

燒結金屬層에서의 壓力降下에 관한 研究

오 수 철
인하대학 기계공학과

A Study on Pressure Drop Through The Porous Metal.

Su-cheol Ohu

In-Ha University Dept. of Mechanical Engineering

要 約

空氣가 通過하는 燒結金屬에서의 壓力損失에 대한 基礎 知識을 얻기 위하여 實驗的으로 研究를 遂行하여, 燒結金屬의 空隙率과 燒結金屬을 通過하는 空氣의 流速이 壓力損失에 미치는 影響을 考察하고, 또 本 實驗 結果를 非燒結金屬에서의 壓力損失에 대한 代表的인 Ergun의 式과 摩擦係數의 觀點에서 比較하였다.

本 研究結果, 燒結金屬에서의 壓力損失은 流速이 增加할 수록 增大하며, 또 동일 流速에서는 空隙率이 減少(粒子直徑이 減少)할 수록 增大한다.

특히 本 實驗 結果를 燒結金屬의 두께와 直徑 및 粒子直徑의 無次元數들로 표현되는 無次元 實驗式으로 誘導하였으며, 이 實驗式은 本 研究結果와 $\pm 15\%$ 범위에서 일치하고 있다.

ABSTRACT

This study has been conducted to provide fundamental knowledge of the characteristics of pressure drop through porous metal by experimental investigation.

Pressure drop of air passing through porous metal was measured. The influences of porosity and flow velocity on pressure drop were investigated and in view of friction factor, the experimental data was compared with theoretical equation as known to Ergun's equation concerning unconsolid packed bed.

The result of this study are as follows. The pressure drop was increased with increasing the flow velocity and at the same flow velocity with decreasing the porosity(decreasing the particle diameter), In Particular, the experimental equation for the pressure

drop was derived using the particle diameter, matrix diameter and matrix thickness. The experimental data were correlated well (mean deviation $\pm 15\%$) with the present empirical dimensionless equation.

記號說明

d_p : 粒子直徑	[mm]
D : 燒結金屬板의 直徑	[mm]
L : 燒結金屬層의 두께	[mm]
ΔP : 壓力損失	[N/m ²]
Re : 粒子直徑을 대표길이로한 Reynolds數	[-]
Re_D : 燒結金屬板의 直徑을 대표길이로한 Reynolds數	[-]
U_m : 燒結金屬層을 通過하는 空氣의 겉보기 速度	[m/s]
V_b : 燒結金屬層의 外形基準 幾何學的 體積	[m ³]
V_p : 燒結金屬層의 細孔의 全體 體積	[m ³]
f_k : 摩擦係數	[-]
ϵ : 空隙率	[-]
μ : 空氣의 粘性係數	[N·s/m]
ρ : 空氣의 密度	[Kg/m ³]
ρ_s : 燒結金屬層의 겉보기 密度	[Kg/m ³]
ρ_a : 燒結金屬層의 實際 密度	[Kg/m ³]

I. 序 論

固體粒子로 形成된 充填層에서의 流體流動은 이들 充填層이 土質工學, 化學工業등에 관련되며, 機械工業分野에서는 주로 蓄熱裝置, 濾過裝置, Boundary control裝置등에 관련된다 는 점에서 매우 중요하다.^{1,2)}

이러한 觀點에서 최근에는 燒結金屬의 사용 범위가 광범위해지면서 이에 대한 流動特性이 나 熱傳媒體^{3,4)} 濾過裝置⁵⁾의 濾過媒體로 사용 하는 경우에는 動作流體가 燒結金屬層을 통과 할 때 壓力損失이 隨伴되므로 附加的인 動力을

필요로하게 된다. 따라서 이들 장치의 設計에 있어서는 燒結金屬의 透過性에 대한 지식이 요구된다.

流體가 充填層을 통과할 때 隨伴되는 壓力 損失에 대한 理論的 研究와 實驗的인 研究가 많은 사람들^{6,7,8)}에 의해서 進行되어 왔으며, 充填層에서 壓力損失은 流體의 流速, 流體의 粘性과 密度, 空隙率이나 粒子의 크기, 形象등 많은 因子에 의해서 영향을 받으므로 充填層 에서의 壓力損失을 이론적으로 解析하는 것은 어려운 것으로 알려지고 있다.

流量이 壓力損失에 미치는 영향에 대해서는 Reynolds⁹⁾가 처음으로 數式化하였으며, 壓力損失을 流速에 직접비례하는 항과 流速의 제곱과 流體密度의 곱에 비례하는 두항의 합으로 나타낼 수 있다고 보고하였다.

그후 Lindquist¹⁰⁾, Morcom¹¹⁾, Ergun과 Orning¹²⁾이 Reynolds의 이론을 실험적으로 확인하였다.

또한 充填層에서 空隙率は 壓力損失에 영향을 미치는 가장 중요한 인자로 밝혀지고 있으며, Blake¹³⁾는 充填層에서 壓力損失에 영향을 미치는 因子로 다음과 같은 無次元 그룹을 제시하고 있다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2}, \frac{dp}{L}, \frac{\epsilon^3}{1-\epsilon}, \frac{dppU_m}{\mu(1-\epsilon)}$$

그후 Ergun과 Orning은 流體흐름의 抵抗에 대한 Reynolds 理論과 粘性흐름에 대하여 粘性에너지 消失이 $(1-\epsilon)^2/\epsilon^3$ 에 비례한다는 Kozeny¹⁴⁾의 방법에 根據하여 壓力損失에 대한 일반적인 방정식을 전개하였으며, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 充填層에서 總에너지 損失은 粘性에너지 損失과 運動에너지 損失의 합으로 나타

낼 수 있다.

2. 粘性에너지 損失은 $(1-\epsilon)^2/\epsilon^3$ 에 比例하고
 運動에너지 損失은 $(1-\epsilon)/\epsilon^3$ 에 比例한다.
 특히 Ergun¹⁵⁾은 위와 같은 해석방법을 통해서
 다음과 같은 充填層에서의 壓力損失에 대한
 대표적인 實驗式을 發表하였다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} \cdot \frac{dp}{GU_m} \cdot \frac{\epsilon^3}{1-\epsilon} = 150 \frac{(1-\epsilon)}{Re} + 1.75 \quad \text{式(1)}$$

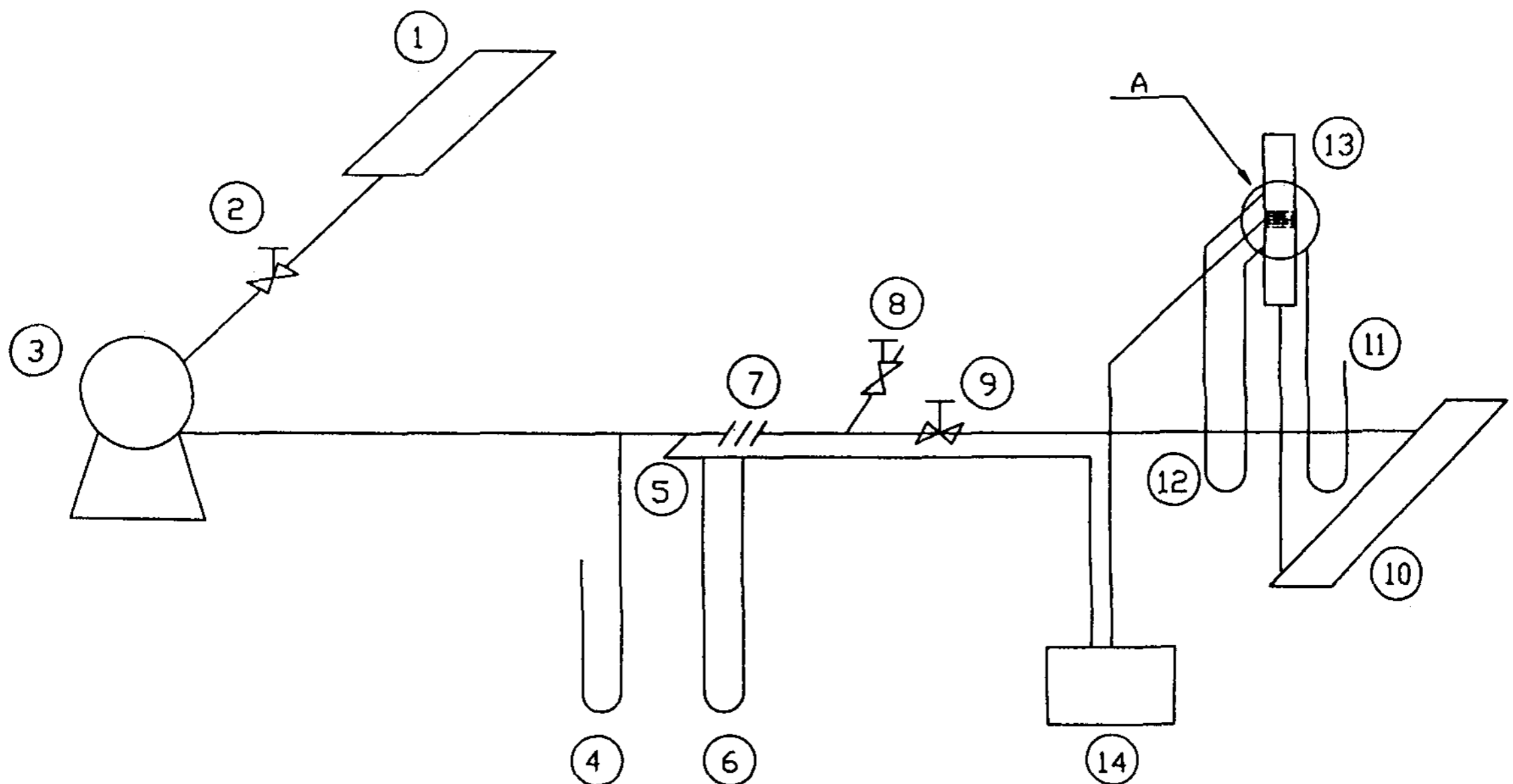
本 研究에서는 靑銅(Bronze) 球形粒子를 燒
 結한 圓形의 燒結金屬板을 公기가 통과할 경
 우에 流速과 粒子直徑에 따라서 空隙率이 壓
 力損失에 미치는 影響을 광범위한 流速 範圍에
 대해서 考察하여 燒結金屬層內에서의 壓力損
 失에 대한 기초 지식을 제시하고, 摩擦係數의
 觀點에서 Ergun의 式과 比較하며, 또 燒結金

屬層內에서의 壓力損失에 대해서 空隙率대신에
 粒子直徑과 燒結金屬板의 두께로 無次元化한
 無次元數로 표시되는 無次元 實驗式을 제시하
 고자 한다.

II. 實驗裝置 및 方法

本 研究에 사용된 實驗裝置의 概略圖는 그림
 1에 나타난 바와 같다.

動作流體인 空氣가 燒結金屬層의 작은 空隙
 을 통과하기 때문에 대기중의 불순물을 제거
 하기 위해서 空氣濾過器①을 送風機 吸入口에
 설치하였다. 空氣濾過器를 통과한 공기는 送
 風機② (13m³/min×300mmAq)를 지나며 오리
 피스⑦에서 流量이 測定된다. 이때 燒結金屬
 層을 통과하는 流量은 오리피스 前後의 壓力差
 및 靜壓을 액주계 ④와 ⑥를 사용하여 측정하



- | | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| 1. Air Filter | 2. Suction Valve | 3. Blower | 4. Manometer |
| 5. Thermowell | 6. Manometer | 7. Orifice | 8. Vent Valve |
| 9. Discharge Valve | 10. Air Chamber | 11. Manometer | 12. Manometer |
| 13. Specimen Holder | 14. Digital Thermometer. | | |

A; See Fig.2

Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus.

고, 또 이때의 온도를 熱電對(T-type, $\phi 0.1\text{mm}$)로 測定하여 計算하였으며, 사용된 오리피스는 $\phi 11.95$ 로 제작하여 플리트 type 流量計로 補正하였다.

流量은 Suction 밸브 ② 와 Discharge 밸브 ⑨로 조절하였으며, 本 實驗에서의 流量 範圍는 $0.69\text{Kg/m}^2\text{s}$ 에서부터 本 實驗에 사용한 送風機의 最大 送風時 流量인 $2.24\text{Kg/m}^2\text{s}$ 로 하였다.

Test Section에서 空氣의 흐름을 일정하게 하기 위하여 Air Chamber ⑩를 設置하였으며 Air Chamber를 지난 공기는 試片 holder ⑬에 설치된 試片을 通過하도록 하였다.

시험 前後의 壓力差 및 溫度는 그림 2에 나타낸 바와 같이 壓力 測定孔을 설치하여 壓力差를 액주계 ⑫를 사용하여 측정하였고, 온도는 熱電對를 사용하여 디지털 thermometer ⑭로 측정하였다.

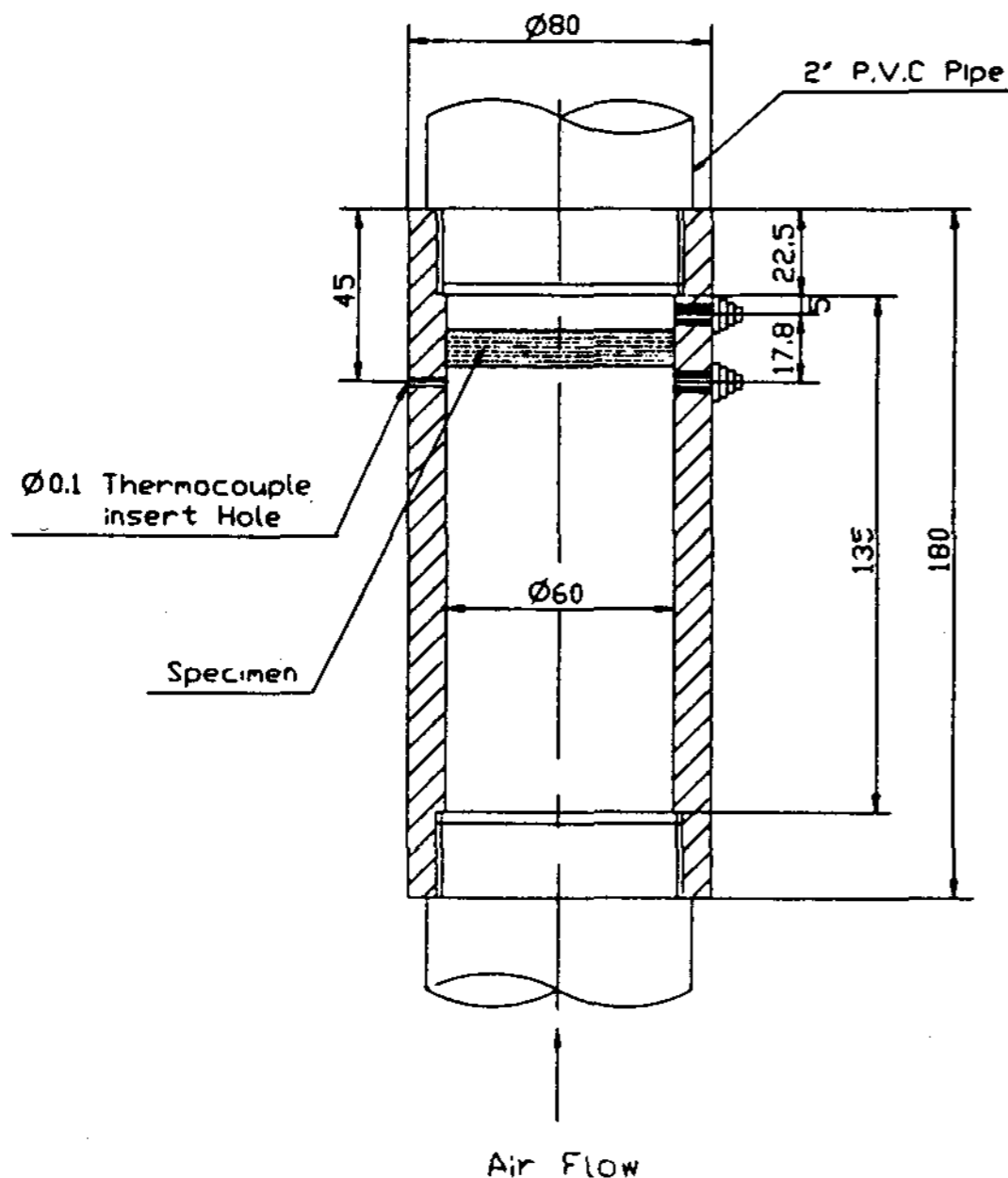


Fig.2 Detail of Specimen Holder.

이때 空氣의 溫度 範圍는 常溫($8.9\sim 13.5^\circ\text{C}$)이다.

本 實驗에 사용한 試片은 空隙率이 다른 6

種의 燒結金屬을 사용했으며, 사용된 試片의 製원은 table. 1과 같다.

Table. 1 Sintered Metal Matrices Used for Experiment.(Bronze)

N.D.F	Particle diameter d_p (mm)	porosity ϵ	metal matrix diameter D (mm)	metal matrix thickness L (mm)
120	0.828	0.4043	60	7.85
100	0.575	0.3991	"	6.00
70	0.461	0.3843	"	4.24
40	0.339	0.3722	"	3.02
20	0.243	0.3542	"	2.48
10	0.159	0.3362	"	1.42

III. 實驗結果에 대한 考察

多孔質 物質에서는 外形 基準의 幾何學的 體積 V_b 에 대한 細孔의 全體 體積 V_p 의 比를 空隙率(ϵ)이라고 한다.

즉, $\epsilon = V_p/V_b$ 로 표시된다.

試片의 質量을 겉보기 體積으로 나눈것을 겉보기 密度(ρ_s)라고 하며, 또 겉보기 體積에서 細孔의 體積을 뺀값, 즉 實體積을 質量으로 나눈것을 實密度(ρ_a)라고 할때 ϵ, ρ_a, ρ_s 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\epsilon = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_s} = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_s} \quad \text{式(2)}$$

本 實驗에 사용한 燒結金屬의 空隙率은 式(2)에 의해서 구했으며, table. 1과 같다.

그림 3은 本 實驗에 사용한 試片의 粒子直徑에 따른 空隙率을 나타낸 것으로 粒子直徑이 커질 수록 空隙率이 增大하며, 增進率은 점점 減少함을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 粒子直徑이 작을수록 充填 密度가 增加하기 때문으로 생각된다.

그림 4는 空隙率(ϵ)이 壓力損失(ΔP)에 미

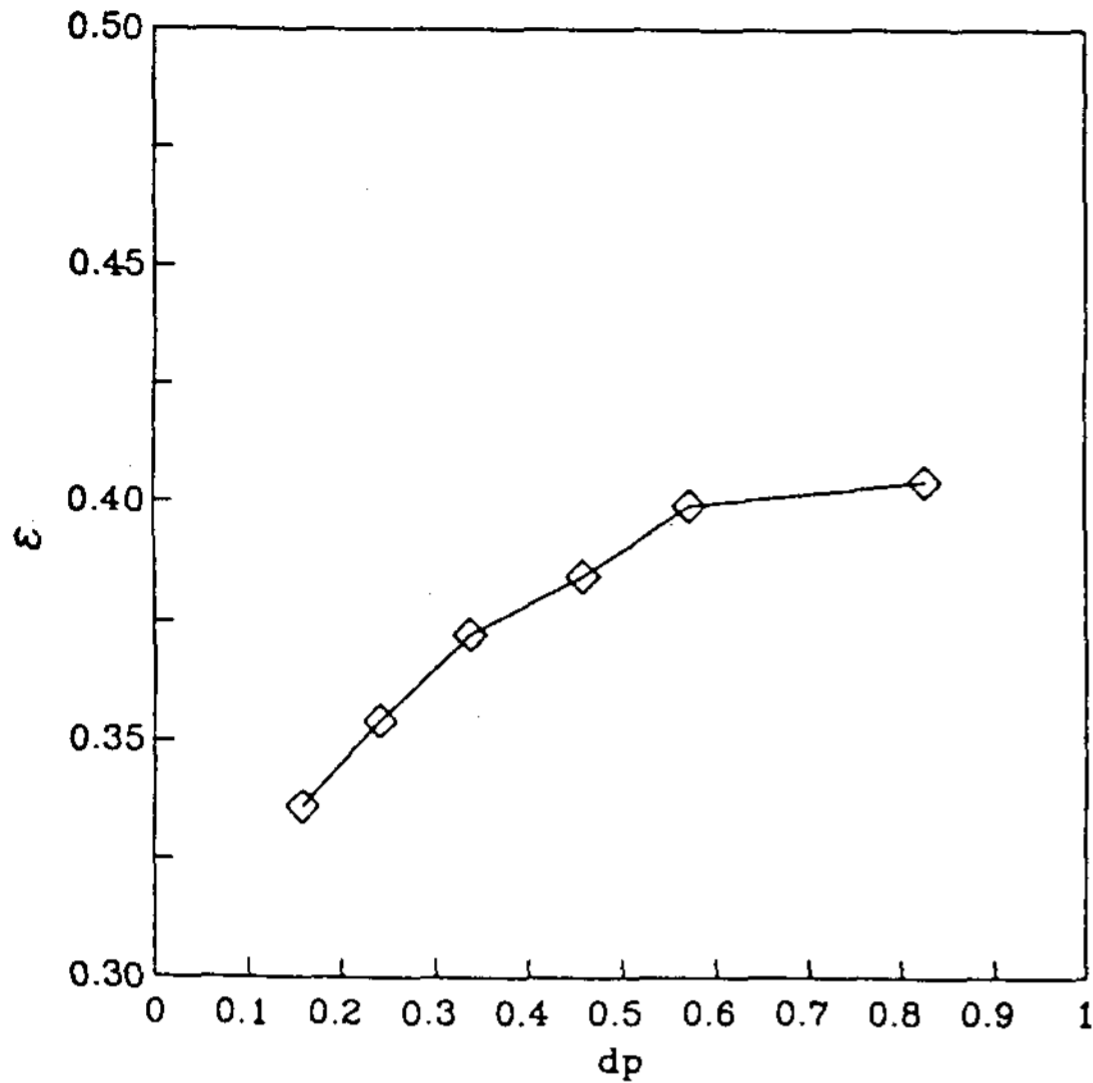


Fig.3 Distribution of Porosity with Effective diameter of Particle.

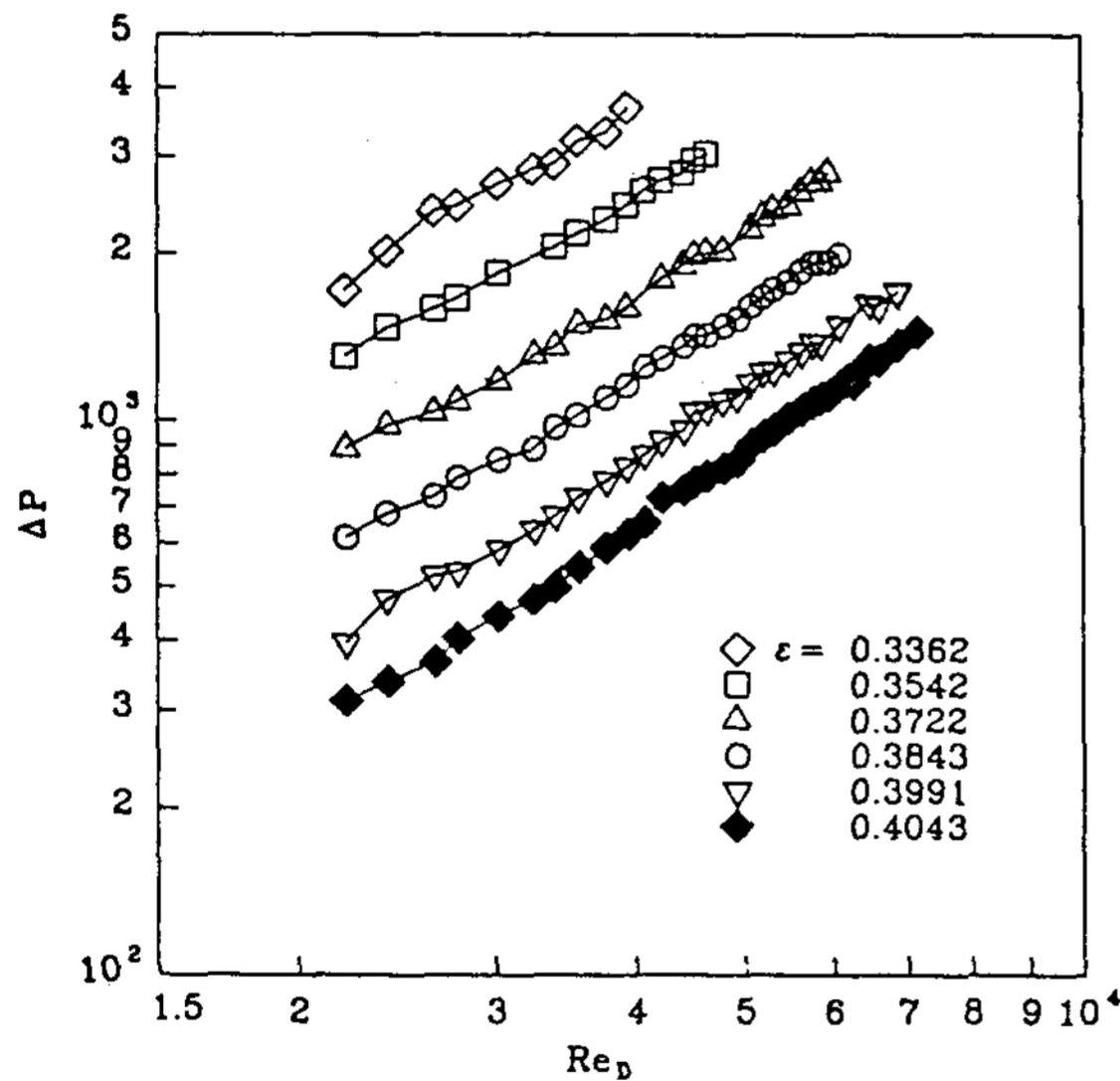


Fig.4 Pressure Drop data for Porous Metal

치는 영향을 레이놀드수(Re_D)에 따라 나타낸 그림이다. 여기서 Re_D 가 같은 경우는 流速이 동일한 경우를 나타낸다.

따라서 流速이 增加할 수록 壓力損失이 增大하고 있으며, 또 동일한 流速에서는 空隙率이 작을수록, 즉 粒子直徑이 작을 수록 壓力損失이

增大하는 것을 알 수 있다.

이것은 空隙率이 작으면 層内に 공기가 통과할 수 있는 細孔의 面積이 작으므로 流動抵抗이 增加하기 때문이다.

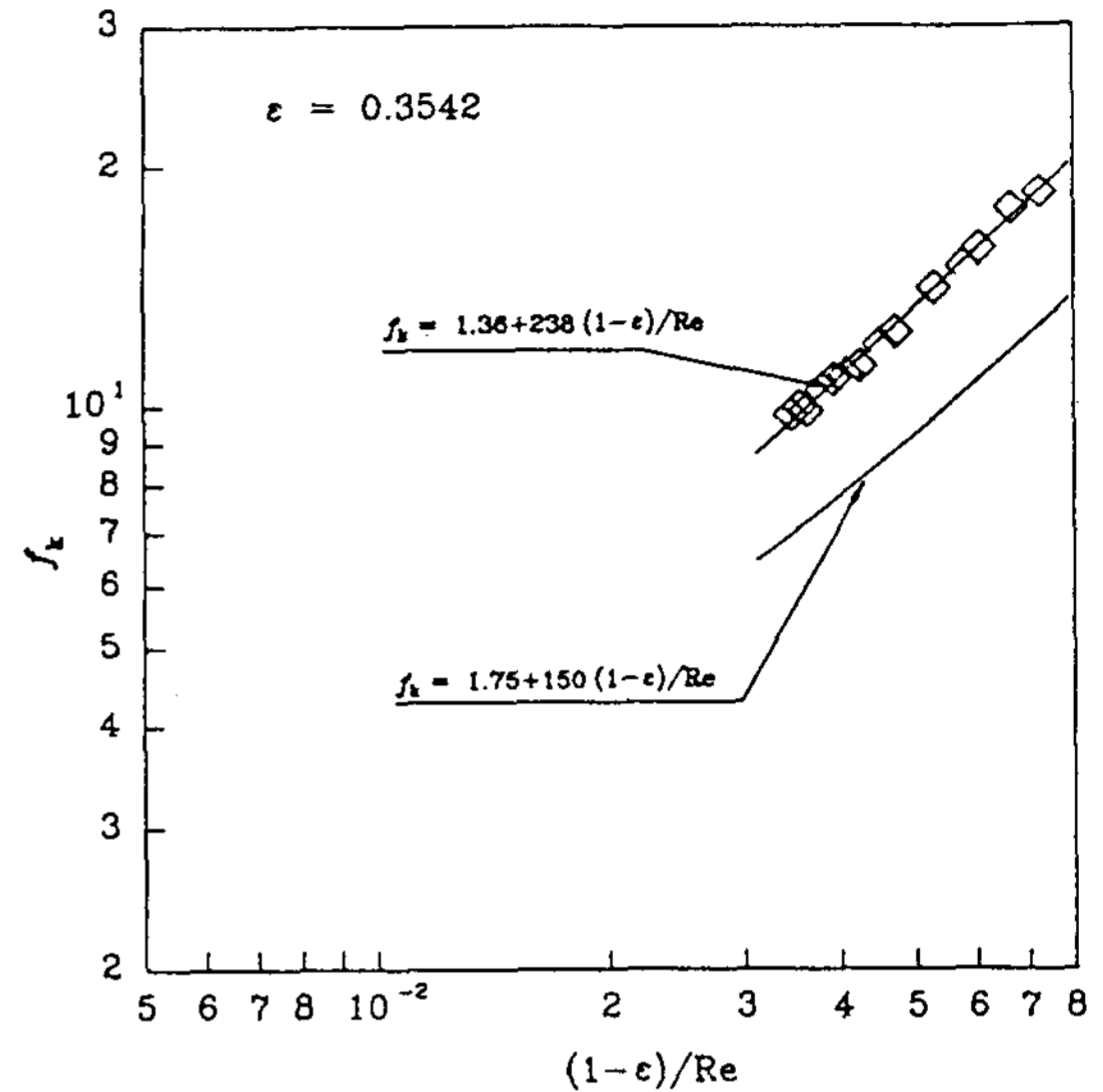


Fig.5 Empirical Results on the Friction Factor for Porous Metal (Porosity=0.3542)

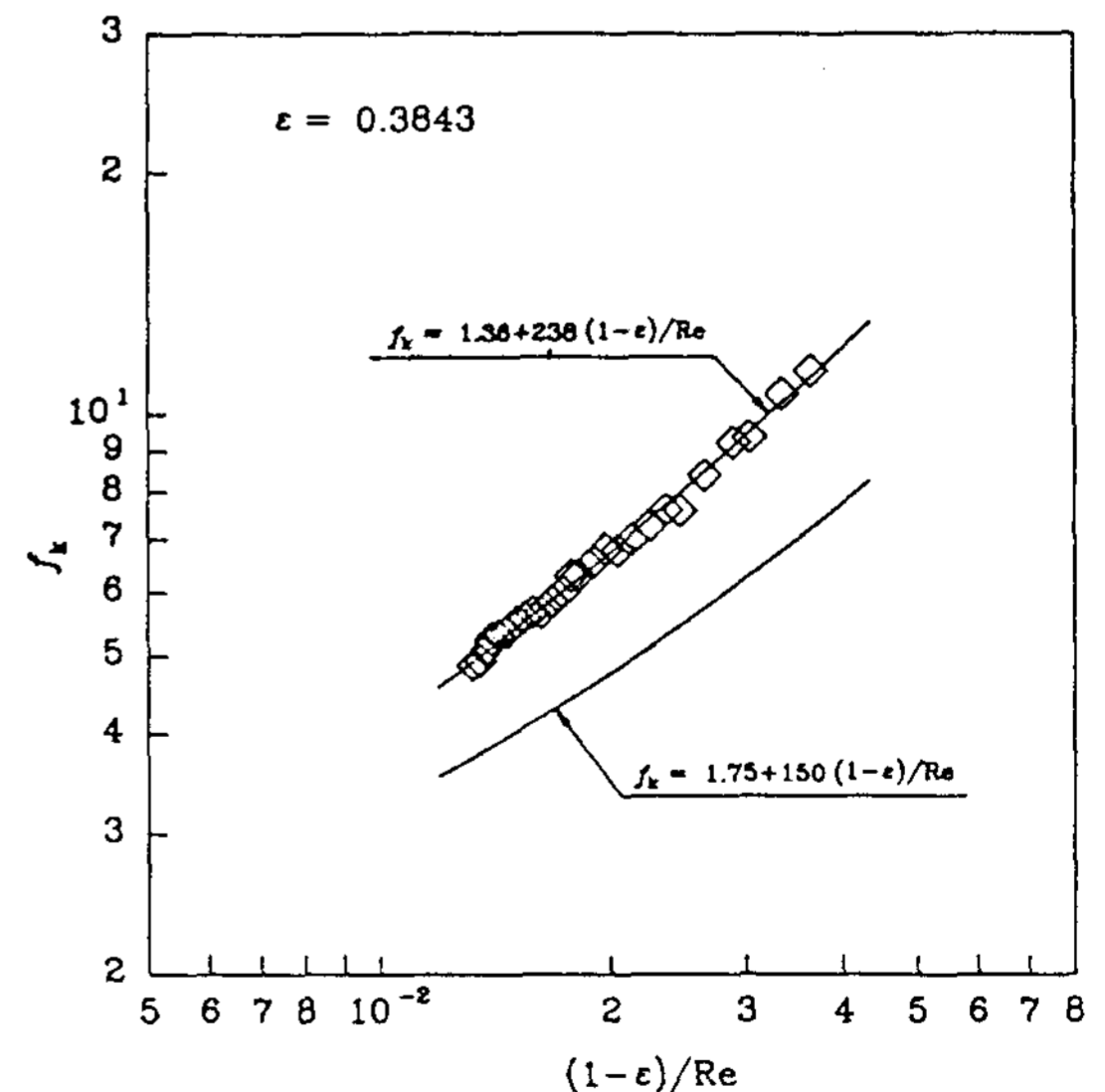


Fig.6 Empirical Results on the Friction Factor for Porous Metal (Porosity=0.3843)

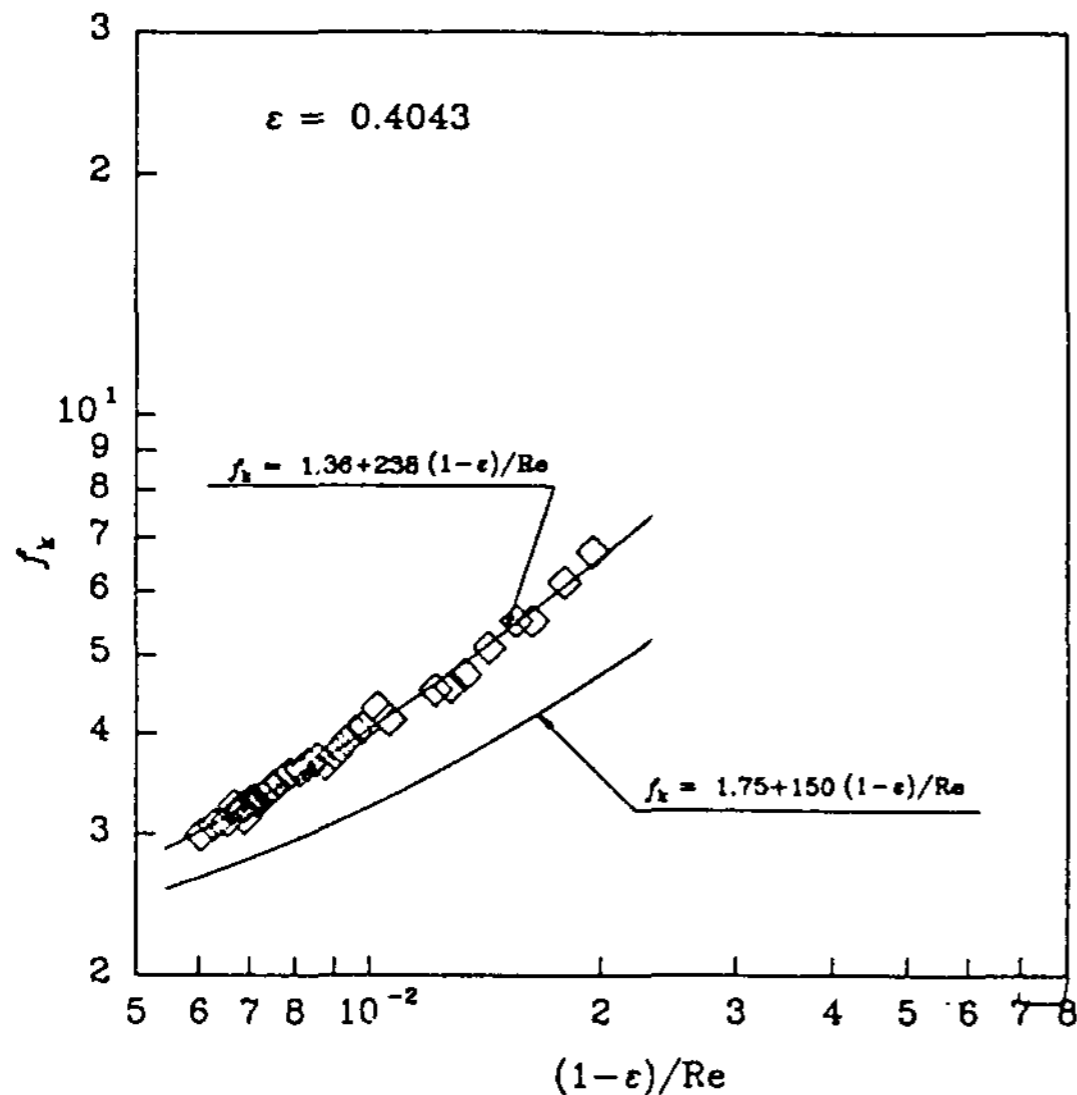


Fig.7 Empirical Results on the Friction Factor for Porous Metal (Porosity=0.4043)

그림 5~7은 본 실험 결과에서 얻은 摩擦係數 (friction factor, f_k)를 Ergun의 式(1)과 비교한 것으로 각 試片에 대한 結果들은 Ergun의 式과 일치하지 않고 있으며, 각 試片間에도 서로 다른 값을 나타내고 있다.

이것은 Ergun의 式은 固體粒子들이 非固結狀態로 充填된 경우에 대해서 展開된 式인데 반하여 본 실험에 사용한 試片은 燒結金屬이기 때문에 본 실험結果가 Ergun의 式보다 摩擦係數가 增加하는 것으로 생각된다.

따라서 Ergun의 式을 燒結金屬에 적용하기 위해서는 修正計數를 고려할 필요가 있다.

그러나 變化의 傾向은 類似하므로 燒結金屬層內에서의 總에너지 損失은 非固結粒子的 充填層에서와 같이 粘性 에너지 損失과 運動 에너지 損失의 疊으로 나타낼 수 있다는 것을 알 수 있다.

燒結金屬層에서의 壓力損失은 一般的으로 다음과 같은 因子와 函數關係가 있는 것으로 알려져 있다.

$$\Delta P = f(L, d_p, U_m, \rho, \mu, \epsilon) \quad \text{式(3)}$$

여기서, $\epsilon = f(D, d_p, L, N_p)$

$N_p = \text{粒子의 數}$

이다. 따라서, 본 실험에서는 壓力損失을 式(4)와 같은 函數關係를 갖는 것으로 보고 次元解析한 結果, 式(5)와 같은 無次元 變數를 취할 수 있었다.

$$\Delta P = f(L, d_p, U_m, \rho, \mu, \epsilon) \quad \text{式(4)}$$

$$f\left(\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} \cdot \frac{d_p}{(LD^2)^{1/3}} \cdot \frac{\mu}{\rho U_m D}\right) = 0 \quad \text{式(5)}$$

次元解析에 의해서 얻은 各 無次元 數사이의 關係를 구하기 위하여 式(5)를 다음과 같이 變형한다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} = C_1 \left(\frac{LD^2}{d_p}\right)^{1/3 n_1} \cdot f(Re_D) \quad \text{式(6)}$$

式(6)에서 n_1 을 구하기 위하여 $\Delta P / \rho U_m^2$ 과 $(LD^2)^{1/3} d_p$ 의 關係를 정리하면 그림 8, 9와 같다.

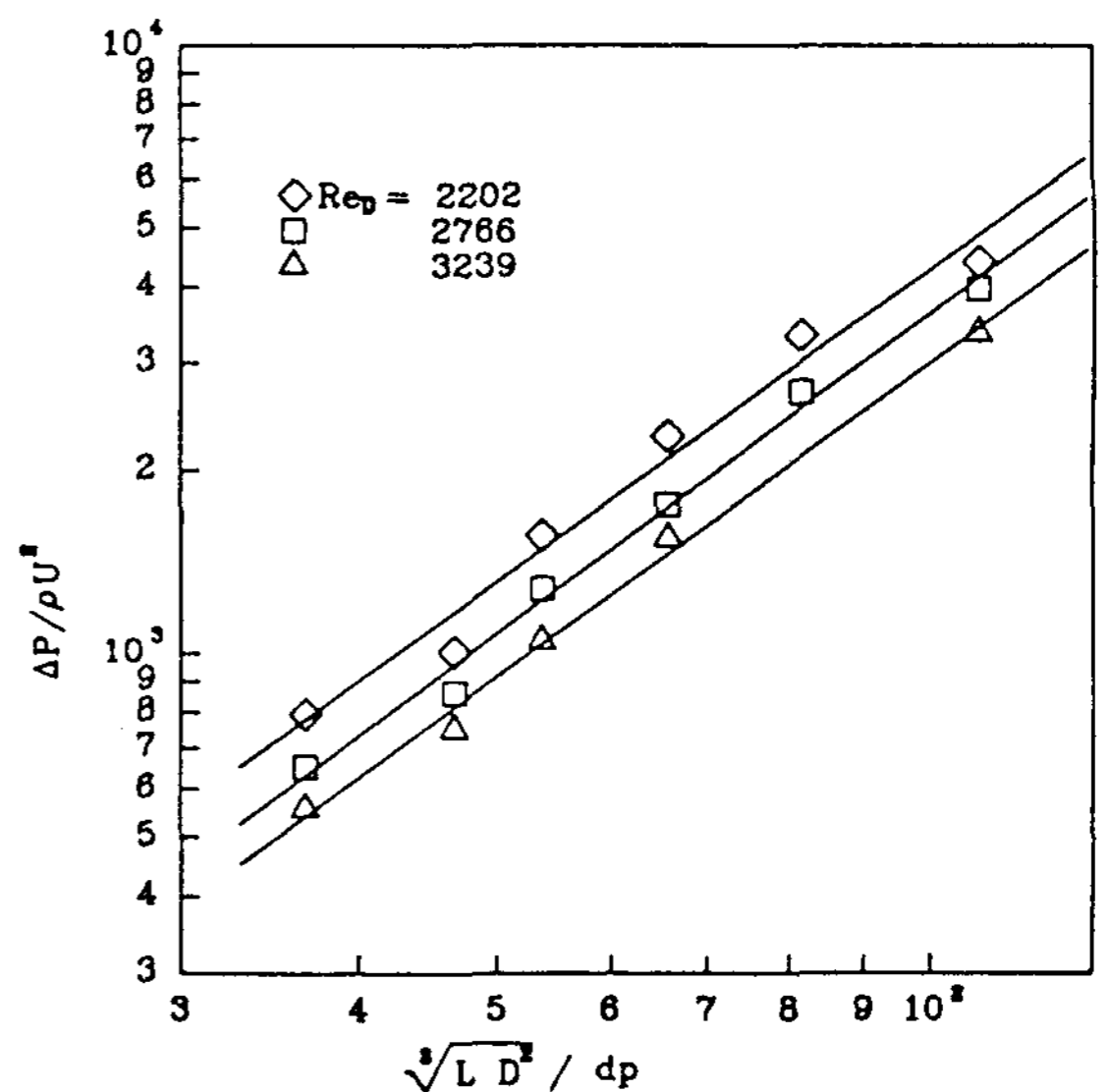


Fig.8 Relation Between $\Delta P / \rho U_m^2$ and $(LD^2)^{1/3}$ for Various Re_D

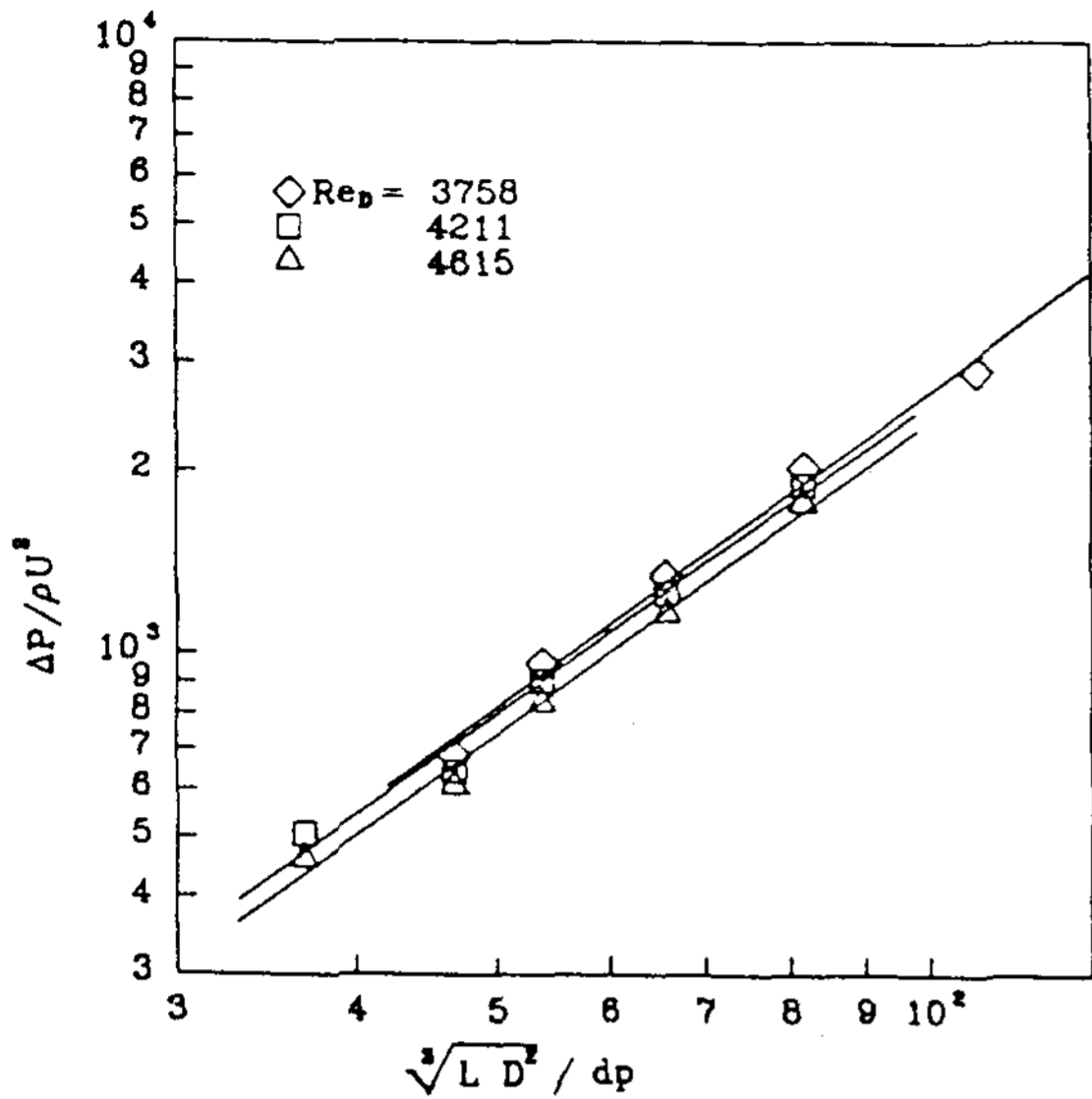


Fig.9 Relation Between $\Delta P/\rho U_m^2$ and $(LD^2)^{1/3}$ for Various Re_D

그림에서 보는 바와 같이 Re_D 가 일정 할때 $\Delta P/\rho U_m^2$ 는 $(LD^2)^{1/3}/d_p$ 에 比例하며, 모든 Re_D 에 대해서 거의 동일한 기울기(n1)를 갖는 것을 알 수 있다.

本 實驗에서 $n1 = 1.65 \sim 1.75$ 의 값을 가지며 모든 Re_D 에 대해서 平均 1.6795의 값을 갖는 것으로 볼 수 있다.

따라서 式(6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} \cdot C_1 \left(\frac{d_p}{(LD^2)^{1/3}} \right)^{1.6795} = C_2 \cdot Re_D^{n2} \quad \text{式(7)}$$

그림 10은 式(7)의 右邊과 Re_D 의 관계를 나타낸 것으로 이들 관계를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} \cdot C_1 \left(\frac{d_p}{(LD^2)^{1/3}} \right)^{1.6795} = 551.67 Re_D^{-0.744} \quad \text{式(8)}$$

$$(2203 < Re_D < 7700)$$

本 實驗에 의해서 구해진 式(8)은 모든 實

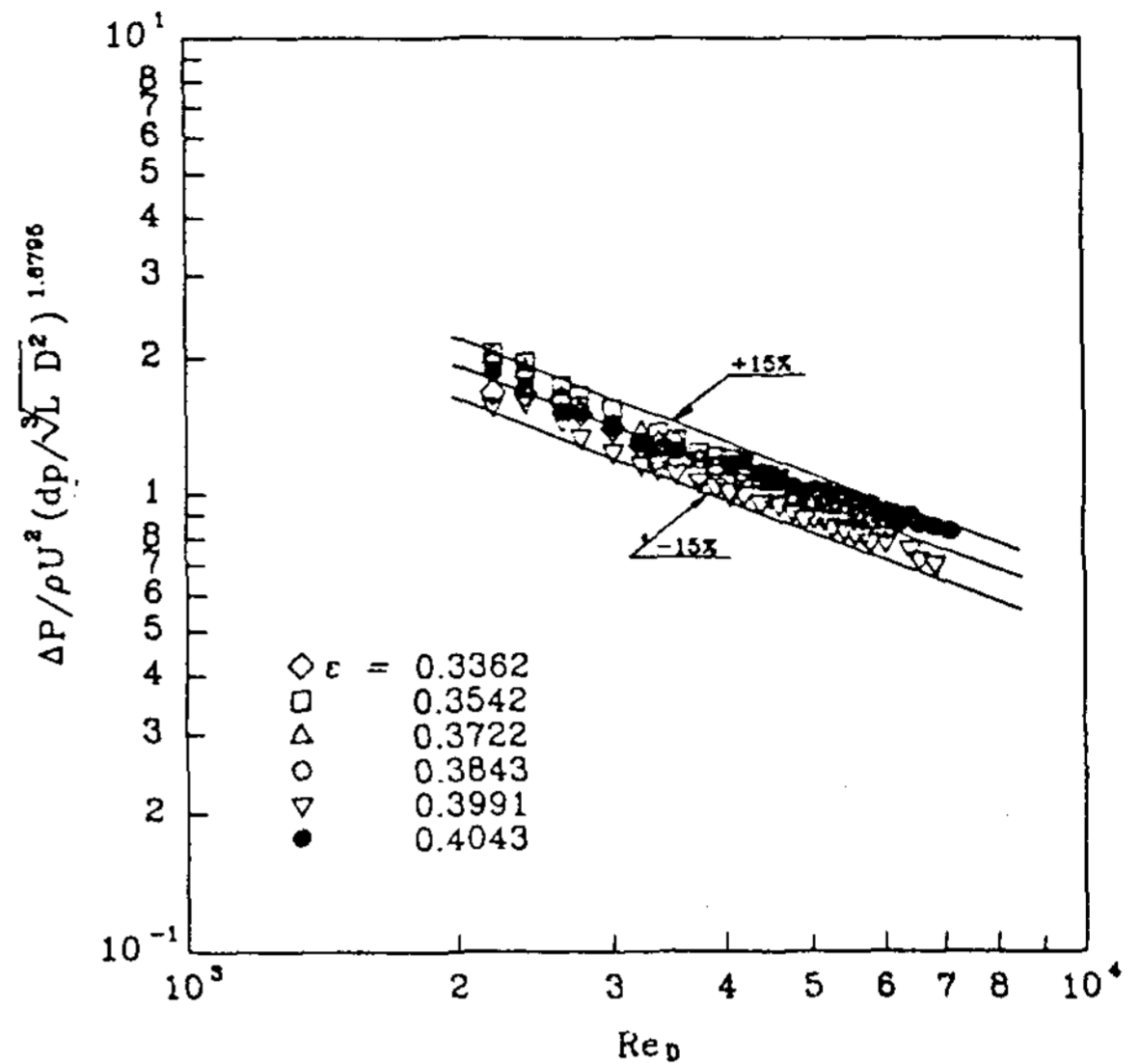


Fig.10 Dimensionless Correlation of Pressure Drop in Porous Metal

驗值를 15% 内에서 만족하고 있다.

IV. 結 論

靑銅系 球形粒子를 原版 모양으로 燒結한 燒結金屬層(空隙率 0.3362~0.4044, 6종)을 공기 가 통과하는 경우에 流量(0.69~2.24Kg/m²s) 및 空隙率의 변화가 壓力損失에 미치는 影響을 實驗적으로 考察한 結果 다음과 같은 結果를 얻을 수 있었다.

1. 粒子直徑이 커질수록 空隙率이 增大하며, 增大率은 점차 減少한다.
2. 空隙率이 동일한 경우는 流速이 增大할 수록 壓力損失이 增大하며, 또 동일한 流速에서는 空隙率이 작을 수록, 즉 粒子直徑이 작을 수록 壓力損失이 增大한다.
3. 本 實驗에서 燒結金屬層을 통과하는 공기의 壓力損失을 Ergun의 式에 의해서 구한 값과는 일치하지 않으나, 그 傾向은 類似하므로 Ergun의 式을 燒結金屬層에 적용하기 위해서는 修正計數를 사용할 필요가 있다.
4. 本 實驗 結果를 無次元式으로 整理한 結果,

다음과 같은 無次元式을 구할 수 있었으며, 이 式은 本 實驗 範圍에서 $\pm 15\%$ 精度로 實驗值를 만족하고 있다.

$$\frac{\Delta P}{\rho U_m^2} \cdot C_1 \left(\frac{d_p}{(LD^2)^{1/3}} \right)^{1.6795} = 551.67 Re_D^{-0.744}$$

後 記

本 論文은 教育部의 1990年 大學別 特性學科 海外研修課題로 1991年 1月부터 12月 까지 西獨 BERLIN 大學校 內燃機關 研究所에서 研究된 것으로 教育部에 感謝드립니다.

參考文獻

1. Leon Green, JR and Pol Duwez., "Fluid flow through porous metals.", *Journal of Applied Mechanics*, pp.38-45, 1951.
2. Bauer, R., "Packed Beds with flowing through.", *Heat Exchanger Design Handbook*, Vol.2, pp. 332-335, Hemisphere Corporation, 1983.
3. Barker, J.J., "Heat transfer in packed beds.", *Ind. Eng. Chem.* Vol. 57, pp.43-51, 1965.
4. Butt, J. B., "Thermal conductivity of porous catalysts.", *AIChE J.* Vol.11, pp.106-111, 1965.
5. Wada, K Nishiyama, Y., Hayano, N. and Jotaki, T., "Study of packed bed collector", *Int. chem. Eng.* Vol.13, pp.125-145. 1984.
6. Susskind, H. and Becker, W., "Pressure drop in geometrically ordered packed beds of spheres." *AIChE J.*, Vol.13, pp.1155-1159, 1967.
7. Hicks, R.E., "Pressure drop in packed beds of spheres." *Ind. Eng. Chem. Fund.*, Vol.9, p.500, 1970.
8. Wenta, C.A. and Thodos, G., "Pressure drop in the flow of gases through packed beds of spherical particles." *AIChE J.* Vol.9, p.81, 1963.
9. Reynolds, O., "Papers on mechanical and physical subjects.", Cambridge University Press, 1900.
10. Lindquist, E., "Premier Conges des grandes barrages.", Vol, V, pp.81-99, Stockholm, 1933.
11. Morcom, A.R., "Fluid flow through granular materials.", *Trans. Inst. Chem. Eng.*, Vol.24, p.179, 1946.
12. Ergun, S. and Orning, A. A., *Ind. Eng. Chem.*, Vol.41, p.1179, 1949.
13. Blake, F.E., "The resistance of packing to fluid flow.", *Trans. AIChE*, Vol.14, p.415, 1922.
14. Kozeny, J., "Über Kapillars leitend des wassers in bodem.", *Ber. Wein Akad.*, Vol.36, p.271, 1927.
15. Ergun, S., "Fluid flow through packed columns", *Chem, Eng. Progr.*, Vol.48, pp.89-94, 1952.

Combined Radiation and Natural Convection Heat Transfer in an Enclosure with a Constant Heat Flux at the Rottom

Kwon, Sun-Sok · Kwon, Yong-II

Dept. of Mechanical Engineering Dong-A University

ABSTRACT

This investigation is carried out numerically for the two dimensional natural convection and surface radiation heat transfer in a square enclosure. The bottom wall is a constant heat flux at hot temperature and also top wall is isothermal at cold temperatures whereas the left and right side walls are adiabatic except a transparent window on the right side partially.

The exchange of radiant energy is obtained by the net radiation method and the shape factor by the crossed string method.

The change in temperature and Nusselt number distributions of the walls due to the effect of the wall emissivity for various emissivities and for various dimensionless insolation energies are investigated. The dimensionless local convective heat flux and local radiative heat flux distributions in the wall except an adiabatic wall are also compared.

A Study on Pressure Drop Through The Porous Metal.

Su-cheol Ohu

In-Ha University Dept. of Mechanical Engineering

ABSTRACT

This study has been conducted to provide fundamental knowledge of the characteristics of pressure drop through porous metal by experimental investigation.

Pressure drop of air passing through porous metal was measured. The influences of porosity and flow velocity on pressure drop were investigated and in view of friction factor, the experimental data was compared with theoretical equation as known to Ergun's equation concerning unconsolid packed bed.

The result of this study are as follows. The pressure drop was increased with increasing the

flow velocity and at the same flow velocity with decreasing the porosity(decreasing the particle diameter), In Particular, the experimental equation for the pressure drop was derived using the particle diameter, matrix diameter and matrix thickness. The experimental data were correlated well(mean deviation $\pm 15\%$) with the present empirical dimensionless equation.

Thermal Performance Analysis and Optimization of Passive Solar System

Won-Keun Lee

Korea Advanced Institute of Science & Technology

ABSTRACT

A numerical study on the Trombe wall system, a kind of passive solar systems, has been performed. The system is modelled as the 2-dimensional steady laminar flow with the natural convection. The PHOENICS code was employed to analyse the performance variation due to the change in the geometrical factor. The mass flow rate and the maximum temperature are changed by the variations in the width of the vents, the width between the window and the wall, and the location of the vents. And there exists the optimal condition to maximize the utilization factor. Further precise analysis has been performed to show the optimal geometry with regard to the above three factors.

A study on the oxide semiconductor

$[(In_2O_3)_x \cdot (SnO_2)_{1-x}]_{(n)}/Si_{(p)}$ solar cells fabricated by two source evaporation

Choon-Saing Jhoon

Yong-Woon Kim*

Eung-Choon Lim**

Inha University

*Graduate School, Inha University**

*Graduate School, Inha University***

ABSTRACT

The solar cells of $ITO_{(n)}/Si_{(p)}$, which are ITO thin films deposited and heated on Si wafer $190(^{\circ}C)$, were fabricated by two source vacuum deposition method, and their electrical properties were investigated. Its maximum output is obtained when the composition of the thin film consist of indium oxide 91[mole %] and tin oxide 9[mole %].

The cell characteristics can be improved by annealing but are deteriorated at temperature above $600(^{\circ}C)$ for longer than 15[*min*].

Also, we investigated the spectral response with short circuit current of the cells and found that