

원주시 하수처리장 슬러지의
적정처리 방안에 관한 연구

A Study on the Alternatives for Treating Sludge
Generated from Wonju Sewage Treatment Plant

2004년 7월

연세대학교 보건환경대학원

환경공학전공

이규자

원주시 하수처리장 슬러지의
적정처리 방안에 관한 연구

A Study on the Alternatives for Treating Sludge
Generated from Wonju Sewage Treatment Plant

지도 서 용 칠 교수

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함


2004년 7월

연세대학교 보건환경대학원


환경공학전공

이 규 자

이규자의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 서 용 칠 인 

심사위원 강 준 권 인 

심사위원 나 규 환 인 

연세대학교 보건환경대학원

2004년 7월 일

감사의 글

지난 대학원 생활 3년이 어떻게 지났는지 모르겠습니다. 열심히 노력하며 최선을 다하고 싶은 마음이 많았는데 돌이켜보면 아쉬움이 더 많이 남습니다. 짧은 지난 시간의 결실로 부족하지만 하나의 작은 성과를 이루었습니다. 보잘 것 없지만 여기까지 올 수 있도록 도와주신 모든 분들께 감사 드리는 마음을 이글로 대신 전합니다.

오늘이 있기까지 늘 깊은 관심으로 지켜봐 주시고 지도해주신 서용철 교수님께 깊이 감사드리며, 바쁘신 와중에도 물심양면 도와주신 나규환 교수님, 강준원 교수님, 청형근 교수님께도 특별한 감사를 드립니다. 아울러 실험에 많은 도움을 주셨던 김영란 후배님, 박세준 후배님 그리고 폐기물연구실의 모든 후배님들께도 감사드립니다. 또한 대학원 과정을 무사히 마칠 수 있게 배려해주신 원주시청 이흥림 과장님, 이형첩 계장님과 어려운 시기를 함께 해주신 채영신님께 진심으로 감사를 드립니다.

끝으로 대학원 3년동안 임신과 출산으로 힘든 저를 항상 곁에서 돌봐주시고, 저의 소중한 큰딸 다솜이를 늘 사랑으로 보살펴주신 어머니와 아버지께 진심으로 감사드리며, 바쁘다는 이유로 많이 소홀했던 다솜이와 다은이에게 미안함과 잘 참아준 고마움을 전하며, 마지막으로 이 논문이 발행되기까지 도움을 아끼지 않았던 신량 청찬기님과 작은 결실의 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

그리고 저에게 깊은 관심을 가져주신 모든 분들께도 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

2004년 7월

차 례

그림차례	iv
표 차례	v
국문요약	vi
제 1 장 서론	1
1. 1 연구 배경	1
1. 2 연구 내용 및 목적	3
제 2 장 이론 및 현황조사	4
2. 1 하수슬러지의 정의	4
2. 2 국내 하수슬러지의 발생량 및 처리현황	6
2. 2. 1 발생현황	6
2. 2. 2 처리현황	6
2. 3 하수슬러지의 특성	11
2. 3. 1 함수율	11
2. 3. 2 비중	13
2. 3. 3 고형물 농도	14
2. 4 국내 하수슬러지의 성장조사	15
2. 4. 1 하수슬러지의 성분분석	15
2. 4. 2 하수슬러지의 중금속분석	16
2. 5 하수슬러지의 유효처리방법	17
2. 5. 1 시멘트원료	17

2. 5. 2	부숙토	18
2. 5. 3	지렁이 분변토	18
2. 5. 4	퇴비화	19
2. 5. 5	건설재료	20
2. 5. 6	열분해에 의한 오일회수	20
2. 5. 7	슬러지 액화	21
2. 5. 8	슬러지 고체연료화	21
2. 5. 9	슬러지 연료화	22
제 3 장	원주시 하수슬러지 발생량 및 현황조사	23
3. 1	실험 재료	23
3. 1. 1	하수슬러지	23
3. 2	실험 방법	28
3. 2. 1	함수율	28
3. 2. 2	유기물 및 중금속 분석	28
3. 2. 3	발열량	29
3. 2. 4	온도변화에 따른 감량시험(열적특성)	29
제 4 장	실험 결과 및 고찰	31
4. 1	하수슬러지 함수율	31
4. 2	중금속 분석결과	32
4. 2. 1	하수슬러지	32
4. 2. 2	분뇨슬러지	33
4. 3	유기물함량	35
4. 3. 1	하수슬러지	35

4. 3. 2 분뇨슬러지	35
4. 4 슬러지 발생량	37
4. 5 온도변화에 따른 감량시험	38
4. 5. 1 환원상태에서의 슬러지 열분해특성	38
4. 5. 2 산화상태에서의 슬러지 열분해특성	41
제 5 장 재이용방안	44
5. 1 퇴비화	44
5. 1. 1 오염물 농도	44
5. 1. 2 탈수케익의 함량분석에 의한 퇴비가능성 검토	45
5. 2 시멘트자원화기술	46
5. 3 슬러지의 유효이용	48
제 6 장 결 론	52
참 고 문 헌	55
ABSTRACT	56

List of Figures

Fig. 1. Annual generation of sewage sludge	7
Fig. 2. Existing form of sludge water.	11
Fig. 3. Process diagram if sewage treatment plant in Wonju city	25
Fig. 4. Sewage inflow at sewage treatment plant in Wonju city	26
Fig. 5. Sludge generation sewage treatment plant in Wonju city	27
Fig. 6. Picture of calorimeter	29
Fig. 7. Picture of TGA(ThermograVimetric Analyzer)	30
Fig. 8. The Concentration of Heavy Metals(sewage sludge)	33
Fig. 9. The variations of T-C as a function of time(sewage sludge) ..	35
Fig. 10. The variations of T-C as a function of time(night-soil sludge) ..	36
Fig. 11. Variation of TGA of sewage sludge at reductive status	38
Fig. 12. Variation of TGA of night soil sludge reductive status	39
Fig. 13. Variation of DX of sewage sludge reductive status	40
Fig. 14. Variation of DX of night soil sludge reductive status	40
Fig. 15. Variation of TGA of sewage sludge at oxidative status	41
Fig. 16. Variation of TGA of night soil sludge oxidative status	42
Fig. 17. Variation of DX of sewage sludge oxidative status	43
Fig. 18. Variation of DX of night soil sludge oxidative status	43
Fig. 19. Recycling procedure of cement	47
Fig. 20. Concept map of sewage sludge treatment and recycling	48
Fig. 21. Recycling procedure of sewage sludge and utilization of products	49
Fig. 22. Steps of procedure for sewage sludge treatment	54

List of Tables

Table 1. Characteristics and solids by various sludge	5
Table 2. The annual generation of sewage sludge	6
Table 3. The present condition of sewage sludge discharge	8
Table 4. Prohibition time and subjects of direct landfilling the organic sludge	9
Table 5. General item analysis of sewage sludge	15
Table 6. Element analysis of sewage sludge	16
Table 7. Heavy metal analysis of sewage sludge	16
Table 8. The present status of Wonju sewage treatment plant	23
Table 9. The present status of Wonju night soil treatment plant	24
Table 10. The present status of night soil collection	24
Table 11. Sewage inflow of Wonju sewage treatment plant	26
Table 12. Sludge sewage generation at Wonju sewage treatment plant	27
Table 13. The moisture contents of sewage sludge	31
Table 14. The results of heavy metal analysis of sewage sludge(2002)	32
Table 15. The results of heavy metal analysis of night-soil sludge(2002)	34
Table 16. The results of lower heating value of sludge	37
Table 17. Chemical Analysis of Compost Produced by Composting Food Waste and Sewage Sludge	45
Table 18. The components of recycled cement using sewage sludge ...	46

국 문 요 약

원주시 하수처리장 슬러지의 적정처리 방안에 관한 연구

경제발전, 인구증가 및 생활수준의 향상 등 여러 가지 이유로 하수의 발생량이 증가하고 처리기준이 점차 강화됨에 따라 하수처리시 부수적으로 발생하는 2차 부산물인 하수슬러지의 양도 점차적으로 증가하게 되었다.

따라서 원주시에서 발생하는 하수슬러지의 현황을 검토하여 원주시 현 상황에 적합하고 하수슬러지로 인한 환경오염을 방지하며 자원으로써 이용할 수 있는 경제적이고 합리적인 처리 처분방안을 검토하고자 하였다.

우선적으로 하수슬러지의 환경적 위해성 평가를 위해 중금속등을 분석한 결과 모든 항목에서 비료관리법 기준치를 만족하였다. 또한 하수슬러지의 연소특성과 관련한 열분해 시험 결과 저위발열량은 하수슬러지가 2,422.3~2,729.3[kcal/kg-DS], 분뇨슬러지가 3,456.9~4,303.8[kcal/kg-DS] 로서 분뇨슬러지가 유기물 함유가 높은 것으로 판단되며, 환원상태에서의 하수슬러지의 경우 열분해가 대략 258℃에서 시작하여 745℃에서 끝나고, 분뇨슬러지의 경우 열분해가 대략 163℃에서 시작하여 644℃에서 끝나는 것으로 나타났다.

산화상태에서는 하수슬러지의 경우 105℃에서 질량 변화가 시작되어 500℃근방에서 질량 변화가 끝남을 살펴볼 수 있다. 이는 산소와의 산화 반응에 의하여 유기물의 분해정도가 환원 분위기와 비교하였을 때 더 빠르게 일어났을 것으로 판단된다. 분뇨슬러지의 경우 131℃ 부근에서 분해가 일어나기 시작하여 450℃부근에서 커다란 변화는 끝이 나지만 950℃까지 계속해서 질량 변화가 일어나는 것으로 나타났다. 이러한 경향성은 산화 상태에서나 환원 상태에서 모두 같은 경향성을 보이며 이는 하수슬러지에 비하여 분뇨슬러지가 다양한 성상을 지닌 유기물로 이루어져있기 때문에 나타나는 경향으로 생각된다.

이와 같은 결과로 판단하였을 때, 원주시 하수처리장에서 발생하는 슬러지의 성상 파악을 위한 지속적이고도 주기적인 조사와 2005년까지 해양투기가 가능하다는 전제하에 1단계를 2005년까지로 정하여 기존시설의 활용을 통한 해양 투기량의 단계적 감소와 재활용의 방안으로 하수슬러지의 시멘트 부원료로서 위탁처리를 목표로 하고, 이에 대한 추가처리방법으로는 생활폐기물 소각시설의 폐열을 활용한 건조 후 재활용 또는 생활폐기물 RDF와의 혼소방법을 검토하고, 2005년 이후에는 발생하는 슬러지의 양이 기존 시설을 활용하여 처리하는 데는 한계가 있을 것으로 판단되어 집약처리를 원칙으로 한 슬러지 처리시설의 확충을 목표로 함이 타당할 것으로 판단된다.

주제어 : 하수슬러지, 분뇨슬러지, 원주시하수처리장, 시멘트 부원료, 퇴비화

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

경제발전, 인구증가 및 생활수준의 향상 등 여러 가지 이유로 생활하수나 공업폐수의 발생 또한 크게 증가되고 있으며 그 성분이 더욱 다양하고 복잡해지고 있다. 이에 따라 주요 하천 및 강의 수질오염을 방지하기 위하여 수질개선의 기초시설인 하·폐수처리장의 시설도 불가피하게 증가되었으며, 하수의 발생량이 증가하고 처리기준이 점차 강화됨에 따라 하수처리시 부수적으로 발생하는 2차 부산물인 하수슬러지의 양도 점차적으로 증가하게 되었다.

2003년 말 현재 원주시 하수처리장의 처리용량은 130,000m³/일이며 실하수유입량은 103,927m³/일로 이와 같은 하수가 수처리 공정을 통한 후 부산물로 발생하는 슬러지는 2003년 평균 53톤/일이 발생하였다. 한편, 2016년 원주시 하수도기본계획 변경에 의하면 원주시 하수처리장 증설계획은 2016년에 180,000m³/일로 확충계획을 수립하고 있어 계획대로 처리장이 증설되는 경우에는 향후 슬러지의 발생량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이렇게 발생한 하수슬러지의 처리는 거의 대부분 매립과 해양투기에 의해 처리되고 있다. 그러나 단순매립의 경우 2003년 7월 1일부터 유기성 슬러지의 직매립금지로 전량 해양투기하고 있다. 하수슬러지를 매립할 경우 매립장내에서 악취, 해충, 침출수등의 2차 환경오염을 야기시키고 각종 유해 중금속은 토양에 잔류하게 되어 지하수 및 지표수를 오염시키는 등 여러 가지 심각한 문제점이 발생되고 있다.

이와 마찬가지로 해양투기의 경우도 과도한 유기물에 의한 부영양화(Eutrophication), 다량의 식물성 영양염류가 유입된 적조발생에 의한 조류증식(Algal Booms) 및 산소고갈(Oxygen Deletion)등 해양생태계의 오염을 야기시킬 우려가 있고, 폐기물 해양배출과 관련한 국제협약인 '96의정서 수용을 위한 국내 해양배출 폐기물의 관리방안 및 제도를 법령에 반영하는 계획을 추진 중에 있으므로 향후 2~3년 내에 발효될 것

으로 예상되고 있다.

또한 슬러지의 처리방법으로 오래 전부터 고려되어 왔던 것은 소각이었으나 높은 운영비용과 소각에 의한 대기오염으로 다이옥신과 같은 환경호르몬의 유해성이 널리 알려져 있어 적용하기에 매우 큰 어려움을 겪고 있다.

이에 따라 하수슬러지 처리시 각종 규제의 강화에 의한 많은 문제점을 안고 있는 단순매립이나 해양투기 및 소각 등을 할 것이 아니라 가능한 감량하고 재활용하는 것이 비용과 환경영향적 측면으로 유리하다는 시각이 대두되고 있다.

바로 이러한 관점에서 하수슬러지의 적정처리방안이 강구되고 있는 바 그 이용가능성을 평가하여 적정처리에 도움을 주고자 한다.

1.2 연구 내용 및 목적

유럽, 일본을 비롯한 선진 외국의 대도시들은 매립장 확보의 어려움 등으로 인해 슬러지를 적정하게 처리한 후 유용한 자원으로 재이용하거나 환경을 보호할 수 있는 방안에 대해 활발하게 연구를 실시하고 있으며 이러한 기술들이 실용화 되고 있다. 또한 슬러지에 포함된 유기물은 에너지원으로의 활용가능성이 높기 때문에 슬러지 처리에 의한 에너지 회수기술의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라에서도 하수슬러지를 처리하기 위해 퇴비화, 소각, 용융, 고화 등 다양한 연구가 진행되고 있으나 실용화된 경우가 많지 않다.

따라서 원주시에서 발생하는 하수슬러지의 현황을 검토하여 원주시 현 상황에 적합하고 하수슬러지로 인한 환경오염을 방지하며 자원으로써 이용할 수 있는 경제적이고 합리적인 처리 처분방안을 검토하고자 하였다.

제 2 장 이론 및 현황조사

2.1 하수슬러지의 정의

하수슬러지란 하수처리를 통해 수중의 부유물이 액체로부터 분리되어 침전된 찌꺼기를 말하며 오니(汚泥)라고도 한다. 하수슬러지는 수중의 부유물이 중력작용으로 침전지의 바닥에 침전한 고형물로서 90%이상의 수분을 함유하고 있다. 한편 부력에 의해 침전지의 표면에 뜬 것을 스킴(Scum)이라고 하는데 주로 유지류, 채소 및 머리카락 등으로 이루어져 있다.

또한, 스크린(Screen)에 걸린 부유물을 스크린링(Screenings)이라 하는데 스크린의 구멍크기에 따라 다양한 크기를 갖는다. 이들도 통상 하수슬러지와 함께 처리되므로 넓은 뜻에서 하수슬러지에 포함시킨다.

이처럼 수처리 과정에서 발생된 하수슬러지는 함수율과 오염성분이 많고 부패성, 병원성이 있으며 유해물질을 함유하여 잠재적 위험성을 갖고 있기도 하나, 유용한 영양물질 및 유기물질을 포함하여 자원으로서의 가치도 있어 재활용하고 있는 실정이다.

슬러지 종류에 따른 특성 및 고형물 농도를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Characteristics and solids by various sludge

슬러지의 종류	특 징	고형물 농도(%)
생슬러지	· 회색, 점착성, 악취가 심하다.	4.0~10.0
잉여슬러지	· 갈색, 흙냄새가 나며 단독 또는 생슬러지와 혼합하여 소화가 가능	0.8~2.5
혼합슬러지	· 생슬러지와 잉여슬러지의 혼합 · 농축전 분배조에 혼합시 생성	0.5~1.5
농축슬러지	· 생, 잉여 및 혼합슬러지를 소화시키기 전 감량시킨 슬러지	2.0~8.0
소화슬러지	· 혐기성 또는 호기성소화처리해서 농축분해된 슬러지(대부분 혐기성소화) · 암갈색내지 흑갈색으로 다량의 가스포함. · 소화후 악취발생이 없고 슬러지가 건조되면 가스는 날아가고 양토화 됨	2.5~7.0
탈수슬러지 (Cake)	· 슬러지의 수분을 감소, 운반과 소각 및 최종처분을 용이하게 하기 위함	20~40

2.2 국내 하수슬러지의 발생량 및 처리현황

2.2.1 발생현황

우리나라는 1990년도에 들어와 주요 하천의 수질오염을 예방하기 위하여 기초시설인 하수처리장을 신설 및 증설하여 '91년도 전국에 22개의 하수처리장에서 2002년 말 기준으로 207개소의 하수처리장이 가동되고 있으며, 매년마다 하수슬러지의 발생량도 계속적으로 증가되어왔다.

2006년까지 320개 중소규모의 처리장을 추가 설치할 계획을 추진하고 있으며, 2001년부터 전국적으로 추진해오고 있는 하수관거 타당성조사를 토대로 본격적인 하수관거 정비사업이 추진될 예정이다. 이러한 하수도 보급률 증가경향에 따라 Table 2는 연도별 하수슬러지의 발생현황을 나타내었고, Fig. 1은 연도별 하수슬러지 발생량을 나타내었다.

Table 2. The annual generation of sewage sludge

연도	처리장수	시설용량 (천m ³ /일)	실제처리량 (천m ³ /일)	슬러지 Cake 발생량 (톤/년)	단위슬러지 발생량 (kg/m ³)
1997	93	12,038	12,150	1,478,229	0.333
1998	92	16,616	13,995	1,447,170	0.283
1999	150	17,712	15,168	1,593,001	0.288
2000	172	18,400	15,771	1,741,371	0.303
2001	184	19,229	16,023	1,902,410	0.325
2002	207	20,233	17,050	2,073,095	0.333

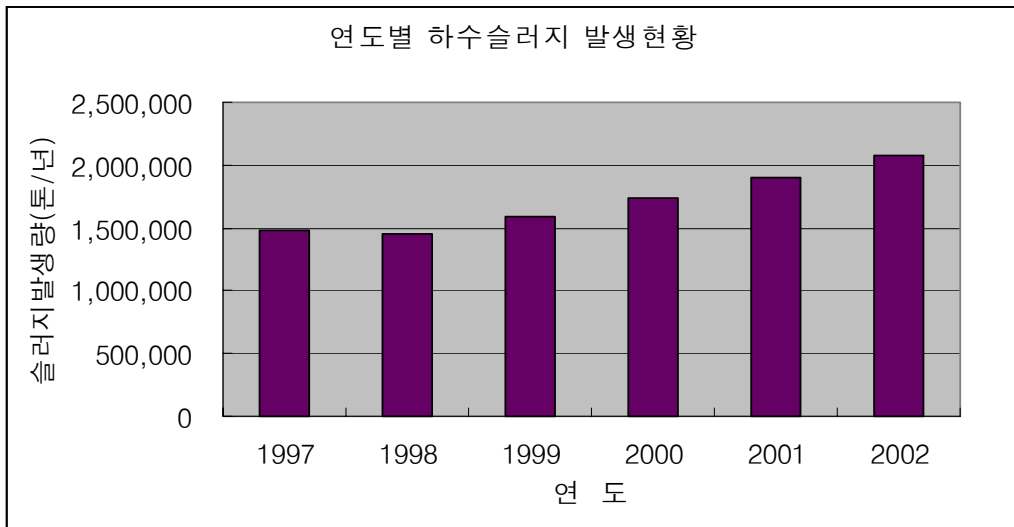


Fig. 1. Annual generation of sewage sludge.

2.2.2 처리현황

폐기물의 재활용과 매립장의 조기 안정화 대책의 일환으로 1997년 7월에 폐기물 관리법 시행규칙을 개정하여 2001년 1월1일부터 유기성 슬러지의 직매립 금지규정 시행안이 발표되면서 각 지자체에서는 하수슬러지 처리방안을 여러 방면으로 모색해왔으나 처리방법, 처리기술 및 지자체 예산확보 등 여러 가지 문제로 폐기물관리법 시행규칙을 실행하지 못하자 2000년도에 긴급대책회의가 진행되어 2003년 6월 30일까지 함수율을 75%이하만 매립장에 반입할 수 있도록 잠정적 유보를 법에 명시하였다.

그러나 항시 슬러지 함수율 75%이내 탈수가 어렵게 되자 대부분 매립에 의존하고 있었던 슬러지를 비용이 육상매립에 비교하여 약 10~20% 저렴하다는 이유로 해양투기로 전환하여 처리하게 되어, Table 3에 나타난 바와 같이 슬러지 육상 매립량은 감소되는 반면 해양투기량은 점차 증가되고 있다. 아래의 세 가지 방법이 하수슬러지 처리의 기본적인 방법이며, 이러한 방법 외에 다각적인 처리방법이 모색되어야 한다.

Table 3. The present condition of sewage sludge discharge

(단위 : 천톤/년)

연도	슬러지 발생량	매립	해양 투기	재활용	소각	기타	미처분량
1997	1,478,229 (100.0)	988,717 (66.9)	9,300 (0.6)	42,954 (2.9)	297,647 (20.1)	9,730 (0.7)	129,878 (8.8)
1998	1,447,170 (100.0)	792,828 (54.8)	20,947 (1.4)	34,466 (2.4)	552,188 (38.2)	12,647 (0.9)	34,095 (2.3)
1999	1,593,001 (100.0)	640,516 (40.2)	33,513 (2.1)	80,293 (5.0)	820,135 (51.5)	8 (0)	18,698 (1.2)
2000	1,741,371 (100.0)	439,099 (25.2)	93,163 (5.3)	88,101 (5.1)	1,118,453 (64.2)	923 (0.1)	1,633 (0.1)
2001	1,902,410 (100.0)	229,082 (12.0)	1,390,779 (73.1)	118,339 (6.2)	138,440 (7.3)	20,376 (1.1)	5,394 (0.3)
2002	2,073,095 (100.0)	254,919 (12.3)	1,471,472 (71.0)	106,624 (5.1)	200,338 (9.7)	39,619 (1.9)	123 (-)

1) 매립

하수슬러지의 매립은 슬러지를 퇴적시킨 다음 복토하여 침출수의 방지는 물론 매립 종료 후 사후관리까지 고려하여 치밀한 계획을 세워 매립하는 방법을 말한다.

매립방법은 처리비가 저렴하고 고급기술이 요구되지 않으며 일시에 대량으로 처리가 가능하다는 장점이 있는 반면 향후에 매립지의 확보가 어렵거나, 2003년 7월부터 시행되는 매립지의 슬러지 반입이 금지되는 상황에서는 방법자체의 한계가 있으며, 만약 매립방법을 이용한다고 하더라도 침출수에 의한 수질, 토양오염, 악취발생 및 지반침하 등 여러 문제점이 발생하는 단점이 있다.

Table 4 에서는 유기성 슬러지의 직매립 금지시기 및 대상을 나타내고 있다.

Table 4. Prohibition time and subjects of direct landfilling the organic sludge

시행시기	2003년 7월 1일	2005년 1월 1일
대상시설	<ul style="list-style-type: none"> · 폐수종말처리시설 · 하수종말처리시설 · 폐수배출시설 (폐수배출량 2000m³ 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> · 축산폐수처리시설 · 분뇨처리시설 · 폐수배출시설 (폐수배출량 700m³ 이상~2000m³ 미만)

※ 관련법령 : 폐기물관리법 시행규칙 별표4

2) 해양투기

슬러지의 해양투기란 파이프라인 또는 선박을 이용하여 강한 조류가 있는 해수 중에 주입하여 해수의 염석작용으로 침전되고 해수 중의 용존산소로 유기물을 산화시키는 방법을 말한다. 해양투기가 해양환경에 미치는 영향으로는 해저의 퇴적물이 혐기성 소화에 의해 부패되기 쉬우며, 영양소의 과다 공급에 의한 부영양화 및 바람이 표층의 저밀도 슬러지 흐름을 유도하여 해안 오염 등의 여러 가지 문제점을 발생시킬 수 있는 우려가 있다.

또한, 폐기물 해양배출과 관련한 국제협약인 런던협약(1972)이 1993년 일부 개정을 거쳐서 1996년에는 새로운 의정서(일명 '96의정서)를 채택하였으며, 개정의정서의 발효조건은 런던협약 당사국 15개국을 포함한 26개국의 비준 또는 가입동의서를 필요로 하며, 1999년 6월 현재 덴마크를 포함한 6개국이 가입하고 있으며, 향후 2~3년 이내에 발효될 것으로 예상되므로 시대적 필요성을 감안하여 런던협약 '96의정서 수용을 위한 국내 해양배출폐기물의 관리방안 및 제도를 개선하여 법령에 반영하는 계획을 추진하고 있다.

3) 소각

소각은 슬러지의 유기성분을 650~850℃의 고온 하에서 연소시킴으로써 양을 감소시키며 무해화와 소각재의 재자원화를 할 수 있는 방법이다. 온도를 650~850℃로

고정시키는 이유는 이러한 온도 범위를 벗어나게 되면 슬러지의 소각시 다이옥신(dioxin)이 발생하기 때문이다. 탈수슬러지에는 80%정도의 수분이 존재하므로 습량 저위발열량이 낮아 자연연소가 되지 않기 때문에 보조연료가 필요하게 되고 슬러지의 성상에 따라 배기가스가 함유될 수 있으므로 배기가스 처리시설이 요구되는 경우도 있다.

소각은 감량화가 크며 위생적으로 안정하고 생화학적으로 폐열회수의 가능성과 소각재를 재자원화 할 수 있다는 장점이 있으나, 건설비 및 유지관리비가 과다하게 소요되며 고급기술을 필요로 한다는 단점이 있다.

2.3 하수슬러지의 특성

2.3.1 함수율

슬러지 중에 함유성분의 표현방식에는 습중량 및 건중량에 대한 함유성분 중량의 비율로 표현하는 2종류의 경우가 있다. 전자를 습량기준 함수율 W_w , 후자를 건량기준 함수율 W_d 라고 한다. 건조공정에 있어서의 계산에서는 기준이 되는 중량이 변하지 않는 건조기준 쪽이 편리하기 때문에 건량기준을 나타내는 것으로 한다. 양자사이에는 다음의 관계가 있다.

$$W_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \quad (1)$$

$$W_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \quad (2)$$

슬러지 중에는 일반적으로 다음과 같은 형태로 물이 존재하며 Fig. 2에 표시하였다.

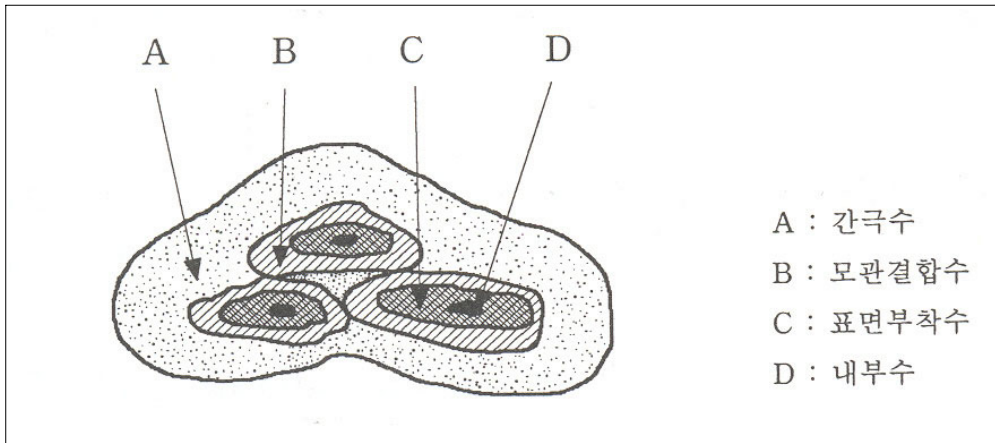


Fig. 2. Existing form of sludge water.

1) 간극수(Cavernous Water)

크고 작은 고형물질에 둘러싸여 있는 수분으로, 고형물질과 직접 결합해 있지 않기 때문에 농축 등의 방법으로 분리할 수 있다.

2) 모관결합수(Capillary Water)

슬러지 고형물의 입자에 수분이 둘러싸이면 모세관 현상을 일으킨다. 이는 원심력, 진공압등 물리적 힘을 가하면 제거가 가능하다.

3) 표면부착수(Adhesion Water)

콜로이드(Colloid)상 입자의 결합수로 생물학적 처리로 생기는 미세 슬러지에 부착되어 있는 수분이다. 이 수분은 제거가 어려우며, 콜로이드상 입자의 결합수는 응집시켜 분리 할 수 있다.

4) 내부수(Interstitial Water)

슬러지 중의 수분은 미생물 세포막에 둘러싸여 있는 것도 있는데 위의 것은 외부수분임에 반하여 세포액은 내부수분이다. 이것을 제거하기 위해서는 세포막을 파괴해야 하므로 제거가 어렵다. 호기성 또는 혐기성 분해를 시키거나, 고온 가열 또는 냉동조작을 가하면 내부수가 외부수로 된다.

2.3.2 비중(Specific Gravity, SG)

대부분의 하수슬러지는 비중이 1.0정도이다. 슬러지의 비중은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$SG = \frac{\text{슬러지의 밀도}}{\text{물의 밀도}} \quad (3)$$

슬러지는 고형물과 액상인 상태로 구성되는데 혼합물은 비중이 1.003~1.054로 대부분 침전되며, 고형물은 건조시 비중이 1.4~2.1로 증가하고, 혼합물인 슬러지의 비중과 부피사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\frac{1}{(SG)_{S1}} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{(SG)_i} \quad (4)$$

여기서, $(SG)_{S1}$: 슬러지의 비중

$(SG)_i$: i성분의 무게

W_i : i성분의 무게

슬러지가 수분과 고형물로 구성되어 있다면 Eq. (3)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{(SG)_{S1}} = \frac{W_w}{(SG)_w} + \frac{W_{S0}}{(SG)_{S0}} \quad (5)$$

여기서, $(SG)_w$: 물의 비중

$(SG)_{S0}$: 건조고형분의 비중

W_w : 물의 무게

W_{S0} : 건조고형분의 무게

2.3.3 고형물 농도

슬러지 중의 고형물 농도는 mg/ℓ 또는 %로 표시한다. 슬러지 총고형물은 용존 고형물과 부유고형물로 구성되는데, 용존 고형물은 증발접시에서 105℃로 수분을 증발시켰을 때 남는 고형분이며, 부유고형물은 섬유상 여과막을 통과하지 않는 물질로 정의된다.

이와 같은 고형물은 각각 휘발성과 잔류성으로 분류하며, 휘발성 고형물은 600℃에서 산화되는 것으로, 잔류성은 산화되지 않고 남는 것으로 정의한다.

2.4 국내 하수슬러지의 성장조사

하수슬러지를 처리 및 자원화하기 위해서는 하수슬러지의 성장에 대하여 검토할 필요성이 있다. 공단 등이 입지되어 있지 않고 소규모의 도시 및 농촌지역으로 형성되어 거의 모든 유입수가 생활하수인 농촌형, 대규모의 도시내에 소규모 공단 등이 입주되어 있으나 압도적으로 주거지역의 비율 즉, 생활하수의 유입이 많은 도시형, 그리고 주거지역이 일부 입주되어 있으나 주로 대규모 공단으로 이루어져 있는 공단형 등으로 분류할 수 있다.

이에 따라 하수슬러지의 성장은 유입되는 하수의 성장에 따라 변화한다.

2.4.1 하수슬러지의 성분분석

하수슬러지 일반 항목의 성분분석 및 원소분석을 각각 Table 5, Table 6에 나타내었다.

Table 5. General item analysis of sewage sludge

구 분		강열감량(%)	함수율(%)	비 중	발열량(kcal/kg)
중량 하수처리장	# 2	45.51	63.26	1.306	2950.7
	# 3	28.93	58.21	1.147	2010.8
탄천하수처리장		26.24	67.01	1.233	2017.9
가양하수처리장		31.53	68.78	1.839	2004.7
난지하수처리장		43.75	69.09	1.677	2253.8

Table 6. Element analysis of sewage sludge

구 분		C	H	O	N	S	Ash	Cl
중량하수 처리장	# 2	26.39	2.902	11.908	3.116	1.194	54.49	0.151
	# 3	15.23	1.837	8.641	2.370	0.852	71.07	0.119
탄천하수처리장		12.03	1.563	9.836	2.186	0.625	73.76	0.288
가양하수처리장		16.74	1.976	9.07	2.651	1.093	68.47	0.141
난지하수처리장		17.81	1.975	20.108	2.920	0.937	56.25	0.125

2.4.2 하수슬러지의 중금속분석

하수슬러지의 중금속 분석자료를 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Heavy metal analysis of sewage sludge

구 분	중량하수처리장		탄천하수 처리장	가양하수 처리장	난지하수 처리장
	# 2	# 3			
Fe	28381	25521	36054	28716	18993
Pb	64.021	불검출	불검출	67.850	75.587
Cr	불 검 출				
Zn	1003.1	649.89	701.77	748.58	828.88
Mn	2967.3	766.47	417.35	553.55	569.70
Cd	2.519	0.728	불검출	3.305	3.698
As	불 검 출				
Hg	불 검 출				
Si	14.807	16.117	20.691	19.603	18.317
Al	39308	54365	55528	52980	39329
Ti	6225.1	1919.3	26478	2390.8	1492.3
Ca	13097	13716	12485	13780	9567.9
Mg	4134.2	4618.2	70856	6279.6	4525.9
Na	1553.1	7678.5	38890	5295.1	4133.6
K	6225.1	11334	10774	11701	8134.0

2.5 하수슬러지의 유효처리방법

하수슬러지를 재활용하기 위해서는 앞에서 언급된 바와 같이 지역특성, 처리공정, 처리장별 및 사용하는 응집제에 따라 슬러지 성상에 차이가 있으므로 실정에 맞게 충분하게 검토되어야 한다. 다음은 우리나라의 폐기물 관리법에서 하수슬러지를 유효 이용하는 방법과 다양한 형태의 자원화를 모색하고 있는 외국 사례를 나타내었다.

2.5.1 시멘트원료

시멘트 원료에는 석회질원료, 점토질원료 및 산화철원료가 있으며, 염기성분인 산화칼슘(CaO)은 석회석에서 얻고 산기성분인 산화규소(SiO_2), 산화제2철(Fe_2O_3), 산화알루미늄(Al_2O_3)은 점토질원료에서 충당된다.

점토질원료의 대표적인 것은 점토로서 지표상에 널리 분포되어 있으며, 시멘트 원료로서의 성분은 산화규소는 55%이하, 산화제2철은 20%이상인 것이 적당하고, 알칼리($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 함량이 소성로 코팅 형성의 주요인이 되므로 낮을수록 양질의 점토이다. 점토질 원료의 시멘트 원료배합비율은 10%내외이나 10% 사용시 품질상의 문제로 현실적으로는 불가능한 상태이다.

시멘트 중 산화제2철 함량은 약 3~4%로서 석회석, 점토질원료에서 산화제2철 성분을 충족시키지 못할 경우 산화철원료를 사용한다. 산화제2철은 소성시 플럭스(Flux) 역할을 하며, 특히 시멘트 특유의 회색을 발현하는데 영향을 준다.

이러한 맥락에서 하수슬러지의 주성분이 점토질원료와 동일하므로 현재 사용 중인 경석, 납석 및 비산재(Fly ash)와 함께 사용할 경우 3%까지 사용 가능하고, 상기 원료를 대체시 5%까지 사용 가능하다고 볼 때 건조과정을 거친 우리나라의 하수슬러지를 전량 처리하는 것은 큰 문제가 안 될 것으로 생각된다.

2.5.2 부숙토

부숙토라 함은 음식물류 폐기물과 유기성오니의 함수율을 60%이하로 조정하여 부숙시설에서 퇴적시키거나 반응기에 넣어서 통기장치, 또는 뒤집기 장치를 설치 3일 이상 지속적으로 50℃이상의 온도를 유지하고 15일 이상의 유기물을 분해하는 1차 발효공정과, 부숙시설로부터 반출 사용하기 전에 20일 이상 1차 발효 후 남아있는 악취 또는 병원성미생물을 제거하거나 미분해된 유기물을 분해하여 2차 발효공정(후부숙공정)을 거친 건조중량을 기준으로 1%이상 이물질이 포함되지 않은 안정화된 제품을 말한다.

현재 법규에서는 정원, 공원, 임야, 간척지, 개간지, 도로절개지, 폐광지 및 토양식생복원사업지 등의 토지개량제, 또는 매립지복토용으로 사용할 수 있으며, 농경지, 목본과수지, 화훼재배지, 묘목장 및 식용작물 재배지에 사용해서는 아니되며, 연간 1천평당 13톤 이상을 사용해서는 아니된다고 규정하고 있다.

2.5.3 지렁이 분변토

지렁이의 사육시설은 개폐가 가능한 환기시설, 지렁이가 사육장 밖으로 나가는 것을 막기 위한 시설 및 지렁이가 건조되는 것을 방지하는 급수장치를 설치 운영하여야 하며 사육시설 내의 유기성 슬러지는 수소이온농도, 함수율, 공기량 및 온도 등이 사육조건에 적절한 상태를 유지하여야 한다.

지렁이 먹이로 사용하기 위한 유기성 슬러지는 지렁이 사육시설 면적 100평당 30톤 이상을 보관하여서는 아니된다.

지렁이 분변토를 토지개량제로 사용하고자 하는 경우에는 분변토에서 발생하는 악취는 대기환경보전법 시행규칙 별표 8의 배출허용기준 이하이어야 하며, 비료관리법시행령 제15조의 규정에 의한 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따라 시료를 만들어 수질오염공정시험법으로 시험한 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$) 농도는 암모니아성질소($\text{NH}_3\text{-N}$) 농도보다 높아야 한다.

2.5.4 퇴비화

하수슬러지 퇴비화라는 것은 “하수슬러지의 녹농지 이용을 주요한 목적으로 하여 퇴비화 기술에 의하여 탈수케익 단독 혹은, 통기개량제를 혼합하여 발효시켜 이것에 의하여 안정화를 기하는 프로세스”로 정의한다.

하수슬러지 퇴비화 과정은 전처리과정에서 수분 함수율을 조절하고 1차 발효과정에서 호기성 미생물의 성장을 유도할 수 있는 산소 즉, 공기의 공급이 주요한 조작에 포함되며, 이러한 조작에 의하여 온도가 60~70℃로 상승하여 난분해성의 유기물이 분해되고 병원성미생물 및 잡씨앗 등이 불활성화하게 된다.

2차 발효과정은 숙성과정이라고도 하며, 이 숙성과정은 분해과정 중에 유기물이 불안정한 상태에 있는 것을 안정화시키는 과정이다.

즉, 1차 발효과정 중에 발생된 각종 악취물질의 휘산, 휴믹산의 안정화 등이다. 이렇게 생성된 하수슬러지 퇴비는 녹농지에 토양개량제 효과를 기대하는 자원으로 사용되어 가는 것을 기본으로 하지만, 퇴비화 된 슬러지는 질적으로 안정화되어 있기 때문에 녹농지 이외에 건설자재와 매립재로서 이용하는 것에 대해서도 생각할 수 있다.

그러나 슬러지를 퇴비로 사용하기 위해서는 먼저 슬러지에 유해물질의 포함 여부를 먼저 규명해야 하며, 다음으로는 퇴비로서 충분한 가치가 있는지의 여부를 평가하여야 할 것이다.

외국의 경우는 사용하는 용도에 따라 등급을 정해 놓고 다양한 유해물질(주로 중금속)을 지정하여 농도를 규제하고 있으나, 우리나라는 단순하게 원료를 규제하고 획일적인 기준에 의하여 중금속 및 기타 유기물 함량 등을 규제하고 있다.

중금속의 경우 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As) 및 수은(Hg)만을 규제하였으나, 1997년 9월 개정된 농림부 고시안인 부산물 비료 중 퇴비의 공정규격 개정안에 의하여 크롬(Cr) 및 구리(Cu) 항목이 추가되었다.

2.5.5 건설재료

하수슬러지의 무기물질을 이용하는 기술로서 연소하거나 소각한 후에 발생하는 소각재를 이용하는 것이 대부분이다.

석회계 소각재의 경우 일반적인 물리적, 화학적 특성을 확인한 후 노반재 및 토양개량제로 이용할 수 있으며, 고분자계의 소각재일 경우 소각재와 물, 시멘트 및 골재를 혼합하여 고진동 가압 즉시 탈형하여 혼합 및 형태에 따라 여러 가지 종류의 인터로킹블록 제품으로 제조가 가능하며, 콘크리트 2차 제품 및 타일 등으로도 제조할 수 있다.

소각잔재의 처리가 또 다시 문제될 경우에는 용융슬래그를 성형하여 무해화, 감량화하여 건설재료로 사용하는 방법도 있다.

우리나라의 경우도 소각의 측면에서 본다면 건조과정에서 사용연료를 유류에 의존하지 않는다면 소각에 의한 연소재의 재활용도 충분히 고려해 볼 수 있으나, 연소재로 제조된 건설재료와 고형화에 의한 건설재료 모두 장기 물리적 안정성과 유해물질의 용출문제 등이 우선 해결되어야 할 과제이다.

2.5.6 열분해에 의한 오일회수

열분해란, 산소가 부족한 상태에서 유기물에 열을 가할 때 유기물이 오일, 가스 및 숯(Char)과 같은 에너지 형태로 전환되는 물리·화학적 현상을 말한다.

슬러지 열분해 과정은 40~60%의 유기물을 함유하고 있는 슬러지를 10~20%로 건조시킨 후 1기압의 공기가 유입되지 않는 밀폐된 상태에서 반응기 내부의 온도를 300~550℃로 유지할 때 투입된 슬러지는 생성된 숯(Char)과 비응축성가스를 소각시켜 발생하는 열에 의해 건조되며, 이 열을 이용, 반응기 내의 반응온도를 유지할 수 있다. 따라서 생성된 오일은 전량 회수하여 다른 열에너지원으로 활용 가능하다.

또한, 슬러지내의 중금속은 전량 숯(Char)으로 흡착된다고 보고되고 있으며, 숯 소각 후 발생된 재는 일반 소각재와 마찬가지로 최종 처분되는데, 이 때 재 발생량

은 건조 슬러지량의 20~30%정도이며, 원시료인 탈수슬러지량의 5~7%에 불과하다.

2.5.7 슬러지 액화

슬러지의 액화는 열분해에 의한 오일 회수와 비슷한 개념을 가지고 있지만 슬러지를 밀폐반응기에 투입하고 고온·고압하에서 수분이 기화하면서 화학반응으로 슬러지에 포함된 금속염의 축매 작용에 의하여 일어난다.

265~360℃의 온도에서 알칼리 소화반응에 의해 슬러지가 가압하에 용해되면서 아세톤(CH₃CO), 아크롤레인(CH₂CHO) 및 글리세롤[CH₂OHCH(OH)CH₂OH] 등의 저분자 물질로 분해되고 다시 알돌(Aldole Route)반응에 의해 방향족 구조로 재결합하는 반응 경로를 거치며 이 용해·재결합 과정 중에서 물과 이산화탄소가 분리되고, 오일이 형성하는 것으로 알려져 있다.

슬러지 액화는 건조가 불필요하여 탈수슬러지에 직접 적용이 가능하나 고온·고압상태를 유지하여야 하는 반응조건 때문에 장치가 복잡하고 운전이 어렵다는 단점이 있다.

2.5.8 슬러지 고체연료화

건조슬러지를 활용하는 기술로서 먼저, 탈수슬러지를 순환오일과 혼합하여 유동성을 갖는 슬러지를 제조하고 다목적의 건조 장치에 보내 슬러지의 수분을 효율적으로 제거하며 수분이 제거된 슬러지를 고액 분리기에서 오일을 제거하여 슬러지 케익을 생성하는 것이 일반적으로 사용되는 방법이다.

2.5.9 슬러지 연료화

지역특성에 따라 다르지만 하수슬러지는 평균적으로 2,700kcal/hr 정도의 자체 발열량을 가지고 있으므로 보조연료로 사용할 수 있다.

충청북도 C 수질환경사업소 수분함수율 18% 건조분 슬러지 1톤을 충청북도 S 시멘트사에서 보조연료로 사용했을 경우, 유연탄(Coal) 0.3톤의 절감효과를 가져왔으며, 하수슬러지 소각시 보조연료로 사용할 경우 에너지 절감효과를 기대할 수 있다고 생각된다.

제 3 장 원주시 하수슬러지 발생량 및 현황조사

3.1 실험 재료

3.1.1 하수슬러지(Sewage Sludge)

1) 하수처리장 및 분뇨처리장 현황

원주에서 운영하고 있는 하수종말처리장은 1개소로 처리용량은 130천톤/일이며, 흥업면에 시설용량 6.5천톤/일, 문막읍에 시설용량 7.0천톤/일의 하수처리장이 2006년을 완공목표로 공사 중에 있는 것으로 조사되었다. Table 8은 원주시 하수처리장 시설현황을 나타내었다.

Table 8. The present status of Wonju sewage treatment plant

위 치	면 적 (㎡)	처리구역 (km ²)	처리인구 (인)	처리용량(천톤/일)			처리방식
				1차	2차	계	
원주시 가현동 156번지 일원	87,000	29,98	250,000	75	55	130	표준활성오니 +H.B.R

자료 : 환경기초시설현황, 2003, 원주시

Table 9에서는 원주시 가현동에 운영중인 분뇨처리장 현황을 나타내었으며, 처리용량은 200톤/일로 처리방식은 전처리 후 하수처리장에 연계처리를 하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 9. The present status of Wonju night soil treatment plant

구분	위치	처리용량 (톤/일)	처리구역	처리방법
가현	가현동 156	200	원주시, 횡성군, 군부대	전처리후 하수처리장 연계처리

자료 : 환경기초시설현황, 2003, 원주시

Table 10에서는 원주시 분뇨수거실적을 나타내었다.

Table 10. The present status of night soil collection

행정구역 인구 (인)	수거지내 인구 (인)	분뇨발생량(m ³ /일)			처리대상량(m ³ /일)			수거처리(m ³ /일)	
		계	수거 분뇨	정화조 오니	계	수거 분뇨	정화조 오니	위생 처리장	기타
275,217	275,217	275	29	246	149	26	123	238	-

2) 하수처리공정도

본 연구에 사용되는 하수슬러지는 Fig. 3에 나타난 일 처리용량 130,000톤의 하수 처리공정을 (유입-1차침전지 - 포기조 - 2차침전지 - UV소독조등) 거치며 발생되었다.

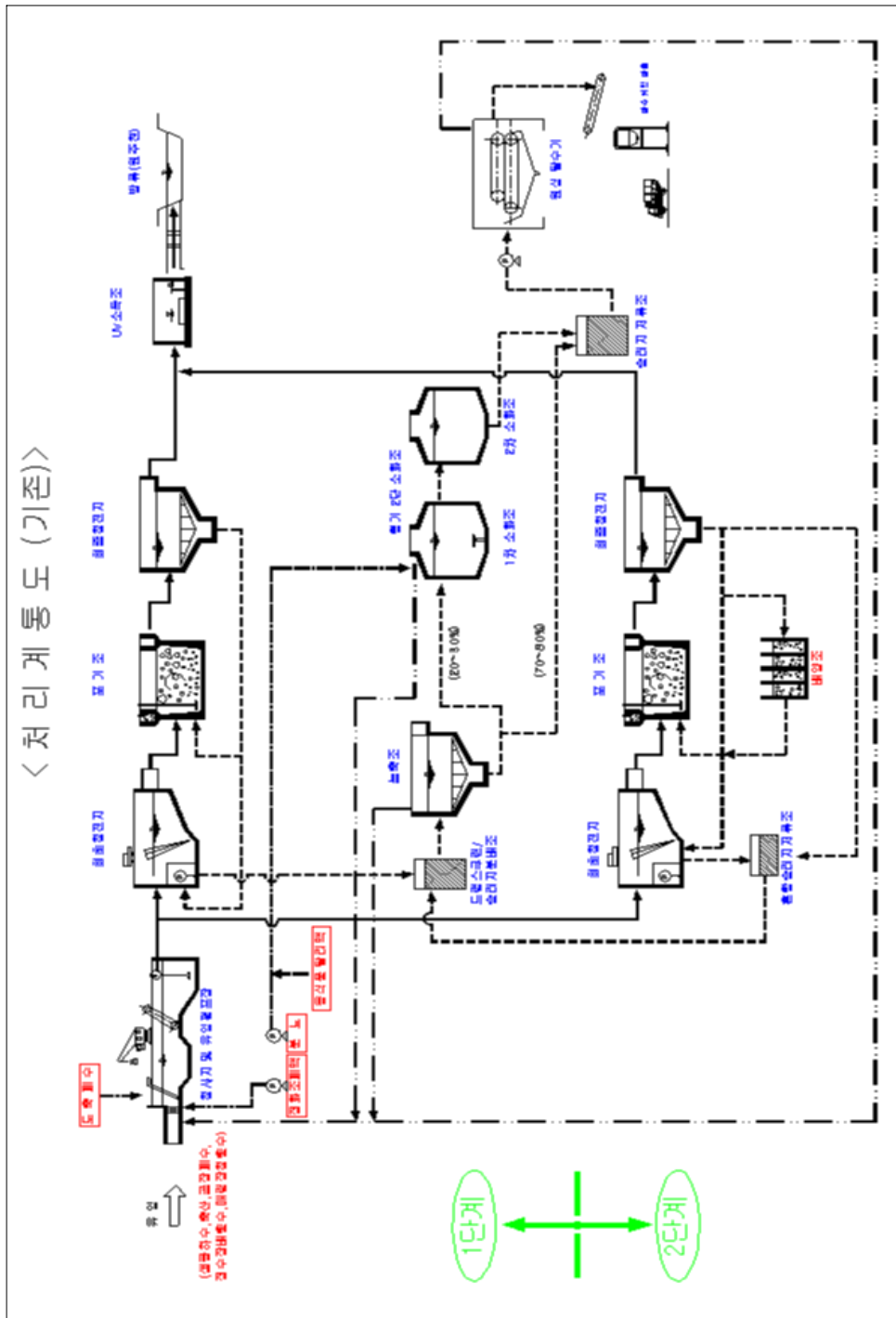


Fig. 3. Process diagram of sewage treatment plant in Wonju city.

3) 하수유입량

Table 11은 2003년 원주하수처리장 유입하수량을 나타내었다.

Table 11. Sewage inflow of Wonju sewage treatment plant

		(m ³ /일)					
월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	
원주	108,397	113,315	115,411	113,048	128,317	120,315	
월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
원주	114,173	112,955	116,311	113,578	115,295	104,329	

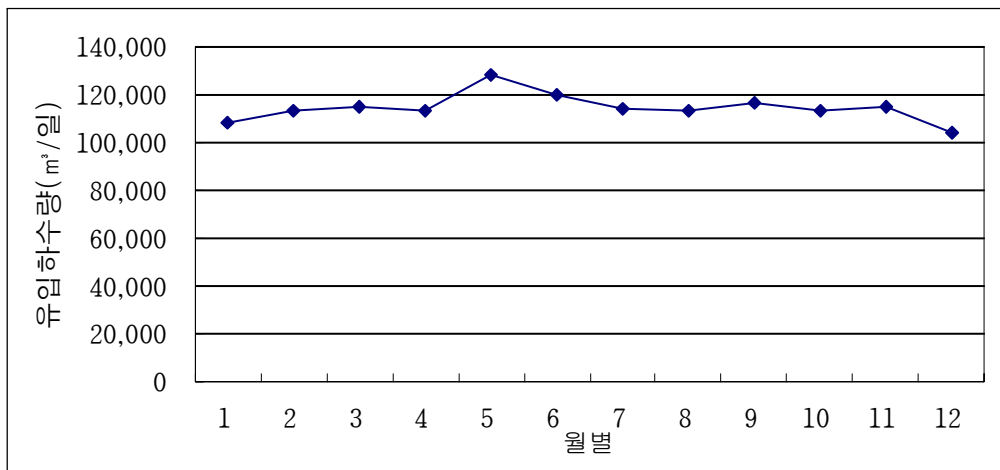


Fig. 4. Sewage inflow at sewage treatment plant in Wonju city.

4) 슬러지발생량

Table 12는 2003년 원주하수처리장에서 발생된 하수슬러지 발생량을 나타내었다.

Table 12. Sludge sewage generation at Wonju sewage treatment plant

(톤/월)

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
원주	1,891	1,570	1,867	1,487	2,187	1,793
월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
원주	1,163	1,154	969	1,793	1,723	1,723

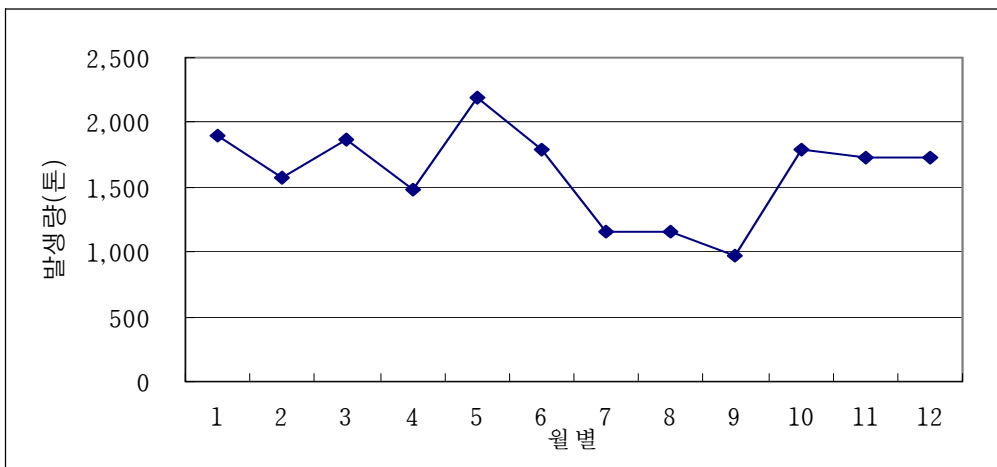


Fig. 5. Sludge generation sewage treatment plant in Wonju city.

3.2 실험 방법

3.2.1 함수율

원주시 하수처리장 발생슬러지의 함수율은 폐기물공정시험법을 적용하여 다음과 같이 실험하였다.

1. 증발접시를 미리 105~110℃에서 1시간 건조시킨다.
2. 황산데시케이터 안에서 방냉하고 항량으로 무게를 정밀히 단다. (W_1)
3. 여기에 시료 적당량을 취하여 증발접시와 시료의 무게(W_2)를 정밀히 단다.
4. 수욕상에서 수분을 거의 날려 보내고 105~110℃의 건조기안에서 4시간 건조시킨다.
5. 황산데시케이터 안에 넣어 방냉하고 항량으로 무게(W_3)를 정밀히 단다.

계산식

$$\text{- 수분(\%)} = (W_2 - W_3)/(W_2 - W_1) \times 100$$

$$\text{- 고형물(\%)} = (W_3 - W_1)/(W_2 - W_1) \times 100$$

3.2.2 유기물 및 중금속분석

원주시 발생슬러지의 유해물질에 의한 환경영향을 판단하기 위해 중금속을 분석 시험하였다. 시험은 원주시 수질환경사업소에서 발생하는 슬러지를 대상으로 비료 공정시험법을 적용하여 분석하였다. 분석대상 중금속은 Cd, Cr⁺⁶, Cu, Pb, Hg, As로서 AA(원자흡광광도계) 및 ICP(유도결합플라즈마)를 이용하여 분석하였다.

3.2.3 발열량

발열량 분석은 Fig. 6의 열량계(Bomb calorimeter)에 의한 방법으로 수행하였다. 원주하수처리장의 탈수슬러지를 건조하여 저위발열량을 산정하였다. 기기분석을 통한 고위발열량의 자료를 이용하여 아래의 식을 적용하였다.

$$\text{저위발열량(DS)} : \text{고위발열량(DS)} - \left[600 \times \frac{W}{100} \right]$$

$$\text{저위발열량(wet)} : \text{고위발열량(wet)} - \left[600 \times \frac{W}{100} \right]$$

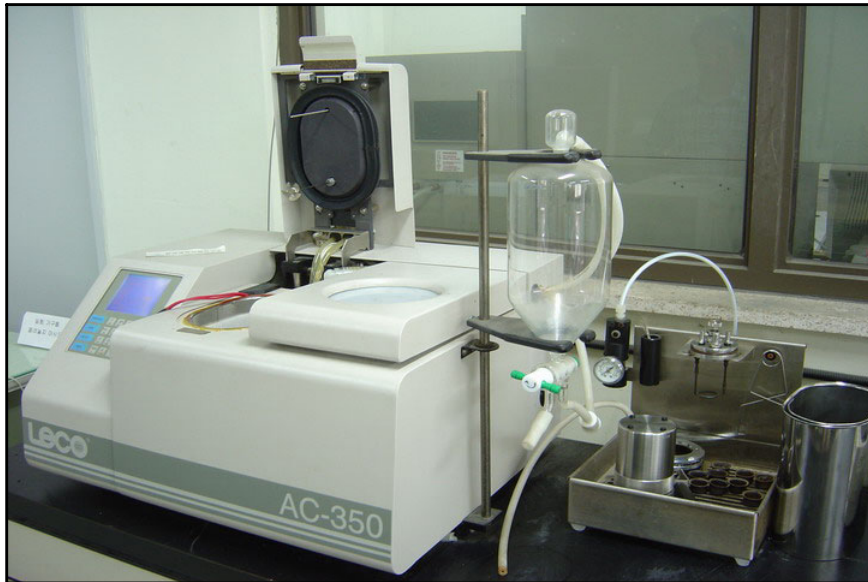


Fig. 6. Picture of calorimeter.

3.2.4 온도변화에 따른 감량시험(열적특성)

TGA(Thermogravimetric Analyzer)는 온도의 함수로써 질량변화를 연속적으로 측정하는 장치이며 고분자물질의 열분해 반응에서 반응생성물의 성분분석이 쉽지 않은 경우 질량변화로부터 총괄 반응 속도 연구를 위해 많이 사용되어 왔다.

Fig. 7의 TGA(Thermogravimetric Analyzer) 실험장치를 이용한 열중량 실험은 승온 속도를 일정하게 유지하여 설정된 온도까지 상승시키는 비등온 실험(non-isothermal experimental)과 고정된 온도에서 수행하는 등온 실험(isothermal experimental)이 있다.

비등온 실험에서는 온도 증가에 따른 시료의 질량변화가 있을 수 있으며 이를 기록하여 총괄 반응 속도에 대한 연구를 할 수 있고, 등온 실험에서는 고정된 온도에서 시간 변화에 대한 시료의 질량변화로부터 총괄 반응 속도에 대한 연구를 수행할 수 있다.

이 때 기록된 실험값은 미분법과 적분법을 이용하여 열분해 과정에서 일어나는 반응 속도 상수, 활성화 에너지 및 반응 차수 등을 계산할 수 있다. 구하는 방법은 크게 미분법과 적분법으로 나뉘며, 미분법에는 Friedman 법, Freeman & Carroll 법, Sharp법 등이 있다. 적분법에는 Kissinger 법, Coats-Redfern 법, Ozawa 법, Horowitz-Metzger 법 등이 있으며, 본 연구에서는 단순하게 활성화 에너지의 변화 추이를 통해 열분해가 일어나는 구간에 대한 연구를 실시하였으며 이와 비교하여 산화 분위기에서의 질량 변화와 환원분위기에서의 질량변화를 비교하여 살펴보았다.



Fig. 7. Picture of TGA(Thermogravimetric Analyzer).

제 4 장 실험 결과 및 고찰

4.1 하수슬러지 함수율

원주시 하수처리장에서 발생하는 하수슬러지의 함수율은 2003년 약 74.1 ~ 78.8%정도이며, Table 13에 나타내었다.

Table. 13 The moisture contents of sewage sludge

년 도	일 시	함수율(%)	비 고
2002년	4월 9일	77.4	
	4월 18일	78.8	
	5월 1일	76.7	
	5월 3일	74.1	
	평 균	76.8	
2003년	1월 7일	76.0	
	2월 18일	80.7	
	2월 20일	78.7	
	4월 9일	79.6	
	5월 15일	76.1	
	7월 16일	72.5	
	평 균	77.3	

4.2 중금속 분석결과

4.2.1 하수슬러지

본 연구에 사용된 실험재료인 하수슬러지에 대해 2002년 중금속 분석 시험한 결과를 Table 14와 Fig. 8에 나타내었다. Cd, Pb, Hg, As, Cr, Cu는 모든 하수슬러지에서 검출은 되었으나 규제치를 만족하였다. 결과적으로 하수슬러지의 중금속 분석결과는 비료관리법에서 규정한 규제치를 모두 만족하였다. 따라서 본 연구에서 사용된 하수슬러지는 환경적인 유해성은 미치지 않을 것으로 보인다.

Table 14. The results of heavy metal analysis of sewage sludge(2002)

(단위 : mg/kg)

구분	3월	6월	9월	11월	기준	비고
유기물	13.6	27.6	12.8	19	25이상	
유기물대질소비	11.6	14.9	15.4	15.9	50이하	
카드뮴	0.5	trace	trace	0.24	5이하	
수은	0.1	0.7	0.079	0.06	150이하	
납	trace	6	0.44	trace	300이하	
크롬	4	16	trace	0.33	50이하	
비소	0.3	0.6	0.407	trace	300이하	
구리	47	145	9.04	10.9		
염산불용해물	2.2	5.3				
니켈			0.08	trace	50이하	
아연			trace	20.9	900이하	
염분			0.004	0.001	1이하	

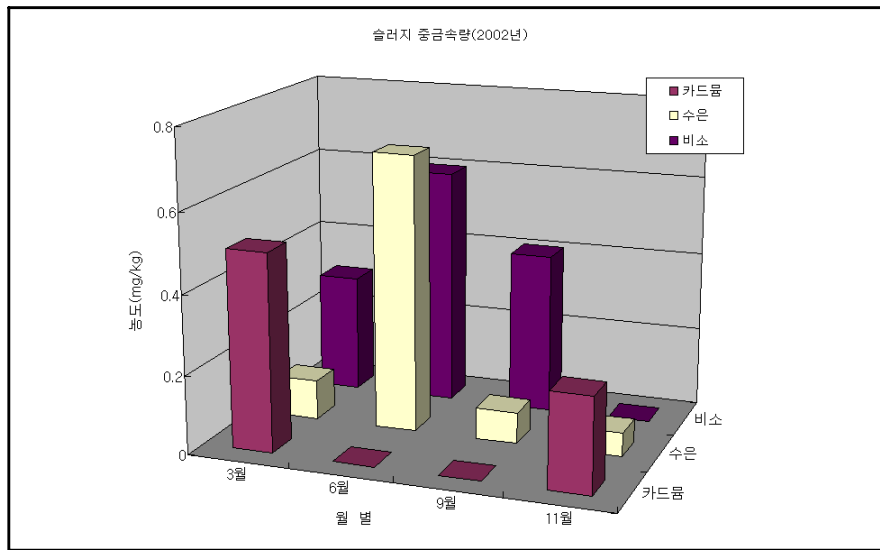


Fig. 8. The Concentration of Heavy Metals(Sewage sludge).

4.2.2 분뇨슬러지

분뇨슬러지에 대해 2002년 중금속 분석한 결과를 Table 15에 나타내었다. Cd, Pb, Hg, As, Cr⁺⁶, Cu는 검출은 되었으나, 규제치를 만족하여 하수슬러지와 마찬가지로 본 연구에서 사용된 분뇨슬러지는 환경적인 유해성은 미치지 않을 것으로 보인다.

Table 15. The results of heavy metal analysis of night soil sludge(2002)

(단위 : mg/kg)

구분	3월	6월	9월	11월	기준	비고
유기물	31.2	12.6	33	37	25이상	
총질소	1.04	0.34	1.51	0.83	50이하	
유기물대질소비	29.9	37.2	21.8	44.6	50이하	
카드뮴	1.8	trace	trace	0.24	5이하	
수은	2.2	1	2.088	0.48	150이하	
납	2	9	1.7	trace	300이하	
크롬	14	18	0.73	1.55	50이하	
비소	0.3	0.1	0.195	trace	300이하	
구리	23	29	5.47	4.42		
염산불용해물	4.4	18.1				
니켈			0.52	0.43	50이하	
아연			trace	11.8	900이하	
염분			0.0008	0.01	1이하	

4.3 유기물 함량

4.3.1 하수슬러지

원주시 하수처리장의 하수슬러지에 대해 유기물 함량을 분석한 결과 13.6 ~ 27.6%로 조사되어 평균 유기물 함량이 퇴비 기준인 25% 미만으로 조사되었으며, 유기물대 질소의 비는 50이하로 비료기준에 적합한 것으로 나타났다.

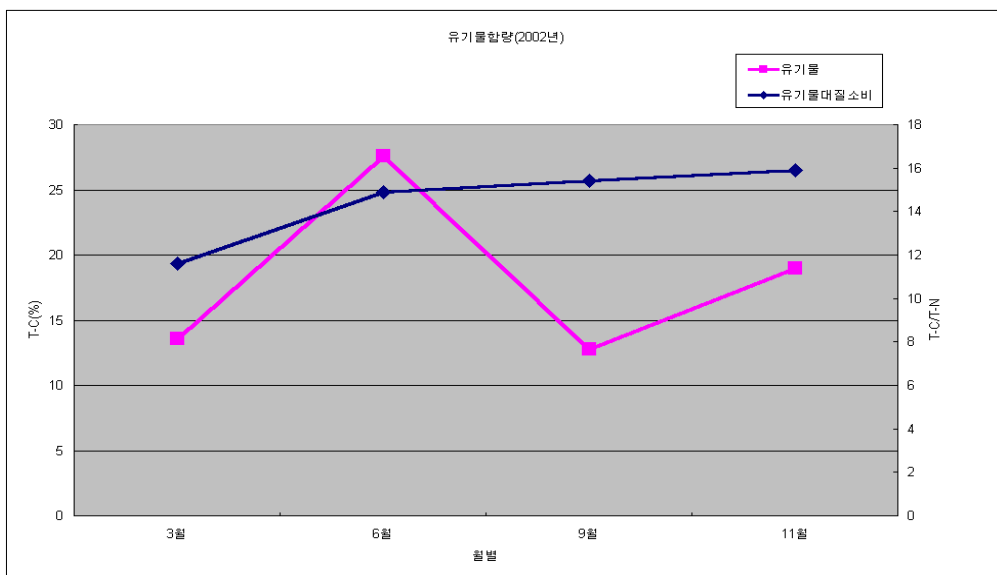


Fig. 9. The variations of T-C as a function of time(sewage sludge).

4.3.2 분뇨슬러지

분뇨슬러지의 유기물 함량은 기준치인 25%를 상회하여 유기물이 함유량이 높은 것으로 조사되었다. 유기물 대 질소의 비도 하수슬러지보다 높아 비료로서의 성분은 하수슬러지보다 양호한 것으로 조사되었다.

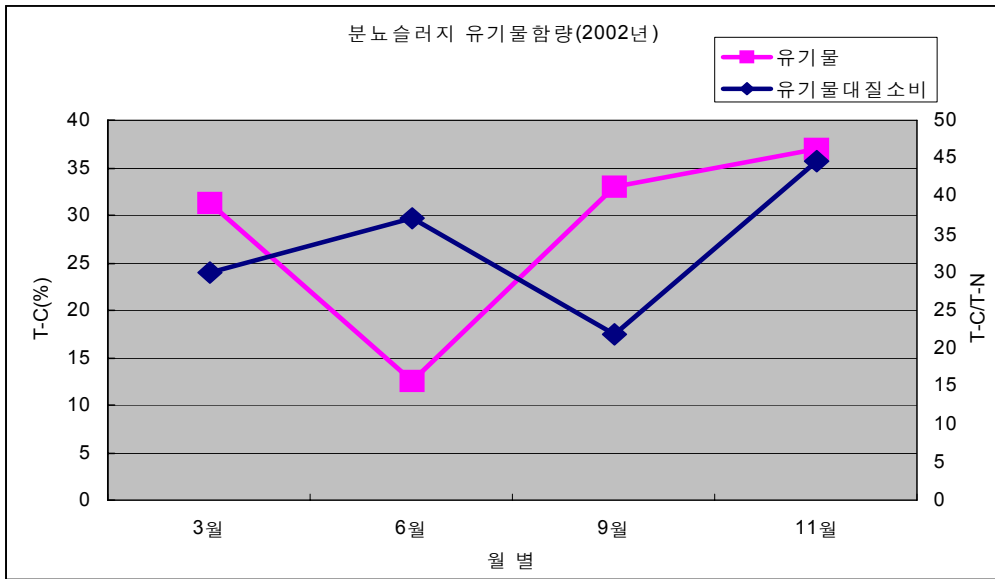


Fig. 10. The variations of T-C as a function of time(night-soil sludge).

4.4 슬러지 발열량

하수슬러지의 연소특성과 관련한 저위발열량 측정결과 Table 16과 같이 하수슬러지가 2,422.3 ~ 2,729.3[kcal/kg-DS], 분뇨슬러지가 3,456.9 ~ 4,303.8[kcal/kg-DS]로서 분뇨슬러지가 유기물 함유가 높은 것으로 조사되었다.

수분함량을 고려한 저위발열량은 슬러지 자체의 연소가 불가능하여 보조연료 등이 필요할 것으로 판단되나 분뇨슬러지의 경우는 저위발열량이 높아 소각시 보조연료량이 상대적으로 적을 것으로 판단된다. 즉 소각 혹은 퇴비화시 초기에 수분을 제거하기 위하여 탈수 효율을 증대시키거나, 건조 등에 의하여 전처리가 필요한 것으로 생각된다. 원료의 저위발열량이 550Kcal/kg이상이 되면 퇴비화 재료로 할 수 있다고 알려져 있다.

Table 16. The results of lower heating value of sludge

항 목		분 류	건조 슬러지			비고
			1차	2차	평균	
하수 슬러지	2004.5.19	[kcal/kg-DS]	2,681.7	2,556.7	2,619.2	
	2004.5.20	[kcal/kg-DS]	2,729.3	2,422.3	2,575.8	
분뇨 슬러지	2004.5.18	[kcal/kg-DS]	3,456.9	3,920.1	3,688.1	
	2004.5.19	[kcal/kg-DS]	3,861.1	4,303.8	4,082.4	

4.5 온도변화에 따른 감량시험(열분해 특성)

4.5.1 환원상태에서의 슬러지 열분해 특성

1) TGA 측정

(1) 하수슬러지

TGA 그래프는 각 온도 구간에서 질량 감소 정도를 나타낸다. 하수 슬러지의 경우 258℃ 에서 질량 감소가 나타나기 시작하여 745℃에서 끝남을 살펴볼 수 있다. 5월19일과 5월20일 슬러지의 질량 감소 정도의 차이는 거의 나타나지 않는다. 환원 분위기에서의 질량 감소를 살펴본 것이기 때문에 슬러지의 경우 열분해가 대략 258℃에서 시작하여 745℃에서 끝남을 알 수 있다.

Fig. 11에서는 환원상태에서의 하수슬러지 TGA 변화를 그래프로 나타내었다.

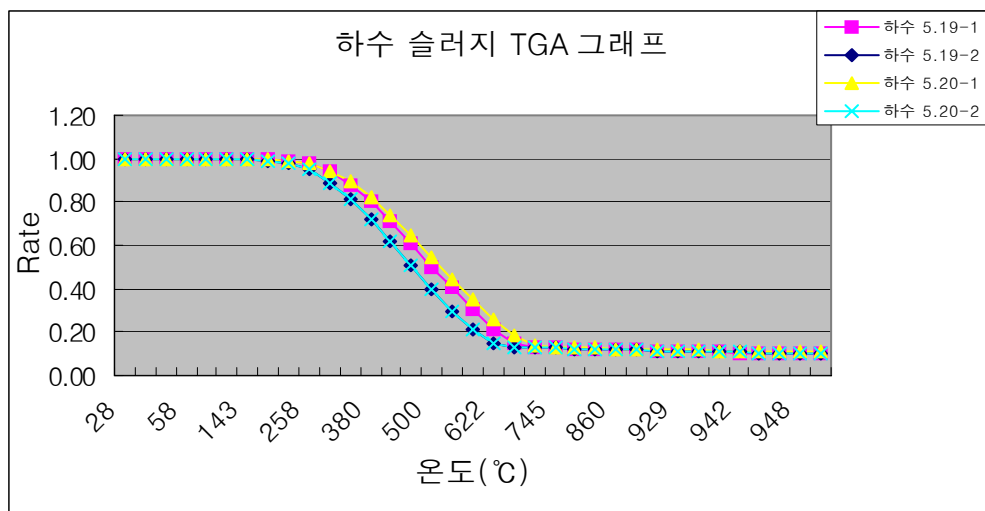


Fig. 11. Variation of TGA of sewage sludge at reductive status.

(2) 분뇨슬러지

Fig. 12에서와 같이 환원상태에서 분뇨의 경우 163℃에서 질량 감소가 나타나기 시작하여 644℃에서 끝남을 살펴볼 수 있다. 5월18일과 5월19일 분뇨의 질량 감소 정도의 차이는 슬러지와 마찬가지로 거의 나타나지 않는다.

하수슬러지와 분뇨를 비교하면 분뇨의 열분해가 낮은 온도에서 먼저 일어나며 열분해가 끝나는 온도도 하수슬러지보다 약 100℃ 정도 일찍 끝나지만 하수슬러지의 경우 열분해가 끝나는 745℃ 구간 이후의 질량 감량은 거의 없음과 비교해 볼 때 분뇨는 950℃ 이후까지의 미세한 질량 변화가 일어남을 살펴볼 수 있다.

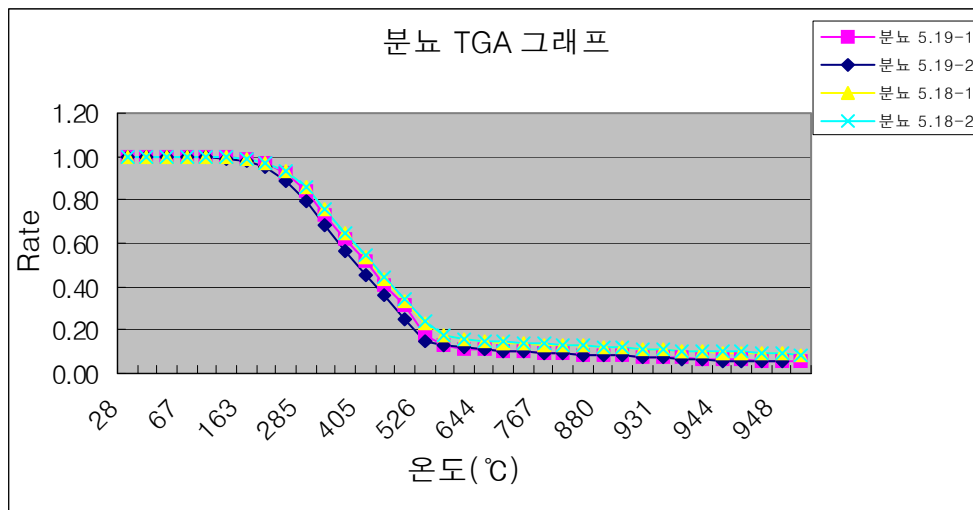


Fig. 12. Variation of TGA of night soil sludge reductive status.

2) 활성화에너지(DX) 분석

(1) 하수슬러지

다음 Fig. 13은 온도 구간에서의 질량 변화를 미분한 값의 변화를 나타낸 것으로 이것으로 활성화 에너지의 변화 추이를 알 수 있다. 하수슬러지의 경우 600℃에서 가장 큰 에너지 변화를 보이며 이때 분해가 가장 크게 일어남을 살펴볼 수 있다.

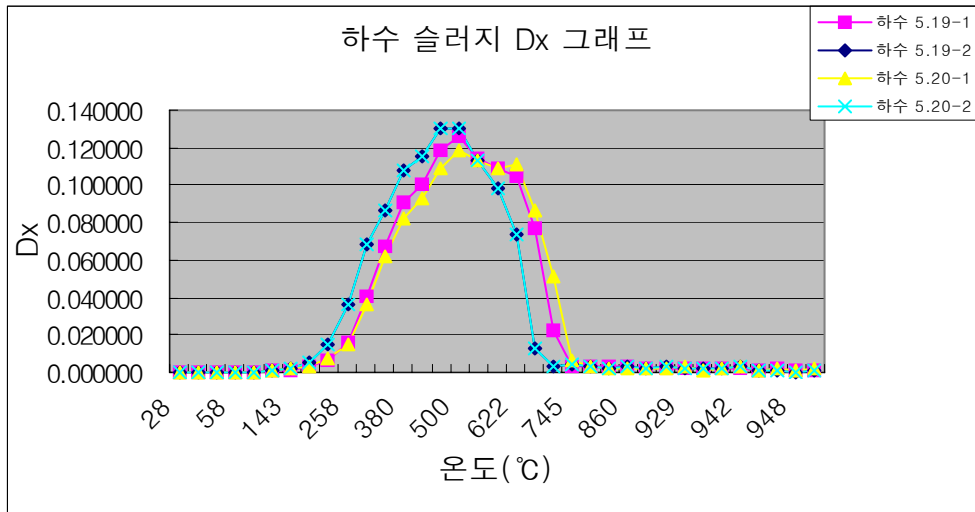


Fig. 13. Variation of DX of sewage sludge reductive status.

(2) 분뇨슬러지

분뇨의 경우 Fig. 14에서와 같이 400°C에서 먼저 분해가 크게 한번 일어난 이후 626°C 부근에서 두 번째로 큰 에너지 변화를 보이는 것으로 보아 하수슬러지보다는 성상이 다양하기 때문에 두 번에 걸쳐 분해가 일어남을 살펴볼 수 있다.

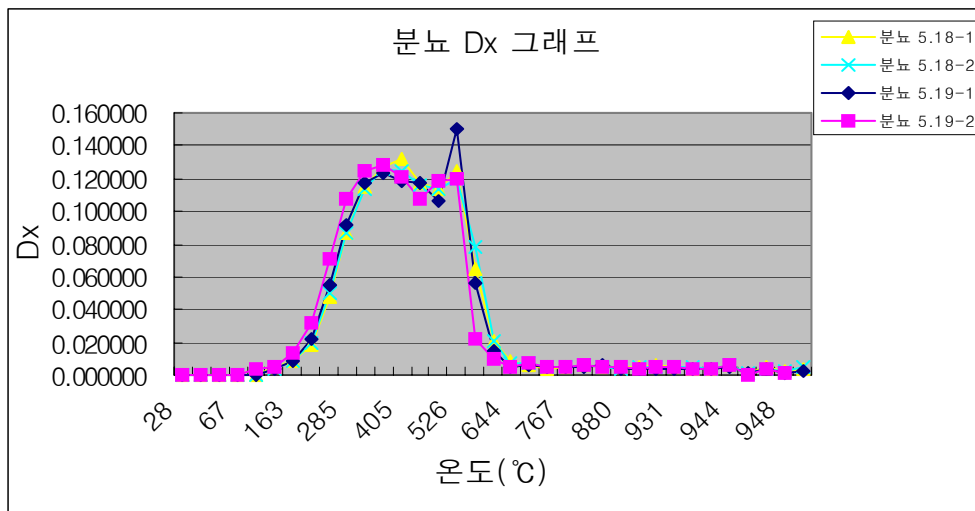


Fig. 14. Variation of DX of night soil sludge reductive status.

4.5.2 산화상태에서의 슬러지 열분해 특성

1) TGA 측정

(1) 하수슬러지

Fig. 15는 산화상태에서의 하수슬러지 TGA 변화를 나타낸 것으로 하수슬러지의 경우 105℃에서 질량 변화가 시작되어 500℃ 근방에서 질량 변화가 끝남을 살펴볼 수 있다. 이는 산소와의 산화 반응에 의하여 유기물의 분해정도가 환원 분위기와 비교하였을 때 더 빠르게 일어났을 것으로 생각된다.

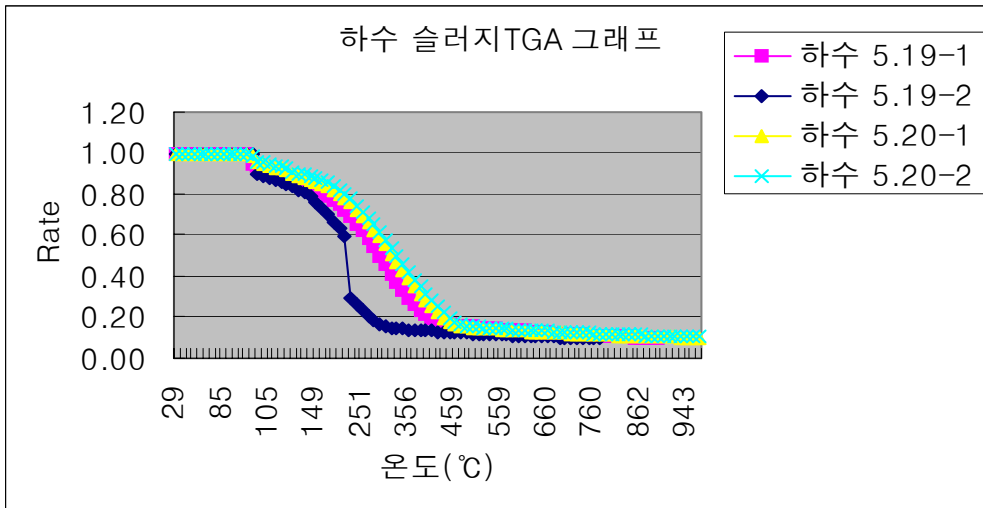


Fig. 15. Variation of TGA of sewage sludge at oxidative status.

(2) 분뇨슬러지

하수슬러지와 비교하여 분뇨의 경우 Fig. 16에서와 같이 131℃ 부근에서 분해가 일어나기 시작하여 450℃ 부근에서 커다란 변화는 끝이 나지만 950℃까지 계속해서 질량 변화가 일어남을 살펴볼 수 있다. 이러한 경향성은 산화 분위기에서나 환원 분위기에서 모두 같은 경향성을 보이며, 이는 하수슬러지에 비하여 분뇨의 경우 다양한 성상을 지닌 유기물로 이루어져있기 때문에 살펴볼 수 있는 경향으로 생각된다.

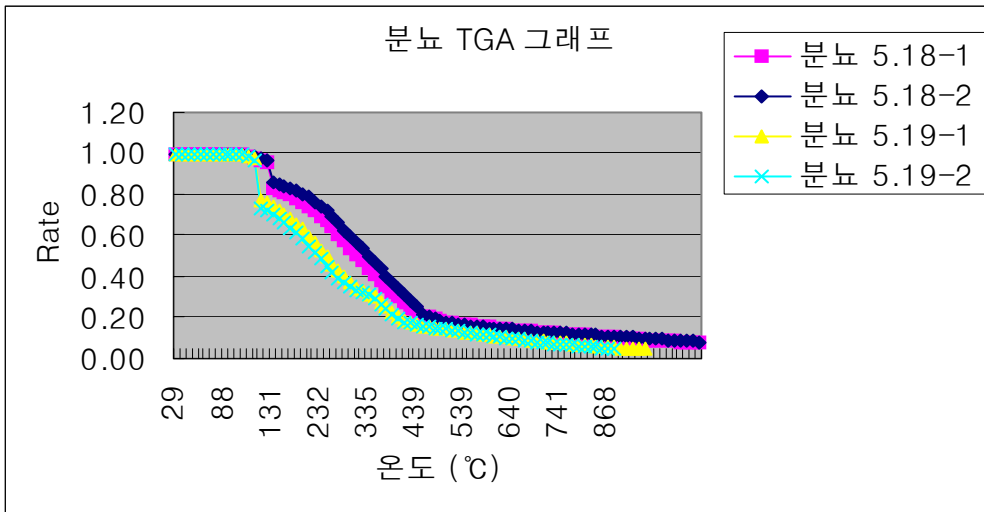


Fig. 16. Variation of TGA of night soil sludge oxidative status.

2) 활성화에너지(DX)

(1) 하수슬러지

다음 Fig. 17은 산화상태에서 온도구간에서의 질량 변화를 미분한 값의 변화를 나타낸 것으로 활성화 에너지의 변화는 하수슬러지의 경우 97°C에서 첫 번째, 356°C에서 두 번째로 가장 큰 에너지 변화를 보이며 이때 분해가 가장 크게 일어남을 살펴볼 수 있다.

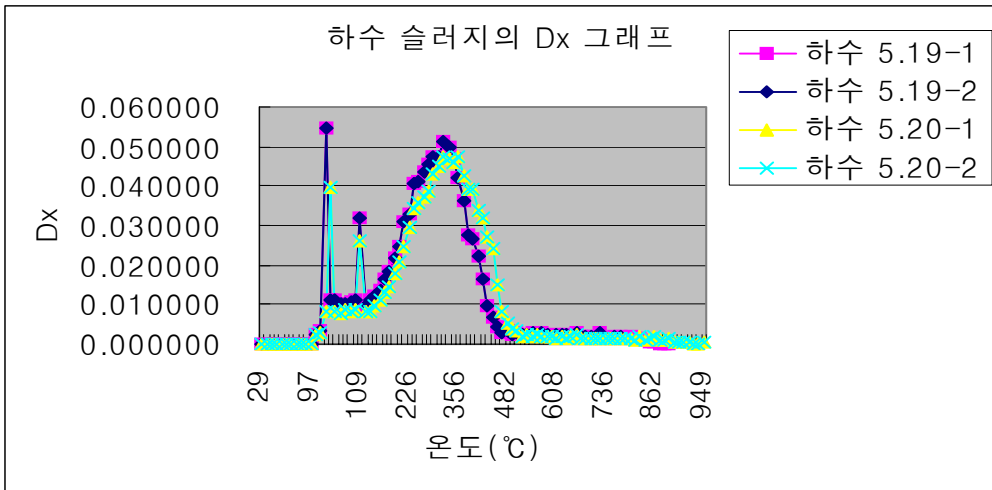


Fig. 17. Variation of DX of sewage sludge oxidative status.

(2) 분뇨슬러지

분뇨의 경우 Fig. 18에서와 같이 131°C 부근에서 분해가 시작하여 450°C 부근에서 커다란 변화는 끝이 나지만 950°C까지 계속해서 질량 변화가 일어남을 살펴볼 수 있다. 이러한 경향성은 하수슬러지에 비하여 분뇨의 경우 다양한 성상을 지닌 유기물로 이루어져있기 때문에 살펴볼 수 있는 경향으로 생각된다.

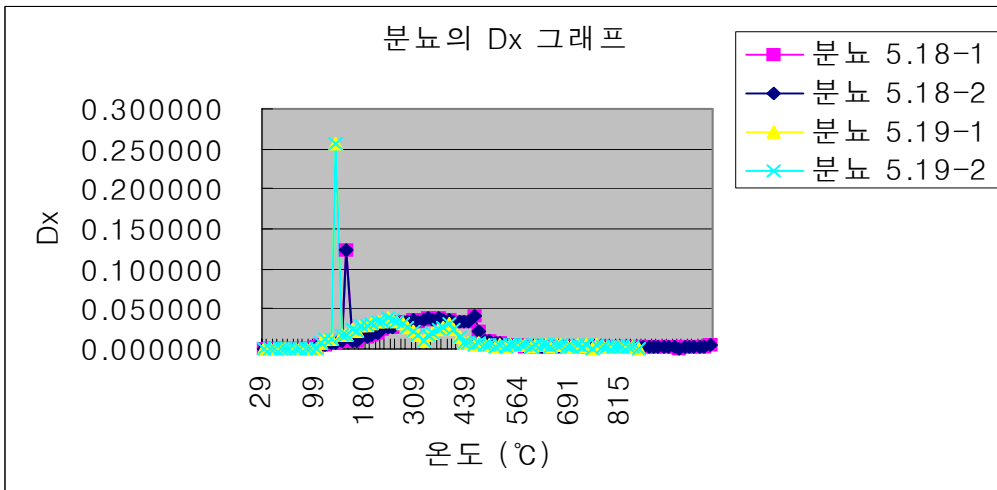


Fig. 18. Variation of DX of night soil sludge oxidative status.

제 5 장 재이용방안

5.1 퇴비화

5.1.1 오염물 농도

하수슬러지를 특수비료로서 이용하는 경우 제일 문제가 되는 것이 중금속이다. 이러한 중금속은 처음부터 중금속의 유입을 막아 퇴비로 사용하는 것이 최적이었지만 사실상 불가능하므로 중금속의 동·식물이나 토양내 최대 허용치에 대한 법규를 제정하여야 할 것이다. Table 17은 일부 외국에서 실행되고 있는 도시고형폐기물로 만든 퇴비에서의 오염물질의 기준을 나타내었다. 하지만 우리나라의 비료관리법을 보면 규제기준이 외국에 비해 엄격하기 때문에 퇴비사용의 증대를 위한 입장에서 보면 이러한 기준을 어느 정도 완화시키는 것이 바람직하다고 본다. 퇴비화 과정에 있어서 반응을 촉진시키기 위하여 각종 첨가제를 통기개량제로서 사용하지만 하수처리장이 도시에 집중되어 있으므로 현실적으로 공급에 어려움이 있으며, 또한 반응기의 크기도 통기개량제의 첨가량만큼 증가하지 않으면 안된다.

Table 17. Chemical Analysis of Compost Produced by Composting Food Waste and Sewage Sludge

Item	Division	Fertilizer standard	Agricultural co-op compost	Nanjido compost from food waste and sewage sludge
NaCl(%)		-	0.38	1.3 ~ 1.8
Moisture content(%)		-	41.02	22.1 ~ 24.5
pH		-	8.11	-
Organic matter content(%)		above 20	39.52	75.5 ~ 77.9
Heavy Metal content (mg/kg)	Cu	below 500	113.9	129.9
	Pb	below 150	2.14	61.9
	Cr	below 300	23.63	ND
	Cd	below 5	0.56	1.6
	Hg	below 2	ND	1.1
	As	below 50	ND	1.6

※ 30 samples from agricultural co-op compost were analyzed and average values are shown.

※ 폐기물자원화, 제 7 권 제 1 호, 1999

5.1.2 탈수케익의 함량분석에 의한 퇴비화가능성 검토

현재 비료공정규격에서는 부산물비료로서 중금속의 농도를 함량분석에 의한 습량기준으로 설정하여 두고 있다. 이러한 관계로 본 절에서는 수분함량을 고려하여 습량기준으로 분석한 후에, 퇴비화공정을 거치면서 수분이 증발하여 최종퇴비는 수분이 35%선을 유지되며, 이것을 농가에서는 퇴비로 사용하게 되기 때문에 이러한 점으로부터 35%에서 중금속의 함량을 측정하여 퇴비로서 사용가능성에 대하여 검토하였다. 현재 비료공정규격은 생성된 퇴비를 기준으로 하여 함량으로 규제하고 있기 때문에, 실제적으로는 습량기준으로 규제를 하고 있는 실정이다. 이러한 면에서 분석은 건량기준으로 하고, 수분함유량에 따른 습량기준 및 생성퇴비의 수분함유량을 고려하여 함량을 분석하였다. 비료공정 규격 내에서의 중금속의 규제기준은 비소 50, 카드뮴 5, 납 150, 크롬 300, 구리 500, 수은 2mg/wet-kg퇴비이다.

5.2 시멘트 자원화 기술

Table 18은 시멘트 원료로 이용할 수 있는 대표적인 하수슬러지의 성분을 나타낸 것이며, 하수슬러지 중의 유기물 성분은 시멘트 소성공정에서 연소되므로 열량으로써 유효하게 활용하는 것이 가능하다.

Table 18. The components of recycled cement using sewage sludge

구분		수분 (%)	화학적 성분 (%)									
			LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cl
하수 슬러지	소각재	30.0	1.0	32.4	15.6	13.4	8.5	3.0	2.1	1.6	15.7	0.04
	탈수케익	80.0	79.8	6.8	2.5	3.1	1.2	0.4	0.5	0.3	3.1	0.03
점토원료		20.0	7.0	63.3	18.5	6.0	0.4	1.8	1.0	2.0	0.0	0.00

슬러지를 시멘트 자원화하는 방법에는 Fig. 19에 나타낸 바와 같이 크게 3가지 형태로 구분하여 볼 수 있다. 이는 하수처리장 및 시멘트 공장의 규모 그리고 지자체의 재정능력에 따라 여러 형태로 조합이 가능하다는 것을 의미하는 것이다.

이러한 시멘트 자원화 방법은 하수슬러지 처리과정에서 환경문제 없이 100% 처리가 가능한 장점은 있지만, 하수슬러지 중에 함유된 P₂O₅ 성분과 Cl 등 유해성분이 공정 및 품질에 미치는 영향을 최소화하여 적용하여야 하며, 또한 처리방법에 따라서는 하수슬러지 이송 및 저장과정에서의 악취문제 해결이 선행되어야 하고, 이를 위한 별도의 설비와 전처리 방법 등이 필요하게 된다.

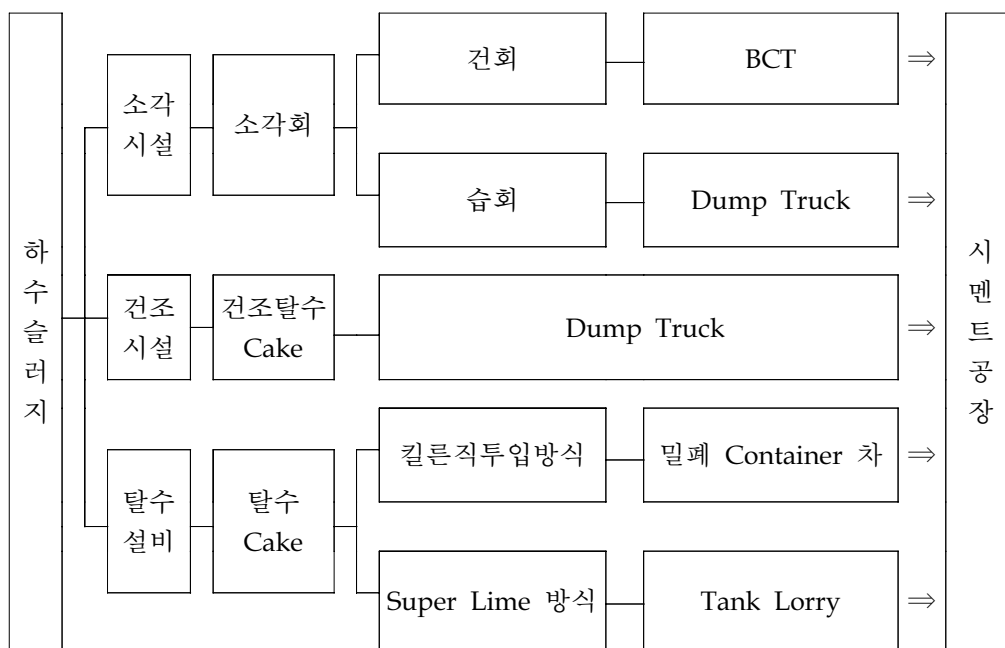


Fig. 19. Recycling procedure of cement.

5.3 슬러지의 유효이용

하수슬러지의 자원화 및 유효이용을 위하여 사전에 검토되어야 할 사항은 유기물을 이용하는가, 무기물질을 이용하는가에 대한 검토가 필요하다. 대부분의 하수슬러지는 유기물질의 함량이 높다는 면에서 이용용도가 한정된다. 무기물질이 다량으로 포함된 슬러지의 경우에는 각 성분을 조합하거나 가공하여 시멘트원료 및 다양한 소재의 제품으로 개발이 가능하나, 유기물이 들어 있을 경우에는 시간의 경과에 따라 미생물에 의하여 부패가 일어나게 되고, 각종 주위여건에 따라 침식이 일어나게 된다. 이러한 면에서는 생슬러지 자체 및 퇴비화에 의하여 녹농지이용이 가장 좋은 방안이 될 수 있다. 그러나 일부의 하수처리장의 경우에는 대량으로 발생되고, 또한 유해한 중금속이 포함되어 있을 수 있으므로 열적분해에 의하여 각종 에너지를 회수하고, 잔재는 무기물질을 임의로 다양한 형태로의 자원화가 가능하다. 즉 자원화방법을 녹농지이용, 건설자재화, 열이용으로 구분하여 정리하는 것이 가능하다.

하수슬러지의 처리 및 자원화의 개념도를 Fig. 20에, 다양한 형태의 자원화방법 및 얻어지는 생성물의 이용용도에 대하여 Fig. 21에 나타내었다.

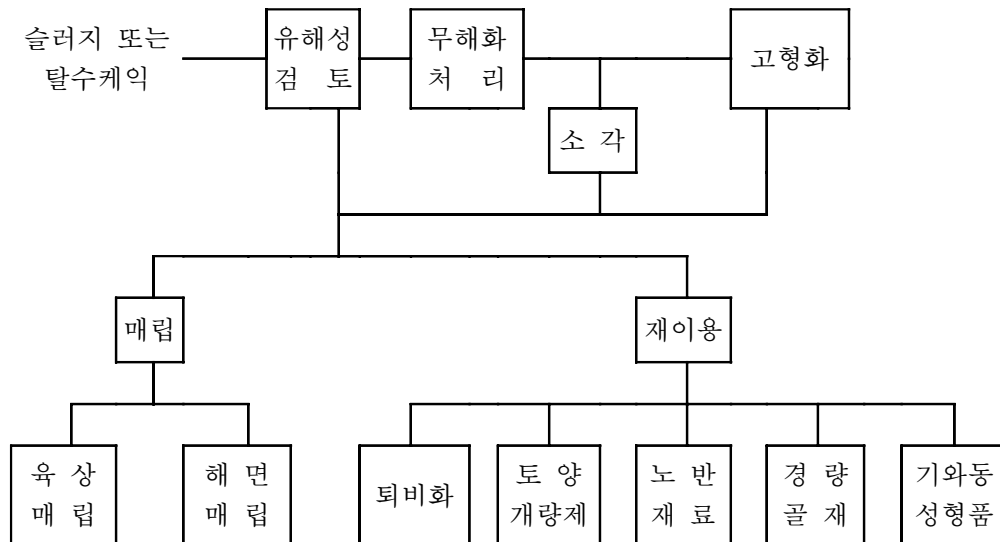


Fig. 20. Concept map of sewage sludge treatment and recycling.

하 수 슬 러 지	이용 방법	원료형태	처리과정	생성물질	이용용도
	녹농지 이용	탈수 슬러지	무기공	탈수슬러지	비료
			건조	건조슬러지	비료
			발효	퇴비화	비료, 토양개량제
		소각	조립화 (입상)	조립물	원예용 토농
건설 자재화	소각재	무가공	소각재	토질개량재, 노반재, 노상재, 콘크리트2차제품, 아스팔트 충진제, 시멘트원료, 매립지 복토	
		조립소성	조립물	경량골재화	
		혼련소성	소성물	타일, 벽돌, 투수성블럭, 도 관	
		가압성형 소성	소성물	인터로킹블럭	
	용융Slag	무가공	용융Slag	노반재	
		성형	성형품	타일, 노반재, 장식품	
		조립소성	조립물	경량골재화	
		혼련소성	소성물	타일, 벽돌, 투수성블럭, 도관	
열이용	농축 슬러지	소화	메탄가스	발전	
	탈수케익	다중효용 건조	고형연료	연료	
		건조	건조슬러지	연료	
		소각용융	폐열	지역냉난방, 발전	

Fig. 21. Recycling procedure of sewage sludge and utilization of products.

또한 최근에는 매립지내에서도 하수슬러지의 반입을 금지하고 이것을 폐기물관리법에 명시하고 있다는 점에서 매립에 대한 한계성이 나타나고 있다. 일부 지역에서는 해양투기를 하고 있으나, 해양투기조차도 국제환경문제가 규제로 현실화되어 올 경우에는 한계에 직면하게 된다. 이러한 점에서 슬러지 처리에 새로운 대책이 요구되고 있으며, 많은 지자체에서는 대책을 강구중에 있다. 일부의 하수처리장에서는 소각을 적극적으로 검토하고 있으나, 연료사용량이 너무 높아 시운전단계에서 많은 곤란을 겪고 있다. 최근에 소각분야에서 검토되고 있는 사항은 소각폐열에 의하여 유입슬러지를 건조시키고 소각을 하려는 움직임 하에 설계를 하고 있다. 소각 혹은 기타 처리방법을 채택시에는 슬러지의 성상을 파악하는 것이 중요하다.

소각의 대안으로서 퇴비화방법도 고려해 볼 수 있으나, 퇴비화방법에도 제한요인이 있다. 즉 퇴비화는 처리시간이 긴 관계로 부지 즉 장치의 용량이 커진다는 단점이 있고, 슬러지내의 중금속이 재자원화에 걸림돌이 된다. 퇴비화는 농어촌 및 생활하수만을 처리하는 소규모도시에 적용할 경우에 상당한 효과를 가질 것으로 기대된다. 이와 같이 처리관점에서 많은 문제점이 있는 것으로부터 새로운 대안으로서 자원화에 관심이 집중되고 있다. 본문내에서도 서술한 것과 같이 하수슬러지를 이용한 자원화방법이 여러 방법으로 제안되고 있다. 특히 최근에 제안되고 있는 방법이 용융화 및 소결에 의한 건축자재로서의 재자원화이다. 이러한 재자원화를 위해서도 반드시 수반되는 과정이 열적분해, 즉 유기물을 분해하여 제거시키는 것이다. 폐수슬러지의 경우에는 무기성 슬러지만이 배출되어 재활용용도가 높은 것이 있으나, 하수슬러지는 생물학적인 방법에 의하여 처리함으로써 반드시 유기물이 수반하게 된다. 즉 유기물의 함량이 적을 시에는 소각이나 퇴비화에 걸림돌이 되나, 유기물의 함량이 높을 때에는 건축자재로서의 재활용에 걸림돌이 된다.

하수슬러지는 그 특성상 재활용을 고려할 시에는 반드시 처리개념이 동시에 수반되어 검토되어야 한다. 즉 감량화, 안정화, 무해화라는 처리개념 내에서 발생하는 각종 부산물(소각재 등) 등을 재가공 및 재처리하여 재활용하는 것이다. 우리나라는 현재 매립 및 해양투기에 의존하여 처리방법이 다양화되지 못했으나, 2003년도부터 매립금지 됨에 따라 다양한 기술이 검토되고, 개발되어 보급될 것으로 예측된다. 이러한 과정 중에 미래사회에 요구되는 자원화시스템의 구축이 이루어져야 할 것이다.

이를 위해서는 기술개발이 필요하나, 제도적인 기반의 조성도 중요하다. 선진국에서는 각종 슬러지의 처리 및 재활용기준 즉 가이드라인을 설정하여 두고 실행을 하고 있다. 우리나라도 빠른 시기에 현행의 문제점 등이 파악되어 가이드라인 등의 설정이 필요하다.

제 6 장 결 론

산업의 발달 및 인구의 도시집중으로 도시가 형성되면서 발생하는 하수를 처리하는 과정 중에서 하수슬러지가 발생하게 된다. 이러한 하수슬러지는 사회기초시설로서 하수처리장이 확충되면서 발생량이 증가하고 있다. 우리나라의 경우에는 현재 연간 150만톤 이상이 배출되고 있다. 이러한 양을 처리하기 위하여 처리비가 약 톤당 22,000 ~ 30,000원 정도로서 처리에 막대한 경제적 부담이 요구되고 있다.

따라서 원주시에서 발생하는 하수슬러지의 현황을 검토하여 원주시 현 상황에 적합하고 하수슬러지로 인한 환경오염을 방지하며 자원으로써 이용할 수 있는 경제적이고 합리적인 처리 처분방안을 검토하고자 하였다.

하수슬러지의 환경적 위해성 평가를 위해 중금속등을 분석한 결과 모든항목에서 비료관리법 기준치를 만족하였으며, 하수슬러지의 연소특성과 관련한 열분해 시험 결과 저위발열량은 하수슬러지가 2,422.3~2,729.3[kcal/kg-DSt] 분뇨슬러지가 3,456.9~4,303.8[kcal/kg-DSt] 로 분뇨가 유기물 함량이 높은 것으로 판단되며, 환원상태의 하수 슬러지의 경우 열분해가 대략 258℃에서 시작하여 745℃에서 끝남을 알 수 있다. 분뇨의 경우 열분해가 대략 163℃에서 시작하여 644℃에서 끝남을 알 수 있다. 또한 산화분위기에서는 하수슬러지의 경우 105℃에서 질량 변화가 시작되어 500℃ 근방에서 질량 변화가 끝남을 살펴볼 수 있다. 이는 산소와의 산화 반응에 의하여 유기물의 분해정도가 환원 분위기와 비교하였을 때 더 빠르게 일어났을 것으로 생각되며, 분뇨의 경우 131℃부근에서 분해가 일어나기 시작하여 450℃부근에서 커다란 변화는 끝이 나지만 950℃까지 계속해서 질량 변화가 일어남을 살펴볼 수 있다. 이러한 경향성은 산화 분위기에서나 환원 분위기에서 모두 같은 경향성을 보이며 이는 하수슬러지에 비하여 분뇨의 경우 다양한 성상을 지닌 유기물로 이루어져있기 때문에 살펴볼 수 있는 경향으로 생각된다.

1) 생활폐기물과의 혼소

현재 계획 중인 RDF 소각시설에서의 혼소를 고려할 수 있다. 그러나 생활쓰레기의 RDF 소각시설의 경우 생활폐기물 소각시설에 슬러지를 혼소할 경우 설계시 혼소에 관한 대응설계에 대한 기존 운영중인 설비와의 관계에 따라 혼소비율이 크게 달라질 수도 있으므로 실제로 혼소테스트를 수행하여 문제점을 파악하는 과정이 필수적이다. 따라서 적정 혼소비율이 낮아질 것으로 예상되는 만큼 RDF 소각시설과의 혼소가 가능하더라도 최대 50톤/일 이상의 처리는 어려울 것으로 예상되며 법적으로도 하수슬러지와 혼소를 위해서는 사업장폐기물 처리시설로의 허가변경이 전체되어야 한다.

2) 소각 여열을 활용한 건조

건조시설의 경우 값싼 열원의 활용이 무엇보다 중요한 사항이다. 현재 계획중인 RDF시설과의 연계를 통한 슬러지의 처리방안을 모색한다면 슬러지의 재활용을 위한 전처리 과정으로 경제적인 건조가 가능할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 현재 각 부서 단위로 추진되고 있는 각 매체별 처리계획이 복지환경국 차원에서 종합적이고도 체계적인 계획으로 수립되고 추진될 수 있는 제도적인 장치가 요구된다.

3) 분뇨 및 정화조 슬러지의 퇴비화

원주시 하수처리장에서 발생하는 분뇨슬러지의 경우 유해물질의 농도가 낮을 것으로 예상되어 퇴비화를 통한 재활용이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 원활한 퇴비화를 위한 최소한의 탈수슬러지 저장시설 및 교반시설을 갖추고 계절적인 변동에 대처하기 위한 숙성 및 저장시설을 갖춘다면 안정된 퇴비의 생산과 탈수슬러지의 재활용이 가능할 것으로 사료된다.

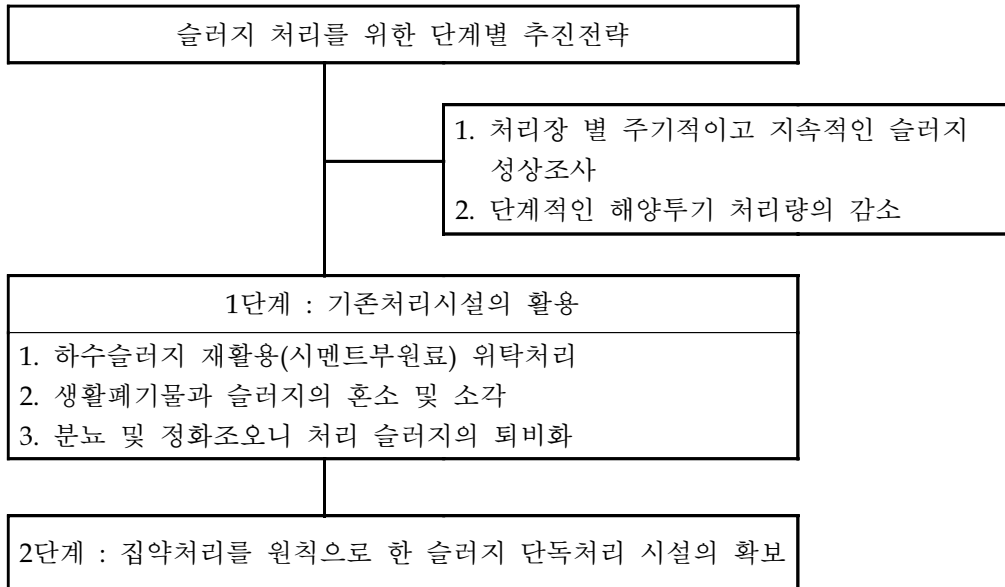


Fig. 22. Steps of procedure for sewage sludge treatment.

이와 같은 결과로 판단하였을 때, Fig. 22에서와 같이 원주시 하수처리장에서 발생하는 슬러지의 성장 파악을 위한 지속적이고도 주기적인 조사와 2005년까지 해양투기가 가능하다는 전제하에 1단계를 2005년까지로 정하여 기존시설의 활용을 통한 해양투기량의 단계적 감소와 재활용의 방안으로 하수슬러지의 시멘트 부원료로서 위탁처리를 목표로 하고, 이에 대한 추가처리방법으로는 생활폐기물 소각시설의 폐열을 활용한 건조 후 재활용 또는 생활폐기물 RDF와의 혼소방법을 검토하고, 2005년 이후에는 발생하는 슬러지의 양이 기존 시설을 활용하여 처리하는 데는 한계가 있을 것으로 판단되어 집약처리를 원칙으로 한 슬러지 처리시설의 확충을 목표로 함이 타당할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서용칠 외, 1998, "슬러지소각", 동화기술
2. 한국폐기물학회, 1999, "슬러지관리와 재활용 방안"
3. 한밭대학교 환경보전방재연구소, 2003, "직매립금지에 따른 하수슬러지 처리를 위한 Symposium"
4. 김경숙, 박용남, 정재춘, 1999, "하수슬러지의 자원화 기술평가 및 정책방안", 폐기물자원화지, Vol. 7(1), 79~91
5. 배재근, 2000, "하수슬러지의 자원화 현황 및 전망", 폐기물자원화지, Vol. 8(3), 7~29
6. 환경부, 1994, "하수종말처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성조사 연구"
7. 환경부, 2003, "하수도통계"
8. 조영봉, 2003, "하수슬러지의 중금속제거를 통한 자원화 방안" 강원지역환경기술 개발센터
9. 환경부, 2004, "하수도 및 오수·분뇨분야 연찬회"
10. 이기복, 2003, "하수슬러지 건조로의 최적운전조건에 관한 실험적 연구" 충주대학교 석사학위논문
11. Werther, J. and Ogada, T 1999, "Sewage sludge combustion" Progress in Energy and Combustion Science 25, 55-116

ABSTRACT

A Study on the Alternatives for Treating Sludge Generated from Wonju Sewage Treatment Plant

Lee, Gyo-Ja

Environmental Engineering

The Graduate School of Health and Environment

Yonsei University

The increase in the amount of sewage generation has been caused by many reasons such as economic growth, increase in population, and a rise of in the standard living. And the gradual strictness of sewage disposal standards also made the gradual increase in the amount of sewage sludge as a by-product produced during sewage treatment.

Therefore, appearance and characteristics of sewage sludge generated in Wonju city were studied to examine economic and reasonable disposal alternatives which would be suitable for arrent situation of Wonju city, which can prevent environmental pollution and can be recycled.

Preferentially, heavy metals were analyzed for the risk assessment, which the all items were satisfied with the standard values specified in fertilizer management Act moreover, conducting pyrolysis test which is related with combustion characteristics of sewage sludge, lower heating value of sewage sludge was in the range of 2,422~2,729.3[kcal/kg-DS], and that of night-soil sludge was in the range of 3,456.9~4,303.8[kcal/kg-DS], which can be considered

as night-soil sludge has higher organic matter content. In thermogravimetric analysis, the pyrolysis of sewage sludge and night soil sludge began at 258°C and 163°C, and ended at 745°C and 644°C, respectively. In oxidation status, the mass change of sewage sludge began at 105°C and ended at about 500°C. It can be considered that the oxidation with oxygen induced faster decomposition of organic matters when compared with pyrolysis status. In the case of night-soil sludge, pyrolysis began at about 131°C and large mass change ended at about 450°C, but still the mass change occurred until the temperature reached at 950°C. It seems that more various organic compounds in night-soil sludge than in sewage sludge caused the tendencies previously stated which can be observed in both cases of oxidation and pyrolysis status.

On the assumption that sustainable and periodic investigation can be conducted of characterizing sludge generated from Wonju sewage treatment plant and ocean dumping is possible until the year of 2005, the goals of first step which is due to 2005, are reducing the amount of ocean dumping by utilizing the existing facilities and recycling sludge as sub-material of cement by consignment treatment. The another alternative treatment method to recycle sludge can be recycling after pre-drying using waste heat from municipal solid waste incinerator or co-incinerating with MSW RDF. After 2005, the amount of sludge generated seems to be in excess of capacity to treat sludge using existing facilities, it seems to be reasonable to expand and improve the present sludge treatment plant which is based on intensive treatment.

***Key Words* : Sewage Sludge, Night-soil sludge, Wonju sewage treatment plant, Sub-material of cement, Compositing**