화장품 폐수처리시설의 효율제고를 위한 처리비 영향인자에 관한 연구

장 명 옥, 조 춘 구*
나드리화장품(주) 생산지원부, *숭실대학교 화학공학과

A Study on Efficient Operation of Cosmetic Wastewater Treatment Facility

Myeong-Ok Chang, Choon-Koo Zhoh*
Nadri Cosmetics CO., LTD. *Chemical Engineering of Soongsil University

요 약

폐수 처리장 관리자들로 하여금 경제적으로 효과적인 폐수처리를 위하여 화장품 제조시설을 중심으로 폐수처리공정을 파악한 후 폐수처리 및 관리에 필요한 운전인자 중 폐수처리비 영향인자 분석을 시행하였다. 폐수처리는 대부분 활성 슬러지법을 이용하여 각 업체에 적합하게 설치하여 사용하고 있으며, 폐수처리장의 일평균처리량/설계량이 0.29~0.56으로 일평균 처리량에 비해 폐수처리장의 설계량이 큰 것으로 나타났다. 오염물질 제거율이 폐수처리비에 큰 영향을 미치고 있으며, 이를 조절하기 위한 폐수처리 운전인자는 MLSS이다. 또한, 폐수처리비를 줄이기 위한 관리 항목은 약품비와 Sludge량이며, 이를 줄이기 위해서는 SV30의 철저한 관리가 필요하다.

1. 서론

생산 활동은 원료의 채취로부터 중간재의 생산, 최종 제품의 생산과 저장, 유통에 이르

는 과정이 모두 포함되며, 이 과정에서 오염물을 배출함으로써 각종 생태계에 악영향을 주고 있다. 이에 대응하여, 정부는 오염 물질 배출 허용 기준을 통한 직접적인 규제와 환경세, 배출 부과금, 예치금 제도 등의 간접적인 규제를 통해 오염물질 배출을 억제하며 기업은 환경 오염 규제를 만족하기 위한 소극적인 대응보다는 이를 마케팅으로 연결하는 적극적인 대응이 필요하다. 또한, 각 사업장의 실무 담당자는 처리 시스템 운영을 통하여 경제적이며 효과적인 처리 능력이 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는, 화장품 제조 시설을 중심으로 폐수처리 공정을 파악한 후, 폐수처리 및 관리에 필요한 운전인자중 폐수처리비에 영향을 주는 인자를 찾아 이를 집중적으로 관리함으로써 폐수처리장 관리자들로 하여금 경제적이며 효과적인 처리를 할 수 있도록 필요한 자료를 제공하는데 그 목적을 두었다.

2. 분석 대상 및 방법

2.1. 분석 대상 : 화장품 제조업체 5개사(1997년 폐수처리 실적 기준)

2.2. 분석 항목

2.2.1. 화장품 제조 시설의 폐수처리 현황

2.2.2. 폐수처리비의 영향인자와 그 영향

(1) 폐수처리비의 직접적 영향인자

① 폐수처리비(원/m^3) : 월간 폐수처리비에 월간 폐수처리량으로 나누어 산출

② 탈수 Sludge량(m^3) : 월간 탈수Sludge 처리량

③ 약품비(원) : 폐수처리에 사용된 약품의 월간 구입 금액

④ 전력 사용량(Kwh) : 폐수처리에 이용된 월간 전력 사용량

(2) 폐수처리비의 간접적 영향인자 (폐수처리 운전인자)

① SV30 (Sludge Volume Percentage)

② 오염 물질 제거율 : COD 기준으로 산정

③ MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)

④ F/M비 (Food/ Microbe Ratio)

⑤ SRT (Solids Retention Time)

2.3. 분석 방법

2.3.1. 화장품 제조 시설의 폐수처리 현황

조사 대상 업체의 전반적인 폐수처리 공정을 살펴보았다.

2.3.2. 폐수처리비의 영향인자 분석

(1) 각 업체별 환산 폐수처리비 영향인자를 다음과 같이 계산한다.

$$\text{상대 폐수처리비 영향인자} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

A : 각 업체의 월별 해당 폐수처리비 영향인자

B : 각 업체별 최저 폐수처리비일때의 해당 폐수처리비 영향인자

(2) 상대 폐수처리비 영향인자를 상관분석을 시행하고, 이를 t-검정법을 사용하여 유의성을 검증하였다.

3. 결과

3.1. 화장품 제조 시설의 폐수처리 현황

분석 대상 5개사의 폐수처리 공정은 그림 1과 같으며, 이들은 활성 Sludge법을 이용하여 처리하고 있다. 이중 C사를 제외한 A, B, D 및 E사는 1차 화학 처리후 가압 부상법을 사용하여 포기조로 유입하고 있으나, C사에서는 1차 화학 처리후 침전법을 사용하여 포기조로 유입시켜 처리하고 있었다. 또한, 충분한 유량 조정조를 통하여 폐수 균등화를 시킨 후 처리하는 것으로 나타났으며, 이는 화장품 산업의 특성상 다품종 소량 생산으로 인한 폐수 성상의 잦은 변화에 따른 충격 부하 방지를 위한 것이며, 이것이 적절치 않으면 폐수처리장의 상황이 악화될 수 있을것으로 사료된다.

또한, 폐수처리로 인하여 발생하는 탈수 Sludge는 대부분 퇴비화 하였으나 화장품 제

조시설을 포함하는 기타 화학 제조시설에서 배출되는 탈수 Sludge의 퇴비화를 금지시키는 비료 관리법 개정(농업과학기술원 고시 제1997-5호)으로 인하여 탈수 Sludge의 퇴비화가 원천적으로 금지되었다. 따라서, 탈수 Sludge를 매립하거나 복토재 이용 등으로 처리하지만 퇴비화보다는 처리비가 2~3배 높아 탈수 Sludge 처리에 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다.

표1은 화장품 제조 시설 폐수처리장 설계량 및 처리량을 나타낸 것으로 조사 대상 모두 일평균처리량/설계량이 0.29~0.56으로 폐수처리량에 비해 폐수처리장의 설계량이 큰 것으로 나타났다. 이것은, 갑작스런 폐수량의 증가와 고농도 오염 물질 유입 및 기타 비상사태 등에 대비한 것이나, 설계 용량에 비해 오염 물질량이 적어 저부하의 가능성이 있어 각별한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

3.2. 폐수처리비의 영향인자 분석 (인건비 항목 제외후 분석)

3.2.1. 오염 물질 제거율과 폐수처리비의 관계

조사 업체별 상대 오염 물질 제거율과 상대 폐수처리비의 관계는 표2와 같이 상관관계가 상대적으로 크며 그림 2과 같이 $y = -54.85x + 5596$ ($r=-0.7565$)로 나타낼 수 있다. 즉, 상대 폐수처리비는 상대 오염물질 제거율에 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

3.2.2. 폐수처리 운전인자와 오염 물질 제거율의 관계

오염 물질 제거율과 관련된 폐수처리 운전인자를 찾기 위하여 상관분석을 통하여 그 영향 정도를 표3에 나타내었으며, SV30과 MLSS가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 상대 SV30과 상대 오염 물질 제거율의 관계는 그림 3과 같이 $y = 0.04x + 95.6$ ($r=0.6136$)이며, MLSS와 오염 물질 제거율의 관계는 그림 4와 같이 $y = 0.07x + 91.8$ ($r=0.6520$)로 나타낼 수 있다. 즉, 폐수처리 운전인자와 상대 오염 물질 제거율은 상대 SV30 보다는 상대 MLSS의 영향이 큼을 알 수 있다.

3.2.3. 폐수처리비와 직접적 영향인자의 관계

폐수처리비와 폐수처리비의 구성 요소인 직접적 영향인자중 가장 관련 있는 인자를 집중 관리하면 폐수처리 비용이 낮아질 것으로 예상되어 상관분석를 통하여 그 영향 정

도를 표4에 나타냈다. 폐수처리비 직접적 영향인자중 Sludge량과 약품비가 폐수처리비와의 상관관계가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 그림 5에서 상대 폐수처리비와 상대 Sludge량의 관계는 y= 0.52x + 87.4 (r= 0.6677)이며, 그림 6에서는 상대 약품비와 상대 폐수처리비와의 관계는 y= 0.45x + 83.5 (r= 0.8805)로 나타낼 수 있다. 이 두 경우를 비교할 때 상대 Sludge량과 상대 약품비는 상대 폐수처리비에 비슷한 영향을 주는 것으로 나타났다.

상대 Sludge량과 상대 약품비를 조절할 수 있는 폐수처리 운전인자를 찾기 위하여 상관분석을 통하여 그 영향 정도를 표5에 나타냈다. 표5에서 보는 바와 같이 상대 Sludge량에 대한 폐수처리비의 간접적 영향인자(폐수처리 운전인자)는 유의성(有意性)이 없는 것으로 나타나 분석에서 제외하였다. 약품비와 SV30의 상관관계가 상대적으로 높았으며 그림 7과 같이 y= -4.07x + 574.6 (r= -0.5323)으로 나타낼 수 있다. 따라서, 상대 Sludge량과 관련된 폐수처리비 간접적 영향인자(폐수처리 운전인자)는 없었으며, 상대 약품비의 경우에는 상대 SV30을 통해 약품비를 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2.4. 폐수처리 운전인자와 폐수처리비의 관계

폐수처리 운전인자와 상대 폐수처리비의 상관분석을 통한 영향 정도를 표6에 나타냈다. 조사 업체별 상대 SV30과 상대 폐수처리비의 상관관계가 상대적으로 높았으며 그림8과 같이 y= -2.60x + 406.2 (r=-0.6076)으로 나타났다.

4. 고찰

오염 물질 제거율이 낮으면 인위적인 작업을 통하여 배출 허용 기준을 만족시켜야 하기 때문에 이에 대한 비용이 발생하게 된다. 따라서 오염 물질 제거율은 폐수처리비에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

오염 물질 제거율을 높이기 위한 방안으로 MLSS를 높이는 방법이 있는데 이것은 부하 변동 및 충격 부하(Shock Load)에 대응 할 수 있지만, MLSS가 과잉일 경우에는 활성 Sludge가 소비하는 용존 산소량이 많아지며, 이로 인하여 산소 공급 부족에 따른 기능 장해를 일으킨다. 그리고, 긴 Sludge일령(SRT)으로 인한 암모니아성 질소의 질산화

가 원인이 되어 최종 침전조에서 Sludge부상 유출의 현상을 초래한다. 그러므로, 각 현장 특성에 맞는 MLSS가 허용되는 범위에서 최대한 고농도를 유지하여야 경제적인 전력의 소비와 오염 물질의 제거율을 높일 수 있다.

폐수처리비는 Sludge량과 약품비에 영향을 받는 것으로 나타났으며, Sludge량을 제어하기 위한 폐수처리비 간접적 영향인자(폐수처리 운전인자)는 없었다. 그러나, 약품비의 경우에는 SV30에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 폐수처리비에도 영향을 미치는 것은 SV30임을 알 수 있다.

SV30은 침전조 및 포기조의 상태를 종합적으로 알 수 있는 지표로써, SV30 측정시 메스실린더에서는 잘 침전되나 침전조의 침전 상태가 나쁘면 슬러지 블랑케트(Sludge Blanket)가 높거나 탈질(Denitrification), 장비의 고장 등에 의한 침전조의 문제가 있음을 예상할 수 있다. 또한, 메스 실린더에서 침전하지 않는다면 높은 DO, 질소 부족, 낮은 pH, 낮은 DO, 부적절한 F/M비 등으로 인한 포기조의 문제가 있을 가능성이 있다. 따라서, 이를 효과적으로 관리하면 처리비는 물론 오염 물질 제거율도 높일 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 이상의 결과가 가장 많이 사용되는 인자들만을 분석한 결과로 얻어진 것이기 때문에 절대적으로 MLSS 및 SV30 이외의 다른 인자들이 영향을 미치지 않는다고 보기는 어렵다. 그러므로, 분석하지 않은 인자들의 상호 영향을 무시할 수 없지만, 앞으로의 보다 많은 Data를 통하여 정밀한 분석이 필요한 것으로 사료된다. 그렇지만, 본 연구에서 제시된 인자를 철저히 관리한다면 경제적이고 효과적인 폐수처리에 도움이 될 것으로 사료된다.

5. 결론

화장품 제조 시설을 중심으로 폐수처리 공정 및 폐수처리 및 관리에 필요한 운전인자 중 폐수처리비 영향인자 분석을 시행하였다. 오염 물질 처리를 위한 폐수처리 공정은 대부분 활성 Sludge법을 이용하여 각 업체의 특성에 따라 설치하여 사용하고 있으며, 폐수처리장의 일평균처리량/설계량이 0.29~0.56로 일평균 처리량에 비해 폐수처리장의 설계량이 큰 것으로 나타났다. 또한, 화장품 산업 특성상 다품종 소량 생산에 따른 폐수성상

의 잦은 변화로 인한 충격부하방지를 위하여 유량조정조를 설치하여 운영하고 있었다. 오염 물질 제거율이 폐수처리비에 큰 영향을 미치고 있으며, 이를 조절하기 위한 폐수처리비 간접적 영향인자(폐수처리 운전인자)는 MLSS이다. 또한, 폐수처리비를 줄이기 위한 관리 항목은 약품비와 Sludge량이며, 이를 줄이기 위해서는 SV30의 철저한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

Abstract

This research was undertaken to manage the waste treatment facility in cosmetic plants more effectively. The discharge and the treatment of pollutant in cosmetic plants were analyzed. And several factors which had an influential effect of the treatment cost, were found out. Effective management methods are proposed. Since average operating rate is estimated from 29% to 56%, the facility has an 44% to 71% surplus capacity. The pollutant removal rate influences highly on the treatment cost. The amount of MLSS is the factor that effects the removal rate. Chemical cost and the amount of the sludge are the influencing factors. To reduce the waste water treatment cost, the saving of SV30 use and the management of MLSS amount are essential.

참고 문헌

1. 오 호성, *환경과 경제의 조화*, 조선일보사, 1995, p38~42.
2. 지 재성 外, *환경 관리인을 위한 기초활성오니법*, 자유 아카데미, 1995, p17~23, p33~85. p111~205,
3. 김 동문, *폐수처리*, 청문각, 1992, p213~289. .
4. 김 남천 外, *환경 관리인을 위한 도설(圖說) 폐수처리 운용*, 동화 기술, 1995, p83~129.

5. *폐수처리를 위한 활성 오니 진단법 및 프로세스*, (주)화랑 환경, 1990, p5~78.
6. 김 남천 外, *생물학적 폐수처리*, 동화 기술, 1995, p191~290.
7. *농업과학기술원 고시 제1997-5호*, 관보, 1997.
8. 조 정구 外, *이론 응용 통계학*, 청문각, 1995, p237~279.
9. 백 운붕, *통계학 개론*, 자유 아카데미, 1992, p179~204.
10. 허 명회, *통계적 개념·방법·응용*, 자유 아카데미, 1997, p115~138.
11. 정 원수, *업종별 폐수처리 시설 투자비 및 운영비 조사 분석 연구*, 석사학위논문 한양대, 1987.
12. 유 광인, *수질오염 측정 지표간의 상관 계수에 대한 연구*, 석사학위논문, 한양대, 1984.

표1. 화장품 제조 시설 폐수처리장 설계량 및 처리량

	A사	B사	C사	D사	E사
설계량(m^3/day)	600	480	150	270	240
일평균 처리량(m^3/day)	300	270	70	90	70
일평균 처리량/설계량	0.50	0.56	0.47	0.33	0.29

표2. 오염 물질 제거율과 폐수처리비와의 관계

	A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	All
회 귀 식	y=-82.77x+8394* (r=-0.8130*)	y=-45.56x+4692* (r=-0.7538*)	y=-19.23x+2067* (r=-0.5970*)	y=-19.10x+2017* (r=-0.5388*)	y=-11.15x+1228* (r=-0.7134*)	y=-54.85x+5596* (r=-0.7565*)

r= 상관계수
*: 95% 수준에서 유의성(有意性) 있음

표3. 폐수처리 운전인자와 오염 물질 제거율의 관계

항 목		A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	All
오염물질제거율	F/M비	y=-0.01x+ 98.8 (r=-0.1572)	-	-	y= 0.01x+ 99.2 (r=0.2806)	-	y= 0.01x+ 97.9 (r=0.1184)
	SV30	y= 0.05x+ 94.8* (r= 0.6620*)	y= 0.07x+ 92.1* (r= 0.6902*)	y=-0.02x+101.1 (r= -0.3611)	y= 0.01x+ 98.4* (r= 0.5288*)	y= 0.04x+ 95.9* (r= 0.6774*)	y= 0.04x+ 95.6* (r= 0.6136*)
	SRT	y= 0.02x+ 96.0 (r= 0.5596)	-	-	y=-0.01x+100.4 (r=-0.2559)	-	y= 0.02x+ 96.8 (r= 0.4110*)
	MLSS	y= 0.07x+ 91.6 (r=0.6099)	y= 0.07x+ 91.5 (r= 0.5498)	-	y= 0.01x+ 98.0* (r= 0.6848*)	-	y= 0.07x+ 91.8* (r= 0.6520*)

r= 상관계수
*: 95% 수준에서 유의성(有意性) 있음

표4. 폐수처리비와 직접적 영향인자의 관계

		A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	All
처리비	Sludge량	y= 0.46x+211.2 (r= 0.3260)	y= 0.51x+ 68.6* (r= 0.8603*)	y= 0.28x+108.1* (r= 0.6349*)	y= 0.36x+ 70.2* (r= 0.5491*)	y= 0.60x+ 69.7* (r= 0.5537*)	y= 0.52x+ 87.4* (r= 0.6677*)
	약품비	y= 0.92x+ 6.3* (r= 0.8308*)	y= 0.32x+113.2* (r= 0.8379*)	y= 0.67x+ 42.7* (r= 0.7756*)	y= 1.41x- 34.5* (r= 0.6899*)	y= 0.34x+ 76.8* (r= 0.5201*)	y= 0.45x+ 83.5* (r= 0.8805)*
	전 력 사용량	y= 8.43x-591.8 (r= 0.4698)	y= 0.45x+186.1 (r= 0.1293)	y= 0.52x+ 66.6 (r= 0.0688)	-	y= 2.02x- 81.4 (r= 0.7408*)	y=-0.06x+214.0 (r=-0.0226)
	처리량	y= 5.47x-194.4 (r= 0.5899)	y= 3.19x-108.7 (r= 0.2910)	y= 0.71x+ 39.6* (r= 0.8120*)	y= 0.06x+107.2 (r= 0.0962)	y=-0.42x+168.5 (r=-0.2904)	y= 0.06x+179.4 (r= 0.0184)

r= 상관계수
*: 95% 수준에서 유의성(有意性) 있음

표5. 상대 Sludge량 및 상대 약품비와 폐수처리 운전인자의 관계

항 목		A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	All
Sludge량	SV30	y=-1.18x+285.4 (r=-0.2400)	y=-5.98x+804.1 (r=-0.5613)	y= 1.74x+ 43.2 (r= 0.3618)	y=-0.15x+138.9 (r= 0.0787)	y=-0.41x+126.2* (r=-0.5375*)	y=-1.96x+356.8 (r=-0.0664)
	F/M비	y= 0.58x+458.9 (r=0.1039)	-	-	y= 0.07x+115.5 (r=-0.1401)	-	y=-0.29x+188.8 (r=-0.3565)
	SRT	y= 0.01x+208.5 (r= 0.0064)	-	-	y= 0.78x+ 29.0* (r= 0.5437*)	-	y=-0.07x+170.3 (r=-0.0310)
	MLSS	y=-0.31x+ 38.0 (r=-0.0394)	y=-4.27x+751.4 (r=-0.3536)	-	y=-0.18x+141.8 (r=-0.1621)	-	y=-3.82x+603.8 (r=-0.3874)
약품비	SV30	y=-5.70x+692.3* (r=-0.9138*)	y=-8.71x+1080 (r=-0.5251)	y=-1.23x+276.6 (r=-0.4984)	y=-0.15x+123.1 (r=-0.1839)	y=-0.85x+212.9* (r=-0.6728*)	y=-4.07x+574.6* (r=-0.5382*)
	F/M비	y=-1.32x+441.6 (r=0.1844)	-	-	y=-0.05x+110.4 (r=-0.4440)	-	y=-1.89x+378.8* (r=-0.5323*)
	SRT	y=-1.149x+456.8 (r=-0.4680)	-	-	y=-0.08x+114.6 (r=-0.1641)	-	y=-1.40x+369.2 (r=-0.3354)
	MLSS	y=-3.68x-661.1 (r=-0.3677)	y= 5.27x- 75.6 (r= 0.2801)	-	y=-0.06x+112.1 (r=-0.1650)	-	y=-2.79x+555.4 (r=-0.1927)

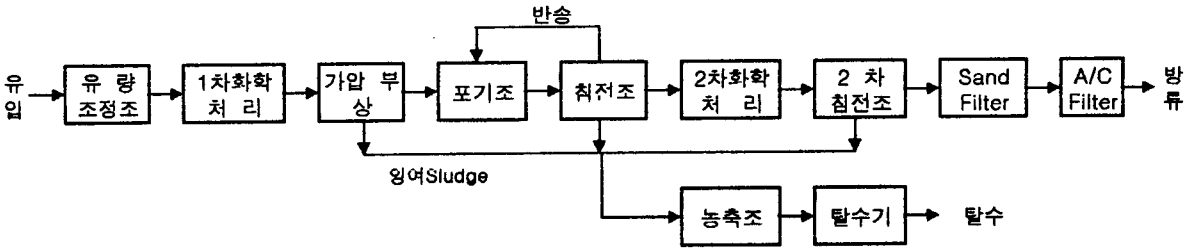
r= 상관계수
*: 95% 수준에서 유의성(有意性) 있음

표6. 상대 폐수처리비와 폐수처리 운전인자의 관계

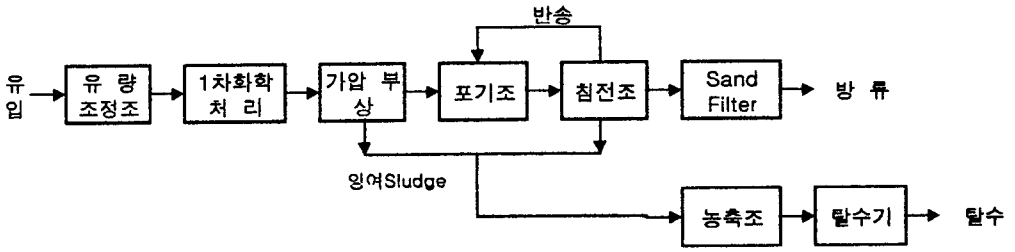
항 목		A 사	B 사	C 사	D 사	E 사	All
처리비	SV30	y=-5.09x+634.3* (r=-0.7332*)	y=-3.64x+522.7* (r=-0.5770*)	y=-0.42x+194.0 (r=-0.1979)	y=-0.38x+158.4* (r=-0.5426*)	y=-0.42x+160.3* (r=-0.5140*)	y=-2.60x+406.2* (r=-0.6076*)
	F/M비	y= 0.84x+234.9 (r= 0.1052)	-	-	y=-0.16x+129.7 (r=-0.2789)	-	y=-0.91x+285.6 (r=-0.1197)
	SRT	y=-1.82x+514.6* (r=-0.6678*)	-	-	y= 0.25x+ 85.1* (r= 0.2604)	-	y=-1.97x+432.4 (r=-0.4926)
	MLSS	y=-6.06x+585.58 (r=-0.5441)	y=-0.17x+262.3 (r=-0.0233)	-	y=-0.18x+134.6 (r=-0.2448)	-	y=-2.74x+503.8 (r=-0.4586)

r= 상관계수
*: 95% 수준에서 유의성(有意性) 있음

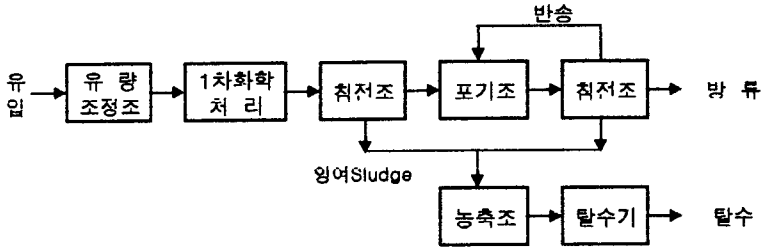
- A 사 -



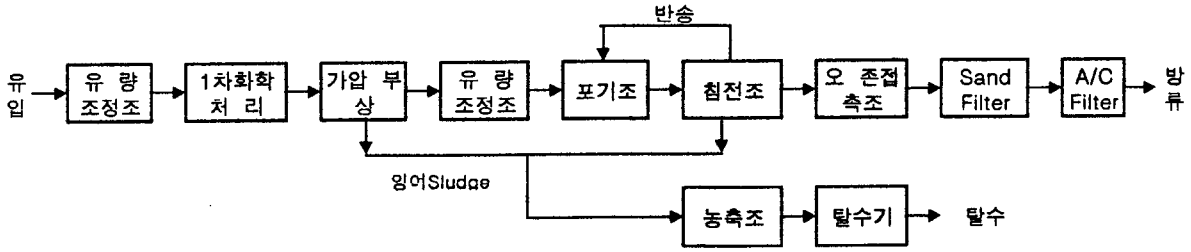
- B 사 -



- C 사 -



- D 사 -



- E 사 -

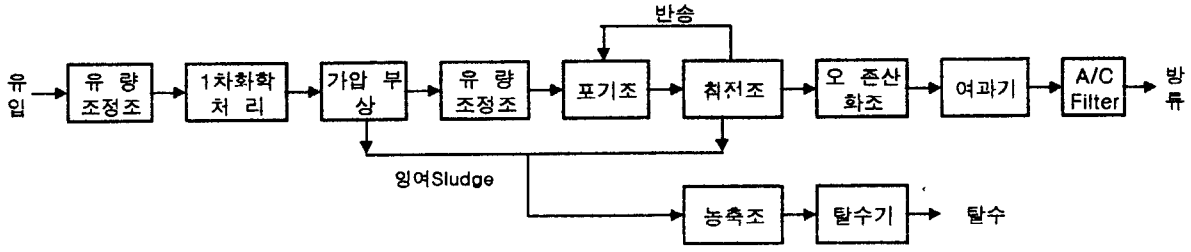


그림 1. 조사 업체별 폐수 처리 공정도

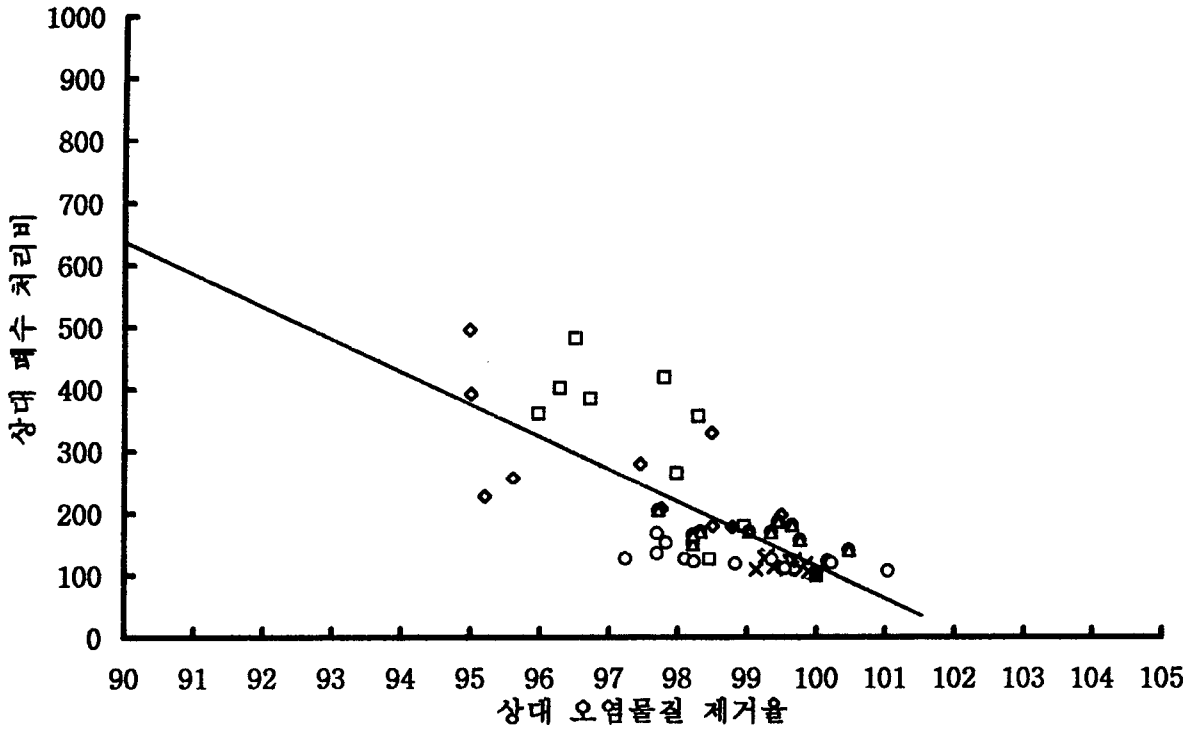


그림 2. 상대 오염물질 제거율과 상대 폐수 처리비의 관계

□ A사 ◇ B사 △ C사

X D사 ○ E사

y=-54.85x+5596 (r=-0.7565)

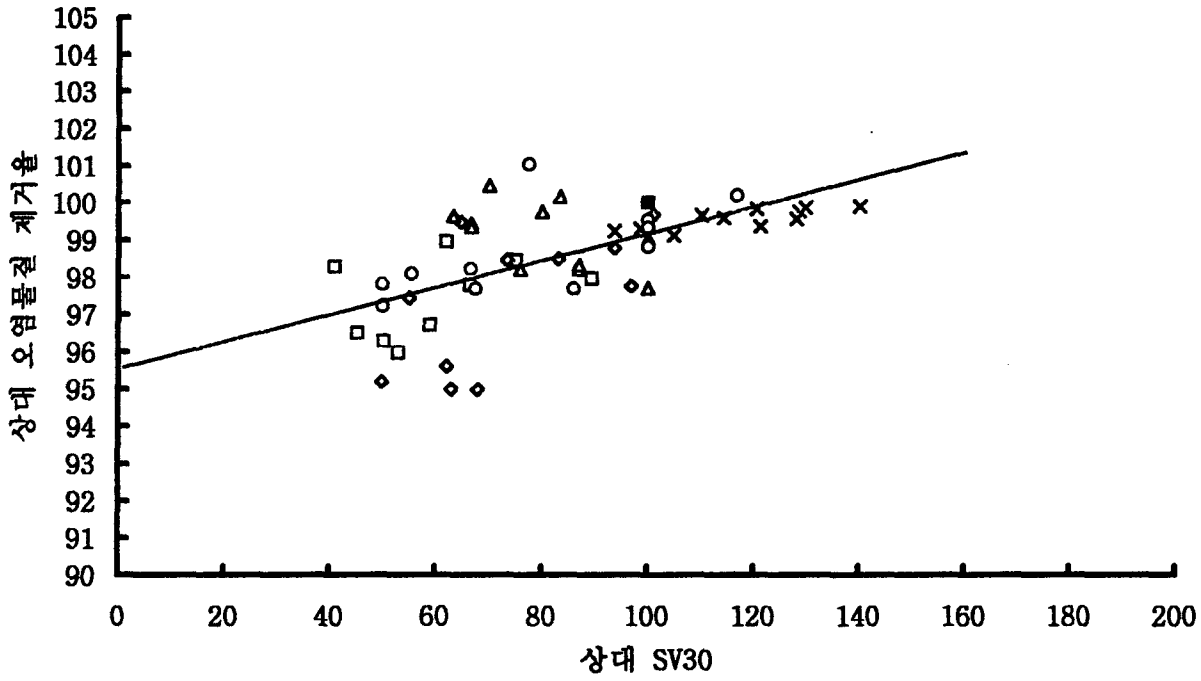


그림 3. 상대 SV30과 상대 오염물질 제거율과 관계

□ A사 ◇ B사 △ C사

X D사 ○ E사

y= 0.04x+ 95.6 (r= 0.6136)

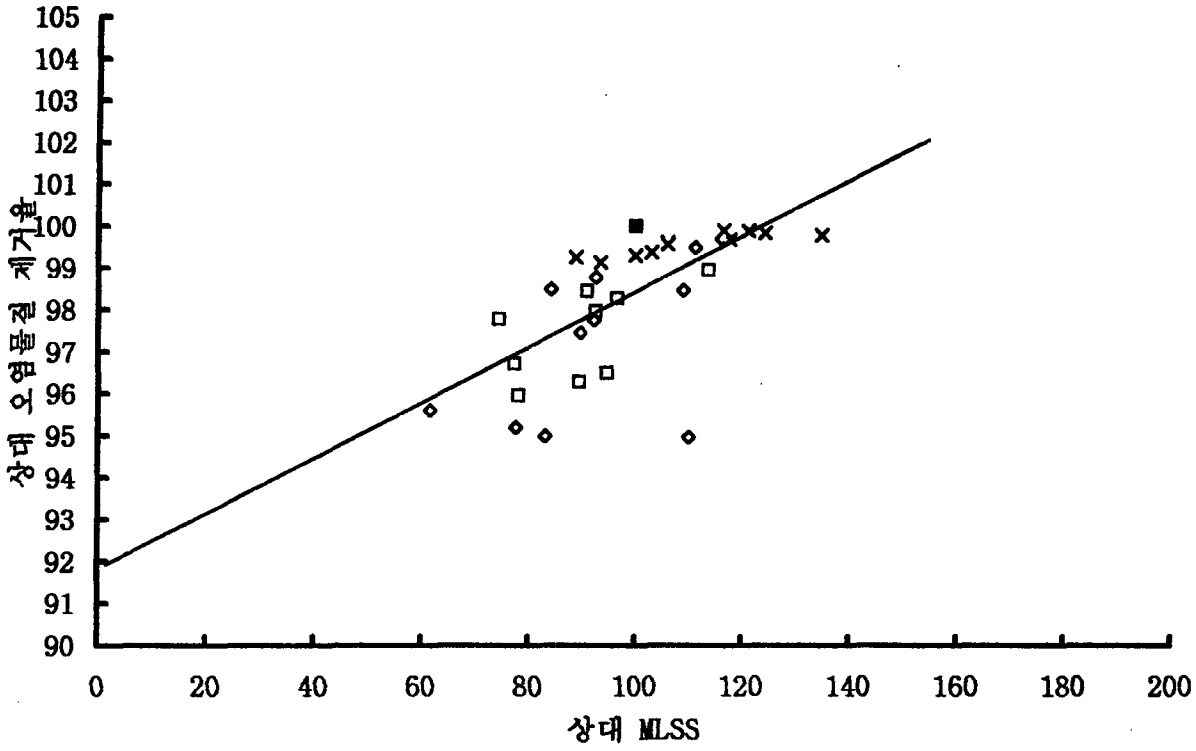


그림 4. 상대 MLSS와 상대 오염물질 제거율의 관계

□ A사 ◇ B사 △ C사

X D사 ○ E사

y= 0.07x+ 91.8 (r= 0.6520)

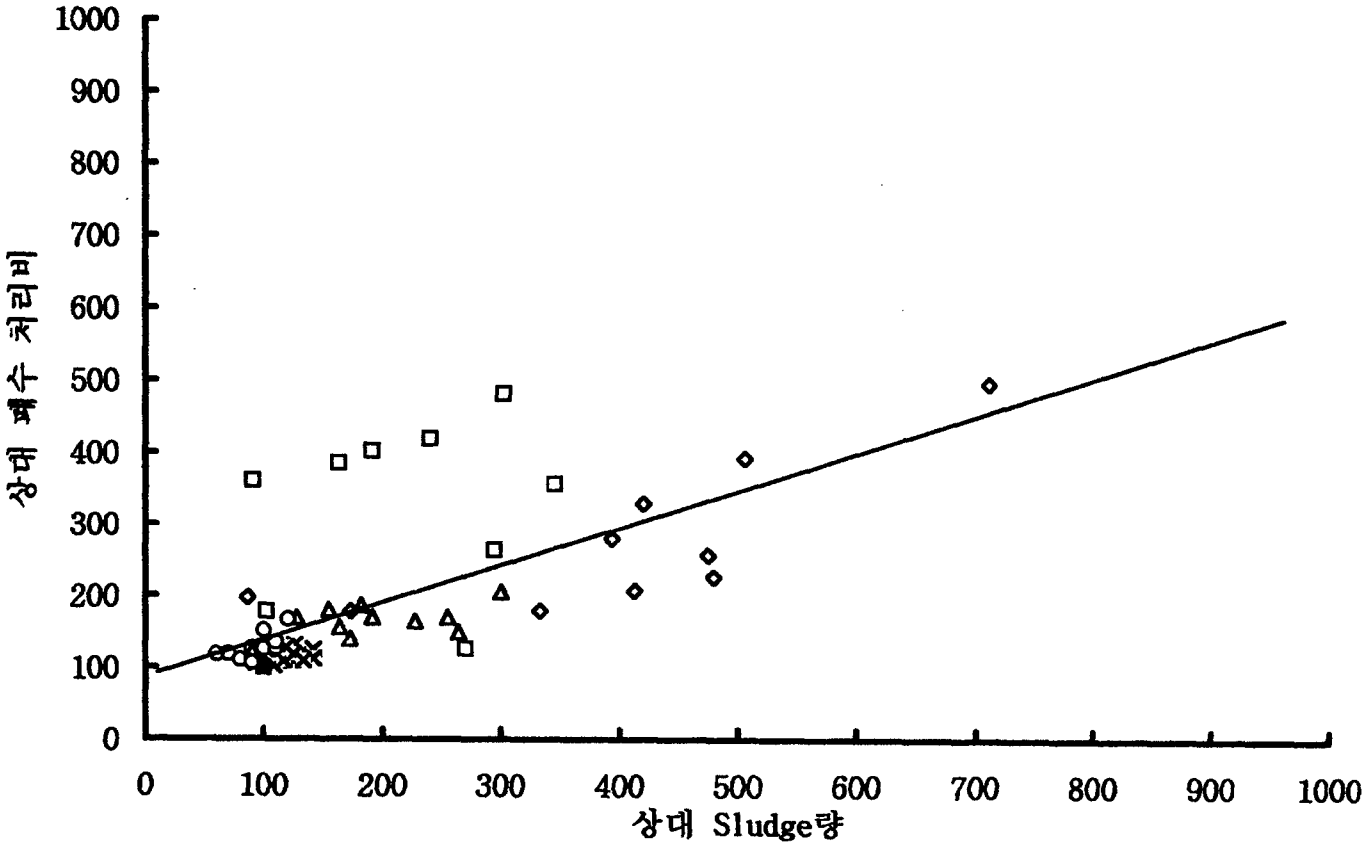


그림 5. 상대 폐수 처리비와 상대 Sludge량과의 관계

□ A사 ◇ B사 △ C사 X D사 O E사 y= 0.52x+ 87.4 (r= 0.6677)

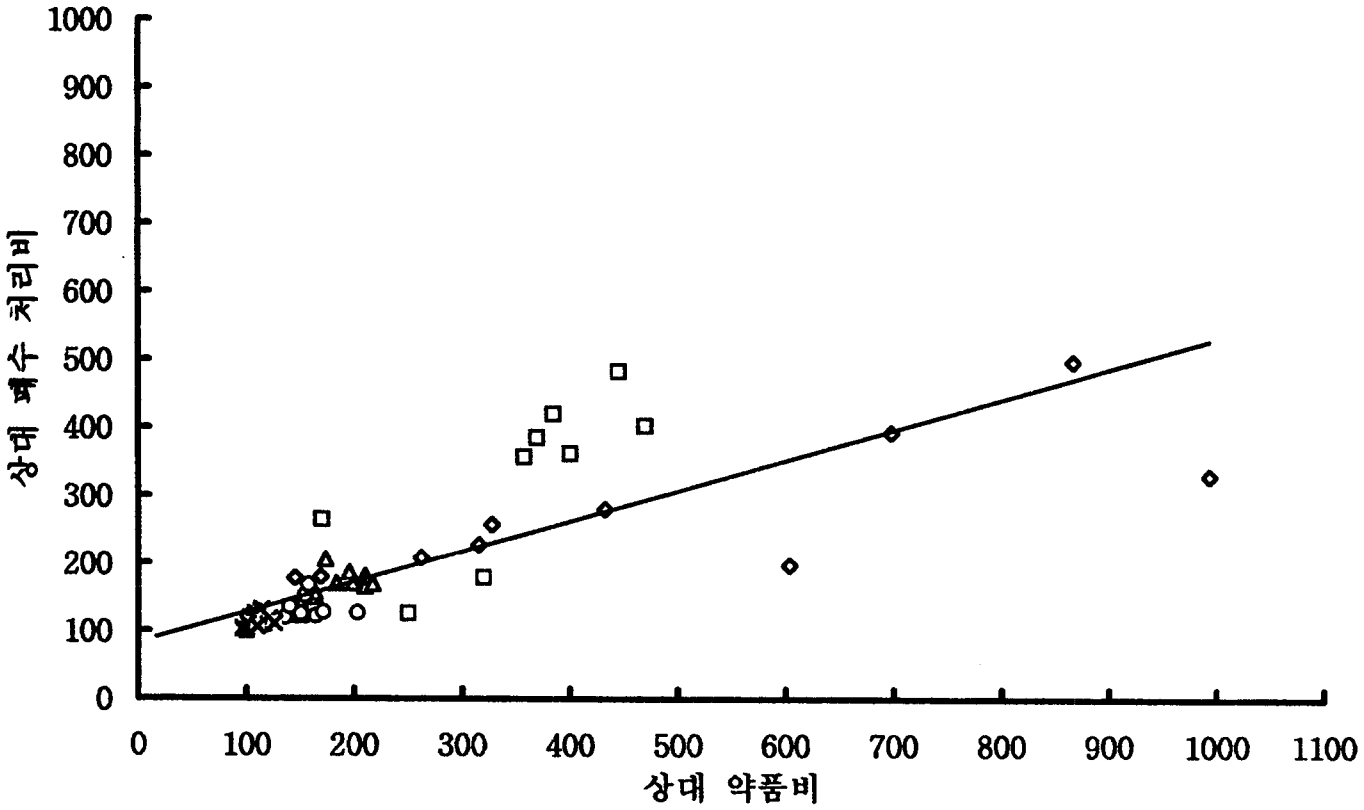


그림 6. 상대 약품비와 상대 폐수 처리비의 관계

□ A사 ◇ B사 △ C사

X D사 ○ E사 y= 0.45x+ 83.5 (r= 0.8805)

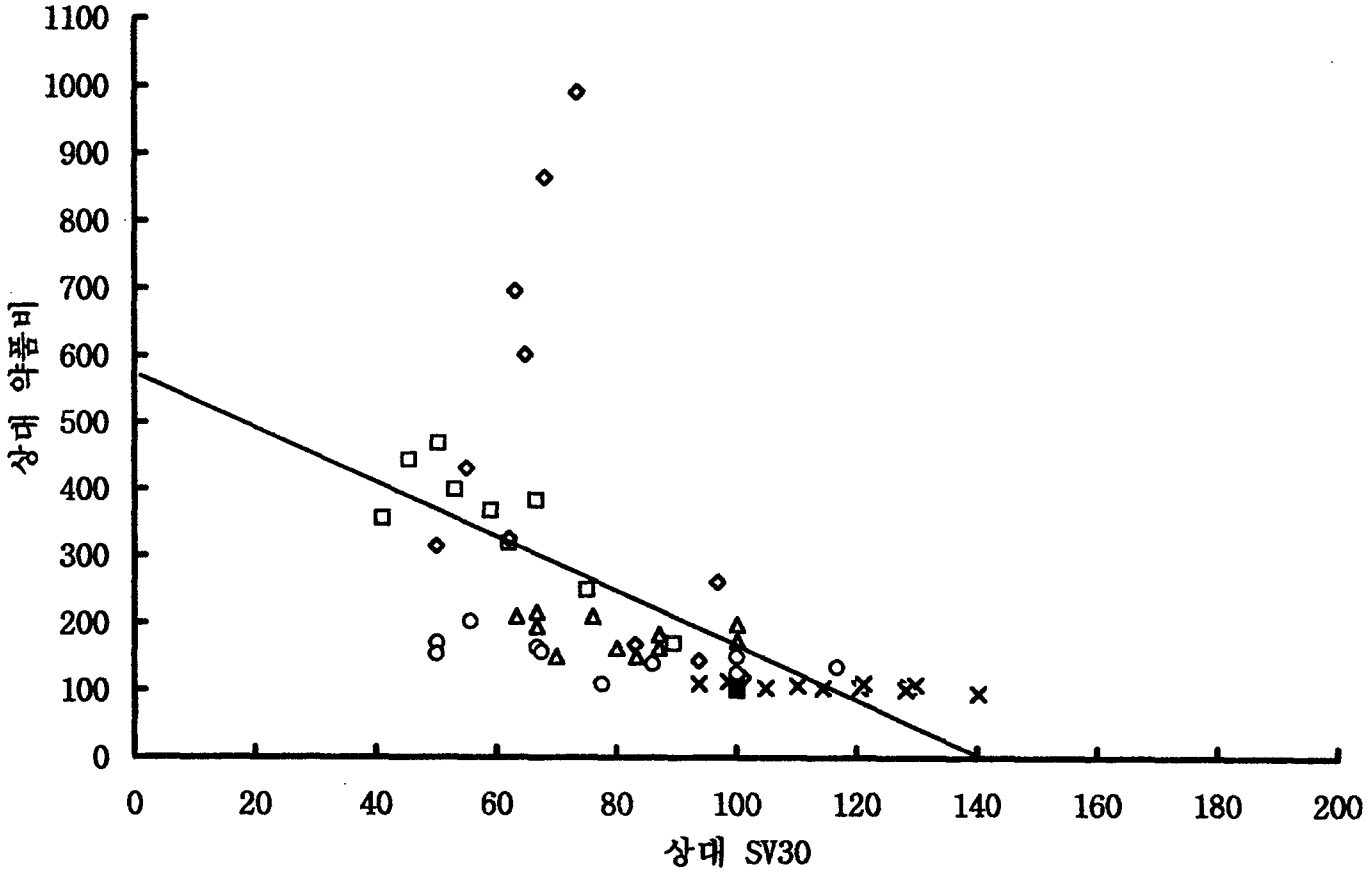


그림 7. 상대 SV30과 상대 약품비의 관계 y=-4.07x+ 574.6 (r=-0.5382)

□ A사 ◇ B사 △ C사 X D사 ○ E사

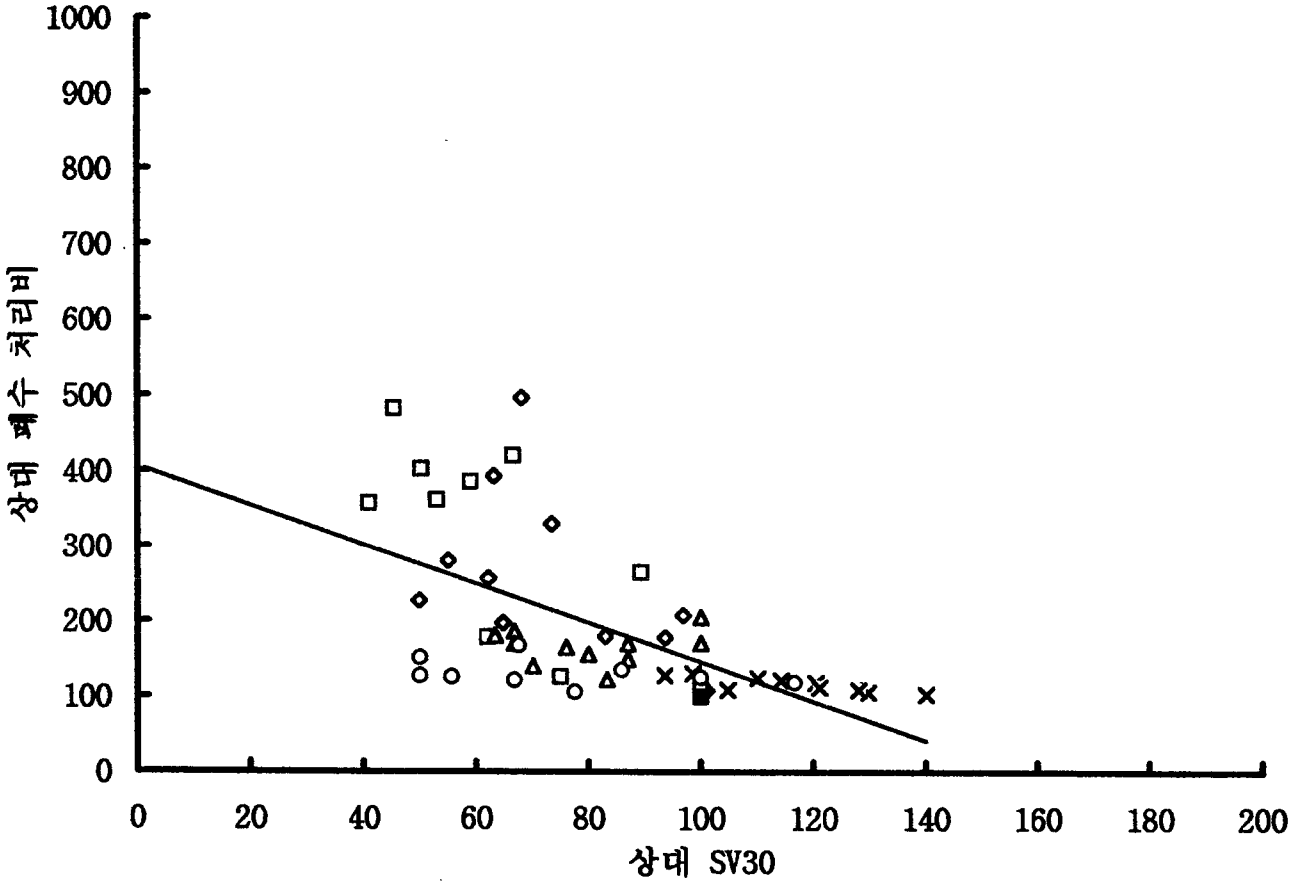


그림 8. 상대 SV30과 상대 폐수 처리비의 관계 y= -2.60x+406.2 (r=-0.6076)

□ A사 ◇ B사 △ C사 X D사 O E사