

技術資料

### 생형사의 진공혼련 시스템의 효과

최 창 욱

#### Effect of Vacuum Cooling System in Green Sand

C. O. Choi

#### 1. 序 言

生型에 의한 주조법에 있어서 건전한鑄物을 제조하기 위해서는 적절한混練이 가장 중요하다. 그러므로 生型鑄造法에 있어서 불충분한 혼련에 의하여 일어나는 문제는 高溫砂에 의한 문제 다음으로 많은 것으로 알려져 있다[1]. 유효한 혼련이라 함은 주물사가 혼련기에 머물러 있는 시간 내에 최대한의 일량을 주물사에 주는 것으로 정의하고 있으므로 혼련기의 에너지는 주물사를 균질화하고 점토를 활성화하기 위하여 사용될 필요가 있다. 따라서 生型砂의 최종적인 품질을 결정하는 혼련기의 선택은 대단히 중요하다. 생형사에 요구되는 특성은 단지 혼련도가 높은 것만이 아니라, 充眞性이 좋은 것도 중요하다. 더욱이 고압조형기 뿐만 아니라 공기 충격파형의 조형기나 취입형 조형기는 1차 충전성이 대단히 중요하다. 충전성을 향상하기 위해서는 aeration(분해)도 높고 團粒이 적은 혼련사를 공급할 수 있는 speed muller(평면로라 회전형)나 agitator mill(고속 교반형)이 유효한 것으로 알려지고 있다. 현재 주물공장에서 사용하는 Simpson type muller(로라 회전형)는 혼련효율이 높은 혼련기로 평가를 얻고 있으나 aeration 기능이 없으므로 혼련후 aeration 설비를 필요로 한다[2].

종래 생형사 처리 공정에 있어서 안정된 주물사 품질을 얻기 위해서는 회수사의 냉각설비나 예비혼련기, 본 혼련기등 다수의 설비를 필요로 한다. 따라서 설비의 설치 공간이 넓고 설비 투자나 운영비를 많이 필요로 하는 문제점 등이 제시되고 있다. 그러나 주물사 냉각으로부터 혼련까지 동일 설비내에서 할 수 있고, 안정된 품질의 혼련사를 얻을 수 있는 고속 교반

형의 진공혼련 시스템에 대하여 독일의 Eirich社와 日本의 Mazda社에서 견학할 수 있었던 기회가 있어 이를 소개 하고자 한다.

#### 2. 混練理論

生型砂의 혼련은 주물사, 점토 및 탄소분을 평균적인 조성으로 균질화하여 점토를 활성화하는 것이다. 혼련의 제1단계는 다른 입자들을 충분히 균질화하는 것이다. 따라서 이상적인 혼련은 혼련기로부터 배출된鑄型砂는 동일한 조성이 되어야 한다. 충분히 혼련되지 않은 혼련사는 통상 점토와 수분으로 덩어리를 형성하는 경향이 있다. 주물에 발생하는 burn-on, burn-in, rough surface, porosity, blows 및 misruns 등의 주물결함은 물이 충분히 분산되지 않은 것에 원인이 있다. 혼련이 진행되어 혼련사가 균일하게 되면 점토의 활성화가 시작된다. 물이 없으면 粘土/鑄物砂 혼합물은 강도를 나타내지 않는다. 물과 점토가 결합되면 점토와 사입이 비로서 강한 인력을 발휘하게 된다. 이 전기화학적 결합을 활성화라 하는 경우가 많다. 점토의 활성화에는 에너지와 시간이 필요로 하며 따라서 높은 주형강도를 얻기 위해서는 보다높은 활성화가 필요하다.

혼련에너지를 충분히 투입할 수 있는 시간은 혼련기, 주물사, 점토, 첨가제 등의 종류나 혼련 방법에 의하여 변화한다. 혼련은 혼련사 조성물에 압축(compression)과 전단(shear)이 일어나게 하기 위하여 에너지를 가하는 것이다. 그러므로 혼련은 조성물을 균질화하여 활성화하기 위해서는 다량의 에너지가 필요하다. 점토의 활성화가 진행됨에 따라 혼련에 요하는 에너지량이 증가하게 된다. 활성화한 점토는 버터

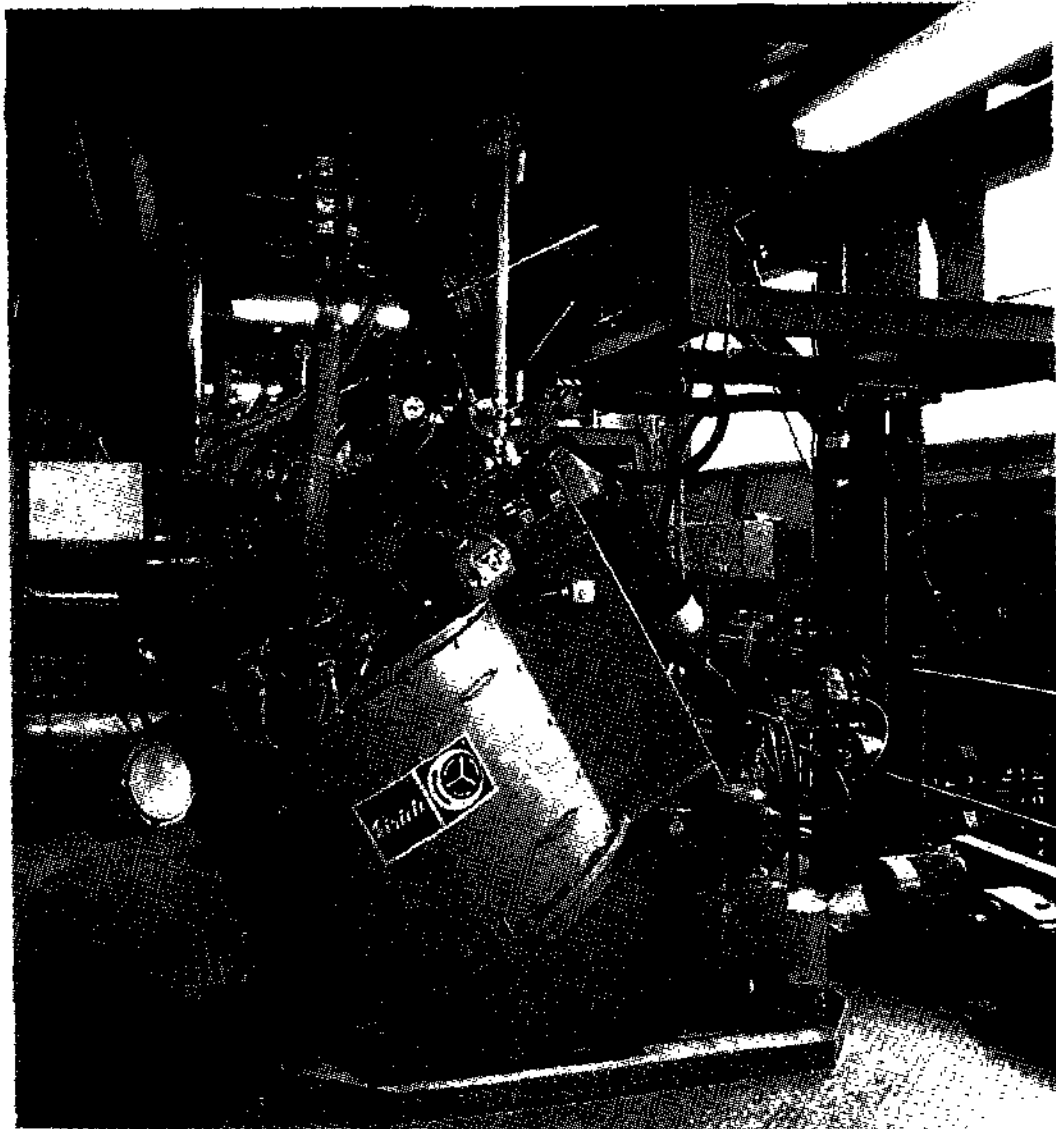


그림 1. Eirich Vacuum Cooling system에 의한 주물사 혼련기의 예.

와 유사한 성질을 갖고 있으므로 이와 같이 딱딱한 재료를 사입표면 전체에 균등하게 분산하기 위해서는 커다란 에너지가 필요하다.

현재 많은 주물공장에서 볼 수 있는 혼련기에는 혼련 휠(mulling wheel)이 사용되며 이것에 의하여 3단

계의 공정에 의하여 강력한 혼련이 이루어지고 있다.

제1단계에는 주물사와 점토 및 물을 혼련기의 휠 표면과 혼련기의 pan 사이에서 혼련하는 공정이다. 제2단계에는 사입에 점토를 피복하기 위하여 휠의 넓은 면에서 도포작용을 일으키는 공정이다. 제3단계는 중심축을 회전하는 휠이 혼련사에 마찰작용이나 전단작용을 부여하여 주물사의 덩어리에 대하여 점토와 물을 분산하는 공정이다.

### 3. 眞空 混練 시스템

주물사의 혼련기로 1989년 GIFA에서 처음 소개된 이후 현재까지 사용되고 있는 mixing react를 이용하여 회수사를 냉각장치 없이 직접 냉각혼련하는 설비인 Eirich Vacuum Cooling System에 의한 주물사 혼련기의 예를 그림 1에 나타내었으며 주물사 혼련 공정을 그림 2에 나타내었다. 주물사의 혼련은 연속 회전중의 mixer내에 계량된 회수사와 첨가제가 투입되며 이때 FK sensor가 회수사의 온도와 회수사중의 수분을 측정한다. 따라서 회수사의 수분량에 의하여 1차 물의 첨가량을, 회수사의 온도에 의하여 2차 물의 첨가량을 계산 처리한다. 그러므로 목표로 하는 수분량을 4%와 주물사 온도를 40°C로 하면 이에 따라 물의

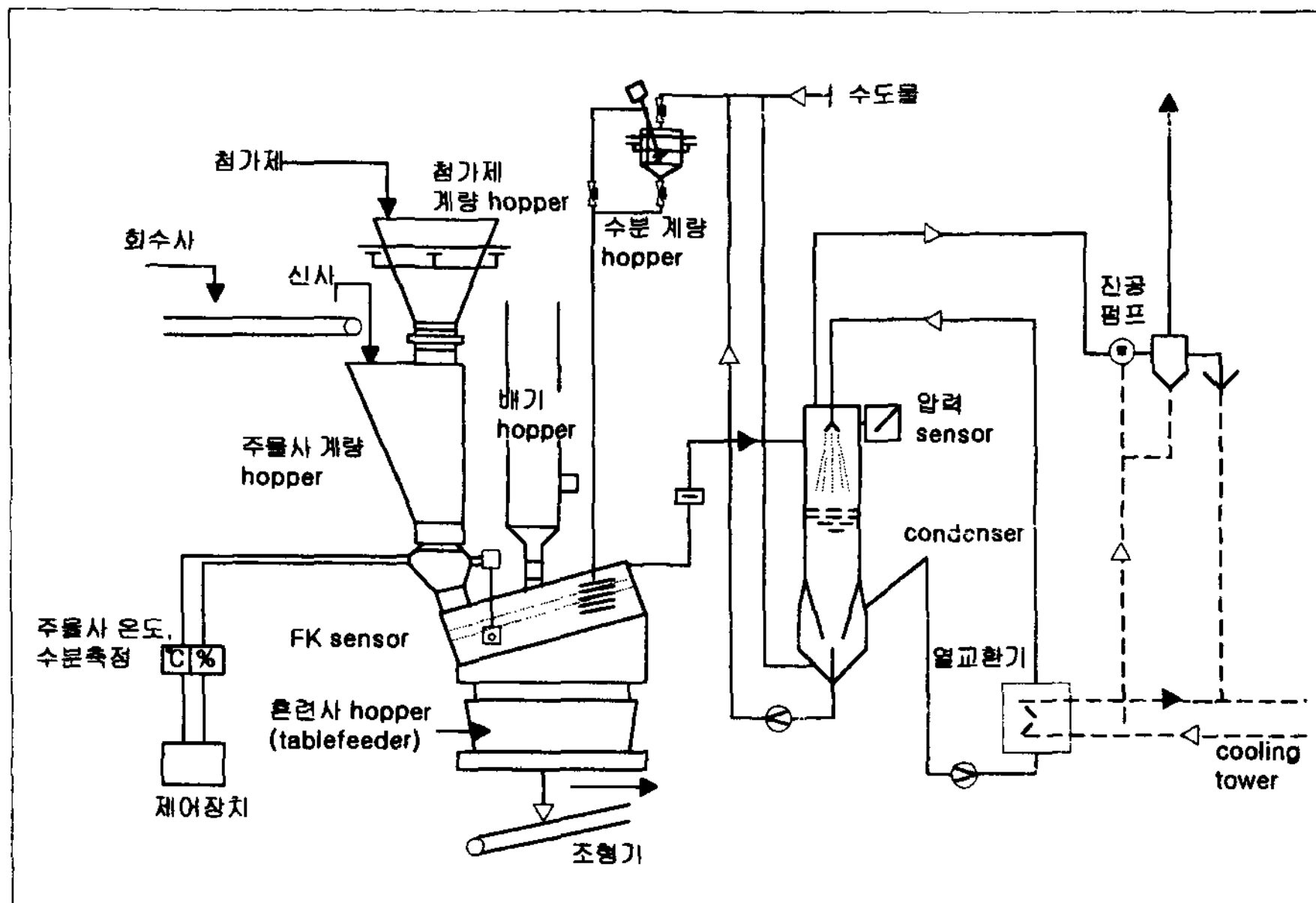


그림 2. Vacuum Cooling System 공정도.

첨가량이 결정된다. 회수사의 온도가 40°C 이상이 되면 혼련조건은 진공혼련이 된다. 목표 주물사의 온도를 40°C로 맞추기 위하여 mixer내의 압력을 74Pa로 되어 물의 비등점을 40°C로 하여 수증기화 하게 하며, 이때 발생하는 기화잠열에 의하여 주물사는 냉각되게 된다. 회수사의 온도가 40°C 이하가 되면 1차 물의 첨가가 있으며 혼련 조건은 대기압 혼련이 된다.

주물사와 첨가제의 혼합으로 부터 혼련사 배출까지의 시간은 180초이며 이때 진공혼련은 85초간이다. 한편 그림 2에 나타낸 眞空 混練 시스템 설비의 개요를 설명하면 다음과 같다.

① 조형 line으로 부터 회수한 주물사는 이물질이 제거된 후 storage hopper에 저장된다. storage hopper로부터 나온 회수사와 신사는 본 시스템의 특별 사양의 load cell식 주물사 계량 hopper에서 계량되어 mixer내에 투입된다. 또한 동시에 첨가제도 load cell식 계량 hopper에서 계량된 후 주물사 계량 hopper를 통하여 투입된다.

② 주물사와 첨가제가 예비혼련된 후에 FK sensor (FK moldability control)가 mixer내의 주물사에 삽입되어 주물사 온도 및 수분을 계측한다.

③ 이때 주물사 온도가 설정온도 보다 높은 경우는 주물사의 온도를 설정온도까지 낮추는데 필요로 하는 물의 량과 혼련 후의 설정 수분에 필요한 물의 양을 제어 장치에 의하여 계산하여 그 합계의 물량을 특별 사양의 감산계량식의 load cell식 수량계 hopper로 부터 정확하게 투입된다.

④ 물이 투입되는 동시에 진공펌프에 의하여 설정온도가 비점이 되는 압력까지 감압 condenser와 mixer간의 진공차단 valve가 열린다. 이에 따라 mixer 각부의 valve는 폐쇄된다. 이때 mixer로 부터 공기와 주물사로 부터 증발되는 수증기가 condenser로 들어간다.

⑤ mixer내에서는 감압에 의하여 회수사에 함유된 수분과 수계량 hopper로부터 투입된 물이 증발된다. 이에 따라 주물사 온도는 기화열이 발생되어 낮아진다. 즉 설정기압이 된 mixer내의 주물사 온도는 그 기압의 비등점까지 낮아진다. 예를 들면 74Pa에서 40°C로 된다.

⑥ 이와같이 기화 증발한 수분은 condenser에서 냉각수에 의하여 액화되어 회수된다. 이때 첨가제등 소량의 미분이 증기와 함께 회수되나 이는 condenser 하부에 모여 순환 pump에 의하여 수계량 hopper로 보내져 재차 주물사와 투입된다.

⑦ condenser에 회수된 물은 온도가 높아지나 열교환기에 의하여 냉각되어 condenser에서 냉각수로 되 돌아 온다. 따라서 폐기되는 물, 미분은 전혀 없다.

⑧ 이와 같이 냉각되어 혼련된 주형사는 대기압으로 되돌아온 후 mixer로 부터 table-feeder로 배출되어 조형기에 운반되어 공급된다.

#### 4. 眞空 混練 鑄型砂의 特性

진공혼련한 주형사를 대기압 혼련한 주형사와 비교하면 다음과 같은 특징이 있다.

① 동일 수분량에서 충전성(Compactability Index, C.B.)은 낮고 강도는 높다.

② 혼련 직후 C.B. 값이 낮고 강도는 높아 경시 변화가 적다.

③ 진공혼련사에서 고온사의 경우 고강도를 나타낸다.

이는 감압하의 혼련에서는 수분이 증기 상태로 되며 또한 공기가 희박한 상태에서 bentonite의 결정층 사이에 수분이 들어가지 쉽게 된다. 따라서 가소성이 얻어지기 쉽다. 한편 주물사 표면의 부착 수분이 증발하여 충전성이 양호하여 그림 3에 표시한 바와같이 C.B. 값이 낮고 압축강도가 높은 경시변화가 적은 혼련사가 얻어진다. 그러므로 혼련 후 주형사가 조형기에 공급될 때까지의 시간적 변화에 의한 주형사 특성의 편차가 적게 되어 안정된 주형사가 공급된다.

진공 혼련과 대기압 혼련 조건에서 회수사의 온도가 상온과 고온의 경우에 혼련사를 비교하면 다음과

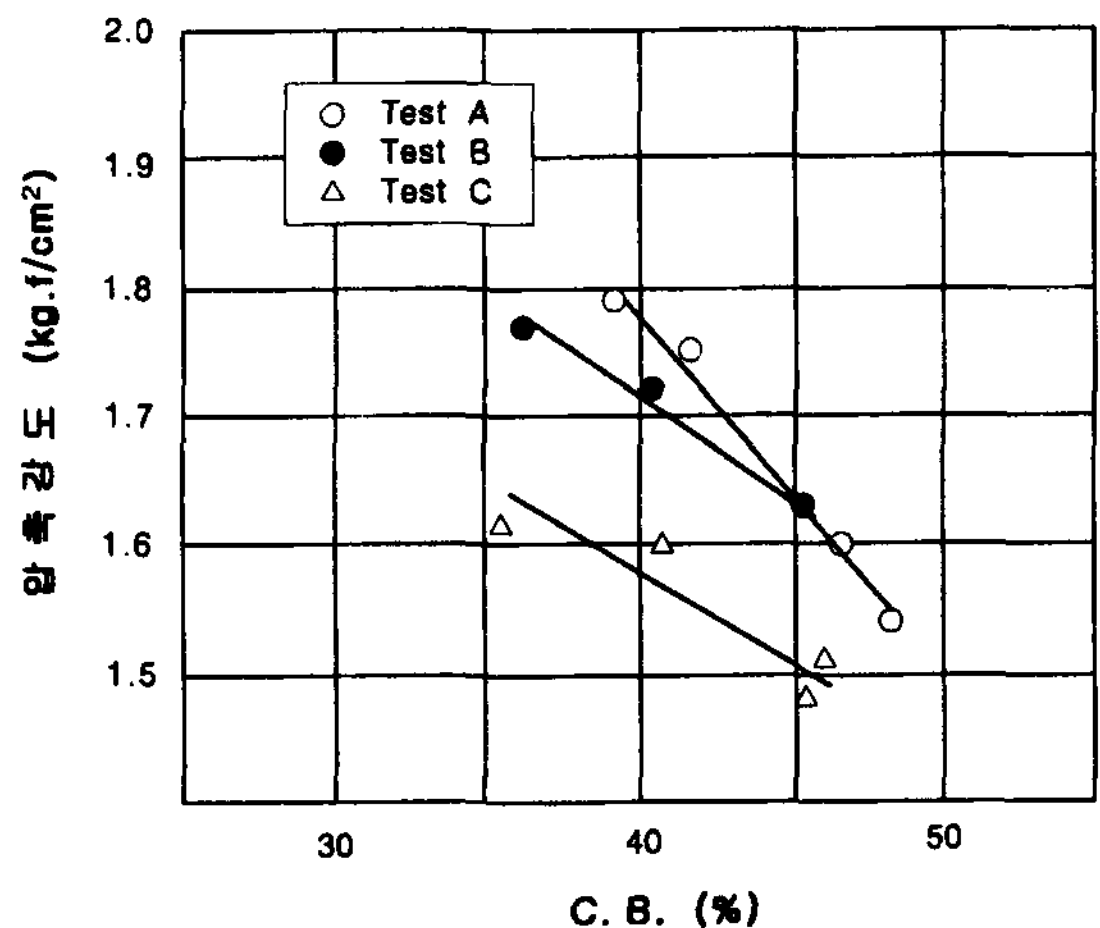


그림 3. 생형사의 충전성(C.B.)과 압축강도의 관계.

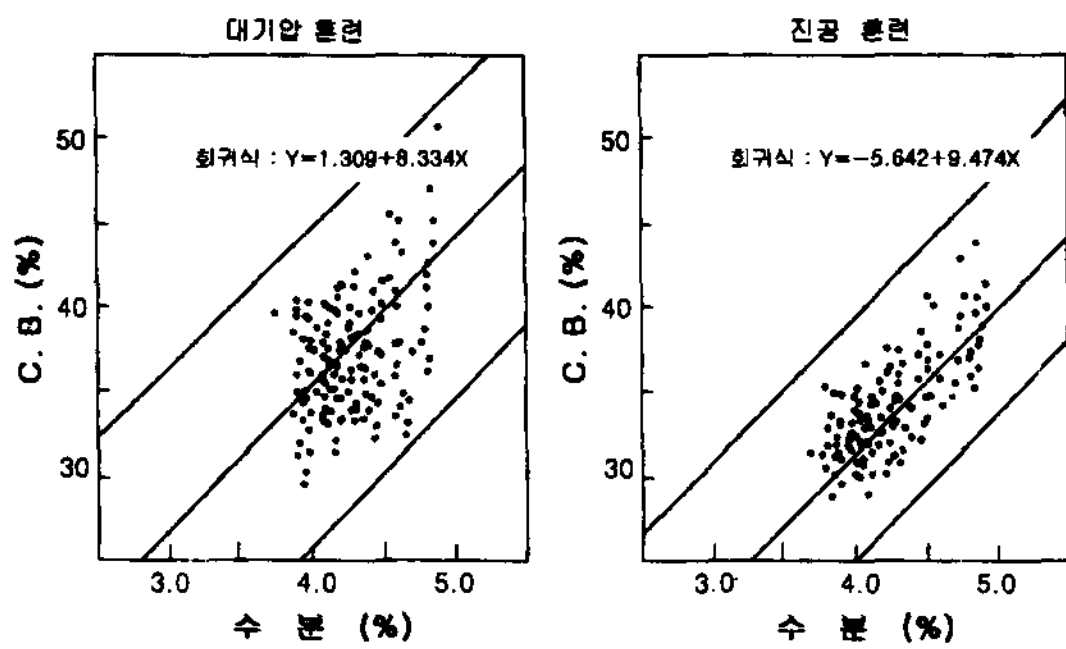


그림 4. 생형사의 수분과 충전성(C.B.)의 관계.

같다.

① 수분과 C.B. 값의 관계

진공혼련사와 대기압혼련사에 있어서 동일한 수분량에 대한 C.B. 값의 차이를 그림 4에 표시하였다. 실험 방법은 혼련사를 혼련기 직하로부터 sampling하여 자연방치 하는 과정에서 10분마다 수분량과 C.B. 값을 측정하였다. 동일 수분량에 있어서 C.B. 값의 차이는 대기압 혼련사에 비하여 진공혼련사의 평균값이 낮아진다. 따라서 편차가 적은 결과를 얻었다.

② C.B. 값의 경시변화

양 혼련사의 C.B. 값의 경시변화를 그림 5에 나타내었다. 이는 특성변화를 최소화하기 위하여 혼련 직후의 혼련사 수분량과 주물사 온도가 양 혼련사 동등의 것을 채취하여 비교한 것이다. 혼련 직후의 양 혼련사의 C.B. 값은 동일량의 수분량이므로 진공혼련사의 쪽이 낮은 값이 된다. 또한 혼련후 60분 경과한 경우

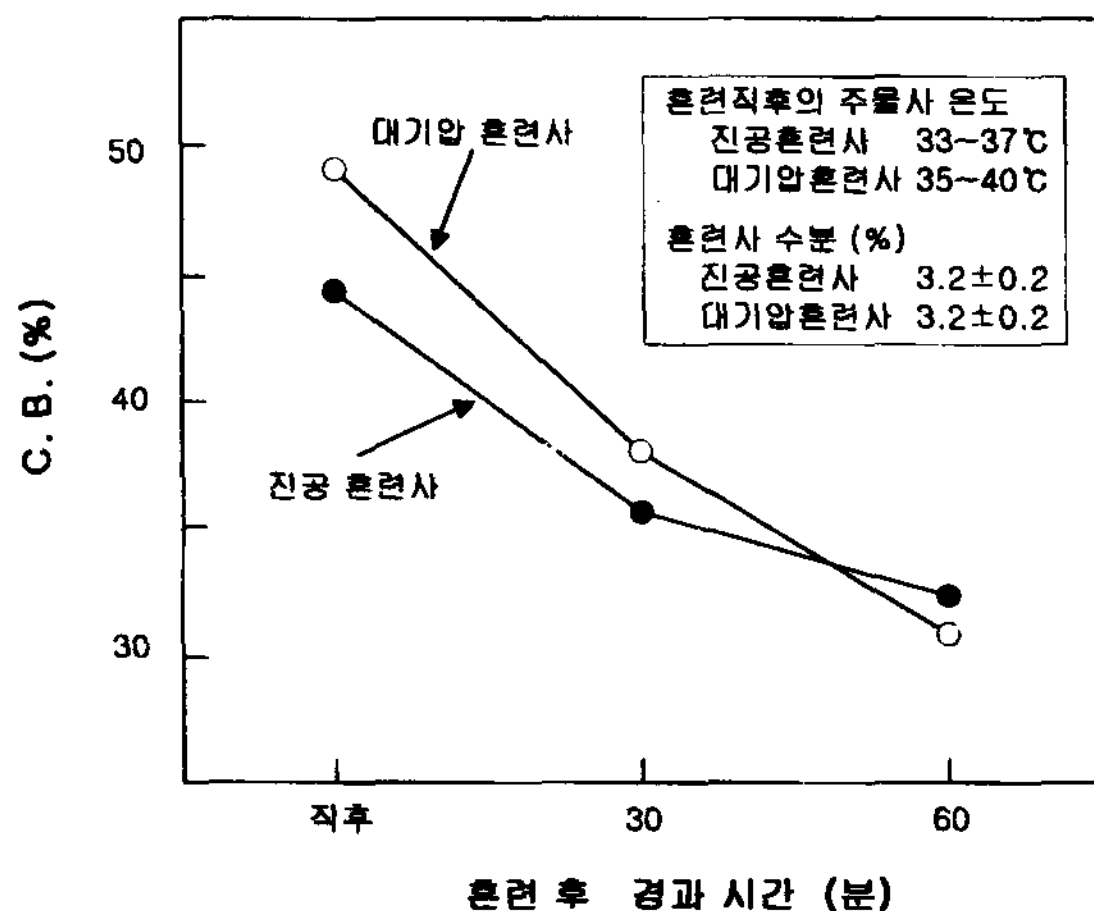


그림 5. 생형사의 충전성(C.B.)의 경시변화.

C.B. 값은 양 혼련사 모두 동등하다. 혼련 직후부터 60분간의 변화량은 진공혼련사의 감소율은 25%, 대기압 혼련사의 감소율은 38%이다. 따라서 C.B. 값의 감소율은 진공혼련사가 적다.

③ 수분량과 압축강도의 관계

동일 수분량에 있어서 압축강도의 차를 비교하였다. 이는 회수사의 온도가 상온(25°C)인 경우와 고온(65°C)인 경우의 압축강도의 차이가 발생하는 것을 비교하였다. 이는 회수사 온도를 일정하게 하기 위하여 실험실 시험을 하였다. 사용한 혼련기는 Eirich社의 실험용 혼련기이며 batch 용량이 5 kg으로 실기와 동등한 성능을 가진 것을 사용하였으며 시험사는 line회수사를 사용하였다. 전처리하여 회수사를 250°C로 가열하여 일단 유리 수분을 제거하여 수분의 편차인자를 제거하였다. 고온사의 혼련에는 회수사를 혼련 직전에 가열하여 65±2°C로 조정하여 혼련하였으며 다른 혼련 조건은 현장에서 실기에 의한 양산 조건으로 하였다. 또한 압축강도의 측정은 혼련 직후에 실시하였으며 이 결과를 그림 6에 표시하였다. 한편 회수사의 온도가 상온인 경우 진공 혼련사와 대기압 혼련사의 차이는 동일 수분량에 있어서 0.5 kg·f/cm<sup>2</sup> 정도 진공 혼련사의 경우가 높다. 한편 회수사의 온도가 고온인 경우 동일 수분량에서 양자의 차가 최대 2.6 kg·f/cm<sup>2</sup>이다. 따라서 진공혼련사의 경우 회수사의 온도가 고온인 경우 생형 압축강도가 높게 되는 결과를 얻었다.

④ 압축강도의 경시변화

본 실험은 회수사의 온도를 대기압혼련은 25°C, 진

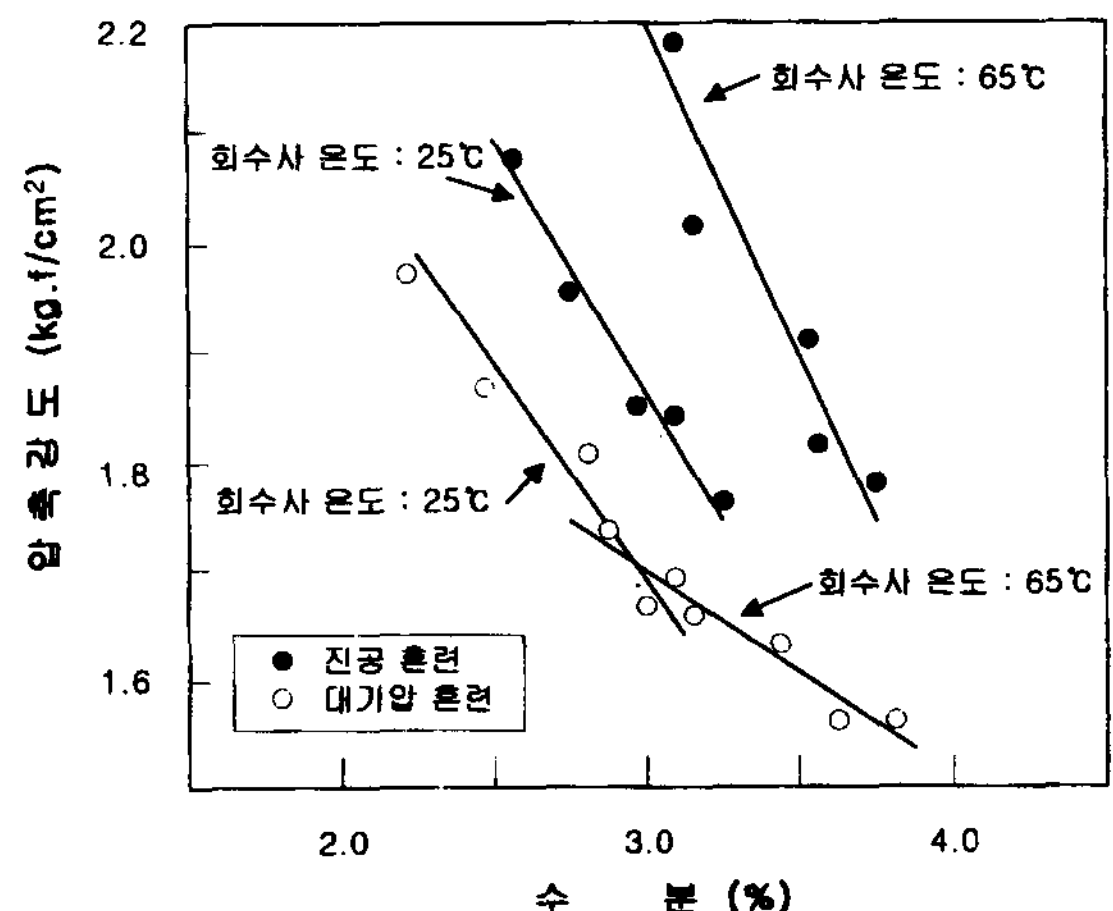


그림 6. 생형사의 수분량과 압축강도의 관계.

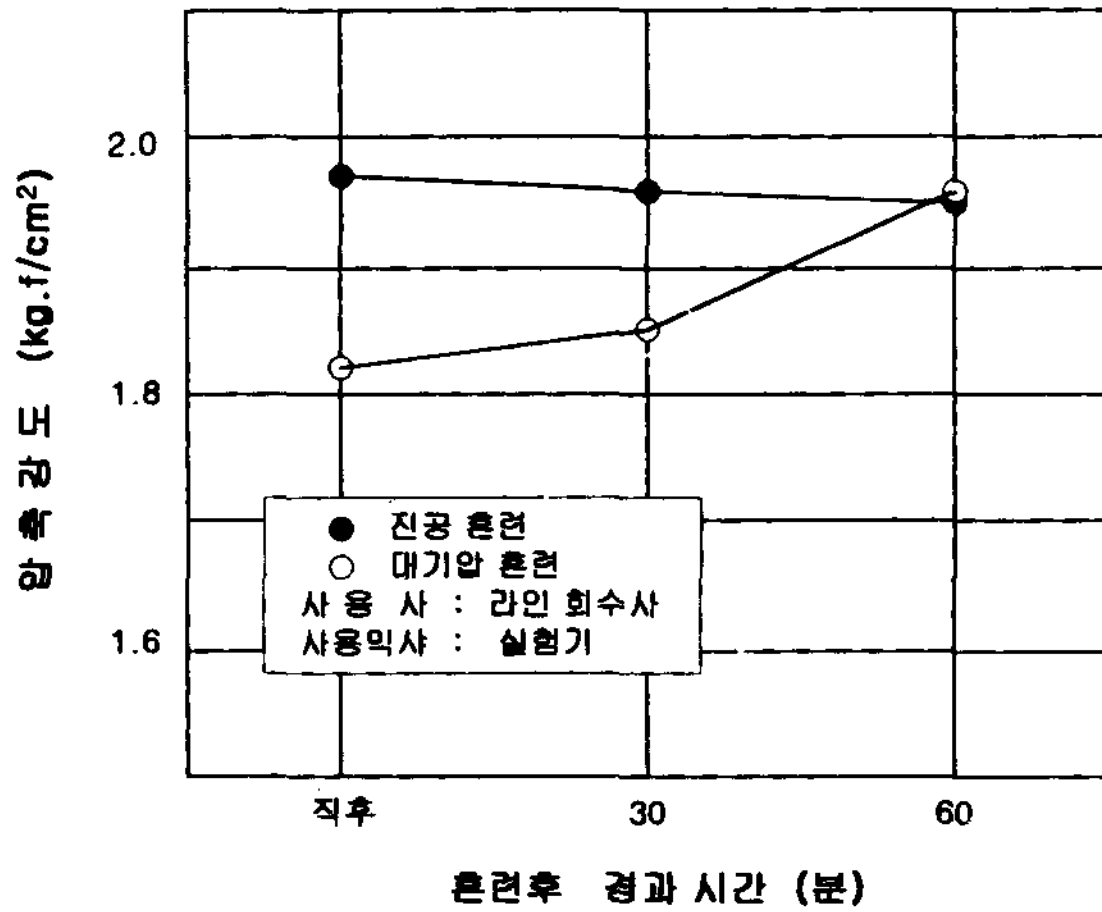


그림 7. 생형사의 압축강도의 경시변화.

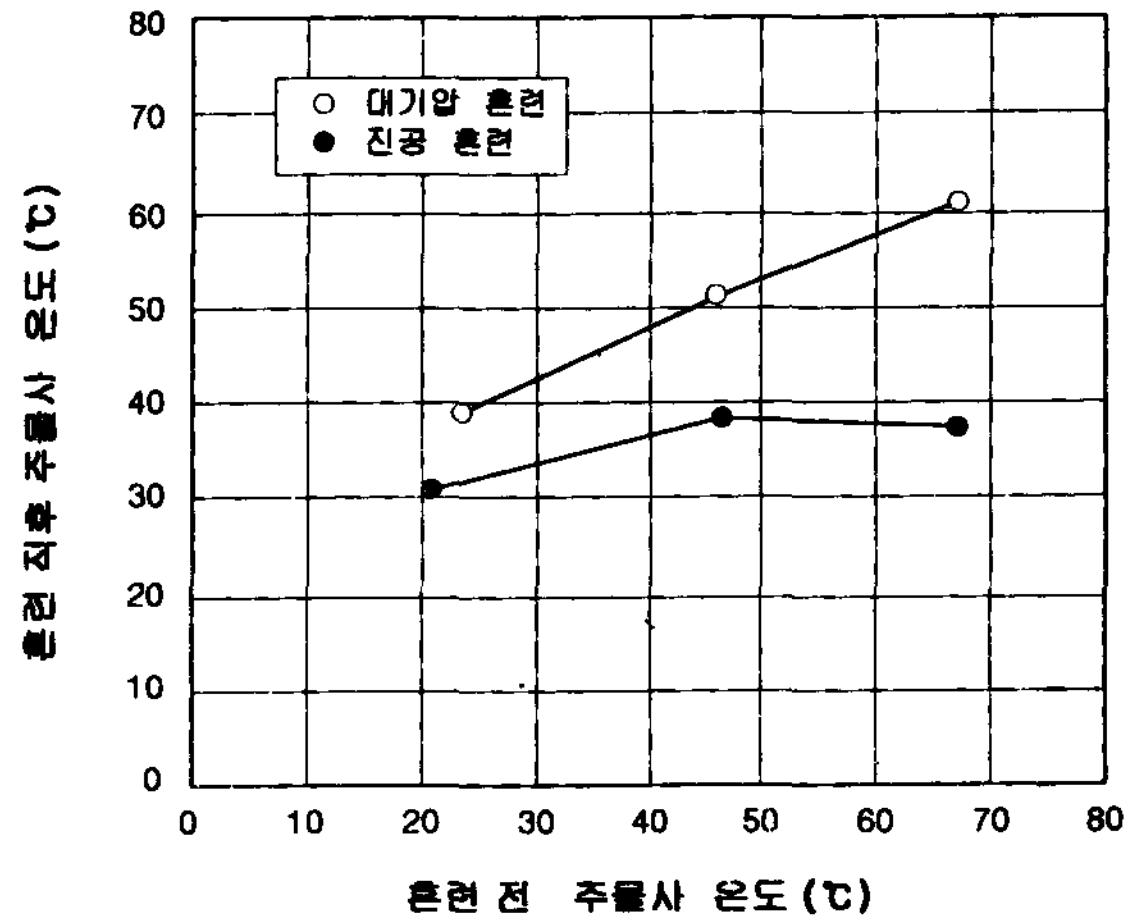


그림 8. 실험기에 의한 고온사의 냉각효과.

공혼련은 65°C로 하여 혼련하였다. 압축강도의 측정은 혼련직후와 혼련후 30분과 60분 경과한 것으로 결과를 얻었다. 이를 그림 7에 나타내었다.

진공혼련사는 혼련 직후 고강도가 얻어졌다. 이후 60분 경과하여도 그다지 변화가 없었다. 한편 대기압 혼련사에는 혼련직후의 압축강도는 낮고 혼련후 60분 경과후는 진공 혼련사의 압축 강도와 같은 결과를 얻었다.

### 5. 眞空混練 시스템의 應用效果

진공혼련 시스템을 사용하는 주물공장의 자료에 의하면 진공혼련기에 의하여 주물사의 설정온도까지 확실하게 냉각할 수 있는 것으로 이는 회수사 온도(혼련기 투입시 사온)의 변화가 있다고 하여도 진공혼련후의 주물사의 온도를 설정온도까지 낮출 수 있는 결과를 그림 8에 표시하였다. 또한 사처리에서 회수사 특성의 편차를 안정화하여 bentonite의 가소성을 충분히 나타내는 것은 예비혼련에서 일정량 이상의 수분을 가하여 충분히 팽윤 효과를 나타낼 수 있는 안정된 높은 주물사 특성을 얻을 수 있다. 그러나 진공혼련에 의하면 예비혼련 및 팽윤효과가 없어도 다음과 같은 주물사 특성을 얻을 수 있다.

① 주물품의 표면이 향상된다.

혼련사의 유동성이 향상되므로 주물품의 표면조도가 종래의 사처리 혼련사에 비하여 30% 이상 향상된다.

② 주물사로 인한 문제 발생이 감소하여 조형라인

의 가동율이 향상된다.

생산부품중에는 C.B. 값이 30이하와 40이상이 되면 발형 불량을 발생시키는 것이 있다. 이는 C.B. 값의 편차가 적으므로 이와 같은 부적합한 발생이 감소된다.

③ 유실사(Spill Sand)가 저감된다.

조형은 주형사 중량을 계량하여 실시하므로 종래 주물사 처리에 의하여 공급되는 혼련사는 C.B. 값의 변화가 크게되어 이 편차에 의하여 중량설정을 하므로 C.B. 값이 변화되어 혼련사의 체적이 변화되어 유실사의 변화가 많이 발생되나 진공 혼련사의 경우 C.B. 값의 편차가 적으므로 유실사가 저감된다.

### 6. 結 言

생형 주물공장에 있어서 혼련기의 선정에 있어서 조그마한 도움이 되는 자료로 제공되기를 바라는 마음에서 기술하였으며 생형사의 진공 혼련시스템은 주물제조에 있어서 혼련사에 의한 문제가 발생되지 않아 주형 조형기술의 향상에 기여될 것으로 믿는다.

### 參 考 文 獻

[1] Scott M. Strobl : Modern Casting Vol. 85 (1995) No. 2, 40.  
 [2] 소형재 센터 : 주조기술시리즈II, 주형의 생산기술 (1995) 65.  
 [3] 徳言, 木村, 杉中 : JACT News 456 (1994), 2, 31.  
 [4] 長井 : 技術情報, 31 (1996) 2, 1.  
 [5] Heinz Berndt : Giesserei, 76 (1989), 23.  
 [6] Maschinenfabrik Gustav Eirich 자료.