

# 粗碎와 粉碎에 관한 研究(下)

俞 圭 在 譯

<韓一시멘트企劃監査室係長>

## XIII.

지금까지 3 가지 粉碎理論과 基本原理에 대해 설명했다. 이제 粉碎産物의 粒度 分布에 관해 說明코자 한다. 粉碎産物에서 취한 sample은 篩別 등 적당한 방법으로 粒度別로 分割評量하여 粒度別 重量比率를 구한다. 粒度의 單位는 mm 또는 micron( $\mu$ )을 사용한다.  $1\mu$ 은 1m의 100萬分の 1이며 1mm의 1000分の 1이다. 1 angstrom( $\text{\AA}$ )은  $1\mu$ 의  $1/10^6$ 이며, 때로는  $\text{cm}^{-8}$ 이라고도 쓴다. 光線 波長의 길이는 8,000  $\text{\AA}$ (赤色)~4,000  $\text{\AA}$ (靑色) 또는  $0.8\mu\sim 0.4\mu$  범위로 이러한 길이는 보통 현미경으로 判別 하기가 약간 어렵다.

일반적인 標準篩의 규격은 篩구멍의 1번 길이가  $74.2\mu$ 인 200 mesh 篩를 기본으로하여 구멍 1번의 길이가  $\sqrt{2}$  배씩 차이가 있는 正方形 구멍의 篩一囊으로 구성된다. 1인치는 25,400  $\mu$ 이다. 粒度分布 篩試驗이란 size 별 일련의 各篩로 篩別하여 粉碎物이 各篩를 通過한 量 또는 殘渣量을 重量比로 표시하는 것이다.

粒度分布 분석은 일반적으로 log-log paper 從座標에 篩通過重量比 Y를, 그리고 橫座標에 粒子的 直徑 x를  $\mu$  눈금으로 plot 한다. 微粉 粒度 일 때는 거의 직선으로 되지만 粒度가 굵으면 곡선으로 나타나고 100% 通過線과 頂上에서 거의 접하게 된다. 일의 指數方程式(1)에 이용되는 80% 通過粒度는 散點圖에서 찾을 수 있으며 80% 선이 지나면 대개 곡선으로 변한다.

直線의 아래 부분이 기울기  $\alpha$ 보다 넓어지면 plot 선은 다음의 Gates-Gaudin Schumann 方程式 power law 에 따라  $K_{100}\mu$ 에서 100% 통과선과 교차한다.

$$Y=100\left(\frac{x}{K_{100}}\right)^{\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

方程式 (2)에서 비중이 P이고  $K_{100}\mu$ 에서 100% 통과되는 立方體 粒子 gr當 表面積을  $Se\text{ cm}^2$  라 하고 粉碎限界  $Li\mu$ 시 기울기가  $\alpha$  라면 다음의 方程式이 성립된다.

$$Se=\frac{60,000\alpha}{PK_{100}(1-\alpha)}\left\{\left(\frac{K_{100}}{Li}\right)^{1-\alpha}\right\} \dots\dots (3)$$

方程式(3)에서 粉碎限界  $Li$ 의 값은 石英이나 岩石의 原子配列 거리의 약 200 배인 1,000  $\text{\AA}$  즉  $0.1\mu^6$ 으로 정한다. 表面積은  $Li$ 를 적용하여 公式(3)으로 구할 수 있다. 기울기  $\alpha$ 는 약 0.5 또는 2.0 이하이지만 특수 경우에는 1이 될때도 있다.

閉回路에서 粉碎時 開回路보다 産物粒度가 곱지 못하며  $\alpha$ 는 높아진다. 粉碎前에 微粉末을 제거하면(일명 scalping)  $\alpha$ 는 높아지며 微粉碎하면 반대로  $\alpha$ 는 작아진다. log-log 粒度 plot 방식은 약 70년전에 처음 이용되었으며 아직도 이 방식이 널리 이용되고 있다. 그러나 粒度分布線 上方이 曲率로 나타나는 未知의 粒度는 G-G-S 方程式(2) power type 보다는 指數形式으로 분포됨을 알 수 있다.

<그림-1>은 log-log size 분포 plotting 方式을 도시한 것이다. 하부의 線은  $\alpha$ 가 0.543 이고  $K_{100}$ 은 3,000  $\mu$ 이며 2,000  $\mu$ 에서 80%가 통과되

는 粒度分布線이다. 실제로 100% 通過點은 80% 通過線에서부터 굴곡되어 3,000 $\mu$ 이 아니고 더 粗粒인 6,000 $\mu$ 이다. <그림-1>에서 粉碎前 微粉末을 제거한 粒度分布線도 도시했는데 80% 통과 粒度는  $F_c$ 며  $F_c$ 의 값은 方程式 (1)에서 필요한 자료다.

粉碎前 微粉末을 제거한 (scalped) 粒度分布線으로 微粉末을 제거하지 않았을 때 (unscalped)의 80% 通過粒度를 찾는 방법으로 우선 기울기 1:2 또는 0.500인 直線을 scalped feed가 80% pass하는 粒度  $F$ 點을 지나도록 그린다. 다음 scalped feed가 5% pass하는 粒度를 직선에 投射하여 同直線上에  $Y_c$ 點을 구하고  $80 - \frac{Y_c}{2}$  % 값을 scalped feed가 80% 통과하는 粒度  $F$ 와  $x$ 軸의 平行線上에 plot하여 이 점을 지나는 기울기 1:2인 직선을 그리면  $F_c$ 에서 80% 通過線과 교차한다.  $F_c$  粒度가 바로 구하고자 하는 scalping을 안했을 때의 80% 통과 粒度이다. 이 방법으로 80% passing 粒度를 찾아  $w_i$  計算을 하여 微粉末除去 粉碎檢討를 할 수 있다.

XIV.

前術한 log-log plot 방식에는 약간 불리한 점이 있다. plot 線은 어떤 때는 직선과 멀리 떨어지는 경향이 있으며 粗粒일 때는 chart 상부에서 掘曲 現狀이 일어난다. 粗粒粉碎物 檢討時 특히 80% 通過粒度가 중요한 자료이다. plot 線이 직선이 된다면 여러 가지 유리한 점이 있다. 이에 均一 物質일때 G-G-S線의 상부가 直線으로 표시되는 粒度分布 plot 방식을 연구하였으며 實驗 方程式은 다음과 같다.

$$Y=100-y=b/e=b/10Ax \dots\dots\dots (4)$$

$$Ax=\log b-\log Y \dots\dots\dots (4a)$$

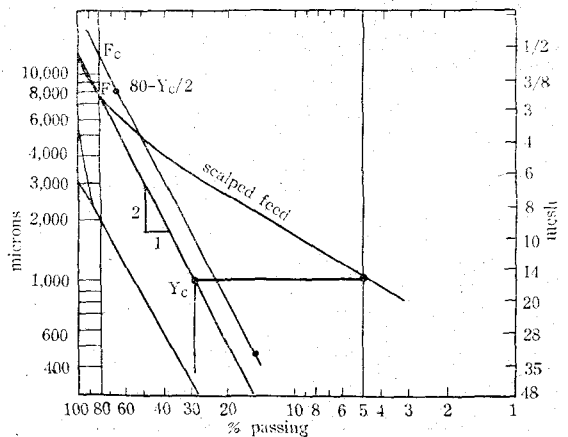
<그림-2>에서  $X_1$ 은 일의 量  $w$ 이며  $w$ 는  $Y=20$ 일 때 80% 통과 粒度로 粉碎時 일의 指數  $w_i$ 로 所要動力을 나눈 값인 energy 保有量 kwh/ton이다. 累積殘渣 %  $Y=100-y$ 이며  $b$ 는 100-y 交叉線이고  $A$ 는 negative(-) 기울기이다.

semi-log paper에서  $Y$ 는 垂直代數 scale이고  $x$ 는 horizontal linear scale로 測定된다.

대각선은 chart 왼쪽 위에서 放射線으로 그려지고  $\sqrt{2}$  篩의 mesh size를 나타내며 80% 통과 점은 累積殘渣 20%선에서 교차한다. 各對角線은  $p_i\mu$  크기의 試驗篩를 나타내며  $w=10/\sqrt{p_i}$ 에서 基準線과 교차된다. 對角線은  $x_1$ 과  $w$ 간 관계에 따라서 여러가지 mesh size가 될 수 있다. 이 plot 방식은 log-log 방식과 같이 편리하지는 않지만 몇가지의 이점이 있다. 첫째 이점은 80% 통과 粒度  $p$ 는 基準線 20%에서  $w=x_1$ 일 때  $p=100/w^2$  公式로 誤差없이  $p$ 를 구할 수 있다.

다른 이점으로는 被粉碎物의 자연結晶 size 분포가 설명된다. 즉 粒度分布線이 chart 상부에서 微粒 sieve size에 접근하기 때문에 직선이 오른쪽으로 掘曲하여 掘曲線이 다시 직선과 평행되면 그 粒度는 粉碎物의 자연結晶 size가 가장 缺如되어 있음을 의미한다. 반면 掘曲線이 直線과 접해지는 粒度에서 自然結晶 粒子가 많아진 것이다. 篩試驗으로  $w_i$ 를 計算檢討 결과 自然結晶 粒度와 비슷한 粒度로 粉碎하면  $w_i$ 의 값은 낮아지고 반대로 結晶粒度가 결여된 size로 분쇄하면  $w_i$ 의 값은 增大된다.

鑛石의 自然結晶 粒度(natural grain size)란 選鑛前에 분쇄되어야 하는 固着되지 않는 遊離 粒度와 거의 일치하며 이러한 현상은 鑛物이 10% 정도 함유되어 있을 때 잘 나타난다. 시험적 plot로 고찰 결과 鑛物 含有量이 많을 때 grain size를 判別하기 쉽다. 특히 鐵鑛石의 grain size 判別은 용이하다.



<그림-1> log-log size distribution plot

이와 같이 粒度 plot 방식으로 龜裂의 길이 및 粉碎에 필요한 여러 자료를 찾을 수 있다. 표준 ball mill 에서 粉碎性 試驗을 행한 결과 mill 回轉當 入力은 평균 60 joule 이었다. 즉 비중이  $S_g$  인 均質物質은 破碎時 1cm 의 새로운 龜裂을 생성하는데 필요한 入力은 약  $w_i S_g / 11$  이다.

露出面  $E_r$  은 脆弱構造 또는 微粒分析를 量으로 표시하는 것으로서  $Y=100\%$ 인 chart 의 頂上에서  $x_2=x_1$  일 때  $E_r=x_2/w$  이다.  $E=0$  란 粒子의 size 는 한가지만 존재함을 의미하며 微粉이 존재하지 않음을 의미한다.  $E_r$  이 증가하면 微粒이 증가하는 것이고  $E_r$  이 일정할 때  $b$  는 무한대가 된다.

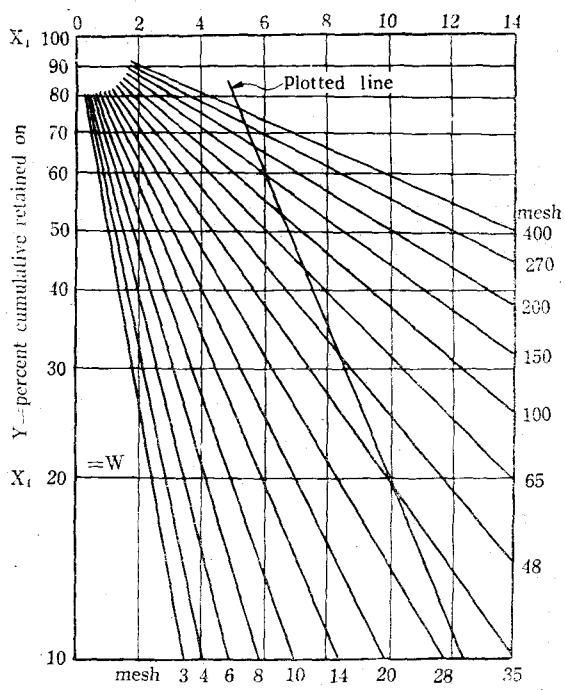
$E_r = \frac{1}{2}$  일 때  $\sqrt{2}$  篩에서는 각 粒度別로 適量의 入力이 가해진 것이며,  $b=500$  이다.  $E_r < \frac{1}{2}$  때 粗粒子는 微粉보다 많은 入力을 받았으며  $b < 500$  이다. 공급물의 露出面比를  $E_r f$  라고 하고 粉碎產物의 露出面比를  $E_r p$  라고 한다.  $E_r f / E_r p > 1$  일 때는 微粉碎이므로  $w_i$  값은 높아지며  $E_r f / E_r p < 1$  이면 반대로  $w_i$  의 값은 減少된다. 露出面比  $E_r$  은  $E_r = x_{100}/w$  일때 다음의 방정식과 같이  $E_r$  은  $b$  와 관계가 있다.

$$\log b = \frac{2 - 1.301 E_r}{1 - E_r} \dots\dots\dots (4b)$$

Schuhmann log-log plot 에서  $E_r$  과 기울기  $\alpha$  의 대략적 관계는 다음식과 같다.

$$E_r = 0.1 / \alpha^{2/3}$$

<表-1>은 B. H. Bergstrom 씨가 computer 로 계산한 修正表다. 粉碎產物이 80% 통과하는 粒度가  $p$  일 때 <表-1>의 data 를 single-cycle log-log paper 여섯장에 plot 하여 龜裂의 길이  $C_r$  을 圖表上에서 구할 수 있는 chart 를 만들며 露出面  $E_r$  은 1실험적 粒度分布 결과를 plot 하여 알 수 있다. paper 첫장에  $p=1 \mu$  에 대한  $C_r$  값을 chart 左側 頂부분에 plot 하고  $p=10 \mu$  때의  $C_r$  값을 右側에 plot 한다. 그리고 각점을  $E_r$  값 직선으로 연결하고 代數法으로 중간선을 그린다. 두째장의 左側에  $p=10$  에 대한 값을 plot 하고 右側에는  $p=100$  에 대한 값을 plot 한다. 이러한 방식으로 여섯장 chart 를 작성, 運轉上의 모



<그림-2> exponential size distribution plot

든 粒度範圍에 해당하는 chart 를 만든다.

<그림-2>에 plot 한 篩分析은 400  $\mu$  또는  $p=400$  을 80% 통과하는 圖表며 기울기  $\alpha$  는 0.543 이다.  $E_r$  값은  $x_2/x_1$  또는 0.416 이고 龜裂의 길이  $C_r$  는 28.2 cm/cm<sup>3</sup> 이다. 放射線은 35 mesh 값이므로  $f$  의 값은 다음 方程式에 의거 0.05 이다.

$$p = 100 / (x_1 f)^2$$

粒子 size 가 상이한 것을 plot 했기 때문에 放射線도 다음과 같이 상이한 mesh size 와  $f$  값을 갖는다.

corner	mesh	1	$f=0.00625$
"		3	$f=0.0125$
"		10	$f=0.025$
"		35	$f=0.05$
"		150	$f=0.10$
"		570	$f=0.20$

<表-1>

For plotting crack length values  $C_r$  in centimetres per  $1 \text{ cm}^3$

$p$ in microns $E_r$ slope	1	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000
0.001	174.1	55.4	17.6	5.56	1.76	0.558	0.176
0.01	182.2	59.2	19.1	6.14	1.97	0.634	0.233
0.10	204.7	79.1	28.6	10.07	3.51	1.211	0.414
0.20	207.2	91.9	36.0	13.46	4.80	1.754	0.617
0.30	203.2	100.7	42.0	16.39	6.15	2.249	0.806
0.40	196.8	107.2	47.2	19.02	7.30	2.716	0.986
0.50	189.5	112.2	51.7	21.44	8.39	3.158	1.159
0.60	181.8	115.9	55.7	23.69	9.41	3.586	1.326
0.70	174.2	118.8	58.3	25.79	10.40	3.997	1.487
0.80	166.9	121.0	62.6	27.78	11.34	4.394	1.645
0.90	159.7	122.9	65.6	29.66	12.25	4.783	1.800
0.99	153.7	123.7	68.1	31.28	13.04	5.123	1.937
0.999	153.1	123.8	68.3	31.43	13.11	5.158	1.950

XV.

粉碎 문제를 해석할 때 가장 중요한 자료는粉碎産物의 表面積으로서 Rittinger의 理論에 의하면 일의 量은 새로 생성된 表面積에 정비례한다고 했으며 第3의 粉碎原理에 의하면 일의 量은 새로 생성된 龜裂의 길이 또는 表面積 平方根에 정비례한다고 했다. 그러나 Kick의 理論에서는 表面積과 일의 量간의 관계에 언급이 없다. 과거, 특히 Rittinger 理論의 전성기중에 粉碎産物의 表面積을 측정하고자 다방면으로 시도 하였으나 그 결과는 서로 一致性이 없었기 때문에 表面積 計算은 未知 狀態였었다. 그러나 오늘날 다음과 같은 表面積 算出方式이 보편적으로 이용되고 있다.

첫째로는 直接測定 方法으로서 다음과 같은 方法이 있다.

- ① 直接溶解法(石炭을 불화수소에 용해하는 式)
- ② coercimeter 로 磁性鑛物의 磁性測定方法
- ③ BET 方式의 gas 吸着方法
- ④ Andreason 피펫 또는 침전 balance 로 浮遊 粒子 침전을 測定方法
- ⑤ Wagner turbidimeter 로 液狀 suspension 의 混濁度 測定方法
- ⑥ 空氣 또는 特殊 gas 의 滲透度 測定方法으로 Blaine 試驗方法

粒子의 표면은 불규칙하기 때문에 또 測定方式이 다르기 때문에 表面積測定결과는 서로 일치하지 않는다. 溶解方法과 coercimeter 測定方法은 소수 一定 종류의 鑛物에만 적용되며 gas 吸着方式은 정확성이 없고 gas 中에 다른 鑛物이 혼합되어 있으면 吸着率이 변화된다. Andreason 피펫과 침전 balance 는 粒子의 영킴 또는 渦流가 있으면 부정확하고 Wagner turbidimeter 도 粒子영킴으로 영향을 받으며 325 mesh 篩를 기준으로 했기 때문에 문제점이 많이 있다.

Blaine 方法은 粉末이 균일하게 장입되지 않거나 粒子가 균일하지 않으면 測定值가 다를 수 있다. Blaine 値는 Wagner 方法보다 상당히 낮은 결과로 나타난다. 그러나 Blaine 方式은 편리하기 때문에 특히 시멘트와 鐵鑛石 등에 많이 사용된다.

일정 物質의 表面積을 비교할 때는 Blaine 方法이 가장 적당하고 結果值도 一致性이 있다. Wagner 의 表面積  $S_w$  와 Blaine 表面積  $B_i$  값은 대략  $S_w = B_i^{0.93}$  이 된다.  $\mu$  단위에서 80% 통과되는 粒度를  $p$  라 하고 비중을  $S_g$  라 하면, 대략 다음 公式와 같이 서로 관계가 있다.

$$p = 6,000,000 / (B_i^{1.4} \sqrt{S_g^5}) \dots\dots\dots (5)$$

$$\log p = 7.778 - 1.4 \log B_i - 2.5 \log S_g \dots (5a)$$

龜裂의 길이  $C_r$  은 固體 cc 당  $\text{cm}(\text{cm}/\text{cc})$  로 나타내며 이때 表面積은  $2C_r^2$  이 된다.

둘째 表面積測定方式은 微粉粒度分布까지 측

정하는 間接測定方式으로 粉碎限界라고 하는 최소 粒度限界를 설정해야 한다. 粒子의 모양이 균일한 立方體이고 篩試驗結果 규칙적인 粒度分布를 한다고 가정하며 粉碎限界를  $0.1\mu$  이라 하면 GGS log-log 粒度分布 plot 에서 比重  $\rho$ ,  $K_{100}\mu$  에서 100% 통과, 기울기  $\alpha$ , 粉碎限界  $L_i\mu$  일때 表面積  $S_e(\text{cm}^2/\text{gr})$  는 다음 식과 같다.

$$S_e = \frac{60,000 \alpha}{\rho K_{100}(1-\alpha)} \left[ \left( \frac{K_{100}}{L_i} \right)^{1-\alpha} - 1 \right] \dots (3)$$

露出面比가  $E_r$  이고 80%가 통과되는 粒度  $p$  가  $20\mu$  보다 크다면 龜裂의 길이  $C_r$  은 대략 다음과 같다.

$$C_r = \frac{190 E_r + 20}{\frac{0.362}{E_r^{0.93}}} \dots (4d)$$

$p=100\mu$  이면,

$$C_{r100} = \frac{\log(E_r + 0.28) + 0.77}{0.0125} \dots (4e)$$

$C_e$  를 crack energy (joule/cm 또는 watt-second/cm) 라고 하면,  $C_e$  는 다음과 같다.

$$C_e = 3.97 w_i S_g / C_{r100} \dots (4f)$$

보통 石英質 鑛石의 crack energy  $C_e$  는 약 4 joule/cm 더 또는  $w_i S_g / C_{r100}$  이 된다.

## XVI.

crushing 과 grinding 에서 일의 指數  $w_i$  란 공식 (1) 과 같이 이론적으로 무한대의 feed size  $F$  를  $100\mu$  ( $p=100$ ) size 篩를 80% 통과하는 粒度로 1톤의 feed 物을 분쇄할 때 작용되는 動力 kwh 이다.

$$w_i = w / \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \dots (1a)$$

粉碎施設을 선택할 때와 既存 시설의 能率 검토를 다음 설명과 같이 sample 을 채취하며 시행한다.

### 粗碎性試驗 (crushability test)

3" 篩를 通過하고 2" 篩에는 殘留되는 (3"~2") 岩片을 30 lb 錐 2개가 기계적으로 連續投擊하는 自轉車軸 또는 轉向式軸上에 놓고 岩片이 破碎될 때까지 錐의 높이를 조금씩 높혀 준다. 岩片이 破碎되는 衝擊力을  $c(\text{ft-lb/in})$  라 하고 岩片의

비율을  $S_g$  라고 하면 10番 破碎試驗을 한후 다음 공식으로 일의 指數  $w_i$  를 구한다.

$$w_i = 2.59 C / S_g \dots (6)$$

$w_i$  의 값은 岩片의 龜裂, 취약부분의 발달 정도에 따라 다르며  $w_i$  값의 變化幅을 試驗值變化幅으로 알 수 있다.

### rod mill 의 粉碎性 試驗 (rod mill grindability test)

試料를 under  $\frac{1}{2}$ " size 로 粗碎하여 篩試驗 하고 cylinder 로 1,250  $\text{cm}^3$  를 취한다. wave 型으로 lining 이 되고 回轉計가 달리고 약간 경사진 12"  $\phi \times 24$ " L 閉回路 rod mill 에 試料를 투입하여 mill 速度 46 rpm, 循環率 100%로 乾式粉碎한다. 粉碎媒體는 1.25"  $\phi \times 21$ " L steel rod 6개와 1.75"  $\phi \times 21$ " L 2개로, 重量은 33.380 gr 을 장입한다. 糝出口에서 粉碎物의 분리 작용을 평균화하기 위해 8回轉 동안은 水平回轉을 하고 1회전은 mill 경사를 5° 높였다가 다시 水平回轉이 되도록 粉碎가 끝날 때까지 연속적으로 變換를 준다.

篩試驗은 4~65 mesh 까지 各 mesh 마다 모두 測定한다. 분쇄가 끝나면 mill 을 30회 회전시키면서 45° 傾斜로 이르게 mill 內部物을 쏟아내어 篩試驗을 한다. 篩試驗 under size 는 評量하고 未分給物과 篩試驗 over size 는 mill 로 再投入하여, 다시 분쇄한다. 이때 mill 回轉數는 再投入量에 따라 循環率이 100%가 되는 回轉數로 분쇄한다. mill 回轉當 under size 量이 균일해지고 粉碎量의 증가 또는 감소 傾向이 반대로 될 때까지 반복 분쇄하면서 篩試驗을 행한다. 마지막에는 under size 와 循環量을 篩試驗하며 마지막 세번의 rpm 當 粉碎量 ( $G_{r,p}$ ) 이 rod mill 의 粉碎性이다.

$F(\mu)$  를 rod mill 供給物이 80% 통과하는 粒度라 하고  $P_1(\mu)$  을 試驗篩의 規格이라하면 일의 指數  $w_i$  는 다음式으로 구한다.

$$w_i = 62 / (P_1)^{0.23} \times (G_{r,p})^{0.625} \times \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \dots (7)$$

$w_i$  의 값은 內徑 8 ft, 濕式閉回路 rod mill 로 粉碎時 平均 overflow 때의 모타 動力과 일치해야 한다. 왜냐하면 乾式은 入力을 1.30 배해 주

어야 한다. 內徑이  $D$ ft 이고, 內部를 lining 한 mill 이라면 入力은  $\left(\frac{8}{D}\right)^{0.2}$  배가 되고 內徑이 12 ft 이상이면 入力은  $\left(\frac{8}{D}\right)^{0.175}$  배로 감소된다.

安全을 기하기 위해 rod mill 은 普通最大容量以下로 운전하며 이 경우  $w_i$  값은 試驗値보다 높아진다. rod 를 full charge 하고 최대容量으로 운전하면 특히 rod mill 內物이 충분치 못할 경우 rod 가 discharge trunnion 쪽으로 밀려 trunnion 內에서 落下運動이 일어나며 discharge rod 가 掘曲되고 rod 가 영기는 경향이 있다.

#### ball mill 粉碎性 試驗

試驗은 6 mesh 篩를 통과하도록 미리 조쇄한다. 때로는 6 mesh 以上の 고운 粒度로 試驗할 수도 있다. 試料 700 cm<sup>3</sup> 를 cylinder 로 評量하여 mill 에 투입코 循環率 250%로 乾式 分쇄한다. 試驗用 ball mill 의 규격은 內徑 및 內側길이 12" 이고 corner 부분은 曲形이면, shell 에는 4"×8" door 1 個가 있고, 內부는 圓滑하게 lining 하며 回轉計를 부착하고 粉碎媒體는 285 個의 iron ball 20.125 gr 을 裝입한다. mill 의 速度는 70 rpm 으로 운전하며 ball 別 규격은 대략 1.45"ball 43 개, 1.17"ball 67 개, 1"ball 10 개, 0.75"ball 71 개와 61"ball 94 개를 裝입한다. 이들 ball 의 全體表面積은 842in<sup>2</sup> 이며 試驗中 ball 이 마모되면 작은 ball 을 제거하고 큰 ball 로 代치하며 ball 重量 20.125 gr 을 유지시킨다.

篩試驗은 28 mesh 以下の 모든 sieve size 를 시험한다. 처음 mill 을 100 回轉後 mill 裝입물을 쏟아내어 ball 을 篩로 분리한후 700 cm<sup>3</sup> 粉碎物을 篩試驗하여 under size 는 評量한다. ball 을 mill 에 再配列하고 循環率 250%가 되도록 回轉數를 조정하여 over size 를 다시 粉碎하여 같은 방법으로 再 篩試驗을 한다. 再粉碎時 循環率을 맞추기 위한 필요回轉數는 mill 내 被粉碎

物 重量의  $\frac{1}{3.5}$  이 under size 로 될 때의 前回 運轉 結果로 구한다.

分쇄는 mill 回轉當 under size 粉碎量이 均衡해지고 粉碎量 增加 또는 감소 현상이 逆으로 될 때까지 分쇄한다. 마지막에는 under size 와 循環物을 篩試驗하며 마지막 3 回의 mill 回轉當 粉碎量( $G_{op}$ )이 ball mill 의 粉碎性이다.  $F(\mu)$ 를 試料가 80% 통과되는 粒度라하고  $P(\mu)$ 를 마지막 sieve under size 가 80% 통과되는 粒度라하며  $P_i(\mu)$ 을 試驗篩의 規格이라 하면 ball mill 의 일指數  $w_i$ 는 다음 公式로 구한다.

$$w_i = 44.5 / (P_i)^{0.23} \times (G_{op})^{0.82} \times \left( \frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \dots \dots \dots (8)$$

100 mesh 로 粉碎時  $P$ 의 平均값은 114  $\mu$  이고 150 mesh 때 76  $\mu$ , 200 mesh 때 50  $\mu$ , 325 mesh 때 26.7  $\mu$  이 된다. 粒度分析時  $P$ 를 알 수 없으면 이러한  $P$ 의 값을 公式 (8)에 代입 사용한다. 公式(8)로 구한  $w_i$ 의 값은 內徑 8 ft 인 濕式閉回路 ball mill 의 平均 over flow 때 motor의 動力과 일치해야 한다. 乾式粉碎時 入力은 보통 1.30 배이지만 ball coating 또는 ball 단결 현상이 일어나면 入力은 더 증가된다. 內부를 lining 한 ball mill 의 直徑이  $D$ ft 라면 入力은  $\left(\frac{8}{D}\right)^{0.20}$  배이며  $D$ 가 12 ft 이상이면 入力은  $\left(\frac{8}{D}\right)^{0.175}$  배이고 14 ft 以上이면  $\left(\frac{8}{D}\right)^{0.150}$  배가 된다. ball mill 의 粉碎性 方程式(8)과 rod mill 의 粉碎性 方程式(7)은 computer 로 계산하며 粉碎時間 圖表 작성도 computer 로 check 한다.

#### hardgrove 粉碎性 結定係數

hardgrove 장치로 시험한 粉碎性을 비교하면  $Hd$ 는 hardgrove 粉碎性結定係數라 하며 濕式粉碎  $w_i$ 는 대략 다음 公式로 구한다.

$$w_i = 400 / (Hd)^{0.91} \dots \dots \dots (9)$$