

.....
技術資料

점토로 점결된 주물사의 혼련

송진수, 김봉완

Mixing of Clay-bonded Molding Sand

J. S. Song and B. W. Kim

1. 개 요

주물사, 점토 및 수분의 혼련시험은 사처리결과에 영향을 미치는 사처리설비 및 요인에 대한 많은 정보를 제공하며 새로운 배합재료의 혼련처리에서 가장 결정적인 부분은 사립과 점토의 접촉점결이다.

충분한 점착이 있다면 사립은 점토막으로 도포되고 사립의 접촉면을 점결시키는 가교결합이 형성된다. 조형성, 침식과 열터짐(scab)에 대한 내구성과 같은 주물사의 여러가지 특성은 최고수준에 이를 것이다. 계속되는 혼련은 점결을 더욱 강화하며 생형압축강도를 개선하나, 기타의 특성 변화는 거의 일어나지 않는다.

신사의 적합한 점결을 얻기 위하여는 사립과 점토 사이에 상당량의 혼련력을 제공하는 강력한 혼련이 요구되며 이러한 힘은 혼련바퀴에 의하여 이겨주거나 급속하게 회전하는 혼련장치의 충격에 의하여 얻어진다.

새로운 재료일 때 누적혼련은 벤토나이트 1%에 대하여 약 $4N/cm^2$ 의 비례압축강도를 가져오며 이러한 강도치는 때때로 재래의 방법에서 얻을 수 있는 것의 2배 이상이다. 순환사를 철저히 혼련하면 1%의 벤토나이트에 대하여 $3N/cm^2$ 의 강도를 얻을 수 있고 붕괴효과가 낮은 혼련기를 사용하는 경우, 재료의 투입순서가 특히 중요하며 가장 적합한 순서는 주물사-수분-벤토나이트의 순서이다.

강도의 증가는 점착과 분산을 조장하는 배소점토(calcined clay)와 같은 성분의 존재와 사립의 표면특성에 의하여 결정되며 처리된 주형사의 강

도측정을 통하여 벤토나이트를 평가할 때 점착력을 향상시키나 벤토나이트의 품질에는 연계되지 않는 여러가지 인자의 영향을 고려하여야 한다.

결론적으로 순환사용혼련기의 선정에 있어서 여러가지 혼련특성이 중요하다고 말할 수 있다.

2. 서 론

혼련은 주물사처리에서 주된 부분이다. 조형과 주입공정의 성패를 결정하는 주형사의 기계적, 물리적 특성은 대부분 혼련공정의 품질에 관계된다. 누적혼련공정이 이미 알려진 것보다 훨씬 높은 강도를 가져온 바 있는 최근의 실험실적 경험에서 점토점결 주형사의 혼련효율이 초점이 되고 있다^{1~5)}.

이들 결과로서 현재의 혼련방법이 벤토나이트의 잠재점결력을 충분히 활용하고 있는지의 여부에 대한 의문이 제기되고 있고 또다른 문제는 누적혼련의 결과를 볼 때 현재의 시험방법이 훨씬 낮은 강도를 나타내므로 벤토나이트의 점결성에 대한 평가법을 어떻게 엄격하게 재검토하여야 할 것인가 하는 것이다. 점토 점결 주물사의 혼련기구와 사처리에서 이용되는 여러가지 시험기구에 대한 보다 많은 정보가 얻어질 수 있는지의 여부도 의문이다.

여러가지 의문들이 혼련기의 형식, 혼련방법 및 주물사 조성의 영향을 철저히 연구하기 위한 동기를 제공하고 있다.

3. 문헌검토

H. G. Levink는 15종의 순환기본주물사에 대한 실험에서 압축강도로 표시되는 유효점결력을 결정하는데 도움을 얻었다⁶⁾. 그는 수분함량의 영향을 배제하기 위하여 주물사는 동일한 수분 정도, 즉 수분이 겨우 물리적으로 결합할 수 있는 정도에서 평가하였으며, 이 조건은 주물사의 체가름 밀도가 0.8kg/dm³이거나 또는 충전성이 4.5%일 때 얻을 수 있었다. 이러한 정도의 수분일 때 측정된 강도를 점토함량으로 나누어 배합사에 있는 벤토나이트의 비례점결력의 정도를 얻었다. 이때 벤토나이트함량(건조상태)은 메틸렌블루값(활성점토시험치)으로부터 계산되었다.

언급된 주물사의 형태에서 유효비례생형압축강도(유효압축강도라 한다)는 벤토나이트에 대하여 2.0~2.7N/cm² 범위에서 변하고 실험용 혼련기에서의 5분간의 추가혼련은 평균 2.8N/cm²/Na⁺까지 강도가 증가되었으며, 여러가지 기계형식 사이의 차이는 매우 근소하였음을 보여주고 있다. 신사와 서부벤토나이트가 사용되는 누적혼련에서 얻어진 강도로부터 계산되는 비례 압축강도는 대략 4N/cm²에 이른다⁴⁾. 이것은 최소한의 비례 압축강도가 4N/cm²/% 벤토나이트인 것을 암시하며, 이 값을 가능합축강도라 칭하였다. 순환사에서 측정된 유효압축강도를 면밀하게 검토하였을 때 강도가 가능치의 50~65%에 이르나, 실험용 혼련기에서의 추가적인 혼련에서도 가능치의 70% 이상으로 강도를 향상시키지는 못하였다. 가능강도치로부터의 오차범위가 어느 범위까지 순환사의 불충분한 혼련과 어떤 다른 요인에 기인하는 것인지를 확인하는 것이 중요하다고 한다.

벤토나이트의 결합력을 평가하기 위해서는 5~10분의 단일 혼합처리를 사용하는 것이 관례이며, 그 때 얻어지는 유효생형압축강도는 대략 2~2.5N/cm²이고, 이 값은 벤토나이트의 가능압축강도보다 상당히 낮다고 한다. 이러한 벤토나이트시험의 결과를 해석하는 방법이 문제이다.

누적혼련의 특징은 몇개의 사이클로 이루어져 있다. 각각의 사이클은 비교적 높은 수분함량으로 시작하며 느슨하고 부서지기 쉬운 정도까지 건조될 때 끝난다. 매우 강력한 혼합이 가능한 혼합기는 수분증발을 촉진시킬 필요가 있다. 강도가 최대치에 이르면 혼련은 불연속이 된다. 이

것은 30분에서 60분까지의 전체 혼합시간을 갖는 몇개의 사이클을 필요로 한다. 일정 수분함량일 때 한가지 사이클에서의 혼련시간이 길어지면 결국 유효압축강도는 더욱 낮아진다⁷⁾. 그러나 다른 형태의 혼련기와 주물사를 사용할 때 비교검토를 위한 완전한 기초를 얻을 수 없는 것을 주목해야 한다. 두가지 혼합방법은 이러한 관점에서 믿을만한 결과를 얻기위하여 동일한 주물사와 동일한 형태의 혼합기를 사용하여 비교하여야 한다.

Levink의 확인실험에 대한 또다른 실험을 행하고 이들 조건을 표 1에서 보여주었다. 일련번호 1, 2는 혼합기 형태와 처리순서를 연구하기 위한 비교시험이다. 혼합은 일정한 수분함량에서 행하고, 수분의 손실은 연속적으로 보상하였다. 실험 일련번호 3~7에서는 수평바퀴가 장치된 고속도 혼련기를 사용하여 누적적 혼련법을 이어 행하였고, 혼합물이 상당히 빨리 건조되기 때문에 순환시간을 짧게 하였다. 일련의 실험에서 벤토나이트, 기본주물사 및 배소 벤토나이트 첨가에 대한 누적혼련의 영향을 검토하였다. 최종의 실험은 순환사에 존재하는 벤토나이트의 최대 가능한 유효강도를 결정하는데 사용하였다.

혼련처리결과는 혼련시간의 함수로서의 발현생형압축강도를 참고하여 평가하였다. 강도변화를 나타내는 도표에서의 곡선번호는 표 1의 실험번호에 해당된다. 생형압축강도는 일률적으로 0.8kg/dm³의 체가름(충전성 45%)에 관계된다. 이것은 강도치가 동일한 수분함량 정도에서 얻어진다는 것을 의미하며 이 값을 결정하기 위하여, 배합사가 건조되어 밀도가 0.8kg/dm³에 이를 때 2회 측정하였다.

정확한 강도는 0.8kg/dm³의 체가름 밀도에 대한 외삽법 또는 내삽법에 의하여 얻어지고 일정한 수분함량에서 혼련하는 동안, 시료는 혼련기로부터 취하여 대기에서 건조상태 주물사의 벤토나이트 함량인 5.4%로 나눔으로써 얻어지며 벤토나이트의 수분함량은 10%이다.

실제적 관점에서 약 1시간인 총 혼합시간은 다소 길게 보이나, 순환사에서 혼합은 누적적이라는 사실을 감안하여야 한다. 계속 순환하는 주물사는 혼합기를 여러번 통과하며 짧은 혼련시간이 가중될 때 대부분의 주물사에 대하여 1시간 이상 지속되는 혼련을 받는 것이 된다.

표 1.

실험일련번호	혼합물 번호	혼합기의 형태	장입량 (kg)	기 초 사	벤토나이트 형태 (5.4%)	침가 와이오밍 벤토나이트 3%	혼 합 방 법
1	1	수평바퀴를 가진 혼련기	15	규사 서유립 3층사	Na+와이오밍	-	일정 수분함량(2.2±0.1%) 순서 : 수분-벤토나이트
	2	수직바퀴를 가진 혼련기	4	"	"	-	
	3	회전팔 혼합기(그림 3)	3	"	"	-	
	4	원형혼합기 140r/min(그림 4)	2	"	"	-	
	4a	원형혼합기 590r/min	2	"	"	-	
2	1'	같은 혼합물 1	15	"	"	-	일정 수분함량(2.2±0.1%) 순서 : 수분-벤토나이트 혼합시간 10분
	2'	같은 혼합물 2	4	"	"	-	
	3'	같은 혼합물 3	3	"	"	-	
	4'	같은 혼합물 4	2	"	"	-	
	4a'	같은 혼합물 4a	2	"	"	-	
3	1	수평바퀴를 가진 혼합기(그림 1)	15	"	"	-	일정 수분함량(2.2±0.1%) 반복혼련 순서 : 수분-벤토나이트
	5	"	15	"	"	-	
4	5	"	15	서유립 3층사	Na+와이오밍	-	반복혼련 순서 : 수분-벤토나이트
	6	"			Na+바바리언 Na+미시시퍼	-	
5	5	"	15	서유립 3층사	Na+와이오밍	-	"
	8	"		매사 I		-	
	9	"		해사 II		-	
	10	"		간사		-	
6	5	"		서유립 3층사	Na+와이오밍	-	"
	11	"	15	"	Na+와이오밍	Calcined 650°C	
	12	"		"		at 700°C	
	13	"		"		750°C	
7	14	"	15	단일 주물사 I	"	-	"
	15	"		단일 주물사 II			
	16	"		단일 주물사 III			

4. 혼련기

이 연구는 4가지 다른 실험실 혼합기에 대한 것이다.

- 1) 수직바퀴를 가진 고속혼련기(그림 1)
- 2) 수직바퀴를 가진 실험실용 혼련기(그림 2)
- 3) 주물사가 휘어진 팔과 외벽 사이의 좁은 부분으로 강제로 밀려들어가는 회전팔 혼련기 (rotating arm mixer)(그림 3) : 좁은 간격을 통과하여 흐르는 한쪽 팔 끝에서는 비교적 큰 변형

력이 발생한다.

- 4) 원형 혼합기(그림 4) : 이는 3종류의 속력을 낼 수 있으며, 시험은 최저 140, 최고 590rpm에서 행하였다.

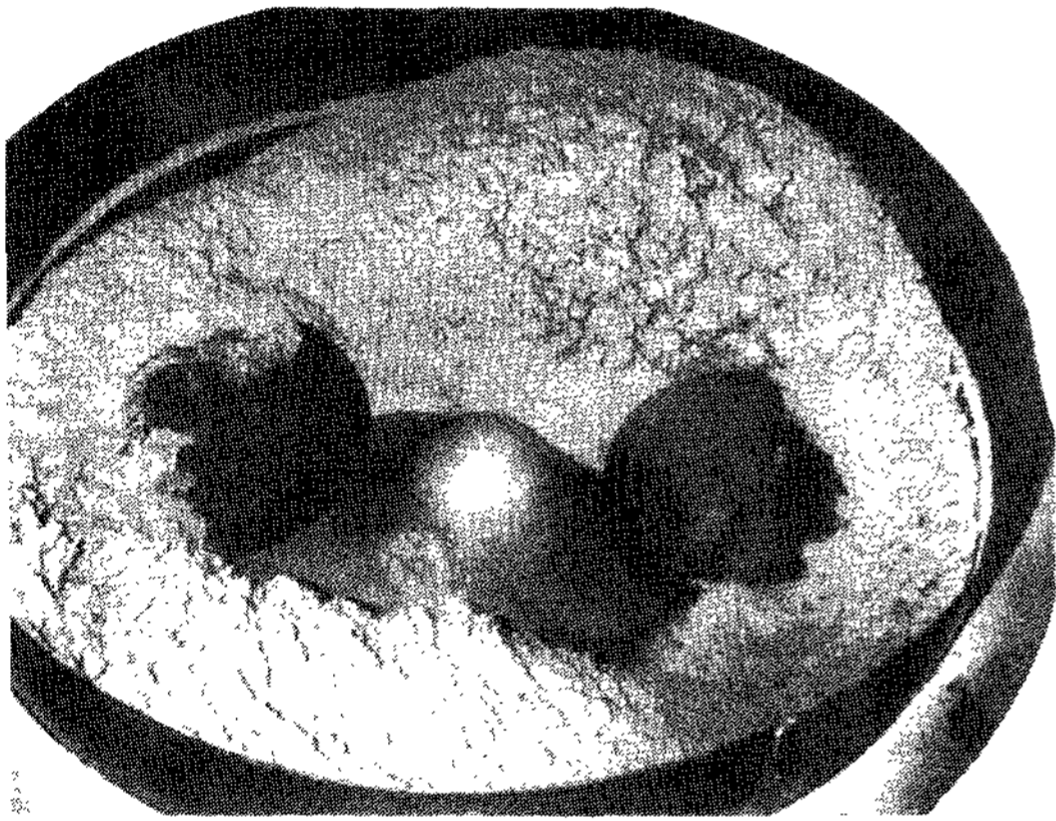


그림 1. 수평바퀴를 가진 고속도 실험실 혼련기 (최대 장입량 18kg).

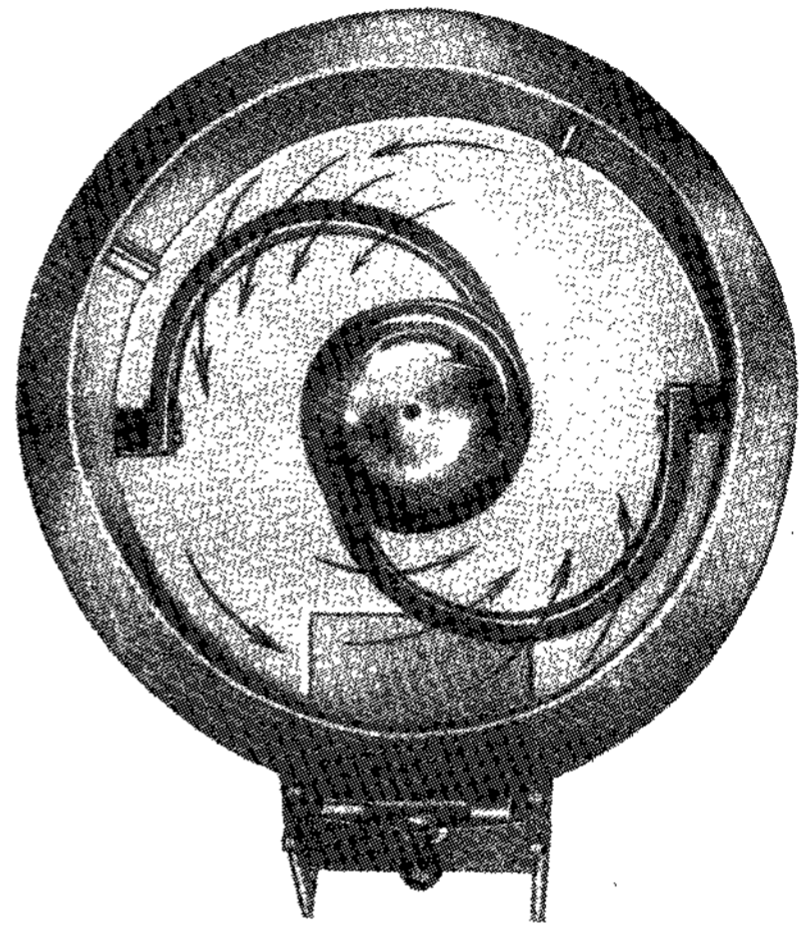


그림 3. 실험실용 회전팔 혼합기(최대 작업량 3kg).

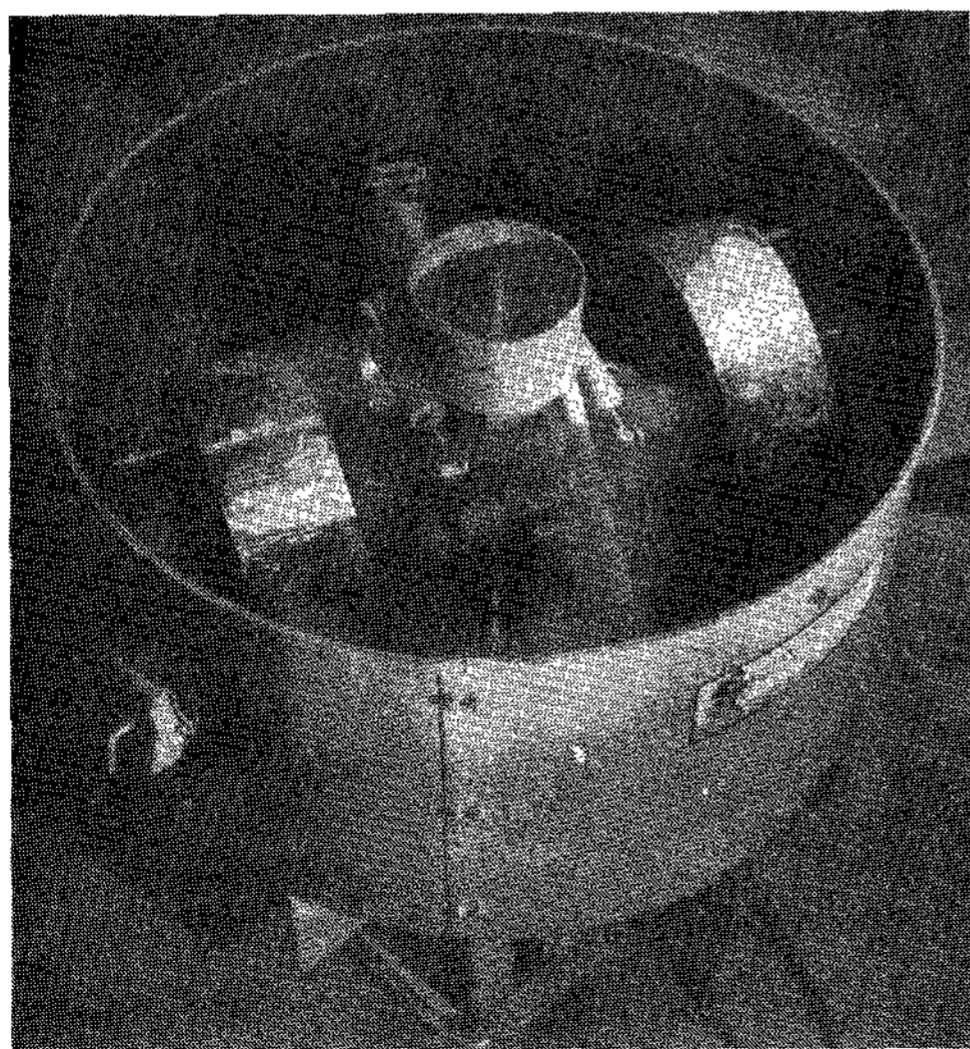


그림 2. 수직바퀴를 가진 실험실 혼련기 (최대 장입량 6kg).

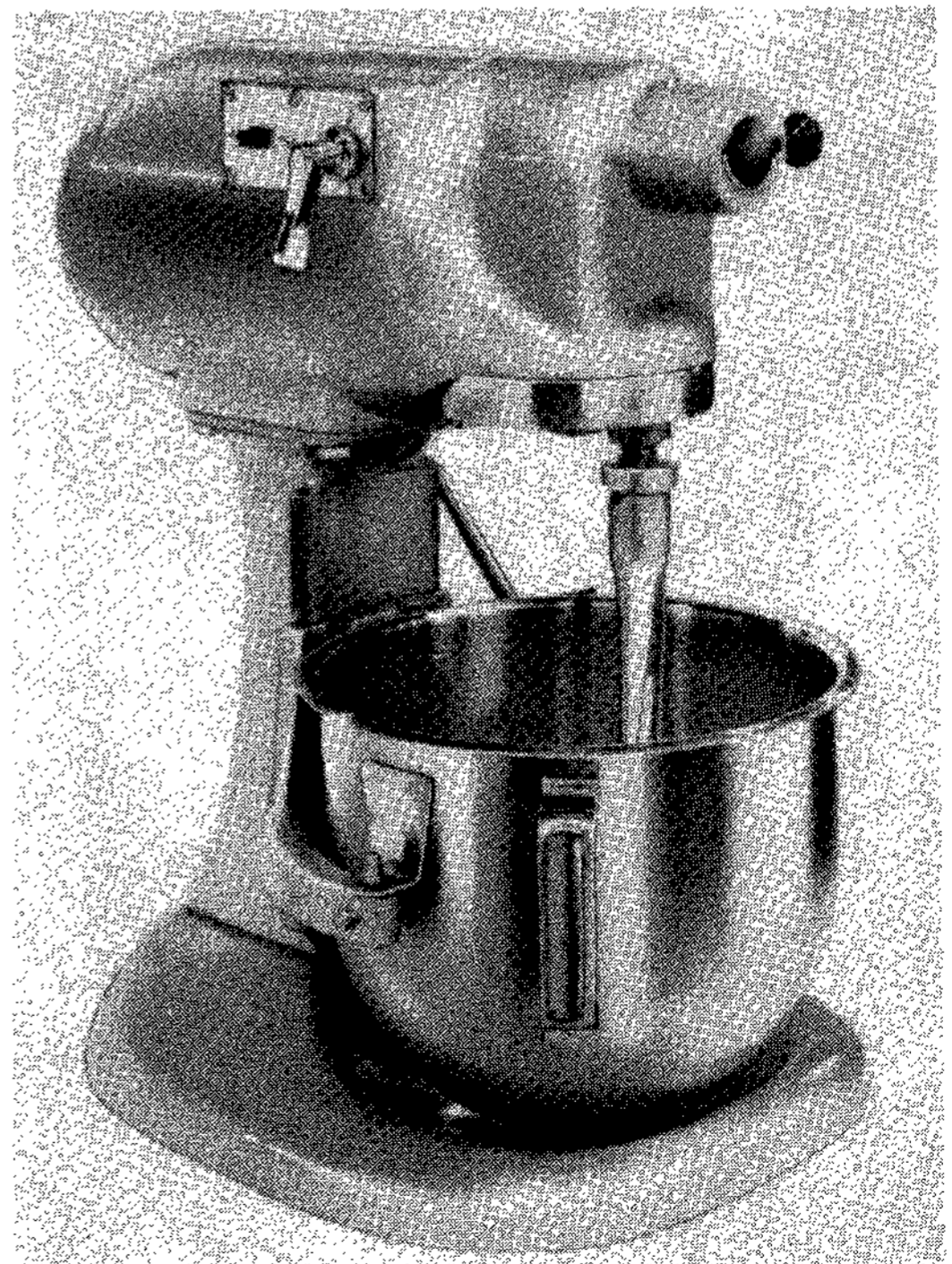


그림 4. 실험실용 원형 혼합기(최대 장입량 2kg).

그 결과는 그림 5에서 보여준다. 기대할 수 있는 바와 같이 저속으로 회전하는 원형 혼합기에서 얻어진 결과는 매우 적절하였다(곡선 4). 강도는 서서히 향상되며 다른 혼합기에서 얻어진 것보다 상당히 느리게 최대값을 향하여 이동하는 것처럼 보인다. 고속혼련일 때 원형 혼합기는 매우 양호한 강도향상(곡선 4a)을 일으키며, 이는 주물사에 작용하는 상당량의 가속력에 기인한다. 이런 힘들은 분명하게 점토입자를 분산시킬 수 있는 한편 사립을 강하게 문지르면서 점토가 주물사에 접촉되도록 하여 준다.

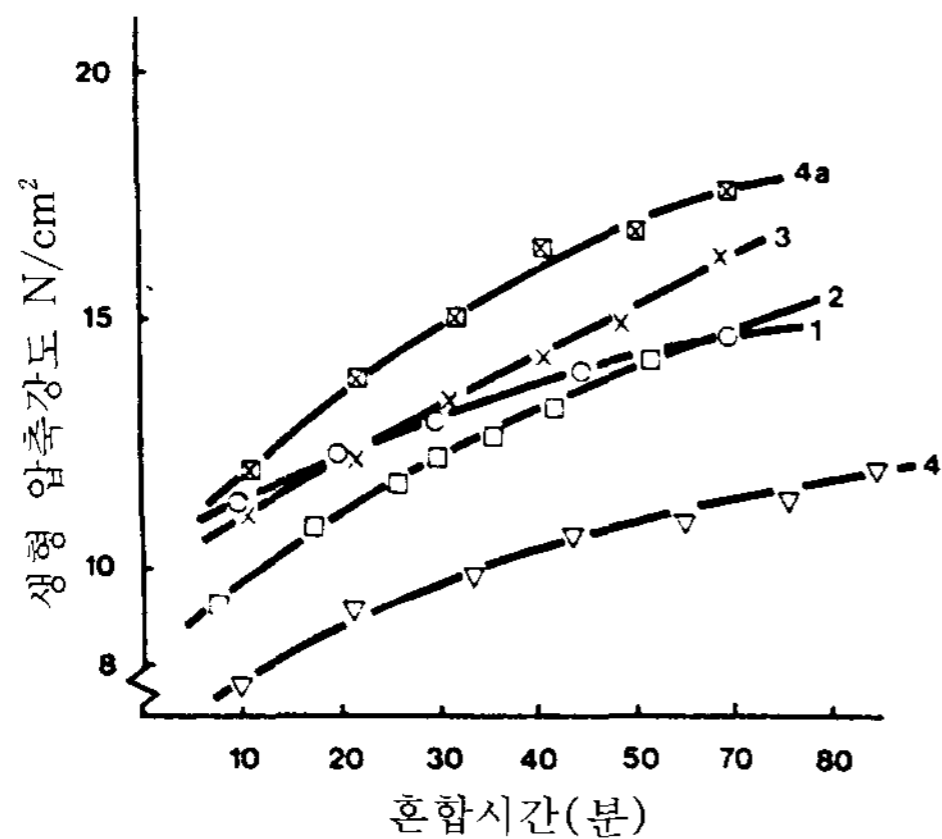


그림 5. 일정 수분함량에서 강도향상(2.2±0.1%).

- 1) 고속도 실험실 혼련기(그림 1)
- 2) 실험실용 혼련기(그림 2)
- 3) 회전팔 혼합기(그림 3)
- 4) 원형 혼합기 140r/min(그림 4)
- 4a) 원형 혼합기 590r/min(그림 4)

고속혼련기는 특히 초기(곡선 1)에 비교적 높은 속도로 강도를 발현시키나, 회전팔혼합기도 또한 상당히 고속이며 잔여의 혼련시간 중에 지속적으로 강도를 발현시킨다는 것에 주목해야 한다(곡선 3). 이 기계에 의하여 향상되는 반죽효과는 벤토나이트를 함유하는 배합사에 충분한 것으로 보인다. 저속 혼합혼련기의 특징은 초기에 상당히 낮은 강도를 발현시킨다는 것이다(곡선 2).

요약하면 결론적으로 점토로 점결된 주물사는 다양한 혼합원리에 따라 처리될 수 있다. 강도를 발현시키는 속도는 주물사에 도입되는 에너지의 양의 문제이다. 저속으로 회전하는 기계에서 보다 이 에너지가 낮다면 강도발현도 마찬가지로

느릴 것이다. 배합물에 가해지는 혼합력이 저속 원형혼합기에서와 같이 아주 낮다면, 점결력은 혼련을 길게 하더라도 최대치까지 발현되지는 못한다.

5. 처리순서

문헌조사에서 수분이 먼저 첨가되고, 벤토나이트를 그 다음 첨가할 때 강도가 더 빠르게 발전된다는 것을 보여주었다^{3,8,9}. 이것을 규명하기 위하여 수분을 첨가하기 전에 벤토나이트를 첨가하는 일련의 실험에서 여러가지 혼련기가 시험되었다. 10분 혼련 후의 결과를 수분이 먼저 첨가된 일련번호 1의 실험결과와 비교하였다. 그림 6에 의하면 처리순서의 영향은 사용된 혼합기의 종류에 의존한다. 수직바퀴를 가진 혼련 혼합기를 제외하고 실험에 사용된 모든 혼합기는 벤토나이트를 수분에 앞서 첨가할 때 강도발현이 더욱 느리게 일어나는 것을 보여준다.

이것은 저속원형혼합기에서 매우 현저하며 강도는 매우 어렵게 발현되기 시작한다. 벤토나이트는 덩어리를 형성하려는 경향이 강하다. 저속으로 회전하는 수직바퀴형 혼련기와 원형혼합기가 처리순서에 대한 민감도가 가장 적으며 대체적으로 혼련중에 보다 큰 힘이 주물사에 가해질 때 처리순서는 별로 중요하지 않다고 할 수 있

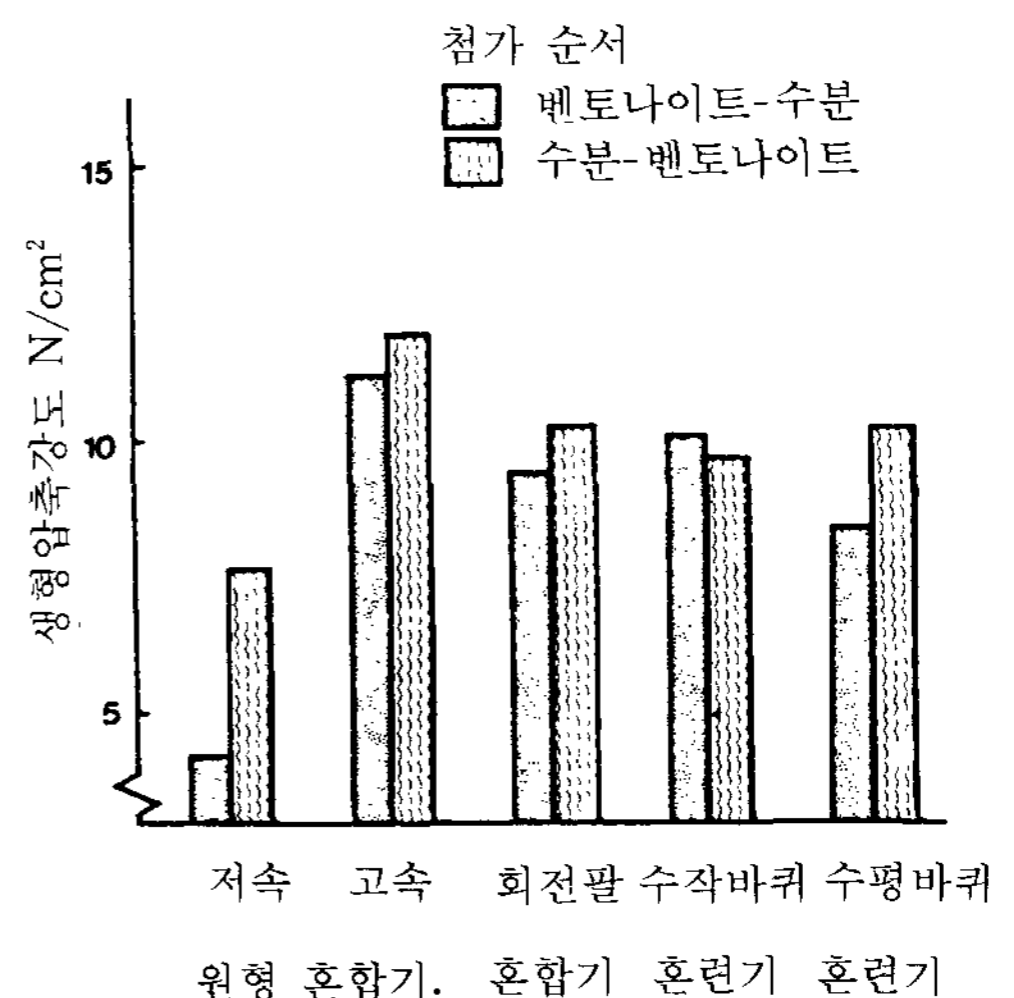


그림 6. 10분 혼련시간에 처리순서의 생형강도에 대한 영향

다. 물리압력이 더욱 높거나 신속하게 회전하는 혼합장치에서 그와 같은 힘이 일어난다.

6. 누적혼련

누적혼합시험에서 각각의 혼합주기는 0.5~0.6 kg/dm³의 체가름 밀도에서 시작하여 1.2kg/dm³에서 끝난다. 관계문헌⁴⁾에 기술된 결과를 재현하기 위한 시도를 동일한 혼합기를 이용하여 행하고, 그림 7에 보여준다. 60분간의 누적혼련에서 얻어진 강도(곡선 5)는 일정수분 함량에서 연속 혼합으로 동일한 시간동안 처리한 것(곡선 1)보다 훨씬 높다. 6회의 순환을 통하여 약 1시간 처리한 후에도 일차시도에서는 문헌에 열거된 연구자들이 얻었던 강도를 얻는데 실패하였다.

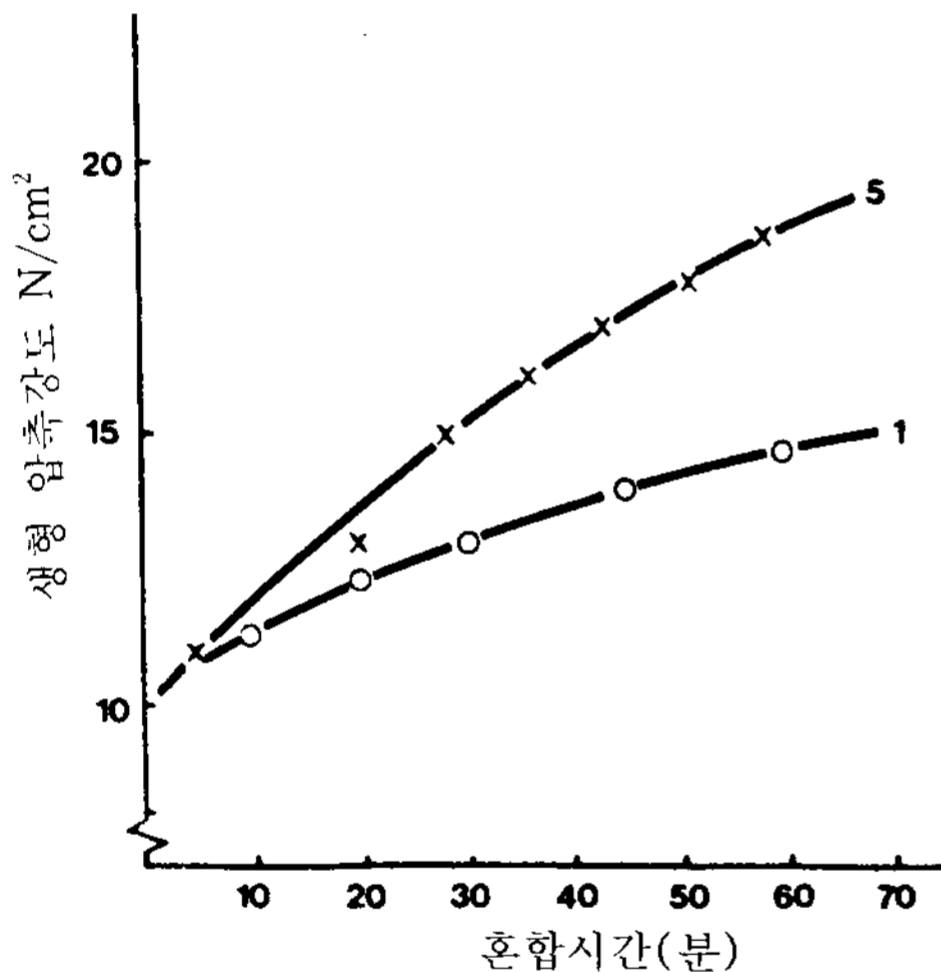


그림 7. 반복혼련이 강도향상에 미치는 영향.
1) 일정 수분함량 (2.2±0.1%)의 혼련기
5) 반복적 혼련기

계산된 압축강도는 3.4N/cm²/%이었으나, 참고문헌 4에 언급된 연구에서는 4N/cm²/%의 유효압축강도를 얻었다. 분명한 차이는 주로 기본 주물사가 다르기 때문이며, 기본 주물사의 영향을 논의할 때 자세히 설명하기로 한다.

7. 점 토

3가지 형태의 점토에 대하여 여러가지 조사를 행하고 그 결과를 그림 8에 보여준다. 이 연구에

서 조사된 벤토나이트 형태의 최종강도는 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다. Ca-벤토나이트와 활성 벤토나이트에 대한 단시간 혼련에서 강도형상은 와이오밍 벤토나이트를 사용할 때보다 현저하게 낮다.

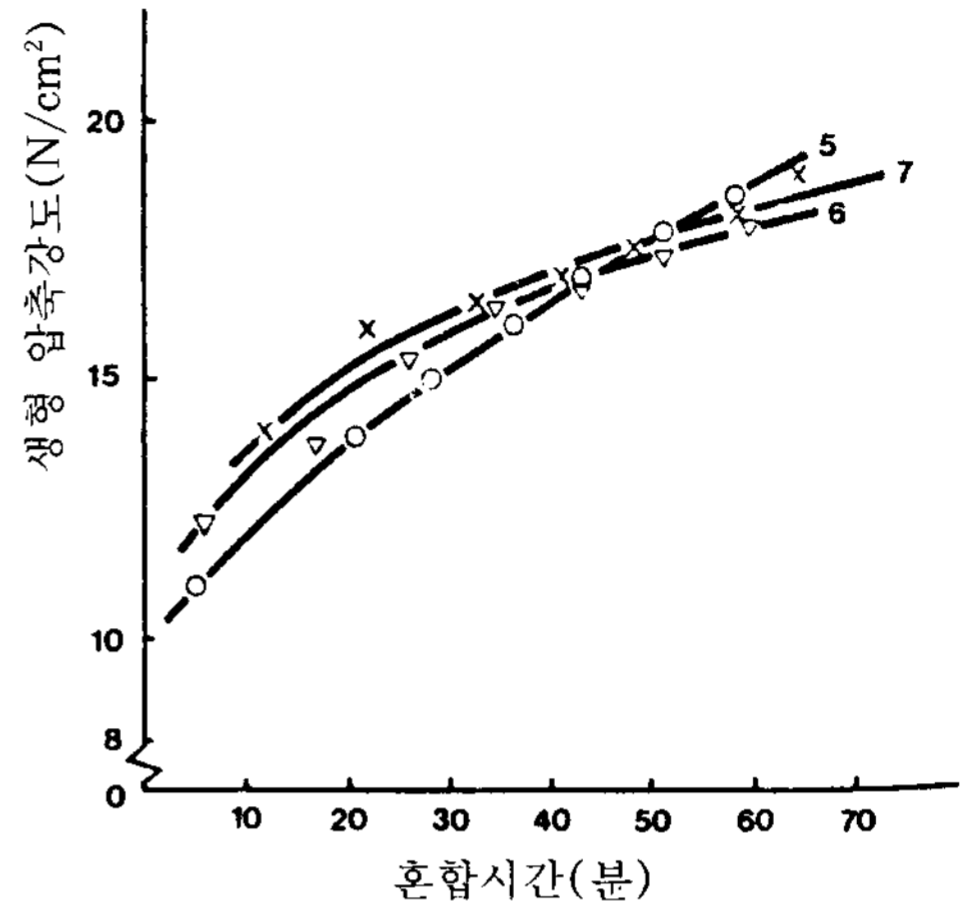


그림 8. 반복 혼련시 벤토나이트 형태의 강도증가에 대한 영향.
5) 와이오밍 벤토나이트
6) 활성적 마와리언 벤토나이트
7) Cott 벤토나이트 (미시시피)

8. 기본 주물사

다른 4종류의 규사를 비교하였다. 그 결과 그림 9는 해사 I (곡선 9)을 사용할 때 생형강도의 발현이 3기층 규사(곡선 5)보다 훨씬 빠른 것을 보여주며, 이 외에 해사가 더욱 높은 최종 강도에 이른다. 이 때 유효 압축강도는 약 4.2N/cm²/벤토나이트%이며 이러한 강도는 앞에서 언급한 연구에서 밝혀진 것과 거의 일치한다^{3,4)}. 해사 I (곡선 8)과 하천사(곡선 10)의 혼합물에서 강도는 해사 II (곡선 9)를 사용할 경우보다 다소 느리게 향상되며 현저한 양상은 3기층의 규사(곡선 5)에서 비교적 강도가 느리게 향상한다는 것이다.

그 이유는 주물사의 표면이 매끄럽고 비활성이어서 점토가 거의 접촉되지 못하기 때문이다. 대조적으로, 해사는 불활성도가 더욱 낮은 표면을 가지며, 그 표면 벤토나이트와 주물사 입자간의 접촉을 촉진하는 더욱 많은 점결요소(OH기)를

가지고 있는 것으로 보이며, 이러한 가정은 OH기가 처리 중에 분해되는 주물사의 일차 배소처리시험에서 증명되었다¹⁰⁾. 이러한 형태의 주물사는 매우 낮은 강도를 가져오고 입자크기는 생형 강도에 그다지 큰 영향을 미치지 않으며, 이것은 다른 연구결과와도 일치한다.

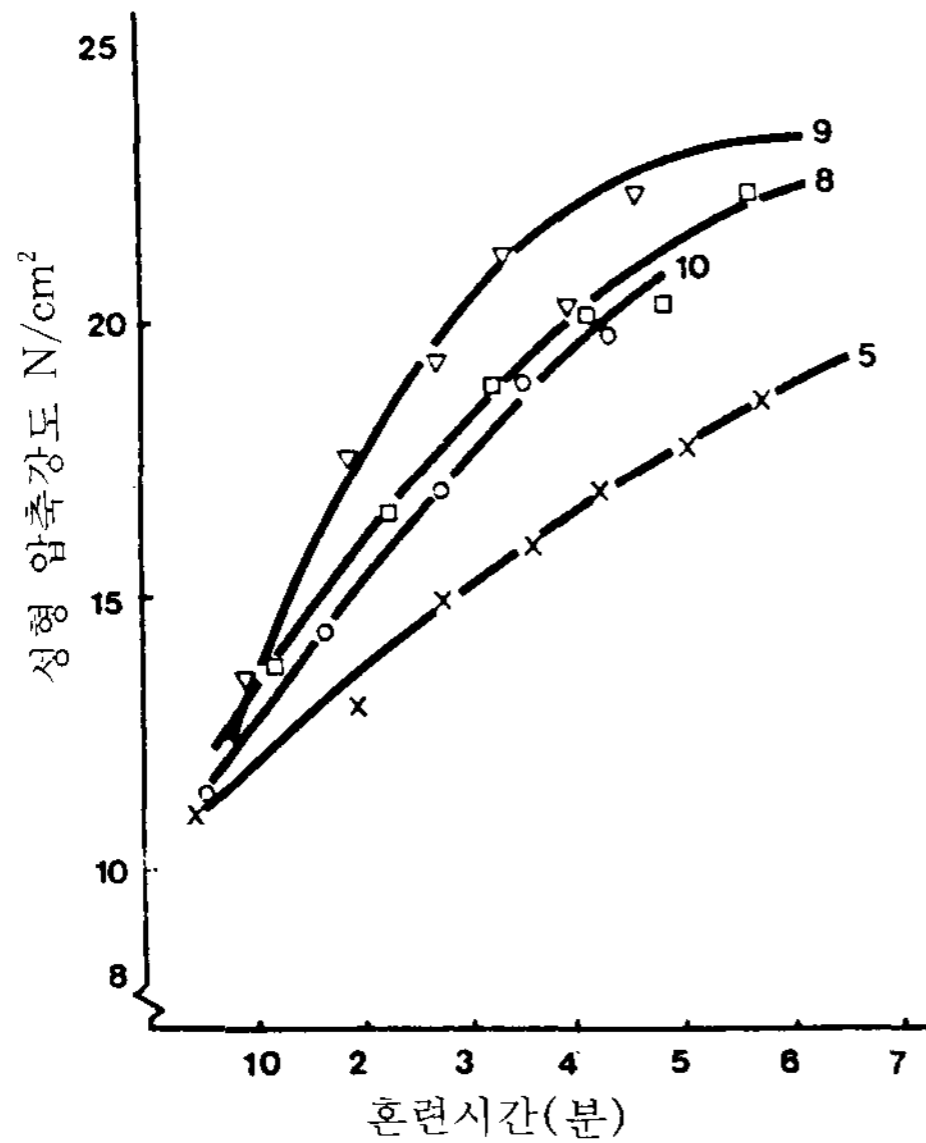


그림 9. 반복혼련시 기초사가 강도향상에 미치는 영향.

- 5) 서유럽 3층의 규사(AFSGFN 55)
- 8) 네델란드 해사 I (AFSGFN 93)
- 9) 네델란드 해사 II (AFSGFN 51)
- 10) 네델란드 강사(AFSGFN 40)

9. 접착 및 분산촉진제

어떤 연구진은 기본사를 OH기로 처리하여 강도가 증가하는 것을 알았다. 그러나, silane으로 처리하였을 경우 강도는 심하게 감소되었다. 접착이 감소하여 접착결합이 가장 약한 연결로 변하면 강도는 감소하기 시작한다는 것은 명백하다.

그러나 여러가지 주물사에 대한 실험에서 강도의 향상은 결합력의 개선에 의하여 역시 촉진된다는 것을 보여준다. 용이하게 분산되는 점토는 점토알맹이의 응집력이 더욱 적기 때문에 사립을 더욱 신속하게 감싸는 경향이 있다는 것을 알게 되었다. 벤토나이트는 과도한 수분일 때 더욱 용이하게 분리되며 그것에 의해 신속한 강도발현을

보여주는 Ca-벤토나이트가 하나의 실례이다. 접착과 분산을 촉진하는 물질들은 강도발현을 가속시키는 것 같으나 이 두 요소 중 어느 것이 실제로 바람직한 효과를 갖고 있는가를 결정하기는 거의 불가능하다.

10. 배소점토

새로운 재료로 만들어진 주형배합사는 실제로 거의 쓰이지 않는다. 일반적인 방법은 주물사가 순환되고 석탄분과 같은 첨가제와 점토(배소점토)의 분해생성물이 축적되는 순환사를 사용하는 것이다. 강도발현에 미치는 여러가지 첨가물의 영향을 아는 것이 유용하다. 배소점토의 영향을 확인하기 위하여 3%의 배소 와이오밍 벤토나이트를 새로운 재료로 만들어진 배합사에 첨가하여 시험하였으며 배소처리시 여러가지 온도를 적용하여 두시간 처리하였다.

그림 10에서 보여주는 바와 같이 배소온도가 낮을수록 배소점토(곡선 11~13)는 강도발현을

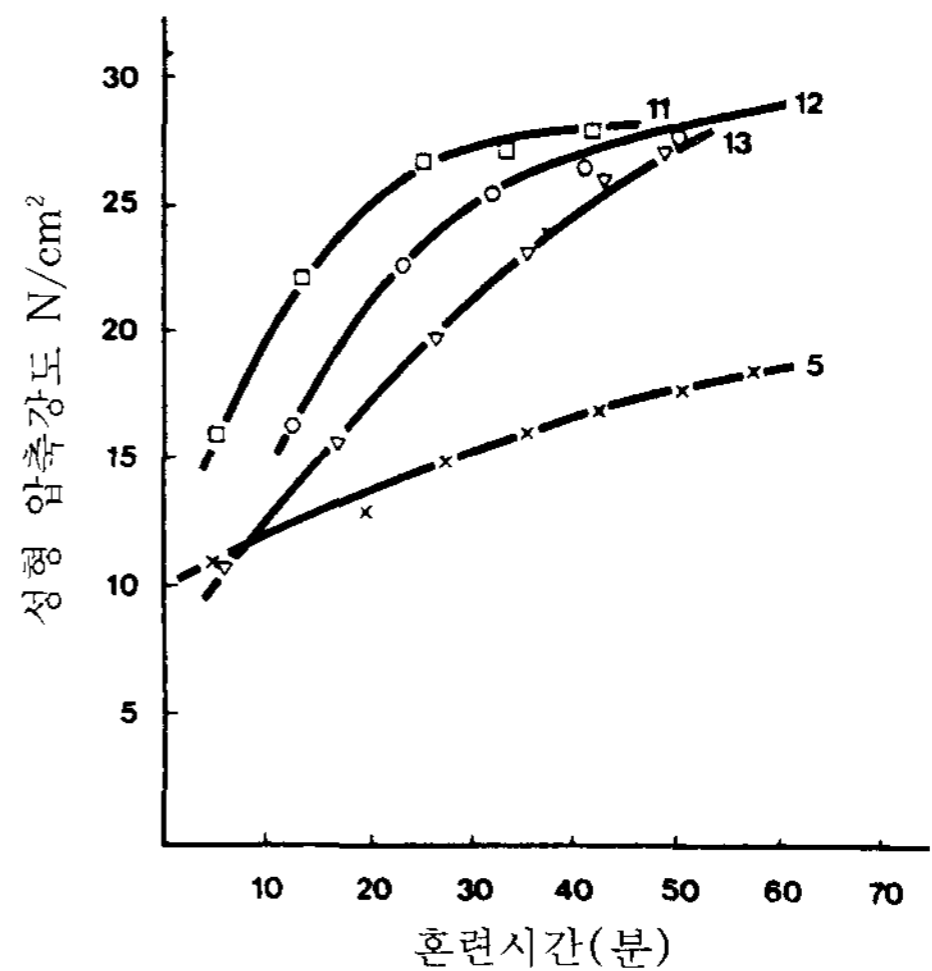


그림 10. 반복 혼련시 배소 벤토나이트(와이노밍)가 강도향상에 미치는 영향.

- 5) 5.4% 벤토나이트의 규사
- 11) 650°C(1202F)에서 열처리된 3% 벤토나이트의 5혼합물
- 12) 700°C(1302F)에서 열처리된 3% 벤토나이트의 5혼합물
- 13) 750°C(1292F)에서 열처리된 3% 벤토나이트의 5혼합물

현저하게 가속시킨다. 최종강도도 역시 증가하며, 거의 5N/cm²/% 벤토나이트에 이른다. 이것은 각 벤토나이트 %에 대해 약 1N/cm²까지 증가하는 것을 의미하며, 이러한 강도증가는 불에 탄 점토에 의하여 가교결합이 확대되기 때문인 것으로 추측된다. 그러나 가속화된 강도향상은 보다 빠른 접착 결합과정 또는 보다 나은 벤토나이트의 분산 중 어느 하나에 기인한다는 것은 의심할 여지가 없다.

11. 순환사

누적 혼련처리된 3종의 규사에 대한 강도증가를 그림 11에 볼 수 있다. 이들 누적혼련방법을 통해 얻은 강도는 3가지 주물사에서 각기 다르지만, 평균적으로 적절하다는 것을 이들 곡선은 보여준다. 누적혼련 후의 평균유효압축강도는 단지 3.2N/cm²/%이었으며, 이 값은 이들 순환사에서 쓰인 벤토나이트의 가능압축강도인 약 4N/cm²/%보다 훨씬 낮다.

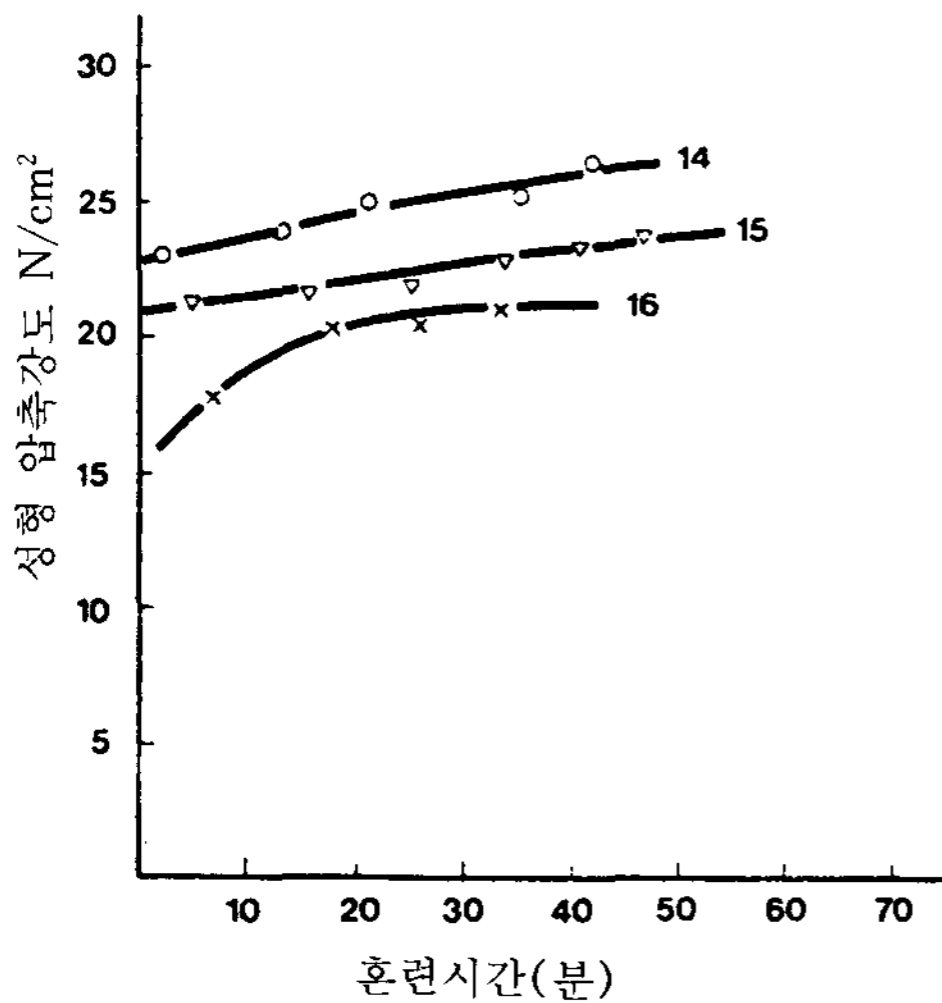


그림 11. 3가지 다른 주형 단위에서의 단일 주물사의 반복혼련에 대한 강도 향상.

12. 기타 특성

비록 생형압축강도는 주물사 배합물의 접착력의 기준으로 종종 이용되지만 이것은 결코 주물사의 주조공정에 중요한 성질의 변화에 적용될 수 있는 표준은 아니다. 이들 특성을 연구하기

위하여 실제조건을 모방하며 주물사의 거동에 실제로 직접 관계되는 측정인자들을 가져올 수 있는 시험방법이 개발되었다¹⁴⁾.

주형에 관한한 주된 면은 유동성 즉, 제한된 공간을 갖는 주형의 여러 부분을 주형사가 용이하게 충전되는 특성과 주형이 모형에서 분리될 때 주형의 파괴저항성에 관계되는 허용경사각이다. 주조공정에 관한 사항으로는 열터짐(scab) 형성과 침식에 대한 감수성을 측정하였다.

혼련을 길게 할 때 현저하게 증가하는 압축강도와 대조하여 보면, 15분의 혼련이 경과한 후 위에 언급한 유동성 열터짐성 및 침식성이 거의 변화하지 않는 것을 그림 12에서 알 수 있다. 다양한 주물사로 행한 실험에서 접착결합의 발달은 강도가 증가하는 비율과 도달되는 최대강도에 대하여 중요한 역할을 한다는 것을 볼 수 있다(그림 9).

실험결과에서 접착결합력은 기타의 특성을 위하여 더더욱 필요한 최대압축강도를 보장하기 위하여 더욱 증가하여야 한다는 것을 알 수 있다. 그림 12에서 응집결합은 아마도 가장 약한 연결을 하는 것으로 보이며 응집결합은 단시간의 혼련시간이 경과한 후 이미 최대치에 이르고, 이때 측정된 경사각과 고온특성은 적정치에 역시 이르는 것으로 추정된다.

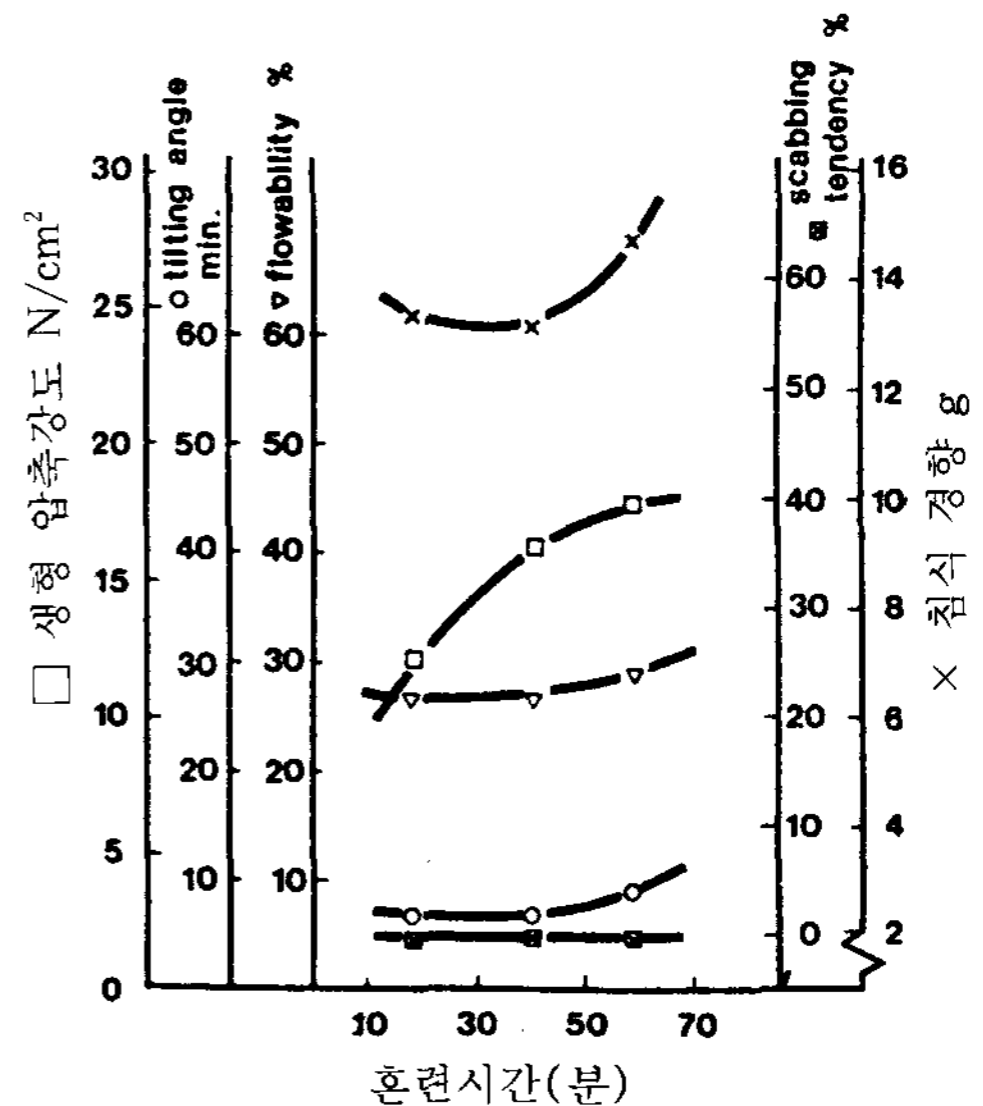


그림 12. 5.4% 벤토나이트 규사의 여러가지 성질에 반복 혼련이 미치는 영향.

13. 결과검토

13.1 혼련기구

시험중에 관찰된 여러가지 영향은 혼련기구에 대하여 아래와 같은 가설을 얻게한다. 즉 사립에 일정한 두께의 층으로 점토를 도포하기 위하여 점토는 분산되고, 작은 점토입자가 사립에 부착되어야 한다. 점토 알맹이와 사립이 혼련작업 중의 압력하에 함께 비벼질 때 벤토나이트 알맹이는 부서져 사라지고 점토가 사립에 도포된다. 이러한 효과는 사립과의 접촉을 증가시키고 점토알맹이의 응집을 감소시킴으로써 촉진된다. 이러한 기구에 기초하여 강도증가에 미치는 여러가지 인자의 영향을 용이하게 설명할 수 있다.

수분첨가 전에 점토가 첨가되면, 주물사는 즉각 수분을 흡수하고 팽창하며 덩어리가 되나, 강한 마찰은 점토알맹이를 분리시킬 수 있다. 상당한 양의 이겨주는 힘이나 충격력을 가지는 혼련공정에서 처리순서는 별로 영향을 미치지 못한다. 주물사가 우선적으로 습윤되면 점토는 사립에 부착될 때까지 팽윤하지 않고, 알맹이 형성은 억제되며 이 경우 혼련력은 아주 강할 필요가 없다.

Ca벤토나이트는 팽윤하지 않으며, 수분이 과다할 때 응집을 거의 보여주지 않으므로 점토 알맹이는 더욱 용이하게 분리된다. 활성화는 팽윤을 증가시키는 경향이 있다. 즉 더욱 높은 수분에서의 응집력은 증가하며, 강도는 더욱 느리게 향상한다. 와이오밍 벤토나이트는 가장 강한 팽윤경향과 가장 느린 강도향상을 보여준다¹⁵⁾. 누적혼합의 유리한 점은 수분함량이 감소되는 일정기간 동안에 알맹이를 더욱 효과적으로 분리시키는데 있으며 이외에 알맹이는 취성이 있게 되고 더욱 용이하게 파괴되며 높은 수분함량에서의 혼련은 사립에 대한 접촉을 증가시킨다. 어떤 물질들은 사립표면을 활성화시키며 접착력을 개선시킬 수 있다. 말하자면, 어떤 물질들은 벤토나이트와 사립사이에 가교를 형성한다.

순환사에 배소벤토나이트 같은 물질들은 점토 알맹이의 응집력을 더욱 감소시키며 순환사에 배소점토가 존재하면 혼련효과를 크게 증가시킬 수 있다. 주물사가 여러번 혼련기를 통과할 때 누적혼련효과가 일어나므로 각회의 처리주기에 대한 혼련시간을 비교적 짧게 하여도 충분하다. 혼련

시간의 상당부분은 점토를 분산시키고, 점토를 재활성화하기 위하여 필요하다. 오직 혼련시간의 작은 부분만이 새로 첨가된 점토를 분산시키고 신사입자를 감싸기 위하여 이용된다.

13.2 벤토나이트의 유효 점결력

5~10분의 혼련시간에서의 생형압축강도를 벤토나이트의 점결력을 평가하는데 있어 일반적으로 하나의 표준으로 삼는다. 만약 혼련시간이 짧다면 특수한 주물사는 결과에 큰 영향을 미친다. 결과의 비교를 신뢰성있게 하기 위하여 사용하는 주물사의 종류는 표준화되어야 한다.

이와같이 단시간의 혼련으로 얻어진 압축강도는 때로는 누적혼합으로 얻어진 가능치의 절반 이하일 수도 있다. 측정된 인자는 잠재점결력에 대한 어떤 정보를 주기보다는 오히려 어떤 벤토나이트의 강도발현을 지시하며 용이하게 분산될 수 있는 벤토나이트는 편리하게 평가된다. 다수의 연구결과가 보여주는 바와 같이 더욱 신속하게 적정조건에 도달하며, 5~10분의 단시간 혼련 후의 잠재점결력이 이런 면에서 더욱 더 충분하게 발현되지는 못하지만, 응집력이 지배하는 기타 특성에 관하여 이 기준을 꼭 같이 적용할 수는 없다.

점토의 점결력은 실제로 사용된 주물사 혼합물에서 충분히 이용되지 못하고 있으며 주로 새로운 재료로 이루어진 배합사에서 얻을 수 있는 최대압축강도의 40~60%에 이를 뿐이다. 그 결과는 사립의 표면조건과 점토의 분산성에 의하여 물론 다시 영향을 받는다. 순환사로 얻을 수 있는 유효압축강도는 혼련이 누적적이고, 배소점토가 혼련효율을 개선하기 때문에 새로운 재료로 이루어진 배합사보다 약간 높다.

그러나 주조공정에서 점토가 노화되기 때문에 유효압축강도는 반응치의 50~70%를 넘지 않는다. 매우 강력한 혼련은 유효압축강도를 약 80%까지 올릴 수 있지만, 이것은 기술적인 관점에서 합리적이지 못하며 가능 압축강도가 60~70% 되는 혼련강도에서 기타 점결특성이 최적치에 매우 근접하기 때문이다. 더욱 강한 혼련에 의해 얻어지는 결과가 여분의 노력에 결코 비례하지는 않는다. 가능 압축강도의 60~65%에 이르면 혼련효과는 충분한 것을 다양한 순환사의 경험에서

볼 수 있다⁶⁾. 이것은 실험실 혼련기에서 주물사를 추가로 혼련함으로써 용이하게 증명할 수 있다⁶⁾. 비레압축강도는 최종강도치의 10~15% 이상으로 증가하지는 않는다.

14. 주물사 혼련기의 주요특징

14.1 혼련기 종류

다수 연구결과에서 충분한 힘이 주물사-점토 배합물에 작용하여 점토 알맹이를 분쇄하고 점토를 사립에 계속 마찰시키는 혼련방법이 점결효과를 높이는데 적합하다는 것을 보여준다. 혼련력은 롤러 기타 연접장치에 의하여 또는 빠르게 회전하는 날개판이나 회전자에 관계되는 충격원리에 의하여 얻어질 수 있다¹⁵⁾.

한편 혼련력은 점토알맹이를 분쇄하고 그들이 점결효과를 가져올 만큼 충분하여야 하나, 다른 한편으로는 비레압력은 혼합되는 재료에 의존한다. 예를 들어 수분이 첨가되어 팽윤된 Na벤토나이트 또는 점토성이 높은 자연사에서 오는 점토 알맹이를 갖는 주물사는 더욱 큰 비레혼련력을 필요로 한다. 이는 건조하고 딱딱한 덩어리를 함유하는 주물사에도 적용된다.

14.2 혼련속도

최적의 혼련력이 적용된다면 단위시간당 혼련력을 받게되는 재료의 양이 혼련속도의 기준이 되며 이 양이 커질수록 힘이 더 많이 필요하다. 처리되는 양은 재료를 혼합, 반죽, 또는 교반하는 장치의 표면적과 그들이 혼합물 내에서 움직이는 속도와 관계된다. 그러나 혼련기 내에서의 재료의 흐름이 혼련장치와 배합물 사이의 연속적이고 강력한 접촉을 보장하는 것이 전제조건이다. 그러므로 쟁기류는 기능을 잘 발휘하고, 배합물의 연속성이 유지되도록 조절되어야 하며, 수분함량이 높고 가소성이 있는 주형사는 건조하여 부서지기 쉬운 재료와는 다르게 조절되어야 한다.

혼련재료에 적용되는 에너지는 계략적으로 모터에 의해서 소모되는 힘 또는 최대 모터하중에서 부과되는 모터힘은 장입 톤당 30~50kW이며, 고속혼련기는 톤당 80~120kW를 필요로 한다. 이 힘은 충분하게 사용되지는 않으며 단속식

혼련기는 장입과 취출중에 그의 작은 부분만을 이용할 뿐이다. 혼련기 중에는 배합물이 가소성을 더욱 갖게 될만큼 수분을 첨가한 후에 더 많은 힘이 소모된다.

고속혼련기의 장점은 고속처리로 장치가 소형화되어 설치공간이 적어진다는 것이나, 장입량이 더욱 적어지면서 사처리의 균일화효과를 감소시키는 결점이 있다. 고속혼련은 혼련중의 수분조절을 더욱 어렵게 만든다.

14.3 혼련능력

순환사가 특성조건을 회복하기 위하여 일회 처리 주기당 필요로 하는 혼련에너지는 열부하, 즉 주조하는 동안의 금속/주형사의 비율에 주로 의존하고 열부하가 높으면 벤토나이트, 수분 및 신사가 더 많이 요구되며 이들 모두는 더욱 강력한 혼련을 요구한다. 혼련기가 배합물에 이용할 수 있는 에너지는 혼련시간과 장입량의 선택에 따라서 어느 범위내에서 변동하지만 그 선택은 특정 혼련기의 능력과 직접 관계된다.

구동 모터의 연속 최대마력에 기초하여 계산된 소요 에너지는 0.5~2.5kW/t 범위이며 금속/주물사의 비율에 따라 다르지만, 단일 주형사에 의하여 1~2kW/t으로 계산하여야 한다. 이면사는 적은 에너지를 요하지만 새로운 재료로부터 주형사를 준비할 때에는 2kW/t 이상 소요된다. 소형의 혼련기는 기계적 손실이 비례적으로 더욱 크기 때문에 더 많이 요구하면 설정된 모터 전력중 50~80%만이 혼련에 효과적으로 이용된다. 나머지는 혼련기의 불충분한 활용이나 성능불량으로 사용되지 못하거나 구동장치의 마찰을 통하여 손실된다.

14.4 연속혼련과 단속혼련

연속혼련기는 주물사의 일정한 흐름이 혼련기를 통과하는 장점이 있으며 장입량이 일정하며 소모되는 전력도 거의 변동하지 않는다. 그래서 설정된 전력량을 더욱 유용하게 이용하며 장입이나 취출 중에 공회전이 없다. 하나의 결점은 혼련기에 투입되는 재료의 비율조절이 더욱 어렵다.

14.5 분산효과

대부분의 혼련기는 어떤 분산효과가 있으나 알맹이를 형성하게 하는 경향도 있다. 제일차효과

가 우세한 혼련기에서는 주물사의 효과적인 분리에 혼련기가 더욱 기여한다. 비례 롤러압력이 높거나 고속회전하는 혼련장치가 분쇄효과를 주는 혼련기는 이러한 점에서 유리하며¹⁵⁾ 덩어리는 당지 분쇄효과에 의하여 제거된다.

14.6 효과적인 혼련시간

가용될 수 있는 전체 혼련시간이 단속혼련기에서는 충분히 활용되지 못한다. 혼련효율은 장입하고 취출하는 동안에는 매우 낮으며 이만큼의 시간이 실제로 손실된다는 것을 의미한다. 어떤 혼련기에 있어서 전체 혼련시간이 감소된다면 이는 장입하고 취출하는 시간이 변하지 않기때문에 얻어지는 유효혼련시간이 된다.

그러므로 유효혼련시간은 혼련주기가 짧을 때 상대적으로 가장 적어진다. 어떤 면에서 고속혼련기는 불리하지만 고속이기 때문에 취출시간은 더욱 짧아진다. 유효혼합시간을 확실하게 설명하기 위해서는 전체 혼련과 연계시켜야 한다. 전체 혼련시간에 따르지만 유효혼련시간은 75~90%이다.

주물사 배합물이 필요한 양의 수분을 함유하지 않는한 점토 활성화는 효과적이지 못하므로 수분이 가능한한 빠르게 첨가되어야 하며 한편 혼련기의 장입물에 균일하게 분산함으로써 수분과 주물사의 혼련을 촉진할 수 있다.

14.7 사용수명과 장비

혼련기를 신뢰성있게 작동하는 것은 매우 중요하며 원만한 작동은 연속 공정의 기본조건이다. 더욱이나 사용수명과 정비비용은 주물사 원가에 약간의 영향을 미친다.

점토결과는 점토로 점결된 주물사의 혼련공정에 대한 여러 국면을 자세히 알아보는데 의심의 여지없이 기여할 것이다. 새로운 재료로 만들어진 배합사와 순환사에 함유된 점토나이트의 유효점결력에 관하여 적량적인 정보를 얻을 수 있다. 어떤 조건하에서 유효점결력을 증가시키는 수단은 혼련방법과 혼련강도, 사립의 표면조건 및 접착과 분산을 촉진하는 첨가제이다. 주물사 혼련기는 특정형식을 결정함에 있어서 고려하여야 할 수많은 주요특징을 보여준다.

참 고 문 헌

1. C. E. Wenninger : Trans., AFS, 74 (1966) 221-228
2. C. E. Wenninger, W. J. Lang : Trans., AFS, 79 (1969) 39-44
3. E. C. Troy, D. L. Ferency : Trans., AFS, 79 (1971) 213-224
4. C. E. Wenninger : Trans., AFS, 78 (1970) 17-24
5. C. E. Wenninger : Trans., AFS, 71 (1963) 117-184
6. H. G. Levelink, H. v. d. Berg, E. Frank : Giesserei, 62 (1975) 93-99
7. W. Patterson, D. Boenisch : Exchange Paper 16, 24th International Foundry Congress, Stockholm, 402-427
8. C. E. Wenninger : Trans., AFS, 76 (1968) 521-528
9. E. Hofmann : Giesserei, 55 (1968) 577-585
10. J. Bjerle, Acta Polytechnica Scandinavia Chemistry, including Metallurgy Series No. 83, Studies of Bonding Properties of Different Foundry Sands
11. A. B. Draper : Trans., AFS, 76 (1969) 529-539
12. E. Diepschlag : Giesserei, 27 (1940) 257-262
13. R. Grochalski, Diss. University, Leipsg, 1952 ueber die Bindefaehigkeit der Oberflächen natuerlicher Giessereisande gegeneber Bindemitteln.
14. H. G. Levelink, H. v. d. Berg, E. Frank : Giesserei, 62 (1975) 1-5
15. M. Stap, Exchanger Paper, International Foundry Congress, Amsterdam, (1949) 200-218
16. H. B. Ries : Trans., AFS, 81 (1973) 296-300