

# 사출/압축 공정과 인서트 오버몰딩을 이용한 탄소복합소재 성형에 대한 연구

정의철<sup>1,2</sup> · 윤경환<sup>2</sup> · 홍석관<sup>1</sup> · 이상용<sup>1</sup> · 이성희<sup>†</sup>

한국생산기술연구원 형상제조연구부문<sup>1,†</sup>

단국대학교 기계공학과<sup>2</sup>

## A study on carbon composite fabrication using injection/compression molding and insert-over molding

Eui-Chul Jeong<sup>1,2</sup> · Kyung-hwan Yoon<sup>2</sup> · Seok-Kwan Hong<sup>1</sup> · Sang-Yong Lee<sup>1</sup> · Sung-Hee Lee<sup>†</sup>

Department of Shape Manufacturing R&D, Korea Institute of Industrial Technology<sup>1,†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Dankook University<sup>2</sup>

(Received August 06, 2020 / Revised December 23, 2020 / Accepted December 31, 2020)

**Abstract:** In this study, forming of carbon composite parts was performed using an injection/compression molding process. An impregnation of matrix is determined by ability of wet and flow rate between the matrix and reinforcement. The flow rate of matrix passing through the reinforcements is a function of permeability of reinforcement, a viscosity of matrix and pressure gradient on molding, and the viscosity of the matrix depends on the mold temperature, molding pressure and shear strain of matrix. Therefore, compression molding experiment was conducted using a heating mold in order to confirm the possibility of matrix impregnation. The impregnation of the matrix through the porosities between the woven yarns was confirmed by the cross-sectional SEM image of compression molded parts. An injection molding process was also performed at a short cycle time, high molding pressure and low mold temperature than those of compression experiment conditions. Deterioration of impregnation on the surface of molded parts were caused by these injection conditions and it could be the reason of decreasing the maximum tensile strength. In order to improve impregnation of matrix on the surface, injection/compression molding and insert-over molding were applied. As a result of applying injection/compression molding and insert-over molding, it was shown that the improvement of impregnation on the surface and the maximum tensile strength was increased about 2.8 times than the virgin matrix.

**Key Words:** Thermoplastic, Impregnation, Carbon composite, Compression molding, Injection molding, Insert-over molding

### 1. 서 론

탄소복합소재는 사용되는 모재와 보강재의 종류에 따라 다양하게 구분된다. 그 중 연속섬유를 사용하는 고분자 탄소복합소재는 비강도와 비강성이 우수하여 금속대체 경량화 소재로 각광받고 있다<sup>1-3)</sup>. 연속섬유 고분자 탄소복합소재는 모재의 종류에 따라 열경화성 탄소섬유강화 플라스틱과 열가소성 플

라스틱으로 나뉘는데 그 중 열가소성 탄소섬유강화 플라스틱은 모재의 경화시간이 필요 없고 재활용이 가능하다는 장점이 있어 높은 생산성을 지닐 수 있다<sup>4,5)</sup>. 그러나 열가소성 모재의 높은 용융온도와 점도로 인해 보강재와 모재의 함침이 어려워 기존의 탄소섬유에서 복합소재 성형품으로 제작하는 방식인 RTM이나 필라멘트 와인딩(Filament winding) 방식을 적용하기 어렵다. 이에 대부분의 열가소성 탄소섬유 강화 플라스틱은 탄소섬유 원사와 모재를 함침 시켜 중간재(Prepreg)를 만드는 공정과 중간재를 2차 가공하여 제품을 성형하는 과정으로 나뉘진

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 형상제조연구부문

† 교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 형상제조연구부문  
E-mail: birdlee@kitech.re.kr

다. 중간재는 탄소섬유 원사를 직물 형태로 직조(Weaving) 전에 모재를 함침 시키는 인발(Pultrusion) 공정이나 롤투롤(Roll-to-Roll) 공정 등으로 파우더 또는 필름 형태의 모재를 보강재에 함침 시키는 방법으로 제작된다. 제작된 중간재는 제품에 적용할 수 있는 형상으로 2차 가공 후 열 성형(Thermofor-ming)을 거쳐 제품으로 제작 된다<sup>6-10)</sup>. 복합소재 성형품은 위와 같이 여러 분할된 과정을 통해 제작되며 이러한 분할된 과정들은 많은 제반시설을 요구해 복합소재의 가격상승 및 다양한 제품군에 대한 복합소재 시장진입의 어려움으로 나타나게 된다.

이에 본 연구에서는 다양한 제품군에 중간재 제작이 필요 없는 탄소복합 소재 적용을 위하여 사출 성형용 열가소성 고분자를 직조되어 있는 보강재에 함침 시키는 연구<sup>11)</sup>와 사출성형 공정을 이용하여 복합소재를 제작하는 선행연구<sup>12)</sup>를 참고하여 사출/압축 공정과 인서트 오버몰딩을 이용한 탄소복합소재 제작에 대한 연구를 수행하였다..

## 2. 본 론

### 2.1. 단순 압축 성형 실험

열가소성 복합소재는 직조된 섬유를 통과하는 모재의 유량과 점도, 보강재의 투과율 및 모재와의 젖음성에 의하여 함침 되어 지는데<sup>13-15)</sup>, 이 과정에서 모재의 점도는 성형온도, 성형압력, 모재의 전단 변형률에 따라 변하게 된다. 이에 높은 용융온도와 점도를 가지는 사출 성형용 열가소성 펠렛과 직조된 섬유 보강재 사이의 함침 가능성에 대한 선행 연구<sup>11)</sup>를 토대로 시험에 사용할 보강재와 모재를 선정하고, Fig. 1과 같이 가열 금형을 이용한 단순 압축 실험을 통해 복합소재를 제작하였다. 실험에 사용되는 보강재는 Table 1과 같이 평직 형태로 직조된 탄소 섬유로 각각 씨실과 날실이 약 3천개의 섬유 필라멘트로 구성되어 있으며, 사용된 모재는 사출성형용 PP(Polypropylene)로 밀도, MFR(Melting flow rate), 항복응력에 대한 물성정보를 Table 2에 나타내었다. 단순 압축 성형품의 모재의 함침 여부를 판단하기 위하여 제작된 성형품에 대하여 단면 SEM 측정을 진행하였으며, 측정결과 Fig. 2와 같이 원사 내의 섬유 필라멘트 영역까지 완벽한 함침은 일어나지 않았지만 직조된 원사 사이의 공극에 의한 함침이 일어났음을 확인할 수 있다.

### 2.2. 일반 사출 성형 실험

사출 성형을 이용한 복합소재 성형 공정은 단순 압축 실험과 다르게 Fig. 3(a)과 같이 비교적 낮은

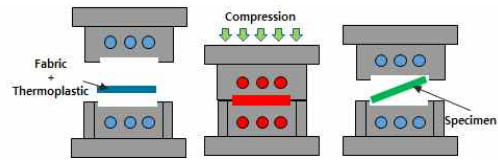


Fig. 1 Schematic of compression molding(CM) process

Table 1 Properties of carbon fabric

Model	CF 3327
Type of yarn	CARBON 3K
Specific weight (g/m <sup>2</sup> )	208 ± 12
Density (count/in)	13
Thickness (mm)	0.27 ± 0.05
Average area of porosities (mm <sup>2</sup> )	0.25
Weave type	Plain

Table 2 Properties of matrix (PP)

Characteristics	Test method	Value
Density (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D1505	0.9
MFR (250℃, 2.16kg) (g/10min)	ASTM D1238	70
Tensile strength at yield (MPa)	ASTM D638	26

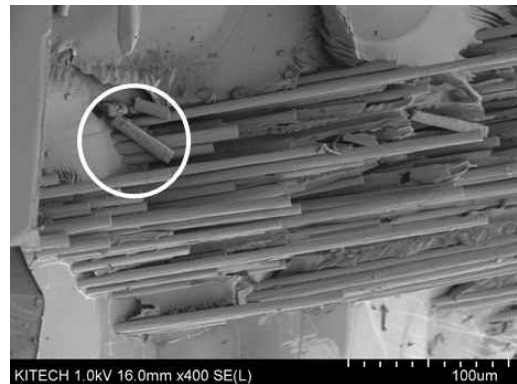


Fig. 2 Cross sectional SEM image of compression molded carbon composites

금형 온도에서 빠른 성형 시간과 높은 성형 압력에서 성형품이 제작된다. 금형 온도와 성형 시간은 모재의 점도에 영향을 주며, 보강재를 통과하는 모재의 유량은 모재에 작용하는 성형 압력과 모재의 점도에 영향을 받으므로 사출 성형 공정을 이용하여 제작한 복합소재는 단순 압축 실험과 다른 성형 결과를 나타내게 된다. 사출 성형 공정에 복합소재 성형을 적용시킨 선행 연구<sup>12)</sup> 결과를 살펴보면 Fig. 4와 같이 성형품 단면에는 모재와 보강재가 함침되어 있지만 성형품 표면에는 모재의 함침이 충분치

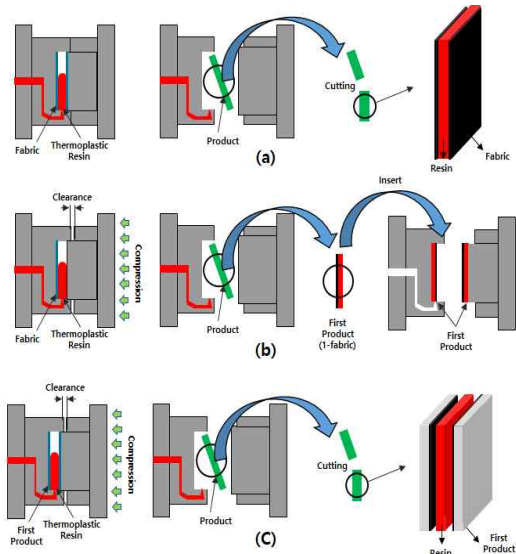


Fig. 3 Schematic of injection molding process : (a) Injection molding(IM), (b) Injection compression molding(ICM), (c) : Insert-over molding(IOM)

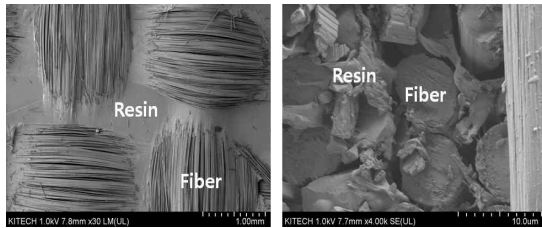


Fig. 4 Cross section and surface SEM image of injection molded carbon composites<sup>11~12)</sup>

못한 것을 확인할 수 있다. 이는 빠른 성형 시간에도 불구하고 사출 성형 금형은 비교적 낮은 금형 온도를 갖기 때문에 성형과정에서 금형 벽면에서의 모재의 급속한 점도 증가에 의한 함침 저하 현상이라고 생각할 수 있다. 복합소재의 물성은 일반적으로 모재와 보강재 사이의 결합력과 식 (1)과 같이 혼합물 규칙을 따르는데<sup>16,17)</sup> 성형품 표면의 함침저하 현상은 모재와 보강재 사이의 결합력을 감소시켜 복합소재 성형품의 강도 저하 현상을 유발하게 된다.

$$E_{composite} = v_f E_f + v_m E_m \quad (1)$$

$E$  : Material property

$v$  : Material volume fraction

Table 3 Comparison of the tensile test results of injection and compression molded carbon composites<sup>11~12)</sup>

Name	Fiber volume fraction	Maximum tensile strength (MPa)	STDEV
Virgin resin	0.000	28.41	1.40
Sample 1	0.256	84.60	3.09
Sample 2	0.367	144.65	2.71
Sample 3	0.480	179.27	0.60
Sample 4 (IM)	0.322	35.16	2.10

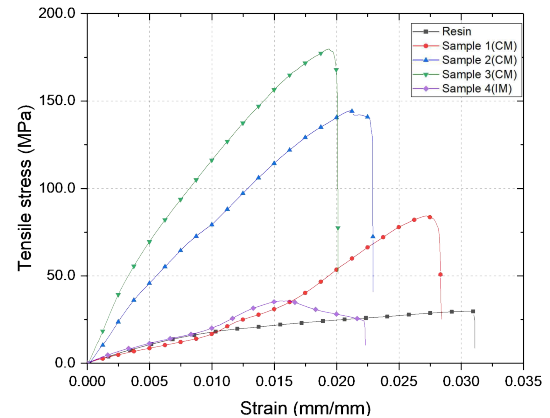


Fig. 5 Comparison of the stress-strain curve of injection molded and compress molded carbon composites<sup>11~12)</sup>

Table 3와 Fig. 5에 모재, 단순 압축 성형품(CM), 표면함침저하 현상이 발생한 사출 성형품(IM)의 인장시험 결과를 비교하여 나타내었다. 성형품의 응력-변형률 곡선과 최대 인장강도를 비교해 보면 복합소재의 섬유 체적분율이 증가할수록 최대 인장강도와 영률이 증가하는데, 단순 압축 성형품(CM)의 섬유 체적분율 0.367 일 때의 최대 인장강도가 144.65 MPa 인 것에 비하여 표면 함침저하 현상이 발생한 사출 성형품(IM)의 경우 섬유 체적분율 0.322 일 때의 최대 인장강도가 35.16 MPa에 불과함을 알 수 있다.

### 2.3. 사출/압축 성형 & 인서트 오버몰딩 성형 실험

사출 성형 공정을 이용한 복합소재 제작 시 발생하는 표면 함침저하 현상을 개선하기 위해서는 사출 금형 벽면에서 모재의 점도가 증가하지 않도록 금형의 온도를 수지의 용융온도와 비슷한 수준으로 가열하여 성형을 진행해야 한다. 그러나 이 경우 표면 함침률 개선을 기대할 수 있으나 높은 금형 온도는 제품 생산 사이클 시간에 큰 영향을 미치게 되므로 본 연구에서는 Fig. 3와 같이 인서트 몰딩을 이용하여 두 번에 걸쳐 복합소재 성형품을 제작하였다.

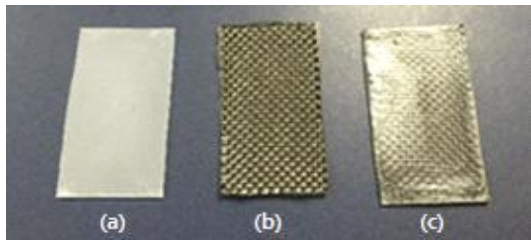


Fig. 6 Pictures of samples made by different process : (a) Virgin matrix, (b) Injection molding(IM), (c) Insert-over molding(IOM)

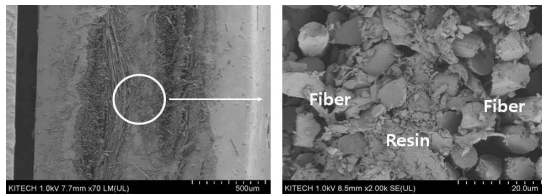


Fig. 7 Cross section and surface SEM image of insert-over molded carbon composites

또한 사출 성형 공정은 성형 과정에서 모재가 캐비티 내로 충전될 때 캐비티 내의 성형 압력이 게이트로부터 멀어질수록 낮아지게 되고 이는 성형품 말단부의 함침 저하 현상을 유발할 수 있으므로 성형품에 성형 압력을 균일하게 주기 위하여 일반 사출성형 공정이 아닌 사출/압축 공정(ICM : Injection compression molding)을 적용하여 복합소재를 제작하였다. 사출/압축 공정을 이용하여 Fig. 3(b)와 같이 1차 성형품을 제작한 후 표면 함침률이 낮은 성형품 표면을 금형 캐비티 중심부에 오도록 다시 인서트 하여 Fig. 3(c)와 같이 복합소재를 제작하였으며, 인서트 오버 몰딩을 이용하여 제작한 성형품 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 사출/압축 성형공정과 인서트 오버몰딩을 이용하여 제작한 성형품에 대하여 단면 SEM 측정을 진행하였으며, 측정결과 Fig. 7과 같이 2개의 1차 성형품 사이로 모재가 함침 되어 있음을 확인할 수 있었다. 제작한 성형품의 표면 함침 개선에 따른 성형품의 인장강도 변화를 확인하기 위하여 인장시험을 진행하였다.

인장시험 결과 Table 4와 같이 0.345의 섬유 체적분율을 가지며 사출/압축 성형 공정을 적용하여 성형한 성형품(ICM)의 최대 인장강도는 약 54.16 MPa이며, 0.334의 섬유 체적분율을 가지며 인서트 오버몰딩을 적용한 성형품(IOM)의 최대 인장강도는 약 79.90 MPa임을 확인할 수 있다. 모재와 사출/압축성형 공정을 적용한 성형품(ICM), 인서트 오버몰딩을

Table 4 Comparison of the tensile test results of injection/compression molding and insert-over molded carbon composites

Name	Fiber volume fraction	Maximum tensile strength(MPa)	STDEV
Virgin resin	0.000	28.41	1.40
Sample 4	0.345	54.16	0.70
Sample 5 (over molding)	0.334	79.90	0.59

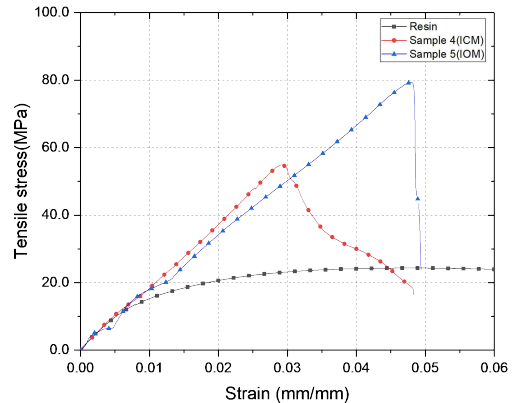


Fig. 8 Comparison of the he stress-strain curve of injection /compression molding and insert-over molded carbon composites

적용한 성형품(IOM)의 응력-변형률 선도를 비교하여 Fig. 8에 나타내었으며, 두 성형품 모두 비슷한 영률을 지니지만 최대인장강도에서 차이를 보임을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 기존의 열가소성 탄소섬유 플라스틱의 제조방법과는 다르게 모재가 함침 되어 있지 않은 직조된 섬유를 이용하여 사출/압축 성형과 인서트 오버몰딩 공정을 통해 중간재 없이 복합소재 성형품을 제작하였다. 사출 성형 공정에 복합소재 성형을 적용하기에 앞서 열가소성 모재의 함침 가능성을 판단하기 위하여 가열 금형을 이용한 단순 압축 실험을 진행하였으며, 성형품의 단면 SEM 측정을 통해 섬유 원사 사이의 공극을 통한 모재의 함침이 일어났음을 확인할 수 있었다. 사출 성형 공정을 이용한 복합소재 성형은 단순 압축 실험과 다르게 빠른 성형 시간과 높은 성형 압력, 비교적 낮은 금형 온도에서 성형품이 제작되고, 성형 과정에서 성형 압력이 균일하지 않기 때문에 성형품 표면에



모재의 함침 저하 현상이 발생하게 된다. 이를 개선하기 위하여 사출/압축 성형과 인서트 오버몰딩 공정을 적용하여 성형품을 제작하고 인장시험을 통하여 공정에 따른 성형품의 인장강도 변화를 확인하였다. 공정 별 성형품의 인장시험 결과 사출/압축 공정만을 이용한 성형품(ICM)의 경우 모재의 최대 인장강도 28.41 MPa 보다 약 1.9배 큰 54.16 MPa의 최대 인장강도를 가졌으며, 인서트 오버몰딩 공정을 추가로 적용한 성형품(IOM)의 경우 약 2.8배 큰 79.90 MPa의 최대 인장강도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 인서트 오버 몰딩의 경우 중간재는 사용하지 않지만 2번의 성형 공정을 거쳐야 하며, 0.367의 섬유 체적분율을 가지는 단순 압축 성형품(CM)의 최대 인장강도가 144.65 MPa 인 것에 비하여 0.334의 섬유 체적분율을 가지는 오버몰딩 성형품(IOM)의 경우 79.90 MPa로 약 0.55배 수준에 불과하다. 이러한 점은 성형품의 표면 함침률 개선뿐만 아니라 복합소재 내부의 보강재와 모재 사이의 추가적인 함침 개선이 필요하며 이에 대하여 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 후기

본 연구는 한국생산기술연구원 중소중견기업 생산기술 실용화 및 기술지원사업의 신시장창출지원사업(PJE20028)에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) Cole, G. S. and Sherman, A. M., "Light weight materials for automotive applications", Mater. Charact, Vol. 35, pp. 3, 1995.
- 2) Johnston, N. J. and Hergenrother, P. M., "High Performance Thermoplastic: A Review of Neat Resin and Composite Properties", SAMPE symp, Proc, 32nd Int, pp. 1400, 1987.
- 3) K. S. Kim, K. M. Bae, S. Y. Oh, M. K. Seo, K. Seo, C. G. Kang, and S. J. Park, "Trend of Carbon Fiber-reinforced Composites for Lightweight Vehicles", Elastomers and Composite, Vol. 47, No. 1, pp. 65-74, 2012.
- 4) S. H. Lim, "High Performance Thermoplastic Composites", Polymer Science and Tecnology, Vol 6, No. 5, pp. 451-458, 1995.
- 5) Yip, H. L. H., Pickering, S. J. and Rudd, C. D., "Characterisation of carbon fibres recycled from scrap composites using fluidised bed process", Plast. Rubber Compos. Process Appl., Vol. 31, pp. 278, 2002.
- 6) S. T. Kim, "Development Trend for Thermoplastic Polymer Composite", Polymer Science and Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 25-28, 2013.
- 7) Korean Institute of Science and Technology, "Carbon fiber composite manufacturing technology", 2011.
- 8) Lim, T. C., Ramakrishna, S. and Shang, H. M., 1999, "Axisymmetric Sheet Forming of Knitted Fabric Composite by Combined Stretch Forming and Deep Drawing", Composites: Part B, Vol. 30, pp. 495-502, 1999.
- 9) Nakamura, Y. and Ohata, T., "The Effect of Newly Developed Blank Holder on Press Forming of Glass-Cloth Reinforced Thermoplastic Sheet", Key Engineering Materials, Vol. 137, pp. 40-46, 1998.
- 10) Qin, S., Shang, H. M., Tay, C. J. and Mo, J. X., 1996, "An the Extent of Stretching during Deep Drawing", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 59, No 4, pp. 386-390, 1996.
- 11) E. C. Jeong, K. H. Yoon, J. S. Kim, and S. H. Lee, "A Study on the Production of Carbon Fiber Composites using Injection-molding Grade Thermoplastic Pellets", Transaction of Material Processing, Vol. 25, No. 6, pp. 402-408, 2016.
- 12) E. C. Jeong, J. S. Kim, J. E. Son, K. H. Yoon, and S. H. Lee, "A Study of Mold Technology for Manufacturing of CFRIP Parts", J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 25-28, 2017.
- 13) I. Y. Chang, and J. K. Lees, "Recent Development in Thermoplastic Composites : A Review of Matrix Systems and Processing Methods", Journal of Thermoplastic Composite Materials, Vol. 1, No. 3, pp. 277-296, 1988.
- 14) A. G. Gibson, and J. A. Manson, "Impregnation technology for thermoplastic matrix composites", Journal of Composite Manufacturing, Vol. 3, No. 4, pp. 223-233, 1992.
- 15) Stephen Whitaker, "Flow in Porous Media I: A Theoretical Derivation of Darcy's Law", Transport in Porous Media 1, pp. 3-25, 1986
- 16) Ramakrishna, S., Hamada, H., Cuong, N. K. and Macekawa, Z., "Mechanical Properties of Knitted

Fabric Reinforced Thermoplastic Composites”, Proceeding of the 10th ICCM, Vol. 4, pp. 245-252, 1995.

- 17) Hussain, M., Nakahira, A., Nishijima, S. and Niihara, K., “Evaluation of mechanical behavior of CFRC transverse to the fiber direction at room and cryogenic temperature”, Composites: Part A, Vol. 31, pp. 173, 2000.

## 저자 소개

### 정 의 철(Eui-Chul Jeong)

[학생회원]



- 2014년 : 단국대학교 기계공학 학사
- 2016년 : 단국대학교 대학원 기계공학 석사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 대학원 기계공학과 박사과정

< 관심분야 >

사출성형 및 금형

### 윤 경 환(Kyung-Hwan Yoon)



- 1980년 : 서울대학교 기계공학 학사
- 1982년 : 서울대학교 대학원 기계공학 석사
- 1989년 : 미코넬대학교 기계공학 유체역학 박사
- 1993년 ~ 현재 : 단국대학교 기계공학과, 교수

< 관심분야 >

사출성형(광학제품), 환경유체

### 홍 석 관(Seok-Kwan Hong)

[정회원]



- 2015년 02월 : 단국대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 03월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 형상제조 연구부문, 선임연구원

< 관심분야 >

사출금형 및 공정 해석, 마이크로/나노 성형

### 이 상 용(Sang-Yong Lee)



- 1985년 5월~1991년 9월 : (주) LG 전자
- 1991년 10월~현재 : 한국생산기술연구원 형상제조연구부문, 수석연구원

< 관심분야 >

사출금형 및 공정기술, 금형 생산 기술

### 이 성 희(Sung-Hee Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 홍익대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2002년 7월~2006년 12월 : 한국생산기술연구원 선임연구원
- 2010년 12월~2014년 1월 : 한국생산기술연구원 부친금형센터 센터장
- 2014년 1월~2015년 3월 : 한국생산기술연구원 한국금형센터 그룹장
- 2007년 1월~현재 : 한국생산기술연구원 금형기술그룹, 수석연구원

< 관심분야 >

고분자성형 및 금형, 급속가열, 복합재료, 전산모사/최적화