

## 論 文

## 下水 處理場에서 淨化槽廢液의 嫌氣性消化 處理에 관한 研究

Anaerobic Digestion of Thickened Septage at  
Municipal Wastewater Treatment Plant

최 의 소\* · 김 태 형\*\* · 이 호 식\*

Choi, Eui So\* · Kim, Tai Hyung\*\* · Lee, Ho Sik\*

## ABSTRACT

Anaerobic Digestion of thickened septage was investigated in this study. Thickening could reduce the volume of septage to be treated to about 40% with 12hr HRT. The VS and BOD removal efficiencies were respectively 28 to 45%, and 75% when digested the thickened septage with 30 day HRT or 1.4kgVS/m<sup>3</sup>/d. The BOD removal efficiency could be increased to about 90% with subsequent settling tank with about 6 hours HRT. The gas production rate was 0.22 to 0.35m<sup>3</sup>gas/kgVS<sub>add</sub>(0.75m<sup>3</sup>gas/kgVS<sub>rm</sub>), or 1.32m<sup>3</sup>gas/kgBOD<sub>rm</sub>. In addition, the supernatant of thickener could be returned to the aeration tank treating domestic sewage. In this case, a BOD loading rate of 0.5 to 0.7kgBOD/m<sup>3</sup>/d or 0.5kgBOD/kgMLVSS/d was proposed for 80% BOD reduction.

## 1. 서 론

수질오염물질중에서 가장 많이 배출되는 것이 유기물질이며 이중에서도 가정에서 배출되는 총 BOD 중 57%가 분뇨로부터 유발되고 있다.<sup>1)</sup> 수질오염의 주원인인 분뇨를 처리하는 방법으로는 직접 수거하여 위생처리장에서 처리하는 방법과 정화조를 설치하여 하수거로 배출시키는 방법 그리고 정화조 없이 하수거로 배출시키는 방법이 있다. 이상적인 방법은 정화조 없이 하수거로 직투입하여 하수처리장에서 모두 처리하는 방법이겠으나 우리나라의 경우에는 하수관거가 불량하기 때문에 상당기간 정화조설치가 필요할 전망이다.

정화조를 설치하는 경우에는 정기적인 청소에 의해 정화조폐액(정화조 청소수)이 생산되며 이에 대한 처리가 불가피하게 된다. 정화조폐액의 처리는 하수처리장의 입구에 주입하여 하수와 혼합처리하는 방법과 하수슬러지 및 분뇨와 함께 호기성소화 및 혐기성소화 시키는 방법, 정화조폐액을 농축하여 탈수처리하는 방법 등이 있다.<sup>2)</sup> 본 연구에서는 이상과 같은 여러가지의 정화조폐액 처리방법가운데 정화조폐액을 농축하여 농축슬러지는 혐기성소화시키고 상정액은 하수처리장의 포기조에 유입하여 처리하는 방법을 검토하였다.

## 2. 실험 및 운전

그림 2-1은 하수처리장에 있어서 정화조폐액을 농축-소화시키는 처리공정을 나타내고 있는

\* 고려대학교 토목환경공학과

\*\* 한국과학기술연구원

데 농축상징액은 포기조로 반송되고 있다. 실험실에서 농축정화슬러지를 이용한 혐기성실험은 용량 6L인 완전혼합형 반응조를 사용하였고 농축정화조 상징액의 활성슬러지법을 이용한 실험은 포기조가 2L이고 침전지가 0.67L인 반응조를 사용하였으며 일정한 MLSS를 유지하기 위하여 정기적으로 Sludge Wasting을 실시하였다. 혐기성 소화조는 35°C, 활성슬러지조는 20°C에서 운전하였으며 혐기성소화조는 반연속적으로 활성슬러지는 연속적으로 시료를 주입 운전하였다. 농축조에 대한 실험은 서울의 N처리장의 12시간 체류시간의 실제 농축조의 자료를 분석하여 이용하였다. 그림 2-1에서 농축조는 편의상 하수슬러지와 별도로 설치하는 것으로 하였는데 혼합처리도 가능할 것으로 사려된다. 혐기성소화 실험에 사용된 시료는 1,000kL/일의 정화조폐액을 농축, 탈수처리하는 서울시 N위생처리장으로부터의 농축액을 탈수전에 채취하여 이용하였다. 사용된 시료의 성상은 표 3-1의 정화조폐액의 성상에서와 같이 COD 48.0-80.9g/l, BOD 4.9-14.0g/l, TS 36.9-63.0g/l로서 COD/BOD비는 5.23-9.84로 높아 상당량의 분해불능물질이 포함된 것으로 나타났다. 활성슬러지법에 사용된 시료는 N위생처리장의 농축상징액을 채취한후 1차 침전시킨 가정하수와 혼합하여 사용하였다. 즉, 가정하수만의 BOD와 SS는 각각 65mg/l와 70mg/l였으며 정화조 농축상징액을 유입하수에 혼합한 후의 농도는 BOD 105-180mg/l, SS 210-295mg/l, VSS 180-255mg/l, NH<sub>3</sub>N 39-55mg/l, PO<sub>4</sub>P 5.8-7.2mg/l로 일반적인 설계농도였는데 이는 유입하수량에 정화조폐액으로는 1.8%, 상징액으로는 1.1%에 해당되

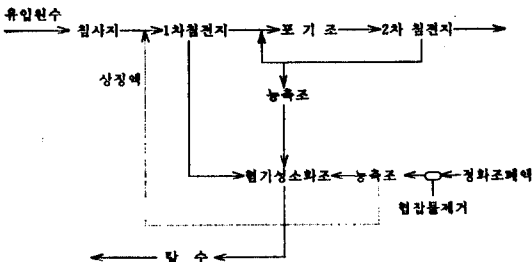


Fig. 2-1. 하수처리장에서 정화조폐액의 농축-혐기성소화 처리공정예

는 많은 양이었다.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1. 정화조폐액의 농축액 및 상징액의 성상

정화조폐액의 침전성은 그리 양호하지 않은 것으로 알려지고 있다. 그러나 우리나라 정화조폐액의 경우 2시간 침전으로 COD 72%, SS 84%가 평균 제거되었다고 한다.<sup>3)</sup> 본 실험에서 실시한 정화조폐액의 농축실험 결과 시료에 따라서 불량한 경우도 있으나 대체로 6시간의 농축에 의하여 70%의 TS제거효율과 30-60%의 BOD 제거효율을 얻었으며 침전슬러지의 TS 농도는 40,000-50,000mg/l정도 였다. 이는 정<sup>4)</sup>의 실험 결과치와 비슷한 결과이다. 표 3-1은 정화조폐액의 성상과 12시간 농축액 및 농축상징액의 농도를 나타내고 있다. 정화조폐액의 성상은 1981년 7월부터 1982년 2월 사이에 50대의 정화조폐액 청소차량으로부터의 자료이며 농축액과 농축상징액의 자료는 1990년과 1991년 서울의 N위생처리장으로부터의 시료를 채취 분석한 결과이다. N위생처리장의 정화조폐액 농축조 유입액의 농도는 1989년도에 년평균 BOD 7,000mg/l, SS 15,000mg/l으로 표 3-1값보다 낮으며 12시간 농축상징액의 농도는 BOD가 3,125mg/l, SS가 4,145mg/l이었고, 고려대학교 토목환경공학과 환경공학 실험실의 1990년과 1991년의 분석

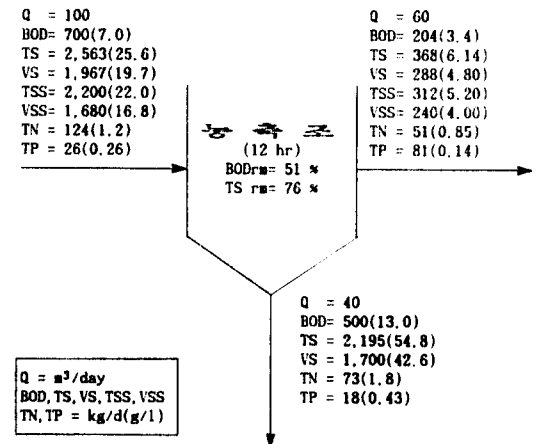


Fig. 3-1. 농축조에서의 정화조폐액의 Mass Balance

표 3-1. 정화조 폐액의 원상태 및 농축액과 상징액의 성질(g/l)

구 분	정 화 조 폐 액 <sup>(3)</sup>	농 축 액 <sup>(5)</sup>	상 징 액 <sup>(5)</sup>
	평 균(범 위)	평 균(범 위)	평 균(범 위)
COD T	37.8( 5.1~95.0)	67.9(48.0~80.9)	15.9(14.0~17.1)
S	—	4.9( 1.6~ 7.5)	—
BOD T	8.1( 0.5~36.1)	12.7( 4.9~14.0)	3.4( 3.2~ 3.7)
S	—	3.3( 0.8~ 5.1)	—
COD/BOD	4.7	5.3	4.6
TS	25.6( 2.9~71.5)	54.8(36.9~63.0)	6.1( 5.7~ 6.7)
VS	19.7( 2.8~45.9)	42.6(27.4~49.1)	4.8( 4.3~ 5.3)
TSS	21.9( 2.3~49.9)	—	5.2
VSS	16.8( 2.1~41.0)	—	4.0
TKN	1.2	1.8(1.3 ~2.1 )	0.85(0.89~0.94)
NH <sub>3</sub> N	—	0.37(0.35~0.40)	—
T-P	0.26	0.43(0.38~0.48)	0.14(0.13~0.15)
PO <sub>4</sub> P	—	0.12(0.10~0.16)	—
Cl <sup>-</sup>	—	0.26(0.10~0.36)	—

자료를 고려하여 추정한 자료가 표 3-1의 농축액과 상징액의 농도이다. 12시간의 농축에 의한 물질수지<sup>5)</sup>를 나타낸 것이 그림 3-1이다.

3-2. 농축액의 혐기성소화

3-2-1. 소화효율 및 가스생산량

그림 3-2와 3-3은 유기물질 부하율에 따른 VS와 BOD의 제거효율을 나타내고 있는데 하수슬러지<sup>7)</sup>와 분뇨<sup>8,9)</sup>의 경우를 함께 비교하고 있다. 그림 3-2와 3-3에서 VS 부하율이 증가함에 따라 VS와 BOD의 제거효율은 감소 되고 있으나 하수슬러지와 분뇨처럼 급격한 효율의 저하는 없었으며 정화조폐액의 성상에 따라서 VS 제거효율의 변화는 그림 3-2에서와 같이 비교적 컸다. VS 부하율이 0인 경우의 VS 제거효율을 보면 30~50%로 이는 정화조폐액 가운데 생물분해불능물질인 것을 나타내주고 있으며 하수처리장의 1차와 2차슬러지의 중간정도의 성상을 띄우고 있다. 그림 3-2에서 보는 바와 같이 VS의 분해불능함량의 정도에 따라 그 효율이 변화되고 있는데, 분뇨보다는 정화조 농축액내에 난분해 또는 분해불능함량이 대체로 커서 VS 제거효율이 일반적으로 낮아지는 특성을 가지고 있다. 반면에 VS 부하에 따르는 BOD 제거효율은 비교적 안정된 양상을 나타내고 있는데 이는 분해불능물질이 제외된 이유때문인 것으로 생각된다. 참

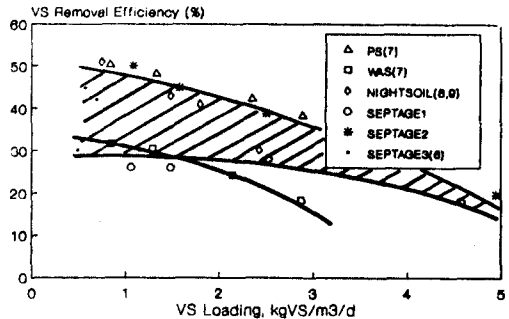


Fig. 3-2. VS Loading vs VS Removal Efficiency

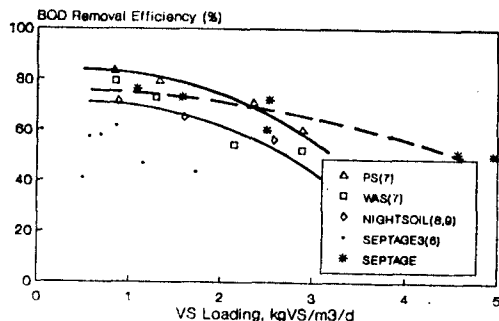


Fig. 3-3. VS Loading vs BOD Removal Efficiency

고적으로 그림 3-3의 Septage 3은 조<sup>6)</sup>의 자료로 본 연구와 비교할때에 BOD 제거효율이 낮은 것과 CH<sub>4</sub> 함량이 큰 것을 제외하고는 대체로 부합되는 결과로 생각된다. 표 3-2는 VS 부하에

표 3-2. 분뇨와 정화조 농축액의 가스생산량의 비교

kg VS/m <sup>3</sup> /d	BD COD**/BOD		kg VS 제거당		kg BOD 제거당	
	분뇨	정화조	분뇨	정화조	분뇨	정화조
0.40	3.6	—	1.18	—	1.0	—
0.64	—	—	0.62*	—	0.65*	—
0.83	1.9	—	0.92	—	0.98	—
0.85	1.7	—	1.07	—	1.0	—
0.87	3.0	—	1.18	—	1.08	—
0.88	2.2	—	0.77	—	0.95	—
1.06	—	—	—	0.52*	—	—
1.09	—	3.19	—	0.72	—	—
1.48	—	6.80*	—	0.90	—	2.6*
1.58	—	3.0	—	0.78	—	1.26
1.60	1.3	—	1.06	—	1.0	—
1.65	—	—	—	0.9	—	1.09
2.50	—	3.7	—	0.72	—	1.64
2.52	—	2.4	—	0.62	—	1.13
2.60	1.3	—	0.97	—	0.98	1.48
4.57	—	3.45	—	0.76	—	1.51
4.95	—	—	—	0.78	—	1.15
평균	2.1	3.1	1.01	0.75	1.01	1.32
조 <sup>(6)</sup>		2.6		0.70		1.47

\* 평균 산출시 제외하였음. \*\* Biodegradable COD

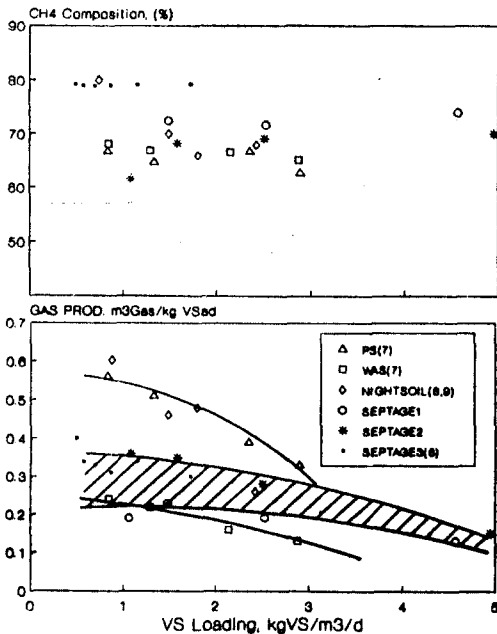


Fig. 3-4. VS Loading vs GAS Production

따르는 kg VS 제거당 그리고 kg BOD 제거당 가스생산량으로서 분뇨의 경우는 1.01 m<sup>3</sup>/kg VSrm와 1.01m<sup>3</sup>/kg BODrm로 나타났으며 정화조 농축액의 경우에는 각각 0.75m<sup>3</sup>/kg VSrm와 1.32m<sup>3</sup>/kg BODrm로 정화조 농축액이 분뇨의 성질과 많이 다른 것을 나타내주고 있다. 또한 생물분해된 COD/BOD의 비는 분뇨는 2.1, 정화조폐액은 3.1이었다. 참고적으로 조<sup>(6)</sup>의 경우의 가스생산량을 보면 0.70m<sup>3</sup>/kg VSrm 또는 1.47m<sup>3</sup>/kg BODrm이었다.

3-2-2. 소화조 슬러지의 침전성 및 탈수성

정화조 농축액의 혐기성소화슬러지 침전실험 결과 수리학적 체류시간이 클수록 침전성은 좋았으며 그림 3-5에서와 같이 대체로 2시간 이내에 TS의 80% 이상 제거 되었으나 침전슬러지의 농축을 위해서는 6시간 이상의 침전시간이 필요한 것으로 나타났다. 참고적으로 정화조폐액의 호기성 소화 슬러지의 침전성은 불량한 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup>

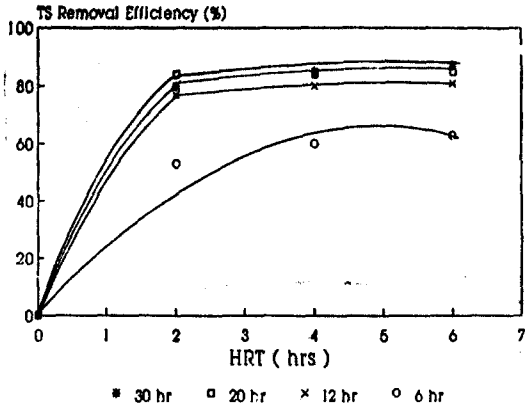


Fig. 3-5. 소화슬러지의 침전시간에 따른 TS 제거효율

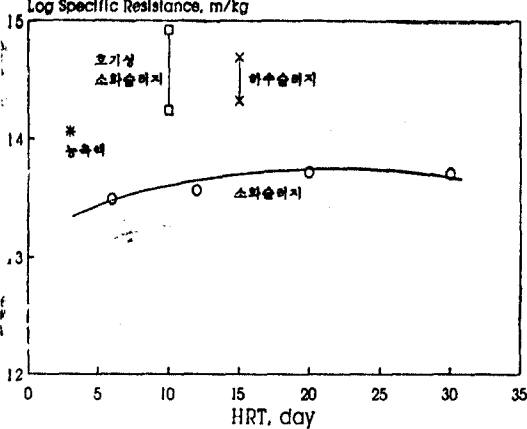


Fig. 3-6. 각종 슬러지 및 소화슬러지의 소화일수에 따른 비저항계수

슬러지의 탈수성을 나타내는 방법에는 여러가지가 사용되고 있으나 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 Büchner Funnel을 이용하여 비저항계수(Specific Resistance)를 측정하여 보았는데 소화시키지 않은 농축액의 비저항 계수는 TS 4.4%일때  $1.17 \times 10^{14} \text{m/kg}$ 이었고 소화슬러지의 비저항 계수는 TS 6.0%~7.0%일때  $3.09 \sim 5.16 \times 10^{13} \text{m/kg}$ 이었다. 소화시키지 않은 농축액 보다는 소화슬러지의 탈수성이 양호한 것으로 분석되었으며 호기성 소화슬러지<sup>4)</sup>의  $1.76 \sim 8.23 \times 10^{14} \text{m/kg}$ , 하수슬러지<sup>2)</sup>  $2.1 \sim 4.9 \times 10^{14} \text{m/kg}$  보다는 탈수성이 양호한 것으로 나타나고 있다(그림 3-6 참조).

3-3. 농축상징액의 활성슬러지실험 결과  
정화조폐액의 농축상징액을 1차 침전시킨 가

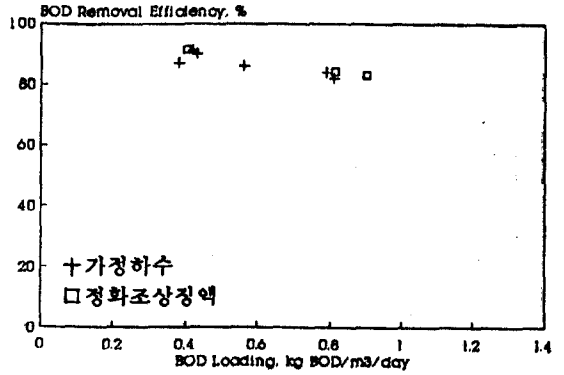


Fig. 3-7. BOD Loading vs BOD Removal Efficiency

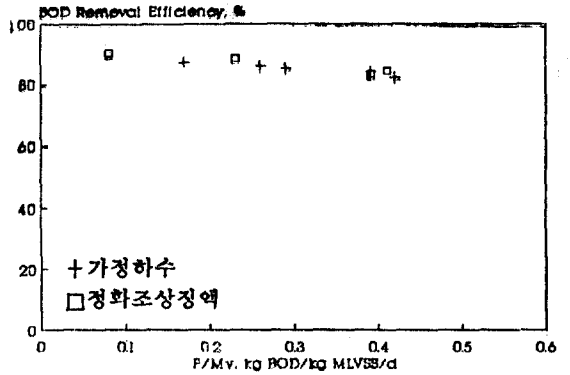


Fig. 3-8. F/Mv vs BOD Removal Efficiency

정하수와 혼합하여 포기조에 주입시켰을 때의 BOD 용적부하(kg BOD/m³/d)와 F/Mv(kg BOD/kg MLVSS/d)비에 따른 BOD 제거효율을 가정하수만을 주입시킨 경우와 비교하여 그림 3-7과 그림 3-8에 각각 나타내었다. BOD 제거효율은 가정하수의 경우와 대체로 같은 효율을 나타내고 있다. 정화조 상징액의 하수와 혼합 처리시에 있어서 BOD 제거효율을 80%이상 유지하기 위해서는 용적부하를  $0.8 \text{kg BOD/m}^3/\text{d}$  이하, F/Mv 비를  $0.5 \text{kg BOD/kg MLVSS/d}$  이하로 유지해야 하는 것으로 나타나고 있다. 이는 정화조폐액의 하수와 혼합시 F/Mv 비를  $0.5 \sim 0.6$  이하로 유지해야 한다는 Cooper<sup>10)</sup>의 결과와 유사한 값이다. 한편 그림 3-9에는 BOD 용적부하에 따른 SS 제거효율을 나타내고 있는데 SS 제거효율은 정화조 농축상징액의 하수와 혼합의 경우가 가정하수만의 경우에 비해 약간 낮은 제거효율을 나타내고 있다. 이는 서울시의

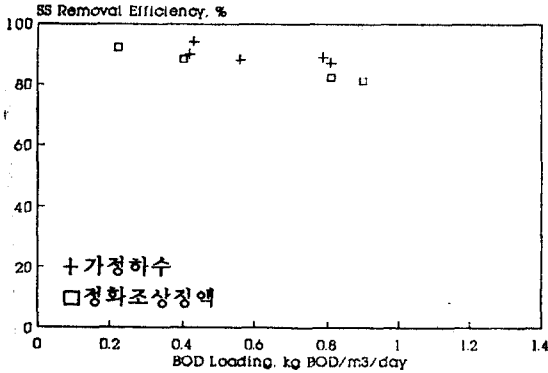


Fig. 3-9. BOD Loading vs SS Removal Efficiency

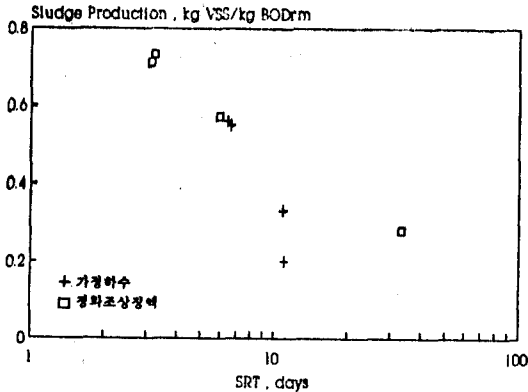


Fig. 3-10. SRT vs Sludge Production

청계천 하수처리장을 대상으로 정화조폐액과 하수와의 혼합처리시의 BOD 제거효율에 비해 SS 제거 효율이 비교적 낮았던 결과<sup>3)</sup>와 대체로 유사한 결과였다. 본실험에서 SS 제거효율을 80% 이상 유지하기 위해서는 BOD 용적부하를 0.5~0.7kg BOD/m<sup>3</sup>/d로 유지해야 하는 것으로 나타났다.

그림 3-10은 정화조상징액의 하수와의 혼합처리시 고형물 체류시간에 따른 슬러지생산량을 가정하수만의 경우와 비교하여 나타내었다. 정화조 상징액의 혼합처리시 SRT가 3~8일 사이에서 0.5~0.8kg VSS/kg BODrm으로서 하수만의 경우가 같은 SRT에서 0.4~0.6kg VSS/kg BODrm을 나타내고 있는 것에 비해 약간 높은 값으로서 이는 정화조상징액의 혼합처리시 가정하수만의 경우에 비해 유입수의 SS가 높은 영향으로 사려된다. 이상의 결과에서 볼 수 있듯이

하수처리장의 일반적인 용적부하가 0.5~0.7kg BOD/m<sup>3</sup>/d, F/Mv 비 0.5kg BOD/kg MLVSS/d 이하이기 때문에 정화조폐액의 농축-소화처리를 위한 농축조 상징액의 반송에 의해서는 하수처리에 별다른 문제를 유발시키지 않을 것으로 사려된다.

### 3-4. 하수처리장에서의 적용방법

그림 3-1을 이용하여 정화조폐액 농축조로부터의 농축액의 양을 결정한다. 이 농축액은 직접 탈수가 가능하며 혐기성소화로 처리하는 경우에는 농축액과 혼합주입될 하수처리장의 1차와 2차슬러지의 양으로부터의 각각의 VS 제거효율과 가스생산량을 그림 3-2와 그림 3-4로부터 결정하여 종합적인 소화효율과 가스생산량을 산정하여 설계와 운전에 이용하면 될 것이다.

## 4. 결 론

하수처리장에서 유입되는 정화조폐액을 농축하여 농축슬러지는 혐기성소화시키고 농축상징액은 활성슬러지방법으로 처리할때의 실험결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 정화조폐액을 농축조에서 12시간 농축시킨 농축액을 채취하여 분석한 결과 평균 BOD는 13,000mg/l, TS는 55,000mg/l, VS 42,600mg/l, TKN과 T-P는 각각 1,800mg/l, 431mg/l였으며 농축상징액은 BOD 3,440mg/l, TS 6,100mg/l, VS 4,800mg/l, TKN 850mg/l, TP 135mg/l였다.

2) 농축액의 혐기성소화 결과 소화효율은 유입원수의 성상에 따라 큰 차이를 보였으나 고부하에서도 하수슬러지와 비교할때 급격한 효율저하는 없었다.

3) 완전혼합형 소화조의 수리학적 체류시간 30일 내외, 유기물질 부하율 1.4kgVS/m<sup>3</sup>/d에 있어서의 가스생산량은 0.22~0.35m<sup>3</sup>Gas/kgVSad, VS와 BOD의 소화효율은 각각 28~45%, 75%였고, CH<sub>4</sub> 함량은 65~70%였다.

4) 소화슬러지의 침전은 6시간 정도가 효과적인 것으로 나타났으며 침전효율을 포함한 BOD 제거효율은 약 90%로 증가하였다.

5) 농축액의 소화슬러지의 비저항계수는 소화 기간에 따라 상이하였으나 소화후에는 감소되었다.

6) 농축 정화조상징액을 하수와 혼합시키는 경우에 BOD 제거효율을 80% 이상 얻기 위해서는 용적부하를 0.8kg BOD/m<sup>3</sup>/d 이하, F/Mv 비를 0.5kg BOD/kg MLVSS/d 이하로 유지해야 하는 것으로 나타났다. 즉 정화조 상징액의 주입 없이 하수만 주입시킨 경우와 대체로 유사한 제거양상을 나타냈다.

감 사

본 연구는 “하수처리장에서 정화조폐액의 처리에 관한 연구”의 제목으로 고려대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 최의소 외, “영양염류 원단위 산정에 관한 연구”, 한국 환경과학연구협의회(1991).
2. 최의소, “하수처리장에서의 정화조 폐액 처리”, 한·일 하수 및 분뇨처리 기술 개발 Symposium, 한국건설기술연구원(1991).
3. 최의소 외, “정화조폐액의 성질에 관한 연구”, 고려대학교 생산기술연구소 연구보고,

제 17호(1982).

4. 정정권, “정화조폐액의 생물학적 처리에 대한 연구”, 고려대학교 대학원 토목공학과 석사학위논문(1982).
5. 김태형, “혐기성공법에 의한 농축 정화조 폐액의 처리에 관한 연구”, 고려대학교 대학원 토목공학과 석사학위논문(1992).
6. 조광명, “분뇨정화조 오니의 정상조사 및 처리방안에 관한 연구”, 한국환경과학연구협의회(1992).
7. 최의소 · 장근, “우리나라 하수슬러지의 혐기성 소화특성”, 상하수도학회지 1, 1-8(1988).
8. 이찬기, “혐기성 소화에 의한 분뇨처리”, 고려대학교 대학원 토목공학과 박사학위논문(1982).
9. 이문형, “혐기성 소화에 의한 분뇨처리시에 유기물질과 수리학적 부하율에 의한 영향”, 고려대학교 대학원 토목공학과 석사학위논문(1984).
10. Cooper, I.A. and Rezek, J.W. “Septage Treatment and Disposal”, EPA(1977).
11. Choi, E, *et al.*, “Septage and Nightsoil Treatment at Municipal Sewage Treatment Plant”, *Water Decade and Beyond, Water '89, Bangkok* (1989).