

(주)동원 사북광업소 갱내수 정화를 위한 물리화학처리시설에 대한 연구

안종만¹ · 이용복² · 최상일^{2*}

¹한국광해관리공단, ²광운대학교 환경공학과

A Study of Physicochemical treatment facility for Purifying the Mine Water in Dongwon Sabuk Mine., Ltd.

Jong-Man An¹ · Yong-Bok Lee² · Sang-Il Choi^{2*}

¹Mine Reclamation Corp.

²Department of Environmental Engineering, Kwangwon University

ABSTRACT

As the target area of this study, the coal mine site of Dongwon Sabuk mine.,Ltd. is located in the remote mountainous region. To purify the acid mine water contaminated with heavy metals, a pilot-scale plant was built at the surrounded area of a mine shaft and operated to simulate active treatment system that could not only possibly setup the facility in a small available area, but also has a high efficiency. According to the various conditions of basin sequence, existence of sludge return, and lime injection position, six different types of treatment series were investigated in terms of treatment efficiency. As a result, the aluminum concentrations of the most effluents were in the range of 0.005~0.030 mg/L, which was too low to compare. The manganese concentration in the treated water were in the range of 3~9 mg/L, not following any regular trend. As found in the results of iron concentration, the case of addition of oxidation and sludge return steps showed higher efficiency than the others. As a standpoint of the installation of full-scale physicochemical treatment facility, the experimental results showed that the batch of oxidation and high density sludge return processes are existed and neutralization was followed by oxidation, had a stable treatment efficiency.

Key words : Physicochemical treatment facility, Oxidation pond, Neutralization pond, Reaction pond, Precipitation pond

1. 서 론

(주)동원 사북광업소는 강원도 정선군 일원에서 1963년부터 약 42년간 무연탄을 생산하다가 2005년 1월 폐광함으로써 각종 환경피해를 남겼다. 그 중에서 광업소의 폐갱구에서 유출되는 갱내수는 40 m³/분(58,000 m³/일)로 추정된다(석탄산업합리화사업단, 2004). 폐광산의 산성광산배수는 중금속을 함유하고 있으며, 하류인 지장천으로 유입되어 하천오염 및 생태계 파괴 등 심각한 환경오염을 유발시키고 있는 실정이다. 이러한 갱내수를 정화하기 위한 공법으로는 자연정화시설, 물리화학처리시설 및 전기정화시설 등이 있다. 국내 폐광산의 산성광산배수 처리는 시설 설치가 비교적 용이하고, 시후관리 비용이 저렴한 자

연정화시설(Passive Treatment System)을 대부분 설치하여 운영 중에 있다.

사북광업소는 지형특성상 표고가 900 m를 넘는 고봉과 협곡 사이에 위치하고 있다. 광업소 주변의 부지는 (주)강원랜드에 사용하고 있거나 향후 사용할 계획이다. 이러한 조건에서 갱내수 정화시설에 필요한 부지확보가 어려운 상황이므로 Passive Treatment System 설치 불가하다. 따라서, 광산지역의 광해방지 및 복원업무를 담당하고 있는 한국광해관리공단은 적은 부지에 시설을 마련할 수 있는 물리화학처리시설을 대안으로 고려할 수 밖에 없는 실정이다. 또한, 유량이 많고 오염 부하량이 크므로 Active Treatment System이 적합하다고 판단된다. 한국광해관리공단에서 시설하고 있는 물리화학처리시설의 기본

*Corresponding author : sichoi@kw.ac.kr

원고접수일 : 2010. 3. 12 심사일 : 2010. 3. 29 게재승인일 : 2010. 7. 6
질의 및 토의 : 2010. 10. 31 까지

Table 1. Analysis on mine water of Sabuk Mine

Section	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)	DO (mg/L)	EC (μ s/cm)	Alkalinity (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
Average	6.50	139.56	9.00	0.03	1.97	2,049.10	119.13	1,210.94	94.10
Standard deviation	0.30	58.08	1.00	0.02	2.13	346.17	46.70	200.51	23.98
Minimum	5.72	86.74	7.32	0.01	0.42	1,155.00	40.50	493.57	45.10
Maximum	7.00	298.51	11.21	0.10	8.57	2,480.00	301.10	1,530.31	128.69

개념은 크게 갯내수를 집수하여 갯내수와 소석회의 반응을 촉진시키는 중화조, 폴리머로 플러를 형성시키는 반응조, 갯내수와 슬러지를 분리하는 침전조 및 방류조 구성되어 있다. 침전조에서 생성된 고농도 슬러지를 중화조로 반응하여 처리효율 향상과 약품비를 절감하는 방안도 있다. 따라서, 사북광업소에 설치될 물리화학처리시설에 대비한 실험은 이를 참고하였다. 설비는 수갱 주변에 설치함으로써 가장 경제적이고, 효율성이 좋은 정화방법을 찾고자 한다. 실험방법은 중화조, 산화조, 중화제 투입장치, 반응조, 폴리머 투입장치, 침전조로 구성하였다. 실험조건은 조의 배치방법, 고농도 슬러지 반응 방법 및 소석회 투입 순서를 비롯한 6가지 유형으로 실시하여 그 결과를 고찰하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 수질오염 조사 및 분석

폐광산의 수질을 분석하기 위해 2008년 11월부터 2009년 11월까지 주 1회 간격으로 45번을 채수하였다. pH, DO, EC는 현장에서 Portable Meter로 측정하여 기록하였고, 나머지 항목은 농질산으로 전처리한 시료(Fe, Mn, Al 등 중금속 항목)와 그렇지 않은 시료(SO₄²⁻ 등 음이온 항목)로 구분하여 분석을 실시하였다.

2.2. 실험방법 및 설비

폐광산 주변지역은 (주)강원랜드를 비롯한 관광 인프라 구축 차원에서 높은 방류수질이 요구된다. 방류수질은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙에서 정한 “청정지역”의 수질기준을 적용하였다. 수질분석 결과를 종합하여 보면 pH는 6.5로서 중성에 가깝다. Fe 농도가 평균 139.56 mg/L로 높았고, Fe²⁺ 비율이 높았으며 알칼리도는 119.13 mg/L으로 나타났다. DO 농도는 대기와의 접촉이 제한적인 수갱의 특성상 평균 1.97 mg/L로 낮았다. Fe²⁺를 제2철로 산화하여 제거하기 위해서는 DO의 공급이 필

요하다. 이러한 분석결과를 살펴보면 철, 망간 및 황산염 등의 농도와 알칼리도가 높은 것으로 나타났다. 따라서, Acidity을 중화시키기 위해서는 약품비가 저렴하고, 처리 효율이 좋으며, 침전성과 이산화도가 높으며 탈수가 잘되는 알칼리제인 소석회의 투입이 필요하다. 폴리머는 플러의 응집반응을 촉진시키기 위해 사용하였다. 수갱수의 특성은 유량이 많고 오염 부하량이 크므로 수질특성에 따른 AMD(Acid Mine Drainage) 분류 및 Active 공법선정은 Active Treatment System이 적합하다고 판단되어 졌다 (Ziemkiewicz and Skousen, 1996). 실험은 2009년 5월부터 8월까지 4개월간 진행하였다. 수갱의 유량은 8 m³/일로 실험설비에 유입될 수 있도록 현장에 중화조, 산화조, 중화제 투입장치, 반응조, 폴리머 투입장치, 침전조를 설치하였다. 실험방법에 따라 6개 실험조건의 아래와 같이 기호를 부여하였다. C(Calcium hydroxide): 중화조 → 침전조, BA(Before Aeration): 산화조 → 중화조 → 침전조, AA(Aeration After): 중화조 → 산화조 → 침전조, CR(Calcium hydroxide Return): 중화조 → 침전조/반송, BAR(Before Aeration Return): 산화조 → 중화조 → 침전조/반송, AAR(Aeration After Return): 중화조 → 산화조 → 침전조/반송.

2.3. 실험조건 및 고려사항

2.3.1 pH

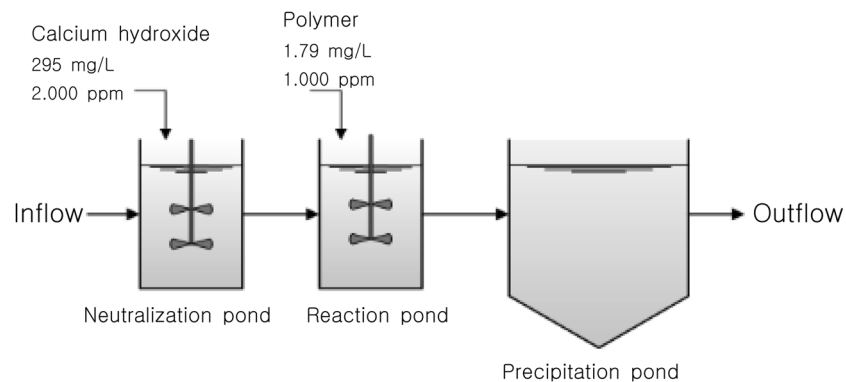
유입원수의 pH는 6.50 이상으로서 알칼리도가 충분하여 중화조에 투입되는 약품의 양을 pH를 7 이상으로 조정하되, 같은 조건에서 공정의 처리 효율성 검토가 가능하도록 적절한 pH로 맞추어 실험하였다.

2.3.2 유입유량

유입유량은 수갱수 처리에 필요한 중화조와 산화조의 체류시간(중화조 30분, 산화조 1시간 30분 이상)을 확보하기 위하여 4개월간 8 m³/day로 유지하였다.

Table 2. Six-type test conditions of physicochemical treatment facility

Sign	Return sludge	Oxidation process	Neutralization pond pH	The quantity of inflow (m ³ /day)	Oxidation time (hr)	Precipitation time (hr)
C	-	Process omitted			0	
BA	(Non return sludge)	Before Neutralization pond			1.8	
AA		Behind Neutralization pond	7.5~10	8	1.8	4.4
CR		Process omit			0	
BAR	30%	Before Neutralization pond			1.8	
AAR	(50,000~100,000/l)	Behind Neutralization pond			1.8	

**Fig. 1.** The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + polymer arrangement process.

2.3.3 산화시간

산화시간은 산화조의 효과와 중화 혹은 반응 전 교반 효과를 충분히 공급할 수 있도록 1.5 hr 이상 유지되도록 실험하였다.

2.3.4 반송 슬러지

반송슬러지는 설비에 부하가 걸리지 않도록 농도를 약 50,000~100,000 mg/l로 하였다. 반송률은 30%로 유지하며 실험하였다. 반송 추가 공정시 적절한 반송을 산정을 위한 실험을 실시한 결과 30% 반송시 침강속도와 상등수의 투명성이 가장 양호하였다.

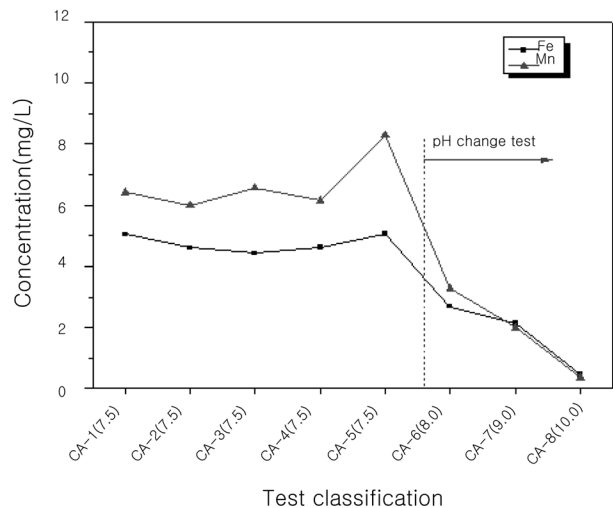
2.3.5 사용약품

실험에 사용된 소석회는 대화 주식회사의 325 mesh 작은 입자로 용해가 용이할 수 있도록 하였다. 폴리머는 기존 갯내수 정화시설(함태탄광, 도계광업소)에서 사용하고 대기화학 주식회사의 양이온 고분자 응집제를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험조건 1 (C) : 소석회 + 폴리머

실험조건은 수갱 유입수에 소석회를 주입하여 중화를

**Fig. 2.** Fe and Mn concentration under test condition C.

시키고, 반응조에서 플러를 형성시켜 침전처리 하도록 하였다.

플러의 입자는 반응조에서 양호한 형상을 띄었으나, 침전조에서 푸른빛의 미세플러가 확인되었다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 4.7 mg/L, 표준편차 0.2 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 6.6 mg/L, 표준편차 0.9 mg/L로 안정된 값을 보였다. pH 10.0에서 Fe, Mn은 2

Table 3. Discharge water quality under test condition C

Section	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.0
Fe (mg/L)	5.034	4.591	4.416	4.627	5.053	2.688	2.129	0.464
Mn (mg/L)	6.414	6.007	6.573	6.144	8.303	3.269	1.997	0.357
SS (mg/L)	16.9	10.8	18.5	15.9	10.4	-	-	-
An input of chemical (g/m ³)	295	295	295	295	295	395	738	838

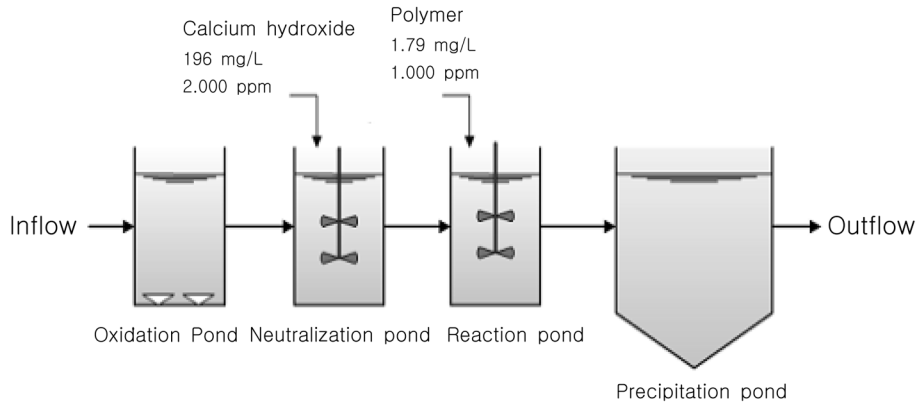


Fig. 3. The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + polymer + former oxidation arrangement process.

mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

3.2. 실험조건 2(BA) : 소석회 + 폴리머 + 전산화

실험설비는 수갱에서 펌핑되는 유입수를 폭기 시킨 후 소석회를 주입하여 중화를 시키고, 폴리머로 플러클을 형성시켜 처리하도록 하였다.

실험결과 반응조의 플러클 형상은 산화조를 거치지 않은 조건 C보다 조밀한 특징을 보였고, 침전조가 붉은 빛을 띠었으며 탁도가 적었다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 3.1 mg/L, 표준편차 0.1 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 5.9 mg/L, 표준편차 0.3 mg/L로 안정된 값을 보였다. pH 9.0에서 Fe, Mn은 2 mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

3.3. 실험조건 3(AA) : 소석회 + 폴리머 + 후산화

실험설비는 수갱에서 펌핑되는 유입수에 소석회를 주입시켜 중화를 시키고, 산화조에서 폭기를 시킨 후 폴리머를 이용하여 플러클을 형성시켜 처리하도록 하였다.

실험결과 반응조의 플러클은 붉은 색의 굵은 입자로 형성되었음을 알 수 있었다. 침전조의 상등수는 맑았고, 실험 기간 동안 육안으로 보았을 때 비교적 안정적인 상태를 유지하였다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 3.0 mg/L,

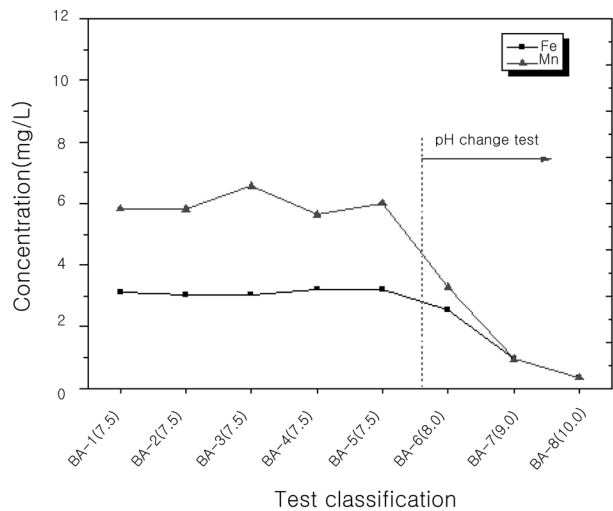


Fig. 4. Fe and Mn concentration of test condition BA.

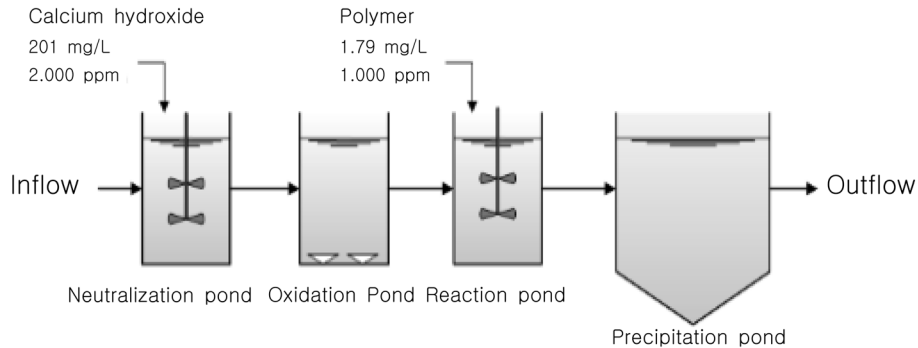
표준편차 0.1 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 5.6 mg/L, 표준편차 0.4 mg/L로 안정된 값을 보였다. pH 9.0에서 Fe, Mn은 2 mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

3.4. 실험조건 4(CR) : 소석회+반송

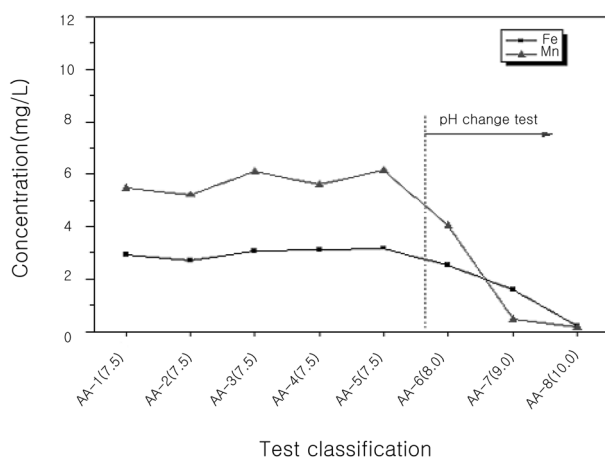
실험설비는 수갱에서 펌핑되는 유입수에 소석회를 주입

Table 4. Discharge water quality under test condition BA

Section	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.0
Fe (mg/L)	3.131	3.046	3.057	3.232	3.208	2.544	0.952	0.327
Mn (mg/L)	5.831	5.808	6.562	5.629	6.014	3.288	0.94	0.337
SS (mg/L)	14.1	10.7	12.0	8.6	9.7	–	–	–
An input of chemical (g/m ³)	196	196	196	196	196	306	492	596

**Fig. 5.** The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + polymer + latter oxidation arrangement process.**Table 5.** Discharge water quality under test condition AA

Section	AA-1	AA-2	AA-3	AA-4	AA-5	AA-6	AA-7	AA-8
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.
Fe (mg/L)	2.949	2.708	3.074	3.103	3.172	2.516	1.585	0.218
Mn (mg/L)	5.464	5.209	6.085	5.597	6.132	4.037	0.459	0.138
SS (mg/L)	18.4	18.1	11.3	7.5	16.0	–	–	–
An input of chemical (g/m ³)	201	201	201	201	201	285	484	635

**Fig. 6.** Fe and Mn concentration of test condition AA.

시켜 중화를 시키고, 침전조에서 형성된 고농도 슬러지를 반응시키며 반응조에서 플러를 형성시켜 처리하도록 하

였다.

반응조는 침전조에서 반응을 하지 않았을 때에는 달리 반응에 의하여 반응조의 MLSS가 높았고, 슬러지와 비슷한 형상으로 반응조가 운영되었다. 침전조의 상등수는 붉은 빛을 띠었으며, 미세플러과 탁도가 확인되었다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 2.3 mg/L, 표준편차 0.7 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 5.1 mg/L, 표준편차 0.7 mg/L로 안정된 값을 보였다. pH 9.0에서 Fe, Mn은 2 mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

3.5. 실험조건 5(BAR) : 소석회 + 전산화 + 반응

실험설비는 수갱에서 펌핑되는 유입수를 산화조에서 폭기하고, 중화조에서 소석회를 주입한 후 침전조에서 형성된 고농도 슬러지를 반응시켜 반응조를 거쳐 처리하도록 하였다.

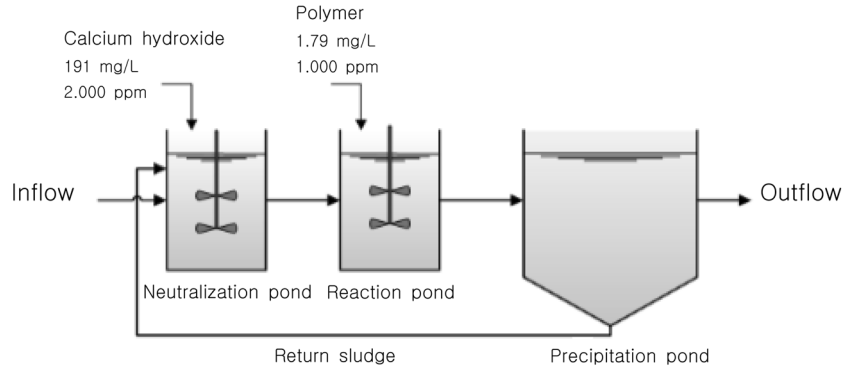


Fig. 7. The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + return arrangement process.

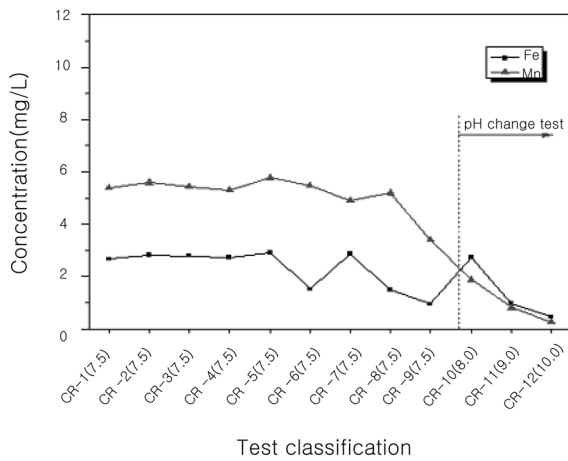


Fig. 8. Fe and Mn concentration of test condition CR.

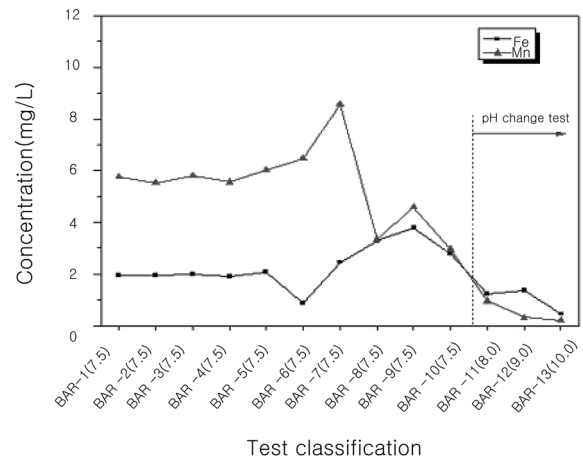


Fig. 10. Fe and Mn concentration of test condition BAR.

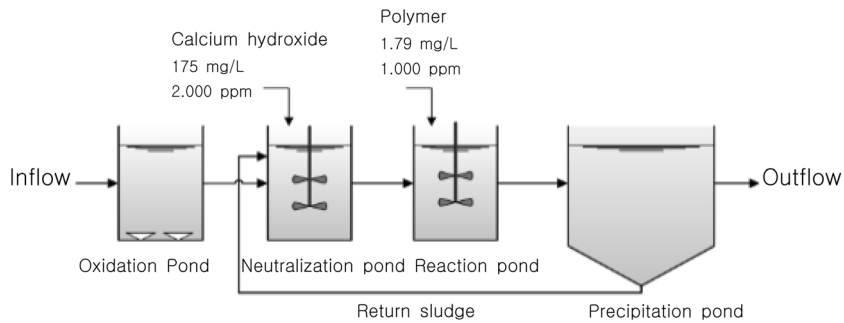


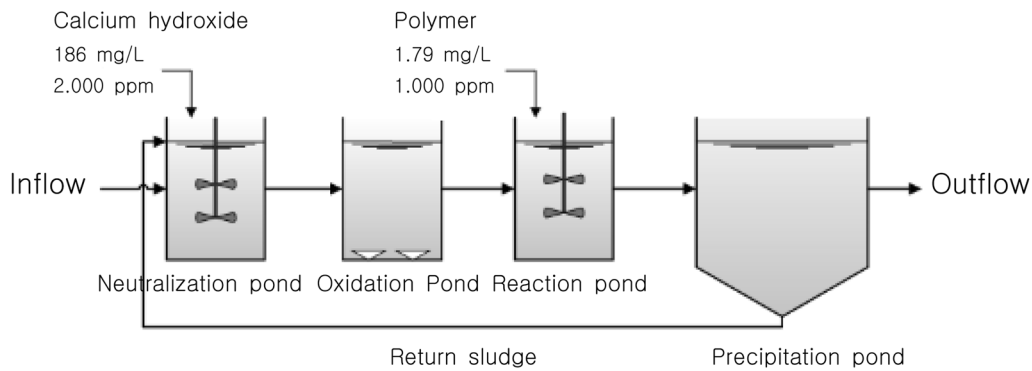
Fig. 9. The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + former oxidation+return arrangement process.

Table 6. Discharge water quality under test condition CR

Section	CR-1	CR-2	CR-3	CR-4	CR-5	CR-6	CR-7	CR-8	CR-9	CR-10	CR-11	CR-12
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.0
Fe (mg/L)	2.667	2.832	2.797	2.743	2.892	1.516	2.850	1.501	0.944	2.732	0.986	0.455
Mn (mg/L)	5.384	5.587	5.451	5.315	5.776	5.492	4.901	5.194	3.396	1.873	0.818	0.26
SS (mg/L)	16.9	16.5	9.3	15.0	14.2	18.4	9.3	9.7	8.8	-	-	-
An input of chemical (g/m ³)	191	191	191	191	191	191	191	191	191	250	460	598

Table 7. Discharge water quality under test condition BAR

Section	BAR -1	BAR -2	BAR -3	BAR -4	BAR -5	BAR -6	BAR -7	BAR -8	BAR -9	BAR -10	BAR -11	BAR -12	BAR -13
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.0
Fe (mg/L)	1.933	1.941	1.977	1.917	2.080	0.864	2.458	3.274	3.791	2.783	1.231	1.365	0.451
Mn (mg/L)	5.759	5.52	5.801	5.563	6.013	6.461	8.572	3.351	4.591	2.965	0.948	0.316	0.216
SS (mg/L)	16.5	9.0	11.1	15.4	8.2	14.3	16.2	10.5	16.8	8.8	-	-	-
An input of chemical (g/m ³)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	261	434	520

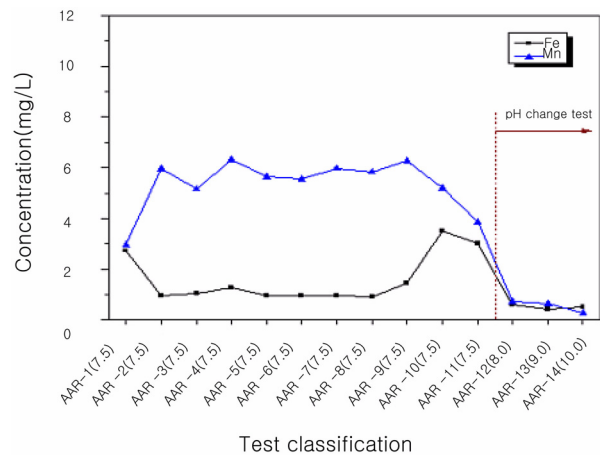
**Fig. 11.** The flowchart of treatment for the calcium hydroxide + latter oxidation + return arrangement process.

반응조는 침전조에서 반송을 하지 않았을 때에는 달리 반응에 의하여 반응조의 MLSS가 높았고, 슬러지와 비슷한 형상으로 반응조가 운영되었다. 침전조의 상등수는 붉은 빛을 띠었으나, 산화조 공정이 생략된 공정(CR)보다 탁도가 적었다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 2.3 mg/L, 표준편차 0.8 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 5.4 mg/L, 표준편차 1.59 mg/L로 안정된 값을 보였다. 다른 실험조건과 달리 pH 8.0에서 Fe, Mn은 2 mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다.

3.6. 실험조건 6(AAR) : 소석회 + 후산화 + 반송

실험설비는 수갱에서 펌핑되는 유입수에 소석회를 주입시킨 후 침전조에서 형성된 고농도 슬러지를 반송하였고, 산화조에서 폭기를 시켜 반응조를 거쳐 침전 처리하도록 하였다.

실험결과 산화조와 반응조는 슬러지 반송에 의해서 높은 농도로 유지되었으며, 침전조가 붉은 빛을 띠었다. 다른 실험조건의 공정과 비교하여 처리수질이 양호하고 안정적이었다. pH 7.5에서 철의 처리농도는 평균 1.6 mg/L,

**Fig. 12.** Fe and Mn concentration of test condition AAR.

표준편차 0.9 mg/L로 확인되었다. Mn의 처리농도는 평균 5.3 mg/L, 표준편차 1.0 mg/L로 안정된 값을 보였다. pH 8.0에서 Fe, Mn은 2 mg/L 이하로 목표수질을 달성하는 것으로 나타났다. pH 9.0에서 처리효율은 좋아지고 있으나 약품 주입량을 감안하면 pH 8.0을 유지하는 것이 가장 적합한 것으로 확인되었다.

Table 8. Discharge water quality under test condition AAR

Section	AAR-1	AAR-2	AAR-3	AAR-4	AAR-5	AAR-6	AAR-7	AAR-8	AAR-9	AAR-10	AAR-11	AAR-12	AAR-13	AAR-14
Neutralization pond pH	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8.0	9.0	10.0
Fe (mg/L)	2.723	0.956	1.062	1.267	0.957	0.96	0.968	0.91	1.436	3.503	3.002	0.613	0.431	0.518
Mn (mg/L)	2.955	5.946	5.178	6.314	5.632	5.539	5.984	5.828	6.258	5.191	3.857	0.721	0.627	0.264
SS (mg/L)	9.2	13.8	11.7	15.8	9.4	13.3	8.7	12.4	11.4	17.6	13.5	-	-	-
An input of chemical (g/m ³)	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	253	437	586

4. 결 론

실험조건별 Fe의 처리효율은 소석회만 주입했을 경우보다 산화 혹은 반송 공정을 추가 하였을 때 효율이 높았다. 산화공정을 중화조 전단과 후단에 두고 비교하였을 때 큰 차이를 보이진 않았으나, 소석회와 반송슬러지를 주입한 뒤 폭기를 시켰을 때 비교적 양호한 처리효율을 보였다. Mn의 처리효율은 산화, 반송공정을 추가하였을 때 처리 농도의 차이를 보였으나 처리효율을 판단하기에는 작은 값으로 생각된다. 중화조의 pH는 증가함에 따라 Fe 농도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 실험조건중 BAR(산화조 → 중화조 → 침전조/반송)과 AAR(중화조 → 산화조 → 침전조/반송)의 경우 1 mg/L 이하의 Fe 농도값을 보였으며, pH 증가에 따른 처리농도가 감소하는 폭이 적은 것으로 확인되었다. 산화공정은 중화조 전단에 둔 BA(산화조 → 중화조 → 침전조)와 BAR(산화조 → 중화조 → 침전조/반송)의 경우보다 중화조 후단에 둔 AA(중화조 → 산화조 → 침전조), AAR(중화조 → 산화조 → 침전조/반송)의 경우 Fe농도가 더 낮은 수치를 보였다. 반송슬러지 공정은 중화조 전단에 산화조를 두고 반송을 추가한 BAR(산화조 → 중화조 → 침전조/반송) 보다 중화조 후단에 산화조를 두고 반송을 추가한 경우 Fe과 Mn의 처리효율이 우수한 것으로 나타났다. 6가지 유형의 실험조건을 통해 중화, 폭기 효율 및 반송 효과를 종합적으로 분석하여 살펴보면 방류수질의 안정성 및 약품사용량 절감을 통한 경제성에서 BAR(산화조 → 중화조 → 침전조/반송) 공정이 갠내수 처리에 가장 적합한 것으로 확인되었다. Mn 처리는 약품투입량을 증가시켜 반응조의 pH를 올릴 경우 처리효율이 증가하는 것으로 나타났으나, Mn의 적정 처리범위인 pH 9~10 범위까지 반응조 pH를 올리기 위해서는 과량의 알칼리제 투입이 필요하다. 이는 약품비 및 슬러지 처리비용을 증가시켜 정화처리의 경제성을 낮추는 요인이 된다. 또한, 실험에서 Fe 제거능력은

pH 8.0 이상에서 pH 증가와 비례하여 정화효율의 증가를 보이지 않았다. 따라서 pH 8.0 이하에서 Fe 처리에 초점을 맞추고, Mn을 추가적으로 제거하고자 할 경우 후처리 설비로 제철제강간 장치인 Feroxer를 도입할 필요성이 있다고 생각된다. 침전조는 동질기 수온차에 의한 대류 현상 및 수면 위의 비랍의 영향으로 침전조 수면에서 미세 플러키 형성되어 유훈하는 경우가 있다. 사여과기는 이러한 SS 제거에 적합하다고 판단되므로 도입을 고려해 볼 필요성이 있다.

사 사

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리 환경기술교육 혁신지원사업단”과 “유해중금속오염부지정화기술개발연구단”의 지원을 받은 과제입니다.

참 고 문 헌

- 석탄산업합리화사업단, 2003, 태백 함태탄광 물리, 화학적 정화 시설 설치공사 기본 및 실시 설계보고서, p. 41-64.
- 석탄산업합리화사업단, 2004, 함태탄광 폐수처리시설공사 최종 보고서, p. 16-21.
- 석탄산업합리화사업단, 2004, (주)동원 사북광업소 폐광에 대비한 광해대책 단기 연구 보고서, p. 46-53.
- 석탄산업합리화사업단, 1995, 폐광에 따른 광산지역 환경개선 연구(폐수, 폐석), p. 125-129.
- 석탄산업합리화사업단, 1997, 폐탄광 폐수의 자연정화식 처리의 효율증진과 성능향상을 위한 연구, p. 57-60.
- 자원개발연구소, 1979, 삼척탄전지질도(축적=1:25,000), p. 55.
- 지오스캔, 2008, 동원탄광 수경 갠내수 처리를 위한 정밀조사 보고서, p. 47.
- 한국광해관리공단, 2008, 광산배수 자연정화시설의 기질물질 유지관리 기술개발, p 15-17.

한국광해관리공단, 2008, 동원탄광 수갱 갱내수 처리를 위한 정밀조사, p 20-35.

한국지질자원연구원, 2001, 강릉-속초지질도폭설명서(축적=1:250,000), p 126.

한국지질자원연구원, 2004, 폐광을 대비한 가행탄광 광해방지 대

책연구(III), p. 93.

Paul F, Ziemkiewicz. and Jeff, Skousen., 1996, "Introduction to Chemical Water Treatment" in *AMD Control and Treatment*, p. 151.