자동주탕기의 개발에 의한 주탕개선¹⁾

東海茂・山林邦昭・橋本義雄

Komatsu Castex Ltd.

Improvements of Pouring Work by Development of Automatic Pouring Machine

Shigeru Tokai, Kuniaki Yamabayashi, and Yoshio Hashimoto

Komatsu Castex Ltd.

번역: 조상현²⁾

1. 서 언

고마쓰캐스텍스(주)에서는 과거, 사내용으로 수동방식의 주탕기를 제작한 경험이 있으나, 현재 일반적으로 사용되고 있는 자동주탕기의 제작경험은 없었다.

그동안의 산업기계의 개발 및 제작으로 축적하고 있는 Servo 기술 등을 사용하여, 간단한 제어로도 동작이 가능한 자동주탕기를 독자적으로 개발을 추진하였고, 주탕기술, 기계기술, 제어기술을 융합하여 사내의 주탕기술의 수준향상을 이끌었기에 이를 소개하고자 한다.

2. 장치 구성

2.1 기계, 제어계의 구조

조작 및 제어가 가능하도록 간단하게 하기 위하여 주탕기의

Fig. 1. 자동주탕장치 전체사진.

구조는 예전부터 있는 주입컵에 기계적인 경동회전축을 갖는 구조로 하였으며, 또한 주입컵도 부채꼴모양의 것을 채용하였고, 용량은 사내의 제품에 포커스를 맞춰서 1톤으로 하였다.

Fig. 1에 장치의 전체사진을, Table 1에 장치사양을 나타낸다.

현재 주형높이에 비해, 제품의 높이를 최대한 높게 잡은 주입품이 있고, 주탕중량의 변동폭이 크면 주입불량품 발생으로 연결되기 때문에, 목표주탕정밀도는 중량변동폭값의 ± 1 kg 이하로 하였다.

2.2 제어방법

2.2.1 모델화

주탕작업을 자동으로 실시할 경우, 주탕시, 주입컵이 정확히 탕구를 향하여 용탕을 낙하시키는 지점의 벗어남, 흘림, 단절 등이 일어나지 않도록 주입컵의 주행 및 전후, 높이의 위치 및 경동속도를 정확하게 제어할 필요가 있다. 이 때문에 주탕을 Fig. 2와 같이 모델화하여, Table 2에 나타내는 것과 같이 주탕에 필요한 입력데이터(주탕조건)를 기초로 이것을 기계제어에 필요한 데이터로 변환하는 변환테이블을 작성하였다.

Table 1. 장치사양.

항목	사양	비고
주입컵용량	1000 kg	부채꼴 모양의 로
주탕속도	3-10 kg/s	
제품중량	70-150 kg	
주행속도	40 m/min	Servo제어
전후	6 m/min	Servo제어
경동	8°/sec 최대	Servo제어
상하	0.9 m/min	인버터제어
용탕계량	로드셀 50 kn × 4개	
목표주탕정밀도	± 1 kg (70-150 kg)	편차값

¹⁾ 日本鑄造工學會誌 제82권(2010) 제1호 page 47~52에 게재된 자료임

²⁾ 한국생산기술연구원(Korea Institute of Industrial Technology) 수석연구원

Fig. 2. 주탕장치의 모델화와 변환테이블.

Table 2. 변환테이블의 입력데이터와 출력.

No	입력데이터	변환테이블명	출력
1	주탕속도	주탕속도와 경동각속도	경동각속도
2	탕구위치 주탕속도 및 주입컵 높이	주탕로 전후 위치	주입컵전후 위치
3	회송속도, 주탕속도	탕 단절 테이블	경동 원위치 시점
4	주탕속도보정값	소탕의 잔탕 보정테이블	경동각속도 보정값

다음에 테이블의 설명을 나타낸다.

No. 1 : 주탕속도로부터 기계경동각 속도를 구한다.

No. 2 : 주탕개시시점의 로 전후위치를 구한다.

No. 3 : 탕 절단 테이블, 용탕은 경동을 다시 되돌려도 즉시 정지하는 것은 아니기 때문에 목표중량을 달성하기 위해서는 몇 kg전에 경동을 다시 되돌리면 좋을지를 구한다. 경동을 되돌리기 시작하여 정지할 때까지 나오는 용탕의 양을 탕절량(湯切量)이라고 한다.

No. 4 : 잔탕이 조금 남게 되었을 때 (본 장치에서는 부채꼴 모양의 주입컵임), 출탕량이 줄어들기 때문에 이것을 보정한다.

2.2.2 개발기계의 변환 테이블 예

Fig. 3에 개발기의 주탕속도와 경동속도 변환 테이블의 예를 나타낸다. 횡축에 주입컵(로)내의 용탕중량, 종축에 경동각속도를 나타내고, 입력 및 계량되는 주탕속도와 용탕중량을 이용하여

2009/09/18 10:36
注湯速度と傾動速度

데이터테이블

		래들 내 용탕중량							
		1000以上	900	800	700	600	500	450	400
경동각속도 (度) (sec)	0.05	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.10	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.15	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.20	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.25	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.30	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.35	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.40	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.45	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.50	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.55	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.60	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.65	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3
	0.70	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3	01.3

메뉴 주탕조건 파라메타표1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Fig. 3. 주탕속도와 경동각속도의 변환 테이블 예.

경동각속도를 구하고 있다. 부채꼴모양의 주입컵 특성을 고려하면 주탕속도는 경동각속도가 동일하다면 용탕중량이 변화하여도 동일하겠지만, 로의 소모 및 원통형의 로 등, 용탕중량에 따라 경동각속도를 변화시킬 필요가 있음을 생각하여 용탕중량에 따라 경동각속도를 바꿀 수 있게끔 되어 있다.

2.3 조작방법

현재 자동주탕기의 조작방법은 Teaching-Playback방식이 주류이다. 주탕상황을 보면서 작업자가 스위치를 돌려서 주탕속도를 제어하는 방식이다. 원래는 숙련자가 조작하는 데이터를 학습시킴으로서 좋은 주탕을 실행할 수 있으나, 실제로는 내화재의 소모나 부착물의 부착 등이 발생하기 때문에 재교육이 필요한 경우가 빈번히 발생한다. 원래 인간은 스위치나 레버 등의 조작을 완전히 똑같이 반복하는 것에 익숙치 못하며, 숙련자라고 하더라도 좋은 주탕조건을 언제나 간단히 만들 수 있는 것은 아니다. 따라서 다음 3개 관점의 조작 및 조정이 가능토록 목표를 잡아서 개발은 진행하였다.

(1) 먼저 기준동작 패턴을 만들어 놓고, 이에 기반하여 기계를 제어한다.

(2) 하나의 주형에 주탕을 시행하는 동안에 경동각속도를 수단계로 변화시킬 수 있도록 하고, 또한 국소적으로 속도조정이 가능토록 한다.

(3) 주탕개시 시점에서 용탕의 유량조정을 간단히 할 수 있도록 한다.

Fig. 4에 동작패턴도, 그리고 Table 3에 동작패턴 상에서 각 구역의 동작내용 및 각 동작의 개시/정지조건을 나타낸다.

원점(0, 0)으로부터 동작을 시작하고, 최초는 빨리 경동을 시켜서 출탕탐지센서에서 출탕을 감지토록 한다. 출탕탐지 후에 일정각도로 경동시킨 시점에서 급속출탕으로부터 초기주탕속도로 속도를 변환(이 일정 각도를 이후 랩각도로 칭한다)한다. 랩각도를 여러 가지로 변화시켜 봄으로서 주탕개시시의 용탕유량의 조절을 시행할 수 있도록 고려하였다. 다음으로 주탕을 시작하지만, 이번에는 실제의 주탕이 30초 정도로 생각되기 때문에,

Fig. 4. 주탕 주입컵의 동작패턴.

Table 3. 동작패턴상에서 각 구역의 동작내용과 스위칭조건.

구간	동작	스위칭 조건
0	경동개시~출탕탐지 출탕탐지센서	- -
①	랩각도만큼 빨리 경동	-
②	초기주탕속도로 경동	출탕탐지 + 랩각도
③	중량1에서 주탕속도1로 전환	중량1, 주탕속도1
④	중량2에서 주탕속도2로 전환	중량2, 주탕속도2
⑤	탕 절단 중량에서 경동을 들어올림	계측중량 - 탕 절단
⑥	다음 물드로 이동	-

주탕의 구간을 3구간 (②~④)으로 나누어 각 구간에서의 주탕 속도를 설정가능토록 하고, 이들 구간의 속도변화는 주탕중량에 의해 조절되도록 하였다. 각 구간의 주탕속도, 변환 중량을 터치패널에서 설정가능토록 하였고, 설정값을 임의로 바꿀 수 있도록 하면 구간단위의 국소적인 주탕조건의 변동이 가능토록 하였다. 주탕조건이 모든 수치데이터로서 취급되기 때문에, Teaching-Playback방식에 비하여 정확한 주탕조건의 제작이 가능하다고 생각하였다.

3. 사전테스트

맨 처음에, 설계한 기계가 생각되리 동작하는지, 일정의 성능을 내는지를 확인하고 각 변환 테이블에 들어가는 값을 대략

Fig. 5. 사전테스트 실험장치.

Fig. 6. 주탕구의 상황.

적으로 구하기 위하여, 용탕과 동점성도가 거의 비슷한 물을 사용하여 사전테스트를 실시하였다.

Fig. 5, 6에 실험장치를 나타낸다. 주탕구는 90도 V자형으로 하였다. Fig. 7~Fig. 10에 테스트 결과를 나타낸다. Fig. 7을 보면 경동각속도에 비례하여 주탕속도가 변화하고, Fig. 8으로부터 랩각도를 변화시킴으로서 경동각속도가 동일하여도 평균주탕속도를 크게 바꾸는 것이 가능(주탕개시시에 주탕속도를 조정하는 것이 가능)함을 알 수 있다. 또한 Fig. 9에는 경동각속도에 비례하여 탕절량이 커짐, 그리고 Fig. 10으로부터 용탕의 낙하 위치가 잔탕량에 영향받을 수 있음 등, 주탕기로서의 기본적인 성격 및 양상의 타당성, 변환 테이블에 들어가는 수치의 대략적인 값을 얻을 수 있었으며, 거의 소정의 목표를 달성하였다고 판단 된다.

4. 조형라인에의 도입

타사의 협력을 얻어서 호이스트식 주탕라인에 개발기를 설치하고 자동주탕테스트를 실시하였다. 이미 가동 중인 라인에 설

Fig. 7. 경동각속도와 주탕속도의 관계.

Fig. 8. 랩각도와 주탕속도의 관계.

Fig. 9. 경동각속도와 탕절량의 관계.

치하기 위하여 생산에 지장이 없도록 배려하여 다음의 수순에 따라 실시하였다.

- ① 주탕하는 곳 바닥에 레일을 설치
- ② 주탕하는 곳 상류쪽에 대차를 놓고, 조정 및 시운전을 실시
- ③ 통상의 조업종료 후에 버리는 주형을 이용하여 주탕테스트 및 조정

Fig. 10. 주입컵 잔탕량과 낙하위치의 관계.

Fig. 11. 동작패턴과 속도전환점.

- ④ 제품주탕 (반자동 주탕)
- ⑤ 제품주탕 (자동 주탕)

4.1 조작성 향상과 반자동 주탕

일반적인 기계는 자동운전 중에 수동조작을 하여도, 자유롭게 움직일 수 없는 것이 보통이다. 그러나, 주탕기에서는 대상이 고온의 용탕이기 때문에, 프로그램 오류등으로 인하여 대량의 용탕이 넘친다던지 화재가 발생한다던지, 라인의 장치 파손 등의 문제를 야기할 수 있음을 고려하였다. 이 때문에 용탕의 오버플로우 등이 발생할 것 같은 상황이 되면, 자동운전중에도 조작레버를 조작하여 사람이 각 축의 조정 및 주탕정지를 할 수 있도록 제어회로를 설계하였으며, 반자동모드를 설치하였다. 이로 인해 개발기 임에도 불구하고, 생산에 지장을 주지않고 손쉽게 라인에 도입할 수 있었다.

4.2 자동주탕

당초에 사람이 도중에 개입하는 반자동주탕이라고 하는 형태를 실체라인에 도입하였으나, 생산상황을 보면서 자동주탕시험을 실시하여 기술의 완성을 목표로 하였다. 이 상황에서 몇가지 포인트가 되는 기술이 있어서 이를 소개코져 한다.

4.2.1 기계 시스템의 개선

자동주탕 테스트에서 맨 처음에 문제가 되었던 것은 주탕개시시에 단시간에 탕구컵내에 용탕이 잘 차게하는 것이 불가능하였으며, 탕구컵으로부터 용탕이 넘친다던지, 거꾸로 용탕이 잘 차지않고 탕구컵이 빈 상태에서 탕 절단이 일어나던지 하는 경우가 발생하였다.

여기서 주탕개시시의 속도전환에 착안하여 Fig. 11에 나타내는 동작패턴도의 속도전환조건을 조사하였다. 그 결과 빠른 속도속도는 주탕속도의 10~20배가 되는 것도 있었고, 여기서의 전환시간의 편차가 주탕개시시의 용탕의 출탕패턴에 크게 영향을 미치는 것 같다는 것을 알게 되었다.

여기서 기계구동계의 속도전환에 관한 편차 및 출탕탐지의 편차에 관한 조사를 실시하였다.

4.2.2 경동모터 속도전환의 편차

Fig. 12, 13에 경동 Servo모터의 속도전환점의 각도변화상황 데이터는 나타낸다. 당초에는 Servo모터를 Fig. 12에 나타내는 오토튜닝모터(제어기기쪽에서 기계의 특성을 자동으로 추정하고, 이에 기반하여 속도전환점 및 제어량을 자동으로 결정한다)로 제어하고 있었으나, 여기서의 편차가 0.25초이고, 각도도 크게 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 따라서 매뉴얼모드로 변경하여 편차의 요인인 동적추정을 중지하고, 이러한 계열의 기계 특성을 지정(정수화)하는 방법으로 조정을 실시한 결과 Fig. 13에 나타내는 것과 같이 편차가 0.08초로 개선되었다. 이것은 수 모델 테스트로부터 추정해보면 약 0.5 kg/s의 속도편차개선에 해당된다.

4.2.3 출탕탐지와 속도전환법

Fig. 13에 경동의 개시시점을 기본으로 라인탐지식(직선형태의 탐지가능영역을 갖는 센서) 및 스팟탐지식(원형의 탐지가능영역을 갖는 센서)의 두 종류의 센서로 출탕탐지의 탐지상황을 조사한 결과를 나타낸다. 두 가지 센서의 탐지경향은 거의 동일하고 센서의 차이는 보이지 않으나, 주형에 따라 탐지가 최대 1.2초 정도 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 실제로 출탕상황이 이와 같다고 가정하여 노내부를 관찰한 결과, 용탕면의 출렁임이 영향을 미치고 있다고 추정되었다. 즉 용탕 처음 나오기 시작할 때, 용탕의 출렁임이 +가 되면 출탕탐지가 빨라지고, 거꾸로

Fig. 12. 경동 Servo모터의 속도전환점의 각도변화.

Fig. 13. 경동 Servo모터의 속도전환점의 각도변화.

Fig. 14. 각종 센서의 출탕탐지상황.

-가되면 탐지가 지연되는 것이다.

출렁임의 제어는 어렵기 때문에 최초의 주형만 출탕을 탐지하여 경동각속도를 전환하고, 다음 번 주형부터의 전환은 일정 각도로 경동을 하면 기계적으로 경동각속도로 전환하는 방식을 택하였다. 경동은 Servo모터제어이며, 전환편차는 실측으로 0.1초 이하이다.

이상의 개선결과 당초에 문제가 되었던 주탕개시시의 탕구컵으로부터 용탕이 넘친다던지, 용탕이 끊긴다던지 하는 문제없이 주탕성능이 개선되었다.

4.2.4 조작 데이터 작성법

기계의 동작을 패턴화하여 제어데이터를 임의로 수치를 입력할 수 있게끔 함으로서, 기계조작데이터의 최적화를 간단히 실시할 수 있도록 하였다. 실제로 주탕을 실시하여 용탕의 주입패턴을 관찰하고, 데이터의 작성법에 관하여 조사하였다.

Fig. 15에 탕구컵을 위에서 관찰한 그림을 나타낸다.

주탕개시시에 탕구컵 내부에 탕채움을 빨리 하려고 하여 급하게 대량의 용탕을 부으면, 용탕은 컵바닥을 치고 흘러넘치게 된다. 따라서 주탕개시시에는 주탕속도를 낮추고, 주탕을 시작하면 빨리 주탕속도를 높여서 컵에 용탕을 채우기 위한 데이터를 만들면 좋다는 것을 알았다.

즉 랩각도는 작게, 초기주탕속도는 되도록 크게 한다. 이대로 주탕을 진행하면 넘침이 발생함으로 주탕속도1은 크게줄여서 넘

Fig. 15. 탕구컵의 조준위치.

침을 억제하고, 그 후에는 상황을 보면서 주탕속도2를 적절히 설정하는 순서로 진행하면 좋은 주탕을 할 수 있음을 알았다.

또한 용탕의 낙하위치에 관해서는 용탕이 주입되는 초기시점에서 탕도구멍 직전을 조준하면 속도가 빨라져서 용탕에 가속도가 붙고, 따라서 낙하위치가 파손되더라도 용탕은 탕도구멍의 주변에 낙하하기 때문에, 용탕이 튀어오르는 것은 발생하지 않는다. 또한 주행방향으로의 낙하로 하여, 위치의 벗어남(Fig. 15의 Dx)은 탕구컵 내부에 소용돌이를 만드는 원인이 되기 때문에 이번에는 10 mm이하로 설정하였고, 큰 소용돌이는 발생하지 않도록 하였다.

5. 라인주탕결과

5.1 계량정밀도

실제의 라인생산에서의 계량정밀도를 Table 4에 나타낸다. 중량 90 kg과 130 kg의 2종류 제품에 관하여 계량정밀도는 나타낸다. 목표편차는 표준편차로 약 0.6 kg 2σ로 +/- 1.2 kg이며 거의 목표를 달성하였다.

5.2 주탕상황, 용탕넘침, 용탕튀김

Fig. 16에 주탕상황, Fig. 17에 주탕완료후의 용탕넘침의 상황을 나타낸다. 눈으로 관찰한 주탕중의 용탕면 변화는 통상적으로 30 mm정도이며 최대라도 50 mm정도이다. 당연히 용탕단

Fig. 16. 주입상황.

Fig. 17. 주입완료후.

절은 발생하지 않고, 탕구주변의 용탕넘침도 1 kg이하로 억제하는 것이 가능하였다.

6. 결 언

기계동작의 패턴화라고 하는 방법을 채용하여, 종래의 Teaching-Playback에서는 어려웠던 주탕조건의 작성이나, 국소적인 데이터 수정이 가능하며, 간단한 조작성을 갖는 자동주탕장치를 완성하여 양산라인에 도입하는 것에 성공하였다. 높은 주탕정밀도를 유지하기 위해서는 특히 주입컵의 주입구와 내부상태를 일정하게 관리할 필요가 있다.

또한 실제의 주탕은 주입컵의 소모와 개재물부착 등에 대한 대응이 포인트이며, 이들에 신속히 보상 및 보정을 할 수 있는 태세를 만드는 것이 금후의 문제이다. 이러한 의미에서는 간단한 조작성은 시스템으로서 중요한 요인이며, 추후에 중요시 될 것이다.

Table 4. 실제 주입 정밀도.

항목	제품A	제품B
목표중량	130 kg	90 kg
주형수	26	35
계량 평균값	133.6 kg	92.6 kg
최대값	134.3 kg	93.6 kg
최소값	132.6 kg	90.8 kg
범위	1.7 kg	2.8 kg
표준편차	0.48 kg	0.61 kg
평균주탕속도	6.2 kg/s	5.2 kg/s