

Long Fiber Thermoplastic(LFT) 사출성형 공정에서 캐비티 내 압력 측정 및 CAE해석을 활용한 점도 추정

임승현¹, 전강일¹, 손영곤², 김동학^{1*}

¹순천향대학교 나노화학공학과

²공주대학교 신소재공학부

Estimation of viscosity of by comparing the simulated pressure profile from CAE analysis with the Long Fiber Thermoplastic(LFT) measuring cavity pressure

Seung-Hyun Lim¹, Kang-Il Jeon¹, Young-Gon Son² and Dong-Hak Kim^{1*}

¹Dept. of Chemical Engineering SoonChunHyang University

²Division of Advanced Material Engineering, Kongju National University

요 약 본 연구에서는 미지시료 또는 LFT와 같은 고점도 수지의 점도를 실제 사출성형 공정과 CAE 해석을 통하여 신뢰할 수 있는 새로운 점도의 추정 방법을 제안하였다. 우선 금형 내에 캐비티 압력을 측정할 수 있는 시스템을 구성하였고, 이 시스템을 이용해서 실제 사출과정에서 나타나는 압력 변화를 측정하는 것이다. 상용화 된 CAE 프로그램(Moldflow)은 사출공정에서 캐비티 내부를 흐르는 수지의 압력변화를 모사할 수 있다. 만약, CAE D/B에 있는 수지의 점도 데이터가 정확하다고 가정하면, 실험에서 측정한 압력 프로파일과 CAE로부터 계산 된 압력 프로파일이 일치해야 한다. 이것이 실험값과 일치하지 않으면 가정한 값을 CAE D/B에 입력해서 일치할 때까지 반복함으로써 신뢰성 있는 점도를 추정 할 수 있다. 이러한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해서 PP수지에 대하여 적용한 결과, 일반적인 점도계로 측정한 값과 일치하는 결과를 얻었다. 한편, PP-LFT에 대하여 적용하여 최적화 된 점도 데이터도 추정할 수 있었다.

Abstract In this study, we proposed a new method that can estimate viscosity curves of unknown samples or high viscous resins like LFT(Long Fiber Thermoplastics). First, we built the system that could detect the pressure of melt during filling the cavity in a mold. It consists of both pressure sensors which are installed in a mold and the Kit which can convert analog signal to digital signal. The kit measures the melt pressure in mold cavity. We could also simulate the cavity pressure during filling process with commercialized CAE softwares(ex, Moldflow). If the viscosity data in CAE Database were correct, the simulated pressure profile coincided with the measured one. According to our proposed algorithm, we obtained correct viscosity data by iterating the process of comparing the simulated profile with the measured one until both coincided each other. In order to verify this algorithm, we selected well-defined PP resin and concluded that the experimental profile comply with the CAE profile. We could also estimate the optimized viscosity curves for PP-LFT by applying our method.

Key Words : Pressure sensor, Viscosity, CAE Analysis, Estimation of viscosity

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

본 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단 육성사업/에너지자립형 그린빌리지 핵심기술사업단).

*교신저자 : 김동학(dhkim@sch.ac.kr)

접수일 11년 02월 25일

수정일 (1차 11년 03월 28일, 2차 11년 04월 01일)

게재확정일 11년 04월 07일

1. 서론

사출성형을 이용한 제품들의 범위 또한 항공, 전기, 자동차, 건축 등 수많은 분야에 걸쳐서 생산되고 있다. 사출성형의 장점은 복잡한 형상의 성형, 자동화용이, 품질향상을 위한 성형요인의 다양성, 고효율의 대량생산, 다양한 표면상태, 단일공정의 제품생산, 다른 재료와 동시형성이 가능하다는 점 등이 있다[1]. 이와 같이 많은 분야에서 널리 사용되고, 생산되는 사출성형 제품들은 금형의 캐비티 내에서 그 생산이 이루어지는데, 러너와 게이트를 통해 들어온 용융수지들이 충전, 보압, 냉각, 추출 순의 공정으로 제품을 생산하게 된다[2-4]. 충전 단계에서는 비정상상태의 압축성, 비등온유동이며 액체에서 고체로의 상변화를 겪게 된다[5,6]. 충전단계는 주로 성형품의 외관에 영향을 주며, 보압은 충전 단계 후 지속적인 냉각과 금형 내부의 압력 강하로 인하여 체적의 감소와 변형 발생을 방지하기 위해 지속적으로 가해 주는 압력으로써, 복굴절, Cooling Stresses, 밀도 분포, 제품의 수축, 휨과 같은 제품의 미세구조, 특성, 품질에 결정적인 영향을 미친다[7]. 냉각단계에서는 성형품의 치수와 기계적 성질에 영향을 미친다. 최종적으로 취출 단계에서 성형 제품을 얻는다. 성형 조건은 성형과정 중 단계마다 성형품의 품질에 많은 영향을 미친다. 그러므로 사출성형 공정에서는 각 단계에서 성형공정변수를 제어하는 것은 매우 중요하다[8].

캐비티 내에서 이루어지는 충전, 보압, 냉각의 공정에서 중요한 조건은 압력과 온도이다. 압력은 수지의 흐름에 영향을 미치며 온도의 변화에 불균일은 수축의 불균일 같은 생산품의 결함을 초래 한다. 압력과 온도가 적절하지 않은 경우 미성형(short shot), Flash, Flow mark, 변형, Crack, 표면 흐림, Jetting 등의 문제점들이 발생하며 수많은 연구와 실험, CAE S/W(Moldflow, Capa, Moldex3D, Timon 등)를 통해 이러한 문제들을 해결하려고 노력하고 있다[9]. 현재 이와 관련된 연구로는 캐비티 내부 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산에 관한 연구를 하였고, 캐비티내에 충전 시 캐비티내 압력변화를 연구하였다[10]. 본 연구에서는 캐비티 내부압력의 직접 측정이 가능한 KISTLER사의 압력센서 (Type 6457BA)를 평가금형에 설치하였고, 제작한 압력측정키트를 이용하여 압력측정 결과를 확인할 수 있었다. 수지는 PP(Polypropylene)와 PP-LFT를 사용하였다. PP를 사용하여 점도 추정 알고리즘의 타당성을 확인하고, PP-LFT를 사용하여 높은 점도를 같은 시료에 대하여 점도 추정을 진행하였다.

2. 실험

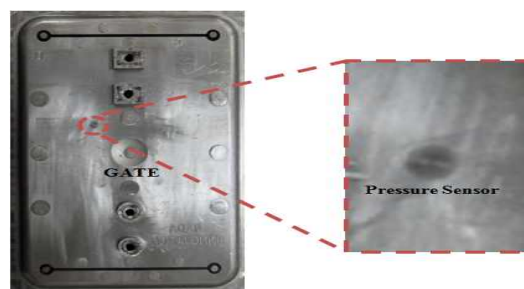
2.1 시료

PP와 PP-LFT를 사용하였고, PP는 Samsung Total에 HJ700을 사용하여 진행하였으며 강성이 우수한 사출용 호모 폴리프로필렌으로 사출 성형성 및 최종 제품의 기계적 물성이 우수한 제품이다. PP-LFT는 삼박LFT의 E1330을 사용하여 진행하였으며 E1330은 Long Glass Fiber 30% 함유된 제품이다.

2.2 압력측정방법

평가금형을 이용하여 실제 사출성형 공정 중 캐비티 내 압력을 측정하고, 이를 CAE해석 결과의 압력 프로파일과 비교한다. 이때 일반적으로 CAE해석과 실험 결과가 일치하지 않으므로 새로운 점도 곡선을 추정하여 CAE 소프트웨어 D/B(data base)에 입력하여 다시 해석해서 실험결과와 비교하고, 이 두 데이터가 일치할 때까지 반복해서 수행한다.

그림 1과 같이 캐비티 내부 게이트 근처 위치에 KISTLER 압력센서를 설치하였으며, 압력 센서에서 측정된 전기적 신호를 시간에 따른 압력 프로파일 결과를 보기 위하여 휴대가 용이한 압력측정 키트를 제작하였다. 수지 충전 시 압력 센서에서 압력을 전기적 신호로 전환하고 압력센서에서 나온 전류(또는 전압) 신호를 증폭기에서 받아 신호를 증폭하여 A/D 변환기로 보내게 된다. A/D 변환기를 통하여 아날로그 신호를 컴퓨터에서 인식 가능한 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터로 전송되고 모니터를 통하여 압력 프로파일을 출력하게 된다. 이때, 게이트 근처한 위치에 압력 센서를 설치한 이유는 게이트가 금형에서 최대 압력이 발생하는 곳이므로 공정에 대한 더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문이다. 또한 사출성형은 표 1과 같은 조건으로 진행 하였다.



[그림 1] 금형 내 압력센서 위치

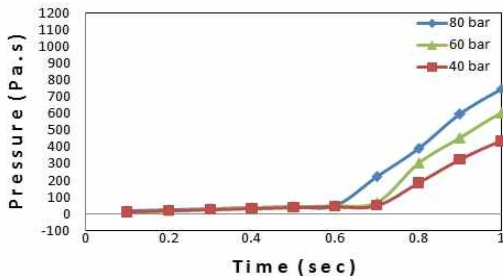
[표 1] 사출성형 조건

Injection Molding Condition			
Material	[PP] Samsung Total HJ700 [PP] Sambark E1330 Long Glass Fiber 30wt%		
Type	Case 1	Case 2	Case 3
Injection P.	40 bar	60 bar	80 bar
Melt T.	210 °C		
Mold T.	60 °C		
Flow Rate	43.175 cm ³ /s (25%)		
Cooling Time	30 sec		

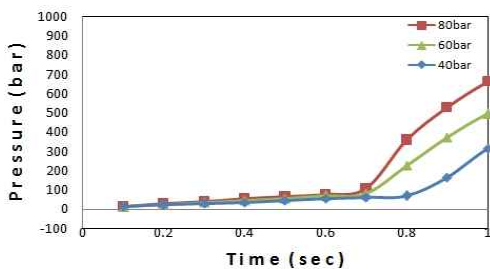
3. 결과 및 고찰

3.1 캐비티 내부 압력측정

사출성형을 진행한 결과 그림 2처럼 초기 압력이 동일한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3에서 확인할 수 있는 것 같이 PP-LFT도 초기압력 프로파일에서는 동일한 것을 확인하였다. 여기서, 초기 압력이 중요한 이유는 캐비티 내부에서 수지 흐름의 캐비티 내부에서의 점도를 결정 짓는 요인이 되기 때문에 초기 압력 프로파일을 중점으로 연구를 진행하였다.



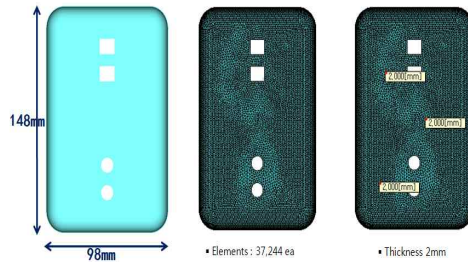
[그림 2] PP[HJ700] 사출성형 초기 압력 프로파일



[그림 3] PP-LFT[E1330] 사출성형 초기 압력 프로파일

3.2 CAE 해석

실제 사출성형 공정 중 캐비티 내부 압력 프로파일과 CAE해석 압력 프로파일을 비교하기 위하여 상용화된 CAE해석 프로그램(Moldflow)을 사용하였다. CAE해석을 진행하기 위해 그림 4와 같이 Mesh Modeling을 진행하였고, Mesh 수는 37,244개이고, 두께는 2mm로 균일하게 진행하였다. CAE해석 역시 실제 사출성형과 동일하게 표 2와 같은 조건으로 해석을 진행하였다.

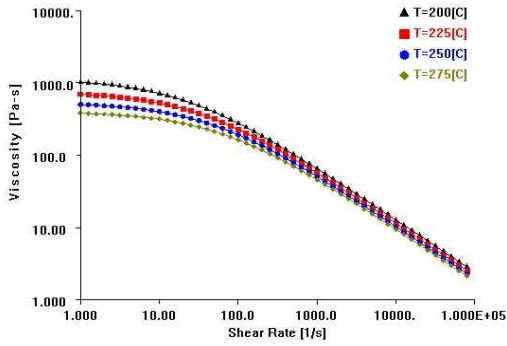


[그림 4] Mesh 모델

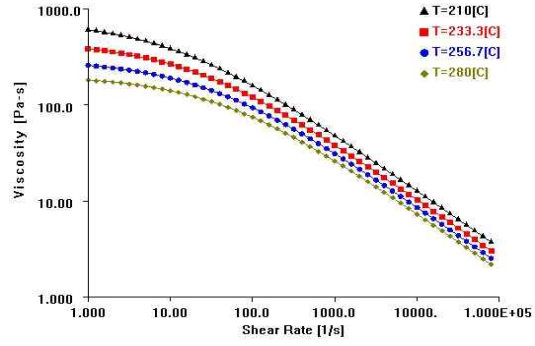
[표 2] CAE 해석 조건

Injection Molding Condition			
Material	[PP] Samsung Total HJ700 [PP] Sambark E1330 Long Glass Fiber 30wt%		
Type	Case 1	Case 2	Case 3
Injection P.	40 bar	60 bar	80 bar
Melt T.	210 °C		
Mold T.	60 °C		
Flow Rate	43.175 cm ³ /s (25%)		
Cooling Time	30 sec		

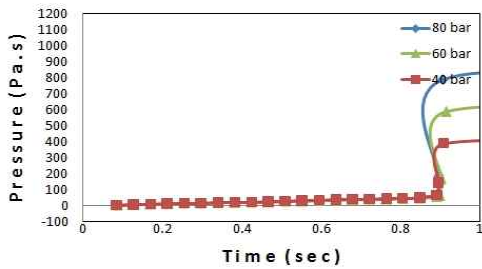
그림 5은 Moldflow D/B의 PP 점도 그래프이고 이 점도 그래프를 적용하여 CAE해석을 진행하였다. Moldflow를 이용하여 제품의 위치별 압력분포를 볼 수 있는데, 캐비티 내부 센서의 위치와 동일 위치에 Point를 설정하고 Point 압력 프로파일 결과를 볼 수 있으며, 그림 6과 같은 CAE해석 압력 프로파일 결과를 확인할 수 있다. CAE 해석 역시 사출압력 조건에 따라 최대압력에는 영향을 미치지만, 초기압력 프로파일에는 영향을 주지 않고 동일한 것을 확인할 수 있다. 그림 7는 실제 캐비티 압력 프로파일과 CAE해석 압력 프로파일의 초기 압력 프로파일을 비교한 것 이고, 두 압력 프로파일이 서로 일치하는 것을 확인하였다.



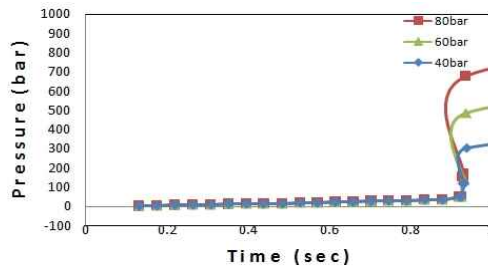
[그림 5] PP D/B 점도 곡선



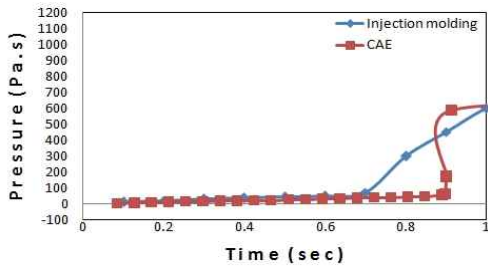
[그림 8] PP-LFT D/B 점도 곡선



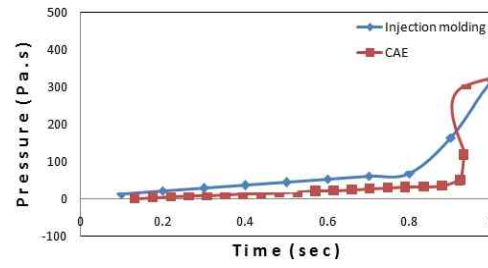
[그림 6] PP CAE 해석 초기 압력 프로파일



[그림 9] PP-LFT CAE 해석 초기 압력 프로파일



[그림 7] PP 사출성형과 CAE해석 초기 압력 프로파일 비교



[그림 10] PP-LFT 사출성형과 CAE해석 초기 압력 프로파일 비교

다음 그림 8는 PP-LFT Base Resin의 점도 그래프이고, 점도 그래프를 적용하여 CAE 해석을 진행한 결과 [그림 9]와 같은 압력 Profile 을 얻을 수 있었다. PP-LFT또한 사출압력 조건에 따른 변화가 실제 사출성형 공정과 같은 것을 확인할 수 있었다. 단 PP-LFT에서는 그림 10과 같이 캐비티 압력 프로파일과 CAE해석 압력 프로파일을 비교 한 결과 두 압력 프로파일이 일치 하지 않는 것을 확인 하였다.

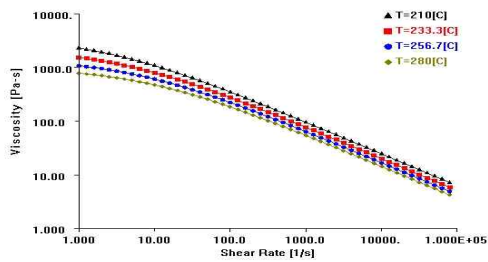
3.3 새로운 점도 추정

PP-LFT와 같이 두 압력 프로파일이 일치하지 않을 경우 새로운 점도 곡선을 추정 하여야 한다. 점도는 Power Law($\eta=K\dot{\gamma}^{n-1}$) 가정하며 CAE S/W Data Base에서 K와 n 값을 조절할 수 있고, 일반적으로 n값은 Base Resin과 동일하므로 K값의 변화만을 고려하여 D/B에 입력 후 CAE 해석을 다시 수행하며 실험결과와 해석결과가 일치할 때까지 반복 수행한다. Moldflow의 D/B 조건 값에 변화를 주어 새로운 점도 곡선을 추정하게 되는데, Cross-WLF Viscosity Model Coefficients 식의 값들을 변경하여 K 값만을 변경시킬 수 있다. 이번 연구에서 표 3과 같이 D1 값만을 변화시켜 n 값에는 변화를 주지 않고 K 값만을

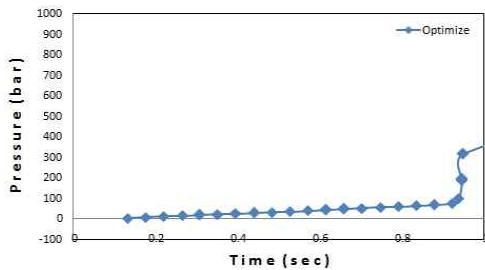
변화시켰다. 다음과 같은 방법으로 그림 11과 같은 PP-LFT의 새로운 점도곡선을 추정하였다.

[표 3] PP-LFT[E1330] Cross-WLF 점도모델

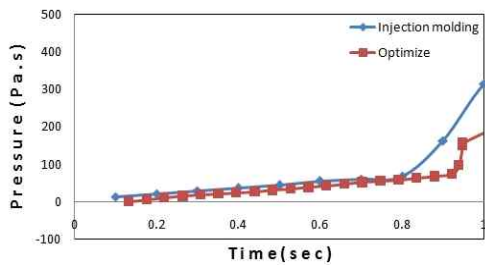
Parameter	CAE D/B	New Fit	
n	0.4046	0.4046	
Tau*	8179.5	8179.5	Pa
D1	5.31581e+014	7.442134e+014	Pa-s
D2	263.15	263.15	K
D3	0	0	K/Pa
A ₁	33.692	33.692	
A ₂	51.6	51.6	K



[그림 11] PP-LFT의 새롭게 추정된 점도곡선



[그림 12] PP-LFT의 추정된 압력 프로파일



[그림 13] PP-LFT의 사출성형과 추정된 점도를 이용한 CAE해석의 초기 압력 프로파일 비교

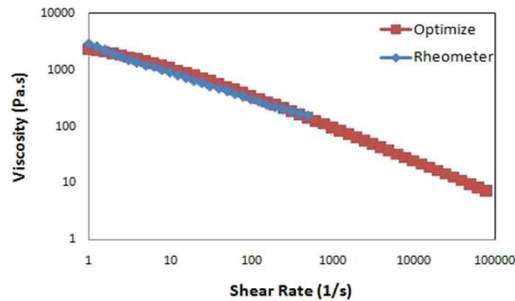
그림 12는 새로 추정한 점도곡선을 적용하여 해석해서 얻은 새로운 압력 프로파일이고, 그림 13는 새로운 압

력 프로파일과 캐비티 압력 프로파일을 비교한 그래프이고 두 압력 프로파일이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 사출성형 공정에서 금형 캐비티내부에 KISTLER 압력 센서를 설치하여 캐비티 내부의 압력 공정상태 변화에 대한 연구를 진행하였다. Base Resin의 점도곡선 Power Law($\eta=K\dot{\gamma}^{n-1}$)유체의 K,n을 이용하여 K값을 변화시켜 CAE D/B에 입력 후 CAE 해석을 수행하고, 실제 캐비티 압력 프로파일과 CAE 해석 압력프로파일 결과를 비교한 결과 일반적인 PP Resin은 동일한 것을 확인하였고, PP-LFT Resin은 두 압력 프로파일에 차이가 있음을 확인하였다. 이때, PP-LFT는 새로운 점도를 추정하여 비교하였고 두 압력 프로파일이 동일한 것을 확인하였다.

최종적으로 Rheometer를 사용하여 측정한 점도곡선과 새로 추정한 점도곡선을 비교한 결과 그림 14와 같이 두 점도곡선이 일치하는 것을 확인할 수 있었고 사출성형 공정과 CAE해석을 활용하여 얻은 새로운 점도곡선이 최적의 점도곡선임을 확인하였다.



[그림 14] PP-LFT 측정된 점도곡선과 추정된 점도곡선의 비교

참고문헌

- [1] 유중학, 김희송 “사출성형에서 캐비티 압력과 인장강도에 관한 연구” 한국 자동차 공학회 논문집 제 2권 제 6호, pp. 110~116
- [2] D.Huilier, C. Lenfant, J. Terrisse and R. Deterre, "Modeling the packing stage in injection molding of thermoplastics", Polym. Eng. Sci.,28, pp.1637, 1988.

[3] D.Huilier, J Terrisse, M. E. de la Lande and A. Latrobe, "Modeling the packing cooling stage in injection molding of amorphous polymers", *INtern, Polymer Processing III*, 4, pp.184, 1988.

[4] Nguyen, K. T. and Kamal, M. R., " analysis of the packing Stage of a Viscoelastic Melt", *Polymer Engineering and Science*, 33, pp. 665-974, 1993.

[5] Pham, H. T., Bosnyak, C. P. and Schanobish, K., "Residual Stresses in Injection molded Polycarbonate Rectangular Bars", *Polymer Engineering and Science*, 33, pp.1634-1643, 1993.

[6] 진영준, "사출성형 공정에서 캐비티 내의 압력과 온도 변화에 관한 연구", 서울산업대학교 대학원, 2004.

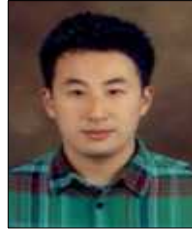
[7] Yoon, K. and Wang, K. K., "Birefringence Measurements of Injection Molded Disks", *SPE ANTEC*, pp.2221-2225, 1992.

[8] 김영균, "사출성형을 이용한 나노패턴을 갖는 백라이트 유닛(BLU)용 복합기능 도광판(Pirismless LGP) 제작 및 성형조건에 따른 전사성/광특성 평가", 순천향대학교 대학원, 2008

[9] Wang, K. K., Shen, S. F., Cohen, C., Hieber, C. A., Rickestson, R. C., Wang, V. W. and Emerman, S., "Intergration of CAD/CAM for Injection Molded Plastic Part, CIMP Progress Report, No.12, pp.12-43, 1986.

[10] 이옥성 "캐비티 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산" Kistler Korea Co. LTD 키슬러 코리아

전 강 일(Kang Il Jeon) [정회원]



- 2009년 2월 : 순천향대학교 나노 화학공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 순천향대학교 나노 화학공학과 (공학석사)

<관심분야>
고분자가공, 사출성형

임 승 현(Seung Hyun Lim) [정회원]



- 2009년 2월 : 순천향대학교 나노 화학공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 순천향대학교 나노 화학공학과 (공학석사)

<관심분야>
고분자가공, 사출성형

김 동 학(Dong-Hak Kim) [정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : KAIST 화학공학과 (공학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>
고분자가공, 유변학 및 이동현상

손 영 곤(Yung Gon Son) [정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1990년 2월 : KAIST 화학공학과(공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>
고분자가공, 사출성형, 고분자 유변학