

第 1 章 序論

第 1 節 研究背景 및 目的

서울시 4개 下水處理場의 處理施設容量은 '97년 8월 현재, 456만 m^3 /일이며 실하수유입량은 564만 m^3 /일로 이와 같은 하수가 수처리공정을 통한 후 최종산물로 발생하는 하수슬러지는 현재 정확한 양이 집계되어 있지는 않으나 '96년 12월까지 하수처리장 시설용량이 371만 m^3 /일인 상태에서는 년평균 1,546톤/일이 발생하였다. 한편, 2011년 서울시 下水道基本計劃(案)에 의하면, 서울시 4개 下水處理場 증설계획은 2004년에 690.5만 m^3 /일, 2011년에는 775.5만 m^3 /일로 일 최대 계획하수량에 대비한 확충계획을 수립하고 있어 계획대로 처리장이 증설되는 경우에는 향후 하수슬러지 發生量이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

과거에 서울시 4개 下水處理場에서 발생된 하수슬러지는 전량을 난지도埋立地에 무상으로 埋立하였으나 난지도 매립장 종료로 인하여 1992년 8월부터 金浦首都圈埋立地로 운반하여서 일반 쓰레기와 함께 混合하여 埋立하고 있다. 그러나 하수슬러지 전량을 陸上埋立을 통해서만 처분함으로써 여러 가지 문제점들이 발생되었는데 하수슬러지의 높은 含水率, 하수슬러지 내 殘餘有機物 腐敗로 인한 惡臭問題 등으로 인근 주민들이 고통을 받고 있으며 埋立地 浸出水가 인근지역 토양 및 地下水汚染을 유발시켜 嫌惡物에 대한 인식이 가중되고 있다. 또한 우리나라와 같이 국토가 협소하여 또다른 埋立地確保가 불투명한 상황에서 기존의 埋立地 수명을 더욱 단축시키는 결과를 초래하고 있다. 이와 같은 이유로 최근에는 首都圈埋立地對策委員會의 반입중단요구가 과거에 비해 매우 강해지고 있으며 金浦首都圈埋立地까지의 운반경비 및 埋立地分擔金으로 인해 슬러지처분에 대한 비용이 급격하게 증가하고 있는 실정이어서 하수슬러지 처분방안에 대한 새로운 모색이 필요한 것으로 사료된다.

이와 더불어 서울시는 下水道基本計劃에 의한 지속적인 下水處理場 증설을 통해 서울시에

서 발생하는 하수를 전량 처리하는 것이 추진되고 있는 실정이라서 이제는 하수슬러지를 보다 경제적이고 합리적으로 처분할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요한 시기이다.

현재 우리나라의 경우, 下水處理場에서 발생하는 슬러지는 극소량이 일부 綠農地 및 지렁이 먹이로 이용되는 것을 제외하고는 대부분이 埋立, 海洋投棄에 의해 처분되고 있으나 일본을 비롯한 외국의 대도시에서는 대부분의 하수슬러지를 固化 및 燒却, 堆肥, 매립지복토재, 建設資材 그리고 에너지원으로 再利用하고 있다.

하수슬러지 처분방법중 埋立은 현재 대부분의 슬러지를 처리하는 방법으로서 浸出水의 처리 및 지하수 유입 등을 방지하기 위한 시설만 갖추고 있으면 가장 손쉽게 처분할 수 있는 방법이다. 그러나 浸出水의 처리 등 衛生埋立에 따른 비용이 상승하여 埋立率은 해마다 감소하고 있으며, 특히 새로운 埋立地의 확보는 인근 주민들의 반대 등으로 인해 여러 가지 문제를 안고 있다. 海洋投棄는 海洋汚染이 일시적으로 일어나지만 슬러지가 대량의 해수에 의해 희석되고 염분에 의해 응집, 침전되며 유기물은 해수의 自淨作用에 의해 安定化된다. 그러나 海洋投棄 역시 오물관리, 저장, 운반, 기상조건에 의한 지연 등으로 인해 처리비용이 증가하는 추세이고, 특히 장기적인 안목으로 볼 때, 海洋汚染을 야기시키기 때문에 결코 좋은 방안이라고 할 수 없다. 乾燥 후 燒却하는 방법은 최근에 선진외국에서 많이 이용되고 있는 방법으로 슬러지의 부피를 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 한편, 乾燥시 발생하는 惡臭問題와 乾燥된 슬러지를 燒却시킬 때 인체에 유해한 물질이 발생하는 문제점이 있다. 그러나 大氣汚染 방지 시설에 대한 지속적인 기술개발과 대도시 권역에서의 埋立地 확보 어려움 및 운반비 등의 지속적인 증가로 인해 그 유용성이 증가하고 있다. 최근에는 탈수케이크 및 소각재를 埋立地 복토재 및 堆肥로 활용하거나 熱分解方式 등을 통해 슬러지를 에너지화하고 압축소성과정을 통해 建設資材 등으로 하수슬러지를 유효하게 이용하는 방안들이 적극적으로 검토되고 있다.

유럽, 일본을 비롯한 선진외국의 대도시들은 매립장 확보의 어려움 등으로 인해 슬러지를 적절하게 처리한 후, 유효한 자원으로 재이용하거나 環境을 보호할 수 있는 방안에 대해 활발하게 연구를 실시하고 있으며 이러한 기술들이 실용화되고 있다. 또한 슬러지에 포함된 有機物은 에너지원으로서의 활용 가능성이 높기 때문에 슬러지 처리에 의한 에너지 회수기술의 개

발에 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라에서도 하수슬러지를 처리하기 위해 堆肥化, 燒却, 溶融 固化 등 다양한 연구가 진행되고 있으나 퇴비화외에는 아직 실용화된 경우가 거의 없다.

따라서 서울시에서 발생하는 하수슬러지의 현황을 검토하여 서울시 현상황에 적합하고 하수슬러지로 인한 環境汚染을 방지하며 자원으로써 이용할 수 있는 경제적인 처리·처분방안의 연구가 절실히 요구된다.

이에 본 연구에서는 서울시 4개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지에 대한 처분방법을 검토하여 環境汚染을 저감시키고 처리비용도 절감시킬 수 있는 합리적인 처분방안을 제시하고자 하였다.

第 2 節 研究範圍 및 內容

'96년 12월 현재, 서울시 4개 下水處理場에서 발생하는 1,546톤/일의 하수슬러지는 대부분을 金浦首都圈埋立地로 운송하여 매립하고 있으나 埋立地 주변에 2차적 環境汚染問題(地下水汚染, 土壤汚染, 惡臭問題 등)를 야기하는 등 많은 문제점을 가지고 있다. 한편, 환경의 중요성이 고조됨에 따라 하수슬러지의 처리 및 처분에 대한 법적인 규제가 더욱 강화될 것으로 예상되어 하수슬러지 처리·처분에 대한 적절한 대책수립이 시급히 필요하다.

본 연구는 서울시내 중랑, 탄천, 가양, 난지 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지를 대상으로 하였다. 서울시의 현상황에서 가장 경제적이며 환경친화적인 하수슬러지 처리·처분방안을 제시하였으며 향후 자원보존 측면에서 재이용할 수 있는 방안에 대해서도 연구하였다.

본 연구에서 수행한 내용은 다음과 같다.

1) 서울시 하수슬러지 發生現況 및 發生量 豫測 :

현재 서울시의 하수슬러지 발생현황과 下水處理場 증설계획을 통하여 향후 하수슬러지 發生量을 豫測하였다.

2) 하수슬러지 性狀檢討 :

하수슬러지의 적절한 처리·처분방안을 결정하기 위해서는 하수슬러지의 性狀이 중요한 인자로 작용한다. 따라서 본 연구에서는 서울시 4개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지의 성상자료 검토를 통해 하수슬러지의 燒却 및 固化 등 적합한 처리·처분방안에 대한 기술검토시 적용가능성을 검토하였다.

3) 國內·외의 하수슬러지 處理 및 處分方案 現況 檢討 :

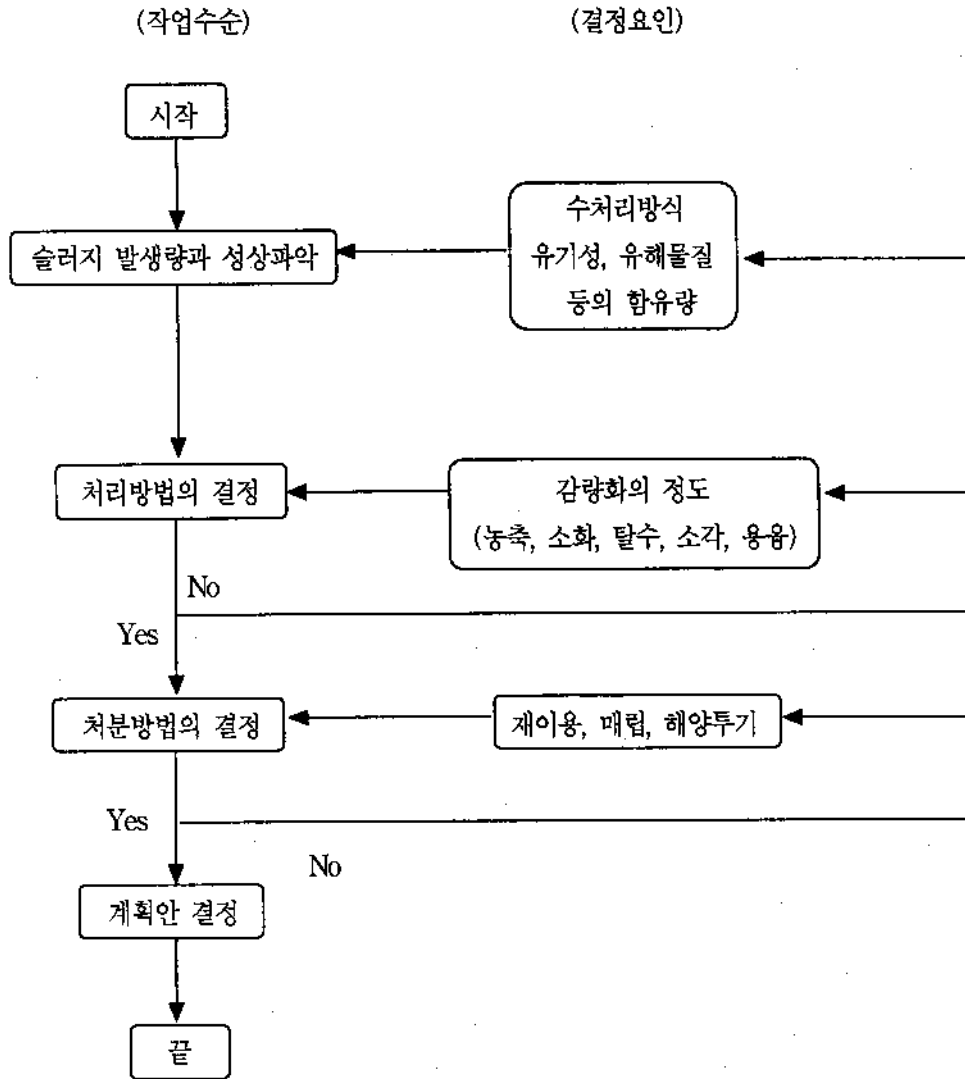
국내 하수슬러지 처리·처분 현황 및 선진외국의 하수슬러지 처분방안을 조사하여 서울시 에 적용가능한 사례를 검토하였다.

4) 하수슬러지 處理 및 處分方案 研究 :

- ① 서울시에서 발생된 하수슬러지가 안정적이고 경제적으로 처리될 수 있도록 하며 環境汚染을 방지하고 再利用이 가능한 처리방법을 중심으로 연구하였다. 하수슬러지의 處理·處分計劃에 대한 진행방법을 요약하면 <그림 1.1>과 같다.
- ② 현재 하수슬러지 處理 및 處分方法으로 이용되고 있는 燒却, 固化, 埋立 등에 대한 기술적, 유지관리적 측면의 장·단점을 비교·검토하고 예상되는 2차 汚染問題, 建設資材 그리고 埋立地 복토재 등으로의 再利用 방안 등에 대해 종합적으로 분석 평가하였다.
- ③ 서울시의 현실정에서 적용가능한 처리·처분방법들을 다각도로 검토하였으며 시기별, 단계별 최선의 政策方案을 제시하였다.
- ④ 현재의 하수슬러지 처리·처분기술현황 및 환경정책변화 등을 검토하여 하수슬러지 감량 및 재이용에 관한 장·단기 계획을 제시하였다.

5) 關聯法 檢討 :

하수슬러지를 處理·處分할 경우, 고려해야 할 법조항들을 검토하고 향후 하수슬러지를 보다 효율적으로 처리할 수 있는 행정절차를 제시하였다.



<그림 1.1> 하수슬러지 처리·처분계획의 흐름도

第 2 章 서울시의 下水슬리지 發生現況 및 發生量 豫測

第 1 節 서울시 概況

하수슬리지 處理·處分方案 선정시, 서울시의 현실정에 가장 적합한 방안을 선정하기 위해 서울시의 각 분야의 현황을 살펴보면 다음과 같다.

1. 地形概況 및 空間的 特性

서울시는 외곽경계지역 인근이 開發制限區域으로 지정되어 있어 도시화에 따른 공간의 외연적 확산을 억제하고 있다. 都市開發制限 및 환경보존을 위해 설정된 開發制限區域은 소기의 목적을 달성하였으나 수도권 전철망 등의 교통수단 건설로 인해 주변에 위성도시의 팽창을 가져왔다. 이러한 서울주변 위성도시의 급격한 인구팽창은 위성도시 자체의 기능에 있어 완결성이 결여된 상태로 단지 주거 都市化하여 서울시로의 강한 종속성을 갖는 등 밀접한 교류가 진행되고 있다. 서울시의 경우 이와 같은 각 기능의 집중현상으로 인구증가 및 공해, 교통혼잡, 주택부족 등의 도시문제가 야기되고 있으며 주변도시지역과의 교류 및 도심내부의 密集化 현상으로 인해 서울의 과밀은 더욱 심화되고 있는 실정이다.

2. 氣候現況

과거 15년간 서울시 年평균 기온은 12.6℃이며 年평균 기온폭이 28℃이상으로 계절에 따라 많은 氣溫變化를 보이는 것으로 나타났다. 또한 降水量은 1980~1995년 사이에 年평균 1,327.4mm를 보였는데 우리나라 평균값인 1,274.0mm와 비교해 보면 다소 큰 값을 보여 서울

시가 우리나라 다른 지역보다 降水量이 많은 것으로 나타났으며 우기인 7, 8, 9월에 년중 降水量의 59%가 집중되고 12, 1, 2월인 건기시에는 년중 降水量의 5.6%정도인 75.3mm가 내려 건기와 우기의 降水量 차이가 10배 정도 나는 특성을 보인다.

지난 6년간 기후변화에 따른 특색을 살펴보면, <표 2.1>에서 보는 바와 같이 降水量이 0.1mm이상을 보인 降水日이 년중 평균 115일 정도를 보였다. 따라서 현재와 같이 하수슬러지 전량을 金浦首都圈埋立地로 운반하여 埋立하는 실정에서 시간당 5mm, 하루 20mm이상의 降水量을 보이면 반입을 중단하는 등의 현실에서는 슬러지 처분에 많은 영향을 미칠것으로 판단된다.

<표 2.1> 서울시 기후변화 분포현황

(단위 : 일)

년도	맑음	흐림	강수	서리	안개	눈	뇌전	폭풍
1990	92	128	147	58	19	26	32	-
1991	106	66	107	82	6	28	16	-
1992	107	103	115	77	26	31	30	-
1993	108	102	109	53	34	21	18	1
1994	111	97	98	51	30	22	26	-
1995	110	84	112	82	14	28	24	-
평균	106	97	115	67	22	26	24	-

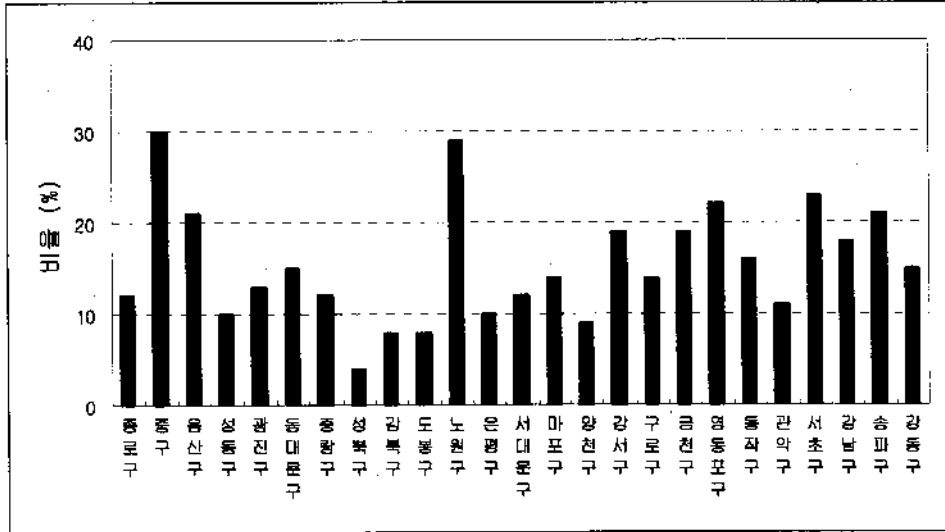
자료) 서울통계연보, 서울특별시, 1996.

3. 交通現況

1995년 12월말 현재, 서울시의 총 도로연장은 7,674.7km이며 면적은 74.4km²으로 과거에 비해 소폭의 증가를 보이고 있으며 전체면적당 道路占有率은 11%를 보이고 있다.

서울시의 기본 도로망은 20개의 방사형도로, 2개의 순환선도로, 2개의 강변도로 및 2개의

간선도로와 2개의 고속국도로 이루어져 있다. 서울시 도로중 현재 도로관리위임에 의해 각 자치구가 실질적으로 관리하고 있는 20m 미만도로는 1,122km이며 각 자치구별 구성비율을 살펴보면 <그림 2.1>에서 보는 바와 같이 중구의 경우, 전체도로중 20m이상 도로가 30.4%로 가장 높고 반면에 성북구는 4.4%로 나타나 자치구별로 큰 차이를 보이고 있다.



<그림 2.1> 각 자치구별 도로폭원 20m이상 구성비율

자료) 서울특별시와 자치구간의 도로관리체계에 관한 연구, 서울시정개발연구원, 1996.

交通量 現況을 살펴보면, 1995년말 현재 <표 2.2>에서 보는 것과 같이 交通量이 전년도대비 12.6%~2.7%까지 꾸준히 증가하는 것을 보였으나 차량등록 증가율에 비해서는 낮은 증가율을 보였다.

<표 2.2> 연도별 교통량 변동추이

구 분	1993년	1994년	1995년
계	12.6	3.0	2.7
도 심	9.6	0.1	0.0
교 량	8.4	-0.1	4.3
간 선	-	12.1	-0.2
시 계	19.3	8.6	6.2
차량등록증가율	12.1	10.3	5.8

자료) '96 서울시 교통량 조사자료, 서울특별시 지방경찰청, 1996

지점별 특성은 도심지역의 경우 지하철 추가개통과 버스전용차로 실시로 交通量이 점차 감소하는 추세를 보이며 교량 및 市界에서는 수도권 인접 신도시의 출·퇴근, 업무목적 통행, 주말위락 통행 등으로 지속적인 增加趨勢를 보였다. 요일별로는 월요일이 가장 많은 交通量을 보였으며 수요일, 목요일이 주중 가장 적은 交通量을 보였다. 시간대별 교통특성은 도심, 교량, 시계, 간선도로 모두 07:00~09:00, 18:00~19:00에 교통량이 가장 많으며 03:00~05:00 사이가 交通量이 가장 적은 것으로 조사되었다.

서울시의 자동차 등록대수는 1995년 12월 현재, 204만대를 넘어서고 있고 계속적으로 增加趨勢여서 도로사정은 지극히 악화되고 있는 실정이며 자동차 보급의 급증으로 심각한 주차난을 겪고 있다.

이와 같은 실정에서 하수슬러지 처분을 위한 운반시에는 자치구별 도로사정과 지점별, 시간대별 交通量 特性을 감안하여 이동되어야 할 것이며 슬러지 연계처리시에도 이러한 특성을 고려한 정책이 제시되어야 할 것이다.

4. 서울시의 社會·經濟的 特性

서울시는 우리나라 수도로서 행정·정치·경제의 중심지로의 역할을 하고 있다. 이로 인해 중심지로서의 사회·경제적 여건을 基底로 하여 과학, 기술, 정보, 문화, 예술 등 모든 분야의 활동이 집중되어 있으며 금융, 사회복지시설, 개인서비스 분야가 발달되어 있다. 또한 서울시의 정치·경제권은 국제화 시대의 선두주자로 세계적 교류망을 확대하고 있다. 따라서 향후, 서울시의 예상되는 모습은 國際化 추세에 동참하는 전초기지로서의 역할을 수행하게 될 것이다.

이를 위해 도시개발 및 성장으로 인한 각종 都市環境問題를 해결하기 위해 環境의 중요성이 강조될 것이며 도시민을 위한 福祉施設의 擴充이 필요하게 될 것이다. 그러나 지방자치체의 활성화로 地域利己主義가 보편화되어 도시기반시설의 신설 및 정비 그리고 嫌惡施設에 대한 지역적 갈등이 더욱 심화될 것으로 전망된다.

또한 경제적으로는 情報社會, 國際社會의 판도로 산업구조의 재편이 불가피할 것으로 예상되며 시민의 생활수준 향상으로 社會福祉 및 공공부문 투자가 활성화될 것이다.

5. 考察

서울시에서 발생하는 하수슬러지에 대한 보다 합리적인 處理·處分方案을 모색하기 위해 서울시의 地理的·社會的 특성을 살펴본 결과, 서울시에서 발생하는 하수슬러지는 발생원 인접지역에서 안정적이고 環境親和的인 방안으로 처리해야 할 것으로 판단된다.

지형적인 특성을 고려해 볼 때, 서울시의 경우 급속한 都市化 진행으로 도심내부의 密集, 人口過密, 交通混雜 등의 문제가 발생하고 있으며 주변의 위성도시가 주거화의 형태로 발전하고 있어 下水處理場에서 발생하는 슬러지는 교통 및 민원야기문제를 고려해서 발생원에서 처리하는 것이 합리적일 것으로 생각된다.

또한 지리적으로 서해안에 근접되어 있어 海洋投棄를 고려해 볼 수도 있으나 많은 양의

슬러지를 운반하는데 발생하는 交通問題, 다른 地方自治團體와의 이해관계 등을 고려해 보면 많은 문제점이 발생될 것으로 생각된다. 특히, 향후 정책수행시 環境問題를 중요하게 고려할 것으로 예상되고 국제추세가 海洋投棄를 금지하는 경향이므로 서울시가 海洋投棄를 시행할 경우 이에 대한 대비책을 마련해야 할 것이다.

서울시의 경우, 발생 하수슬러지 전량을 金浦首都圈埋立地에서 埋立하고 있으나 埋立地 운영의 불투명성과 경제성 등에 많은 문제점을 가지고 있어 향후, 슬러지 처분을 계속 埋立에만 의존할 경우, 많은 어려움이 발생할 것으로 예상된다. 또한 시간당 5mm, 하루 20mm이상의 강우시에는 埋立地로의 반입을 금지시키는 현 실정에서 서울시는 강수일이 연평균 115일을 보이고, 여름철에는 장마로 인해 집중호우가 발생하는 기후특성을 보여 埋立地로의 하수슬러지 반입이 금지되는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 또한 반입금지로 인한 下水處理場에서의 슬러지적재는 수처리공정의 효율성 및 下水處理場 유지관리에도 많은 어려움을 유발시키고 있다.

따라서 보다 안정적이고 지속적으로 처리할 수 있는 방안이 모색되어야 하며 서울시의 지형특성상 좁은 부지에서 처리될 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 생각된다. 또한 서울시의 경우, 開發制限區域을 포함해서 林野地域이 전체면적의 1/5 정도를 차지하고 있으므로 하수슬러지가 林野地域에 적절히 이용될 수 있는 방안이 도입될 수도 있을 것이다. 하수슬러지 처분에 따른 운반시에도 시간대별 교통특성 및 도로여건 등을 고려하여야 한다.

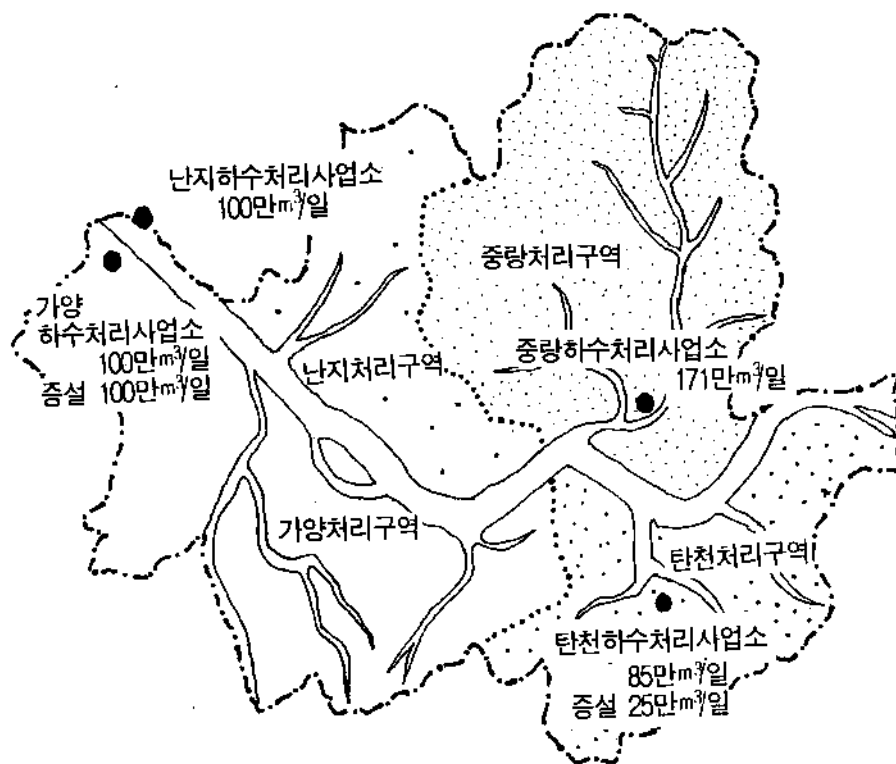
무엇보다도 주민들의 삶의 질이 향상되면서 환경에 대한 관심이 고조되고 있는 현실에서 슬러지처리에 따른 민원을 해결할 수 있는 環境親和的인 방안이 모색되어야 할 것이다.

第 2 節 下水處理場 現況 및 增設計劃

서울시는 1976년에 우리나라 최초로 15만³일 규모의 중량下水處理事業所(구, 청계천下水處理場)를 중랑천변에 건설하여 가동한 것을 시초로 하여 '83년에 탄천, '84년에 가양, 난지

下水處理場을 차례로 건설하는 등 현재 4개의 下水處理場이 운영중에 있다.

이들 4개의 下水處理場들은 서울시 전역을 4개 처리구역으로 분할하여 각각의 지역에서 발생하는 下水를 처리하는데 <그림 2.2>와 같이 한강상류 북·남부 지역에 중랑, 탄천下水處理場, 한강하류 북·남부에 난지, 가양下水處理場이 위치하고 있다. 서울시내 대부분의 지역은 이들 4개 下水處理場의 처리구역에 포함되어 있으나 서울시내의 세곡동 및 내곡동과 같은 開發制限區域이나 외곽경계지역은 하수차집관거가 설치되어 있지 않아 4개 하수처리구역에서 제외되어 있어 하수가 미처리된 상태로 인근하천에 방류되고 있는 실정이다.



<그림 2.2> 서울시 하수처리 구역도

'97년 8월 현재, 서울시의 下水處理率은 일평균 계획하수량 대비 86.7%이며 <표 2.3>에 서울시 下水處理場 現況을 나타내었다.

<표 2.3> 서울시 하수처리장 현황

구 분	단 위	중 량	탄 천	가 양	난 지	계	
부 지 면 적	m ²	800,805	401,970	1,065,031	925,000	3,192,806	
시 설 용 량	m ³ /일	171	85	100	100	456	
계 획 하 수 량 (일평균)	m ³ /일	172	82	192	80	526	
실 하 수 유 입 량	m ³ /일	187	83	185	109	564	
수 질 (BOD)	유 입 수	(mg/L)	102	98	83	68	-
	방 류 수	(mg/L)	18	14	30	24	-
처 리 방 식	-	표 준 활 성 슬 러 지 법					
방 류 수 역	-	중량천 →한강	탄천 →한강	한강	한강	-	

자료) 서울시 하수처리과.

서울시에서 발생하는 일평균 計劃下水량은 '97년 8월 현재, 526만m³/일이며 下水處理場으로 실제 流入되는 下水량은 불명수를 포함하여 564만m³/일이다. 그러나 4개 下水處理場的 시설용량은 456만m³/일로 計劃下水량 대비 86.7%의 下水處理率을 보이나 실제 流入下水량에 대해서는 80.9%의 下水處理率을 보이고 있다. 따라서 현재 下水處理場 시설용량을 초과하는 하수는 1차 처리후 By-pass 시키고 있으며 이로 인해 4개 下水處理場的 방류수 수질(BOD)은 14~30mg/L를 보이고 있고 난지 및 가양下水處理場的 방류수는 수질기준치인 20mg/L를 초과하고 있다.

서울시는 발생하는 하수를 전량 처리하고 수환경을 보호하기 위해 <표 2.4>와 같이 기존의 4개 下水處理場에 대해 '98년까지 125만m³/일을 증설하는 것을 계획하고 있다. 이러한 경우, '98년에는 4개 下水處理場的 시설용량이 581만m³/일을 보이게 되며 2011년 서울시 下水道 基本計劃(案)에 의하면 2004년에는 690.5만m³/일이 되어 일최대 計劃下水량 100%를 처리하게

된다. 또한 슬러지 처리시설 역시 시설용량 증설계획에 맞추어 증설할 계획을 마련하고 있다.

따라서 향후, 下水處理場 증설과 管渠整備가 이루어지면 유기물 등을 포함한 하수슬러지 역시 상당히 증가할 것으로 예상된다.

<표 2.4> 서울시 하수처리장의 증설계획

(단위 : 만m³/일)

구 분	'97년 8월 현재	건설중 ('98년 완료계획)	증설후 처리용량
중 량	171	-	171
탄 천	85	25	110
가 양	100	100	200
난 지	100	-	100
합 계	456	125	581

第 3 節 슬러지 處理施設 現況 및 問題點

1. 處理工程 檢討

濃縮은 슬러지의 유동상태를 가진 채로 含水率을 저하시켜 용적이 감소되게 하는 공정으로서 후속공정에 대한 효율증대를 목적으로 하는 공정이다. 또한 농축시설로부터의 상정액은 水處理施設로 보내지며 이때 고형물 회수율이 좋지 않으면 다량의 부유물질(Suspended Solids; SS)이 水處理施設로 유입되어 과부하로 인해 설계용량보다 하수가 과다유입되는 경우에는 최종방류수질을 악화시키기도 한다.

슬러지 농축법에는 주로 重力式, 加壓浮上式, 遠心分離式 등이 채택되어 고형물의 농도를 높이고 있다. 서울시의 경우, 중량, 가양 및 난지 下水處理場은 중력식농축조에 의해 슬러지의

습水率을 낮추고 있다. 그러나 탄천下水處理場은 1단 혐기성소화조를 거친 후 소화슬러지를 농축시키기 위해서 중력식 농축조를 사용하고 있으며 1차침전 슬러지는 혐기성소화조를 거친 후 중력식농축조에서 농축하고 2차침전 슬러지는 가압부상식 농축조에서 농축후 혐기성소화 과정을 거친 다음 중력식 농축조에서 농축하고 있다.

일반적으로 슬러지의 농축성은 투입슬러지의 성상, 수온, 운전조건에 의하여 크게 영향을 받으며 합류식의 경우 지표면의 무기물을 주체로 하는 토사가 流入되기 때문에 유기물 함유비가 낮으며 상대적으로 분류식 排除方式을 채택하는 슬러지보다 농축성이 좋다고 알려져 있다.

슬러지 소화는 嫌氣性消化方式을 가장 많이 채택하고 있으며 유기물은 수중에서 산소가 없는 상태가 되면 혐기성균의 활동으로 인해 혐기적 분해가 일어난다. 이 원리를 이용하여 유기물의 분해를 일으켜 슬러지의 安定化를 도모하는 것이 嫌氣性消化이며 이 과정에서 세균의 도태가 일어나 병원균의 억제가 가능해진다. 혐기성소화에서 有機物은 단계적으로 無機物로 분해되며 소화종료 후에는 액화, 가스화되어 安定化된다.

脫水는 機械脫水에 의한 방법이 대부분을 차지하고 있으며 현재 이용되고 있는 脫水機로는 스크류프레스, 가압여과기(Filter Press), 원심탈수기, Belt Press 등이 있다. 슬러지 탈수기를 선정할 때에는 응집제 및 전기, 열에너지의 소비성능과 經濟性, 유지관리의 난이도, 탈수효율, 근무위생, 환경측면 등을 감안하고 최종적인 슬러지 處理·處分場所의 立地條件, 社會的 제약조건 등을 고려하여 선정하여야 한다. 각종 脫水機의 성능 및 특징은 <표 25>와 같다.

<표 2.5> 탈수기의 일반비교

항 목	진공탈수기	Filter Press 탈수기	원심탈수기	Belt Press 탈수기	고효율형 Belt Press 탈수기
濾布의 세정	필요수량: 많다 세정수압: 2~3kg/cm ²	필요수량: 보통 세정수압: 6~8kg/cm ²	필요수량: 적다	필요수량: 많다 세정수압: 3kg/cm ² 이하	필요수량: 많다 세정수압: 5kg/cm ² 이하
소 음	보통	보통	보통 (Package부착)	적다	적다
동 력	많다	많다	많다	적다	적다
부대설비	많다	많다	적다	적다	적다
소요면적	많다	많다	적다	적다	적다
소 모 품	보통	보통	많다	적다	적다
여포교환	8hr/일 운전으로 5~6개월	8hr/일 운전으로 3개월 (1,500사이클)	8hr/일 운전으로 2~2.5년 (단, Screw)	8hr/일 운전으로 약 1년	좌동
케이크배출	여포의 이동에 의한 연속배출	사이클마다 여과실 개방과 여포이동에 따라 배출	Screw에 의해 연속배출	여포의 이동에 의해 연속배출	좌동
케이크수분	72~80% (혼합생슬러지 농도의 지표 : 3~4%)	55~65% (좌동)	75~80% (좌동)	72~80% (좌동)	66~75% (좌동)
탈수보조제 (일반적)	소석회 +염화제2철	좌동	Cation계 고분자응집제	좌동	좌동
약품 투입률	Ca(OH) ₂ 25~40% FeCl ₃ 7~12%	좌동	0.7~1.0%	0.3~0.8%	0.3~0.8%
여과속도	7~15kg · DS/ m · hr	3~5kg · DS/ m · hr	-	100~180kg · DS/m · hr	100~180kg · DS/m · hr
조작조건 예	흡착여과: 2.5분 여과탈수: 2.5분 케이크반출 : 2.5분	여과공정: 5분 압축공정: 12분 건조공정: 1.5분 배출공정: 5.5분	-	여포이동속도 0.4~2.4m/min 여포인장압 1~3kg/cm ²	여포이동속도 0.8~3m/min 여포인장압 7kg/cm ²
운전조작성	간편	간편	간편	간편	간편

2. 處理現況 및 問題點

서울시 4개 下水處理場의 슬러지 처리시설 운영현황을 살펴보면 <표 2.6>에서 보는 것처럼 최초, 최종침전지에서 발생한 슬러지가 농축 → 혐기성소화 → 탈수공정을 거치도록 되어 있다. 탄천下水處理場을 제외한 3개 下水處理場은 중력식농축조와 2단 혐기성소화조, 벨트프레스기를 위주로 한 탈수시설로 구성되어 있는데 반해, 탄천下水處理場은 1995년 2월에 가압 부상식농축조를 도입하였으며 농축조 다음 단계에 1단 혐기성소화조, 중력식 소화슬러지 농축조 그리고 脫水施設로 구성되어 있다.

<표 2.6> 서울시 하수처리장의 슬러지 처리시설 현황

구 분	중 망	탄 천	가 양	난 지
처리계통도	농축→1단소화→ 2단소화→탈수	농축→혼합슬러지저류 →1단소화→소화슬러 지농축→탈수	농축→1단소화→ 2단소화→탈수	농축→1단소화→ 2단소화→탈수
농 축 조	중력식농축조 : 12지 (17,162m ³)	가압부상농축조: 8지 (2,400m ³)	중력식농축조 : 8지 (7,540m ³)	중력식농축조 : 4지 (3,770m ³)
소 화 조	1단+2단: 24조 (175,442m ³)	1단 소화조: 8조 (13,740m ³) 소화슬러지 중력식농축조: 4지(5,430m ³)	1단+2단: 16조 (106,190m ³)	1단+2단: 8조 (53,090m ³)
탈 수 기	벨트프레스 : 18대 (420kg DS/m · hr) 스큐르프레스 : 4대 (420kg DS/m · hr) 원심탈수기 : 2대 (900kg DS/m · hr)	벨트프레스 : 12대 (450kg DS/m · hr)	벨트프레스 : 15대 (150kg DS/m · hr)	벨트프레스 : 9대 (150kg DS/m · hr)

현재 서울시 4개 下水處理場내의 슬러지 處理과정에서 발생하는 문제점은 우선, 슬러지 處理過程을 통해 발생하는 농축조 상징액, 소화조 탈라액, 탈수기 여액 등이 다시 水處理工程의 최초침전지 앞으로 반송됨으로 인해 반송수가 수처리 및 슬러지 처리계통에 과부하를 유발시켜 처리효율을 저하시키고 있다. 즉, 최초침전지로 流入되는 반송수의 SS농도가 높아 포기조내의 용존산소(Dissolved Oxygen; DO) 결핍을 유발하는 등 水處理系統에 악영향을 미치고 있다. 또한 沈澱池에서 발생하는 슬러지의 양이 많아지게 되어 固形物 回收率이 설계치보다 높게 운영되어 슬러지 處理系統의 균형이 깨지고 한번 깨진 균형은 슬러지 處理系統의 여유용량이 없기 때문에 원상회복이 힘들어 악순환이 계속적으로 이루어지게 된다.

전술한 반송수 및 과대한 下水處理量은 설계치를 훨씬 넘는 슬러지를 발생시켜 농축조내 과부하를 유발시키고 이로 인해 농축조내 슬러지 滯留時間이 짧아 혐기성소화조와 脫水機에도 영향을 미치고 있다. 또한 슬러지 滯留時間이 계절별로 운전되고 있지 않은 실정이다.

혐기성소화조의 경우도 流入슬러지 성상이 다른 하수슬러지, 분뇨, 정화조 폐액이 들어와 적정한 혼합이 안되고 일정한 性狀을 보이지 않아 소화효율이 낮은 편이다.

또한 下水處理場에서는 현재 유기성 고분자응집제를 사용하여 脫水效率을 증대하고 있다. 그러나 流入슬러지 농도, 휘발성물질(Volatile Solid; VS) 함유율에 따라 藥品注入率을 달리하여 脫水機를 운전하고 있지만 계절변폭에 따른 藥品注入率이 적정값에 비해 적게 流入되는 경우가 있어 脫水效率을 감소시키기도 한다.

3. 改善方案

중력식농축법을 사용하는 가양, 난지, 중량下水處理場에서 발생하는 농축조에서는 균등유입이 가능하며 流入水質變動에 따라 인발량 조절이 가능한 펌프로 교체하여 농축조의 과부하 현상을 방지할 수 있다. 높은 固形物 回收를 위해서는 계면계를 설치하거나 수시로 계면층을 측정하여 슬러지층은 약 1~2m 정도로 하고, 수면기준으로는 약 80cm²이상을 유지시키도록 한다. 농축조 효율을 높이기 위해서는 균등한 슬러지인발이 필요하며 약 1.5시간마다 인발하

는 것이 적정하므로 현재의 가동조건을 조절하도록 한다.

탄천下水處理場의 가압부상농축조는 잉여슬러지량의 과다로 용량이 부족하므로 處理場內 적체되어 있는 슬러지를 가능한 빠른 시일내에 장외 배출시켜야 하며 가압부상농축조의 용량 부족분에 대해서는 Polymer 注入設備를 추가하여 효율을 높이고, 處理에 지장이 없는 범위내에서 운전압력 등의 운전조건을 변경하며 유량부하, 고형물부하, 체류시간 등의 設計條件에 適合하도록 運轉한다.

슬러지 성상이 다른 하수슬러지, 분뇨, 정화조폐액이 流入되는 경우 소화조에서의 효율은 낮아질 수 있으며 정화조폐액의 경우 일반적으로 소화효율이 낮아 소화시키지 않고 그대로 탈수하나 소화조의 용량에 여유가 있으므로 현재 시스템을 분뇨, 정화조폐액, 하수슬러지 전용 소화조로 나누어 운영함으로써 보다 높은 소화효율을 기대할 수 있다.

탄천下水處理場의 경우, 소화조에 투입되는 슬러지 性狀이 다르면 소화조의 효율 등이 서로 상이하여 전체적인 소화조의 분석에 어려움이 예상되므로 混合슬러지 저류조에서 슬러지가 완전히 混合될 수 있도록 조정하고 하절기일수록 소화조 투입슬러지의 VS함량과 VS제거 효율이 낮게 나타나고 있으므로 전체 슬러지 處理工程의 인발주기를 짧게 유지시키는 것이 바람직하다.

탈수는 流入슬러지 농도가 낮으면 藥品注入率을 높혀 주고 流入슬러지 농도가 높으면 藥品注入率을 낮춰 운전하며, 또한 동절기에는 VS함유율이 하절기에 비해 높게 유지되므로 藥品注入率을 하절기보다 높혀 운전하는 것이 바람직하다.

탈수케이크 함수율은 탈수시설에 流入되는 슬러지 농도의 영향이 가장 크므로 脫水施設 이전의 슬러지 處理系統에서 슬러지농도를 최대한 높일 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 流入슬러지 농도가 낮은 경우에는 여포주행 속도를 낮추어 운전하거나 여포의 인장력이 강한 여포를 사용하면 탈수케이크의 含水率을 低減시킬 수 있을 것이다.

第 4 節 管渠現況 및 整備計劃

서울시의 下水管渠는 최근 개발된 목동, 상계동, 가락동, 개포동, 고덕동 등의 일부 신시가지를 제외하고는 대부분이 合流式 지역으로서 초기의 下水管渠시설은 장래 도시개발 여건을 고려한 시설이기 보다는 신속한 우수배제를 통해 시가지 침수를 방지하기 위한 목적으로 건설되었다. 또한 저지대 상습침수지역 및 배수불량으로 인한 민원다발지역의 下水管渠를 우선적으로 정비하고 있다.

서울시 下水管渠 현황은 <표 2.7>에서 보는 바와 같이 '96년 12월 현재, 계획연장 9,893km에 대해 시설연장 9,658km로 97.6%의 보급율을 보이고 있으며 合流式 管渠는 8,483km, 分流式管渠는 1,176km이다. 또한 전체 9,658km의 시설연장을 보이는 下水管渠중 원형관거가 8,213km로 전체의 대부분을 차지하고 있으며 사각 Box형이 1,120km, 개거가 115km, U형 측구가 210km의 연장을 보이고 있다. 合流式管渠 8,483km중에는 344km의 차집관거가 포함되어 있다.

<표 2.7> 서울시 관거시설 현황

하수 관 거 시 설		계획연장(km)	시설연장(km)	보급율(%)	전체구성비(%)
합 류 식		8,584	8,483	98.8	87.8
분 류 식	오수관거	829	720	86.8	7.5
	우수관거	480	456	95.0	4.7
계		9,893	9,658	97.6	100

자료) 환경백서, 환경부, 1997.

下水管渠 정밀조사는 '93년부터 실시하고 있으며 지금까지의 조사결과를 보면, 총 조사관거연장 1,061km 중 관거불량이 215,110개소로서 평균 5m마다 1개소가 불량으로 나타나 시급히 管渠를 정비하지 않으면 안되는 것을 알 수 있었다. 管渠 조사결과 연결관이 돌출된 부분과 이음불량이 많고 관노후 및 관파손이 심각한 것으로 나타나 地下水 등의 불명수가 다량

流入되는 것으로 예상되어 불명수의 양을 줄이기 위해서는 우선적으로 管渠보수 및 개량이 이루어져야 하는 것으로 나타났다.

한편 목동, 상계, 중계, 개포, 가락, 고덕 등 대규모 신규 택지개발 사업지구는 下水管渠가 우수와 오수를 각각 별도로 배제되는 分流式으로 설치되어 있으며 면적은 관거설치면적 351km² 중 8.8%를 차지하고 있으나 계획 및 시공상의 미비로 문제점을 가지고 있다. 즉 오수관이 우수관에 연결되어 미처리된 오수가 직접 河川으로 방류되고 있어 주변하천을 오염시키고 있으며, 오수관의 적정유속을 고려하지 않아 관거내에 有機物이 堆積되고 惡臭를 발생하고 있어 수세식변소 오수의 직유입이 곤란한 것 등 合流式 地域과 비슷한 양상을 띠고 있다.

현재 추진중인 下水道基本計劃 再整備에서의 管渠整備 기본방향은 기존 合流式 地域은 合流式 管渠정비를 원칙으로 하되 分流式化가 용이한 지역은 分流式 管渠로 整備하는 것을 검토하고 있다. 또한 기존 合流式 管渠에서의 불명수 流入을 방지하며 수세변소수 오수 직유입 실현을 위한 시설을 개보수하고 용량부족 管渠, 구조적결함 管渠, 역경사, 상수도관 통과 등 통수능력에 지장이 있는 管渠의 개보수를 통해 통수능력을 증가시킬 계획이다. 한편 하수관망 관리의 GIS 전산화를 실현하여 유지관리의 現代化를 도모할 계획이다.

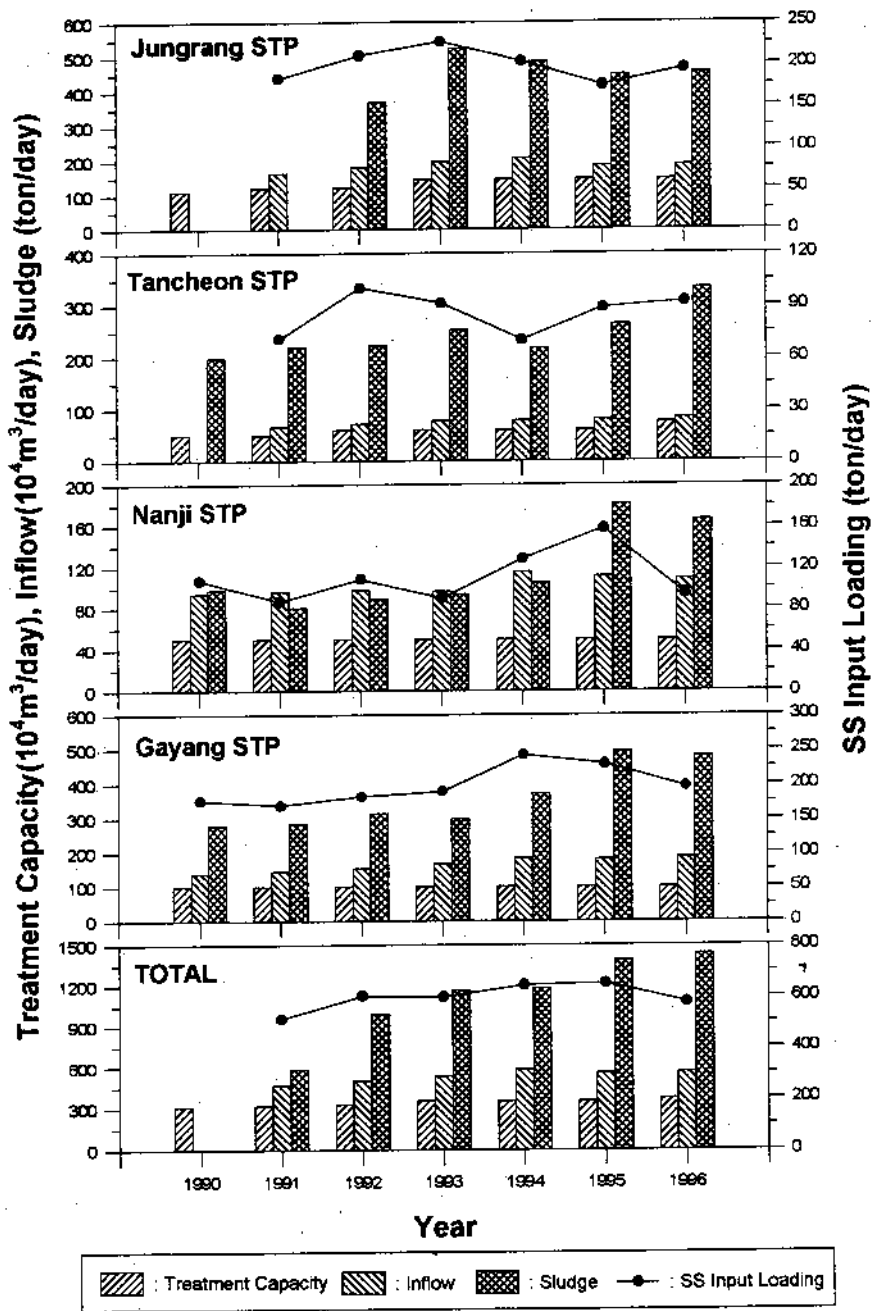
따라서 下水管渠의 지속적인 정비를 통하여 불명수 流入 차단에 따른 流入下水량의 저감, 그로 인한 유입부하량의 증가에 의해 下水處理의 고효율화를 도모할 것으로 기대되며 이로 인해 하수슬러지의 발생량은 더욱 증가될 것으로 예상된다.

第 5 節 下水슬러지 發生現況

서울시 4개 下水處理場의 하수 및 정화조에서 발생하는 탈수케이크 양을 살펴보면, <표 28>과 <그림 23>에서 보는 바와 같이 매년 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

<표 2.8> 서울시 하수처리장의 연혁 및 슬러지발생량 현황

처리장명	년도	시설용량 (만m ³ /일)	유입수량 (만m ³ /일)	탈수케이크 발생량 (톤/일)	SS유입 부하량 (t/일)	하수1m ³ 당 탈수케이크 발생량 (kg/m ³)
중랑	1990	111.0	-	-	-	-
	1991	121.0	162.6	-	183.2	-
	1992	121.0	181.4	369.9	210.0	0.20
	1993	146.0	197.3	523.1	226.6	0.27
	1994	146.0	207.3	485.9	203.0	0.23
	1995	146.0	185.2	447.8	174.2	0.24
	1996	146.0	187.2	453.9	193.8	0.24
탄천	1990	50.0	-	198.2	-	-
	1991	50.0	67.3	219.6	70.7	0.32
	1992	60.0	71.5	222.5	100.1	0.31
	1993	60.0	77.2	253.0	91.1	0.33
	1994	60.0	78.6	217.6	70.0	0.28
	1995	60.0	80.5	263.2	88.5	0.33
	1996	75.0	83.3	332.7	92.2	0.40
난지	1990	50.0	94.0	98.0	107.2	0.10
	1991	50.0	96.4	80.5	86.8	0.08
	1992	50.0	97.7	88.8	108.4	0.09
	1993	50.0	96.3	93.6	89.9	0.10
	1994	50.0	115.2	104.8	127.9	0.09
	1995	50.0	111.1	181.4	157.7	0.16
	1996	50.0	108.5	165.9	94.4	0.15
가양	1990	100.0	137.6	279.0	176.1	0.20
	1991	100.0	145.6	285.4	168.9	0.20
	1992	100.0	154.1	314.2	181.8	0.20
	1993	100.0	167.3	299.5	189.0	0.18
	1994	100.0	183.5	371.4	242.2	0.20
	1995	100.0	180.0	495.0	228.6	0.27
	1996	100.0	185.4	481.3	196.5	0.26
총계	1990	311.0	-	-	-	-
	1991	321.0	472.1	585.5	509.6	-
	1992	331.0	504.7	995.4	600.3	0.20
	1993	356.0	538.1	1169.2	596.6	0.22
	1994	356.0	584.6	1179.7	643.1	0.20
	1995	356.0	556.8	1387.4	649.0	0.25
	1996	371.0	564.4	1433.8	576.9	0.25



<그림 2.3> 서울시 하수처리장에서의 시설용량, 유입수량, 슬러지발생량 변화추이

서울시의 경우, 4개 下水處理場으로 流入되는 下水량이 '91년에 472.1만 m^3 /일에서 '96년에는 564.4만 m^3 /일로 5년 사이에 20%가 증가한데 반해 슬러지 發生량은 '91년에 585.5톤/일에서 '96년 1433.8톤/일로 145%가 증가한 것으로 나타났다. 이는 下水處理場으로 流入되는 下水량이 지속적으로 증가되었고, 기존의 1차처리후 By-pass하던 하수가 생물학적 2차처리 됨으로 인해 하수슬러지 양이 증가한 것이라 생각된다. 하수 1 m^3 당 발생하는 슬러지의 比率은 0.20~0.25kg인 것으로 나타났다.

각 下水處理場별로 나타난 특징을 살펴보면, 중량下水處理場은 '96년 현재, 유입수량 187.2만 m^3 /일에 대해 슬러지는 453.9톤/일이 발생하여 전체 發生량의 32%를 차지하였으며 하수 1 m^3 당 0.24kg이 발생하는 것을 보였다. 탄천下水處理場은 하수 1 m^3 당 0.40kg의 슬러지가 발생하여 4개 下水處理場중 가장 높은 값을 보였으며 '96년에 332.7톤/일의 슬러지가 발생하여 서울시 전체의 23%를 차지하였다. 난지下水處理場의 경우, 流入水量 108.5만 m^3 /일에 대해 슬러지는 165.9톤/일이 발생하여 4개 下水處理場중 가장 적은 양의 슬러지가 발생하는 것으로 나타났으며 하수 1 m^3 당 0.15kg만의 슬러지가 발생하는 것을 보였다. 가양下水處理場은 '96년 현재, 481.3톤/일의 슬러지가 발생하여 4개 下水處理場중 가장 높은 값을 보였으며(34%) 하수 1 m^3 당 0.26kg의 슬러지가 발생하였다.

하수 1 m^3 당 발생하는 슬러지의 양을 살펴보면, 탄천下水處理場이 가장 많은 양이 발생하였으며 난지下水處理場이 가장 적은 양이 발생하는 것으로 나타났는데 이는 탄천下水處理場의 경우, 시설용량에 대해 流入下水량이 비슷하여 전량 2차처리되고 있는 반면에 난지下水處理場은 '96년 현재 시설용량 50만 m^3 /일에 비해 流入下水량은 108.5만 m^3 /일로 2배 이상을 보이며 流入되는 SS의 농도가 낮아 하수 1 m^3 당 발생하는 슬러지의 양이 가장 적게 나온 것으로 생각된다.

SS유입부하량과 슬러지 發生량과의 관계는 <그림 2.3>에서 보는 바와 같이 밀접한 상관성을 보이지는 않았는데 이는 일반적으로 流入下水량 전량이 2차처리되지 못하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

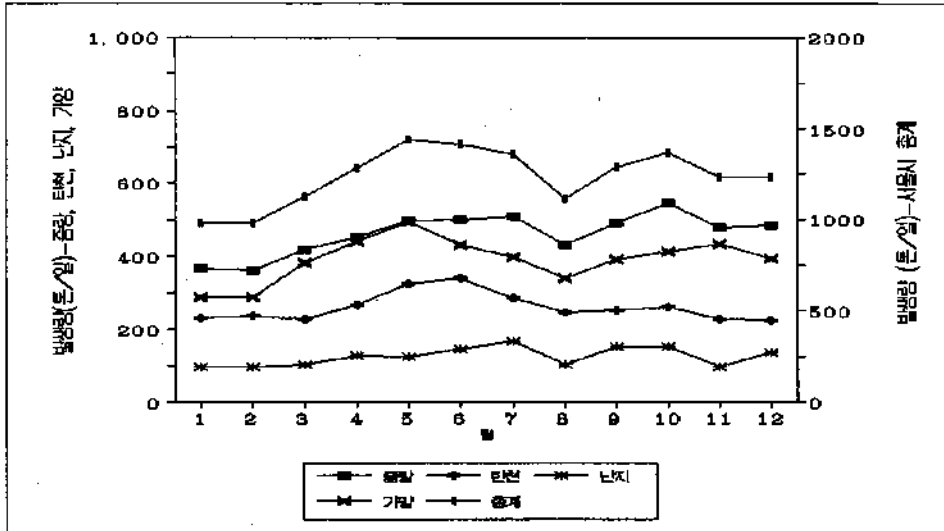
'91년~'96년에 걸쳐 4개 下水處理場에서 발생하는 슬러지량 및 유입수량, 유입 BOD, SS

농도와의 월별변화를 살펴보면, <표 29>와 <그림 24>에서 보는 바와 같이 5, 6월과 9, 10월에 년중 가장 많은 양의 슬러지가 발생하는 것을 보였으며 1, 2월의 겨울철에 대체적으로 가장 적은 양의 슬러지가 발생하는 것을 보여 최소치에 비해 최대치가 64~77%정도 더 많이 발생하였다. 따라서 차후 슬러지처리·처분시설물 건설계획시 월별 변동폭을 고려하여 유지관리 및 운영상에 安定性을 확보해야 될 것으로 생각된다.

<표 29> 서울시 하수처리장의 유입수량, 슬러지발생량의 월별추이

년도 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	최소	최대	
'92	유입수량	456	489	510	516	506	489	546	561	531	496	474	475	456	561
	슬러지발생량	797	826	1127	1200	1165	1096	1304	793	919	1084	1022	935	793	1304
	하수1m ³ 당 슬러지발생량	0.17	0.17	0.22	0.23	0.23	0.22	0.24	0.14	0.17	0.22	0.22	0.20	0.14	0.24
'93	유입수량	482	496	526	553	555	536	557	564	550	537	549	541	482	564
	슬러지발생량	811	910	972	1093	1350	1363	1297	1169	1303	1315	1210	1219	811	1363
	하수1m ³ 당 슬러지발생량	0.17	0.18	0.18	0.20	0.24	0.25	0.23	0.21	0.24	0.25	0.22	0.23	0.17	0.25
'94	유입수량	521	568	577	593	604	575	600	598	588	592	579	573	521	604
	슬러지발생량	1099	893	958	1230	1276	1267	1473	1196	1153	1192	1220	1167	893	1473
	하수1m ³ 당 슬러지발생량	0.21	0.16	0.17	0.21	0.21	0.22	0.25	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.16	0.25
'95	유입수량	569	543	546	554	549	556	567	533	566	533	521	508	508	569
	슬러지발생량	1124	1066	1137	1176	1505	1748	1365	1211	1658	1644	1544	1411	1066	1748
	하수1m ³ 당 슬러지발생량	0.20	0.20	0.21	0.21	0.27	0.31	0.24	0.23	0.29	0.31	0.30	0.28	0.20	0.31
'96	유입수량	539	555	572	561	557	570	565	594	567	560	558	560	539	594
	슬러지발생량	1074	1227	1469	1704	1898	1605	1374	1217	1366	1588	1208	1447	1074	1898
	하수1m ³ 당 슬러지발생량	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.28	0.24	0.20	0.24	0.28	0.22	0.26	0.20	0.34

* 단위 : 유입수량 → 만m³/일, 슬러지발생량 → 톤/일, 하수 1m³당 슬러지발생량 → kg/m³



<그림 2.4> 서울시 4개 하수처리장에서의 슬러지발생량 월별변화추이

第 6 節 下水슬러지 發生量豫測

1. 슬러지 發生量 影響因子 分析

하수슬러지의 發生量 및 性狀은 하수슬러지의 처리 및 처분계획 수립시 기본이 되며 처리 방법 적용시에 중요한 고려인자로 작용한다.

하수슬러지 發生量에 영향을 주는 인자들은 크게 3가지로 나눌 수 있는데 하수발생원, 하수수송체계, 하수처리방식 및 공정 등을 들 수 있다. 하수발생원으로 작용할 수 있는 인자로는 下水를 발생시키는 인구로서 1인당 발생시키는 하수발생 원단위, 수세화여부, 분뇨의 직투입여부, 下水管渠整備率 등이 있으며 공장폐수에 따른 공장면적, 폐수배출 원단위 등을 들 수 있다. 수송체계 요소로는 관거중간에서의 침전 및 우천시 堆積物이 일시적으로 미차집 방류되는 현상을 들 수 있고 下水處理시스템에서는 처리프로세스의 종류 및 배치를 들 수 있으며,

이에 따라 슬러지의 發生量 및 性狀이 變化된다.

따라서 精確한 下水슬러지 發生量의 變化推移를 分析하기 爲해서는 현재의 下水발생원의 현황과 관거정비율 및 계획, 수송체계의 현황 및 정비계획, 下水處理工程에 대한 现状 및 향후 증설계획 등이 分析되어야 한다. 그러나 현재 進술한 人자들에 對한 精確한 现状 파악이 이루어지지 않았고, 또한 이러한 人자들에 對해 精確하게 分析하는 것이 技術적으로 어려우며, 막대한 투자를 필요로 할 뿐만 아니라 關聯法規의 수정 등 해결해야 할 많은 現安문제들이 남아 있어 이들 要因들을 고려한 장래 슬러지발생량 推定을 精確히 한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다.

일반적으로 슬러지 처리시설을 통해 發生하는 슬러지의 양은 下水處理場으로 流入되는 下水流入量과 汚染物質(SS, BOD 등) 농도에 依해 影響을 받게 되는데, 流入된 下水가 1차처리 후 그대로 방류되지 않고 2차처리를 통해 처리가 될수록 슬러지는 많이 發生한다. 또한 流入수 와 방류수의 오염물질 濃도차가 클수록 슬러지가 많이 發生한다.

따라서 본 연구에서는 과거부터 현재까지의 슬러지 發生量 및 流入下水量에 따른 1차, 2차 처리량, 汚染物質의 流入, 流出濃도 차이의 變化추이를 토대로 하여 각 人자간의 상관성 및 變化과정을 分析하고 이를 統計處理하여 향후 下水처리장 的 處理용량이 581만 m^3 /일이 될 때까지의 슬러지 發生量을 推定해 보았다. 오염물질의 처리전·후 濃도차와 下水유입량이 복합적으로 作用하여 슬러지 發生량에 미치는 影響을 잘 表現해줄 수 있는 선형중회귀 모형을 슬러지 發生量 豫測모형으로 設定하고 회귀식에서 推定된 회귀계수를 통해 향후, 단기적인 슬러지 發生量을 推定하였다.

2. 統計模型

下水處理場에서 發生하는 슬러지의 양은 下水의 流入量 및 오염물질의 처리전·후의 濃도 차의 함수로 表現될 수 있으며 회귀모형을 이용할 경우 이를 定량적으로 表現할 수 있다.

본 연구에서는 서울시 4개 下水處理場별로 發生하는 슬러지량을 반응변수로 設定하고 하

수유입에 따른 1, 2차처리량 및 오염물질의 처리전·후의 농도차를 설명변수로 설정하는 등 다음과 같은 회귀모형을 정의하였다.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_S X_S + \beta_B X_B + e$$

여기서, β_1 은 1차 처리량 회귀계수, β_2 는 2차 처리량 회귀계수, β_S 는 SS의 처리전·후 농도차 회귀계수, β_B 는 BOD의 처리전·후 농도차 회귀계수이며 X_1 은 1차 처리량(만³/일), X_2 는 2차 처리량(만³/일), X_S 는 SS의 처리전·후 농도차(mg/L), X_B 는 BOD의 처리전·후 농도차(mg/L)이다. 또한 Y는 하수슬러지 發生量(톤/일)이며 e는 상수항이다.

위의 統計模型에 각 下水處理場의 연도별 자료를 적용하면 n개의 관계식을 설정할 수 있으며 n개의 식을 행렬식 풀이과정을 통해 계산하여 각각의 설명변수 회귀계수값 $\beta_1, \beta_2, \beta_S, \beta_B$ 를 구하게 된다.

또한 회귀계수 추정과정 중에 상수항이 가지는 변폭이 회귀계수에 추가될 수 있도록 하여 하수처리량과 SS, BOD 처리전·후 농도차가 0일 때는 슬러지발생량도 0이 되도록 하는 No Intercept방법을 이용하였으며 본 회귀모형 추정과정중에서 산출된 회귀계수가 신뢰수준에서 유의하지 않을 경우에는 제거되도록 하는 Stepwise방식을 이용하였다.

또한 본 統計分析에서는 반응변수(Y)와 설명변수(X)간의 상관관계를 검증하는 F-검정과 각각의 회귀계수들이 갖는 유의성 정도를 검증하는 t-검정을 실시하여 유의성에 따른 회귀모형의 타당성을 판정하였다.

3. 分析結果

下水流入量과 오염물질부하량에 따른 슬러지 發生量의 변화를 표현하는 회귀모형을 통해 추정된 각각의 회귀계수값은 <표 2.10>과 같으며 회귀모형 및 추정된 회귀계수들은 <표 2.10>과 <표 2.11>에 나타난 바와 같이 매우 유의한 신뢰성을 갖는 것으로 분석되었다.

<표 2.10> 4개 하수처리장별 추정된 회귀식 및 F-검정(결정계수) 결과

하수처리장	회귀관계식	표준오차	결정계수값(R ²)
중량	$Y = 2.21 X_2 + 1.19 X_6$	$(X_2: \pm 0.27, X_6: \pm 0.49)$	0.97
탄천	$Y = 2.77 X_2 + 0.87 X_6$	$(X_2: \pm 0.38, X_6: \pm 0.26)$	0.94
난지	$Y = 0.72 X_1 + 2.54 X_2 + 0.52 X_6$	$(X_1: \pm 0.08, X_2: \pm 0.14, X_6: \pm 0.20)$	0.95
가양	$Y = 0.77 X_1 + 1.39 X_2 + 3.54 X_6$	$(X_1: \pm 0.17, X_2: \pm 0.28, X_6: \pm 0.47)$	0.98

※ X_1 : 1차 처리량 (만m³/일), X_2 : 2차 처리량 (만m³/일),

X_6 : SS의 처리전·후 농도차(mg/L), X_8 : BOD의 처리전·후 농도차(mg/L),

Y : 하수슬러지 발생량(톤/일)

<표 2.11> 추정된 회귀계수의 신뢰구간

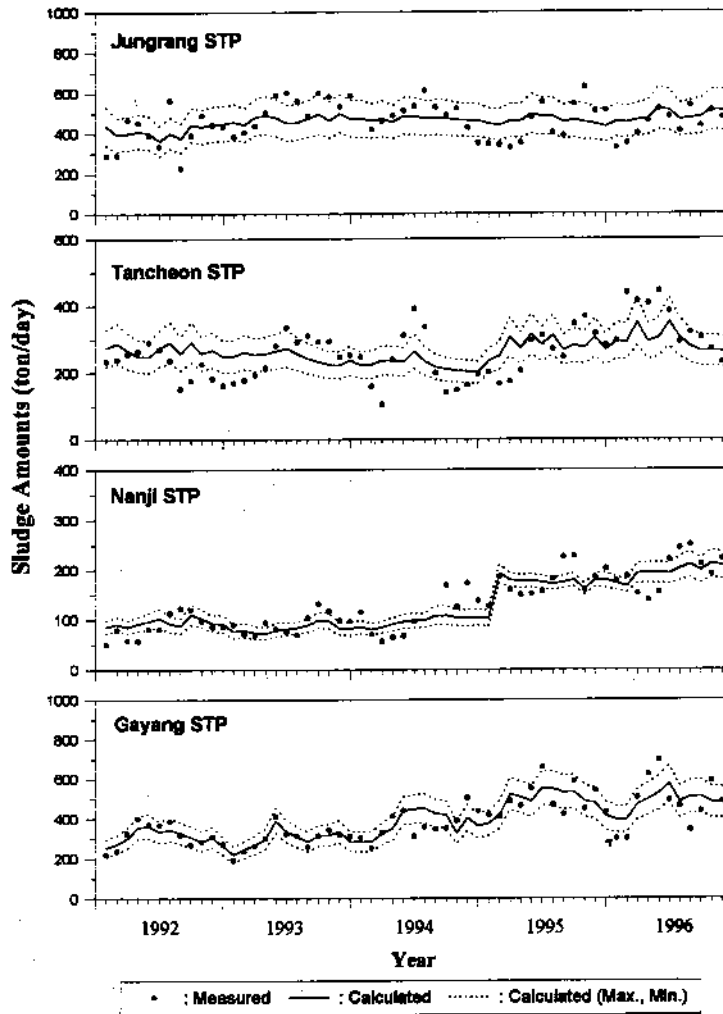
하수처리장	1차 처리량 (β_1)	2차 처리량 (β_2)	SS 처리전·후 농도차 (β_6)	BOD 처리전·후 농도차 (β_8)
중량	-	99.9	98.2	-
탄천	-	99.9	99.8	-
난지	99.9	99.9	99.8	-
가양	99.9	99.9	99.9	-

선형회귀 모형을 이용하여 서울시 4개 下水處理場에서의 하수처리량, 汚染物質의 처리 전·후의 농도차가 슬러지 발생량에 어떠한 영향을 미치는가를 회귀계수를 추정하여 분석한 결과, 4개 下水處理場 모두 2차 처리량과 SS의 제거효율이 슬러지 發生量에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며 난지와 가양 下水處理場은 1차 처리량도 슬러지 發生量에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

회귀모형의 유의성을 표현해 주는 결정계수는 0.94~0.98로 높게 나타났으며 <표 2.11>에 서 보는 바와 같이 각각의 설명변수에 대한 유의성 검정결과 98.2~99.9%의 높은 신뢰구간을

가지는 것으로 나타났다.

회귀모형을 보면 중랑, 탄천, 난지下水處理場은 2차 처리량이 하수슬러지 發生量에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며 탄천下水處理場은 SS의 처리전·후의 농도차가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 4개 下水處理場 각각에서의 실제 슬러지발생량과 회귀식에 의한 발생량을 <그림 25>에 비교해 보았다.



<그림 25> 슬러지 발생량의 실제치와 추정치 비교

4. 發生量 豫測

선형중회귀 모형을 통해 추정된 회귀계수를 이용하여 서울시 4개 下水處理場에서 향후 예상되는 슬러지 發生量을 추정하였다.

회귀분석에 필요한 설명변수중 1차, 2차처리량에 대한 변수(X_1 , X_2)는 下水道基本計劃再整備에서 제시한 예측년도 일최대 計劃下水量과 下水處理場 증설계획용량을 토대로 설정하였다.

X_S , X_B 즉, SS와 BOD의 유입수와 流出水 농도의 차에 대한 변수설정시, 유입수의 SS, BOD농도는 하수도 기본계획재정비에서 제시한 예측년도 계획유입수질을 이용하였으며 流出水의 SS, BOD농도는 조건을 달리하여 설정하였는데 조건 1은 汚染物質의 流出水質이 20mg/L 이하인 경우, 조건 2는 流出水質이 15mg/L 이하, 조건 3은 流出水質이 10mg/L이하인 경우로 구분하였다.

이와 같은 가정을 통해 설명변수를 설정하고 이에 따른 슬러지발생량을 예측하였으며 예측조건을 상세히 설명하면 <표 2.12>와 같다.

<표 2.12> 하수슬러지 발생량 예측조건

조 건 1	X_1 : 예측년도 일최대 계획하수량 - 예측년도 하수처리장용량 X_2 : 예측년도 하수처리장용량 (단, 예측년도 하수처리장용량이 계획하수량 보다 클 때는 계획년도 일최대 계획하수량 이용) X_S : 예측년도 SS 계획유입수질 - 20mg/L (유출수질) X_B : 예측년도 BOD 계획유입수질 - 20mg/L (유출수질)
조 건 2	X_1 : 예측년도 일최대 계획하수량 - 예측년도 하수처리장용량 X_2 : 예측년도 하수처리장용량 (단, 예측년도 하수처리장용량이 계획하수량 보다 클 때는 계획년도 일최대 계획하수량 이용) X_S : 예측년도 SS 계획유입수질 - 15mg/L (유출수질) X_B : 예측년도 BOD 계획유입수질 - 15mg/L (유출수질)
조 건 3	X_1 : 예측년도 일최대 계획하수량 - 예측년도 하수처리장용량 X_2 : 예측년도 하수처리장용량 (단, 예측년도 하수처리장용량이 계획하수량 보다 클 때는 계획년도 일최대 계획하수량 이용) X_S : 예측년도 SS 계획유입수질 - 10mg/L (유출수질) X_B : 예측년도 BOD 계획유입수질 - 10mg/L (유출수질)

서울시 4개 下水處理場의 처리용량이 '98년에 총 581만³/일이 될 경우의 슬러지 發生量 豫測 결과는 <표 2.13>에 보는 바와 같다.

<표 2.13> 서울시 4개 하수처리장의 '98년 슬러지 발생량 예측결과

(단위 : 톤/일)

구분	중 량			탄 천			난 지			가 양			총 합		
	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3
평균	500	505	511	381	385	390	290	293	295	654	672	689	1,825	1,855	1,885
최대	598	607	615	448	454	459	325	328	332	761	781	801	2,132	2,170	2,207
최소	403	407	410	314	317	320	257	259	260	548	564	579	1,522	1,547	1,569

'97년 8월 현재, 서울시내 총 456만³/일의 시설용량을 가지고 있는 下水處理場이 '98년까지 125만³/일이 증설되어 총 581만³/일이 되고 下水의 放流水質이 20mg/L 이하가 될 때 (조건 1)에는 슬러지 發生量이 평균 1,825톤/일, 최대 2,132톤/일이 되는 것으로 예측되었으며, 방류수질이 10mg/L 이하가 될 때(조건 3)에는 슬러지 發生量이 평균 1,885톤/일, 최대 2,207톤/일이 되는 것으로 예측되었다.

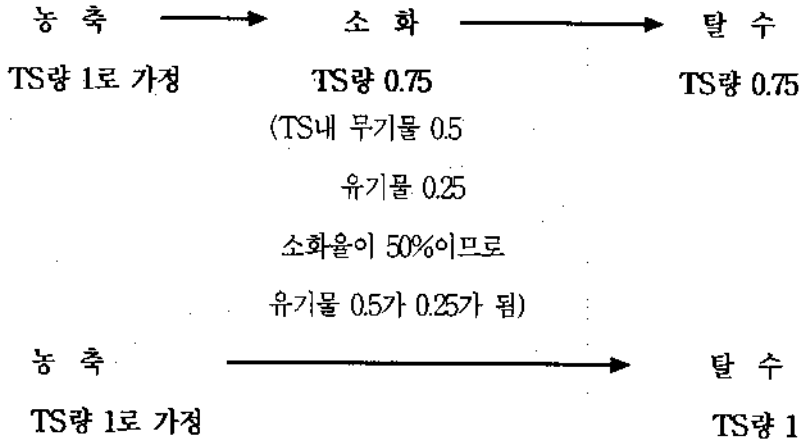
下水處理場별로는 가양下水處理場이 2차 처리용량이 가장 큼으로 인해 4개 下水處理場중 가장 많은 슬러지가 발생할 것으로 예측되었으며 난지下水處理場이 가장 적은 양의 슬러지가 발생할 것으로 예측되었다.

참고로 일본에서는 새롭게 건설되는 하수슬러지 집약소각시설에서는 대부분이 혐기성소화조를 건설하지 않고 하수슬러지를 농축→탈수공정만을 거치고 있다. 그 이유는 소각시에 필요한 발열량의 확보 및 혐기성 소화조의 가동없이도 하수슬러지의 처리목적인 감량화, 안전화, 안정화를 꾀할 수 있기 때문이다.

만일 혐기성소화조의 가동 없이 농축→탈수공정만을 거치게 할 경우의 탈수케이크발생량을 예측하면 다음과 같다.

단 예측조건 중 소화조건은 슬러지고형물(TS)중 유기물(VS)함량은 50%이며 소화율은 일

반적인 범위인 50%로 가정하였다.



따라서 농축→탈수과정만 거칠 경우에는 기존의 농축→소화→탈수과정을 통해 발생하는 탈수케이크에 비해 1/0.75배 즉, 1.33배 더 발생하게 되며 이러한 경우 '98년의 탈수케이크 발생량은 <표 2.14>와 같다.

<표 2.14> '98년 슬러지 발생량 예측결과 (농축→탈수공정만 거쳤을 경우)

(단위 : 톤/일)

구분	중 량			탄 천			난 지			가 양			총 합		
	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3	조건1	조건2	조건3
평균	665	672	680	507	512	519	386	390	392	870	894	916	2,427	2,467	2,507
최대	797	807	818	596	604	610	432	436	442	1,012	1,039	1,065	2,836	2,886	2,935
최소	536	541	545	418	422	426	342	344	346	729	750	770	2,024	2,058	2,087

第 7 節 下水슬러지 性狀

下水處理場 유입수내의 중금속농도는 미량으로 존재하나 수처리과정을 통과하면서 상당수의 중금속이 슬러지내에 농축되어 탈수케이크로 방출된다. 따라서 탈수케이크내에는 중금속이 고농도로 존재하는 것이 일반적이다.

'95~'96년 동안 서울시 4개 下水處理場에서 발생된 탈수케이크내의 중금속 용출실험 및 유기물함량 등을 분석한 결과를 살펴보면, <표 2.15>에서 보는 바와 같이 낮은 농도를 보이거나 검출되지 않아 一般廢棄物의 기준치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. <표 2.15>에 제시한 자료는 廢棄物 공정시험법중 용출시험 방법에 따라 중류수와 슬러지를 일정비율로 혼합한 후 pH를 5.8~6.3 사이로 조정한 후 6시간 동안 흔들어주고 상정수를 분석한 자료이다.

분석결과를 살펴보면, 중금속 항목중 망간은 0.043~10.427mg/L, 구리는 0.010~1.315mg/L의 농도범위를 보였으나 이들을 제외한 다른 重金屬 및 시안, 유기인 등은 검출되지 않거나 미량만이 검출되는 것으로 나타났다. 有機物含有量은 28~55%의 범위를 보였으며 발열량은 1,170~4,670Kcal/kg의 범위로 나타났는데 이는 미국의 하수슬러지 발열량의 일반적인 범위인 3,000~7,000Kcal/kg에 비해서는 낮으나 국내 주요 下水處理場에서 발생하는 탈수케이크의 발열량 자료와는 유사한 값이다.

<표 2.15> 서울시 하수슬러지의 탈수케이크 용출실험 및 발열량 분석결과 ('95~'96)

(단위 : 발열량 → Kcal/kg, 유기물함량 → %, 중금속, 유기인 → mg/kg)

구 분	중 량	탄 천	가 양	난 지
발열량	1,710~4,670	1,330~2,880	1,170~2,990	1,410~2,070
유기물함량(VS)	37~55	28~51	29~49	32~47
6가크롬(Cr ⁶⁺)	불검출	불검출	불검출	불검출
카드뮴(Cd)	불검출	불검출	불검출	불검출
수은(Hg)	불검출	불검출	불검출	불검출
비소(As)	불검출	불검출	불검출	불검출
납(Pb)	0.012~0.106	불검출~0.419	불검출~0.073	불검출
망간(Mn)	0.043~2.806	0.264~5.472	0.324~10.427	0.290~0.915
구리(Cu)	0.010~0.983	0.015~1.315	0.021~0.180	0.049~0.225
시안(CN)	불검출~0.263	불검출~0.089	불검출	불검출
유기인	불검출	불검출	불검출	불검출

자료) 서울시 하수처리과

그러나 질산을 넣은 후 시료를 가열하면서 녹이는 전처리를 실시하여 重金屬의 함량을 분석한 기존 자료를 살펴보면, <표 2.16>에서와 같이 납과 수은 등이 고농도로 분포하는 것을 알 수 있었다.

<표 2.16> 탈수케이크의 중금속 함량분석결과 (1992년 9월 시료)

(단위 : mg/dry-kg)

항목	중량 제2처리장	탄천	가양	난지
	소화탈수케이크	소화탈수케이크	정화조탈수케이크	정화조탈수케이크
납 (Pb)	47.2	53.4	45.8	42.6
카드뮴 (Cd)	0.73	ND	1.2	1.0
수은 (Hg)	6.0	0.8	10.9	15.2
비소 (As)	ND	ND	ND	ND

자료) 하수슬러지 최종처리·처분 개선방안 연구, 서울특별시, 1992.

또한 하수슬러지 處理工程에 따른 공정별 발생슬러지의 농도 분포는 <표 2.17>에서와 같이 處理工程에 따라 큰 차이를 보이지는 않았으나 '91년도에 제시한 자료에서는 1차 및 잉여 슬러지 보다는 탈수케이이크내 重金屬의 농도가 더욱 높은 것으로 나타났다<표 2.18>.

한편, <표 2.19>의 미국 하수슬러지 함유량과 비교해보면 국내 하수슬러지의 重金屬 농도는 미국의 하수슬러지내 重金屬 함유 범위에 포함되는 것을 보였으며 중간값과 비교해 볼 때 다소 낮은 수치를 보였다.

<표 2.17> 처리공정별 발생슬러지의 중금속 함유범위

(단위 : mg/dry-kg)

항 목	1차 슬러지	잉여, 농축슬러지	소화탈수케이이크	범 위
철 (Fe)	3419~30583	4805~28723	1243~30113	3419~30385
납 (Pb)	ND~304	ND~193	ND~164	ND~304
구리 (Cu)	281~546	334~831	321~638	281~638
크롬 (I-Cr)	62~204	46~266	94~209	62~266
아연 (Zn)	542~1184	737~1438	822~1581	542~1581
카드뮴 (Cd)	0.8~5.4	0.7~4.6	0.8~4.2	0.8~5.4
비소 (As)	-	-	0.8~3.1	0.8~3.1
수은 (Hg)	-	-	ND~1.7	ND~1.7

자료) 하수슬러지 최종처리·처분 개선방안 연구, 서울특별시, 1992.

<표 2.18> 처리공정별 발생슬러지의 중금속 성상 ('91년 4월 시료)

(단위 : mg/dry-kg)

항 목	1차 슬러지	잉여 슬러지	소화탈수케이이크
카드뮴 (Cd)	2.71	3.65	4.07
구리 (Cu)	346.15	608.59	781.14
납 (Pb)	154.30	130.84	162.77
아연 (Zn)	1092.0	1415.0	1648.0
망간 (Mn)	354.66	383.56	1682.0

자료) 하수슬러지와 정화조 폐액의 토지주입에 관한 연구, 1991.

<표 2.19> 미국 하수슬러지 중금속 성상

(단위 : mg/dry-kg)

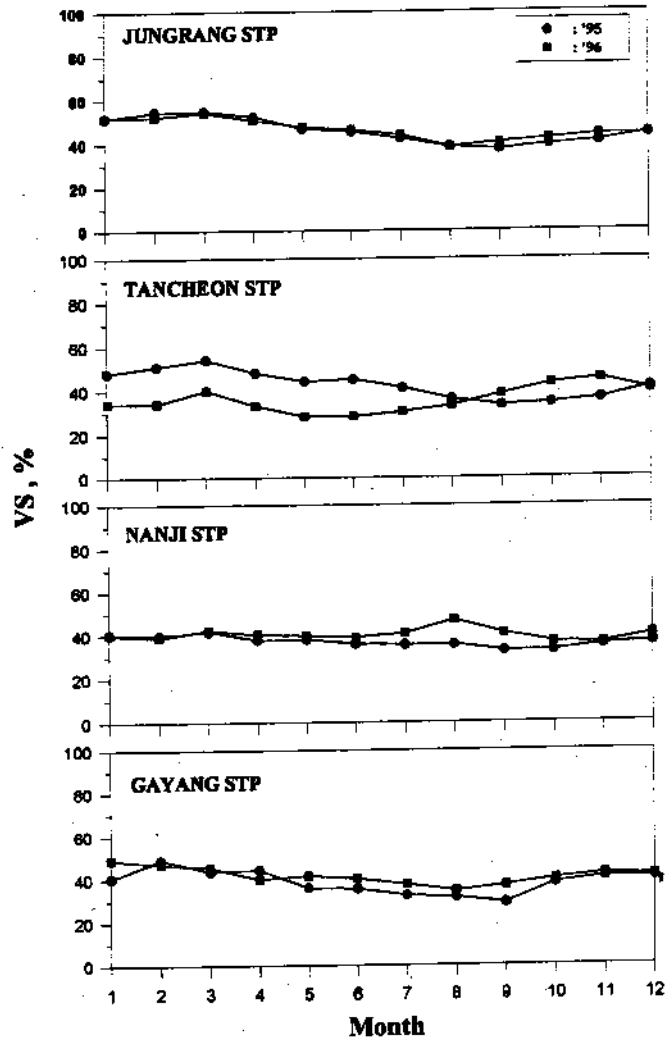
중금속 항목	범 위	중 간 값
아연 (Zn)	101~4900	1700
납 (Pb)	13~26000	500
구리 (Cu)	84~17000	800
카드뮴 (Cd)	1~3410	10
수은 (Hg)	0.6~56	6
비소 (As)	1.1~230	10
총 크롬 (T-Cr)	10~99000	500
철 (Fe)	1000~154000	17000

자료) Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge, EPA, 1984.

有機物含量的 월별 추이는 <그림 2.6>에서 보는 바와 같이, 난지下水處理場을 제외한 중량, 탄천, 가양下水處理場에서 비강우기인 1~4월에 가장 높은 有機物含量을 보이다 서서히 감소하여 강우기인 여름철에 가장 낮게 나타났다. 각 下水處理場의 有機物含量은 중량下水處理場이 평균 45.8%, 년중 37.0~54.7%의 범위를 보였으며 탄천下水處理場은 평균 39.1%, 년중 28.0~54.0%, 가양下水處理場은 평균 39.9%, 년중 28.9~48.9%, 난지下水處理場은 38.3%, 년중 32.6~42.2%의 범위를 보였다. 이와 같이 下水處理場별로 난지下水處理場에서 발생하는 슬러지내 有機物含量的 월별 변동폭이 가장 작게 나타났으며 탄천下水處理場이 가장 큰 변폭을 보였으나 탄천下水處理場의 경우에는 '95년과 '96년의 추세가 비슷하지 않은 것으로 나타났다. 이는 탄천下水處理場의 경우, '95년 2월에 가압부상식 농축조를 도입하면서 초기 운영시 안정적인 운영을 시도하면서 발생한 결과로 사료된다. 실제 '97년 상반기 운영자료를 살펴보면 다른 下水處理場과 유사한 경향을 보이는 것으로 나타나 현재 정상적인 운영이 이루어지는 것을 볼 수 있었다. 중량과 가양下水處理場은 '95년과 '96년의 추세가 유사한 결과를 보였다.

이와 같이 슬러지내 유기물 함량이 월별로 차이를 보이는 것은 우리나라와 같이 강우가 계절적인 편중을 보이는 지역내 合流式 管渠에서 발생하는 근본적인 문제점으로 모래 및 실

트 같은 도로상의 무기물이 평상시 관거내에 퇴적되어 있으며서 강우에 의해 수량이 증가하면 퇴적물이 일시에 下水處理場으로 流入되기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 管渠의 구배 및 형상을 변화시켜 건기시에도 유속을 증가시켜야 할 것이며 도로청소 등을 통해 도시 비점오염원에 대한 관리를 효율적으로 수행하여야 할 것이다.



<그림 2.6> 탈수케이크 유기물함량의 월별 추이

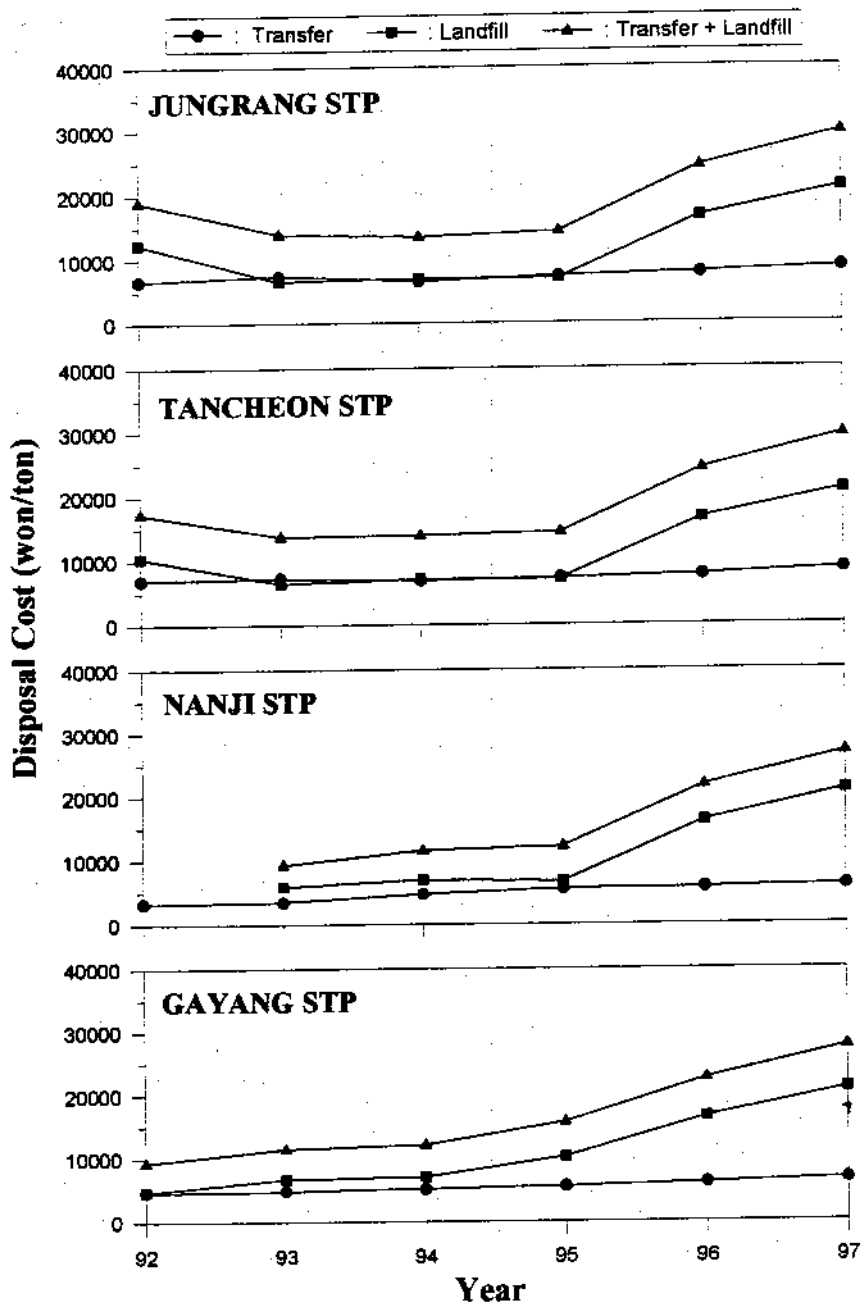
第 3 章 國內 · 外 下水슬러지 處理 · 處分 現況

第 1 節 서울시

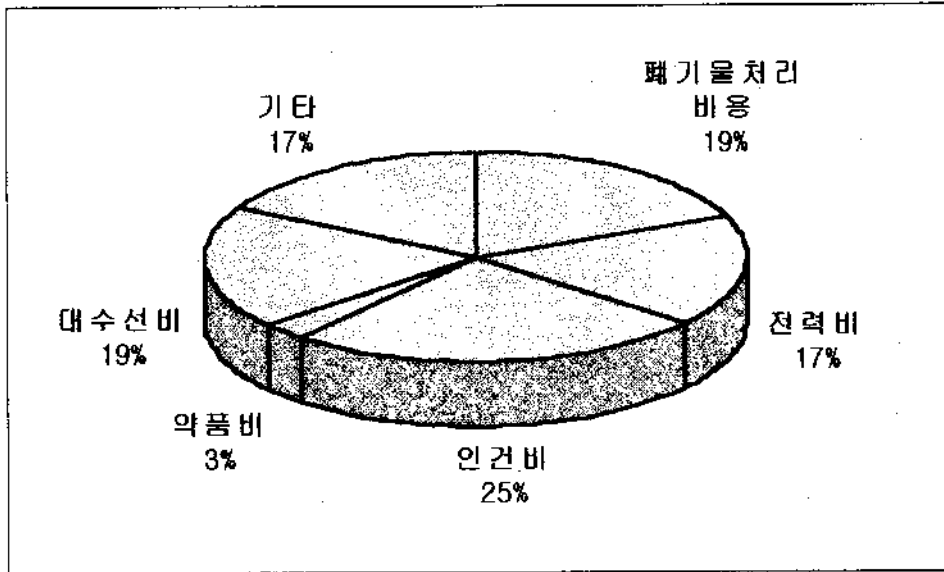
서울시의 경우, 탈수케이크의 최종처분은 '92년 7월말까지 난지도에 위치한 시영 埋立場을 이용하였으며 埋立方法은 심층라군법이었다.

당초 탈수케이크를 일반쓰레기와 混合埋立코자 하였으나 슬러지의 높은 함수율 등으로 인해 차량의 진입이 어렵게 되는 등 작업상의 문제점에 부딪치게 되어 별도의 埋立이 불가피하게 되었다. 이 때 활용한 分離埋立 방식은 화산 분화구와 같은 형태의 원형제방을 수십미터 높기로 쌓고 그 안에 탈수케이크를 덩핑(dumping)하는 방식이었는데, 작업상의 안전성과 우천시 재함수 등이 계속 해결하기 어려운 문제로 제기되어져 왔고, '92년 8월부터는 이 시설의 용량부족으로 金浦首都圈埋立地에 埋立을 시작하였다.

'92년 8월부터 사용한 金浦首都圈埋立地에서는 주민의 반대로 인하여 混合埋立 방식이 허용되지 않아 슬러지만은 트렌치埋立을 실시하게 되었다. 그러나 '92년 12월부터는 一般廢棄物의 반입량이 증가함에 따라 트렌치埋立을 중지하고 混合埋立을 실시하고 있다. 또한 <그림 3.1>과 같이 首都圈埋立地 반입수수료가 평균적으로 1993년 1톤당 약 6,500원에서 1994, 1995년에는 7,000원으로, 1996년에는 16,536원, 1997년에는 20,960으로 수수료가 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 또한 서울시에서 1996년 하수처리비용 68,147백만원중 廢棄物處理(하수슬러지, 정화슬러지 포함)에 들어간 비용이 12,783백만원으로 19%에 해당하고 그외 처리단가 비용분 석은 <그림 3.2>와 같으며 1997년 이후에는 반입수수료의 인상으로 그 비용은 더욱 증가될 것으로 예상된다.



<그림 3.1> 하수슬러지 처분비용 현황



<그림 3.2> 하수처리단가 비용분석(1996년도)

第 2 節 國內 主要都市

우리나라 대부분의 下水處理場은 표준활성슬러지법에 의하여 수처리를 하고, 중력식농축, 혐기성소화, 벨트프레스(Belt Press)에 의하여 슬러지를 탈수하는 처리방식을 이용하고 있으며, 발생슬러지는 거의 전량이 도시 生活廢棄物과 混合埋立하는 처분방식을 적용하고 있다.

환경부에서 제시한 1996년 下水道統計를 이용하여 국내 주요도시의 하수슬러지 처리·처분 현황을 기술하면 다음과 같다.

1) 대전광역시

대전하수처리장의 경우, 下水流入量 323.5천 m^3 /일에 대해 107.6톤/일의 탈수케이크가 발생하여 하수 1 m^3 당 0.33kg의 슬러지가 발생하는 것으로 나타났다. 발생된 탈수케이크 전량은 현재 市衛生埋立地에 埋立하고 있다.

2) 부산광역시

부산광역시는 下水處理場의 증설로 탈수케이크 양이 증가하고 陸上埋立地의 확보가 어려워 埋立이 불가능한 실정이다. 下水流入量 565.5천 m^3 /일에 대해 슬러지는 200.8톤/일이 발생하고 있으며 장립하수처리장의 경우, 탈수케이크 발생량의 99.4%를 海洋投棄하고 있으며 수영하수처리장의 경우에도 97.4%인 45.5톤/일을 海洋投棄하고 있고 나머지 2.6%를 再利用하고 있다. 그러나 장래 런던조약에 의한 海洋投棄 금지에 대비하여 燒却에 의한 처리를 하기 위한 타당성 조사 및 基本計劃을 실시하고 있다.

3) 광주광역시

광주하수처리장은 134.9톤/일의 탈수케이크가 발생하여 下水 $1m^3$ 당 0.41kg의 탈수케이크가 발생하는 것으로 나타났으며 발생된 탈수케이크는 현재 海洋投棄를 통해 처분하고 있다.

4) 대구광역시

대구광역시는 2개의 하수처리장이 가동중에 있으며 달서천하수처리장의 143.8톤/일의 슬러지와 신천하수처리장의 68.5톤/일의 슬러지를 海洋投棄하고 있다.

5) 인천광역시

인천광역시는 '95년 12월 현재, 2개 하수처리장에서 발생하는 86.5톤/일의 탈수케이크를 陸上埋立하였으나 '97년 현재는 탈수케이크 전량을 海洋投棄하고 있다.

6) 청주시

탈수케이크 발생량 64.3톤/일의 95%를 埋立(문암매립지)에 의존하고 있으며 유효이용방법으로 슬러지의 肥料化 연구가 진행중이다.

7) 기타 수도권지역

- 용인시 : 용인시는 下水流入量이 25,300m³/일이며 슬러지 발생량은 13.5톤/일이다. 발생 슬러지 전량은 埋立處分되고 있으며 下水流入量이 증가하는 추세에 있으므로 슬러지 발생량도 증가할 것으로 예상된다.
- 과천시 : 과천시는 下水流入量이 22,600m³/일이며 11.5톤/일의 탈수케이크가 발생하고 있다. 발생하는 탈수케이크는 현재 지렁이의 먹이로서 60.9%를 再利用하고 있으며 나머지는 金浦首都圈埋立地에 埋立하였으나 1996년부터 발생하는 슬러지 전량을 지렁이 사육장에 보급하고 있다.
- 고양시 : 탈수케이크 발생량이 33.4톤/일로 현재 처분방법은 金浦首都圈埋立地에 埋立處分하고 있다.
- 구리시 : 탈수케이크의 발생량은 15.1톤/일로 슬러지의 처리는 1992년에 堆肥化하여 농가에 보급하였으나 현재는 전체 탈수케이크의 3.9%만을 농가에 보급하고 있고 나머지는 金浦首都圈埋立地에 埋立하고 있다.

8) 하수슬러지 퇴비화 적용 도시

서울 및 부산시와 같은 大都市의 경우, 하수처리장 시설용량이 크므로 인해 많은 양의 하수슬러지가 발생하기 때문에 陸上埋立과 海洋投棄와 같이 많은 하수슬러지량을 일괄처분하기가 용이한 방법을 적용하고 있으나 하수슬러지 발생량이 소량인 일부 小都市의 경우는 堆肥로 이용하는 사례가 많다. 전술한 과천시와 구리시 외에도 경기도 지역의 양평, 양서, 용문하수처리장에서 발생되고 있는 약 2.9톤의 하수슬러지가 농가에 보급되고 있으며 춘천, 영동, 천안, 계룡 등도 堆肥化 및 농가에 보급되고 있다. 또한 25.6톤/일의 하수슬러지가 발생하는 제주하수처리장의 경우도 전체 발생량의 86%정도를 농가에 보급하고 있는 실정이다.

이상에서 설명한 '95년 12월 현재, 국내 하수처리장에 대한 하수슬러지 처분현황 및 시설용량, 유입하수량을 <표 3.1>에 정리하였다.

<표 31> 국내 하수처리장 슬러지 처리현황

시·도	처리장명	시설용량 (천m ³ /일)	하수유입량 (천m ³ /일)	탈수케이크 발생량 (톤/일)	하수1m ³ 당 발생슬러지 량(kg/m ³)	탈수케이크 처분방법	비고 ('97년 현재 처분방법)
부산	수영	286.0	281.6	45.5	0.16	해양투기	
	장림	330.0	274.9	155.3	0.56	해양투기	
부산 합계		616.0	556.5	200.8	0.36		
대구	신천	350.0	360.0	68.5	0.19	해양투기	
	달서천	400.0	399.8	143.8	0.36	해양투기	
대구 합계		750.0	759.8	212.3	0.28		
인천	가좌	190.0	169.8	53.6	0.32	매립	해양투기
	송기	240.0	179.3	32.9	0.18	매립	해양투기
인천 합계		430.0	349.1	86.4	0.25		
광주	광주	300.0	330.8	134.9	0.41	해양투기	
광주 합계		300.0	330.8	134.9	0.41		
대전	대전	300.0	323.5	107.6	0.33	매립	
대전 합계		300.0	323.5	107.6	0.33		
경기	수원	165.0	94.8	6.4	0.07	매립	
	성남	340.0	284.8	103.4	0.36	매립	
	의정부	140.0	55.7	22.7	0.41	매립	
	안양	300.0	264.3	116.4	0.44	매립	
	부천	150.0	119.1	41.3	0.35	매립	
	동두천	47.0	22.4	1.8	0.08	매립	
	안산	121.0	129.3	30.2	0.23	매립	
	고양	135.0	86.7	33.4	0.39	매립	
	과천	30.0	22.6	11.5	0.51	매립(39%), 지렁이사육 (61%)	지렁이사육 (100%)
	구리	50.0	51.0	15.1	0.30	매립	
	화도	10.0	8.2	5.2	0.63	유기질비료	
	시흥	176.0	156.3	17.9	0.11	매립	
	용인	24.0	25.3	13.5	0.53	매립	
	광주광동	0.25	0.3	0.1	0.33	매립	
	광주만선	0.15	0.1	0.0	-		
	광주읍	11.0	11.5	6.0	0.52		
	광주분원	0.15	0.2	0.1	0.50		
	광주귀여	0.15	0.1	0.0	-		
	광주매산	0.5	0.2	0.0	-		
	양평	4.2	3.4	2.0	0.59	농가보급	
양서	0.6	0.5	0.3	0.60	농가보급		
용문	1.2	0.9	0.6	0.67	농가보급		
하차포	0.2	0.1	0.0	-	농가보급		
경기 합계		1,706.4	1,337.8	428.1	0.32		

<표 3.1> 계속

시·도	처리장명	시설용량 (천m ³ /일)	하수유입량 (천m ³ /일)	탈수케이크 발생량 (톤/일)	하수1m ³ 당 발생슬러지 량(kg/m ³)	탈수케이크 처분방법	비고 ('97년 현재 처분방법)
강원	춘천	100.0	73.0	18.4	0.25	퇴비화	
	원주	75.0	68.8	15.5	0.23	매립	
강원 합계		175.0	141.8	33.9	0.24		
충북	청주	15.0	134.2	64.3	0.48	매립	
	충주	50.0	34.9	0.6	0.02	매립	
	제천	35.0	33.0	7.7	0.23	매립	
	문의	1.0	0.6	0.1	0.17	매립	
	보은	6.0	6.5	1.5	0.23	매립	
	옥천	18.0	6.9	5.2	0.75	매립	
	영동	8.0	6.9	1.3	0.19	퇴비화	
충북 합계		273.0	227.6	82.1	0.36		
충남	천안	70.0	70.8	19.3	0.27	매립(40%) 농가보급 (60%)	
	계룡	23.0	8.6	1.3	0.15	농가보급	
충남합계		93.0	79.4	20.6	0.26		
전북	전주	103.0	101.8	29.8	0.29	매립	
전북합계		103.0	101.8	29.8	0.29		
전남	나주	22.5	10.6	1.3	0.12	매립	
	광영	5.5	1.3	0.5	0.38	매립	
	순천공단	2.0	0.5	0.1	0.20	매립	
전남합계		30.0	12.4	1.9	0.15		
경북	경주	69.0	47.3	0.1	0.00	매립	
	구미	135.0	183.3	58.7	0.32	매립	
	영천	25.0	28.0	33.1	1.18	매립	
	예관	20.0	11.6	4.2	0.36	매립(16%), 해양투기 (84%)	
	은정	6.5	3.9	0.5	0.13	매립	
경북합계		255.5	274.1	96.6	0.35		
경남	마산	280.0	178.6	15.8	0.09	매립	
	울산	250.0	73.6	1.4	0.02	매립	
	회야	32.0	28.5	9.6	0.34	매립	
	진주	110.0	88.2	29.4	0.33	매립	
	통영	20.0	13.1	1.6	0.12	매립	
	부곡	13.0	5.7	0.9	0.16	매립	
	거창	10.5	11.0	7.2	0.65	매립	
경남합계		715.5	398.7	65.9	0.17		
제주	제주	60.0	54.8	25.6	0.47	매립(14%) 농가보급 (86%)	
	중문	5.0	1.4	0.4	0.29	퇴비화	
제주합계		65.0	56.2	26.0	0.46		

자료) 하수도통계, 환경부, 1996.

국내 대부분의 하수처리장에서의 슬러지 처분방법은 <표 3.1>에서 보는 바와 같이 埋立 또는 海洋投棄에 의하여 이루어지고 있으나, 서울시를 대표로 하는 대도시에서는 더 이상 埋立地의 확보가 어려운 실정이어서 새로운 슬러지 처리방법이 필요하다고 생각된다. 이러한 관점에서 외국의 슬러지 처분현황에 대하여 조사·분석하기로 한다.

第 3 節 國外 主要國家 및 都市

1. 日本

일본에서의 '94년 3월 현재, 하수슬러지 처리방식 현황을 살펴보면, <표 3.2>에서 보는 바와 같이 전체 1,041개의 하수처리장중 농축후 탈수하여 처분하는 공정이 전체의 34.5%를 차지하여 가장 높은 비율을 차지하였으며 농축, 소화, 탈수공정을 거쳐 처분하는 방식이 21.5%로 그 다음으로 나타났다. 일본내 하수처리장 중 소각시설이 설치되어 있는 하수처리장은 총 133개소로 전체의 12.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 3.2> 일본의 하수슬러지 처리방식별 처리장수

(1994년 3월 현재)

슬러지 처리 방식	처리장수	비율(%)
1. 농축	114	11.0
2. 농축 → 탈수	359	34.5
3. 농축 → 탈수 → 소각	71	6.8
4. 농축 → 탈수 → 건조	13	1.2
5. 농축 → 탈수 → 퇴비화	21	2.0
6. 농축 → 탈수 → 건조 → 소각	13	1.2
7. 농축 → 소화	7	0.7
8. 농축 → 소화 → 건조	7	0.7
9. 농축 → 소화 → 탈수 → 건조	16	1.5
10. 농축 → 소화 → 탈수	224	21.5
11. 농축 → 소화 → 탈수 → 건조 → 소각	38	3.6
12. 농축 → 소화 → 탈수 → 퇴비화	12	1.1
13. 농축 → 소화 → 탈수 → 소각, 퇴비화 병행	4	0.4
14. 농축 → 천일건조	10	1.0
15. 농축 → 열처리 → 탈수 → 소각	7	0.7
16. 소화	2	0.2
17. 소화 → 탈수	10	1.0
18. 소화 → 건조	4	0.4
19. 탈수	34	3.3
20. 천일건조	5	0.5
21. 기타	70	6.7
計	1,041	100.0

자료) 일본 하수도통계, 1994.

하수슬러지 처리성상에 따른 最終處理·處分現況을 살펴보면, <표 3.3>에서 보는 바와 같이 탈수케이크 형태로 처분하는 경우가 가장 많았으며 燒却灰 형태로 처분하는 경우도 전체의 14%를 차지하였다.

<표 3.3> 일본의 하수슬러지 최종처분방법별 처분현황

(1994년, 단위:톤/년)

성 상	처분 슬러지량	육상매립	해면매립	해양투기	유효이용	타부속 시설	장내저장	기타
농축슬러지	5,092	2,411	0	0	2,459	222	0	0
소화슬러지	219,050	0	0	215,312	980	0	0	2,578
탈수케이크	1,637,345	701,602	318,748	39,473	475,327	24,200	2,878	75,117
건조슬러지	24,785	6,192	0	0	11,805	6,349	9	430
소 각 재	320,660	120,331	123,263	0	56,214	0	16,399	4,453
퇴 비 화	34,666	0	0	0	32,670	0	1,747	249
용융슬래그	22,785	272	0	0	8,378	0	14,135	0
혼합슬러지	2,149	2,149	0	0	0	0	0	0
생슬러지	2,474	0	0	0	24	1,349	0	1,101
기 타	1,158	389	0	0	1	0	0	768
합 계	2,270,164	833,346	442,011	245,785	587,858	32,120	35,168	84,876
(구성비, %)	100.0	36.7	19.5	11.2	25.9	1.4	1.6	3.7

자료) 일본 하수도통계, 1994.

하수슬러지 처분의 대부분은 陸上埋立을 통해 이루어져 전체의 36.7%를 보였으며 土壤還元 및 建築資材로의 이용 등 하수슬러지를 有效利用하는 경우도 25.9%를 보였다. 전체슬러지에 대한 소각비율은 14%를 차지하였으나 대도시의 경우 燒却比重이 더욱 높았다.

일본내 100만 이상의 인구를 보이는 대도시의 경우는 '80년대부터 하수슬러지 처분을 埋立에서 燒却으로 전환시키고 있으며 중·소도시에서는 슬러지의 資源化 측면에서 堆肥化 또는 직접 농지에 환원시키고 있다. 또한 슬러지를 소각 및 용융하여 그 때 발생하는 灰 및 슬래그를 경량골재 및 벽돌, 타일, 건축자재와 지반개량제로 이용하고 있는 실정이다.

일본내 100만 이상의 인구를 보이는 대도시들의 하수슬러지 처리·처분현황을 살펴보면 다음과 같다.

2. 東京都의 下水슬러지 處理·處分 方案의 變遷史

1) 東京都의 下水슬러지 處理·處分

東京都 23개 區의 하수도 인구는 1994년 말에 계획인구의 100%를 달성하였으며 하수처리 지역은 614km²으로 12개의 下水處理場과 1개의 슬러지 처리센터가 운영되고 있다. 1996년 현재, 일일 평균 下水處理量은 467만m³/일로 전체 下水處理場에서 하수를 2차 처리함으로써 주요 처리공정으로부터 발생하는 1차 및 2차 침전지의 슬러지는 17만m³/일이며 탈수후의 탈수케이크량은 2,872톤/일이 발생되고 있으며 이중 86%에 해당하는 2,471톤/일이 소각 및 용융 처리되고 있고 이로 인해 발생하는 소각재 및 용융슬래그는 12%정도가 재이용되고 있다. 그러나 향후에는 하수슬러지를 100% 완전 소각 및 용융처리하는 것을 목표로 하고 있으며 소각재 및 용융슬래그도 100% 재이용하는 것을 추진하고 있다.

동경도의 하수슬러지 처리·처분 역사는 시대의 사회적 상황과 관계법령 등에 의해서 변천해왔으며 그 추이는 대략적으로 해양투기→천일건조→기계탈수→육상매립→소각 및 再利用 등의 각 시대로 구분시킬 수 있다. 과거 일본에서의 하수슬러지 처분은 항상 귀찮은 문제였는데 1940년도 전에는 下水處理量도 적었으며 하수중의 汚染物質의 양도 적었기 때문에 발생하는 양도 그다지 많지 않았다. 따라서 하수슬러지의 처리·처분이 그다지 커다란 문제가 되지 않아 대부분의 하수슬러지(생+잉여)를 동경만에 살포해서 투기하는 방법으로 처분하였다.

한편 1943년 전시체제(제2차 세계대전)가 강화되면서 중유의 할당량이 감소됨으로 인해 슬러지 운반선이 운항되지 못하게 되어 하수슬러지 처분이 운송면에서 어렵게 되었으며 1967년에 동경도에서는 해양투기를 전면 중단하였다. 따라서 하수슬러지의 새로운 슬러지 처리·처분방법의 개발이 필요하게 되었다. 그 당시 주목되는 방법으로는 슬러지를 비료로써 이용하는 방법과 슬러지의 성분으로부터 유분(油分)을 추출하는 방법이 있었다. 후자의 방법에 대해서는 채산성이 맞지 않아 실시되지 않았지만 肥料化 방법은 조사결과 유효하다는 결론을 얻게 되었다. 하수슬러지의 비료로서의 이용은 생슬러지를 침전농축한 후 슬러지 건조상에서 천일건조하고 이것을 분쇄해 농가에 매각하는 것이었다. 이 방법은 이미 일부에서는 실시되고

있었지만 1944년 이후 三河島(미가와시마)처리장내에서 본격적으로 시작되었다. 1945년 이후 매마침 肥料가 부족하여 유기비료로써 높은 가치를 인정받은 하수슬러지의 수요가 더욱 증가되었다. 이러한 이유로 1946년 芝浦(시바우라)處理場과 1957년 砂町(스나마치)處理場에서도 슬러지 肥料의 생산을 개시하게 되었다.

1950년대에 들어와 물 사용량의 증가와 하수도의 보급향상으로 인해 下水處理量도 급속히 증가하게 되어 三河島, 芝浦, 砂町의 3개처리장에서의 下水處理量이 1940년 50만 m^3 /일로부터 1960년에는 104만 m^3 /일, 1965년에는 188만 m^3 /일(小台(오다이), 落合(오치아이)처리장을 포함한 시설용량)으로 되었다. 그 결과 발생하는 하수슬러지의 양도 현저하게 증가되었다.

그러나 처리장주변의 택지화가 진행되어 슬러지 건조상을 설치한다는 것이 거의 불가능하게 되었다. 또한 천일건조의 과정으로부터 발생하는 악취와 파리의 발생 등으로 슬러지 肥料化 방법이 문제화되어 하수슬러지 처분방법의 전환이 필요하게 되었다.

생슬러지(1차 침전슬러지)는 그대로 취급하기에는 매우 어려운 성상구조로 되어 있어 그대로 방치된다면 부패하기 쉬우며 병원균 등의 위생상 유해한 물질을 포함하고 있다. 이러한 이유로 불안정한 하수슬러지를 安定化시켜 위생상 無害하게 하는 것이 슬러지 처리의 제일의 목표가 되었다. 1945년 三河島처리장에서 호기성소화조의 실험시설이 가동되었다. 이 시설은 실용화되어 三河島處理場으로부터 발생하는 슬러지의 일부는 소화후 천일건조라고 하는 방법이 취해졌다.

하수슬러지의 처리·처분을 곤란하게 하는 제2의 특성은 수분의 함수율이 대단히 높은 것이다. 일반적인 생슬러지는 98% 전후의 수분을 포함하고 있다. 하수슬러지의 수분을 제거하는 것은 취급의 용이성 뿐만 아니라 용량도 감소시킨다. 예를 들면 함수율 98%의 슬러지를 96%로 농축시키면 슬러지 양은 1/2로 된다.

하수슬러지를 기계력을 이용하여 탈수하는 기계탈수는 벨트프레스의 경우, 함수율이 75% 정도이며 이 경우 용량도 함수율 95%정도의 소화 슬러지와 비교하면 1/5 정도로 된다. 이러한 이유로 새로운 슬러지 탈수방식으로 기계탈수가 주목되어 그 도입을 위한 조사연구가 진행되었다. 이러한 신기술의 실험이 진행된 후, 1961년 9월 芝浦處理場에 슬러지를 농축→소화

→기계탈수하는 슬러지 처리공장이 완성되었다. 이 후 동일한 공정을 가진 슬러지 처리시설이 다른 처리장에도 순차적으로 건설되었다.

한편, 하수슬러지의 처분도 1955년 후반에 화학비료의 보급에 의해 슬러지를 녹농지에 비료로 이용하는 수요가 저하되어 새로운 전기를 맞이하게 되었으며, 이러한 이유로 탈수케이크를 埋立處分하는 방법이 취해지게 되었다. 하수슬러지의 埋立處分은 1962년 芝浦處理場에서 발생하는 탈수케이크를 大井(오오이)부두 埋立 예정지에 공사 잔토와 함께 처분하는 것으로 시작되었다. 이러한 동경만 내의 埋立處分 외에도 小台, 浮間(우끼마)등 내륙부의 處理場에서는 荒川(아라카와)상류 하천부지에서의 埋立處分도 진행되었다.

하수슬러지의 발생량은 그 후에도 매년 증가를 계속해왔다. 그러나 埋立處分地에서는 埋立의 제한조건이 있어 지속적인 증가 일변도의 하수슬러지 처분을 위한 埋立地 확보문제가 1965년 이후부터 발생하게 되었다.

이러한 이유로 하수슬러지 처분량을 더한층 감량화시킬 필요가 대두되어 탈수케이크의 燒却處理방식이 도입되었다. 예를 들면 함수율 75%의 탈수케이크를 수분과 유기분을 완전히 제거하면 10~15% 정도까지 감소시킬 수 있다. 1966년 9월 동경도 하수도국 내의 직원들로 구성된 「슬러지 燒却爐 調査委員會」가 설치되어 하수슬러지 燒却處理 도입에 따른 검토가 시작되었다. 위원회의 검토결과에 의하여 1967년 5월 우선적으로 小台處理場에서 하수슬러지 燒却爐(다단로 100톤/일)의 운전이 시작되었다. 이제까지 감량화에 대해 여러 가지 연구가 진행되어 왔지만 하수슬러지 처리기술 개발의 발걸음이 燒却方式에 의해 한가지의 뚜렷한 결론을 얻게 되었다.

小台處理場의 燒却爐는 가동 초기부터 탈수설비를 포함하여 3교대 근무를 실시하였다. 당초 燒却施設의 관리는 하수도국 직원들에 의하여 관리되어 수많은 시행착오를 거쳐 안정화되었지만 1970년 건설된 小台處理場의 2호기, 砂町處理場의 1호기가 완성되면서 燒却施設의 관리를 민간에게 위탁하여 관리하게 되었으며 그후 건설된 하수슬러지 燒却施設은 전부 민간에게 위탁관리하고 있다.

진공탈수기로부터 발생하는 탈수케이크는 용집제로 석회 및 철염을 사용하기 때문에 고분

자 응집제를 사용하는 것보다 30%에서 40%정도 많이 발생한다. 1975년 新河岸(신가시)處理場에 탈수케이크의 발생량이 적은 원심탈수기, 1979년 砂町處理場에 벨트프레스 탈수기가 각각 도입되었다. 벨트프레스 탈수기는 1979년부터 급속히 도입되었으며 이것에 의해 슬러지의 燒却爐도 다단로로부터 유동상식으로 변천하였다.

배출가스는 먼지 등의 분진, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 냄새 등을 포함하기 때문에 배기가스 처리장치에서 제거 및 흡수, 산화 등의 처리를 한 후 대기 중으로 배출되고 있다. 배출가스는 「대기오염방지법」, 냄새는 「악취방지법」에 근거하여 都道府縣의 조례에 의하여 규제되고 있다.

하수슬러지의 처리는 최종적으로 탈수케이크를 燒却 및 熔融하여 그 부산물을 재이용 또는 매립에 의존하고 있는 실정이다. 슬러지의 燒却方式도 소화조에서 소화된 슬러지를 燒却하는 방법과 생슬러지 및 잉여슬러지를 직접 탈수한 탈수케이크를 燒却하는 방법이 병행되고 있다. 전자는 슬러지를 소화조에서 소화함으로써 탈수케이크양이 20%정도 감소하며 燒却爐는 그만큼 작게 건설된다. 후자는 유지관리에 어려움이 있는 소화조가 없으므로 슬러지처리가 매우 간단하다.

하수슬러지 처분의 변천과정은 대체적으로 <표 3.4>에 제시한 바와 같다.

<표 3.4> 동경도의 하수슬러지 처리·처분방식의 변천

슬러지의 처리방식	공 정 도	비고
(1) 해양투기 (1940년대 이전)	슬러지 → 슬러지 → 농 축 → 해양투기 농축조 슬러지	폐지
(2) 생슬러지의 천일건조 (1940년대 초기부터 1950년대 중기까지)	슬러지 → 천 일 → 건 조 → 비료 건조상 슬러지	
(3) 소화슬러지의 천일건조 (1940년대 초기부터 1950년대 말기까지)	(일부) 슬러지 → 소화조 → 천 일 → 건 조 → 비료 건조상 슬러지	
(4) 소화·탈수 (1960년대 이후)	슬러지 → 소화조 → 탈수기 → 케이크 → 해면매립	가동중
(5) 소화·탈수·소각 (1970년대 이후)	슬러지 → 소화조 → 탈수기 → 케이크 → 소각로 → 소각재 → 해면매립	
(6) 생슬러지의 탈수·소각 (1970년대 중기 이후)	슬러지 → 탈수기 → 케이크 → 소각로 → 소각재 → 해면매립	

탈수케이크를 埋立處分하는 경우, 埋立後의 토지이용면으로부터 매립복토재로서 강도 확보, 중금속의 거동 등이 문제가 되어 양호한 매립복토재로 하기 위하여 소각 및 용융하지 않은 탈수케이크를 소각재 및 특수시멘트(10% 배합)와 혼합반죽하여 그것을 48시간 정도 양생시킨 후 매립지에서 복토재로 이용하고 있다.

일본에서 하수슬러지는 법제상 「産業廢棄物」로서 취급되며 슬러지 처리과정에서도 공해 발생의 가능성이 있다는 것을 법령으로 규정하여 사회적인 관심이 슬러지의 질, 특히 함유된 중금속의 양과 소각시의 배기가스 등에 관심이 집중되고 있다. 또한 「廢棄物의 처리 및 청소에 관한 법률」 제3조에는 「사업활동에 의해서 발생한 廢棄物을 발생자의 책임하에 적정히 처리할 것. 그 廢棄物의 再生利用 등을 실천하여 減量化에 노력할 것」이 의무로 규정되어 있다.

2) 環境問題로서의 下水슬러지處理

1965년부터 1975년까지 10년간에 동경도의 下水道普及率은 1.8배, 하수처리량은 2.3배, 확장사업비는 도매물가의 상승률에 비해 약 4배 증가하였다. 그러나 슬러지의 발생량은 이들을 상회하는 증가율을 보였다. 즉, 슬러지 처리량이 1965년에 하루 12,200톤에서 1975년에는 61,300톤으로 5배, 탈수케이크의 발생량은 600톤에서 2800톤으로 4.7배 증가하는 기록을 보였다. 한편, 環境汚染에 대한 국회의 관심이 높아져 공해관련 법률들이 확충되어 이제까지 자기 관리기준에 의해 처리·처분되었던 하수슬러지는 법이 정한 적절한 環境對策을 통해 실시되었다.

1975년부터 하수슬러지의 처리·처분은 장기적인 측면과 단기적인 측면에 대하여 동시에 대책을 수립하여 장기적으로는 슬러지의 資源化에 초점을 두어 새로운 처리·처분 시스템을 확립하며 단기적으로는 埋立을 통해 슬러지를 처분하였다. 단, 埋立處分에 있어서는 작업상 또는 埋立後의 土地利用 대책을 고려, 슬러지를 일정한 강도를 조절하여 토질을 개선할 필요가 있었다. 토질개선의 방법은 여러 가지를 검토한 결과, 탈수케이크에 슬러지 소각재와 특수

시멘트를 첨가하여 혼합반죽(100:10:10 비율)후 固化하는 混合方式이 최적의 방법으로 선택되었으며 이를 위해 1988년 4월 혼합시설로서 中防(츄보)믹싱플랜트가 완성되었다. 이와 같이 中防(츄보)믹싱플랜트에서 고화처리된 하수슬러지는 동경도 방과제 매립지에서 복토재로 이용되고 있으며 '96년에 이용된 양은 123,916톤이나 그 비율은 해마다 감소하고 있다. 中防(츄보)믹싱플랜트에서 만들어진 고화슬러지의 역학특성을 일반적인 매립지 복토재로 이용되고 있는 실트질점토와 비교해본 결과, 일축압축강도, 전단저항각, 압밀응력 및 압밀계수 등 대부분 비슷한 효과를 가지는 것으로 나타났다.

한편, 슬러지의 減量化에 대한 최후의 방법인 燒却處理는 1977년 5월 小台處理場에서 도입된 이래 다른 處理場도 순차적으로 슬러지 燒却施設이 추진되었다. 그러나 1980년도에 이르러 슬러지의 燒却率이 50%를 넘지 않음에도 불구하고 기존 處理場內와 주변에 슬러지 燒却施設 용지를 구하기가 거의 불가능하게 되었다.

이러한 이유로 항만매립지에 슬러지 처리의 전용기지를 설치, 각 處理場에서 발생하는 슬러지를 관로로 수송해서 처리하는 계획이 수립되었다. 이를 기본으로 하여 1979년 3월에는 시설용량의 부족이 예상되었던 芝浦와 森ヶ崎(모리가사끼)處理場의 슬러지를 처리하는 南部슬러지 처리센터가 건설되었으며, 1981년 2월에는 砂町과 三河島處理場의 슬러지를 처리하는 東部슬러지처리센터가 도시계획상에 결정되었다. 이중 南部슬러지 처리센터(현재 명칭은 南部슬러지플랜트)는 1983년 10월 일본에서 최초로 슬러지 처리 전용시설로 운전을 개시하여 슬러지 전량 소각에 대한 출발을 하게 되었다.

3) 슬러지의 再利用

1970년도 이후 일본은 자원 및 에너지절약에 관련된 방법으로 슬러지의 資源化가 주목되어졌다. 특히 대도시에서는 슬러지의 資源化를 장래에 있어 슬러지의 최종적인 처리방법으로 규정하고 슬러지 이용정책의 확립을 위하여 여러 가지의 연구조사가 진행되어왔다.

1977년 12월에는 지방자치단체, 농업단체, 학식경험자 등으로 구성된 「下水道 슬러지 資源利用 協議會」가 발족되었다. 協議會에서는 각 방면에서 독자적으로 하던 연구개발을 일체

화 시키고 동시에 폭넓은 정보교환을 하는 등 하수슬러지의 資源利用의 추진 모체로써 역할을 담당하였다.

이러한 상황아래 東京都에서도 1974년 이후 슬러지 資源化의 실험을 개시하였다. 이와 함께 1977년 2월에는 「下水道 슬러지處理 調査委員會」가 설치되어 새로운 슬러지 처리·처분의 방법에 대해서 검토가 이루어졌다. 委員會는 1979년 12월에 「하수도 슬러지의 처리·처분에 대해서」라는 보고서를 발간하였다. 이중에서 슬러지 資源化에 대해서는 肥料化와 建設資材로서의 사용 등 가능한 한 많은 방법을 취하는 것이 좋을 것이라는 결론과 함께 동경의 현상황에 비추어 볼 때 효율적인 방안의 하나로 슬러지 소각재의 경량골재화를 제안하였다.

경량골재화는 건축자재로써 주목받고 있는 인공경량골재를 슬러지 소각재를 이용하여 제작하는 방법으로 1974년 이후 동경도가 독자적 기술로 개발한 것이다. 이후에도 여러 가지의 시행착오를 거쳐 1983년 7월에 小台下水處理場 내에 하루 12톤의 생산능력을 갖는 실용규모의 輕量細粒材化設備가 운영되기 시작하였으며 생산된 輕量細粒材는 여과재와 콘크리트 골재 등의 건설자재로서 폭넓은 활용이 고려되고 있지만, 현재는 투수성 포장재의 원료로서 활용되고 있다.

탈수케이크의 肥料化에 대해서도 1976년 8월부터 「肥料化 조사연구 프로젝트팀」에 의하여 검토가 착수되어 1978년 1월부터는 南多摩處理場내에 실험 플랜트를 설치하여 제품화를 향한 실험을 개시하였다. 이후 각종 실험결과에 의해서 1977년 5월부터 南部多摩處理場내에 하루 2~3톤 규모의 비료화공장이 가동되었으며 「南多摩汚泥石炭處理肥料」의 상품명으로 판매되었으나 현재는 인접한 청소공장의 확장공사로 인해 비료생산이 중단되었다.

1983년 3월에는 砂町下水處理센터내에 슬러지연료화 실험플랜트가 완성되어 슬러지를 燃料化하기 위한 실험이 개시되었다. 그 결과를 통하여 1986년 1월부터 南部슬러지플랜트에서 슬러지를 연료로 1,700kw의 발전을 하여 실용화 플랜트의 건설이 진행, 1989년 4월에 가동하게 되었다. 현재 동경도에서는 슬러지 연료를 발전에 이용하고 있으며 슬러지처리시설내 전력 공급에 이용하고 있다. 또한 1990년 이래로 탈수케이크 일일 발생량 160톤에 대해 13톤의 슬래그를 생산하고 있으며 이를 이용하여 베타이핀, 목걸이 등의 선물용 제품을 만들어 생산하

고 있다. 비록 이러한 방법은 슬러지 처리문제에 큰 도움을 주지는 못하지만 슬러지 문제 해결발상에는 많은 도움을 주고 있다.

현재 동경도에는 2개의 벽돌공장이 운영되고 있다(南部, 北多摩(키타타마)下水處理場). 각각의 處理場들은 매일 10톤의 소각재를 이용하여 3,800개의 벽돌을 제조하고 있다. 이러한 생산물을 "Metro Brick"라 명명하였으며 시중에서 판매되고 있는 벽돌보다 견고하고 내구성이 강하다. 본 생산물은 보도포장과 차도, 쇼핑센터 바닥에 이용되고 있으며 초과량은 공공작업에 이용하고 있다. 벽돌 소매값은 1개 120엔이나 제조비용은 두배 이상이다. 이와 같이 벽돌 제조로 인한 경제적인 이득은 생기지 않으나 소각재와 같은 미세입자의 매립지로의 운반 및 자동차 배기가스 배출에 따른 대기오염발생 방지와 교통혼잡 등을 해결할 수 있기 때문에 東京都의 경우 슬러지 처리·처분의 방안으로서의 정책으로 활용하고 있으며 재활용이라는 측면에서 환경친화적 시설투자를 많이 하고 있는 것을 알 수 있다. 이 외에 시멘트원료의 일부로서 슬러지 燒却灰를 이용하고 있으며 일본에서의 시멘트 생산량이 연간 약 1억톤이기 때문에 하수슬러지의 시멘트원료로의 적용 가능성은 매우 높다.

東京都 23개 區에서의 1990~1996년도의 下水슬러지 處理·處分現況을 나타내면 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 동경도에서의 하수슬러지 발생량 및 처분현황(23개 區)

년 도	하수 슬러지 발생량 (m ³)	탈수 케이크 발생량 (톤)	슬러지 처리·처분 내용							자원화율 (%)
			처 분		재 이 용					
			소각	고화처리 후 매립지 복토재 이용	슬러지 연료	용융 슬래그	벽돌	경량 골재	시멘트 원료	
1990	40,521,590	1,097,818	826,253	244,157	24,151	-	3,257	-	-	2.5
1991	43,768,750	1,097,600	818,136	218,530	12,404	10,477	38,053	-	-	5.6
1992	42,627,020	1,078,242	771,375	206,951	25,937	24,769	49,120	-	-	9.2
1993	43,278,130	1,088,540	788,421	205,288	30,018	26,114	38,699	-	-	8.7
1994	45,829,900	1,063,655	778,737	186,817	24,952	32,729	40,420	-	-	9.2
1995	46,468,090	1,063,098	754,956	202,800	28,171	31,922	45,249	-	-	9.9
1996	48,116,750	1,048,123	797,838	123,916	22,068	27,050	43,653	33,598	-	12.1

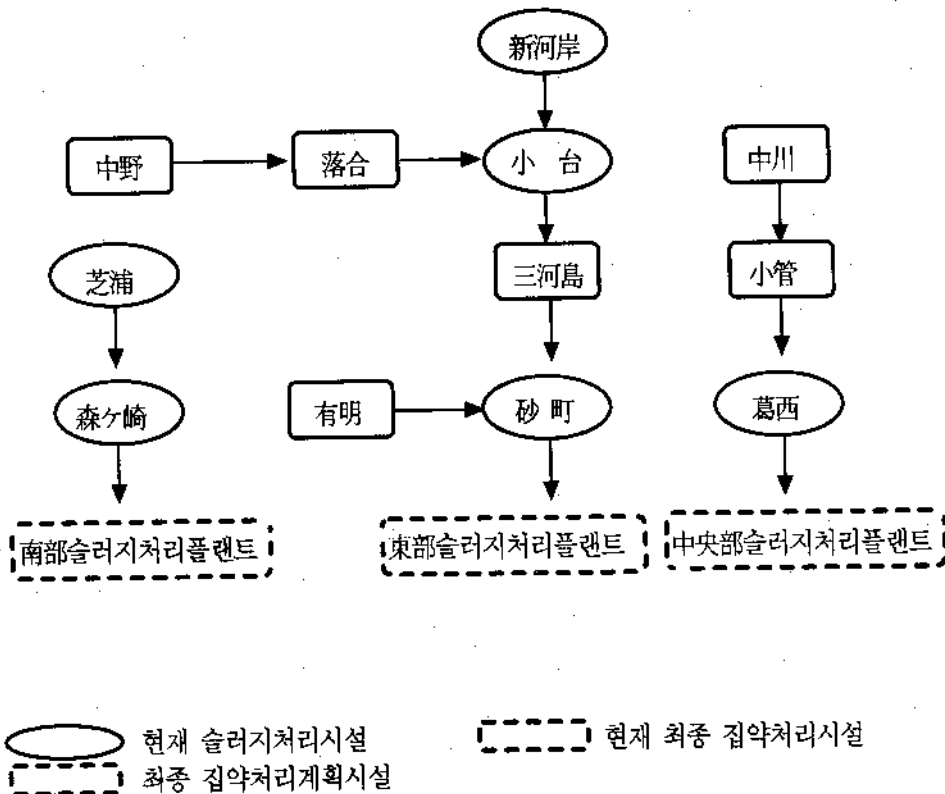
동경도 23개 區의 경우, 하수슬러지 발생량은 '90년에 비해 '96년에 연간 약 1.2배 증가한 것으로 나타났으나 탈수케이크 발생량은 탈수기의 발달로 인해 함수율이 줄어들어 5%정도 감소한 것을 보였다. 또한 燒却灰 발생량 및 固化처리후 매립지복토재로 이용되는 양은 매년 감소 추세를 보였으나 再利用 비율은 '90년의 2.5%에서 '96년 12.1%로 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히, 용융슬래그 및 벽돌, 建設資材로의 再利用 비율이 높아지는 것을 알 수 있었다.

한편, <표 3.5>에서 제시한 東京都 23개 區외에 27개 市, 3개 町, 1개 村을 포함하는 東京都 전체지역에서의 하수슬러지 처분현황을 살펴보면 '96년 현재, 탈수케이크 발생량은 연간 1,257천톤이며 23개 區에서 발생하는 하수슬러지만 매립지복토재, 용융슬래그 및 슬러지연료 등에 이용되고 있다. 그러나 동경도 23개 區를 제외한 31개 市·町·村에서 발생하는 슬러지는 동경도 전체의 17%에 해당하며 대부분 소각되고 있고 소각재는 벽돌 및 시멘트원료로 재 이용되고 있다. 시멘트원료로의 재이용 추세는 '92년에 연간 13,448톤이 이용된 것에 반해 '96년에는 35,274톤이 이용되어 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.

4) 하수슬러지의 효율적인 處理·處分을 위한 슬러지 처리시설의 集約化 計劃

東京都는 슬러지의 처리·처분이 하수도가 존재하는 한 미래에도 지속적인 것이어서, 그 효율적인 운영을 추진하기 위해 슬러지 처리시설의 집약화를 계획하고 있다. 동경도(區部)에서는 1996년말 현재, 12개의 하수처리장과 1개의 슬러지 처리시설을 가동하고 있다. 동경도내 하수처리장 시설간의 슬러지 이송 및 집약처리계획은 <그림 3.3>과 같다.

동경도의 경우, 현재는 芝浦, 森ヶ崎, 南部슬러지처리플랜트, 新河岸, 小台, 砂町, 葛西의 7개 시설에서 슬러지처리를 하고 있지만 금후, 이 집약화를 더욱 추진하여 최종적으로는 東京灣岸部の 南部, 東部, 中央部の 3개 슬러지플랜트에서 집약처리할 예정이다.



<그림 3.3> 집약화를 향한 슬러지 이송 및 집약처리계획

집약처리의 장점은 우선 스케일의 대규모로 인해 처리효율화를 도모할 수 있다. 처리설비와 소각로 등의 규모, 댓수 등을 효율적으로 배치할 수 있고, 건설비와 함께 유지관리비의 절감을 도모할 수 있다. 『유역별 하수도 정비 종합계획지침과 해설』의 비용계수에 의해 유지관리비를 계산하면, 슬러지 처리시설을 3개의 시설로 집약화하는 것에 의해 약 30~40%의 유지관리비의 절감을 도모하는 결과를 얻을 수 있다.

둘째, 용지의 효율적인 활용을 도모할 수 있다. 시가화가 진행된 도시부분에서는 고도처리 등 현재 있는 하수도시설을 높은 수준으로 유지하기 위한 시설용지의 확보가 특히 어려워지고 있다. 따라서 집약화로 인해 각 처리장의 슬러지처리시설 건설부지로 예정된 부지가 필요 없게 되어 이 부지를 고도처리시설의 건설부지로서 활용할 수 있다.

셋째, 슬러지의 자원화시설을 슬러지처리시설과 일치시켜 집중하여 배치할 수 있고 자원의 촉진을 도모할 수 있으며 배연처리시설 등 공해방지시설을 효율적으로 설치할 수 있고 자연환경 보호의 측면에서도 유리하다.

3. 横浜市(요코하마시)

1) 下水道整備의 現況

요코하마시는 인구 334만명의 일본 제2의 도시로 1962년 4월에 中部下水處理場이 최초로 가동된 후 9개 下水處理區에 11개 下水處理場이 있으며 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 集約해서 처리할 수 있는 2개의 슬러지처리센터가 있다. 1996년 현재, 평균 150만 m^3 /일의 하수를 처리하고 있으며 1997년 9월말 현재, 하수도보급율은 97.6%에 달하고 있다. 또한 약 220톤/일(건조함량)의 하수슬러지를 燒却을 통해 처리하여 약 70톤/일의 燒却灰가 발생하고 있다.

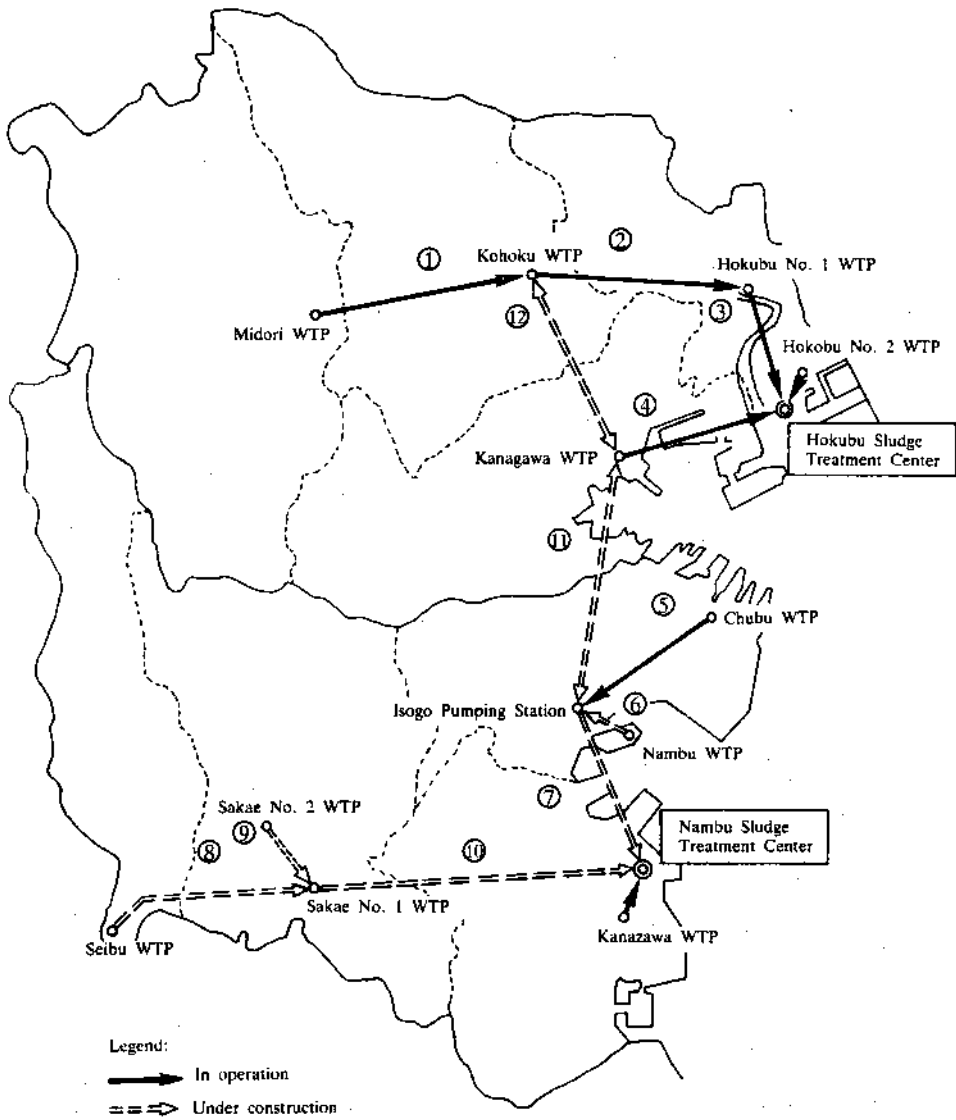
요코하마시 11개 하수처리장의 슬러지처리·처분시스템은 하수슬러지를 각 처리장별로 농축→ 혐기성소화→탈수 또는 농축→습식산화→탈수, 농축→탈수한 후, 매립을 하였으나 1956년 후반부터 고도경제성장 정책에 의한 사외곽지의 市街化 전향에 따라 市内에 새로운 매립처분

지의 확보가 곤란한 상황에 이르렀다. 따라서 요코하마시는 하수슬러지 처리·처분의 방향으로 자연생태계를 훼손하지 않고 오히려 개선하는 방안으로서 자연의 물질순환사이클을 환원시키는 것을 기본 방침으로 하였다. 이를 위해 당면 대응책으로 현재 사용하고 있는 도시쓰레기 처분지의 연장 및 처분슬러지의 안정화를 위해 하수슬러지 전량을 소각하는 정책을 추진하였다. 따라서 과거 11개 下水處理場에서 이루어졌던 하수슬러지 처리를 95~99%의 합수율을 가진 1차침전 및 2차침전 슬러지 그대로 압송관을 통해 이송하여 2개 슬러지처리센터에서 집중소각처리하는 슬러지집약처리를 시도하였다. 이로 인하여 건설·유지관리 양면에 걸친 편리함과 경제적 효율을 가져왔다.

요코하마시에서의 하수슬러지 집약소각에 대한 압송 파이프라인의 개요, 위치 및 설비개요는 <그림 3.4> 및 <표 3.6>과 같다.

<표 3.6> 요코하마시 슬러지처리센터의 설비개요

설 비	북부슬러지처리센터	남부슬러지처리센터
슬러지 이송관 시설	5개소	7개소
슬러지 이송관 총연장	34km	48km
슬러지 저장조	1,500m ³ × 2기	670m ³ × 4기
원심농축조	100m ³ /h × 6기	100m ³ /h × 6기
소화조	6,800m ³ × 12기 (계란형)	6,400m ³ × 9기 (계란형)
가스발전설비	1,350ps 920KW × 4기 1,586ps 1100KW × 1기	1,743ps 1200KW × 2기
가스홀더	8,000m ³ × 2기 (저압)	2,000m ³ × 2기 (저압) 3,590m ³ × 2기 (중압)
탈수설비	원심탈수기 : 50m ³ /h × 4기	고압벨트프레스 : 450kg/h × 8기 원심탈수기 : 30m ³ /h × 2기
소각설비	유동상 : 100톤/일 × 2기 150톤/일 × 2기 (건조기 부착)	유동상 : 150톤/일 × 2기 (건조기 부착) 입형다단로 : 100톤/일 × 1기
습식산화설비	-	571m ³ /일 × 2기



<그림 3.4> 요코하마시 하수슬러지집약처리 대한 개요 및 위치

2) 슬러지의 集約處理

슬러지 집약처리시스템은 요코하마시를 남북으로 나는 후, 인접된 下水處理場을 서로 경유하는 파이프관을 통해 하수슬러지를 이송시켜 처리하는 것이다.

슬러지의 濃縮은 슬러지의 腐敗 등에 의해 濃縮效率이 低下되는 것을 考慮하여, 重力式 濃縮탱크 이외에 機械濃縮設備를 計劃하였다. 이러한 경우 消化탱크에의 投入농도를 5% 정도로 안정하게 供給함으로써 消化탱크의 용량을 감소하고, 濃度變動에 따른 처리시설의 非效率적인 運用을 없게 할 수 있다. 프로세스의 중심이 되는 嫌氣性消化는 소화가스 발전설비로부터의 전기 열공급시스템의 개발에 따라 再檢討되고 있다. 요코하마시에서는 消化탱크의 형태를 결정할 시기에 즈음하여 오랜 기간에 걸친 소화탱크의 운전실적이나 독일에서의 실사례를 조사하여 景觀이 우수하며, 스크발생이나 모래의 축적이 적은 계란형 탱크를 채택하고 있다.

탈수기는 취급성이 좋은 원심분리기를 채택해 왔지만 소각로의 개발에 따라 남부 슬러지 처리센터에서는 소화슬러지의 자가연소를 목표로 하여 더욱 함수율을 낮게 할 수 있는 고압 벨트프레스 탈수기를 도입하고 있다. 소각로는 다단로, 유동로로 설치해 왔으나, 소각기술의 개발에 따라 연비를 1/2로 감소하는데 성공하고 있다. 배기가스중의 NOx, SOx, 매연은 스크러버 및 전기집진기 등으로 제거하여 法規制値에 대응하고 있다. 또한 소화가스를 유효하게 이용하는 소화가스 발전설비에 대한 연구를 실시하여, 전기는 買電과 병렬공급을 행하고, 회수열은 消化탱크의 加溫에 사용하며, 餘熱은 空調의 냉난방열원으로 하고 있다.

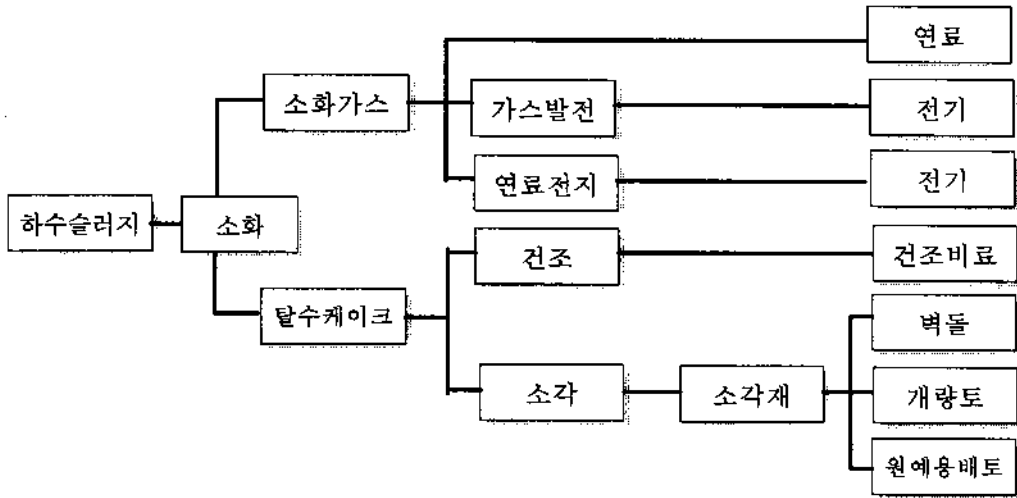
臭氣제거는 維持管理費用이 적게 드는 미생물을 이용한 土壤脫臭裝置가 이용되고 있다.

3) 슬러지의 유효이용

요코하마시의 경우, 埋立地의 기간연장을 위하여 발생슬러지의 거의 전량을 燒却처리하고 있으나 연간 25,000톤에 이르는 소각재가 발생하기 때문에 하수슬러지를 유효한 자원으로 평가하여 토양개량제, 벽돌, 공예품 및 건설자재 등의 再利用技術 개발을 추진하여 많은 공예품 등의 시제품을 성공리에 제작하였으며 대량생산 및 판매를 하기 위한 연구를 수행중이다.

현재 요코하마시에서의 하수슬러지 유효이용에 이용되고 있는 기술의 개요는 <그림 3.5>

와 같다.



<그림 3.5> 요코하마시에서의 하수슬러지 유효이용기술

가. 改良土플랜트

下水道工事에서 발생하는 軟弱한 잔토에 토질개량재로서 슬러지소각재를 添加混合함으로써 매립가능한 흙으로 개량하는 시설이다. 소각재와 잔토의 자원화 및 매립지의 기간연장 사용이 가능하게 되는 외에 山砂사용량의 감량이 기대된다. 시설물 처리능력은 30m³/時이며, 소각재 첨가량은 원료토의 건조중량에 대하여 30%이상이다.

나. 園藝用 人工培土

석회분이 적은 소각재를 이용하여 원예용재료인 인공배토(Hammer Soil, Super Hammer Soil)를 개발했다. Super Hammer Soil은 소각재에 마이크로 캡슐화한 질소비료와 溶存磷 및 硅酸을 첨가혼합한 후, 바인더(Binder)인 폴리비닐알콜에 의해 造粒化하여, 硫酸溶液으로 화학 처리한 후, 수세, 건조하여 완성한다. 이는 保守性, 吸收性, 通氣性이 좋고, 비료성분을 보유하

며, 물만 공급하면 좋고, 냄새도 없고 위생적이라는 등의 이점이 있다.

4. 大阪縣(오사카현) 및 兵庫縣(효고현):下水슬러지 廣域處理事業(ACE Plan)

오사카현은 근대적 하수도사업 착수 이래 100여년 동안, 하수도보급율이 95%를 넘어선지 20년이 경과되었다. 그 사이 우수, 오수의 배제로부터 수질보전기능이 증시되었고, 현재에는 슬러지 유효이용 등, 하수도의 자원적가치 활용을 목표로 하고 있다. 따라서 하수도의 역할은 시대에 따라 변화하는 것을 알 수 있으며 그 책임의 범위가 확대되는 경향이다.

하수도정비가 앞선 대도시에서는 하수슬러지의 증가가 현저하므로 그 처리·처분이 점차 곤란해지고 있다. 따라서 1986년에 日本下水道事業團法을 개정하여 복수의 地方公共團體가 관리하는 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 일괄적으로 처리하여 수집·처리하는 「下水슬러지廣域處理事業(ACE Plan : Agricultural Use, Construction Use, Energy Recovery)」을 일본하수도사업단이 사업주체가 되어 실시하도록 제도화되었으며 ACE플랜의 구조와 범위는 <그림 3.6> 및 <그림 3.7>에 나타내었다.

즉, <그림 3.6> 및 <그림 3.7>에서 알 수 있는 것처럼 ACE플랜의 구조는 하수슬러지 광역처리사업을 실시하기 위하여 日本建設省 산하인 하수도사업단에서 예산확보, 기본계획, 설계, 시공하는 것이다. 즉, 市·町·村에서 자체적으로 슬러지를 농축→탈수→소각하지 않고 집약시켜 처리하는 것으로서 경제성 및 환경친화적 관리를 도모하고 있다. 각 하수처리장에서 발생되고 있는 슬러지를 압송관에 의하여 집약시켜 그 곳에서 농축, 탈수, 소각하여 소각에서 발생되는 灰나 Slag를 건설자재 등으로 재이용하고 있다.

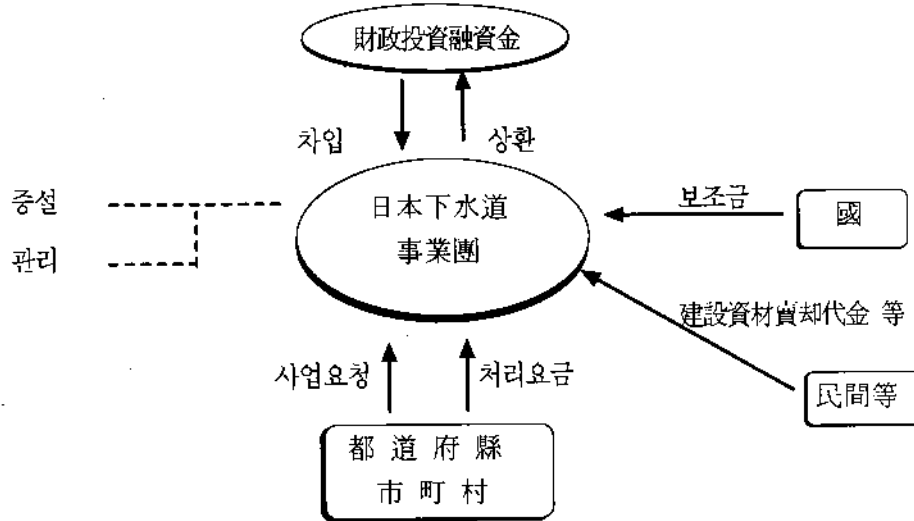
1) 제도의 개요

- 가) 하수슬러지 廣域處理事業은 복수의 地方公共團體의 참가에 의하여 地方公共의 요청을 받아 下水道事業團이 행한다.
- 나) 국고보조금은 직접 사업단에 교부하는 것으로 하고 국고보조금을 제외한 건설비는 사

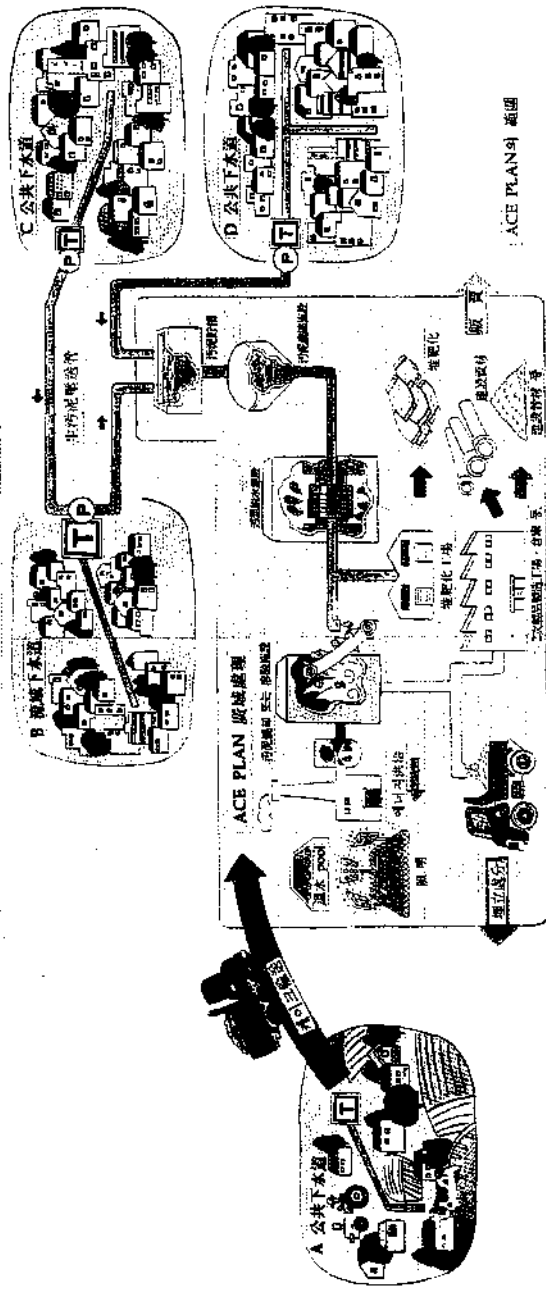
업단이 財政投資融資金을 받는다.

다) 슬러지를 溶融 등에 의해 減量化하여 資源으로서의 活用을 도모한다.

라) 事業團은 시설건설 후 그 시설의 維持管理를 행하고 관리대금 및 資材賣却代金 등에 의해 財政投資融資金을 償還한다.



<그림 3.6> ACE 플랜의 구조



<그림 37> ACE 플랜의 범위

2) 사업의 메리트

日本下水道事業團이 하수슬러지 廣域處理事業을 실시함에 따라 地方公共團體에는 다음과 같은 장점이 있다.

가) 建設費·維持管理費가 經濟的이다.

하수슬러지 廣域處理事業은 둘 이상의 地方公共團體의 終末處理과정에서 발생한 하수슬러지 등을 광역적으로 수집하여 일괄처리하기 때문에 建設費 및 維持管理費가 각 地方公共團體가 단독으로 행하는 경우와 비교하여 볼 때 경제적이다.

나) 슬러지 자원 이용

하수슬러지 廣域處理事業에서는 슬러지의 燒却, 溶融 등에 발생하는 slag 등을 가공하여 建設資材 등으로의 이용을 도모하기 쉽다. 각 處理場에서 개별적으로 再利用하는 경우와 비교하여 볼 때 廣域處理時에는 재이용할 수 있는 규모가 크기 때문에 비용을 절감할 수 있고, 동시에 제품을 안정적으로 공급할 수 있으며 상품성도 높일 수 있는 장점이 있다.

다) 財政投資融資金을 활용하므로 初期投資 負擔이 없다.

슬러지處理·處分 시설의 건설에는 초기에 集中的으로 매우 많은 建設費가 소요된다. 그러나 日本下水道事業團에서는 財投資資金을 활용하여 施設을 건설하고, 그 비용은 處理料金으로 징수하기 때문에 地方公共團體의 초기부담은 없다.

라) 低利·良質(低金利, 長期償還)의 자금을 활용하기 때문에 集中投資가 가능하다.

施設 건설시 國庫補助 이외에는 모두 投資資金(低金利, 長期償還)을 활용하기 때문에 필요한 施設을 단기간에 건설할 수 있고, 슬러지 處理問題를 근본적으로 해결할 수 있다.

마) 下水道 整備의 推進

日本下水道事業團이 본 사업을 실시함으로써 地方公共團體는 문제될 수 있는 슬러지의 處理·處分문제에 대해 개별적인 대응이 불필요하므로 그 슬러지 處理施設 이외의 下水道施設 整備를 중점적으로 추진할 수 있다.

바) 高度의 技術력을 支援받을 수 있다.

하수슬러지 廣域處理事業은 日本下水道事業團이 그 技術력을 총동원하여 최고의 技術로 건설하기 때문에 本 계획에 참가하는 地方公共團體는 事業團의 技術을 이용할 수 있고, 이에 따라 安심한 상태에서의 슬러지 處理·處分이 가능하다.

3) 事業實施 現況

本 사업의 실시는 兵庫地域(兵庫東, 兵庫西), 오사카시北東地域 및 오사카시南地域 등 계획지역 4개소에서 사업을 실시하고 있다. 오사카시北東地域에서는 1개의 府와 2개의 市에 있는 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지를 일괄 취합하고 1989년도에 중력식농축시설과 탈수시설(벨트프레스), 燒却爐(熔融燒却爐 10 DS·톤/日·2基) 등을 설치하여 처리하고 있다. 오사카시南地域에는 1개의 府와 3개 市, 1개의 시설조합에 위치하고 있는 처리장의 하수슬러지를 1990년도에 펌프施設과 濃縮施設(원심), 脫水施設(원심, 벨트프레스), 燒却爐(熔融爐·25 DS·톤/日·1基) 등을 각각 설치하여 운영하고 있다. 또한 兵庫東지역에서는 1개 府와 1개의 市에서 발생하는 하수슬러지를 1989년도에 광역처리하였으며 주요시설로는 슬러지移送施設과 燒却爐(乾溜爐 140DS·톤/日·1基), 그리고 返送水處理施設 등이 신설되었다. 兵庫西지역에서는 兵庫東지역과 같이 1개 府와 1개의 市에서 발생하는 슬러지를 1989년도에 일괄처리 할 수 있는 시설을 설치하였으며 그 시설명으로는 슬러지移送施設과 燒却爐(熔融爐 40DS·톤/日·2基), 그리고 返送水處理施設이 있다.

5. 名古屋市(나고야시)-下水슬러지 中央統合處理

나고야시에는 15개의 下水處理場이 있으며 처리용량은 약 120만 m^3 /일이며 하수도보급율은 '94년 현재, 93.6%이다. 下水處理場에서 발생하는 슬러지는 압송파이프관을 통해 4개의 슬러지處理場으로 이송시켜 집약처리하고 있다. 하루에 평균적으로 이송되는 슬러지의 총량은 처리수량의 1.7%에 해당되는 약 20,000 m^3 /일이다.

나고야시는 1908년에 下水管渠의 건설이 시작되었으며, 1930년에 일본에서의 최초의 표준활성슬러지법인 堀留(호리도메) 및 熱田(아즈타)下水處理場이 건설되어 가동되기 시작하였다. 또한 1932년에 天白(텐과쿠)슬러지處理場이 도시중앙으로부터 약 11km떨어진 연안지역에 건설되었는데 초기의 방식은 태양을 이용한 천일건조방식이었다. 그 후 하수슬러지는 탈수후 로타리킬른 방식을 통해 乾燥되어 비료로 再利用되었으며, 상품용으로 생산하여 "Nagoya-made Activated Sludge Fertilizer(나고야산 下水슬러지 肥料)"로 명명하였다.

그 후 1933년과 1934년에 露橋(즈유바시)와 傳馬町(텐마초)處理場이 건설되었으며 1960년대 초까지 4개의 下水處理場과 1개의 슬러지處理場이 유지되어왔다. 그러나 도시의 발달이 급격하게 진행되면서 下水處理場的 건설도 급격하게 이루어져 현재 15개의 下水處理場이 건설·운영중에 있으나 山崎(야마자끼), 柴田(시바다), 宝神(호진)下水處理場에만 슬러지처리시설을 추가로 건설하여 나고야시 15개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지를 압송관을 통해 이송하여 上記의 天白슬러지처리장을 포함하여 4개소에서 집약처리하고 있다.

한편, 처리해야 할 슬러지의 양이 증가하고 건조슬러지의 비료로서의 가치가 하락되면서 천일건조방식은 기계적인 脫水와 燒却으로 전환되었다. 또한 슬러지의 농경지 비료로서의 이용보다는 건설자재로의 再利用 방안이 모색되었다. 이로 인해 1964년에 山崎슬러지처리시설이 건설되어 기계에 의한 탈수방법을 도입하였으며 1968년에 燒却施設이 추가되었다. 1991년에 山崎와 柴田處理場의 처리용량을 증설하였으며 노후된 탈수설비와 燒却施設을 교체하였다.

하수슬러지 處理場은 구조적으로 농축, 탈수, 소각과정을 채택하였으며 혐기성소화시설이 제외되어 있다. 그이유는 埋立地 부지확보의 어려움으로 인해 슬러지를 소각하여 最終廢棄物

의 양을 줄이는 것이 필요하게 되었으며, 혐기성소화조 설치 없이 安全化, 安定化를 도모할 수 있기 때문이다. 실제로 1985년에 비해 1991년에는 埋立되는 양이 2/5로 줄었다. 오늘날 탈수케이크를 퇴비화하여 농농지에 이용하고 있으며 1970년까지는 판매하였다. 또한 소각재는 토양개량제로서 이용하기 위하여 1962년부터 지역 비료회사에 특수비료의 원료로서 일부 판매하였으며 1989년의 판매실적은 3,150톤이다. 한편, 건설자재로 이용하기 위하여 1983년부터 연구를 시작하여 현재에는 많은 제품을 생산하여 판매하고 있다. 고분자계의 소각재에서는 경량골재화, 토관재료, 투수성블럭원료, 슬러지타일원료로서 이용하였으며 1989년에 토관재료로서 630톤, 투수성블럭재료로서 308톤을 이용하였다. 한편 석회계의 소각재는 1987년부터 연약지반의 개량재 및 관거공사후의 포설토로 이용하고 있다. 또한 소각사에 발생하는 폐열을 도심 실내수영장의 난방공급 등에 이용하고 있다.

6. 샷보로시

샷보로시는 1995년 현재, 처리면적 21,712ha, 관거연장 7,348.2km, 처리인구 1,733천인, 시설용량 1,154천 m^3 /일, 수세화인구 1,715천인, 총인구 1,757천인으로서 下水道普及率은 98.6%를 나타내고 있다.

하수도사업은 1925년부터 시작하여 1972년의 동계올림픽을 계기로 적극적인 확장사업을 전개하였으며 현재는 9개의 下水道處理場, 17개의 펌프장, 슬러지처리센터(샷보로시 서부 슬러지센터), 퇴비화공장(샷보로 콤포스트), 침사세정센터가 각 1개소 가동되고 있다. 1970년에 19.2%인 下水道普及率이 1995년에 98.6%에 달하여 대부분의 시민이 下水道의 혜택을 보고 있다. 또한 下水道普及率 100%를 달성하기 위하여 최선을 다하고 있으며, 계속적으로 기성단지나 집락시설에 대한 下水道整備를 추진하고 있다.

샷보로시의 슬러지처리는 최초에는 1967년에 완공된 創成川(소세이가와) 하수처리장 및 1968년에 완공된 伏古川(후시꼬가와) 하수처리장의 탈수케이크를 농가에 토지개량재 등으로 이용하였으나 지하수 및 토양오염, 악취 등의 환경오염 문제와 매립지의 확보가 곤란하여 소

각 및 퇴비화로 정책이 전환되었다.

한편, 슬러지 처리는 연간 총발생량 177,000톤에 대하여 燒却이 82%, 堆肥化 10%, 陸上埋立 8%로 되어 있다. 創成川(소세이가와), 厚別(아즈베쓰), 手稻(테이네), 茨戸(바라또), 伏古川(후시코가와), 定山溪(조잔케이), 拓北(타쿠호쿠)처리장에서 발생하는 슬러지는 각 처리장에서 탈수케이크를 삿보로시 서부 슬러지센터로 트럭으로 운반하여 그곳에서 집중 燒却하고 있다. 그러나 1999년부터는 교통량 및 대기오염을 저감시키고 효율적인 관리가 가능한 압송관에 의하여 농축슬러지를 서부슬러지센터로 이송시켜 소각할 예정이다. 1983년에 100톤/일의 규모로 출발하여 계속적으로 100톤씩 증설하여 현재 시설능력은 4계열로서 하루 400톤이며, 현재 공사중에 있는 150톤/일의 소각로가 1999년에 완공될 예정에 있고 향후 150톤/일의 증설계획을 갖고 있다. 新川(신카와) 및 豊平川하수처리장에서 발생하는 하수슬러지는 각 처리장내에서 열처리 슬러지농축조에서 농축한 후, 기압탈수기로 탈수하여 소각시키고 있다. 또한 서부슬러지처리센터, 퇴비화공장, 침사세정센터의 시설유지관리는 삿보로시가 출연한 재단법인 삿보로시 하수도자원공사에서 위탁관리하고 있다. 燒却爐는 계단식 스톡방식으로서 연소회수열을 회수한 슬러지 間接乾燥 燒却方式을 채택하고 있다. 소각재는 건설공사 및 陸上埋立地의 복토용으로 이용하고 있으며, 일부는 벽돌을 생산하여 보드용포장재로 이용하고 있다.

堆肥化는 厚別(아즈베쓰)하수처리장에서 발생하는 슬러지중에서 일부 소각하고 있으나 대부분 농축, 탈수한 후, 퇴비화공장에서 75톤/일의 탈수케이크를 약 2개월간 완숙 발효시켜 만들어진 퇴비를 유기질 토양개량재로서 이용하고 있으며, 1995년에는 농가, 골프장 등에 5,300톤을 공급하였다. 참고로 手稻(테이네)침사세정센터에서는 처리장, 펌프장, 하수관의 청소로부터 발생하는 침사를 1개소에 운반·집약시켜 하수처리수를 이용하여 효과적으로 세정하는 시설로 1992년 4월부터 운전이 시작되었으며 처리능력은 투입침사량으로서 시간당 8m³이다. 세정된 침사는 테이네 처리장 근처의 슬러지처리 전용 前田(마에다)매립지 시설의 복토재 등으로 유효하게 이용되고 있다.

7. 기타 아시아 主要國家

1) 中國

중국인들의 식생활 문화가 대체적으로 채식위주로 되어 있고 도시에서 발생하는 下水에 분뇨가 포함되어 있지 않은 상태에서 下水處理場으로 유입되며, 공장폐수가 하수와 혼합되어 처리되기 때문에 하수슬러지의 특성은 유기물함량이 낮고 무기물질을 많이 함유하고 있다. 또한 공장폐수의 혼합처리로 인해 都市下水內에 중금속 성분이 많이 함유되어 있는데 이 중 약 50%의 중금속이 하수슬러지에서 발견되어 중금속 함유량이 기준치를 초과하는 것이 빈번한 실정이다.

1991년 통계에 의하면 都市下水 발생량은 98백만 m^3 /일이며 이 중 가정하수는 31백만 m^3 /일로 전체의 32%를 차지하고 있다. 이에 따른 슬러지 발생량은 8,986톤/일이나 2000년에는 60,000~90,000톤/일로 급격하게 증가될 것으로 예상하고 있다.

현재 中國의 下水處理場에서 운영되고 있는 슬러지 처리·처분과정을 살펴보면 대부분 농축과 소화, 경우에 따라서는 탈수과정을 거쳐 農耕地에 이용하거나 埋立하는 것이 일반적이다.

또한 中國에서 하수슬러지는 벽돌을 만드는 보조재료로도 이용되고 있다. 상하이시에서는 석면보드 제조에 하수슬러지를 이용하고 있으며 몇몇 下水處理場에서는 세라믹을 만드는데 보조재료로 이용하고 있다.

이외에 하수슬러지를 연탄을 만들 때 에너지의 자원으로 이용하는 실험이 Huangsi 下水處理場에서 성공적으로 시행되었으며 유기물함유량이 40%, 함수율이 80~85%가 되면 연탄재 칼로리 함유량은 20,395KJ/kg 이상을 보이는 것으로 나타났다.

2) 臺灣

臺灣의 수도 타이베이에는 30만 m^3 /일의 용량을 갖는 下水處理場을 가지고 있다. 그 곳에서 발생하는 슬러지는 계란형 혐기성소화조에 의해 유기물의 무기물화(안정화), 중금속 및 잡균

의 분해 및 박멸(안전화) 또는 減量化가 이루어지고 있으며 소화 슬러지를 기계탈수한 후 탈수케이크를 衛生埋立하고 있다.

3) 싱가포르

싱가포르의 경우, 重力式에 의한 농축슬러지를 기계적인 탈수과정에 의해 혐기성소화조에 서 처리된다. 탈수케이크의 양은 연간 19만톤이며 탈수케이크는 조경과 식수사업에 이용되고 있다. 그 외의 여분량은 토지개량이나 간척지에 이용되고 있다.

8. 英國

영국의 경우, 하수슬러지는 연간 약 3,500만톤이 발생되며 이중 약 50%가 농경지 및 토양에서 再活用되고 있고 30%는 海洋投棄하며 나머지는 燒却하거나 埋立하여 처분하고 있다.

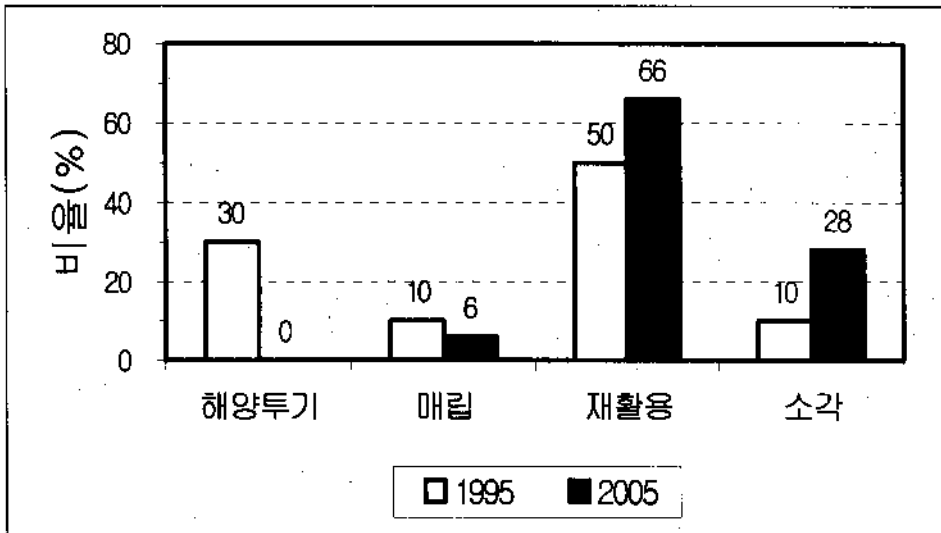
발생된 대부분의 슬러지는 埋立량을 줄이기 위해 수분함량 및 우려가 되는 성분을 감소시키고 에너지로 활용하기 위해 몇가지 처리과정을 거치게 되는데, 이러한 공정을 거치게 되면 연간 2,500만톤으로 감소하게 된다. 일반적으로 수분함량의 범위가 너무 광범위하기 때문에 슬러지 발생량은 일반적으로 건조중량 단위로 표현하며 이와 같이 건조중량으로 표현하게 되면 연간 110만톤이 발생하게 된다.

최근에는 110만톤의 약 절반정도가 농경지 등의 토양비료제로 이용되고 있다. 1990년과 1991년 사이 英國은 전체의 0.3%만을 농경지에 이용하고 나머지는 배를 이용하여 해양에 투기하거나(약 30%) 埋立 또는 燒却하였다(약 10%). 또한 소량의 슬러지가 林野나 堆肥를 필요로 하는 토양의 개량제로 이용되었다.

그러나 다가오는 2005년도 이후의 하수처리는 보다 확장될 것이며 몇가지에서는 처리기준이 강화될 것으로 예상되어 장래 하수슬러지 발생량은 연간 150만톤이 될 것으로 추정되었다. 또한 향후 추세가 1998년에 海洋投棄가 금지되기 때문에 슬러지를 효율적으로 再利用할 수 있는 방안에 대해 대책을 마련하고 있는 실정이며 특히, 런던시의 경우 소각로가 준공되는

1998년부터는 전량 燒却에 의해 하수슬러지를 최종 처리·처분할 계획이다.

그 결과, 하수슬러지를 처리·처분하기 위한 방안으로 <그림 3.8>에서 알 수 있는 것처럼 再利用과 燒却의 역할을 강화하는 정책을 제시하고 있으며 埋立은 계속적으로 감소시킬 계획을 수립하고 있다. 그러나 영국정부의 입장에서 보면, 발생하는 슬러지를 토지에 살포하는 것이 가장 경제적인 방안이 된다는 측면에서 슬러지의 土壤撒布를 조절하는 방안과 엄격한 폐기물의 관리 측면을 검토하고 있다. 즉, 지속적인 安定性을 확보하는 것이 가장 중요한 문제라는 것을 인식한 상태에서 환경친화적인 조절이 가능한 양의 슬러지를 토양에 살포하는 것을 장려하고 있다.



<그림 3.8> 영국의 1995년도 하수슬러지 처분현황 및 2005년도 처분계획

第 4 章 下水슬리지 處理 · 處分方案 檢討

第 1 節 概要

현재 하수슬리지 處理 · 處分に 이용되고 있는 단위공정은 처리목적과 기능에 따라 <그림 4.1>과 같이 구분할 수 있다. 하수슬리지 處理 · 處分 방법은 <그림 4.1>에서 보는 바와 같이 처리프로세스 및 중간 처리프로세스, 그리고 최종 처분프로세스로 구분할 수 있다. 처리프로세스라고 하는 것은 농축, 소화, 기계탈수와 같이 減量化를 주요 목적으로 하고 있다. 처리는 최종처분을 위하여 탈수케이크를 감량 또는 安定化 시키는 방법으로 堆肥化, 燒却, 溶融, 固化 등이 이에 해당한다. 한편 최종처분은 처리공정에서 발생되는 최종산물을 埋立 또는 再利用하는 것이다.



<그림 4.1> 하수슬리지 처리 · 처분 계통도

第 2 節 處分方案 檢討

1. 燒却

燒却은 공기중의 산소를 이용하여 가연성 물질을 연소시키는 방법으로 최근의 埋立地難 해소를 위한 폐기물의 減量化, 유기물의 무기물화를 위한 화학적·생물학적 安定化, 잡균, 부패성물질 처리를 위한 부패성물질 처리를 위한 安全化 등의 廢棄物의 처리공법으로 많이 이용되고 있다.

또한 연소시 발생하는 폐열을 이용하여 발전이나 난방 등으로 再利用할 수 있어 오래전부터 도시 廢棄物 처리 등에 많이 활용되어 왔으며, 유해폐기물의 경우 슬러지 특성상 安定化 및 안전화 효과 보다는 埋立場의 한계 등을 극복하기 위한 減量化 문제가 우선시되면서 대도시를 위주로 추진되어왔다. 선진외국에서는 대도시를 중심으로 기존의 埋立방법에서 燒却으로 전환하고 있는 추세이다.

燒却處理의 장점으로서는

- 위생적인 처분이 가능하다.
- 부패성이 없다.
- 脫水케이크에 비해 혐오감이 없다.
- 슬러지 용적이 최소용적의 10~20%로 감소된다.

그러나 燒却은 고열을 취급하는 방법이므로 기본적으로 요구되는 효율성이나 안정성 등이 燒却 대상물질에 따라 변화하여 여러 종류의 방법이 있으며 아직도 꾸준한 연구가 진행중에 있다.

燒却方式의 종류로는 스토키식, 유동상식, 로타리킬른식(회전로)이 있으며 각각의 원리 및 특성, 장·단점은 <표 4.1>과 같다.

<표 41> 소각로의 비교평가표

항목	스토카식 소각로	유동상식 소각로	로타리킬른 소각로
구조적 특징	로내에 화격자를 설치해서 그 위에 폐기물을 투입하여 소각하는 방식으로 비교적 발열량이 낮은 생활폐기물의 경우에는 연소용 공기를 화격자 하부로부터 공급하는 상향연소 방식을 택함	로내에 유동매체(모래 또는 석회석 등)가 적절한 높이까지 채워져 있고 연소용 공기는 유동매체의 하부에 있는 공기분산판을 통해 주입하는 방식으로 유동매체는 하부로부터 유입되는 가스에 의하여 격렬한 운동을 하여 혼합을 증진시키고 열전도도 용이하게 됨	원통형의 소각로로 0.5~8도의 각도로 기울어져 있으며 폐기물의 혼합을 높이기 위해 소각로가 지속적으로 회전하며 회전속도는 0.5~5rpm임. 상부에서 투입된 폐기물이 소각로를 따라 연소되면서 출구에서는 재만 남게 되는 방식임
소각대상 폐기물	혼합쓰레기 (가연성분+불연성분)	가연성분쓰레기	혼합쓰레기 (가연성분+불연성분)
전처리 과정	불필요	가연성분만을 소각해야 하기 때문에 가연성분의 철저한 분리와 파쇄 등의 전처리가 필요	불필요
소각처리 규모	대용량이 가능하며 기당 일처리규모 1,000톤 이상이 설치된 예도 있음	기당 일처리 규모 200톤 이상은 기술적인 문제로 비효율적	대용량이 가능함
과잉공기비	1.5~2.5	1.15~1.3	2~3
소각효율	화격자의 설계 여부에 따라 소각효율이 좌우되며 일반적으로 소각효율이 떨어지고 수분 함량이 많은 쓰레기의 경우에는 보조연료 등의 사용이 불가피함	쓰레기가 연소 공기와 격렬하게 혼합되기 때문에 열전도 효과가 크고 소각상태를 균일하게 유지할 수 있어 소각효율이 아주 우수한 것으로 평가됨	쓰레기와 연소용 공기와의 접촉 효과가 떨어져 완전 연소를 위해 일반적으로 2차 연소실이 구비되어 있음. 일반적으로 소각효율이 좋지 못한 것으로 평가됨.
보조연료량	보통	적다	크다
에너지 이용률	높음	낮음	낮음
유지관리	소각로내의 기계적인 구동부분이 많아 고장 가능성이 높음	구조가 단순하고 기계적 구동부분이 적어 유지관리가 용이함	구조가 단순하고 기계적 구동부분이 적어 유지관리가 용이함
건설비용	1.5	1.0	1.4
운영비용	1.5	1.0	1.3

2. 溶融

焼却后 소각재의 減量化와 소각재 안에 포함된 重金屬 등의 문제로 인해 최근 溶融이 관심을 끌게 되었다. 溶融은 重金屬을 슬래그 속에 포함시켜 최종적으로는 슬래그를 건축자재로 이용하는 등의 연구가 진행되고 있다.

溶融爐의 종류는 다양한 방법으로 분류가 가능하며 가열방법에 따라 직접 불을 사용한 화염(flame-fired)로와 전기로로 구분할 수 있다. 또 열원에 따라서 탄소원의 연소열을 이용하는 것과 전기를 이용하는 것으로 나누어지며, 탄소원을 사용하는 溶融爐에서는 배기가스의 양이 많은 것이 단점이다. <표 42>와 <표 43>에 나타난 바와 같이 表面溶融爐(Surface melting furnace)는 슬러지 자체의 열량을 이용하는 시스템에 적합하고, Coke bed 溶融爐는 높은 열량의 석탄을 이용해서 높은 온도를 유지할 수 있으면서 고온의 溶融溫度를 유지할 수 있다.

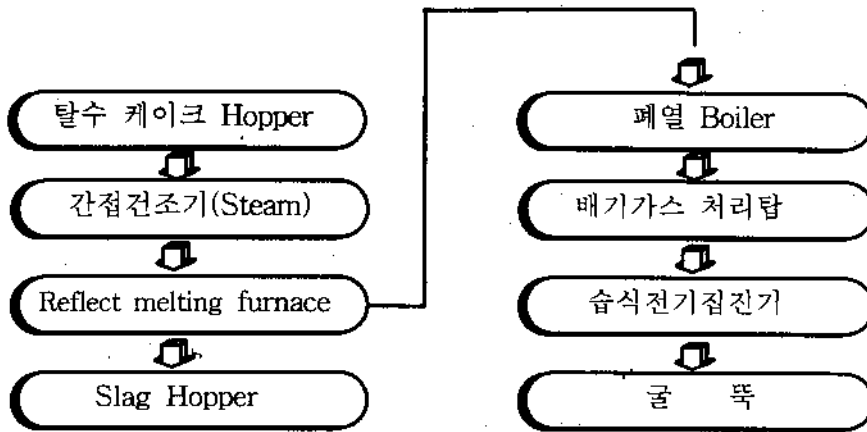
<표 42> 탄소원을 열원으로 사용하는 용융장치

용융방법	표면용융로 (오일버너 사용)	Coke로 (Coke 사용)	자기연소내부용융방법 (소각미연+전기heater)
용융로의 특징	<ul style="list-style-type: none"> 로내온도 : 1400℃ 일정한 크기의 회분투입 구조가 비교적 간단 불연물처리 가능 배기가스량이 전기로에 비해 큼 	<ul style="list-style-type: none"> 로내온도 : 1700℃ 열원은 Coke, 염기도 조절을 위한 석회석 주입 필요 생성슬래그 양호 배기가스량이 전기로에 비해 큼 	<ul style="list-style-type: none"> 로내온도 : 1300℃ 소각재 중의 10~15%정도의 미연탄소분으로 용융 소각로와 직렬연결 가능 배기가스량이 전기로에 비해 큼
유지관리성 조작성 안전성	<ul style="list-style-type: none"> 연속운전 및 장시간 실적이 적음 운전자동화 가능 철 등의 사전제거 필요(에너지 절감) 	<ul style="list-style-type: none"> 연속운전 및 장시간실적이 적지만 안정성 양호 내화재의 주기적인 교체 철 등의 사전제거 필요(에너지 절감) 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 적용사례 없음. 일정한 미연탄소분의 유지 곤란 소각로와 용융로의 연동제어가 어려움 보조열원 필요
전처리 및 후처리설비	<ul style="list-style-type: none"> 입도 조절용 파쇄기, 자석선별기, 진동분리기 필요 금속분진의 안정화 시설필요 	<ul style="list-style-type: none"> 입도조절용 파쇄기, 조립기, 자석선별기, 진동분리기 등 필요 공기예열기 	<ul style="list-style-type: none"> 철분제거 필요 슬래그의 질유지 곤란 큰 덩어리의 용융이 어려움
감량 비율	0.74	1.0 (석회석 투입)	약 0.74

<표 4.3> 전기를 열원으로 하는 용융장치

용융방법	전 기 로			
	아크(arc)가열	플라즈마 가열	저항가열	저주파
용융로의 특징	<ul style="list-style-type: none"> · 로내온도 : 1400℃ · 용융안정성 양호 · 열전달 양호 · 로의 제어가 완성됨 · 전극의 자동 공급 	<ul style="list-style-type: none"> · 로내온도 : 1500℃ · 전기노이즈 없음 · 배기가스 적음 · 플라즈마 이송가스로 공기 사용시 NO_x 대책 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 로내온도 : 1500℃ · 열손실 적음 · 로상부의 300℃ 부근에 안정층 형성에 안정층 형성에 의해 배기가스 배출 	<ul style="list-style-type: none"> · 로내온도 : 1400℃ · 보조로 필요 · 슬래그 중의 철분제거 필요
유지 관리성 조작성 안전성	<ul style="list-style-type: none"> · 실증됨 · 회분의 건조 필요 · 감시운전이 필요 · 내화물 일정 주기로 교환 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 전처리 필요 · 토치의 주기적인 교환이 필요(전극) 	<ul style="list-style-type: none"> · 장시간 운전경험은 적음(슬래그의 질은 좋음) · 내화물의 주기적보수 	<ul style="list-style-type: none"> · 실증실험 중(일본)
전처리 및 후처리 설비	<ul style="list-style-type: none"> · 입도조절용 파쇄기, 건조기, 자선기 · 휘발 금속분진 제거 장치 · 중금속 분진안정화 	<ul style="list-style-type: none"> · 입도조절용 파쇄기, 건조기, 자선기 · 휘발 금속분진 제거 장치 · 중금속 분진안정화 	<ul style="list-style-type: none"> · 입도조절용 파쇄기, 건조기, 자선기 · 강제배가스 처리 · 중금속 분진안정화 	<ul style="list-style-type: none"> · 입도조절용 파쇄기, 건조기, 자선기 · 강제배가스 처리 · 중금속 분진안정화
감량비율	0.74	0.74	0.74	타 전기로보다 큼

하수슬러지는 그 자체가 고에너지원이기 때문에 이러한 특성을 이용해서 熔融시스템을 적용하는 것이 가능하고, 또 이를 위해 슬러지의 함수율을 최대한 낮추기 위한 고효율의 Belt press를 갖추고, 고분자응집제를 투입하여 슬러지의 함수율을 76%이하로 낮추는 것이 좋다. 일본의 Oyabe시의 Futakami 下水処理場의 경우는 슬래그 생성을 최소화하기 위해서, 염기도 조절을 위한 무기보조제를 전혀 사용하지 않았으며 <그림 4.2>와 같은 기본계통도에 준하여 처리시스템을 구축하였다.



<그림 4.2> Futakami 하수처리시설의 슬러지 용융 System 기본계통도

3. 熱分解

1) 熱分解의 原理

원료물질을 무산소상태에서 가열하여 가스와 오일(Oil), 차르(Char)들로 분해하는 과정을 말한다. 熱分解는 생성물의 종류에 따라서 순수 熱分解와 액화, 가스화 등으로 분류하기도 한다. 이들은 세가지의 공정으로 분류할 수 있는데 다음과 같다.

· 熱分解(Pyrolysis)

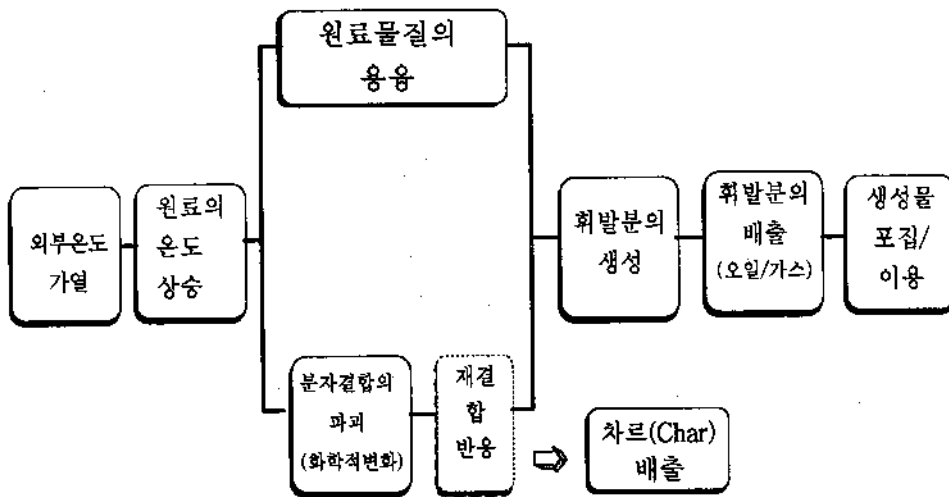
산소나 수증기, 고온의 이산화탄소를 주입하지 않고 간접 가열에 의해서 탄화물질 또는 탄화수소 물질을 기체, 액체, 고체물질로 분해하는 것을 말한다.

· 가스화(Gasfication)

건류화라고도 하며, 탄화물질을 산소나 수증기, 고온의 이산화탄소와 반응시켜 연료가스를 얻는 과정이다. 가스화 반응기에는 차르를 생산하기 위한 熱分解 공정이 포함될 수 있으며, 가스화에 필요한 열은 보통 차르의 부분 연소반응에 의해서 발생하는 연소열로 공급되고, 연소공기에 의해서 熱傳達이 일어난다.

· 液化(Liquefaction)

연료가스보다는 유기 액체를 얻기 위한 공정으로서 액체 生成物에 중점을 둔 熱分解 공정도 液化로 분류할 수 있다. 그러나 대개는 촉매수소화나 먼저 일산화탄소와 수소의 합성가스를 생성시킨 후 촉매를 이용하여 메탄올, 가솔린, 중유, 기타 유기 액체를 생산하는 공정이다. 熱分解工程은 흡열반응으로서 열의 공급형태는 직접가열방식과 간접가열방식이 있다. 直接加熱方式은 반응기 내부에서 원료나 보조연료를 연소시켜 열을 공급하는 방식으로 주로 연료가스를 생산하는데 이용되나, 생산가스에는 이산화탄소, 수증기 및 질소의 함량이 크기 때문에 연료가스의 열량이 낮은 문제점을 가지고 있다. 반면에 間接加熱方式은 반응기의 벽이나 별도의 매체를 이용하여 열을 공급하는 방식으로 열공급의 효율성 문제가 있다. 일반적인 熱分解 반응은 <그림 4.3>과 같이 진행된다.



<그림 4.3> 일반적인 열분해 반응의 진행과정

슬러지의 熱分解는 乾燥工程이 전처리로서 반드시 필요하며 산소가 없는 상태에서 有機物에 열을 가해 有機物의 다른 연료나 에너지원(오일, 가스 및 차르)으로 전환시키는 공정이다. 통상적으로 슬러지의 熱分解 조건은 다음과 같다. 온도는 250~1000℃ 정도되며 압력은 1~

170기압 정도된다. 슬러지의 운전조건에 따라 공정이 분리되고 있으며 생성물의 변환은 <표 44>와 같다.

<표 44> 슬러지 열분해공정의 종류 및 생성물

열분해공정	운전조건	생성물 분포
고온저압 부분탈수 열분해	온도 : 250~350℃ 압력 : 100~170기압	오일과 차르 : 60~70% 가스 : 3~40%
고온저압 완전탈수 열분해	온도 : 250~450℃ 압력 : 대기압	오일 : 53~60% 차르 : 35~40% 가스 : 10%

4. 固化

슬러지의 고화는 탈수케이크에 고화제를 첨가하여 슬러지의 물리적 성상, 화학적 성상을 개선해 최종처분의 작업능률의 촉진, 중금속류 등 유해물질의 무해화, 안정화를 도모하는 것이다.

탈수케이크 함수율은 일반적으로 75~85% 정도로 토질역학적 강도가 연약하여 육상매립으로 처리할 경우, 불도저, 작업차량 등의 매립작업에 많은 지장을 초래하고 있다. 또한 해양투기에 대해서는 수중에서의 케이크 붕괴, 함유물질의 용출등의 방지책이 필요하다.

슬러지의 고화목적은 정리하면 다음과 같다.

- (1) 토질역학적 강도의 증가
- (2) 浸漬에 의한 고체붕괴방지
- (3) 유해물질의 용출방지
- (4) 악취의 발생방지

슬러지의 최종처분 상황, 형태 등에 따라 고화제의 선택, 혼합비, 混練機械의 종류등이 결정된다. 슬러지와 고화제의 혼합에는 일반적으로 전단작용을 이용하여 균일한 분산혼합을 하

는 混練機가 사용된다.

고화제로서는 보통 포틀랜드시멘트, 조강시멘트, 高爐시멘트 등 각종시멘트, 알루미늄계 특수시멘트, 아스팔트, 플라스틱, 생석회 등이 있다.

고화제의 요건을 정리하면 다음과 같은 점을 만족해야 한다.

- 1) 매립재로써 충분한 강도, 지지력이 얻어져야 할 것
- 2) 고화시간은 단시간으로 용적증가가 적을 것
- 3) 장시간 안정된 고화능력을 보유, 붕괴하지 않을 것
- 4) 고화제 자체에 유해물을 포함하지 않을 것
- 5) 첨가량이 소량으로 효과가 있을 것
- 6) 혼합반죽 작업이 용이하며 가격이 저렴할 것
- 7) 안정공급이 가능한 것

(1) 생석회를 이용한 고화

하수슬러지에 생석회를 주성분으로 하는 물질을 혼합시키면 흡수발열반응이 일어나 슬러지 중의 수분을 화학수의 형태로 거둬드리고 석회자체의 수화반응에서 발생하는 열에 의해 수분이 증발되면서 슬러지중의 수분이 감소되고 압밀이 촉진된다. 또한 석회의 칼슘이온이 물에 분산되어 있는 토립자에 가해지면 토립자의 표면에 흡착되어 있던 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} 등이 Ca^{2+} 에 의해 치환되고 이로 인해 서로 반발하고 있던 토립자가 접근할 수 있게 되어 단결화가 이루어지는 이온교환반응이 진행된다.

이온교환반응 후에는 점토성분으로부터 수중에 용출된 콜로이드실리카와 콜로이드알루미늄이 증가하여 석회의 Ca^{2+} 와 반응하여 지금까지 존재하지 않았던 새로운 복잡한 화합물을 형성하는 포졸란반응이 진행되고 이들 반응생성물들은 장기간에 걸쳐 생성되어 이들이 결합재로 되서 고화가 되고 강도, 내구성이 발휘된다.

또한 장기적으로 석회가 공기중의 탄산가스와 반응해서 탄산칼슘(CaCO_3)을 형성하는 반응이 일어나 흙을 고결시켜 슬러지가 안정한 상태를 보이게 된다.

현재 국내의 경우, 대구 남천폐수종말처리장에서 5톤/시간 용량의 고화처리시설이 시범적으로 운영되고 있으나 고화제로 생석회만을 이용하고 있어 다른 고화제를 첨가하는 것에 비해 고화강도가 낮아 고화처리라기 보다는 안정화처리에 가까운 실정이다.

한편 미국 뉴저지주 Middlesex County 지역의 경우, 과거 하수슬러지의 해양투기가 금지되고 인근 생활쓰레기 매립지의 복토재 자원의 부족으로 인해 1990년대 후반부터 인근 Middlesex County 하수처리장에서 발생되고 있는 하수슬러지('91년 180,000톤/년)를 생석회 및 시멘트 제조공정에서 발생한 재와 혼합하여 고화처리하고 이를 매립지 복토재로 이용하고 있다.

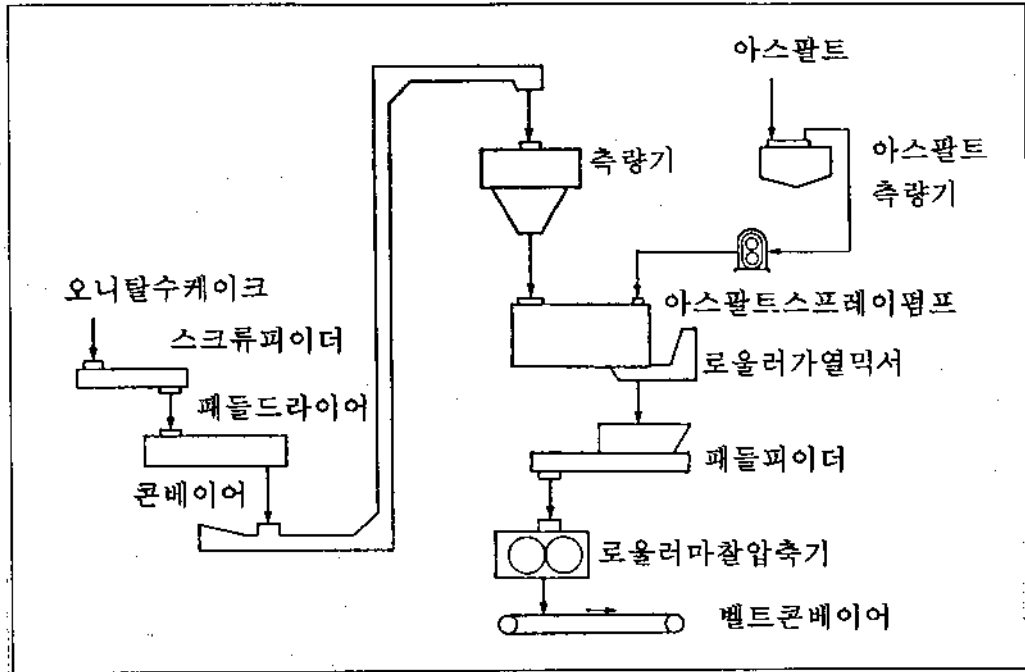
(2) 시멘트 고화

소량의 고화제로써 단시간에 효과를 얻을수 있는 것은 알루미늄계 특수시멘트이다. 이 시멘트는 단시간에 응결화되며 동시에 탈취, 유해물의 흡착, 고착성을 높이는 작용이 있다.

그러나 보통의 포틀랜드시멘트, 조강시멘트 등은 단기간에 강도를 얻기 힘들며 첨가량도 많이 필요해서 고화제로서의 효과가 미약하다. 따라서 알루미늄계 특수시멘트를 고화제로 하여 탈수케이크의 중량에 대해 약 10%의 고화제와 약 10%의 소각재를 혼합해서 혼합반죽한 후, 양생장소에서 2~3일간 정치한 후 처분지에 반출할 경우 효과가 높은 것으로 보고되고 있다. 이 때 운전방식은 연속식으로 하여 혼합반죽 시간은 약 1분간, 능력은 30m³/h로 한다. 함수율이 80%인 탈수케이크에 10%의 소각재와 10%의 고화제를 혼합반죽하고 3일이 경과되었을 경우에 일반적으로 일축압축강도는 1.0~1.1kg/cm²정도이다.

(3) 아스팔트 고화

아스팔트를 혼합제로 이용한 아스팔트 고화는 슬러지를 아스팔트와 혼합반죽하여 고화 처리한 후 토질역학적 강도를 증가함과 동시에 유해물이 용출·확산되지 않도록 안정화한다.



<그림 44> 연속식 아스팔트 고화공정

<그림 44>는 아스팔트를 고화제로 한 연속식 아스팔트 고화공정의 예이며 함수율 5~10% 정도로 건조하기 위해 90℃정도로 가열한 슬러지와 170℃로 용융한 아스팔트를 슬러지 고형물당 25~28%정도 첨가해 혼합반죽한다. 이 후 80℃정도로 공기냉각한 혼합반죽물을 성형기에 공급하여 고화시킨다.

고화물의 밀도는 성형전의 약 2배로서 감량화를 도모한다. 壓縮強度는 장기간에 걸쳐 물과 접촉한 후에도 거의 강도를 유지할 수 있다. 또한 유해물질(시안 제외)도 고화되어 용출량이 상당히 감소하는 장점이 있다.

(4) 제강전로슬래그를 이용한 고화

본 처리기술은 하수슬러지의 고화처리에 폐기물인 제강전로슬래그 분말을 주 고화제로하고 소량의 생석회를 보조 고화제로 이용하는 처리기술이다.

현재, 제강제철공정에서 다량 발생하고 있는 제강전로슬래그는 대부분이 매립처분되고 있으나 슬래그내에 일반 고화제와 같이 CaO성분이 다량 함유되어 있어 이러한 특성을 이용하여 하수슬러지와 혼합하여 고화시키고 있으며 현재 많은 연구가 진행중에 있다.

본 고화처리는 제강전로슬래그와 하수슬러지와 같은 폐기물을 매립지 복토재 등으로 재이용할 수 있다는 장점이 있으며 국내에서 사용되고 있는 생석회 및 고화제의 경우, 단가가 비싸기 때문에 다량 처리가 이루어지지 못하는 실정에서 본 방안은 경제적으로 많은 효과를 얻을 수 있다. 또한 기술자료 검토결과, 일축압축강도면에서 다른 고화방식과 유사한 효과를 보이는 것으로 나타났다.

5. 堆肥化

1) 정의 및 원리

유기성 폐기물을 토양미생물의 작용에 의하여 호기성조건으로 분해시켜 그 중의 분해성 성분을 가스화하여 안정화하는 방식을 퇴비화(Compositing)라고 하며, 하수슬러지의 퇴비화라는 것은 하수슬러지의 녹농지 이용을 주요한 목적으로 하여 퇴비화기술에 의하여 탈수케이크 단독 혹은 통기개량제를 혼합하여 발효시켜 이것에 의하여 안정화를 기하는 프로세스로 정의할 수 있다.

하수슬러지는 다량의 유기물과 질소 등의 비료성분을 함유하고 있으며, 통기성 확보 등과 같은 물리적으로 토양을 개량할 수 있는 특성이 있다. 따라서 최근에는 슬러지를 호기성으로 발효시켜 안정화처리한 후 녹농지로 환원하는 처분방법이 중소도시를 위주로 실용화되고 있다.

한편 퇴비화의 장점으로는 호기성미생물에 의한 분해이므로 악취를 감소시키고 비교적 안정한 재료를 단기간에 만들 수 있다는 점과 분해중에 생긴 발효열에 의해서 많은 유해세균을 살균할 수 있다는 점 및 퇴비화된 슬러지는 탈수케이크에 비해 뚜렷하게 취급이 우수하며, 토양개량제 등의 유효한 자원으로 활용할 수 있다는 점이다. 퇴비화의 과정은 전처리, 1차발효,

2차발효, 가공·저장의 4단계로 나누어진다.

퇴비화의 요구조건은 슬러지 종류, 탈수조제의 종류, 탈수기의 종류, 첨가물의 유무 등에 따라 다소 차이가 있지만 기본적인 항목은 다음과 같다.

(1) 유기물

호기성발효를 충분히 시키기 위해서는 미생물이 활동하는데 필요한 유기물이 있는데, 고분자계 케이크는 40%이상, 석회계 케이크는 30% 이상의 유기물이 필요하다고 알려져 있다. 유기물의 분해속도는 탄소계유기물과 질소계유기물의 비(C/N)에 좌우되는데, 미생물 세포의 구성비가 약 10 내외이므로 탈수케이크의 C/N비도 이 값에 가까운 것이 바람직하다. 한편 C/N비가 높으면 농지에 사용한 후 식물에 질소부족현상을 일으켜 퇴비가 잘 형성되지 않아 퇴비화의 소요기간이 길어진다. 반면에 적을 경우에는 퇴비화 과정에서 질소가 많이 유실된다. 보통 탈수케이크의 경우 C/N비가 10~30의 범위에 있으므로 탄소율의 조정은 하지 않고 있다.

(2) pH

호기성발효의 반응은 pH 7~8의 범위가 최적이다. 고분자계 탈수케이크의 pH는 중성부근이지만, 석회계 탈수케이크는 11~13의 강알칼리성으로 pH 조정을 하는 것이 바람직하다. 또한 반송퇴비와 첨가물을 혼합하여도 pH가 10이하로 되지 않는 경우가 있기 때문에 이 때에는 탄소가스를 혼합하여 발효조가스와 접촉시키는 방법 등으로 pH를 저하시킬 필요가 있다.

(3) 함수율

일반적으로 탈수케이크의 수분함량은 75~80% 정도로서 호기성발효에 적당한 발효범위인 50~60%를 상회하므로 퇴비화장치의 운전상 수분조정이 필요하다. 함수율을 조정하는 방법으로는 탈수케이크의 천일건조, 가열건조, 탈수케이크과 함수율 조정재료(첨가물·반송퇴비)를 혼합하는 방법이 있다.

(4) 통기방식 및 통기량

호기성발효에는 호기성세균이 이용할 수 있는 산소의 공급이 필요한데 일반적으로 공기를 주입한다. 이때 통기방식을 흐름방향에 따라 분류하면 기본적으로는 상향류식, 하향류식, 상하향류식의 3가지로 분류되며, 통기량은 투입케이이크중의 유기물의 양에 비례한다. 유기물과 통기량의 관계는 고분자케이이크의 경우 2~4 l/분/kg-VS, 석회제케이이크는 7~10 l/분/kg-VS 정도의 통기량이 필요한 것으로 알려지고 있다.

(5) 온도

퇴비화의 적절한 온도는 55~65℃이며 이 온도가 유지되어야만 병원균을 사멸시킬 수 있을 뿐만 아니라 수분을 증발시켜 자체적으로 수분함량이 조절된다. 슬러지 성장 및 경제성을 고려하여 2단계의 발효를 시행하는데, 1차발효의 경우 65℃ 이상에서 48시간 이상 지속시킨 후 10~14일간 발효시키며, 2차발효는 함수율을 40~50%로 유지시키고 주 1회 뒤집고 온도상승이 없을 때까지 계속한다.

(6) 퇴적높이

발효조내의 퇴적높이는 1~2m 전후이다. 낮으면 퇴적물과 공기와의 접촉면적이 많아 방열에 의한 온도유지가 곤란하며, 높게 퇴적하면 슬러지가 압밀침하를 일으켜 간극율과 입도분포를 악화시키기 때문에 공기의 통기율 및 이용율이 저하하여 호기성발효를 저해시킨다.

2) 하수슬러지의 퇴비화장치

퇴비화장치의 종류는 통기 및 혼합방식에 따라 퇴적, 입형원통, 입형다단, 횡형교반 및 원형교반방식 등으로 분류할 수 있다.

(1) 퇴적통기방식

이 방법은 탈수케이이크와 반송퇴비 또는 첨가물을 혼합하여 수분 또는 pH를 조정한 후 일

정 높이로 퇴적하고, 하부에서 공기를 공급하여 발효시킨다. 발효는 비가 적은 지역에서는 옥외에서 하지만 보통은 옥내에서 하는데, 퇴적고를 2m 정도로 하고 악취방지를 위해 혼합물의 상부를 약 30cm 정도 숙성퇴비로 덮거나, 배출가스를 강제로 혼입하여 숙성퇴비 사이를 통과시켜 처리한다. 통기는 송풍기로부터 통기관을 이용해 주입하는 간단한 방법을 이용하는 경우가 많으며, 뒤집기는 보통 불도저를 이용한다. 이 방법은 설치비가 저렴하나 넓은 부지가 필요하다.

(2) 입형원통방식

발효조의 형상이 원통으로 하부에 퇴비 배출장치를 갖추고 있으며, 통기는 하부로부터 하고 탈수케이크와 반송퇴비 및 톱밥 또는 왕겨 등의 첨가물과 혼합한 후 발효조의 상부에서 투입한다. 자중에 의해서 혼합물을 하부로 이동하는데 발효조내에서는 교반을 하지 않으므로 혼합물층의 미생물 우점층의 천이는 자연법과 유사하다고 알려져 있다. 필요부지면적은 횡형 발효조에 비해서 적고, 발효조내의 기계적인 장치는 퇴비배출장치만 필요하므로 비교적 조작이 간단하나 퇴적고에 한계가 있는데, 약 5m 정도인 것으로 알려져 있다.

(3) 입형다단방식

입형의 발효조 내부를 몇 개로 분리하여 공기를 각 소실의 하부로부터 보내고 상부에서 배출하게 한다. 상단의 소실에서 하단의 소실의 혼합물을 보내는 방법으로는 개폐식, 회전날개방식 등이 있으며, 이 장치에 의해 큰 덩어리의 혼합물이 분쇄되어 혼합물 내부의 발효가 촉진된다. 본 방식은 발효조를 수직방향으로 설치하므로 부지면적을 절약할 수 있다. 그러나 그만큼 기계장치가 증가하기 때문에 운전조작, 유지관리, 보수 면에서 입형원통방식보다 복잡하다.

(4) 횡형교반방식

발효조가 횡형으로 설치되어 기계식 뒤집기에 의해서 혼합물이 분쇄, 혼합 및 이동이 이

투어지며, 뒤집기 기계의 종류는 카터필더, 바스켓 및 스크류형 등이 있고, 통기는 하부에서 행한다. 본 장치는 구조적으로 많은 발효조를 횡으로 배열 가능하며, 발효조는 상부가 개구형이므로 발효상태를 관찰하기 쉽고, 기기의 수리가 손쉬운 특징을 갖고 있다. 한편, 입형에 비해 넓은 부지면적이 필요하고, 개구부가 넓기 때문에 악취방지대책이 비교적 곤란한 단점이 있다. 따라서 발효조 상부에 신축자재로 덮개를 하거나 강제흡입방식에 의하여 악취방지 효과를 얻을 수 있다.

(5) 원형교반방식

원형의 발효조 내부에 많은 스크류 또는 회전날개를 설치하여, 뒤집기를 하는 장치이다. 이 방식은 자체에서 혼합물을 충분히 교반할 수 있고, 발효전의 혼합장치가 필요없는 특징을 갖고 있지만 교반부의 유지관리에 주의할 필요가 있다.

6. 乾燥

乾燥工程은 함수율 75~80%인 脱水케이크를 함수율 30~50%로 수분함량을 감소시키는 공정으로 埋立이나 資源化의 전처리 공정으로서 선택되기도 한다. 乾燥工程에 사용되는 乾燥機의 종류는 직접가열식과 간접가열식으로 분류된다. 직접가열식인 로타리킬른 乾燥에서는 생슬러지가 경사진 회전로로 유입되며 회전로를 통하여 뜨거운 연소가스를 역방향으로 이동하여 乾燥되며 乾燥된 슬러지는 로의 하부 말미에 배출된다. 多段式 乾燥에서 슬러지는 로를 통하여 아래쪽으로 통과함으로써 乾燥된다. 온도는 보통 371~482℃이다.

슬러지 처리에 적용이 가능한 乾燥機는 직접가열식으로 로타리킬른 乾燥機, 多段式 乾燥機 등이고, 간접가열식으로는 로타리디스크형 乾燥機 등이다. 로타리킬른형 乾燥機는 회전하는 원통형의 킬른에 슬러지를 통과시키며 직접 불꽃을 슬러지에 가열하여 乾燥시키는 방법이고, 多段式 乾燥機는 직사각형의 통내에 체인이나 반원형 버킷에 의하여 슬러지를 이송시키며 직접 불꽃으로 乾燥시키는 방법이다. 간접건조기인 로타리디스크 乾燥機는 로타리 드럼내에

원형디스크를 통과하는 증기의 열을 이용하여 디스크표면에 부착된 슬러지를 간접적으로 乾燥하는 방법이며, 이때 증기온도는 150~180℃ 정도이다. 주요공정은 열전달과 고형물 이송의 역할로서 열전달계수는 수분함량과 교반정도에 따라 좌우된다. 그러나, 이 방법은 초기투자 비용이 많이 들고, 유지보수가 까다로운 단점이 있다. 각 방법에 의한 정수장 슬러지의 乾燥 효율은 다르나 일반적으로 간접식이 높은 효율을 나타낸다. 乾燥方法에 따른 특징은 <표 4.5>에 정리하였다.

<표 4.5> 각 건조방법에 따른 특징

건조방법 내용	직접가열식		간접가열식(디스크형)
	로타리킬른형	다단로형	
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 건조속도가 빠르다. - 고함수율 및 점착력이 높은 슬러지도 가능 - 예열시간이 짧다. - 자동운전 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 체류시간의 조절이 용이하다. - 저온건조로서 별도의 단열재 불필요 - 기계설비가 간단하여 유지관리가 용이 - 예열시간이 짧다. - 자동운전 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 체류시간이 길어 건조효율이 높다. - 부분적인 자동화가 가능하다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 고온건조로서 별도의 단열재가 필요 - 유해가스의 배출이 우려된다. - 열효율이 낮다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 처리용량에 한계가 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 체류시간이 길어 건조속도가 느리다. - 설비가 복잡하고 별도의 보일러설비가 필요 - 유지보수가 까다롭다.

자료 : 정수장 슬러지 減量化 기초연구, 한국수자원공사, 1995.12

경기도 용인시의 용인환경사업소는 서울시와는 달리 인근지역에서 발생하는 생활하수만이 하수처리장으로 유입되고 있어 하수 및 하수슬러지내에 중금속 함량이 매우 적게 존재하는 특성을 보인다. 따라서 용인환경사업소는 3톤/시간 규모의 직접가열식 다단로 형식의 건조기를 설치하여 함수율 85%의 하수슬러지를 함수율 20~40%까지 건조시킨 후 인근 녹농지에

보급하여 재이용하고 있다.

한편 스위스 Zurich시는 하수슬러지는 가능한 한 비료로 재활용한다는 정책취지에 따라 대부분의 하수슬러지를 건조한 후, 조정 및 녹농지에 이용하고 있다. Zurich시에서 적용되고 있는 대표적인 슬러지 건조과정을 살펴보면, 70~80%의 함수율을 보이는 탈수케이크는 저장 탱크에서 피스톤, 펌프에 의해 2단계 건조설비로 이동된다. 첫 번째 단계에서는 긴 튜브를 통해 농축된 슬러지를 수직으로 떨어뜨리면 내부원통의 열처리된 드럼(Drum)벽 위에 있는 얇은 층 속으로 뿌려지게 되고 이와 동시에 슬러지를 유출방향으로 옮기게 되면 슬러지가 약 50~55%까지 건조된다. 이와 같이 건조된 슬러지는 샤프트를 통해 2단계로 진행되어 1단계와는 달리 드럼벽 뿐만 아니라 슬러지를 건조시키는 회전통까지 가열된다. 이 때 회전통의 속도는 8rpm정도이며, 굵은 알갱이로 된 건조슬러지가 생성되어 배출된다.

7. 陸上埋立

서울시는 1992년부터 하수슬러지의 脱水케이크를 首都圈埋立地에서 埋立하고 있다. 하수 및 정수슬러지는 함수율을 85%이하로 脱水하여 1:5의 비율로 일반쓰레기와 混合埋立을 하거나 혼합비율 미확보시 또는 슬러지의 함수율이 85%를 초과할 시에는 별도 埋立을 하고 있다. 그러나 埋立처분의 경우 슬러지의 취급, 매립부지의 확보, 침출수 문제 등으로 점점 처분의 어려움을 겪고 있다. 슬러지는 함수율이 높기 때문에 埋立에 신중을 기하여야 한다.

首都圈埋立地는 경기도 김포군 양촌면과 인천광역시 점단동 및 검암동의 해안 간척지에 위치하고 있으며 부지면적은 약 630만평, 5개 공구로 구분되어 단계별로 시행 중이다. 또한 매립용량은 40,962만 m^3 , 쓰레기 매립 가능량은 287,080,000톤으로 1989년 9월부터 2015년 12월 까지 약 25년간을 사용할 예정이다.

일반적으로 슬러지 埋立은 슬러지 단독 트랜치埋立, 슬러지 단독 지역식埋立, 생활쓰레기와의 混合式 埋立으로 분류할 수 있다.

8. 海洋投棄

슬러지를 海洋投棄하는 방법은 바지선과 파이프관을 통하여 이송하는 두가지 방안이 있다. 최근에는 파이프관을 매설하여 이송하는 것이 보편적으로 행해지는데 파이프관을 묻을 경우, 바다 깊은 곳에 설치하기 때문에 沿岸環境에 영향을 덜 주게 된다. 단점으로는 파이프관을 바다 깊은 곳까지 매설해야 되기 때문에 고가의 비용이 들므로 경제적인 방안은 될 수가 없으며 심해 수중생태계에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 그러나 海洋投棄가 꼭 필요한 경우에는 海洋環境의 교반, 희석 및 확산이 매우 잘 될 수 있는 곳을 선정하여야 하기 때문에 신중한 고려가 요구된다.

海洋投棄 이외에도 埋立의 일종으로 水面(海岸)埋立 方法이 있는데 水中投棄의 경우 埋立 공법은 외주호안을 설치하여 埋立場內를 해수가 있는 상태로 埋立하거나 혹은 埋立場內의 해수를 일부 배수시킨 후 埋立하는 방법이 있다. 또한 해수를 완전히 배수한 후 陸上埋立과 같은 방식으로 埋立하는 방법이 있다.

9. 슬러지 再利用

슬러지 再利用에는 슬러지 자체를 이용하는 堆肥化와 슬러지를 처리하는 과정에서 발생하는 가스(예 : CH_4)나 燒却熱 등의 에너지를 이용하는 방법, 燒却 또는 溶融후의 소각재나 슬래그를 이용하는 등의 3가지로 분류할 수 있다. 堆肥化는 위에서 기술하였으므로 생략하기로 한다.

1) 建設資材化

燒却후의 소각재는 무기성분의 재료이며 탈수과정에서 사용되는 응집제에 따라 그 성분이 크게 달라지는데 일반적으로 사용되는 석회계를 이용하여 얻어진 소각재에는 다량의 CaO 가 있어서 시멘트 원료, 아스팔트 충전제, 2차 콘크리트제품, 토양개량제, 벽돌, 경량골재, 토관용

등 제품에 이용된다. 압축소성기술은 하수슬러지의 소각재만을 원료로 금형에 넣어 약 $1\text{톤}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 가압하여 성형한 후 $1,050^\circ\text{C}$ 전후에서 소성해 벽돌 등을 만드는 기술로써 일본에서는 이 제품을 보도, 연결도로, 광장, 공원 등의 포장재로 활용하고 있다. 또한 우수한 지하저류를 향상시키기 위하여 침투성벽돌도 제작하여 이용하고 있다.

최근 建設資材의 유효이용으로 생각되는 분야는 아스팔트필라, 로상 및 로반재, 경량골재와 시멘트원료 등이 있다. 각 방법에 따른 특징은 다음과 같다.

(1) 아스팔트필라

소각재를 아스팔트필라로서 사용할 경우 이전부터 이용되고 있는 석회암분말을 필라로서 사용하는 경우와 비교할 때, 연화점이 높고, 침입도가 적다. 또한 물의 침투저항성은 크고, 밀도, 공극율, 포화도 등은 크게 차이가 없다. 따라서 소각재는 석회분말과 비교하여 손색이 없어 충분히 이용이 가능하다.

(2) 로상 및 로반재

소각재는 로상재료로서 이용가능한 공학적 특징을 가지고 있어 管渠工事時의 포설토 등의 재료로서 사용이 가능하다. 로반재는 경교통로에만 사용이 가능하지만 큰 응력이 작용하는 표층이 가까운 부분에서의 사용에는 문제가 있다. 그 이유는 소각재가 로반재로서 이상적인 입도분포로부터 서로 탈리된 세립입자의 재료이기 때문에 서로간에 멩치는 강도는 기대하기 어렵다.

(3) 경량골재

소각재를 조립 및 소성하여 입도를 조정한 소성품에 대하여 골재성상과 콘크리트성상을 조사한 결과, 일반 경량골재 및 구조용 경량골재로서 사용이 가능한 것이 생성되는 것으로 밝혀졌다. 또한 소각재에 벤토나이트를 넣은 소성에 있어서도 조립성이 좋으며 물성, 강도 등을 비교할 경우 시판되는 인공골재와 같은 품질을 확보할 수 있다.

(4) 煉瓦材料

소각재 중에 CaO 함유량이 적고, 규산의 함유량이 높으면 연와의 소성이 충분하게 가능하여 소각재에 일정량의 점토 또는 규사를 첨가하면 보통의 연와의 주원료로서 이용이 가능하다. 그러나 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 경량골재 및 연와재료에 대해서는 양질점토 등의 첨가물 공급확보와 중유가 필요하게 되어 이전 原資材의 감소분을 고려하여도 資源浪費 등의 검토가 요구된다.
- ② 소각재는 조밀한 미분체로서 비산하기 쉽고, 작업성이 나쁘기 때문에 아스팔트필라, 로상 및 로반재로의 이용이 좋지 않다.
- ③ 建設資材로서 장기적 안정성 및 2차공해에 대해서 확증을 갖고 있지 않다.
- ④ 소각재 조성이 일정하지 않다.
- ⑤ 슬러지로 만든 생성품이기 때문에 이미지의 문제가 있다.

당면과제로서 다음과 같은 것이 있다.

- ① 建設資材의 원료로 되는 소각재의 생성조성을 균일한 것으로 하고, 또한 생성품을 최적인 것으로 하기 위하여 슬러지 자체의 품질관리가 필요하다.
- ② 슬러지로부터 생성된다는 마이너스이미지를 탈피하여 대량 및 정상 소비되도록 하기 위하여 생성비용, 운영방법 및 유통경로에 대해 검토해 보고 시민들에게 홍보한다.
- ③ 소각재로부터 생성된 建設資材의 사용 후의 장기적인 安定性 및 安全性을 확인할 필요가 있다.

하수슬러지를 燒却처리하고 소각재를 埋立처분하는 것보다 溶融슬래그(Slag)化 하여 도로용자재나 建築用資材로서 再利用하고자 하는 발상은 오래전부터 있었는데 프로세스의 본격적인 개발은 1978년 제 2차 석유파동 이후 일본 오사카에서 이루어졌으며, 최근에는 4~5종의 방식이 소규모로 활용되고 있다.

溶融슬래그는 脫水케이크를 乾燥한 후 1,400℃~1,500℃의 고온에서 溶融시켜 有機物을 熱

分解함과 동시에 무기분을 슬래그로 배출해서 급냉각 固化한 것이다. 이 슬러지는 建設資材로서 이용되는데 투수성블럭의 재료, 도로의 노반재, 콘크리트의 골재로서 개발되어 활용되고 있다.

10. 시멘트 原料로 活用하는 方案

1) 概要

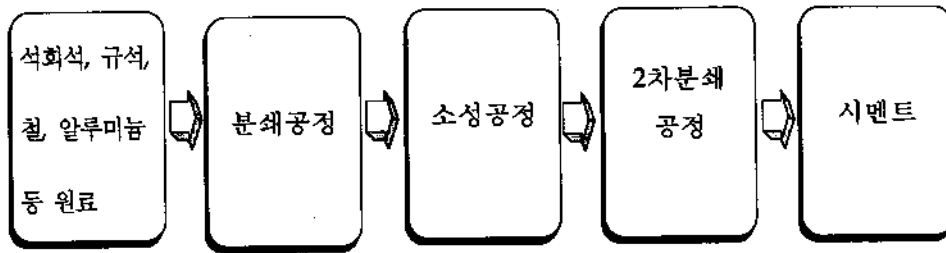
시멘트는 철광석, 점토, 규석 및 석회석을 1500℃ 정도의 고온으로 소성하여 제조한다. 시멘트의 질은 석회석 등을 분쇄해 제조되는 포틀랜드클링커와 고로슬래그 등의 혼합재 함유율에 의해 결정된다.

최근에는 전로슬래그, 플라이애쉬와 시멘트회사에서 폐기하는 저품위 석회석을 이용하여 만든 제품도 종전의 제품과 동등한 수준의 시멘트로 알려졌으며, 일본에서도 시멘트공장의 고온소성을 이용해 다종의 産業廢棄物을 처리하고 있다. 그러나 도시 쓰레기나 하수슬러지 등에는 다량의 염소가 함유되어 있어 廢棄物이 킬른내에 들어 붙어 코팅시킬 뿐만 아니라 축적되어 시멘트 품질에 영향을 미칠 우려가 있다고 보고되고 있다. 따라서 일본의 우베(宇部) 시멘트 공장에서는 염소제거를 함으로써 현재 하수슬러지를 시멘트 원료로 연간 2,500톤에서 2~3만톤까지 증가·사용할 수 있는 것으로 보고하고 있다.

이미 국내에서도 전량 폐기되고 있는 産業廢棄物을 이용하여 시멘트를 제조하고 있는데 특히 화력발전소에서 연간 500만톤 정도가 발생하는 플라이애쉬를 시멘트 원료로 활용하기 위해 각 기업에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 실제 S시멘트회사에서는 화력발전소에서 발생하는 石炭灰를 시멘트원료와 레미콘혼화제로 再活用하고 있다.

국내 D시멘트 회사의 시멘트 제조공정은 <그림 4.5>와 같이 석회석, 점토(고령토), 철, 규소 등의 원료를 잘 분쇄한 후 予熱機를 거쳐 소성로에서 1,450℃로 가열한 후 클링커싸이로에서 1~3mm로 분쇄하면 시멘트제품이 된다. 이러한 시멘트 공정중 1,450℃의 소성로를 이용하여 일반쓰레기를 燒却처리하기도 하며, 하수슬러지를 混合燒却할 수도 있으나 운반비 등의 경

제성을 고려할 때 현 시점에서는 서울시가 적용하기에는 타당하지 않은 것으로 판단된다.



<그림 4.5> 시멘트 제조과정

2) 시멘트原料로 活用

脫水케이크를 시멘트 원료로 사용하기 위하여는 운반비 절감 및 시멘트 원료로 사용하기 위해 含水率을 감소시켜야 한다. 즉, 含水率이 높으면 시멘트 소성로에서의 연료사용 비율이 높아지기 때문이다. 대략 슬러지내 함수율이 30%이하가 적합하며 乾燥工程의 전처리가 필요하다.

第 3 節 處分方案 選定時 考慮事項

이상에서 언급한 바와 같이 하수슬러지 處分方案으로는 海洋投棄, 陸上埋立, 堆肥化, 乾燥, 固化, 燒却, 熔融, 熱分解 등이 있으며 현재 전 세계적으로는 하수슬러지를 처분하기 위하여 이들 방법 외에도 여러 가지 방법들이 적용되고 있으나 각각의 국가마다 직면해 있는 현실 및 지역특성, 사회·경제적인 측면 그리고 환경보호 측면을 고려하여 상기한 방법들 중 가장 적절한 방안을 적용하고 있는 실정이다.

따라서 서울시의 경우도 4개 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지의 발생량 및 특성특성,

주변환경, 사회적 인식, 효율성 측면 등을 고려하여 여러 가지 방안중 가장 합리적인 방안을 도출하여야 할 것이다.

이상과 같은 내용을 토대로 하수슬러지 처분방안을 선정할 경우, 고려해야 할 조건들과 그에 따른 세부내용을 기술하면 다음과 같다.

1) 선정된 방안은 減量效果가 있어야 한다.

서울시 4개 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지는 매년 계속적으로 증가하는 추세이며 현재와 같이 함수율 70~80%를 보이는 脫水케이크와 그외 침사, 협잡물을 陸上埋立에 의해 전량 처분하는 현실정에서는 埋立地의 수명을 단축시키는 결과를 초래하게 될 것이다. 따라서 서울시와 같이 하수슬러지를 처리할 수 있는 부지면적이 협소한 현실정에서는 최종 처분할 하수슬러지를 減量시키는 것이 매우 중요한 일일 것이다.

2) 環境을 保存하고 隣接적인 惡影響을 미칠 경우에도 그 정도가 最小化되는 方案이어야 한다.

최근의 세계적인 추세는 環境保全에 대한 관심이 매우 고조되어 있는 실정이며, 주민들의 쾌적한 생활환경에 대한 요구도 점점 증가하고 있는 실정이다. 따라서 합리적인 하수슬러지 處分方案은 環境을 보존하고 環境親和的인 施設物이 되어야 할 것이다. 이를 위해서는 大氣, 水質, 土壤, 地下水汚染에 대한 영향을 최소화시키고 소음 및 惡臭問題가 최소로 발생하여야 한다.

3) 運營 및 維持管理가 容易한 方案이어야 한다.

선정된 방안을 통해 하수슬러지를 처분할 경우, 運營시 관리인원이 적고 處理工程이 간단하며, 조작이 便利해야 하는 등 維持管理가 쉬워야 할 것이다. 또한 시설물 설치 및 보수에 따른 기술력 등 전반적인 기술난이도가 容易하여야 하며 서울시와 같이 시설물 도입에 따른 부지확보가 어려운 상태에서는 시설물 설치 및 처리에 필요한 부지면적이 작아야 할 것이다.

또한 슬러지 운반에 따른 交通影響이 最小化되어야 할 것이며 氣候變化 및 운영시 사고, 環境變化 및 國際化 추세에 신속한 대처를 할 수 있는 방안이어야 한다.

4) 所要費用이 적게 드는 方案이어야 한다.

하수슬러지 處理·處分을 위한 시설물 설치 및 운영에 소요되는 建設費 및 維持管理費가 적게 들어야 한다.

5) 기타 부대적인 측면이 고려되어야 한다.

하수슬러지 처분시 근무환경이 청결하여야 하며 시설물 건설 및 운영시 민원발생이 적고 민원발생시에도 적절한 대응책이 모색될 수 있는 방안이어야 한다. 또한 가능하면 현재 선진 외국에서 많이 검증된 방안이어야 하며 최종 처리된 부산물의 再利用 가능성이 높은 방안이어야 할 것이다.

第 4 節 處分方案別 長·短點 檢討

1. 概要

하수슬러지 처분에 적용되고 있는 방안들은 각각의 장·단점을 가지고 있다. 현재 국내에서 많이 적용되고 있는 海洋投棄와 陸上埋立은 비용 및 적용기술력 측면에서 다른 방법에 비해 많은 장점을 가지고 있으나 環境汚染을 유발시키는 주된 요인이 되고 있어 환경친화적관리 측면에서는 상반되고 있다. 국내와 같이 하수슬러지를 埋立할 공간부지가 협소한 실정에서는 燒却, 溶融方式이 고려될 수 있으나 현재 관심이 고조되고 있는 大氣汚染問題(특히, 다이옥신) 및 기술수준의 문제점 등으로 인해 해결해야 할 과제가 많다. 하수슬러지를 堆肥化하여 再活用하는 방안도 최근 외국에서는 많이 이용되고 있으나 서울시 하수슬러지의 성상특성 및

堆肥化한 후의 공급체계 등 현안문제들을 고려하여야 할 것이다. 또한 乾燥, 固化方式 역시 2차 環境汚染 문제 및 국내 기술수준 등을 고려해 볼 때 해결해야 할 문제점들이 많은 실정이다.

따라서 현재 서울시에서 발생되고 있는 하수슬러지를 적절하게 처분하기 위해서는 前述한 각 방안들의 장·단점 검토가 선행되어야 하며 이를 현재 서울시가 직면하고 있는 여러 가지 현황과 접목하여 종합적으로 검토한 후에 최적의 방안을 선정하여 수행하여야 할 것이다.

본 절에서는 3절에서 제시한 고려조건에 대해 각 방안들의 장·단점을 검토하였다.

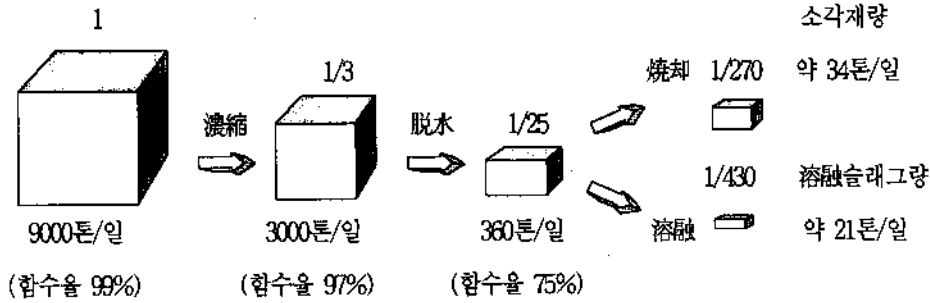
2. 減量效果 側面

우리나라와 같이 국토가 협소하여 廢棄物을 埋立할 부지의 확보가 어려운 실정에서 하수슬러지의 경우도 최종처분할 양을 대폭 減量시키는 것이 무엇보다 중요하다.

전체 성분의 대부분이 수분으로 구성되어 있는 脫水케이크의 경우(함수율 75~78%), 減量化의 가장 핵심적인 방법은 수분의 제거에 의해 수행될 수 있는데 이와 같이 슬러지를 감량할 경우에는 슬러지의 무게 및 부피의 감소로 취급 처분 과정상에 運搬費를 절감할 수 있다. 또한 埋立을 통해 최종처분을 할 경우에도 埋立費用을 절감하고 埋立地 수명을 연장시킬 수 있어 廢棄物 處理政策遂行에 보다 효과적이며 埋立後의 惡臭 및 浸出水 감소로 環境汚染 감소 효과를 기대할 수 있다. 또한 최종 처분할 양이 소량으로 줄어들기 때문에 취급성이 향상되어 작업환경이 개선되고 再利用 등 여러 가지 방안의 도입이 가능하다.

농축, 탈수 등의 처리공정에 따른 하수슬러지의 중량감소효과는 <그림 4.6>에 나타냈으며, 소각 및 용융시스템의 도입은 감량화의 효과를 크게 나타내는 것을 알 수 있다. 즉, 9,000톤/일의 슬러지량이 발생하는 경우, 소각(900℃정도)할 때는 약 34톤/일이 되며 용융(1,500℃정도)시는 21톤/일이 되어 소각 및 용융이 슬러지량을 크게 줄이는 것을 알 수 있다.

슬러지량(생슬러지+잉여슬러지)



<그림 4.6> 처리공정 따른 하수슬러지의 중량감소효과

탈수케이크를 固化를 통해 처분할 경우, 첨가물에 의해 슬러지의 양이 증가할 수도 있다. 그러나 固化處理한 슬러지를 埋立地 복토재로 이용할 경우에는 廢棄物 再活用に 따른 減量效果를 볼 수 있을 것이다. 減量效果 측면에서는 燒却, 溶融, 熱分解 방안이 가장 효과적이다.

3. 環境保全 側面

하수슬러지는 有機物質과 重金屬 등 汚染物質이 고농도로 존재하는 특성을 보여 처분과정 상에 環境에 영향을 미치는 것이 필연적이다. 따라서 적절한 슬러지 처분방안을 설정할 때는 環境에 최소한의 영향을 미치는 방안이 모색되어야 하며 嫌惡施設로 인식이 안되도록 環境親和的인 시설물로 조성되는 것이 바람직하다.

현재 하수슬러지 처분에 적용되는 방안들의 環境影響을 검토하면 다음과 같다.

1) 埋立

埋立은 하수슬러지를 分解·安定化시켜 주변지역에 악영향을 주지 않고 동시에 일반토양과 같은 물질로 변환시킬 수 있다. 그러나 하수슬러지가 分解·安定化되는 과정이 오랜 시간

을 필요로 하며 과정상에 각종 環境問題가 발생할 우려가 있다.

우선, 하수슬러지는 높은 함수율을 포함하고 있어 埋立後 고농도의 汚染物質을 포함한 浸出水가 발생하여 주변지역의 수체 및 토양, 지하수를 오염시킨다. 또한 곤충 및 쥐, 병원성 미생물들이 발생하여 주변환경의 위생보전에 영향을 미치며 埋立작업 등으로 인해 비산먼지 발생의 우려가 있다.

埋立의 경우 특히, 강우에 의한 우수발생이 이러한 汚染問題를 더욱 크게 유발하고 있으며 우수침입 및 생물분해에 의하여 생성된 浸出水와 혐기성 소화과정에서 발생하는 황화수소 및 암모니아 가스 등의 惡臭問題가 발생하기도 하여 현재 슬러지 처분방안 중 環境汚染을 많이 유발하는 방안중의 하나이다.

2) 海洋投棄

海洋投棄의 경우, 슬러지를 투기하는 방법에 따라 환경에 미치는 영향이 다르다. 즉, 표면에서 살포하는 것 보다 해저에서 파이프관을 통해 방류하는 것이 환경에 적은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

투기지역은 海洋環境으로의 흡수 및 희석이 잘 되는 지역을 선택하는 것이 중요하며, 현재 環境汚染側面에서 많은 문제점이 발생되고 있어 전세계적으로 처분의존도가 감소하고 있는 추세이다.

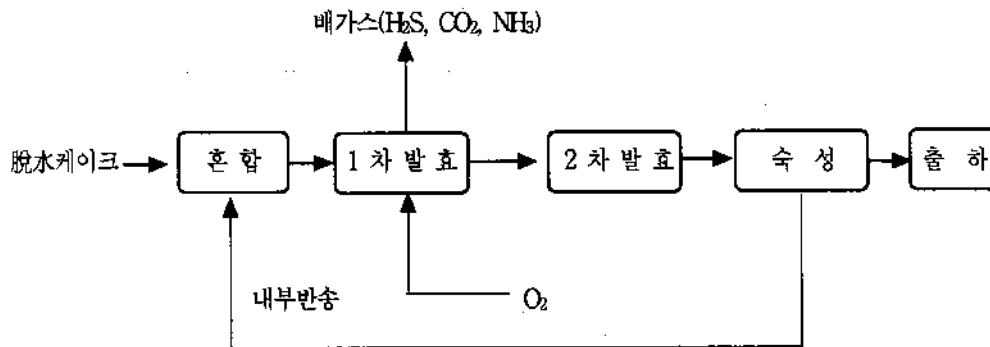
우선, 海洋投棄를 연안지역에서 실시할 경우 해수밀도차에 의한 성층현상이 나타나 수체에서의 슬러지 혼합이 방해될 수 있으며 만일 바지선을 이용하여 海洋投棄를 실시할 경우, 표층에서의 wind-mix에 의해 저밀도의 슬러지 plume을 유발하여 먼거리까지 확산될 것이며 연안까지 도달할 가능성도 있다. 또한 부유물질의 경우, 연안까지 도달할 가능성이 더욱 높아 연안해역의 다양한 이용에 방해를 일으킬 가능성이 높다. 슬러지의 광대한 slug(표면응집)형성은 심각한 산소고갈을 유발하여 海洋生物體의 멸종을 유발하며 海洋投棄로 인한 가장 큰 우려는 침전슬러지의 저서생물 濃縮으로 인해 매우 큰 環境影響을 미친다는 것이다.

외국의 경우 海洋投棄 지점에서 저서생태계의 파괴가 나타나고 있는 것을 보고하고 있다.

New York Bight의 경우, 海洋投棄로 인해 50km²에 이르는 해역이 사해가 되었으며 海底地域이 혐기성의 검은 층으로 덮혀버렸다. 또한 필라델피아의 경우, 보다 면역성이 강한 저서생물종(nematodes 등)이 우점하는 현상을 보여 생태계를 변화시키는 결과를 초래하였다.

3) 堆肥化

堆肥化시설을 운영시에는 우선적으로 惡臭問題가 발생하게 된다. 미생물에 의한 발효가 일어날 수 있도록 脫水케이크를 발효조에 투입하고 공기를 주입하면 <그림 47>에서 보는 바와 같이 미생물에 의해 호기성발효(1차발효)가 시작되어 脫水케이크내 분해물질들은 H₂O와 CO₂, NH₃, H₂S 가스로 배출되는데 이 때 발생하는 NH₃ 가스와 H₂S 가스는 취기물질로 惡臭를 발생하게 된다.



<그림 47> 하수슬러지 퇴비화 과정에서의 악취발생문제

그러나 하수슬러지의 堆肥化方案은 타 방안들이 水質, 大氣汚染을 유발하는 것과 달리 環境汚染을 유발하는 정도가 미미하며 惡臭問題도 음식물쓰레기의 악취와는 달리 저농도로써 악취저감시설이 없이도 설치가 가능하다. 그러나 슬러지내 重金屬 등의 汚染物質이 고농도로 존재한 상태에서 적절한 전처리 없이 녹농지에 살포될 경우에는 重金屬에 의한 土壤汚染이 예상되므로 슬러지의 堆肥化 적용시에는 重金屬 농도에 대한 분석과 적절한 전처리가 선행되

어야 할 것이다.

4) 乾燥

하수슬러지를 乾燥하는 방안은 슬러지내 수분을 감소시키는 중간처리의 개념으로 최종처분 방법에 따라 環境汚染을 유발하는 정도가 다르게 나타난다.

乾燥후 슬러지를 埋立하는 경우에는 埋立當時에는 浸出水로 인한 제 2의 環境汚染을 줄일 수 있으나 강우시에 재함수로 인해 乾燥의 효과를 기대하기는 어렵다. 또한 堆肥化로의 적용 시에도 강우시에 토양유실로 인한 環境汚染이 예상된다.

또한, 하수슬러지를 乾燥함으로써 발생하는 분진과 CO, SOx, NOx 등의 물질로 인해 대기환경에 영향을 미칠 것으로 예상되나 燒却方案에 비해 영향정도는 미미하다.

5) 固化

슬러지를 시멘트, 생석회, 固化劑를 첨가하여 固化시키는 경우에는 상기에서 전술한 바와 같이 처분량이 많아지는 단점이 있으나 固化한 후 슬러지내 汚染物質의 용출은 현저히 감소하여 환경에 작은 영향만을 미치게 된다. 그러나 固化劑로 이용되는 첨가물과 슬러지의 혼합과정과 양생과정에서 발열반응이 일어나 타 방안에 비해 惡臭問題가 심각하다.

6) 燒却

하수슬러지를 燒却함으로써 예상되는 環境汚染은 우선 燒却시 발생하는 大氣環境汚染物質 즉, 먼지, HCl, SOx, NOx, 重金屬, 다이옥신류 등에 의한 대기오염과 수질오염물질의 배출에 의한 폐수발생, 소음·진동 및 악취 등을 들 수 있다.

그러나 하수슬러지의 경우 도시쓰레기보다 성상이 일정하며 유해가스 배출 관련 성분(Cl, S 등) 및 타 汚染物質이 매우 적음으로 환경에 미치는 영향은 都市廢棄物에 비해 그 정도가 미미할 것으로 판단된다.

실례로 현재 일본의 4개 하수처리장에서 운영되고 있는 하수슬러지 流動層燒却施設의 大

氣汚染物質을 측정한 결과, <표 46>과 <표 47>에서 보는 것과 같이 燒却時 발생하는 汚染物質의 농도는 매우 낮게 나타났으며 대기오염 방지시설을 통과한 후에는 높은 제거율을 보이는 것을 알 수 있었다.

<표 46> 일본 4개 하수처리장에서의 대기오염물질 제거 효율 결과 (1993년 기준)

구 분	A 시설		B 시설		C 시설		D 시설	
소각형식	유동층		유동층		유동층		유동층	
소각용량 (톤/일)	40		50		110		30	
대기오염 방지시스템	사이클론→건식 전기집진기→세정기		사이클론→세정기 →습식전기집진기		사이클론→건식전 기집진기→세정기		사이클론→세정기	
대기오염물질	사이클론 입구	사이클론 출구	사이클론 입구	사이클론 출구	사이클론 입구	사이클론 출구	사이클론 입구	사이클론 출구
분진(g/Nm ³)	10	4.6	11	3.9	17	1.4	31	4.1
분진제거율(%)	54		64.5		91.8		86.8	
SOx (ppm)	-	380	-	430	-	540	-	310
HCl (ppm)	-	12	-	73	-	46	-	21
NOx (ppm)	-	7.8	-	5.5	-	100	-	21

<표 47> 일본 4개 하수처리장에서의 대기오염물질 측정자료 (1994년)

구 분	A 시설			B 시설			C 시설		D 시설	
	건식 EP 입구	건식 EP 출구	세정기 출구	세정기 입구	세정기 출구	습식 EP 입구	건식 EP 입구	세정기 출구	세정기 입구	세정기 출구
분진(g/Nm ³)	7.3	0.19	-	2.5	0.043	0.005	2.6	0.19	4.9	0.029
SOx (ppm)	-	290	5	410	22	-	410	5	510	5
HCl (ppm)	-	33	9	59	17	-	64	2	71	7
NOx (ppm)	-	8	3	15	12	-	8	8	9	9

자료) 서울시 하수처리사업소 슬러지 燒却방안에 대한 기술제안서, 한솔제지주식회사, 1997.

또한 현재 燒却으로 인해 야기되고 있는 다이옥신에 의한 오염의 제거 역시 燒却施設 운영시 연소효율을 높여 완전연소를 시키면 미연소분과 일산화탄소의 발생이 매우 적어 다이옥신 생성억제에 매우 유리하며, 하수슬러지의 경우 都市廢棄物에 비해 염소성분이 적고 성상의 변화도 적어 다이옥신 발생가능성이 매우 희박할 것으로 생각된다. 일본의 경우 다이옥신 발생원에 따른 발생량을 <표 48>에 제시하였다.

<표 48> 일본의 다이옥신 발생원에 따른 발생량 (1990년 기준)

번호	다이옥신 발생원	발생량 (g-TEQ/년)
1	도시 쓰레기 소각	3,100~7,400
2	유해 폐기물 소각	460
3	제철, 제강	250
4	의료 폐기물 소각	80~240
5	종이, 판지제조	40
6	하수슬러지 소각	5
7	KP 펄프 회수보일러	3
8	종이펄프, 슬러지 연소	2
9	목재 연소플랜트	0.2
10	자동차 배가스	0.07

자료) 서울시 하수처리사업소 슬러지 燒却방안에 대한 기술제안서, 한솔제지주식회사, 1997.

따라서 하수슬러지를 燒却할 경우, 大氣汚染防止施設을 발생물질에 따라 적절히 설치하고 발생된 폐수는 下水處理場에서 처리하며 소음 및 惡臭除去施設을 적절히 설치할 경우에는 현재 도시쓰레기를 燒却함으로써 발생하는 대기 및 周邊環境汚染에 비해 그 영향은 미미할 것으로 판단된다.

7) 溶融

하수슬러지를 溶融할 시에는 燒却處理하는 것에 비해 환경에 보다 작은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 大氣汚染 측면에서 볼 때, 溶融過程에서 발생하는 大氣汚染물질은 연소 온도가 높음으로 인해 燒却時에 비해 적게 나타나며 특히 다이옥신의 발생은 현재 기준치인

0.1 ng - TEQ/m³ 이하인 것으로 보고되고 있다.

또한 기타 汚染物質의 배출도 燒却에 비해 1/6정도로 감소되는 것으로 나타나고 있으며 연소후 부산물이 Slag로 형성되어 차후 埋立 및 再利用時에도 2차오염에 대한 부담이 없다. 또한 重金屬의 용출이 없어 환경친화적인 측면에서도 높이 평가받고 있다.

따라서 현재 하수슬러지 처리·처분에 이용되는 방안중에는 가장 環境汚染에 적은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 運營 및 維持管理 側面

하수슬러지 처분방안 선정시에는 운영 및 維持管理 側面을 고려하는 것이 무엇보다 중요하다. 그 이유는 하수슬러지의 경우 많은 양이 지속적으로 발생하기 때문에 예측치 못한 사고가 발생하여 슬러지처분이 중단되면 큰 문제점이 발생되기 때문이다. 또한 서울시와 같이 시설물 설치를 위한 부지의 확보가 어려운 상황에서는 처리할 부지가 가능하면 협소해야 할 것이며 운반에 따른 交通影響을 최소한으로 유지해야 할 것이다.

陸上埋立 및 海洋投棄는 현재 국내에서 대부분 이용되고 있는 방법으로 기술적인 숙련과 운영이 타 방안에 비해 유리한 면을 가지고 있으나 기후변화에 따라 운영이 중단될 수 있는 단점을 가지고 있다. 또한 처분을 위해 필요로 하는 공간이 매우 넓으며 소요인원 및 운반에 따른 교통량을 유발하기 때문에 장기간에 걸쳐 이용할 수 있는 방안으로는 부적합할 것으로 생각된다.

乾燥는 운영상에 무인운전이 가능하고 시설물의 구성이 간단하여 維持管理에도 많은 장점을 가지고 있으나 乾燥된 슬러지를 최종처분시키는 과정까지의 저장시설이 필요하고 최종처분시의 2차적 維持管理이 필요하다.

固化의 경우 대량의 슬러지와 添加固化劑 사용으로 인해 固化處理를 위한 시설물이 넓은 부지를 필요로 하게 되며 옥외시설물이 될 경우 기후환경변화에 대한 어려움이 있다. 또한 교통량증가도 유발시킬 것이다.

燒却 및 溶融의 경우, 타 방안에 비해 고도의 기술숙련자들을 필요로 하고 처리효율 증대를 위해 정기적인 보수·점검이 필요한 단점이 있으나 좁은 부지면적에서도 처리가 가능하고 연소후 부산물이 소량으로 발생되기 때문에 交通환경에 미치는 영향도 미미할 것으로 판단된다.

燒却의 경우, 현재 국내적으로 실제 하수슬러지 처리를 위해 적용된 경우는 매우 적으나 유사 산업현장에서 발생하는 슬러지를 처리하는 데는 많이 적용되고 있어 운영기술 및 유지관리에 대한 기술경험이 축적되어 있는 상태이다. 그러나 溶融方式의 경우 국내에서는 실제 운영에 적용되고 있지 않고 소규모 성능 검사 수준에 머물러 있어 보다 운영상의 경험이 필요한 상태이다.

5. 所要費用側面

하수슬러지를 처분하는 방안들의 도입시 동일 방안인 경우에도 최종 처분방법 및 향후 이용계획 그리고 처리시설물의 구성 및 품목이 서로 다르기 때문에 정확한 비용을 예측하기는 매우 어렵다. 따라서 본 절에서는 일정한 기준방법을 가정하고 이에 따른 최소한의 비용으로 예측하였다.

1) 海洋投棄

수처리공정 및 슬러지 처리공정을 통해 발생한 脫水케이크를 인천에 있는 집하장으로 운반한 후 선박을 통해 서해 병해역에서 投棄하는 것으로 가정하였다. 이러한 경우, '97년 현재 소요되는 비용은 운반비 및 해양배출처리단가 포함을 포함하여 약 23,000원/톤이 되는 것으로 나타났으며 향후에도 물가변동폭과 비슷한 수준에서 상승할 것으로 예상된다.

2) 陸上埋立

하수슬러지를 처분하기 위해 현재 실시되고 있는 방법으로 소요비용은 '97년 현재, 운반비

와 매립비를 합하여 29,000원/톤이 되는 것으로 나타났으며 埋立分擔金を 고려할 경우에는 40,000원/톤 이상을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 과거의 추세로 보아 향후 埋立에 소요되는 비용은 급격히 증가할 것으로 예상된다.

3) 堆肥化

하수처리공정을 통해 발생한 脫水케이크를 야적한 후 堆肥化工程을 통해 安定化시켜 무상으로 인근 녹농지에서 비료로 이용하는 것을 기준으로 할 때 국내 사례를 토대로 살펴보면 소요비용은 총 30,000원/톤 정도가 될 것으로 예상되었다.

4) 乾燥

乾燥機를 통해 초기 함수율 78%의 脫水케이크를 40%로 乾燥시킨 후 김포수도권에서 埋立하는 것으로 가정을 설정하였으며 처리시설물의 수명을 15년으로 가정하였을 때 소요되는 총 비용은 31,000원/톤 정도에 이를 것으로 예상된다. 단, 乾燥후에 再利用할 수 있는 방안이 모색될 수 있으나 再利用에 따른 비용차익은 고려하지 않았다.

5) 固化

下水處理場에 固化施設을 설치하여 脫水케이크와 생석회, 시멘트를 혼합하여 固化시킨 후 首都圈埋立地에 埋立하는 것으로 가정하였다. 처리시설물의 수명을 15년으로 가정하였을 때 소요비용은 33,000원/톤에 이를 것으로 조사되었으며 固化후에 埋立地 복토재 등으로 再利用할 수 있는 방안이 모색될 수 있으나 再利用에 따른 비용차익은 고려하지 않았다.

6) 燒却

流動層燒却爐를 통해 하수슬러지를 燒却하며(대기오염 방지시설 설치) 소각재는 埋立하는 것으로 가정하였다. 처리시설물의 수명을 15년으로 가정하였을 때 소요비용은 35,000~55,000원/톤(건설비 및 유지관리비포함)의 수준에 이를 것으로 조사되었다.

7) 溶融

아크溶融方式을 통해 고온에서 하수슬러지를 溶融시키고 溶融後 발생하는 슬래그를 埋立하는 것으로 가정하였으며 처리시설물의 수명을 15년으로 가정하였을 때 소요비용은 67,000원/톤에 이를 것으로 예상되었다. 단, 溶融後에 생성되는 슬래그를 再利用할 수 있는 방안이 모색될 수 있으나 再利用에 따른 비용차익은 고려하지 않았다.

6. 其他 附帶側面

폐기물 처리시설에 있어 고려해야 할 사항중에 하나는 嫌惡施設이라는 인식에 대한 민원 문제의 해결이다. 또한 폐기물 처리에서 가장 효과적인 방법은 발생한 廢棄物을 再利用하여 환경을 보전하고 소요비용의 절약을 유도하는 것이다.

하수슬러지의 처분을 위해 현재 국내에서 많이 적용되고 있는 陸上埋立과 海洋投棄의 경우, 민원야기로 인해 지속적인 정책수행이 어려운 현실이다. 燒却은 연소후 발생하는 소각재를 再利用할 수 있는 장점이 있으나 현재 국민들이 燒却에 대해 부정적인 인식을 가지고 있어 민원발생의 가능성이 매우 높을 것으로 생각된다. 固化나 堆肥化의 경우, 再利用측면에서 많은 장점을 가질 수 있으나 처리시설 운영에 따른 근무환경이 청결하지 못하여 주변지역에서의 민원발생이 예상된다. 그러나 溶融은 처리후 발생하는 슬래그가 再利用 측면에서 많은 효용성을 가지고 있고 근무환경이 좋으며 또한 환경오염이 타방법에 비해 미미하여 가장 많은 장점을 가지고 있다.

7. 綜合評價

이상에서 기술한 바와 같이 현재 국내·외에서 적용되고 있는 방안들은 각 선정조건에 따라 여러 가지 장·단점을 가지고 있다. 따라서 가장 합리적인 하수슬러지 처분방안을 선정할 경우에는 減量效果, 環境, 經濟性, 維持管理 등 다양한 분야에 대해 종합적인 검토를 한 후 가

장 유용한 방법을 선정해야 할 것이며 <표 49>에 각 處理·處分方案들에 대해 종합적인 검토를 하였다.

<표 49> 슬러지 처리·처분방안들의 종합적인 비교검토

구 분	육상매립	해양투기	고 화	퇴비화	건 조	소 각	용 용
감량효과	적음	적음	적음	많음	보통	많음	많음
소요비용	적음	가장적음	보통	보통	보통	많음	가장많음
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 일반쓰레기와 같이 매립가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 해안도시의 경우 처리비용이 저렴하고 간단함 	<ul style="list-style-type: none"> · 매립지복토제 등 재이용 가능성 높음 	<ul style="list-style-type: none"> · 자원의 유효화 처리 · 2차 환경오염이 적음 · 안정적 처리가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 간단한 처리방법 · 최종처분시의 재이용 가능성 높음 	<ul style="list-style-type: none"> · 감량과 효과 큼 · 재이용 가능성이 높음 · 폐열이용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 감량효과 큼 · 중급속이 용출 안됨 · 재활용가능성이 높음 · 폐열이용 가능
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 지가상승 및 민원발생으로 매립지 확보 곤란 · 매립단가의 현격한 증가추세 · 매립장반입 저려함 · 침출수 처리문제 및 지하수오염으로 2차환경오염 	<ul style="list-style-type: none"> · 해양오염 · 런던협약에 의해 향후에는 해양투기가 전면금지될 것으로 예상 · 민원발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 정상적인 고화를 위해서는 약품비가 많이 소요 · 탈수 및 약품처리 공정시 취기가 심각함 · 재활용이 안될 경우, 비효율적인 방법으로 매립량 증대초래 	<ul style="list-style-type: none"> · 상당한 부지와 시설이 필요함 · 하수슬러지 숙성기간이 길다. · 판로개척이 어려움 · 하수슬러지의 퇴비화로의 실제적용이 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> · 재이용이 안될 경우 비효율적인 처리방법 	<ul style="list-style-type: none"> · 건설비 및 투자비가 과대하다 · 고급기술의 인력필요 · 2차 환경오염 방지 시설필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 처리방안 중 건설비와 투자비가 가장 많이 필요 · 소각에 비해서도 더욱 고급기술인력 필요 · 국내·외 적용실적이 빈약하다.

<표 4.9> 계속

구 분	육상매립	해양투기	고 화	퇴비화	건 조	소 각	용 용
검토결과	· 매립지 추 · 가확보가 · 곤란하고 · 2001년부 · 터 폐기물 · 관리법에 · 의하여 유 · 기성 슬러 · 지 적매립 · 불가	· 육상매립 · 반입금지 · 기간 및 · 소각 등에 · 의한 처분 · 방안이 해 · 결될 때까 · 지의 잠정 · 적인 조치 · 는 불가피 · 할 것으로 · 사료	· 근무환경 · 의 개선이 · 요구되며 · 재활용이 · 안될 경우 · 매립지 부 · 담을 가중 · 시킬 우려 · 가 있음	· 하수슬러 · 지의 성상 · 을 보면, · 유해중금 · 속 등의 · 함유로 현 · 사점에서 · 는 적용이 · 곤란할 것 · 으로 예상	· 건조후 단 · 순매립에 · 의존하는 · 것은 경제 · 성 및 환 · 경오염 측 · 면에서 문 · 제가 있음. · 단, 복토 · 재 등의 · 재활용측 · 면에서 검 · 토할 가치 · 있음.	· 감광화, · 안정화, · 자원화가 · 가능함으 · 로 서울시 · 정책에 적 · 극적으로 · 도입 필요	· 시설투자 · 비 및 유 · 지관리비 · 가 타방식 · 에 비해 · 많이 들. · 그러나 감 · 광화, 안 · 전화, 자 · 원화가 · 가능함.

第 5 節 設問調査 結果

서울시에서 발생하는 하수슬러지의 효율적인 처리·처분을 위하여 본 연구에서는 각계 환경단체 및 환경분야 전문 종사자들에게 하수슬러지 處理·處分方案 선정시 고려해야 할 사항들에 대한 設問調査를 실시하여 7가지의 하수슬러지 處分方案에 대한 인식 및 기술수준에 대한 이해도 등을 조사하였으며 設問調査結果를 차후 정책결정시에 참고할 수 있도록 하고자 하였다. 設問調査에 관한 방법 및 결과는 <부록 1>에 상술하였으며 종합적인 결론을 제시하면 다음과 같다.

下水處理 및 廢棄物處理分野에서 활동하고 있는 환경전문가들 및 시민단체, 하수처리실무자들을 대상으로 한 본 설문조사에서 응답자들 대부분은 하수슬러지를 처분하는 방안을 선정할 때 환경을 보존하는 것을 최우선으로 생각하고 있었다. 따라서 현재 대부분의 하수슬러지가 陸上埋立과 海洋投棄에 의해 처분되고 있는 국내 실정에서는 보다 새로운 방안으로의 전환이 모색되어야 할 것으로 생각된다.

또한 서울시와 같이 하수슬러지를 처분할 만한 충분한 부지의 확보가 어려운 상태에서는 최종 처분할 하수슬러지의 양을 줄이는 것이 필요하며 再利用 방안을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

응답자들의 대부분은 유지관리 측면과 소요비용 측면중 유지관리 측면에 보다 많은 비중을 두고 있는 것으로 나타났다. 그러므로 海洋投棄 및 陸上埋立에 의존하고 있는 현 국내의 실정에서는 타방안들에 대한 보다 심도 있는 기술연구와 적용이 필요하고 자동화 체계를 통해 운영관리의 효율성과 편리함을 극대화하여야 할 것이다.

응답자들은 본 설문조사에서 제시한 7가지 처분방안중 현재의 적용방식 보다는 堆肥化, 乾燥, 燒却, 溶融方式을 선호하는 것으로 나타났다. 실제 하수슬러지와 관련된 분야에서 종사하고 있는 응답자들은 堆肥化와 燒却, 溶融方式을 선호하는 반면에 시민단체에서는 燒却, 溶融方式이 타 방식에 비해 낮은 점수분포를 보여 현재의 생활쓰레기 燒却政策의 문제로 인해 하수슬러지의 燒却方案에 대해 매우 부정적인 인식을 가지고 있는 것으로 추측되었다. 따라서 쓰레기 燒却과 하수슬러지 燒却의 차이를 계몽하여 이로 인한 민원발생의 우려를 최소화시킬 수 있도록 도모해야 할 것이다.

堆肥化의 적용은 현재 서울시에서 발생하고 있는 하수슬러지내의 重金屬 농도가 堆肥化를 위한 기준치를 넘는 것으로 조사되고 있어 현 시점에서는 타당하지 않을 것으로 판단된다. 그러나今後 건설예정인 분류식 판거정비에 의한 重金屬 함유량이 적은 가정하수만이 유입되는 小規模 下水處理場에서 발생하는 슬러지의 경우, 환경보전 및 폐기물의 재활용면에서 퇴비화를 활발히 적용될 수 있도록 시도되어야 할 것이다.

陸上埋立은 현재 국내에서 가장 많이 시행되고 있는 방법이나 환경보존 및 감량, 유지관리, 경제성 등 전 부분에서 비효율적인 방안인 것으로 조사되어 陸上埋立에 대한 전면적인 검토와 빠른 시일내에 새로운 처리·처분방안으로의 전환이 필요할 것으로 판단되었다.

第 5 章 下水슬러지 處理 · 處分方案 關聯法規 檢討

하수중의 오염물질은 처리수와 최종적으로 슬러지로 분리되는데 슬러지는 減量化, 安定化 등의 목적을 달성하기 위해 우리나라에서의 하수슬러지 처리·처분방안은 대부분이 농축, 혐기성소화, 탈수과정을 거쳐 육상매립, 해양투기 등을 통해 처분되고 있다.

下水道 사업에서 슬러지의 처분은 발생된 슬러지를 항구적이며 안정적, 안전하게 처리하여야만 한다. 따라서 下水슬러지 처분은 下水道 사업의 중요한 과제이며 처분방법에 따라 시설물을 설치하여 下水슬러지를 처분할 경우, 법적인 규제와 절차를 충분히 파악한 뒤 실시하여야 할 것이다.

下水處理場에서 발생하는 下水슬러지를 처분하는데 있어 관련되는 법은 下水슬러지와 같은 폐기물의 처리 및 시설물설치에 관한 조항을 포함하고 있는 廢棄物管理法과 법의 근간이 되는 環境政策基本法 그리고 大氣環境保全法, 水質環境保全法, 騒音·振動規制法, 下水道法, 建築法, 都市計劃法, 國土利用管理法, 環境影響評價法 등이 있으며 각각의 법의 관련내용을 살펴보면 다음과 같다.

第 1 節 廢棄物管理法

廢棄物을 적정하게 처리하여 자연환경 및 생활환경을 청결히 함으로써 환경보전과 국민생활의 질적 향상에 이바지함을 목적으로 하는 廢棄物管理法은 최근 1991년 3월에 전문개정이 이루어진 후 1995년 12월 29일까지 5회에 걸쳐 개정되었다.

廢棄物管理法은 63개의 조문과 부칙, 42개 조문의 시행령과 66개 조문의 시행규칙, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률, 廢棄物處理施設 설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률로

구성되어 있으며 下水슬러지와 관련된 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 용어의 정의 및 구분 (법 제2조)

- ① “廢棄物”이라 함은 쓰레기, 연소재, 슬러지, 폐유, 폐산, 폐알카리, 동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질을 말한다.
- ② “生活廢棄物”이라 함은 사업장폐기물 외의 폐기물을 말한다.
- ③ “사업장폐기물”이라 함은 大氣環境保全法, 水質環境保全法 또는 騒音·振動 規制法의 규정에 의하여 배출시설을 설치·운영하는 사업장 기타 대통령령이 정하는 사업장에서 발생하는 廢棄物을 말한다.
- ④ “지정폐기물”이라 함은 사업장폐기물 중 폐유, 폐산 등 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 廢棄物을 말한다.

시행령 별표에서 살펴보면 수분함량이 95% 미만이거나 고형물 함량이 5%이상인 슬러지는 廢棄物로 지정하고 있다. 그러나 <표 5.1>에서 보는 것과 같이 下水슬러지는 지정폐기물의 규제치에 해당하지 않고 있으며 시행령 제2조 2에 廢棄物을 1일 평균 300kg이상 배출하는 사업장에서 발생하는 廢棄物은 사업장폐기물로 규정하고 있어 下水슬러지는 사업장폐기물로 정의할 수 있다.

<표 5.1> 지정폐기물 유해물질 규제치

물 질 명	규 제 치
납 (Pb)	용출시험결과 : 3mg/L 이상
구리 (Cu)	용출시험결과 : 3mg/L 이상
비소 (As)	용출시험결과 : 1.5mg/L 이상
수은 (Hg)	용출시험결과 : 0.005mg/L 이상
카드뮴 (Cd)	용출시험결과 : 0.3mg/L 이상
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	용출시험결과 : 1.5mg/L 이상
시안 (CN)	용출시험결과 : 1mg/L 이상
유기인 (Org-P)	용출시험결과 : 0.1mg/L 이상

2) 廢棄物 處理施設의 종류 (법 제2조 7호)

廢棄物 處理施設이란 廢棄物의 中間처리시설과 최종처리시설로서 대통령령이 정하는 시설로서 종류는 다음과 같다.

- ① 中間처리시설 : 소각시설, 고온 열분해시설, 압축시설, 파쇄·분쇄시설, 절단시설, 용융시설, 고형화·안정화시설, 건조시설, 사료화·퇴비화시설 (1일 처리능력이 100킬로그램 이상인 시설), 증발·농축시설, 정제시설, 반응시설, 유수분리시설, 응집·침전시설, 탈수시설, 기타 환경부장관이 廢棄物을 안전하게 中間처리할 수 있다고 인정하여 고시하는 시설
- ② 最終처리시설 : 매립시설, 기타 환경부장관이 廢棄物을 안전하게 最終처리할 수 있다고 인정하여 고시하는 시설

3) 廢棄物 處理施設의 설치 및 관리 (법 제30조)

- ① 廢棄物 處理施設은 환경부령이 정하는 기준에 적합하게 설치하여야 한다.
- ② 廢棄物 處理施設을 설치하고자 하는 경우에는 환경부장관의 승인을 얻어야 한다. 다만, 가. 항목의 廢棄物處理施設을 설치하는 경우를 제외하며, 나. 항목의 廢棄物處理施設을 설치하는 경우에는 환경부장관에게 신고하여야 한다.
 - 가. 소각시설로서 시간당 처리능력이 100kg미만이거나 사료화, 퇴비화시설로서 1일 처리능력이 1톤 미만인 시설로서 산업표준화법 등에 의한 규격표시허가를 받았거나 단체표준승인을 얻은 廢棄物處理施設
 - 나. 대통령령이 정하는 규모미만의 廢棄物 처리시설

※ 폐기물처리시설의 설치승인 (시행규칙 제21조)

- ① 폐기물처리시설을 설치하고자 하는 자는 폐기물처리시설 설치승인신청서와 다음의 서류를 첨부하여 그 시설의 소재지를 관할하는 시·도지사 또는 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
- 가. 처리대상폐기물 배출업체의 제조공정도 및 폐기물 배출내역서
 - 나. 폐기물의 종류, 성상 및 예상배출량 내역서
 - 다. 처리대상 폐기물의 처리계획서
 - 라. 폐기물처리시설의 설치 및 장비확보계획서
 - 마. 폐기물처리시설의 설계도서
 - 바. 처리후에 발생하는 폐기물의 처리계획서
 - 사. 공동폐기물 처리시설의 설치·운영에 소요되는 비용부담 등에 관한 규약
 - 아. 폐기물처리시설의 사후 관리계획서
 - 자. 환경부 장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경성조사서(면적이 1만제곱미터 이상이거나 매립용적이 3만세제곱미터 이상인 매립시설과 1일 처리능력이 100톤 이상인 소각시설의 경우에 한한다.)
 - 차. 배출시설의 설치허가 또는 신고신청시의 첨부서류
- ② 시·도지사 또는 지방환경관서의 장은 폐기물 처리시설의 설치를 승인한 때는 폐기물처리시설설치승인서를 신청인에게 교부하여야 한다.

※ 폐기물처리시설의 설치신고 (시행규칙 제22조)

- ① 폐기물처리시설의 설치신고를 하고자 하는 자는 폐기물처리시설설치신고서에 다음 각호의 서류를 첨부하여 시·도지사 또는 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.
 - 가. 폐기물처리시설의 설치 및 장비확보계획서
 - 나. 환경부장관이 고시하는 사항을 포함한 시설설치의 환경성조사서(1일 소각용량이 50톤 이상인 소각시설의 경우에 한한다.)
 - 다. 배출시설의 설치허가 또는 신고신청시의 첨부서류
 - 라. 공동폐기물처리시설의 설치, 운영에 소요되는 비용부담 등에 관한 규약
- ② 시·도지사 또는 지방환경관서의 장이 신고서를 받은 때에는 신고필증을 신고인에게 교부하여야 한다.

※ 설치신고대상 폐기물처리시설 (시행령 제14조)

- 가. 소각시설로서 1일 처리능력이 100톤 미만인 시설
- 나. 고온열분해시설로서 시간당처리능력이 100kg미만인 시설
- 다. 압축, 파쇄, 분쇄, 절단, 용융, 연료화, 사료화 또는 퇴비화시설로서 1일 처리능력이 100톤 미만인 시설
- 라. 건조시설로서 연료사용량이 시간당 3톤 미만인 시설
- 마. 응집, 탈수, 침전, 고형화 또는 안정화시설

- ③ 廢棄物處理施設설치의 승인을 얻었거나 신고한 사항중 환경부령이 정하는 중요사항을 변경하는 경우에는 각각 변경승인을 얻거나 변경신고를 하여야 한다.
- ④ 廢棄物處理施設을 설치하는 자는 그 설치공사를 완료한 후 당해시설의 사용을 개시하고자 할 때에는 환경부령이 정하는 바에 따라 환경부장관에게 신고하여야 한다.

※ 폐기물처리시설의 사용신고

폐기물처리시설의 설치자는 당해 시설의 사용개시일 10일전까지 사용개시 신고서에 다음 각호의 서류를 첨부하여 시·도지사 또는 지방환경관서의 장에게 제출하여야 한다.

- 가. 당해시설의 유지관리계획서
- 나. 소각시설 또는 고온열분해시설의 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 성능검사기관에서 발행한 당해 시설의 성능검사결과서
- 다. 매립시설의 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 검사기관에서 발행한 당해 시설의 시설검사결과서

⑤ 廢棄物處理施設을 설치한 자 또는 그 운영자는 환경부령이 정하는 관리기준에 따라 그 시설을 유지관리하여야 한다.

5) 다른 법령에 의한 허가·신고 등의 의제 (법 제31조)

廢棄物處理施設을 설치하고자 하는 자가 승인을 얻거나 신고를 한 경우, 이에 대한 허가를 받은 경우에는 당해 廢棄物處理施設에 관련한 다음 각호의 허가를 받거나 신고를 한 것으로 본다.

- ① 大氣環境保全法 10조 규정에 의한 배출시설의 설치허가 또는 신고
- ② 水質環境保全法 10조 규정에 의한 배출시설의 설치허가 또는 신고
- ③ 騒音·振動規制法 제9조의 규정에 의한 배출시설의 설치허가 또는 신고

6) 廢棄物의 재생처리신고 (법 44조의 2)

환경부령이 정하는 廢棄物을 원료, 재료, 연료 등으로 재생처리하고자 하는 자는 환경부령이 정하는 바에 따라 신고하여야 한다.

※ 재생처리신고대상폐기물(시행규칙 제46조)

① 사업장폐기물중 지정폐기물을 제외한 다음 각목의 폐기물

광재류, 분진, 폐주물사 및 폐사, 소각잔재물 및 연소재, 폐합성고무, 폐합성수지, 폐합성섬유, 폐가죽류, 폐석회, 폐석고, 도자기편류, 건설폐재류(토사, 폐벽돌, 폐콘크리트 및 폐아스팔트콘크리트에 한한다.)

② 기타 환경부장관이 폐기물의 재생처리신고가 필요하다고 인정하여 고시하는 폐기물

7) 국고보조(법 제52조)

국가는 예산의 범위안에서 지방자치단체에 대하여 廢棄物處理施設의 설치에 필요한 비용의 일부 또는 전부를 지원할 수 있다.

8) 廢棄物의 발생억제 및 재활용

본 내용은 廢棄物管理法에서 1992년 12월 8일 제정된 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률로 이관되었으며 자원의 효율적인 이용과 廢棄物의 발생억제, 자원의 절약 및 재활용 촉진을 통하여 환경을 보전하고 지속적인 경제발전과 국민복지 향상에 이바지함을 목적으로 하고 있다.

9) 廢棄物處理施設 주변영향 지역에 대한 지원

廢棄物處理施設건설로 인한 주변영향지역의 지원 등은 廢棄物管理法上에서 1992년 12월 8일에 신설되었으나 그 후 1995년 1월 5일에 廢棄物處理施設 설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률로 이관되었다. 주요 내용은 다음과 같으며 주변지역 지원사업에 대한 종류는 <표 5.2>와 같다.

① 국가 및 지방자치단체는 廢棄物 처리시설을 설치하고자 하는 경우, 그 시설의 원활한 설치 및 운영을 도모하기 위하여 당해 廢棄物 처리시설의 설치·운영으로 인하여 환

경상 영향을 받게 되는 주변영향지역의 주민에 대하여 소득증대, 복리증진, 생활의 보전 등을 위하여 필요한 지원을 한다

- ② 환경부장관 또는 시·도지사는 대통령령이 정하는 바에 따라 주변영향지역의 범위를 결정하여야 한다.

<표 5.2> 주변영향지역 주민에 대한 지원사업의 종류

구 분	지 원 사 업
1. 소득향상	<ul style="list-style-type: none"> · 농림수산업시설의 설치 · 상공업시설의 설치 · 관광산업시설의 설치
2. 복리증진	<ul style="list-style-type: none"> · 의료시설의 설치 · 사회복지시설의 설치 · 도로시설의 설치 · 항만시설의 설치 · 상·하수도시설의 설치 · 교육·문화시설의 설치 · 환경위생시설의 설치 · 운동·오락시설의 설치 · 전기·통신시설의 설치 · 교육기자재·도서공급 및 학자금·장학금 지급 등의 생활보전 관련사업

10) 廢棄物 處理施設 관리·운영의 위탁 (시행규칙 제66조)

환경부 장관은 廢棄物處理施設의 관리운영을 환경관리공단, 당해 廢棄物處理施設을 시공한 자 기타관리운영 능력이 있다고 환경부 장관이 인정하는 자에게 위탁할 수 있다.

第 2 節 環境政策基本法

본 법은 環境保全에 관한 국민의 권리·의무와 국가의 책무를 명확히 하고 環境보전시책의 기본이 되는 사항을 정함으로써 環境汚染으로 인한 위해를 예방하고 자연환경 및 생활환경을 적정하게 관리보전하기 위해 법 제10조, 시행령 제2조에 대기, 하천, 해역, 소음환경기준을 수립해 놓고 있다. 또한 環境保全에 영향을 미치는 사업을 시행할 경우, 그 사업이 미치게 될 영향의 예측 및 평가에 관한 環境影響評價 대상사업을 시행령 제7조에 설정해 놓고 있는데 그 내용은 다음과 같으며 環境影響評價대상사업중 廢棄物處理施設의 적용범위는 <표 5.3>과 같다.

※ 環境影響評價 대상사업 (시행령 제7조)

- (1) 철도의 건설
- (2) 공항의 건설
- (3) 하천의 이용 및 개발
- (4) 매립 및 개간산업
- (5) 관광단지의 개발
- (6) 체육시설의 설치
- (7) 산지의 개발
- (8) 특정지역의 개발
- (9) 廢棄物處理施設 및 분뇨처리시설의 설치

<표 5.3> 환경영향평가 대상사업중 폐기물 처리시설에 대한 대상범위와 경유기관

구 분	대 상 범 위	협 의 요 청 시 기	경 유 기 관
폐기물 처리 시설 및 분뇨처리시설의 설치	1) 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률에 의한 분뇨처리시설로서 그 처리능력이 1일 100평방미터 이상일 것	· 사업계획 승인 신청전	시·도지사
	2) 폐기물 관리법에 의한 일반 폐기물 처리시설중 매립시설로서 조성면적이 30만제곱미터 이상이거나 매립용량이 330만 평방미터 이상일 것	· 사업계획승인 신청전	시·도지사
	3) 폐기물 관리법에 의한 특정 폐기물처리시설로서 조성면적이 5만 제곱미터 이상이거나 매립용량이 25만 평방미터 이상일 것	· 사업계획승인 신청전	-
	4) 폐기물 관리법에 의한 일반 폐기물 처리시설 및 특정폐기물 처리시설중 소각시설로서 처리능력이 1일 100톤 이상일 것	· 사업계획승인 신청전	시·도지사

第 3 節 大氣環境保全法

廢棄物處理施設이 소각시설과 같이 대기오염물질을 배출하는 시설일 경우에는 大氣環境保

全法에 의해 규제를 받는데 소각능력이 시간당 100kg이상인 경우에는 시행규칙 제4조의 대기 오염물질배출시설에 해당되며 다음의 大氣汚染物質 허용기준(1999년 1월 1일부터)을 만족해야 한다.

1) 大氣汚染物質 배출허용기준

가. 가스상물질

일산화탄소 : 600 ppm이하, 염화수소 : 50 ppm이하,
염소 : 60 ppm이하, 황산화물 : 300 ppm이하,
질소산화물 : 200 ppm이하, 황화수소 : 15 ppm이하,
시안화수소 : 10 ppm이하, 브롬화합물 : 5 ppm이하,
벤젠화합물 : 50 ppm이하, 페놀화합물 : 10 ppm이하,
수은화합물 : 5 mg/Sm³이하, 비소화합물 : 3 ppm이하

나. 입자상물질

먼지 : 배출가스량이 40,000m³/시간 이상의 시설 → 80mg/Sm³이하
배출가스량이 40,000m³/시간 미만의 시설 → 100mg/Sm³이하,
카드뮴화합물 : 1.0 mg/Sm³이하, 납화합물 : 5 mg/Sm³이하,
크롬화합물 : 1.0 mg/Sm³이하, 구리화합물 : 10 mg/Sm³이하,
니켈 및 그 화합물 : 20 mg/Sm³이하, 아연화합물 : 30 mg/Sm³이하,
비산먼지 : 0.5 mg/Sm³이하

2) 악취유발물질 배출허용기준

측정 방법	배출 허용 기준		
직접관능법	악취도 2도이하		
공기회석관능법	가. 배출구 (1) 공업지역내의 사업장 : 회석배율 1,000이하 (2) 기타지역내의 사업장 : 회석배율 500이하		
	나. 부지경계선 (1) 공업지역내의 사업장 : 회석배율 20이하 (2) 기타지역내의 사업장 : 회석배율 15이하		
기기분석법	악취물질	공업지역내의 사업장	기타지역내의 사업장
	암모니아	5 ppm 이하	2 ppm 이하
	메틸메르캅탄	0.01 ppm 이하	0.004 ppm 이하
	황화수소	0.2 ppm 이하	0.06 ppm 이하
	황화메틸	0.2 ppm 이하	0.05 ppm 이하
	이황화메틸	0.1 ppm 이하	0.03 ppm 이하
	트리메틸아민	0.07 ppm 이하	0.02 ppm 이하
	아세트알데히드	0.5 ppm 이하	0.1 ppm 이하
	스티렌	2 ppm 이하	0.8 ppm 이하

비고 : 1. 측정방법은 대기오염공정시험방법에 의하여 직접관능법 또는 공기회석관능법으로 실시하되, 부지경계선에서 채취한 시료중에 기기분석법에 규정된 8가지의 악취물질이 있다고 판단되는 경우에는 기기분석법을 병행한다. 이 경우 어느 하나의 방법에 의하여 기준을 초과할 때에는 배출허용기준을 초과한 것으로 본다.

2. 공기회석관능법의 측정장소는 다음과 같다.

가. 배출구의 높이가 5m이상인 경우

- (1) 사업장안에 배출구외의 다른 악취배출원이 있고, 배출되는 악취물질이 암모니아, 황화수소 또는 트리메틸아민의 경우 : 부지경계선 및 배출구
- (2) 사업장안에 배출구외의 다른 악취발생원이 없는 경우 : 배출구

나. 위 가. 외의 경우 : 부지경계선

第 4 節 騒音・振動規制法

廢棄物處理施設이 시행규칙 제3조의 소음배출시설에 해당하면 다음의 생활소음 규제기준을 만족해야 한다.

대상 범위	시간별 대상소음		조식 (05:00~ 08:00) (18:00~ 22:00)	주간 (08:00~ 18:00)	심야 (22:00~ 05:00)
			주거지역, 녹지지역, 취락지역중 주거지 구, 관광휴양지역, 자연환경보전지역, 학교·병원의 부지 경계선으로부터 50m이내 지역	확성기에 의 한 소음	옥외설치 옥내에서 옥외로 방사 되는 경우
	공장 및 사업장의 소음		50dB이하	55dB이하	45dB이하
	공사장의 소음		65dB이하	70dB이하	55dB이하
상업지역, 준공업지 역, 일반공업지역, 취락지역중 주거지 구외의 지구	확성기에 의 한 소음	옥외설치	70dB이하	80dB이하	60dB이하
		옥내에서 옥외로 방사 되는 경우	60dB이하	65dB이하	55dB이하
	공장 및 사업장의 소음		60dB이하	65dB이하	55dB이하
	공사장의 소음		70dB이하	75dB이하	55dB이하

비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.

2. 공사장의 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생시간이 1일 2시간미만의 때에는 +10dB, 2시간 이상 4시간 이하일 때는 +5dB를 보정한 값으로 한다.

第 5 節 環境影響評價法

環境影響評價法은 環境影響評價 대상사업의 사업계획을 수립·시행함에 있어서 미리 당해

사업이 환경에 미칠 영향을 평가·검토하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이 되도록 함으로써 쾌적한 환경을 유지, 조성하고자 하는 것이다. 이법에 적용되는 環境影響評價대상사업에 廢棄物處理施設은 법 제4조에 의거해 소각능력이 1일 100톤 이상일 경우에는 環境影響評價를 실시하고 있다. 이 경우 검토되어야 할 법절차를 살펴보면 다음과 같다.

1) 주민의견수렴(법 제9조)

사업자는 평가서를 작성함에 있어서 설명회 또는 공청회를 개최하여 環境影響評價 대상지역의 주민의견을 수렴하고 이를 평가서 내용에 포함시킨다.

2) 환경영향평가서 협의(법 제 16조)

대상사업계획에 대한 승인·인가·허가·면허 등을 얻어야 하는 사업자는 법 제8조에 따라 영향평가서를 작성하여 승인기관에게 제시하며 승인을 얻지 않아도 되는 사업자는 작성된 평가서에 대해 환경부장관과 협의한다.

3) 협의내용 사업계획 반영여부 확인 (법 제 19조)

승인기관의 장은 사업계획의 협의내용이 반영되었는지를 확인하고 사업계획 등에 대한 승인을 한다. 또한 승인 등을 얻지 않아도 되는 사업자가 협의내용을 반영하여 사업계획 등을 확정할 때는 그 내용을 환경부장관에게 통보한다.

4) 사업착공의 통보(법 제25조)

사업자는 대상사업을 착공 또는 준공하고자 할 때에는 환경부장관 및 승인기관장에게 통보한다.

5) 협의내용의 관리 및 감독(법 제 24조)

승인기관의 장은 협의내용이 이행되도록 승인을 얻어야 하는 사업자를 감독하고 사업자가

협의내용을 이행하지 아니한 때는 그 이행을 위해 필요한 조치를 한다. 그러나 조치에도 불구하고 이행하지 않을 경우에는 공사중지를 명하며 그 내용을 환경부장관에게 통보한다.

第 6 節 肥料管理法

※ 보통비료중 유기질비료 및 부산물비료와 그 원료에 대한 중금속의 위해성 기준
(비료관리법 제10조 1항 관련)

종 류	중금속	함유할 수 있는 허용량
부산물비료(아미노산 발효 부산비료, 토양 미생물제비료 및 토 양활성제비료는 제외)	크롬	300 mg/kg 이하
	납	150 mg/kg 이하
	카드뮴	5 mg/kg 이하
	수은	2 mg/kg 이하
	비소	50 mg/kg 이하
	구리	500 mg/kg 이하

第 7 節 海洋汚染防止法

해양배출이 가능한 廢棄物을 海洋投棄를 통해 처분하는 경우에는 海洋汚染防止法에서 제시한 절차 및 규제에 준해 실시하는데 海洋汚染防止法 제23조, 동법시행규칙 제24조에 의거하여 환경관리청장 또는 지방환경관리청장의 廢棄物 위탁처리신고필증을 교부받아 廢棄物운반선 등록자에게 위탁처리한다.

1) 해양배출 가능 廢棄物(시행규칙 제6조 제2항 별표4)

가. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 廢棄物

- a. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조의 규정에 의한 분뇨 또는 축산폐수와 오수정화시설, 축산폐수처리시설 또는 분뇨처리시설에서 발생한 액상(수분함량 95%이상, 고형물함량 5%미만)의 것
 - b. 水質環境保全法 제2조의 규정에 의한 폐수
 - c. 廢棄物管理法 제2조의 규정에 의한 廢棄物 중 다음의 것
 - 수산물가공잔재물
 - 슬러지(수분함량이 95%미만이거나 고형물함량이 5%이상인 것)로서 다음의 것
 - 가. 항목의 오수정화시설·축산폐수처리시설·축산폐수정화시설 또는 분뇨처리시설에서 발생한 것
 - 나. 항목의 배출시설에서 발생하는 공정슬러지 및 그 방지시설에서 발생한 것
 - 水質環境保全法 시행규칙 별표4의 수질오염방지시설중 생물화학적 처리시설에서 발생한 것
 - 下水道法 제2조의 규정에 의한 종말처리시설에서 발생한 것
- 나. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 廢棄物
- a. 수산물가공잔재물 중 폐각 등 각질류의 것
 - b. 水底준설토사로서 협잡물을 제거한 것
 - c. 음용수·공업용수·냉각수·소방용수 등의 저장 또는 처리시설에서 발생한 것
 - d. 下水道法 제2조의 규정에 의한 下水道에서 발생하는 준설물질로서 협잡물을 제거한 것
 - e. 건설공사에서 배출된 슬러지
 - f. 수산화알루미늄의 제조공정에서 발생한 광물상의 廢棄物

2) 폐기물의 해양배출처리기준 (시행규칙 제6조 제2항 별표6)

구 분	고상폐기물(검액 : mg/ l)	액상폐기물(시료 : mg/ l)
유 분		50 이하
시 안 화 합 물	1 이하	1 이하
크롬 또는 그 화합물	2 이하	20 이하
이연 또는 그 화합물	5 이하	90 이하
구리 또는 그 화합물	3 이하	15 이하
카드뮴 또는 그 화합물	0.1 이하	1 이하
수은 또는 그 화합물	0.005 이하	0.05 이하
유 기 인 화 합 물	1 이하	1 이하
비소 또는 그 화합물	0.5 이하	5 이하
납 또는 그 화합물	1 이하	10 이하
6 가 크 롬	0.5 이하	5 이하
불 소 화 합 물	15 이하	200 이하
P C B	0.003 이하	0.03 이하
페 늘 류	5 이하	50 이하

第 8 節 考 察

하수슬러지를 陸上埋立, 海洋投棄, 堆肥化 등을 통해 處分할 경우에는 廢棄物管理法, 海洋汚染防止法, 肥料管理法 등 기존에 적용되었던 關聯法에 따라 수행하면 되나 燒却 및 溶融, 熱分解를 통해 하수슬러지를 처리할 경우에는 시설물을 下水處理場內에 건설하게 되면 現行法上 廢棄物處理施設 및 下水終末處理施設로 중복되는 문제점이 발생한다.

그러므로 하수처리장에서 발생하는 슬러지를 하수처리장내에서 燒却을 통해 처리하고자 할 경우에는 소각후 발생하는 소각재만 廢棄物로 규정하고 以前 단계는 하수종말처리시설의 일부로 규정하는 것이 타당할 것이다. 이를 위해서는 下水道整備基本計劃에 소각처리 계획안을 수립하고 下水道法에 하수슬러지를 소각처리하는데 필요한 사항들을 추가하여야 할 것이다. 즉, 환경영향평가 대상범위 및 소각시설 설치신고, 승인, 시공, 운영관리에 필요한 절차는

廢棄物管理法에서 규정한 사항을 준수하도록 하나 이에 필요한 財源조달은 下水道法에서 규정한 국고보조금과 지방양여금을 통해 충당하여야 할 것이다. 또한 소각시설의 운영은 하수도 관련부서가 담당하도록 하며 하수종말처리시설의 증설시에 이에 상응하는 燒却施設增設計劃이 병행되도록 하여 주변지역 주민지원 협의 등이 하수종말처리시설의 규정에 따라 일괄처리 되도록 하는 것이 타당하리라 생각된다.

第 6 章 民營化 및 民間委託管理 妥當性 檢討

民資誘致事業은 민간자본에 의해 사회간접자본시설을 확충함으로써 시민생활의 편익을 증진하고 시 재원확충을 도모하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 장에서는 廢棄物 처리와 같이 전문성을 요구하고 소요비용도 많이 드는 사업에서의 처리효율과 정책상의 편리함을 추구하기 위해 民營化 및 民間委託管理에 대해 검토해 보고자 한다.

第 1 節 民資誘致事業의 類型

환경기초시설 民資誘致 유형은 <표 6.1>에서와 같이 해당 기초시설의 사업추진범위, 민간기업 참여시점 및 민간자본 투자 여부에 따라 5개 형태로 구분한다.

1) 民間投資, 民間委託管理

(1) 유형 I (民資誘致)

- 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내 투자비를 회수한다.
- 해당 환경기초시설의 설치단계에서부터 시공 및 운영관리를 민간기업 책임하에 수행한다.

⇒ 환경기초시설 설치계획만 수립되고 사업비(지방비 부담액 등)확보가 어려운 신규시설인 경우

<표 6.1> 환경기초시설 민간유치의 기본형태

기본형태	시설설치비 민자투자	설계	시공	운영관리	비고
I	○	○	○	○	BOT 계약 신규시설 BOO 계약 신규시설
II	○	×	○	○	"
III	×	○	○	○	"
IV	×	×	○	○	"
V	×	×	×	○	신규시설, 공사중이거나 운영관리중인 시설

주) ○ : 기업, × : 지자체

BOT(Build - Operate - Transfer) : 기업 자체자금으로 하수슬러지 처리시설을 건설하여 투자비 회수기간동안 운영한 후 기부채납함. 지자체는 상호 합의된 슬러지 처리비를 운영 기간동안 기업에 지급하는 방안.

BOO(Build - Own - Operate) : 기업이 자체자금으로 하수슬러지 처리설비를 건설한 후 처리시설은 기업에 속하여 운영 및 유지관리를 함. 지자체는 상호 합의된 슬러지 처리비를 운영 기간동안 기업에 지급하는 방안.

(2) 유형 II(民資誘致)

- 지자체 등 사업주관기관에서 기본설계를 완료한 후 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치 완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내에 투자비를 회수한다.
- 해당 환경기초시설의 시공 및 운영관리를 민간기업 책임하에 수행한다.
⇒ 설치예정인 환경기초시설의 설계가 완료되었으나 사업비(지방비 부담액 등) 확보가 어려운 신규시설인 경우

2) 地方自治團體 投資, 民間委託管理

(1) 유형 III (民間委託管理 ; Turn-key 제도)

- 기본설계·시공 일괄 입찰방식(Turn-key)을 확대하여 운영관리까지를 포함한 일괄 입찰방식으로 추진한다.
- 설계단계에서부터 시공 및 운영관리를 지자체 등 사업주관 기관의 추진계획(공사발주 등 제반업무)에 따라 민간기업 참여
⇒ 환경기초시설 설치 기본계획이 수립되고 사업비 확보가 가능한 신규시설

(2) 유형 IV(民間委託管理 ; Turn-key 제도)

- 기본설계·시공 일괄 입찰방식을 변형하여 시공 및 운영관리를 일괄 입찰방식으로 추진한다.
- 지자체 등 사업주관 기관에서 기본설계를 완료한 후 실시설계시공 및 운영관리를 지자체 등 사업주관기관의 추진계획(공사 발주 등 제반업무)에 따라 민간기업 참여
⇒ 설치예정인 환경기초시설의 설계가 완료(설계중인 지역도 포함)되고 사업비 확보도 가능한 신규 시설

(3) 유형 V(民間委託管理)

- 지자체 등 사업주관기관에서 설계 및 시공을 완료한 후 해당 기초시설의 시공업체 등 민간기업과 계약에 의해 위탁관리한다.
⇒ 공사중이거나 지자체에서 운영관리중인 환경기초시설

第 2 節 民資誘致事業 主要 推進節次

1) 民資誘致 대상사업 선정

가. 선정절차

○ 시 자체 계획사업

사업 주관부서에서는 民資誘致事業으로 추진하고자 하는 사업에 대한 타당성 검토 및 세부사업계획을 수립하여 부시장 방침을 득하고, 시장에게 보고한 후 서울특별시 民資誘致事業 심의위원회(이하 “시 위원회”)에 심의요청한다.

투자비 2,000억원 미만사업은 시 위원회심의와 시장방침에 의거 民資誘致 대상사업으로 선정하며 투자비 2,000억원 이상 사업은 위의 절차를 거친 후 재정경제원에 통보하여 정부승인을 받아 대상사업으로 확정한다. 참고로 서울시가 4개 하수처리장에 200톤/일(합수율 75% 기준)의 용량으로 燒却施設을 각각 1개씩 설치하였을 때 사업비는 2,000억원 미만으로 전자의 경우에 해당한다.

나. 선정기준

선정 대상사업은 民資誘致 타당성 여부에 대해 객관적인 평가를 기할 수 있을 정도의 기본조사가 이루어지고 민간의 자발적 참여가 가능할 정도로 사업자체의 수익성이 확보될 수 있는 사업으로서 시설이용에 대한 수익자 부담이 용이하며, 민간의 경제사회 지원활동 효과가 큰 사업이어야 한다. 또한 민간의 우수한 경영기법과 기술을 활용함으로써 시설의 효율적인 건설 및 운영이 가능한 사업이어야 한다.

사업의 필요성은 있으나 동종의 타 시설보다 시민에게 사용료 부담이 과중할 것으로 예상되는 사업으로 사업에 대한 타당성조사 미비와 수익성 등에 대한 검증미비로 향후 사업의 장기전망이 불가능한 사업은 대상사업에서 제외하며 당해 사업으로 인하여 교통량 증가, 環境汚染 유발 등 다른 사회간접자본 확충수요를 과도하게 유발시키는 사업 또한 제외한다. 民資誘

致促進法에 의한 대상사업은 <표 6.2>에서와 같이 환경분야 중 下水終末處理施設이나 廢棄物處理施設 등이 그 대상사업이 될 수 있다.

<표 6.2> 민자유치촉진법에 의한 대상사업 분야

분 야	대 상 사 업
도로교통	◦ 도로건설, 철도사업, 노상주차장, 화물터미널, 여객자동차 터미널
환 경	◦ 상·하수도시설, 하수종말처리시설, 하천부속물, 폐기물처리시설, 폐수종말처리시설, 자원재활용시설, 도시공원조성
문화체육	◦ 도서관, 박물관, 미술관, 생활체육시설, 청소년수련시설
산업경제	◦ 유통단지 조성

第 3 節 施設事業 基本計劃의 樹立·告示

1) 수립절차

서울시 하수슬러지 처리시설이 民資誘致 대상사업으로 선정되면 주무부서에서는 당해 사업에 대한 民資誘致計劃인 시설사업 기본계획을 수립하여 關係부서 협의 및 부서장 방침을 받아 시 위원회에 심의요청한다. 이때 투자비 2,000억원 이상 사업은 시 위원회의 심의를 거쳐 주무부서에서 시장방침을 받아 확정한다.

재정경제원 심의대상사업은 위의절차를 거쳐 재정경제원에 통보하여 그 결과에 따라 확정한다.

※ 재정경제원 심의대상

- 투자비 2,000억원 이상 사업
 - 주무관청이 2개 이상, 2개 이상의 시도가 관련된 사업
 - 시장이 필요하다고 인정하는 사업
-

2) 告示

주무부서에서는 시설사업기본계획이 확정되면 그 주요내용을 관보와 3개 이상의 주요 일간지에 고시하여야 한다.(법 제11조, 시행령 제8조)

3) 시설사업 基本計劃의 주요내용은 다음과 같다.

○ 대상사업의 개요

- 규모, 사업기간, 추정사업비, 연차별 투자소요, 적용기술 등을 기술한다.

○ 사업신청자의 자격에 관한 사항

- 사업시행자의 구성, 시설의 운영능력, 자원조달능력 등을 기술한다.

○ 사업의 수익성에 관한 사항

- 수요추정, 요금수준 등 사업에 대한 개략적인 경제성 평가를 한다.

○ 부대사업의 허용범위 및 운영지침

○ 서울시의 지원사항 - 행정 및 재정지원 등을 기술한다.

○ 사업의 성실이행 보장을 위한 요구사항으로는 공사감리, 부실시공 방지대책, 지체상금 규정 등을 기술한다.

○ 시설의 소유, 관리, 운영에 관한 사항 등 소유권 귀속, 무상사용기간의 설정기준, 사용료의 결정방법 등을 기술한다.

○ 사업시행자의 선정방법은 사업계획서의 평가요소와 주요한 평가기준으로 정한다.

○ 사업계획서의 형식, 각종양식 및 제출기한 등

○ 기타 시장이 필요하다고 인정하는 사항

4) 시설사업 基本計劃의 성격과 중요성

시설사업 기본계획은 특정사업을 民資誘致로 시행하는데 따른 기본지침을 제시하는 것으로서 민간사업자의 사업계획서 작성에서부터 시설 준공후 관리·운영에 이르기까지 모든 사항이 본 계획서에서 제시한 지침에 의하여 이루어지는, 民資誘致事業 추진단계중 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 따라서 주무부서에서는 충분한 자료조사와 검토를 거쳐 시설사업 기본 계획 수립에 신중을 기하여야 한다.

第 4 節 事業計劃書 接受 및 評價

1) 사업계획서 제출

民資誘致 사업시행자로 지정받고자 하는 자는 시설사업기본계획에서 정한 기한내에 사업 계획서를 주무부서에 제출서식에 따라 제출하여야 한다.

2) 사업계획서의 심사·평가

주무부서에서는 시설사업기본계획에서 정한 평가방법 기준에 따라 사업계획서를 평가하여야 한다.

3) 평가단 구성·운영

주무부서에서는 평가의 객관성과 전문성 확보를 위해 필요한 경우 평가단을 구성·운영할 수 있으며 평가단 구성방법과 운영에 관한 세부사항은 주무부서에서 자체방침을 득하여 시행 하되 세부계획에 포함되어야 할 주요내용은 다음과 같다.

- 평가단 구성인원 및 자격에 관한 사항
- 객관적이고 공정한 평가방법과 절차에 관한 사항
- 평가단의 활동에 있어 대외 보안에 관한 사항

- 평가단의 활동지원에 관한 사항
- 평가단의 활동에 대한 기록유지에 관한 사항
- 평가과정 및 평가결과에 관한 보고서 등

평가단 구성 및 운영에 필요한 예산은 주무부서에서 확보조치한다.

第 5 節 事業施行者 指定

1) 우선협상 대상자 선정

평가점수가 높은 사업신청자를 우선협상대상자로 선정된 후 사업추진의 구체적인 내용에 대하여 협상하고, 협약서(안)을 작성하여 시 위원회에 사업시행자 지정심의를 요청한다.

우선협상대상자가 주무부서에서 제시하는 요구조건을 충족시키지 못하는 것으로 판단되거나, 협상지연 등으로 협상을 하는 것이 바람직하지 않다고 판단되는 경우에는 차 순위자를 협상대상자로 선정할 수 있으며 차순위자가 우선협상대상자와 비교하여 평가결과에 현격한 차이가 있어 협상을 하는 것이 바람직하지 않다고 판단될 때에는 차 순위자를 선정하지 않을 수 있다. 또한 우선협상자와의 원활한 협상추진을 위해 주무부서에서는 평가단 구성·운영에 준하여 협상단을 구성·운영할 수 있다.

2) 사업시행자 지정

우선협상대상자와 협상이 타결되면 예비사업자로 지정을 하고 사업계획 평가결과와 협약서(안)을 시 위원회에 심의안건으로 제출한다.

시 위원회의 심의를 거쳐 주무부서에서 시장방침을 받아 최종확정하고 서식에 의한 지정서를 교부한다. → 사업시행자 지정 및 협상안 확정

단수의 사업신청자만 있는 경우에는 시설사업기본계획에서 제시한 모든 조건 등을 충족시키는 경우에 한하여 협상에 의한 사업시행자 지정이 가능하다.

재정경제원 심의대상사업은 위 절차를 거쳐 재경원 심의결과에 따라 사업시행자를 지정한다.

※ 재정경제원 심의대상

- 투자비 5,000억원 이상 사업
 - 당해 부대사업의 투자비 3,000억원 이상 사업
 - 시장이 필요하다고 인정하는 사업
-

第 6 節 實施計劃 承認·告示

1) 실시계획 승인신청

- 사업시행자는 사업시행자 지정일로부터 시설사업 기본계획에서 정한 기한내에 주무부서에 실시계획 승인을 신청하여야 한다. 단, 불가피한 경우 1회에 한하여 연장이 가능하다.
- 승인신청시 제출할 서류는 시설사업 기본계획에서 제시한 내용과 주무부서에서 승인심을 위해 필요로 하여 요구하는 사항이다.

2) 承認·告示

- 주무부서에서는 사업시행자가 제출한 실시계획을 관련부서와 협의 검토한 후, 6개월이 내에 승인여부를 서면통보하고 이를 고시하여야 한다.
- 실시계획을 승인·고시한 때에는 당해 民資誘致事業 및 附帶事業과 관련된 인허가 사항을 받은 것으로 처리된다(법제15조, 제20조).

第 7 節 工事施行 및 竣工確認

1) 공사시행

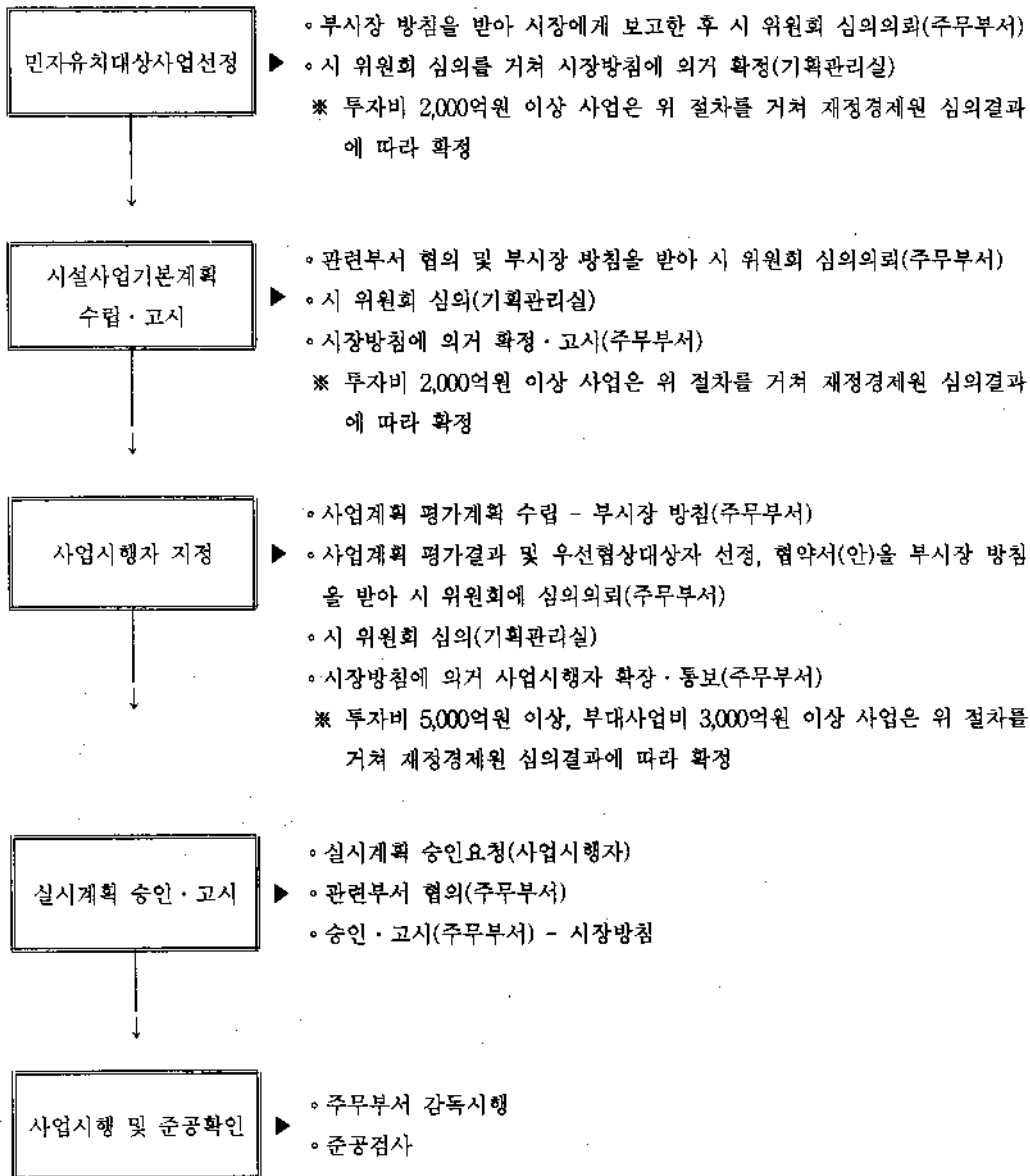
○ 실시계획의 승인을 받은 사업시행자는 실시계획 승인권자가 지정한 기간내에 사업을 착수하여야 하며 사업착수후 5일 이내에 사업착수 신고서를 제출하여야 한다.

※ 공사감리, 부실공사예방 등 사업의 성실히행 보장을 위해 필요한 조치는 관계법령 및 시설사업 기본계획에 의해 시행한다.

2) 竣工確認

사업시행자가 사업을 완료한 때에는 주무부서에 준공보고서를 제출하여야 하고 주무부서에서는 준공여부를 확인한 후 그 결과에 따라 준공확인 필증을 교부하며 서울시에 귀속하게 될 시설에 대한 등기 등 필요한 조치는 준공검사후 3개월 이내에 완료하여야 한다.

民資誘致事業을 선정하게 되면 시설사업의 基本計劃을 고시하게 되는데 이때 재정 계획 반영 및 투자심사를 하는데 소요기간이 약 8개월, 기본계획수립이 12개월, 기본계획 고시가 4개월 등 대략 24개월이 소요될 것으로 판단된다. 경기도 구리시 환경사업소의 경우 1일 60톤 규모의 燒却爐 건립사업 추진시 전액 民資誘致 방안으로 燒却爐를 설치하기 위해 基本計劃 수립고시를 생략하였는데 基本計劃 수립 고시를 생략하고 추진할 경우에는 民資誘致(SOC) 사업자로 인정을 받지 못한다는 단점이 있다. 이 때에는 정부의 조세감면, 금융지원, 행정지원 등의 혜택을 받을 수 없는 것이 큰 단점이다. 이를 정리하여 民資誘致事業의 추진 절차를 <그림 6.1>에 나타내었다.



<그림 6.1> 민자유치사업 추진 절차도

'97년도에 서울시에서 民資誘致로 지정한 대상사업은 <표 6.3>과 같으며 주로 우수지를 복개하여 주차장을 만들거나 공원의 지하주차장을 만든 예이고, 하수슬러지의 처리시설과 같

은 고도의 기술을 요하는 사업은 없었다.

<표 6.3> '97 서울시 민자유치 대상사업

연번	분야	사업명	규모	사업비 (억원)	사업자	추진현황
		제 18 건		4,668.8		
1	문화 예술	종로구 운니동 미술관 건립	대지 1,918평 건물 14,337평	1,900	재단법인 삼성미술관	· 실시계획 수립 중
2	도로 건설	우면산터널 건설	B=4~6차선 L=2,959m	948		· 시설사업기본 계획수립
3	주차 장	중구 만리동2가 6-1 (공원 지하주차장)	1,500m ² (180대)	50		· 시설사업기본 계획고시
4	"	성동구 용답동 234-1 (공원 지하주차장)	1,653m ² (200대)	58		"
5	"	중랑구 면목3동 570 (공원 지하주차장)	3,232m ² (290대)	82		"
6	"	서대문구 창천동 57-18 (공원 지하주차장)	2,327m ² (210대)	59		"
7	"	영등포구 당산동3가 386 (공원 지하주차장)	11,155m ² (340대)	208		"
8	"	영등포구 문래동 60-1 (공원 지하주차장)	23,611m ² (1,430대)	400		"
9	"	마포구 동교동 168-1 (공원 지하주차장)	3,439m ² (310대)	86.8		"
10	"	강서구 화곡동 98-99 (공원 지하주차장)	4,219m ² (380대)	107		"
11	"	강동구 성내1동 533 (공원 지하주차장)	8,928m ² (810대)	227		"
12	"	강남구 일원동 621 (공원 지하주차장)	14,089m ² (340대)	96		"
13	"	송파구 삼전동 62-1 (공원 지하주차장)	6,607m ² (400대)	110		"
14	"	송파구 잠실본동 230 (공원 지하주차장)	6,613m ² (400대)	110		"
15	"	성동구 옥수2동 77-3 (옥수유수지)	1,380m ² (55대)	10		"
16	"	동대문구 용두동 129-4 (용두유수지)	2,684m ² (90대)	16		"
17	"	영등포구 신길동 54-1 (신길유수지)	8,739m ² (300대)	55		"
18	"	영등포구 도림동 254 (도림유수지)	19,439m ² (800대)	146		"

第 8 節 下水슬러지 處理事業의 民資誘致 事例

1) 사업명 : 구리시 環境事業所 하수슬러지 燒却爐 건설사업

2) 사업추진 방법 : 기업 자체자금으로 구리시 環境事業所(下水處理場)에 하수슬러지 소각 설비를 건설하여 기부채납한 후 투자비 회수기간동안 운영하며, 구리시는 상호 합의된 슬러지 처리비를 운영 기간동안 기업에 지급하는 방안으로 하였다.

3) 사업주체 : 경기도 구리시

4) 시설규모

○ 소각용량 : 70톤/일(함수율 75% 기준)

○ 소각방식 : 유동층소각로(Fluidized bed incinerator)

5) 투자비 재원 : 民資誘致(기업이 투자)

6) 건설부지

○ 구리시 環境事業소내(구리시 무상대여)

7) 사업추진 일정 : 1997. 10 ~ 1998. 12

8) 설계, 시공 및 운영 : 기업

第 9 節 下水슬러지 處理事業의 民資誘致時 問題點

1) 소요기간 문제

前述한 것처럼 2001년에 하수슬러지의 직매립이 금지되기 때문에 基本計劃 수립 및 고시 기간으로 <표 6.4>와 같이 약 24개월이 소요된다. 또한 사업시설의 시공 및 시운전 역시 약 24개월 소요되므로 사업추진 기간이 과다하게 소요되기 때문에 일부 시에서는 기본 계획 고시를 생략하는 방법을 택하였다. 또한 基本計劃 고시를 생략하고 추진할 경우에는 기업이 民資誘致(SOC) 사업자로 인정을 받지 못하기 때문에 정부의 조세감면, 금융지원, 행정지원 등의 혜택을 받을 수 없다. 이에 따라 기업이 지불하는 비용이 증가하기 때문에 하수슬러지를 처리하는 투자비는 상승할 것이다. 따라서 실무부서에서는 민간참여업체의 수용여부 및 서울시의 이점 등을 판단하여 추진하여야 할 것이다.

<표 6.4> 민자유치 단계별 사업 소요기간 검토

기본 계획 고시 실시	기본 계획 고시 생략
48개월	24개월
· 재정 계획 반영 및 투자심사 : 8개월	· 재정 계획 반영 및 투자심사 : 생략
· 기본계획 수립 : 12개월	· 기본계획 수립(제안자의 제안 보고로 대체)
· 기본계획 고시 : 4개월	· 기본계획 고시 : 생략
총 : 24개월	생략
· 사업계획서 제출 및 사업자 선정 : 3개월	· 사업계획서 제출 및 사업자 선정 : 3개월
· 실시계획 승인 신청 및 승인 : 3개월	· 실시계획 승인 신청 및 승인 : 3개월
· 공사시행 및 준공 : 15개월	· 공사시행 및 준공 : 15개월
· 시운전 : 3개월	· 시운전 : 3개월

자료 : 서울시 하수처리장 슬러지 처리방안에 관한 2차 Workshop자료, LG 전선 (주) 기계 CU, 1997.

2) 民資誘致 사업의 유형 선택 문제

서울시 下水處理場 슬러지 처리방안에 관한 2차 Workshop을 개최한 결과 대다수의 기업에서 기본형태 III의 경우를 가장 선호하였다. III형태는 기존설계 및 시공(Turn-key)의 변형

으로 서울시가 국고지원 또는 지방채, 국채, 지자체 예산으로 시설 설치비를 투자하고 기업이 설계, 시공, 운영관리하는 방안이다. 따라서 서울시에서 초기 투자비는 다소 과중하나 民資誘致促進法에 의해 금융지원, 행정지원 등의 혜택을 받을 수 있는 장점이 있다. I의 경우에는 기업이 시설설치비를 투자함에 따라 기업이 투자비상환액 부담이 과중되므로 처리단가가 증가하는 단점을 가지고 있다.

2001년부터 하수슬러지의 직매립이 어려운 상태이므로 사업의 조기시행이 이루어질 예정이다. 따라서 예산확보 기간 및 시공기간 등을 고려할 때 사업시행까지의 공사기간의 결정에 따라 가능한 기본형태가 먼저 결정되어야 한다. 즉, 서울시 담당부서의 추진 의사 타진과 함께 유형을 결정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3) 民營化 및 民間委託管理 타당성 검토

- 환경기초시설 民資誘致 유형은 기초시설의 사업추진범위, 민간기업 참여시점 및 민간 자본 투자 여부에 따라 5개 형태로 구분할 수 있다.
- 民營化 및 民間委託管理 방안으로 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내 투자비를 회수하는 유형 I 과 지자체 등 사업주관기관에서 기본설계를 완료한 후 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치 완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내 투자비를 회수하는 유형 II가 있다. 유형 I에는 기업 자체자금으로 하수슬러지 처리설비를 건설하여 기부채납한 후 투자비 회수기간동안 운영하며, 지자체는 상호 합의된 슬러지 처리비를 운영기간동안 기업에 지급하는 방안인 BOT(Build - Operate - Transfer) 방식이 있으며 기업이 자체자금으로 하수슬러지 소각설비를 건설한 후 소각설비는 기업에 속하여 운영 및 유지관리를 하게 되는 BOO(Build - Own - Operate) 방식이 있다.
- 지방자치단체가 투자하고 민간이 위탁관리하는 유형 III은 기본설계·시공의 일괄 입찰 방식(Turn-key)을 확대하여 운영관리까지를 포함한 일괄 입찰방식으로 추진한다. 유형 IV는 기존 설계·시공 일괄 입찰방식을 변형하여 시공 및 운영관리를 일괄 입찰방

식으로 추진한다. 유형 V는 지자체 등 사업주관기관에서 설계 및 시공을 완료한 후 해당 기초시설의 시공업체 등 민간기업과 계약에 의해 위탁관리한다.

- 유형 III은 기본설계 및 시공(Turn-key)의 변형으로 서울시가 국고지원 또는 지방채, 국채, 지자체 예산으로 시설 설치비를 투자하고 기업이 설계, 시공, 운영관리하는 방안이다. 따라서 유형III은 서울시에서 초기 투자비는 다소 과중하나 民資誘致促進法에 의해 금융지원, 행정지원 등의 혜택을 받을 수 있는 장점이 있다. I의 경우에는 기업이 시설설치비를 투자함에 따라 民間資本의 이자 상환액이 높아 기업이 투자비상환액 부담이 과중되므로 처리단가가 증가하여 시재정에 부담을 주는 단점을 가지고 있다.
- 民資誘致方案중 제 3섹터방식은 민관합동법인(민자유치법), 지역개발법인(지역균형개발법), 상법상 주식회사, 민법상 재단법인(지방공기업) 형태를 말하며 제1섹터와 제2섹터가 공동으로 출자하는 사업경영형태를 말한다. 제3섹터의 긍정적인 효과는 민간부문이 가지고 있는 창의와 활력을 활용하여 조직의 쇄신과 환경에 대한 대응능력을 갖추어나갈 수 있다는 점과 공공부문이 수행하는 업무에 있어 민간의 경영기법인 조직관리, 회계제도 등을 도입함으로써 탄력적인 인사관리, 비용절감효과 등 경쟁적이고 생산적인 효과를 기대할 수 있다는 점이다. 우리나라의 제3섹터 기업에 있어서 가장 특징적인 부문이 있다면 정부투자기본법에서 정해진 바와 같이 정부부문의 출자가 50%를 넘어야 한다는 점이다. 이와 같이 정부부문의 출자비율이 높다는 것은 공익성을 추구할 수 있다는 장점이 있으나 상대적으로 이윤의 추구, 기업성의 추구에 있어 상당한 제약을 가져올 수 있고, 이는 책임경영을 확보할 수 없는 문제점이 있다. 또한 계약주체의 선정, 계약기간후의 귀속문제 그리고 임차료 지불문제, 민간부문과 서울시가 공동설립한 별도의 관리직원의 신분보장문제 등의 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다.
- 2001년부터 하수슬러지의 직매립이 어려운 상태이므로 사업의 조기시행이 이루어질 예정이다. 따라서 예산확보 기간 및 시공기간 등을 고려할 때 사업시행까지의 공사기간의 결정에 따라 가능한 기본형태가 먼저 결정되어야 한다.

第 7 章 下水슬러지 處分政策方向

第 1 節 合理的인 政策方向

서울시 4개 下水處理場에서 발생된 하수슬러지를 처분하기 위해 현재 시행되고 있는 陸上埋立은 앞에서 제시한 환경문제 외에 여러 가지 문제점을 유발하였다.

首都圈埋立地의 경우, 유지관리상의 편리함을 위해 매주 일요일과 강수량이 시간당 5mm, 1일 20mm이상일 시에는 반입을 중지하고 있다. 또한 하수슬러지의 함수율이 높아 하수슬러지를 매립할 때 생활쓰레기와 혼합매립(5:1의 비율)함으로 인해 생활쓰레기의 반입량이 적을 경우에도 반입을 중지하고 있는 실정이다. 따라서 반입중지기간 동안에는 下水處理事業所내 임시저장이 불가피하며 이로 인한 惡臭發生으로 인근지역이 영향을 받고 있고, 반입중지 해제 후에도 首都圈埋立地에서 적체된 양의 일괄 반입처리가 어려워 하수처리사업소내에서의 적체 현상을 해결하기가 어려운 실정이다. 이러한 문제점은 하수처리공정에도 영향을 미쳐 수처리 공정에서 슬러지처리공정까지의 정상적인 운영을 불가능하게 만들고 있어 방류수질이 악화되는 결과를 초래하기도 한다.

따라서 현재의 하수슬러지 처분현황을 고려할 때, 향후 제시될 수 있는 방안은 발생되는 하수슬러지를 외부환경변화에 영향을 받지 않고 일정하게 처분할 수 있도록 하는 방안이 모색되어야 할 것이며 도입시기도 시급히 추진되어야 할 것이다. 이를 위해서는 한가지의 방안에 의한 처분에 의존하지 말고 여러 가지 방안이 병행되는 것이 효율적일 것이며 처분과정상의 편리를 위해 슬러지의 양이 많이 減量될 수 있는 방안이어야 한다.

위와 같은 내용을 고려할 때, 현재의 상태에서는 燒却 및 熔融을 통해 하수슬러지를 처리하는 정책이 빠른 시일내에 추진되어야 할 것으로 판단된다. 하수슬러지의 燒却處理에 소요되는 비용은 현재 陸上埋立에 소요되는 비용과 비슷한 수준을 보이며 현재 국내 기업체들의 경우, 하수슬러지와 유사한 성상을 보이는 슬러지를 燒却하는 사례가 많아 하수슬러지를 燒却하

는데 필요한 기술력은 매우 높은 것으로 나타났다.

그러나 국내의 경우, 일부 地方自治團體에서 燒却政策에 대한 구체적인 계획을 수립하고 燒却施設을 건설중이지만 현재 실제 적용되는 사례가 없다. 따라서 서울시의 경우도 燒却政策 추진에 따른 시행착오를 방지하기 위해 燒却施設을 가급적이면 중·소규모로 건설하여 기술적인 경험을 축적하고 이를 토대로 향후에는 적극적으로 하수슬러지의 燒却比率을 높힐 수 있도록 하는 것이 바람직할 것이다.

또한 향후에는 하수슬러지 처분정책을 수행하는데 있어서 환경보전측면이 보다 강조될 것으로 예상되므로 溶融 및 熱分解 방식을 통한 처리정책의 추진도 적극적으로 검토되어야 할 것이다.

그러나 燒却 및 熱分解, 溶融方式의 도입은 시설물을 설치하고 운영하는데 있어 준비기간이 필요하므로 그 시점까지는 현재의 陸上埋立에 의한 슬러지처분을 지속적으로 수행하여야 할 것이다.

또한 최근들어 하수슬러지의 埋立地로의 반입이 중단되는 경우가 빈번하게 발생되고 있어 하수슬러지의 지속적이고 안정적인 처분을 도모하기 위해 首都圈埋立地 반입중지기간에는 일시적으로 海洋投棄를 통해 처분하는 방안도 검토될 수 있을 것이다.

장기적인 측면에서 볼 때, 하수슬러지의 처분은 하수처리와는 달리 廢棄物을 처리하는 것이다. 따라서 현재와 같이 일시적인 처분에 그쳐서는 안되며 보다 안정적인 처분을 통해 환경을 보존할 수 있도록 정책을 유도하여야 할 것이다.

하수슬러지는 생활쓰레기와는 달리 구성성분 및 발생지역 그리고 발생량의 예측이 가능하므로 자원으로써 再利用할 수 있는 체계를 구축하여야 할 것이다. 이를 위해서는 燒却 및 熱分解, 溶融을 통해 발생하는 재(灰) 및 슬래그를 再利用하는 방안, 堆肥化 방안, 固化處理를 통한 매립지 복토재로의 이용 방안 등의 다양한 방법들이 적극적으로 모색되어야 할 것이다.

第 2 節 短期 政策方向(2001년까지)

현재와 같이 불규칙적으로 운영되고 있는 陸上埋立의 문제점을 보완하기 위해서는 4개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지를 지속적이고 안정적으로 처분할 수 있는 처분정책이 우선적으로 시행되어야 할 것이다. 또한 陸上埋立으로 인해 발생하는 環境汚染을 저감시키고 매립지 수명을 연장하기 위해서는 발생슬러지량을 감소시켜 처리하여 環境汚染을 방지하고 처분과정상의 편리함을 추구하여야 한다.

또한 1997년 7월에 새로 개정된 廢棄物管理法 시행규칙에는 2001년 1월 1일부터 유기성물질을 포함하고 있는 슬러지를 매립지에 직접매립하는 것을 금지하도록 하고 있어 이에 대한 대책방안의 모색도 필요하다.

따라서 2001년 이전까지는 주변여건변화에 대처하기 위해서 발생슬러지의 일부는 燒却 및 溶融處理할 수 있도록 燒却 및 溶融施設을 건설·운영하여 기술력을 축적하고 그 외 잔여량은 현재와 같이 陸上埋立을 통해 처분하되 반입중지기간에는 일시적으로 海洋投棄를 통해 처분하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

각 방안별 세부계획은 다음과 같다.

1. 燒却 및 溶融 政策

1) 처리방식 및 규모

- ① 서울시의 경우 급속한 도시화 진행으로 처리시설을 설치할 만한 부지확보가 곤란함으로 下水處理場에서 발생하는 슬러지를 각 下水處理場에서 燒却施設을 건설하여 처리하는 것이 합리적이다. 따라서 각 下水處理場별로 적당한 규모의 燒却施設을 1기씩 설치하여 각 下水處理場에서 발생하는 슬러지의 일부를 처리하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.
- ② 처리방식은 현재 국내에 많은 방식이 소개되어 있으므로 가급적이면 熱分解 및 溶融을

포함하는 여러 가지 방식을 채택하여 각 방식이 갖는 우수성을 검토하여 차후 燒却施設 증설시 고려한다.

- 현재 국내 기업체들의 경우, 하수슬러지와 유사한 특성을 보이는 슬러지를 燒却하는 사례가 많으며 유동상식 燒却爐가 대부분을 차지하고 있다. 또한 고정상 교반식, 자갈상식 燒却爐 등의 燒却방식도 채택되어 있으며 熱分解 및 熔融을 통한 燒却方式도 실용화가 추진되고 있다. 현재 국내 기업체들의 슬러지 처리시설 건설사례를 <부록 2>에 첨부하였다.

- 최근에는 생활쓰레기의 燒却時 다이옥신 등이 기준치 이상으로 발생하는 사례가 빈번히 나타나 燒却施設의 건설에 많은 어려움이 있다. 따라서 서울시 4개 下水處理場 각각에 燒却施設을 건설할 경우에도 많은 반대여론이 형성될 것이 예상된다. 특히, 중량 下水處理場과 같이 주변에 주거시설이 인접되어 있는 下水處理場은 반대여론이 더욱 심각할 것으로 예상되므로 중량하수처리장은 熱分解 및 熔融施設과 같이 환경친화적인 시설물의 건설계획도 검토될 수 있을 것이다.

③ 현재 국내에는 하수슬러지를 직접 燒却處理한 사례가 없으므로 각 下水處理場에 건설할 燒却施設의 용량은 처리효율이 가장 좋은 규모로 선정하되 우선은 시설용량이 200톤(wet base)/일 이하가 되도록 건설하여 정책추진상의 효율성을 도모하고 운영상의 Know-how를 축적하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

- 100~200톤(wet base)/일의 처리용량을 보이는 燒却施設은 현재 국내 및 전세계적으로 비교적 대용량의 범위에서 적용실적 및 운용자료가 많은 것으로 보고되고 있기 때문에 실제 燒却施設 건설 및 운영시 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 燒却施設 운영이 일반적으로 4조 3교대로 이루어지는 상태에서는 100~200톤(wet base)/일 정도의 규모가 燒却施設 운전 및 유지관리에 가장 효율적일 것으로 생각된다.

- 따라서 중량, 탄전하수처리장의 경우, 매립지까지의 운반거리가 멀고 교통이 혼잡한 특성이 있으므로 200톤(wet base)/일 규모의 소각 및 용융시설을 우선적으로 건설하는 것이 타당할 것으로 생각되며 가양, 난지 하수처리장은 수도권매립지까지의 운반

조건이 중량, 탄천하수처리장에 비해 유리하므로 100톤(wet base)/일 규모의 소각시설을 건설하여 운영에 따른 기술축적을 도모하는 것이 바람직 할 것이다.

- 서울시 하수슬러지와 같은 성상특성을 보이는 슬러지를 燒却한 후, 발생하는 燒却熱을 통해 하수슬러지를 乾燥시키면 최초 75~80%정도의 함수율을 55~60%정도로 감소시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 下水處理場별 하수슬러지는 燒却후 발생하는 열과 소량의 보조연료를 통해 50% 이하로 乾燥시켜 燒却하는 것이 가장 효율적일 것으로 생각된다.

2) 維持管理

(1) 건설 및 운영·관리주체 결정

燒却 및 溶融施設의 경우, 건설 및 운영상에 숙련된 기술이 필요하므로 기술적 특성을 잘 알고 있는 民間企業이 가장 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 판단된다. 民營化 및 民間委託管理의 유형별 효율성을 검토한 결과, 기업이 시설설치비까지 부담하는 경우에는 民間資本의 이자 상환액이 높아 기업의 투자비상환액 부담이 과중되므로 처리단가가 증가하는 등 실제적인 시재정부담을 가중시키게 될 것으로 판단되었다. 따라서 燒却施設 건설을 위한 초기 투자비는 서울시가 부담하고 운영관리는 민간기업에서 실시할 경우, 공사비 절감, 공기단축, 위험 부담 저감, 운영비절감, 진보적인 기술적용 및 서비스품질을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

현재 운영관리를 위한 방법으로는 地方自治團體가 운영주체가 되어 직접운영하는 지자체 직영방식과 지방자치단체가 운영주체가 되어 공공성을 확보한 상태에서 전문기술이 필요한 운전·관리부분을 기술력을 갖춘 民間企業 및 공공기관이 위탁하는 委託管理方式이 있다.

燒却施設을 중심으로 한 공공환경기초시설을 국가 및 地方自治團體가 직접운영한 사례를 살펴보면, 공무원이 업무를 맡게 됨에 따라 전문성부족과 인력의 비효율적인 운영 등 여러 가지 문제점이 발생하는 것을 알 수 있었다. 특히, 嫌惡施設에서의 근무로 인한 근무자의 사기 저하, 공무원의 순환근무로 인한 전문성 부족, 낮은 임금수준으로 인한 고급인력부족, 근무자에 대한 전문기술교육 부족 등의 문제가 나타났는데 효율적인 시설운영을 위해서는 오염원인

자 부담금에 해당되는 하수도요금 인상을 통해 재정상의 어려움을 확보하고 근무자 처우개선을 실시해야 될 것으로 나타났다.

하수슬러지 燒却施設과 같은 공공환경기초시설의 경우, 그 의미가 공공성이 큰 시설이므로 운영의 주체에 공공부문이 어떤 형태로든 참여해야 될 것으로 사료되나 참여정도가 문제가 된다. 또한 위탁관리의 전제조건이 적절한 유지관리비 산출을 통한 위탁관리회사의 최저이익이 보장되어야 하며 동시에 배기가스 등 환경기준을 초과하는 경우에는 엄한 벌칙도 강구되어야 할 것이다.

각 방안별 장·단점은 <표 7.1>에서 보는 바와 같다.

<표 7.1> 전문관리방안 장·단점 비교

구분	지자체직영방식	위탁관리방식
개요	<ul style="list-style-type: none"> · 현재 시행되고 있는 방식으로서 국가(지자체)가 사업주체가 되어 계획·설계·시공·운전·관리 등의 모든업무를 실시하는 것 · 현재의 문제점을 개선하기 위해 근무조직개편 및 근무자 처우개선, 교육기회확대 등의 조치가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 환경기초시설의 사업주체는 국가(지자체)가 건설하면서 시설의 운전·관리를 일괄 또는 부분적으로 기술력을 보유하고 있는 환경관리공단, 민간사회에 위탁하여 처리효율향상 및 상호경쟁을 통한 경비절감을 도모
법적인면	<ul style="list-style-type: none"> · 현재 시행되고 있는 방식이므로 별도의 법개정 또는 보완이 필요 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 환경기초시설의 위탁관리에 대한 다소간의 법규개정(자격기준, 대가의 기준, 업체선정방법 등)이 필요함.
초기투자 및 관리체제변경으로 인한 충격	<ul style="list-style-type: none"> · 초기투자비 및 관리체제의 변경이 없으므로 별도의 충격 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> · 현행체제하에서 일부를 위탁하므로 초기투자비가 거의 없으나 적절한 위탁비용 산출이 필요함.
관리조직구성 및 기대되는 관리수준	<ul style="list-style-type: none"> · 상하간의 위계질서를 중시하는 공무원의 특성상 조직상의 문제는 없으나 공공부문의 독점성에 기인하는 관료조직의 특성상 비효율적인 운영이 될 수가 있다. · 경험이 없는 공무원이 관리를 담당할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 지자체는 위탁회사에 대한 행정적지원 및 처리수준에 대한 감독·규제업무만을 수행하므로 현행보다 적은 최소한의 인원으로 구성가능 · 지자체와 위탁업체간의 업무 및 책임구분을 명확히 할 수 있으므로 관리성이 좋음. · 이윤추구의 민간회사 특성상 부적절한 관리우려
기술인력의 확보	<ul style="list-style-type: none"> · 환경기초시설 근무조건이 열악한 현상에서는 지자체별 전문인력 확보가 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> · 행정적인 감독을 제외한 운영관리를 위탁할 경우, 민간회사의 기술력을 확보할 수 있음. · 그러나 이 경우, 적절한 위탁료의 산정이 변수가 될 수 있음.
외국사례	<ul style="list-style-type: none"> · 전반적으로 직영을 실시하고 있는 나라는 없으며 대부분의 국가에서 지자체가 운영방식 결정권을 가지고 지역실정에 맞는 방식을 택하고 있다. · 일본의 경우, 상수도는 직영, 하수도는 직영 및 위탁 · 독일은 지자체가 직영 또는 사업소형태, 민관공동출자 등 여러유형 존재 	<ul style="list-style-type: none"> · 일본의 경우, 전체시설의 70%정도 위탁관리 · 프랑스와 영국은 대부분이 민간위탁 · 미국은 지자체에서 모든 권한을 가지고 직영 또는 위탁관리하는 경우가 많음.

현재의 경우, 시공회사가 燒却施設을 건설한 후 3~6개월의 시운전을 실시한 후에 地方自治團體에 인도되고 있어 전문기술인력을 확보하지 못한 지방자치단체가 운영하기에는 현실적으로 그 능력에 한계가 있고 또한 운영효율측면에서도 비용이 많이 소요되고 있다. 따라서 시공회사가 3~6개월의 시운전만 하고 운영에 참여하지 않는 것을 지양해서 시공회사가 5년이상 운영에 참여하는 방향으로 추진하여야 할 것이다.

참고로 현재 시행되고 있는 생활폐기물 燒却施設에 대한 위탁관리와 지자체 직영사례를 보면, <표 7.2>에서와 같이 위탁관리가 보다 효율적인 것으로 나타났다.

<표 7.2> 생활폐기물 소각시설의 전문관리방안별 효율성 채점결과

평가항목	지자체 직영	전문공기업 위탁관리	민간기업 위탁관리
조직의 용이성	2	10	8
책임성	10	6	2
전문성	3	12	15
경제성	3	12	15
총점수	18	40	40

자료) 공공환경기초시설 전문관리방안연구, 환경관리공단, 1996.

(2) 운영시 주의사항 및 유지관리방안

- 슬러지 燒却施設은 비교적 협소한 공간에 입체적으로 각 설비들이 설치되므로 작업장의 정리정돈이 대단히 중요하며 시설내 위험물 보관과 취급에 유의해야 한다.
- 작업장은 적절한 통로를 확보하고 채광, 조명, 환기에 유의하며 쾌적한 작업환경이 되도록 한다.
- 시설주변에 강재의 공작물이 많고 감전, 기름 등에 의한 미끄러짐, 높은 온도의 접촉, 분진의 비산, 소음·진동의 발생 등 작업환경 개선과 사고발생의 방지에 세심한 배려가 필요하다.
- 설비의 내부점검 등 집단작업을 할 경우에는 반드시 작업책임자를 선정하고, 작업개시 전에 종사자 전원에 대해서 작업내용, 순서, 조작방법 등을 설명하여 각 개인의 부담을 명확히 한 후 작업을 실시한다.
- 시설의 관리자는 설비내용에 충분한 기술지식을 갖고 각 설비기기의 운전현황 및 조작방법을 운전원들에게 적절하게 지시할 수 있어야 한다.

- 燒却施設의 처리능력 향상, 운전방법의 검토, 개선을 위하여 주요설비별로 분리하여 운전기록을 점검정비사항, 인계사항 등 운전일지를 작성, 보관하여야 한다.
- 운전일지는 주 용도에 따라 1시간별, 8시간별, 1일별로 기록하여 운전기준치와 대비하여 적부를 판단하고 이상유무나 운전방법의 개선을 도모한다.
- 효과적 운영을 위해서 슬러지 투입량을 적절히 조정하여 보조연료 사용을 최소화하고, 소각로 배출가스 온도를 850℃ 이상으로 유지한다.

3) 大氣汚染物質處理

하수슬러지를 燒却할 때 발생하는 汚染物質은 슬러지의 성상에 따라 다르나 주로 분진 및 유해가스 등을 들 수 있으나 <표 4.6> 및 <표 4.7>에 제시한 바와 같이 적절한 大氣汚染 防止施設을 통과할 경우에는 배출오염정도가 배출기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 최근 도시쓰레기 燒却施設에서의 다이옥신 검출이 문제가 되고 있는 현 시점에서는 <표 4.8>에 서 제시한 바와 같이 하수슬러지 燒却時에는 도시쓰레기 소각시에 비해 발생량이 현저히 적어 큰 문제가 되지 않을 것으로 예상되나 보다 각 오염물질에 대한 적합한 시설물을 설치하여 완벽한 처리를 도모해야 할 것이다.

각 오염물질별 처리방법을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 분진 및 유해가스(HCl, SOx 등)

분진 및 유해가스 처리를 위해서는 건식 및 반건식법 그리고 습식법이 있다.

건식법은 소석회 등의 알칼리제 분말을 燒却爐 및 반응탑에 투입하여 배기가스와 반응시켜 유해가스 및 분진을 흡수하는 방법으로 설비가 간단하고 비용이 저렴하다.

반건식법은 소석회 분말을 고압공기로 분사시키고 물을 스프레이노즐로 미세분무하여 배기가스와 반응시키거나 혹은 소석회를 물과 혼합하여 슬러리화하여 미립화시키고 반응탑내에 균일하게 분산시켜 유해가스 등을 흡수하는 방식이다.

습식법은 가성소다 수용액을 세정기에 분무하여 배기가스와 접촉시켜 유해가스를 흡수하

는 방식으로 본 반응물은 수용액이다. 이 때 배기가스는 잠은, 가습되어 있기 때문에 백연방지를 위해 배기가스를 증기 등으로 재가열하고 나서 大氣로 방출시킨다.

(2) 질소산화물 (NOx)

질소산화물 제거방법으로는 크게 燃燒管理에 의한 제거방법과 탈질제거장치에 의한 제거방법이 있다.

燃燒管理法은 슬러지 연소시 발생하는 질소산화물이 온도 및 O₂ 농도와 상관성이 있으므로 공기비를 낮게 유지하고 연소온도를 약 800℃로 일정하게 유지하여 저감하는 방법이다.

무촉매탈질법(Selective Non-Catalytic Reduction: SNCR)은 연소가스속에 암모니아 또는 요소를 주입시켜 NOx를 N₂와 H₂O로 분해하여 제거하는 방법으로 다른 탈질법에 비해 투자비 및 운전비가 작고 장치가 간단하여 운전보수가 용이하나 연소온도를 950℃이하로 확실하게 제어하여야 하며 백연발생의 우려가 크다.

촉매탈질법(Selective Catalytic Reduction: SCR)은 암모니아를 배기가스속에 흡입하며 그 가스를 촉매에 접촉시켜 NOx를 N₂와 H₂O로 분해하여 제거하는 방법으로 높은 탈질효율과 암모니아 손실이 작은 장점이 있다. 그러나 촉매의 수명이 짧아 비용이 많이 들며 보수점검빈도가 많고 촉매층의 설치공간이 필요한 단점이 있다.

(3) 다이옥신 (Dioxin)

다이옥신 제거는 백필터를 포함한 여러 가지 복합시설의 구성을 통해 시행되고 있는데 현재 적용되고 있는 대표적인 방법으로는 <표 7.3>에서 보는 바와 같이 활성탄과 백필터를 함께 병행하는 방법과 촉매반응탑을 이용하는 방법 등이 있다.

<표 7.3> 대표적인 다이옥신 저감설비 비교

구 분		활성탄 + 백필터	촉매 반응탑
1. 다이옥신 제거원리		활성탄 분말의 흡착성을 이용하여 활성탄 표면에 다이옥신을 흡착시킴.	특수재질의 촉매내부로 연소가스를 통과시켜 다이옥신을 완전히 분해시킴.
2. 운전온도 범위	운전가능	130~250℃	200~350℃
	통상적용	200℃ 이하 (150~230℃)	320℃ 이하 (250~320℃)
3. 연속소요물질		활성탄, 소석회 분말	암모니아 (NOx 제거목적)
4. 설비특성		흡착능력이 큰 활성탄분말을 소석회분말과 혼합하여 연소가스중에서 연속주입시키고 백필터에서 반응후 물질들을 다시 여과·포집한다.	특수재질의 촉매 내부로 연소가스를 통과시켜 다이옥신과 NOx를 동시에 분해·제거한다.
5. 다이옥신제거효율		95% 이상	95% 이상
6. 설치위치	다이옥신: ≤0.1ng/Nm ³	반전식 반응탑 후단	습식세정탑 후단
	다이옥신: ≤0.1ng/Nm ³	연소가스 최종출구	연소가스 최종출구
7. 설치 투자비 (상대비교)		100%	150% (전기집진기 제외) 170% (전기집진기 포함)
8. 소요운전비용 (상대비교)		130~150%	100%
9. 장점		<ol style="list-style-type: none"> 1) 집진용으로 설치된 백필터를 이용하는 경우 건설비가 절약된다. 2) 다이옥신과 함께 중금속 등의 흡착도 가능하다. 3) 미세분진의 포집이 가능하다. 4) 운전온도 및 체류시간이 짧아 다이옥신 재형성 방지에 유리하다. 5) 활성탄 주입량을 변경하면 다이옥신 제거효율을 어느정도 변경할 수 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 설비가 간단하고 내구성이 있으므로 장기간동안 연속 운전이 가능하다. 2) 다이옥신과 NOx의 단독 또는 동시 제거가 가능하다. 3) 장래설치를 위한 촉매공간의 확보로 다이옥신 제거효율 항상시 조치가 간단하다. 4) 암모니아수만 소량 사용하므로 주변이 청결하며 설비 주변에 공해가 발생하지 않는다.
11. 단점		<ol style="list-style-type: none"> 1) 파손여과포의 교체회수가 많아 인력 및 경비의 부담이 크고 설비의 연속 운전에 지장을 줄 수 있다. 2) 반응후 물질의 다량 발생으로 처리 비용이 많이 요구된다. 3) 다이옥신을 흡착한 반응후 물질 및 사용된 여과포의 처리시 미세분진 발생으로 인해 설비주위가 불결하고 2차공해의 우려가 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 집진기의 별도설치로 건설비가 많이 소요된다. 2) 별도의 집진기를 포함한 설치면적이 상대적으로 많이 요구된다. 3) 중금속을 함유한 미세분진의 제거에 불리하다. 4) 체류시간이 길어 다이옥신 재형성 가능성이 상대적으로 높다.

4) 민원발생 대책

현재 쓰레기 燒却施設로 인해 야기된 민원유발 가능성에 대처하기 위해서 쓰레기燒却施設과 下水슬러지燒却施設에서 발생하는 環境汚染 정도를 차별화시키며 다음의 세부방안을 통해 대처한다.

- 하수슬러지 燒却施設의 설치필요성과 타당성에 대하여 홍보하고 계획을 추진한다.
- 下水슬러지에는 다이옥신을 유발하는 성분이 거의 없으므로 다이옥신 등의 汚染物質에 의한 피해가 없음을 홍보하여 주지시킨다.
- 유해가스 및 다이옥신 성분이 무시할 정도로 작은 수치라도 완벽한 제거기술로 제거된다는 것을 확신시킨다.
- 기존 下水處理場내에 설치하므로 시설부지 확보에 문제가 없음을 주지시킨다.

5) 소화조 병행여부 검토

현재 下水處理場의 소화조는 하수슬러지내 유기물 함량을 줄이고 유해균을 安定化 시키는 것을 목적으로 하고 있어 하수슬러지를 燒却처리할 경우에는 이러한 목적을 만족하기 때문에 소화조의 가동이 필요 없다. 또한 하수슬러지가 소화조를 거치지 않을 경우 하수슬러지내 유기물 함량이 높아져 燒却에 필요한 보조연료양이 매우 줄어들 것이다.

그러나 현재 4개 下水處理場의 경우, 넓은 면적에 걸쳐 소화조가 운영되고 있으며 소화조를 통해 많은 슬러지가 감량되는 효과를 얻고 있다. 또한 소화조에서 발생하는 소화가스를 下水處理場내 열원으로 적절하게 이용하고 있는 실정이고 현재 슬러지 처리공정 운영체계가 농축조, 소화조, 탈수기로 적절하게 이어질 수 있도록 가동조건이 설정되어 있어 슬러지 처리공정중 소화조가 없을 경우 가동조건을 다시 설정해야 하는 문제가 발생한다. 게다가 下水處理場에서 발생하는 下水슬러지를 일부만 燒却하는 상태에서는 燒却에 필요한 양을 농축조에서 탈수기로 이동시키기에는 24시간 연속운전되고 있는 현재의 탈수시스템하에서 매우 어려울 것으로 생각된다.

따라서 발생슬러지 일부만을 燒却하고자 하는 현 시점에서는 기존의 소화조 시설을 그대로

로 유지하는 것이 전반적인 효율성 측면에서 바람직할 것으로 생각된다. 향후 하수슬러지 전량을 燒却處理할 경우에도 하수슬러지가 소화조를 거치지 않음으로 인해 증가되는 양에 대한 燒却施設의 증설이 불가피하고 다양한 방법을 통해 하수슬러지를 처분할 경우, 슬러지의 안정화를 위해 현재의 下水處理場에서의 소화조 운영은 그대로 유지하는 것이 좋은 것으로 일본에서 확인되었다. 그러나 향후 하수슬러지를 燒却에 의해 전량 처리할 계획이 설정되어 있는 신설 下水處理場에서는 소화조를 설치하지 않고 하수슬러지를 농축한 후 바로 탈수하는 공정으로 설계하는 것이 시설투자 및 유지관리측면에서 경제적, 효율적이다.

6) 混合燒却 검토

하수슬러지와 도시쓰레기의 혼합소각은 좁은 의미로 자연연소가 불가능한 하수슬러지의 燒却處理시 도시쓰레기를 보조연료로 사용하여 슬러지 燒却爐에서 燒却하는 처리방법과 도시쓰레기를 燒却處理할 때 발생하는 잉여열을 이용하여 슬러지를 燒却하는 방법을 의미한다. 下水處理場은 쓰레기 燒却施設로부터의 폐수를 받아 처리하는 것과 쓰레기 燒却施設에 하수처리수를 용수로서 공급하는 것이 가능하다. 한편 쓰레기 燒却施設에서는 문제가 되고 있는 混合燒却 및 下水處理場으로부터의 臭氣가스를 소각로에서 연소해 탈취하는 것 등 외에 쓰레기 燒却施設로부터 얻는 잉여의 열가스, 증기, 전력 등의 에너지를 下水處理場에 공급하는 것이 고려된다. 전력은 전부 하수처리공정에 이용되지만 열가스, 증기는 혐기성소화의 가온, 열처리, 기계탈수, 乾燥 등의 가열공정에 이용할 수 있다. 그러나 혼합연소는 이론에서는 가능하나 혼합연소를 실시한 예가 일본에서도 10개소 정도가 있으나 아직 실험적인 수준이다.

국내에서는 해운대 신시가지 하수처리장에서 '96년 9월에 200톤/일 규모의 소각시설을 건설하여 생활쓰레기와 하수슬러지를 혼합하여 소각하고 있으며 '97년 6월에 200톤/일의 시설용량을 증설하여 현재는 400톤/일의 소각시설이 가동중에 있다. 해운대 신시가지 하수처리장은 '97년 11월 현재, 78%의 함수율을 보이는 탈수케이크가 평균 13톤/일이 발생하고 있으며 이를 함수율 50%로 건조한 후 소각로로 투입하고 있다. 이경우, 소각로로 투입되는 탈수케이크량은 6톤/일 정도이며 탈수케이크와 생활쓰레기의 투입량 比率은 평균 1:32정도이다. 현재까지

1년간의 운영면에서는 소각로내 연소온도가 850~900℃를 유지하는 등 무리없이 잘 관리되고 있는 것으로 확인되었다. 외국의 混合燒却 사례를 살펴보면 다음과 같다.

① 프랑스의 데엠페市, 부라이부市 등의 예로 都市쓰레기燒却爐의 부속보일러로부터 발생하는 증기로 탈수케이크를 薄膜蒸發機를 이용해서 간접 乾燥하여 도시쓰레기의 투입호퍼에 슬러지를 투입하는 방식이 보고되어 있다. 이 경우의 乾燥排가스는 소각로내에서 재연소되고 있다.

② 독일 쿠레펠트市, 인코르셀타트市, 엷센市 카루나트 發電所 등의 경우는 쓰레기 燒却爐로부터의 배가스로 슬러지를 직접건조(슬러지 분쇄기 등을 이용한 氣流乾燥方式)한 후 혼합연소시키는 방법을 이용하고 있다. 건조슬러지는 투입호퍼가 아닌 爐上部로부터 살포하여 浮遊 燃焼시키기 때문에 火格子로부터의 落塵 등이 적다고 보고되고 있다. 단, 高溫가스를 이용하기 때문에 시설의 부식, 먼지량의 增加 등을 고려할 필요가 있다.

③ 프랑스의 리쥐市, 독일의 반베르크市, 켈트부르크市 등의 예에서는 전술한 바와 같이 氣流乾燥한 슬러지의 일부를 混練機에 되돌려 濕潤슬러지와 混合攪拌해 水分이 50%정도가 될 경우 슬러지 분쇄기에 투입한다. 그 중에는 爐內로부터의 排가스의 일부가 유입됨으로서 여기에서 슬러지의 乾燥와 분쇄가 이루어진다. 浮遊한 먼지는 사이크론에서 補集되며 일부는 혼합용으로 보내지고 나머지는 爐內에서 燒却되는 것으로 일본의 카나자와市와 원리적으로 동일하다.

쓰레기소각로에서의 도시쓰레기와 하수슬러지와와의 혼합소각을 실시함에 따라서 몇가지의 문제점이 있을 것으로 고려된다. 混合燒却할 경우 쓰레기의 선별과 파쇄가 이루어진 후 슬러지와 도시쓰레기가 소각로로 투입되어야 하는데, 이 때 쓰레기 수급의 질적인 안정화가 선행되어 하수슬러지와와의 혼합비가 결정되어야 한다. 그러나 쓰레기의 질적 안정화의 확보가 계절적 변화요인 등에 따라 불안정하고, 도시쓰레기와 하수슬러지의 수분함량 차이로 인하여 燒却 爐 투입시 낙하속도의 차이와 소각로내에서 불완전연소 등을 유발시킬 우려가 있다. 따라서 도시쓰레기와 하수슬러지를 완전혼합할 수 있는 장치나 기술의 개발을 필요로 한다.

또한 기존에 설치되어 있는 도시쓰레기소각장도 현재의 도시쓰레기를 처리하기에는 부족한 용량이므로 증·개축이 요구되며 混合燒却의 기술적인 문제가 해결되는 경우에도 현재 도시쓰레기 관리체제와 하수슬러지의 관리체제가 별도의 체제하에 있기 때문에 몇가지 문제점이 예상된다.

① 쓰레기 처리장내에 설치하는 슬러지혼합소각을 위한 각종시설의 성격 및 역할 즉, 슬러지의 저류 피트와 건조설비 등 소각로의 슬러지혼합소각에 필요한 부분 등에 관한 협의사항

- 건설 및 유지관리의 주체(혼합소각시설이 쓰레기처리시설인가 下水道 處理施設인가하는 문제)
- 비용부담의 원칙
- 협의 기구 및 의견조정기구

② 관리책임의 방법

- 소각재와 배기가스의 책임
- 시설관리책임

③ 기타

쓰레기소각 시설의 주변사정 : 운반트럭의 증가에 따른 제반 영향에 대한 문제와 소각처리량의 증가에 따른 주민의 반대가 예상된다.

2. 陸上埋立과 一部 海洋投棄 檢討

각 下水道處理場에서 발생되는 탈수케이크중 燒却處理量 이외의 여분량은 현행과 같이 陸上埋立을 통해 처분하는 것이 바람직하다. 그러나 전술한 바와 같이 수도권 반입중지기간(연간 100일 추정)에는 하수슬러지의 원활한 처분이 불가능하므로 반입중지기간에 한해서만 임시적으로 海洋投棄를 통해 처분하는 것도 고려할 수 있을 것이다.

현재 국내 일부 대도시에서 海洋投棄를 실시하고 있고 하수슬러지 해양배출 허가업체에서

과학기술처 한국해양연구소와 서울대학교 해양연구소에 의뢰하여 실시한 해양환경영향평가 결과, 인천으로부터 150km 떨어진 지점에 하수슬러지를 배출할 경우 인근 연안에는 환경영향을 미치지 않을 것으로 예측하고 있어 海洋投棄 추진에 큰 어려움이 없을 것으로 생각된다. 따라서 환경부의 해양환경평가후 허가된 하수슬러지 해양배출업체에 위탁하여 임시처리하는 것도 검토될 수 있을 것이다.

그 외 固化處理를 통한 하수슬러지의 복토재료의 재이용 방안은 최근에 많은 연구가 실시되고 있으나 현재 기술이 실용화되어 있지 않아 검토시기가 보다 필요할 것으로 판단되며 처분을 위한 부지확보와 악취문제 등에 대한 대책이 보다 연구된 후에 시행되는 것이 바람직할 것이다. 한편, 堆肥化의 경우, 현재 분석된 슬러지 성상조사결과 중금속 농도가 堆肥化를 위한 기준치를 초과하고 있고 퇴비로 이용할 때 인체의 위해성 및 우리 농산물에 불신이 우려된다는 농림부의 반대도 있어 현 시점에서는 타당하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 固化處理를 통한 매립지복토재료의 재이용 방안이나 분류식 관저정비에 의한 가정오수만 유입되는 소규모 하수처리장 건설시에는 하수슬러지의 퇴비로의 이용은 재이용측면에서 반드시 이루어져야 할 것이다. 따라서 하수슬러지의 성상분석을 지속적으로 실시하고 固化 및 堆肥化 적용에 대한 연구를 지속적으로 시행하여 향후에 적극적으로 도입을 검토하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

第 3 節 長期 政策方向(2001년 以後)

앞에서 언급한 바와 같이 향후에는 보다 환경에 대한 관심이 고조될 것으로 판단되므로 현재와 같이 일시적인 처분에 그쳐서는 안되며 보다 안정적인 처분을 통해 환경을 보존할 수 있도록 정책을 유도하여야 할 것이다. 따라서 海洋投棄 및 陸上埋立에 의한 의존도를 최대한으로 줄이고 이들 외의 다양한 방법을 통해 하수슬러지를 처분하여야 할 것이다.

燒却政策은 단기계획을 통해 축적된 기술을 토대로 하여 하수슬러지의 燒却에 의한 처리

비율을 증가시켜 하수슬러지 처리·처분이 燒却 및 溶融, 熱分解에 의해 이루어질 수 있도록 추진하여야 할 것이며 그 경우 폐에너지의 회수가 가능하고 기능이 좋으며 환경오염방지시설이 잘 갖추어진 환경친화적인 燒却施設이 건설되어야 할 것이다.

또한 堆肥化 및 固化, 소각재 및 溶融슬래그의 建設資材化 등 하수슬러지의 재이용 비율을 높혀 陸上埋立의 의존도를 감소시키는 환경친화적인 하수슬러지 처분정책을 추진해야 할 것이다.

하수슬러지 및 소각재를 시멘트원료로 재활용하는 방안을 적극적으로 검토할 필요가 있으며 이 경우에는 민간사업자의 참여가 필수적이다. 동경도의 경우 현재 민간업자와 슬러지 양도계획을 통하여 일부 시멘트 원료로 재활용하고 있다.

마지막으로 향후 발생원에서 하수를 처리할 수 있는 분류식관거 정비지역의 小規模下水處理場이 건설될 경우에는 유입되는 하수의 성상에 중금속 함량이 미미할 것으로 예상되므로 하수슬러지를 탈수하여 토양개량제 및 퇴비로 활용할 수 있는 방안을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

第 8 章 結 論

'96년 12월 현재, 서울시 4개 下水處理場에서 하루 1,546톤/일 정도가 발생하는 하수슬러지는 과거에 전량을 난지도埋立地에 무상으로 매립하였으나 난지도埋立場 종료로 인하여 1992년 8월부터 金浦首都圈埋立地로 운반하여서 일반 쓰레기와 함께 혼합하여 매립하고 있다. 그러나 하수슬러지 전량을 陸上埋立을 통해서만 처분함으로써 여러 가지 문제점들이 발생되고 있는 것을 알 수 있어 하수슬러지 처분방안에 대한 새로운 모색이 필요하다.

유럽, 일본을 비롯한 선진외국의 대도시는 매립장 확보의 어려움 등으로 인해 슬러지를 적절하게 처리한 후, 유효한 자원으로 재이용하거나 환경을 보호할 수 있는 방안에 대해 활발하게 연구를 실시하고 있으며 이러한 기술들이 실용화되고 있다.

따라서 서울시에서도 현재 발생하는 하수슬러지의 현황을 검토하여 서울시 현 상황에 적합하고 하수슬러지로 인한 環境汚染을 방지하며 자원으로써 이용할 수 있는 경제적인 처리·처분방안의 연구가 절실히 요구된다.

이에 본 연구에서는 서울시 4개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지에 대한 처분방법을 검토하여 環境汚染을 저감시키고 처리비용도 절감시킬 수 있는 합리적인 처분방안을 제시하였다.

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 합리적인 하수슬러지 처리·처분방안을 도입하기 위한 서울시 개황 검토
 - 지형적인 특성을 고려해볼 때, 서울시의 경우 급속한 도시화 진행으로 도심내부의 밀집, 인구과밀, 교통이 혼잡하며 주변의 위성도시가 주거화의 형태로 발전하고 있어 下水處理場에서 발생하는 슬러지는 교통 및 민원유발문제를 고려해서 각 下水處理場에서 처리하는 것이 합리적일 것으로 생각된다.
 - 지리적으로 서해안에 근접되어 있어 海洋投棄를 고려해볼 수도 있으나 많은 양의 슬러

지를 운반하는데 발생하는 교통혼잡문제, 타 자치단체와의 이해관계 등을 고려해 보면 어려움이 많을 것으로 생각된다. 특히, 향후 정책수행시 環境問題를 중요하게 고려할 것으로 예상되고 국제추세가 海洋投棄를 금지하는 경향이므로 이에 대한 대비책을 마련해야 할 것이다.

- 서울시의 경우, 발생 하수슬러지 전량을 金浦首都圈埋立地에서 매립하고 있으나 향후, 매립지 운영의 불투명성과 경제성 등에 많은 문제점을 가지고 있어 향후에도 슬러지 처분을 계속 매립에만 의존할 경우, 많은 어려움이 발생할 것으로 예상된다. 또한 시간 당 5mm, 하루 20mm이상의 강우시에는 매립지로의 반입을 금지시키는 현 실정에서 서울시는 강수일이 연평균 115일을 보이고 여름철에 장마로 인해 집중호우가 발생하는 기후특성을 보여 매립이 안정적인 처분방안이 되지 못하고 있으며 반입금지로 인한 下水處理場에서의 슬러지적체는 수처리공정의 효율성 및 下水處理場 유지관리에도 많은 어려움을 유발시키고 있다.
- 서울시의 경우, 개발제한구역을 포함해서 임야지역이 전체면적의 1/5 정도를 차지하고 있으므로 이 지역에 적절히 이용될 수 있는 방안이 도입될 수도 있을 것이다.
- 주민들의 삶의 질이 향상되면서 환경에 대한 관심이 고조되고 있는 현실에서 슬러지처리 방법에 따른 민원을 해결할 수 있는 환경친화적인 방안이 모색되어야 할 것이다.

2) 下水슬러지 發生量 豫測

- 본 연구에서는 과거부터 현재까지의 슬러지 발생량 및 유입하수량에 따른 1차, 2차 처리량, 오염물질의 유입, 유출농도 차이의 변화추이를 토대로 하여 각 인자간의 상관성 및 변화과정을 분석하고 이를 통계처리하여 향후 단기간동안의 슬러지 발생량을 추정 하였다.
- 하수슬러지 발생량 예측결과, '96년 12월 현재, 371만 m^3 /일의 시설용량을 가지고 있는 下水處理場이 '98년 12월까지 210만 m^3 /일이 증설되어 총 581만 m^3 /일이 될 경우에는 방류수질의 조건에 따라 평균 1,825~1,885톤/일에서 최대 2,132~2,207톤/일의 하수슬러

지가 발생하는 것으로 예측되었다.

- 下水處理場별로는 가양下水處理場이 4개 下水處理場중 가장 많은 슬러지가 발생할 것으로 예측되었으며 난지下水處理場이 가장 적은 양의 슬러지가 발생할 것으로 예측되었다.

3) 國內·外 下水슬러지 處理·處分現況

- 서울시에서 발생하는 하수슬러지의 首都圈埋立地로의 반입수수료는 최근에 급격히 증가하는 추세를 보이고 있으며 이러한 경향은 계속적으로 진행될 것으로 예상된다.
- 국내 대부분의 下水處理場 슬러지의 처분방법은 매립 또는 海洋投棄에 의하여 이루어지고 있으나, 서울시와 같은 대도시에서는 더 이상 매립지의 확보가 어려운 실정이라서 새로운 슬러지 처리방법이 필요하다.
- 일본 동경도의 경우에는 1996년 현재, 전체 하수슬러지 발생량중 86%를 燒却을 통하여 처리하고 있으며 발생하는 소각재 및 슬래그(Slag)는 벽돌, 기와, 보도블럭 등으로 12% 재이용하고 있다. 그러나 향후에는 재이용율을 100% 추진할 계획이다.
- 영국의 경우, 탈수케이크 발생량의 약 50%가 농경지 및 토양에서 재활용되고 있고 30%는 海洋投棄, 나머지는 소각하거나 매립하여 처분하고 있다. 그러나 다가오는 2005년도 이후에는 하수슬러지를 처리하기 위한 방안으로 재이용과 소각의 역할을 강화하는 정책을 추진하고 있으며 海洋投棄와 陸上埋立은 계속적으로 감소시킬 계획을 수립하고 있다. 특히 런던의 경우, 소각로의 건설이 준공되는 1998년부터는 전량 소각에 의해 하수슬러지를 최종 처리·처분할 계획으로 있다. 또한 슬러지를 효율적으로 재이용할 수 있는 방안에 대해 대책을 마련하고 있는 실정이다.

4) 下水슬러지 處理·處分方案 檢討

- 소각은 공기중의 산소를 이용하여 가연성 물질을 연소시키는 방법으로 최근의 埋立地 난 해소를 위한 廢棄物의 감량화, 전염병 예방을 위한 화학적·물리적인 안정화, 부패

성물질 처리를 위한 무해화 廢棄物의 처리공법으로 많이 이용되고 있다.

- 소각방식의 종류로는 스토카식, 유동상식, 회전로식, 로타리 킬른식이 있으며 슬러지의 소각으로는 流動層燒却方式이 다수 채택되어 국내에서도 공장폐수나 제지슬러지의 소각에 활용되고 있다.
- 燒却후 소각재의 감량화와 소각재 안에 포함된 중금속 등의 문제로 인해 최근에는 용융이 관심을 끌게 되었는데 용융은 중금속을 슬래그 속에 포함시켜 최종적으로는 슬래그를 건설자재 등으로 再利用할 수 있는 방안으로 국내에서는 설치된 예가 없으나 플라즈마 방식의 Pilot Plant가 있다.
- 熱分解는 건조공정의 전처리로서 반드시 필요하며 산소가 없는 상태에서 유기물에 열을 가해 유기물의 다른 연료나 에너지원(오일, 가스 및 차르)으로 전환시키는 공정이다.
- 고화는 탈수케이크에 고화제를 첨가하여 슬러지의 물리적 성상, 화학적 성상을 개선하고 최종처분의 작업능률 촉진, 중금속류 등 유해물질의 무해화, 안정화를 도모하는 것이다. 탈수케이크의 중량에 대해 약 10%의 고화제와 약 10%의 소각재를 혼합해서 혼합반죽한 후, 양생장소에서 2~3일간 정치한 후 처분지로 반출하거나 埋立地에서의 복토재로 활용하는 방안이 있다.
- 堆肥化는 슬러지내에 함유되어 있는 질소(N), 인(P), 칼륨(K) 등의 비료성분과 유기물을 호기성 상태에서 발효시켜 녹농지의 비료나 토양개량재로서 사용하는데 이를 위해서는 슬러지내에 유해성분의 조사 및 사용목적별 허용기준치의 선정들이 선행되어야 한다.
- 슬러지 再利用에는 슬러지 자체를 이용하는 堆肥化와 슬러지를 처리하는 과정에서 발생하는 가스(예 : CH_4)나 소각열 등의 에너지를 이용하는 방법, 燒却 또는 溶融후의 소각재나 슬래그를 이용하는 방안이 있다. 燒却後의 소각재는 무기성분의 재료이며 탈수과정에서 사용되는 응집제에 따라 그 성분이 크게 달라지는데 일반적으로 사용되는 석회계응집제를 이용하여 얻어진 소각재에는 다량의 CaO가 있어서 시멘트 원료, 아스

팔트 충전제, 2차 콘크리트제품, 토랑개량제, 벽돌, 경량골재, 토관용 등에 이용할 수 있다.

5) 하수슬러지 處理·處分방안 선정시 고려해야 할 사항

- 합리적인 처리·처분방안을 선정할 경우에는 하수슬러지의 발생량 및 성상특성, 주변 환경, 사회적 인식, 효율성 측면 등을 고려하여야 한다.
- 서울시 4개 下水處理場에서 발생하는 하수슬러지는 매년 계속적으로 증가하는 추세이며 현재와 같이 함수율 70~80%를 보이는 탈수케이크와 그 외 침사, 협잡물을 陸上埋立에 의해 전량 처분하는 현실정에서는 매립지의 수명을 단축시키는 결과를 초래하게 될 것이다. 따라서 서울시와 같이 하수슬러지를 처리할 수 있는 부지면적이 협소한 현실정에서는 최종 처분할 하수슬러지를 감량시키는 것이 매우 중요한 일일 것이다.
- 최근의 세계적인 추세는 환경보전에 대한 관심이 매우 고조되어 있는 실정이며, 쾌적한 생활환경에 대한 주민들의 요구도 점점 증가하고 있는 실정이다. 따라서 합리적인 하수슬러지 처분방안은 환경을 보존하고 환경친화적인 시설물이 되어야 할 것이다.
- 선정된 방안을 통해 하수슬러지를 처리·처분할 경우, 운영시 관리인원이 적고 처리공정이 간략하며, 조작 및 유지관리가 쉬워야 할 것이다. 또한 시설물 설치 및 보수에 따른 기술력, 전반적인 기술난이도가 용이하여야 하며 서울시와 같이 시설물 도입에 따른 부지확보가 어려운 상태에서는 시설물 설치 및 처리에 필요한 부지면적이 작아야 할 것이다. 또한 슬러지 운반에 따른 교통영향이 최소화되어야 할 것이며 기후변화 및 운영시 사고, 환경변화 및 국제화 추세에 신속한 대처를 할 수 있는 방안이어야 한다.
- 하수슬러지 처리·처분을 위한 시설물 설치 및 운영에 소요되는 건설비 및 유지관리비가 적게 들어야 한다.
- 하수슬러지 처리·처분시 근무환경이 청결하여야 하며 시설물 건설 및 운영시 민원유발 가능성이 낮고 최종 처리된 부산물의 再利用 가능성이 높은 방안이어야 한다.

6) 하수슬러지 처리·처분방안들의 종합적인 비교검토

구 분	육상매립	해양투기	고 화	퇴비화	건 조	소 각	용 용
감량효과	적음	적음	적음	많음	보통	많음	많음
소요비용	적음	가장적음	보통	보통	보통	많음	가장많음
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 일반쓰레기와 같이 매립가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 해안도시의 경우 처리비용이 저렴하고 간단함 	<ul style="list-style-type: none"> · 매립지복토제 등 재이용가능성 높음 	<ul style="list-style-type: none"> · 자원의 유효화 처리 · 2차 환경오염이 적음 · 안정적 처리가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 간단한 처리방법 · 최종처분시의 재이용가능성 높음 	<ul style="list-style-type: none"> · 감량화 효과 큼 · 재이용가능성이 높음 · 폐열이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 감량효과 큼 · 중금속이 용출 안됨 · 재활용가능성이 높음 · 폐열이용가능
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 자가상승 및 민원발생으로 매립지 확보 곤란 · 매립단가의 현격한 증가추세 · 매립장반입 꺼려함 · 침출수 처리문제 및 지하수오염으로 2차환경오염 	<ul style="list-style-type: none"> · 해양오염 · 런던협약에 의해 향후에는 해양투기가 전면금지될 것으로 예상 · 민원발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 정상적인 고화를 위해서는 약품비가 많이 소요 · 탈수 및 약품처리 공정시 취기가 심각함 · 재활용이 안될 경우, 비효율적인 방법으로 매립량 증대초래 	<ul style="list-style-type: none"> · 상당한 부지와 시설이 필요함 · 하수슬러지 숙성기간이 길다. · 판로개척이 어려움 · 하수슬러지의 퇴비화의 실재적용이 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> · 재이용이 안될 경우 비효율적인 처리방법 	<ul style="list-style-type: none"> · 건설비 및 투자비가 과대하다 · 고급기술의 인력필요 · 2차 환경오염 방지 시설필요 	<ul style="list-style-type: none"> · 처리방안 중 건설비와 투자비가 가장 많이 필요 · 소각에 비해서도 더욱 고급기술인력 필요 · 국내·외 적용실적이 빈약하다.

구 분	육상매립	해양투기	고 화	퇴비화	건 조	소 각	용 용
검토결과	<ul style="list-style-type: none"> 매립지 추가확보가 곤란하고 2001년부터 폐기물관리법에 의하여 유기성 슬러지 직매립 불가 	<ul style="list-style-type: none"> 육상매립 반입금지 기간 및 소각 등에 의한 처분 방안이 해결될 때까지의 잠정적인 조치는 불가피할 것으로 사료 	<ul style="list-style-type: none"> 근무환경의 개선이 요구되며 재활용이 안될 경우 매립지 부담을 가중시킬 우려가 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 하수슬러지의 성상을 보면, 유해중금속 등의 함유로 현 시점에서 적용이 곤란할 것으로 예상 	<ul style="list-style-type: none"> 건조후 단순매립에 의존하는 것은 경제성 및 환경오염 측면에서 문제가 있음. 단, 복토재 등의 재활용 측면에서 검토할 가치 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 감량화, 안정화, 자원화가 가능하므로 서울시 정책에 적극적으로 도입 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 시설투자비 및 유지관리비가 타방식에 비해 많이 들. 그러나 감량화, 안전화, 자원화가 가능함.

7) 하수슬러지 處理·處分方案들의 시민의식 조사

- 하수처리 및 廢棄物處理分野에서 활동하고 있는 환경전문가들 및 시민단체, 하수처리 실무자들을 대상으로 한 본 설문조사 결과, 응답자들 대부분은 하수슬러지를 처리·처분하는 방안을 선정할 때 우선적으로 환경을 보존하는 것을 고려해야 할 것으로 생각하고 있었다. 따라서 현재 대부분의 하수슬러지가 陸上埋立과 海洋投棄에 의해 처분되고 있는 국내 실정에서는 보다 새로운 방안으로의 전환이 모색되어야 할 것으로 생각된다.
- 응답자들은 설문조사에서 제시한 7가지 처리·처분방안중 현재의 적용방식 보다는 堆肥化, 乾燥, 燒却, 溶融 방식을 선호하는 것으로 나타났다. 실제 하수슬러지와 관련된 분야에서 종사하고 있는 응답자들은 堆肥化와 燒却, 溶融方式을 선호하는 반면에 시민단체에서는 소각, 용융방식이 타 방식에 비해 낮은 점수분포를 보여 현재의 쓰레기 소각정책의 문제로 인해 하수슬러지의 소각방안에 대해 매우 부정적인 인식을 가지고 있는 것으로 추측되었다. 따라서 쓰레기 燒却과 하수슬러지 소각의 차이를 계몽하여 이

로 인한 민원발생의 우려를 최소화시킬 수 있도록 도모해야 할 것이다.

8) 민營化 및 民間委託管理 타당성 검토

- 환경기초시설 민營化 및 民間委託管理 유형은 기초시설의 사업추진범위, 민간기업 참여시점 및 민간자본 투자 여부에 따라 5개 형태로 구분할 수 있다.
- 민營化 및 民間委託管理 방안으로 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내 투자비를 회수하는 유형 I과 지자체 등 사업주관기관에서 기본설계를 완료한 후 시설설치비의 일부 또는 전부를 기업이 부담하여 설치 완료한 후 운영관리 책임을 지며 운영관리 책임기간내 투자비를 회수하는 유형II가 있다. 유형 I에는 기업 자체자금으로 하수슬러지 소각설비를 건설하여 기부채납한 후 투자비 회수기간동안 운영하며, 지자체는 상호 합의된 슬러지 처리비를 운영기간동안 기업에 지급하는 방안인 BOT(Build - Operate - Transfer) 방식과 기업이 자체자금으로 하수슬러지 소각설비를 건설한 후 소각설비는 기업에 속하여 운영 및 유지관리를 하게 되는 BOO(Build - Own - Operate) 방식이 있다.
- 地方自治團體가 투자하고 민간이 委託管理하는 유형 III은 기본설계·시공 일괄 입찰방식(Turn-key)을 확대하여 운영관리까지를 포함한 일괄 입찰방식으로 추진한다. 유형 IV는 기본 설계·시공 일괄 입찰방식을 변형하여 시공 및 운영관리를 일괄 입찰방식으로 추진한다. 유형 V는 지자체 등 사업주관기관에서 설계 및 시공을 완료한 후 해당 기초시설의 시공업체 등 민간기업과 계약에 의해 위탁관리한다.
- 유형 III은 기본설계 및 시공(Turn-key)의 변형으로 국고지원 또는 지방채, 국채, 지자체 예산으로 시설 설치비를 투자하고 기업이 설계, 시공, 운영관리하는 방안이다. 따라서 유형III은 서울시의 초기 투자비 부담이 다소 과중하나 民資誘致促進法에 의해 금융지원, 행정지원 등의 혜택을 받을 수 있는 장점이 있다. I의 경우에는 기업이 시설설치비를 투자함에 따라 민간자본의 이자 상환액이 높아 기업이 투자비상환액 부담이 과중되므로 처리단가가 증가하여 시재정에 부담을 주는 단점을 가지고 있다.

9) 정책방향제시

(1) 단기계획 (2001년까지)

- 발생슬러지량의 일부는 소각 및 용융처리하여 기술력 축적을 도모하고 잔여량은 현재와 같이 매립을 통해 처분하되 埋立地 반입중지기간에는 海洋投棄를 일시적으로 고려할 수 있다.

가. 발생 하수슬러지의 일부를 소각처리한다.

- 陸上埋立으로 인해 발생하는 문제점을 완화하고 埋立地 수명을 연장시키며 1997년 7월에 새로 개정된 廢棄物管理法 시행규칙령등 주변여건 변화에 대처하기 위해 발생 하수슬러지의 일부를 소각 및 용융처리하고 최종 처분할 슬러지의 양을 감소시킨다.
- 서울시의 경우 급속한 도시화 진행으로 처리시설을 설치할 만한 부지확보가 곤란함으로 下水處理場에서 발생하는 슬러지를 각 下水處理場에서 소각시설을 건설하여 처리하는 것이 합리적이다. 따라서 각 下水處理場별로 적당한 규모의 소각 또는 용융시설을 1기씩 설치하는 것이 바람직하다.
- 현재 국내의 경우, 하수슬러지를 직접 소각처리한 사례가 없으므로 각 下水處理場에 건설할 소각시설의 용량은 처리효율이 가장 좋은 규모로 선정하되 수도권 매립지에 보다 먼 거리에 위치하고 있는 중량, 단천하수처리장은 가양, 난지하수처리장에 비해 크게 건설하여 매립지로 운송되는 하수슬러지의 양을 감소시키는 것이 바람직하다.
- 현재 쓰레기 燒却施設로 인해 야기된 민원유발 가능성에 대처하기 위해서 쓰레기소각시설과 하수슬러지소각시설에서 발생하는 環境汚染 정도를 차별화시켜 대처한다.
- 소각시설의 경우, 건설 및 운영상에 숙련된 기술이 필요하므로 기술적 특성을 잘 알고 있는 민간기업이 가장 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 民營化 및 民間委託 유형별 효율성 검토결과, 기업이 시설설치비까지 부담하는

경우에는 민간자본의 이자 상환액이 높아 기업이 투자비상환액 부담이 과중되므로 처리단가가 증가하는 등 시제정부담을 가중시키게 된다. 따라서 초기 투자비는 서울시가 부담하고 운영관리는 민간기업에서 실시할 경우, 공사비 절감, 공기 단축, 위험부담 저감, 운영비절감, 진보적인 기술적용 및 서비스품질을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

나. 서울시 4개 下水處理場의 하수슬러지에 대한 성상분석을 지속적으로 수행하여 燒却 시설 운영 및 퇴비로 활용시에 필요한 기초자료를 확보한다. 참고로 현재 서울시에서 발생하고 있는 하수슬러지의 堆肥化로의 적용은 하수슬러지내 중금속 농도가 퇴비화를 위한 기준치를 넘는 것으로 조사되고 있어 현 시점에서는 타당하지 않을 것으로 판단된다.

다. 슬러지를 固化處理할 경우에는 하수슬러지를 매립지 복토제 등으로 재이용할 수 있는 장점이 있으나 현재 국내에서는 실용화된 사례가 매우 미미하다. 따라서 계속적으로 실용화에 대한 기술축적을 이루어 적극적인 도입을 검토하여야 할 것이다.

(2) 장기계획 (2001년 이후)

가. 단기계획을 통해 축적된 기술을 토대로 하여 하수슬러지의 소각 및 용융에 의한 처리비율을 증가시켜 하수슬러지 처리·처분이 소각 또는 용융에 의해 이루어질 수 있도록 추진한다. 또한 기존의 소각시설보다 환경에 영향을 미치는 정도가 미미한 熔融 및 熱分解 방식의 도입을 모색한다.

나. 堆肥化 및 固化, 소각재 및 熔融슬래그의 建設資材化 등 하수슬러지의 재이용 비율을 높혀 陸上埋立의 의존도를 감소시켜 환경친화적인 하수슬러지 처분정책을 추진한다.

다. 향후 건설예정인 분류식 관거정비지역의 小規模下水處理場에서 발생하는 하수의 성상에는 중금속 함량이 미미한 것으로 예상되므로 하수슬러지를 탈수하여 토양개량제 및 퇴비로의 활용을 모색한다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 건설부. (1991). 「하수도 시설정비를 위한 조사 연구」.
- 김갑수. (1989). 슬러지처리. 「하수도반 교재」, 건설부.
- 김갑수의 4인. (1994). 「1차처리 By-Pass 수질향상을 위한 처리공정 검토」. 서울
시정개발연구원.
- 김광수·지재성. (1996). 자가연소를 위한 하수처리장 슬러지의 적정성상. 「한국폐기
물학회지」, 13(5).
- 김영한·오석영. (1995). 「정수장 슬러지 감량화 기초연구」. 한국수자원공사.
- 김환기. (1996). 소각재의 재활용 방안. 「월간폐기물」, 1월호.
- 동부건설주식회사. (1997). 「하수처리장 슬러지 처리·처분방안」.
- 두산건설주식회사. (1997). 「서울시 하수처리장 슬러지 처리방안 제안서」.
- 반봉찬·박현서. (1996). 폐기물 처리를 위한 용융기술-폐기물 처리 용융로의 종류와
특성. 「월간폐기물」, 1월호.
- 박영성. (1994). 슬러지류 폐기물의 유동층 소각특성. 「한국 폐기물학회지」, 11(3).
- 배영진의 3인. (1995). 「하수슬러지의 퇴비화에 관한 연구」. 한국건설기술연구원.
- 삼성물산(주). (1996). 「건설 신기술 지정 신청 - 슬러지 고온 저압 열분해」.
- 서울특별시. (1997). 「'97 민자유치사업 추진지침」.
- 서울특별시. (1996). 「목동 자원회수시설 다이옥신 측정 최종보고서」.
- 서울특별시. (1996). 「서울통계연보」.
- 서울특별시. (1996). 「중랑·탄천하수처리장 운영기술진단용역 연구조사보고서」.
- 서울특별시. (1992). 「하수슬러지 최종처리·처분 개선방안 연구」.
- 서울특별시 지방경찰청. (1996). 「'96 서울시 교통량 조사자료」.

- LG 전선 (주) 기계 CU. (1997). 「서울시 하수처리장 슬러지 처리방안에 관한 2차 Workshop자료」.
- 원양수·이철희·최성필. (1997). 하수슬러지 성분 및 소각 특성에 관한 연구. 「한국 폐기물학회지」, 14(1).
- 이광훈·김응철. (1996). 「서울특별시와 자치구간의 도로관리체계에 관한 연구」. 서울시정개발연구원.
- 이용덕. (1997). 다이옥신 저감기술. 「Korea Dioxin Control Technology Fair」.
- 이협희. (1997). 고온 열분해가스화 기술에 대하여. 「월간폐기물」, 8월호.
- 이호태. (1996). 하수슬러지 적정처리기술. 「월간폐기물」, 9월호.
- 이호태·안문수·배성렬·김형진. (1995). 국내 쓰레기 소각장의 실태조사 연구(II) - 국내 쓰레기 소각장의 운전 및 운영관리 실태. 「한국 폐기물학회지」, 12(3).
- 이호태·진경태·이인철. (1994). 하·폐수 슬러지의 에너지·자원화 기술 개발 동향. 「한국 폐기물학회지」, 11(4).
- 재정경제원. (1997). 「'97 민자유치기본설계」.
- (주)동일기술공사. (1997). 「신기술 지정신청서 - 제강전로슬래그를 이용한 하수소화 슬러지의 고화처리기술」.
- 코오롱엔지니어링주식회사. (1997). 「슬러지 유동상 소각설비」.
- 한국플라즈마주식회사. (1997). 「플라즈마 열분해 용융 이용 하수슬러지 처리 검토」.
- 한솔제지주식회사. (1997). 「서울시 하수처리사업소 슬러지 소각방안에 대한 기술제안서」.
- 한화기계(주). (1997). 「기포형 유동상식 하수슬러지 소각설비」.
- 환경관리공단. (1996). 「공공환경기초시설 전문관리방안연구」.
- 환경관리연구소. (1996). 「환경관제법규」.
- 환경부. (1997). 「'97 전반기 하수도 담당공무원 연찬회」.
- 환경부. (1997). 「다이옥신 관련 자료집」.

- 환경부. (1997). 「소각장 배출 다이옥신 적정관리대책」.
- 환경부. (1996). 「하수도 통제」.
- 환경부. (1994). 「하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성 조사·연구」.
- 환경부. (1997). 「환경기초시설 민영화 업무처리지침」.
- 환경부. (1997). 「환경백서」.

2. 외국문헌

- Kaneko, S. (1992). Centralized Sludge Treatment in Yokohama. *Sewage Works in Japan*.
- Kanezashi, T. & Murakami, T. (1992). Regional Sewage Sludge Treatment and Disposal - The ACE Plan. *Sewage Works in Japan*.
- Lue-Hing, C., Zenz, D. R. & Kuchenrither, R. (1992). *Municipal Sewage Sludge Management - Processing, Utilization and Disposal*. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
- U. S. Environmental Protection Agency. (1984). *Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge*.
- Vesilind, P. A. (1979). *Treatment and Disposal of Wastewater Sludge*. Ann Arbor: Ann Arbor Science.
- 建設省土木研究所. (1986). 「下水汚泥と都市ごみの混焼に関する計劃資料」.
- 建設省下水道法令研究會. (1992). 「下水道法」.
- 高柳枝直. (1996). 下水汚泥の集中處理計劃-21世紀の下水道を目指す第一段階. 「月刊下水道」, 19(10).
- 木山泰志・小川昭朗. (1994). 兵庫東エスセンターにおける下水汚泥の焼却. 「日本下水道協會誌」, 31(378).

日本下水道協会. (1996). 「日本の下水道」.

日本下水道協会. (1991). 「下水汚泥処理総合計画策定マニュアル」.

日本下水道協会. (1995). 「下水道統計」.

土居三朗. (1994). 兵庫東 エースセンターにおける下水汚泥の溶融について. 「日本下水道協会誌」, 31(378).

附錄1:하수슬러지 處理·處分方案에 關한 說問調查

1. 概要

하수슬러지 처분에 적용되고 있는 방안들은 각각의 장·단점을 가지고 있다. 현재 국내에서 많이 적용되고 있는 海洋投棄와 陸上埋立은 비용 및 적용기술력 측면에서 다른 방법에 비해 많은 장점을 가지고 있으나 環境汚染을 유발시키는 주된 요인이 되고 있어 전세계적으로 점차 그 비율을 줄여나가고 있다. 국내와 같이 하수슬러지를 매립할 공간부지가 협소한 실정에서는 燒却, 熔融方式이 고려될 수 있으나 현재 관심이 고조되고 있는 大氣汚染문제(특히, 다이옥신) 및 기술력 등을 고려해야 한다. 하수슬러지를 堆肥化하여 再活用하는 방안도 최근 외국에서는 많이 이용되고 있으나 서울시 하수슬러지의 성상특성 및 堆肥化한 후의 공급체계 등 현안문제들을 고려하여야 할 것이다. 또한 乾燥, 固化方式 역시 제 2차 환경오염문제 및 국내 기술수준 등을 고려해 볼 때 해결해야 할 문제점들이 많은 실정이다.

따라서 서울시에서 발생되고 있는 하수슬러지에 대한 장·단점 검토가 선행되어야 하며 이외에 현재 서울시가 직면하고 있는 여러 가지 상황(環境汚染, 경제, 사회, 경제, 과학기술, 시민의식)들을 고려하여야 할 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 우선적으로 각계 환경단체 및 환경분야 전문 종사자들에게 하수슬러지 처리·처분방안 선정시 고려해야 할 사항들에 대한 설문조사를 실시하여 7가지의 하수슬러지 처분방안에 대한 인식 및 기술수준에 대한 이해도 등을 조사하였으며 설문조사결과를 차후 정책결정시에 참고할 수 있도록 하고자 하였다.

- 예 3) 유지관리
- (수) → 유지관리가 아주 용이
 - (우) → 유지관리가 용이
 - (미) → 보통
 - (양) → 유지관리가 난이
 - (가) → 유지관리가 아주 난이

이와 같이 각각의 세부항목에 제시한 점수와 등급정도를 통해 정량적인 값을 산출해 내고 이들의 총 합계를 계산하여 7가지의 하수슬러지 처리·처분방안들이 가지는 값을 정량적으로 나타내 이를 비교하였다. 고려인자 및 처리·처분방안의 등급을 작성하는데 이용한 대차대조표를 <그림 1>에 제시하였다.

등급 : 수, 우, 미, 양, 가

인자	방법	해양 투기	육상 매립	퇴비화	고화	건조	소각	용융
감량	감량효과							
환경영향	대기오염							
	수질오염							
	토양오염							
	지하수 오염							
	소음							
	악취							
	환경친화적 인식도							
운영 및 유지관리	유지관리 측면							
	건설난이도							
	운반 및 교통영향							
	적용상의 안정성							
	취급상의 용이도							
	설치면적							
소요비용	건설비용							
	유지관리 비용							
부대조건	국내 적용실적							
	작업환경							
	민원유발 가능성							
	재이용							

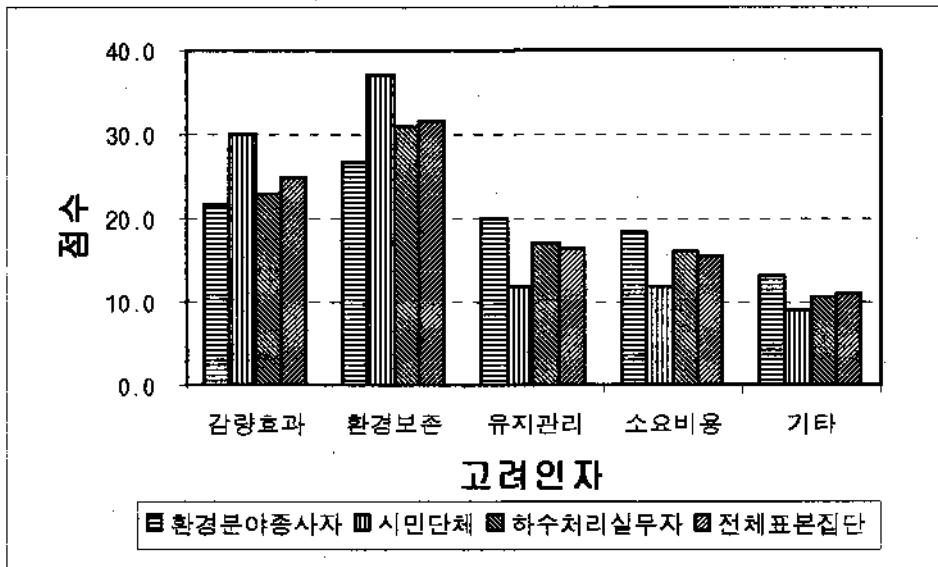
<그림 1> 설문조사에 이용된 하수슬러지 처리·처분방안 Matrix 예

본 설문조사는 환경분야 중 下水處理分野와 廢棄物 處理分野에서 중시하고 있는 환경전문가들과 시민단체, 하수처리실무자들을 대상으로 하였으며 이를 통해 이론 및 실무자 입장에서 보는 견해 및 그 외 고려되어야 할 내용들을 분석하였으며 시민들의 의식도를 조사해 보았다.

3. 調査結果

1) 고려인자들의 선호도 분석

하수슬러지 처분방안 선정을 위해 도입한 고려인자는 감량효과와 환경보존, 유지관리, 소요비용, 기타 부대조건 등으로 각각의 인자들에 대해 우선순위 및 점수를 질의한 결과, 설문 응답자의 대부분이 <그림 2>에서 보는 바와 같이 5가지 고려인자중 감량 및 환경보존 측면을 우선적으로 고려하는 것을 알 수 있었다.



<그림 2> 고려인자에 대한 우선순위 및 점수분포 결과

전체 응답자들은 하수슬러지 처분방안 선정시에는 환경보존측면을 우선적으로 고려해야 하는 견해를 가지고 있는 것을 알 수 있었으며 감량과 환경보존 측면이 전체의 55%이상을 차지하는 것을 보였다.

표본집단 중 환경전문분야에서 종사하고 있는 응답자들은 環境保存을 가장 우선적으로 고려하는 방안이 선정되어야 할 것으로 응답하였으며 감량 및 유지관리, 소요비용 측면은 서로 비슷한 비중을 두는 것으로 나타났다. 또한 타집단에 비해 유지관리 및 소요비용 측면에 비중을 많이 준 것으로 나타났는데 이는 현재 하수슬러지 처분방안의 기술 및 경험축적이 외국에 비해 발전이 안되어 있어 새로운 기술 도입시 보다 유지관리상의 安定性을 중시하고 있는 것을 알 수 있었으며 경제적 측면도 충분히 고려한 상태에서 적절한 방안이 선정되기를 바라는 것을 알 수 있었다.

시민단체의 경우, 타집단에 비해 감량 및 環境保存側面이 매우 높은 비중을 차지하여 전체의 67%를 차지하는 것으로 분석되었다. 소요비용 측면은 타집단에 비해 상대적으로 낮은 수치를 보였다.

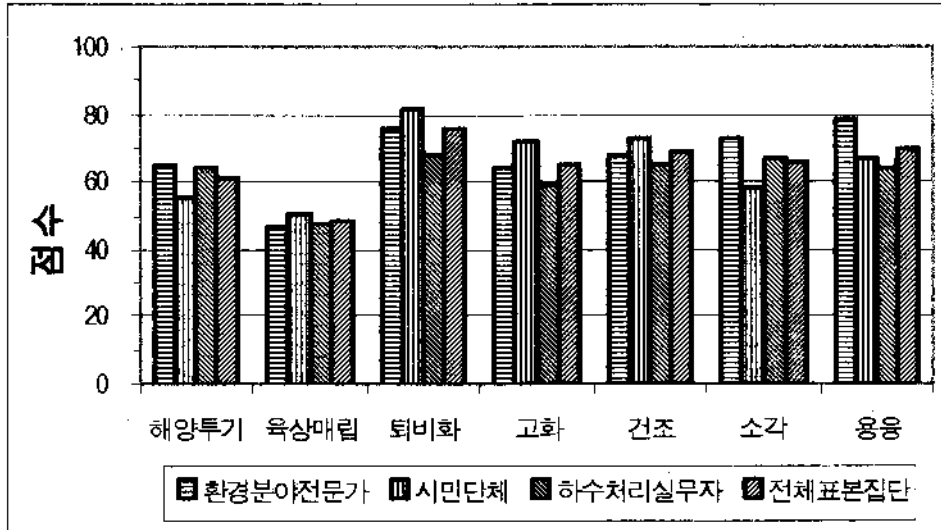
下水處理分野에서 근무하고 있는 실무자들도 다른 집단과 비슷한 특성을 보여 환경보존과 減量側面을 가장 중시하는 것으로 나타났다.

2) 처분방법별 선호도 분석

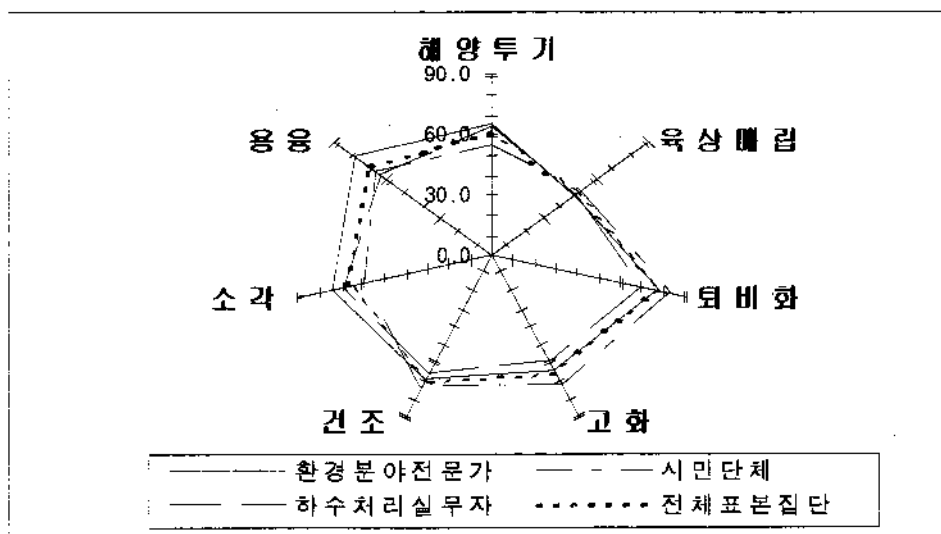
하수슬러지를 처분하기 위한 방안을 선정할 경우, 고려인자에 대한 우선순위를 결정한 후 각각의 도입가능한 방안들의 효율성 수준을 평가한 결과, <그림 3>과 <그림 4>에서 알 수 있듯이 본 설문에 응답한 집단의 대부분이 현재의 陸上埋立 및 海洋投棄 보다는 퇴비화, 건조, 燒却, 溶融方式을 선호하는 것으로 나타났다.

환경분야 전문가 및 하수처리실무자들은 대체적으로 퇴비화와 燒却, 溶融方式을 선호하는 반면에 시민단체의 경우 燒却 및 溶融方式에 낮은 점수를 주었다. 시민단체의 경우 <그림 4>에서 보는 것과 같이 타집단에 비해 燒却과 海洋投棄가 낮게 나타났으며 상대적으로 퇴비화가 가장 높게 분포되었다. 환경분야 전문가들은 용융 및 燒却방안을 타집단 보다 더욱 선호하

는 것으로 나타났다. 陸上埋立은 전체 표본집단이 비슷한 등급에서 가장 비효율적인 방안으로 평가되었다.



<그림 3> 각 처분방안의 집단별 선호도 결과



<그림 4> 각 처분방안의 선호도 경향 결과

附錄2:國內 企業體 燒却施設 建設 事例

소 각 시 설	용량(톤/일)	형 식
한솔제지(주) 전주공장 2호 소각시설	250	유동상식
한솔제지(주) 전주공장 4호 소각시설	720	유동상식
한솔제지(주) 대전공장 1호 소각시설	670	유동상식
환경관리공단 여천사업소 소각시설	50	유동상식
환경관리공단 달성사업소 소각시설	50	유동상식
광주군 환경사업소 하수슬러지 소각시설	120	고정상 교반식
삼성종합화학(주) 대산공장 폐수슬러지 소각시설	100	고정상 교반식
(주) 백화 군산공장 폐수슬러지 소각시설	30	고정상 교반식
(주) OB맥주 구미공장 슬러지 소각시설	30	고정상 교반식
대한펄프(주) 청주공장 소각시설	150	스토카식
동일제지(주) 안산공장 소각시설	60	스토카식
신풍제지(주) 평택공장 소각시설	100	스토카식
아세아제지(주) 청원공장 소각시설	200	스토카식
진로그룹 연구소내 플라즈마 용융시설 (Pilot Plant)	40	플라즈마 초고온 열분해 용융방식
용인하수처리장 열분해시설 (Pilot Plant)	10	중온 저압 열분해 방식