

탄광산업 폐수처리

〈마지막회〉



신 항 식

(한국과학기술원 · 토목공학과(환경분야) 부교수)

목 차

- I. 머리말
- II. 탄광의 작업 공정
- III. 폐수의 배출원 및 특성
- IV. 처리목표 및 방류수 수질 기준
- V. 폐수의 감량화 기법
- VI. 탄광 폐수의 일반적 처리방법
- VII. 우리나라에서의 탄광폐수 처리를 위한 최적 방안
- VIII. 결론
- 참고문헌

VI-2 일반 탄광 폐수(갱내 배수 및 선탄폐수)의 처리

부유물질 제거에 사용되는 일반적인 처리 방법으로는 침전법, 응집법, 여과법들이 사용되고 있으며 각 처리 방법의 특성은 다음과 같다. 「9」

1) 침전법

석탄폐수는 <표 7>에서 보는 바와 같이 입경과 비중차에 의해 자연 침전 처리만으로도 처리가 가능할 수 있다. 「15, 17」
-기본원리

침전법은 응집된 입자나 부유입자를 이용하여 침전시켜 제거하는 방법으로 중력하에서 1.0보다 큰 밀도를 갖는 응집된 입자는 액저항이 입자의 유효무게와 같아질 때까지의 가속도로 물속에서 침강하며 침강속도는 물의 밀도와 점도 및 입자의 성질(크기, 형태, 밀도등)에 영향을 받는다. 구입자에 대한 일반적인 침강속도식은 (1)과 같다.

$$V = \left[\frac{4g(\rho_3 - \rho)d}{3c_1\rho} \right]^{1/2} \quad (1)$$

어떤 현탁액에 대해 침강속도가 V_1 라 하면 침강에 의해 제거될

<표 7> 모래, 석탄, 하수의 SS 입경에 따른 침강속도

단위 : m/h

구분	비중	입경(mm)	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01	0.005
모래	SS=2.65		502	258	82	24	6.1	0.3	0.06
석탄	SS=1.5		152	76	26	7.6	1.5	0.08	0.015
하수	SS=1.2		122	61	18	3.0	0.76	0.03	0.008

수 있는 입자의 총분율(P)은 (2) 식과 같다.

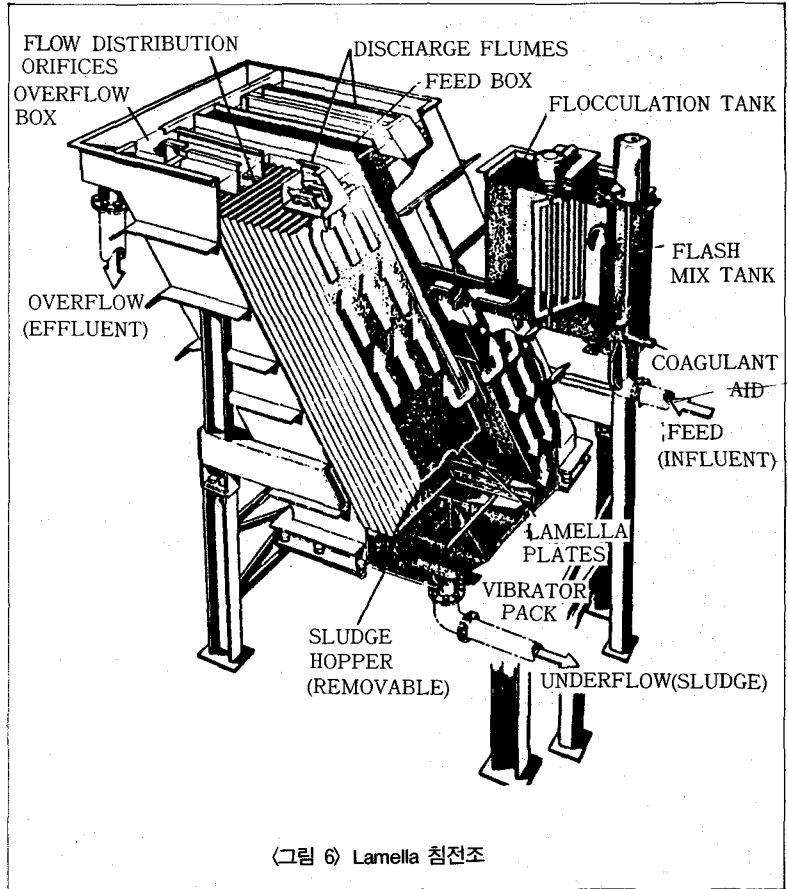
$$P = (1 - P_0) + \int_0^P \frac{v_1}{v_0} dP_1 \quad (2)$$

— 고속 침전법

고속 침전법은 표면부하속도를 표준 정화기에 사용되는 속도의 2-3배로 하는 방법으로 이 방법에 의한 침강입자 제거율은 90-95%에 달하며 다음의 두가지 방법이 사용된다.

① Lamella 침전법

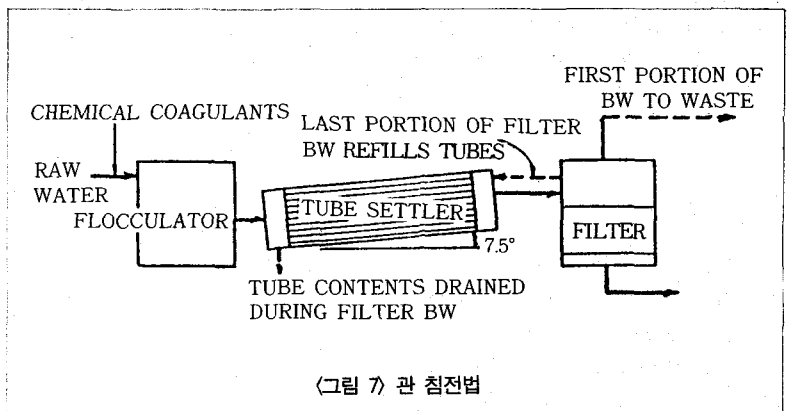
Lamella 침전은 하향형으로 침전슬릿지가 매끄러운 플라스틱 아래로 물과 같은 방향으로 흐른다. 약 45도 경사진 평행판이 1-2m 간격으로 놓여지며 유출수는 헤더시스템을 통해 수집된다. 평판사이를 충류로 흐르므로 수력학적 안정도가 크다. 각 침전입자들은 좁은 침전공간내에서 매우 짧은 궤도로 흐르며 바닥으로 흘러내리는 조밀한 슬릿지가 전달되는 현상은 하향흐름에 의해 촉진된다(그림 6) 참조).



〈그림 6〉 Lamella 침전조

② 경사판 침전법

관의 형태와 크기는 여러가지이나 전형적인 형태는 단면이 수평에 대해 60도 경사지고 면적이 2in×2in인 사각형 관 시스템이며 관은 PVC와 ABS 플라스틱관을 사용한다. 이 방법은 물은 상향으로 흐르고 슬릿지는 하향으로 흐르게 하여 제거한다(그림 7) 참조).



〈그림 7〉 관 침전법

2) 응집 침전법

석탄폐수내의 극미분탄과 콜로이드성 현탁물은 단순 침전법에 의해서는 처리가 곤란하여 약품을 첨가

하는 응집 침전법이 바람직하다.

— 기본원리

응집법은 현탁액에 명반과 같은 응집제를 가해 용액을 불안정하게 하여 작은 입자를 보다 큰 입

자와 결합시켜 제거하는 방법으로 두 단계로 이루어진다. 첫 단계는 수중의 입자들이 화학처리됨으로써 점착성을 갖거나 불안정하게 된 입자들을 서로 접촉시

켜 집성물을 형성시키며 이 집성물은 침전이나 여과에 의해 제거된다 응집법에 의한 처리공정도는 <그림 8>과 같다.

-응집제

① 명반

명반($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) 사용시 응집은 알루미늄 수산화물에 의해 일어나며 적합한 pH 범위를 유지시켜주는 것이 중요하다. 탁도 및 색도 제거시 최소 명반요구량은 <표 8>과 같으며 폐수의 성상에 따라 필요한 명반양을 부가적으로 추가해야 한다.

② 황산제1철

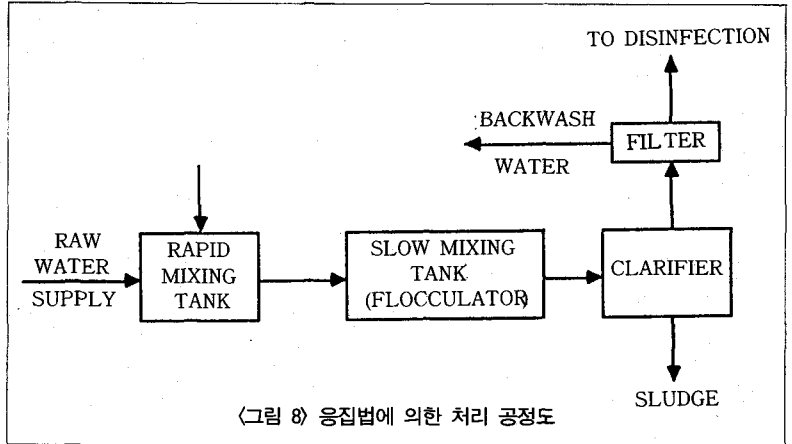
황산제1철($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)의 유효 pH 범위가 넓으며 응집시 최적 pH 범위는 8.0 이상이다. 부유물질을 제거하기 위한 최소 황산제1철 양은 $50mg/l$ 이며 pH는 9.3으로 유지시키기 위해 석회를 부가적으로 가한다.

③ 황산제2철

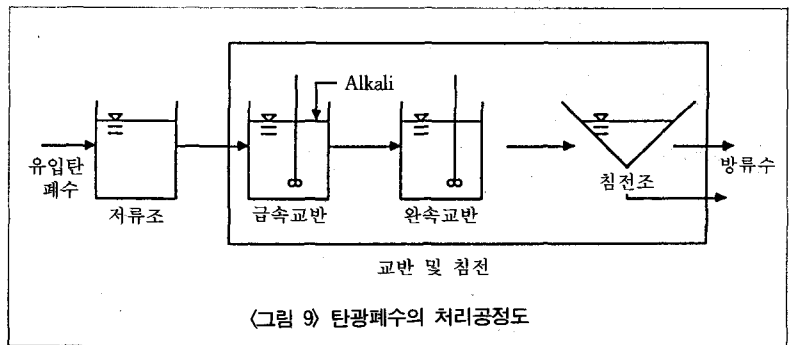
황산제2철($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$)의 유효 pH 범위는 황산제1철의 pH 범위와 같으며 부유물질 제거를 위한 최소 황산제2철양은 $25mg/l$ 이다.

<표 8> 탁도 및 색도 제거시 명반의 최소 요구량과 최적 pH

Case	최적 pH	최소 요구량(mg/l)
탁도제거시	6.8	35
색도제거시	5.6	45



<그림 8> 응집법에 의한 처리 공정도



<그림 9> 탄광폐수의 처리공정도

3) 여과법

부유물질을 함유한 폐수를 다공질층에 통과시켜 adsorption과 straining mechanism으로 부유물을 제거하는 방법으로 어떤 시간에 여과기를 통과하는 흐름속도는 추진력에 정비례하고 여재의 저항에 역비례한다. 여재는 모래를 일반적으로 사용하는데 석탄폐수 처리에 이용하는 강제 여과식 Sand Filtration은 수중모를 설치하고 수중보위에 채류된 물층의 무게를 추진력으로

하여 석탄폐수를 두꺼운 인공사층으로 침투 유하시킴으로써 탄폐수 중의 부유물, 콜로이드, 세균 혹은 용해질등의 불순물을 제거하여 수질을 개선하는 방법이다.

VII. 우리나라에서의 탄광폐수 처리를 위한 최적 방안「8,9」

우리나라의 석탄광의 대부분은 산악지대에 위치해 있고 영세하므로 광산폐수를 처리하기 위한 공법은 가능한 한 경제적이고 유지관리

가 용이하고 넓은 부지가 필요치 않으며 많은량의 탄광폐수를 짧은 체류시간내에 처리할 수 있어야 한다. 문헌조사에 의하면 그러한 방법으로서 응집제 투여없이 응집보조제인 알카리만을 주입하여 탄폐수를 처리하는 응집침전법이 제시되고 있다(<그림 9> 참조).

이러한 결론은 다음과 같은 실험을 근거로 하였다.

1) 침전관 실험 <그림 10>과 같은 침전관을 이용하여 합대, 탄광폐수

의 침전실험을 한 결과 SS가 195mg/l 인 경우 상징액의 SS가 10% 제거되는데 115분 그리고 20% 제거되는데 약 200분 정도가 소요되므로 침전조 설치만으로는 미세한 탄입자를 완전히 제거한다는 것은 불가능하다.

2) 강제 여과식 Sand Filter

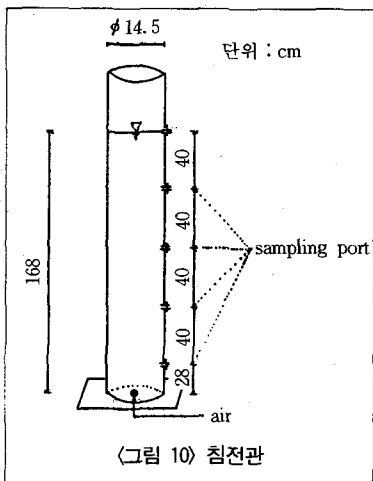
(그림 11)과 같은 실험장치에서 유효경이 각각 0.6mm, 0.41mm, 0.22mm, 0.18mm 크기의 모래에 탄폐수의 SS를 변화시켜 주입하고 유출수의 SS 및 침투깊이를 측정하였

다. 그 결과 깊이제거에 의한 탄폐수 처리는 backwash 조작을 고려해야 했고 backwash 조작은 운전 경비가 많이 소요되고 장치가 복잡하므로 추천할 방법이 못된다. 따라서 유지비가 적게 들고 운전관리가 용이한 표면 여과법을 제안할 수 있는데 본 실험 결과 모래크기 0.18mm에서 유입수 SS를 10 mg/l, 유출속도를 11 l/hr 이하로 유지해야만 수도 손실 변화가 적었고 31시간 후에는 침투 깊이가 2-5cm 이었다. 그러나 탄폐수의 SS 농도는 100-300 mg/l 로 고농도이므

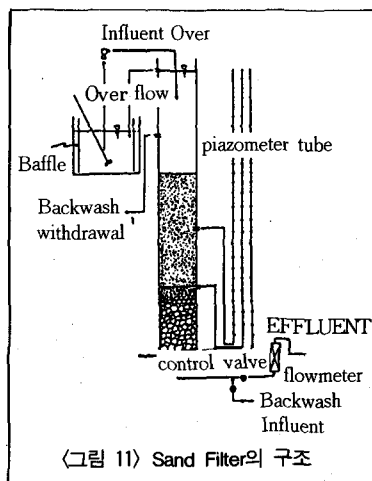
로 쉽게 막히게 되어 수도손실 변화가 크므로 운전시간이 짧게되고 빈번한 모래 갈이가 요구되므로 전 단계에서 탄폐수내의 SS를 저하시킬 수 있는 방법이 강구되어야 한다.

3) 응집제 주입에 의한 탄폐수처리
Alum을 사용했을 경우 최적 주입량이 20-30 mg/l 이며 pH 6-8 범위에서 탄폐수의 SS가 효과적으로 제거되었으나 대부분의 광업소가 영세한 실정을 고려하면 값비싼 응집제 투여 없이도 처리할 수 있는 방안이 필요하였다.

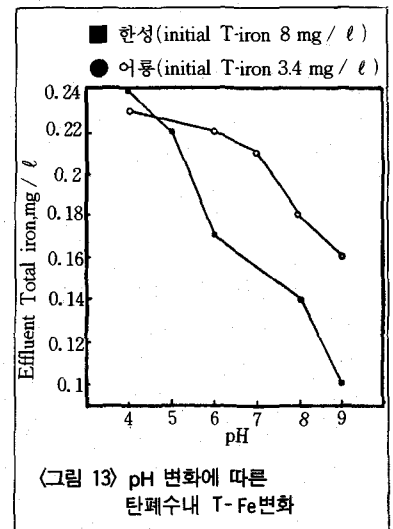
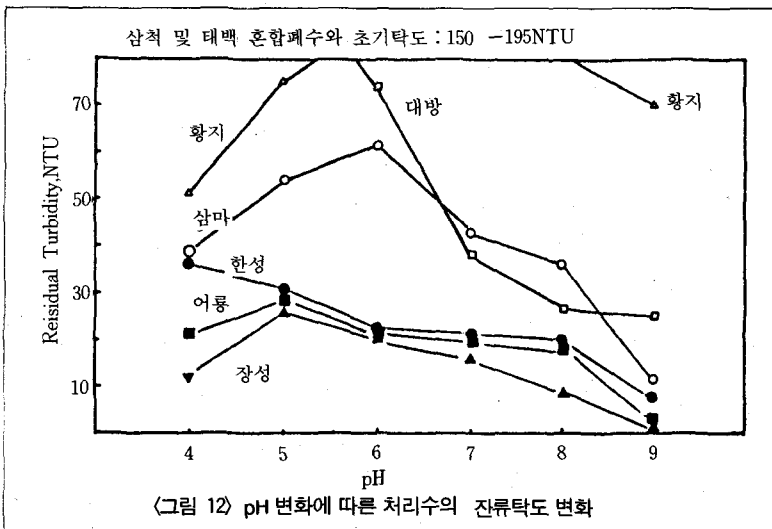
4) pH 변화에 의한 탄광 폐수처리
(그림 12) 및 (그림 13)은 각 탄폐수의 pH를 조정하여 급속교반 3분, 완속교반 15분 침전시간 30분으로 실시하였을 때의 잔류탁도 및 Total-Fe의 변화를 나타낸 것이다. 대부분의 탄광에서는 pH가 높아질수록 응집 침전성이 좋아져 유출수의 탁도가 낮았으며 상징액내 철분 농도도 감소하였다. 이는 탄폐수에 용해되어 있는 제1철 및 제2철이 응집제로 작용한 것으로 사료된다. 따라서 급속교반 3분 완속교반 30분 침전시간 60분으로 잔류탁도는



(그림 10) 침전관



(그림 11) Sand Filter의 구조



1NTU 이하, SS는 2.5mg / ℓ 이하로서 응집제 첨가 없이 알칼리제만을 투입하고 교반시간 및 침전시간만 연장하여도 유출수의 수질은 방류수 기준이하의 수질을 얻을 수 있었으며 수질환경을 악화시키는 철분 농도도 줄일 수 있었다.

○ 슬러지 처리법으로는 운전비용이 적게 들고 특별한 기술이 필요치 않으며 또한 탄폐수 슬러지는 악취의 문제가 없으므로 Drying Bed가 적격이라 할 수 있다.

탄광폐수는 pH가 낮고 부유물질 농도가 높으며 철, 알루미늄, 망간등의 많은 황산염광물을 함유하고 있다. 특히 제1철은 하천의 용존산소를 고갈시켜 수생환경을 파괴하며 산화된 제2철은 하천바닥을 황갈화(Yellow Boy)시켜 미관상 좋지 않게 만든다. 이러한 탄광폐수의 처리방법으로는 중화법, 침전법, 응집침전법, 여과법등이 있다.

우리나라의 경우 탄광이 대부분 협준한 산악지역에 위치해 있고 업체가 영세하므로 지역설정에 알맞은 탄폐수 처리 방법이 개발되어야 한다.

지금까지의 연구 결과로 보면,

탄광폐수는 미세한 탄입자 때문에 침전조 설치만으로는 처리가 불가능하며 또한 여과법을 사용할 경우 높은 부유물질 농도로 인해 여과지가 쉽게 막히므로 무기성 응집제를 쓰지않고 알칼리제만 주입하는 중화법이 최적이라 할 수 있다. 이러한 방법을 실제로 이용하는 경우 운영비용은 전기비 및 알칼리제 투입비 그리고 인건비만 소요될 것으로 사료된다.

EPA, "An Appraisal of Neutralization Processes to Treat Coal Mine Drainage", USEPA, Wasnginton D.C.(1973)

EPA, "Stream Pollution by Coal Mine Drainage in Appalachia", FWPCA, Cincinnati Ohio(1969)

EPA, "Control of Mine Drainage from Coal Mine Mineral Wastes", Phase 2. Pollution Abatement and Monitoring(1973)

EPA, "Water Infiltration Control to Achieve Mine Water Pollution Control"(1973)

Nelson L. Nemerow, Industrial Water Pollution, Addison-Wesley

Publishing Company(1978)

The NALCO Water Handbook, McGraw-Hill Book Co.(1979)

Mones. E. Hawley, "COAL, PART 1, Social, Economic and Environmental Aspects" Dowden, Hutchinson & Ross Inc.

C.Simeons, "COAL, It's Role in Tomorrow's Technology", Pergamon Press(1978)

환경청 : 산업폐수 관리 (1985)

국립 환경연구소 : 폐수처리 시설의 설치기준 제정에 관한 연구 (1984)

환경보존법

연합통신 : 연합연감 (1989)

이상덕, "석탄폐수의 효율적 처리," 공해대책 제8호 (1987)

이춘택, "산성 갱내배수가 자연환경에 미치는 영향과 그 처리시설의 설계에 관한 연구," 한양대학교 산업대학원 공학 석사학위 논문 (1984)

이춘택 외, "갱내배수의 중화처리 시설에 관한 설계," 한양대학교 환경 과학연구소, 환경과학논문집 제8집 (1987)

김갑수 외, "탄광폐수 처리 시스템 개발에 관한 연구," 한국상하수도 학회지 제2호 (1989)

건설부 : 태백 광산지역 탄광폐수 처리시스템 개발 최종보고서 (1988)

환경인회관건립은 일선에 근무하는 모든 관리인과 관·산·학에 종사하는 진정, 우리의 환경을 아끼고 사랑하는 환경인을 위한 대역사업입니다.

환경관계 모든 자료와 실상을 한눈에 살펴볼 수 있는 환경인회관건립에 현장에서 환경보전을 몸소 실천하는 환경관리인들의 작은 정성이 하나, 둘 모여질 때, 우리 모두의 지대한 소원을 반드시 이루어질 것입니다.

환경인회관 기금모금에 환경관리인의 많은 동참이 있으시길 바랍니다.