

플럭스 일체형 차량용 알루미늄 열교환기에 대한 양산성 평가

김성종

한국폴리텍대학 자동화시스템과

An Assessment of Mass Production of Flux Integrated Aluminum Heat Exchanger for Vehicles

Sung-Jung Kim

Automation System, Korea Polytechnic Colleges

요약 자동차 알루미늄 열교환기의 주생산방법은 비부식성 플럭스를 습식도포하는 브레이징 공법이며 플럭스는 필수적인 부자재로 사용되고 있다. 일반적으로 브레이징된 열교환기는 플럭스 잔유물이 제품표면에 잔존하고 과다한 잔유물은 자동차 시스템에 문제를 유발시키므로 플럭스 사용량을 절감하여 잔유물 최소화 필요성이 대두되고 있는 상황이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 알루미늄 원소재에 소량의 플럭스가 첨가된 일체형 소재가 개발되어 랩테스트 검증이 완료되었으며, 이에 대한 양산 공정에서의 적용 가능성을 확인하기 위한 평가가 필요한 상황이다. 따라서 본 논문에서는 일체형 소재를 적용한 제품을 플럭스 도포공정만 제외하고 양산공정에서 동일하게 제작한 시험제품을 양산제품과 비교 평가를 통하여 일체형 소재의 양산공정 적용 가능 여부를 확인하였다. 먼저 브레이징된 시험제품과 양산제품의 알루미늄 부품간 접합단면 형상을 비교했을 때 동등수준임을 알 수 있었다. 그리고 외관, SEM 비교평가지 잔유물 흔적이 시험제품에서 거의 나타나지 않았고, EDS 분석을 통한 플럭스 주성분(F, K)의 정량적 비교평가에서는 시험제품의 K와 F가 양산제품 대비 각각 2.52%, 2.00% 수준으로 개선됨을 알 수 있었다. 따라서 항목별로 비교 평가를 통하여 시험제품에 대한 양산공정 적용은 충분히 가능하다고 평가할 수 있었다.

Abstract The controlled atmosphere brazing method using a non-corrosive flux is the common process of aluminum heat exchangers in the auto industry. With this method, the surfaces of the brazed heat exchanger tended to be covered with flux residue after brazing. The excessive flux residue caused difficulties in the interaction between flux and coolant. Therefore, as an alternative, the integrated flux and aluminum material was developed by containing only a very small amount of flux in the aluminum alloy materials. This study evaluated the experimental products applying the integrated flux and aluminum material as a new material and verified whether they could be applied in mass production. The experimental product was brazed in the mass production process, and comparative analysis with the mass product was conducted. The results of the metallography analyses were at the same level. SEM and EDS showed a better appearance than the current mass product. Based on the comparative evaluation result, the possibility for applying mass production processes to integrated materials was estimated to be sufficient.

Keywords : Flux, Heat Exchanger, Nocolock Brazing Furnace, Radiator, Auto Industry

*Corresponding Author : Sung-Jong Kim(Korea Polytechnic Colleges)

email: sjkim7@kopo.ac.kr

Received June 30, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised July 27, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

알루미늄은 철강, 구리 등의 재료에 비해 가볍고 내식성이 우수하고 전기전도도 및 열전도도가 우수하며 다양한 분야에 사용되고 있다[1-5]. 특히 자동차 산업에서 차량 경량화를 목적으로 알루미늄 소재 사용이 증가하고 있고, 그 중에서 자동차 열교환기는 1980년부터 알루미늄 합금 소재를 적용해 오고 있다.

현재 자동차 알루미늄 열교환기를 조립하기 위한 방법으로 용접의 일종인 비부식성 플렉스를 적용한 제어 분위기 브레이징(CAB: Controlled Atmosphere Brazing) 방법이 사용되고 있다. 모재(core metal)는 용융시키지 않고 용가재(filler metal)만 용융시켜 모재간 면접합을 하는 방법이며 생산성이 높고 접합강도가 강하다는 장점이 있다[4,5].

금속재료는 공기 중에 노출될 경우, 산화반응으로 인하여 금속표면에 산화막이 생기게 된다. 특히 온도가 상승할수록 산화반응이 활성화되어 산화 정도가 더 심해진다. 알루미늄 금속합금을 브레이징하기 위해 600 °C 내외로 가열하면 금속표면의 산화층이 형성되어 용융된 용가재의 퍼짐성이 저하되어 정상적인 브레이징 접합이 이루어지지 않게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 플렉스라는 용제를 제품에 주로 습식도포방식으로 사용하고 있다[6]. 플렉스는 산화물을 직접 분해, 제거하고 생성자체를 방지하기 위하여 사용되며 또한 가열원으로부터 브레이징 제품으로의 열전달, 용가재의 표면장력 감소에 의한 유동성 증가 및 젖음성 향상 기능을 갖는다[7].

이러한 방식의 브레이징 공법에서 습식방법으로 제품에 도포되는 플렉스는 브레이징된 열교환기의 표면에 잔유물로 남아 있고, 잔유물이 과다할 경우 열교환기 내외부 표면으로부터 이탈되어 부동액과 반응하여 공조시스템의 정상작동을 방해하는 결과를 초래할 수 있다. 특히 해마다 시장이 확대되고 있는 전기자동차의 경우, 배터리 냉각시스템에 적용되는 열교환기와 같은 새로운 제품이 적용되고 있으며 플렉스 과다 잔유물은 더 치명적인 문제를 발생시킬 수 있다. 이 때문에 일부 열교환기는 전통적인 진공브레이징법에 의해 생산되고 있지만, 여러 문제점들이 반영된, 결과적으로 단가 측면에서 경쟁력을 갖지 못함에 따라 확대 적용되기가 어려운 것이 현실이다[8].

이러한 문제점을 개선하기 위해서 열교환기용 알루미늄 합금소재에 플렉스 성분을 포함시킨 일체형 소재가 개발되어 있다. 일체형 소재는 기존 제조공정에서의 플렉스 도포량(약 10 g/m²)보다 적은 양(0.4 g/m² 이하)의

플렉스 성분을 알루미늄 원소재에 직접 열압착시킴으로써 플렉스 사용량을 대폭 줄일 수 있을 것으로 기대되는 제품이다. 일체형 소재의 양산 적용이 가능하다면 비부식성 플렉스를 사용해서 브레이징되는 모든 열교환기에 적용할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 자동차 열교환기 제품의 플렉스 잔유물을 줄이기 위한 방안으로써 랩테스트에서 검증된 일체형 소재[9,10]를 적용한 시험제품을 기존 양산공정에서 플렉스 습식도포공정만 제외하고 동일하게 브레이징한 후, 기존 양산제품과 비교평가를 실시하여 일체형 소재의 양산적용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 알루미늄과 플렉스 일체형 소재

현재 양산 적용중인 알루미늄 합금 소재의 구성은 기본적으로 Fig. 1과 같이 모재 합금(core alloy, AA3000 계열)을 중심으로 용가재 합금(clad alloy, AA4000 계열)이 접합되어 있다. 반면에 일체형 소재는 Fig. 2와 같이 2중 처리된 용가재 합금 사이에 플렉스 용제 합금이 포함된 구조를 가진다.

이러한 구조의 차이는 브레이징시 용제 반응 매커니즘의 비교로 다시 설명할 수 있다. Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 일반적으로 플렉스는 소재표면에 습식도포된 후 브레이징 과정에서 소재표면의 산화피막과 반응하여 제거되지만, Fig. 3(b)와 같이 일체형 소재는 소재 내부에서부터 표면의 산화피막과 반응하게 됨으로써 적은 양의 용제만으로 균일하게 산화피막을 제거할 수 있다. 이는 브레이징되는 과정에서 수분투입 등으로 인한 소재표면 오염과 같은 외적 요인으로부터 영향을 적게 받을 수 있어 제품의 균일한 품질을 확보할 수 있다는 장점을 갖는다.

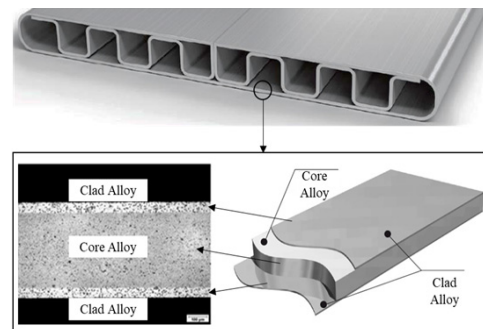


Fig. 1. The Schematic aluminum composite liners to the core alloy(Solvay information)

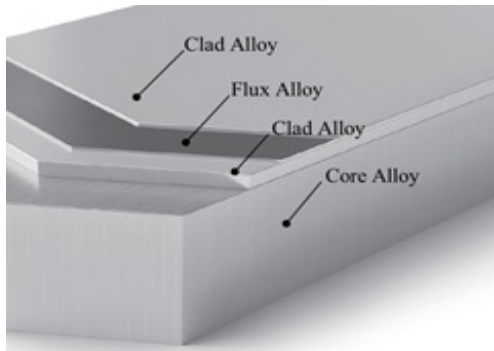


Fig. 2. The schematic aluminum composite liners containing the integrated flux alloy(the case of one side liner, Granges information)

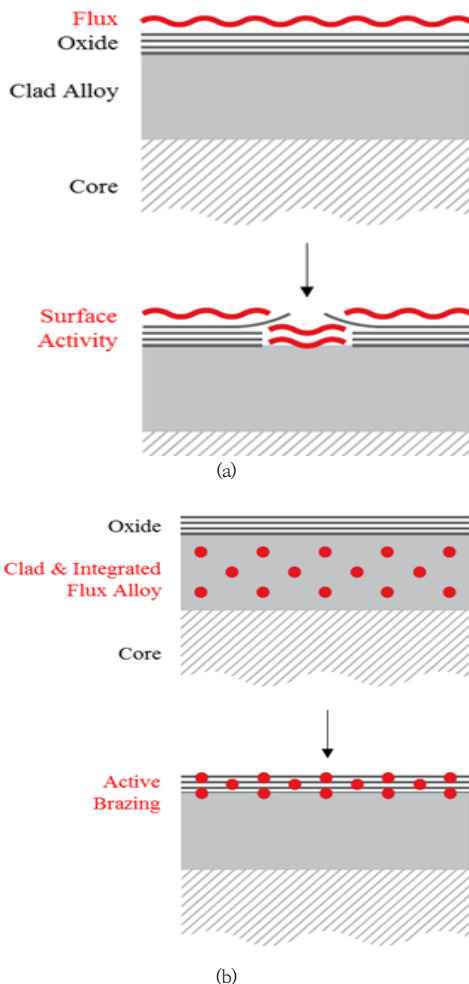


Fig. 3. The comparison of reaction between the oxide film and fluxes
(a) The clad and core alloy only (b) The clad and core alloy including the integrated flux alloy material(Granges information)

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시험제품 선정 및 제작

여러 종류의 열교환기 중, 일체형 소재를 적용한 시험 제품을 제작하기 위하여 엔진열을 방출시켜주는 역할을 하는 방열기(radiator) 제품을 선정하였고, Fig. 4와 같이 구성부품 중에서 대표적인 용가재 합금소재인 튜브를 변수인자로 정하였다.

생산설비 및 조건이 동일한 공정에서 일체형 소재를 적용한 시험제품을 제작하였으며 Fig. 5와 같이 공정상의 습식 플럭스 도포만 생략하였다. 제조공정상에서 습식 플럭스 도포는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 튜브 성형 공정과 브레이징 공정에서 이루어지며, 양산제품은 제조공정상에서 습식 플럭스를 도포하고 있으며 도포량은 총 3.50 g/m^2 이고, 시험제품에 적용된 일체형 소재에는 0.20 g/m^2 의 플럭스가 포함되었으며 이는 랩테스트를 통해 검증된 량(0.196 g/m^2)을 적용했다. 또한 튜브소재의 치수와 기계적 성질은 양산제품과 동일하다[11].

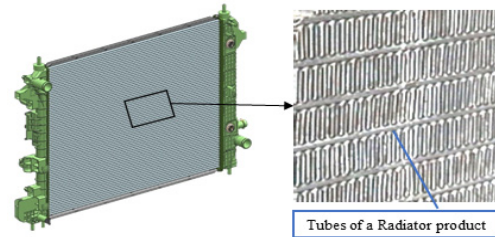


Fig. 4. The radiator product and tube elements

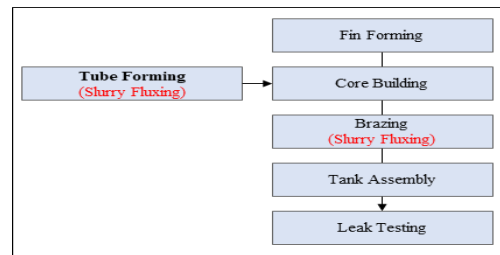


Fig. 5. The manufacturing process for the radiator heat exchange

상기와 같이 제작된 시험제품과 양산제품을 항목별로 비교 평가를 다음과 같이 실시하였다. 본 연구에서는 성능과 관련된 제품의 설계적 변경사항은 없음에 따라 이에 대한 평가는 진행하지 않았다.

3.2 시험결과와 평가

3.2.1 제품 외관 비교

먼저 제품표면의 외관을 비교하였으며 브레이징된 제품은 용가재 합금이 용융되어 모재간의 접합 정도와 플렉스 잔유물 흔적 정도를 정성적으로 파악할 수 있다. Fig. 6(a)와 같이 양산제품의 표면에서 잔유물의 흔적을 전체적으로 확인할 수 있으며 Fig. 6(b)와 같이 시험제품의 경우 플렉스 잔유물 흔적이 거의 나타나지 않았다.

3.2.2 금속조직분석

모재간 용접된 형상 단면을 조직분석을 통해서 접합 형상 및 접합량을 확인하고 모재의 침식여부를 파악하여 브레이징의 품질과 소재 및 제조공정의 적절성을 확인할 수 있다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 모재간 접합 상태는 시험제품과 양산제품 모두 동등한 접합형상 및 면적 (Joint area by filler metal)을 이루고 있고 모재 침식 또한 동일하게 발생하지 않은 것으로 평가할 수 있다.

3.2.3 주사전자현미경 분석

Fig. 8과 같이 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 제품의 표면을 확인하였다. Fig. 8(a)와 같이 양산제품의 튜브 표면에는 판상형(blocky residual flux)과 침상형(needlelike residual flux) 모양의 플렉스 잔유물이 다수 보였으나, Fig. 8(b)와 같이 시험제품의 경우 튜브 표면에는 판상형이나 침상형의 플렉스 잔유물이 거의 보이지 않았으며 접형태의 흔적만 확인할 수 있다.

3.2.4 에너지분산형 분광기 분석

Fig. 9에서 보는 바와 같이 에너지분산형 분광기를 이용하여 플렉스의 주요 구성 원자인 플루오린(F)과 포타슘(K)를 포함한 전체 원자성분의 구성비율을 확인하였다. 양산제품과 시험제품의 각각의 튜브 표면부를 확인하였고, 먼저 양산제품의 경우 F가 33.33 wt%, K가 27.40 wt%의 비율을 나타냈다. 시험제품의 경우 F가 0.84 wt%의 비율을 나타냈고, K가 0.55 wt%의 비율을 나타남을 알 수 있음에 따라 시험제품의 표면에는 플렉스 잔유량이 거의 없음을 정량적으로 알 수 있다.

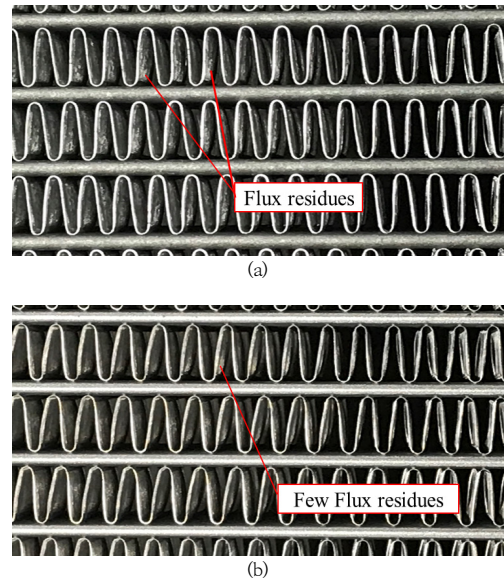


Fig. 6. The comparison of the surface after brazing
(a) The mass-produced product
(b) The experimental product

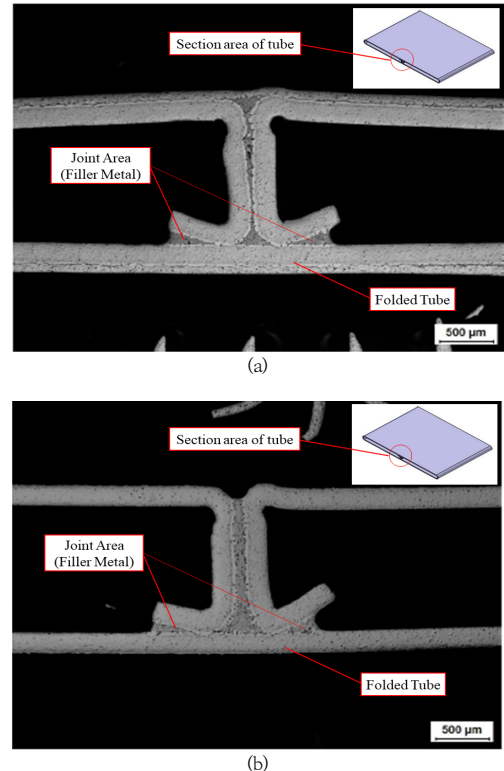
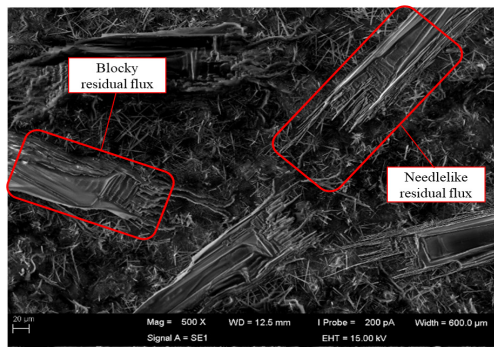
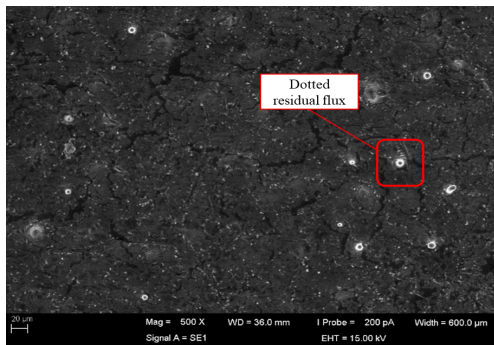


Fig. 7. The metallography analysis for joint area
(a) The mass-produced product
(b) The experimental product

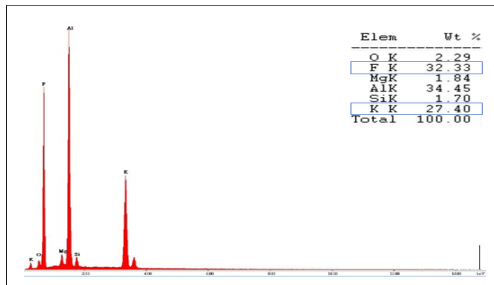


(a)

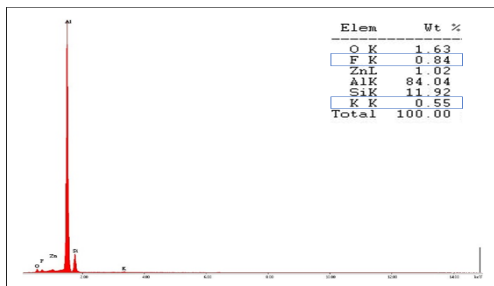


(b)

Fig. 8. The SEM morphology for surface of tubes
(a) The mass-produced product
(b) The experimental product



(a)



(b)

Fig. 9. EDS Analysis for Outside Surface of tubes
(a) The mass-produced product
(b) The experimental product

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄과 플렉스 일체형 소재를 적용한 차량용 열교환기 시험제품을 제작하여 양산제품과 항목별로 비교평가를 실시하여 양산적용 가능성을 확인하고자 했고, 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 제품 외관을 정성적으로 비교하였을 때, 양산제품의 경우 플렉스 잔유물의 흔적이 제품 전체적으로 육안으로 파악할 수 있을 정도로 확연히 나타났지만, 시험제품의 표면에서는 플렉스 잔유물의 흔적이 거의 없음을 알 수 있다.
- 2) 제작된 제품의 모재간 용접된 형상 단면을 조직분석을 통하여 접합량은 시험제품이 양산제품과 동등 수준으로 양호함을 알 수 있다.
- 3) 주사전자현미경(SEM) 분석을 통하여 정성적으로 양산제품이 우수하다는 결과를 얻었다. 에너지분산형 분광기 분석(EDS) 결과는 양산제품이 F가 33.33 wt%, K가 27.40 wt%의 비율을 나타낸 반면, 시험제품은 F가 0.84 wt%, K가 0.55 wt%의 비율을 나타냄으로써 시험제품이 양산제품 대비 K와 F가 각각 2.52 %, 2.00 % 수준으로써 플렉스 잔유량이 현저히 감소했음을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 진행한 비교평가를 통하여 플렉스 일체형 차량용 알루미늄 소재를 적용한 시험제품은 양산제품 대비 동등 수준 이상의 품질을 확보할 수 있는 것을 알 수 있었고, 양산공정에 충분히 적용이 가능하다는 평가를 내릴 수 있다. 하지만 실제적인 양산 적용을 하기 위해서는 대량생산테스트를 통하여 제품의 각 부품들에 적용될 일체형 소재의 플렉스 함유량 최적화 및 생산설비 조건 재설정 연구의 필요성이 대두되고, 최종적으로 최적화된 조건을 기준으로 제품의 제조원가를 산정해서 가격 측면의 양산성 평가도 이루어져야 할 것으로 내다본다.

References

- [1] S. J. Lee, D. H. Jung, J. P. Jung, "Aluminum Brazing and Its Principle", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol.24, No.4, pp.1-7, Dec. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.6117/kmepps.2017.24.4.001>
- [2] A. Sharma, J. P. Jung, "Aluminium Based Brazing

Fillers for High Temperature Electronic Packaging Applications', *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol.22, No.4, pp.1-5, Dec. 2015.

DOI: <https://doi.org/10.6117/kmepps.2015.22.4.001>

- [3] A. Mathieu, S. Pontevicci, J. Viala, E. Cicala, S. Mattei, "Laser Brazing of a Steel/Aluminium Assembly with Hot Filler Wire (88%Al, 12%Si)", *Materials science & engineering: A*, Vol.435-436, pp.19-28, Nov. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.07.099>
- [4] R. J. Klein, *Soldering in electronics* 2nd Ed., p753, Electrochemical Publications L, 1989, pp.470
- [5] R. W. Messler. Jr, *Joining of Advanced Materials*, p.560, Butterworth - Heinemann, 1993, pp.3-16
DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-26907-8>
- [6] Y. S. Shin, "Selection Technology for Brazing Fluxes", *Journal of Welding and Joining*, Vol.22, No.5, pp.18-25, Oct. 2004.
- [7] Y. S. Shin, *An Investigation into the Development & Applications for Brazing Flux Laminated Strip*, Ph.D dissertation, Inha University, Incheon, Korea, pp.33-34, 2007.
- [8] H. C. Yoo, "Recent Study of Technical Development for High Efficient Brazing", *Journal of Welding and Joining*, Vol.34 No.2, pp36-45, Jan. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2016.34.2.36>
- [9] D. K. Hawksworth, R. G. J. Westergard, A. J. W. Ogilvy, "Trillium Technology - Aluminium Brazing with a Composite Liner," *Aluminium Brazing 7th International Congress*, DVS German Welding Society, Dusseldorf, Germany, pp.99-104, May 2012.
- [10] R. G. J. Westergard, S. J. Koscielski, "Minimizing Residual Flux - Introducing TRILLIUM®Lean", *Aluminium Brazing 10th International Congress*, DVS German Welding Society, Dusseldorf Germany, pp.11-16, June 2018.
- [11] S. J. Kim, *Evaluation for Nocolok Brazing of Automotive Heat Exchanger Using Integrated Flux and Filler Metal Aluminum Material*, Master's thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, pp.33-34, 2020.

김 성 종(Sung-Jong Kim)

[정회원]



- 2020년 8월 : 경북대학교 기계공학 (공학석사)
- 2005년 2월 ~ 2020년 8월 : 한국델파이 생산기술 차장
- 2021년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍 대학 자동화시스템과 교수

<관심분야>

공정자동화, 스마트팩토리, 공유압 및 시퀀스제어