

|||||
論 文
 |||||

신속한 生型砂 管理를 위한 기초연구

김명한*, 권숙인**, 강춘식***, 나달주****

A basic study for the rapid green sand control

M.H.Kim*, S.I.Kwon**, C.S.Kang***, D.J.Na****

Abstract

This paper presents experimental data for the computerization of green sand control.

The results can be summarized as follows:

1. To obtain the proper compactability at the mixer, the addition of moisture is far more efficient than the control of mixing time or addition of clay.
2. The log R(% clay/ % moisture) vs. log compactability curve moves upward as the amount of clay increases and moves downward as the amount of seacoal, dead bentonite or coked seacoal increases.
3. The ratio of dead to initial clay amount or coked to initial seacoal amount is changed according to sand to metal ratio, mainly, and according to pouring temperature, partly, at a shake out time of 12hrs.

1. 서 론

일반적으로 주물 불량은 주물사에서 기인된 경우가 많다. 특히 시스템 砂에서는 주물사의 처리에 따라 성분 및 기계적 성질이 다양하게 변화되므로 이러한 특성등을 수시로 점검하여 주물사 처리에 따르는 특성 변동 폭을 좁혀, 항상 일정한 성질로서 주물사를 관리하는 것이 중요하다. 따라서 외국에서는 1975년 AFS에서 silica program이 발표¹⁾된 이래 생형사의 특성변화를 분석, 파악하여 효과적으로 관리할 수 있는 방법이 많이 연구되었다²⁾. 본 연구에서는 완전 자동화 또는 반 자동화된 생형사 처리 공정에서 퍼스널 컴퓨터를 이용한 생형사 관리의 전산화를 위한 기초 데이터를 얻기 연구가 이루어 졌다. 즉, 직접 주형제조에 사용되기 바로 직전의 혼련기에서 혼련되는 생형사의 성질을 신속 정확히 파악하여 수분 및 벤토나이트의 양, 혼련시간을 변화시켜 일정한 배합비와 원하는 기계적 성질을 가진 생형사를 얻기 위한 연구가 진행되었으며, 또한 생형사 배합비의 변화에 따른 충전

도(compactability) 및 수분을 측정하여 생형사의 배합비 변화와 혼련기의 혼련효율을 예측하고자 하였다. 한편 비활성 벤토나이트 및 소성 시콜 발생량을 정량적으로 산출하여 생형사 반복사용에 따른 정확한 벤토나이트 및 시콜 첨가량을 예측하고자 하였다. 본 연구에서는 효율적인 실험을 위해 L.F. Porter³⁾에 의해 주물 분야에 유용하게 적용된 바 있는 2² 또는 2³ 요인 실험설계⁴⁾가 채택되었다.

2. 실험방법

2-1 주형재료

본 연구에서는 AFS GFN 81.5의 인조규사를 사용하였으며, 체 분석 결과를 Table 1에 나타내었고, 첨가재로 사용한 시콜의 화학분석치는 Table 2에 나타내었다. 소성시콜은 가열로에서 900°C로 3시간동안 시콜을 가열, 분해시켜 인위적으로 얻었다. 또한 점결제로 사용된 벤토나이트는 국산 Na계 벤토나이트로 그 화학조성은 Table 3과 같다. 비활성 벤토나이트는 벤토나이트를 가열로에서 900°C로 3시간동안 가열시켜 인위적으로 만들어 사용했다.

* 충북대학교 공과대학 금속과 조교수
 ** 고려대학교 공과대학 금속과 교수
 *** 서울대학교 공과대학 금속과 교수
 **** 충북대학교 공과대학 금속과 대학원생

Table 1. The result of screen analysis of silica sand

unit : wt %

| 30 mesh | 40 mesh | 50 mesh | 70 mesh | 100 mesh | 140 mesh | 200 mesh | 270 mesh | pan GFN |
|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.1 | 0.8 | 11.2 | 24.0 | 29.6 | 21.2 | 8.6 | 2.7 | 1.8 81.5 |

Table 2. Chemical composition of seacoal

unit : wt %

| Moisture (%) | Volatile material (925°C) | Ash | Fixed Carbon |
|--------------|---------------------------|------|--------------|
| 5.64 | 35.77 | 8.60 | 49.99 |

Table 3. Chemical composition of bentonite

unit : wt %

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|
| 50.7 | 16.6 | 2.14 | 2.04 | 3.08 | 5.08 | 0.40 |

2-2 혼련기에서의 생형사 管理를 위한 실험

주물사의 배합비는 원료사인 인조규사 10 kg에 대해 다음과 같다.

| | |
|-----------|------|
| 벤토나이트 | 7% |
| 시콜 | 2% |
| 소성시콜 | 1.2% |
| 비활성 벤토나이트 | 4% |

상기 배합비를 가진 생형사를 실험실용 고속 혼련기에서 2분간 건식혼련 한 후 수분을 1.8% 첨가하여 5분간 습식혼련 하였으며 이어 Table 4에 나타난 2³ 요인 배치법에 따라 혼련시간, 수분첨가량, 그리고 벤토나이트 첨가량을 변화시키면서 각 조건에서 충전도를 측정하였다.

2-3 R(%점토분/%수분) 대 충전도 곡선의 변화에 미치는 각종 첨가재의 영향

벤토나이트 량에 따른 표준 R 대 충전도 곡선의 변화를 조사하기 위하여 벤토나이트 배합비를 5, 7 및 9%로 변화시키면서 매 10분마다 수분과 충전도를 측정하였다. 비활성 벤토나이트 시콜 및 소성시콜의 첨가량에 따른 표준 R 대 충전도 곡선의 변화에 관한 자료를 얻기 위하여 벤토나이트 배합비를 7%로 고정시키고 비활성 벤토나이트, 시콜, 소성시콜량을 각각

Table 4. Factorial design at two levels for determining the effect of mixing time, moisture and bentonite addition on compactability

| Test condition number | Mixing time T | Moisture addition M | Bentonite addition B |
|-----------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 1 | - | - | - |
| 2 | + | - | - |
| 3 | - | + | - |
| 4 | + | + | - |
| 5 | - | - | + |
| 6 | + | - | + |
| 7 | - | + | + |
| 8 | + | + | + |

Coded units of variables in the above :

Mixing time(min). Moisture addition (%).

| | | | |
|---|---|-----|-----|
| - | + | - | + |
| 3 | 6 | 0.2 | 0.5 |

Bentonite addition (%)

| | |
|---|---|
| - | + |
| 1 | 2 |

2, 4 및 6%로 변화시키면서 매 10분마다 수분과 충전도를 측정하였다.

상기 실험은 원료사인 인조규사 5 kg에 각 첨가제 배합비를 변화시키면서 Dietert 사의 고속 실험실 혼련기에서 연속적으로 혼련하면서 매 10분마다 소정량의 시료를 채취하여 수분과 충전도를 측정하였다. 이때 혼련시간이 증가됨에 따라 증발에 의한 혼련사의 수분이 감소되어 충전도는 점차로 감소되는데, 본 실험에서는 충전도가 약 20~25%정도 될때까지 계속 실험을 진행하였다.

2-4 벤토나이트 및 시콜 첨가량 산정을 위한 실험

주조 실험에 사용된 주형은 10 kg의 주물 중량을 위해서는 120 mm dia × 123 mm ht, 15 kg의 주물 중량을 얻기 위해서는 140 mm dia × 135 mm ht의 원주형 목형을 사용하여 조형하였다. 그리고 주물중량 10 kg에 대하여 330 mm × 330 mm × 330 mm의 주형틀을, 15 kg에 대해서는 290 mm × 290 mm × 290 mm의 주형틀을 사용하였다. 주형은 원료사인 인조규사에 벤토나이트 10%, 시콜 5%를 배합하여 고속 혼련기에서 3분간 건식혼

련하고 수분을 2.8% 첨가하여 충전도가 약 50 정도 (10 분간) 될때까지 습식혼련한 후, 표준시료를 100g 채취하고 수조형(hand ramming)으로 주형을 제조하였다. 용탕은 GC 20의 주철을 고주파 유도로에서 용해하여 얻었으며 Table 5에 나타난 2³요인 배치법에 의해 주입온도와 샌드 메탈비를 변화시키면서 준비된 주형에 용탕을 주입시켰다. 용탕주입후 주형을 12 시간동안 방치하여 탈사 시간에 따른 효과를 제거시켰다. 이후 주형을 해체하여 고속혼련기에서 3분간 건식혼련하고 1.0%의 수분을 첨가하여 5분간 습식 혼련한 후 실험시료를 100g 채취하였다. 채취한 표준시료와 실험시료를 각각 건조로(105~110°C)에서 1~2시간 건조하여 데시케이터 속에서 상온까지 냉각시킨 후 5g의 시료를 채취하여 비활성 벤토나이트와 소성시콜 발생율을 구했다. 비활성 벤토나이트 발생율을 구하기 위해서는 메칠렌블루시험법⁵⁾을 채택하였고, 소성시콜 발생율을 구하기 위해서는 925°C ± 10°C에서 휘발분 시험⁵⁾을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 수분, 혼련시간 및 점토 첨가량에 따른 충전도의 변화

Table 6은 Table 5에 따라 실험된 결과를 통계적 분석 방법인 Yates algorithm⁴⁾으로 분석한 결과이다. 주요인 효과(main effect)에 대한 분석 결과는 혼련시간(T) 3분 증가당 0.9%의 충전도 증가가 있었으며, 수분 첨가량(M)의 영향은 0.3% 수분 첨가에 대해 2.6%의 충전도가 증가하였고 벤토나이트 첨가량(B)의 영향은 1% 벤토나이트 첨가에 대해 0.8%의 충

Table 5. Factorial design at two levels for determining the percent of dead bentonite and coked seacoal

| Test condition number | Pouring temp. T | Sand to metal ratio R |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | - | - |
| 2 | + | - |
| 3 | - | + |
| 4 | + | + |

Coded units of variables in the above :

| pouring temp(°C) | | sand to metal ratio | |
|------------------|------|---------------------|-----|
| - | + | - | + |
| 1200 | 1400 | 1.9 | 4.0 |

진도가 감소하였다. 이들 3요인 중 2요인의 교호작용(interaction)에 의한 충전도 증감 효과는 혼련시간과 수분의 교호작용(TM)에 의해서는 0.4%, 혼련시간과 벤토나이트의 교호작용(TB)에 의해서는 0.3% 충전도가 증가하였고, 수분과 벤토나이트 교호작용(MB)에 의해서는 0.6%의 충전도가 감소하였다. 또한 혼련시간, 수분, 벤토나이트, 3요인의 교호작용(TMB)에 의한 충전도 효과는 0.6%로 증가하였다.

한편, 실험오차는 같은 조건에서 2회 반복 실험을 행하여 산출하였고 그 분석 과정은 Table 7에 나타내었다. 일반적으로 2ⁿ요인 실험설계에서 각 효과에 대한 분산 $V(\text{effect}) = \frac{4}{N} \sigma^2$ 으로 주어진다. 여기서 N은 총 실험수(N=16)이고 모집단의 경우에 분산 σ^2 은 표본 자료의 분산 S^2 으로 대치시켜 계산할 수 있다. $S^2 = \sum \frac{d_i^2}{2g}$ 이며, g는 실험조건수(g=8), d_i 는 i번째 실험에서 반복된 실험값의 차이이다. Table 7에서 $\sum_{i=1}^8 \frac{d_i^2}{2}$

Table 6. Yates's algorithm

| Test condition number | Design matrix variables | | | Run average | (1) | (2) | (3) | Divisor | Estimate | Identification |
|-----------------------|-------------------------|---|---|-------------|-------|--------|--------|---------|----------|----------------|
| | T | M | B | | | | | | | |
| 1 | - | - | - | 45.50 | 91.75 | 189.75 | 376.25 | 8 | 47.03 | Average |
| 2 | + | - | - | 46.25 | 98.0 | 186.50 | 3.75 | 4 | 0.9375 | T |
| 3 | - | + | - | 48.75 | 91.25 | 1.25 | 10.25 | 4 | 2.5625 | M |
| 4 | + | + | - | 49.25 | 95.25 | 2.50 | 1.75 | 4 | 0.4375 | TM |
| 5 | - | - | + | 45.50 | 0.75 | 6.25 | -3.25 | 4 | -0.8125 | B |
| 6 | + | - | + | 45.75 | 0.50 | 4.00 | 1.25 | 4 | 0.3125 | TB |
| 7 | - | + | + | 46.50 | 0.25 | -0.25 | -2.25 | 4 | -0.5625 | MB |
| 8 | + | + | + | 48.75 | 2.25 | 2.00 | 2.25 | 4 | 0.5625 | TMB |

Table 7. Estimation of the variance

| Average value(compact-ability%) | T | M | B | Results from individual runs | Difference of duplicate | Estimated variance at each set of conditions $S_i^2 = (\text{difference})^2 / 2$ |
|---------------------------------|---|---|---|------------------------------|-------------------------|--|
| 45.50 | - | - | - | 45.0 46.0 | 1.0 | 0.500 |
| 46.25 | + | - | - | 46.0 46.5 | 0.5 | 0.125 |
| 48.75 | - | + | - | 49.0 48.5 | 0.5 | 0.125 |
| 49.25 | + | + | - | 49.5 49.0 | 0.5 | 0.125 |
| 45.50 | - | - | + | 46.0 45.0 | 1.0 | 0.500 |
| 45.75 | + | - | + | 46.5 45.0 | 1.5 | 1.125 |
| 46.50 | - | + | + | 47.0 46.0 | 1.0 | 0.500 |
| 48.75 | + | + | + | 49.0 48.5 | 0.5 | 0.125 |

계 3.125

은 3.125 이고 이를 실험조건수 $g = 8$ 로 나누어 $S^2 = 0.39$ 를 얻었다. 그러므로 $V(\text{effect}) = \frac{4}{16} \times 0.39 = 0.975$ 가 되고 표준편차는 $\sqrt{0.975} = 0.31$ 을 얻었다. 이 오차를 상기에서 얻어진 결과와 비교하면 3개의 주요인 효과를 제외하고는 나머지 교호작용에 의한 효과는 오차와 큰 차이가 없으므로 무시하였다.

이상의 결과로부터 수분 첨가에 의한 충진도 변화가 가장 민감한 것을 알 수 있어서 수분 첨가량 조절에 의한 충진도 조절이 가장 효과적이라 할 수 있다. 그러나 수분량이 적은 경우는 수분 첨가에 의해 충진도를 쉽게 조절할 수 있으나 과다하게 수분을 첨가된 경우는 충진도 조절을 위해 혼련기 내에서 수분을 제거하는 것이 불가능하므로 이를 위해 벤토나이트 첨가나 혼련시간의 증가에 의존할 수 밖에 없는데, 이들에 의해서는 큰 충진도의 변화를 기대할 수 없기 때문에 결국 혼련기에서 목표보다 지나치게 큰 주물사의 충진도는 조절이 어렵다는 것을 알 수 있다.

3-2 생형사의 배합비 변화와 혼련기의 효율변화의 예측

C.E. Wenniger와 A.P. Volkmar⁶⁾은 충분히 혼련된 조건에서 충진도와 생형압축강도를 결합한 sand-clay-water 관리 그래프를 개발하였다. R.W. Heine⁷⁾는 이 그래프로 부터 R(%점토분/%수분) 대 충진도의 관계를 플로트하여 Fig.1의 상부곡선과 같이 R과 충진도가 일정한 관계를 가지고 있음을 발견하였다. 한편, R.W. Heine는 AFS GFN 68의 인조규사에 7.3%의 서부 벤토나이트와 2.7%의 첨가재를 넣어 혼련기에서 연속적으로 혼련하면서 5분마다 수분과 충진도를 측정하였다. 이와 같은 작업은 수분의 증발을 방지하며 26회 반복실험을 행하여 각각 R과 충

진도를 구했으며, 이 R 대 충진도를 플로트 하면 Fig. 1 하부곡선과 같이 어느 일정한 회수(10회) 이상 부터는 C.E. Wenniger의 결과로부터 얻은 곡선과 절편은 다르나 기울기가 같음을 발견하였다. 이 그래프에서 C.E. Wenniger와 R.W. Heine에 의한 R 대 충진도 곡선이 서로 다른 절편을 갖게되는 이유로는 C.E. Wenniger와 R.W. Heine가 사용한 생형사의 배합비 차이와 각기 사용한 혼련기의 혼련 효율의 차이등을 열거할 수 있다. 이러한 R 대 충진도 곡선을 이용하면 생형사의 배합비 변화와 혼련기의 혼련효율의 변화를 감지할 수 있다. Fig.2~5는 각각 벤토나이트, 비활성 벤토나이트, 시콜 및 소성시콜 첨가비에 따른 충진도와 R값을 구하여 이들 값에 각각 상

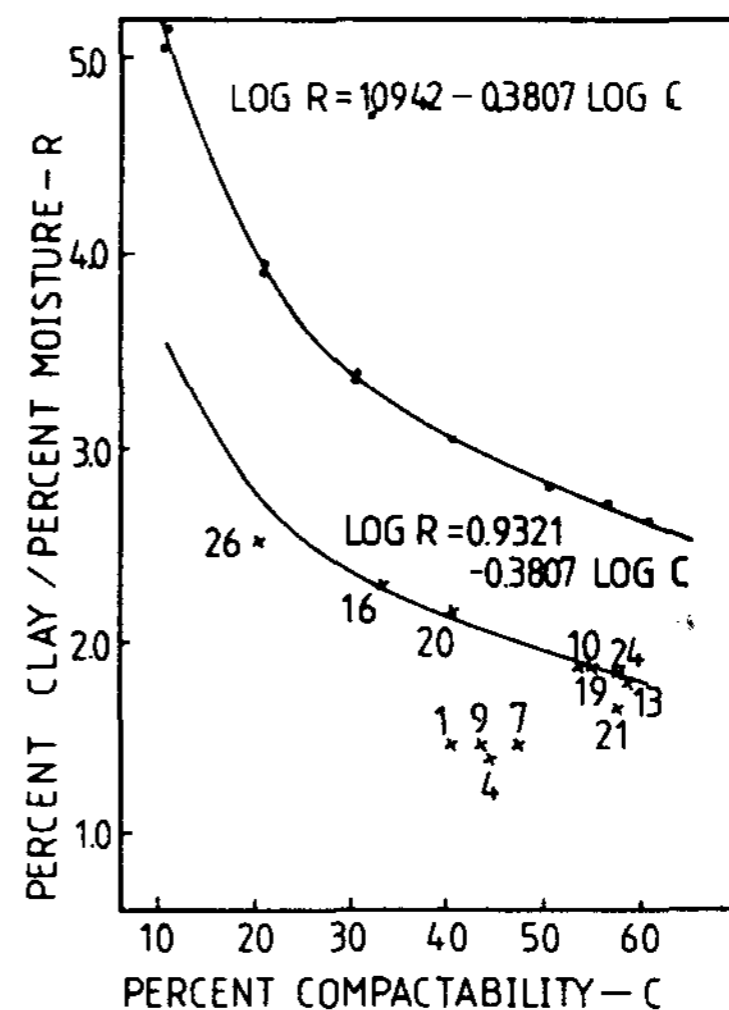


Fig. 1. Percent clay/percent moisture(R ratio) vs. percent compactability (7)

용 \log 을 취하여 플롯한 것으로 여기서 50~90분 혼련후에는 $\log R$ 대 \log 충진도가 직선 관계를 이루고 있는것을 볼 수 있다. 이때 직선들의 기울기는 거의 비슷하고 절편만이 각 성분 배합비율에 따라 변하고 있다. 이 직선들의 기울기가 생형사 배합비의 차이에도 불구하고 같은것은 Fig.1에서 C.E. Wenniger의 연구와 R.W. Heine의 연구에 의한 결과와 일치한다. 단, 본 연구에서 얻어진 Fig.2~5에서 나타난 직선의 평균 기울기는 -0.73 으로서 이는 Fig.1에 나타난 R.W. Heine에 의하여 얻어진 기울기 -0.38 보다 작운데, 이와같은 기울기의 차이는 사용 벤토나이트가 다른데서 기인되었다고 사려된다. Fig.2~5에서 Fig.2의 벤토나이트의 경우만 제외하고 비활성 벤토나이트, 시콜 및 소성시콜은 첨가비율이 증가함에 따라 기울기는 일정하나 절편은 비례적으로 감소하고 있으므로 동일한 충진도를 얻는데 여분의 수분 첨가가 필요하다는 것을 알 수 있다. 한편, 벤토나이트 첨가비율에 따라 R 대 충진도 곡선의 기울기와 절편이 변하는 것은 R.W. Heine⁸⁾의 연구에 의해 밝혀진 바 있는데, 본 연구에서는 벤토나이트 첨가비율이 증가함에 따라 기울기는 일정하나 절편이 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. Fig.2~5로 부터 다음과 같은 일반식이 유도되었다.

$$\log R = -0.73 \log \text{충진도} + 1.68 + (\text{벤토나이트}\% - 7\%) \times \frac{0.11}{4} - \text{시콜}\% \times \frac{0.09}{6} - \text{비활성 벤토나이트}\%$$

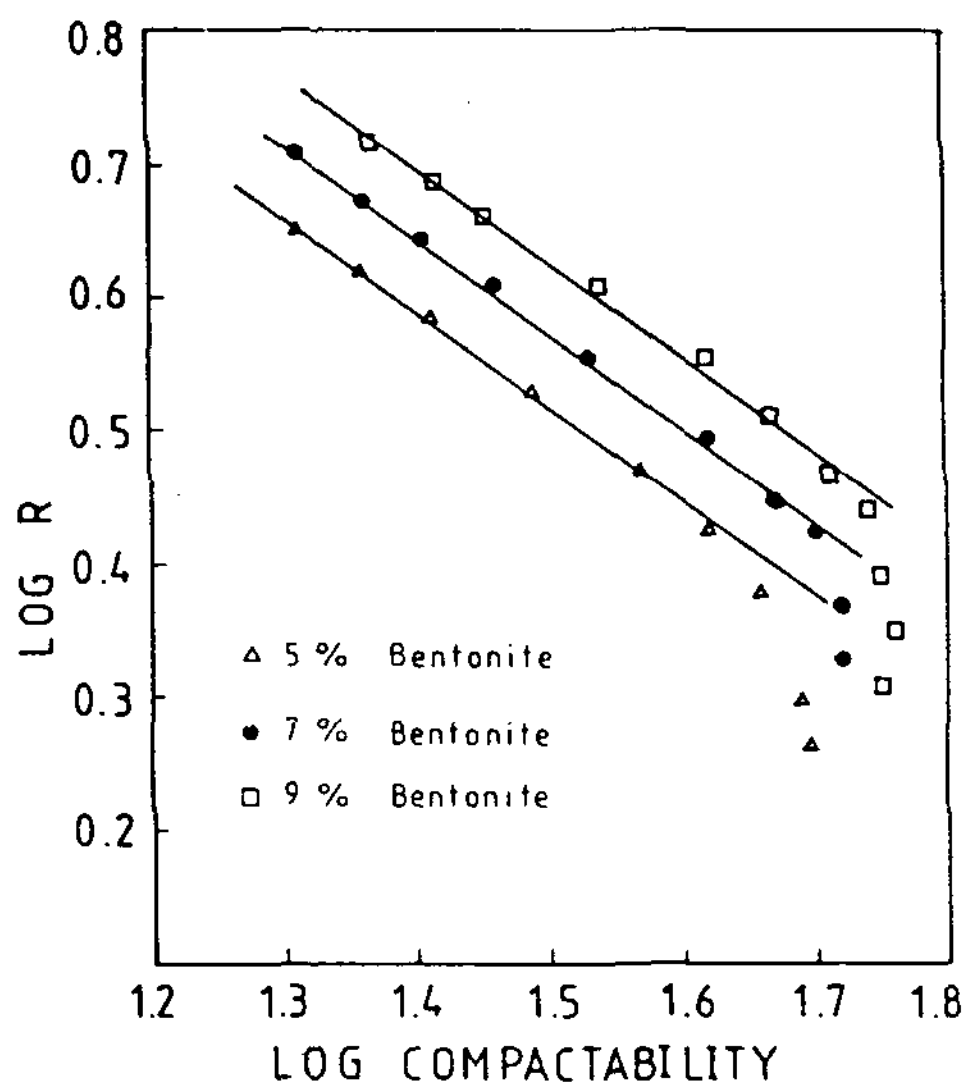


Fig. 2. Log R vs. log compactability according to various bentonite contents

$$\times \frac{0.05}{6} - \text{소성시콜}\% \times \frac{0.08}{6} \dots\dots\dots (1)$$

이 식(1)은 Fig.2~5에 나타난 각 직선들로 부터 최소자승법에 의해 직선식을 구한 다음 이 직선식

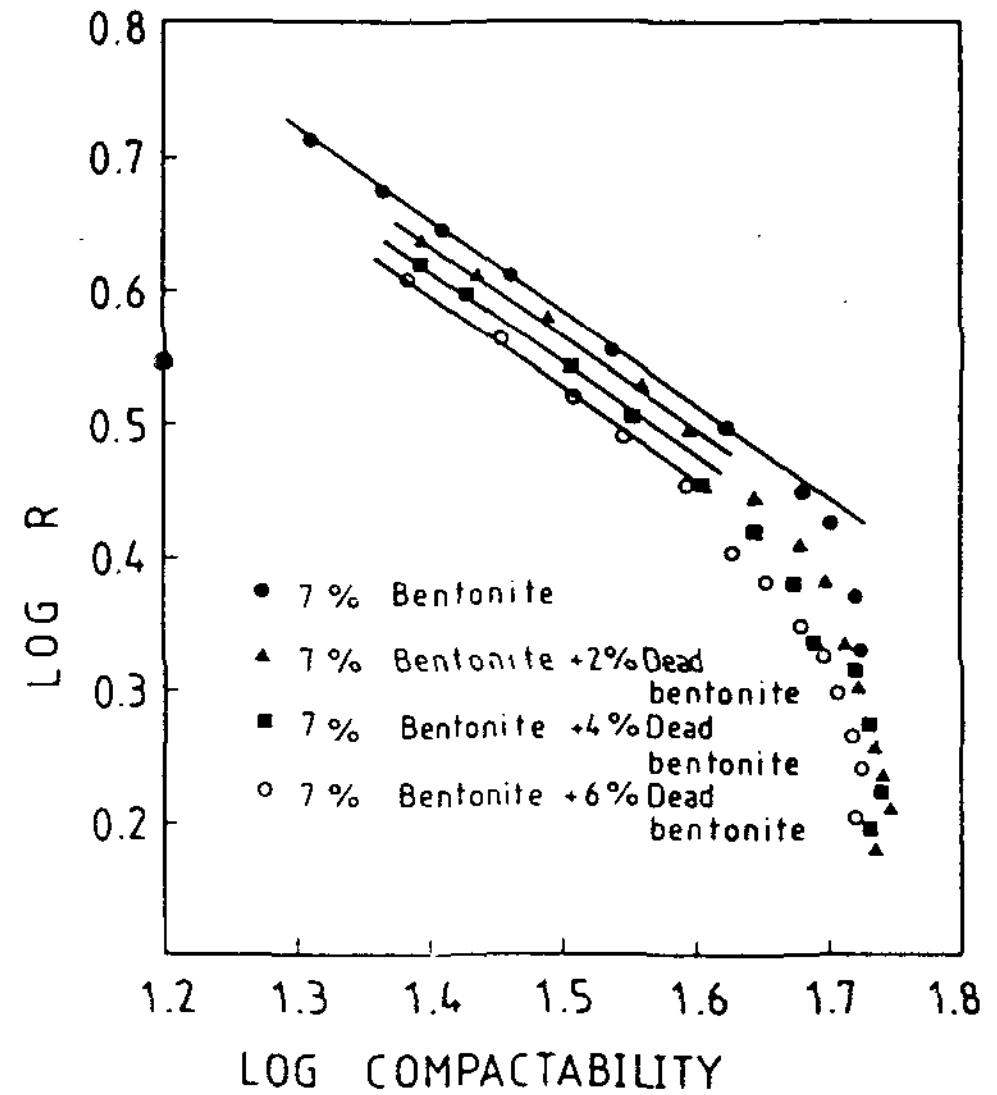


Fig. 3. Log R vs. log compactability according to various dead bentonite contents at a fixed bentonite content:

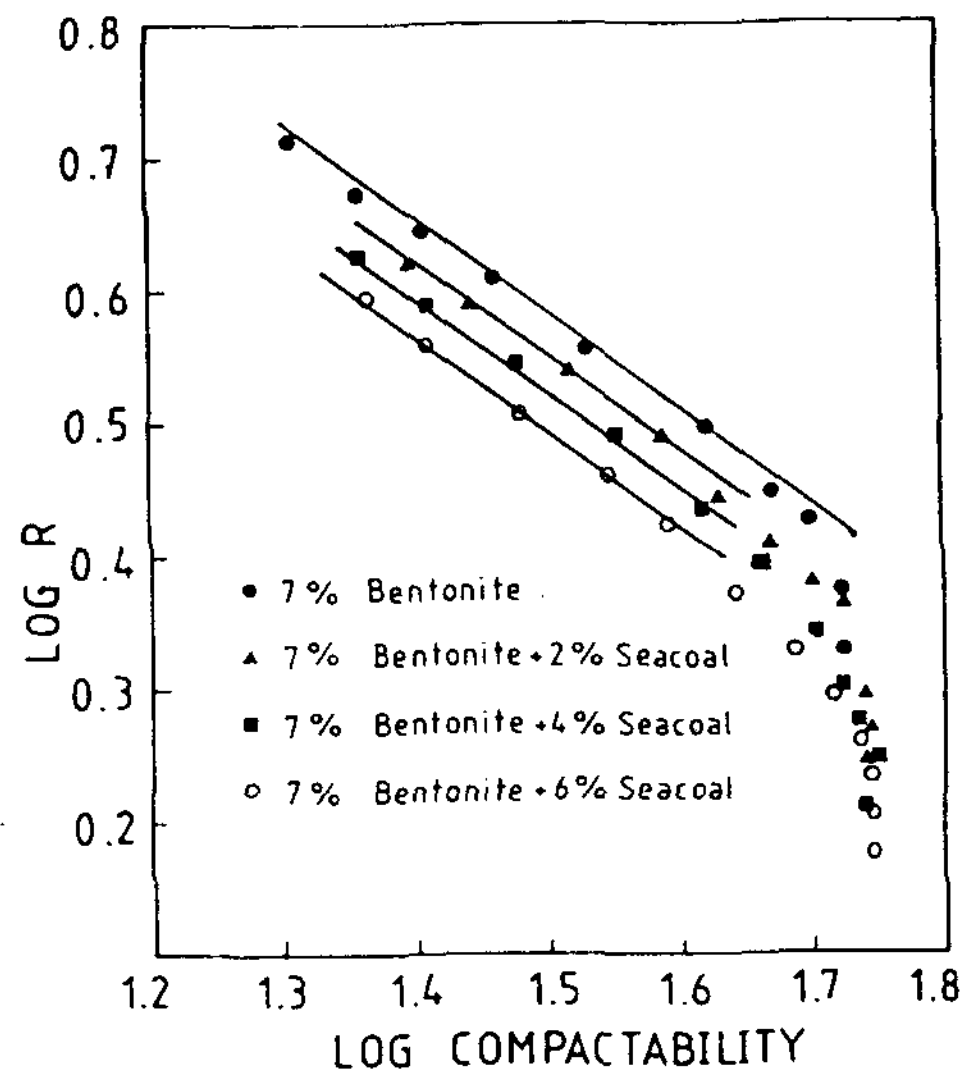


Fig. 4. Log R vs. log compactability according to various seacoal contents at a fixed bentonite content

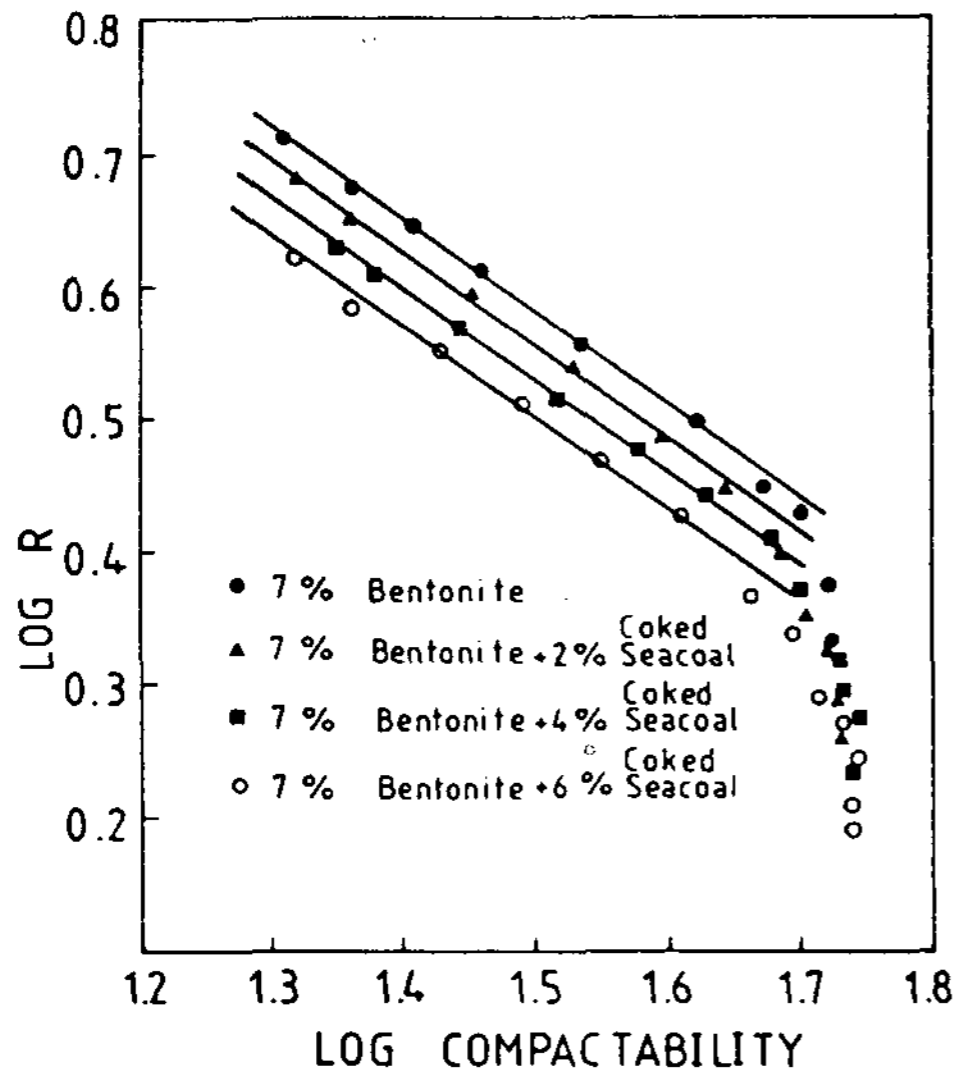


Fig. 5 . Log R vs. log compactability according to various coked seacoal contents at a fixed bentonite content

들로 부터 유도한 것으로 이 식(1)을 이용하면 사용 중인 생형사의 배합비 변화와 혼련기의 효율 변화를 동시에 알 수 있다. 즉 우리가 관리하는 생형사가 인조규사, 수분, 벤토나이트, 비활성 벤토나이트, 시콜 및 소성시콜로 구성되어 있고 각 성분의 목표관리 조성을 알면 식(1)에 의해 표준 $\log R$ 대 \log 충진도식을 유도할 수 있다. 또한 사용 중인 생형사를 혼련기에서 채취하여 충진도, 수분, 메칠렌블루 점토(MB clay)를 측정하고 이로부터 %메칠렌블루 점토/%수분 하여 R값을 구하고 이 R값을 RA라 하고, 혼련기에서 채취한 시료의 충진도값을 식(1)의 표준 $\log R$ 대 \log 충진도식을 대입하여 산출한 $\log R$ 을 $\log RM$ 이라 하고, 이로부터 RM을 구하여 RA/RM 값을 구하면 이 값이 혼련기의 효율과 생형사의 배합비 변화를 함께 나타내는 지표가 된다. 만약 혼련기의 효율이 알려지면

이 지표는 생형사의 배합비 변화를 나타내게 된다. 즉, 혼련기의 효율이 변화하지 않고 일정하다면, RA/RM 이 어느 비율 이하로 계속 감소하면 이는 생형사 배합비에 수분을 흡수하는 첨가제가 증가하고 있거나 또는 비활성 벤토나이트, 소성시콜등의 미분이 증가하고 있는것을 의미한다.

한편, 생형사의 배합비 변화가 없다면 RA/RM 은 순수한 혼련기의 효율만을 나타내게 되는데 RA/RM 계속 감소하면 혼련기에 이상이 있는 것이다. 이와 같이 RA/RM 의 비는 생형사의 배합비 변화와 혼련기의 이상유무를 동시에 나타내므로 이 지표에 이상이 있으면 이 두 요인을 동시에 점검해야 한다. 다만, 이때의 혼련기의 효율은 본 연구에서 사용한 고속 실험실 혼련기를 이용하여 생형사를 50~90분 이상 혼련했을 때의 혼련 효율을 기준으로 했을때 이에 대한 다른 혼련기의 상대적인 효율에 해당된다.

3-3 샌드 메탈비(Sand to metal ratio)와 주입 온도에 따른 비활성 벤토나이트와 소성시콜 발생율

용탕이 주입된 주형에서 비활성 벤토나이트, 소성시콜 발생량을 좌우하는 요인^{9,10}은 주입온도, 주입중량, 샌드 메탈비, 초기 벤토나이트 및 시콜 첨가비율, 용탕주입후 탈사시간등을 열거할 수 있는데 샌드 메탈비가 일정하면 비활성 벤토나이트 및 소성시콜 발생율은 주물 중량과 초기 벤토나이트 및 시콜 첨가비율에 무관하고 주입온도의 영향만이 있으므로 본 연구에서는 초기 벤토나이트 및 시콜 첨가비율과 탈사시간(12시간)을 일정하게 고정시킨 후, 주입온도와 샌드 메탈비를 변화시켜 이들 요인에 따른 비활성 벤토나이트 및 소성시콜 발생율을 정량적으로 산출하고자 실험을 진행하였다.

실험분석 결과는 Table 8~9에 나타내었으며 실험 오차는 같은 조건에서 2회 반복 실험을 행하여 얻었다.

Table 8--a는 비활성 벤토나이트 발생율 실험에 대한

Table 8--a Estimation of the variance

| Average value dead bentonite (%) | T | R | Results from individual runs | Difference of duplicate | Estimated variance at each set of conditions $S_i^2 = (\text{difference})^2 / 2$ |
|----------------------------------|---|---|------------------------------|-------------------------|--|
| 17.01 | - | - | 17.85 16.17 | 1.68 | 1.41 |
| 23.15 | + | - | 21.59 24.74 | 3.15 | 4.96 |
| 6.56 | - | + | 6.45 6.67 | 0.22 | 0.02 |
| 10.63 | + | + | 9.82 11.43 | 1.61 | 1.30 |

계 7.69

표준차를 구하기 위한 것으로서 이 Table로 부터 $\sum_{i=1}^4 \frac{d_i^2}{2}$ 은 7.69 이고 이를 실험조건수($g = 4$)로 나누어 $S^2 = 1.92$ 를 얻었다. 총 실험 $N = 8$ 이므로 $V(\text{effect}) = \frac{4}{8} \times 1.92 = 0.96$ 이 되고 표준편차는 $\sqrt{0.96} = 0.98$ 을 얻었다.

Table 8-b는 비활성 벤토나이트 발생율을 Yates algorithm으로 분석한 것으로서 주요인 효과는 주입온

을 얻었다. 한편, 소성시콜 발생율을 Yates algorithm으로 분석한 결과는 Table 9-b에 나타내었다. 이 Table에서 주요인 효과는 주입온도(T) 200°C차이에 의해 소성시콜 발생율은 5.73% 증가하였고, 샌드 메탈비(R)가 1.9에서 4.0으로 변함에 따라 소성시콜 발생율은 8.61% 감소하였다. 주입온도와 샌드 메탈비(sand to metal ratio)의 교호작용에 대한 효과는 오차 범

Table 8-b Yates's algorithm

| Test condition number | Design matrix variables | | Run average | (1) | (2) | Divisor | Estimate | Identification |
|-----------------------|-------------------------|---|-------------|-------|--------|---------|----------|----------------|
| | T | R | | | | | | |
| 1 | - | - | 17.01 | 40.16 | 57.35 | 4 | 14.34 | Average |
| 2 | + | - | 23.15 | 17.19 | 10.21 | 2 | 5.11 | T |
| 3 | - | + | 6.56 | 6.14 | -22.97 | 2 | -11.49 | R |
| 4 | + | + | 10.63 | 4.07 | -2.09 | 2 | -1.04 | TR |

도(T) 200°C 차이에 의해 비활성 벤토나이트 발생율은 5.11% 증가하였으며 샌드 메탈비(R)가 1.9에서 4.0으로 변함에 따라 비활성 벤토나이트 발생율은 11.49% 감소하였다. 주입온도와 샌드 메탈비의 교호작용에 의한 효과는 오차가 큰 차이가 없으므로 무시하였다.

Table 9-a는 소성시콜 발생율 실험에 대한 표준편차를 산출하기 위한 것으로서 이 Table로 부터 표준편차 0.7

위내에 있으므로 무시하였다.

위에서 비활성 벤토나이트와 소성시콜 발생율은 각각

$$\frac{\text{표준시료의 활성점토분}(\%) - \text{실험시료의 활성점토분}(\%)}{\text{표준시료의 활성점토분}(\%)}$$

× 100 과

$$\frac{\text{표준시료의 휘발분}(\%) - \text{실험시료의 휘발분}(\%)}{\text{표준시료의 휘발분}(\%)}$$

× 100 으로 계산했다. 이상과 같은 결과를 종합 분석하면 생형사

Table 9-a Estimation of the variance

| Average value coked seacoal (%) | T | R | Results from individual runs | | Difference of duplicate | Estimated variance at each set of conditions $S_i^2 = (\text{difference})^2 / 2$ |
|---------------------------------|---|---|------------------------------|-------|-------------------------|--|
| 16.11 | - | - | 17.0 | 15.22 | 1.78 | 1.58 |
| 23.25 | + | - | 23.49 | 23.01 | 0.48 | 0.12 |
| 8.91 | - | + | 9.76 | 8.06 | 1.70 | 1.45 |
| 13.23 | + | + | 12.70 | 13.76 | 1.06 | 0.56 |

계 3.71

Table 9-b Yates's algorithm

| Test condition number | Design matrix variables | | Run average | (1) | (2) | Divisor | Estimate | Identification |
|-----------------------|-------------------------|---|-------------|-------|--------|---------|----------|----------------|
| | T | R | | | | | | |
| 1 | - | - | 16.11 | 39.36 | 61.50 | 4 | 15.38 | Average |
| 2 | + | - | 23.25 | 22.14 | 11.46 | 2 | 5.73 | T |
| 3 | - | + | 8.91 | 7.14 | -17.22 | 2 | -8.61 | R |
| 4 | + | + | 13.23 | 4.32 | -2.82 | 2 | -1.41 | TR |

의 비활성 벤토나이트 및 소성시콜 발생율은 샌드 메탈비에 가장 큰 영향을 받고 주입온도에도 다소 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 이를 이용하여 벤토나이트 및 시콜 첨가량이 쉽게 산출될 수 있다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 벤토나이트 함량이 증가할수록 log R 대 log 충전도 곡선은 비례하여 상향하는데 반해, 시콜, 비활성 벤토나이트, 소성시콜 함량이 증가할수록 log R 대 log 충전도 곡선은 비례하여 하향하는데, 이에대한 다음과 같은 식이 유도 되었다.

$$\log R = -0.73 \log \text{충진도} + 1.68 + (\text{벤토나이트}\% - 7\%) \times \frac{0.11}{4} - \text{시콜}\% \times \frac{0.09}{6} - \text{비활성 벤토나이트}\% \times \frac{0.05}{6} - \text{소성시콜}\% \times \frac{0.08}{6}$$

2. 생형사에서 비활성 벤토나이트 및 소성시콜 발생율은 샌드 메탈비에 가장 큰 영향을 받고 샌드 메탈비가 1.9에서 4.0으로 변함에 따라 비활성 벤토나이트 발생율은 11.49% 감소하였고, 소성시콜 발생율은 8.61% 감소하였다.

3. 생형사에서 비활성 벤토나이트 및 소성시콜 발생율은 주입온도에도 다소 영향을 받는다는 것을 알 수 있고 주입온도 200°C 차이에 의해 비활성 벤토나

이트 발생율은 5.11% 증가하였고, 소성시콜 발생율은 5.73% 증가하였다.

5. 참고문헌

- 1) H.W. Dietert, F. Hofmann : AFS Trans., Vol.83(1975), P.233.
- 2) G.R. Strong : AFS Trans., Vol.90(1982), P.85.
- 3) L.F. Porter, P.C. Rosenthal : AFS Trans., Vol.60(1952), P.725.
- 4) Box, Hunter, Hunter : Statistics for Experimenters, Wiley and Sons, Inc.(1978), P.306~351.
- 5) 한국기계연구소 : 주물기술총서(9), 주물사 실험법(1), (1983), P.7~46.
- 6) C.E. Wenniger, A.P. Volkmar : AFS Trans., Vol.78(1970), P.917.
- 7) R.W. Heine, J.S. Schumacher : AFS Trans., Vol.86(1978), P.365.
- 8) T.S. Shih, R.A. Green, R.W. Heine : AFS Trans., Vol.92(1984), P.467.
- 9) G.J. Vingas : AFS Trans., Vol.78(1970), P.213.
- 10) R.W. Heine, J.S. Schumacher, R.A. Green : AFS Trans., Vol.84(1976), P.97.

본 연구는 한국과학재단 연구비 지원사업의 일환에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.