論 文

硅砂의 粒度에 따른 鑄物砂의 常温性質에 關한 硏究

최 동 수** 이 계 완*

A Study on the Room Temperature Properties of Molding Sand with different Sand Grain Size

Dong-Soo CHOI**, Kye-Won LEE*

ABSTRACT

The effect of sand grain size on the various properties of mold is not only basic but important interest which we have to deal with. And the relation among the various properties of mold (strength, permeability, flowability, compactability, hardness, deformation, toughness etc.) is very complicated and inaccurate, so we can delineate the behavior of mixture (sand + water + bentonite) with experience only. Within recent years a so-called rigid-water theory has been accepted as a means of advancing logical explanations for the research aimed at delineating sand-clay-water relationships.

By changing grain size or mesh no. of grain, specimens have been subjected to green compressive strength, permeability, deformation, flowability, compactability, toughness at room temperature. Under constant mulling energy and ratio of water/bentonite, the results obtained were as follows:

1. With decreasing grain size green compressive strength of the specimen increased.
2. With decreasing grain size permeability decreased.
3. With decreasing grain size flowability and bulk density decreased but compactability increased.
4. With decreasing grain size deformation decreased but toughness increased.
5. At 60 mesh no., the properties of specimen are conspicuously changed. The reason is that the total surface area of sand grain which affects the type of bonding between sand grains is more changed at 60 mesh number.

Ⅰ. 緖 論

鑄物砂는 mold를 構成하는 一般的인 材料이며, mold의 여러 物理的 性質은 鑄物砂의 많은 要因에 의해서 決定된다. 그 要因들로는 鑄物砂의 粒子크기, 粒度分布, 粒形, 表面積 등과 混練方法, 다짐방법, 粒子의 接觸點數, binder의 量 등을 들 수 있다. 鑄物砂의 粒度가 mold의 性質에 어떠한 影響을 미치는가, 특히 複合粒度 以前에 單一粒度에서의 影響을 硏究하는 것은 單純하면서도 基礎的인 課題이다.

生型으로 實驗한 Subert [1] 는 粒度가 鑄型의 壓縮强度에는 별로 影響을 주지 않는다고 했으나, Lawrence[2] 는 一定 bentonite量에서 粒度가 작을수록 壓縮强度가 增加한다고 했다. 또한 Yearley[3] 는 水分과 粘結劑의 比가 높은 경우 (약 0.46) 에는 壓縮强度에 對한 粒度의 影響이 있으나, 낮은 경우 (약 0.34) 에는 거의 없다고 報告했다.

本 實驗에서는 水分과 bentonite의 比, 混練方法을

* 한양대학교 工大교수
** 한양대학교 대학원생

일정하게 정하고, 모래를 30,40,50,60,70,100,140 mesh로 粒度分離 後, 각 mesh別로 specimen을 製作하여 生型性質들을 試驗했다.

Ⅱ. 實 驗 方 法

Ⅱ-1 試　料

a. 硅砂(silica sand)

試驗用 硅砂는 全南康津郡에서 産出되는 SiO_2 含量이 높고, 比較的 球形에 가까운 風化砂인 韓永 5, 6號를 사용하였다. 韓永硅砂의 化學的 組成은 Table 1과 같다.

b. Bentonite

慶南 迎日灣에서 産出되는 bentonite이며, 化學的 組成은 Table 2와 같다. 膨潤度는 9배를 나타냈다.

Table 1. Chemical Composition of Silica Sands

Sample	Chemical Composition (%)					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Ig-loss
Sand 5 Ho	98.03	1.18	0.32	0.05	0.10	0.21
Sand 6 Ho	96.37	2.62	0.39	0.06	0.09	0.35

Table 2. Chemical Composition of Bentonite.

Sample	Chemical Composition %						pH
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Ig-loss	
Bentonite	65.68	16.86	2.08	1.65	0.99	12.06	10.3

Ⅱ-2 粒度分離

모래의 粒度分離는 체진동기 (Laboratory Sifter, Type PSAE)에 체 (U.S.Standard Sieve)를 올려 놓고, 그 위에서 약 100 g정도씩 모래를 취하여 각각 15分間 실시했다. 두 체의 組合은 (20～30mesh) (30～40), (40～50), (50～60), (60～70), (80～100), 그리고 (100～140) mesh 이다.

모래 粒子의 크기는 球形으로 假定하여 직경으로 표시하며, 각 mesh의 모래粒子 크기는 마지막으로 通過한 undersize와 위에 얹힌 oversize와의 算術, 幾何 또는 調和平均으로 나타낼 수 있다고 한다. Granlund[4]는 調和平均이 가장 좋은 표시법이며, 다음이 幾何平均이라고 報告했다. 그러나 Granlund는 입자 표면적에 대한 관점에서 내린 결론이며, 여태까지 보고된 여러 보고서에서는 대체적으로 기하평균을 사용하였다. 本 實驗에서는 기하평균을 사용하였다.

Ⅱ-3 Mixing 과 試片製作

Yearley[3], Vingas 와 Zrimsek[5], Wenninger[6]는 silica sand에 水分을 添加한 後 bentonite를 添加하는 것이, bentonite를 添加한 後 水分을 添加하는 경우보다 더 좋은 壓縮强度를 갖는다고 했다. 또한 mixing時間이 길수록 强度가 커진다고 했다.

本 實驗에서는 각 mesh別로 1 batch당 모래 3,000 g, 물 120 g bentonite 240 g을 mixing하였다. mixing方法은 r.p.m.이 28인 Simpson type mixer에서 水分 120 g (3.57 wt.%)을 모래에 넣고 2分間 mixing後, bentonite 240 g (7.14 wt.%)를 添加하여 10分間 mixing하였다. mixing 後 No.754-A Sand Rammer (Harry W.Dietert社)로 3回 ramming하여 specimen을 製作하였다. AFS 표준시편은 50 ± 0.02 ㎜ (직경)과 50 ± 0.7 ㎜ (높이)이다.

Ⅱ-4 水分含有量 測定

모든 試料의 水分含有量 (free water)은 infra-red drier를 사용하여 15分間 건조한 후, 무게差에 의해 測定하였다. 각 mesh別로 모래, bentonite 그리고 mixture (sand + bentonite + water)의 水分含有量은 Table 3과 같다.

Ⅱ-5 밀도 測定

Draper[7]가 한 方法대로 각 mesh別로 50.00 g의 모래를 laboratory balance를 사용하여 물속에서의 무게를 측정하였다. 공기중의 50.00 g무게와 물속의 무게와의 差는 모래 부피에 의한 물의 浮力이므로 부피를 알 수 있으며 아울러 밀도도 구해진다.
각 mesh의 평균치는 2.60 g / ㎤이었다.

Table 3 . The Moisture Content of Sand, Bentonite and Mixture (Sand + Bentonite + Water)

Mesh No.	Free Water (Sand) %	Free Water (Bentonite) %	Added Water gr.	Moisture (Sand) %
30	0.05	9.40	120.00	3.87
40	0.05	9.40	120.00	3.92
50	0.06	9.35	120.00	3.88
60	0.08	9.40	120.00	3.85
70	0.09	9.40	120.00	3.90
100	0.10	9.31	120.00	3.85
140	0.13	9.45	120.00	3.85
Avg.	0.08	9.45	120.00	3.87

Ⅱ - 6 生型壓縮强度 및 充塡性試驗

製作된 specimen을 通氣度 試驗後 바로 universal sand strength machine에서 生型壓縮强度와 變形量을 5回이상 試驗했다. 流動性은 No. 754 - A sand rammer를 사용하여, 4回와 5回 ramming時 시편 높이 差를 Dietert의 流動性式에 代入하여 구하였다. 充塡性은 混合한 試料를 6 mesh의 체와 깔대기 (funnel)를 通過시켜 標準試驗片製作用管에 넣고 수평으로 한 다음 compactability tester 를 사용하여 算出하였다.

$$\text{Compactability} = \frac{\text{다진후의 높이 감소량}}{\text{시험관내의 최초높이}} \times 100\,(\%)$$

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

Ⅲ - 1 粒度와 粒子數, 表面積

모래 입자 사이의 接觸點數와 clay-water에 의한 coating두께와는 서로 연관성이 있다. specimen 內 粒子數가 많을수록 接觸點數는 많아질 것이나, 반대로

Table 4 . Bulk density of the specimen (2″ × 2″) at each mesh no.

Mesh no.	Wt. gr (2″ × 2″)	Wt. gr (tested specimen)	Bulk density (g/cm³)
30	157 ± 0.5	157	1.526
40	155 ± 0.5	155	1.506
50	154 ± 0.5	154	1.497
60	153 ± 0.5	153	1.487
70	152 ± 0.5	152	1.477
100	151 ± 0.5	151	1.467
140	150 ± 0.5	150	1.458

Table 5. Comparison of the Representative Grain Diameters Determined by U.S. Standard Size and Geometric Means.

Mesh	Diameter (cm)	Vol./Grain (cm³/grain)	Avg. Particle** wt. (g/grain)	Grains /gr	Surface Area (cm²)
20	0.0841 –	3.11×10^{-4} –	8.08×10^{-4} –	1236 –	– –
30	0.0589 0.0704*	1.07×10^{-4} 1.82×10^{-4}	2.78×10^{-4} 4.73×10^{-4}	3594 2113	– 32.89
40	0.0419 0.0498*	3.85×10^{-5} 6.47×10^{-5}	1.00×10^{-4} 1.68×10^{-4}	9990 5952	– 46.37
50	0.0297 0.0353*	1.37×10^{-5} 2.30×10^{-5}	3.56×10^{-5} 5.98×10^{-5}	28074 16722	– 65.46
60	0.0250 0.0272*	8.18×10^{-5} 1.05×10^{-5}	2.12×10^{-5} 2.73×10^{-5}	47018 36630	– 85.13
70	0.0211 0.0229*	4.92×10^{-6} 6.28×10^{-6}	1.28×10^{-5} 1.63×10^{-5}	78125 61349	– 101.07
80	0.0177 0.0193*	2.90×10^{-6} 3.76×10^{-6}	7.54×10^{-6} 9.77×10^{-6}	132625 102354	– 119.77
100	0.0149 0.0162*	1.77×10^{-6} 2.22×10^{-6}	4.66×10^{-6} 5.77×10^{-6}	217296 173310	– 142.89
140	0.0105 0.0124*	5.86×10^{-7} 9.98×10^{-7}	1.52×10^{-6} 2.59×10^{-6}	656167 386100	– 186.50

* : geometric mean
** : Vol./grain × gr/vol. (density)

coating 두께는 얇아지게 된다.

각 mesh別로 試驗한 specimen의 무게는 Table 4와 같고, Table 3과 4에서 순수모래 무게를 계산할 수 있다. 순수모래 무게를 밀도로 나누어주면 specimen내에 차지하는 모래부피를 알 수 있으며, 모래부피를 각 mesh別로 1개의 모래입자부피로 나누면 specimen내의 粒子數가 구해진다. 따라서 球形으로 假定한 硅砂의 mesh에 따른 특성은 Table 5와 같다. Table 3, 4 및 5를 이용하여 각 mesh別로 specimen 내 粒子數와 表面積을 구하면 Table 6과 같다. 60 mesh부터 表面積의 增加는 커졌다.

Table 6. No. of grain & surface area of the specimen at each mesh no.

Mesh no.	Wt.(gr) only sand	No. of grain	Surface area (cm^2)
30	140.70	5.05×10^5	4,627
40	138.85	8.26×10^5	6,438
50	137.95	2.30×10^6	9,030
60	137.06	5.02×10^6	11,667
70	136.16	8.35×10^6	16,307
100	135.27	2.34×10^7	18,757
140	134.37	5.18×10^7	25,041

Ⅱ-2 粒度와 生型壓縮强度

Fig. 1과 같이 本 實驗에서는 粒度가 작아질수록 生型壓縮强度는 增加하였다. 특히 60 mesh이상 입도에서는 强度가 급격히 增加했는데, 이것은 모래입자表表面積의 變化에 관계된다고 생각한다.

Bentonite-sand-water 結合이 mixing 한 sand와 clay의 surface charge에 의해 形成된다고 보면 水分量 특히 water / clay 比에 따라 粒度의 影響은 달라지게 될 것이다. 왜냐하면 粒度에 따라 表面積이 다르므로, 粒度에 따른 水分效果가 달라지게 되기때문이다.

Fig. 2(6)는 surface charge가 形成된 固體表面에 coating된 물분자의 配列모습이다. 물분자는 極性이므로 surface charge에 對應하여 配列하며, surface에 가까운 부근은 charge의 강한 影響을 받아 물분자가 얼음(ice)과 같은 結合形態를 나타낸다. 이것을 rigid water라 하는데, 이 rigid water는 입자와 입자사이의 結合과 結合力에 중요한 factor가 된다. Fig. 3(6)은 clay가 sand보다 입자크기, 형태, 표

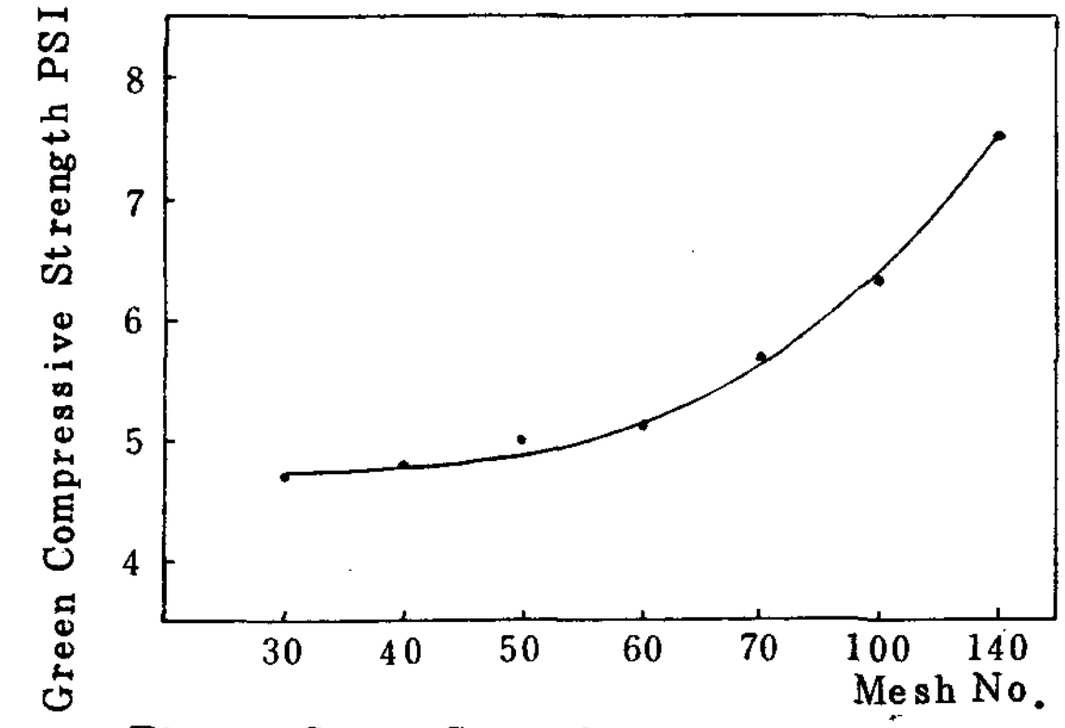

Fig. 1. Green Comp. Strength of the Specimen at Each Mesh No.

면적의 크기에서 많은 차이가 있으므로 물분자 配列에 더 큰 影響을 주는 것을 보여준다. Wenninger[9] 에 의하면, 一般的으로 clay, water, sand를 충분히 mixing, coating할 때, water / clay 의 比가 0.60이면 clay 表面에 4개 정도의 물분자層이 形成되고, 0.45이면 3개의 물분자層, 0.30이면 2개의 물분자層이 形成된다고 한다. 3개까지의 물분자層은 規則的이고 塑性的 性質을 갖는 rigid water層을 이루며, 一般的으로 3개의 물분자層에서 最大壓縮(引張) 强度를 갖는다고 한다. 4개

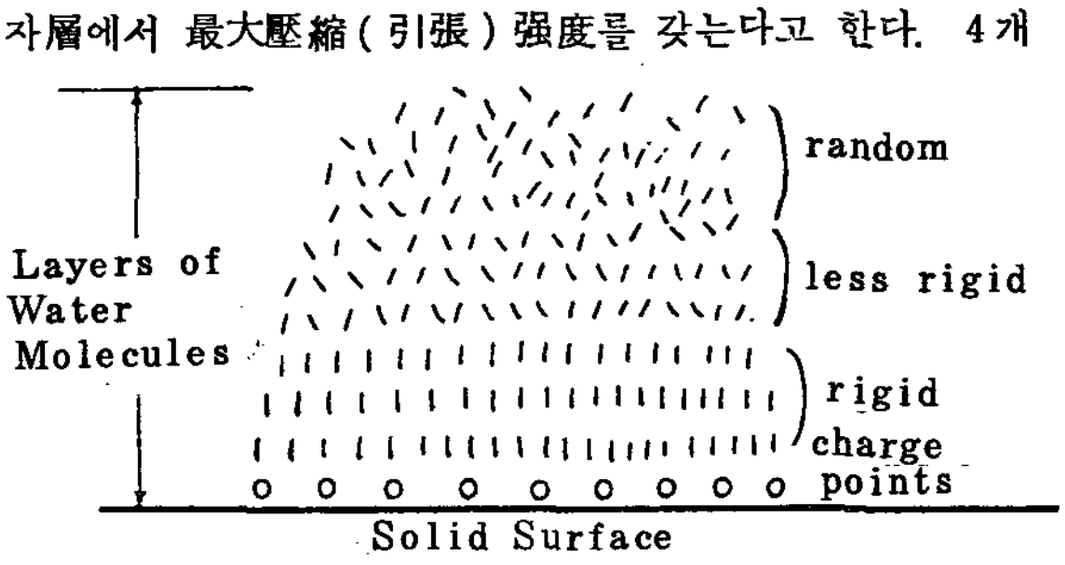

Fig. 2. Decreasing Rigidity of Water Molecular Layers With Increasing distance From Charge Points.

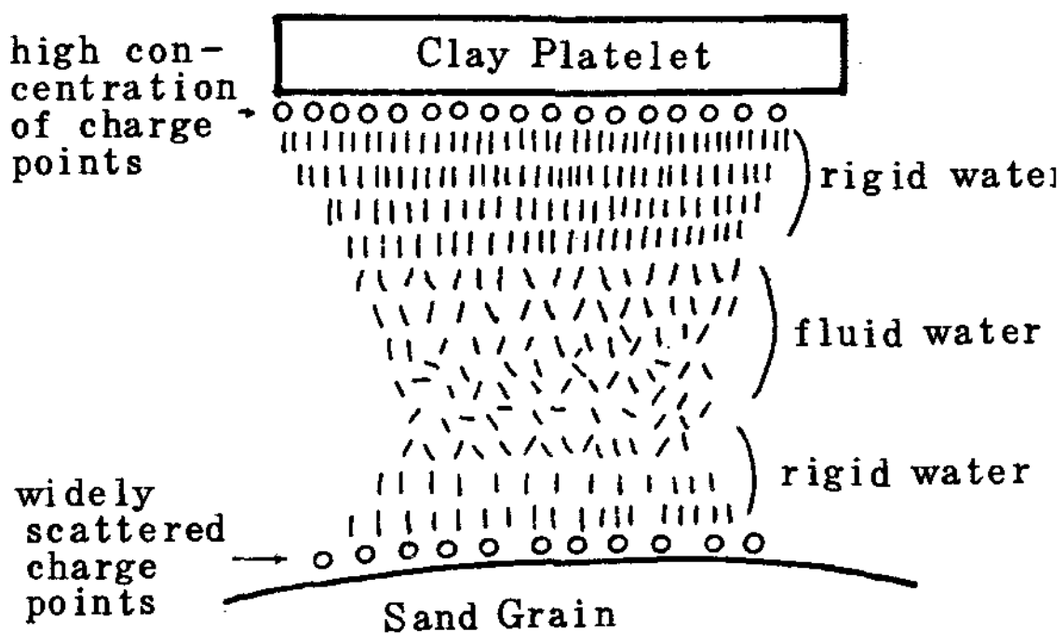

Fig. 3. Water Molecular Orientation of Clay Particle and Sand Grain by Respective Surface Charge Concentrations and Film Thickness.

以上부터는 전기력의 影響을 덜 받게 되므로 물분자 配列의 規則度가 감소된다고 한다.

本 實驗에서 鑄物砂가 충분히 mixing되었다고 가정하면 Wenninger가 발표한 결과에 따라 Water/bentonite 比가 0.5인 경우에는 sand-bentonite 사이에 Fig 3과 같은 fluid water 가 存在하는 것으로 생각된다.

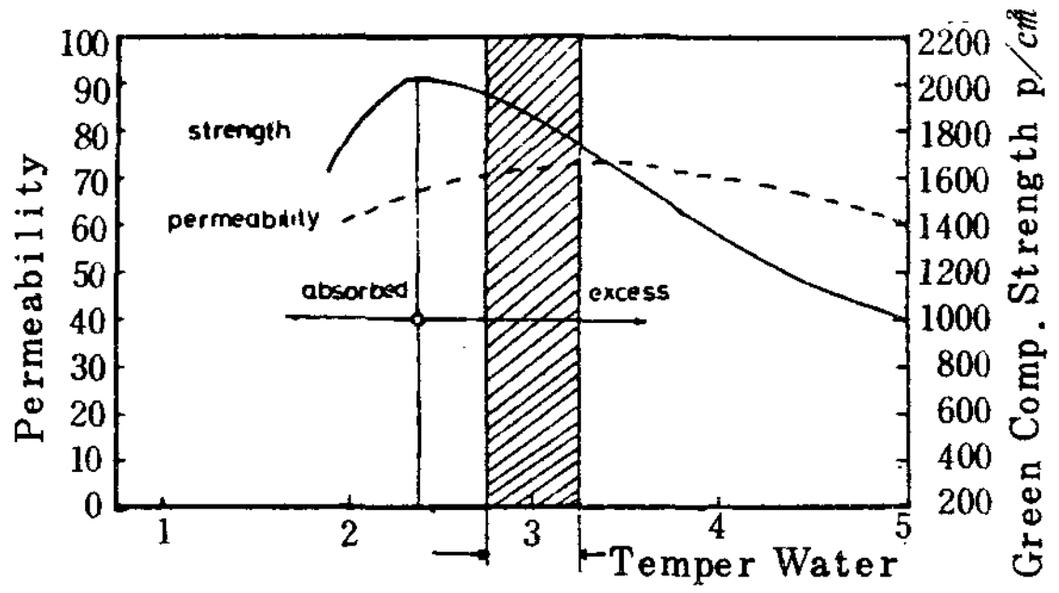

Fig. 4. Green Comp. Strength and Permeability With Increasing Water Content

따라서 Fig. 1과 같은 강도증가는 mesh에 따라 시편내 모래粒子 表面積의 증가에 따른 fluid water 양의 감소에 기인한다고 추측된다.

Ⅲ-3 粒度와 通氣度 (permeability)

粒度에 따른 生型通氣度 變化는 Fig. 4와 같이 粒度가 작을수록 감소하였다.
시편내 粒子의 表面積이 클수록 또한 충진밀도가 클수록 즉 void fraction이 작을수록 공기 통과에 대한 저항이 커지게 됨을 알 수 있다.

Ⅲ-4 粒度와 流動性 (flowability), 充塡性 (compactability)

一般的으로 流動性이라 함은 sand 자체의 흐름의 難易度와 점결제를 混合하여 鑄型을 만들 때의 다짐의 難易度를 말한다. 流動性은 外部에서 힘을 가했을 때의 시편 높이의 變化量으로 표시되며, 좋은 流動性의 모래는 充塡性의 값이 작으며 製作된 試片전체 표면에 均一한 hardness를 갖는다. 本 實驗에서는 water/clay 의 比가 0.5인 경우, 단일 입도에서 Dietert의 流動性式을 사용하였다.

$$\text{Dietert의 流動性} = 1{,}000 \times \left(0.100 - \frac{x}{25.4} \right) \%$$

x : 4회, 5회 ramming時, 높이 差 (㎜)

流動性과 充塡性은 粒子 結合형태, sand의 입자모양, load의 크기등에 관계된다.

Fig. 5은 粒度에 따른 流動性, 充塡性, bulk density를 나타낸 것으로, 粒度가 작아질수록 bulk density, flowability 는 작아지며, 充塡性은 커졌다. 充塡性은 ramming 前後의 밀도差이므로 粒度가 작을수록 bulk density 값이 작은 셈이다. Table 7은 粒度에 따른 充塡性과 각각의 試片무게를 나타낸 것이다. 대개 充塡性의 값이 45인 경우를 적정수분량이라 한다.

Table 7. Compactability & Weight of the Specimen at Each Mesh No.

Mesh No.	Compactability (%)	Wt. (tested specimen) (gr)
30	41.5	168.64
40	44.0	157.68
50	49.0	143.45
60	50.5	137.31
70	51.0	136.34
100	51.5	135.46
140	52.5	131.93

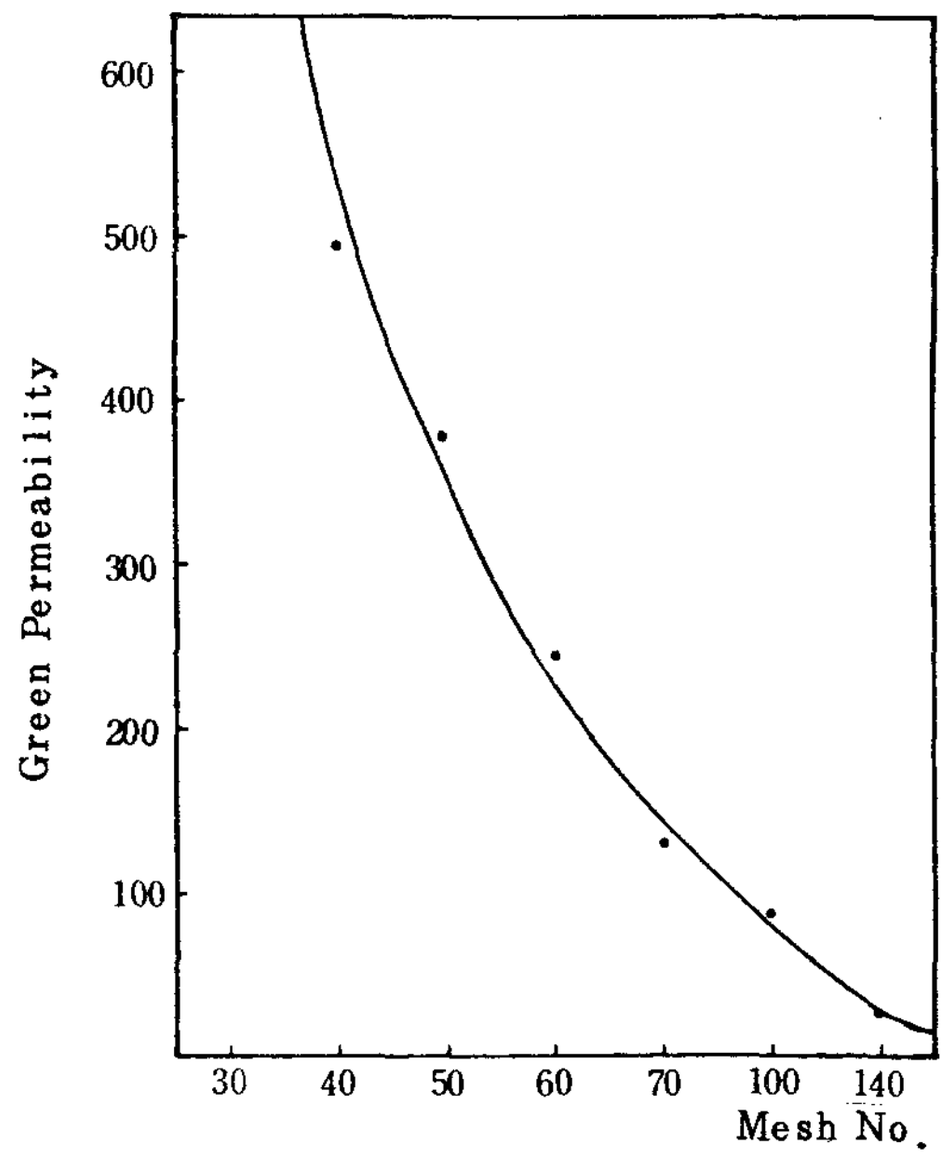

Fig. 5. Green Permeability of the Specimen at Each Mesh No.

Ⅱ-5 粒度와 變形量(deformation), 靭性 (toughness)

變形量은 生型壓縮强度(green compressive strength)를 測定하는 동안에 처음 試片높이와 파괴時 높이와의 差異를 처음 試片높이로 나누어서 구한다. 非鐵 및 鑄鐵鑄物에 있어서 生型의 경우는 變形量이 0.020이하, 건조형의 경우는 0.030이상이 되게 사용한다.

Fig. 6은 water/clay의 比가 0.5인 경우, 粒度에 따른 變形量과 靭性 變化를 나타낸 것이다. 모래의 靭性(sand toughness)은 變形量에 生型壓縮强度를 곱하여 구한다.

즉, STN = green compressive strength × deformation

Fig. 6에서와 같이 粒度가 작아질수록 變形量은 감소하나 靭性은 증가하였다. 變形量과 靭性에 對한 factor는 粒度뿐만 아니라, 粒形 mixing時間, 水分量, 添加物에 따라 달라진다. 靭性은 熔融金屬을 鑄型에 鑄込時 形成하는 scab 즉 鑄型表面 維持 性質이기도 하다.

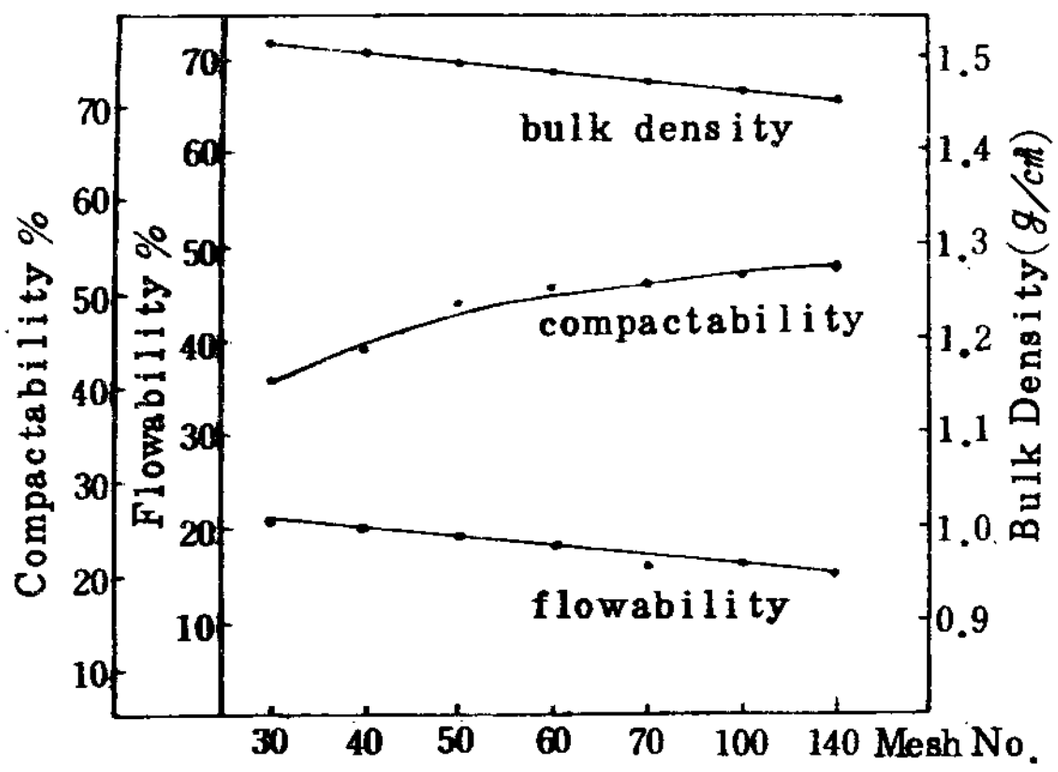

Fig. 6. Compactability, Flowability and Bulk Density of the Specimen at Each Mesh No.

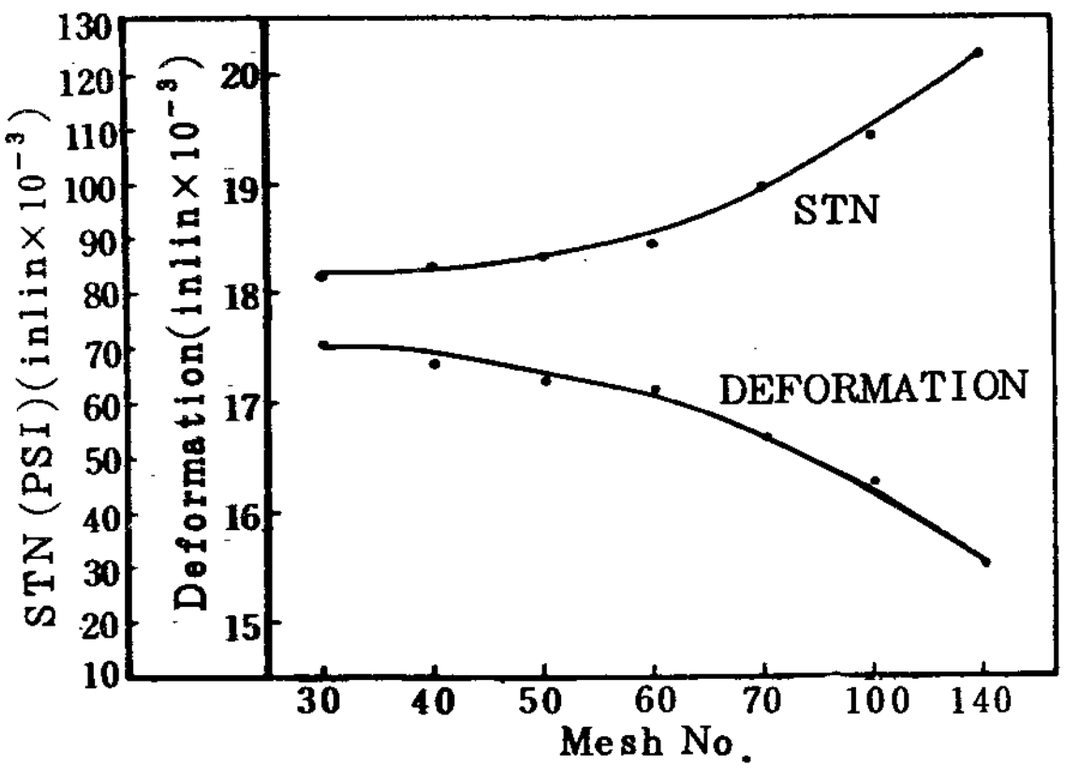

Fig. 7. Deformation and STN of the Specimen at Each Mesh No.

Ⅳ. 結　　論

本 實驗結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

water/clay 의 比가 0.5이고 單一粒度인 鑄物砂에서는,

1. 粒度가 작아질수록 生型壓縮强度는 증가하였다.
2. 粒度가 작아질수록 通氣度는 감소하였다.
3. 粒度가 작아질수록 流動性과 bulk density는 감소하나, 充塡性은 增加하였다.
4. 粒度가 작아질수록 變形量은 감소하나, 靭性은 증가하였다.
5. 여러 성질들이 60 mesh부터 더 많은 變化가 생겼다. 이것은 表面積의 增加에 따라 水分效果가 생기므로 입자사이의 結合力의 형태가 變하기 때문이다.

Ⅴ. 參 考 文 獻

1. Schubert, C.E., "Effects of Grain Size on Physical Properties of Synthetic Molding Sands." Foundry, (Mar. 1958) p. 88-99.
2. Lawrence, W.G., "Factors Influencing Molding Properties." Foundry, (Oct. 1961) p. 61-67.
3. Yearley, B.C., "The Importance of Proper Mulling" Foundry, (Feb. and Mar. 1967) p. 74-77 and p. 92-97.
4. Granlund, M., "Micromerities as Applied to Foundry Sands" Modern Casting, (Jan. 1962) p.85-90.
5. Vingas, J.G. and Zrimsek, A.H., "Systematic Approach Design and Control" AFS Vol. 68, 1960, p. 440-454.
6. Wenninger, C.E., Mechanism of Green Sand Bonding as Affected by Clay-Water Relationships." AFS Vol. 73 (1965), p. 558-560.
7. Draper, A.B., "Determination of Particle Sizes of Sand Grains and the Thickness of the Bonding Coating on Mulled Sand Grains." AFS 1968)

p. 142-152.

3. Draper, A.B., "Green Compression Stength as a Function of Coating Thickness and Points of Contact" AFS (1968), p. 529-538.

9. Wenninger, C.E., "A New Control Tool: A Graph for Evaluating Effectiveness of Available Bentonite within Foundry System Sands." AFS (1970), p. 17-24.

10. Caine, J.B., "Water-Bond Ratios and Moldability of Molding Sands." AFS (1968) p. 65-59.

11. Draper, A.B., "Median Grain Size Effect." AFS (1961), p. 345-351.

海 外 文 獻 紹 介

○ Confacted／Vermicular 黑鉛鑄鐵에 있어서 炭素, 硅素의 두께感受性 및 수축성에 미치는 영향.
鑄物 Vol. 54, No.7 (423-428) 1982.

○ 鑄鐵의 低cycle 피로수명에 미치는 平均 strain의 영향
鑄物. Vol. 54 No. 7 (429～433) 1982.

○ 亞共晶鑄鐵의 初晶 austerite의 核生性과 成長에 미치는 冷却速度 및 熔解 條件의 影響
鑄物 Vol. 54, No.7 (454～459) 1982.

○ 砂型의 通氣性에 미치는 型砂와 粘結劑의 영향.
鑄物, Vol.54, No.7 (446～453) 1982.

○ 鐵-炭素-Si-Al 合金熔湯中에서의 室化알미늄의 生成量 및 그의 거동에 미치는 冷却速度의 影響.
鑄物. Vol. 54, No.7 (440～445) 1982.

○ Ferrite 地球狀黑鉛鑄鐵의 回轉曲渡勞强度 및 균렬전파거동에 미치는 黑鉛粒徑의 영향.
鑄物. Vol.54, No.7 (434～439) 1982.

○ 流氣加壓造型法에 있어서 箱型形狀模形의 造形效果.
鑄物. Vol.54, No.7 (460～464) 1982.

○ 鑄物工業 50年의 回顧.
鑄物, Vol.54, No.7 (480～486) 1982.

○ 鑄鐵熔湯中의 室化알미늄의 生成量에 미치는 硅素含有量의 影響.
鑄物, Vol.54, No. 8 (518～523) 1982.

○. 高周波誘電特性의 測定에 의한 生型砂의 水分計測.
鑄物, Vol.54, No.8 (524～528) 1982.

○ L字形湯道의 多數個인케이트로 부터의 流出擧動.
鑄物, Vol.54, No.8 (529～523) 1982.

○ 球鑄鐵熔湯中에 가스吹込處理에 의한 接種效果의 改良에 대하여
鑄物, Vol. 54, No.8 (536～541) 1982.

○ 有限要素法에 의한 鑄鐵鑄造用金型의 熱應力解析.
鑄物, Vol.54, No.8 (542～548) 1982.

○ 熱處 Al-Si 合金에 의한 鐵合金의 熔損에 미치는 流動의 영향.
鑄物, Vol.54, No.8 (549～555) 1982.

○ 「鑄物工場의 에너지對策 研究部會」 報告.
鑄物, Vol.54, No.8 (556～560) 1982.

○ 鑄鐵平板鑄物의 機械的 强度와 共晶 Lell 組織에 미치는 冷却速度의 영향.
鑄物, Vol.54, No.9 (579～585) 1982.

○ 高Cr 鑄鐵의 Martensite 變態에 미치는 不安定化熱處理의 영향.
鑄物, Vol.54, No.9 (586～592) 1982.

○ 球狀黑鉛鑄鐵鑄物의 膨張에 미치는 鑄型剛性의 영향.
鑄物, Vol.54, No.9 (593～598) 1982.

○ 鑄造用 Al-Zn-Mg 系 合金의 固液共存域에 있어서 凝固擧動에 미치는 合金元素와 添加元素의 영향.
鑄物, Vol.54, No.9 (599～604) 1982.

○ 噴霧狀海水에 의한 鑄鐵의 腐食.
鑄物, Vol.54, No.9 (605～611) 1982.

○ 鐵-P 合金의 過冷擧動과 凝固組織.
鑄物, Vol.54, No.9 (612～618) 1982.

○ 鑄鐵에 미치는 Ti의 영향.
鑄物, Vol.54, No.9 (619～627) 1982.

○ 各種 模型에 대한 高溫生型砂의 Sticker.
鑄物, Vol.54, No.9 (628～631) 1982.

○ A. F. S. 鑄物展示會와 美國鑄造工業視察記
綜合鑄物, Vol.23, No.7 (1～6) 1982.