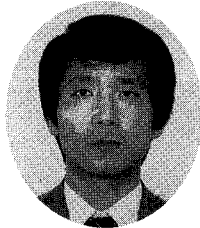


# 실무자를 위한 용·폐수 처리기술

## 〈3〉



全炳俊  
((株)한수·기술부)

### Ⅲ. 슬러지(sludge)의 처리

#### 1. 슬러지 처리·처분의 개요

##### 가. 슬러지의 발생

슬러지(sludge)는 통상 오니(汚泥)라고 불리워지며 용·폐수로부터 응집 제거된 현탁입자의 집합체라고 말할 수 있다.

이러한 슬러지는 현탁입자 자체와 현탁입자를 제거하기 위하여 첨가되는 무기응결제 등의 고형분으로 구성되어 있다.

이러한 슬러지는 고형분에 비하여 대단히 높은 수분함유율(이하 함수율이라고 함)을 갖고 있기 때문에 대단히 높은 부피발생율을 갖게 된다. 통상 농축이 되기전의 원슬러지의 고형분 농도는 1%이하인 경우가 대부분이며, 고형분 농도가 낮을수록 슬러지의 부피는 급격히 증가하므로 수분을 낮게 함으로써 슬러지의 발생부피를 감소시킬 수 있게 된다.

##### 나. 슬러지의 처리비용 고찰

슬러지 처리·처분비용은 슬러지의 탈수성이나

표 3-1. 무기응집제에 의하여 발생되는 sludge (dry base) 및 cake 량(wet base)

품명	농도	비중	반응식	무기응집제 1000kg에서 발생하는		
				금속물량 (kg)	ss 량 (ks-ds)	탈수케익량 (ks-wet)*
황산 반토 (고형)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 16%		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -2Al(OH) <sub>3</sub> 분자량(102,156)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 160	245	1,633
황산 반토 (액형)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 8%	1.3	동상	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 100	122	813
PAC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%	1.2	동상	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 100	153	1,020
염화 제2철	FeCl <sub>3</sub> 38%	1.4	FeCl <sub>3</sub> -Fe(OH) <sub>3</sub> 분자량(162.3, 106.8)	FeCl <sub>3</sub> 380	250	1,667

\*탈수 케익의 발생량은 케익 함수율 85%로 하는 경우의 값이다. 85% 이외의 함수율에서 계산할 때에는 다음식을 이용한다.

$$\text{탈수케익량(kg-wet)} = \frac{\text{ss (kg-ds)}}{100 - W} \quad W: \text{함수율}(\%)$$

유해물질의 유무와 이에 따른 별도의 처리비용까지를 포함하므로 슬러지의 종류에 따라 많은 차이를 나타내게 된다.

일례로 중규모 하수처리장에 있어서의 처리·처분비용 내역을 표 3-2에 나타내었다.

슬러지 고형분 1 ton 당 ¥ 106,000(일본의 경우)

인건비	동력비	약품비	연료비	보수비	기타
37.5%	20.4%	14.2%	12.2%	7.7%	8.4%

(내역)

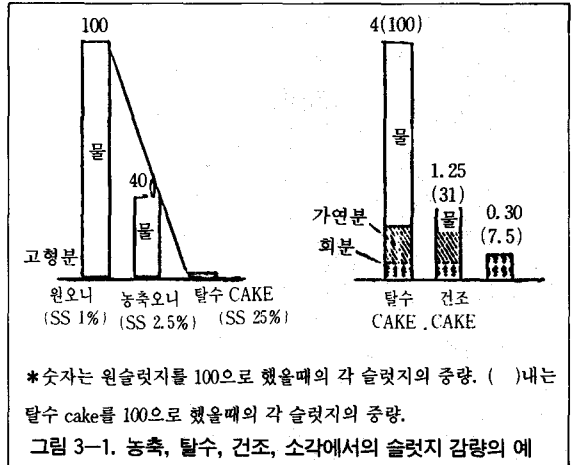
· 인건비 내역 :	농축탈수 관련	52%	소각관련	43%
· 동력비 내역 :	〃	52%	〃	48%
· 약품비 내역 :	〃	94%	〃	6%
· 연료비 내역 :	〃	0%	〃	100%

표 3-2 탈수후 소각을 실시하는 하수처리장(20ton-DS/일의 처리규모)의 슬러지 처리·처분 비용의 일례(일본의 경우)

다. 탈수처리·처분의 process

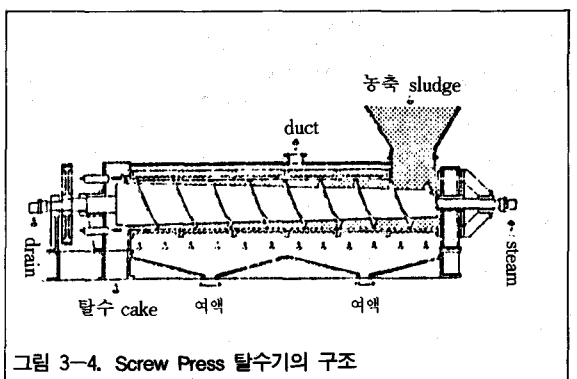
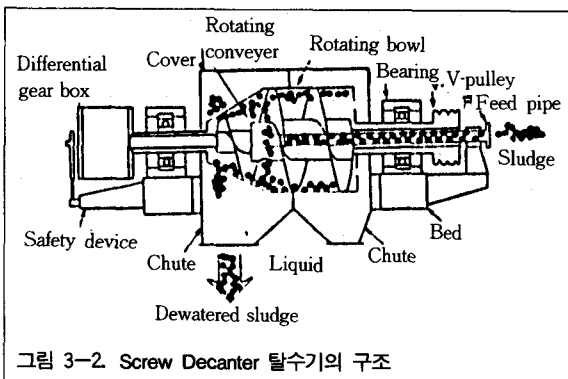
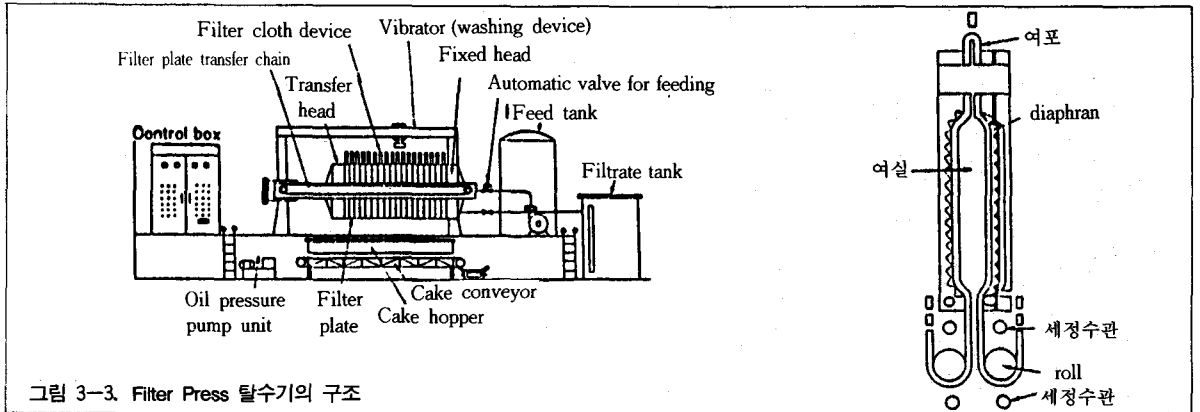
1) 농축

일반적으로 중력농축이 이용되며, 원슬러지의 고형분 농도가 1% 이하일 경우에 비하여 농축된 슬러지의 부피는 크게 감소하게 된다. 또한 슬러지의 농축성은 슬러지의 탈수성과 밀접한 비례관계에 있다. 농축도를 높이기 위한 방법으로는 중력농축, 기계농축(가압부상, 원심분리 등), 약제첨가, 생물처리의 개선 등이 알려져 있다.



2) 슬러지의 탈수처리

슬러지의 탈수처리에 사용되는 기기로는 Decanter, Screw Press, Filter Press, Belt Press 등이 있으며, 최근에는 Belt Press가 보편화되는 추세이다. 각 탈수기의 구조는 하기와 같다.



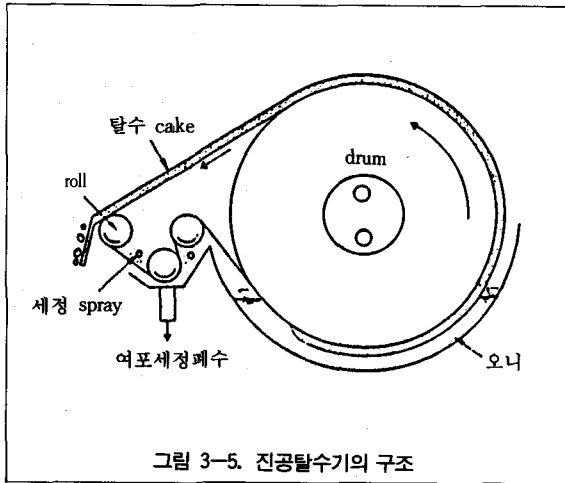


그림 3-5. 진공탈수기의 구조

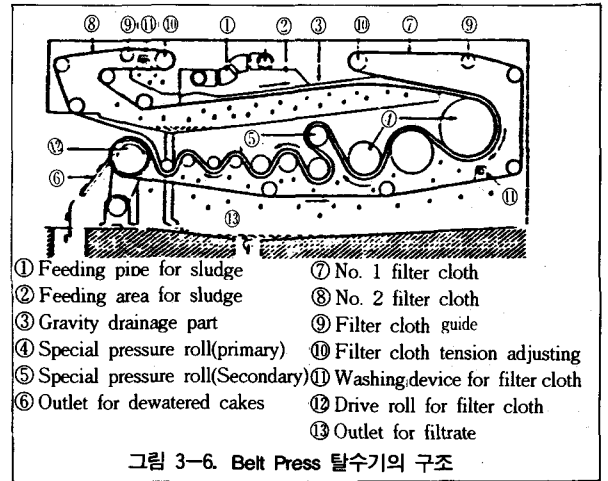


그림 3-6. Belt Press 탈수기의 구조

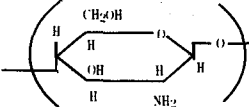
3)탈수기종에 따른 차이점  
잘 알려져 있는 바와 같이 Belt Press 및 Filter

Press는 여포사이에 Sludge를 탈수하는 작용기구이며 Decanter는 원심력을 이용하여 Sludge를 탈

표 3-3. 탈수기종에 따른 특성 및 장단점 비교

항목	기종 (Screw Decanter) 원심 탈수기	Belt Press 탈수기	Screw Press 탈수기	Filter Press 탈수기	진공탈수기
탈수제의 종류 및 첨가율	고분자용집제 0.2-1.5% (ss 대비)	고분자용집제 0.1-1.0%(ss 대비)	고분자용집제 0.1-1.2%(ss 대비)	· 염화제 2철 10% (ss 대비) · 소석회 30-40% (ss 대비) (경우에 따라서는 무침가 처리)	좌동
cake 함수율 및 ss 회수율 (유기성 슬러지의 경우)	75-85% 95-99%	90-98%	65-80% 85-95%	55-70% 95-99%	90-98%
장점	· 유지관리가 비교적 용이하다. · 약취관리가 용이 · 설비 점유면적이 작다.	· 함수율이 비교적 낮아 양호한 cake를 얻을 수 있다. · 탈수현황의 육안관찰이 가능하다. · 동력, 약품소비량이 작다	· 함수율이 비교적 낮다 · Steam 가온시 탈수 효율이 상승한다.	· 함수율이 낮다 · 탈수시, 탈수 cake의 약취 발생이 작다.	
단점	· 비교적 함수율이 높다 · 약취발생이 쉽다 · 동력소비비가 비교적 높다 · 소규모 처리가 일반적이다.	· 세심한 약주관리가 필요하다. · 개방부위가 많아 약취발생 소지가 크다.	· 탈수성이 나쁜 슬러지에서는 ss 회수율이 극히 불량하다. · 약취발생이 쉽다. · 특히 Steam 가온시 약취발생이 쉽다.	· 설치비용이 높다. · 유지관리에 수작업이 필요하다. · 소각회분이 증가한다. · 소규모량의 처리에 적합하다.	· 함수율이 높다 · 발생되는 cake가 많고 소각회분량이 증가한다.
적용 대상	· 일반산업폐수 슬러지 전반(하수, 분뇨 등의 폐수전반의 슬러지 탈수처리에 이용)		· 지·펄프슬러지 등 섬유질분이 많은 폐수의 슬러지 탈수 · 위생폐수의 슬러지 탈수	· 하수슬러지· 정수슬러지 등의 무기계 슬러지가 주체인 경우의 탈수처리	· 하수슬러지나 process (여액측이 생산품인 경우)에 적용

표 3-4. 탈수용 고분자 응집제의 종류와 용도

이온성	물질의 구조	이온성 구분	용도	대표적인 탈수제의 상품명
음이온·비이온(Anion 및 Nonion polymer)	$\begin{array}{c} \text{-(CH}_2\text{(H}_n\text{)-C(=O)-NH}_2\text{)-} \\ \text{-(CH}_2\text{(H}_m\text{)-C(=O)-O}^-\text{Na}^+\text{)-} \\ \text{-(CH}_2\text{(H}_n\text{)-C(=O)-O}^-\text{Na}^+\text{)-} \end{array}$	약	응집 sludge 전반탈수(용해성 A1 성분이 많은 경우)	KURIFLOCK PN-171 PA-333
		중	응집 슬러지 전반의 탈수	KURIFLOCK PA-322 PA-328
		강	제지·피혁 등의 응집슬러지의 탈수	KURIFLOCK PA-300 PA-500
양이온(cation) polymer	$\begin{array}{c} \text{-(CH}_2\text{-CR}_h\text{)-} \\ \text{C=O} \\ \text{O} \\ \text{C}_2\text{H}_4 \\ \text{R-N}^+\text{-R} \\ \text{R} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{-(CH}_2\text{-CH}_m\text{)-} \\ \text{C=O} \\ \text{NH}_2 \\ \text{X}^- \end{array}$	약	혼합슬러지	KURIFIX CP-976 CP-977
		중	유기성 슬러지	KURIFIX CP-911 CP-952
		강	유기성 슬러지	KURIFIX CP-932 CP-604
양이온(Cation) polymer	$\begin{array}{c} \text{-(CH}_2\text{-CH}_n\text{)-} \\ \text{C=O} \\ \text{NH-CH}_2\text{-N} \\ \text{R} \end{array}$	강	유기성슬러지 및 혼합 슬러지	KURIFIX CP-627
		강	유기성 오니	Press-Aid 101 102

수하는 기본구조로 구성되어 있다. 따라서 여포의 압착력을 이용한 Belt press나 Filter Press에서는 탈수 여포에서의 cake 박리성이 무엇보다도 중요하게 된다. Belt press의 경우에는 연속운전이 실시되는 반면 Filter Press에서는 batch식의 운전만이 가능하므로 최근에는 연속운전을 위하여 Belt Press가 보편화되고 있는 추세이다.

한편 Decanter는 비교적 중소규모의 Sludge 탈수에 적합하며 Belt press나 Filter에 비하여 비교적 함수율이 높은 cake가 발생하는 것이 단점이나, 여포의 오염 및 유분 등에 의한 운전저해 요인이 작게되는 장점이 있다.

2. 탈수처리에 있어서의 고분자 응집제의 적용  
가. 탈수용 고분자응집제의 종류와 기능

탈수처리에 사용되는 고분자응집제는 통상 양이온(Cation) 고분자응집제가 일반적이거나 피혁폐수등과 같이 슬러지의 종류에 따라 음이온 및 비이온성(Anion 또는 Nonion) 고분자응집제가 적용

되는 경우도 있다. 이는, 폐수처리에 있어서 무기 응결제와 음이온성(또는 비이온성) 고분자응집제에 의하여 형성된 응집 flocc이 결국 농축되어 슬러지로 되었기 때문에 응집 flocc의 계면전하가 어떤 양상의 전하를 띠었는가가 상당히 중요한 인자가 된다.

따라서 응집 flocc의 계면전하가 음이온일 경우에는 반대전하를 띤 양이온성(Cation) 고분자응집제를 적용하는 것이 바람직하게 된다.

탈수처리는 결국 응집 flocc을 재차 응집시켜 거대 flocc을 형성시킴으로써 최종적으로 고액분리 효과를 얻게 되는 것이다.

나. 슬러지의 성장과 탈수성

슬러지의 탈수성은 슬러지의 구성성분에 많은 영향을 받게되며, 이에 대한 적정 탈수제의 적용이 무엇보다도 중요하다.

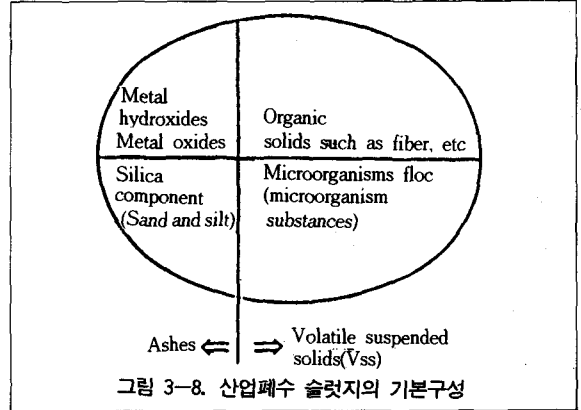
통상, 일반적인 응집처리 슬러지에는 폐수처리 중 사용된 알루미늄염, 철염 등이 포함됨은 물론

응집제로 사용된 고분자응집제(음이온 또는 비이온계)도 포함되어 있다.

따라서 대부분의 경우는 슬러지 입자의 계면이 음이온성 고분자응집제의 카르복실기(음이온 부)로 싸여 있기 때문에 탈수제로는 양이온성 고분자응집제가 적합하게 된다.

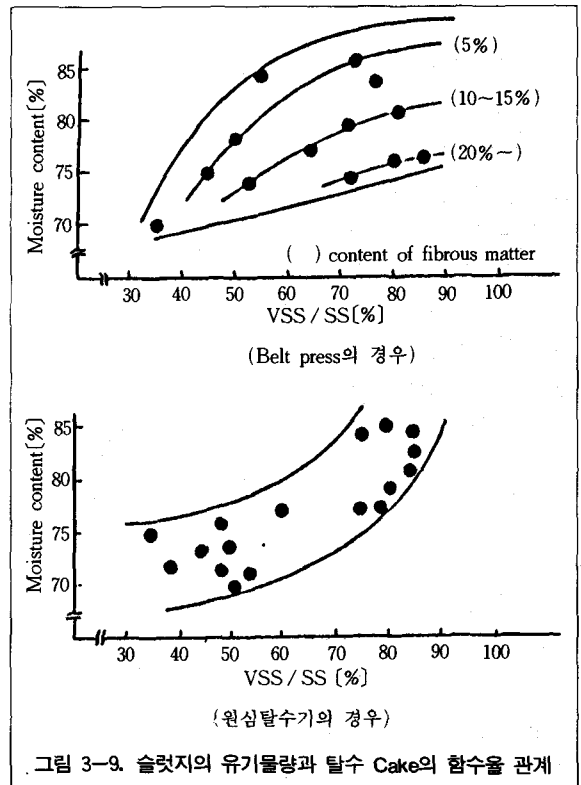
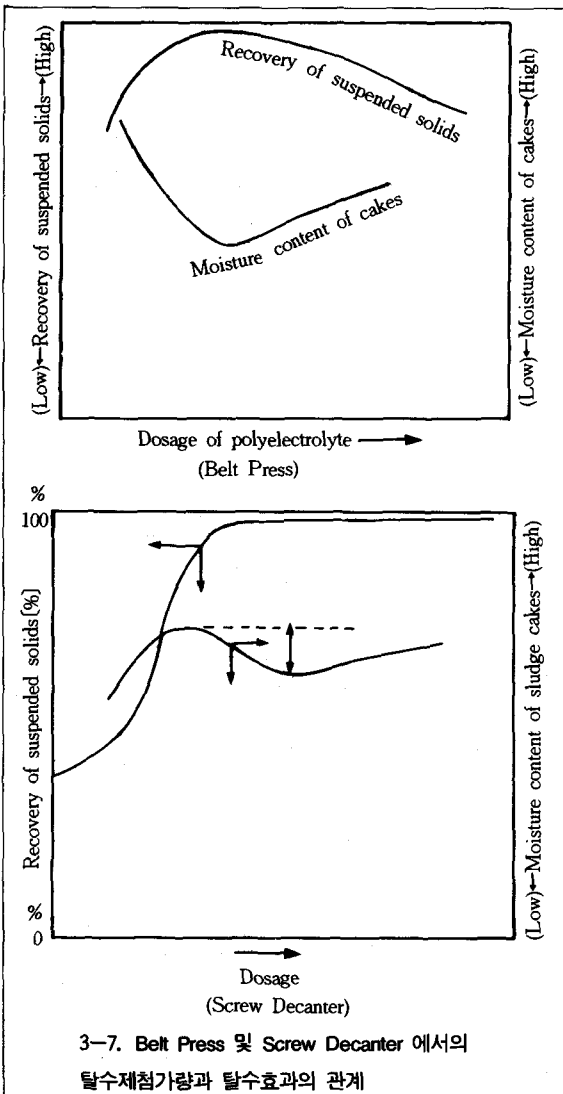
특히 활성오니 슬러지 등과 같이 유기성 현탁입자(vss)의 비율이 높을 경우에는 슬러지 입자의 음이온성이 비교적 높기때문에 탈수제로는 강한 양이온성이 상대적으로 높게 요구되어 진다.

반면 슬러지 자체에 다량의 무기응결제 성분이



존재할 경우와 같이 슬러지 입자자체에 양이온성이 높게 함유된 경우에는 음이온 또는 비이온성의 고분자응집제를 탈수제로 사용하기도 한다.

한편 실제 탈수에는 유기성 슬러지와 전처리단계 응집처리 슬러지를 혼합하여 처리하는 등 설비 구성이 경우에 따라 다르므로 Test를 통하여 결정하는 것이 바람직하다.



다. 탈수효과에 영향을 미치는 인자

탈수효과에 영향을 미치는 각종 인자로써는 슬러지의 성상, 운전 pH, 탈수제 첨가량, 교반시간 및 강도, 탈수기 운전속도, 탈수압력 등이 있다.

1) 슬러지의 성상

슬러지를 구성하는 유기성 현탁입자(vss)의 비율은 적용탈수제 종류를 결정하는 중요한 인자임과 동시에 필요첨가량과 탈수효과를 좌우한다.

또한 슬러지에 용존염이 과다한 경우에는 탈수효과가 감소하는 경우도 있으므로 슬러지를 희석처리 하는 것이 바람직하다(통상 전기 전도율로써 8,000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이상의 경우에는(탈수제의 양이 온부위가 저해를 받아)효과가 감소하게 된다).

2) 운전 pH와 탈수제 첨가량

탈수대상이 되는 슬러지는 응집처리시의 처리 pH에 의해 주로 좌우되므로 원 슬러지의 pH는 과도하게 높거나 낮지 않도록 하여 탈수제의 효과가 최대한으로 발휘되도록 하여야 한다.

아울러 탈수제는 적정투입량 이하에서는 극히 약한 floc을 형성하며, 초과투입할 경우에는 floc

자체에 점성이 잔존하여 Belt Press 등에서는 여포 오염을 증가시키기도 한다.

아울러 탈수제 첨가량은 슬러지의 유기물량과도 밀접한 관계가 있다.

3) 기타

효과적인 탈수처리를 위해서는 대상 슬러지의 질이나 변화등에 유의하여야 하며,

- 슬러지 성상이나 탈수기종에 적합한 탈수제의 선정

- 탈수제의 반응이 충분할 수 있는 주입점의 설정과 교반

- 지나친 강교반의 금지(Polymer의 분자량감소 파괴의 원인이 됨)

- 탈수제의 적정용해(양이온성의 경우 0.2-0.4%, 음이온의 경우 0.05-0.1%가 일반적)

- 장기간 용해액 저장금지(용해된 수용액이 장기간 저장될 경우에는 효과가 감소되며 통상 2-3주일 정도의 기간내에서는 효과감소가 거의 없음) 등의 제반운전 조건에도 유의해야 한다.

3. 최근의 고분자응집제의 동향

최근의 고분자응집제의 가장 큰 변화는 공장자동화 추세에 부응하기 위한 액체상(Liquid Type)이나 유화상(Emulsion Type) 고분자응집의 보급이다. 이러한 액체상 또는 유화상의 고분자응집제는 취급에는 용이하고 정량 자동주입 등이 어느정도 가능하지만 고분자응집제의 특성상 고도의 분자량이 요구되는 것은 동일하기 때문에 분말형태와 동일한 용해사용이 일반적으로 채택되고 있다.

또한, 액체상 또는 유화상 고분자응집제는 분말상의 고분자응집제에 비하여 유효성분의 함량이 10-50% 정도이고, 분자량이 상대적으로 낮은 상태가 대부분이므로 투입량이 분말형태보다 상대적으로 증가하게 된다.

따라서 고분자응집제의 적용은 설비의 조건이나 운전조건, 폐수성상 등의 종합적인 제반여건을 고려하여 선정후 적용하는 것이 바람직하다.

아울러 폐수의 성상은 단일 공정이라고 할지라도 많은 변화가 있는 것이 일반적이므로 각각의 Trouble에 적합한 처리기술의 확립이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. (다음호에 계속)

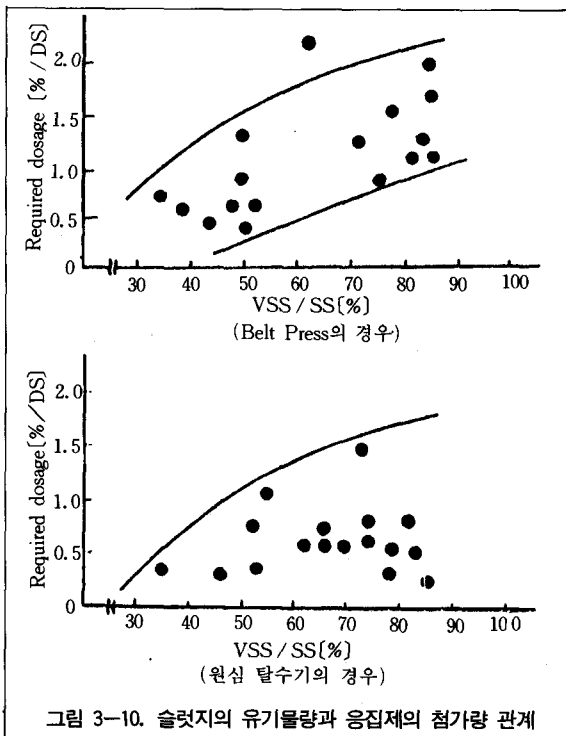


그림 3-10. 슬러지의 유기물량과 응집제의 첨가량 관계