

접촉산화법에 의한 소각로 배출폐액의 처리에 관한 연구

서동우 · 신대윤*†

조선대학교 공과대학 자원공학과
*조선대학교 공과대학 환경공학부

A Study on the Treatment of Incinerator Wastewater with Biofilm Reactor

Dong Woo Suh and Dae Yewn Shin*†

Dept. of Resource Engineering, Chosun University

*Division of Environmental Engineering, Chosun University

(Received 25 June 2000 ; Accepted 14 September 2000)

ABSTRACT

The treatment of the washout wastewater from small scale incinerator was performed physically, chemically and biologically. The results are as follows. 1. SS, FS removal efficiency of washout wastewater from incinerator was 67.4%, 37.4%, while SS, FS of sewage wastewater was removed 63.2% 35.4% respectively. 2. The optimal conditions for chemical coagulation turned out to be pH 7.5, alum(Al_2O_3 , 10%)30 ml/l and polyelectrolyte(A-601P 0.1%)4 ml/l. SS 86%, FS 89.5%, BOD 42.5% and COD_{Mn} , 63.5% was removed and the removal efficiency of some metals are shown as Pb 93.5%, Zn 86.5% and Fe 80.6%. The concentration of the effluent was SS 9 mg/l, BOD 98.4 mg/l, and COD_{Mn} 138.4 mg/l. 3. The removal efficiency in treating washout wastewater of incinerator through HBC-briquet media was getting higher with increasing HRT, and mixed wastewater with 1:1, 1:2 ratio could be met up to the standard limit with higher HRT than 12 hr. Under the condition of 1:2 mix ratio and HRT 24 hr, removal efficiency of SS, BOD, COD_{Mn} , T-N and T-P was 92.1%, 90%, 87%, 48.2% and 48%, respectively, and the concentration of treated wastewater was SS 2.9 mg/l, BOD 10.3 mg/l, COD_{Mn} 14.1 mg/l, T-N 11.6 mg/l and T-P 1.3 mg/l, respectively.

Keyword : Biofilm reactor, Incinerator wastewater

I. 서 론

산업이 발달하고 국민 생활 수준이 향상됨에 따라 소비성향이 신장되어 폐기물의 발생량이 매년 증가하는 추세이다. 특히 인구의 도시 집중으로 도시 지역의 폐기물 발생량은 환경용량을 초과함으로써 폐기물의 적정처리가 심각한 사회문제로 대두되고 있다.¹⁾ 우리나라 생활폐기물의 발생량은 1990년에 141.4천톤/day이었으나, 1997년에는 194.7천톤/day로 증가되었다. 폐기물처리 방법별로는 매립처리 비율이 크게 낮아지고, 재활용이 크게 증가되었으며, 소각처리 비율은 점진적으로 증가되는 경향을 보이고 있다.²⁾ 생활 폐기물 처리 비율이 1992년에는 매립 89.2%, 재활용 7.9%, 소각 2.5%, 기타 0.4%에서 1998년에는 매립 55%, 재활용 30%, 소

각 15%로 변화되었다. 이와 같은 폐기물 처리 실태를 국토여건이 유사한 외국의 경우와 비교하면, 재활용율은 높으나 소각처리가 매우 낮은 편이다. 따라서, 정부에서는 1996년 7월 수립한 「국가 폐기물 관리 종합계획」에서 2001년의 폐기물관리 실천 목표로서 재활용을 더욱 확대하는 한편 재활용할 수 없는 폐기물은 매립보다 소각처리에 중점을 두므로써 재활용 35%, 매립 45% 및 소각 20%를 처리 목표로 설정하고 있다.^{2,3)}

폐기물 소각은 안정화, 감량화에 크게 기여하고, 또한 열회수 등 자원재활용 측면에서 우수한 처리 방법이지만 먼지, SOx, NOx, CO, HC, Cl₂, HCl, 중금속, Dioxin 등 대기오염물질을 배출할 가능성이 있으므로 적절한 방지시설을 설치하지 않으면 안된다. 이와 같은 대기오염 방지시설로는 중력집진기, 관성집진기, cyclone, 전기집진기, bag filter와 세정집진기 등이 있다. 세정집진기는 현재 가동중인 소각로의 약 30%에 설치되어 있는 배가스 세정장치로서 포집 효과가 좋고, 고온가스 처리 및 가스 종류 등에 의하여 영향을 받지

†Corresponding author : Division of Environmental Engineering, Chosun University
Tel: 062-230-7153, Fax: 062-228-1466
E-mail: dysin@chosun.ac.kr

않는 장점이 있으나, 급수 설비와 오수처리 설비를 갖추어야 하며, 피소각물에 따라 폐액의 성상이 다르고 배출폐액의 발생량이 많고 처리비용이 많이 드는 단점이 있으며, 아직까지 배출기준에 적합한 처리 기술이 개발되지 못해서 처리에 여러 가지 문제점이 있다.^{4,7)}

본 연구에서는 연구용 소형 소각로의 소각과정에서 발생하는 폐액을 물리·화학적 및 생물학적으로 처리하기 위한 적절한 처리 조건을 모색하고자 한다. 이를 위하여 먼저 소각로 배출폐액 중의 미세 고형물을 제거하기 위해 미세 여과를 실시하고, 화학적 응집처리에 적합한 pH, 응집제와 응집보조제의 주입량을 조사하며, 응집처리수를 하수와 1:1 혹은 1:2로 혼합하여 HBC (hanging bio contactor)-연탄재 복합매디아를 이용한 접촉산화법으로 처리할 때 적절한 체류시간을 조사하고자 한다.

II. 실험장치 및 실험방법

1. 실험장치

(1) 연구용 소형소각로

본 연구에 사용한 소각로 배출폐액은 조선대학교에 설치된 소각용량 30~40 kg/hr인 연구용 소형 소각로 (한국진세이산업(주) KRR 22 S)서 발생된 것이며 소각로의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

소각로의 형태는 직소식 연속투입형이며 방지시설은 습식이다. 즉 소각로 투입구에 폐기물을 투입하고, F.D(forced draft) fan으로 공기를 공급하면서 운전초기에 보조연료를 주입하여 점화한 후 자체 소각열에 의해 연소 온도가 850~900°C로 유지되도록 폐기물을 투입한다. 배가스는 가스냉각탑에서 250°C이하로 급속히 냉각시킨 후 cyclone으로 인입되며, 이때 함진가스 중 50 μm 이상의 입자가 제거된다. 제진된 배가스는 I.D (induced draft) fan에 의해 venturi scrubber로 이송된다. Venturi scrubber에서 펌프에 의해 가압 분사된 액

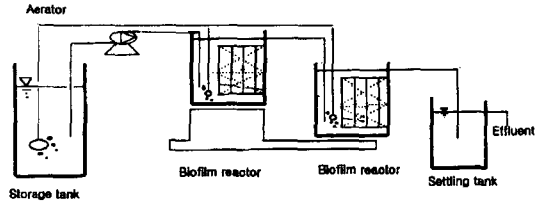


Fig. 2. Schematic diagram of Biofilm reactor.

적에 의하여 미세입자 및 용해성 가스가 제거된 후 직경과 길이가 각각 5 cm인 세라믹 충전제가 충전된 흡수탑에 보내져서 재차 세정되어 굴뚝 밖으로 배출된다. 미세입자 및 용해성 가스를 함유한 은 8시간 정도 주기로 재순환되며, 발생된 폐수는 저류조로 이송된다.

(2) 생물막 반응기

생물막^{8,17)} 반응기는 공기공급장치, 저류조, 정량펌프, 접촉산화조, 침전조로 구성되어 있으며, 생물막 반응기의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

장치는 모두 5 mm 두께의 투명아크릴을 사용하였으며, 저류조는 원통형이고 유효용량은 120 l이다.

접촉산화조의 유효용량은 16 l(20 cmW×20 cmL×45 cmH)이고, 공기용존부와 폐수접촉부가 분리되도록 제작하였으며, 폐수접촉부에는 HBC-연탄재 복합매디아를 내장하였다. HBC의 재질은 굵기 100 denier 정도의 하전성이 뛰어난 폴리염화비닐렌티사이며, 접촉산화조는 2단 연속처리 시스템으로 운전하였다.

2. 실험방법

(1) 소각로 배출폐액의 화학적처리

소각로폐액을 화학적으로 처리하기 위하여 먼저 세정 배출수를 microstrainer¹⁸⁾로 미세 여과한 후 응집 처리하였다.

미세여과는 현탁성 조대 부유물질을 제거하기 위해 실시하였으며 두께 3 mm의 SUS 304의 평판에 망목이 1.6 μm인 미세목 screen을 부착한 중력 흐름식 평판상

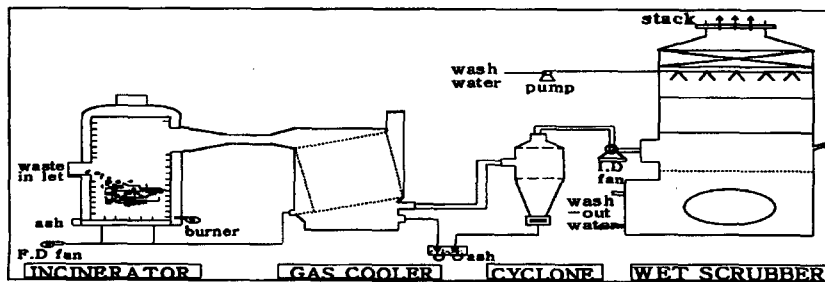


Fig. 1. Schematic diagram of small scale incinerator.

의 microstrainer를 제작하여 사용하였다. 여과시 스크린 설치각도는 45°, 여과속도는 5 l/min를 유지하였다.

응집처리^{19,26)}시 응집제로는 alum(Al_2O_3 로서 10%)과 음이온계 고분자 전해질(Yang flocc A-601P, 0.1% 용액)을 사용하였고, 시료가 산성이기 때문에 pH 조절제로써 NaOH를 사용하였다. 응집조건은 pH 4.5~9.5, alum 10~60 mg/l로 변화시키고 고분자 전해질을 4 mg/l로 주입하면서 실험하여 최적조건을 구하였다. 급속교반은 120 rpm으로 2분, 완속교반은 50 rpm으로 15분간 실시하였다.

(2) 응집처리수의 생물학적처리

생물막 반응기에 공급되는 시료는 화학적 응집처리수와 하수를 각각 1:1과 1:2로 혼합하여 정량펌프를 이용하여 HRT를 6 hr, 12 hr 및 24 hr로 변화시켜 실험하였다. 또 이와 비교하기 위하여 하수만을 생물막반응기에 공급하여 실험하였다.

실험에 사용된 미생물은 K시 하수처리장의 반송슬러지를 3개월 이상 순응시켜 사용하였다.

3. 시료 및 분석방법

(1) 시료 및 처리 계통도

연구용 소각로 배출폐액은 조선대학교 구내에서 발생된 폐기물을 1999년 2월 15일 소각로에서 소각시켜 생성된 scrubber 폐액을 사용하였다. 학교 폐기물의 조성은 종이 62.7~63.0 wt%, 수지코팅된 종이컵 15.2~17.5 wt%, 비닐·플라스틱류 14.4~16.9 wt%, 목재류 등 기타 혼합 폐기물 2.6~7.7 wt%이었으며, 50 kg/hr

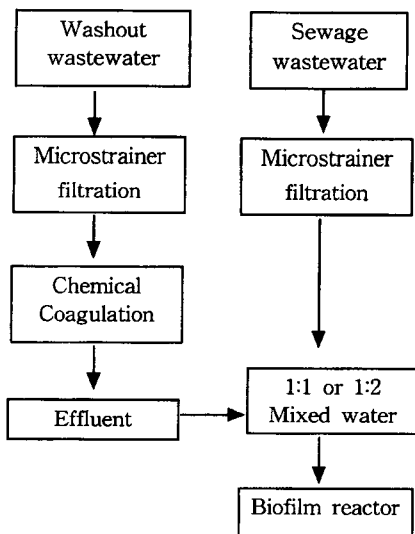


Fig. 3. Schematic diagram of process.

씩 8시간 소각시켜 얻은 세정 배출수 2 m³를 저류조에서 20±5°C로 냉각한 후 원시료로 사용하였다. 희석용으로 사용한 하수는 조선대학교 본관 학생식당의 방류수로서 microstrainer로 여과하여 사용하였다. 처리공정도는 Fig. 3과 같다.

(2) 분석방법

미세여과수와 응집처리수는 pH, SS, FS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P, Pb, Total Cr, Cu, Zn, Fe, Mn, Cd 등의 항목을 분석하였으며, 접촉산화처리수는 pH, SS, FS, BOD, COD_{Mn}, T-N 및 T-P를 분석하였다.

모든 시료의 분석은 수질오염 공정시험법²⁷⁾과 Standard Methods에 준하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 소각로 배출폐액의 수질 및 미세여과

소각로 배출폐액과 하수를 미세여과하여 처리효율을 Table 1, Table 2에 각각 나타내었다. 소각로 배출폐액의 수질은 COD_{Mn}가 BOD의 2배 정도이며 Zn, Fe와

Table 1. Removal efficiency of microscreened incinerator wastewater

Item	Raw water (mg/l)	Effluent (mg/l)	Removal efficiency(%)
SS	197.8	64.5	67.4
FS	55.8	34.4	38.4
BOD	195.6	171.2	12.5
COD _{Mn}	433.2	379.5	12.4
T-N	2.4	2.1	12.5
T-P	0.2	0.1	0.1
Pb	12.46	12.06	3.2
Total Cr	0.031	0.028	9.7
Cu	0.64	0.60	6.3
Zn	7.89	7.88	0.1
Fe	15.2	13.55	10.9
Mn	1.14	1.04	8.8
Cd	0.064	0.056	12.5

Table 2. Removal efficiency of microscreened sewage wastewater

Item	Raw water (mg/l)	Effluent (mg/l)	Removal efficiency(%)
SS	138.0	50.8	63.2
FS	20.0	12.9	35.4
BOD	120.0	104.8	12.7
COD _{Mn}	105.0	93.1	11.3
T-N	35.0	33.0	5.7
T-P	4.0	3.8	5.0

같은 일반 금속외에도 Pb가 12.46 mg/l로 상당히 높은 농도로 존재하였다. 미세여과 후 여액 중의 SS와 FS 평균농도는 64.5 mg/l와 34.4 mg/l로 제거율은 각각 67.4%와 38.4%이었다. 또한 미세여과에 의한 하수의 SS와 FS의 제거율은 각각 63.2%와 35.4%이었고 처리수의 SS는 50.8 mg/l, FS는 12.9 mg/l이었다.

2. 화학적 응집처리

(1) pH의 영향

미세여과한 소각로 배출폐액의 화학적 응집처리시 적정 pH를 알아보기 위해서 alum을 30 ml/l, 고분자전해질을 4 ml/l씩 주입하고 시료의 pH를 4.5~9.5 범위에서 변화시키면서 응집시험을 실시하였다.

pH 7.5일 때 처리효율이 가장 양호하였고 이때 처리수의 SS 및 FS는 13.6 mg/l와 8.3 mg/l, BOD와 COD_{Mn}는 각각 106.1 mg/l, 167.0 mg/l이었다. 이와 같은 결과는 Al이 양쪽성 원소이고 Al(OH)₃의 용해도가 pH 5.5~7.5에서 작은 것에 기인한 것이다. Fig. 4에 pH에 따른 수질항목별 제거율을 나타내었다.

(2) 응집제의 영향

미세여과한 소각로 배출폐액의 화학적 응집처리시 alum의 적정 주입량을 알아보기 위해 폐수에 alum을

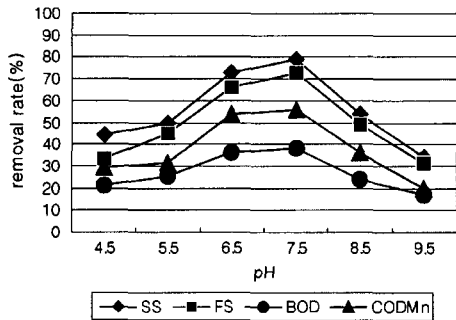


Fig. 4. Removal efficiency with pH variation.

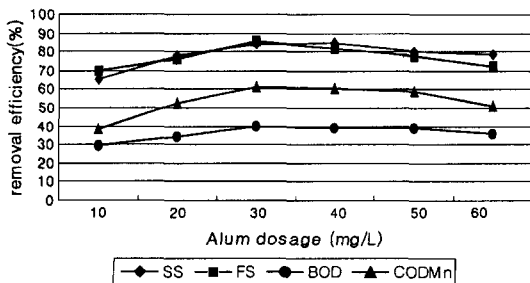


Fig. 5. Removal efficiency with dosage of alum.

10~60 ml/l범위에서 각각 주입하고 pH 7.5가 될 때까지 NaOH용액을 각각 주입한 후 고분자 전해질을 4 ml/l씩 주입하며 응집실험을 실시하였다. alum의 주입에 따른 수질항목별 제거율은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이, alum주입량이 증가함에 따라 수질 항목의 제거율이 증가하여 alum주입량 30 ml/l~ 50 ml/l일때 제거율이 높게 유지 되었으나 alum주입량 60 ml/l일때는 오히려 제거율이 감소되었다. 이와 같은 결과는 alum주입량이 20 ml/l이하일 때는 응집제가 부족하고, 60 ml/l 이상일 때는 폐수중의 알칼리도가 부족하기 때문이라고 사료된다.

(3) 최적 응집조건에서의 처리효율

미세여과한 소각로 배출폐액의 최적 응집조건은 pH 7.5, alum 30 ml/l, 고분자전해질 4 ml/l이었다. 이와 같은 최적응집 조건에서 처리한 처리수의 수질및 제거율을 Table 3에 나타내었다. 수질 항목별 제거율은 SS 84%, FS 86%, BOD 40%, COD_{Mn} 61%이었고, 중금속성분의 제거율은 Pb, 93.5%, Zn 86.5% 및 Fe 80.6%이었으며, 처리수의 농도는 SS 9.0 mg/l, BOD 98.4 mg/l, COD_{Mn} 138.4 mg/l이었다.

한편 최적 응집조건에서 처리한 처리수중의 중금속성분은 Pb 0.78 mg/l, Zn 1.06 mg/l 및 Fe 2.71 mg/l로서 오염물질 배출기준에 미달되지만, BOD와 COD_{Mn}가 오염물질 배출기준을 초과하므로 용해성 유기물을 적절한 방법으로 처리한 후 방류하여야 함을 알 수 있다.

3. 접촉산화법에 의한 처리

Table 4에 화학적 응집처리한 소각로 배출폐액을 접촉산화법으로 처리할 때 HRT에 따른 처리효율을 나타

Table 3. Removal efficiency with optimal coagulation conditions

Item	Raw water (mg/l)	Effluent (mg/l)	Removal efficiency (%)
SS	64.5	10.3	84
FS	34.4	4.8	86
BOD	171.2	102.7	40
COD _{Mn}	379.5	148	61
T-N	2.1	1.1	50
T-P	0.1	0	0
Pb	12.06	0.78	93.5
T-Cr	0.028	ND	100
Cu	0.60	ND	100
Zn	7.88	1.06	86.5
Fe	13.55	2.71	80
Mn	1.04	ND	100
Cd	0.056	ND	100

내었다.

예비실험에서 하수를 희석하지 않고 응집처리된 소각로 배출폐액만으로 미생물을 순화시키는 실험은 실패하였으므로 본 연구에서는 폐수를 희석하여 실험하였다. 응집처리된 소각로 배출폐액과 여과된 하수의 혼합비가 1:2일때 1:1인 경우보다 제거율이 우수하였고 체류시간에 따른 제거율은 2가지 혼합비 모두 체류시간에 따라 증가하여 24 hr일때 가장 양호하였다. 또한 처

리수의 수질을 오염물질의 배출허용기준과 비교하면 희석비가 1:1 또는 1:2인 처리수에서 HRT 6 hr, 12 hr 및 24 hr 모두 SS, BOD, COD_{Mn}가 초과되지 않았으나 희석비가 1:1인 처리수의 체류시간이 6 hr일때만 COD_{Mn}기준인 40 mg/l를 초과하였다. 혼합비가 1:2인 폐수의 HRT가 24 hr일때 수질 항목별 제거율은 SS 92.1%, BOD 90%, COD_{Mn} 87%, T-N 48.2%, T-P 48%이었고, 처리수의 농도는 SS 2.9 mg/l, BOD

Table 4. Removal efficiency with HRT in biofilm
() : removal efficiency(%), unit : mg/l

Item	Raw*	Sewage	1:1 Mixed ratio	1:2 Mixed ratio
SS	Inf.	9.0	29.9	36.9
	Eff. 6hr	10.2(79.9)	9.6(67.9)	8.5(77)
	12hr	4.1(91.9)	5.4(81.9)	4.1(88.9)
	24hr	2.0(96)	5.4(81.9)	2.9(92.1)
BOD	Inf.	98.4	101.6	102.7
	Eff. 6hr	15.7(85)	26.5(73.9)	20.5(80)
	12hr	11.5(89)	19.0(81.3)	16.4(84)
	24hr	6.2(94.1)	13.2(87)	10.3(90)
COD _{Mn}	Inf.	138.4	115.8	108.2
	Eff. 6hr	27.9(70)	44(62)	33.5(69)
	12hr	18.2(80.5)	31.3(73)	22.7(79)
	24hr	10.2(89)	24.3(79)	14.1(87)
T-N	Inf.	1.1	18.2	22.4
	Eff. 6hr	18.2(44.8)	11.8(35.2)	13.4(40.2)
	12hr	17.5(47.0)	11.1(39.0)	12.5(44.2)
	24hr	17.0(48.5)	10.5(42.3)	11.6(48.2)
T-P	Inf.	0	1.9	2.5
	Eff. 6hr	2.1(44.7)	1.3(31.6)	1.4(44)
	12hr	1.9(50)	1.2(36.8)	1.3(48)
	24hr	2.0(47.4)	1.1(42.1)	1.3(48)

*Raw : Supernatant after coagulation.

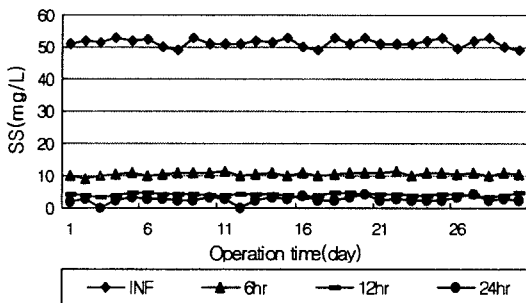


Fig. 6. SS variation of 1:2 mixed wastewater with HRT in biofilm.

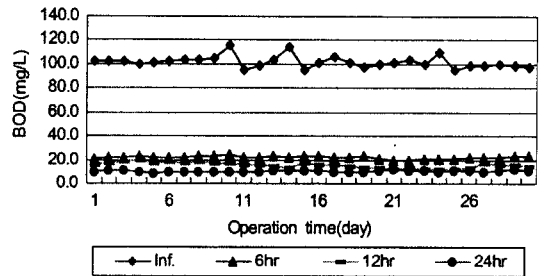


Fig. 7. BOD variation of 1:2 mixed wastewater with HRT in biofilm.

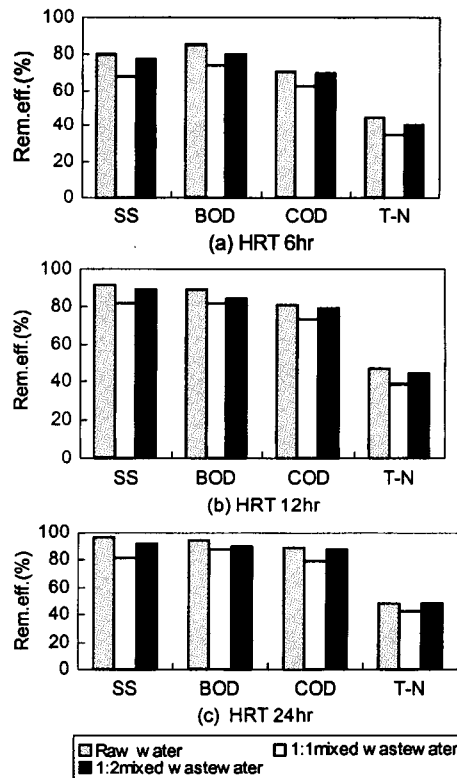


Fig. 8. Removal efficiency of SS, BOD, COD, T-N with HRT in biofilm.

10.3 mg/l, COD_{Mn} 14.1 mg/l, T-N 11.6 mg/l, T-P 1.3 mg/l이었다. 혼합비가 1:2인 폐수를 1개월 동안 연속 운전하여 체류시간에 따른 SS와 BOD 농도변화를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 유입수의 농도가 약간씩 변동함에도 불구하고 처리공정이 매우 안정되어 있음을 알 수 있다. 또 하수와 혼합비가 1:1 및 1:2인 폐수의 체류시간에 따른 SS, BOD, COD_{Mn} 및 T-N 제거율을 Fig. 8에 나타내었다.

IV. 결 론

연구용 소형 소각로의 배출폐액을 물리, 화학적 및 생물학적으로 처리하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 소각로 배출폐액을 망목이 1.6 μm인 microstrainer로 미세여과하였을 때 SS 67.4%, FS37.4%가 제거되고, 하수의 SS와 FS 제거율은 각각 63.2% 및 35.4%이었다.

2. 화학적 응집처리의 적정조건은 pH 7.5, alum (Al₂O₃로서 10%) 30 ml/l, 고분자전해질(A-601P 0.1%) 4 ml/l를 주입하였을 때이며, 이 조건에서 수질항목별 제거율은 SS 86.0%, FS 89.5%, BOD 42.5% 및 COD_{Mn} 63.5%이었으며, 중금속 성분의 제거율은 Pb 93.5%, Zn 86.5% 및 Fe 80.6%이었고, 처리수의 농도는 SS 9.0 mg/l, FS 3.6 mg/l, BOD 98.4 mg/l 및 COD_{Mn} 138.4 mg/l이었다.

3. HBC-연탄재 복합매디아를 이용한 접촉산화에서 하수의 혼합비와 체류시간이 증가함에 따라 제거율이 증가하였으며 혼합비가 1:1, 1:2인 경우 HRT는 12 hr 이상일 때 오염물질의 배출허용기준을 충족시킬 수 있었다.

혼합비가 1:2이고, HRT 24 hr일때 제거율은 SS 92.1%, BOD 90% 및 COD_{Mn} 87%, T-N 48.2%, T-P 48%이었고, 처리수의 농도는 SS 2.9 mg/l, BOD 10.3 mg/l 및 COD_{Mn} 14.1 mg/l, T-N 11.6 mg/l, T-P 1.3 mg/l이었다.

감사의 글

이 논문은 1996년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1) 환경처 : 환경 백서, 449-455, 1994.

- 2) 환경 산업 총람, 첨단환경기술, 환경관리연구소, 345-351, 1998.
- 3) 전국 폐기물 처리실적, 환경부, 1995.
- 4) 이승무 외 27인 : 쓰레기 처리시설 구조지침 및 해석, 환경부, 243-268, 1991.
- 5) G. Schuch, F. Loffler: Chem-Ing-Techn, 12, 51, 301-302, 1979.
- 6) George Tchobanoglous 외 2인 : Intergrated solid waste management, McGraw-Hill, Inc. 611-670.
- 7) 서광석 외 1인 : 대기오염방지기술, 동화기술, 291-295, 1998.
- 8) 김창원 외 2인 : 산업폐수 처리를 위한 호기성 3상 생물막 유동층 반응기 개발, 대한환경공학회지, 16(6), 745-754, 1994.
- 9) Vulder, A, R. Kampt and D. H. Eikelboom: Application of a three Phase Airlift Reactor for Aerobic Treatment of Domestic Sewage, 3rd, Nethelands Biotechnology Congress, Amsterdam, April. 3-4, 1996.
- 10) Bitton. G: Wastewater Microbiology, John Wiley & Sons, INC, New York, 89-198, 1994.
- 11) Valenti, G. and J: Growth Micro organisms on a Geotextile Support, *Wat. Sei. Tech*, 22(1/2), 43-51, 1992.
- 12) 이체남 외 3인 : 담체의 표면거칠기와 전단응력이 미생물 부착에 미치는 영향, 부산대학교 환경연구보, 13, 39-43, 1995.
- 13) 박영식 외 2인 : 담체의 소수성과 표면 거칠기가 미생물 부착에 미치는 영향, 6(6), 689-696, 1997.
- 14) 양대창 : 미생물 고정화를 위한 효율적인 담체의 개발, 석사학위 논문, 서울대학교, 1995.
- 15) 박영식 외 4인 : 활성탄화 필라이트로 피복된 원판에서의 생물막 성장, 18(6), 743-751, 1996.
- 16) 이규성 외 1인 : 수질오염 방지 기술, 동화기술, 159-164, 1992.
- 17) 안승구 외 8인 : 환경 미생물학, 신광문화사, 245-271, 1993.
- 18) 도시하수, 오·폐수 처리용 미세목, 초미세목 스크린, Blue Whale Screen社, 1996.
- 19) 신정래 : 수처리 약품, 동화기술, 237-243, 1990.
- 20) 조영호 외 7인 : 폐수처리 공학, 동화기술, 272-278, 385-386, 576, 1992.
- 21) J. Edward: Coagulation and Filtration Back to the Basics, Seminar Proceedings of AWWA, 132-136, 1978.
- 22) 한국 수자원공사 : 약품처리에 관한 연구, 1989.
- 23) 전향배 외 2인 : 응집에 의한 탁도 물질 및 용존 유기물질의 동시제거에 대한 연구, 상하수도 (94) 학술 발표회세미나. 135-139, 1994.
- 24) Mysels, K. J.: Introduction to colloid Chemistry, Interscience Publishers, NewYork, p38, 1959.
- 25) J. Edward : Coagulation and Filtration Back to the Basics, Jour of AWWA, 85-123, 1981.
- 26) Betzhaboratories. INC, Betz handbook of industrial water conditioning, 8th edition, Betz. Trevos, PA. 1980.
- 27) 환경부 : 환경오염공정시험법해설, 신광출판사, 1996.