

산성폐광폐수를 이용한 매립지 침출수의 응집처리

최봉종[†] · 이승목 · 이상호
관동대학교 건설환경시스템공학부

Coagulation Treatment of Landfill Leachate Using Acid Mine Drainage(AMD)

Bong Jong Choi[†], Seung Mok Lee and Sang Ho Lee

Division of Construction, Environment and System Engineering, Kwandong University

(Received 19 November 2000 ; Accepted 20 December 2000)

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the coagulation effects of landfill leachate by using Acid Mine Drainage(AMD). The coagulation efficiency was investigated by mixing landfill leachate with Fe³⁺ solution earned by oxidation of pyrite(AMD). In the results of this experiment, it was found that the amount of removed COD and SS was approximately 30% respectively by mixing at the ratio of AMD three to leachate one. And it showed highest turbidity removal efficiency at all mixing ratio. Concentration of Fe was decreased with increasing mixing ratio, however it was increased inversely at mixing ratio 4. Optimal mixing ratio was 3 at the results obtained by leachate coagulation experiments. Also removal efficiency at mixing ratio 3 corresponded to 500 mg/l of FeCl₃ dosage. It was suggested that pretreatment by mixing of AMD and leachate remove both suspended organic material of leachate and metal of AMD.

Keywords : AMD, landfill leachate, coagulation, mixing ratio

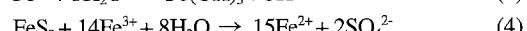
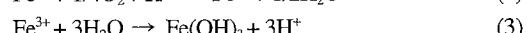
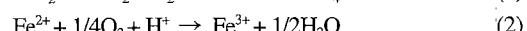
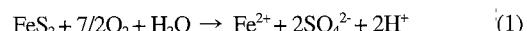
I. 서 론

최근 경제의 성장과 국민생활수준의 향상 등으로 인하여 발생되는 폐기물은 양적으로 증가하고, 질적으로 다양화되어 이에 따른 환경오염 문제가 대두되고 있다.

우리 나라의 생활폐기물 처리형태를 살펴보면, 1998년에 매립 56.2%, 재활용 34.9%, 소각 8.9%로 매립에 의한 처리가 높은 비중을 차지하고 있다.¹⁾ 매립에 의해 발생되는 침출수의 수질은 매립 폐기물의 구성성분, 강수량, 매립지 연령 등에 따라 큰 차이를 보이지만 대체적으로 유기물질과 질소화합물의 농도가 높은 반면, 인화합물이나 중금속 농도는 낮은 것으로 알려져 있으며, 매립 초기에는 생분해 가능한 유기물질이 다량 존재하나 매립기간이 경과할수록 난분해성 유기물질의 농도가 높아지게 된다.^{2,3)} 이러한 침출수를 처리하기 위한 처리공정으로는 생물학적으로 협기성, 호기성 그리고 협기성과 호기성을 결합한 방법을 사용하며, 물리화학

적 처리에는 응집침전, 활성탄흡착, 오존산화, 막공정과 최근들어 대두되고 있는 고급산화공정(Advanced Oxidation Process)등이 사용되고 있다.⁴⁾

또한 우리나라에 신재해 있는 폐광산은 채굴 활동 당시에는 배출수의 중금속, pH 등이 안정한 상태이나 휴·폐광이 되면서 쟁내로 유입되는 산소와 물의 영향으로 황철광(pyrite)이 산화되어 쟁내수의 pH가 4이하인 강산성 수질로 변화하게 된다. 이러한 쟁내수는 주변의 암석층을 통과하면서 중금속을 용해함과 동시에 여러 유해물질을 함유하게 되며, 쟁내수가 배출되어 인근 하천을 오염시키고 하천바닥을 황갈색의 침전물로 덮어버리는 현상을 나타낸다. 또한 강산성의 수질로 인한 수계생태계의 파괴와 주변 농경지의 중금속오염을 유발하고 있는 실정이다.^{5,9)} 황철광의 산화과정은 반응식 (1)~(4)식에 나타내었다.



초기에는 황철광의 단순한 분해나 산소에 의한 산화로 Fe^{2+} 가 생성되고, Fe^{2+} 는 다시 *Thiobacillus*

[†]Corresponding author : Division of Construction, Environment and System Engineering, Kwandong University

Tel: 033-670-3353, Fax: 033-672-6096
E-mail: psalm7@mail.kwandong.ac.kr

ferrooxidans 등과 같은 미생물에 의해 산화된다. 산화된 Fe³⁺는 수산화철의 형태로 침전하게 된다. 또한 황철광은 산소에 의해 산화될 때보다 Fe³⁺에 의해 더 빠른 속도로 산화된다.^{8,10)}

현재 영동탄광에서 배출되고 있는 폐수는 limestone 층을 설치하여 중화시키고 소택지에 저류시켰다가 방류하고 있으나 배출되는 폐수의 pH가 3 전후로 강산성을 띠고 있고 중금속의 함유 또한 높은 실정이다. 그리고 인근 위생매립지에서 발생하고 있는 침출수는 1차 처리 후 하수종말처리장으로 이송하고 있다. 매립을 시작한지 2년 정도된 초년 위생매립지로 발생되는 침출수는 혼기화가 진행되지 않아 pH가 낮으며 BOD 농도가 COD보다 약간 높은 편으로. BOD의 농도는 대략 1000 mg/l 전후로 배출되고 있다. 차후 하수종말처리장으로 이송되는 침출수의 양이 증가하면 하수종말처리장의 하수처리에 여러 문제점을 일으킬 수 있을 것으로 생각되어진다.

본 연구에서는 폐광폐수의 낮은 pH와 Fe³⁺를 이용하여 인근에서 배출되고 있는 침출수의 응집처리를 연구하였다. 응집실험을 통하여 최적 혼합비율을 결정하고 협장적용의 가능성 및 운전조건 등을 제시하는 한편 폐광폐수가 인근 수계에 미치는 영향을 감소시키고 매립지에서 발생하는 침출수의 1차처리 비용절감 방안을 검토하기 위하여 실험을 수행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 시약

본 실험에서 사용된 폐광폐수는 강원도 강릉시 임곡리에 위치하고 있는 영동탄광의 폐수로 limestone 층을 통과한 후 소택지에 저류된 물이 월류되어 하류로 흘러 나오는 폐수를 사용하였고, 침출수는 영동탄광 하류의 대략 5 km 지점에 위치하고 있고, 매립을 시작한지 2년째 되는 초년생 위생매립지의 침출수를 사용하였다. 폐광폐수와의 비교실험에 사용된 응집제는 염화제2철(FeCl₃)를 사용하였다. 실험에 사용된 폐광폐수 및 침출수의 성상은 Table 1과 같다.

2. 실험방법

본 실험에서 폐광폐수와 침출수의 혼합은 250 ml의

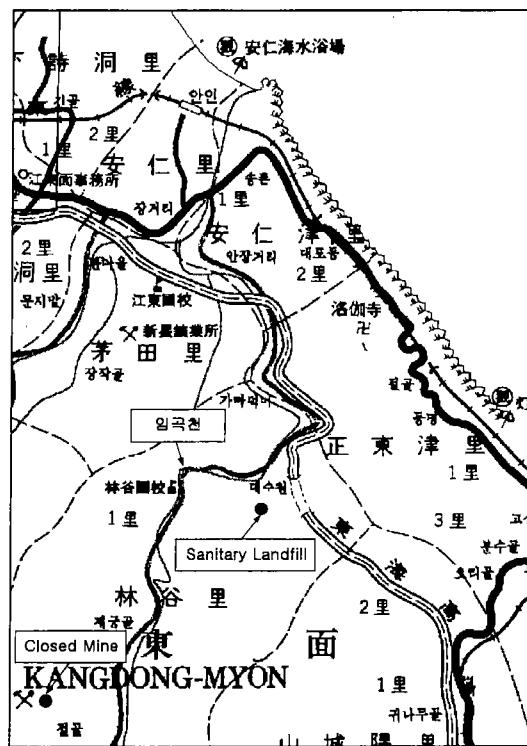


Fig. 1. Location of sampling site.

비이커에 혼합시료 200 ml를 넣고 Jar tester를 사용하여 교반하였다. Jar test는 급속교반(150 rpm) 5분, 완속교반(50 rpm) 20분을 실행한 후 1시간동안 침전시켜 상등액을 분석하였다. 상등액의 분석항목은 pH, 탁도, COD_{Mn}, SS, NH₃-N, Fe, Mn, Zn이고 COD_{Mn}, SS, NH₃-N은 수질오염공정시험법으로 pH와 탁도는 pH meter와 탁도계를 사용하였으며, Fe, Mn, Zn은 1M의 HNO₃에 소화시키고 유리섬유 여과지로 여과한 후 원자흡광광도계(Variian Spectra AA-300)를 사용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 최적 혼합비

폐광폐수와 침출수의 최적 혼합비를 구하기 위하여 폐광폐수/침출수의 비율을 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4로 실험

Table 1. The characteristics of water quality in landfill leachate and acid mine drainage (AMD)

	pH	탁도(NTU)	SS(mg/l)	COD(mg/l)	NH ₃ -N(mg/l)	Fe(mg/l)	Mn(mg/l)	Zn(mg/l)
Leachate	6.98	580	388	840	154	-	-	-
AMD	3	185	110	12	-	355	16.4	2.48

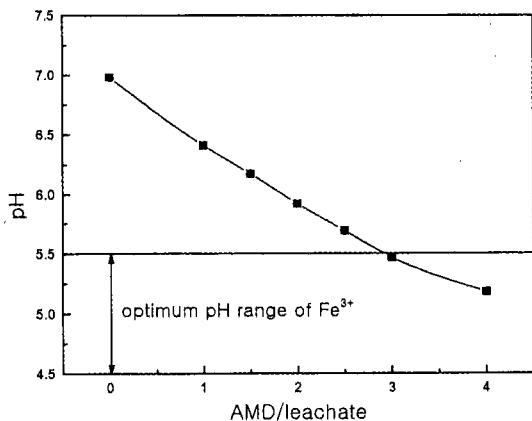


Fig. 2. Variation of pH by mixing ratio of AMD/leachate.

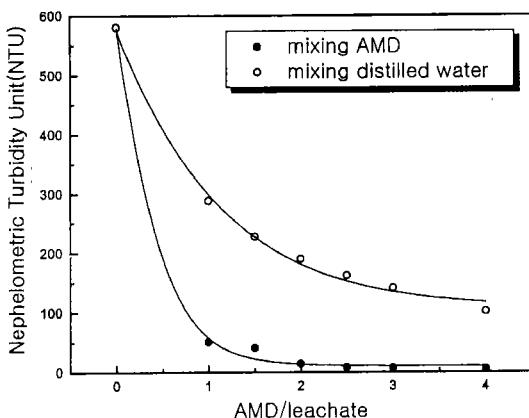


Fig. 3. Removal of turbidity by mixing ratio of AMD/leachate.

하였고, 초기농도를 구하기 위하여 중류수/침출수를 같은 비율로 혼합하여 분석하였다.

Fig. 2는 혼합비에 따른 pH 변화를 나타낸 것이다. 침출원수와 폐광폐수의 초기 pH는 각각 6.98, 3으로 혼합비가 증가함에 따라 pH가 감소함을 보였다. 폐수의 응집시 제2절의 최적 pH는 일반적으로 5 ± 0.5 로 알려져 있는데,^{3,4,11)} 폐광폐수를 혼합하여 침출수를 응집시키고자 할 때 혼합비 3이상에서 최적의 pH 범위에 들었다. Fig. 3은 혼합비에 따른 탁도변화를 나타내었는데, 중류수 혼합에 의해 폐광폐수 혼합시 높은 탁도 제거율을 보였다. 혼합비 1에서는 80%, 2에서는 90%, 3에서는 95%이상의 탁도 제거율을 나타내었다. 또한 혼합비에 따른 COD 농도는 폐광폐수에 의한 희석효과와 pH 감소에 의한 응집효율의 향상으로 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 중류수 혼합비율이 4와 3에서 COD의 농도는 각각 220, 260 mg/l인데 반해 폐광폐수

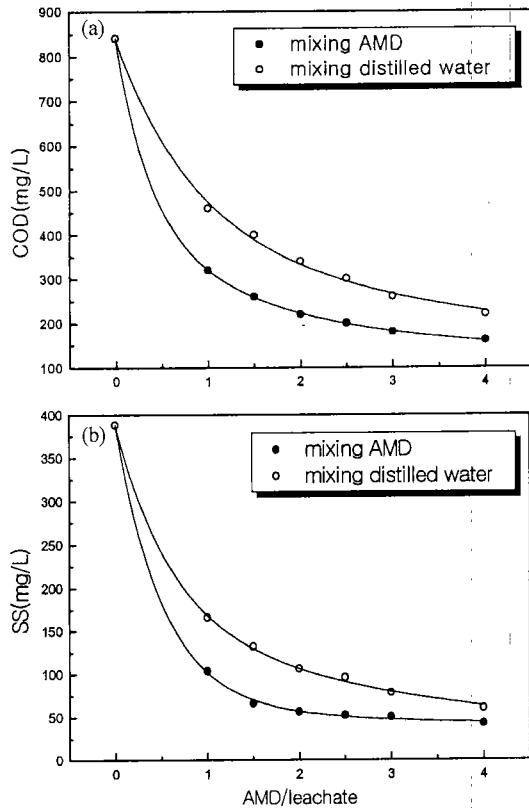
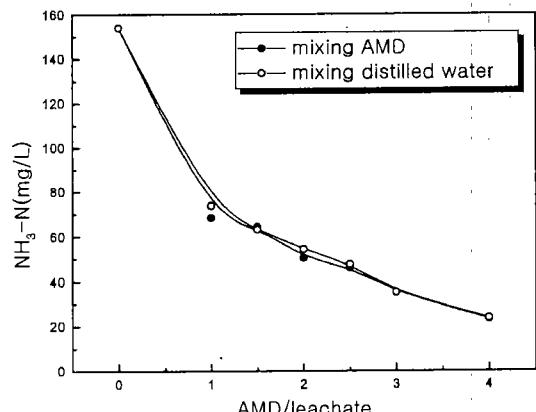


Fig. 4. Removal of COD and SS by mixing ratio of AMD/leachate.

Fig. 5. Removal of NH₃-N by mixing ratio of AMD/leachate.

혼합시 혼합비율 4와 3에서 각각 160, 180 mg/l로 대략 25~30%의 제거율을 나타내고 있다. 일반적으로 응집제를 사용하여 유기물을 10~35%를 제거할 수 있는데,^{3,4)} 폐광폐수와 침출수의 혼합에 의하여 응집제를 주

입한 것과 같은 결과를 얻을 수 있었다. SS 또한 혼합비 4와 3에서 각각 35, 30%의 제거율을 나타내어 COD와 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 5는 혼합비 변화에 따른 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화를 나타낸 것으로, 혼합비가 증가할수록 농도가 감소하였다.

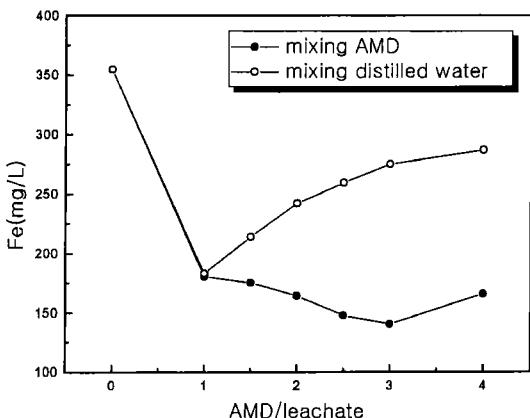


Fig. 6. Removal of Fe by mixing ratio of AMD/leachate.

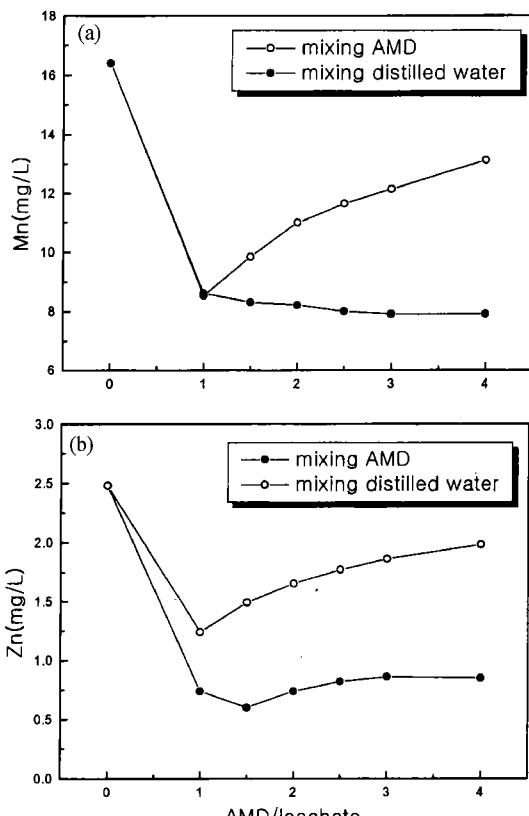


Fig. 7. Removal of Mn, Zn by mixing ratio of AMD/leachate.

으나 거의 모든 $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 용존형태로 존재하므로 폐광폐수를 이용한 응집으로는 제거되지 않고 회석효과만을 나타내었다.

혼합비가 증가함에 따라 Fe 농도는 증가하여야 하나 Fig. 6에서 보듯이 Fe 농도는 혼합비 3까지는 감소하였다. 이러한 이유는 폐광폐수의 Fe 이온이 침출수의 부유물질을 응집하여 침전시킴으로써 주입량이 증가하더라도 Fe 농도가 감소하기 때문이다. 또한 혼합비 4에서는 Fe 농도가 증가하는 경향을 보였는데, 이는 과잉의 폐광폐수 혼합으로 Fe 농도가 증가하기 때문으로 판단되며, Mn과 Zn은 혼합비가 증가할수록 침전되어 제거되는 양이 증가하였다(Fig. 7).

폐광폐수와 침출수의 혼합처리에서 pH와 COD, SS 제거율, Fe 농도를 고려해 볼 때 최적의 혼합비는 3으로 나타났다.

2. 응집제(염화 제2철) 주입 비교

폐광폐수/침출수의 최적 혼합비 3과 응집제 주입량에 따른 제거효율을 비교하기 위해 종류수/침출수의 혼합비가 3이 되도록하여 침출수의 초기 값을 일정하게하고 응집제를 250, 500, 750, 1000 mg/l로 주입한 후 Jar test를 수행하였다.

Fig. 8은 폐광폐수/침출수의 혼합비 3과 응집제 주입량에 따른 탁도를 나타낸 것이다. 응집제를 500 mg/l로 주입하였을 때 폐광폐수 혼합처리와 유사한 경향을 보이지만 500 mg/l 이상 주입시에 탁도가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 과량의 응집제 주입으로 탁도가 증가하는 것으로 판단된다. Fig 9에서 500 mg/l를 주입했을 때 COD와 SS가 각각 150, 38 mg/l로 혼합비 3에서 각각 180, 50 mg/l와 유사한 값을 나타내었다.

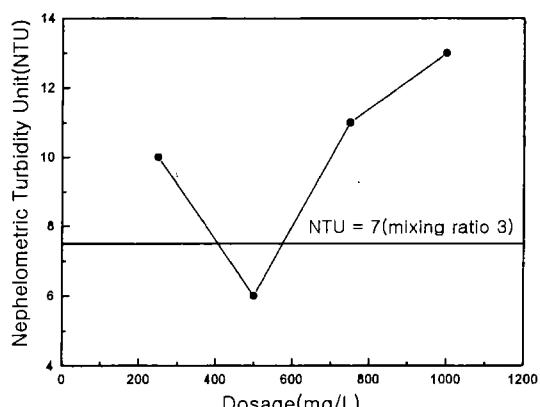


Fig. 8. Comparison of coagulation effect on turbidity between AMD and FeCl_3 dosage.

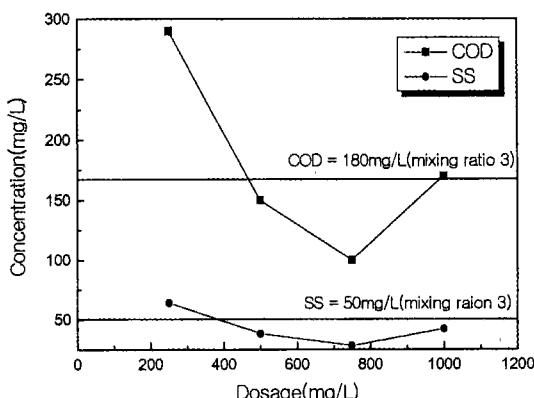


Fig. 9. Comparison of coagulation effect on COD, SS between AMD and FeCl_3 dosage.

FeCl_3 의 주입량이 500 mg/l일 때 $\text{Fe}(\text{III})$ 의 농도는 약 172 mg/l이며 혼합비 3일 때 $\text{Fe}(\text{total})$ 의 농도는 약 250 mg/l였다. Fe 의 농도가 혼합비가 3일 때 더 높은 것으로 나타났지만 폐광폐수에 존재하는 Fe^{+3} 과 Fe^{+2} 와 Fe^{+3} 의 형태로 존재하기 때문에 응집효율은 응집제를 약 500 mg/l(172 mg/l as $\text{Fe}(\text{III})$)로 주입하였을 때가 더 좋은 것으로 나타났다. 주입량이 1000 mg/l에서는 과량의 응집제 주입으로 미세플루이 형성되어 침전이 잘 이루어지지 않아 COD, SS농도가 증가하였다.

IV. 결 론

폐광폐수에 존재하는 Fe^{+3} 을 이용하여 침출수의 응집처리에 대한 최적조건 및 처리효율을 조사하기 위하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일반적으로 응집처리시 최적 pH를 유지하기 위해 산이나 알카리로 pH를 조절하지만, 본 연구에서는 폐광폐수의 혼합만으로 응집처리의 최적 pH 범위로 조절할 수 있었다.

2. 혼합비 3, 4에서 COD의 약 30, 25%가 제거되었다. 또한 탁도 제거율은 전반적으로 매우 높았으며 특히 3이상에서는 95%이상의 제거율을 나타내어 응집제를 사용하여 처리하였을 때와 유사한 제거효율을 나타내었다.

3. 폐광폐수와 침출수의 혼합처리시 폐광폐수의 주입량이 증가함에 따라 pH의 감소와 Fe 농도의 증가로 응집침전에 의한 제거효율이 증가하였으며, 폐광폐수의

주입량이 증가하여도 Fe 의 농도는 감소하는 경향을 보여 침출수의 부유성물질과 폐광폐수의 Fe^{+3} 이 동시에 제거됨을 알 수 있었고, 혼합비가 증가함에 따라 Mn과 Zn의 제거율도 증가하였다.

4. 폐광폐수와 침출수의 혼합처리에서 pH와 COD, Fe 제거 등을 고려하여 볼 때 최적의 혼합비는 3임을 알 수 있었다.

5. 폐광폐수와 침출수의 혼합처리를 응집제 주입실험 결과와 비교해 볼 때 탁도는 응집제를 500 mg/l로 주입하였을 때 외에는 모두 혼합비 3보다 높게 나타났으며, COD와 SS는 응집제를 500 mg/l로 주입하였을 때와 유사한 제거율을 나타내었다.

참고문헌

- 환경부 : 환경백서, 환경부, 528-532, 1999.
- 황규대, 한진우, 김민호 : 매립지 침출수의 생물학적 및 물리화학적 처리에 관한 연구 - 고령화된 도시폐기물 매립지 침출수의 처리방안 I-, 한국폐기물학회지, 13(6), 718-727, 1996.
- 최영수, 조순행, 유재용, 박철희, 유희찬 : 수도권 매립지 침출수의 물리·화학적 처리(1). 대한환경공학회지, 19(2), 141-152, 1997.
- Amokrane, A., Comel, C., and Veron, J.: Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation, *Wat. Res.*, 31(11), 2775-2782, 1997.
- Cabrera, F., Toca, C. G., Diaz, E., De Aramburri, P.: Acid mine-water and agricultural pollution in a river skirting the donana national park(Guadiamar river, south westspain), *Wat. Res.*, 18(12), 1469-1482, 1984.
- 김정권, 김철 : 폐탄광폐수의 성상분석 및 자연정화를 위한 벼슬배양토 대체유기물질 적용가능성에 대한 연구, 한국폐기물학회지, 15(5), 491-497, 1998.
- 임재명, 김병옥 : 석탄폐석으로 제조한 흡착제에 의한 쟁내수의 중금속 제거, 한국폐기물학회지, 16(1), 1999.
- 김주용 : 산성광산배수에 의한 강릉탄전 임곡천 일대의 수질오염과 처리에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 1998.
- Gray, N. F.: A substrate classification index for the visual assessment of the impact of acid mine drainage in lotic systems, *Wat. Res.*, 30(6), 1551-1554, 1996.
- Bjørn Christensen, Morten Laake, Torleiv Lien : Treatment of acid mine water by sulfate-reducing bacteria; results from a bench scale experiment, *Wat. Res.*, 30(7), 1617-1624, 1996.
- Rossini, M., Garcia Garrido, J., Galluzzo, M.: Optimization of the coagulation-flocculation treatment: influence of rapid mix parameters, *Wat. Res.*, 33(8), 1817-1826, 1999.