

실무자를 위한 용·폐수처리 기술

<12>



全炳俊

《株》한수 기획부

Ⅷ. 오염물의 분리기술

1. 분리기술의 개요

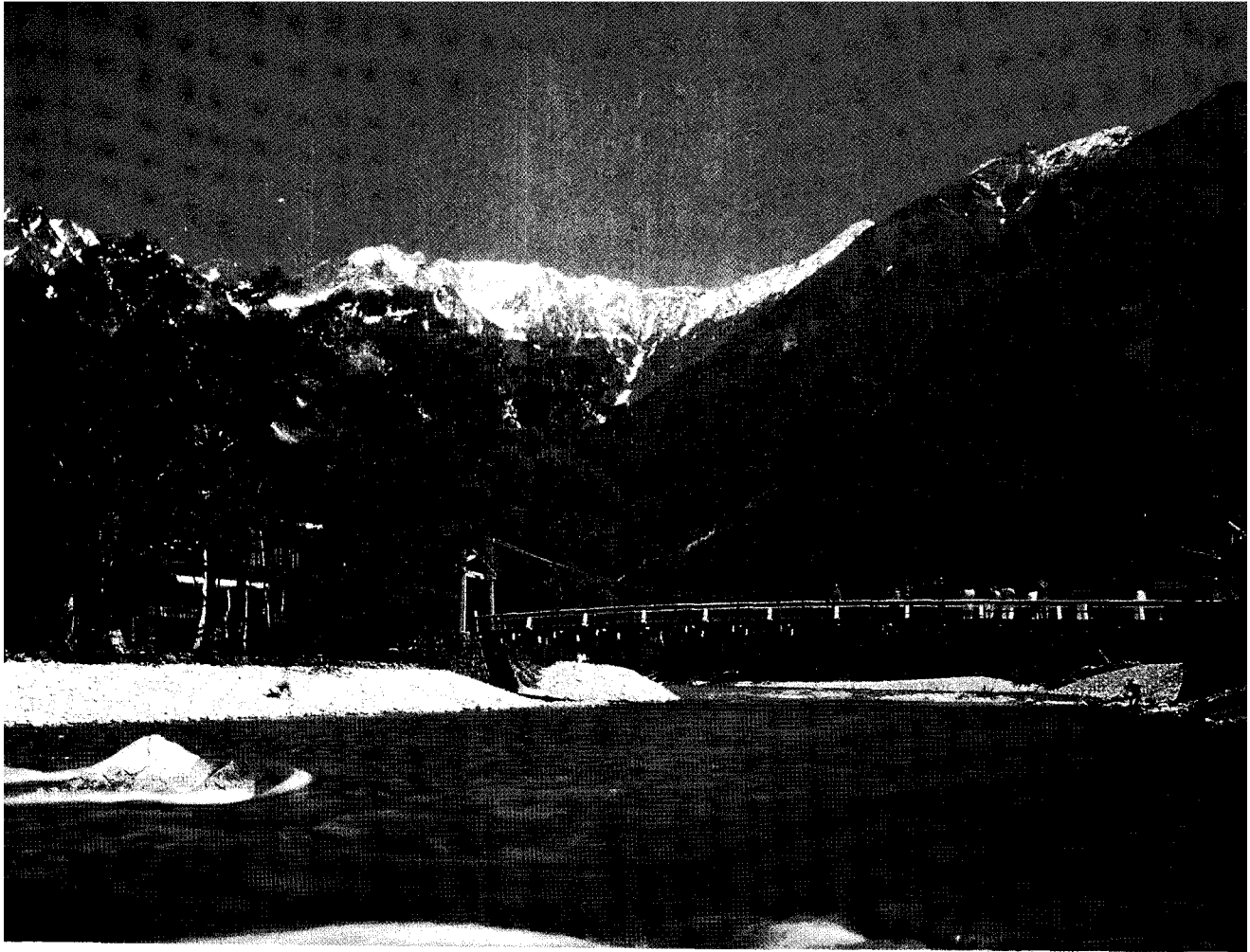
용·폐수처리에 있어 오염물의 분리는 가장 궁극적인 처리 목적에 해당되며 이를 위해서는 오염물질의 물리·화학적 특성들을 이용하여 이들 특성에 적합한 처리방법이 채택되게 된다. 용·폐수 처리방법중 가장 일반적인 방법인 응집처리나 활성오니처리법에 대해서는 전술한 바와 같으나 기타의 특수한 방법들은 표 8-1과 같이 분류될 수 있으며, 이들은 각각 다음과 같은 특징을 갖는다.

표 8-1 분리기술의 종류

방 법	특 징	주 용 도
흡수·흡착	• 활성탄과 같은 다공성 여재를 사용	용제성분 제거
원심분리	• Centrifuge에 의한 원심력 이용	고밀도 물질의 분리추출
응결·응집	• 응집제에 의한 입자경 증가로 분리촉진	일반산업 폐수처리
응축 (Condensation)	• 증기의 응축에 의한 순수제조	알콜정제
투석 (Dialysis)	• 반투막에 의한 농축분리	해수(海水)의 정제
전기영동	• 이온성 물질의 분리	염소제조공정, DNA 분리 등
여과 (Filtration)	• 현탁성 조대입자의 제거	모래여과기(Sand filter)
침전·부상처리	• 가장 일반적인 현탁입자의 제거방법	산업폐수처리, 오니폐수처리 등
중력침강 (Gravity settling)	• 밀도가 큰 물질의 제거	광석의 침전처리
이온교환 (Ion Exchange)	• 이온교환체에 의한 이온성 물질의 흡착제거	순수제조 연수제조
막투과 분리 (Membrane Permeation)	• 순수 성분의 물리적 강제분리, 대용량 처리가능, 초기 투자비가 큰 문제	순수제조 해수정제

이들 처리 방법들은 수중에 존재하는 각종 오염물 성분들의 물리·화학적 특성에 따른 것이다.

오염물들은 크게 부유성 물질(Suspended Solid)과 용해성 물질(Soluble Material)로 분류될 수 있으며 부유성 물질은 적절한 여과제에 의하여 제거될 수 있다는 기초적 사실이 응용, 발전되어 공업적으로 적용되



自然, 人間, 그리고 和成

新 生活樂園의 創造 - 화성의 기업이념입니다.

푸른산, 맑은하늘, 깨끗한 물,
우리의 소중한 자산입니다.
우리는 신생활낙원 창조를
기업이념으로
지금 이시간에도 끊임없이
연구, 실천하고 있습니다.
和成은 풍요로운 미래 생활환경 창조에
여러분의 견실한 동반자가 되겠습니다.

수질분야

- 순수처리시설, 용수처리시설
- 폐수처리시설, 상·하수도 처리시설
- 오수·축산·분뇨처리시설

대기분야

- 전기집진시설, 중력·여과집진시설
- 세정집진시설, 유해가스처리시설

폐기물분야

- 도시쓰레기소각시설, 산업폐기물소각시설
- 병원·학교 폐기물소각시설

기타분야

- 소음·진동방지 시설



화성산업

본 사 : 대구시 중구 덕산동 53-3 (우) 700-717
 전화 : (053) 255-5165 FAX : 254-1039
 서울사무소 : 서울 중구 장교동 1 뽕명당17층 (우) 100-220
 전화 : (02) 774-5111, FAX : 776-2781

화보 · 백두산의 야생
* 사진 · 박창근 제공 *

백두산아, 말해다오 이 민족이 함께 살 그날이 오려는지..

—백두산의 山勢 2—

진정코!
백두산 없이
우리가 어찌 우리이겠는가
백두산 없이
우리가 어찌 우리로서
여기까지
험하다 험한 여기까지 살아왔겠는가
.....

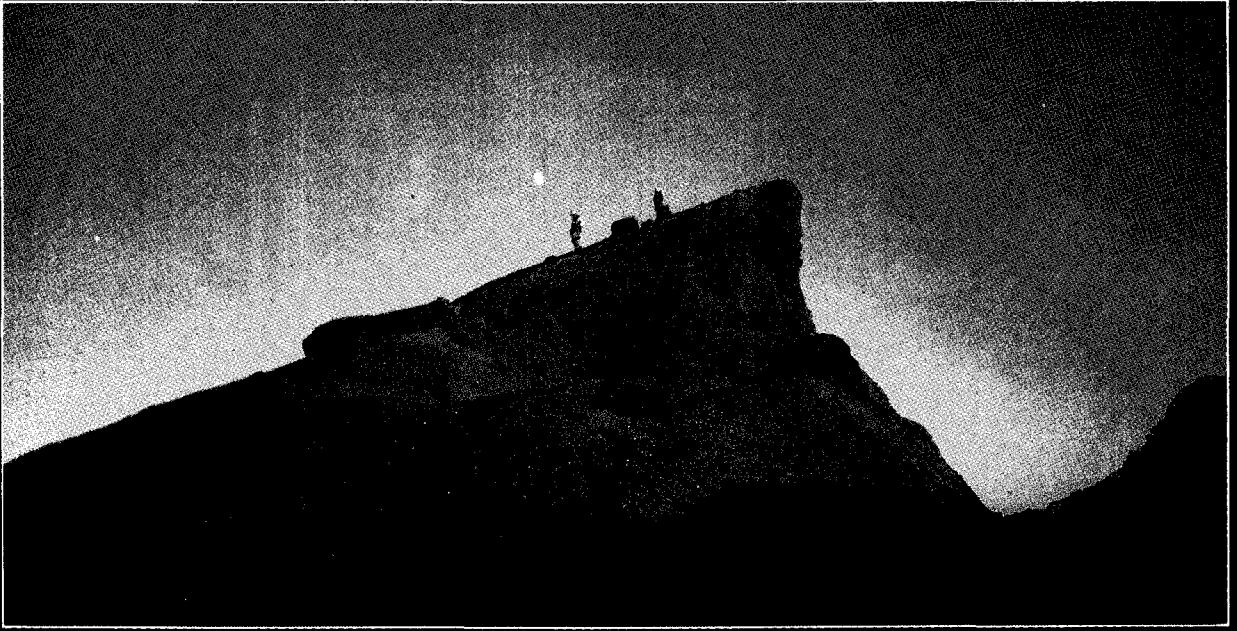
위의 시는 민족의 시인인 고은(高銀) 선생님의 시다. 아니 시라기 보다 백두산에 대한 사랑과 혼을 절규한 민족의 함성이다.

백두산은 웅장하고, 단아하며, 기품이 있다. 그 산세(山勢)가 그러하며, 그 토양이 그러하며, 그 내음이 그렇다.

그래서 2회에 걸쳐, 여러 각도에서 바라 본 백두산의 산세를 소개했다. 애써, 너절하게 사진 설명은 달지 않으려고 한다. 다만 고은 선생님의 시를 곁들여 보고, 느끼도록 하는 것이 백두산에 대한 최소한의 경의라고 생각한다.



◀ 천지 위 봉우리와 봉우리 사이
성난 바람과 바람 사이
검은 바람칼바람 처 휘감아 도는
흑풍구
천지 안 구름 가득해도
여기만은 삼엄히 칼바람쳐
어느 옷자락도 찢어버리고 말 힘이여.....
.....



▲ 승차하 달문 가에 긴 바늘바위 누워 있네
 돌바늘 누워 있네
 옛날이라 홍수저
 백두산도
 백두산 아래 숲도 마을도 다 물에 잠겼는데 ↗

하늘의 여와 할머니
 그 할머니 어린 손녀 내려와
 천지 물가 죽어가는 아이 살려내고……
 ……………



▲ 천지 저 위 아슬아슬하여라
 막 굴러내릴 듯한 바위
 천마암
 그러나 옛날 옛적 하늘로 가는 백마가
 여기 쉬었다가 ↗

쿠르르 날아간 천마암
 그 언제까지나
 그 언제까지나……
 ……………

水 BOD

이젠 즉시 알수 있습니다.



● 모델명
BOD9300

국내최초 10분대 BOD Meter 개발

유공의 신기술로 개발된

BOD Meter로 신속, 정확하게
측정해 보세요.

Q-BOD Meter는 현장에서 배출되는 폐수를 신속, 정확하게 측정 할수 있어 폐수처리공정의 정상운전에 획기적으로 기여함은 물론, 폐수의 법적규제에 대하여 신속하게 대응 할수 있는 첨단BOD Meter입니다.

Q-BOD Meter의 용도

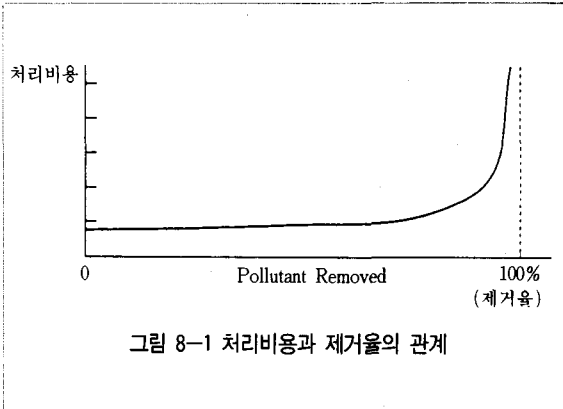
- 폐수처리장의 유입수 및 배출수의 BOD 측정
- 하천, 호소의 BOD 측정
- 기타 유기물시료의 BOD 측정
- 용수의 BOD 측정

Q-BOD Meter의 특징

- BOD를 10분대에 측정
기존의 BOD₅의 5일의 측정 시간을 10분으로 단축시켜 드립니다.
- BOD를 가장 정확하게 측정
현장폐수에 적용된 폭기조 미생물이나 제공되는 표준 미생물을 이용하여 BOD를 가장 정확하게 측정합니다. (BOD₅ 외의 관련 Factor 적용)
- 오염도를 현장에서 쉽게 측정
몇개의 보던 조작만으로 측정을 자동으로 수행하며 20°C 라는 특정온도를 유지할 필요가 없습니다.
- 정확한 재현성
언제, 어디서, 누가 측정하든지 매우 적은 오차범위 (± 10% 이내)로 재현성있는 측정결과를 보여드립니다.

고 있다.

특히 물속에 존재하는 각종 오염물들을 제거하는 경제적 비용은 처리 방법을 결정하는 중요한 인자가 되므로 처리수의 목적수질이 어느 정도인가에 따라 경제성과 대비하여 처리 공법도 결정되어야 한다.



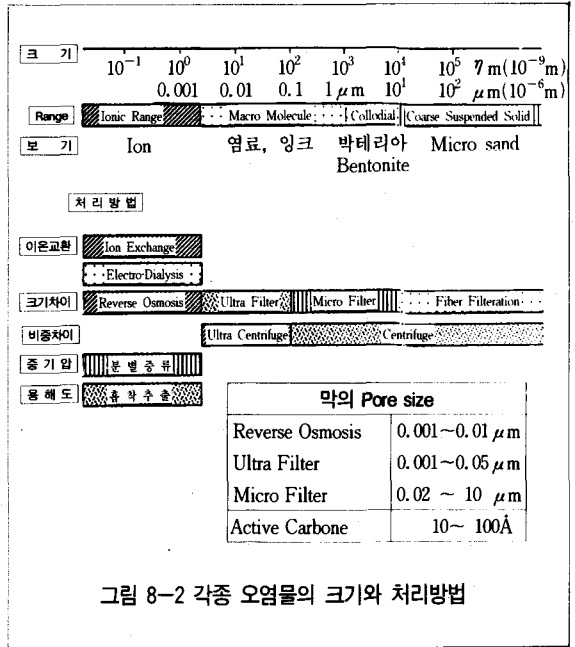
현탁성 물질과 용해성 물질이 공존하는 수계에서 오염물을 효율적으로 제거하기 위해서는 우선 목적수질이 어떠한 물질을 제거하여야 가능한 것인지의 방향이 설정되어야 하며 여기에는 현탁성 물질의 크기에 따라 적절한 여과(Filtration) 방법이 채택될 수 있다. 여과 처리는 고전적인 방법이나 가장 기본적이고도 응용가능성이 높아 오늘날에는 물분자보다도 작은 공극을 갖는 여재를 사용한 여과방법으로 까지 발전하게 되었다.

이렇게 현탁성 물질을 제거하는 방법들 중에서 가장 범용성을 갖는 방법이 여과방법이라고 한다면, 이에 대응하는 용존성 물질을 제거하는 방법으로는 미생물을 매개체로 한 처리방법이 될 것이다. 물속에 존재하는 용존성 물질들 중에서 생태계에 많은 영향을 줄 수 있는 유기물의 제거방법으로 채택되는 활성 슬러지법의 경우에도 미생물을 매개체로 용존성 물질을 현탁성 물질로 전환하여 오염성분을 쉽게 분리가 가능토록 하는 것이라고 정의할 수 있다.

대용량의 수량을 단시간에 처리하여야 하는 현대 산업사회에서는 이러한 처리방법들이 응용되어, 다양한 용·폐수처리 공정으로 발전된 것이다.

2. 현탁성 입자의 분리기술

물속의 현탁성 입자를 제거하는 방법으로는 입자의 크기를 이용한 여과방법이 가장 먼저 고려될 수 있으며 이들 입자의 크기에 따른 처리방법들을 비교하여 그림 8-2에 나타내었다.



그러나 이러한 처리공정들은 처리후의 목적수질과 경제성을 고려하여 단독으로 처리방법이 실시되지 않고 대부분 복합적인 처리공법을 채택하는 것이 일반적이다.

가장 일반적으로 적용되는 현탁성 입자의 제거방법으로는 응집침전법, 활성탄, 모래 여과법 등이 있으며 용해성 물질의 제거방법으로는 활성오니법, 이온교환법, 흡착추출법, 역삼투막법 등이 있다.

가. 응집침전법

응집침전법은 입자의 중력침강을 촉진시키는 방법으로 산업폐수처리의 1차 처리방법으로서 보편화되어 있으며 세부적인 작용기구 및 처리방법은 전술한 바와 같다. (2-3장 참조)

응집침전의 기본적 개념은 입자표면의 전하를 중화시켜 반발력을 감소시키고 입자의 크기를 증가시킴으로서 침강속도를 크게 했다는 것으로 요약될 수 있다.

이러한 응집처리를 위해 사용되는 응결제(Coagulant)로는 알루미늄염과 철염 등이 대표적이며 응집제

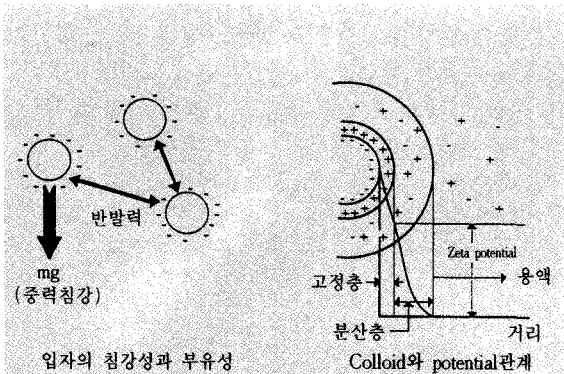


그림 8-4 입자표면 전하개념도

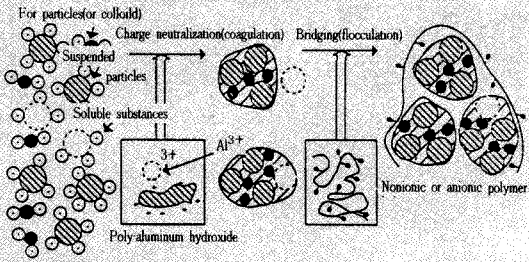


그림 8-5 입자의 응집침전 기본 원리 모식도

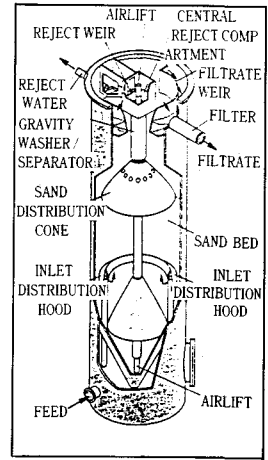
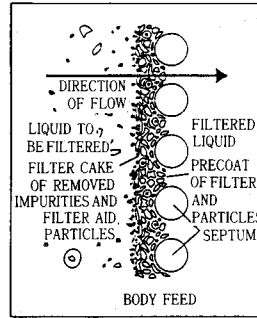


그림 8-6 여과의 모식도(좌측) 및 연속식 Sand-filter 구조

처리효율을 증진시키는 PACT(Powdered Active Carbon Treatment) 처리법 등까지 소개, 적용되는 실정이다.

활성탄은 다공성인 흡착제로서 그 표면적이 500-1500m²/g에 달하는 내부구조가 미세공극으로 구성된 물질이다. 내부 공극 표면의 분자는 Vandeer Waals력에 의하여 오염물들과 흡착(reversible adsorption)을 이루며 활성탄은 불용성 액체에 대해서는 비가역적 흡착(irreversible adsorption) 성질이 있어 물과 불용성인 액체에 대해서는 효율적인 것이다.

활성탄과 같은 흡착제에 흡착되는 오염물의 양은 농도와 온도에 의해 결정되며 통상 Langmuir식, Freundlich식 및 BET식이 이용된다.

이들중, Freundlich의 등은 흡착식이 실험식으로 많이 이용되며 다음과 같이 표현된다.

$$X/M = KC^{1/n}$$

단, X : 흡착된 오염물의 양

M : 흡착제 질량

C : 흡착후의 용액중 오염물 농도

K, n : 상수

$$\therefore \log(X/M) = \log K + 1/n \log C$$

이를 graph로 표현하면 그림 8-7과 같으며 실험을 통하여 절편과 기울기로부터 상수 K와 n을 구할 수 있다.

이들의 흡착성능은 활성탄의 공극크기와 공극분포에 의존하므로 수많은 모세관과 같은 형상의 pore(공

(Flocculant)로는 Poly-acrylamide계 고분자응집제가 적용되고 있는 것이다.

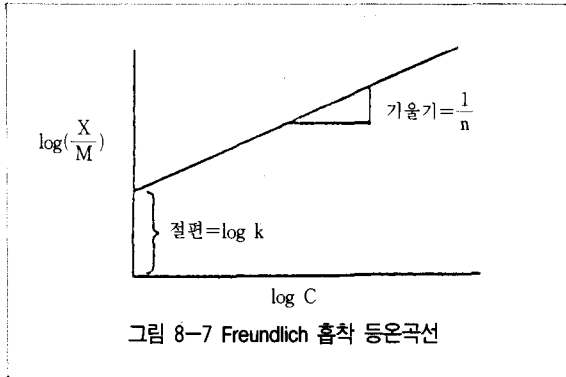
나. 활성탄 여과법

여재를 이용한 여과법으로는 모래여과와 활성탄 여과법이 대표적이다. 이는 우리 선조들이 과거시대에 우물에 솥을 넣던 지혜가 오늘날에도 계승된 것으로 이해할 수 있으며 이는 그 성분과 기능이 동일하기 때문이다.

활성탄은 흡착특성이 물에 잘 섞이지 않는 액체에 대해 흡착력이 높기 때문에 물속에 존재하는 Phenol, oil, 농약성분 등의 제거에 우수하며 최근에는 활성오니 폭기조에 활성탄을 투입하여 난분해성 폐수 등의

표 8-2 다층여과에 사용되는 여재의 특성

여재종류	유효직경(mm)	비중
Anthracite	0.7-1.7	1.4
Sand	0.3-0.7	2.6
Garnet	0.4-0.6	3.8
Magnetite	0.3-0.5	4.9



극)을 갖는 목질계 활성탄(일종의 숯)이 주로 이용되었다.

그러나 내구성과 원료의 확보가 쉬운 석탄계(갈탄 또는 역청탄) 활성탄을 가공처리하여 오늘날 상용화하는 실정이며 수처리에 사용되는 활성탄의 공극은 외부 Macro pore의 직경이 100-10000nm, 1-100nm의 Micro pore로 이루어진 활성탄이 주로 사용된다.

표 8-3 활성탄의 구조와 기능

모 식 도	영역구분	공 극	기 능
오염물 ↓ A	A	Micro-pore	흡착포집 (Capturing)
B	B	Meso-pore	분 산 (Difusion)
C	C	Micro-pore	포집·축적 (Stock)

활성탄의 흡착능력은 제거하고자 하는 오염물의 종류에 따라 차이가 있으므로 실제 활성탄을 이용한 처리공법을 검토하고자 할 경우에는 표 8-4에 나타난 물질별 흡착 parameter를 이용한다.

활성탄의 물질별 흡착 parameter는 분자량이 큰 물질과 물과 잘 섞이지 않는 물질에 대해서는 흡착력이 큰 것을 의미한다.

또한 활성탄은 온도, 습도가 증가할수록 흡착효율이 감소하는 특성을 갖고 있다. 활성탄은 기공을 갖는 탄소 덩어리로서, 흡착성능은 공극(pore)의 분포와 공극의 크기에 의존한다.

다. 활성탄을 이용한 활성오니처리

난분해성 유기물을 처리하는 폐수처리공정이나 색도가 문제되는 폐수처리공정에서는 활성탄을 첨가한

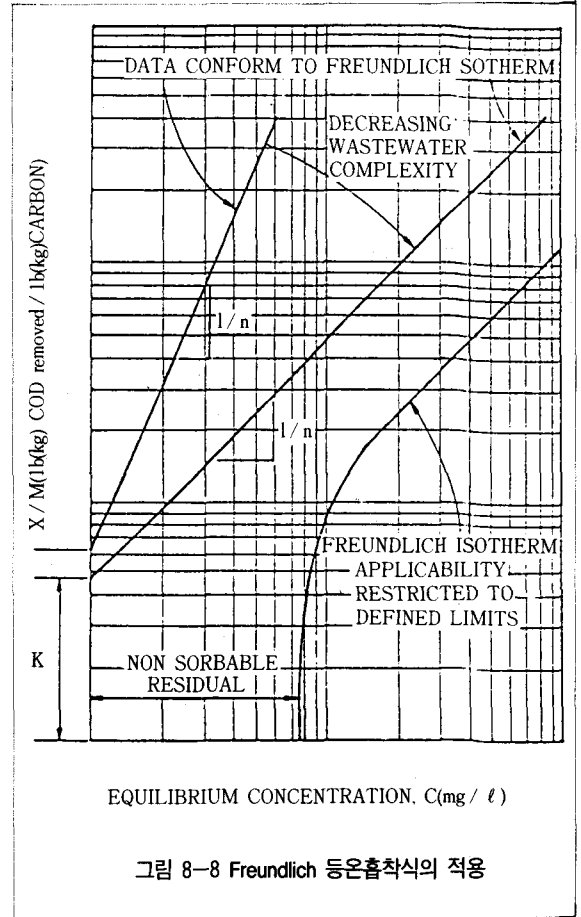


그림 8-8 Freundlich 등온흡착식의 적용

표 8-4 중성 pH에서의 각종 오염물질에 대한 Freundlich 흡착 실험 DATA

출전 : Active Carbon Adsorption, Jerry R.Perrich

	K(mg / g)	n ⁻¹
Batch isotherm data		
Oil separator(primary)effluent		
Refinery-petrochemical complex no.1	29	1.30
Refinery-petrochemical complex no.2	36	1.25
Refinery no.3	14	2.77
Secondary(activated sludge) effluent		
Refinery-petrochemical complex no.1	6	1.67
Refinery no.3	4	1.00
Refinery secondary effluent	5	1.04
Refinery secondary effluent	4	0.93
Refinery secondary effluent	2	1.45
Single adsorbate		
Phenol	111	0.17
Dichlorethane at pH4	5	0.55

	K(mg / g)	n ⁻¹
Dichlorethane at pH6	4	0.60
Dichlorethane at pH10	4	0.67
Freundlich parameters at neutral pH		
Hexachlorobutadiene	360	0.63
Anethole	300	0.42
Phenyl mercuric acetate	270	0.44
p-Nonylphenol	250	0.37
Acridine yellow	230	0.12
Benzidine dihydrochloride	220	0.37
n-Butylphalate	220	0.45
N-Nitrosodiphenylamine	220	0.37
Dimethylphenylcarbinol	210	0.33
Bromoform	200	0.83
β-Naphthol	100	0.26
Acridine orange	180	0.29
α-Naphthol	180	0.31
α-Naphthylamine	160	0.34
Pentachlorophenol	150	0.42
p-Nitroaniline	140	0.27
1-Chloro-2-nitrobenzene	130	0.46
Benzthiazole	120	0.27
Diphenylamine	120	0.31
Guanine	120	0.40
Styrene	120	0.56
Dimethyl phthalate	97	0.41
Chlorobenzene	93	0.98
Hydroquinone	90	0.25
p-Xylene	85	0.16
Acetophenone	74	0.44
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalene	74	0.81
Adenine	71	0.38
Nitrobenzene	68	0.43
Dibromochloromethane	63	0.93
Ethylbenzene	53	0.79
o-Anisidine	50	0.34
5-Bromouracil	44	0.47
Carbon tetrachloride	40	0.84
Ethyl Chloride	36	1.5
2,4-Dinitrophenol	33	0.61
Thymine	27	0.51
5-Chlorouracil	25	0.58
Phenol	21	0.51
Trichloroethylene	21	0.50
Adipic Acid	20 ^b	0.47
Bromodichloromethane	19	0.76
bis-2Chloroethylether	11	0.94
Chloroform	11	0.84

	K(mg / g)	n ⁻¹
Uracil	11	0.63
Cyclohexanone	6.2	0.75
5-Fluorouracil	5.5	1.0
Cytosine	1.1	1.6
EDTA	0.86	1.5
Benzoic Acid	0.80	1.8
Benzene	0.70	2.9
^a K at C ₀ =1mg / ℓ		
^b Adsorption capacities at pH 3.		

표 8-5 활성탄의 공극구성과 특성 개요

항 목	구 분	목질계 활성탄	석탄계 활성탄
	공극의 분 포	Macro Meso Micro	10% 10% 80%
특 징		<ul style="list-style-type: none"> • 10-20nm pore • 코코넛 껍질을 태운 것이 주로 이용 • 화학처리공정에 주로 사용(가격이 높아 수처리 용도에 적용은 비교적 낮음) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1-100nm pore • 갈탄을 가공한 것이 주로 사용됨 • PACT 시스템으로 응용 • 수처리 여과제 용도로 주로 적용
요오드가 (Micro pore의 크기)		900-1100	800-1200
Solvent (Benzene, Toluene) 흡착력 비교 개략치		40%	30%
대표적 Maker의 예		<ul style="list-style-type: none"> • (주)삼천리 • Calgon • UCC 	<ul style="list-style-type: none"> • (주)삼천리 • Norit • Calgon • ucc
공극면적		500-1500m ² /gr	

활성오니 폭기법이 상당폭 이용되고 있다.

활성오니조에 활성탄을 첨가하는 방법은 1970년대에 미국의 DUPONT에서 특허를 획득한 이래 활성탄 제조업체인 ZIMPRO사에 특허권을 판매하고부터 Z-IMPRO, NORIT 등의 활성탄 Maker들을 중심으로 응용처리법이 홍보되면서 서서히 적용대상이 증가되었다. 활성오니조에 활성탄을 첨가하는 DUPONT의 방법은 갈탄을 가공한 분말활성탄(PAC, Powderd Activated Carbon)을 활성 슬러지 공정에 첨가하여 처리효율을 상승시켰으며 이를 특히 PACT공법(Powderd Activated Carbon Treatment Process)이라 통칭한다.

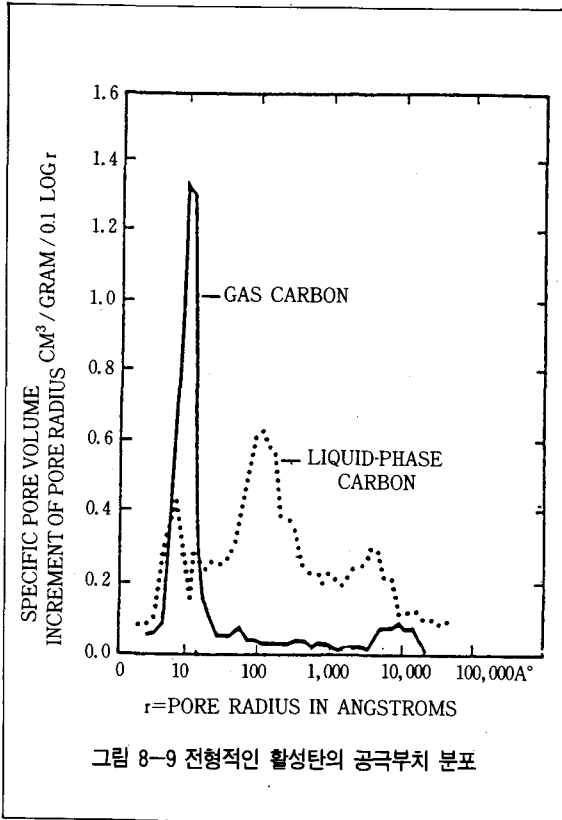


그림 8-9 전형적인 활성탄의 공극부처 분포

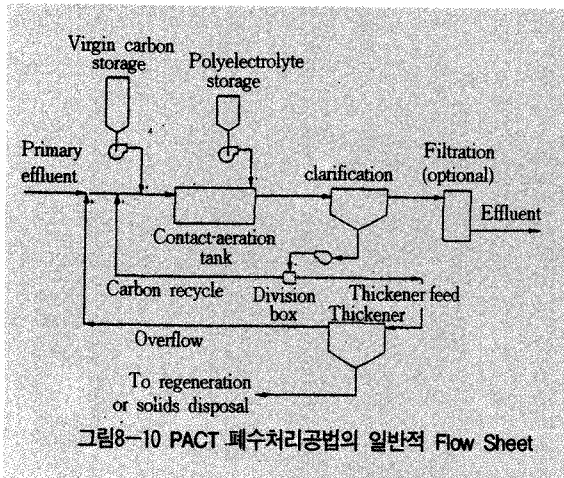


그림8-10 PACT 폐수처리공법의 일반적 Flow Sheet

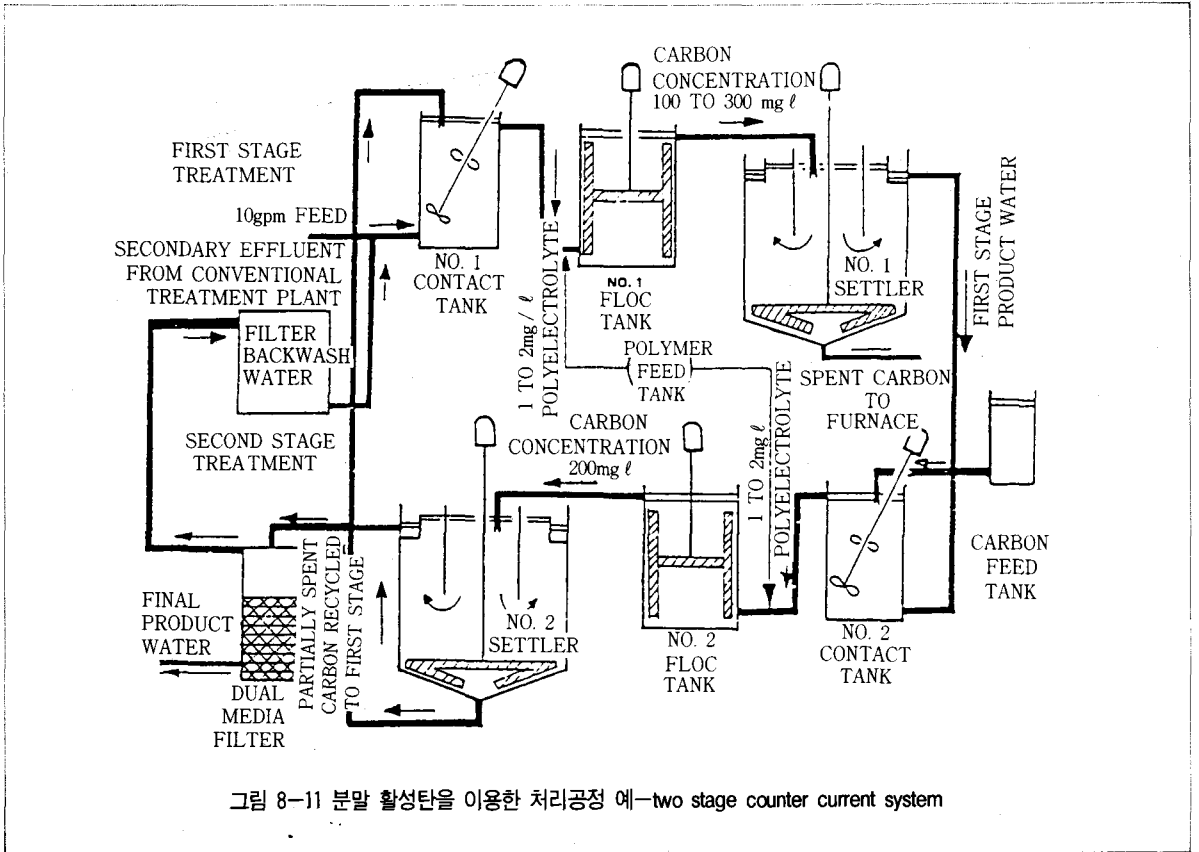
분말활성탄(PAC)을 첨가하면, 완충효과에 의해 처리수 수질의 변동을 줄일 수 있고, 난분해성 유기물, 색도 발생 물질 등을 흡착 제거함은 물론 미생물에 대한 생육 저해 물질들의 부분적 제거도 가능하여 폐수처리에서의 방해작용을 최소화 할 수 있는 장점이 환경관리인. 1994. 5

표 8-6 활성탄을 활성오니에 투입시의 특징

항 목	세 부 사 항
활성탄의 투입시의 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 처리효율의 상승(MLSS농도의 증가운전이 가능) • 흡착시의 발열반응으로 미생물 활동도 증가 • 미생물의 Housing 효과(Media역할)-활성오니의 Shock감소 • 거품발생의 완화 효과 • Aeration효과 • 악취, 색도 등의 흡착제거 • 난 분해성 유기물(COD, BOD)제거
유효흡착기능	<ul style="list-style-type: none"> • 물에 대해 용해성이 높은 물질은 흡착력이 떨어진다. • 분자량이 크고 Long Chain이거나 branch가 많은 물질은 흡착성이 높다.
경제성	<ul style="list-style-type: none"> • 일일 처리량이 1만톤 이상인 경우에만 재생로 검토가 가능한 규모이며 경제성이 있다. • 활성탄을 연속적으로 공급필요-일반적인 처리장에서는 적용성이 낮다.

있다. 또한 기존설비를 그대로 이용하여 화학처리 전 단계인 집수조에 유입폐수량에 대해 10-50ppm 상당량의 활성탄을 연속 투입하거나, 투입지점을 폭기조 유입수로 하여도 된다. 일반적인 PACT 폐수처리 공정도를 (그림 8-10)에 나타내었다.

PACT 처리공법은 분말 활성탄을 이용하지만 동일한 처리공법으로서 입상(Granular Type) 활성탄을 사용하는 방법(GACT)도 최근 이용되고 있다. 활성탄을 활성오니에 투입하는 이러한 방법들은 통상 MLS-S에 대하여 약 20%의 활성탄 투입이 적합한 것으로 알려지고 있으며(MLSS=2000ppm인 경우 PAC=400ppm 유지), 비교적 일반적 처리방법으로는 처리가 어려운 난분해성 유기물 폐수나 색도폐수, 악취폐수 등에 주로 적용되고 있는 실정이다. 이는 활성탄 첨가시의 여러가지 효율상승효과에도 불구하고, 활성탄 투입비용과 슬러지 발생량 증가 등의 파생적 문제 때문에 아직은 제한적으로 적용되는 실정이다. 물론 활성탄을 첨가하는 활성오니 처리법의 채택여부는 경제성에 좌우되며, 이러한 경제성은 활성 재생로를 설치할 수 있는 대규모 처리장에서는 최소비용으로도 적용이 가능하리라고 판단된다. 활성탄의 재생은 최초 Activation과정과 동일하게 열을 가해 탄소분을 제외하고는 모두 태워버리는 과정으로 혐기성 상태에서 진행되며 다음과 같은 공정을 거친다.



Drying	Baking	Activation
150°C 15분	150—800°C(5분)	800—900°C(10분)

재생시 활성탄의 연소소모율은 5-10%이고, Zimpro의 Wet generation에서는 고온증기를 이용하여 재생하며 이 경우 소모율은 5%이하로 알려지고 있다.

