

|||||  
**論 文**  
 |||||

水分：粘土비에 따른 鑄物砂의 機械的  
 性質에 관한 研究

李 啓 完\*, 李 秋 林\*\*

A Study on the Mechanical Properties of Molding Sand with various Water/Clay Ratio.

Choo-Lim LEE\*, Kye-Wan LEE\*\*

**ABSTRACT**

A Study on the Mechanical Properties of Molding Sand with Various Water/Clay Ratio

A standard sample of molding sand was prepared by adding a various amount of bentonite, which has water/clay ratio from 0.4 to 0.6, into artificial sand, Hanyoung #6.

The results obtained by measuring the room temperature properties of green mold are as follows.

1. This compressive strength of green molds which have 4% and 10% of bentonite decreased with increasing water/clay ratio, but the maximum strengths of 4.3 (psi) and 7.2 (psi) were observed in the samples with 6%, 8% bentonite respectively when the water/clay is 0.45.
2. The optimum water/clay ratio for strength and permeability increased from 0.4 to 0.5 with increasing clay.
3. The green compressive strength was proportional to the hardness.
4. Deformation increased with increasing water/clay ratio.
5. Flowability decreased with increasing water/clay ratio and clay content in molding sand.

I. 緒 論

Mold 材料中 一般的으로 가장 많이 사용되는 것이 Sand 이다. 이 Sand를 Mold 材料로 사용했을 경우 여기에 添加되는 水分과 粘結劑의 添加條件에 따라 Mold 의 機械的 性質이 크게 變化된다.

現在까지 報告된 바에 의하여 水分：粘土비가 0.35 배~0.45배 정도일때가 鑄物砂의 機械的 性質이 가장

좋다고 했다.<sup>1)</sup>

本 研究에서는 水分：粘土의 比를 變化시켜가면서 그 比가 鑄物砂의 機械的 性質에 어떤 影響을 미치는가 考察해 보았다. 그리고 水分-粘土-모래의 結合強度를 考察해 보고 여기에 水分이 어떠한 作用으로 結合力을 增大시키며 量的으로는 어떤 關係가 있는가 研究해 보았다. 이에 관해 現在까지 여러가지 學說의 研究報告가 있으나 아직까지는 確實한 理論은 알 수 없고 단지 量的으로 關聯을 지어 水分과 粘土의 比를 變化시켜 結合力과 關聯이 있는 機械的 性質을 測定해

\* 漢陽大學校 工科大學 金屬科 教授  
 \*\* 漢陽大學校 工科大學 金屬科 大學院

그 理論的인 考察을 해보고자 하였다.

一般的으로 粘土分의 量이 많을수록 鑄物砂의 機械的性質이 좋아지고 水分은 이것의 0.45 배일때가 가장 적합하다고 알려져 있다.<sup>2)</sup>

또 水分 - 粘土 - 모래의 混合試料內에 存在하는 水分은 吸着水分, 層間水分, 遊離水分, 結晶水分 등의 形態로 存在한다. 이中 實際로 鑄型의 結合에 參與하는 水分은 吸着水分과 약간의 層間水分으로 생각된다.

이 事實을 觀察하기 위해 本 研究에서는 試料를 示差熱分析 (Differential Thermal Analysis) 을 하여 參考資料로 使用하였다.

本 研究에 使用된 硅砂는 韓永6號 人造砂로써 比較的 많은 微粒이 包含되어 있으나 添加되는 粘土에 비해 極히 少量이므로 이를 無視하고 添加된 Bentonite 의 量을 粘土分으로 하여 이를 各各 4, 6, 8, 10 %로 고정시키고 이에 對해 各各 水分量의 比를 0.4 배에서 0.6 배까지 0.05 배 單位로 變化시켜 試料를 作成하였다.

## II. 實驗方法

### II-1. 試料

#### A. 硅砂

本 研究에 使用된 硅砂는 全南 康津郡에서 產出되는 人造砂로써 비교적 微粉이 많은 韓永6號를 使用하였다. 韓永硅砂의 化學的 組成은 Table.1 과 같다.

#### B. Bentonite

實驗에서 Clay 로 使用된 것은 경북 迎日灣에서 產出되는 Bentonite 로써 칼슘계 Bentonite였으며 pH는 10.3으로 약알카리성을 나타내는 알카리 Bentonite였으며 팽윤도는 9배를 나타내었다. 그 化學的 組成은 Table.2와 같다.

Table 1 Chemical Composition of Silica Sands

Sample	Chemical Composition (%)					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig-loss
Sand #6	96.37	2.62	0.39	0.06	0.09	0.35

### II-2. Mixing 및 試驗片 제작

試料를 混合하는데 使用한 Mix Muller는 r.p.m 30으로 最少混合 可能量은 3000 gr. 이었다. 準備된

Table 2 Chemical Composition of Bentonite (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 4SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O)

Sample	Chemical Composition (%)						pH
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig-loss	
Bentonite	65.68	16.86	2.08	1.65	0.99	12.06	10.3

硅砂 3000 gr.을 Mixer에 넣은 후 1分間 Mixing 후 여기에 各各 4, 6, 8, 10 %의 Bentonite를 添加하여 이를 공시제 I, II, III, IV로 하였다. Bentonite를 添加한 후 2分間 혼련하여 各 공시제에 對해서 水分量을 0.4 배에서 0.6 배까지 0.05 배 單位의 比率로 添加하여 中間試料를 만들었다. Table 3은 各 Sample 을 구분해 놓은 것이다. 그 후 10分間 또 다시 혼련한 후 No 754-A Sand Rammer (Harry, W. Dietert社)로 3回 Ramming 하여 標準試驗片을 제작하였다.

Table 3 Clay, Water and Water/Clay Ratio of the Samples

Sample	Clay (Wt.%)	Water (Wt.%)	Water/Clay Ratio
I	4	1.6	0.4
		1.8	0.45
		2.0	0.5
		2.2	0.55
		2.4	0.6
II	6	2.4	0.4
		2.7	0.45
		3.0	0.5
		3.3	0.55
		3.6	0.6
III	8	3.2	0.4
		3.6	0.45
		4.0	0.5
		4.4	0.55
		4.8	0.6
IV	10	4.0	0.4
		4.5	0.45
		5.0	0.5
		5.5	0.55
		6.0	0.6

Ⅲ-3. 混合試料의 水分含有量 測定 및 D.T.A 試驗

硃砂에 添加한 水分量은 혼련도중 증발과 혼련에너지로 인하여 變化한다. 그 變化量을 測定하기 위하여 혼련직후 混合試料 20 gr.을 취하여 infrared drier 로 15 分동안 건조시켜 무게差로 含水量을 測定하였다. 또한 標準試片 內에서 結合과 관련이 있는 水分의 形態를 알고자 순수한 Bentonite, 원료 규사 및 混合試料의 D. T. A (Differential Thermal Analysis) 試驗을 하였다.

Ⅲ-4. 標準試驗片 試驗

3회 Ramming 하여 製作된 2" x 2" 標準試片을 通氣度, 生型壓縮強度, 變形量 순으로 3회 以上 測定하여 平均値를 구했다. 또 流動性은 No 754-A Sand Rammer 로 3회 Ramming 後 오차한계內에 눈금이 있는가를 검토한 후 1회 더 다져서 눈금을 "0" 에 맞추고 다시 1회 더 다져서 얻은 눈금값으로 하였다. 충전성은 混合試料를 6 mesh 체와 깔대기를 이용하여 標準試驗片製作用 管에 넣고 수평으로 한 다음 충전성시험기를 사용하여 試驗하였다. 충전성 시험기의 原理는 다음 式을 利用한 것이며 양호한 Mold 의 Compactibility 값은 45(%) 정도로 알려져 있다.

$$Compactibility = \frac{\text{다진후 판높이의 감소량}}{\text{시험관 최초높이}} \times 100 (\%)$$

또 Green Hardness Tester 로 Hardness 를 測定하였으며 이 값은 대략 生型壓縮強도와 비례관계가 있을 것으로 豫測했다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

Ⅲ-1. 生型壓縮強度

앞에서와 같은 實驗方法으로 Water/Clay 比를 變化시키면서 生型壓縮強도를 測定한 結果는 Fig.1 과 같다.

이 그림에서 보는 바와 같이 Bentonite 量의 증가에 따라 強度가 대체적으로 증가했음을 알 수 있다. 또 標準試驗片 I과 VI, 즉, Clay가 극히 작은 경우와 극히 많은 경우에는 極大값이 나타나지 않았다. 이에 반하여 標準試驗片 II와 III에서는 Water/Clay Ratio가 0.45 에서 各各 最大値 5.3 (psi) 와 7.2 (psi) 를 나타냈다. 이

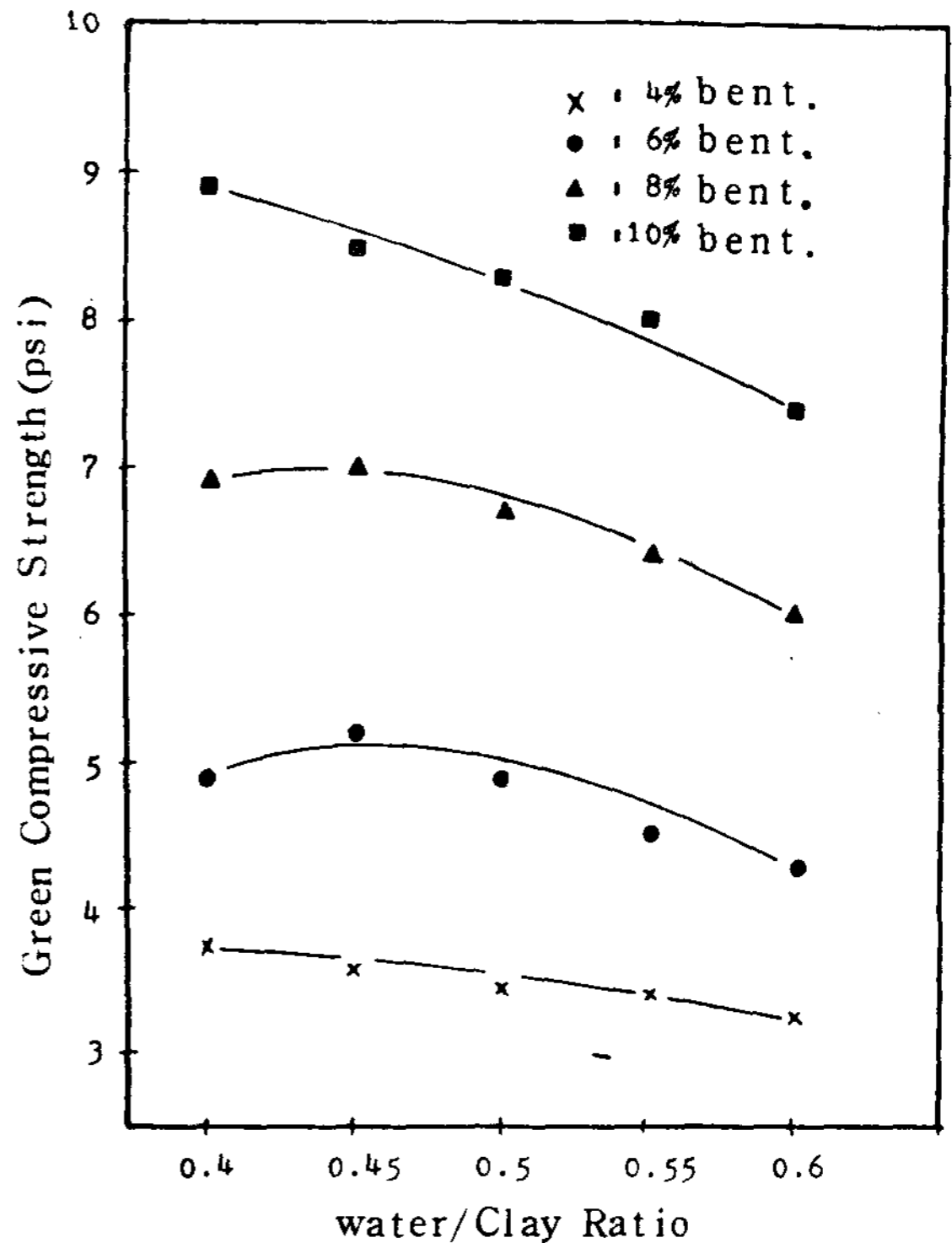


Fig. 1 Green Compressive Strength with Increasing Water/Clay Ratio

는 標準試驗片 I에서는 Clay 量이 너무 적기때문에 Sand 粒子를 Coating 할 수 있는 최소치에 미달된다. 따라서 Water-Clay-Sand 의 結合과 관계가 있는 rigid water 층의 형성의 불확실해지고 結合력이 아주 약하게 되어 生型壓縮強도가 낮아지는 것으로 思慮되며 標準試驗片 IV에서도 Water/Clay Ratio가 0.4 인 곳에서 Moisture 量은 12gr.이며 Sand 에 대한 水分含有量이 4%에 해당하는 값이므로 過多한 水分量으로 인하여 生型壓縮強도가 감소하는 傾向이 나타났다. 標準試驗片 I과 IV에서는 最大強度가 Ratio가 0.4 以下인 곳에서 나타날 것으로 豫상됐다.

Ⅲ-2. 最適正 Water/Clay 比의 계산

鑄物砂의 強度만큼이나 重要한 또 다른 性質은 通氣度이다. Fig. 2 는 生型壓縮強도와 通氣度를 한 도표에 같이 표시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 通氣度는 水分量의 增加에 따라 대체로 감소하였으며 각 Sample 에서 가장 우수 한 強度를 中心으로 適正 Water/Clay Ratio 를 구해보았다. Sample I에서는 Ratio가 0.4 배인 곳에

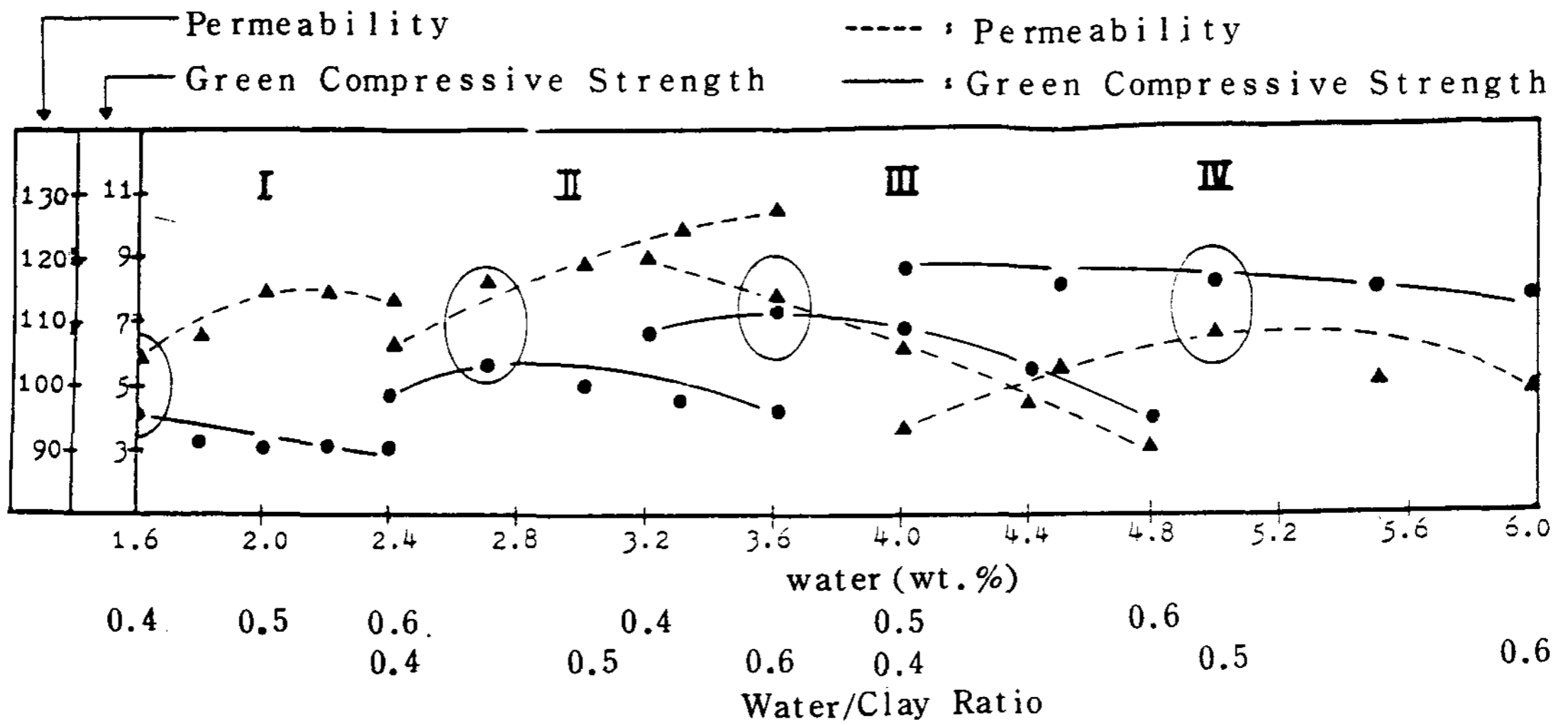


Fig. 2 Permeability and Green Compressive Strength with Water/Clay Ratio for Optimum Values

서 최대강도를 보였으나 통기도는 별로 좋지 않았다. 그러나 0.4 배 以下에서 通氣度가 급격히 감소할 것으로 예측된다. 한편 強度는 0.4 배 以上에서 역시 감소하였으므로 0.4 배 값이 적당한 比로 생각됐다. Sample II 및 III에서는 Ratio가 0.45 배에서 最大強度를 나타냈으며 通氣度도 우수한 편이었다. Sample IV에서 通氣度는 Ratio 0.5에서 가장 우수하고 強度는 별로 큰 차이를 보이지 않았으므로 Ratio 0.5를 適正值로 잡았다.

以上에서 본 바와 같이 같은 比의 Water와 Clay의 조건에서도 Clay量이 增加할수록 適正比는 0.4 배에서 0.5 배로 增加함을 알 수 있었다. 이는 Clay量이 많을수록 Sand 粒子와의 結合력이 強해져 우수한 強度가 나타나고 通氣度는 대체로 감소하는 傾向이지만 그 정도가 적어 큰 영향은 없었다. 즉, 充分한 量의 Clay에 水分이 흡수되어 粒子間에 存在하는 유리수분이 적어져 通氣度에 크게 악영향을 미치지 않은 것으로 思慮된다.

III-3. 水分含有量 測定 및 D.T.A 實驗結果

Mixing 직후 infrared drier로 Sand, Bentonite, 混合試料의 水分含有量을 測定한 結果 Sand는 0.18%, Bentonite 9.2% 이었고 混合試料에 添加한 水分量과 Mixing 후 測定한 水分含有量과의 차이는 13%로 나타났다. 또 Fig.3은 Sand, Bentonite 및 混合試料를 5°C/min의 속도로 900°C까지 D.T.A 試驗한 結果로써 그 모양으로 볼때 Bentonite와 混合試料

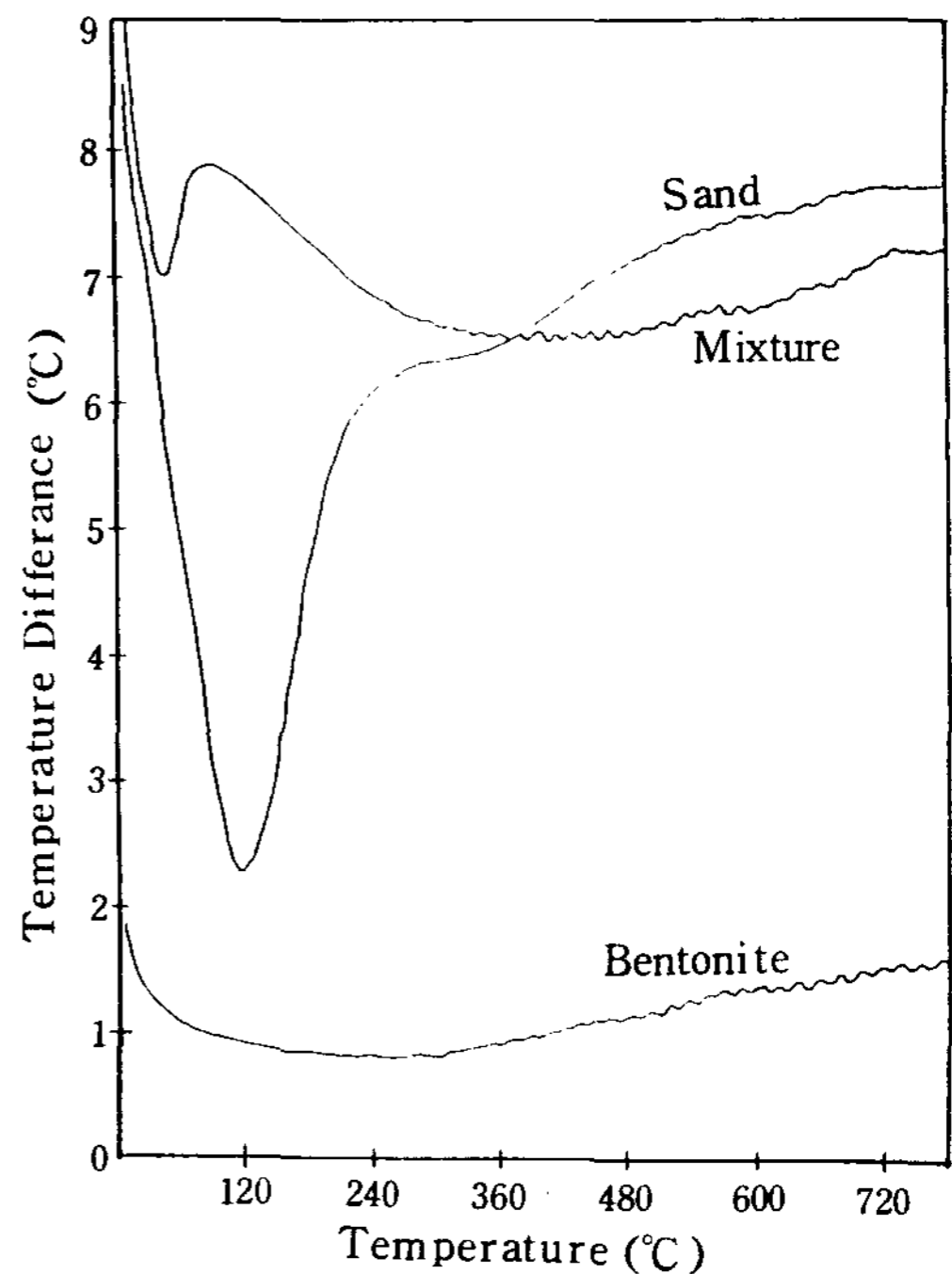


Fig. 3 D.T.A. Curve of Sand, Bentonite and Mixture

內에 存在하는 水分의 形態는 것을 것으로 예상했다. 즉, Bentonite와 混合試料 內에 存在하는 水分은 60°C에서 흡수된 것으로 보아 흡착수분으로 생각이 되었고 120°C에서 水分이 흡수된 Sand는 粒子사이에 유리수분을 含有하고 있는 것으로 나타났다. 以上에서 볼 때 鑄物砂 內에서 結合에 참여하는 水分의 形態는 흡착수분이 거의 全部였을 것으로 分析되었다.

III-4. 生型壓縮強도와 硬度

生型壓縮強도는 앞에서 考察한 바와 같으며 여기서는 이 強도와 生型硬度값을 比較 검토하여 그 關係를 究明하고자 한다.

보통 生型砂의 경우 硬度는 手造型 40~60, 機械造型 70~80, 高壓造型 90以上の 범위이다.

Table. 4는 造型 방식에 따른 程度를 표시한다.

Table. 5는 各 Sample의 water/clay Ratio를 0.5로 일정하게 한 후 各의 다짐 횟수를 3회에서 부

Table 4 Type of Mold according to the Variation of Hardness

Type of Mold	Hardness
Very soft rammed mold	20 - 40
Soft rammed mold	40 - 50
Medium rammed mold	50 - 70
Hard rammed mold	70 - 85
Very Hard rammed mold	85 - 100

Table 5 Relation of Mold Hardness and Compressive Strength (Water/clay Ratio = 0.5)

Sample	Strength 다짐 횟수	Hardness				
		3	4	5	6	7
I	Comp. Strength	3.30	3.30	3.30	3.40	3.76
	Mold Hardness	78.0	78.5	78.5	79.0	80.3
II	Comp. Strength	4.3	4.5	4.9	5.1	4.9
	Mold Hardness	79.0	79.0	80.0	82.0	82.1
III	Comp. Strength	6.0	6.4	6.7	7.0	6.9
	Mold Hardness	82.0	82.8	83.5	84.5	84.3
IV	Comp. Strength	7.4	8.0	8.3	8.5	8.9
	Mold Hardness	82.1	83.5	84.5	84.0	85.8

터 1회씩 증가시켜 그 Sample의 硬度를 一定하게 增加시킨 후 그때의 強度值를 나타낸 것이다.

Fig. 4는 Table. 5를 圖式化한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 Bentonite의 量이 4, 6, 8, 10%로 增加할수록 強度가 增加하였고, 이에 따른 硬度가 비례적으로 增加함을 알 수 있었다. 그 비례상수는 대체로 一定했다.

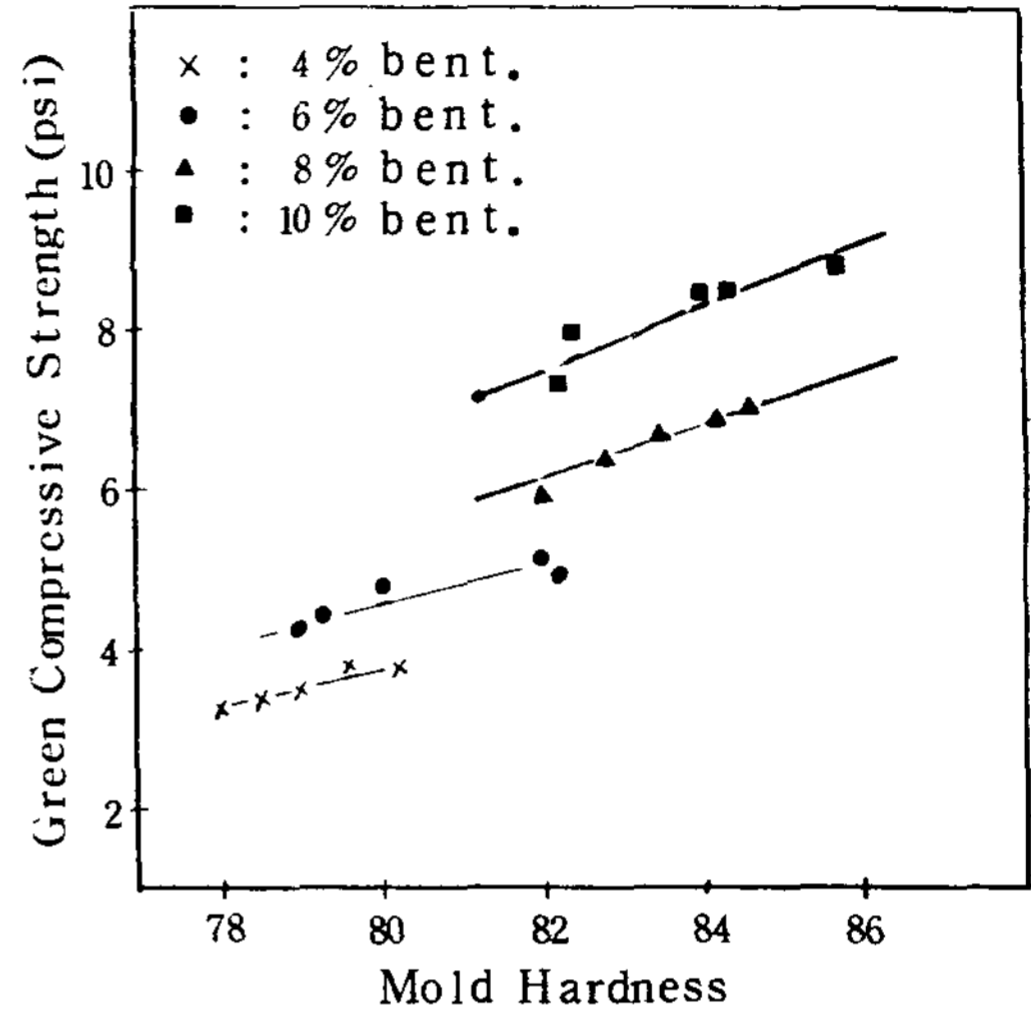


Fig. 4 Relation of Mold Hardness and Green Comp. Strength Listed in Table 5.

한편 Fig. 5는 E.H. King과 R.W. Heine<sup>2)</sup>가 報告한 強度-硬度와의 關係로 2" x 2" 標準試片을 14 lb-2" Rammer 로 各 다짐 횟수를 增加시키면서 硬度를 增加시켜 그때의 強度를 測定하여 얻은 結果이다. 그림에서 보는 바와 같이 Clay가 6%에서 10%로 增加할 때 強度는 큰 폭으로 增加했으나 Clay가 10%에서 15%로 增加할 때는 Clay가 더 이상 強度를 增加시킬 수 없음을 나타내고 있다. 다시 말해서 Sand와 Clay가 완전히 結合되었다는 것을 나타낸다.

이와 같이 硬度와 強度는 밀접한 關係가 있으나 各의 값들은 어느 한계치에 도달하면서 極大값으로 一定하게 머물고 더 이상 增加하지 않는다. Fig. 5에 나타난 점선은 한계치에 도달했을 때 強度-硬度의 標準曲線 (STD Curve)을 나타낸 것이다. 즉, STD Curve는 최고의 強度를 나타낼 때의 硬度값을 나타낸다고 할 수 있다.

III-5. Water/Clay 比와 變形量

生型 鑄物砂에서 變形量이 클 경우 鑄物內의 균열을 發生시키는 원인이 될 수가 있다. 生型에서 바람직한 變形量值는 0.2以下가 우수하다고 Nicholas<sup>3)</sup>나

Dietert<sup>4)</sup>에 의해 報告되었다. 또한 Cleland<sup>5)</sup>에 의하면 Sand-Water-Clay System에서 水分量이 增加함에 따라 變形量이 增加한 것으로 報告되고 있다.

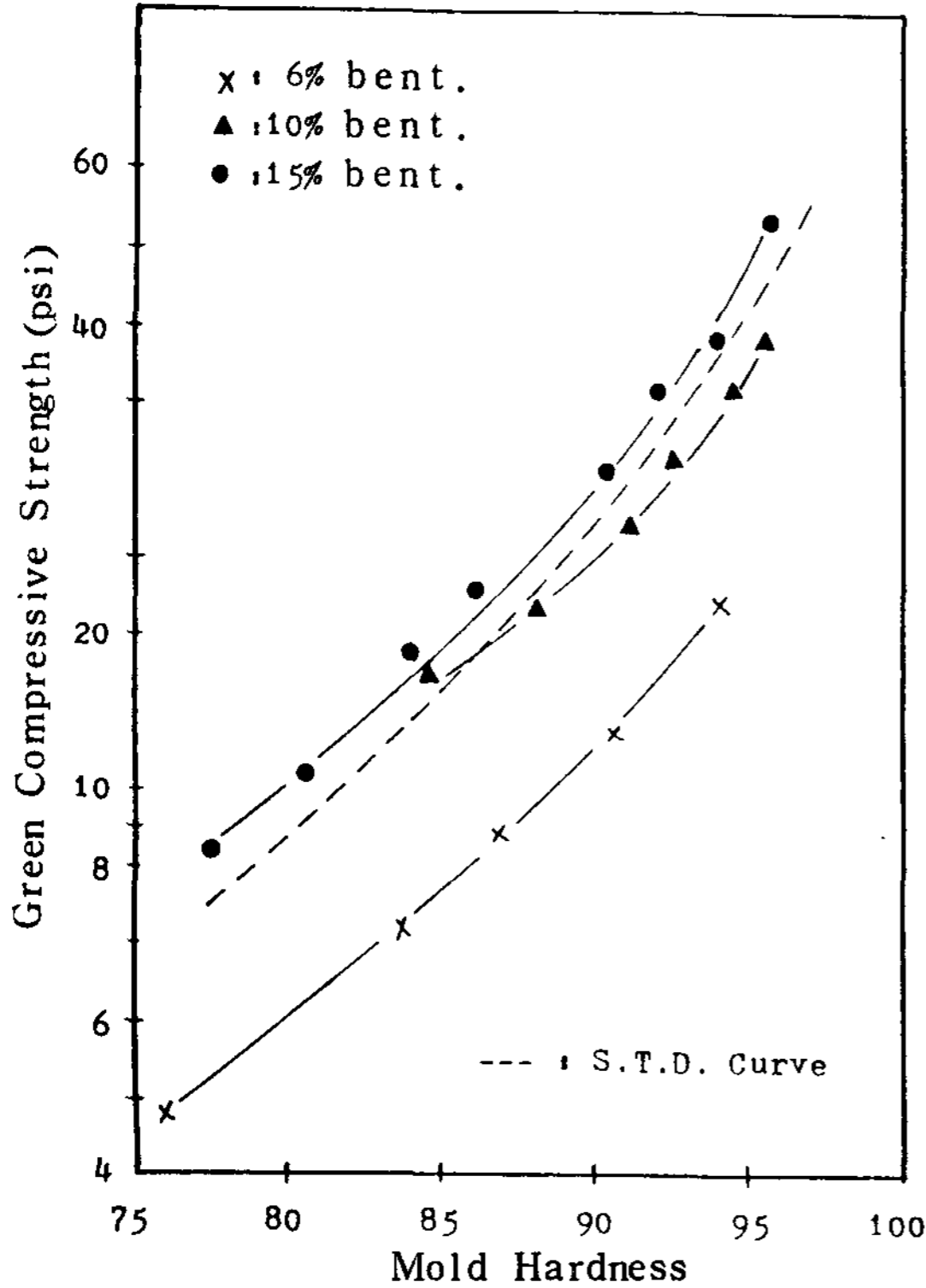


Fig. 5 Relation of Mold Hardness and Green Compressive Strength for Sand (Reference 2 : E. H. King, R. W. Heine)

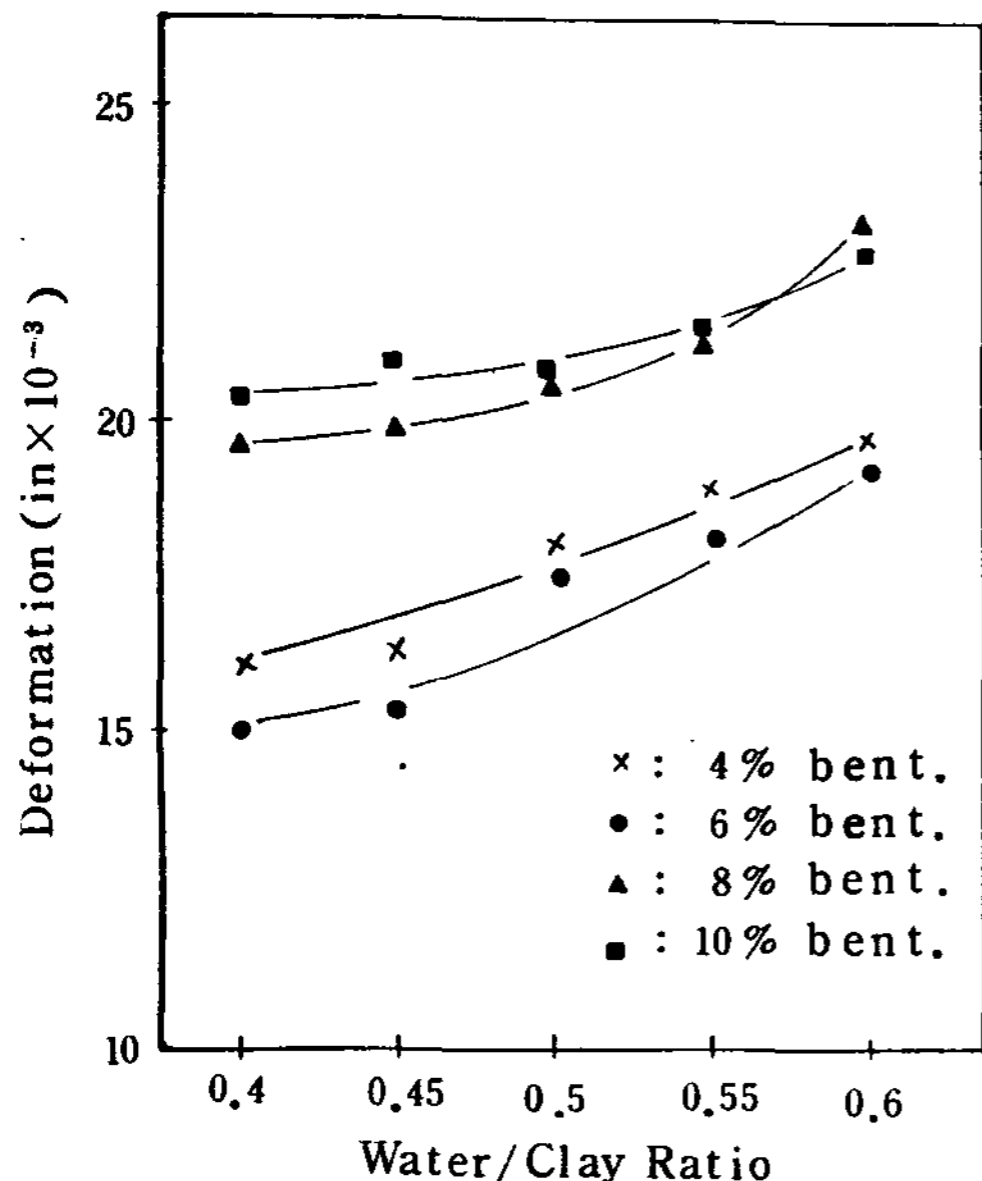


Fig. 6 Deformation with increasing Water/Clay Ratio

Fig.6은 Water/Clay比에 따른 變形量의 관계를 나타낸 것이다. 比가 增加함에 따라 즉, 水分量이 增加함에 따라 變形量은 增加하였고, Clay의 增加에 따라 變形量은 감소하였으며 Clay가 6%일때 變形量은 最少值를 나타냈다. Clay가 4%일때 보다 6%에서 變形量이 더 우수하게 나타난 理由는 Clay 4%때는 Clay量이 너무 적어 水分量이 과량 포함된 효과가 나타나 變形量이 더 컸던 것으로 生覺된다.

### III-6. Water/Clay比와 流動性

混合試料에 外力을 가했을때 砂粒들이 서로가 接觸하면서 流動하는 정도를 流動性이라고 한다.

本實驗에서는 「Dietert의 流動性測定」方法으로 그 값을 測定하였다.

Fig.7은 Water/Clay比에 따른 流動性의 變化를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 添加된 Clay의 量이 增加할수록 그리고 Water/Clay比가 增加할수록 流動性은 감소하였다. 이는 Clay에 의해 마찰계수가 감소되는 효과가 생겨 2" x 2" 標準試驗片의 4회 다짐과 5회다짐의 높이差가 커지게 되고 다음 式에 의하여 流動性이 감소한 것으로 思慮된다.

$$\text{Flowability} = 1000 \times \left( 0.100 - \frac{x}{24.5} \right)$$

( x : 4회다짐과 5회다짐의 높이差 )

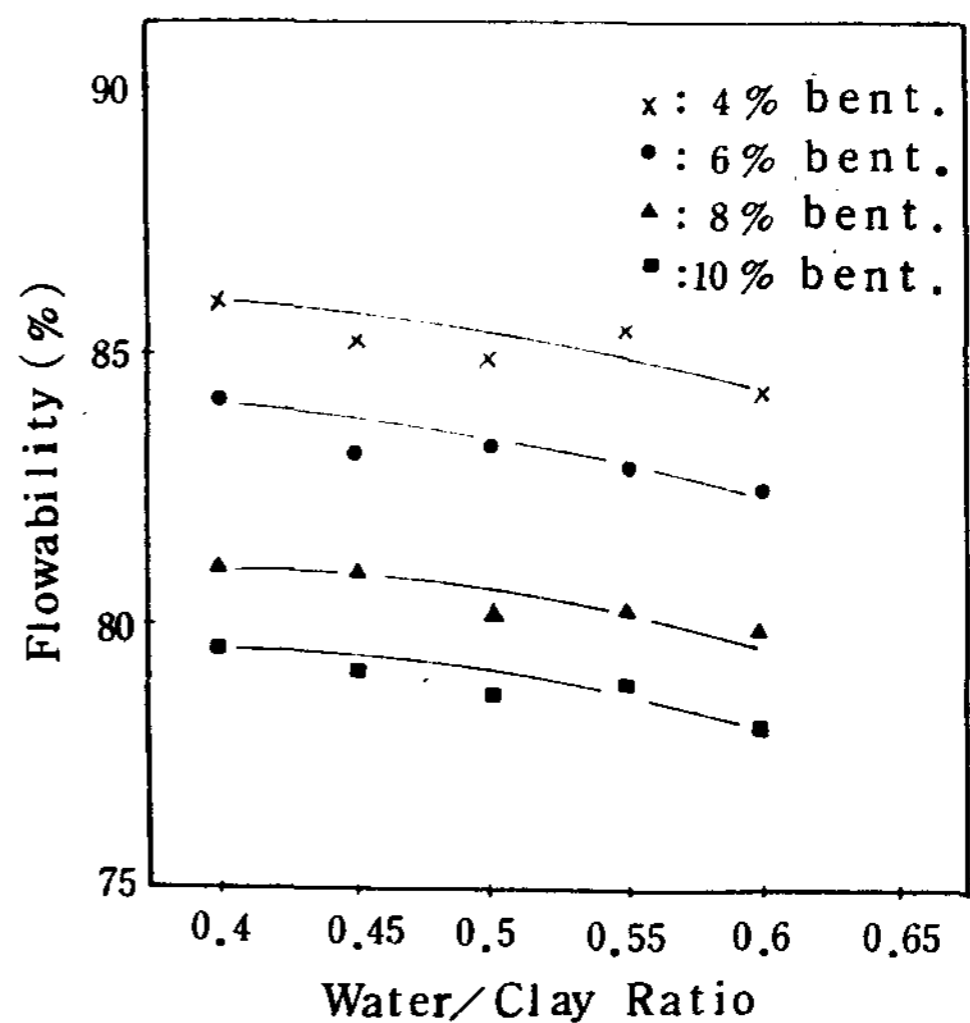


Fig. 7 Flowability with increasing Water/Clay Ratio

## IV. 結 論

本實驗을 통하여 얻은 結論은 다음과 같다.

1. Water/Clay 比의 增加에 따라 Clay 4 %, 10 % 에서 生型壓縮強度는 감소하였고, Clay 6 %, 8 % 에서 生型壓縮強度는 Water/Clay Ratio 가 0.45 배인 곳에서 최대치 5.3 (psi), 7.2 (psi) 를 각각 나타내었다.
2. Clay 量이 增加함에 따라서 適正 Water/Clay 比는 0.4 배에서 0.5 배로 增加하였다.
3. 生型壓縮強度와 硬度와는 비례하였다.
4. 變形量은 Clay 量이 6 % 일때가 가장 우수했다.
5. 流動性은 Clay 量이 增加할수록 Water/Clay 比가 增加할수록 감소하였다.

## 참 고 문 헌

1. Yearley, B.C. "The Importance of Proper Mulling", Foundry (Feb. and Mar. 1967), p. 74-77 and p. 92-97.
2. E.H. King, R.W. Heine, "Mold Hardness: What it Means!", A.F.S. (1957), p. 123-127.
3. P. Nicholas, "Scabs-Their Cause and Cure", Foundry Trade Journal, Sep. 18, (1952), p. 326.
4. H.W. Dietert and R.A. Dietert, "Deformation and Resilience of Molding Sand", A.F.S. Transaction, (1936), p. 139.
5. R.L. Cleland, "Deformation and the Clay: Water Ratio", A.F.S. (1965), p. 564-567.
6. C.W. Briggs, "Synthetic Bonded steel Molding Sands-Sand, Clay and Water Systems", A.F.S. (1966), p. 553-572.
7. W.G. Parker, "Deformation of Green Molding Sand", A.F.S. (1973), p. 159-165.
8. C.T. Marek, "Transformations Zones in Green Sand", A.F.S. Transactions. Vol. 71, (1963).
9. C.E. Wenninger, "Mechanism of Green Sand Bonding as Affected by Clay-Water Relationships", A.F.S. Transactions Vol. 73, (1965), p. 558-560.
10. W.G. Lawrence, "Factors Influencing Molding sand Properties", Foundry, (Oct. 1961), p. 61-67.
11. J.G. Vingas, A.H. Zrimaek, "Systematic Approach Design and Control", A.F.S. Vol. 68, (1960), p. 440-454.
12. R.W. Heine, E.H. king, J.S. Schumacher, "How to Determine Moisture Requirments of Molding Sands", A.F.S. Transaction Vol. 65, (1957), p. 118-122.