

고주파 열처리 코일과 피가열물 사이 간극에 따른 SCM440 강의 고주파 열처리 특성에 관한 연구

김대완¹, 최지석², 한창원², 이무연^{3*}
¹엔티에프 텍, ²(주)이화테크원, ³동아대학교 기계공학과

Study on the High Frequency Heat Treatment Characteristics with the Distance between Coil and SCM440 Parts

Dae-Wan Kim¹, Jee-Seok Choi², Chang-Won Han², Moo-Yeon Lee^{3*}

¹R&D Division, NTF Tech Co.

²R&D Team, Leehwa Tech One Co., Ltd.

³Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 본 논문에서는 자동차에서 사용되는 부품 중 Sway bar link에 사용되는 볼 스테드의 고주파 열처리 시 고주파 열처리 코일과의 사이 간극에 따른 고주파 열처리 특성에 관하여 연구하였다. 오늘날 세계 완성차 업체는 소비자의 요구와 각 국가의 환경정책에 따라 연비향상 및 배기가스 감축함과 동시에 고성능의 자동차를 개발하기 위하여 많은 연구를 하고 있다. 그러나 고주파 열처리에 대한 대부분의 연구가 실험적으로 이루어지고 있어 특정 제품에 맞는 열처리 조건을 구하기가 매우 어렵다. 이러한 문제로 인하여 본 연구에서는 고주파 열처리 조건 중 고주파 열처리 코일과 피가열물 사이 간극을 제외한 모든 조건은 동일하게 유지하여 열처리를 하고, 표면경도와 유효경화깊이 및 전경화깊이를 측정하여 최적의 고주파 열처리 코일과 피가열물 사이 간극은 1~2 mm 임을 알아내었다. 또한 고주파 열처리 코일과 피가열물 사이 간극이 3 mm 이상일 때는 유효경화깊이 및 전경화깊이의 기준 값을 만족하지 못하였다.

Abstract This study investigates the high-frequency heat treatment characteristics with the distance between a coil and SCM440 parts for an automobile. Global automobile makers are focusing on research to develop high-performance automobiles with improved fuel efficiency and lower emissions in accordance with consumer demand and environmental policies. However, most research on high-frequency heat treatment has been experimental, and it is very difficult to obtain high-frequency heat treatment conditions for a specific product. Therefore, all the conditions of high-frequency heat treatment except the distance between a coil and SCM440 parts were kept the same. As a result, the optimized distance between the coil and SCM440 parts was observed to be 1-2 mm. When the distance between the coil and SCM440 parts was over 3 mm, the effective case hardness depth and total case hardness depth did not satisfy the standards.

Keywords : Effective case hardness depth, High frequency heat treatment, SCM440, Surface hardness, Total case hardness depth

1. 서론

오늘날 세계 완성차 업체는 소비자의 요구와 각 국가

의 환경정책에 따라 고성능, 연비향상 및 배기가스 감축 등을 동시에 실현하기 위하여 많은 연구를 하고 있다. 자동차의 성능을 향상시키고 연비향상과 더불어 배기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(no. C0445483)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

*Corresponding Author : Moo-Yeon Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-51-200-7642 email: mylee@dau.ac.kr

Received September 18, 2017

Revised October 11, 2017

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

가스 감축하기 위한 방법 중 하나는 알루미늄 합금과 탄소소속유 등과 같은 신소재를 적극 사용하여 차체 중량을 감소시키는 것이다.

그리고 다른 방법으로는 자동차 부품으로 사용되는 여러 가지의 강 재료에 침탄 열처리, 질화 열처리, 고주파 열처리 등과 같은 후처리를 하여 원재료가 가지는 강도, 경도, 내마모성 등의 기계적 성질을 향상시키는 기술을 활용하는 것이다.

금속의 후처리 기술 중 고주파 열처리 기술은 교류 전류가 흐르는 코일 쪽에 위치한 금속 등의 도전체에서 와전류 손실과 히스테리시스 손실에 의하여 열이 발생되며, 이 열을 이용하여 피가열물을 가열하는 것이다. 고주파 열처리는 복잡한 형상의 부품에도 활용 가능하며, 부품의 전체 또는 일부분에 대하여 열처리가 가능하다. 또한 침탄 열처리와 질화 열처리 등과 달리 고주파 열처리는 전기에너지만을 사용하여 열처리하므로 친환경적인 열처리 방법이며 오늘날 자동차 부품뿐만 아니라 여러 분야에서 활용되고 있는 기술이다.

그러나 고주파 열처리 기술은 이론적으로 정립하기가 매우 어려워 실험식에 의존하고 있어 이를 해결하고 이론적으로 정립하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

Park at al. 은 볼 스티드의 고주파 열처리 특성에 관하여 실험적으로 연구하여 주어진 볼 스티드의 고주파 열처리 조건을 도출하였다[1,2,3]. Sim at al. 은 고주파 유도가열 열처리 공정 시 효율을 향상시키기 위하여 코일에 코어를 장착하는 방법을 사용하였으며, 열처리 공정 시 발생하는 온도도와 기계적 특성을 파악하였다[4]. Hyun at al. 은 고주파 유도가열에 의한 강재의 물리특성 변화를 다양한 냉각 조건과 강재두께에 대해 항복 및 인장강도, 충격, 경도 등을 실험적으로 연구하였다[5]. Kim at al. 은 상용자동차용 캠샤프트에 고주파 열처리를 하여 경화특성, 파괴인성, 마모특성에 대하여 실험적으로 연구하여 고주파 열처리로 표면경화된 재료는 금속조직이 마르텐사이트로 변화되어 고강도화를 이루므로 유효경화층깊이가 증가함에 평면변형률 파괴인성치가 증가함을 알아내었다[6].

Na at al. 은 레이저표면경화와 고주파표면경화특성에 대하여 실험적으로 연구하여 레이저열처리가 고주파 열처리보다 경화깊이는 작지만 높은 경도 값을 가지는 것을 밝혔다[7].

Lee at al. 은 고주파 열처리된 베어링강의 경도에 따

른 피로 거동 및 이의 확률론적 평가를 수행하여 표면경도의 증가에 따라 취성 및 이의 인장강도 등의 변동성이 크게 증가함을 밝혔다[8]. Kim at al. 은 비틀림 하중을 받는 고주파열처리 된 드라이브 차축에 대하여 피로수명 시험을 통하여 피로 물성 값을 구하고 얻어진 피로 물성 값을 이용하여 드라이브 샤프트의 변형률 기반 피로해석을 하고 실험 값과 해석 값을 비교하여 해석기법의 타당성을 입증하였다[9].



Fig. 1. Ball stud

Table 1. Specification of ball stud

Specification	Factor
Material	SCM440
Hardness (HRC)	35
Length (mm)	57.0
Head diameter (mm)	22.2
Neck diameter (mm)	11.3
Body diameter (mm)	9.1

Table 2. Chemical Composition of SCM440

Cr-Mo Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo
SCM440	0.38-0.42	0.15-0.35	0.60-0.85	0.90-1.20	0.15-0.30

Kim at al. 은 고주파 열처리에 따른 SPSS강의 마모 특성 변화에 대하여 실험적으로 연구하였다. 고주파 열처리 후 템퍼링 온도를 달리하여 표면경도가 다른 3가지 시편을 제작하고 경도시험, 마모시험 등을 통하여 표면경도의 증가에 따라 마찰 계수, 마모율 등은 감소하고 것을 알아내었다[8].

그러나 이와 같이 고주파 열처리에 대한 대부분의 연구가 실험에 의존하고 있으며, 적용 가능한 실험식 또한 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 볼 스티드 형상의 제품에 대하여 고주파 열처리 코일과 볼 스티드 간의 최적의 간극을 실험적으로 구하였다.



(a)



(b)

Fig. 2. High frequency heat treatment of ball stud
(a) Equipment (b) High frequency heat treatment process

Table 3. High frequency heat treatment condition

Specification	Factor
Power (kW)	36 ±3
Voltage (V)	260 ±15
Current (A)	143 ±12
Frequency (kHz)	153 ±3
Heating time (s)	3.8 ±0.25
Cooling time (s)	7.8
Quenching oil type	Tectyl Heat Aqua no. 1 5 ±1%
Quenching oil temperature (°C)	25 ±10
Quenching oil rate of flow (m ³ /min)	80

2. 실험방법

본 연구에서는 자동차의 Sway bar link에서 사용되는 볼 스테드의 고주파 열처리 시 고주파 열처리 코일과 볼

스테드 사이의 간극에 따른 표면경도, 유효경화깊이, 전경화깊이 등과 같은 고주파 열처리 특성에 관하여 연구하였다.

실험에 사용된 제품은 Fig. 1 및 Table 1과 같이 길이 57.0 mm, 헤드 직경 22.2 mm, 목 직경 11.3 mm, 몸통 직경 9.1 mm의 볼 스테드이며, 볼 스테드의 소재는 Table 2와 같은 화학적 구성을 가지는 SCM440이다.

2.1 볼 스테드의 고주파 열처리

Fig. 2과 같이 InSung社에서 제작한 출력 100 kW, 주파수 100 kHz의 고주파 열처리 전용 장비를 이용하였으며, 고주파 열처리 코일과 볼 스테드의 간극을 제외한 열처리 조건은 출력 36 ±3 kW, 전압 260 ±15 V, 전류 143 ±12 A, 주파수 153 ±3 kHz, 가열시간 3.8 ±0.25 s, 냉각 시간 7.8 s으로 고주파 열처리를 하였다. 고주파 열처리 및 냉각에 사용된 열처리유는 Tectyl Heat Aqua no. 1 5 ±1%이며, 온도는 25 ±10 °C로 일정하게 유지하였고, 고주파 열처리 조건 및 열처리유 조건은 Table 3에 나타내었다.

고주파 열처리 코일과 볼 스테드의 간극은 1 mm부터 6 mm까지 1 mm 간격으로 총 6 case, 각 case 별로 5 EA 샘플에 대하여 고주파 열처리를 시행하였다.

2.2 고주파 열처리 볼 스테드의 경도 측정

고주파 열처리 공정을 끝낸 볼 스테드는 측정을 위하여 Fig. 3과 같이 시편 절단기를 사용 절단을 하였으며, 절단 시 마찰열로 인한 볼 스테드의 변형 및 조직 변화를 방지하기 위하여 냉각수 온도 25 ±10 °C로 유지하며 절단을 하였다.



Fig. 3. Cutting process of quenched ball stud

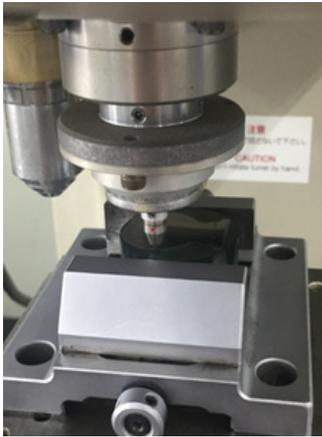


Fig. 4. Measuring process for hardness of quenched ball stud

고주파 열처리 후 절단된 볼 스테드는 Fig. 4와 같이 Akashi社의 마이크로비커스경도계를 이용하여 압입 하중 0.3 kg, 압입 시간 5 s의 조건으로 경도를 측정하였으며, 이를 바탕으로 표면경도 및 유효경화깊이와 전경화깊이를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 볼 스테드는 본 제품을 사용하는 자동차 제조사에서 요구하는 품질 기준에 따라 표면경도 HRC 53.2 이상, 볼 스테드 헤드부는 유효경화깊이 0.5 mm 이상 (HV 520 이상)과 전경화깊이 3.81 mm 이하 (HV 345 이하), 볼 스테드 목부는 유효경화깊이 1.0 mm 이상 (HV 520 이상)과 전경화깊이 2.54 mm 이하 (HV 345 이하)를 만족하여야 한다.

유효경화깊이는 기준 경도 이상의 값을 가지는 깊이를 말하며, 전경화깊이는 소재 경도에 근접하는 기준 경도 이하의 값을 가지는 깊이를 말한다.

3.1 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 간극에 따른 표면경도 특성

표면경도 측정은 마이크로비커스경도계를 이용하여 볼 스테드 헤드부 및 목부 표면에서 깊이 0.06 mm 지점을 측정하여 HV 경도를 HRC 경도로 환산하여 Fig. 5에 나타내었다.

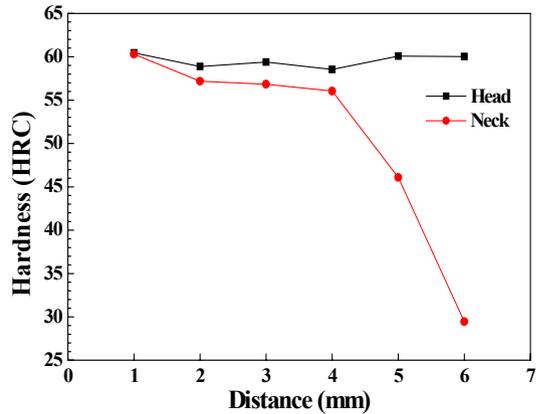


Fig. 5. Surface hardness of quenched ball stud

헤드부 표면경도는 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 사이의 간극이 1 mm부터 6 mm까지 모두 표면경도 기준 값인 HRC 53.2 이상을 만족하지만, 목부 표면경도는 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 사이의 간극이 1~4 mm에서는 HRC 56.0~60.3으로 기준 값인 HRC 53.2 이상을 만족하였으나, 간극이 5 mm 일 때는 HRC 46.1, 6 mm 일 때는 HRC 29.5 로 측정되어 기준 값을 만족하지 못하였다.

이는 고주파 유도가열 코일에서 코일에 의해 생성된 자장이 전부 부하에 인가되지 못하고 코일 상하로 퍼져 외부로 나가는 자장의 손실인 인덕턴스 손실에 의하여 고주파 유도가열 시 목부는 헤드부와 비교하여 인가되는 자장이 작아 유도가열이 작게 되기 때문이다.

3.2 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 간극에 따른 경화깊이 특성

경화깊이 측정은 마이크로비커스경도계를 이용하여 볼 스테드 헤드부 및 목부 표면에서 깊이 3.5 mm까지 0.5 mm 간격으로 HV 경도를 측정하였으며, 각각의 경우 5개 샘플 평균값을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었으며, 간극에 따른 유효경화깊이 평균값 및 전경화깊이 평균값을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

볼 스테드 헤드부 경화깊이는 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 사이의 간극이 1 mm 일 때 유효경화깊이 2.0 mm, 전경화깊이 2.4 mm이고, 2 mm 일 때 유효경화깊이 2.0 mm, 전경화깊이 2.3 mm이며, 3 mm 일 때 유효경화깊이 1.9 mm, 전경화깊이 2.3 mm이다. 4 mm 일 때 유효경화깊이 1.8 mm, 전경화깊이 2.2 mm이고, 5

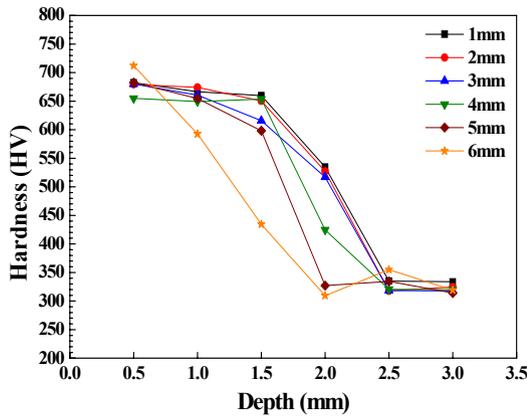


Fig. 6. Hardness depth of quenched ball stud at head

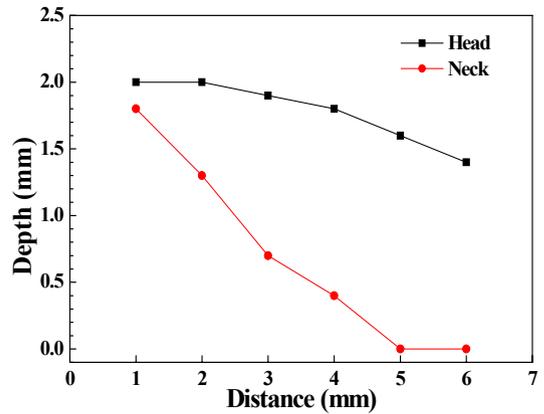


Fig. 8. Effective case hardness depth of quenched ball stud

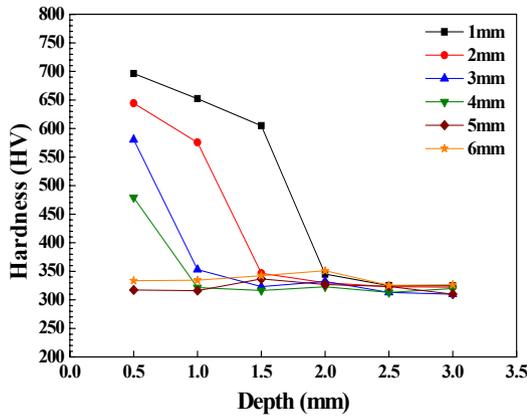


Fig. 7. Hardness depth of quenched ball stud at neck

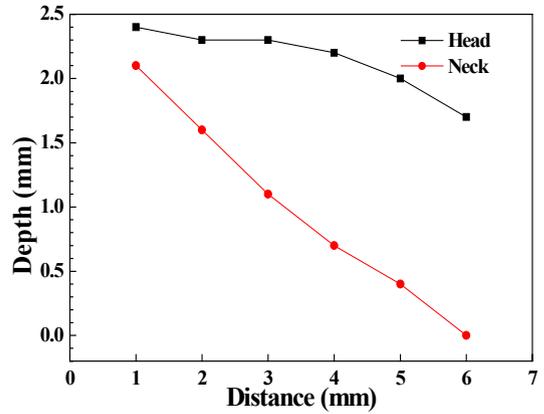


Fig. 9. Total case hardness depth of quenched ball stud

mm 일 때 유효경화깊이 1.6 mm, 전경화깊이 2.0 mm이며, 6 mm 일 때 유효경화깊이 1.4 mm, 전경화깊이 1.7 mm이다.

볼 스테드 목부 경화깊이는 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 사이의 간극이 1 mm 일 때 유효경화깊이 1.8 mm, 전경화깊이 2.1 mm이고, 2 mm 일 때 유효경화깊이 1.3 mm, 전경화깊이 1.6 mm이며, 3 mm 일 때 유효경화깊이 0.7 mm, 전경화깊이 1.1 mm이다. 4 mm 일 때 유효경화깊이 0.4 mm, 전경화깊이 0.7 mm이고, 5 mm 일 때 유효경화깊이 0 mm, 전경화깊이 0.4 mm이며, 6 mm 일 때 유효경화깊이 0 mm, 전경화깊이 0 mm이다.

고주파 열처리 코일과 볼 스테드 사이의 간극이 1 mm와 2 mm에서는 유효경화깊이 기준 값 및 전경화깊이 기준 값 모두를 만족하지만, 3 mm 이상에서는 만족하지 못한다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차의 Sway bar link에 사용되는 볼 스테드의 고주파 열처리 시 코일과의 간극에 따른 열처리 특성을 연구하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 간극에 따른 표면경도는 간극이 1~4 mm에서 기준 값을 만족하고, 유효경화깊이 및 전경화깊이는 간극이 1~2 mm에서 기준 값을 만족하여 모든 조건을 만족하는 경우는 간극이 1 mm와 2 mm 일 때 이다.
2. 고주파 열처리 코일과 볼 스테드 간극이 3 mm 이상 일 때는 유효경화깊이 및 전경화깊이 기준 값을 만족하지 못하였다.
3. 고주파 열처리 코일 형상에 따라 코일에 의해 생성된

자장이 전부 부하에 인가되지 못하고 코일 상하로 퍼져 외부로 나가는 자장의 손실인 인덕턴스 손실에 의하여 볼 스테드 헤드부와 목부의 유효경화깊이 및 전경화깊이 값이 차이가 발생하였다.

References

- [1] M. H. Park, S. G. Kim and G. Y. Kim, "Study on the High Frequency Heat Treatment of Ball Stud", *Proc. of The Korean Society of Mechanical Engineers 2015 Spring Annual Meeting*, pp. 19-20, May 2015.
- [2] Ji-Won Kim, Jong-Wook Kim, Jinsoo Kim, "Developing Die & Mold Curriculum of Apprenticeship High Schools by the NCS Learning Modules", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 7, No. 1, Jan, pp. 835-844, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2017.01.52>
- [3] Jong-Ho Cha, "A Study on Improving the Standard Related to Fire Alarm Malfunction in Security System", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 6, No. 12, pp. 675-682, Dec. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2016.12.49>
- [4] W. J. Sim, Y. L. Choi, H. J. Jeon and W. H. Yang, "Evaluation of Mechanical Characteristic for Local Hardening using High Frequency Induction Heat Treatment Process", *Proc. of The Korean Society for Technology of Plasticity 2016 Spring Annual Meeting*, pp. 214-217, Apr. 2016.
- [5] C. M. Hyun, M. S. Yi, S. H. Cho and T. W. Jang, "A Study on the Mechanical Properties of Heated Plates by Induction Heating System", *The Journal of Welding and Joining*, vol. 32, no. 1, pp. 47-52, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2014.32.1.47>
- [6] H. S. Kim and J. H. Kim, "A Study on Mechanical Property of SM53C Steel by High Frequency Induction Hardening", *The Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 9, no. 6, pp. 7-15, Dec. 2010.
- [7] G. D. Na, Y. T. Yoo, H. J. Shin and B. H. Shin, "Characteristics Induction and Laser Surface hardening of SM45C Steel", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 39-50, Jul. 2006.
- [8] S. H. Lee, S. P. Lee and K. W. Kang, "Probabilistic Analysis of Fatigue Behavior of Induction Hardened Steel", *The Journal of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 37, no. 3, pp. 429-436, Mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.3.429>
- [9] T. Y. Kim, T. A. Kim and S. H. Han, "Fatigue Life Estimation of Induction-Hardened Drive Shaft Under Twisting Loads", *The Journal of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, vol. 41, no. 6, pp. 567-573, Jun. 2017.
- [10] M. H. Kim, K. Y. Rhee, Y. N. Paik, J. S. Hong and Y.

S. Ham, "A Study on the Wear Behavior of SPSS Steel Surface-Treated by Induction Hardening Method", *Journal of the Korean Society for Precision Engineers*, vol. 23, no. 10, pp. 74-79, Oct. 2010.

김 대 완(Dae-Wan Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (박사수료)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 엔티에프텍 선임연구원

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 신재생에너지, 자성유체

최 지 석(Jee-Seok Choi)

[정회원]



- 2010년 2월 : 부경대학교 기계공학과 (공학사)
- 2010년 6월 ~ 2011년 6월 : 홍아포밍 연구원
- 2013년 8월 ~ 2015년 12월 : 도경기술 선임연구원
- 2016년 5월 ~ 현재 : 이화테크원 대리

<관심분야>

냉간단조, 절삭가공, 고주파 열처리

한 창 원(Chang-Won Han)

[정회원]



- 1997년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1997년 1월 ~ 2007년 12월 : 한국델파이 선임연구원
- 2008년 1월 ~ 2013년 4월 : 페더럴모굴 기술영업 부장
- 2013년 5월 ~ 현재 : 이화테크원 상무이사

<관심분야>

냉간단조, 절삭가공, 고주파 열처리

이 무 연(Moo-Yeon Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재: 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환 시스템, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체, 자성유체