

氣·液·固系 充填流動層의
Gas Hold-up 과 壓力損失에 관하여
李 奉 模* · 朴 光 潤*

Gas Hold-up and Pressure Drop in the Gas Fluidized
Liquid-Solid Packed Bed

B. M. LEE, K. Y. Park,
Engineering School, Hanyang University.

ABSTRACT

These experimental studies were carried out to make clear the effects of various factors, such as gas velocity U , surface of packing materials, and properties of the liquid, on the gas hold-up and pressure drop in the gas fluidized liquid-solid packed bed.

The results are summerized as follows:

- 1) Pressure drop is constant when the gas velocity is with in $10 < U < 24$ [cm/sec.], and it becomes to decrease decrease by increasing the gas velocity U , in the packed bed higher than 24[cm/sec].
- 2) $\Delta h/L_f = 1.73 \times 10^{-2} (N_{Re})^{-0.12} (D_T/D_P)^{0.19} (1-\phi)^{-0.5}$
- 3) $L_{max} = 6.13 (D_T/L_O) D_O^{-0.69} D_P^{-0.86}$

I. 緒 論

一般 氣·液·固系流動層의 경우는 gas hold-up 과 空塔基準의 通氣速度 U_G 사이의 關係에 대하여는 많은 報告가 있다. Kato¹⁾ 등은 塔을 순환하는 亞硫酸소다 용액에 의한 산소의 吸收速度와 多孔板을 사용하여 공기 공급 속도, 아황산소다의 公塔기준역 순환속도, 塔徑, 다공판의 孔徑및 孔數, 液의 物性值를 변화시켜 氣·液 並流 또는 向流의 경우의 gas hold-up 을 測定하여 gas hold-up 및 氣泡群의 平均上昇 속도를 여러 因子와 함께 정리한 것 등이 있다. 그러나 充填物이 있는 경우의 것은 지금까지 報告된 바 없다. 本研究에서는 여러 種類의 充填物에 대하여 gas hold-up 을 2N 아황산소다 및 Kaolin 의 灰粉粒體濃度(1wt%)에 대하여 측정하였고 氣·液·固系充填流動層의 壓力損失을 測定하여 gas hold-up 및 充填物粒子徑의 변화에 따른 壓力損失 과의 關係를 考察했다.

II. 裝置 및 實驗方法

通氣速度 U_G [cm/sec]의 변화에 對한 gas hold-up 과 壓力損失의 測定裝置 略圖는 Fig. 1 (前報 第七卷 第一號 p. 34 Fig. 1 參照)과 같으며 層內의 溫度는 20°C

로 유지하였다. 通氣速度에 대한 層高 변화의 測定으로 부터 gas hold-up 을 計算했으며 層下部에 연결된 差壓 計로부터 壓力差를 測定했다. 이때 充填層高는 恒常 流動層高보다 높게 했다. 使用된 充填物은 spiral type 의 鐵線, telleret 및 모래이며 Fig. 2 (前報 p. 34 Fig. 2 參照)와 같다. 또한 分散板은 金屬多孔性 燒結板을 使用했다.

III. 結果 및 實驗

a) Gas hold-up

우선 層高의 影響을 보기 위하여 氣·液系에 있어서 L_O/D_T 가 1.0, 2.4, 3.2, 및 4.2에 대하여 U_G 對 gas hold-up ($1-\phi$)를 圖示한 것이 Fig. 3이다. 이로부터 알 수 있는 것은 初期層高가 클수록 gas hold-up 이 감소 함을 알 수 있었다. 다음 充填物로 鐵線, telleret, 모래등을 사용하여 L_O/D_T 를 1.0 으로 하여 U_G 對 gas hold-up 을 Fig. 4, 5에 圖示했다.

여기서 보던 부유 粒子가 있는 경우와는 달리 充填物 이 있는 경우는 gas hold-up 이 最大로 되는 영역이 없 으며 通氣速度 U_G 의 증가에 따라 gas hold-up($1-\phi$)가 增加하다가 一定해지는 U_{Gc} 가 있었으며 이 값은 充填物의 比表面積의 增加에 따라 增加함을 알 수 있

*漢陽大學校 工科學大學

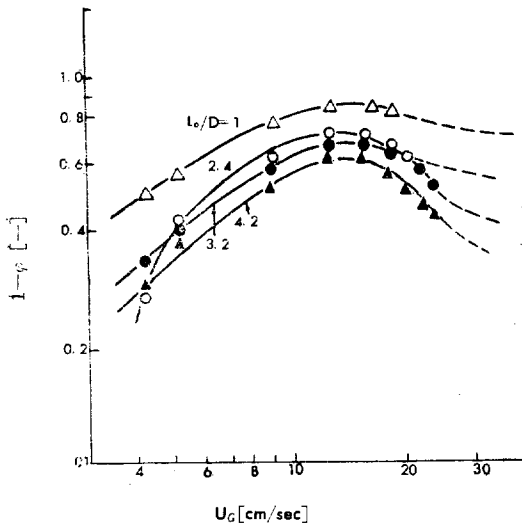


Fig. 3. Gas Hold-Up $1-\phi$ on Velocity of Air Blowing. U_G for Air-Water System in Nonpacked Bed.

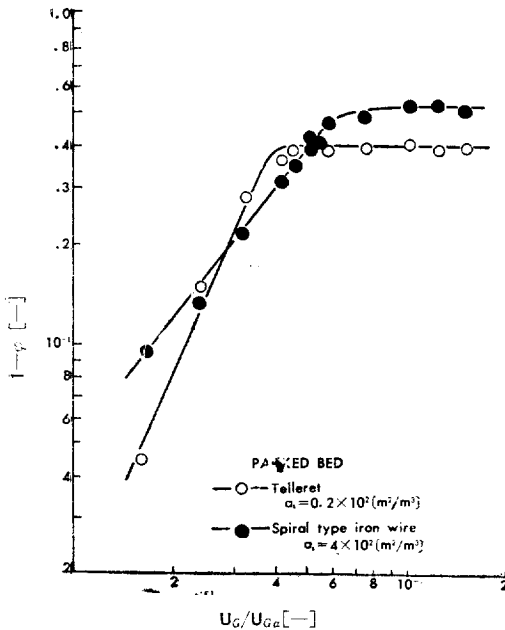


Fig. 4. Gas Hold-Up on Velocity of Air Blowing for Air-Sod Sulfide Sol-Kaolin System of Telleret and Spiral Type Iron Wire Packed Bed.

었다. 또한 충전밀도가 작을수록 충전물이 없는 경우의 성질을 나타내며 定量的 면에서 볼 때 기·液·固系보다 $1-\phi$ 가 적음을 알 수 있다. 기포徑은 충전물의 幾何學的 구조에 따라 異なり 鐵綿과 같이 촘촘한 충전물에 대하여는 U_G 가 적은 범위에서는 기포群의 亂流가 없는 上昇만 있으나 U_G 가 增加할 경우는 氣體의 channeling이 일어나 $1-\phi$ 는 더 이상 增加하지 않았다.

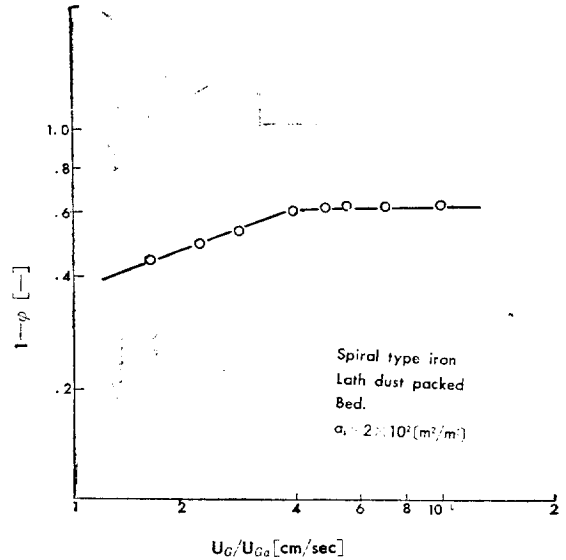


Fig. 5. Gas Hold-up on velocity of Air Blowing for Air-Sod. Sulfide Sol-kaolin System of Iron Spiral Type Lath Dust Packed Bed.

$U_G/U_{Ga} < 1.0$ 의 경우는 充填物이 없을 때 液의 層流混合의 領域이며 $U_G/U_{Ga} > 1.0$ 의 경우는 液의 亂流域을 意味한다. 대개의 경우 L_0/D 가 1.0일 때 $1-\phi$ 가 最大值, $(1-\phi)_{max}$ 은 0.6이며 充填物이 없는 경우는 0.8보다 작다.

b) 通氣速度와 壓力損失

氣·液·固系 充填流動層에 있어서 通氣에 因한 壓力損失은 다음의 5種의 壓力損失로 分離해 생각할 수 있다.

- (a) 分散板에 의한 壓損..... ΔP_d
- (b) 液頭に 의한 壓損..... ΔP_l
- (c) 充填物에 의한 壓損..... ΔP_c
- (d) 液을 亂流로 하기 위한 壓損..... ΔP_t
- (e) 分散板孔에서 氣泡의 生成을 위한

表面張力에 의한 壓損..... ΔP_σ

따라서 全壓力降下를 ΔP_T 라 하면

$$\Delta P_T = \Delta P_d + \Delta P_l + \Delta P_c + \Delta P_t + \Delta P_\sigma \quad (1)$$

로 表示할 수 있다. 그러나 통기속도가 적어 氣泡가 각각 독립적으로 上昇하는 범위에서는 ΔP_c , ΔP_t 는 零이며 (1)式은 다음과 같이 된다.

$$\Delta P_T = \Delta P_d + \Delta P_l + \Delta P_\sigma \quad (2)$$

여기서

$$\Delta P_d = U^2 \rho g / c^2 2g_c^2$$

$$\Delta P_l = L_f \rho g / g_c$$

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma}{\delta g_c} \quad (3)$$

한편 Fig. 6, 7로부터 L_0/D_T 가 1, 2 및 3에 대하여 충전物(spiral type wire) 5 mm ϕ , 10 mm ϕ , 15 mm ϕ 및 20 mm ϕ 에 대하여 통기속도 U_G 에 대한 ΔP_c 를 Fig. 8, 9, 10, 11에 plot했다.

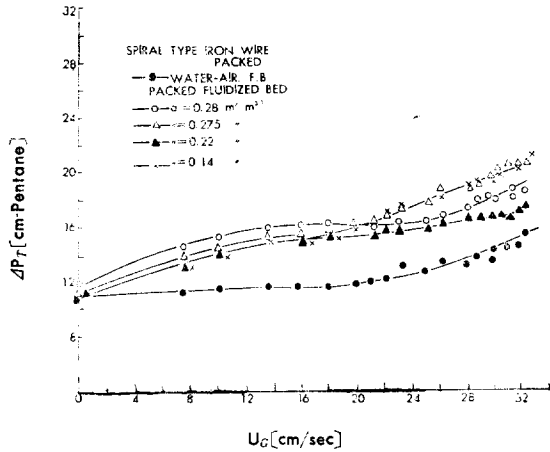


Fig. 6. Total Pressure Drop, ΔP_T of Spiral Type Iron Wire Packed Bed in Air-Water System on Velocity of Air Blowing U_G in the Case of $L_0/D=1$

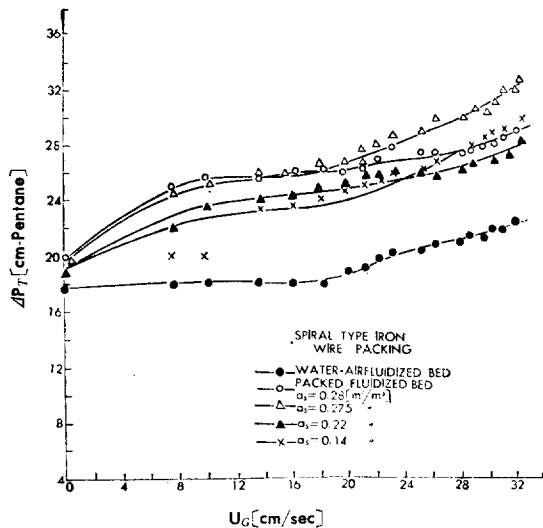


Fig. 7. Total Pressure Drop, ΔP_T of Spiral Type Iron Wire Packed Bed in Air-Water System on Velocity of Air Blowing, U_G in the Case of $L_0/D=2$

이로부터 알 수 있는 것은 통기속도 U_G 가 10(cm/sec)보다 적은 범위에서는 층流混合의 범위이고 이 값 이상에서는 亂流가 一定하게 되므로 ΔP_c 의 變化는 없고 一定히 되다가 통기속도 U_G 가 24(cm/sec)를 넘으면 오히려 氣流의 channeling이 일어나 ΔP_c 가 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 통기속도가 10~24(cm/

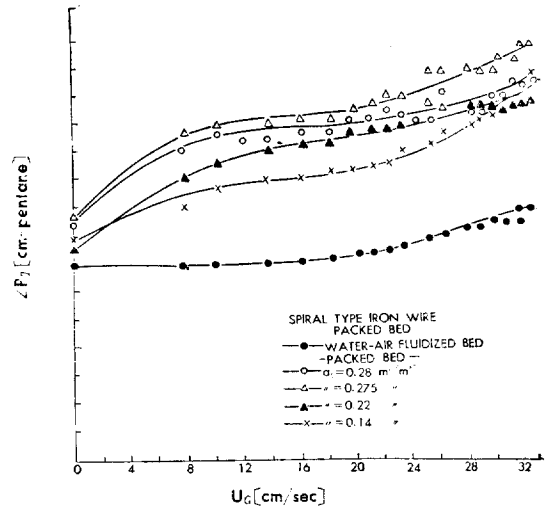


Fig. 8. Total Pressure Drop, ΔP_T of Spiral Type Iron Wire Packed Bed in Air-Water System on Velocity of Air Blowing, U_G in the Case of $L_0/D=3$

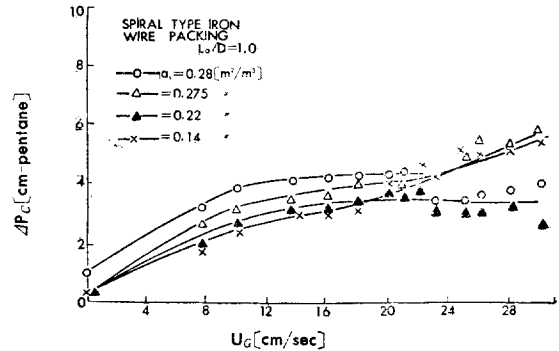


Fig. 9. Pressure Drop for Packing Material, ΔP_c on Velocity of Air Blowing, U_G in the Case of $L_0/D=1.0$

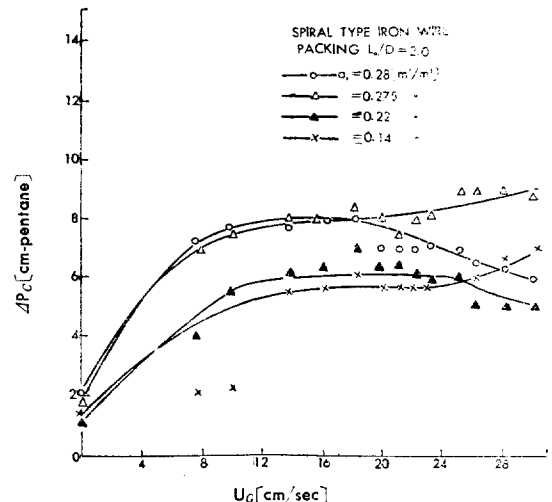


Fig. 10. Pressure Drop for Packing Material, ΔP_c on Velocity of Air Blowing U_G ($L_0/D=2.0$)

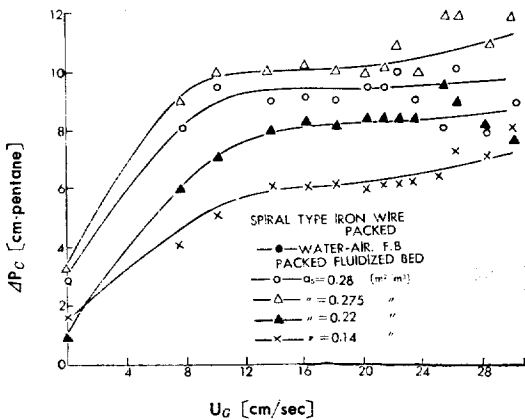


Fig. 11. Pressure Drop for Packing Material, ΔP_C on Velocity of Air Blowing, U_G ($L_0/D=3$)

sec) 사이인 一定亂流域에 對하여 Fig. 12로부터 充填層에 의한 壓力損失 ΔP_c 를 充填物의 比表面積 a_s 에 對하여 整理하면 다음 式을 얻는다.

$$\Delta P_c / \Delta P_{co} = 0.75(a_s \cdot L_0)^{-0.36} \dots\dots\dots(3)$$

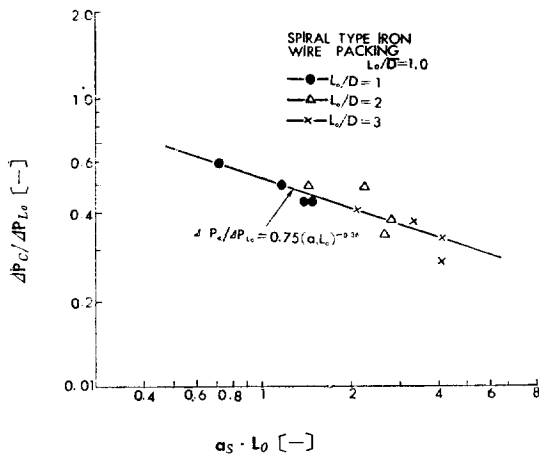


Fig. 12. Correlation of Experimental Results for α_s , L_0 and $\Delta P_C / \Delta P_{L_0}$

全壓力損失과 modified Reynolds 數, gas hold-up 과의 關係를 究明하기 위하여 次元解析을 하면

$$\Delta h = f(L_f, \mu_g, \rho_g, U_g, D_p, D_T, 1-\varphi) \dots\dots(4)$$

즉 Δh 는 (4)식과 같은 함수관계를 가지며 整理하면

$$\frac{\Delta h}{L_f} = C \left(\frac{\rho_g D_p U_g}{\mu_g} \right)^\alpha \left(\frac{D_p}{D_T} \right)^\beta (1-\varphi)^r \dots\dots(5)$$

와 같이 된다. 一定 Reynolds 數에서 $\Delta h/L_f$ 와 (D_p/D_T) 와의 관계를 Fig. 13에 plot 했으며 그림으로부터

$$\Delta h/L_f = C(D_p/D_T)^{-0.19} \dots\dots\dots(6)$$

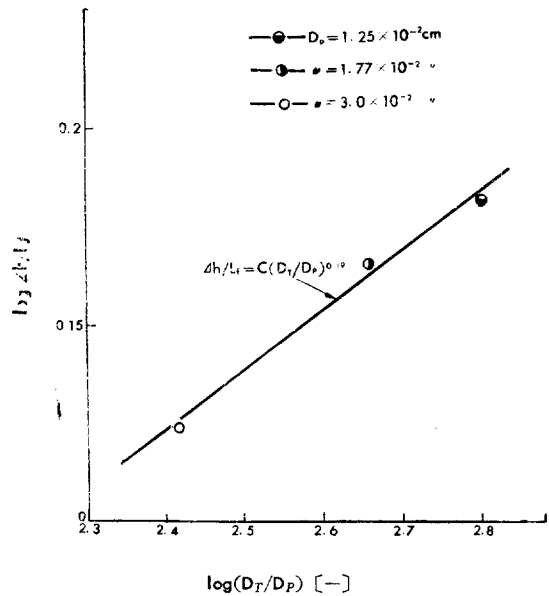


Fig. 13. $\log \Delta h/L_f$ v. s. $\log(D_T/D_p)$

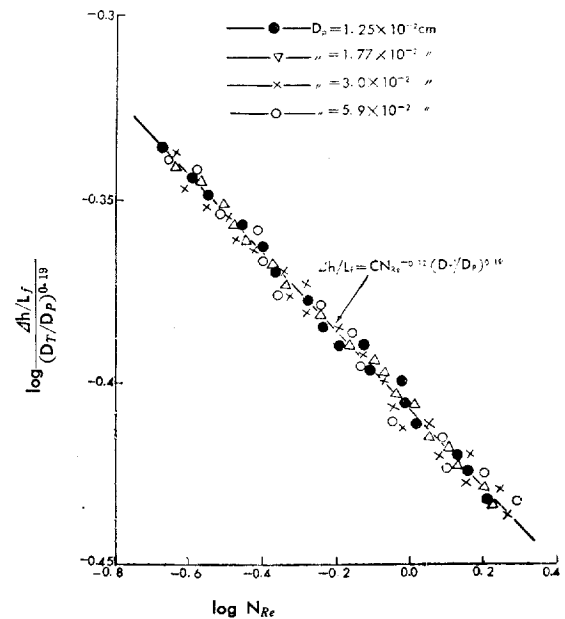


Fig. 14. $\log \frac{\Delta h/L_f}{(D_T/D_p)^{0.19}}$ v. s. $\log N_{Re}$

와 같은 (6) 式을 얻었다.

한편 $(\Delta h/L_f) (D_p/L_f)^{-0.19}$ 와 N_{Re} 와의 관계를 Fig. 14에 plot 했으며 관계식은

$$\Delta h/L_f = C(D_p/D_T)^{-0.19} (N_{Re})^{-0.12} \dots\dots\dots(7)$$

(7)식과 같다.

結果의으로 $(\Delta h/L_f)/(D_p/D_T)^{-0.19} (N_{Re})^{-0.12}$ 와

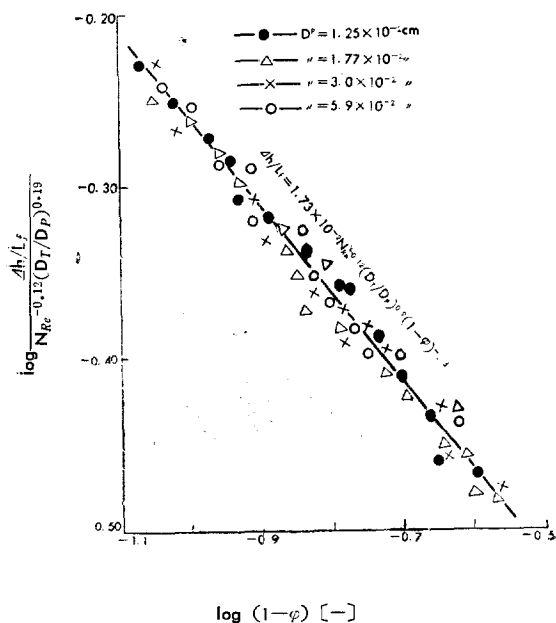


Fig. 15. $\log \frac{\Delta h/L_f}{N_{Re}^{-0.12} (D_T/D_P)^{0.19}}$ vs. $\log (1-\phi)$

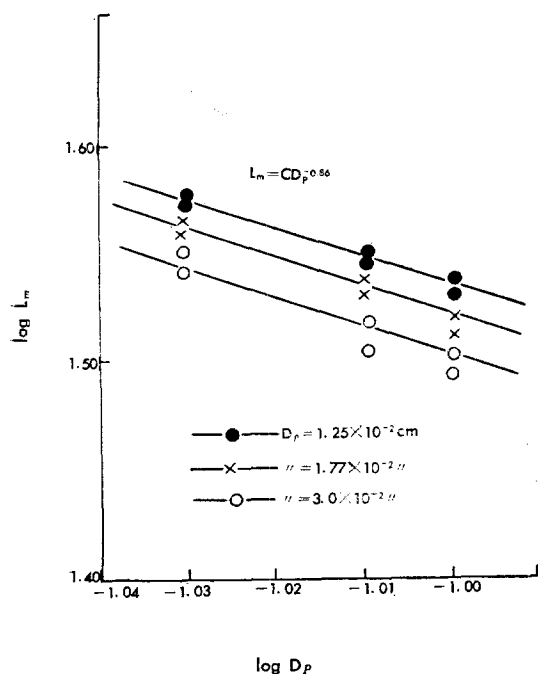


Fig. 16. Maximum Fluidized Length, L_{max} , vs. Diameter of Packed Material, D_P .

($1-\phi$)에 대해 Fig. 15에 plot 했다. Fig. 15로부터 $\Delta h/L_f = 1.73 \times 10^{-2} (N_{Re})^{-0.12} (D_T/D_P)^{0.19} (1-\phi)^{-0.5}$ 와 같은 관계식을 얻었다.

한편 最大流動層高 L_{max} 와 充填物の粒徑 L_0/D_T 및 分散板孔徑과의 관계를 알아 보기 위하여 이들의 관계를 Fig. 16, 17에 plot 했다. Fig. 16, 17로부터

$$L_{max} = 6.13 D_0^{0.69} D_P^{-0.86} (D_T/L_0) \dots\dots\dots (8)$$

인 관계가 있음을 알았다.

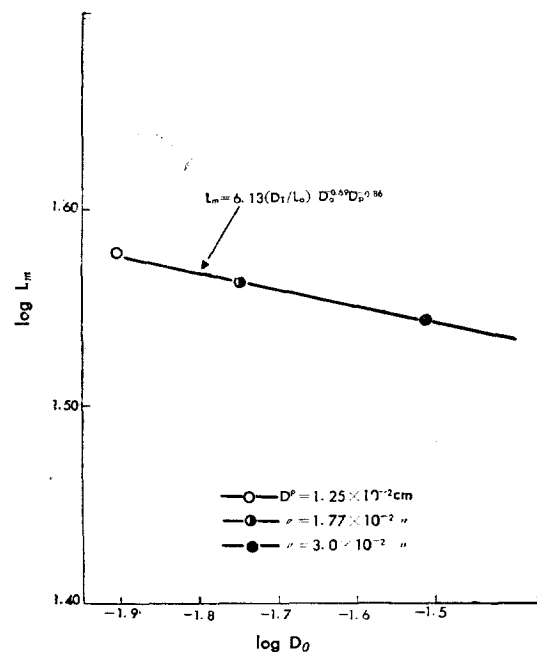


Fig. 17. Maximum Fluidized Length, L_{max} , vs. Diameter of Distributor, D_0 .

IV. 結 論

1) 充填物에 對한 壓力損失은 U_G 가 10[cm/sec] 以上이면 一定하여지나 24[cm/sec] 以上에서는 channeling 효과가 增加하므로 오히려 감소한다.

2) 通氣速度가 10[cm/sec] 以內의 경우 壓力損失과 gas hold-up 및 Reynolds數와의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta h/L_f = 1.73 \times 10^{-2} N_{Re}^{-0.12} (D_T/D_P)^{0.19} (1-\phi)^{-0.5}$$

3) 最大流動層高와 裝置因子와의 관계는 다음과 같다.

$$L_{max} = 6.13 (D_T/L_0) D_0^{-0.69} D_P^{-0.86}$$

Nomenclature

a_s : Specific area of packing material, m^2/m^3

D_O, D_P, D_T	: Diameter of distributor, particle and column, cm	$1-\varphi$: Gas hold-up
Δh	: Height of manometer reading, cm	ΔP_C	: Pressure drop of packed material, cm-pentane
L_B, L_f, L_m	: Length of bed, fluidized bed and maximum fluidized bed, cm	$\Delta P_d, \Delta P_l$: Pressure drop of distributor and liquid head, cm-pentane
U_G	: Linear velocity of fluid based on total cross-sectional area, cm/sec.	ΔP_T	: Total pressure drop
U_{Ga}	: Linear velocity of fluid at maximum holdup $(1-\varphi)_{max}$ in the gas-liquid-solid fluidized bed, cm/sec.	ΔP_σ	: Pressure drop of surface tension by bubble forming, cm-pentane
U_{Ge}	: Linear velocity of fluid at constant holdup $(1-\varphi)$, in the gas fluidized liquidsolid packed bed.	ΔP_t	: Pressure drop at turbulent region, cm-pentane.
α, β	: Constant.	Literature	
σ	: Surface tension, dyne/cm		
μ_g	: Fluid viscosity, c. p		
ρ_g	: Density, gr/ml		
		1.	加藤康夫, 化學工學(日本) 26, 1063 (1962)
		2.	龜井三郎, 水野章助, 高松武郎, 富澤良孝. 化學工學(日本) 18, 108(1954)
		3.	加藤康夫, 森田繁. 化學工學(日本) 26, 1135(1962)