



전 병준

(주)프라임텍인터내쇼날

기술영업부장

효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술<24>

목차

1. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념

- (1) 현탁 입자의 제거방법
- (2) 슬러지의 침전 부상처리
- (3) 용해성 물질의 제거방법
- (4) 저농도 유기물의 제거방법
- (5) 무기성 오염물의 제거방법

2. 석유화학 공장의 폐수처리

- (1) 정유공장의 폐수처리
- (2) 일반 석유화학 공장의 폐수처리

3. 제지·펄프공장의 폐수처리

4. 합섬·염색공장의 폐수처리

5. 식품공장의 폐수처리

6. 제철·철강공장의 폐수처리

7. 미수·위생처리장의 폐수처리

8. 특정 오염물질의 처리기술

9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

10. 폐수 재활용 기술과 안정관리

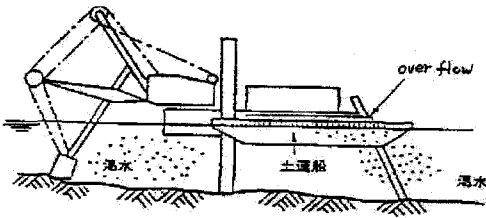
바. 기타 수중의 오염물질의 처리(효율적인 준설)방법

산업의 급속한 발달과 함께 누적된 폐수는 호수나 하천의 오염으로 확대되었고, 최근에는 이러한 오염된 호수나 하천을 원상태로 회복 시키기 위한 준설(浚渫)처리 노력이 활발한 상황에 있다. 한편 준설의 대상이 되는 토사의 오염물은 대부분 부패한 유기물에 오염된 것으로서 폐수처리의 응용에 가깝고, 따라서 효율적인 준설을 위해서는 응집처리기술과 함께 처리설비의 응용기술이 함께 필요한 영역이기도 하다.

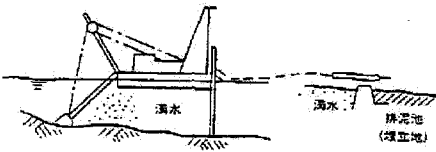
1) 준설공법의 개요

준설에 사용되는 일반적인 공법으로는 ①PUMP준설 ②GRAFT준설 등이 있다. 통상 GRAFT준설공법은 입자의 크기가 상당히 큰 모래, 자갈과 같은 골재채취등의 목적에 사용되어지며, Basket나, Graft등에 토사 등을 퍼올려 토운선으로 육상으로 운송하여 처리하는 공법이다.

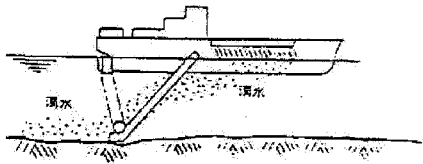
반면 PUMP준설공법은 입자의 크기가 작고 탁수 발생률이 높은 오니 등의 제거목적에 사용되며, Mud 등이 퇴적된 지표층을 Cutter로 파면서 흡입PUMP로 이송하여 매립지로 송출하거나 처리선으로 이송하여 응집 제거하는 공법이다.



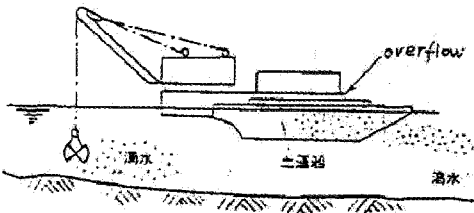
< Lodersope 준설선 >



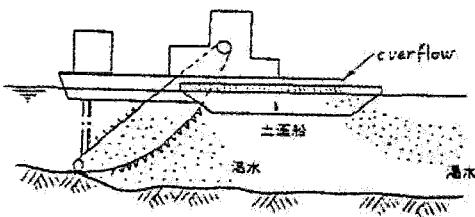
< PUMP 준설선 >



< PUMP 준설선 >



< Draw-Suction 준설선 >



< Graft 준설선 >

이들 공법중 굴삭, 적입, 운반과 사토장소의 배수에 의한 탁한여액(濁水)의 발생량, 확산정도 등이 종합적으로 검토되어 준설 공법이 선택되어지며, 이에 부수적인 설비로는 오탁방지막(Fence)이나 배수처리설비가 있어 여수토(余水吐 또는 배수토로 칭함)의 침전효과와 확산 방지효과를 얻게된다.

일반적으로 준설은 토목분야에 속하므로 설계당시에 공법의 선정이나 효율적인 배수처리에 대한 충분한 사전 검토를 소홀히 할 수 있으므로 주의가 필요하다.

이는 근본적으로 준설의 기본 목적이 입자가 미세하고 SS가 다량 함유된 퇴적오니를 짧은 시간 내에 강제 침전시켜 현탁입자의 재유입을 방지하고 균일한 매립을 하는 것을 목적으로 하기 때문이다.

침전지(매립지)로부터 배수되면서 발생하는 탁수는 배수지의 용적과 준설토의 투입상황에 따라 다소의 차이가 있지만, 현탁성 입자(Suspended Solid)의 적절한 제거여부에 좌우되므로, 침전제거가 일어나는 배수지에서의 체류시간, 유속, 표면 부하량 등의 적절한 조정을 통하여 급속 침전효과를 얻을 수 있어야 효율적인 준설이 가능하게 된다.

특히 뿔과 같이 호수나 하천의 바닥에 퇴적된 미세 입자 오니를 준설하는 목적에 주로 사용되는 {PUMP준설}의 경우에는, 현탁성 입자의 효율적 제거여부가 공사구역의 2차 오염문제 뿐만 아니라 준설공사 전체의 진척도와 직결되게 되므로 주요한 문제로 부각되게 된다.

이는 침전배수지에서 급속 침전이 불가능할 경우에는 준설한 오염물이 다시 호수나 하천으로 재유입되므로 전체 수계가 다시 미세입자로 오염되는 상황이 발생되기 때문이다.

최근 국내에서 실시되고 있는 호소나 하천 등의 준설에서도 준설목적이 하부퇴적 오염물을 제거하는 것이 대부분이므로 실제 준설공법에서는 {PUMP준설공법}의 적용성이 더욱 높아질 가능성이 높은 실정이며, 이 경우 전술한 바와 같이 효율적인 응집처리가 반드시 필요한 부분이 된다.



< 표. 준설공법의 분류와 처리 방법의 개요 >

방식	공법	주적용대상	개요
흡입방식	· Pump준설 · Draw-suction준설	입자가 적고 탁도발생이 높은 경우(퇴적오니가 미세한 경우)	· 유상까지 Pump line으로 이송후 침전 처리(별도의 응집침전선과 토운선으로도 이송처리)
채취방식	· Grab준설 · Basket준설 · Loaderscope준설	입자가 큰 골재채취 등 탁도발생이 비교적 작은 경우	· 토운선으로 채취된 골재 등을 육상으로 이송

< 표. 준설과정중의 침전 불량으로 인한 주요 문제점 >

주요 문제
<ul style="list-style-type: none"> · 퇴적오니의 입자크기가 극히 작아(50 m이하가 80%) 자연 침강이 어려움. · 급속침전 불량시 다량의 탁도유발 가능성 및 SS제거효율의 저하(미립자의 부유로 인한 오니확산, 오니유출 등의 2차오염) · 매립이 진행됨에 따라 용적의 감소 (침전지 체류시간 감소) → 여수(유출수)의 탁도증가
대응 방안
<ul style="list-style-type: none"> · 무기 및 유기응결 및 고분자 응집제를 적용한 급속처리 실시 · 효율적인 응집조의 적용 및 매립지 설비 보완 (체류시간의 연장, 매립지의 확보 등)

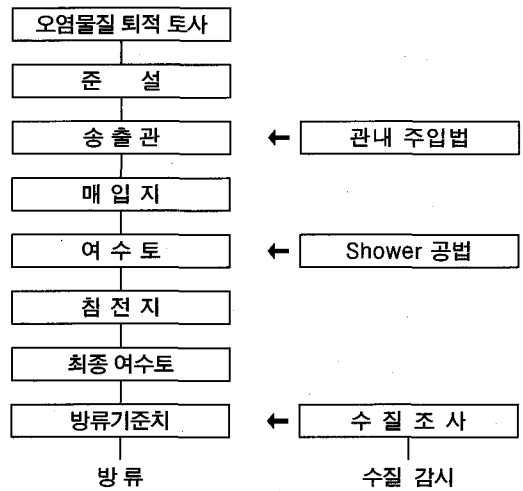
2) PUMP준설공법의 세부고찰

PUMP준설공법의 구성은 {PUMP선}과 {이송라인}, {여수토처리장(매립지)}으로 구성되며 육상 처리장 확보가 어려울 경우에는 {응집처리선}과 {밀폐 토운선(운반선)} 및 육상의 {투기장}으로 추가 구성되게 된다.

국내의 경우에는 통상 육상처리장까지 송출시켜 처리하는 방법을 사용하고 있으며, 준설이 진행됨에 따라 {여수토 처리장}도 점차적으로 {여수토처리장}이 매립되고 용적이 감소될 뿐만 아니라 유출여액의 탁도가 높아지게 된다.

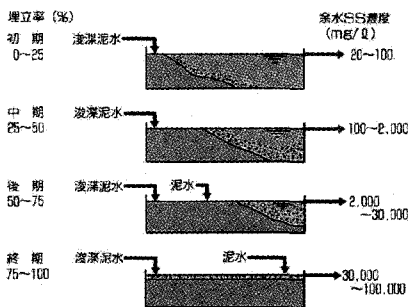
하기<그림>은 매립 초기부터 말기까지의 기간동안 매립지 내의 토사의 퇴적추이와 처리효과의 감소, 탁도의 농도 변화추이를 나타내고 있다.

준설 매립공정에 있어 여수처리의 Flow-seet는 하기 <그림>과 같다.



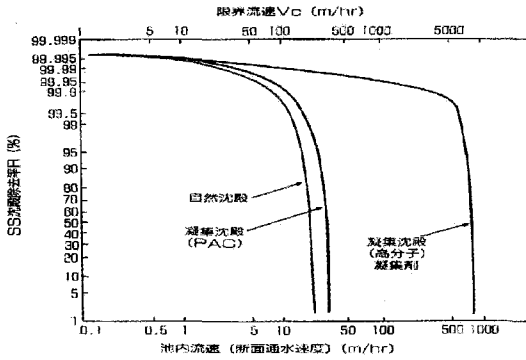
< 그림. 배수처리의 Flow-seet(日本の 경우) >

< 그림. 준설 공기(工期) 진행도와 배수의 탁도 변화 >



준설과정중 배수처리 공정에 있어 국내의 경우에는 자연 침전처리방식이 주류를 이루고 있으나 일본 등 외국의 경우에는 미세한 현탁입자의 고속 침강효과를 얻기위하여 화학적인 응집침전 방식을 병용하고 있다.

이는, 자연침전 처리방식으로는 다량의 현탁액이 유출되어 제거율이 낮고 특히 처리부지의 확보가 어려운 현 시점에서는 화학적인 응집침전 방식이 점차 보편화 될 것으로 판단된다.

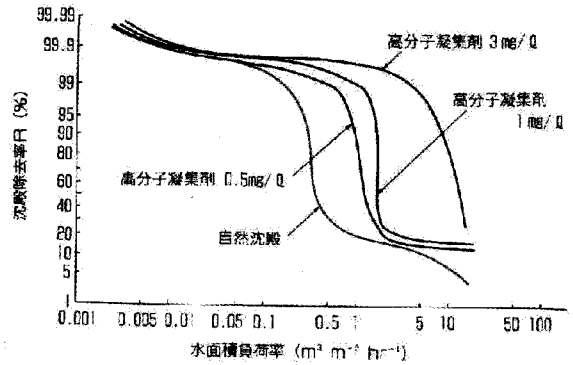


< 그림. 배수처리시 통수속도와 SS제거율의 관계 >

화학적 응집침전 방식으로는 이송 송출관 내부에 직접적으로 응집제 용액을 주입하는 관내 주입법과 매립지 여수로 위로 유통하는 여수에 응집제 용액을 투입하는 SHOWER 공법(주로 낙차에 의한 혼합 효과)으로 구분된다.

여기에 사용되는 응집제로는 통상 현탁입자의 표면 전하를 중화시키기 위한 무기응결제(Inorganic Coagulant)와 고분자 응집제(Flocculant)가 병용된다.

또한 화학적 약품에 의한 2차적 문제의 발생을 최소화하기 위하여 일본의 경우에는 무기응결제로는 PAC(Poly Aluminium Chloride)가, 고분자응집제는 음이온성이 일반적으로 사용되고있으며, 오염물이 다량의 유기물로 구성된 경우에는 PAC의 투입량이 과다하게 되어 이로인한 슬러지의 과다 발생 및 침전성의 불량 문제가 발생하는 경우가 있다. 이 경우 유기응결제(Organic Coagulant)와 병용처리함으로써 쉽게 침전처리를 개선할 수 있으나, 처리수의 인체 유해성등이 문제될 수 있으므로 미국이나 일본에서는 극저독성 유기화합물로 분류된 양이온성 모노머를 주체로 한 유기응결제의 응용사례가 알려지고 있다.



< 그림. 수면적 부하와 余水吐의 濁度 >

3) 매립지로부터 유출되는 오탁발생량의 파악

준설토를 매립지에 배출하는 준설공법에 있어 매립지에서 유출되는 오탁발생량을 예측하는 방법으로는 수면적 부하법, Yoshita의 침전이론식, 港研究, 통계분석에 의한 식 등이 사용되고 있으며, 이들은 간략히 다음과 같이 표현된다.

가) 수면적 부하법

(1) Hasen-Hwea의 침전제거법 식

$$E = 1 - \{1 + 1/n \cdot V/(Q/A)\}^{-n}$$

- 여기서, E: 침강속도 V에서의 입자의 제거율(%)
- n: 침전지 유속 정수
- V: 입자의 침강속도(m/sec)
- Q: 유량(m³/sec)
- A: 침전지의 상면적(m²)
- Q/A: 표면적 부하율 (m³/m² sec = m/sec)



(2) 실험식

i) 수면적 부하 $U \leq 0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 의 경우

$$R = 100 \times 10(A_0 \cdot U^2 + B_0 \cdot U)$$

$$A_0 : 27.658 \log V - 25.726$$

$$B_0 : 0.285 \log V - 0.289$$

ii) 水面積 負荷 $0.1 > U \geq 0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 의 경우

$$R = A_1 \log U + B_1$$

$$A_1 = 0.62 (\log V)^2 + 38.97 \log V - 37.51$$

$$B_1 = 0.97 (\log V)^2 + 79.25 \log V + 34.76$$

여기서, R : SS제거율(%)

V : 평균침강속도(m/n)

U : 수면적 부하($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

나) Yoshita의 침전이론식

$$R = CA / CO$$

$$= 8 \sum_1^{\infty} \frac{b \lambda n \cdot \lambda n^2 + 1 \cdot \sin \lambda n h \cdot e^{(a \lambda + b h - \lambda) n^2 + 1}}{h(\lambda^2 n + b^2) + \{(\lambda n^2 + b^2) h + 2b\} (\lambda n^2 + 1 + b)} \cdot 1$$

$$a = v/Kx \{ Kx / (v^2/Kx) + (u^2/Kx) \}$$

$$l = L/2 \{ (v^2/Kx) + (u^2/Kx) / Kx \}$$

$$B = u/Kz \cdot Kz / (v^2/Kx) + (u^2/Kz)$$

$$\tan \lambda n = 2b \lambda u / (\lambda n^2 - b^2)$$

$$h = H1/2 (v^2/Kx) + (u^2/Kz) / Kz$$

여기서, R : SS잔토율(여수중에 함유되는 율%)

CA : 여수토의 평균 SS농도(mg/l)

CO : 유입수의 SS 농도(mg/l)

V : 오니의 유속(m/sec)

U : 오니입자의 침강속도(mg/sec)

Kx : x축 방향의 확산계수(m^2/sec)

Kz : z축 방향의 확산계수(m^2/sec)

H1 : 표층해면고(m)

L : 침전지의 길이 (m)

다) 항연식(港研式)

$$C = Co \cdot a \cdot e^{-b(t-1)}$$

$$Co = Ws/V, \epsilon = (V - Vs)/V, Va = Ws/\gamma s$$

여기서, CO : 원수농도(mg/l)

WS : 토립자중량(g)

VS : 토립자용적(cm^3)

γs : 토립자의 단위체적중량(g/cm^3)

ϵ : 간극율

V : 원수용적(cm^3)

a, b : 토질과 수면적 부하의 정수

C : 여수의 SS 농도(mg/l)

라) 실태조사에 기초한 통계분석식

$$SSe = 460 \cdot Aw^{1.376} \cdot 1.023^a \cdot 1.271 / 1.092^a$$

여기서 SSe : 여수토의 처리수 SS(mg/l)

θ : 함오니율(含泥率)(%)

n : 처리지의 면수(面)

a : 세립비율(%)

Aw : 수면적부하($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)

Aw = g/a ; g = 양수량, a = 침전지 면적

4) 효율적인 준설을 위한 약제의 적용방법

준설작업시 응집처리를 실시하는 대부분의 경우, 자연침전이 불가능한 경우이며 동시에 유기성 오염물이 퇴적된 상황



이므로 효율적인 응집에 필요한 무기응결제(Inorganic Coagulant)의 소요량은 높은 경우가 일반적이다.

응결과 응집이 사용되는 이유는 주지의 사실과도 같이 현탁 입자의 표면 전하를 중화시키고 흡착과 가교에 의한 거대 Floc을 만들기 위한 것이므로, 적정 투입방법의 적용도 무엇보다 중요하다.

Pump준설의 경우 효율적인 응집을 위해 추천되는 약품의 주입지점은 다음과 같다.

- 응결제 투입 (정량펌프를 이용하여 주입)
: 송수관 말단부위에서 70cm 후방 관에 주입하여 미세하고 아주 작은 오니입자를 응결시켜 줌.

- 응집제 투입 (자동 용해장치를 이용하여 주입)

- 응결된 오니입자를 조대화(크게)하여 강제 침전시키기 위해서 송수관 말단 부위에서 30cm 후방 관에 응집제를 주입하여 사용

준설의 경우 단시간에 다량의 투입량이 소요되는 경우가 많으므로, 라인믹싱(Line Mixing)방법이나, 와류를 형성시켜 현탁입자와 응결제의 접촉 반응성을 높여주는 배려도 필요하다.

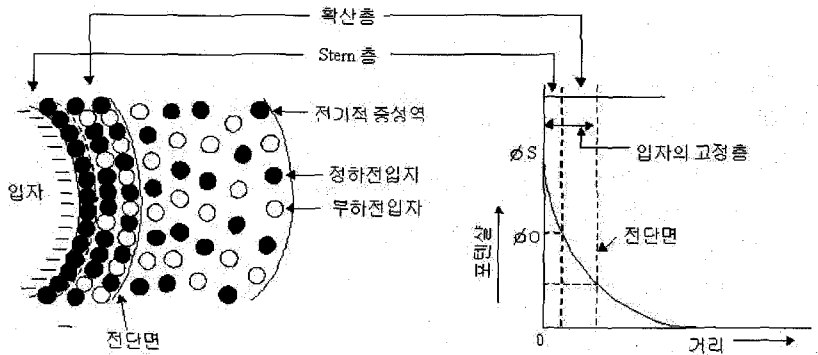
5) 응집침전 처리의 이론적 고찰

현탁입자의 응집 Mechanism에는 현탁액에 분산되어 있는 미립자가 반대의 전하를 가진 응결제에 의해 하전중화가 일어나 입자가 근접할 때 계면전위가 저하되어 0(Zero)에 가까워져 응집이 쉽게 된다는 하전중화설과 현탁입자의 표면에 유기 고분자 물질이 흡착되어 입자와 입자를 가교적으로 결합하고, 더욱이 고분자물질의 경우에는 분자량에 따라 증감작용과 보호작용을 일으켜 입자를 조대화 시킨다는 가교흡착설이 있다.

특히 La Mer와 Healy는 하전중화에 의한 응결을 Coagulation, 유기고분자에 의한 입자간의 가교흡착을 Flocculation이라고 정의하였다.

이러한 입자계면의 전기적 특성에 대해서는 Helmholtz, Freundlich, Guoy등에 의하여 입자계면 주위의 전기적 영동층이 연구되었고, Stern에 의하여 입자표면이 분자막과 같은 표면 전하층과 이온층이 고정된 층(Stern층), 전기적 확산층(Gouy층) 등으로 구분된다.

현탁입자는 내부핵인 양전하와 표면의 음전하로 구성되어



<그림. 입자표면의 전하구조 >

입자끼리는 표면의 음전하끼리 작용하게 되어 반발력이 형성된다는 것으로서, 엄밀하게 구분하면 입자표면의 음전하에 대응하여 주위의 양전하가 일부 편극되고 다시 그 주위에 음전하가 점차적으로 밀도가 낮아지면서 편극된다는 것이다.

이와 같은 입자표면이 음전하로 하전되어 있다는 사실은 수처리 분야에서는 대단히 중요한 사항이며, 이에 기초하여 처리기술이 점진적으로 발전하게 되었다.

즉, 입자표면의 음전하를 전기적으로 중화시키기 위한 많은 시도들이 연구되었으며, 오늘날에는 경제성과 처리효율을 고려하여 무기 응결제로는 알루미늄염계가 주류를 이루고 있는 것이다.



응결에 있어서 음전하의 종류나 입자의 친성여부, 음전하의 양((Zeta potential), 콜로이드의 안정성등이 중요한 인자로 작용하며, 이를 응용한 다양한 처리방법이 제시되고 있는 것이다.

즉, 입자표면의 음전하를 전기적으로 중화시키기 위한 폐수 처리와 동일한 개념이 적용되며, 경제성과 처리효율을 고려하여 무기 응결제로는 알루미늄염계가 주류로 사용되는 것이다.

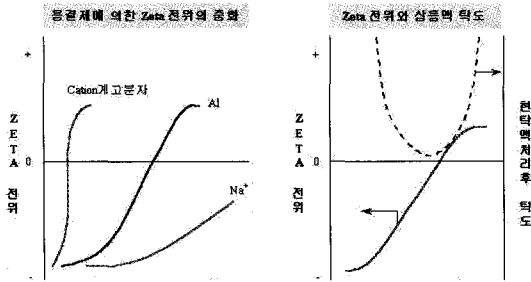
응결에 있어서 퇴적오니의 음전하의 양(Zeta potential), 콜로이드의 안정성 등이 중요한 인자로 작용하며, 적정한 투입량을 위해서는 오니의 농도에 비례한 투입량과 이때의 침전속도 및 슬러지의 부피등을 사전에 측정하여 두는 것이 바람직하다.

6) 효율적준설을 위한 응결과 응집의 주요사항

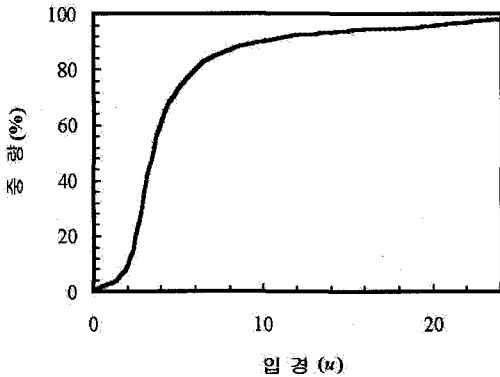
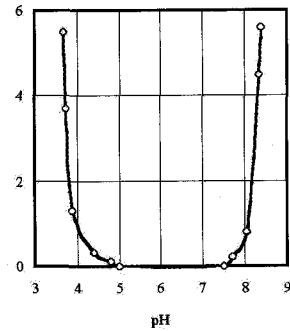
가) 응결기구

응결은 입자표면의 음전하에 대하여 반대되는 양전하를 가진 약품(무기응결제등)을 첨가함으로써 부유물질의 반발력을 감소시켜(하전중화) 일단의 부유물질이나 콜로이드 입자들을 서로 접착시키는 작용을 말하며 이때 사용되는 알루미늄계의 응결제의 적용을 위해서는 적성 ph영역을 준수하여야 한다.

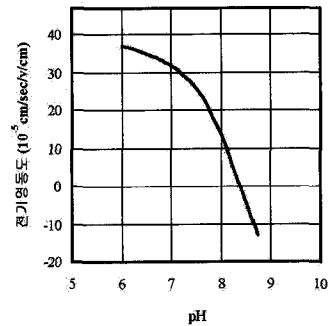
일반적으로 무기응결제의 투입량에 비례한 ph저하는 준설과 같이 다량의 입자를 응결시키는 경우 투입량의 과다로 급격한 ph의 저하가 있을 수 있으며, 이로 인한 효과의 저하의 문제를 야기할 수 있다.



< 그림. Zeta 전위 중화와 처리효과 >



< 그림. 하천수중의 현탁물질 분포 예 >



< 그림. 수산화 알루미늄의 용해도와 전기 영도도 >

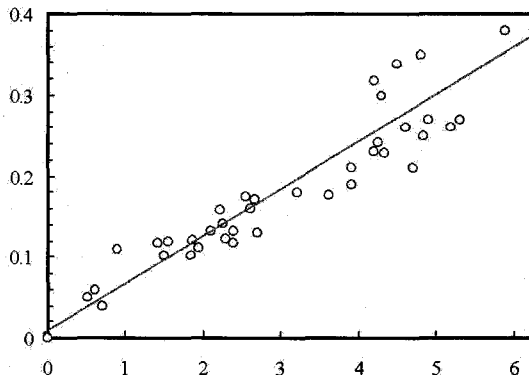


pH	알루미늄의 형태
3.0 이하	$[Al(OH_2)_6]^{3+}$
3.0 ~ 4.0	$[Al(OH_2)_6]^{3+} \rightleftharpoons [Al(OH)(OH_2)_5]^{2+} + H^+$
4.0 ~ 7.0	$2[Al(OH)(OH_2)_5]^{2+} \rightleftharpoons [(H_2O)_4Al \begin{array}{c} OH \\ \\ OH \end{array} Al(OH_2)_4]^{4+} + 2H_2O$
7.0 이상	$\rightleftharpoons \dots \rightleftharpoons [Al(OH)_3(OH_2)_3]_{\infty} \downarrow$ $Al(OH)_3 + OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_4^-$

< 표. 알루미늄의 형태와 pH 영역 >



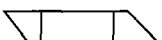

Types	Effective pH		Charateristics	
	4 5 6 7 8 9 10 11 12		Advantage	Disadvantage
Alum Liquid type : Al ₂ O ₃ 8% Solid type : Al ₂ O ₃ 16%	← Applicable pH range → Optimum pH range		Inexpensive High removal of turbidity Less corrosive, not irritating	Light Floc Not effective over pH 8
Poly-aluminum-chloride (Liquid type : Al ₂ O ₃ 10%)			Flocculation is better than alum Need less(or none) alkaline neutralizer	More expensive than alum Light Floc Not effective over pH 8
Ferric chloride Copperas chloride Ferric sulfate			Heavy Floc Also effective in alkaline pH	Much pH adjusting agent (alkali) is needed. Corrosive and more expensive
Ferrous Sulfate			Inexpensive Heavy Floc	Effective pH range in alkali zone is narrower. Turbidity removal is slightly inferior

< 표. 무기응결제의 유효 ph >




< 그림. 첨가량 200ppm(대 점토)에서 응집제의 고유점도(분자량)와 침강속도의 관계 >



Types	0.1% solution viscosity (cps)	Concentration of dissolution (%)	Effective pH						Features and applicable wastewater
			2	4	6	8	10	12	
Nonionic	10 ~ 100	0.1 ~ 0.3	Optimum pH range  Applicable pH range						Effective at low pH Effective for wastewater from pulp, textile dyeing and tertiary treatment of night soil Coagulation-Flocculation of wastewater from aluminum surface treatment, emulsion discharge, etc. Dewatering of aluminum sludge
Weakly anionic	50 ~ 200	0.05 ~ 0.2							Effective in neutral pH range Flocculation speed is high
Anionic	150 ~ 400	0.05 ~ 0.1							Effective in neutral to high pH range Treatment of wastewater containing inorganic SS (gravel, steel, metallic hydroxides) High Flocculation speed and good clarification of treated water Dewatering of aluminum sludge
Anionic Terpolymer	50 ~ 150	0.05 ~ 0.2							Effective in low to neutral pH range Less affected by variation of wastewater quality and stable effects are obtainable Strong Floc and a small dosage

< 표. 비이온, 음이온성 고분자응집제의 일반적 성질 >

다음호에 계속...



주요내용

- 환경영향평가의 본질과 관련기법
- 환경영향평가 절차 및 제도현황
- 환경영향평가의 새로운 전개와 과제

부록

용어해설
 토의과제 등

지은이 : 한상욱
 펴낸곳 : 동화기술
 정 가 : 25,000원