

技術資料

생형(벤토나이트) 시스템사

여 인 동

Clay (Bentonite) System Sands

I.D. Yeo

1. 생형사의 기본구성

생형용 주물사에는 자연사(natural bonded sand), 반합성사(semi-synthetic sand), 합성사(synthetic sand)가 있고 그 주요 구성물은 어느것이나 모래-점토-물로 되어 있으며 첨가제로서 석탄분, 곡분 등이 사용되기도 한다.

점토 점결제는 다른 점결제와 비교해 볼 때 몇가지 특징을 갖고 있다.

- 재생이 용이하다.
- 가사시간에 제한이 없다.
- 광범위한 적응성을 갖는다.
- 값이 싸다.
- 가소성이 있다.

특히 생형사에는 물이 중요한 역할을 한다. 생형사의 제조에 사용되는 물은 염분이 없고 불순물이 적어야 함이 필수적이다.

물 다음에 물과 같이 중요한 작용을 하는 것이 점토이다.

이용할수 있는 점토의 종류에는 일라이트(illite), 카올리나이트(kaolinite)와 몬모릴로나이트(montmorillonite)의 세가지 종류가 있는데 대부분의 자연사에는 일라이트가 조금씩 함유되어 있다. 이중 몬모릴로나이트가 점결력을 향상시키는데 가장 효과적이다. 몬모릴로나이트는 소듐 벤토나이트(western bentonite)와 칼슘 벤토나이트(southern bentonite)의 두가지 형태로 산출된다.

주물사용 모래는 대부분 규사를 사용하고 양질의 주물사용 규사는 98% 정도의 SiO<sub>2</sub>를 함유하여야 하나

국산 천연규사는 SiO<sub>2</sub> 함량이 비교적 낮아 내열성이 떨어지는 편이지만 주철용의 순환사용으로는 사용에 문제가 없다.

규사의 입도분포가 좁으면 사립자간의 유효접촉면적이 작아서 고밀도주형을 얻기위해서 더 많은 양의 점토분을 첨가해야 한다. 지나치게 많은 점토분이 첨가되면 유동성이 악화되고 조형하기 전에 배합사가 굳어지기 쉽기 때문에 주형표면상태가 나빠져 용탕침투, 소착, 사흔입 등의 주물결함이 생기기 쉽다.

반면 입도분포가 넓은 규사는 사립자간의 유효접촉면적이 커서 다소 적은 양의 점토분을 첨가하여도 낮은 스퀴즈압력으로 고밀도주형을 쉽게 얻을 수 있다.

일반적으로 고압조형용 규사의 입도분포는 4스크린(Screen)으로서 인접한 4개 입도의 것이 80% 이상이면 좋다. 이때 규사의 입도는 AFS GFN 60~80이 무난하며, 이것은 제품특성에 맞게 선택하여야 한다.

고압조형용 규사의 입형은 준각형이 좋고, 준각형과 원형이 혼합된 것도 좋다.

석탄분을 배합사에 첨가하면 형해체 또는 탈사작업시에 주물표면으로부터의 모래의 박리(剝離)가 양호해진다. 또한 혼련효과를 증대시키고 유동성을 향상시켜 고압조형에 좋다. 석탄분은 주조시 용탕-주형간에 gas film을 형성하여 용탕이 사립간에 침투하는 것을 방지하고 용탕이 사립에 접촉하는 것을 방지해 준다.

그러나 과량의 석탄분은 인성을 악화시켜 발형에 문제가 생기며, 통기도를 악화시키고 탕회불량(湯廻不良, misruns), 블로홀(blow holes), 러스트러스카본결함(lustrous carbon defects)이 발생하기 쉽다.

석탄분의 품질은 다음과 같은 조건이 요구된다.

생산기술연구원 (Korea Institute of Industrial Technology)

"본 기술자료는 1997년도 춘계기술강연대회에서 발표된 내용임"

회발분 : 석탄분을 이용해서 양호한 주물 표면을 얻고자 할 때, 석탄분 속의 회발분 함량이 얼마나 높느냐에 따라 주물표면의 양부가 좌우된다. 일반적으로 주물공장에서 사용하고 있는 석탄분에는 최소 30%의 회발분이 함유되어 있다.

회분 : 석탄분중의 회분함량은 약 10%를 넘지 않아야 된다.

유황 함량 : 유황함량이 높은 석탄분을 사용하게 되면 주형에서 용탕이 유황을 흡수해서 결함을 유발한다. 석탄분의 유황 함량은 1.0%이하로 제한되어야 한다.

입도 : 주물공장에서 생산되는 주물의 평균 두께와 사용되어야 할 석탄분의 입도 사이에는 근사(近似)관계가 있다. 주물의 두께가 증가할수록 입자가 큰 석탄분을 사용하여 석탄분으로부터 회발분이 방출 지속되는 시간을 늘려주는 것이 필수적이다. 다른 한편, 얇은 주물을 주조할 경우 주물사중의 석탄분 입자가 크면 국부적으로 가스함량이 높아지고 얇은 주물표면을 얻을 수 있다. 또한 석탄분의 입도는 점토보다 굵은 것이 효과적이다.

생형주형에 있어서 요구되는 석탄분은 소형 주물인 경우 2~3%, 대형의 경우 7~8% 정도이지만 특수한 경우에는 가끔 더 높게 함유시킬 때도 있다. 석탄분의 관리 함량은 시험을 통하여 확립되어야 하며 석탄분은 항상 정확하게 칭량을 해서 사용하도록 하여야 한다.

너무 많은 석탄분을 주물사에 첨가하는 경우 다음과 같은 주물결함이 일어날 수 있다.

- 거친 표면 (rough surface, crazed surface)
- 가스 홀 (gas hole)
- 탕회 불량(mis-runs)과 모서리 충전불량(rounded edge)

이러한 주물결함들이 발생할 때에는 석탄분의 첨가량을 줄이는 것이 필요하다. 주물사에 석탄분이 축적되면 주물표면이 푸르게 나타나는 수가 있는데 이것이 석탄분 과다의 좋은 징표가 된다. 주형사의 통기도가 내려가고 필요수분이 증가하는 것은 석탄분이 과다하다는 한 예이다.

주물사에 첨가하는 곡분에는 β-전분(일명 Cornstarch), α-전분, 텍스트린이 있다. β-전분은 배합사의 유동성을 해치지 않으면서 인성을 증가시키므로 소량 첨가하면 발형의 문제가 해결될 수 있으며, 스캐프 결함방지에도 좋다. 이에 비해 텍스크린은 소량을 첨가해도 인성을 급격히 증가시키지만 유동성을 악화시키

므로 고압조형엔 부적당하다. α-전분은 β-전분과 텍스트린의 중간 성질을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 고압조형용으로는 β-전분을 소량 첨가하는 것이 적당하다.

## 2. 생형주물사의 성질변화

생형사는 용탕주입이 끝나면 회수되어 반복 사용되므로 가장 경제적인 주형이다. 그러나 사용횟수가 증가할수록 생형회수사의 성질은 점점 나빠져 간다.

고온의 용탕이 주입되면 생형사는 열을 받아 다음과 같이 성질이 변한다.

- ① 생형사 중의 수분이 감소한다.
- ② 용탕에 인접한 점토는 결정수를 잃으면서 사점토(dead clay)로 된다. 사점토는 물을 첨가해도 점결력이 되살아 나지 않는 불필요한 미분이다.
- ③ 용탕에 인접한 석탄분은 회발분이 날아가면서 회분과 코크스분말로 된다. 이것을 분해 석탄분(일명 spent coal dust)이라 하는데 역시 불필요한 미분이다.
- ④ 생형사의 온도가 상승한다. 이것은 시스템 샌드(system sand)에서 많은 문제를 일으킨다.
- ⑤ 집진작업으로 인해 생형사 중의 미분량이 변화한다.

따라서 사점토·분해석탄분 등이 많이 축적된 회수사로 조형된 주형은 수분요구치가 증가하고 취약해지므로, 사씻김(washes)·사붕락(drop)·형발곤란(stickers)·용탕침투(metal penetration)·가스결함 등이 발생하기 쉽다.

주조품이 두꺼울수록 열에 의하여 영향을 받는 주형표면의 깊이는 더 커지며 따라서 dead clay와 spent coaldust의 발생량도 더 증가한다. 주물사중에 dead clay와 spent coaldust가 많이 축적되면, 만족스러운 주물사의 조건을 유지하기 위하여 수분이 추가로 첨가되어야 할 것이다. 따라서 생형강도(green strength)는 증가할 것이고 인성(shatter index)은 감소할 것이다. 또한, 주물사의 통기도(permeability)도 감소한다.

dead clay와 spent coaldust 양의 증가에 따른 주물사 특성의 변화를 다음 그림 1에 나타낸다. 주물사중에 dead clay와 spent coaldust 양이 위험한 수준에 도달하면 형발(stripping)의 어려움 등이 따른다.

주물사중에 dead clay와 spent coaldust의 축적을 방지하기 위하여 규칙적으로 주물사에 신사(new sand)

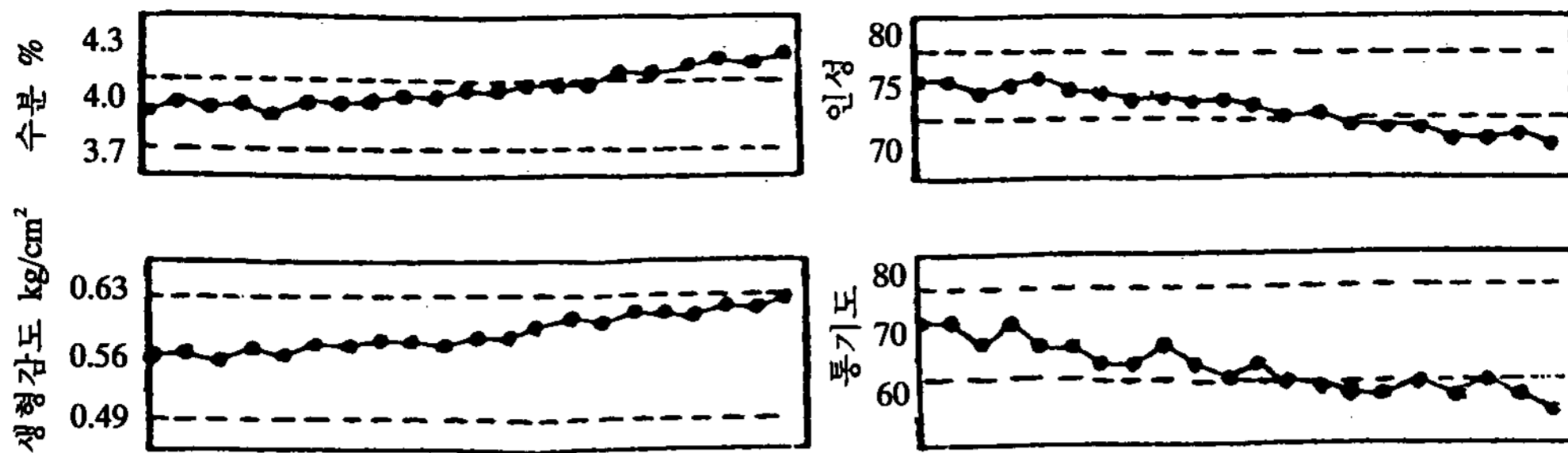


그림 1. 주물사중의 dead clay와 spent coaldust 증가효과.

의 첨가, 고사(old sand)의 제거를 행하여야 한다. 매회 첨가되는 신사의 양은 주형에 주입된 총 용탕 무게의 10~15%이어야 한다.

합성사(合成砂, synthetic sand)를 사용하고 있는 경우에는 필요한 양의 점토분이 신사에 첨가되어야만 하고, 자연사(自然砂, natural sand)를 사용하고 있는 경우에는 석탄분만 첨가하면 된다. 중자(中子, core)를 분쇄한 모래도 주물사에 첨가하는 신사의 양으로 계산하여야만 한다. 탈사과정중 주조품으로부터 떨어진, 타버린 모래(burnt sand) 즉, 고사는 제거되어야만 하고 이 고사의 양이 신사가 첨가될 수 있는 양이다.

주물사중의 dead clay 함량을 정확하게 측정하는 것은 실용적이 못되고 dead clay 함량은 spent coaldust 양과 밀접한 관계가 있기 때문에 spent coaldust 함량을 측정함으로써 dead clay와 spent coaldust 총량의 지표로 삼을 수 있다.

주물사 시료에 대한 작열감량(灼熱減量, ignition loss), 휘발분량 및 점토분량을 알고 있다면 spent coaldust의 함량은 정확하게 계산될 수 있다. 이것들은 110°C에서 건조시킨 시료에서 얻어져야 한다.

1) 작열감량 측정

저울에 달은 시료(20 kg 이상)를 자제도가니(silica crucible)에 넣고 925°C±10°C에서 항량(恒量)이 될 때까지(2시간 이상) 작열한 다음 식혀서 무게를 달아 감량을 얻는다.

2) 휘발분 측정

시료 5 g을 밀폐된 도가니나 불활성 분위기(예 : 1 l/min의 유속을 갖는 질소가스 분위기)에서 925°C±10°C에서 7분 동안 유지시킨 다음 식혀서 무게를 달아 휘발분량을 얻는다.

3) 점토분 측정

시료 50 g을 칭량(秤量)하여 암모니아와 같은 용액

(ammoniacal solution)에 넣고 조심스럽게 끓인 다음 syphon방법에 의하여 점토분을 측정한다.

- spent coaldust 함량은 다음과 같은 방법으로 계산한다.

- (1) 점토분 속의 결합수는 점토분 양의 10%로 한다.
- (2) 휘발분 양에서 결합수의 양(%)을 뺀다.
- (3) 이 값을 3으로 곱한다(이는 석탄분의 1/3정도가 휘발분이라는 것을 의미한다). 이 결과치가 시료중의 활성석탄분(活性石炭粉, active coaldust) 양이다.
- (4) 작열감량에서 결합수, 활성석탄분을 뺀 것이 spent coaldust 양이다.

예 : 시료중에 점토분 10.0%, 작열감량 10.6%, 휘발분 2.9%이라면 결합수는 1.0% (점토분의 10%)이다.

- 활성석탄분 = 3(휘발분-결합수)  
= 3(2.9-1.0)  
= 5.7%

- spent coaldust = (작열감량-결합수-활성석탄분)  
= (10.6-1.0-5.7)  
= 3.9%

측정된 spent coaldust 함량을 dead clay와 spent coaldust 총량의 지표로 삼는다.

- 1.0% 이하 - 만족스러운 상태이다.
- 1.0%~2.0% - spent coaldust, 생형강도 및 인성 등을 규칙적으로 측정하여 도표로 기록해야 한다.
- 2.0% 이상 - 즉시 신사의 첨가량을 증가시켜야만 한다.

3. 시스템사의 관리를 위한 시험법

가. 구성성분의 측정

1) 전점토분

생형사 중의 점토분의 총량을 전점토분(total clay) 또는 AFS clay라고 한다. AFS clay의 정의는 「25°C의 정지된 물속에서 분당 1인치 이하의 속도로 침전되는 물질의 총량」이며, 이에에는 활성점토분, 사점토분, 지름 20 m 이하의 시립자가 모두 포함된다.

105~110°C에서 미리 건조·냉각한 시료사를 시립자와 점토를 물속에서 분산시킨 후, 물속에 부유되어 있는 전점토분을 분리·제거한다. 남은 시립자를 105~110°C에서 건조·냉각하여 무게감량을 전점토분으로 한다.

2) 활성점토분

점토 중에는 활성점토(점결력을 가지고 있는 점토)와 사점토(결정수를 잃어 점결력이 상실된 점토)가 있다. 실제 주형의 인성, 표면안정도, 강도에 기여하는 것은 활성점토분이기 때문에 생형사 중의 활성점토분을 관리하는 것이 가장 중요하다. 활성점토분을 구하는 가장 효과적인 시험방법은 메틸렌블루시험(methylene blue test)이다.

시료사를  $Na_2P_2O_7$  수용액에서 분산시킨 후 메틸렌블루시약을 첨가하면 활성점토분 중의 치환가능한 이온이 메틸렌블루로써 치환·흡착되면서 수용액 중의 메틸렌블루가 소모된다. 이때 메틸렌블루흡착량(소모된 메틸렌블루량)을 측정함으로써 시료 중의 활성점토분을 구한다.

3) 분해 석탄분

휘발분이 소실된 석탄분은 코크스, 회분의 찌꺼기로써 시스템사 중에 계속 축적이 되고 이들 잔류물의 증가는 주형사의 성질을 저하시키므로 분해 석탄분(spent coaldust)을 시험관리하는 것이 필요하다.

시험방법은 별도로 설명하였다.

4) 수분

주물사 중의 수분은 유리수, 흡착수, 층간수 및 결정수로서 존재한다. 이 중에서 유리수, 흡착수 및 층간수는 100~200°C에서 제거되며, 결정수는 500~700°C에서 제거된다. 일반적으로 105~110°C에서 제거되는 수분에는 유리수, 흡착수 및 층간수분이 포함된다. 생형사의 성질은 수분량에 매우 민감하고, 적정수분량은 시립자, 벤토나이트 및 첨가제에 따라 달라진다. 수분측정의 목적은 요구되는 적정수분량의 변화를 조사하여 사용하고 있는 주물사의 상태를 진단하는 데에 있다.

시료사 50 g을 105~110°C에서 건조할 때 그 감량을

수분으로 하며, 무게는 0.01 g까지 저울에서 칭량한다. 수분측정법에는 표준시험법과 약간 정확도가 떨어지는 신속시험법이 있다. 신속시험법에는 열풍가열법, 적외선가열법 등이 있다.

5) 작열감량

시료를 대기중에서 고온가열하여 태울 때 무게감량을 작열감량(loss on ignition)이라 한다. 이 작열감량에는 흡착수분, 층간수분, 결정수분, 열분해물질, 가연성물질 등이 포함된다. 따라서 주물사 중의 유기점결제, 석탄분, 곡분 등의 관리에 작열감량시험이 유용하게 쓰인다.

110°C에서 건조된 시료 25 g을 자제도가니(뚜껑은 덮지 않음)에 넣고 950~1000°C로 유지되는 가열로에 넣어 대기중에서 충분히 연소시킨 후 연소전·후의 무게감량을 작열감량으로 한다.

6) 입도분포

주물사 중의 시립자시료를 체눈크기 순서대로 포개 표준체 위에 놓고, 체 진동기에서 입자크기별로 시립자를 분류하여, 계산식에 의해 입도분포와 입도지수를 구한다. 저울은 0.01 g까지 칭량할수 있는 것을 사용한다. 체는 체눈(구멍) 크기가 가장 중요하며 검정을 받은 규격품을 사용해야 한다. 주물공장에서선 국내의 KS표준체, 미국의 AFS(또는 ASTM)표준체, 일본의 JIS표준체 등이 사용되고 있는데, AFS표준체를 사용하는 것이 시험결과의 해석에 편리하다.

입도시험결과는 입도분포(grain size distribution)와

표 1. 입도와 입도지수의 계산 예

호칭번호 (mesh no)	체 위의 모래량, $W_n$		입도계수 $S_n$	$W_n \times S_n$
	g	%		
6	---	---	3	---
12	---	---	5	---
20	---	---	10	---
30	0.05	0.1	20	2
40	0.15	0.3	30	9
50	0.65	1.3	40	52
70	16.55	33.1	50	1655
100	25.05	50.1	70	3507
140	5.75	11.5	100	1150
200	0.85	1.7	140	238
270	0.20	0.4	200	80
Pan	0.25	0.5	300	150
Total	49.50	99.0		6843
Clay	0.50	1.0		

입도지수(grain fineness number)로 나타낸다. 입도 및 입도지수의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{입도}(\%) = \text{체에 얹힌 사립자무게}(g) \times 100 / \text{시료무게}(g)$$

$$\text{입도지수} = \frac{\sum(W_n \times S_n)}{\sum W_n}$$

여기서  $W_n$ : 각 체에 얹힌 사립자 무게 (% 또는 g)

$S_n$ : 각 체의 입도계수

입도분포를 나타낼 때는 점토분도 함께 표시하지만, 입도지수의 계산에서는 점토분이 포함되지 않는다.

표 1에 입도 및 입도지수의 계산예를 보여준다.

$$\text{AFS입도지수} = \frac{\sum(W_n \times S_n)}{\sum W_n} = \frac{6843}{99} = 69.1$$

#### 나. 혼련사의 물성시험

혼련사의 주형성질은 주형사를 구성하는 물질량의 비와 그 재료의 분포상태를 좌우하는 혼련능력에 지배된다. 미국의 주요 주철공장에 대한 생형사 관리시험 항목을 중요한 순서에 따라 살펴보면 수분, 항압력, 통기도, 전점토분, 활성점토분, compactability, 전단력, 작열감량, 경도, 휘발분의 순이다. 구성물에 대한 시험을 따로 하면 Compactability에 의한 관리가 새로운 시험법이다. 측정항목 중에 항압력, 기타의 방법은 조형후의 외형성질을 나타내고 있으며, Compactability는 조형전에 또는 조형중의 성질을 알수 있는 것으로서 모래시험법이 대단히 유효한 방법이다. 또한 Compactability 값은 주형사의 수분량과 거의 정비례하고 주형사의 구성 성분비, 혼련시간, 모래온도가 일정하다면 정밀하게 수분량을 측정할 수 있다.

측정치의 적정범위는 조형기의 종류, 조형압력에 따라 조금씩 다르지만 대략 35~50%이다. 주형사의 물성시험으로서는 혼련사의 유동성과 주형의 취성을 정확히 파악할수 있는 측정법이 좋다.

이것에 관계되는 시험항목을 열거하면

- ① Compactability(유동성과 충전도)
- ② 항압력, 인장강도, 剪斷強度, Shatter toughness (형발과 剛性)
- ③ 통기도, 표면안정도(주탕시 필요한 성질)
- ④ 수분(모든 것의 기본이 된다)

등이 있고 이 밖에도 여러 가지 시험법이 있지만 자기 공장에 알맞는 방법을 선택하여야 한다.

#### 1) 콤팩타빌리티시험

생형사를 주형상자에 느슨하게 담고 일정한 압력으로

로 스퀴즈(squeeze)하면 상자에 채워진 생형사는 밀충전되면서 높이가 감소된다. 이때의 높이 감소의 정도를 콤팩타빌리티(compactability)라 한다. 고압조형기의 경우 일정 압력으로 스퀴즈하고 난 후 밀충전된 주물사의 높이는 주형상자 높이와 항상 일치해야 하는데, 이를 위해서는 생형사의 콤팩타빌리티시험으로 생형사를 관리해야 한다. 또한 콤팩타빌리티시험으로 생형사의 적정수분을 관리하기에 가장 적합하다.

콤팩타빌리티시험은 시료사를 일정한 높이에서 자유낙하시켜 시험관에 채운 후 10 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 스퀴즈하고, 감소한 시료사 높이를 측정하여 콤팩타빌리티 값을 구한다.

콤팩타빌리티(%) =

$$\frac{\text{스퀴즈전시료사높이} - \text{스퀴즈후시료사높이}}{\text{스퀴즈전시료사높이}} \times 100$$

#### 2) 표준시편 제작

주물사시험용 표준시편은 원주형으로서 디터트의 경우는 50.8 mm 직경 × 50.8 mm 높이(2인치 직경 × 2인치 높이)이고, 죠지휘셔의 경우 50 mm 직경 × 50 mm 높이인 것을 사용한다. 이 표준시편으로 통기도, 압축강도, 변형량, 전단강도, 인장강도, 샤터지수, 경도 등의 시험에 사용한다.

표준시편 제작은 표준시험관 속에 시료사를 넣고, 6350 g의 중추를 50.8 mm 높이로부터 자유낙하시켜 표준시편을 제작한다. 이때 충격에너지는 32.26 kg·cm이다.

#### 3) 샤터시험

주형상자에 생형사를 다져 넣고 충격 또는 진동을 주면서 모형을 발형할 때 인성(toughness)이 작은 주형은 부서지기 쉽다. 이와같이 충격을 받은 주형의 인성을 측정하는 방법에 샤터시험(shatter test)이 있다.

일정한 높이에서 표준시편을 체 속의 철제받침 위에 자유낙하시켜 표준시편을 파쇄했을 때, 체 밑으로 빠져나가지 못하고 체 위에 남아있는 시료무게를 처음 표준시편무게에 대한 비로 구하여 샤터지수(shatter index)로 삼는다.

샤터시험기는 영국에서 처음 개발된 것으로서 6피트의 높이에서 표준시편을 자유낙하시키는 것이다. 현재 대표적인 것으로는 죠지휘셔사의 샤터시험기와 디터트사의 샤터시험기가 있다.

#### 4) 통기도

주물사의 통기도란 일정한 압력을 가진 공기가 표

준시편을 통과하여 빠져나가는 공기흐름의 속도로 정의된다. 즉, 1 cm 수주압을 가진 공기가 단면적 1 cm<sup>2</sup>, 길이가 1 cm인 시편을 통과하여 1분간 빠져나가는 공기부피로써 나타낸다. 통기도는 용탕주입시 발생가스가 빠져나가는 능력을 좌우하고, 사립자의 입도·입도분포·입형, 점결제와 수분량, 다짐상태에 따라 통기도값이 변한다.

표준시험법은 시편다짐기로 다져서 표준시편이 들어있는 표준시험관을 통기도시험장치에 끼우고, 일정압력을 가진 공기 2000 cm<sup>3</sup>가 표준시편을 통과하여 배출되는 시간 및 공기흐름의 평형압을 측정하여 통기도를 구한다.

5) 압축강도 및 전단강도

만능주물사강도시험기에 압축강도시험용 부품(accessory)과 표준시편을 장치하고 일정한 하중속도로 압축하여 시편이 파괴될 때 최대응력을 측정하여 압축강도로 삼는다. 압축강도는 주물사의 강도를 대표하는 성질이다.

주물사의 강도시험은 만능주물사강도시험기에서 행하며, 압축강도는 물론 전단강도, 인장강도, 항절강도, 변형량시험을 각각 시험용 부품을 부착하여 행할 수 있게 되어있다. 하중속도는 강도시험에 영향을 미친다. 일반적으로 생형강도시험의 하중속도는 약 30 g/cm<sup>2</sup>/sec로, 강도가 큰 자경성주형과 CO<sub>2</sub>가스형 강도시험의 하중속도는 약 150 g/cm<sup>2</sup>/sec로 시험하는 것이 좋다. 대표적인 강도시험기에는 미국의 디터트사의 것과 독일에서 주로 사용하는 죠지휘셔사의 것이 있다.

전단강도시험은 만능주물사강도시험기에 전단강도시험용 부품과 표준시편을 장치하고, 일정한 하중속도로 전단응력을 가하여 시편이 파괴되는 최대응력을 전단강도지시눈금에서 읽어 전단강도를 삼는다.

4. 생형사 관리를 위한 시험값의 상관관계

1) 적정 수분의 판정 및 다른 인자와의 상관관계

(1) 적정 수분의 의미

생형사에 있어서 점결제인 점토는 수분을 흡착하여 가소성(可塑性, plasticity)을 갖게 되면서 점결력을 발휘하게 되는데 적정수분(temper water)이라 함은 이러한 가소성을 갖게 하는데에 필요로 하는 최적 수분량을 의미한다. 즉, 조형작업하기에 알맞고 조형후에 우수한 주형성질을 갖도록 하는데 요구되는 수분량을 말한다.

생형사에 있어서 조형성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 적정수분이다. 아무리 좋은 주물사라 할지라도 수분함량이 적정수분보다 적거나 많으면 주형성질은 나빠진다.

생형사의 수분함량이 적정수분보다 낮을 경우에는, 주형의 인성이 부족하여 형발성이 나빠지며, 생형 및 건조강도가 낮아져서 취급시 주형이 파손되기 쉽고, 주입시 용융금속에 의해 주형벽이 씻겨 들어가서 결함이 생기기 쉽다. 생형사의 수분함량이 적정수분보다 높을 경우, 주입시 수증기가 다량으로 또한 오랫동안 방출되기 때문에 블로홀, 주탕불량(misrun), 스캐브(scab) 등의 결함이 발생하기 쉽고, 모래의 유동성이 나빠져서 균일하게 다져지지 못하므로 용탕침투(metal penetration)결함이 생기기 쉬우며, 생형강도가 낮고 변형량이 크기 때문에 주형파손 및 제품의 치수변화가 생기기 쉽다.

(2) 수분 요구량

적정 수분, 즉 최적 조건을 얻기 위해 요구되는 수분량은 주물사의 배합 성분에 따라 달라진다. 수분요구량에 영향을 미치는 인자들은 다음과 같다.

① 모래의 입자

기공성이 큰 모래 입자는 기공성이 작은 모래입자보다 수분이 많이 요구된다.

② 점토

점토함량이 많으면 수분이 많이 요구된다.

③ 석탄분(coal dust)

석탄분은 주형중에서 450°C 이상의 열을 받으면 휘발분이 날아가면서 코크스로 변화한다. 이 코크스는 기공성이 커서 흡수성이 있으므로 수분이 많이 요구된다.

④ 데드 클레이(dead clay)

점토가 고온의 용탕에 의해 결정수분을 잃으면 데드 클레이가 되면서 점결력을 상실하게 된다. 데드 클레이는 다시 수분을 첨가하더라도 점결력을 되찾을 수 없다. 주물사 중의 데드 클레이는 사립표면에 여러 겹으로 피복이 되어 수분을 많이 요구하게 된다.

⑤ 미분

미분의 거의 없는 신사라 할지라도 반복 사용하는 동안 미분이 주물사에 축적된다. 이러한 미분은 수분이 많이 요구될 뿐만 아니라 통기도를 급격히 저하시킨다. 석탄분중의 휘발분이 날아간 코크스는 기공성이 크고 부서지기 쉬운데 이것이 부서지면 미분이 된

다. 점결력을 상실한 데드 클레이도 미분으로서 축적이 된다.

(3) 적정수분의 측정방법

주물사의 수분함량을 직접 알아보는 시험방법으로는 건조로에서 건조시키는 표준수분측정법, 열풍으로 건조시키는 열풍법, 카바이트와 반응시키는 카바이트법, 적외선으로 건조시키는 적외선 가열법, 전기저항을 측정하는 전기법 등이 있다. 그러나 주물사중의 수분 함량만을 알아서는 적정수분인지를 판단할 수가 없다. 수분함량을 변화시키면서 그때의 생형압축강도, 통기도 등의 시험을 행하여 그 결과를 가지고 종합적인 판단을 거쳐야만 적정수분을 알 수가 있게 된다. 수분함량이 증가하면 생형압축강도는 극대값을 보이는데 일반적으로 적정수분 상태란 이 극대값 근처의 값이라고 할수 있다. 이러한 방법으로 적정수분을 알려면 시험기간이 너무 많이 요구되므로 비생산적이다. 단 한 번의 시험으로 적정수분의 여부를 알 수 있는 몇가지의 시험방법을 여기에 소개하고자 한다. 주물사의 성질중에서 조형성, 겉보기 밀도, 충전성 등은 수분함량에 매우 민감하다.

① 조형성 시험(moldability test)

혼련된 주물사 200 g을 조형성 시험기의 회전체 안에 넣고 10초 동안 체질한 후 체를 통과한 모래량을 전체 시료량에 대한 백분율로 나타낸 것을 조형성 지수(moldability index)라 한다. 건조한 모래일수록 조형성 지수는 커진다. 일반적으로 적정 상태를 나타내는

조형성지수는 자동조형기에서는 90~100%, 손조형에서는 80% 이하도 가능하다.

② 겉보기 밀도 시험(loose bulk density test)

혼련된 주물사를 3 mm 구멍 크기의 체를 통과시켜 직경 50 mm, 높이 100 mm인 시험관에 조용히 채워넣고 채워진 모래의 중량과 부피를 측정하여 밀도를 구한다.

건조한 모래일수록 밀도는 커진다.

③ 충전성 시험(compactability test)

앞에서 설명한 충전성 지수는 고압자동조형기에서는 낮은 쪽이, 수동조형기 또는 수조형에서는 높은 쪽을 유지하는 것이 무난한데 통상 35~50%의 범위이다.

그림 3에는 수분과 충전성과의 관계를 보여주고 그림 4는 점토함량에 관계없이 수조형에서는 충전성지수가 45%일 때 항상 적정수분임을 보여준다(검은 점은 적정수분을 나타냄).

이상의 3가지 적정수분 측정방법중에서 겉보기 밀도시험과 충전성시험이 중소주물 공장에 적합한 시험방법인데 겉보기 밀도는 모래입자의 비중에 의하여 영향을 받으므로 충전성시험이 적정수분을 판단하는데 있어서 신뢰도가 더 높다.

2) 점토함량과 다른 인자와의 관계

모래에 첨가해야 할 점토의 양은 요구되는 성질을 얻는 범위내에서 될수록 적어야 한다. 통상 5~7%의 점토를 첨가하는 것이 적합하다. 과다하게 점토를 사용하고 있으면, 이는 혼련시간이 불충분하거나 혼련

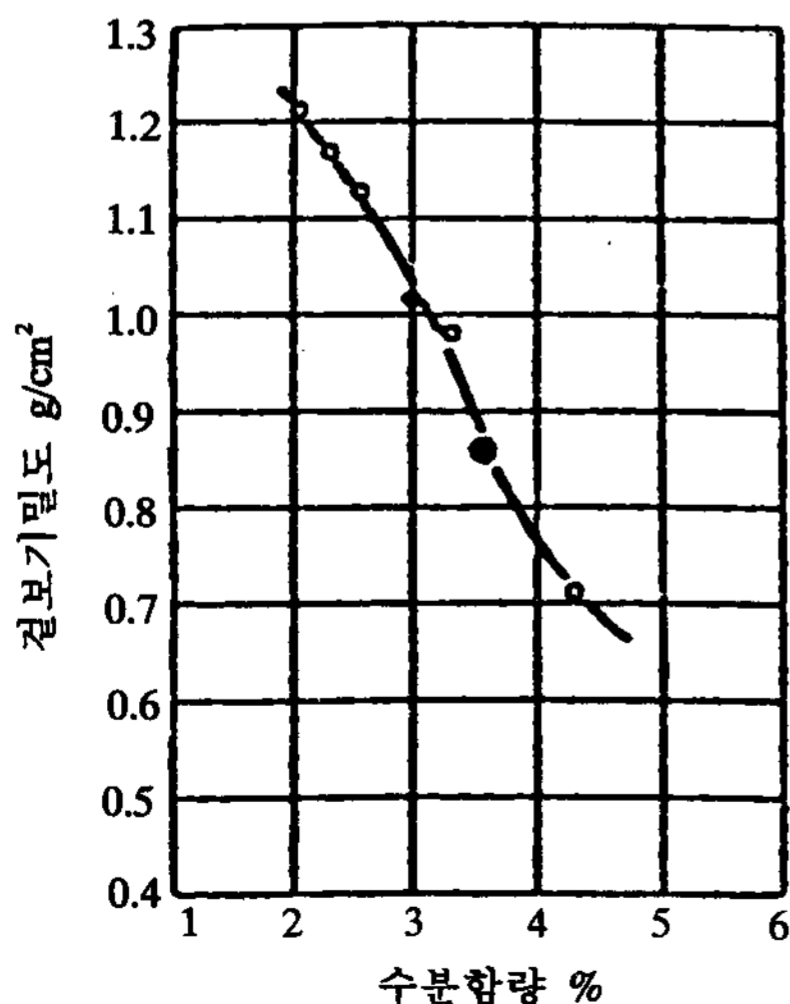


그림 2. 수분함량과 겉보기 밀도와의 관계.

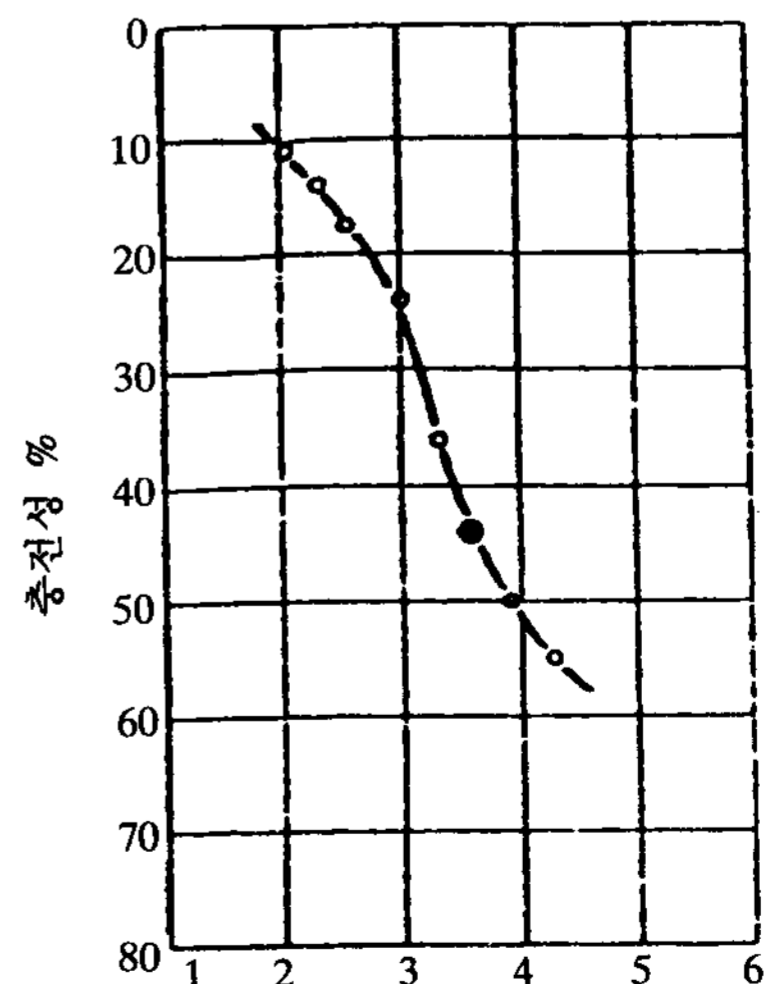


그림 3. 수분과 충전성과의 관계.

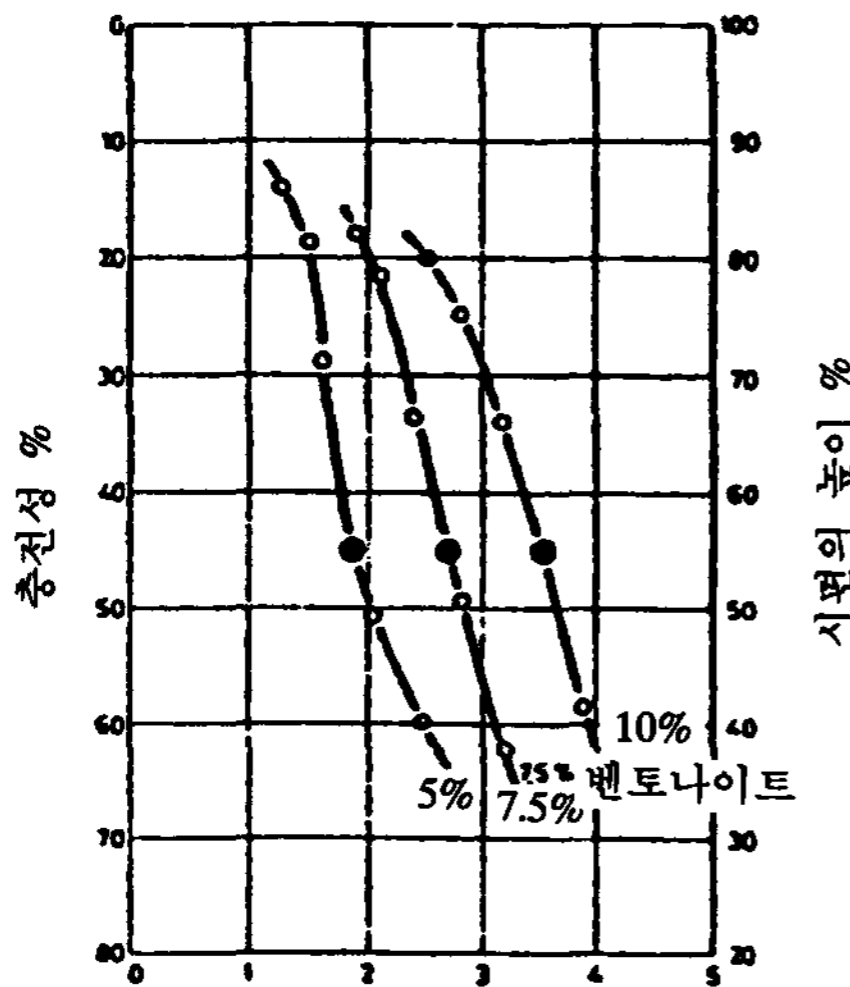


그림 4. 벤토나이트 함량변화에 따르는 적정수분과 충전성.

기가 비능율적이라는 것을 의미한다.

고압조형용 점토로서 Na계 벤토나이트는 주형의 인성이 커서 발형작업을 좋게 하고, 팽윤성이 커서 스캐프(scab)계 결함이 방지되며, 생형 및 고온강도가 커서 주형상자를 쓰지 않는 조형(flaskless molding)이 가능하다. 그러나 건조 및 고온강도가 커서 주입후 형해체(Shake out)가 어렵게 되므로 자동조형설비에선 문제가 된다. 또한 저장중에 배합사가 굳어지기 쉬워 사저장탱크로부터 잘빠져나오지 않게 되며, 유동성이 나빠 균일한 고밀도주형을 얻는 데에 문제가 있다.

Ca계 벤토나이트는 생형강도를 떨어뜨리지 않으면서 유동성을 좋게하여 작은 압력으로도 고밀도주형을 얻을 수 있게 한다. 또한 건조 및 고온강도가 작아서 형해체작업이 용이해진다. 그러나 Na계에 비해 스캐프계 결함이 발생되기 쉽고, 고온에서의 내구성(耐久性, durability)이 작아서 쉽게 사점토(沙粘土, dead sand)로 된다.

내화점토는 배합사의 혼련효과를 증대시키고, 수분에 덜 민감한 주형특성을 얻을 수 있으나, 점결력이 매우 약하다(같은 양의 Na계 및 Ca계의 1/4 정도임).

고압조형용으로서 가장 적합한 점토는 Na계 벤토나이트 3에 Ca계 벤토나이트 1의 비율로 혼합하여 쓰는 것이 좋다고 한다. 이때 Na계는 형발특성, 스캐프계 결함방지, 주형강도 및 고온 내구성에 유리하고, Ca계는 배합사의 유동성과 형해체 작업에 유리하다.

그림 5는 점토함량과 수분, 습태강도 사이의 상관관계를 보여주는데 점토량이 많으면 강도는 증가되고

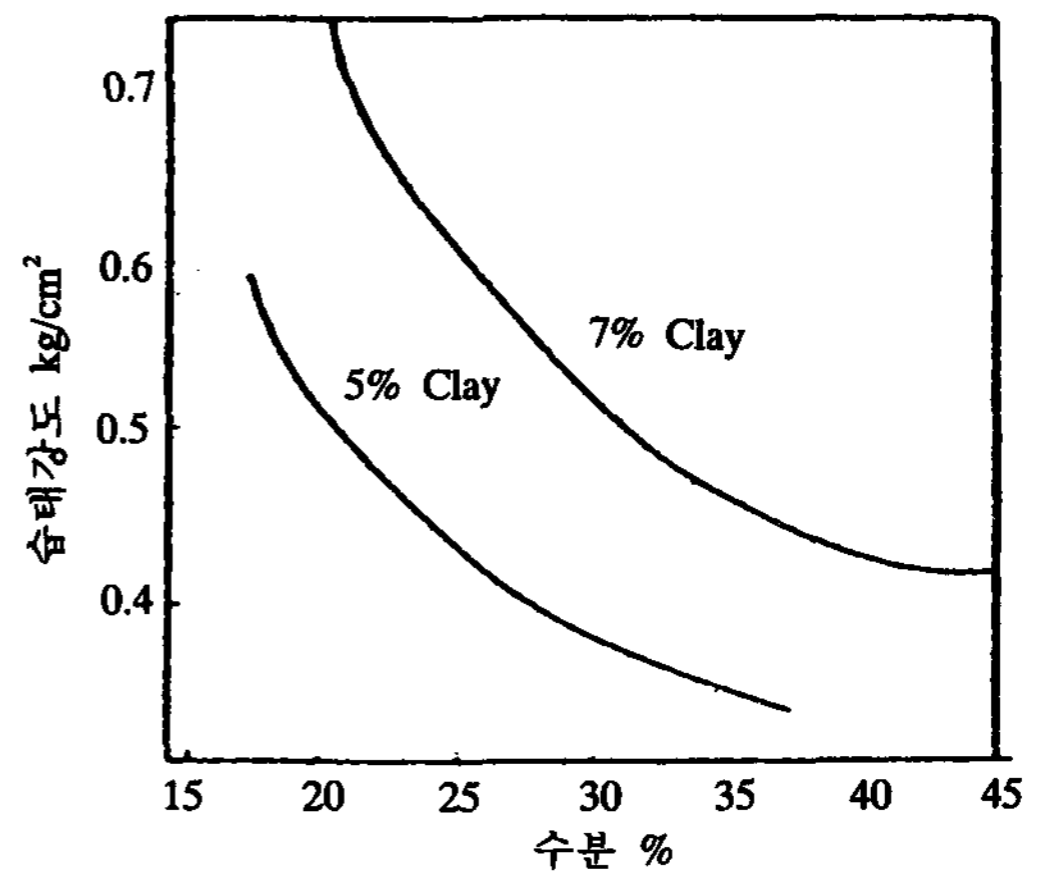


그림 5. 점토함량, 수분함량, 습태강도 사이의 관계.

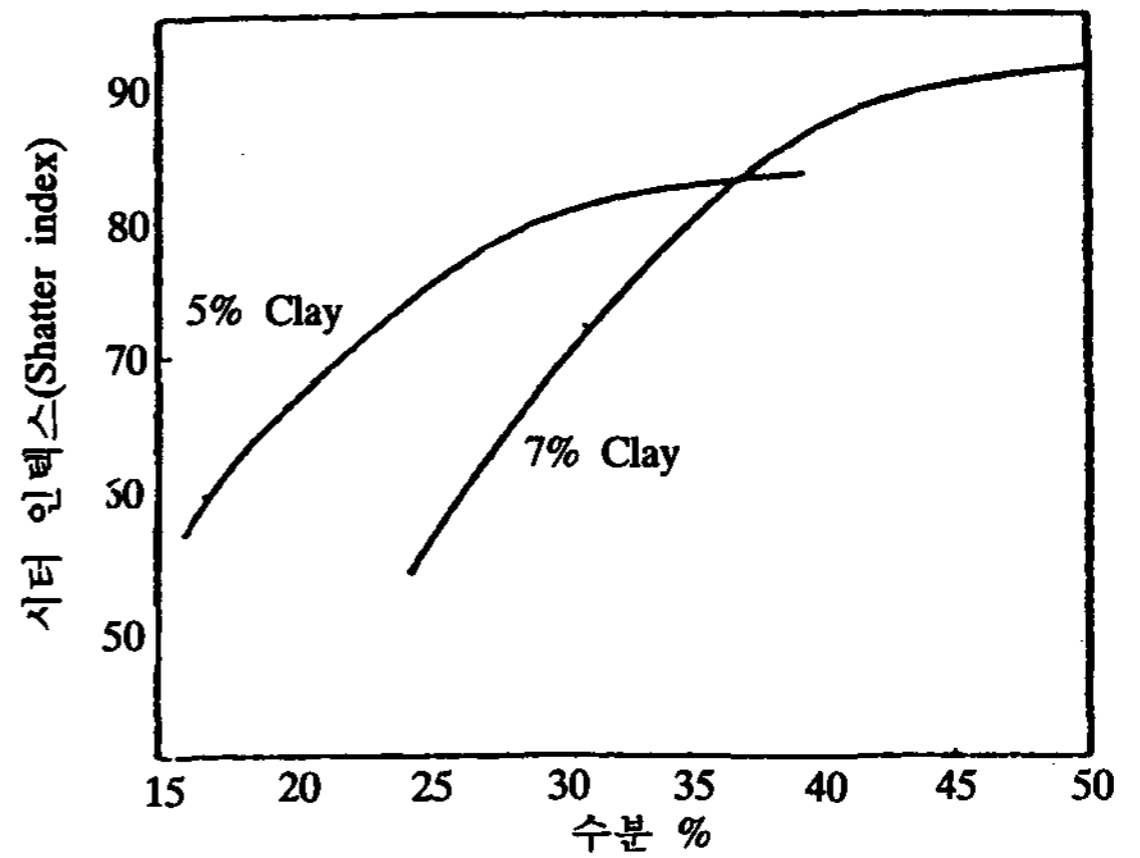


그림 6. 점토함량, 수분함량, 샤터 인덱스 사이의 관계.

요구되는 수분함량도 많아진다.

그림 6은 점토함량과 수분, 샤터 인덱스 사이의 관계를 보여주며 점토량의 증가에 따라 일정범위까지의 수분함량에서는 샤터 인덱스가 떨어진다.

### 5. 생형(시스템)사의 관리

#### 1)관리의 개념

시스템사의 기본은 항상 일정한 성상을 갖는 주형사를 안정 공급하는데 있으며 그를 위해서는 sand system이 어떻게 되어 있는지와 순환과정중의 변동요인의 大小를 정확히 파악해 두지 않으면 정확한 control이 곤란하다. 변동을 가져오는 요인으로는

- 주물사 단위 중량당의 용탕량(용탕비)
- 주물사 단위 중량당의 중자중량비(중자비)



- 용탕온도

- 주입에서 해체까지의 시간

등의 영향이 크다. 이들은 Bentonite의 불활성화, 유기물질의 분해, 연소에 의한 변화, 용탕계면의 사립의 소결 등에 의해 주형사조성의 구성비를 변화시키는 주요소가 된다.

회수사의 변동의 크기는 그 조형 line의 고유인자에 의해 좌우되고 System sand의 관리방법도 사처리설비와 능력에 의해 당연히 달라진다. 실제 공장에서는 변질한 회수사를 조형 전의 모래성질로 되돌리기 위해서 여러가지의 측정을 행하고 그 측정치에 따라서 부족한 성분의 보급량을 결정하여야 한다.

주형사의 변동상황을 알아내기 위해서 우선 회수사의 조성 분석을 하고 그 다음 혼련사의 물리적 성질을 측정하는 방법이 널리 사용되고 있다. 어느 것에서나 관리 방법으로서는 혼련 전의 상황을 정확히 파악하여 두는 것이 중요하다.

System sand의 품질관리는 목표로 하는 주형사의 조성과 물리적 성질의 평형상태를 유지하여 그 변동폭을 가능한 한 적게 제어해야 한다. 최근의 고속자동조형에는 문제가 일어나기 전에 변화를 알아낼 수 있는 예방제어가 필요하다.

System sand에 변동이 일어나면 반드시 적정수분치가 이동한다. 이것에는 여러가지 요인이 있고, 사처리기능의 저하, System sand의 변화, 또한 양자의 병합에 의해 일어나는 경우도 적지 않다. 적정수분치가 높을 때는 전 점토분 또는 dead clay가 증가했거나 그렇지 않으면 혼련이 불충분한 때이다. 반대로 저 수분치에의 이동은 미분의 감소, 혼련도의 향상이 원인으로 생각함이 좋다.

시스템사의 관리는 관리도를 작성하여 유지, 관리하는 것이 합리적이며 다음에 관리도에 의한 관리방법 및 활용방법을 설명하였다.

2) 관리도에 무엇을 기록할 것인가

생형사의 관리도에는 주물사 시험치와 주물 불량률이 기록되어야 한다. 주물사 시험치의 변화를 보고 사용중인 생형사의 성질을 파악하여 필요한 조치를 취할수 있으며, 불량률은 이 주물사가 제품에 미친 영향을 나타낸다.

주물사 시험에는 정기적으로 행하여야 할 4가지 항목, 즉, 수분 · 생형압축 강도 · 인성(toughness) · 통기도가 있다. 이 4가지 시험을 할 때의 배합사 조건은 항

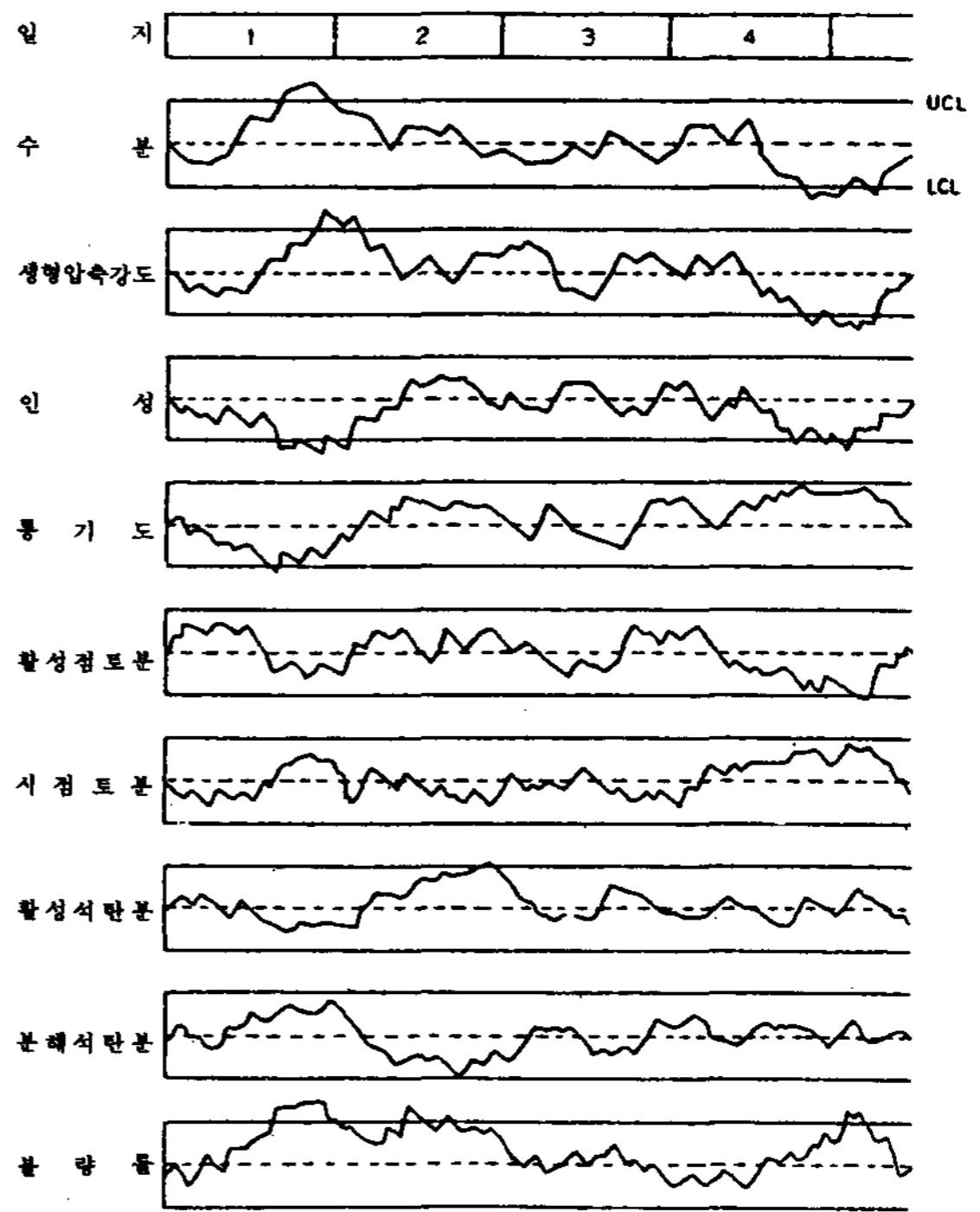


그림 7. 생형사 관리도의 작성 예.

상 일정한 값의 컴팩타빌리티(compactability)로 유지되도록 수분량을 조절해야 한다.

시험빈도가 낮은 이차적인 시험항목으로는 활성점토분 · 사점토분 · 활성석탄분 · 분해석탄분(spent coal dust)이 있다. 활성점토분은 메치렌블루 시험으로 구할수 있고, 전점토분(AFS clay)에서 활성점토분을 뺀 값이 사점토분이다. 활성석탄분과 분해석탄분은 전점토분 · 휘발분 · 작열감량 시험으로부터 계산할 수 있다.

주형사에 비해 입도가 전혀 다른 중자사의 혼입이 예상될 때는 입도분포시험도 행하는 것이 좋다.

주물불량률은 시험을 행한 주물사와 동일한 주형으로부터 발생된 불량률을 기록해야 하고, 가능하면 주물사에 의한 불량과 전체 불량을 분리하여 기록하면 더욱 좋다.

주물사 시험의 빈도는 각 공장의 조형방식에 따라 다르다. 예로서 자동조형기계를 사용하는 시스템샌드의 경우, 정기적인 4가지 시험항목은 1시간 간격으로 시험하고, 이차적인 시험항목은 작업로트당 1회 또는 1~2일 간격, 1주간격 등 공장의 필요성에 따라 시험빈도를 결정한다.

수조형 또는 수동조형기계용 생형사의 경우, 정기

수 분							
생형압축강도							
인성							
통기도							
불량률							
불량내용 확인	제품치수변화, 거친표면, 용량침투	제품치수변화, 거친표면, 용량침투	거친표면 용량침투	가스결함, 형발곤란, 사셋김, 사봉락	사셋김, 사봉락, 형발곤란, 소착	형발곤란, 스캡, 사셋김, 사봉락	용량침투, 거친표면,
시험	메칠렌블루 시험	덱스트린 첨가 량 확인	전분 첨가량 확인	작열감량, 휘 발분, 전점도 분시험	메칠렌블루시 험 전점도분,	전점도분시험	작열감량, 휘 발분, 전점도 분시험
원인	활성점토분과다	덱스트린과다	전분(β) 과다	석탄분 또는 미분과다	사점토분 과 다	전점토분 부족	석탄분 부족
조치	점토분 첨가량 줄임	덱스트린 첨가 량 줄임	전분첨가량 줄임	석탄분첨가량 줄임 신사보충량 늘림	신사보충량 늘림	점토분첨가량 늘림	석탄분첨가량 늘림

그림 8. 생형사 관리도의 해석 및 활용방법.

적인 4가지 시험항목은 배합기준의 변동 또는 작업로 트당 2회 혹은 적당한 시간간격으로 행하며, 이때 수 분시험의 빈도는 다른 3항목에 비해 2배로 하는 것이 좋다. 이차적인 시험 항목은 공장의 필요성에 따라 시험빈도를 결정한다.

3) 생형사 관리도의 활용방법

생형사 관리도에서는 정기적인 시험인 4항목, 즉, 수 분 · 생형압축강도 · 인성 · 통기도 값을 종합분석하면 사용중인 생형사 상태를 진단할 수 있다. 예로서 컴팩 타빌리티는 45%로 계속 유지되는데도 불구하고, 수분이 상부관리한계선(UCL)을 벗어나면서 생형압축강도 · 인성 · 통기도가 함께 증가하는 경우, 그 원인은 사용 중인 생형사에 활성점토분이 지나치게 많은 것으로

추측된다. 왜냐하면 활성점토분이 증가하면 적정수분 요구치가 증가하게 되고 또한 점결력 증가로 인해 생형압축강도와 인성이 증가한다. 반면에 점결력으로 인해 생형사의 유동이 악화되어 다짐성이 나빠지므로 통기도가 증가하게 된다. 이때 생형사 중의 활성점토분을 구해보아서 사실이 확인되면 즉시 첨가량을 줄여야 한다.

그림 8은 생형사 관리도에서 정기적인 4항목 시험치의 변화경향을 보고 사용중인 생형사를 진단하는 방법 및 필요한 조치방법을 요약한 것이다.

모든 시험치가 관리한계선 안에서 변화하는데도 주물불량이 계속 발생되면 관리한계선 설정을 재검토할 필요가 있다.