

Paddle 型 混合機에 依한 粉體混合에 關한 研究

金 丙 郁, 柳 萬 馨*

(1965. 3. 13 受 理)

A Study on the Mixing of Solid Particles by a Paddle-Type Mixer

Beung-Wook Kim and Man-Hyong Yoo
Dept. of Chem. Eng., Yonsei Univ.

The basic properties about mixing of solid particles and the operating conditions of a paddle-type mixer were studied with four kinds of paddles of 25×14 , 25×17 , 25×20 , and 25×23 [cm \times cm] over the three two-component systems of the powder samples, Na_2CO_3 anhydrous and sand. The three kinds of particles used were sized by ball-mill to 0.2370, 0.3985, and 0.6950 mm in their average diameters.

Data from the experiments were compared and discussed to be resulted as follows.

The number of rotation and the degree of mixing increased with the rotational speed, but contrary was the mixing time; the optimum ratio of the height of the powder charged to that of paddle was observed to be 23/25; the optimum paddle dimension was 25cm in height and 21. width, not withstanding the particles sized; the degree of mixing kept increasing with the particle size, but decreasing with the mixing time and the number of rotation.

I. 緒 論

粉體混合에 있어서, 混合裝置, 混合機構, 混合操作條件 등에 關한 研究는 그리 많지 않다.

混合裝置에는 水平圓筒型, 二重圓錐型, V型 混合機, ribbon 型 混合機 등이 널리 使用되고 있지만, 粉體物性의 知識조차 아직 不充分한 狀態이며, 그의 作業條件 등은 經驗的으로 定하여지는 경우가 많았다. 또한 그의 混合機構 등도 定量的인 解析은 行하여지지 않고있다.

筆者는, 本 實驗에서, 三種의 서로 다른, 比較的 큰 粒徑을 가진 粉體試料, Na_2CO_3 -Sand 의 二成分系를 使用하여, paddle 混合機에 依한 粉體混合에 있어서, 粉體의 粒徑, paddle의 回轉速度, paddle의 크기, 粉體裝入率을 變化시켜서, 混合速度 및 混合度에 이돌이 미치는 影響을 檢討하고, 混合特性과 最適 混合 操作

條件 등을 求할 目的으로 研究를 行하였다.

本 研究實驗에 있어서, 混合槽 內의 任意의 點에서 의 混合程度를 測定키 위하여, 그 點의 試料을 spot sampling 하여 0.2-N H_2SO_4 로 定量하였으며, 實驗裝置와 spot sampling 器具는 直接 製作하였다.

II. 實驗裝置 및 方法

本 研究實驗에서 使用한 實驗裝置 및 器具를 大別하면, 試料 粉碎用 ball mill, 粉體의 大小 選定用 Tyler-standard sieve, spot sampling 用 二重 brass 管, sieve shaker, paddle 混合機 등이다. 裝置와 그 크기는 Fig. 1., Table 1 에 보였다.

Paddle 混合機는, motor의 回轉速度를 調節하기 위하여 복잡한 傳力 裝置를 하였다 (Fig 1 參照).

* 延世大學校 理工大學 化學工學科

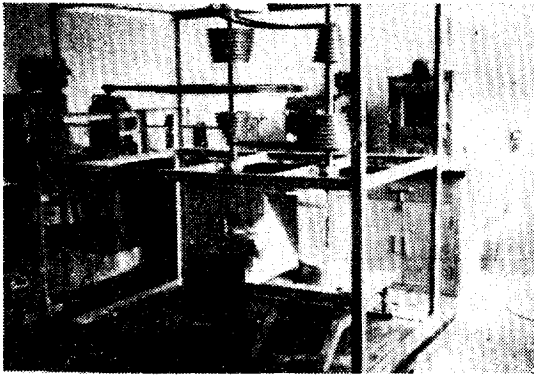


Fig. 1. Paddle Mixer

Table 1. Dimensions of the Paddle Mixer

Mixing Bessel	Dimensions[mm]
Diameter	250
Height	300
Thickness	4
Volume	490[cc]
Paddle	Dimensions[mm]
Length	250
Width	140
Width	170
Width	200
Width	230
Thickness	2

混合槽(mixing vessel)는 圓筒型 유리製品을 使用하에 粉體의 混合 狀態를 直接 觀察할 수 있도록 하였으며, 또한 混合 槽에는 手動式升降機를 附設하여 槽를 任意로 上下升降시킬 수 있도록 하였다.

Paddle의 回轉速度는, V-belt에 依해서 30, 55, 95, 155 RPM 等 四種의 回轉速度만을 使用하였다.

粉體試料로는 無水炭酸소다(Na_2CO_3)와 모래의 二成分系를 攪拌로 充分히 粉碎한 후 Tyler standard sieve로 $-24/+32$, $-32/+48$, $-48/+80$ mesh의 三種으로 分離하여 各各 110°C 에서 充分히 乾燥하여 使用하였다.

實驗은 混合機의 運轉을 始作하여 stop watch로 時刻을 읽고, V-belt로 回轉速度를 調節하였다.

供試粉體量은 Na_2CO_3 2,000 gr 對 모래 2,500 gr으로, Na_2CO_3 가 約 44 重量 % 되게 하였고, 裝入方法은 paddle을 中心으로 左右兩面에 各各 裝入하였다. (Fig. 2 參照).

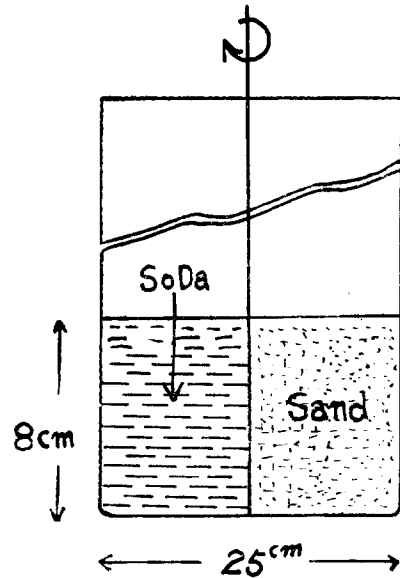


Fig. 2. Feeding Method

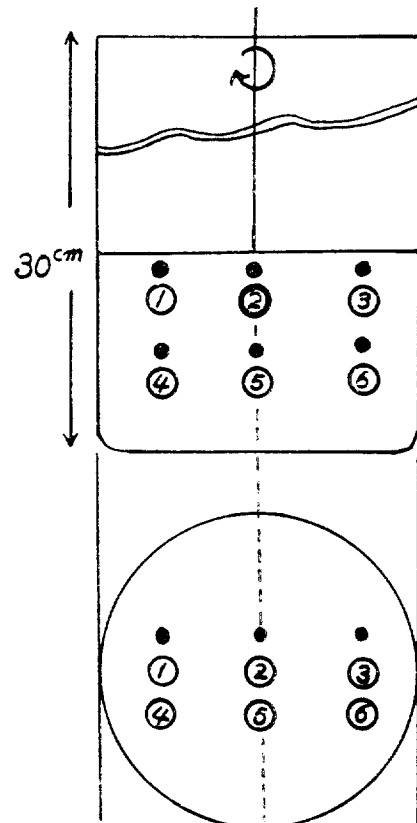


Fig. 3. Spot Sampling Points

一定時間 混合機를 運轉한 후 混合槽內的 6個所 (Fig. 3)에서 spot sampling 한 混合試料 0.5gr 을 秤量 하여, 可成分인 無水炭酸소다의 濃度를 H_2SO_4 로 定量하여 混合程度를 濃度로 求하였다. 또한 槽合機의 混合槽 全體에서의 混合度를, 完全混合이 되었다고 볼 때의 Na_2CO_3 의 濃度 C_0 에 對하여 標準偏差 σ 로 表示하였다.

III. 實驗結果 및 考察

1. 混合槽 內的 混合狀態

一定時間, θ , 동안 paddle 을 操作한 후, 混合槽의 6個所로부터 採取한 粉體試料로부터 Na_2CO_3 의 濃度 C_i 를 求하여 混合度를 測定하였다. 이 濃度 C_i 의 經時變化와 總回轉數 $N\theta$ 와의 關係를 Fig. 4, Fig. 5에 表示하였다. 圖表 中の 水平點線은 C_0 , 即 完全混合(理論的으로) 時의 Na_2CO_3 의 濃度를 表示한다.

Spot sampling 한 場所에 따라서 처음에는 混合程度에 많은 差異를 나타내었으나, 어느 時間 동안 混合操作을 進行하면 自體로서는 終末混合에 이르고 그 以上 混合이 되지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 4와 Fig 5는 paddle의 크기가 다를 뿐 모든 操作條件은 같을 때의 것이다.

Fig. 4는 混合槽內的 ④와 ⑤ 場所에서 混合이 不進함을 보여준다. 이것은 paddle의 폭(14cm)이 槽의 直徑(25cm)에 비하여 너무 적어서 槽의 器壁에서는 paddle의 影響이 적었음을 나타낸다. Fig. 5는 Fig. 4보다 paddle의 폭이 큰 경우(20cm)의 混合狀態를 나타낸다. 이 때는 混合槽 內的 ④, ⑤의 位置에서도 混合이 잘 이루어져, 全體의으로 混合이 良好함을 알 수 있다.

2. 混合曲線

相異한 回轉速度, N RPM,에 對한 經時混合度를, 混合槽 全體의 混合度 標準偏差 σ 對 混合時間 θ 로 semilog paper 에 plot 한 結果가 Fig.6이다.

時間이 經過함에 따라서 標準偏差 σ 는 減少하여, 어느 時間 θ_s 에서 混合程度는 最良의 混合狀態(σ 가 σ_s 인 狀態)에 到達한다. 그 以後에서는, 標準偏差 σ 值는, 어느 범위에서 若簡은 增加하지만, 거의 差가 없음으로 水平直線으로 表示할 수 있다(Fig. 6).

回轉速度가 클수록 標準偏差 σ 는 反比例로 急激히

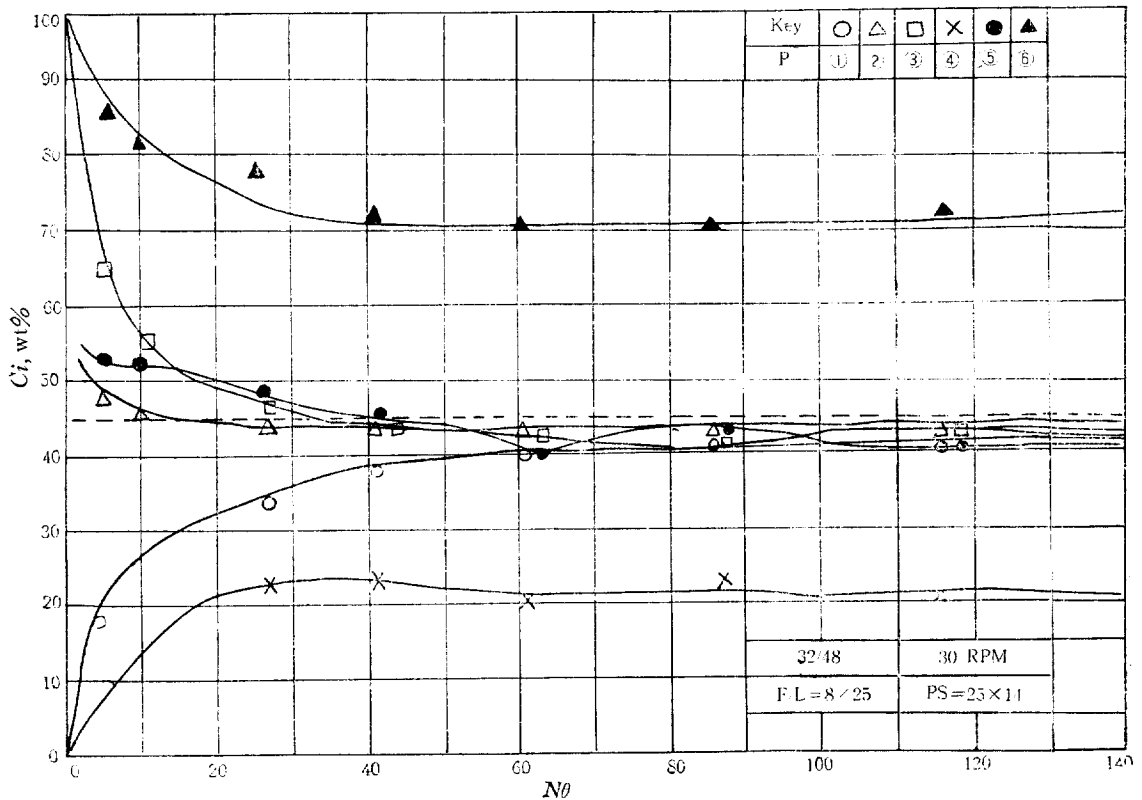


Fig 4. Correlation of C_i to Cumulative Rotation No, $N\theta$

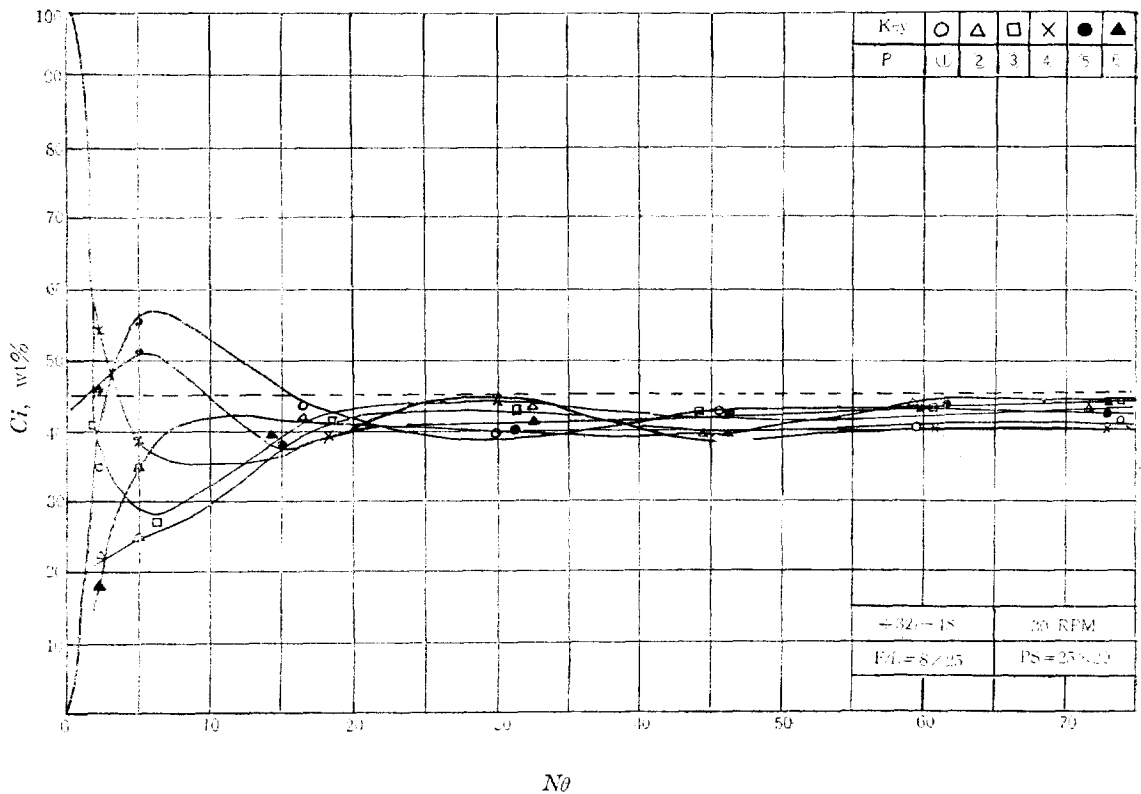


Fig. 5. Correlation of C_i to Cumulative Rotation No. $N\theta$

減少하여, 빠른 시간에 σ_s 에到達한다. 그러나 回轉速度가 클수록 σ_s 의 値가 크므로 짧은 시간에 그 自體로써의 終末混合은 이루어지지만, 全體의인 混合은 不良하며, 回轉速度가 적으면 最良混合에 이르는 時間은 길어져나 全體의인 混合은 良好한 結果가 된다. 또한 回

轉速度 85, 155RPM에서는 σ_s 의 値가 서로 거의 一致하므로, 그 以上の 回轉速度에서도 σ_s 의 値가 近似하게 될 것이 豫想된다.

3. 混合速度 및 混合度에 미치는 回轉速度의 影響

最良의 混合狀態(混合度 σ 가 最少值 σ_s 가 된 狀態)에 到達할 때까지의 時間 θ_s , 總回轉數 $N\theta_s$, 그리고 그때의 最良混合度 σ_s 를 各粉體의 크기에 따라 求하여 (Table. 2), 이를 Fig. 7에 圖示하였다.

Table 2. Effect of the Rotational Speed on $N\theta_s$, θ_s and σ_s .

Mesh D	-24/+32			-32/+48			-48/+80		
	θ_s	$N\theta_s$	σ_s	θ_s	$N\theta_s$	σ_s	θ_s	$N\theta_s$	σ_s
30	110	55	17.2	125	63	14.5	130	65	14.2
55	70	64	18.9	80	74	15.0	90	82	14.4
95	45	71	20.1	56	89	16.0	60	95	15.9
155	43	111	20.2	54	140	16.7	58	150	16.1

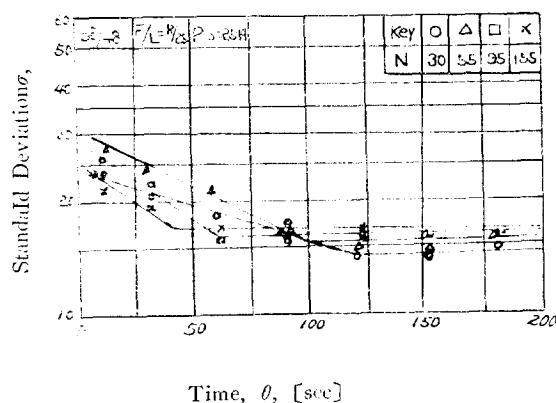


Fig. 6. Mixing Curves of Paddle Mixer.

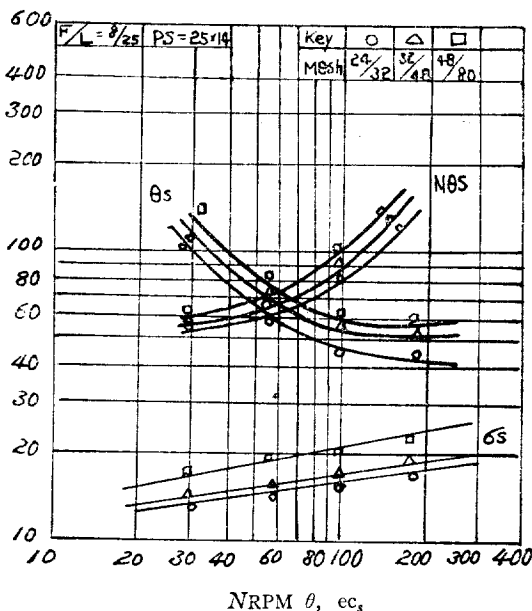


Fig. 7. Effect of the Rotational speed, N , on the $N\theta_s$, θ_s , σ_s

그림에서 보는 바와 같이 總回轉數 $N\theta_s$ 는 粉體의 크기三種에 다같이 N 가 增加함에 따라서 增加하며, N 의 어느 범위(20~30RPM)에서는 거의 一定하게 됨을 알 수 있다. 또한 粒徑이 큰 粉體일수록 $N\theta_s$ 가 적은 値를 갖는데, 이는 粉體가 클수록 自體로써 終末混合에 到達하는데 要하는 時間 θ_s 이 적게 걸림을 表示한다. 그러나 粉體의 어느 粒徑 범위에서는 $N\theta_s$ 가 一定하게 유지될 것이 豫測된다. 또한 最良混合狀態를 얻는데 要하는 時間 θ_s 은 粉體의 크기三種에 다같이 回轉速度 N 의 增大와 反對로 減少되나, 粉體가 클수록 θ_s 가 적게 걸린다.

또 最良混合狀態에 到達하였을 때의 混合度, 即 標準偏差 σ_s 은 어느 粉體에 대하여서나 다같이 N 가 增加함에 따라서 直線的으로 增加한다. 이는 N 가 클수록 全體의인 混合이 不良함을 意味한다. 그리고 粉體가 클수록 역시 最良混合이 좋지 못하다.

4. 混合速度 및 混合度에 미치는 粉體裝入率의 影響

混合曲線을 作成하여 구한, 粉體의 크기에 따른 θ_s , $N\theta_s$, σ_s 의 値(Table 3)를 Figs 8, 9에 圖示하였다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 粉體의 裝入量이 많을수록 最良의 混合狀態에 到達하는 時間은 길어진다. 한편 Fig. 9에서는 直線的으로 最良混合度 σ_s 가 減少한다. 故로 粉體裝入量이 paddle의 높이 25cm以內의 범위일 때, 混合時間은 길어지지만, 全體의인 混合은 良好하다. 그러나 paddle의 높이(25cm) 以上으로 裝入해

Table 3. Effect of F/L on $N\theta_s$, θ_s , and σ_s

Mesh	D	-24/+32			-32/+48			-48/+80		
		θ_s sec	$N\theta_s$	σ_s	θ_s sec	$N\theta_s$	σ_s	θ_s sec	$N\theta_s$	σ_s
5/25	25	23	14.4	30	27	14.2	40	37	12.7	
8/25	60	55	7.7	64	59	7.2	83	76	6.2	
11/25	80	73	4.8	88	81	4.4	110	100	3.4	
15/25	93	85	3.2	107	98	2.9	125	115	2.6	

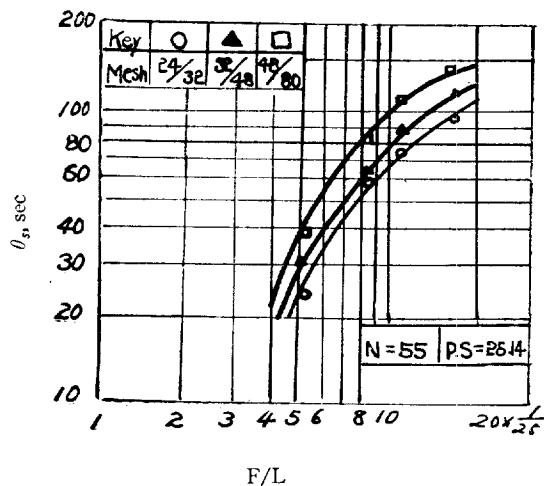


Fig. 8. Effect of the Ratio of the Charge to Height, F/L , on the Mixing Time θ_s

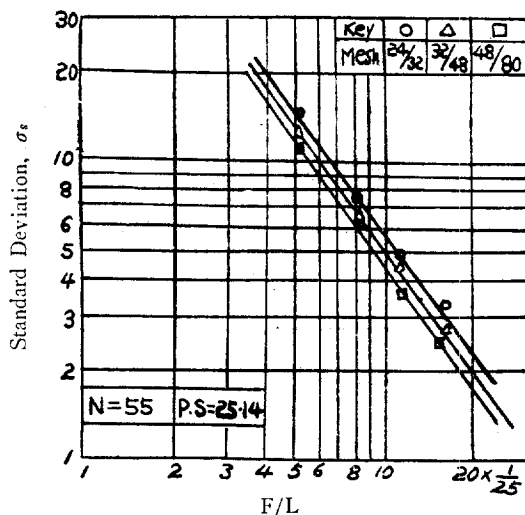


Fig. 9. Effect of the Ratio of the Charge to Height F/L , on the Best Mixing State

서는 안된다.

結果의으로 많은 量을 取扱하는 편이 全體의 混合이 良好한데, 이는 混合槽의 低部器壁에서 생기는 dead corner가 全體에 比해서 極少하기 때문이다.

5. 混合速度 및 混合度에 미치는 粉體粒徑의 影響

混合度는 粉體의 粒徑에 따라서 相異하다.

回轉速度 30PRM, 粉體裝入率 F/L 이 8/25, paddle의 크기가 25×14cm 일 때, 平均粒徑, d_{av} mm, 이 相異한 三種의 粉體에 對하여 實驗한 結果(Table 4)를 Fig. 10에 나타내었다.

Table 4. Effect of the Particle Size, d_{av} , on θ_s , $N\theta_s$, and σ_s

d_{av}	θ_s	$N\theta_s$	σ_s	P. S = 25 × 14 cm/cm F/L = 8/25 cm/cm N = 30 PRM
0.2376	130	65	14.2	
0.3985	125	63	14.5	
0.6050	110	55	17.2	

總回轉數 $N\theta_s$ 와 混合時間 θ_s 은 粉體의 平均粒徑 0.25mm 以下에서 最高이며, 거의 一定한 値를 가진다. 그 以上の 平均粒徑에서는 若干씩 減少한다. 混合度는 粒徑이 커짐에 따라서 增加한다. 即, 粒徑이 클수록 全體의 混合이 不良하다. 粒徑이 적을 경우에는 좋은 混合狀態가 되지만 좀 긴 時間을 要하는데 比해서, 粒徑

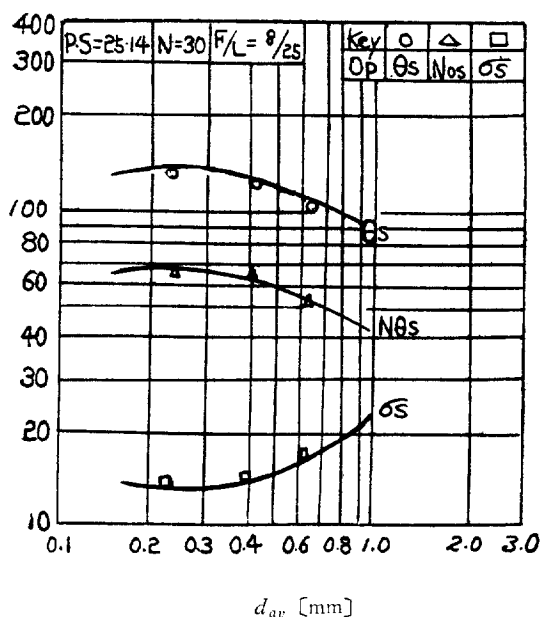


Fig. 10. Effect of the Particle Size, d_{av} , on the $N\theta_s$, θ_s , and σ_s

이 클 때에는 比較的 짧은 時間에 終末混合에 이르나 混合狀態는 不良함을 알 수 있다.

6. 混合速度 및 混合度에 미치는 Paddle 크기의 影響

混合速度 및 混合度는 paddle의 크기에 따라서 다르다.

回轉速度 30 PRM, 粉體裝入率 F/L 이 8/25, 粉體의 크기 -32/+48 mesh 등의 一定 條件下에서 實驗한 data (Table 5)를 圖示하 것이 Fig. 11이다.

Table 5. θ_s , $N\theta_s$, and σ_s from the Various Paddle Width.

P. S	θ_s sec	$N\theta_s$	σ_s	N = 30 RPM -32/+48 mesh F/L = 8/25
25 × 14	125	62.5	14.2	
25 × 17	70	35.0	7.5	
25 × 20	46	23.0	3.5	
25 × 25	60	30.0	3.7	

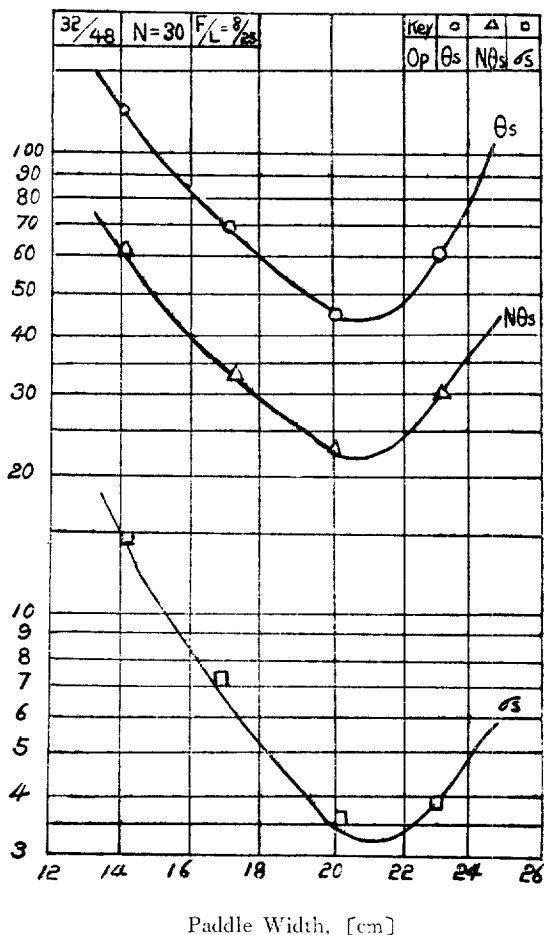


Fig. 11. Effect of the Paddle Width on the $N\theta_s$, θ_s , and σ_s

Paddle의 總回轉數 $N\theta$, 混合時間 θ , 및 混合度 σ , 는 다같이 paddle의 폭이 21cm 일 때 그들의 極少値가 存在하며, 全體的인 混合度 標準偏差 σ , 는 그 값이 3.2 이다. 故로 paddle의 폭이 21cm 일 때가 最良의 混合條件이 된다.

IV. 結 論

Paddle 混合機의 混合特性和 操作條件을 實驗을 통하여 調査하여 보았다.

供試粉體는 比較的 精密치는 않지만 三種의 粒徑범위를 가진 無水炭酸소다와 모래의 二成分系를 選擇하여 混合實驗 結果 다음의 結論을 얻었다.

- 1) 回轉速度가 增加할수록 粉體粒徑에 關係 없이 paddle의 總回轉數 $N\theta$, 와 最良混合度 σ , 는 增加하고, 混合時間 θ , 는 減少한다.
- 2) 粉體裝入量은 paddle의 높이 限度 內에서 最大量을 裝入하는 것이 混合時間이 좀 많이 걸리지만 混合狀態가 좋다.
- 3) 粉體粒徑이 적을수록 混合時間은 많이 걸리지만 混合狀態가 좋다. 即 粉體粒徑이 0.3mm 일 때 混合狀態가 第一 좋은 結果가 된다.
- 4) Paddle의 크기가 25×21cm 일 때 混合時間 θ , 總回轉數 $N\theta$, 混合度 σ , 가 모두 極少値를 가지므로 가장 좋은 paddle의 크기는 높이가 25cm, 폭이 21cm 이다.

記 號 說 明

- C_0 : Cocentration of Na_2CO_3 in the mixture at perfcet mixing stage [wt%]
 C_i : Concentration of Na_2CO_3 in the spot samples [wt%]
 F : Real height of the powder charged [cm]
 L : Real height of the paddle [cm]
 N : Rotational speed of the paddle [RPM]
 $P.S$: Paddle size (height×width) [cm×cm]
 θ : Mixing time [sec]
 σ : Standard deviation or degree of mixing

參 考 文 獻

1. Gray J.B.; Chem. Eng. Progr, 25 552 (Jan, 1957)
2. John J. Fisher; Chem. Eng., 67 107 (Aug. 8, 1960)
3. 白川宇吉., 矢野武夫, 佐納良樹, 富永徹; 化學工學, Vol. 4, No. 4, 219 (April, 1960)
4. 山口吉郎, 大山義年, 龜井三郎; 粉碎, 混合及 分離, 固體輸送, 共立社, 八版(昭和 27 年)
5. Weiden Banm, S.S., Bonilla, C.F; Chem. Eng. Prog, 50 27 (Jan. 1955)
6. J. H. Rushton, Chem. Eng. Prog., 49 167(1953)