

다이캐스팅형 원심주조기에 대한 충전율·전도율 해석

이양창¹, 이준성^{2*}

¹대림대학교 기계과, ²경기대학교 기계시스템공학과

Conductivity-Filling Rate Analysis for Die-Casting Centrifugal Casting Machine

Yang-Chang Lee¹, Joon-Seong Lee^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Daelim University College

²Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

요약 본 논문에서는 고정밀 로터용 원심주조기 방식을 연구 및 개발함으로써 관련 업종의 생산성 향상을 위하여 로터의 충전율 해석을 통해 RPM에 따른 로터의 충전율을 비교해 최적의 RPM을 제시하였다. 회전속도가 600 rpm일 때 충전율 99.47%를 보여줌으로써 실제 작업현장에서의 결과와 비슷하므로 이를 토대로 추가적으로 수행하여 그 결과를 이용한다면 보다 정확한 공정설계를 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 소형 레이들의 전도율해석을 통하여 고품질의 주조제품이 생산될 수 있도록 적합한 소형 레이들의 온도를 분석하였다. 니크롬선을 이용한 가열장치가 없는 경우는 427 °C까지 급격히 떨어진 상태로 알루미늄용액이 급격히 굳어지기 시작했다. 그러나 니크롬선의 가열장치가 있는 경우에는 알루미늄 용액의 용융온도인 660 °C 이상을 유지한 상태에서 작업을 할 수 있었으며 온도변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

Abstract In this paper, the optimum RPM was suggested comparing rotor filling rate of RPM through the analysis of rotor's filling rate as studying and developing centrifugal-casting machine's method for high precision rotor in order to increase the related types of business's productivity. The result was similar to other result in industrial site, showing 99.47% of filling rate when rotational speeds are 600 rpm, so it is considered that if this result is conducted with additional research, it will be possible to plan a better process design.

Besides, the optimum temperature of compact ladle was examined to produce high quality casting product through the analysis of compact ladle's conductivity. In the case of the heating device's absence using nicrome wire, Al solution solidifies falling drastically into 427 °C. However, it is feasible to work over 660 °C which is the melting temperature of aluminium solution when the heating device of nicrome wire is included. It reveals that there is little temperature change.

Key Words : Conductivity Analysis, Centrifugal Casting, Filling Ratio, Ladle, Rotor

1. 서론

현재 국내의 전동기 로터 생산 주조시스템은 수평형 방식을 사용하고 있다. 일반 수평형 다이캐스팅 방식은 제품에 포함된 가스량 과다로 인한 기포의 발생으로 내압성 결여와 기밀성이 저하되고 파단층으로 인한 표면불량 등의 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 원심

형 주조기 개발이 필요하다[1]. 본 연구의 개발 제품은 Fig. 1에 나타나 있고, 제품 주조 시 원심력을 이용하여 충전율을 높여 기포를 최소화함으로써 양질의 주조제품을 제조하기 위한 장치이다. 일반적으로 다이캐스팅 제품은 대량 생산, 치수정밀도와 재질의 균질성 요구, 경량화 요구, 복잡한 형상, 피로강도, 내열성, 내마모성의 요구 등으로 인해 주조공법으로 생산되는데, 이때 다이

*Corresponding Author : Joon-Seong Lee(Kyonggi University)

Tel: +82-31-249-9813 email: jslee1@kyonggi.ac.kr

Received January 5, 2015

Revised (1st February 23, 2015, 2nd March 9, 2015)

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

캐스팅용 합금에는 주성분의 알루미늄에 특수 원소(Cu, Si, Mg, Ni, 등)를 단독 또는 복합하여 첨가한 알루미늄 합금을 사용한다.

종래의 수평방식의 다이캐스팅 저압 주조 기술은 용융된 상태의 알루미늄 합금(용탕)을 급형에 주입하는 경우, 용탕의 단시간 고속주입과 이에 따른 공기의 혼입으로 인하여 용탕의 응고 시 제품에 많은 기공률이 증가하게 되어 응고조직이 불균일한 주조결함이 발생한다. 이로 인해 모터 회전자나, 모터 고정자를 제조할 경우에는 모터 효율이 떨어지고, 원하는 토크가 발생하지 않음은 물론 진동 및 소음이 발생하는 문제가 발생한다[2]. 용탕의 단시간 고속 주입과 이에 따른 공기의 혼입으로 인하여 기공률이 증가하게 되어 응고조직이 불균일하게 되면 다이캐스팅 제품의 표면품질이 저하되는 물론 제품 자체의 조직이 치밀하지 못한 문제가 발생한다[2].

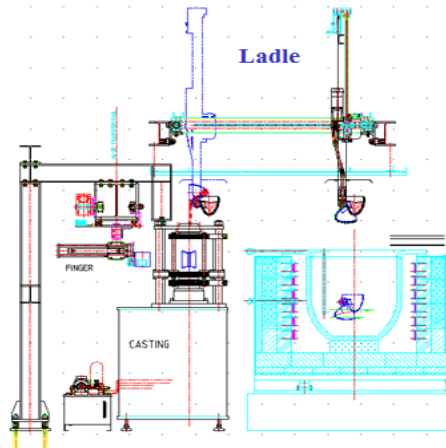


Fig. 1. Centrifugal casting machine and conduction ladle equipment

따라서 본 논문에서는 설명한 종래의 제반 문제점들을 해결하기 위하여 원심주조 시 원심력에 의한 저압으로 충진율을 높여 기공을 최소화함으로써 양질의 주조제품을 제조할 수 있도록 한 것이다. 또한, 원심 주조기의 소형 레이들의 전도율해석[3,4]을 통하여 고품질의 주조제품이 생산되도록 하고자 한다.

2. 원심주조법

2.1 원심주조법의 정의

원심주조법[5]은 주로 실린더 라이너, 슬리브 및 수도관과 같은 중공 회전 대칭인 주물의 제조에 이용되어 왔다. 원심주조법은 주형의 회전축에 따라 수평 및 수직 원심주조로 나눌 수 있다. 수평 원심주조는 수도관과 같은 긴 원통형 주물에 적합하며 수직 원심주조는 피스톤 링과 같은 비교적 짧은 원통형 주물과 union, valve body, gate plunge 및 형상이 복잡한 작은 주물의 제조에 이용된다. 일반적으로 원심주조법은 원심력에 의한 압력을 용융 금속에 가하여 금속 산화물과 비금속 계재물 등을 밀도 차에 의하여 원심 분리시키며 방향성 응고를 시킬 수 있어 우수한 특성의 주물을 제조할 수 있다.

원심주조기는 주형 축 방향에 따라 Fig. 2, Fig. 3과 같이 수평형, 수직형 원심주조기가 있다.

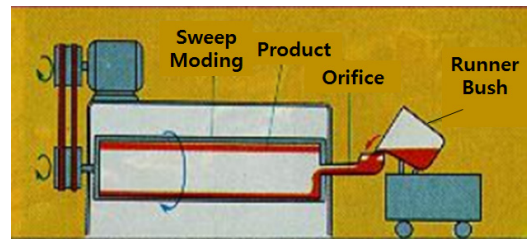


Fig. 2. Horizontal centrifugal casting machine

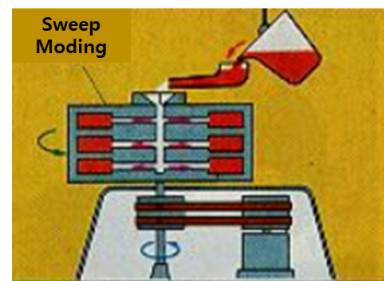


Fig. 3. Vertical centrifugal casting machine

원심주조법에서 주형의 회전 속도가 주물의 특성에 결정적인 영향을 미치고 있다는 사실은 잘 알려져 있다. 주형의 회전 속도가 작으면 용락현상(burn through)이 일어나거나 불순물의 제거가 이루어지지 않으며 주형의 회전 속도가 너무 크면 원심력에 의한 원주 방향의 응력이 크게 발생하여 응고 층에 균열이 발생한다. 그러므로 주형의 적절한 회전 속도를 결정하는 일은 매우 중요하다[2].

2.2 원심형 주조기 구조

원심형 주조기의 구조는 Fig. 4와 같이 원심형 주조기 몸체와 회전형 금형, 금형을 회전시킬 회전체와 주입구로 구성되어 있다. 그리고 주조기 상측에 용융액을 주입시킬 주입구가 있는 구조이다. 여기서 회전체의 밸런스를 유지하기 위하여 기본적으로 원형으로 구조물을 제작하였다. 또한 금형은 스프링을 이용한 로터(rotor)의 외형 금형이 원심력에 의하여 안쪽으로 밀착될 수 있도록 하였다. 그리고 전도식 소형 레이들은 주조기 상측에 고정하여 자동적으로 용융액을 주입할 수 있도록 하였다.

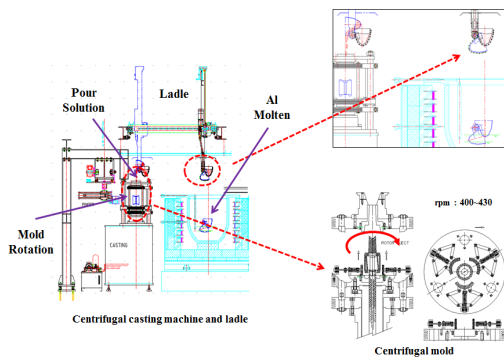


Fig. 4. Major production of the centrifugal casting machine

3. 로터(rotor)의 충진율 해석

3.1 로터(rotor)의 구조 및 물성치

해석할 원심주조의 로터 구조는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 오른쪽에 있는 사진은 실제 원심주조의 로터 모델이고, 왼쪽에 있는 사진은 그 모델을 3차원 모델링 한 것이다. 원심주조 로터의 치수는 높이 49.6mm, 내경 45.8mm, 외경 68mm로 구성되어 있으며 원심주조의 로터에 주입할 용액의 물성치는 Table 1과 같다.

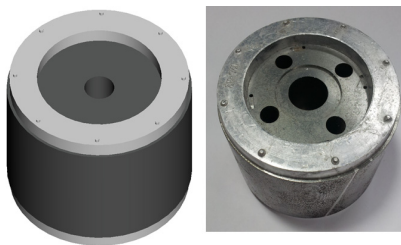


Fig. 5. Structure for rotor of centrifugal casting

Table 1. Material property

| Material Name | AL356 |
|--|---------|
| Density[kg/m ³] | 2160 |
| Thermal Conductivity[W/m ² C] | 105.5 |
| Specific Heat[J/kg ^o C] | 1250 |
| Viscosity[kg/ms] | 0.08899 |

3.2 로터(rotor)의 해석조건

원심주조의 로터가 정지한 경우와 로터가 회전한 경우에 대해 각각 해석을 통하여 충진율의 차이를 비교하였다. 해석할 모델은 Fig. 6과 같다.

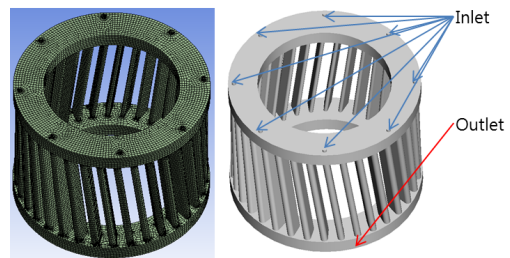


Fig. 6. Boundary condition of rotor of centrifugal casting

모델의 요소 및 절점의 수는 각각 166,827개와 130,844개로 구성되어 있으며, inlet과 outlet 부분을 제외한 나머지 면 요소들은 wall로 지정하였다. 해석 시간은 35초이고, 주조용액(AL356)의 온도는 450°C이다. 또한 inlet과 outlet 부분에서는 대기압 1atm이 작용하고 중력 가속도 9.8m/s²만 작용하게 설정하여 수직형 다이캐스팅 방식으로 해석을 진행하였다. 그리고 원심형으로 회전수는 100~700 rpm으로 하였다.

3.3 로터(rotor)의 해석결과

두 가지 타입을 해석한 결과에서 AL356 Volume Fraction은 주조용액의 충진율을 나타낸 것이다. 그림에서 계수가 1인 부분은 100% 채워진 상태를 말하고 0에 가까울수록 주조용액이 비어있는 상태를 말한다. 따라서 회전하지 않는 경우에는 100% 충진율을 보이지 않았지만 700 rpm상태로 회전한 경우에는 100%의 충진율을 보여주고 있다. 유한요소해석을 통해 원심주조의 로터가 멈춰있는 상태보다 회전한 경우, 특히 600 rpm 이상으로 회전할 경우 충진율이 더 좋다는 것을 찾아낼 수 있었다.

Table 2. Comparison of filling ratio

| State | Normal | 100rpm | 200rpm | 300rpm |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Filling rate(%) | 88.86 | 87.17 | 89.53 | 91.64 |
| state(rpm) | 400 | 500 | 600 | 700 |
| Filling rate(%) | 91.87 | 92.24 | 99.47 | 99.96 |

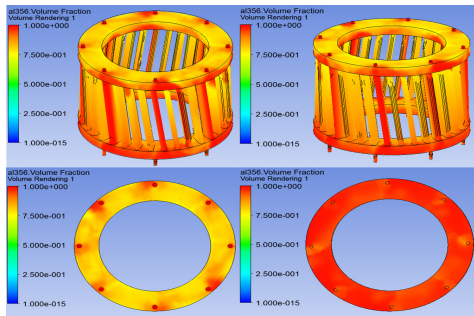


Fig. 7. Result of normal condition

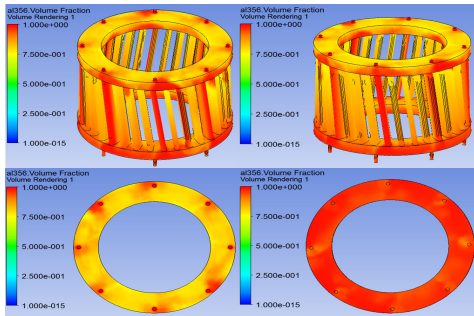


Fig. 8. Result of rotation condition(200 rpm)

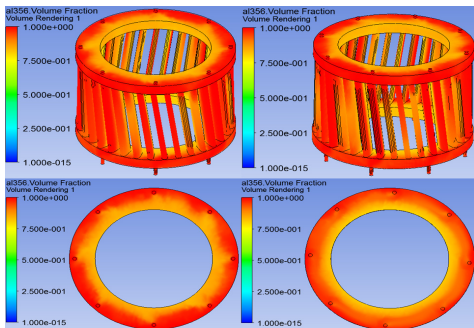


Fig. 9. Result of rotation condition(400 rpm)

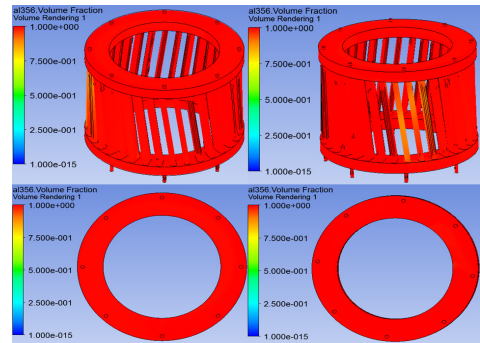


Fig. 10. Result of rotation condition(600 rpm)

4. 소형 레이들(ladle)의 전도율 해석

4.1 구조

전도식 소형 레이들의 구조는 Fig. 11에 나타나 있듯이 기본적으로 용탕에서 용융액을 일정량만큼 담아서 주조기 주입구에 주입하는 역할을 하는 것이다. 용탕에서의 온도가 주입 시까지의 온도와 같아야 최적의 조건인데 이것이 주변 온도 변화에 의해 약 200°C 가량 급격하게 떨어진다. 따라서 주입온도를 맞추기 위해 용탕온도를 200°C 이상 가열하여 작업하는 것이 일반적이다. 이에 따른 열에너지 낭비는 물론 주입온도가 일정하지 않아 제품 품질에 많은 영향을 끼치고 있다.

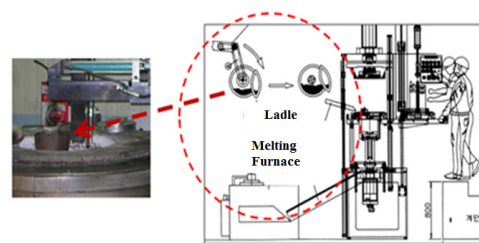


Fig. 11. Small ladle and casting method

해석할 소형 레이들의 구조는 Fig. 12와 같다. 지름은 60mm이며 두께는 8mm, 높이는 80mm로 구성되어 있으며, 니크롬선의 두께는 1mm이고 2mm씩 간격을 유지하여 덮개를 씌우는 구조이다. 그리고 사용 시에는 레이들의 이형제와 기타 작업조건을 그대로 적용할 수 있는 구조이다. 이를 해석하기 위해 Table 3의 재료별 물성치를 사용하였으며, 해석은 레이들의 열전도에 따른 알루

미늄 용액의 온도저하 속도와 온도를 분석했다. 그리고 온도저하를 최소화하기 위해 본 과정에서 제시한 구조의 니크롬선에 필요한 온도를 가열하여 알루미늄 용액의 온도저하를 최소화 하고자 한다.

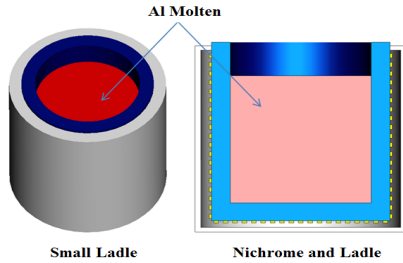


Fig. 12. Structure of small ladle

Table 3. Comparison of filling ratio

| Material | Ladle | Nichrome Wire | Casting Solution | Air |
|------------------------------|-------|---------------|------------------|-------|
| Density [kg/m ³] | 7850 | 8900 | 2689 | 1.161 |
| Thermal Conductivity [W/m°C] | 60.5 | 90 | 237.5 | 0.26 |
| Specific Heat[J/kg°C] | 434 | 444 | 951 | 1007 |

4.2 해석조건

열전도 해석을 위해 [Fig. 13]과 같은 경계조건을 설정하였다. 해석을 위해 소형 레이들과 공기층을 함께 1/4 모델링을 하였으며 대칭조건을 이용하여 구축하였다. 또한 Fig. 14와 같이 모델의 요소 및 절점의 수는 각각 533,558개와 2,144,696개로 구성하였다.

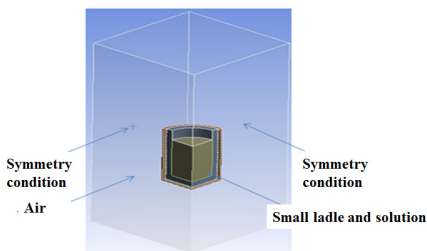


Fig. 13. Boundary condition of heat transfer analysis

해석은 소형 레이들의 니크롬선에 온도를 가열하지 않은 상태에서 알루미늄 용액의 온도 변화를 실질적인

작업현장과 어느 정도 근접하는지 확인하였다. 또한, 니크롬선에 알루미늄 용액의 온도와 유사한 온도를 설정하여 열전도해석을 하였다. 여기서 공기의 유전율은 5W/m²°C로 하였고, 레이들이 용탕에서 용액을 받아 주입구까지 이동하는데 약 20sec로 설정하여 해석하였다.

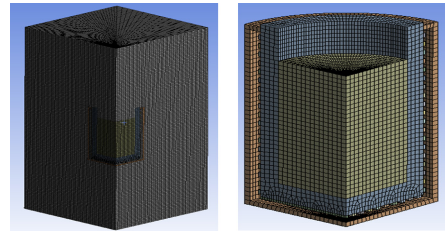


Fig. 14. Mesh model of small ladle

4.3 해석결과

니크롬선을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대한 해석결과를 각각 Fig. 15, Fig. 16에 나타내었다. 소형 레이들에 니크롬선을 적용하지 않는 구조의 온도 분포를 해석한 결과 온도가 240°C 가량 급감하는 것을 알 수 있었다. 이는 실질적으로 작업현장에서 200°C 가량 변화하는 것과 거의 같았다. 그리고 소형 레이들에 니크롬선을 적용한 구조의 온도 분포를 해석한 결과 온도변화는 20sec 동안 서서히 변화하였으며, 약 10°C의 작은 변화만 있었다. 본 해석을 통하여 소형 레이들의 온도관리와 용액의 온도변화를 예측할 수 있었다.

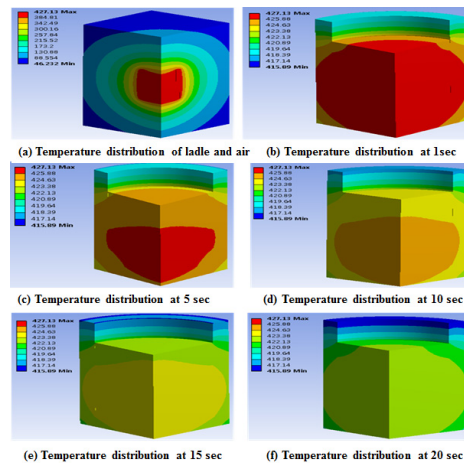


Fig. 15. Heat transfer analysis without nichrome wire

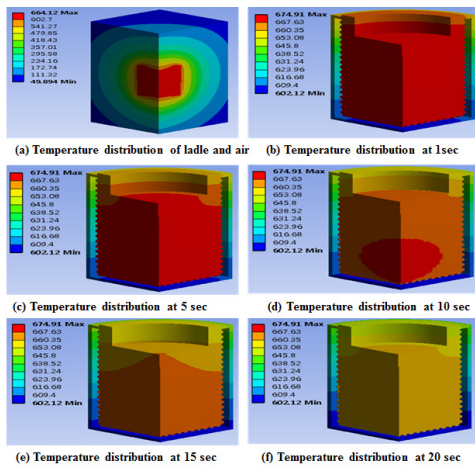


Fig. 16. Heat transfer analysis with nichrome wire

5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 산업현장에 사용되는 원심주조 로터의 충전율 해석과 소형 레이들의 전도율 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 원심주조 로터가 멈춰져있는 상태보다 회전한 경우 특히, 회전 속도가 증가함에 따라 로터의 충전율이 증가하였다. 회전속도가 600 rpm 일 때 충전율 99.47%를 보여줌으로써 실제 작업 현장에서는 이를 토대로 운전에 이용할 수 있으리라 여겨진다.
- 2) 니크롬선을 이용한 가열장치가 없는 경우는 427°C까지 급격히 떨어진 상태로 AI용액이 급격히 굳어지기 시작하지만 니크롬선의 가열장치가 있는 경우에는 AI용액의 용융온도인 660°C 이상을 유지한 상태에서 최저 664°C로 매우 효과적인 온도 관리 구조라 할 수 있다.
- 3) AI 용해온도인 660°C 이상의 온도를 충분히 유지할 수 있다는 결과를 얻은 것은 주조제품의 밀도를 99% 이상 높일 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 온도가 최대 675°C에서 664°C 이내의 변화로 레이들에 담겨져 있는 용액이 반 용융상태가 아닌 완전한 용융상태이므로 안정된 주입이 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] Jang, S. R., "S. R. Ahuja, K. D. Hong, K. S. Hong, " study on the solidification characteristics of Al alloys in

vertical centrifugal casting", Doctoral Thesis, Yonsei University, 2002.

[2] Choi, S. H., "Mold Rotary Speed in Centrifugal Casting", J. of Korea Foundry Society, Vol. 11, pp. 26-31, 1991.
 [3] H. S. Jang, J. S. Lee and D. K. Park, "Heat Analysis for Heat Sink Design Using Finite Element Method", J. of Korea Academia- Industrial cooperation Society, Vol. 14, pp. 1027-1032, 2013.
 [4] J. S. Ha, S. B. Lee and D. K. Lee, "A Study on the Characteristic of Time Dependent Temperature Change in a Automobile Washer Heater", Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, pp. 1040-1044, 2013.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1040>
 [5] Machinery term dictionary, Korea Machine Tool Manufactures's Association, Press of Iljin

이 양 창(Yang-Chang Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 졸업 (공학사)
- 2002년 2월 : 경기대학교 기계공학과 졸업 (공학석사)
- 2006년 2월 : 경기대학교 기계공학과 졸업 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 대림대학교 기계과 교수

<관심분야>

CNC 공작기계, CAD, 기계재료

이 준 성(Joon-Seong Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, 구조물 안전성 평가, Neural Network