

오폐수 처리의 회전원판법 이용(Ⅱ)

Wastewater Treatment Systems Utilizing Rotating Biological Contactors (RBC)

신 총 연*
C. E. Shin

4. 회전원판법의 응용

회전원판법의 응용은 기능별로 생활폐수와 산업폐수로 나누어 생각할 수 있다. 생활폐수는 도시종말처리장, 주택단지, 학교, 호텔, 병원, 급식센터, 분뇨종말처리장, 생활잡폐수 등이 있고, 산업폐수는 유입수 BOD 1,000mg/ℓ 이상인 고농도 폐수로서 제과, 유업, 주조폐수, 식용수산, 가공폐수, 축산가공폐수, 화학약품폐수, 도장폐수 등이 있다. 유입 BOD 1,000 mg/ℓ 이하인 저농도 폐수로서 제지펄프폐수, 섬유염색폐수, 화학공장폐수, 식품가공폐수, 수산가공폐수, 어시장폐수, 쓰레기 소각장폐수 등 많은 폐수처리장에 이용되고 있다.

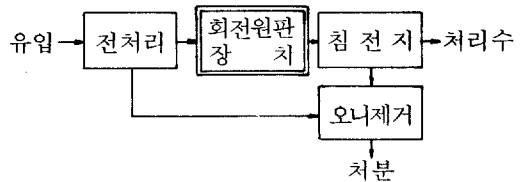
또 이미 활성오니법이나 기타 생물학적 처리방법에 의하여 설치되어 있는 폐수처리장의 유출수의 수질을 향상시킨다든지, 처리해야할 물량이 증가되어 처리장을 확장시키려고 할때 기존 폐수처리장을 개조하여 Up Grading(수질향상)시키는데 회전원판법이 효과적으로 이용되고 있다.

또한 분야로서는 BOD 저농도처리, 초화탈질 등 농업용수나 상수도원의 고도처리, 쓰레기매립지의 침출수 처리에도 효과적으로 이용되고 있다.

4.1 프로세스의 구성

회전원판은 이미 설명한 바와 같이 여러가지의 좋은 특성을 갖고 있다. 처리대상폐수의 종류와 처리목표 수질에 따라서 여러가지 방법의 Flow Sheet가 만들어질 수 있다.

(1) BOD 제거만을 목표로 한 경우

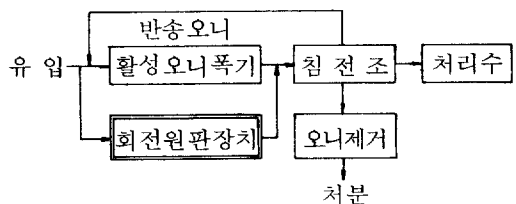


전처리로서 침사, 스크린, 유량조정조, 침전조(응집침전 또는 가압복상), pH 조정(필요에 따라) 유해물질제거(필요에 따라).

(2) 2차처리수의 수질개선을 목적으로 하는 경우(BOD 제거를 향상시키는 것)

㉠ 회전원판장치 병렬배치법

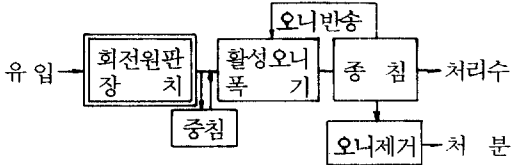
기존 활성오니법의 용량이 부족할 경우 BOD



* 정희원, 정일전설(주) 환경기술개발실

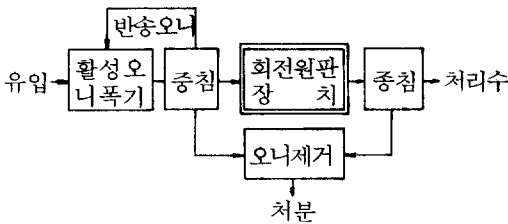
제거능력을 증강시킬 목적으로 활성오니 폭기조와 병렬로 설치한다.

㉑ 회전원판장치 전단 배치법



㉒와 같은 목적으로 회전원판장치를 폭기조 앞에 설치하여 BOD 제거를 하게 된다. 그렇게 함으로써 기존 활성오니법의 능력부족을 보충하게 된다. 필요한 경우 중간에 침전조를 설치할 수도 있다.

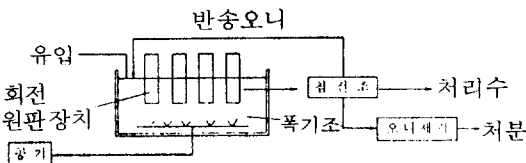
㉓ 회전원판장치 후단 배치법



같은 BOD 제거 목적으로서 활성오니법의 최종침전조를 중침으로 하고, 그 후에 회전원판장치를 설치한다.

㉔ 회전원판장치와 활성오니법의 공동처리

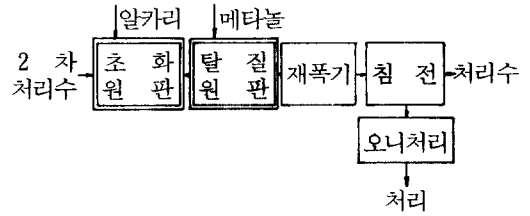
회전원판장치를 폭기조내에 설치하여 활성오니법 처리의 모자라는 처리능력을 보충하여 효율을 향상시킨다. 이 방법은 처리실면적을 전혀 증가시키지 않고 처리능력의 개선이 가능하다.



(3) 2차처리수의 고도처리

㉑ 탈질 I

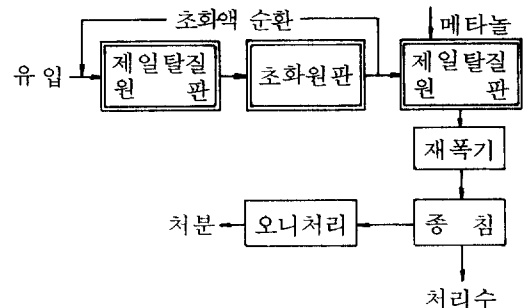
2차처리수에 남아 있는 암모니아성질소 및 초산성질소를 질소로 만들어 제거시킨다. 탈질원판은 혐기조건하에 처리되므로 혐기성을



유지시켜야 한다.

㉒ 탈질 II

탈질의 경우 메타놀이 공급되지만 이 방법은 메타놀 대신 초산화 원판의 처리수를 제일탈질 원판에 순환방송 시킨다. 순환비율을 올리는 것이 탈질효과를 향상시키지만 원수의 BOD에 따라서 한정되어진다. 제2탈질은 BOD 부족을 보충하기 위하여 메타놀 등을 첨가하고 있다.



이 방법은 약품비가 적게 들어 각종 폐수처리에 이용되고 있다.

4.2 회전원판법에 따른 2차처리

2차처리(BOD 제거)을 위한 원판법의 설계는 많은 방법이 발표되고 있다. 필요 원판면적을 구하기 위하여 BOD 면적부하와 수량부하에 의하여 결정되어지지만 폐수의 종류에 따라서 특성이 틀리므로 한 마디로 말하기는 어렵다.

실제 산업폐수에 있어 정확한 B.L이나 H.L을 구하기 위하여 Pilot Test 를 거치는 것이 좋은 방법이다. 또 필요한 원판면적을 구하는 방법에 대하여 많은 사람들이 연구 발표하고 있다.

(1) BOD 면적부하(B.L.)에 따른 계산에 설계조건

원 수 : 생활잡폐수

원판유입수 BOD : 150 mg/ℓ

처리수 BOD : 20 mg/ℓ

폐수량 : 100 m³/d

면적계산

그림 8에 따라 BOD 부하(B.L.) = 14 g/m²,
d

$$\begin{aligned} \text{필요면적} &= \frac{\text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times \text{유입 BOD(g/m}^3\text{)}}{\text{BL(g/m}^2\text{d)}} \\ &= \frac{100 \times 150}{14} = 1,071 \text{ m}^2 \text{ 이상} \end{aligned}$$

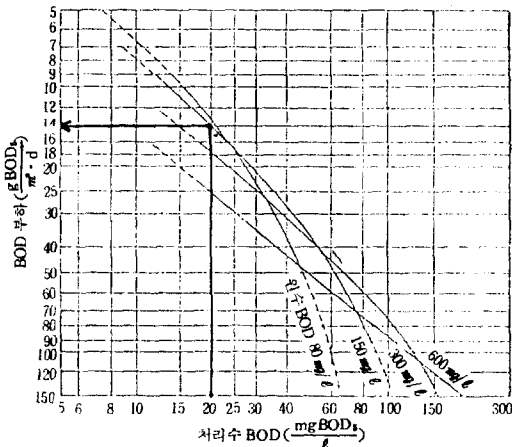


그림 8

(2) HL에 따른 계산

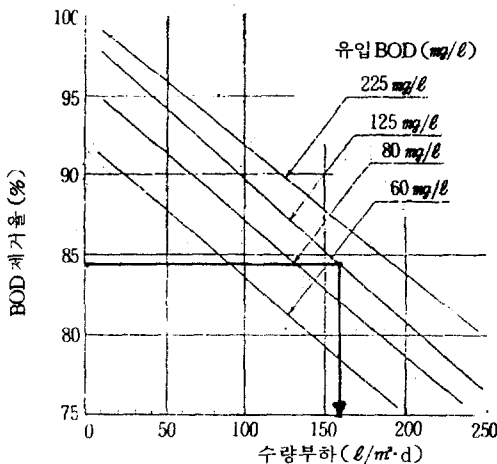


그림 9. 수량부하 BOD 제거율 (도시하수)

설계조건

폐수종류 : 도시하수, 폐수량 : 1,000 m³/d

폐수 BOD : 125 mg/ℓ (원판유입수)

처리수 BOD : 20 mg/ℓ

BOD 제거율 : 84%

그림 9에 따라 HL = 160 ℓ/m²·d

$$\begin{aligned} \text{필요면적(m}^2\text{)} &= \frac{\text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times 10^3}{\text{HL(ℓ/m}^2\text{·d)}} \\ &= \frac{1,000 \times 10^3}{160} \\ &= 6,250 \text{ m}^2 \text{ 이상} \end{aligned}$$

4.3 회전원판법에 따른 초화 및 탈질

회전원판법은 2차 처리장치로서는 대단히 효율적인 방법이고 BOD가 낮은 영역에서는 질소 인의 제거율이 높아 이 역시 효율적인 방법중의 하나이다.

설계조건

원 수 : 생활계 폐수로서 생물학적 처리가
된 물

원수 BOD : 20 mg/ℓ

원수 T-N : 30 mg/ℓ

원수 NH₃-N : 30 mg/ℓ

처리수 T-N : 5 mg/ℓ

폐수량 : 100 m³/d

* 초화용 원판면적 계산

초화원판에서 NH₃-N가 초화되고 초화
율 90%라 할 때

유출 NH₃-N 30 mg/ℓ(1-0.9) = 3 mg/ℓ

그림 10에 따라 HL = 53 ℓ/m²·d

$$\begin{aligned} \text{필요초화} &= \frac{\text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times 10^3}{\text{HL(ℓ/m}^2\text{·d)}} \\ \text{원판면적(m}^2\text{)} &= \frac{100 \times 10^3}{53} = 1,886 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

* 탈질용 원판면적 계산

설계에서 초화원판에서 NH₃-N가 100%
초화되고 NO₃-N로 되었다고 하자.

$$\begin{aligned} \text{필요탈질} &= \frac{\text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times 10^3}{\text{HL}} \\ \text{원판면적(m}^2\text{)} &= \frac{100 \times 10^3}{170} = 588 \text{ m}^2 \text{ 이상} \end{aligned}$$

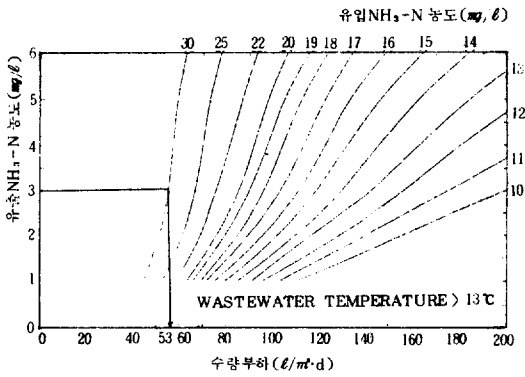


그림 10

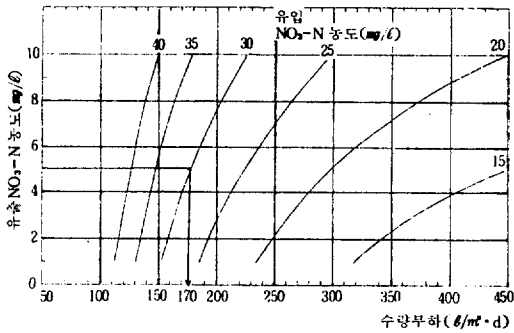


그림 11

4.4 회전원판법에 따른 산업폐수처리

산업폐수는 종류가 많고 고도의 기술이 요구된다.

일본에 있어서는 회전원판의 폐수처리실적이 더 많다.

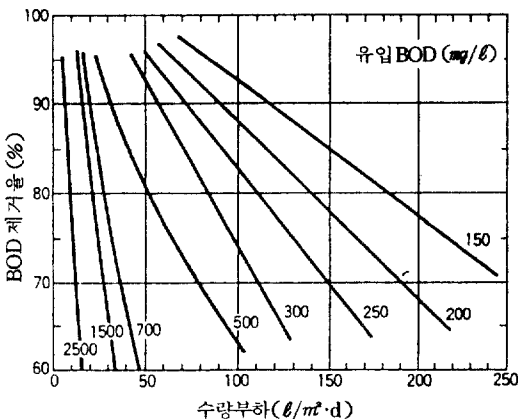


그림 12. 펄프·제지공장폐수

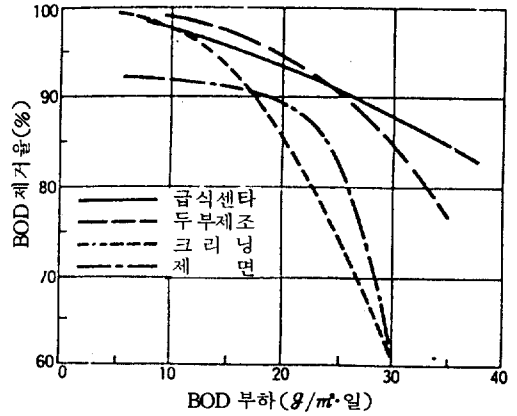


그림 13. 각종 폐수와 BOD부하와 제거율

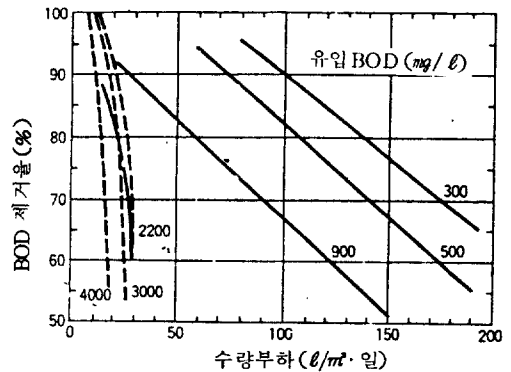


그림 14. 유업공장폐수

각종 산업폐수처리의 설계에 있어서는 산업폐수의 특성 폐수량의 농도변화 수온 N.P의 유무, pH 독성물질의 유무 및 농도 등을 사전에 조사하는 것이 당연하고 전처리에 따라 조대한 물질, 모래, SS, SS성 BOD, 기름, 독성물질이 제거되고 조정되어져야 한다. 그러나 이 전처리는 각종 산업폐수에 따라 차이가 있어 처리방법의 선택이 잘못되지 않게 하는 것이

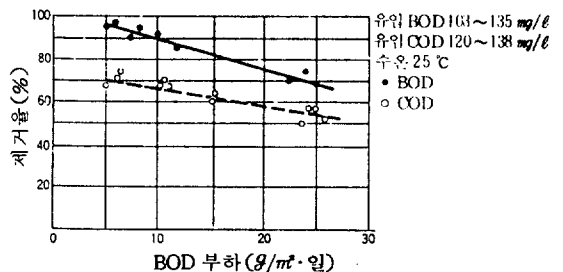


그림 15. 고지재생공장폐수

대단히 중요하다.

산업폐수에 이용되는 회전원판법은 주로 2차처리로 이용되고 있고 BOD의 농도는 저농도(10mg/ℓ)로부터 고농도(6,000mg/ℓ)까지 광범위하다. 다음 몇 가지 폐수에 대한 BOD 제거율의 관계에 대하여 나타내고 있다.

5. 회전원판법의 문제점

앞에서 설명한 바와 같이 회전원판법의 좋은 점이 많아 많은 선진국 즉 미국, 일본, 유럽, 중동 등지에서 이에 대한 이용이 확대되어 가고 있지만 경우에 따라 회전원판 System이 문제점을 일으켜 처리장이 순식간에 Shut Down되는 경우가 있다. 즉 회전원판 장치의 고장이 가장 큰 문제가 되고 있다. Shaft의 절단, Media의 파손, 기타 구동장치의 고장 또한 고장수리의 장기화가 이에 속하고 있다. 부정확한 설계 부실시공 신뢰도가 낮은 장비의 선정과, 운전미숙이 Plant Trouble의 원인이 되고 있다.

5.1 Pilot Plant Test

그 어느 것의 설계에서와 마찬가지로 회전원판법의 System설계 역시 유입 수질에 대한 정확한 data를 근거로 하여 각종 Operation 및 Flow를 설계하여야 되겠다. 특히 산업폐수의 경우 각 산업현장의 작업특성에 따라 수질의 특성이 틀려지는 것은 당연한 사실이다. 이 모든 data의 수집, 생물학적인 처리의 가능성 여부, 회전원판법의 적응성, Full Scale의 크기 결정을 위하여 Pilot test를 거치는 것이 정확한 설계의 요건이 된다. 즉 ①폐수의 특성, ②폐수량, ③유입수의 BOD농도 및 변화, ④영양에 대한 균형, ⑤pH의 변화, ⑥폐수의 온도, ⑦유해물질의 유무 및 농도의 조사와 적정처리, ⑧조제한 모래나, ⑨SS, ⑩SS성 BOD, ⑪기름 등을 1차 처리에서 제거 등을 면밀히 조사한 후 설계에 임하여야 한다. 이와 같이 하여 유입된 폐수가 회전원판 장치에 적용되는지의 유무, 적용될 때 회전원판 장치의 크기 결정이 Pilot Plant Testing에서 시

험한 후 실제설계에 들어가는 것이 최적 설계의 지름길일 것이다.

물론 기존 생물학적 처리방법에 의하여 처리하고 있는 폐수처리장이 있다면 지금까지 쌓여진 수질에 대한 data를 활용함으로써 부분적으로 Pilot Testing이 생략되어 시간과 비용이 크게 절감될 것이다.

2~3m 직경의 Pilot Plant로 처리량 10~50gpm 정도의 크기가 BOD부하, 적응성 여부 등을 check 하는데 이용되고 폐수처리 가능성만을 확인하기 위하여 직경 50cm에 처리량 0.1~1gpm의 소형이 쓰여지기도 한다. 또 1차 처리조건이나 침전성을 알고 회전원판장치에서 생성된 오니의 탈수 성분을 파악하기 위하여 더 큰 Pilot plant가 요구되기도 한다.

5.2 회전원판 장치의 신뢰도

Full Scale Plant가 설계대로 건설되었고 운전 역시 설계범위 내에서 운전된다면 다음의 문제점은 회전원판 장치의 신뢰도이다. 실제로 활성오니법과 비교하여 회전원판법이 초기 투자비가 10%정도 비싸지만 이에 못지않게 많은 이점이 있어 선진각국에서 회전원판법의 보급이 확대되었지만 문제시되었던 것은 기계 고장으로 인한 Plant Shut Down이었다. System의 설계도 완전했고 운전 역시 큰 결함은 없었다. 이 문제점을 해결하기 위하여 미국 EPA(환경청)는 1979년 9월부터 1982년 9월까지 4개년 동안 16개의 plant를 대상으로 153개의 shaft를 조사하였다. 그 결과는 표 9에 나타나 있다.

이 평가에 포함되어 있는 153개의 회전원판 장치중 27%에 해당하는 41개가 Shaft 절단, 5%에 해당하는 7개가 Media 고정시키는 구조물 고장, 11%인 16개가 Bearing 부위 고장이었다.

(1) Shaft 절단

회전원판장치에서 가장 심각한 문제를 일으키는 것은 Shaft의 절단이다. Shaft가 절단될 때 주위의 구조물이 부서지며 이에 따라 Media 역시 손상된다. 절단 Shaft를 제거하고 Media를 다시 설치하고 구조물 역시 손상되어 대대

표9. Summary of Shaft and Shaft-Related Failures

Plant	No. of Shafts	RBC System Startup Year	Broken Shafts	Bearing Failures	Media Support Failures	Corrective Action Taken
Cheboygan, Mich.	8	1978	3	0	0	Replaced 3 shafts
Cleves, Ohio ^a	6	1977	0	0	0	
Edgewater, N. J.	4	1973	0	1	0	Replaced bearing
Gladstone, Mich	6	1974	1	0	0	Welded in place
Gloucester, N. J.	4	1974	1	2	0	Replaced 2 bearings ; replaced 4 shafts
Hamilton Township, N. J.	48	1979	6	0	0	Replaced 1 shaft ^b
Hartford, Mich.	2	1978	0	0	0	
Ionia, Mich.	12	1978	12	0	0	Replaced 12 shafts
North Huntingdon, Pa.	4	1975	3	2	0	Replaced all 4 shafts ; replaced 2 bearings
Rhineland, Wisc.	10	1977	6	0	0	Replaced all 10 shafts ^c
Selden, N. Y.	12	1974	0	8	0	Replaced 8 bearings
Thermopolis, Wyo.	2	1978	0	0	0	Replaced 2 shafts ^d
Voorhees Township, N. J.	6	1976	3	0	0	Replaced 6 shafts
Wappingers Falls, N. Y.	2	1978	0	1	4	Replaced bearing ; replaced radial arms
Washington Township, N. J.	3	1974	0	0	3	Replaced radial arms
Winchester, Ky.	24	1977 ^e	6 ^f	2	0	Replaced 2 bearings

a Air driven RBC units.

b One shaft replaced as of August 1984. Replacement of the 5 remaining broken shafts is underway with completion projected by November 1984.

c All 10 shafts replaced due to anticipated failure of the remaining 4 units.

d Anticipated failure based on performance of similar units elsewhere.

e Plant upgraded from 4 to 24 shafts in 1980.

f Replacment of broken shafts under litigation.

적인 수리가 요구된다. 폐수처리장의 Layout에 따라 회전원판장치를 둘러싸고 있는 구조물마저 해체하여야 하므로 보수에 많은 시간이 걸리게 된다. 회전원판장치의 수명이 20년 동안 계속하여 회전하므로 이에 상응하는 설계제작이 이루어져야 한다. 1.6 R.P.M으로 회전할 때 20년 동안 회전수는 $R=20 \times 365 \times 24 \times 60 / 1.6 = 0.7 \times 10^7$ 이 된다. 산업기계에서 이 정도의 수명을 유지해야 된다는 것은 당연한 수명이다. 이 정도의 신뢰도를 유지할 수 있는 설계가 요망된다.

Shaft 파괴의 요인으로는 ①System설계 또는 운전 잘못으로 인한 shaft에의 과부하, ②

피로강도에 의한 파괴, ③Shaft의 부식에서 오는 피로강도의 저하, ④금속조직의 불안정, ⑤각 요소의 응력집중현상 등 여러가지 요인의 복합된 상태라 하겠다.

(2) Media의 파손

조사한 것 중 16개의 회전원판장치의 Media가 파손된 것으로 보고되었다. 이 불량요인 역시 Shaft의 요인과 같은 원인이다.

(3) 기타 파손

Chain이나 Belt의 파손 Sprocket나 Chain의 조기마모, Bearing의 파손 등이 6개로 5%로 나타나고 있다. 기계조립의 미숙, 불량 열처리 가공의 부정확성 조립의 부정확이 문

제되고 있다. 기계요소 하나하나의 정확한 선정과 취급 및 처리방법을 확실히 아는 것이 무엇보다 중요하다.

(4) 대책

선진국의 회전원판 제조업체는 전문화되어 있고, 이제는 기계적인 문제점을 규명하여 신뢰도가 20년이상 되는 회전원판장치를 사용자에게 공급하고 있다. 회전원판장치는 산업기계이다. 산업기계의 수명이 20년(회전원판법에서 수명을 회전수로 환산할 때 0.7×10^7 회로 계산되었다)되는 것은 특수한 것이 아니고 일반적인 기계 수명에 속하는 것이다. 산업용 기계는 설계 제작 사용이 민생용과는 달리 해야하며 기계가 20년이상 내구성을 갖기 위하여서는 산업기계로서 설계와 소재의 정확한 선정, 정확한 가공, 정확한 처리와 기계조립 및 설치부터 시작하여 소소한 문제라고 생각할지는 모르나 정확한 도장, Bolt, Nut, Pin 등의 정확한 선택과 사용 등 모든 면에서 확실하게 제작됨으로써 20년의 내구성을 갖는 회전원판장치의 품질을 만들어 낼 수 있을 것이다.

5.3 경제성

오폐수의 시설이 과거에는 토목공사 위주에서 기능인력에 의지하여 운영되었으나 점차로 기계화되어 단순운전으로 변해가고 있다. 이와 같은 경향은 초기 투자는 증가하나 Operating cost는 감소되는 것이 일반 경향이다.

외국(미국)의 자료에 의하면 활성오니법과 회전원판법의 초기 투자를 비교할 때 도시 종말 처리장의 경우 회전원판법이 8% 높지만 Operating cost는 60%선으로 된다고 한다. 실제로 한국의 모 피혁회사의 경우 집행결과를 보면 초기투자가 20% 정도 높고 Operating cost가 60% 정도가 되었다. 이 때 초기투자의 차액(20%분)을 Operating cost로 cover 할 때 당해년도에 회수 가능했다. 물론 회전원판장치가 고장을 일으키면 상황은 틀려질 것이나 위의 회전원판장치는 산업기계의 품질로서 충분한 기계 신뢰도를 갖는 장치로 보고 있다. 허나 기존활성오니법을 회전원판법으로

제조할 경우 개조비의 회수기간이 2~6년 정도가 되어 6년의 경우는 투자 효과가 적은 것으로 나타나 있다. 회전원판의 사용 수량이 증가하여 연속생산이 가능하게 되고 생산활동을 합리화시켜 나가므로서 Cost Down의 여지가 많은 것으로 보여진다. 그러므로서 개조 역시 회수기간이 3년이내로 될 수 있을 것이다.

5.4 요약

회전원판법의 문제점이 기계의 신뢰도와 경제성(초기투자비)에 있다고 하나 이미 이것은 문제시 되고 있지 않다고 본다. 실제로 더 큰 문제는 처리수질 특성에 대한 확실한 data가 없으면서도 Pilot Testing까지 생략한 성급한 폐수처리장의 설계와 품질을 도외시한 값싼 기계의 선정 및 시공에 문제점이 있다고 본다.

6. 결론

회전원판법이 상품화되어 실현화된지 20여년이 지나는 동안 많은 선진국에서 720,000 m³/d 규모의 도시종말처리장에서부터 소마을의 생활폐수에까지 보급됨은 물론 산업폐수의 신규건설에서부터 기존처리장의 개선에까지 그 이용 범위가 확대되어 가고 있다. 이웃나라인 일본에서는 상수도원에 설치하여 화공약품을 절약시키는 것은 물론 농업용수를 사전 처리하여 처리된 용수를 공급하므로써 농업 생산성을 올리고 있다.

폐수처리장의 건설에 있어 ①처리장의 수질보증과 ②폐수의 수량 및 농도변화에 대한 수질의 안정성, ③초기투자비 및 운전관리비, ④이차공해문제, ⑤소요자원의 소모량, ⑥소요면적, ⑦기타 전문 운전요원의 확보 등 이러한 것에 대한 복합적인 종합평가하에 처리장의 System이 결정되어질 것이다.

또한 산업의 고도화에 따라 유지관리가 용이하고, 그러므로서 쉽게 자동화될 수 있는 처리 System이 요구되고 있다.

자원 역시 한정된 자원을 효과적으로 이용하기 위하여 전기 화공약품 및 기타 자원소모

가 적은 저소모형과 저에너지형의 폐수처리 시스템의 채택과 한정된 토지위에 소형장비 및 설치면적의 최소화가 절실히 요구되고 있다.

국민생활 수준의 향상에 따른 쾌적한 환경

조건 즉 2차공해가 야기되지 않는 처리장이 건설되어야겠다.

이와 같은 요구조건에 적합한 회전원판장치가 각 분야에 널리 보급되기를 기대한다.