

石炭礦 酸性坑內排水의 中和 處理施設 設計에 關한 研究

A Study on a Neutralization Treatment Facility
Design of an Acid Mine Drainage for Colliery

韓國動力資源研究所, 嶺山保安技術研究室責任研究員 李 春 澤*

ABSTRACT

This report is prepared to assist designers acid mine drainage treatment plants. Example of a treatment facility design is included, delineating general equipment specification and cost breakdowns. The purpose of this outline is to give the designer insight into the evaluation of possible alternative and justification for choosing a certain method or process and also this report will allow designers to derive and estimated budget number for capital expenditures.

1. 序 論

우리나라 石炭礦 分布地中 江陵炭田, 旌善·丹陽炭田 및 太白·開慶炭田 等を 對象으로酸性坑內排水化 現象을 把握해 본 結果에 따르면 各炭田 各己 炭礦 등에서 放流하고 있는 坑內排水는 酸性度가 pH 4.00 以下 範圍內에 있어 酸性廢水化가 매우 심했다. 이와 같은 現象은 各炭礦 共히 漸次 深部移行으로 稼行되고 있어 모든 地表水의 枯渴에 反해 坑內排水量이 점점 增加되어 莫大한 水量으로 排水되는 때문에 앞으로 더욱 深刻해질 것이 틀림없다고 본다. 따라서 이제는 石炭礦의 坑內排水는 鑛害防止 側面, 나아가서는 公害防止 側面 即 環境保全이라는 側面으로 보아서도 그대로 無制限 放流해서는 안되며, 반드시 어떤 處理를 加해서 淨水로서 河

川으로 放流하여야만 될 時點에 와 있다고 본다. 더우기 石炭礦自體로서도 各種 利用水의 배부족 現象인 것으로 보아서도 이를 處理하여 再活用하므로써 不足用水를 解決함과 同時에 石炭生産原價上에 미치는 間接費用(從業員 沐浴水, 工業用水의 上水道水 利用時 高費用임)의 節減을 爲해서도 水處理施設을 꼭 갖추어야 할 段階에 와 있다고 볼 수 있다. 그러나 이제것 이에 對한 施設이 알려진바 없어 適用치 못하고 있었던 것도 또한 實情이었다. 이에 對한 解決로서 곧 最適 處理施設의 設計가 優先해야만 될 것이라고 보아 이를 研究하기 爲해서는 勿論 보다 正確하고 反復的인 現象把握과 보다 많은 諸實驗을 通해야만 할 것이다. 여러가지 制約이 있어, 于先 先進諸國의 여러가지를 研究檢討하고, 이들 諸源을 類似性으로 看做한 各種試驗 Data를 根據하여 處理施設의 設計諸源을 研究하여 여기

* 鑛業技術士(採鑛)

에 紹介함으로써 酸性坑內排水를 放流하고 있는 炭礦들이 이를 適用코져 願할 때, 該當炭礦들이 대강 그 윤곽을 알고 處理施設에 對한 豫算規模 등을 豫想하는데 도움을 줄 수가 있다면 하는 筆者의 바램이다.

2. 中和處理施設의 設計基準 모델

2.1 中和處理施設의 概要說明

坑內排水 處理를 爲한 모델施設은 每日 平均 流水量이 2,880m³(2m³/min)로 Table 1에서 보여 주는 바와 같은 淨水되지 않은 水質을 갖는 坑內源水를 處理하는 規模로 하며, 이 獨特한 處理施設의 動作과 關係되는 여러가지를 假定한다는 것을 미리 添言해 둔다. 이 施設은 可能限한 적은 作業管理者 體制로서 連續的인 稼動이 이루어질 수 있도록 하는 것으로 한다. 따라서 本設計는 되도록이면 많은 部分을 自動化하는 것으로 하고 各 工程間에는 重力에 依해 流水되

는 것으로 한다. 그래서 要望되는 設計工程들은 地下坑內水이거나 地上에서나 均等化를 爲한 坑內水 蒐集用 貯水槽(池) 基礎設計, 中和, 曝氣,

Table 1. RAW WATER QUALITY AND EFFLUENT LIMITATIONS

Parameter	Raw Water	Effluent Limitations	
		30 Consecutive Day Average	Maximum Daily
PH	3.1	6-9	6-9
Net alkalinity, mg/l as CaCO ₃	-600	>acidity	>acidity
Sulfate, mg/l	1,500	—	—
Suspended solids, mg/l	55	35	70
Iron (total), mg/l	100	3.5	7.0
Iron(ferrous), mg/l	95	—	—
Manganese, mg/l	3	2.0	4.0
Nickel, mg/l	1	—	—
Zinc, mg/l	1	—	—
Aluminum, mg/l	30	—	—

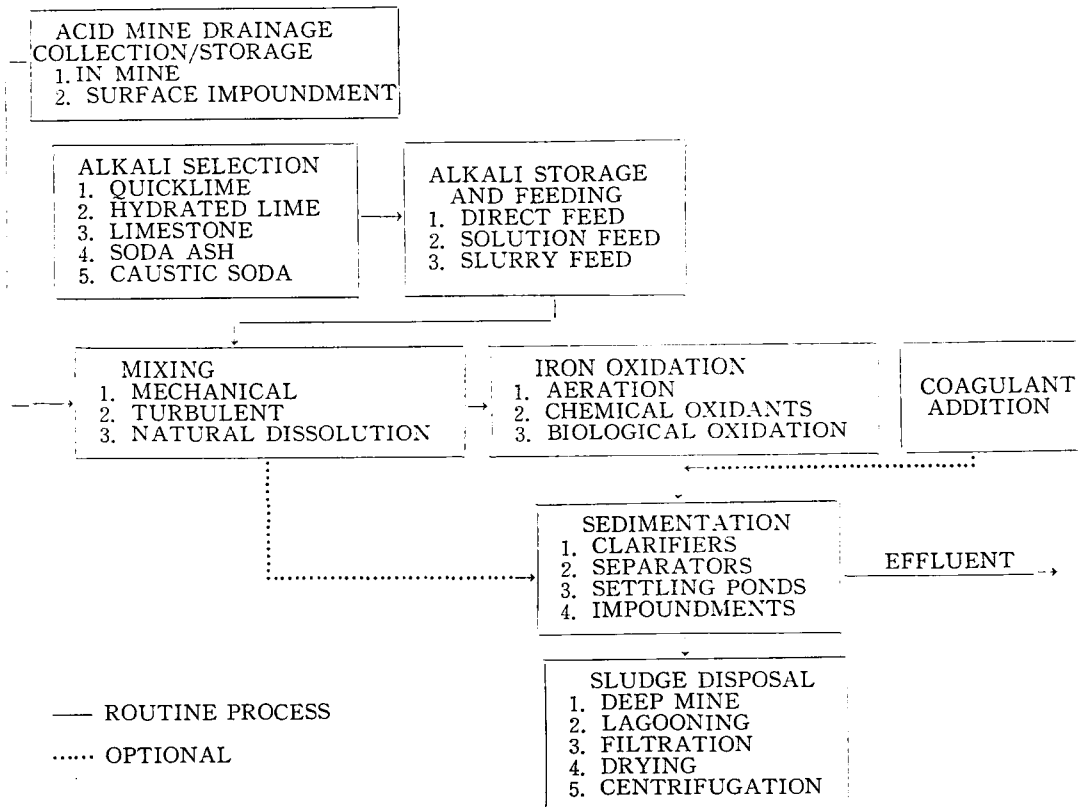


Fig. 1. Process flow sheet for treatment of acid mine drainage

COMBINED HYDRATED/PEBBLED LIME SYSTEM FOR HIGH-FLOW VOLUMES

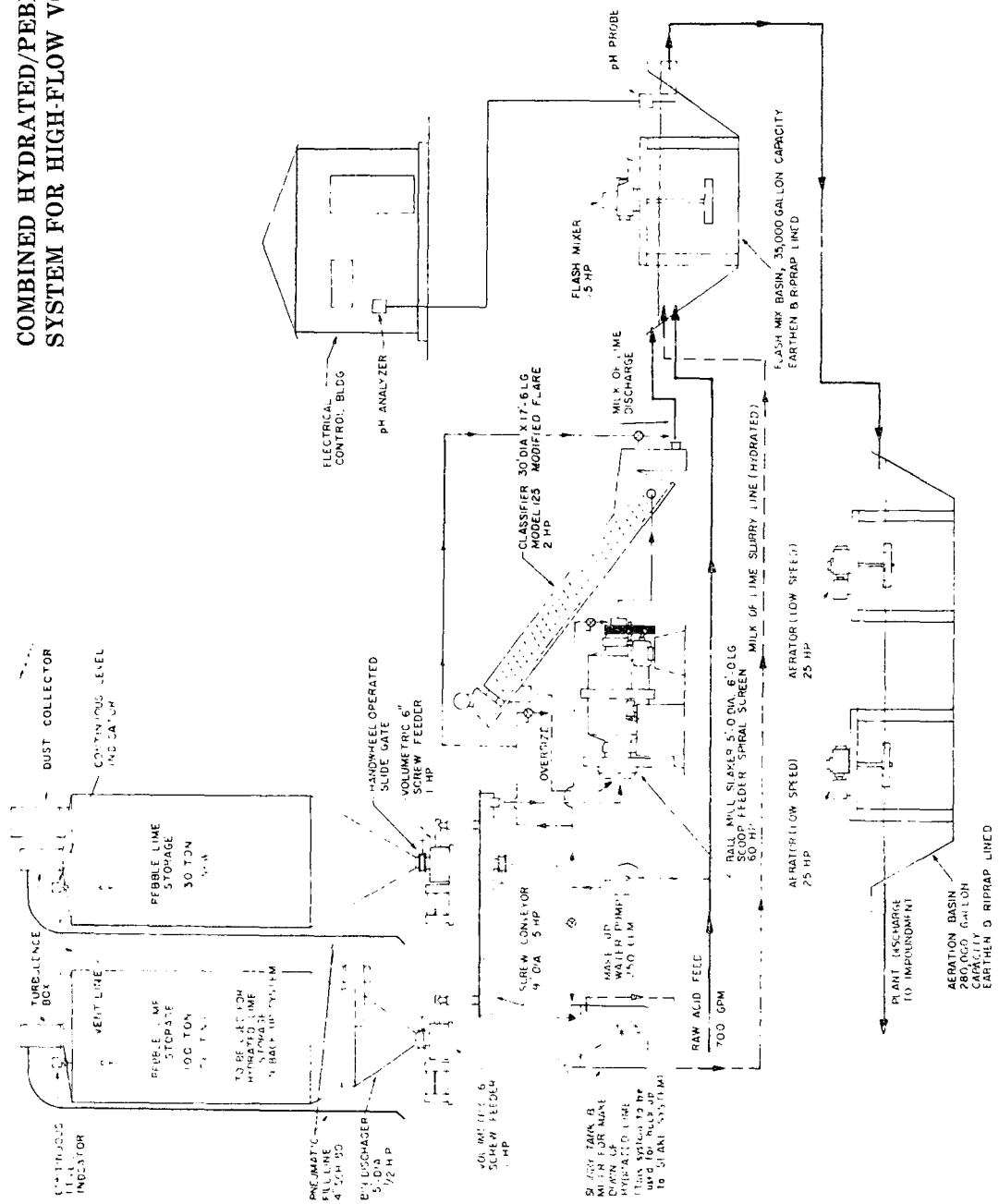


Fig. 2. ACID MINE DRAINAGE TREATMENT PLANT PROCESS FLOW SHEET



Fig. 3. Conventional lime neutralization process.

固形物の分類 및 Sludge의處理 등으로區分하는 것으로 한다(Fig. 1, 2, 3 參照).

2.2 貯水槽 基礎設計

이設計는坑內貯水槽로서有用되는 것으로한다. 따라서 적어도 2日間の貯水規模로하고全體容量에對해 25%만이有用되는 것으로한다.

1) 貯水槽의規模

貯水槽의容量은

$$V = \frac{2,880m^3}{2} \times 2D = 5,760m^3$$

여기서 V=貯水槽容量, D=日間

水面上에서 1m 위로한水深은 3m가 되는 것으로假定하는正方形貯水槽로擇한다면 그水面的表面積(Surface Area)은

$$A = \frac{5,760m^3}{3m} = 1,920m^2$$

貯水槽 內側傾斜를 2.5:1, 外側傾斜를 3:1로 하는正方形으로한다.築城의幅은 4.6m 그리고 內側築城間의 길이는 36.6m, 이러한容積規模는 대략 밑바닥을基準해서計算한다(Fig.4 參照).

$$W \cdot V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} H$$

$$= \frac{(36.6)^2 + (51.6)^2}{2} (3) = 6,004m^3$$

여기서 W·V=貯水量, H=水深

A₁, A₂=밑바닥과 꼭대기水表面

Cut 해널容量과 Fill 해널容量은 같으므로地盤水準에서 둑까지의 높이(h)를決定하기爲한平衡式은 다음의計算과 같다. 그리고提案코저

하는敷地를假定하면 Fig.4의平面圖와 같다.

$$\frac{\text{Cut Volume}}{(36.6)^2 + (56.4 - 5h)^2}{2} (4 - h) =$$

$$\frac{4.6 + (4.6 + 5.5h)}{2} (h) [4(36.6 + 4(14.5 + 3h))]$$

$$8,619h + 569h^2 + 91h^3 = 17,903$$

이等式은試行錯誤에依한(h)로解決할수있다. h의값은合理的으로要望될때까지의다음의왼쪽等式으로置換시킴으로서얻어진다.

h	f(h)
1.52m	14,779
1.83m	18,236
Cut Volume =	3,825m ³
Fill Volume =	3,980m ³

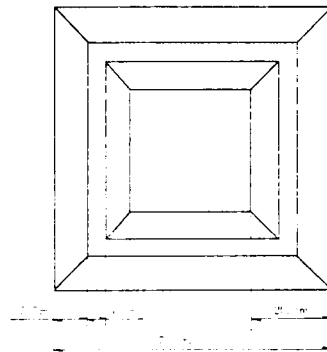
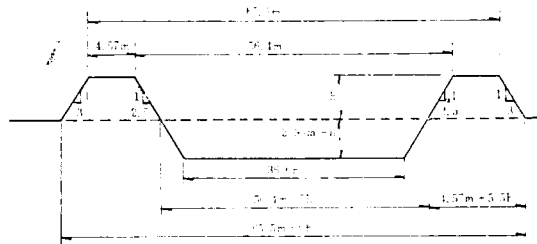


Fig. 4. Equalization basin, Design Example I.

만약提案코저 하는敷地가地上的平面이라면地表面으로부터 2.1m掘鑿하면全體높이 4m, 地表面上 1.8m 높이로築城할수있도록充塡物이準備될 것이다. 따라서全體沈澱池(Pond)는

$$P \cdot A = (76.5m)^2 = 5,850m^2$$

여기서 P·A=沈澱池面積

2) Computer Program에依한 Nomogram

의 作成

計算이 複雜하므로 坑內排水 流水量 0.5m³/min 로부터 10m³/min 까지 의 容量을 Computer

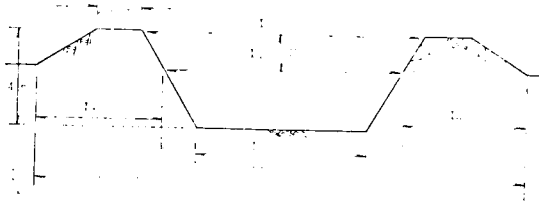
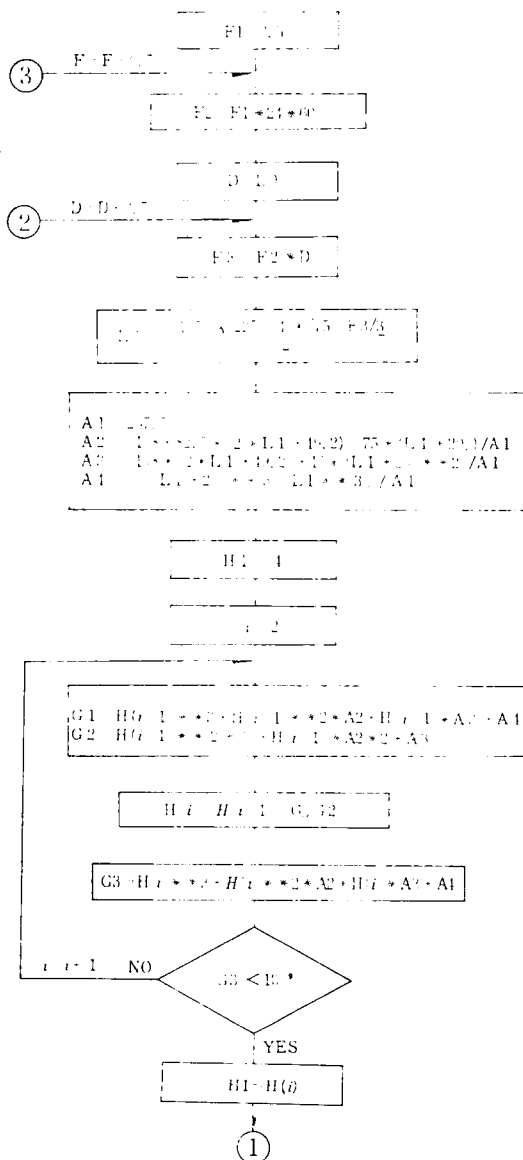


Fig. 5. A section of equalization basin



에 入力計算하였는바 이를 利用 自己炭礦의 流水量에 맞추워 設計時에 使用한다면 매우 便利할 것이다(Fig. 5, 6 Table 2 参照).

Q₁ : 坑內排水量(m³/min),

Q₂ : 坑內排水量(m³/min)

Q₃ : 水深 3m로 하였을때 Basin의 容量 m³,

D : 貯藏期間(day)

H~L₅ : 그림 참조, CutVol : m³,

Pond Area : (L₄)²(m²)

R₁ : Fill Vol/Cut Vol=1

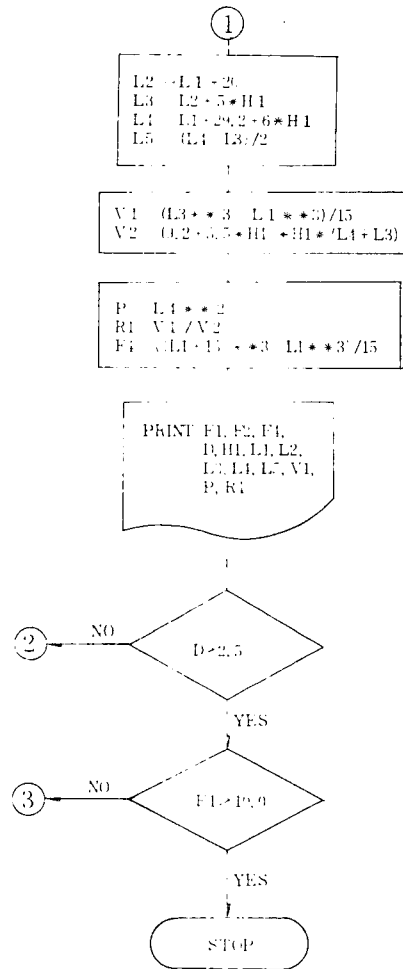


Fig. 6. Flow Chart for Calculation of the Size of Equalization Basin

Table 2. A various nomogram caused by computer program

```

5 REM **CALCULATION OF THE SIZE OF EQUALIZATION BASIN **
10 CLEAR DATA
20 DIM H(50)
21 WR. "Q 1";:WR. TAB (9); "Q2";:WR. TAB(16);"Q3";:WR. TAB(22);"D";:WR. TAB(28);"H";
22 WR. TAB(34);"L1";:WR. TAB(41);"L2";:WR. TAB(48);"L3";:WR. TAB(55);"L4";
23 WR. TAB(62);"L5";:WR. TAB(68);"CUT VOL. ";:WR. TAB(78);"POND AREA";:WR. TAB(91);
  "R1"
25 WR.
30 F1=0.5
40 F2=F1 * 24 * 60
50 D=1.0
60 F3=F2 * D
70 S1=F3/3.0
80 S2=225-4 * (75-S1)
90 L1=(-15+SQR(S2))/2
100 GOSUB 1000
110 L2=L1+20
120 L3=L2-5 * H1
130 L4=L1+29.2+6 * H1
140 L5=(L4-L3)/2
150 V1=(L3^3-L1^3)/15
155 V2=(9.2+5.5 * H1) * H1 * (L4+L3)
160 P=L4^2
170 R1=V1/V2
180 F4=((L1+15)^3-L1^3)/15
240 WR. ###. #;F1;:WR. TAB(6);#####;F2;:WR. TAB(12);#####;F4;:WR. TAB(20);
  ###. #;D;
250 WR. TAB(24);###. ###;H1;:WR. TAB(30);#####;L1;:WR. TAB(36);#####;L2;
260 WR. TAB(42);#####;L3;:WR. TAB(48);#####;L4;:WR. TAB(54);#####;L5;
270 WR. TAB(63);#####. ##;V1;:WR. TAB(72);#####. ##;P;:WR. TAB(87);##.
  ##^###;R1
272 D=D+0.5
274 IF D<2.5 T.60
280 F1=F1+0.5
290 IF F1<10.0 T.40
300 STOP
310 END
1000 A1=207.5
1010 A2=(138+82.5 * (2 * L1+49.2)-75 * (L1+20))/A1
1020 A3=(138 * (2 * L1+49.2)+15 * ((L1-20)^2))/A1
1030 A4=(-((L1+20)^3 -L1^3)/A1
1040 H(1)=4
1050 FOR I=2 TO 50
1060 G1=H(I-1)^3+H(I-1)^2 * A2+H(I-1) * A3-A4
1070 G2=H(I-1)^2 * 3-H(I-1) * 2 * A2-A3
1080 H(I)=H(I-1)-G1 /G2
1090 G3=H(I)^3+H(I)^2 * A2+H(I) * A3+A4
1100 IF ABS (G3)<0.000000001 THEN H1=H(I):GOTO 1140
1110 NEXT I
1120 WR. "FAIL TO FINDING H"
1130 STOP
1140 RETURN

```

0.5	720	720	1.0	0.86	7.37	27.37	23.02	41.78	9.37	787.48	1746.30	9.99E-01
0.5	720	1080	1.5	1.00	10.97	30.97	25.92	46.22	10.14	1073.90	2136.96	1.00E+00

0.5	720	1440	2.0	1.11	13.97	33.97	28.38	49.88	10.74	1342.99	2488.43	1.00E+00
0.5	720	1800	2.5	1.20	16.60	36.60	30.57	53.05	11.24	1599.47	2814.69	9.99E-01
1.0	1440	1440	1.0	1.11	13.97	33.97	28.38	49.88	10.74	1342.99	2488.43	1.00E+00
1.0	1440	2160	1.5	1.28	18.98	38.98	32.56	55.88	11.65	1845.98	3122.88	9.99E-01
1.0	1440	2880	2.0	1.40	23.17	43.17	36.13	60.83	12.34	2315.38	3700.62	9.99E-01
1.0	1440	3599	2.5	1.50	26.86	46.86	39.32	65.12	12.90	2759.85	4241.54	9.99E-01
1.5	2160	2160	1.0	1.28	18.98	38.98	32.56	55.88	11.65	1845.98	3122.88	9.99E-01
1.5	2160	3240	1.5	1.46	25.07	45.07	37.76	63.04	12.63	2540.36	3974.91	1.00E+00
1.5	2160	4320	2.0	1.59	30.19	50.19	42.22	68.96	13.36	3184.47	4755.95	1.00E+00
1.5	2160	5400	2.5	1.69	34.70	54.70	46.20	74.10	13.94	3791.23	5490.81	9.99E-01
2.0	2880	2880	1.0	1.40	23.17	43.17	36.13	60.83	12.34	2315.38	3700.62	9.99E-01
2.0	2880	4320	1.5	1.59	30.19	50.19	42.22	68.96	13.36	3184.47	4755.95	1.00E+00
2.0	2880	5760	2.0	1.72	36.10	56.10	47.45	75.68	14.11	3986.60	5727.91	1.00E+00
2.0	2880	7200	2.5	1.83	41.29	61.29	52.11	81.52	14.70	4739.15	6645.63	9.99E-01
2.5	3600	3599	1.0	1.50	26.86	46.86	39.32	65.12	12.90	2759.85	4241.54	9.99E-01
2.5	3600	5400	1.5	1.69	34.70	54.70	46.20	74.10	13.94	3791.23	5490.81	9.99E-01
2.5	3600	7200	2.0	1.83	41.29	61.29	52.11	81.52	14.70	4739.15	6645.63	9.99E-01
2.5	3600	8999	2.5	1.94	47.10	67.10	57.37	87.97	15.29	5625.49	7738.98	9.99E-01
3.0	4320	4320	1.0	1.59	30.19	50.19	42.22	68.96	13.36	3184.47	4755.95	1.00E+00
3.0	4320	6479	1.5	1.78	38.77	58.77	49.84	78.69	14.42	4368.32	6192.41	9.99E-01
3.0	4320	8639	2.0	1.92	45.99	65.99	56.36	86.74	15.18	5452.44	7524.27	9.99E-01
3.0	4320	10800	2.5	2.03	52.34	72.34	62.17	93.74	15.78	6463.26	8788.07	1.00E+00
3.5	5040	5039	1.0	1.66	33.25	53.25	44.92	72.45	13.76	3592.58	5250.05	1.00E+00
3.5	5040	7560	1.5	1.86	42.51	62.51	53.20	82.87	14.83	4920.84	6868.52	9.99E-01
3.5	5040	10080	2.0	2.00	50.30	70.30	60.30	91.50	15.60	6133.36	8372.98	1.00E+00
3.5	5040	12600	2.5	2.10	57.16	77.16	66.62	99.01	16.19	7261.12	9803.27	1.00E+00
4.0	5760	5760	1.0	1.72	36.10	56.10	47.45	75.68	14.11	3986.60	5727.91	1.00E+00
4.0	5760	8639	1.5	1.92	45.99	65.99	56.36	86.74	15.18	5452.44	7524.27	9.99E-01
4.0	5760	11520	2.0	2.06	54.31	74.31	63.99	95.90	15.95	6786.80	9197.77	9.99E-01
4.0	5760	14399	2.5	2.17	61.64	81.64	70.78	103.88	16.54	8025.23	10791.40	1.00E+00
4.5	6480	6479	1.0	1.78	38.77	58.77	49.84	78.69	14.42	4368.32	6192.41	9.99E-01
4.5	6480	9720	1.5	1.98	49.25	69.25	59.34	90.35	15.50	5965.87	8163.24	1.00E+00
4.5	6480	12959	2.0	2.12	58.08	78.08	67.47	100.01	16.26	7416.47	10002.88	1.00E+00
4.5	6480	16200	2.5	2.22	65.85	85.85	74.71	108.43	16.85	8760.23	11757.26	9.99E-01
5.0	7200	7200	1.0	1.83	41.29	61.29	52.11	81.52	14.70	4739.15	6645.63	9.99E-01
5.0	7200	10800	1.5	2.03	52.34	72.34	62.17	93.74	15.78	6463.26	8788.07	1.00E+00
5.0	7200	14399	2.0	2.17	61.64	81.64	70.78	103.88	16.54	8025.23	10791.40	1.00E+00
5.0	7200	18000	2.5	2.27	69.83	89.83	78.44	112.71	17.13	9469.68	12704.35	9.99E-01
5.5	7920	7919	1.0	1.88	43.69	63.69	54.28	84.19	14.95	5100.22	7089.16	9.99E-01
5.5	7920	11879	1.5	2.07	55.27	75.27	64.88	96.95	16.03	6946.33	9400.76	9.99E-01
5.5	7920	15839	2.0	2.21	65.03	85.03	73.94	107.54	16.80	8615.38	11565.69	9.99E-01
5.5	7920	19800	2.5	2.32	73.62	93.62	82.00	116.77	17.38	10156.45	13635.35	1.00E+00
6.0	8640	8639	1.0	1.92	45.99	65.99	56.36	86.74	15.18	5452.44	7524.27	9.99E-01
6.0	8640	12959	1.5	2.12	58.08	78.08	67.47	100.01	16.26	7416.47	10002.88	1.00E+00
6.0	8640	17280	2.0	2.25	68.27	88.27	76.97	111.02	17.02	9188.77	12327.58	1.00E+00
6.0	8640	21600	2.5	2.36	77.24	97.24	85.41	120.63	17.60	10822.86	14552.33	1.00E+00
6.5	9360	9360	1.0	1.96	48.18	68.18	58.36	89.17	15.40	5796.61	7951.93	9.99E-01
6.5	9360	14040	1.5	2.16	60.77	80.77	69.97	102.93	16.48	7874.87	10595.69	1.00E+00
6.5	9360	18720	2.0	2.29	71.37	91.37	79.88	114.36	17.23	9746.97	13078.55	9.99E-01
6.5	9360	23400	2.5	2.40	80.71	100.71	88.69	124.32	17.81	11470.85	15456.98	1.00E+00
7.0	10080	10080	1.0	2.00	50.30	70.30	60.30	91.50	15.60	6133.36	8372.98	1.00E+00
7.0	10080	15120	1.5	2.19	63.36	83.36	72.38	105.73	16.67	8322.51	11180.20	9.99E-01
7.0	10080	20160	2.0	2.33	74.36	94.36	82.69	117.55	17.43	10291.29	13819.81	9.99E-01
7.0	10080	25200	2.5	2.43	84.04	104.04	91.86	127.86	18.00	12102.04	16350.64	1.00E+00
7.5	10800	10800	1.0	2.03	52.34	72.34	62.17	93.74	15.78	6463.26	8788.07	1.00E+00
7.5	10800	16200	1.5	2.22	65.85	85.85	74.71	108.43	16.85	8760.23	11757.26	9.99E-01

7.5	10800	21600	2.0	2.36	77.24	97.24	85.41	120.63	17.60	10822.86	14552.33	1.00E+00
7.5	10800	27000	2.5	2.46	87.26	107.26	94.92	131.28	18.17	12717.82	17234.45	9.99E-01
8.0	11520	11520	1.0	2.06	54.31	74.31	63.99	95.90	15.95	6786.80	9197.77	9.99E-01
8.0	11520	17280	1.5	2.25	68.27	88.27	76.97	111.02	17.02	9188.77	12327.58	1.00E+00
8.0	11520	23040	2.0	2.39	80.02	100.02	88.05	123.60	17.77	11342.64	15276.97	9.99E-01
8.0	11520	28800	2.5	2.49	90.38	110.38	97.89	134.57	18.33	13319.39	18109.34	1.00E+00
8.5	12240	12239	1.0	2.09	56.22	76.22	65.75	97.99	16.11	7104.42	9602.57	9.99E-01
8.5	12240	18359	1.5	2.28	70.61	90.61	79.16	113.54	17.18	9608.77	12891.76	1.00E+00
8.5	12240	24479	2.0	2.42	82.72	102.72	90.61	126.46	17.92	11851.49	15994.42	1.00E+00
8.5	12240	30599	2.5	2.52	93.40	113.40	100.77	137.75	18.48	13907.78	18976.12	1.00E+00
9.0	12960	12959	1.0	2.12	58.08	78.08	67.47	100.01	16.26	7416.47	10002.88	1.00E+00
9.0	12960	19440	1.5	2.31	72.88	92.88	81.30	115.97	17.33	10020.79	13450.33	1.00E+00
9.0	12960	25920	2.0	2.44	85.35	105.35	93.10	129.24	18.07	12350.13	16705.29	1.00E+00
9.0	12960	32400	2.5	2.55	96.33	116.33	103.57	140.83	18.63	14483.91	19835.48	1.00E+00
9.5	13680	13680	1.0	2.14	59.88	79.88	69.14	101.97	16.41	7723.31	10399.05	1.00E+00
9.5	13680	20520	1.5	2.34	75.09	95.09	83.38	118.33	17.47	10425.34	14003.72	1.00E+00
9.5	13680	27359	2.0	2.47	87.90	107.90	95.52	131.94	18.20	12839.23	17410.11	1.00E+00
9.5	13680	34200	2.5	2.57	99.18	119.18	106.30	143.83	18.76	15048.60	20688.00	9.99E-01
10.0	14400	14399	1.0	2.17	61.64	81.64	70.78	103.88	16.54	8025.23	10791.40	1.00E+00
10.0	14400	21600	1.5	2.36	77.24	97.24	85.41	120.63	17.60	10822.86	14552.33	1.00E+00
10.0	14400	28800	2.0	2.49	90.38	110.38	97.89	134.57	18.33	13319.39	18109.34	1.00E+00
10.0	14400	36000	2.5	2.59	101.95	121.95	108.97	146.74	18.88	15602.55	21534.22	1.00E+00

2.3 理論的인 石灰要求量

水酸化石灰(Hydrated Lime)의 効率が 70%라고 假定하자, 分析에 依해 決定된 純알카리度(Net Alkalinity)는 600mg/l as CaCO₃ 이므로 Table 3 으로부터 理論的인 石灰의 要求量은 다음과 같이 된다.

$$600\text{mg/l CaCO}_3 \times \frac{1\text{mole Ca(OH)}_2}{1.35\text{mol CaCO}_3} \times \frac{1}{0.7}$$

$$=635\text{mg/l Ca(OH)}_2$$

따라서 理論的인 日間 Hydrated Lime 의 要求量은

$$635\text{mg/l Ca(OH)}_2 \times \frac{2,880\text{m}^3}{D} \times \frac{1,000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} = 1,830\text{kg/D}$$

實際操業時의 pH値는 8.5가 되어야 한다. 만약 너무 적은 Lime 의 投與로 pH8.5가 維持되지

Table 3. ALKALI COMPARISON FOR TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE

Alkali	Formula	Molecular wt	Equivalent wt	Factor to Convert to CaCO ₃ Equivalence
* Calcium neutralizers				
Hydrated lime (Calcium hydroxide)	Ca(OH) ₂	74.10	37.05	1.35
Quicklime (Calcium oxide)	CaO	56.08	28.04	1.78
Limestone (Calcium carbonate)	CaCO ₃	100.08	50.04	1.00
* Magnesium neutralizers				
Dolomitic lime (Magnesium hydroxide)	Mg(OH) ₂	58.30	29.15	1.72
* Sodium neutralizers				
Caustic soda (sodium hydroxide)	NaOH	39.99	39.99	1.25
Soda ash (sodium carbonate)	Na ₂ CO ₃	105.99	53.00	0.94

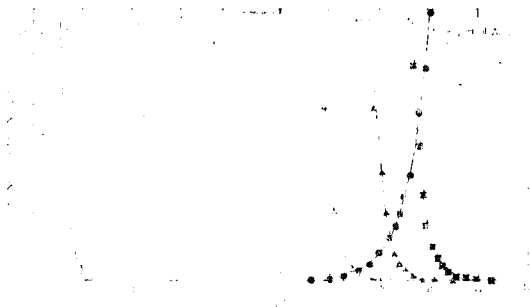


Fig. 7. Theoretical solubilities of selected ions.

않는다면 Lime 을 더 넣도록見積러야만 한다. 보다 높은 pH 가 필요하다면 測定曲線을 求하여 Lime의 要求量을 決定할 것이다(Fig 7 参照).

2.4 處理能力試驗에 依한 Lime 의 要求量

處理能力試驗은 沈澱試驗을 意味하는 것인데, 이 試驗에 依하면 pH 8.5를 成就시키는데 必要한 Lime 의 要求量은 627mg/l 일 때 中和作用이 되므로 實質的인 Lime의 日間 要求量은

$$\frac{627\text{mg}}{l} \times \frac{2,880\text{m}^3}{D} \times \frac{1,000L}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} = 1,800\text{kg/D}$$

따라서 取扱될 Lime 의 量은 1.8k kg/D(2tons/D)로서 이것은 最低量인 것이다. 따라서 設計하는 사람은 Hydrated Lime 을 쓸 수 있도록 하는 System 이 바람직한 것이다. 燒成爐(Slaker)가 必要한 消石灰(Quicklime) 中和法은 設下資金과 維持費用이 要求되는 것이므로 適當치 못하다.

2.5 Lime Silo 의 規模

設計者は Silo 의 貯藏能力을 적어도 7日分 以上으로 해야 한다. 이 경우 Silo 의 容量은 最低 12.7k kg(14 tons)는 되어야 한다. 만약 氣送式 大量 取扱 Silo 라면 18.1k kg(20 tons)보다 더 큰 Silo 의 Unit Volume 당 施設費用은 아마도 全體의 施設中에서 가장 비싸지 않은 Item 일 것이므로 設計者は 適當한 範圍內에서 容量을 超過할 수 있다. Hydrated Lime 의 濃度가 481kg/m³ 이라고 假定한다면 27.2kg(30 tons)의 貯藏이 要求되는 容量은

$$\text{Silo Volume} = \frac{27,200\text{kg}}{481\text{kg/m}^3} = 56.5\text{m}^3$$

그리고 이 Silo 의 Specification 은

Diameter=3.05m

Sidewall Height=7.30m

60° Hopper Bottom 이다.

1) 貯藏槽附設 振動器(Bin Activator)

Hydrated Lime Silo 에는 반드시 Vibratory 가 附設되어야 한다. 그 規模는 Silo Diameter 의 1/2보다 큰 Silo 라면 1/3程度, 따라서 적어도 1.52m 짜리의 Vibratory 는 되어야 한다.

2) 其他 要求되는 Silo 의 裝備

(1) Dust collector, model 化된 諸種이 있음.

(2) 10.16m 程度의 半徑回轉과 急速連結 Coupling

(3) 貯藏槽 크기와 맞먹는 指示器(옆에 附着)

(4) 사다리와 Silo 꼭대기 線路裝置

(5) 基礎

3) Silo Slide Valve

Bin Activator 밑바닥에 이 裝置가 必要하다. 이것은 操業者가 언제나 Silo 에 接近하는 것을 可能하게 하고 給饋器가 잘못되었을 때 혹은 텅 빈 Silo 가 채워지는 중일 때 이 Valve 는 닫혀 있어야 한다. 그래야 Lime 이 붙어 놓이지게 된다. 그렇지 못할 경우, Lime 은 주위로 흘러 나오게 된다.

2.6 Lime Feeder

平均 Hydrated Lime Feed Rate 는 다음과 같다.

$$\frac{1,800\text{kg/D}}{24\text{hr/D}} = 75\text{kg/hr}$$

容積의 Feed Rate 는

$$\frac{75\text{kg/hr}}{480\text{kg/m}^3} = 0.16\text{m}^3/\text{hr}$$

設計者は 選擇되어진 Feed Type 에 따라야 한다. 왜냐하면 選擇權은 個人的인 嗜好問題이기 때문이다. Delivery range 가 0.035~0.65m³/hr 와 같이 變更이 쉬운 Screw feeder 가 흔히 쓰이고 있다.

2.7 Lime 給饋用 選擇權

이 獨特한 施設을 爲해 Lime 要求量이 얼마

안된다면 設計者는 便利한 Lime slurry feeder system 보다는 다른 것을 有用할 수 있는 方法으로 해도 좋다. 例를 들어 Dry feed system 이나 Volume slurring system 과 같은 것은 兩者擇一이 可能하다.

1) Dry System

坑內水에 Dry lime 을 直接的으로 집어 넣는 데에는 여러가지 問題點이 있다. 그러나 Dry lime feed 가 현저히 불리한 것으로 나타나는 限界點을 決定해야 한다. 그렇지만 Lime 要求量이 단지 0.625kg/1,000l 이라면 Dry lime system 으로 實行하는 것이 可能하기도 하다. 設計者가 設計를 調節하여 Slurry feed system 을 除去할 수는 있으나 Flash mixer 로 더 긴 反應時間을 주어야만 한다.

2) Volume Slurring System

Volume slurring 은 mixer 와 大型集塵器와 함께 裝置된 大型 Closed-top tank 로 Hydrated lime 을 불어 넣는데다 包含시킨다. 이 Tank 는 Slurry 濃度の 要求에 依해 特定한 水量을 갖게 한다. 水量과 같이 Lime slurry 가 이 Tank 로 들어가고 그 다음에 連續적으로 휘젓게 한다. 이 Slurry tank 는 溶液으로 넣어 處理될 수 있는 容量 即 18.1kg(20tons) 規模는 되어야 한다. 만약 15%의 Slurry 가 要求된다면 122m³의 最近 Tank 容量에 만재된 氣送트럭 화물을 받아

들일 수 있어야 한다. 連續적인 處理를 維持시키려면 적어도 4.54k kg(5tons) 혹은 30.3m³ 容量이 添加되도록 하고 最低 Slurry tank volume 으로 151.4m³ 程度로 增加시켜야 한다.

3) Lime Slurry System

Table 4에서와 같이 Lime slurry 의 濃度는 初期에 Feed 될 때 10%(重量比)가 되도록 選擇하여야 한다. 따라서 Table 에 依한 Slurry 의 무게는 1.1kg/l 이다. 그리고 Lime(Ca(OH)₂)의 濃度は 0.10kg/l 이다. 따라서 要求 Slurry 를 만드는 比率은

$$\frac{75\text{kg/hr}}{0.10\text{kg/l}} \times \frac{1\text{hr}}{60\text{min}} = 12.5\text{l/min}$$

그러나 Slurry system 으로 만드는 比率은 적어도 要求量의 2倍 程度는 되어야만 된다. 25l/min 製造比率은 Water-to-lime 무게비가 9.7 : 1로 써야 하고 Lime feed 는 다음과 같이 計算되어야 한다.

$$\begin{aligned} 25\text{l/min} \times \frac{0.1\text{kg-Ca(OH)}_2}{\text{l}} \times \frac{60\text{min}}{\text{hr}} \\ = 150\text{kg Ca(OH)}_2/\text{hr} \\ = 0.3\text{m}^3/\text{hr} \\ = 2.5\text{kg/min} \end{aligned}$$

給水는 다음과 같이 計算한다.

$$\begin{aligned} 2.5\text{kg/min} \times 9.7 &= 24.2\text{kg H}_2\text{O/min} \\ &= 24.2\text{l H}_2\text{O/min} \end{aligned}$$

Table 4. PROPERTIES OF LIME SLURRIES

Approx. % Solids Ca(OH) ₂ (by wt)	Specific Gravity 15°C	Pounds per Gallon	Grams CaO per liter	Grams Ca(OH) ₂ per liter	Pounds CaO per Gallon	Pounds Ca(OH) ₂ per Gallon	Pounds Slurry per Cubic Foot	Weight Ratio Water to CaO	Weight Ratio Water to Ca(OH) ₂
1.5	1.010	8.41	11.7	15.46	0.097	0.128	62.94	85.70 : 1	64.70 : 1
3.2	1.020	8.50	24.4	32.24	0.203	0.268	63.62	40.81 : 1	30.72 : 1
4.8	1.030	8.58	37.1	49.02	0.309	0.408	64.22	26.77 : 1	20.03 : 1
6.3	1.040	8.66	49.8	65.81	0.415	0.548	64.82	19.87 : 1	14.80 : 1
7.8	1.050	8.75	62.5	82.59	0.520	0.686	65.49	15.83 : 1	11.76 : 1
9.4	1.060	8.83	75.2	99.37	0.626	0.826	66.09	13.11 : 1	9.69 : 1
10.8	1.070	8.91	87.9	116.15	0.732	0.966	66.69	11.17 : 1	8.22 : 1
12.2	1.080	8.99	100.0	132.14	0.833	1.10	67.29	9.79 : 1	7.17 : 1
13.7	1.090	9.08	113	149.32	0.941	1.24	67.96	8.65 : 1	6.32 : 1
15.2	1.100	9.16	126	166.50	1.05	1.39	68.56	7.72 : 1	5.59 : 1
16.4	1.110	9.25	138	182.35	1.15	1.52	69.23	7.04 : 1	5.09 : 1
18.0	1.120	9.33	152	200.85	1.27	1.68	69.83	6.35 : 1	4.55 : 1
19.2	1.130	9.41	164	216.71	1.37	1.81	70.43	5.87 : 1	4.20 : 1

20.4	1.145	9.50	177	233.89	1.47	1.94	71.10	5.46 : 1	3.90 : 1
21.8	1.150	9.58	190	251.07	1.58	2.09	71.73	5.06 : 1	3.58 : 1
23.1	1.160	9.66	203	268.24	1.69	2.23	72.35	4.72 : 1	3.33 : 1
24.4	1.170	9.75	216	285.42	1.80	2.38	72.97	4.42 : 1	3.10 : 1
25.6	1.180	9.85	229	302.60	1.91	2.52	73.73	4.15 : 1	2.91 : 1
26.9	1.190	9.91	242	319.78	2.02	2.67	74.17	3.91 : 1	2.71 : 1
28.0	1.200	10.00	255	336.96	2.12	2.80	74.85	3.72 : 1	2.57 : 1
29.2	1.210	10.08	268	354.14	2.23	2.94	75.44	3.52 : 1	2.43 : 1
20.4	1.220	10.16	281	371.31	2.34	3.09	76.04	3.34 : 1	2.29 : 1
21.5	1.230	10.24	294	388.49	2.45	3.23	76.64	3.18 : 1	2.17 : 1
32.7	1.240	10.33	307	405.67	2.56	3.38	77.33	3.04 : 1	2.20 : 1
33.8	1.250	10.41	321	424.17	2.67	3.52	77.92	2.90 : 1	1.96 : 1
35.4	1.260	10.49	331	437.38	2.81	3.71	78.52	2.73 : 1	1.83 : 1
36.4	1.270	10.58	343	453.24	2.92	3.85	79.19	2.62 : 1	1.75 : 1
37.5	1.280	10.66	356	470.42	3.03	4.00	79.79	2.52 : 1	1.67 : 1
38.5	1.290	10.74	370	488.92	3.14	4.14	80.38	2.42 : 1	1.59 : 1
39.6	1.300	10.83	382	504.77	3.25	4.29	81.06	2.33 : 1	1.52 : 1
40.8	1.310	10.91	396	523.27	3.37	4.45	81.66	2.24 : 1	1.45 : 1
41.7	1.320	11.00	410	541.77	3.48	4.59	82.33	2.16 : 1	1.40 : 1
42.7	1.330	11.08	422	557.27	3.58	4.73	82.93	2.09 : 1	1.34 : 1
43.7	1.340	11.16	435	574.77	3.70	4.88	83.53	2.02 : 1	1.29 : 1
44.7	1.350	11.25	448	591.63	3.81	5.03	84.20	1.95 : 1	1.24 : 1
45.7	1.360	11.33	460	607.81	3.92	5.18	84.80	1.89 : 1	1.19 : 1
46.6	1.370	11.41	472	623.99	4.03	5.32	85.40	1.83 : 1	1.14 : 1
47.7	1.380	11.50	484	639.84	4.15	5.48	86.07	1.77 : 1	1.10 : 1
48.4	1.390	11.58	496	655.70	4.25	5.61	86.67	1.72 : 1	1.06 : 1
49.5	1.400	11.66	510	673.56	4.37	5.77	87.27	1.67 : 1	1.02 : 1
50.6	1.410	11.75	524	692.41	4.50	5.94	87.95	1.61 : 1	0.98 : 1
56.5	1.420	11.83	538	710.91	4.61	6.09	88.54	1.57 : 1	0.94 : 1
52.2	1.430	11.91	550	726.77	4.71	6.22	89.14	1.53 : 1	0.91 : 1
52.8	1.440	12.00	562	742.63	4.82	6.34	89.82	1.49 : 1	0.89 : 1
53.9	1.450	12.08	575	759.81	4.93	6.51	90.42	1.45 : 1	0.86 : 1

4) Slurry Tank

Slurry tank 는 1/2程度로 채울 때 20分間 抑留時間을 주도록 設計되야 할 것이다. 이 Tank 는 Slurry 를 豫備貯藏 및 安全在庫로 準備되야 할 것이다. 따라서 要求되는 Tank Volume 은

$$V = 40\text{min} \times 12.5\text{l/min} \times \frac{1\text{m}^3}{1,000\text{l}} = 0.5\text{m}^3$$

圓形 Tank 의 設計는 Diameter 와 높이가 같도록 한다.

$$V = 0.785(D^2)(H) \quad \text{set } D=H$$

$$0.5 = 0.785(D^3) \quad \therefore D = 0.86\text{m}$$

Tank diameter 를 0.9m 로 만들고 攪拌의 높이 0.3m 을 包含시켜 1.22m 인 全體 높이로 만든다. 全體 Working Volume 은 592l 이다. Lime

feeder 와 물은 낮은 水準에 到達할 때 供給하고 높은 水準에서 끄도록 한다. Control level position 은 Tank 밑바닥에 對하여 다음과 같이 될 것이다.

Low level(turns feeder and water on) at 0.46m

High level(turns feeder and water off) at 0.91m

Emergency high level(shutdown of system) at 1.07m

5) Slurry Mixer

Mixer 를 治數化하기 爲한 엄지손가락의 標準 法則으로서는 0.2kw/m³(1HP/1,000gal)이다. 이것은 最終的인 治數化가 商人의 도움으로 決定

되어 질 수 있을 때까지 Mixer size의豫想治數를 設計者에게 주게 될 것이다. Slurry tank volume은 단지 0.592m³이므로 要求되는 馬力은
 $0.592\text{m}^3 \times (0.2\text{kw}/\text{m}^3) = 0.11\text{kw}(0.15\text{HP})$
 Mixer motor 들은 이 治數에 對해 30%~50%의 效率로 作動한다. 따라서 0.37kw(0.5HP)의 것으로 Side-mounted한 Propeller mixer로 準備해야 할 것이고 Propeller의 Shaft는 그 內容物이 언제나 混合可能토록 保證되게 Low-level control 밑에 있게 擴張되게 해야만 된다.

6) Slurry Feed System

變速容積測定의 Slurry feeder 하나쯤은 準備해야 하는데 作動範圍는 0.314~113.6l/min, Feed motor는 0.19kw(0.25HP)이다. 이 變速 Feeder는 Flash mixing 다음에 裝置된 pH Motor에 依해 즉각적으로 制御되어 진다. pH 探針들은 Flash mix tank 內側에 裝置하면 안되고 可能限한 다음 入口(Aeration 혹은 Settling)近處에 裝置해야만 된다.

7) Piping 과 Feed Pump

理想的으로 Slurry feed loop 內에 裝置하는 Slurry 線 速度計는 그 範圍가 1.0~1.2m/s라야 한다. Pipe의 Diameter는 12.5l/min의 流水率에서 이 速度가 維持하게 한다. 이 速度는 다음과 같이 計算된다.

$$\begin{aligned} \text{Pipe 斷面積} &= \frac{\text{Flow}}{\text{Velocity}} = \frac{12.5\text{l}/\text{min}}{1.2\text{m}/\text{s}} \\ &\times \frac{\text{min}}{60\text{s}} \times \frac{1,000\text{m}^3}{\text{l}} \times \frac{\text{m}}{100\text{cm}} \\ &= 1.71\text{ cm}^2(0.266\text{m}^2) \end{aligned}$$

이 斷面積은 市販 Pipe 1.27cm(0.5in) 直徑을 가리킨다. 그러나 그것은 또한 어떠한 Slurry 線이라도 直徑 25cm(1in) 以下가 되지 않을 것을 提言해 둔다. 이 Slurry 線에 對한 最低 Pipe 直徑을 2.5cm(1in)라고 假定하고 標準配管에 對한 損失水頭表를 써서 37.9l/min의 流水量은 損失水頭 12m/100m로 約 1.1m/s의 速度로 算出됨을 알 수 있다. 이러한 것은 許用可能한 設計值들이다. 어떤 경우에 있어서 Slurry tank, Mixer 혹은 其他 관련된 裝備의 크기를 爲해 校正하는 것이 必要할지도 모른다. 이 경우에 Slurry는 Slurry 製造 Tank에서부터 容量測定의 Feeder까지 再循環시켜도 된다. 超過流水量은

Slurry tank로 되돌리고, 하나의 pH system으로 容量測定의 Feeder에서부터 Flash mix tank까지 Feed를 制御한다. 2.54(1in)直徑 Pipe에 損失水頭는 거의 12m/100m이다. 만약 Slurry loop 길이가 靜的인 水頭가 3m라고 假定하면 全體 Pump 水頭는

$$\text{Total head} = 3 + 7.62 \times \frac{12}{100} = 3.91\text{m}$$

이 Slurry pump의 動力需要量은

$$\text{kw} = \frac{r \cdot QH}{101.97}$$

여기서 r=Slurry 密度 (kg/m³)

Q=Slurry flow (m³/s)

H=Head (m)

$$\begin{aligned} \text{kw} &= 1,060\text{kg}/\text{m}^3 \times 0.0024\text{m}^3/\text{s} \times 3.91\text{m} \\ &= 0.098\text{kw}(0.13\text{HP}) \end{aligned}$$

販賣者의 Catalog에 따르면 이 範圍內의 Pump 效率는 35%로서 매우 낮다. 따라서 要求되는 Pump의 規模는 다음과 같이 된다.

$$\frac{0.098}{0.35} = 0.28\text{kw}(0.037\text{HP})$$

Slurry pump는 0.37kw(0.5HP)의 Motor, 2.54(1in) Pipe, 3.18cm(1 1/4in)의 Suction으로 選擇해야 한다.

2.8 Flash Mix Tank

效率인 抑留時間을 5分間으로 하고, 要求量은 酸性坑內排水의 Flow와 Slurry flow 양쪽 다를 包含해야 한다.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 5\text{min} \times \left[(2,880\text{m}^3/\text{D} \times \frac{1\text{D}}{1,440\text{min}} \right. \\ &\quad \left. \times \frac{1,000\text{l}}{1\text{m}^3} \right) + 12.5\text{l}/\text{min} \right] = 10,063\text{l} \end{aligned}$$

H:D를 거의 1에 가까운 圓柱形 Tank로 設計한다.

$$\text{Volume} = 0.785(D^2)(H)$$

$$10.06\text{m}^3 = 0.0785D^3$$

$$\therefore D = 2.34\text{m}$$

最終的인 Flash mix tank의 容積은

$$\text{Diameter} = 2.44\text{m}$$

$$\text{Height} = 2.44 + 0.61\text{m 깔판} = 3.05\text{m}$$

入口와 出口의 位置는 180° 떨어져도록 한다.

入口: 坑內水의 맨위 入口, 그리고 Slurry pipe는 Air break로 한다.

出口 : Pipe 는 保證品으로, 實際速度는 1.0~1.2m/s 로 한다.

出口쪽 Pipe diameter 計算은

$$\text{Area} = \frac{\text{Flow}}{\text{Velocity}}$$

$$\left(2,880\text{m}^3/\text{D} \times \frac{\text{ID}}{1,440\text{min}}\right) + (12.5\text{l}/\text{min} \times \frac{\text{m}^3}{1,000\text{l}})$$

$$A = \frac{\quad}{1.0\text{m}/\text{s} \times \frac{60\text{s}}{\text{min}}}$$

$$A = 0.034\text{m}^2$$

$$D = 0.2\text{m}$$

여기서 20cm(8 in)의 Pipe 를 쓰며, 2.44m 높이로 들어가는 0.61 Nipple 로 Elbow 를 反對로 해서 20cm 짜리를 쓰도록 한다. 이 Tank 는 調節裝置로 90°떨어지게 놓는다. 다음의 Specification 에 따라 調節裝置를 設計한다.

Baffle Width $1/18 \times 244\text{cm} = 13.6\text{cm}(5.3\text{ in})$
餘有를 두어 15.24cm(6 in)로 한다.

Wall clearance = $0.10 \times 15.24\text{cm} = 1.42\text{cm}$
(0.6 in)

最低 Clearance 를 2.54cm(1in)로 한다. 이 調節裝置는 Tank 밑바닥의 最低 6.35cm 에서 끝나도록 하고 그들은 靜的인 水準위 적어도 15.24cm 까지 延長해야 한다.

2.9 Aeration Tank

平均 第1鐵의 鐵分 濃度는 95mg/l, 日間 第1鐵의 鐵分 Loading 은

$$\frac{95\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{2,880\text{m}^3}{\text{D}} \times \frac{1,000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{kg}}{10^6\text{mg}}$$

$$= 274\text{kg Fe}^{2+}/\text{D}$$

鐵分酸化를 爲한 理論的인 酸素要求量은 化學的인 相關性으로 決定한다.

- 7kg 의 鐵分은 1kg 의 酸素로 酸化되어 집
- 3.2kg 의 鐵分은 0.454kg 의 酸素로 酸化되어 집

$$\frac{274\text{kg Fe}^{2+}/\text{D}}{7\text{kg Fe}^{2+}/1\text{kg O}_2} = 39\text{kg O}_2/\text{D} = 1.63\text{kg}/\text{hr}$$

따라서 2.13kg O₂/kw-hr(3.5lb O₂/HP-hr) 酸素供給率로 使用코져하는 概略的인 kw(HP)의 動力量을 決定할 수가 있다. 0.75kw(1HP)의 Aerator 는 처음에 定하는 것이지만 Mixing 要求量

이 繼續考慮되어야 하는 것이므로 極히 重要한 것이다. Aeration basin 中에서 要請되는 抑留時間은 處理能力 Study 中에서 生成되는 鐵分の 酸化作用을 넘는 Time curve 로 훌륭하게 어림될 수가 있다. mg/l/min 으로 주어지게 되는 이 Curve 의 傾斜는 作動 pH 值 選擇때 完全한 第1鐵의 鐵分酸化作用에 對한 最低 抑留時間 必要量을 決定하는 것으로도 쓸 수가 있다. 處理能力 試驗으로부터 鐵分酸化作用의 比率이 11.25mg/l/min 으로 誘導되었다. 이 曝氣槽中에서 完全한 酸化作用이 이루어지는 것으로 假定한다면 要求되는 抑留時間은

$$\text{Detention Time} = \frac{95.0\text{mg}/\text{l}}{11.25\text{mg}/\text{l}/\text{min}}$$

$$= 8.44\text{min}$$

短期間의 回路中 높은 點에서 曝氣槽內 作用이 可能하므로 治數值 혹은 安全率이 適用되지 않으면 안 된다. 이렇게 計算되는 抑留時間은 짧기 때문에 적어도 安全率은 4는 되어야 하고 最低 34分의 抑留時間은 豫想해야만 한다(Table 5 參照).

Aeration Tank Size: Volume = Q × t

$$V = \left[\left(2,880\text{m}^3/\text{D} \times \frac{\text{ID}}{1,440\text{min}} \right) + \left(12.5\text{l}/\text{min} \times \frac{\text{m}^3}{1,000\text{l}} \right) \right] \times 34\text{min}$$

$$= 68.4\text{m}^3$$

여기서 Q = Total flow(坑內源水와 Slurry)

$$t = 34\text{min}$$

1.83m 의 水深과 圓形槽로 假定하면

$$\text{Surface Area} = \frac{68.4\text{m}^3}{1.83\text{m}} = 37.4\text{m}^2$$

$$\text{Basin Diameter} = 6.9\text{m}$$

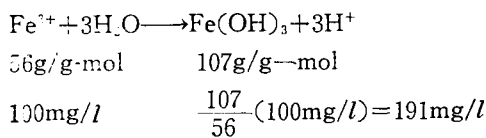
Table 5. AERATION DETENTION TIME SAFETY FACTORS

Calculated Detention Time	Safety Factor
min	min
≥16	2.0
11-15	3.0
6-10	4.0
3-5	8.0
1-2	10.0
≤1	≥10.0

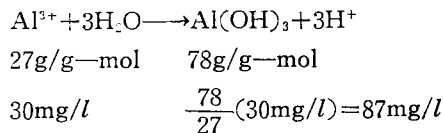
設計者は 지금 酸素供給과 混合要求量 둘다를 滿足시키는 曝氣槽를 選擇한다. 여기서 擇한 曝氣槽型은 直徑이 8.23m 인 作業容量, 水深이 1.83m 및 酸素供給率이 2.3kgO₂/kw-hr(3.8 IbO₂/IP-hr)로 된 0.89kw(1.2HP)차리 Aerator 로 浮遊物을 시킨다. 鐵筋콘크리트槽로 하던가 혹은 地上의 밀바닥 腐蝕防止用으로 한 Pond 로 하던간에 設計者의 마음대로다.

2.10 Sludge 生成物의 推定

坑內源水의 處理로 생기는 Sludge 는 대단한 濃度(Fe 및 Al)로 除去되는 金屬水酸化物의 量으로서 推定할 수가 있다. 即 酸性坑內排水中の 이들 固形物質(浮遊物質: SS)은 Lime 을 使用해서 일어난 것은 아니다. 이와 같은 推定에 있어서는 이들을 100% 除去하는 것으로 假定한다. 第1鐵의 鐵分이 完全히 酸化作用하는 것으로 假定하는 第2鐵分の 鐵分 加水分解:



알루미늄 加水分解:



理論的인 日間 固形物의 生産量:

○ 鐵 2 第 水酸化物

$$191\text{mg/l} \times \frac{2,880\text{m}^3}{\text{D}} \times \frac{1,000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} = 550\text{kg/D}$$

○ 알루미늄의 水酸化物

$$87\text{mg/l} \times \frac{2,880\text{m}^3}{\text{D}} \times \frac{1,000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} = 251\text{kg/D}$$

○ 固形物質(浮遊物質: SS)

$$55\text{mg/l} \times \frac{2,880\text{m}^3}{\text{D}} \times \frac{1,000\text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}} = 158\text{kg/D}$$

○ Lime 을 쓰지 않을 때(보통은 높지 않으나 最初에는 Lime 의 不溶性 때문에 15%의 Lime 은 消費한다고 假定)

$$1,806\text{kg D} \times 0.15 = 271\text{kg/D}$$

○ 沈澱槽로부터 물과 함께 흘러나오게 될 Sludge 가 겨우 1%밖에 안된다고 假定하면 液狀 Sludge 의 무게는

$$\frac{1,230\text{kg SS/D}}{0.01} = 123,000\text{kg Sludge/D}$$

○ 簡單하게 Sludge 의 무게가 물과 같다고 假定하면

$$\begin{aligned} \frac{123,000\text{kg/D}}{1\text{kg/l}} &= 123,000\text{l Sludge/D} \\ &= 123\text{m}^3 \text{ Sludge/D} \end{aligned}$$

設計者は 지금 處理能力 試驗中에서 알게된 結果에 대해서 이러한 理論的인 Sludge 容量推定을 Cross-check 할 수가 있다. 이 경우에 있어서 沈澱試驗에서 最終的으로 沈澱된 容量이 35ml 로 주어졌다면 Sludge 의 容量은 다음과 같이 簡單한 %로 計算되어 진다.

$$\begin{aligned} \frac{35\text{ml Sludge}}{1,000\text{ml Sludge}} &= 0.035 \text{ 혹은 } 3.5\% \\ &= 0.035 \times 2,880\text{m}^3/\text{D} \\ &= 101\text{m}^3/\text{D} \end{aligned}$$

따라서 設計者は 더 높은 Sludge 容量을 考慮해야만 하며 形便에 따라야 한다.

2.11 沈澱槽(池)의 設計

이 경우에 있어서 土地를 利用할 수 있으면 地上의 沈澱池를 選擇하도록 한다. 그 設計에 對한 媒介變數들은 다음과 같다.

1) 抑留時間을 最低 12時間, 깨끗한 물이 될 때로 하고, Sludge 貯藏容量을 最低 3日間으로 본다.

2) 自動的인 Sludge 除去裝置를 設備한다.

3) 處理流水量을 2,880m³/D 로 한다.

4) 0.91m 의 깔판

5) 外部의 傾斜를 3:1

6) 内部의 傾斜를 2 $\frac{1}{2}$:1

沈澱池容量의 計算은 다음과 같다.

○ 3日間 Sludge 貯藏 = 123m³/D × 3D = 369m³

○ 12時間의 깨끗한 물 貯藏

$$2,880\text{m}^3/\text{D} \times \frac{12\text{hr}}{24\text{hr/D}} = 1,440\text{m}^3$$

○ Total Volume Lime = 1,809m³

밀바닥에 對한 길이 대 폭의 比를 3:1로 하는

3.05m의水深으로 假定한다(Fig. 8 參照).

2.12 水力學的인 Sludge 除去 System 으로 한 沈澱池

設計者는 人爲的인 勞動力에 依한 Sludge 除去와 關連되는 것을 考慮한 賃金이 最少化되는 水力 Sludge 除去로 한 것을 決定해야만 된다. 이들의 System 이 가질 地域으로 9.1m×18.3m 相當의 땅을 所有한 것을 提案한다. 따라서 이 沈澱池의 밑바닥은 Fig. 에서 보는 바와 같은 必要容量을 確保하기 爲해 폭이 9.1m, 길이가 24.4m의 地域을 所有하게 될 것이다(Fig. 8 參照).

$$\text{Volume} = \frac{(9.1 \times 24.4) + (24.4 \times 29.6)}{2}$$

$$(3.05) = 1,811\text{m}^3$$

上記 Total Volume Lime 의 1,809m³ 容量과 같아야 한다. Cut 와 Fill Volume 을 計算하는 것은 이 沈澱池가 地盤水準위에 세워지는 것으로

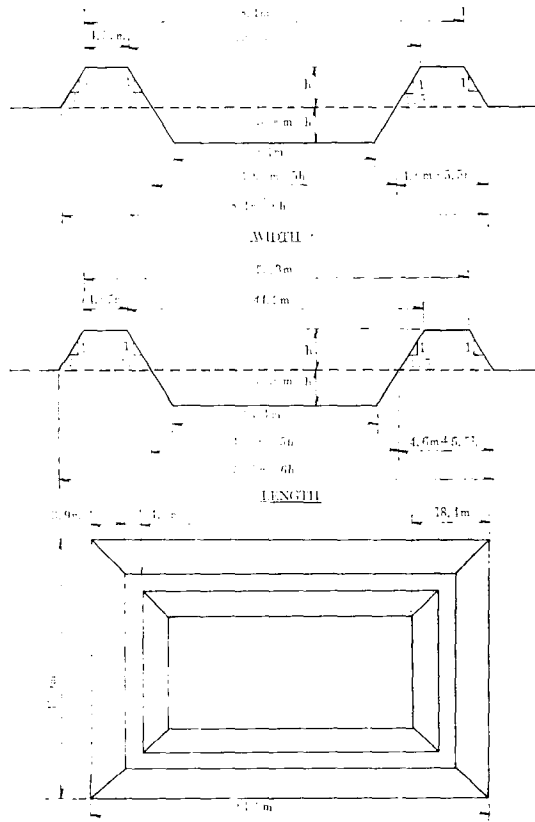


Fig. 8. Settling basin, Design Example

假定한다.

$$\text{Cut Volume} = \text{Fill Volume}$$

$$\frac{(24.4)(9.1) + (44.2 - 5h)(29.0 - 5h)}{2}$$

$$(3.96 - h) = \frac{4.57 + (4.57 + 5.5h)}{2}$$

$$(h)[(2)(9.1 + 14.5 + 3h) + (2)(2.44 + 14.5 + 3h)]$$

$$4,096h + 333h^2 + 91h^3 = 5,956$$

이 等式은 試行錯誤에 依해 解決할 수가 있다.

h	f(h)
1.22m	5,658
1.37m	6,470
1.30m	6,087

Choose h=1.30m

Cut Volume=1,430m³

Fill Volume=1,480m³

○ Overall Dimensions

$$= [(9.1 + 2(14.5 + (3)(1.30)))] = 45.9\text{m}$$

$$= 24.4 + 2[(14.5 + (3)(1.30))] = 61.2\text{m}$$

○ Total Basin Area=(45.9m)(61.2m)

$$= 2,809\text{m}^2$$

○ Total Water Area=(24.4)(39.6)=966m²

2.13 Sludge 處置 沈澱池

過去의 經驗에 根據한 다음의 假定들은 Lagoon 處置法으로 作業하는 것으로 만든 것이다. 卽 20年間的 稼行炭曠에 對해 처음 沈澱槽로부터 1%의 Sludge가 放流되는 것으로 한다. 乾燥된 Sludge는 Lagoon 處置로서 16%~18%의 固形物을 處理할 수 있다. 그러나 15%가량은 保存槽에서 使用될 것이다. 가만히 부어져야 될 물은 다시 처음 沈澱槽로 되돌려 보낸다. 處理能力 試驗에 依한 이 Sludge의 生産量은 다음과 같다.

○ 日間 Sludge 生産量=123m³ at 1% Solids

○ 12% 때 最終 Sludge 生産量=10.3m³

1) 要求되는 Sludge 處置用 沈澱池의 容量

$$\frac{10.3\text{m}^3}{D} \times \frac{365D}{Yr} \times 20Yr = 75,190\text{m}^3$$

容積으로서 1.52m 깨끗한 물의水深 더하기 잘 판두께 0.91m로 準備한다. 沈澱池의 깊이를

10.67m 로 假定하고, 8.23m 의 Sludge 깊이로 準備한다.

$$\text{Area Required} = \frac{75,190\text{m}^3}{8.23\text{m}} = 9,136\text{m}^2$$

豫備的인 沈澱池容量

$$= 95.6\text{m} \times 95.6\text{m} \times 10.67\text{m} = 97,517\text{m}^3$$

2) Sludge 沈澱池의 設計

다음의 變數들의 假定으로 Sludge 沈澱池 規模가 決定된다.

$$\text{沈澱池 內側傾斜 } 2\frac{1}{2} : 1$$

$$\text{沈澱池 外側傾斜 } 3 : 1$$

$$\text{沈澱池 築城幅} = 4.51\text{m}$$

(1) 첫번째 試行

76.2m × 76.2m 인 正方形 沈澱池 밑바닥 變數들을 推定함.

$$\text{効率的인 容量} = \frac{(76.2)^2 + (117.3)^2}{2} \quad (8.23)$$

$$= 80,513\text{m}^3$$

要求되는 容量은 25,190m³ 보다 약간 더 크게 함.

$$\text{Cut Volume} = \text{Fill Volume}$$

$$\frac{(76.2)^2 + (129 - 5h)^2}{2} (10.7 - h)$$

$$= \frac{4.6 - (4.6 + 5.5h)}{2} (h) [4(129.7 + 5h + 4(4.6 + 5.5h))]$$

$$242,130 - 41,447h - 1,407h^2 - 36h^3 = 0$$

$$36h^3 + 1,407h^2 + 41,447h = 242,130$$

이 等式은 試行錯誤로 풀 수 있다.

h	f(h)
4.5m	218,284
5.0m	246,910
4.9m	241,108

$$h = 4.9\text{m}$$

$$\text{Cut Volume} = 48,933\text{m}^3$$

$$\text{Fill Volume} = 48,446\text{m}^3$$

掘鑿되어져야 할 容量은 掘鑿深度가 5.8m 때 堤坊쌓기를 爲한 充填必要量과 같고 堤坊쌓기는 現存 地盤水準의 4.9m 를 올린다. 全體深度는 10.7m 로 만든다. 이것은 掘鑿때 地盤을 水準이라고 假定한 것이다.

$$\text{Total Area Required} = (161\text{m})^2$$

$$10,000\text{m}^2/\text{ha}$$

$$= 2.6\text{ha} (6.4\text{ac})$$

$$\div 25,900\text{m}^2$$

$$\div 7,849\text{坪}$$

2.14 處理施設 設計에 對한 資金內譯

施設項目	金額(원)
(1) Raw water pump 2臺	1,560,000
(2) Equalization basin 6,000m ³	
Excavation and material placement 6,000m ³ @3,060/m ³	18,252,000
Clay liner thickness 0.91m area equals 5,850m ² , 5,324m ² @3,060/m ³	16,380,000
(3) Lime storage and feed system	
Silo 27.2Kkg(30 tons) including side ladder, handrail, cage, 60° hopper, fill pipe	7,800,000
Bin activator 1.52m	3,510,000
5cm (2in) screw feeder	1,638,000
Hopper slide valve	195,000
Bin level indicator	195,000
Dust collector	1,014,000
Concrete foundation 3.65m × 1.06m 正方形 14.5m ³	3,705,000
Pad excavation 20m ³	117,000
Delivery	468,000
Erection (minimal because welded silo)	433,800
(4) Lime fed dry directly from feeder	-
(5) Flash mix tank approximately 11,355l	
Diameter = 2.44m	
Height = 3.05m	
Fiberglass tank include baffles, nozzles, mixer mounts	3,198,000
(6) Aeration tank (circular earthen basin)	
Diameter = 6.40m	
Depth = 1.83m	
59m ³ @3,060/m ³	179,400
Bottom concrete formless pour 5cm (2in)	
37m ² × 0.05m = 2.0m ³	
2.0m ³	409,500
(7) Aerator 0.89kw(1.2HP)	2,730,000
(8) Settling basin(earthen) with sludge removal system	
Volume 1,782m ³	
From cut and fill	
Fill + excavation = 2,910m ³	8,915,400

施設項目	金額(원)
Clay liner 0.61m×2,809m ² 1,713m ³	5,241,600
Hydranlic sludge removal system	11,700,000
(9) Sludge disposal pond 46,000m ² From cut and fill 97,379m ³	290,753,920
Clay liner 0.61m×28,200m ² 17,202m ³	52,648,440
(10) Land cost for treatment site (assume 62.5ha) 6ac @ 3,900,000원/ae	23,400,000
(11) Instrumentation for automatic inter-lock system with PH assem- blies, panel, annunciator and re- corder	3,900,000
(12) Electrical moter starts, transf- ormer heater, control room with insulation lighting	3,900,000
(13) Piping and Miscellaneous	3,900,000
(14) Electric power to the site	19,500,000
(15) Fencing, complete enclosure 3,100m로 假定함	24,180,000
Initial construction cost estimate	509,829,060
Engineering fees @ 10%	50,982,000
Contingency @15%	76,474,000
Contractor's overhead and profit 20%	101,965,000
Total capital cost budget	739,250,060
	約 7億 4千萬 (원)

年間管理維持費	金額(원)
(1) Electricity(11.7kwh)	4,001,400
(2) Chemicals(lime @50,700원/ ton)	37,011,000
(3) Manpower(1 worker @ 4hr/D)	11,388,000
(4) Sludge disposal	7,800,000
Total	60,200,400
	約 6千萬(원)

注意: 위金額은 美國品셈基準의 \$價格에 對하 韓
780으로 計算된 概算值임.

3. 結 論

1) 酸性도가 높은 炭礦들이 個別的으로 또는
綜合的으로 各己 坑內排水量에 맞는 規模에 따
라 例를 들면 2,880m³/Day-2m³/min 인 경우
所要投資費 約 7億으로 本 研究에서 提案되는

設計로 施設하여 淨水處理를 한다면 炭礦村의 第
1次的인 用水難은 無難히 解決될 수 있을 것으
로 보며 아울러 環境保全도 可能할 것이라고 思
料된다.

2) 本 研究에서의 設計는 韓美技術協力으로 共
同研究된 設計諸源이며, 모두 美國內 建設品셈
에 依해서 算出된 資金內容이므로 適用에 앞서
國産化 可能 設計로 하고 우리나라 建設品셈으
로 再整立한다면 훨씬 적은 費用으로 目的하는
處理施設 Plant 를 세워 活用可能할 것임을 添言
해 둔다.

< 參 考 文 獻 >

- (1) 李春澤外(1983), 鑛害(廢水)防止를 爲한 “江陵炭
田의 酸性廢水化 防止對策研究”, 韓國動力資源研究
所, 82-石炭資源-9-15, p.11~202.
- (2) 李春澤外(1984) “鑛山保安技術研究, 2. 旌善·丹
陽·炭田의 酸性廢水化 防止對策研究”, 韓國動力資
源研究所, 83-石炭資源-3-06, p.305~339.
- (3) EPA-600/2-83-001 (1983.1), Design Manual,
Neutralization of Acid Mine Drainage”, U.S.
Environmental Protection Agency, Office of Res-
earch and Development Industrial Environmental
Research Laboratory, p.1~224.
- (4) Dr. David R. Forshey (1980), Director, Min-
erals Environmental Technology, USBOM, Carr-
ying Photograph matter 22sheets.
- (5) Dr. Robert L.P. Kleinman(1982),” Acid Mine
Drainage: Control and Abatement Research,”
USBOM PRC, p.1~22.
- (6) 李春澤外(1979), 鑛害防止를 위한 “用安水水質檢
査方法 및 處理技術開發研究(I),” 資源開發研究所,
KIGAM Bulletin-06, p.9~76.
- (7) 李春澤外(1982), 鑛害廢水防止를 爲한 “金屬鑛山
의 有害重金屬에 關한 現狀把握研究”, 韓國動力資源
研究所, p.7~71.
- (8) 柳顯吳外(1980), 亞鉛鑛山地域의 畚土壤과 玄米中
의 카드뮴 및 亞鉛含量” 서울大學校 農科大學教授,
學術院 學術院論文集 自然科學篇 第19輯, p.255~266
- (9) 李春澤(1981), “鑛山廢水의 汚染防止를 爲한 考
察” —有害重金屬을 中心으로— 漢陽大學校 工科大
學 資源工學科, “자원” 3호, p.7~26.
- (10) 安基熙(1980), 環境保全關係法規, 環境廳 法務擔
當官室, p.1~213.