

# 放射線에 의한 汚泥處理

放射線照射에 의해 汚泥를 처리하는 시도는 西獨, 美國 등에서 실시되고 있다. 최근에 개최된 放射線化學세미나와 프로세스심포지움에서 下水汚泥 處理에 방사선을 이용하는 방법이 논의되었다. 다음은 방사선에 의한 汚泥處理의 최근 경향을 소개한 것이다.

## 1. 序 言

일반적으로 실시되고 있는 하수처리법은 活性汚泥處理라고 하는 생물학적 방법인데, 流入下水 중의 有機汚濁物質을 미생물의 영양으로 섭취시킴으로써 下水를 淨化시킨다. 그결과 미생물이 증식하기 때문에 미생물 둉어리를 함유한 진흙을 잉여汚泥로 처리·처분해야 한다. 下水量의 증가에 따라 해마다 발생하는 汚泥量이 증대되어 그 처리·처분에 관한 검토는 先進諸國의 공통과제이다.

하수처리 및 下水汚泥의 처리·처분에 방사선을 이용하는 연구는 오래 전부터 실시되어 왔다. 放射線照射에 의해 下水汚泥를 위생화시켜 비료나 토양개량제로서 농업에 施用하면 汚泥속의 有機成分이 유효하게 이용되며 대량의 汚泥도 처분된다. 汚泥를 농지에 투입하기 위해서는 각종 病原性微生物, 寄生虫알, 害蟲의 알, 잡초종자 등의 不活性화가 필요하다고 생각된다.

## 2. 西獨에서의 汚泥照射

서독에서의 汚泥發生量은 汚泥農度 5%의 경

우 1년간에 약 4,800만m<sup>3</sup>, 汚泥의 消化 등에 의해 減量한 최종처분량으로는 연간 1,300만m<sup>3</sup>이다. 液狀汚泥의 농업이용에 대해 서독에서는 오래 전부터 계속 실시되고 있다. 이용상황은 지역마다 매우 다르지만, 下水汚泥의 35~40%가 농업에 이용되고 있다. 汚泥處分에 드는 비용의 점에서 보아도 처리처분과 海洋投棄, 소각 등에 비해 液狀汚泥의 농업이용이 경비가 싸다.

서독연방폐기물처분법에 의하면 下水汚泥의 농업이용에 관해 病原菌에 대한 안전성 때문에 施用場所, 施用時期 등의 제한이 엄격하게 규정되어 있는데, 병원균에 대한 안전을 기하기 위해 汚泥의 열처리는 적어도 70℃ 온도에서 30분 이상, 또는 방사선조사에 의해 살균을 하도록 규정되어 있다. 목초지에 施用된 下水汚泥속의 살모네라균이 우유에 감염된다는 스위스의 조사결과도 있어서 통상 嫌氣性中溫消化를 한 정도의 汚泥는 綠農地에 施用할 수 없다. 농지 이외의 埋立處分은 디포니라고 하는 陵上埋立處分地에 下水汚泥 單獨으로 또는 都市쓰레기와 함께 처분되고 있는데, 여기에 처분하는 데에도 汚泥를 살

균한 후 폐기되고 있다.

서독의 汚泥 방사선조사시설은 뮌헨 郊外 가이제르프라하에 있는 24만명 규모의 안페르그루페下水處理場에 설치되어 코발트-60감마線源을 이용하여 1973년부터 운영되고 있다. 설립당초는 10만 Ci의 코발트-60감마線源을 이용하여 液狀의 消化汚泥를 1일에 30m<sup>3</sup> 照射하고 있었지만, 2년마다 線源을 증강시켜 최근에는 60만Ci가 되어 1일에 180m<sup>3</sup>를 照射하고 있다. 生汚泥를 消化시킨 汚泥를 5.6m<sup>3</sup>씩 지하 8m의 콘크리트製遮蔽피트의 照射裝置에 펌프로 보내 배치방식으로 照射된다. 1일 24시간 자동으로 운전되며, 1년중 16일은 照射槽의 청소, 線源補給, 保守點檢 등을 위해 쉬며, 운전개시 아래 연평균 349일의 가동 실적을 기록하고 있다. 농도 2.5%의 消化汚泥를 감마線 照射한 후 풀 형태의槽에 넣어 日光 등에 의해 5% 정도로 농축한다. 위생화에 필요한 線量은 3kGy로 하고 있다.

照射에 의해 일반세균, 대장균, 장내세균, 장내球菌 등이 살균되며, 바이러스와 기생충알, 잡초종자 등이 불활성화된다. 또 照射汚泥를 비료로 농

지에 施用시험을 하여 増收효과가 확인되었다. 실제의 散布는 농업조합의 협조를 받아 배큐엄카로 운반, 농지에 시용되고 있다. 가열살균된 汚泥보다 방사선照射된 汚泥를 농지에 산포했을 때 물이 잘 마르고, 농경기계를 곧 가동할 수 있어 호평을 받고 있기 때문에 照射된 汚泥는 모두 농업에 이용되고 있다.

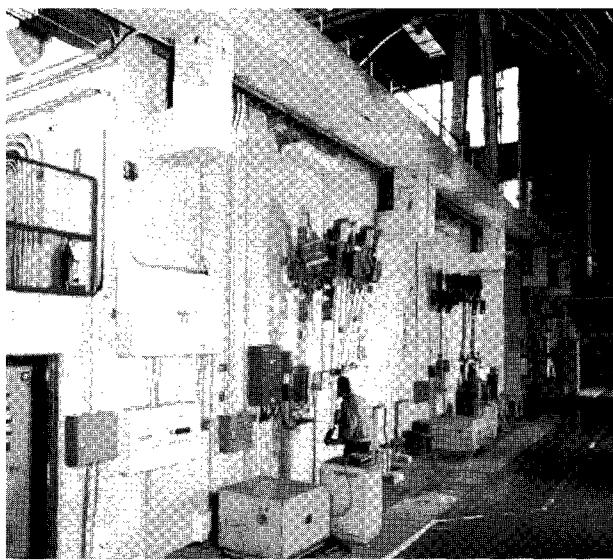
### 3. 美國에서의 汚泥照射

미국에서는 汚泥의 海洋投棄에 의한 처분방법이 뉴욕, 보스톤 등의 도시에서 행해져 왔다. 그러나 水域의 환경오염이 문제가 되어, 1972년에 연방환경보호청은 水質汚濁防止를 위한 대책을 水質基準에서 排水規制로 변경하여(제로·디스차아지) 1985년까지 미국의 航行 가능한 수역에 대해 모든 汚泥排出을 제로로 할 목표를 설정했다. 그 결과 해양투기가 어려워졌다.

보스頓市에서는 정부, 대학(MIT), 하이볼테이지·엔지니어링社가 협력하여 電子線照射에 의한 液狀消化汚泥의 照射施設이 디아·아일랜드

〈表〉 歐美的 방사선에 의한 汚泥處理

연도	국명	상황	목적	규모
1973~	서독	뮌헨교외 24만명 규모의 가이제르프라하 하수처리장에 실용적인 汚泥照射處理施設이併設되어 10년이상의 실적, 코발트 60線源, 배치식, 3 kGy照射, 24시간 가동, 전자동, 汚泥의 脱水性,沈降性 개선을 시사	液狀汚泥의 살균 綠農地 환원→비료 토양개량제에이용	1973년 10만 큐리 30m <sup>3</sup> /日 1975년 45 120 1978년 57 145 1983년 60 180 현재는 같은 처리장에서의 全發生汚泥를 照射처리 처리코스트 2.98 \$/m <sup>3</sup>
1972~	미국	뉴멕시코, 산디아연구소, 파일로트규모, 세슘 137線源, 연속照射(콤베이式), 10kGy照射	乾燥(固形)汚泥처리, 비료로 사용	세슘 137, 90만큐리, 8톤/日
1976~1985	미국	보스頓市 디아·아일랜드 하수처리장에 照射시설 併設, 電子線照射裝置, 4 kGy照射 연방정부, 대학, 加速器 메이커 협력	液狀汚泥의 살균처리	1976년 800kW 50kw 378톤/日 1980년 1500kV 75kW 650톤/일, 처리코스트 1.0 \$/m <sup>3</sup>
1985	미국	마이애미市, 電子線照射施設을 건설	上同	
1984	인도	방사선처리플랜트계획	液狀汚泥의 처리, 동물사료, 토양개량제에 이용	코발트60 60만 큐리, 110m <sup>3</sup> /日



하수처리장에서 1976년부터 가동되었다. 당초의 처리능력  $378\text{m}^3/\text{일}$ 이 1980년에 흘러내리는 汚泥를 옆에서 照射하도록 개조되어 출력·처리능력은 배로 증가되었으며, 1985년에 시험운전이 종료되었다. 위생화에 필요한 선량은  $4\text{kGy}$ 이다. 마이아미市에도 똑같은 電子線照射汚泥플랜트가 건설되었다.

세슘-137을 線源으로 하는 汚泥의 위생화 연구는 미국에너지省, 환경보호청의 지원아래 1975년부터 개시되어 1978년에 산디아연구소의 乾燥下水汚泥照射施設에서 행해졌다. 뉴멕시코사막에서 日光乾燥된 汚泥에 100만 Ci의 세슘-137을 線源으로 감마線을 照射하였는데 처리량은 1일 8톤으로서 건조汚泥와 콤파스트化物이 주머니에 채워진 모양으로 照射되며, 토양콘디션과 비료로 이용하는 것이 검토되었다. 液狀汚泥에 의해 체적이 적으므로 효율이 좋다. 필요선량은  $10\text{kGy}$ 이다. 또 펠렛형태로 照射된 汚泥는 소나양 등의 사료로 照射汚泥를 이용하는 것이 검토되었으며, 영양원으로도 이용할 수 있다는 것이 보고되었다.

현재 미국에서는 국토가 넓기 때문인지 서독이나 유럽제국과 같이 처분하는 汚泥에 대해 살균 등 위생화에 그다지 엄격한 요구는 없는 것 같다.

국토가 좁고, 물사정이 어려운 이스라엘에서는 하수처리水를 농지에 산포하고 있으며, 痘學的

조사결과에서 處理水와 汚泥의 농업이용에는 더욱 고도의 위생화가 필요하고 말하고 있다.

인도에서는 지방에 따라 인분이 비료로 사용되고 있으나, 도시에서는 下水汚泥의 발생량이 증가하고 있으며, 방사선조사에 의해 위생화한 汚泥를 농업에 이용하기 위한 프로젝트연구가 수행되고 있다. 그밖에 소련, 중공 등에서도 같은 연구가 추진되고 있다.

下水汚泥 속에는 유해성분이 혼입되는 일이 있고, 도시하수汚泥에는 공장배수에 의한 중금속의 문제도 있다. 각국 모두 그나라의 상황에 맞는 照射汚泥의 이용을 강구해야 한다.

#### 4. 日本에서의 汚泥處理 狀況

일본의 하수도보급률은 40%에 가까우며, 발생하는 汚泥도 매년 증가하고 있다. 그 대부분의 汚泥는 脱水하여 일부는 탈수후 소각감량학후 육상 또는 해면매립처분하고 있다.

농업면에서는 화학비료 편중의 결함이 지적되고 있으며, 下水汚泥를 유기비료로 사용하고 있음을 들어 왔다. 일본농지의 유기물 자연감소분을 보충하는 것만으로도 10아르당 연간 1~2톤의 비료가 필요하다고 하며, 전국농경지에 대한 비료 필요량은 약 8,000만톤이라고 한다. 종래법에 의한 汚泥의 콤파스트化는 지방공영기업체 등에서 실시되어, 下水汚泥의 약 15%가 농업에 이용되고 있다.

방사선을 이용한 汚泥의 콤파스트化가 일본원자력연구소·高崎연구소에서 연구되어 탈수케이크를 방사선조사에 의해 살균한 후 種菌을 넣어 콤파스트化하는 것이 연구되었다. 필요살균선량은  $3\sim 5\text{kGy}$ 이다. 종래법의 콤파스트化에서는 위생화하기 위해  $65^\circ\text{C}$  이상에서 2일 이상 지속시켜야 하므로 전체적으로 1~2주일이 소요되지만, 照射汚泥에서는  $40\sim 50^\circ\text{C}$ 에서 3일 정도로 단축할 수 있다고 한다.

처리인구 10만명 규모의 하수처리장에서 발생

하는 脱水汚泥(50톤 / 日)를 처리하기 위한 플랜트의 개념설계와 경제성 평가가 실시되었다. 그리고 1일 수백Kg 규모의 콤포스트화 시험을 개시했다.

## 5. 都市下水汚泥의 沈降促進과 脱水性 改善

하수처리에 의해 발생하는 汚泥의 양은 유입되는 하수의 1~2%에 불과하지만, 하수량이 증가함에 따라 발생되는 汚泥量도 많아 진다. 東京 23區內에서의 汚泥처리량은 1일 약 10만m<sup>3</sup>에 달하는데, 이 양은 1주일 미만으로 霞個關빌딩이 가득 차는 양으로서 汚泥의 효율적인 大量처리가 요구되고 있다. 東京에서는 최근 10년동안 하수도 보급률이 63%에서 85%로 상승하였고, 汚泥발생량도 약 2배가 되었다.

汚泥처리의 목적은 용적의 감소와 위생적 안전화이다. 汚泥의 농축은 汚泥처리의 제1단계로서 다음의 消化, 脱水 등의 前處理로 중요하며, 소화와 탈수효율을 좌우한다. 일반적으로 하수처리장에서는 汚泥를 重力농축하고 있지만, 옛날에는 가라앉기 쉬웠던 汚泥가 점점 가라앉기 어렵게 되고 있으며, 농축汚泥농도도 매년 저하되어 문제가 되고 있다. 이 농도저하경향은 汚泥속의 유기물 함유율의 증가 경향과 일치하고 있다. 그 원인으로는 최근 식생활이 변화하여 糖質섭취량이 해가 지남에 따라 감소되고, 脂肪質과 동물성 단백질이 증가하는 경향에 있으며, 또 도로의 포장에 의해서 下水에 유입되는 무기성분이 감소되는 것과 관계가 있다고 생각된다.

이 濃縮汚泥를 더 嫌氣性消化할 경우 濃縮率이 낮으면 발생하는 메탄가스의 수화량이 적어지는 등 처리효율이 저하된다. 또 汚泥를 탈수할 때 농도가 낮으면 동일한 탈수처리를 하여 얻어지는 汚泥케이크의 含水率이 높으며, 소각에 더 많은 에너지가 필요하다. 이런 이유에서 汚泥의 침강농축성 향상을 도모하는 것이 중요하다.

都內 하수처리장의 잉여활성汚泥, 生汚泥, 消

化汚泥 등 3種의 汚泥에 대해 감마線 및 電子線을 照射한 후沈降性을 측정했다. 重力농축법은 汚泥의 비중이 물의 비중보다 약간 큰 것을 이용하여 고체분리하는 방법이다. 잉여活性汚泥은 汚泥微生物이 증식한 1.002~1.006으로 물에 가깝고, 일반적으로 중력농축되기 어렵다. 잉여활성汚泥에 방사선을 照射함으로써 침강성이 개선되었는데 1~6kGy 照射로 선량의 증가와 함께 촉진된다. 하수처리장에 따라 集水方式, 流入下水의 水質, 生物相 등의 차이가 있기 때문에 잉여활성汚泥의 性狀이 다르다. 그 중에서 특히 가라앉기 어려운 汚泥에 대해 방사선조사 효과는 현저하여 침강농축이 좋아졌다.

生汚泥는 처리장에 따라 유기물농도가 높기 때문에 매우 가라앉기 쉬운 生汚泥도 있지만, 照射에 의해서 급속도로 침강하게 되는데, 예를 들면 静置 30분후의 汚泥용적을 비교하면 2kGy 照射에서 未照射의 1/3로, 29kGy에서는 1/10로 대폭 汚泥용적을 감소시킬 수 있었다.

消化汚泥는 잉여활성汚泥에 비해 섬세한 浮遊物이 많으며, 콜로이드로서의 성질을 갖는 미립자로 구성되어 있어서 未照射에서는 수일간 静置해도 침강하지 않는 汚泥가 3~10kGy의 조사로 수일내에 침강하게되어 침강성이 개선되었다.

또 脱水性에서도 照射에 의해 탈수시간이 단축되며, 여과比抵抗이 감소되고, 얻어진 脱水케이크 함유율이 저하되는 등의 개선을 볼 수 있었다. 이와 같은 照射효과는 汚泥粒子의 콜로이드的인 성질의 변화와 粘性的 저하에 의한 것으로 생각된다. 또 방사선의 살균작용에 의해 기온 상승시 汚泥의 부패에 의한 가스발생과 汚泥浮上에 의한 처리停滯를 피할 수 있는 장점도 있다.

照射에 의한 汚泥粒子의 침강촉진은 濃縮槽에서의 체류시간을 단축하고, 다음에 脱水工程에서의 처리량을 감소시키며, 더욱 脱水케이크의 함유율을 저하시킴으로써 소각비의 저감화를 도모하고, 下水汚泥處理의 효율화, 시설의 축소도 기대할 수 있다.