

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구의 배경 및 목적

### 1. 연구의 배경

서울시 上水道 施設容量은 1976년에 216만톤/일에서 1996년 619만톤/일로 20년 사이에 2.9배 이상 증가하였다. 생산량이 증가함에 따라 정수슬러지의 발생량도 증가하였다. 정수슬러지(정수장 발생슬러지)란 정수처리과정인 沈澱 및 逆洗滌工程에서 현탁물이 침전 또는 역류된 찌꺼기를 말한다. 이러한 슬러지를 과거에는 처리 없이 한강으로 무단 방류하였다. 그러나 최근 한강의 水質改善과 環境保護에 대한 시민들의 의식이 높아지면서 무단 방류에 대한 規制가 강화되었다. 즉 1992년에 수질환경보전법 시행규칙에 의해 정수능력 1000m<sup>3</sup>/일 이상의 정수시설이 廢水排出施設로 규정되어 각 정수장에 슬러지 處理施設을 설치하게 되었다. 그러나 정수슬러지 처리시설은 시설공사기간 및 豫算確保 등으로 일시에 슬러지 처리시설을 설치하지는 못하고 최근까지 시설을 설치하고 있다.

슬러지를 義務的으로 처리·처분하여야 하고, 슬러지 발생량도 증가함에 따라 보다 효율적인 슬러지의 처리방법에 대한 관심이 높아지게 되었다. 현재 슬러지는 85% 이하(폐기물관리법 [별표4] 폐기물의 수집·운반·보관·처리에 관한 구체적 기준 및 방법)로 탈수하여 首都圈埋立地에 생활폐기물과 함께 혼합·매립하고 있다.

최근 몇년 동안 수도권매립지의 슬러지 반입비용이 대폭 상승하였으며, 매립처분시 슬러지의 높은 含水率에 의한 작업의 불편성 때문에 수도권매립지에서는 슬러지를 마사토나 연탄재로 혼합 처리하여 반입하도록 요구하고 있어 슬러지 처분 비용은 더욱 높아질 것이다. 또한 '97년 7월에 개정된 폐기물관리법 [별표4]에 의하면 2001년 1월 1일 이후에는 배출업소의 有機性오수를 바로 매립하여서는 안된다고 규정하고 있다. 정수장 발생슬러지가 유기성오수에 포함되지 않더라도 앞으로는 작업의 어려움 때문에 현재처럼 매립지에 바로 매립하기가 어려워질 것이다. 그리고 수도권매립지 주민위원회에서도 정수슬러지 케임을

중간처리 없이 직접 반입하지 못하도록 요구하고 있다. 이 경우 슬러지의 處分費用은 더욱 높아지게 될 것이다. 이러한 요인으로 인하여 정수슬러지 케익의 실용가능한 재활용방안이 모색되고 있으며, 다양한 활용 방안이 필요하게 되었다.

## 2. 연구의 목적

정수슬러지는 음식물 쓰레기에 비해 排出原이 비교적 한정되어 있고, 發生 性狀도 일정한 편이다. 따라서 재활용을 위한 기술개발 가능성은 높다고 본다. 특히 음식물 쓰레기의 再活用 또는 減量化에 보인 관심 중 약간의 비용을 정수슬러지의 재활용에 투자하면 實用possible한 方案이 모색될 수 있을 것이다.

현재 슬러지 발생량을 고려한 淨水處理方法, 슬러지 감량화 및 재활용 방법은 거의 초보적인 수준이다. 따라서 실용화가 가능한 슬러지의 재활용방안이 제시되지 못하고 있다. 또한 장래 淨水슬러지를 매립지에 바로 매립하기 어려워질 경우를 고려하여 실용가능한 재활용방안이 모색되어야 한다.

본 연구의 목적은 정수슬러지의 再活用 可能性을 모색하고, 실용가능한 처분방안 및 制度的 改善方案을 제시하여 처리비용을 節減하는 데 있다.

## 제 2 절 연구의 內容 및 範圍

### 1. 연구의 내용

#### (1) 정수슬러지의 處理·處分 現況

정수슬러지의 배출원, 처리과정, 정수슬러지의 성상 및 발생량, 정수슬러지의 처분비용 등 현황을 조사하였다.

- 서울시 정수슬러지의 排出原 및 處理工程을 조사하였다.
- 淨水슬러지 性狀은 서울시수도기술연구소의 협조를 받아 분석하였다.
- 슬러지 현재 발생량 및 장래 발생량을 推定하였다.

## (2) 처리·처분시스템에서 減量化 및 再活用

정수공정에서 발생량 감량화, 하수처리장과 연계처리, 탈수에 의한 감량, 재활용시스템 고찰 및 안정화처리 등을 조사하였다.

- 정수공정에서의 슬러지 감량화는 응집제 주입을 저감에 따른 감량을 제시하였다.
- 하수처리장과 連繫處理는 國內·外 實施事例 등을 위주로 가능성을 검토하였다.
- 재활용시스템 고찰 및 안정화처리 등을 개략적으로 살펴보았다.

## (3) 외국의 정수슬러지 처분

일본의 슬러지 처분 및 미국의 슬러지 농·원예용토 활용에 대해 조사하였다.

- 日本의 슬러지 처분은 東京都 및 名古屋市, 千葉縣에 대해서 조사하였고, 수도권 포설토로 再活用方案에 대해 조사하였다.
- 미국 정수슬러지의 농·원예용토로의 適用에 대해 조사하였다.

## (4) 실용가능한 處理·處分방안

기본방향 및 실용가능한 재활용방안, 經濟性 평가, 再活用 추진방안에 대해 연구하였다.

- 基本方向에서는 재활용을 위한 기본방향을 제시하였다.
- 實用可能한 再活用方案에서는 복토재, 시멘트 원료, 수도권 포설토, 원예용토, 매립성토재로의 활용방안을 제시하였다.
- 經濟性 評價는 슬러지 매립지의 현 반입단가에 대한 실용가능한 재활용방안의 제조비용 및 유지관리비용 등을 분석·제시하였다.
- 재활용 추진방안에서는 실용가능한 재활용방안의 細部 推進方案을 제시하였다.

## (5) 제도적 개선방안

제도적 개선방안은 실용가능한 재활용 방안으로 제시된 복토재, 시멘트 원료, 수도권 포설토, 원예용토, 매립성토재로 활용에 대해 현 제도의 개선방안을 제시하였다.

(6) 정책 건의

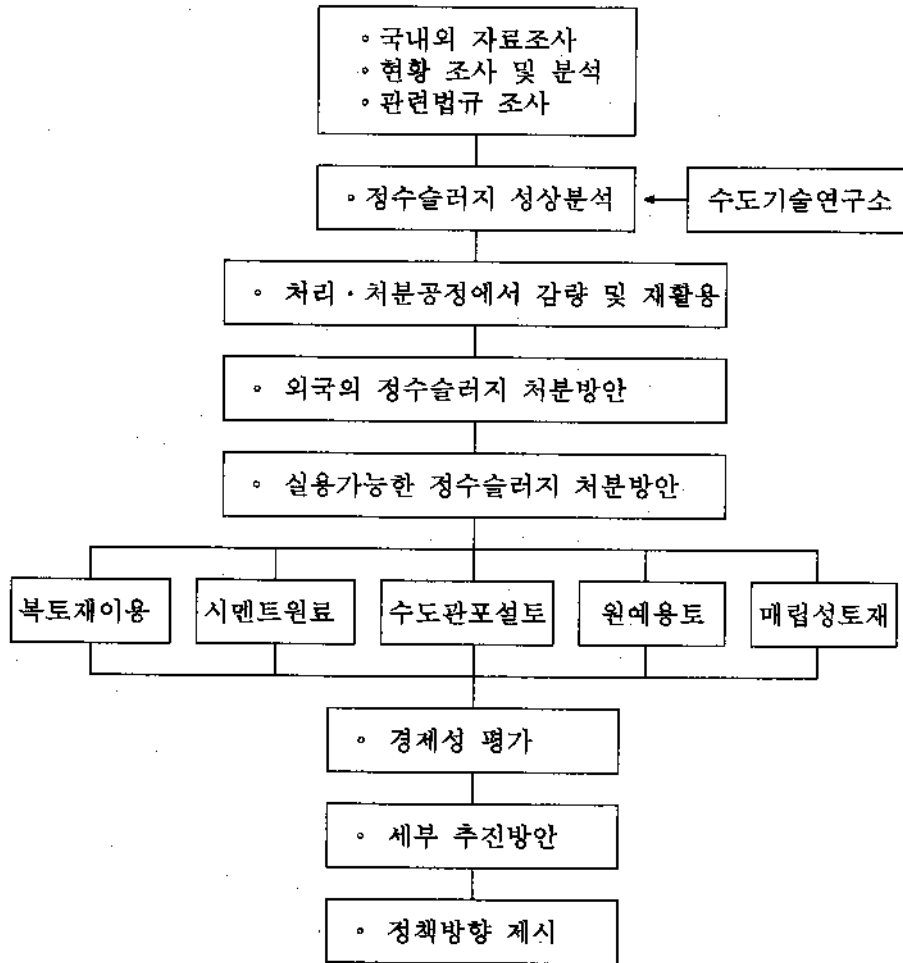
위의 사항을 종합하여 정수슬러지의 실용가능한 재활용방안에 대한 정책을 건의하였다.

2. 연구의 범위

본 연구의 범위는 서울시 정수장에서 발생하는 슬러지를 대상으로 하였다.

제 3 절 연구 수행방법

연구 수행방법은 1) 서울시 정수장 슬러지의 發生現況 및 關聯法規 등 현황을 분석하고, 2) 정수슬러지 性狀分析을 서울시 水道技術研究所의 협조를 받아 실시하여 성상에 適合한 재활용방안을 선정하고, 3) 淨水處理工程에서의 슬러지 감량방안을 조사하고, 4) 외국의 정수슬러지 처분방안 특히 東京都 및 名古屋市의 처분방안을 조사하고, 5) 현 슬러지의 매립지 搬入單價에 대한 복토재 및 시멘트 원료 등 각 방안에 대한 제조비용 및 유지관리 비용을 분석하여 경제성 분석을 실시하였다. 이러한 경제성 분석으로 각 재활용방안이 실용가능한 방안이 되는지 분석하였다. 6) 또한 이들 방안의 세부 추진방안을 제시하였다<그림 1-1 참조>.



<그림 1-1> 연구수행 모식도



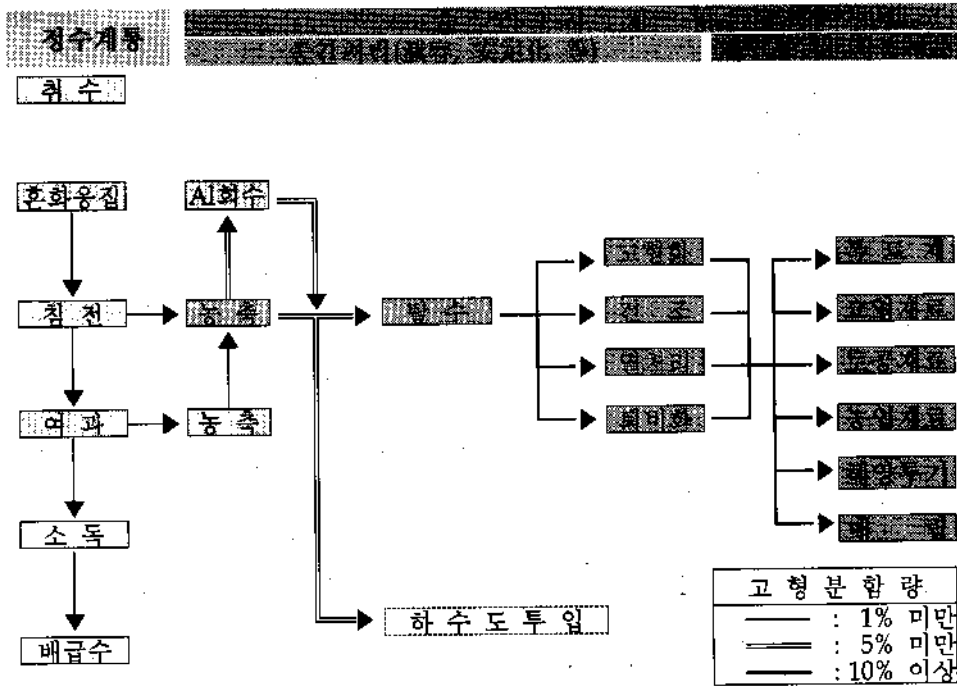
## 제 2 장 淨水슬러지 處理·處分 현황

### 제 1 절 淨水슬러지 發生 및 處理

#### 1. 정수 처리 및 슬러지 排出 工程

##### 1) 淨水處理工程

일반적으로 정수처리 공정은 약품에 의한 혼화, 응집, 침전, 여과 및 염소에 의한 소독 처리로 이루어지고 있다. 또한 필요시 單位工程에 소석회와 분말활성탄이 첨가되기도 하고 酸化, 吸着 및 생물분해를 이용한 高度處理가 이루어지기도 한다. 현재 서울시 상수도의 정수처리는 응집·침전 후 급속모래여과와 염소살균 방식으로 진행되고 있다<그림 2-1 참조>.



<그림 2-1> 정수처리 및 슬러지처리 계통도

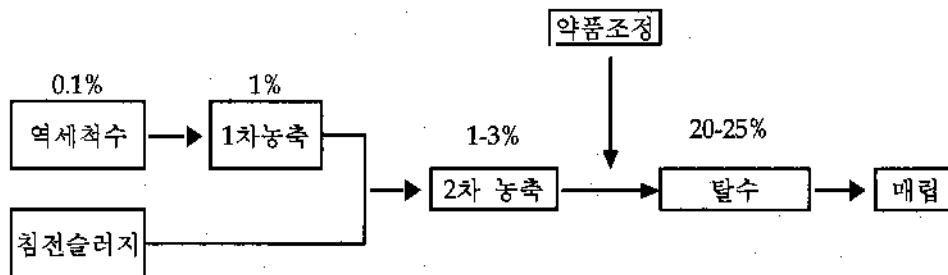
## 2) 슬러지배출공정

슬러지 排出은 침전지에서 침전된 찌꺼기와 여과지에 억류된 현탁물질을 역세척할 경우 발생된다. <그림 2-1>처럼 침전지와 여과지에서 발생된 슬러지는 濃縮·脫水처리 후 매립되거나 재활용되고 있다.

## 2. 정수슬러지(배출수) 處理工程

정수처리공정에서 슬러지 처리는 濃縮, 調整, 脫水 및 處分의 4단계로 이루어지고 있다. 정수슬러지는 정수시설과 그 운전조작 등에 따라 배출수(슬러지)의 量 및 質이 달라진다. 원칙적으로 정수슬러지에는 ① 보통 침전지와 약품 침전지(고속응집 침전지도 포함)에서의 슬러지, ② 급속여과지에서의 역세척수, ③ 철 및 망간제거용 濾過施設에서의 역세척수, ④ 완속여과지에서 제거된 표층모래의 洗淨排水, ⑤ 침전지에서의 슬러지 등이 포함된다.

일반적으로 排水(슬러지)는 정수처리공정 중 沈澱슬러지와 여과지의 逆洗滌水를 뜻한다. <그림 2-2>는 배출수(슬러지) 처리공정을 보이고 있다.



<그림 2-2> 정수슬러지(배출수)처리 공정

처리공정을 보면 첫째, 容積을 감소시키기 위해 농축공정이 이루어진다. 즉, 농축을 통해서 슬러지내의 水分含量을 줄이고 固形物含量을 증대시켜서 슬러지의 용적을 감소시키는 공정이다. 逆洗滌水는 고형물이 너무 작아 일반적으로 1차, 2차 농축이 필요하다. 현재 중력식 농축공정이 주로 사용되고 있다. 둘째, 藥品 調整이 필요하다. 슬러지 조정은 탈수



성을 향상시키기 위해 폴리머(고분자 전해질)의 투입에 의해 이루어진다. 세제, 탈수공정이다. 조정후 슬러지내의 물리적 結合水는 탈수를 통해 제거하여 슬러지의 용적을 감소시킨다. 현재 많이 채택되고 있는 것은 機械式脫水 方式인 벨트프레스이다.

이와 같이 탈수된 슬러지는 폐기물 처리업자에 위탁하여 수도권매립지로 운송, 매립처분되고 있다.

### 3. 정수슬러지 특성

#### 1) 서울시의 경우

응집·침전공정에서 濁度物質을 제거시키기 위해 주로 알루미늄 凝集劑를 사용하고 있는데, 이 때문에 정수슬러지를 alum 슬러지라고도 한다. 서울시 정수장별 슬러지의 성상은 <표 2-1>에 나타난 방법으로 분석하였으며, 그 결과를 <표 2-2>에 제시하였다.

여기서 含水率은 슬러지케익 중에 포함된 수분을 말하며 강열감량은 슬러지케익을 600℃에서 고온 건조시켰을 때 휘발하여 없어지는 양을 말하는데 대략 유기물의 양을 나타내는 指標로 사용되고 있다.

<표 2-1> 탈수케익의 성분 분석방법

항 목	실 험 방 법	분 석 기 기
pH	水質汚染工程試驗法(유리전극법) (탈수케익의 여액을 측정)	pH meter
함 수 율	廢棄物處理工程試驗法 (시료 약 20g을 105-110℃에서 항량이 될 때까지 건조)	
강열감량	폐기물처리 공정시험법 (시료 약 20g을 600±25℃에서 30분간 강열)	
무 기 물	EPA Method SW-846 Method 3051(Solid) (시료 약 0.5g을 질산 5mL, 염산 15mL, 불화수소 3mL를 넣고 30분간 전처리를 함)	전처리기기 : Microwave Digestion System 측정기기 : ICP

주) Si는 무기물 측정을 위해 전처리된 시료에 대하여 ICP로 분석하였음.

<표 2-2> 정수장별 슬러지 性状

구분	광암		암사		구의		뜯도		
	범위	평균	범위	평균	범위	평균	범위	평균	
pH	6.9~7.2	7.1	6.7~6.9	6.8	6.9~7.0	6.9	6.7~7.1	7.0	
함수율(%)	72.2~83.0	75.5	68.9~87.0	77.8	72.0~79.6	76.0	72.0~85.7	78.0	
강열감량(%)	6.7~9.8	7.7	4.2~5.2	4.8	4.2~6.1	5.2	4.5~6.5	5.6	
무 기 물 의 화 학 적 조 성	SiO <sub>2</sub> (%)	43.6~49.0	46.5	43.6~46.8	45.1	48.0~59.4	52.9	31.8~48.0	42.0
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	36.8~43.5	40.4	37.2~45.2	40.5	29.9~36.0	32.8	35.4~55.2	42.8
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2.9~8.0	5.8	3.1~8.3	6.5	3.4~7.9	6.28	5.7~7.8	7.05
	K <sub>2</sub> O(%)	1.8~4.5	3.5	2.1~5.3	3.6	3.1~4.9	3.95	3.3~4.7	3.9
	MgO(%)	0.7~2.7	1.3	0.7~2.0	1.45	0.8~2.0	1.48	1.1~2.0	1.5
	CaO(%)	1.1~1.4	1.3	1.0~2.0	1.45	1.2~1.8	1.45	1.1~1.8	1.5
	MnO(%)	0.4~0.5	0.45	0.2~0.4	0.25	0.1~0.2	0.15	0.1~0.4	0.25
TiO <sub>2</sub> (%)	0.3~1.1	0.73	0.4~1.8	1.13	0.3~1.5	1.0	0.5~1.4	1.0	

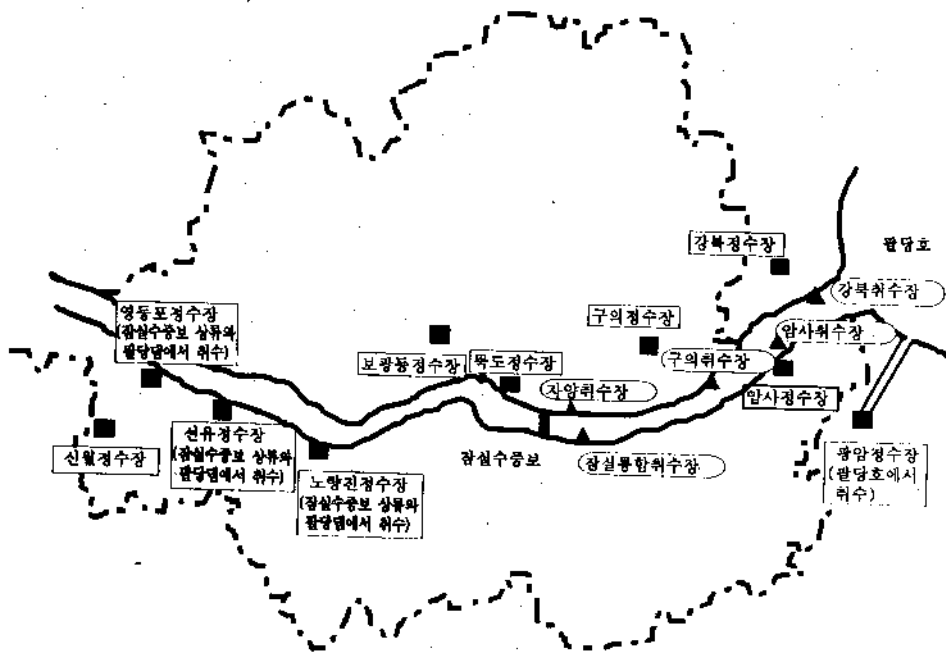
주) 시료채취는 4회 실시(2월 23~26일, 6월 10~11일, 9월 3일, 9월 27일).

무기물의 화학조성: 무기물의 총량을 100으로 했을 때 각 성분의 함량비

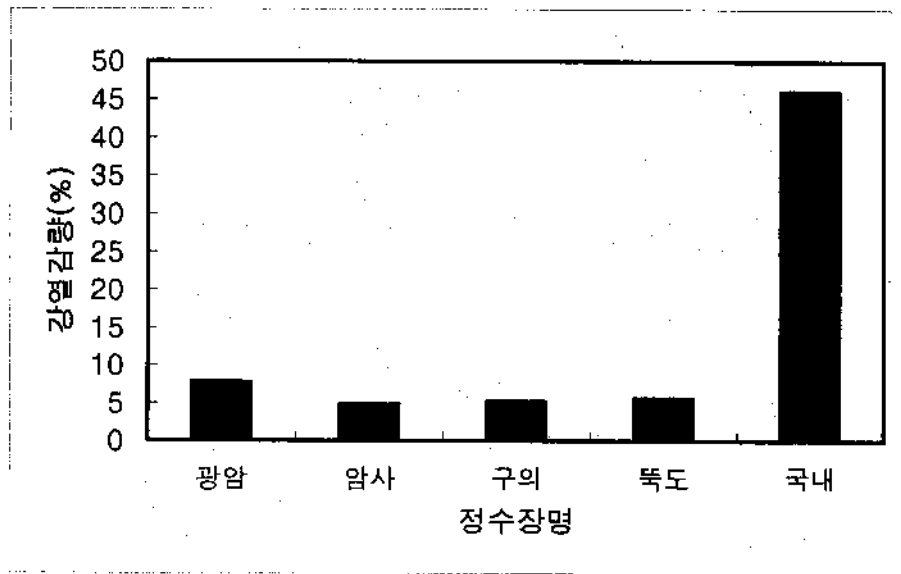
협조) 서울시 수도기술연구소

슬러지채취 採取位置는 광암정수장, 암사정수장, 구의정수장, 뜯도정수장이었다<그림 2-3 참조>. 이들 정수장 중 광암정수장은 팔당호에 위치한 1단계 광역상수도를 통하여 취수하고 있다. 암사, 구의, 뜯도정수장은 각각 잠실수중보 상류에 위치한 암사, 구의, 자양취수장에서 취수하고 있다.

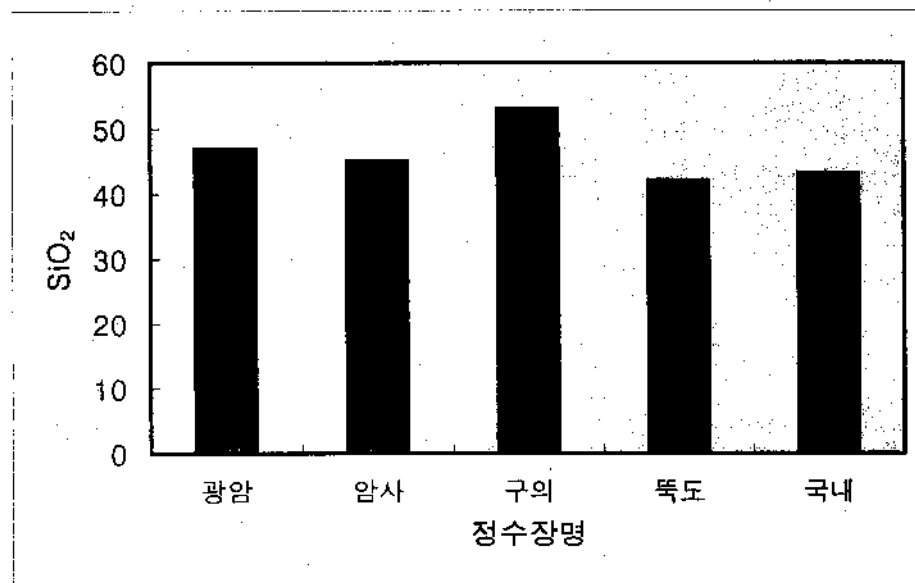
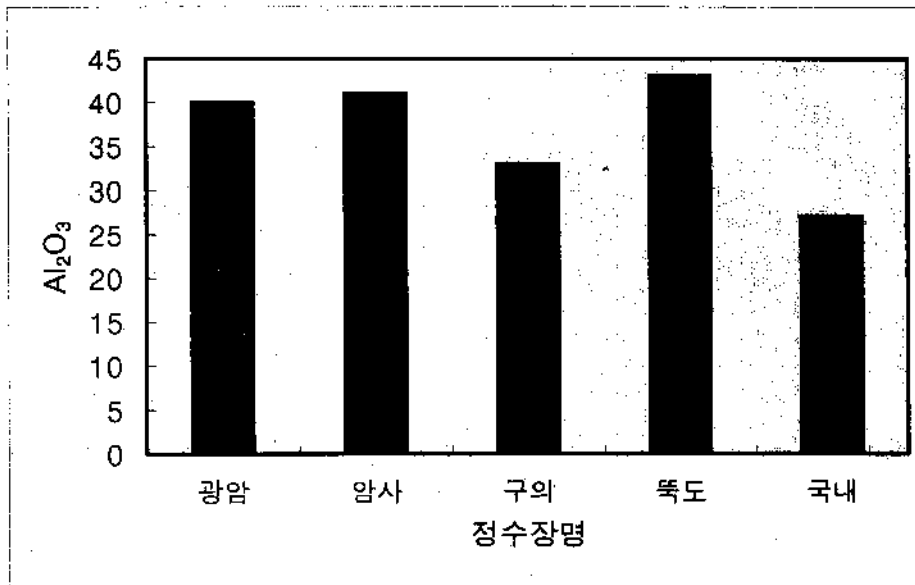
서울시 정수슬러지의 特性을 살펴보면 pH는 6.7~7.2로 중성이고, 함수율은 69~87%로 나타나고 있다. 또한 강열감량은 4.2~9.8%로 나타나서 국내의 타정수장 슬러지의 비율인 15~30%보다 훨씬 낮은 수치를 나타냈다. 무기물의 조성에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 30~55%로서 국내 정수장의 20~30%에 비해 훨씬 높은 비중을 차지하고 있다<그림 2-4, 5 참조>. 이것은 서울시 정수장에서 저탁도 원수를 처리할 때 응집제를 비교적 많이 투입하였기 때문인 것으로 판단된다<그림 2-6 참조>.



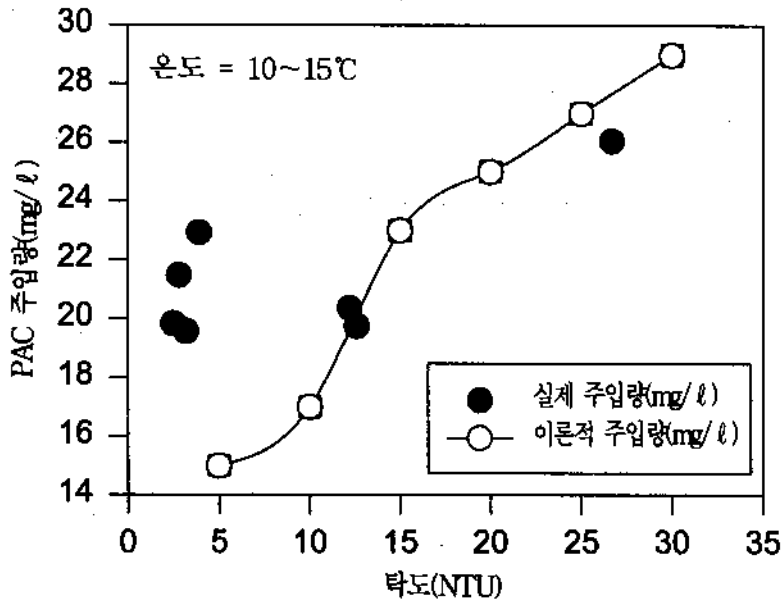
<그림 2-3> 서울시 정수장 위치도



<그림 2-4> 서울시 정수장별 슬러지 강열감량



<그림 2-5> 서울시 정수장별 슬러지의  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$



〈그림 2-6〉 서울시 정수장의 PAC 조건표와 실제 주입량

현재 서울시 정수장은 濾過池 流出水의 탁도를 0.1도 이하로 유지하려고 하고 있다. 이것은 먹는물 수질기준의 2도보다 훨씬 낮은 수치이다. 이러한 수질유지는 먹는물의 수질향상을 위해 필요한 것이라 판단된다. 그러나 이를 위해 침전지에서 대부분의 현탁질을 응집·침전시키려고 비교적 높은 응집제 투여율을 유지하고 있는데 이것은 sweep flocculation을 형성시켜 여과공정에 영향을 줄뿐 아니라 슬러지의 발생량도 높이고, 발생된 슬러지의 탈수성도 악화시킨다.

## 2) 국내의 경우

국내 정수장의 원수 탁도는 일반적으로 20~50도(NTU)이며 응집제의 주입량에 영향을 미치는 알칼리도는 30~50mg/l as CaCO<sub>3</sub>로 나타나고 있다. 정수장 슬러지는 일반적

으로 총고형물(TS)이 중량비로 0.1~27%, 휘발성고형물(VS)이 총고형물의 10~35%로 나타나고 있다. 또한 pH는 5.5~7.5로 중성을 나타내고 있다. 취수원별 정수장 탈수케익의 성분분석을 보면 强熱減量은 하천의 경우 16.4~18.8%로, 저수지의 경우 46.4%로 나타나고 있다. <표 2-3참조>

<표 2-3> 각 취수원별 정수장 탈수 케익의 성분 분석

단위 : %

취수원	정수장	강열감량	유기물함량
하천	반월	18.83	11.11
	성남	21.60	12.74
	반송	21.64	12.77
	석성	16.40	9.68
저수지	청주	46.38	27.36

### 3) 東京都의 경우

東京都의 슬러지 특성과 비교하면 <표 2-4>에서 알 수 있는 것 처럼 强熱減量의 경우 서울시가 4.5~9.8%, 東京都는 21.6~34.6%로 나타나 서울시의 有機物 함량이 적은 것으로 나타나고 있다. 알루미늄 含有量은 서울시의 슬러지가 東京都의 슬러지보다 높은 것으로 나타나고 있다.

<표 2-4> 東京都 정수장 슬러지와 특성 비교

	우리나라	서울시	東京都
강열감량(%)	15~30	4.5~9.8	21.6~34.6
SiO <sub>2</sub> (%)	35~50	32~59	29.5~37.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	20~30	32~55	16.1~25.8
pH	6.8~7.4	6.7~7.2	

#### 4. 淨水슬러지 케익 발생량 및 전망

##### 1) 淨水슬러지 케익 발생량

과거에는 서울시뿐 아니라 전국의 정수장에서 발생된 슬러지를 排水로 분류하지 않아 公共水域에 放流하여 왔다. 수질환경보전법의 개정에 따라 서울시는 1996년부터 정수슬러지를 脫水하여 슬러지케익으로 처분하고 있다. 1996년 서울시 정수장에서 발생된 슬러지 케익의 양은 66,380톤으로, 전량이 首都圈埋立地에 埋立處分되었다.

서울시의 9개 정수장 중 노량진정수장, 광암정수장 그리고 신월정수장을 제외한 6개소에서 발생하는 배출수는 全량이 탈수되어 슬러지케익으로 처분되고 있다. 광암정수장의 경우 1일 정수능력은 100만톤이며 50만톤에 대해서만 배출수처리시설이 設置되어 있다. 나머지 50만톤에 대한 排水處理施設은 1997년 말에 완공될 예정이다. 노량진정수장의 경우 배출수처리시설이 設置中에 있으며 1998년 6월에 완공될 예정이다. 한편, 신월정수장의 배출수는 하수관거를 통해 가양하수처리장에 流入되어 하수와 함께 처리되고 있다<표 2-5 참조>.

<표 2-5> 서울시 각 정수장별 슬러지케익 발생량(1996년)

구 분	계	광암 <sup>주1)</sup>	암사 <sup>주2)</sup>	구의	뚝도	보광	노량진 <sup>주3)</sup>	선유	영등포	신월 <sup>주4)</sup>	강북 <sup>주5)</sup>
정수장용량 만톤/일	619	100	132	113	100	32	30	40	60	12	-
슬러지케익 발생량, 톤	66,380	3,594	17,115	16,268	12,546	3,368	-	3,552	9,937	-	-

- 주 1) 광암정수장은 50만톤/일에 대해서만 슬러지처리시설이 가동되고 있으며, 나머지 50만톤/일은 1997년 말에 완공될 예정이다.  
 주 2) 암사정수장은 32만톤/일은 1997년 말에 완공될 예정이다.  
 주 3) 노량진정수장의 슬러지처리시설은 1998년 6월에 완공될 예정이다.  
 주 4) 신월정수장은 배출수(슬러지)를 차집관거를 통하여 가양하수처리장에서 처리하고 있음.  
 주 5) 강북정수장은 1998년 4월 정수생산능력 50만톤/일이 가동될 예정이다.

1996년도에 서울시의 1일 수돗물 생산능력은 619만톤이었다. 1일 평균 생산량은 약

527만톤으로 생산율은 84.2%이었다. 슬러지 처리시설이 설치된 정수장에서 생산된 수돗물은 1일 평균 약 432만톤으로 推定되었다. 1996년도에는 1일 평균 181.4톤의 슬러지케익이 발생되었으므로 1톤의 수돗물을 생산할 때마다  $4.20 \times 10^{-5}$ 톤의 슬러지 케익이 排出되는 것으로 나타났다. 즉, 1996년도에는 수돗물 생산량 1만톤당 0.42톤의 슬러지케익이 발생하였다. 취수원에 따라 슬러지 발생량의 原單位가 큰 차이가 나는데 팔당호에서 취수하는 정수장의 경우 1만톤당 0.268톤의 슬러지케익이 발생하는 것으로 나타났다. 잠실 水中淤 上流에서 원수를 취수하는 암사정수장 및 구의 정수장은 0.41톤/만톤 및 0.51톤/만톤으로 비교적 높게 나타났다<표 2-6 참조>. 이러한 슬러지케익 발생량의 차이는 原水의 水質 및 정수장 운전조건의 差異에서 비롯된 것이라고 본다.

<표 2-6> 서울시 정수장별 슬러지케익 發生 原單位(1996년)

정수장	시설용량 (만톤/일)		평균생산량 (만톤/일)		가동율 (%)	케익 발생량 (톤/일)	원단위 <sup>주2)</sup> (톤/만톤)
	계	배출수 처리 <sup>주1)</sup>	계	배출수 처리 <sup>주1)</sup>			
계	619	527	499.1	432.0	80.6	181.37	0.4198
광 암	100	50	73.2	36.6	73.2	9.82	0.2684
암 사	132	100	114.5	114.5	86.7	46.76	0.4085
구 의	113	113	87.3	87.3	77.3	44.45	0.5090
뚝 도	100	100	83.3	83.3	83.3	34.28	0.4117
보 광	32	32	28.1	28.1	87.7	9.20	0.3280
노량진 <sup>주3)</sup>	30	0	22.4	0.0	74.8	0.00	0.3455
선 유	40	40	28.1	28.1	70.2	9.70	0.3455
영등포	60	60	54.2	54.2	90.4	27.15	0.5008
신 월	12	0	8.1	0.0	67.6	0.00	-
강 북 <sup>주4)</sup>	-	-	-	-	-	-	0.2684

- 주 1) 배출수처리시설을 기준으로 한 정수장 시설용량 및 생산량  
 2) 원단위=1일 평균 습윤 슬러지케익 발생량(톤)/1일 평균 급수량(만톤)  
 3) 노량진정수장의 경우 팔당 및 풍납취수장에서 원수를 취수하는 선유정수장의 원단위가 적용되었음.  
 4) 강북정수장의 슬러지케익 발생량 산출시 원단위는 상수원수를 팔당호에서 취수하는 광암정수장의 원단위가 적용되었음.

- 1) 슬러지처리시설이 설치된 정수장에서 생산된 수돗물의 경우 배출수처리시설을 기준으로 한 정수장의 용량에 생산율을 곱하여 산출하였음.



## 2) 상수도 수요 전망

수돗물 생산량에 가장 큰 影響을 미치는 因子 중의 하나는 인구이다. 서울시 장래 인구는 각종 사업 추진시 推定한 결과들 간에 차이를 나타내고 있다. 예로써 2001년도의 인구 예측 결과를 보면 서울시 상수도 기본계획(1985년)에서는 12,500천명, 서울시 상수도사업 장기계획(1992년)에서는 12,740천명, 강북정수장기본계획(1991)에서는 13,940천명, 암사정수장 기본계획(1992)에서는 12,710천명 그리고 서울시 도시기본계획(1995)에서는 11,800천명 등으로 계획한 바 있다<표 2-7참조>. 최근 서울시 상수도사업본부에서는 수도정비기본계획(안)을 수립함에 있어서 서울시 도시기본계획상의 추정인구를 채택한 바 있다. 이 계획에 따르면 2011년의 1일 평균 급수량은 급수인구(12,000천명), 1인1일 평균 소비량(434L), 유수율(80.4%), 침투부하율(1.13) 등을 고려하여 648만톤으로 계획한 바 있다. 상세한 상수도 수요 전망은 <표 2-8>에 나타낸 바와 같다.

<표 2-7> 서울시의 계획인구

연도	실적	단위 : 천명					
		수도정비 <sup>주1)</sup> (1996)	도시계획 <sup>주2)</sup> (1995)	암사계획 <sup>주3)</sup> (1992)	장기계획 <sup>주4)</sup> (1992)	강북계획 <sup>주5)</sup> (1991)	기본계획 <sup>주6)</sup> (1985)
1991	10,905						11,140
1992	10,970					10,769	11,260
1993	10,925			11,359	11,303	10,868	11,387
1994	10,799			11,575	11,495	10,941	11,512
1996		11,200	11,200	11,957	11,867	11,087	11,760
2001		11,800	11,800	12,710	12,744	11,800	12,500
2006		11,900	11,900	13,335		12,337	
2011		12,000	12,000	13,800		12,747	

- 주 1) 수도정비기본계획(안)(1996)
- 2) 서울시 도시기본계획(1995)
- 3) 암사정수장 기본계획(1992)
- 4) 서울시 상수도사업 장기계획(1992)
- 5) 강북정수장 기본계획(1991)
- 6) 서울시 상수도 기본계획(1985)

<표 2-8> 서울시 상수도 수요 전망

연도	1996	1998	1999	2000	2001	2006	2011
항목							
계획인구(천명)	11,200	11,470	11,580	11,680	11,800	11,900	12,000
보급률(%)	99.9	99.9	99.9	100	100	100	100
급수인구(천명)	11,189	11,459	11,568	11,680	11,800	11,900	12,000
1인1일평균소비량(L/인일)	316	337	350	360	368	404	434
유수율(%)	67.75	70.25	71.25	72.25	73.25	76.75	80.39
1인1일평균급수량(L/인일)	466	480	491	498	502	526	540
1일평균급수량(만톤/일)	521	550	568	582	592	626	648
침투부하율 <sup>주)</sup>	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
1인1일최대급수량(L/인일)	527	542	555	563	567	594	610
1일최대급수량(만톤/일)	590	621	642	658	669	707	732

주) 침투부하율 = 1일 최대 급수량/1일 평균 급수량  
 = 1인1일 최대 급수량/1인1일 평균 급수량

### 3) 장래 슬러지케익 發生量 推定

將來 슬러지케익 發生량을 推定함에 있어서 가장 중요한 인자는 수돗물 生産量 및 원수의 水質이다. 年間 給水量은 인구와 1인당 급수량으로부터 추정이 가능하다. 슬러지 發生량을 推定하는 방법으로는 ①기존의 경험을 토대로 수돗물 생산량과 슬러지케익 발생량과의 關係를 도출하여 추정하는 방법과 ②실험을 통해 수질의 변화와 약품 사용량 등을 고려한 물질수지를 토대로 수돗물 생산량과 슬러지케익 발생량과의 관계를 도출하여 추정하는 방법 등이 있다.

원수의 수질이 季節과 氣候에 따라 차이를 나타내므로 정수장의 運轉條件도 계절 및 기상현상에 따라 변화시켜야 한다. 理化學的인 실험을 통해 슬러지 발생량을 추정하기 위해서는 다양한 조건하에서 장기간에 걸친 實驗이 행해져야 한다. 뿐만 아니라 동일한 상수원수를 사용하더라도 각 정수장마다 시설의 형태나 施設規模 등의 차이로 인해 運轉條件이 同一하지는 않다. 따라서 현 단계에서는 ②의 방법으로 슬러지 발생량을 추정하는 것은 기초자료가 없어 적용이 곤란하다. 한국수자원공사의 연구결과에 따르면 1987~1990년 사이에 팔당호에서 取水된 상수원수는 1만톤당 0.275톤의 건조 슬러지를 생산하는 것으로 나타났다. 이를 함유율 80%인 슬러지케익의 발생량으로 환산하면 1.375톤/만톤으로 나타나,

1996년도 광암정수장 실적치의 5배에 달하는 값이다. 이러한 점을 감안한다면 제한된 자료지만 서울시 각 정수장의 수돗물 생산량과 슬러지 발생량과의 相互關係로부터 장래의 슬러지 발생량을 추정하는 것이 보다 合理的인 것으로 판단된다.

서울시 정수장의 取水源은 팔당호와 잠실수중보 상류에 위치해 있어 비교적 양호한 수질의 상수원을 확보하고 있다. 특히, 상수원보호구역 등을 확대시키기 위해 서울시뿐만 아니라 중앙정부차원에서도 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 팔당호와 잠실수중보 사이의 區間에 위치한 왕숙천 및 장지못 支流를 제외하고는 한강 수질에 큰 영향을 미칠만한 汚染源은 존재하지 않고 있다. 또한 이들 支流에는 하수처리시설을 新設 또는 擴充하고 있는 실정이다. 따라서 팔당호 및 팔당호-잠실수중보 구간의 수질이 더 이상 악화되지 않을 것이며, 케익의 함수율은 현재와 차이가 없다는 假定下에 다음과 같이 슬러지케익 발생량을 추정할 수 있다.

① 서울시 케익 발생량 原單位 적용

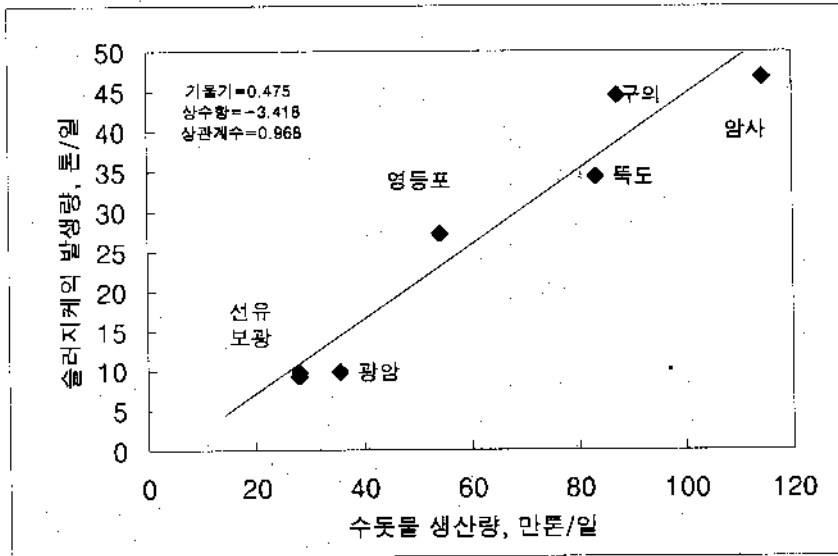
$$M_y = \sum_{i=1}^n a_i q_{iy} \quad \text{<식 2-1>}$$

여기서,  $M_y$  = y년도 1일 평균 슬러지케익 발생량

$q_{iy}$  = y년도 각 정수장의 1일 평균 급수량

$a_i$  = 각 정수장의 슬러지 발생량 원단위

앞서 살펴본 바와 같이 슬러지케익 발생량 원단위는 0.42톤/만톤이고, 2006년 및 2011년의 1일 평균 급수량은 각각 626만톤 및 648만톤이므로 2006년 및 2011년의 1일 평균 슬러지케익 발생량은 각각 263톤/일 및 272톤/일로 추정된다.



<그림 2-7> 수돗물 생산량과 슬러지케익 발생량의 관계<sup>2)</sup>

각 정수장별 수돗물 생산량과 슬러지케익 발생량은 <그림 2-7>에서 보는 바와 같이 상관계수는 0.968로 매우 밀접한 상관관계를 나타내고 있다. 이를 토대로 서울시 정수장에서 수돗물 생산량에 따른 슬러지케익 발생량은 <식 2-2>와 같이 나타낼 수 있다. 한편, 수돗물 생산량과 슬러지케익 발생량 상호관계를 선형회귀 분석한 결과인 <식 2-2>를 확장하여 적용시키면 2006년 및 2011년의 슬러지 발생량은 300톤/일 및 311톤/일로 추정된다.

$$M_y = 0.475 q_y - 3.418 \quad \text{<식 2-2>}$$

여기서,  $M_y$  = y년도 1일 평균 슬러지케익 발생량 (톤/일)

$q_y$  = y년도 1일 평균 급수량(만톤/일)

2) 광암정수장의 경우 수돗물 생산량은 슬러지처리시설이 설치되어 있는 수돗물 생산량임.

② 정수장별 슬러지 발생량 原單位 適用

각 정수장별 원단위와 장래 각 정수장의 施設容量 擴充 등을 고려하여 케익 발생량을 추정하면 위의 결과보다 비교적 합리적인 추정결과를 나타낼 수 있을 것이다. 각 정수장별 슬러지케익 발생량 원단위와 케익 함수율은 변화하지 않는다고 가정하면 슬러지케익 발생량은 <식 2-3>과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_y = \sum_{i=1}^n a_i q_{iy} = \sum_{i=1}^n a_i (\beta_{iy} c_{iy}) \quad \text{<식 2-3>}$$

- 여기서  $a_i$  = 각 정수장의 원단위  
 $q_{iy}$  = 각 정수장의 1일 평균 급수량  
 $c_{iy}$  = 각 정수장의 시설용량  
 $\beta_i$  = 각 정수장별 생산율  
 소첨자  $i, y$  = 각 정수장 일련번호 및 연도

<식 2-3>과 같은 방법으로 장래 슬러지케익 발생량을 추정함에 있어서 각 정수장별 生産率을 정확하게 반영하기가 곤란하므로 각 정수장의 생산율은 동일할 것으로, 즉 정수장 용량에 비례하여 수돗물을 생산한다고 가정하면 <식 2-4>와 같다.

$$M_y = \sum_{i=1}^n a_i q_{iy} = \sum_{i=1}^n a_i \frac{Q_y c_{iy}}{C_y} \quad \text{<식 2-4>}$$

- 여기서,  $C_y$  =  $y$ 년도 각 정수장 시설용량 합계  
 $Q_y$  =  $y$ 년도 각 정수장의 1일평균 급수량 합계

서울시 정수장 확충계획에 따르면 각 정수장의 시설용량은 <표 2-9>와 같다. <표 2-9>에서 보는 바와 같이 2006년과 2011년 서울시 정수장의 시설용량 합계는 822톤/일과 877톤/일이다. 1996년 현재 서울시 정수장의 상수원수 취수시설용량은 팔당댐 광역상수도 취수장이 175만톤/일이고 잠실수중보 상류에 위치한 취수장이 444만톤/일이다. 팔당호에서 28%를 취수하고 있다.

<표 2-9> 정수장 시설용량

단위: 만톤/일

년 도	1998	1999	2000	2001	2006	2011
계	674	701	701	731	822	877
광 암	100	100	100	100	100	100
암 사	162	162	162	162	162	192
구 의	113	90	90	120	120	120
특 도	100	100	100	75	75	100
보 광	30	30	30	30	30	30
노량진	15	15	15	15	15	15
선 유	40	40	40	40	40	40
영등포	54	54	54	54	70	70
신 월	10	10	10	10	10	10
강 북	50	100	100	100	200	200

광암정수장(100만톤/일)과 신월정수장(12만톤/일)은 팔당호에서 전량을 취수하고 있으며 노량진정수장은 30톤/일 중 19만톤/일, 영등포정수장은 60만톤/일 중 24만톤/일 그리고 선유정수장은 40만톤중 20만톤/일을 팔당호에서 취수하고 있다. 강북정수장은 1998년에 50만톤/일, 1999년에 100만톤/일 그리고 2006년에 200만톤/일의 시설용량을 갖출 계획이다. 팔당댐에서 취수되는 상수원수의 비율이 2011년에는 시설용량이 약 373만톤/일로 전체의 약 43%가 될 것으로 예상된다.

한편 정수장 용량에 비례하여 수돗물을 생산한다고 보고 각 정수장별 수돗물 생산량을 추정한 결과는 <표 2-10>과 같다. <표 2-10>의 추정량에 <표 2-6>의 원단위를 적용하여 산출한 장래 슬러지케임 발생량은 <표 2-11>에 나타낸 것과 같다. 즉 2006년 및 2011년에는 1일 230톤 및 240톤이 발생될 것으로 추정되었다. 이를 수돗물 1만톤당 원단위로 환산하면 각각 0.367톤/만톤 및 0.370톤/만톤으로 나타났다. 1996년의 0.42톤/만톤에 비해 약 14% 가량 감소한 것은 팔당호에서 취수되는 상수원수의 비율이 높아졌기 때문으로 판단된다.

<표 2-10> 장래 정수장별 수돗물 생산량 추정

단위: 만톤/일

년 도	1998	1999	2000	2001	2006	2011
계	550	568	582	592	626	648
광 암	76.0	81.0	83.0	81.0	76.2	73.9
암 사	123.1	131.3	134.5	131.2	123.4	141.9
구 의	85.8	72.9	74.7	97.2	91.4	88.7
특 도	76.0	81.0	83.0	81.0	57.1	73.9
보 광	22.8	24.3	24.9	24.3	22.8	22.2
노량진	11.4	12.2	12.5	12.1	11.4	11.1
선 유	30.4	32.4	33.2	32.4	30.5	29.6
영등포	41.0	43.8	44.8	43.7	53.3	51.7
신 월	7.6	8.1	8.3	8.1	7.6	7.4
강 북	76.0	81.0	83.0	81.0	152.3	147.8

<표 2-11> 정수장별 슬러지케익 발생량 추정

단위: 톤/일

년 도	1998	1999	2000	2001	2006	2011
계	209	213	218	225	230	240
광 암	20.4	21.7	22.3	21.7	20.4	19.8
암 사	50.3	53.6	54.9	53.6	50.4	58.0
구 의	43.7	37.1	38.0	49.5	46.5	45.1
특 도	31.3	33.4	34.2	33.3	23.5	30.4
보 광	7.5	8.0	8.2	8.0	7.5	7.3
노량진 <sup>주1)</sup>	3.9	4.2	4.3	4.2	3.9	3.8
선 유	10.5	11.2	11.5	11.2	10.5	10.2
영등포	20.5	21.9	22.5	21.9	26.7	25.9
신 월	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
강 북 <sup>주2)</sup>	20.4	21.7	22.3	21.7	40.9	39.7

- 주 1) 노량진정수장의 경우 팔당 및 풍납취수장에서 원수를 취수하는 선유정수장의 원단위가 적용되었음.  
 주 2) 강북정수장의 슬러지케익 발생량 산출시 원단위는 상수원수를 팔당호에서 취수하는 광암정수장의 원단위가 적용되었음.

## 5. 정수 슬러지케익 처분비용

1996년도 서울시의 정수장 슬러지케익 처분비용은 약 15억원이었다. 수돗물 1톤당 약 0.95원의 슬러지케익 처리비용이 지출되었다. 이중 운송비가 약 4억원이었고 매립지 반입 비용이 약 11억원으로 나타나 수송비 및 매립지 처분비용이 각각 27.0% 및 73.0% 이었다. <표 2-12 참조>. 평균운송비는 '96년 6,100원에서 '97년 7,930원으로 23% 인상되었다<표 2-13 참조>. 또한 '97년부터 수도권매립지 반입수수료는 '96년도에 비하여 27%가 인상된 20,960원이므로 슬러지 처분비용은 한층 높아질 것으로 예상된다. 또한 슬러지 운송비용은 <표 2-13>처럼 평균 7,930원/톤으로 나타났고, 운송시간은 평균 1시간 30분이 소요되는 것으로 나타나고 있다.

<표 2-12> 정수장별 슬러지케익 처분비용(1996년)

정수장	케익발생량 (톤/년)	운 송 비		반입수수료 <sup>주)</sup> (천원)	총 계 (천원)
		원가(원/톤)	계(천원)		
계	66,380	6,123	406,415(27.0)	1,097,660(73.0)	1,504,075
광 암	3,594	7,470	26,8407(31.1)	59,430(68.9)	86,278
암 사	17,115	7,390	126,480(30.9)	283,014(69.1)	409,493
구 의	16,268	4,950	80,527(23.0)	269,008(77.0)	349,534
독 도	12,546	5,550	69,630(25.1)	207,461(74.9)	277,091
보 광	3,368	5,690	19,164(25.6)	55,693(74.4)	74,857
선 유	3,552	5,550	19,714(25.1)	58,736(74.9)	78,449
영등포	9,937	6,446	64,054(28.0)	164,318(72.0)	228,372

주) 1996년도 수도권 매립지 반입단가는 16,536원/톤이었음.

( )의 숫자는 구성비 백분률임



<표 2-13> 정수사업소별 슬러지케익 운반비용(1997년)

구 분	운 반		운반비용 (원/톤)
	거 리(km)	소요시간(분)	
광 암	59.0	108.0	10,120
암 사	58.4	94.0	8,499
구 의	57.9	99.8	8,891
뚝 도	53.8	89.6	8,023
보 광	44.0	78.2	7,072
영동포	31.5	68.0	6,446
선 유	17.4	74.5	6,478
평 균	46.00	87.4	7,930

## 제 2 절 처리·처분시스템에서의 發生減量 및 再活用

### 1. 슬러지케익 발생량 저감방안

#### 1) 유수율 제고에 의한 생산량 증가억제

정수장 슬러지는 원수 중에 함유된 미세입자의 고형물과 이를 제거하기 위해 사용된 약품 등의 물질로 이루어져 있다. 이외에도 소량이지만 슬러지 탈수과정에 투입된 슬러지 개량제, 원수 중에 함유된 용존상태의 철이나 칼슘 등 다가 금속이온과 응집성 고분자유기물 등도 있다.

원수의 수질에 따라 사용되는 약품의 양이 다르므로 슬러지 배출량에 영향을 가장 많이 미치는 인자는 原水의 수질과 수돗물 생산량이다. 원수의 수질 향상은 상수원을 공유하는 지방자치단체와 장기적인 계획과 협조가 요구되는 사안이며, 생산량은 시민들의 일상생활과 직접적으로 연관되어 있다. 따라서 생산량을 줄이는 데에는 한계가 있다. 다만, 상수

관의 정비 등을 통해 유수율을 향상시킨다면 생산량 증가를 억제할 수 있을 것이다.

## 2) 적절한 자테스트(Jar test) 실시

원수의 수질과 생산량을 제외하면 약품 사용량이 슬러지 발생량에 있어 가장 중요한 영향인자이다. 과잉의 약품 주입은 슬러지 발생을 증가시킬 뿐만 아니라 슬러지의 탈수성을 저하시킴으로써 슬러지 처리에 악영향을 초래한다. 따라서 정수장 운영에 있어서 적정량의 약품을 주입하는 것이 슬러지 배출량을 저감하는데 있어 중요하다.

현재 정수장에서는 매일 자테스트를 실시하여 약품 주입량을 결정하고 있다. 자테스트는 정수장 운영조건과 동일하게 실시되어야 한다. 그러나 약품 주입량 결정을 위한 자테스트에서 가장 중요한 인자는 攪拌시간과 攪拌강도이다. 따라서 모든 조건을 동일하게 할 수 없으나 교반강도와 교반시간을 실제 정수장과 유사하게 맞추어 실시하여야 한다. 교반시간은 정수장의 混和池 및 플록형성지의 크기와 유량으로 결정된다. 일반적으로 교반강도는 평균속도경사(mean velocity gradient,  $G$ )로 나타내지며 물의 점성계수(viscosity,  $\mu$ )와 교반시 단위 부피당 가해지는 동력의 양(power,  $P$ )에 의해 결정된다. 물의 점성계수는 수온에 따라 변화되지만 일간의 수온변화에 따른 점성계수의 변화는 그다지 크지 않다. 攪拌裝置가 물에 가해지는 동력은 교반장치의 축에 전달되는 回轉偶力(torque,  $\tau$ )에 의해 결정된다. 그러나 서울시 정수장의 혼화지 및 플록형성지 교반장치에는 偶力計(torque meter)가 설치되지 않아 혼화 및 플록형성과정에서 투입된 동력을 정확히 파악하기 어렵다. 그러나 혼화지 및 플록형성지에 설치되어 있는 攪拌機의 크기와 회전수 등으로부터 추정이 가능하며, 구동모터의 전력 소모량을 측정함으로써 대략적인 값을 알 수 있다.

동일한 약품 주입량이라도 교반조건에 따라 처리효율이 크게 영향을 받는다. 교반강도와 교반시간(time,  $t$ )의 곱인  $Gt$ 값이 중요한 영향인자라는 것은 잘 알려져 있다. 특히 고형물과 약품 주입량이 적을수록  $Gt$ 값이 더 중요하게 작용하는데,  $Gt$ 에 고형물 농도를 곱한 값인  $GCt$  값도 매우 중요한 운영인자 중의 하나로 알려졌다.

이러한 점을 고려하여 기존 정수장의 적정수준의  $Gt$ 값과  $GCt$ 값을 산출하기 위하여 현재의 각 정수장의 혼화 및 플록형성시설에서 물에 전달된 동력을 가능한 한 정확히 파악하여야 한다. 궁극적으로는 혼화지 및 플록형성지의 교반장치에 偶力計를 설치하여 정수장에서의 정확한 교반조건을 파악하여 실제와 유사한 조건하에서 자테스트를 실시함으로써

실제 적정량보다 과량으로 약품 투입량이 결정되지 않도록 하여야 한다. 또한 適定 藥品量을 투입하기 위하여는 stream current dectector와 zeta potential meter등을 활용한 現場調整이 이루어져야 할 것이다.

### 3) 적절한 ALT비 유지

보통 슬러지 體積의 대부분을 점유하는 것은 투입된 알루미늄 응집제에 의해서 생긴 알루미늄수산화물이다. 따라서 응집제량을 줄이므로써 슬러지의 생성량을 크게 줄일 수 있다. 이러한 알루미늄 投入率의 지표인 ALT비(알루미늄 투입량÷탁도)가 유용하게 사용된다. 이것은 탁도 1도당 알루미늄이 몇 mg/l 투입되는가를 나타낸다. 일반적으로 0.05~0.2의 ALT비 범위에서 정수조작이 이루어지고 있다.

ALT비가 낮으면 플록 체적의 대부분을 차지하는 알루미늄수산화물 체적비가 작게되어 슬러지 발생량을 줄일 수 있다. ALT비가 작은 슬러지는 농축속도가 크고 생성된 슬러지의 체적이 작으며, 농도도 높고, 탈수하기 좋은 양호한 상태로 된다. 또한 ALT비가 작을수록 가압탈수시 생성된 슬러지케익의 함수율이 낮다. 따라서 원수의 低濁度時 자테스트에 의한 투입량보다 20~30%정도 凝集劑를 적게 투입하여 슬러지 량을 감소시키고, 탈수 처리가 쉬운 슬러지를 생성시키는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

## 2. 정수슬러지의 하수처리장과 連繫處理

외국에서는 정수슬러지를 하수처리장으로 연계처리하는 정수장도 있다. 따라서 본 절에서는 정수슬러지의 하수처리장과 연계처리에 대해 살펴보고자 한다.

### 1) 고베시와 京都市의 경우

고베시와 교토시는 정수슬러지를 하수도로 방류처리하고 있다. 특히 고베시에서는 하천방류처분이 금지된 1975년 경에 이미 하수도가 잘 정비되어 있었다. 이 때부터 고베시는 정수슬러지를 2,000mg/l 이하로 하수관에 방류처리하였다. 고베시 및 교토시 모두 정수슬러지를 하수도로 방류하여도 하수 관저내 하수의 흐름과 하수처리에서의 惡影響은 없는 것으로 알려지고 있다.

## 2) 미국의 경우

1973년 미국의 下水處理場에서 하수만 처리할 경우 SS 및 BOD의 제거효율은 평균 약 60%와 20%이었으나 정수슬러지를 투입하여 共同處理한 결과 각각 69~82%, 25~45%로 그 제거효율이 더 높게 나타나 연계처리의 효과가 있었다. 그리고 50mg/l의 정수슬러지를 1차 침전지에 투입하였을 경우 SS의 제거율이 증가하였으나 그 이상 투입시에는 처리율이 감소하였다. 따라서 적정 투입율을 50mg/l 정도로 제시하고 있다.

## 3) 서독의 경우

1986년 서독에서는 143개 중 10개 수처리 회사가 슬러지를 하수관으로 방류하였고 3개 회사는 슬러지를 하수처리장으로 직접 이송처리하였다. 하수관 방류 수처리 회사 중 한 곳에서는 逆洗滌水を 침전지로 보낸 후 침전된 슬러지(2.5~3%, 乾量基準)를 펌핑하여 하수관으로 유입시켰고, 또 다른 곳에서는 슬러지(0.2%, 乾量기준)를 약 1km 관로를 통해서 하수관으로 유입·처리하였다. 이런 경우에도 하수관에서의 슬러지 沈積은 발생하지 않았다.

## 4) 약품 종류별 슬러지의 경우

Alum슬러지 200mg/l(건량)를 하수에 유입시키면 1차 침전지 상정액의 탁도와 浮遊物質 농도는 20~40%까지 증가하였으나 磷濃度는 알루미늄 100mg/l 당 1mg/l가 제거되었다. 한편, 활성슬러지 공정에 Lime슬러지 150~200mg/l(건량)를 연속적으로 첨가시킨 결과 슬러지의 pH가 10까지 증가했으나 하수에 중요한 변수는 되지 않았으며 활성슬러지 공정에 큰 영향은 없었다. 그러나 슬러지를 하수관으로 유입시 일반적으로는 流速이 0.8m/s 혹은 폐수의 고형물농도가 3%(건량) 이하인 경우는 hydroxide슬러지의 고형물이 沈澱되지 않았으나 Lime슬러지는 응집슬러지보다 더 높은 침전속도를 가지고 있기 때문에 하수관으로 유입시킬 경우 하수관에서의 퇴적이 발생되는 것으로 보고되고 있다.

<표 2-14> 각국의 연계처리 현황 및 공정 투입별 영향

	연 계 처 리	결 과 및 문 제 점
일본	▶고베시, 京都市 : 下水道로 방류.  ●1차 침전지에 투입시	▶2000mg/ℓ로 방류시 악영향은 없었음.  ●1차 침전지로 주입시에는 50mg/ℓ로 주입함.
미국	▶하수처리장으로 유입.  ●1차 침전지에 투입시	▶하수만 처리시 SS, BOD의 제거효율은 60%, 20%이었으나 연계처리 후 각각 70~80%, 25~45%로 제거율 증가.  ●1차 침전지로 주입시에는 50mg/ℓ로 주입함.
서독	▶10/143개의 처리장은 하수로 방류.  ●3/143개의 처리장은 슬러지를 하수처리장으로 직접 유입.	▶역세척수를 침전지에 침전시켜서 2.5 ~ 3.0%의 슬러지 농도로 펌핑해서 유입.  ▶0.2%의 슬러지 농도로 1km 파이프관을 통해서 유입시킨 결과 하수관에서의 퇴적은 발생하지 않았음.
국내	▶하수처리장으로 유입 <sup>주)</sup>  ●2차슬러지에 정수슬러지 투입 <sup>주)</sup>	▶슬러지 100mg당 생하수내 0.057mg의 인이 제거 됨.  ●첨가량이 증가할수록 침강농축성과 탈수성 개선

주) 국내 실험연구 결과임

<표 계속>

	연 계 처 리	결 과 및 문 제 점
국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 합류관거로 유입시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 정상시의 유량이 설계유량의 1%에 불과하여 유속이 1m/s 이하로 침적이 우려됨.</li> <li>● 관거의 구배불량, 漏水, 중간처짐, 맨홀부 등에 泥土室이 설치되어 있어 일반 하수의 20-30%가 침전됨.</li> <li>● 0.2~0.5%의 정수슬러지 유입시 침적은 더 심화될 것임.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 차집관거로 유입시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 우천시에는 통수단면이 부족함</li> </ul>

5) 국내의 경우

국내에서도 정수슬러지를 하수처리장으로 연계처리시 수처리계통과 슬러지 처리계통에 미치는 영향을 연구하였는데 정수슬러지의 하수처리장 투입시 슬러지 10mg당 生水내 0.057mg의 인이 제거되었다. 또한 포기조내의 첨가는 큰 문제가 없었으며 하수 2차 슬러지에 정수슬러지를 투입시 정수슬러지의 투입량이 증가할수록 沈降濃縮性과 脫水性이 개선되었다. 그리고 하수처리장으로 정수슬러지를 투입할 경우 25~50mg/l의 슬러지는 1차 침전지 운전에 무리가 없었다.

국내의 경우 정수슬러지를 合流管渠 혹은 遮集管渠로 유입시킬 경우 합류관거는 정상시 유량이 설계유량의 1%에 불과하여 정상시의 유속은 1m/s 에도 못미치고 있으며, 관거의 구배불량, 누수, 그리고 중간처짐, 맨홀부 등에 니토실이 설치되어 있어 일반 하수의 20~30%가 침전될 것으로 보고되었다.

또한 부유물질 농도가 0.2~0.5%인 정수슬러지를 유입시킬 경우 합류관거에서의 沈積은 더 심화될 것으로 예상되었다. 한편, 차집관거는 설계시 최대 下水流量의 30%를 流下

시키도록 설계되어 평상시에는 문제가 없을 것으로 판단되나 우천시에는 通水斷面에 약간의 영향을 미칠 것이라고 보고되었다.

### 3. 탈수처리에 의한 減容化

정수처리과정 후의 배출수 및 역세척수는 거의 대부분 물로 구성되어 있어 前處理 과정 없이는 매립 등의 최종 처분이 어렵다.

또한 함수율이 높으면 슬러지 處分敷地 및 處分費用이 많이 소요된다. 따라서 슬러지의 부피 및 무게를 줄이기 위해 농축, 탈수, 건조과정을 거치게 된다.

탈수처리 공정으로 슬러지 감량은 10~30%까지 가능하다. 또한 건조처리 공정은 脫水 슬러지의 1/3~1/4로 감용화가 가능하다고 한다. 본 절에서는 현행 처리시설에 있어서 탈수에 의한 감용화에 대해 서술하였다.

슬러지의 탈수성은 結合水, 有機物含量 및 슬러지의 pH, 粒度分布(粒子크기) 등에 따라 좌우되며 이는 적정 凝集劑(폴리머)의 選定 및 최적량 투입, 적정 탈수기의 선정으로 효율을 높일 수 있다.

#### 1) 脫水機의 선정

슬러지의 탈수방법은 80년대 초 眞空濾過 및 遠心分離 방식이 주류를 이루었으나 현재에 이르러서는 벨트프레스(belt press)가 주류를 이루고 있다. 현재 서울시 정수장에서도 벨트프레스를 주로 사용하고 있다. <표 2-15>에서 처럼 기계식 탈수 방식중 탈수효율을 보면 벨트프레스, 중력식 및 진공탈수기는 약 20~30%로 비슷한 효율을 나타냈으나, 필터프레스(filter press)는 30~40%로 탈수효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 필터프레스는 배출수(슬러지)의 처리능력이 작고 회분(batch)식이다. 또한 높은 시설비, 다량의 改良劑가 필요하고 탈수된 케익을 손으로 제거해야 할 뿐만 아니라 부지면적 및 유지비도 많이 소요되는 단점도 있어 벨트프레스를 많이 사용하게 되었다. 벨트프레스는 탈수효율이 다소 떨어지지만 연속운전이 가능할 뿐만 아니라 多量の 슬러지를 처리할 수 있고 에너지 소모가 적다는 측면에서 많이 사용되고 있다. 또한 최근에 개발된 전기침투식 벨트프레스는 슬러지의 종류 및 운영조건에 따라 최저 45%까지 함수율을 낮출 수 있는 것으로 보고

되고 있다. 한편, 최근에 일본의 삿보로시에서는 응집제를 첨가하지 않고 1회 탈수시간이 20시간 정도의 필터프레스기를 개발하여 정수장 증설에 채택하고 있다. 처리효율(함수율 75~80% 정도)도 좋고 유지관리도 쉬워 새로운 공법으로 각광받고 있다. 또한 발생된 탈수케익은 삿보로시내의 운동장조성토 또는 공원 등에 이용되고 있다. 이처럼 슬러지의 탈수성 및 경제성을 평가한 후 적절한 탈수기를 선정하면 슬러지의 감량율이 커질 것이다.

슬러지를 감량화시키면 무게 및 부피감소, 浸出水の 감소, 운반비 및 매립비용의 절감, 환경오염의 감소 등의 이점이 있다.

<표 2-15> 탈수기의 性能 評價

평가항목	필터프레스	벨트프레스	원심탈수기
고형물 농도(%)	30-40	20-30	20-30
에너지 소비	△	●	○
투자비 및 유지비	△	●	○
슬러지 성장변동에 대한 적용성	○	△	△
보수 및 점검의 난이도	△	○	●
작업환경	○	△	●
설치부지면적	△	○	●
처리량	△	●	△
고화시 시멘트 소비량	●	△	△

주) ● : 특히 우수, ○ : 우수, △ : 다소 불량

자료) 환경부(1994. 6), 『하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성 조사연구』

## 2) 脫水에 따른 체적 감소

98~99%의 함수율로 농축된 슬러지는 탈수기에 의해 함수율이 약 75~85%로 감소된다. 현행 국내에서稼動중인 벨트프레스에 의한 평균 함수율은 80%정도이고, 서울시 정수 슬러지 함수율도 80%내외이다. 그러나 필터프레스를 채용하면 함수율을 75% 이하로 줄일 수 있다. 5%정도의 함수율 감소에 따른 체적 감소의 예를 보면 <식 2-5>와 같다. <그림



2-8>은 함수율 감소에 따른 슬러지체적의 감량을 보인 것이다.

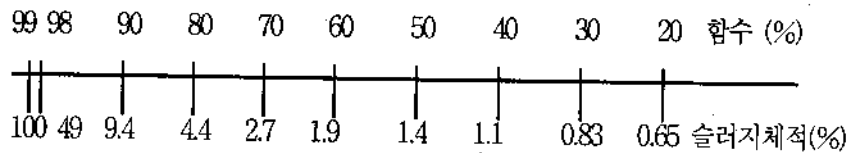
$$V_2 = \frac{V_1(100 - P_1)}{(100 - P_2)} \quad \text{<식 2-5>}$$

P = 함수율

V<sub>1</sub> = 함수율 P<sub>1</sub> 일 때의 체적

V<sub>2</sub> = 함수율 P<sub>2</sub> 일 때의 체적

함수율이 80%인 슬러지를 75%로 감소시키면 슬러지의 체적은 약 10~8%정도 감량화 시킬 수 있다.



<그림 2-8> 함수율 감량에 따른 슬러지 체적의 변화

#### 4. 再活用 및 處理·處分 시스템

슬러지의 處理·處分 시스템은 중간 처리 시스템과 재활용 및 최종 처분 시스템으로 분류할 수 있다. 중간 처리 시스템으로는 슬러지의 취급성 향상, 부피 감소 및 안정성 확보 등을 위한 것으로 탈수, 소각, 安定化 등이 있다. 재활용 및 최종 처분 시스템으로는 토 공재료, 요업재료, 경량골재, 쓰레기매립지 복토재 등으로 재활용하는 방안 등이 있다.

##### 1) 固化 및 固形化

슬러지의 중간 처리 시스템으로서 가장 대표적인 것이 安定化이다. 安定化는 폐기물에

첨가제를 가하여 오염물질의 이동을 감소시키고 독성을 감소시키는 것이다. 安定化는 사용되는 약품의 종류나 형태에 따라 固化(fixation)와 固形化(solidification) 2가지로 나눈다. 고화와 고형화간의 안정화 메카니즘 차이는 없다.

고화는 일반적으로 안정화와 유사한 의미로 사용되기도 한다. 고화는 첨가제를 넣음으로써 단순히 폐기물의 물리적 특성이나 취급성 개선, 오염물질의 전달 현상이 일어나는 표면적 감소, 폐기물 중의 汚染物質의 溶解度 制限 및 오염물질의 毒性을 감소시키는 것이다. 이에 비하여 고형화는 고화보다 충분한 양의 硬化劑를 가함으로써 고화에 의한 효과와 더불어 강도를 증가시키고, 壓縮性 및 浸透性을 감소시킨다는 점이 다르다. 고화 및 고형화 공법으로는 시멘트 안정화, 포졸란 안정화, 석회 안정화, 유리화 등 다양한 기술이 개발되어 있다.

#### 가) 안정화 메카니즘

안정화 메카니즘은 폐기물을 첨가제의 격자구조내에 물리적으로 구속시키는 拘束(encapsulation), 흡수제를 이용하여 흡수시키는 흡수(absorption), 폐기물이 전기적인 힘 등에 의해 미세공극으로 이동되는 흡착(adsorption), 불용성염을 형성하는 화학적침전(precipitation), 그리고 독성이 적은 물질로 전환시키는 無害化 등으로 분류된다.

구속(encapsulation)은 격자의 크기에 따라 巨大格子拘束과 微少格子拘束으로 구분된다. 거대격자구속은 폐기물이 비교적 큰 격자속에 포획되는 것으로서 격자가 크기 때문에 폐기물의 입자가 크더라도 안정화된 물체가 물리적으로 파괴되면 구속되었던 물질이 환경으로 이동되기 쉽다. 특히, 건조와 습윤의 반복, 결빙과 해빙의 반복, 유체의 침출, 물리적인 힘 등 장기적 환경적인 강도에 의해 안정화된 물체가 잘게 쪼개질 가능성이 높다. 거대격자구속의 효율을 높이려면 효율은 單位質量當 가해지는 동력의 양이나 종류 등을 고려하여야 한다.

미소격자구속은 현미경으로 관찰 가능한 미소격자의 결정구조내에 廢棄物이 물리적으로 포획된 것으로 안정화된 후에 잘게 쪼개져도 대부분의 폐기물은 격자구조내에 포획된 상태로 잔류한다.

미소격자에 구속된 폐기물도 단지 물리적으로 포획되어 있기 때문에, 안정화된 후에 장기간에 걸쳐 잘게 쪼개질 경우 격자로부터 액상폐기물이 방출되기도 한다. 미소격자구속

의 原理를 이용한 안정화에 있어서도 혼합시 가해지는 동력과 혼합 방법이 매우 중요하다.

흡수(absorption)는 스폰지가 물을 흡수하는 현상을 응용한 것으로 액상폐기물을 흡수제에 흡수시켜 유동성을 제거함으로써 취급성을 향상시키기 위해 사용된다. 그러나 壓密을 견디지 못한 액체는 스며나오게 되므로, 일시적으로 액상폐기물의 취급성을 향상시키기 위한 수단으로써 사용되어야 한다. 이때 사용되는 흡수제로는 토양, 비회(fly ash), 시멘트킬른먼지(cement kiln dust), 톱밥, 건초, 벚짖 및 점토 등이 있으며 시멘트킬른먼지와 같은 몇 가지 흡수제는 고유의 固化性 때문에 부수적인 효과도 있다.

吸着(adsorption)은 안정화 및 고형화과정에서 물리적인 구속 등에 의한 폐기물과 添加劑間에 전기화학적인 상호작용이 발생함으로써 폐기물이 첨가제의 空隙에 흡착되는 현상이다. 입자가 잘게 쪼개질수록 환경으로 오염물질의 이동이 증가하는 거대격자구속(macroencapsulation) 및 미세격자구속(microencapsulation)과는 달리, 격자속에 화학적으로 흡착된 오염물질은 비교적 안정된 상태를 유지하기 때문에 환경으로 쉽게 방출되지 않는다. 흡착은 거대격자구속이나 미소격자구속보다 항구적인 공법이라고 볼 수 있다. 유기성 점토는 대표적인 흡착물질이라 할 수 있다.

화학적 침전(precipitation)은 오염물질이 첨가제와 화학적으로 반응하여 잘 溶解되지 않는 化學沈澱物을 형성하도록 하는 것으로 주로 중금속을 함유하는 오염물질의 안정화에 이용된다. 안정화 과정에서 폐기물 중의 수산화물(hydroxides), 황화물(sulfides), 규화물(silicates), 탄산염(carbonates) 및 인산염(phosphates) 등 침전물은 안정화된 물질의 골격의 일부를 형성하도록 하는 것이다.

無害化(detoxification)는 유해한 성분을 독성이 없거나 독성이 적은 다른 성분으로 전환되도록 하는 것이다. 유해성이 강한 6가 크롬을 3가 크롬으로 환원시켜 독성을 저감시키는 것도 한 예로 시멘트계의 固化劑를 첨가하여 안정화하는 과정에서 6가 크롬이 3가 크롬으로 환원되기도 한다. 황산제일철( $FeSO_4$ ), 황산제일철과 망초의 혼합물( $FeSO_4+Na_2SO_4$ ) 등은 효과적인 첨가제로 알려졌다.

## 나) 안정화 방법

### ①시멘트(cement) 安定化

시멘트는 주된 안정화 첨가제로서 널리 사용되고 있다. 일반적으로 포틀랜드 시멘트가 많이 사용되며 시멘트는 칼슘, 규산염, 알루미늄, 산화철 등으로 조성되었으며 주성분은  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  및  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  이다. 시멘트에 물을 가하면 calcium aluminosilicate 등의 결정구조가 형성되어 바위와 같은 단단한 단괴(monolith)가 생성된다. 시멘트 안정화는 중금속을 함유하는 무기성 폐기물의 안정화에 가장 적절하게 사용된다. 시멘트의 높은 pH로 인하여, 금속은 불용성의 수산화물이나 탄산염 형태로 硬化되어 골격의 일부를 형성한다.

시멘트 고형화에 있어서 유기물은 수화공정의 妨害物質로 작용하여 안정화된 물체의 강도를 떨어뜨리고 유기물 자체는 잘 안정화되지 않는다. 유기물에 의한 시멘트 고형화의 방해줄이기 위하여 다른 첨가제를 섞기도 한다. 첨가제로는 유기성 점토, 천연 점토, 용존성 규산화나트륨(soluble sodium silicate) 등이 이용된다. 무기성 폐기물에 시멘트 안정화가 널리 이용되는데 이 기술을 능가하는 대체 공법이 없다. 왜냐하면 이 기술은 흡착이나 침전물 형성과 같은 알려진 물리·화학적 메커니즘을 응용할 수 있기 때문이다. 시멘트 안정화의 장단점은 다음과 같다.

- 시멘트의 취급, 混合, 凝固 및 硬化의 기술이 널리 알려졌다.
- 시멘트는 가격이 저렴하고 장비 및 인력의 확보가 용이하다
- 시멘트가 濕潤 슬러지에 있는 많은 양의 물을 소비하므로 대체로 폐기물중의 수분을 제거할 필요가 없다.
- 충분한 양의 물을 이용함으로써 펌프에 의한 운반이 가능하다.
- 알칼리성을 띠고 있어 산성 폐기물을 中和시킬 수 있다.
- 시멘트의 종류에 따라 養生期間의 차이가 크다.
- 응고와 경화의 전단계인 수화작용을 지연시키거나 방해하는 오염물질의 존재에 민감한 것이 가장 큰 단점이다.

시멘트로 고형하여 쓰레기 매립지에서 복토재로 활용하고자 할 때에는 압축강도가 매립작업시 매립장비의 작업성을 확보할 수 있도록  $0.5 \sim 1.0 \text{kg/cm}^2$  이상을 유지하여야 하는 것으로 알려졌다.

## ②포졸란 안정화

포졸란(pozzolans)이란 물의 존재하에 석회와 반응하여 시멘트와 같은 물질을 생성하는 물질을 말하는데 대표적인 포졸란 물질로는 비회(fly ash), 용광로 슬래그, 시멘트킬른 먼지(cement kiln dust) 등이 있다. 포졸란은 lime 및 물과 반응하여 시멘트콘크리트와 유사한 포졸란콘크리트를 생성한다. 포졸란의 구조는 非晶質 알루미노-규소(alumino-silicate) 구조로 비회가 가장 널리 쓰이는 포졸란이다. 시멘트 안정화처럼 포졸란을 포함한 안정화 기술은 무기물의 안정화에 적합한 기술이다. 비회중의 未燃燒 탄소는 폐기물 중의 유기물을 흡착하기 때문에 무기물뿐만 아니라 유기물의 안정화에 효과적이다.

## ③석회 안정화

석회(lime)는 슬러지 안정화에 이용되며, 포졸란이나 시멘트 안정화시 첨가제로 이용되기도 한다. 석회를 이용하여 안정화하는 경우 다른 안정화 물질을 섞으면 안정화 효과가 상승되기도 한다. 석회 안정화는 시멘트나 포졸란을 이용한 안정화와 마찬가지로 무기성 오염물질의 안정화에 적절하며 특히 금속염 슬러지에 널리 적용되어 왔다.

## ④유기점토 안정화

人工有機粘土(organoically modified clays)는 점토의 유기물 친화력을 증진시키고자 자연산 점토의 결정구조내에 존재하는 암모니아 같은 無機性 陽이온을 有機性 陽이온으로 치환시킨 것이다. 유기성 오염물질을 유기점토에 잘 흡착하여 유기성 폐기물을 안정화하는데 사용된다. 강도를 높이기 위하여 다른 안정화 첨가제와 함께 사용되기도 하는데, 이 경우 유기성 점토를 먼저 혼합한 후 다른 안정화 물질과 반응시켜야 한다.

## ⑤개량석회 안정화

개량석회(modified lime)는 유기성 폐기물의 안정화를 위하여 특별히 개발되었으며 석회를 유기물과 결합시켜 제조한 것이다. 이 공법은 고농도의 탄화수소와 함께 독성 유기물을 불활성화하기 위해 개발되었다. 안정화된 물체는 상당히 강하고 비교적 不透水性으로, 도로나 제방 건설시 골재로 사용할 수 있는 것으로 알려졌다.

### ⑥열경화성 안정화

열경화성 안정화(thermostating organic polymer)는 폐기물을 열경화성 수지 등의 원료와 혼합하여 熱硬化性 高分子 有機物로 생성하는 것이다. 이 공정은 고분자 유기물의 격자구조내 폐기물의 입자를 가두어 스폰지와 같은 구조의 물체를 형성시키는 것이다. 그러나 이 공정에서는 액상 폐기물과 같이 격자내에 포획되지 않은 폐기물은 가두지 못한다. 이 공정에서 생성된 안정화물은 비중이 작고, 고형화시 첨가제가 적게 소요되며, 액상 非揮發性 유기물의 안정화에 적절하다. 그러나 고가이고, 화재위험이 있으며, 폐기물 격자로부터 침출수가 발생되며, 유기물이 휘발되는 등의 문제를 안고 있다.

### ⑦열가소성 안정화

아스팔트, 파라핀, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 熱可塑性 物質(thermoplastic materials)과 폐기물을 함께 熔融시킨 후 냉각시켜 固形化한다. 식어서 고형화된 물질은 熱可塑性 物質로 뒤덮힌 폐기물의 특성을 띠며, 최종처분을 위해 포장용기에 다시 포장되어야 한다. 방사성 폐기물의 처리에 이 방법이 많이 사용된다.

### ⑧열처리

열처리 방법으로는 燒却, 燒結과 熔融 등이 있다. 소각은 부피를 감소시키기 위한 것으로 발열량이 높은 폐기물에 적합하다. 정수슬러지의 경우 수분함량이 높고 발열량이 낮아 소각처리는 바람직하지 않은 것으로 알려졌다. 소결은 슬러지를 熔融點보다 낮은 온도로 가열하여 슬러지 조성물질이 결합되어 굳도록 하는 것이고, 용융은 용융점 이상의 고온에서 슬러지를 용융시킨 후 급냉하여 비정질로 만드는 것으로 유리화(vitrification)라고도 한다.

이들 공정은 별도의 첨가제를 필요로 하지 않는다. 소성 및 용융과정에서 유기물은 휘발되거나 열분해된다. 소결 및 용융시 다른 안정화 방법과는 달리 안정화물의 부피가 감소한다는 특징을 지니고 있다. 열처리공정에서 생성된 물질은 골재로 활용할 수도 있다. 반면, 低沸點 중금속의 경우 揮散될 가능성이 있는 것으로 알려졌다.

다) 안정화의 비교

안정화는 사용되는 첨가제에 따라 安定化物의 특성에 큰 차이를 나타낸다. 첨가제를 혼합하여 고풍화 처리된 폐기물은 부피가 증가한다는 단점이 있다. 열처리를 하는 경우에는 부피가 감소하고 안정된 안정화물을 얻을 수 있으나 시설비 및 처리비용이 높아 비용 측면에서의 제약이 따른다. 시멘트를 사용한 고화는 적정량의 시멘트와 기타 첨가제를 혼합 후 일정기간 양생시켜 일반 토양과 유사한 특성을 지니도록 하는 것으로 비교적 저렴한 슬러지 처리법이다<표 2-16참조>. 특히 고화체는 매립지의 복토재나 차량 접근로의 路盤材로써 이용 가능성이 높은 것으로 평가되고 있다.

<표 2-16> 슬러지 안정화 방법의 비교

구 분	적용성 및 성능	작업성 및 비용
시멘트 안정화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중금속류의 고정효과가 큼</li> <li>· 유기물에 의한 저해가 나타남</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상온처리</li> <li>· 수분함량의 영향이 작음</li> <li>· 시설비 및 처리비가 비교적 저렴</li> </ul>
아스팔트 안정화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 접착성, 결합력, 내수성, 내식성이 좋음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 원료의 비용이 높음</li> <li>· 시설비 및 처리비가 높음</li> </ul>
플라스틱 안정화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내수성, 내약품성 등이 우수함</li> <li>· 폐플라스틱 이용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시설비 및 처리비가 높음</li> </ul>
소 결	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 물리적, 화학적 안전성이 좋음</li> <li>· 감용율이 큼</li> <li>· 저비점 중금속의 휘산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 최적 온도 변화가 좁음</li> <li>· 시설비 및 처리비용이 높음</li> </ul>
용 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대단히 치밀하여 안정한 고화체로 됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 에너지 소비가 크므로 처리비용이 가장 많이 소요</li> <li>· 저비점 중금속의 휘산</li> </ul>

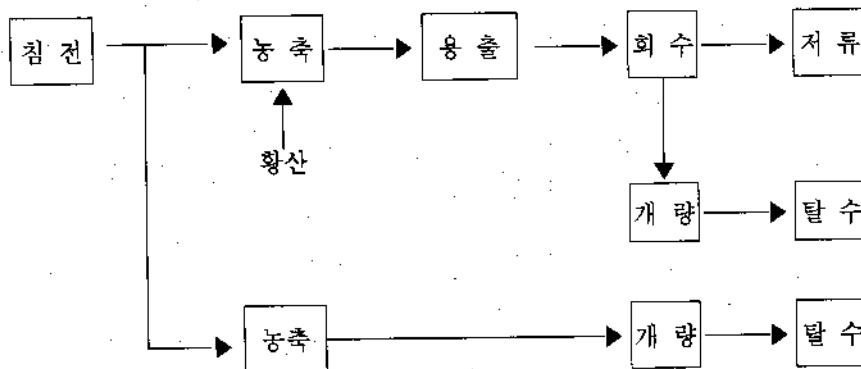
자료) 서울특별시(1992), 『하수슬러지 최종처리·처분 개선방안 연구』

## 2) 알루미늄의 회수

슬러지 중의 알루미늄 회수는 資源의節約과 再活用이란 측면과 슬러지 발생량 저감이 라는 2가지 측면에서 중요한 의미를 지닌다. 정수장 운영에 있어서는 슬러지의 취급성 향상이라는 점에서도 유익한 공정이다. 정수슬러지의 알루미늄은 정수슬러지의 주요 성분으로써 산이나 알칼리제를 이용하여 pH를 조절함으로써 회수가 가능하다. 정수과정에서 고형물의 양에 비해 과량의 알루미늄을 사용할 경우에는 슬러지의 濃縮性 및 脫水性이 저하되는 경향이 있는 것으로 알려졌다. 이러한 슬러지는 슬러지로부터 수산화알루미늄을 회수함으로써 농축탈수성의 개선을 기대할 수 있다.

### 가) 회수 원리와 특징

알루미늄 회수의 원리는 농축슬러지에 산이나 알칼리를 가하여 수산화알루미늄( $Al(OH)_3$ ) 등의 형태로 존재하는 알루미늄을 溶存性 알루미늄( $Al^{3+}$  등)으로 전환시킨 후, 원수중에 함유되었던 고형분을 침전시켜 상정액으로써 회수하는 것이다. <그림 2-9>는 알루미늄 회수공정 모식도이다. 농축된 슬러지에 황산 등을 첨가하여 알루미늄을 용출시키는 방법이다.

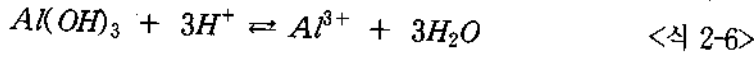


<그림 2-9> 알루미늄 회수공정 모식도

수산화알루미늄은 산성 조건 뿐만 아니라 알칼리성 조건에서도 용해되는 것으로 알려졌지만, 대체로 알루미늄의 회수는 산성 조건에서 행해진다. 그 이유는 알칼리성 조건에서는 유기물의 용출이 많고, 알루미늄의 溶出速度가 산성 조건에 비해 느리며, 알루미늄 회



수율도 낮고, 슬러지 농축성 및 탈수성이 산성 조건에 비해 개선되지 않는 등 산성 조건에 비해 결점이 많기 때문이다.



<식 2-6>은 알루미늄에 산을 투여하여 용출시키는 반응식이다. 알루미늄의 회수효율은 반응 pH, 농축조에서의 농축효율 및 반응시간 등에 의해 영향을 받는다. 슬러지로부터의 알루미늄 회수는 pH2~2.5범위의 산성 조건에서 약 10분간 溶出시키는 것이 적절한 것으로 알려졌다. 슬러지를 농축하지 않아 고형물 함량이 낮으면 溶出反應 후 소량의 고형물만 제거하면 되므로 알루미늄 회수율은 높다. 그러나, 알루미늄 농도가 너무 낮아 대규모의 저류조를 필요로 한다. 따라서 알루미늄 回收工程에 앞서 슬러지의 농축이 필요하다. 또한 슬러지를 농축하지 않으면 회수된 용액의 有效性分 농도가 낮으므로 시설의 운용면에 있어서도 농축은 필요하다. 회수공정을 통하여 50% 이상의 알루미늄 회수율을 기대할 수 있으며, 회수된 알루미늄의 농도는 슬러지에 함유된 알루미늄의 농도에 따라 다르지만 Al으로서 1,000~2,000mg/l (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로서 0.2~0.4%)로 알려졌다. 상수도 시설기준에는 수도용 황산알루미늄의 알루미늄함량은 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)으로써 7% 이상으로 규정하고 있다. 회수용액 중의 알루미늄 함량은 구입하여 사용하는 응집제 알루미늄 함량의 1/18~1/35 수준이다.

알루미늄 회수용액은 응집효과면에서 새로운 응집제와 비교하여 거의 차이가 없는 것으로 보고되고 있다. 새로운 응집제보다 효과가 더 높은 경우도 있다는 보고도 있으나 이는 알루미늄 회수시 철이 용출되어 동시에 회수됨으로써 凝集效果를 상승시켰기 때문인 것으로 추측된다.

#### 나) 적용상의 문제점

알루미늄 회수는 앞에서 언급한 바와 같이 여러면에서 의미가 있으나 회수된 용액의 농도와 양, 상수원수의 수질변동 그리고 불순물 등 여러가지 해결되어야 할 문제점을 안고 있다.

回收溶液은 새로운 응집제와 비교하여 농도가 낮으며, 정수장 운영 조건에 따라 발생되는 회수액의 양과 알루미늄 농도도 변화한다. 이에 따라 회수액의 저장이나 약품 주입량 조절 등 정수장 운영에 있어서 어려운 점이 있다. 상수원수로 가장 많이 이용되는 地表水

는 濁度變動이 크다. 고탁도에는 많은 양의 응집제를 필요로 한다. 그러나 회수액 저류조 내의 희박한 액만으로는 양적으로 부족하기 때문에 新品의 응집제를 보충하여 수처리를 하여야 한다. 따라서 高濁度 原水가 유입되는 경우에는 정수장내에 슬러지의 형태로 존재하는 알루미늄량은 증가하게 된다. 이러한 경우에는 슬러지로부터 응집제 회수량을 줄이거나 貯藏施設을 확충하여야 한다.

알루미늄 회수용액의 또 한가지 문제점은 망간의 함유다. 망간은 상수원수중에 용존하는 경우도 있으며 점토 구성 물질로서 점토와 함께 정수장에 유입되어 슬러지로 된다. 망간은 알루미늄 회수시 酸性에서 슬러지로부터 용출되어 회수액에 함유된다. 보고된 바에 의하면 일본 정수장의 알루미늄 회수액은 10~100mg/l의 망간을 함유하는 것으로 알려졌다. 망간은 중성에서는 잘 산화되지 않으며 酸化力이 강한 염소나 오존 등에 의해 산화되면 여과과정에서 제거된 후 여과지 역세과정에서 슬러지에 합류된다. 염소 등으로 산화된 이산화망간은 알루미늄 회수과정에서 잘 용출되지 않는 것으로 알려졌다. 따라서, 회수액 중에 망간의 함량이 높은 경우에는 염소 등의 酸化劑로 산화시킬 필요가 있다.

회수용액은 정수장 뿐만 아니라 하수처리장과 응집침전 공정을 설치한 산업폐수 처리 시설에서도 사용될 수 있으므로 이들과 연계하면 대규모 저류시설을 설치하지 않고서도 알루미늄 회수시설을 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3) 건조

슬러지의 재활용은 단순 매립보다는 전처리의 과정을 거친 후 재활용하는 방안을 강구해야 할 것이다.

재활용을 위한 가장 중요한 전처리는 含水率을 저감시키는 것이다. 즉 건조공정을 이용하여 슬러지의 부피를 감소시키고 후속 작업을 쉽게 하도록 하는 것이다. 특히 건조는 부피를 줄이는 역할도 하지만 농도를 높이고, 부패·變質을 방지하고, 病原菌을 사멸시키는 역할을 한다.

건조방식은 직접 가열식으로 로타리킬른 건조기 및 다단식 건조기 등이 있으며 간접 가열식으로는 로타리디스크형 건조기 등이 있다.

로타리킬른 건조기는 슬러지가 경사진 회전로로 유입되면, 회전로를 통하여 뜨거운 연소가스를 逆方向으로 이동하면서 건조시킨다. 건조된 슬러지는 로의 下部 말미에서 배출된다. 그리고 다단로 건조로에서는 슬러지가 로를 통하여 아래쪽으로 통과함으로써 건조된다. 온도는 일반적으로 370~500℃이다.

건조방법에 따른 장단점은 <표 2-17>에 제시하였다. 로타리킬른형은 건조속도가 빠르고, 自動運轉이 가능한 장점이 있으나 열효율이 낮은 단점이 있다. 반면에 다단로형은 滯留時間 조절이 용이하고, 유지관리가 쉬운 장점이 있으나 처리용량에 한계가 있다.

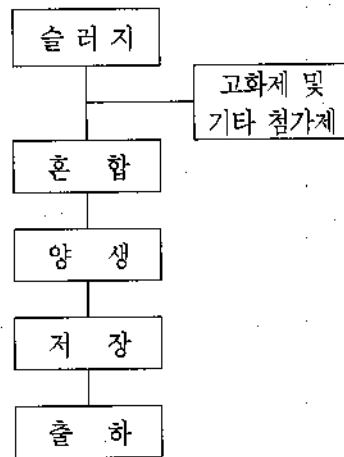
4) 再活用

가) 폐기물매립지의 복토재

정수슬러지를 폐기물매립지의 복토재로 활용하려면 안정화가 선행되어야 한다. 복토재로 활용하기 위하여는 일축압축강도가 최소한  $0.5\text{kg/cm}^2$  이상되어야 한다. 기 보고된 바에 따르면 정수슬러지에 석고 및 석회를 혼합하여 안정화함으로써  $0.5\text{kg/cm}^2$  이상의 압축강도를 얻을 수 있는 것으로 알려졌다. <그림 2-10>은 首都圈埋立地에 설치 중인 안정화시설의 공정도이다. 여기에는 슬러지의 混合, 養生 및 貯藏施設이 포함되어 있다.

<표 2-17> 건조방법에 따른 건조기의 장·단점

건조방법 내용	직 화 식		간 접 식
	로타리킬른형	다 단 로 형	
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-건조속도가 빠르다.</li> <li>-고함수율 및 점착력이 높은 슬러지도 가능.</li> <li>-예열시간이 짧다.</li> <li>-자동운전이 가능.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-체류시간의 조절이 용이하다.</li> <li>-저온건조로서 별도의 단열재 불필요</li> <li>-기계설비가 간단하여 유지관리 용이</li> <li>-예열시간이 짧다</li> <li>-자동운전 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-체류시간이 길어 건조효율이 높음</li> <li>-부분적인 자동화 가능.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-고온건조로서 별도의 단열재 필요.</li> <li>-유해가스의 배출이 우려됨.</li> <li>-열효율이 낮음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-처리용량에 한계가 있음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-체류시간이 길어 건조속도가 느림.</li> <li>-설비가 복잡하고 별도의 보일러 설비가 필요</li> <li>-유지보수가 까다로움.</li> </ul>



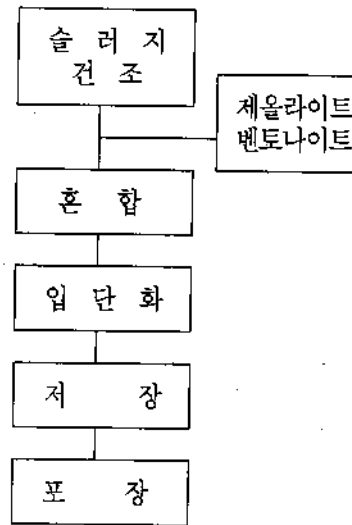
<그림 2-10> 복토재 제조과정

나) 農·園藝用土

국내에서 <그림 2-11>과 같은 공정으로 상토(床土)를 제조하여 실험적으로 벼를 재배한 결과 시중에서 판매되는 상토와 비교하여 작물의 생육에 차이가 없으며 병충해에 대한 耐性도 강하여 자원화 가능성이 높은 것으로 알려졌다.

정수장 슬러지를 농업용으로 이용하려면 식물생태계에 미치는 영향이 신중히 고려되어야 한다. 土壤改良材로써 상토가 지녀야 할 큰 특성은 배수성, 통기성, 미네랄 함유 등이다.

슬러지를 상토로 제조하여 사용하고자 할 때에는 排水性이나 通氣性 및 미네랄 함유 이외에도 再含水時 경화되는 경향이 있으므로 이러한 문제점도 고려되어야 한다.



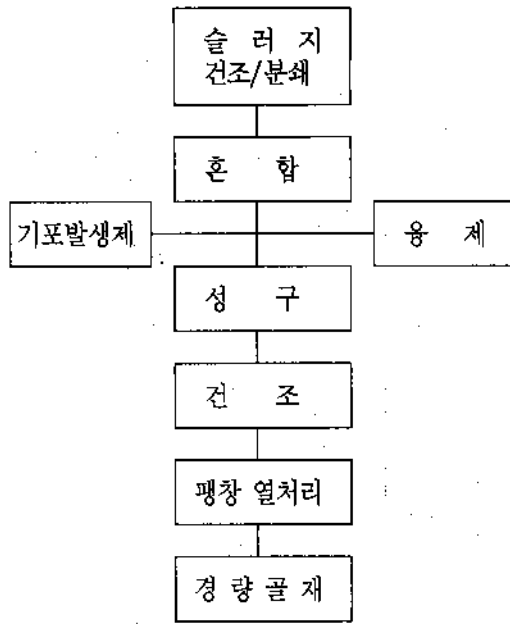
<그림 2-11> 배양용 상토 제조 과정

다) 輕量骨材

경량골재는 콘크리트의 比重을 감소시킬 뿐만 아니라 내부에 존재하는 기공으로 斷熱效果와 防音效果를 증진시킴으로써 건축자재로의 중요한 위치를 차지한다. 외국에는 천연적으로 생산되는 팽창점토나 혈암이 燒結過程에서 팽창하는 현상을 이용하여 경량골재로 제조하고 있다. 경량골재는 소결과정에서 생성된 가스가 내부에 구속됨으로써 생성된다. 현재 국내의 정수장 슬러지의 조성은 팽창에 적합한 조성과는 차이가 있으나 슬러지에 응제나 기포발생제 등을 첨가함으로써 경량골재의 제조 가능성을 기대할 수 있다. 경량골재의 제조 및 활용과정은 <그림 2-12>와 같다.

輕量骨材 생산과정에서 사용되는 첨가제로는 용제(flux)와 기포 발생제가 있다. 용제는 용융을 촉진시키기 위하여 첨가하는데 폐유리, 형석, 산화납, 붕사, 탄산소다, 산화아연 등이 사용된다. 기포발생제는 재료가 용융되었을 때 내부에서 가스를 발생시켜 재료를 팽창시키는 역할을 한다. 기포발생제로는 탄산칼슘, 황, 염화나트륨 등이 사용된다.

成句는 재료를 骨材形態의 알갱이로 만드는 것으로 성구에 적합한 수분함량은 25~30%이다. 균열의 발생을 방지하기 위해 성구된 상태로 직접 로에 투입하지 않고 건조한다. 燒結하여 생성된 경량골재는 소결온도나 용제 등의 양과 종류에 따라 영향을 받는다.



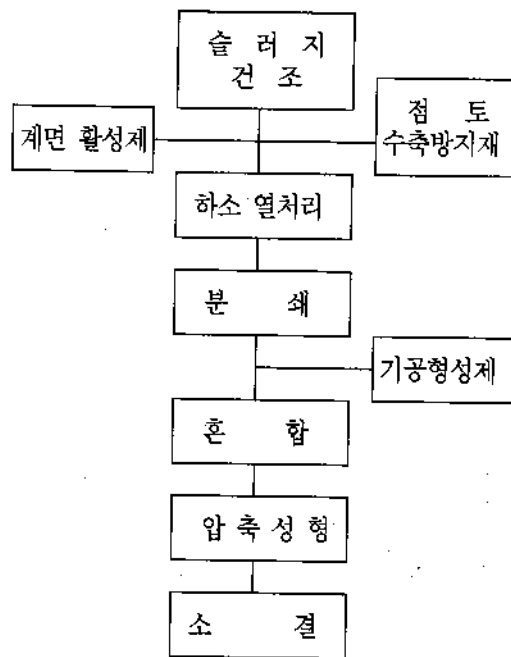
<그림 2-12> 경량골재 제조과정

#### 라) 단열벽돌

단열벽돌로써 로내에서 화염이 닿는 내벽에 사용되는 것을 내화벽돌이라고 하며 再加熱 收縮率, 비중, 열전도율 및 압축강도 등에 따라 A, B, C류로 나눈다.

정수슬러지로 제조된 단열벽돌은 알루미늄 함량이 많아 耐火性이 우수할 것으로 예상된다. 내화벽돌은 내부에 많은 기공을 보유하는 것이 바람직한데, 슬러지내의 유기물은 燒結時 氣化되면서 기공을 만들어 준다. 슬러지를 사용한 내화벽돌 제조시 첨가제로는 收縮 低減을 위한 것과 氣孔確保를 위한 것 2가지가 있다. 소결수축저감을 위하여 사모트와 공심구 등이 사용되며 기공형성을 위하여 톱밥 등이 이용된다.<sup>3)</sup> 이외에도 기공형성을 촉진시키기 위하여 계면활성제가 첨가되기도 한다. 공심구를 첨가했을 경우에는 고온에서 부서지는 현상을 방지하기 위해 粘結力이 강한 점토를 결속제로써 첨가하기도 한다.

3) 사모트는 점토를 고온에서 구워 소결수축률을 적게 만든 것이며, 공심구는 화력발전소의 폐기물로 발생하는 소각재 중 물에 뜨는 것을 말함.



<그림 2-13> 단열벽돌 제조과정

제조 과정은 <그림 2-13>과 같이 슬러지와 收縮防止劑 등을 섞은 후 불필요한 물질을 휘발시키기 위해 하소(煨燒)처리 한다. 여기에 기공형성제를 혼합하여 성형한다. 성형이 끝난 후 900~1500℃에서 소결한다.

마) 건설자재화

소결 및 용융 등에 의한 처리시에는 건조상태의 분말이나 입자가 무기물상태로 존재하여 안정성을 확보함은 물론 알루미늄을 다량 함유함으로써 경화작용을 촉진시키기도 한다. 소결이나 용융 등의 열처리 후에는 埋立하는 것 보다는 사용 목적에 따라 가공 처리하는 것이 바람직하다. 주요 建設資材로는 토질개량재, 노반재료, 인터로킹 블록 및 콘크리트 2차 제품 제조, 소성 2차 제품 제조 등이 있다.

열처리된 슬러지를 土質改良材로 활용할 경우 되메우기 흙, 성토재, 연약지반처리 첨가

재로 사용가능한 것으로 알려졌다. 盛土材로 이용하고자 할 경우 압축강도는 0.1~0.5 kg/cm<sup>2</sup> 이상, 퇴폐우기 흙으로 이용하고자 하는 경우에 수정 CBR치가 10% 이상 되도록 권장하고 있다. 路盤材로 사용할 때에도 강도가 중요하며, 수성, 소성지수 및 최대 입경은 하층노반의 경우 각각 20% 이상, 6 이하, 50mm 이하로, 상층노반의 경우 각각 80% 이상, 4 이하 및 40mm 이하로 권장되고 있다.



## 제 3 장 외국의 정수슬러지 처리·처분 현황

### 제 1 절 일본의 정수슬러지 처리·처분

#### 1. 관련규정

인구의 都市集中으로 정수생산량이 증대함에 따라 배출수의 발생도 증가하게 되었다. 배출수의 公共水域으로 배출은 水域汚染을 가중시킨다. 따라서 1976년 6월 수질오탁방지법(우리나라의 수질환경보전법에 해당함)의 시행령이 제정되어 방류수의 規制對象이 하천으로 확대되었고, 이에 일정규모 이상 정수장의 배출수도 규제대상에 포함되게 되었다. 또한 정수장 발생슬러지케익은 '폐기물의 처리와 청소에 관한 법률'에 의해 산업폐기물로 엄격히 규제되고 있다.

\* 排水處理가 의무화된 정수장의 시설규모는 다음과 같다.

- 침전시설 및 여과시설의 능력이  $1만m^3/일$ 을 초과한 경우
- 슬러지 탈수시설의 능력이  $10m^3/일$ 을 초과한 경우
- 슬러지 건조시설의 능력이  $10m^3/일$ (천일건조의 경우는  $100m^3/일$ )을 초과한 경우
- 슬러지 소각시설의 능력이  $5m^3/일$ 을 초과한 경우
- 슬러지 등의 産業廢棄物 매립처분에 제공되는 장소의 면적이  $1,000m^2$  이상인 경우

#### 2. 슬러지의 처리공정

슬러지의 처리공정은 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 즉 배출수처리공정과 탈수처리공정 및 케익처분공정이다.

배출수의 처리공정은 정수장 발생 배출수 및 슬러지의 質과 量의 특성을 파악하여 선정하여야 한다. 또한 관련법령, 경제성 및 유지관리의 용이성 등을 고려하여 종합적으로 판단할 필요가 있다. 정수장 발생슬러지는 대부분 무기성 성분으로 구성되어 있으며, 일반

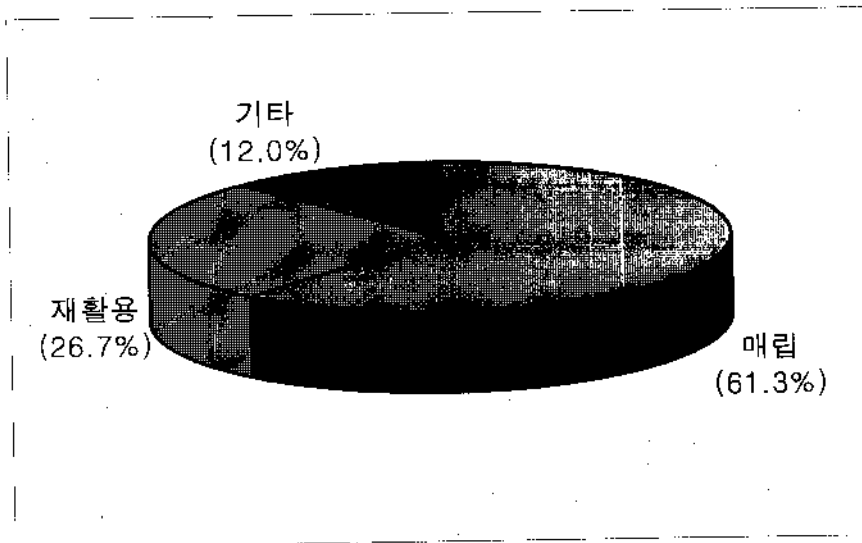
적인 배출수의 공정은 농축 → 조정 → 탈수 → 처분으로 구성되어 있다.

탈수처리공정은 最終處分을 쉽게하기 위해 무게 및 부피를 줄이는 과정이며 天日乾燥(태양을 이용하는 방법), 機械乾燥(진공건조, 가압탈수, 원심분리, 조립탈수) 등이 있다.

케익처분공정은 陸上處分(매립지에 매립하는 방법), 海洋投棄處分(해양오염의 우려 등으로 규제가 엄격함), 再活用方案(요업원료, 토양개량제, 경량골재, 성토재)등이 있다.

### 3. 일본의 淨水場 發生土의 유효이용

정수장 발생토(일본에서는 정수슬러지케익을 정수장 발생토라고도 함)는 농·원예용토, 성토(盛土), 토양개량제, 시멘트 원료 및 블록 등으로 이용되고 있다. 1993년도 정수장에서 발생한 슬러지의 有效利用比率은 매립이 62.0%, 유효이용이 26.2%, 기타가 11.8%로 나타났다. 有效利用中 농·원예용토로 이용이 2/3를 차지하고 있다<그림 3-1 참조>.



<그림 3-1> 일본의 정수장 발생토 유효이용 현황

## 제 2 절 東京都의 정수슬러지 처리·처분

### 1. 슬러지 처리시설의 변천

東京都 정수장 발생슬러지의 처리를 보면 1964년 東村山(히가시무라야마)淨水場에서 배출수처리를 위해 機械式 脫水施設을 도입한 것이 始初였다. 과거에는 정수장의 배출수는 수질규제를 받지 않아 하천으로 방류되었으나 1976년 6월 1일 수질오탁방지법의 일부가 개정되면서 배출수의 공공수역으로 방류는 수질규제를 받게 되었으며, 따라서 강화된 배출수 처리시설이 요구되었다.

배출수 처리시설의 변천을 보면 眞空脫水機(현재 사용되지 않음)에 이어 악품주입형 加壓脫水機가 '65년~'75년에 주로 설치·사용되었다. 1975년 金町(카나마치)淨水場에서는 고속침전지의 슬러지引出 및 케입의 유효이용을 목적으로 조립탈수(熱風乾燥)방식의 슬러지 탈수시설을 도입하였다. 최근에는 老朽된 슬러지처리시설의 갱신에 적합하고 발생케입 경감 및 유효이용을 위해 無藥品注入 橫型 加壓脫水機를 많이 채택하고 있다.

東京都 각 정수장의 배출수 처리시설의 현황은 <표 3-1>과 같다.

### 2. 슬러지(정수장 발생토)의 유효이용 및 처분

東京都 정수장 발생토의 처분을 보면 1987년말까지는 총발생량의 80%를 茨城縣(이바라기현) 등과 각 市町村에 있는 자갈모래 채취 후 과인 용덩이 등에 內陸埋立處分하여 왔다. 그 후 내륙매립 처분장소의 매립이 완료되어 내륙매립지의 확보가 어려워지고, 處分量 및 處分經費의 절감을 위해 유효이용량을 확대해 나가고 있다.

과거 10년간 東京都 정수장 발생토량의 현황은 <표 3-2>와 같으며, 유효이용 비율이 年次的으로 높아가고 있다. 즉 1987년에는 26%의 유효이용 비율이 1996년에는 45%로 높아졌음을 알 수 있다. 1996년 東京都의 정수장 발생토 총량은 79,020톤이었으며, 이 발생토량의 45%인 35,591톤이 유효이용되고 있다. 나머지 55%는 東京灣의 최종 처분 매립장에 매립처분하고 있다.

1997년 4월 현재

<표 3-1> 東京都 정수장의 배출수 처리시설

항 목 정 수 장	처리방식	형식	규격	대수	설치년도	발 생 토 표 준 합 수 율	1995 년도 평 균 합 수 율	비 고
東 村 山 (히가시무라야마)	가압탈수	임형	50m <sup>2</sup> /대	2대	1977	50~65%	58.2%	
		횡형	250m <sup>2</sup> /대	10대	1983		62.9%	
小 作 (오자쿠)	가압탈수	횡형	125m <sup>2</sup> /대	1대	1981	50~65%	60.8%	
			300m <sup>2</sup> /대	2대	1994			
玉川(타마가와)	가압탈수	횡형	154m <sup>2</sup> /대	4대	1978	50~60%	56.6%	공업용수
金 町 (카나마치)	조립탈수 (열풍건조식)	조립 (열풍건조식)	1.5 t-DS/제/H	4대	1976	45~55%	54.8%	
			250m <sup>2</sup> /대	4대	1978			
三 郷 (미사토)	가압탈수	횡형	300m <sup>2</sup> /대	5대	1985	50~65%	50.6%	
			14,000m <sup>2</sup>	3대	1993			
			6,000m <sup>2</sup>	-	1985			
朝 霞 (아사카)	가압탈수	횡형	250m <sup>2</sup> /대	-	1985	60~70%	-	
				-	1995			
				6대	1982			
				7대	1984			
				3대	1994			
				4대	1996			
三 園 (미소노)	가압탈수	횡형	300m <sup>2</sup> /대	3대	1992	50~65%	57.8%	
				2대	1993			
境 (사카이)	천일건조	상	1,204m <sup>2</sup>	-	1974	60~70%	-	
			1,075m <sup>2</sup>	-	1980			
砦 上 (키누타카미)	천일건조	상	1,586m <sup>2</sup>	-	1976	60~70%	-	
			3,291m <sup>2</sup>	-	1980			
砦 下(키누타시모)	천일건조	상	900m <sup>2</sup>	-	1976	60~70%	-	川崎市에 위탁
長 澤(나가사자와)	-	-	-	-	-	-	-	지하수 취수
杉 並(스기나미)	-	-	-	-	-	-	-	-

자료) 동경도 내부자료

'97년 발생토의 有效利用量中 농·원예용 배양토로 유효이용이 97.2%(여기에는 절개지 녹화용토 포함), 테니스코트 및 블록개량재로 2.5%, 모래 및 토사채취후 과잉 용덩이 등에 0.3% 그리고 기타 각종 자재의 원료로 이용되고 있다.

유효이용 방법 중 농·원예용토로의 이용은 發生土를 민간 회사에 有償 讓渡하는 방법을 택하고 있는데 유상 양도받은 회사는 자체적인 처리방법을 통하여 발생토를 農·園 藝用土로 제조하여 판매하고 있다(농·원예용토의 유상양도방법은 제2절 참조).

<표 3-2> 東京都의 정수장 발생토량 현황

단위 : 톤

년도	발생토량	유효이용량	유효이용비율(%)	처분량	처분비율(%)
1987	72,042	18,425	26	53,617	74
1988	81,246	19,815	24	61,431	76
1989	94,875	27,559	29	67,316	71
1990	88,723	29,404	33	59,319	67
1991	89,477	29,706	33	59,771	67
1992	92,035	30,160	33	61,875	67
1993	78,103	23,286	30	54,817	70
1994	78,580	23,862	30	54,718	70
1995	77,771	29,570	38	47,269	62
1996	79,020	35,591	45	43,428	55

자료) 東京都廳 내부자료

동경도의 각 정수장별 슬러지 발생량 및 처분량, 유효이용 실적은 <표 3-3>과 같다. 정수장별 슬러지 발생량은 朝霞淨水場이 가장 높고, 유효이용량은 金町淨水場이 가장 높게 나타나고 있다. 특히, 金町淨水場은 슬러지 전량을 유효이용하고 있다.

<표 3-3> 東京都의 각 정수장별 슬러지 발생량 및 유효이용량

단위 : 톤

정수장	발생량	처분량 (동경단)	유효이용량	유효이용내역(1996)				
				토사채취 후 파인 응덩이	토양 개 량재	원예용 자재	소규모 양도	내부 이용
金町	18,977	0(0)	18,977(100)6.5	96		18,628	253	
三郷	16,562	10,005(60)	57(40)		639	6,557		
朝霞	22,010	18,265(83)	3,745(17)		259	1,837	1,269	
東村山	14,192	7,944(56)	6,248(44)			5,530	459	
小作	1,462	1,462(100)	0(0)					
三園	5,097	5,033(99)	64(1)			64		
境	440	440(100)	0(0)			주)절개		
玉川	121	121(100)	0(0)			지녹화		
粘上	122	122(100)	0(0)			용토를		
粘下	37	37(100)	0(0)			포함		
계	79,020	43,428(55)	35,591(45)	96	898	32,616	1,981	

자료) 東京都廳 내부자료

### 3. 슬러지의 성상

일반적으로 슬러지 중의 強熱減量 및 알루미늄분의 비율이 높게되면 탈수성이 좋지않게 된다. 반면 실리카분의 비율이 높으면 탈수효율이 상승한다. <표 3-4, 5>는 수계가 다른 金町(江戸川), 朝霞(荒川)정수장 슬러지케익의 性狀 분석결과이다.

분석결과를 보면 強熱減量은 21.6~34.6%이고, 알루미늄 성분은 16.1~25.8%, 실리카 성분이 29.5~37.4%로 나타나고 있다. 이것은 서울시의 강열감량 4.5~7.3%와 SiO<sub>2</sub> 31.8~59.8%와 비교해서 강열감량은 높고, 실리카 성분은 낮은 것으로 나타나고 있다. 즉, 東京都 淨水場 슬러지케익은 서울시의 슬러지케익보다 有機物質이 높은 것으로 나타났다.

<표 3-4> 金町淨水場 슬러지 性狀

단위 : %

구 분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	평균
강열감량	94년	40.4	30.8	26.4	26.9	20.8	14.4	14.9	20.2	20.7	41.7	31.8	25.3	26.2
	95년	24.4	21.5	34.9	46.9	47.2	40.5	18.8	21.8	44.4	43.8	35.0	35.8	34.6
알루미늄 성분	94년	18.0	17.9	16.7	17.9	16.9	14.9	21.1	18.4	22.7	19.7	17.7	18.6	18.4
	95년	18.8	16.5	14.8	10.4	13.2	15.7	15.9	17.4	15.2	18.9	16.4	19.7	16.1
실리카 성분	94년	27.2	33.2	40.7	38.6	40.8	48.2	42.7	39.9	40.0	23.0	32.2	32.8	36.6
	95년	36.4	39.7	34.3	16.7	24.4	27.2	47.0	31.5	25.0	22.0	26.7	23.6	29.5

<표 3-5> 朝霞淨水場 슬러지 性狀

단위 : %

구 분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	평균
강열감량	94년	30.7	32.0	31.8	27.6	19.6	14.1	14.7	15.5	16.3	15.5	18.2	22.7	21.6
	95년	23.7	25.4	29.1	24.1	23.4	28.6	16.0	17.0	18.2	23.5	25.5	26.3	23.4
알루미늄 성분	94년	26.4	25.6	25.0	24.1	23.7	21.8	22.8	20.3	24.6	22.9	24.9	25.8	24.0
	95년	25.3	25.5	26.2	25.9	26.0	28.3	24.8	24.1	22.9	27.4	26.6	26.0	25.8
실리카 성분	94년	26.7	26.3	28.3	32.5	39.9	46.2	45.1	43.0	41.1	44.1	40.2	35.9	37.4
	95년	35.3	34.3	29.0	33.3	33.1	31.7	42.4	41.4	41.8	33.7	32.4	31.1	35.0

#### 4. 발생토의 有償 讓渡 및 처분에 관한 고찰

東京都의 슬러지 발생량은 태풍 등의 영향으로 약간의 변동은 있지만 연간 약 80,000 톤 정도 발생하고 있다. 그 중 약 30~40%를 농·원예용토 등으로 유효이용하고 있다.

현재 東京都의 유효이용(유가물이 되면 산업폐기물에서 제외)을 위한 양도방법은 다음 두 종류에 해당한다. 즉 少量 有償 讓渡와 有償 讓渡 協定이 있다. ① 유상 양도를 보면 소량(약 500톤 까지) 유상 양도를 거쳐 연속이용될 경우의 양도 및 일시적인 대량 양도가 있으며, ② 유상 양도협정은 정수장과 양도자가 협정을 체결하여 양도하는 방법이 있다.

자갈채취 후의 용도가 매립은 조건이 맞으면 내륙처분장에 발생토를 매립한다. 이 경우 각각의 조건(처분장소의 적합여부, 縣 및 市町村의 認·許可, 토지소유자(地權者)·지역 주민 등의 동의, 운반경비 등)을 검토하여 최종적으로 東京都에서 판단하여 처분한다.

소량 유상 양도 : 양도량(약 500톤)이 적고, 비교적 단기간 및 간헐적으로 인도하는 방법으로, 發生土는 상품화 연구 등에 주로 이용된다. 이 경우 발생토의 積載 및 運搬費는 이용자가 부담한다. 또 협정서 등의 변형 방법으로 “발생토 구입신고서”의 양식을 통해 구입하는 문제나 사무처리를 간소화시키고 있다.

유상 양도 협정 : 소량 유상 양도가 발전하여 장기적 전망이 있는 경우, 또는 처음부터 연속적으로 장기간 또는 일시적으로 大量 利用이 확실하다고 판단될 때 協定을 체결하여 유상 양도한다. 이 경우 발생토의 적재는 東京都에서 실시하며, 운반비는 利用者負擔이 원칙이다.

## 5. 東京都 방과제 매립지의 고화처리

東京都 방과제 매립지에서는 탈수케익에 소각재와 특수시멘트를 혼합하여 양생시킨 후 深層埋立하고 있다. 이 때의 混合比率는 대략 탈수케익 : 소각재 : 특수시멘트 = 100 : 10 : 10이다. <표 3-6, 7>은 고형화슬러지의 物理特性과 力學特性을 나타낸 것이다.



<표 3-6> 매립지반의 물리특성

항 목	매 립 토 (고화케이크)	실트질 점토
비 중	2.34 ~ 2.46	2.64 ~ 2.70
함 수 비	170 ~ 330 %	85 ~ 110%
모래분함유량	2 ~ 10 % (일부 1 %)	0.5 ~ 1.5 %
최대입경	0.85 ~ 4.76 m/m (일부 0.42 m/m)	0.25 ~ 0.85 m/m
습윤밀도	1.04 ~ 1.23 g/cm <sup>3</sup>	1.42 ~ 1.53 g/cm <sup>3</sup>

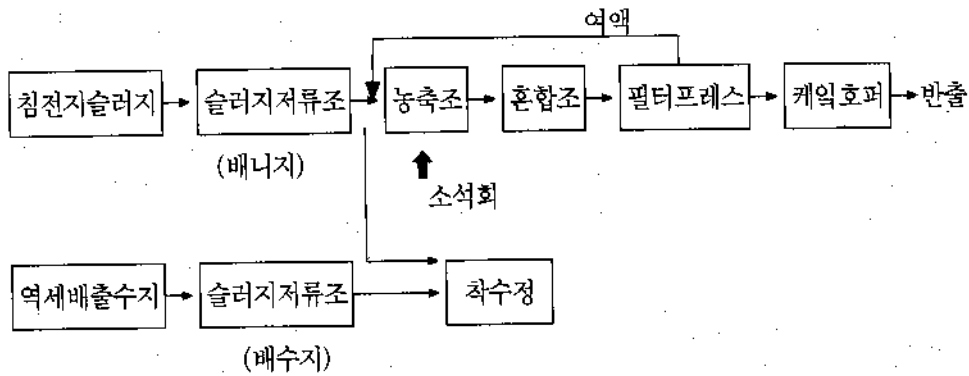
<표 3-7> 매립지반의 역학특성

항 목	매 립 토 (고화케이크)	지 산 (실트질점토)
일축압축강도	0.19 ~ 1.22 kg/cm <sup>3</sup>	0.20 ~ 0.53 kg/cm <sup>3</sup>
점 착 력	0.38 ~ 0.92 kg/cm <sup>2</sup> (대표치 0.40)	0.14 ~ 0.24 kg/cm <sup>2</sup> (대표치 0.15)
전단저항각	22° 14' ~ 26° 34' (대표치 24° 00')	21° 14' ~ 23° 45' (대표치 21° 00')
압 밀 용 력	0.70 ~ 2.52 kg/cm <sup>3</sup>	0.37 ~ 0.43 kg/cm <sup>3</sup>
체적압축계수	$5.78 \times 10^{-2} \sim 1.63 \times 10^{-1} \text{cm}^3/\text{kg}$	$1.98 \times 10^{-1} \sim 2.13 \times 10^{-1} \text{cm}^3/\text{kg}$
압 밀 계 수	$6.00 \times 10^2 \sim 1.63 \times 10^1 \text{cm}^2/\text{day}$	$9.23 \times 10^1 \sim 3.50 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{day}$

### 제 3 절 名古屋市의 정수슬러지 처리·처분

#### 1. 배출수처리시설

名古屋市에는 春日井, 鍋屋上野 및 大治 정수장 등 3개 정수장이 있다. 각 정수장의 배출수처리의 흐름도는 <그림 3-2>와 같다. 또한 조정조 및 농축조의 시설은 <표 3-8, 9>와 같다.



<그림 3-2> 名古屋市 슬러지 처리 흐름도

<표 3-8> 名古屋市 정수장별 배출수 처리시설

정수장 항 목		春日井정수장	鍋屋上野정수장	大治정수장
슬러지 저류조 (배수지)	형태	8.25m×24.15m×深7.5m	환형 직경 17.0m×深2.5m	40.6m×15.1m×深3.35m 54.0m×11.1m×深2.5m
	용량	2,958m <sup>3</sup> (1,479m <sup>3</sup> /池×2池)	570m <sup>3</sup> (570m <sup>3</sup> /池×1池)	2,600m <sup>3</sup> (1,500m <sup>3</sup> /池×1池 + 1,100m <sup>3</sup> /池×1池)
슬러지 저류조(배 슬러지)	형태	14.15m×15.90m× 深2.7~3.9m	11.0m×9.9m×深3.5m	19.7m×9.4m×深2.8m
	용량	1,216m <sup>3</sup> (608m <sup>3</sup> /池×2池)	350m <sup>3</sup> (350m <sup>3</sup> /池×1池)	500m <sup>3</sup> (500m <sup>3</sup> /池×1池)
농축조	형태	환형 중앙집약 배출형 직경26m×深4.0m -2池 사각형 중앙집약 배출형 30m×30m×深6.1m-2池	환형 중앙집약 배출형 직경16m×深6.0m-1池	사각형 중앙집약 배출형 25m×25m×深5.0m-4池
	용량	환형 중앙집약 배출형 4,920m <sup>3</sup> (2,460m <sup>3</sup> /池×2池) 사각형 중앙집약 배출형 11,000m <sup>3</sup> (5,500m <sup>3</sup> /池×2池)	환형 중앙집약 배출형 1,200m <sup>3</sup> (1,200m <sup>3</sup> /池 ×1池)	사각형 중앙집약 배출형 12,500m <sup>3</sup> (3,125m <sup>3</sup> /池×4池)

<표 3-9> 名古屋市 정수장별 탈수시설

정수장	春日井정수장	鍋屋上野정수장	大治정수장
항목			
型式	單式全自動	單式全自動	橫型複式全自動
機種	NR형	NR-PF-II형	NFP형
台數	6 대	2 대	4 대
濾過面積	182 m <sup>2</sup>	75 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
濾室數	40 실	20 실	16실
濾過能力 (소석회주입시)	2.06 kg·DS/m <sup>2</sup> ·h	4.5 kg·DS/m <sup>2</sup> ·h	10 kg·DS/m <sup>2</sup> ·h
機械크기	가로7.7m×세로2m×높이3.1m	가로6.6m×세로2.8m×높이4.1m	가로9.1m×세로3m×높이3.5m
脫水케익 含水率	65±5%	55±5%	55±5%
濾布	각 여실 단독	각 여실 단독	1매씩 연속
濾板締付	유압 180 kg/cm <sup>2</sup>	유압 210 kg/cm <sup>2</sup>	유압 210 kg/cm <sup>2</sup>
汚泥 타입	왕복펌프 6 kg/cm <sup>2</sup>	원심펌프 3.5 kg/cm <sup>2</sup>	원심펌프 4 kg/cm <sup>2</sup>
汚泥 壓搾	없음	원심펌프 15 kg/cm <sup>2</sup>	원심펌프 12 kg/cm <sup>2</sup>
濾布세정장치	별도 부착 (가변식 펌프)	본체내 삼입	본체내 삼입
汚泥量	3.75 t/d (7시간, 1대 35%) 1.31 t·DS/d)	5.25 t/d (7시간, 1대 45%) 2.36 t·DS/d)	7.8 t/d (7시간, 1대 45%) 3.5 t·DS/d)
脫水사이클	120~180분	30~50분	16분

## 2. 탈수케익 처분

### 1) 처분지가 전·답 등 평탄지인 경우

처분지가 전·답 등 평탄지인 경우에는 처분지를 3~4m 장방형으로 분할하고 3m를 掘鑿한다. 그 곳에 탈수케익을 2.5m가량 투입한 후 굴삭토로 복토한다. 이러한 작업을 분할된 구역에 순차적으로 진행시킨다. 최종 작업공정으로는 굴삭토를 전체 면적에 0.5m 두께로 높여서 覆土한다. 이 사례는 처분업자가 농가의 의뢰를 받아서 진행한다.

## 2) 처분지가 구릉지대인 경우

구릉지대인 경우에는 處分地 한곳에 케익을 쌓아둔 후 그 케익에 1/4정도 현지 일반 흙을 혼합한다. 濕地用 불도져(접지압력  $0.28\text{kg/cm}^2$ )를 이용하여 구릉지의 웅덩이에 매립한 후 현지 일반흙을 최종복토재로 이용하여 0.5m 두께로 복토한다. 이 경우 지내력은 크게 높아지지 않는다.

## 3) 폐광 등의 충전재로 이용

名古屋市 東部 구릉지대에서 岐阜縣東濃西南部에 걸쳐 아연폐광이 다수 존재하고 있다. 아연채굴은 1965년경에 끝났으나 폐광의 沈沒 및 沈下 등이 일어날 수 있으므로 대책 마련이 시급하였다. 또 이 지방은 일본에서 유명한 도자기 산업지대이고 요업원료공업에서 배출되는 未利用 低級 粘土 등의 처분에 고심하던 名古屋市에서는 이러한 廢棄粘土와 정수장 發生土를 혼합하여 아연폐광에 충전재로 사용하였다.

### ○ 실험 경과 규모

- 폐광관련 시책위원회 발족 : 1974년 12월, 구성원(名古屋 通산국, 대학, 공립시험 연구기관 및 관계 지방공공단체)

### ○ 소규모 충전실험

- 愛知縣(아이치현) K시 지역, 실시년도 1975년, 충전량  $790\text{m}^3$

### ○ 대규모 충전실험 및 영향조사

- 愛知縣 N町 지역, 실시년도 1976년, 충전량  $3,600\text{m}^3$ (1일  $150\text{m}^3$ )

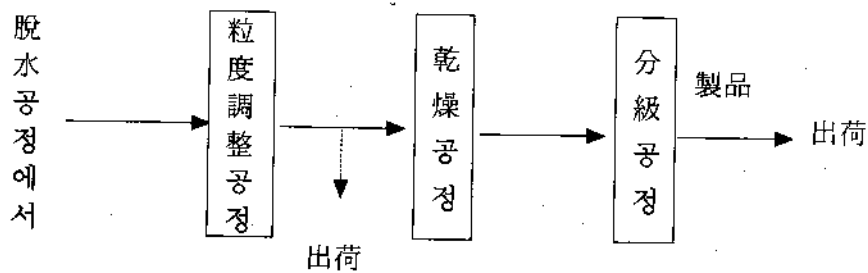
실시년도 1977년, 충전량  $50,000\text{m}^3$ (1일  $500\text{m}^3$ )

## 제 4 절 千葉縣(치바현)정수장의 발생토 재활용

千葉縣정수장의 발생토 有效利用 현황은 <표 3-10>과 같다. 千葉縣의 탈수 등 배출수 처리상황은 앞서 설명한 東京都의 것과 거의 비슷하다. 따라서 여기서는 정수장 발생토를 부가가치가 높은 자원으로 이용한 사례에 대해 설명하겠다. 정수장 발생토의 제품 제조를 위한 기본흐름도는 <그림 3-3>과 같이 발생토를 粒度調整工程을 통과시킨 후 건조공정과 분급공정을 거쳐 제품으로 나오게 한다.

<표 3-10> 千葉縣의 정수장 발생토 유효이용 상황  
(1989년도~1993년도 평균)

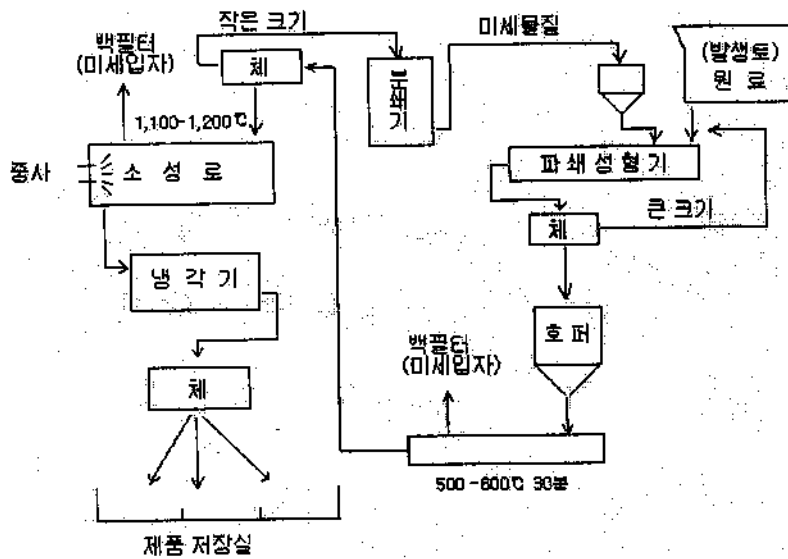
항목 정수장	이용용도	이용량 (t)	이용량 합계 (t)	이용량 점유율 (%)	연간발생량에 대한 이용율 (%)
佐倉	객토	1,032	3,346	30.9	96.0
	원예용토	376		11.3	
	식재용토	1,205		26.0	
	기타	733		21.9	
南八幡	객토	27	1,223	2.2	100
	식재용토	1,190		97.3	
	기타	6		0.5	
人見	원예용토	431	3,084	14.0	100
	식재용토	1,402		45.5	
	육묘용토	815		26.4	
	기타	436		14.1	
印旛沼	식재용토	7	발생량	7,893 t/년	0.09



<그림 3-3> 정수장 발생토 製品 製造 基本 흐름도

## 1. 수경원예용 輕量骨材 개발

수경원예용 경량골재는 거의 수입되고 있으며, 최근 폐기물 파쇄슬러지를 이용하여 수경용 경량골재를 개발한 사례가 있다. 경량골재의 제조방법은 <그림 3-4>와 같다.



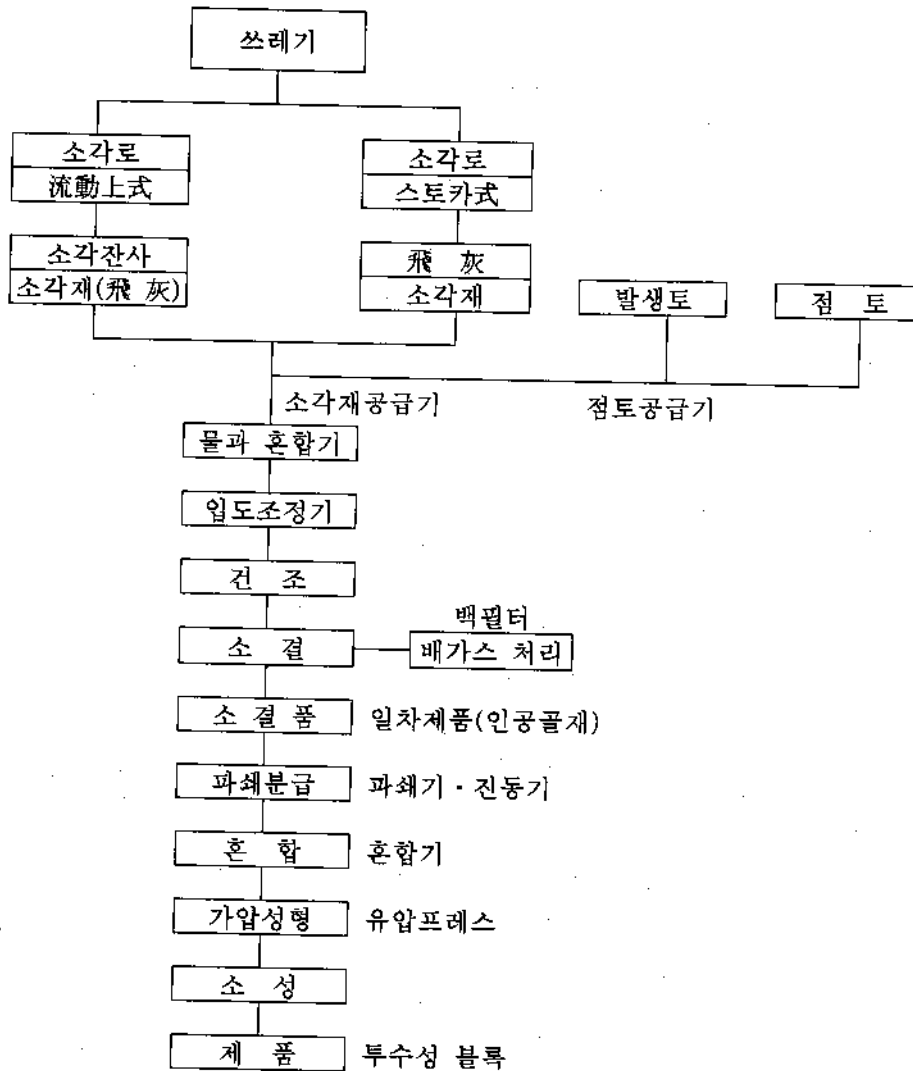
<그림 3-4> 초경량골재 제조 흐름도

수경용 경량골재는 發色性이 양호하여야 하고, 비중이 0.6~0.7 이하, 흡수성은 20~30%, 발포성이 우수하여야 한다.

千葉懸 정수장 발생토를 안정적인 원료로 이용하기 위하여 여러 조건으로 실험한 결과 發色性은 산화철을 1~5% 첨가하여 향상시켰다. 발생토를 경량골재로 개발하기 위해서는 상품단가의 採算性을 맞추어야 하고, 發色性을 개선할 필요가 있으며 수요처를 개척할 필요가 있다고 보고되고 있다.

## 2. 透水性 블록 개발

투수성 블록은 <그림 3-5>와 같이 종래에는 燒却灰와 粘土를 이용하여 제조하였으나 여기에 발생토를 첨가하여 제조토록 한 것이다. 여러 조건의 소결실험을 실시하여 最適配合比나 燒結溫度를 선정하였다. <표 3-11>은 투수성 블록을 제조하기 위한 원료의 최적 혼합비를 나타낸 것이다.



<그림 3-5> 透水性블록 제조 흐름도

<표 3-11> 투수성 블록 제조원료의 最適 配合比

정수장명 / 재의 종류	유동상로 燒却飛灰 (南八幡은 혼합재)	스토카로 소각재
南八幡정수장	재 : 발생토 : 점토 = 5 : 5 : 0	재 : 발생토 : 점토 = 5~7 : 5~3 : 0
人見정수장	재 : 발생토 : 점토 = 5 : 5 : 0	
佐倉정수장	재 : 발생토 : 점토 = 5 : 5 : 0	
印旛沼정수장	소결곤란	재 : 발생토 : 점토 = 4 : 4 : 2 (발생토를 많이 사용한 경우) 재 : 발생토 : 점토 = 5 : 2.5 : 2.5 (재를 많이 사용한 경우)
	단, 印旛沼 발생토는 제품 제작결과, 무석회 발생토와의 혼합 사용이 필요	

### 제 5 절 수도관 포설토로 재활용

1983년 정수장 탈수케익을 수도관 포설공사로 이용한 사례가 많이 있으며, 1989년에는 Y시 전역에 포설되었다.

#### 1. 포설토 제조공정

포설토의 製造工程은 다음과 같다.

- 탈수케익을 포설토시설의 케익 파쇄기에 유입시킨다.
- 4개 날개 회전파쇄기에서 細粒으로 파쇄된다. 파쇄된 탈수케익은 계량 호퍼로 이송된다.
- 또한 다른 계열의 모래(山砂)가 계량 호퍼에 투입된다.
- 계량 호퍼에 투입된 파쇄된 케익과 모래(山砂)는 혼합기에 투입되고, 동시에 시멘트계 固化劑가 일정비율로 투입된다. 교반날개가 부착된 혼합기에서 시멘트와 파쇄케익 및 모래(山砂)는 적절하게 혼합된다. 혼합기에서 제조된 제조품은 養生場所에서 2주간 양생된다. 이 기간에 시멘트의 수화반응이 완료되어 포설토 제품이 제조된다. 이 제품은 수도관



포설토 및 가스관 포설토로 사용되기도 하고, 토목재료로 이용되기도 한다.

## 2. 제조공정의 특징

제조공정의 특징은 다음과 같다.

- 4개 날개 回轉破碎機는 함수율이 높은 케익을 쉽게 파쇄할 수 있다.
- 탈수케익의 수분조정 및 포설토의 강도 補强材로서 모래를 첨가한다.
- 이 고화제는 포틀랜드 시멘트와 같이 강도는 없으나 土壤改良劑로서 석회대체제로 많이 사용되고 있다. 본 시멘트계 고화제를 사용하여 실내수정 CBR치 15% 이상 되는 포설토가 된다.
- 넓은 양생장소를 확보하여 제품의 수화반응이 충분히 일어나도록 한다.
- 케익 함수율 : 평균 50%
- 混合添加物 및 비율 : (탈수케익 : 모래 : 고화제 = 100 : 5 : 8)

## 3. 포설토 사용실적

포설토 사용실적은 <표 3-12>와 같이 1985년의 836m<sup>3</sup>/년에서 1990년의 16,555m<sup>3</sup>/년이었다.

<표 3-12> 포설토 사용실적

단위 : m<sup>3</sup>

년 도	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
개량토 생산량	9,170	10,857	12,474	10,150	15,444	17,487	16,555	16,369	14,591	12,774	12,054
도로 사용량 (수도관 포설)	1,180	836	3,206	2,799	3,337	3,499	16,555	14,919	14,591	12,774	11,431
기타 사용량	7,990	10,021	9,268	7,351	12,107	13,988	0	1,450	0	0	623

## 제 6 절 미국의 슬러지 처리·처분

### 1. 법적 경위

미국에서는 1990년대부터 하·폐수슬러지를 살아 있는 고형물질이라는 의미를 가진 biosolids라고 부르기 시작했다. 이것은 하수처리장에서 나오는 폐기물이라기 보다 재활용 물질로 보는 시각에서 비롯된 용어이다. 앞서 설명한 일본에서도 정수장의 슬러지케익을 정수장 발생토로 부르는 것과 같은 개념이다.

미국의 슬러지 배출을 규제하는 법률은 地表水의 수질을 다루는 Clean Water Act(CWA)와 Federal Water Pollution Act(FWPA)로 하천에 슬러지의 직접 排出을 제한하고 있다. 두 번째로 Resource Conservation and Recovery Act(RCRA)와 Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act(CERCLA)는 슬러지의 토지처분을 제한하고 있다.

미국 환경보호청(U.S. EPA)은 1994년 하수슬러지의 재사용에 관한 법 “The Standards for the Use or Disposal of Sewage, 40CFR Part 503(일명 503규정)”을 제정하였다. 이 법의 주요 내용을 보면 슬러지케익은 전답, 정원, 골프장, 산림과 공원 등에 살포할 수 있는데 이러한 살포가 환경과 인체에 해를 줄 수 있으므로 슬러지의 농경지에 이용 시 適用基準 등을 제시한 것이다.

503규정의 주요 내용을 보면 Subpart A는 슬러지의 生産·處理·燒却·土地適用 및 埋立場을 운영하는 공공 또는 사설 처리장의 적용을 규정하고 있다. Subpart B는 슬러지를 전답, 산림, 土地適用, 草地撒布 등 土壤撒布를 목적으로 판매하는 경우에 적용된다. 또한 이 규정은 슬러지의 질을 슬러지에 포함된 오염물질의 농도에 따라 最大許容濃度와 許容濃度로 구분하였으며, 병원균의 농도 및 제어에 따라 A급, B급으로 나뉜다. 여기서 A급, B급의 조건은 대장균과 바이러스에 대한 平均濃度 등을 기술한 것으로 <부록>에 제시하였다.

503규정은 양질의 슬러지의 경우 규제대상이 되지 않도록 하고 있다. <표 3-13>은 슬러지를 토양에 살포할 경우 필히 지켜야 할 오염물질의 한계농도와 적용한계치를 나타낸 것이다. 토양에 살포하기 위해서는 슬러지케익이 최소한 최대 허용농도이내에, 병원균

농도에 따른 분류로 B급이내여야 한다.

일반적으로 정수슬러지의 土壤撒布에도 하수슬러지의 오염물질의 한계가 적용되고 있다.

<표 3-13> 슬러지의 토양살포시 오염물질의 한계

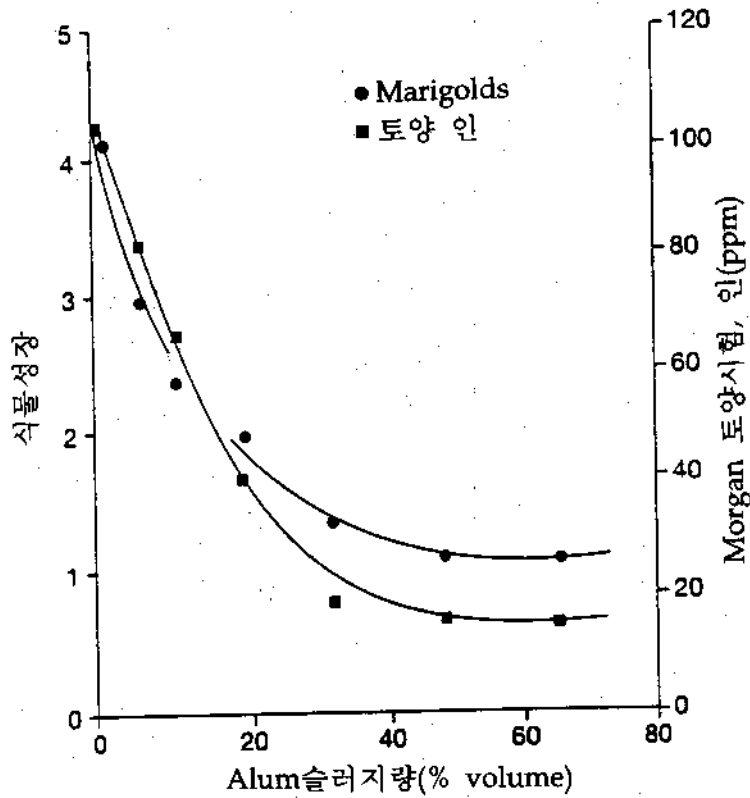
오염물질	최대허용농도 (mg/kg dry w.t)	누적오염허용치 (kg/ha)	최대허용농도 (mg/kg dry w.t)	연간허용치 (kg/ha/year)
비소	75	41	41	2
카드뮴	85	39	100	1.9
크롬	3,000	3,000	1,200	150
구리	4,300	1,500	1,500	75
납	840	300	300	15
수은	57	17	17	85
니켈	420	420	420	21
세레늄	100	100	36	5
아연	7,500	2,800	2,800	140

## 2. 슬러지의 처리 및 토지 적용

펜실베이니아주 정수처리회사에서 발생한 슬러지의 농업이용을 위한 금속물질의 한계를 분석한 결과 18개의 정수처리장(Ellwood, New Castle, Cannons, Hay Mine, Aldrich Station, Kane, Clarion, Indiana, Punx, Kitt, Milton, White Deer, Silver Spring, Yellow Breeches, Hershey, Norris Town, Yardly, Mont, Sus) 중 8개의 淨水處理場(Kane, Clarion, Indiana, Punx, Kitt, Milton, Norris-Town)에서 발생된 슬러지의 金屬物質이 최대허용농도를 초과하여 土壤供給用 슬러지로서의 사용이 금지되었다. 최대허용농도를 초과한 금속물질은 주로 니켈과 아연, 구리이다<표 3-14 참조>.

토지 적용에 있어 정수슬러지에 포함된 alum은 식물에 유용한 3가 磷 농도를 不溶化

시켜 감소시킨다. <그림 3-6>은 토양에서 alum량의 증가와 관련된 것으로 植物成長의 억제와 유용한 3가 인 사이의 관계를 나타낸 것이다. 토양에 alum량이 증가함에 따라 유효한 인농도는 감소한다. 또한 금잔화의 성장도 비례적으로 감소한 것으로 나타나고 있다.



<그림 3-6> Alum의 양과 유효 3가 인의 관계

<표 3 -14> 펜실베이니아주 20개 정수처리장 발생슬러지의 금속물질량

Parameter	Total Metals Results, mg/kg									
	Agricultural Utilization, MCL	Ellwood	New Castle	Cannons	Hays Mine	Aldrich Station	Kane	Clarion	Indiana	Punx
Cadmium	50	0.64	<0.5	<0.5	0.79	3.2	10	16	11	8.1
Copper	1000	91	42	110	32	-	170	111	233	66
Chromium	1000	24	47	89	15	63	6.7	39	138	32
Lead	1000	39	82	70	30	74	64	95	59	47
Mercury	10	<0.1	<0.1	<0.1	0.26	<0.047	<0.1	0.3	1.2	9.8
Nickel	200	66	35	35	83	-	320	1055	1319	595
Zinc	2000	390	670	180	790	-	650	3325	2463	1625
Oil grease (%)	<1	<0.1	<0.1	-	0.06	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1
Date		4/86	10/87	10/87	2/86	2/83	10/87	3/87	1/87	2/87
MCL exceeded?		no	no	no	no	no	yes, nickel	yes, nickel zinc	yes, nickel zinc	yes, nickel

Parameter	Total Metals Results, mg/kg									
	Kitt	Milton	White Deer	Silver Spring	Yellow Breeches	Hershey	Norris Town	Yardley	Mont	Sus
Cadmium	3.6	1.4	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2	1.3	<0.5	1.8
Copper	62	48	21	37	530	41	1300	220	240	181
Chromium	29	29	35	24	110	47	130	47	8	10
Lead	56	33	29	40	38	38	97	63	43	55
Mercury	6.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.5
Nickel	335	210	12	25	31	38	130	29	44	40
Zinc	847	570	130	77	120	660	330	410	120	68
Oil grease (%)	0.03	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-
Date	3/87	10/87	10/87	11/87	12/87	11/87	10/87	11/87	11/87	12/87
MCL exceeded?	yes, nickel	yes, nickel	no	no	no	no	yes, copper	no	no	no

주) 최대허용기준은 최근 더욱 강화되었음.

자료) AWWA Research Foundation KIWA Ltd, Sludge

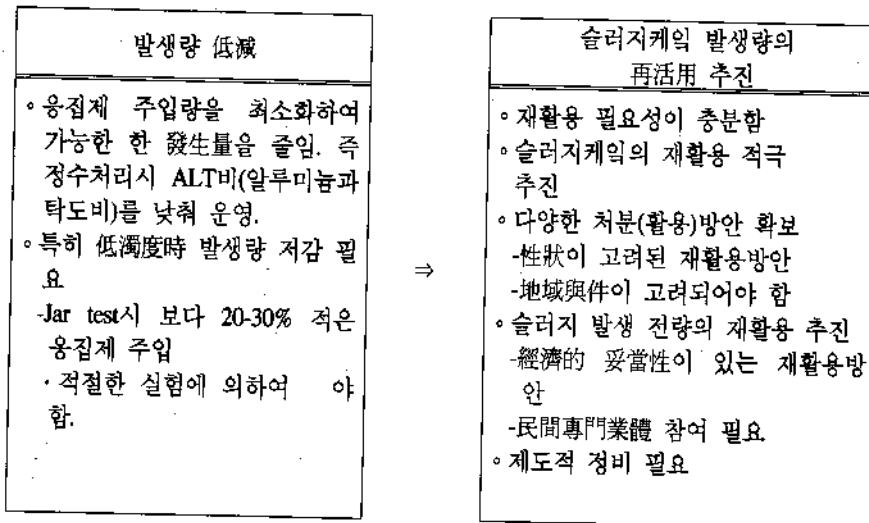


# 제 4 장 實用可能한 재활용방안

## 제 1 절 기본방향

### 1. 기본개념

정수슬러지의 재활용을 위한 基本方向은 <그림 4-1>과 같다. 즉, 발생량을 저감시키고, 현재 全量 埋立에서 再活用을 실시하는 方向으로 轉換이 되어야 하며, 將來에는 發生 全量이 재활용되어야 한다.



<그림 4-1> 재활용 추진을 위한 기본방향

### 2. 세부 기본방향

#### 1) 발생량 低減

淨水處理工程에서 슬러지의 발생량을 감소시키는 방안이 강구되어야 한다. 즉 처리공정에서 발생량을 최소화할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 응집제의 주입량을 가능한 한

最少化하여야 한다. 즉 ALT비(알루미늄과 탁도의 비)가 최소화되도록 응집제를 주입하여야 한다. 특히 저탁도시에는 자테스트(Jar test)시 결정된 응집제의 주입량보다 20~30% 적게 주입하도록 한다. 이때 적절한 실험에 의하여 注入량을 결정하여야 한다.

## 2) 전량 매립에서 再活用으로 轉換

### 가) 재활용의 필요성

정수슬러지는 폐기물과 음식물쓰레기의 재활용이나 減量化방안보다 훨씬 덜 강조되고 있다. 몇 곳의 정수처리장에서 배출되기 때문에 시민들의 관심도 훨씬 적은 편이다. 그러나 정수슬러지도 매립하여 버리는 폐기물이 아니라 재이용될 수 있는 자원이라는 측면에서 접근되어야 한다. 특히 排出源이 限定되어 있고, 性狀이 비교적 均一하므로 정수슬러지의 재이용은 활성화될 수 있다.

### 나) 制度的 整備 필요

재이용에 대한 법적 규정의 미비로 技術開發의 活性化가 어려운 실정이다. 특히 슬러지의 人工覆土材 및 客土材(土壤改良材), 간척지 埋立土材 등으로 사용하기 위해서는 제도 정비가 필요하다.

## 3) 장래 발생 전량의 재활용 추진

### 가) 다양한 활용방안의 제시

현재 정수슬러지는 소량 매립처분되고 있기 때문에 정수슬러지의 다양한 재활용방안이 필요하다. 특히 기술개발과 경제성이 있는 다양한 활용방안이 마련되기 위해서는 다양한 재활용방안이 적극 채택되어야 한다.

### 나) 性狀이 고려된 再活用方案의 선택

정수슬러지 성분중 알루미늄과 실리카 성분, 수분함량 등이 고려된 재이용방안이 마련되어야 한다. 무기질이 높은 슬러지케익의 성상은 슬러지의 소각과 퇴비가 어렵다는 것을 말해준다. 또한 農·園藝用土로 활용시에는 식물 등에 대한 영향과 환경적 측면이 고려되어야 한다. 따라서 복토재나 시멘트원료로의 활용 등을 고려할 수 있을 것이다.



다) 기술적으로 적절한 처리방안 마련

정수슬러지의 재활용은 기술적으로 적절한 방안이 마련되어야 한다. 즉 안정화·고형화방안 등은 기술적으로 처리가 가능하며, 특히 각 처리방법(복토재, 간척지 매립토재, 토양개량재)별로 고형화 방법의 기준 제시와 有害物質의 溶出影響 등을 고려한 처리방안이 마련되어야 한다.

라) 경제성이 있는 재활용방안

경제성이 있는 재활용방안이 마련되어야 한다. 즉 현재 매립지 搬入費 및 運搬費보다 적은 재활용방안이면 經濟的 妥當性이 있다고 할 수 있다. 이때 지역여건이 고려된 재활용방안이 마련되어야 한다. 예를 들면 서울시 서쪽에서 발생하는 정수슬러지는 쓰레기매립지의 복토재로 활용하고, 동쪽에서 발생하는 정수슬러지는 운반비를 고려하여 시멘트원료로 활용할 수 있을 것이다.

마) 民間 專門業體의 참여 필요

슬러지의 재활용은 민간업체의 참여가 중요하다. 많은 민간업체의 참여는 기술개발을 촉진할 수 있으며, 보다 높은 생산성을 가지게 될 것이다. 특히 시멘트 원료로의 사용 등은 민간업체의 참여가 필수적이라고 판단된다.

## 제 2 절 實用可能한 再活用方案

### 1. 覆土材

#### 1) 복토의 중요성

매립지 복토는 악취의 發散防止, 기상(氣相)오염물질 방출 최소화, 쓰레기의 飛散 및 流出防止, 해충 및 야생동물의 번식방지, 인간과 직접 접촉 방지, 화재방지 및 경관향상 등 주변 환경보전상 중요한 기능을 한다. 또한 쓰레기 반입 차량 진입의 용이성 향상, 펼침

및 다짐작업 등 작업능률 향상과 우수침투 저감에 따른 浸出水 發生量 低減 등 매립지 운영상에 있어서도 매우 중요하다.

복토를 대량으로 실시하면 향후 매립지의 용량이 감소하며 通氣性이 저하되어 有機物의 分解速度가 저하되는 등 부정적인 면도 있다. 그러므로 복토할 경우에는 복토의 목적과 매립쓰레기의 종류 등을 고려하여 覆土方式을 선정하고, 복토지점의 노출시간 및 기능에 따라 이에 알맞는 복토제를 사용하여야 한다.

매립지의 복토방식은 매립지의 1일 처리용량, 매립지의 폭, 쓰레기 노출면적 등에 따라 선정되며 일반적으로 샌드위치(sandwich)방식과 셀(cell) 방식으로 구분된다. 샌드위치방식은 斜面部에 복토를 시행하지 않는 방식으로 사면부에 복토를 시행하지 않아도 주변에 대한 영향이 크지 않은 경우 제한적으로 이용된다. 샌드위치 방식을 채택하는 곳은 대체로 1일 處理容量이 작고, 부지가 협소하여 쓰레기 노출면적이 작은 매립지이다. 셀방식은 1일 매립작업이 완료되면 모든 쓰레기 노출지점을 복토하는 방식으로 대량의 복토제와 매립용량의 저하 등 많은 비용이 요구되지만 惡臭 및 쓰레기의 비산방지, 害蟲棲息의 예방에 효과적이다.

현재 首都圈埋立地는 셀방식으로 운영되고 있으며, 1996년에는 340만 $m^3$ (9,300 $m^3$ /일)의 복토제가 일일복토로 소요되었고, 향후 건설잔토의 발생이 감소될 경우 일일복토용 복토제 구입이 어려워져 覆土材 구입비용이 상승될 것으로 예상된다.

## 2) 복토의 종류 및 기능

복토의 종류는 복토의 시기에 따라 매일 시행하는 일일복토, 매립고 5m 마다 시행하는 중간복토 그리고 최종복토로 나뉜다.

- 일일복토는 매일 작업종료 후에 실시하는 것이며,
- 중간복토는 쓰레기 매립고 4.5m마다 50cm의 두께로 복토하는 것과 매립 작업이 7일 이상 중단시 30cm 이상의 복토를 실시하는 것이며,
- 최종복토는 最終 埋立高인 8단(40m)매립 후 그 위를 60cm 이상 복토하는 것이다.

#### 가) 일일복토

일일복토는 매립된 쓰레기를 가능한 한 빠른 시간내에 복토함으로써 쓰레기의 飛散, 惡臭發生, 해충의 서식 등을 방지하기 위한 것으로 매일 작업종료 후 복토재(흙, 점토 또는 유사한 물질)로 일일 쓰레기층을 마감하는 것이다. 폐기물관리법에 따르면 매립작업 종료 후 不透水性이 좋은 복토재를 사용하여 15cm 이상의 두께(화학복토재 등 인공복토재를 사용하는 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 두께)로 일일복토하도록 되어있다.<sup>4)</sup> 그러나 일반적으로 복토재의 두께는 펼침시 장비의 접지면 등 현장의 특성을 고려하여 조정·시행하고 있다. 수도권매립지에서도 이러한 점을 고려하여 15~20cm로 일일복토를 시행하고 있다. 불연물이 주성분인 비교적 큰 쓰레기가 매립된 지점에는 30~50cm, 파쇄된 쓰레기 및 소각재 등은 15~20cm의 두께로 복토를 시행하도록 권장되고 있다. 통기성이 나쁜 점성토(실트나 점토)를 사용할 경우에는 복토의 두께를 얇게하는 것이 바람직한 것으로 알려졌다.

#### 나) 중간복토

중간복토의 주요 기능은 매립된 쓰레기의 노출을 지속적으로 방지하여 쓰레기의 비산 및 악취저감을 유도하는 것뿐만 아니라 쓰레기 운반차량의 진입로 제공 및 降雨時 雨水를 신속히 배제하여 침출수의 발생을 저감시키는 것이다. 노출된 매립층의 表面部分에 매립작업이 7일 이상 중단되는 때에는 30cm 이상의 두께로 覆土를 하여야 한다고 폐기물관리법에 명시되어 있다.

차량이 중간복토면을 이용하여 쓰레기층 上部에 접근하여야 하고 우수의 침투를 최소화하기 위하여 중간 복토층은 2% 이상의 表面勾配를 유지하여야 한다. 또한 우수에 의한 土砂의 流失을 방지하기 위하여 장비의 작업여건을 고려하여 사면부 경사는 1 : 3 이상이 되도록 한다.

#### 다) 최종복토

최종복토층은 매립이 완료된 후 매립층 내부로 雨水浸透 防止, 동물과 병원균 매개체 제어, 매립가스 포집시설의 부압확보를 위한 空氣流入防止, 상부에 植栽을 위한 토양층 확

---

1) 폐기물관리법 제30조 제5항 및 폐기물 관리법시행규칙 제24조제1항

보 그리고 매립지 유지관리를 위한 접근로 확보 등 중요한 기능을 담당하고 있다.

폐기물관리법에 따르면 매립시설의 사용이 종료된 때에는 60cm 이상의 두께로 최종복토를 하되 차수기능, 빗물 배제기능을 갖추도록 하고, 상층부에는 수목의 식재, 草地造成을 위한 식재층을 설치하여야 한다고 규정하고 있다.

최종복토층의 두께는 풀이나 키작은 나무를 식재할 경우 60cm 이상, 중간 또는 키가 큰나무를 식재할 경우는 1m 이상이 권장되고 있으며, 또한 매립지의 장래 土地利用計劃과도 관련이 있으므로 이를 고려하여 결정되어야 한다. 배수상태는 식물뿌리의 발육에 크게 영향을 주므로 최종복토시 표면의 排水性 향상을 위한 다짐이나 구배 등을 고려하여야 한다.

### 3) 토양의 특성과 복토재 選定基準

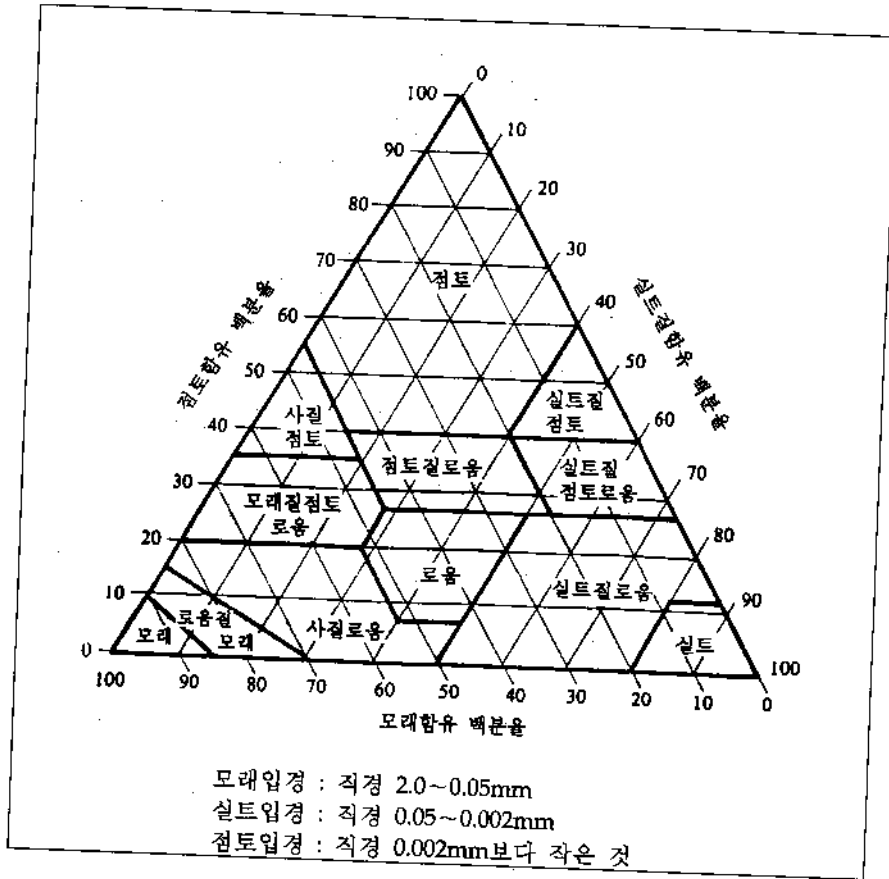
#### 가) 토양의 특성

일반적으로 토양은 입경 및 점토 함량에 따라 분류되며, 입경 및 함수량에 따라 토양의 堅持性(consistency)과 透水性이 달라진다. 토양은 입경에 따라 <표 4-1>과 같이 분류되고 모래-미사-점토의 구성비에 따라 <그림 4-2>와 같이 분류된다.

<표 4-1> 입경에 따른 흙의 분류

구 분	지 림(mm)		토양 1g당 입자수	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
	미국농무성	국제토양학회		
자갈(礫; gravel)	2.0 이상	2.0 이상	-	-
왕모래(極粗砂)	1.0 ~ 2.0	-	90	11
粗砂(coarse sand)	10 ~ 1.5	0.2 ~ 2.0	720	23
중모래(中間砂)	0.5 ~ 1.0	-	5.7x10 <sup>3</sup>	45
가는모래(細砂)	0.25 ~ 0.50	0.02 ~ 0.2	4.6x10 <sup>4</sup>	91
고운모래(極細砂.sand)	0.10 ~ .25	-	7.2x10 <sup>5</sup>	227
가루모래(微砂; silt)	0.05 ~ 0.10	0.002 ~ 0.02	5.8x10 <sup>6</sup>	451
粘土(clay)	0.002이하	0.002 이하	90x10 <sup>9</sup>	11,342

자료) 권동희, 박희두(1991) 『토양학』, 교학연구사



<그림 4-2> 모래-미사-점토의 구성비에 따른 토양 분류

(자료 : 미국농부성(USDA) 분류법)

나) 복토재용 토양의 일반적 기준

복토의 목적에 따라 적절한 복토재료를 선택하여야 하나 현재로는 복토재의 종류에 대한 구체적인 선택기준이 없다. 그러나 일반적인 기준을 살펴보면 다음과 같다.

산도나 알칼리도가 극단적으로 강한 토양, 有害物質을 함유한 土壤, 浸出水의 性狀을 악화시키거나 식생에 지장을 주는 토양 등은 복토재로써 적절치 않다.

다짐을 실시하여야 할 복토재는 매립층의 안정성을 고려한 토질역학적인 측면에서 盛土材에 준하는 기준에 적합하여야 한다.

- ① 성토에 사용할 재료는 일반 흙깎기 또는 승인된 토취장에서 채취한 승인된 재료라야 하며 모든 통나무 뿌리, 식물 또는 기타 유해물질이 함유되지 않은 것이라야 한다. 압괴나 흙덩어리는 재료를 다짐할 때 지장이 없는 크기로 파쇄하여야 한다. 직경이 30cm 이상되는 암석은 성토구간에서 사용을 금지할 수 있다.
- ② 沼池, 泥沼池, 沈泥池 또는 논에서 채취하는 재료, 썩은 泥土, 泥炭地의 이끼, 식물의 밑줄기, 부패성 물질, 또는 泥土의 불순 혼합물질 및 기타 塵芥는 성토재료로 사용해서는 안된다.
- ③ 많은 유기물이 함유된 粘土나 泥土로 구성된 재료를 성토용 재료로 사용해서는 안된다.
- ④ 土性試驗결과 액성한계치가 50% 이상이거나 소성지수가 25% 이상인 경우 또는 수성다짐시험 결과 최대 건조밀도가  $1.5t/m^3$  이하인 흙을 성토재료로 사용해서는 안된다.

따라서 土砂를 복토재로 사용하기 위하여는 토사시험법에 의거 使用前 選定試驗을 실시하여 사용 가능 여부를 판단한 후 현장에 반입하여야 한다. 복토의 종류에 따라 바람직한 토양의 특성은 다음과 같다.

- ① 일일복토재 : 쓰레기의 펼쳐 고르기, 압축작업, 쓰레기층의 안정성 확보 및 쓰레기의 분해를 저해하지 않도록 가능한 한 透水性, 通氣性이 적절한 砂質土系의 토양이 바람직하다.
- ② 중간복토재 : 가스의 발산과 우수의 침투를 방지하는 효과를 얻기 위하여 통기성이 낮은 점토계의 토양이 바람직하다. 埋立場內 道路 등으로 이용하고자 하는 지점에 대하여는 자갈 섞인 토양이 바람직하다.
- ③ 최종복토재 : 최종복토는 降雨의 침식에 대한 저항력이 강하고 투수성이 작으며 植生에 적합한 토양이 바람직하다. 즉, 부식질을 적절히 함유한 양토(loam)계 토양이 적당하다.

#### 다) 溶出

정수슬러지를 폐기물매립지 복토재료써 사용하고자 할 경우에는 폐기물공정시험법에 의한 溶出試驗을 실시하여 有害性이 없다고 판단한 후 사용하여야 한다.

유해성에 대한 판단의 기준은 <표 4-2>와 같다. 정상분석 결과 정수슬러지는 有害物質을 기준치 이하로 함유하고 있어 유해성은 없는 것으로 나타나고 있다.

<표 4-2> 기 보고된 슬러지의 용출시험 결과

단위 : mg/l

항 목	기준치	용 출 시 험 결 과
		과천시 정수슬러지(1994)
Cd	0.3	0.05이하
CN	1.0	0.16
Pb	3.0	0.2이하
Cr <sup>6+</sup>	1.5	0.01이하
As	1.5	0.09
Hg	0.005	0.0005이하
Cu	3.0	0.96
유기인	1.0	0.1이하
TCE	0.3	0.05이하
PCE	0.1	0.02이하

- 자료 1) 한국건설기술연구원(1995) 『폐기물매립지 차수재 개발』  
 2) 김영관(1993) 『석회안정화 슬러지와 플라이애쉬 혼합재의 매립지 복토재료의 이용타당성에 대한 연구』 학술진흥재단.

서울시 정수장 슬러지의 溶出試驗 결과는 알려진 바 없으나, 원수를 한강 수계에서 取水해 수돗물을 생산하는 과천정수장에서 발생된 슬러지를 사용해 용출시험한 결과가 1994년에 발표된 바 있다. 이 연구결과에 따르면 정수장 슬러지로부터 용출되는 유해물질의 양은 매우 적어 일반폐기물의 기준을 크게 밑돌고 있다<표 4-2 참조>.

下水슬러지에 대하여 안정화의 한 방법인 固形化를 하여 용출시험을 실시한 사례가 발표된 바 있다<표 4-3 참조>. 이 연구결과에 따르면 건조 슬러지와 포틀랜드 시멘트의 混合比(슬러지/시멘트)를 0.5로 할때 비소(As), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 그리고 수은(Hg)의 용출량이 檢出限界 이하로써 거의 용출되지 않았다. 시안 및 6가크롬의 경우도 용출량이 기준치 이내이었다. 다만 구리의 경우는 기준치보다 훨씬 높게 나타났다. 알루미늄이나 시멘트를

사용하여 고형화한 경우 비소, 납, 카드뮴, 수은 등은 용출되지 않았고, 6가크롬과 시안은 기준치 이내였으며 구리는 포틀랜드 시멘트를 사용할 때의 1/6 ~ 1/4 수준으로 적게 나타나서 기준치를 만족시켰다.

최근에는 난지도에 매립된 下水슬러지와 토양의 溶出特性에 관한 연구사례도 발표된 바 있다. 이 연구결과에 의하면 이미 매립된 하수슬러지로부터 기준치 이상의 유해물질이 용출되지는 않았으며, 토양과 혼합시 토양의 함량이 높을수록 용출량은 감소하는 것으로 나타났다.

안정화를 할 경우 유해물질의 용출량은 훨씬 적어진다. 정수슬러지에 비하여 많은 유해물질을 함유하는 하수슬러지를 고형화할 경우 용출량이 기준치 이내로 나타났으며, 안정화하지 않은 정수슬러지의 용출 특성이 기준치를 만족 시킨다는 것을 감안한다면 정수슬러지를 안정화할 경우 용출량은 기준치 보다 훨씬 낮아질 것으로 판단된다.

따라서, 정수슬러지로부터 복토재로 사용하고자 할 경우 유해물질은 문제시 되지 않을 것으로 예상되는 바, 壓縮強度나 通氣性 등 물리적인 특성을 향상시키기 위한 安定化가 요구된다.



<표 4-3> 고화처리된 하수슬러지의 용출시험 결과

단위 : mg/l

시료		항목						
		As	Pb	Cd	Hg	Cu	Cr <sup>+6</sup>	CN
기준치(mg/l)		1.5	3.0	0.3	0.005	3.0	1.5	1.0
인 천	D1	ND	ND	ND	ND	8.619	0.094	0.156
	D2	ND	ND	ND	ND	1.214	0.021	0.140
	F1	ND	ND	ND	ND	0.149	0.197	ND
	F2	ND	ND	ND	ND	0.133	0.002	ND
안 산	D1	ND	ND	ND	ND	7.672	0.033	0.078
	D2	ND	ND	ND	ND	1.811	0.010	0.040
	F1	ND	ND	ND	ND	0.163	0.088	ND
	F2	ND	ND	ND	ND	0.138	0.004	ND
안 양	D1	ND	ND	ND	ND	7.159	0.025	0.032
	D2	ND	ND	ND	ND	1.621	0.030	0.025
	F1	ND	ND	ND	ND	0.143	0.090	ND
	F2	ND	ND	ND	ND	0.135	0.004	ND

주) D1:건조슬러지/포틀랜드시멘트=0.5, D2:건조슬러지/포틀랜드시멘트=1.0

F1:건조슬러지/알루미나시멘트=0.5, F2:건조슬러지/알루미나시멘트=1.0

ND:불검출

자료) 환경처(1994) 「하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성 조사연구」

라) 壓縮強度

슬러지를 안정화하여 매립지에서 차량 및 장비 진입을 위한 路盤材나 覆土材로 이용하려면 매립작업시 장비의 작업성을 확보할 수 있도록 압축강도는 0.5kg/cm<sup>2</sup> 이상이 권장되고 있다. 즉 복토재로 활용하기 위해서는 정수슬러지에 석회나 기타 첨가제 등을 혼합하는 안정화 처리가 요구된다. 하수슬러지에 1~8%의 포틀랜드 시멘트를 가하여 8일간 氣乾養生시킨 결과 일축압축강도는 4kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 양호하게 나타났다. 정수슬러지에 석회와 석회를 100 : 20 : 10으로 섞어 7일간 양생한 결과 일축압축강도가 1.26kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다고 보고된 바 있다. 따라서 일축압축강도는 安定化處理에 의해 기준치를 만족시킬 수 있을 것으로 판단되었다<표 4-4 참조>.

<표 4-4> 정수슬러지의 석고·석회에 의한 고화 결과(재령 : 7일)

슬러지	배 합 비		함수비 (%)	일축압축강도 kg/cm <sup>2</sup>
	석고	석회		
100	10	5	300	0.194
	20	5	300	0.882
	20	10	300	0.451
	20	10	200	1.260
	20	20	200	0.970
	20	50	200	0.710
	50	10	200	2.780
	50	20	200	1.150
	50	50	200	0.940

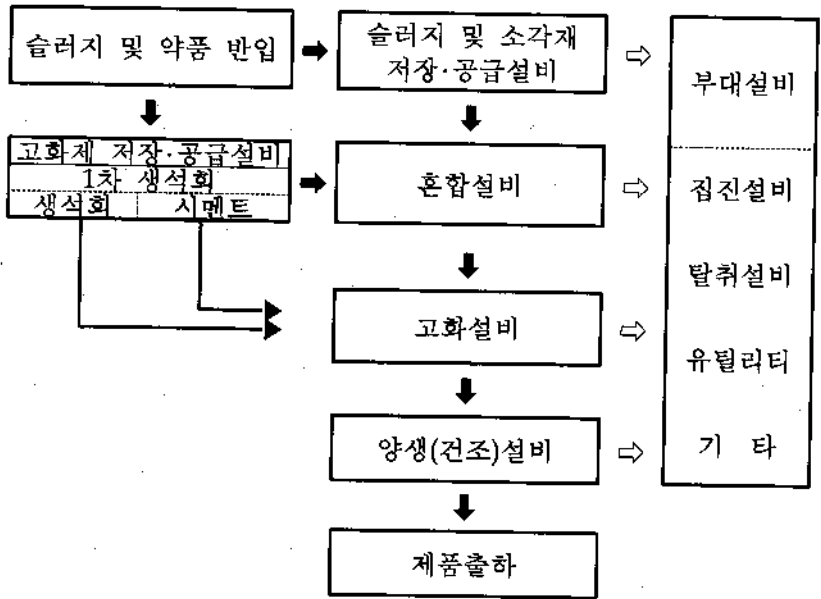
자료) 한국수자원공사(1993) 『정수장슬러지 처분 및 활용방안 연구』

#### 마) 안정화시설

슬러지를 쓰레기매립지 복토재로 활용하기 위한 안정화공정은 슬러지에 固化劑 및 기타 添加劑를 混合하여 養生시키는 것으로 주요 설비는 슬러지 및 첨가제의 貯藏 및 投入設備, 혼합설비, 안정화 슬러지의 移送設備, 養生設備, 出荷設備 그리고 각종 2차 汚染防止設備 등 부대시설이다.

<그림 4-3>은 현재 수도권매립지에 건설되고 있는 廢水슬러지 安定化工程의 예이다. 이 공정은 1일 600톤의 슬러지를 시멘트와 석회를 이용하여 안정화하는 시설로 시설비는 36억원이며 슬러지 1톤당 처리비용은 23,000원으로 계획하고 있다. 현재 이 안정화 시설은 97년말에 완공을 목표로 건설중에 있다.

복토재로 사용하기 위한 정수슬러지의 안정화방법도 이와 유사한 공정으로 구성되어야 한다. 슬러지의 運搬條件이 현재와 동일하며, 안정화된 슬러지를 현장에서 복토재로 사용할 수 있다는 점에서 수도권매립지에 슬러지 固化施設을 설치하는 것이 바람직하다. 서울시 정수슬러지도 이 시설을 이용하여 안정화 등 기술적 타당성을 검토할 수 있을 것이다.



<그림 4-3> 폐수슬러지 안정화(고화)처리 시설

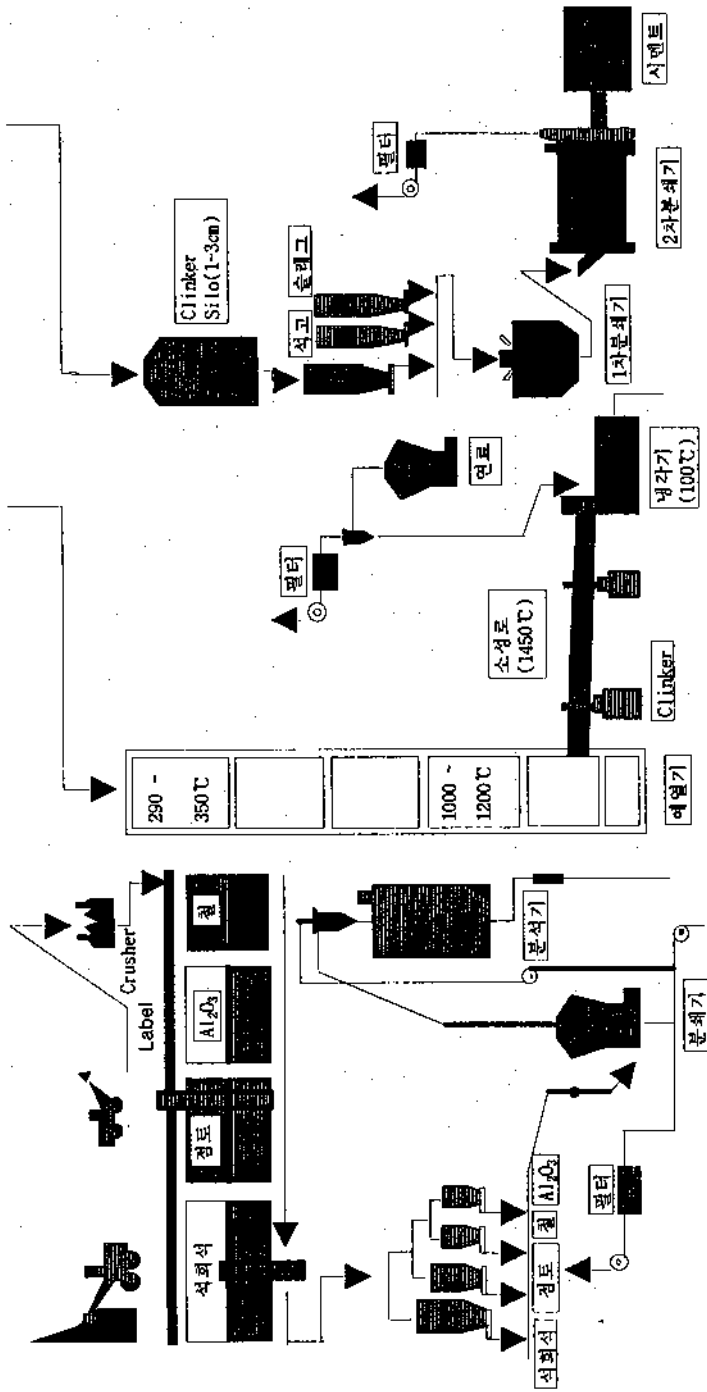
## 2. 시멘트 原料

시멘트는 철광석, 점토, 규석 및 석회석을 1500℃ 정도의 高温으로 燒成하여 제조한다. 시멘트의 질은 석회석 등을 분쇄해 제조되는 포틀랜드클링커와 고로슬래그 등의 혼합재 含有率에 의해 결정된다<그림 4-4 참조>.



<그림 4-4> 시멘트 제조공정

최근에는 전로슬래그, 플라이 애쉬와 시멘트 회사에서 廢棄하는 低品位 석회석을 이용하여 만든 製品도 기존의 시멘트 제품과 질적인 면에서 전혀 차이가 없는 것으로 알려지고 있다.



<그림 4-5> D사의 시멘트 제조과정

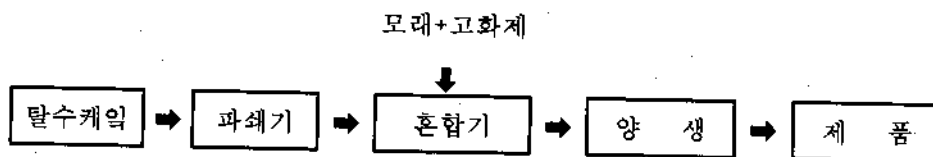
또한 일본에서는 시멘트공장의 고온소성을 이용해 다종의 산업폐기물을 처리하고 있다. 그러나 도시 쓰레기나 하수슬러지 등에는 다량의 염소를 함유하고 있어 폐기물이 킬른 내에 들러붙어 코팅시킬 뿐만 아니라 축적되어 시멘트 품질에 영향을 미칠 우려가 있다고 보고되고 있다. 따라서 日本 豊산의 우베(宇部) 시멘트 공장에서는 염소를 제거함으로써 현재 연간 2,500톤의 下水슬러지 사용량을 2~3만톤까지 증가시킬수 있을 것으로 보고하고 있다. 또한 정수슬러지는 구마야공장에서 연간 16,000톤을 시멘트원료로 재활용하고 있다. 정수슬러지내의 無機質은 시멘트 원료인 粘土 成分과 비슷하여 시멘트의 품질에 나쁜 영향이 거의 없는 것으로 보고되고 있다.

국내에서도 全量 廢棄되고 있는 産業廢棄物을 이용하여 시멘트를 제조하고 있다. 특히 화력발전소에서 연간 500만톤 정도 발생되는 플라이 애쉬를 시멘트 원료로 활용하기 위해 각 기업에서는 활발한 연구가 진행되고 있으며, 실제 S시멘트 회사에서는 화력발전소에서 발생되는 석탄재를 시멘트 원료와 레미콘 혼화재로 재활용하고 있다.

국내 D시멘트 회사의 시멘트 제조공정은 <그림 4-5>와 같이 석회석, 점토(고령토), 철, 규소 등의 원료를 잘 분쇄한 후 豫熱機를 거쳐 燒成爐에서 1,450℃로 가열하고, 클링커 싸이로에서 1~3mm로 분쇄하면 시멘트 제품이 된다. 서울시 정수슬러지는 시멘트 원료인 SiO<sub>2</sub>(규소), 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 중 규소와 알루미늄 성분이 80% 이상 포함되어 있으므로 시멘트 원료로 활용이 가능하다. D시멘트 회사의 豫備實驗에서 서울시 정수슬러지가 시멘트 원료로 가능한 것으로 보고되고 있다.

### 3. 수도관 포설토

수도관 포설토의 제조시설에는 <그림 4-6>과 같이 탈수케익의 破碎, 移送콘베이어, 시멘트와 일반 모래와 混合 및 固化施設, 養生施設 등이 포함된다.



<그림 4-6> 포설토 제조공정

수도관 포설토의 세부 제조방법을 보면 탈수케익을 케익破碎機에 유입시키면, 이때 4개의 날개가 달린 회전과쇄기에서는 탈수케익을 細粒으로 과쇄한다. 과쇄된 탈수케익은 計量 호퍼로 移送된다. 또 다른 계열의 모래(山砂)가 계량 호퍼에 투입된다. 계량 호퍼에 투입된 破碎된 케익과 모래(山砂)는 혼합기에 투입되고, 동시에 시멘트계 고화제가 일정비율로 투입된다. 교반날개가 부착된 混合機에서는 시멘트와 과쇄케익, 모래(山砂)가 잘 혼합된다. 혼합기에서 제조된 製造品은 養生場所에서 2주간 양생된다. 이 기간에 시멘트의 수화반응이 완료되어 포설토 제품이 된다. 이 제품은 수도관 포설토 및 가스관 포설토로 사용되기도 하고, 토목재료로 이용되기도 한다. 투입되는 첨가제의 비율은 탈수케익 : 모래 : 고화제 = 100 : 5 : 8이다. 일본에서 포설토 사용실적은 1988년에 最大 17,487m<sup>3</sup>, 1987년에 最小 10,150m<sup>3</sup>로 나타나고 있다. 이 양은 현재 서울시 정수슬러지 생산량인 180톤/일의 대략 60~90 일분에 해당한다. 따라서 수도관 포설토로의 재활용방안이 실용가능한 방안 중 하나라고 판단된다. 즉 정수슬러지 발생량 중 일정량(대략 10~20톤/일 ; 발생량의 10%)을 수도관 포설토로 재활용하여야 한다.

#### 4. 농·원예용토

슬러지의 農·園藝用土로의 활용연구는 미국과 일본 등지에서 많이 진행되었다. 그러나 規制基準이 많고, 적용시 영향이 정확히 예측되지 않아 슬러지의 농·원예용토로의 적용은 보편화되지 않고 있다.

따라서 본 절에서는 슬러지의 일반적인 적용기준 및 적용시 영향과 제한적으로 농·원예용토나 산지에 적용하는 것에 대해 살펴보았다.

##### 1) 일반적인 적용기준 및 적용시 영향

###### 가) 슬러지 土地適用 기준

슬러지의 토지적용은 토양의 適性, 地形, 水理地質學的 특성, 適用地의 특성 및 面積에 따라 다르다. 또한 농경지, 산지, 간척지 혹은 절개지에 적용할 경우 슬러지 적용율, 법적규제 등 여러가지 고려가 필요하다.

<표 4-5> 슬러지의 토지적용시 요구되는 處分地域의 情報

---

1. 소유자의 특성
  2. 지역의 물리적 특성
    - a. 총 경계지역
    - b. 지형, 완충지역에서의 슬러지 이용/처분 가능한 비율
  3. 現在 토지이용
  4. 將來 토지이용 계획
  5. 농경작물의 성장 관계 :
    - 작물의 성장패턴
    - 평균 생산량
    - 시비방법 및 시비량
    - 토양 경작 방법
    - 관개실시
    - 작물의 최종 섭취(동물/인간의 섭취, 비먹이사슬 등)
    - 처분지로의 차량접근
  6. 산지에 적용할 경우
    - 나무의 연령
    - 수종
    - 상업적 혹은 레크리에이션의 운영
    - 현재 비료의 사용
    - 관개실시
    - 처분지로의 차량 접근
  7. 절개지로의 이용(간척방법)
    - 성장 식물
    - 절개된 원인, 예를 들면 석탄채취, 폐광에 매립 등
    - 간척지에서의 예비시도
    - 지형 변경에 대한 요구
  8. 지표/지하수의 요건
    - 우물의 깊이와 위치
    - 지하수의 위치
    - 홍수 및 배수의 문제
    - 계절적 지하수위 변동
    - 지하수의 수질 및 이용자
-

<표 4-5>는 슬러지 토지적용시 요구되는 여러 정보를 제시하였다. 여기에는 소유자의 특성, 지역의 물리적 특성, 현재 토지이용 및 장래 토지이용 계획, 農耕作物의 生長關係 등의 정보의 수집이 필요하다. <표 4-6>은 슬러지의 토지적용시 일반적인 적용기준을 제시하였다. 예를 들면 淨水슬러지의 農業 등에 대한 適用率을 보면 最大負荷量이 2.2~4.4kg/m<sup>2</sup>로 나타나고 있다.

#### 나) 정수장 슬러지의 土壤化學的 특성

<표 4-7>은 슬러지의 토지적용시 토양분석항목 및 특성을 나타내고 있다. 즉 pH, 석회요구량, 양이온교환능력(CEC : cation exchange capacity)등은 슬러지 적용율을 결정하는데 중요하다. 토양의 pH 및 CEC는 어느 정도 重金屬을 抑制하는데 영향을 미치는데 이때 CEC는 유기물 함량과 진흙의 량에 의해 크게 좌우된다. 일반적으로 흙에서 CEC가 높을수록 중금속 억제능력이 높다.

국내의 정수장 슬러지는 일반 토양에서의 기준치인 pH 6.3보다 높은 7.1로 약알카리성을 보이고 있다. 또한 유기질 함량의 지표인 탄소는 논과 밭의 改良目標值인 3.0~2.0%에 비하여 평균 6.3%로 상당히 높게 나타났다. C/N비는 약 11로서 일반 토양의 8~12와 거의 비슷하게 나타났다<표 4-8 참조>.



<표 4-6> 슬러지 적용에 따른 일반적 적용기준

특성	농업에 적용	산림에 적용	간척지에 적용	절개지에 적용
슬러지 적용율(%)	범위 : 일반적으로 작물의 종류나 슬러지의 특성에 따라 건조질량으로 2~70mt/ha (1~30T/ac)/yr 범위임.	범위 : 일반적으로 토양, 나무종류, 슬러지질에 따라 건조질량으로 10~220mt/ha(4~100T/ac)yr 범위임. 한번 적용시에는 더 높은 비가 될 수도 있음.	범위 : 보통 건조질량으로 7~450mt/ha(3~200T/ac)/yr 보통 기간중 한번 적용	범위 : 토양과 기후에 따라 건조질량으로 200~900mt/ha(100~400T/ac)/yr 범위.
슬러지 적용빈도	대표적으로 1년단위로 반복적용. 보통, 수확기와 묘종기사에 계획됨.	보통 한번 적용. 추가 적용은 1~5년 간격임.	보통 한번 적용. 추가 적용은 5~10년 간격으로	범위 : 기후가 적당하면 5~20일 간격으로 적용
적용부지의 소유권	보통 사적으로 소유된 땅의 경우 슬러지 적용은 농부와 시장국의 협약에 의해 결정됨.	나무 재배농장의 주민 또는 회사에 의해 사적으로 소유되거나 주나 연방정부의 정부기관에 의해 소유됨.	간척회사 및 주·연방의 정부기관에서 소유.	슬러지 발생, 처분하는 시장국에서 통제
적용부지 사용기간	적용된 총 슬러지로부터 축적된 금속성분들에 의해 제한됨. 보통 슬러지의 사용기간은 5~20년 정도임.	적용된 총 슬러지로부터 축적된 금속성분들에 의해 제한됨. 보통 슬러지에서 사용기간은 5~20년 정도임.	보통 한번 적용함. 시장국은 미래의 추가부지에 대한 계획을 세워야 함.	이론적으로는 적절하게 설계된 부지에 서의 사용기간의 제한은 없음. 농업용으로 사용될 수 없음.

주) 하수슬러지 적용율임

정수슬러지 적용율 : 최대부하량 2.2~4.4kg/m<sup>2</sup>로 적용

특성	농업에 적용	산림에 적용	간척지에 적용	절개지에 적용
슬러지 운반의 비용	묘종기, 수확기, 날씨 등을 고려해야 하므로 슬러지 적용 계획의 수립이 어려움. 농장이 멀면비용이 비싸짐.	산림지역까지의 거리에 의존함. 기후와 나무의 성숙도에 의해 영향을 받음.	간척지까지의 거리에 의존함. 기후와 새로운 부지 적용에 의해 영향을 받음.	보통 옆의 다른 사항보다 가장 적은 비용이 듦. 기후에 의해 영향을 받음.
현 토양 상태에 잠재이익이 있는지 여부	현 토양성질에 달려있음.	현 토양성질에 달려있음.	채소재배에 도움을 줌. 침식을 지연시킴.	토양은 미래에 농지에 사용되는 것을 제한받음.
채소성장에 잠재적 해(식물독성)	슬러지 적용의 적절한 선택으로 피할 수 있음.	슬러지 적용의 적절한 선택으로 피할 수 있음.	일반적으로 기간중 한번 적용되므로 보통은 관계되는 않음.	적용되지 않음. 작물재배가 주요 목적이 아님.
지표수나 지하수와의 잠재적 수질악화	적절한 부지선택과 설계, 적용을 조절로 피할 수 있음.	적절한 부지선택과 적용을 조절로 피할 수 있음.	파손된 부지는 이미 수질악화의 원인임. 적절한 슬러지 적용과 경영이 현 문제를 경감시킬 수 있음.	부지가 잘 선택되고 설계되더라도 주요 위험이 있을 수 있음.
공공의 건강 피해와 영향	적절한 설계와 운영으로 피할 수 있음.	적절한 운영과 접근 통제로 피할 수 있음.	만약, 접근이 통제된다면 문제는 없음.	적절한 설계와 운영, 접근 통제로 피할 수 있음.
물, 토양, 작물 등등에 필요한 모니터링	보통 광범위하지는 않음.	보통 광범위하지는 않음.	보통 광범위하지는 않지만 파손된 부지의 불규칙적인 토양분포로 복잡해질 수 있음.	중요함

<표 4-7> 슬러지의 土地適用時 토양 분석항목 및 특성

현장테스트	농지	산림	절개지
<u>토양화학적 특성</u>			
• pH	Y	Y	Y
• 소석회 요구량	Y	Y	Y
• 양이온교환능력(CEC)	Y	Y	Y
• 식물 유효질소(N) <sup>주)</sup>	Y	-	-
• 식물 유효인(P)	Y	-	-
• 식물 유효칼륨(K)	Y	-	-
• 표준 금속 분석	Y	Y	Y
• 교환성 나트륨(ESP)	Ya	Ya	Ya
<u>토양물리학적 특성</u>			
• 측면의 깊이	Y	Y	Y
• 구조	-b	Y	Y
• 투수성	-b	Y	Y
<u>지하수</u>			
• 깊이	Y	Y	Y
• 계절적 변동	-	Y	Y
• 포화된 수리학적 전도도	-	Y	Y
• 수질	-	Y	Y
• 사용	-	Y	Y
<u>압반</u>			
• 깊이	-	-	Y
• 형태	-	-	Y
• 파쇄	-	-	Y

주) 식물 유효질소(N)에 대한 토양 테스트는 미국 전지역에서 이용가능하나 필요하지 않을 수도 있다.

Y : 이 데이터는 처분지를 선정하고 설계하는데 필요하다.

- : 데이터가 규칙적이지 못함(적용불가)

a : ESP는 서부지역에서 적용함.

b : 농경목적에 적합할 것으로 가정

<표 4-8> 국내 정수슬러지의 土壤化學的 성분

부사항목 정수장	pH	F-C (%)	T-N (%)	C/N비	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	치환성 염기(mg/10g)			SiO <sub>2</sub> (mg/l)
						K	Ca	Mg	
성 남	7.1	5.2	0.42	12.3	61	172	327	14.9	53
구 미	7.3	5.1	0.42	12.1	60	211	339	2.4	501
양 덕	6.9	5.8	0.6	9.7	61	196	409	4.8	275
사 천	7.1	5.4	0.45	12.0	68	274	224	3.6	164
석 성	7.2	2.7	0.28	9.6	58	164	403	1.5	164
칭 주	7.4	5.6	0.56	10.0	79	86	271	2.5	246
연 초	6.8	14.1	1.23	11.5	67	348	591	5.8	40
평 균	7.1	6.3	0.57	11.0	65	207	366	5.1	206

자료) 한국수자원공사(1993.12), 『정수장 슬러지처분 및 활용방안 연구』

다) 슬러지 토양 적용시 미치는 영향

슬러지 施用이 많아질수록 pH가 높아졌다. 총질소 농도는 슬러지의 적용 전후 큰 변화가 없었다. 교환성 양이온도 슬러지 살포에 따른 큰 차이는 없었다. 알루미늄 슬러지를 土壤撒布時 토양의 成分變化와 重金屬 溶出정도는 토양개량제의 적합여부에 중요한 요인이 되고 있다.

정수슬러지를 토양에 적용시 알루미늄은 磷酸과 반응하여 인을 固着시키는 작용을 한다. 인산흡수를 저해하는 요소인 알루미늄은 정수슬러지내에 다량 함유되어 있다. 즉 알루미늄에 대한 용출시험 결과를 보면 pH 2에서는 약 2,000ppm정도로 많이 용출되었으나 pH 4, 7, 10에서는 3ppm 이하로 거의 용출되지 않았다.

따라서 일반적으로 알려진 pH 5.3 이하로 내려가지 않는 한 알루미늄의 不活性化로 인한 環境的 위험부담은 없을 것으로 판단된다. 그러나 산성비가 내릴 경우에는 溶出 우려가 있을 것으로 판단된다.

슬러지의 토양 적용시 미치는 영향은 <표 4-9>에 요약하였다. 농업, 산지 등에 적용할 경우 나타나는 문제점은 수산화알루미늄의 인산흡수율이 높아서 인농도가 감소하는 것이다. 이러한 磷濃度 減少는 식물의 생장에 영향을 미친다. 왜냐하면 3가 磷酸이 作物이나 나무의 生長에 필수적이기 때문이다.

<표 4-9> 슬러지의 토양 적용시 미치는 영향

적용 분야	정수장 슬러지의 農學的 이용	문 제 점
토양에 혼합되었을 때의 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 높은 pH : 토양의 酸性改良에 효과적</li> <li>- 토양의 物理性 증진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토양 살포후 장기적인 구조파괴에 의한 토양의 물리성에 지장을 초래할 가능성 있음</li> <li>- 수산화알루미늄의 높은 磷酸吸收係數로 인농도의 감소</li> </ul>
녹화용토로서의 가능성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반 토양보다 질소분 및 보비력도 높아 객토재로서 이용 가능</li> <li>- 폴리머에 의한 문제는 없음</li> <li>- 20% 이하로 혼합시 적당</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인산의 고착에 의해 인의 첨가가 요구됨</li> </ul>
자연건조 슬러지의 園藝作物에 대한 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5%까지 혼합시 적당</li> <li>- 토양의 토양화학성 및 물리성이 양호해짐</li> </ul>	
알루미늄 슬러지의 土壤改良	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건조된 알루미늄은 산소공급 및 保濕力도 향상시킴</li> <li>- 산림에 적용시 문제 없었음</li> <li>- 조건: ①질소부하: 13.6kg/m<sup>2</sup> ②pH: 첫해에는 6.0, 그 이후 6.5 유지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 알루미늄의 인의 고착 : 작물 성장에 영향을 줌</li> </ul>

자료 1) 日本의 東京農大, 千葉工業大, 및 東京部 山城水道管理事務所의 연구결과  
 2) AWWA Committee on Sludge Disposal, 1972

알루미늄이 비교적 높은 서울시 정수슬러지를 토양에 적용할 경우 슬러지내의 수산화알루미늄은 식물에 필요한 인산과 결합하여 난용성의 인산 알루미늄을 형성함으로써 식물체가 인산을 흡수하지 못하게 한다. 따라서 슬러지내의 높은 알루미늄의 비율은 유효인을 감소시키고 식물의 성장에도 영향을 미칠 것이다.

건조슬러지의 園藝作物에 대한 영향을 보면 슬러지 5%까지 混合하는 것이 적절하고, 이 경우 토양의 화학성 및 물리성이 양호한 것으로 보고되고 있다. 또한 건조된 알루미늄 슬러지는 보습력도 향상시키는 것으로 나타나고 있다.

라) 슬러지 適用 제한 規定

각국에서는 슬러지를 農園藝用 이용에 대해 규제를 하고 있다. 일본의 경우를 살펴보면 구체적인 규제는 없으나 적정 이용을 및 고려사항에 대해서 설명하고 있다.

日本에 분포되어 있는 土壤은 일반적으로 산성 토양으로 미경작지의 토양은 pH가 5~6으로 弱酸性을 나타내고 있다. 슬러지를 客土材로 사용하는 경우에는 1 m<sup>2</sup>당 0.5kg 이내로 객토하여 산성 토양의 개량재로서 유효하게 이용하도록 하고 있으며, 슬러지내의 비소 함량은 50mg/kg 이하로 규정하고 있다. 그리고 원예용토로 사용할 경우 슬러지의 혼합비율은 30%를 적정기준으로 하고 있으며 최대 50%를 초과하지 않도록 권장하고 있다.

培養用 園藝用土로 사용은 과채를 시켜서 0.5~3mm의 입경이 70% 이상을 점유하도록 하고 있으며 함수율은 35%정도, 입자는 單粒構造이어야 하며 75℃ 이상으로 고온처리하여 잡초종자의 발아를 억제하고 병원균을 살균하도록 하고 있다.

한편 미국의 경우를 살펴보면 다음과 같다.

- ① 降雨其間이나 地表가 포화되었을 경우, 눈으로 덮혀 있을 경우 및 凍結其間 중에는 적용이 불가능하다.
- ② 적용량은 아래 3가지 요소 중 가장 엄격한 것에 의하여 규제되어야 한다.
  - 질소부하 : 이용 가능한 질소량은 작물의 필요량 75%를 초과해서는 안된다.
  - 중금속 : 슬러지의 중금속 농도에 근거한 年間 適用量은 <표 4-10>과 같은 한계를 초과할 수 없다.
  - 수리한계 : 연간 적용량은 2.8cm/year을 초과하지 않아야 한다. 1일 적용량은 0.5 cm/day를 초과하지 않아야 한다.

슬러지의 토양적용에 대한 일본과 미국의 기준은 <표 4-11>에 나타내었다.

<표 4-10> 농경지에 살포할 경우 중금속의 蓄積 限界 濃度

Metal	Soil Cation Exchange Capacity , meq/100g <sup>주)</sup>		
	≤5	5~15	>15
	kg/ha		
Pb	560(500)	1120(1000)	2240(2000)
Zn	280(250)	560(500)	1120(1000)
Cu	140(125)	280(250)	560(500)
Ni	140(125)	280(250)	560(500)
Cd	5(4.4)	10(8.9)	20(17.8)

주) 토양의 pH는 6.5 혹은 그 이상을 유지, 괄호안의 값은 CEC : 5~15에서 적용  
 자료) U.S. EPA, Municipal Sludge Management : Environmental Factors. EPA 660/2-74-004, Oct. 1977  
 U.S. EPA, Sludge Treatment and Disposal. Vol.2, EPA 625/4-78-012, Oct.1978

③ 부지사용 연한은 중금속의 최대 축적량에 기초하여 계산된다. 토양분석은 적용된 슬러지 6.6kg/m<sup>2</sup>마다 이루어져야 되고 그 결과는 독성한계와 비교 평가한다. 또한 토양의 pH는 6.5 이상으로 유지해야 한다.

일반적으로 슬러지를 토지에 적용할 때 化學的 또는 生物學的 처리공정을 거쳐 안정화를 시켜야 한다. 즉, 安定化處理를 하여 냄새 및 슬러지내의 병원균을 감소시키며 박테리아, 기생충, 원생동물, 그리고 바이러스까지도 제거시켜 농작물을 보호할 수 있도록 한다. 또한 農作物 보호를 위해서는 슬러지 살포후 12개월 동안 適用하지 않도록 한다.

## 2) 서울시 정수슬러지의 園藝用土 이용방안

정수슬러지의 원예용토 이용은 토지 적용시 化學적 또는 生物學적처리를 거쳐 안정화 시켜야 하고, 슬러지내 병원균을 사멸시켜야 되며, 함수율을 35% 정도를 유지시켜야 하므로 乾燥處理工程으로 처리한 후 적용하도록 한다. 건조공정은 알루미늄 슬러지의 물리·化學적 성상을 개량하여 적용시 문제점을 最小化시킬 것으로 판단된다. 또한 원예용토로 이용하기 위하여 적정량(슬러지 25% 이내)의 슬러지를 現場의 良質土와 잘 혼합하여 식물에 미치는 影響을 최소화시켜야 할 것이다.

<표 4-11> 슬러지 適用基準에 대한 일본과 미국의 비교

	일 본 <sup>주1)</sup>	미 국 <sup>주2)</sup>
슬러지 적용 기준	- lime슬러지 : 0.5kg/m <sup>2</sup> 로 객토하면 산성토양의 개량제로서 유용 - 유효인산이 0.1~0.2g/kg 이하이면 슬러지를 객토해야 할 필요는 없음. - 알루미늄슬러지 : 토양과의 혼합율을 25%이하로 유지해서 인산 문제 해결.	① 수리한계 : 2.8 cm/년, 0.5 cm/일 이하로 적용 ② 질소부하: 질소는 작물의 75%를 초과해서는 안됨. ③ 미량금속: 연간 적용한계량 이하로 적용 위 3항목중 가장 엄격한 것에 의해 규제 - 강우기간, 지표의 포화시, 혹은 눈으로 덮여 있을 경우, 동결기간에는 적용 불가
부지사용년한		- 중금속의 최대 축적량을 기초로 계산
pH	6.5이상	6.5 이상
슬러지 적용	0.5kg/m <sup>2</sup>	0.25~7.4kg/m <sup>2</sup>

주 1) 後藤逸男淨(1995 : pp2~9), 水場 發生土を活かす, 水道協會雜誌, Vol.64, No.11

2) AWWA, Committe on Sludge Disposal

서울시에 건조된 정수슬러지를 시범적으로 토양에 적용할 수 있는 녹지대는 一般 綠地帶(광장녹지, 도로공원)와 分離綠地帶(중앙분리대, 노변분리대), 하천변 조경, 樹林帶 등을 포함하여 대략 5,740,000m<sup>2</sup>이다. 또한 꽃을 생산·공급하는 養苗場은 <표 4-12>와 같이 7개소 522,675m<sup>2</sup>이다. 이러한 양묘장이나 녹지대의 일부에 정수슬러지를 乾燥工程 등을 거친 후 示範撒布하여 그 영향을 분석한 후 원예용으로 슬러지의 擴大適用 與否를 결정하여야 한다.

<표 4-12> 서울시 양묘장 현황

구분	계	수 목					잔 디 가양	꽃 묘 난지도	비고
		사탕	송릉	연평	갈매	내곡			
면적(m <sup>2</sup> )	522,675	98,861	72,300	87,092	87,769	34,783	63,000	78,870	

자료) 서울특별시(1997), 『서울의 環境』



## 5. 埋立盛土材

### 1) 매립성토로 재이용

간척 등의 각종 해안 개발사업을 시행하는 경우 많은 양의 埋立土가 소요된다. 서울은 지리적으로 海岸開發事業이 비교적 많이 시행되는 서해안과 가깝기 때문에 슬러지를 적절히 가공하면 매립성토재로써 활용도가 높을 것으로 예상된다. 무기질이 대부분인 淨水슬러지를 일반 흙과 잘 혼합하여 매립하는 방안과 슬러지를 고형화처리 후 해안 深層에 매립하는 방안도 고려할 수 있다.

#### 가) 슬러지와 흙의 혼합매립

정수슬러지를 일반 흙과 혼합 매립은 슬러지를 安定化 또는 固化處理過程없이 슬러지를 자원화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 방법은 정수슬러지를 간척지에 매립할 수 있도록 制度整備가 필요하다. 일반 흙과의 혼합비율은 대략 5 : 1 비율로 混合하는 方案이 제시되고 있다. 정수슬러지의 發生源 인근에 干拓地가 있으면 경제적 妥當性이 있으므로 바람직한 최종 처분방법이 될 수 있다.

그러나 이 방법은 간척지 현장에 혼합처리시설을 설치해야 하거나, 혼합매립 작업이 필요한 단점이 있다.

#### 나) 고화처리 후 매립

고화는 슬러지의 탈수케임을 석회나 시멘트 등 고화제로 混合養生시킨 후 슬러지의 物理的 性狀을 일반 토양과 유사하게 변화시키는 것을 말한다. 또한 고형화된 슬러지는 硬化劑나 安定劑에 의해 유해성분이 물리·화학적으로 안정화되어 유해물질의 流出速度를 최소화하게 된다.

이 방법은 淨水슬러지를 시멘트나 석회로 고화처리하여 간척지의 매립토로 이용하고자 하는 방안이다. 즉 시멘트로 固形化된 슬러지는 해안심층까지 매립할 수 있으며, 이 방법은 東京都 중앙방파제의 쓰레기매립장에서도 이용되고 있다.

### 2) 일본 방파제 매립지의 고형화처리 후 심층매립 결과

#### 가) 固形化處理方法

이 방법은 탈수 케임에 소각재와 특수 시멘트를 혼합 고화시켜 제조한다. 이를 위한 시설로는 脫水케임의 공급조와 소각재 및 특수 시멘트의 저장조가 있으며, 定量供給設備가

있다.

탈수케익 및 소각재, 특수 시멘트를 混合機에 넣고 잘 혼숙시킨 후 콘베이어벨트를 이용하여 養生場으로 移送시킨다. 양생장에서 24시간 이상 양생시킨 후 반출한다.

이 방법은 탈수케익에 水分 및 有機質이 많으면 固化처리가 잘 이루어지지 않는다. 즉 하수슬러지의 경우 有機質이 많아서 固化처리하기가 어렵다.

나) 고형화처리를 위한 혼합비

탈수케익 : 소각재 : 특수 시멘트 = 100 : 10 : 10 정도의 혼합비이면 深層埋立에 필요한 일축압축강도를 얻는 것으로 나타났다. 이때의 일축압축강도로는  $0.7\text{kg/cm}^2$  정도를 제시하였다.

東京都 下水道局 東部管理事務所에서 의뢰하여 주식회사 용용지질조사 사무소가 실시한 조사결과는 다음과 같다.

① 조사목적은 중앙방과제 外側 폐기물처리장의 2지구 2블록에 混合養生된 케익의 매립처분 작업에 의해 조성된 매립지의 經過年數 변화에 따른 매립작업의 環境影響을 예측하는 자료를 얻는 것이다.

② 매립성토재의 물리특성과 역학특성은 비중  $2.34\sim 2.46$ (실트질점토 :  $2.64\sim 2.70$ ), 함수비  $170\sim 330\%$ (실트질점토 :  $85\sim 110\%$ ), 일축압축강도  $0.19\sim 1.22\text{ kg/cm}^2$ (실트질점토 :  $2.64\sim 2.70\text{ kg/cm}^2$ )로 나타나 실트질粘土와 성질이 거의 비슷한 것으로 나타나고 있다.

3) 매립성토재로 적용원칙

① 정수장 슬러지를 埋立盛土材로 이용하고자 하는 경우에는 수질환경보전법 제30조(公共水域의 점용 및 매립에 의한 수질오염방지)에 의해 공공수역의 수질오염방지를 위해 필요한 시설을 갖추어야 한다. 이 경우 필요한 시설이라 함은 集水施設 및 遮水施設, 浸出水處理施設, 가스處理施設 등을 말한다.

② 정수장 슬러지내에는 알루미늄의 성분이 다량 포함되어 있으므로 알루미늄을 회수하거나 固化처리한 후 매립성토재로 사용하면 수질오염에 영향을 미치지 아니할 것이다.

③ 정수장 슬러지를 固化처리하여 埋立盛土材로 사용하면 수질오염에 큰 영향을 미치지 아니할 것이다. 이때 슬러지는 溶出試驗을 거쳐 유해물질의 영향을 나타내지 않아야 한다.

④ 정수장 슬러지의 埋立盛土材(客土)량은  $1\text{m}^2$ 당  $0.25\sim 0.74\text{kg}$ 이내로 하여야 한다. 이

적용기준은 미국의 토양적용시 슬러지 적용량을 인용한 것인데, 간척지도 농지 등으로 활용되므로 적용하는데 무리는 없을 것으로 판단된다.

⑤ 일반 흙과 매립성토재를 적당한 비율(5:1)로 잘 섞어서 매립한다.

⑥ 地表水나 地下水에 미치는 영향을 분석한다.

#### 4) 처분 대상지역 선정

예로부터 농경지의 확장은 중요한 국가적 사업이었다. 서해안은 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 깊어서 농업진흥공사 등에 의해 본격적으로 매립되기 시작되었다. 또한 '70년대 들어 공업화 정책이 시행되면서 대규모 산업기지의 조성이 적극적으로 검토되기 시작하였다. 매립공사는 干拓事業, 工業團地 造成, 住居團地 造成뿐만 아니라 쓰레기 매립, 도시기반의 조성, 항만의 확장, 공항건설 등에 이르기까지 다양한 목적을 가지고 수행되고 있다.

해안매립이나 인공섬의 건설은 앞으로도 계속해서 전망이 밝은 대규모 토목프로젝트로서 각광을 받을 것으로 예상되고 있다. 내륙에서 적절한 주거단지나 공업단지의 부족, 지가의 상승, 환경오염 문제 등으로 인해 公有水面을 매립하여 이 문제를 해결하지 않으면 안될 것이기 때문이다. 현재 정수슬러지를 매립성토재로 처분대상지역은 <표 4-13>과 같다. 즉 수도권 지역에 건설되고 있는 매립공사는 시화지구, 화옹지구, 신국제공항 부지조성, 송도 신도시건설부지 등이 있다.

##### ① 화옹지구

화옹지구는 서울에서 50~60km 거리에 위치한 경사가 완만하고 간척지가 잘 발달된 干拓 最適地로서 서해안의 아산만 광역개발축과 시화개발축의 중간지대에 위치하고 있어 수도권에 農·漁業 생산물을 공급하고, 수도권의 영향으로 地域開發 욕구가 왕성한 지역이다.

이 지구는 남양만 입구인 경기도 화성군 우정면 매향리와 화성군 서신면 궁평리를 연결하는 防潮堤 2조 9.81km, 進入道路 2조 5.0km와 船着場 2개소를 설치하는 외곽 공사 및 간척지 내부 개담 4,482ha와 배후지 1,320ha를 포함하여 총 12,570ha의 농경지에 灌溉給水 토록 계획되었다.

1990년 9월 5일 화옹지구간척사업 기본계획이 확정되어 1991년 9월 25일 화옹지구 간척사업 우정단지의 외곽 공사를 착공하였으며, 외곽시설을 포함한 내부개발까지 10개년

(1991~2001)에 걸쳐 시행할 계획이다.

② 시화지구

시화지구는 경기도 안산시, 시흥시, 화성군 등 3개 시·군을 연계 개발하는 사업으로 간척지 17,300ha와 배후지 개발 7,130ha 등 총 24,430ha를 개발하여 수도권에 工業用地와 都市用地, 優良農地 등을 공급하는 사업이 시행되는 지구이다.

1994년 1월에 총연장 12.7km의 防潮堤 끝막이 공사를 완료하였고 1997년 12월에 준공 계획을 목표로 추진중이다.

③ 신국제공항부지

신국제공항 부지공사는 인천시 영종도와 용유도 사이를 매립하는 사업으로 총 5,617ha를 개발하여 공항부지를 조성하고자 시행되는 사업이다. 1단계 공사 기간은 1992년~1999년이며, 2020년에 완공목표로 추진하고 있다.

④ 송도 신도시 개발사업

송도 신도시 개발사업은 인천시 송도인근을 매립하는 사업으로 1,783ha를 개발하여 尖端情報産業團地로 조성하고자 시행되는 사업이다. 사업기간은 1996년~2001년으로 계획되어 있다.

5) 매립처분방법

해안매립방법은 두가지 방법으로 수행된다. 첫째는 호안을 築造하여 매립하는 것이고, 둘째는 防潮堤를 築造한 다음 매립하거나 淡水湖를 만드는 것이다.

폐기물을 해안매립하는 경우 매립공법에는 호안을 설치하여 매립장내를 해수가 있는 상태로 매립하는 방법과 매립장내의 해수를 배수시킨 후 매립하는 방법이 있다.

해수가 있는 상태에서의 매립은 水面上에 쓰레기가 부유하기 쉽고 악취, 파리 등이 발생하며 海水가 汚染될 우려가 있다. 반면 海水를 排水시킨 후 매립하는 방법은 해수의 汚染防止 등 環境保全의 장점이 있으나 외주호안의 水壓이 增大되어 호안의 구조가 광대하게 커져 상대적으로 건설비가 증가되는 단점이 있다. 호안은 파랑 및 조류에 의한 매립토사의 流失防止 및 洗掘防止를 위해 매립에 앞서 축조해야 하며 호안 정상은 매립된 지표면과 일치되게 한다. 또한 폐기물의 성분의 특성에 따라 안정형 매립방법과 관리형 매립방법으로 나눌수 있다.

<표 4-13> 현재 시행중인 중요 매립공사

매립단지	위치	개발면적 (ha)	예산 (억원)	사업기간	시행정
군산-장항 공업단지					
제1단계	전북 군산시	692	1,710	1988~1992	토개공
제2단계	군산, 충남서천	12,742	34,610	1992~2021	토개공
새만금 간척사업	전북 무안군-군산시	40,100	13,000	1991~2004	농진공
영산강(II) 지구개발	전남 목포시-인접군	20,700	2,980	1976~1995	농진공
시화지구 간척사업	경기 시흥군	17,300	5,124	1985~1994	한수공
화용지구 간척사업	경기 화성, 용진군	12,570	4,635	1991~2001	농진공
석문지구 간척사업	충남 당진군	3,740	1,807	1987~1993	농진공
해남지구 간척사업	전남 해남군	3,105	1,431	1985~1994	농진공
고흥지구 간척사업	전남 고흥군	3,100	978	1991~1996	농진공
신국제공항 부지조성	인천 영종도	5,617		1992~2020	농진공
송도신도시 개발사업	인천시 송도	1,783	7,400	1996~2001	인천시

安定型 폐기물 매립방법은 오염을 일으킬 염려가 없는 일반 폐기물과 같은 안정된 폐기물을 湖岸으로 둘러싼 매립장에 투여하는 방법이다. 즉 폐기물이 해양으로 流出되지 않도록 호안에 둘러싸여 있으며, 또한 폐기물 운반선이 流·出入 가능하도록 출입구가 설치되어 있다.

管理型 매립방법은 海洋汚染을 일으킬 염려가 큰 폐기물을 외벽인 호안공사를 하여 海水와 완전 遮水된 管理形 매립장에 투여하고, 폐기물 매립시마다 유출되는 월류수는 放流基準에 맞도록 처리하여 배출하는 매립방법이다.

#### 6) 매립성토재 조달

방조제 축조에 필요한 沙石과 매립지에 소요되는 土砂는 육지에서 토취장을 개발하여 조달한다. 그러나 매립공사가 활발해짐에 따라 토사채취에 따른 환경파괴 등으로 인하여 토취장 확보난은 가중될 것이며, 토사의 구입비용은 더욱 높아질 것이다. 그로 인해 준설 성토에 의한 매립방법이 중요한 연구과제로 떠오르고 있다. 따라서 슬러지의 매립성토재로서의 활용은 필요하다고 생각된다.

### 7) 埋立盛土材 제조

정수슬러지의 매립성토재로의 활용은 간척지 인근에 슬러지 固化施設을 설치하여 매립성토재를 제조하거나 일반 흙과의 혼합시설을 설치하여 혼합 흙을 만들어서 매립지에 적용하는 것이다.

## 제 3 절 經濟性 評價

實用可能한 再活用方案은 경제적 타당성이 있는 재활용방안이라 할 수 있다. 물론 정수슬러지의 재활용방안을 선정하는데 경제적 타당성이 우선하는 것에는 논란이 있을 수 있다. 그러나 아직까지 경제적 妥當性을 무시하고 환경적 측면을 우선한 재활용방안은 財源確保가 어렵고, 需要創出이 어려워 효과적인 方案이 되지 못하고 있다. 지금까지 연구된 정수슬러지의 처분방안은 건조공정, 단열벽돌 또는 경량골재제조, 소각, 퇴비화 등이며, 그 처리비용은 25,000원/톤~83,000원/톤으로 나타나고 있다. 그러나 이들 재활용방안은 처리비용이 높거나 기술개발의 수준에 머무르고 있어 현실적인 방안이라 할 수 없다. 따라서 본 절에서는 경제적 타당성이 고려된 실용가능한 재활용방안에 대해 서술하고자 한다. 즉 4.2절에서 제시된 재활용방안인 覆土材, 시멘트原料, 수도관 포설토, 園藝用土, 埋立盛土材 등을 중점으로 살펴보았다. 이들 방안에 대한 개략적인 전제조건은 <표 4-14>와 같다.

### 1. 복토재

#### 1) 개요

현재 정수장 슬러지를 복토재로 사용하려면 安定化가 필수적으로 요구된다. 즉 복토재로 재활용하기 위한 전제조건은 有害物質이 溶出되지 않아야 하며 壓縮強度가  $0.5\text{kg/cm}^2$  이상 유지되어야 한다. 성상 분석결과와 기 보고된 자료를 종합해 볼 때 정수슬러지는 법에 규정된 유해물질의 용출기준이하로 문제되지 않은 것으로 나타나고 있다. 단지, 작업능률을 제고시키며 압축강도를 일정 수준 이상으로 유지하기 위한 처리가 요구되고 있다. 固化處理는 슬러지로부터 오염물질의 용출을 방지하고, 壓縮強度를 향상시키며 작업성을 제고시키는 유용한 방법이다.

슬러지에 소식회 및 플라이애쉬를 100 : 10 : 10 정도로 혼합하여 고화할 경우 복토재로써 활용하기에 충분한 수준의 壓縮強度는 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 고화된 슬러지 케익은 소식회와 플라이애쉬를 각각 10%씩 첨가함으로써 슬러지량은 초기에 비하여 상당량 증가된다. 복토재 사용장소, 운송여건, 사회적인 여건 등을 고려해 볼 때 고화시설의 設置場所는 수도권매립지가 적절한 것으로 판단되었다.

## 2) 제조비용

고화처리시설에 대한 原價 算出時 고정비용으로는 시설비, 인건비, 보험료, 운영 및 유지비 등을 고려하였고, 토지비용은 고려하지 않았다. 施設費用은 수명을 10년으로 보았고, <표 4-15>에서 보는 바와 같이 시설용량이 25~200톤/일인 경우 감가상각비는 114,898천원/톤~292,542천원/톤으로 나타났다.

소요인력은 최소 3인으로 보고 인건비를 산출하였다. 즉 중앙운전실장 1인(15,000,000원/년), 페이로다가사 1인(13,000,000원/년) 및 경비원 1인(11,000,000원/년)에 대한 인건비는 연간 39,000,000원으로 나타났다. 保險料는 施設投資費의 0.4%/년, 裝備維持費는 시설투자비의 0.5%/년을 적용하였다. 복토재시설의 고정비용은 25~200톤/일인 경우 17,562원/톤~4,764원/톤으로 분석되었다.

<표 4-14> 재활용방안에 대해 경제성 분석을 위한 전제조건

구분	복토재	시멘트원료	수도관 포설토	원예용토	매립성토재
제조방법	고화처리	건조처리	고화처리	건조처리	고화처리
시설설치 장소	수도권매립지	각 정수장	각 정수장	각 정수장	간척지매립현 장
주요내용	슬러지를 매립지까지 운반은 동일하므로 고화처리비용과 반입비용을 비교하였음.	시멘트제조공장까지 운반비가 많이 소요되고, 수분량을 감소시키기 위해 각 정수장에서 건조한 후 운반토록 함.	각 정수장에서 제조하여 지역 여건에 맞게 공급토록 함.	알루미늄 등의 영향을 최소화 하기 위해 건조처리 필요.	간척지매립현장에서 통합처리

<표 4-15> 고화시설의 고정비용

단위 : 천원/년

용량 톤/일	인건비	시설비용		보험료	장비유지비	계
		초기투자비	감가상각비			
200	39,000	1,800,000	292,542	7,200	9,000	347,742 (4,764원/톤)
100	39,000	1,260,000	205,059	5,040	6,300	255,399 (6,997원/톤)
50	39,000	882,000	143,541	3,528	4,410	190,479 (10,437원/톤)
25	39,000	706,000	114,898	2,824	3,530	160,252 (17,562원/톤)

고화처리에 사용되는 소석회는 1톤당 80,000원이며, 플라이애쉬는 火力發電所 또는 資源回收施設(쓰레기소각로)부산물로써 운송비만 부담하는 것으로 하였다. 플라이애쉬를 목동자원회수시설이나 화력발전소로부터 공급받아 4톤 트럭으로 운반할 경우 운송비는 1톤당 10,245원이 소요된다. 따라서 각각 첨가제는 슬러지의 10%가 혼합되므로 약품비는 슬러지 1톤당 9,025원이 소요된다. 변동비용에는 약품비용 이외에도 전력비, 연료비, 수도요금 등이 있으며 이들의 합계를 약품비용의 약 15%로 적용하면 총 변동비용은 톤당 약 10,379원으로 추정된다.

고정비용과 변동비용을 합한 복토재 제조비용은 <표 4-16>에 나타내었다. 즉 복토재 製造費用은 25~200톤/일인 경우 27,941원/톤~15,143원/톤으로 나타났다. 규모에 따른 원가의 차이가 비교적 크다.

<표 4-16> 복토재 제조비용

시설용량 톤/일	고정비용 (원/톤)	변동비용 (원/톤)	총 원가 (원/톤)
200	4,764	10,379	15,143
100	6,997		17,376
50	10,437		20,816
25	17,562		27,941



### 3) 경제성 분석

현재 매립지 반입단가(20,960원/톤)와 비교하면 생성된 고화체를 복토재로 사용할 경우 시설용량 50톤/일 이상 규모에서는 복토재 제조비용이 매립지 반입비용보다 적거나 비슷한 수준이다. 복토재 購入 및 運送에 필요한 경비(현재 수도권 매립지에서는 지하철 건설 토의 경우 5,000원/톤을 보조하고 있음)등을 고려할 경우 정수슬러지를 복토재로 사용하는 것이 편익이 큰 것으로 나타났다. 여기서 정수슬러지의 재활용에 따른 資源節約과 매립지의 壽命延長 등 社會環境的 費用을 고려할 경우 편익은 더욱 커질 것이다.

또한 수도권매립지의 정수슬러지 반입료는 최근 5년간 3.5배로 인상되었다. 이러한 반입료의 증가 추세를 고려하면 將來 搬入費用은 크게 상승될 것이다. 이러한 점을 고려하면 정수슬러지의 복토재로의 활용은 實用可能한 再活用方案이라 판단된다.

## 2. 시멘트 원료

### 1) 개요

서울시 정수슬러지는 알루미늄( $Al_2O_3$ )과 실리카 성분( $SiO_2$ )이 다량 함유되어 있어 시멘트 원료로 사용할 수 있다. 정수 슬러지케익을 시멘트 원료로 사용하기 위하여는 含水率을 감소시켜야 한다. 함수율이 높으면 시멘트 소성로에서의 燃料使用比率이 높아지며 운송비 부담도 증가하게 된다. 슬러지의 함수율은 30% 이하로 줄이는 것을 권장하고 있다. 따라서 乾燥工程의 전처리가 필요하다.

### 2) 제조비용

건조방법에 따른 설치비용은 간접식 디스크형 > 직화식 로타리킬른형 > 직화식 다단로형의 순으로 나타나고 있다. 多段爐型은 설치비용이 낮고 연료효율이 높아 多段爐型 乾造施設을 위주로 경제성 분석을 실시하였다.

기계의 수명은 법인세법에 따라 10년으로 하였으며 이자율은 10%로 하여 처리량에 따라 톤당 처리비용을 각각 계산하였다. 건조단가는 탈수 슬러지의 함수율과 目標 乾造 含水率, 使用燃料, 건조 슬러지의 처분방법에 따라 큰 차이가 있다. 따라서 여기서는 탈수 케익의 함수율을 75%로 하였으며, 건조함수율의 목표를 35%로 하여 제조비용을 산출하였다.

시멘트 원료를 위한 건조비용은 <표 4-17>처럼 22,780원/톤으로 나타났으며, 운반비는 100km를 기준으로 분석하면 18,000원/톤이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 건조공정으로 정수슬러지를 減量(함수율 75%→35%)하면 부피가 대략 38.5% 감소하므로 운반비는 습윤 슬러지를 기준으로 6,930원/톤이 소요된다. 따라서 시멘트 원료로 활용하기 위한 경제적 편익은 마이너스 810원/톤(28,900원/톤 - 29,710원/톤)으로 나타나고 있다. 그러나 시멘트를 서울로 運送하고 난 빈 트럭을 이용하여 정수슬러지를 시멘트공장으로 운송하면 운반비가 거의 소요되지 않아 經濟的 妥當性은 충분히 있다고 판단된다. 또한 시멘트 원료구입에 따른 비용을 고려하면 편익이 크게 나타날 것이다.

따라서 이 방안은 정수슬러지를 乾造, 運送하여 시멘트의 원료로 활용할 수 있도록 민간업체에 건조시설 부지를 無償으로 제공하고, 현재의 반입비용을 지불하는 장기양도계약을 체결하여 슬러지를 재활용하도록 하면 실용가능한 방안이 될 것이다.

<표 4-17> 시멘트 원료로 활용을 위한 건조비용

톤/일	인건비 (천원)	시 설 비 용		유 지 관 리 비			제조단가 (원/톤)
		초기투자비 (천원)	감가상각비 (천원/년)	연료비 (천원/년)	전력비 (천원/년)	계	
45 (15×3)	15,000	324,000	52,762	45,278	12,775	58,053	22,780

주) 인건비는 1인 사용하는 것으로 하였음. 그 외에는 정수장 관리요원을 활용함

### 3. 수도관 포설토

#### 1) 개요

정수장 슬러지의 탈수케익을 強度 補强材로 모래 및 시멘트(고화제)로 혼합하여 固化 處理하므로써 일정 壓縮強度를 유지하도록 하는 포설토 제조 방법에 대해 4.2.3절에서 서술하였다. 이 방법에서는 탈수케익의 파쇄, 혼합, 고화 및 양생시설이 필요하다. 즉 포설토로 재활용하기 위해서는 고화처리공정이 필요하다. 탈수케익을 파쇄시킨 후 모래와 고화제를 혼합하여 양생을 거쳐서 제품화한다.

2) 제조비용

製造費用을 산출하기 위해 시설운영요원은 약품주입 및 운전이 필요한 인원으로 최소 1인(150,000천원/년)을 고려하였다. 그 외에 필요한 인원은 정수장관리요원을 활용하는 것으로 하였다. 수명을 10년으로 보고 이자율을 10%로 가정하여 감가상각비를 산출하였으며 보험료는 초기투자비의 0.4%로 하였다. 그리고 장비유지비는 初期投資費의 0.5%로 계산하였다. 고정비용은 인건비, 감가상각비, 보험료 및 장비유지비를 합한 값이며 변동비용은 모래 및 고화재 등의 비용, 연료비, 전력비 및 수도요금을 포함한 값이다. 총원가는 고정비용과 변동비용을 합한 값이다.

수도관 포설토 제조비용 중 固定費用과 變動費用은 각각 5~25톤/일인 경우 46,803~14,931원/톤과 8,820원/톤으로 나타났다<표 4-18, 19참조>. 따라서 현행 슬러지의 반입 및 운반비용인 28,900원/톤을 고려하면 용량 25톤/일 이상 시설이면 경제적 타당성이 있다고 판단된다.

<표 4-18> 수도관 포설토 고정비용

용량 (톤/일)	인건비 (천원/년)	시설비용		보험료 (천원/년)	장비유지비 (천원/년)	계 (천원/년)
		초기투자비 (천원)	초기투자비 (천원/년)			
25	15,000	706,000	114,898	2,824	3,530	136,252 (14,931원/톤)
15		590,000	96,020	2,360	2,950	116,330 (21,247원/톤)
10		525,000	85,441	2,100	2,625	105,166 (28,813원/톤)
5		410,000	66,726	1,640	2,050	85,416 (46,803원/톤)

<표 4-19> 수도관 포설토 제조비용

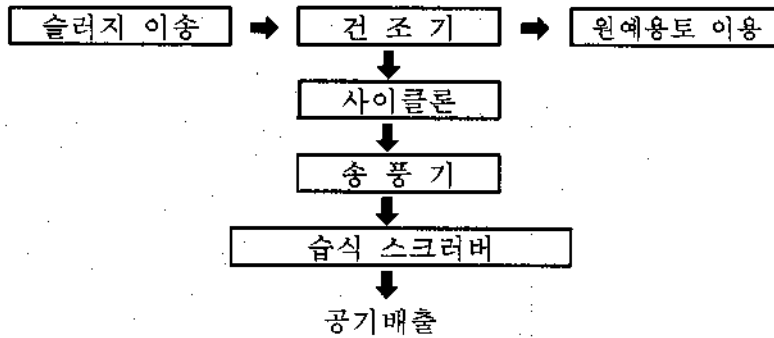
시설용량 (톤/일)	고정비용 (원/톤)	변동비용 (원/톤)	고화재 제조 단가 (원/톤)
25	14,931	8,820	23,751
15	21,247		30,067
10	28,813		37,633
5	46,803		55,623

#### 4. 園藝用土

##### 1) 개요

우선 園藝用土로 재활용하기 위해서는 透水性이 좋아야 한다. 건조를 실시하여 保水性을 획득하고 점토 및 실트 성분을 응집시켜서 單粒을 얻도록 하며 溫度를 80℃이상 올림으로써 병원균을 死滅시키는 공정이 필요하다. 또한 건조공정은 정수슬러지에 포함된 알루미늄 성분의 溶出을 느리게 하는 것으로 보고되고 있다.

정수슬러지의 원예용토 제조방법은 <그림 4-7>과 같은 건조공정을 통해 제품화한다.



<그림 4-7> 슬러지의 원예용토로 제조 공정

##### 2) 제조비용

원예용토로 활용은 활용 需要處 確保 등의 어려움이 있어, 소규모 시설용량 규모인 5톤/일~15톤/일에 대해 분석하였다. 이들 소규모 량은 서울시의 花卉用地에 적용할 수 있을 것이다. 원예용 제조비용은 <표 4-20>과 같이 5톤/일~15톤/일의 경우 25,862원/톤~20,240원/일로 나타나고 있다.

<표 4-20> 원예용토를 위한 제조비용

톤/일	시 설 비 용		유 지 관 리 비			제조단가 (원/톤)
	초기투자비 (천원)	감가상각비 (천원/년)	연료비 (천원/년)	전력비 (천원/년)	계 (천원/년)	
5	177,000	28,805	15,109	3,285	18,394	25,862
10	253,600	41,272	30,169	4,298	34,467	20,750
15	324,000	52,762	45,278	12,775	58,053	20,240

주) 인건비 및 보수비는 제외하였음. 즉, 정수처리장 관리요원을 활용함

### 3) 경제성 분석

園藝用土로 활용에 따른 편익은 <표 4-21>과 같이 5톤/일~15톤/일의 경우 8,660원/톤~3,040원/톤으로 나타나고 있다. 이때 運搬費 등은 수요자가 부담하는 것으로 하였다. 그러나 원예용토로 활용은 식물의 이차적인 부작용 등에 대한 연구가 추가적으로 실시되어야 할 것이다.

<표 4-21> 원예용토 제조에 따른 경제편익 분석

처리량 (톤/일)	슬러지 처리비용(A) (원/톤)	농원예용토제조비용(B) (원/톤)	경제편익(A-B) (원/톤)
5	28,900	25,860	3,040
10		20,750	8,150
15		20,240	8,660

## 5. 매립성토재

### 1) 개요

정수슬러지를 간척지 매립성토재로 재활용하기 위해 적합한 간척지로는 화옹지구 및 송도신도시 개발지구, 인천국제공항부지 등이 있으며, 이들 지역은 서울에서 대략 50~60km 이내에 있다. 슬러지를 어떤 처리없이 매립성토재로 직접 이용하기에는 여러 문제가 있다. 따라서 슬러지를 일반 흙과 혼합처리하거나 고화처리하여 사용하여야 한다.

매립성토재를 위한 슬러지의 고형화처리방법은 4.3.1절의 복토재 제조방법에서 서술하였다. 또한 埋立盛土材의 제조는 간척지 현장에서 실시하는 것이 바람직할 것이다.

### 2) 경제성 분석

고화비용은 25톤/일~200톤/일 경우 27,941원/톤~15,143원/톤으로 분석되었다. 간척지까지 運搬距離와 매립지까지 거리가 비슷하므로 간척지의 매립성토재로의 재활용은 대략 50톤/일의 시설용량이면 실용가능한 방안이라 판단된다.

## 제 4 절 實用可能한 再活用의 推進方案

### 1. 再活用 推進目標 樹立

정수슬러지의 재활용방안으로는 앞서 설명한 바와 같이 覆土材로 활용, 시멘트 原料로 활용 및 수도관 또는 가스관 포설토, 원예용토, 매립성토재 등을 제시하였다. 이들 방안은 현행 쓰레기매립지 搬入·運搬費用이면 실용화할 수 있는 방안이라고 판단된다. 실용화 가능목표를 수립하기 위해 각 再活用方案別로 技術的 可能性, 經濟性 評價, 需要處 確保, 2차 적 影響 등을 <표 4-22>와 같이 분석하였다. 또한 재활용 추진계획은 <그림 4-8>과 같이 2001년까지 정수슬러지의 발생량 100%를 재활용하도록 설정하였다.

세부 추진목표는 한가지 방안보다는 다양한 재활용방안으로 추진되도록 한다. 즉 기본 방향에서 제시한 것처럼 발생량 50%를 복토재로, 발생량 30%를 시멘트 원료로, 발생량 20%를 수도관 포설토, 원예용토 및 매립성토재로 재활용한다.

### 2. 세부 재활용 추진방안

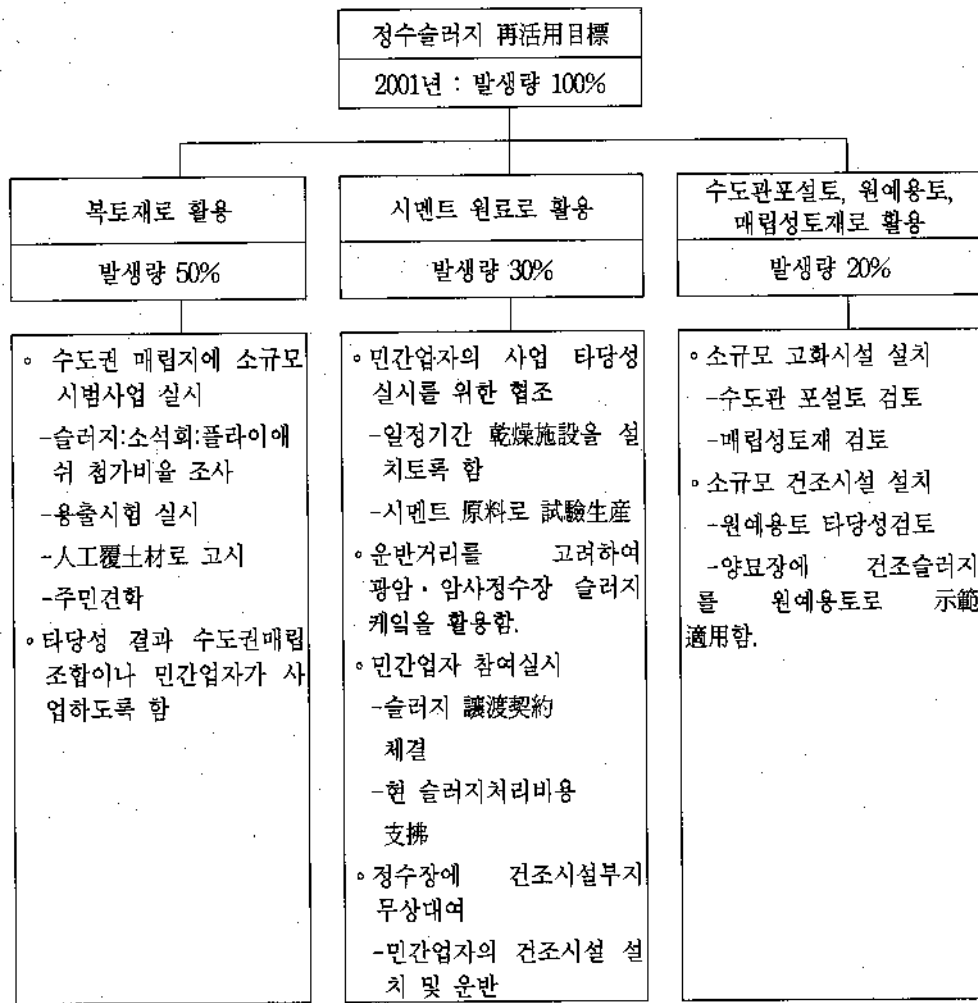
#### 1) 복토재로 활용

복토재로의 활용은 수도권매립지에 소규모 고화처리시설을 시범설치(현 首都圈埋立地의 고형화시설(600톤/일)을 이용할 수도 있음)하여 정수슬러지의 복토재의 사용 가능성을 評價하여야 한다. 즉 일정 면적의 쓰레기에 슬러지 복토재로 시공한 示範事業을 실시한다. 이때 슬러지 : 소식회(고화제) : 플라이애쉬의 적정한 添加比率를 조사하고 裕出實驗도 실시한다. 또한 복토재로 사용을 위한 환경부장관의 고시를 받아야 한다. 그리고 이 시범사업은 매립지 주민들의 견학 등을 위해서도 필요할 것이다. 시범사업 후 성과가 좋으면 수도권매립조합이나 民間業體가 참여하도록 한다.

정수장 位置上으로 볼 때 수도권매립지에서 가까운 신월정수장, 영등포정수장, 선유정수장, 노량진정수장에서는 복토재로 재활용하는 것이 타당하다고 판단된다.

<표 4-22> 실용가능한 재활용방안 평가

구 분	복토재로 활용	시멘트 원료로 활용	수도관 포설토, 원예용 토 및 매립성토재로 활용
기술적 가능성	고화처리방법 등으로 제조 가능	현 시멘트 제조 공정에 서 원료로 활용 가능	고화처리, 건조처리등 으로 제조 가능
경제성	복토재 구입비용 등을 고려하면 경제적 편익은 큼.	民間業體와 양도협정체 결로 슬러지를 양도하 면 경제성이 있음(시멘트 운반 후 빈 트럭이 용시)	대체로 매립지 반입비용이면 경제성이 있음.
수요처 확보	수도권매립지 복토재소 요량을 고려하면 需要量은 비교적 높음.	시멘트공장의 製造量을 고려하면 수요량은 비 교적 높음.	수도관포설토, 원예용 토, 매립성토재는 아직 수요량이 安定的이지 못함.
적용후 2차적 영향	현재도 정수슬러지와 일 반쓰레기를 혼합매립하 고 있음. 따라서 2차적 영향은 거의 없음.	거의 없음.	원예용토는 2차 영향에 대한 지속 분석 필 요.
制度的整備 문제	환경부장관의 고시획득.	없음.	원예용토 및 매립성토 재는 制度 補完 필요.
기 타	수도권 인근에 수요처가 있어 재활용에 유리	시멘트 제조공장이 遠 距離에 위치함.	매립성토재의 경우 시 민 및 民間團體의 반 대가 예상됨.
종합평가	비교적 實用可能한 재활 용방안으로 정수슬러지 발생량 중 50%정도 활 용	정수슬러지 발생량중 30%(광암, 암사정수장) 정도 활용	재활용방안의 다양화 등을 위해 발생량 중 20%정도 활용.



<그림 4-8> 淨水슬러지 재활용 추진 방안

## 2) 시멘트 원료로 활용

시멘트 원료로 활용은 민간업자의 참여가 必須的이다. 東京都처럼 현 슬러지 처리비용 (28,900원/톤)정도에서 민간업체와 슬러지 양도계약을 체결하여 재활용하도록 한다. 이때 정수장에서 用地를 무상으로 대여하여 건조시설 등을 민간업자가 설치하도록 하고, 시멘트 工場까지 운반하도록 한다. 현재의 슬러지 處理費用을 지불하면 서울시의 이익은 없지만 長期契約을 締結하면 장래 슬러지 處理費用의 節減으로 이익이 발생할 것이다. 또한 슬러



지를 바로 매립하지 못하는 2001년에는 필요성이 더 높아질 것이다.

이 사업을 위해 민간업체가 示範的으로 정수장에 건조시설을 설치하도록 하여 슬러지의 시멘트 제품이 現在 製品과 차이가 없는가 등을 조사하도록 한다. D시멘트 회사의 研究陣이 현 서울시 정수슬러지의 性狀을 분석한 결과 시멘트 원료로 활용이 가능한 것으로 나타났다.

공장까지 운반비 등을 고려하면 시멘트 원료로는 광암정수장, 암사정수장, 구의정수장 및 강북정수장의 슬러지가 가장 적합할 것으로 판단된다.

### 3) 수도관 포설토 및 원예용토, 매립성토재로 활용

수도관 포설토, 원예용토 및 매립성토재로의 활용은 정수장 중 1곳에 소규모 固化施設 또는 乾燥施設을 설치하여 사업 妥當性을 검토한다. 특히 수도관 포설토로의 재활용은 일본의 사업실적을 참고하면 좋은 재활용방안이 될 수 있다. 또한 원예용토로 활용을 위해서는 서울시 화훼용지에 적용하여 2차적 영향 등을 검토하도록 한다.

수도관 포설토 및 원예용토, 매립성토재로 활용하기 위해서는 보광동정수장, 뚝도정수장의 슬러지로 示範事業을 실시하는 것이 바람직할 것이다.



# 제 5 장 슬러지 再活用을 위한 제도적 고찰

## 제 1 절 관련 제도

### 1. 슬러지의 公共水域으로의 배출 규제

#### 1) 정수처리시설이 폐수배출시설로 분류되는 규정

수질환경보전법 제2조 5항에서 廢水排出施設이라 함은 수질오염물질을 공공수역에 배출하는 시설물·기계·기구 기타 물체로서 총리령으로 정하는 것을 말한다. 다만 해양오염방지법 제2조에 선박 및 해양시설을 제외한다고 규정되어 있다.

수질환경보전법 시행규칙 제5조(폐수배출시설)에는 법 제2조 5항에 의한 폐수배출시설은 [별표 3]과 같다고 규정되어 있다.

[별표 3] 내용 중 淨水施設은 <표 5-1>처럼 폐수배출시설로 규정되어 있다.

#### <표 5-1> 폐수배출시설 분류

배출 시설	시설 능력	비 고
125. 수도사업시설	정수능력 1,000m <sup>3</sup> /일 이상	

#### 2) 정수장 배출수 排出許容基準

정수장 배출수를 공공수역으로 배출하기 위해서는 수질환경보전법 [별표 5]의 오염물질 배출허용기준에 적합하여야 한다. 구체적인 배출허용기준은 수질환경보전법을 참고하기 바란다.

또한 정수슬러지 케익은 사업장 폐기물로 분류되고 있다.

### 2. 슬러지의 공공수역 매립에 관한 규제

슬러지의 공공수역의 매립에 관한 규정은 수질환경보전법 제30조(공공수역의 전용 및 매립에 의한 수질오염방지) 및 시행령 제39조(공공수역의 수질오염 방지 조건의 내용)에 규정되어 있다. 또한 구체적인 廢棄物處理基準 및 方法은 폐기물관리법

[별표 4]에 규정되어 있다<표 5-2 참조>.

<표 5-2> 슬러지의 매립에 관련된 규정

<p>수질 환경 보전법</p>	<p>수질환경보전법 제30조(公共水域의 점 용 및 매립에 의한 水質汚染防止) ①公 共水域에 대한 점용 또는 매립을 許可 또는 認可하고자 하는 行政機關은 공 공수역의 水質汚染防止를 위하여 필요 한 조건을 붙여야 한다. ②제1항의 規程에 의한 조건의 내용, 수질오염 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.</p>	<p>시행령 제39조(공공수역의 수질오염 방지 조건의 내용) ③공공수역을 생활폐기물 또는 지정 폐기물로 매립하고자 할 때에는 廢 棄物管理法 제13조 3항 또는 同法 제25조 4항의 규정에 의한 폐기물 처리기준 및 방법에 적합하도록 처 리한 후 매립하게 한다.</p>
<p>폐기물 관리법 시행 규칙 [별표 4]</p>	<p>(2) 埋立 基準 및 方法 (가) 오니의 경우에는 탈수·건조등에 의하여 수분함량 85% 이하로 사전 처리 한 후 매립하여야 한다. (나) 2001년 1월 1일 이후에는 水質環境保全法 제25조 및 하수도법 제2조의 規 程에 의한 終末處理施設과 1일 폐수배출량 2,000m<sup>3</sup> 이상인 유기성 오니를 바로 埋立하여서는 아니되며 소각·퇴비화처리 후 잔재물만을 매립하여야 한다. (다) 사업장 일반 폐기물은 매립시 발생하는 浸出水 및 가스로 인한 주변 환경 오염을 방지하기 위하여 집수시설·차수시설·침출수 처리시설 및 가스처 리시설 등을 갖춘 매립시설에서 처리하여야 한다.</p>	

### 3. 슬러지의 처리방법에 관한 규정

#### 1) 슬러지(오니)의 처리 방법에 관련된 규정

폐기물관리법 시행규칙 [별표 4](폐기물의 수집·운반·보관·처리에 관한 구체적  
기준 및 방법)의 2항 라목 (2)의 (가)(매립기준 및 방법)를 보면 슬러지(오니)의 경우

에는 탈수·건조 등에 의하여 수분함량 85% 이하로 사전 처리를 한 후에 매립하여야 한다고 규정하고 있다.

#### 2) 안정화 및 고형화에 관련된 규정

폐기물관리법 시행규칙 [별표 9](폐기물 처리시설의 설치기준) 1항(12)에, 고형화 시설은 (가) 시멘트·물·용출방지제 등을 고르게 혼합할 수 있는 裝置 및 配合比率를 조절할 수 있는 장치를 갖추어야 한다. (나) 혼합물을 養生할 수 있는 시설 등을 갖추어야 하며, 혼합물이 빗물 등에 의하여 유실되지 않는 구조이어야 한다고 규정되어 있다. 또한 1항(13) 안정화시설은 (가) 폐기물을 화학물질 또는 생물 등을 이용하여 화학적 생물학적으로 안정된 상태의 물질로 만드는 시설을 갖추어야 한다고 규정되어 있다.

### 4. 슬러지의 매립 및 재활용에 관한 규정

#### 1) 매립시설의 인공복토재 및 복토두께와 관련된 규정

폐기물관리법 시행규칙 [별표 8](폐기물처리시설의 관리기준(제24조 1항 관련) 2호 나목 (사)에, 매립시설의 복토는 다음 기준에 적합하게 관리하여야 한다고 규정되어 있다.

① 매립작업 종료 후 不透水層이 좋은 복토재를 사용하여 15cm 이상의 두께(화학복토재 등 인공복토재를 사용하는 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 두께)로 일일복토를 하여야 하며, 토출된 매립층의 표면부분에 매립작업이 7일 이상 중단되는 때에는 30cm 이상 두께로 복토를 하여야 한다.

#### 2) 안정화 또는 固形化處理物인 인공복토재의 유해물질 함유기준과 관련된 규정

폐기물관리법 시행규칙 [별표 3]을 보면 안정화 또는 고형화처리물에 함유된 有害物質(제2조 3항 관련)은 다음 기준에 포함되지 않아야 한다고 규정되어 있다. 즉 인공복토재는 폐기물공정시험법에 의한 溶出試驗을 실시한 후 유해물질이 기준치에 포함되지 않아야 한다고 규정되어 있다. <표 5-3>은 유해물질 판정 항목 및 기준치를 나타낸 것이다.

<표 5-3> 유해물질 판정 항목 및 기준치

항 목	기 준 치	항 목	기 준 치
Pb 및 그 화합물	3.0 mg/ℓ 이상 함유한 경우	Hg 및 그 화합물	0.005mg/ℓ 이상 함유한 경우
Cd 및 그 화합물	0.3 mg/ℓ 이상 함유한 경우	As 및 그 화합물	1.5 mg/ℓ 이상 함유한 경우
Cr <sup>6+</sup> 및 그 화합물	15 mg/ℓ 이상 함유한 경우	CN 및 그 화합물	1.0 mg/ℓ 이상 함유한 경우
Cu 및 그 화합물	3.0 mg/ℓ 이상 함유한 경우	트리클로로에틸렌	0.3 mg/ℓ 이상 함유한 경우
테트라클로로에틸렌	0.1 mg/ℓ 이상 함유한 경우	유기인	1.0 mg/ℓ 이상 함유한 경우

### 5. 객토제(토양개량제)에 관한 규정

토양개량제에 관한 규정은 비료관리법에 규정되어 있다. 비료관리법 제4조에서는 부산물비료로 지정된 후 生産·輸入·販賣할 수 있다고 규정하고 있다<표 5-4 참조>. 즉 정수슬러지를 토양개량제로 이용하기 위하여는 비료관리법에 부산물비료로 지정되어야 한다.

<표 5-4> 토양개량제에 관한 규정

비 료 관 리 법	<p>○ 비료관리법 제4조(공정규격의 설정 등) ① 농림부장관은 공정규격을 설정·변경 또는 폐지하거나 부산물비료를 지정 또는 폐지할 수 있다. ② 공정규격의 설정·변경 또는 폐지나 부산물비료의 지정 또는 폐지가 필요하다고 인정하는 자는 농림부령이 정하는 바에 의하여 농림부장관에게 그 설정 등을 요청할 수 있다. ④ 농림부장관은 비료의 공정규격을 설정·변경 또는 폐지하거나 부산물비료를 지정 또는 폐지하고자 할 때에는 30일전에 이를 고시하여야 한다. ⑤ 4항의 규정에 의한 설정 또는 지정의 고시가 되지 아니한 비료를 생산·수입하여 농업용으로 판매하고자 하는 자는 공정규격의 설정이나 부산물비료의 지정을 요청하여야 하며, 공정규격이 설정되거나 부산물비료로 지정된 후가 아니면 이를 생산·수입하여 판매할 수 없다. 다만, 시험용 또는 연구용의 경우에는 그러하지 아니한다.</p>
	<p>○ 비료관리법 제10조(위해성 비료 등의 수입제한) ③ 유기질비료와 부산물비료의 위해성의 기준 및 검사에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.</p>
	<p>○ 비료관리법 시행령 제10조(위해성 기준 및 검사) ① 법 제10조의 규정에 의하여 수입을 제한할 수 있는 비료와 원료에 대한 중금속의 위해성 기준은 [별표 1] 과 같다.</p>

동법 시행령 10조에서는 비료와 원료에 대한 重金屬의 위해성 기준을 제시하고 있다<표 5-5 참조>.

<표 5-5> 보통비료 중 유기질비료 및 부산물비료에 대한 중금속의 위해성 기준

종 류	중금속	함유할 수 있는 허용량
유기질비료 중 피혁분비료	크 롬	질소함유율 1%당 0.3%이하
유기질비료 중 맥주오니비료	크 롬	질소함유율 1%당 0.01%이하
	납	질소함유율 1%당 0.005%이하
유기질비료 중 혼합유기질비료	크 롬	중제피혁분을 혼합할 경우에 한하며 중제피혁분 함유율 1%당 300mg/kg이하
	납	맥주오나를 혼합할 경우에 맥주오니 함유율 1% 당 2.5mg/kg
부산물비료 (아미노산 발효 부산비료, 토양미생물제제비료 및 토 양활성제제비료는 제외)	크 롬	300mg/kg이하
	납	150mg/kg이하
	카드뮴	5mg/kg이하
	수 은	2mg/kg이하
	비 소	50mg/kg이하
	구 리	500mg/kg이하

중금속 위해성기준 항목에는 크롬, 납, 카드뮴, 수은, 비소, 구리 등이 있다. 정수장 슬러지에는 이러한 유해물질은 거의 포함되지 않고 있다.

비료관리법 제4조에 의한 비료공정규격(농림부고시 제96-96호)은 다음과 같다. 비료는 보통비료와 부산물비료로 나누어지는데, 보통비료에는 無機質 窒素肥料, 有機質 肥料, 石灰質肥料 등이 있고, 부산물비료에는 퇴비, 부숙겨눅비, 부엽토 등이 있다. 副産物肥料의 종류 및 함유하여야 할 주성분의 최소량 및 유해성분의 최대량은 <표 5-6>에 나타내었다. 음식물쓰레기를 원료로 한 퇴비도 최근 부산물비료에 포함되었다.

정수슬러지는 비료공정규격에 포함되어 있지 않으므로 현재로는 토양개량제로 사용할 수 없다. 따라서 정수슬러지를 토양개량제로 사용하기 위해서는 副産物肥料 항목에 정수슬러지 비료가 포함되어야 한다. 이를 위해 서울시에서는 정수슬러지 비료를 부산물비료로 지정할 것을 요청하여야 한다.

<표 5-6> 부산물비료의 종류 및 함유하여야 할 주성분의 최소량

비료의 종류	함유하여야 할 주성분의 최소량 (%)	함유할 수 있는 유해성분의 최대량 (%)	비 고
퇴 비	유기물 25	비 소 50mg/kg 카드뮴 5mg/kg 수 은 2mg/kg 납 150mg/kg 크 롬 300mg/kg 구 리 500mg/kg (개정 : '96.7.4)	음식물쓰레기를 퇴비의 원료로 사용하는 경우에는 원료의 30%를 초과할 수 없으며 음식물쓰레기의 투입비율을 포장에 표기하여야 한다.
건계분	유기물 20	상동	
건조축산폐기물 (가축의 도축과정에서 생기는 폐기물로 제조된 것)	유기물 25	상동	
부숙왕겨 및 톱밥	유기물 30		

## 제 2 절 제도적 개선방안

### 1. 복토재로 활용

슬러지의 인공覆土材로 이용은 현행법 규정내에서도 가능하다. 즉 슬러지를 인공 복토재로 사용하기 위하여는 복토의 목적에 맞고, 環境部長官이 고시하는 두께로 복토하는 경우(정수슬러지의 인공복토재로 사용하기 위해서는 환경부장관의 승인을 얻



어야 함)에 가능하다고 판단된다. 또한 廢棄物 溶出試驗 항목의 유해물질이 기준치를 넘지 않아야 한다. 이러한 조건에 맞으면 슬러지를 인공 복토재로 이용할 수 있다<표 5-7 참조>.

정수슬러지는 폐기물 溶出試驗 항목의 유해성분이 거의 나타나지 않고 있다. 따라서 정수슬러지를 인공복토재로 사용할 경우 유해성분에 대한 문제는 없을 것이다.

현재 정수슬러지는 일반 쓰레기와 함께 混合埋立되고 있다. 그러나 정수슬러지를 인공복토재로 사용하기 위해 본 연구에서 제안한 固化處理를 실시하면 유해물질은 느리게 용출되므로 현재 혼합매립 방법보다 오염저감 측면에서는 장점이 있다. 현재 淨水슬러지에 포함된 알루미늄 성분은 용출시험 항목에 포함되어 있지 않지만 고화 처리하면 알루미늄에 의한 영향을 더욱 줄일 수 있다고 본다.

석회나 시멘트를 이용한 고화처리된 인공슬러지복토재(정수슬러지로 제조한 복토재)를 일일복토재로 사용하면 기존 슬러지의 나쁜 작업성도 보완할 수 있으며, 냄새 및 해충의 발생도 방지할 수 있어 일일복토재로 역할을 할 수 있다<4.2.1절 참조>.

<표 5-7> 인공복토재로 이용방안

관련규정	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 폐기물관리법 시행규칙 [별표7]의 1호 (12),(13) 고형화시설 및 안정화시설</li> <li>◦ 폐기물관리법 시행규칙 [별표8]의 2호 나목(사) 매립시설의 복토관리 기준</li> <li>◦ 폐기물공정시험법에 의한 용출시험</li> </ul>
관련법 개정여부	정수슬러지의 복토재 이용은 현행 규정으로 가능
슬러지복토재 제조방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정수슬러지의 석회나 시멘트로 고화처리</li> <li>- 슬러지의 매립 作業性 提高</li> <li>- 슬러지 인공복토재의 불투수성, 냄새방지, 해충 번식방지</li> </ul>
추진방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 환경부장관이 고형화된 정수슬러지를 인공복토재로 고시</li> <li>- 서울시는 정수슬러지 고화체에 대한 복토재 사용승인 신청</li> <li>- 정수슬러지 복토재의 용출시험서·일축압축강도시험서 첨부</li> <li>- 환경부장관의 정수슬러지 복토재의 복토두께 고시</li> </ul>

## 2. 토양개량재로 활용

정수슬러지를 토양개량재로 사용하기 위하여는 “비료공정규격의 副産物肥料에 정수슬러지 비료항목”이 고시되어야 한다. 이 고시 내용에는 정수슬러지가 함유해야 할 주성분의 最小量과 함유할 수 있는 유해성분의 最大量 등이 설정되어야 한다. <표 5-8>에는 정수슬러지를 토양개량재로 이용할 경우 제도적 개선방안을 나타내고 있다.

<표 5-8> 토양개량재로 이용하기 위한 제도적 개선방안

<p>관련규정</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 비료관리법 제4조(공정규격의 설정 등)</li> <li>○ 비료관리법 제10조(위해성 비료 등의 수입제한)</li> <li>○ 비료관리법 시행령 제10조(위해성 기준 및 검사)</li> <li>○ 시행령 [별표1] <u>보통비료중 유기질 비료 및 부산물비료와 그 원료에 대한 중금속의 위해성 기준(제10조 제1항관련)</u></li> <li>○ 농림부 고시인 비료공정규격</li> </ul>
<p>관련법 개정 사항</p>	<p>비료공정규격의 부산물비료에 ‘정수슬러지 비료’가 지정되어야 함.</p>
<p>토양개량제의 제조방법</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정수슬러지의 비료규격이 정해져야 토양개량재로의 제조방법이 설정될 수 있다.</li> <li>○ 정수슬러지의 석회 안정화처리 등으로 제조</li> <li>○ 유해성분의 최대량을 시험서로 제시</li> </ul>
<p>추진방법</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 농림부장관이 정수슬러지 비료규격 고시             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서울시에서 정수슬러지 비료규격 건의</li> <li>- 슬러지비료 제조방법 건의</li> <li>· 정수슬러지비료의 유해성분 최대량 시험서 첨부</li> </ul> </li> </ul>

### 3. 매립성토재로 활용

슬러지의 습水率에 따른 매립성토 작업 등에 지장이 없도록 壓縮強度를 강화하여야 한다. 따라서 제도적 개선방안으로는 석회 등으로 固化處理 후 매립토로 이용할 수 있는 내용을 명확히 규정해야 한다.

예를 들어 "폐기물관리법 [별표4] (2)의 (나)항에 정수슬러지를 간척지의 埋立盛土材로 이용하기 위하여는 "수질오염방지시설을 설치하거나 고화처리를 하도록 한다. 또한 폐기물 용출시험에 적합하여야 한다."는 내용을 포함시켜야 할 것이다<표 5-9 참조>.

<표 5-9> 매립성토재로 활용을 위한 개선방안

관련규정	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 수질환경보전법 제30조(공공수역의 점용 및 매립에 의한 수질오염 방지)</li> <li>◦ 시행령 제39조(공공수역의 수질오염방지 조건의 내용)</li> <li>◦ 폐기물관리법 시행규칙 [별표4](매립 기준 및 방법)</li> </ul>
관련법 개정 사항	<p>폐기물관리법 시행규칙 [별표4] (2)의 (나)항에 정수슬러지를 간척지의 매립성토재로 이용하기 위하여는 水質汚染防止施設을 설치하거나 고화처리를 하도록 한다. 또한 폐기물 용출시험에 적합하여야 한다."는 내용을 포함시킨.</p>
슬러지매립성토재의 제조방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정수슬러지의 석회나 시멘트로 고화처리             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 슬러지의 일축압축강도 또는 구체적인 고형화처리방법 등 제시</li> <li>· 예, 슬러지:석회:플라이애쉬를 100:10:10으로 함</li> <li>- 관련기관의 연구 필요</li> <li>· 용출시험서 제시</li> </ul> </li> </ul>
추진방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 관련규정 개정 건의             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐기물관리법 시행규칙 [별표4] (2)의 (마)항에 간척지의 매립성토재로 이용할 수 있는 규정 명문화</li> </ul> </li> </ul>



## 제 6 장 결 론

淨水슬러지(정수장 발생슬러지)란 정수처리과정인 침전 및 역세척공정에서 부유현탁물이 침전 또는 억류된 찌꺼기를 말한다. 서울시의 상수도 생산량은 생활수준 등의 향상으로 지속적으로 증가하여 왔다. 슬러지 發生量 또한 상수도 생산량 증가와 더불어 증가해 왔다. 과거 정수슬러지는 처리없이 한강으로 無斷 放流하였다. 그러나 최근 한강의 수질개선에 대한 시민들의 의식이 높아지면서 무단 방류에 대한 규제가 강화되었다. 즉 1992년에 수질환경보전법 시행규칙 [별표3]에 의해 정수능력 1,000m<sup>3</sup>/일 이상의 정수시설이 廢水排出施設로 규정되어 각 정수장에 슬러지 처리시설을 설치하게 되었다.

현재 슬러지의 처분방법은 슬러지를 85% 이하(폐기물관리법 시행규칙 [별표4] 폐기물의 수집·운반·보관·처리에 관한 구체적 기준 및 방법)로 탈수하여 수도권매립지에 生活廢棄物과 함께 混合·埋立하고 있다. 그러나 최근 수도권매립지의 슬러지 반입비용이 대폭 상승하였으며, 매립처분시 슬러지의 비교적 높은 함수율에 의한 작업의 불편성 때문에 수도권매립지에서는 슬러지를 마사토나 연탄재로 혼합처리하여 반입하도록 요구하고 있다. 또한 '97년 7월에 개정된 폐기물관리법 [별표4]에 의하면 2001년 1월 1일 이후에는 배출업소의 유기성 오수를 바로 매립하여서는 안된다고 규정하고 있다. 정수슬러지가 유기성 오수에 포함 되지않더라도 작업의 어려움 때문에 현재처럼 매립지에 바로 매립하기가 어려워질 것이다.

현재 슬러지 발생량을 고려한 淨水處理方法, 슬러지 減量化는 거의 초보적인 수준이다. 슬러지의 재활용방안도 거의 실용화되지 않고 있는 실정이다. 장래 정수슬러지를 매립하기 어려운 경우를 고려하여 실용가능한 再活用方案이 모색되어야 한다. 본 연구에서는 처리·처분시스템에서의 슬러지 감량 방안, 실용가능한 재활용방안 및 이를 위한 제도적 개선방안에 대해 살펴보았다. 그 결론은 다음과 같다.

1. 정수슬러지 케익은 1996년기준 연간 66,380톤(180톤/일) 발생되고 있다. 장래 슬러지 케익 발생량을 전망하여 보면 <표 2-11>처럼 2001년에는 225만톤/일, 2011년에는 240만톤/일이 발생할 것으로 전망되었으며, 암사정수장의 슬러지케익 발생량이 가장 높을 것으로 전망되고 있다.

또한 1996년도 슬러지케익 처분(매립지 반입·운반)비용은 15억원이었으며, 이중 운송비가 4억원, 반입수수료가 11억원이었다. 이때 반입수수료는 16,536원/톤이었으나 '97년에는 20,960원으로 27% 증가하였다. 따라서 슬러지케익의 처분비용은 더욱 늘어날 것이다.

2. 서울시 정수슬러지의 性状을 살펴보면 pH는 6.7~7.2로 중성을, 함수율은 69~87%로 나타나고 있다. 또한 강열감량은 4.2~9.8%로 나타나서, 국내의 다른 정수장 슬러지의 비율인 15~30%보다 낮게 나타나고 있다. 무기물의 조성에서  $Al_2O_3$  함량은 30~55%로서 국내 다른 정수장의 20~30%에 비해 훨씬 높은 비중을 차지하고 있다<그림 2-4 참조>. 따라서 서울시 정수슬러지의 有機物 含有量이 낮아 재활용방안으로 燒却處理나 堆肥化 등은 적절하지 않은 것으로 나타나고 있다.

3. 처리·처분시스템에서의 슬러지케익 발생 감량을 위해서는 유수율 提高에 의해 생산량을 억제하고, 정수처리시 적절한 량의 알루미늄을 주입해야 한다. 특히 低濁度 원수에 알루미늄을 過多 投入할 경우에는 sweep flocculation이 형성되어 여과공정에 영향을 줄 뿐만 아니라 슬러지의 발생량을 높여 발생된 슬러지의 탈수성도 악화시킬 수 있으므로 적절한 양의 알루미늄을 주입하도록 한다.

4. 외국의 정수슬러지 처분방안을 살펴보면 東京都의 경우 정수장 발생토(일본에서는 정수슬러지 케익을 정수장 발생토라 함)의 유효이용율은 1987년에 26%에서 1996년에 45%로 높아지고 있다. 나머지 45%는 東京灣埋立場에 매립처분하고 있다. 이 유효이용량 중 농·원예용토로 97%, 테니스코트 및 블록개량제로 2.5%가 활용되고 있다. 1987년말까지는 각 市町村에 산재해 있는 자갈·모래 채취 후 파인 응덩이에 전량을 내륙매립(일종의 활용방법임) 처분하여 왔다. 東京都의 슬러지의 유효이용을 위한 양도방법은 소량 유상 양도와 유상 양도협정이 있다.

名古屋市에서는 정수슬러지를 廢鑛 등의 충전재로 활용하였는데, 아연채굴이 끝난 후 폐광의 沈沒 및 沈下를 방지하기 위한 것이었다. 특히 요업원료공업에서 배출되는 저급 점토 등을 슬러지와 혼합하여 충전재로 사용하였다. '97년 충전량은 50,000톤(서울시의 '96년 연간 발생량은 66,380톤임)이었다.

그 외에 일본에서는 수도관 포설토로 '85년에 최소 836m<sup>3</sup>, '90년 16,555m<sup>3</sup>을 사용한 실적이 있다.

미국의 정수슬러지 재활용을 보면 펜실베이니아주 정수처리회사에서 발생한 슬러지를 농업에 이용하였는데, 18개 정수장중 10개 회사의 슬러지가 금속물질의 허용기준치를 만족하여 농·원예용토로 활용하였다. 농·원예용토로 이용하기 위한 金屬物質의 限界基準은 503 규정에 제시되어 있다.

5. 본 연구에서 제안한 실용가능한 재활용방안은 복토재, 시멘트 원료, 수도관 포설토, 원예용토 및 매립성토재이다. 정수슬러지 : 석회 : 플라이애쉬를 100 : 10 : 10으로 固化處理하면 복토재로 사용가능한 것으로 판단된다. 특히 매립작업시 장비의 작업성을 확보할 수 있는 0.5kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 만족시킬 수 있는 것으로 분석되고 있다. 또한 고화슬러지의 용출시험결과 유해물질은 판정항목의 기준치 이하로 나타나고 있다. 특히 정수슬러지는 알루미늄(알루미늄은 유해물질의 판정항목이 아님)을 함유하고 있는데, 고화처리하면 알루미늄의 용출도 거의 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다.

시멘트 원료로 활용을 보면 정수슬러지의 성분에 시멘트 원료인 SiO<sub>2</sub>(규소), 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>중 규소와 알루미늄 성분이 80% 이상 포함되어 있어 시멘트 원료로 활용이 가능하다. 특히 일본의 한 시멘트 공장에서는 연간 16,000톤의 정수슬러지를 시멘트 원료로 재활용하고 있다. 이때 정수슬러지의 性状이 시멘트 원료인 점토성분과 비슷하여 시멘트의 품질에 영향이 거의 없는 것으로 보고되고 있다.

수도관 포설토는 정수슬러지를 고화처리하여 수도관이나 가스관을 묻는데 포설토로 활용할 수 있다. 서울시 상수도사업본부에서는 노후관 개량사업을 지속적으로 추진하고 있으므로 수도관 포설토의 수요는 비교적 쉽게 확보할 수 있을 것이다. 원예용토는 정수슬러지를 乾燥處理하여 알루미늄 성분을 불용화시켜 제조·사용하는 것이다. 또한 매립성토재는 정수슬러지를 고화처리하여 간척지나 저지대의 성토재로 활용할 수 있을 것이다.

이 외에 道路基層材(잡석)로 사용하는 골재는 압축강도 10kg/cm<sup>2</sup> 이상 정도인데 슬러지도 시멘트로 硬化시키면 골재로 활용가능할 것이다. 따라서 장래 원자재부분으로 재활용하는 것 외에도 내화타일 혹은 실내장식 건축자재(세라믹 제품) 등의 고부가가치 제품 개발에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

6. 경제성 분석을 보면 복토재의 제조비용(고화시설 설치비 및 운영비)은 50톤/일 규모 이상에서 21,295원/톤 이하로 나타나서 매립지 반입비용과 거의 비슷한 수준이다. 정수슬러지를 복토재로 사용할 경우 복토재 구입 및 운송에 필요한 經費(현재 수도권매립지에서는 지하철 건설토의 경우 5,000원/톤을 보조하고 있음) 등을 고려하면 정수슬러지를 복토재로 사용하는 것이 편익이 큰 것으로 나타났다. 여기서 정수슬러지의 재활용에 따른 資源節約과 매립지의 壽命延長 등 사회환경적 편익을 고려할 경우 편익은 더욱 커질 것이다. 또한 장래 매립지의 반입료의 인상을 고려하면 경제성은 더욱 커진다.

시멘트 원료로 활용하기 위해서는 건조시설이 필요한데 건조처리비용은 22,780원/톤(45톤/일규모)으로 분석되었다. 여기서 운반비를 고려하면 경제적 편익은 마이너스 810원/톤으로 분석되고 있다. 그러나 시멘트를 서울로 운송하고 난 빈 트럭을 이용하여 정수슬러지를 시멘트공장으로 운송하면 운반비가 거의 소요되지 않아 경제적 타당성은 충분하다고 판단된다. 또한 정수슬러지를 원료로 사용하는 편익을 고려하면 경제적 편익은 더욱 커질 것이다. 따라서 시멘트 원료로 활용을 위해서는 民間業體의 參與가 필수적이라 할 수 있다.

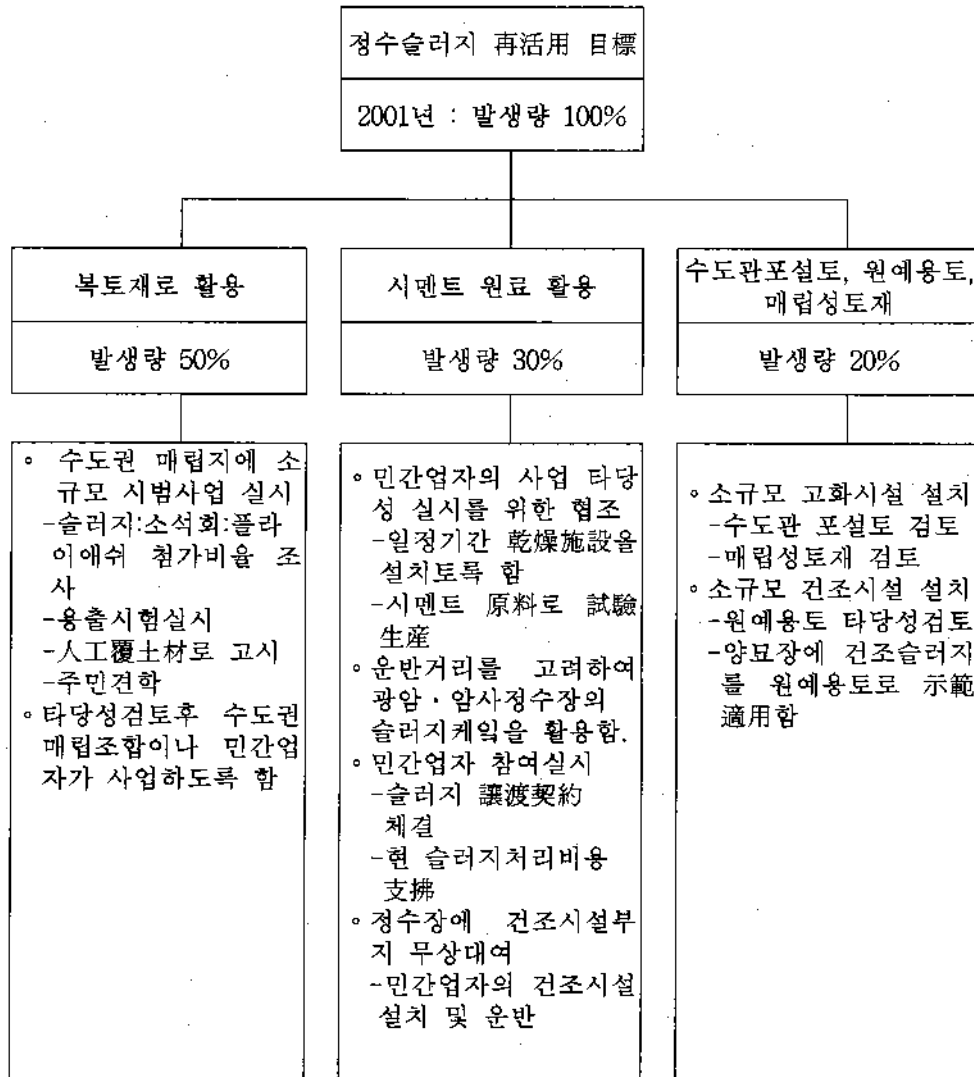
수도관 포설토, 원예용토, 매립성토재의 건조 및 고화처리를 위한 제조비용은 각각 23,751원/톤(25톤/일 규모), 20,750원/톤(10톤/일 규모) 및 20,816원/일(50톤/일)이다. 이들 비용은 매립지 반입·운반비용과 거의 비슷하거나 작은 수준이다. 따라서 정수슬러지의 수도권 포설토, 원예용토 및 매립성토재로 활용은 경제적 타당성이 있다고 본다. 다만 需要確保 및 2차적인 환경에의 영향, 주민들의 민원 등이 예상될 수 있다.

7. 제도적 개선방안을 보면 복토재로 활용은 현행법 규정내에서도 가능한데 환경부장관이 고화처리 슬러지를 인공복토재로 고시하여야 한다. 즉 서울시에서는 고화처리 슬러지를 인공복토재로 고시하도록 건의해야 한다.

시멘트 원료 및 수도권 포설토는 정수슬러지를 재활용하기 때문에 제도개선 없이 추진할 수 있다. 또한 원예용토로 활용을 위해서는 농림부장관이 슬러지를 토양개량재로 비료규격에 고시하여야 하고, 매립성토재로 활용을 위해서는 간척지 매립성토재로 활용할 수 있도록 폐기물관리법 시행규칙 [별표4]의 마항을 개정하여야 한다.



8. 실용가능한 재활용의 추진방안을 보면 직접 매립이 금지되는 2001년까지 정수슬러지 케익의 발생량 100%를 재활용하는 목표 수립을 제시하였다. 즉 세부 추진목표에서는 한가지 재활용방안보다 다양한 재활용방안으로 추진되어야 하므로 발생량 50%를 복토재로, 발생량 30%를 시멘트 원료로, 발생량 20%를 수도관 포설토, 원예용토 및 매립성토재로 활용하도록 한다. 세부 추진방안은 그림과 같다.



...the first time I had ever seen a man of color in a suit and tie. He was standing in the doorway, looking at me with a serious expression. I felt a mix of curiosity and apprehension. He introduced himself as Mr. Johnson, the new manager of the office. He spoke in a calm, measured tone, and his words were clear and direct. He told me that he had been hired to oversee the operations of the office, and that he was looking for someone who was hardworking and dedicated. He asked me if I was interested in the position, and I told him that I was. He then gave me some papers to read, and I felt a sense of purpose and direction. I knew that this was my chance to prove myself and to make a difference in the world.

...the first time I had ever seen a man of color in a suit and tie. He was standing in the doorway, looking at me with a serious expression. I felt a mix of curiosity and apprehension. He introduced himself as Mr. Johnson, the new manager of the office. He spoke in a calm, measured tone, and his words were clear and direct. He told me that he had been hired to oversee the operations of the office, and that he was looking for someone who was hardworking and dedicated. He asked me if I was interested in the position, and I told him that I was. He then gave me some papers to read, and I felt a sense of purpose and direction. I knew that this was my chance to prove myself and to make a difference in the world.

...the first time I had ever seen a man of color in a suit and tie. He was standing in the doorway, looking at me with a serious expression. I felt a mix of curiosity and apprehension. He introduced himself as Mr. Johnson, the new manager of the office. He spoke in a calm, measured tone, and his words were clear and direct. He told me that he had been hired to oversee the operations of the office, and that he was looking for someone who was hardworking and dedicated. He asked me if I was interested in the position, and I told him that I was. He then gave me some papers to read, and I felt a sense of purpose and direction. I knew that this was my chance to prove myself and to make a difference in the world.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 건설교통부. (1995). 폐기물 매립지 차수재 개발.
- 길경익. (1993). 정수슬러지의 하수처리장 투입에 의한 영향 연구. 석사논문.
- 김지형. (1996: pp.79-102). 폐기물 매립기술 개발 방향에 관한 심포지움. 한국건설기술 연구원 동양화학공업(주). (1996). 부산석회의 이용에 관한 연구.
- 인천대학교. (1995). 부산석회의 토질역학적 특성에 관한 연구.
- 인천대학교. (1996). 부산석회를 이용한 도로 기층재 및 보조기층재 개발에 관한 연구.
- 사단법인 한국물가정보. (1997.9). 종합물가정보
- 서울특별시. (1996). 폐기물관리법
- 수도권매립운영조합. (1997). 반입수수료내역
- 전향배외. (1994). 정수장 슬러지의 건조 및 열적 중량감량 특성에 관한 연구. 한국폐기물학회지. 11(3).
- 한국수자원공사. (1995). 정수장 슬러지 감량화 기초연구.
- 한국수자원공사. (1993). 정수장 슬러지 처분 및 처리방안 연구.

## 2. 외국문헌

- David A.Cornwell, et al. *Landfilling of Water Treatment Plant Coagulant Sludges*. JAWWA. pp.14-26. 1992
- Alice B, Outwater. (1995). *Reuse of Sludge and Minor Wastewater Residuals*. Lewis Publisher.
- LaGrega, M.D., P.L. Buckingham and J.C. Evans. (1994). *Hazardous Waste Management*.

- Slib, Schalam. *Sludge*. AWWA
- Thomas, E. Wilson, et al. (1975.12). *Upgrading Primary Treatment with Chemicals and Water Treatment Sludge*. JWPCF. 47(12).
- U.S. EPA. (1983.10). *Process Design Manual for Land Application of Municipal Sludge*. EPA-625/1-83-016 Environmental Research Information Cincinnati.
- U.S. EPA. (1979.9). *Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal*. EPA 625/1-79-011 Center for Environmental Research Information Technology Transfer.
- Rodney D. Rhew, et al. (1995). *Effect of Lime-Stabilized Sludges as Landfill Cover on Refuse Decomposition*. J. Environmental Engineering. 121(7).
- <http://www.kordic.re.kr/~section/cgi-bin/Showabs.cgi?IDFile=27411515> page=13

- 岡高明, 松本 薫. (1981.2). 浄水場汚泥の農業面への利用. 水道協会雑誌. 557(19).
- 樫出敏次外(1996). 浄水場発生土の資源化. Vol.451.
- 高谷幸秀外. (1996). 千葉県工業用水道の浄水発生土と資源化製品の開発. 工業用水. Vol.449
- 近勝史朗. (1996). 浄水発生汚泥 脱水ケーキの農園藝用利用. 工業用水. Vol.451.
- 笠倉忠夫秋. 秋吉 功. (1974). 浄水場発生ケーキの土質工學的考察. 水道協会雑誌. Vol.479.
- 大木宣章. (1996). 電解処理した上水汚泥の再生資源化への検討. 土木學會論文集. No. 533.
- 渡邊義公. (1992. 11). 上水汚泥の下水道への放流處分に關する研究. 국제물환경 기술개발 심포지움. 재단법인 한국수도 연구소.
- 小林三樹. (1981). 浄水汚泥の處理・處分. 空氣造化・衛生工學. 55(10).
- 愛野彰. (1982). 浄水汚泥の 有效利用. 造水技術. 8(1)
- 野田道黄. (1983). スラッジの處分と利用技術. 環境創造. 11(12).
- 佐藤敬久・石橋勇信 et al. (1981). 上水汚泥の有效利用. 用水と廢水. 23(9).
- 李橋 寛外. (1996). 浄水場発生土の農業有效利用. 工業用水. Vol. 451.
- 田中 甫外. (1985). 浄水場排出汚泥の工業化學的利用その1-吸着劑への利用. 用水と廢水. 27(2).
- 田中 甫外. (1985). 浄水場排出汚泥の工業化學的利用その2-觸媒への利用. 用水と廢水. 27(12).
- 田中 甫外. (1988). 浄水場排出汚泥の工業化學的利用その3-工業原料への利用. 用水と廢水. 30(7)

増田義昌. (1996). 浄水汚泥の有効利用化実施設備の紹介と今後. 工業用水, Vol.451.

坂場 勝外. (1996). 浄水場発生土を焼成培土とする資源化 技術. Vol. 451.

後藤逸男. (1995). 浄水場発生土を活かす. 水道協会雑誌, 64(11)



# 탈수 케익의 성분분석

구분	채취일자	취수장	pH	합수율	강열감량	무기물의 함량 (%)							
						SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	TiO <sub>2</sub>
1차	2월 23일-26일	광암		83.0	6.7	49.0	43.5	2.9	1.8	0.7	1.4	0.5	0.3
		암사		87.0	4.9	46.8	45.2	3.1	2.1	0.7	1.4	0.4	0.4
		구의		79.6	5.2	59.4	29.9	3.4	4.5	0.8	1.6	0.1	0.3
		자양		85.7	5.3	31.8	55.2	5.7	3.3	1.3	1.8	0.4	0.5
2차	6월 10, 11일	광암	6.9	73.3	7.3	43.6	41.3	8.0	3.5	0.8	1.3	0.4	1.1
		암사	6.7	81.3	5.2	43.6	41.6	7.0	3.8	1.4	1.4	0.2	1.0
		구의	7.0	76.8	5.4	53.5	32.8	6.7	3.3	1.5	1.2	0.2	0.9
		자양	7.1	81.4	4.5	40.9	43.8	7.8	3.8	1.1	1.3	0.3	1.0
3차	9월 3일	광암	7.2	72.2	9.8	47.8	36.8	5.7	4.3	2.7	1.4	0.4	0.7
		암사	6.7	68.9	4.2	43.4	37.2	8.3	5.3	1.7	2.0	0.2	0.8
		구의	6.9	72.0	6.1	50.7	32.4	7.1	4.9	1.6	1.8	0.1	1.5
		자양	7.0	72.0	6.5	48.0	35.4	7.2	4.7	1.6	1.8	0.2	1.2
4차	9월 27일	광암	7.1	73.3	7.0	45.6	40.1	6.5	4.5	0.8	1.1	0.5	0.8
		암사	6.9	73.9	5.0	46.6	38.1	7.5	3.1	2.0	1.0	0.2	1.3
		구의	6.9	75.7	4.2	48.0	36.0	7.9	3.1	2.0	1.2	0.2	1.5
		자양	6.9	72.7	5.9	47.2	36.8	7.5	3.8	2.0	1.1	0.1	1.4
	평균		6.94	76.80	5.82	46.61	39.13	6.39	3.73	1.41	1.42	0.27	0.91

# 정수장 배출수처리시설 현황

□ 정수장별 SS농도

연도	사업소	위치	월 별 평 균 (SS 농도)												최저	최고	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			평균
'96	광 암	슬러지저류조(%)	5.6	5.3	5	5.0	5.3	5.8	6.7	6.4	6.0	6.5	6.2	2.9	5.6	6.7	2.9
		방류수조 ppm	15.5	18.5	17	17	19.4	19.7	24.2	18.5	18.7	21.4	21.2	18.7	19.1	15.5	21.4
"	구 외	슬러지저류조(%)	3.2	2.5	2.9	3.4	3.5	2.8	3	2.9	2.8	3.1	3.2	3.3	3	2.5	3.5
		방류수조 ppm	9.8	8.7	11	11.3	11.9	11.4	11.5	11.1	10.8	10.5	15.4	12.4	11.3	8.7	15.4
"	뜰 도	슬러지저류조(%)	2.5	2	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	5	5	5	2.5	2.5	3.4	2	5
		방류수조 ppm	16	13	15	23	20	8.8	15	19.4	22.8	8.5	9.3	5.9	14.7	5.9	23
"	보광동	슬러지저류조(%)	2	2.2	2.3	2.5	2.9	3.5	4.5	4.7	3.8	3.5	3	2.5	3.1	2	4.7
		방류수조 ppm	7	7	8	7.5	7	9	10	8.5	7.5	7.5	7	3.2	7.4	3.2	10
"	영동포	슬러지저류조(%)	2.5	2.5	2.8	3	3	3.5	4.5	5	5	4.5	3.5	3	3.5	2.5	5
		방류수조 ppm	6.5	8	7	7.4	7	3.7	8.8	6.4	7.9	7.7	7.2	6.5	7	3.7	8.8
"	신 유	슬러지저류조(%)	1.2	1.3	1.6	1.5	1.6	2.8	3.2	3.5	3	2.8	1.5	1.4	2.1	1.2	3.5
		방류수조 ppm	7	12	14	8	7	7	6	6	6	7	6	5	7.7	5	14
"	암 사	슬러지저류조(%)	2.4	2.3	3.5	3.7	4.5	4.4	4.6	4.1	3.6	3.7	3.2	2.7	3.56	2.3	4.6
		방류수조 ppm	9.2	11	10	11.3	12.7	13.5	12.7	13	11.9	11.7	10.5	10.2	11.6	9.2	13.5

※ 슬러지저류조 : 2차 농축조 이후 탈수기동 내에 있는 지류조 (%) × 10,000 = ppm  
 방류수조 : 2차 농축조 이후 방류수조



□ 사용 약품의 종류

사업소	구분	약품명	액상·고상	순도(%)	단가	사용량(톤/년)			비고
						'94	'95	'96	
광암	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	4,533	5,609	4,538	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,970 원/kg	258	342	320	
구의	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	6,229	13,602	6,610	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,482 원/kg	6,056	6,466	7,993	
북도	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	5,803	5,775	5,971	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,629 원/kg	3,890	2,470	2,420	
보광동	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	1,947	2,200	2,337	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,750 원/kg	-	130	1,850	
영등포	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	2,093	2,173	2,127	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,909 원/kg	4,360	6,420	6,690	
선유	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	2,119	1,830	1,736	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,836 원/kg	-	-	627	
암사	정수처리	P.A.C	액상	10~11%	163.4 원/L	7,952	8,407	8,932	
	배출수처리	고분자응집제	고상	90% 이상	2,827 원/kg	930	5,266	7,300	



□ 슬러지 발생량 및 합수율

연도	사업소	구분	월별 슬러지발생량 및 합수율												평균
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
'96	광 암	슬러지발생량(톤)	239	170	260	254	316	268	382	368	279	362	357	340	299.5
		합 수 율 (%)	60	64	67	68	61	58	52	57	62	59	64	70	61.8
"	구 의	슬러지발생량(톤)	1,529	1,438	1,336	1,070	1,321	836	789	1,671	1,576	789	1,818	2,096	1,355
		합 수 율 (%)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	76	76	75.4
"	목 도	슬러지발생량(톤)	966	425	438	1,063	1,454	884	793	1,317	1,035	1,597	1,949	626	1,045.5
		합 수 율 (%)	75	75	80	78	80	79	72	73	70	71	73	71	74.8
"	보 광 동	슬러지발생량(톤)	185	181	218	275	349	231	380	516	351	160	223	299	280.6
		합 수 율 (%)	76	76	76	75	75	74	73	74	74	73	74	75	74.6
"	영 동 포	슬러지발생량(톤)	383	532	423	814	1,178	1,107	892	1,005	1,031	974	726	872	828
		합 수 율 (%)	70	72	71	74	74	72	72	73	76	74	73	72	72.8
"	선 유	슬러지발생량(톤)	256	147	352	168	372	249	308	516	271	312	251	350	296
		합 수 율 (%)	76	77	77	76	76	75	71	73	73	72	74	75	74.6
"	암 사	슬러지발생량(톤)	439	539	995	865	1,676	1,643	1,624	1,888	1,572	2,039	1,873	1,962	1,426.2
		합 수 율 (%)	79	77	76	76	74	74	74	75	74	74	73	75	75

## 슬러지에 관한 미국연방법(Part 503)중 subpart A, B

병원균 및 병원균 매개체 제어 병원균 제어는 A급, B급으로 나뉘는데 상자에 포장 상품화 또는 기중된 슬러지로 가정 집의 정원이나 잔디밭에 살포하는 경우에는 A급으로 분류된 슬러지가 사용되어야 하며, 모든 토양살포를 목적으로 하는 경우는 최소한 B급으로 분류된 슬러지를 사용하여야 한다.

	A급	B급
조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대장균은 1,000MPN/g Total dry solids 이하</li> <li>- 살모넬라종 농도:3MPN/4g TS 이하</li> <li>- 그리고 다음 중 하나의 조건이 만족되어야 함</li> <li>- 시간/온도, 알칼리처리, Enteric 바이러스/생존 Helminth ova실험, Enteric 바이러스/생존 Helminth ova실험,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PSRP(Process to Significantly Reduce Pathogens) 또는 그와 동등한 방법으로 처리</li> <li>- 최소한 7개의 시료가 토양살포시 채취</li> <li>- 대장균 :평균 2,000,000 MPN/g TS 이하</li> <li>- 슬러지 B급인 경우는 토양살포장소의 접근이 통제되어야 함</li> </ul>
건	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PFRP(Process to Further Reduce Pathogens) 또는 그와 동등한 방법으로 처리된 슬러지</li> </ul>	

시정연 97-R-17

정수슬러지의 처리·처분 연구

發行人 서준호

發行日 1997년 11월

發行處 서울市政開發研究院

100-250 서울특별시 중구 예장동 산 4-5

전화 : 726-1104 팩스 : 726-1110

ISBN 89-8052-108-1

本 出版物의 版權은 서울市政開發研究院에 속합니다.

