

알루미늄 합금 7075의 용가재에 따른 GTA용접공정의 기계적 특성 평가

손영산*, 임병철²

¹한국폴리텍IV대학 산업설비자동학과, ²경기도기술학교 특수용접학과

Evaluation of mechanical Characteristic according to the Filler Metal by GTA welding Process using 7075 Aluminum Alloy

Yeong-San Son^{1*}, Byung-Chul Lim²

¹Department of Automation Industrial, Korea Polytechnics IV

²Department of Special Welding, GyeongGiDo Technical Institute

요약 본 연구는 7075 알루미늄 합금의 용가재에 따른 GTA용접공정의 기계적 특성을 평가 하기위해 인장시험, 미세경도 시험과 같은 실험을 실시하였다. 방사선비파괴 시험 결과 KS D 0242규격의 1급의 기준에 만족하였으며 용가재에 따른 용접의 결함증가 등의 문제점은 없는 것으로 판단된다. 인장시험 결과 Al 7075를 용가재로 사용하였을 때에만 용접부에서 파단이 일어났으며 Al 7075, ER 4043의 용가재에 따른 인장강도는 각각 240MPa, 253MPa로 나타나며 항복강도는 각각 132MPa, 120MPa로 나타났으며 연신율은 각각 6.6%, 13%로 나타났다. 미세경도시험 결과 Al 7075를 용가재로 사용했을 때 용착금속부는 경화되어 Hv132로 나타났으며 ER 4043을 사용한 시험편의 용착금속부의 경도는 각각 약 24% 감소하여 나타났다. Al 7075의 용접의 경우 같은 합금 조성의 용가재를 사용하여 용접 하면 용착금속부가 경화하여 용착금속부에서 파괴가 일어날 수 있으므로 같은 합금의 조성의 용가재를 사용하지 않는 것이 바람직하다. 위와 같은 실험을 통하여 7075 알루미늄합금의 용접시 같은 합금 조성의 용가재인 Al 7075를 사용하는 것 보다는 Al-Si계인 ER 4043을 용가재를 사용하는 것이 바람직하다.

Abstract In the GTA welding process of Al 7075 alloy using different types of filler metals, the tensile test and micro-hardness test were conducted to evaluate the mechanical characteristics. Also, the radiographic test result showed that the weld met the criterion of level 1 in accordance with KS D 0242 for verifying the welding integrity and there were no welding defects. The tensile test result obtained using Al 7075 as a filler metal showed that the material was fractured in the weld zone. The tensile strengths of the materials using Al 7075 and ER 4043 as the filler metal were about 240MPa and 253MPa, their yield strengths were about 132MPa and 120MPa and their elongation percentages were 6.6% and 13%, respectively. The micro-hardness value of the deposited metal zone when using Al 7075 as the filler metal was Hv 132. However, the micro-hardness of the material using ER4043 as the filler metal was about 24% lower than that using Al 7075. When the chemical composition of the filler metal is the same as that of the material itself, fracture can occur in the deposited metal zone. Therefore, it is not desirable to use the same material as the filler metal for the welding of Al 7075 alloy. Moreover, the use of Al-Si based ER 4043 as a filler metal is more desirable than using the same material as a filler metal for welding Al 7075.

Keywords : Al 7075, Alloy, ER 4043, Filler Metal, GTAW

1. 서론

최근 산업의 발전은 화석연료 사용으로 인하여 심각

한 환경오염 문제를 일으켰으며 이에 따른 에너지 절약
이나 환경규제의 강화가 중요한 문제로 발생하고 있으며
에너지 효율성을 높이기 위해 부품의 소형화 및 경량화

*Corresponding Author : Young-San son(Korea Polytechnics IV)

Tel: +82-41-630-3565 email: ysson571@naver.com

Received January 5, 2017

Revised February 24, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

Table 1. Chemical composition of the materials

[wt%]

Elements	Mg	Cu	Si	Fe	Cr	Mn	Ti	Zn	Al
Substrate(AI7075)	2.9	1.2 ~2.0	0.4	0.5	0.28	0.3	0.2	6.1	Bal.
Filler metal(AI7075)	2.9	1.2 ~2.0	0.4	0.5	0.18 ~0.35	2.1 ~2.9	-	5.1 ~6.1	Bal.
Filler metal(ER4043)	0.05	0.3	4.5-6.0	0.8	-	0.05	0.20	0.10	Bal

를 하기위해 알루미늄, 마그네슘 합금 등의 경량 소재에 많은 관심이 집중되고 있다.[1]그 중 알루미늄 합금은 적절한 기계적 성질, 성형성, 내구성, 리사이클성 등의 장점으로 인하여 경량화의 핵심소재로서 항공기, 자동차 등의 수송 분야에서 사용량이 점차증가하고 있다.[2-4] 이와 같이 알루미늄 합금이 경량화의 목적으로 구조재로 사용되기 위해서는 고강도가 요구되며, 또 동시에 용접성, 특히 용융용접성이 우수해야 하는 것은 필요불가결하다. 따라서 경량구조용 알루미늄 합금의 용접 시 고능률성, 고신뢰성 확보를 위해 적절한 용접방법 및 조건 등을 채택하는 것이 당연한 과제라고 할 수 있다.[5] 현재 7075 알루미늄 합금이지만 7075 알루미늄 합금의 전용 용가제 개발이 미비한 실정이며 현재의 접합방식은 리벳접합과 마찰교반용접을 주로 사용하고 있다.[6] 리벳접합과 접착제를 이용한 접합방식은 리벳구멍이 균열핵생성과 틈새부식의 원인이 되고 있으며 재료의 소모량이 커 경량화를 목적으로 알루미늄 합금을 쓰는 취지에 맞지 않는다는 문제가 있다. 반면에 용접에 의한 접합은 리벳접합에 비해 무게를 감소시킬 수 있고 검사주기를 늘릴 수 있어 물리적 작업을 개선할 수 있어 용접접합이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 AI7075의 모재에 ER4043의 용가제를 이용하여 GTAW(가스텅스텐아크 용접) 하였으며 용가제에 따른 용접의 건전성을 확인하기 위하여 기계적 특성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험편 제작

본 연구에서는 일반적으로 경량화를 목적으로 하고

있는 비행기와 자동차 부품 등에 많이 사용하고 있는 AI7075를 실험소재를 2가지의 용가제인 AI7075, ER4043으로 GTAW공정으로 맞대기 용접을 실시하였다. 용접기는 POSTECH사의 Hywel-305A 모델을 사용하였다. 인장시험편은 금속용접부 파괴시험-횡방향 인장 시험 규격인 KS B ISO 4136에 따라 인장시험편의 평행부의 길이는 102mm, 표점거리 100mm, 두께 2mm, 곡률반경 R30으로 Fig. 2와 같이 가공하였다. 실험소재와 용가제의 화학적 성분 및 기계적 특성은 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

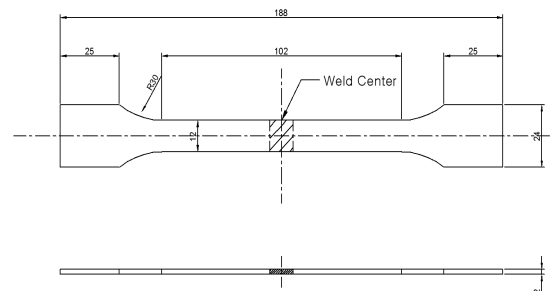


Fig. 1. The specimen of tensile strength

2.2 GTAW 공정

2.2.1 시험재 용접

I-groove로 개선된 AI7075 판재를 GTAW를 적용하여 Fig. 2와 같이 용접선의 길이 150mm, 두께 2mm, 루트간격 2mm 판형을 용접하여 시험편을 제작하였으며 이때 사용한 용가제는 AI7075와 ER4043으로 용접하였고 용가제의 직경은 Ø2.4를 사용하였다.

Table 2. Mechanical characteristics of AI7075

Elements	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation(%)
Substrate	105	230	14

2.2.2 GTAW 조건

GTAW 공정에서 용접의 품질에 영향을 미치는 변수는 용접전류, 전압, 이송속도, 보호가스유량이며 본 연구에서 사용하는 실험소재인 Al7075의 2가지의 용가제인 Al7075, ER4043의 용접특성을 비교 평가하기 위하여 Table 3과 같이 전류 110A, 용접속도 7.5cm/min, 보호가스 Ar100%, 보호가스유량 15 ℓ/min으로 동일한 용접 조건으로 용접을 실시하였다.

2.3 비파괴 시험

본 연구에서 GTAW공정으로 Al7075와 ER4043의 용가제로 용접을 수행한 시편의 신뢰성있는 실험 결과를 얻기 위해 비파괴검사를 수행하였다. Table 3의 조건에 따라 용접작업을 완료한 시험편을 완전히 냉각한 상태에서 알루미늄 평판 접합 용접부의 방사선 투과 시험 방법인 KS D 0242에 의거하여 방사선투과시험을 하였다.

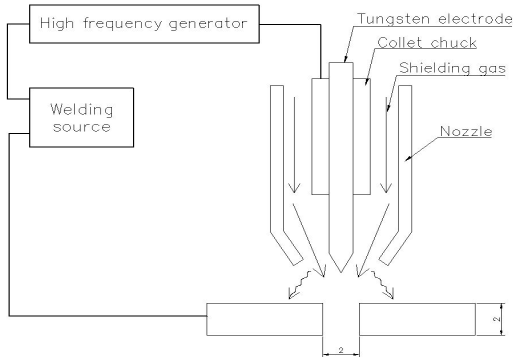


Fig. 2. Welding process

Table 3. Marked according to the welding conditions variable

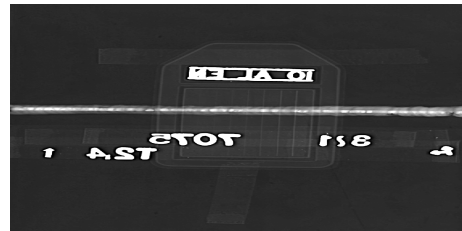
Welding Parameter	Filler Metal	
	Al7075	ER4043
Current	110A	110A
Speed	7.5cm/min	7.5cm/min
Shield Gas	Ar 100%	Ar 100%
Gas flow	15 ℓ/min	15 ℓ/min
Root Gap	2mm	2mm

2.4 기계적 성질

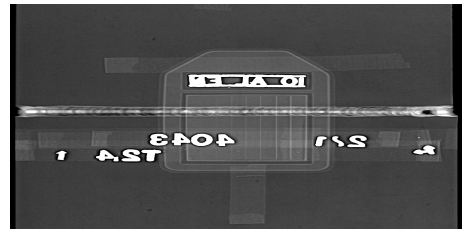
GTA 용접 후 용가제에 따른 용접부의 기계적 성질 평가를 위해 인장시험 및 미세경도 시험을 수행하였다.

KS B ISO 4136의 규정에 따라 인장시험편을 준비하였으며 2mm/min의 속도로 인장시험을 하였다. 연신율 측정에는 표점거리 100mm를 기준으로 시험 전 후에 늘어난 길이를 측정하였다. 항복강도는 2% 율셋법을 통하여 도출하였다. 인장시험은 SHIMADZU에서 제작한 용량 25ton급 만능재료 시험기(Model : AG-X)를 사용하였다.

미세경도시험은 GTAW 공정으로 제작한 판형 시험편을 와이어 컷팅기를 이용하여 용접부를 중앙에 위치하게 하여 t2x10x30으로 절단하였으며 가공된 시험편을 냉간마운팅 하여 단면을 미세 경도 시험을 수행하였다. 시험하중의 조건은 하중 300g, 가압시간 10초로 두고 실험을 시행하였다. 또한, 동일한 표면 거칠기를 갖도록 사포 800~2000으로 표면경면 연마를 하여 경도를 측정하였다. 실험장비는 Mitutoyo의 제품인 미세 경도 시험기(Model : HM-112)를 사용하였다.



(a) Filler Metal type of Al. 7075



(b) Filler Metal type of ER 4043

Fig. 3. Eye investigation of the GTAW

3. 실험분석 및 결과

3.1 비파괴 시험 결과

방사선투과시험 결과 GTAW공정으로 Al 7075와 ER 4043의 용가제로 용접을 수행한 시편의 필름은 Fig. 3과 같이 나타내었고 KS D 0242규격의 1급의 기준에 만족하였다. 용가제에 따른 용접의 결함증가 등의 문제점은

없는 것으로 판단된다.

3.2 인장시험 결과

Fig. 5는 Al7075에 각각의 다른 용가재를 사용하여 용접한 시험편과 실험소재의 응력-변형률 곡선을 보면 용접하지 않은 실험소재의 연신율이 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며 Table 5와 Fig. 5과 같이 Al7075, ER4043의 용가재에 따른 인장강도는 각각 240MPa, 253MPa로 나타나며 2% 율셋법을 적용하여 도출한 항복강도는 각각 132MPa, 120MPa로 Al7075를 용가재로 사용할 때 높게 나타났다. 또한 연신율은 실험소재 고유의 연신율은 17.6%로 나타났고 용접한 시험편에서는 각각 6.6%, 13%로 실험소재보다 낮게 나타났다. 이는 Al7075를 용가재로 사용하였을 경우 항복강도는 높게 나타난 반면에 인장강도는 낮은 경향이 나타나며 또한 인장시험편 파단부의 위치는 Al7075로 용가재를 사용하였을 경우에서만 용접부에서 파단이 일어났다. 이는 ER4043을 용가재로 사용한 것 보다 제품의 크기나 외관이 변하는 변형 즉 제품의 가치를 하락시키는 소성변형이 시작하는 항복점은 높지만 연신율과 인장강도가 낮은 경향을 보이며 Al7075를 용가재로 사용한 것이 ER4043의 용가재보다 용접성이 떨어진다고 판단된다.

Table 5. Tensile strengths result of specimen

no.	Elements	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
1	Substrate	121	247	17.6%
2	Al 7075	132	240	6.6%
3	ER 4043	120	253	13%

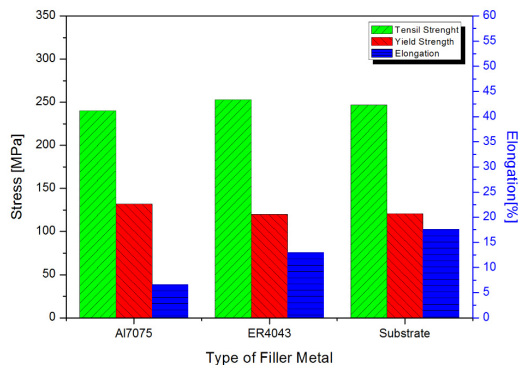


Fig. 4. Result of tensile test

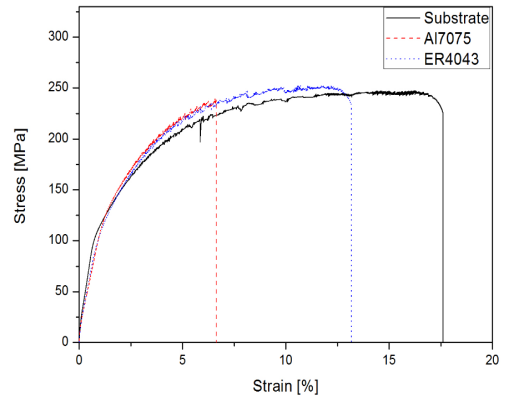


Fig. 5. Strain-stress curve of tensile test

3.3 경도시험 결과

Fig. 6는 Al7075 알루미늄 판재의 GTA용접부를 비커스 경도시험을 하였다. 용접 단면부의 표면에서 0.5mm 떨어진 단면에 0.5mm씩 간격으로 상부, 중부, 하부로 나누어 알루미늄 용접부의 열영향부의 분포특성을 알아보기 위하여 경도 측정을 하였다. Fig. 7은 GTA 용접에 사용한 용가재에 따라 경도 분포를 나타내었다.

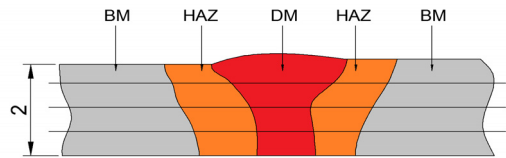


Fig. 6. Measuring positions of Vickers hardness

경도 분포는 Fig. 7의 (a)와 (b)에 나타내었다. (a)에서는 용착금속부(DM)과 열영향부(HAZ)의 경도차가 미비하였지만, (b)에서는 용착금속부와 열영향부의 경도차이가 심하게 나타났다. 이는 Al7075를 용가재로 사용했을 때 Al 7075는 Al-Zn-Mg-Cu계 합금으로서 6000계열인 Al-Mg-Si계 합금처럼 동일한 합금 조성의 용가재를 사용하여 용접을 하면 용착금속부가 경화하여 용착금속부에서 파괴가 일어날 수 있으므로 같은 합금의 조성의 용가재를 사용하지 않는 것이 바람직하다고 판단된다.

하지만 (b)에서는 용착금속부에서 열영향부 보단 경도가 낮아 졌으며 이는 ER 4043은 Al-Si계 알루미늄 용접재료로 이들 합금원소 중 아연과 마그네슘 원소는 강도 및 경도와 같은 기계적 특성을 향상시키는 역할을 하지만 아크용접 중 상대적으로 비점이 낮은 마그네슘 및

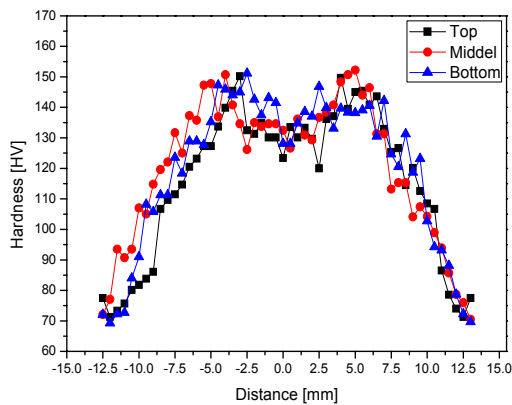
아연이 선택적으로 증발하게 되어 ER 4043을 사용하였을 때 용착금속부의 경도가 Hv100으로 Al7075를 용가재로 사용하였을 때 보다 약 24%감소되어 나타났다.

Fig. 8은 Fig. 7에서 상부, 중부, 하부의 용가재에 따른 경도분포를 비교한 그래프이며 열영향부의 분포는 유사한 반면 용착금속부의 경도 분포는 ER4043을 용가재로 사용한 시편이 낮게 나타났다.

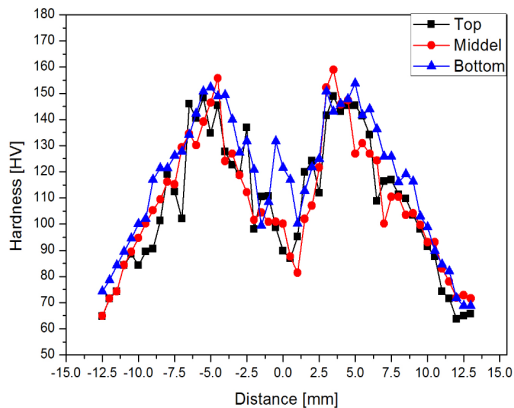
4. 결론

본 논문에서는 Al7075의 모재에 ER4043과 Al7075의 용가재를 이용하여 GTAW 하였으며 용접의 건전성을 확보하기 위하여 기계적 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 방사선 투과 시험 결과 KS D 0242규격의 1급의 기준에 만족하였으며 용가재에 따른 용접의 결함은 발생되지 않았다.
2. 인장시험 결과 Al7075, ER4043의 용가재에 따른

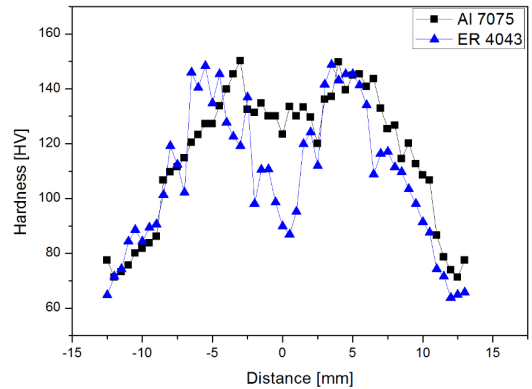


(a) Hardness distribution for Al 7075 specimen

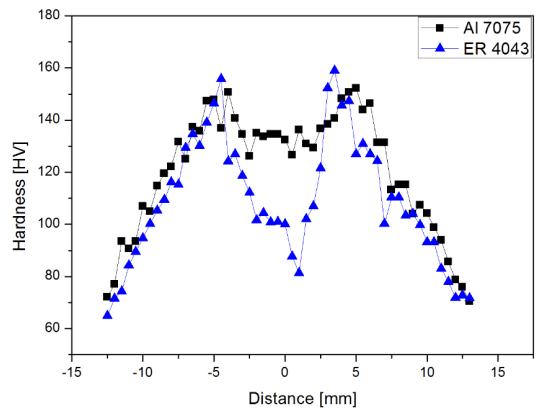


(b) Hardness distribution for ER4043 specimen

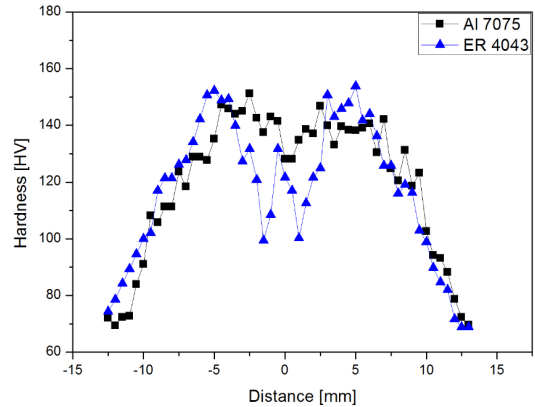
Fig. 7. Investigated hardness distribution for GTAW



(a) Hardness distribution at top(0.5mm) position



(b) Hardness distribution at middle(1.0mm) position



(c) Hardness distribution at bottom(1.5mm) position

Fig. 8. Investigated hardness distribution for GTAW

인장강도는 각각 240MPa, 252MPa로 나타났으며, Al7075를 사용한 용착금속부에서 파괴가 일어난 반면 ER4043을 용가재로 사용한 경우 모재부에서 파괴가 일어났다.

3. 미세경도 시험 결과 용가재에 따른 열영향부 경도 분포는 비슷한 경향을 보인 반면에 용착금속부의 경도 분포는 Al7075와 ER4043 각각 Hv132, Hv100으로 차이가 나타났다.
4. 인장시험과 미세경도 시험으로 나타난 결과 Al7075를 용가재로 사용했을 때 Al 7075는 Al-Zn-Mg-Cu계 합금으로서 동일한 합금 조성의 용가재를 사용하여 용접을 하면 용착금속부가 경화하여 용착금속부에서 파괴가 일어날 수 있으므로 같은 합금의 조성의 용가재를 사용하지 않는 것이 바람직하다고 판단된다.

References

- [1] Michael M. Avedesian, "Magnesium and Magnesium Alloy", *ASM Speciality Handbook*, pp. 12-25, 1999.
- [2] K. H. Lee, Y. N. Kwon, and S. H. Lee, "Effect of Eutectic Si Particles on Mechanical Properties and Fracture Toughness of Cast A356 Aluminum Alloys" *J. Kor. Inst. Met & Mater*, vol. 45, pp. 18, 2007.
- [3] S. H. Kim, K. S. Kim, K. S. Cho, K. J. Euh, Y. M. Rhyim, K. A. Lee, "Effect of Heat Treatment on the Tensile and High-Cycle Fatigue Properties of A356 Casting Alloy" *J. Kor. Inst. Met & Mater*, vol. 53, no. 2, pp. 96, 2016.
- [4] S. Ashley, "Improved Aluminum Extrusions", *Mechanical engineering*, issue 6, vol. 116, 1994.
- [5] H. S. Lee, B. H. Jung, H. S. Park, J. Y. Kang, "Weld Characteristics of Aluminium Alloys Welded with GTA," *Special lectures and conferences of the Korean Welding Society*, pp. 50-53, 1999.
- [6] T. Gao, J. U. Cho, A Finite "Element Analysis on Compression of Aluminum Foam Bonded with Adhesive", *J. of Kor. Soc. of Mechanical Technology*, vol. 16, no. 6, pp. 2105-2110, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.16.6.201412.2105>

손 영 산(Yeong-San Son)

[종신회원]



- 1980년 12월 : 한국폴리텍IV대학 산업설비자동학과 교수

<관심분야>
GTAW, FACW

임 병 철(Byung-Chul Lim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과(공학석사)
- 2013년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과(박사수료)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 경기도기술학교 특수융합학과

<관심분야>
육성용접, 레이저용접