

|||||||||
 해외기술자료
 |||||||

생형조형법에 있어서 조형과 주물사의 기술동향¹⁾

金森 敬²⁾

Technical Review for Methods and Materials of Green Sand Molding Process

Takashi Kanamori

번역 : 최양진 · 조덕호 · 임윤수³⁾

1. 서 언

생형은 주조업에 있어서 생산량의 대부분을 점유하는 주요 프로세스이고, 적용대상 주조품의 재질도 다양하게 걸쳐있다. 그리고 모든 생산품에 대하여 고정도화(高精度化)와 고품질화 및 코스트 저감이 요구되고 있다. 이전과 같이, 제품에 가까운 형상을 만들고 가공하여 완성품으로 하는 것이 아니고, 가공을 하지 않거나 가공공수를 극도로 저감함으로써 전체의 제품코스트를 낮추지 않으면 안 된다. 이때 주조공정에 있어서도 주형의 고정도화, finless화, 재료의 효율적인 사용, 결합대책 등의 기술을 구사하고, 또, 설비의 유효이용과 관리기술에서의 고효율생산을 도모해야한다. 동시에 환경면을 배려하여, 에너지 효율을 계속 높여 폐기물의 3R을 추진할 필요가 있다.

생산에 있어서는, 사용하는 주물사와 부자재, 주형을 완성하는 제조프로세스와 조형라인의 작동방법이나 관리방법, 그리고 제품에 나타난 결함의 해석과 대책이 중요하다.

주물사에 대해서는, 모래의 냉각에 주안점을 두는 경향이 있지만, 그것은 수단이고, 목적은 모래의 숙성에 있다. 이물질의 철저한 제거와 숙성에 의해 품질을 향상시킨 공장이 실현되고 있고, 숙성도의 수치화는 곤

란해도 현실적으로 유효하다는 사실이 실증되어있다. 또, 첨가제의 개발에 착수하고 있는 회사는 종래의 문제점을 검증하는 중에 신기술에 도달하기도 한다.

조형프로세스를 고려할 때, 가시화되지 않는 모래의 거동에 대하여 충전기구를 해석하고, 조형조건도 현실의 모래 성상에 더욱 근접시키는 연구가 진행되고 있다. 또, 새로운 조형법이나 라인 내에서의 사고방식의 개발도 소개되어, 종래의 사고방식에 얽매이지 않는 발상이 금후의 기술을 진화시킬 것으로 예상된다.

결합대책은 주조업에서 큰 과제이면서, 결합자체가 판정되지 않아, 대책이 어긋나버리는 일이 간혹 있다. 이것을 객관적으로 판정하여, 적확하게 대책을 수립할 수 있는 방법이 확립된다면 현장에 크게 기여할 것으로 생각된다. 이 결합자체에 대하여 컴퓨터로 검색할 수 있게 되어왔다.

본 리뷰는 <생산관리기술과 자동화에 관한 연구부회>(1999년 6월~2002년 11월, 部會長: 金森敬)에서 간추린 것이다.

2. 주물을 둘러싼 국제정세

통계[1]에 의하면, 대상 29개국의 2000년 생산통계는 6,475만 여톤. 1위는 미국으로 1,313만톤, 이하 중

1) 日本 鑄造工學會誌 Vol. 75 No. 7 pp. 504~510에 게재된 자료임.

2) 金森新東(株) Kanamori Sinto Co., LTD, (株)金森メタル Kanamori Metal Co., LTD

3) 한밭대학교 신소재공학부(Division of Advanced Material Engineering, Hanbat National University)

국 1,096만톤, 일본 628만톤, 러시아 620만톤 등이다. 상위 10개국 중 8개국은 증산경향, 일본과 인도는 감소경향에 있다.

한편, 일본의 수출입상황[2]은, 수출은 주철관 2.7만톤을 주로 하고, 수입은 기계부품 등 8.2만톤, 주강 2.7만톤 등을 주로 한다. 일본의 주조품 생산액은 약 2조엔에 이르며, 거의 모든 금속재료에 걸쳐 형상을 부여하고, 마무리·조립산업 등에 공급되고 있지만[3], 최근 주조공장의 해외로의 진출이 현저하다[4].

이와 같은 중에 일본의 주조업은 기술, 관리의 레벨업이 과제로 되어있다.

3. 주물사 충전기구

지금까지 블랙박스였던 공정에 대해 컴퓨터에 의한 시뮬레이션으로 해석하는 기술이 개발되고 있지만, 前田 등[5]은 생형의 충전기구 해석을 추진하고 있다.

陳 등[6]은 Cooper-Eaton 식을 사용한 실험해석을 행하여, 충전 메카니즘의 추구에 대해 새로운 전개를 보이고 있다. 압축충전시의 메카니즘은, 모래입자의 재배열기구와, 모래입자를 피복하고 있는 점착층의 변형거동으로 대별되지만, 종래는 양자를 명확히 구별하지 않고 다수의 실험식이 만들어져왔다. 이 문제에 대해 Cooper-Eaton 식을 사용하면, 양자의 거동을 명확히 분리할 수 있다는 사실이 나타나고 있다. 골재로서, 인공 세라믹사(砂), 규사 수종, 지르콘 사 등, 또 CB 값을 바꾼 경우 등의 많은 조건하에서 해석[7-9]이 행해지고 있다.

頃安 등[10]은, 소실모형주조에서 쇼트충전으로, 충전압을 분체압 이론식에 의해 해석하여 충전상황을 규사 충전 시와 비교함과 동시에, 모형의 변형 등에 대해서도 조사하고 해석하였다. 강구쇼트의 경우 모형의 변형스트레인은 규사보다는 크지만 문제시될 만큼 크지는 않다고 보고하고 있다. 또, 입자를 바꾼 경우의 부피 감소나 유동충전특성에 대해서는, 규사수종, 세라믹사, 지르콘사, 강구수종을 사용하여 진동충전특성을 조사하여[11-13], 입자형상이 충전상황에 미치는 영향을 보고하고 있다. 또 저(低)코스트화가 도모된 원진동 테이블의 보고도 있다[14].

平田 등[14]은, 블로우나 유기(流氣)보다는 낮은 공기압을 이용하는 에어레이션(aeration)에 의한 생형사의 충전을 실험 및 시뮬레이션을 실시하였다. 블로우 충

전이나 자연낙하에서의 충전에 비해, 특히 깊은 포켓을 갖는 경우에 대해 에어레이션에 의한 충전이 유효하다는 사실을 나타내고 있다.

충전시뮬레이션에 관하여 보면, 牧野 등[15-19]은, Hard-Core/Soft-Shell 모델로 부르는 생형사모델을 이산요소법(離散要素法 : Distinct Element Method)으로 푸는 사립자(砂粒子)의 수치해석과, 사립자 사이를 흐르는 공기류의 해석과의 병용에 의한 조형시뮬레이션 방법을 개발하여, 블로우 조형, 유기(流氣)조형, 스퀴즈 조형에 대해 계산을 실시하였다. 직접 관찰할 수 없는 주형틀 내부의 고속의 생형사충전에서 사립자 유동을 비주얼화 함과 동시에, 사립자 특성이나 조형조건을 변화시킨 경우에서의 충전성상의 추정이 시도되고 있다.

한편, 사중자(砂中子)의 블로우(blow) 조형에 대하여, 고기혼상류(固氣混相流) 해석을 사용한 시뮬레이션 방법[20]도 개발되어있다. 조형 시뮬레이션 관계는, CAE화의 요구에 대해 개발이 늦어지고 있는 분야이며, 금후 차차 기대된다.

4. 생형조형법

현재의 조형법의 주류는 틀 조형으로 되어있고, 이는 일본의 주조품에 대한 고정도화(高精度化)의 요청을 반영한 것이다.

틀이 없는 조형으로서는 종형조형기(縱型造型機)가 전세계에서 사용되고 있다는 것은 주지의 사실이지만, 수평할(水平割)에서는 맷치 플레이트를 사용하고자 하는 생각에서 사용되는 경우가 많이 보인다. 이 경우는 블로우 + 스퀴즈 공정이 주류로 돼있기 때문에, 모래 성상의 엄밀한 관리가 필요하다는 것과 주형 정도(精度)의 문제가 발생하기 쉽지만, 설비가 간단하다고 하는 이점이 있다.

조형법의 주류는 종래 졸트·스퀴즈(jolt squeeze)법이었다. 이것은 모형면의 강도를 높이거나, 주형사의 석원(石垣: 돌담)구조로의 정렬화에 유효하기 때문이라고 생각된다. 현재도 주강의 생산에 사용되는 점성이 높은 모래의 조형에 유효하게 작용하고 있다.

그후, 유기가압(流氣加壓)조형법이 개발되고, 다음에 충격파조형법이 개발되어 국내외에 보급되었다. 한편 米北 등[22]은 유압에 의한 스퀴즈 기구에 대신하여 공기 용수철에 의한 재하(載荷)와 정현파 진동을 조합시킨 진동조형기를 개발하여 성에너지를 달성하였다.

또, 金森 등[23]은 종래 주형의 배면측(背面側)으로부터 가압하는 스퀴즈에 모형면측으로부터의 下 스퀴즈를 부가하여 더블스퀴즈 조형법을 개발하였다. 같은 시기에 淵上 등[24,25]도 진동조형기나 패턴스퀴즈조형기에 대해 기초실험을 행하고, 실기(實機)로서 그 유효성을 확인하였다.

더블스퀴즈 조형법에 사용되는 모형면으로부터의 스퀴즈는 CB값의 변동에 대응하기 곤란하다는 점에서, 종형조형기에서만 행해졌지만, 이들을 수평할(水平割) 조형기에서 사용할 수 있도록 한 것도 있다. 이들에 의해 (1) 균일하게 높은 주형강도의 확보, (2) 틀 근방 부분의 강도확보에 의한 고정도화와 틀 유효면적의 확대, (3) finless 화, (4) draft의 저감이 이루어진다.

또, 더블스퀴즈의 기술을 이용함으로써 parting 면을 틀 면에 고정시키지 않고, 임의의 위치로 함으로써 조형라인의 통합화를 도모하는 것도 가능해졌다.

平田 등[26]은 조형기 자체의 다운사이징, 省에너지에 착안하여, 모래 투입에 에어레이션이라 불리는 저압의 압축공기를 이용하여, 피가 없고 콤팩트한 조형기를 개발했다고 보고하고 있다.

5. 생형사(生型砂)

생형에 사용되는 주물사는 항상 안정한 상태로 공급되어야 하지만, 샌드메탈 비(比)의 변동에 따라 회수사(回收砂)의 성상이 크게 변하기 때문에 관리가 곤란하다. 회수사의 열 이력에 관계없이, 모래의 냉각에 의해 안정화시키고, 벤토나이트의 층간에 물을 침윤(浸潤)시켜 숙성사를 만듦으로써 조형이 용이해지고, 동시에 모래로 기인하는 결함을 방지할 수 있다.

橋本 등[27]은 샌드 쿨러에 의한 회수사 냉각공정에서 산수량(散水量) 제어기구를 고정도화하고, 회수사의 사온(砂溫), 수분을 안정화시키는데 성공하였다. 또, 小林 등[28]은 실제로 공장에서, 주물제거, 모래냉각, 모래 병(瓶)에 의한 숙성을 행하고, 혼련의 자동화에 의해 숙성형사처리(熟成型砂處理)를 실현하였다.

三浦[29]나 加藤 등[30]의 보고에서는 회수사의 혼합시에 감압하고, 냉각과 동시에 수분이 많은 상태에서 혼합함으로써 숙성사로 할 수 있다는 사실이 진술되어 있다.

특별한 관점에서 牧野 등[31]은 주탕후의 주형을 챔버(chamber) 내에서 감압하고, 수분 응축층의 물을 비

등시켜 형 분리를 행하고, 열 영향을 받은 정도에 따라 분리하여 사처리를 행하는 가능성을 시사한 바 있다.

6. 주형결함 판정기술

黒川 등[32,34]은 마이크로 표면분석기인 SEM·EDS, EPMA 등을 주철에 발생하는 결함분석에 적용하였다. 그 결과, 핀홀(pinhole) 결함에 대해서는 물리형, 산화반응형, 용해형 및 슬래그 생성형으로, 소착결함에 대해서는 물리형, 화학형 및 중간형으로, 개재물 결함에 대해서는 개재물의 종류별로 구별할 수 있음을 시사하였다. 또, 그에 더하여, 많은 분석사례를 소개하고 있다.

J.F.Meredith[35]는 주철 및 주강에 발생한 가스 결함, 수축 결함 및 개재물 결함의 식별·검증방법에 대하여, 지금까지 경험에 기초한 육안검사, 현미경시험, 화학분석, X선 해석, 음파시험 및 SEM의 적용방법을 해설하고 있다.

J. Hertlin 등[36]은 음향파의 컴퓨터해석으로부터, 양산 라인에서 결함판정법을 나타내고, 구상흑연주철의 구상화율 및 균열판정, 알루미늄다이캐스트 주물의 균열판정에 적용하고 있다.

R.L.Naro[37]는 페놀우레탄 점결제의 주형·용탕반응에서 발생하는 기공(porosity) 결함을 주형의 제작조건을 변화시킨 다음, 스 콘 주형에 의해 재현하였다. 게다가 기공 대책으로서, Ti, Zr 첨가 및 산화철이 들어간 도형(塗型)의 효과에 대하여 언급하고 있다.

菅野 등[38-40]은 3 gap 열분석법에 의한 주철용탕의 로전(爐前) 시험법을 개발하였다. 접종제 첨가, Te 첨가, 무첨가제의 갭을 사용한 탄소당량측정 열분석장치를 사용함으로써, 주철조성의 조정과 접종제량이 결정되고, 이것에 의해 수축결함이나 칠이 방지될 수 있다고 하였다.

鹿毛[41]는 본지 강좌 <선철주물의 초음파 검사원리와 최신 전망>에서 재질판정에 사용되는 초음파검사가 내부결함의 판정에 사용될 수 있다고 하고, 조속한 검사매뉴얼 작성의 필요성을 지적하고 있다.

山本 등[42]은 도장후(塗裝後) 주물에 발생하는 블리스터(blister)의 발생기구의 해명에, 원인이 되는 가스를 글리세린 용액으로 포집하여 가스분석을 행하였다. 아울러, EPMA 분석과 조직관찰을 행하고, 블리스터 결함은 편상흑연의 산화소모에 의한 미세공간의 공기가

슬래그 개재물(slag inclusion) 등의 표면의 구조결함을 출구로 하여 배출되는 현상이라고 하였다.

肖 등[43]은 모형주조법(이른바 H 프로세스)의 탕경(湯境) 결함방지를 목적으로 컴퓨터시뮬레이션을 적용하여, 수평탕도에 휠터나 게이트 고정 등에 의한 질서 충전(秩序充填)이 유효하다고 하였다.

A.C.Aufderheide[44]는 구상흑연주철의 표면결함인 어안(fish eye)결함을 조직분석 등에 의해 발열 슬리브(sleeve)가 혼입된 생형사가 원인이라고 하고, 불소를 품지 않는 발열슬리브를 사용하면 된다고 진술하였다.

藤[45]은 오랫동안의 연구 성과를 모아 <탕면모양과 주철용탕의 성상>으로 출판하였다. 2차 탕면모양시간과 용탕의 개스 방출시간, 3차 탕면모양과 주물사와의 반응, 3차 탕면모양과 핀홀 발생 등에 의해, 탕면모양의 상태로부터 구조결함이 판정될 수 있다고 하였다.

7. 주물관련 데이터베이스 화

생산관리기술과 관련하여, 기술의 진보현상을 파악하거나 실제의 문제를 해결하는 데, 인터넷을 이용하여 정보취득이 가능해졌다. 무료로 검색할 수 있고, 공개 특허공보 등의 특허문서[46]나 US Patterns[47]에서 최근의 기술진보의 일단을 알 수 있다. Google[48]등의 검색엔진도 유용하다.

阿手 등[49]은, 일본주물공업회의 개발연구의 일환으로, 앞서 개발된 생형관리기술과 관련이 깊은 구조결함대책의 소프트웨어, 인터넷상에서도 정보제공 및 교신이 될 수 있도록 하여, 유용성을 제공하고 있다. 똑같은 시도가 AFS 위원회에서도 이루어지고 있다[50].

생형관리기술을 포함하는 구조기술과 관련하여, 대학, 일본구조공학회 각 지부 혹은 구조와 관련된 회사[51]에서 상세한 홈페이지가 개설되어 있고, 링크 집(集)의 이용과도 병행하여, 풍부한 기술정보가 얻어진다. 데이터베이스는 정보를 정리하여 컴퓨터에 격납한 정보의 모음이며, 그 작성에 대하여 長坂[52]의 상세한 해설이 있다.

8. 주형재료

阪口[53]는 생형재료의 특성과 구조결함에 대해 해설하였지만, 이러한 기초기술을 베이스로 하여 실제 공장에서의 관리가 이루어질 필요가 있다.

천야위원(天野委員)은 벤토나이트에 대해 다음과 같이 진술하고 있다.

일본 벤토나이트 공업회에 가맹한 메이커의 출하량은 피-크 시인 1991년도에 약 60만톤, 2001년도는 약 50만톤이고, 일본에서의 소비량은 외국으로부터의 수입량을 더하여 65만톤 정도가 사용되고 있는 것으로 추정된다.

8.1. 주물용 벤토나이트의 특성

① 생형조형에서는 골재(회수사)와 물, 벤토나이트, 그 외의 첨가제를 혼합하고, 혼련에 의해 벤토나이트를 물로 팽윤(膨潤), 젤(gel)화시켜 모래표면에 코팅한다. 그 혼련시간은 2~5분 정도로 짧기 때문에 단시간에 충분히 특성이 발휘되는 종류의 벤토나이트가 바람직하다. 또, 벤토나이트는 물을 흡수해서부터 포화될 때까지의 시간이 길기 때문에, 단시간에서 충분한 물의 침투가 도모되지 않는 혼련부족을 야기한다는 사실로부터 미리 회수사에 물을 포함시켜둌으로써 그것을 해소시킬 필요도 있다.

② 벤토나이트는 산지나 타잎, 종류에 의해 습태항압력(濕態抗壓力)은 다르지만, 누가혼련(累加混練 : 실라인의 사용형태)이라고 하는 기계적 에너지를 가하면 초기강도가 낮아져도 강도가 상승하는 것과 초기강도가 높지만 거의 상승하지 않는 것이 있다.

③ 주형은 고온에 노출되기 때문에, 어느 범위내의 벤토나이트는 열열화(熱劣化)되어 점결력을 잃는다. 따라서, 열열화가 작으며 내열성이 우수한 벤토나이트가 바람직하다. 내열성의 평가방법으로서는 시차열분석에 의한 탈(脫) OH 기(基) 온도를 보는 방법과 각 온도에서 벤토나이트를 소성시켜 그 메틸렌블루 소비량을 측정하는 방법이 있다.

④ scab 결함과 상관계가 근년 명확해진 규격에 액성한계(液性限界)가 있고, AFSA에서는 600 이상으로 규정되어 있다. 액성한계가 높은 것은 고온특성이 뛰어나며, 주형변형성도 작은 것으로 알려져 있다.

⑤ 합성사에서는 혼입되는 중자량(中子量)이나 종류에 따라 pH가 변화하고, pH가 저하되면 벤토나이트의 팽윤력도 저하된다. 통상 벤토나이트를 물에 분산시킨 분산액은 약알칼리성(pH = 9.5~10.5)를 나타낸다.

⑥ 분산액에 대해서는 전도율도 주목된다. 벤토나이트의 양이나 종류에 따라 다르지만, 합성사에서도 혼입되는 중자량이나 종류에 따라 변한다. 모래 혼련

시에 사용하는 공업용수가 약품 처리돼 있는 경우는 높은 값을 나타낸다. 도전율의 고저는 생형사에 존재하는 전해질의 량에 의해 결정되지만, pH에 변화가 보이지 않고, 도전율이 증가하면 벤토나이트의 팽윤성은 저하하고, 합성사의 습태항압력이나 표면안정성도 저하돼간다.

또, 사도위원(寺島委員)은 군마현산 벤토나이트에 대하여 다음과 같이 진술하였다.

주조라인에서는 생형사에 사용되는 벤토나이트의 선정은 혼련기, 틀의 유무나 사이즈, S/M 비, 중자, 조형기 등 많은 조건이 겹쳐져, 라인마다 요구는 달라진다.

미국산 벤토나이트를 단일로 사용하고 있던 공장도 전에는 많이 존재했지만, 최근에는 많은 공장에서 일본산 Na 벤토나이트를 임의의 비율로 포함하여 사용하는 케이스가 늘어나고 있다. 여기서는, 미국산 Na와 상성(相成)이 좋고, 우수한 강도상승을 나타내는 것으로 일반적으로 알려져 있는 군마현산 벤토나이트를 사용할 때의 주된 특징에 대해 설명하겠다.

8.2. 군마현산 벤토나이트의 특징

① 누가혼련특성(累加混練特性)

군마현산 Na는, 단일로 사용하면 미국산 Na나 Ca 벤토나이트와 비교하면 초기 강도야 약간 낮지만 국산 벤토나이트로서는 톱 레벨의 습태항압력을 갖는다는 것은 잘 알려져 있다. 또 반복하여 사용하는 과정에서는 누가혼련특성이 우수하기 때문에, 그것을 보충하는 충분한 주형특성을 보지할 수 있다. 미국산 Na과의 혼합비에 따른 습태항압력과 주형붕괴성의 개량연구가 진행된 결과, 초기강도를 살리고 싶은 경우에는 미국산 Na의 비율을 높이고, 붕괴성을 살리고자하는 경우에는 군마현산 Na의 비율을 높이는 등의 조정을 해가면 누가혼련특성의 결과로는, 군마현산 Na 벤토나이트의 누가혼련의 높이로부터 미국산 벤토나이트의 저배합에서도 충분한 강도가 발현된다는 사실도 알려져 있다.

② 내열성

550°C에서 <소성-증기통과>를 반복하여 행하고 열열화 특성을 조사해도, 군마현산 Na는 일반적으로 내열성이 높다.

③ 붕괴성

생형에 있어서는 건조강도는 그대로 주형 붕괴성으로 연결되므로, 습태강도는 높아져도 역으로 건조강도

가 낮은 벤토나이트가 바람직하다. 일반적으로 미국산 Na 벤토나이트는 건조강도가 높고, 주형의 붕괴성이 문제가 되는 경우가 있다. 군마현산 Na는 특히 100°C 건조시의 강도상승이 극히 낮고 주형붕괴성이 우수한 벤토나이트라고 말할 수 있다.

④ Scab

일반적으로 군마현 Na는 scab 결함에도 강하다.

국내외의 Na 벤토나이트 각각의 이점을 조정하여 사용하면, 벤토나이트가 갖는 특성을 서로 높여, 라인이 요구하는 고도의 조건을 만족시키기 때문에 유효한 하나의 수단이 된다. 생산물에 대응하여 라인 특성을 충분히 파악한 후에 벤토나이트를 선정하는 것도 불량률의 저감으로 연결되는 하나의 요인으로 사료된다.

또, 佐藤 등[54]은 극미량으로 생형의 표면안정성을 향상시키는 습윤제를 개발하여, 실제 라인에 첨가투입하여 생형사의 성상을 개선시켰다..

9. 주물공장과 환경문제

주물공장에서 배출되는 폐기물의 대부분은 “광재(鑛滓)”이고, 그 75%는, 근원을 밝힌다면 “주물사”이다. 순환형 경제사회로의 변혁에 뒤쳐지지 않기 위해서도, 폐사(廢砂)의 3R을 중심으로 한, 환경보전을 위해 싸워나가는 것은, 주물공장이 살아남기 위해서도 필수이다. 폐기물의 매립처분량을 제로로 하기 위해서는, 폐기물량을 철저히 저감함과 함께 순환형 생산시스템을 구축해둘 필요가 있을 것이다[55].

ISO 14001의 인증취득 건수에 있어서는, 일본은 2위인 영국을 배 이상, 3위인 스웨덴을 4배 가까이 떼어놓고 수위를 독주하고 있고, 현재도 100건/월 이상의 페이스로 인증취득이 진행되고 있다. 2002년 10월 31일 현재, 국내 인증취득수는 10,000건을 돌파하였다. 주물공장은, 약간 늦어지고 있다는 느낌은 들지만, 큰 회사를 중심으로 진행되고 있고, (재)소형재 센터의 환경우량공장표창제도에 응모하고자하는 공장의 대부분은 인증취득필(畢)이다.

“그린-조달”에 뒤쳐지지 않기 위해서도 모든 공장·사업소에서 인증취득을 추진해야한다[56].

지역환경에 대해서는, 정말이지 공장의 존속이 허용되지 않게 되므로, 적극적으로 맞서, “주물공장이라고는 생각되지 않는” 주물공장이 출현하고 있다. 작업환경에 대해서도 충분히 개선돼왔지만, 아직 “어둡고, 더

럽고, 덩고, 시끄러운” 공장이 여기저기 조금씩 보인다. 관리구분Ⅲ을 추방하여, 모든 작업환경에서 관리구분Ⅰ을 지향하고 싶다[57].

10. 현장기술의 실제 예

마지막으로 실제 주조공장에서부터의 보고를 2가지 열거하고자 한다.

10.1. PM법에 의한 생형사 성질의 평가

(1) 서론

생형에서 주철주물부품의 양산 라인에 있어서는, 합성사의 모래 품질관리로서 일상의 관리항목으로 설정한 모래 특성의 각 항목에 대하여 측정하고, 그 시험데이터를 기초로 관리되고 있다. 예를 들면 시험항목으로서 압축률(compactability) 값, 항압력, 활성점토분 등등의 몇 가지에 대하여, 일정한 빈도로 측정하고 그 값에 의거 필요한 경우는 조정하면서 모래의 품질을 관리하고 있다.

또, 양산 라인에서는 불량률의 저감 혹은 재료의 코스트 저감 등도 항상 검토대상으로서 받아들여, 생산성 향상에 보다 힘을 쏟고 있다. 여기서는 생형사에 사용되는 보조 점결제의 하나인 전분에 대하여 기초시험에서 모래 성질에 대해서는 거의 동등하지만, 코스트적으로는 A 보다 B가 싸다는 차이가 있는 2 종류의 전분 A와 B를 실제 라인에 시험적으로 적용한 예에 대하여, 그 적용한 기간의 어느 시기에 샘플링한 생형사를 혼련평가한 중에서 그 하나의 시험결과를 기초로 검토한 내용에 대하여 진술한다.

(2) 평가의 실시 예

생형사로 사용되는 보조점결제의 하나인 전분에는 여러 가지가 있지만, 전분 A(곡류계 지상 α 전분 베이스)를 사용한 시기와 전분B(지하 경莖 전분)를 사용한 시기의 실 라인의 모래에 대해 비교하였다.

전분 A는 지금까지 장기간 사용돼온 것이지만, 이에 대해 시험에 사용된 전분B의 적용기간은 약 2개월간이다. 이와 같이 실 라인에서 사용되는 생형사의 첨가제를 변경한 경우의 생형사를 비교하는 방법으로서 PM 테스트법이라고 불리는 방법을 써서 시험하고 비교하였다.

PM 테스트법에 제공되는 모래 시료는 실 라인에서 혼련한 후의 모래(일반적으로 모래의 습태성질을 측정

할 때 쓰이는 모래)를 샘플링한다. 시험에 제공된 모래 시료는 지금까지 장기간 사용돼온 전분 A에 대해서는, 전분 B의 적용시험을 개시하는 약 1주일 전에 샘플링하고 이것을 모래시료 1로 하였다. 또 전분 B에 대해서는 시험적용기간 약 2개월간을 종료하는 약 1주일 전에 샘플링하고 모래시료 2로 하였다. 이 두 시료에 대해서 PM 테스트를 행하고 평가하였다.

PM 테스트의 결과를 Fig. 1~5에 나타내었다. Fig. 1은 CB값(압축률)과 수분의 관계를 나타낸 것이다. 모래시료 1과 비교하여 모래시료 2의 수분은 극히 높은 수준에 있고, 평균하면 약 0.4% 높아지며, 전분 B는 전분 A에 비해 명백히 고수분화(高水分化) 경향의 재료로 사료된다.

Fig. 2는 CB 값과 항압력의 관계를 나타낸다. 항압력의 피크가 다르고 시료 2는 시료 1에 비해 피크가 저(低) CB 값 측에 있다.

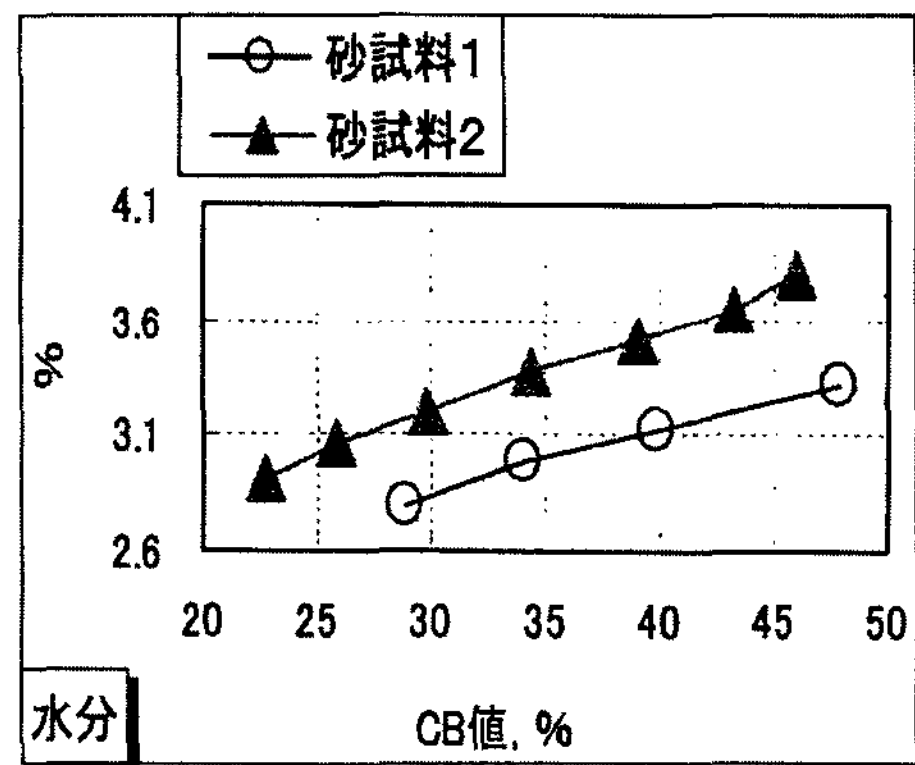


Fig. 1. 수분의 비교

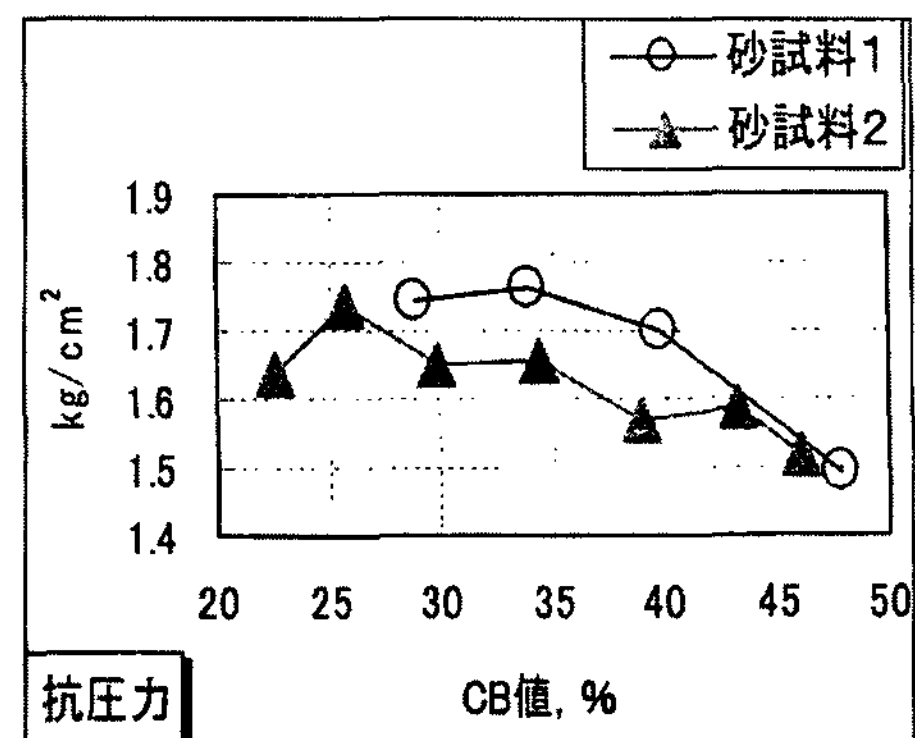


Fig. 2. 항압력의 비교

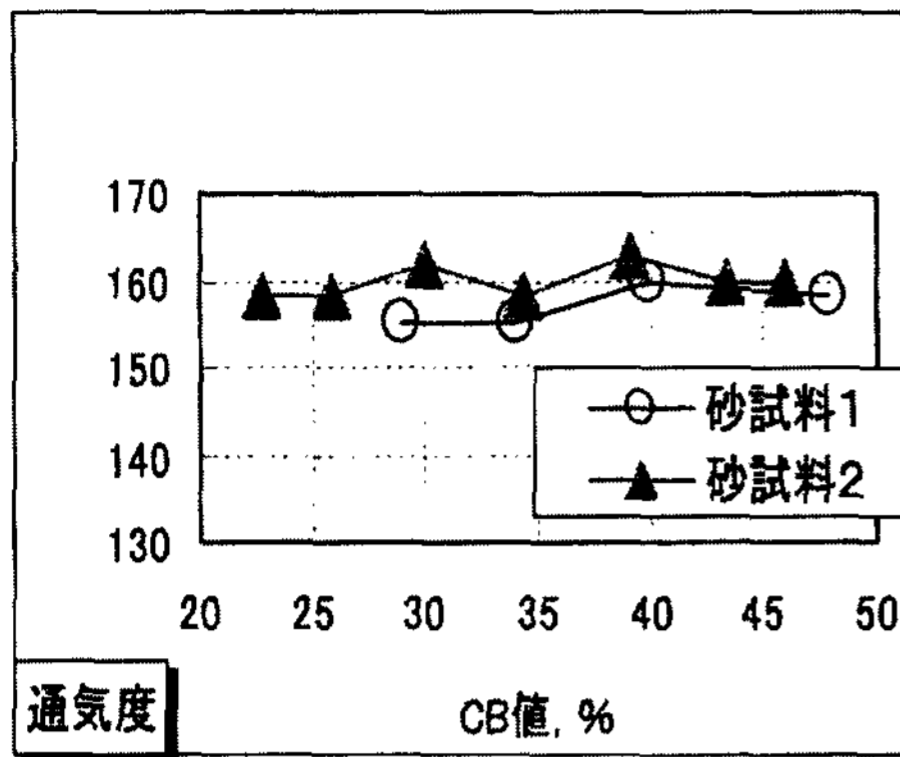


Fig. 3. 통기도의 비교

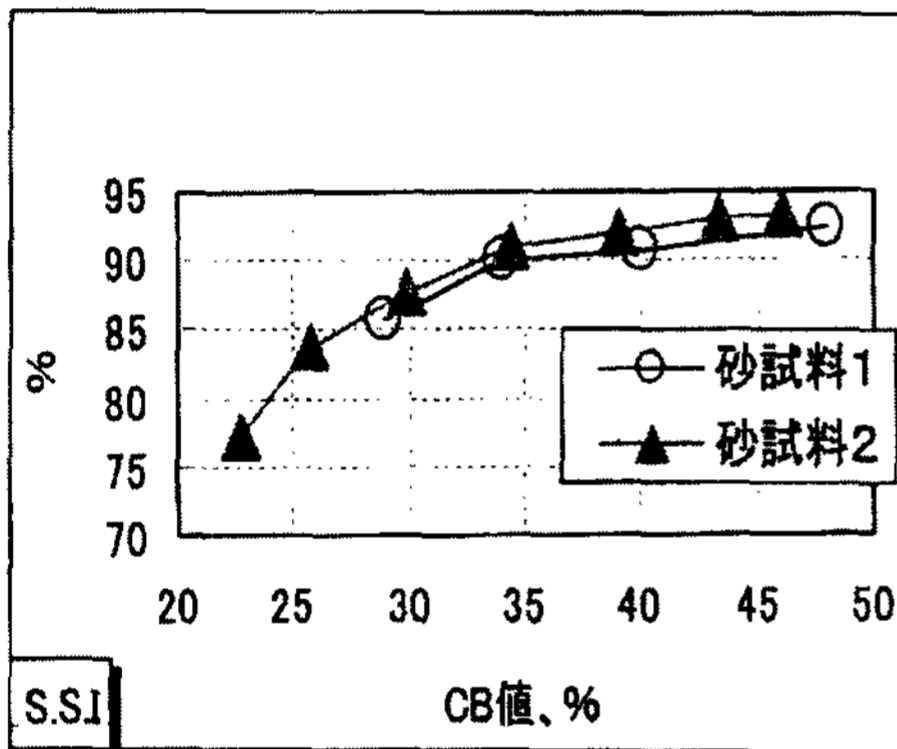


Fig. 4. 표면안정도의 비교

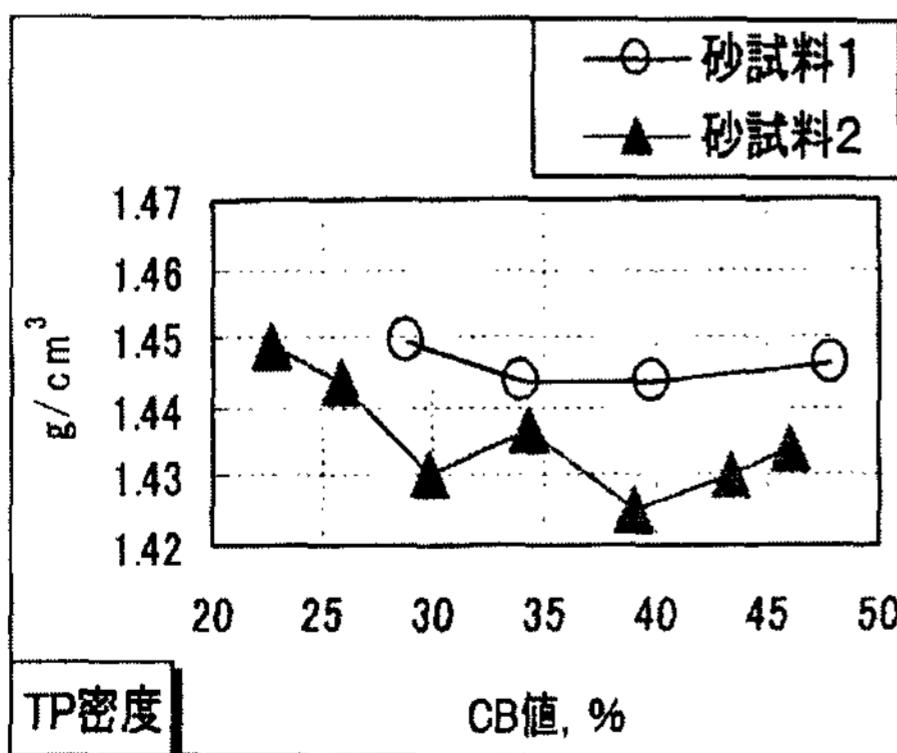


Fig. 5. TP밀도의 비교

Fig. 3에 CB 값과 통기도의 관계, Fig. 4에 CB 값과 표면안정도(S.S.I)의 관계, Fig. 5에 CB 값과 TP 밀도의 관계를 나타내어 각각 비교하였다. 통기도 및

표면안정도의 비교에서는, 모래시료 1과 2의 차이는 보이지 않는다.

Fig. 5의 TP 밀도에서는, 모래시료 1쪽이 높은 경향을 나타냈다. Figs. 1~5에 나타난 모래성질의 비교결과, 모래시료 2는 모래시료 1과 비교하여 고수분(高水分)이고 또한 저밀도의 경향을 나타내는 사실로부터 모래시료 1쪽이 생형사로서는 바람직하다고 생각된다.

PM 테스트 결과, 모래시료 1(전분 A를 사용하고 있는 기간)쪽이 모래시료 2(전분 B를 사용하고 있던 기간) 보다도 바람직함을 알 수 있었다. 또, 이들 재료를 사용했던 기간의 실 라인에서 구조불량발생이 작고 안정되었었지만, 전분 B를 사용하고 있던 기간의 후반에서부터 압입, 핀홀 등의 불량발생이 증가하는 경향을 나타내었다.

이상의 결과, 전분 B는 값이 싸지만, 모래 성질 및 구조품의 불량발생 상황을 고려하면, 전분 A쪽이 바람직하다고 생각된다. 이번에 PM 테스트를 행하여 비교한 모래시료의 조성을 참고로 Table 1에 나타낸다.

PM 테스트에 대하여

PM법(Progressive Mulling Method)은 고수분(高水分)에서 주물사를 혼련조정하고 그후 단시간주기의 혼련을 반복하여, 수분을 점차 감소시키면서 수분과 습태성질과의 관계를 조사한다. 이른바 수분점감식 혼련법이다[58]. 이 방법은 주물사의 기본적 성상을 파악하는데 유효한 방법이며, 구조라인에서 사용되는 생형사의 평가에도 적용된다.

측정방법은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이, 시험용 혼련기를 써서 합성사(모래에 점토분 등을 배합한 것) 또는 구조라인의 생형사를 정량 준비하고 물을 첨가하여 15분 정도 혼련한다. 혼련사의 습태성질을 측정후 다시 모래를 혼련기에 되돌리고, 단시간(약 2~3분) 혼련하여 수분을 감소시켜 다시 한번 측정한다. 이것을 반복하면서 점결력이 저하하는 수분 값 또는 압축률 값까지 주기적으로 측정한다.

이상과 같은 시험방법에 의해 얻어진 측정결과를,

Table 1. 모래 시료의 조성

	입도 지수	전점토분 (%)	활성점토분 (%)	미분 (%)
모래시료 1	61.5	11.3	7.3	0.97
모래시료 2	61.9	12.9	7.8	1.13

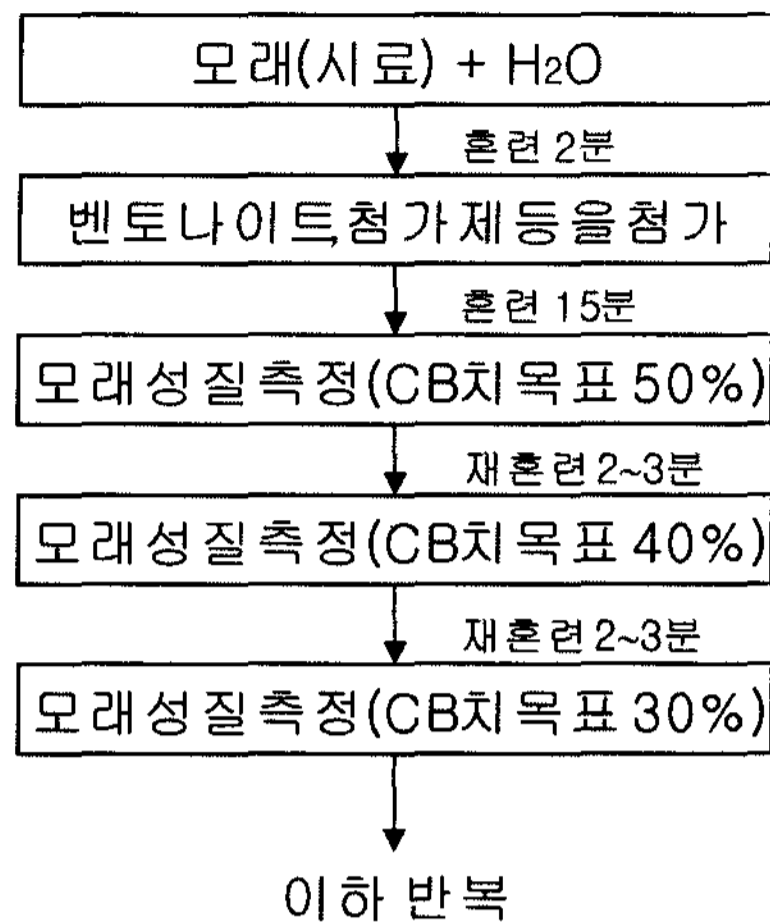


Fig. 6. PM법

Figs. 1~5에 나타낸 그래프 예와 같이 횡축에 CB 값을 취하고 종축에 각 모래의 습태성질을 나타냄으로서 [59], 각종 주물사에 대하여 실용적인 조정범위내의 CB 값에서 모래성질을 비교, 평가가 가능하게 된다.

10.2. 라인 사(砂) 혼입물의 결합에의 영향

최근, 구상흑연주철의 몸통부나 코너부에 <orange peel>상 결합이 돌연 발생했다, 고 하는 예가 보고되고 있다. 원인을 조사해보니, A사는 라인사 중에 혼입된 발열 슬리브 중의 Mg를 품는 Al 합금이 가스 결합을 유발한다고 하며, B사는 발열 패드재나 보온재에 함유된 Al 분말이 라인사에 혼입·퇴적하여 악영향을 미친다고 하고, 게다가 C사는 라인사 중의 탄소질 부족(3.0% 이하)을 들고 있다.

라인사의 관리방법은, 각사의 사정에 따라 측정빈도, 조사항목 등이 각각 다르고, 특히 라인사로의 Al합금이나 Al 분말의 혼입에 대해서는 거의 무시돼왔던 경향이 있다고 해도 좋다. 이것은 구상흑연주철 라인에서의 발열패드(pad)나 발열슬리브의 적용례가 적은 것이 직접적인 원인이라고 생각된다.

이들 혼입물은, 연소되지 않는 한, 라인 사 중에 퇴적하여 서서히 계속 증가하고, B사에서는 실태의 주입 시험으로부터, Al분이 0.1%를 넘으면 <orange peel>이 발생하는 경향이 높아진다는 결과를 보고하고 있다. B사의 사처리(砂處理) 라인에서는, Al분(粉)을 품은 집진 dust의 라인 되돌림을 실시해왔기 때문에, 되돌리는 량을 반감시킴과 동시에, 보온제의 사용량도 반감시키는 등의 대책을 실시하여, 실리카 프로그램의 금

속분의 수치를 2.0% 이하로 관리하고 있다.

이와 관련하여 A사는, 라인 사로의 Al 편(片)의 혼입방지가 불가능하다고 판단하여, 발열슬리브의 사용을 중지하고, 보온슬리브로 전환했다고 보고하였다.

더욱이 C사는, 높은 수업료를 지불하고 환원 개스의 중요성을 다시 인식함으로써, 라인사 중의 탄소질 3.0% 이상을 엄수하고 있다고 진술하였다.

라인사의 성분관리는, 해당 모래의 사용 후에 측정치가 판명되기 때문에 별로 중요시되지 않는 경향이 있지만, 수치를 깔보면, 의외의 함정이 기다리고 있는 경우가 있다. 특히 합성사의 측정치는, 한번 놓치거나, 무관심하면, 불량품의 산을 이룰 가능성을 내포하고 있으며, 일찌감치 액션을 취하는 것이 포인트일 것이다.

어쨌든, 종래의 라인사의 관리방법에서는, 발생의 예측이 곤란한 돌발적인 결함도 볼 수 있다는 사실로부터, 모래 중의 성분관리에 대해서는, 항상 눈을 크게 뜨고, 타성에 빠지지 않도록 주의할 필요가 있다. 더욱이 결함의 원인구명·조사에 즈음해서는, 종래의 경험만으로 믿어서는 안 되고, 선입관을 배제하여, 생각할 수 있는 기능성에 대해 충분한 검토를 가하면서 실시하고, 대책을 강구해가는 것이 요구된다.

참 고 문 헌

문헌은 저자명은 첫 글자만으로 하고, 문헌명 등은 다음과 같은 형태로 약기했다: 鑄造工學 → 鑄工, 鑄造工學會講聯概要集 → 鑄工概○○○(○은 횡수), Modern Casting → Mod.Cast., 生型研究會部會資料 → 部會

또, 권호는 생략하고, 西曆 年의 아래 두 자리 수만을 다음과 같이 표기하였다.

○○(-○)-○/西曆(月)頁

- [1] Mod.Cast. 01(-12)-38.
- [2] 平成 12年版 素形材年鑑 01(-10).
- [3] 素形材 (01).
- [4] 部會 B-4-2, B-9-8, B-15-11.
- [5] 部會 A-5-51.
- [6] 陣秀萍 : 鑄工 02-436.
- [7] 前田安郭 : 鑄工概 00(-10)-118.
- [8] 陣秀萍 : 鑄工概 01(-5)-36.
- [9] 陣秀萍 : 鑄工概 02(-5)-84.
- [10] 頃安貞利 : 鑄工 00-59.
- [11] 越中俊雄ほか : 鑄工概 98(-5)-17.
- [12] 池永明 : 鑄工概 99(-5)-18.
- [13] 頃安貞利 : 鑄工 02-23.

- [14] 鷓池實 : 鑄工概 00(-10)-75.
 [15] 平田實 : 鑄工 01-436.
 [16] 牧野泰育 : 鑄工 98-459.
 [17] H. Makino : Technical Papers on CIATF Technical Forum, Dusseldol 99-144.
 [18] Y. Maeda : Proc. of Modeling of Casting and Solidification Processes IV 99-21.
 [19] H. Makino : AFS Trans. 01-43-49.
 [20] H. Makino : AFS Trans.02 No. 02-082.
 [21] K. Williams : AFS Trans.02 Paper No. 02-141.
 [22] 部會 A-12-55.
 [23] 部會 A-11-50.
 [24] 淵上正明 : 鑄物 85-717.
 [25] 淵上正明 : 鑄物 85-773.
 [26] 平田實 : ジャクトニュース 00-25.
 [27] 部會 : A-7-28.
 [28] 部會 : A-15-67.
 [29] 部會 : A-4-17.
 [30] 部會 : A-4-16.
 [31] 部會 : A-9-42.
 [32] 黒川豊 : 鑄工 01-258.
 [33] 黒川豊 : 鑄工 02-298.
 [34] 黒川豊 : 鑄工 02-442.
 [35] J.F.Meredith : Metal Casting Technologies 00-26.
 [36] R.L.Naro : Mod. Cast. 00-41.
 [37] J. Hertlin : Giesserei Prax. 00-385.
 [38] 菅野利猛 : 鑄工 00-175.
 [39] 菅野利猛 : 素形材 02-20.
 [40] 菅野利猛 : 02-305.
 [41] 鹿毛秀彦 : 鑄工 00-365.
 [42] 山本善章 : 鑄工 01-123.
 [43] 肖凌 : 鑄工 01-580.
 [44] R.C.Aufderheide : AFS Trans. 02-paper No. 02-047.
 [45] 藤英章 : 湯面模様と 鑄鐵溶湯と 性状(新日本鑄鍛造出版會) 01.
 [46] <http://www.ipdl.jpo.go.jp/>
 [47] <http://www.uspto.gov/>
 [48] <http://www.google.com/>
 [49] 阿手雅博 : 鑄工講習會 テキスト 02-9 : <http://61.201.228.134/webcas/>.
 [50] A.T.Spada : Mod. Cast. 98-38.
 [51] たとえば, <http://www2.odn.ne.jp>, www.nbk.okamoto.co.jp.
 [52] 長坂悦敬 : 鑄工 01-768.
 [53] 部會 A-4-19.
 [54] 部會 A-12-52.
 [55] 研報 87 「鑄造材料の エコマテリアル化に関する研究」.
 [56] 素形材セ 調査研究報告書 415, 461, 474, 548, 549.
 [57] 鑄工概 00(-5)-33.
 [58] C.E.Weninger : Mod.Cast. 69(-3).
 [59] 宮下 : 鑄物 72-350.