평균 3.0%로 나타났다. 농산물시장의 경우는 可燃分含量이 7.9%로 낮은 반면에 灰分含量은 4.7%로 비교적 높은 값을 보여주고 있다.

<그림 3-1>은 <표 3-2> ~ <표 3-5>에 나타난 음식물쓰레기의 三成分含量 분포를 보여주고 있다.

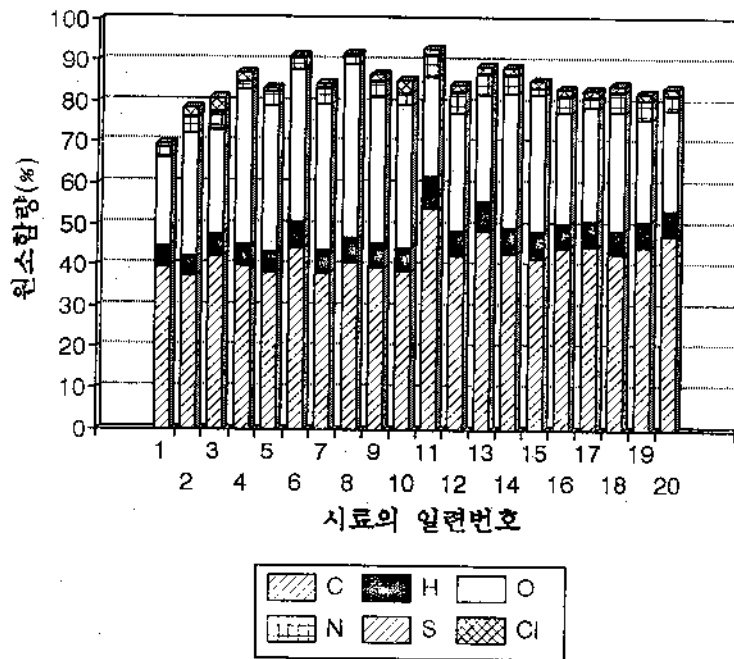


<그림 3-1> 음식물쓰레기의 三成分 分布

나. 元素組成

농산물시장을 제외한 음식물쓰레기는 乾燥重量比로 37.5 ~ 54.0%의 炭素(C), 4.9 ~ 8.1%의 水素(H), 21.9 ~ 42.6%의 酸素(O), 1.6 ~ 5.4%의 窒素(N), 0.2 ~ 0.6%의 黃(S) 및 0.7 ~ 3.3%의 鹽素(Cl)로 구성되어 있다. 평균값으로 보면 炭素 42.8%, 水素 6.1%, 酸素 30.9%, 窒素 3.7%, 黃 0.3% 및 鹽素 1.7%로 나타났다. 우리나라 도시쓰레기의 元素含量이 炭素 31.8%, 水素 4.5%, 酸素 30.9% 및 窒素 1.4%정도인 것과 비교할 때 炭素, 水素 및 窒素含量은 높은 반면에 酸素含量은 같다. 특히 음식물쓰레기에 평균 1.7%의 鹽素가 함유되어 있다는 점은 우리나라 음식문화의 특성을 잘 반영하고 있는 결과라고 판단된다. 또한 계절과 발생원에 따라 음식물쓰레기의 元素組成에는 차이가 거의 없었다.

〈그림 3-2〉는 음식물쓰레기의 元素組成分佈(乾량기준)이다.



〈그림 3-2〉 음식물쓰레기의 元素組成分佈(乾量基準)

〈표 3-2〉 음식물쓰레기의 性狀(冬季)

분 류		음식점	농산물시장	백화점	집단급식소		주거지역
					병 원	기 타	
발열량 (kcal/kg)	고 위	1385	430	563	742	802	855
	저 위	892	-116	5	185	259	322
3성분 (%)	수 분	66.9	87.4	86.7	85.4	81.4	79.6
	가연분	23.3	7.9	10.3	11.9	13.8	17.1
	회 분	9.8	4.7	3.0	2.7	4.8	3.3
TKN(%)		3.1	1.6	2.6	3.2	3.0	3.3
TOC(%)		35.2	14.3	35.6	40.1	37.3	37.7
원소 (%)	C	39.9	25.9	37.5	42.3	40.1	38.6
	H	5.1	3.2	4.9	5.6	5.4	5.0
	O	21.9	28.9	30.1	25.4	38.1	35.8
	N	2.4	2.1	4.1	4.5	2.0	3.3
	S	0.2	0.6	0.3	0.4	0.2	0.2
	Cl	1.0	2.1	2.0	3.3	2.2	1.0

〈표 3-3〉 음식물쓰레기의 性狀(春季)

분 류		음식점	백화점	집단급식소		주거지역
				병 원	기 타	
발열량 (Kcal/kg)	고 위	1,338	699	727	727	870
	저 위	808	193	173	226	328
3성분	수 분	72.7	80.2	82.8	83.3	79.1
	가연분	25.0	17.9	16.0	14.5	18.0
	회 분	2.3	1.9	1.2	2.2	2.9
TKN(%)		3.3	5.1	2.0	5.1	4.2
TOC(%)		42.5	40.0	40.9	43.1	43.5
원 소 (%)	C	44.5	38.4	40.8	39.6	38.9
	H	6.6	5.9	6.3	6.2	5.9
	O	37.2	35.9	42.6	35.8	35.0
	N	2.9	3.9	2.1	3.9	3.1
	S	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2
	cl	0.7	1.0	0.9	1.5	3.0

〈표 3-4〉 음식물쓰레기의 性狀(夏季)

분 류		음식점	백화점	집단급식소		주거지역
				병 원	기 타	
발열량 (Kcal/kg)	고 위	1,463	823	686	927	892
	저 위	1,035	327	165	447	417
3성분	수 분	71.4	82.6	86.8	80.0	79.1
	가연분	26.9	14.8	11.8	17.8	18.0
	회 분	1.7	2.6	1.4	2.2	2.9
TKN(%)		4.6	5.2	6.0	4.1	3.0
TOC(%)		40.1	40.0	43.8	36.2	35.9
원 소 (%)	C	54.0	42.4	48.7	43.2	42.1
	H	8.1	6.2	7.4	6.5	6.8
	O	25.5	30.0	27.2	33.3	34.5
	N	5.4	5.4	5.0	4.5	1.6

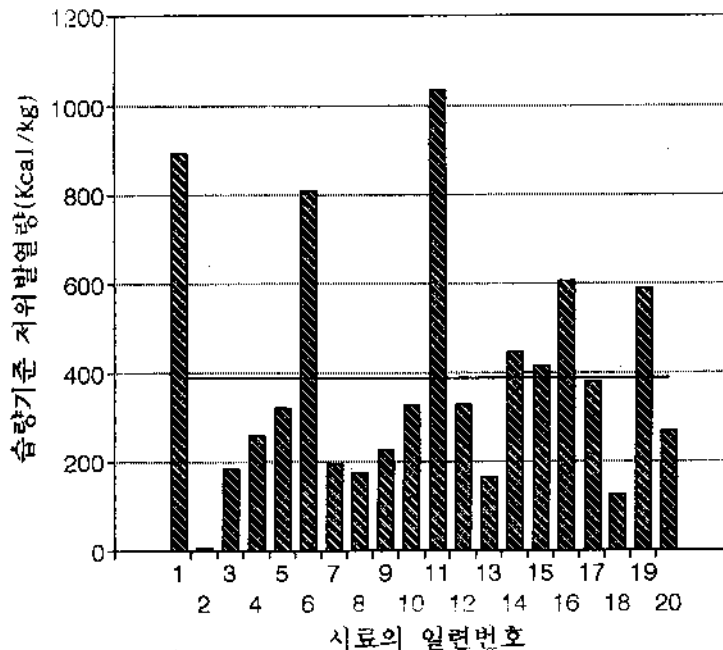
〈표 3-5〉 음식물쓰레기의 性狀(秋季)

분 류		음식점	백화점	집단급식소		주거지역
				병 원	기 타	
발열량 (Kcal/kg)	고 위	1,056	870	641	1,060	773
	저 위	606	381	125	592	269
3성분	수 분	75.0	81.5	86.0	78.0	84.0
	가연분	21.0	15.5	11.9	18.3	13.5
	회 분	4.0	3.0	2.1	3.7	2.5
TKN(%)		3.2	2.6	2.8	3.4	2.6
TOC(%)		42.8	48.8	43.2	46.7	48.8
원 소 (%)	C	44.6	45.0	43.1	44.9	47.7
	H	6.1	6.2	6.0	6.4	6.3
	O	28.1	28.8	30.1	25.9	25.7
	N	4.1	2.7	4.7	4.9	3.6

다. 發熱量

乾燥狀態 음식물쓰레기의 원소조성이 계절 및 발생원에 따라 큰 차이 없이 유사한 분포를 보였다는 것은 乾燥狀態에서의 발열량도 유사하다는 것을 의미한다. 그러나 음식물쓰레기가 발생된 상태, 즉 함유된 水分을 고려(습량기준 高位發熱量)하면 음식물쓰레기의 발열량은 563 ~ 1,463 Kcal/kg으로 水分含量에 따라 크게 변화하며, 평균 895 Kcal/kg의 發熱量으로 나타났다. 또 물질의 燃燒시 水分의 氣化에 소모되는 潛在熱量까지 고려(습량기준 低位發熱量)하게 되면 음식물 쓰레기의 발열량은 5~1,035 Kcal/kg, 평균 388 Kcal/kg의 극히 낮은 발열량을 나타내었다.

〈그림 3-3〉은 습량기준 低位發熱量 分布와 平均 發熱量을 보여주고 있다.



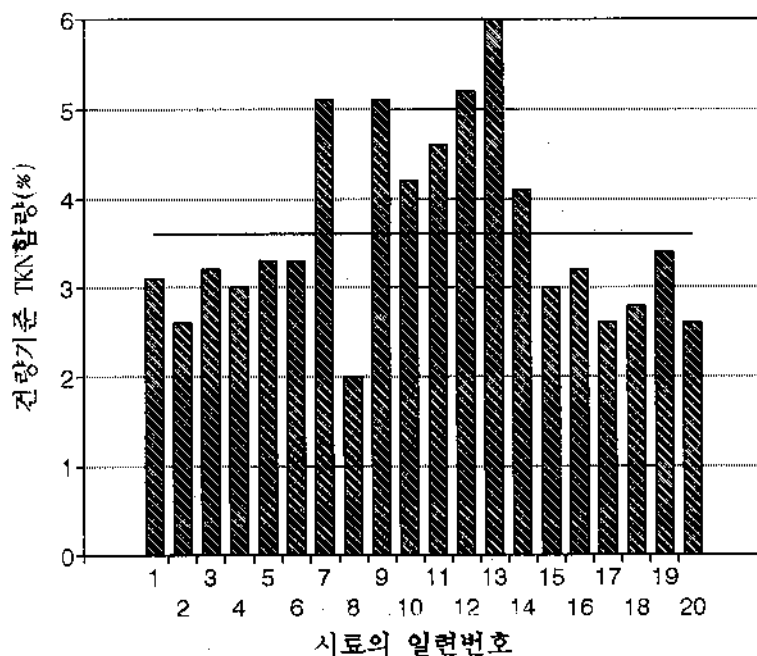
〈그림 3-3〉 濕量基準 低位發熱量 分布와 平均發熱量

라. TKN 및 TOC함량

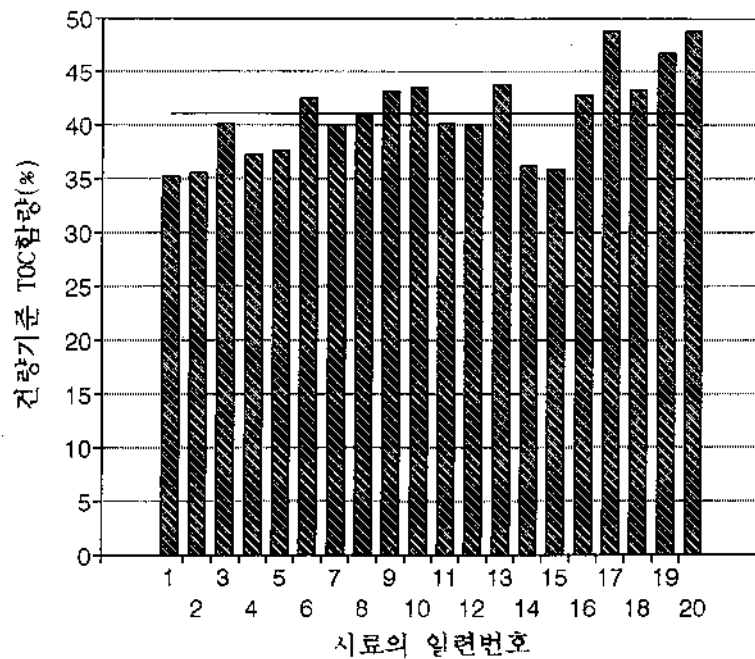
TKN에 의해 측정된 음식물쓰레기의 窒素含量은 2.0 ~ 6.0% 범위였으며, 평균 3.6%였다. 원소조성중 窒素含量이 평균 3.7%로 TKN에 의해 측정한 窒素含量과 거의 동일한 결과를 보이는 것으로 보아 음식물쓰레기에 함유되어 있는 窒素의 형태는 거의 대부분 有機窒素라는 것을 알 수 있다.

TOC에 의해 측정된 有機炭素의 함량은 35.2 ~ 48.8%, 평균 41.1%로 원소조성중 炭素의 평균함량 42.8%와 거의 일치하고 있다.

<그림 3-4> 및 <그림 3-5>는 窒素와 炭素含量의 分布 및 平均含量을 보여주고 있다.



<그림 3.4> 窒素의 含量 分布와 平均 窒素含量



〈그림 3-5〉 炭素의 含量분포와 평균 炭素含量

3.2.2 음식물쓰레기의 種類別 性狀

음식물쓰레기는 배출시기에 따라 음식물의 원료로서 판매하기 위해 가공하는 단계, 음식물을 조리하기 위해 준비하는 단계 및 조리된 음식물중 먹고 남아 廢棄되는 단계로 구분할 수 있다. 이들중에서 먹고 남아 폐기되는 것을 殘飯이라 하며 통상 殘飯은 여러가지의 음식물이 혼합되어 배출된다. 반면에 음식물의 원료로서 판매하기 위해 가공하는 단계에서는 각 음식물의 종류별, 즉 채소, 생선, 과일 등과 같이 구분되어 배출된다. 따라서 본 절에서는 음식물쓰레기의 종류별 특성을 알아보코자 한다.

가. 三成分含量

채소, 과일, 생선, 殘飯쓰레기중 水分含量이 가장 높은 것은 水分 94.5%의 채소였고, 생선이 70.6%로 가장 낮은 含量을 보였다. 水分을 제거한 乾燥狀態에서의 灰分含量은 채소 22%, 과일 18%, 생선 39%, 殘飯 13%로 생선이 가장 높게 나타났다. 이는 生物學的 分解 또는 燃燒에 의해 음식물쓰레기를 처리할 경우 생선에서 가장 많은 殘留物이 발생됨을 의미한다.

三成分을 포함하여 음식물쓰레기의 종류별 性狀은 <표 3-6>에 나타나 있다.

나. 元素組成

음식물쓰레기의 종류와 무관하게 가장 含量이 높은 원소는 炭素로서 35.9 ~ 42.3% 범위를 보였으며, 그중 殘飯과 과일이 각각 42.3%와 41.8%로 약간 높은 含量을 보였다. 炭素다음의 높은 含量은 酸素成分으로 채소, 과일, 殘飯이 각각 34.9, 27.1, 30.7%의 유사한 含量을 보였다. 그러나 생선의 酸素含量은 채소의 酸素含量에 비해 약 0.3배에 해당하는 12.0%에 불과하였다. 窒素含量에서는 생선이 가장 높은 6.2%였고, 5.8%인 殘飯이 생선 다음의 含量을 보였으며, 채소와 과일은 3% 이하의 낮은 含量을 보였다. 黃成分은 전반적으로 낮아 0.5% 이하였다. 殘飯은 배출되기 이전에 조리·요리과정을 거치므로 鹽素의 含量이 2.8%로 매우 높았으며, 채소, 생선, 과일은 0.7% 이하의 낮은 含量을 보였다.

다. 發熱量

각각의 원소 1kg이 완전연소될 경우 이론적으로 발생하는 熱量은 炭素 8,100 Kcal, 水素 28,600 Kcal, 黃 2,500 Kcal로 알려져 있다. 따라서 음식물쓰레기의 종류별 건량기준 발열량은 원소의 함량에 따라 기본적으로 결정되어지며, 각각의 水分含量에 의해 습량기준 발열량으로 환산할 경우 감소되는 정도가 달라진다. 결국 음식물쓰레기의 종류별로 元素組成에 큰 차이가 없다면 發熱量을 결정하는 중요한 요소는 水分含量이 된다.

<표 3-6>에 나타나 있듯이 殘飯은 炭素, 黃, 水素의 含量이 4가지 종류의 음식물쓰레기중 가장 높다. 따라서 發熱量도 높을 수밖에 없으나 높은 水分含量에 의해 오히려 생선의 低位發熱量 542 Kcal/kg 보다 낮은 439 Kcal/kg이 되었다. 水分含量이 88%이상인 채소와 과일의 경우는 각각 -369 Kcal/kg, -68 Kcal/kg이

라는 음의 低位發熱量을 나타내었다.

〈표 3-6〉 음식물쓰레기의 種類別 性狀(大形流通센터)

분 류		채소	과일	생선	잔반
발열량 (Kcal/kg)	고위	199	469	1,042	985
	저위	-369	-68	542	439
3성분	수 분	94.5	88.8	70.6	81.7
	가연분	4.3	10.0	17.9	16.0
	회 분	1.2	+ 2.2	11.5	2.3
TKN(%)		2.4	0.6	5.2	2.3
TOC(%)		31.4	37.2	24.0	45.7
원 소 (%)	C	35.9	41.8	36.2	42.3
	H	4.3	5.2	4.8	5.6
	O	34.9	27.1	12.0	30.7
	N	2.7	1.3	6.2	5.8
	S	0.2	0.1	0.4	0.5
	Cl	0.1	0.7	0.7	2.8

제 4 장 음식물쓰레기 處理方法의 比較

4.1 埋立

4.2 燒却

4.3 堆肥化

4.4 嫌氣性消化에 의한 Methane 가스의 회수

4.5 각 처리방법의 比較

4.6 도시쓰레기 처리방법에 따른 埋立量 檢討

제 4 장 음식물쓰레기 處理方法의 比較

쓰레기의 處理系統은 收去, 運搬, 處理 및 最終處分으로 이루어진다. 쓰레기의 最終處分 方法으로는 埋立과 海洋投棄法이 있는데 근래들어 海洋投棄에 의한 處分은 대부분 禁止되어 있다. 埋立地의 所要體積을 감소시키기 위한 處理方法으로는 燒却, 粉碎 및 壓縮方法이 있다. 그러나 최근에는 埋立地의 面積이 절대적으로 부족할 뿐 아니라 쓰레기 자체를 有效資源으로 인식하여 資源 및 에너지回收을 위한 쓰레기 處理方法이 적극적으로 講究되고 있다.

쓰레기로부터 有用資源의 回收은 分離收去에 의해 有用物質을 再使用하거나 혼합쓰레기 중에서 選別工程을 통해 材料를 回收하는 것이 대표적인 方法이다.

쓰레기로부터 에너지를 回收하는 方法으로는 燒却에 의한 熱回收, RDF生産, 熱分解, 埋立地로부터 Methane 가스回收 및 嫌氣性消化에 의한 Methane 가스의 回收등이 있다. 또한 에너지回收 方法은 아니지만 쓰레기로부터 堆肥를 생산하여 土地改良劑로 利用하는 方法도 사용되고 있다.

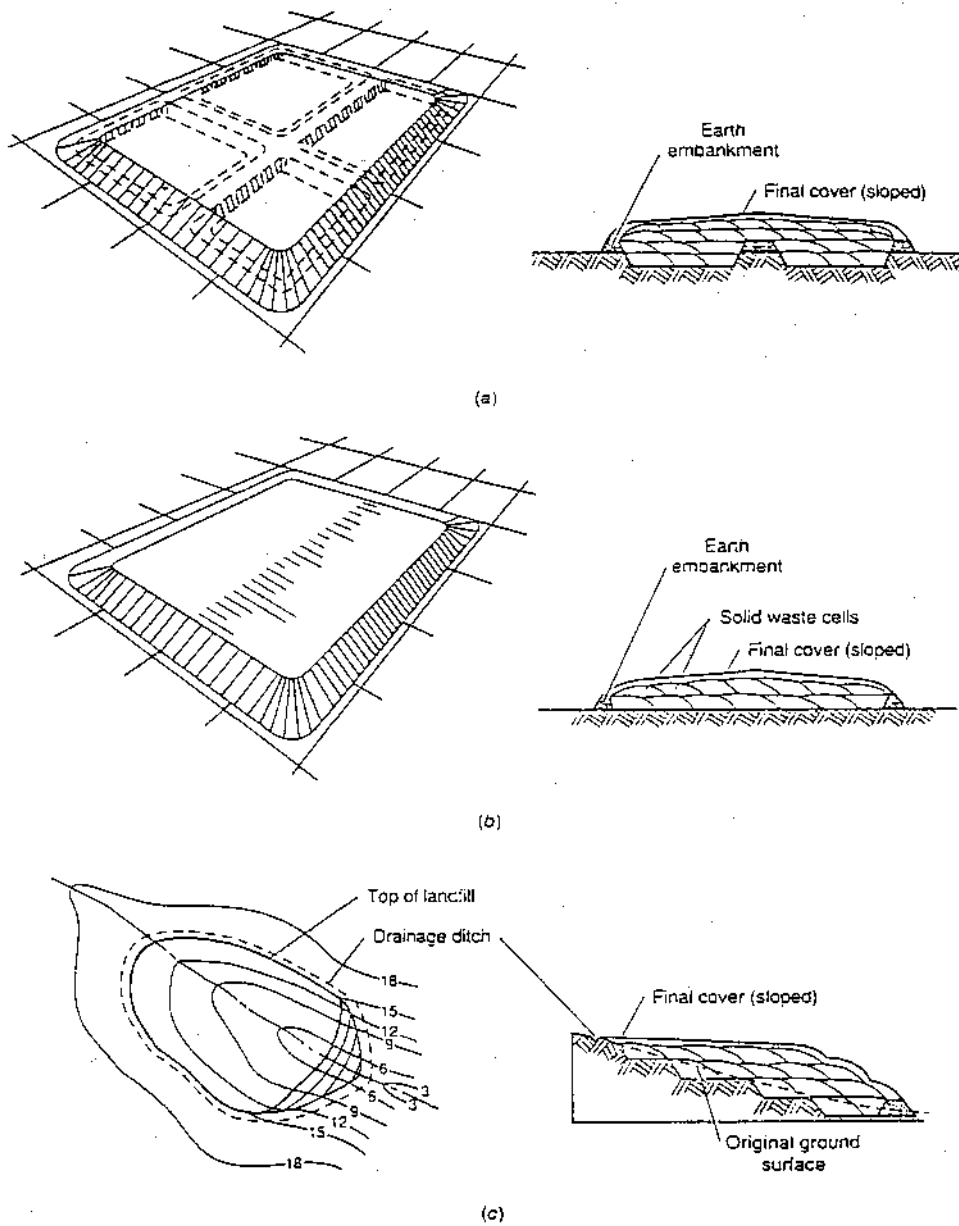
음식물쓰레기는 그 性狀上 위의 處理方法중 埋立, 燒却, 堆肥化 및 嫌氣性消化에 의한 處理가 可能하므로 각 處理方法에 대해 살펴보기로 한다.

4.1 埋立

埋立은 쓰레기의 最終處分 方法으로 가장 보편적으로 사용되어져 왔다. 최근에는 埋立地의 부족에 따라 埋立에 의한 處分이 감소되고 있는 趨勢이기는 하지만 어떤 處理方法에 의해 쓰레기를 처리하여도 處理過程에서 발생하는 殘滓物은 결국 埋立에 의해 處分하여야 한다.

4.1.1 埋立方法

도시쓰레기를 埋立하는 方法은 Excavated Cell/Trench 방식, Area 방식 및 Canyon/ Depression 방식을 들 수 있으며 각각의 방식은 <그림 4-1>에 圖示되어 있다.



〈그림 4-1〉 쓰레기 埋立 方法

- (a) Excavated Cell/Trench방식
 (b) Area방식 (c) Canyon/Depression방식

1) Excavated Cell/Trench 方式

이 방식은 覆土材가 埋立地內에 충분한 깊이로 존재하고 地下水位가 地表面 가까이 존재하지 않는 경우에 사용가능하다. 쓰레기는 掘鑿된 土壤에 埋立하며 掘鑿되어진 土壤은 日日覆土材나 最終覆土材로 사용한다. 掘鑿된 土壤의 표면은 가스와 浸出水的 이동을 遮斷하기 위해 Lining Material에 의해 Lining 한다. 일반적으로 Excavated Cell방식은 한 변이 1000ft정도의 정방형이며 벽면의 경사는 1.5 : 1 에서 2 : 1 정도로 하고 Trench 방식은 길이가 200 ~ 1000ft, 깊이가 3 ~ 10ft, 폭이 15 ~ 50ft 정도의 크기로 掘鑿한다.

2) Area方式

이 방식은 地質이 Cell이나 Trench의 掘鑿이 어렵거나 地下水位가 높은 경우에 사용한다. 埋立되는 지역은 Liner를 설치하며 覆土材는 외부로부터 搬入하여 사용한다. 覆土材로 사용할 토양이 부족할 경우는 堆肥등을 대체하여 사용하기도 하며 移動式 簡易 覆土材를 사용할 수도 있다. 移動式 覆土材는 日日覆土가 끝나고 다시 埋立을 시작할 때 제거하여 再使用하는 방법으로 土壤과 geomembrane을 사용한다.

3) Canyon/Depression 方式

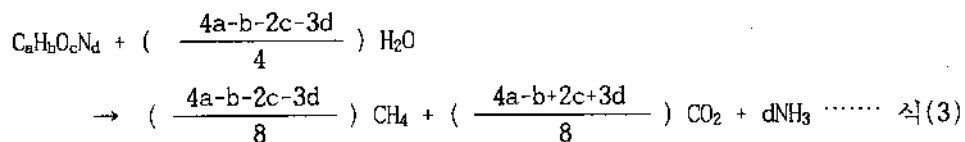
이 방식은 峽谷이나 採石場등에 쓰레기를 埋立하는 방식으로 지역의 形狀, 가능한 覆土材의 性狀, 地域의 水利 및 地質特性, 浸出水和 가스처리시설의 형태 및 지역으로의 進入方法에 따라 埋立 및 壓縮方式이 결정된다. 이 방식을 사용할 경우는 表面排水가 중요한 요소로 작용되며 埋立地 背面에 물이 고이는 것을 방지하기 위해 안쪽에서부터 埋立을 시작한다.

4.1.2 埋立地에서의 가스발생

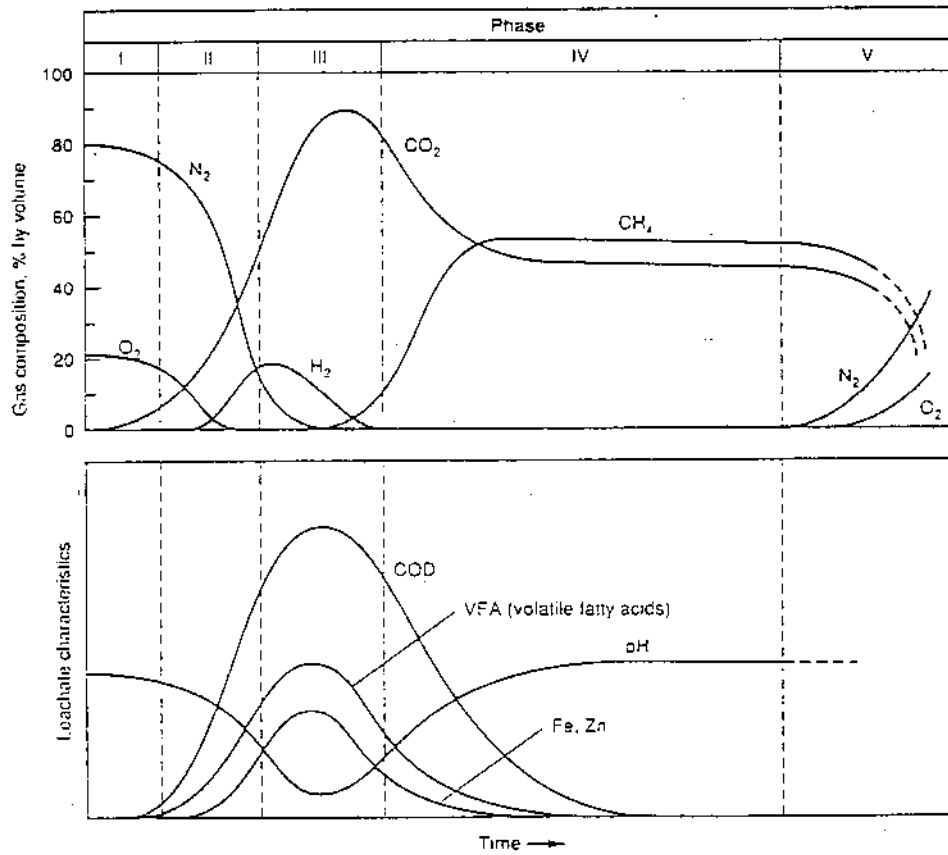
쓰레기 埋立地에서의 有機物質의 分解는 空氣注入與否에 따라 嫌氣性과 好氣性分解로 구분되어진다. 현재 사용되어지고 있는 埋立方式은 주로 嫌氣性埋立이기 때문에 埋立地에서 嫌氣性分解가 일어나며 이에 따라 발생하는 가스는 주로 CH_4 와 CO_2 가스이다. 埋立地內에서 埋立期間에 따른 가스의 發生樣相은 <그림 4-2>와 같으며 각 단계에서 일어나는 反應은 다음과 같다.

- 1 단계: 쓰레기 埋立直後에는 埋立地內에 공기가 남아 있기 때문에 好氣性分解가 진행된다. 쓰레기내에 수분이 많은 경우에는 反應이 가속화되어 酸素가 쉽게 枯渴되므로 2단계 反應에 빨리 도달하게 된다.
- 2 단계: 嫌氣性分解가 시작되는 단계로서 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 가 N_2 와 H_2S 가스로 還元된다. 이 단계에서는 埋立地內에 有機酸의 形成과 CO_2 농도의 증가에 의해 pH가 감소하기 시작한다.
- 3 단계: 2단계에서 시작된 嫌氣性分解가 加速化되어 많은 양의 有機酸이 生成되고 H_2 가스는 감소하기 시작한다. 이 단계에서는 CO_2 가스가 대부분을 차지하며 少量의 H_2 가스가 존재한다. 浸出水的 pH는 5이하로 감소하며 浸出수에 有機酸이 溶解되어 BOD, COD 및 電氣傳導度가 급격히 증가한다. 또한 낮은 pH 때문에 重金屬과 같은 無機物質들이 浸出수로 溶解된다.
- 4 단계: 3단계에서 생성된 有機酸과 H_2 가스가 CH_4 와 CO_2 가스로 분해되는 嫌氣性 단계이다. 埋立地內의 pH는 6.8에서 8정도의 中性으로 상승하고 浸出水的 BOD, COD 및 電氣傳導度도 감소한다. 또한 浸出水的 pH가 높아지기 때문에 浸出수내의 重金屬濃度도 감소한다.
- 5 단계: 4단계에서 分解possible한 有機物質이 CH_4 와 CO_2 로 變化된 후 가스발생이 급격히 감소하고 소량의 N_2 와 O_2 가스가 나타난다.

埋立地에서 嫌氣性分解에 의해 발생하는 가스의 양은 埋立되는 쓰레기의 化學的 組成을 $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ 로 볼 때 식(3)에 의해 이론적으로 구할 수 있다.



식(3)은 쓰레기가 완전히 분해된다는 가정하에 算定되어 있으나 실제로 완전한 분해는 不可能하다. 일반적으로 쓰레기내에 有機物質중 分解possible한 양은 <표 4-1>에 나타나 있으며 음식물쓰레기의 경우는 可燃性物質의 약 82%가 분해가능한 것으로 나타났다. 埋立地에서 발생하는 가스의 양은 많은 사람에 의해 연구되었는데 $0.09 \sim 0.24 \text{ m}^3/\text{kg of MSW}$ 정도가 발생하는 것으로 알려져 있다.



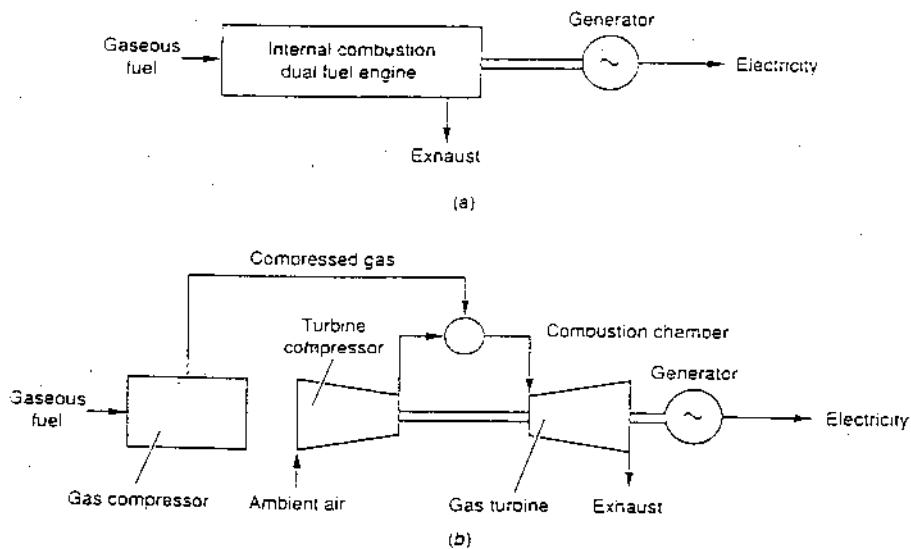
〈그림 4-2〉 埋立期間에 따른 가스의 발생 樣相

埋立地에서 발생되는 가스는 捕集하여 에너지원으로 이용하는데 주로 電氣를 생산한다. 〈그림 4-3〉은 埋立地 발생가스로부터 電氣를 생산하는 工程을 보여주고 있다.

〈표 4-1〉 쓰레기내 有機物質의 生物學的 分解程度

有機物質組成	리그린 含有率(%)	微生物 分解 可能量(%)
음식물(Food wastes)	0.4	0.82
신문(Newspaper)	21.9	0.22
사무실 용지(Office Paper)	0.4	0.82
마분지(Cardboard)	12.9	0.47
정원 폐기물(Yard wastes)	4.1	0.72

$$\begin{aligned}
 \text{微生物 分解 可能量} &= 0.83 - (0.028) \times (\text{리그린 함량}) \\
 &= \% \text{ of VS(揮發性 固形物)}.
 \end{aligned}$$



〈그림 4-3〉 埋立地 가스로부터 電氣를 생산하는 工程圖

(a) Internal combustion engine (b) Gas turbine

4.1.3 埋立地에서 발생하는 浸出水의 處理

埋立地에서 발생하는 浸出水의 性狀은 埋立된 쓰레기의 性狀, 埋立 후 經過 日數 및 浸出水의 量 등에 따라 변화가 매우 심하다. <표 4-2>은 埋立開始 후 2 년 이하와 10년 이상된 埋立地에서 발생하는 浸出水의 性狀을 보여주고 있다. 埋立후 2년 이하인 埋立地의 경우가 모두 높은 浸出水 농도를 나타내고 있으며, 특히 浸出水의 生物學的 分解可能性을 알 수 있는 BOD/COD 비는 2년 이하인 경 우 0.4 ~ 0.6 을 나타낸 반면에 10년 이상된 埋立地의 경우는 0.05 ~ 0.2 로 매우 낮게 나타났다. 따라서 浸出水 處理方法의 선택이 매우 어렵다.

<표 4-2> 전형적인 浸出水의 性狀

Constituent	Value, mg/L		
	New landfill(less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range	Typical	
BOD ₅	2,000-30,000	10,000	100-200
TOC	1,500-20,000	6,000	80-160
COD	3,000-60,000	18,000	100-500
Total suspended solids	200-2,000	500	100-400
Organic nitrogen	10-800	200	80-120
Ammonia nitrogen	10-800	200	20-40
Nitrate	5-40	25	5-10
Total phosphorus	5-100	30	5-10
Ortho phosphorus	4-80	20	4-8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000-10,000	3,000	200-1,000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Total hardness as CaCO ₃	300-10,000	3,500	200-500
Calcium	200-3,000	1,000	100-400
Magnesium	50-1,500	250	50-200
Potassium	200-1,000	300	50-400
Sodium	200-2,500	500	100-200
Chloride	200-3,000	500	100-400
Sulfate	50-1,000	300	20-50
Total iron	50-1,200	60	20-200

자료: Tchobanoglous, G., et al., Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill Inc, 1993.

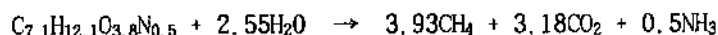
浸出水 處理는 크게 나누어 生物學的, 化學的 및 物理的 處理로 나뉘어질 수 있는데 <표 4-3>는 대표적인 浸出水 處理方法을 보여주고 있다. 處理方法의 선택은 浸出水의 性狀에 의해 좌우되는데 높은 TDS농도를 가진 浸出水는 生物學的 처리가 어렵다. 또한 COD농도가 높은 경우는 好氣性보다는 嫌氣性에 의해 處理하는 것이 경제적이며 SO_4^{2-} 의 농도가 높은 경우에는 惡臭發生으로 인해 嫌氣性 處理에 制約을 받는다. 이밖에도 重金屬은 生物學的 處理에 毒性物質로 작용하기 때문에 높은 重金屬濃度는 生物學的 處理를 곤란하게 할 수 있다. 이러한 모든 要素들을 고려하여 浸出水 處理方法을 선택하게 되는데 <그림 4-4>는 전형적인 浸出水 處理工程들을 보여주고 있다.

4.1.4 음식물쓰레기의 埋立處分

1) 埋立시 최대가스발생량 및 에너지 生産量

음식물쓰레기를 埋立處理할 경우 최대가스발생량은 4.1.2의 식(3)과 元素分析結果를 이용하여 구할 수 있다.

본 研究에서 조사된 음식물쓰레기의 대표적인 性狀은 水分含量 80.1%, 可燃性分含量 16.9%, 灰分含量 3.0%이며 元素含量은 C 2.8%, H 6.1%, O 30.9%, N 3.7%이다. 따라서 1 ton의 음식물쓰레기를 埋立處分한다고 가정할 때 음식물쓰레기는 수분 801 kg, 탄소 85.2 kg, 수소 12.1 kg, 산소 61.5 kg, 질소 7.4 kg 및 Ash 30kg의 組成을 가진다. 이 경우에 음식물쓰레기중 有機物質의 化學分子式은 $\text{C}_{7.1}\text{H}_{12.1}\text{O}_{3.8}\text{N}_{0.5}$ 가 되며 이것을 식(3)에 대입하면 아래와 같다.



음식물쓰레기의 嫌氣性分解시 生物學的으로 분해가능한 有機物質의 含量은 76%정도이므로 위의 식을 이용하여 1 ton의 음식물쓰레기당 발생가능한 최대가스량을 구하면 121 m^3 ($7.11 \text{ Kmole} \times 22.4 \text{ m}^3/\text{Kmol} \times 0.76$)이 된다. 가스내의 CH_4 함량은 55%정도이며 무게감량은 乾燥重量基準으로 64.5%, 濕潤重量基準으로 12.8%정도이다.

CH_4 가스의 低位發熱量은 $8,769 \text{ Kcal/m}^3$ 이므로 에너지의 생산량은

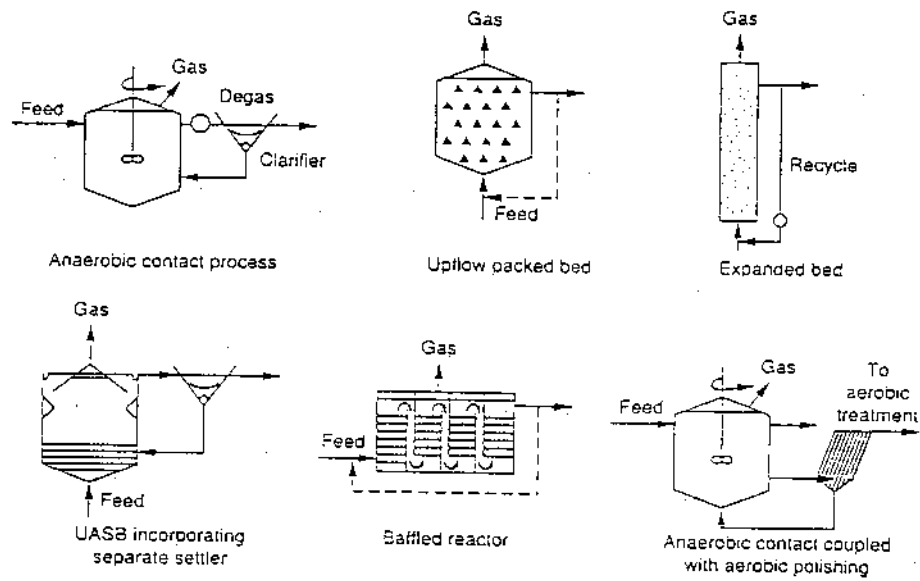
$$\begin{aligned} 121 \text{ m}^3/\text{ton} \times 0.55 \times 8,769 \text{ Kcal/m}^3 &= 583,577 \text{ Kcal/ton} \\ &= 2,442 \text{ MJ/ton} \end{aligned}$$

로 계산된다.

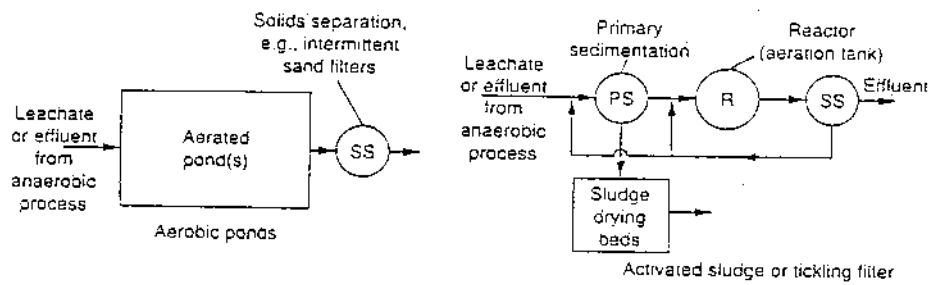
〈표 4-3〉 대표적인 浸出水 處理方法

처 리 과 정	적 용	비 고
〈生物學的處理〉		
Activated sludge Sequencing batch reactors	有機物質의 제거 有機物質의 제거	거품제거보조제, 沈澱地 필요 활성오니와 유사하지만 침전 지는 불필요; 비교적 낮은 流 量부하에 적용 土地要求度가 크다
Aerated stabilization basins	有機物質의 제거	
Fixed film processes (tricking filters, rotating biological contactors)	有機物質의 제거	浸出水와 유사한 산업폐수에 적용되었지만 실제 埋立地 浸出水에는 적용에가 없음
Anaerobic lagoons and contactors	有機物質의 제거	好氣性처리에 비해 낮은 소요 력과 슬러지 생산; 加溫 필요 好氣性처리보다 분해속도가 높다.
Nitrification /denitrification	有機物質의 제거	有機物質과 질소를 동시에 제거
〈化學的處理〉		
Neutralization	pH 조절	대부분 浸出水에 제한적인 적용
Precipitation	金屬과 음이온 제거	有害廢棄物로서 埋立이 요구 되는 슬러지 생산
Oxidation	有機物質의 제거 무기성물질의 독성제거	낮은 농도의 廢水에 적용 鹽素의 사용은 THMs의 형성 가능성이 있다.
Wet air oxidation	有機物質의 제거	高價; 亂分解性物質의 분해.
〈物理的處理〉		
Sedimentation /flotatin	부유물질의 제거	다른 처리과정과 連繫處理
Filtration	부유물질의 제거	3차처리에 사용됨
Air stripping	암모니아 또는 揮發性有機物質의 제거	大氣汚染 방지장치가 필요
Steam stripping	揮發性 有機物質의 제거	높은 에너지비용; 凝縮된 증 기는 추가처리 필요.
Adsorption	有機物質의 제거	浸出水에 따라 비용이 相異
Ion exchange	용해성 無機物의 제거	3차처리에 사용됨.
Ultrafiltration	박테리아와 高分子 물질의 제거	浸出水에는 제한적으로 적용
Reverse osmosis	무기물용액의 稀釋	高價; 前處理 필요
Evaporation	浸出水 배출이 금지된 지역	최종슬러지는 유해; 건조한 지역을 제외하고는 비용이 과다할 수 있음

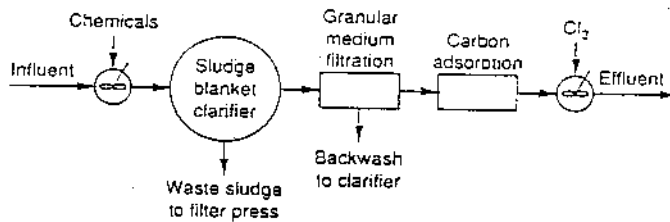
자료: SCS Engineers, Inc., Procedural Guidance Manual for Sanitary Landfill : Volume 1, Landfill Leachate Monitoring and Control System, California Waste Management Board.



(a)



(b)



(c)

<그림 4-4> 전형적인 浸出水 처리공정

2) 埋立處分할 경우 문제점

埋立處分の 가장 큰 문제점은 충분한 埋立地の 확보가 어렵다는 점이다. 특히 서울시의 경우는 서울시 行政區域內에 쓰레기를 埋立할 장소의 확보가 거의 불가능하여 현재에도 金浦 首都圈埋立地에 서울시에서 발생하는 쓰레기를 埋立處分하고 있는 실정이므로 埋立處分할 쓰레기의 감량이 우선적으로 이루어져야 한다. 埋立處分할 쓰레기의 減量方法은 쓰레기발생량의 抑制, 有用資源回收과 再利用 및 焼却등을 들 수 있으며 이 중에서 음식물쓰레기의 경우는 사용가능한 방법이 발생량 억제에 의한 감량, 堆肥化에 의한 再利用 및 焼却등이다.

또한 음식물쓰레기를 도시쓰레기와 함께 埋立할 경우의 문제점으로는 음식물쓰레기의 높은 水分含量 때문에 收去와 運搬시 惡臭發生, 收去車輛으로부터 많은 廢水의 발생 및 높은 운반비의 소요등이 있다. 埋立地內에서는 음식물쓰레기가 함유한 수분이 분해를 촉진시키는 효과가 있기는 하지만 높은 有機物含量 때문에 浸出水의 水質이 惡化될 우려가 있다.

4.2 焼却

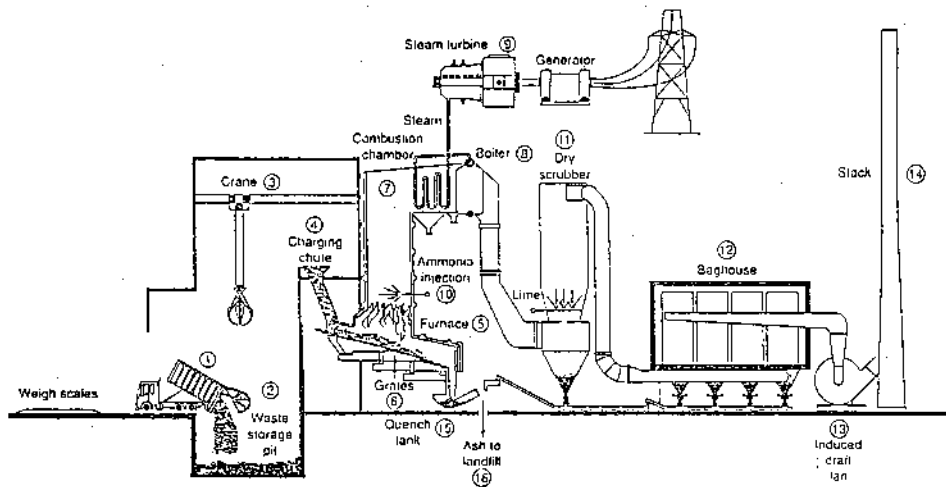
焼却이 쓰레기 처리방법으로 쓰이는 이유는 위생적이며, 쓰레기의 무게가 약 13 ~ 20%, 부피는 5 ~ 6%로 감소되어 埋立에 소요되는 면적이 감소되기 때문이다. 반면에 焼却은 大氣汚染問題를 야기시키고 처리비용이 비싼 것이 단점이다. 焼却에 의한 쓰레기의 처리는 埋立地 확보의 어려움 때문에 많은 국가에서 채택하고 있으며 앞으로도 계속 증가할 것으로 예상된다. 서울시의 경우도 같은 이유로 '99년도까지는 서울시에서 발생하는 쓰레기 전량을 焼却處理할 계획으로 있다.

4.2.1 焼却方式

도시쓰레기의 焼却方式은 쓰레기를 배출상태로 焼却하는 Mass-fired 焼却方式과 RDF (Refuse-derived fuel)로 생산하여 焼却하는 RDF-Fired 焼却方式이 있다.

1) Mass-fired 焼却方式

도시쓰레기의 焼却에 주로 쓰이는 방식으로 전형적인 焼却工程의 예를 <그림 4-5>에 나타냈으며, 焼却工程을 단계적으로 살펴보면 다음과 같다.



<그림 4-5> 전형적인 焼却工程의 예

① 收去트럭이 쓰레기를 저장탱크에 투입한다. 이때 저장탱크의 크기는 焼却 시설의 容量과 荷役될 트럭의 수에 의해 결정되며 일반적으로 2일분 정도가 적정한 것으로 알려져 있다.

② 저장탱크내의 쓰레기는 Crane에 의해 Chute를 통하여 燃燒室로 공급된다. Crane에 의해 쓰레기를 주입할 때는 쓰레기를 잘 혼합하여 쓰레기가 일정한 水分含量을 유지할 수 있도록 한다.

③ 주입된 쓰레기는 燃燒室에서 燃燒되어진다. Grate는 주입된 쓰레기를 운

반시켜 적절히 燃燒되게 하는 역할을 하며, 또한 Grate사이로 공기가 유통되도록 하는 기능을 가지고 있다. Grate는 기능적으로 볼 때 乾燥用, 點火用, 燃燒用 등으로 분류하나 일반적인 종류를 보면 Reciprocating, Rocking, Traveling, Rotating Kiln, Vibrating, Multiple Rotary Drums, Rotating Cokes등이 있다.

④ 공기의 주입은 Grate의 밑이나 위에서 주입되어지며 燃燒速度와 燃燒溫度를 조절하는 역할을 한다.

⑤ 燃燒室에서 발생된 가스는 높은 온도로 燃燒室 상부로 배출되어 보일러에서 스팀을 생산하는데 사용되고, 생산된 스팀은 Turbine발전기에 의해 電氣를 생산한다.

⑥ 大氣汚染防止를 위한 시설을 보면 NOx는 Ammonia주입에 의해 제거하며 Dry scrubber에 의해 SO₂와 酸性가스를 제거한다. 또한 분진은 Baghouse에 의해 제거된다.

⑦ 재와 不完全燃燒物은 Grate 하단으로 떨어져 냉각된 후 埋立 處分한다.

2) RDF-Fired

쓰레기내의 水分含量을 비롯하여 不純物과 粒子의 크기, 재의 함량 등을 조절하여 생산하는 연료를 RDF(Refuse Derived Fuel)라고 부르는데 RDF의 일반적인 熱量을 나타낸 것이 <표 4-4>이며 또한 <그림 4-6>은 水分含量과 실제 가용한 에너지와의 관계를 나타내주고 있다. 대체로 5,700~17,700J/g의 熱量을 가지며 熱量은 水分含量 뿐만 아니라 또한 재의 含量에 따라서도 증감된다.

<표 4-4> RDF의 熱量

	평 균	최 저	최 고
수분 %(무게비)	30.1	11.1	66.3
재 %(무게비)	24.9	14.3	40.5
열량(J/g)			
생산되는 상태 무게당	11,500	5,300	17,700
건조 무게당	16,500	13,600	30,200

재의 含量을 감소시키기 위해서는 쓰레기를 분쇄하여 磁石選別後에 空氣選別法을 통해 가벼운 물질만 연료로 만들면 되는데 이때에는 셀룰로즈 부분이 많아

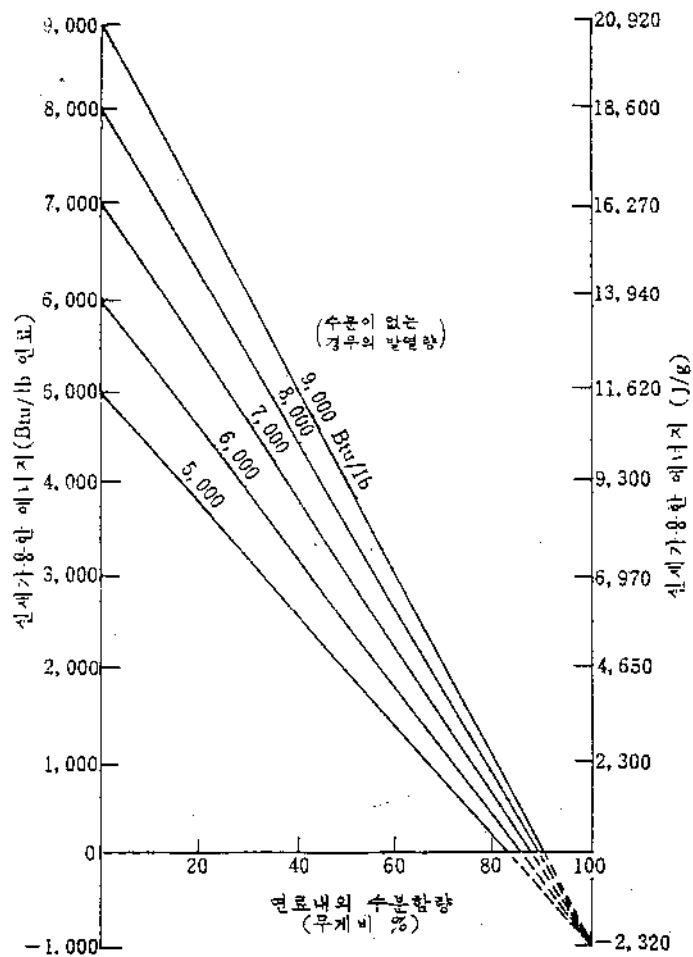
입자의 크기가 커지므로 黃酸을 가한 후, 열을 가해 셀룰로즈 부분을 부숴뜨려서 건조시킨 후에 손가락 크기의 燃料(Pellet)를 만들거나 다시 粉碎하여 분말상태의 연료를 만든다. Pellet나 분말상의 연료는 밀도가 커서 장거리 운반이 가능하다. Pellet의 경제적인 최소크기는 두팔할 필요없이 크기를 적게할수록 비용이 많이 소요되므로 22 mm 미만이거나 50 mm 이상이 되어서는 안되는 것으로 알려지고 있다.

RDF의 다른 문제점으로는 RDF의 조성이 부패되기가 쉬운 有機物質이기 때문에 水分含量이 증대되면 微生物의 공격을 받아 腐敗된다는 점이다. 水分含量이 15% 이하가 되면 이러한 문제는 없다고 알려지고 있다. RDF내의 Cl함량이 문제가 되는 경우가 있는데 이를 제거하기 위해서 PVC 함량을 감소시키는 것으로 알려지고 있다. <그림 4-7>은 Eco-Fuel II를 생산시에 選別되는 물질의 양을 보여주고 있다.

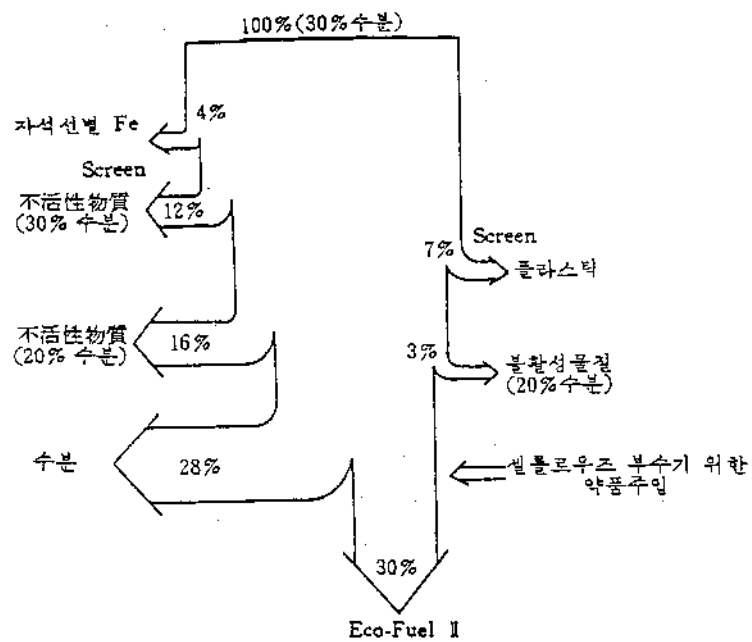
RDF는 주로 traveling-grate stoker에서 燃燒시킨다. RDF는 배출상태의 쓰레기에 비해 높은 발열량을 가지고 있으므로 mass-fired 방식에 비해 규모를 적게 할 수 있을 뿐 아니라 RDF의 성상이 균일하므로 효과적으로 燒却爐를 운전할 수 있다. 따라서 RDF-fire方式이 좋은 燃燒效率과 효율적인 大氣汚染制御가 가능하다. <그림 4-8>은 traveling-grate stoker 방식에 의한 RDF-fired방식의 燒却爐를 보여주고 있다.

3) Fluidized Bed 방식 燒却爐

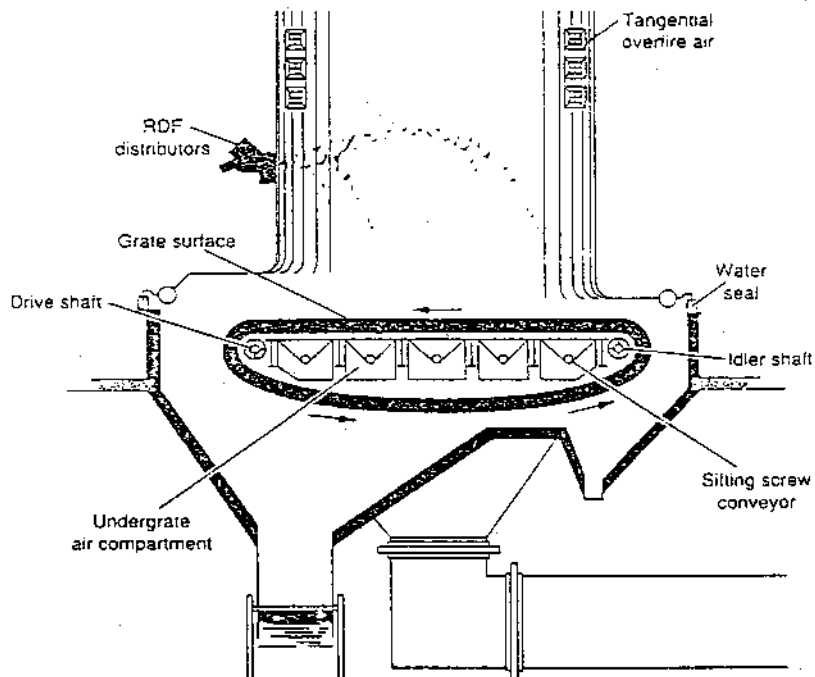
Fluidized Bed 방식의 燒却爐는 근래에 도시쓰레기의 燒却에 많이 사용되어지고 있다. <그림 4-9>는 전형적인 Fluidized Bed 방식의 燒却爐를 보여주고 있는데, 모래가 채워진 원통형 Glinder와 空氣注入裝置로 구성되어 있다. 공기를 주입하면 모래가 약 2배 정도로 팽창하여 주입된 쓰레기를 혼합하고 燃燒熱을 쓰레기로 골고루 전달한다. 운전초기에는 補助燃料를 이용하여 燒却爐의 온도를 운전온도로 상승시킨 후 운전후에는 보조연료를 필요로 하지 않는다.



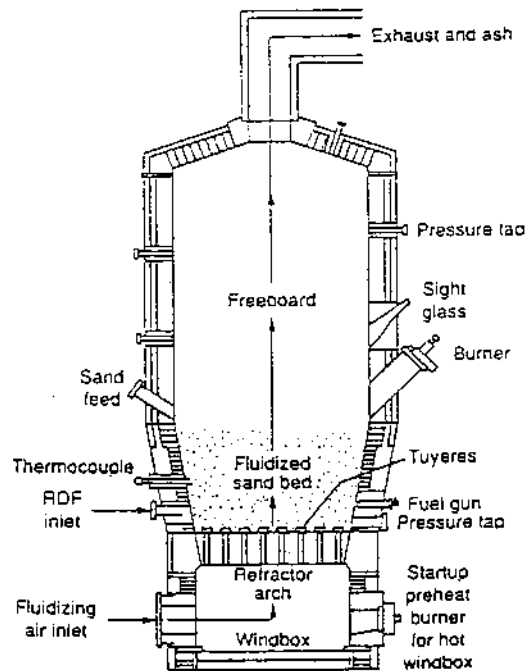
<그림 4-6> RDF의 水分含量에 따르는 실제가용한 에너지



<그림 4-7> Eco-Fuel II 생산시의 物質收支



<그림 4-8> Traveling-grate stoker 방식에 의한 RDF-fired 방식의 焼却爐



〈그림 4-9〉 전형적인 Fluidized bed 焼却爐

4.2.2 焼却에 의한 熱回收

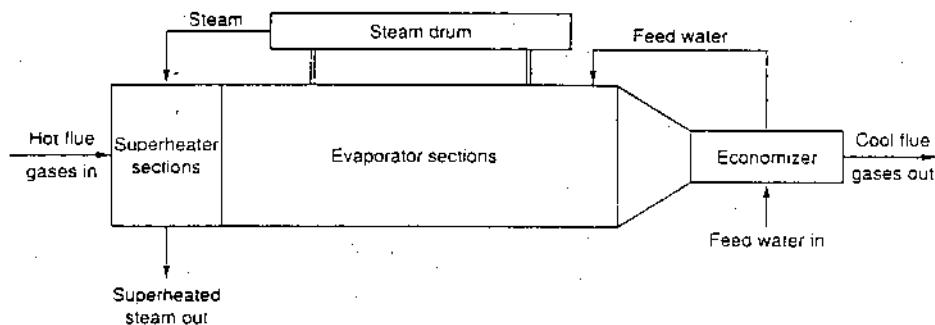
최근에 설치되는 도시쓰레기 焼却爐는 운영비의 조달과 大氣汚染 制御裝置 시설비의 절감을 위하여 에너지 回收裝置를 설치하고 있다. 에너지는 焼却後 발생하는 排氣가스로부터 회수되며 回收方式은 Waterwall 焼却爐나 Waste heat boiler에 의한 것이 대표적이다. 이 방식에 의해서 回收된 에너지는 가열된 물이나 수증기를 생산하는데, 가열된 물은 地域暖房에 사용되어지고 수증기의 경우는 난방이나 電氣를 생산하는데 사용한다. 熱回收裝置를 사용하지 않을 경우 100~200%의 剩餘空氣를 공급하여야 하나 사용할 경우는 50~100%만 공급하여도 되기 때문에 大氣汚染 制御裝置의 용량이 감소되며, 또한 排氣가스의 온도감소에 의해 배출되는 가스의 체적이 감소된다. 〈그림 4-10〉은 Waste heat boiler에 의한 熱回收裝置를 보여주고 있다.

4.2.3 焼却로 排氣가스의 處理

쓰레기의 焼却시 가장 큰 문제점의 하나가 排氣가스에 의한 大氣汚染 問題이다. 쓰레기 焼却으로부터 배출가능한 大氣汚染物質은 <표 4-5>과 같이 분진, 냄새, SOx 및 NOx인데 SOx는 폐기물이나 RDF에 S의 함량이 적으므로 문제가 안되며, NOx는 1~4lb/ton에 불과하여 문제가 안된다. 따라서 廢棄物 연소시 가장 문제가 되는 것은 粉塵과 냄새인데 이를 방지하는 방법은 燃燒機를 잘 설계하여 운전하는 방법과 별도의 大氣汚染 防止施設을 추가설치하여 운전하는 방법이다.

대체로 두 방법을 모두 사용하고 있다.

냄새는 연소 온도를 1,250°F (677°C) 이상으로 하여 문제를 해결하고 있으며, 분진의 경우에는 粉塵크기에 맞추어 적절한 大氣汚染 防止施設을 설치하고 있다. <그림 4-11>은 배출가스내의 粉塵의 크기 분포를 나타내 주고 있는데 10 μ m 이하인 것이 전체의 30% 가량이나 된다. <그림 4-12>는 粉塵의 크기에 따르는 적용가능한 방지시설을 나타내주고 있는데 浸澑方法은 10 μ m 이상인 경우에 효과가 있으나 所要面積이 매우 넓은 단점이 있으며, Air Filter는 1~100 μ m에 효과적임을 보여 주고 있다. 또한 전기집진기는 0.01~70 μ m까지의 분진을 잘 제거시켜주고 있다. Air Filter인 경우에는 배출가스의 온도가 400°C까지도 괜찮으나 전기집진기인 경우에는 240~260°C 이하이어야 한다.



<그림 4-10> Waste heat boiler에 의한 熱回收裝置

〈표 4-5〉 100ton/일의 廢棄物 燃焼時의 大氣汚染物質 排出量
(大氣汚染物質 除去裝置가 없는 경우)

大氣汚染物質	排出量(kg/day)	大氣汚染物質	排出量(kg/day)
분진	136	HC	25
NOx	136	CO	45
SOx	35		

4.2.4 음식물쓰레기의 焼却

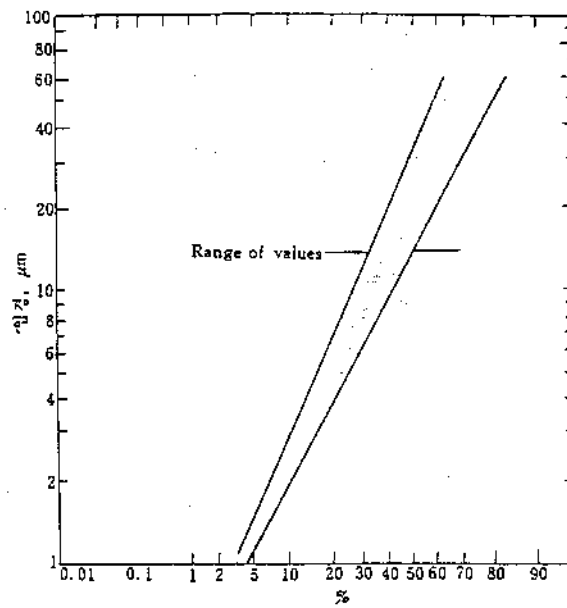
1) 焼却처리시 에너지 생산량 및 무게감량

음식물쓰레기가 보유하고 있는 에너지의 양은 음식물쓰레기의 發熱量에 의해 결정된다. 본 연구에서 조사된 음식물쓰레기의 高位發熱量은 895 Kcal/kg이므로 1 ton의 음식물쓰레기가 가지는 에너지의 양은 약 3,745 MJ이다.

쓰레기를 焼却시키는 경우 발생하는 에너지는 배기가스, 재 및 焼却로 외벽을 통한 손실등에 의해 일부는 손실되므로 실제로 이용가능한 에너지는 유입된 에너지에 비해 적어진다. 따라서 焼却爐에서 손실되는 에너지를 총유입 에너지의 30%정도로 가정하면 1 ton의 음식물쓰레기를 焼却할 경우 회수 가능한 에너지의 양은 약 2,622 MJ정도이다. 또한 음식물쓰레기를 焼却하면 水分과 可燃分이 감량되므로 총 무게감량은 97%정도이다.

2) 焼却처리시 문제점

쓰레기를 완전 연소시키기 위해서는 酸素이외에 충분한 온도, 燃焼時間 및 混合이 이루어져야 한다. 焼却爐內의 연소온도를 유지시키기 위해 가장 중요한 요소는 주입되는 쓰레기의 發熱量이 충분히 높아야 하는데, 쓰레기의 發熱量은 三成分含量(水分, 可燃分, 灰分)과 원소함량에 의해 좌우된다. 본 연구에서 조사된 음식물쓰레기의 性狀에 의하면 水分含量이 평균 80%정도이기 때문에 低位發熱量이 388 Kcal/kg정도로 매우 낮다. 따라서 〈그림 4-13〉에서 보는 바와 같이 補助燃料를 사용하지 않고 自體燃焼가 가능한 조건에 크게 미달하므로 음식물쓰레기를 焼却처리하기 위해서는 補助燃料의 사용이 불가피하다. 실제 조건에서는 음식물쓰레기만을 단독으로 焼却시키는 경우보다는 혼합쓰레기를 焼却시킴으로 혼합쓰레기의 발열량이 고려되어야 한다.



〈그림 4-11〉 燃燒機로부터 배출되는 粉塵의 크기 분포

Size		Particle diameter (μm)					
		0.01	0.1	1	10	100	
Aerosols	Solid liquid	Fume		Mist		Dust	
						Spray	
Typical emissions		Smokes		Fresh			
		Metal fumes and dusts		Coal dust			
		Carbon black		Contact sulfuric acid		Pulverized coal	
		Combustion nuclei		Alkali fume			
Types of gas cleaning equipment		Ultrasonics				Settling chambers	
				Centrifugal separators			
				Liquid scrubbers			
				Clean collectors			
				Packed beds			
				Common air filters		Impingement separators	
Terminal gravity settling	Reynolds No	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹
	Settling velocity (cm/s)	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹
Particle diffusion coefficient m ² /sec		10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹³	10 ⁻¹²	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹
		5 3 2	5 3 2	5 3 2	5 3 2	5 3 2	5 3

〈그림 4-12〉 粉塵의 크기에 따라 적용가능한 제거방법

그러나 음식물쓰레기가 혼합될 경우 混合쓰레기의 발열량을 크게 저하시키므로 음식물쓰레기만을 단독 燒却시키는 경우를 가정하면 보조연료의 사용없이 燒却可能한 음식물쓰레기의 水分含量과 水分含量을 조절하지 않을 경우 보조연료의 所要量을 算定하기로 한다.

보조연료의 사용없이 燒却可能한 발열량은 <그림 4-13>에서 볼수 있다. 본 연구에서 조사된 低位發熱量이 388 Kcal/kg이므로 水分含量 80%을 고려하여 계산한 음식물쓰레기의 乾量基準 高位發熱量은 4,475 Kcal/kg이 된다. 乾量基準 高位發熱량을 이용하여 보조연료의 사용없이 燒却가능한 低位發熱量 800 Kcal/kg이상이 되기 위한 최소수분함량을 다음 식(4)로 산정하여 보면

$$W = (Hh - Hl - 54H) / (0.01Hh - 0.54H + 6) \quad \text{식(4)}$$

$$= 70\%$$

여기서 W = 濕量基準 低位發熱量이 800 Kcal/kg이 되기 위한 최대수분량(%)

Hh = 乾量基準 高位發熱量(Kcal/kg)

Hl = 보조연료 사용없이 燒却可能한 濕量基準 低位發熱量(Kcal/kg)

H = 乾量基準 水素含量(%)

가 된다. 따라서 低位發熱量 800 Kcal/kg이상이 되기 위해서는 최소 70%의 수분으로 조절되어야 하므로 약 10%의 脫水가 필요하다.

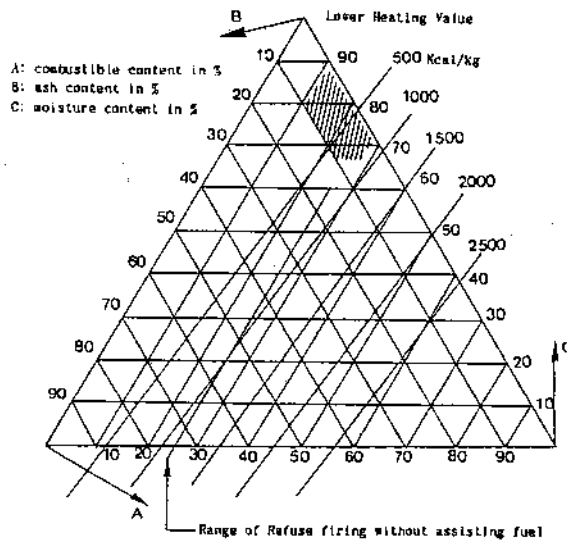
보조연료의 소요량은 燒却爐의 형식, 연소온도, 剩餘空氣의 양, 유입되는 쓰레기의 水分含量과 발열량등에 의해 결정되어진다. <그림 4-14>는 流動床式 燒却로에서 슬러지를 燒却할 경우 보조연료의 소요량을 개략적으로 산정하기 위해 작성된 도표이다. 음식물쓰레기의 조성이 슬러지와 거의 類似함으로 본 연구에서 조사된 음식물쓰레기의 대표적인 조성과 <그림 4-15>를 이용하여 보조연료의 소요량을 算定하면 다음과 같다.

유입 음식물쓰레기	
固形物 含量	20%
可燃分 含量	85%
高位發熱量	1,610 Btu/lb
燒却爐 運轉條件	
排出溫度	1,500°F
剩餘空氣	40%
熱損失	5%
燃燒空氣 豫熱溫度	60°F
補助燃料 所要量(No.2 Fuel Oil)	
0% 剩餘空氣	13.2 gal/wet ton
40% 剩餘空氣	6.7 gal/wet ton
計	19.9 gal/wet ton (83 l/wet ton)

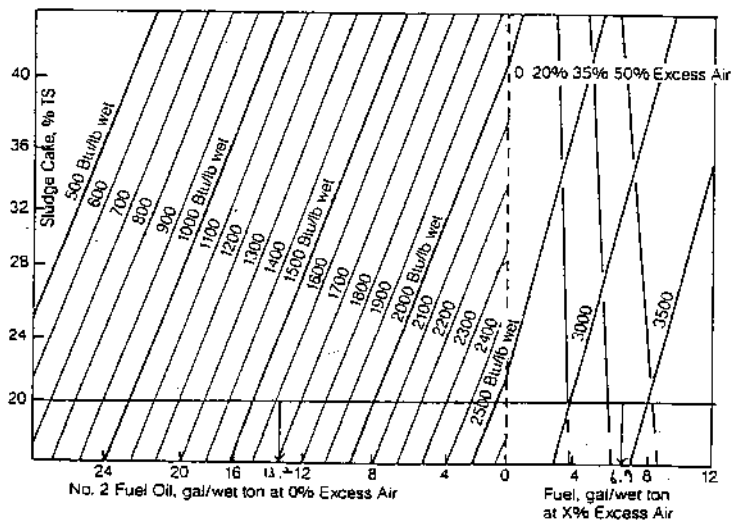
즉, 음식물쓰레기 1 ton을 燒却처리 하기 위해서는 83ℓ의 보조연료가 필요하여 燒却처리시 많은 비용이 소요되므로 음식물쓰레기의 單獨燒却은 처리방법으로 否適切하다.

또한 혼합쓰레기의 燒却시에도 음식물쓰레기에 의한 발열량의 저하로 보조연료의 필요성을 증대시킬 가능성이 많을 것으로 예상된다.

최근에는 쓰레기 燒却施設에서 발생하는 排氣가스 중 Dioxin 문제가 자주 거론되고 있다. 일반적으로 燒却온도를 1,800°F(982℃)이상으로 하면 Dioxin을 비롯한 有害가스의 배출이 최소화된다고 알려져 있다. 배기가스내의 Dioxin을 제거하는 방법은 주입쓰레기의 選別, 연소온도 및 滯留時間의 調節, 粉塵除去方法 등이 있다. 주입쓰레기의 選別은 燒却爐에 주입되는 쓰레기중 Dioxin을 생성하는 플라스틱과 같은 鹽素化合物을 미리 선별하는 것이다. 연소온도 및 滯留時間의 조절방법은 Dioxin을 제거하는데 가장 중요한 방법이다. Dioxin의 배출이 최소로 되는 연소온도와 滯留時間은 각각 1,800°F(982℃)± 190°F(88℃)와 1초인 것으로 보고되었다. 또한 Dioxin은 섬유 Filter나 Scrubber에 의해 284°F(140℃)이하의 온도에서 제거되는 것으로 알려져 있다.



〈그림 4-13〉 보조연료의 사용없이 燒却可能한 發熱量



〈그림 4-14〉 空氣 豫熱없이 1500°F에서의 燃料消費

$$((^{\circ}\text{F}-32) \times 0.555 = ^{\circ}\text{C}; \text{Btu/lb} \times 2,326$$

$$= \text{kJ/kg}; \text{gal/ton} \times 4.173 = \text{mL/kg})$$

4.2.5 음식물쓰레기를 焼却處理했을 때의 문제점

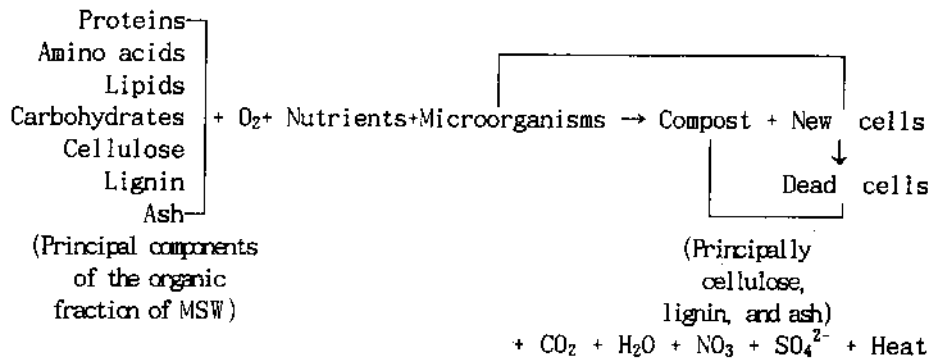
쓰레기를 완전연소시키기 위해서는 酸素이외에 충분한 온도, 연소시간 및 충분한 혼합이 이루어져야 한다. 따라서 쓰레기의 焼却을 위해 필요한 쓰레기의 性状은 충분한 發熱量을 가져야 하는 것이다. 음식물쓰레기는 有機物含量이 높은 반면에 水分含量이 매우 높기 때문에 실제 연소에 필요한 低位發熱量이 매우 낮다. 따라서 음식물쓰레기를 도시쓰레기와 혼합하여 焼却處理할 경우 쓰레기의 발열량이 낮아지기 때문에 충분한 연소온도를 유지하기 위해서는 보조연료를 많이 필요로 할 가능성이 매우 높다.

4.3 堆肥化

堆肥化는 쓰레기내의 有機物質을 미생물에 의해 안정적으로 분해하여 堆肥를 생산하는 공정으로 아주 오래전부터 쓰레기를 처리하는 방법으로 널리 사용되어져 왔다. 생산되어진 堆肥는 작물에 유용한 營養素를 이용한다는 의미보다는 土地改良劑로서 이용된다. 즉 堆肥는 ① 모래가 많은 흙에 水分含量과 水分保有力을 증대시키며 ② 土壤의 粒團組織(Aggregation)을 증대시키며 ③ 粘土成分이 많은 토양의 경우에는 透水率을 증대시키며 ④ 토양내의 微生物의 수를 증가시키며 ⑤ 토양내에 딱딱한 껍질이 형성되는 것을 감소시키는 장점이 있다. 반면에 생산된 堆肥를 운반하는데 비용이 많이 소요되며 또한 堆肥에는 분해되지 않는 有機化學物質이나 病原菌 또는 重金屬이 함유되어 위해를 끼칠 수 있는 단점이 있다. 아울러 堆肥生成過程에서 농작물에 필요한 窒素가 많이 유실되는 단점을 가지고 있다.

4.3.1 堆肥化 理論

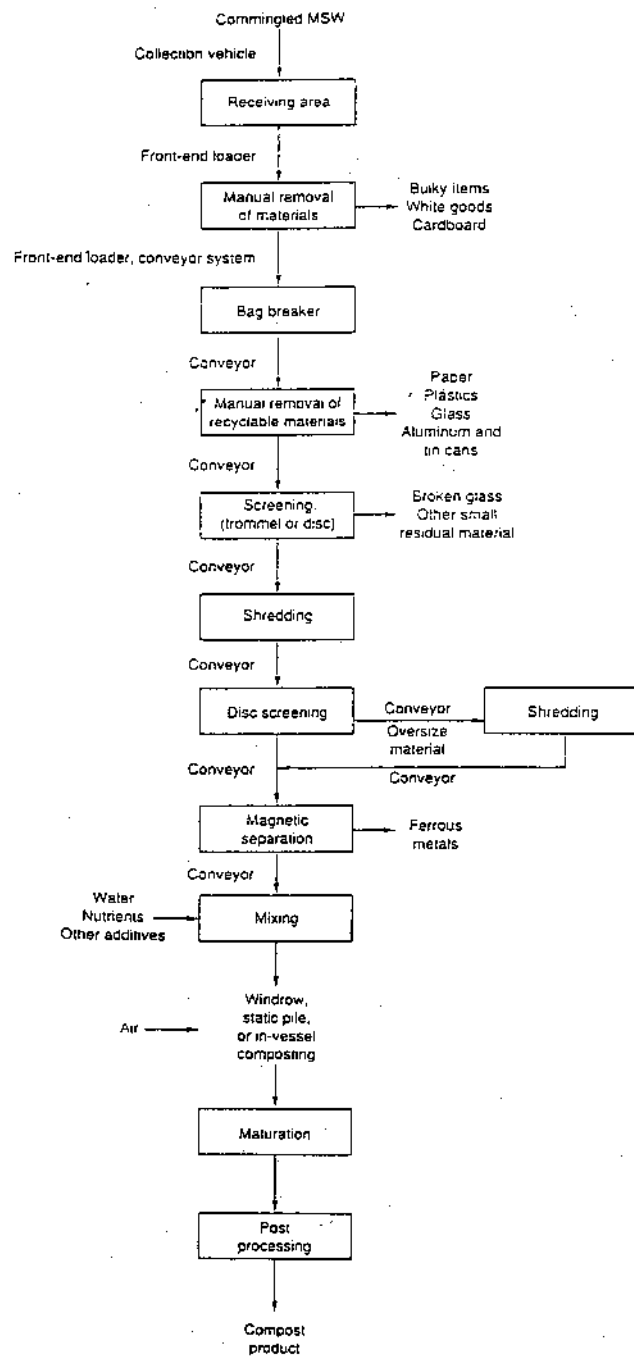
쓰레기내의 有機物質은 단백질, 아미노산, 지방, 탄수화물, 셀룰로오즈, 리그닌 및 재로 구성된다. 이러한 有機物質은 好氣性微生物에 의해 분해되어 堆肥로 생산되는데 그 과정은 아래와 같다.



堆肥化의 目的은 ① 生物學的으로 분해가능한 有機物質을 生物學的으로 안정된 물질로 변환 ② 이 과정에서 쓰레기의 체적을 감소 ③ 病原菌의 死滅 ④ 營養素(窒素, 磷, 칼리)의 유실을 최대한으로 방지 ⑤ 식물성장에 필요한 영양소의 공급 및 土地改良劑를 생산하는데 있다.

도시쓰레기를 堆肥化시키는 과정은 크게 前處理, 有機物質의 分解 및 最終堆肥製品生産으로 나뉘어진다. 도시쓰레기 堆肥化의 일반적 과정이 <그림 4-15>에 나타나 있다. 堆肥化를 위한 주요과정은 有用資源의 回收, 粉碎, 쓰레기의 性狀(C/N比, 水分含量, 營養素含量)조정으로 볼 수 있다.

好氣性으로 堆肥를 생산하기 위해, 酸素를 공급하기 위해서는 공기를 인위적으로 주입하거나 또는 쓰레기를 뒤집어주는 방법을 사용하고 있는데, 쓰레기내에 수분이 증가하여 어느 정도이상이 되면 공기를 공급하기가 매우 어려워진다. 따라서 水分含量을 최대 85%이하로 유지하여야 하는데 대체로 55~60%로 유지시키고 있다. 또한 水分含量이 너무 적어도 Bacteria 성장에 문제가 생기는데 40~50%이하면 Fungi가 생긴다. 간혹 쓰레기내에 너무 많은 수분이 있는 경우에는 수분을 흡수시키기 위하여 Bulking Material을 사용하는데 톱밥이나 벧짚, 낙엽 등이 이러한 물질에 해당되며, 이 경우에는 水分含量이 40%가량이라도 괜찮은 것으로 알려지고 있다. 또한 잘 養生된 쓰레기 자체가 Bulking Material이므로 특별한 Bulking Material 대신에 養生된 堆肥와 쓰레기를 혼합하여 사용하는 경우도 있다. 이 경우에는 堆肥化에 필요한 種菌도 공급되는 장점이 있다.

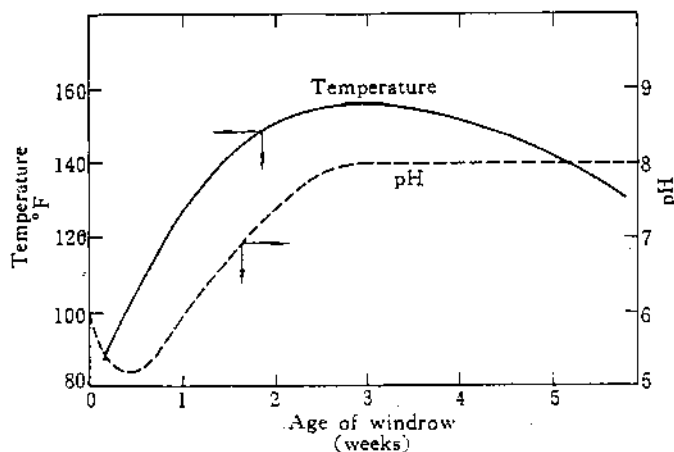


〈그림 4-15〉 일반적인 도시쓰레기 堆肥化 過程

쓰레기를 堆肥化시킬 때 pH는 그다지 문제가 되는 것 같지는 않다. 운전 초기에는 pH가 5.6~6.0으로 떨어지나 곧 메탄형성 Bacteria에 의하여 有機酸이 메탄화되면서 pH가 증가되어 최종적으로 생성되는 堆肥는 pH가 8.0~9.0가량이나 된다. <그림 4-16>는 堆肥養生期間에 따르는 pH의 변화를 나타내고 있는데 대체로 pH는 6~9의 범위면 괜찮다. 만약 嫌氣性으로 堆肥를 생산하고자 할 때는 쓰레기가 물에 잠기는 것이 좋다.

堆肥化는 微生物에 의하여 有機物質이 분해되는 과정으로서 微生物의 성장을 위한 窒素分이 필요한데 이를 나타내는 尺度로 C/N比가 사용된다. C/N比가 너무 작으면, 즉 N이 많으면 堆肥化 과정에서 외부로 N이 유실되며, C/N比가 너무 크면, 堆肥化가 잘 진행되지 않는다. 대체로 C/N比는 20~40가량이 좋은 것으로 알려지고 있으며, <표 4-6>에는 각종 쓰레기내의 窒素含量을 나타내고 있다. 그리고 우리나라 도시쓰레기의 C/N比는 약 15.8~30.7인 것으로 알려지고 있으며, 생성시킨 堆肥의 C/N比는 11~20, N은 乾燥重量比로 약 1%, P는 70~300ppm, Cd은 1.2~2.3ppm, Zn은 2.6~9.4ppm, Cu는 0.5~1.7ppm이었다.

<그림 4-16>에는 pH 이외에 堆肥內의 온도변화를 나타내고 있는데, 높은 온도는 堆肥內의 병원균과 기생충을 죽이는 역할을 하며, 병원균과 기생충에 대한 영향을 나타낸 것이 <표 4-7>이다. 그리고 堆肥內의 온도가 너무 높게 되면 뒤집어 주던가, 또는 공기를 공급하여 온도를 저하시켜 주어야 한다.



<그림 4-16> 堆肥壇 工法에서의 경과기간에 따르는 온도와 pH의 변화

4.3.2 堆肥化 指標

堆肥化의 과정에서 중요한 관심의 대상은 廢棄物의 分解率으로써 分解率의 증대는 안정성과 最終堆肥의 질을 결정하게 된다. 堆肥化의 정도를 판단하는 指標로는 다음과 같은 것이 있다.

1) 可燃分含量(VS)

可燃分含量은 건조시료를 550℃에서 산화시켰을 때 감소되는 可燃分을 퍼센트로 나타낸 것을 말하며, 好氣性 微生物은 有機炭素를 CO₂로 전환시킴으로써 분해가 진행됨에 따라서 可燃分의 농도는 감소하여 有機物質의 분해율을 판단하는 指標로 널리 이용되고 있다. 그러나 可燃分含量을 堆肥化의 지표로 이용하는 방법은 분해가능물질, 난분해물질, 분해불가능물질을 구분하지 못할 뿐 아니라 분해과정에서 안정화된 有機物質까지도 可燃分에 포함시킴으로써 有機物質의 특성과 有機物質 농도 변화를 민감하게 반영하지 못한다는 단점이 있다. 예를 들어 초기에 可燃分의 농도가 80%인 쓰레기가 분해하여 有機物質이 50% 분해되어도 揮發成分은 67%로 13%만이 감소하며, 슬러지와 도시쓰레기를 혼합한 물질을 한달간 堆肥化시킬 경우도 可燃分含量은 하루에 0.6%가 감소될 뿐이다.

〈표 4-6〉 쓰레기내의 窒素含量

廢棄物 種類	C/N 比	廢棄物 種類	C/N 比
식품폐기물		하수슬러지	
Raleigh, Nc	15.4	활성슬러지	6.3
Louisville, Ky	14.9	활성슬러지+1차슬러지	15.7
도시폐기물		나무(소나무)	723
Berkeley, Calif	33.8	종 이	173
Savannah, Ga	38.5	잡 초	20
Johnson City, Tenn	80	낙 엽	40-80
Raleigh, Nc	57.5	톱 밥	511
Chandler, Ariz	65.8		

< 4-7> 堆肥化 과정에서의 病原菌의 死滅

Organism	溫도와 死滅時間
<i>Salmonella typhosa</i>	46℃이상에서는 성장하지 못하며 55~60℃에서 30분내에, 60℃에서는 20분내에 죽는다.
<i>Salmonella</i> sp.	55℃에서는 1시간내에, 60℃에서는 15~20분내에 죽는다.
<i>Shigella</i> sp.	55℃에서는 1시간내에 죽는다.
<i>Escherichia coli</i>	55℃에서는 1시간내에, 60℃에서는 15~20분내에 죽는다.
<i>Entamoeba histolytica</i> cysts	45℃에서는 수분내에, 55℃에서는 수초내에 죽는다.
<i>Taenia saginata</i>	55℃에서 수분내에 죽는다.
<i>Trichinella spiralis</i> larvae	55℃에서 빨리 죽으며, 60℃에서는 순간적으로 죽는다.
<i>Brucella abortus</i> or <i>Br. suis</i>	62~63℃에서 3분내에, 55℃에서는 1시간내에 죽는다.
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	50℃에서 10분내에 죽는다.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54℃에서 10분내에 죽는다.
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>hominis</i>	66℃ 또는 순간적인 67℃의 온도에서 15~20분내에 죽는다.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	55℃에서 45분내에 죽는다.
<i>Necator americanus</i>	45℃에서 50분내에 죽는다.
<i>Scaris lumbricoides</i> eggs	50℃에서 1시간내에 죽는다.

2) C/N比

C/N比는 식물의 성장에 이용될 수 있는 窒素를 토양에 공급한다는 의미에서 堆肥의 質을 판단하는 중요한 指標이며, 초기 최적 C/N비는 25~35정도이다. 堆肥化가 진행됨에 따라 유기탄소가 CO₂로 전환됨에 의하여 C/N비는 점차 감소하게 된다. 일반적인 堆肥의 C/N比는 5~20정도로써 C/N비의 점진적인 감소는 堆肥化의 정도를 나타내는 민감한 指標가 되며, 낮은 C/N비는 높은 질의 堆肥를 의미한다.

3) 온도의 상승

堆肥化의 정도를 판단하는 指標로 이용되는 온도의 상승은 그 자체의 의미보다는 微生物의 활동에 의한 熱量의 방출에서 의미를 찾을 수 있다. 과거

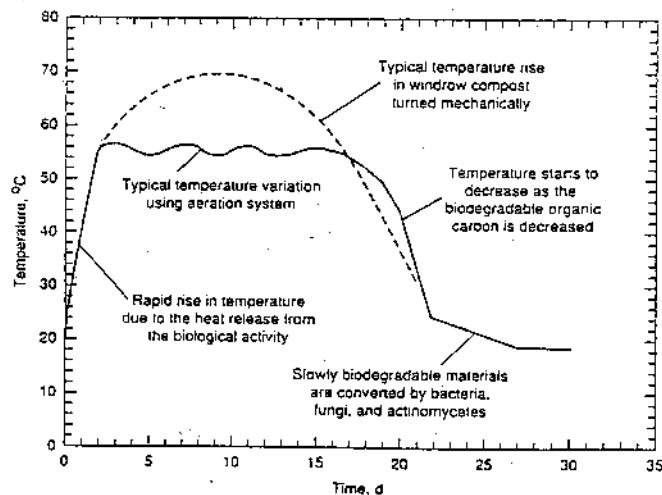
의 많은 연구 결과에서 최적의 분해를 이루도록 하려면 온도를 높이는 것이 유리하다고 하였으나, 최근의 연구에서는 최적의 온도를 55~60℃ 정도로 유지하는 것이 유리하다는 연구결과가 발표되었다. <그림 4-17>은 堆肥化 과정 중의 온도변화를 보여주고 있다.

4) 水分含量

微生物은 有機物質을 분해하는 과정에서 수분을 생성하게 되고, 분해과정에서 발생하는 열은 有機物質내의 수분을 蒸發시키는 역할을 한다. 이때 생성되는 수분의 양이 蒸發되는 양에 비하여 매우 작으므로 분해가 진행됨에 따라 水分含量은 줄어들게 된다.

5) 산소소모량과 이산화탄소 생성량

堆肥化 과정에서 有機物質을 분해하는 주요한 형태인 好氣性 呼吸은 O_2 를 소비하고 CO_2 를 생성하므로 O_2 소모와 CO_2 의 생성비는 분해의 정도를 반영하게 된다. 산소의 소모와 이산화탄소의 생성비가 堆肥化의 지표로써 활용되기 위해서는 유출되는 공기의 양과 O_2 와 CO_2 의 농도 및 堆肥物質의 무게변화가 계속적으로 측정되어야 함으로 실험실 규모에서는 Respirometer에 의해 산소소모와 이산화탄소 생성비의 지속적인 측정이 가능하다. 그러나 비록 이 방법이 堆肥化의 올바른 指標라 하여도 현장에 적용시키는 경우에는 검토 및 고찰이 필요하다.



<그림 4-17> 堆肥化 과정중의 온도변화

4.3.3 堆肥化 工法

1) 堆肥壇工法

쓰레기를 단으로 쌓아 堆肥化시키기 위해서는 쓰레기를 운반하거나 뒤집는 장비의 운전이 지장이 없으며, 또한 堆肥로부터의 浸出水가 표층으로 스며들지 않도록 포장된 장소가 적합하다. 또한 강우시에 강우에 의하여 범람되지 않도록 차집거가 설치되어야 하며, 또한 堆肥壇은 지붕으로 씌우는 것이 좋다. 그리고 바람이 많이 부는 경우에는 防風壁이 설치된다.

堆肥壇을 뒤집는 이유는 필요한 산소를 공급하고, 또 病原菌을 열과 접촉시켜 죽이기 위한 것으로 외부의 쓰레기는 내부로, 내부의 쓰레기는 외부로 가도록 뒤집어야 효과적이다. 쓰레기만 가지고 堆肥를 만드는 경우에는 3일에 1회씩 뒤집으면 충분한 酸素가 공급되나, 슬러지를 섞는 경우, 즉 수분이 많은 경우에는 1일 1회씩 뒤집어야 한다. 또한 쓰레기를 자주 뒤집으면 다져지는 것이 방지되어 공기의 소통이 원활하게 된다.

堆肥壇을 운영하기 위해서는 堆肥壇을 뒤집으며 아울러 공기를 공급하는 장치가 필요한데, 뒤집는 장치는 소규모의 경우에는 Bulldozer나 Front-end Loader가 이용되며, 대규모인 경우에는 <그림 4-18>과 같은 특수한 장치가 이용된다. 이 장치는 높이 1.5m, 폭 4.2m의 堆肥壇을 쌓고 뒤집는데 효과적이다.

공기를 주입시키는 방법으로는 구멍이 많이 뚫린 관을 堆肥壇 밑바닥에 깔은 후에 공기를 주입하거나 또는 공기를 뽑아내는 방법이 사용된다. 공기를 뽑아내는 경우에는 잘 양생된 堆肥속에 그 공기를 불어 넣어 냄새를 제거시킨다. 공기량은 $12\text{m} \times 6\text{m} \times 2.5\text{m}$ 높이의 堆肥壇에 있어 미국의 경우에는 약 $5\text{m}^3/\text{min}$ 이면 되는 것으로 알려지고 있다.

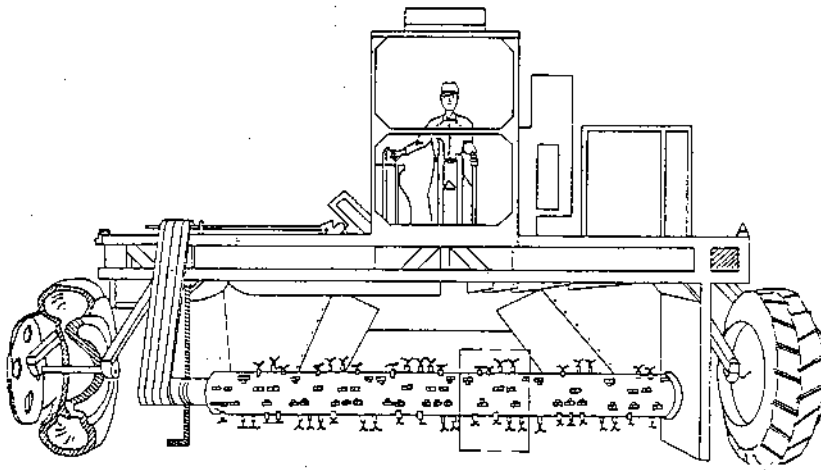
효과적인 공기 공급을 위해서는 쓰레기의 입자크기가 균등하고, 공의 형상이며, 다져지지 않아야 하므로 수분이 많거나 하면 문제가 되며, 또한 종이류는 발췌를 일으키게 된다. 堆肥壇 工法을 사용하는 堆肥工場의 工程圖가 <그림 4-19>에 주어져 있는데, 堆肥화 的 所 要 時 間은 최소한 2주 이상이다. 그리고 쓰레기로부터 堆肥를 생산하기 위해서는 인력 또는 자석 등을 이용하여 플라스틱이나 철재를 선별시켜야 한다.

2) 機械的 工法(Mechanized 또는 Closed System)

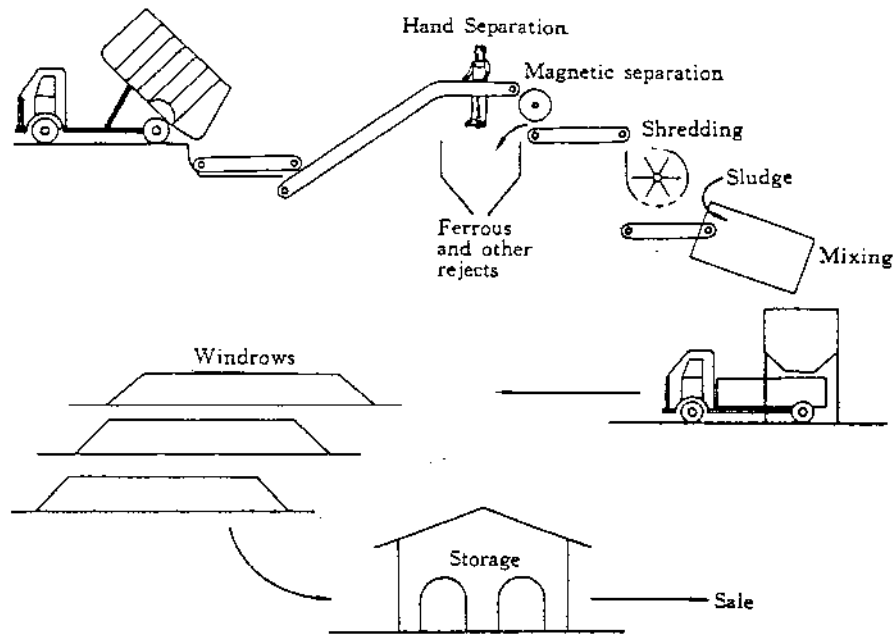
堆肥壇 工法은 어느 일정한 밀폐된 장소를 이용하지 않으나, 밀폐된 장소에서 堆肥를 만드는 工法을 機械的 工法이라고 부른다. 기계적으로 공기의 공급과 혼합을 시키며, 또한 생산된 堆肥를 반송시켜 種菌으로 이용하는 이 工法에 의한 堆肥化는 단시간내에 이루어지나 분해가 쉬운 것만이 단 기간내에 분해되므로 분해가 어려운 것은 다시 분해되도록 하여야 한다.

a)Dano Biostabilizer

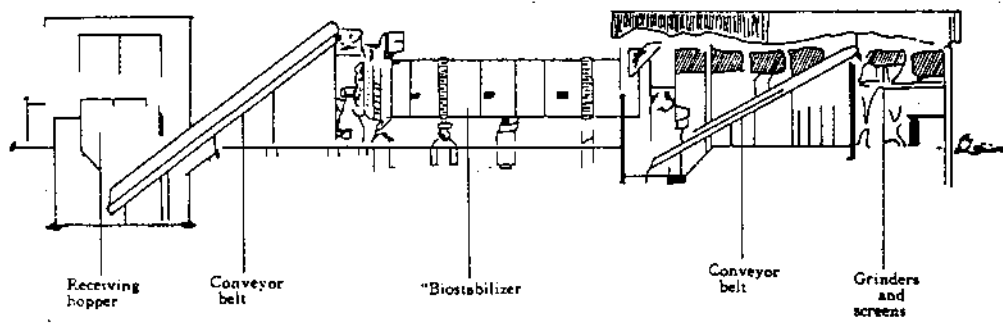
개발된지 오래되나 효과적인 방법으로 알려지고 있는 이 방법은 길이가 약 25m, 직경이 3.5m인 철관에 쓰레기를 주입하여 회전시켜 堆肥를 만드는 방법이다. 이 철관은 수평으로부터 약 5도가량 기울어진 채 1.5~5.0 rpm으로 회전하는데 주입된 쓰레기는 회전에 의하여 서로 부딪쳐 분쇄시켜 주입시킨다. 이렇게 하여 생산된 堆肥는 堆肥壇 工法으로 약 5~6주가량 다시 부숙시켜야 한다. <그림 4-20>은 Dano Biostabilizer에 의한 堆肥生産工程을 보여주고 있다.



<그림 4-18> 堆肥壇을 뒤집어주는 특수한 기계



〈그림 4-19〉 都市廢棄物의 堆肥壇 工程



〈그림 4-20〉 Dano Biostabilizer에 의한 堆肥生産工程

b) 수직형 사이로 消化槽 (Vertical Silo Digester)

이 방법은 원통, 또는 구형의 Silo에 여러 층을 두어 쓰레기를 윗층으로부터 아래층으로 떨어트리며 공기를 공급하고 혼합시키는 방법으로 24시간 내지 6일의 滯留期間이 소요되며, Dano Biostabilizer 방법과 마찬가지로 5~6주의 堆肥壇 工法에 의한 부숙이 필요하다. <그림 4-21>에 수직형 Silo Digester의 모형도가 주어져 있다.

c) Naturalizer

이 방법은 IDC(International Disposal Corp)工法, 또는 Real Earth工法이라고도 부르는데, 1.8m의 높이내에 여러층의 회전하는 콘베이어 벨트를 설치하여 맨 윗층 벨트내의 쓰레기가 아랫층으로 내려가게 하여 공기를 공급하고 혼합시키는 工法이다. 각 콘베이어 벨트의 길이는 50m이고 폭은 3m이며, 송풍기(Blower가 아닌 Fan)로 공기를 공급한다. 滯留期間은 1~2일 가량이며, 堆肥를 만든 후에는 다시 5~6주가량 堆肥壇 工法으로 부숙시켜야 한다.

d) Metro Waste

이 방법은 콘베이어 벨트에 의하여 쓰레기를 혼합시키며, 공기는 바닥의 공기관을 통하여 주입시키는 工法으로 滯留期間은 4~6일이며, 다시 堆肥壇에 의해 5~6주간 부숙시켜야 한다.

e) Fairfield-Hardy 消化 工法

이 工法은 <그림 4-22>에서와 같은 消化단에 廢棄物을 넣고 중앙의 구동 장치와 연결된 Screw형상의 기둥들에 의하여 쓰레기를 혼합, 이동시킨다.

3) 인공발효 堆肥化

최근에 사업체를 통하여 제안되고 있는 방법으로 乾燥, 滅菌, 粉碎, 混合, 分解醱酵 단계로 이루어져 있으며, 제품에 따라서 乾燥, 滅菌, 粉碎 混合만이 이루어지는 乾燥器와 乾燥, 滅菌, 粉碎, 混合후 인위적으로 醱酵菌의 주입을 통하여 有機物을 분해하는 醱酵反應槽로 나누어진다.

乾燥器는 醱酵의 의미보다는 단순 건조의 역할을 할 뿐이며, 醱酵反應槽

는 醱酵菌을 주기적으로 주입하여 廢棄物과 혼합하여 단시간내 처리가 가능하다고 하나 後熟段階가 필수적이다.

따라서 後熟을 위한 넓은 부지가 필요하고 醱酵菌의 구입경비, 건조시 소모되는 연료등 부대비용과 정확한 이론적 근거가 제시되어 있지 않으므로 명확한 검증단계를 거친 후 신중히 보급되어야 한다.

.....

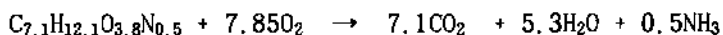
4.3.4 음식물쓰레기의 堆肥化

1) 堆肥化 처리시 무게감량과 산소소요량

堆肥化에 필요한 산소소요량은 음식물쓰레기내 有機物質의 化學的 組成을 이용하여 식(5)에 의해 구할수 있다.

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a+b-2c-3d}{4} \right) O_2 \rightarrow aCO_2 + \left(\frac{b-3d}{2} \right) H_2O + dNH_3 \cdots \text{식(5)}$$

음식물쓰레기중 有機物質의 분자식은 앞에서 산출한 바와 같이 $C_{7.1}H_{12.1}O_{3.8}N_{0.5}$ 이므로 이것을 식에 대입하면 다음과 같다.



음식물쓰레기의 生物學的 분해가능한 有機物質의 含量이 76% 정도이므로 위의 식을 이용하여 1ton의 음식물쓰레기로 堆肥化시킬 때 필요한 산소의 양은 $191 \text{ kg } O_2 (7.85 \text{ kmol} \times 32 \text{ kg/kmol} \times 0.76)$ 가 된다.

堆肥化시 수분제거량은 堆肥化의 온도가 60°C 로 올라간다고 가정했을 때 약 $0.137 \text{ g } H_2O/\text{g Air}$ 이므로 총수분제거량은 다음과 같다.

$$191 \text{ kg } O_2 \times \frac{1 \text{ kg Air}}{0.23 \text{ kg } O_2} \times 0.137 \text{ kg } H_2O/\text{kg Air} = 114 \text{ kg } H_2O$$

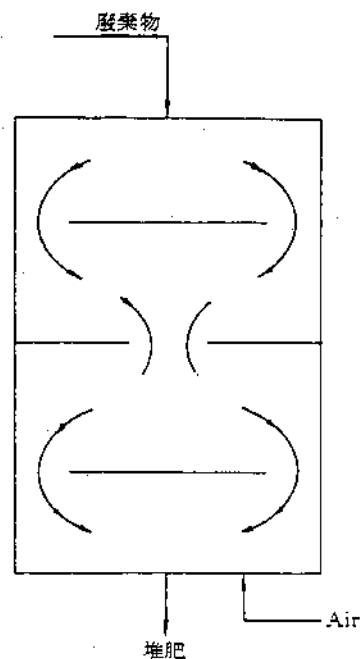
따라서 1ton의 음식물쓰레기를 堆肥化시키면 128 kg의 固形物이 분해되고 114 kg의 수분이 제거되므로 무게감량은 건조중량기준으로 약 64.5%, 濕潤重量基準으로 약 24.2%정도이다.

2) 堆肥化할 경우 문제점

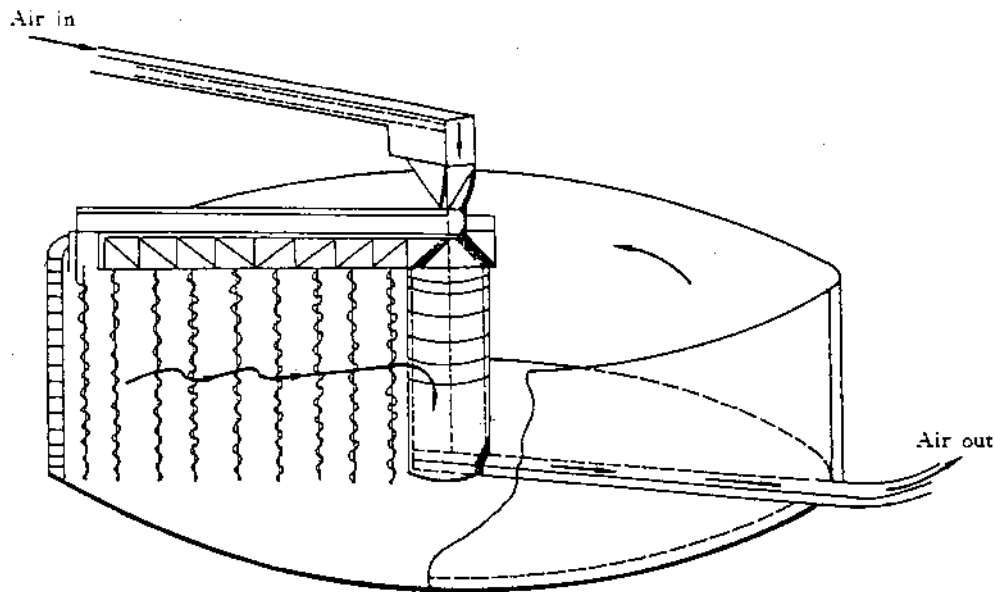
음식물쓰레기는 質的 特性狀 堆肥化하는데 많은 문제점을 가지고 있다. 일반적으로 堆肥化處理에 필요한 쓰레기의 性狀은 C/N비가 20 ~ 40, 水分含量이 55 ~ 60%정도가 되어야 하나 음식물쓰레기는 C/N비가 매우 낮은 반면

에 높은 水分含量을 가지고 있다. C/N비가 낮은 경우는 堆肥化 과정에서 窒素가 암모니아 가스형태로 배출되기 때문에 강한 惡臭를 발생한다. 또한 높은 水分含量은 공기의 공급을 제한하여 好氣性狀態를 유지할 수 없게 된다. 따라서 C/N비를 높이고 水分含量을 조절하기 위하여 Bulking Agent의 사용이 불가피하다.

서울市와 같은 대도시에서는 堆肥化施設의 설치 및 생산된 堆肥의 사용에도 어려움이 있을 것으로 예상된다. 堆肥化施設의 경우 음식물쓰레기 수거차의 출입, 堆肥化에 따른 惡臭發生등이 지역주민들에 의해 嫌惡施設로 인식될 우려가 있어 施設立地選定에 문제가 발생할 가능성이 있다. 또한 서울市에는 농지가 거의 없고 堆肥를 사용할 수 있는 수요처가 제한되어 있으므로 堆肥를 생산하여도 적절한 수급에 어려움이 따를 것으로 생각된다. 堆肥化施設이 다른 쓰레기처리시설에 비해 높은 유지관리비가 소요되는 것도 문제점의 하나인데 일본의 경우 堆肥化施設의 유지관리비가 燒却보다도 높은 것으로 나타났다.



<그림 4-21> 수직형 Silo Digester



<그림 4-22> Fairfield-Hardy Digester

4.4 嫌氣性消化에 의한 Methane 가스의 회수

嫌氣性消化法은 처리과정에서 CH_4 가스가 생산되며 消化後의 슬러지의 생산량이 적으며, 또한 장기간의 滯留期間으로 처리시키기 때문에 슬러지나 廢水내의 病原菌을 죽일 수 있는 장점이 있다. 특히 에너지가격이 폭등된 이후의 好氣性工法과 비교하여 운전비의 소요가 매우 적어 각광을 받고 있다.

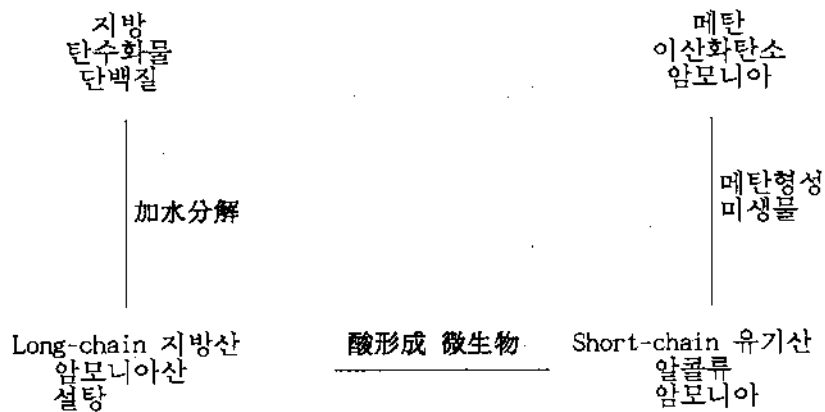
이러한 장점에 반하여 嫌氣性工法의 단점으로는 비교적 滯留期間이 장기적으로 소요되므로 시설비가 크며 사용되는 微生物이 주어진 조건에 민감하다는 점이다. 또한 處理水의 농도가 매우 높은 문제가 있으나 최근 滯留期間을 단축시키는 경향이 두드러져 앞으로 好氣性보다는 嫌氣性工法이 많이 사용될 전망이다.

4.4.1 嫌氣性 消化理論

1) 단계적 분해과정

嫌氣性 微生物은 복잡한 有機物質을 분해시켜 Alcohol이나 기타 Short Chain 有機酸을 만드는 酸形成 微生物(Acid Forming Microbes)과 CH_4 가스를 생산하는 CH_4 形成微生物 (Methane Forming Microbes)로 구성되고 있다. 즉 <그림 4-23>이 관계를 설명하여 주고 있는데 酸形成 微生物은 條件性(Facultative)미생물이나 CH_4 形成 微生物은 嫌氣性 微生物이다.

<그림 4-23>에서 加水分解(Hydrolysis)를 시키는 微生物은 산을 형성시키는 微生物과 같은 微生物로서 복잡한 有機物質로부터 Long Chain Fatty Acid 등을 만든 후에 다시 Short Chain 有機酸으로 만든다.



<그림 4-23> 嫌氣性 消化의 단계적 반응

<그림 4-24>에서 보는 것과 같이 有機物質은 Propionic Acid, Acetic Acid 및 기타 중간생성물질로 분해되어 CH_4 가스를 생산하고 있다. 嫌氣性 消化시에 생성되는 有機酸을 揮發酸(Volatile Acid)이라고도 부르는데 이는 대기압에서 증발(Distill)시킬 수 있기 때문이다. C가 6개 이하인 有機酸을 Short Chain 有機酸이라고 부른다.

酸形成 微生物에 의하여 형성된 산이 메탄형성 微生物에 의하여 분해되어 CH_4 가 생성되어야 하는데 어떠한 이유로 인하여 CH_4 형성이 저조한 경우 즉 酸形成이 왕성한 경우에 有機酸이 System내에 축적되어 pH가 저하되게 되는데 pH가 저하

되면 CH_4 형성 微生物에 독성을 준다. 따라서 酸形成과 CH_4 형성이 평형되도록 嫌氣性消化法을 운전하여야 한다.

2) 탄산가스-알카리도-pH의 관계

<그림 4-25>은 35℃에서 운전되는 嫌氣性 消化槽의 탄산가스-알카리도-pH의 관계인데 정상적인 消化를 위해서 알카리도(Bicarbonate)가 최소한 1,000mg/ℓ 이상이어야 하며, 또한 5,000mg/ℓ 미만이어야 하는 것으로 나타나고 있다. <그림 4-25>는 化學平衡式으로부터 구하여졌는데, 즉,

$$H^+ = K_1 \frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} \quad \text{식(6)}$$

에서 $[H_2CO_3]$ 의 농도는 消化槽內的 CO_2 가스의 함량과 관계되며 K_1 은 $[H_2CO_3]$ 의 이온화 계수이다. $[HCO_3^-]$ 의 농도는 消化槽內的 총 알카리도의 일부분이다.

消化槽內에 有機酸 VA(Volatile Acid)가 매우 적은 경우에는 $[HCO_3^-]$ 의 농도에 의한 BA(Bicarbonate Alkalinity)는 총 알카리도(Total Alkalinity:TA)와 거의 같다. 그러나 VA가 증가함에 따라 BA가 中和되어 Volatile Acid Alkalinity가 된다. 즉 이 경우에 있어서의 TA는 BA와 Volatile Acid Alkalinity의 관계로 설명되어지는데 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$BA = TA - (0.85)(0.833)TVA$$

여기서: BA = Bicarbonate Alkalinity, mg/ℓ as CaCO_3

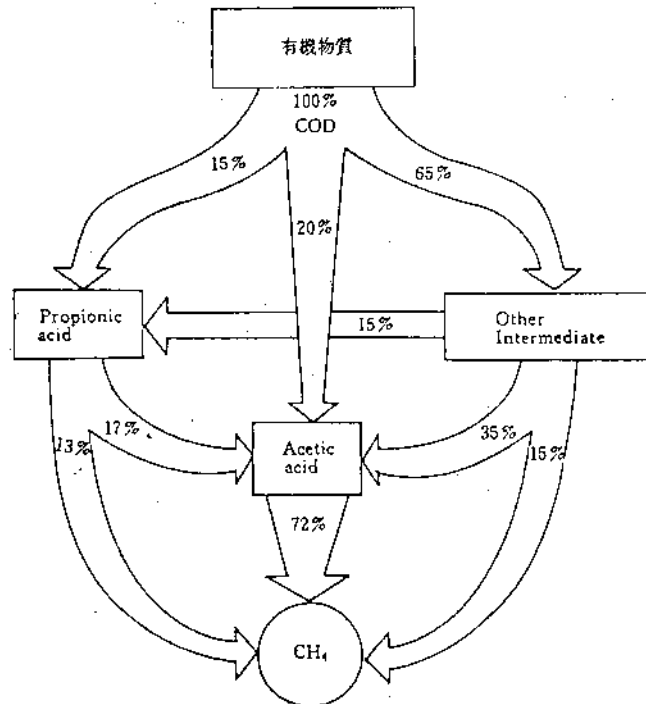
TA = Total Alkalinity, mg/ℓ as CaCO_3

TVA = 전체 揮發酸 濃度(mg/ℓ as Acetic Acid)

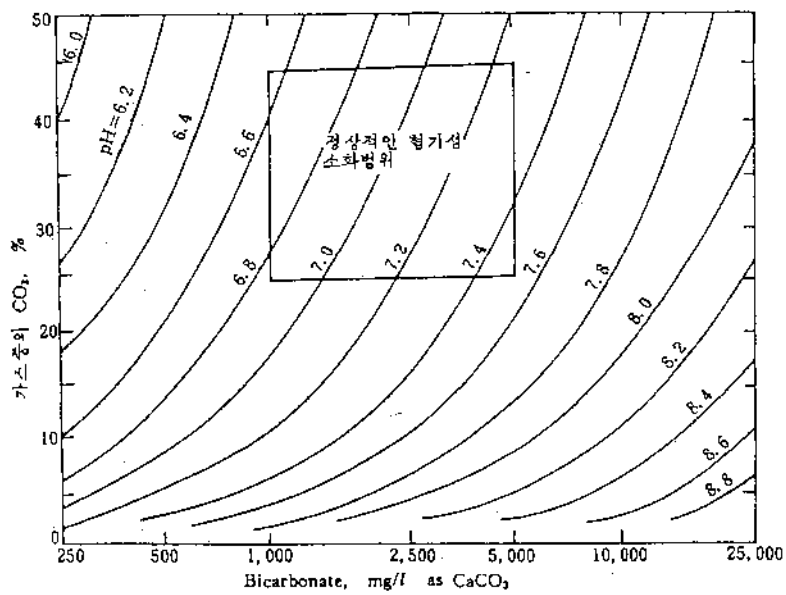
(0.833) = 아세트 알데히드(CH_3COOH)를 알카리도로 전환시킬 때의 계수(50/60)

(0.85) = TA를 구하기 위하여 pH가 4가 될 때까지 황산으로 적정시킬 때에 VA의 85%밖에 전환하지 못하기 때문에 사용하는 계수

그림<4-23>에서 BA가 1,000mg/ℓ이며 가스내의 CO_2 가 30~40%인 경우에 pH는 6.7내외가 된다. 일반적으로 消化槽內的 pH변화를 완충시켜 주기 위해서 BA를 2,500~5,000mg/ℓ로 운전시키는 경우가 있다.



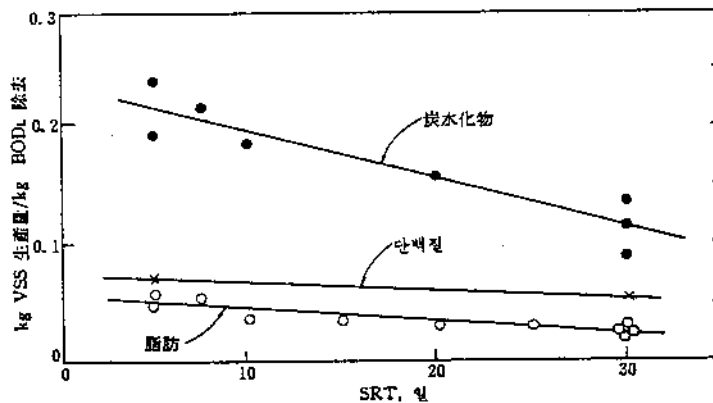
<그림 4-24> 有機物質이 분해되어 CH₄를 형성하는 과정



<그림 4-25> CO₂-HCO₃-pH의 관계(35℃)

3) 슬러지 생산량과 微生物의 内生呼吸(Endogenous Respiration)

<그림 4-26>은 kg BOD_L(최종 BOD) 제거당 kg微生物 생산량을 나타내고 있는데 固形物 滯留期間(Solid Retention Time:SRT)이 증가됨에 따라 그 생산량이 감소되고 있음을 보여 주고 있다.



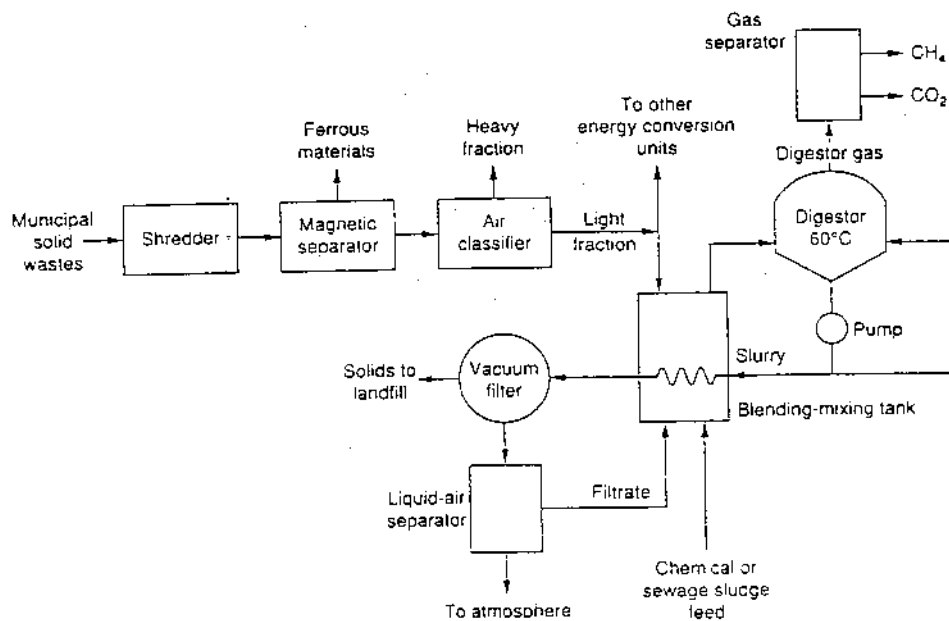
<그림 4-26> 有機物質의 성질에 따르는 嫌氣性슬러지 생산량

탄수화물을 消化시키는 경우에 비교적 슬러지 생산량이 많고 단백질이나 지방은 消化시키는 경우에는 생산량이 적다. 대체로 공급된 BOD_L 또는 COD에 대해 약 5~20%가량의 슬러지가 생산되는 것으로 보면 될 것이다. 好氣性의 경우에는 주입된 COD의 50%가량이 미생물의 세포로 변하는 것과 비교할 때 매우 적은 값이다.

<그림 4-26>에서 슬러지의 생산이 감소되는 이유는 微生物의 内生呼吸에 의한 것인데 대체로 그 감소율은 슬러지의 1~10%로 나타나고 있다. 好氣性 微生物의 35℃에서의 内生呼吸率과 대동소이한 것으로 생각된다.

4.4.2 嫌氣性 消化工法

쓰레기중 有機物質을 嫌氣性消化에 의해 처리하는 방법은 固形物含量에 따라 low-solid anaerobic digestion과 high-solid anaerobic digestion으로 구분된다.



〈그림 4-27〉 Low-solid anaerobic digestion의 處理系統圖

〈표 4-8〉 Low-solid anaerobic digestion의 주요설계요소

設計要素	設計基準
廢棄物의 크기	廢棄物은 펌프작동과 혼합을 방해하지 않을 만한 크기로 분쇄해야 한다.
混合裝置	분해촉진과 스크형성을 피하기 위해서는 기계적 혼합이 적당하다.
廢棄物과 슬러지의 混合比	廢棄物의 함량이 50~90%정도이며, 60%이상이 적합하다.
滯留時間	設計滯留時間은 10~20일 정도를 사용하거나 Pilot plant 실험결과에 의해 설계.
固形物負荷率	$0.04 \sim 0.1 \text{ lb/ft}^3 \cdot \text{d}$ ($0.6 \sim 1.6 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$)
固形物濃度	0.8~10%보다 작거나 같음(전형적으로 4~8%)
溫 度	中溫消化 86°F ~ 100°F (30~38°C) 高溫消化 131°F ~ 140°F (55~66°C)
有機物 除去效率	廢棄物의 특성에 따라 약 60~80% 정도로 다양하며, 일반적으로 70%정도가 제거된다.
固形物 除去效率	分解不能物質의 含量에 따라 40~60%로 다양하다.
가스생산량	$8 \sim 12 \text{ ft}^3/\text{lb}$ ($0.5 \sim 0.75 \text{ m}^3/\text{kg}$) of $\text{VS}_{\text{destroyed}}$ $\text{CH}_4=55\%$, $\text{CO}_2=45\%$

1) Low-solid anaerobic digestion

Low-solid anaerobic digestion은 4 ~ 8% 이하의 固形物含量으로 有機物質을 嫌氣性分解한다. 이 방법은 현재 糞尿, 畜産廢水, 農業廢棄物 및 도시쓰레기로 부터 CH_4 를 회수하기 위해 가장 많이 쓰이는 방법이다.

이 방법의 가장 큰 단점은 固形物 含量을 4 ~ 8%로 조절하기 위해 처리하고자 하는 쓰레기에 다량의 물을 주입해야 하는 것이다. 물의 주입은 농도가 낮은 消化슬러지를 발생시키기 때문에 處分에 앞서 脫水工程을 거쳐야 한다.

Low-solid anaerobic digestion의 처리계통이 <그림 4-27>에 나타나 있는데 주요공정은 크게 3가지로 나뉘어진다. 첫번째 공정은 쓰레기중 有機物質을 분리하고 粉碎하는 것이며, 두번째는 水分과 營養素注入 및 混合, pH調整, 加熱을 거쳐 嫌氣性分解가 이루어지는 工程이다. 대부분 수분과 營養素는 하수슬러지나 畜産糞尿를 주입하여 조정한다. 쓰레기의 消化時에는 거품과 Scum이 생성될 수 있기 때문에 설계시에 적절한 혼합방법이 반드시 고려되어야 한다. 마지막 공정에서는 생성된 가스의 捕集과 저장 그리고 필요할 경우 有用가스의 분리과정을 거치게 된다.

Low-solid anaerobic digestion에 의한 쓰레기의 嫌氣性消化時 主要 設計考慮因子가 <표 4-8>에 설명되어 있다. 쓰레기를 하수슬러지와 혼합하여 嫌氣性消化시킬 경우 가스발생량은 $10ft^3/lb$ of VS계 정도이며 이때의 CH_4 함량은 50 ~ 60%정도인 것으로 알려져 있다.

2) High-solid anaerobic digestion

High-solid anaerobic digestion은 固形物含量 22%이상으로 有機物質을 嫌氣性分解시키는 방법이다. 이 방법은 새로운 기술이며 아직 실용화 단계에까지는 이르지 않았지만 적은 양의 수분을 주입해도 되며 單位消化槽 體積당 많은 양의 가스를 생산할 수 있다는 장점이 있다. 이 방식이 처리계통에서 Low-solid anaerobic digestion과 다른 점은 消化슬러지의 脫水와 處分이 쉽다는 것이다.

반면에 높은 固形物含量 때문에 암모니아에 의한 毒性등이 유발될 수 있기 때문에 쓰레기주입시 C/N비의 조정 등이 필요하다.

<표 4-9>에는 Low-solid와 High-solid anaerobic digestion의 운전특성이 비교되어 있다.

3) 개발중에 있는 嫌氣性消化工法

쓰레기내의 有機物質의 처리과정으로서 嫌氣性消化는 CH_4 가스를 회수할 수 있을 뿐 아니라 消化시킨 슬러지를 堆肥로 사용할 수 있기 때문에 많은 관심의 대상이 되고 있다.

High-solid anaerobic digestion과 好氣性 堆肥化를 결합시킨 工程의 경우는 에너지회수와 함께 有機物質을 완전히 안정화시킬 뿐 아니라 脫水工程이 필요없다는 것이다. 또한 감량과 함께 病原菌의 死滅도 동시에 이루어진다. 이 공정은 $54 \sim 56^\circ C$ 의 高溫에서 30일의 滯留時間을 가지는 High-solid anaerobic digestion 단계와 消化슬러지를 好氣性 堆肥化시켜 固形物含量을 25 ~ 65% 이상으로 만드는 단계로 구분되어진다. 最終產物은 高位發熱量이 6000 ~ 6400 Btu/lb, 비중이 35 lb/ft³정도이며 직접 燒却處理 연료로 제조하거나 土地改良劑로 사용할 수 있다.

〈표 4-9〉 Low-solids와 High-solids anaerobic digestion의 운전특성비교

設計와 運轉要素	Low-solids	High-solids
反應槽設計	완전혼합반응조는 都市廢棄物의 消化, Plug-flow反應槽는 畜糞等의 消化에 주로 사용된다.	完全混合, plug-flow 및 회분식 反應槽가 실험적으로 연구되고 있으나, 都市廢棄物의 처리에 실제 상업적으로 사용되어진 예는 없다.
固形物含量	4 ~ 8%	22 ~ 32%
反應槽容量	單位有機廢棄物에 대해 대응량이 필요.	Low-solids에 비해 單位廢棄物당 적은 용량이 소요.
물 所要量	水分含量의 증가를 위해 다량의 물이 소요.	높은 固形物濃度때문에 물은 적게 소요.
有機物 負荷率	낮은 有機物負荷率.	높은 有機物負荷率.
가스生産量	최대가스생산량은 반응기체적의 약 2배.	최대가스생산량은 反應槽體積의 약 6배.
固形物 除去率	높은 水分含量으로 인하여 固形物除去率은 낮다.	같은 滯留時間에서 상대적으로 높은 固形物除去率.
注入 및 排出裝置	모든 종류의 펌프 사용가능.	High-solids pump와 Screw conveyor가 사용가능.
毒性物質	희석에 의해 毒性物質에 의한 영향은 크지 않다.	鹽分과 重金屬에 의한 毒性. 낮은 C/N비(10-15이하)에서 암모니아에 의한 독성.
沈出水 問題	높은 水分含量으로 인해 浸出水문제 발생한다.	일반적으로 25~30%함량의 固形物로 流出되므로 浸出水發生이 최소화된다.
流出水 水分除去	固形物分離를 위해 크고 高價의 시설물이 요구된다.	低價의 수분제거장치 사용가능.
技術狀態	都市廢棄物의 有機物分解에 의해 에너지를 回收하는 것은 상업화되지 않았다. 農業廢棄物로부터 에너지회수를 위한 消化裝置가 상업적으로 광범위하게 사용된다.	都市廢棄物의 有機物分解에 의해 에너지를 回收하는 것은 상업화되지 않았다.

4.4.3 음식물쓰레기의 혐기성 소화

1) 혐기성 소화시 에너지 생산량과 무게감량

<그림 4-28>은 廢棄物을 혐기성 소화시킬 경우 水利學的 滯留時間에 따른 가스생산량과 가스구성비를 보여주고 있다. 음식물쓰레기를 滯留時間 20일로 혐기성 소화시킬 경우 가스생산량은 $0.4 \text{ m}^3\text{Gas/kg VS}_{\text{ad}}/\text{d}$, CH_4 가스함량과 에너지를 구해보면 다음과 같다.

$$1,000 \text{ kg} \times 0.169 \times 0.4 \text{ m}^3\text{Gas/kg VS}_{\text{ad}}/\text{d} \times 0.53 = 35.8 \text{ m}^3\text{CH}_4$$

CH_4 가스의 低位發熱量은 $8,769 \text{ Kcal/m}^3$ 이므로

$$35.8 \text{ m}^3\text{CH}_4 \times 8,769 \text{ Kcal/m}^3 = 314,176 \text{ Kcal}$$

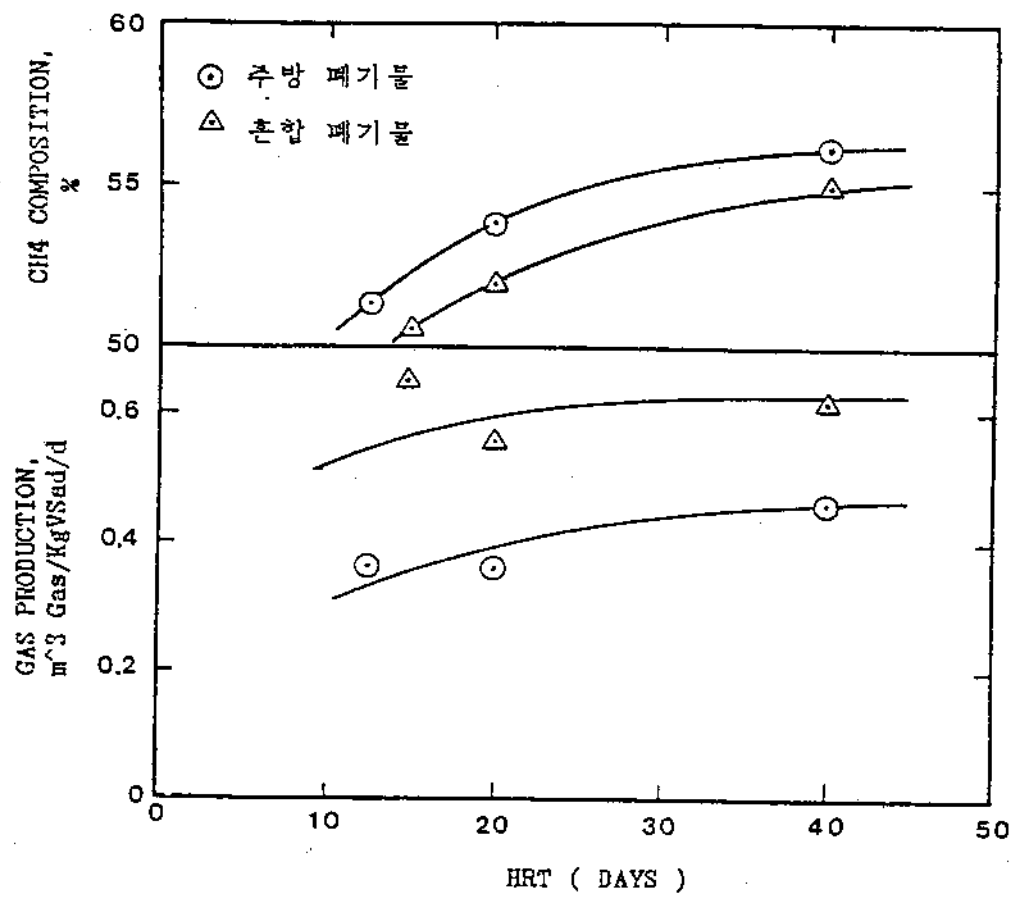
$$= 1,315 \text{ MJ}$$

또한 <그림 4-29>는 혐기성 소화시 VS제거효율을 보여주고 있는데 음식물쓰레기의 경우 20일의 滯留時間에서 약 71%의 VS가 제거된다. 따라서 음식물쓰레기를 혐기성 소화시킬 경우 무게감량은 乾燥重量基準으로 약 60%, 濕潤重量基準으로 약 12%정도이다.

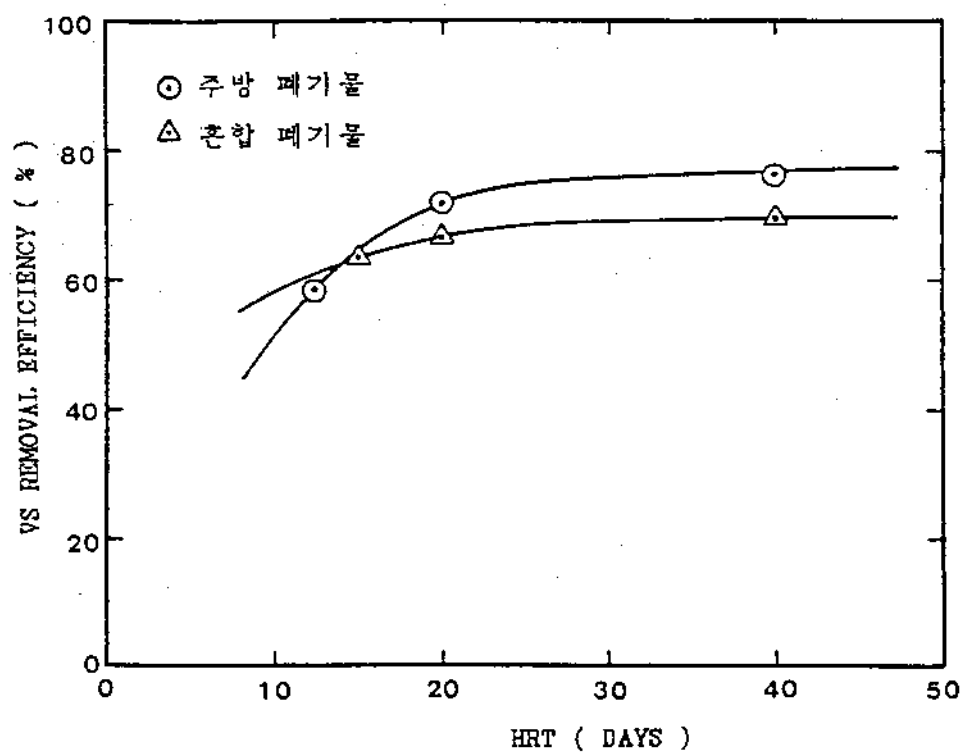
2) 혐기성 소화시킬 경우 문제점

현재 사용되고 있는 혐기성 소화工法(Low-solid anaerobic digestion)에 의해 처리할 경우 주입되는 固形物濃度가 높아 혼합시키기가 매우 곤란하여 消化槽의 용량중 Dead space가 많을 우려가 있다. 또한 많은 양의 물을 필요로 하므로 水質汚染을 유발시킬 가능성이 크며, 消化槽로부터 발생하는 슬러지를 다시 처리해야 하는 문제점이 있다.

또한 High-solid anaerobic digestion의 경우는 위의 문제점들은 어느 정도 해결할 수 있으나 공정자체가 아직 실용화 단계까지 개발되어지지 않아서 계속 연구가 필요할 것으로 생각된다.



<그림 4-28> 水理學的 滯留時間에 따른 가스생산량 및 가스구성비



〈그림4-29〉 水理學的 滯留時間에 따른 VS 除去效率

4.5 각 처리방법의 比較

<표 4-10>는 각 처리방법에 의해 1ton의 음식물쓰레기를 처리할 경우 에너지 생산량과 무게감량을 보여주고 있다. 에너지 생산량은 燒却處理할 경우 2,622 MJ로 가장 높고, 嫌氣性消化에 의해 처리할 경우 1,315 MJ정도이다. 그러나 燒却處理할 경우 음식물쓰레기만의 단독 燒却은 불가능하고 음식물쓰레기 1ton당 약 83ℓ(No.2 Fuel Oil기준)의 보조연료가 필요하다. 또한 埋立이나 嫌氣性消化에 의한 에너지 생산량은 발생되는 CH₄가스를 전량 포집하여 燒却시킬 경우에 회수할수 있는 최대생산량이므로 가스 抱集率과 가스 燒却效率등을 고려하면 실제 에너지 생산량은 감소될것이다.

무게감량면에서 볼 때는 乾燥重量基準으로는 燒却, 埋立, 堆肥化, 嫌氣性消化, 濕潤重量基準으로는 燒却, 堆肥化, 埋立, 嫌氣性消化의 순으로 많이 감량된다. 堆肥化의 경우 生物學的 分解可能物質이 모두 분해된다고 가정했을때의 감량이므로 실제 감량은 다소 감소할 것이며 濕潤重量基準의 減量은 堆肥化 방법에 따라 수분제거량이 상이하므로 실제 감량은 다소 차이가 있을 것이다. 에너지생산량과 무게감량의 측면에서 음식물쓰레기의 처리방법 중 가장 효율적인 것은 燒却으로 나타났으나 燒却의 경우 초기시설비가 크고 과다한 보조연료의 사용에 의한 높은 유지관리비등에 의해 경제성에 문제가 있다. 또한 堆肥化의 경우는 에너지생산량은 없으나 堆肥가 생산되어 농지로 還元되므로 자원의 再活用이 가능하고, 비교적 무게감량도 크므로 음식물쓰레기의 처리방법으로 적극 고려될 수 있는 방법이다. 嫌氣性消化의 경우는 음식물쓰레기의 처리를 위한 별도 시설의 설치보다는 현재 전국적으로 설치되어 있는 糞尿處理場의 嫌氣性消化槽를 이용하는 방안을 검토할 수 있다. 즉, 수세화율의 증가와 下水管渠의 정비에 따라 수거분뇨의 양이 전국적으로 감소되고 있는 추세이므로 糞尿處理場 嫌氣性 消化槽에 流入糞尿 감소량만큼의 음식물쓰레기를 주입할 수 있을 것이다.

〈표 4-10〉 음식물쓰레기 1ton을 처리할때 처리방법별 에너지
생산량 및 무게 감량

처리방법	에너지 생산량 (MJ)	무게감량		비고
		乾燥重量	濕潤重量	
埋立	2,442	64.5	12.8	가스의 燒却效率 고려안함
燒却	2,622	84.9	97.0	
堆肥	-	64.5	24.2	가스의 燒却效率 고려안함
嫌氣性消化	1,315	60.0	12.0	

〈표 4-10〉에서 알 수 있는 것처럼 음식물쓰레기의 처리방법은 각 방법에 따라 장 단점을 가지고 있다. 따라서 음식물쓰레기는 어느 한가지 처리방법을 선택하기 보다는 배출량과 배출여건에 따라 다양한 처리방법에 의해 처리하는 것이 효율적인 처리방법이다.

4.6 도시쓰레기 처리방법에 따른 埋立量 檢討

현재 서울市中에서 발생하는 쓰레기는 목동 자원회수시설에서 150 톤/일만을 燒却處理하고 있고 나머지는 전량 金浦首都圈埋立地에 埋立處分하고 있다. 당초 서울시에서는 99년까지 발생하는 쓰레기를 전량 燒却處理하도록 계획하였으나 燒却場 건설이 주민들의 반대에 의해 지연되거나 규모가 축소되고 있는 실정이므로 전반적으로 쓰레기 처리방법에 대한 계획의 조정이 불가피하다.

따라서 본 절에서는 각 쓰레기의 조성에 따른 처리방법별 대안을 설정하고, 각 대안별 減量化정도를 산출하여 埋立地 절감효과를 산출함으로써 효율적인 쓰레기 처리계획을 수립하는 지표로 사용하고자 한다. 또한 본 研究의 대상인 음식물쓰레기의 궁극적인 처리방안을 전체 쓰레기의 처리계획과 관련하여 수립한다.

4.6.1 埋立量 검토시 전제조건

각 처리방법에 따른 埋立量 절감효과를 산출하기 위해 가능하면 모든 조건을 아래와 같이 단순화시킨다.

○ 쓰레기 발생량은 1992년의 발생량에서 연탄재를 제외하고 연간 4,677,852톤을 기준으로 한다. 쓰레기 組成은 可燃性쓰레기, 음식물쓰레기 및 不燃性쓰레기로 구분하며 각각의 구성비는 60%, 30% 및 10%로 한다.

○ 쓰레기의 燒却時 可燃性쓰레기의 무게감량은 85%로 하고 음식물쓰레기도 燒却時에는 可燃性쓰레기와 같이 減量하는 것으로 간주한다.

○ 埋立時 각 組成別 體積換算係數는 다음과 같이 고려한다.

- 음식물쓰레기 1.00 m³/톤(水分含量이 매우 높으므로 다짐시 물과 유사한 것으로 간주)
- 可燃性쓰레기 1.43 m³/톤
- 燒却재 0.77 m³/톤
- 不燃性쓰레기 0.91 m³/톤

4.6.2 대안의 설정

쓰레기 處理·處分의 문제를 해결하기 위한 최선의 방법은 發生源로부터 발생량을 저감하고, 배출되는 쓰레기는 최대한으로 재활용하는 것이다. 재활용되고 남는 쓰레기는 여러가지 방법에 의해 처리된 후 最終處分되는데 본 연구에서는 쓰레기 처리방법으로 가장 많이 쓰이는 埋立, 燒却 및 堆肥化 방법만을 대상으로 대안을 설정하였다.

<표 4-11>는 본 연구에서 埋立量 檢討를 위한 처리방법별 대안을 보여주고 있는데 대안 1은 발생량 전량을 埋立하는 방안, 대안 2는 음식물쓰레기는 堆肥化하고 可燃性과 不燃性쓰레기는 埋立하는 방안, 대안 3은 음식물쓰레기는 水分含量이 높아 소각시키기 부적합하므로 不燃性쓰레기와 함께 埋立하고 可燃性쓰레기만 燒却하는 방안, 대안 4는 음식물쓰레기를 可燃性쓰레기와 함께 燒却하고 不燃性쓰레기만 埋立하는 방안, 대안 5는 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却, 不燃性쓰레기는 埋立하는 방안이다. 각 대안에서 燒却後 발생하는 소각재는 전량 埋立하며 堆肥化할 경우는 埋立되는 양이 없는 것으로 가정한다.

〈표 4-11〉 처리방법별 대안

구 분	대상쓰레기	처리방법	비 고
대 안 1	전체쓰레기	埋立	
대 안 2	음식물쓰레기	堆肥化	
	不燃性쓰레기	埋立	
대 안 3	可燃性쓰레기	焼却	焼却後 소각재는 埋立
	음식물쓰레기 不燃性쓰레기	埋立	
대 안 4	可燃性쓰레기 음식물쓰레기	焼却	焼却後 소각재는 埋立
	不燃性쓰레기	埋立	
대 안 5	음식물쓰레기	堆肥化	
	可燃性쓰레기	焼却	焼却後 소각재는 埋立
	不燃性쓰레기	埋立	

4.6.3 각 대안별 埋立量과의 관계

〈표 4-12〉은 전술한 전제조건에 의해 산정된 각 대안별 埋立量 및 減量化 정도가 중량과 부피로 나타나 있다. 埋立量의 감량이 가장 큰 처리방법은 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 焼却, 不燃性쓰레기는 埋立하는 방안이며, 이 때의 埋立量은 중량과 부피에서 각각 81%와 87.2%정도이다. 焼却의 경우 가장 큰 감량이 이루어지므로 대체적으로 처리방법에 焼却이 포함되는 경우에 50%이상의 減量化效果를 보여주고 있다.

〈표 4-13〉는 〈표 4-12〉에서 산정된 매립부피의 감량에 의해 산출된 埋立地 이용기간의 연장효과와 초기투자비절감효과를 보여주고 있다. 산출기준은 金浦首都圈埋立地の 시설용량과 수명을 각각 278백만톤과 25년으로 보고 총

시설투자비 1,878억원에 대한 절감액을 산출하였다. 절감액의 산출방법은 총 시설투자비를 각 대안별 埋立地 이용기간에 따라 다음식에 의해 연간 비용으로 換算하였다.

$$\text{연간비용} = \text{총시설투자비} \times (i)(1+i)^N / [(1+i)^N - 1] \quad \dots\dots\dots \text{식(7)}$$

여기서 N : 이용기간(년)

i : 연간이자율(10%)

埋立地 이용기간과 초기투자비 절감액은 대안 5의 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却, 不燃性쓰레기는 埋立하는 방안에서 각각 195년과 3,744억원으로 가장 크게 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 보면 埋立量의 절감효과만을 비교할 때 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却, 不燃性쓰레기는 埋立하는 방안이 쓰레기 처리방법으로 가장 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 본 비교는 단순히 埋立量의 절감효과만을 비교하였기 때문에 각 처리방법에 따른 經濟性 比較, 處理可能性 등의 綜合的인 比較가 보완되어야 할 것이다. 또한 각 대안을 설정 및 비교를 위하여 쓰레기를 크게 3가지 조성으로 분류하였으나, 쓰레기의 처리를 조성에 따라 전량 확일적으로 하기 보다는 실제 처리계획에서는 같은 조성이라도 서로 다른 처리방법에 의해 처리하는 것이 좋다. 즉 쓰레기 처리조건은 시간에 따라 변화될 수 있으므로 한가지 방법보다는 여러가지 방법에 의해 처리하여 쓰레기처리에 대한 기술적 경험을 축적하는 것이 변화하는 시대상황에 적절히 대처할 수 있을 것이다. 각 처리방법에 따른 경제성 비교는 다음장에서 언급하기로 한다.

<표 4-12> 각 대안별 埋立量 및 減量化 정도

구 분	무 계		埋 立 부 피	
	埋立量 (톤/년)	減量(%)	埋立量 (m^3 /년)	減 量(%)
대 안 1	4,677,852	0	5,842,637	0
대 안 2	3,274,496	30	4,439,281	24
대 안 3	2,292,148	51	2,153,215	63.1
대 안 4	1,099,295	76.5	911,947	84.4
대 안 5	888,791	81	749,859	87.2

〈표 4-13〉 각 대안에 따른 埋立地 造成費 절감효과

區 分	減量(%)	利用期間 (년)	初期投資費用節減 (억원)
대 안 1	0	25	0
대 안 2	24	33	355
대 안 3	63.1	68	1,286
대 안 4	84.4	160	3,072
대 안 5	87.2	195	3,744

제 5 장 음식물쓰레기 處理方法에 따른 輸送 比의 比較 · 檢討

5.1 檢討의 目的

5.2 檢討方法

제 5 장 음식물쓰레기 處理方法에 따른 輸送比의 比較・檢討

5.1 檢討의 目的

급속한 산업의 발달로 인하여 쓰레기의 발생량은 매년 증가하는 경향이고 이에 따른 環境規制도 심해짐에 따라 쓰레기의 處理에 막대한 處理費用이 소요되므로 쓰레기처리에 관한 新技術의 導入이 절실히 요구되고 있다. 또한 막대한 예산이 소요되는 쓰레기처리시설의 건설에 있어서 중요하게 浮刻되는 문제가 處理施設들의 최적위치와 처리용량을 결정하는 것이다.

쓰레기의 관리에 관련된 經濟性評價란 수거 및 운송비용, 處理施設의 건설 및 운영비용 등을 모두 포함하는 전체적인 管理體系의 비용을 평가함으로써 쓰레기 管理體系를 최적화하는 것이다.

이에 본장에서는 앞장에서 제시한 쓰레기 處理方法에 대한 代案別로 輸送比를 비교・검토하여 전체적인 쓰레기의 處理方向과 處理施設의 위치 등을 결정할 수 있는 자료를 제공하는데 그 目的이 있다.

5.2 檢討方法

5.2.1 WRAP모델의 概要

외국의 경우 70년대 후반부터 쓰레기 處理施設의 배치를 위하여 컴퓨터를 이용한 모델의 연구 및 실제 적용을 시도하여 왔다. 이용되는 컴퓨터 프로그램 중 대표적인 것이 WRAP(Waste Resource Allocation Program) 모델로서 여러가지 정책대안의 經濟性을 평가하기 위해 많이 이용되고 있다.

WRAP모델의 목적은 몇가지 제약요소를 만족하면서 발생된 쓰레기를 최소비용으로 처리할 수 있는 경로를 찾는 것이며, 중요한 장점은 어느 한 지점에서 쓰레기 처리과정을 集中化(centralization)함으로써 얻을 수 있는 규모의 經濟性(economies of scale)과 集中化에 필요한 추가적인 쓰레기 운송비용과의 균형을 유지시킬 수 있는 정보를 구할 수 있다는 것이다.

쓰레기 관리의 廣域化(regionalization)로 인하여 처리시설의 적정위치, 처리시설로의 쓰레기의 적정배분 및 처리시설의 용량을 결정하는 것이 매우 중요한 문제이다. WRAP모델은 쓰레기가 발생되어 收去, 運搬, 處理 및 處分되는 단계들을 管理體系 요소로 구성하여 模擬實驗(simulation)함으로써 쓰레기 處理施設들의 최적위치 및 용량을 결정하기 위하여 사용된다.

WRAP모델을 실행하기 위하여 필요한 입력자료는 다음과 같다.

- ① 發生源 資料: 계획기간내에 발생하는 각 발생원의 위치, 연간 쓰레기 발생량, 처리 및 처분장까지의 단위운반비용
- ② 處理 및 處分場 配置資料: 계획기간내에 설치된 공정이나 또는 설치할 수 있는 공정들의 가능한 위치
- ③ 處理 및 處分 工程資料: 공정별 쓰레기 유출률 및 밀도, 공정들 사이에 가능한 쓰레기 수송로 관계, 공정간의 단위운반비용, 각 공정의 線形化된 비용곡선
- ④ 輸送資料: 발생원과 처리 및 처분장과의 운송시간이나 운송거리

5.2.2 基本假定

서울시의 22개구를 각각의 쓰레기 발생원으로 간주하여 각 구의 구청을 발생원의 중심지로 가정하였다. 또한 堆肥化施設의 설치위치는 쓰레기처리의 효율성등을 고려하기 위해 이미 가동중이거나 또는 앞으로 설치될 燒却場의 위치와 연계하여 설치하는 것으로 가정하였다. 또한 전체 쓰레기 管理體系의 최적화를 위하여 다음과 같은 假定을 전제하였다.

- ① 운송단위비용 (중량톤): 380원/톤·분(4톤트럭 기준), 150원/톤·분(10톤콘테이너 기준)
- ② 대상지역: 서울시
- ③ 발생원 위치: 서울시 22개구(구청중심)
- ④ 발생원-처리시설 거리: 지도상거리(축척 1:200,000) $\times \sqrt{2}$
- ⑤ 비용: 운송비
- ⑥ 총 쓰레기 발생량: 4,677,852 톤 (1992년 기준)

5.2.3 대안설정

수송비의 비교를 위한 대안은 4장에서 언급한 바와 같이 쓰레기성상에 따라 처리방법별로 5개를 설정하였으며 WRAP모델을 실행하기 위하여 사용한 입력자료들은 <표 5-1>, <표 5-2>, <표 5-3>과 같다. <표 5-3>의 처리시설 및 설치위치는 현재 서울시에 설치되어 있거나 설치예정인 燒却施設의 위치를 그대로 이용하였으며, 堆肥化施設은 燒却施設내에 설치하는 것으로 가정하였다. 참고적으로 본 연구에서 설정한 대안과 시설의 규모 및 설치위치는 음식물쓰레기의 처리방향을 결정하기 위한 참고자료로 사용하기 위한 것이지, 실제 적용을 위한 것은 아님을 밝혀둔다.

<표 5-1> 서울특별시 22개구의 쓰레기 년 발생량(1992년도)

(단위: 중량톤)

발생원	총발생량	음식물 ¹⁾	可燃性 ²⁾	不燃性 ³⁾
노원	147,549	44,265	88,529	14,755
동대문	180,895	54,269	108,537	18,090
종로	93,129	27,939	55,877	9,313
양천	139,395	41,819	83,637	13,940
마포	151,536	45,461	90,922	15,154
중구	389,999	117,000	233,999	39,000
용산	192,130	57,639	115,278	19,213
강남	404,462	121,339	242,677	40,446
송파	290,750	87,225	174,450	29,075
강동	145,043	43,513	87,026	14,504
성동	319,280	95,784	191,568	31,928
도봉	252,461	75,738	151,477	25,246
성북	157,247	47,174	94,348	15,725
강서	192,111	57,633	115,267	19,211
구로	290,680	87,204	174,408	29,068
영등포	245,807	73,742	147,484	24,581
은평	176,134	52,840	105,680	17,613
서대문	138,366	41,510	83,020	13,837
종로	223,599	67,080	134,159	22,360
종관악	156,768	47,030	94,061	15,677
동작	133,832	40,150	80,299	13,383
서초	256,473	76,942	153,884	25,647
전체	4,677,8522	1,403,356	2,806,711	467,785

주) 1) : 음식물 쓰레기 = 총발생량 x 0.3

2) : 可燃性 쓰레기 = 총발생량 x 0.6

3) : 不燃性 쓰레기 = 총발생량 x 0.1

〈표 5-2〉 발생원에서 金浦首都圈埋立地간의 수송거리(대안 1)

발생원	거리, X1(km)
노원	58.0
동대문	52.9
종로	60.0
양천	33.1
마포	37.9
중구	48.6
용산	45.5
강남	56.0
송파	64.5
강동	65.6
성북	59.7
도봉	54.6
성서	52.0
강릉	30.8
구로	37.0
영등포	37.0
은평	40.2
서대문	41.6
종로	47.0
관악	46.1
동작	42.4
서초	53.4

주) X1 : 발생원으로부터 金浦埋立地까지의 거리

5.2.4 輸送比의 비교·검토

각 대안별 輸送費用을 WRAP모델을 이용하여 算定한 결과가 〈표 5-4〉에 나타나 있다. 각 대안별 輸送費用을 살펴보면 발생하는 쓰레기 전량을 埋立시킬 경우(대안 1)에는 연간 825억원의 수송비가 소요되는 것으로 추정되었다. 음식물 쓰레기만을 별도 收去하여 전량 堆肥化시키는 경우(대안 2)는 연간 679억원으로 전량 埋立하는 경우에 비해 연간 146억원의 수송비가 절감되는 것으로 나타났다. 수송비가 가장 적게 소요되는 처리방법은 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却後 燒却재만 埋立, 不燃性쓰레기는 埋立하는 경우(대안 5)이며 연간 459억원의 수송비가 소요되어 전량 埋立하는 경우에 비해 약 45%의 운송비 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이외에 可燃性쓰레기만을 燒却하는 경우(대안 3)

와 可燃性쓰레기와 음식물쓰레기를 동시에 燒却하는 경우(대안 4)는 연간 수송비가 각각 605억원과 494억원이 소요되는 것으로 나타났다.

<표 5-3>발생원과 처리시설(燒却, 堆肥化)간의 수송거리(대안 2,3,4,5)

처리시설명 (설치위치)	처리권역	거리 X1 (Km)	거리 X2 (Km)	처리시설용량(톤/일)	
				燒 却	堆肥化
상 계 (상계동)	노동대문 중	2.5 17.8 5.8	60.2	1600	350
목 동 (목동)	양 천	4.0	34.8	550	150
마 포 (난지도)	마중용 포구산	3.4 13.9 11.3	34.8	2700	650
강 남 (일원동)	강송 남파	6.8 4.2	62.2	1800	600
강 동 (고덕동)	강성 동동	7.4 11.0	69.3	1900	400
도 봉 (도봉동)	도봉 성북	1.4 8.5	53.4	1300	350
강 서 (공항동)	강서	7.1	24.0	600	200
구 로 (개봉동)	구로 영등포	4.8 8.2	32.0	2000	450
은 평 (구파발동)	은평 서대문 종로	5.7 8.8 10.7	41.3	2100	450
관 악 (신림동)	관악 동작	2.3 6.2	45.2	1100	250
서 초 (내곡동)	서초	9.0	62.2	700	250
11 개소	22 개구			16350	3850

주) X 1 : 발생원으로 부터 處理施設(燒却, 堆肥化)까지의 거리
X 2 : 處理施設(燒却, 堆肥化)로부터 金浦埋立地까지의 거리

현재 우리나라의 경우 다양한 쓰레기 중간처리시설의 운전경험이 없어 쓰레기 중간처리시설의 건설비 및 유지관리비에 관한 자료가 충분하지 않다. 따라서 일부 국내자료와 외국자료등을 이용하여 經濟性을 분석할 경우 결과의 신뢰성에 문제가 있을 수 있으므로 본 연구에서는 비교적 일관된 결과를 얻을 수 있는 輸送費만을 비교·검토하였다. 그러나 실질적인 經濟性을 비교하기 위해서는 중간처리과정에 소요되는 처리시설의 건설비와 유지관리비가 고려되어야 한다. 쓰레기의 처리는 처리과정이 복잡해질수록 건설 및 유지관리비에 대한 운송비의 비가 증폭된다. 즉 단순히 매립만을 시킬 경우에는 운송비용이 매우 크지만 중간처리시설이 도입되면 운송비가 전체적으로 감소하나 유지관리비용이 보다 큰 액수로 증가하게 되고 더욱이 중간처리시스템이 복잡해질수록 그 차이는 더욱 커진다. 예를들어 輸送費가 가장 적게 소요되는 처리방법인 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却後 소각재만 埋立, 不燃性쓰레기는 埋立하는 경우의 건설비용 및 유지관리비용을 간략하게 산출하면 다음과 같다.

각 처리시설별 총건설비용과 이자율을 10%를 적용하여 계산한 연간비용은 <표 5-5>와 같이 埋立 207억원, 堆肥化施設 245억원, 燒却施設 2,150억원이 연간 소요되는 것으로 나타났다. 여기에서 중간처리시설이라 할 수 있는 燒却施設과 堆肥化施設의 건설비는 燒却은 톤당 1억원, 堆肥化는 톤당 6천만원으로 계산하였다. 日處理容量을 기준으로 한 燒却과 堆肥化施設의 건설비가 약 4천만원의 작은 차이밖에 나지 않는 것은 堆肥化施設의 설치에도 離物質의 分離를 위한 전·후처리시설과 惡臭제어를 위한 脫臭施設, 汚水處理施設 등이 필요하기 때문이다. 총건설비용의 연간비용 환산에는 4장의 식(7)을 이용하였다.

埋立, 堆肥化 및 燒却施設의 유지관리비용을 산출하면 <표 5-6>과 같다. 埋立의 경우에는 金浦埋立地의 반입료를 유지관리비용으로 사용하였으며, 燒却의 경우에는 목동 쓰레기 燒却爐 妥當性 평가자료를 이용하였고, 堆肥化의 경우에는 외국의 자료를 이용하였다.

<표 5-5>와 <표 5-6>의 결과를 기초로 하여 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却後 燒却재만 埋立, 不燃性쓰레기는 埋立하는 경우의 연간 처리비용을 산정하면 수송비를 제외하고 약 2,768억원이 소요된다. 따라서 수송비를 포함하면 총소요비용은 연간 3,227억원으로 전체쓰레기를 埋立하는 경우의 총소요비용인 연간 1,550억원에 비해 2배이상 소요되는 것으로 나타났다.

〈표 5-4〉 각 대안별 총운송비용

(단위: 억원/년)

구 분	운송비-1	운송비-2	운송비-3	운송비-4	총운송비용
대안 1	825				825
대안 2	578	101			679
대안 3	330		202	73	605
대안 4	82		303	109	494
대안 5	83	101	202	73	459

* 운송비-1 : 발생원으로부터 金浦首都圈埋立地까지의 운송비용
 운송비-2 : 발생원으로부터 堆肥化施設까지의 운송비용
 운송비-3 : 발생원으로부터 燒却施設까지의 운송비용
 운송비-4 : 燒却施設로부터 金浦首都圈埋立地까지의 운송비용

〈표 5-5〉 처리시설별 건설비

구분	위치	시설용량	시설수명 (년)	총비용 (억원)	년간비용 (억원)	비고
埋立	金浦	278(백만톤)	25	1,878	207	
堆肥化	11개소	3,850(톤/일)	30	2,310	245	톤당 6천만원 소요
燒却	11개소	16,350(톤/일)	15	16,350	2,150	톤당 1억원 소요

〈표 5-6〉 埋立, 堆肥化 및 燒却處理施設의 건설 및 유지관리비용

구 분	건설비용(원/톤)	유지관리비용(원/톤)	총비용(원/톤)
埋 立	13,000	2,500	15,500
堆肥化	15,400	28,700	44,100
燒 却	41,500	30,200	71,700

상기한 사실을 종합하여 보면 다음과 같다. 우선 전체 쓰레기관리비용의 측면에서 堆肥化와 燒却과 같은 중간처리법의 도입은 단순 埋立時보다 수송비는 감소하나 전체경비가 증가하며 중간처리방법이 多元化될수록 경비는 크게 증가된다. 그러나 여기에서 신중히 고려해야할 사항은 서울시의 경우 埋立地가 절대적으로 부족하여 가능하면 埋立處分할 쓰레기의 양을 감소시켜 현재 확보되어 있는 埋立地의 수명을 최대한 연장해야 하는 것이다. 또한 쓰레기가 단순히 廢棄의 대상이 아니라 쓰레기로부터 유용한 자원을 회수한다는 점까지 고려해야 한다. 따라서 정책결정시 경제성과 함께 위의 고려사항을 종합적으로 검토하여 쓰레기 處理方法을 선택하여야 한다.

제 6 장 堆肥化 實驗

6.1 實驗概要

6.2 實驗方法

6.3 結果 및 考察

제 6 장 堆肥化 實驗

6.1 實驗概要

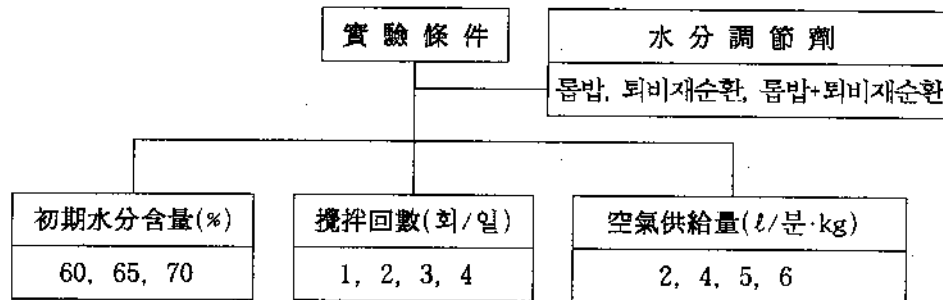
堆肥化는 生物學的 分解可能한 有機物質을 微生物에 의해 분해함으로써 이루어진다. 有機物質을 분해하는 微生物 종류에 따른 堆肥化法은 好氣性과 嫌氣性法으로 나뉘어 지며, 微生物의 분해속도를 보다 높이기 위한 여러가지 堆肥化工法이 개발되어 있다. 그러나 국내에서는 대단위 堆肥化施設을 설치·운전한 경험이 없고, 예로부터 농가에서 사용되어 오던 堆肥壇方式은 惡臭와 느린 분해속도 등으로 대도시에서 다량으로 발생하는 음식물쓰레기를 堆肥化하는 방법으로서는 적용에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 研究에서는 堆肥化施設을 설치할 경우에 필요한 설계변수와 운전조건을 실험을 통하여 산출하기 위해 여러가지 堆肥化工法중 가장 많이 사용되고 있고, 안정적으로 운전될 수 있는 실험식 규모의 好氣性 機械式 堆肥化方法으로 堆肥化實驗을 실시하였다.

6.2 實驗方法

6.2.1 실험일정

堆肥化에 영향을 미치는 요소는 堆肥化하고자 하는 원료의 성상과 운전조건을 들 수 있다. 好氣性 조건하에서 堆肥化가 이루어지기 위해서는 堆肥原料의 水分含量과 C/N비가 적정범위내의 값을 가져야 한다. 적정범위보다 높거나 낮은 水分含量을 가진 퇴비원료는 Bulking Agent를 이용하여 조절하거나 水分과 窒素분을 첨가하여 조절한 후 堆肥化시킨다. 堆肥化의 진행속도는 산소공급을 위한 공기의 주입량과 攪拌횟수 등의 운전조건에 따라 변화한다. 그리고 운전조건은 시간경과에 따른 온도, 水分含量 및 pH 등의 변화를 고려하여 최적조건을 결정한다(pH는 堆肥化의 진행상태에 따라 달라지게 되며 일반적으로 인위적인 조절은 하지 않는다). 이러한 특성을 고려하여 본 연구에서는 初期水分含量, 음식물쓰레기 단위부게당 공기공급량 및 攪拌회수의 조건을 변화함에 따른 堆肥化의 경향을 파악하여 최적운전조건을 도출하기 위하여 <그림 6-1>과 같은 실험계획

에 의해 실험을 실시하였다. 또한 初期水分含量을 조절하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 研究에서는 초기수분조절제로서 톱밥을 사용한 경우, 堆肥를 재순환시킨 경우, 堆肥의 재순환과 톱밥의 주입 등 3가지 방법으로 比較・檢討하였다.

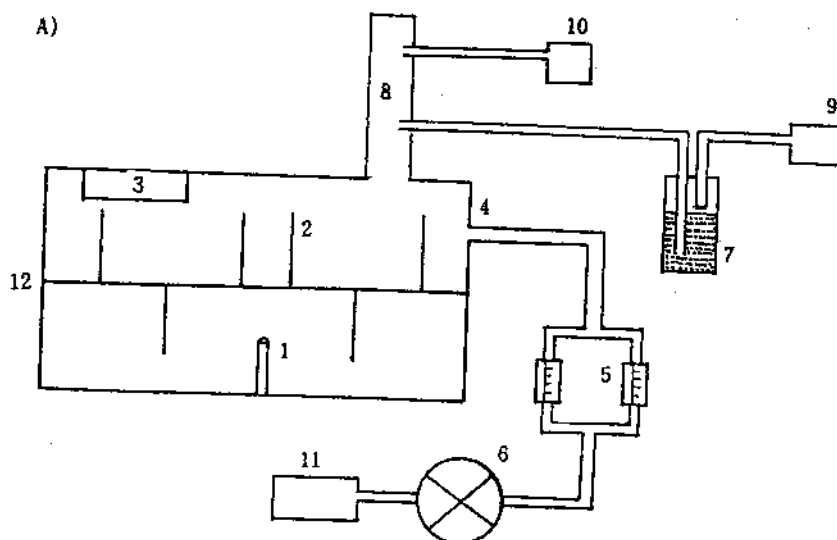


〈그림 6-1〉 실험계획

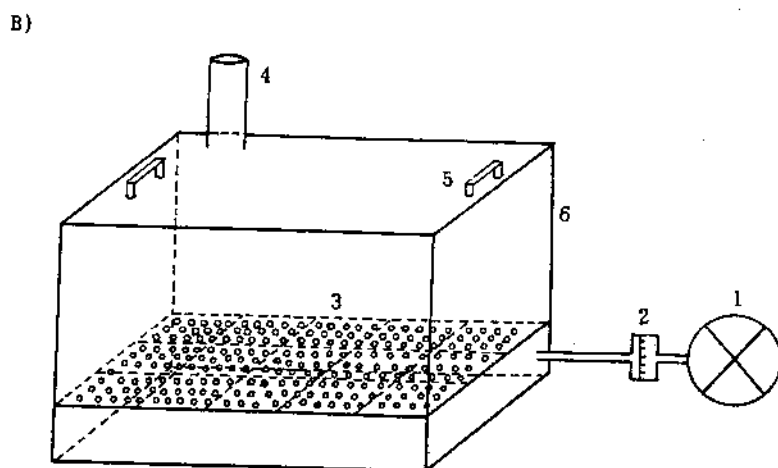
6.2.2 실험장치의 제작

실험장치는 실험목적에 따라 2개의 反應槽를 제작하였다. 2개 反應槽의 차이점은 공기공급방법과 攪拌方式에 있다. 하나의 反應槽는 上部空氣供給方式으로 攪拌機가 설치되어 있고(이하 反應槽 A로 표기), 다른 하나는 下部空氣供給方式으로 공기는 堆肥層을 통과하여 상향으로 흐르며, 手攪拌을 실시하도록 되어 있다(이하 反應槽 B로 표기).

反應槽 A는 〈그림 6-2〉의 A와 같이 反應槽 本體, 공기공급용 콤프레서, 온도 센서, 유량계 및 각종 가스측정기 등의 부대설비로 구성되어 있다. 反應槽는 원통형으로 제작되었으며, 재질은 스테인레스 스틸, 反應槽의 전체용적은 0.19m^3 이다. 그러나 시료주입시 시료가 차지하는 유효용적은 전체용적의 절반수준인 약 0.1m^3 정도였다. 反應槽의 상부에 시료루입구 1개소, 하부에 堆肥排出口 2개소가 설치되어 있다. 반응중인 堆肥層의 깊이별 온도 및 排出가스의 온도측정을 위하여 총 3개의 온도센서를 부착하였으며 센서에 의해 측정된 온도는 反應槽 Control panel에 자동표시되도록 하였다. 그외 攪拌間隔과 攪拌時間은 별도로 부착되어 있는 타이머에 의해 자동으로 조절된다. 〈그림 6-2〉의 A에서 7번은 제



1. 온도센서 2. 교반기 3. 시료투입·배출구 4. 공기투입구 5. 유량계(100ℓ/min)
 6. Compressor 7. 실리카겔통(약10ℓ) 8. 배출구 9. CO₂분석기
 10. O₂분석기 11. 전기계량기 12. 반응조 본체(지름550mm x 800mm)



1. Compressor 2. 유량계(100ℓ/min) 3. 공기투입·분산구
 4. 공기배출구 5. 반응조 덮개 6. 반응조 본체(600mm x 600mm x 550mm)
 A)본 반응조 실험장치 모형도 B)보조 반응조 실험장치 모형도

<그림6-2> 反應槽 A와 反應槽 B의 모식도

습기로서 CO₂분석기의 감지부에 수분이 유입되지 않도록 排氣가스내의 수분을 제거하기 위해 설치되었다. 反應槽 A는 攪拌回數와 初期水分含量의 변화가 堆肥化에 미치는 영향을 파악하기 위해 제작되었다.

反應槽 A와 비교할때 反應槽 B의 구조는 <그림 6-2>의 B와 같이 콤프레서, 反應槽 및 유량계가 주요구성품으로 공기공급량의 변화가 堆肥化에 미치는 영향을 파악하기 위해 제작되었다. 反應槽는 높이 0.55m, 폭과 길이 0.6m의 직육면체이며 재질은 아크릴, 용적은 약 0.20m³이다. 反應槽의 하부는 공기공급분산을 위해 다공성의 아크릴판위에 5cm×5cm×1cm 규격의 목재판을 1단으로 깔았다. 이 목재판은 粘性이 높은 음식물쓰레기의 浸出液에 의해 다공판의 氣孔이 閉鎖되는 것을 방지하며 공기의 고른 분산을 유도한다. 反應槽 덮개의 중앙부위에는 온도계를 설치할 수 있는 구멍이 뚫려 있다.

6.2.3 分析項目 및 分析方法

가. 分析項目

堆肥化과정 중 堆肥壇의 物理·化學的 性狀변화를 파악하기 위한 분석은 분석항목에 따라 隨時測定, 一日 測定, 任意測定 그리고 堆肥質分析으로 대별할 수 있다. 수시측정의 대상은 堆肥壇의 溫度, 이산화탄소발생량, 산소소모량으로 3시간 간격으로 측정하였으며, 3성분, TKN, TOC 및 pH는 1일 단위로 측정하였다. 任意測定은 퇴비원료 즉, 음식물쓰레기와 톱밥의 性狀파악이 필요할 경우 시료를 채취하여 발열량과 화학적 원소조성등을 측정하였다. 생산된 堆肥는 有害物質 含量 및 肥料成分把握을 위해 重金屬을 비롯한 他有害物質, 窒素 및 磷의 含量이 측정되었다. 分析項目은 <표 6-1>과 같다.

나. 分析方法

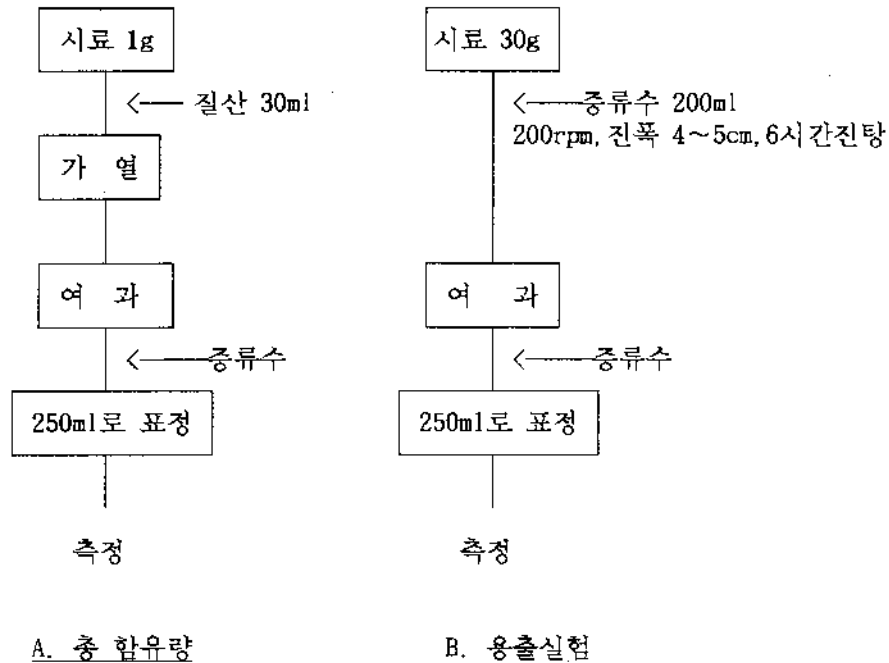
三成分含量, TOC, TKN, 발열량 및 원소조성의 分析方法은 제3장의 음식물쓰레기 性狀分析方法과 동일하다. 經過日數에 따른 堆肥壇의 pH변화와 시간별 이산화탄소발생량 및 산소소모량, 最終堆肥의 物質調査 分析은 <표 6-2>와 같이 실시하였다.

〈표 6-1〉 분석項目

測定回数	分析項目
隨時測定	溫度, CO ₂ , O ₂
一日測定	三成分含量, TOC, TKN, pH
任意測定	發熱量, 元素分析(C, H, O, N)
最終堆肥測定	K, Ca, Mg, As, Cd, Cr ⁶⁺ , CN ⁻ , T-P, Na, Pb

〈표 6-2〉 堆肥化과정 및 最終堆肥의 物質含量 측정법

항 목	대 상	분 석 방 법
pH	堆肥壇	시료 대 증류수의 부피비를 1:5로하여 pH meter(MODEL 90, CORNING, ENGLAND)로 측정
CO ₂	堆肥壇에서의 발생가스	흡인식 CO ₂ 측정기(LX-710, IJJIMA, JAPAN)로 排氣口의 중단에서 排氣를 吸引하여 連續測定하였으며, 모든 결과는 아날로그형 기록계에 자동표기
O ₂	"	O ₂ 측정기(OM-511, KOMYO RIKAGAKU KOGYO K.K., JAPAN)를 이용하여 排氣口의 말단에서 측정
堆肥의 物質含量	最終堆肥	총함유량:〈그림 6-3〉 A와 같은 단계의 전처리실시 용출실험:〈그림 6-3〉 B와 같은 단계의 전처리실시 후 Ca, Mg, As, Cd, Na, Pb은 원자흡광광도계(AA-680, SHIMADZU, JAPAN)로, Cr ⁶⁺ , CN ⁻ , TP는 분광광도계(DR-3000, HIAC, USA)로 측정



〈그림 6-3〉 最終堆肥의 物質含量 分析을 위한
시료의 前處理 단계

6.3 結果 및 考察

6.3.1 初期水分含量의 조절방법과 적정 初期水分含量

好氣性 堆肥化工法에서 初期水分含量은 공기공급과 微生物의 활동등과 관련 하여 매우 중요한 요소이다. 즉, 水分含量이 너무 높으면 空隙을 閉鎖하여 酸素의 전달을 방해하게 되고, 水分含量이 너무 낮으면 微生物의 新陳代謝를 억제하 므로 적정수준을 유지할 필요가 있다. 일반적으로 好氣性 堆肥化工法에서의 初期水分含量은 최대 85%, 최소 40%이며, 55~60%가 적정수준으로 알려지고 있다.

3장에서 나타난 바와 같이 음식물쓰레기의 水分含量은 매우 높다. 따라서 好氣性 堆肥化를 위해서는 탈수나 수분조절제 첨가등에 의한 水分含量의 조절이

필요하다. 수분조절제의 첨가에 의해 水分含量을 조절하는 경우는 수분조절제의 확보라는 또 다른 어려움이 발생하므로 가능한 적은 량의 수분조절제를 사용하는 것이 효과적이다. 이에 본 研究에서는 탈수에 의한 수분조절만으로 堆肥化 가능여부와 수분조절제의 사용시 수분조절제의 양을 최소로 하기 위한 最大水分含量 산정을 우선적인 검토대상으로 하여 堆肥化 實驗을 실시하였다. 음식물쓰레기의 탈수방법은 加熱乾燥와 遠心分離에 의한 기계식 탈수방법이 검토되었다.

가열건조방식은 열선을 사용하였으며 기계식 탈수는 가정용 탈수기가 이용되었다. 또한 수분조절제를 사용하여 水分含量을 조절한 경우는 톱밥을 이용하였다.

堆肥化의 진행정도를 파악하는 指標로는 堆肥壇의 溫度, pH, 水分含量, 이산화탄소발생량 및 산소소모량등을 들 수 있다. 微生物에 의해 有機物이 분해되면서 발생하는 열에 의해 퇴비단의 온도가 증가하며 最終產物로 이산화탄소가 발생된다. 또한 有機窒素는 微生物이 섭취할 수 있는 암모니아성 窒素로 전환되기 때문에 堆肥壇의 pH를 상승시킨다. 따라서 본 研究에서는 堆肥壇의 溫度, pH, 및 이산화탄소발생량을 堆肥化의 진행정도를 파악하는 指標로 사용하였으며, 3가지 指標의 변화경향으로부터 수분조절방법과 初期水分含量에 따른 堆肥化의 進行程度를 살펴보았다. <그림 6-4>, <그림 6-5> 및 <그림 6-6>은 수분조절방법과 初期水分含量의 변화에 따른 온도, pH 및 이산화탄소의 누적발생량의 변화를 각각 보여주고 있다. 水分含量이 82%인 음식물쓰레기를 24시간동안 가열건조시켜 水分含量을 조절한 결과 약 3일후에 水分含量이 75%로 감소하였다. 그러나 <그림 6-4>에서 보는 바와 같이 堆肥의 溫度는 가온시에는 약 55℃까지 堆肥의 온도가 상승하였으나 가온을 중지한 이후에는 약 20℃ 정도의 상온으로 하락하였다. 또한 pH변화는 pH 5이하의 酸性狀態를 그대로 유지하였고 이산화탄소의 발생량도 무시할 수 있는 수준이었다. 따라서 열선을 이용한 가열건조에 의한 수분조절은 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 수분조절방법으로 부적절한 것으로 판단된다. 단, 본 研究에서는 열선방식만을 사용하였으므로 열풍건조등에 의한 수분조절방식은 추후 검토되어야 할 것이다. 가정용 탈수기를 이용한 기계적 탈수방법의 경우는 탈수에 의해 음식물쓰레기의 水分含量이 82%에서 69%로 감소하였다. 초기水分含量 69%의 음식물쓰레기를 堆肥化시킨 결과, 시간에 따라 온도변화는 거의 없었으며 pH는 5이하에서 5~6으로 약간 상승하였으나 그 이상

은 증가하지 않았다. 이산화탄소는 반응종료시까지 33%가 발생한 것으로 보아 有機物質의 분해가 다소 진행된 것으로 보인다. 그러나 그 속도가 대단히 느리기 때문에 기계적 탈수에 의해 수분조절도 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 수분조절방법으로는 부적절한 것으로 보인다.

수분조절제를 사용하지 않고 수분을 조절하여 堆肥化시킨 경우와는 다르게 톱밥을 수분조절제로 사용하여 수분을 조절한 경우는 비교적 높은 水分含量에서도 堆肥化가 진행되었다. 톱밥을 사용하여 最初水分含量을 각각 62%와 73%로 조절하여 堆肥化시킨 결과 73%로 조절된 경우는 62%로 조절된 경우에 비해 활발한 분해가 일어나지는 않았지만 69%로 탈수된 경우보다 반응성이 좋았다. 즉 最初水分含量 73%의 경우는 퇴비의 최고온도가 약 45℃에 도달하였고 8이상의 pH에 도달하는 시간이 8일 정도 소요되었다. 반면 最初水分含量 62%에서는 堆肥의 온도가 2~6일동안 50~60℃를 유지하였으며 pH도 5일이 경과하면서 8이상으로 상승하였다. 또한 이산화탄소의 누적발생량도 62%인 경우가 12일동안에 약 40%정도 많이 발생하였다.

수분조절제를 사용하여 수분을 조절한 경우와 가열건조나 기계적 탈수에 의해 수분을 조절한 경우에 初期水分含量과 관계없이 상반된 결과가 나타난 근본적인 원인은 通氣性에 있다고 판단된다. 好氣性條件을 유지하기 위해서는 공급된 공기가 균일하게 堆肥層을 통과할 수 있어야 하기 때문에 堆肥壇內에 적절한 空隙이 확보되어야 한다.

堆肥層의 空隙(Free Air Space : FAS)은 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$FAS = 1 - \frac{P}{P_w} W - \frac{P}{P_s} (1 - W) \quad \text{식(8)}$$

여기서, P : 堆肥原料의 겉보기 밀도 (kg/m³)

P_w : 물의 밀도 (kg/m³)

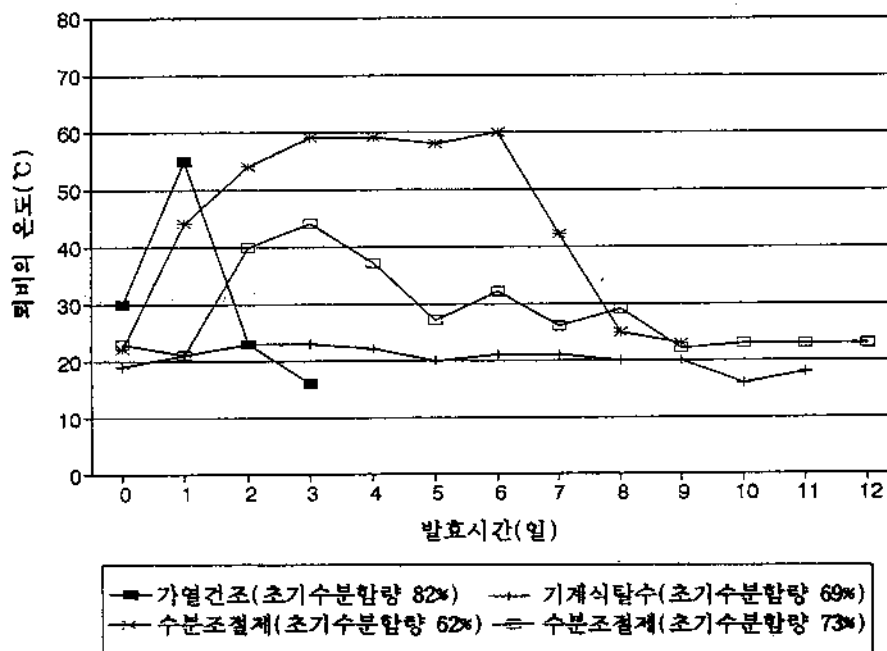
P_s : 固形物의 밀도 (kg/m³)

W : 함수율

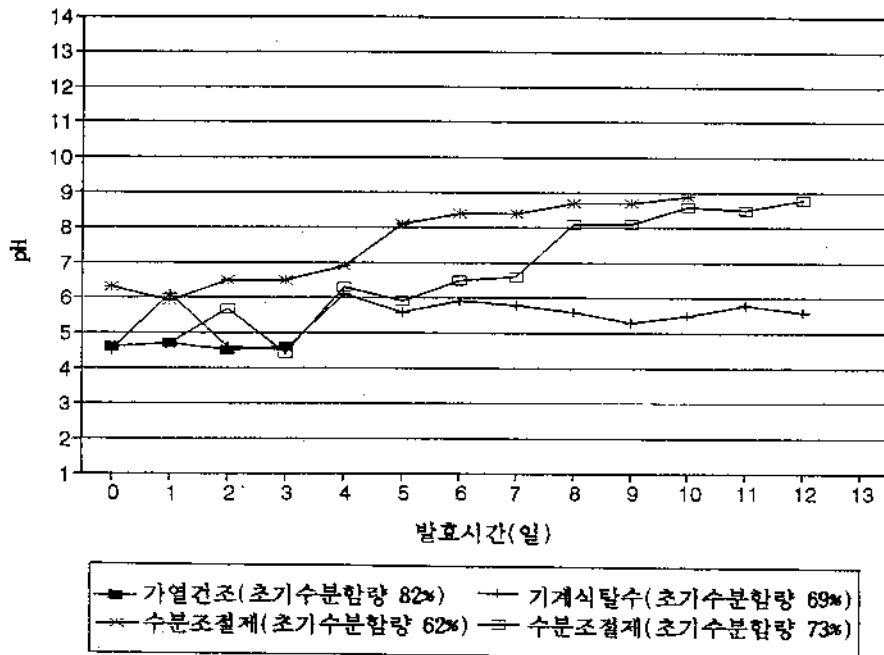
음식물쓰레기의 겉보기 밀도 0.87(水分含量 80%)과 진밀도 1.03, 톱밥의 겉보기 밀도 0.20(水分含量 18%)과 진밀도 0.60을 이용하여 수분조절방법에 따른

空隙率을 산출하면 가열건조의 경우 0.135, 기계적 탈수의 경우 0.138, 톱밥첨가에 의해 水分含量 73%로 조절된 경우 0.368, 水分含量 62%로 조절된 경우 0.419가 된다. 따라서 톱밥첨가에 의해 水分含量 62 %로 조절된 경우가 가장 空隙率이 크기 때문에 堆肥壇內로 酸素供給이 원활하게 이루어져 有機物의 분해가 가장 빨리 진행된 것으로 생각된다. 결국 堆肥化를 위한 여러 조건중에서 초기 水分含量은 여러가지 방법에 의해 조절이 가능하지만 단순히 水分含量만을 고려해서는 안되고, 원활한 통기가 이루어질 수 있는 空隙確保가 중요하다는 것을 실험결과에서 확인할 수 있었다.

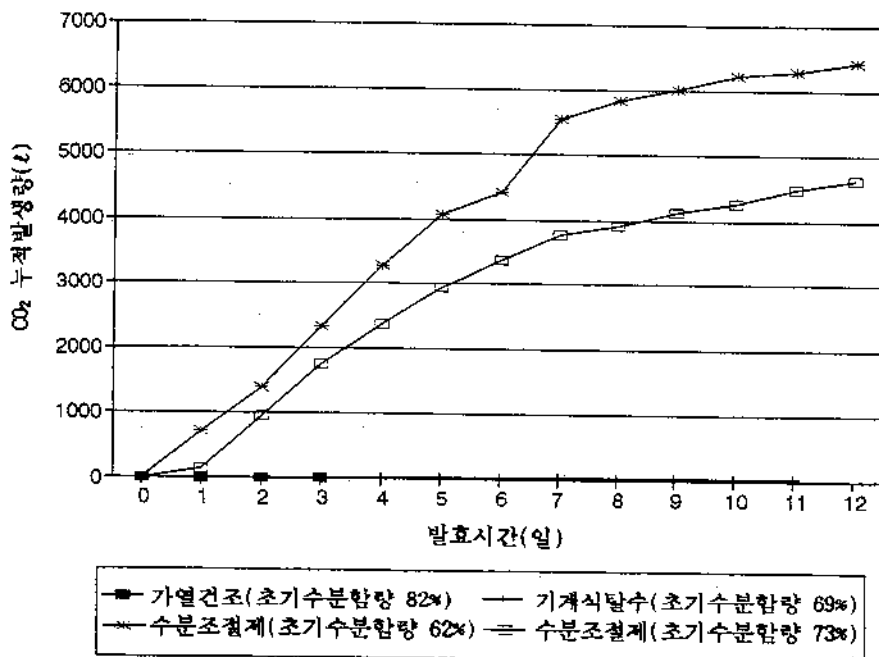
또한 수분조절제를 사용하는 경우도 初期水分含量이 높을수록 空隙이 적어져서 공기공급이 원활히 이루어지지 못하므로 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 적정 初期水分含量은 최대 70%이하로 조절하는 것이 타당할 것으로 판단된다.



〈그림 6-4〉 初期水分含量과 수분조절방법에 따른 堆肥의 온도변화



〈그림 6-5〉 初期水分含量과 수분조절방법에 따른 堆肥의 pH 변화



〈그림 6-6〉 初期水分含量과 수분조절방법에 따른 CO₂의 누적발생량

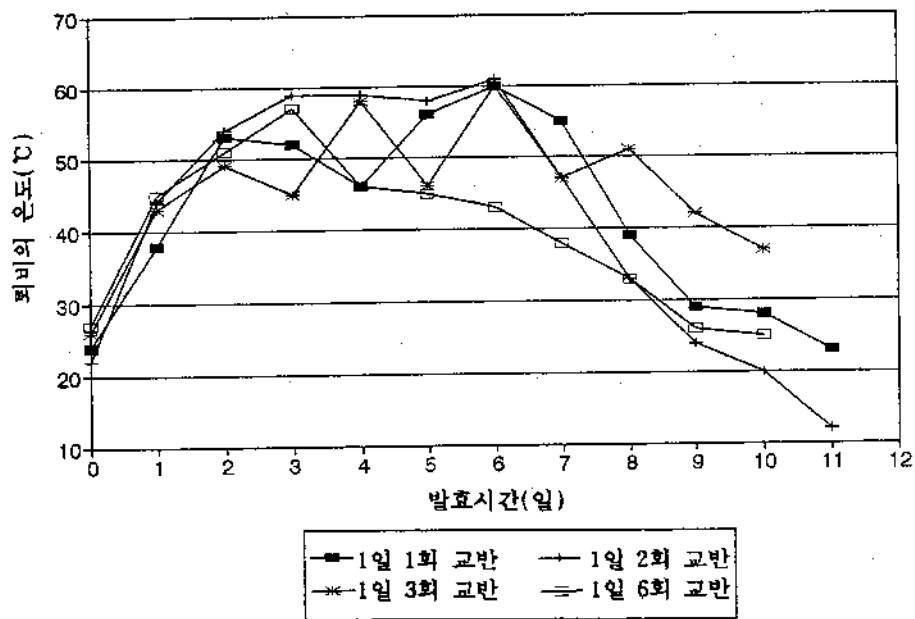
6.3.2 적정 攪拌回數의 결정

堆肥化가 진행되는 과정에서 堆肥壇의 온도분포를 보면 중심부는 온도가 매우 높아 70~80℃에 이르는 경우도 있으나 외부로 갈수록 낮아져 외기와 접하는 부분은 상온과 거의 동일한 온도를 유지하고 있다. 堆肥의 온도는 微生物에 의해 有機物이 분해되는 과정에서 생성되는 열에 의해 변화하며 微生物도 온도에 따라 종류가 변화하게 된다. 堆肥의 온도가 40~60℃의 범위로 유지되면 高温性 박테리아(Bacteria), 효모(Fungi), 방선균(Actinomycetes)이 활발하게 활동하고, 60℃ 이상이 되면 포자형성균과 방선균이 우세한 것으로 알려지고 있다. 또 有機物의 분해효율이 높은 고온성박테리아가 가장 활성화될 수 있는 온도조건은 55~60℃라는 연구결과가 있다. 따라서 堆肥化가 진행되는 정도가 동일한 反應槽내에서도 위치에 따라 다르므로 균일하게 분해가 이루어지기 위해서는 攪拌이 필요하다. 또한 堆肥壇의 攪拌은 공기의 공급을 저해하는 다짐현상을 방지할 뿐 아니라 연속식 反應槽의 경우에는 堆肥를 이송시키는 역할도 한다. 반면에 잦은 攪拌은 堆肥의 온도를 저하시켜 분해속도를 감소시킬 뿐 아니라 필요이상의 동력소모를 초래하므로 적절한 攪拌回數의 산정이 필요하다.

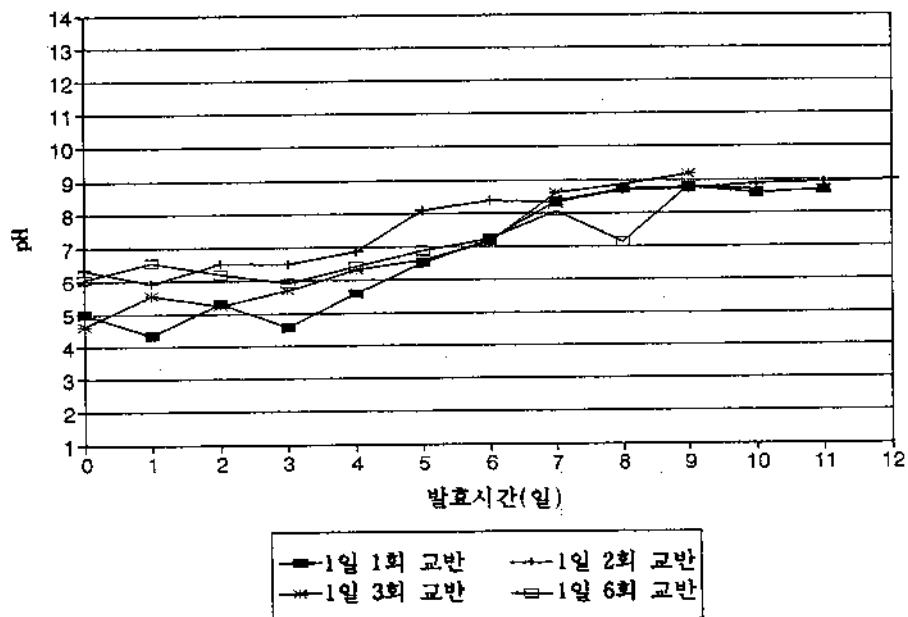
본 연구에서는 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 적정 攪拌回數의 산정을 위하여 1일 1회, 2회, 3회, 6회의 攪拌回數에 따른 堆肥化의 진행정도를 비교·실험하였다. 堆肥化의 진행정도를 파악하는 指標로는 온도, pH, 水分含量 및 이산화탄소발생량을 사용하였다.

<그림 6-7>은 攪拌回數에 따른 堆肥의 온도변화를 보여주고 있는데 1일 2회 攪拌時가 가장 효과적인 攪拌回數로 나타나고 있다. 즉, 1일 2회 攪拌時에는 실험개시후 2일이 경과하면서 54℃로 온도가 상승하였고, 약 5일동안 54~61℃의 높은 온도를 유지하였다. 1일 1회와 3회 攪拌의 경우도 실험개시후 6일되는 시점에서 최고온도가 60℃를 나타내었다. 그러나 이들의 경우는 40~60℃사이에서 온도변화가 심하게 일어났고, 2회의 경우에서와 같이 2~6일 동안의 안정된 상태를 나타내지 못했다. 특히 1일 6회 攪拌時에는 50℃이상의 온도유지기간이 2일에 불과하며 4일 이후에는 지속적으로 저하되는 현상을 보였다.

攪拌回數에 따른 堆肥의 pH 변화를 나타내는 <그림 6-8>에서도 온도와 마찬가지로 1일 2회 攪拌이 1~2일 사이에 약간의 pH 저하를 보였으나 가장 빠른 시간내에 pH가 상승하는 것으로 나타났다. 1일 1회, 3회 및 6회 攪拌時에도 최종



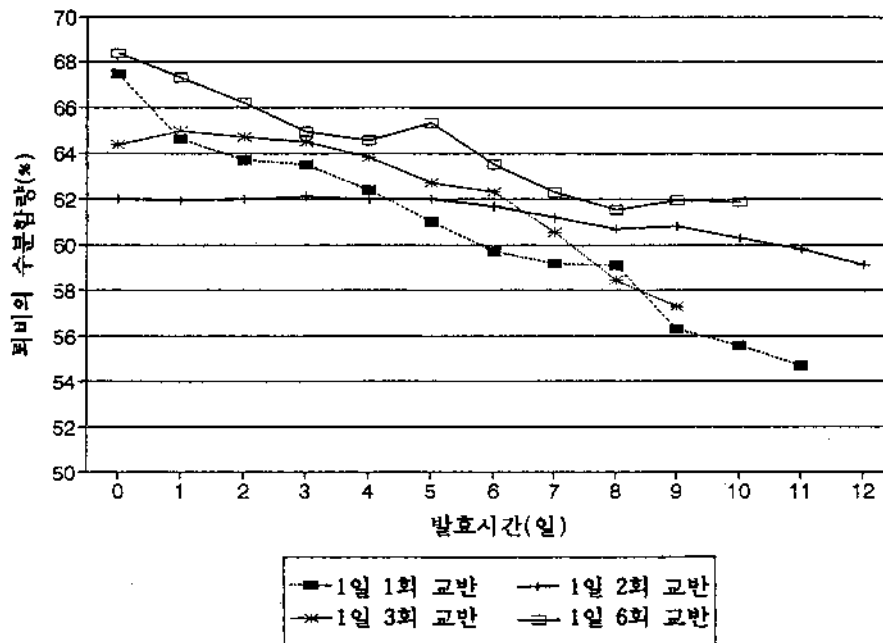
〈그림 6-7〉 攪拌回數에 따른 堆肥의 溫度變化



〈그림 6-8〉 攪拌回數에 따른 堆肥의 pH變化

적으로는 1일 2회 攪拌時와 동일한 pH를 보여주고 있지만 1일 2회 攪拌에 비해 pH가 상승하는데 많은 시간이 소모되었다. 암모니아의 용해가 pH상승의 직접적인 원인이라 볼 때 암모니아와 이산화탄소의 발생량은 동일한 경향을 보인다는 것이 이미 실험적으로 밝혀진 바 있으므로 pH의 빠른 상승은 그만큼 활발한 有機物의 分解를 의미한다. 따라서 이러한 pH 변화는 1일 2회 攪拌時에 가장 활발한 堆肥化가 진행되고 있음을 간접적으로 보여준다고 할 수 있다.

攪拌回數에 따른 水分含量은 <그림 6-9>와 같이 1일 1회 攪拌의 경우 약 68%의 初期水分含量이 반응종료시에 55%로, 2회 攪拌의 경우는 62%에서 59%로, 3회 攪拌의 경우 64%에서 57%로, 6회의 경우 68%에서 62%로 각각 감소하였다. 堆肥의 水分含量이 변화될 수 있는 조건은 다음과 같이 生物反應에 의해 생성되는 수분 증가와 排氣가스를 통하여 배출되어 감소하는 것으로 크게 나눌 수 있다.



<그림 6-9> 攪拌回數에 따른 堆肥의 水分含量變化

炭水化物 分解 : $C_m(H_2O)_n + mO_2 \rightarrow mCO_2 + nH_2O$

蛋白質 및 脂肪의 分解 : $C_xH_yN_zO_p + aO_2 \rightarrow CuHvNwOq + bCO_2 + dH_2O + eNH_3$

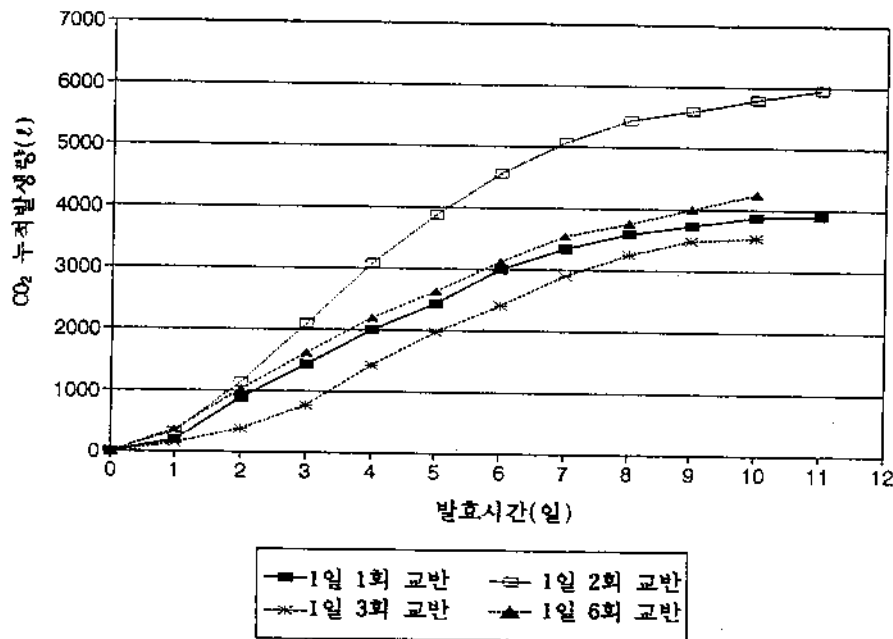
微生物의 合成 : $8(CH_2O) + C_6H_{12}N_2O_3 + 6O_2 \rightarrow 2C_6H_7NO_2 + 6CO_2 + 7H_2O$

微生物의 内生呼吸 : $C_6H_7NO_2 + 5O_2 \rightarrow 5CO_2 + NH_3 + 2H_2O$

위의 식에 의하면 반응이 활발히 진행될수록 수분의 생성은 증가하므로 水分含量的 감소는 상대적으로 적어진다. 또한 排氣가스를 통한 배출량은 동일한 공기공급량에서는 攪拌回數가 많을수록 크게 된다. 그러나 본 실험의 결과는 1일 1회 攪拌의 경우에 水分含量 감소가 13%로 가장 크게 나타난 반면에 2회 攪拌의 경우는 3% 감소하는데 그쳤으며 3회와 6회 攪拌時는 각각 7%와 6%의 감소를 보였다. 水分含量의 변화가 攪拌回數와 관계없이 상이한 결과를 보인 것은 공급되는 공기의 水分含量 등과 같은 외부적인 조건이 각 攪拌回數에 따른 실험에서 일치하지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 약 11일간에 걸쳐 堆肥化가 진행된 후의 水分含量이 攪拌回數와 관계없이 모두 55% 이상으로 매우 높게 나타났는데 생산된 堆肥의 편리한 취급을 위해서는 水分含量을 낮출 필요가 있다. 水分含量의 변화요인중 가장 큰 것이 공기공급량이므로 最終水分含量에 대해서는 최적 공기공급량에서 고찰하기로 한다.

위에서 기술한 온도, pH 및 水分含量의 변화는 사실상 간접적인 指標이며, 실제 微生物의 활동을 판단할 수 있는 가장 합리적인 指標는 이산화탄소의 발생량이다. <그림 6-10>은 攪拌回數에 따른 이산화탄소의 누적발생량으로서 1일 2회 攪拌시에 가장 많은 이산화탄소가 발생하였으며, 특히 2~4일 사이에 가장 왕성한 분해가 일어나고 있음을 증가경향에서 알 수 있다. 반면에 1일 1회, 3회 및 6회 攪拌時에는 1일 2회 攪拌時에 비해 약 70%정도의 이산화탄소가 발생하였다. 가장 적은 이산화탄소발생량을 보인 것은 1일 3회 교반시이다.

지금까지 最適 攪拌回數의 결정을 위해 각종 堆肥化의 指標중 온도, pH, 水分含量 및 이산화탄소의 발생량을 攪拌回數에 따라 살펴본 결과 1일 2회 攪拌이 음식물쓰레기의 堆肥化를 위해 가장 적합한 것으로 나타났다.



〈그림 6-10〉 攪拌回數에 따른 이산화탄소의 누적발생량

6.3.3 적정 공기공급량의 산정

好氣性 堆肥化工法에서 공기의 공급은 절대적으로 중요하다. 과량의 공기공급은 불필요한 動力을 소모시킬 뿐 아니라 퇴비의 온도를 저하시켜 활발한 분해를 저해할 수 있다. 또한 과소한 공기공급은 원활한 好氣性分解를 방해하며, 惡臭發生을 유발하고, 堆肥의 고온화로 적절치 못한 分解生物相을 형성시킬 수 있다. 따라서 적절한 공기공급량이 결정되어야 한다.

본 연구에서는 음식물쓰레기와 수분조절제의 원소조성을 이용한 이론공기량을 기초로 하여 음식물쓰레기의 건조무게당 공기공급량을 1.5ℓ/분·kg, 3.6ℓ/분·kg, 5.0ℓ/분·kg, 5.6ℓ/분·kg으로 변화시키며 堆肥化의 진행을 관찰함으로써 적정 공기공급량을 산정하였다. 堆肥化의 指標로는 온도, pH, 水分含量 및 산소소모량을 사용하였다. 이산화탄소발생량 대신에 산소소모량을 指標로 사용한 이유는 이산화탄소측정기가 설치되어 있지 않은 反應槽 B에서 실험이 이루어져서 배기가스내의 酸素濃度만이 측정되었기 때문이다.

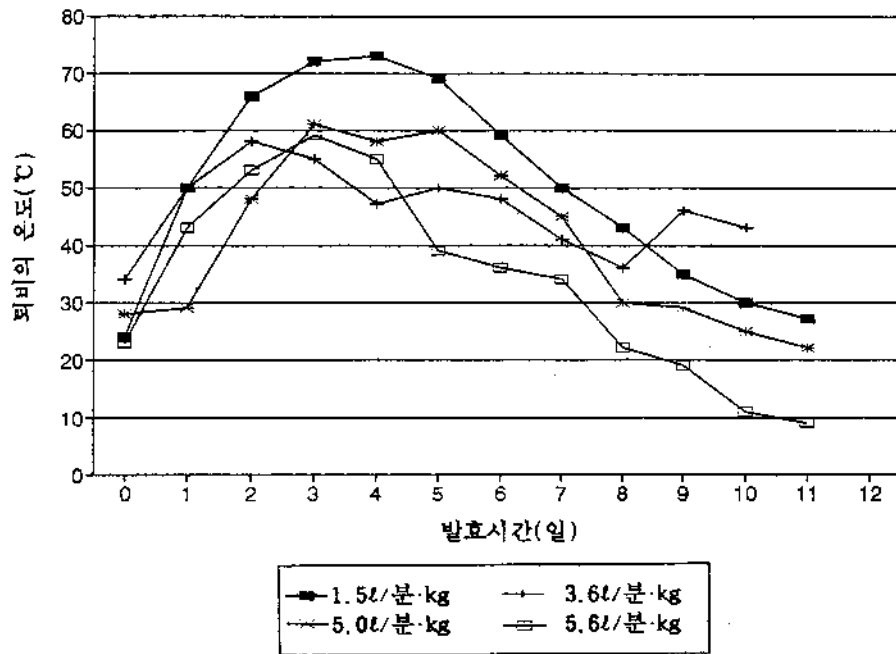
〈그림 6-11〉에는 공기공급량에 따른 堆肥의 온도변화를 보여주고 있다. 음식물쓰레기의 건조무게당 1.5ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 최고온도가 73℃에 이르렀으며 4일간 65℃ 이상의 고온상태를 유지하므로 퇴비의 온도가 과도하게

상승하는 것으로 나타났다. 앞절에서 언급하였듯이 이러한 고온에서 적응하는 微生物은 포자형성균과 방선균으로서 有機物의 분해에 크게 기여할 수 있는 微生物이 아닌 것으로 알려지고 있으므로 음식물쓰레기의 건조무게당 1.5ℓ/분·kg의 공기를 주입할 경우는 堆肥化의 진행이 늦을 것으로 예상된다.

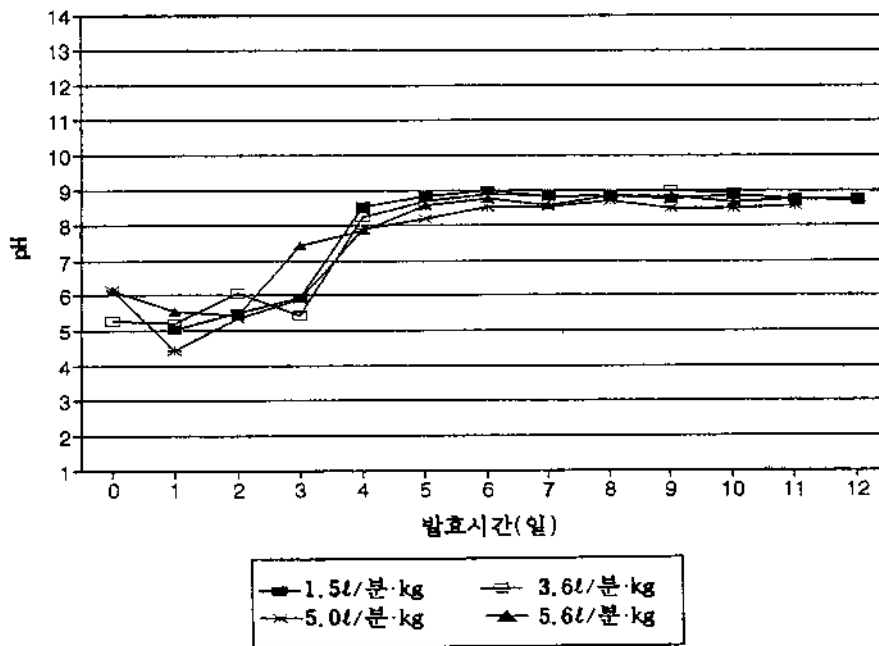
공기공급량에 따른 pH의 변화는 <그림 6-12>에 나타나 있는데 최초 4일간은 공기량에 따라 다소 차이를 보이고 있지만 4일 이후에는 공기량과 관계없이 일정한 경향을 보이고 있다.

<그림 6-13>은 공기공급량에 따른 堆肥 水分含量의 변화를 보여주고 있는데, 공급공기량이 증가할수록 最終水分含量은 감소한다. 음식물쓰레기의 건조무게당 1.5ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 最終水分含量이 最初水分含量에 비해 오히려 증가하였는데, 이는 배기가스를 통해 배출되는 수분량보다 有機物의 분해과정에서 생성되는 수분량이 더 크기 때문일 것으로 생각된다. 음식물쓰레기의 건조무게당 5.0ℓ/분·kg, 5.6ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 11일동안의 堆肥化 기간중에 각각 18%와 14%의 水分含量의 감소를 보였으며, 음식물쓰레기의 건조무게당 3.6ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 5%정도의 감소에 그쳤다. 따라서 생산되는 堆肥의 취급성을 높이기 위해서는 음식물쓰레기의 건조무게당 5.0ℓ/분·kg과 5.6ℓ/분·kg의 공기공급이 적절하나 이 경우에도 最終水分含量이 48%로 매우 높기 때문에 後熟段階 등에서 적절한 수분조절이 이루어져야 할 것이다.

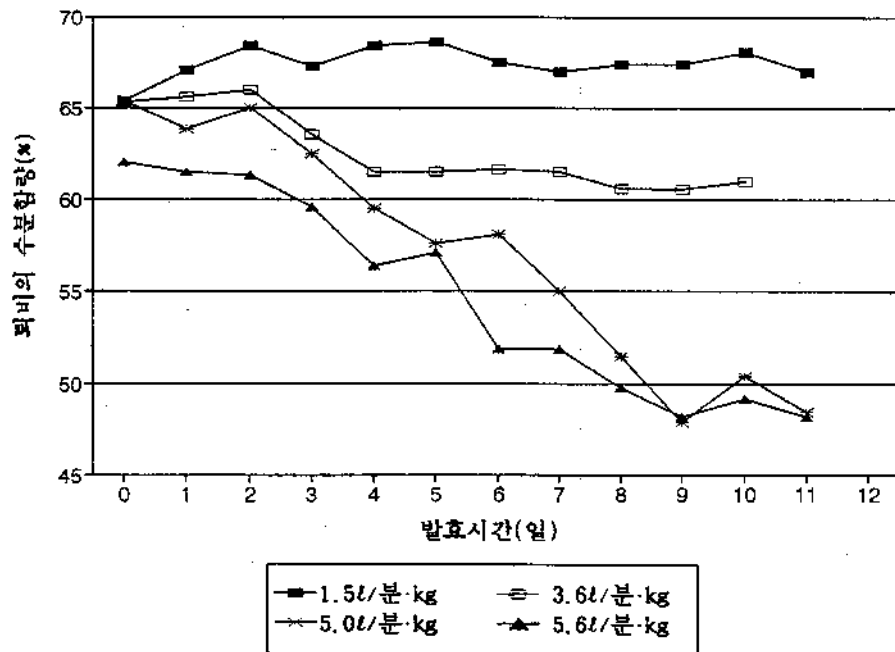
<그림 6-14>는 공기공급량에 따른 누적산소소모량을 보여주고 있다. 酸素는 음식물쓰레기의 건조무게당 5.6ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우에 가장 많이 소모되었으며, 음식물쓰레기의 건조무게당 3.6ℓ/분·kg, 5.0ℓ/분·kg, 1.5ℓ/분·kg의 공기주입순으로 산소소모량이 많았다. 그러나 음식물쓰레기의 건조무게당 3.6ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 유기물분해가 다소 장기화되는 경향을 보였다. 즉, <그림 6-11>에서 볼 수 있듯이 음식물쓰레기의 건조무게당 1.5ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우와 같은 고온상승현상은 나타나지 않았으나 55~60℃ 유지시간이 2일 정도로 짧고 그후 지속적으로 35~50℃를 유지하고 있으며, <그림 6-14>의 산소소모량의 누적곡선에서도 기울기의 변화가 심하게 나타나고 있다. 음식물쓰레기의 건조무게당 1.5ℓ/분·kg의 공기를 주입한 경우는 5.6ℓ/분·kg을 주입한 경우에 비해 약 50%정도의 산소소모량을 보여주고 있다. 따라서 음식물쓰레기를 堆肥化하는 경우에 有機物 分解를 촉진시키기 위해서는 음식물쓰레기의 건조무게당 5.6ℓ/분·kg의 공기를 주입하는 것이 가장 효과적이다.



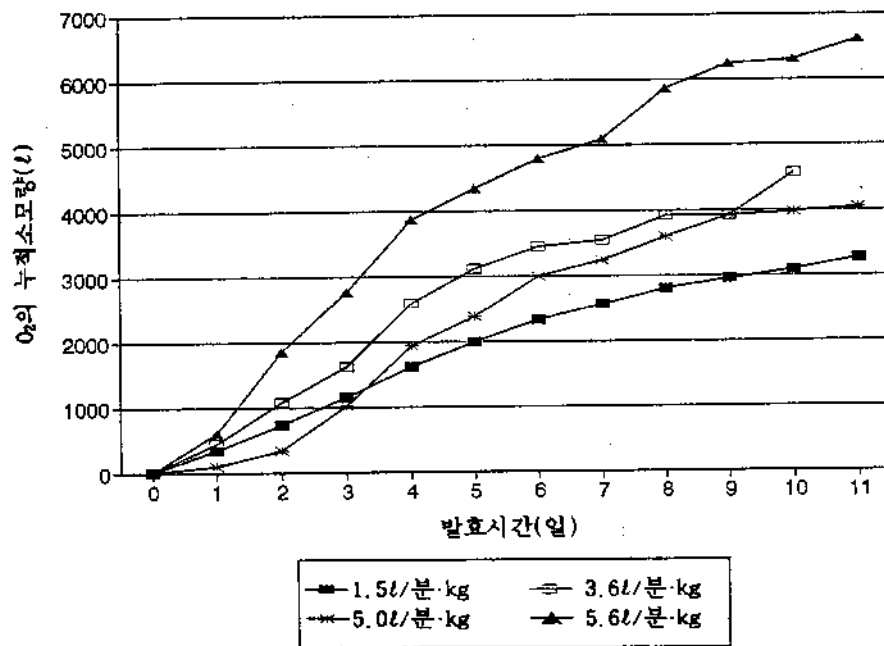
〈그림 6-11〉 공기공급량에 따른 堆肥의 온도변화



〈그림 6-12〉 공기공급량에 따른 堆肥의 pH변화



〈그림 6-13〉 공기공급량에 따른 堆肥의 水分含量變化



〈그림 6-14〉 공기공급량에 따른 누적 산소소모량

이상과 같이 음식물쓰레기의 건조무게당 공기공급량을 변화시켜 온도, pH, 水分含量 및 산소소모량의 指標등을 살펴본 바에 의하면 음식물쓰레기의 건조무게당 5.0ℓ/분·kg, 5.6ℓ/분·kg의 공기주입시 堆肥化가 원만하게 진행되는 동시에 생산되는 堆肥의 取扱이 용이할 수 있도록 水分含量도 감소되는 점에서 음식물쓰레기의 건조무게당 5.0ℓ/분·kg, 5.6ℓ/분·kg의 공기공급이 가능하나, 공기공급량은 소모동력과의 밀접한 관계가 있어 경제성을 고려할 때 5.0ℓ/분·kg의 공기공급이 적절하다고 판단된다. 음식물쓰레기의 건조무게당 5.0ℓ/분·kg을 음식물쓰레기의 대표성상인 水分含量 80.1%로 환산하면 음식물쓰레기 단위무게당 공기공급량은 1.0ℓ/분·kg에 해당된다. 단, 이러한 결과는 본 研究가 실험실 규모의 反應槽를 운전하여 얻은 결과이기 때문에 실제 규모의 堆肥 Plant에 적용할 때는 다소의 조정이 필요할 것으로 생각된다.

6.3.4 수분조절제의 종류와 堆肥生産量

6.3.1에서 기술한 바와같이 음식물쓰레기를 好氣性 堆肥化할 경우, 堆肥原料의 粒子性狀을 개량시키지 않는 상태에서는 好氣性條件을 유지시킬 수 없었다.

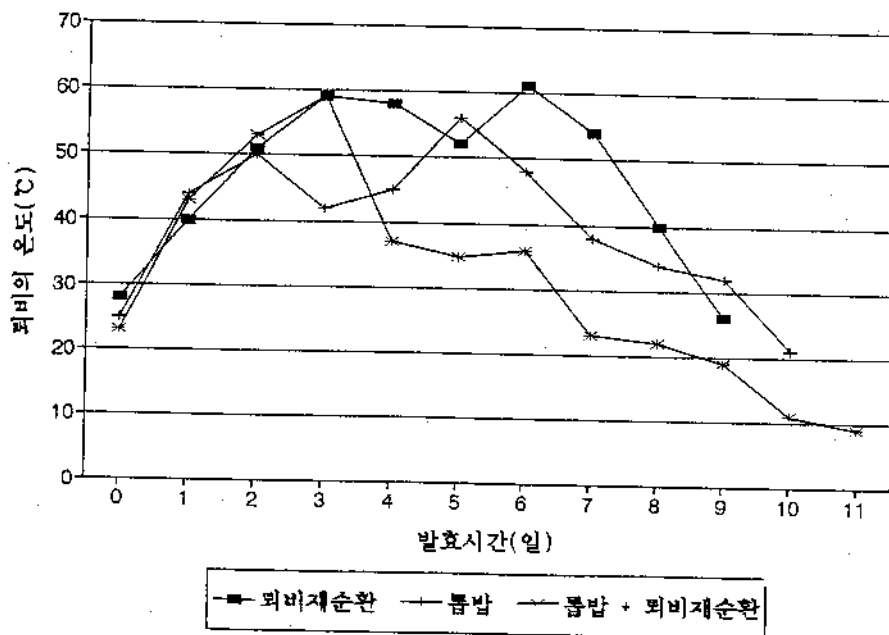
따라서 어떤 형태이든 수분조절제가 필요하다. 수분조절제는 일반적으로 왕겨, 톱밥, 나무껍질 등이 많이 이용되며, 생산된 堆肥의 일부를 재순환시켜 사용하는 경우도 있다. 堆肥를 재순환시키는 경우는 수분조절제로서의 기능뿐 아니라 堆肥化微生物을 植種하는 역할도 기대할 수 있다. 본 研究에서는 수분조절제로서 톱밥, 생산된 堆肥 및 톱밥과 생산된 堆肥를 일정비율로 혼합하여 사용할 경우 堆肥化 정도를 比較·檢討하였다. 톱밥과 생산된 堆肥를 혼합하여 수분조절제로 사용하는 경우에 10% 이상의 堆肥注入은 더 이상의 효과를 나타내지는 못한다고 이미 밝혀져 있으므로 총퇴비원료 주입량의 10%에 해당하는 양만큼 생산된 堆肥를 재순환하여 주입하였다. 堆肥化의 指標로는 온도, pH, 水分含量 및 산소소모량을 사용하였다.

3가지의 수분조절제를 사용하여 堆肥化實驗을 하였을 때 각각 수분조절제에 따른 堆肥化指標의 變化는 <그림 6-15>에서부터 <그림 6-18>에 나타나 있다. 이하 생산된 堆肥를 수분조절제로 사용한 경우는 “퇴비”, 톱밥의 경우는 “톱밥”, 톱밥과 생산된 堆肥를 혼합 사용한 경우는 “톱밥+퇴비”로 표기한다.

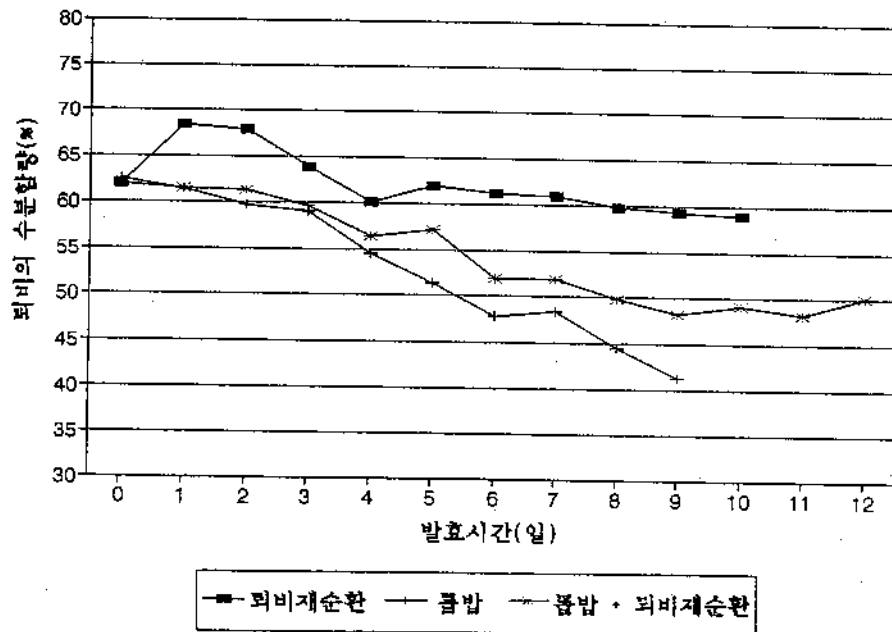
堆肥化 反應은 “堆肥”의 경우가 가장 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.

<그림 6-15>의 온도변화에서 알 수 있듯이 “堆肥”의 경우는 2일 경과후 50℃에 도달하여 약 5일 동안 지속적으로 50~60℃를 유지하였으며 이후 급격히 저하되었다. pH상승(<그림 6-16>)에서도 “堆肥”의 경우가 pH 8이상으로 가장 빠르게 상승하였다. 이러한 반응속도는 <그림 6-17>의 누적 산소소모량에서 보다 정확히 이 사실을 입증시키고 있다. “堆肥”의 경우 초기 2일동안은 반응이 느리게 진행되었으나 2일 이후에는 다른 수분조절제를 사용한 것보다 매우 빠른 반응속도를 나타내고 있으며, 최종 산소소모량도 약 30%정도 많으므로 분해가 활발히 일어난 것을 알 수 있다.

반면에 通氣性은 “톱밥”의 경우가 가장 좋은 것으로 나타났다. <그림 6-18>과 같이 “톱밥”의 경우 62.5%의 初期水分含量이 반응종료시 41.3%로 약 21%가 감소하여 3가지 수분조절제중 最大水分減少量을 보였다. “톱밥+퇴비”의 경우는 초기 62.0%에서 50.1%로 약 12% 감소하였다. 그러나 “퇴비”의 경우는 초기 62.0%에서 반응종료시 58.3%로 약 3%만이 감소함을 볼 때 通氣性은 톱밥의 함량이 증가할수록 향상된다는 것을 실험에서 확인할 수 있었다.

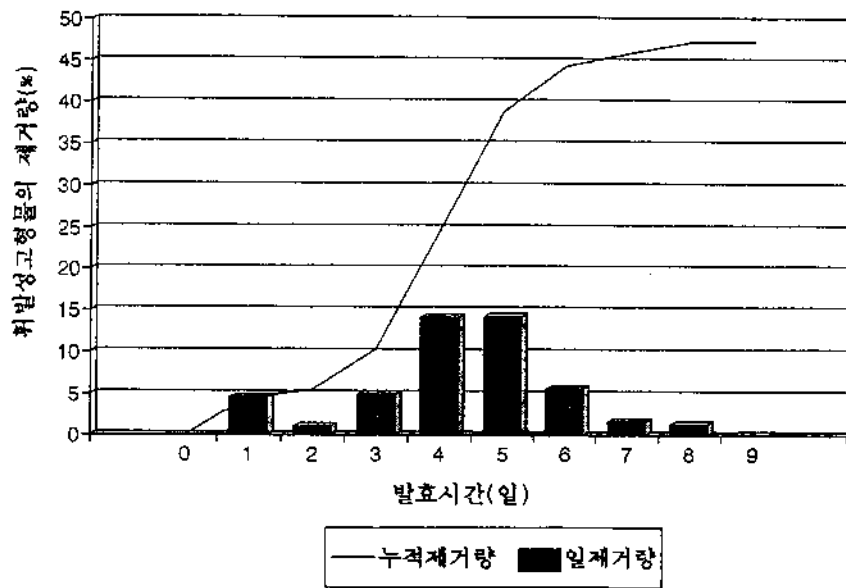


<그림 6-15> 수분조절제의 종류에 따른 堆肥의 온도변화

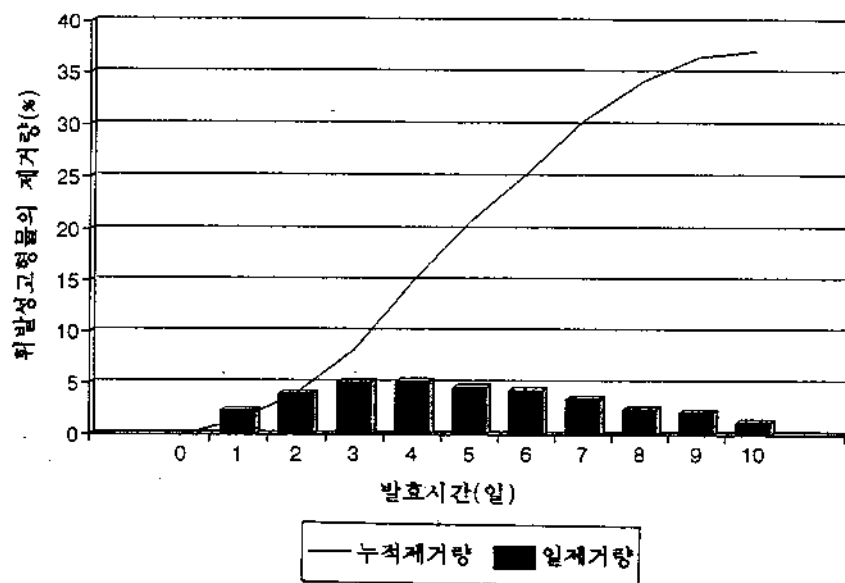


〈그림 6-18〉 수분조절제의 종류에 따른 堆肥의 水分含量變化

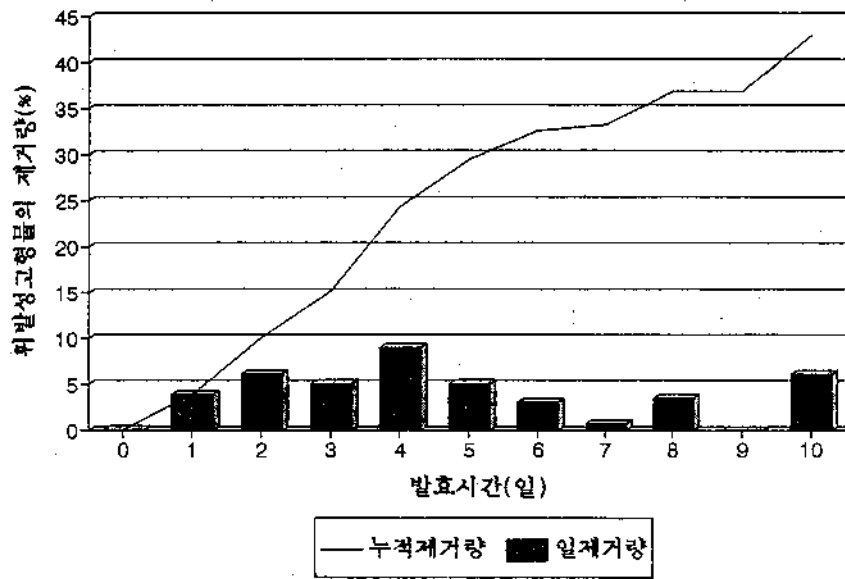
〈그림 6-19〉에서부터 〈그림 6-21〉은 각 수분조절제의 종류에 따른 揮發性固形物의 日除去率을 보여주고 있다. “堆肥”의 경우 2일 정도의 지체시간이 지난 후 3~6일 사이에 집중적으로 제거되었다. “톱밥”의 경우는 堆肥와 다르게 대체로 완만한 반응을 보여주었고, “톱밥+퇴비”의 경우도 그 경향은 유사하였다. 이러한 결과는 〈그림 6-17〉의 누적 산소소모량 곡선과도 대략 일치하고 있다. 그림에서 揮發性固形物의 累積除去量이 지체시간, 활성분해기, 분해정지기 등의 경향을 띤다는 점에서 미생물에 의한 유기물 분해반응과 유사한 면이 있다. 따라서 음식물쓰레기와 톱밥의 揮發性固形物 중 生物學的 最大分解可能量을 각각 76%와 50%로 하고, 지체기를 고려하여 1차반응으로 표현한 결과가 〈그림 6-22〉에서 〈그림 6-24〉와 같다. 〈그림 6-22〉에서 〈그림 6-24〉의 1차반응곡선에서 지체시간 1일 또는 2일을 고려하여 산출한 反應常數에 의해 각 수분조절제의 종류별 揮發性固形物의 제거경향은 식(9)~식(11)로 표현이 가능하다.



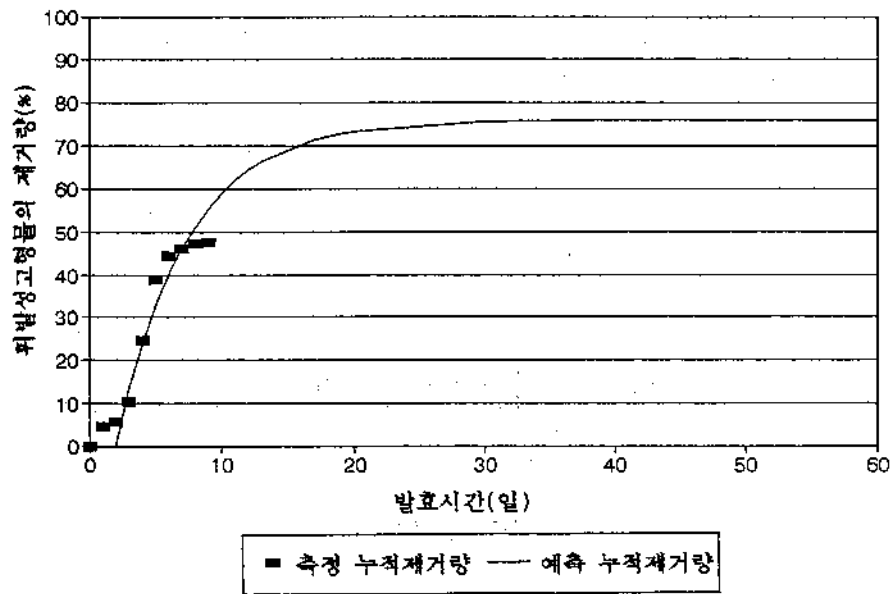
〈그림 6-19〉 수분조절제로 堆肥사용시 揮發性固形物의 日除去量 및 累積除去量



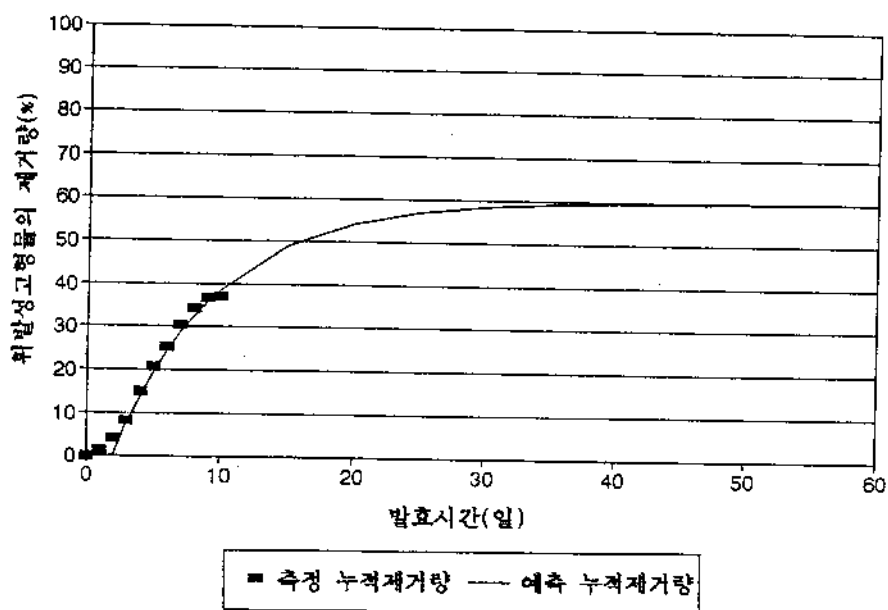
〈그림 6-20〉 수분조절제로 톱밥사용시 揮發性固形物의 日除去量 및 累積除去量



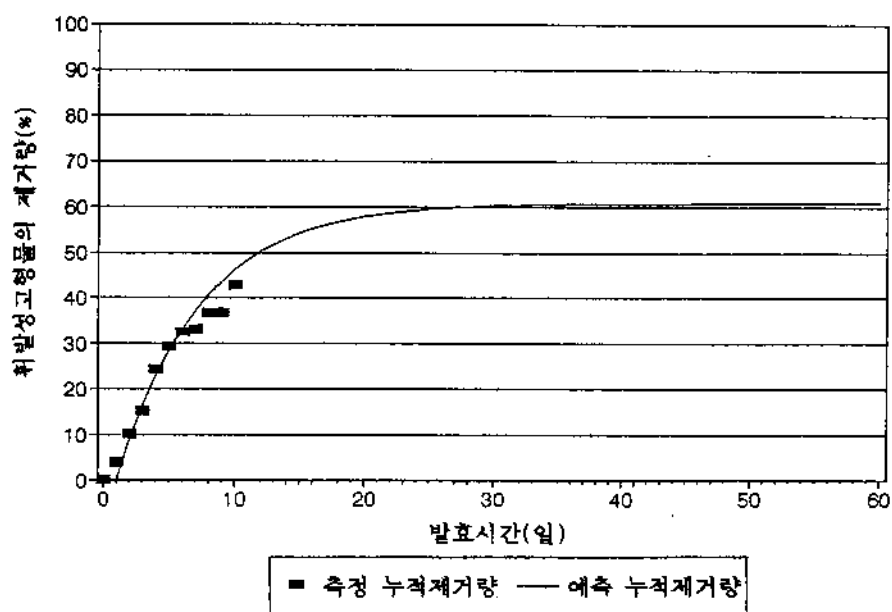
〈그림 6-21〉 수분조절제로 톱밥과 堆肥를 혼합사용시
揮發性固形物の 日除去量 및 累積除去量



〈그림 6-22〉 수분조절제로 堆肥사용시 揮發性固形物の 분해경향



〈그림 6-23〉 수분조절제로 톱밥사용시 揮發性固形物의 분해경향



〈그림 6-24〉 수분조절제로 톱밥과 堆肥糞 혼합사용시 揮發性固形物의 분해경향

$$\text{“堆肥”} : VS_R(\%) = 76(1 - 10^{-0.081(t-2)}) \quad \text{식(9)}$$

여기서, VS_R : 揮發性固形物の 分解量(%)

76 : 揮發性固形物중 生物學的 分解可能物質量(%)

0.081 : 反應常數(/day)

t : 反應時間(day)

2 : 遲滯時間(day)

$$\text{“톱밥”} : VS_R(\%) = 60(1 - 10^{-0.0565(t-2)}) \quad \text{식(10)}$$

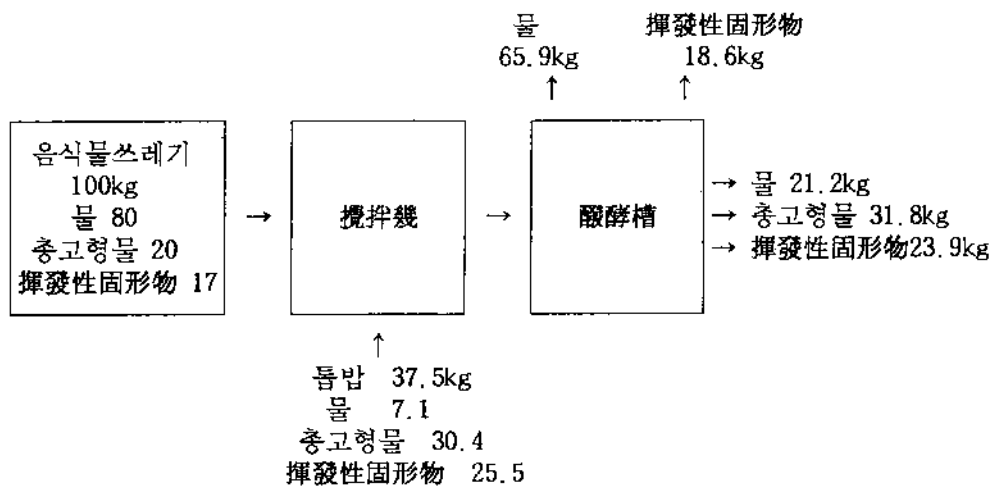
$$\text{“톱밥 + 퇴비”} : VS_R(\%) = 60.9(1 - 10^{-0.0689(t-1)}) \quad \text{식(11)}$$

3가지 방법의 수분조절제중 反應常數만을 비교하면 “堆肥”의 경우가 가장 빠르고, “톱밥+퇴비”, “톱밥”의 순으로 생산된 堆肥의 재순환함량이 증가할수록 有機物の 분해가 빠른 것을 알 수 있다. 反應曹의 滯留時間을 14일, 반응완료시의 水分含量을 40%로 가정하고 식(9)~식(11)을 이용하여 사용되는 각각의 수분조절제별로 음식물쓰레기의 堆肥化시 물질수지를 산출하면 <그림 6-25>에서 <그림 6-27>과 같다. 즉, “堆肥”의 경우 음식물쓰레기 100kg으로 부터 15.23kg의 堆肥가 생산되었다. “톱밥”의 경우는 음식물쓰레기 100kg에 37.5kg의 톱밥을 첨가하여 최종퇴비생산량은 53kg이었으며, “톱밥+퇴비”의 경우는 25kg의 톱밥을 첨가하여 38.5kg의 堆肥가 생산되었다. 위에서 산출된 물질수지는 14일의 반응기간만을 고려하였으므로 後熟期間 등에 분해되는 양까지 고려한다면 최종퇴비량은 다소 감소할 것으로 예상된다.

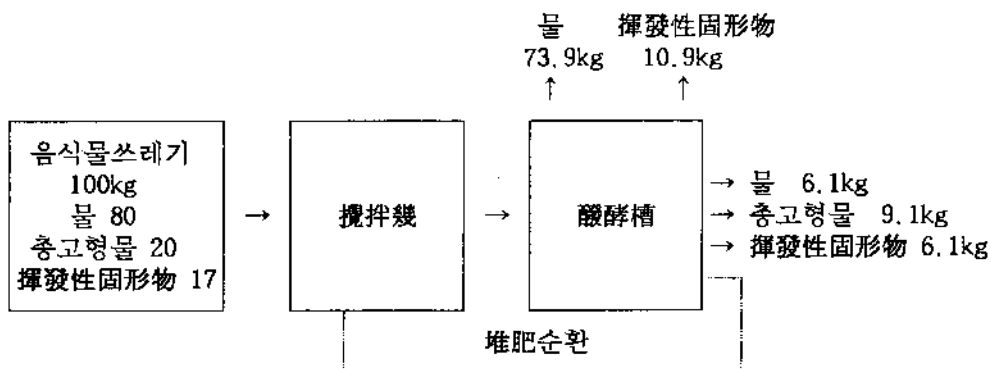
이상과 같이 수분조절제의 종류에 따라 堆肥化進行特性을 살펴봄과 동시에 揮發性固形物の 日分解傾向으로부터 반응식을 산출하였다. 또한 산출된 반응식을 기초로 하여 수분조절제의 종류에 따른 물질수지를 산정하였다. 그 결과 재순환되는 堆肥의 량이 증가할수록 通氣性은 저하되나 堆肥化의 진행은 향상되는 것으로 나타났으며, 톱밥의 주입량 증가는 퇴비생산량을 증가시키는 것으로 나타났다. 따라서 3가지의 수분조절제중 어떤 것을 적용하느냐 하는 것은 堆肥化 시설의 목적에 따라 결정되어야 한다. 즉, 시설의 목적이 쓰레기처리에 있다면 생산된 堆肥를 재순환시켜 수분조절제로 사용하는 것이 유리하며, 堆肥生産에 목적이 있다면 톱밥을 수분조절제로 사용하는 것이 좋을 것이다. 단 각 방법에 따른 품질도 이 단계에서 동시에 고려되어야 한다. 서울시의 경우는 堆肥 수

요처가 많지 않으므로 음식물쓰레기 堆肥化施設을 설치한다면 쓰레기의 減量에 그 目的을 두어야 한다. 따라서 가능하면 톱밥을 사용하지 않고 생산된 堆肥를 재순환하여 수분조절제로 사용하는 것이 堆肥의 수급이나 경제적인 면에서 유리할 것으로 판단된다. 그러나 생산된 堆肥를 재순환하여 수분조절제로 사용하는 것이 반응성 측면에서는 뛰어나지만 通氣性의 저하를 가져올 수 있으므로 通氣性의 향상을 위해 경우에 따라서는 별도의 수분조절제를 첨가할 필요가 있다.

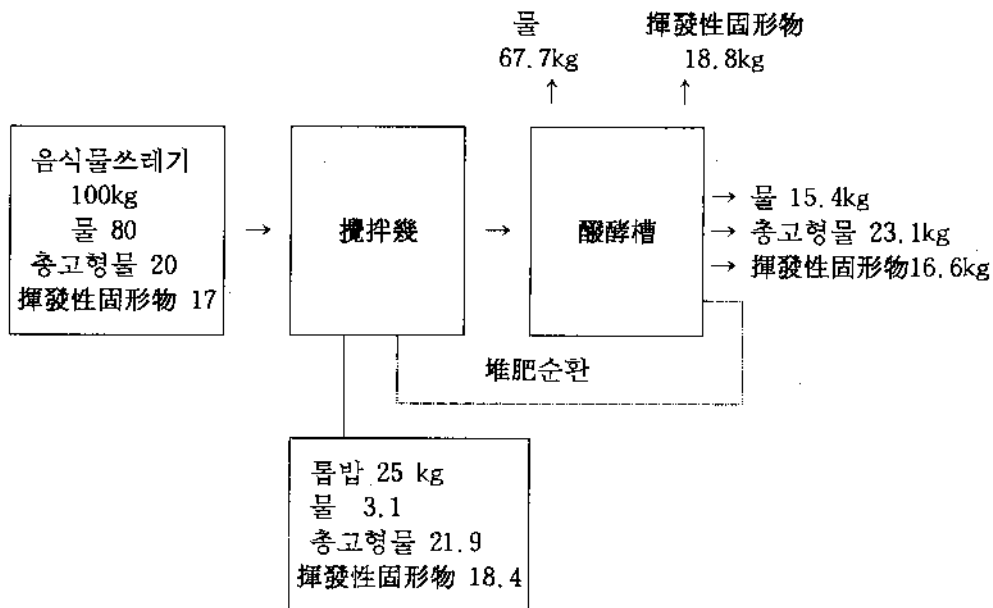
수분조절제의 종류에 따른 퇴비의 품질은 8장에서 간략하게 기술하였다.



<그림 6-25> 톱밥을 수분조절제로 사용시의 물질수지



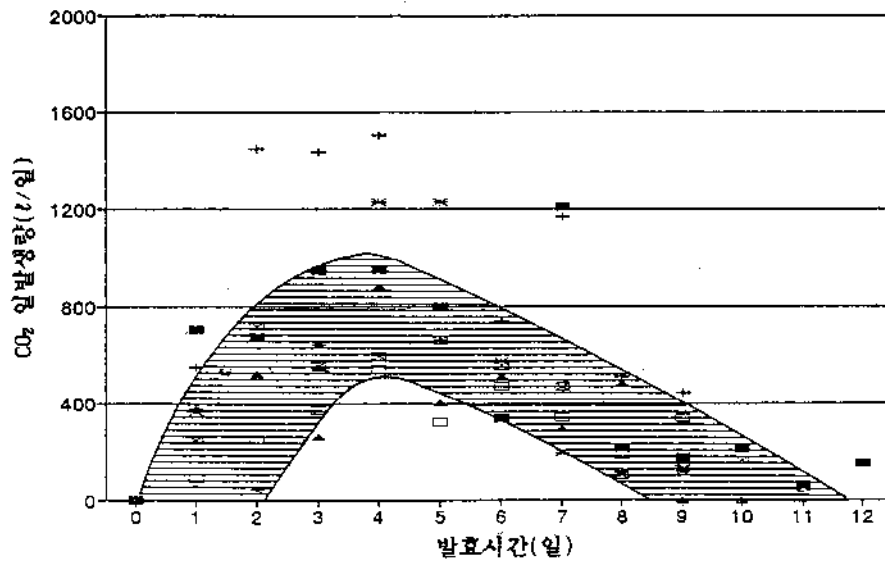
<그림 6-26> 생산된 堆肥를 재순환하여 수분조절제로 사용시의 물질수지



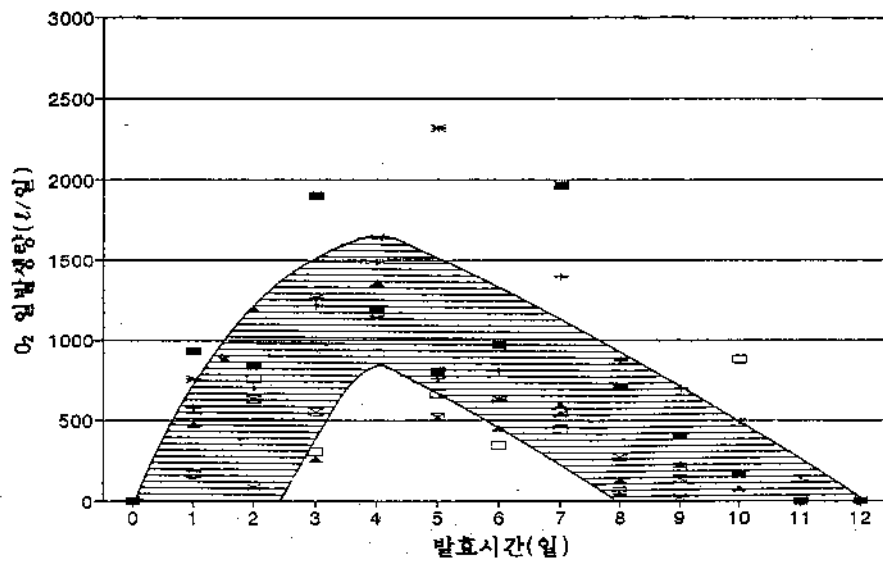
〈그림 6-27〉 톱밥과 생산된 堆肥를 수분조절제로 사용시의 물질수지

6.3.5 堆肥化指標의 검토

堆肥化施設을 설치하여 운전할 경우 堆肥化의 진행정도를 파악할 수 있는 지표가 필요하다. 好氣性 堆肥化工法은 好氣性微生物에 의해 有機物質이 분해되는 과정이므로 반응의 진행정도를 파악할 수 있는 가장 정확한 방법은 好氣性 분해 과정에서 반드시 필요한 O_2 소모량이나 副産物인 이산화탄소발생량을 측정하는 방법이라 할 수 있다. 따라서 反應槽 A에서 각각의 조건에 의해 운전된 모든 운전 자료중 이산화탄소발생량 및 산소소모량의 일간 변화를 살펴본 결과가 〈그림 6-28〉과 〈그림 6-29〉와 같이 나타났다. 이산화탄소발생량과 산소소모량은 堆肥化 시작후 계속 증가하다 4일후를 기준으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 결국 有機物의 분해는 최초 4일 이내에 가장 활발하게 이루어지는 것을 알 수 있다. 그러나 실제 堆肥化施設에서는 이산화탄소발생량과 산소소모량을 측정하는 것이 쉽지 않기 때문에 CO_2 발생량과 O_2 소모량을 지표로 사용하는데는 어려움이 있다. 따라서 비교적 측정이 간단한 堆肥의 pH, 온도, C/N비 및 수분감소 등에 대해 指標使用의 可能性을 檢討하였다.



〈그림 6-28〉 堆肥化의 진행에 따른 CO₂의 日發生量



〈그림 6-29〉 堆肥化의 진행에 따른 O₂의 日消耗量

가. pH

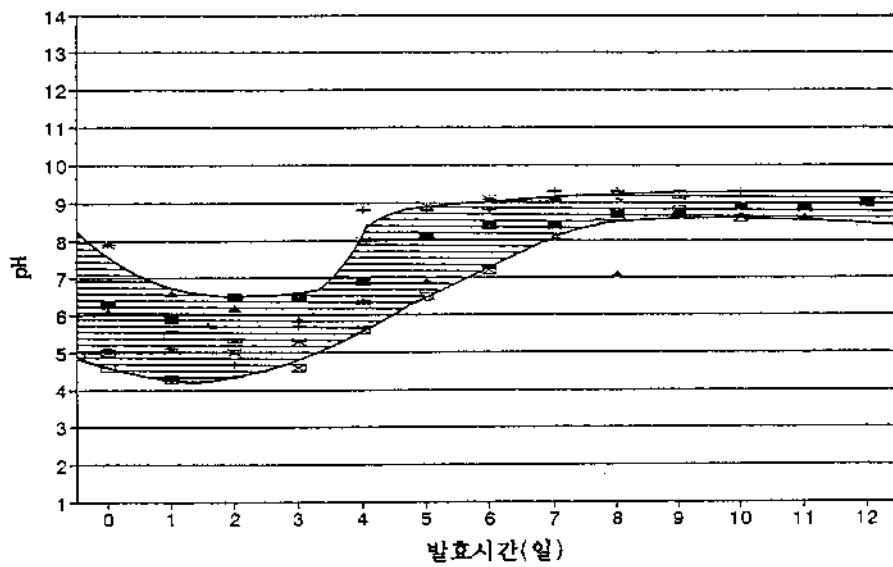
<그림 6-30>은 시간경과에 따른 堆肥의 pH 변화를 보여주고 있는데 반응초기의 pH 분포는 매우 넓게 나타났다. 반응초기에 pH는 4~6범위를 보였으며 이 때를 일반적으로 有機酸 生成段階라 한다. 활발한 분해기라 할 수 있는 2~4일 동안에도 약간량의 상승은 보였지만 대부분 7이상 초과하지 않았다. 5일이 경과하면 빠르게 상승하여 대부분의 조건에서 pH 8이상으로 상승하였고, 그 이후에는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 결국 堆肥化가 순조롭게 진행되고 有機物의 분해가 일정단계에 도달할때 堆肥의 pH는 8이상으로 상승하게 된다. 따라서 실제 堆肥化施設을 운전할 경우 堆肥의 pH를 堆肥化 進行의 指標로서 사용할 수 있다고 판단된다.

나. 온도

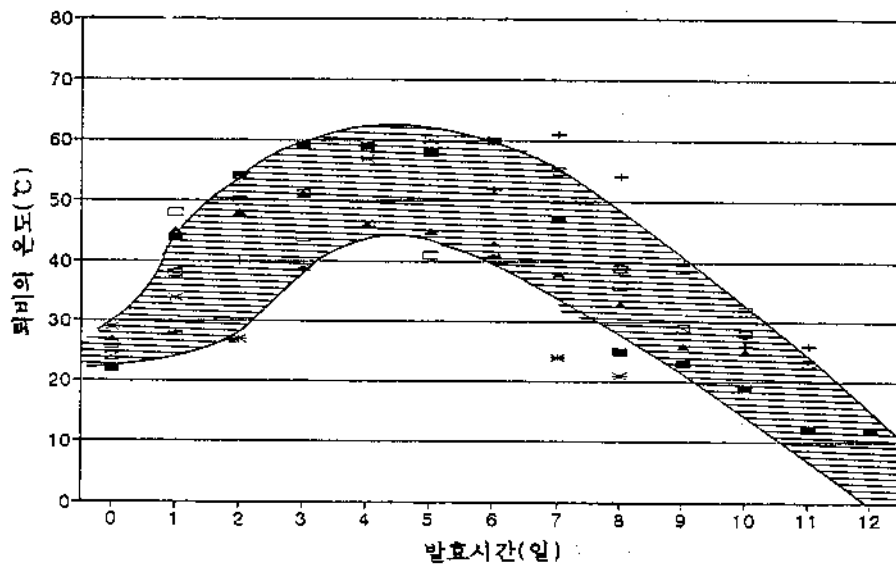
<그림 6-31>은 시간경과에 따른 堆肥의 溫度變化를 보여주고 있는데 온도의 변화경향은 이산화탄소발생량 및 산소소모량과 거의 일치하였다. 즉, 이산화탄소발생량과 산소소모량이 증가하는 기간에 온도도 상승하였고, 최대온도를 나타내는 시간은 최대 이산화탄소발생량과 산소소모량이 나타나는 시간에 비해 약 1~2일의 지연현상이 나타났으나 동일한 경향으로 감소하였다. 따라서 이미 밝혀져 있는 사실이지만 온도의 측정이 堆肥化 進行의 間接的 判斷基準으로서 적합하다고 판단된다. 온도는 측정이 용이한 장점이 있으나 최대온도를 나타내는 시간이 분해가 가장 활발한 시점과 일치하지 않고 약 1~2일의 지연현상이 나타나는 것을 고려하여 指標로 이용하여야 한다. 또한 堆肥의 온도는 反應槽의 구조에 따라 달라지므로 일정 온도범위보다는 온도변화의 경향을 指標로서 사용해야 할 것이다.

다. C/N比

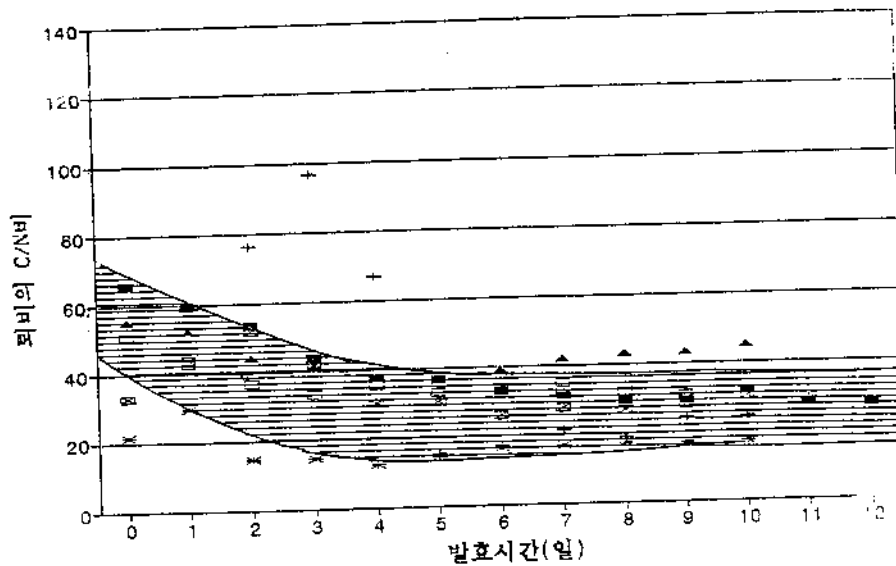
有機物은 탄소함량이 대체로 높고 微生物도 炭素를 窒素보다 절대적으로 많이 이용한다. 따라서 有機物의 分解에 따라 C/N比는 감소하게 된다. 본 실험의 결과에서도 <그림 6-32>에서 보는 바와 같이 有機物의 分解가 활발히 일어나는 초기 4일동안은 C/N比가 감소하며, 그 이후에는 거의 일정한 값을 보이고 있다.



〈그림 6-30〉 堆肥化의 진행에 따른 pH의 변화



〈그림 6-31〉 堆肥化의 진행에 따른 온도의 변화

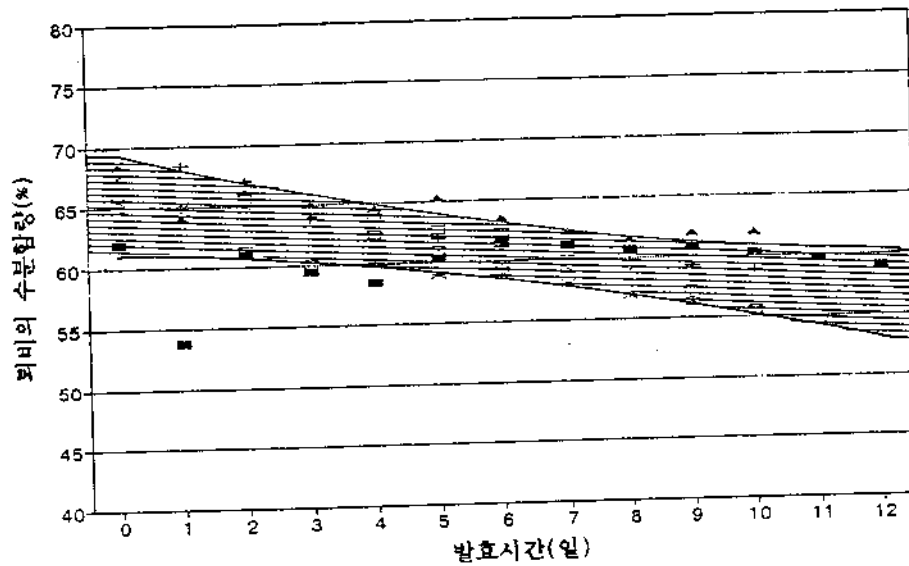


〈그림 6-32〉 堆肥化의 진행에 따른 C/N비의 변화

그러나 C/N비의 측정은 온도나 pH측정보다는 절차가 복잡하고, 실험조건이 아닌 실제 처리시설에서 음식물쓰레기의 균질한 대표적 시료를 채취하는 것이 쉽지 않으므로 실제 처리시설에서 堆肥化의 指標로서 C/N비의 적용은 어렵다고 판단된다. 따라서 C/N비는 堆肥의 品質이나 堆肥原料의 성상파악에 주로 이용되어야 할 것이다.

라. 水分含量

〈그림 6-33〉은 시간경과에 따른 堆肥의 水分含量變化를 보여주고 있는데 시간에 따라 거의 직선적으로 비례하며 감소하고 있다. 따라서 水分含量을 堆肥化 반응의 직접적 指標로 사용하기는 힘들 것으로 판단된다. 단, 水分含量의 감소는 堆肥의 通氣性이 원활하면 할수록 동일한 反應條件에서 크게 나타나므로 水分含量變化에 의해 通氣性의 變化를 간접적으로 파악할 수 있을 것이다.

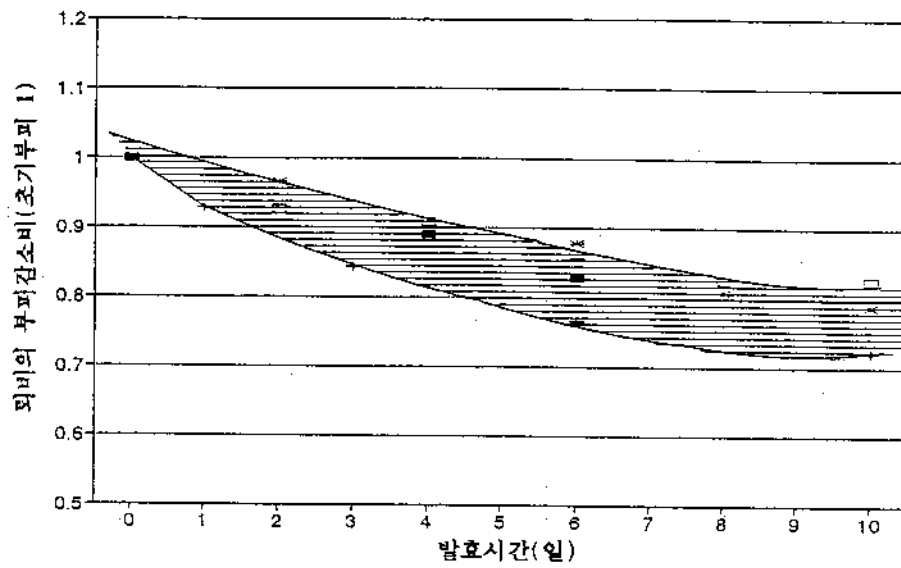


〈그림 6-33〉 堆肥化의 진행에 따른 水分含量의 변화

6.3.6 堆肥의 부피변화와 겉보기 밀도

〈그림 6-34〉는 시간에 따른 堆肥의 부피감소율을 보여주고 있다. 堆肥化의 진행에 따라 堆肥의 부피는 계속 감소하는 경향을 보였으며 운전조건에 따라 약간의 차이를 보였다. 즉, 반응개시 후 10여일이 경과하였을 때 초기부피를 기준으로 하여 약 72%에서 83%의 부피감소를 보였다.

〈표 6-3〉은 부피측정결과를 이용하여 계산된 겉보기 밀도를 나타내고 있다. 실험개시시의 초기밀도는 $460 \sim 580 \text{ kg/m}^3$ 이었다. 이러한 밀도는 반응의 진행과 더불어 감소하여 $230 \sim 400 \text{ kg/m}^3$ 으로 변하였다. 그러나 겉보기밀도란 水分含量에 의해 크게 좌우되므로 水分含量 40%를 기준으로 다시 환산하면 堆肥의 겉보기밀도는 $230 \sim 300 \text{ kg/m}^3$ 로, 평균 265 kg/m^3 였다.



〈그림 6-34〉 경과시간에 따른 堆肥의 부피변화(초기부피를 1로 한 경우)

〈표 6-3〉 반응개시시와 완료시의 겉보기밀도변화

實驗番號	初期 겉보기密度 (kg/m ³)	初期 水分含量 (%)	反應終了時 겉보기密度 (kg/m ³)	反應終了時 水分含量 (%)	水分含量 40% 補正 시 겉보기密度 (kg/m ³)
1	460	62.5	230	41.3	230
2	490	65.3	400	61.0	260
3	580	65.4	350	48.5	300
4	514	59.0	320	50.0	270
平均	511	63.1	325	50.2	265

제 7 장 음식물쓰레기 堆肥化의 與件檢討

7.1 關係法規 및 現況 檢討

7.2 堆肥의 品質

7.3 堆肥의 活用方案 檢討

제 7 장 음식물쓰레기 堆肥化의 與件檢討

7.1 關係法規 및 現況 檢討

7.1.1 廢棄物관계법과 대상업소현황

環境處는 국내에서 발생하는 쓰레기중 28.5%가 음식물쓰레기이고, 混合埋立 시 惡臭 및 汚水發生, 害蟲棲息 등 환경보전상의 문제를 야기시키고 있다고 판단하여 1993년 3월 12일 음식물쓰레기 재활용 촉진대책을 마련, 추진할 방침이라고 발표했다. 이를 위한 구체적 계획으로서

- ① 호텔 등 대형음식점과 군부대·학교·산업체·교도소 등 집단급식소, 屠畜場, 수산시장 등 음식물쓰레기를 다량배출하는 시설의 堆肥化 중간처리를 의무화하는 근거조항의 신설
- ② 지방환경청을 통해 가정과 학교 등이 음식물쓰레기 堆肥化容器를 설치토록 행정지도
- ③ 示範高速堆肥化施設을 설치·운영하여 타당성이 인정될 경우 대형음식점과 집단급식소 등에 확대보급
- ④ 首都圈埋立地에 유기성쓰레기 高速堆肥化施設 설치 추진 및 음식물쓰레기 재활용시설 투자금액에 대한 세금감면과 재활용시설 설치기금 융자 등 재활용업소에 대한 각종지원시책 시행 등을 설정하였다.

음식물쓰레기 등 有機性廢棄物을 飼料·堆肥化하는 것은 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률에 근거하고 있다. 즉, <표 7-1>과 같이 一般廢棄物을 1일 300kg이상 또는 시행령에서 정한 토지의 소유자·점유자 또는 관리자는 堆肥化 또는 飼料化할 수 있는 설비를 설치하거나 기타 재활용방안을 강구하도록 노력해야 한다고 되어 있다.

그러나 이 법률은 대상토지의 소유자·점유자 또는 관리자가 반드시 堆肥化 등을 실시해야 한다는 강제적인 규정이 아니고 단지 권고 또는 권장의 차원에 그치고 있으며, 多量排出者의 기준도 1일 300kg이상 배출자로 적용대상이 극히 작았다.

〈표 7-1〉 음식물쓰레기 堆肥化 의무근거(자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률)

법 률	시 행 령	시 행 규 칙
제 16조(一般廢棄物排出者의 재활용의 이행등) ① 廢棄物 관리법 제2조제2호의 규정에 의한 一般廢棄物을 배출하는 토지·건물의 소유자·점유자 또는 관리자 중 대통령이 정하는자(이하 “一般廢棄物排出者”라 한다)는 그 토지 또는 건물에서 배출되는 一般廢棄物 중 재활용할 수 있는 폐기물을 총리령이 정하는 기준에 따라 재활용하거나 종류·성상별로 분리보관하여 재활용될 수 있도록 하여야 한다.	제 14조(一般廢棄物排出者의 범위) ①법 제16조제1항에서 “대통령령이 정하는 자”라 함은 사업활동에 수반하여 一般廢棄物을 배출하는 자로서 다음 각호의 1에 해당하는 자를 말한다. 1. 각종 바닥면적의 합계가 1천제곱미터이상인 건물의 소유자·점유자 또는 관리자 2. 廢棄物管理法 제14조의 규정에 의한 多量排出者로서 면적이 1천제곱미터이상인 토지의 소유자·점유자 또는 관리자	제 5조(一般廢棄物排出者의 재활용기준 및 조치) ①법 제16조제1항의 규정에 의한 一般廢棄物排出者의 재활용기준은 별표 2와 같다. [별표2] 一般廢棄物排出者의 재활용기준 1. 업무시설 및 판매시설 가. 소유자·관리자·점유자(영제14조에 해당하는 건물 또는 토지전체를 점유하는 자에 한한다.) 음식물찌꺼기 등 有機性廢棄物을 廢棄物管理法 제14조1항의 규정에 의한 양이상으로 배출하는 시설의 소유자 또는 관리자는 飼料·堆肥化할 수 있는 설비를 설치하거나 효율적으로 재활용하는 방법을 강구하여 자원화하도록 노력해야 한다.

이에 정부는 1993년 9월 9일 국무총리령으로 기존의 多量排出者 기준을 300kg에서 100kg으로 하향 조정하였으며 100kg 이하의 배출자라 하여도 다음의 경우는 제외하므로써 음식물쓰레기의 재활용에 관한 터전을 마련하였다(廢棄物管理法 施行規則 제9조 2).

- 食品衛生法 제2조 제2호의 규정에 의한 집단급식소(사회복지사업법 제2조 제3항의 규정에 의한 사회복지시설의 집단급식소를 제외한다)로서 1일 평균 연 급식인원이 2천인 이상인 집단급식소를 운영하는 多量排出者

- 食品衛生法 제21조의 규정에 의한 식품접객업 또는 조리판매업자로서 그 영업에 필요한 단위업소별 객석 바닥면적이 660제곱미터 이상인 多量排出者 또한 집단급식소·식품접객업 또는 조리판매업소에서 배출되는 음식물류 廢棄物 중 재활용하지 않는 一般廢棄物은 脫水·微生物에 의한 減量化처리, 기타 環境處

長官이 고시하는 방법에 의한 減量化처리를 해야 한다고 규정하였다. 법의 시행은 附則에서 1일 평균 연급식인원이 3천인 이상인 집단급식소나 객석의 바닥면적이 1천제곱미터 이상인 조리판매업소에 대해서는 1994년 9월 1일부터, 그외의 업소에 대하여는 1995년 9월 1일부터 적용하도록 되어 있다.

그러나 음식물쓰레기의 堆肥化와 관련하여 廢棄物管理法 施行規則 改正事項과 그 시행상에 있어 몇가지 고려해야 할 점이 있다고 판단된다. 첫째, 규정조항이 명확치 못하다는 점이다. 微生物處理에 의한 減量化處理는 분명하게 堆肥化를 의미한다고 하겠으나 脫水나 기타 環境處 장관이 고시하는 방법에 의해 減量化처리할 수 있다는 내용을 동시에 담고 있어 堆肥化·飼料化에 의하지 않고 단순히 脫水 등에 의해 減量化하는 선에서 처리를 완료할 수 있다는 것을 허용하고 있다. 또 이러한 방법의 처리는 廢棄物을 재활용한다는 본래의 趣旨와도 부합되지 못한다. 둘째, 대상업소가 극히 작다는 점이다. 2장에서 언급하였듯이 서울에서 발생하는 음식물쓰레기량은 파악가능한 양만도 1일 약 3,600톤에 이른다. 그러나 대상업소는 <표 7-2>와 같이 집단급식소 21개소 및 식품접객업·조리판매업 57개소 등 총 78개업소이며, 대상업소에서의 음식물쓰레기 발생량의 약 1.3%인 42 톤/일정도의 극히 작은 양에 불과하여 쓰레기의 발생량 감소에 어느 정도 寄與할 수 있을지 의문시 된다. 셋째, 대상업소가 위생적으로 관리되어야 하는 서어비스업종이 대부분이므로 처리시설의 현장설치시 미관상, 위생상의 문제로 사업에 영향을 미치는 일이 없도록 해야 한다는 점에서 그 實效性에 의문이 간다.

상기한 바와 같이 쓰레기 처리과정에서 음식물쓰레기에 의해 유발되는 몇가지 문제점의 해결과 쓰레기의 재활용차원에서 정부에서도 음식물쓰레기의 減量化와 자원화방안에 관심을 갖고 多量排出源을 우선적인 대상으로 하여 減量化하는 관계법규를 立案하였다. 減量化방법, 대상업소의 특성, 전체 음식물쓰레기에서 減量化대상 음식물이 차지하는 양 및 명확치 못한 관련법상의 조항 등을 고려하면 그 효과와 현실적 적용가능성에 다소 문제는 있으나 음식물쓰레기의 처리에 관한 지방정부의 관심이 기울어져야 할 시기라고 판단된다. 또한 향후 모호한 부분에 대한 관계법의 보완이 요망된다.

〈표 7-2〉 음식물쓰레기 多量排出業所 現況(廢棄物管理法 施行規則上的 對象業所)

구 분	해당구	개소수	발생량(kg)
집단급식소	종로	2	5,000
	중구	3	1,810
	용산	1	2,000
	성동	3	5,400
	성북	1	300
	은평	3	474
	영등포	4	3,285
	관악	1	1,000
	강남	2	2,570
	송파	1	600
소계	-	21	22,439
식품접객업 및 조리판매업	종로	5	4,700
	중구	3	3,000
	성동	1	1,200
	종로	1	30
	성북	1	375
	도봉	3	130
	노원	3	210
	은평	3	142
	서대문	1	500
	마포	1	150
	양천	3	320
	구로	3	600
	영등포	4	1,630
	영서	4	1,500
	강남	6	3,200
	송파	14	990
	강동	1	300
소계	-	57	18,977
총계	-	78	41,416

자료: 서울특별시 청소사업본부, 1993.

7.1.2 堆肥化施設の 위치선정 및 설치시의 고려사항

廢棄物管理法 施行令 第3條(一般廢棄物處理施設)에 따르면 堆肥化施設은 埋立施設, 燒却施設, 壓縮・破碎施設과 함께 一般廢棄物 처리시설에 포함된다.

이러한 시설들의 설치시 지방정부 입장에서는 재정적 압박도 문제가 되겠으나 시설의 위치선정 또한 대단히 어려운 일이다. 이미 우리나라에서도 나타나고 있는 현상으로 막대한 발생량과 埋立地의 장거리화 등으로 쓰레기 중간처리시설 도입의 필요성은 인정하면서도 시설의 立地에는 많은 어려움을 겪고 있다.

堆肥化施設을 설치할 경우 고려해야 할 사항은 위치선정, 환경영향의 사전 평가, 주변환경에 대한 배려, 관계법규 준수, 안전대책 등 무수히 많다. 여기에서 몇가지를 살펴보면 다음과 같다.

가. 위치선정

음식물쓰레기 堆肥化施設에서는 고농도의 有機物을 함유하는 沈出水, 騒音 및 振動이 발생하여 주변환경을 악화시킬 수 있으므로 가능한 한 외곽에 설치함이 바람직하다. 반면 쓰레기 처리과정에서 수거, 운반에 소요되는 많은 비용을 고려하면 교통이 편리하고 접근하기 쉽도록 가능한 한 발생원과 근접함이 유리하다고 볼 수 있다. 위의 두가지 점만을 보아도 위치선정은 결코 쉬운 일이 아니므로 다음 사항들을 신중히 검토해야 한다.

① 수집운반 효율

쓰레기 처리에 필요한 비용중에서 수집운반비가 차지하는 비율은 매우 높다. 수집작업의 형태, 수집구역의 넓이, 처리시설의 위치 및 교통사정 등의 조건에 따라 다르지만 서울과 같은 대도시일수록 수집운반비가 커지는 경향이 있다. 일반적으로 수집작업 및 자동차 운전관계의 인건비가 높을 뿐 아니라 쓰레기 량의 증가와 交通滯症 등이 수집운반 비용을 증가시키고 있다. 더우기 수집운반용 자동차의 排出가스 등이 環境에 미치는 영향등까지 고려하면 수집운반이 쓰레기 처리에 미치는 기술적, 경제적 영향은 매우 크다고 말할 수 있다. 따라서 堆肥化施設の 위치를 선정함에 있어서 이러한 사항들을 충분히 검토하여 효율적인 수집운반이 가능하도록 계획하는 것이 중요하다.

② 주변 조건

쓰레기 처리시설은 시설자체 및 수집운반차량 등에 의해 環境汚染을 발생

시킬 우려가 있는 요인을 포함하고 있다. 따라서 이러한 것들이 주변지역에 대해 環境汚染의 원인이 되지 않도록 위치선정시 충분히 배려하여 인접주민들에게 이러한 걱정을 하지 않도록 충분한 설명을 해줄 필요가 있다.

③ 도시발전과 토지이용계획 등과의 관계

도시의 발전에 따라 수집운반 방식의 변경, 시설의 신설 또는 증·개축 및 시설주변의 상황변화 등에 대한 고려를 해야 한다. 따라서 계획시 장래계획을 충분히 검토하고 특히 도시발전에 의한 주변상황의 변화에 대하여 주의하고 장래시설의 운영관리 및 건설 등에 지장이 없도록 배려할 필요가 있다.

④ 관련시설과의 위치 관계

쓰레기 처리의 원칙은 수집, 운반, 처리처분공정이 신속하고 경제적이어야 하며 무엇보다도 생활환경에 피해를 주지 않도록 원활하게 실시하는 것이다. 따라서 堆肥化施設을 燒却施設 등과 연계하여 건설하므로서 燒却施設에서 발생하는 열을 이용하는 방안, 그리고 堆肥化施設에서 발생하는 惡臭를 제거하기 위해 排氣가스를 燒却하는 방안 및 副産物의 燒却 등을 강구할 수 있다.

나. 주변환경에 대한 배려

쓰레기 처리시설의 건설에 대한 반대 요인으로서 물론 시설 그 자체가 주변의 생활환경을 악화시킨 것에 의한 경우가 많으나 앞으로는 오히려 시설자체보다도 시설에 출입하는 자동차에 의한 교통상의 문제 및 부동산가격의 하락 등 재산상의 직접적 피해가 반대요인으로 작용될 것이 예상되므로 이에 대한 대비를 해야 할 것이다.

외국의 경우를 보더라도 시설에 있어서는 惡臭, 排水水 등에 의해 주변지역의 생활환경을 악화시키는 일이 많았으나 처리기술의 진보, 시설의 정비, 관리체제의 강화 및 環境汚染防止를 위한 規制強化 등에 의해서 새로운 시설에 있어서 거의 위의 요인에 의해 생활환경이 악화되는 것을 개선할 수 있게 되었다.

쓰레기 처리시설은 일반적으로 생활환경 지역에서 떨어져 건설됨으로써 일반 생활권과는 격리되어 있는 경우가 많다. 따라서, 시설주변부 환경과의 조화를 고려할 필요는 적었으나 최근 도시에서는 敷地取得의 困難性, 지방에 있어서는 교통의 발달에 의한 생활권의 확대 등에 따라 일반생활권 또는 인근지역에 시설을 건설하는 경우도 많고 더욱이 자연환경의 保全에 대한 배려가 강하게 요구되

기 때문에 주변환경과의 조화를 충분히 배려하지 않으면 건설이 불가능한 상황으로 되는 경우도 있다.

따라서 이와같은 경우에는 처리시설의 건설을 목적으로 한 종합계획은 물론 주변지역의 環境整備 또는 都市改造를 포함한 종합계획을 고려하는 것이 중요하다. 일반적으로 적어도 다음과 같은 대책에 대해서는 충분한 검토가 필요하다.

○ 교통 대책

- 수집운반 차량수에 비례하여 주변도로를 준비할 필요가 있고 적당한 주변도로가 없는 경우에는 신설 또는 개조를 검토한다.

- 주변에 차량이 집중하는 다른 시설이 있는 경우에는 그의 소재지 혹은 건설예정을 조사하여 이것으로 인한 차량 혼잡 및 교통마비 현상이 생기지 않도록 계획을 세운다. 또 交通混雜 地域을 조사하여 이 주위에 영향을 주지 않도록 계획을 세운다.

- 수집운반차량의 구내 출입구, 구내도로 방향 등에 유의하여 주차공간을 설계하여 외부에 대한 영향을 최소한으로 줄이도록 한다.

- 반출입 차량대수를 감소시키기 위해 차량의 대형화를 도모한다.

○ 주변환경과의 조화

- 부지를 충분히 확보하여 주변지역에 騒音, 振動, 惡臭 등의 영향이 미치지 않도록 시설배치를 고려한다. 그 사이에 綠地를 조성하거나 공원 등을 설치한다.

- 건물의 높이, 외관, 배치 등은 주위환경과의 조화를 충분히 고려한다.

- 風向, 風速을 고려하여 건물의 배치를 결정하고 惡臭가 빠져 나가지 않도록 하고 자연환경을 훼손하지 않도록 해야한다.

다. 관련법규의 준수

堆肥化施設과 직접적인 관계가 있는 각종 法規는 水質環境保全法, 大氣環境保全法, 騒音振動規制法, 廢棄物管理法, 都市計画法, 建築法, 消防法, 航空法, 停車場法, 電氣事業法 및 에너지利用合理化法 등이 있다. 여기에서는 도시계획법상의 廢棄物處理施設 決定基準과 排出基準에 대하여 검토해보았다.

① 都市計画法

都市計劃施設基準에 관한 施行規則에 따르면 堆肥化시설의 위치선정에는

다음과 같은 사항이 준수되어야 한다.

- 人口密集地域 및 공공기관·학교·연구시설·의료시설·종교시설등과 근접하지 아니하고 주거환경에 나쁜 영향을 주지 아니하도록 인근의 土地利用計劃을 고려하여 결정하여야 한다. 다만, 大氣環境保全法이 정하는 排出許容基準에 적합한 시설을 갖춘 경우에는 그러하지 아니한다.

- 風向을 고려하여야 하며 排水가 잘되고 시민의 보건위생에 危害를 끼칠 우려가 없는 지역에 결정하여야 한다.

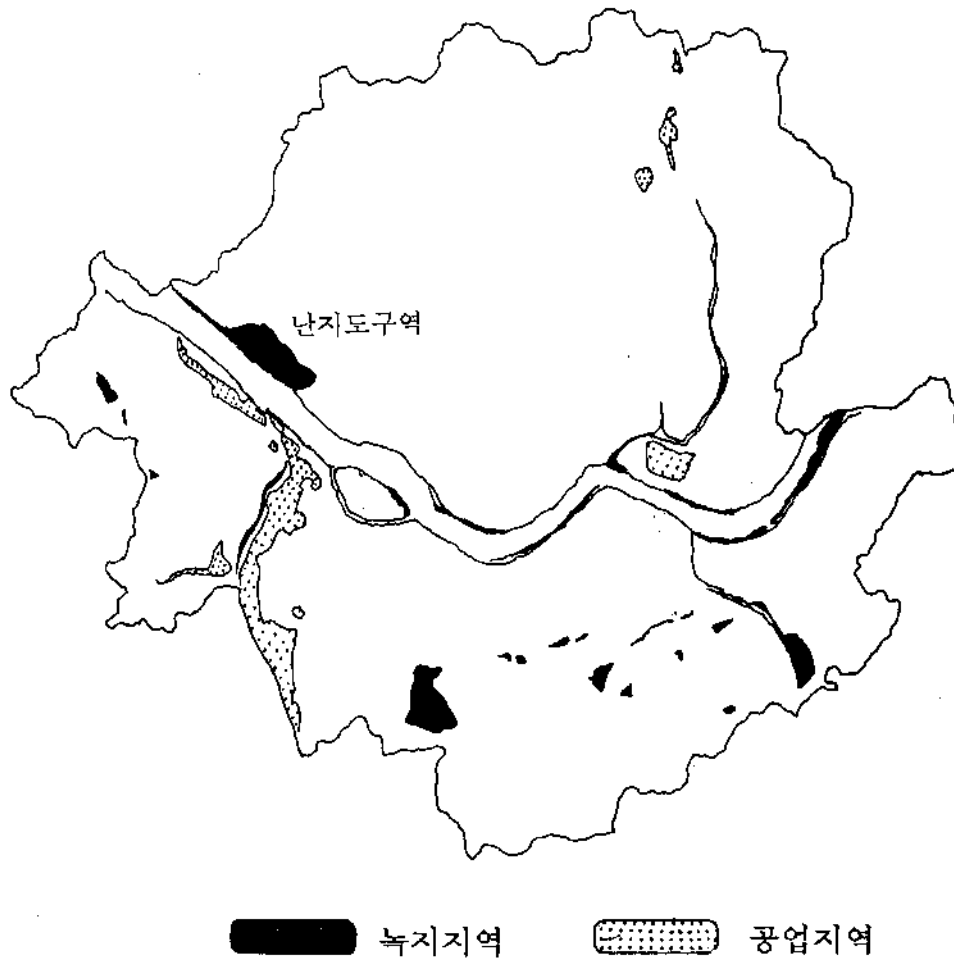
- 大氣 및 水質汚染 등 각종 環境問題를 고려하여 결정하여야 하고, 시설의 주위에 담장 등의 隱蔽施設을 설치하여야 한다.

- 用水와 動力의 확보가 용이하고 차량이 접근하기 쉬운 지역에 결정하여야 한다.

- 一般廢棄物 處理施設과 摘出物處理施設은 전용공업지역·일반공업지역·준공업지역·생산녹지지역 및 자연녹지지역에 한하여 결정하여야 한다. 다만 一般廢棄物處理施設 중 廢棄物管理法 施行令 제3조 제2호의 규정에 의한 燒却施設로서 1일 처리능력이 2천톤 이하인 시설과 동조제3호의 규정에 의한 壓縮·破碎施設로서 1일 처리능력이 1천톤 이하인 시설로서 大氣環境保全法에 의한 排出許容基準에 적합한 시설을 갖춘 경우에는 일반주거지역, 준주거지역 및 일반상업지역에도 이를 결정할 수 있다.

따라서 이 법률에 따르면 堆肥化施設의 위치는 전용공업지역·일반공업지역·준공업지역·생산녹지지역 및 자연녹지지역에 한하여 결정할 수밖에 없으며, 燒却施設이나 壓縮·破碎施設과 같이 일반주거지역, 준주거지역 및 일반사업지역에도 설치할 수 있기 위해서는 현행법의 수정이 이루어져야 한다.

현재 서울시 용도지역의 지정현황은 <표 7-3>과 같고, 堆肥化施設이 입지할 수 있는 공간은 <그림 7-1>에 표시되어 있는 공업지역과 녹지지역으로 전체의 56.7%인 343.3km²이다. 그러나 공업지역은 독섬과 도림천변의 구로공단지역을 말하므로 堆肥化施設의 입지는 어렵다고 보면, 서울시 외곽에 주로 위치하고 있는 녹지지역에서 찾을 수밖에 없다. 물론 이 경우는 堆肥化施設을 서울시 행정구역내에 설치하는 경우이며 녹지지역중 가장 넓은 곳은 마포구 상암동의 난지도매립지부지이다.



〈그림 7-1〉 서울시 용도지역중 공업지역과 녹지지역 지정현황

② 施設의 設置 및 排出基準

廢棄物管理法 施行規則 제7조의 一般廢棄物의 수집·운반·처리기준 및 방법에 따르면 음식물쓰레기의 堆肥化施設을 설치할 경우, 다음사항을 준수하도록 되어 있다.

수집·운반의 경우

- 一般廢棄物은 지역별·계절별 발생량 및 특성을 고려하여 적합하게 처리될 수 있도록 정기적으로 이를 수집하여야 한다.
- 一般廢棄物은 지역여건을 고려하여 가급적 기계식 상차방법에 의하여 수집·운반되어야 한다.
- 수집·운반장비로부터 一般廢棄物이 흘날리거나 흘러나오거나 惡臭가 발산되거나 汚水가 흘러나오지 아니하도록 하여야 한다.

<표 7-3> 용도지역 지정현황

('93. 6. 30 현재)

구 분	지 역 명	면 적(㎡)	비 고
계		665,984,000	
주 거 지 역	일 반 주 거	292,191,393	
	준 주 거	4,051,640	
	전 용 주 거	5,001,159	
상 업 지 역	근 린 상 업	-	미지정
	일 반 상 업	21,475,333	
	중 심 상 업	-	미지정
공 업 지 역	일 반 공 업	-	미지정
	준 공 업	29,076,533	
	전 용 공 업	-	미지정
녹 지 지 역	자 연 녹 지	310,507,707	
	생 산 녹 지	3,680,235	
	보 전 녹 지	-	미지정

자료: 서울특별시, '93서울시정, 1993.

○ 다른 시·군·구를 경유하는 장거리 운반의 경우에는 적재함이 密閉된 차량으로 운반하여야 한다.

○ 一般廢棄物을 그 처리시설에 荷役한 후 돌아올 때에도 먼지가 발생하거나 一般廢棄物이 흩날리지 아니하도록 하여야 한다.

○ 수집·운반장비는 항상 청결하게 유지관리하여야 한다.

처리의 경우

○ 一般廢棄物을 처리함에 있어서는 一般廢棄物이 흩날리거나 흘러나오거나 惡臭가 발생하지 아니하도록 하여야 한다.

○ 一般廢棄物의 처리장소에는 쥐 및 파리·모기 등 해로운 벌레가 발생·번식하지 아니하도록 약제의 살포 등 필요한 조치를 하여야 한다.

○ 一般廢棄物의 처리시 발생하는 騒音·惡臭·먼지·汚水 등이 주변생활환경에 지장을 주지 아니하도록 하여야 한다.

多量 排出者의 一般廢棄物 수집·운반·처리에 관한 구체적 기준 등을 명기한 제9조에서도 堆肥化할 경우는 제7조에서와 유사한 기준을 설정하고 있다.

제15조 一般廢棄物處理施設의 설치기준에서는 堆肥化시설의 경우 廢棄物이 흩날리거나 惡臭의 발산을 방지하는데 필요한 설비와 보관 및 처리과정에서 발생하는 大氣汚染物質·水質汚染物質 등의 처리시설을 갖추어야 하고, 처리시설의 바닥은 시멘트·아스팔트 등 물이 스며들지 아니하는 재료로 포장하도록 규정하고 있다.

또한 제18조의 一般廢棄物 處理施設의 관리기준에서는 堆肥化設施의 경우 다음과 같이 관리될 것을 규정하고 있다.

○ 一般廢棄物의 처리시에 발생하는 騒音·惡臭·먼지·汚水 등이 주변생활환경에 지장을 주지 아니하도록 하여야 한다.

○ 堆肥化設施의 경우에도 온도·습도·공기량이 堆肥化에 적절한 상태가 되도록 하여야 한다.

결국 堆肥化設施의 설치시에는 騒音·惡臭·먼지·汚水 등의 처리시설을 갖추어야 한다. 특히 堆肥化시설 설치시 우려되는 점은 騒音·惡臭·汚水이다.

好氣性堆肥化工法을 채택할 경우 공기의 주입이 필요하며, 이때 가동되는 브

로아 등의 설비는 騒音의 주발생원이 될 가능성이 높다. 攪拌機가 운전될 경우의 振動도 우려되는 사항이나 이는 시공기술상에서 해결될 수 있는 사항이라 판단된다.

<표 7-4>는 騒音·振動의 規制基準이다. 堆肥化시설을 공업지역과 녹지지역에 한하여 설치할 수 있는 현행법을 고려한다면 堆肥化施設은 조석 60dB(A)이하, 주간 65dB(A)이하, 심야 55dB(A)이하의 규정을 준수해야 할 것이다.

<표 7-4> 騒音·振動의 規制基準

단위 : dB(A)

대 상 지 역	대상소음	시간별	조 석 (05:00~ 08:00) (18:00~ 22:00)	주 간 (08:00~ 22:00)	심 야 (22:00~ 05:00)
주거지역, 녹지지역, 취락지역중 주거지구, 관광휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원의 부지 경계선으로부터 50m 이내 지역	옥외설치		70 이하	80 이하	60 이하
	확성기에 의한 騒音	옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장 및 사업장의 騒音		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장의 騒音		65 이하	70 이하	55 이하
상업지역, 준공업지역, 일반공업지역, 취락지역중 주거지구 외의 지구	옥외설치		70 이하	80 이하	60 이하
	확성기에 의한 騒音	옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장 및 사업장의 騒音		50 이하	65 이하	55 이하
	공사장의 騒音		70 이하	75 이하	55 이하

- 비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 2. 공사장 騒音의 규제기준은 주간의 경우 騒音발생시간이 1일 2시간 미만일 때에는 + 10dB, 2시간이상 4시간이하일 때에는 + 5dB를 보정한 값으로 한다.

堆肥化施設에서 발생할 수 있는 惡臭의 主因인 醱酵槽에서 발생하는 암모니아가스를 들 수 있다. 이외에도 음식물쓰레기의 반입, 전·후처리시설 그리고 부적절한 醱酵槽의 운전시에 惡臭가 발생할 수 있다.

현행법상 惡臭는 官能法에 의해 2도 이하로 규정되어 있고 1994년 이후에는 <표 7-5>와 같이 官能法 뿐 아니라 器機分析法에 의해 惡臭物質別로 규제할 예정이다. 일본의 경우 堆肥化시설 운영시 가장 어려운 문제중 하나가 惡臭除去임을 고려할 때 堆肥化施設 設置·運營時 이에 대하여 높은 比重을 두어야 할 것이다. 堆肥化施設이 입지하는 부지가 좁을 경우에는 觸媒燃燒法등의 物理·化學的處理를 고려해야 할 것이며, 부지가 넓은 경우에는 土壤脫臭床등의 生物·物理的處理도 고려될 수 있을 것이다. 또 燒却施設과 연하여 설치할 경우는 強制排氣가스를 燒却施設에서 燃燒시키므로써 惡臭를 제거할 수도 있을 것이다.

<표 7-6>은 본 연구에서 실측한 음식물쓰레기 浸出水の 性狀분석 결과이다. 표에 나타난 바와 같이 음식물쓰레기 浸出水の BOD가 약 77,000mg/ℓ로 COD의 약 81%에 이르므로 대부분의 有機物이 生物學的 分解可能物質임을 알 수 있다. 窒素와 磷의 함량도 각각 1,370mg/ℓ와 440mg/ℓ로 대체로 높은 편이다. 堆肥化 시설에서의 汚水발생원은 차량 및 전처리시설의 洗滌水, 醱酵槽에서의 浸出水, 醱酵槽排氣가스의 凝縮水 및 기타 관리인원의 生活下水 등을 들 수 있다. <표 7-6>은 浸出水자체를 분석한 결과이므로 실제 시설전체에서 발생하는 汚水의 농도는 크게 낮아질 것으로 예상된다. 堆肥施設에서는 燒却施設과 같이 冷却水가 발생하지 않으며, 重金屬含有의 우려도 거의 없으므로 汚水淨化施設(堆肥化施設은 현행법상 廢水排出施設의 範疇에 해당되지 않는다. 또 汚水淨化施設의 설치 대상건물 기타 시설물에도 해당되지 않는다)의 설치가 타당할 것 같다.

<표 7-7>은 汚水淨化施設의 放流水 水質基準이다. 그러나 小規模堆肥化시설을 설치할 경우는 이러한 汚水發生量이 극히 적을 수 있으므로 貯留槽를 설치하여 저류하고 주기적으로 인근의 下水處理場으로 운반처리하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

따라서 都市計劃法과 排出基準 등을 고려할 때 서울시에 堆肥化시설을 설치한다면 시설의 위치는 녹지지역일 뿐 아니라 근거리에 난지하수처리장이 위치하고 있는 난지도매립지부지가 가장 적합할 것으로 생각된다.

<표 7-5> '94년 발효예정인 惡臭관련 排出許容基準

측정법	排 出 許 容 基 準		
直接 官能法	惡臭도 2도이하		
空氣 稀釋 官能法	가. 排出口 공업지역내사업장 : 희석배율 1,000 이하 기타지역내 사업장 : 500 이하 나. 부지경계선 공업지역내 사업장 : 20 이하 기타지역내 사업장 : 14 이하		
器機 分析法	惡臭物質	공업지역내 사업장(ppm)	기타지역내 사업장(ppm)
	암모니아(NH_3)	5 이하	2 이하
	메틸머캅탄(CH_3SH)	0.01 이하	0.004 이하
	황화수소(H_2S)	0.2 이하	0.06 이하
	황화메틸 ($\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_3$)	0.2 이하	0.05 이하
	이황화메틸(CH_3S_2) ($\text{CH}_3-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_3$)	0.1 이하	0.03 이하
	트리메틸아민 ($(\text{CH}_3)_3\text{N}$)	0.7 이하	0.02 이하
	아세트알데히드 ($\text{CH}_3=\text{O}$)	0.5 이하	0.1 이하
	스티렌 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$)	2 이하	0.8 이하

자료: 총무처, 관보 12,189호(그2) 1992.8.8 총리령 404호
 (大氣環境保全法 施行規則中 改正令) p16-17

〈표 7-6〉 음식물쓰레기 浸出水의 性狀分析 結果

항 목	농 도(mg/ℓ)
BOD	76,600
COD	95,100
SS	41,200
VS	38,900
TKN	1,370
NH ₃ -N	205
T-P	440
S-P	280

〈표 7-7〉 汚水淨化施設의 放流水水質基準

地域	區分 項目	糞尿 淨化槽	汚水淨化施設		
			1일처리용량 100m ³ 미만	1일처리용량 100m ³ 이상 200m ³ 미만	1일처리용량 200m ³ 미만
특정지역	生物化學的 酸素 要求量除去率(%)	65 이상	-	-	-
	生物化學的 酸素 要求量(mg/ℓ)	100 이하	30 이하	30 이하	30 이하
기타지역	生物化學的 酸素 要求量除去率(%)	50 이상	-	-	-
	生物化學的 酸素 要求量(mg/ℓ)	-	100 이하	80 이하	60 이하
土壤浸透處理方法에 의한 淨化槽의 放流水水質基準은 1차처리장치에 의한 부유물질이 55%이상 제거되고, 1차처리장치를 거쳐 土壤浸透시킬 때의 放流水의 부유물질량이 250mg/ℓ 이하로 한다.					
골프장에 설치된 汚水淨化施設의 放流水水質基準은 生物化學的 酸素要求量 10mg/ℓ 이하로 한다.					

비고 : 이 표에서 특정지역은 수도법 제3조의 규정에 의한 상수보호구역, 환경정책기본법 제22조의 규정에 의한 특별대책지역 및 수질환경보전법 제33조의 규정에 의한 특정호소수질관리구역으로 한다.

7.1.3 肥料管理法와 堆肥化施設

堆肥를 생산하여 자체 수급하거나 무상배포할 경우는 肥料管理法와 전혀 무관하다. 그러나 일단 생산된 堆肥를 유료판매할 경우는 생산업자로서의 등록, 堆肥의 비료효율인정, 공정규격의 제정 및 시설의 규격 등 시설건설에서부터 시설의 운전, 판매에까지 많은 절차를 거쳐야 한다. 이러한 사항과 관계되는 법이 肥料管理法 [1976.12.31, 법률제2985호, 개정 1982.12.31, 법률제3598호]이며, 이에 수반되는 肥料管理法 施行令 및 肥料管理法 施行規則이다.

肥料管理法상 가장 문제가 되는 점은 음식물쓰레기를 원료로 생산된 堆肥가 현행 肥料管理法에 명시되어 있는 보통비료(副産物肥料이외의 모든 肥料)와 副産物肥料(농업, 임업, 축산업 또는 수산업을 영위하는 과정에서 나온 副産物, 土壤微生物 제제, 토양활성제, 기타 肥料性能에 있는 물질중 농림수산부장관이 지정하는 것) 중 어디에도 포함되어 있지 않아 판매를 목적으로 생산할 수 없다는 것이다.

보통비료에는 無機質 窒素肥料, 有機質 磷酸肥料, 無機質 가리肥料, 複合肥料, 有機質肥料, 石灰質肥料, 硅酸質肥料, 故土肥料, 微量尿素肥料, 규린肥料, 규린칼리肥料, 기타(제오라이트, 벤토나이트) 등이 있다. 따라서 음식물쓰레기를 원료로 생산된 堆肥는 有機質肥料에 해당될 수도 있으나 有機質肥料도 그 원료를 12가지로 정확히 명시하고 있어 현행법상으로는 有機質肥料에 해당될 수 없다. 또 堆肥, 기비, 부숙겨, 재, 녹비, 糞尿잔사, 腐葉土, 아미노산발효 부산비료(액), 건계분, 乾燥畜産廢棄物, 부숙왕겨 및 톱밥, 土壤微生物제제 및 토양활성제재비료 등을 포함하는 副産物肥料에 해당할 수 있으나 副産物 肥料를 정의하는 용어상에 음식물쓰레기를 원료로 할 수 있다는 문구가 없다. 결국 음식물쓰레기를 이용한 堆肥는 농림수산부장관의 허가를 받아야 하는데 그 절차 및 시설관련기준이 무척 까다롭다. 그 절차를 순차적으로 살펴보면 다음과 같다.

가. 副産物肥料 지정 신청

副産物肥料로서 지정을 받고자 하는 자는 규정서식에 의한 신청서에 시료와 2년 이상의 재배시험성적표를 첨부하여 농림수산부장관에 제출하여야 한다.

재배시험성적표에 기재되어야 할 사항은 시험기관의 명칭 및 소재지, 시험담당자의 성명, 시험의 목적, 시험설계, 관리상황, 결과 등이다. 또 시료는 1건당

500g 이상이어야 하고, 용기의 외부에는 신청인의 성명 및 주소, 비료의 재배시험은 농촌진흥청 또는 국립농업자재검사소에서 행한다.

나. 생산업자의 허가

肥料를 생산하여 판매를 업으로 하는 자는 肥料의 종류별로 품목마다 농림수산부장관의 허가를 받아야 한다.

다. 생산시설의 구비요건

副産物肥料生産業의 시설기준 및 기타 허가기준은 다음과 같다.

① 共通施設

국립농업자재검사소장이 필요하다고 인정하는 기구 및 시약
肥料를 검사할 수 있는 능력을 가진 인원
檢量包裝裝置

② 堆肥生産施設 基準

醱酵施設과 動力粉碎機 또는 動力切斷機를 갖추고 1일 3톤이상의 생산능
력이 있어야 한다.

라. 堆肥의 品質

① 有機質 25%이상인 것

② 有機物대 窒素의 비 30이하인 것

③ 有害成分

비소 50 ppm이하, 카드뮴 5 ppm이하, 수은 2 ppm이하, 납 50 ppm이하

이상과 같이 생산된 堆肥를 판매하고자 할 경우는 복잡한 절차와 堆肥施設基準을 만족해야 하는 단계를 거쳐야 한다. 결국 유료판매를 목적으로 堆肥化施設을 설치하려면 작은 규모의 예비시험시설에서 堆肥를 생산하여 2년간의 재배시험을 거친 후 증설하는 방안을 취하거나, 1일 생산능력 3톤 이상의 시설을 설치하여 2년동안은 시험가동기간으로 삼고, 시험가동기간중에 생산된 堆肥는 무상 배포하며 동시에 재배시험을 마친 후 유료판매하는 방법을 택해야 하겠다. 현행 법상으로 제약조건이 많고, 특히 堆肥用途를 다양화하지 않는 한 발생원에서 음식물쓰레기를 직접 堆肥化하는 방법은 많은 문제가 따를 것으로 판단된다.

7.2 堆肥의 品質

6장에서 기술한 각 실험조건 중 11개의 생산된 堆肥를 선정하여 물질함량을 분석하였다. <표 7-8>은 분석된 堆肥의 물질함량과 우리나라 및 일본의 함량기준을 나타내고 있다. 이에 따르면 대부분의 有害物質含量이 우리나라와 일본의 기준치를 만족시키고 있다. 또 有機物含量과 有機物대 窒素의 비는 각각 평균 42.8%와 28로 기준을 만족시키고 있다. 단 11개의 시료중 3개 시료의 有機物대 窒素의 비가 30을 초과하였다. 그러나 본 실험의 결과가 10여일의 醱酵期間만을 거친 후에 분석한 결과이므로 後熟期間을 거치면 有機物대 窒素의 비가 기준치를 만족할 것으로 판단된다.

표에 나타난 우리나라의 물질함량기준은 副産物肥料일 경우에 제한된 것이다. 따라서 肥料管理法에서 보통비료로 분류되고 있는 有機質肥料 중 N, P, K의 함량이 가장 낮게 책정된 아미노산발효부산물 비료와 음식물쓰레기로부터 생산된 堆肥의 營養物質含量을 비교하면 肥料工程規格에서 설정된 아미노산발효부산물 비료의 N, P, K 함량은 5%이다. 평균함량에서 음식물쓰레기로부터 생산된 堆肥의 N, P, K 총함량은 2.8%이다. 따라서 음식물쓰레기를 원료로 생산된 堆肥는 질적인 면에서 有機質肥料의 수준은 되지 않고 副産物肥料에 해당됨을 알 수 있으며 대부분의 규제치도 만족시키고 있다.

앞에서도 살펴보았듯이 음식물쓰레기로부터 생산된 퇴비의 품질은 부산물비료의 규제치를 대부분 만족시키고 있다. 그러나 쓰레기의 재활용측면에서 분해 가능한 쓰레기로부터 생산된 퇴비는 비료관리법에 준하지 말고 별도의 관련법규를 제정함으로써 전체 쓰레기처리의 효율화를 도모함이 바람직할 것으로 판단된다.

7.3 堆肥의 活用方案 檢討

7.3.1 농지와 녹지에의 이용

堆肥의 주이용처는 일반농가, 과수원, 원예농가, 가정의 화단이나 정원 및

〈표 7-8〉 堆肥의 물질함량과 기준

항목	실험조건	범위	평균	한국기준	일본기준
유기물(%) ^{a)}	1	30.4~65.3	42.8	>25	-
Na(ppm)	1	6,000~37,500	22,770	-	-
	2	1,954~8,918	4,714	-	-
K(ppm)	1	2,500~10,000	5,818	-	-
	2	1,067~5,344	2,809	-	-
TP (%) (ppm)	1	0.19~11.7	0.68	-	-
	2	0.05~1.62	0.82	-	-
TN (%)	1	1.00~2.52	1.54	-	-
C/N비		17.3~43.0	28.0	<30	<30
Ca (%)	1	0.15~1.27	0.60	-	-
	2	29.0~783	208	-	-
Mg (%) (ppm)	1	0.02~0.25	0.086	-	-
	2	43.2~779	173	-	-
Pb(ppm) (ppm)	1	9.3~24.3	16.8	<50	-
	2	0.13~0.88	0.42	-	<3
Cd(ppm) (ppm)	1	0.2~2.5	0.98	<5	<5
	2	0.01~0.08	0.04	-	<0.3
Cr ⁺ (ppm) (ppm)	1	10.0~70.0	33.8	-	-
	2	0.08~0.80	0.31	-	<1.5
CN ⁻ (ppm) (ppm)	1	1.5~5.7	3.5	-	-
	2	0.03~0.17	0.085	-	1 <2
Hg(ppm) (ppm)	1	0.084~1.389	0.752	<2	<0.005
	2	ND	ND	-	<50
AS(ppm) (ppm)	1	0.021~0.041	0.036	<50	<1.5
	2	0.001~0.105	0.019	-	-

주) 1 : 총함유량, 2 : 용출시험함량, a) : 습량기준, 총자료수 : 11개

지방정부의 공원, 화단, 녹지 등을 들 수 있다. 堆肥를 사용하는 작물로는 채소, 과수, 화분 등이 대부분이지만 논이나 산림에도 사용할 수 있다. 외국의 경우 下水슬러지로 만든 堆肥는 죽순의 성장이나 잔디의 생육에도 이용되고 있다고 한다. 이렇듯 생산된 堆肥를 해당 지방자치단체의 사용에 한정하지 않고, 전국 단위로 확대한다면 그 수급처는 대단히 방대할 것으로 생각된다. 특히 우리나라의 경우 대단위 干拓地 조성사업이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 이를 농경지로 이용하기까지 약 10여년의 기간이 소요되는데 근본적인 원인은 干潟地의 불량한 透水性으로 鹽分의 제거가 용이하지 않기 때문이다. 따라서 음식물쓰레기로 만든 堆肥를 干拓地 조성사업에 살포하는 것도 堆肥의 수급을 늘릴 수 있는 방법이라 할 수 있겠다.

그러나 수급처를 확보하기 위해서는 무엇보다도 堆肥를 펠렛트형으로 조립화하여 부피를 줄이고, 貯藏性이나 作業性이 개선될 수 있도록 하는 것이 필요하다.

7.3.2 녹지나 농지이외의 이용

서울과 같은 거대도시에서 쓰레기를 堆肥化한다는 것은 敷地確保나 惡臭除去 그리고 收去方法 등의 문제도 있으나 무엇보다도 수요처의 확보가 어렵고, 수요량이 계절적으로 변동하는데 있을 것이다. 당장의 이용처가 될 수는 없겠지만, 이용가능한 방법을 실제 적용사례 및 연구결과 등을 통하여 소개하고자 한다.

가. 운동장, 골프장, 스키장

골프장에의 이용은 녹지에의 이용과 다를 바가 거의 없다. 골프장은 農藥이나 化學肥料의 과량살포로 水源汚染이 문제시 되고 있다. 堆肥를 사용하므로서 이러한 과량살포를 조금이나마 줄일 수 있고, 堆肥가 갖는 비효성분의 저장능력에 의해 地下水路의 汚染物質 유입량을 줄일 가능성도 있다. 또 여름철에 스키장의 사면에 堆肥를 사용하여 잔디를 생육하면 겨울철에 눈이 잘 달라 붙고 쉽게 녹지 않게 된다.

운동장에 이용할 경우는 堆肥에 모래와 표토를 혼합하여 사용한다.

나. 지렁이·곤충의 양식

지렁이로 하여금 堆肥中の 有機物을 소화케 하고, 糞을 肥料 또는 脫臭劑로 이용하는 연구가 진행중에 있다. 양식한 지렁이는 어류의 미끼로 이용할 수 있다. 또한 堆肥에 집파리를 양식하여 새우의 미끼로 사용하는 연구도 행해지고 있다. 堆肥의 수요량이 작은 여름철에 저장시설을 이용하여 이들을 양식한다면 시설의 유효활용이 도모될 수 있을 것이다.

그러나 堆肥중에 지렁이나 곤충을 양식하게 되면 사용 후 병충해나 지렁이 특유의 惡臭가 발생할 수 있으므로, 醱酵중인 堆肥와 재혼합하여 높은 온도와 접촉하게 하므로써 이러한 문제점을 해결할 수 있다.

다. 土壤의 廢食現狀防止

堆肥는 肥料成分도 가지고 있지만 토양의 被服효과도 가지고 있기 때문에 복합재로서 사용하여 토양의 廢食이나 肥料의 유출을 방지할 수 있다. 예를 들어 傾斜地에 肥料을 살포하고, 堆肥를 시용하게 되면 肥料의 지효성이 상승한다.

堆肥를 복합재로서 이용하는 경우는 입단화시킨 堆肥나 비교적 입자가 큰 堆肥를 사용하는 것이 바람직하다. 미국에서는 고속도로의 로변법면에 펠렛트형 堆肥를 시용하므로써 식물의 생육을 촉진하고 법면을 보호하고 있다.

라. 廢鑛, 荒蕪地 재생

堆肥는 廢鑛이나 荒蕪地의 재생에 이용되고 있다. 독일에서는 석탄 채취후 폐광을 재생하기 위하여 堆肥生産施設을 설치한 예도 있다. 일본에서는 석탄채굴지나 저질탄 퇴적장의 재생에 이용할 가능성이 검토되고 있다.

마. 탈취·가스흡착제

堆肥는 표면적이 크고, 적절한 수분을 함유하고 있으며, pH의 緩衝能力이 크기 때문에 惡臭物質이나 가스를 흡수할 수 있다. 또한 堆肥중에 존재하는 다수의 微生物이 흡착한 臭氣物質을 어느정도 분해하기 때문에 탈취효과가 장시간 계속된다. 이와같이 堆肥는 토양탈취상의 일종으로서 탈취제로 이용되고 있다. 일반적으로 토양탈취에서는 토양이 점점 단단해지고, 균열이 생기지만 堆肥는 그러한 현상이 없다. 또 음식물쓰레기와 같이 窒素成分이 많은 원료는 堆肥化

과정중에 발생하는 가스중 암모니아 성분이 대부분이므로 pH가 낮은 未熟成堆肥를 혼합하므로써 窒素分の揮酸을 감소시키고 동시에 pH 조정효과도 얻어 醱酵速度를 높일 수 있다.

바. 축사부료(畜舍敷料)

독일이나 네델란드에서는 畜舍의 부료로 堆肥를 사용하고 있다. 더욱이 동계에는 발효열이 남아 있는 堆肥를 깔아주어 豚舍내의 보온도 유지하고, 母豚이 乳豚을 壓死시키는 경우가 현저하게 감소하였다고 한다. 일본에서는 畜舍敷料의 가격이 높고, 각종 재료가 시험되고 있는 현황이므로 장래에 堆肥의 사용을 예상하고 있다. 또 우리나라의 경우도 畜産糞尿處理法의 일환으로 톱밥을 敷料로 구입사용하고 있는 상황에서 이러한 용도로의 사용을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

사. 최종처분장의 복토재

쓰레기埋立地에서는 毎日覆土, 中間覆土, 最終覆土를 위해 다량의 埋立用土砂를 구입하고 있고, 그의 조달도 하나의 산업으로 자리잡고 있다. 이러한 覆土재로 堆肥를 사용한다면

- ① 覆土 조달이 불필요하거나 구입량을 감소시킬 수 있고
- ② 토양이 양호한 埋立地를 획득할 수 있으며
- ③ 重金屬 등의 吸着으로 浸出水의 수질개선효과도 유도할 수 있고
- ④ 堆肥의 수요를 廢棄物 처리사업에서 확보할 수 있는

등의 잇점이 생긴다. 이러한 경우는 堆肥의 품질이 반드시 좋아야 된다는 필요성도 사라진다. 고품질의 堆肥는 選別하여 상기한 타 용도로 사용하고 나머지 副産物形態만을 埋立地 覆土材로 이용하는 것도 가능하다.

제 8 장 堆肥化施設の 設置方案

8.1 堆肥活用方案

8.2 發生源別 堆肥化方案

8.3 集團堆肥化施設の 設置方案

제 8 장 堆肥化施設의 設置方案

8.1 堆肥活用方案

7장에서 살펴보았듯이 堆肥사용처는 다양할 수 있다. 그러나 실험을 통하여 파악된 바와 같이 生産堆肥의 질이 副産物肥料의 수준이며 제시한 여러가지 사용방안 중 실제 적용이 된 사례는 극히 적기 때문에 주로 녹지나 농지에의 사용에 한정되고 있다. 또 현행법상 堆肥를 생산하여도 有料販賣를 할 수가 없다.

이에 본 절에서 서울시에서 발생하는 음식물쓰레기로부터 생산되는 堆肥는 서울시에서 소비한다는 전제하에 서울시에서 소요될 수 있는량을 추산하기 위한 수요처를 검토해보았다. 서울시에서 堆肥의 사용이 가능한 수급처로는 서울시 자체의 평년사용량, 현재는 堆肥를 살포하지 않으나 장래 撒布한다면 環境綠地의 보호 또는 관리차원에서 바람직하다고 예상되는 서울시 소유의 임야, 그리고 민간소유의 화훼단지, 채소밭, 과수원 등이 가능성이 있는 것으로 판단하고 수요량을 추정하였다. 물론 재배품목에 따라서는 堆肥의 공급을 필요치 않는 것도 있으므로 예상소요량의 추정에서 그러한 점을 최대한 고려하였으나 고려되지 못한 것도 있을 것으로 예상된다.

8.1.1 서울시의 자체소요량

가. 서울시의 평년사용량

1992년에 서울시에서 사용한 堆肥量은 <표 8-1>과 같이 약 770톤이었다. 구별사용현황을 보면 노원구가 64.0톤으로 가장 많이 사용하였고, 송파구·영등포구·종로구의 순으로 많은 사용량을 보였다. 반면 은평구, 도봉구는 그 사용량이 극히 적어 각각 0.5톤과 4.0톤에 그쳤다. 또 서울시 산하 각 사업소의 堆肥 사용현황은 2개 사업소의 1년 사용량이 약 260톤으로서 서울시 전체 사용량의 약 34%를 점하고 있다. 그러나 3개의 사업소중 堆肥使用量이 많을 것으로 예상되는 1개 사업소의 년사용량이 누락되어 있어, 이를 포함할 경우 서울시 堆肥사용량과 사업소사용량의 비율은 더욱 높아질 것으로 예상된다.

堆肥購入單價는 구청이나 사업소에 따라 약간의 차이가 있으나 105,968~198,372원/톤의 범위였으며, 평균 148,032원/톤이었다. 이를 서울시 전체 堆肥購入費用으로 환산하면 연간 약 1억천만원으로서 비교적 많은 예산을 퇴비구입에 소요하고 있는 것으로 나타났다.

〈표 8-1〉 서울시의 평년 堆肥使用量

구 및 사업소	사용량(톤)	구입단가(원/톤)	비 고
종로구	34.8	115,000	93.3~4
중구	24.9	153,260	
성동구	27.6	181,500	
동대문구	19.1	171,960	
성북구	17.2	198,372	89~92년 평균단가 92.11~92.3
도봉구	4.0	175,000	
노원구	64.0	150,138	
은평구	0.5	193,280	
서대문구	23.0	122,000	
마포구	22.8	133,737	
양천구	13.5	126,074	
강서구	17.5	125,000	
구로구	41.4	105,968	
영등포구	42.0	146,619	
동작구	30.0	139,833	
서초구	29.0	134,086	
강남구	22.0	186,000	
송파구	53.0	150,281	
강동구	27.7	112,000	
녹지사업소	229.2	151,073	
보라매공원사업소	30.0	137,500	
계	773.2	148,032(105,968~198,372)	

자료: 서울특별시, 1993.

주) 사업소중 한강관리사업소의 자료는 누락되어 있음

나. 임야관련 예상소요량

1991년 현재 서울에는 4,740ha의 임야가 있으며, 이중 3,697ha는 國有林이고 1,043ha는 市有林이다.

산림지역의 最適腐飾質 함유율은 3~5%이며 국내산림지역의 腐飾質 함유율은 土壤深度 0.3m를 기준으로 약 1% 정도 부족한 실정으로 보고되고 있다. 따라서 서울시 소유의 市有林 면적, 土壤深度 0.3m 그리고 1%의 부피비를 적용하여 堆肥소요량을 산출하면 市有林에는 <표 8-2>와 같이 31,290m³의 堆肥가 소요되며, 이를 무게로 환산하면 8,292톤이 된다. 그러나 1년 동안에 살포한 堆肥의 효과가 완전소진되지 않을 것으로 판단되며 매년 堆肥를 살포하게 되면 막대한 인건비가 소요될 수밖에 없으므로 5년단위로 살포하는 것을 가정하면 堆肥는 매년 6,258m³, 1,658톤이 소요될 것으로 추정되었다.

<표 8-2> 서울시 所有 市有林과 예상되는 堆肥所要量

面積(ha)	土壤深度(m)	堆肥注入基準 (부피%)	堆肥量 (m ³)	堆肥量* (톤)	5년단위 살포시* 堆肥量(톤/년)
1,043	0.3	1.0	31,290	8,292	1,658

주) * : <표 6-3>의 겉보기 밀도를 이용하여 환산

자료: 서울특별시, 제32회 서울통계연보, 1992.

8.1.2 일반소요량

가. 화훼재배용

화훼는 크게 절화류, 분화류, 구근류, 종자류, 화목류 및 관상수로 나뉜다.

이들을 재배하기 위해 이용된 부지는 1992년 현재 전국기준 4,613.3ha였으며, 서울시에는 전국의 6.8%에 해당하는 313.6ha가 화훼재배용으로 이용되었다.

서울의 품목별 생산면적은 <표 8-3>과 같다.

그러나 모든 품목이 堆肥注入을 요구하지는 않고, 분화류와 화목류만이 堆肥 주입대상품목에 해당되므로 실면적은 229.6ha로 제한된다. 또 화훼의 재배에는 <표 8-4>와 같은 화분이 이용되며 7호화분의 사용이 일반적이다.

이와 같은 자료에 근거하여 화훼재배용으로 소요될 수 있는 堆肥量은 다음과 같은 계산과정에 의해 추정할 수 있다.

〈표 8-3〉 서울시의 화훼재배용 이용면적

품목별 생산면적(ha)						생산액(천원)
계	질화류	분화류	구근류	화목류	관상수	
313.6	11.4	188.5	4.9	41.1	67.7	25,332,070

자료: 농림수산부, '92 화훼재배현황, 1993.

〈표 8-4〉 플라스틱 화분의 규격과 작업성

화분규격(호)	내경(cm)	화분중량(g)	1화분의 흙의 양(ℓ)	1화분의 흙의 무게(g)	비고
2	6.0	5	0.18	160	백색분
2.5	7.5	18	0.27	240	"
3	9.0	25	0.33	295	"
3.5	10.5	30	0.53	480	"
4	12.0	40	1.00	880	"
4.5	13.5	60	1.20	1,020	"
5	15.0	70	1.90	1,620	"
6	18.0	135	2.20	2,035	청색분
7	21.0	500	4.13	4,070	"
8	24.0	530	5.23	5,140	"
9	27.0	1,000	8.80	8,800	"
10	30.0	1,100	10.45	10,040	"

* 피트:토양토:모래=4:4:2 * 화분용량의 90%기준 * 토양수분은 포화용량의 65%
자료: 홍영표, 최신화훼재배기술, 명륜당, 1988.

7호화분 1개에 소요되는 堆肥量

$4.13 \ell \text{ 흙/개} \times 0.4(\text{피트의 비율}) = 1.65 \ell \text{ /개}$ 또는 堆肥의 밀도 $0.265 \text{ kg/}\ell$
를 적용하면 0.437 kg/개

화분의 갯수

$$229.6 \text{ ha} \times 10,000 \text{ m}^2/\text{ha} \times (0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m})^{-1} = 9,184,000(\text{개})$$

여기에서 ()는 화분직경 0.21m와 재식거리 0.3m를 고려하여 산정한 1개 화분이 차지하는 면적

堆肥의 량

$$9,184,000(\text{개}) \times 0.437\text{kg/개} = 4,013\text{톤}$$

즉, 화훼재배용으로 연간 소요될 수 있는 추정 堆肥의 량은 4,013톤이었다.

다. 채소·과실류 생산용

1991년 현재 서울에는 1,386ha의 면적이 채소류재배에 이용되고 있으며, 그 중 엽채류의 재배면적이 893ha로 가장 많다. 또 과실생산용은 102ha이다. 서울시 농촌지도소에서는 채소나 과실류 생산용 耕作地에 살포되는 堆肥量은 ha당 20 m^3 로 권장하고 있다. 또 실제재배면적을 전체 면적의 50%로 가정하면 채소재배용으로 연간 3,672톤, 과실류 생산용으로 연간 270톤의 堆肥가 소요될 것으로 추정되었다.

채소·과실류 생산용 堆肥推定量의 算定方法은 <표 8-5>와 <표 8-6>과 같다.

<표 8-5> 채소류 생산을 위한 堆肥所要量 推定

채소류	재배면적(ha)	퇴비소요량(m^3)	퇴비소요량(톤)
과채류	136	1,360	360
엽채류	893	8,930	2,366
근채류	181	1,810	480
조미채소류	176	1,760	466
계	1,386	13,860	3,672

자료: 서울특별시, 제32회 서울통계연보, 1992.

8.1.3 서울시 전체의 堆肥所要量

지금까지 서울시에서 소요될 수 있는 堆肥量을 서울시 소요량과 일반소요량으로 나누어 살펴보았다. 그 결과 서울시에는 연간 2,431톤, 일일 6.7톤, 일반소요량은 연간 7,955톤, 일일 21.8톤의 堆肥量이 각각 산출되었다. 따라서 서울시에서 소요될 수 있는 全體堆肥量은 연간 10,386톤, 일일 28.5톤으로서 적지 않은 량의 堆肥가 서울시에서 소요될 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이것

은 추정량일 뿐 식물에 따라서는 꼭 필요한 성분을 공급해야 하는 경우가 많으므로 필요한 有機質肥料과 혼합사용된다면 질소요량은 많이 감소할 것이다. 각 용도별 堆肥使用量 추정치는 <표 8-7>과 같다.

<표 8-6> 과실류 생산을 위한 堆肥所要量 推定

과실류	재배면적(ha)	堆肥所要量(m ³)	堆肥所要量(톤)
배	79	790	209
복숭아	8	80	21
포도	7	70	19
기타	8	80	21
계	102	1,020	270

자료: 서울특별시, 제32회 서울통계연보, 1992.

<표 8-7> 각 용도별 堆肥所要량의 추정치

용도	堆肥所要量(톤)
서울시 평년사용량(1992)	773
서울시소유녹지용	1,658
화훼용	4,013
채소재배용	3,672
과실생산용	270
계	10,386

8.2 發生源別 堆肥化方案

서울시와 같이 인구밀집도가 높고, 교통이 혼잡하며, 소도로의 정비가 불충분한 상태에서 쓰레기를 세분하여 수거하는 것은 청소서비스의 원활한 제공과 재정적 측면에서 어려움이 증대된다. 또 쓰레기는 다른 環境問題와는 다르게 排出者와 收去·處理·處分の 책임을 맡고 있는 행정당국의 긴밀한 협조가 절대적으로 필요하다. 따라서 발생하는 음식물쓰레기 전량을 堆肥化하고자 할 때는 발생원 및 발생원의 규모에 따라 최적의 방법을 선정해야 하며, 최적방법의 선정

시는 여러가지의 상황을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 서울시에서 발생하는 음식물쓰레기의 전량을 堆肥化한다고 가정할 경우 어떠한 방법으로 접근할 것인가를 몇가지 대안을 설정하여 각 대안별 장·단점을 비교하므로써 검토하였다.

설정된 대안과 대안별 음식물쓰레기의 흐름은 다음과 같다.

○ 대안 1 : 전량집단처리

분리배출 → 전용차량에 의한 수거 → 집단처리시설 → 저장 → 반출

○ 대안 2 : 발생자별 자체처리

사업장 → 자체처리기 → 수거 → 후숙·후처리·저장 → 반출
아파트 → 집단처리기 → 가정의 화분 또는 단지내 화단살포
단독주택 → 간이처리용기 → 자체사용

○ 대안 3-1 : 대안 1과 2의 병행

다량배출원 → 자체처리기 → 수거 → 저장 → 반출
가정 및 기타사업장 → 수거 → 집단처리시설 → 저장 → 반출

○ 대안 3-2 : 대안 1과 2의 병행

다량배출원 → 집단처리시설 → 저장 → 반출
가정 및 기타사업장 → 자체처리 → 자체사용

대안별 비교를 위하여 7가지의 비교항목이 선정되었으며, 각각은 다음과 같다.

○ 堆肥의 안정성

생산된 堆肥는 완전하게 醱酵되므로써 시용시 作物에 피해를 미치지 않아야 하며, 異物質 등이 혼입되어 사용자로부터 불만이 없어야 한다.

○ 시설의 자동화

堆肥化施設이 대형화될수록 생산시설의 자동화가 용이하고, 이 분야의 기술

축적도 이루어질 수 있다.

- 행정당국의 재정부담

堆肥化施設의 건설과 운영에 행정당국의 참여범위가 확대될수록 재정부담은 증가한다.

- 收去의 용이성

수거대상발생원이 소규모일수록 그리고 수거대상 음식물쓰레기량이 증가할수록 收去는 어려워지고, 반면 堆肥化가 진행된 상태로 수거할 경우는 惡臭나 沈出수에 의한 문제점이 없어지므로 그만큼 용이하다.

- 시설투자 및 운전비

堆肥化技法의 개발과 직접적인 관련이 있겠으나 堆肥化시설 또는 器機의 수가 증가할수록 시설투자 및 운전비용이 많이 소요될 수 밖에 없다.

- 시민의 부담

시민의 입장에서 가능한 작은 범위로 관여하기를 원한다고 판단된다. 따라서 일단 전량 堆肥化를 한다고 가정하면 시민의 입장에서 分離排出하는 정도의 참여가 가장 부담이 작을 수밖에 없다. 또 그러한 측면에서 행정당국의 적극적 참여를 원할 것이다.

- 堆肥의 자체사용유도

발생자가 직접 堆肥化하였을 때 자체적으로 사용하는 량은 증가한다. 반면 集團處理를 하게 되면 발생자에게 분배하는 과정의 어려움이 있게 되며, 잔량의 수급처 확보와 넓은 저장공간이 필요하게 된다.

이러한 각 비교항목을 4단계 즉, 좋음·양호·보통·나쁨의 순서로 분류하여 각 대안을 비교·검토한 결과 <표 8-8>과 같은 결과가 도출되었다. 이에 따르면 堆肥의 안정성 측면과 시설의 자동화, 시민의 협력유도면에서는 전량집단처리(대안 1) 방안이 가장 무난할 것으로 나타났다. 반면 행정당국의 재정부담과 수거측면에서는 가장 큰 어려움이 예상된다. 발생자의 자체처리방안(대안 2)은 퇴비의 자체사용유도가 용이하고 행정당국의 재정부담이 적은 반면 堆肥의 안정성, 시설의 자동화, 투자비 및 유지관리비, 시민의 협력유도 등에 문제점이 따를 것으로 예상된다. 多量排出原은 자체처리하고 가정 및 기타 사업장은 집단처리하는 방안(대안 3-1)은 가장 문제점이 많은 것으로 나타났다. 4가지 대안 중 가장 무난한 방법은 대안 3-2였다. 시민과 중소형사업장은 자체처리해야 하므로

시민의 불편이 클 수밖에 없으나 수거의 용이성, 시설투자비 및 운전비, 堆肥의 자체사용유도 측면이 가장 유리하고, 타 항목도 비교적 무난한 것으로 나타났다. 또 堆肥化施設을 설치하게 되면 7장에서 언급한 바와 같이 부지선정에 어려움이 있고, 부대시설을 설치해야 하며, 발생량이 가장 많은 가정의 음식물쓰레기가 사실상 별도의 收去가 불가능하므로 대안 3-2의 선택을 적극 권장하는 바이다.

물론 평가를 위한 대안의 설정, 비교항목의 선정 및 평가방법에 객관성을 부여하기 위해서 설문조사 등과 같은 방법이 사용되어야 하지만, 본 연구에서 검토한 결과에 의하면 가정이나 소규모사업장 등은 자체처리를 하고, 多量排出源은 收去하여 一括處理하는 방안이 가장 타당하다고 생각된다. 따라서 상기의 방법에 의해 음식물쓰레기를 堆肥化하기 위해서는 惡臭가 발생하지 않고 위생적으로 처리할 수 있는 간이퇴비화용기의 개발 및 집단처리시설의 설치·운영 등에 관한 세부사항이 먼저 추진되어야 할 것이다.

8.3 集團堆肥化施設의 設置方案

8.3.1 堆肥化工法の 選定

堆肥化方法은 여러가지가 있으나 惡臭發生 및 분해속도 그리고 대도시의 경우 부지확보의 어려움 등을 고려하여 好氣性堆肥化工法만을 고려하였다. 好氣性工法에 의해 음식물쓰레기를 堆肥化할 경우 최적 교반횟수, 한계 초기수분함량, 공기공급량등은 실험을 통하여 6장에서 제시하였다. 단, 수분조절방법은 6장에서 제시한 最終堆肥의 생산량과 분해속도 이외에도 처리비용, 퇴비의 품질 및 처리량과 밀접하고도 상호의 복잡한 연계성이 존재하므로 본 절에서는 위의 사항들을 고려하여 수분조절방법을 검토하였다.

堆肥化施設은 기본적으로 분해속도가 빠르고 운전비용이 적게 소요되어야 한다. 이러한 관점에서 먼저 분해속도는 堆肥를 재순환시켜 수분을 조절하는 경우가 가장 빠르고, 퇴비 + 톱밥, 톱밥만을 사용하는 경우의 순서로 양호하다는 점은 6장에서 이미 밝혔다. 또 시설의 규모에 따라 약간의 차이가 있겠으나 톱밥의 시중구입비가 20kg당 5,000원임을 감안할 때 시설용량 20톤의 시설에서 톱

밥만을 수분조절제로 사용하면 1일 2,000,000원이 소요되고, 톱밥과 퇴비주입시에는 1일 1,250,000원이 톱밥구입에 소요된다. 이러한 점에서 수분조절제로서 堆肥를 재순환하여 사용하는 것이 가장 경제적인 방법이라고 판단된다.

〈표 8-8〉 음식물쓰레기의 全量堆肥化시 대안비교

비교항목	대안 1	대안 2	대안 3-1	대안 3-2	비 고
퇴비의 안정성	●	×	□	△	● : 좋음 □ : 양호 △ : 보통 × : 나쁨
시설의 자동화 가능성	●	×	□	△	
행정당국의 재정부담	×	●	△	□	
수거의 용이성	×	□	△	●	
시설투자비 및 운전비	□	×	□	●	
시민의 부담	●	×	□	×	
퇴비의 자체사용유도	×	●	×	●	

堆肥生産量 측면에서는 60일의 醱酵期間에서 生物學的 分解可能物質이 완전히 분해된다고 가정할 때 〈표 8-9〉와 같이 나타날 수 있다. 즉 퇴비재순환시 음식물쓰레기 1톤당 118kg, 톱밥사용시 405kg, 톱밥과 堆肥를 10:2.5:1로 혼합할 때 273kg으로 톱밥을 사용할 경우가 가장 많은 堆肥를 생산할 수 있다. 반면 堆肥化施設을 쓰레기처리시설로 간주하여 평가하면 1톤의 堆肥生産時 수분조절제에 따라 퇴비재순환시 8.5톤, 톱밥사용시 2.5톤, 톱밥과 堆肥의 혼합사용시 3.7톤으로 퇴비재순환시가 가장 많은 음식물쓰레기를 처리할 수 있다. 또 퇴비의 품질면에서도 퇴비재순환시의 C/N비 24, “톱밥” 35, “톱밥+퇴비”사용시 30으로서 퇴비를 재순환한 경우에 생산된 퇴비를 토지에 사용시 질소가아의 유발과 같은

문제점을 최소화 할 수 있는 것으로 나타났다. 堆肥化施設을 쓰레기처리시설로 운영할 것인가 아니면 堆肥生産施設로 운영할 것인가는 쓰레기의 종류와 堆肥 수급처 등의 여건에 따라 달라질 수 있다. 서울시의 경우는 음식물쓰레기를 堆肥化하여 처리할 경우, 수급처 등을 고려하여 堆肥化施設을 음식물쓰레기 처리 시설로 보는 것이 타당하다고 생각된다. 음식물쓰레기 처리시설로 간주할 경우 유지관리비, 반응속도, 減量化 및 퇴비의 C/N비 측면에서 가장 유리한 것으로 나타난 퇴비재순환에 의한 수분조절방법으로 堆肥化施設을 설계하고, 운전하는 것이 바람직하다고 판단된다.

〈표 8-9〉 60일 醱酵시의 수분조절방법에 따른 堆肥生産量과 堆肥質(C/N比)
(단위 : kg/음식물쓰레기 톤)

구 분	퇴비재순환	톱밥	톱밥 + 퇴비
건량기준	70.8	255	164
최종퇴비의 수분함량 40% 기준	118	405	273
C/N비	24	35	30
비고	음식물쓰레기대 퇴비의 비 10:6	음식물쓰레기대 톱밥의 비 10:4	음식물쓰레기대 톱밥대 퇴비의 비 10:2.5:1

8.3.2 集團堆肥化施設의 規模 및 반입대상 음식물쓰레기 排出源

가. 集團堆肥化施設의 規模

堆肥化施設의 여건검토에서 알 수 있듯이 堆肥化施設은 다음과 같은 요건 또는 한계성을 가지고 있다.

- ① 堆肥化施設은 그 위치상 녹지나 공업지역에 한정되며, 현재로서는 시외곽에 위치하고 있는 녹지를 이용할 가능성이 높다.

- ② 堆肥化施設은 惡臭나 汚水處理를 위한 附帶施設을 필요로 한다.
- ③ 생산된 堆肥의 품질은 副産物肥料의 수준으로 그다지 우수하지 못하고, 작물에 미치는 영향이 아직 규명되어 있지 않다.
- ④ 廢棄物管理法상 자체처리 의무소도 비료화·堆肥化를 위한 강제적 의무조항이 설정되어 있지 않다.
- ⑤ 廢棄物管理法상 堆肥化施設의 설치·운영에 관한 뚜렷한 규정이 없다.

늘어나는 쓰레기량을 減量化하고, 자원을 재활용한다는 취지에서 음식물쓰레기의 堆肥化方案이 높은 관심의 대상이 되고 있지만, 직접적 시행에는 해결해야 할 문제점이 많다. 또한 堆肥化施設을 설치하려는 계획을 입안하여도 국내에서의 경험이 전무한 실정에서 대규모 집단처리시설을 설치하는 것은 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 따라서 소규모의 Pilot Plant 시설을 설치·운영하여, 이의 운전경험과 堆肥品質에 관한 직접시용결과를 토대로 堆肥化施設의 점차 확대하는 방안을 강구하는 것이 타당할 것이다. 이러한 관점에서 集團堆肥化施設은 가능하면 소규모의 示範施設을 설치하는 것을 전제로 하며, 그 규모는 수급처를 고려하여 결정해야 한다.

상기한 堆肥化施設의 限界性を 고려할 때 수급처는 다음과 같은 요건을 만족해야 할 것이다.

- ① 수급이 용이할 것
- ② 堆肥의 품질에 관한 재배시험의 효과가 있을 것
- ③ 堆肥購入 대체효과가 있을 것

8.1절에서는 서울시에서 堆肥의 가능수급처를 서울시 평년사용량, 녹지살포, 과실생산용, 채소재배용 및 화훼재배용으로 나누어 살펴보았다. 각각에 대하여 위의 요건을 검토하면 다음과 같다.

수급의 용이성

서울시 평년사용량 > 서울시 녹지살포 > 과실생산용 = 채소재배용 = 화훼재배용

재배시험효과

서울시 평년사용량 > 화훼재배용 = 채소재배용 = 과실생산용 > 서울시 녹지살포

퇴비구입 대체효과

서울시 평년사용량 > 서울시 녹지살포 > 화훼재배용 = 채소재배용 = 과실생산용

서울시는 매년 堆肥를 유료구입하고 있으며, 음식물쓰레기로부터 생산된 堆肥의 유료판매가 불가능한 현실에서 자체수급은 예산절감이라는 측면과 법규준수의 조건을 동시에 만족시킬 수 있으므로 서울시 평년사용량만큼을 생산할 수 있는 규모가 가장 좋게 나타났다. 또 녹지사업소에서 사용할 경우는 재배시험도 실시할 수 있어 堆肥質의 평가도 달성될 수 있다. 반면 서울시 녹지살포시에는 화훼나 기타 작물의 재배와 다르게 재배효과의 파악이 어렵고, 화훼·채소·과실용으로의 사용시에는 구입대체효과나 堆肥品質이 인정되지 않는 상태에서의 수급이 쉽지 않을 것으로 판단된다.

따라서 서울시 평년사용량을 수급할 수 있는 정도의 堆肥生産이 가능한 시설을 集團堆肥化施設의 시설용량으로 제시하며 이 경우 시설용량은 <표 8-10>과 같이 1일 20톤이 된다.

나. 반입대상 음식물쓰레기 排出原의 選定

시설용량 20톤/일에 적합한 반입대상 排出源을 결정하기 위해 가정을 제외한 여타 발생원(<표 2-22>참조)와 廢棄物處理法 施行規則의 개정안에 따른 음식물쓰레기의 자체처리 의무대상업소를 검토의 대상으로 하였다. 단, 서울시 소재 3개 농산물시장의 음식물쓰레기는 양이 막대하고 주성분이 채소와 과일 등이므로 검토대상에서 제외하였다.

<표 8-10> 集團堆肥化施設의 施設容量

서울시 평년사용 퇴비량		처리가능한 음식물쓰레기의 양		시설용량	비 고
톤/년	톤/일	톤/년	톤/일	톤/일	
773	2.1	6,551	18.0	20	<표 8-9>참조

순위선정의 기준은 다음과 같다.

- ① 單位發生量이 높은 발생원 또는 사업장
- ② 集團堆肥化施設의 시설용량과 근사한 발생량의 발생원
- ③ 음식물쓰레기의 질이 균일하고 분해하기 쉬운 발생원
- ④ 자발적인 수거·운반의 유도가 용이한 발생원

각각의 선정기준에 따른 검토결과는 다음과 같다.

單位發生量이 높은 발생원 또는 사업장

병원집단급식소의 單位發生量이 높다는 사실은 2장에서 이미 기술하였으며
單位發生量이 높은 발생원은 다음과 같다.

집단급식소 > 백화점매장 > 대중음식점

集團堆肥化施設의 시설용량과 근사한 발생량의 발생원

<표 8-11>과 같이 자체처리의무 식품접객업 및 조리판매업소가 20톤/일과 가
장 근사하며 자체처리의무 집단급식소가 22.4톤/일로 역시 근시치를 보이고 있
다.

음식물쓰레기의 질이 균일하고 분해되기 쉬운 발생원

균질한 음식물쓰레기란 요일에 따라 식단변화가 심하지 않고, 음식물쓰레기
중에서도 잔반과 생채쓰레기와의 비가 비교적 높으면서도 안정된 발생원의 쓰레

<표 8-11> 각 발생원의 음식물쓰레기량

(단위 : 톤/일)		
발 생 원	발 생 량	비 고
자체처리의무 식품접객업 및 조리판매업	19.0	58개소
자체처리의무 집단급식소	22.4	21개소
백화점 매장	31.4	<표 2-18>참조
병원 집단급식소	33.8	-
일반 집단급식소	43.8	-

기를 의미한다. 현장조사를 통하여 확인한 바에 따르면 병원집단급식소의 음식물쓰레기가 가장 균질하다고 판단되었다. 왜냐하면 병원집단급식소의 급식대상이 주로 환자이므로 비교적 안정된 식단과 조리음식을 공급하기 때문이다. 다음은 일반집단급식소로 병원집단급식소보다 식단의 변화폭은 크나 이 역시 주로 조리음식을 제공하고 있기 때문이다. 식품접객업 및 조리판매업은 업태에 따라 배출되는 음식물쓰레기의 성상이 변화하며, 특히 한식에서 발생하는 肉質의 음식물쓰레기나 낱생선쓰레기 등은 生物學的 分解에 많은 시간을 요구한다. 이러한 사항은 식료품 매장, 음식점 등이 혼재하고 있는 백화점에서도 동일하게 나타남을 현장조사를 확인할 수 있었다. 따라서 본 검토항목에서의 결과는 다음과 같다.

병원집단급식소 > 일반집단급식소 > 음식점 = 백화점

자발적인 수거·운반의 유도가 용이한 발생원

자체처리의무대상업소가 이에 해당될 것이며 특히 발생량이 많은 집단급식소가 보다 용이할 수밖에 없다. 특히 <표 8-11>에서 볼 수 있듯이 자체처리의무 식품접객업 및 조리판매업소의 발생원이 58개소인 반면에 자체처리의무 집단급식소는 21개소에 불과하므로 집단급식소의 경우가 單位發生量이 높고 수거가 용이하다는 것을 알 수 있다.

이상의 4가지 기준항목을 기초로 하여 集團堆肥化施設에 음식물쓰레기를 반입하는 대상배출원을 검토해 본 결과, 모든 면에서 집단급식소의 음식물쓰레기가 적합하다고 판단되며, 특히 자체처리를 실시해야 할 서울시 소재 21개 집단급식소가 가장 적합한 것으로 나타났다.

8.3.3 集團堆肥化施設의 處理方案

가. 설치방안

지금까지 서울시의 음식물쓰레기 堆肥化施設 설치방안을 검토하기 위해 발생량, 음식물쓰레기의 성상, 기계식堆肥化施設 설치시 기초가 되는 설계 및 운전변수, 堆肥化施設의 설치시에 관련되는 현행법 등의 주변여건 등을 살펴보았

다. 버려지는 쓰레기중의 일부를 재활용한다는 측면에서 음식물쓰레기의 堆肥化는 적용여부를 떠나 반드시 검토해야 할 대상이다. 그러나 현행법상의 여러 제한요소와 과도하게 인구가 밀집되어 있는 서울시의 물리적 환경, 그리고 현재까지 추진되어 오던 단순한 쓰레기처리방식에 따른 관련기술의 부재 등으로 음식물쓰레기의 堆肥化를 급진적으로 추진하는 것은 많은 무리와 재정낭비를 유발할 수도 있다. 따라서 음식물쓰레기 堆肥化施設은 단계적 추진이 바람직하다고 보며, 그 방안으로서 堆肥化를 촉진시킬 수 있는 관련법규의 정비와 가장 많은 음식물쓰레기를 배출하고 있는 가정 및 중소형 사업장에 적합한 위생적인 簡易堆肥化容器의 개발이 추진되어야 하겠고, 多量排出原의 음식물쓰레기는 集團堆肥化施設을 통하여 堆肥化하되 시범시설을 통한 검토단계를 거쳐야 하겠다. 이와 관련하여 대도시에서 음식물쓰레기의 集團堆肥化에 관한 관련 기술을 축적하고, 堆肥의 품질에 관한 검증 등 장래 음식물쓰레기 堆肥化의 확대 가능성을 평가할 수 있는 시범 堆肥化施設의 설치를 제안하며, 설치방안은 <표 8-12>와 같다.

<표 8-12> 서울시 음식물쓰레기 示範堆肥化施設의 設置方案

시범 시설의 설치	기본전제	음식물쓰레기의 堆肥化施設은 廢棄物의 재활용이라는 차원에서 설치할 필요성이 있다. 단 시범시설을 먼저 설치·운영하고 그 결과를 토대로 확대·증설을 결정한다.
	시설용량	20톤/일
	퇴비생산량	약 2.5톤/일(수분함량 40%기준)
	퇴비수급	서울시의 평년 사용처
	수급방법	무료
	반입대상	자체처리가 의무화될 21개의 집단급식소
	반입방법	자체반입 및 반입료 톤당 10,000원 부과 또는 시설의 수거전용차량 운영
	시설의 설치목적	운전기술의 축적 堆肥化施設의 장래확대 방안 검토 堆肥品質의 검증
	공법	기계식 好氣性 堆肥化工法 (공기공법 : 상항류의 강제주입식) (교반 : 이동식 교반기) (醱酵期間 : 1차 醱酵를 포함하여 약 60일)
	위치	騒音·惡臭에 의한 민원발생가능성이 낮고, 발생된 汚水는 인접한 하수종말처리장으로 운반하여 처리할 수 있는 난지도 등의 녹지공간

나. 운영방안

堆肥化施設을 설치하여 堆肥를 생산한다 하여도 현재로서는 堆肥의 판매가 불가능하다. 따라서 민자유치나 위탁운영 등의 방법선택은 어려우므로 서울시의 재정에서 모든 경비가 지출되어야 할 것이다. 단 자체처리외업소가 자체처리기를 설치하고, 이를 운전하는 것은 경제적인 부담, 위생성, 생산된 堆肥의 처리방안에서 어려움이 예상되므로 集團堆肥化施設로의 음식물쓰레기 반입시 일정한 반입료의 부과가 가능할 것으로 판단된다. 金浦首都圈埋立地까지의 수송비와 반입료, 그리고 현재 시중에서 시판되는 음식물쓰레기 高速堆肥化器機의 가격 및 운전비용 등을 고려할 때 반입료는 약 10,000원/톤 정도가 적정할 것 같다.

음식물쓰레기만을 堆肥化施設의 반입원료로 사용한 예가 국내는 물론 외국의 경우도 많지 않고, 국내에서는 기계식 堆肥化施設의 설치 또는 시공경험이 없기 때문에 초기투자비를 추정하는 것은 극히 어려웠다. 단, 유지관리비는 대략적으로 산출가능하였는데 톤당 28,700원으로 추정되었다 (<표 5-6>참조. 단 건설비용은 여러가지 공법의 평균치에서 산출하였고, 변동폭이 대단히 크기 때문에 국내현실과는 맞지 않고, 특히 소규모 堆肥化施設의 투자원가는 급상승되는 경향이 있으므로 적용이 곤란함). 이를 근거로 20톤/일 시설용량의 堆肥化施設을 운전할 경우 서울시가 부담해야 할 연간 유지관리비는 다음과 같이 1억 3천 7백만원으로 추정되었다.

총운영비

$$20\text{톤/일} \times 28,700\text{원/톤} \times 365\text{일/년} \approx 2\text{억}7\text{천}7\text{백만원/년}$$

반입비

$$20\text{톤/일} \times 10,000\text{원/톤} \times 365\text{일/년} \approx 7\text{천}3\text{백}7\text{십만원/년}$$

서울시 년 부담금

$$2\text{억}7\text{천}7\text{백만원/년} - 7\text{천}3\text{백}7\text{십만원/년} = 1\text{억}3\text{천}7\text{백}7\text{십만원/년}$$

<표 8-1>에서와 같이 서울시는 연간 약 1억원규모의 예산을 堆肥의 구입에 투자하고 있으므로 전체 예산측면에서는 그 부담이 크게 감소될 것으로 판단된다.

시설의 관리주체는 현 행정조직상 서울시 청소사업본부 청소국 사업부가 담당하는 것이 타당하다고 보이며, 堆肥化施設에는 시설관리직원 1명이 파견근무하고 약 3명 정도의 기능직 고용인력을 활용함이 바람직할 것 같다.

堆肥의 수급절차는 각 구청 또는 사업소에서 예상소요량을 일괄 신청하여 배분하는 형태로 하며, 운반은 해당구청이나 사업소의 행정차량을 이용해야 할 것이다. 왜냐하면 堆肥化施設內에 각종 장비를 갖추는 것은 예산의 과다지출을 가져올 수 있으므로 가능하면 간단한 조직으로 유지함이 타당할 것으로 판단되기 때문이다. 장래에 민간에게까지 수급이 확대될 경우는 서울시 농촌지도소와 협력하여 수급을 추진하는 것도 합리적인 방법이라 할 수 있겠다.

제 9 장 日本의 堆肥化 現況

9.1 전반적인 堆肥化 現況

9.2 日本의 堆肥化施設 視察

제 9 장 日本의 堆肥化 現況

9.1 전반적인 堆肥化 現況

9.1.1 施設現況

日本에서 가동중인 도시쓰레기의 堆肥化 플랜트는 1983년 현재 23개소이다. 이러한 시설중 17개 플랜트의 쓰레기 수집형태와 처리능력, 생산된 堆肥의 공급 가격, 주수용자에 관한 사항은 <표 9-1>과 같다.

9.1.2 쓰레기 收集形態

堆肥化를 실시하고 있는 자치체에서는 일반적으로 여러종류의 분리수거를 실시하고 있는 경우가 많다. 수집형태는 생쓰레기, 가연쓰레기, 불연쓰레기의 3종류가 많고, 주방쓰레기를 별도항목으로 분리하는 경우도 있다. 특히 北海道浦臼町에서는 처리방법을 기준으로 하여 堆肥化쓰레기, 焼却쓰레기, 埋立쓰레기의 3종류로 분리하여 수집하는 경우도 있다.

9.1.3 破碎 및 選別

분리수집을 실시하여도 유리나 플라스틱등의 불순물이 혼입되는 것을 완전하게 배제시킬 수는 없다. 따라서 플랜트내에는 봉지해체, 破碎, 選別 등을 위한 前處理 施設이 설치되어 있다. 北海道浦臼町에서와 같이 手選別을 행하는 경우도 있으나 대부분 기계식 選別에 의존하고 있다. 그러나 혼입물중 특히 유리류는 기계적 選別이 어렵기 때문에 수선별을 어느 정도는 실시하고 있다. 또 시설 운전자들도 破碎機나 選別機의 성능에 대한 불만이 많고 다음과 같은 사항이 시정되길 요망하고 있다.

- 가. 유리(도자기 포함), 작은 플라스틱의 제거도 가능할 것.
- 나. 큰 입자상의 음식물이 제거되지 않을 것.
- 다. 堆肥의 含水率이 높을 때 後處理 選別機(주로 드럼스크린)가 막히지 않을 것.
- 라. 생쓰레기에 함유되어 있는 큰 비닐등이 잘 선별될 수 있을 것.
- 마. 選別機의 성능이 보다 강력할 것.

〈표 9-1〉 일본의 17개 퇴비화시설 운전현황

위 치	수 집 형 태	처리능력 (톤/일)		가 격 (생산시점)	사 용 자
		계 획	현 황 생산량		
高知縣藝西村	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	2.5	0.8	400엔/20kg 포대	농가, 과수농가
愛知縣美和町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	4.8	4.2	무 료	지방정부, 원예농가, 일반농가
北海道長沼町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	10	-	250엔/50ℓ 포대, 13,000엔/톤	농가, 근로자
長野縣臼田町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	13	5	3,000엔/톤	농가
長野縣小諸市	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	20	7	무 료	소규모농가, 셀러리맨
大分縣諸方町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	12	2.3	200엔/8kg포대, 1000엔/톤	농가
長野縣木島平村	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	10	6	5,000엔/톤	농가
大分縣布院町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	14	1.2	100엔/10-15kg포대	농가
愛媛縣吉田町	가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	10	3.1	무로베포	농업후계자
熊本縣中央町	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 플라스틱	12	5	100엔/5kg 포대, 5,000엔/톤	농가
北海道浦臼町	퇴비화쓰레기, 소각쓰레기, 매립쓰레기	2	2	무 료	농가, 일반가정체소발
北海道釧路市	생쓰레기, 기타	20	10.2	-	화전농가, 과수농가
福岡縣朝倉町	주방쓰레기, 기타	6	0.5	250엔/8kg포대	농가, 과수농가
愛知縣豐橋市	가연, 불연, 대형, 자원, 유해, 자원, 유해	128	62	-	일반가정, 농가, 공공시설
東京都町田市	가연, 불연, 유해, 병, 캔	8	2.7	무 료	시민, 공원 등 공공시설
長野縣高山村	생쓰레기, 가연, 불연, 대형, 자원, 대형	5	2.3	4,000엔/톤	농가
岩手縣矢野町	가연, 주방쓰레기, 자원, 대형	20	9	4,500엔/톤	화전농가, 과수농가
東京道江東區	가연, 불연, 대형	50	50	10,000엔/톤	농가

9.1.4 堆肥製品의 生産量과 需給

日本에서 가장 많은 堆肥를 생산하고 있는 시설은 愛知縣豊橋市の 시설이며, 堆肥생산량은 7.4 톤/일이다. 그러나 이 시설을 제외한 대부분의 시설은 0.15 ~ 3.9 톤/일범위의 적은 량을 생산하고 있다. 이는 플랜트 시설이 소규모이거나 실험적인 단계의 堆肥化施設이 많기 때문이다. 堆肥生産量을 시설용량의 비로서 단순히 계산하면 6 ~ 60%로 그 폭이 대단히 크다. 그러나 대부분의 시설은 20 ~ 40%로서 생쓰레기 1톤당 0.2 ~ 0.4톤의 堆肥를 생산하고 있다.

9.1.5 堆肥의 價格과 流通現況

製品堆肥의 가격은 플랜트의 구조에 따라 약간의 차이가 있다. 즉 플랜트의 구조가 복잡할수록 생산원가가 상승하고 동시에 가격도 상승한다. 플랜트에 따라서는 무료로 배포하는 곳도 있다. 그러나 일반적으로 톤당 수천엔에 판매하거나 20kg의 규격포대당 몇백엔에 판매하고 있다. 또한 大分縣布院町과 같이 後選別을 거친 精製堆肥는 판매하고, 後選別時에 발생하는 부산물 형태의 조잡한 堆肥는 무료로 산림이나 火田에 사용하는 경우도 있다.

유통경로는 堆肥化 플랜트에서 직접 소비자에게 넘겨주는 경우와 농협 등을 경유하여 전달하는 경우가 있으며, 양자를 병행하는 플랜트도 있다. 농가를 대상으로 한 대량판매시에는 트럭단위로, 또는 소량판매시에는 포대단위로 유통하고 있다. 포대의 경우는 5 ~ 20 kg 또는 50 ℓ 용량 등으로 판매되고 있다.

일반시민의 수요를 만족시키기 위해서는 소량판매가 바람직하기 때문에 포대단위의 판매가 적극 검토되어야 한다는 주장도 있다.

9.1.6 堆肥利用者, 利用用途 및 品質

이용처는 주로 일반농가, 과수농가, 원예농가 등과 가정화단이나 일반원예가 등이고, 여기에 자치단체의 공원·화단·녹지 등도 포함된다. 堆肥를 사용하는 작물로는 야채, 과수, 꽃 등이 많지만, 논이나 산림에도 사용되고 있다.

현재 도시쓰레기를 이용하여 생산된 堆肥의 이용은 대부분 녹지나 농지에 한정되고 있으나, 녹지나 농지에 이용하는 것 외에도 하수슬러지의 堆肥化實驗에서 검토중인 것과 같이 竹筍의 성장촉진이나 잔디육성 등에 이용할 수도 있다.

현재까지 각 堆肥化 플랜트에서 생산된 堆肥에 관한 이용자의 평가는 대체로

긍정적이다. 특히 福岡県朝倉町에서는 생산량이 수요량을 따르지 못하고 있다. 그러나 몇 개의 플랜트에서 생산되는 제품에는 유리나 플라스틱이 혼입되어 이용자로부터 불평을 받는 경우도 있다고 한다.

9.1.7 판매노력

堆肥의 판매촉진을 위하여 각 堆肥化 플랜트에서는 자치단체의 유선방송, 광고지, 간이인쇄물, 신문, 집회를 통하여 홍보활동을 행하고 있다. 플랜트시찰자에게 설명을 통하여 홍보하고 있기도 하다. 또한 농가에는 堆肥를 무료배포 하고, 일반소비자에게는 작은 포대단위로 판매하므로써 수요를 촉진시키고 있다.

이와같은 堆肥化施設측의 노력외에 堆肥를 솔선하여 사용하는 자치단체도 있다. 長野縣小諸市에서는 「꽃가꾸기 운동」을 전개하여, 도로나 공원 등의 환경미화를 위해 堆肥를 사용하고 있다. 하지만 日本에서는 수요량이 계절적으로 편중되고, 堆肥의 품질이 극히 우수하지도 않을 뿐 아니라 이물질의 혼입 및 살포시 작업성문제 등으로 관계자들이 고민을 하고 있는 것도 사실이다.

9.2 日本의 堆肥化施設 視察

본 연구팀은 1993년 5월에 日本의 3개 堆肥化施設을 視察하였다. 이 시설들은 醗酵槽를 好氣性 條件으로 유지하기 위해 공기를 인위적으로 공급하고, 주기적으로 攪拌하는 기계식 堆肥化法을 채택하고 있었다. 따라서 본절에서는 현장 시찰을 통하여 직접 확인한 運轉現況을 보다 상세하게 소개하고자 한다.

9.2.1 東京都컴포스트센터

가. 施設概要

東京都컴포스트센터는 舊埋立地 부지에 설치된 시설용량 50톤/일의 堆肥化施設이다. 주거지역으로부터 분리된 지역에 위치하여 있고, 인접하여 焼却施設이 운전되고 있다. 堆肥의 원료로는 호텔의 주방과 인근 주거지역에서 발생하는 생쓰레기를 투입하고 있기 때문에 施設容量의 4%인 약 2톤/일의 堆肥만이 생산된다. 동경도컴포스트센터의 施設概要는 <표 9-2>와 같다.

〈표 9-2〉 東京都컴포스트센터의 시설개요

부지면적(㎡)	공사기간	시설용량 (톤/일)	생산량 (톤/일)	처리방식	건설비
9,477	1983.3~1985.3	50	2	高速堆肥化	7억3천만엔

주) 高速堆肥化란 好氣性的 機械式堆肥化를 말한다.

나. 시설의 구조 및 운전개요

대상쓰레기는 주택단지의 쓰레기 50%, 호텔주방쓰레기 50%로 대표적 性狀은 생쓰레기 35%, 종이 40%, 비닐·플라스틱 7%, 기타 3%이다. 可燃性쓰레기를 堆肥의 원료로서 투입하기 때문에 〈그림 9-1〉과 같이 前·後處理에 많은 工程이 도입되었다. 봉지를 해체하기 위한 봉지해체기, 큰 쓰레기를 제거하는 粗目회전스크린, 금속류의 제거를 위한 磁力選別機, 粒子調節用 破碎機 등 4단계가 前處理施設이다. 前處理段階를 거친 쓰레기는 직접 醱酵槽로 투입되는데 일정량의 투입을 위해 調整槽가 醱酵槽의 전단에 설치되어 있다. 醱酵槽는 3개조로서 2개조(No.1, No.2)는 1단계 醱酵, 나머지 1개조(No.3)는 1단계醱酵가 끝난 쓰레기의 2단계醱酵를 담당한다. 攪拌機는 스크푸식으로 1일 1회의 빈도로 攪拌한다. 1차 醱酵가 완료된 堆肥(1차醱酵가 완료되었으므로 이하 堆肥라 한다)는 細目회전스크린, 風力選別機, 진동체 등의 後處理施設에 의해 다시 정제된다. 정제된 堆肥는 직접 반출되거나 일부는 진동체에서 다시 정제된 후, 단위포대로 포장되어 반출된다. 물론 반출되기까지 보관할 수 있는 저장고는 별도로 구비되어 있다. 前·後處理施設에서 발생하는 모든 부산물은 인접하고 있는 燒却場으로 이송되어 燒却處理된다.

생산된 堆肥는 최종단계에서 펠렛트형으로 압축성형되는데, 이는 시용시의 편리성과 肥料效果의 持續性 그리고 完全醱酵가 되지 않은 상태로 시비할 때의 농작물에 미치는 영향을 최소화하기 위한 목적이 있다.

이러한 시설 이외에도 酸洗淨塔과 알칼리洗淨塔 그리고 洗淨塔에서 발생하는 폐액을 중화하는 中和槽, 각종약품低流槽 등 각 工程에서 발생하는 惡臭제거용 脫臭施設과 浸出水의 처리를 위한 시설들이 구비되어 있다.

다. 運營 現況

시설은 퇴직공무원들로 구성된 공사형태의 민간단체에 위탁하여 운영하고, 동경도청소국 소속 공무원 1명이 상주하고 있다. 시설운영비는 연간 약 1억엔이 소요되며, 도의 일반예산에서 지원되고 있다. 생산된 堆肥는 동경도 농업관리국에 위탁하여 판매하고 있다. 농협에 판매할 때는 20kg 포대당 103엔이고, 주민에게 직접 공급시는 230엔이다. 식목일 등에는 주민에게 무료로 공급한다.

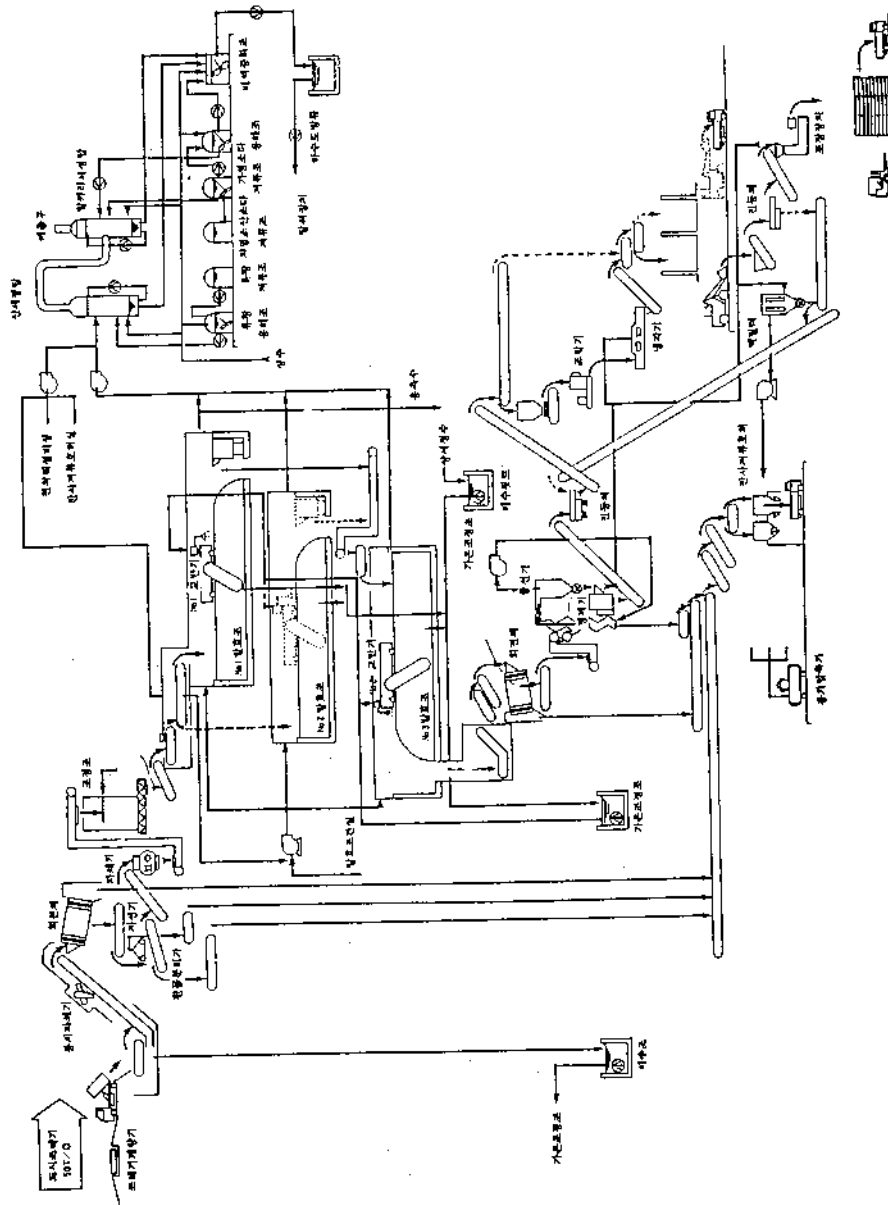
라. 시설의 특징과 운영상의 문제점

동경도킴포스트센터는 惡臭의 外部發散을 방지하기 위해 시설전체를 커버할 수 있는 密閉式 입체건물로 건설하였으며, 脫臭施設에 많은 비중을 두었다. 시설의 위치상으로도 동경도강동청소공장과 인접해 설치하므로써 청소공장에서 생산된 電力을 직접 이용할 수 있도록 하였다.

그러나 센터의 방문시에 堆肥化施設이라는 것을 즉각 확인할 수 있게 한 것은 醱酵槽에서 발생하는 심한 惡臭였다. 주거지역으로부터 격리된 埋立敷地에 위치하고 있기 때문에 민원의 발생은 없으나 堆肥化施設에서 발생하는 惡臭의 제거에 많은 어려움을 겪고 있었다.

현재 동경도는 절대농지가 점차 감소하고 있는 추세에 있어 생산된 堆肥의 需給處가 감소하고 있다. 이러한 현상은 보관시설의 부족을 낳았고 시설주변의 공지에 20kg 단위의 포대가 야적되고 있는 실정이다.

시설의 운전을 어렵게 하는 또 한가지 난점은 시설운영에 많은 비용이 소요된다는 점이다. 처리방법별 單價(1990년 기준)를 살펴보면 堆肥化施設 16,307엔/톤, 燒却施設 11,607엔/톤으로 堆肥化處理가 燒却處理보다 약 5,000엔 정도 많이 소요되고 있다. 물론 堆肥는 농지나 녹지로 還元되어 地力을 향상시키므로 그러한 잇점까지 포함된 가치를 인정해야 한다. 그러나 지방정부의 입장에서는 주처리방법인 燒却보다 더 많은 비용이 소요되고 생산된 堆肥가 적체됨에 따라 동경도의회로부터 시설의 閉鎖壓力까지 받고 있는 실정이다.



〈그림 9-1〉 東京都霞浦センター의 堆肥化 工程圖

9.2.2 長野縣白田町 堆肥製産센터

가. 시설개요

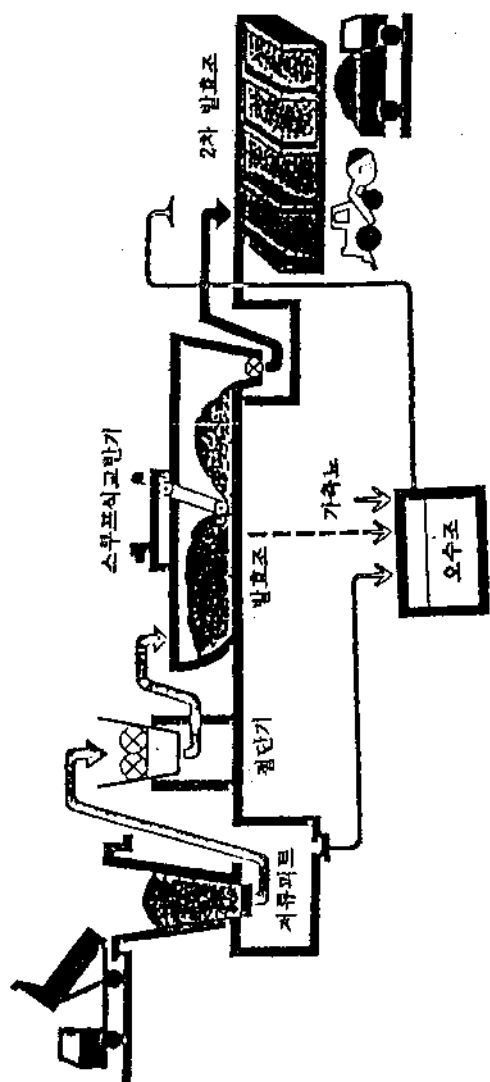
長野縣白田町の 堆肥製産센터는 1978년에 완공되어 현재 가동중에 있다. <표 9-3>과 같이 13톤/일의 시설용량으로 건설되었으며, 동경도컴포스트센터와 동일하게 스쿠프식의 攪拌機가 설치되어 있다. 부지면적과 初期投資費를 시설용량톤으로 換算하면 톤당 각각 538㎡, 695만엔이 된다. 시설은 주거지역과 격리된 교외에 설치되어 있다.

<표 9-3> 長野縣白田町 堆肥製産센터의 概要

공사기간	시설용량 (톤/일)	실반입량 (톤/일)	처리방식	부지면적 (㎡)	투자비 (엔)
1977.12 ~ 1978.3	13	5 ~ 6	高速堆肥化 (일동식 스쿠프 시스템)	7,000	90,358,000

나. 시설의 구조와 운전개요

음식물쓰레기만이 저류피트에 투입된 후 컨베이어에 의해 切斷機로 이송된다. 切斷機에서는 2 ~ 3cm의 크기로 파쇄된 상태로 1차醱酵槽에 직접 투입된다. 1차醱酵槽의 滯留時間은 7일 정도이며, 1차醱酵가 끝난 堆肥는 이물질제거용 스크린을 거쳐 2차醱酵棟(지붕만이 설치되어 있는 별도의 구조물로서 醱酵과 저장 기능을 갖고 있음)으로 이송된다. 2차醱酵棟에서는 반출시까지 저장되며, 약 20일당 1회의 빈도로 패이로다에 의해 攪拌이 이루어진다. 또 투입피트와 1차醱酵조에서 발생하는 浸出水를 저장하기 위한 汚水槽가 설치되어 있으며, 집수된 오수는 가축노와 혼합된 후 2차醱酵棟에 도달한 1차醱酵後의 堆肥壇에 撒布된다. 별도의 汚水處理施設은 없으며 시설의 工程圖는 <그림 9-2>와 같다.



〈그림 9-2〉長野縣白田町 堆肥製産센터의 堆肥化工程圖

다. 시설의 운영

시설은 지방자치단체에서 직영하며, 2명의 운전자가 교대근무하고 있다. 투입된 음식물쓰레기는 수분함량조절을 위해 톱밥과 왕겨를 혼합하고 있으나, 주로 왕겨를 사용하고 있다.

堆肥의 원료인 음식물쓰레기는 再生紙로 만들어진 규정포대(20kg 용량)에 담겨 배출된 상태만 수거하여 堆肥化施設로 반입되고 있다. 규정포대는 개당 20엔에 판매되고 있으며 수거빈도는 주당 2회이다.

시설의 위치가 산간계곡에 설치되어 있으므로 <그림 9-2>에도 나타나 있듯이 長野縣臼田町 堆肥製産센터의 工程에는 脱臭施設이 없다. 물론 건설당시에는 土壤脱臭床이 설치되었으나 悪臭로 인한 민원사례가 없으므로 현재는 가동하지 않고 있다.

생산된 堆肥는 2년 간격으로 1개의 堆肥物性(含水率), 5개의 危害成分含量(pH, Zn, Cd, As 및 Hg) 및 3개의 비료성분(N, P₂O₅ 및 K₂O)을 공인기관에 위탁, 측정되고 있다. 堆肥의 판매가는 톤당 5,000엔이며, 소량은 무상배포된다.

현재 長野縣臼田町에서는 발생하는 생활쓰레기는 3가지의 방법, 즉, 堆肥化, 埋立 및 資源化에 의해 처리하고 있다. 이에 맞추어 수거도 생쓰레기(잔반, 과일, 육류, 어류, 요리찌꺼기, 동물의 뼈 등), 資源쓰레기(종이상자, 우유팩, 빈 캔, 금속류, 신문잡지, 의류 등), 埋立쓰레기(잡병, 유리류, 도기류, 가죽류, 식품팩과 세제용기 등의 플라스틱류, 재, 타이어를 제외한 고무류 등)의 3종류로 실시하고 있다. 모든 쓰레기의 수거는 集荷所(station)에 도달된 것에 한하며 수거봉투에는 배출자의 성명을 기재하도록 되어 있다. 분리가 잘 되지 않은 수거봉투는 수거하지 않고 배출자나 지역담당자에게 되돌려 보내 완전히 분리하도록 하고 있다.

이러한 방법으로 시설을 운영함에 따라 부수적인 효과를 얻을 수 있다. 수거시 규정포대를 이용케 하고, 포대를 유료화시킴으로서 家計負擔과 集荷所까지의 運搬負擔을 줄이기 위해 몇몇 가정에서는 가정용 간이 堆肥化容器를 구입하여 정원이나 밭에 설치하여 생쓰레기를 직접 처리하고 있는 것이다. 堆肥化施設을 설치한 지방정부의 입장에서는 시설이 적절하게 운전되지 못한다는 우려도 있겠으나 농촌지역의 경우 생쓰레기는 발생자가 직접 처리할 수도 있다는 점이 대도시인 동경도와는 분명히 다르다.

라. 시설의 특징

長野縣臼田町 堆肥製産센타는 쓰레기처리시설 이전에 堆肥生産施設로 간주해야 한다. 왜냐하면 농림성으로부터 初期投資費의 약 37%를 지원받았고(日本은 쓰레기처리시설도 堆肥生産施設로 인정될 경우 관련부처로부터 보조를 받을 수 있다고 함), 良質의 堆肥를 생산하기 위해 가축의 분뇨를 2차醱酵棟에서 1차醱酵된 堆肥와 혼합하고 있기 때문이다. 따라서 처리비용도 埋立쓰레기에 톤당 8,929엔, 자원화쓰레기에 톤당 8,859엔이 소요되는데 반하여 堆肥를 생산하는 생쓰레기에는 40,034엔/톤이라는 매우 많은 비용이 소요되고 있다. 이러한 비용은 동경도의 16,307엔/톤보다 약 2.5배가 높다. 결국 이러한 처리방법은 경제적인 쓰레기처리라는 차원보다는 농촌이라는 안정된 堆肥需給處와 생쓰레기의 農地還元이라는 개념이 잘 조화되어 선택된 방법이라 할 수 있다. 또 주거지역과 충분히 이격되어 있는 넓은 부지를 손쉽게 확보할 수 있으며, 惡臭處理對策에 고민하지 않아도 된다는 점은 농촌지역에 설치된 堆肥化施設이 가지는 운영상의 큰 장점이다.

9.2.3 長野縣小諸市 高速堆肥製造工場

가. 시설개요

長野縣小諸市 高速堆肥製造工場은 長野縣臼田町 堆肥製産센타와 유사한 시기에 건설되었다. 시설용량은 1일 20톤, 처리방식은 동경도킴포스트센타 및 長野縣臼田町 堆肥製産센타와 동일한 일동식 스쿠프시스템이다. 부지는 시설용량톤당 345㎡(부지면적기준), 47㎡(건물면적기준)이며, 초기투자비 13억엔은 전액 국고보조되었다. 이 시설은 동경도킴포스트센타 및 長野縣臼田町 堆肥製産센타와는 다르게 주거지역과 인접하고 있는 관계로 운전초기 惡臭에 따른 많은 민원이 발생하여, 추후 觸媒燃燒裝置에 의한 脫臭施設의 설치에 1억엔이 소요되었다. <표 9-4>는 시설개요이다.

나. 시설의 구조

반입된 생쓰레기는 규정봉투에 담긴채로 원료저류피트에 투입되고, 컨베이어에 의해 커터식 봉지해체기로 이송된다. 봉지해체기를 통과한 쓰레기는 파쇄기

〈표 9-4〉 長野縣小諸市 高速堆肥製造工場の 시설개요

공사기간	시설용량 (톤/일)	실반입량 (톤/일)	처리방식	부지면적 (㎡)	투자비 (엔)
1978. 9 ~ 1979. 3	20	10(평일) 20이상(연휴후)	高速堆肥化 (일동식 스쿠프 시스템)	6,892 (건물 932)	13억

에서 3cm 이하의 입자상으로 조절하며, 직전단계에서 건전지 등은 미리 제거된다. 입자조절기와 진동식채분리기에 의해 쓰레기는 더욱 균질화되고, 플라스틱이나 해체된 봉지의 큰 조각도 제거된다. 폭 2m, 길이 40m인 醱酵槽에서의 쓰레기 設計滯留時間은 7일이나 실제로는 14-20일 정도 체류하고, 1차醱酵된 堆肥는 정제기와 異物質選別機(탄성반발식)로 구성된 後處理단계를 거치게 된다. 後處理단계에서 발생한 부산물은 組大堆肥로서 이용되고, 정제된 堆肥는 양생저류조라고 불리는 사이로에서 12일 정도 숙성된 후 반출된다. 養生貯留槽에서 반출될 때의 수분함량은 30% 정도이다.

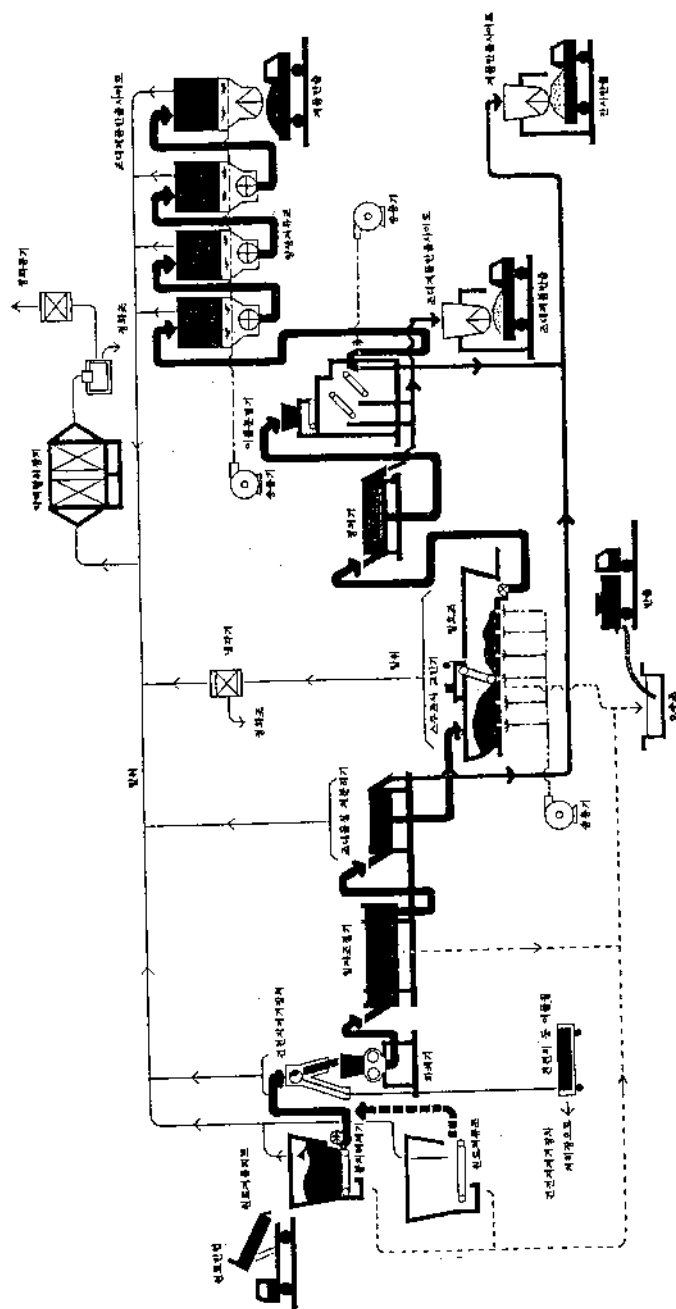
이러한 공정외에 각 공정에서 발생하는 惡臭除去施設 및 汚水貯藏을 위한 오수저류조가 있다. 저류된 汚水는 직접 처리하지 않고, 차량을 이용하여 인근 下水處理場으로 운반, 처리된다.

〈그림 9-3〉은 長野縣小諸市 高速堆肥製造工場の 工程圖이다. 醱酵槽에서의 원활한 공기공급을 위하여 醱酵槽 하부는 〈그림 9-4〉와 같은 구조로 되어 있으며, 목판은 3년단위로 교체하고 있다.

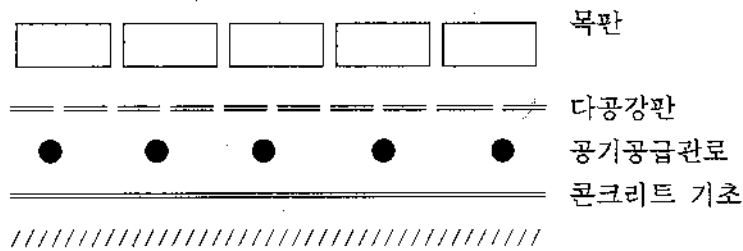
다. 시설의 운영

長野縣小諸市 高速堆肥製造工場은 지방정부에서 직접 운영하고 있으며, 근무 인원은 3명이다.

쓰레기는 생쓰레기, 可燃쓰레기, 不燃쓰레기, 資源쓰레기, 有害쓰레기 및 수집처리할 수 없는 것으로 분류하여 收去하고 있으며, 이들 중 생쓰레기(조리음식물, 야채, 생선, 과일, 조개껍질, 고기뼈, 계란껍질 및 차찌꺼기등)만이 주당 2회의 빈도로 收去되어 堆肥化施設로 반입된다



〈그림 9-3〉長野縣小諸市 高遠堆肥製造工場の 堆肥化工程圖



〈그림 9-4〉 醱酵槽의 하부구조

반입시 가정쓰레기는 무료이며, 식당 및 레스토랑 생쓰레기는 kg당 7엔, 공장생쓰레기(풍조립공장 등 생쓰레기가 다량으로 배출되는 사업장)는 kg당 12엔을 부과하고 있다. 특히 공장쓰레기는 자치단체에서 수거하지 않고 발생자가 직접 반입토록 되어 있다. 가정쓰레기도 반입료는 무료이나, 규정포대를 대형 540엔/25枚, 중형 460엔/25枚, 소형 595엔/50枚에 판매하고 있으므로 실제적으로 유료이다. 생산된 堆肥는 長野縣臼田町 堆肥製産센타와 동일하게 2년단위로 품질을 검사하고 있다.

라. 施設의 特徵

長野縣小諸市 高速堆肥製造工場의 脱臭設備은 매우 합리적이다. 觸媒燃燒方式이라는 主脱臭原理를 떠나 醱酵槽를 비닐하우스형의 폐쇄공간으로 설계하여 악취의 주발생원으로부터 惡臭가 發散하는 것을 최소화하고 있고, 투입피트도 閉鎖形으로 설계되어 있다. 그러나 현재도 기상여건 즉, 저기압상태에서 공기의 擴散이 활발하지 못할 때는 다소간의 불만이 행정당국에 접수된다고 한다.

처리비용은 수거비용을 포함할 경우 32,000엔/톤, 수거비용을 제외한 경우, 19,333엔/톤로서 長野縣臼田町 堆肥製産센타보다는 작게 소요되나 동경도킵포스트센타보다는 많다. 동경도킵포스트센타와 비교하여 처리비용이 높은 것은 동경도의 경우 燒却場에서 발전된 전력을 사용하고 있고, 생산된 堆肥를 유료판매하고 있는 반면, 長野縣小諸市 高速堆肥製造工場은 堆肥를 무료배포하고 전력사용료를 별도로 부담할 뿐 아니라 脱臭施設을 엄격하게 운전하고 있기 때문이다. 堆肥의 품질에 대한 사용자의 평가는 매우 긍정적이고, 사용자는 사전에 예약접수하고 있는 실정이다.

제 10 장 結論

10.1 음식물쓰레기의 發生量

10.2 음식물쓰레기의 性狀

10.3 음식물쓰레기의 處理方法 比較

10.4. 堆肥化施設의 설계및 運轉變數

10.5 음식물쓰레기의 堆肥化與件

10.6 堆肥化施設의 설치방안

제 10 장 結論

본 研究는 서울시 생활쓰레기중 약 30%정도를 차지하고 있는 음식물쓰레기의 효과적 처리방안의 일환으로서 堆肥化施設의 설치에 의한 음식물쓰레기 처리의 가능성을 검토하기 위해 실시되었다.

본 研究는 크게 음식물쓰레기의 發生量 및 性狀調査, 현재까지 개발된 기술의 파악과 적응성 검토, 堆肥化實驗을 통한 시설의 設計・運轉變數 導出 및 각종 여건을 고려한 堆肥化施設의 설치방안 제시 등으로 나누어 실시되었으며 연구결과를 단계별로 요약하면 다음과 같다.

10.1 음식물쓰레기의 發生量

- 가. 각 발생원에서 계절별 실측을 통하여 산정한 발생별 單位發生量은 가정 0.182 kg/인·일, 대형유통센터중 백화점 0.029 kg/m²·일, 농산물시장 3.209 kg/m²·일, 집단급식소중 일반집단급식소 0.101 kg/인·일, 병원집단급식소 1.167 kg/bed·일, 음식점중 부페식당은 0.704 kg/m²·일 및 부페를 제외한 일반식당 0.220 kg/m²·일로 나타났다.
- 나. 單位發生量을 이용하여 산정한 서울시 음식물쓰레기 總發生量은 약 3,654 톤/일이며, 總發生量에 대한 發生源別 發生量の 比는 가정 54.3%, 음식점 32.0%, 대형유통센터 11.5%, 일반집단급식소 1.2%, 병원집단급식소 1.0%로 가정에서 가장 많은 음식물쓰레기가 발생하는 것으로 나타났다.

10.2 음식물쓰레기의 性狀

- 가. 음식물쓰레기의 性狀은 發生原 및 조사시기에 따라 변화하였다. 특히 수분 함량의 변화가 크게 나타나 66.9~86.8%의 범위를 보였고, 水分含量과 관계가 깊은 低位發熱量이 5~1,035kcal/kg의 값을 보였다. 그러나 乾燥重量基準으로 산출되는 TKN, TOC 그리고 원소함량은 대체로 안정된 결과를 보였다. 평균함량으로 살펴본 음식물쓰레기의 대표적 性狀은 다음과 같다.

三成分含量：水分含量 80.1%，可燃分含量 16.9%，灰分含量 3.0%

發熱量：高位 895kcal/kg，低位 388 kcal/kg

炭素 및 窒素含量(乾燥重量基準)：TKN 3.6%，TOC 41.1%，C/N비 11.4

元素含量(乾燥重量基準)：C 42.8%，H 6.1%，O 30.9%，N 3.7%，S 0.3%，

Cl 1.7%，C/N비 11.6

나. 음식물쓰레기를 잔반, 채소, 과일 및 생선 등의 組成別로 분류하여 성상을 살펴본 결과, 水分含量은 채소·과일·殘飯·생선의 순서로 높았고, 특히 채소의 水分含量은 94.5%에 달하여 低位發熱量이 -369kcal/kg의 매우 낮은 값으로 나타났다. 반면 생선의 水分含量은 70.6%로 가장 낮아 542kcal/kg의 가장 높은 低位發熱量을 보였다. C/N비에서는 과일이 가장 높은 62였고, 단백질구성비가 높은 생선은 4.6에 불과하였다. 원소조성에서도 생선은 炭素 36.2%, 窒素 6.2%로 타 음식물쓰레기보다 窒素成分의 含量이 높게 나타났다.

10.3 음식물쓰레기의 處理方法 比較

가. 음식물쓰레기를 埋立, 燒却, 堆肥化, 嫌氣性消化의 4가지 방법에 의해 처리할 경우 처리방법에 따른 톤당 에너지 생산량, 乾量基準 무게減量, 濕量基準 무게減量を 음식물쓰레기의 대표적 性狀을 이용하여 이론적으로 산정한 결과, 埋立時 2,422 MJ, 64.5%, 12.8%, 燒却時 2,622 MJ, 84.9%, 97.0%, 嫌氣性消化時 1,315 MJ, 60.0%, 12%, 堆肥化時 64.5%, 24.2%로 각각 나타났으며, 燒却設施의 에너지 生産量 및 무게減量이 가장 클 것으로 예상되었다. 그러나 燒却은 燒却設施의 건설에 따른 높은 初期投資費 및 보조연료의 소모(1톤당 No.2 Fuel Oil로 약 83ℓ 예상)에 따른 유지관리비의 상승을 고려해야 하고, 전체 쓰레기처리의 효율화 측면에서 음식물쓰레기만의 單獨燒却은 어렵다고 본다. 반면 堆肥化는 다른 3가지의 방법과 다르게 에너지의 생산은 없으나 쓰레기를 재활용하여 토지에 還元하므로써 土地改良의 효과가 있으며, 減量化도 비교적 크므로 지역적 여건 등 사회여건을 고려하여 검토할 필요가 있겠다.

또한 嫌氣性消化는 전국적으로 糞尿處理場에 嫌氣性消化槽를 이용하고 있고 水洗化率의 증가 및 下水管渠의 정비로 收去糞尿의 량이 감소추세이므로 장래 糞尿處理場의 嫌氣性消化槽의 여유용량에 음식물쓰레기를 투입하는 방안을 검토할 필요성이 있다고 판단된다.

나. 서울시에 발생하는 쓰레기를 埋立, 堆肥化 및 燒却에 의해서 처리한다고 가정하고 쓰레기 組成別로 처리방법의 변경에 따른 埋立地의 이용기간 연장, 초기투자비 및 수송비에 미치는 영향을 검토한 결과, 음식물쓰레기는 堆肥化, 可燃性쓰레기는 燒却 후 소각재 埋立 및 不燃性쓰레기는 埋立하는 경우가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 處理方法別 비교를 위하여 처리방법과 쓰레기의 조성을 단순화하였으나 쓰레기 처리조건은 시간에 따라 변화될 수 있으므로 한가지 방법보다는 다양한 방법에 의해 처리하여 기술적 경험을 축적하는 것이 필요하다. 또한 전체 쓰레기관리비용의 측면에서도 堆肥化와 燒却과 같은 中間處理法의 도입은 단순 매립시보다 輸送費는 감소하나 전체경비는 증가한다. 따라서 서울시의 경우 매립지의 수명연장, 쓰레기의 再活用 및 경제성을 동시에 고려하여 쓰레기 처리방법을 결정해야 한다.

10.4. 堆肥化施設의 설계 및 運轉變數

가. 실험실 규모의 機械式 好氣性堆肥化 實驗에 의해 초기수분함량의 조절방법과 適正 初期水分含量, 適正 攪拌횟수, 適正空氣量 및 堆肥化施設의 운전시 堆肥化 指標를 도출하였다. 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 초기수분함량은 수분함량 자체보다는 원활한 공기공급이 이루어질 수 있는 空隙率의 확보가 더욱 중요하며, 열선을 사용한 가열건조와 遠心分離刑 기계식 脫水方法보다는 수분조절제로 톱밥을 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 수분조절제를 사용하는 경우 적정 초기수분함량은 최대 70% 이하로 조절하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

나. 음식물쓰레기의 堆肥化時 적정 攪拌횟수와 空氣供給量은 1일 2회의 攪拌과

음식물쓰레기 1kg당 1 l/min의 공기공급이 가장 적절한 것으로 나타났다. 단, 본 실험의 결과는 실험실 규모의 反應槽를 운전하여 얻은 것이기 때문에 실제 규모의 堆肥施設을 운전할 경우는 다소의 조정이 필요할 것으로 생각된다.

다. 음식물쓰레기의 堆肥化를 위한 수분조절제로 톱밥, 생산된 堆肥의 再循環 및 톱밥과 생산된 堆肥를 혼합하여 사용할 경우를 비교한 결과, 분해속도면에서는 생산된 堆肥를 再循環하여 사용하는 것이 가장 빠른 것으로 나타났다. 또한 堆肥의 생산량은 사용되는 톱밥의 양이 증가할수록 증가하며, 通氣性은 톱밥을 사용하는 경우가 가장 양호한 것으로 나타났다. 서울시의 경우 堆肥의 需要處와 경제성 등을 고려하면 음식물쓰레기 堆肥化施設의 목적은 쓰레기의 감량에 두어야 하므로 생산된 堆肥를 再循環하여 수분조절제로 사용하는 것이 가장 유리할 것으로 판단된다.

라. 堆肥化시설의 운전시 堆肥化의 진행정도를 파악할 수 있는 指標로는 pH와 온도변화경향이 사용될 수 있으며, C/N비와 수분함량은 직접적인 運轉指標로 사용하기는 어려운 것으로 나타났다. 堆肥化에 의한 부피의 감소는 반응개시후 10일정도 경과하였을 때 초기부피의 72%에서 83%정도였으며, 수분함량 40%를 기준으로 堆肥의 겉보기密度는 평균 265kg/m^3 이었다.

10.5 음식물쓰레기의 堆肥化與件

가. 음식물쓰레기의 처리대상과 방법은 廢棄物管理法와 資源의 節約과 再活用促進에 관한 법에 규정되어 있으나 규정의 불명확성과 대상의 제한성 등에서 현실적 적용가능성에 다소 문제가 있으므로 관계법의 보완이 요구된다.

나. 도시계획법과 騒音, 惡臭 및 汚水 등의 排出基準을 고려할 때 서울시에 음식물쓰레기 堆肥化施設을 설치한다면 시설의 위치는 綠地地域일 뿐 아니라 근거리에 난지하수처리장이 위치하고 있는 난지도매립지부지가 가장 적합할 것으로 생각된다.

다. 음식물쓰레기를 이용하여 생산되는 堆肥는 품질면에서 副産物肥料에 해당하며, 생산된 堆肥를 판매하기 위해서는 肥料管理法에 규정된 조건을 만족해야 한다. 따라서 현재로서는 발생원에서 음식물쓰레기를 직접 堆肥化할 경우 많은 문제가 따를 것으로 판단된다.

10.6 堆肥化施設의 설치방안

가. 堆肥化施設의 규모를 결정하기 위해 산정된 서울시의 堆肥所要量은 연간 10,386톤, 일일 28.5톤정도인 것으로 나타났다. 이중에서 현재 서울시에 사용하고 있는 평년사용량은 연간 약 770톤이며, 堆肥구입을 위해 연간 약 1억여원의 예산을 사용하는 것으로 나타났다.

나. 서울시에서 발생하는 음식물쓰레기의 堆肥化方案을 몇 개의 대안별로 비교·검토한 결과, 收去의 容易性, 施設投資費 및 運轉費, 堆肥의 자체사용유도 측면에서 多量排出原은 集團處理施設, 家庭 및 기타사업장에서는 自體處理하는 방안이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

다. 集團堆肥化施設을 설치할 경우 堆肥化工法은 好氣性堆肥化工法이 적합하며, 수분조절방법은 반응속도, 퇴비의 수급, 퇴비의 품질 측면에서 생산된 堆肥를 再循環하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 堆肥化施設의 규모는 서울시 평년 堆肥使用量을 공급할 수 있는 20톤/일, 搬入對象 排出原은 21개 集團給食所가 가장 적합한 것으로 나타났다.

라. 集團堆肥化施設의 관리주체는 서울시 청소사업본부 청소국 사업부가 담당하고, 堆肥化施設에는 기술관리직 1명과 약 3명정도의 기능직 인력이 필요할 것으로 예상된다. 堆肥의 需給은 각 구청이나 사업소에서 예상소요량을 일괄 신청하여 배분하며, 운반은 해당 구청이나 사업소의 행정차량을 이용한다. 20톤/일 규모의 堆肥化施設의 운영에 소요되는 총운영비는 약 2억여원 정도이며, 搬入費를 톤당 1만원정도로 할 경우 서울시가 부담해야할 연간

유지管理費는 약 1억4천만원정도인 것으로 예상된다. 여기에 서울시의 평년 堆肥 구입비용이 약 1억원임을 감안하면, 전체예산측면에서의 실제 維持管理費는 더욱 감소할 것으로 판단된다.

参考文献

參考文獻

- 1) 건설부, 도시계획법
- 2) 김병태, 우리나라 도시고형폐기물의 퇴비화에 관한 연구, 환경보전협회보
Vol. 6, No. 2, 제60호, 1984
- 3) 농림수산부, 비료관리법
- 4) 농림수산부, '92 화훼재배현황, 1993.
- 5) 농업진흥청 농업진흥연구소, 토양화학분석법 -토양 식물체 토양미생물-
1988.
- 6) 박후원, 도시폐기물의 효율적 관리를 위한 기초자료연구, 고려대학교
석사학위논문, 1988.
- 7) 서울시정개발연구원, 서울시 환경관리체계 구축을 위한 연구 -중간보고서-
1992.
- 8) 서울특별시, '93 서울시정, 1993.
- 9) 서울특별시, 제32회 서울통계연보, 1992.
- 10) 윤하연, 온도변화에 따른 도시고형폐기물의 퇴비화과정 비교에 관한 연구
서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1992.
- 11) 이승무, 도시폐기물 매립지 안전도 조사연구, 연세대학교 산업기술연구소
1981.
- 12) 이정전, 도시폐기물로부터 Biogas생산에 관한 기초적 연구, 고려대학교
박사학위논문, 1986.
- 13) 장해남, 컴퓨터를 이용한 폐기물 수송체계 연구, 한국과학기술원 석사학위
논문, 1989.
- 14) 최의소, 폐기물처리와 자원화, 청문각, 1992.
- 15) 최의소·박후원, 도시폐기물의 성상과 생분해정도에 따른 에너지회수공정의
비교, 대한토목학회논문집, 제11권, 제2호, 1991.
- 16) 통계청, 총사업체통계조사보고서, 1991.
- 17) 한국비료공업협회, 비료연감, 1992.
- 18) 홍영표, 최신화훼재배기술, 명륜당, 1988.
- 19) 환경처, 수질오염·폐기물 공정시험방법, 동화기술, 1993.

- 20) 환경처, 쓰레기처리시설 구조지침 및 해설, 1991.
- 21) 환경처, 비료 및 도시계획시설 관련법규
- 22) 환경처, 부패성쓰레기 분리수거 및 적정처리방안 조사연구보고서, 1992.
- 23) 환경처, 대기환경보전법
- 24) 환경처, 소음·진동규제법
- 25) 환경처, 오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법
- 26) 환경처, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법
- 27) 환경처, 폐기물관리법

- 28) 渡邊弘之外 2人, ミミズの有効利用とその技術, サイエンティスト社, 1978.
- 29) 石田敏夫, 札幌コンポストの緑地利用について, 下水汚泥の緑農地利用に
關する 세미나-講演集, 下水汚泥資源利用協議會, 1985.
- 30) 蘇田賢二, コンポスト化技術-廢棄物有効利用のテクノロジー-, 技報堂出版
1991.
- 31) 蘇田賢二外 1人, “都市コンポスト利用の現状と可能性”, 都市と廢棄物
Vol.16, No.12, 1986.
- 32) 日本環境衛生センター, 廢棄物處理施設技術管理者資格認定講習テキスト最終
處分IV, 1984.
- 33) 河上泰藏, 今治市における下水汚泥の農業利用について-樹木等-, 下水汚泥の
綠農地利用に關する 세미나-講演集, 下水汚泥資源利用協議會, 1985.

- 34) Alexander, Ron, Expanding Compost Markets, Biocycle, Vol.31, No.8, 1990.
- 35) Bohn, H.L., Compost Scrubbers of Malodorous Air Steams, Compost Science, 1976.
- 36) C.L. Mantell, Solids Waste:Origin Collection and Disposal, Tohn Wiley and Sons.
Ins., 1975.
- 37) Cecchi, F., J.Mata-Alvarez and F.G. Pohland(eds.), Proceedings of the Intenational
Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Venice Italy, 1992
- 38) Corey, R.C., Combustion and Incineration Processes, Marcel Dekker Inc., NY, 1978
- 39) Diaz, L.F., et al., Resource Recovery from Municipal Solid Wastes Vol.II, Final
Processing, CRC Press, 1982.
- 40) Fernandes, J.H., Incinerator Air Pollution Control, Proc. ASME Nat. Incineration
Conf., Cincinnati, 1970.

- 41) Golueke, C.G., Composting, Rodale Press, Inc., Emmaus, Pa, 1972.
- 42) K.R. Gray, et al., A Review of Composting - Part 1 Process Biochemistry 1971.
- 43) Luis F. Diaz, et al., Composting and Recycling Municipal Solids Waste Lewis Publishers, 1993.
- 44) McCarty, P.L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part 1 : Chemistry and microbiology, Public Works, 107-112(Sept. 1964), Part 2 : Environmental Requirements and Control, Public Works, 123-126 (Oct. 1964), Part 3 : Toxic Materials and Their Control, Public Works, 95-99 (Dec. 1964)
- 45) SCS Engineers, Inc., Procedural Guidance Manual for Sanitary Landfill: Volume 1, Landfill Leachate Monitoring and Control Systems, California Waste Management Board, Sacramento, CA, 1989.
- 46) Sawyer, C.N. and McCarty, P.L., Chemistry for Sanitary Engineers McGraw-Hill, 1967.
- 47) Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill, Inc., NY, 1993.
- 48) Tobasaran, O., Gas Production from Landfill, Household Waste Management in Europe by Birdgwater, A.V. and Lidgren, K.(ed.), Van Nostrand Reinhold Co., 1981.
- 49) US EPA, In-Vessel Composting of Municipal Wastewater Sludge, 1989.
- 50) US EPA, WRAP a Model for Regional Documentation of Operational and Exercise Runs, 1978.
- 51) US EPA, WRAP a Model for Regional Solid Waste Management Planning -Programmer's Manual-, 1977.
- 52) US EPA, WRAP a Model for Regional Solid Waste Management planning -Users Guide- , 1977.
- 53) W.Wesley Eckenfelder, Jr., Industrial Water Pollution Control McGraw-Hill Ins., 1989.
- 54) WEF, Sludge Incineration : Thermal Destruction of Residues, Manual of Practice FD-19, 1992.
- 55) Wilson, D.C., Waste Management, Planning, Evaluation, Technology Clarendon Press, Oxford, 1981.

附 錄

1. 수분조절제에 따른 項目別 比較
- 2.攪拌回數에 따른 項目別 比較
3. 공기공급량에 따른 項目別 比較

1. 수분조절제에 따른 項目別 比較

조건 1) 초기수분함량 : 63~65%
2) 교반횟수 : 1일 2회
3) 공기공급량 : 50l/min

TIME	수분①	수분②	수분③	PH①	PH②	PH③	TOC①	TOC②	TOC③	TKN①	TKN②	TKN③	C/N①	C/N②	C/N③
0	62.00	62.51	62.0	4.31	4.97	6.14	44.4	57.42	47.52	1.09	0.84	1.806	40.66	68.36	26.31
24	68.39	61.41	61.5	4.31	5.61	5.54	43.8	55.56	48.48	0.57	1.064	1.484	76.31	52.22	32.67
48	67.96	59.73	61.3	4.69	5.35	5.42	43.82	43.74	43.39	0.45	1.176	1.316	96.7	37.19	32.96
72	63.84	59.00	59.6	5.65	5.94	7.43	44.82	42.66	44.04	0.67	1.274	1.456	66.7	33.49	30.25
96	60.06	54.50	56.4	8.83	6.53	7.86	44.34	44.76	43.98	2.94	1.246	1.624	15.08	35.92	27.08
120	61.98	51.35	57.1	8.82	7.92	8.56	43.74	44.22	44.58	2.6	1.358	1.778	16.8	32.56	25.07
144	61.18	47.89	51.9	8.77	8.63	8.76	43.68	44.82	48.9	2.07	1.316	1.19	21.06	34.06	41.09
168	60.96	48.45	51.9	9.31	8.32	8.58	43.98	45.54	44.82	2.35	1.344	1.288	18.7	33.88	34.8
192	59.78	44.58	49.8	9.31	8.01	8.83	43.38	45.24	46.74	1.81	1.344	1.414	24.02	33.66	33.06
216	59.33	41.30	48.2	9.29	8.68	8.85	42.72	46.14	43.98	1.78	1.33	1.498	24.03	34.69	29.36
240	58.90		49.2	9.26		8.68	41.64		42.72	0.42		1.302			32.81
264			48.2			8.76			43.5			1.4			31.07
288			50.1			8.71			43.08			1.456			29.59
TIME	온도①	온도②	온도③	O2(%)①	O2(%)②	O2(%)③	O2(L)①	O2(L)②	O2(L)③	O2SLOPE①	O2SLOPE②	O2SLOPE③			
0	28	25	23	20.8	19.9	20.4	0.051692	0.516917	0.258459	0.465226	0.206767	0			
24	40	44	43	19.5	20.4	18.8	580.0329	658.0357	605.0517	0.568609	0.723684	0.403195			
48	51	50	53	20.0	19.4	18.5	1280.973	1911.043	1854.958	0.982143	0.775376	0.300752			
72	59	42	59	19.3	20.9	20.5	2494.789	2469.314	2766.8	1.033835	0.155075	0.657895			
99	58	45	37	19.2	18.3	19.1	3981.819	3660.291	4094.243	1.240602	0.878759	0.206767			
121	52	56	35	20.0	19.9	19.6	4735.484	4832.66	4506.743	0.413534	0.206767	0.723684			
145	61	48	36	19.1	20.4	20.8	5538.773	5279.276	4795.183	0.878759	0.258459	0.047715			
171	54	38	23	19.2	19.8	19.5	6936.424	6091.87	5316.236	0.723684	0	0.24812			
191	40	34	22	19.5	20.9	20.0	7804.845	6091.87	5868.304	0.878759	0	0.169173			
210	26	32	19	19.9	19.8	20.5	8502.683	6476.457	6243.586	0.516917	0.31015	0			
238		21	11		19.4	20.9		6991.306			0.20676	0			
262			9			20.4						0.18609			

주)① : 퇴비재순환 ② : 물받투입 및 퇴비재순환 ③ : 물받사용

2. 攪拌回數에 따른 項目別 比較

조건 1) 초기수분함량 : 62~68%
2) 시료 : 殘飯 + 톱밥
3) 공기공급량 : 50L/min

TIME	수분①	수분②	수분③	수분④	PH①	PH②	PH③	PH④	TOC①	TOC②	TOC③	TOC④	TKN①	TKN②	TKN③	TKN④	C/N①	C/N②	C/N③	C/N④	
0	67.5	62.0	64.39	68.4	5.0	6.3	4.6	6.1	52.68	48.54	59.70	49.32	1.610	0.742	1.176	0.896	32.72	65.42	50.77	55.05	
24	64.6	61.5	65.00	67.3	4.3	5.9	5.5	6.6	45.42	48.66	58.98	48.84	1.036	0.812	1.386	0.938	43.84	59.93	42.55	52.07	
48	61.4	61.0	65.90	66.2	5.3	6.5	4.2	6.2	50.88	47.88	57.48	44.58	0.980	0.896	1.569	0.994	51.91	53.44	36.66	44.84	
72	60.1	59.5	64.50	64.9	4.6	6.5	5.7	5.9	49.08	47.70	55.44	44.10	1.162	1.092	1.666	1.064	42.23	43.68	33.28	41.44	
96	62.4	58.5	63.80	64.5	5.6	6.8	7.3	6.4	49.98	49.98	56.10	45.30	1.680	1.330	1.596	1.190	29.75	37.58	35.15	38.07	
120	61.0	60.3	62.70	63.5	6.5	8.1	6.6	6.9	47.70	47.70	55.80	46.38	1.582	1.302	1.694	1.246	30.15	36.64	32.94	37.22	
144	59.7	61.7	62.30	62.3	7.2	8.4	7.2	7.3	50.22	43.38	56.70	45.72	1.960	1.316	1.680	1.176	25.62	32.96	33.75	38.88	
168	59.2	61.2	60.56	61.6	8.4	8.4	8.6	8.1	48.24	46.86	57.96	46.26	1.764	1.442	1.652	1.106	27.35	31.08	35.09	41.83	
192	59.1	60.7	58.46	61.9	8.7	8.7	8.9	7.1	45.84	46.80	57.84	46.20	1.722	1.596	1.806	1.064	26.62	29.32	32.03	43.42	
216	56.3	60.8	57.28	61.9	8.7	8.7	8.2	8.8	45.54	47.22	55.69	46.56	1.624	1.624	1.806	1.078	28.04	29.08	30.83	43.19	
240	55.6	60.3			8.6	8.9		8.7	45.36	46.08		46.68	1.610	1.456		1.050	30.11	31.65		44.46	
264	54.7	59.8			8.7	8.9			44.10	44.64			1.484	1.596			29.72	27.97			
288		59.1				9.0			43.38					1.582				27.42			

TIME	온도①	온도②	온도③	온도④	CO2(%)①	CO2(%)②	CO2(%)③	CO2(%)④	CO2(L)①	CO2(L)②	CO2(L)③	CO2(L)④	SCOP①	SCOP②	SCOP③	SCOP④
0	24	22	26	27	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.133	0.218	0.088	0.248
24	38	44	43	45	0.75	1.0	0.15	1.1	190.74	313.25	127.16	356.67	0.477	0.571	0.170	0.459
48	53	54	49	51	0.8	1.3	0.7	0.8	877.73	1135.15	372.18	1014.19	0.385	0.883	0.279	0.415
72	52	59	45	57	0.8	1.3	0.8	1.1	1431.34	2090.41	773.38	1611.23	0.394	0.883	0.446	0.410
96	46	59	58	46	0.6	0.9	0.85	0.5	1998.92	3073.59	1415.84	2194.31	0.304	0.556	0.381	0.299
120	56	58	46	45	0.6	1.1	0.5	0.8	2436.23	3873.78	1964.80	2625.42	0.383	0.474	0.299	0.342
144	60	61	60	43	0.8	0.6	0.7	0.6	2988.30	4556.11	2395.91	3118.56	0.241	0.389	0.346	0.285
168	55	47	47	38	0.6	0.5	0.6	0.4	3335.67	5058.55	2893.70	3543.47	0.188	0.254	0.245	0.149
192	39	33	51	33	0.3	0.3	0.4	0.2	3577.59	5424.53	3245.47	3757.47	0.100	0.123	0.158	0.188
216	29	24	42	26	0.2	0.2	0.2	0.2	3721.81	5601.32	3470.58	3999.39	0.099	0.134	0.038	0.172
240	28	20	37	25	0.1	0.1	0.2	0.3	3864.47	5793.61	3524.86	4247.51	0.021	0.108		
264	23	12			0.1	0.3			3895.49		5950.24			0.134		
288						0.3					6142.53					

주) ① : 교반횟수(1일1회) ② : 교반횟수(1일2회) ③ : 교반횟수(1일3회) ④ : 교반횟수(1일6회)

3. 공기공급량에 따른 項目別 比較

조진 1)초기수분함량 : 62~65%
2)시료 : 殘飯 + 밥밥 + 퇴비
3)교반횟수 : 1일2회

TIME	수분①	수분②	수분③	수분④	PH①	PH②	PH③	PH④	TOC①	TOC②	TOC③	TOC④	TKN①	TKN②	TKN③	TKN④	C/N①	C/N②	C/N③	C/N④
0	65.4	65.32	65.40	62.00	5.3	6.2	6.1	35.22	50.88	47.52	1.42		0.994	0.938	0.812	1.806	24.80	56.38	53.73	32.67
24	67.1	65.60	63.80	61.50	5.0	5.2	4.4	5.5	35.52	56.04	50.40	48.48	2.30	0.994	0.938	1.484	15.44	56.38	53.73	32.67
48	68.4	66.00	65.00	61.30	5.5	6.1	5.3	5.4	27.48	57.60	50.82	43.38	1.72	1.05	2.884	1.316	15.98	54.86	17.62	32.96
72	67.3	63.54	62.50	59.60	5.9	5.4	5.9	7.4	21.66	57.60	46.92	44.04	2.20	1.19	0.686	1.456	9.85	57.60	68.39	30.25
96	68.4	61.48	59.50	56.40	8.5	8.2	7.9	7.9	31.98	53.40	49.08	43.98	2.38	1.204	1.624	1.624	13.44	57.60	30.22	27.08
120	68.6	61.50	57.60	57.10	8.9	8.7	8.2	8.6	26.82	46.80	50.56	44.58	2.27	1.218	1.400	1.778	11.82	53.40	36.13	25.07
144	67.5	61.59	58.10	51.90	9.0	8.9	8.5	8.8	36.00	47.28	46.14	48.90	2.09	1.246	1.274	1.190	17.23	46.80	36.22	41.09
168	67.0	61.51	55.00	49.80	8.8	8.8	8.5	8.6	32.76	48.00	48.30	44.82	1.65	1.274	1.498	1.288	19.86	47.28	32.24	34.80
192	67.4	60.61	51.50	48.20	8.9		8.7	8.8	37.08	47.28	48.66	46.74	1.76	1.218	1.540	1.414	20.07	48.00	31.59	33.06
216	67.4	60.55	47.90	49.20	8.8	9.0	8.5	8.9	29.52	46.62	46.80	43.98	2.14	1.162	1.638	1.498	13.80	47.28	28.57	29.36
240	68.1	60.99	50.40	48.20	8.8	8.9	8.5	8.7	33.24	45.60	48.48	42.72	2.27	1.092	1.806	1.302	14.64	46.62	26.84	32.81
264	67.0		48.50		8.8	8.6	8.8	21.60	43.80	43.50	1.88			1.750	1.400	11.98	45.60	25.03	31.07	
288							8.7	15.09	43.08	1.26					1.456					29.59
TIME	온도①	온도②	온도③	온도④	O2(L)①	O2(L)②	O2(L)③	O2(L)④	O2SCOOP①	O2SCOOP②	O2SCOOP③	O2SCOOP④								
0	24	34	28	23	0.08	0.35	0.21	0.26	0.23333	0.30741	0.07342	0.41999								
24	50	50	29	43	336.08	443.02	105.94	605.05	0.27583	0.44643	0.16301	0.86799								
48	66	58	48	53	733.28	1085.88	340.67	1854.96	0.29458	0.37594	0.47580	0.63322								
72	72	55	61	59	1157.48	1627.23	1025.82	2766.80	0.31792	0.66573	0.62412	0.76676								
96	73	47	58	55	1615.28	2585.88	1924.55	3870.94	0.26500	0.37594	0.31720	0.32953								
120	69	50	60	39	1996.88	3127.23	2381.32	4345.47	0.23208	0.22419	0.42734	0.31230								
144	59	48	52	36	2331.08	3450.07	2996.69	4795.18	0.16708	0.07049	0.16741	0.21108								
168	50	41	45	34	2571.68	3551.57	3237.76	5099.13	0.15875	0.25455	0.25112	0.53415								
192	43	36	30	22	2800.28	3918.12	3599.37	5868.30	0.11458	0	0.21734	0.26062								
216	35	46	29	19	2965.28	3918.12	3912.34	6243.59	0.09292	0.44642	0.03818	0.03876								
240	30	43	25	11	3099.08	4560.97	3967.32	6299.41	0.11667		0.04846									
264	27		22	9	3267.08		4037.10													
288																				

주)① : 공기공급량 10L/min ② : 공기공급량 20L/min ③ : 공기공급량 35L/min ④ : 공기공급량 50L/min

서정연 93-R-16

음식물쓰레기 퇴비화시설 타당성 연구

1993.12

서울시정개발연구원

원장 최상철

■ 연구진

연구총괄

유명진(도시환경연구부장)

연구책임

김갑수(도시환경연구부 수석연구원)

박후원(도시환경연구부 책임연구원)

연구담당

유기영(도시환경연구부 연구원)

길경익(도시환경연구부 연구원)

윤하연(도시환경연구부 연구원)

이진우(도시환경연구부 연구보조원)

이상모(기획조정부 수습연구원)

박창배(도시환경연구부 연구보조원)

강현주(도시환경연구부 연구원)

■ 연구자문

김정옥(서울대학교 교수)

김병채(진도종합건설주식회사부사장)

남궁완(건국대학교 교수)

윤계섭(대우엔지니어링상무)

송기문(서울특별시 청소사업본부 사업부장)

이성호(계명대학교 교수)

임재명(강원대학교 교수)

■ 연구의뢰

서울특별시 청소사업본부

행정지원

표지디자인

서울시정개발연구원 사무국

손아영(서울시정개발연구원 출판홍보실)

인쇄

유성인쇄소

※ 이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 서울특별시의
정책적 입장과는 별개의 것임을 밝혀둡니다.