

해외기술자료

<sup>1)</sup>고품질 · 하이싸이클 · 에너지절감을 추구한 다이캐스팅 머신시스템

辻眞<sup>2)</sup>

# Die Casting Machine System for High Quality, Quick Cycling and Energy Saving

Makoto Tsuji

번역 : 김기영<sup>3)</sup>

1. 서언

다이캐스팅은 주물 표면이 우수한 고정도의 주물의 대량 생산이 가능하기 때문에, 자동차를 중심으로 여러 가지 분야에 폭넓게 이용되어 왔다. 특히 자동차에 있어서는 다이캐스팅의 사용량이 매년 증가함과 동시에, 보다 고품질과 저코스트가 항상 추구되어 왔다. 이 같은 상황 하에 있어서 지금 필요한 것은, 우선 현재의 다이캐스팅 제품에 대해서, 양품률의 개선, 생산성의 향상, 런닝 코스트의 절감 등을 추구함에 의해서, 더욱 더 다이캐스팅의 저코스트화를 실현하는 것이다. 다음으로는 종래의 기술에서는 실현이 곤란하였던 고품질·고품위 다이캐스팅화에 의한 경량화 및 코스트 다운이다.

양품률의 개선에는 보정 기능을 강화한 리얼타임 피드백 서보 사출제어가 유효하고, 또한 생산성의 향상에는 하이싸이클(hight cycle)과 쇼크리스(shockless) 기구를 특징으로 하는 전자동 시스템이 효과를 발휘한다.

또한 이 시스템에 의하면, 종래 성형이 불가능하였던 형상 및 재료의 제품도 주조가 가능하게 되고, 다이캐스팅의 범주를 넓혀갈 가능성도 보이고 있다. 본 고에서는 이들을 실현하는 전자동 다이캐스팅 시스템으로서 개발한, 150톤 머신을 소개하고, 그 특징을 주

조테스트의 결과와 아울러서 설명한다.

## 2. 고품질 하이싸이클 다이캐스팅 머신

Fig. 1은 개발한 형체력 150톤의 전자동 다이캐스팅 머신의 시스템 구성도이다.

## 머신의 특징은?

- ① 유압서보제어에 의하여, 초저속 0.05 m/s로부터 초고속 10 m/s 이상까지의 폭넓은 사출속도를 가능하게 하는 사출기구
  - ② AC 서보모터를 사용한 세계 최초의 (양산 콜드 챔버다이캐스팅 머신) 전동형체 압출기구
  - ③ 형체압출전동화에 따르는 에너지절감과 작동유량의 극소화
  - ④ 제어반을 프레임에 내장한 공간절감 구조 등이고. 이하에 그 상세를 설명한다.

### 3. 유암서보 사출제어와 그 효과

고품질 다이캐스팅을 얻기 위해서 필요한 주조조건의 하나로, 용탕의 금형내 충전 시간의 단축화를 들 수 있다, 그 결과는 Fig. 2에 나타낸다. 보다 유동성이 있는 용탕상태에서 성형을 완료하고, 보다 빠르게 압

1) 日本 鑄造工學會誌 Vol. 75 No. 6 pp. 435~440에 게재된 자료임.

2) 東芝機械(株) TOSHIBA MACHINE CO., LTD.

3) 한국기술교육대학교 신소재공학과(Dept. of Materials Engineering, Korea Univ. of Technology and Education)

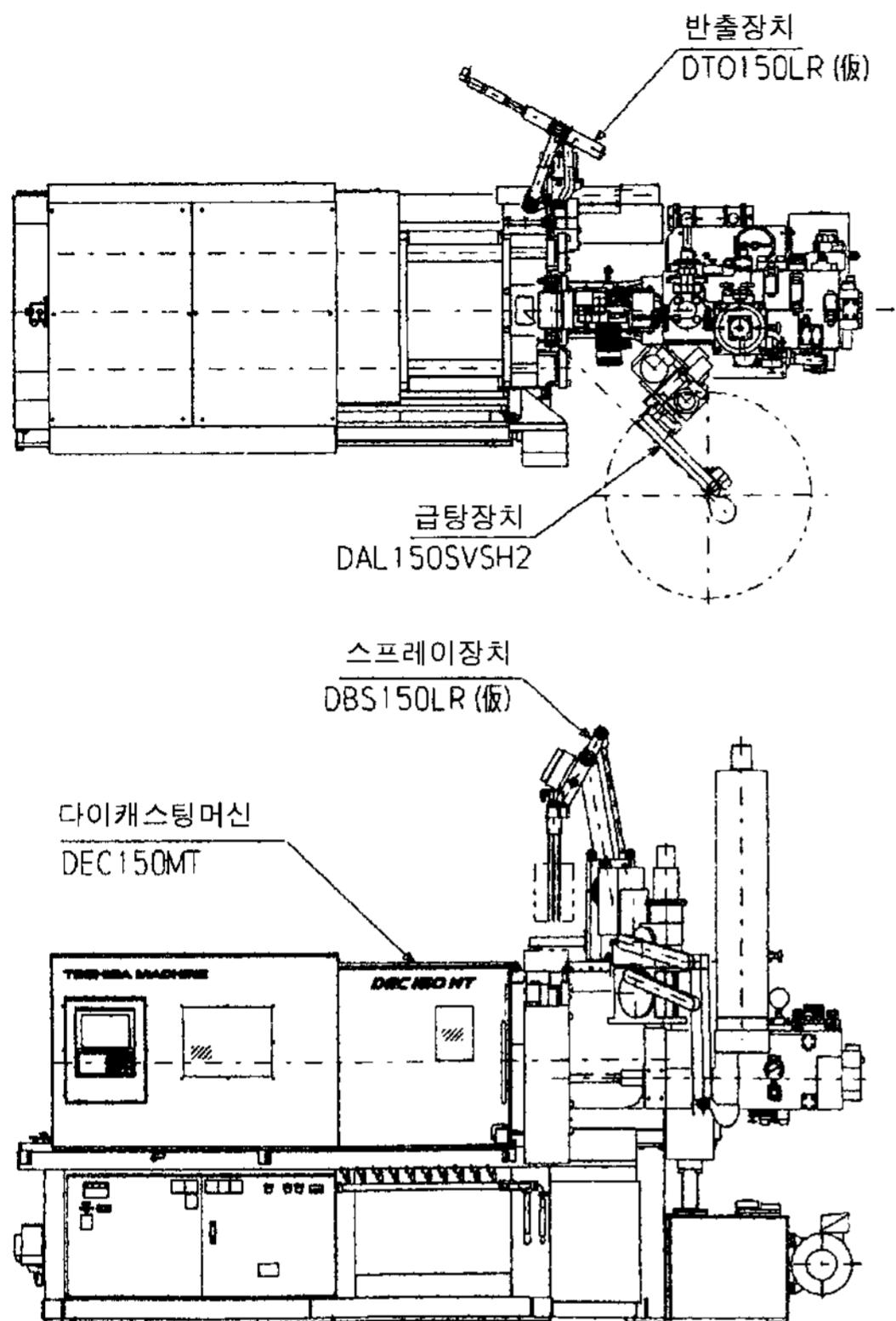


Fig. 1. DEC150MT 시스템 구성도.

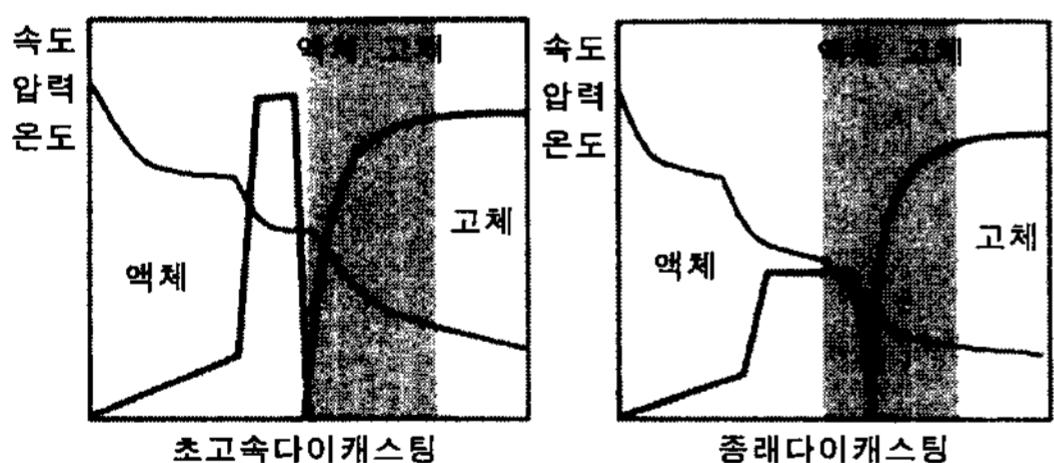


Fig. 2. 단시간 충전의 개념.

력행정으로 이행할 수 있으면, 외부 및 내부 공히 품질의 우위성이 있다는 것을 나타낸다. 이것을 실현화하는 기술로서, 유압서보 사출제어에 의한 초고속 사출이 유효하다. Fig. 3에 유압서보 사출제어의 시스템을 나타낸다. 그림에 있어서 TOSCAST는 다이캐스팅 머신 토클 제어장치로 속도제어는 기본적으로는 리얼 타임 피드백 제어이고, 충전 저항이 시시각각 변화하는 사출동작에 있어서, 설정 속도 파형을 실동작의 편차를 최소화하도록 1 ms 마다 사출위치 센서의 계측치

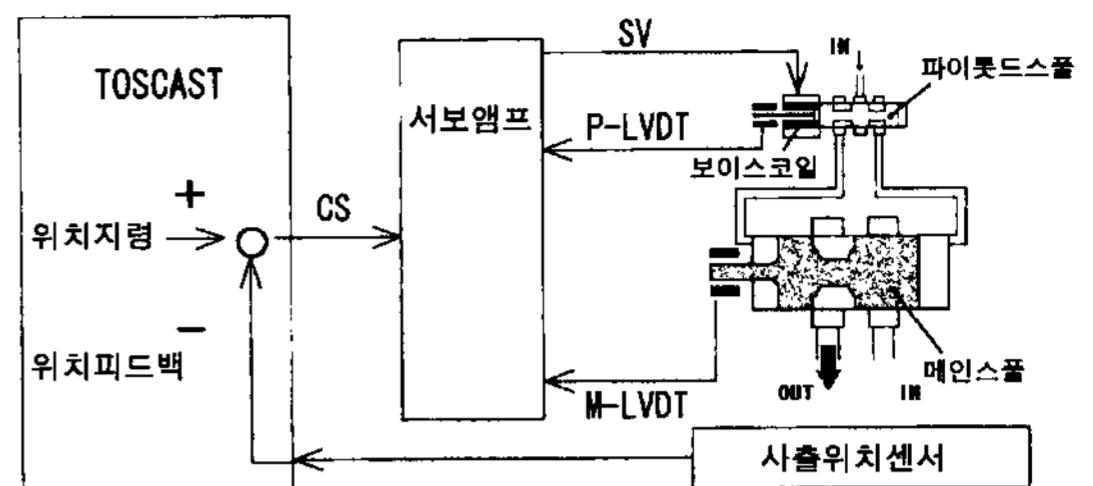


Fig. 3. 탕압 서보 사출제어.

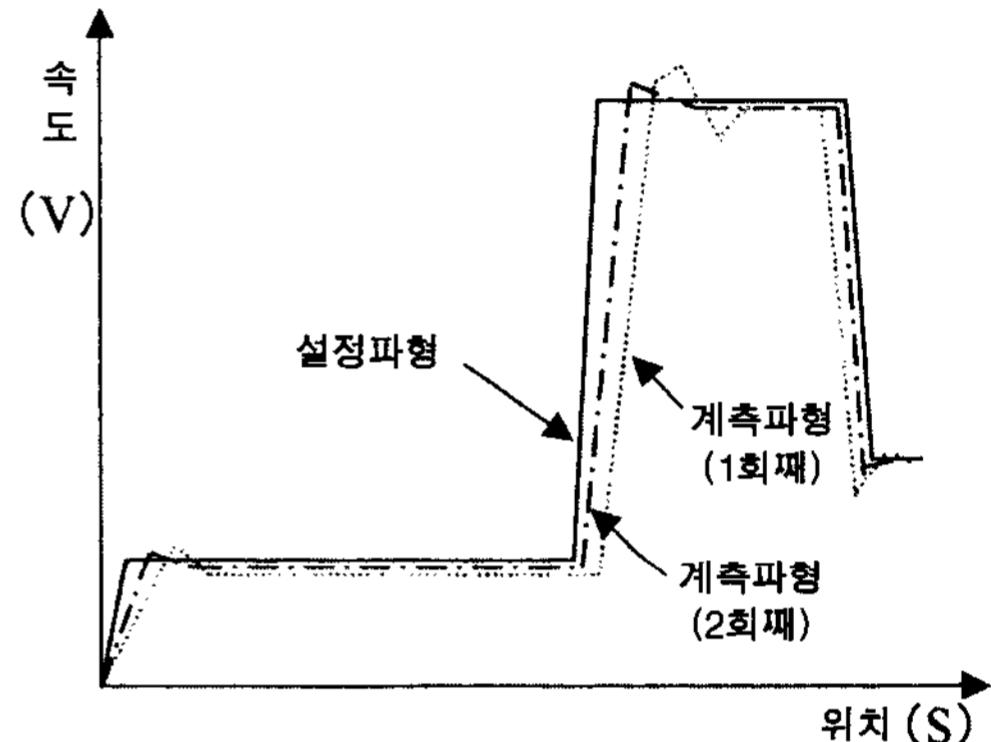


Fig. 4. 추종 보정의 개념.

와 설정과의 비교를 행하여, 편차량에 따라서 서보앰프에 지령을 보내고 있다. 그러나 다이캐스팅의 사출동작은 수 ms의 고응답이 요구되고, 편차를 인식해서 피드백을 하였다고 하여도 기계계의 자연요소로부터 설정과 실동작과의 일치는 매우 곤란하였다. 그래서 1회째의 리얼타임의 계측결과를 기초로 다음 쇼트에서는 설정지령에 보정을 행하여 보다 추종성을 높이는 제어를 부가하고 있다. Fig. 4에 그 개념도를 나타낸다.

Fig. 5에는 Fig. 4에서 설정된 사출동작에서의 추종보정의 양상을 3쇼트 겹쳐 그려서 실증한 실례를 나타낸다. 거의 3부터 5쇼트에서, 설정파형과 실파형과 잘 일치하는 제어가 가능해진다.

실주조에서 중요한 것은, 변화하는 충전저항 하에서도 소정의 속도를 소정의 위치에서 실현하는 것이고, 그것이 가능해서 최초로 슬리브 내, 런너 내, 캐비티 내의 탕 흐름 및 충전 시간을 생각한대로 제어할 수 있는 셈이다. 본 기술에 의하여, 지금 많이 행해지고 있는 유동해석 결과와도 일대일로 대응 가능하게 되

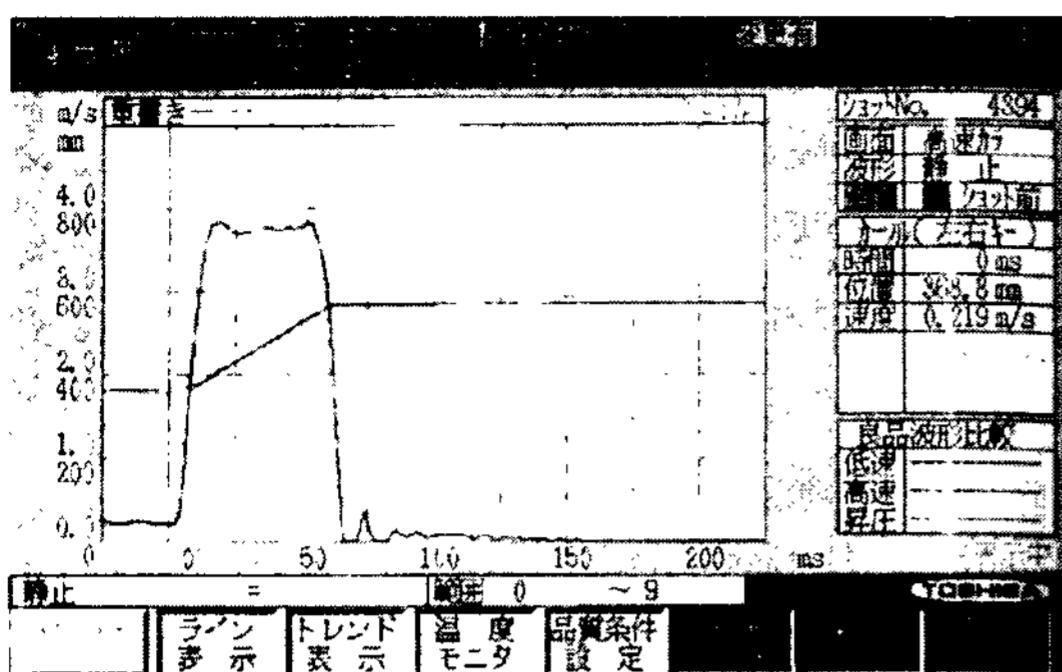


Fig. 5. 추종 보정(3쇼트 겹쳐그리기).

고, 가까운 장래에 효과를 발휘할 것으로 생각된다. 다음에 그와 같은 속도제어를 실현함에 의한 효과의 실례를 소개한다.

#### 4. 주조테스트에 의한 효과의 검증

##### 4.1 초고속 사출에 의한 성형성 효과

Fig. 6에 사출속도가 박육 성형성에 얼마나 영향을 미치는지를 확인한 테스트를 나타낸다. 테스트 피스 형상은, 두께 0.7 mm, 폭 100 mm, 높이 300 mm의 평판 형상으로 마그네슘 합금 (AZ91D)으로 주조테스트를 행하였다. 마그네슘 합금은 알루미늄 합금과 비교하여, 응고 시간이 약 반 정도로 단시간 성형이 요구된다. 충전 사출속도가 빠를수록 충전성이 좋고, 8 mm/s에서는 테스트 피스 전체에 용탕이 충전되고 있다. 따라서 박육 및 마그네슘 합금과 같이 응고 시간

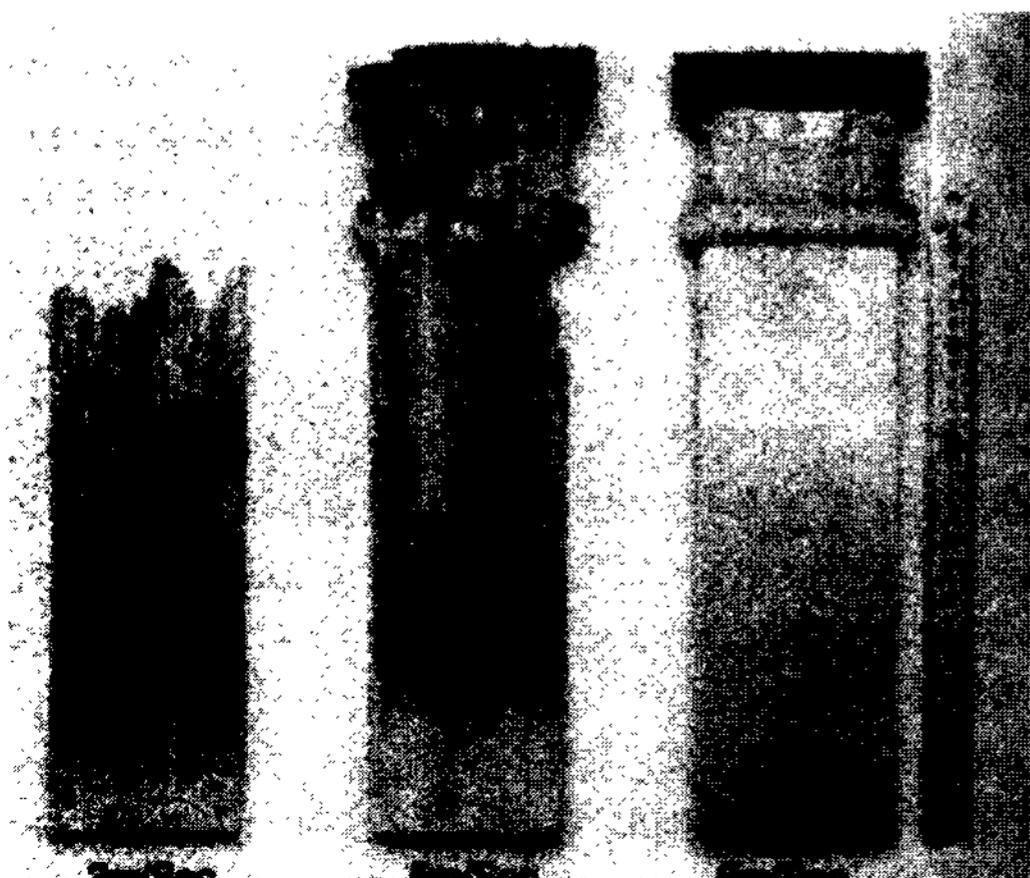


Fig. 6. 박육성형성 평가.

이 짧은 제품 성형에는, 사출속도가 중요한 인자가 됨을 알 수 있다.

실제의 주조에 있어서는 단순히 고속을 내는 것뿐만 아니라 고속으로의 가속특성 및 주물핀을 방지하기 위하여 정도가 좋은 감속특성, 속도에 영향 받지 않는 가압행정 등도 중요하게 생각된다. 이 테스트에 기초해서 실제로 상품화 된 것이, 근년 주목되고 있는 박육(0.9 mm) A4 사이즈의 마그네슘 합금제 노트북 컴퓨터의 케이스이다.

종래의 머신에서는 공사출에서 5 m/s가 한계였던 것으로부터 판단하면, 초고속 사출머신에서는 지금까지 불가능하다고 생각됐던 성형을 실현가능 할 수 있다는 기대가 크다.

##### 4.2 초고속 사출에 의한 내부 품질 효과

Fig. 7에 재료 AC4C( $710^{\circ}\text{C}$ ), 제품 하프파이프 (고 진공 실험용) 직경 50 mm, 두께 50 mm, 금형온도  $150^{\circ}\text{C}$ , 주조 압력 60 Mpa, 승압시간 50 ms 조건에서 고속사출속도를 2 m/s, 3.5 m/s을 두 가지로 형내 압력을 측정한 결과를 나타낸다. 형내 유지 시간은 측정 압력이 30 Mpa을 넘는 시점으로부터 다시 30 Mpa 이하로 내려가는 시점까지의 시간에서의 평가이다. 형내 압력 측정 결과에 의하여 사출속도가 보통 속도와 초고속 속도에 의한 형내 압력은 거의 같은 압력이 측정되고 있다. 크게 다른 것은 형내 압력의 유지 시간이다. 이번에 20 Mpa 기준으로 한 유지 시간에서는 사출속도 2 mm/s에서 125 s임에 대해서 3.5 m/s에서는 164 ms이다. 이것은 단시간 충전에 의하여 제품 전체에의 압력효과를 높이고, 압력 유지시간이 증대되었다고 생각된다. 내부 결함인 기포는 단시간 충전에 의하여 분산화되고, 유효한 압력 시간 증대에 의하여 미세화되는 효과가 있다. 인장 시험 결과(열처리 하지 않음)는, 2 m/s에서는 264 Mpa, 3.5 m/s에서는 275 Mpa 였다.

##### 4.3 가감속 제어의 효과

Fig. 8은 하드디스크 드라이브의 2 캐비티의 제품 예이다. 종래기에서 제품 회수율이 낮았고, 제품상의 박리 발생 등에 의하여, 전제품 후처리 공정이 필요하였다. 초고속 사출제어기의 도입에 의하여 후처리 공정이 생략되어 4배 이상의 생산이 가능하게 되었다. 그 이유는 사출파형의 검토로부터 다음과 같이 설명이 된

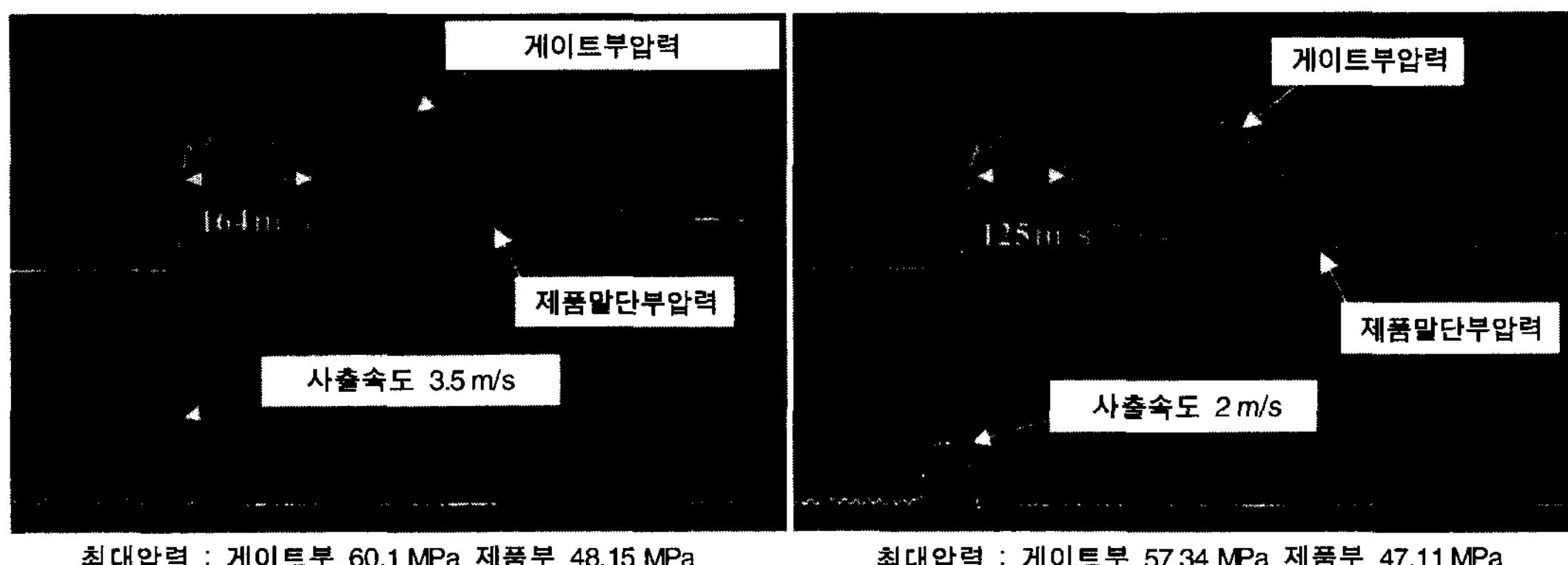


Fig. 7. 형내 유지 시간의 효과.

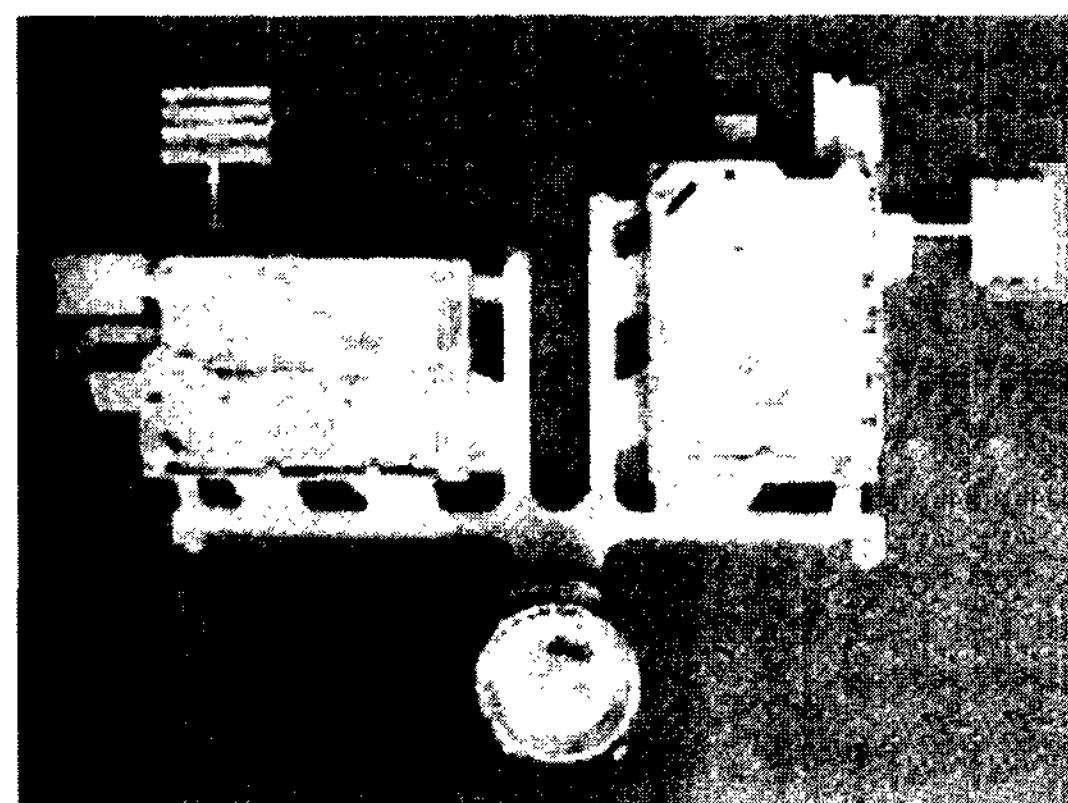


Fig. 8. 하드 디스크 드라이브

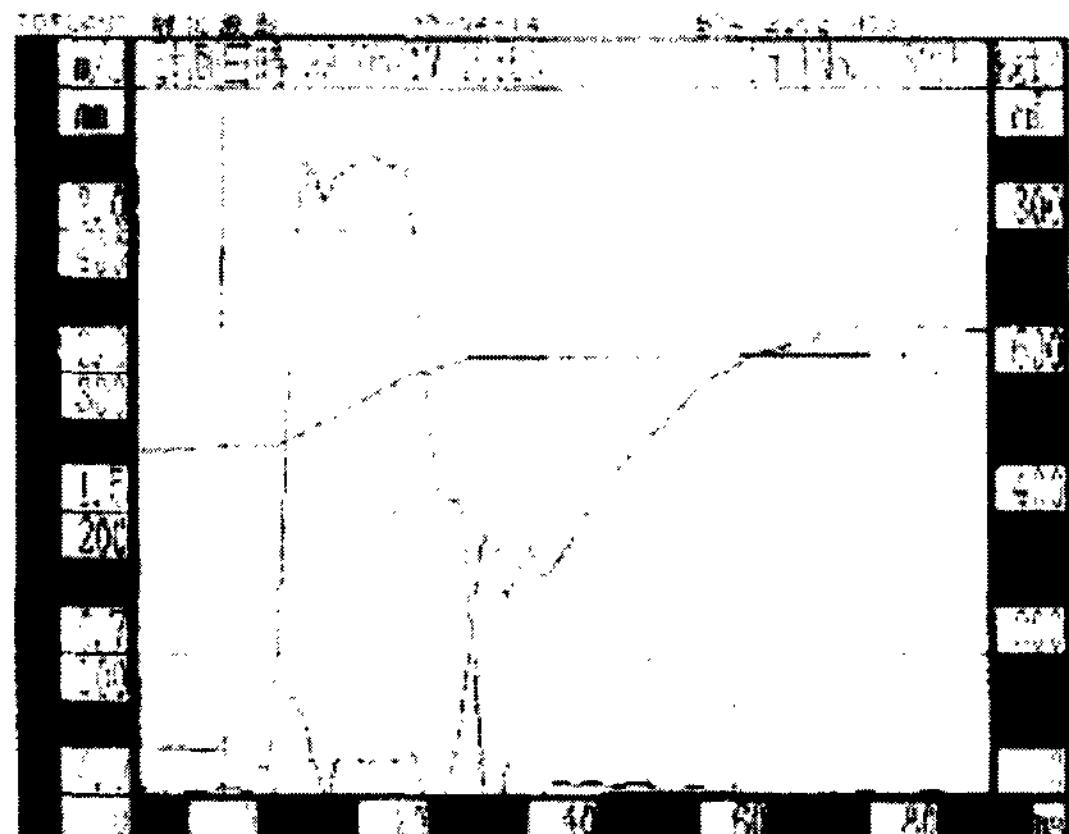


Fig. 9. 실사출파형

다. Fig. 9는 실주조시의 사출파형을 나타내고 있고, 사출속도는 0.2 m/s의 저속으로부터 4 ms 내에 가속을 완료하고, 3.2 m/s의 고속을 충분히 유지한 후, 동일하게 4 ms 내에 감속하여 1.5 m/s로 충전을 완료하고 있다.

이것에 비하여 종래기에서는 우선 충전완료시의 주 물핀 발생을 피하기 위하여, 고속 그 자체가 2 m/s 정도 밖에 나오지 않고, 더욱이 그 고속까지의 가속도 늦었기 때문에, 고속개시 위치를 그만큼 빨리 설정하지 않으면 안 되었다. 가속에 시간이 걸리면, 속도 그 자체의 최대치를 크게 해도, 실제의 캐비티 충전 시간은 길어지고 만다. 속도 그 자체에 제한이 있으면, 충전 시간은 더욱 길어지고 만다. 이것을 보완하기 위하여 고속 사출 개시 위치를 빨리 설정한다고 하는 것은, 캐비티 충전 이전의 에어의 혼입이 크게 되어버리고 만다는 문제를 불러일으킬 가능성이 있다.

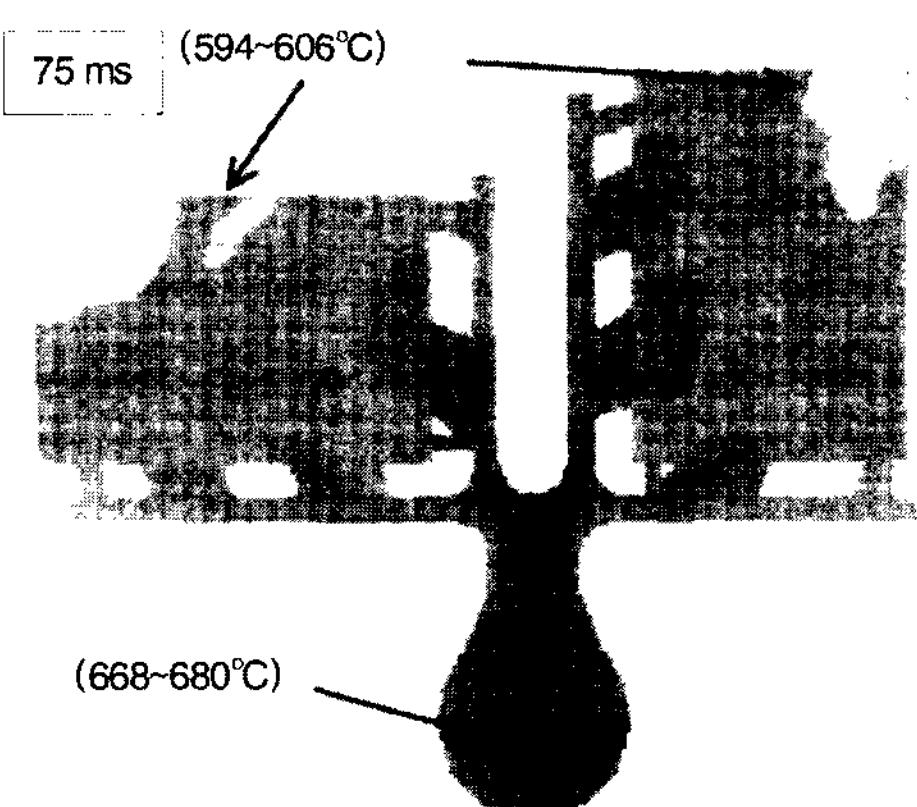


Fig. 10. 서보사출제어에 의한 탕흐름.

이상의 분석을 증명하기 위하여, 유동옹고해석을 실시하였다. Figs. 10과 11은 각각 서보사출제어기와 종

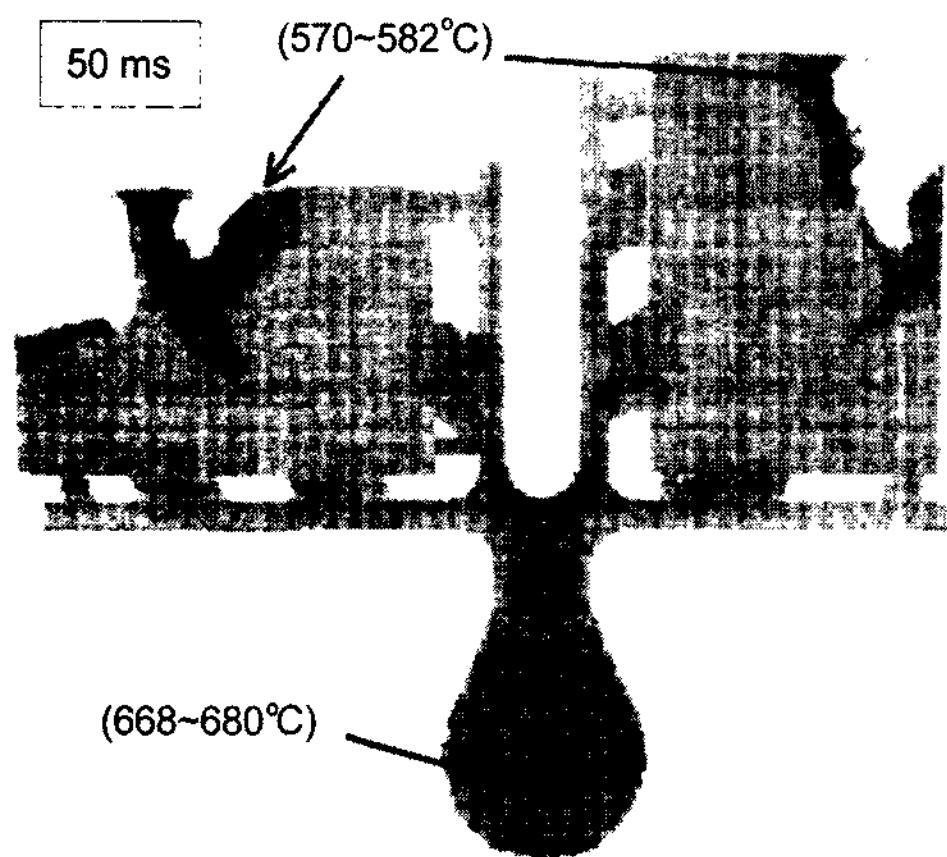
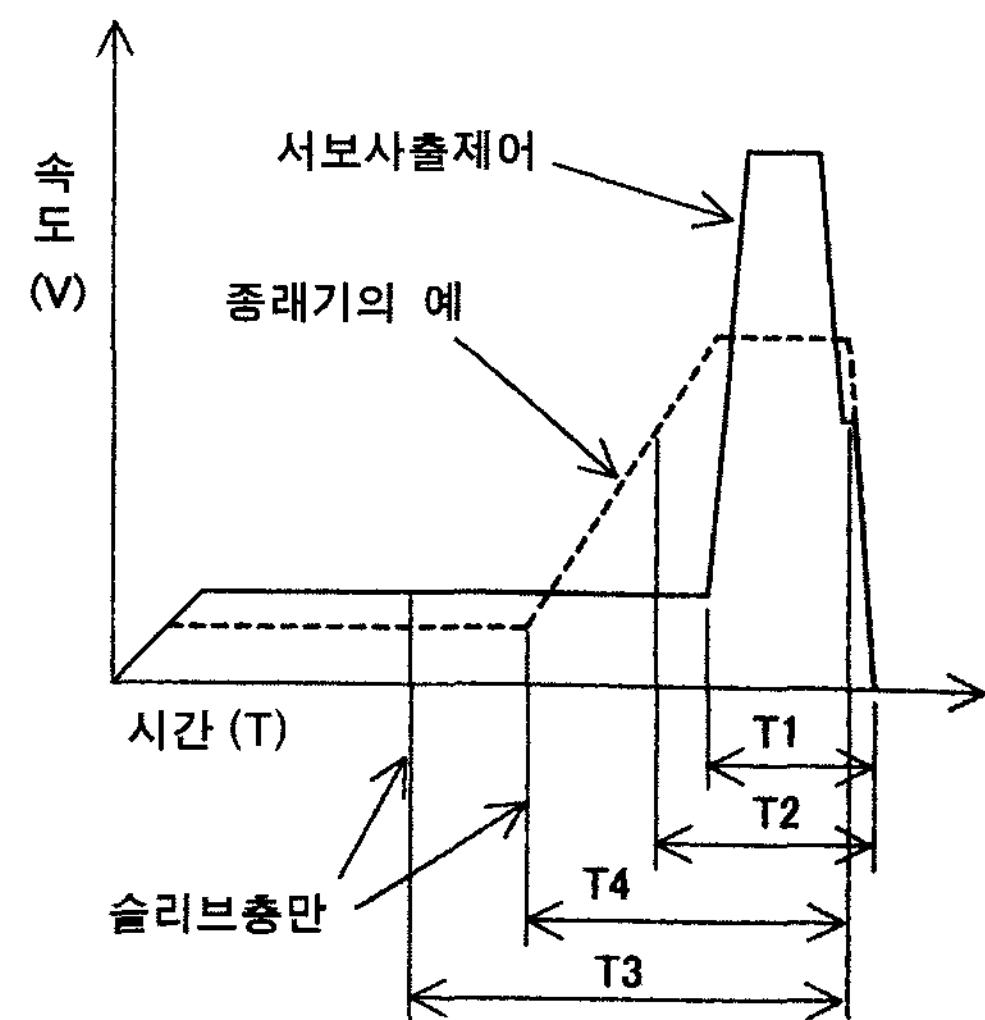


Fig. 11. 종래기에 의한 탕흐름 상태.

래기에 있어서, 95% 충전을 완료한 시점에 있어서 용탕의 온도분포의 형태를 나타내고 있다. 표시되고 있는 시간은 슬리브가 꽉 차고 나서부터의 경과시간이다. 서보사출제어기의 경우, 용탕 선단의 온도는 아직 594~606°C를 유지하고 있는 것에 대해서, 종래기의 경우는 용탕 선단의 온도는 570~582°C까지 강하하고 있다. 더구나 그 경과 시간을 비교하여 보면 각각 75 ms와 50 ms로, 서보사출제어기 쪽이 길어지고 있음에도 불구하고 용탕의 온도강하는 적다.

이것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 종래기의 예에서는 고속속도의 제한과 늦은 가속 특성을 보완하기 위하여 고속개시 위치를 빨리하였기 때문에, 과대한 에어의 혼입 등의 문제가 발생하여 저속속도를 늦추지 않으면 안 되었다. 그 때문에 슬리브가 꽉 찰 때 까지의 시간이 걸리나, 그 후는 고속으로 넣음으로 비교적 짧은 시간에 사출의 후반을 종료하고 있다. 서보사출제어기의 경우는 필요 이상으로 저속을 낮추는 것이 없고, 슬리브를 꽉 채운 후에도 저속을 계속하고(시간은 걸리지만), 실제로 필요한 위치(일반적으로는 게이트, 본 예에서는 런너부)에 도달하자마자, 고속으로 바꾸고 있다. 이 관계를 Fig. 12에 나타낸다. 여기서 충전 시간 그 자체는 서보사출제어기 쪽이 짧은 것에 주의하여야만 한다.

다시 말하면 용탕이 비교적 냉각되기 어려운 장소(슬리브, 런너부)에서의 속도는 느리게, 용탕이 냉각되기 쉬운 장소(캐비티부)에서의 속도는 빠르게, 빨리 바꾸는 기능에 의해서 사출속도 제어가 효과를 발휘하는 것이라고 생각된다.



(파형의 아래의 면적이 사출 스트로크)

## 서보사출제어기구(실선)

T1: 충전시간

T3: 슬리브충만으로부터 95% 충전까지의 시간

## 종래기의 예(파선)

T2: 충전시간

T4: 슬리브충만으로부터 95% 충전까지의 시간

Fig. 12. 사출파형과 소요시간.

Fig. 9의 사출파형으로부터 가감속기의 플란저 스트로크를 더하면, 각각 5 mm와 6 mm이고, 고속 개시위치와 감속 위치가 각각 정확하게 제어되고 있음을 알 수 있다.

## 5. 하이싸이클 전자동 시스템

이상 고품질을 실현하기 위하여 다이캐스팅 머신의 사출성능을 중심으로 설명하였으나, 이하에는 이 시스템의 그 외의 특장에 대해서 설명한다.

우선 머신 본체의 형체 기구에 관해서는, AC서보모터에 의하여 타이밍 벨트와 볼 스크류를 거쳐서 토글을 구동하는 전동방식을 채용하고(양산 콜드챔버머신으로서는 세계최초), 에너지 절감과 폐기물절감에 공헌하고 있다. 압출기구는 압출판에 스페이스 기구를 확보하기 위하여, 형개폐동작을 이용한 간접 압출방식을 채용하고 있다. 형개폐, 압출 동작과 동시에 서보제어에 의한 하이싸이클·쇼크리스 운전이 가능하게 되었다.

사출과 중자는 유압구동이나, 그 유압원은 필요 최

소한으로써, 필요작동 분량도 형체력 130톤인 당사의 유압기에 비해서 35% 감소시키고 있다.

또한 자동화 장치에 관해서도 전부를 전동화하여 특히 축출장치와 스프레이 장치는, AC서보모터를 이용하여 통상은 씨퀀스 제어와 동일하게 취급하기 쉽게 하였고, 필요한 경우는 로봇과 같이 속도와 위치의 프로그래밍이 가능하도록 되어 있다. 이들에 의해서 다이캐스팅 머신 본체와 각 자동기는 각각 최적의 속도 패턴을 그리고, 하이싸이클과 쇼크리스를 동시에 실현 가능하게 되고 있다.

각 장치의 특장으로서는 다음의 것이 있다.

① AC서보의 정지정도는 0.1 mm이고 스프레이의 정도의 향상에 공헌

② 스프레이 장치는 상하 에어블로우 기능을 가진다.

③ 스프레이 헤드는 스프레이액 찌꺼기가 남지 않는 좋은 것을 사용한다.

④ 머신 본체와 각 자동화 장치는 각각이 동시에 움직이는 램프동작이 가능하고 하이싸이클 운전에 공헌하고 있다.

⑤ 축출장치의 정지정도도 0.1 mm 정도이고, 제품 검지기구는 공압프레셔 스위치를 사용하고 있고, 제품을 유지하고 있는 동안에 연속해서 제품 검지가 가능하다.

Fig. 13에 본 전자동 시스템의 싸이클선도(계산치)

를 나타낸다. 유압 135톤기에 비해서 12초 싸이클로부터 10초싸이클로 2초 싸이클 단축이 되고 있다. 또한 135톤기에 대해서는 공급전원을 60 Hz로 한 경우의 값이나, 150톤기의 경우는 전동 AC서보기능 때문에 공급전원에 관계없이 동일한 싸이클이 실현가능하다.

또한 사출부의 유압은 어큐뮬레이터를 사용하고 있기 때문에 본래 전원 주파수의 영향은 받지 않으나, 작동유의 온도 변화에 의한 영향 등은 무시할 수가 없다. 이 정도 150톤기의 경우는 리얼타임 피드백을 행하고 있기 때문에 영향을 받지 않고 싸이클의 안정화에 기여하고 있다.

## 6. 그 외의 주조 지원 기술

이상 개발한 150톤 전자동 시스템의 소개를 하였으나, 최근에 다이캐스팅에 있어서는, 종래의 다이캐스팅 기술의 범주를 넘는 고품질·고품위가 요구되고 있는 것도 드물지 않게 되어서, 그와 같은 요구에 대응하기 위해서는 단순히 다이캐스팅 머신뿐만이 아니고, 각종 주조지원 기술이 필요하게 되었다.

그와 같은 배경으로부터 당사에 있어서 대응하고 있는 각종 주조 지원 기술을 참고로 Table 1에 나타낸다.

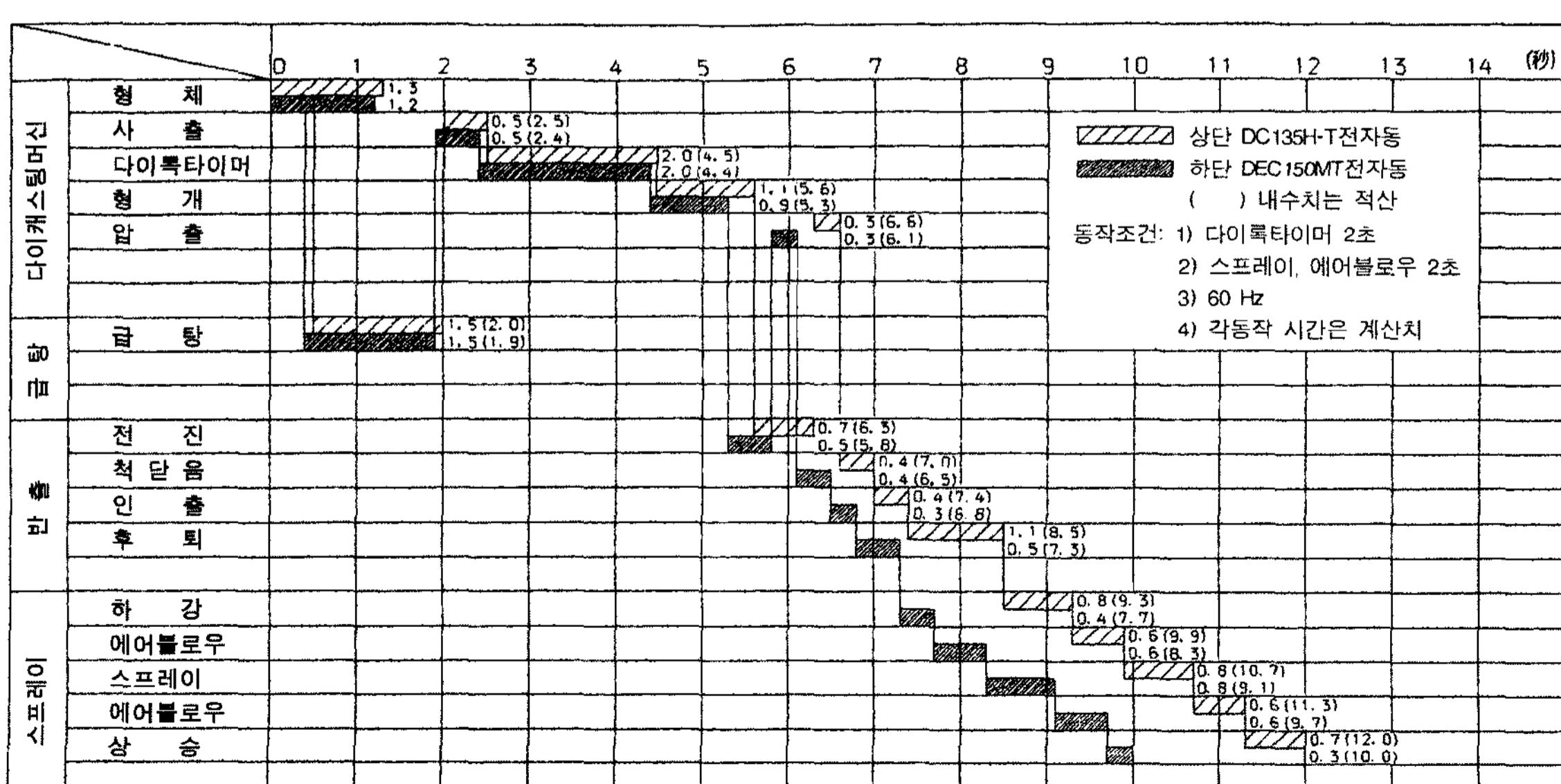


Fig. 13. 150톤 머신의 싸이클 선도

Table 1. 각종의 주조 지원 기술

| 지원<br>기술                   | 각종주조<br>지원기술                                 | 초저속제어                    | 초고속제어                               | 승압제어                 | 전자펌프          | 진공제어                  | 국부가압                           | 가스검지               | 단열슬리브           |
|----------------------------|--|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------|
| 니즈                         | 사양수치   | 0.05 m/s<br>$\pm 5\%$    | 10m/s<br>가감속10ms                    | 10~150 ms            | 1~6 kg/s      | 133 hPa<br>(100 torr) | 충전<br>스트로크<br>$\pm 1\text{mm}$ | 연속대응               | 온도저하<br>30°C 이내 |
|                            | 주된 효과  | 가스량저감                    | 고사출율                                | 고밀도                  | 단시간급탕<br>용탕품질 | 가스량저감                 | 고밀도                            | 가스압관리              | 용탕온도            |
|                            | 절삭가공   | 블로우홀<br>및<br>칠층박리의<br>방지 | ◎                                   | 고속구간의<br>단축과<br>무주물핀 | ◎             | ◎                     | ◎                              | ○<br>금형내의<br>가스압관리 |                 |
| 복잡형상<br>(박육과<br>후육의<br>흔재) | 엔진블록<br>미션케이스<br>등의<br>무함침                   |                          | ◎<br>고속구간의<br>단축과 무주<br>물핀진공<br>불요화 |                      |               |                       | ◎                              | ○<br>금형내의<br>가스압관리 |                 |
| 내압기밀<br>제품                 | 컴프레서의<br>무함침                                 |                          | ◎<br>기공의<br>미세화                     |                      | ○             |                       |                                |                    |                 |
| 열처리부재                      | 자동차의<br>바퀴 주변<br>부품에서 신<br>율, 강도, 조<br>직이 중요 | ○                        |                                     |                      | ○             |                       | ○                              |                    | ○               |
| Mg<br>다이캐스팅                | IT, 모바일<br>등 박육<br>케이스의<br>외관품질              |                          | ◎<br>충전시간의<br>단축과<br>무주물핀           |                      | ○<br>밀폐급탕     |                       |                                |                    | ○               |
| 용접부재<br>(근미래<br>니즈)        | 차체<br>프레임의<br>접속부품에<br>서 핀홀방지                | ○                        |                                     |                      |               | ○                     |                                | ○                  |                 |
| 초대형<br>성형품<br>(근미래<br>니즈)  | 차체경량화<br>대체<br>도어인너<br>(Mg)<br>판넬(Mg)        |                          | ○                                   | ○                    |               |                       |                                | ○                  | ○               |

○: 효과를 발휘한다. ◎: 효과를 크게 발휘한다.

## 7. 에너지 절감과 환경보전

현재 그리고 다음 세기에 걸쳐서 모든 산업이 세계적인 레벨에서 다루지 않으면 안 되는 것의 하나가 환경 문제일 것이다.

다이캐스팅 제품 그 자체는, 안정된 금속 재료를 반복하여 리사이클 사용함으로, 플라스틱 등에 비하여 환경 문제에서는 우등생이라고 생각되나, 그 제조 공정에 있어서는 아직 개선하지 않으면 안 되는 문제점이 많다. 그 중 하나는 다이캐스팅 공정이, 매우 많은 에

너지를 소비하고 있다는 것이다. 기계 설비에 관해서 얘기하면 가장 에너지를 소비하는 것은 그 유압원인 전동기이다. 유압은 큰 힘과 에너지를 전달하는데 편리하므로, 꽤 넓게 이용돼 왔으나, 에너지 효율에 관점으로부터 이야기 하면, 반드시 최선의 선택이라고는 말 할 수 없다. 유압원의 전동기 소비전력을 조금이라도 저감시킬 수 있는 방법으로서 현재까지 실시되어온 것은

- ① 유압펌프의 강제 언로드(압력만)
- ② 가변토출펌프(피스톤 펌프)에 의한 압력과 유량의

언로드

- ③ P-Q 밸브에 의한 압력과 유량의 언로드
- ④ 전동기의 인버터 제어에 의한 유량의 최적 제어 등이나, 가장 효율이 높은 것은 전동기로 직접 머신을 구동하는 것이다.

이번에 소개한 150톤 전자동 시스템은, 그와 같은 컨셉트에 기초하여 개발한 것이고, 그 소비 전력은 유압기와 비교하여 20% 저감에 성공하고 있다.

유압에 관한 또 다른 하나의 문제는 작동유의 누설 및 폐유처리이다. 이 문제점도 전동화함에 의하여 해결되나 사출부의 구동 및 대형 머신 등의 대응 등 금후 연구개발을 하지 않으면 안되는 점도 많다.

**8. 결 언**

고품질, 하이싸이클, 에너지 절감을 추구한 다이캐스팅 머신 150톤의 전자동 시스템을 소개하고 그 특장에 대해서 설명하였다.

(1) 서보제어에 의한 초고속 사출은 불량률의 저감과 고품질 · 고품위 주조에 효과가 있고, 금후 다이캐스팅의 범주를 넓혀갈 수 있다고 생각된다.

(2) 초고속 사출과 동시에 가감속 제어의 속도가 다이캐스팅의 품질 상 중요한 것을 알았다.

(3) AC서보제어에 의한 전동화 기구가 하이싸이클과 쇼크리스 및 에너지 절감에 효과가 있음을 알았다.

(4) 전동화는 유압구동에 대신하는 환경보전의 수단으로 되고 금후 점점 증가해 갈 것이라고 생각된다.

**참 고 문 헌**

- [1] 石橋, 名取, 阿部, 豊島, 藤巻 : '00 日本ダイカスト會義論文集 JD00-13.
- [2] 藤巻, 久保田, 加藤 : '02 日本ダイカスト會義論文集 JD02-30.
- [3] 北村, 辻, 橫山 : '96 日本ダイカスト會義論文集 JD96-10.
- [4] 久保木, 久保田, 辻, 橫手, 中村 : '98 日本ダイカスト會義論文集 JD98-20.
- [5] 辻: フルイドパワーシステム第31券 第5號.