

論 文

유동층을 이용한 주물사의 재생에 관한연구

白高吉\*, 崔洋鎭

A Study on the Reclamation of the Furan Sand by the Fluidized Bed

Ko-Kil Baek\*, Yang-Jin Choi\*

Abstract

For the last 2 decades, the bonding materials for the foundry sand and the foundry equipments with high performance have been developed and employed in the foundry shops.

In those periods, the furan resins hardened in higher temperature have been replaced with the self-hardened ones in the room temperature.

Simultaneously the various reclamation methods of the self-hardened furan resin sand have been developed in order to get the clean working environments, the reduction of solid wastes and the lower of production cost in the foundry.

In this experimental study, the combustion reclamation method using the fluidized bed among the various methods was studied in order to reduce the L.O.I. and /or N<sub>2</sub> gas due to the deposition of the furan resins and the hardeners.

Comparing the results of this experimental combustion reclamation method with those of the employed pneumatic method, the Surface Stability Index of the specimen made by combustion method is 30% higher than that of the latter one and L.O.I. decreases about 30%

The reclamation temperature of 650°C in this experimental fluidized bed would be recommended in the viewpoints of the reclamation period, the fuel consumption and the residual quantity of the furan resin.

The formula determining the minimum fluidizing velocities according to the temperatures in the fluidized bed has been obtained.

1. 序 論

지난 20년간 주조현장에서의 세계적인 흐름은 높은 품위의 주물을 빠른 속도로 생산하기 위하여, 높은 생산성을 갖는 주조설비의 고안과 함께 주형 점결제의 개발에 노력하여 왔다. 그 결과로, Shell 주형 및 CO<sub>2</sub>주형에 이어서, 주형용 후란수지 점결제가 1960년대 초에 개발된 이후 크게 각광을 받아 왔다. 1970년대 이후에는 열경화성 후란수지 주형의 사용이 감소하면서, 상온에서 자경

성을 갖는 후란수지주형의 사용이 증가해 오고 있다.

특히 수년 전부터는 자원을 재활용하고, 주물사의 폐기처리에 있어서의 어려운 점들을 해결하기 위하여, 주물사의 점결제로서 후란수지의 사용이 급격하게 증가하고 있다. 그러나 이들 Furan Process를 채용할 경우, 고사의 회수 재사용에 따른 과도한 잔류 후란수지로 인하여 L.O.I.의 증가와 주형에서 발생하는 질소가스의 발생으로 주물에 발생하는 가스결함 및 가사시간의 짧아짐에

\*大田工業大學(Taejon University of Technology)

의한 불량 등 어려운 점들이 새로 발생하고 있는 실정이다.

후란수지를 사용한 주물사의 재생방법들은 기계법, 연소법 및 뉴-매틱법(Pneumatic법)이 있다. 그 중에서 기계법 및 Pneumatic법들은 점결제로 사용한 후란수지의 완전 제거가 불가능하며 그로 인한 여러가지의 문제점들이 발생하고 있다. 그러므로 주물사의 점결제인 후란수지를 완전하게 제거할 수 있는 연소법의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구에서는, 근래 여러분야에서 다용도로 사용이 급격하게 증가하고 있는 유동층 내에서 연소법을 이용하여 후란주물사의 재생에 이용하여 보고자 하며, 본 연소법으로 얻은 재생사와 현재 K사의 현장에서 Pneumatic법으로 얻은 재생사를 실험적으로 비교 및 검토를 하였다.

그 결과, 환경보존에 대한 주물산업의 협조와 더불어, 생산성의 제고를 통한 주물업체의 국제경쟁력의 향상에 기여할 수 있을 것이다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같고 유동층의 단면도는 Fig. 2와 같으며 본 유동층의 실험은 대기압하에서 상온으로부터 800°C의 온도범위에서 수행하였다.

#### 1) 유동층 실험

Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 유동층이 일어나는 부분은  $\phi 210 \times 430H \times 3t$ 인 스테인레스강(Stainless Steel)관으로 되어 있으며, 유동층 밑에는 플리넘 챔버(Plenum chamber)를 설치하여 폭발의 위험이 없고 공기와 프로판가스가 잘 혼합될 수 있게 충분한 공간을 설치하였다.

플리넘 챔버(Plenum chamber)와 유동층 사이는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 분산판(Distributor)을 설치하여 유동입자를 지지하고 유동가스의 공급이 균일하게 되도록 하였다. 분산판의 상세도는 Fig. 3에 나타내었다. 또한, 실험장치 외부는

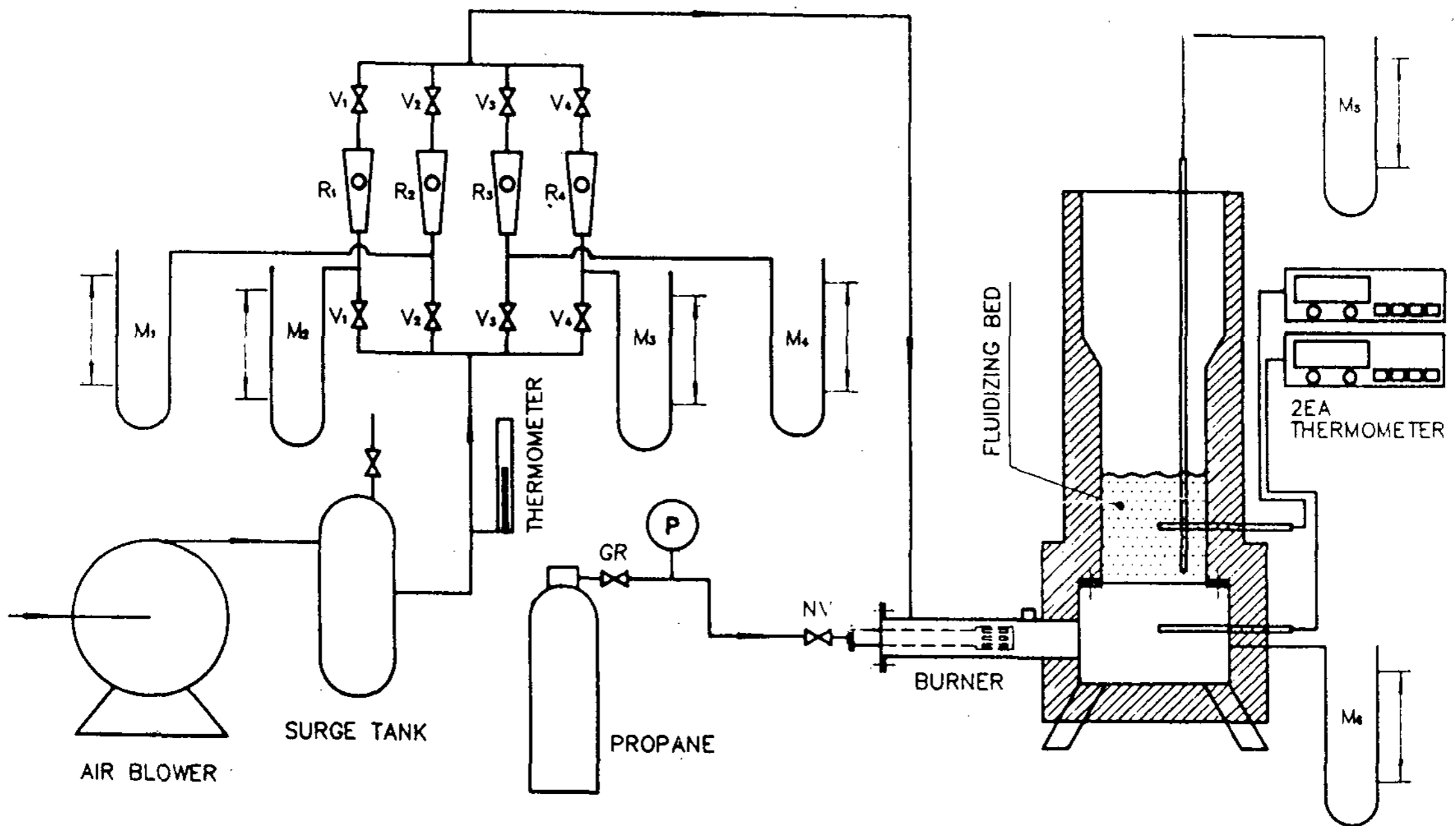


Fig. 1. Schematic diagram of fluidized bed.

V <sub>1</sub> : 15A Valve	R <sub>1</sub> : Rotameter(6A)	GR : Gas Regulator
V <sub>2</sub> : 15A Valve	R <sub>2</sub> : Rotameter(15A)	NV : 1/8 Needle Valve
V <sub>3</sub> : 15A Valve	R <sub>3</sub> : Rotameter(30A)	M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , M <sub>5</sub> , M <sub>6</sub> : Manometer
V <sub>4</sub> : 15A Valve	R <sub>4</sub> : Rotameter(25A)	P : Pressure Gage

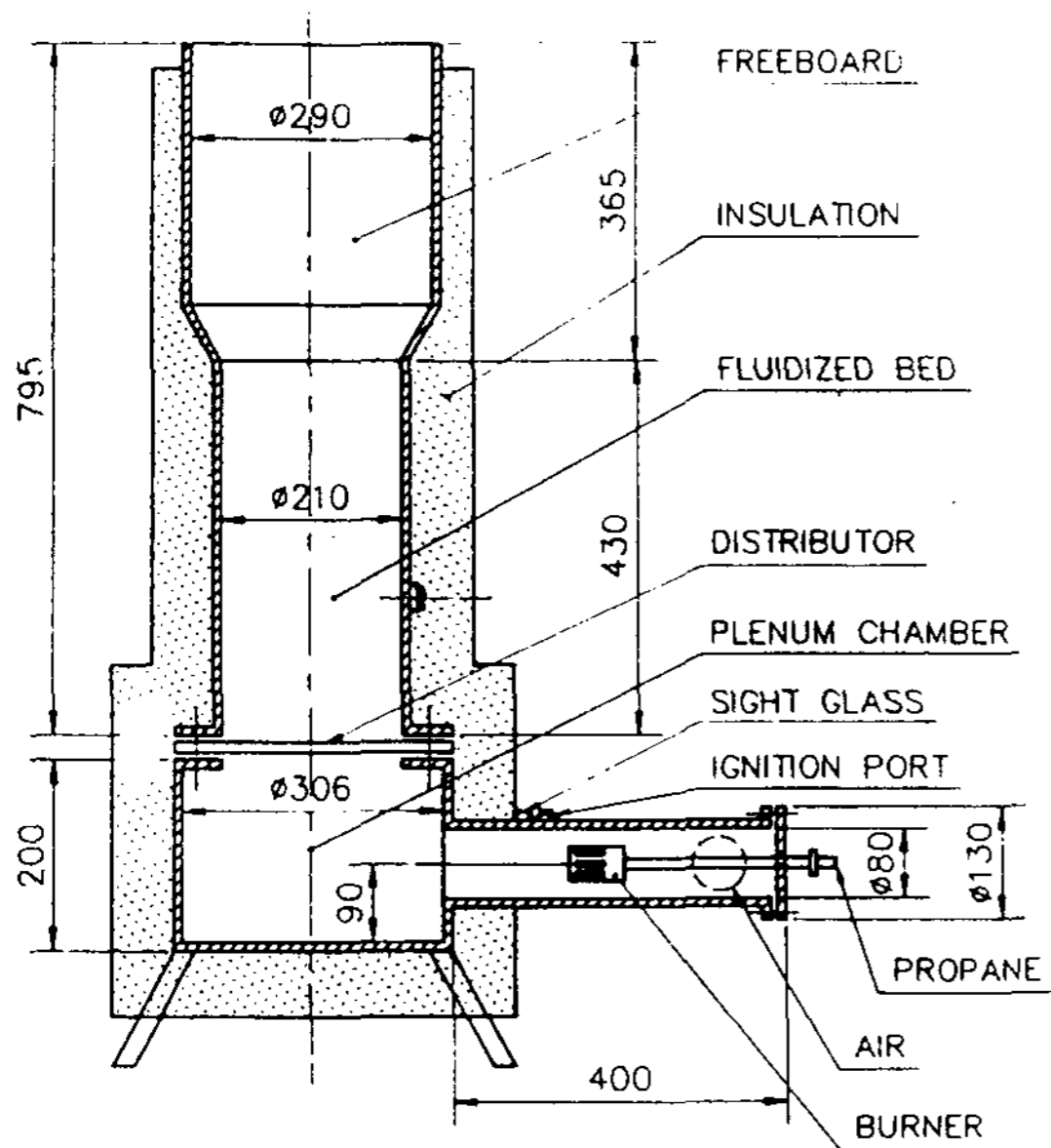


Fig. 2. Sectional view of fluidized bed.

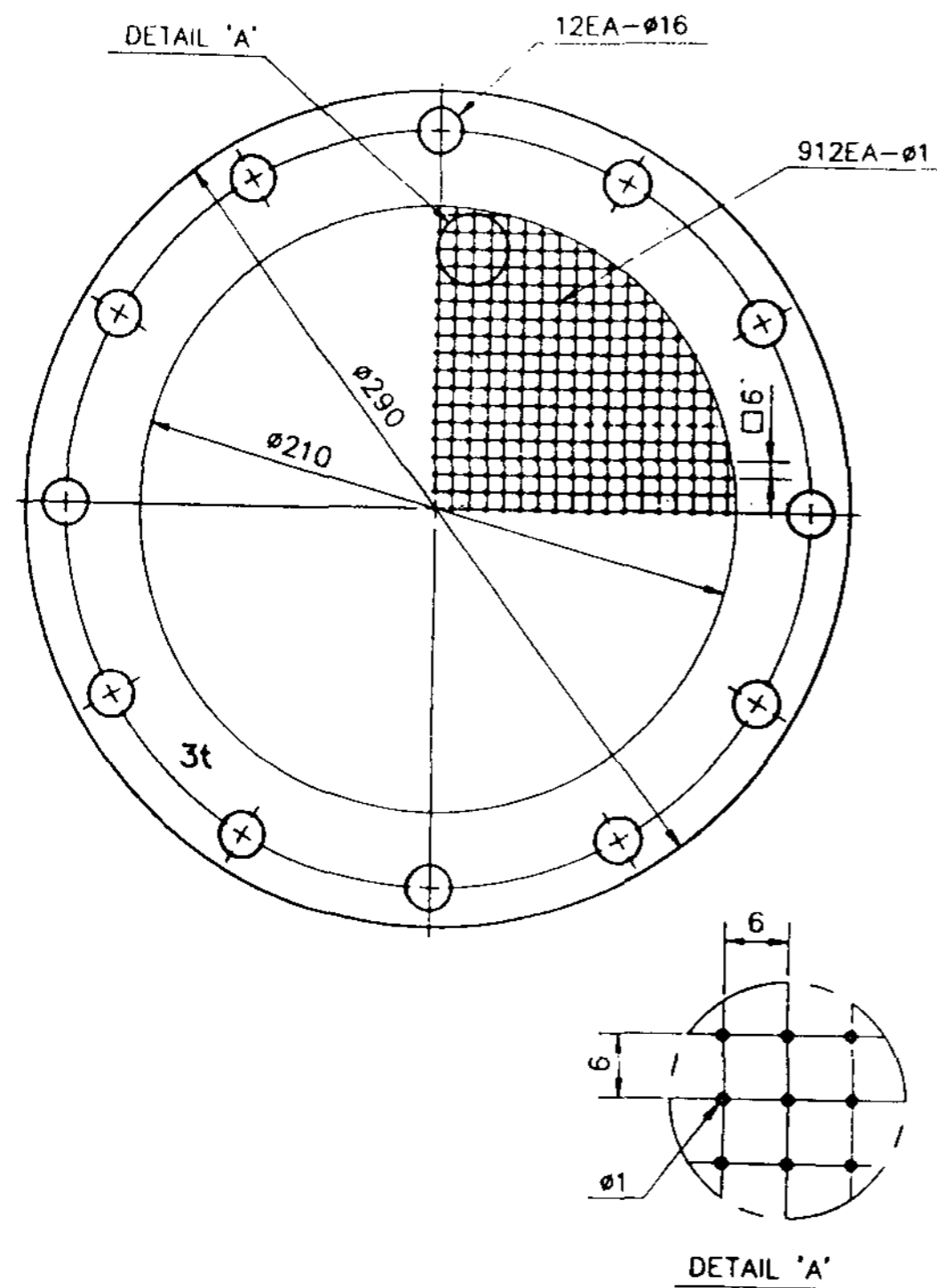


Fig. 3. Details of distributor.

50mm 두께의 세라믹(Ceramic) 단열재와 25mm 두께의 암면(Rockwool)으로 싸서 열손실을 차단하였다.

2) 공기 및 연소가스의 공급

Fig. 1에서 보는 바와 같이 송풍기(Blower)에서 공급된 공기를 서어지 탱크(Surge tank)를 통과하고, 밸브(V<sub>1</sub>~V<sub>4</sub>)를 통하여 유량을 조절하였으며, 로우터 미터(Rotameter : R<sub>1</sub>~R<sub>4</sub>)를 이용하여 유량을 읽었다. 연소가스(Propane Gas)는 0.5kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 조정하고 NV밸브로 가스의 유입량을 조절하였다.

압력의 측정은 압력계(Manometer : M<sub>1</sub>~M<sub>6</sub>)로 측정하였으며, 특히 유동층 내의 압력은 M<sub>5</sub>를 이용하여 측정하였다.

3) 온도측정

K-type 열전대와 온도계를 사용하여 플리넘 챔버(Plenum chamber) 및 유동층 내의 온도를 측정하였다.

2. 2 실험방법

1) 사용주물사의 입도분포 및 화학성분

본 실험에서 사용한 주물사의 입자는 실제로 K사의 주물공장에서 사용하고 있는 후란주형용 주물사를 사용하였다. 이 주물사의 입도와 화학성분을 Table 1, 2에 나타내고 이들 입자들은 Geldart의 입자분류<sup>1)</sup>로는 "B"형으로서 직경이  $dp > 600\mu\text{m}$ 이고 밀도  $P_s > 2,000\text{kg/m}^3$ 에 속한다.

2) 최소유동화 속도의 결정

유동층의 온도가 상승함에 따라 최소유동화 속도가 작아지므로, 후란주물사의 재생시 유동화 속도의 이상으로 유동을 계속하기 위하여는 최소유동화 속도의 결정이 전제조건이다. 여기서 유동화란 미세입자들이 가스 또는 유체와 접촉을 통하여, 입자와 접촉유체들의 혼합체가 유체와 같이 유동하는 것을 말한다.<sup>2)</sup>

즉 상향으로 흐르고 있는 유체에 의하여 입자에 작용하는 항력이 유체들의 중력보다 커지면 입자들은 유체와 같이 유동하게 되는 것이다.

또한 유체와 입자의 혼합체가 유체와 같이 유동하는 현상이 나타나기 시작하는 유체의 속도를 최소유동화 속도<sup>3)</sup>(Minimum fluidizing velocity :  $U_{mf}$ )라 한다.

유체의 속도가 작을 때는 충전층이 되며, 유체의 속도를 증가시켜 입자의 층을 통과한 후의 유체의 압력손실과 입자의 중력이 동일하게 되면

Table 1. The particle distribution of the base sand used in the "K" Co. Ltd.

Mesh	40	50	70	100	140	200	270	PAN	AFS. GFN
Base Sand(%)	42.0	37.2	1.8	10	3.2	3.0	0.4	2.4	50.8

Table 2. The chemical composition of the base sand in this experiment

Chemical Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	L.O.I.
%	94.0	4.82	0.44	<0.01	0.34	0.39

최종적으로 입자들이 유동하게 되어 유동층이 형성된다.

Fig. 4에서는 가스의 유속과 유동층 내에서 압력손실의 관계를 나타낸 것으로서, 실제 유동층에서는 그림에서와 같이 이상적인 형태(0-a-d)로 나타내지 않는다.

즉, 미세한 입자를 사용하고 단면적이 작은 유동층에서는 입자들간의 작용력 등 때문에 이론적인 값보다 높은 압력강하가 일어나서 b와 같은凸부가 나타난다. 또한 넓은 입도분포를 갖는 경우에는 낮은 유체속도(U<sub>bf</sub>)에서도 작은 입자들이 유동화 되지만 분산판 위에서는 높은 속도에서도 유동화가 일어나지 않는 경우에는 이상적인 압력-속도의 관계에서 크게 편차가 발생하게 된다. 이와 같은 편차가 생기는 경우에는 U<sub>mf</sub>를 정확하게 결정할 수 없다.

또, 압력강하가 단위면적당 유동층의 무게와 같아지는 속도를 "Full Support Velocity(U<sub>fs</sub>)"라 하며, 이것은 압력강하가 최대치에 점차적으로 도달(0cd)하기 때문에 정확하게 결정하기 어렵다.

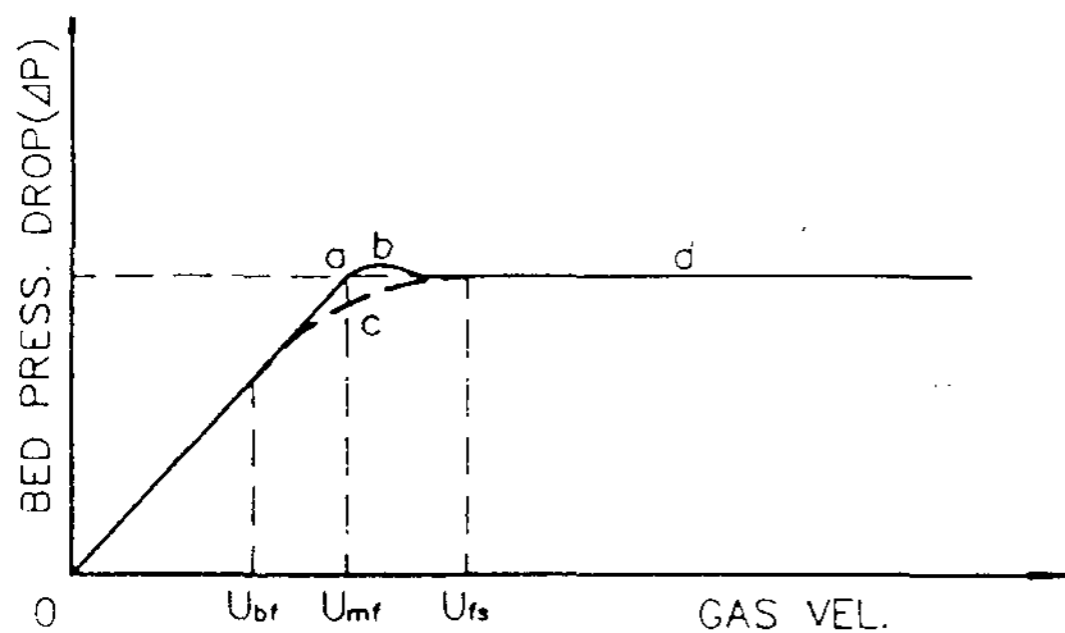


Fig. 4. Pressure drop vs. gas velocity on fluidized bed.

그러므로 Fig. 4와 같이 경사진 충전층내 압력 경사선과 유동층내 수평선의 교차점(a점)에서의 유체의 속도를 최소 유동화 속도(U<sub>mf</sub>)로 정하였다.

최소 유동화 속도를 결정하기 위하여 유동층의 온도를 800°C까지 가열한 후 100°C의 간격으로 온도를 낮추어 가면서 압력강하와 공기의 유량(속도)를 측정하였다.

### 3) 후란주물사의 재생

Furan주물사의 재생을 위한 실험은 4 Liter의 주물사를 최소유동화 속도의 2배의 속도로 운전하면서, 유동층 온도를 700°C, 650°C, 600°C로 유지하고 재생하기 위한 Furan주물사를 1 Liter 넣는다. 이때 유동층의 온도가 강하한 후 상승하여 최초의 온도까지 된 후에 주물사를 꺼내서 냉각하여 Furan주물사를 재생하는 실험을 수행하였다.

### 4) 주물사의 각종 시험

주물사 시험은 KS방법(입도시험 KSA5302, 작열KSA5306 등) 및 표면안정도(Surface Stability Index)시험<sup>4)</sup>을 다음 조건에서 행하였다. (이때 시험방법 및 시료의 중량을 KS방법을 참고하여 시험의 방법에 따라 나름대로 정확성을 얻고져 변측된 시험을 행하였음.)

시료사 : 재생사(연소법) 및 재생사(뉴-매틱법)

배합비 : 시료(모래) : 각 1kg,

후란수지 : 15cc(1.5%) 및 경화제 5cc (Resin의 33%)

배합방법 : 주물사 + 경화제(점도분 세척기 이용, 교반 촉진용 불사용) + 후란수지  
 시험편제작 : 일정한 조건을 유지하기 위하여 시험편은  $\phi 50 \times 30H$ (mm) 크기의 mold를 수개 제작하여 표준 주물사 다짐기로 3회 다짐하여 제작하였다.

시험방법 : Ro-Tap형 체분기(8Mesh 표준체 사용)에서 1분간 진동후 중량감량 측정(실험시간은 시료배합 후 약 16시간 경과후에 실시하였음)

표면안정도(SSI) =

$$\frac{\text{시험 후 체위에 있는 시험편중량(g)}}{\text{시험 전 최초의 시험편 중량(g)}} \times 100$$

또한, 시험전후 주물사의 외관관찰은 광학현미경과 전자현미경을 이용하여 조사하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 최소유동화 속도

실험시, 연소방법에 의한 후란주물사의 재생시에 유동층이 발생하여 계속유지되기 위하여서는 최소유동화 속도를 구하는 것이 중요하다.

Fig. 5에 각 온도(20°C, 100°C에서 800°C까지)에서의 후란주물사(Table 1 참조)의 유동화 속도를 결정하기 위해 유동층내 압력대 속도의 관계를 나타내었다.

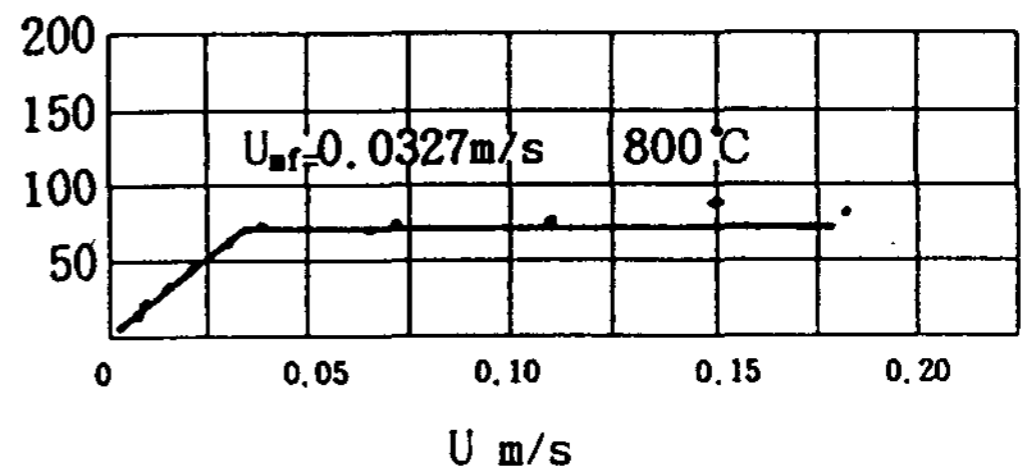
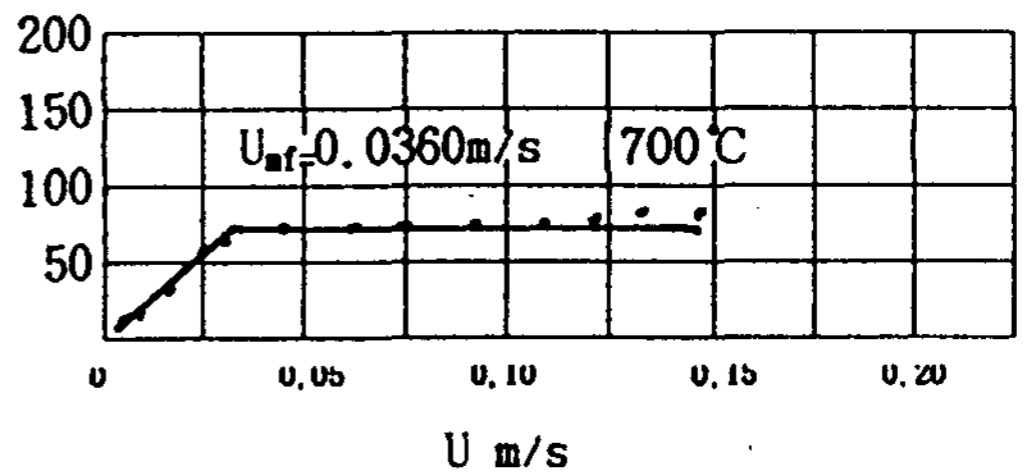
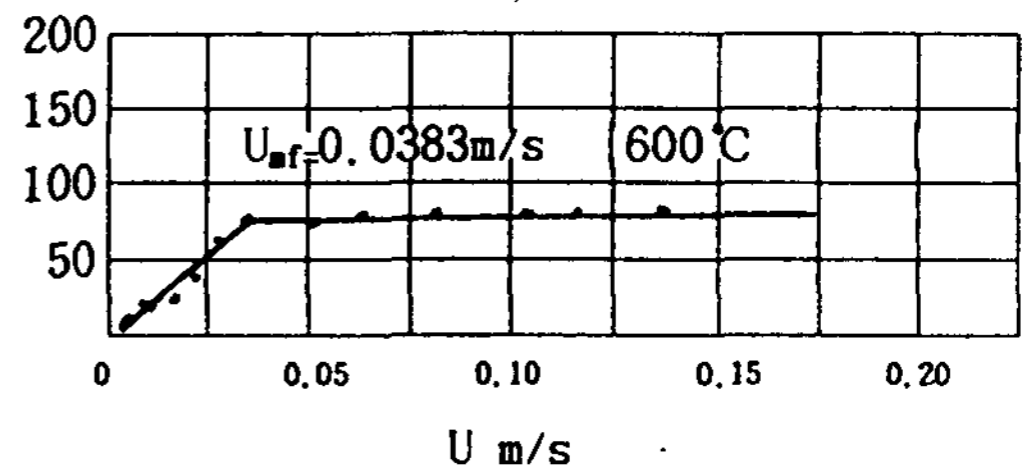
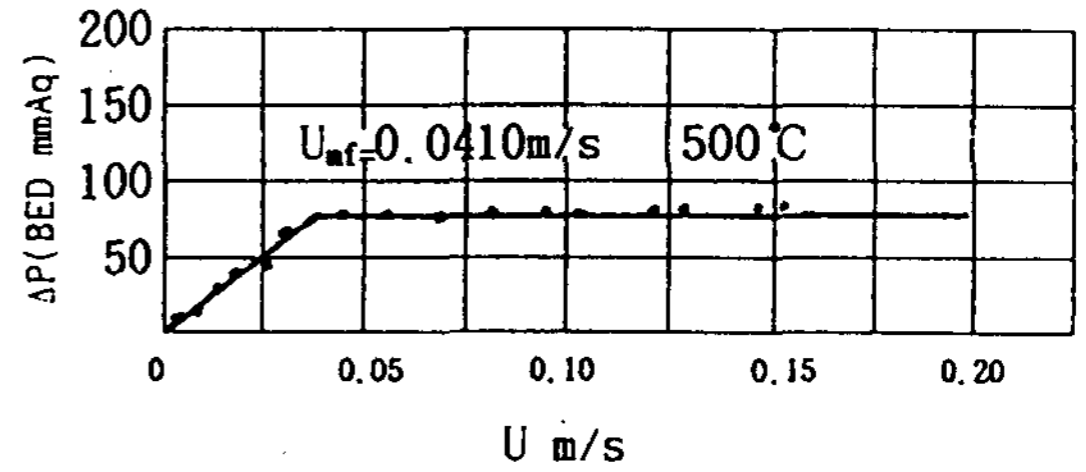
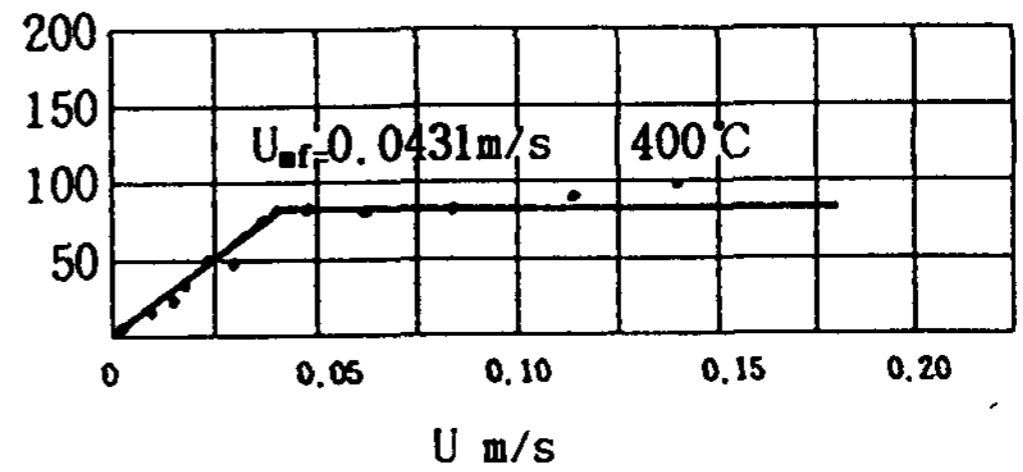
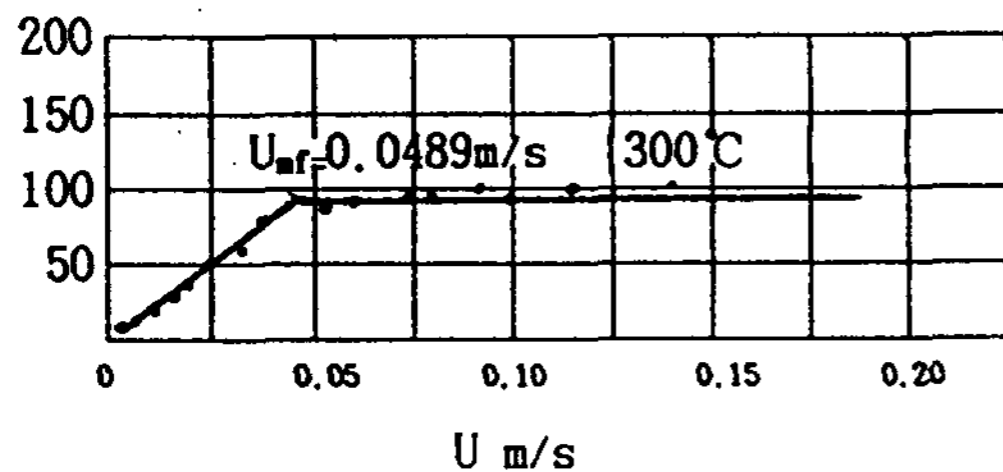
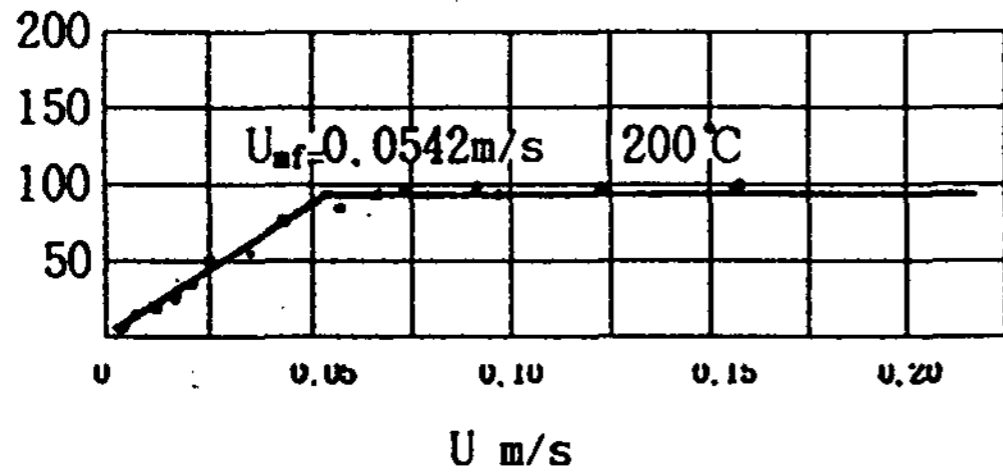
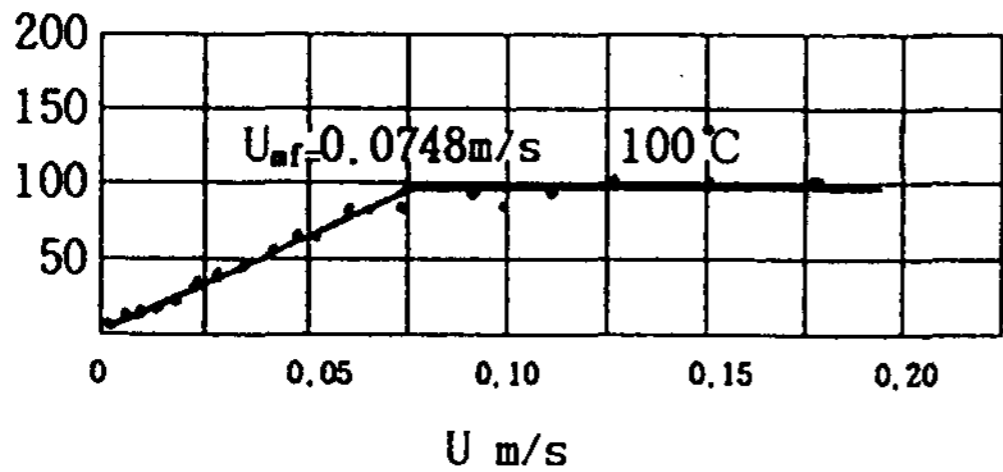
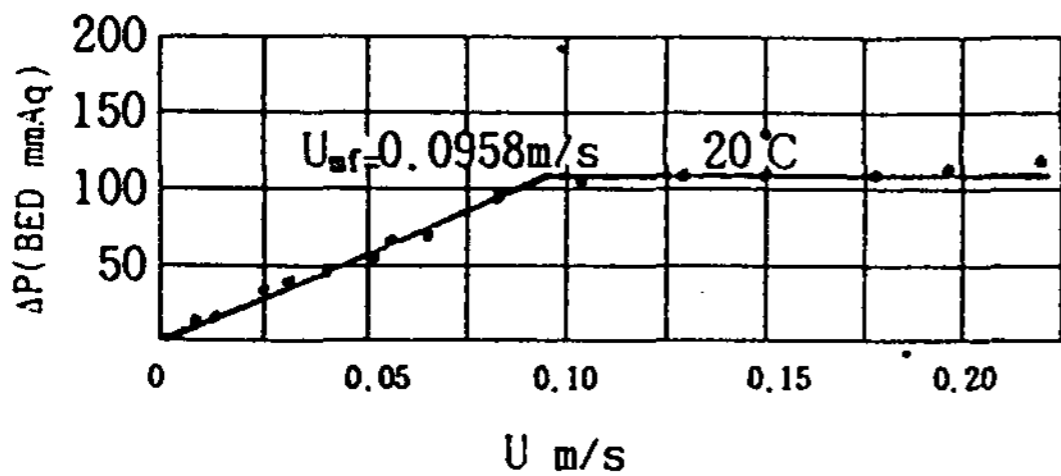


Fig. 5. Determination of minimum fluidized velocity at the bed temperatures up to 800°C at the intervals of 100°C.

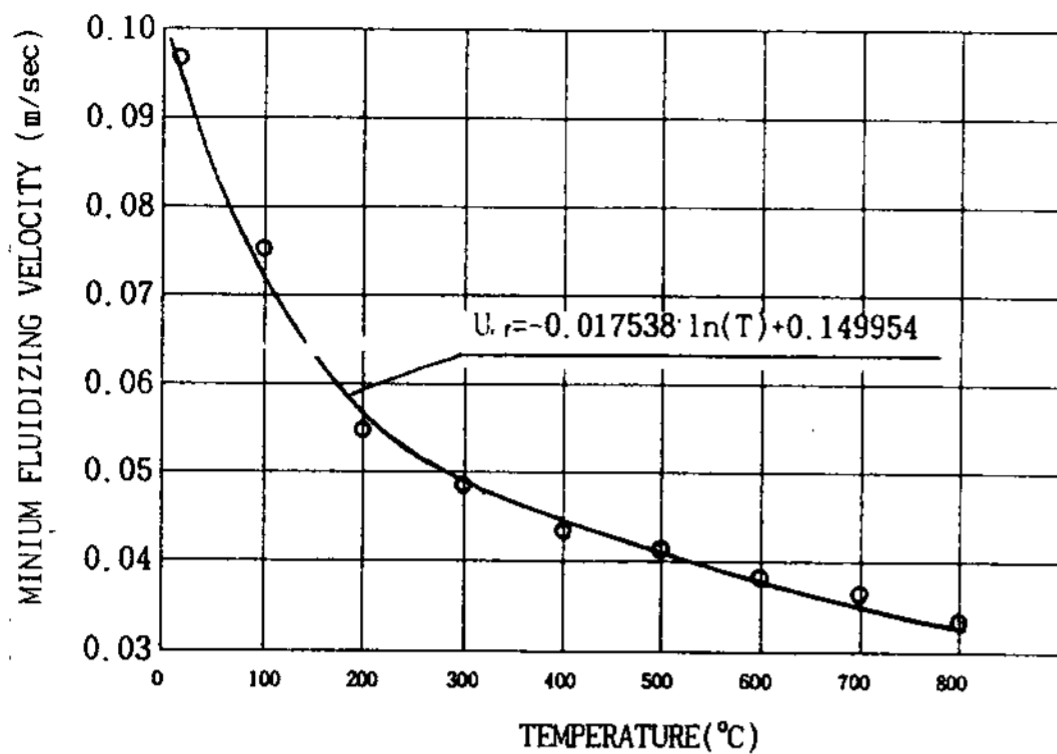


Fig. 6. Variation in minimum fluidizing velocities according to the operating temperature.

Fig. 6에서는 각 온도에서 결정한 최소유동화 속도를 온도에 따라서 종합하여 나타냈다. 이 그림에서는 200°C까지는 최소유동화 속도가 현저하게 감소하였으며, 그 이상의 온도에서는 최소유동화 속도의 감소율이 점점 작아지는 것을 알 수 있다. 최소유동화 속도의 감소는 온도의 증가에 따

Table 3. The reclamation period and the fuel consumption ratio according to the reclamation temperatures

Reclamation Temp.	700°C	650°C	600°C
Reclamation Hour	6min 02sec	5min 29sec	5min 33sec
Fuel Ratio	108.7%	99%	100%

라 공기의 점도 증가<sup>5)</sup>와 모래의 체적 변화에 의한 것으로 사료되며, 이것을 컴퓨터의 “그래퍼 프로그램(Grapher Program)”을 이용하여 구한 최소 유동화 속도 대 온도의 관계식은 다음과 같으며 최대의 오차는 100°C에서 8.3%이었다.

$$U_{mf} = -0.0175381 \cdot \ln(T) + 0.149954$$

단)  $U_{mf}$  : 최소유동화 속도(m/s)

T : 온도(°C)

### 3. 2 주물사의 재생

#### 1) 연료비

유동층내 온도가 700°C, 650°C 및 600°C인 경우 1 liter의 후란주물사를 재생하는데 필요한 시간 및 연료비 비율을 Table. 3에 나타내었다.

#### 2) 중량감소(Loss of weight)

실험결과에 따라서 재생한 재생사들과 재생하기 전의 주물사(Furan고사)들의 각 온도에서의 연소에 의한 주물사의 잔류중량에 대한 MAC-400 EMULATION시험 결과는 다음의 Table. 4와 같다. 본 시험은 최대 20개의 동일시료들을 채취하여 온도변화에 따라 시료 중량 변화를 1분간격으로 측정하여 컴퓨터처리한 것이다.

Table. 4의 결과들을 Fig. 7에 나타내었으며, 중량감소는 Furan고사가 약 2.6%이었으며 600°C, 650°C 및 700°C의 유동층내에서의 연소재생사 모두 0.5% 이내 이어서 차이가 거의 없었다. 또한 각 경우에는 600°C 이상에서는 중량감소는 거의 증가하지 않았다. 따라서 연소법에 의한 후란주물사의 재생온도는 600°C 이상이어야 함을 알 수 있다.

Table 4. Ther results of the residual weight for the the furan sand and the reclaimed sands

Temp.	Kinds of sand			
	Furan sand	Reclaimed sand (700°C)	Reclaimed sand (650°C)	Reclaimed sand (600°C)
200°C	99.71	99.85	99.84	99.87
300°C	99.65	99.85	99.84	99.87
400°C	99.37	99.80	99.84	99.87
500°C	98.13	99.70	99.80	99.87
600°C	97.50	99.60	99.76	99.87
700°C	97.41	99.56	99.72	99.87
800°C	97.36	99.56	99.69	99.82
900°C	97.27	99.51	99.69	99.78

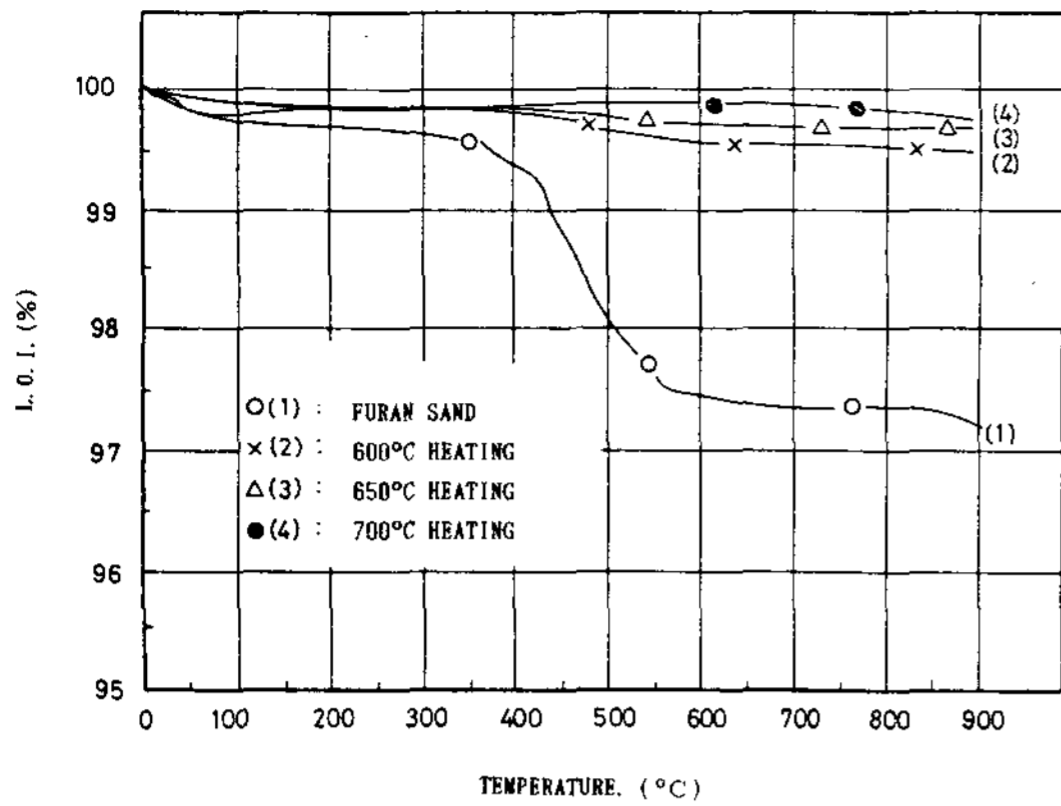


Fig. 7. The results of the loss of the sands weight used in this experiment.

3. 3 주물사의 입도 및 형상

재생사와 신사의 입도분포를 Table. 5에 나타내었으며 입도지수는 신사에서 50.8이고 재생사에서는 44.5로 커졌다.

원료사, 뉴-매틱법 재생사(K사) 및 연소재생사(본 실험)들의 Table.면 확대 사진들을 Photo 1에 나타냈다.

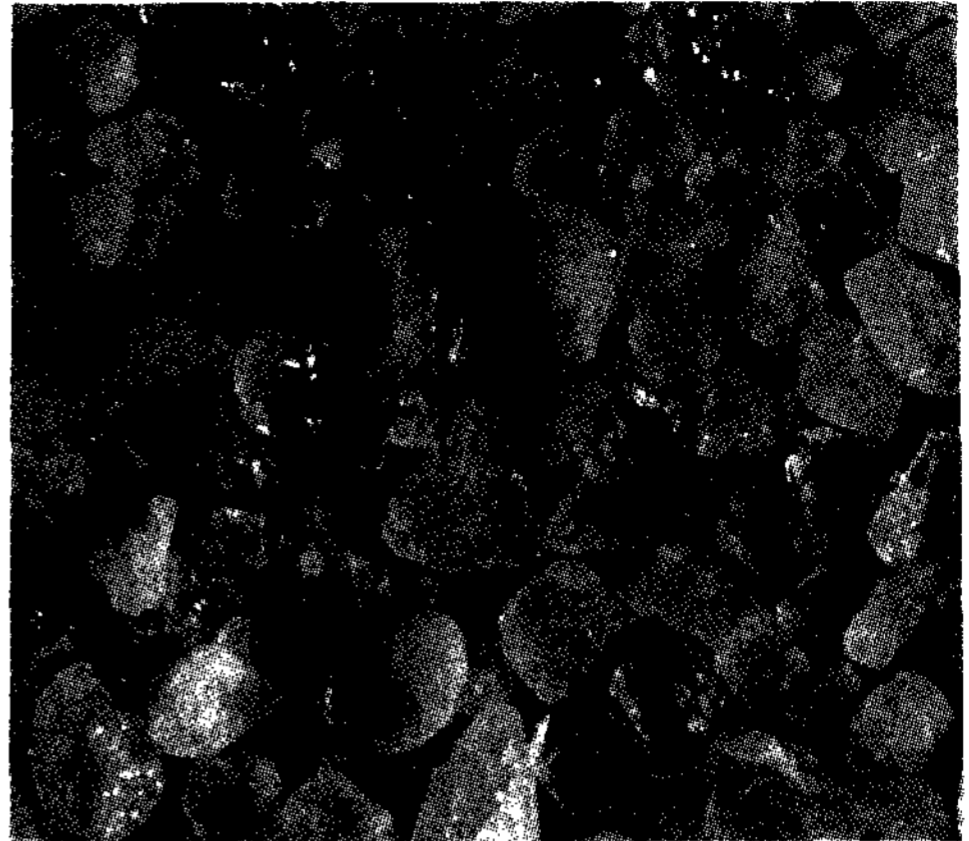
또한 재생 전과 재생 후의 표면확대 사진을 Photo 2에 나타냈고, 절단면의 확대 사진을 Photo 3에 나타냈는데 주물사의 균열이나 큰 변화를 발견할 수 없었다.

3.4 주물사의 물리적 성질

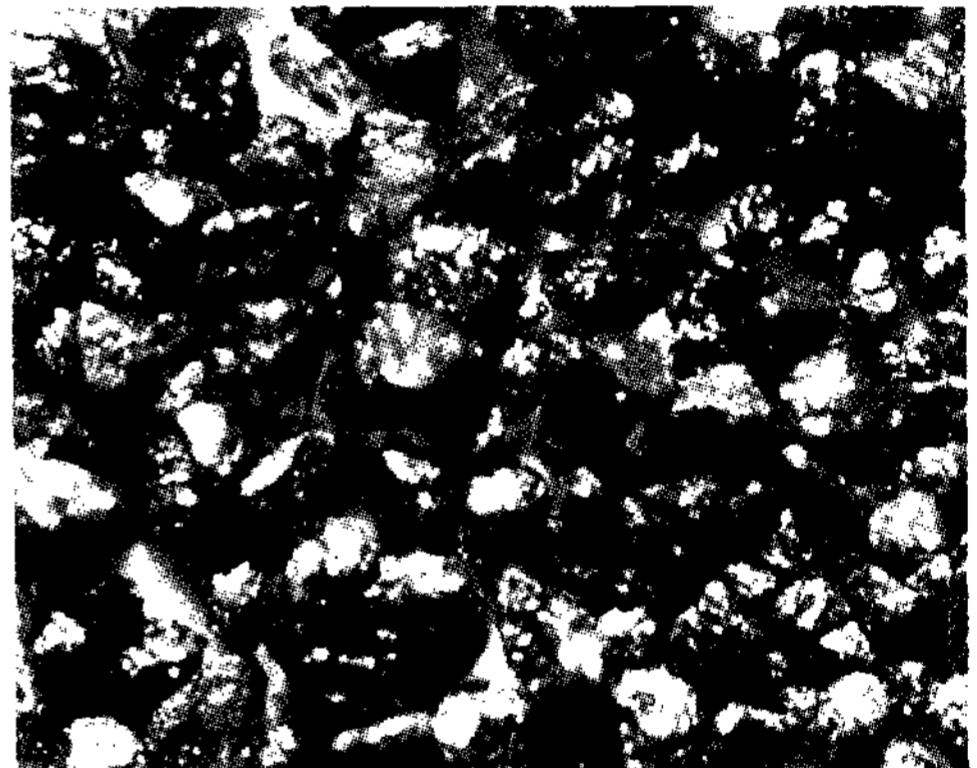
주물사의 표면안정도(Surface Stability Index)와 L.O.I.(Loss-on ignition)는 Table 6과 Table 7과 같다.



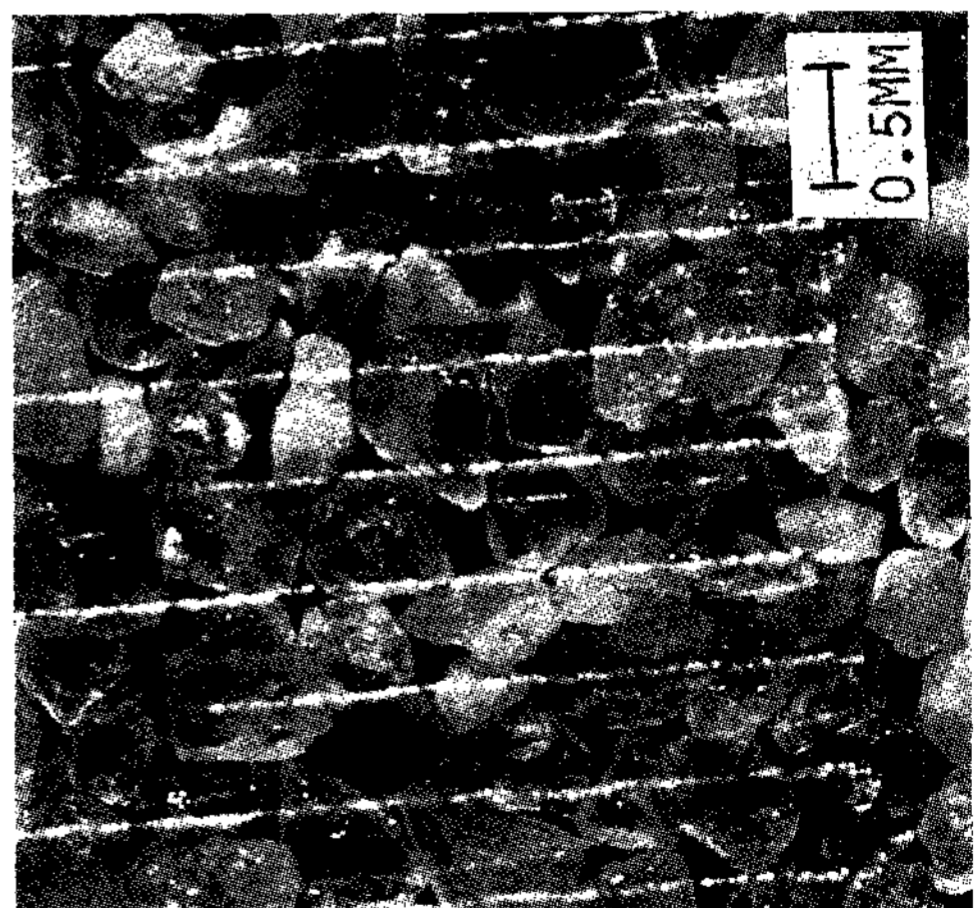
Base Sand



Reclamation sand by Pneumatic Method (K Co. Ltd)



Reclamation sand by combustion Method (at 700°C)



Particle size of base sand

Photo 1. Photos of particle surface of various foundry sands.(x14)

Table 5. The Variation of the particle distribution of AFS Grain Fineness Number between the new reclaimed foundry sand and base sand

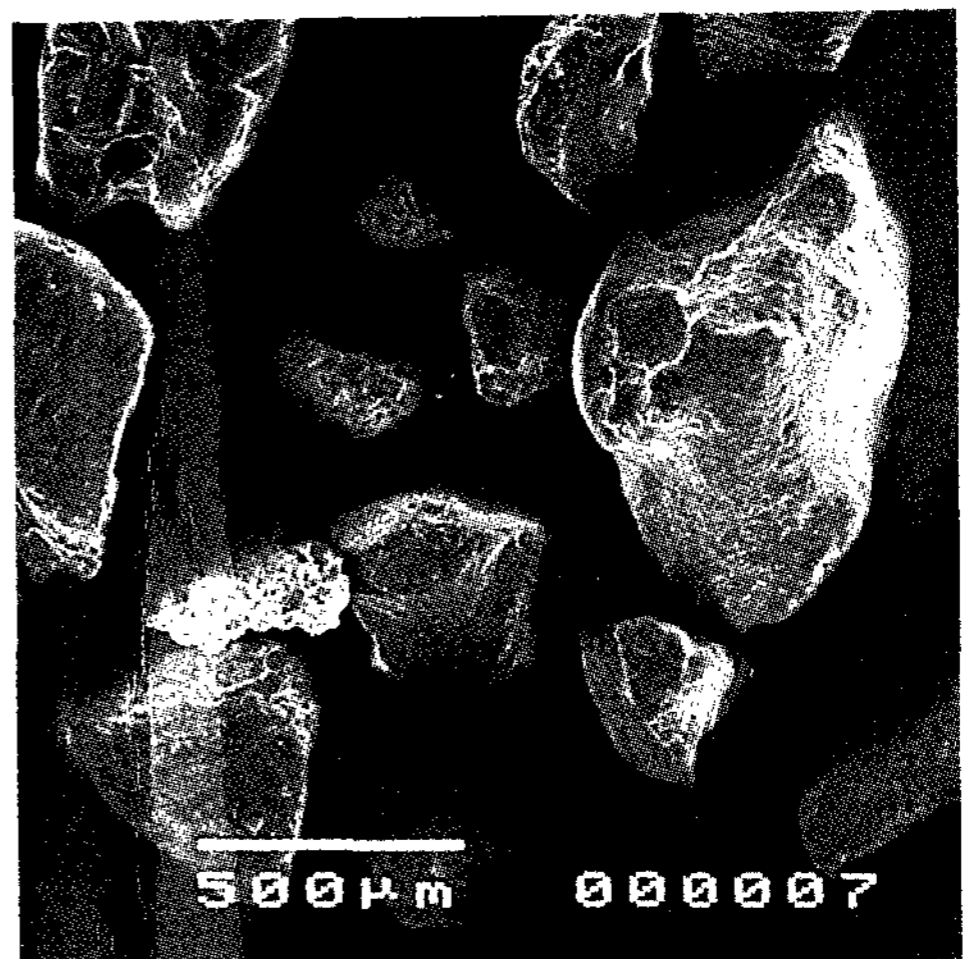
Mesh	40	50	70	100	140	200	270	PAN	AFS. GFN.
Reclaimed Sand	41	43.4	7.8	1.8	2.6	1.6	0.6	1.22	44.5
Base	42.0	37.2	1.8	10	3.2	3.0	0.4	2.4	50.8

Table 6. The comparison results of the Surface Stability Index between the reclaimed sand by the combustion and the pneumatic method

Reclamation Method	Weight before test(g)	Weight after test(g)	Loss weight(g)	Loss percent(%)	Surface Stability Index
Combustion Method	90	84	6	6.66	93.3%
	90	82	8	8.88	
	95	89	6	6.66	
	75	68	7	9.33	
	92	86	6	6.52	
Pneumatic Method	87	78	9	10.34	89.2%
	89	79	10	11.23	
	91	80	9	9.89	
	86	76	10	11.00	
	88	78	10	11.36	



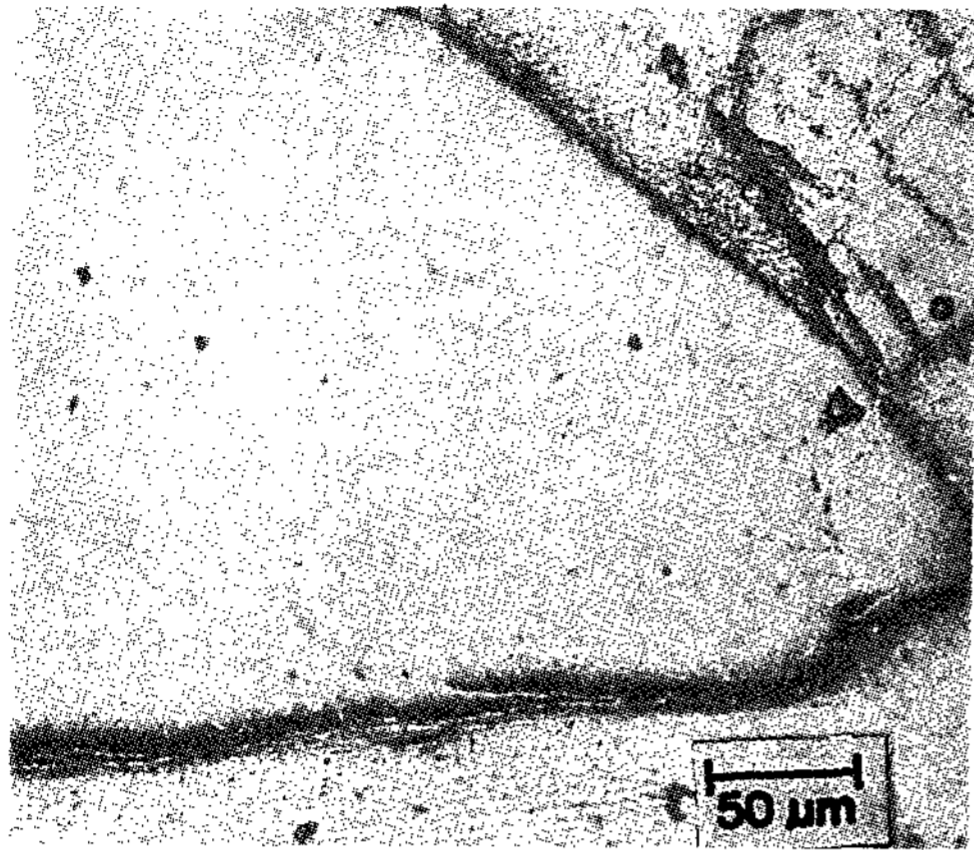
Before experiment (x35)



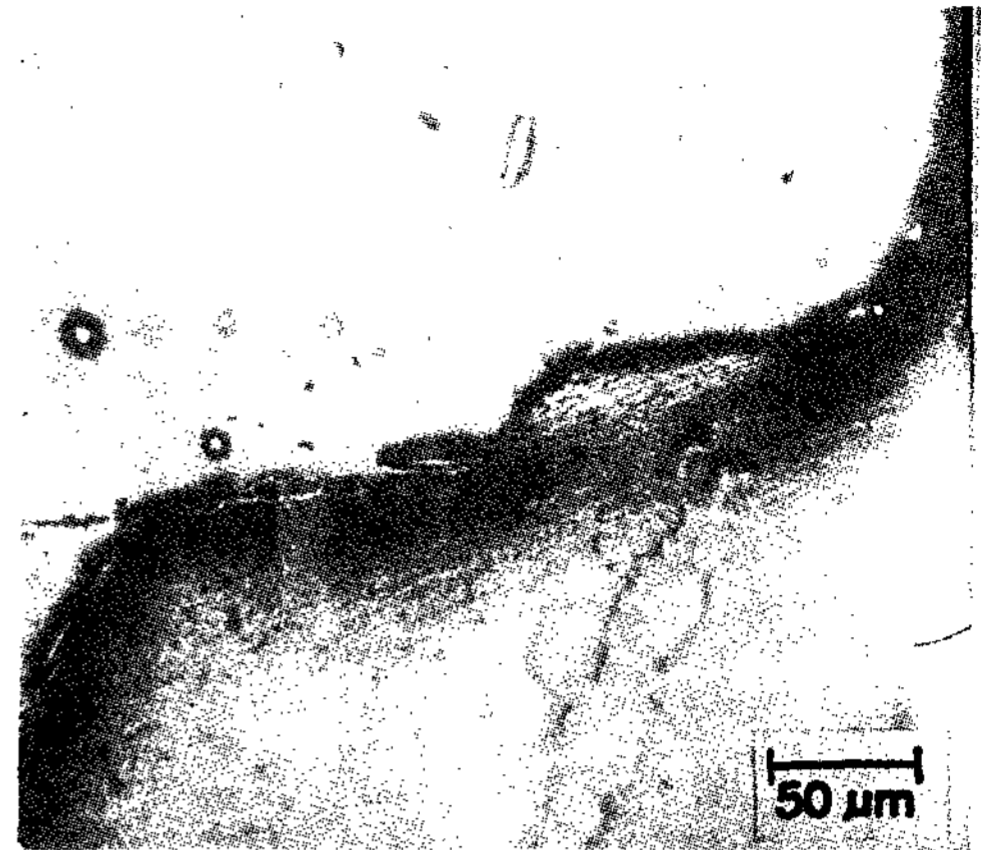
After experiment (x35)

Photo 2. Photos of foundry sands before and after reclamation.





Before experiment (x200)



After experiment (x200)

Photo 3. Photos of cross-section of reclaimed foundry sands.

Table 7. The comparison results of L.O.I. between the reclaimed sand by the combustion and the pneumatic method.

Reclamation Method	Weight before test(g)	Weight after test(g)	Loss weight(g)	Loss percent(%)	Remark
Pneumatic Method	24	21.8	2.2	9.16	
Combustion Method	24	22.6	1.4	5.83	

표면안정도의 증가 및 주물사의 입도지수 변화는 연소시 유동층에 의하여 모래에 부착된 RES-IN의 제거와 미립자의 제거에 의한 것이며 또한 재생시 모래의 Scrubbing 현상에 의한 것으로 사려된다.

#### 4. 結 論

상온자경성의 후란수지(Furan Resin)를 점결제로 사용한 후란주형사의 다양한 재생방법중의 하나인 연소법을 유동층 내에서 실행한 본 실험에서 얻은 결과들은 다음과 같다.

1. 기존방법(뉴-매틱법)으로 재생한 주물사보다 본 실험의 연소법으로 재생한 주물사가 Table.면안정도는 30% 이상 증가하였으며, 작열감량은 30% 이상 감소하였다.

2. AFS. GFN. 50인 Furan Sand의 연소재생시 최소유동화 속도(Umf m/s)는 유동층의 온도(T°C)에 따라서 지수함수적으로 감소하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$Umf = -0.0175381 \cdot \ln T + 0.149954$$

3. 재생시간, 연료비 및 후란수지의 잔류량 등을 고려하면, 유동층 내의 후란주물사의 재생온도는 650°C가 적당하다.

후기 : “이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.”

#### 참 고 문 헌

1. Geldart D., “Type of Gas Fluidization”, Powder Tech., Vol.7. pp285~292, 1973
2. Kunii D. and Levenspiel O., “Fluidized Engineering”, John Wiley, N.Y., pp1~20. 1969
3. Botterill, J.S.M., “Fluid-bed Heat Transfer”, Academic Press, London and N.Y., 1975
4. 주물기술, “주물사의 관리를 위한 시험법” Vol.7. pp285~292. 1973
5. 서정운 “열전달의 기초” pp557. 1987