

# 열교환기용 리턴 밴더 자동 브레이징 용접 시스템

이용중<sup>#</sup>, 강진갑\*, 이형우\*\*

## A Return Bender Automatic Brazing Welding System for Heat Exchangers

Yong-Joong Lee<sup>#</sup>, Jin-Kap Kang\*, Hyung-Woo Lee\*\*

### ABSTRACT

In the consideration of the problem occurred by certain return bender brazing welding works that depend only on handworks, the automatization of the whole production line is impossible due to the high dependency of skillful workers. In addition, it is difficult to establish a standardization due to the various heat exchanger model and irregular amount of orders, and the fault reduction is also impossible due to the severe difference in brazing conditions. It is necessary to develop a method, which quantitatively analyzes the problem existed in this manual brazing welding of return benders and technically solves that problem, and to lead the improvement of the productivity and cost reduction in order to increase the business competitive power. Then, this will contribute the technical development of automatic welding for Korea's heat exchanger businesses. Thus, this study develops an automatic technology, which automatically controls the flame strength using digital control methods, for various models and produces a sample model. It is possible to increase the productivity and produce uniformed and qualified products by solving the problem existed in manual processes using the developed automatic return bender brazing system. In addition, the brazing condition can be automatically controlled according to the model and line speed, and such an economical operation can reduce the production cost. The developed system is expected to future applications not only heat exchangers in the field of refrigeration and air conditioning, but also other various industrial fields that apply heat exchangers, such as car and boiler industries.

**Key Words** : Return Bender(리턴밴더), Brazing Welding(브레이징 용접), Automatization(자동화), Digital Control(디지털 제어), Refrigeration(냉동공조)

### 1. 서 론

현재 국내에 사용 중인 가전 및 산업용 열교환기의

리턴 밴더 접합 기술은 기계적 장치를 이용한 공정 간 물류이동이 자동화가 이루어진데 반하여 실제 작업은 대부분 수작업에 의존한 수동 브레이징으로 생산되어지고 있는 실정이다<sup>1)</sup>. 이러한 수작업에만 의존하는 관계로 파생되는 문제를 보면, 브레이징 기술만이 갖는 기술적 특성으로 숙련된 기능공의 의존도가 높기 때문에 전체 라인 시스템의 자동화가 불가능

# 교신저자 : 창원기능대학 자동화시스템과

E-mail : leeyj@chol.com

\* 창원기능대학 자동화시스템과

\*\* 창원기능대학 전기과

하며, 열교환기 모델의 다양화와 수주 물량의 불균일로 인하여 표준화가 어렵고, 브레이징 조건의 편차가 심해 불량 감소는 거의 불가능하다<sup>2,4)</sup>.

기존의 리턴 밴더의 수동 브레이징에 따른 문제점을 정량적으로 분석하고 이를 기술적으로 해결하는 방안을 개발하여 국내관련 산업의 생산적 향상과 생산 비용절감은 물론 제품의 품질 향상으로 기업경쟁력을 강화시켜 국내 열교환기 제작 업체의 용접 자동화 기술 발전에 기여할 필요가 있다<sup>5,6)</sup>.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 열교환기용 리턴 밴더 자동 브레이징 용접 시스템개발하였다. 개발한 본 시스템의 향후 활용방안으로 냉동공조 분야의 열교환기뿐만 아니라 자동차 산업과 보일러 산업 전반에 걸쳐 열교환기가 적용되는 모든 분야에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 본 론

### 2.1 기존 생산 방법의 문제점 분석

생산현장에서 산업용 열교환기의 리턴 밴더 접합 기술은 다음 Fig. 1과 같은 순서로 수작업 생산하고 있다.

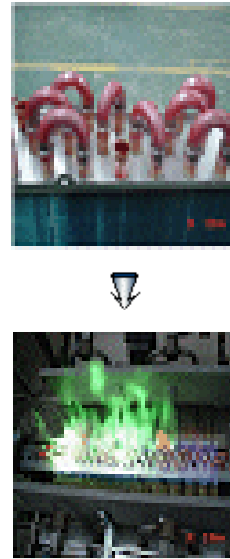


Fig. 1 Manual processes for heat exchanger return bender brazing

여기에서 발생하는 리턴 밴더의 수동 브레이징에 따른 문제점 중에서 가장 크게 영향을 미치는 화염과 온도, 가이드 조절에 관한 문제점을 객관적이고 정량적인 방법으로 분석하고 이를 개선할 수 있는 대책을 구상하면 다음 Table 1과 같이 정리할 수 있다.

Table 1 Problem analysis for manual return bender brazing

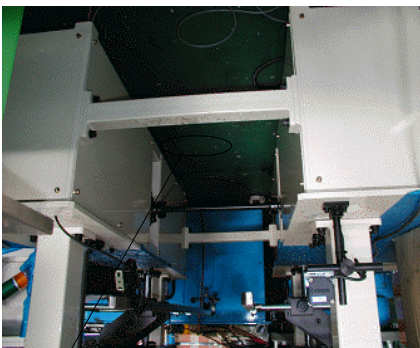
Item	Problem	Solution
Frequent bad products	Bad qualities are frequently presented due to the control of products transportation rates for each model by operators.	A combined product application rate with flame strengths for each model (the first, second, third row,...) and easy operation technologies are required to prevent bad products.
Guider Controls	Operation efficiency is very low due to the fact that operators control product guiders across the opposite side.	An automatic guider control technology is required to properly control for each model without any improper controls in order to increase operation efficiency.

Item	Problem	Solution
Flame and temperature controls	Flame controls are only controlled by naked eyes and manual operations in which bad products can be generated according to the level of operation skills. In flame controls, large errors occurred because the flame is controlled by an analog flow meter.	A digital flame controller is required to constantly control flames in which flames will be controlled by the stored flame strength according to the model from a control panel. It is also required to establish a process standardization and easy operations.

이렇게 문제점을 분석한 다음 이를 개선하기 위한 방안으로 가스 정량 제어기와 제품 가이드 자동화 및 제품 투입 자동 속도를 제어하기 위한 제품별 자동 조정 시스템을 개발할 필요가 있음을 알 수 있다.

## 2.2 자동 브레이징 용접시스템의 제작

제품을 운반하는 컨베이어의 제품별 속도를 자동으로 제어하기 위해서는 모델 종류에 따른 용접조건이 표준화된 자동 디지털 기술이 선행 개발되어야 하고, 화염 검출 장치와 제품 유무 자동 검출 및 최종 제품의 성능 테스트도 겸용할 수 있는 시스템으로 구성되어야 함을 알 수 있다. 이러한 모든 사항을 수용할 수 있는 열교환기용 리턴 밴더 자동 브레이징 용접시스템에 대한 설계와 제작은 각 유닛별로 구성하였다.



Combined operation for the left and right operation side

Fig. 2 Flame control device

프레임 조정은 양쪽에서 화구높이를 조정하던 종래 방식에서 탈피하여 다음 Fig. 2와 같이 좌우 일체형로 구동할 수 있는 방식으로 변경하여 좌우 화구 조정을 동시에 할 수 있게 하였다.

화염 제어는 화구 유닛을 기존에 좌우 버너로 2등분으로 하였던 것을 다음 Fig. 3과 같이 좌우 4등분으로 나누어 가열함으로써 초기 가열할 때는 강한 화염으로, 마무리단계에서는 약한 화염으로 구분하여 가열할 수 있게 하였다.

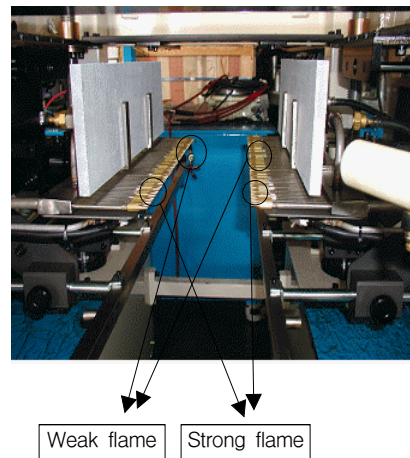
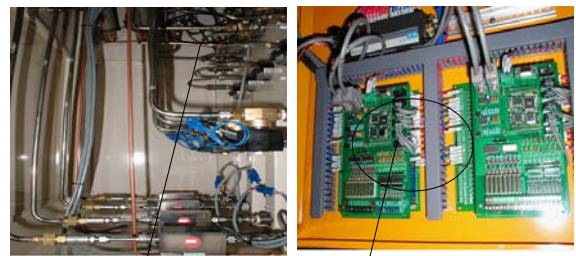


Fig. 3 Flame control device

이렇게 하면 용접부분의 용접 상태가 양호하게 되어 누설과 불량이 감소되고 외관도 깨끗하게 할 수 있다. 가스 운영은 기존의 프로우 미터 타입의 경우 숙련된 작업자만이 조정할 수 있기 때문에 그 작업자에게만 의존하는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을



Gas control valve Gas controller PCB

Fig. 4 Automatic gas control device

배제하기 위하여 다음 Fig. 4와 같이 메스 프로우 제어 밸브와 이를 제어할 수 있는 메스 프로우 전용 PCB를 자체 개발하여 가스 정량 컨트롤이 가능하도록 하였다.

이 방식은 화염의 정량적 조절이 가능하고 유량을 디지털로 표시되므로 누구나 쉽게 작업할 수 있는 장점이 있다. 제품 가이드의 자동화는 제품별 가이드 폭을 자동으로 조절이 가능하도록 다음 Fig. 5와 같이 모터와 엔코더를 적용하여 제품 모델만 선정하면 제품의 폭에 맞는 가이드 폭이 자동으로 조정할 수 제작하였다.

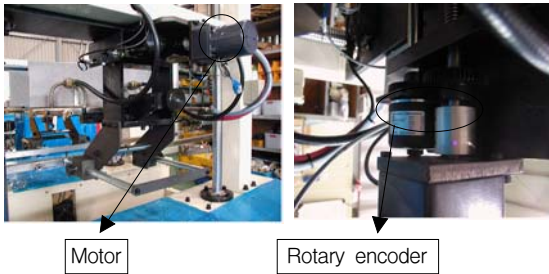


Fig. 5 Automatic product guiding device

제품 투입에 따른 자동 속도 제어를 위하여 연동하는 컨베이어는 제품별 화염세기와 연동하여 제품 투입 속도를 제어하여 브레이징 품질 향상에 기여할 수 있고, 비속런자도 모델만 설정하면 자동으로 제품 투입 속도가 설정되도록 하였다. 60여종의 다양한 열교환기 제품을 브레이징 용접을 하기 위하여 화구의 높이와 폭을 60여종에 적용 가능하도록 설계 제작하였으며 첫 번째 모델에 대한 각 조건 설정에 대한 사례는 다음 Fig. 6과 같다.

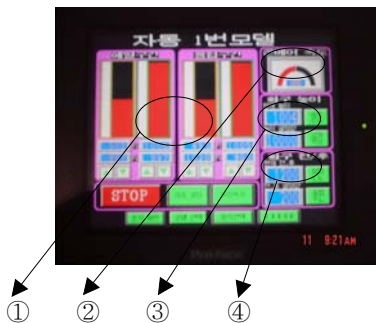


Fig. 6 Configuration of the condition for models

①은 규격 변경에 따른 화염조정의 신속한 대응이 가능하도록 설정하는 것이며 ②는 모델변경에 따른 제품이송속도를 각 모델에 맞는 속도 조절을 하고, ③은 높이 변경에 따른 화구 높이를 조정하는 것이며 ④는 폭 변경에 대응하는 화구 폭 조정 단자이다. 가스 장비는 누설이 발생 시 폭발, 화재 등이 발생할 수 있으므로 다음 Fig. 7과 같이 가스가 공급되고도 화염이 검출되지 않을 시 가스공급을 차단할 수 있도록 화염 검출 장치를 개발하여 적용함으로써 안전한 시스템이 되도록 하였다.

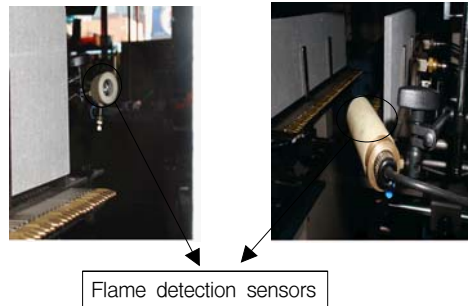


Fig. 7 Flame detection device

제품 유무 검출은 광센서와 타이머를 이용하여 다음 Fig. 8과 같이 제작하였다<sup>11)</sup>. 그 결과 일정한 세팅 시간 이상 경과하여도 제품이 검출되지 않을 경우 소화되도록 제작하였기 때문에 불필요한 가스소모를 절감할 수 있으므로 장치 운영에 따른 원가를 절감할 수 있었다.

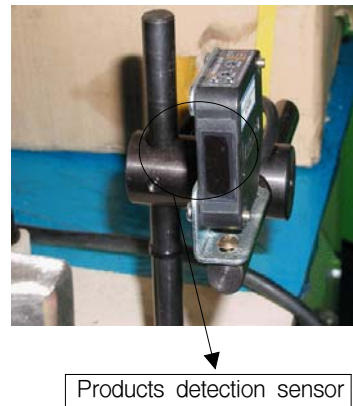


Fig. 8 Product detection device

### 2.3 제어 알고리즘 설계

화구 폭 조정 장치 제어를 위하여 모터와 부하가 기어 1:r의 비율로 직렬 연결된 기계적 모델링은 다음 Fig. 9와 같이 하였다<sup>[7-11]</sup>.

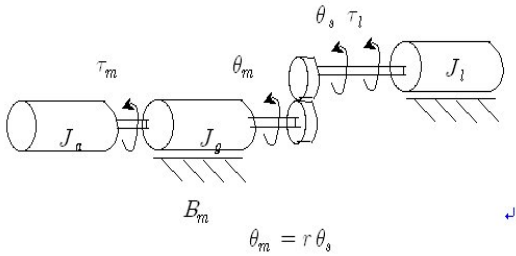


Fig. 9 Modeling of a flame width control device

여기서

- $J_a$  : 모터 회전자 관성 모멘트
- $J_g$  : 모터 구동축 관성 모멘트
- $J_l$  : 부하 관성 모멘트
- $B_m$  : 모터 축 마찰 계수
- $J_m$  : 부하 축 마찰 계수
- $\theta_m(S)$  : 모터 각

비례 미분 이득을 이용하여 일정한 외란을 제거하기 위해서는 큰 이득 값이 필요하며 적분 제어를 이용하면 이득 값을 적게 하면서 정상 상태 오차가 0인 것을 확인할 수 있다. 적분 항  $\frac{K_I}{S}$ 을 첨가하면, 다음 Fig. 10과 같이 비례 적분 미분 보상장치가 되고 수식으로 표현하면 다음과 같다.

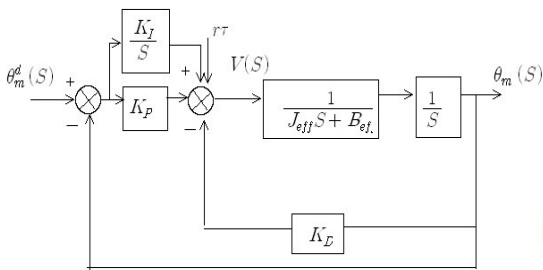


Fig. 10 Closed-loop block diagram

여기서

- $K_P$  : 비례 이득
- $K_D$  : 미분 이득
- $K_I$  : 적분 이득
- $\theta_m^d(S)$  : 계단 기준 입력
- $\tau$  : 일정 외란
- $J_{eff} = J_m$
- $K_b$  : 역기전력 상수
- $B_{eff} = B_m + \frac{K_b K_m}{R}$

$$V(S) = (K_P + \frac{K_I}{S})(\theta_m^d(S) - \theta_m(S)) - K_D S \theta_m(S) \quad (1)$$

모터 각  $\theta_m(S)$ 에 관하여 정리하면 다음 식 (2)와 같이 된다.

$$\theta_m(S) = \frac{KK_P S + KK_I}{\Omega_{PID}(S)} \theta_m^d(S) - \frac{rS}{\Omega_{PID}(S)} \tau \quad (2)$$

식 (2)의 폐 루프 시스템은 모든 양의 상수  $K_P, K_D$ 와 제한된 크기의 외란에 대하여 안정할 것이며 추종 오차 다음 식과 같이 된다.

$$E(S) = \frac{J_{eff} S^3 + B_{eff} S^2}{\Omega_{PI}(S)} \theta_m^d(S) + \frac{rS}{\Omega_{PI}(S)} \tau \quad (3)$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} S \left[ \frac{J_{eff} S^3 + B_{eff} S^2}{\Omega(S)} \frac{\theta_m^d}{S} + \frac{rS}{\Omega(S)} \frac{\tau}{S} \right] \quad (4)$$

$$e_{ss} = 0 \quad (5)$$

식 (5)을 보면 일정한 외란에 의한 정상 상태 오차  $e_{ss}$ 는 0인 것을 알 수 있다. 부하변동 시뮬레이션을 위하여 Fig. 10에서  $\tau = 0$ 으로 할 때 전달함수는 다음 식과 같이 되며 결과는 다음 Fig. 11과 같다<sup>[8]</sup>.

$$\frac{\theta_m(S)}{V(S)} = \frac{KK_P S + KK_I}{J_{eff} S^3 + (B_{eff} + KK_D) S^2 + KK_P S + KK_I} \quad (6)$$

여기서

$$J_{eff} = 0.1$$

$$B_{eff} = 0.1$$

$$K = 0.5$$

$$K_P = 1.5, 2.0$$

$$K_D = 2.0, 4.0$$

$$K_I = 2.0, 4.0$$

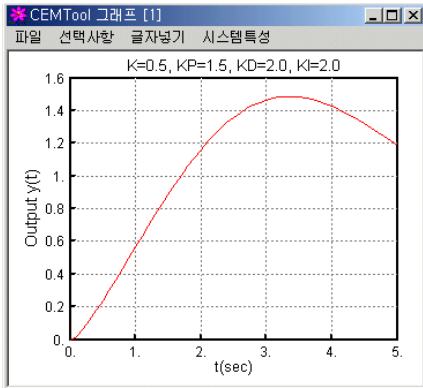


Fig. 11 Simulation results for load variances

시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 제작된 화구 폭 조정 장치는 다음 Fig. 10과 같다.

Loads on the load axis (Flame width control device)

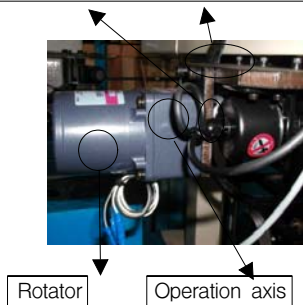


Fig. 12 Flame width control device

### 3. 개발한 장치 성능 테스트 및 결과

화염 제어는 화구 유닛을 좌우 4등분으로 나누고 LPG를 1500L/h의 세기로 초기 가열할 때는 강한 화염으로, 마무리단계에서는 약한 화염으로 구분하여 가열한 결과는 다음 Table 2와 같다.

Table 2 Field test results of flame controls

No	Data(LPG L/h)	Results
1	1502	Goal: It should be able to control within $\pm 0.8\%$ (LPG 1500 L/h).  Results: It is possible to control within $\pm 0.08\%$ .
2	1503	
3	1508	
4	1495	
5	1496	
6	1497	
7	1503	
8	1506	
9	1490	
10	1488	
Average	1498.8	

제품 투입 속도는 제품별 화염세기와 연동하여 0-1500RPM으로 구동하는 컨베이어는 제품 투입 속도에 대한 결과는 다음 표 3과 같다.

Table 3 Field test results of product inserting speeds

No	Data(RPM)	Results
1	10	Goal: It should be able to control within RPM 0- 1,500.  Results: It is possible to control within RPM 0-1750 .
2	50	
3	200	
4	300	
5	700	
6	1000	
7	1200	
8	1300	
9	1500	
10	1750	

모델별 자동가이드는 화구의 높이와 폭을 60여종에 적용 가능하도록 설계 제작하여 테스트 한 결과 다음 Table 4와 같다.

Table 4 Field test results of automatic guiding for models

No	Data(mm)	Results
1	10	Goal: It should be able to control within 0-60mm for the row 6.
2	20	
3	30	
4	40	
5	50	
6	60	
7	70	Results: It is possible to control within 0-200mm.
8	100	
9	150	
10	200	

이 외에 화염 강약 조절과 자동소화, 모델별 자동 폭 조절 및 모델별 높이조절 결과도 만족하게 도출되었다.

#### 4. 결 론

자동화가 완성된 리턴 밴더 브레이징 시스템 개발로 그 동안 수작업에 의존하던 공정의 문제점을 해결하여 완전자동화가 이루어져 생산성뿐만 아니라 균일한 품질의 제품을 생산하게 되었으며 브레이징 조건의 표준화를 완성하여 균일한 품질 만족을 얻을 수 있었다. 기술개발 결과를 정량적으로 정리하면 다음과 같다.

- (1) 화염세기를 디지털 제어방식으로 제어할 수 있는 디지털 제어 기술을 개발하였다.
- (2) 다양한 모델에 따른 피 가공물의 자동화 대응기술을 개발하였다.
- (3) 최적 설계 기술 정립 및 시스템 최적화의 개발시 제품 제작을 완료하였다.

향후 활용방안으로 브레이징 용접시스템이 냉동공조 분야의 열교환기뿐만 아니라 자동차 산업 및 보일러 산업 등 열교환기가 적용되는 모든 분야에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

#### 후 기

본 논문은 중소기업청시행 2004년 중소기업기술혁신개발사업(과제제목 : 열교환기용 RETURN BENDER의 AUTO BRAZING SYSTEM 개발)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 自動化技術編輯部, やさしい センサ技術, 工業調査會, pp. 104-109, 1992.
2. 월간기계기술, 브레이징의 역사를 다시 쓴다, pp. 16-21, 2005년 1월호, 2001.
3. 유택인 외 3, 브레이징 접합개론, pp. 32-94, 기술정보사, 2005.
4. 하이드록사코리아(주)홈페이지, 브레이징기술, pp. 64-125, 2005.
5. 오병욱, 브레이징 및 저항용접, 산학출판사, 2003.
6. 연운모, 금속재료 용접성, 기전연구사, 1993.
7. 강철구 외 3, 로봇동력학과 제어, 희중당, 1994.
8. 황우현 외 1, MATLAB 제어공학, 멀티정보사, pp. 45-90, 2001.
9. 이용중, “직교좌표에서 이동물체의 위치측정,” 한국공작기계학회 논문지. Vol. 11, No. 6, pp. 36-42, 2001.
10. Takashi Oya, Hideki Hashimoto, Fumio Harashima, “Predictive Filtering for Visual Tracking,” IECON, pp. 1781-1723, 1993.
11. Peter K. Allen, et al, “Trajectory Filtering and Prediction for Automated Tracking and Grasping of a Moving Object,” Proc. of the IEEE international Conference on R&A, pp. 1850-1856, 1992.