

産業廢棄物の 肥料化

慎齊晟 · 韓基碩

農村振興廳 農業技術研究所

Utilization of Industrial Wastes as Fertilizer

Jae-Sung Shin and Ki-Hak Han

Institute of Agricultural Sciences

Abstract

An increased population and rapidly expanding industrial development have led to enormous amounts of various domestic and industrial wastes. The proper disposal of ever-increasing wastes is a growing global problem. Land treatment is one of the rational approaches that are environmentally safe and economically practical. It has long been practised in many sites.

Recycling of industrial wastes on agricultural land can provide better possible means for maintaining environmental quality and utilizing waste-resources. Even though industrial wastes are beneficial as soil amendment and fertilizer, they have some limitation on land application because of wide variability as well as physicochemical problem in their composition.

A direct application of solid and liquid wastes on land is being practised in Korea and some experimental results are presented. The direct application of fermentation waste on rice resulted in a 6 percent yield increase. Another organic residue from glutamic acid fermentation is widely used not only as a direct application as a liquid fertilizer but also for a raw material of organic compound fertilizer. These wastes are much promising as sources of plant nutrients, since they have large amounts of nutrients, especially nitrogen with few toxic metals.

On the other hand, fertilizers developed from inorganic industrial wastes include calcium silicate, calcium sulfate and ammonium sulfate. The calcium silicate fertilizer simply produced from slag, by-product of iron and steel manufacturing plant is one of the most successful example of

the conversion of wastes to fertilizer and slag production capacity totals to over three million MT/year. About 200,000 MT of calcium silicate fertilizer is currently applied in the paddy rice every year. Calcium sulfate, a waste from the wet phosphoric acid process is to some extent used as a filler of compound fertilizers but quite large quantities are directly applied for the reclamation of tidal flat.

緒 論

工業의 急進의인 發展과 人口의 增加로 各種 廢棄物의 量産을 招來하게 되어 各國에서는 廢棄物의 肥料化等 合理的인 處理方法에 대하여 關心을 기울이고 있다.

廢棄物 量이 적었을 때에는 그대로 放置하여도 自然의 物質循環 過程에 따라 自然消化되어 큰 問題는 없었으나 現在와 같이 廢棄物이 急速히 增加 蓄積되는 實情에서는 自然의 代謝機能은 限界에 이르러 곳곳에 廢棄物에 依한 公害를 誘發시키고 있다.

最近에는 廢棄物을 環境保全과 資源의 效率的인 利用이라는 側面에서 處理하려는 傾向이 漸増함에 따라 活用 可能한 廢棄物의 農耕地 還元(直接施用), 堆肥 및 肥料化에 대한 研究가 活潑하게 進行되고 있다.

産業廢棄物의 肥料化는 廢棄物을 活用한다는 點에서 燒却, 埋沒, 海洋投棄等 處理에 비하여 바람직한 方法이지만 여러가지 어려운점이 따르게 된다.

産業廢棄物을 肥料化 하는데 있어서 우선 考慮되어야 할점은 肥料成分의 含量, 形態와 有害成分含量等이다.

肥料成分이 있고 有害成分이 없는 廢棄物은 肥料資源化가 可能하여 土壤에 直接 施用하거나 肥料로서 商品化시킬수가 있다. 그러나 商品化시키는데 있어서는 經濟的인 問題는 除外하고라도 原料의 蒐集, 製品의 均一性 維持가 어렵다.

이와같이 産業廢棄物의 肥料資源化에는 解決해야 할 여러가지 難點이 있으나 土壤이 消化해 낼 수 있는 範圍內에서 活用可能한 廢棄物을 肥料로서 土壤에 還元시키는 것이 廢棄物의 處理 및 利用에 있어서 가장 合理的인 方法일 것이다.

本稿에서는 廢棄物의 資源化에 대한 國內外 研究의 一端을 紹介하였으며 이 分野에 關心있는 분들에게 參考가 되었으면 한다.

産業廢棄物의 肥料化

廢棄物은 一般廢棄物과 産業廢棄物로 區分할 수 있는데 一般廢棄物로는 쓰레기, 下水汚泥, 糞尿, 動物의 死體, 其他 汚物等の 燃燒灰, 汚泥, 廢油, 廢酸 및 알카리, 鑛滓等 産業活動에 따라 副生된 副産物이 産業廢棄物 範疇에 屬한다. 家畜 糞尿 및 各種 農産副産物도 産業廢棄物에 包含되며 畜産業을 하는 大型 企業에서는 家畜糞尿를 廢水處理하여 活性汚泥를 副生시키고 있다.

廢棄物은 構成成分에 따라 有機性和 無機性으로 나누고(그림 1) 다시 形態에 따라 液狀과 固狀으로 區分한다.

固狀廢棄物(Solid wastes)은 水分含量이 比較的 적고 固形分이 20%内外를 占有하게 되는데 大部分의 無機性 廢棄物이 이에 屬하며 有機性 廢棄物中에는 脫水된 汚泥가 이에 包含된다.

液狀 廢棄物(Liquid wastes)은 固形分이 5% 未滿의 液體로서 食品加工時 副生되는 廢液 등이 있다.

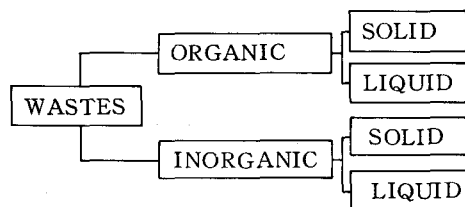


Fig. 1. Classification of Industrial Wastes.

産業廢棄物의 資源化 比率는 燒却, 埋沒, 海洋投棄에 비하여 매우 낮다. 資源化로서는 Energy 土建資材, 飼料, 肥料化 등으로 區分할 수 있으며 無機性 廢棄物은 주로 土建資材로, 有機性 廢棄物은 Energy, 飼料, 肥料資源 등으로 活用되고 있다.

無機性 廢棄物의 肥料化는 副生되는 廢棄物中의 肥料成分 含量이 肥料資源으로서 活用이 可能하

다고 判斷될 境遇 손쉽게 加工處理하여 商品化시킬 수 있다. 그 좋은 예로서 製鐵 鑛滓 副産物인 토마스인비와 珪酸質 肥料를 들 수가 있다.

有機性 廢棄物은 廢棄物을 排出하는 企業의 規模가 적은데 반하여 그 數가 많아 附加價値를 높이기 위한 獨自의인 設備投資를 할 수 없고 集團化, 協業化가 어렵다. 一般의으로 動植物性에 由來된 有機物이므로 窒素成分이 相當量 含有되어 있고 土壤中에서 容易하게 分解되어 作物에 吸收利用되고 有害物質, 重金屬 元素를 含有할 危險이 甚절 적어 肥料로서 活用 可能性은 無機性 廢棄物에 比하여 매우 높다고 하겠다.

有機性 廢棄物

有機性 廢棄物은 理化學的 特性이 多樣하고 一般의으로 水分含量이 높고 腐敗하여 甚한 惡臭을 發하여 다루기가 不便하나 有機物, 窒素等 肥料成分 含量이 比較的 많은 편으로 肥料資源으로 活用可能性이 높다.

有機性 廢棄物의 重要한 것으로는 家畜 糞尿와 農産副産物, 그리고 汚泥를 들 수 있으며 廢棄物에서 汚泥가 차지하는 比重은 매우 크다.

Table 1. General physical characteristics of various type of sludge ⁽⁷⁾

Sludge	Color	Other physical properties	Odor	Digestibility
Primary sedimentation	Gray	Slimy	Extremely offensive	Readily digested
Chemical precipitation	Black, red surface if high in iron	Slimy, gelatinous give off considerable gas	Offen.	Slower than primary. sed.
Activated sludge	Brown, dark if nearly septic	Flocculent	Inoffen.	Readily digested
Trickling filter humus	Brownish	Flocculent	Relatively inoff.	Readily digested
Digested sludge	Dark brown to black	Contains very large quantity of gas	Inoff. if thoughtly digested	Well stabilized
Septic tank sludge	Black		Off. (H ₂ S) unless very long storage time	Mostly stabilized

Table 2. Annual production of organic wastes in the United States, current use on land, and probability of increased use.⁽¹⁰⁾

Organic wastes	Total production		Current use on land (%)	Probability of increased use on land
	Dry metric tons (x 1000)	% of total		
Animal manure	158,730	21.8	90	Low
Crop residues	391,009	53.7	68	Low
Sewage sludge and septage	3,963	0.5	23	Medium
Food processing	2,902	0.4	13	Low
Industrial organic	7,452	1.0	3	Low
Logging and wood manufacturing	32,394	4.5	5	Very low
Municipal refuse	131,519	18.1	1	Low
Total	727,969	100.0	-	-

表1은 各種 汚泥의 物理의 特性을 表示한 것으로 汚泥를 肥料資源으로 評價하는데 있어 化學的인 肥料成分 못지않게 物理的인 特性이 매우 重要하다.

大部分의 工場廢水는 活性汚泥 方法으로 處理되며 副生된 汚泥는 微生物의 死體로서 Filter 또는 Screw press 로 脫水되며 이때 副生된 汚泥는 水分含量이 80%内外로서 加工하여 肥料 製品化하거나 土壤에 直接 施用되기도 하며 이를 乾燥하여 肥料 商品化한것이 菌體肥料이다.

活性汚泥는 부드러운 柔毛質 形態로 냄새가 甚하지 않고 쉽게 消化되어, 物理化學的 處理方法

인 沈澱, 撒水 濾過床, 消化汚泥, 腐敗槽等 餘他 方法으로 副生된 汚泥에 비하여 物理的 特性이 좋아 有機質肥料로서 利用性이 가장 높다.

汚泥는 流入汚水, 處理工程, 廢水處理 效率에 따라 差異가 있으며 利用하기전 貯藏 및 取扱方式에 따라서도 理化學的 生物學的 特性에 甚한 差異가 있게 된다. 美國에서의 汚泥를 비롯한 有機性 廢棄物의 生産量은 表2와 같다.

한편 우리나라에서도 産業廢棄物中에 汚泥가 차지하는 比重은 매우높아(表3) 이의 合理的인 處理方案이 切實히 要請된다.

Table 3. Industrial wastes production.⁽¹¹⁾

Act. Sludge	Oil	Acid	Alkali	Synthetic resin	Gum	Sythetic fibre	Leather	Other
4,200	48	84	48	12	24	60	24	203

+ 1,000 MT

1. 肥料化에서의 制限點

廢棄物의 農耕地 還元은 公害物質의 處理와 資源의 活用이라는 兩面性을 지니고 있어 合理的인 廢棄物 處理方法으로서 特히 有機性 廢棄物이 適切히 使用될 境遇 土壤物理性이 改善되어 土壤의 生産力을 높힐 수 있다. 特히 土壤에 有機物 供給이 어려운 實情에서는 活用 가능한 有機性 廢棄物의 손쉬운 供給方案이 模索 되어야 할 것이다.

有機性 廢棄物이 土壤에 施用되면 有機 炭素는 微生物에 의하여 分解되어 CO_2 , CH_4 , 其他 Organic acids 및 Alcohol로 變하고 有機窒素 成分은 NH_4 , NO_2 , N_2 Indoles, Skatoles 등으로 有機黃은 SO_4 , H_2S 또는 Mercaptans 로 變하게 된다.

有機性 廢棄物이 腐敗하여 惡臭을 내는 것은 特히 Indoles, Skatoles, H_2S 및 Mercaptans 成分에 起因된다.

土壤中에서 變化된 이들 成分은 植物에 利用되거나 土壤吸着, 變化되거나 아니면 土壤을 垂直으로 거쳐 地下水層에 이르게 된다.

廢棄物中에는 有機物, 植物養分外에 有害物質이 包含되는 境遇가 있어 土壤 및 地下水의 汚染이 問題로 대두되어 廢棄物의 施用量은 이들 成分含量에 의하여 規制된다.

廢棄物의 土壤施用時 一般的으로 制限되는 成分은 有機物, 窒素, 有害成分으로 大別할 수 있으며(表4) 有機物인 境遇 BOD_5 및 SS 등이 問題로 되어 있다.

BOD_5 및 SS는 特히 廢水를 土壤에 施用할 境遇 檢討해야 될 事項이다.

有害 重金屬 含量이 特別히 높지않은 廢棄物에서 그 施用量은 廢棄物 窒素含量에 主로 制限을 받게 된다.

Table 4. Summary of general limitation for waste application to soil⁽⁷⁾

Constituent	Limitation
Organic	
BOD_5	450kg/10a per application period
SS	70 kg/10a "
Nutrients	
P	15-30kg/10a-year
Total N	10-50kg/10a-year
Toxic materials	
Zn, Cu, Ni, Cd	Relate to soil CEC
Sodium	SAR < 10

窒素의 施用量은 作物의 種類, 栽培管理等에 따라 差異가 있으나 年間 施用量은 10 ~ 15kg/10 水準이므로 이 선에서 廢棄物 施用量이 決定되어야 할 것이다. 또한 廢棄物의 土壤還元에서 特

히 有意할 점은 有害 成分含量이다.

廢棄物의 肥料成分 含量을 비롯하여 一般의 特性이 肥料物質로서 適合하여도 植物 및 人體에 해로운 重金屬 成分이 限界濃度以上 들어 있다면 肥料資源으로서 活用할 수가 없다.

廢棄物中에 流入될 수 있는 重金屬으로서는 Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr 등이 있으며 一部 重金屬은 植物의 必須成分으로서 少量으로 存在할 境遇 植物生育에 必要한 微量元素로 作用할 수 있다.

이들 重金屬은 土壤에 吸着 固定되어 表層에 主로 集積되고 流失이 적어 植物에 吸收될 기회가 많아 一定量以上 賦存하면 作物 및 人畜에 害를 주게 된다.

廢棄物에 依하여 土壤中에 들어갈 수 있는 重金屬의 限界量은 土壤의 物理 化學의 特性인 土性, 有機物含量, CEC, pH에 따라 差異가 있으며 Zn, Ni等 重金屬은 陽이온 電荷를 띄게되어 土壤中의 吸着은 土壤의 CEC와 關係가 깊다.

土壤의 CEC에 따른 有害 重金屬의 土壤中 負荷量 (Loading)은 表5와 같다.

Table 5. Maximum allowable cumulative sludge metal loadings for privately owned land as a function of the soil cation exchange capacity^(2,3)

	Metal	Soil CEC(meq/100g)		
		< 5	5-15	> 15
Maximum metal addition (kg/ha)	Pb	500	1000	2000
	Zn	250	500	1000
	Cu	125	250	500
	Ni	50	100	200
	Cd	5	10	20

土壤의 CEC가 낮은 곳에서는 重金屬의 負荷量이 낮아 廢棄物中의 重金屬 含量이 높은 境遇 적은 施用量으로 滿足할 수 밖에 없다.

重金屬別 施用限界量은 Pb가 가장 높고 Cd가 가장 낮다. Zn, Cu, Ni 등은 植物에만 有毒한 成分으로 알려져 있으나 Cd는 食品連鎖에 依한 動物의 被害가 커서 各國에서는 이의 規制를 強化하고 있다.

美國의 EPA에서는 有機性廢棄物을 農耕地에 活用할 境遇 土壤中 Cd 負荷量을 '84년까지 2.0 kg/ha에서 '87年 0.5 kg/ha 水準으로 줄일 計劃이다.(表6)

Table 6. Annual cadmium limits for food chain crops⁽¹⁹⁾

Years	Annual Cd loading limitation (kg/ha)
Present to June 30, 1984	2.0
July, 1984 to Dec. 31, 1986	1.25
Beginning Jan. 1, 1987	0.5

이와같은 限界 負荷量은 土壤管理가 잘되고 있고 特히 土壤의 pH가 適正하게 維持된 條件에 限한다.

美國의 EPA에 依하면 表7과 같이 Cd의 最大 負荷量은 CEC外에 pH에 따라 規制를 받게 된다.

Table 7. Cumulative cadmium limits for foodchain crops⁽¹⁹⁾

Soil CEC (meq/100g)	Maximum cumulative loading limitation (kg/ha)	
	Soil pH < 6.5	Soil pH > 6.5
< 5	5	5
5-15	5	10
> 15	5	20

土壤의 CEC가 >15 meq/100g 以上이라도 pH가 6.5 以下와 以上인 土壤에서의 Cd 負荷量은 4 배의 差異가 있다.

以上과 같이 有機性 廢棄物의 肥料化에는 有機物, 窒素, 有害重金屬 등의 含量이 檢討되어야함을 알 수 있다. 그러나 實際로 가장 問題가 되는 것은 窒素 成分이다. 有機性 廢棄物을 施用할 境遇 廢棄物中에 含有된 窒素 分量을 換算, 窒素 含量에 맞추어 施用해야 하며 NO₃⁻ 窒素의 地下水 汚染까지 勘案하여 施用量을 調節한다면 有害 重金屬의 土壤中 流入量은 實際로 問題가 되지 않을 程度로 적다.

그림 2는 廢棄物의 一定量을 施用하였을때 廢棄物 各成分을 消化시킬 수 있는 面積을 表示한 것으로 이에 依하면 有害 重金屬은 窒素成分에 비해 15 배 程度 安全하여 特別한 境遇를 除外 하고는 一般의 窒素水準에 맞추어 廢棄物을 施用할 境遇 重金屬의 被害는 없다는 結論이 나온다.

2. 直接施用

有機性 廢棄物은 水分含量이 높고 含有成分이 낮아 肥料로 商品化 하기보다는 土壤에 直接施用

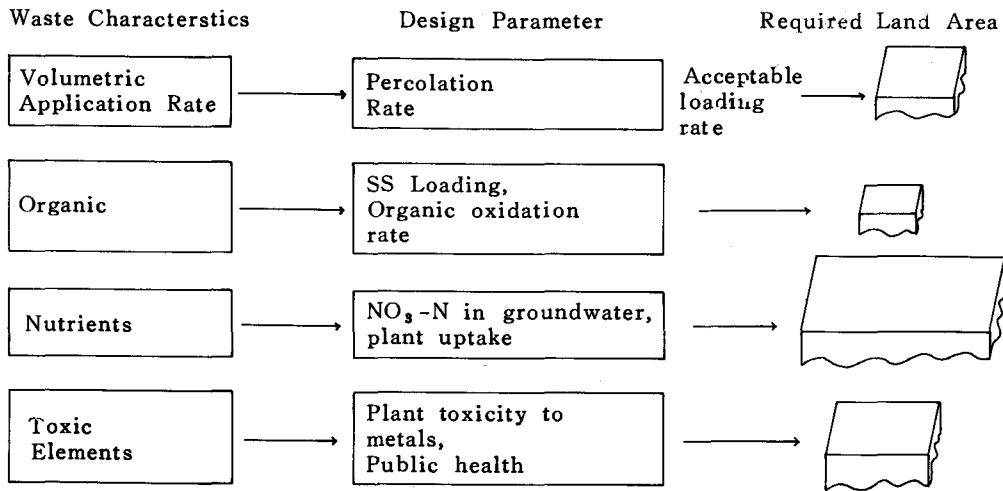


Fig. 2. Relationships between waste constituents and limiting design parameters for land application systems. (7)

하는便在이 有利한 境遇가 많다. 이에는 表面處理와 深層處理 (Trenching) 로 區分된다.

○ 表面處理

廢棄物의 表面處理는 簡便하게 處理할 수 있어 各國에서 널리 利用되고 있는 方法이나 表面水 流去에 依한 肥料成分의 流失, 냄새等이 不利한 점으로 指摘되고 있다.

美國에서는 續產地 廢墟에 土壤改良劑로 直接施用하여 土壤을 改良, 安定化시키는 方法을 採擇하고 있다. 表 8에서와 같이 續產地 土壤에 汚泥를 150 MT/ha를 施用하여 正常的인 土壤을 造成했을뿐 아니라 5年後 廢棄物 施用區의 改良포푸라의 生體量이 無處理에 比하여 2~4倍 以上 增加되었다.

Table 8. Average height and diameter growth of hybrid poplar at the end of fifth growing season (1)

Sludge treatment	Height	Diameter
metric ton/ha	m	cm
0	2.46	2.5
40	3.41	4.2
75	3.80	4.7
100	4.53	6.1

廢棄物中에 有害 重金屬含量이 多少높은 境遇라도 山林地에는 安全하며 고무 撒布하므로써 有害物을 分散 시킬 수 있고 木材의 生産量을 增加시킬 수 있는 外에 食品連鎖에 關係가 없으므로

로 이와 같은 方法은 매우 바람직한 것으로 判斷된다.

우리나라에서 有機性 廢棄物의 直接施用은 最近의 일로서 아미노산 副産醱酵液肥, 酒精廢棄物, 麥酒汚泥等의 肥效가 檢討된바 있다.

아미노산 醱酵副産 液肥는 現在 水稻作에 約 9萬톤 内外 供給되며 10a當 300ℓ를 全量基肥로 施用하고 있다. 이 液肥는 糖蜜로부터 구르타민산 소다를 만들고 남은 廢液을 消石灰와 암모니아로 中和하여 製造하며 pH 6.5 有機物 35%, 窒素 4.5%, 加里 3.0%를 含有한다.

그림 3과 같이 水稻作에서 300ℓ 全量 基肥할 境遇 對照區 (N-P₂O₅-K₂O = 15-9-11)에

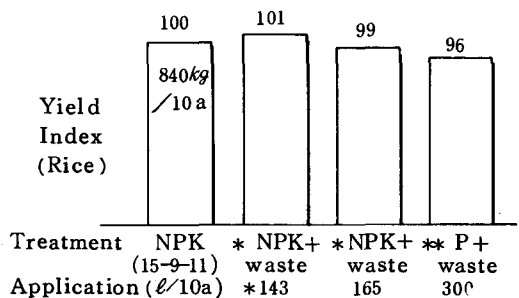


Fig. 3. Effect of liquid waste from glutamic acid fermentation on rice.

* 7.5kg of Nitrogen and 5.5kg of potassium added with chemical fertilizer.

** All Nitrogen and potassium supplied with 300ℓ liquid fertilizer. (15)

比하여 收量은 多少떨어지는 것으로 되어 있으나 窒素, 加里가 液肥로부터 充當되어 化學肥料로 營農하는 것보다 肥料 價格面에서 多少 低廉하고 會社, 代理店에서 施肥를 代行하여 주는等 잇점이 있어 施用面積이 增加되는 趨勢에 있다.

酒精醱酵 廢棄物과 麥酒 廢水汚泥는 아직 肥料로서 認定받지 못하고 있으나 食品 廢棄物로서 有害成分이 없을 뿐아니라 有機物, 窒素, 其他 肥料成分이 多量 含有되어 肥料 資源으로 有望한 廢棄物에 屬한다.

水稻에 대한 酒精廢棄物 試驗에서 廢棄物 400 ~ 800 kg/10a을 化學肥料에 追加하여 施用한 結果 5 ~ 6%가 增收가 되었다.(그림 4)

酒精廢棄物은 有機物 90%, 全窒素 6.8%의 比較的 速效性 有機質肥料로서 水稻의 경우 初期부터 肥效가 發現되어 廢棄物 施用區에서 生育이 旺盛하였고 800 kg/10a 以上區에서는 窒素 過剩에 의한 收量 減少가 甚하였다.

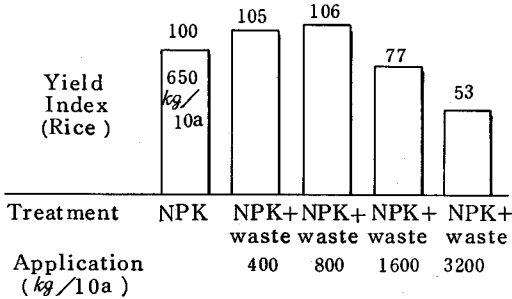


Fig. 4. Effect of alcohol fermentation wastes on rice (12,14)

麥酒工場에서 廢水 處理에 의해 副生되는 麥酒汚泥는 汚泥의 水分除去를 目的으로 石灰를 處理하여 pH 11, 窒素 3.24%, 有機物 30%로 產出되었다. 이와같은 特性으로 보아 pH가 낮은 新開墾地에서 pH 矯正 및 肥沃度 增進에 效果가 期待되어 施用結果 新開墾地에서 汚泥의 效果는 施用量이 增加할수록 收量도 增加하는 傾向이었다. (그림 5)

石灰處理 汚泥는 石灰添加로 汚泥量이 倍로 增加될뿐 아니라 알카리성으로 變해 汚泥中 암모니아態 窒素의 揮散이 誘發된다.(그림 6)

現在 麥酒汚泥는 石灰를 添加하지 않고 脫水하여 石灰處理 汚泥와 特性이 매우 다른데 窒素 6.37%, 有機物 80% 등을 含有한다. 이 汚泥로 水稻에 대한 肥效를 보면 表 9와 같다.

汚泥 452 ~ 543 kg/10a를 化學肥料를 전혀 주

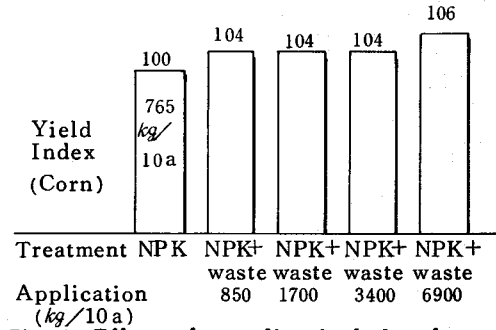


Fig. 5. Effect of raw-limed sludge from brewer's grains on corn (16)

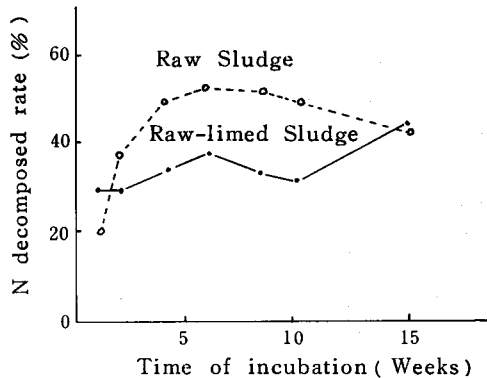


Fig. 6. N mineralization of activated sludges from brewer's grains (16)

Table 9. Effect of the use of activated raw sludge from brewers' grains on rice yields (9)

Sludge treatment (kg/10a)	No Fertilizer	7.5-10-10	15-10-10
0 (0 kg, N)	542	676	698
271 (13.5 kg, N)	606	735	794
362 (18.10kg, N)	663	759	815
452 (22.60kg, N)	670	791	780
543 (27.15kg, N)	771	758	761

지 않고도 化學肥料 (N-P₂O₆-K₂O = 15-10-10 kg/10a)와 對等한 收量을 내고 있다.

한편 廢棄物의 表面處理로는 固形 廢棄物外에 液狀 廢棄物이 있으며 2次 處理된 廢水나 放流水를 農耕地에 灌溉하므로서 좋은 效果를 얻고 있다.

放流水의 表面處理는 肥效外에 灌溉效果를 期待할 수 있어 灌溉가 必要한 곳에서는 앞으로 이에 대한 活用이 크게 期待된다.

Table 10. Crop yields at various levels of application of waste water⁽¹⁾

Crop	Waste water application rates, cm/week		
	0	2.5	5.0
	metric tons/ha		
Alfalfa	4.9	8.3	11.5
Red clover	5.5	11.0	10.3
Corn stover	8.0	16.3	19.0
Corn silage	9.7	14.4	13.5
Reed canarygrass	3.2	-	11.3

Growing season 5 cm/week application N 232 kg, P₂O₅ 245 kg, K₂O 254 kg/ha

表 10은 廢水를 2次 處理한 放流水를 生育期間中 5cm/week 施用한 結果로서 生育期間동안 窒素 232kg/ha, 磷酸 245 kg/ha, 加里 254 kg/ha에 相當하는 肥料成分이 供給되어 無處理區에 比하여 크게 增收되었다. 이것은 10-10-11 複合肥料를 每年 2.2 MT/ha 施用하는 것과 거의 같은 量이 된다. 收量增加는 灌水量, 時期, 降雨量에 따라 差異가 있었으나 放流水 處理에 의한 結果를 10年間의 收量を 통해서 보면 Corn silage 5~130%, Red clover 85~191%, Alfalfa 79~139%가 增收되었다.

汚泥를 土壤에 施用할 境遇 消化汚泥(Digested Sludge)가 生汚泥(Raw Sludge)에 比하여 有利하다.

밭에서 2個月間 消化한 汚泥와 生汚泥의 有機物 變化狀態를 보면 表 11과 같다. 生汚泥에서 有機物の 分解가 더 많이 이루어져 이때 發生된 有機酸이나 gas가 作物에 被害를 줄 憂慮가 있다. 또한 廢棄物의 特性에 따라 微生物 活動에도 影響을 주어 表 12에서와 같이 醱酵汚泥에서 微生物 活動이 가장 旺盛한 것으로 나타났다. 이는 醱酵汚泥가 易分解性 有機物 및 微生物活動에 알맞는 養分을 많이 含有한 때문이라고 판단된다.

Table 11. Sludge decomposition in soil over two months⁽⁸⁾

Type of sludge	Original sludge organic matter (%)	Sludge organic matter lost (%)
Digested sludge	52	10
Raw sludge	62	28

Table 12. Changes in microbial population in paddy soils after application of organic wastes⁽¹¹⁾

Treat.	Bacteria	Actino-mycetes	Fungus	Algae
	×10 ⁵	×10 ⁵	×10 ³	×10 ⁴
Control	70	2	5	5
Textiles	158	3	311	16
Paper mill	495	20	5	5
Tannery	840	5	4	16
Ferment.	800	301	320	7000

○ 深層處理

이 方法은 廢棄物 處理와 利用을 同時에 考慮한 方法으로 일시에 많은 量을 處理할 수 있고 表面水에 의한 流失이 없으며 냄새가 없고 植物 養分 供給이 可能한 點이 있어 특히 重粘土의 土層 改良으로 適合한 것으로 보인다. 다만 Leachate에 의한 地下水 汚染이 問題로 되어, 粗粒質土壤에서는 滲透速度가 빨라 處理窒素의 還元에 의한 Nitrate 態 窒素가 地下水를 汚染시키는 問題에 有意하여야 할 것이다.

廢棄物을 土壤에 深層處理한 例를 보면 石灰處理한 汚泥(表 13)를 幅과 깊이를 60cm, 溝間隔 60cm 溝에 40cm 깊이로 채우고 그 위에 土壤 20cm를 덮은 다음 時期別로 土壤中 各이온의 이동 事項을 調査하였다. 表 14에서 보는 바와 같이 NO₃⁻ 및 Cl⁻等 陰이온의 移動이 큰 것으로 나타나 廢棄物의 深層處理에 앞서 地下水 汚染에 대한 注意가 要請된다.

Table 13. Chemical composition of undigested limed sludge⁽¹⁸⁾ (dry weight basis)

Chemical	Concentration
Total N (%)	3.48
Total organic N (%)	3.32
Ammonium N (mg/kg)	1600
Nitrate-N (mg/kg)	0
Solids (%)	19.0
Volatile solids (%)	55.0
pH	11.2

深層處理에서 施用量 過多에 의한 植物이 받는 被害는 消化안된 汚泥로부터 過剩의 암모니아 發生 및 높은 pH(石灰處理 汚泥)에 起因될 수 있다. 그러나 深層處理에 의한 옥수수의

Table 14. Nitrogen and chloride concentration, pH, and percent solids in undigested limestabilized sludge entrenched in April, 1972⁽¹⁸⁾

Zone of sampling (cm)	Date of sampling	Concentration (mg/kg)				pH	Solids (%)
		Total N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻		
20-40	8/72	-	899	280	-	11.3	-
	12/72	-	303	-	-	7.9	-
	11/73	4,520	28	1,871	3,571	7.3	47.0
	6/76	1,900	4	48	30	7.5	83.6
40-55	8/72	-	2,150	100	-	7.8	-
	11/73	9,040	2,523	101	4,900	7.4	34.0
	6/75	11,700	466	<1	349	7.5	34.8
	6/76	1,570	3	45	36	7.5	81.2

重金屬含量은 化學肥料 施用區에 比하여 높지않아 深層處理에 의한 重金屬 被害는 看過할 수 있는 것으로 解析된다.

3. 堆肥 商品化

廢棄物을 加工處理하여 肥料로서 附加價値를 높혀 商品化하는 것으로는 Composting을 들수 있다.

Raw Sludge을 Composting 할 境遇 惡臭 (malodors) 病蟲卵 (Human pathogens) 不適合한 物理的 特性 (Undesirable physical properties) 등이 改善되어 公害問題가 誘發되

지 않는등 直接施用에 比하여 여러가지 長點을 갖고 있다. 堆肥化는 各國에서 널리 活用되는 方法으로 美國의 Beltsville Composting 方法은 그 좋은 例의 하나이다. (그림 7)

汚泥를 다루는데 있어서 제일 큰 問題는 水分이 많다는 點으로 汚泥에 乾燥한 톱밥을 섞어 腐熟過程에서 水分 및 C/N率을 맞추어 水分除去를 쉽게 하고 良質의 堆肥를 製造하는 方法이 Beltsville Composting이다. (그림 8)

우리나라에서도 톱밥 또는 왕겨와 汚泥 또는 糞尿殘渣를 混合 腐熟시킨 副産有機質 肥料가 近來에 많이 流通되고 있다. 表 15는 現在 流通

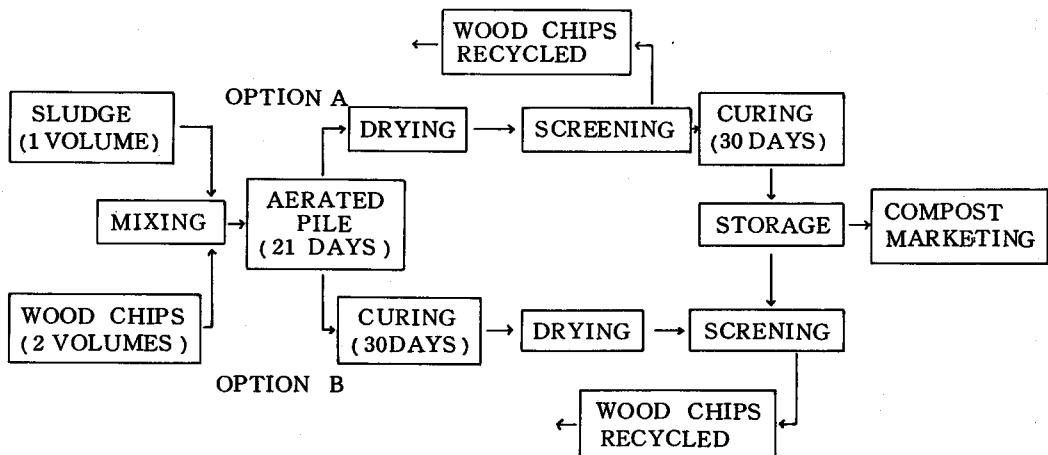


Fig. 7. Flow diagram of the Beltsville Aerated Pile Method and various unit operation for composting sewage sludge.⁽¹⁰⁾

되고 있는 有機廢棄物을 原料로 製作한 副産物 肥料의 種類 및 生産量을 表示한 것으로 이는 앞으로 增加될 趨勢에 있다.

廢棄物을 長期間 連用할 境遇 重金屬이 土壤에 蓄積할 可能性이 있다.

이와 같은 例는 Sludge farming을 오랫동안

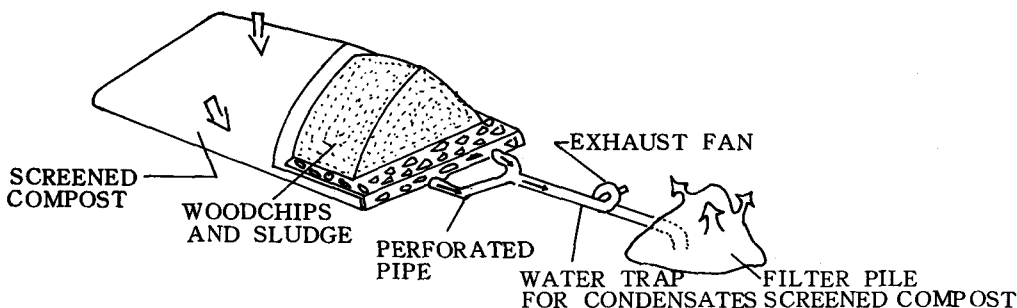


Fig. 8. A schematic diagram of the Beltsville Aerated Pile Method for composting sewage sludge⁽¹⁰⁾

Table 15. Organic fertilizer production capacity (for sale)⁽¹²⁾

Kind	No. of plants	Capacity (MT/year)
Bone meal	1	642
Mixed oil cake	2	5,840
Glutamic fermentation		
Solid	2	375,000
Liquid	2	103,600
Dried chicken droppings	23	43,966
Treated human wastes	7	12,235
Leaf litter	5	6,540
Compost	2	2,555

實施한 歐美에서 볼 수 있으며 70~100年間 施用한 곳에서 重金屬의 蓄積 被害가 一部 發生되었다.

또한 鹽 (Na, K)을 多量 投與하는 企業 畜産에는 廢棄物에 混入된 鹽類에 의한 障害가 있을 수 있고, 특히 Cu等 藥品으로 投與되는 重金屬 被害도 考慮해야 될 것이다. 廢棄物 施用에 의한 被害는 施用 時期, 施用量을 調節 可給의 播種前 또는 移植, 移秧前에 施用하도록 해야 될 것이다.

無機性 廢棄物

1. Slag

우리나라에서 無機性 産業廢棄物의 肥料化는 製鐵 鑛滓인 Slag가 嚆矢로 1963년부터 珪酸質 肥料로 活用 되어왔다. 現在 流通되고 있는 珪酸質 肥料는 高爐鑛滓인 徐冷鑛滓로 鐵鑛石과 石灰石을 混合熔融하여 銑鐵을 뽑고 殘渣를 粉

Table 16. Chemical composition of furance slag from iron and steel manufacture (%)⁽¹³⁾

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	S	MnO	TiO ₂
Total	34.52	38.02	20.27	0.54	7.66	1.0	0.7	1.5
1/2 HCl	34.30	37.01	16.64	0.16	10.21	-	-	-
N NaOAC	27.63	29.09	14.87	0.16	4.66	-	-	-

Table 17. Amount supplied and production capacity of slag fertilizer.⁽¹¹⁾ (1,000 MT)

	1979	'80	'81	'82	'83
Suppl. amount	256	218	244	264	280
Prod. Ca.	1,675	1,732	2,499	2,740	2,630

碎하여 肥料로 한것으로 CaO, SiO₂ 등이 主成 成分인 珪酸石灰 肥料에 屬한다.(表 16)

製鐵工業의 發展으로 鑛滓 生産量은 앞으로 크게 增加할 것으로 期待되며(表 17), 現在 鑛滓로부터 生産되는 珪酸質 肥料는 20萬톤 内外

2. 石膏

우리나라에서 製鐵鑛滓 다음으로 많이 生産되는 副生石膏는 磷鑛石으로 부터 磷酸溶液

1 ton 生産時 約 3 ton 이 副生되며 우리나라 肥料 3 社의 年間 石膏 生産可能量은 170 萬 ton 에 이른다. (表 18)

Table 18. Production capacity of calcium sulfate (II) (1,000 MT)

Namhae Chemical	Yeong Nam Chemical	Chinhae Chemical
1,000	460	250

石膏는 S(黃)를 비롯 Ca等이 多量으로 含有되어 있어 石灰肥料 또는 硫黃 肥料源으로 活用이 可能할 것이다. (表 19)

副生 石膏는 干拓地의 初期 除鹽 過程時에 使用할 수 있으며 우리나라를 비롯하여 和蘭等 干拓事業이 活潑하게 이루어지는 國家에서는 副生 石膏의 干拓地 除鹽을 위한 土壤改良劑로 活用되고 있다.

3. Fly ash

火力 發電所 등에서 副生되는 Fly ash는 現在 約 160 萬 ton으로 推定되나 그 量은 점점 增加 될 趨勢에 있다.

Table 19. Chemical composition of calcium sulfate. (%) (II)

CaO	SO ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	H ₂ O
29.8	42.8	10.0	1.08	0.26	0.22	0.06	30.1

Fly ash는 發電所에서 微粉炭을 爐內에서 約 1,500 °C의 高溫으로 完全 燃燒시켜 石灰中의 灰分이 熔融되어 煙道에서 急激히 冷却된것 中에 微細部分을 捕集한 것이다. 主成分은 珪酸으로 되어 있어 (表 20) Fly ash의 珪酸質肥料로서 活用可能性에 대한 研究가 遂行되었으나 ash中 珪酸은 難溶性으로 肥料 資源으로 活用性이 낮은 것으로 밝혀졌다.

Table 20. Chemical composition of fly ash (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
56.16	30.24	3.38	0.96	2.5	0.99

그러나 最近 日本에서 Fly ash에 칼리원(K₂CO₃, KOH, Mg(OH)₂) 등을 添加하여 800 °C에서 燒成하여 ash中 難溶性 珪酸을 可溶化 시키는 方法으로 Fly ash의 肥料化를 試圖하였다. 이 肥料는 珪酸칼리 肥料로 登錄돼 冷害地 水稻作에 推薦되고 있다.

4. 副産消石灰

副産 消石灰는 아세틸렌가스 生産工程中에 主로 副生되는 것으로 石灰石肥料中에 相當量을 占有하고 있다. 특히 아세틸렌 副産 石灰는 未反應의 카바이트가 混入될 可能性이 있어 이와같은 石灰肥料는 특히 播種前 또는 移植 오래前에 土壤에 撒布 充分히 反應할 수 있도록 施肥하여야 한다.

無機性 廢棄物은 腐敗性이 없고 水分含量이 적어 다루기가 便利 할뿐 아니라 資源으로 活用 價値가 적을 境遇 埋立等이 容易하여 有機性 廢棄物에 비하여 處理하기가 쉽다.

結 論

最近 産業의 發展과 經濟의 高度成長 人口의 膨脹으로 各種 廢棄物이 大量으로 排出되어 自然의 物質循環 System이 破壞되고 있으며 廢棄物의 蓄積으로 環境汚染이 深刻한 社會問題로 擡頭되어 廢棄物의 合理的인 處理가 切實히 要請되고 있는 實定이다. 또한 1973年 石油波動과 그 以後 여러차례의 Energy 危機로 廢資源 活用에 대한 關心이 높아졌으며 産業廢棄物의 資源化 研究가 여러 方面에서 進行되고 있다.

産業 廢棄物의 肥料 資源化는 活用可能한 廢棄物을 直接 土壤에 施用 또는 附加 價値를 높혀 商品化하여 肥料로서 施用하는 方法이 있으며 現在 많은 量의 有機性 廢棄物이 肥料로서 土壤에 還元되고 있다. 우리나라에서는 産業 廢棄物은 環境 保全法等에 따라 廢棄物 處理專擔業者가 收去하여 燒却 또는 埋沒 등의 方法으로 處理하고 있다.

環境保全 및 資源의 合理的인 利用面에서 可能한 한 有用한 廢棄物의 土壤還元이 簡便한 方法으로 이루어질 수 있도록 水分除去等 現案 問題點에 대한 研究가 強化되어야 할 것이며 食品等에 由來된 廢棄物은 有害成分이 含有되어 있지 않아 肥料 資源化가 可能할 것이다.

參 考 文 獻

1. Beatty, M. T., G. W. Petersen and L. D. Swindale (eds) 1979. Planning the uses and management of land. Amer. Soc. Agron. P. 1028.
2. Chaney, R.L. 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents. P. 129-141. In proceedings of recycling municipal sludges and effluents on land. Champaign, Ill.
3. Dowdy, R.H., R.E. Larson, and E. Epstein 1976. Sewage sludge and effluent use in agriculture, pp 138-153. In land application of waste materials. Soil Conserv. Soc. of Am., Iowa.
4. Elliott, L.F. and F.J. Stevenso(eds) 1977. Soils for management of organic waste and water. pp 672 Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
5. Han, K.H. 1978. Utilization of industrial wastes for organic fertilizer use. Jour. Kor. Soc. Soil Sci. and Fert. 11: 195-209.
6. Jeong, G.Y., J.S. Shin, Y.S. Park, and K.H. Han 1981. Use of industrial wastes as sources of organic fertilizer I. Resource survey. Jour. Kor. Soc. Soil Sci. and Fert. 14: 83-87.
7. Loehr, R.C., W.J. Jewell, J.D. Novak, W. W. Clarkson, and G.S. Friedman 1979. Land application of wastes (Vol 1) Van Nostrand Reinhold C. PP 308.
8. Menzies, J.D., 1973. Composition and properties of sewage sludge. In proceeding of the 28th annual meeting of the soil conservation Soc. of America. Hot Springs, Ark.
9. Oh, W.K., C.S. Lee and H.K. Kwak. 1984. Effect of sewage sludge application on the yield in paddy soil. Jour. Kor. Soil Sci. and Fert. (in press)
10. Parr, J.F. and G.B. Willson. 1980. Recycling organic wastes to improve soil productivity, Hortscience. 15:4-8.
11. Shin, J.S. 1982. Industrial wastes and their potential in Korea. In the recycling of industrial wastes for agriculture. ASPAC/FFTC, Tokyo, September 6-11.
12. Shin, J.S. 1983. Present utilization of organic wastes as fertilizer in Korea. In recycling organic matter in Asia for fertilizer use. APO. New Delhi.
13. Shin, J.S., D.K.Lim, and M.S.Kim 1983. Utilization of blast furnance slag quenched with water as a source of silicate fertilizer. I. Physico-chemical and mineralogical characteristics. Jour. Kor. Soc. Soil Sci. and Fert. 16:343-346.
14. Shin, J.S., D.K.Lim, and G.S.Seong. 1983. Use of industrial wastes as sources of organic fertilizer II. Effect of activated sludge from alcohol fermentation on rice. Jour. Kor. Soc. Soil Sci. and Fert. 16: 256-259.
15. Shin, J.S., K.S.Seong, and Y.D.Park. 1983. Effect of application rate and time of glutamic fermentation liquid fertilizer on rice yields. Research report of Institute of Agri. Sci. PP 43-50.
16. Shin, J.S. 1984. Use of industrial waste as sources of organic fertilizer. III. Effect of lime added sludge on upland crop of corn. Jour. Kor. Soc. Soil Sci. and Fert. 17: 51-54.
17. Sikora, L.J. and D. Colacicco. 1980. Entrenchment of sewage sludge-a disposal-use alternative, P.80-82. Civil Engineering ASCE (April).
18. Sikora, L.J., N.H. Frankos, C.M. Murray and J.M. Walker. 1979. Effects of trenching undigested lime-stabilized sludge. J. Water Poll. Control. Fed. 51: 1841-1849.
19. Walker, J.M. (1980). Government regulations on the use of municipal organic materials on agricultural lands. Hortscience. 15:9-10.