
열처리로 제어시스템 개발

김상용* · 박수홍**

A study on Control System of the Heat Treating Furnace

Sang-Yong Kim* · Soo-Hong Park**

요 약

단조산업에서의 철강제품의 열처리는 산업의 근간이 되며 제품경쟁력에 아주 중요한 부분을 차지한다. 열처리를 수행하는 열처리로에서의 버너제어는 연료인 LNG가스의 절감뿐만 아니라 균질한 열처리를 요구하는 제품 경쟁력에 막대한 영향을 준다. 본 연구는 열처리로에서의 버너제어를 비례제어를 이용하여 수행하고, 그 결과가 에너지 절감뿐만 아니라 열처리로의 성능을 향상시키는 것을 보여준다.

ABSTRACT

The heat treatment of the steel is very important part on the forging industry. It is also effect to price competitiveness. The burner control system of the heat treating furnace is related LNG gas saving and fixed manufactured goods rate. This study show the burner control performance of the heat treating furnace. The result developed the performance of the heat treating furnace and show energy saving.

키워드

ratio control, heat treating furnace, fuel energy, space division control

1. 서 론

공업용 로는 사용하는 에너지원과 구조에 따라 다양한 종류로 나뉜다. 이 중 열처리로는 금속의 열처리를 위해 사용되는 로를 통칭한 것으로 열처리 대상이 되는 제품의 소재에 따라 다양한 종류가 있다. 연속 열처리로는 다품종 및 소품종을 연속적으로 생산할 수 있으며 침탄, 조질 질화처리가 가능한 설비이고 로 내의 분위기 ENDO GAS나 U-CAR GAS, 수소가스 등을 사용하여 산소의 침입을 막고 이를 통하여 산화를 방지할 수 있는 기능을 가지며 주로 볼트, 너트, 스크류, 베어링 및 자동차 부품을 대량으로 열처리할

때 사용된다.

에너지 저소비형 구조로 가는 것은 시대적 요구 사항이며 특히 버너는 다른 설비보다 에너지 사용량이 많기 때문에 버너의 운전효율이 높게 되면 에너지 절감 효과가 상당할 것으로 기대된다.

산업요로에 있어 에너지절약 방안 중에서 현재까지 연료절감 효과가 큰 수단은 Recuperator에 의한 배기가스 손실열 회수 방법이다. 이는 열교환기의 재질 및 유지관리측면에서 많은 제약이 따르며 배열회수율은 50% 정도가 한계이다. 회수 가능한 예열공기 온도는 450℃이하가 대부분인 실정이며 최근에 개발된 고성능 제품은 약 600℃까지도 회수가 가능하지만 매우

* 동서대학교 대학원 (leo@kntkorea.kr)

** 교신저자 : 동서대학교 메카트로닉스공학과(shapr@dongseo.ac.kr)

접수일자 : 2011. 04. 14

심사(수정)일자 : 2011. 04. 28

게재확정일자 : 2011. 06. 15

고가이다. 한편 이러한 단점들을 보완하기 위하여 기존의 연소기술과는 달리 2대의 축열제가 부착된 버너인 축열식 버너는 절환 밸브 시스템 및 제어장치로 구성되며 연소방식은 반사이클씩 절환하면서 운전하는 시스템으로 배기가스를 축열재를 통하여 배출한계 온도인 120-200℃까지 축열 · 냉각시키고 축열제에 연소공기를 통과시켜 배기가스 입구온도에 가까운 온도까지 연소공기에 열을 흡수시켜 로의 배열 회수율을 75-90%에 이르도록 하고 있으며, 현재 이러한 이르는 축열식 버너 시스템의 보급을 확대하고 있다.[1]

본 연구는 열처리로에 장착된 축열식 버너의 제어를 비례제어기법을 적용하여 실시하여 그 유용성을 보여주었다.[2]

II. 본 론

2.1 열처리로

그림 1은 열처리로의 단면 구조를 간단히 그린 개념도이다. 그림에서 10은 연료가 공급되는 공급부이고 이 노즐을 통하여 로 내에 가스가 주입된다. 주입된 가스는 점화되어 연소열을 발생하고 이 열을 통하여 로 내의 온도가 상승되며, 연소 가스는 11을 통하여 배출된다. 이러한 작동메커니즘에서 로 내의 온도는 공급되어 연소되는 연료의 양과 배출되는 연소가스에 의해 지속적으로 상승 하강되는 사이클을 형성하게 된다. 일반적으로 사용되는 운반용 파레트는 물품을 적재한 다음 별도의 운반수단에 의해 운송되며, 많은 양의 물품을 간편하게 적재하여 차량 및 창고에 입, 출고될 수 있어 운반 시 편이성과 아울러 물건을 지지하고 내부에 수용 및 보관이 용이하므로 널리 사용된다. 이러한 운반용, 보관용 컨테이너 박스는 강도 및 탄성 등 기계적 성질이 요구되므로 종래에는 금속 재료를 이용한 제품이 널리 사용되었다.[3]

이러한 열처리로의 제어에서 가장 중요한 요소는 로 내의 온도를 제어하는 것이다. 즉 로 내의 온도는 제품의 기계적 특성과 조직 및 변형에 직접적인 영향을 미치므로 로 내의 온도를 설정한 온도로 지속적으로 유지시켜야 하며, 로 전체의 온도구배를 최소화 하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 기존의 열처리로에서는 PLC를 이용하여 온도를 제어한다. PLC에 의한

온도제어는 센서를 통하여 로 내의 온도를 측정하고 설정된 온도 이하로 하강할 때 솔레노이드 밸브를 열어 연료를 공급하고, 온도가 상승하여 최고설정온도 이상이 되면 연료공급을 중단하고 배출구를 통하여 가스를 배출시킨다.

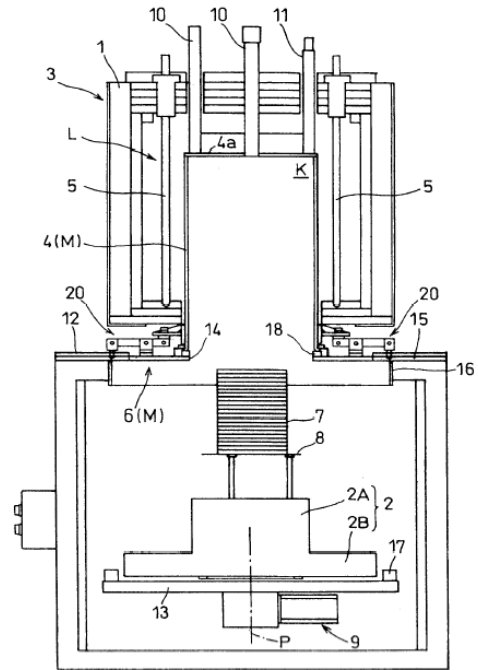


그림 1. 열처리로의 단면도
Fig. 1 The Diagram of heat treating furnace

이러한 온도제어에서는 다음과 같은 문제점이 발생된다.

- 솔레노이드의 on/off 제어만으로 온도를 제어하므로 정확한 온도제어가 어렵다.
- 대개 1, 2지점 만의 온도를 측정하여 on/off 제어를 실시하므로 로 내의 온도구배가 발생된다.
- 연소가스 배출 제어도 솔레노이드의 on/off 만으로 제어하므로 로 내의 온도가 급격히 하강하고 연료의 소모가 촉진된다.

따라서 본 연구에서는 로의 온도제어에 기존의 PLC에 의한 제어기법을 개선하여 단계별 온도제어가 가능한 PLC 제어시스템을 구축하고 또한 온도제어모듈에 마이크로프로세서를 결합한 비례제어기법을 적용하였다.

2.2 제어시스템 제작

그림 2는 개발한 열처리로의 버너 구조 및 제어회로도이다. 그림에서와 같이 열처리로는 12개의 버너로 구성되어 있고 각 버너의 연료 공급 및 배기가스 배출을 위한 배관이 설치되어 있다.

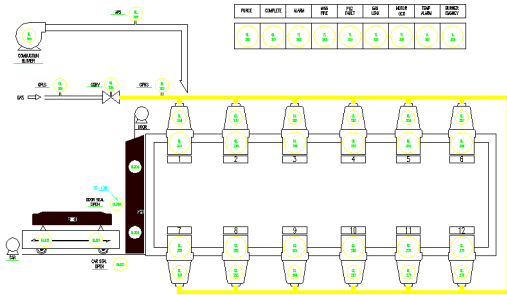


그림 2. 열처리로의 버너 구조 및 제어회로도
Fig. 2 The Burner struture of heat treating furnace and control circuit

구축된 제어회로도를 바탕으로 제어를 위한 제어 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 3과 4는 열처리로의 제어시뮬레이션을 위한 전체 제어모듈을 나타낸 그림이다. 개발된 제어시스템은, 제어대상인 로에 대하여 로의 상태를 모니터링 할 수 있는 모듈, 버너의 온도 제어를 위한 모듈, 로의 상태를 조정할 수 있는 모듈 등으로 구성된다.

제어 인버터로 430-2UD34-5EA0를 사용하였으며 연료 공급용 모터로 UNIC-100 모델을 사용하여 제어 시스템을 구성하였다.

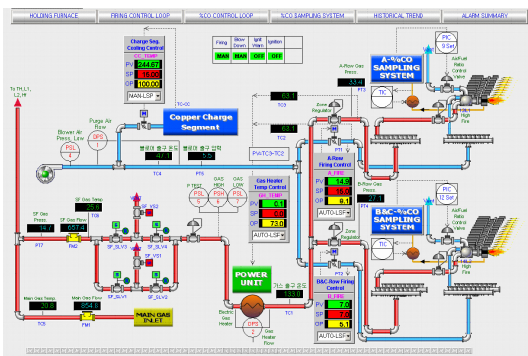


그림 3. 열처리로의 제어시스템 Layout
Fig. 3 The Control system layout of heat treating furnace

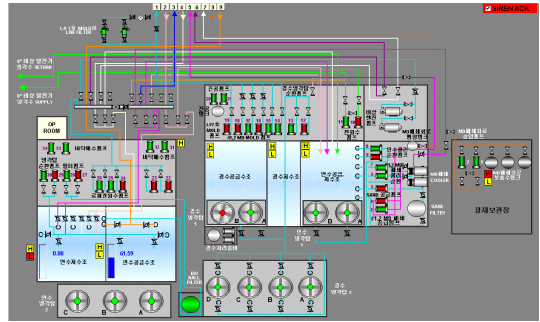


그림 4. 열처리로의 제어신호 흐름도
Fig. 4 The Control signal diagram of heat treating furnace

그림 5는 제어회로에 사용된 MEMORY CARD와 제어회로와의 결선도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 MEMORY CARD로 6ES7952-1KS00-0AA0를 사용하였고 CPU로 6ES7414-4XLO4-0AB0를 사용하였다. 구성된 제어회로는 작동 시뮬레이션을 통하여 작동 메커니즘을 평가하였으며, 이를 통하여 열처리로 제어회로 규격으로 확정되었다.[4]

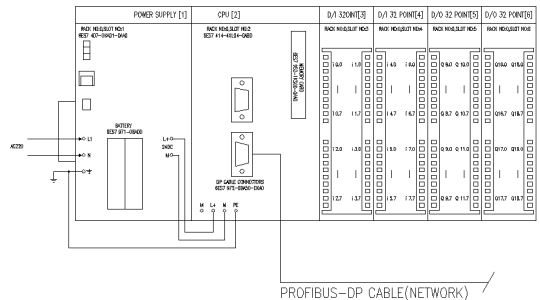


그림 5. 제어 결선도
Fig. 5 The Control circuit

2.3 제어시스템 시제품 제작

제어시스템이 적용된 열처리로의 레이아웃을 나타낸 것이다. 그림6과 같이 적용된 열처리로는 총 12개의 버너로 구성된다. 구성된 각 버너는 대항되는 6개씩 히팅존을 구성하게 되며, 각 버너는 각각 독립적으로 연료가 공급되어 연소제어가 수행된다.

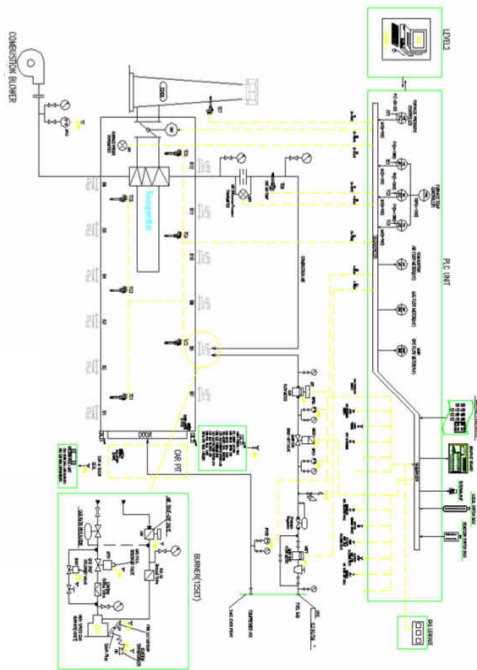


그림 6. 열처리로의 레이아웃
Fig. 6 The layout of heat treating furnace

제어시스템은 열처리로내의 온도상태에 따라, 버너의 출력을 각각 상이하게 조정하여 연료소비율 및 온도 제어성능을 향상하는 방식으로 개발되었다.

이를 위하여 공기흡입라인에 Air Flow Sensor를 설치하여 흡입공기량 실시간 측정하고, 로 내의 온도 상태와 흡입 공기량에 따라 버너의 출력을 0, 30, 50, 70, 100%의 5단계로 조정할 수 있는 제어 시스템을 구축하였다. 또한 정확한 출력제어를 위하여 Gas 관에 유량센서를 설치하고, 흡입공기 및 연료 가스량을 연동하는 기능을 추가하였다.[4]

그림 7은 버너의 출력제어를 위한 연료제어시스템을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 온도센서 및 유량센서에서 로 내 온도와 흡입공기량의 정보가 컨트롤러에 입력되면, 이 값을 연산하여 정해진 버너의 출력값이 결정된다. 이 때, 컨트롤러에서 결정된 버너의 출력값에 따라 입력연료량, 점화신호, 흡입공기량 등 제어정보가 생성되어 그림의 TB에 전송된다. 전송된 제어정보는 그림에서와 같이 버너의 출력제어를 위한 액츄에이터 시스템을 구동한다. 버너출력제어는 그림에서와 같이 연료의 량을 단계별로 조절할 수 있는

Gas 솔레노이드 1, 2와 점화플러그 및 흡입공기 솔레노이드로 구성된다.

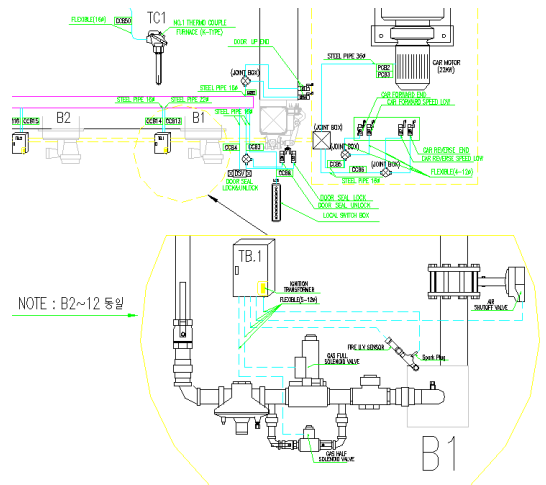


그림 7. 버너 출력 제어장치
Fig. 7 The Burner output control system

그림 8은 완성된 제어시스템을 열처리 시스템에 적용한 레이아웃이다.[5]

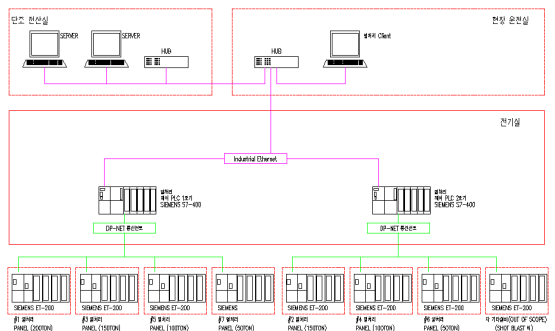


그림 8. 열처리 제어시스템
Fig. 8 The Control system layout of heat treating furnace

III. 실험 결과

표 1은 성능평가에 대한 결과를 정리한 것이다. 표에서와 같이 목표치인 온도 변화폭, 로내 온도 구배폭, 에너지 소모량 등이 모두 목표를 만족하였다.

각 평가항목에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

표 1. 성능시험 결과
Table 1. The result of performance test

평가항목	단위	목표	실험결과
1. 제어온도 변화 폭	℃	10℃ 이내	측정지점 6개소, 20시간 측정결과 최대온도 변화폭 : 5.0℃
2. 로내 온도 구배 폭	℃	10℃ 이내	측정지점 6개소, 20시간 측정결과 최대온도 편차 : 6.9℃
3. 에너지 소모량	%	10% 절감	TON 당 연료소비율 45m ³ → 40m ³ 감소 (11.1% 감소)

로내 온도의 시간 변화폭 및 로 각 지점의 온도구배를 측정하기 위하여, 온도변화 데이터를 수집하였다. 온도 데이터의 수집방법은 로의 제어시스템에 부착된 온도지시계 측정결과 및 온도 데이터 자동 출력장치를 활용하였다.

표 2는 성능검사에서 수록된 온도 데이터를 정리한 것이다. 표에서 P1 ~ P6은 측정 시스템에서 써모커플의 번호이고, 4시간 간격으로 측정을 수행하였다.

수집된 데이터를 분석한 결과, 20시간에 걸쳐 측정된 데이터 중 P5의 시간편차가 5℃로 계산되어 가장 큰 편차를 보였다. 하지만 목표치인 10℃내에 있으므로, 목표를 달성하였다.

표 2. 온도측정 데이터
Table 2. The temperature measurement data

지점 시간	P1	P2	P3	P4	P5	P6	평균	편차
00:00	648.3	652.2	654.6	654.0	652.4	651.5	652.2	6.3
04:00	646.6	650.0	653.5	652.9	649.0	647.9	650.0	6.9
08:00	649.6	651.5	653.7	653.8	650.8	649.9	651.6	4.2
12:00	647.5	649.7	652.3	651.5	649.8	650.2	650.2	4.8
16:00	650.0	651.5	651.8	652.0	647.4	647.4	650.0	4.6
20:00	649.0	650.6	651.2	650.8	649.5	650.4	650.3	2.2
평균	648.5	650.9	652.9	652.5	649.8	649.6		
편차	3.4	2.5	3.4	3.2	5.0	4.1		

또한 로내 온도 구배 폭은 표 2에서 나타난 바와 같이 각 지점별 온도 데이터에서 6지점의 최대 온도

구배는 04:00에서 P1과 P3의 온도차이며 최대 6.9℃로 측정되었다. 에너지절감은, 열처리 작업물 1TON 당 연료 소비량이 기존에 설치된 열처리로에서 약 45 m³인 데 비하여, 개발된 제어시스템이 설치된 열처리로에서는 약 40m³로 측정되었다. 이는 비교 대상인 두 열처리로가 제어시스템을 제외한 다른 규격이 거의 동일하므로, 연료소비개선은 제어시스템에 의한 것으로 판단될 수 있다.

이 결과 기존 대비 약 11.1%의 연료소비량을 감소시켰다.

VI. 결론

개발된 열처리로 제어시스템은 기존의 열처리 제어시스템에 비하여, 온도 제어성능 및 연료소비율이 우수하였다. 개발된 제어장치는 100ton급 열처리로에 적용된 것으로 다양한 용량의 열처리로에 적용가능하다. 또한 제안된 비례제어 온도제어시스템으로 열처리로내의 온도를 일정한 수준으로 계속 유지할 수 있어 열처리로의 성능을 크게 향상시키고, 온도센서 및 압력센서를 열처리로의 여러 곳에 설치하여 각 버너를 독립적으로 구동할 수 있으므로 연료의 손실을 줄일 수 있다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 동남경제권 기술개발사업인 2010년도 차세대 소형선박용 디지털 레이더 시스템 개발사업으로 (주)신동디지텍의 지원으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- [1] Frank P.Incropera David P.Dewitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Kyobo press, pp. 244-300, Fourth edition
- [2] 김영권, 공업로 제어시스템에 관한 연구, 동서대학교 대학원 석사학위논문, pp. 7-25, 2009.
- [3] 노동순, 연소시스템 고성능 지능화 기술개발, 기술보고서, 한국원자력연구원, pp. 23-46, 2005.

- [4] Yong Nam Zhang, Soohong Park, "A study on the Combustion Control System and Thermal Efficiency," The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 130-135, Dec., 2010.
- [5] Sung-chul Oh, Soo-hong Park, "A Study of Construction method of installing High-Voltage Lead-in ", The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 1, pp. 136-141, Feb., 2011.

저자 소개



김상용(Sang-Yong Kim)

2007년 2월 부경대학교 기계공학과 졸업(공학사)
2011년 3월 동서대학교 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정

(주)TKPower 기술부 과장

※ 주관심분야 : 제어자동화, 네트워크, 모니터링



박수홍(Soo-Hong Park)

1986년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사)
1989년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)

1993년 부산대 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)

현재 동서대학교 메카트로닉스공학과 교수

※ 주관심분야 : 제어 자동화, 로봇공학