

RFS를 이용한 도시유출수처리

이준호 · 방기웅*

청주과학대학 환경공업과
*대전산업대학교 환경공학과

(1999년 8월 25일 접수, 1999년 10월 8일 채택)

Urban Stormwater Runoff Treatment by the RFS

Jun-Ho Lee · Ki-Woong Bang*

Department of Environmental Engineering, Chongju National College of Science and Technology

**Department of Environmental Engineering, Taejon National University of Technology*

ABSTRACT

In recent years, combined and separated sewer overflows (CSOs, SSOs) have been recognized as a significant pollution problem. To solve this problem, a series of experiments were performed in a small scale Rapid Flocc Settler (RFS) device to determine its ability in removing micro particles and dissolved materials from polluted waters. The RFS device is a compact physico-chemical wastewater treatment system. Polyacrylamide (PAM) is used as a coagulant for treating stormwater in the RFS. The results of Jar test showed that PAM could be an excellent coagulant as compared with aluminum sulfate, and ferric chloride.

In several experimental conditions, the influence of different variation parameters was tested to measure the efficiency of the RFS. Tests have been carried out with typical CSOs concentrations (50~1,000mg SS/L). The treatment efficiency with regard to SS and COD, which can be obtained at an overflow rate of 130m³/m²/day, are 90% and 80%, respectively. Comparing other sedimentation technologies with RFS, the overflows rate of RFS is ten times faster. The distribution of particle size and number were analyzed. The RFS is suitable for the treatment of CSOs and also the removal of settleable and dissolved materials in urban stormwater runoff.

Key Words : Urban Stormwater Treatment, Polyacrylamide (PAM), Rapid Flocc Settler (RFS), Overflow Rate, Particle Size Distribution

요 약 문

최근 들어 합류식·분류식 하수관의 월류수(CSOs, SSOs)가 수질오염에 미치는 영향이 상당하다는 인식을 하게되었다. 본 논문의 목적은 CSOs, SSOs에 함유된 입자성 및 용존성 오염 물질을 제거할 수 있는 RFS(Rapid Floc Settler)장치를 개발하여 입자물질과 용존물질의 제거효율을 분석하고 최적의 설계인자와 운전인자를 도출하는데 있다. RFS장치는 물리·화학적 폐수처리장치로 그 구조가 간결하다. Polyacrylamide(PAM)을 응집제로 사용하여 Jar test 결과 PAM이 철염, 황산알루미늄에 비해 우수한 응집특성을 나타내었다. 수면적부하율의 변화를 주어 처리효율 특성을 분석하였다. 유입수는 SS를 기준으로 50~1,000mg/L로 CSOs의 대표적인 농도를 적용하였다. 수면적부하율이 130m³/m²/day에서 SS는 90%, COD는 80%의 처리효율을 나타내었다. 수면적부하율이 기존침전조의 10배 이상 컸다. 또한 입경분석을 실시하여 입경 분포를 분석하였다. RFS장치는 CSOs, SSOs의 처리 이외에도 건설현장 고탁도물질의 제거, 소규모유역 유출수 제어, 하수처리장에서 초과용량의 하수처리, 오염된 소하천의 정화 등 그 적용성이 클 것으로 생각된다.

주제어 : 도시 유출수처리, PAM, 수면적부하율, RFS처리장치, 입경분포

1. 서 론

강우시 유출수가 하수차집관거 용량을 초과하여 월류되는 것을 합류식 하수관 월류수(combined sewer overflows, CSOs), 또는 우수관에서 배출되는 월류수(separated sewer overflows, SSOs)라고 한다.^{1,3)} 하수관로의 보급율이 높은 일본 동경의 경우 하수도의 보급율의 증가만큼 수질이 향상되지 않는 원인으로 강우시 합류식하수관의 월류수라는 연구결과에서 지적한 바와 같이,⁴⁾ CSOs 및 SSOs에 대한 처리 대책이 없는 한 도시하천의 수질개선을 기대하기란 어렵다. CSOs, SSOs를 하천으로 배출시 하천생태계에 치명적인 영향을 미치고 있는 사례는 여러 연구에서 보고하고 있다.^{2,4,10,12)} 도시개발로 인한 불투수층 면적의 증가는 유출계수를 크게 하므로, 강우초기에 고농도의 오염물질이 다량 유출되는 초기유출(first flush) 현상을 가중시킨다. 현재까지 많은 연구자들이 대상으로 한 오염물질 유출에 대한 연구는 유역의 특성에 따라 차이는 있지만 강우초기에 오염물질이 다량 배출된다는 초기세척에 대해서는 유사성을 가진다. 따라서 강우초기에 배출되는 오염부하만이라도 제어할 경우 비점오염 부하를 상당량 감소시키는 효과를 가진다.

우수저류조는 초기강우 유출수내 큰 입경을 가진

침전 가능한 물질을 일시 저류하여 처리후 하천으로 배출하는 시설로서 초기세척유출수의 오염저감방안을 위한 시설의 하나이기도 하다. 그러나 우수저류조는 설치를 위한 부지확보 및 운영관리상의 어려움으로 우리나라 중·소 도시의 대부분이 이같은 시설의 확보가 어려운 실정이다. 또한 기존의 하수처리 방식과는 달리 CSOs, SSOs 제어에 있어서는 다음과 같이 몇 가지의 특수성을 고려하여 제어방식을 적용해야 한다. 즉, CSOs, SSOs의 발생이 매우 불규칙적이며, 많은 종류의 난분해성 물질을 함유하고 있고, 시간에 따른 유량 변동폭이 매우 크며, 또한 강우초기에 오염물질 농도가 매우 높다.^{3,4)} 따라서, 이러한 처리 조건을 한가지의 처리방법을 이용하여 제어하는 것은 어려운 문제들이 많다.

CSOs, SSOs에 대한 최적관리기술 대안은 토지이용규제, 노면청소, 침식제어, 저습지, 현지 저류시설, 투수성 포장, 트렌치, 하수맨홀 청소 등의 발생원 제어(source control)와 일반침전, 응집침전, 여과, 스크린, 공기부상법, 소독, swirl 농축기 등의 하수관망 말단제어(end of pipe control) 방식이 있다. Swirl 농축기는 U.S.EPA에서 개발하였고, 영국에서는 vortex 형태의 Storm King, 독일은 Hydroseparator, 캐나다는 Stormceptor 등이 있는데, 이들 장치의 기본적인 처리 원리는 유출수

내 고형물질에 회전에너지를 주어 관성을 이용하여 침전분리시키는 점에서 모두 유사한 특징을 가진다.^{5-9,11)} 그러나, 상기한 장치들은 입경이 비교적 큰 $400\mu\text{m}$ 이상이고, 비중이 2.6 이상인 무기성분의 SS에 대해서 그 제거율이 약 50% 정도를 기대할 수 있지만, CSOs, SSOs 내에 함유된 입자의 대부분이 $100\mu\text{m}$ 이하의 입경을 가지고 있어 이러한 미세한 입자들은 swirl 농축기에서 거의 제거되지 않고 월류되는 경향을 나타낸다. 제어 대상이 되는 입자물질의 입경은 주로 $100\mu\text{m}$ 이하로 미세하며 이들 미세입자에는 유기물질, 중금속 등이 상당량 흡착 또는 부착되어 존재한다. 따라서, 입자물질인 SS의 제거는 다른 성분물질까지 제거할 수 있음을 의미한다.

본 연구의 목적은 CSOs, SSOs내 함유된 입자물질에 대해 미세한 입자까지도 효과적으로 제거시킬 수 있는 RFS (Rapid Floc Settler)장치를 개발하여 CSOs와 SSOs내에 함유된 입자물질과 용존물질의 수면적부하율에 따른 제거효율을 분석하여 장치의 처리성 평가와 최적의 설계인자와 운전인자를 도출하는데 있다.

2. 장치구성 및 방법

2.1. RFS 장치

미세입자를 크게하여 입자의 침전성을 높이기 위해서는 응집제 사용이 필수적이다. 현재 많이 사용되고 있는 황산알루미늄 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)과 철염 (FeCl_3) 등은 플럭의 침전속도가 낮거나 처리후 잔류색도를 유발하는 단점을 가진다. 따라서 본 장치는 높은 수면적부하율에서 운전해야하는 전제하에 짧은 시간내에 응집과 응결이 될 수 있는 응집제의 사용이 필요하다. 이를 위해 1980년대 후반에 토양의 침식을 막기 위한 토양의 물리적인 안정제로 개발된 polyacrylamide (PAM)¹³⁾를 본 장치의 응집제로 사용하였다. 장치의 단순화를 위해 별도의 응집조를 설치하지 않고 단일 반응조에서 응집과 응결이 동시에 이루어질 수 있는 구조로 설계하였다. 또한, 침전조의 침전효율을 높이기 위해 침전조 유

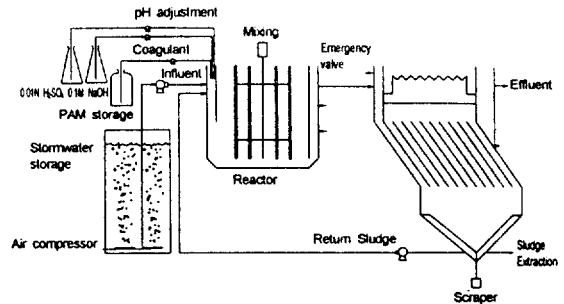


Fig. 1. Schematic diagram of the RFS (Rapid Floc Settler).

출부에 60° 경사판을 설치하였다. Fig. 1은 RFS 장치의 모식도를 나타낸 것으로 저류조, 반응조, 경사판 침전조, 유입수 펌프, pH 조절용 펌프, 응집제 주입펌프, 슬러지 반송펌프로 구성하였다.

RFS장치가 기존의 화학적 응집침전장치와의 차이점은 응집과 응결을 동일한 반응조에서 이루어지도록 하고 반응조 체류시간을 기존 처리장치와 비교하여 약 1/3 이하에서 운전한다는 점이다. 또한, 침전조는 유출부에 경사판 침전조를 두어 높은 수면적부하율과 짧은 체류시간에서 침전이 이루어지도록 하였으며, 침전 슬러지를 반송시켜 응집·응결효과를 높이도록 하였다.

유입수 저류조는 입자물질들이 현탁상태로 균일한 농도를 유지하도록 분산기를 통해 완전혼합상태를 유지하였다. 반응조의 혼합장치는 빠른 응집효과를 위해 수직축 패들을 4개 설치하였고 최대 100rpm 까지 회전속도의 조절이 가능하게 하였다. 반응조에서 경사판 침전조로 월류되기 전에 배플을 두어 응결효과를 갖도록 설계하였다. 경사판 침전조에는 유출부에 60° 경사판을 7개 설치하였으며 침전부에는 1rpm 스크레이퍼를 장치하여 슬러지의 집적과 반송, 인출을 할 수 있도록 하였다. 또한, 장치의 처리용량을 초과시 우회시킬 수 있도록 밸브를 경사판 침전조 상단에 두었다. 유입수의 성상에 따른 응집조건의 변동을 고려하여 응집제 주입과 산과 알칼리를 공급하여 pH를 조절할 수 있는 펌프를 설치하였다.

2.2. 시료 및 분석항목

CSOs와 SSOs는 노면퇴적 물질과 관로퇴적 물질

이 주된 오염물질이다. 본 연구에서는 건기시에 하수관 맨홀에 퇴적된 물질을 건조하여 체를 이용하여 300 μ m와 100 μ m 이하의 입자들을 선별하여 인공시료로 이용하였는데 건조 후에도 퇴적물질에서 악취가 발생하였다. 건조무게를 기준으로 칭량하여 수돗물에 회석하여 원하는 SS농도를 가진 폐수를 제조하였다. 유입수, 유출수, 반응조에서 시료를 채수하여 pH, 탁도, SS, COD, 입경분석을 하였다. SS는 Whatman GF/C여지에 여과하여 건조전·후의 무게차이에 의하여 정량하였고 COD는 중크롬산칼륨 산화법에 의한 적정법으로 분석하였다. 탁도는 흡광광도법으로, pH는 전극법을 이용하여 측정하였다. 입경분석에 이용한 입경분석기는 Galai Model CIS-1을 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 최적응집제 주입농도

건조고형물을 물에 회석하여 완전혼합상태에서 SS농도가 200mg/L, 500mg/L이 되도록 시료를 조제하여 1L 비커 6개에 각각을 넣었다. PAM을 0, 0.5, 1.0, 2.5, 5, 10mg/L이 되도록 주입하고 100rpm으로 1분간 급속교반하고 3분간 침전시킨 후 상징수의 탁도를 측정하였다. Fig. 2는 SS농도가 200mg/L, 500mg/L인 시료를 대상으로 각각 2회 Jar test한 결과이다.

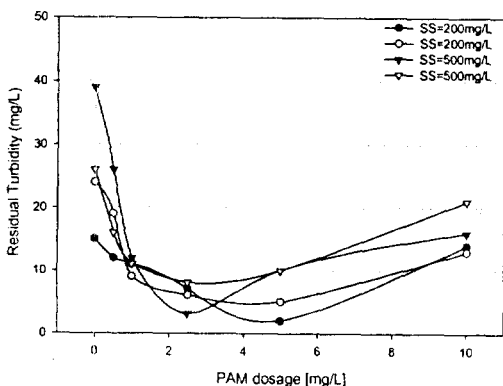


Fig. 2. Determination of optimum dosage for PAM.

PAM을 주입하지 않은 시료의 잔류탁도가 가장 높게 나타났다. SS가 200mg/L의 경우 5mg/L PAM 주입시 제거효율이 가장 양호한 조건을 나타냈고, SS가 500mg/L의 경우에는 PAM 2.5mg/L 주입시 가장 낮은 탁도를 나타내었다. SS의 농도가 높을수록 PAM 주입량을 적게 주입하여도 응집효과는 큰 것으로 분석되었다. Jar test 결과 PAM 주입 농도를 2mg/L~5mg/L이 되도록 하였다.

3.2. 수면적부하율 변화와 처리효율

반응조로 유입시키는 유입유량을 저유량에서 고유량으로 변화를 주면서 처리수의 SS와 COD를 분석하였다. 처리유량을 경사판 침전지 수표면적으로 나눈 수면적부하율, V_o ($m^3/m^2/day$)를 22.6 $m^3/m^2/day$ 에서 418 $m^3/m^2/day$ 까지 변화를 주었다. Table 1은 RFS장치의 운전결과를 나타낸 것으로 총 43회의 조건에 대한 결과를 요약한 것이다. 유량은 유출부에서 일정 용기를 채우는데 소요되는 시간을 측정하여 산정하였으며, 체류시간은 반응조 체류시간으로서 유입유량을 반응조 용적으로 나눈 값이다. 반응조의 SS는 반송슬러지와 합류된 상태의 SS 농도를 의미한다. Fig. 3은 수면적부하율의 변화에 따른 SS와 COD 제거율을 나타낸 것이다.

수면적부하율 50 $m^3/m^2/day$ 에서 SS는 95% 이상, COD는 85% 이상의 제거효율을 나타내었다. 130 $m^3/m^2/day$ 에서 SS는 90%, COD는 80%의 제거효율을 나타내었다. 400 $m^3/m^2/day$ 에서 SS 제거

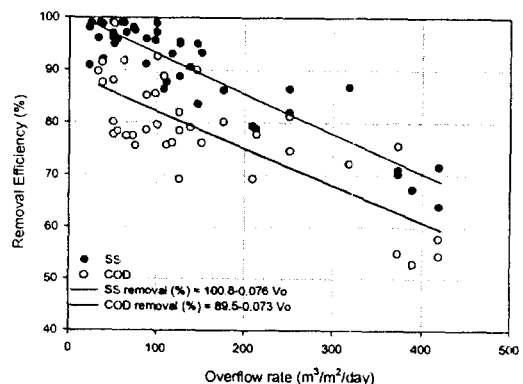


Fig. 3. Relationships between the overflow rate and removal efficiency.

Table 1. Measured performance ranges of the RFS

Test No.	Flowrate (mL/min)	Detention time(min)	Overflow rate (m ³ /m ² /day)	SS removal			COD removal			Reactor SS (mg/L)
				Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)	
1	540	33.3	22.6	1826	166	90.9	-	-	-	-
2	3500	5.1	146.5	280	46	83.6	-	-	-	-
3	840	21.4	35.2	198	2	99.0	-	-	-	-
4	1440	12.5	60.3	202	2	99.0	-	-	-	-
5	540	33.3	22.6	408	8	98.0	-	-	-	-
6	600	30.0	25.1	378	4	98.9	-	-	-	-
7	900	20.0	37.7	540	43	92.0	254	22	91.4	743
8	1200	15.0	50.2	517	20	96.1	213	47	77.7	670
9	2340	7.7	98.0	453	20	95.6	181	26	85.5	757
10	1320	13.6	55.3	570	23	95.9	203	44	78.4	1010
11	1200	15.0	50.2	547	17	96.9	184	22	88.0	2500
12	1560	11.5	65.3	443	13	97.1	161	36	77.5	1240
13	900	20.0	37.7	378	5	98.7	185	23	87.6	805
14	1740	10.3	72.8	135	3	98.1	102	23	77.5	1045
15	3600	5.0	150.7	338	23	93.3	143	34	76.2	378
16	2100	8.6	87.9	113	10	91.1	98	21	78.6	665
17	3480	5.2	145.7	548	28	95.0	231	23	90.0	733
18	2400	7.5	100.5	628	18	97.2	283	21	92.6	1023
19	780	23.1	32.7	505	20	96.0	234	24	89.7	818
20	2580	7.0	108.0	330	45	86.4	198	22	88.9	1428
21	1200	15.0	50.2	1190	12	99.0	192	38.3	80.1	292
22	1500	12.0	62.8	776	8	99.0	222	18.1	91.8	433
23	2100	8.6	87.9	1272	52	95.9	136	20.2	85.2	623
24	3300	5.5	138.1	128	12	90.6	222	46.4	79.1	333
25	3000	6.0	125.6	1176	54	95.4	147	45.4	69.2	111
26	1800	10.0	75.3	1024	26	97.5	115	28	75.6	760
27	2800	6.4	117.2	722	50	93.1	123	29.2	76.2	137
28	1230	14.6	51.5	554	28	94.9	175	2.02	98.8	591
29	8900	2.0	372.6	228	68	70.2	111	27	5.6	500
30	3000	6.0	125.6	320	16	95.0	101	18.1	82.0	242
31	8900	2.0	372.6	69	20	71.0	61	27.2	55.0	157
32	9300	1.9	389.3	52	17	67.3	45	21.2	53.0	121
33	2400	7.5	100.5	180	2	98.9	109	22.2	79.6	137
34	6000	3.0	251.2	336	60	82.1	183	34.3	81.3	840
35	7600	2.4	318.1	340	45	86.8	230	64	72.2	760
36	2650	6.8	110.9	296	36	87.8	178	43	75.8	998
37	3000	6.0	125.6	268	30	88.8	163	35	78.5	866
38	4208	4.3	176.1	290	40	86.2	187	37	80.2	904
39	5100	3.5	213.5	246	52	78.9	153	34	77.8	952
40	5000	3.6	209.3	262	54	79.4	176	54	69.3	884
41	6000	3.0	251.2	282	38	86.5	198	50	74.7	638
42	10000	1.8	418.6	264	75	71.6	167	76	54.5	464
43	10000	1.8	418.6	250	90	64.0	154	65	57.8	220

효율은 70%로 수면적부하율이 증가할수록 처리효율이 낮아지는 결과를 나타내었다. 그러나 하수처리장의 2차 침전조 수면적부하율의 설계기준치¹⁴⁾인 20~30m³/m²/day와 비교할 때 RFS 장치가 10배 이상의 처리속도로 운전이 가능한 것으로 분석되었다. 실험결과치의 회귀분석을 통해 도출된 수면적부하율과 SS, COD 제거효율과의 관계식은 식 (1), (2)와 같으며, 상관계수는 각각 0.80, 0.73이었다.

$$\text{SS removal (\%)} = 100.8 - 0.076 V_0 \quad (1)$$

$$\text{COD removal (\%)} = 89.5 - 0.073 V_0 \quad (2)$$

여기서, V_0 는 수면적부하율(m³/m²/day)로, 입자 물질인 SS의 경우 수면적부하율의 변화에 따라 기울기 값이 0.076이고, 입자성과 용존성분으로 구성된 COD의 경우는 0.073으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, Bridoux 등이 응집과 경사판 침전지를 조합시킨 Lamella 장치에서는 수면적부하율 150m³/m²/day에서 제거효율이 SS는 70%, COD는 60%로 보고하였다.¹¹⁾ RFS의 경우는 동일한 수면적부하율에서 SS는 89%, COD는 78%로 18% 이상 제거율이 증가한 것으로 나타났다. 반송슬러지의 농도를 분석한 결과, 평균치는 13.373mg/L로서 수면적부하율에 따라 큰 차이는 없었다. 수면적부하율 별로 발생하는 슬러지량을 추정하면 Table 2와 같다. Table 2는 수면적부하율을 23~99m³/m²/day, 100~199m³/m²/day, 200~320m³/m²/day로 분류하여 평균 유입유량과 유입수의 SS 농도 및 제거효율을 곱하여 제거되는 건량기준 고형물질량을 수면적으로 나누어 산정하였다. 또한 반송슬러지의 고형물 함량을 1.34%로 하고, 슬러지의 비중을 1.03

으로 가정하여 습량기준 단위 수면적당 슬러지 발생량을 산정한 것이다. 이때 응집제 주입량은 2~5mg/L로서 유입 SS 농도에 비해 미량이므로 무시하였다.

추정된 슬러지 발생량을 보면 유입량에 비해 발생량은 습량기준으로 1.3%~4.3% (평균 2.8%)로 추정된다. 일반적으로 강우유출수 처리장치에서 발생된 슬러지는 강우기간 동안에 인근 저류지에 저류한 후 건기시에 하수관거로 배출하거나, 탈수하여 매립하는 방법을 고려할 수 있으나, 다른 적절한 처리방안은 추후 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

3.3. 반응조 체류시간과 처리효율

반응조에 체류하는 시간이 가능한 짧도록 설계하는 것이 처리용량을 증대시킬 수 있으므로 중요한 인자이다. Fig. 4는 반응조 체류시간의 변화에 따른 SS와 COD 제거효율을 나타낸 것이다. 체류시간이 7.5분 이상일 경우 SS는 94% 이상, COD는 84% 이상을 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 폐수를 물리화학적으로 처리시 일반적으로 응결조의 체류시간은 20분~30분으로,¹⁴⁾ 이와 비교할 때 RFS의 반응조 체류시간을 7.5분으로 할 경우 기존시설의 용량을 1/4~1/3로 줄일 수 있는 효과를 가진다.

반응조 체류시간, t (min)와 SS, COD제거율(%)과의 관계를 식 (3), (4)와 같이 도출하였으며, 이때의 상관계수는 각각 0.76, 0.69이었다.

$$\text{SS removal (\%)} = 100t/(0.5+t) \quad (3)$$

$$\text{COD removal (\%)} = 95t/(1+t) \quad (4)$$

반응조의 용적을 2m³, 5m³, 10m³으로 설계하고,

Table 2. Estimation of waste sludge for the range of overflow rate

Overflow rate (m ³ /m ² /day)	Influent SS (mg/L)	Effluent SS (mg/L)	SS removal efficiency (%)	Waste sludge	
				(kg/m ² /day, dry base)	(m ³ /m ² /day, wet base)
50 (23~ 99)	601.4	24.1	96	29.4	2.13
150 (100~199)	423.3	30.7	92	59.4	4.30
300 (200~420)	232.9	51.9	76	54.1	3.92
Average	419.2	35.5	88	47.6	3.45

Note) () : Range of the overflow rate

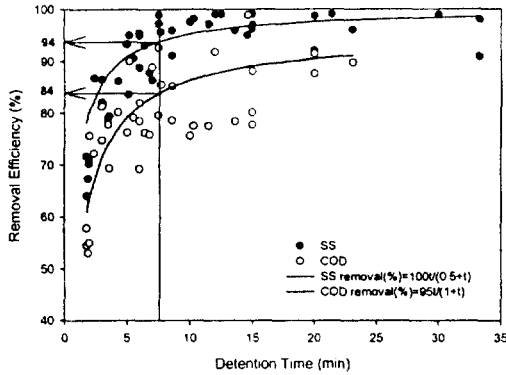


Fig. 4. Relationships between the hydraulic detention time and removal efficiency.

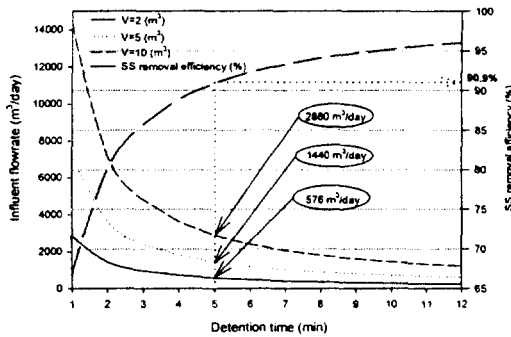


Fig. 5. Relationships between the designed influent flowrate and removal efficiency.

식 (3)을 이용하여 체류시간별 유입유량과 SS 제거 효율을 도시하면 Fig. 5와 같이 제거효율곡선을 도시할 수 있다. 만일, 체류시간을 5분으로 할 경우 SS 제거율은 90.9%로 추정되며 반응조 용적 2m³, 5m³, 10m³에 대해 각각 576m³/day, 1440m³/day, 2880m³/day를 처리할 수 있게 된다.

3.4. 입경분석

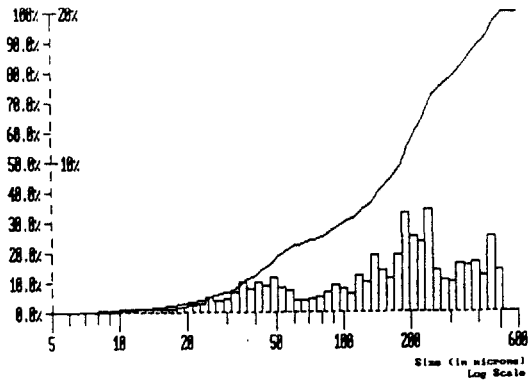
입경의 변화를 파악하기 위해 동시에 채수한 유입수, 반응조, 유출수 시료를 대상으로 플록의 부피를 기준으로한 입경분석을 실시하였다. Table 3은 수면적부하율과 PAM 주입량의 변화에 따른 각 시료 채수지점에서의 평균입경을 나타낸 것이다. PAM의 주입 여부에 관계없이 일반적으로 평균 입경은 반응조>유입수>유출수의 크기 순서를 나타내고 있었다. 특히 Table 3에서 수면적부하율이 100.5m³/m²/day 인 경우는 응집제인 PAM을 주입하지 않은 조건에서도 유입수보다 반응조의 평균 입경이 증가하고 있어 교반에 의해서도 입자간 충돌에 의한 플록이 다소 생성되나 침강성이 약해 오히려 유출수가 유입수의 평균 입경보다 증가한 특성을 나타내었다.

PAM을 주입하였을 경우 반응조에서의 평균입경이 유입수의 평균입경에 비해 상당히 증가하고 유출수에서는 감소하여 반응조에서 형성된 큰 플록들의 침강성이 양호한 것으로 평가되었다. 또한 수면적부하율에 관계없이 전반적으로 PAM을 5mg/L로 주입시 반응조에서의 평균 입경이 342.9μm로 가장 큰 값을 나타내었다. 평균입경 조사시의 유입수의 평균 입경범위는 122.1μm~195.2μm이었으나, 2mg/L ~7mg/L 범위의 PAM 주입시 반응조의 평균 입경범위는 273.4μm~342.9μm로 증가하였고, 유출수는 67.9μm~120.3μm의 범위로 감소하는 결과를 나타내어 응집제의 주입량과 수면적부하율이 입자물질제거에 중요한 운전변수인 것을 확인할 수 있었다.

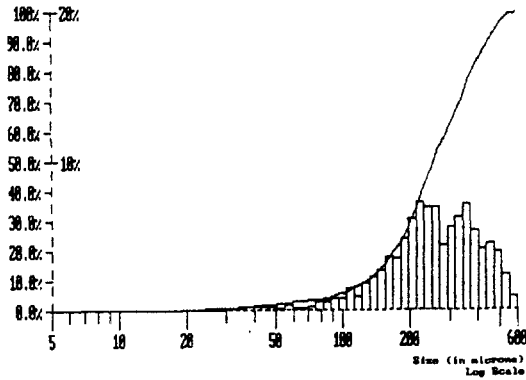
입경분석 결과 중에서 수면적부하율이 72.8m³/m²/day의 운전조건에 대한 입경 확률분포곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 유입수의 경우 평균입경이 193.5μm, 표준편차가 133.6μm로서 20μm~400μm

Table 3. The result of the particle size analysis

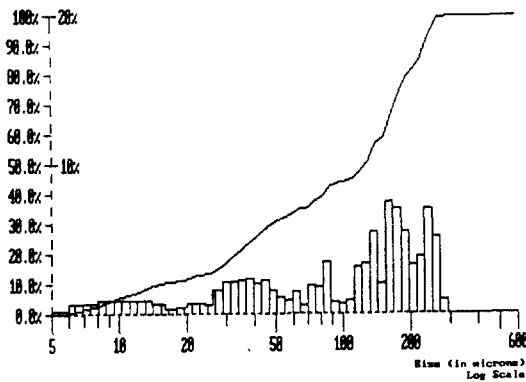
Overflow rate (m ³ /m ² /day)	PAM dosage (mg/L)	Particle mean diameter (μm)		
		Influent	Reactor	Effluent
72.8	2.0	193.5	273.4	120.3
145.7	7.0	122.1	273.8	72.7
100.5	0.0	152.7	234.2	219.9
108.0	5.0	195.2	342.9	67.9



(a) Probability particle size distribution of the influent



(b) Probability particle size distribution of the reactor



(c) Probability particle size distribution of the effluent

Fig. 6. Distribution of the particle size.

의 분포를 하였으며, 반응조는 평균입경이 273.4 μ m,

표준편차는 121.8 μ m로 유입수에 비교하여 입경이 크게 증가하고 입경분포도가 좁은 영역을 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 유출수의 경우는 평균입경이 120.28 μ m, 표준편차는 81.3 μ m로 5 μ m~50 μ m 범위의 입자들의 분포가 상당히 증가한 반면 300 μ m 이상의 입자들은 나타나지 않고 있어 300 μ m 이상의 큰 플록은 전부 침강된 것으로 나타났다.

4. 결 론

강우시 합류식하수관과 분류식하수관의 월류수내 미세한 입자성, 용존성 오염물질의 제어를 목적으로 RFS를 설계 및 제작하여 그 성능과 적용성을 분석하였다.

PAM을 응집제로 이용하였으며 최적응집조건은 Jar test 결과 2mg/L~5mg/L의 농도범위를 나타내었다. RFS 장치를 이용하여 수면적부하율을 22.6m³/m²/day에서 418m³/m²/day까지 변화를 주며 총 43회의 분석을 실시하였다. 수면적부하율 50m³/m²/day에서 SS는 95% 이상, COD는 85% 이상의 제거효율을 나타내었다. 130m³/m²/day에서 SS는 90%, COD는 80%를 나타내었다. 수면적부하율이 기존침전조의 10배 이상인 400m³/m²/day 이상의 조건에서도 SS제거효율이 70% 이상을 나타내었다. 또한, 반응조 체류시간을 7.5분으로 할 경우 SS 94% 이상, COD 84% 이상을 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 이같은 체류시간은 기존의 물리화학적 폐수처리시설의 체류시간과 비교하여 1/4~1/3로 짧은 시간이다. 입경분석결과 유입수의 평균 입경범위는 122.1 μ m~195.2 μ m이고, 2mg/L~7mg/L 범위의 PAM을 주입시 반응조내 입경 범위는 273.4 μ m~342.9 μ m이었고 유출수는 67.9 μ m~120.3 μ m로 조사되어, PAM을 주입하지 않을 경우의 유출수의 평균 입경인 219.9 μ m보다 침강성이 양호한 것으로 나타났다.

RFS장치는 CSOs, SSOs의 처리 외에도 건설현장 고탁도물질의 제거, 소규모유역 유출수 제어, 하수처리장에서 초과용량의 하수처리, 오염된 소하천의 정화 등 그 적용성이 클 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. R. Field, "Design of CSOs regulator/concentrator," *Journal of the WPCF*, **46**(7), 1722~1741(1974).
2. W. Whipple, J. V. Hunter, "Settleability of urban runoff pollution," *Journal of the WPCF*, **53**(12), 1726~1731(1981).
3. D. J. Balmforth, "The pollution aspects of storm-sewage overflows," *Journal of the IWEM*, 219~226(1990).
4. 安齊 史郎, "스쿨-분수槽による合流式下水道の汚染負荷の削減-스쿨-분수槽機能調査から-," *用水と廢水*, **32**(11), 30~40(1990).
5. H.I.L. Technology Inc., Storm King(1991).
6. N. Wilcoxon, and C. R. Hunsinger, "Vortex Solids Separator: A New CSO Technology," *Water Environment & Technology*, **3**(6), 65~68(1991).
7. H. Brombach, C. Xanthopoulos, H. H. Hahn, W. C. Pisano, "Experience with vortex separators for combined sewer overflow control," *Water Environment & Technology*, **27**(5), 93~104(1993).
8. R. Field, T. P. O'Connor, "Swirl technology : enhancement of design, evaluation, and application," *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **122**(8), 741~748(1996).
9. R. A. Fenner, J. N. Tyack, "Scaling laws for hydrodynamic separators," *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **123**(10), 1019~1026(1997).
10. G. W. Characklis, M. R. Wiesner, "Particles-metals, and water quality in runoff from large urban watershed," *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **123**(8), 753~759(1997).
11. G. A. Bridoux, A. Villeroux, M. Riotte, and M. C. Huau, "Optimized lamella settling process for runoff water treatment," *Water Environment & Technology*, **38**(10), 107~114(1998).
12. V. Plum, C. P. Dahl, L. Bentsen, C. R. Petersen, L. Napstjert, N. B. Thomsen, "The Actfloc method," *Water Environment & Technology*, **37**(1), 269~275(1998).
13. PAM, Washington State Department of Transportation Environmental Affairs Office. <http://www.wsdot.wa.gov/eesc/environmental>(1999).
14. 환경부, 하수도시설기준, 한국수도협회, pp. 372~395(1998).