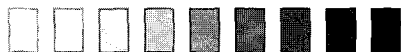


해설



## 주물 산업에서 벤토나이트의 특성과 활용

박성완·현부영·이상현

(주) 한국수드케미

벤토나이트는 1898년 'Knight'에 의해 미국 몬태나 주 'Fort Benton' 지역에 있는 팽윤성이 아주 큰 백악기 점토에 대해 처음으로 명명되었다. 주로 응회암 또는 화산재와 같은 유리질 화산물질의 화학적 변질로 수반된 광물 또는 탈유리화 작용에 의해 형성된 결정질 점토로 구성된 암석이며, 화산 유리질물질 내의 반정에서 기원된 장석, 흑운모, 석영, 방해석 등의 부성분 광물들을 수반하는 광석명이자 동시에 상품명으로 통용되고 있다. 여기에서의 결정질 점토는 주로 스멕타이트 계열의 광물들로서 주로 몬모릴로나이트를 지칭한다. 몬모릴로나이트의 결정은 2개의  $\text{SiO}_4$  4면체 판과 그 사이에 Al과 O로 이루어진 8면체 판이 있는 2:1구조의 층으로 이루어져 있다. 이 몬모릴로나이트에서의 4면체 내의  $\text{Si}^{4+}$ 를  $\text{Al}^{3+}$ 로 치환하거나 팔면체 내에서의  $\text{Al}^{3+}$ 를  $\text{Mg}^{2+}$ 나  $\text{Fe}^{2+}$ 로 치환이 가능한데, 이러한 결과로 인하여 양전하의 결핍을 초래하여 몬모릴로나이트의 층과 층사이인 층간(interlayer)에는 부전하를 띠게 된다. 이러한 결핍은 층간에  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$  등의 양이온들이나 유기물이 들어가면서 보상되어진다. 층간에 있는 이러한 양이온들의 종류에 따라 몬모릴로나이트의 특성이 달라지는데, 층간에 있는 우세한 교환성 양이온으로서 주로 Ca나 Na를 가지고 있으며, 이 양이온의 종류에 따라 Ca-몬모릴로나이트(Ca-벤토나이트) 또는 Na-몬모릴로나이트(Na-벤토

나이트)로 분류한다(그림 1).

벤토나이트가 산업에서 이용되는 부분은 원광석의 치환의 종류에 따라 산으로 치환된 것, 알칼리로 치환된 것, 치환되지 않은 천연 벤토나이트 및 유기물로 치환된 것으로 크게 네 가지로 분류된다. 또한 산업 이용 부분도 식료품산업, 광물질 기름 산업, 식음료와 제당산업, 제지산업, 약품산업, 건설산업, 토목산업, 주물 산업, 시추 산업, 페인트산업, 환경보호산업, 도자기 타일 산업, 방습제, 원예, 및 농업 및 기타 다양한 산업에서 다양한 목적으로 이용되고 있다. 이상의 네 가지 주 치환된 벤토나이트 중에 산으로 치환된 벤토나이트는 국내외 산업에서는 산성백토라는 명칭으로 더 잘 통용되고 있으며, 나머지 세 종류의 치환을 일반적으로 벤토나이트라고 부른다. 우리나라에서 협의의 정의인 벤토나이트가 산업에 이용되는 주 부분은 주물 산업, 토목산업, 제지산업, 사료산업 및 농약산업에 이용되고 있으며, 그 외 소규모로 약품, 방습제, 화장품 및 기타 산업에서 소량 이용되고 있는 실정이다.

세계적으로 벤토나이트가 주물용 생형사의 점결제로 그 가치가 인정된 것은 1920년대 초반이며, 이때부터 철과 강철의 주물 산업이 벤토나이트의 제일 큰 사용처가 되었다. 우리나라에서 벤토나이트가 생산되어 주물 생형사의 점결제로 사용되기 시작한 것은 약 2~30여년 전부터이며, 그 이전은 아주 소규모로 수입 사용

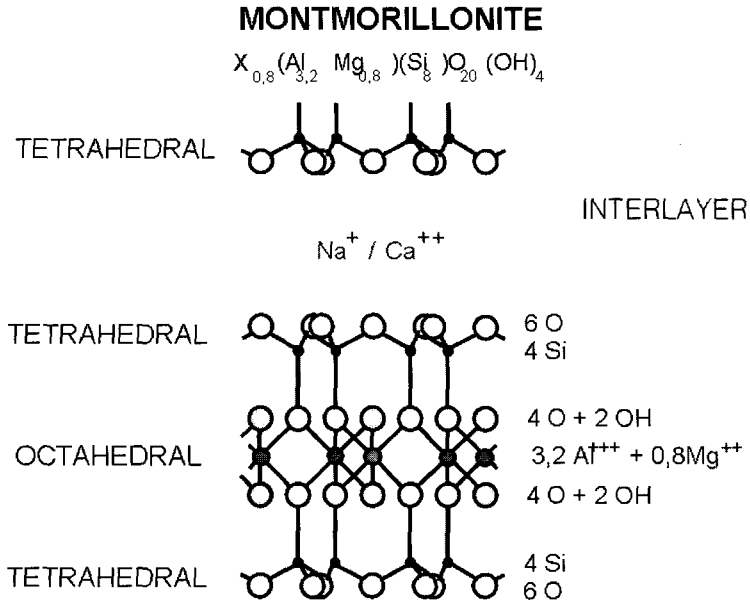


그림 1. 몬모릴로나이트의 결정구조.

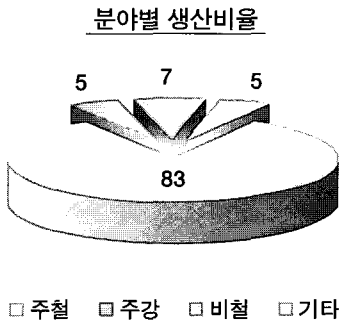
되어 왔다. 국내에서 본격적으로 벤토나이트가 대량 생산되어 생형 주물사의 점결제로 이용되기 시작한 것은 불과 약 20여년 전부터이다(박성완과 이상현, 2001).

주물 생형사의 주 구성물은 모래-점토(벤토나이트)-물로 되어 있으며, 그 외 첨가제로 탄분 및 곡분 등이 사용되기도 한다(한국주조공학회, 1991). 점토 점결제는 다른 점결제에 비해 재생이 용이하고, 가사시간에 제한이 없으며, 광범위한 적응성을 갖고, 값이 싸며, 가소성이 있어 생형용 주물사에서 일반적으로 광범위하게 이용되고 있다. 점토 점결제의 점토로는 주로 벤토나이트가 거의 대부분 이용되고 있으며, 생형사 점결제로 이용되고 있는 벤토나이트의 종류는 크게 활성화된 Na-벤토나이트와 천연 Na-벤토나이트로 분류된다. 국내 생형주물사에 첨가되는 벤토나이트는 거의 대부분 활성화된 벤토나이트를 사용하며, 이는 미국과 인도를 제외한 유럽 및 세계 대부분의 나라에서도 같은 실정이다.

## 우리나라 주물 산업의 현황

주물 산업은 그 재질에 따라 주철, 주강, 비철, 기타 등으로 분류되어진다. 이 분류에 따른 우리나라의 연간 주물 생산 현황(2004년도 기준)을 살펴보면, 전체의 약 83%를 차지하는 주철부분에서 연간 약 1,650,000톤을 생산하고 있으며, 이는 주로 자동차, 전자, 건설·기계 산업 등에 사용된다. 주강부분에서는 자동차, 산업기계용으로 연간 100,000톤 생산하고 있으며(약 5%), 자동차, 전자, 산업기계용도의 비철부분에서 연간 150,000톤을 생산하고 있다(약 7%). 그 외에 약 연간 100,000톤을 생산하고 있는데 이는 주로 방위산업분야에 사용되고 있는 실정이다.

위의 양을 합산해보면 우리나라는 전체 주물 생산량이 연간 약 2,000,000톤으로 이는 전세계에서 약 8위의 주물 생산 국가이다(그림 2). 이 중 가장 많은 양을 차지하는 주철분야에서의 적용산업을 살펴보면, 자동차, 조선, 중장비 등의 운송기 제작산업에서 사용되는 주물이 연간



재질	생산량 (톤/년)	비고
주철	1,650,000	자동차, 전자, 건설산업기계 등
주강	100,000	자동차, 산업기계
비철	150,000	자동차, 전자, 산업기계
기타	100,000	방위산업 등
합계	2,000,000	세계 8위

그림 2. 우리나라의 주물 생산 현황(2004년).

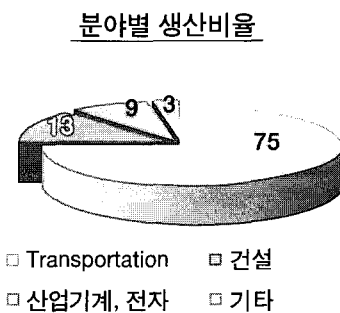
약 1,250,00톤이 생산되며 이는 전체 주철생산품의 약 75%를 차지한다. 그 외 건설기계산업에서 연간 약 200,000여 톤이 생산되며, 산업기계, 전자산업에서 연간 약 150,000여 톤이 생산된다. 그 외 기타부분에서 약 50,000여 톤이 생산되고 있으며, 우리나라에서는 전체 연간 약 1,650,000톤의 주철이 생산되고 있는 실정이다(그림 3).

이 주물을 생산 공정(또는 조형법), 조형재료에 따라 분류하면 표 1과 같다. 이 중 가장 일반적인 것인 모래, 벤토나이트, 씨콜(Sea Coal) 등을 조형재료로 사용하는 생형조형(Green Sand Process)으로서, 주로 자동차 산업, 건설 산업, 산업 기계 산업용의 주물생산에 이용되며 우리나라 전체 주물 총생산량의 약 70%를 차지한다. 그

외에 각종 수지를 사용하는 'Furan Process', 'Shell Mode Process', 'Pep Set Process' 등이 있으며, 규산소다를 사용하는 'CO<sub>2</sub> Sand Process', 금형을 이용하는 'Die Casting Process'와 '원심주조 Process' 등이 있다.

이 생형조형에서 접결제로 사용되는 우리나라 주물용 벤토나이트의 양은 연간 약 110,000여 톤으로(2004년도 기준) 이중 국내에서 약 97,000여 톤을 생산 공급하고 있으며, 그 외 중국, 인도 등지에서 완제품으로 약 연간 13,000여 톤이 수입 공급되고 있는 실정이다.

국내에서의 주물, 토목, 제지, 동물사료용의 시장규모가 연간 약 137,000여 톤으로 추정되는 바, 주물용 벤토나이트가 차지하는 비율은 약 80%를 차지한다고 할 수 있다.



적용 산업	생산품(톤/년)
Transportation (자동차, 조선, 중장비 등)	1,250,000
건설기계	200,000
산업기계, 전자	150,000
기타	50,000
합계	165,000

그림 3. 주철 생산품의 응용.

## 주물용 벤토나이트의 제조

### 제조 과정

일반적으로 주물용 벤토나이트의 제조공정은 크게 2가지로 나누어질 수 있는데, Na 및 Ca 벤토나이트를 단순히 건조, 분쇄, 포장하는 방법과 Ca-벤토나이트를 Na로 치환시켜 건조, 분쇄, 포장하는 방법이 있다(Kobayashi and Ito, 1992). 국내에서 산출되는 벤토나이트는 Ca-

벤토나이트가 대부분이므로(황진연, 박성완, 1992) 국내 대부분의 생산업체에서는 탄산나트륨을 첨가하여 Na-벤토나이트로 활성화 시켜 생산하고 있는 중이다.

국내 주물용 벤토나이트의 생산 공정은 크게 활성화 및 건조(Activation & Drying), 분쇄(Milling), 포장(Packing)의 3단계로 이루어진다(그림 4).

이러한 공정은 생산업체의 보유설비에 따라 다를 수가 있으나 크게 벗어나지는 않는다.

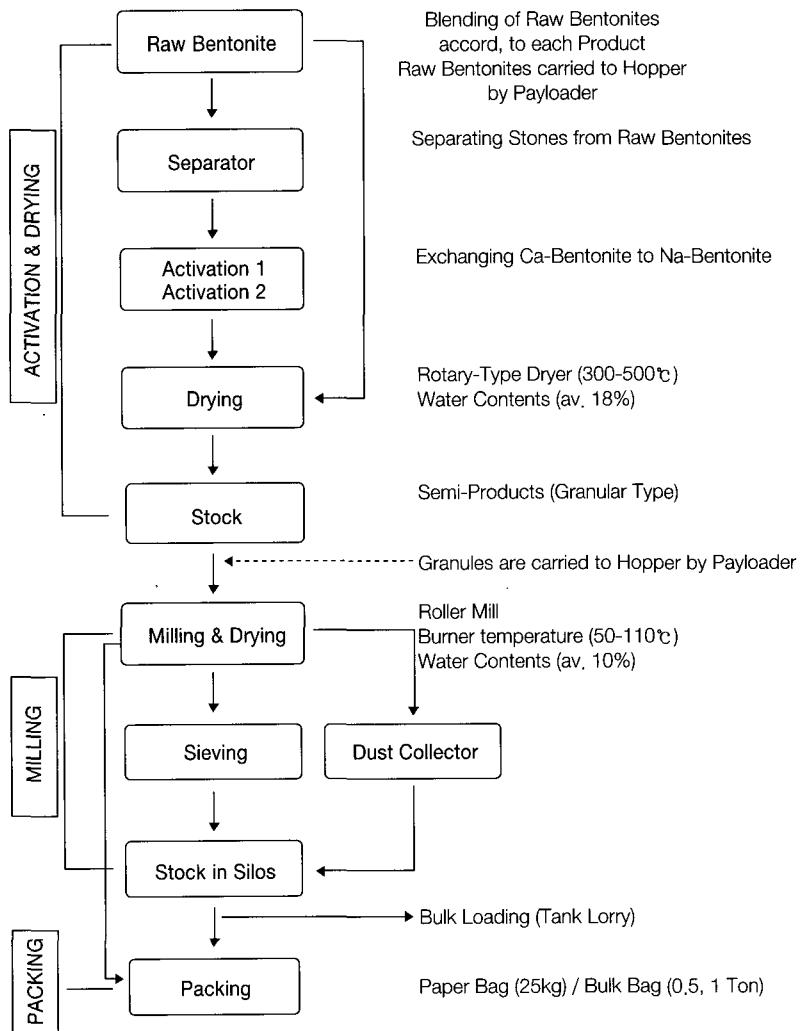


그림 4. 주물용 벤토나이트의 제조 공정.

표 1. 주물의 생산 공정(또는 조형법) 및 조형 재료에 따른 분류.

공정	조형재료	주생산품
Green sand(생형)*	벤토나이트, 씨콜 etc.	자동차, 건설, 산업기계
Furan(자경성 수지)	Furan수지	산업기계, 선박
Shell Mold	페놀수지	자동차, 건설기계
CO <sub>2</sub> Sand	규산소다	산업기계
Die Casting	금형	자동차
Pep Set	페놀수지	자동차, 일반기계
원심주조	설비	건설

활성화 및 건조(Activation & Drying) 공정

이 공정은 다음과 같은 다섯 단계로 나누어진다.

1. 벤토나이트 원광의 혼합 및 호퍼(Hopper) 투입
2. 선광과정
3. 활성화(Activation) 과정
4. 건조과정
5. 용도별 반제품 저장

먼저, 공장에 운반되어진 각 광산별 벤토나이트 원광은 실험실에서의 사전 실험을 통하여 그 특성을 파악하여 그 용도를 결정한다. 그리고 주물용 벤토나이트를 생산하기 위해서는 각각의 벤토나이트 원광의 주물용 시험 결과를 참조하여 A광산(%):B광산(%):C광산(%)...의 비율을 결정한다. 또한 같은 주물용이라도 제품의 등급에 따라 그 비율을 달리한다. 이렇게 결정된 비율에 따라 벤토나이트 원광은 'Payloader'에 의해 혼합되어져 호퍼(Hopper)에 투입되며, 일련의 선광 장치를 통과하면서 1차적으로 직경 20cm이상의 암석들을 분리해 내며, 다시 2차적으로 5cm이상의 암석을 분리해 낸다. 이러한 장치는 생산업체에 따라 그 형태가 다르며, 대부분의 중소업체에서는 벤토나이트를 호퍼에 투입하기 전에 수선을 한다.

이렇게 선광된 벤토나이트 원광은 컨베이어 벨

트를 따라 활성화 장치를 지나게 된다. 이 과정은 국내에서 산출되는 층간에 Ca이온을 가지고 있는 Ca-벤토나이트를 Na-벤토나이트로 바꾸어 주는 역할을 한다. 벤토나이트 원광은 컨베이어 벨트를 통해 활성화 장치로 이동되어지는 동안에 Na-벤토나이트로 치환시키기 위하여 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이 첨가되어진다. 이 탄산나트륨의 첨가량은 실험실에서의 실험에 의해 결정되어지는데, 벤토나이트 원광마다 그 비율이 달라 세심한 주의가 요구된다. 탄산나트륨이 첨가된 벤토나이트 원광은 Pan Mill이라 불려지는 활성화 장치로 이동이 된다. 이것의 모양은 일종의 연자방아와 비슷하다. 직경 1.8m, 두께 50mm의 두 개의 밀이 30rpm의 속도로 회전하면서 투입된 벤토나이트를 분쇄시킨다. 이때, 선광장치에서 걸러지지 않은 5cm이하의 암석들도 같이 분쇄되어진다. 이와 같이 분쇄된 벤토나이트는 바닥에 있는 직경 13mm의 구멍사이로 강제적으로 빠져나가게 되는데, 이때 물리적인 힘과 그에 따라 발생하는 열에 의해 벤토나이트 내에 있는 Ca이온이 Na이온으로 치환된다. 다시 활성화된 벤토나이트는 엑스트루더(Extruder, Bedetschi라 하기도 함)를 통과하는데, 이것은 두 개의 스크루(Screw)와 그릴(Grill)로 구성되어 있다. 이곳에 투입된 벤토나이트는 스크루를 통과하면서 다시 혼합되어지고 그릴을 통과하면서 압력과 열에 의해 다시 한번 활성화되는 것이다. 여기를 통과한 벤토나이트 원광은 다시 컨베

이러 벨트를 통해 건조로(Dryer)로 이동된다.

이 활성화 과정(신희덕, 1986)은 매우 중요한 과정으로서, 1990년대에 들어서면서부터 국내 몇몇 업체가 이 장치를 설치하였으나(표 1), 엑스트루더 장치 하나만 설치하여 그 효율성이 떨어지며, 그나마 대부분의 군소 업체들은 이런 장치를 거치지 않고, 회사 야적장의 원광에 탄산나트륨을 뿌려 바로 건조로에 투입되고 있는 실정므로 완전한 활성화를 기대하기 어렵다고 할 수 있다.

건조로로 투입된 벤토나이트는 약 300~500℃의 온도 하에서 건조 되어지는데, 건조시간은 약 15 분정도 소요된다. 온도는 원광의 수분함유량과 제품의 종류에 따라 달라지며, 그에 따라 건조된 벤토나이트의 수분함유량도 차이가 난다. 보통은 약 18%의 수분함유량을 유지하도록 한다.

건조로를 통과한 반건조된 벤토나이트는 약 직경 2cm 이하의 크기의 입상체 형태로, 각 제품별로 임시 야적장에 저장이 된다. 이때 이 반건조된 그래놀 형태의 벤토나이트를 시험하여 기준치에 적합하지 않으면 다시 활성화과정을 반복한다.

### 분쇄(Milling) 및 포장(Packing) 공정

반건조된 입상체 형태의 벤토나이트는 다음과 같은 분쇄공정과 포장공정을 거쳐 제품으로 탄생하게 된다.

1. 분쇄 및 건조(Milling & Drying) 과정
2. 입도분리(Sieving) 과정
3. 사일로 저장
4. 포장(Packing) 과정

활성화시킨 반건조 벤토나이트 그래놀은 페이로더에 의해 밀에 연결된 호퍼로 투입이 된다. 투입된 벤토나이트는 밀에 의해 분쇄되어지는데, 밀의 크기는 대부분의 업체에서 직경이 50인치인 로올러 밀(Roller mill)이 이용되고 있다. 벤토나이트가 분쇄되는 동안에 밀에 부착된 버너에 의해 수분조절이 이루어지며, 이때의 온도는 약 50~110℃ 사이이며 제품의 스펙에 적합한 수

분함유량으로 조절한다. 이때의 수분함유량은 대개 10% 내외이다. 또한 밀에 의해 분쇄되어지고, 버너에 의한 온도의 영향으로 다시 한 번 활성화가 일어나는데, 반건조된 벤토나이트 그래놀보다 약 3~5% 정도의 제품의 품질이 향상된다.

밀에 의해 분쇄되어진 벤토나이트는 밀 하부에서 발생하는 공기에 의해 밀의 상부에 부착된 체(Sieve)를 통과시켜 제품에 적합한 입도로 분리된다. 이때 발생하는 분진(Dust)은 흡입공기에 의해 포집되며, 이때 포집된 분진들은 사일로로 바로 저장이 된다. 그리고 분쇄되지 아니하는 5mm 정도의 불순물인 압편들은 밀의 하부를 통해 밖으로 배출된다. 대부분의 제품들은 이와 같은 과정을 거쳐 입도분리가 된다.

이렇게 분리된 벤토나이트는 각 제품별로 사일로에 저장이 된다. 사일로에 저장이 됴므로써 사일로 내에 있는 순환장치에 의해 제품들이 골고루 섞이게 되어 제품의 균질화를 이룰 수가 있다.

저장된 벤토나이트 제품은 사일로를 통해 바로 탱크로리로 이동이 가능하며, 25kg 지대나 500kg, 1,000kg 벌크백 및 'bulk tank lorry'로 포장이 된다. 시멘트포대와 같은 25kg 지대포장과 벌크백포장은 대부분의 업체에서 인력에 의해 직접 포장이 되어지며, 자동 로봇 포장기(Robot Packing Machine)가 설치된 업체에서는 자동으로 포장이 된다.

### 품질 관리

벤토나이트의 품질측정은 벤토나이트 제품의 생산 공정에 연계되어 행하여진다. 벤토나이트 제품의 품질은 벤토나이트 원광의 품질에 크게 좌우되며, 각 광산별로 산출되는 벤토나이트 원광의 특성을 파악하여, 각각의 용도에 맞게 제품의 생산에 이용되어진다(황진연외, 1997).

그러므로 광산에서 채취된 벤토나이트시료(Raw Bentonite Sample)에 대해서 우선적으로 벤토나이트 내의 몬모릴로나이트의 함량을 알기 위한 메틸렌블루(Methylene Blue) 흡착실험, 수

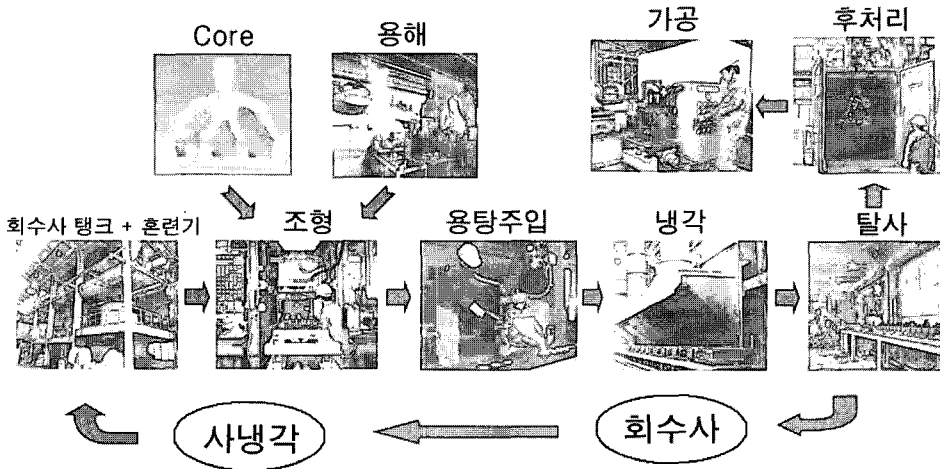


그림 5. 생형 주조 공정.

분함량 측정, 팽윤도(Swelling volume) 측정, 필요시 pH 측정이 이루어진다. 그리고 이 시료에 일정량의  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 를 첨가하여 몬모릴로나이트 층간에 있는 Ca 대신에 Na을 치환시킨 후(활성화, Activation) 분말로 만들어 실험을 하게 된다.

주물용에 적합유무를 판단하는 실험으로는 메틸렌블루 흡착, 수분함량, 팽윤도, 생형압축강도(Green Compression Strength), 습태인장강도(Wet Tensile Strength) 등을 측정하며, 이 벤토나이트의 열적 안정성을 알아보기 위하여, 벤토나이트 시료를 550℃의 전기로에서 30분간 가열, 냉각한 후 다시 생형압축강도, 습태인장강도, 메틸렌블루 흡착량을 측정한다. 이렇게 특성이 파악된 벤토나이트 원광은 생산 공장으로 운반되어지며, 운반되어진 원광에 대해서도 위와 같은 방법으로 반복 실험을 하게 된다.

특성이 파악된 벤토나이트 원광은 각 제품의 용도에 맞게 그 혼합비율을 결정하기 위하여 위와 같은 실험이 수행되어지며, 활성화되어 건조로에서 건조된 반제품인 입상체(Granule)에 대해서도 각 단계별로 품질측정을 하게 된다. 여기를 통과한 그레놀은 분쇄기(Mill)로 투입되어 분쇄되는 과정에서 각각의 시험을 거치게 되며, 최종 포장이 되기 전에도 위와 같은 실험이

수반된다. 그 외 생산된 제품에 대하여 입도실험을 하게 된다.

## 주물용 벤토나이트의 활용

### 생형주조 공정

대부분의 주물용 벤토나이트는 생형주조공정에서 사용되어지는데, 이 생형주조공정을 그림 5에 나타내었다. 생형주조 공정은 그림과 같이 용해 공정, 조형공정, 사처리공정, 후처리 공정으로 크게 4개의 부분으로 구분된다.

용해공정은 말 그대로 고철을 용해시키는 공정으로 주물제품의 용도에 맞는 재질을 형성시키는 공정으로 매우 중요하다. 조형공정은 옛말로 하면 거꾸집을 만드는 것으로 모래와 점결제(벤토나이트 등) 및 기타 부자재를 이용하여, 제품의 형태를 성형하는 단계로 고압에 의한 조형기를 이용하며, 제품 특성에 따라 중자를 사용하기도 한다. 다음으로 회수된 주물사의 성질을 재생하는 주물사 처리공정이다. 이 공정은 조형 공정에서 조형된 틀에 용해된 용탕(용융된 쇳물)을 주입한 후 일정한 냉각 시간 후 제품과 모

래를 분리시키는 탈사 공정을 거치면 제품과 주물사가 분리 되어 제품은 후처리 공정으로, 주물사는 사처리공정으로 이동하여 조형을 위한 주물사적 성질을 갖도록 점결제 및 기타 조형부자제를 첨가하여, 혼련기를 통해 조형단계로 다시 보내지는 공정이다. 후처리공정은 제품에 붙어있는 회수선 및 모래를 분리시키는 공정으로 제품의 완성도를 높이는 것이 목적이다. 이후 가공공정을 거치면 정확한 완제품으로 만들어진다. 이렇게 만들어진 주물완제품들은 주로 자동차에 사용되는 부품과 산업기계 등으로 국내의 주물제품의 대부분을 차지한다.

### 주물사(Green Sand, 생형사)

몰드(Mold, 거푸집)를 만드는데 사용되는 주물사는 아래와 같은 물질들로 만들어진다.

- 1) Sand - 자연사(Natural bonded sand)  
합성사(Synthetic sand)  
반합성사(Semi-Synthetic sand)
- 2) 벤토나이트(Bentonite)
- 3) Mixing Water
- 4) Seacoal(유연탄)
- 5) Starch(전분), Dextrin(곡분)

생형사 또는 주물사는 94% 이상의 SiO<sub>2</sub>를 갖는 규사, 벤토나이트 점결제, 혼련에 필요한 수분, 제품과 주물사의 분리를 용이하게 하기 위한 씨콜과 때에 따라 곡분과 전분을 첨가하는

것으로 구성되며, 이것을 일정량 혼합하여 사처리공정에서 균질하게 혼련을 한다. 이러한 주물사를 이용한 주조법의 특징은 재생이 용이하며, 가사시간에 제한이 없고, 광범위한 적응성을 가지며, 환경친화적이고, 가소성을 가지는 것이다. 주물사를 이용한 주조법은 위와 같은 특성을 가지므로 가장 널리 이용하고 있다. 즉 모래를 이용하여 계속 재생하여 사용할 수 있으므로, 가사시간에 제한을 받지 않으며, 형태에 관계없이 재질만 가능하면 무엇이든 생산이 가능하므로 넓은 적응성을 갖는다. 생형 주조에 사용하는 원 부재료는 천연에서 채취된 것을 사용함으로써 환경에 영향을 적게 주기 때문이다.

생형주조 공정에서의 주물사에 대하여 요구하는 성질은 주물사가 균일하게 배합이 되어야 하며, 배합된 주물사는 적절한 유동성을 가지고 있어 조형하는데 어려움이 없도록 되어야 한다. 조형 후 고온의 용탕을 주입할 때 적절한 강도와 안전성 그리고 고온용탕에 대하여 반응하지 않는 저항성이 필요하다. 용탕 주입 후 주물사와 용탕이 쉽게 분리될 수 있도록 탈사성 또한 좋아야 하며, 용탕 주입 시 발생하는 가스의 배출이 되는 통기성 또한 필요하다. 이외 생형사를 조형 단계로 다시 보내어질 때 수율을 높이기 위한 열적 저항성이 높아야 하며, 고온 용탕과 화학적 물리적 반응성이 적어야 함은 물론이다.

주물공장에서 벤토나이트는 모래와 물을 섞었을 때, 점토사이에 있는 물을 흡수함으로써 소성 및 점결력을 가지게 되는데 그 원인은 점착과 위

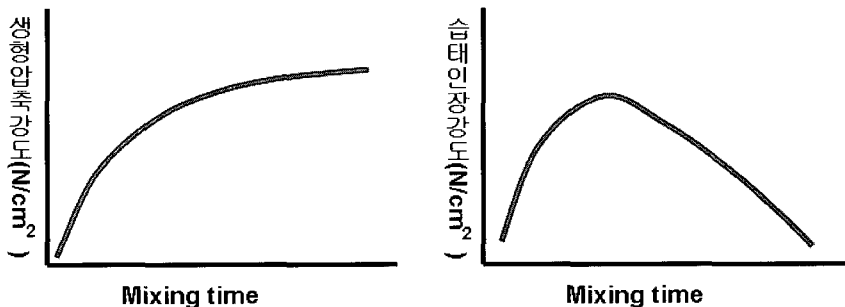


그림 6. 혼합시간에 따른 주물사의 생형압축강도와 습태 인장 강도의 변화.



터브리지에 의한 점결력 때문이다. 수분이 너무 많거나 적으면 점결력이 떨어진다, 즉 수분이 적으면 벤토나이트 분포가 모래에서 이루어지지 않아 점결력이 사라지게 되며, 수분이 너무 많으면 벤토나이트 박판과 모래 입자 사이의 거리가 커지기 때문에 점결력의 약화 현상을 보이게 된다.

### 주물사의 혼합(Mixing)

주물사의 물성을 결정하는 중요한 요인 중 하나가 주물사의 혼합공정인데, 이 혼합공정은 모든 주물사 성분을 균질하게 섞어주도록 설계되어야 하며 모래 표면에 벤토나이트를 잘 도포해 주도록 되어야한다. 혼합공정은 가스 통기도에 의하여 관찰할 수 있으며 혼합시간이 증가할수록 통기도가 높아지는 것을 알 수 있는데, 이는 모래표면에 벤토나이트가 보다 더 균질하고 매끄럽게 분포되어 있을수록 가스 통기도는 좋아진다는 것으로 유추할 수 있다.

생형압축강도는 혼합시간이 길수록 증가하는데 이는 벤토나이트 박판이 잘 배분되고 모래입자에 잘 도포됨으로서 증가함을 보여준다. 습태인장강도는 혼합시간에 따라 처음에는 증가하다가 약 10분 이상의 혼련 시간부터는 감소하는데 이는 모래입자의 상호 및 믹서에서의 마모 때문이며 벤토나이트 물성 파괴 때문은 아니라고 생각된다(그림 6).

주물 생형사 벤토나이트의 물성으로 중요한 물성 중의 하나는 열안정성인데, 주물사가 고온에 접하면 벤토나이트 내부에 존재하는 구조수가 일반적으로 450℃~700℃에서 건조 파괴되어 점결력을 상실한 데드크레이(dead clay)로 되는데, 이 데드크레이는 수분을 다시 첨가하더라도 점결력을 회복할 수 없으며, 주물사의 물성을 저하시키므로 열안정성이 좋은 벤토나이트의 선택이 중요하다.

주물사를 혼합할 때 주물사를 제조하는 믹서에 투입하는 물질의 투입순서도 중요하다. 그림 7에서와 같이 2가지의 형태로 혼합하는데, 저속믹서의 경우는 모래→수분→벤토나이트 순으로 투입하여야 하며, 고속믹서의 경우는 모래→벤토나이트→수분 순으로 투입하여 일정시간 배합한다. 그림에서 보는 바와 같이 저속믹서의 경우가 보다 높은 생형압축강도를 나타냄을 알 수 있다.

### 주물용 벤토나이트의 종류별 비교

주물에 사용되는 벤토나이트는 Ca-벤토나이트, Na-벤토나이트, Na으로 치환시킨 활성화 벤토나이트가 있다. 이 중 Ca-벤토나이트는 낮은 효능성 때문에 주물에서는 거의 사용되고 있지 않은 실정이며, 국내 및 세계적인 추세는 활성화 벤토나이트를 이용하는 추세이다.

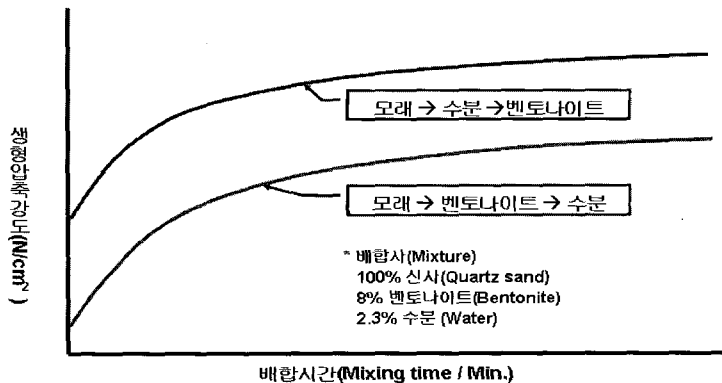


그림 7. 주물사 혼합시의 첨가제 첨가 순서.

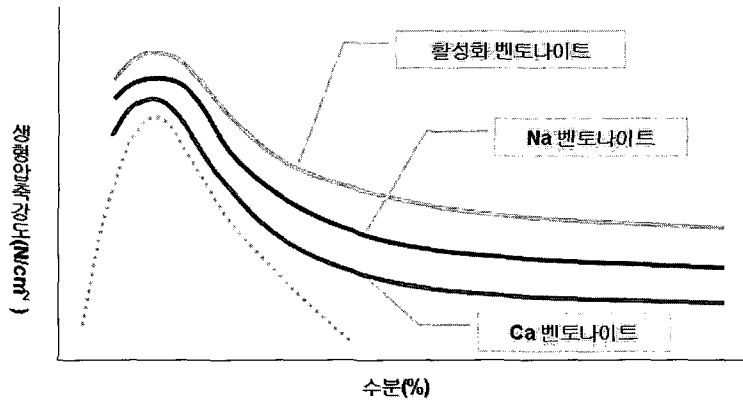


그림 8. 주물사내의 수분함량에 따른 생형압축강도의 변화.

주물용 벤토나이트는 수분변화에 따라 생형압축강도가 민감하게 변화하며, 과다수분은 오히려 강도를 저하시키는 원인이 되므로 주조공정에서의 주물사 관리에 있어서 수분관리는 특히 중요하다. 그림 8에서 보듯이, 주물사내의 수분함량이 높아질수록 생형압축 강도가 점점 낮아짐을 알 수 있다. 활성화 벤토나이트가 Na-벤토나이트나 Ca-벤토나이트 보다 상대적으로 높은 생형압축강도를 가진다.

천연 Na-벤토나이트는 활성화 벤토나이트에 비해 건태강도와 고온에서의 강도가 상대적으로 뛰어난 장점이 있으나, 가격이 활성화 벤토나이트에 비하여 20~50% 이상 비싸며, 주물사가 요구하는 물성치에 도달하기 위하여 긴 배합 시간을 요구하므로 경제성이 없다. 또한 제품과 주물사의 분리 시에 분리가 잘 되지 않는 약점이 있다. 이에 활성화 벤토나이트는 고객의 요구에 맞추어 물리적 성질을 고객의 요구대로 조절이 가능하므로 경제성 및 적응성이 매우 뛰어나다(그림 9).

### 주물용 벤토나이트의 물성적 품질 규격

이상과 같이 주물 산업에서 사용되어지는 벤토나이트에 대하여 요구되는 물리적 특성은 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫째, 모래 입자표면에

벤토나이트가 골고루 도포되기 위하여 적절한 팽윤성을 가져야 한다(최소한 15 ml/2g). 둘째, 믹서기 내에 모래와 벤토나이트가 혼합되는 과정에서 짧은 혼합시간내에 요구되는 주물사적 특성중 생형강도가 보장되어야 하기 때문에 초기생형강도가 양호해야만 한다(경제성). 셋째, 몰드의 성형후 용탕과 접촉할 때, 주물사적으로 요구되는 몰드의 생형압축강도와 습태인장강도는 최소한 8.0N/cm<sup>2</sup>과 0.20N/cm<sup>2</sup> 이상이어야 한다. 넷째, 성형된 몰드와 용탕이 접촉하면, 용탕의 높은 온도에 의해서 벤토나이트내의 일부의 몬모릴로나이트는 파괴되며, 이후 이 주물사의 재사용을 위하여 파괴된 양만큼 벤토나이트를 더 필요로 하기 때문에 일정한 열안정성이 요구된다(550℃에서 30분간 소성후 생형압축강도의 약 70%를 유지해야 함).

### 주물 산업의 미래

이미 설명한 바와 같이 우리나라의 주물 산업은 크게 나누면 자동차산업, 중장비, 선박, 산업용 공작 기계 산업 등에 관련되어 있다. 우리나라의 주물 산업 중에 자동차관련 산업이 거의 80% 이상 차지하므로 자동차산업의 미래와 주물 산업의 미래는 같다고 볼 수 있다. 현대의 자

		Low	Middle	High
생형강도	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		
건태강도	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		
고온강도	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		
유동성	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		
탈사성	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		
경제성	Ca <sup>++</sup> 계	[Bar spanning from Low to Middle]		
	Na <sup>+</sup> 계	[Bar spanning from Low to High]		
	활성화	[Bar spanning from Low to High]		

그림 9. 주물용 벤토나이트의 종류별 특성 비교.

동차산업은 친환경 및 경량화의 추진으로 벤토나이트를 사용하는 주철 주조법보다는 경금속인 알루미늄의 이용 확대로 경량금속의 주조법의 꾸준한 개발이 이루어지고 있는 실정이다. 이런 변화에 편승하여 주철생산을 위한 생형주조법은 모래와 여러 가지의 점결제를 이용하므로 사처리공정에서 발생하는 폐모래와 분진이 발생하므로 환경을 중시하는 현대에는 많은 문제점을 안고 있으나, 설비의 꾸준한 개선과 조형기계의 발전으로 적은 인원으로도 생산이 가능할 정도로 많은 구조적인 변화를 가져오고 있다.

### 참고문헌

박성완, 이상현 (2001) 국내산 벤토나이트 제

품의 제조 현황 및 그 용도. 제26회 자원활용·소재 워크샵 논문집. 한국지질자원연구원, 247-277.

신희덕, 1986, 점토광물의 제조와 활용기술. 산업기술정보원, 조사연구보고 5호.

한국주조공학회, 1991, 주물기술, P. 131~150, 391~396.

황진연, 1997, 점토란 무엇인가?, 광물과 산업, Vol. 10, No. 1, P. 11~17.

황진연, 박성완, 1992, 경북 양남지역 벤토나이트광상의 성인적 고찰. 지질학회지, 28, 392-402.

Kobayashi, K. and Ito, M., 1992, Recent bentonite production process at Kunimine Industries. J. Clay Sci. Soc. Japan, 31, 222-230.