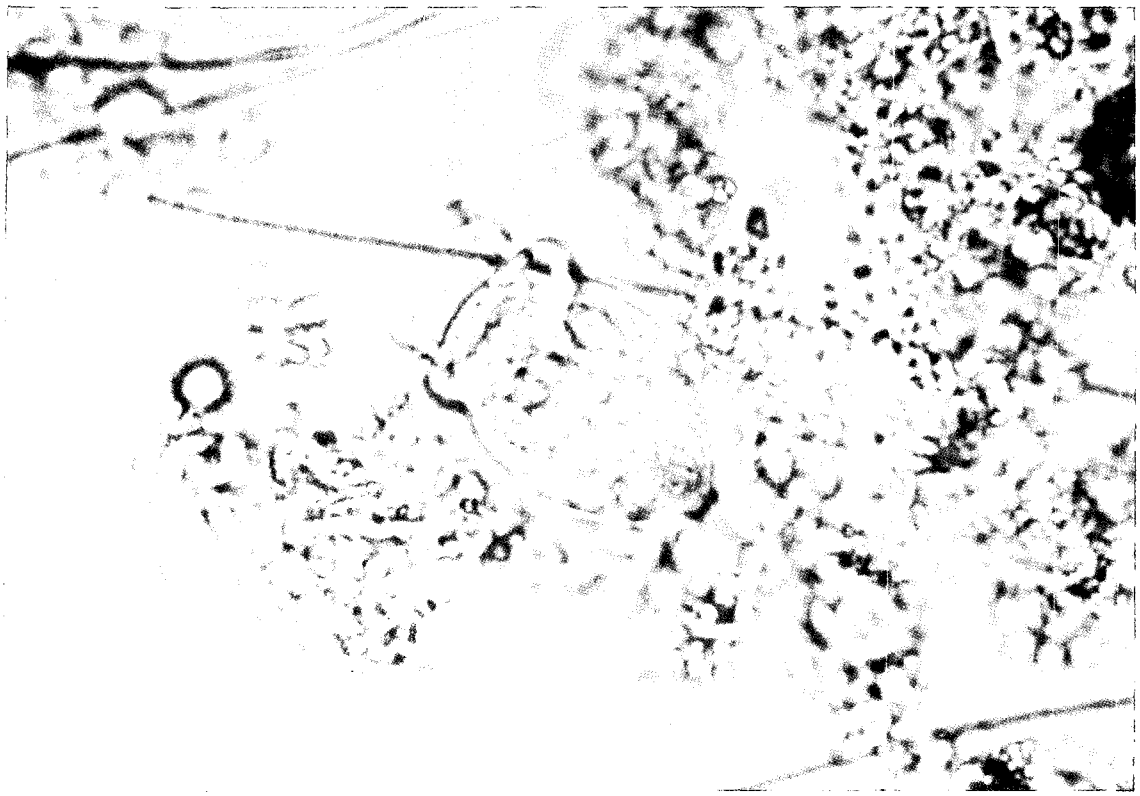


환경리포트

경제적인 고도폐수처리

이상은/ 한국건설기술연구원 연구위원

Ⅵ. 생물학적 인 제거방법

'70년대 이후 폐수처리가 본격화 되면서 BOD, COD로 표시되는 유기오염물질, 중금속류를 포함하는 유해물질의 제거가 많은 관심을 끌어왔으며 따라서 대부분의 처리시설들이 이들 오염물질들을 보다 경제적이면서도 효율적으로 제거하는데에 목적을 두고 있다.

그러나 부족한 우리나라의 수자원 사정을 감안하고 호소수에 대한 의존도가 매우 높을 수 밖에 없음을 고려하면 호소수의 부영양화을 방지하는 것이 수질보전 차원에서 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

따라서 우리나라에서도 부영양화을 촉진시키는

영양물질 특히 질소와 인의 규제에 대한 필요성이 절실해져 호소수의 수질기준에 질소와 인이 추가되었으며 '96년 부터는 폐수처리시설이나 하수처리장의 처리수 기준에도 질소와 인이 추가되어 적용될 예정이다.

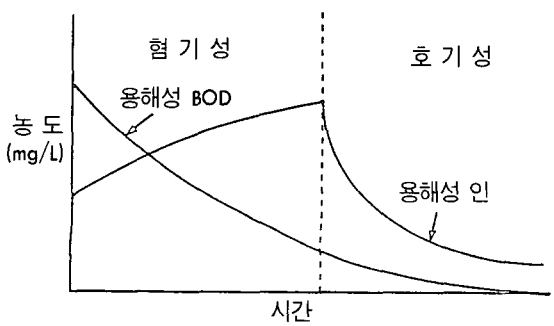
현재로서는 총질소와 총인의 처리수기준이 각각 60mg/L와 8mg/L로서 외국의 기준들에 비해 엄격한 편이 아니지만 우리나라 호소수와 폐쇄해역의 수질상태로 보아서는 현재 생각하고 있는 처리수기준이 지역에 따라서 훨씬 강화될 가능성이 높다.

따라서 앞으로 거의 모든 폐(하)수처리시설들이 필요한 경우 질소와 인의 제거기능을 갖춰야 할 것이며 특히 우리나라 호소수의 특성으로 보아 인의 제거는 더욱 중요한 것으로 판단되며 이를 위해 보다 경제적인 인 제거 방안의 적용이 필요하다.

인의 제거를 위해서는 그동안 주요 화학약품의 투입에 의한 고도처리가 사용되어 왔으나 최근 미생물의 인제거기능을 최대한으로 이용하는 경제적인 인제거방법이 개발되었고 또 그 사용이 확대되고 있어 생물학적 인 제거방법들을 소개하고자 한다.

생물학적 처리공정에서 활동하는 미생물의 일반적인 인 함량은 건조무게로 해서 1.0~2.0%정도인데 이와같은 함량을 유지할 수 있는 양만큼의 인을 제거하는 능력을 미생물이 갖고 있다.

그런데 1955년 미생물들이 정상적인 인 요구량보다 훨씬 많은 양의 인을 섭취할 수 있는 능력이 있다는 사실을 최초로 관찰한 이후에 많은 실험실증을 거쳐 '65년에 Levin과 Shapiro가 이 현상을 Lurury Uptake라고 명명하였으며 이 현상이 생물학적 인 제거방법을 개발하는데에 중요한 역할을 하고 있다.



〈그림 1〉 혐기, 호기상태에서 생물학적 인 및 BOD제거

근본적으로 생물학적 인제거는 기존에 사용되고 있는 활성슬러지방법등의 생물학적 처리공정에서 혐기성상태와 호기성상태가 교과하도록 함으로서 혐기성상태에서 인의 세포로부터 방출되고 인이 부족한 상태의 미생물이 호기성 조건에서 인과 접촉하면서 BOD제거와 함께 인의 과잉섭취가 진행되는 것으로 구성된다.

그림-1은 앞에 설명한 인의 방출과 과잉섭취를 나타낸 것으로 미생물혼합 반응조의 앞부분을 혐기성으로 하고 뒷부분을 호기성 상태로 유지 함으로서 인의 제거가 가능하게 되는 것을 알 수 있으며 전체 시스템으로부터 인이 제거 되는 것은 인의 과잉섭취에 의해 인의 함량이 높아진 (~8%)미생물을 잉여슬러지로서 제거함으로서 이루어 지게 된다.

따라서 생물학적 인 제거방법에 의해 제거되는 인의 양은 식-1과 같이 표시할 수 있어 혐기성상태와 호기성상태가 교차하는 조건을 최적화하여 미생물의 인 함량을 높게 유지하는 것이 중요하게 된다.

$$\triangle P = Px \cdot Y \cdot \triangle BOD \qquad (1)$$

단, $\triangle P$ ≒ 인제거량(mg)

Px ≒ 잉여슬러지의 인 함유량(mg P/mg MLSS)

Y : Yield coefficient (gss/G △BOD)

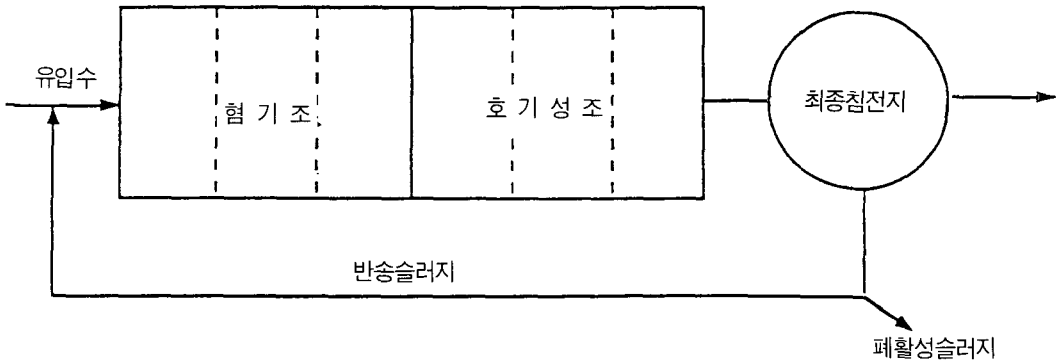
△BOD : BOD 제거량(mg)

이와같이 생물학적 인 제거방법이 결국 얼마나 많은 양의 잉여슬러지를 제거하느냐에 따라 인의 제거효율이 결정되기 때문에 제거효율이 불안정한 단점이 있다.

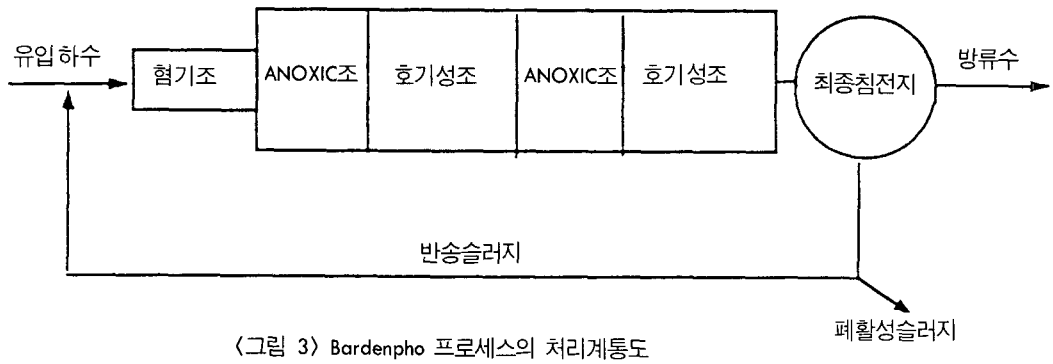
이와같은 단점을 보완하기 위해 혐기성상태에서 방출된 인을 화학침전에 의해 일단제거한 후 인이 부족한 미생물을 호기성상태의 폭기조로 반송하는 방법이 소개되었는데 이에 따라 잉여슬러지의 제거에만 의존하는 방법은 main stream process라 하고 위의 방법은 side stream process에 속한다.

Main stream process의 대표적인 예는 '70년대에 개발된 미국 Air Products 사의 A/O Process와 A^2/O Process을 들 수 있는데 A/O Process의 처리계통도를 그림-2에 나타내었다.

그림-2에 보여진 바와 같이 두가지 방법은 모



〈그림 2〉 A/O프로세스의 처리계통도



〈그림 3〉 Bardenpho 프로세스의 처리계통도

두 기존의 활성슬러지법을 약간 변형한 것을 알 수 있으며 특히 A/O Process는 Air Products사의 특허에도 불구하고 폭기조의 눈부분의 공기공급을 중단하고 교반만을 하여 혐기성상태로 변형함으로서 같은 효과를 얻을 수 있기 때문에 많이 사용되고 있다.

A^2/O는 질소의 제거를 목적으로 질산화가 진행될 경우 질산성질소가 혐기성 상태에서의 인 방출 기능을 저해하는 막기 위하고 또한 동시에 총질소 제거효율을 높이기 위해 A/O Process를 개량한 처리방법으로서 인 제거효율은 A/O Process와 비슷하다.

A/O와 A^2/O Process의 설계인자들은 표-1에 정리되어 있으며 혐기성조나 호기성조 모두 각각 몇개의 반응조를 직열연결하여 사용함으로서 슬러지 팽화현상의 제거효과를 얻고 있다.

Main stream Process의 다른 하나의 대표적인 예는 Barden Process로서 남아프리카공화국에서 개발된 처리방법이며 흐름도는 그림-3과 같다.

이 방법은 질소와 인의 동시제거를 목표로 개발된 방법인데 A/O나 A^2/O에 비해 복잡한 공정이나

〈표-1〉 A/O와 A^2/O의 설계인자

설 계 인 자	BOD, P제거	BOD,N,P제거
• 체류시간(시간)		
혐기성조	0.5~1.0	0.5~1.0
Anoxic조		0.5~1.0
Oxic조	1~3	3.5~6
• F/M비(kg BOD_5/kg MLSS · day)	0.2~0.6	0.15~0.25
• MLVSS(mg/ℓ)	2,000~4,000	3,000~5,000
• 산소 요구량(kg O_2/kg BOD_5)	1.0	1.2
• 슬러지 반송비(유입수량당, %)	10~30	20~50
• 반송 슬러지중 고형물 농도(%)	2~4	1.5~3.0
• 내부 반송비(%)		100~300
• DO(Oxic조), mg/ℓ	2.0	2.0
• 슬러지 폐기물(kg/kg BOD_5)	0.5~0.8	0.3~0.6
• 혐기성조의 교반동력(kw/100m^3)	10	10
• 온도(℃)	5~30	5~30

결국 혐기성상태에서 인을 방출시키는 기능을 최대로 발취하도록 하고 생물학적 질소제거를 위해 별도의 유기물을 투입하지 않기 위해 유입폐수의 유기물을 최대한으로 이용하고자 배열을 달리한 것으로 볼 수 있다.

〈표－2〉 Bardenpho 공정의 운전

단계	반 응	체류시간(시간)	
		20℃	10℃
Ⅰ	탈질·인방출	2	4
Ⅱ	질산화·BOD제거, 인의 과잉섭취	6	12
Ⅲ	탈 질	2	4
Ⅳ	재폭기	0.5	1

MLSS=3,000～4,500 mg/L
SRT=20～40 일

표－2는 Barden Process의 각 단계의 기능과 대표적인 체유시간을 정리한 것이나 이는 도시하수에 적용한 예이고 농도가 높은 산업폐수의 경우는 별도의 실험을 통해 설계인자가 결정되어야 한다.

A/O 나 Bardenpho로 대표되는 Main stream Process는 기존 활성슬러지법의 폭기조를 변형하여 비교적 간단하게 인의 제거효과를 높일 수 있는 방법이나 앞서 언급한 바와 같이 처리효율이 불안정하며 처리수의 총인 농도를 1mg/L 이하로 유지시키기 위해서는 처리수를 여과하는 추가사실이 필요한 것이 보통이다.

Side Stream Process의 대표적인 예는 Phostrip Process로서 인의 Luxury uptake 기능을 명명한 Levin에 의해 '65년에 기본개념이 개발된 방법이나 운전이 상대적으로 복잡하고 인에 대한 규제가 별로 까다롭지 않았던 탓으로 많이 활용되지 못했으나 최근 인에 대한 규제가 강화됨에 따라 다시 주목을 끌고 있다.

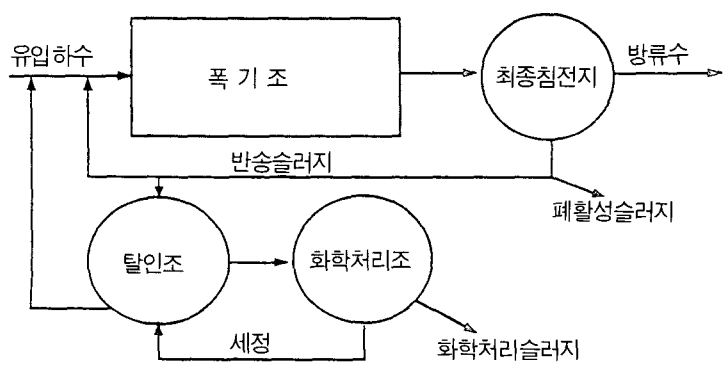
그림－4는 Phostrip Process의 기본흐름도이며 반송슬러지를 분리시켜 일부는 직접 폭기조로 반송되고 일부는 탈인조를 거쳐 혐기성상태에서 인을 방출시킨 후 인이 부족한 슬러지만을 폭기조로 반송시키는 것을 알 수 있다.

탈인조는 중력농축조의 형태이며 방출된 인을 다량 함유한 상등액은 분리되어 별도의 화학침전에 의해 제거되는데 인이 농축된 상태이기 때문에 보통 화학침전처리 방법에 비해 화학약품의 소요량이 훨씬 줄어든다.

인을 방출하여 인이 부족한 슬러지는 폭기조로 반송되어 역시 인을 과잉섭취하게 되며 인을 정상적인 경우보다 많이 함유한 슬러지를 잉여슬러지로 제거함으로서 인이 추가로 제거되는 것은 Main Stream Process와 같으나 인의 제거와 두가지 기능에 의해 이루어지기 때문에 안정적이면서도 훨씬 높은 처리효율을 유지할 수가 있다.

표－3은 Phostrip Process의 전형적인 설계조건을 정리한 것인데 유입수의 특성등을 고려하여 최적설계조건을 결정해야 한다. 화학침전을 위해서는 Lime을 사용하는 것이 일반적이나 Alum을 사용하면서 반송슬러지의 양을 조절하는 것도 가능하다.

Phostrip Process에서 질산화가 진행된 경우 반송슬러지에 함유된 질산성질소가 탈인조에서의 인방출을 방해하게 되는데 이를 해결하기 위한 방법으로 phostrip Ⅱ Process와 국내에서 개발된 P/L Process가 있다.



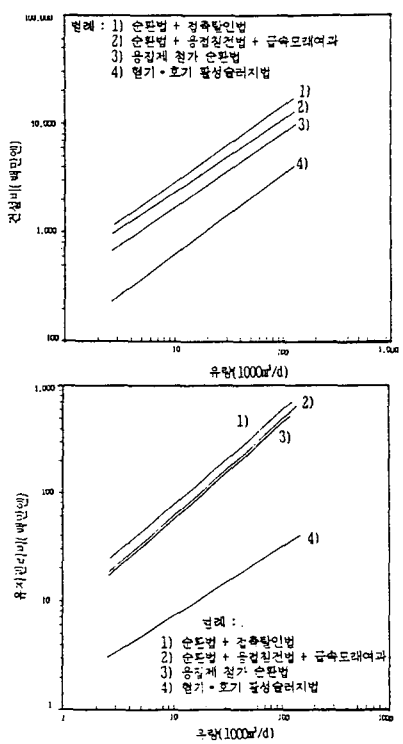
〈그림 4〉 Phostrip 프로세스의 처리계통도

〈표－3〉 phostrip process 운전조건

구 분	내 용
• 설계인자	
탈인조 반송슬러지비	유입수의 20－30%
탈인조 SRT	8－12 h
탈인조 깊이	6.1m
탈인조내 슬러지층 깊이	4.6m
선쟁수량	탈인조 유입량의 50～100%
탈인조의 반송슬러지비	유입수의 10－20%
탈인조 수면적부하	49m³/m² · d
탈인조 ph	9
Lime 주입량	100－300mg/ℓ

생물학적 인제거 방법은 실제규모의 처리장에 적용된 예가 많아 상당한 운전자료가 축적되어 있으며 산업폐수에 적용하기 위해서는 폐수의 BOD/P 비율이 매우 중요한 인자가 된다.

혐기/호기 상태에서의 인의 방출과 인의 과잉섭취가 BOD제거와 밀접한 관계 있기 때문에 일반적으로 BOD_5/TP의 비가 20 이상인 경우에 생물학적 인제거 방법의 적용이 가능한 것으로 알려져 있으



〈그림－5〉 인제거 방법들의 경제성비교(일본의경우)

며 Phostrip Process의 경우는 이 비율이 10정돈되는 폐수에도 성공적으로 적용된 예가 있다.

생물학적 인제거방법의 경제성분석은 하수처리장을 대상으로 하여 시행된 예가 미국과 일본에서 정리되었는데 그림－5는 일본의 예로서 혐기/호기 상태를 이용한 생물학적 인 제거방법을 다른 방법들과 비교한 결과로서 생물학적 인제거방법의 경제성이 뛰어난 것을 알 수 있다.

미국의 EPA에서 I/A Program의 일환으로 앞서 소개한 세가지 방법들을 기존의 화학처리방법과 비교한 결과 역시 생물학적 처리방법의 경제성을 입증하였으며 세종류의 생물학적 방법중에서는 처리수의 총인 농도가 1mg/L 이하로 규제되는 경우는 phostrip process가, 경제적이고 기준이 덜 까다로운 경우는 A/O Process가 경제적인 것으로 나타났다. Bardenpho Process가 유리한 경우는 질소의 제거가 필요한 경우로서 처리수의 총질소 농도를 2mg/L 이하로 유지해야하는 지역에서 경제성이 있는 것으로 나타났는데 이 정도로 까다로운 지역은 많지 않을 것으로 판단된다.

우리나라의 자연조건이나 수자원사정을 고려할 때 폐수나 하수로부터 인을 제거하는 것은 매우 중요한 사실이나 그동안 이에 대한 관심이 적었고 또한 규제를 시작하려는 현재도 질소나 인등의 영양물질에 의한 문제점이 과소평가 되고 있는 것 같다.

앞으로 인의 제거 필요성은 더욱 절실해질 것으로 판단되며 주로 하수처리장에 적용할 목적으로 개발된 생물학적 처리방법들이 폐수의 성상에 따라 폐수로부터의 인 제거에도 경제적으로 적용될 수 있는 가능성이 많다.

이러한 관점에서 외국에서 하수처리장과 일부 산업폐수처리시설에 적용되어 자료가 축적되어 있는 것을 활용하여 우리나라의 폐(하)수 처리시설의 개량 및 신설에 생물학적 인 제거방법의 적용을 신중히 검토해 볼 필요가 있다고 본다. 여기에 소개된 생물학적 인 제거방법의 기본개념을 이용하여 3가지 대표적인 처리방법외에 유입폐수의 특성에 따라 각각 이용할 수 있는 여러종류의 처리방법이 개발되어 있어 처리하고자 하는 폐수의 성상이나 처리수의 수질기준을 고려하여 적합한 처리방법의 선택이 가능할 것이다.

지구환경감시망 설치운영

내년 3월부터 오존층 파괴물질인 CFC(염소불화탄소)의 농도를 측정하는 「지구환경감시망」과 황사현상등 오염물질의 이동상태를 점검하는 「대기오염물질이동감시망」이 설치, 운영된다.

12월 24일 환경처는 「대기측정망 기본계획」을 개정하여 현재 산성비, 대기질, 자동차배출가스, 점오염원, 기타측정망등 5종으로 돼있는 대기측정망에 지구환경감시망, 대기오염물질이동감시망을 추가, 운영키로 했다고 밝혔다.

지구환경감시망과 대기오염물질이동감시망은 서산 백령도 울릉도 제주도 설악산중 3~4곳에 각각 설치된다.

연료용 유류 황함유 규제 강화

오는 93년 7월부터 경유·벙커C유등 연료용 유류의 황함유 기준이 지금보다 최고 2배이상 강화된다.

12월 14일 환경처가 개정 고시한 「연료사용 규

SPRING MIGRATION FESTIVAL 92
봄철새 탐조 페스티벌

□ 기간 : 1992년 3월 20일~3월 30일(11일간)
□ 장소 : EILAT시(이스라엘)
□ 주최 : International Birdwatching Center (국제탐조센터)
□ 내용 : • EILAT는 아프리카·아시아·유럽등에 인접해 있는 요충지이며 세계에서 가장 활발한 철새들의 이동중심지
• 3번째를 맞이하는 철새들에 관한 세계 여러 학자로부터의 폭넓은 화제에 대해서 강론
-주말프로그램 (1992년 2월 15일~5월 15일 ; 1992.3.20~3.30일은 제외)
• 철새 관찰을 위한 도보여행
• 사막의 철새 관찰
• Ringing 역 방문
• 철새 관찰 회의
• IBCE 정보센타 활용
□ 후원 : • Eilat 호텔협회
• Eilat시 당국
• 이스라엘 자연보호 협회
• EI-AI 이스라엘 항공
• Avis 렌트카 회사
• Eilat 여행자 협회
□ 연락처 : TEL 059-74276(Eilat시. 이스라엘)

HYDROTOP '92
「도시와 물」이라는 주제의 국제회의 및 전시회

□ 기간 : 1992.4.7~4.10(4일간)

□ 장소 : 마르세유시(프랑스)

□ 내용 : • 국제적인 토론회
-'도시와 물'이라는 주제아래 도시의 측면에서 전반적인 수질관리와 분류·취급등에 대한 토론회.
• 전시회
-여러단체의 대표들에 대한 기술적·경제적·재정적·법규적인 문제에 관한 전반적인 해답을 얻을수 있는곳.
◦ 기술포럼
-전시회 동안에 여러가지 기술적 문제에 관련된 토론과 정보의 장

후원 : 유럽공동체 위원회 의장
-국무총리
-건설부, 고통부, 환경처 장관
-수질오염 연구협회

□ 연락처 : TEL (33)91 76 1600, (33)91 22 72 (마르세유·프랑스)
FAX : (33)91 22 1645, (33)91 2271

제고시」에 따르면 벙커C유의 경우 황함유 기준이 서울·인천등 수도권 지역 20개 시·군에서 현행 1.6% 이하에서 1.0%이하로 낮춰진다.

또 경유의 황함유 기준도 현재의 0.4% 이하에서 0.2%이하로 강화되어 서울 등 34개 시·군에 공급 사용토록 하였다.

환경처는 또한 동자부가 지역난방공급지역으로 확정한 지역내에 위치한 아파트 및 업무용빌딩에서 지역난방을 원할경우 LNG 또는 지역난방열을 선택, 사용하되 지역난방열공급시까지는 벙커C유 대신 경유만을 사용토록해 환경개선과 에너지절약정

저황유 공급 및 사용지역

대 상 지 역	황함유율	시행시기
• 서울특별시, 부산, 인천, 대구, 광주, 대전직할시 • 경기도 : 수원시, 부천시, 과천시, 성남시, 광명시, 안양시, 의왕시, 의정부시, 안산시, 군포시, 시흥시, 구리시, 미금시, 하남시, 고양군, 남양주군, 광주군, 김포군 • 전남 : 여천시, 여천군 • 경북 : 포항시, 구미시 • 경남 : 울산시, 울산군, 김해시, 김해군, 양산군, 창원시	• B-C유 : 6%이하 • 경 유 : 0.4%이하	1991.4.11 부터
• 서울특별시, 인천직할시 • 경기도 : 수원시, 부천시, 과천시, 성남시, 광명시, 안양시, 의정부시, 안산시, 의왕시, 군포시, 시흥시, 구리시, 미금시, 하남시, 고양군, 남양주군, 광주군, 김포군	• B-C유 : 0%이하	1993.7.1 부터
• 서울특별시, 부산, 인천, 대구, 광주, 대전직할시 • 경기도 : 수원시, 부천시, 과천시, 성남시, 광명시, 안양시, 의왕시, 의정부시, 안산시, 군포시, 시흥시, 구리시, 미금시, 하남시, 고양군, 남양주군, 광주군, 김포군 • 전남 : 여천시, 여천군 • 경북 : 포항시, 구미시 • 경남 : 울산시, 울산군, 김해시, 김해군, 양산군, 창원시	• 경 유 : 0.2%이하	1993.7.1 부터

Waste Expo '92

북미지역에서 매년 개최되는 폐기물산업 관련 회의 및 전시회

□ 일시 : 1992.5.5~5.8 (4일간)

□ 장소 : 미국 루지애나루, 뉴올리안즈 (Convention Center)

□ 주요내용

⊙ 전시회

- 면적 : 18,580m²
- 참가품목 : 폐기물처리용 장비, 운송장비, 재생기기 및 시스템 컴퓨터 장비, 엔지니어링 및 건설, 안전장비, 도로청소용기기, 쓰레기통, 매립관련품.
- 주최 : 미상무성
- 후원 미 고형폐기물 관리협회

⊙ 회 의

- 내용 : 재생관리, 유해폐기업, 안전규정, 매립관리기술, 연소·폐기물에너지 전환기술 등 30개 이상
- 참가대상 : 민간폐기업 수집 처리업자, 재생업자, 행정기관, 폐기물관리기기업체, 금융업체 유해폐기물관리자, 안전관리자.
- 주최 : 미고형폐기물관리협회

□ 연락처 : 국내-미 대사관 상무관실 김명애
Tel : 732-2601
미국-National Solid Wastes Management Association(NSWMA)
Tel : 202/659-4613
Fax : 202/296-7915

책이 조화를 이루도록 했다. (46면 참조)

[illegible]

수도권 상수원인 팔당 특별대책지역내 오수·축산폐수등을 농장, 골프장, 스키장 등이 환경기준치를 초과해 버리는등 각종 환경기준을 위반해 무더기로 적발되었다.

환경처는 지난 28일 8월부터 11월까지 3개월동안 경기도 광주군등 7개군과 합동으로 팔당호 특별대책지역내의 오수·축산폐수배출업소 3백 98개소에 대한 지도점검을 실시한 결과 70개소의 위반업소를 적발하여 조업정지 및 개선명령등의 행정처분을 내렸다고 밝혔다.

위반업소 가운데 오수배출업소의 경우 대한체육과학대와 축령복음병원등 8개소는 방류수 수질기준을 위반하여 과태료부과 및 개선명령을 받았고 양주골프장, 레이크 사이드 골프장등 6개소는 기술관리인을 선임치 않아 시정지시를 받았다.

축산배출업소의 경우 배출허용기준을 위반한 새능농장등 5개소에 대해서는 배출부과금부과 및 개선명령을, 방류수 수질기준을 넘은 호암농장등 6개소에 대해서는 과태료부과와 개선명령을 각각 내렸다.

한편 환경처는 이번 지도점검을 실시하면서 간이오수정화조 설치대상인 특별대책지역내 관광숙박업소 및 식품조리 판매업소중 오수정화시설 미설치 업소에 대한 현황을 파악, '92년 4월 말까지 2,563개 업소에 간이오수정화조를 설치토록 할 계획이다.

[illegible]

본 협회는 지난 12월 23일 오후 1시부터 5시까지 상공회의소 국제회의실에서 「폐기물관리법 및 오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률 해설 세미나」를 개최하였다.

환경인들의 많은 관심속에 시행되는 「폐기물 관리법 해설」은 김성택 사무관(환경처 폐기물제도과)이, 「오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률

해설」은 백규석 사무관(환경처 오수관리과)이 각각 강사로 초빙되어 담당하였다.

한편 업체의 환경담당자 230여명이 참석한 이번 해설 세미나에는 상기2종의 법령집이 발간되어 배포되었다.

[illegible]

본협회는 지난 12월 3일 상공회의소 상의클럽에서 '91년도 제2차 이사회를 열고 '91년도 회비 책정 및 추가경정예산, '92년도 사업계획 및 예산 등을 심의·의결 하였다.

또한 10일에는 임시총회를 개최하여 '91년 사업실적 및 환경마크 사업을 보고하고 '91년도 추가경정예산 및 '92년도 사업계획 및 예산을 의결하였다.

한편 이날 임시총회후에는 권이혁 환경처장관 초청 오찬 간담회를 마련하였다.