

## SCB공정에 의한 돈분뇨 슬러리 처리

전길부\*, 박치호\*\*, 윤태한\*

\*도드람양돈협동조합 \*\*축산기술연구소

- I. 머리말
  - II. 실험장치 및 방법
  - III. 결과 및 고찰
  - IV. 맺음말
- 《참고문헌》

### I. 머리말

기존 돈분뇨 슬러리의 정화처리법으로서 활성슬러법이 많이 도입되어 왔으나 부유물질, 유기물, 질소, 염류 등의 농도가 높아 장기간의 처리시간이 요구될 뿐 아니라 벌킹 및 거품발생으로 인하여 정상적인 운전이 어려웠다. 뿐만 아니라 유기물에 비해 질소 및 인의 함량이 상대적으로 높아 유기물을 첨가하거나, 별도의 대책을 수립하지 않으면 처리수중으로 후자의 두 성분이 과다하게 유출되는 경우가 많았다.

정화처리시 여러 가지 문제점이 발생되자 최근, 많은 양돈농가들은 비교적 운전이 쉬운 발효상을 이용한 퇴비화 시스템을 도입하였다. 그러나 함수율 95% 전·후로 많은 수분을 함유하는 슬러리를 퇴비화 하기에는 값비싼 부재(톱밥, 왕겨 등)사

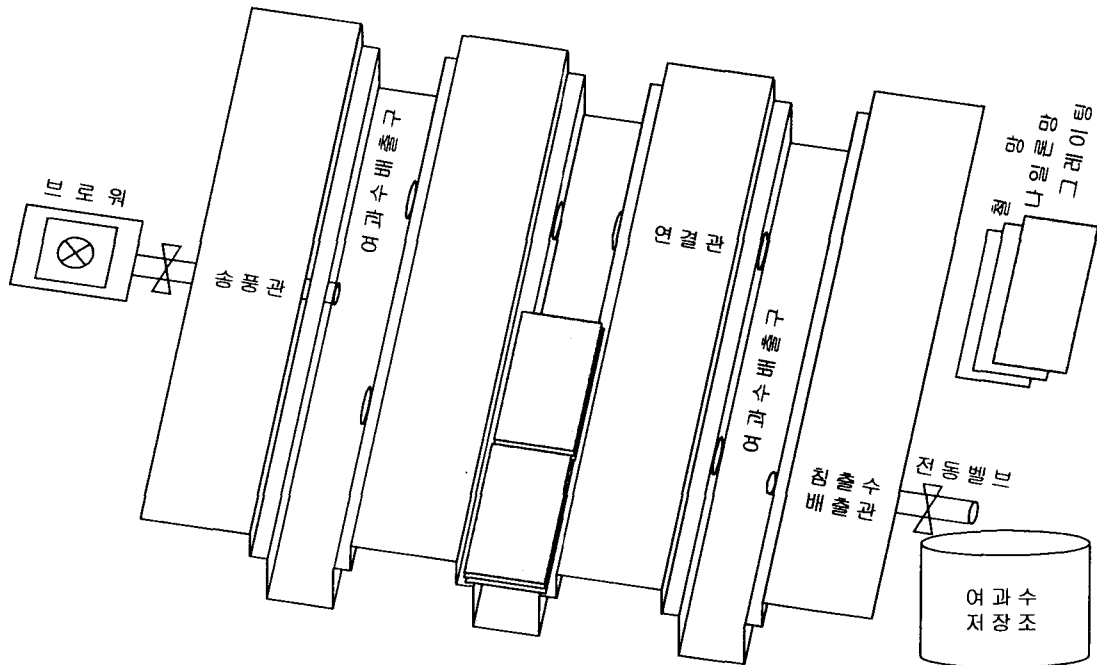
용량이 많은 것이 단점으로 지적되고 있다. 따라서 운전이 쉽고 처리비용을 절감시킬 수 있는 방법모색이 시급한 실정이며, 새로운 공정을 도입하는 것보다는 기존의 시설을 최대한 활용할 수 있는 방법모색이 요망되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이미 많은 양돈농가들이 설치·보유하고 있는 발효상이 여과기능과 생물분해기능을 동시에 지닌다는 것에 착안, 최소한의 개축으로 퇴비화와 동시에 정화처리공정으로 이용할 수 있을지 그 가능성을 검토하고자 한다.

## II. 실험장치 및 방법

본 실험은 Pilot Scale이 아니라 Full Scale로서 현장에 설치되어있는 길이 35m, 넓이 4m, 높이 1.8m의 기존발효상을 송풍과 여과기능을 부여한 SCB공정으로 개조한 후 실시하였다.

〈그림 1〉은 SCB공정에서 가장 중요한 송풍과 여과기능을 갖춘 발효상 상 바닥의 단면도를 나타낸 것으로서, 주요부분은 송풍라인과 여과수 배출라인을 겸할 수 있는 여과수 배출구, 그리고 각 여과수 배출구를 연결시키는 연결관으로 구성되어있다. 여과수 배출구 상단에는 철망, 나일론망, 그레이팅(0.5m×1m×0.05m)을 차례로 포설하였으며, 철망은 나일론 망이 여과수 배출구로 처지는 것을 방지하기 위하여, 나일론망은 톱밥이나 왕겨등의 부재가 여과수 배출구로 낙하하는 것을 방지하기 위하여 포설하였다. 그리고 그레이팅은 부재 충전시 및 일정기간 사용 후 반출시 로더 등을 이용한 기계 작업으로부터 철망과 나일론망을 보호하기 위하여 설치하였다.



〈그림 1〉 Schematic diagram of aerobic digester for SCB Process

발효상에 산소공급을 위하여 외벽부에 7.5HP 링브로워 2대를 설치, 발생된 공기는 가장 인접한 여과수 배출구로 유도하였다. 브로워는 40분:20분 가동과 정지를 반복하도록 운전하였으며, 운전시의 송풍량은 약  $10\text{m}^3/\text{min}$ 이었다.

여과수 배출을 위하여 외측벽 바닥부근에 여과수 배출관을 설치, 가장 인접 여과수 배출구와 연결하였다. 발생된 여과수는 여과수 배출관에 밸브를 설치, 개·폐를 조절함으로써 반연속적으로 배출시킬 수 있도록 하였다. 개조한 발효상에는 가동전 5톤트럭 8대 분량의 톱밥을 충전하였다. 교반은 10HP 에스컬레이트식 교반기로서 상층(30cm 깊이)만 행하였으며, 한번 교반시키면 부재층은 전체적으로 약 1.5m(에스컬레이터 길이) 정도 후단으로 밀려난다. 따라서 교반 후에는 상 전단에 길이 1.5m, 깊이 30cm의 공간이 형성되며, 슬러리를 살포는 형성된 공간에는 새로운 톱밥을 충전 후 살포하였다. 그리고 슬러리 및 침출수 시료분석은 환경오염공정시험법, 충전물 시료 분석은 토양시험법에 준하여 행하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 슬러리 투입량 및 여과수 발생량

9개월 동안의 실험기간 중 발효상에 투입한 슬러리 및 여과수량의 변화를 <표 1>에 정리하였다. 먼저 가동초기 1개월간의 결과를 보면, 슬러리는  $104.9m^3$  투입하였으나 여과수는 투입량의 10.5%인  $11.0m^3$  밖에 발생되지 않았다. 가동초기 슬러리 투입량에 비해 이처럼 여과수 발생량이 극히 적었던 것은 함수율 약 10%인 톱밥이 상당량 수분을 흡수하였을 뿐만 아니라, 톱밥 중 이분해성 유기기물의 급격한 분해로 수분증발을 도모하는 열 발생량도 많았기 때문으로 생각된다.

9개월간의 실험기간동안 발효상에는  $988.2m^3$ 의 슬러리는 투입되었으며, 여과수는 투입량의 약 절반인  $492.5m^3$  발생되었다.

<표 1> Influent and filtrate

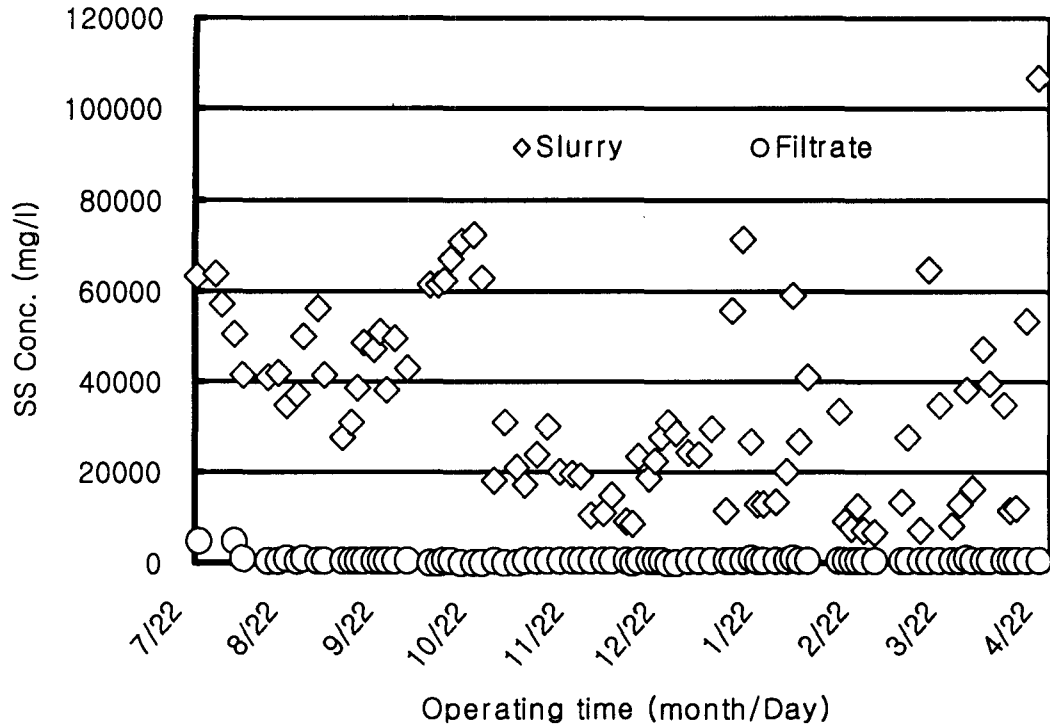
Month/day \ Items	Influent ( $m^3$ )	Filtrate ( $m^3$ )	Filtration rate (%)
07/22~08/21	104.9	11.0	10.5
08/22~09/21	112.2	35.7	31.8
09/22~10/21	101.0	48.3	47.8
10/22~11/21	107.4	73.9	68.8
11/22~12/21	111.2	67.7	60.9
12/22~01/21	120.7	83.4	69.1
01/22~02/21	110.2	61.9	56.2
02/22~03/21	94.5	43.9	46.5
03/22~04/21	126.1	66.6	52.8
Sum	988.2	492.5	49.8

## 2. 슬러리 및 여과수 성상

### 1) SS(Suspended Solid, 부유물질)

실험기간 동안 슬러리 및 침출수 SS 농도 및 제거율을 <그림 2> 및 <표 2>에 나타내었다. 먼저 가동초기 약 1개월간의 슬러리 SS농도를 살펴보면 실험기간이 경과함에 따라 점점 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 본 호기발효상 설치전 농장의 분뇨처리 방법에 기인한 것으로서, 농장에서는 돈사에서 발생된 슬러리를 슬러리 저장탱크로 배출, 일정기간 침전시킨 후 상등액만 탱크로리로 채수하여 I시 환경사업소에 위탁처리하고 있었다. 따라서 슬러리 저장탱크에는 고형물이 상당량 침전된 상태이며, 본 실험에서는 침전고형물과 상등액을 수중펌프로 약 30~60분간 혼합시킨 혼합액을 원수 슬러리로 사용하였기 때문에 새로이 유입되는 슬러리보다 저장탱크내의 고형물 농도가 높은 슬러리의 비율이 높은 초기에는 원수 슬러리의 SS농도는 높았으나, 실험이 진행, 계속된 슬러리의 유입으로 고농도 고형물 슬러리의 비율이 낮아짐에 따라 원수 슬러리의 SS농도도 낮아진 것으로 생각된다. 그리고 10월 20일, 그리고 1월 20일 및 3월 25일을 전후하여 일시적으로 슬러리의 SS농도가 높았던 것은 돈사내 슬러리 핏트의 정소로 침전되었던 고형물이 일시에 유입되었기 때문이다.

침출수의 SS농도를 개략적으로 살펴보면 실험일수가 경과함에 따라 점점 감소하는 경을 보이고 있다. 이는 원수 슬러리의 SS농도가 낮아진 것에도 기인하지만, 가장 큰 원인은 실험이 진행될수록 지속적인 슬러리의 투입과 교반에 의한 충격으로 교반층 하부의 부재층에서 다짐현상이 초래되었기 때문으로 생각된다. 즉, 부재 입자들에 의해 형성된 공극의 양 및 크기가 점점 작아짐에 따라 체분리효과(거름효과)가 증가하였기 때문으로 생각된다. 그리고 9개월간의 운전기간동안 발효상에서 SS는 단순히 농도만 고려하였을 경우는 88.4%, 여과수는 투입슬러리 양의 약 절반밖에 발생되지 않았으므로 양이 양까지 고려한다면 99.2% 제거되었다.



〈그림 2〉 Variation of SS concentration by the operating day

〈표 2〉 Removal efficiency of SS

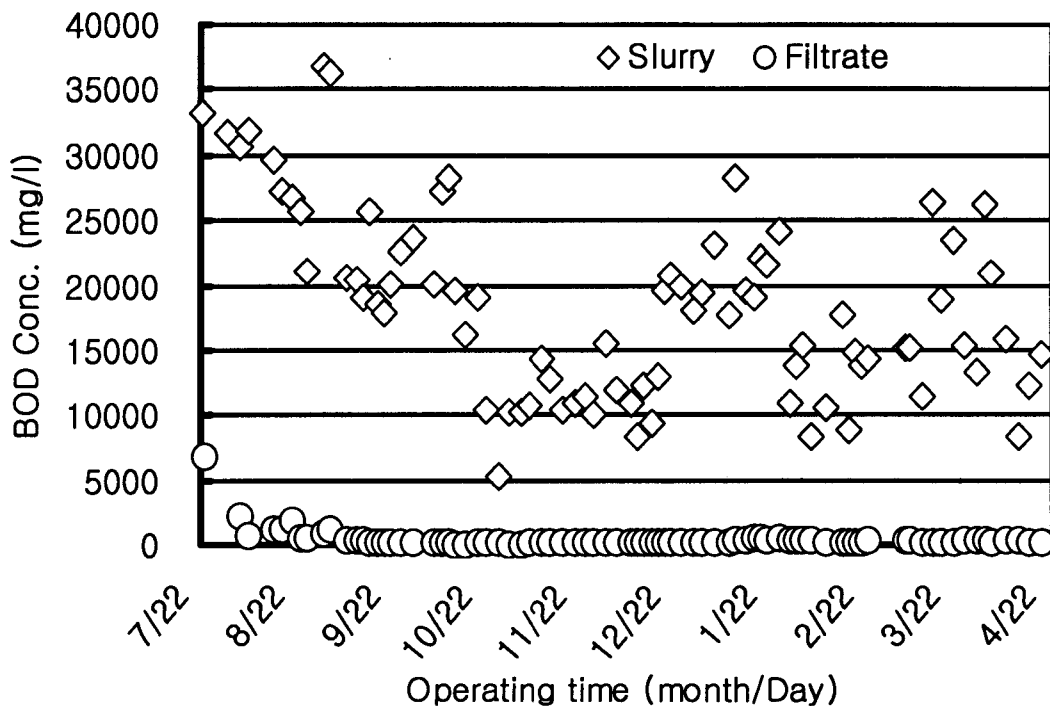
Month/day \ Items	Slurry (mg/l)	Filtrate (mg/l)	R.E.1 (%)
07/22~08/21	49,208	1,813	96.3(99.7)
08/22~09/21	42,386	536	98.7(99.6)
09/22~10/21	61,063	282	99.5(99.8)
10/22~11/21	27,056	281	99.0(99.3)
11/22~12/21	17,803	268	98.5(99.1)
12/22~01/21	29,725	435	98.5(99.0)
01/22~02/21	22,950	495	97.8(98.8)
02/22~03/21	25,750	363	98.6(99.4)
03/22~04/21	34,545	498	98.6(99.2)
Average	33,319	532	98.4(99.2)

\* R.E. : Removal Efficiency.

## 2) BOD(Biological Oxygen Demand, 생물학적 산소요구량)

〈그림 3〉에 나타난 슬러리 및 여과수의 BOD농도 변화도 SS농도 변화와 유사한 경향을 보이고 있다. 7월 22일에서 8월 21일까지 가동초기 1개월간 여과수의 평균 BOD농도 및 농도대비 제거율은 각각 2,003mg/l, 93.4%로서, 이 기간은 발효상에 미생물이 정착하는 단계인 점을 고려한다면 발효상이 여과상으로서 양호한 기능을 지닌다는 것을 알 수 있다.

이는 특히 실험개시일 과다한 슬러리 투입으로 익일 발생된 여과수와 투입 슬러리의 수질비교로서 증명이 가능하며, 전자의 BOD농도는 6,795mg/l, 후자의 BOD농도는 33,221mg/l로서 여과기능에 의해서만 약 80%의 BOD가 제거되었다는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 Variation of BOD concentration by the operating day

〈표 3〉 Removal efficiency of BOD

Month/day \ Items	Slurry (mg/l)	Filtrate (mg/l)	R.E. (%)
07/22~08/21	30,127	2,003	93.4(99.4)
08/22~09/21	23,841	450	98.1(99.3)
09/22~10/21	22,069	125	98.4(99.7)
10/22~11/21	10,575	103	99.0(99.4)
11/22~12/21	13,011	123	99.1(99.4)
12/22~01/21	20,889	307	98.5(99.0)
01/22~02/21	13,865	271	98.0(98.9)
02/22~03/21	17,366	227	98.7(99.4)
03/22~04/21	16,695	241	98.6(99.2)
Average	18,606	401	97.8(98.9)

겨울철 고농도 슬러리의 투입과 외기온 저하로 인하여 여과수 BOD농도는 약간 높아졌으나 여전히 98%이상의 높은 제거율을 나타내었으며, 〈표 3〉에 정리한 것처럼 9개월간의 가동기간 동안 농도만 고려한 경우는 97.8%, 처리량까지 고려한 경우에는 98.9% 제거되었다.

### 3) TKN(Total Kjeldahl Nitrogen)

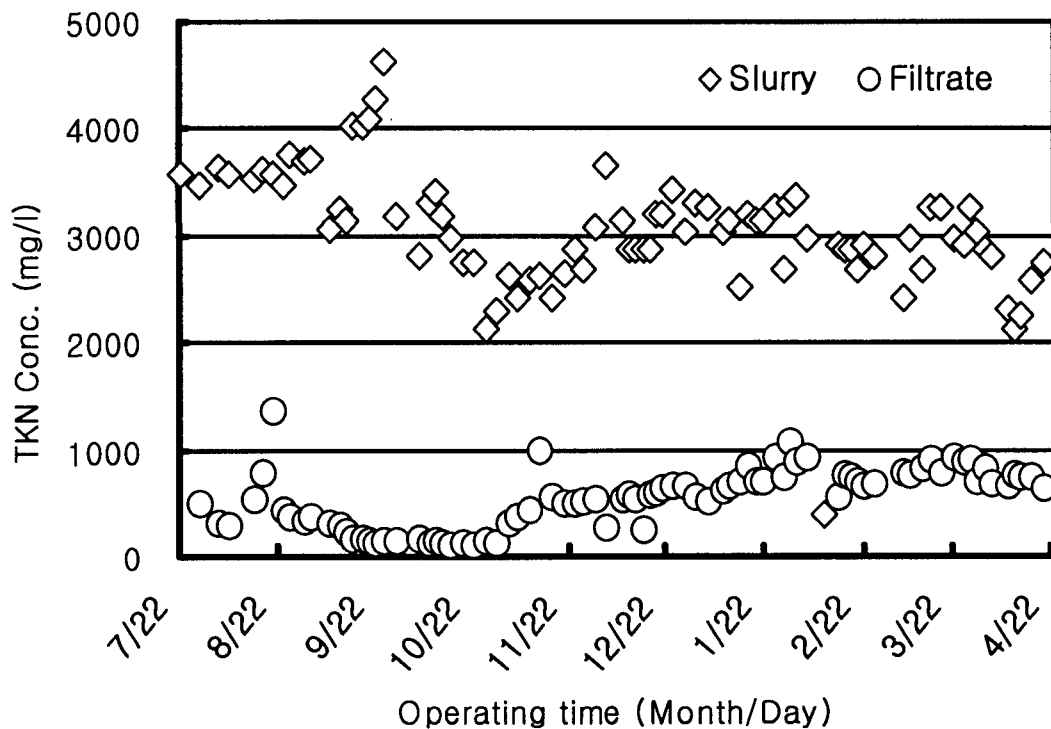
질소는 일반적으로 유기질소(각종 단백질, 아미노산 등), 암모니아성질소( $\text{NH}_3$ ), 아질산성질소( $\text{NO}_2$ ) 및 질산성질소( $\text{NO}_3$ )로 구분한다. TKN은 이들 질소중 유기질소와 암모니아성질소 양을 나타내는 것으로서, 슬러리와 침출수 중의 질소는 대부분 이 두 가지 형태일 것으로 생각된다.

여과수의 TKN 농도는 〈그림 4〉에 나타낸 것처럼 SS나 BOD의 경우와는 달리 가동초기 300mg/l 전·후로 낮게 유지하다 8월 20일에는 1,372mg/l로서 4배 이상 증가하였다. 이는 8월 10일 브로워 고장으로 약 일주일간 발효상에 송풍을 시키지 못하였기 때문이며, 송풍을 재개한 이후에는 급격히 저하하였다. 그 후 여과수의



TKN농도는 점점 감소하다 외기온 급격히 저하한 11월 초부터 다시 상승하였다. 여기서 특히 주목할만한 점은 TKN은 SS나 BOD에 비해 겨울철에 제거율이 현저히 저하하였다.

〈표 4〉에 정리한 것처럼 TKN의 경우 여름철인 8월 22일 이후 1개월간의 평균 제거율은 98.0%이었으나 겨울철인 11월 22일 이후 1개월간의 평균제거율은 83.4%로서 약 15% 저하하였다. 그러나 동일 시기의 SS와 BOD 제거율 저하는 1% 이하로서 극히 미미하였다. 9개월 동안 평균 TKN제거율은 농도만 고려한 경우에는 82.6%, 처리량까지 고려한 경우에는 91.2% 제거되었다.



〈그림 4〉 Variation of TKN concentration by the operating day

〈표 4〉 Removal efficiency of TKN

Month/day \ Items	Slurry (mg/l)	Filtrate (mg/l)	R.E. (%)
07/22~08/21	3,570	555	84.5(98.6)
08/22~09/21	3,683	270	92.7(97.5)
09/22~10/21	3,280	132	96.4(98.0)
10/22~11/21	2,496	391	84.3(89.7)
11/22~12/21	3,027	503	83.4(89.7)
12/22~01/21	3,122	659	78.9(85.3)
01/22~02/21	2,752	798	71.0(83.4)
02/22~03/21	2,901	797	72.5(87.8)
03/22~04/21	2,716	768	71.7(84.7)
Average	3,082	536	82.6(91.2)

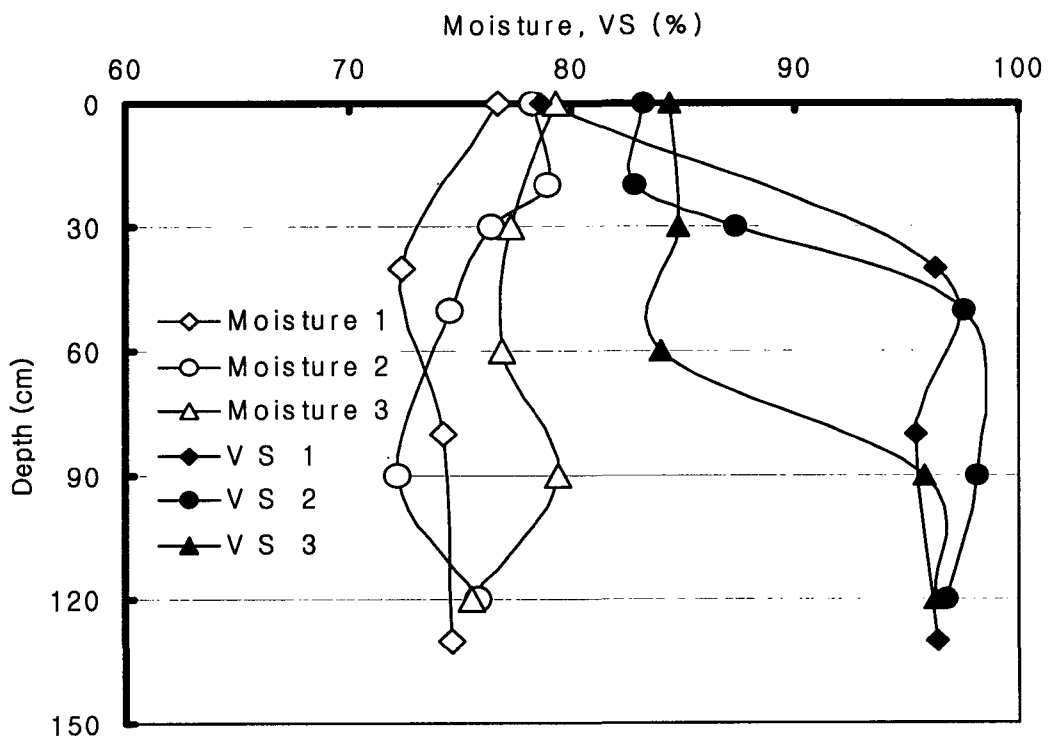
### 3. 발효상 총진물의 성상

#### 1) 수분 및 유기물

〈그림 5〉에 가동일수 경과에 따른 발효상 깊이별 혼합물의 함수율 및 유기물(VS) 변화를 나타내었다. 분석을 위한 시료는 슬러리 살포 후 약 24시간 경과 후 채취하였으며, 1차 시료채취는 가동 후 약 2개월 반, 2차 및 3차 시료채취는 각각 약 4개월, 6개월 경과 후 행하였다. 먼저 발효상 깊이별 함수율을 살펴보면 조사시마다 다소 차이가 있으나 큰 변화는 없었다. 일례로서 1차조사시의 결과를 살펴보면 함수율이 가장 높았던 표층시료가 76.6%, 가장 낮았던 표면으로부터 40cm 깊이 층의 시료가 72.4%로서 그 차이는 4.2%에 불과하다.

가동일수 경과별 평균 함수율 편차를 살펴보면 1차조사시는 74.1% 2차 및 3차조사시는 각각 75.1%, 77.8%로서 가동일수가 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 가동일수 연장에 따른 톱밥의 발열량 감소와 계절이 가을, 겨울로 접어들면서 외기온 저하로 인한 수분증발량의 감소가 주요 원인으로 생각된다.

그리고 가동일수 연장에 따른 역류 고형물량의 증가와, 살포 및 교반시 충격으로 부재층이 다져지고, 이로 인한 상 공극의 감축됨으로서 수분침투속가 지연된 것도 원인이 될 수 있을 것이다.



(그림 5) Moisture and VS Concentration of compost sampled at different vertical site in the aerobic digester

다음은 가동일수 연장에 따른 발효상 깊이별 혼합물의 유기물 변화에 대하여 살펴보기로 한다. 그림에 제시된 유기물(VS)은 건물(TS) 중의 함량을 나타낸 것이다. 그리고 충전전 톱밥의 TS 및 VS함량은 각각 90.5%, 99.4%이었으며, 슬러리의 TS 및 VS 함량은 시기별 다소 차이가 있었으나 각각 약 5%, 69% 전·후였다.

먼저 1차조사시 표면으로부터 40cm, 80cm 및 130(바닥)깊이 시료의 유기물 함량을 살펴보면 각각 96.3%, 96.5% 및 96.3%로서 지점별 차이가 거의 없다. 그리고 충전전 톱밥과 이들 시료의 VS함량을 비교하면 후자의 경우가 약 3% 정도 적으나, 시료중에는 톱밥보다 상대적으로 VS함량이 낮은 슬러리 유래의 TS도 포함되어 있다는 것을 감안하다면 약 2.5개월의 운전기간동안 표면으로부터 40cm 이하에 충전된 톱밥의 VS 감소율은 3%에도 못 미친다는 것을 알 수 있다.

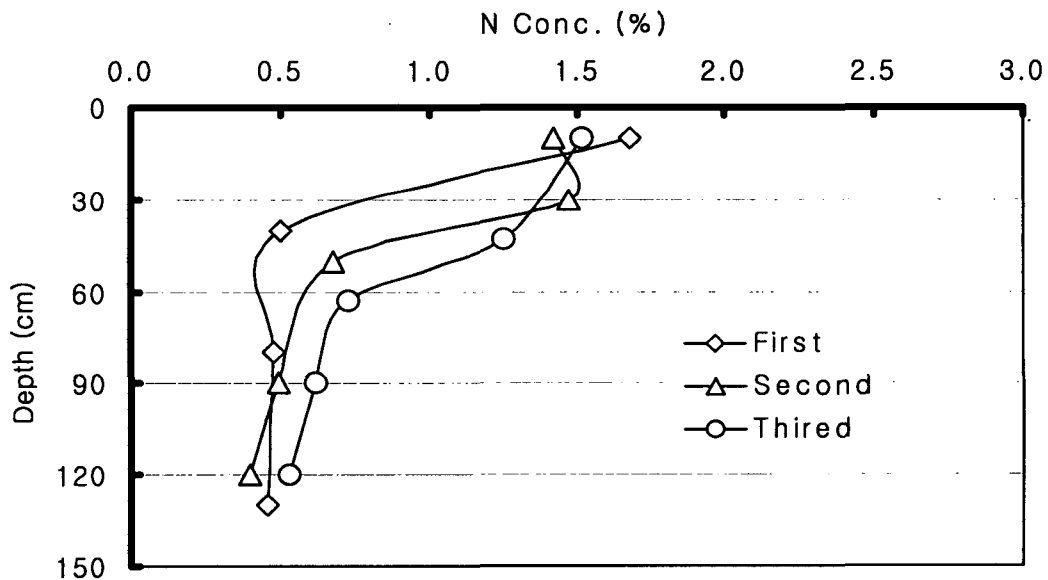
이에 반해 1차조사시 발효상 표면시료의 TS 중 VS함유율은 78.6%로서 충전전 톱밥에 비해 20%이상 감소하였다. 깊이 40cm 이하의 시료에 비해 표면시료의 VS 감소율이 이처럼 높았던 것은, 미생물의 분해작용에 기인한 톱밥자체의 VS 감소보다는 VS함량이 상대적으로 적은 슬러리 중 고형물이 발효상 표층부에 억류, 축적되었기 때문으로 생각되며, 슬러리 살포시 고형물이 발효상 표면에 다량으로 억류되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

3차에 걸친 상층부 시료의 VS를 비교해 보면 가동일수가 경과할수록 VS 감소층이 하부층으로 확장된다는 것을 알 수 있다. 이는 상층부에 억류되었던 고형물이 지속적인 슬러리 투입과 교반에 의한 충격으로 점점 하층부로 유출되었기 때문으로 생각된다.

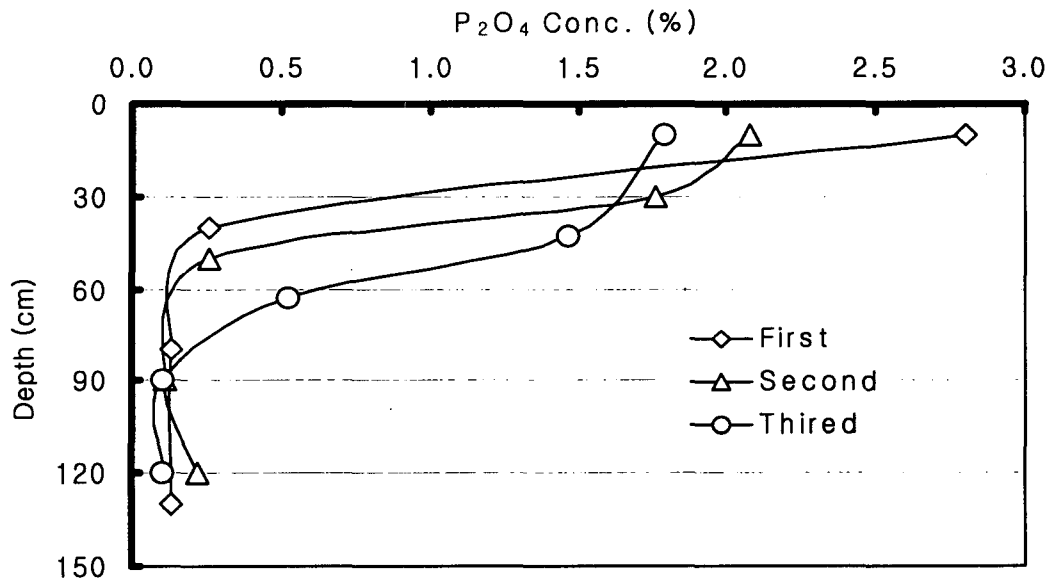
## 2) 비료성분

<그림 6>에서 <그림 7>에 발효상 깊이별 부재의 비료성분 함량의 경일변화를 나타내었다. 시료채취 및 분석은 3차에 걸쳐 행하였으며, 1차는 가동한지 약 2.5개월 경과 후, 2차와 3차는 각각 약 4개월 및 6개월 경과 후에 행하였다. 그리고 톱밥의 비료성분 함량은 질소가 약 0.12%, 인산 및 칼리가 각각 0.08%, 0.57%이었다. 1차 질소분결과를 보면 상부로부터 40cm 깊이 이하 시료들의 질소함량은 약 0.50% 전·후로서 톱밥의 질소함량보다 약 4배정도 높았으나 10cm 깊이 시료는 1.69%로

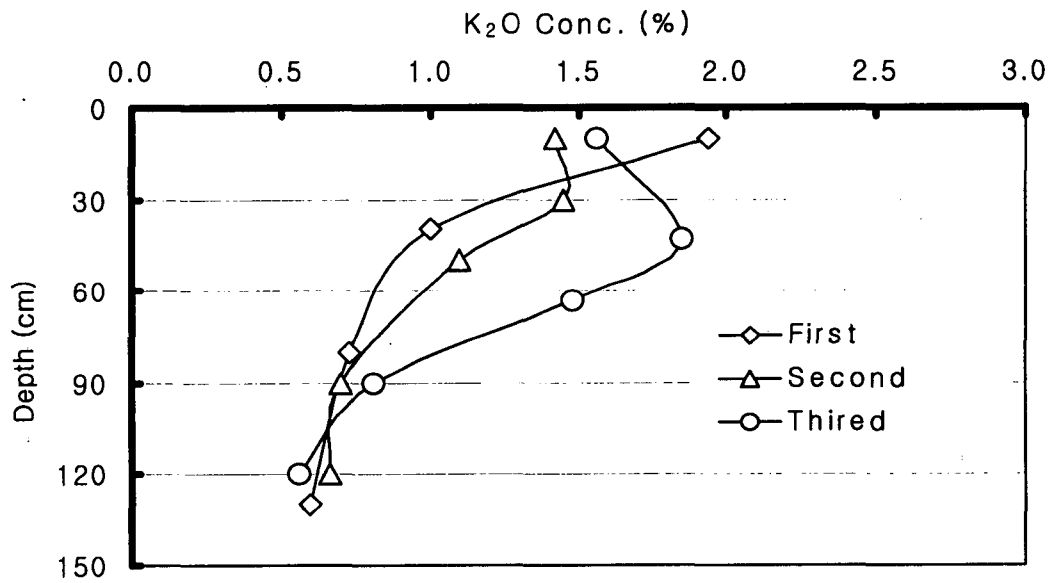
서 14배 이상 높았다. 즉 발효상에서 질소는 상층부에 많이 억류하였으며, 이는 슬러리 중 고형물이 발효상 상층부에 주로 억류한 결과와 관련시켜보면 고형물 억류에 기인한다는 것을 알 수 있다. 질소의 경우처럼 상층부에 주로 억류되는 경향은 칼리 분석결과에서도 유사하며, 특히 인 분석 결과에서 두드러지게 나타난다. 질소 함량이 톱밥보다 약 14배 높았던 10cm 깊이의 1차 분석시료의 인 함량은 2.80%로서 톱밥보다 무려 35배나 높다. 이처럼 발효상에서 인의 억류가 현저한 것은 슬러리중 인의 존재형태와 관계가 있는 것으로 생각된다. 돼지 사료의 주성분은 곡류이며, 곡류중에 존재하는 인은 주로 피틴태인으로서 가축이 잘 이용하지 못하는 것으로 알려져 있다. 즉, 인은 뇨에 용존하여 배설되기보다는 분 중의 고형물에 함유되어 배설됨으로 고형물이 주로 억류되는 상층부에서 특히 인의 억류율도 높았던 것으로 추측된다.



〈그림 6〉 Nitrogen concentration of compost sampled at different vertical site in the aerobic digester



〈그림 7〉 P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> concentration of compost sampled at different vertical site in the aerobic digester



〈그림 8〉 K<sub>2</sub>O concentration of compost sampled at different vertical site in the aerobic digester

3차에 걸친 경시별 비료성분 분석결과를 비교해보면 <그림 8>에 제시한 VS와는 반대로 가동 일수가 길어질수록 고농도층이 하부로 점점 확장되는 경향을 보이고 있다. 이는 발효상 상층부에 억류되었던 고형물이 지속적인 슬러리의 투입과 교반에 의한 충격으로 점점 하부층으로 유출되었기 때문으로 생각된다.

#### IV. 맺음말

기존발효상을 호기발효상으로 개조, 퇴비화와 더불어 정화처리의 전처리공정으로 사용가능성을 검토한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 투입슬러리 대비 여과수 발생량은 운전기간이 연장됨에 따라 증가하였으나, 6개월간의 운전기간동안 약 50%정도 발생되어, 수분증발로 인한 최종 처리수 절감효과를 크게 얻을 수 있었다.
- 실험기간동안 SS제거율은 99.2%, BOD 및 TKN제거율은 각각 98.9%, 91.2%로서 본 호기발효상이 SS 뿐만 아니라 유기물 및 질소제거에도 탁월한 효과를 발휘함으로 수처리공정으로 이용가능성을 확인 할 수 있었다.
- 발효상 하부층에 충전된 톱밥은 6개월간 가동 후에도 충전전의 톱밥과 유기물함량에 큰 변화가 없어 장기간 사용가능성이 시사되었다.
- 퇴비화시 비료성분의 근간인 슬러리 유래의 N,  $P_2O_4$  및  $K_2O$ 는 상층교반법을 채택함으로써 발효상 상층부 충전물에 고농도로 억류시켜 분리할 수 있었다.

- 이상의 결과로부터 지금까지 주로 퇴비화공정으로 사용되어온 기존발효상을 최소한의 개축과 합리적인 운전으로 퇴비화와 더불어 수처리에서의 전처리공정으로 동시에 사용할 수 있다는 것을 알았다.

## 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1999. 축산분뇨처리 연구동향분석과 금후연구방향, 연구동향 분석 보고서, 1993.3
2. Sahm, H. Anaerobic wastewater treatment. Adv. Biochem. Eng. Biotech. 29 : 84-115, 1984.
3. UNDPEC. Utilization of Agricultural residues as energy source for productive activites (RAS/84/001), 1985.6.
4. Status of Anaerobic digestion in Denmark. 1999.
5. UNDPEC. New and renewable sources of energy technologies in rural settings.(RAS/86/136). 1989.