

## 工業原料 粉碎에 있어서 Organics 의 影響

金 勇 圭

成均館大學校 理工大學 化學工學科

(접수 1975. 8. 4)

## A Study on Influence of Organics on Industrial Materials Crushing

Byeung Kyu Kim

Department of Chemical Engineering Sung Kyun Kwan University, Seoul 110, Korea

(Received August 4, 1975)

### 要 約

Cement 工業에 있어서 그 生産費의 大部分을 動力費가 차지하고 있는 實情에서 動力費를 節減하기 爲하여 여러 研究者들이 有機物 粉碎助劑를 液相接觸으로 試圖하였으나 그 粉碎效果가 微弱(10% 内外) 하였기에 이에 著者는 氣相接觸으로 分散시켜 不均一混合接觸을 防止하고 더욱 粉碎溫度를 cement 物性に 支障이 없는 100°C 以下の 低沸點 有機物 粉碎助劑를 擇하여 그 粉碎效果와 物性變化를 測定 하였다.

### Abstract

Since the major expence of production in cement industry is the electric power cost, many scientists had researched in various ways for saving the electric power. This is an urgent problem because the electric power cost is getting more and more expensive these days. Cement chinker was taken as a sample of industrial materials. As one means of saving power, it was attempted to prevent the growth of secondary particles on liquid contacting system by using organic crushing aids such as secondary alcohol series, fats and resins. In this study the increase of crushing effect was investigated in gaseous contacting system with organic crushing aids, whose boiling points are below 100°C. Organic crushing aids that were used here are ethyl alcohol, methyl alcohol, acetone, benzene, diethyl-ether, and acetaldehyde in the concentration range from 0.05 to 0.5% by weight. A continuous model in dry crushing was adopted with practical operating conditions for comparion. Computation of power saving was carried out with respect to the tendency of specific surface diameter of particles.

### 1. 緒 論

動力費가 全 工程費의 約 50%를 차지하는 cement 工

業에서 11%에 該當하는 clinker 粉碎費<sup>1)</sup>를 減少시키는 것은 매우 切實한 문제인 즉 이 點을 解決코자 有機物을 粉碎助劑로 使用하여 그 粉碎效果를 여러 學者들이 檢討하였다. 卽 Kennedy, Mardulier<sup>2)</sup>는 T. D. A

(triethanol-amine 鹽과 lignin sulfonic 酸, 갈슘鹽의 混合物)로 cement의 粉碎效果를 向上시켰고, Dawley<sup>3)</sup>는 vinsol resin, cod oil, beef tallow, aluminium stearates를 粉碎助劑를 使用하였고, glycerol과 wood resin<sup>4)</sup>이 좋다는 事實도 알려졌다. 그러나 本格的으로 有機物을 粉碎助劑로 常溫에서 研究한 Ziegler<sup>5)</sup>는 少量의 水蒸氣와 acetone이 clinker 粉碎率을 增加시킨다고 하였다. 또한 ethylene glycol, propylene glycol, butylene glycol 등이 相當한 比率까지도 粉碎率을 增加시킨다고 하였다. 國內에서도 구용화<sup>6)</sup>가 炭素數 10 이상인 可溶性 極性物質을 使用하여 10% 程度의 粉碎率을 增加시켰다고 하였다. 以上은 添加有機物을 液相接觸 處理한 方法으로서 均一分散이 못되어 때로는 粉末의 凝集으로 flaky가 생기거나 mill 內部 및 粉碎媒體에 붙는 coating 現象으로 粉碎效果가 低下되어 粉碎效果가 微弱한 이 缺點을 除去하고자 著者는 有機物 粉碎助劑를 蒸氣狀態로 氣相接觸시켜 되도록 均一分散을 圖謀하고 clinker 單一系에 吸着시켜 接觸效果를 助長시키고 二次微粒子 形成을 抑制하여 粉碎效果를 向上시키며 또 製品物性に 支障이 없는 範圍內에서 操作溫度를 100°C로 調節하므로써 高溫粉碎일수록 그 效果가 좋다는 利點을 兼해서 擇하였다. 이와같은 새로운 着想下에 낮은 沸點을 갖는 有機物質을 새로히 擇하고, 그리고 從前에는 이에 따르는 粉碎效果만을 測定하던것을 여기서는 節約되는 動力을 求하고 또 構造物로서의 物性強度를 測定하여 實際 使用可能 與否를 檢討하였다.

## 2. 實驗方法

### 2-1 試料調劑

工業原料로서 使用된 試料는 國內(亞細亞시멘트) clinker A級으로 粒子的 相當直徑은 8~20mm 程度였다. 本來 clinker 粉碎는 Ball mill이 가장 좋다<sup>7)</sup>고 하였지만 始初부터 使用하면 實驗室에서는 너무 長時間을 要하며 더욱 粉碎效果面에서도 좋지 못하므로 이러한 短點을 補完코자 Jaw crusher (blake type)로  $D_p$ 를 5mm 程度 以下로 粗碎하고 disk crusher(中間粉碎機)로 再粉碎하여 Ball mill(grinder) 粉碎에 適合하도록 -10/+20mesh 程度로 中間再粉碎하였다. 單一 物質의 粉碎效果를 調査하기 爲하여 石膏는 混合하지 않고 實驗했다. 따라서 그  $D_p$ 는 表面積平均粒子直徑<sup>8)</sup>으로 1.51mm 程度였다. 그리고 試料의 自由水分을 除去하

기 爲하여 dry oven 속에서 100~110°C로 3時間以上 乾燥시켰다.

### 2-2 粉碎助劑

廉價이며 普遍的으로 使用되는 有機物中 沸點이 100°C 以下の 것으로 acetone(B.P. 56.2°C), acetaldehyde(B.P. 20.2°C), benzene(B.P. 80°C), diethylether(B.P. 34.6°C), ethyl alcohol(B.P. 78.4°C), methyl alcohol(B.P. 64.7°C) 등을 使用하였고 添加濃度는 本來 粉碎助劑로 使用할에 있어서 大體적으로 0.1%로 할이 普通 常例이지만, 이 實驗에서는 0.1%以下에서는 粉碎效果에 別 影響이 없었기에 0.5%까지를 限界로하였다.

### 2-3 實驗裝置

#### (1) 粉碎裝置

本 研究實驗은 Seebach<sup>9)</sup>의 研究에 따라 工業用 mill 內部的 力學的인 關係와 가장 類似한 裝置인 Ball mill을 使用하였다.

外部길이 16.5cm, 內部길이 13.5cm

外部直徑 15cmφ, 內部直徑 12cmφ

內部實容積 1650ml 磁器製

Motor 100v, 5.6A, output 200w

動力計: 市販一般動力計

Ball;  $D_B$  2.5cm의 磁器製球形

#### (2) 加熱裝置

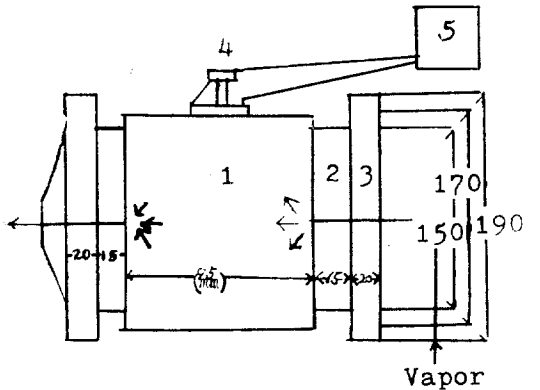
添加有機物質을 mill 內에서 vapor 狀態로 恒常 維持하기 爲하여 clinker 粉碎條件을 100°C 內外로 維持할수 있는 Fig. 1과 같은 電氣調節用 mantle 裝置를 使用하였다.

#### (3) 有機物質 蒸氣化裝置

Fig. 2와 같이 裝置하고 流入되는 vapor의 量을 flow meter로 測定하였고 過剩의 量은 冷却器를 通하여三口 flask로 循環시켰다.

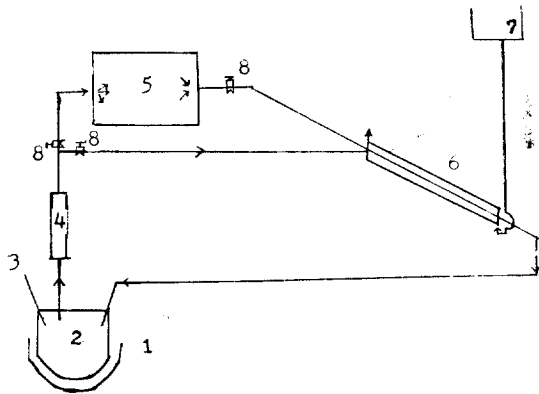
#### (4) 分析(節粉分離測定)裝置

粒子크기에 依하여 分離하는 horizontal gyration sieve analysis 裝置로 U. S. A. S. T. M 標準節로서 測定하였다. 所要時間은 1時間이었다.



- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1. Mantle      | 2. Ball mill       |
| 3. Gum velt    | 4. Thermoregulator |
| 5. Transformer |                    |

Fig. 1. Schematic diagram of heating apparatus.



- |                  |               |
|------------------|---------------|
| 1. Mantle        | 2. Flask      |
| 3. Thermometer   | 4. Flow meter |
| 5. Ball mill     | 6. Cooler     |
| 7. Cooling water |               |

Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

### (5) 物性實驗裝置

壓縮強度 試驗機: A.B. Alpha, by berg sweden type 3H, 278, 10108

引張強度 試驗機: Karl Korp Scientific-Technical Supplies CO. Frankfurt, Germany

養生裝置(國立工業標準試驗所用)를 使用하였다.

### 2-4 實驗條件

#### (1) Mill 의 回轉速度

Ball Mill 의 臨界回轉速度에 關하여 여러가지식<sup>4,11)</sup>이 있지만 粉碎에 使用되는 Mill 의 回轉速度은  $N_c$  의 65~80%에 該當되며 다른 모든 條件이 同一한 境遇는 濕式보다 乾式粉碎가 더 많은 回轉數를 要한다<sup>12)</sup>고 하였다. 또 粉碎效果가 最大가 되는 것은  $N_c$  의 77% 때라는 것이(Moh's Hardness 가 8.5인 境遇) 研究發表되었다<sup>13)</sup>.

이러한 研究結果들에 依하여  $N_c$  의 77%인 67r. p. m 에 가장 가까운 66r. p. m 으로 하였다.

#### (2) Ball 의 充塡量

Ball 의 充塡量이 많으면 粉碎率이 增加한다는 理論에 依하여 가장 粉碎效果가 좋은 Mill 의 50%를 Ball (bulk volume)로 充塡시켰다<sup>4)</sup>. 이 때의 Ball 의 數는 79個이며 그 무게는 1.003kg 程度였다.

#### (3) Ball 의 크기

微粉碎에는 普通 長時間동안 작은 크기의 ball 을 使用하여 粉碎한다. 따라서 可能한 限 粉碎時間을 적게 하기 爲하여 中程度 크기의 2.5cm $\phi$ 의 磁器製 ball 을 使用하였다.

#### (4) 粉碎試料의 充塡量

Mill 内部에 充塡된 Ball 과 Ball 사이의空間 ( $V$ =Ball bulk volume 의 40%)을 完全히 充塡할 수 있도록 ( $M/V=1$ )<sup>4)</sup> 하였고 그때의  $G$  를 約 500g 程度로 投入하였다.

#### (5) 溫度와 濕度

工業的인 clinker 粉碎는 溫度가 上昇하면 粉碎率이 增加하지만 130°C<sup>14)</sup> 以上 上昇되면 cement retarder 인 石膏의 脫水로 成形前에 굳어지는 早速 cement 를 形成하는 弊端이 있기에 普通 130°C 以下로 調節하고 있다.

#### (6) 粉碎限界點

本來 cement 商品의  $D_m$  는 大體로 3,000~3,500 cm<sup>2</sup>/g<sup>15)</sup>의 Blain 値로 表示함이 原則이지만 粒子徑으로는 大略 25~37 $\mu$  程度가 普遍的이다. 그러나 본

研究室의 施設로서는  $44\mu(325\text{mesh})$ 가 限度이기에 이 點을 限界로 하였다.

以上の 施設로서 試料所要量을 ball-mill에 넣고 同時에 有機物蒸氣를 發生裝置에서 mill 内部에 投入시키고 그 溫度를 操作溫度로 維持시키면서 粉碎하여 粉碎時間을 測定하였다.

### 3. 結果 및 考察

#### 3-1 有機物質 粉碎助劑를 使用하지 않은 境遇

##### (1) 常溫粉碎

試料 單一系에 對한 特性値와 粉碎機의 性能을 알기 爲하여  $Wi^{16)}$ 를 求하여 그 結果를 Fig. 3에 表示하였다.

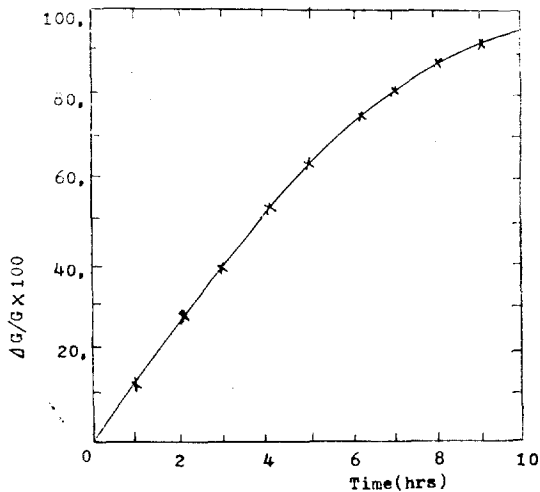


Fig. 3. Crushing rate on 150 mesh (80%).

따라서  $Wi$ 는 10.49 程度였다. 같은 條件은 아니지만 원래의 clinker  $Wi$ 인 13.45<sup>17)</sup>의 約 78%인 값을 表示한다.

粉碎機의 能力을 測定한 後, 粉碎時間에 따르는 粉碎率과 粉碎될 때  $Dp$ 의 變化를 測定하였다. 粉碎限界는 325mesh로 하고 回分式粉碎, 卽, 時間마다 篩分離하여 限界粒子크기의 量을 測내는 方法으로 處理하였다. 그 結果를 Fig. 4에서 表示하였다.

여기서 粉碎時間이 17時間이 되면 粉碎率 增加는 더 이상 없고  $Dp$ 는 2時間乃至 6時間이 活潑한 粉碎가

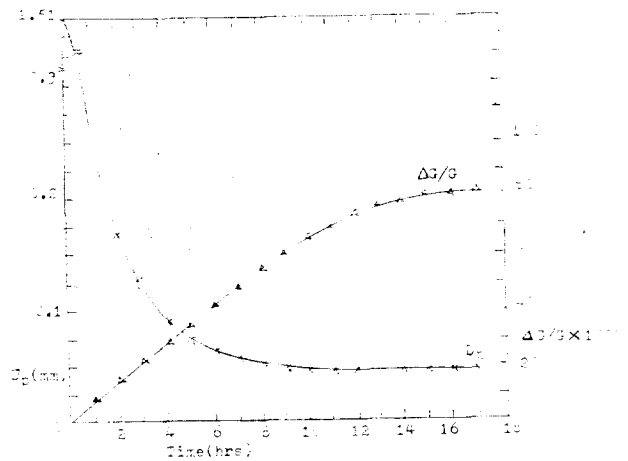


Fig. 4. Crushing rate and Particle size on 325 mesh (80%).

일어나고 8時間 後부터는 徐徐히 微粉됨을 알 수 있었다. 이때  $\Delta G/G$ 는 80% 程度에서 큰 變動을 보이지 않고  $Dp$ 는 0.04207mm 程度로 큰 變動이 없었다. 더욱  $Dp$ 가 0.04201~0.04619mm에서는 粉碎時間에 따라  $1/\sqrt{Dp}$ 에 比例하고 0.04619mm 範圍에서는  $\log(1/Dp)$ 에 比例함을 알 수 있다. 더욱 粉碎時間 1時間當 消耗되는 電力은 0.13kw 이기에 測定値를 우선 粉碎時間으로 하고 動力이 必要할 때는 動力으로 換算하여 算出하는 方式을 擇하였다.

##### (2) 粉碎溫度의 變化

Fig. 5는 Mill 内部의 粉碎率變化를 表示한 것이며 Fig. 6은 Fig. 5의 a-b 部分을 擴大한 것이다. 여기서 溫度가 上昇하면 粉碎率이 좋아짐을 알았다. 回分式粉碎로 할 때는 常溫 27°C에서 粉碎時間이 17時間 經過한 後의 粉碎率이 100°C에서는 粉碎時間이 14時間에 該當하므로 以後 14時間을 基準으로 하였다.

Fig. 7은 溫度變化에 依한  $Dp$ 의 變化量을 表示한 것이며 Fig. 8은 Fig. 7의 a-b 部分을 擴大한 것이다.

微細한 粒子들은 그 表面에 作用하는 引力에 依하여 二次的인 凝集化(agglomeration)가 생겨 Ball 表面에 皮膜을 形成하거나 또는 Mill 內壁에 cake를 形成하여 落下衝擊과 壓縮力을 減少시키므로 粉碎物의 自由로운 運動에 依한 衝突을 阻害하게 되고 大氣中の 水

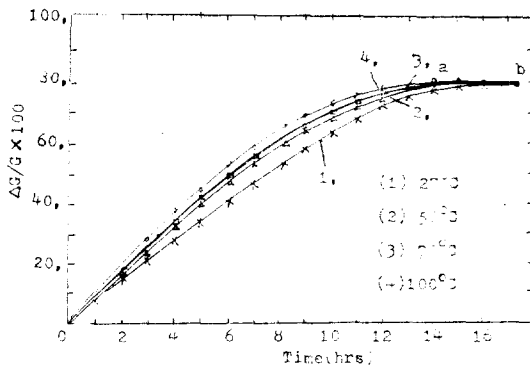


Fig. 5. Temperature effect on crushing rate.

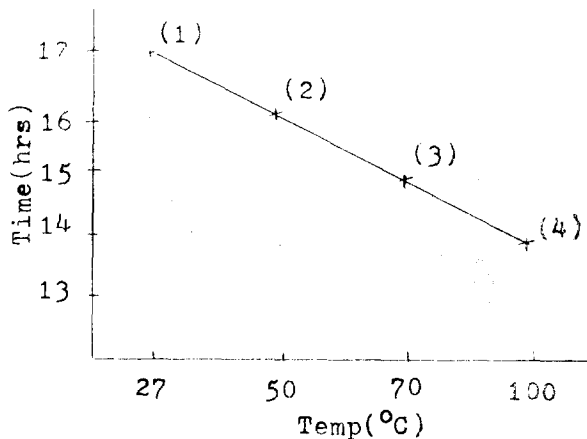


Fig. 6. Details of (a-b) part in Fig-5.

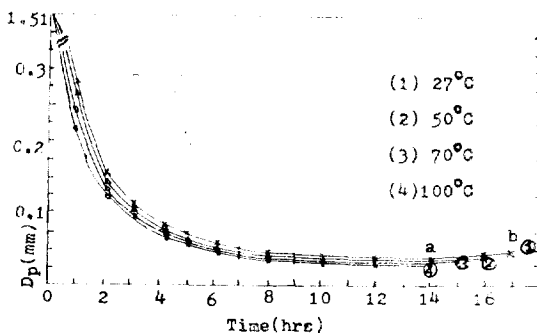


Fig. 7. Temperature effect on particle size.

분에 의한 cake 形成도 같은 抑制作用을 하여 粉碎率의 減少를 招來한다. 그러나 溫度가 上昇되면 微粒子의 引力에 對한 抵抗力을 增加시켜 自由運動을 促進시

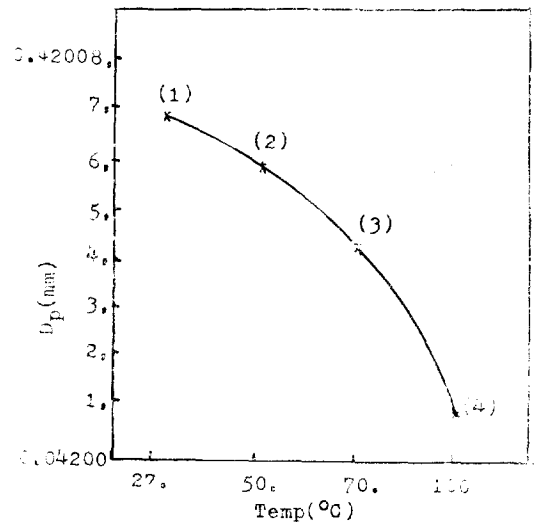


Fig. 8. Details of (a-b) part in Fig. 7.

키고 또한 粒子들의 內部分裂成長이 促進되어 水和現象이 抑制되고 粉碎率이 向上됨을 여기서 알 수 있었다<sup>20</sup>. Fig.9에서 各 溫度에 따라 大體의 1/Dp 이 粉碎時間에 直線狀態로 變하지만 그 粉碎能力이 增加함에 따라 直線의 기울기가 커지는 範圍를 表示한 것이다.

### 3-2 有機物 添加境遇

實驗의 與件으로 不得已 連續式粉碎法이 比較基準이 되지만 實際 應用分野에서는 回分式粉碎率 約 80% 程度를 超過해야 適用할 수 있음은 勿論이다. 따라서 Fig.10은 單獨의 clinker 粉碎效率를 表示한 것이다.

各種 有機物を 添加하는 境遇의 粉碎率을 Fig.11에서 表示하였다. 이 그림에서 粉碎率이 上昇하였는데 이것은 微粒子 表面에 作用하는 引力은 Van der Waals 引力과 靜電氣의 引力이라는 것이 밝혀졌고<sup>18,19</sup>吸着된 有機物이 이들 引力에 吸收되고 粒子끼리의 凝集化 現象을 防止하여 二次微粒子 形成을 막고 粉碎物의 自由運動을 助長한다는 事實이 여러 實驗을 通하여 밝혀져 있다<sup>20,21</sup>.

더욱 粉碎助劑를 使用치 않는 경우보다 一般的으로 粉碎效果의 上昇을 보였고 그중 沸點이 높은 有機物이 낮은 物質에 比하여 또 各 濃度の 增加함에 따라 그 效果가 上昇하였다. 그러나 이중에서 가장 沸點이 높은 benzene은 例外였다. 이상과 같은 傾向을

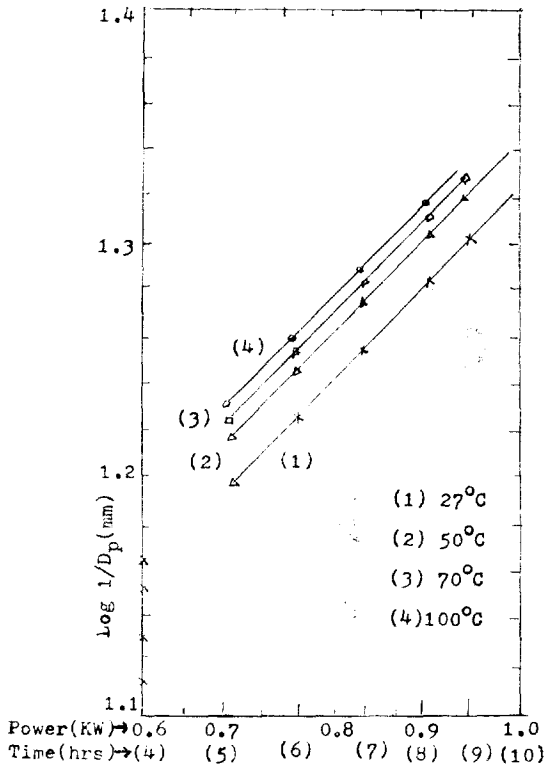
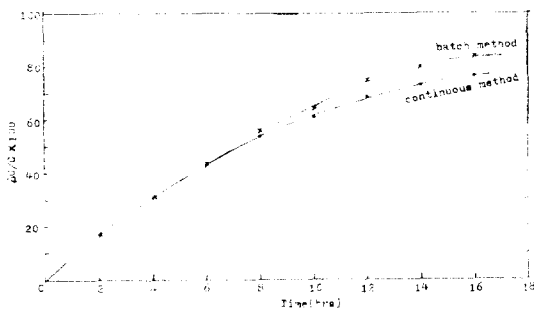
Fig. 9 Relationship between Power and  $\log 1/D_p$ .

Fig. 10. Crushing rates of batch and continuous methods.

物理化學的 函數의 觀點으로 解釋하였으나 一律性은

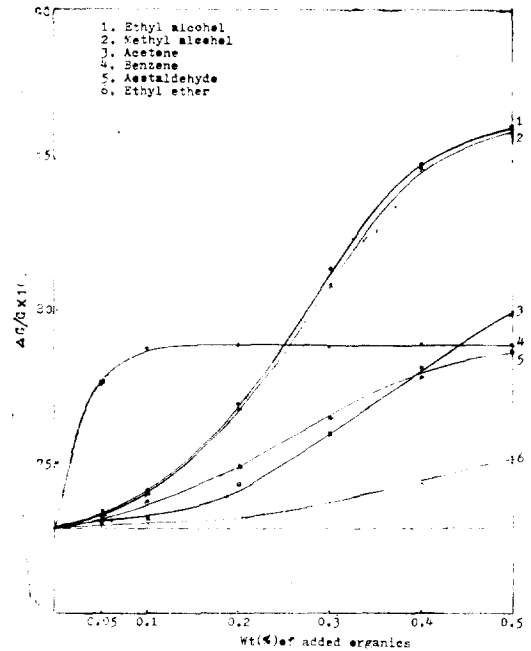


Fig. 11. Crushing rates with various Crushing aids.

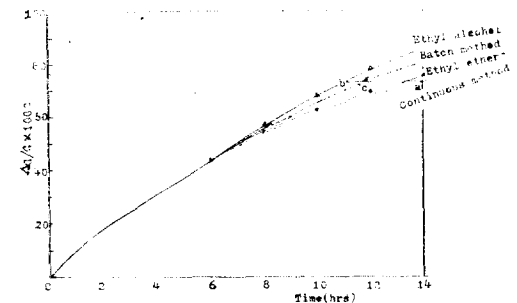


Fig. 12. Relationships between crushing rate and time for various crushing aids.

없고 아마도 吸着關係의 大小의 差로 推測된다. (앞로 더욱 研究할 豫定임) 따라서 benzene 境遇는 揮發性이 强하므로 吸着이 充分히 못된 것으로 看做된다. 大體의 效果는 ethyl alcohol > methyl alcohol > acetone > benzene > acetaldehyde > di-ethyl ether 의 順序이다. 따라서 代表的인 有機物 添加時의 粉碎되는 傾向을 Fig. 12에서 表示한다.

이 그림에서 6時間까지는 別差없고 粉碎時間이 8時間에 이르러 差가 난다. 더욱 所要되는 動力은 粉碎

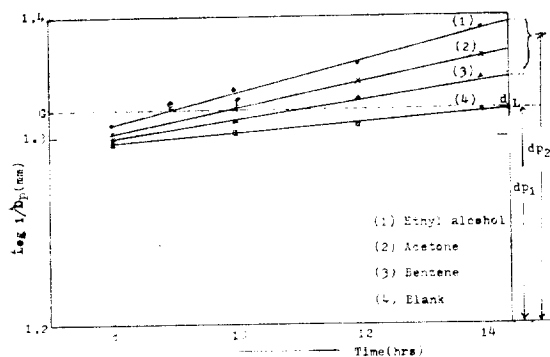


Fig. 13. Relationship between crushing size and crushing aids.

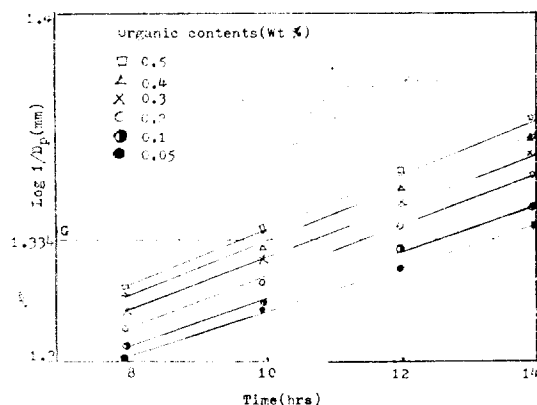


Fig. 16. Particle size by acetone.

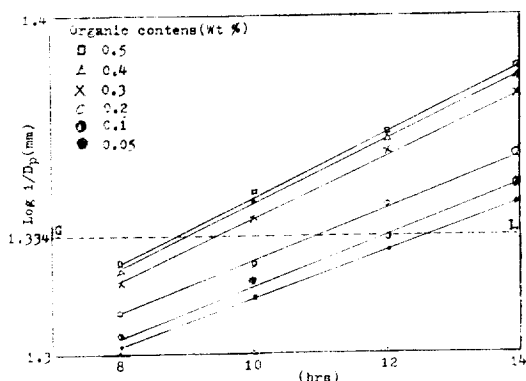


Fig. 14. Particle size by ethyl alcohol.

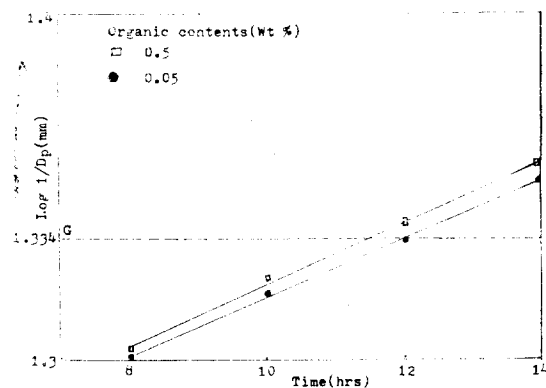


Fig. 17. Particle size by benzene.

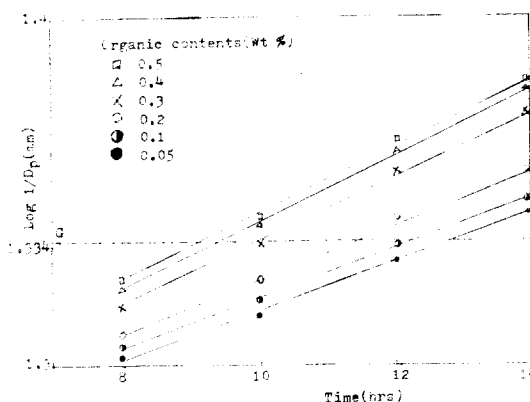


Fig. 15. Particle size by methyl alcohol.

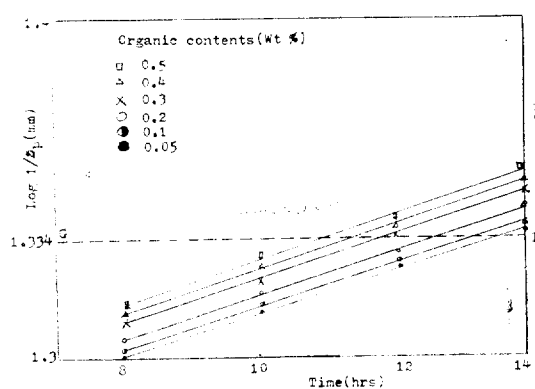


Fig. 18. Particle size by acetaldehyde.

率로 直接表示됨이 바람직하지만<sup>22,23)</sup> 이 實驗에서는 그 實驗結果 數의 處理가 一律性이 없었으므로 不得已  $D_p$ 의 減少傾向에 따라 우선 定性的인 傾向을 測定하고 定量的으로 같은 粉碎條件에서 같은 粉碎率을 보이는 動力數와 對照하여 算出하는 間接的인 方法<sup>24,25,26)</sup>을 採

하였다. 따라서 Fig. 13은 그 代表的인 境遇의  $D_p$ 가 減少되는 傾向을 表示한 것이다.

大體的으로 이 粉碎所用時間이  $\log(1/D_p)$ 에 比例함을 알고 Fig. 14~Fig. 19에서 各 有機物 添加時의  $D_p$ 變化를 表示하였다.

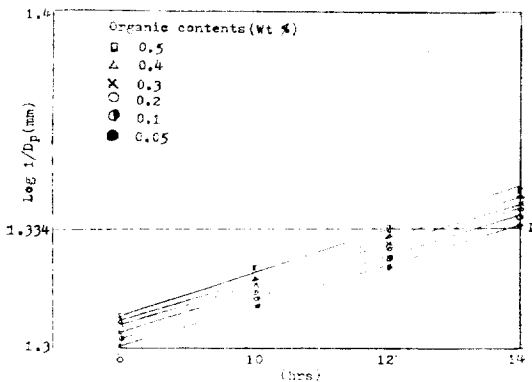


Fig. 19. Particle size by diethyl ether.

各種 粉碎助劑 使用時의 粉碎率이 粉碎助劑를 添加하지 않고 14時間 連續粉碎時의 粉碎率과 같아지는 時間差로  $P$ 를 본다면 Fig. 12에서  $ab$ ,  $ac$ 가 되고 또 Fig. 13에서 粉碎助劑를 添加하지 않는때의 直徑을  $Dp_1$ , 그리고 이에 該當하는 比較基準線  $G-L$ 를 이 點으로 取했다. 粉碎時間이 8~14時間 範圍에서는  $\log(1/Dp)$ 에 比例하므로 이 線들이  $G-L$ 線과 交叉되는 角度를  $\theta$ , 切片을  $de$ , 또는  $df$ 라고 하던 粉碎效果가 커짐에 따라  $\theta$ 와 切片은 커지고  $Dp_2$ 는 작아진다. 따라서 定性的인解釋에서

$$de = \cot \theta \left[ \log(1/Dp_2) - \log(1/Dp_1) \right] = \cot \theta \log \frac{Dp_1}{Dp_2}$$

따라서 節減되는 時間  $ab$ 는

$$ab = k \cdot \cot \theta \cdot \log \frac{Dp_1}{Dp_2} \text{ 이 된다.}$$

그리고  $P$ 는

$$P = 0.13 \times \text{節減된 時間數} \times \text{換算係數} \\ = 0.13 \times ab \times k \cdot \cot \theta \cdot \log \frac{Dp_1}{Dp_2} \text{ (kw-hr)}$$

$k$ 는 動力換算值을 表示하는데 이에 關하여는 各 粉碎能力에 따라 앞에 Fig. 14~19와 같이 粉碎助劑와 그 濃도에 좌우된다.

綜合的 見解에서 分析할 때 0.4~0.5%의 methyl-alcohol, ethyl-alcohol 境遇는 約 20% 程度의 動力節減을 나타내었고 回分式 粉碎일때보다 約 12% 程度의 效果가 좋았으며 效果가 없는 것은 di-ethyl ether였다. 故로 氣相接觸法으로 相當한 比率의 節減을 할수 있음을 알게 된다.

### 3-3 物性變化

添加된 有機物質이 完全 除去가 된다면 物性測定은 不必要하겠지만 實際 이 作業은 매우 困難하므로 除去하지 않는 境遇의 物性이 重要하다. cement는 構造物

原資材의 役割이 가장 重要하므로 clinker의 壓縮強度, 引張強度의 變化狀況 測定은 切實한 問類이다. 本來 cement의 養生期間은 2日, 7日, 30日<sup>27)</sup>로 時日經過後의 物性變化를 測定함이 原則이지만 여기에는 2日 程度로 하였다. 構造物로서는 壓縮強度가 보다 더 重要的 因子이며 그리고 引張強度도 必要하므로 兩物性을 測定하였다. Fig. 20과 Fig. 21은 有機物 添加時에 그 濃도에 따라 달라지는 兩物性의 變化 模樣을 表示

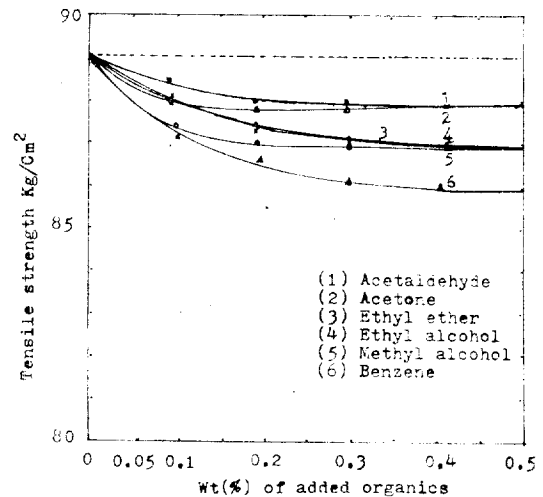


Fig. 20. Relationship between tensile strength and crushing aid content.

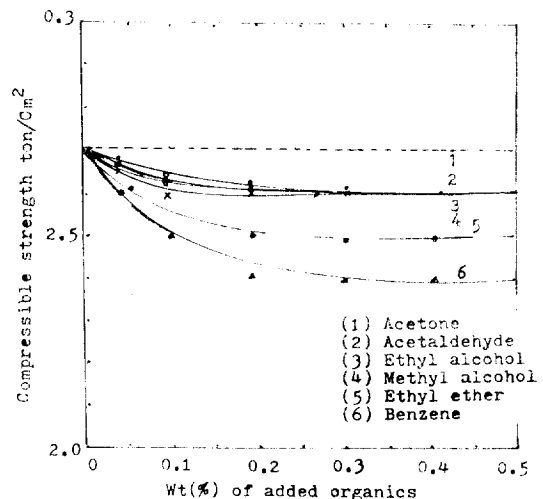


Fig. 21. Relationship between compressible strength and crushing aid content.



한 것이다. 大體的으로 添加後에도 역시 物性이 減少하는 傾向을 보이고 있다. 더욱 壓縮強度가 減少함에 따라 引張強度도 減少를 보였다. 또 沸點이 높은 有機物이 낮은 편보다 強度減少의 傾向을 보이지만 例外로 benzene 은 供給된 有機物이 限定된 吸着能에서 吸着치 못한 量이 물려 있기에 甚한 物性降下의 傾向을 보이는 것으로 推測된다.

實際 構造物 見地에서 論할 때 引張強度는 約 2% 程度 減少하였으나, 壓縮強度에서는 3.8% 程度 減少하였다. di-ethyl-ether 와 benzene 의 境遇는 더욱 激甚한 減少를 보인다.

#### 4. 結 論

以上の 研究實驗結果 다음과 같은 事項을 알 수 있었다.

1. 有機物 氣相接觸으로 全般的으로 粉碎效果는 向上되고 있으며 100°C 以下에서 沸點이 높은 物質이 더욱 效果의이고 添加濃度가 클수록 成果가 있었다.

2.  $P$  는 0.4~0.5%의 methyl-alcohol, ethyl-alcohol 가 어느程度 實用價値가 있다고 보나, 其他 物質은 그다 期待치 못한다.

3. benzene 만은 例外로 一律의인 物性を 論할 수가 없었다.

4. 物性變化에 있어서도 多少 그 強度가 떨어지지만 ether, benzene 의 境遇를 除外하고는 그 構造物로서 使用分野에 따라 支障이 없는 範圍內에서 上記한 alcohol 種類도 實際面에 適用 할수가 있는 것으로 판단된다.

이와같은 實驗結果로 보아 이 實驗이 cement 工業 工程開發의 一部分으로서 앞으로 研究해 볼 價値가 있다고 보고 이에 따르는 基礎事項에 力點을 둘 豫定이다.

#### 感 謝

이 實驗은 產學協同財團의 研究助成費로 研究하였음에 深甚한 謝意를 表하며 實驗은 本大學院生 金男紀, 金廣君의 積極 協助하에 實施되었음을 부기합니다.

#### Nomenclature

$D_B$  Ball diameter  
 $D_m$  Mill diameter  
 $D_p$  Mean-surface diameter

$G$  Sample-mass to crush  
 $\Delta G$  Crushing-mass on 325 mesh  
 $M$  Packing mass in Ball mill  
 $N_c$  Critical speed (r. p. m)  
 $P$  Saving power  
 $W_i$  Work index  
 $W_t$  Weight percentage  
 $V$  Void volume in Ball mill

#### References

1. Locher and Seebach, *Ind. Eng. Chem.*, **2-11** (1972), 190-197.
2. Kennedy and Mardulier, *Rock Prods.*, **48**(1941), 78.
3. Dawley, *Pit and Quarry*, **57** (1943), 36.
4. Perry, "Chem. Engineers Handbook," 4th Ed., 8-9, 8-22, McGraw-Hill, N. Y., 1964.
5. Ziegler, "Schriftenreihe der Zementindustrie," No. 19, Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf, Germany, 1956.
6. 구용회, 시멘트 심크지움 April, (1973) 대한요업학회 50-5
7. 水渡, 荒川, 粉碎比表面積 測定裝置, 京都大學化學研究所, 日本
8. Seebach, *Zem. Kalk Gips*, **11** (1967), 20.
9. Crushing Handbook (JAPAN), (1965) 340.
10. Seebach, *Zem. Kalk Gips*, **22** (1969) 202.
11. McCabe and smith, Unit Oper. of Chem, Eng., 819-836.
12. Coughill and De Vaney, Ball Mill Grinding, U. S. Bur. Mines Tech. Publ., (1937) 581.
13. 김병규, 성균논문집 No. 12. (1974) 15-24.
14. Crushing Handbook (JAPAN) (1965) 747.
15. Crushing Handbook (JAPAN) (1965) 751.
16. McCabe and smith Unit Oper. of Chem. Eng. 819-836.
17. Seebach, *Zem. Kalk Gips*, **20** (1969) 138-139.
18. Rumpf, *Chem. Ing. Tech.*, **30** (1967), 144-158.
19. Krupp, *AdVan. Colloid Interface Sci.*, **1**, (1967), 111-233.
20. Shneider, *Zem. Kalk Gips*, **22**, (1969), 193.
21. Fischer, *Zem. Kalk Gips* **20**, (1967) 138.
22. Bond & Wang : *Mining Eng.* (A. I. M. E), **187**,

- (1950) 871.
23. Bond. *Trans. A. I. M. E. Branch 4* (1952). 484.
24. Rittinger, "Lehrbuch der Aufbereitungskunde," Ernst and Korn, Berlin 1867.
25. Kick, "Das Gesetz der proportionalen Widerstands und seine Anwendung," Leipzig, 1885.
26. Bond, *Trans. Am. Inst. Mining Met. Engrs.*, **193**, (1952) 484.
27. 한국 공업규격 K.S.L. 5104, 5105, 5100.
28. *Crushing Handbook (JAPAN)* (1965), 746.