

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 15, No. 3, 1995

Furan Foundry Sand 유동층에서 열 전달 특성에 관한 연구

박종순* · 백고길** · 김은영*** · 전성택*** · 이덕봉***

* 한국원자력 연구소
** 대전산업대학교
*** 인천전문대학
*** 인천대학교

An Experimental Study on Heat Transfer in the Furan Foundry Sand Fluidized Bed”

Park, Jong-Suen* · Baek, Ko-Kil** · Kim, Uen-Young*** · Jeon, Sung-Taek*** · Lee, Duck-Bong***

* *Korea Atomic Energy Research Institute*
** *Taejon University of Technology*
*** *Junior College of Incheon*
*** *Incheon University*

요 약

본 연구소에서는 Furan foundry sand 유동층내에 Spiral coil tube를 설치하여 유동입자, 유동층내 온도, 유동율, 전열 관의 Pitch와 직경 비(p/Do) 및 전열 관의 Pitch와 유동입자의 크기의 비(p/dp) 등이 전열 관 표면 열 전달계수(h_o)에 미치는 영향을 실험적으로 연구하고, 또한 최대 Nu_{max} 수를 여러 변수들의 관계로 나타내었다.

전열 관 표면 열 전달계수는 유동층내 온도가 높아 질 수록, 유동율이 커질수록 증가한다. 그러나 유동입자의 크기가 커지면 열 전달계수는 감소한다.

전열 관의 Pitch와 직경 비(p/Do)와의 관계에서 p/Do=4.75일 때 가장 높은 열 전달계수를 얻었으며, 유동층내 온도가 상승하고, Re 수가 증가할 수록 p/Do=1.58일 때보다 p/Do=4.75일때가 Nu수의 증가율은 다소 감소하는 경향을 보였다. 또한 p/dp의 비가 클 경우 낮은 온도(75℃)에서, p/dp의 비가 작을 경우는 높은 온도(550℃)에서 열 전달 효과가 큰 것으로 나타났다.

본 실험범위에서 최대 Nu_{max} 수와 Re 수, Prg 수, p/dp 및 p/Do의 관계를 무차원 식으로 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$Nu_{max} = 1.01 Re^{0.48} Prg^{0.4} (p/dp)^{0.28} (p/Do)^{0.05}$$

Abstract

Heat transfer coefficients on a single spiral coil tube in the furan foundry sand fluidized bed have been investigated. Heat transfer coefficients(ho) to an immersed single spiral coil tube were measured in the bed. The bed diameter was 0.21 m. The following quantities were varied: (1)bed temperature, (2)mean particle diameter, (3) fluidization rate, (4)the ratio of heated coil tube pitch to diameter(p/Do), and (5)the ratio of heated coil tube pitch to mean particle diameter(p/dp). In addition, the experimental values of maximum Nusselts number were compared with the values of maximum Nusselts number predicted by the existing correlations. The values of heat transfer coefficient increase with the increase in bed temperature and fluidization rate, but decrease with increase in particle diameter.

An empirical formulis of maximum Nusselts number which is applicable in the furan foundry sand fluidization bed is as follows:

$$Nu_{max} = 1.01 Re^{0.48} Prg^{0.4} (p/dp)^{0.28} (p/Do)^{0.05}$$

Nomenclatures

Do : Outside diameter of heat transfer tube (m)

dp : Mean particle diameter (m)

g : Acceleration of gravity (m/s²)

ho : Heat transfer coefficient between bed and external surface of tube (W/m²℃)

kg : Conductivity of gas (W/m℃)

p : Pitch of spiral coil tube (m)

U : Fluidizing air velocity (m/s)

Umf : Minimum fluidization velocity (m/s)

Greek Letters

μ_g : Viscosity of gas (N s/m²)

ρ_g : Density of gas (kg/m³)

ρ_s : Density of particle (kg/m³)

Dimensionless Parameters

Ar : Archimedes number [$dp^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g / \mu_g^2$]

Re : Reynolds number of particle [$\rho_g U dp/\mu_g$]

Prg : Prandtl number of gas [$C_{pg} \mu_g/k_g$]

Nu : Nusselts number of particle [$h_o dp/k_g$]

Nu_{max} : Maximum Nusselts number of particle [$h_{o,max} dp/k_g$]

I. 서 론

유동층의 역사는 16세기부터 시작되며, 1973년과 1979년의 두 차례의 유류 파동으로 석유가격의 상승에 따라 에너지 절약에 대한 국민적 관심이 높아 졌다. 1990년대 들어 와서는 산업폐기물 처리가 문제되면서, 이것을 유동층 기법으로 산업 폐기물을 줄이고, 자원을 재생하고, 또한 폐열을 회수하는데 많은 연구자들의 관심이 한층 높아지게 되었다.

유동층의 높은 열 전달 특성을 이용하여 열 교환기¹⁾, 폐열회수²⁾ 및 석탄연소^{3,4,5)} 등에 응용되고 있다. 유동입자로는 Sand, Glass bead, Copper 및 Iron 등을 이용하고 있으며, 가장 많이 이용되고 있는 입자의 크기는 Geldart^{6,7)}에 의해 분류된 "B" 와 "D" Group에 해당되는 것들이다.

본 연구에서는 Furan 주물사 유동층에서 열 전달 특성을 실험적으로 규명하는데 있다. 주물산업은 기계공업의 기초가 되며, 고품위의 주조물과 높은 생산성의 요구에 따라 주조 설비의 고안과 주형 점결재 및 주물사의 개발에 많은 노력을 기울여 왔다. 그 결과 1960년대 초에 Furan 주형의 점결재가 개발되었으며, 또한 1970년대 이후에는 열경화성 Furan 주형의 사용이 감소되고, 상온에서 자경성을 갖는 Furan주형의 사용이 급격히 증가해 오

고 있다. 이에 따라 Furan 주물사의 사용량이 증가되고 또한 폐주물사의 처리가 최근에는 환경오염 문제로 주물사의 폐기물 처리에 어려움이 발생하고, 또한 주물사의 물류비의 상승으로 Furan주물사의 재생에 많은 관심을 갖게 되었다. 따라서 본 연구는 Furan 주물사 유동층에서 Single spiral coil tube에 대한 열 전달 특성을 Furan주물사의 재생온도(550℃)까지 가열하여 온도, 유동입자 크기, 유동율 및 전열 관 Pitch와의 관계 등이 열 전달계수에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

II. 실험장치 및 실험방법

본 실험의 계통도는 Fig. 2-1과 같으며, 실험장치에 공급되는 유동기체는 공기로서 (1)의 Air blower에 의해 (2)의 Surge tank로 보내어지고 여기에서 안정된 공기는 (3)과 (15)의 Air flow meter를 통과하게 되는데 (3)의 Air flow meter를 통과한 공기는 (4)의 Electric heater에서 가열된후 (6)의 Air chamber를 거쳐 (20)의 Air distributor에서 균일화되어 유동층내의 유동입자를 유동화 시키게 된다. 또한 (15)의 Air flow meter를 통과한 공기는 (17)의 Gas burner에서 (14)의 Propane gas tank에서 공급되는 Propane gas와 혼합되어 유동층내 유동입자를 가열하게 되고, 유동층을 통과한 연소 Gas는 (19)의 Exhaust fan에 의해 외부로 배출된다.

냉각수로는 수도 물을 사용하였으며, (13)의 Flow meter를 통과한 냉각수는 전열 관에서 열 교환된후 외부로 배출되도록 하였으며, 냉각수의 유량은 0.9 LPM, 1.8 LPM, 2.4 LPM 및 3.0 LPM으로 설정하여 실험을 하였다.

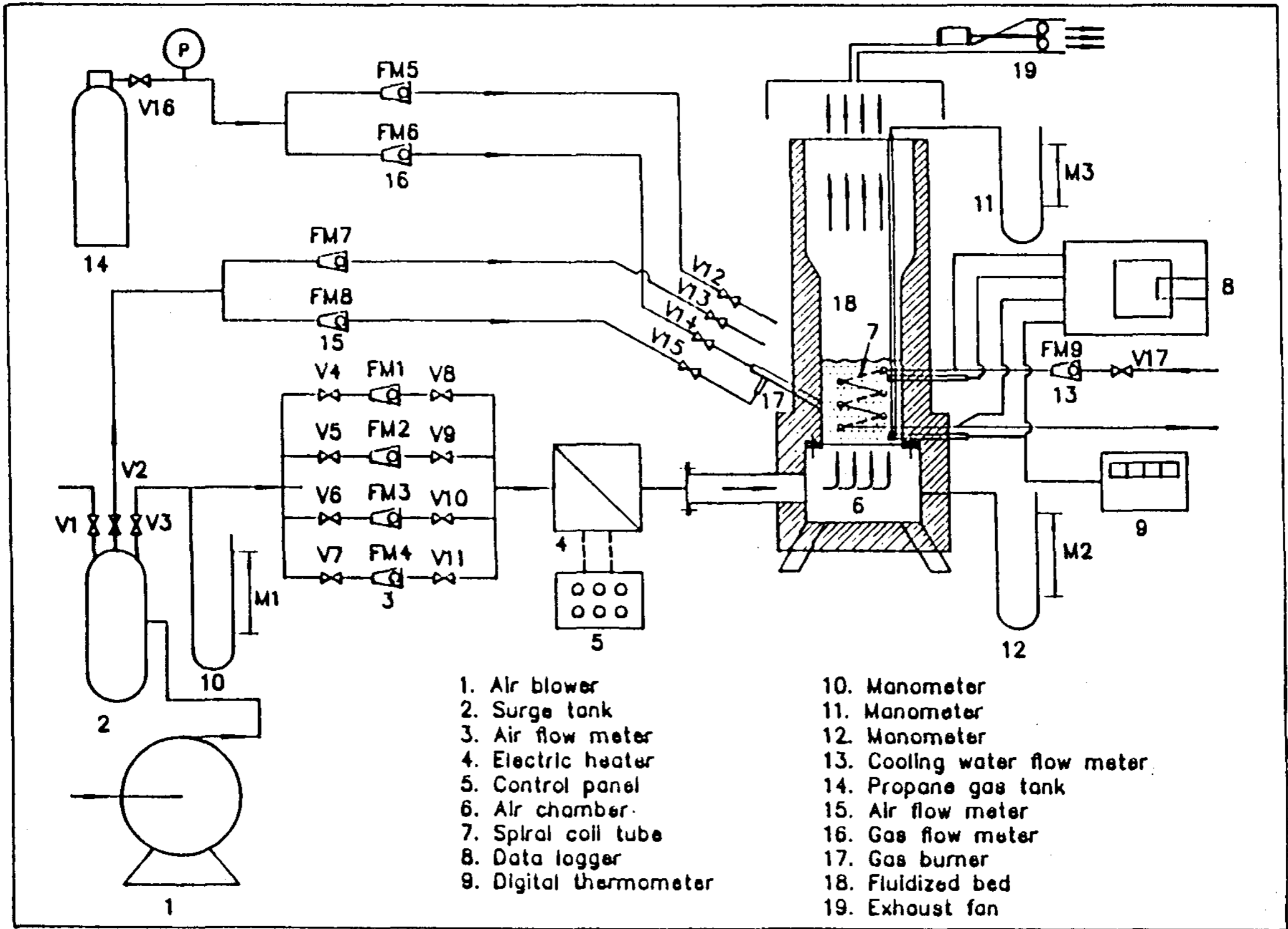


Fig. 2-1 Schematic diagram of fluidized bed

1. 실험장치

본 실험에 사용된 주요 장치로서는 Blower (40 CMM, 500 mmAq, 7.5 Kw), Electric heater((2 Kw x 4 EA), 유동층(Φ210 x 430H) 등이 있으며, 측정기기로는 Manometer, Flow meter, Data logger(Therm 5500-3) 등을 사용하였다.

2. 실험방법

유동층내 온도를 1차 Electric heater를 사용하여 공기를 가열하고, 그 이후 550℃까지는 유동층 벽에 설치한 2개의 Gas burner를 이용하여 유동층내 유동입자의 온도를 상승시

켰다.

유동입자는 Furan foundry sand로 그 크기는 420 μ m, 500 μ m, 600 μ m 및 710 μ m이며, 이들 유동입자에 대한 유동층내에 Spiral coil tube를 설치하여 유동층과 전열관사이의 열 전달 특성을 유동입자, 유동층내 온도, 유동율의 변화, 전열관의 Pitch와 직경 비(1.58, 2.37, 3.17 및 4.75) 및 전열관의 Pitch와 유동입자 크기의 비(P/dp) 등이 열 전달 특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 또한 최대 Nu_{max} 수와 Re 수, Prg 수, p/dp 및 p/Do의 관계를 무차원 식으로 나타내었다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 유동층내 온도의 영향

Fig. 3-1에서는 유동층내 온도와 전열 관 표면 열 전달계수(h_o)와의 관계를 유동입자로 Furan 주물사를 이용하여 나타낸 것이며, 유동화속도를 0.0642 m/s, 0.0802 m/s, 0.1123 m/s, 0.1605 m/s, 0.2007 m/s 및 0.2344 m/s 로 각각 일정하게 유지하고 유동층내 온도를 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃ 로 변화시키면서 Furan 주물사(420 μ m, 500 μ m, 600 μ m 및 710 μ m)를 유동물체로하여 열 전달 계수를 구한 결과, 유동화속도 0.0642 m/s일 때 유동층내 온도 75℃에서 550℃로 상승시킬 때 열 전달 증진효과가 가장 큰 것은 유동 입자 710 μ m에서 약 168 W/m²℃(약 420%), 0.0802 m/s일 때 710 μ m에서 약 180 W/m²℃(약 375%), 0.1123 m/s일 때 710 μ m에서 약 193 W/m²℃(약 283%), 0.1605 m/s일 때 600 μ m에서 약 222 W/m²℃(약 211%), 0.2007 m/s일 때 710 μ m에서 약 240 W/m²℃(약 196%), 0.2344 m/s일 때 710 μ m에서 약 262 W/m²℃(약 192%)의 각각 높은 값을 얻을 수 있었다. 이와 같이 유동층내 온도가 증가할 수록 열 전달계수는 모든 유동입자에 대해서 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 유동화 기체의 열 전도 도는 열 전달계수에 아주 큰 영향을 주므로 유동화 기체의 온도가 상승할 수록 복사에 의한 효과가 증가되어, 이것이 열 전달계수에 상승적인 영향을 주기 때문이다.

2. 유동입자 크기의 영향

Fig. 3-2에서는 Furan 주물사 유동입자와 전열 관 표면 열 전달계수(h_o)와의 관계를 나타낸 것이며, 유동층내 온도 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 각각 일정하

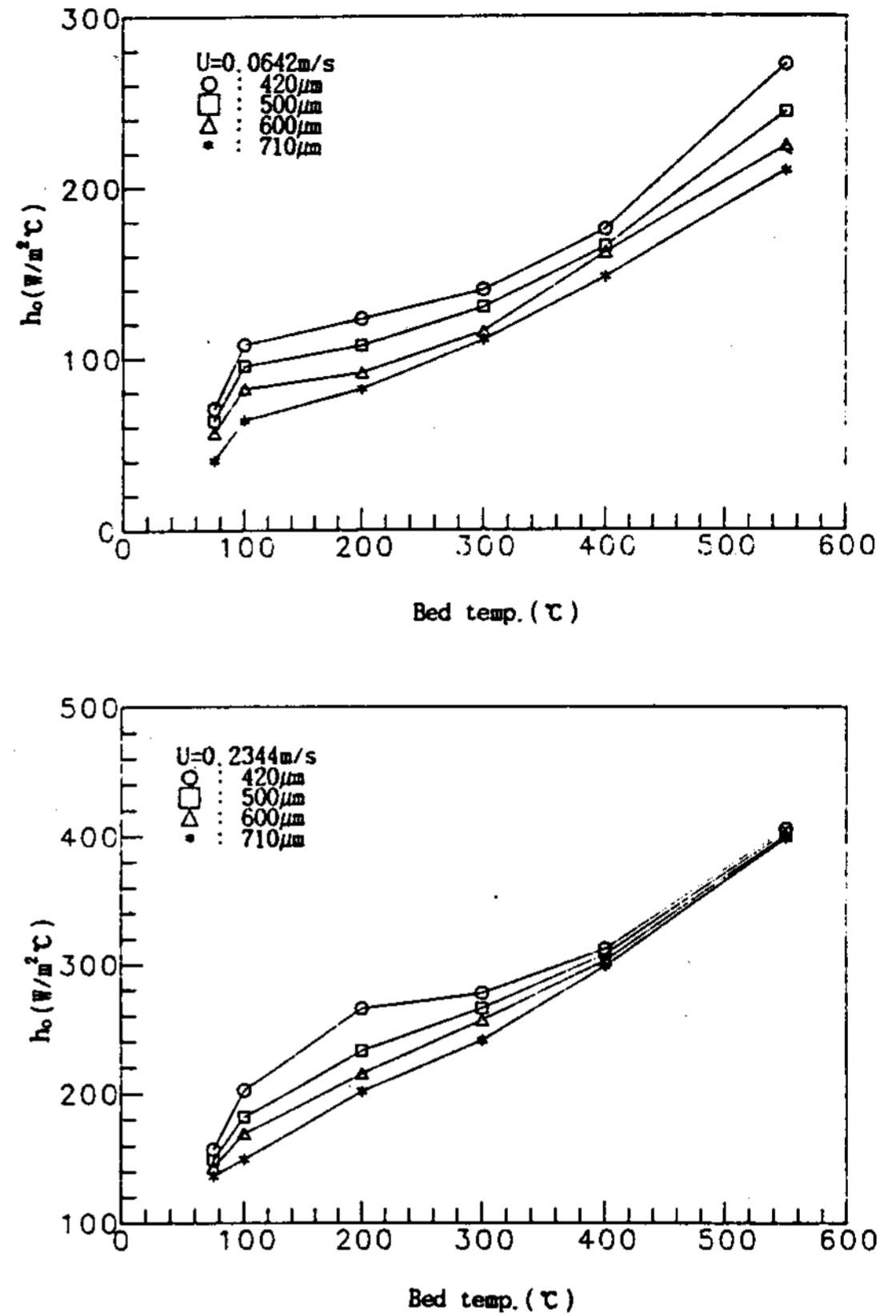


Fig. 3-1 Effect of bed temperature on heat transfer coefficients at the various air velocities.

Symbols; ○:420 μ m, □:500 μ m,
△:600 μ m, *:710 μ m

게 유지하면서 Furan 주물사의 크기를 420 μ m, 500 μ m, 600 μ m 및 710 μ m으로 교체하여 유동화속도(0.0642 m/s, 0.0802 m/s, 0.1123m/s, 0.1605 m/s, 0.2007 m/s 및 0.2344 m/s)에 대한 열 전달계수를 구한 결과, 유동입자를 420 μ m에서 710 μ m으로 크게 할 때 실험 열 전달계수의 최대감소량은 유동층내 온도 75℃에서는 유동화속도 0.0642 m/s일 때 약 30 W/m²℃(약 43%), 100℃에서는 0.2344 m/s일 때 약 53W/m²℃(약 26%), 200℃에서는 0.

2344 m/s일 때 약 63 W/m²°C(약 23%), 300°C에서는 0.1123 m/s일 때 약 39W/m²°C(약 20%), 400°C에서는 0.0802 m/s일 때 약 29W/m²°C(약 15%), 550°C에서는 0.0642 m/s일 때 약 62W/m²°C(약 22%)로 각각 얻을 수 있었으며, 이와 같이 Furan 주물사 유동입자가 클 수록 열 전달계수가 감소하는 것을 알 수 있다. R. H. Thing⁸⁾이 제시한 다음 식에 의하면

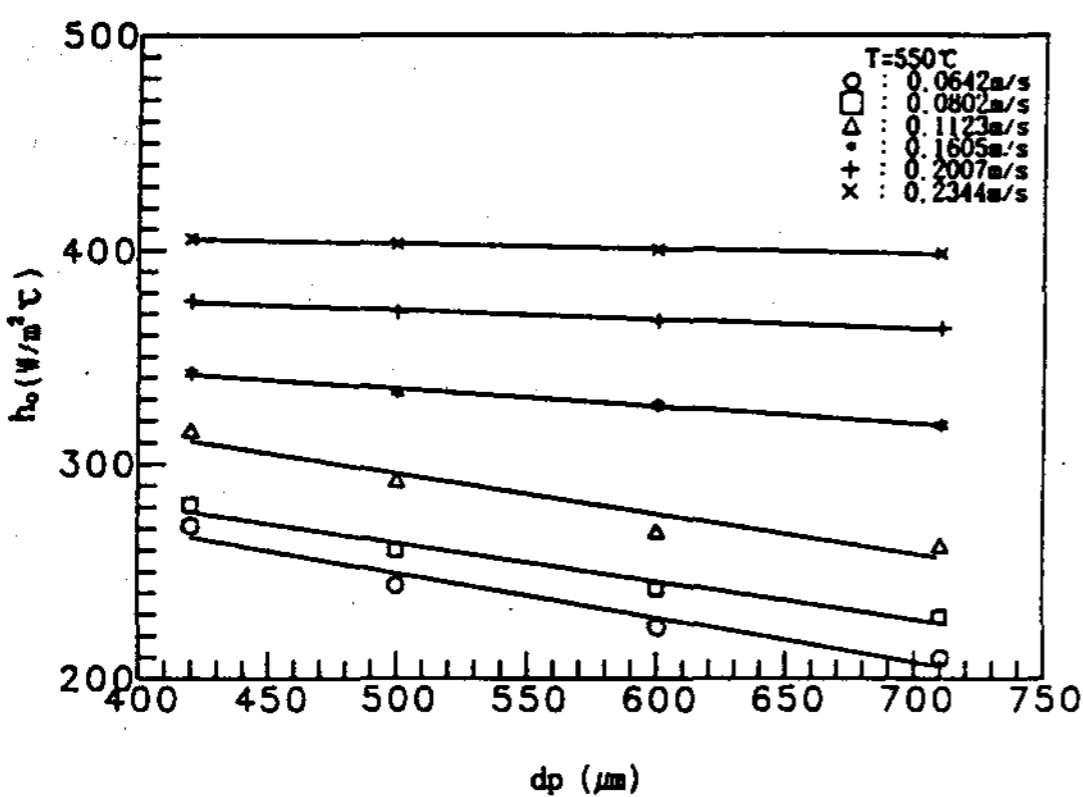
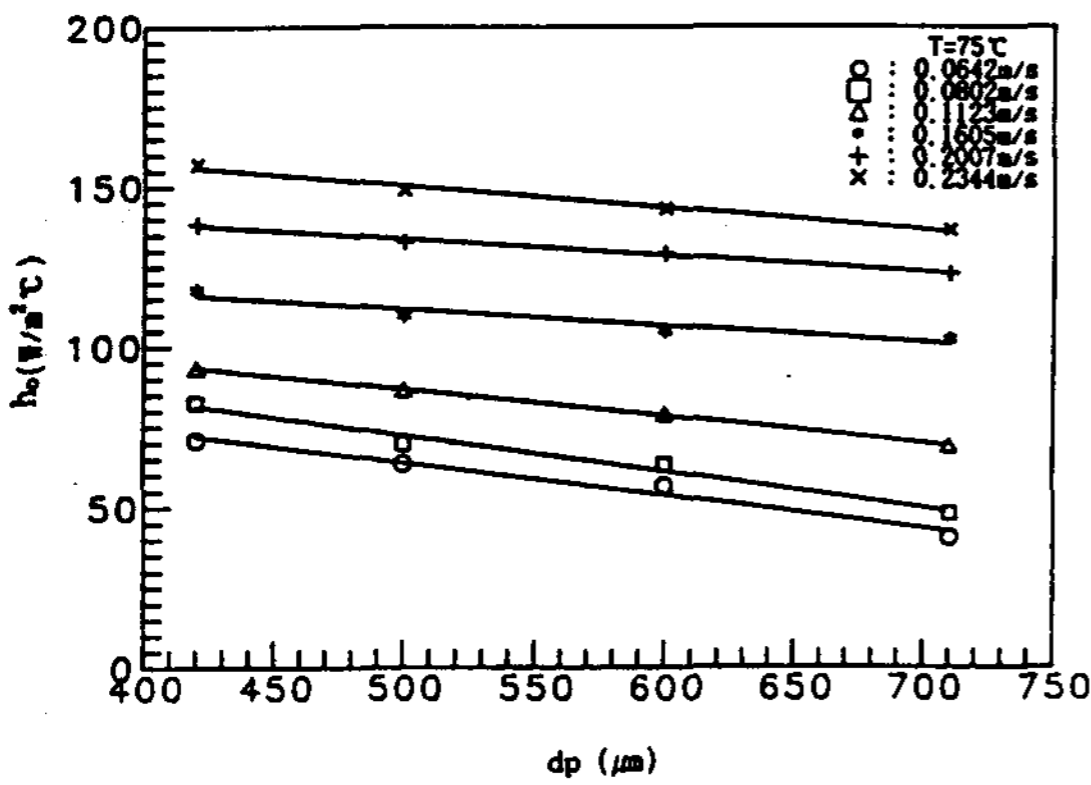


Fig. 3-2 Effect of particle size on heat transfer coefficients at the various bed temperatures.

Symbols; ○:0.0642m/s, □:0.0802m/s,
△:0.1123m/s, *:0.1606m/s,
+:0.2007m/s, ×:0.2344m/s

$$f_b = 0.08553 \left(\frac{U_{mf}^2 (w-1)^2}{g dp} \right)^{0.1948}$$

$$t = 8.932 \left(\frac{g dp}{U_{mf}^2 (w-1)^2} \right)^{0.0756} \left(\frac{dp}{0.025} \right)^{0.5}$$

단) f_b : 기포접촉분율, t : 입자접촉시간, $w = \frac{U_f}{U_{mf}}$

입자 직경이 작을수록 유동기체 기포(Bubble)의 접촉율은 증가하고, 입자군(Packet)의 접촉 시간은 감소하게 된다. 그런데 기포의 접촉분율은 유동입자 직경의 약 0.2승에 반비례하지만 입자군의 접촉시간은 입자직경의 약 0.6승에 비례하므로 입자군의 접촉시간의 영향이 더 크게 되는데 입자직경이 작을수록 접촉시간이 짧아져, 입자의 접촉빈도가 증가하므로 열 전달계수는 증가한다.

3. 유동율의 영향

Fig. 3-3에서는 유동율(U/U_{mf})과 전열 표면 열 전달계수(h_o)와의 관계를 Furan 주물사 유동입자 420 μ m, 500 μ m, 600 μ m 및 710 μ m 일 때 유동율의 증가에 따른 유동층내 온도(75°C, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C 및 550°C)의 열 전달 효과에 대해 알아보았으며, 유동입자 420 μ m에서 유동율을 1.28에서 4.58까지 증가시킬 때 실험최대 열 전달계수 증가량은 유동층내 온도 550°C일 때 약 133W/m²°C(약 49%), 유동입자 500 μ m에서 유동율 1.11에서 4.00까지 증가시킬 때 550°C일 때 약 160W/m²°C(약 65%), 유동입자 600 μ m에서 유동율 1.02에서 3.68까지 증가시킬 때 550°C일 때 약 176W/m²°C(약 78%), 유동입자 710 μ m에서 유동율 0.99에서 3.57까지 증가시킬 때 550°C일 때 약 189 W/m²°C(약 90%)의 값을 각각 얻을 수 있었다. 이와 같이 유

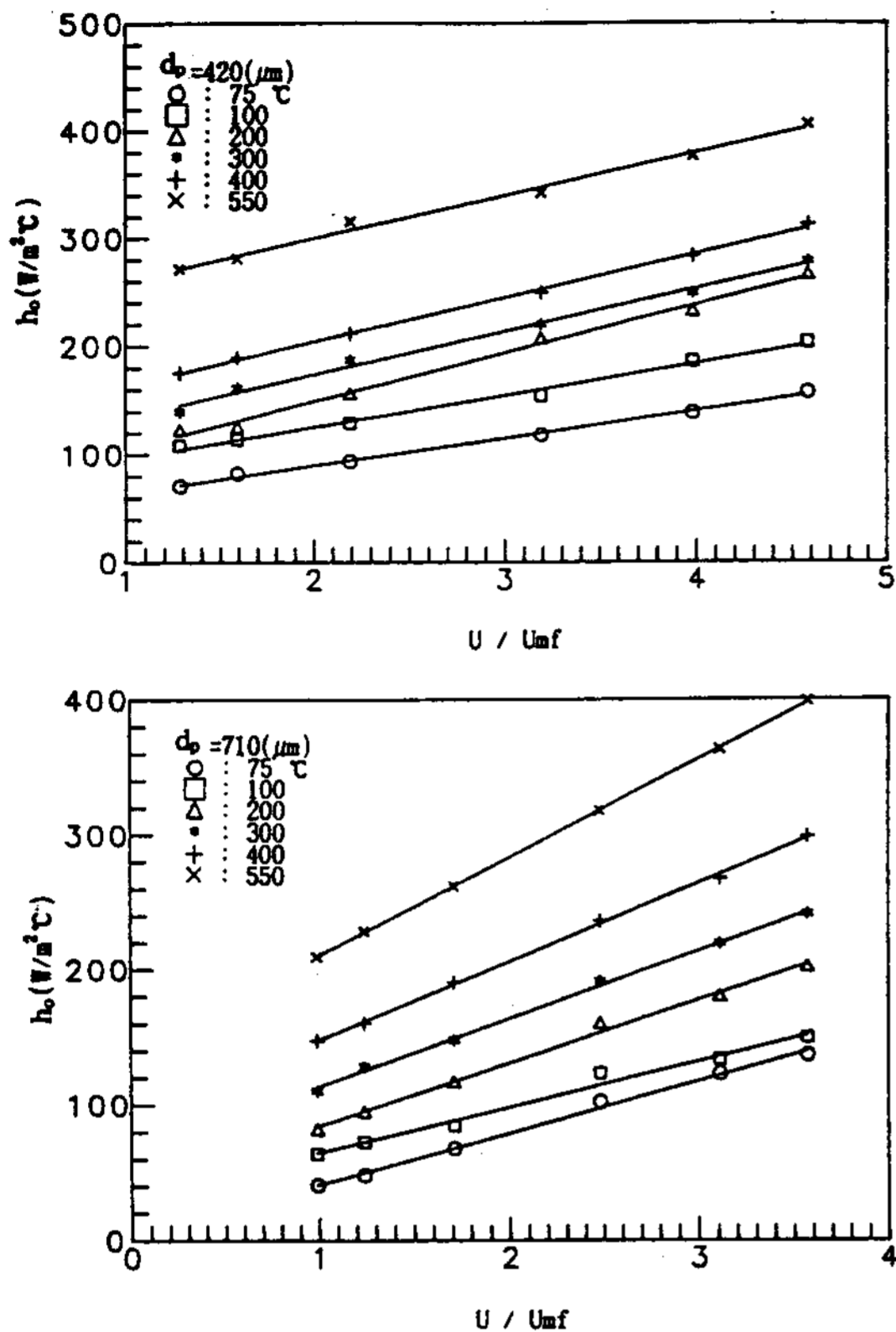


Fig. 3-3 Effect of fluidization rate on heat transfer coefficients at the various particle sizes.

Symbols; ○:75°C, □:100°C, △:200°C, *:300°C, +:400°C, ×:550°C

유동율이 증가할 수록 열 전달 효과가 증진되는 것으로 나타났다.

유동율이 증가할 수록 유동입자가 전열 면에 접촉하는 시간은 감소되나 단위시간당 전열 면과 접촉하는 유동입자의 교체빈도는 증가되어 Net heat flux는 증가한다.

일반적으로 최대 열전달계수는 유동율 (U/U_{mf}) 4~6에서 나타나는 것으로 알려지고 있는데, 본 실험에서 사용된 Furan foundry sand에 대한 유동율을 최대 4.58까지 실험을 수행하였다.

4. 전열관 Pitch와의 관계

(1) 전열관 Pitch와 직경 비(p/D_o)의 관계

Fig. 3-4에서 Fig. 3-7까지는 주물사 유동입자와 유동층내 온도를 일정하게 유지하고 전열관의 Pitch와 직경 비(p/D_o)를 변화시켰을 때의 관계를 나타낸 것으로, Fig. 3-4에서는 유동입자 $420 \mu m$ 일 때 유동층내 온도 75°C, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C 및 550°C로 변화시켰을 때 $p/D_o=4.75$ 일 때가 유동층내 온도 조건에서 가장 높은 열전달 계수를 얻었으

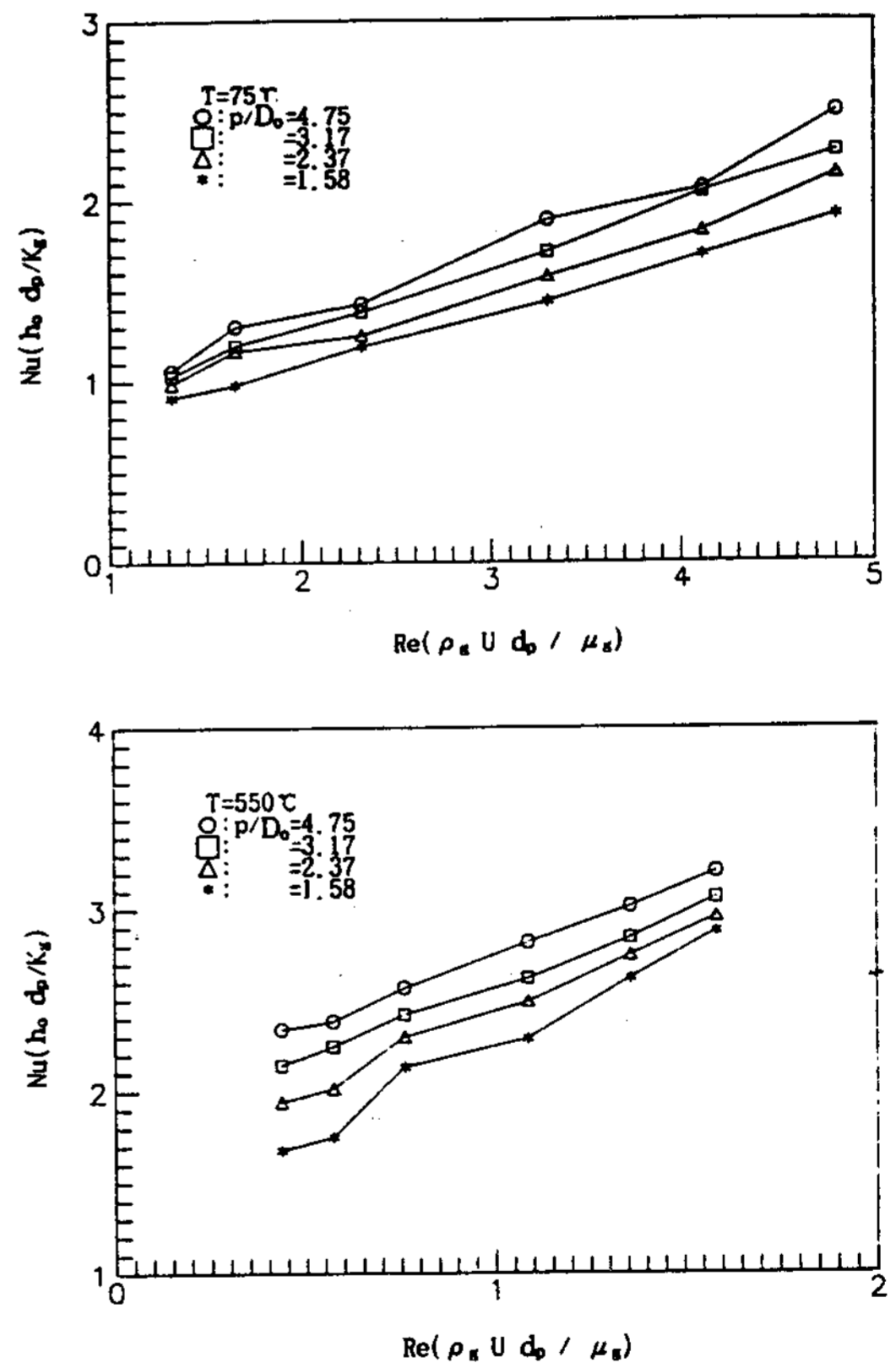


Fig. 3-4 Comparison of the Nusselt number for bed temp. and p/D_o in case of particle size of $420 \mu m$.

Symbols ; ○: $p/D_o=4.75$, □: $p/D_o=3.17$, △: $p/D_o=2.37$, *: $p/D_o=1.58$

며, 또한 유동층내 온도 75℃에서 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 25% 정도의 열 전달 증진효과가 있었으며, 550℃에서는 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 20%정도 열전달 증진효과가 있었다.

Fig. 3-5에서는 유동입자 $500\mu\text{m}$ 일 때 유동층내 온도조건을 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 변화시켰을 때 마찬가지로 $p/D_o=4.75$ 일 때가 유동층내 온도조건에서 가장 높은 열 전달계수를 구할 수 있었으며, 또

한 유동층내 온도 75℃에서 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 36%정도 높은 열전달 증진효과가 있었고, 550℃에서는 75일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 21%정도 높은 열 전달 증진효과가 있었다.

Fig. 3-6에서는 유동입자 $600\mu\text{m}$ 일 때 유동층내 온도조건을 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 변화시켰을 때 75일 때가 유동층내 온도 조건에서 가장 높은 열전달 계수를 나타내었으며, 또한 유동층내 온도

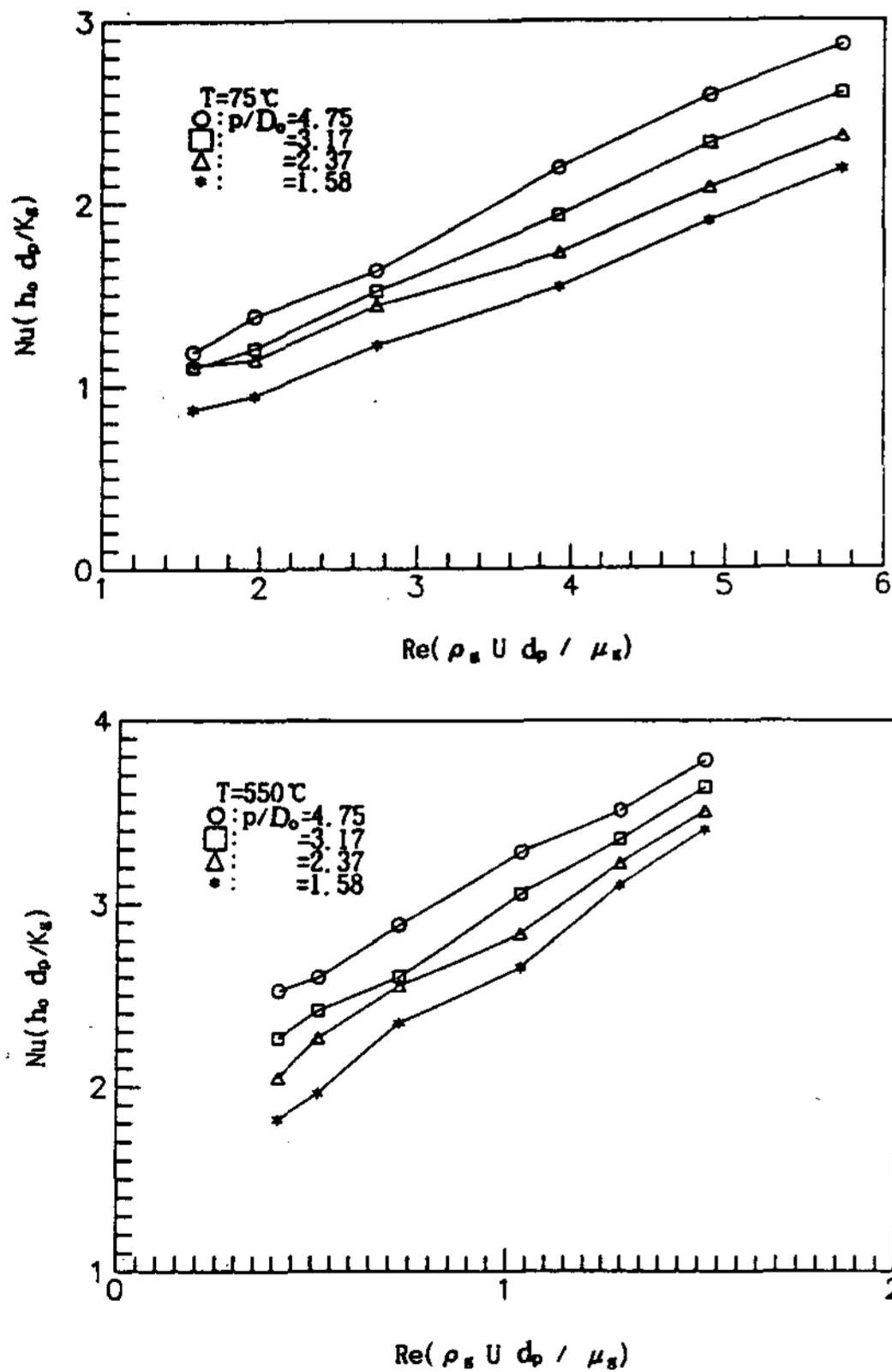


Fig. 3-5 Comparison of the Nusselt number for bed temp. and p/D_o in number for bed temp. and p/D_o in case of particle size of $500\mu\text{m}$.
 Symbols ; ○: $p/D_o=4.75$, □: $p/D_o=3.17$, △: $p/D_o=2.37$, *: $p/D_o=1.58$

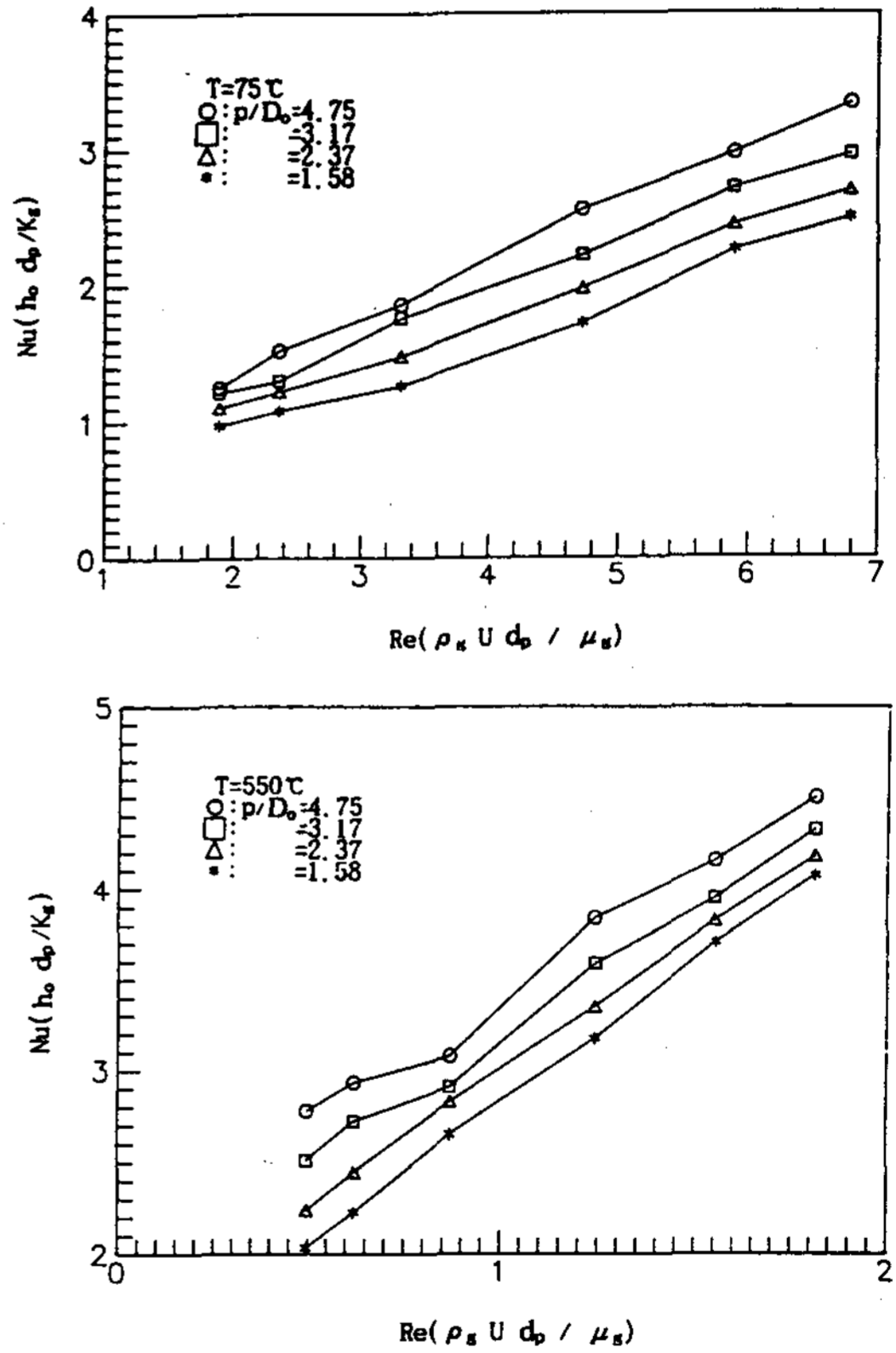


Fig. 3-6 Comparison of the Nusselt number for bed temp. and p/D_o in case of particle size of $600\mu\text{m}$.
 Symbols ; ○: $p/D_o=4.75$, □: $p/D_o=3.17$, △: $p/D_o=2.37$, *: $p/D_o=1.58$

75℃에서 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $P/D_o=1.58$ 일 때보다 37%정도 높은 전열효과가 있었고, 유동층내 온도 550℃에서는 $P/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 19%정도 전열효과가 있었다.

Fig. 3-7에서는 유동입자 $710\mu\text{m}$ 일 때 유동층내 온도조건을 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 변화시켰을 때 $p/D_o=4.75$ 일 때 각 유동층내 온도 조건에서 가장 높은 열전달계수를 얻었으며, 또한 유동층내 온도

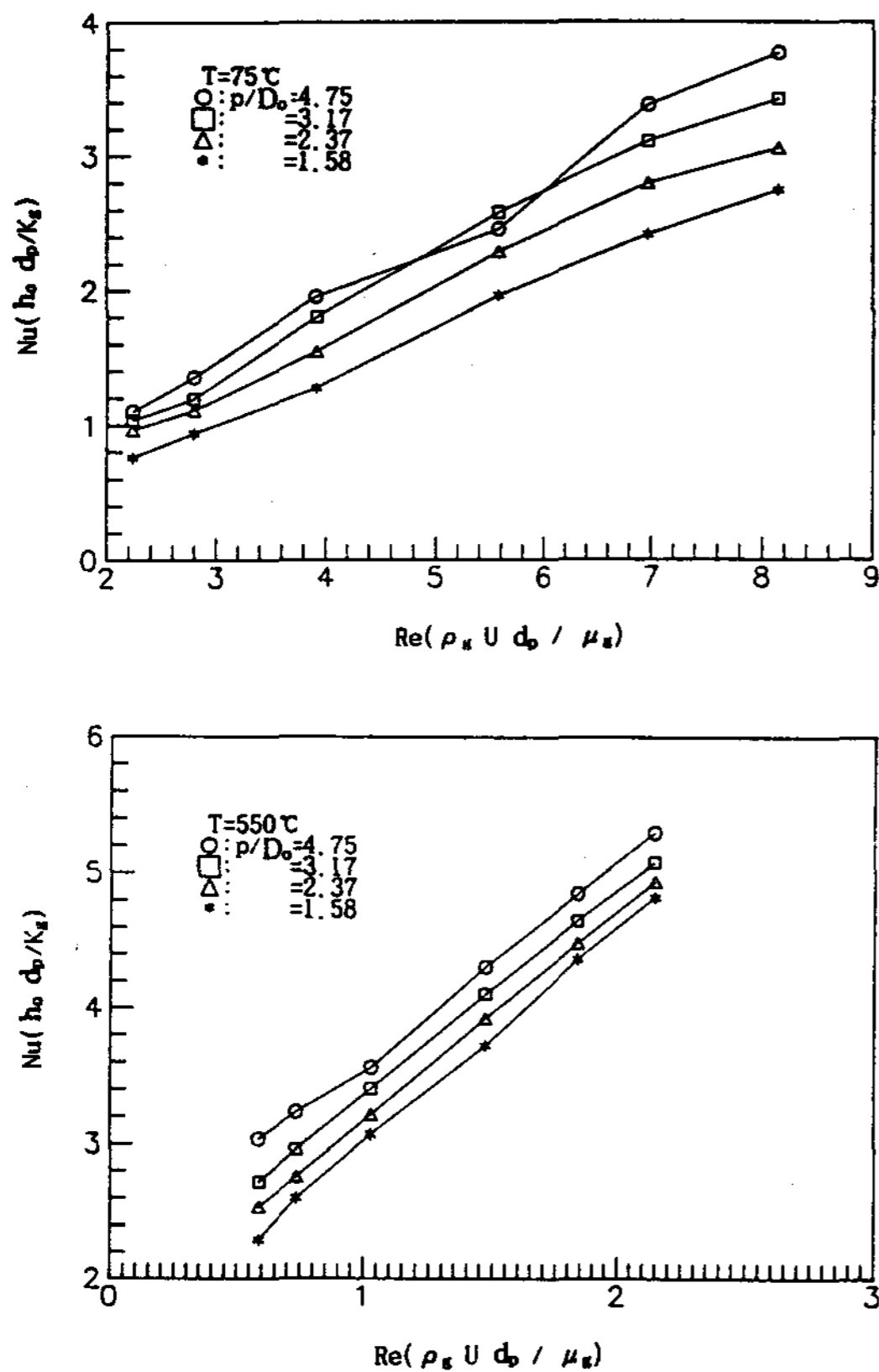


Fig. 3-7 Comparison of the Nusselt number for bed temp. and p/D_o in case of particle size of $710\mu\text{m}$.

Symbols ; ○: $p/D_o=4.75$, □: $p/D_o=3.17$, △: $p/D_o=2.37$, *: $p/D_o=1.58$

75℃에서 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 38%정도, 유동층내 온도 550℃일 때는 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 16%정도 전열효과가 있는 것으로 나타났다.

전열관 Pitch와 직경 비(p/D_o)가 클 수록 열 전달 증진효과가 큰 것으로 나타났으며, 또한 여기에서 알 수 있는 바와 같이 유동층내 온도가 상승하고, Reynolds number가 증가할 수록 $p/D_o=4.75$ 일 때가 $p/D_o=1.58$ 일 때보다 Nusselts number의 증가율은 다소 감소하는 결과를 보였다.

(2) 전열관 Pitch와 유동입자 크기의 비 (p/d_p)의 관계

Fig. 3-8에서 Fig. 3-11까지는 전열관 pitch와 직경 비(p/D_o) 및 유동층내 온도를 일정하게 유지하고, 전열 관 Pitch와 Furan 주물사 유동입자 크기의 비(p/d_p)를 변화시켰을 때 Nu 수와 Re 수의 관계를 나타낸 것이며, Fig. 3-8에서는 전열 관 Pitch와 직경 비(p/D_o)가 4.75일 때 유동층내 온도 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 변화시켰을 때 전열관 Pitch와 유동입자 크기의 비($p/d_p = 107.79, 90.55, 75.45, 63.76$)가 전열 효과에 미치는 영향을 나타낸 것으로 유동층내 온도가 75℃에서는 $p/d_p=63.76$ 일 때 가장 낮은 Nu 수를 나타내고 있으나, 유동층내 온도가 상승할 수록 즉, 550℃에서는 $p/d_p=63.76$ 일 때가 가장 높은 Nu 수를 얻었다.

Fig. 3-9에서는 전열관 Pitch와 직경 비 (p/D_o)가 3.17일 때 유동층내 온도 75℃, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃ 및 550℃로 변화시켰을 때 전열관 Pitch와 유동입자 크기의 비($p/d_p=71.86, 60.37, 50.30, 42.51$)가 전열 효과에 미치는 영향을 나타낸 것이고, Fig. 3-10에서는 $p/D_o=2.37$ 일 때는 전열 관 Pitch

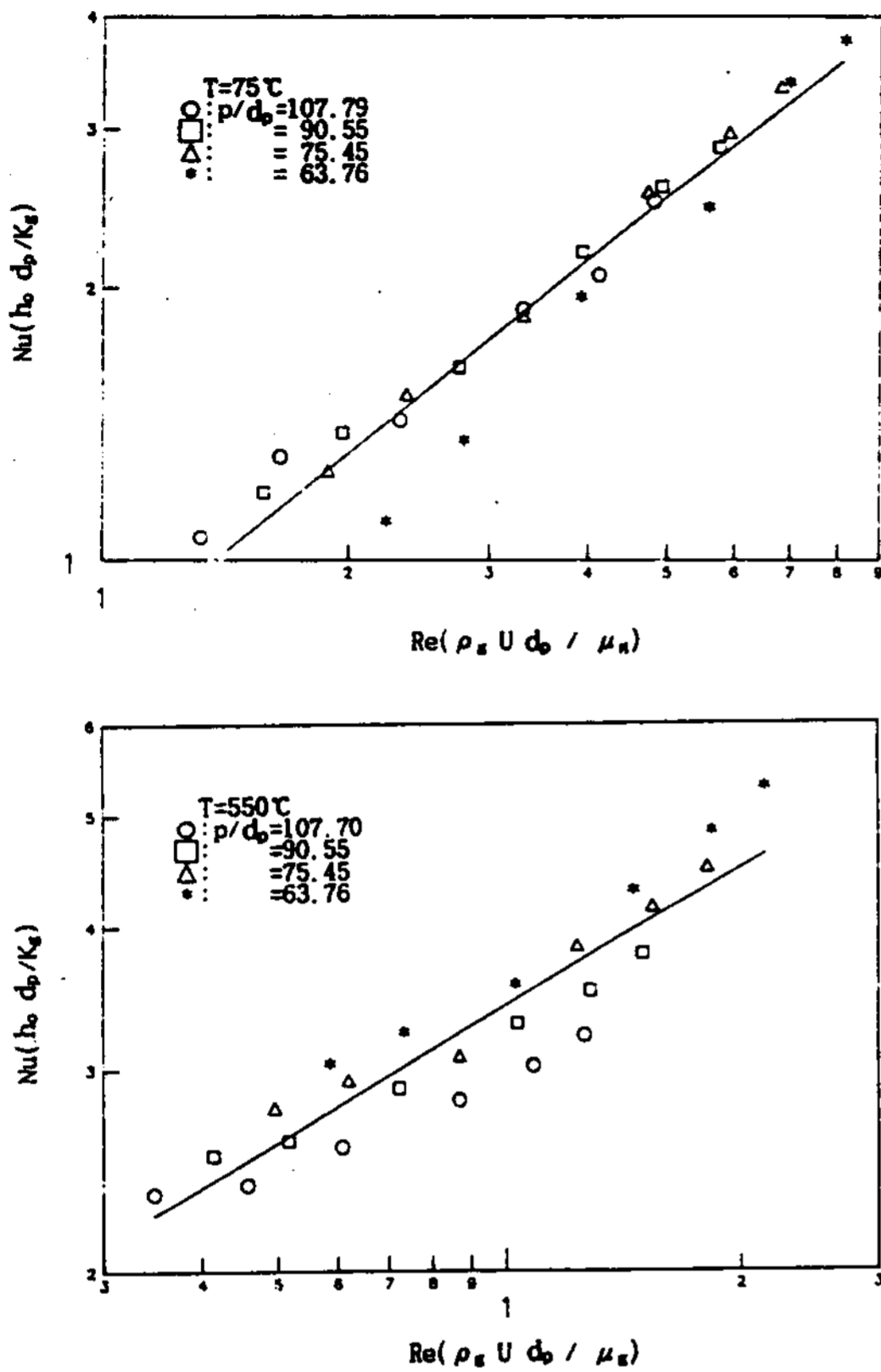


Fig. 3-8 Correlation of the Nusselt number on the $p/Do=4.75$ for number on the $p/Do=3.17$ for various p/dp , at bed temp. Symbols; various p/dp , at bed temp.
 Symbols ; ○: $p/dp=107.79$,
 □: $p/dp=90.55$, △: $p/dp=75.45$, *: $p/dp=63.76$

와 유동입자 크기의 비를 ($p/dp=53.90, 45.27, 37.73, 31.88$) 나타낸 것이며, Fig. 3-11에서는 $p/Do=1.58$ 일 때는 전열관 Pitch와 직경 비 ($p/dp=35.93, 30.18, 25.15, 21.25$)가 전열 효과에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 75일 때와 같이 75°C에서는 p/dp 가 클 때,

550°C에서는 p/dp 가 작을 때 전열효과가 큰 것으로 나타났다.

여기에서 알 수 있는 바와 같이 전열관 Pitch와 유동입자 크기의 비(p/dp)가 클 경우는 낮은 온도(75°C)에서, p/dp 가 작을 경우는 높은 온도(550°C)에서 전열효과가 큰 것으로 나타났다.

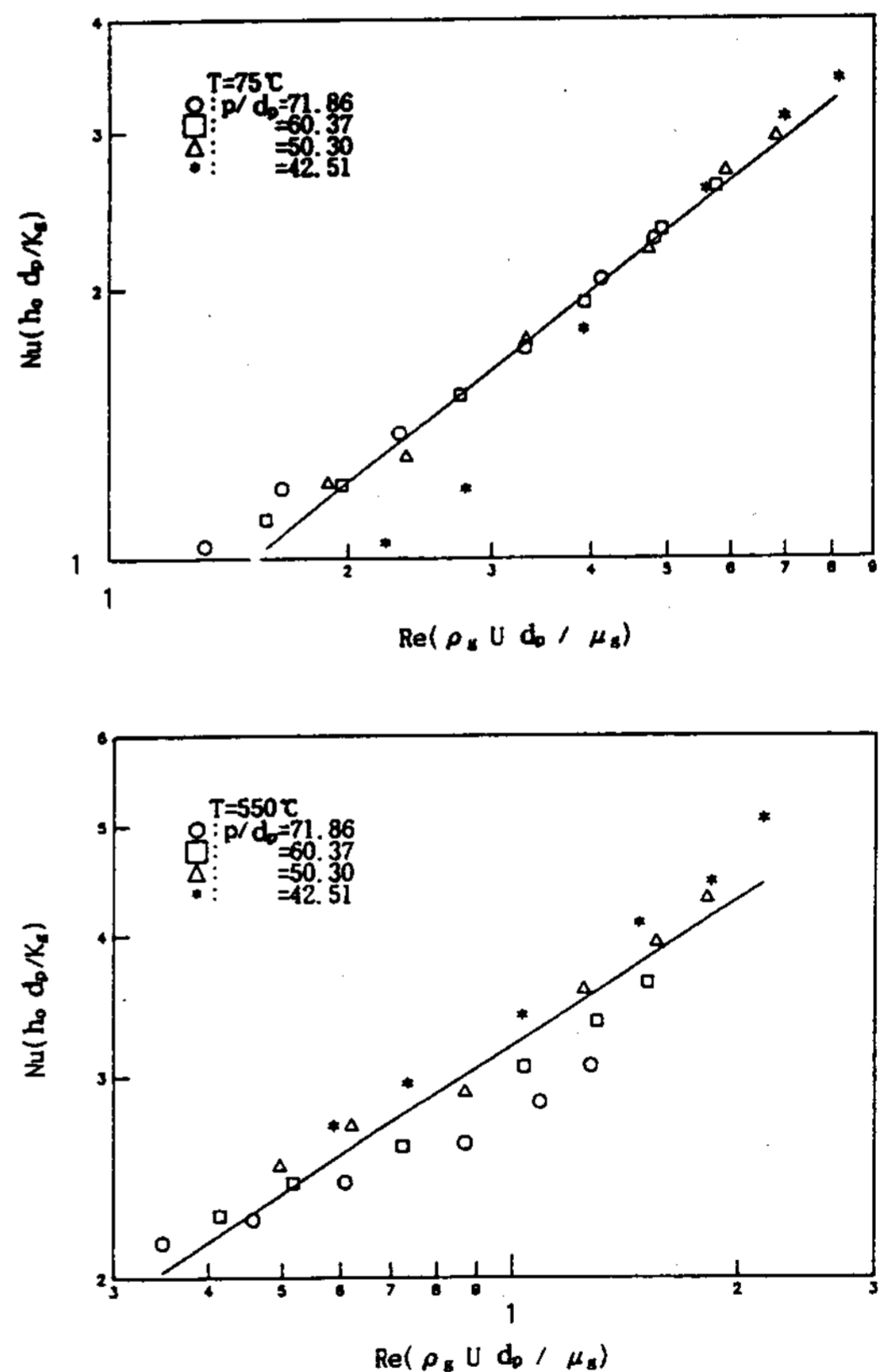


Fig. 3-9 Correlation of the Nusselt number on the $p/Do=3.17$ for Various p/dp , at bed temp.
 Symbols ; ○: $p/dp=71.68$, □: $p/dp=60.37$, △: $p/dp=50.30$, *: $p/dp=42.51$

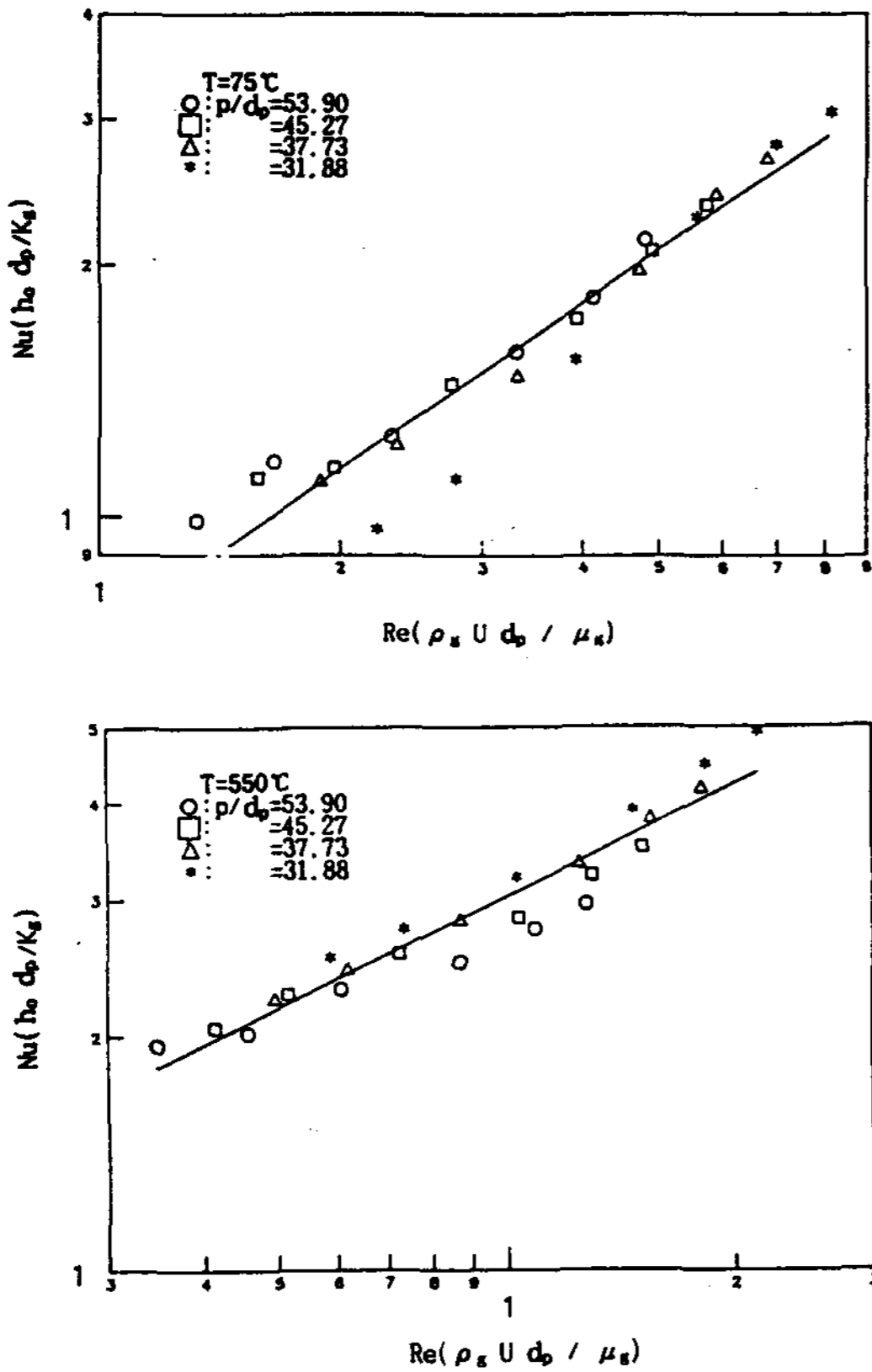


Fig. 3-10 Correlation of the Nusselt number on the $p/Do=2.37$ for Various p/dp , at bed temp.

Symbols ; \circ : $p/dp=53.90$, \square : $p/dp=45.27$, \triangle : $p/dp=37.73$, $*$: $p/dp=31.88$

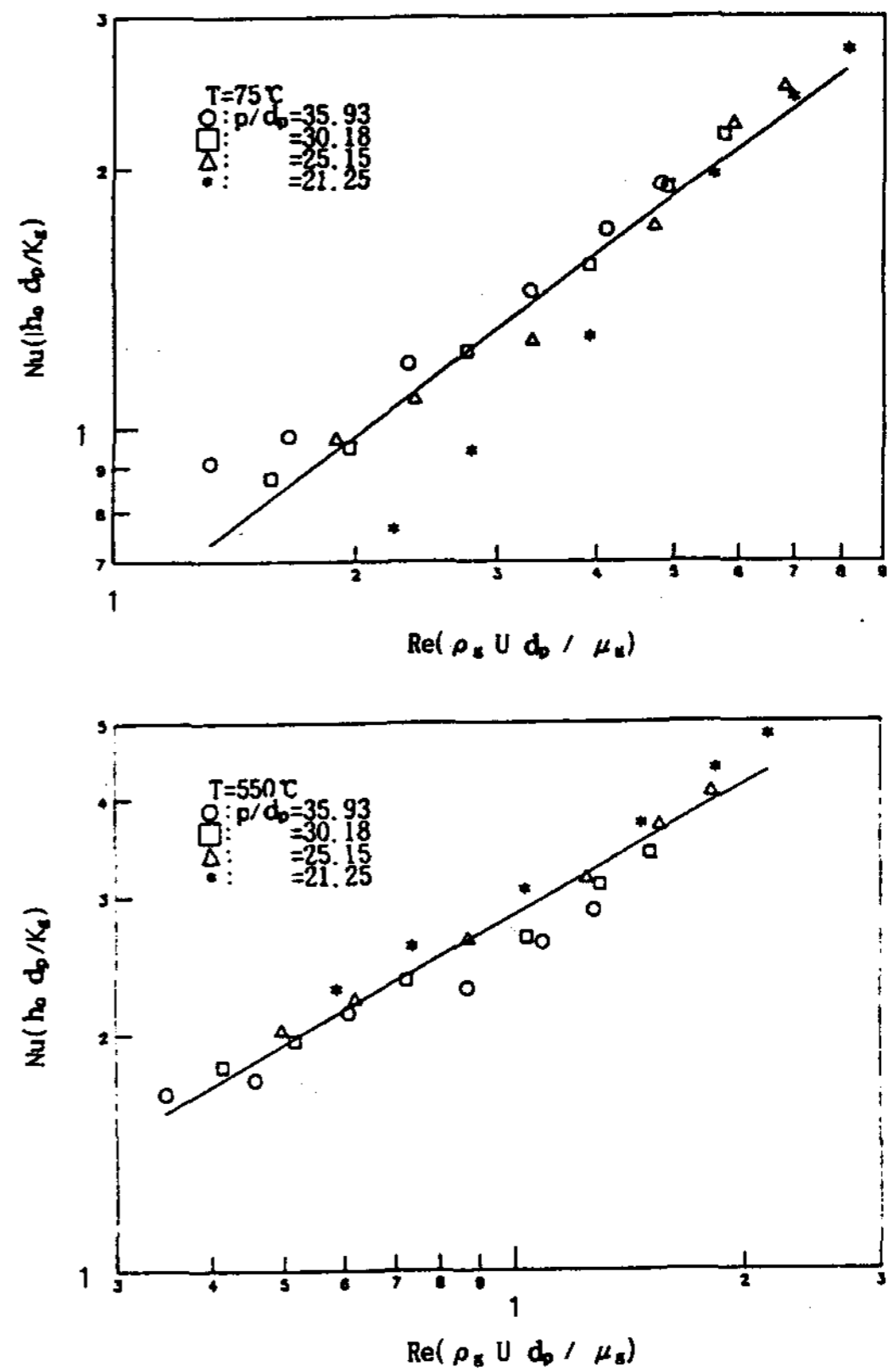


Fig. 3-11 Correlation of the Nusselt number on the $p/Do=1.58$ for various p/dp , at bed temp.

Symbols ; \circ : $p/dp=35.93$, \square : $p/dp=30.18$, \triangle : $p/dp=25.15$, $*$: $p/dp=21.25$

5. 최대 열 전달계수의 관계

Fig. 3-12에서는 본 실험 범위에서 얻은 최대 Nu_{max} 값과 최대 Nu_{max} 예측 값과의 관계를 나타낸 것이며, Fig.3-12(a)에서는 Maskaev (9,12) 등이 제시한 최대 Nu_{max} 값과 비교한 것으로, 본 실험에서 구한 모든 최대 Nu_{max} 값들이 예측 값보다 약 80% 크게 나타났으며, Fig.3-12(b)에서 Varygin(10,12) 등이 제시한 최대 Nu_{max} 값과 Fig. 3-12(c)에서 Zabrodsky(11,12) 등이

제시한 최대 Nu_{max} 값과의 비교에서는 실험에서 구한 최대 Nu_{max} 값이 $\pm 20\%$ 범위 내에 존재함을 알 수 있었다.

Fig. 3-13에서는 본 실험에서 구한 최대 Nu_{max} 값을 표시한 것이며, 최대 Nu_{max} 수와 Re 수, Prg 수, (p/dp) 및 (p/Do) 의 상관관계를 무차원 식으로 나타낸 것으로 $\pm 20\%$ 오차를 보였으며, 관련 식은 다음과 같이 얻었다.

$$Nu_{max}=1.01 Re^{0.48} (Prg)^{0.4} (p/dp)^{0.28} (p/Do)^{0.05}$$

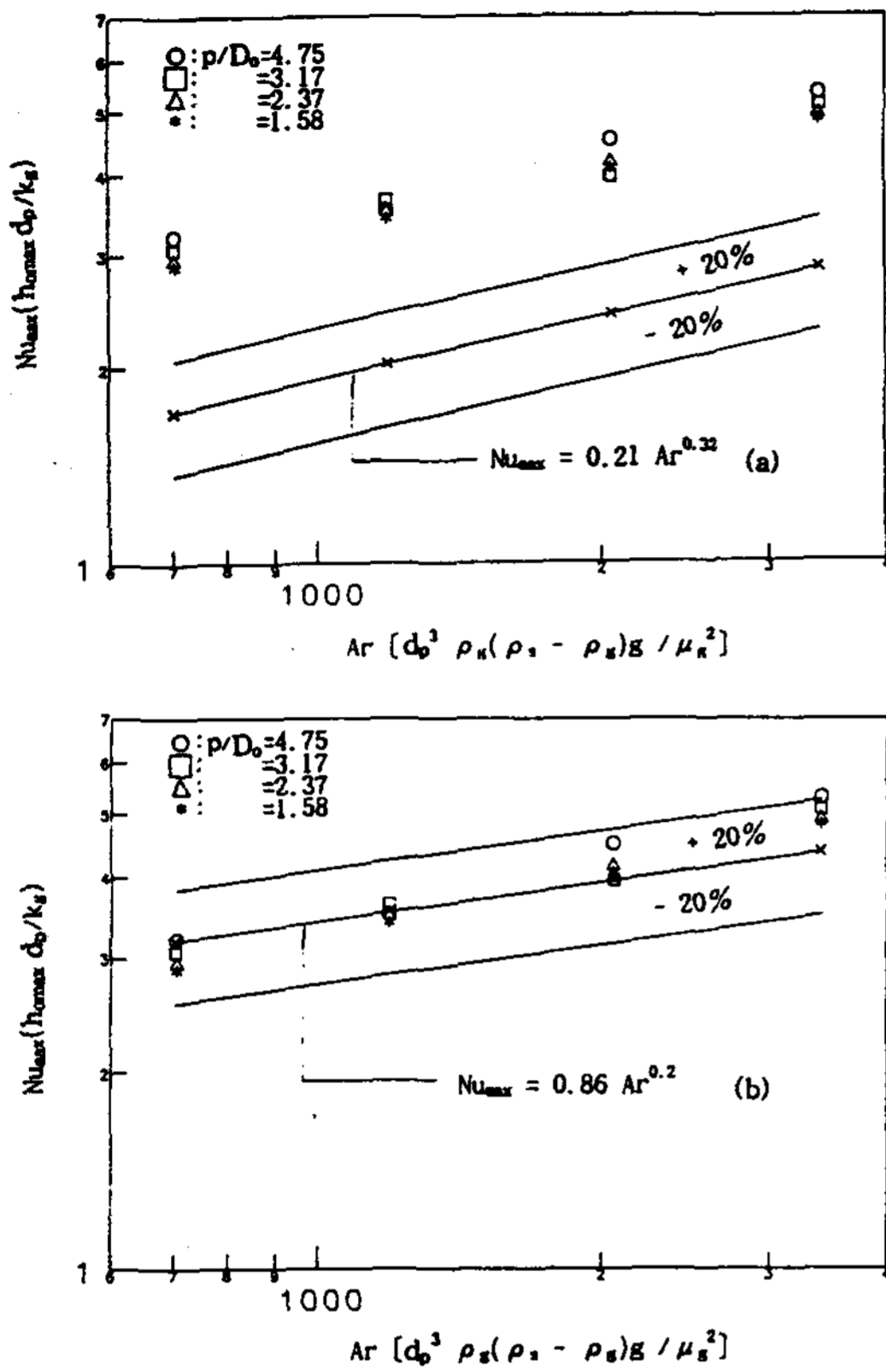


Fig. 3-12 Comparison of the present experimental data with various correlations: (a) Maskaev et al (1973), (b) Verygin et al(1966), (c) Zabrodsky (1974).
 Symbols; ○: p/Do=4.75, □: p/Do=3.17, △: p/Do=2.37, *: p/Do=1.58

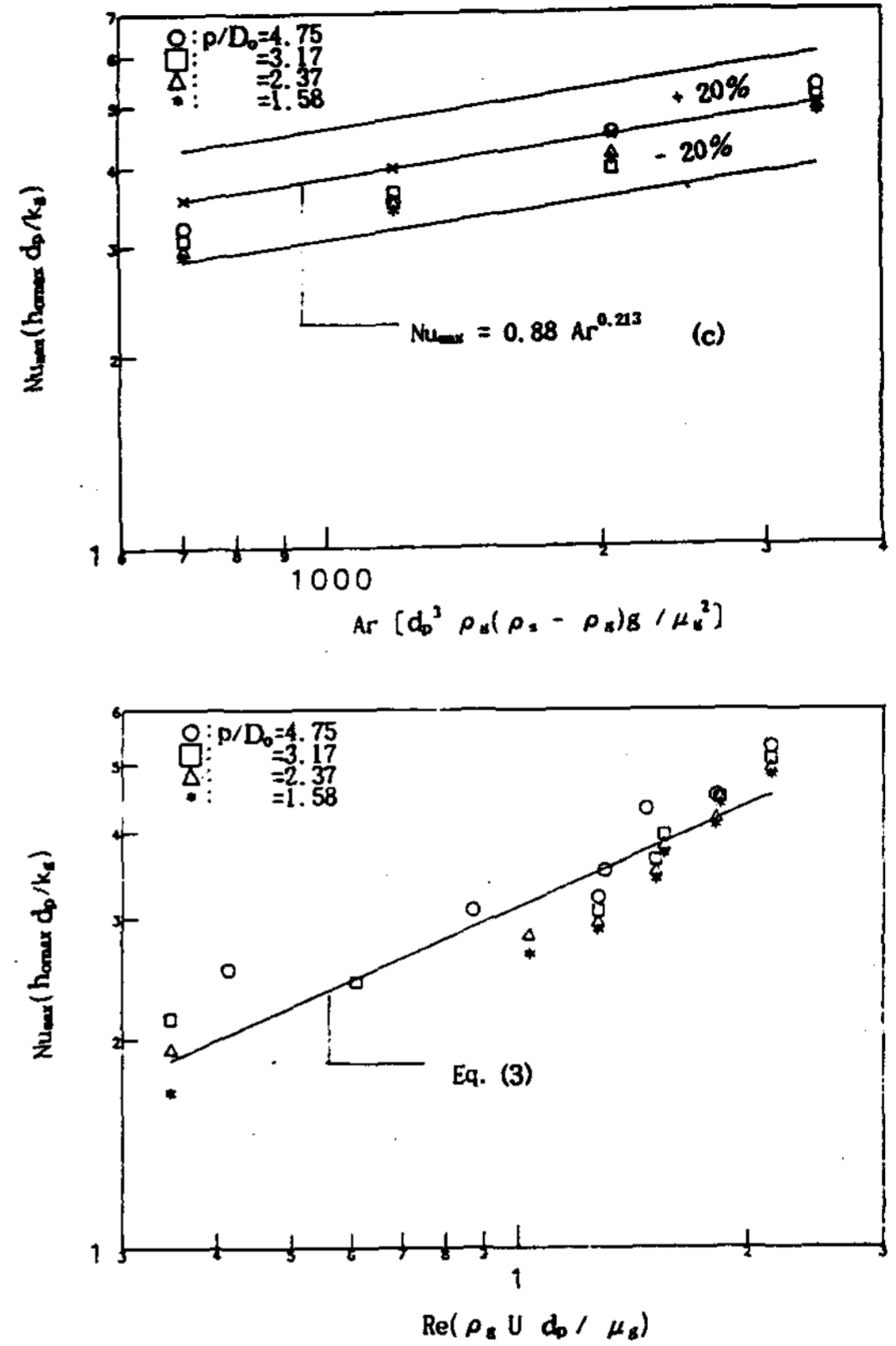


Fig. 3-13 Maximum value of Nusselts number for the experimental data.
 Symbols; ○: p/Do=4.75, □: p/Do=3.17, △: p/Do=2.37, *: p/Do=1.58

IV. 결 론

본 연구는 Furan foundry sand 유동층에 Single spiral coil tube를 설치하여 Furan foundry sand의 재생온도(550℃)까지 가열하

여 유동층내 온도, 유동입자의 크기, 유동율, 전열 관 Pitch와 직경 비(p/Do) 및 전열 관 Pitch와 유동입자 크기의 비 등이 전열 관 표면 열 전달계수에 미치는 특성을 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유동층내 유동화 속도를 일정하게 유지하고 유동층내 온도를 상승시키면 열전달 계수는 증가한다. 또한 유동입자가 클 수록 열 전달계수는 감소하고, 유동율이 증가하면 열 전달계수는 증가한다.

2. 전열 관 Pitch와 직경 비(p/Do)가 4.75

일 때 가장 큰 열 전달계수를 얻었으며, 유동층내 온도가 상승할 수록, Re 수가 증가할 수록 $p/Do=1.58$ 일 때보다 $p/Do=4.75$ 일 때가 Nu 수의 증가율은 다소 감소하는 경향을 보였다.

3. 전열관 Pitch와 유동입자 크기의 비 (p/dp)가 클 경우는 낮은 온도(75°C)에서, p/dp 가 작을 경우는 높은 온도(550°C)에서 전열효과가 큰 것으로 나타났다.

4. 최대 Nu_{max} 수와 Re 수, Prg 수, p/dp 및 p/Do 의 상관관계식은 아래와 같이 나타낼 수 있었다.

$$Nu_{max} = 1.01 Re^{0.48} Prg^{0.4} (p/dp)^{0.28} (p/Do)^{0.05}$$

References

1. H. Martin, "Fluid Bed Heat Exchangers", Heat Exchangers Theory and Practice, pp. 535~548, 1983.
2. M. I. Rudnick, C. S. Mah, H. W. Williams, "Status of Fluidized Bed Waste Heat Recovery", Heat Exchangers Theory and Practice, pp. 549~568, 1983.
3. W. F. Podolsk et al, "Pressure Fluidized Bed Combustion Technology", Park Ride, New. Jersey, U.S.A., pp.1~9, 1983.
4. Robert J. Sheyd, "Energy Recovery from Fluidized-Bed Combustion", CEP, pp.48~54, Jan., 1984.
5. Melvin W. First, "Gas Cleaning System for the High Temperature, High Pressure Fluidized Beds Coal Combustor", JAPC35, pp.1286~1297, 1985.
6. D. Geldart, "Type of Gas Fluidization", Powder Tech., Vol. 7, pp.285~292, 1973.
7. J. S. M. Botterill, "Fluid-Bed Heat Transfer", Academic Press, 1975.
8. R. H. Thring., "Fluidised Bed Combustion for the Stirling Engine", Int. J. Heat Mass Transfer, 20, pp.911~918, 1977.
9. V. K. Mastatov, J. Eng. Phys., 29, 589, 1972.
10. N. N. Varygin and I. G. Martyushin, Khim. Mash., No. 5,6, 1959(Cites in Ainshtein and Gelperin, 1966)
11. S. S. Zabrodsky et al, Vesti Akad. Nauk BSSR, Ser. Fiz-Eng, Nauk, No4, Vol. 103, 1974.
12. N. S. Grewal, S. C. Saxena, "Maximum Heat Coefficient between a Horizontal Tube and a Gas-Solid Fluidized Bed", Ind. Eng. Chem. Press Des. Dev., 20, pp.108~116, 1981.

An Experimental Study on Heat Transfer in the Furan Foundry Sand Fluidized Bed”

Park, Jong-Suen* · Baek, Ko-Kil** · Kim, Uen-Young*** · Jeon, Sung-Taek*** · Lee, Duck-Bong***

* *Korea Atomic Energy Research Institute*

** *Taejon University of Technology*

*** *Junior College of Incheon*

*** *Incheon University*

Abstract

Heat transfer coefficients on a single spiral coil tube in the furan foundry sand fluidized bed have been investigated. Heat transfer coefficients(h_o) to an immersed single spiral coil tube were measured in the bed. The bed diameter was 0.21 m. The following quantities were varied: (1) bed temperature, (2) mean particle diameter, (3) fluidization rate, (4) the ratio of heated coil tube pitch to diameter(p/D_o), and (5) the ratio of heated coil tube pitch to mean particle diameter(p/d_p). In addition, the experimental values of maximum Nusselts number were compared with the values of maximum Nusselts number predicted by the existing correlations. The values of heat transfer coefficient increase with the increase in bed temperature and fluidization rate, but decrease with increase in particle diameter.

An empirical formulus of maximum Nusselts number which is applicable in the furan foundry sand fluidization bed is as follows:

$$Nu_{max} = 1.01 Re^{0.48} Pr_g^{0.4} (p/d_p)^{0.28} (p/D_o)^{0.05}$$