

Cement Grinding用 Tube Mill에 대하여

金 尙 基

<韓一시멘트丹陽工場燒粉係長>

시멘트는 분쇄 시설의 주기적인 밑에서 분쇄 된다.

여기에서는 크링카 분쇄시 폐회로 밑의 Dimension을 決定하는 문제를 취급하려 한다.

1. Tube Mill의 生産量

다음 설명은 <그림-1>에 따라 폐회로 분쇄를 하는 시멘트 밑에만 한정되고 매개 변수의 도움으로 밑의 유효 직경에 의해 생산량 및 필요한 驅動力을 表示하는 圖表作成을 目的으로 한다.

그뿐만 아니라 밑의 Dimension에 대한 概要를 나타내고 있다.

충전율은 약 0.3으로 하고 일정하게 하면 圖表는 單純하고 일목 요연하게 된다.

Mittag氏는 Tube Mill의 소요 동력에 관해 다음과 같은 식을 발표했다.

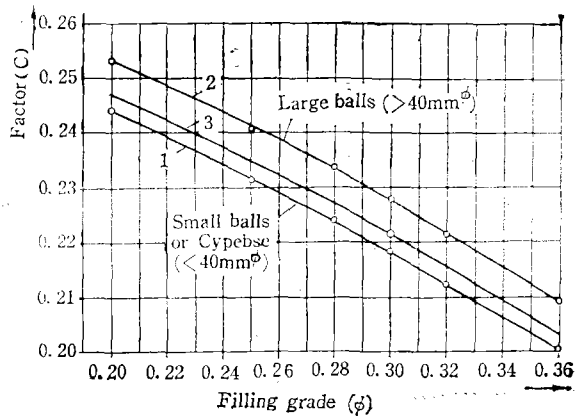
$$N = C \cdot T \cdot D_{ii} \cdot n \text{ (kw)} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{여기에서 } n = \frac{32}{\sqrt{D_{ii}}} \left(\frac{1}{\text{min}} \right) \dots\dots\dots ②$$

C: <그림-2>에 의한 계수

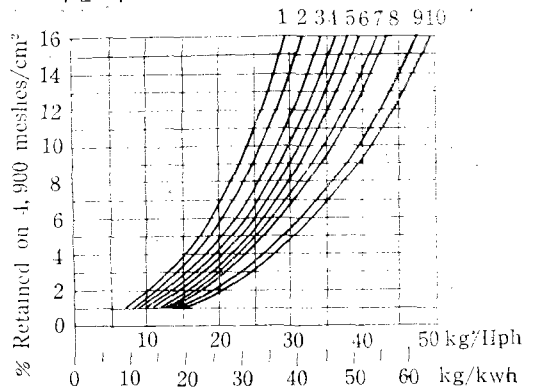
- a: Hopper
- b: Mill
- c: Bucket Elevator
- d: Separator

<그림-1>



<그림-2> 충전율과 動力 所需 係수

1. 小形 Ball
2. 大形 Ball
3. 1과 2사이의 中間 곡선 Fine grinding chamber가 coarse grinding chamber보다 약 2배의 길이일 때



Output curves for cement mills
<그림-3> Curve 3: 中硬質 Rotary Kiln, Clinker

T: 媒體重量 (t)

D_{ii} : Tube Mill의 유효 직경 (m)

n: 밀의 회전수 (1/min)

Mittag 氏의 公式에 의한 計算例로서 다음과 같은 조건하에 공기 분리가 있는 바켈 엘리베이터 컴파운드 밀을 생각하자.

분쇄할 크링카는 中硬質 로타리 키 큰 크링카이며 적당한 기간 동안 저장한 것으로 粒子의 크기는 0~25 mm이며 분말도는 4,900 mesh 표준채상(上)에 잔사 7%, 분쇄량은 시간당 30t이라고 가정한다.

분쇄물은 다음 <그림-4>와 같이 제1실과 제2실에서 분쇄된 後 Bucket Elevator에 의해 Separator에 운반된다.

Separator에서 분리된 粗粉(Reject)은 제3실로 공급, 재분쇄한다.

第3室에서 粉碎된 物質은 第1, 第2室에서 粉碎되어 세퍼레이터에서 분리된 미분말과 합쳐 세퍼레이터에서 분리된다.

比粉碎量(<그림-3> 보다 8% 더 높다):

$$24 \text{ kg/HP} \cdot 1.08 = 26 \text{ kg/HP} = 35.2 \text{ kg/kwh}$$

$$\text{動力消耗量} = \frac{30,000}{35.2} = 852 \text{kw} = 1,160 \text{HP}$$

밀의 호칭 직경: 2.6m

밀의 평균 유효 직경: 2.53m

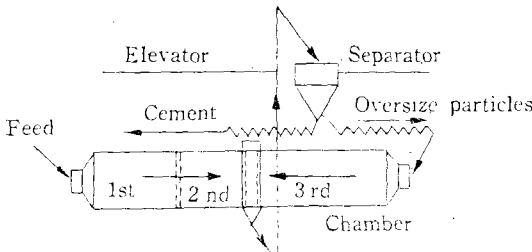
밀의 단면적: 5.03m²

바켈 엘리베이터와 分級 장치의 소요 동력은 밀 동력 소모의 10%로 취급한다.

$$\text{Total power consumption} = 852 \text{kw}$$

(이중 밀에 대해서 775 kw, 엘리베이터와 분급 장치에 대해서 77kw로 구성되어 있음)

3실 Compound mill에서 Nominal diameter (호칭 직경) 2.6m인 경우 有效 길이當 動力 소



<그림-4> Compound mill with bucket elevator and centrifugal separator

모=70.9kw 임.

$$\text{밀의 有效 길이} = \frac{775}{70.9} = 10.9 \text{m}$$

여기에 부가할 것은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{2개의 Diaphragms을 갖는 중앙 배출실} &= 1.0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{1개의 Diaphragm} &= 0.25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2개의 Endplates} &= 0.12 \text{ m} \\ \hline &= 1.37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{밀의 全長} = 10.90 + 1.37 = 12.27 \text{m} \text{ 약 } 12.50 \text{m}$$

$$\text{밀의 有效 길이 m當 분쇄매체 장입량} = 6.21 \text{t/m}$$

$$\text{밀의 회전수} = 19.7 \text{r. p. m}$$

$$\text{분쇄 매체 충전율} = 26.9\%$$

$$\text{<그림-2>에서 動力係數 } C = 0.23$$

$$\text{분쇄 매체의 겉보기 비중} = 4.583 \text{t/m}^3$$

$$\text{분쇄 매체 장입량 (t): } 6.21 \times 10.9 = 67.7 \text{t}$$

$$\text{or } 5.03 \times 10.9 \times 0.269 \times 4.583 = 67.7 \text{t}$$

$$\text{동력 소모량 (kw): } 70.9 \times 10.9 = 775 \text{kw}$$

$$\text{or } 0.23 \times 67.7 \times 2.53 \times 19.7 = 775 \text{kw}$$

①式에 $n = \frac{32}{\sqrt{D_{ii}}}$ 의 값을 代入한다.

$$N = C \cdot T \cdot \sqrt{D_{ii}} \cdot 32 \text{ (kw)} \dots\dots\dots ③$$

粉碎媒體 充填量은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T = D_{ii}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_{ii} \cdot \gamma \cdot \phi \text{ (t)} \dots\dots\dots ④$$

여기에서 L_{ii} : 밀의 有效 길이 (m)

γ : 粉碎媒體의 겉보기 비중 (t/m³)

ϕ : 粉碎媒體의 充填率

밀의 粉碎媒體 充填率은 평균 30% 즉 0.3이다.

앞에 言及한 說明을 하기 위해서 ϕ 는 0.3程度로 일정하게 하고, γ 는 4.5t/m³로 하자.

그러면 <그림-2>에 의해 $C = 0.222$ 가 求해진다.

③式에 ④式의 T를 代入하면

$$N = K \cdot L_{ii} \cdot D_{ii}^2 \sqrt{D_{ii}} \text{ (kw)} \dots\dots\dots ⑤$$

여기에서 K는 다음 계수들을 포함하고 있다.

$$\begin{aligned} K &= \frac{C \cdot \phi \cdot \gamma \cdot \pi \cdot 32}{4} = \frac{0.222 \times 0.3 \times 4.5 \pi \times 32}{4} \\ &= 7.5 \dots\dots\dots ⑥ \end{aligned}$$

밀 指數 E_M (kwh/t)은 一定한 粒徑에서 어떤 물질의 被粉碎性에 대한 척도이다. 생산량 F는

⑤式으로부터 다음과 같이 계산한다.

$$F = \frac{N}{E_M} = \frac{K}{E_M} \cdot \frac{L_{ii}}{D_{ii}} \cdot D_{ii}^{3.5} \text{ (t/h)} \dots\dots ⑦$$

앞의 ⑦式에서 $\frac{L_{ii}}{D_{ii}} = \lambda_{ii}$ 관계의 의미를 나타내기 위해 분자와 D_{ii} 를 갖는 분모로 표시했다. 그럼으로써 생산량은 주로 $D_{ii}^{3.5}$ 으로 증가한다. 이 사실은 Bernutat에 의해 이미 입증되었다. λ_{ii} 對 E_M 의 比가 일정하면 F 또한 일정해진다.

그래서 이 관계는 매개 변수로서 이용된다.

$$P = \frac{\lambda_{ii}}{E_M}$$

<그림-5>에서 생산량은 有效內徑과 매개변수

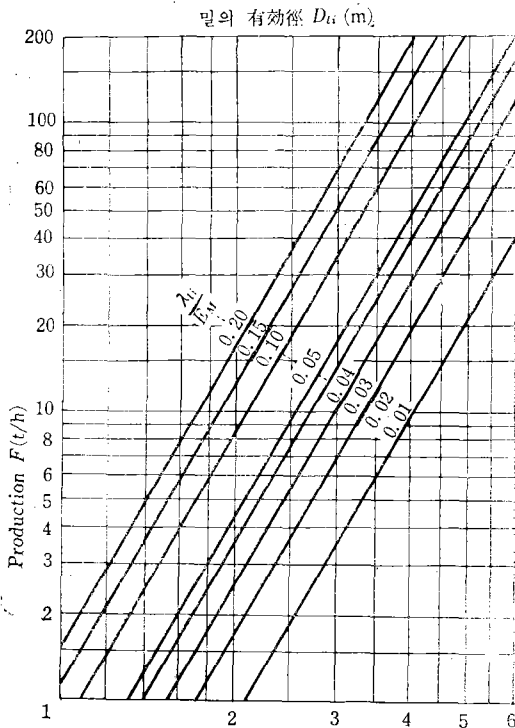
$P = \frac{\lambda_{ii}}{E_M}$ 에 의해 plot 되어 있다.

<그림-5>는 다음 수치의 가정하에 적용된다.

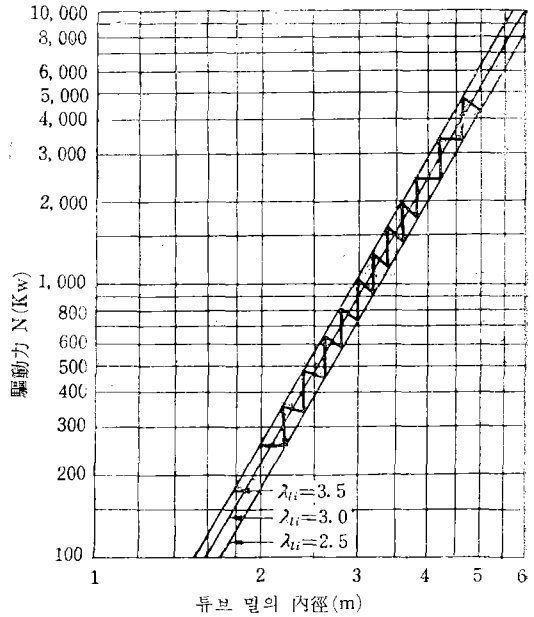
분쇄 매체의 충전율: 0.3

분쇄 매체의 겉보기 비중: 4.5t/m³

上記 數値가 변하면 ⑥式에 의한 계수 K 를



<그림-5> 충전율 ϕ :0.3과 분쇄 매체의 평균 겉보기의 밀도: γ :4.5/tm³일 때 밀의 有效徑 D_{ii} 와 매개 변수에 의한 튜브 밀의 生産量



<그림-6> Tube Mill의 규격화된 內徑 D_{ii} (매개변수: λ_{ii})에 의한 Tube Mill의 驅動力

새로 계산할 수 있고 <그림-5>로 조사한 값을 K 값의 비율로 수정할 수 있다.

II. Tube Mill의 驅動力

方程式(5)로부터 다음과 같은 結論이 나온다.

$$N = K \cdot \lambda_{ii} \cdot D_{ii}^{3.5} \text{ (kw)} \dots\dots ⑧$$

驅動力 N 은 媒介變數 λ_{ii} 를 갖는 D_{ii} 의 함수로서 <그림-5>에 유사하게 plot 하게 한다.

그러나 규격에서는 N 은 Tube Mill Shell의 內徑 D_i (m)의 함수로서 plot 한다(<그림-6>).

$$D_i = D_{ii} + 2S$$

여기에서 Liner의 平均 두께는 S (m)이다.

$D_{ii}=2\text{m}$ 에서 S 는 大略 0.05m

$D_{ii}=3\text{m}$ 에서 S 는 大略 0.075m

$D_{ii}=4\text{m}$ 에서 S 는 大略 0.10m

D_i 는 다음의 직선 관계에 아주 근사하다고 생각된다.

$$D_i = 1.05D_{ii}$$

그렇기 때문에

$$N = K \cdot \lambda_{ii} \cdot (D_i/1.05)^{3.5} \text{ (kw)} \dots\dots ⑨$$

Mill 直徑은 지금까지 0.2m의 간격으로 선택

했다.

<그림-6>은 $\lambda_{ii}=2.5, 3.0$ 과 3.5 에 대한 밀 동력을 나타내었다.

λ_{ii} 가 2.5에서부터 3.5까지 중에서 최대로 변할 때 각각의 바라는 구동력을 얻기 위해서는 밀경 $D_i=3.8m$ 부터는 0.4m의 간격이 충분하다.

또한 밀경 D_i 와 구동력 N 이 주어지면, λ_{ii} 의 값은 결정된다.

이것은 충전을 $\phi=0.3$ 일 때 적용된다. 충전율이 변화하면 λ_{ii} 도 일정한 범위 내에서 변한다.

λ_{ii} 의 값은 <그림-6>으로부터는 정확하게 알 수 없다.

그래서 <그림-7>에는 다른 表示方法이 채택되어 있고 규격화된 直径 D_i 만으로 표시되어 있다.

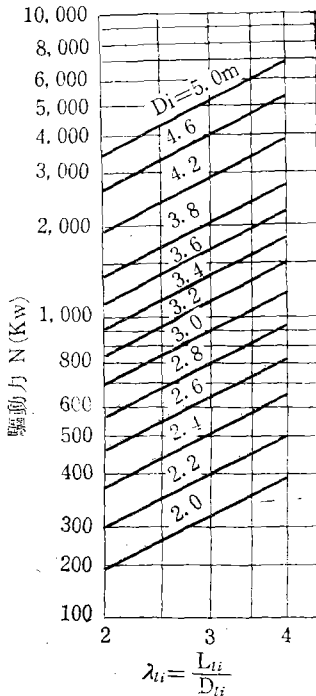
밀 유효 길이는 Liner 길이 (250mm)의 倍數이다.

그럼으로써 밀은 D_i 와 L_i 와 관련하여 규격화되어 있다.

例

주어진 조건

<그림-7>로부터



<그림-7> λ_{ii} (개변수 : D_i)에 의한 Tube Mill의 驅動力

$$F=45t/h$$

$$D_i=3.2m$$

$$E_M=28kwh/t$$

$$\lambda_{ii}=3.36$$

$$\phi=0.3$$

또한 $N=1,260kw$

계산에 의하면

$$L_{ii} = \frac{3.2 \times 3.36}{1.05} = 10.25m$$

$$\text{Diaphragm 폭} = 0.5m$$

$$\text{밀 길이} = 10.75m$$

III. Tube Mill의 近似計算用 Nomograph

一般으로 Mill의 Dimension을 定하는 데에는 미리 일정한 체 잔사 또는 比表面積에 의해 희망하는 粉末度를 정하고 材料가 이 粉末度로 분쇄되는데 요하는 消費動力當 生産량(kg/kwh)을 알아야 한다. 消費動力當 生産량은 Anselm이 만든 표를 이용하고 Tube Mill의 徑과 길이를 직접 결정하는 Nomograph를 작성한 基礎式은 다음과 같다.

式中の 符號의 의미와 Dimension은 다음과 같다.

S: 消費動力當 生産量 (kg/kwh)

A: 밀의 소요 동력 (HP)

c' : 動力係數 (Blanc의 試驗結果值)

消費動力當 生産량은 다음과 같다.

$$S = \frac{F}{N}$$

Tube Mill의 入力은 Dryer의 다음식으로 계산하고 動力係數 c' 의 값은 Blanc의 試驗結果에 의한다.

$$A = c' T \sqrt{D_i}$$

시간당 所要動力은 다음과 같다.

$$N = \frac{A}{1.36}$$

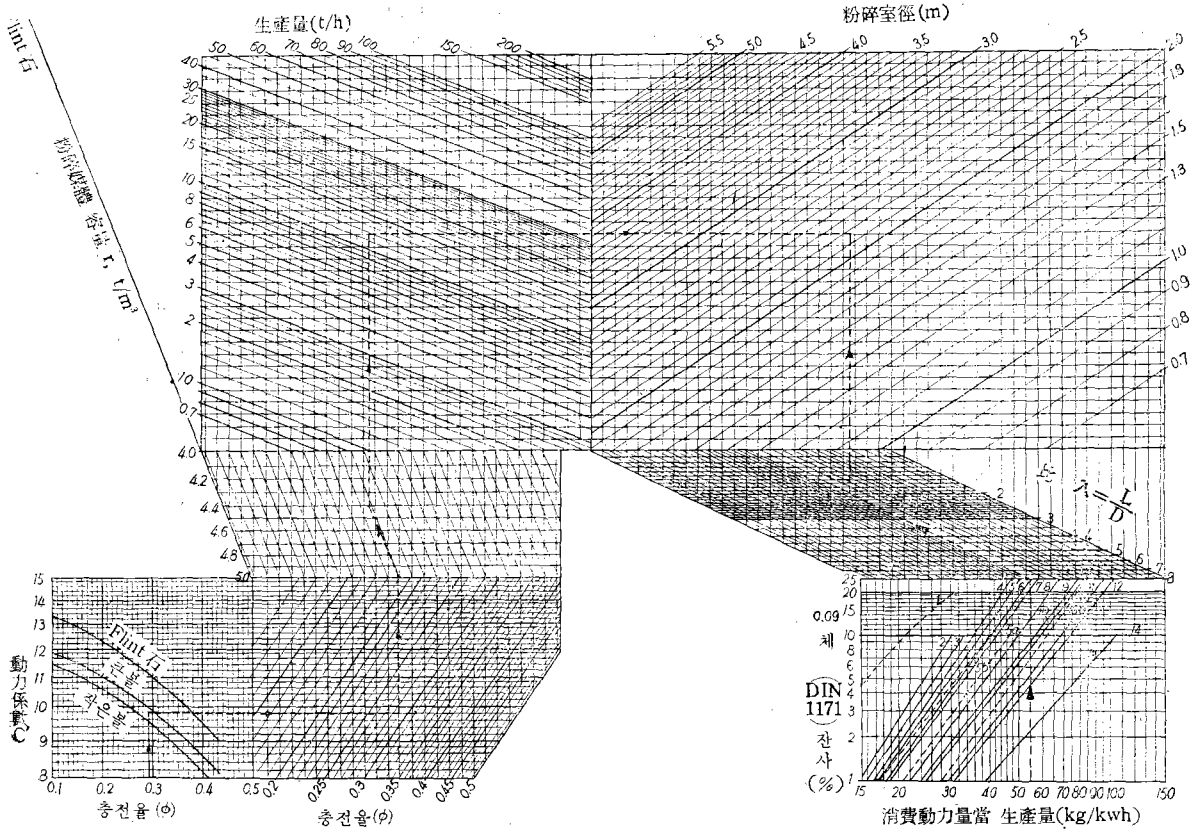
$$N = \frac{F}{S} = \frac{c' T \sqrt{D_i}}{1.36}$$

또 충전량 $T = \frac{\pi \cdot D_i^2 \cdot \phi \cdot L_{ii} \cdot \gamma}{4}$ 이다.

$$\text{따라서 } N = \frac{F}{S} = \frac{c' \cdot \pi \cdot D_i^{2.5} \cdot L_{ii} \cdot \gamma \cdot \phi}{1.36 \times 4}$$

$$D_i^{2.5} = \frac{1.731 \cdot F}{c' \cdot \phi \cdot L_{ii} \cdot \gamma \cdot S}$$

더우기 λ_{ii} 를 적용하면



<그림-8> Tube Mill의 Nomograph

$$D_{ii} = \sqrt{\frac{1.731 \cdot F}{c' \cdot \phi \cdot \gamma \cdot \lambda_{ii} \cdot S}} \text{ 가 되고}$$

이 7개의 因子(Factor)로부터 만들어진 이 식에 기초를 두어 Nomograph를 作成했다.

IV. 結論

Mittag 氏가 발표한 公式에 근거를 두어 $D_{ii}^{3.5}$ 에 의해 좌우되는 생산량 F 와 필요한 구동력 N 이 계산된다.

매개변수 $\lambda_{ii} = \frac{L_{ii}}{D_{ii}}$ 와 D_{ii} (매개변수로서)에 의

해 명확히 plot된다.

또한 Nomograph를 利用하면 엄밀한 계산을 하지 않고 Tube Mill의 直徑과 길이를 간단히 알 수 있다.

引用 文獻

- Ruegg, R: Zur Auslegung von Rohrmühlen für die Zementmahlung Zement-Kalk-Gips 1969, Nr. 12
- Labahn/Kaminsky: Cement Engineers' Handbook (the 4th German edition)
- 粉碎專門委員會報告 S-6(日本 Cement 協會研究所發行)