

## 금속분말재료의 사출 성형해석에 관한 연구

노찬승<sup>1</sup>, 박종남<sup>\*</sup>, 정한별<sup>2</sup>

<sup>1</sup>조선이공대학교 기계과, <sup>2</sup>한국폴리텍대학 V 광주캠퍼스 컴퓨터응용기계설계과

### A Study on the Injection Molding Analysis of the Metal Powder Material

Chan-Seung Ro<sup>1</sup>, Jong-Nam Park<sup>\*</sup>, Han-Byul Jung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanics, Chosun College of Science & Technology

<sup>2</sup>Dept. of Computer Applied Mechanical Design, Gwangju Campus of Korea Polytechnic V

**요약** 본 연구는 광통신용 아답타의 필수품인 플랜지 개발을 위한 금속분말 사출성형해석에 관한 내용이다. 금속분말 사출 성형법은 세라믹 또는 스테인레스 분말과 바인더를 혼합하여 복잡한 형상의 사출성형품을 제조하는 기술로써, 지금까지 가공 기술로 제작이 복잡하거나 생산성이 저조한 제품들에 대한 생산을 대체 할 수 있는 기술로 관심을 받고 있다. 연구 목적은 기존의 기계가공을 통해 제작했던 제품에 대해 공정을 최소화하기 위함이다. 사출성형해석을 위해 먼저 스테인레스 계 STS316 금속분말과 바인더를 6대4 비율로 혼합하여 과립형 펠렛의 사출 성형재료를 완성하여 해결하였다. 이후, 3차원 모델링, 모델의 메시화 작업 등을 수행하여 최적의 사출성형 해석조건(금형 온도, 용융 온도, 사출 시간, 사출 온도, 사출 압력, 충전 시간 및 냉각 시간 등)을 도출하였다. 해석결과 성형품은 최초 사출 후 13.29초가 경과되면 취출이 가능하였다. 또한 용융 수지는 스프루, 러너, 게이트를 거쳐 금형 내부까지 유동 및 충전이 안정적으로 진행되어 양호한 성형품의 제조가 기대되었다.

**Abstract** In this study, we conducted an injection molding analysis of metal powder materials for the development of flanges, which are necessary adapters for optical communication. The metal powder injection molding process is a technique for producing an injection molded article having a complicated shape by mixing ceramic or stainless powder and binders. It is used to produce products which require complex processing technology or for which the productivity is low. The purpose of this study is to minimize the manufacturing processing of products which are manufactured through existing mechanical processing procedures. For the injection molding analysis, we mixed stainless STS316 metal powder with binders at a ratio of 6 to 4 to make molding materials consisting of granular pellets. Then, three-dimensional modeling and meshing were carried out to obtain the optimal injection molding analysis conditions (molding temperature, melting temperature, injection time, injection temperature, injection pressure, packing time and cooling time). As a result of the analysis, it was discovered that the inlet became available 13.29 seconds after the first injection. Also, as the flowing and packing in the melt through the sprue, runner and gate were stable, it is expected that good molds can be manufactured.

**Keywords** : Cooling-Time, Injection-Molding, Injection-Pressure, Packing-Time, Sprue

### 1. 서론

분말성형기술 중 금속분말사출성형법은 금속분말과 유기재료 결합제와 혼합하여 사출성형하고 이후 결합제

를 제거하고 소결과정을 통해 복잡한 형상의 금속제품을 제조할 수 있는 기술이다[1].

금속분말 사출성형은 3차원 형상의 작은 금속부품을 고정밀도로 대량생산 할 수 있어 최근에는 미싱기, 전기

\*Corresponding Author : Jong-Nam Park(Chosun College of Science & Technology)

Tel: +82-10-9457-3440 email: [end7115@hanmail.net](mailto:end7115@hanmail.net)

Received August 29, 2017

Revised (1st September 14, 2017, 2nd September 21, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

기기, OA사무용기기 및 AV기기 등의 복잡한 형상부품으로 용도가 확대되고 있다.[2-4].

국내의 금속분말 사출성형기술에 관련한 연구는 1991년까지 외국의 기술들을 도입하여 1997년까지 확립되었고, 2000년을 전·후로 하여 일부 연구자들의 신기술 및 용도개발로 안정화가 되었으나, 세계적인 추세에 약 5년 정도 뒤처지고 있다[5].

플랜지는 광통신을 위한 필수품이자 아답타의 핵심부품이다. 플랜지의 기능은 LC모형으로 현장에서 패치코드 연결을 직접 수행 및 조립이 가능하다. 종류는 아답타에 따라 몇 가지로 분류가 가능하며, 낮은 삽입손실, 반사손실, 높은 정밀도 및 신뢰도 등을 갖추어야 한다. 최근에 현장조립형 패치코드는 소형화 추세에 맞추어 주목을 받으면서 성장하고 있으나 제작단가가 높다는 이유로 모듈가격 상승의 원인이 되고 있다. 이에 대한 제작비용을 낮출 수 있는 새로운 제조방법의 개발들이 절실히 요구되고 있는 상황에서 금속분말을 이용한 사출 성형법은 기존의 가공기술로 제작이 복잡하거나 생산성에 관한 문제 등을 해결 할 수 있는 가공기술로 관심을 받아오고 있다[6].

이에 따라 본 연구에서는 광통신용 아답터 부품인 플랜지를 제조하는 데 재료 및 제조방법을 우선하여 접근하였다. 재료는 금속분말을 활용하였으며, 보다 경제적으로 제조하기 위해 사출성형법과 금속분말 사출성형해석을 실시함으로써 기존의 절삭가공 등으로 해결되었던 방법과 비교 될 수 있는 플랜지 제작기술에 대한 고찰을 수행하였다.

## 2. 금속분말 사출성형공정

### 2.1 금속분말 사출성형 계통도

Fig. 1은 금속분말 사출성형 공정순서를 단계별로 나타낸 계통도이다.

공정의 순서는 금속분말과 바인더를 혼합하는 공정인 혼련공정 → 펠렛 제작공정 → 사출성형공정 → 탈지(바인더 제거공정) → 소결공정 → 검사공정으로 이루어진다.

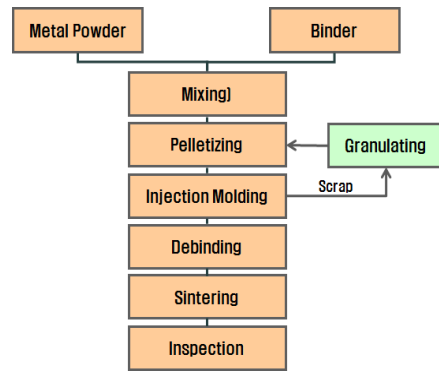


Fig. 1. Inter relations of metal powder injection mold processes

### 2.2 금속분말 사출성형공정

혼련공정은 장입할 재료를 균일하게 만드는 성형의 전단계로 바인더를 입자에 피복시키고 바인더와 분말 조성을 균일하게 만드는 공정이다[7].

펠렛 제작공정은 혼합이 잘 이루어진 장입재료가 보관 및 사출성형기 안으로 자동적으로 장입될 수 있도록 식혀서 소립자 형태로 만드는 과정이다.

사출성형공정은 사출성형기로 가공, 은줄, 싱크마크 등 문제의 결함이 발생되지 않도록 분말재료가 균일하게 분산된 성형체를 만드는 공정이다.

탈지공정은 사출 성형체에서 바인더를 제거하는 기술이다. 금속분말 사출성형에 의해 제조된 제품에서 바인더를 제거하는 기술은 매우 어렵다. 만약, 사출성형 제품에서 바인더 제거가 적절치 못하면 최종의 제품에 균열, 변형 등의 결함이 존재하는 결과를 초래하기 때문에 탈지공정은 결점입자들 간의 부서짐 없이 바인더를 제거해야 하는 매우 섬세한 과정이 탈지공정이다.

소결공정은 검사 전에 이루어지는 금속분말 사출성형공정의 최종 단계로 혼합, 성형, 바인더 제거 공정에서 생기는 결함이 있을 경우 회복이 불가능한 단계이다. 따라서 사출 성형제품의 조성, 분말 입도 및 성형제품을 제거하기까지 여러 공정 매개변수 등에 의해 잘 조정되어야 하고, 정밀화 및 치밀화를 위한 소결조건은 매우 세밀한 조정이 필요하다.

Fig. 2에 수축률을 충분히 고려하여 사출성형제품의 치수 및 형상을 각각 나타내었고, Fig. 3에는 제작된 금형의 3차원 조립형상을 그림으로 나타내었다.

사출성형에 적용될 기기는 플랜저 형(BABYPLAST 6/10P, Germany)으로 플라스틱, 금속분말 등의 적용이

가능하고 소형의 제품생산에 특화된 사출성형 기계로 Table 1에 사양을 나타내었다.

사출성형기에 의해 성형된 제품은 탈지공정을 통해 비틀림, 휨, 변색 및 내부결함 등이 발생 될 수 있다. 일반적으로 탈지에는 용매추출법 및 승화 등이 쓰이고 있는 데, 본 연구에서는 1차 노말 헥산을 사용한 용매 탈지를 선 수행하고 2차 열분해 탈지 순으로 진행하였다.

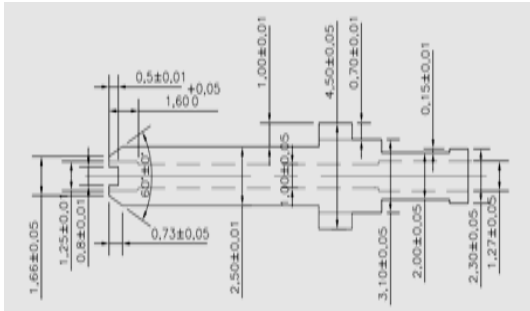


Fig. 2. Drawing of green part for the flange

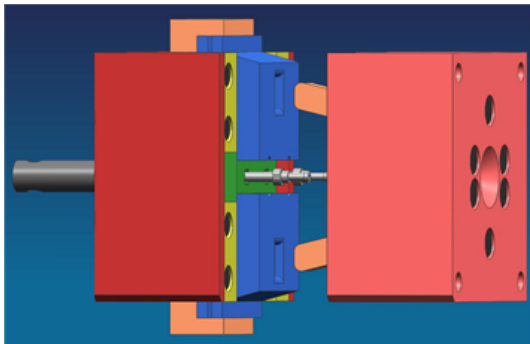


Fig. 3. Full 3D assembly shape of the mold

Table 1. Specifications of injection mold machine

Term	Spec.
Piston Dia(mm)	16
Injection Pressure(kg/cm <sup>2</sup> )	1,030
Clamp Force(kN)	62.5
Opening Force(kN)	4
Ejection Force(kN)	7.5

## 4. 사출 성형해석

### 4.1 사출성형재료

본 연구에서 사용한 사출성형재료는 금속 분말야금에서 손쉽게 적용되고 있는 스테인레스계 STS316 금속분

말이다. STS316은 Cr(18%)- Ni(14%)가 함유되어 있어 STS304에 비해 내구성이 월등히 우수하고, 강도는 높고 화학반응이 줄어 부식성이 낮은 것이 특징이다.

분말입자의 크기는 약 3 $\mu$ m정도이며, 바인더는 PE 및 SA 디부틸부탈레이트 등을 사용하였다. 금속분말과 바인더의 함유량은 6:4 비율로 정하여 80분간 혼합 하였다. 혼합 한 다음에 냉각하고 분쇄 후 과립형의 펠렛을 제작하였으며, Fig. 4에 펠렛을 나타내었다.

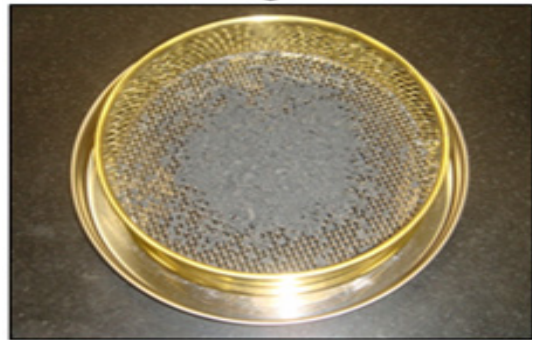


Fig. 4. Fillet completed with mixing

### 4.2 사출성형해석 조건

본 연구 대상인 광통신용 아답터 부품의 플랜지 성형 해석을 위해 SolidWorks(U.S.A.)사의 SolidWorks (2015) 프로그램으로 3D모델링 작업을 수행하였으며, 사출 성형해석은 Autodesk (U.S.A.)사의 Mold Flow 5.1(MPI)프로그램으로 실시하였다.

금형설계에서 제품에 대한 유동 밸런스를 최대한 맞추기 위해 주입구인 스프루는 플랜지의 양쪽 측면에 배치하였으며, 언더컷 부를 해결하기 위해 게이트 위치는 플랜지의 위쪽에 배치하였고, 사출시 밸런스를 위해 게이트는 대칭형을 적용시켰다. 이를 바탕으로 해석한 모델을 Fig. 5에 나타내었다.

모델을 성형해석하기 위해 Autodesk(U.S.A.)사의 Hyper Mesh7.1 프로그램을 사용하여 메시화 하였다. 메시는 4개의 노드를 형성하는 사면체(Tetrahedral) 요소를 이용하였다. 사면체 메시는 정밀한 해석이 되는 장점이 있으나 시간이 오래 걸리는 문제점이 있어 이 부분을 해결하기 위해 모델을 간소화된 모델로 정의하였다. 간소화 모델의 제품부에 대해 메시지를 세밀하게 나누고 러너와 게이트 등의 유로는 메시지를 크게 하여 전체적인 메시의 수를 효율적으로 하여 해석시간을 단축할 수 있었다.

이러한 방법으로 형성한 총 엘리먼트 수는 125,032개였고 Fig.6에 메시화 한 모델을 나타내었다.

해석에 의하여 조건을 도출한 내용으로서는 사출시간, 충전시간, 사출온도, 냉각시간 및 압력 등이다. 이 사출해석들의 조건은 본 연구에 사용 될 사출기의 사양 및 금속분말에 최적화하였다. 이와 같이 사출성형해석 조건에 의해 정의된 모델과 적용된 사출조건을 Table 2와 Table 3에 각 각 나타내었다.

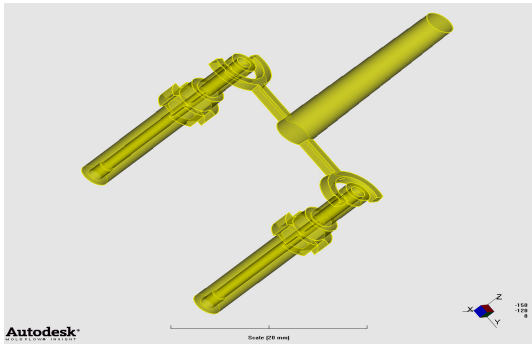


Fig. 5. Solid model of 2-cavity flange for metal power injection molding

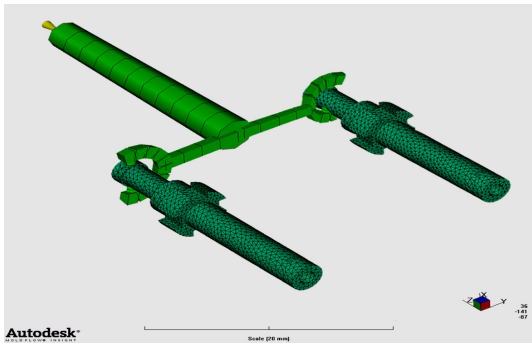


Fig. 6. Mesh generated model of flange for metal power injection molding

Table 2. Characteristic of flange model

Items	Conditions
Mesh Type	3D Tetrahedra
Total nodes	125,032
Total elements of part	124,986
Total elements of sprue/runner/gates	46
Volume of the part( $cm^3$ )	0.7426
Volume of the sprue/runner/gate( $cm^3$ )	0.6404

Table 3. Criteria of injection molding

Items	Conditions
Mold temperature ( $^{\circ}C$ )	40
Melting temperature ( $^{\circ}C$ )	180
Injection time(sec)	0.3
Packing time (sec)	3
Packing pressure (MPa)	20
V/P switch-over(%)	94
Cooling time (sec)	10

## 5. 결과 및 고찰

### 5.1 유동 및 충전상태 분석

사출성형에서 유동은 제품에 수축편차에 따른 변형을 발생시킬 수 있으며, 충전부족현상은 유동저항이 크거나 재료의 유동성이 떨어질 때 금형의 캐비티 내를 완전하게 채우지 못한 상태에서 냉각하고 고화되어 발생한다[8].

Fig. 7은 단위 시간당 금속분말과 바인더로 혼합된 용융수지가 흘러가는 유량을 스프루, 러너, 게이트의 유로 구간까지 분석한 결과를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 초기 사출 후 스프루를 거쳐 게이트까지 충전이 완료되는 지점에서 유량은  $0cm^3/s$ 을 나타내고 있으며, 이때의 시간은 0.2840초를 경과하였다.

Fig. 8은 게이트를 거쳐 제품의 선단부위까지 사출이 완료되어 충전과 보압이 완료되기까지를 나타내고 있다. 그림에서 초기 사출 후 충전 및 보압이 완료되는 지점, 즉, 제품부의 최저온도가  $39.54^{\circ}C$ 일 때 유량은  $0cm^3/s$ 이며, 시간은 0.3504초가 소요되었다. 이런 내용의 결과로 용융수지가 캐비티 내에 충전되는 시간을 기준으로 유량을 판단할 수 있었다.

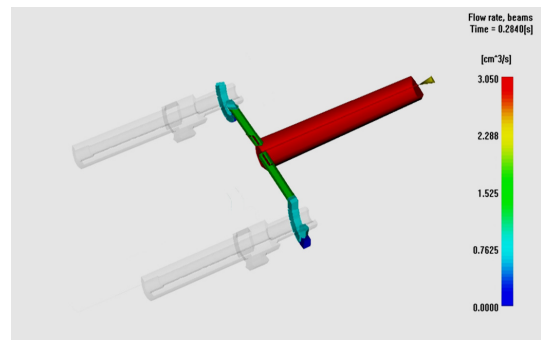


Fig. 7. Flow rate simulation result (0.2840 seconds)

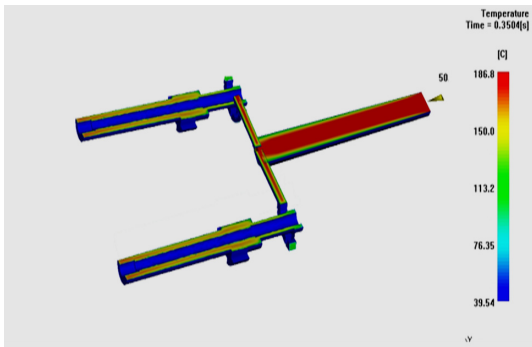


Fig. 8. Temperature simulation of initial injection (0.3504 seconds)

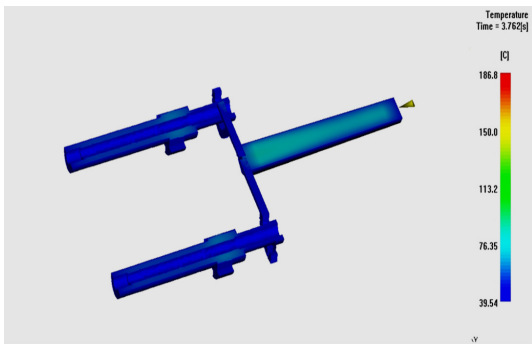


Fig. 9. Temperature simulation at solid stage (3.762 seconds)

Fig. 9는 충전 및 보압 과정의 금형내부 및 사출 성형체의 온도변화를 해석한 결과이다.

그림에서와 같이 사출이 진행된 후 제품부는 대부분 고화상태로 진행됨을 알 수 있었으며, 여기까지 걸리는 시간은 약 3.762초가 소요되었다. 이후 냉각 후 성형품의 취출 과정이 진행되는 데 취출 온도는 본 연구에 적용된 용융수지의 천이온도인 65℃미만으로 하였다. 이런 이유는 용융수지가 충전완료 후 금형 내의 온도가 천이온도까지 냉각이 이루어져야 성형품을 완전하게 취출할 수 있기 때문이다.

Fig. 10은 사출 후 16.39초가 지난 상태의 해석결과이다. 그림에서와 같이 성형품의 내·외측은 고화상태가 모두 완료되었음을 알 수 있다. 이때의 밀도는 1.67값을 나타내었다. 고화가 완료 된 이후부터 성형품의 온도가 천이온도까지 내려가는 동안 성형품의 수축현상은 계속 진행되었다. 밀도의 변화거동을 확인하기 위해 성형체에 일정한 보압이 균일하게 적용되는지 여부를 주시하여 제품의 내·외측이 모두 균일한 밀도를 보이는 것을 확인

할 수 있었다. 이것은 용융수지가 안정되게 충전을 완료하고 냉각공정으로 이루어졌음을 알 수 있었다.

실험결과 스프루에서부터 캐비티까지 유동흐름이 양호하고 용융수지의 충전이 균형있고 안정적으로 이루어져 충전부족 등 문제점은 발생하지 않을 것으로 사료된다.

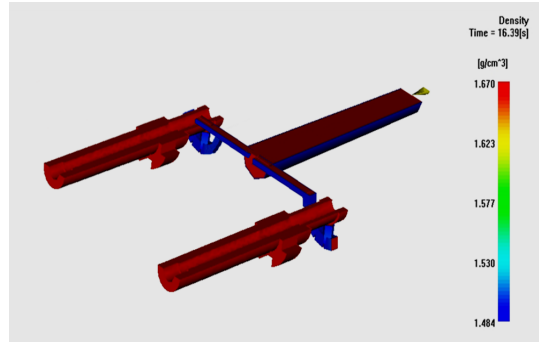


Fig. 10. Density simulation result (16.39 seconds)

## 5.2 사출압력 분석

사출성형에서 사출압력은 용융수지의 종류와 성형조건, 제품형상, 금형의 구조 및 형상 등에 따라 영향을 받는다.

Fig. 11은 사출시간에 따른 사출압력 분포의 변화를 나타낸 것이다. 다양한 보압시간과 압력조건을 조합을 해석 한 후 전체적으로 압력변화가 균일해지는 보압시간은 0.284초이며, 보압력은 29.11MPa 값을 설정할 수 있었다.

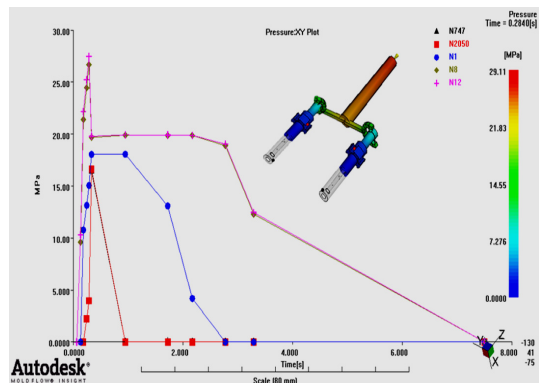


Fig. 11. Pressure variation on the nodes of part

## 5. 결론

본 연구에서는 기존 절삭가공에 의해 생산되어진 광통신용 아답터 부품의 플랜지 제품을 금속분말 사출성형을 통해 생산하고자 사출성형해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사출 성형해석을 통하여 최초 사출 후 게이트까지 충전완료는 0.284초, 성형제품부가 고화상태로 되기까지는 약 3.76초가 소요되었다.
2. 용융수지의 충전 및 보압 완료 후 성형품 내·외부의 완전한 고화로 취출이 가능한 시간은 약 16.39초로 확인되었다.
3. 용융수지의 충전과 냉각공정이 안정적으로 이루어져 제품 내·외부측이 모두 균일한 밀도 변화거동이 유지되었다.
4. 용융 수지가 유로 및 금형 내부까지 유동의 흐름이 양호하고 충전의 밸런스가 안정적이어서 성형품의 문제점이 거의 발생하지 않을 것으로 예상되었다.

## References

- [1] Y. D. Gu, S. C. Gil, D. B. Na, "Metal powder injection molding", *Korea Institute of Science and Technology Information*, pp. 1-3, 2002.
- [2] R. M. German, A. Bose, "Injection molding of metals and ceramics", *Metal Powder Industrial Federation, Princeton, NJ*, 1997.
- [3] R. M. German, "The Scientific status of metal powder Injection Molding", *International Journal of powder Metallurgy*, pp. 31-36, 2000.
- [4] J. K. Lee, Study of injection molding for hard metal with water soluble binder, *Graduate School Yeungnam University*, pp. 1-3, 2004.
- [5] Y. D. Gu, S. C. Gil and D. B. Na, "Metal powder injection molding", *Korea Institute of Science and Technology Information*, pp. 43-83, 2002.
- [6] Kazuaki Nishiyabu, Satoru Matsuzaki, Shigeo Tanaka, "Net-Shape Manufacturing of Micro Metal Components by Powder Injection Molding", *2006 Powder Metallurgy World Congress*, pp. 93-94, 2006.
- [7] R. M. German, "Optimization of the powder-binder mixture for powder injection molding", *Compendium on metal injection molding II, Metal Powder Industrial Federation, Princeton*, pp. 51-66, 1989.
- [8] J. N. Park, S. H. Noh, "Molding Analysis for the Production of Large Sun Visors in Vehicles", *Journal of The Korea Academia- Industrial Cooperation Society*,

Vol. 17, No.11, pp. 610-615, 2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.11.610>

### 박 종 남(Jong-Nam Park)

[정회원]



- 2002년 2월 : 조선대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 조선대학교 공과대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2008년 2월 : (주) 엠앤티 연구소 소장
- 2008년 3월 ~ 2011년 5월 : 조선이공대학교 선박해양기계과
- 2015년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 금형, 정밀가공

### 노 찬 승(Chan-Seung Ro)

[정회원]



- 2003년 2월 : 조선대학교 일반대학원 선박해양공학과 (공학박사)
- 2012년 1월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과

<관심분야>

용접강도, 구조해석, 생산가공

### 정 한 별(Hna-Byul Jung)

[정회원]



- 2008년 6월 : (주)우신공업 R&D center 연구원
- 2016년 2월 : 조선대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 광주캠퍼스 컴퓨터응용기계설계과 초빙교수

<관심분야>

금형, CAD/CAM, 유체, 절삭가공