

金網充填 流動層에 관한 分級研究

姜 雄 基* · 鄭 雲 洙** · 金 薄 滿*

Segregation Study on a Screen Packed Fluidized Bed

W. K. Kang* · W. S. Jeoung** · B. H. Kim*

*Research Institute of Mining and Metallurgy

**Dept. of Chem. Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

The segregation of a larger and smaller particles in a gas solid fluidized bed packed with open ended screen cylinders was studied with Han River beach sand.

The overall degree of segregation was defined as the difference in the weight percent of smaller particles between the samples of top and bottom of the bed, while the local degree of segregation was defined as the local weight percent of the smaller particles.

The experiment was started after putting larger particles on the top of the smaller one. The local and the overall degree of segregations as a function of bed height were obtained for the various gas flow rates, sizes and times.

As a result, the screen-cylinder packed fluidized bed could be effectively used for the particle segregation. Also, the higher bed height gave better segregation and the segregation was most effective at 1.4 times gas flow rate of the minimum fluidization.

緒 論

流動層에서 層高가 높은 位置일수록 流動化 粒子의 比重이 가볍고 크기가 적어진다. 이와 같은 現象을 分級(Segregation or Stratification)이라 하는데, 이러한 現象을 利用하여 最近에 流動層을 分級裝置로 使用하기 爲한 研究가 많이 行하여지고 있다. 이와 같은 分級 現象은 氣固系보다 粒子混合이 적은 液固系에서 더욱 잘 나타난다.

이러한 流動層에서의 分級現象은 1950 년에 Verschoor¹⁾가 液固系에서 -100 mesh ~ +120 mesh 의 모래를 試料로 研究한 것이 처음이었는데 그는 液固系에서는 이와 같은 적은 粒子徑의 差異에서도 分級이 일어나기에 충분함을 지적하였고, 1953 년에 液固系에서 보다 體系的으로 粒子의 크기, 比重 및 流動層 變化에 對한 分級 影響을 Andrien²⁾이 研究하였다. 이때 試料는 -35 mesh ~ +48 mesh 였고, 層高는 壓力差異로 決定하였다.

氣固系에서는 1950 년에 Fleming³⁾이 比重이 다르고 粒子分布가 있는 soda ash 와 tripolyphosphate 를 試料로 하여 研究하고 分級이 流動化 初期정도의 적은 流速에서 잘 일어남을 指摘하고 層高에도 影響이 있음을 밝혔다.

流動層 内部에 Baffle 을 設置한 경우의 分級에 對하여서는 1952 년에 Hall and Crumely⁴⁾가 研究하여, 流動層 內에 Baffle 과 같은 存在物이 流動化 操業을 쉽게 할 뿐만 아니라 特히 粒子分級을 促進시키는 것을 指摘하였다.

그 後 流動層에 充填物이나 Baffle 을 넣는 경우의 分級에 關한 研究가 相當히 進展되었다. 더욱이 自體 占有容積이 5% 以下로 적으면서 channeling 이나 slugging 現象을 最大로 減小시켜 層高와 塔徑의 比를 크게 할 수 있는 金網充填流動層(screen packed fluidized bed)에서의 分級은 1963 년에 Sutherland & Wong⁵⁾이 研究發表하였고, 이 實驗結果를 1965 년에 Cape & Sutherland⁶⁾가 germanium 鎳 分離에 應用하여 좋은 成果를 얻었다. 이때 原鎳 分離에는 比重이 粒子徑보다 分

*金屬燃料綜合研究所

**延世大 理工大 化工科

級에 더 좋은 因子임을 지적하였다.

本 研究는 氣固系의 流動層에서 分級을 單一物質로서 粒徑단이 다른 粉體의 경우에 對하여 金網圓筒充填 流動層(screen cylinder packed fluidized bed)에서 層高마다의 粒子分布 時間, 流量에 對한 變化로 分級의 特性을 究明하였다.

實驗은 다음 세가지 parameter에 對하여 分級現象을 5 cm 마다의 層高變化에 軸方向의 粒子分布를 가지고 定量的으로 考察하였다.

첫째: 流動化 氣體의 流速變化

둘째: 流動化 固體粒子徑의 變化

셋째: 流動化 操業時間에 對한 分級度變化

이와 같은 parameter의 分級에 對한 影響을 考察하므로써 氣固系의 充填流動層에서의 分級을 究明하였다.

流動化에 있어서 液固系에서는 氣泡發生이 比較的의 均一하고, 層高膨脹도 따라서 均一하게 되어 相當히 安定된 狀態에서의 粒子와 流體 사이에 運動이 이루어지리라고 생각되나 氣固系에서는 流動層 內의 流動化 粒子의 特性이 매우 달라서 複雜한 流動粒子和 氣體의 運動量關係를 究明하지 않을 수 없을 것이다. 따라서 分級은 粒子個個의 運動量 差異로 行하여지는 것이므로 分級現象을 研究하는 것은 流動層 研究에 많은 도움이 되리라 생각된다.

實驗裝置 및 方法

本 研究에서 使用한 流動 column으로는 內徑이 4.5 cm 이고, 높이가 120 cm 인 pyrex glass tube를 使用하였다.

實驗裝置는 Fig. 1에 圖示한 바와 같이 流動 column에 높이 5 cm 마다 sampling tap 을 만들어 試料를 aspirator로 採取하여 各 層高마다의 粒子組成을 測定할 수 있도록 하였다.

充填物은 8 mesh 정도의 aluminum製 screen 으로 兩端開放式 圓筒型(open ended cylindrical packing)으로 直徑 1cm, 길이 1cm 인 것을 使用하였다.

流動化 氣體는 空氣를 使用하였다. 實驗은 試料 細粒子(fine particle)를 먼저 流動層 下半部에 넣고, 粗粒子(coarse particle)는 그 上半部에 500 cm³씩 넣어서 行하였다.

流動層에 送入되는 壓縮空氣의 流速은 orifice로 測定하였다.

試料는 漢江 江邊 모래를 充分히 sieving 하여, 本 流動層에서 elutriation시켜 比重이 다른 것과 dust particle을 제거하였다. 使用된 試料는 Table 1 과 같다.

화학공학 제7권 제3호 1969년 9월

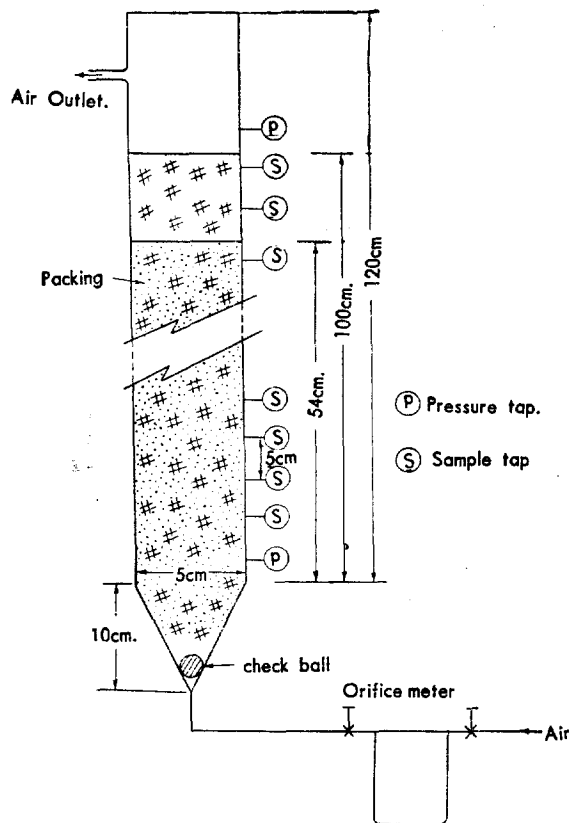


Fig. 1. Experimental Apparatus

Table 1: Sample Size and Properties

Particle size (mesh)	Particle size (micron)	Bulk density (g/cm ³)
28~35	590~420	1.28
35~48	420~297	1.22
48~60	297~250	1.20
60~65	250~210	1.18
65~80	210~177	1.12
80~100	177~149	1.09
100~120	149~125	1.06

實驗結果 및 考察

本 實驗에서 試料中 細粒子는 流動層 下半部에 넣고 -28 mesh~+38 mesh의 粗粒子는 그 上半部에 넣어서 實驗을 行하였으므로 肉眼으로도 쉽게 細粒子의 上昇運動과 粗粒子의 下降運動을 觀察할 수가 있었다.

分級度(local degree of segregation)는 任意時間, 任意位置에서 採取된 試料 中の 細粒子의 重量 百分率로 定

義하였으며, 流動 層의 最上端과 最下端의 分級度로부터 裝置 全體의 任意時間의 總括 分級度(overall degree of segregation)를 便宜上 다음과 같이 定義하였다.

local degree of segregation (η_{local})%

$$= \frac{S}{S+L} \times 100$$

overall degree of segregation(η_{over})%

$$= \left[\left(\frac{S}{S+L} \right)_{top} - \left(\frac{S}{S+L} \right)_{Bottom} \right] \times 100$$

以上과 같이 定義한 分級度를 가지고 實驗 data를 各層高마다 表示하였고, 또 總括 分級도와 各 parameter를 軸으로 圖示하였다.

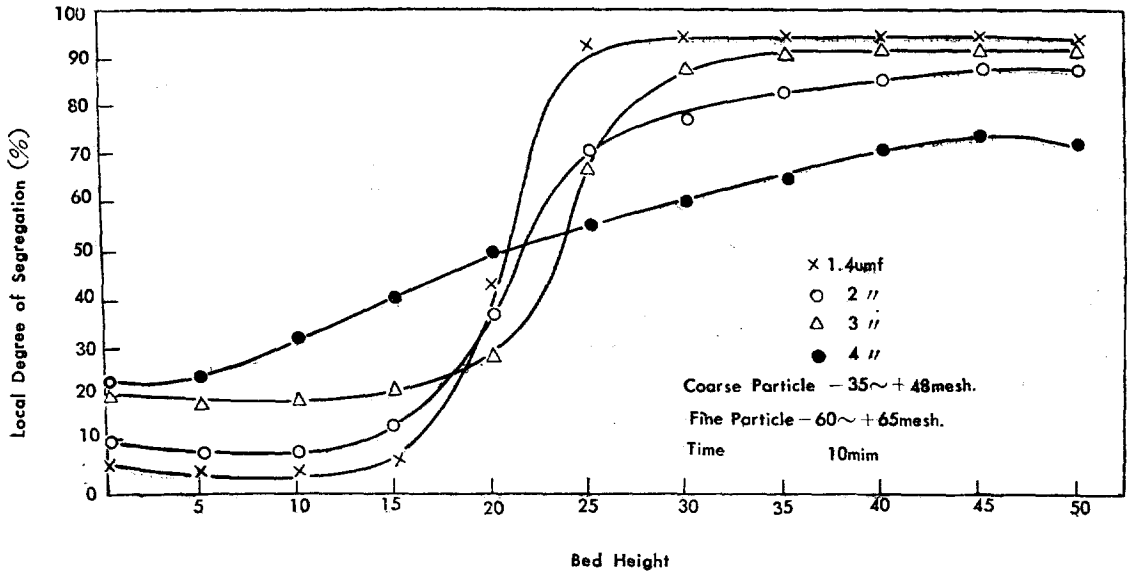


Fig. 2. Local Degree of Segregation vs. Bed Height as a Function of Air Flow Rate(I)

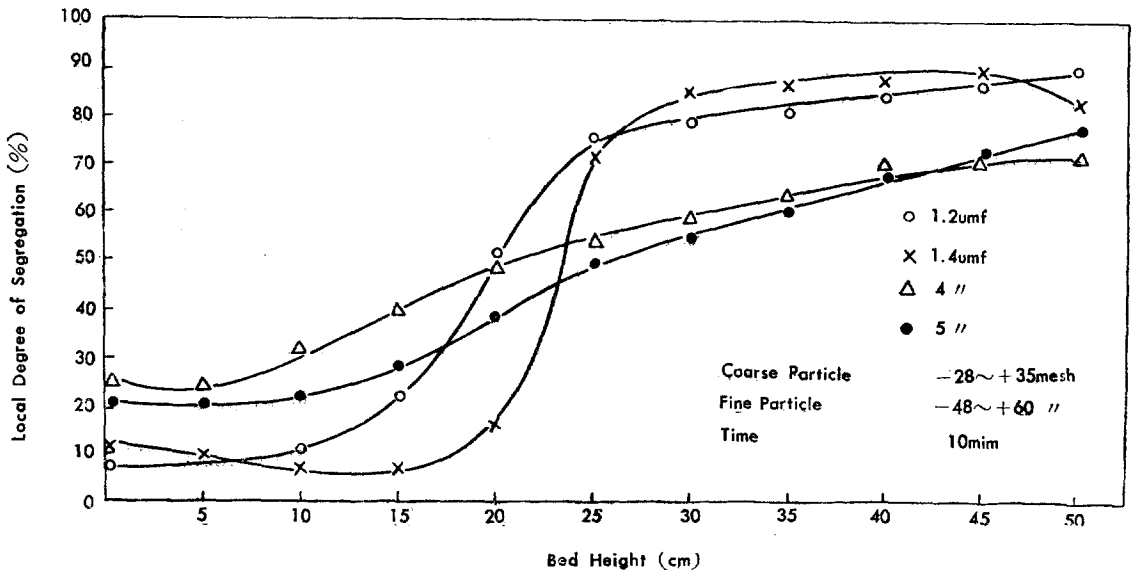


Fig. 3. Local Degree of Segregation vs. Bed Height as a Function of Air Flow Rate(II)

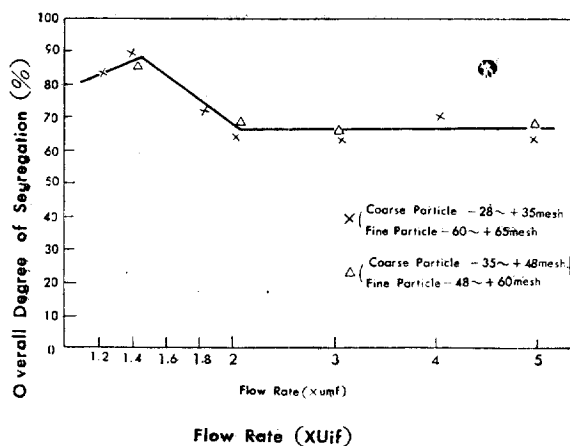


Fig. 4. Overall degree of segregation vs. flow rate

a) 流速에 따른 分級度の變化

流動化 流速은 本 研究實驗에서 粒子徑의 分布가 다른 두 종류의 粒子를 流動層 內에 넣었으므로 壓力差의 變化를 보고 流動化 初期流速(Uif)을 求하여 任意의 流速(U)과의 比 U/U_{if} 로 나타내었다.

流速 變化를 시킨 分級實驗의 結果를 Fig. 2~4에 보았다. Fig. 4에서 알 수 있는 것은 流速이 流動化 初期流速의 1.4 배라는 總括 分級도가 增加하였다가 이 點을 넘으면 低下됨을 알 수 있었는데 이것은 分級이 流速에 따른 粒子混合과 分級이 되어지는 相互關係에서 기인된 것이다. 即 氣固系 流動層에서 粒子混合은 流動化 初期流速에서 最小이고, 流速이 증가되면 급격히 粒子混

합이 커지기 때문에 이때 粒子分級은 減小되는 것이다. 또한 本 研究 實驗에서는 金網充填物의 充填으로 말미암아 比較의 넓은 流速 範圍에서도 粒子流動과 流動化氣體流動을 均一하게 維持시킬 수 있었으므로 U/U_{if} 가 상당히 커진 範圍에서도 $\eta_{overall}$ 의 값이 이 研究의 實驗 範圍에서는 極端的으로 低下되는 現象을 볼 수가 없었다.

層高 5 cm 마다에 여러 流速에서 圖示된 結果에서 어떤 경우에나 流動化 初期附近, 即 U/U_{if} 가 1.2~1.4에서 分級도가 最大임을 알 수 있었다.

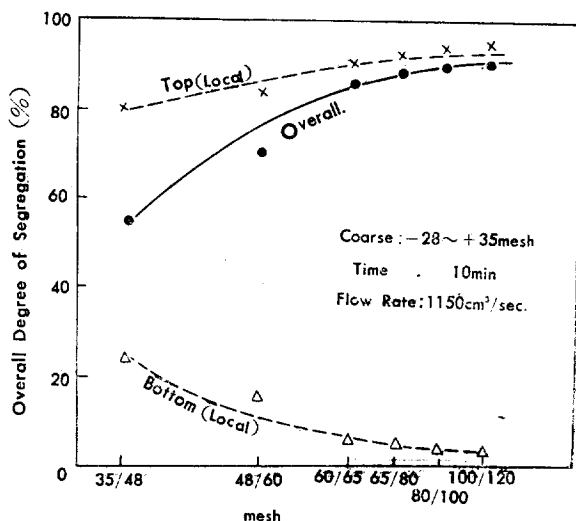


Fig. 6. Overall Degree of Segregation vs. Particle Size

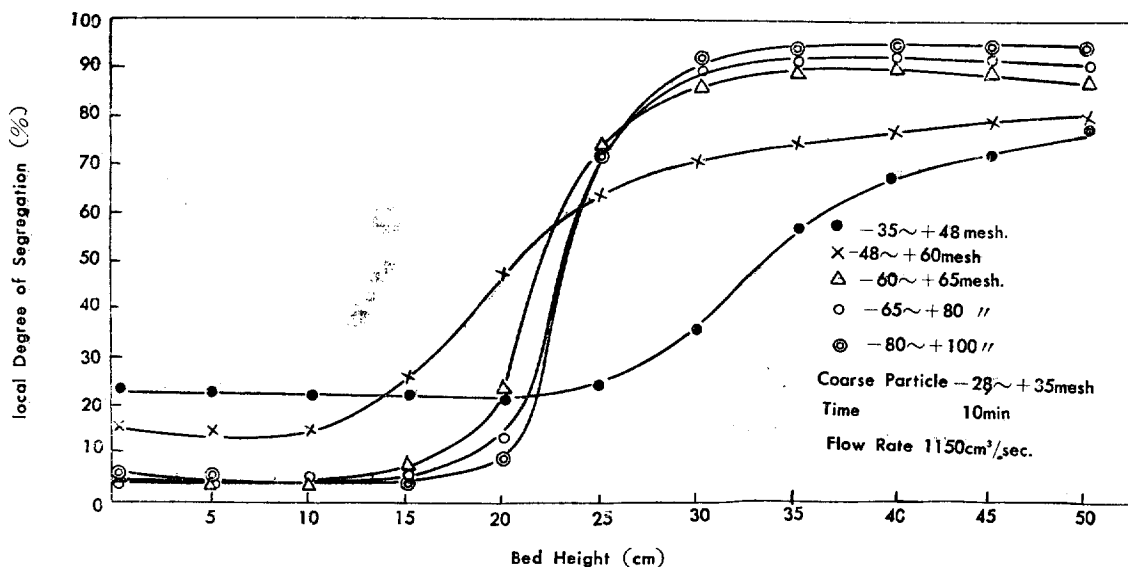


Fig. 5. Local Degree of Segregation vs. Bed Height as a Function of Particle Size of Fine Particles.

b) 粒子 크기에 따른 分級度の 變化

Fig. 5.6은 分級도가 極大值를 가진 $U/U_{if} \leq 1.4$ 의 流速 領域에서 粗粒子로 $-28 \sim +35$ mesh를 擇하고 細粒子로 35 mesh부터 100 mesh까지 粒子 크기를 變化시켜 얻은 結果이다.

이 實驗結果에서 約 60 mesh를 限界로 하여 60 mesh以上の 細粒子는 判異하게 分級이 容易하여짐을 알 수 있었다.

層高 10 cm에서 η_{local} 를 各粒子 크기에 따라 比較

하여 보면 60 mesh보다 작은 粒子徑의 細粒子 경우에는 $\eta_{Local} = 6\%$ 정도이나 $-35 \sim +48$ mesh 경우에는 $\eta_{Local} = 24\%$ 이고 $-48 \sim 60$ mesh는 $\eta_{Local} = 15\%$ 이었다.

이와 같이 60 mesh를 限界로 일어나는 η_{Local} 의 심한 變化는 上半部에서 더욱 뚜렷하게 나타난다. 卽 層高 30 cm에서 比較하여 보면 $-35 \sim +48$ mesh의 $\eta_{Local} = 35\%$ 이나 $-48 \sim 60$ mesh의 것은 $\eta_{Local} = 72\%$ 이고 60 mesh부터 100 mesh 정도에서는 η_{Local} 이 85%에서 92% 정도였다.

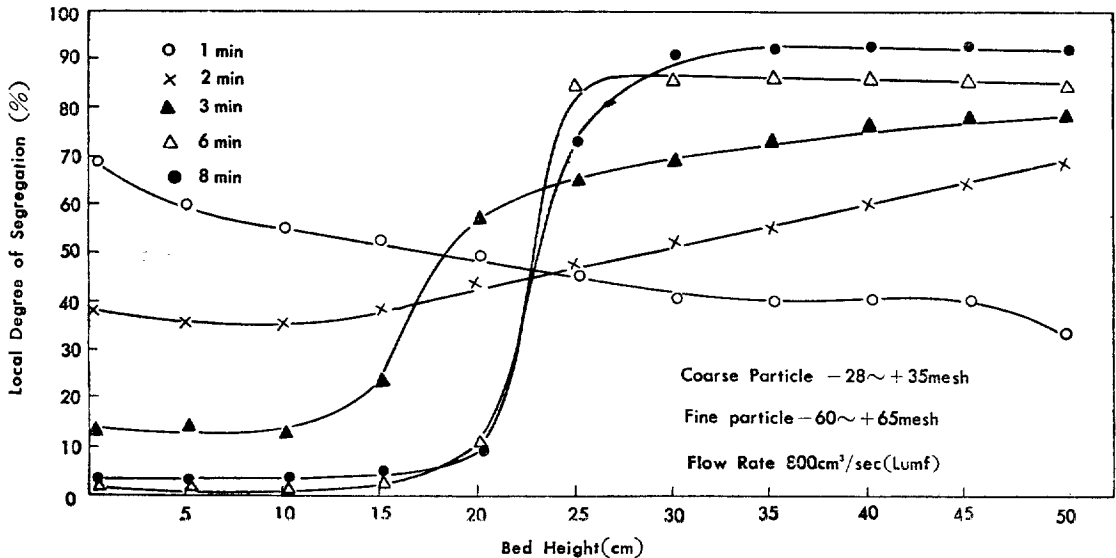


Fig. 7. Local Degree of Segregation vs. Bed Height as a Function of Run Times(I)

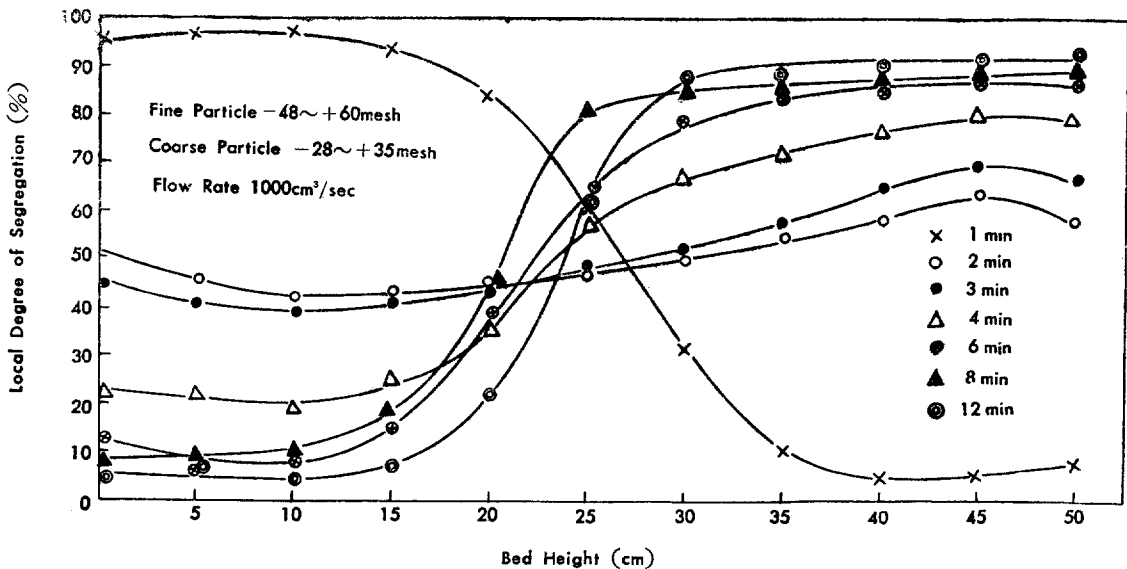


Fig. 8. Local Degree of Segregation vs. Bed Height as a function of Run Times(II)

이와 같은 粒子徑의 큰 差異에서 分級의 效果가 큰 것은 流動層 內에서 粒子徑의 差異가 적으면 混合現象은 증가하나 分級現象은 混合에 比하여 오히려 감소하므로 分級이 방해되기 때문이다. 또한 Leva M⁹⁾이 지적한 바와 같이 粒子徑이 적은 것일수록 같은 流動化 狀態에서 自由落下 速度는 감소하며 단면적에 對한 질량비가 감소되므로 流動層에서 流動化 粒子들의 접촉 표면에 힘의 불평형 상태도 심하게 되기 때문이다.

c) 分級度の 時間的 變化

實驗의으로 分級이 이루어지기에 필요한 時間을 求하기 爲하여 分級度를 時間的 變化에 따라 圖示한 것이 Fig. 7.8 및 Fig. 9이다.

이 경우에 粗粒子를 -28 mesh~+35 mesh를 擇하고 細粒子를 -35 mesh~+48 mesh와 -60~+65 mesh의 두 경우를 實驗하여 얻은 結果이다. 이는 60 mesh를 限界로 分級이 判異하게 나타나므로 時間的 變化에 이들 경향을 알아 보기 爲해서였다. 이 實驗結果에서 粒子徑에 관계 없이 混合되는 時間이 2分정도이고 分級の 極大 值를 가지는 時間까지는 5~6分임을 알 수 있다.

이러한 分級時間은 流動層 內에 粒子混合과 粒子分級 現象들이 평형을 이루는데 소요되는 시간으로 粒子徑에 關係 없이 一定함을 알 수 있었다.

結 論

本 論文에 研究한 金網充填流動層에서의 分級은 다 음과 같은 結論을 얻었다.

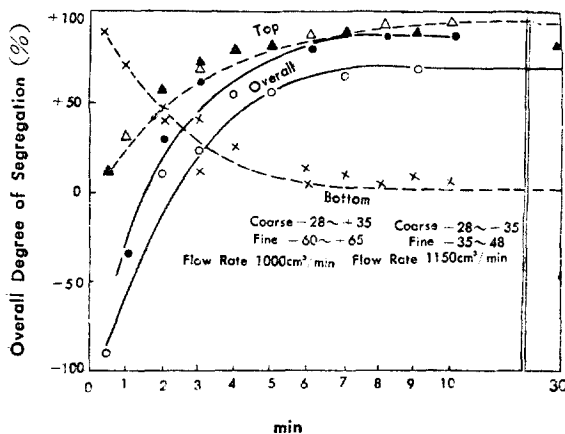


Fig. 9. Overall Degree of Segregation vs. Time

1. 金網充填流動層에서의 分級은 流動化 氣體量에 따라 그 정도가 크게 결정되며 最大分級程度를 가지는 流量 範圍는 最小 流動化 流量의 1.2~1.4 倍였다.

2. 粒子 크기에 따라 行하여지는 氣固系 流動層에서의 分級은 上下部가 서로 다른데 이는 層高의 高低에 따라 粒子混合의 容易성과 粒子 크기 變化에 따른 混合現象의 差異가 分級에 큰 影響을 주기 때문이다.

3. 本 實驗에서는 最大分級度에 도달하는데 要하는 時間은 試料의 粒子徑 差異에 關係치 않고 5~6分 이었다.

NOMENCLATURE

S; Weight of fine particle

L; Weight of coarse particle

U; Air velocity

U_{if}; Incipient fluidized velocity

γ_{Local} ; Local degree of segregation

γ_{Overall} ; Overall degree of segregation

REFERENCES

1. Verschoor, H.; *Applied Science Research* (London) A2 155-161(1950)
2. Andrieu, R.; *Ph. D. Thesis. Univ. of Nancy. France* (1956)
3. Fleming, R. J.; *M. S. Thesis. Stevens Inst. of Tech.* (1950)
4. Hall, C. C. and Crumely, P. J.; *J. Appl. Chem.* (London) 2 Supply Issue 1 S 47-S 55(1952)
5. Sutherland, P. J. and Wong, K. Y.; *The Can. J. of Chem. Eng.* 42 163-167(1964)
6. Capes, C. E. and Sutherland, P. J.; *I & EC Process Design and Development*. 5 330-335(1966)
7. Kang, W. K. and Osberg, G. L.; *The Can. J. of Chem. Eng.* 44 142-147(1966)
8. Sutherland, P. J. et al; *AIChE Journal* 9 437-441(1963)
9. Leva, M.; *Fluidization*; McGraw Hill book Co. (1952)
10. Zenz, F. A. and Othmer D. F.; *Fluidization & Fluid Particle System* Reinhold Publishing(1960)