

粉碎裝備의 選定과 使用의 實際

睦 榮 一 · 朴 芳 森

洪陵機械工業會社

A New Comprehensive Look at Size Reduction
Technology and its Equipment.

YoungIl Mok and Bang Sam Park

Hongneung Machine Industry Co.

Abstract

This report is intended to give the readers a comprehensive look at the state of the art of size reduction technology, with particular attention on how to go about selecting right equipment and making the best use of existing equipment in order to achieve given service requirements. Much of the up-to-date information has been presented herein in the form of tables which include manufacturers' lists of various operational and analytical equipment. In the course of fulfilling this aim, relevant concepts, methods and classifications, both new and old, are introduced wherever appropriate to relate theoretical aspects to practical applications.

目 次

1. 序論
 2. 粉碎裝備의 選定
 - 2.1 粉碎에 관한 用語의 定義
 - 2.2 裝備選定의 重要 要素
 - 2.3 裝備選定表 使用法
 - 2.4 選定된 裝備의 實驗
 3. 粒子群의 分類
 - 3.1 체에 의한 分類
 - 3.1.1 基本理論
 - 3.1.2 容量 및 效率
 - 3.1.3 粒子의 會合
 - 3.1.4 裝備類形의 分類
 - 3.2 空氣에 의한 分類
 - 3.2.1 基本理論
 - 3.2.2 裝備類形의 分類
 - 3.3 集塵裝置
 4. 粒度測定
 - 4.1 要求되는 粒度의 類形
 - 4.2 試料採取方法
 - 4.3 試料의 分散
 - 4.4 分析方法
 - 4.5 分析裝備
 - 4.6 標準粉體
 5. 結論
- 參考文獻

1. 序 論

오늘날 微細한 粉末形態를 갖는 각종 물질의 用途는 가정에서 사용되는 食品, 用品에서 부터 여러 工業分野에 이르기까지 실로 경이적으로 普遍化하였으며 그 類型도 다양하다. 따라서 現今의 모든 工業分野에서 粉粒體의 工學的, 産業的 重要性에 대해서는 새삼 강조할 필요조차 없을 것이다. 더구나 해를 거듭 할 수록 새로운 化學製品들이 개발되고, 기존 제품들도 더욱 微細한 粒度를 요구하고 있으며 이에 따른 새로운 公정의 必要性이 漸増하고 있다.

이러한 기술적인 과제의 첫번째 당면문제는 당연히 어떠한 粉碎裝備을 어떤 방법으로 選定하여 粉碎를 수행할 것이며, 粉碎된 製品은 如何한 방법으로 비교적 균일한 粒度의 粒子群으로 分類하고 또 그 粒度의 測定은 어느 방법을 選定할 것인가 하는 점이다.

그러나 불행하게도 粉碎技術은 현재까지도 완전한 理論的 基盤이 確立되어 있기보다는 경험을 통하여 축적된 지식에 크게 의존하고 있음을 否認할 수 없다. 따라서 필자는 粉碎分野의 어떤 새로운 理論의 제시보다는 현재 世界的으로 普遍化 되어 있거나 비교적 嶄新하다고 看做되는 方法과 裝置를 소개하고 체계적으로 記述 함으로써 現場 및 工場設計者에게 필요한 技術的 가이드라인 및 指針으로 제시하고자 함이 本文의 目的이 되겠다.

2. 粉碎裝備의 選定

일반적으로 기계적인 에너지나 流體의 에너지를 이용한 粉碎란 Crushing, Grinding, Deagglomerating, Shredding, Pulverizing 및 Cutting을 망라한 모든 單位操作工程을 말하는 것으로 粉碎工程을 통하여 생성되는 제품의 附加價值는 그 公정에 소요되는 모든 경비를 능히 보상하고 남는다. 초기의 粉碎는 연자매나 불밀 같은 低速의 회전속도를 갖는 粉碎裝備에 의하여 수행되었으나 새로운 化學제품의 출현 및 기존 제품

에 대한 더욱 微細한 粒度의 요구에 의해 粉碎裝備은 점차 高速의 회전속도를 갖는 형태로 발전하여 20,000 ft/min의 회전 속도에 이르는 장비도 있다.

한편 각종 粉碎機의 발전과는 달리 粉碎理論 자체는 그 여러 變數들을 식으로 표시할 수 있을 만큼 定立되어 있지는 못하나 순수한 理論의 觀點에서 다음 세가지 법칙으로 變數간의 函數關係를 推定할 수 있다²⁾.

i) Kick의 법칙 : 같은 粉碎比로 일정량의 試料를 粉碎하는데 所要되는 일의 量은 引入原料의 크기에 무관하다.

$$W = C \log \frac{D_1}{D_2}$$

W : 所要일량

D_1/D_2 : 粉碎比

ii) Rittinger의 법칙 : 粉碎에 소요되는 일의 量은 粉碎된 製品의 比表面積에 비례한다.

$$W = C'(S_2 - S_1)$$

여기서 S_i 는 粉碎前後의 比表面積

$$S_i = \left(\frac{K_i}{\rho} \right) \left(\frac{D_i^2}{D_i^3} \right)$$

$$\text{따라서 } W = C'' \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)$$

K_s : Specific surface *shape factor*

상기 두식은 일반화하여 $dw = -\frac{CdD}{D^n}$ 의 解가 된다.

iii) Bond의 법칙 : 所要 일량은 粉碎된 粒子의 직경의 제곱근에 역비례하고 比表面積의 제곱근에 비례한다.

그러나 이 법칙들이 어떤 제품을 주어진 粒度 및 形態로 粉碎하는 특정문제의 해결책이 되는 것은 아니나, 나타난 어떤 결과를 설명하는데 도움이 되는것은 사실이다.

따라서 粉碎裝備를 생산하는 공장에서는 어떤 제품의 제반 粉碎特性値를 만족시킬 수 있는지 與否를 자체 시험실험을 통하여 결정하고 있다. 다시 말하면 特定製品, 特定粒度의 작업 조건에 맞게 設計되어 있는 裝備는 이 작업 조건의 변경시에도 (일정 범위를 벗어나면) 같은 결과를 얻을 수 있다고는 볼수 없다.

2.1 粉碎에 관한 用語의 定義

우리의 경우는 아직 粉碎用語의 명확한 定義가 缺如되어 있음을 고려해서 다음 몇가지를 定義하기로 한다.

1) 會合體 (Agglomerate) : 몇가지 힘으로 서로 膠合된 입자들 즉 異物質에 의한 膠着(물, 기름), 局部的인 銲接, 靜電荷의 差異, Van der Waals force, 입자의 表面에너지 등에 의한것.

2) 閉鎖粉碎 (Closed Circuit Pulverizing) : 粉碎와 粒度分類를 동시에 (같은 裝備 또는 別途裝備)로 遂行하는 公程, 分類된 큰 粒子는 다시 粉碎機로 引入된다.

3) 粗粉碎 (Crushing) : 引入原料의 80% 가 1 inch 보다 큰 경우의 粉碎作業

4) 粉磨 (Grinding 또는 Milling) : 引入原料의 80% 가 1 inch 보다 작은 경우로 Sub-micron 범위까지의 粉碎도 포함된다.

5) 微分解 (Pulverizing 또는 Disintegrating) : 會合體 또는 기타 작은 힘으로 서로 엉겨 붙은 물질에 충격을 가해 分離 시키는 작업.

6) 粉度 (Particle Size) : 粒子의 表面에 위치하는 任意의 두점을 통과하는 중심선의 길이. 그러나 球形을 제외한 모든 경우 위의 定義에 따르는 길이는 몇개에서 부터 거의 無限大(不規則形狀의 粒子)에 이른다. 따라서 서로 다른 길이의 統計的 平均方法에 따라 粒度는 달라진다.

최대길이를 d_m 최소길이를 d_s 라고 하면, 다음과 같은 平均方法을 定義 할 수 있다.

$$a) \text{ Geometric Mean: } \left(\prod_{d_i=d_s}^{d_m} d_i \right)^{1/n}$$

$$b) \text{ Arithmetic Mean: } \frac{1}{n} \sum_{d_i=d_s}^{d_m} d_i$$

$$c) \text{ Harmonic Mean: } \left(\frac{1}{n} \sum_{d_i=d_s}^{d_m} \frac{1}{d_i} \right)^{-1}$$

7) 限界粒度 (Limit Particle Size) : 粒子群의 98% 가 어떤 크기보다 작을 경우 이 크기를 限界粒度라고 한다.

8) 表面積 (Surface Area) : 용도에 따라서 定義 또는 測定하는 면적이 다르다. 예를 들어 입자 주위의 流體에 의하여 나타나는 抵抗을 측정하고자 한다면 눈으로 볼 수 있는 바깥의 면적만

이 중요하다.

그러나 분체의 氣體吸着에 관한 경우라면 粒子의 内部構造도 문제가 된다. 즉 상기 표면적 외에도 갈라진 틈, 細孔등의 內表面積도 아울러 定義되어야 한다.

9) 細孔容積 (Pore Volume) : 粉碎作業을 거친 粒子들은 구조내부에 틈, 구멍, 空洞 (Cavity) 등이 흔히 생긴다. 이들의 부피의 합을 Pore Volume 이라고 하며, 이 부피는 粒子들 간에 존재하는 空間의 體積인 Void Volume 과 구별 하여야 한다.

2.2 裝備選定の 重要 要素

주어진 제품에 따른 적절한 粉碎裝備를 선정하기 위해서는 다음의 몇가지 요소들을 검토할 필요가 있다.

2.2.1. 磨耗性

경험상으로 보아서 단일요소로서는 粉碎에 가장 큰 영향을 미치는 것이 磨耗性이다. 磨耗는 주로 粉碎하고자하는 물질의 堅固性에 起因하지만 이와함께 쉽게 부서지는 性質 (Friability)와 물질의 強靱性 (Toughness) 및 形狀 (특히 纖維狀) 등을 고려하여야 한다.

1) 礦物質

堅固하고 깨지기 쉬운 물질 (Mohs' 指數로 8 ~ 10)은 대개 低速이며 重厚한 耐磨耗性 장비가 요구된다. 반면 Mohs' 指數로 1 ~ 3에 해당하는 물질은 高速의 輕裝備로 가능하다. 그러나 이것은 어디 까지나 일반론으로써 이에 준하지 않는 예로 Mohs' 指數에도 미치지 못하는 석회 (Vertical-Kilned) 햄머 밀로 粉碎를 효

Table 1. Mohs' 堅固指數

Soft	1	Talc
	2	Gypsum
	3	Calcite
Intermediate	4	Fluorite
	5	Apatite
	6	Feldspar
	7	Quartz
Hard	8	Topaz
	9	Corundum
	10	Diamond

율적으로 수행할 수 있을 것으로 생각되나 높은 硅素의 함량으로 인해 램머 수명의 단축으로 경제성을 검토할수 조차 없는 경우를 들 수 있다.

2) 非礦物質

非礦物質의 특성분류는 堅固性 대신 다음 인자들로 좌우된다.

- 가. 結晶度: 無晶形에서 結晶形까지
- 나. 물질의 형태: 板狀, 纖維狀, 會合狀 등
- 다. 融點과 軟化點

라. 轉移溫度: 合成樹脂 및 有機物質의 경우는 溫度를 낮추어 줌으로서 常溫에서 나타나지 않던 깨어지기 쉬운 특성을 나타낸다. 이러한 성질은 溫度調節에 의해서만 아니라, 化學藥品 處理 또는 粉碎力의 조절로도 가능하다. 따라서 이러한 물질은 粉碎作業 이전에 가온 또는 냉각 및 기타 前處理를 수행함으로 粉碎를 쉽게 할 수 있다.

2.2.2. 原料 및 製品의 크기

引入原料의 크기가 너무 클 경우, 예를 들어 커다란 岩塊, 통나무 또는 常溫에서 고체 덩어리로 되어 있는 물질의 경우는 粗粉碎 공정을 거쳐서 粉磨裝備의 入口로 통과할 수 있게끔 한다.

또 引入原料의 크기가 최종 제품의 粒度에 영향을 미치는 경우로서, 精製粉末 설당을 粉碎하는 경우 작은 粒度의 설당 結晶 보다는 큰 粒度의 설당 結晶을 引入原料로 해서 粉碎하는 것이 더욱 작은 粒度를 구할 수 있다. 그러나 다른 結晶물질의 경우는 큰 粒度의 원료로 큰 粒度의 제품을 얻게 되는 것이 보통이다.

한편 제품의 要求粒度는 粉碎의 原單位에 절대적인 영향을 미친다. 따라서 몇가지 粒度分布가 최종제품에 미치는 영향을 다각적으로 검토할 필요가 있다. 일반적으로 粉碎工程에 소요되는 경비는 粒子의 크기가 작아짐에 따라 급격히 증가한다. 그러므로 가능한 한 큰 粒度로 최종 제품의 요구조건을 만족시킬 수 있다면 이것이 바람직한 일이다.

2.2.3. 水分含量

水分含量은 粉碎의 효율적인 수행을 위해 고려해야 할 또다른 중요 요소이다. 물론 최종 제

품의 要求粒度에 따라 크게 좌우 되지만 대부분의 경우 粒度가 작을수록 낮은 水分含量을 요구하게 된다.

吸着媒體로 使用할 목적으로 셀룰로스를 粉碎하는 경우 소량의 水分含量으로 粉碎作業을 不可能하게 하는 反面, 물질에 따라 어느정도 이상의 粒度에서는 비교적 높은 水分含量으로 더욱 효율적인 粉碎作業을 遂行할 수 있는 경우도 있다. 즉 1% 정도의 水分을 함유하고 있는 粘土의 경우 돌처럼 딱딱해서 粉碎하기 힘들나 같은 粘土를 2~5% 정도로 水分含量을 증가시키면 쉽게 微粒子로 粉碎가 가능하다.

또 다른 例로는 堅果(호도, 코코아 등)처럼 粉碎作業 초기에는 粉體이나 末期하는 고체내에 함유되어 있는 수분이 밖으로 나와 液狀으로 되는 경우도 있다.

한편 結晶水를 갖고 있는 化合物의 경우 粉碎도중 발생하는 열에 의하여 結晶水가 전부 제거되면 그 化合物의 色相, 溶解度 및 기타 특성이 변하게 된다.

이러한 경우에 發熱量은 대단히 중요한 작업 인자가 된다. 즉, 熱에 의하여 粉碎機가 粉體로 폐쇄되는 경향이 커지므로 목표한 粒度까지 완전 粉碎하는 대신 목표粒度의 50% 정도로 平均粒度를 약간 높게 할 필요가 있다.

2.2.4. 油脂分含量

이경우는 흔하지는 않지만 天然食品을 粉碎加工하는 경우 油脂分의 含量은 중요하다. 이 경우는 대부분 空氣調節에 의한 冷却方式에 의해 분쇄 환경의 온도를 낮추어 준다.

2.2.5. 可燃性 및 爆發性

爆發性이나 可燃性物質 또는 酸化劑 등을 다루는 경우는 특별한 주의를 기울여야 한다. 대부분의 礦物質과 非燃燒性 물질의 粉塵은 화재의 위험성이 없으나 밀가루, 녹말분진, 황, 철, 알미늄 등의 燃燒性 물질의 粉塵은 화재 위험이 있다.

또한 과염소산염, 염소산염, 질산염 등의 酸化劑는 爆發하는 심각한 위험성을 갖고 있으므로, 이러한 爆發物이나 酸化劑등을 취급하는 경우는 壓力이 증가하지 않도록 하여야 하고 쇠조

각 같은 異物質에 의한 閃光으로 인해서 폭발되지 않도록 粉碎作業 以前에 이러한 異物質은 철저히 제거하여야 한다. 따라서 이러한 물질을 粉碎하는 장비는 강인하고 녹슬지 않는 스테인리스 스틸을 재료로 한 것을 선택하여야 하고 靜電氣에 의한 引火(특히 낮은 습도의 분쇄 분위기에서)를 방지하기 위하여 반드시 接地한다.

또 경우에 따라서는 不活性 기체 분위기에서 粉碎工程을 수행한다.

한편 과염소산염 같은 酸化劑를 粉碎하는 경우, 특별한 주의를 요구하는 사항인바 酸化劑와 기름(연료)이 합하면 바로 爆發物이라는 것을 감안해서 장비의 구동부분에 들어가는 윤활유는 실리콘, 또는 헬로젠 카본 계통의 기름이라 윤활유를 사용하여야 한다.

기타 可燃性 粉塵의 노출이 불가피한 공정에서는 防爆裝備(방폭전동기, 방폭전등, 방폭배관)을 필수적으로 사용하여야 한다.

2.2.6. 有毒性

불밀 같은 回分式 장비를 제외하고는 대부분의 連續式 粉碎裝備는 많은 量의 공기가 공정에 流入되므로 작업장이 粉碎物의 粉塵으로 오염된다.

이같은 현상은 특히 乾式工程의 경우 더욱 심각하다.

어떤 化合物은 그 고유의 毒性으로 누구에게나 有毒한 반면 상대적적인 경우도 흔하다.

즉, 특정 化合物에 알러지 반응을 나타내는 피부를 갖거나 呼吸器에 지장을 나타내는 사람은 그 작업을 피하여야 한다. 어느 경우나 적절한 呼吸 및 기타 身體保護用 安全裝具가 필요하며 排氣裝置의 효율적인 운용이 바람직하다. 특히 酸化劑 및 可燃性物質 등의 粉碎作業後, 사용한 작업복, 保眼鏡, 모자등을 착용하고 작업장 이외의 사무실 등으로 출입을 하는 것은 禁하여야 한다.

2.2.7. 溫度

粉碎物에 粉碎에너지가 가해지면, 당연히 熱이 발생한다 따라서 熱量에 의해 製品의 分解溫度를 넘지 않도록 적정온도를 유지하여야 한다. 溫度의 상승을 낮추거나 방지하는 방법은

여러가지가 있다. 불밀의 경우는 다른 粉碎裝備에 비해 밀의 表面積이 크므로 냉각수 순환기를 설치함으로 효과를 볼 수 있다. 기타 粉碎機의 경우도 같은 方法을 사용할 수 있으나, 이 경우에 주의할 점은 粉碎機내의 相對濕度가 높아져 溫度가 露點이하로 내려가면 裝備의 내부에 물이 凝縮되어 더 이상의 粉碎作業이 불가능해진다는 것이다. 드라이 아이스나 액화질소를 冷媒로 사용하여도 좋은 결과를 얻을 수 있다. 어떤 종류의 冷媒를 사용하든지 간에 외부에서 冷却을 시키는 경우는 온도가 露點이하로 내려가도록 습도를 조절하여야 한다.

熱에 민감한 물질을 粉碎하는 경우는 相對濕度가 낮은 건조공기를 粉碎裝備內로 流入시켜 冷却效果和 粉體의 輸送 및 粒子群의 分類를 동시에 수행할 수 있다. 流體의 에너지를 이용한 대부분의 粉碎裝備와 (압축공기(100~150 psig)의 팽창에 의한 冷却效果) 몇몇 Hammer Mill이 이 類形에 속한다.

2.2.8. 乾式 및 濕式

잉크, 페인트, 세루로즈펠프 등과 같은 물질들은 濕式粉碎에 의해서만 가능하다. 한편 白色顏料 같은 것은 濕式粉碎에 의해 처리되어 이 상태에서 粒子群에 따라 分類된 후 건조공정을 거쳐서 마지막으로 乾式粉碎工程을 거쳐 최종 微粒子를 얻는다. 또한 Slurry 狀態의 제품은 濕式方法이 절대적인 우위를 차지한다. 일반적으로 제품의 특성에 따라 또는 粉塵에 의한 汚染防止 및 위험성을 줄이기 위하여 濕式方法을 택하는 것이 常例로 되어왔다. 그러나 最近에는 超微粒子(Sub-micron)의 要求가 增大함에 따라 濕式方法에 의한 微粉碎에 큰 관심이 집중되어 왔다.

Attritor라고 불리는 濕式粉碎機가 이 部類에 屬하며, 이 粉碎機는 Ball Mill의 一種이나 그 制約條件인 Ball의 크기와 比重문제를 解決함으로써 超微粉體를 求할 수 있게 하였다. 즉 揮發性 分散劑, Wetting Agent, Coating Agent(乾燥된 超微粉體의 會合을 防止), 引入原料 및 작은 볼(3/16" 정도크기의 Zirconium, Steel, Flint Stone 또는 Ceramic Ball)등을 교반기가 달린 溶器(Water-jacketed) 내에서 회전시켜

標粒度에 도달한 Slurry는 乾燥工程을 거치게 된다. 이 方法은 Coating Agent의 選定, 內容物의 溫度調節이 중요하고 現在까지 多量連續乾燥 方法이 개발되지 않은 狀態이다.

한편 乾式方法에 依하여 最少粒徑을 얻을 수 있는 장치로는 Fluid Energy Mill을 들 수 있다. 물론 化合物의 種類에 따라서 다르겠지만 2~5 μ 程度의 粒子로 粉碎可能하고 경우에 따라서는 Sub-micron 범위까지 얻을 수 있다.

이 部類에 屬하는 代表的인 裝備의 構造는 높은 에너지의 流體 (Compressed Air, Superheated Steam 또는 그외의 Compressed Gas)가 원통형의 Chamber 주위에 일정간격으로 위치한 Nozzle을 통하여 接線方向으로 Chamber 內에 들어온다. 일단 大氣壓으로 팽창한 流體의 에너지는 Velocity Head로 變하여 높은 亂流現象을 惹起하면서 Chamber 內의 內容物을 빠른 속도로 회전시킨다. 이때 內容物은 서로 충돌하여 粉碎되고, 一定 粒徑에 도달한 粒子는 球心力에 依하여 分類할 수 있게 되어 있다.

이 方法의 장점으로서는 乾式方法에 依하여 물질을 微粒子 또는 超微粒子로 粉碎가 可能하고 일단 얻어진 粉體의 粒度分布는 기준하는 어떠한 裝置로 얻을 수 있는 것보다 均一한 分布를 갖는다는 점 및 粉碎와 同時에 粒子를 分類할 수 있으므로 많은 관심을 가질만 하다. 그러나 단점으로 지적할 수 있는 것은 부수장비(Compressor, Gas Dryer, Preheater, Cooler, Dust Collector, Humidity Monitoring System, Feeder 등) 設置에 所要되는 投資비가 비교적 크다는 점을 들 수 있다.

또한 하나의 粉碎工程으로 看做할 수 있는 것은 噴霧乾燥(Spray Drying)에 依하여 비교적 均一한, 작은 粒度의 製品을 얻고 乾燥를 同時에 遂行할 수 있는 方法으로 고려해 볼 만한 충분한 가치가 있다.

2.3 裝備選定表 使用法

粉碎裝備에 대한 일반적인 參考資料는 鑛物質의 경우 참고문헌¹⁾, 非鑛物質의 경우 참고문헌²⁾, Ball Mill에 대한 것은 참고문헌^{3,4)}가 도움이 될

것이다.

다음의 表들은 광범위한 固體들의 粉碎裝備로 적절하다고 입증된 주요 장비들에 대한 最近의 資料이다. 장비의 分類는 構造의 類似性과 粉碎 方法의 類似性에 의해 分類되었다. 이 表에 수록되어 있지 않는 化合物의 粉碎裝備 選定은 物理的, 化學的 特性이 類似한 化合物의 경우를 우선 참고로 할 필요가 있다.

Table 2.에는 粉碎物의 種類와 粒度에 따라 效率的으로 粉碎를 遂行할 수 있는 裝備名을 알파벳 기호로 表示하였다.

Table 3.에는 Table 2.에 알파벳기호로 表示된 裝備의 이름과 이 장비가 屬하는 類形을 分類하였고 이들 裝備의 製造會社를 숫자로 表示하였다.

Table 4.에는 숫자에 해당하는 製造會社名과 그 會社에서 生産하는 粉碎裝備들의 種類가 알파벳 기호로 수록되어 있다. 이 알파벳 기호가 나타내는 裝備名은 Table 3.과 같다.

이렇게하여 Tables 2, 3 및 4는 유기적으로 연결되어 있으므로 效果的으로 참조할 수 있을 것이다.

2.4 選定된 裝備의 實驗

어떤 粉碎機가 特定製品의 제반 粉碎特性値를 만족시킬 수 있는지의 與否는 粉碎裝備 製造會社의 試驗設備을 利用할 수 있다. 즉, 이들 製造會社에 特定製品에 대한 要求粒度까지의 粉碎可能性與否의 試驗을 의뢰하면 그들은 原料의 見本을 요구해서 試驗을 수행하고 結果를 通報해 준다. 몇개의 製鐵會社가 모든 要求條件을 만족시킬 수 있다고 한다면 品質管理의 容易性, 용량, 장비의 新빙성 및 단가 등을 확정짓는 試驗을 공동으로 遂行하게 된다.

實驗을 통하여 얻은 자료로 工場을 設計하기 전에 최종 試驗을 통하여 다음의 여러 자료를 求한다.

- 1) 所要動力 및 電動機의 數
- 2) 製品의 溫度 상승치
- 3) 空氣 所要量 및 壓力
- 4) 裝備의 容量 및 原料引入 速度에 따른 영향

Table 2. Equipment Selection Guide

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Abrasives	abcefk	bcejklv	kloruvw
Acetanilid	dj	ijklw	klortuw
Alum	dfk	ijklvw	kloruvw
Alumina	abcdefk	ceijklv	kloprtuwv
Aluminum	f	ij	klnorw
Aluminum chloride	d	ijv	ortuvw
Aluminum hydrate	df	ij	ortuw
Aluminum palmitate	d	ij	ortu
Aluminum silicate	df	ijkl	klortuw
Aluminum stearate	dt	ijt	ortuw
Aluminum sulfate	dfj	ijv	ortuvw
Alundum	abde	eijkl	klorvw
Ammonium bromide	d	ij	ortu
Ammonium chloride	dj	ijpv	ortuv
Ammonium nitrate	dj	ijpv	ortuv
Ammonium perchlorate	d	ij	ortu
Ammonium sulfate	dj	ijpv	kortuvw
Ammonium sulfite	dj	ij	ortu
Antimony, metallic	n	jn	knruw
Antimony, sulfide	dk	ijk	koruw
Antibiotics	dj	ijkl	klorstu
Arsenic	dfj	ij	oruw
Arsenic trioxide	d	ij	oru
Asbestos	abdef	befijklvw	fklnortuvw
Ascorbic acid	dj	ijklv	klortuvw
Asphalt	defh	fi	oqrstw
Barium carbonate	df	ijp	ortuw
Barium chloride	df	ij	ortu
Barium chromate	df	ij	kortu
Barium nitrate	d	ijv	kortvw
Barium peroxide	d	ij	ortuw
Barium sulfate	d	ij	orstuw
Barks	dfj	hijkl	ikortv
Barytes	abdefv	bgijklv	klnopruw
Bauxite	abcdefv	bceiklv	cklnoruw
Bentonite	bdfp	beijklprv	kloprstuvw
Benzene hexachloride	df	ij	kopru
Benzoic acid	df	ij	oru
Beryllium oxide	bd	bijkl	kloruw
Beta naphthol	d	ij	oru
Beta naphthylamine	d	ij	kortu

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Bones, animal	dfv	eikjlv	iklorvw
Borax	bdfv	bhijklv	iklortuvw
Boric acid	df	ijkl	klortuw
Boron nitrate	d	ij	oru
Botanicals	dh	hijkl	kloprtuw
Brass chips	df	jkl	klrw
Brazil gum	dj	hj	rt
Bread crumbs	dfhj	ejv	jort
Brew malt	djv	ejpv	rtv
Brick and tile grog	abcdfv	bcejklmv	bcklorv
Bronze agglomerates	af	ijv	klw
Cadmium nitrate	d	ij	ortuw
Cadmium sulfide	d	ij	ortuw
Caffeine	d	ej	or
Calcimine	df	ijkl	kloru
Calcium	d	ijklp	klor
Calcium arsenate	d	ij	ortu
Calcium bromide	d	ij	kortu
Calcium carbide	abdfv	bijklv	klorvw
Calcium carbonate	abdefv	ijklv	klmortuvw
Calcium chloride	dfv	ijpv	opruvw
Calcium cyanamide	d	ij	oru
Calcium gluconate	d	ij	oru
Calcium hypochlorite	df	ijpv	kortv
Calcium lactate	df	ij	ortu
Calcium propionate	d	ijpv	opruv
Calcium phosphate	d	ij	klmortuw
Calcium resinate	d	ij	ortu
Calcium stearate	d	jt	rstuvw
Calcium sulfate	d	ij	kloprtu
Calcium sulfide		ij	ortu
Carbon	bcdfv	bcejpv	cekoprstuv
Carbon, activated	bdfv	ejklpv	kioprstuvw
Carbon black	df	hijklv	klorstuvw
Carborundum	aefv	ejklv	kluvw
Carboxy methyl cellulose	d	ijklpv	klorstvw
Catalysts	df	ijkl	klortuvw
Cellulose	df	hijkl	klortvw
Cellulose acetate pulp	fj	hijklp	klorstvw
Cement	abdf	bejkl	klorw
Cement clinker	abcdefn	bcejklm	cjklmnorw
Cement paints	bd	bijklp	kloprsuw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Cement rock	abcdef	bcejki	ceklow
Ceramic oxides	abdej	bejklv	kloruvw
Cereals	dijov	ijmov	eijortuv
Cerium chloride	d	ij	oru
Chalk and color mixtures	bdj	bijkl	eikloprstuw
Charcoal	bcdfnv	ceijklpv	cklnoprstuvw
Chlorinated rubber	h	hj	or
Chocolate liquor	dos	hijops	denoprs
Chocolate mixtures	div	hj	orstuvw
Chromic oxide	d	ijkl	klortuw
Citric Acid	dv	ijv	ortuvw
Citrus pectin	df	ij	ortuw
Clay, various	abcdfv	cejklv	cklnoprstuvw
Coal, anthracite	abcdef	bcejklv	ciklnopqruvw
Coal, bituminous	abcdefn	bcejkl	dklopqrstuvw
Coal, lignite	abcdef	bcejkl	cklopqrw
Cobaltic oxide	ade	ij	ortuw
Cobaltous sulfate	d	ij	oru
Cocoa (mixtures, nibs, presscakes)	d	hvj	rstuw
Cocoanut	dhfv	hijv	ortw
Coffee	e	deijv	deiorv
Coke, bituminous	abdefv	bejklv	ekloqtuvw
Coke, petroleum	abdefnv	bejklv	eklnopturw
Color slurries and pastes	d	ij	orsu
Copper	ab		klv
Copper carbonate	abde	ijkl	klortu
Copper powder	d	ij	kloruvw
Copper oxide, red	abd	ijkl	klortu
Copper sulfate, crystalline	abdf	bijklv	ekloruvw
Cork	dfv	ehijv	jorvw
Corn	dfhijv	ehijmov	ijortvw
Corundum	abdef	beijklv	kloruvw
Cosmetics	d	ijpv	kloprstuvw
Cottonseed cake	dfj	eijm	orw
Cream of tartar	dfj	ij	ortuw
Cresylic acid	d	ij	oru
Cryolite	bd	bijkl	klopruw
Crystal potash alum	df	ijklpv	kloruvw
DDT	dj	ijkl	kloprtuv
Detergents	dv	ijpv	oruvw
Diatomaceous earth	cdefj	cijkl	cklnoprstuw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Dispersions wet or dry	i	ijklt	klorstuvw
Dolomite	abcdef	bceijkl	ceklmopruw
Drugs	d	ijklv	kloprstuvw
Dry colors	dj	ijkl	klortuvw
Dry color slurries	i	ijkl	klorslu
Dyes: all types	d	ijkl	klorstuw
Esters (gum)	d	ij	ortu
Emery	ad	eiklv	kloruvw
Enamel frit	ad	eijkl	kloruw
Enamels	i	iklpt	kloptu
Feldspar	abdef	bijklv	klopruvw
Ferrous sulfate	abde	i	kloruvw
Fertilizers	dfv	ijpv	jkloruvw
Filter cakes	dfjp	ijsv	kloprstu
Fire clay	abdf	cijklv	dklopv
Fungicides	d	ijkl	klortuvw
Flint	abde	bcijkl	cklortuw
Flour	d	ejpv	eortuvw
Fluorspar	abdej	bijkl	kloruvw
Fruit: various	dj	ijs	oprsw
Fruit, dried	dj	ij	ior
Fullers earth	dj	ijklv	kloprtuvw
Galena	abde	bikl	kloptuw
Ganister	abdf	bcijkl	cklouw
Garnet	abd	beikl	klortuw
Gelatine	aoej	ij	ortw
Gilsonite	abdej	bijklv	kloruvw
Glue	dj	ij	ortu
Glutamic acid	dj	ijpv	oruvw
Grains	djv	hijmpv	ijortuvw
Graphite	abcdv	bcfhijklv	cekloprtuvw
Gums, various	abdef	fijt	orstuvw
Gypsum, raw & calcined	abcdef	bcijklv	ceklmort · w
Hematite	abde	bijkl	kloprtuw
Herbs	ij	ijmv	kopr vw
Hexamethylenetetramine		ij	kortuw
Ice	df	ij	r
Ilmenite	abd	bejklv	eklruvw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Infusorial earth	d	jkl	kluw
Inks: printing		jp	klprsu
Insecticides	j	jklmstv	klprstuvw
Iodine		j	ru
Iron borings	abdf	fijkln	klrvw
Iron oxide: synthetic	ab	j	klprtuv
Iron phosphates		j	kirtuw
Iron powder		ijv	kirw
Iron sulfate		jn	krtuw
Kaolin	abcef	bcjklv	cklnprtuvw
Kieselguhr	b	bjkl	klpruw
Kyanite	abef	bjkl	klruw
Lake colors		j	rtu
Lamp black	j	jv	jklrtuv
Lead acetate		j	rtuw
Lead arsenate		j	rtuw
Lead chromate		j	ru
Lead nitrate		j	ru
Lead peroxide		j	ru
Lead stearate		j	rtu
Lead sulfate	b	bjkl	klruvw
Lime: various forms	abef	bfjklv	eklnprtuvw
Limestone, soft	abcdef	bcfijklnw	ceiklnprtuv
Litharge	f		klrtuw
Lithium carbonate		j	rtu
Lithium hydride		jkl	klrt
Lithium ores	b	bjklv	eklru
Lithopone		jkl	klprsuw
Magnesite	abe	bcjkl	cklnpruvw
Magnesium	abef	fjk	fklnruw
Magnesium borate	f	fj	nruvw
Magnesium carbonate	abef	fjkl	fklnpruw
Magnesium chloride	f	fj	frtu
Magnesium hydrate	f	fj	fkrtuvw
Magnesium oxide	bef	fjkl	fklnrtuw
Magnesium resinate	f	fj	fur
Magnesium silicate	af	fj	fnruw
Magnesium stearate	f	fj	frtuv
Malt	j	ijv	ijrtvw
Manganese dioxide	abe	bjkl	klprtuv

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Marl	abe	kl	klmpruw
Mercuric oxide		j	ku
Metal powders		ij	klrtuvw
Methyl cellulose	j	jkl	jklrt
Methyl methacrylate		ij	ruvw
Mica	abef	befijklv	fkltuvw
Milk, dried		ijv	irtuvw
Molding compounds	fj	efjklv	fkltuvw
Molybdenum ores	abef	bjkl	klrntu
Mordants		jkl	klru
Naphthalene	j	j	ru
Nickel carbonate	abe	kl	klrtuw
Nickel catalyst powder		jkl	klrtu
Nickel formate		j	rtu
Nickel oxide	e	jkl	klruw
Nickel sulfate	e	jkl	klru
Nitre cake	j	j	ru
Nuts	defhjnv	deijnv	hijmrwv
Oyster shells	bdefj	efjklrv	eklpruw
Oxalic acid	j	j	jrtuw
Paint: cement, cold water		jklp	klprsw
Paraffin	h	j	krs
Paraformaldehyde resins		jklv	klrtuvw
Pastes: dye and pigment		jklst	klrst
Penicillin		j	klrstuvw
Pharmaceuticals		jklpv	klprstuvw
Phenol formaldehyde resins	j	ijklpv	klprtuw
Phosphate rock	abefv	bcefjklv	ceklnpurtuvw
Pigments: organic, inorganic	f	fjklv	klprstuw
Pitch	b	j	rt
Pitchblende	bf	bfklt	klrtu
Plaster of paris	befj	fijklv	iklntuvw
Plastic compounds	f	fjklpv	klrtuvw
Polyethylene resins	j	jkltv	klrtvw
Polystyrene resins	j	jtv	rtuv
Polyvinyl alcohol		ijpv	rtuvw
Polyvinyl chloride		j	jntuvw
Porcelain clay body	abe	kl	klpruw
Potash ores	abef	fjkl	fkpruw
Potassium alum	j	jkl	klruw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Potassium bromate		j	ru
Potassium bromide		jp v	ru v
Potassium carbonate	abej	jkl	jklru
Potassium chlorate		j	rtuv
Potassium chloride	f	fj	ruw
Potassium cyanate		j	ru
Potassium ferrocyanide		j	ru
Potassium hydroxide	j	j	ru
Potassium iodate		j	rtu
Potassium nitrate		jp v	rtuv
Potassium oxalate		j	ru
Potassium perchlorate		i	rtu
Potassium permanganate	j	j	jrtu
Potassium persulfate		j	ru
Potassium phosphate		j	ru
Pottery glaze and slip	f	jklv	klv
Pumice	afj	fjklv	fk l v w
Pyrethrum flowers	jr	ej	kp rtuv w
Pyrites	abcef	bcjkl n w	ceklw
Pyrolusite	b	bjkl	klru
Quartz	abef	abeklv	kluvw
Red lead	e	jklp	klpruw
Hesins: various	fjn	efjkl n v	klp rtuv w
Rice flour		ijmptv	irtuvw
Rochelle salt	f	fj	fruvw
Rock salt	befv	bjmpv	ekmplv w
Roots	fj	fhy	rtw
Rosin	j	ij	ikrtuw
Rouge		ij	iklrtuw
Rubber accelerators		jt	rstuw
Rubber, hard	fh	fjv	ortuvw
Rubber, soft	fhv	jp v	opr v
Rutile	ab	kl	kluvw
Salt	f	fjklmpv	klmrtuv
Salf cake	bfj	bfjp v	eklrw
Sand	bv	ejklv	klruw
Selenium	b	ej	lrw
Shellac	j	jkl	klrtuw
Sillco, diatomaceous		jkl	klpruw
Silica gel		jklprv	klrtuvw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Silicon carbide	acev	cj	cklruvw
Soaps: powders	j	bjklrv	klrtuvw
Slag	abef	jklv	klvw
Sodium acetate, anhydrous		j	ru
Sodium acid cyanamid		j	r
Sodium acid phosphate		j	pru
Sodium aluminum sulfate		j	pruw
Sodium benzoate		jp v	ruv
Sodium bicarbonate	j	j	jkrtuw
Sodium bifluoride		j	ru
Sodium bisulfate		j	kru
Sodium carbonate	j	j	krtuw
Sodium chloride	b f v	b f j m p v	emrtuvw
Sodium citrate	j	j	ruvw
Sodium fluoride	j	j	ruw
Sodium glutamic acid	j	j	ru
Sodium hydroxide	f	f j	fru
Sodium metaphosphate	j	j	ruw
Sodium nitrate	j	j p r	kruv
Sodium perborate		j	ru
Sodium peroxide		j	ru
Sodium phosphate		j	ru
Sodium silicofluoride		j	ruw
Sodium silicate		j	klruw
Sodium salicylate		j	ru
Sodium sulfate	j	j p v	ruv
Sodium sulfite		j	kru
Sodium tripolyphosphate	j	j p v	ruvw
Sodium zirconate		j	kr
Sorbitol			u
Soup mixtures		j	rw
Soya beans	f j v	i j m t v	kmrtvw
Spices	j	e h i j s v	iklrstuvw
Starches	h j	h i j o v	orstvw
Stearic acid		j p v	p r t u v w
Strontium carbonate		j	rtu
Strontium nitrate		j	rtu
Strontium peroxide		j	ru
Strontium sulfate		j	kruw
Sugar	f j	j	rtuvw
Sulfur	a	e i j v	kprstuvw
Sylvanite	a	k	kuw
Synthetic resins	h j	j k l p t v	klrtuvw

Material	Equipment Types		
	Coarse (Down to 1/4 in.)	Intermediate (1/4 in. to 40 Mesh)	Fine (Under 40 Mesh)
Talc	abej	ejklov	kloprtuwv
Tellurium	ab	kl	kluw
Tile clay body	cj	cklpv	cklprwv
Tin	abe	jk	krv
Tin oxide		jkl	klpruvw
Teflon®		j	tu
Titanium pigments		jkl	klprsuwv
Toners		jkl	klrtu
Triple superphosphate	v	jv	ruwv
Trisodium phosphate	j	j	rtuvw
Tungsten ores	abe	bijkl	klruw
Uranium oxide	abe	bjkl	klrtuw
Urea	jv	ejnpvw	klruvw
Varnish gums		jt	rtuw
Vat dyes, pastes		jkl	klrs
Vegetables: dehydrated	j	ij	irtw
Vermiculite	abefj	bijklv	klrtuvw
Vitamins		jkl	klrtuw
Water color mixtures		jklst	klrst
Wax: various types	h	j	rsuw
White lead		j	kpriu
Wood chips	fjv	fhijv	koprww
Wood flour		ijklv	ijklorvw
Wood rock		ijl	ruw
Zinc	abe	jk	krtw
Zinc borate		j	rtu
Zinc chromate		j	rtu
Zinc oxide		jklpv	klprtuvw
Zinc stearate		j	rtu
Zinc sulfate		jv	rtuvw
Zinc sulfide	b	bjkl	klrtuw
Zirconia	abef	bjkl	klruw

Table 3. Types of Disintegration Equipment

Equipment	Equipment Manufacturers
Coarse Crushers (To 1/4")	
a. Jaw	1, 3, 19, 23, 31, 34, 38, 55, 73, 79, 83
b. Gyratory and cone	3, 31, 38, 51, 55

Equipment	Equipment Manufacturers
c. Edge runners, dry pans and chaser mills	12, 19, 49
d. Roll crushers, single roll	9, 11, 22, 33, 34, 36, 41, 43, 50, 55, 56, 63, 69
e. Roll crushers, double roll	9, 11, 22, 23, 31, 34, 36, 41, 43, 50, 55, 56, 65, 69, 73
f. Hammer mills, heavy-duty	3, 5, 9, 15, 28, 34, 35, 36, 43, 50, 53, 55, 56, 66, 69, 70, 73, 83, 84
Intermediate Pulverizers (40 Mesh to 1/4")	
g. Cage disintegrators	4, 7, 34, 61, 70
h. Rotary cutters and dicers	4, 7, 20, 21, 25, 26, 34, 43, 44, 47, 48, 53, 69, 76, 80
i. Disk mills	4, 9, 11, 43, 47, 53, 64, 69, 84
j. Hammer mills	3, 4, 5, 9, 15, 20, 26, 28, 34, 35, 36, 43, 47, 50, 53, 55, 56, 59, 60, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 73, 83, 84
Fine Grinding Mills (Under 40 Mesh)	
k. Ball, pebble, rod, mills, and sand	1, 2, 3, 6, 18, 23, 30, 31, 38, 39, 42, 46, 51, 52, 54, 65, 74
l. Continuous Tube, compartment and conical mills	1, 2, 3, 27, 30, 31, 38, 39, 42, 51, 54
m. Roll flakers	3, 16, 22, 27, 28, 40, 73
n. Ring-roll mills	34, 39, 61, 73, 83
o. Buhrstone mills	43, 47, 53, 73
p. Low-and high-side roller mills	13, 61, 64, 83
q. Bowl mills	61
r. Hammer mills	3, 4, 5, 9, 15, 16, 20, 28, 34, 43, 47, 53, 56, 59, 60
Impact mills	61, 63, 66, 71, 72, 73, 82
s. Colloid mills dispersers	17, 22, 32, 33, 45, 54, 57, 68
t. High-speed mechanical classifier mills	4, 9, 24, 26, 55, 60, 61, 64, 65, 72, 73, 81
u. Fluid energy mills	4, 24, 29, 37, 62, 73, 77, 81
v. Screen classifiers	1, 3, 4, 8, 9, 11, 16, 22, 23, 25, 34, 36, 40, 41, 49, 51, 54, 55, 58, 67, 69, 73, 74, 75, 78, 79, 84
w. Centrifugal classifiers	4, 6, 9, 10, 14, 16, 24, 25, 26, 34, 38, 39, 60, 61, 62, 73, 79, 81, 82, 83
x. Lump breakers	1, 4, 9, 28, 35, 43, 55, 60, 63, 69, 84

Table 4. Equipment Manufacturers

1. Abbe Engineering Co., Brooklyn, NY 11211.....a, k, l, v, x
2. Paul O. Abbe Inc., Little Falls, NJ 07424k, l
3. Allis-Chalmers, Milwaukee, WI 53201a, b, f, j, k, l, m, r, v
4. Alpine American Corp., Notick, MA 01762g, h, i, j, r, t, u, v, w, x
5. American Pulverizer & Crusher Co., St. Louis, MO 63110f, j, r
6. Babcock & Wilcox Co., New York, NY 10017.....k, w
7. Ball & Jewell, Inc. (Subsidiary of Beloit Eastern Corp.), Brooklyn, NY 11218.....g, h

8. Baitlett-Snow Co., Cleveland, OH 44105v
9. The Bauer Bros. Co., Springfield, OH 45505d, e, f, i, j, r, t, v, w, x
10. Bird Machine Co., South Walpole, MA 02071.....w
11. Blaw Knox Food & Chemical Equipment Inc., Buffalo, NY 14211.....d, e, i, v
12. The Bonnet Co., Canton, OH 44702c
13. Bradley Pulverizer Co., Allentown, PA 18102p
14. Buell Engineering Co., Inc., Lebanon, PA 17042w
15. Buffalo Hammer-mill Corp., Buffalo, NY 14218f, j, r
16. The Buhler Corp., Minneapolis, MN 55426m, r, v, w
17. Chemicolloid Laboratories, Inc., Gard City Park, NY 11040s
18. Chicago Boiler Co., Chicago, IL 60614k
19. Clearfield Machine Co., Clearfield, PA 16830a, c
20. Cog Corp., Chicago, IL 60641.....h, j, r
21. Cumberland Engineering Co., Providence, RI 02904h
22. The J.H. Day Co., Cincinnati, OH 45212.....d, e, m, s, v
23. Denver Equipment Division/Joy Mfg. Co., Denver, Co 80217a, e, k, v
24. Donaldson Co., Inc., Minneapolis, MN 55431f, u, w
25. Dorr Oliver, Inc., Stamford, CT 06904h, v, w
26. Entoleter, Inc., Hamden, CT 06511.....h, j, t, w
27. Farrel Co., Ansonie, CT 06401l, m
28. The Fitzpatrick Co., Elmhurst, IL 60126.....f, j, m, r, x
29. Fluid Energy Processing & Equipment Co., Haifield, PA 19440.....u
30. Foster Wheeler Corp., New York, NY 10019.....k, l
31. Fuller Co. (Traylor Eng. & Mfg Div.), Catasaqua, PA 18032a, b, e, k, l
32. Gaulin Corp., Everett, MA 02149s
33. Gifford-Wood Inc., Hudson, NY 12534d, s
34. Gruendler Crusher & Pulverizer Co., St Louis, MO 63106a, d, e, f, g, h, j, n, r, v, w
35. Jacobson Machine Works Minneapolis, MN 55427.....f, j, x
36. Jeffrey Mfg Co., Columbus, OH 43216.....d, e, f, j, v
37. The Jet Pulverizer Co., Palmyro, NJ 08065u
38. Kennedy Van Soun Corp., Danville, PA 17821a, b, k, l, w
39. Koppers Co., Inc. (formerly Hardings Co.), York, PA 17405k, l, n, w
40. J. MLehmann& William R. Thropp Co., Salem, OH 44460.....m, v
41. Link Belt FMC Corp., Chicago, IL 60608d, e, v
42. MSI Industries, Inc., Denver, CO 80205.....k, l
43. Franklin Miller, Inc., East Orange, NJ 07017d, e, f, h, i, j, o, r, x
44. Mitts & Merrill, Inc., Saginaw, MI 48601h
45. Morehouse Industries Inc., Fullerton, CA 92633.....s
46. Mueller Machine Co., Trenton, NJ 08609.....k
47. Munson Mill Machinery Co., Utica, NY 13503h, i, j, o, r
48. NRM Corp. (National Rubber Machinery Co.), Akron, OH 44308h
49. National Engineering Co., Chicago, IL 60606.....c, v
50. New Holland Brass, Bronze and Aluminum Co., New Holland, PA
17557d, e, f, j

51. Nordberg Division Milwaukee, WI 53201b, x, i, y
52. Norton Co. (U.S Stoneware Co.), Akron, OH 44320.....k
53. Pallman Pulverizer Co., Inc., Clifton, NJ 07012f, h, i, j, o, r
54. Patterson Industries, Inc., East Liverpool, OH 43920k, l, o, v
55. Pennsylvania Crusher Corp., Broomall, PA 19008a, b, d, e, f, j, l, v, x
56. Prater Industries Inc., Chicago, IL 60650.....d, e, f, j, r
57. Premier Mill Corp., New York, NY 10001.....s
58. Productive Equipment Div. Smico Corp., Oklahoma City, OK 73127v
59. Pulva Corp., Perth Amboy, NJ 08861j, r
60. Pulverizing Machinery Co., Summitt, NJ 07901j, r, t, w, x
61. C-E Raymond Div, Combustion Engineering Inc., Chicago, IL 60606.....g, n, p, q, r, t, w
62. Reduction Engineering Corp., Newark, NJ 07105.....u, w
63. Rietz Mfg Co., Santa Rosa, CA 95401.....d, j, r, x
64. Charles Ross & Son Co., Hauppauge, Long Island, NY 11788.....i, p, r
65. Schutz-O' Neill Co., Minneapolis, MN 55415e, j, h, i
66. J.B. Sedberry, Inc., Tyler, TX 75701f, j, r
67. The Orville Simpson Co., Cincinnati, OH 45223.....v
68. Sonic Engineering Corp., Norwalk, CT 06852s
69. Sprout-Waldron & Co., Inc., Muncy, PA 17756d, e, f, h, i, j, v, x
70. Stedman Foundry & Machine, Aurora, IN 47001f, g, j
71. Stokes Division, Pennwalt Corp., Phila, PA 19120j, r
72. The Strong-Scott Mfg Co., Minneapolis, MN 55413r, t
73. Sturtevant Mill Co., Boston, MA 02122.....a, e, f, j, m, n, o, r, t, u, v, w
74. SWECO Inc., Los Angeles, CA 90051k, v
75. Synttron Division, FMC Corp., Homer City PA 15748v
76. Taylor Stiles Envirotech, Cleveland, OH 44125.....h
77. Trost Mill Division, Garlock Corp., Helmetta, NJ 08828.....u
78. W.S. Tyler Inc., Mentor, OH 44060.....v
79. Universal Road Machinery Co., Kingston, NY 12401.....o, v, w
80. Urschel Laboratories Inc., Valparaise, IN 46383h
81. Vortac-Du Pont Co., Engineering Deptt, u, w
82. Vortec Products Co., Hawthorne, CA 90250r, w
83. Williams Patent Crusher & Pulverizer Co., St Louis, MO 63102.....a, f, j, n, p, w
84. Young Machinery Co., Muncy, PA 17756.....f, i, j, v, x

5) 廻轉速度에 따른 영향

측기 등)

6) 濕度調節

13) 作業場의 所要面積

7) 腐蝕과 磨耗

14) 裝備設置費

8) 粉體에 의해 流路가 막히거나 内部에 쌓여
서 電動機에 過負荷가 걸리는 현상

15) 作業所要 人員

16) 장비 유지 관리비

9) 清掃方法

10) 異物質에 의한 위험요소 및 기타 安全裝置

3. 粒子群의 分類

11) 工程制禦裝置 및 運轉條件의 범위

12) 補助裝備(휠타, 싸이클론, 송풍기, 공기압

粗粉碎에서 粉磨에 이르기 까지 그 최종제품

은 가능한 한 均一한 粒度分布를 요하므로 粉碎와 粒子群을 分類하는 공정은 서로 밀접한 관련을 갖는다. 따라서 粉碎裝備 選定뿐만 아니라, 그 分類裝置도 아울러 고려되어야만 한다.

여기서는 乾式分類方法으로 체에 의한 分類(Sieving)와 공기에 의한 分類(Air Classification)에 대하여 論하고자 한다.

3.1. 체에 의한 分類

가장 간단한 分類方法은 체(Sieve)로 치는 것이다. 이 방법은 原料가 引入되는 눈금이 가장 큰 체로 부터 점점 크기가 작아지는 一連의 체(표준체 규격 참조문헌⁽²⁾)에 의하여 크기별로 分類시키는 것이다. 代表的인 체로서는 美國의 National Bureau of Standards에 의하여 채택된 Tyler 標準체이다. 이체는 200 mesh(눈금의 길이 0.0074 cm)를 기준으로 하여 인접한 체의 눈금 길이의 비가 $1:\sqrt{2}$ 가 되게끔 짜여진 一連의 체들로 구성된다. 좀더 細密히 粒子를 分類하기爲하여 눈금 길이의 비가 $1:\sqrt[4]{2}$ 로 구성된 체도 있으나 일반적인 用途로서는 드물게 使用된다.

이 方法에 依하여 효율적으로 分類할 수 있는 粒度는 일반적으로 200 mesh(74μ) 이상이나 어떤 물질은 325 mesh(44μ)까지도 가능한 반면 50 mesh(300μ) 정도의 粒度도 이 方法으로 處理할 수 없는 경우도 있다.

한편 이 方法은 粒子가 서로 會合하여 크게되는 制約條件을 갖고 있다.

3.1.1. 基本理論

체에 의한 分類는 체를 흔들어 주는 方法에 따라 몇가지로 區分되나(Table 5. 체에 의한 분류장비) 어떤 장치를 사용하든 체를 통과한 量의 百分率을 時間에 대하여 표시하면 기울기가 서로 다른 두 領域으로 뚜렷이 나뉘어 진다.

아래 그림 Fig. 1.과 Fig. 2. 는 Gyratory Sifter를 사용한 回分式 分類工程의 代表的인 그림이다.

현장에서 遂行되는 대부분의 分類作業은 I의 領域에서 遂行되는데 이 기간에서는 체에 남아 있는 粉體中, 체의 눈금보다 작은 粒子들이 아직도 많이 포함되어 있으며 百分률과 시간의 관계

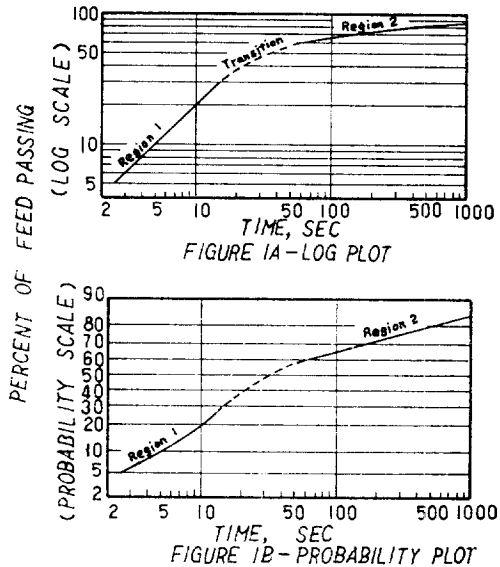


Fig. 1. -Typical Percent passing-Time Curves

를 대수 방안에 그려면 직선으로 나타난다. 즉, 이 領域에서는 단위 시간당 체를 통과한 粉體의 量은 일정하다고 볼 수 있으므로 試料中 일정 規格의 체를 통과한 量(백분율) P_w 는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$P_w = a \cdot t$$

여기서

a : 分類速度 常數, %/sec

t : 分類作業 時間, sec

상기식은 定常狀態에서만 적용된다. 따라서 作業의 시작 및 終了期間에는 적용되지 않으며 일반적으로 이 기간은 운전시간에 포함되지 않는다.

I과 II의 영역사이에는 轉移區間이 존재하는데 分類效率은 감소한다. (단위 시간당 일정규격의 체를 통과하는 粉體量의 감소) 그러므로 이 領域 이전에서 分類作業을 終了하는 것이 효율적이다.

領域 II에서는 체에 남아 있는 殘滓物의 크기가 체의 눈금보다 크거나 거의 같다. 여기서는 百分율과 시간을 대수확률 방안에 그려면 거의 직선을 나타낸다.

領域 I에서 체의 分類速度常數 a 는 다음 인

자들의 함수로 表示된다.

W : 粉體 引入量	lb
ρ : 粒子的 密度	lb/ft ³
S : 체의 눈금길이	ft
A_0 : 체의 面積	ft ²
d : 粒度	ft

많은 實驗을 통하여 이들의 함수관계는 다음과 같은 두 無次元群으로 表示된다는 것이 알려졌다.

$$a = f \left(\frac{\rho S A_0}{W}, \frac{S}{d} \right)$$

이 일반적인 관계식은 각 인자들이 分類裝備의 容量에 미치는 영향을 규명하는데 유용하다. 分類速度常數 a 를 결정하기 爲한 代表的인 그림을 Fig. 2.에 表示하였다. 이 그래프는 實驗室裝備로 구할 수 있는 자료를 통하여 얻을 수 있다.

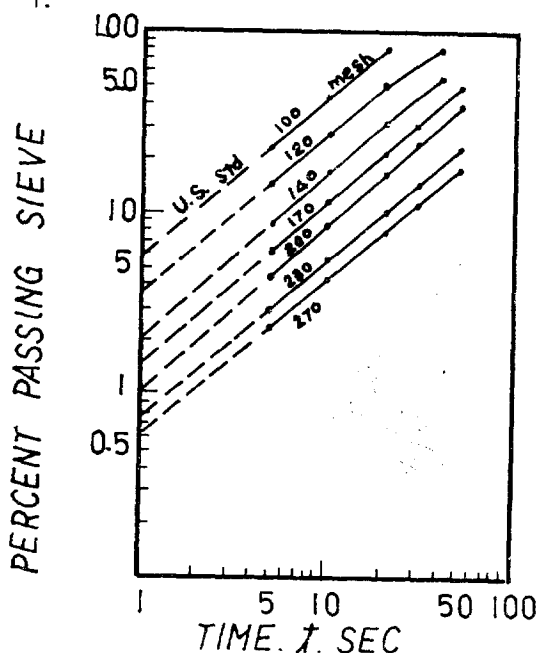


Fig. 2. Typical Plot for Determining Sieving Rate Constant a

3.1.2. 容量 및 効率

容量과 効率을 검토하기 위해서는 充分량의 代表的인 試料을 갖고 실제시험을 거쳐서 다음의 두가지 인자들을 검토 결정하여야 한다.

1) 체의 閉塞과 容量

체에 의하여 연속적으로 分類作業을 遂行하기 위해서는 어떠한 方法으로든 체에 殘滓物이 계속 쌓이는 것을 防止하여야만 할 것이다. 이것은 체의 直徑, 체의 回轉週期, 振幅등을 調節하므로써 殘滓物이 쌓이는 것을 最小한으로 할 수 있고 체의 청소용 기구의 적정 선택으로 가능하다.

체를 理想的으로 깨끗이 할 수 있다면 몇가지 試料引入速度에서 체를 통과하는 量을 측정하여 試料一定量을 分類하는데 필요한 체의 면적을 구할 수 있다. 여기서 試料引入速度가 變數로 들어가는 이유는 체 分類작업이 終了되는 領域에 따라서 굵은 粒子和 가는 粒子的 分布率이 어느정도 차이가 나기 때문이다. 이러한 方法으로 구한 체의 面積에 10~30%의 여유를 주어 設計値를 삼는다.

2) 分類効率

分類効率は 分類作業이 終了되었을 때 체에 남아있는 殘滓中(체의 눈금보다 큰 粒子+작은 粒子)체를 통과하지 못하고 큰 粒子에 섞여있는 작은 粒子的 量에 의하여 결정된다.

$$E = (1 - R/S) \times 100$$

여기서

E : 分類効率(%)

R : 殘滓物 가운데 포함되어 있는 작은 粒子的 무게

B : 引入原料가운데 포함되어 있는 작은 粒子的 무게

効率을 增加시키려면 그 만큼 處理容量이 감소하게 되므로 실제 공정에서는 處理容量과 効率을 고려한 적정 범위내에서 運轉하게 된다.

3.1.3. 粒子的 會合

分類工程의 効率は 分類하고자 하는 물질의 粒자들이 會合하는 程度에 따라 큰 영향을 받는다. 두 粒子的 表面이 충분히 가까운 거리에 있으면, 力場이 서로 겹치게 된다. 이 힘의 크기는 Van der Waals 힘, 粒子的 모양, 자유표면 에너지, 粒子表面의 吸着層, 粒子間의 거리에 좌우된다⁵⁾.

이 외에도 會合에 영향을 미치는 인자들로는 靜電荷, 溫度, 濕度 등이 있다.

會合을 防止하는 방법은 대개의 경우 간단하지 않다. 흔히 사용하는 방법은 分類工程 前에 또는 도중에 機械的 攪拌을 통하여 이미 會合되어 있는 粒子들을 分離시킨다. 空氣에 의하여 粒子를 分類하는 方法에서는 이 微分解工程이 함께 全 分類工程을 구성하고 있다.

또 한가지는 粒子間의 結合力을 줄이기 위해 금속 분말이나 고분자 물질의 粒子表面에 다른 化合物(계면 활성제, 응고 방지제(Anticaking Agent))을 吸着시키는 方法이다. 이의 정확한 기구는 분명히 定義되어 있지 못하지만 吸着層이 粒子間의 結合力을 줄인다고 생각된다. 예로 산화티타늄(TiO_2)에 유기첨가물을, 과염소산 암모늄(NH_4ClO_4)에 Tricalcium phosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)를 사용하는 경우를 들 수 있다.

3.1.4. 裝備類形의 分類

체질을 하는 方法에 따라 다음과 같은 類形으로 구분할 수 있다.

1) Gyratory (Rotary) 형

체는 수평에서 약간 傾斜져 있고 橢圓 또는 圓軌跡을 따라 움직인다. 이 장치의 장점은 체의 진동에 의하여 引入原料가 層을 이루어 체의 눈 크기에 가까운 粒子들을 더욱 效果의으로 分類할 수 있으며 單位 面積當 設置할 수 있는 체의 表面積이 다른 裝置에 비해 크며, 引入原料를 同時에 8가지의 粒子群으로까지 分類할 수 있다는 점등을 들 수 있다.

반면 단점으로는 많은 물질의 경우에, 체의 운동에 의하여 粒子들이 체의 표면 위에서 會合하여 粒徑이 증가한다는 점이다.

더구나 작은 粒子의 경우는 粒子들이 그물 위에 퍼져서 (체의 굽기에 인함)체를 통과하지 못하고 그물 눈을 막는 까닭에 이 方法으로 分類하기가 힘들다.

이 경우는 체의 아래쪽에 微少한 眞空狀態($< -1 \text{ inch H}_2\text{O}$)를 만들어 작은 粒子들이 체의 눈을 빠져나갈 수 있도록 힘을 가해줌으로 어느 정도 效果를 볼 수 있다.

2) Vibratory 형

이 장치는 대개 分當 180~3,600 정도의 진동수를 갖는 一連의 傾斜진 체들로 구성되어 있다.

체에 전달되는 진동의 방향은 수직에서 수평에 걸친 전 범위로 바뀌어지나, 그 대부분은 체의 표면에 수직방향 성분으로 이루어진다.

체의 傾斜角度는 效率와 容量에 영향을 미치므로 最適角度는 요구되는 原料 引入速度(處理容量)에 따른 시험을 거쳐 결정하여야 한다.

일반적으로 이 類形의 장치는 Gyratory 형태에 비해 체의 눈이 막히는 결함은 덜하지만 눈크크기에 가까운 粒子의 分類에는 덜 효율적이다. 경험적으로 이 장치는 80 mesh 이상의 粒子分類에 유용함이 알려져 있다.

3) Turbine (Reel) 형

이 장치는 쇠그물로 되어있는 원통을 회전시키면서 원료를 引入하여 가는 粒子는 그물 밖으로, 굵은 粒子는 개방되어 있는 반대편 출구로 배출시킨다. 이 장치는 주로 1/8 inch 정도 크기의 물질을 分離하는 데 쓰인다. 그러나 청소용 솔(brush)을 함께 회전시켜 엉겨붙는 원료를 계속 제거 시킴으로써 會合하는 물질의 分類에도 사용 가능하다.

4) Jet Sieve 형

Rotary 형의 一種인 이 장치는 체의 표면에 쌓이는 粒子들을 제거하는 데 꽤 격렬한 힘이 필요한 경우에 사용된다. 分類하고자 하는 원료는 수평으로 회전하는 그물로 된 drum 형의 체 내부로 연속적으로 들어오며, 이 drum 바깥의 공간을 眞空狀態로 유지시키면서 체를 통과한 가는 粒子들은 휠터로 移送된다. 한편 체의 바깥에 근접하여 위치한 노즐로부터 週期的으로 빠른속도의 압축공기가 체의 내부로 향하여 분출되므로 쌓이는 粒子들을 제거하게 된다.

이 裝置는 다른 기계적 방법에만 의존하는 체보다 훨씬 작은 粒子까지 分類할 수 있으나 附隨裝備 設置에 所要되는 투자비가 크다는 단점이 있다.

지금까지 간단히 설명한 체에 의한 分類裝備의 類形別 특성을 Table 5. 에 비교하였다. 제조 회사명의 숫자는 Table 4. 와 같다.

Table 5. Sieving Equipment Selection

Sieving Types	Operating Size Range	Sieve Cleaning Mechanism	Type Materials Suited for	Product Examples	Mesh Size	Sieve Area Capacity (lb/hr/sq ft)	Manufacturer Examples
Gyratory or Rotary	$> 74 \mu$	Brush or ball rack on underside of screen	Those that do not agglomerate from motion	Polyethylene chips Polyethylene powder Polyvinyl chloride Polystyrene Cellulose acetate Epoxy powder Ground cellophane	20 30 40 16 to 56 10 to 50 200 230	200 40 1000 300 300 20 18	3, 11, 16, 69, 84
Vibrating or Shaking	$> 74 \mu$	Screen vibration or ball rack on underside	Bulk of particles finer than aperture opening	Polyethylene powder Diammonium phosphate Uramite® fertilizer	20 4 to 12 14 to 28	50 1000 58	8, 9, 22, 26, 34, 36, 41, 49, 54, 55, 58, 67, 69, 74, 75, 78, 84
Turbine or Reel	$> 150 \mu$	Brush	Free-flowing to sticky materials using special cleaning	Flour	50	200	1, 41, 69, 72
Air Jet	$> 37 \mu$	Reverse air jet	Those not covered above	Metal powder Ground acrylic powder	325 270	30 5	4

3.2 空氣에 의한 分類 (Air Classifiers)

이 방법은 한 개의 粒子에 작용하는 重力 또는 遠心力과 이에 대응하는 drag force를 조절하여 分類하는 방법으로, drag force가 큰 粒子들은 가는 粒子群으로 나머지는 굵은 粒子群으로 분류되는 것이다.

이 방법은 기계적 분류 방법의 범위를 벗어난 粒度($3 \sim 74 \mu$)에서 고려의 대상이 된다.

3.2.1 基本理論

Stokes' 법칙이 적용되는 범위내 ($N_{Re} < 2$)에서 球形의 粒子에 작용하는 drag force는

$$F_d = \frac{C_d V^2 (\rho_g) A_p}{2g_c} \text{로 주어진다.}$$

여기서

F_d : drag force, lb_f

C_d : drag coefficient, $\frac{24}{N_{Re}} = \frac{24\mu}{D_{ps} V \rho_g}$

N_{Re} : Particle Reynolds Number, $D_{ps} \rho_g V / \mu$

ρ_g : 공기밀도, $lb_m/cu \cdot ft$

A_p : 粒子의 投影面積, $\pi D_{ps}^2 / 4$

g_c : 단위 환산 계수, $32.2 ft/sec^2$

V : 기체의 속도, ft/sec

μ : 기체의 粘度, $lb_m/ft \cdot sec$

D_{ps} : 粒度(Stokes' Law 사용) ft

定常狀態에서 기류가 中心部로 향하는 渦流속에 있는 한개의 粒子의 경우, 粒子의 遠心力에 대응하여 drag force가 존재한다. 粒子의 分類에 필요한 drag force는 任意의 半徑에서 渦流의 中心을 향한 속도 V_r 에 의하여 결정된다.

따라서 상식식에 V 대신 V_r 을 대입하고, C_d , A_p 를 대입하면

$$F_d = \frac{3\pi\mu V_r D_{ps}}{g_c} \text{로 된다.}$$

한편渦流속에 있는 粒子에 작용하는 遠心力은

$$F_c = \frac{WV_t^2}{g_c r}$$

$$W = \pi D_{ps}^3 \rho_p / 6$$

여기서

F_c : 遠心力, lb_f

W : 粒子의 무게, lb_m

V_t : 接線速度, ft/sec

r : 接線速度를 구한 지점에서渦流의 반경, ft

ρ_p : 粒子의 密度

$$F_c = \pi D_{ps}^3 \rho_p V_t^2 / 6 g_c r$$

따라서 회전하는渦流 가운데 半徑 r 에 위치하는 직경 D_p 의 粒子에 작용하는 drag force 와 遠心力이 평형을 이루면

$$F_d = F_c = \frac{3\pi\mu V_r D_{ps}}{g_c} = \frac{\pi D_{ps}^3 \rho_p V_t^2}{6 g_c r}$$

그러므로

$$D_{ps} = \sqrt{\frac{18\mu r V_r}{\rho_p}}$$

이 식이 流體의 흐름에 의해(渦流) 분리될 수 있는 球形粒子의 최대크기를 나타내는 일반식이다. 그러나 이 식에서는 마찰손실에 의한 에너지 손실을 고려하지 않았으므로 실제의 最大粒徑은 이론적으로 구한 D_{ps} 보다 크다.

沈降速度가 Stokes' 법칙이 적용되는 영역을 벗어난 $0.3 < N_{Re} < 1000$ 범위에서는 C_d 의 값이 달라진다⁶⁾. 즉 대부분의 Vortex Classifier 는 Stokes' 법칙이 적용되는 범위를 벗어난 영역에서 운전되므로 N_{Re} , C_d 의 값에 따라 補正을 해주어야 한다. (Table 6)

일반적으로 공기에 의한 분류에 있어서는 1 lb 의 粉體를 處理하기 위하여 2~4 lb 의 공기가 필요하다. 이 量을 稀釋比라고 정의한다면 이 稀釋比는 粒子의 密度와 粒徑의 목표치에 역비례하고 會合하려는 정도에 큰 영향을 받는다.

3.2.2. 裝備類形的 分類

Table 6. Values of the Drag Coefficient and Stokes' Law Correction Factors for Spherical Particles

N_{Re}	C_d	(D_{ps}/D_p)
0.1	240.0	1.000
0.2	120.0	1.000
0.3	80.0	1.000
0.5	49.5	0.984
0.7	36.5	0.968
1.0	26.5	0.951
2.0	14.6	0.906
3.0	10.4	0.876
5.0	6.9	0.834
7.0	5.3	0.804
10.0	4.1	0.765
20.0	2.55	0.686
30.0	2.00	0.633
50.0	1.50	0.566
70.0	1.27	0.520
100.0	1.07	0.473
200.0	0.77	0.395
300.0	0.65	0.351
500.0	0.55	0.295
700.0	0.50	0.262
1,000.00	0.46	0.2283
2,000.00	0.42	0.1692
3,000.00	0.40	0.1414
5,000.00	0.385	0.1118
7,000.00	0.390	0.0937
10,000.00	0.405	0.0770
20,000.00	0.45	0.0516
30,000.00	0.47	0.0411
50,000.00	0.49	0.0313
70,000.00	0.50	0.0262
100,000.00	0.48	0.0224

D_{ps} = Particle diameter calculated using Stokes' law

D_p = Particle diameter corrected for Reynolds number

이 장치는 分類에 일차적으로 관련되는 힘의 종류에 따라 類形別로 구분지을 수 있다. Table 7. 에 수록되어 있는 最大粒徑과 引入原料의 粒度分布는 명칭상의 범위에 국한될 뿐, 실제시험은 2.4항에 준한다.

Table 7. Classifier Selection

Type	Operating Principles	Operating Range Top Particle Size in Fine Fraction	Feed Conditions for Successful Classification	Examples	Size in Fine Fraction	Manufacturer Examples
Fluid bed	Fluid drag opposing gravitational force	10 to 200 μ	Wide size distribution in feed	PVA Na ₂ SO ₄	< 200 μ < 150 μ	25
Whizzer	Rotating baffle intercepting particles rising in a gas stream	40 to 300 μ	High % of fines	Ilmenite CaO	96% < 44 μ 99% < 37 μ	24, 61
Inertial	Fluid drag opp- osing inertial force of particle	74 to 300 μ	Wide size distribution in feed	Limestone	95% < 150 μ	6, 16, 38, 39, 62
Flat plate, centrifugal	Fluid drag opposing centrifugal force	10 to 50 μ	Nonsticky	Glass Lead — molybdate — pigments	98% < 10 μ 98% < 17 μ	4, 26, 82
Vaned flat plate, centrifugal	Fluid drag opposing centrifugal force	7 to 50 μ	Nonsticky	Polypropylene Polypropylene CaCO ₃	98% < 20 μ 98% < 44 μ 98% < 9 μ	4, 9, 60
Combination vaned and flat plate, centrifugal	Fluid drag opposing centrifugal force	20 to 300 μ	Nonsticky	Ilmenite Flour	98% < 44 μ 98% < 80 μ	73, 79, 83
Nonrotating or cyclone	Fluid drag opposing centrifugal force	3 to 20 μ	Well dispersed feed	CaCO ₃ Iron oxide Polypropylene	98% < 7 μ < 6 μ 98% < 18 μ	62, 82

3.3 集塵裝置

공기(또는 不活性氣體)에 의하여 원료를 粉磨하는 장치나, 공기에 의하여 粒子를 分類하는 공정의 최종 단계중의 하나는 배출되는 공기에 포함되어 있는 粉塵(Sub-micron 단위)을 제거함으로써 대기오염을 방지하는 것이다. 粉塵의 粒徑은 粉塵을 발생하는 작업의 種類와 원인에 따라 달라지므로 集塵裝置의 選定도 容易한 문제는 아니다.

Table 8.은 주요 集塵裝置의 특성을 비교한 것으로 실제 응용에 지침이 될 것이다.

集塵裝置의 (一段階 및 多段階) 選定을 위한 일차적인 資料로서는 Sylvan의 圖表를⁷⁾ 이용 할 수 있다. 이 圖表는 粉塵의 濃度와 平均粒徑 으로부터 裝備類形에 따른 效率, 排出되는 기체의 粉塵濃度 및 排出되는 粉塵의 平均粒徑 등을 구할 수 있게 되어 있다.

Table 8. Comparison of Some Important Dust Collector Characteristics

Type	Higher Efficiency Range on Particles Greater than Mean Size in Microns	Pressure Loss, Inches Water	Water, Gal Per 1,000 CFM	Space	Humid Air Influence	Max. Temp, F, Standard Construction
Electro-Static	0.25	1/2	.....	Large	Improves efficiency	500
Fabric:	0.4	3-6	.....	Large	May make reconditioning difficult	180
Conventional						
Reverse Jet	0.25	3-8	.....	Moderate		200
Wet:						
Packed Tower	1-5	1 1/2-3 1/2	5-10	Large		
Wet Centrifugal	1-5	2 1/2-6	3-5	Moderate		
Wet Dynamic	1-2	Note(1)	1/2-1	Small	None	Unlimited
Orifice Types	1-5	2 1/2-6	10-40	Small		
Higher Efficiency						
Nozzle	0.5-5	2-4	5-10	Moderate	None	Note(2)
Venturi	0.5-2	12-20	.....	Small		Unlimited
Dry Centrifugal						
Low Pressure Cycle	20-40	3/4-1 1/2	.....	Large	May cause	750
High Eff. Centrif.	10-30	3-6	.....	Moderate	condensa-	750
Dry Dynamic	10-20	Note(1)	.....	Small	tion and	750
Louver	15-60	1-3	.....	Small	plugging	750

Note(1): A function of the mechanical efficiency of these combined exhausters and dust collectors

Note(2): Precooling of high temperature gases will be necessary to prevent rapid evaporation of fine droplets.

4. 粒度測定

粉末狀의 原料는 여러 물리적 특성에 의하여 最終製品(비록 최종제품이 粉末狀이 아니더라도)의 특성에 큰 영향을 미친다. 이 물리적 특성 중에서도 가장 중요한 것은 粒度和 그의 分布이다. 몇가지 예를 들면 세멘트의 粒度는 그 硬化時間을 크게 좌우하며, 塗料에 있어서 粒度 分布는 光澤, 色相, 耐候性 등에, 食品의 경우는 맛, 물에 分散되는 速度등에, 觸媒나 吸着劑의 경우는 粒度에 따른 比表面積, 多孔性 등이 그 活성에, 高分子分野에서는 密度, 機械的特性, 耐候性 등에 미치는 영향이 절대적이다.

반면 이 粒度分布의 특성도 最終製品 특성을

조절할 수 있는 因子들과 상호 관련성을 연결지어 주지 않으면 아무 쓸모가 없다. 따라서 粉末製品의 最終用途에 따라 定義된 平均粒度를 구하기 위한 적절한 測定裝備를 선정하여야 한다. 그러나 粒子의 크기를 정확하게 測定하는 것은 대단히 힘든 일이다. 이로 因해서 現場에서는 그들 나름대로의 方法과 裝備에 의하여 相對的인 값을 구하여 品質管理를 하고 있다.

따라서 粒度를 구하는 데는 어떤 方法으로 어떤 種類의 粒度를 (平均粒度) 구하였는지 다음 사항을 명확히 기술하여야 한다.

- 1) 要求되는 粒度의 類形
- 2) 試料採取 방법
- 3) 試料의 分散
- 4) 測定을 위해 選定된 方法과 裝置

4.1. 要求되는 粒度의 類形

많은 粒度分析 技法이 현재 사용되고 있으며, 각 分野에서 그들 자신의 특별한 방법이 발전되어 왔다. 이 방법들에 의하여 測定되는 基本媒介變數들은 다음과 같다.

- 1) 最大粒徑을 갖는 粒子群의 백분율(필름 또는 被覆분야)
- 2) 最小粒徑을 갖는 粒子群의 백분율(集塵분야)
- 3) 平均粒徑(塗料분야)
- 4) 比表面積(活性도와 관련된 분야)

分野에 따라서 上記 變數들의 모두 또는 일부가 有用한 尺度가 되겠지만, 예를 들어 最大粒徑만이 문제가 되는 경우라면 粒度範圍 전체에 대한 分布를 求할 필요없이 가장 큰 영향을 미치는 粒度範圍의 分布만을 測定하는 것으로 충분하다.

또한 測定基準은 結果의 正確성에 큰 영향을 미친다. 예를 들어서 少量의 큰 粒子가 작은 粒子들과 섞여서 어떤 粒子群을 形成하고 있다 하자. 이 試料를 分析할 때 測定基準을 個數로 하면 큰 粒子들의 數는 무시할 만 하지만 基準을 무게로 바꾸면 큰 粒子들이 粒度分布에 미치는 영향은 상당히 커진다. 따라서 갯수를 基準으로 한 分布로 부터 무게를 基準으로 한 分布를 計算하고자 한다면, 少量의 큰 粒子를 무시한 결과는 分布의 正確性を 크게 떨어뜨리게 된다.

다음으로, 어떤 試料의 一般적인 크기의 정도는 다음과 같이 표시되는 중앙값 (Median)으로 나타낼 수 있다.

$$\int_0^{d_m} d\phi = \int_{d_m}^{\infty} d\phi = 1/2$$

여기서

d_m : Median Diameter

ϕ : Cumulative Fraction

즉 중앙값은 積分分布圖에서 50 %에 해당하는 값으로 예를 들어 Mass Median Diameter의 의미는 試料質量的 50 %는 이 값보다 작은 粒子들의 質量으로 되어있고, 나머지 50 %는 큰 粒子들의 質量으로 구성된다란 뜻이다.

그러나 어떤 特定한 現象에 있어서 粒子들의 크기에 따른 영향을 나타내기 위해서는 다음과 같은 여러가지의 平均粒度로 粒度分布를 대표하는 경우가 많다.

$$\bar{d}_{qp} = \left[\int_0^1 d^q d\phi_n / \int_0^1 d^p d\phi_n \right]^{1/(q-p)}$$

여기서

\bar{d}_{qp} : 平均粒度

ϕ_n : d 보다 작은 粒子들의 分率(number basis)

q, p : 平均粒度를 定義하기 위한 특성치

平均粒度를 定義하기 위한 q, p 의 값은 Table 9와 같다²⁴⁾.

Table 9. Mean Diameters

Definition of mean diameter (\bar{d}_{qp})	q	p
Geometric mean	0	0
Linear mean (number mean)	1	0
Surface mean (Surface-to-number mean)	2	0
Volume mean (Volume-to-number mean)	3	0
Surface-to-diameter	2	1
Volume-to-diameter	3	1
Sauter mean (Volume-to-surface mean)	3	2
De Brouckere (Mass mean)	4	3

4.2 試料採取 방법

고체 粒子들은 이리저리 다루어짐에 따라 粒子의 크기별로 分離되는 경향이 있다. 그 한 예로는 건조한 粉體가 콘베이어를 따라 貯藏庫로 수송되는 도중에 가운데서 부터 끝 부분으로 크기에 따라 명확하게 구분되는 현상이다. 그러므로 粉體 貯藏容器的 중앙과 끝 부분에서 각각 한 가지씩 두 종류의 試料를 採取하여 分析하였을 경우, 전혀 다른 粒度分布를 갖는 것은 당연하므로, 再然性(Reproducibility)을 갖기 위해서는 試料의 採取方法도 항상 같은 條件에 따라야 한다. 흔히 사용하는 방법으로는 몇 개소에서 試料를 채취하고 잘 섞은 다음 여기서 다시 試料를 採取한다.

試料를 채취하는 단계가 소홀하면 아무리 精確한 分析方法도 쓸모가 없는 것이 되는 만큼,

그 중요성을 세삼 강조하고자 한다.

粉碎工程의 連續 또는 回分式 試料採取方法은 참고문헌²⁾ “Solids Sampling”항을 참조하기 바란다.

4.3. 試料의 分散

어떤 分析方法을 선택하여 사용하든지 간에, 分析用 試料의 分散狀態는 필히 고려되어야 한다. 粒子가 대단히 작은 경우 (20μ 以下) 粒子들이 서로 會合하는 현상은 흔한 일이며, 반면 弱하게 會合된 粒子들의 會合程度를 규명하는 경우라면 약한 힘으로도 會合粒子들이 쉽게 分離한다는 사실을 감안하면 試料의 分散狀態를 확인하여 잘못된 결과를 초래하지 않도록 하여야 한다. 따라서 粒度分析 이전에 현미경으로 試料의 상태를 관찰하는 것이 바람직한 일이다.

한편 沈澱法의 경우에는 試料를 일단 分散液에 分散시켜야 하는데 이 경우 試料는 分散液에 不溶이어야 하고, 化學的으로 反應을 하지 않아야 한다. 分散溶液의 종류에 대해서는 Irani 등¹⁴⁾²³⁾의 자료를 참조하기 바란다.

또한 最終的으로 分散狀態의 적합여부를 결정하여야 하는데 Amstein²⁰⁾ Rossi²¹⁾ 등이 몇가지 기준을 제시한 바 있다.

4.4. 分析方法

粒度의 分析方法은 大別하여 두가지로 나눌 수 있다. 첫째는 直接的인 方法으로 粒子를 크기별로 세어서 粒度分布를 求하는 것이고, 둘째는 粒子의 크기에 따라 달라지는 粒子群의 物理, 化學的인 諸般現象을 測定하여 粒子의 數나 表面積등과 관련시켜 粒度를 測定하는 方法이다. 따라서 後者의 경우는 測定方法 基本原理의 差異에 따라 粒度의 平均值가 달라진다.

4.4.1. 체에 의한 分析

체에 의한 분석법의 및 기본이론은 2.1항에서 설명한 바 있거니와 微粉體를 체에 의해 分析하는 研究는 Whitby⁸⁾에 의하여 철저히 규명되었다.

체눈의 크기는 標準化 되어 있어, 美國의 경우는 Tyler Standard Scale 과 U. S. Sieve Series,

英國의 경우는 British Standard Sieve Series, 獨逸은 DIN No. 1171, 불란서는 AFNOR 등이 있다. 이들의 標準規格 및 補正方法은 ASTM⁹⁾¹⁰⁾에 수록되어 있다.

한편 $10\sim 120\mu$ 의 눈금을 갖고있는 전기적으로 鑄造된 니켈 材質의 micromesh 체가 생산되고 있다¹¹⁾. 이체의 사용범위에 대해서는 Irani¹²⁾, Daeschner¹³⁾ 등이 研究한 바 있다.

또한 濕式方法에 의한 分析은 본래 分散溶液과 混合되어 있는 경우이나, 乾式方法으로는 會合에 의하여 불가능한 경우 적절한 分散溶液을¹⁴⁾ 선택하여 수행하게 된다. 이 方法은 체에 남아있는 殘滓物의 定量을 하기 위하여 추가로 乾燥時間이 필요하다는 단점이 있다.

4.4.2. 현미경에 의한 分析

현미경에 의하여 粒度分布를 測定하는 것은 가장 직접적인 방법이다. (ASTM E20-51T) 이 測定方法은 대개 다음의 세가지 절차로 구분할 수 있다.

1) Slide 준비 : 試料를 준비해서 적절한 分散液에 分散시킨후 Slide 에 위치하기 까지.

2) 粒子觀察 : 粒子의 크기가 光源의 波長과 비슷하면 粒子를 구별할 수 없다. 따라서 分散劑와 粒子간의 굴절율의 차를 증가시키는 방법이 고려되어야 한다. 보통 광학현미경으로는 0.2μ 정도의 크기에서 식별 불가능하므로 紫外線을 사용하거나 전자현미경을 사용하게 된다.

3) 粒子의 크기와 갯수 測定 : 현미경으로 보이는 粒子群에서 어느 부분을 選定하여 粒徑과 갯수를 測定하느냐가 문제가 된다. 위치는 무작위 또는 임의로 기히 選定되어 사용되어오던 방법을 따르고, 갯수는 세어진 양에 따라 平均粒度가 一定하게 되는 最少갯수 이상을 세어야 한다.

현미경 測定方法은 시간이 오래걸리고, 測定하는 사람에 따라 다른 결과를 초래하는 단점이 있다. 최근 自動計測, 計數裝備¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾가 출현하여 단점을 보완하여 주고 있으나 매우 비싼 실정이다. (\$ 10,000~\$ 25,000)

4.4.3. 沈澱法에 의한 分析

많은 간접적인 粒度測定 방법 가운데 만족스

러운 결과를 얻을 수 있으며 가장 널리 사용되는 방법중의 하나이다. 이 방법은 粒子的 크기에 따라 溶液에서의 沈降速度가 다른 원리를 이용한 것이다^{14,18)}. 이 방법에서는 分散溶液의 선정이 가장 중요하다고 볼 수 있는데 대개 0.1% 이하의 分散液을 사용하여 용액의 표면장력을 낮추어주고 粒子表面이 용액에 젖도록 도와준다. (Wetting Agent 역할)

장점으로는 裝備가 간단하고 광범위한 粒度範圍에서 비교적 正確하면서도 쉽게 測定 가능하고 再然성을 갖고 있다는 점이다.

그러나 粒子가 매우 작은 경우 液相에서의 沈澱은 대단히 서서히 진행되므로(gravitationally), 遠心力에 의해 (centrifugally) 침전을 加速시키는 방법이 있다. 이 방법을 사용하는 代表的인 裝備로는 MSA-Whitby를 들 수 있다. 空氣에 의한 방법 역시 溶液의 粘性을 낮추어줌으로써 沈澱速度를 증가시키기 위한 것인바 Micromerograph가 이에 屬한다.

4.4.4. 電氣抵抗에 의한 分析

이 방법은 電導性 溶液에 試料을 分散시켜 粒度分布를 測定하는 방법으로 양쪽에 電極을 갖는 작은 체 사이로 현탁액을 통과시키면 粒子的 부피만큼 체 사이의 電解液이 밀려나므로 粒子的 부피에 比例해서 抵抗의 差가 생기는 理論을 應用한 것이다. Coulter Counter가 이 部類에 屬한다.

이 裝置는 試料의 종류에 따라서 沈澱法과 현미경에 의한 결과와 差異를 나타내는 경우가 있는데, 이는 특정물질의 物理化學의 特性에 起因한다고 생각된다. 그러나 일반적으로 말해서 化學적으로 安定된 化合物에 대해서는 만족할만한 결과를 얻을 수 있다.

4.4.5. 浸透法에 의한 分析

이 방법은 粉體層을 통하는 流量과 壓力損失을 구해서 試料의 表面積을 구하는 것이다. 裝置로는 가장 간단하고 짧은 시간에 平均粒徑을 구할 수 있으므로 製品의 日常的인 品質管理를 위한 相對的 粒度를 구하는 데 많이 使用된다. 대표적인 裝備로는 Fischer Sub-Sieve Size Analyzer를 들 수 있다.

이 방법은 流體가 線型流라는 前提條件을 갖고 있으므로 顏料, 세멘트, 특히 非孔性 物質의 경우 精確한 값을 얻을 수 있다.

한편 이 방법의 일종으로 粒子表面에 특정기체의 單分子吸着層을 (monolayer adsorption) 만들어 吸着量을 測定, 表面積을 빠른 시간내에 결정하는 방법이 있다. Sorptometer라는 상품명 (Perkin-Elmer Co.)의 裝備는 吸着된 질소가 脫着될 때 熱傳導度를 측정해서 吸着量을 결정한다. 그러나 경우에 따라 형성되는 多分子吸着層에 의한 誤差를 유발할 수 있다.

4.5. 分析裝備

많은 理論에 따른 分析方法과 裝置들이 있으나 Table 10.에는 現場 및 實驗室에서 그 効用性和 經濟性이 입증된 分析裝備들을 分析方法別로 分類 수록하였다. 分析方法의 자세한 理論과 實驗用 裝置를 위한 資料는 이 分野의 여러 단행본^{8,14,18,19)}을 참조하기 바란다.

4.6. 標準粉體

標準체의 경우 사용함에 따라 같은 規格이라 할지라도, 체마다 눈금의 차이가 생기게 마련이다. 이러한 현상은 모든 分析裝備에 적용되므로 標準粉體를 사용하여 주기적으로 補正을 할 필요가 있다. 標準粉體는 다음의 出處들로부터 구할 수 있다.

Office of Standard Reference Materials
National Bureau of Standards
Washington, DC 20234

Dow Chemical Co.
Midland, MI 48640

Freeman Laboratories
9290 Evenhouse Avenue
Rosemount, IL

Table 10. Particle Size Analyses Methods and Equipment

Basic Sizing Method	Commercial Name of Equipment	Particle Parameter Measured	Analysis Time (min)	Size Range Microns(μ)	(Mfr.)**	Comments
Sieving						
Dry	Rotap, Alpine jet sieve	Size-Weight	15-30	44 and above	1, 2	For flowable solids
Wet	Micromesh	Size-Weight	15-30	6-200	1, 3	For slurries and nonflowing dry materials
Microscopy						
Light		Size-Number	30-60	1-500	6, 15, 16	Small depth of field, difficult to account for large range of sizes
Scanning Electron		Size-Number		0.01-100	4, 5	Good depth of field, large magnification. Expensive equipment
TV Counting	Quantimet	Size-Number	15	0.01-500	6, 7	Rapid, direct, or photograph counting
Sedimentation						
Gravitational Liquid	Andreasson Pipette	Area-Volume	10-90	0.1-100	8, 9	Good for slurries, must maintain dispersion
Air	Micromeritics-Sedigraph	Area-Volume	15-180	1-250	10	Sensitive to electrostatic agglomeration
Centrifugal Thin Layer	MSA-Whitby	Area-Volume	10-60	0.5-1,000	11	Relatively fast for sedimentation
Electrical Conductance	Coulter Counter Celloscope	Volume-Number	15-30	1-200	12, 14	Must be dispersed into conducting liquid, counts rapidly so large numbers can be counted to give statistically accurate counts. Relatively expensive equipment
Porosimetry						
Air	Fisher Sub-Sieve Analyzer	Area	15	0.1-40	8	Gives a rapid average dia measurement, well suited for quality control
BET and Mercury	BET, Mercury Porosimeter	Area, Pore Distribution	20	(0.001-1500.)*	9	
Drawdown Paint Gage	Paint Club Gage Hegman Gage	Number diameter	6	2-200	13	Gives a rapid measure of largest and average particle sizes, but requires sample rheology such that marks will remain after drawdown for reading

* In units of sq meters/gram

****Manufacturers' List**

1. W. S. Tyler, Inc., 8215 Tyler Blvd., Mentor, OH 44060
2. Alpine American Corp., 3 Michigan Dr., Natick, MA 01760
3. Buckbee-Mears Co., 245 E Sixth St., St. Paul, MN 55101
4. Philips Electronic Instruments, Mount Vernon, NY
5. Coates & Welter Instrument Corp., 2191 Ronald St., Santa Clara, CA 95050
6. Bausch & Lomb, Scientific Instrument Div., Rochester, NY 14602
7. Quantimet, Image Analyzing Computers, 40 Robert Pitt Drive, Monsey, NY 10952
8. Fisher Scientific Co., 203 Fisher Bldg., Pittsburgh, PA 15219
9. Micromeritics Instrument Corp., 800 Goshen Springs Rd., Norcross, GA 30071
10. Sharples Stokes Div., Pennwalt Corp., 955 Mearns Rd., Warminster, PA 18974
11. Mine Safety Appliances Co., 201 Braddock Ave., Pittsburgh, PA 15208
12. Coulter Electronics Inc., 590 W 20th St., Hialeah, FL 33010
13. Precisions Gage & Tool Co., 28 Volkenand Ave., Dayton, OH 45410
14. Particle Data Inc., Box 265, Elmhurst, IL 60126

5. 結 論

産業界에서 漸次 그 중요성을 認識해가고 있는 粉體工學을, 특히 裝備選定の 觀點에서 그 State-of-the-Art 를 包括적으로 點檢하였고 또 한 具體的인 方案을 提示하였다.

이 分野가 다른 單位操作이나 反應工學 등의 分野에 비해 이렇다할 進陞을 보지 못한 원인은 寄與 Parameters 및 그들간의 Interactions 이 너무 많고 複合的이라는 사실 이외에, 이 分野를 다른 操作이나 工程과 같이 分離 독립시켜서 尊重할만한 工學分野로 취급하고 발전시키지 않아 온 工學者 및 技術學者들에게도 책임이 있겠다. 量과 質, 兩面에서 粉碎工程에 대한 Requirements 가 점점 酷甚해지고 있는 此際에, 이 課題에 대한 知識과 經驗을 좀 더 體系化하여, 化學工業 및 關聯工業 전반에 속속들이 普及하며, 주먹구구나 무작위한 施行錯誤法을 止揚함으로써 科學的 方法論을 적용하기 시작하여야 하겠다. 한편 産業界또는 工場에서는 舊態依然한 因襲의 情性を 버리고 새로운 裝置, 새로운 工學的 概念과 方法을 과감히 받아들여 現場에서 응용하는 進取的 자세가 요망된다.

感 謝

이 報文을 脫稿하기까지 關係分野의 資料蒐集을 지원해주시고 여러 좋은 提議를 해주신 Du

Pont 會社의 송계순 博士, 최동명 博士와 American Cyanamid 會社의 송대석氏 등 諸位 同僚에게 感謝를 드리며 이와같은 研究論文의 執筆이나 學會活動등을 관대히 許諾하여주신 洪陵機械工業會社에 感謝를 드립니다.

References

1. A. F. Taggart, "Handbook of Mineral Dressing," Wiley, New York, 1945. Sec. 4, 5, 6.
2. J. H. Perry, et al, "Chemical Engineers' Handbook," 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1963. Sec. 8.
3. H. E. Rose, and R. M. E. Sullivan, "A Treatise on the Internal Mechanics of Ball, Tube, and Rod Mills," Chemical Publishing Co., New York, 1958.
4. L. G. Austin, "Understanding Ball Mill Sizing," *Industrial Engineering Chemical Process Design and Development*, **12**, No. 2 (1973), 121.
5. S. G. Gregg, "The Surface Chemistry of Solids," 2nd ed., Reinhold, New York, 1961. Chap. 3.
6. C. E. Lapple, "Fluid and Particle Mechanics," Univ. of Delaware, 1956. 283.
7. E. L. Ludwig, "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical plants/Vol. 1,"

- Gulf Publishing Co., 1972. Chap. 4.
8. K. T. Whitby, "The Mechanics of Fine Sieving," Ph. D. Thesis, U. of Minnesota, 1954.; "Symposium on Particle Size Measurement," ASTM Spec. Publ. No. 234. 1958.
 9. 1958 Book of ASTM Standards; Tentative Specifications for Sieves for Testing Purposes, ASTM Designation E-11-58T, Part 3, 877-82. Also in Parts 4, 5, 7, 8, 9, 10, ASTM, Philadelphia, 1958.
 10. L. T. Works, "Symposium on Particle Size Measurement," ASTM Spec. Tech. Publ. No. 234, ASTM, Philadelphia, 1959.
 11. Buckbee Mears Co., Tony Bldg., St. Paul 1, Minn.
 12. R. R. Irani and C. F. Callis, *Anal. Chem.*, **31** (1959), 2026.
 13. H. W. Daeschner, E. E. Seibert and E. D. Peters, "Symposium on Particle Size Measurement," ASTM Spec. Tech. Publ. No. 234. 1958.
 14. R. R. Irani and C. F. Callis, "Particle Size: Measurement, Interpretation, and Application," Wiley, New York, 1963.
 15. F. Endter and H. Gebaur, *Optik*, **13** (1956), 97.
 16. F. Roberts and J. Z. Young, *Nature*, **167** (1951), 1231.
 17. D. G. W. Hawksley, *Brit. J. Appl. Phys., Suppl.* No. 3. (1954), 125.
 18. J. M. Dallavalle, "Fine Particle Measurement, size, surface, and pore volume," MacMillan Co., New York, 1960.
 19. "Symposium on New Methods for Particle Size Determination in the Subsieve Range" ASTM Spec. Tech. Publ. No. 51, 1941.
 20. E. H. Amstein and B. A. Scott, *J. Appl. Chem.*, **1** (1951), 510.
 21. C. Rossi and R. Baldacci, *ibid.*, **1**(1951), 446.
 22. W. H. Walton, *Brit. J. Appl. Phys., Suppl.* No. 3 (1954), 121.
 23. G. Herdan, "Small Particle Statistics," 2nd ed., Butterworths, 1960. p. 348.
 24. C. E. Lapple, *Chem. Eng.*, May (1968), 149.