

얼음증발기 용접방법 개선에 관한 연구

이정연¹, 유흥렬², 손영득^{1*}

¹한국기술교육대학교 기계설비제어공학과, ²한국기술교육대학교 전기공학과

A Study on the Improvement of Welding Method for Ice Evaporator

Jeong-Youn Lee¹, Heung-Ryol Yoo², Yung-Deug Son^{1*}

¹Department of Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education

²Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 정수기는 최근 시장규모가 급격한 증가 추세에 있으며, 얼음 정수기의 얼음 생성량과 냉수 성능을 결정하는 핵심 부품인 증발기의 용접기술 향상을 요구하고 있다. 얼음 정수기의 finger type 증발기는 얼음을 탈빙 시키는 방법으로 순간 히터 방식과 고온 가스 방식으로 크게 구분되며 일부 대기업을 중심으로 생산 및 개발이 진행되고 있다. 두 방법은 장·단점을 가지고 있으며 고온 가스 방식 증발기는 특히 생산과정에서 고열의 산소 용접으로 인해 동파이프 내부에 pin hole 현상과 고압관 용접시 막힘 문제가 간헐적으로 발생하고 있다. 이는 정수기 사용시 얼음과 차가운 물의 생기지 않는 문제점을 가져오며 현장에서 수리가 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 고온 가스 증발기의 용접 불량률 개선하기 위해 cap jig를 적용하였다. 또한 산소용접 불꽃 크기를 조절하여 cap jig에 열원이 잘 공급될 수 있도록 하고 파압 시험과 테스트와 열충격 시험을 통해 유효성을 확인하였다.

Abstract The water purifier market has increased rapidly in recent years. The welding technology of the evaporator is a key component that determines the level of ice production and the cold water performance of an ice purifier. The finger type evaporator of an ice purifier can remove ice and is divided largely into an instant heat method and a hot gas method. In the hot gas type evaporator, particularly during the production process, the pinhole phenomenon inside the copper pipe and clogging problems occur intermittently when welding high-pressure pipes due to the high-temperature oxygen welding. Its use in a water purifier can cause a problem in that ice and cold water do not form, and repairs cannot be made on site. To solve this problem, in this study, a cap jig was applied to improve the welding defect of the hot gas evaporator. In addition, the oxygen welding flame size was adjusted so that the heat source could be well supplied to the cap jig, and the effectiveness was confirmed through a wave pressure test, a test, and a thermal shock test.

Keywords : Ice Evaporator, Oxygen Welding, Leak, Burst Test, Water Purifier, Capillary Pipe

1. 서론

정수기 시장은 매년 증가하고 있다. 정수기 기능에 따라 일반 정수기, 냉온 정수기, 얼음 정수기, 소형 정수기, 탄산 정수기, 커피 정수기 등으로 점차 진화하고 있다. 얼음 정수기는 국내에서 인기를 끌며 많은 판매를 가져왔

다. 얼음은 우리 주변 실생활에 많이 사용하고 있으며, 최근에는 국민의 식생활 문화가 개선되고 생활 수준이 향상됨에 따라 소형 제빙기에 대한 수요가 급증하고 있다. 제빙 특성에 따라 얼음 정수기를 구분할 수 있으며, 소형 제빙기는 주로 호텔, 병원, 식당과 같은 업소에서 식품이나 음료의 신선도를 유지하기 위해 많이 사용되고 있다

*Corresponding Author : Yung-Deug Son(Korea University of Technology and Education)

email: ydson@koreatech.ac.kr

Received November 9, 2020

Accepted February 5, 2021

Revised December 29, 2020

Published February 28, 2021

[1-3].

얼음 정수기의 성능을 결정하는 얼음 증발기는 투명한 얼음 생성을 위해 finger type을 적용하고 있으며 현재 이 기술은 특정 제조업에 한정되어 기술 개발이 진행되고 있다. 특히, 얼음 정수기의 주 배관, 고온 가스 파이프 및 모세관 용접기술은 얼음 증발기의 수명을 결정하는데 매우 중요한 요소이다. 냉동 사이클 구성을 위한 증발기 부착 시의 용접은 필수적이며 이로 인한 용접부의 누설 및 막힘 문제가 간헐적으로 발생한다[4-6]. 이러한 문제점은 소비자로부터의 정수기 회수 및 A/S 등 비용 발생과 더불어 판매처의 이미지 하락을 가져온다.

얼음 증발기의 얼음 생성 후 탈빙 방법은 두 종류 구분되며 히터 방식 증발기와 고온 가스 방식 증발기가 있다. 히터 방식은 누전 및 전기 화재 등의 우려가 있으며, 고온 가스 방식의 증발기는 모세관과 고온 가스 파이프를 한 지점에 동시에 용접하기 때문에 고난도의 용접기술이 요구된다. 그리고 고온 가스 방식은 용접 오류로 인한 모세관 막힘 현상이 발생하기 쉽고, 증발기의 용접 부위에 누설이 발생할 우려가 있다. 본 논문에서는 고온 가스 방식에서 주 배관과 고온 가스 파이프 용접 시 나타나는 문제점을 제시하고 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 cap jig를 용접부에 삽입함으로써 용접성이 용이하게 개선했다. 또한, 신뢰성 성능시험을 위해 파압 실험과 열충격 실험을 병행하였다. 또한 산소 용접의 불꽃을 이용하여 용접 세기를 조절하여 파이프에 불록 주머니가 생기는 것을 방지하는 것을 제안한다.

2. 본론

2.1 얼음 제빙기의 동작 원리

얼음 제빙기는 에어컨과 유사한 냉동 사이클을 가지고 작동하고 있으며 얼음 증발기의 동작 원리는 Fig. 1과 같다[7-8]. 정수기 내부에 설치된 압축기(compressor)는 응축기(condenser)에서 증발한 냉매 가스를 흡입하는 작용과 그 냉매 가스를 응축기의 포화압력까지 압력을 높여서 내보내는 작용을 한다. 즉, 고온 고압의 가스로 만들어 준다. 응축기는 압축기로부터 토출되는 냉매 가스를 받아들이고 응축시켜서 재액화를 시키는 작용을 한다. 재액화를 거친 냉매는 건조기(dryer)로 흘러가고, 건조기에서는 냉매 가스에 포함된 수분 및 이물질을 제거하여 냉매 사이클의 막힘 불량을 방지한다. 모세관은 교축작용을 하여 냉매 가스를 팽창시켜 증발기로 보내 준다. 얼음 증

발기(evaporator)에서는 액체의 냉매 가스를 증발시키고 증발 잠열에 의해 열을 흡수하여 저온을 만들어 주는 작용을 한다. 이때 얼음 증발기에 정수된 물을 분사되거나 정수된 보관 통의 얼음증발기의 finger 부분에 접촉하면 얼음이 생성된다. 그리고 입구 파이프 통하여 압축기에 뜨거운 공기를 증발기에 넣어주면 생성된 얼음이 탈빙된다.

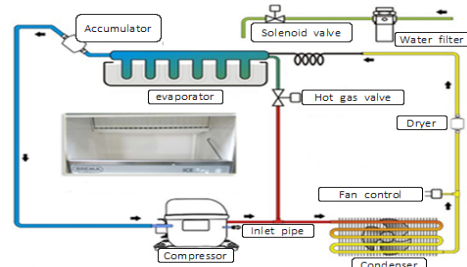


Fig. 1. Refrigeration cycle of ice evaporator

얼음 증발기의 탈빙방법은 Fig. 2와 같이 순간 탈빙 히터를 이용하여 얼음을 탈빙하는 히터 방식과 Fig. 3과 같이 압축기에서 나오는 뜨거운 공기를 이용하여 얼음을 탈빙 시켜주는 고온 가스 방식이 있다.

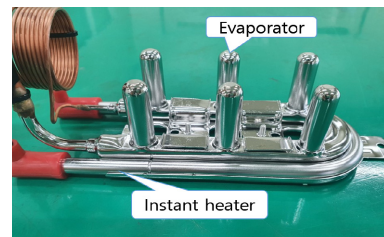


Fig. 2. Ice heater type evaporator

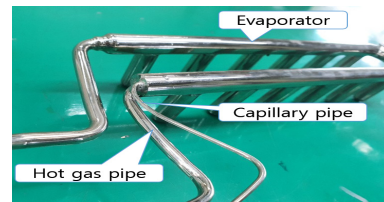


Fig. 3. Hot gas type evaporator

히터 방식은 생산성이 높고 용접 공정이 없어 용접 부위에 발생하는 문제점이 발생하지 않으나 순간 히터의 누전으로 히터가 고장 나는 사례가 간헐적으로 발생한다.

2.2 고온 가스 방식 증발기의 문제점

고온 가스 방식의 증발기는 히터 및 고정 브라켓이 제거되어 생산 단가가 저렴해지고 경량화가 가능하지만 추가적인 용접 공정이 필요하다. 증발기의 용접 시 사용한 재료는 주 배관과 cap jig 및 고온 가스 파이프 소재 C1120과 용접봉 Bcup-3를 이용하고 용접하며 각 각의 특성은 아래 Table 1, 2와 같다. 정수기 제작 업체에서 적용하고 있는 용접은 수동 산소 용접 공법으로 용접 시 토치의 불꽃 온도 950℃~1050℃이다.

Table 1. Mechanical properties of base metal

Material	Tensile Strength	Elastic Modulus	Elongation
C1120-OL	221MPa	117GPa	45%

Table 2. Material Properties of filler metal

Material	Liquidus Point	Working Temperature
BCup-3	813℃	900~1050℃

고온 가스 방식 증발기는 주 배관과 고온 가스 파이프 용접 시 모세관을 동시에 용접해야 하므로 용접 작업이 매우 어렵고 불량 발생이 많다. 또한, 두 개의 파이프를 한 홀에 용접해야 하므로 용접 비드(bead)가 제대로 형성되지 않아 Fig. 4와 같이 누설 불량이 발생한다. 또한 누설 불량으로 간주하고 용접을 오래 하면 용접 비드가 파이프 내부 표면을 따라 흘러 들어가서 Fig. 5와 같이 고온 가스 파이프 및 모세관을 막는 문제점을 가진다. 막힘 현상은 공압 블로잉(air blowing) 검사나 질소(N₂) 검사로 선별할 수 있으나 누설 불량은 정수기 판매 후 얼음 생성과 탈빙 작업을 반복하는 과정에서 나타나며 약 3개월부터 12개월 사이에 주로 발생된다.



Fig. 4. Poor leakage phenomenon

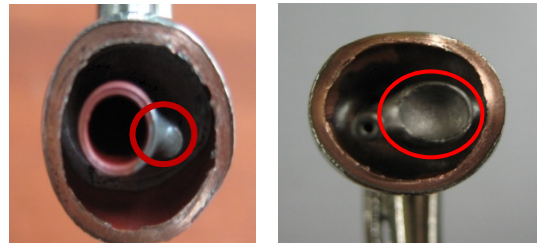


Fig. 5. Pipe clogging phenomenon

Fig. 6은 산소 용접 시 한쪽에 많은 열이 집중되어 C1120에 들어 있는 산소가 모여 볼록 주머니 현상을 나타낸 것이다. 누설이 발생한 증발기를 절개해 보면 내부에 볼록 주머니가 생성되어 냉매가 누설되는 것을 알 수 있다. 볼록 주머니는 용접 시 강한 불로 가열할 때 동 파이프 내부에 있는 산소가 모여 생성되는 것으로 산소 용접 접합부의 주된 결함은 접합부 내부에 불규칙하게 분포된 삽입 금속의 용입 불량과 핀 홀로 인하여 누설 불량이 발생한다.

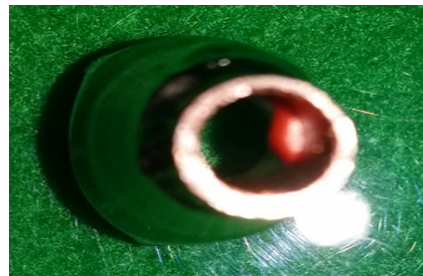
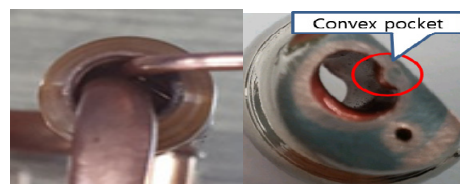


Fig. 6. Convex pocket phenomenon

Fig. 7은 용접부 구조 비교 및 절개 사진을 비교하였다. 그림 (a) 방식은 기존 스웨징(swaging)부에 고온 가스 파이프와 모세관을 한 hole 넣어 용접하기 때문에 용접 비드의 흐름성을 방해한다. 반면 (b) 방식은 cap jig를 삽입하고 고온 가스 파이프와 모세관을 cap jig hole에 각각 삽입하여 용접이 용이하고 용접 비드가 파이프 주변을 메꿔주어 용접 누설 불량이 감소한다.



(a) Swaging part insertion structure and welding cutout



(b) Cap jig insertion structure and welding cutout

Fig. 7. Comparison of weld structure and incision photo

2.3 Cap jig를 이용한 증발기 제작방법

고온 가스 방식의 증발기 누설은 얼음 정수기가 가정 등에 설치된 후 서서히 나타나기 때문에 제조 당시 검출하기 어렵고, 누설 불량은 가정에서 용접하여 수리할 수 없기 때문에 전부 회수하여 수리한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 cap jig를 삽입하여 쉽게 용접할 수 있도록 함으로써 누설 불량이 발생하지 않도록 하였다. Cap jig를 Fig. 8와 같이 설계하였고, C1220 동판을 드로잉 공법으로 가공한 후 프레스 작업으로 두 개의 구멍을 가공하였다.

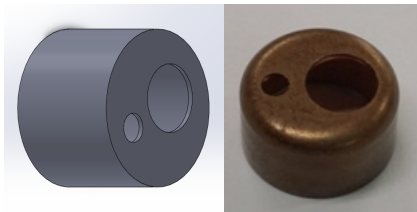


Fig. 8. Design and appearance of Cap jig

Fig. 9와 같이 Cap jig의 두 개의 구멍을 통하여 고온 가스와 모세관이 안착될 수 있는 구조이며 용접 시 용접 비드가 전체적으로 도포되어 용접 후 누설이 발생하지 않도록 하였다.

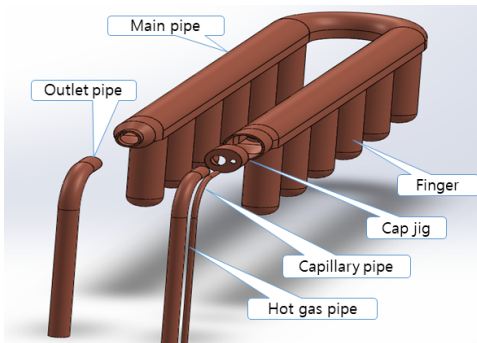
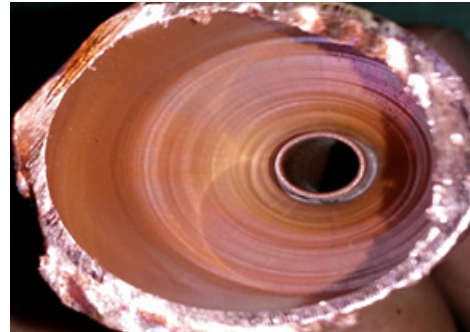
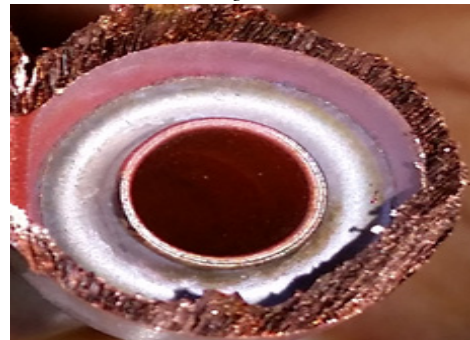


Fig. 9. Schematic diagram of hot gas method

또한 산소 용접 시 고열을 집중적으로 받은 모재는 취약해지기 때문에 파이프 모든 부분에 열원을 주어 용접 비드가 전체적으로 도포되어 파괴 압력과 볼록 주머니가 생기는 것을 방지한다. 용접 작업에 있어 산소량과 LPG량을 정량적으로 사용할 수 있는 디지털 용접기를 적용하여 불꽃 크기를 조절하였으며, 일정한 열원 공급으로 용접 제품의 수명을 연장하는데 크게 기여한다. Fig. 10은 용접 운봉법(weaving beading)에 대한 용접 비드 생성 모양을 관찰한 사진이다.



(a) Create right weld bead



(b) Apply the entire welding bead

Fig. 10. Comparison of welding beads according to welding heat

(a) 사진은 용접 열원이 오른쪽 부분에 집중되어 용접 비드가 오른쪽 부위에 많이 도포되어 있는 경우이며 반면 (b) 사진은 용접 열원이 파이프 전체에 분포되어 용접 비드가 파이프 주변을 전체적으로 도포되어 용접 부위가 견고하게 용접된 경우이다.

2.4 신뢰성 성능시험 방법

기밀성 시험을 위해 증발기에 cap jig를 삽입하여 용접한 후 검교정을 실시한 파압 시험기(모델명: TWB-030)에 시험하였다. Fig. 11과 같이 제작하였으며 최대 1차 주입

압력은 200 kgf/cm²이다. 승압 펌프에 의해 1차 주입되는 공기압력은 2차 압력을 100~250 kgf/cm²로 압력을 높여 주어 동관 내부에 인가한다. 또한 이처럼 높은 압력을 인가시켜주기 위해서는 동관 내부 체적에 물을 가득 채워야만 정확한 파열 압력을 측정할 수 있다.



Fig. 11. Burst pressure test equipment

Cap jig를 이용한 고온 가스 방식의 증발기를 파열 압력 장비에 실험한 결과를 Fig. 12 (b)에 나타내었다. 처음 내압을 30초에 155 kgf/cm²까지 도달하도록 인가하였으며 이후 60초 동안 압력을 유지시켰다. 이때 모세관 입력부 및 다른 용접부가 파괴되지 않았으며 점차적으로 압력을 올려본 결과 178 kgf/cm²에서 용접 부분이 아닌 두께가 0.3 mm인 finger 부분이 파열되는 것을 Fig. 12 (a)와 같이 확인할 수 있었다. 또한, Fig. 12 (c)와 같이 10초 만에 140 kgf/cm²까지 압력을 인가하여 80초간 압력을 지속했을 때 얼음 증발기의 파열 압력에는 이상이 없음을 확인할 수 있다. 또한, 국내 얼음정수기 제조사의 얼음 증발기 파열 압력 기준은 60초간 140 kgf/cm²로 인가하여 이상 없을 것이 요구되며 이를 충족함을 알 수 있다.

파열 압력 실험은 한 번에 높은 압력을 인가하는 반면 열충격 실험은 뜨거운 열과 차가운 냉기를 번갈아 가면서 충격을 주는 실험이다. 얼음 증발기는 냉매를 분사할 때는 영하에 온도에 영향을 받고 얼음을 탈빙 할 때는 고온 가스가 주입되어 영상의 온도에 영향을 받는다. 이런 점을 고려하여 열충격 시험기(SH-TST3002)에서 Fig. 13과 같이 120 °C에서 30분 이후 -30 °C에서 30분에 노출하는 것을 1 주기로 하여 320주기 동안 열충격에 가한 후 물에 넣어 누설이 있는지 확인한다. 시편 3개를 실험하였으며 Table 3과 같이 열충격 실험 후 20 kgf/cm² 압력에도 용접 부위에 이상이 없는 것으로 확인되었다.



(a) Burst pressure test of finger

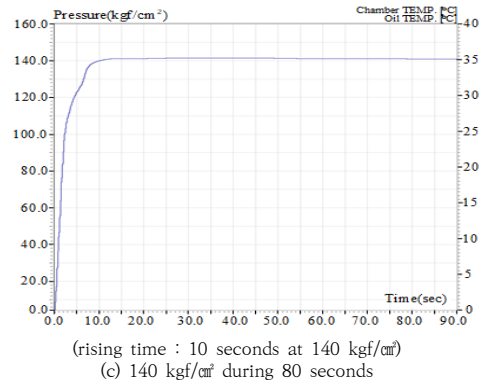
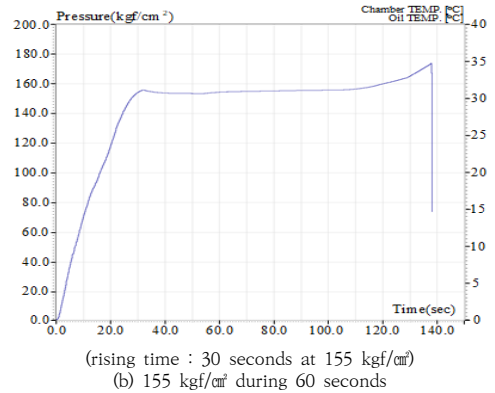


Fig. 12. Burst pressure test result



Fig. 13. Thermal shock test equipment

Table 3. Thermal Shock Test Results

Material	Sample1	Sample2	Sample3
Yes/No Leak	No Leak	No Leak	No Leak

3. 결론

본 연구에서는 고온 가스 방식의 얼음 증발기 제조 시 cap jig를 사용하여 주 배관과 고온 가스 파이프 및 모세관에 용접 방법 개선으로 막힘 및 볼록 주머니 불량에 해결하였다. Cap jig를 이용한 용접 방법은 한 개의 홀에 2개의 파이프를 용접할 때 좋은 효과를 나타낸다. 고온 가스 파이프와 모세관이 잘 안착하여 용접 비드의 흐름성을 좋게 하였으며 고온 가스 방식의 증발기 수명을 연장하는데 매우 중요한 용접기술임을 증명하였다. 더 나아가 얼음 정수기 사용기간에 많은 영향을 준다. 본문에서는 고온 가스 방식의 얼음 증발기 용접 시 취약 부를 서술하고 개선하기 위해 파열 압력 실험과 열충격 실험을 통해 신뢰성을 증명하였다. 결론적으로 cap jig를 삽입하여 고온 가스 방식의 증발기 제조 시 누설, 막힘, 누설 불량을 완벽히 해결하였다. 추후 본 연구를 바탕으로 스테인리스 증발기 제조 기술 개발과 관련하여 니켈도금 얼음 증발기의 문제점을 해결할 수 있도록 하겠다.

References

[1] E. H. Jung, K. W. Park, "Ice Making Characteristics According to Changing Shape of Ice Making Tub", *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.21, No.5, pp.291-296, May. 2009.

[2] Y. T. Cho, S. D. Ma, "Cooling performance enhancement of small water purifier using the thermoelectric module", *The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp.123, Oct. 2008.

[3] J. H. Jung, J. H. Lee, W. H. Cho, Y. B. Kang, Y. C. Kim, "Numerical Study on the Heat Transfer Characteristics of an Evaporator of Refrigerated Warehouse", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp.174-175, May. 2018

[4] K. W. Kang, H. J. Shim, B. J. Lee, K. Y. Jhang, J. K. Kim, "An Analysis for Failure Mechanisms and Strength Evaluation on Brazed Joint", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, Vol.30, No.10, pp.12989-1304, Oct. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2006.30.10.1298>

[5] H. S. Bang, C. I. Oh, C. S. Ro, C. S. Park, H. S. Bang,

"Analysis of Thermal and Welding Residual Stress for Hybrid Welded Joint by Finite Element Method", *Journal of Welding and Joining*, Vol.25, No.5, pp.11-16, Dec. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.5781/KWJS.2007.25.6.011>

[6] C. Y. Kang, "Brazing Defect", *Journal of Welding and Joining*, Vol.18, No.6, pp.1-3, Dec. 2000.

[7] H. W. Byun, J. W. Lee, N. H. Kim, "Heat Transfer Characteristics in the Evaporator of a Soft Ice Cream Maker", *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.13, No.4, pp.1466-1473, Apr. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.4.1466>

[8] J. S. Kim, N. H. Kim, "Performance Analysis of the Soft Ice-cream Maker Having Two Evaporators Operating at Different Temperatures", *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.14, No.2, pp.517-522, Feb. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.517>

이 정 연(Jeong-Youn Lee)

[정회원]



- 2008년 8월 : 충북대학교 정밀기계과 공학사
- 2015년 8월 : 충북대학교 정밀기계공학과 공학석사
- 2020년 8월 : 한국기술교육대학교 기계설비제조공학과 공학석사

- 2019년 9월 ~ 현재 : 동신대학교 에너지 환경공학과 박사과정 재학
- 2011년 8월 ~ 현재 : (주)에타 책임연구원

<관심분야>

얼음 증발기, 순간히터, 동작기계, 자동제어

유 흥 렬(Heung-Ryol Yoo)

[정회원]



- 2002년 2월 : 순천향대학교 전자공학 학사
- 2007년 2월 : 건국대학교 전자정보통신공학과 공학석사
- 2018년 3월 ~ : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기전공 박사 과정

- 2004년 8월 ~ 2013년 : SEMES 선임연구원

<관심분야>

모터제어, 지능제어, 신재생에너지, 반도체 전장 설계

손 영 득(Yung-Deug Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 2009년 8월 : 현대중공업 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 조교수, 건축전기설비기술사, 전기응용기술사

〈관심분야〉

모터제어, 지능제어, 신재생에너지, 전기설비 기계설비