

절삭가공 시 설계, 가공, 측정을 융합한 MES 시스템 구축에 관한 연구

박해웅¹ · 이승욱² · 한희봉³ · 윤재웅⁴ · 최계광⁴ · 한성렬⁴ · 김경아⁴ · 이춘규[†]

(주)우리엠텍¹ · 동원테크놀로지² · 한창엔프라³ · 공주대학교 금형설계공학과⁴[†]

A study on the establishment of an MES system that converges design, processing, and measurement during cutting

Hae-Woong Park¹ · Seung-Wook Lee² · Heui-Bong Han³ · Jae-Woong Yun⁴ ·

Kye-Kwang Choi⁴ · Seong-Ryeol Han⁴ · Kyung-A Kim⁴ · Chun-Kyu Lee[†]

Woori M-Tech Co.,Ltd.¹ · Dongwon Technology Co.,Ltd.² · Hanchang Enpla Co.,Ltd³

Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University⁴[†]

(Received June 15, 2021 / Revised June 29, 2021 / Accepted June 30, 2021)

Abstract: In this paper, when manufacturing large/multi-mold parts (more than 30 core parts), A mold manufacturing (tolerance) management system was established through design-processing linkage. The mold manufacturing (tolerance) management system is a design-based measurement shape/measurement position determination system, M/C processing-linked measurement drive system. It is composed of four parts: CAD-linked measurement result analysis system and manager mold part quality management system. In addition, the constructed system was applied to the field and the effect of system construction was evaluated by comparing it with the existing process. As a result of the evaluation, the measurement precision is within 0.02mm, and the time it takes to measure after the end of processing is shorter than that of the existing process. (12 hours → 2 hours) It was shortened to 16.7%. In addition, it was confirmed that the time required for reprocessing after measurement was reduced by 25% (4 hours → 1 hour) compared to the existing process.

Key Words: Mold Manufacturing, Tolerance Control, Measurement, MES(Manufacturing Execution System)

1. 서 론

제조실행시스템인 MES(Manufacturing Execution System)는 생산현장에서 자동화 설비 등과 전자적 자원관리 시스템 ERP(Enterprise Resource Planning) 등을 연결시켜 제조 실행을 담당하는 시스템을 말한다.

MES는 최적의 생산 활동을 위한 정보를 제공하며, 생산라인에서 발생하고 있는 최적의 정보를 현장 실무자나 관리자에게 제공하고, 신속한 대응을 통해 최적의 생산 조건을 변화시켜 낭비 요소를 축

소 시켜줌으로써 생산라인과 기능을 개선하도록 유도한다. 그뿐만 아니라 공정 개선을 통하여 라인 의 생산성 향상, 적정 재고 유지, 생산품의 품질을 향상해 기업의 수익성을 높인다. MES는 현재 자동차, 반도체, 전기, 전자, 식품 제조, 항공, 의료 기기, 섬유, 타이어 및 철강과 같은 모든 제조 산업에 적용되고 있으며, MES의 범위에 속하는 생산 일정 관리, 라인 가동 관리, 설비 관리, 품질 관리, 제품 추적 등의 기능을 통해 전 산업에 광범위하게 적용될 수 있다¹⁻³⁾.

대부분 금형 제작사들은 금형 수정 가공 및 재측정 등의 공정을 필요로 한다. 이로 인한 납기 지연 및 비용적인 Risks(위험)가 발생하고 있으며, 대형 사출 금형가공 시 재 가공률이 약 20% 이상이 발생하고 있어 제조공정이 길어지는 것이 현실이다.

1. (주)우리엠텍

† 교신저자: 공주대학교 금형설계공학과

E-mail: ckt1230@kongju.ac.kr

이로 인하여 다수의 대형 사출 금형 부품 중 핵심 요소 부품 및 메인 코어 분야만 선별적으로 측정하여 측정시간의 정제 및 대기로 인한 납기 등 금형 제작에 필요한 최소한의 측정만 진행하여 품질 확보를 하고 있다. 따라서 다수/다양한 형상 및 기능을 갖는 대형 사출 금형의 요소 부품 및 코어부 정밀가공 조립을 위해 금형부품의 치수, 형상 정밀도와 관련한 공차들을 금형 설계 단계부터 설정, 관리하여 최종 조립공정에서의 불량, 재가공으로 인한 공정시간 증대, 납기 지연 및 비용 증대를 줄일 수 있는 시스템의 구축이 필요하다.

계획 관점의 ERP 시스템을 통한 기준정보의 제공과 제조 현장에서 발생하는 상황에 직접 관여하여 실시간 가공 품질을 모니터링할 수 있는 MES 연계 가능한 시스템 구축이 제조원가 절감과 경쟁력이라는 금형 제조업계의 당면 과제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다^{4,5)}.

Lee는 분산 환경에서 MES 모니터링 시스템 구현에 관한 연구를 통하여, 데이터베이스 변경감시를 활용하여 분산된 환경에서 MES의 데이터를 실시간으로 수집하고 모니터링 표준 모델링을 통해 다양한 업종에 적용이 가능한 MES 모니터링 시스템을 제안하였다⁶⁾. 또한, Kim은 중소 제조기업의 MES 구축 사례를 통한 성공 요인 연구를 통하여 중소 제조기업의 업종, 기업 규모, 생산 유형 및 정보화 수준을 고려한 성공적인 MES 구축 방법론을 제시하고 사례를 들어 설명하였다⁷⁾.

본 연구에서는 여러 제조 분야 중 특히 금형 분야에서, 대형/다수 금형부품(코어부품 30개 이상) 제작 시 조립/누적 공차 제어를 위하여 설계-가공 연계를 통한 금형 제조(공차)관리 MES 시스템을 구축하고 평가하였다.

2. 금형 제조관리 시스템의 구축

2.1. 설계-가공 연계 MES 프로세스 구축의 필요성

Fig. 1에 금형 제작 공정 흐름도와 금형 부품을 나타낸 것과 같이 대형의 요소 부품 및 메인 코어부는 형상 및 치수 측정을 위해 이동운반 차량을 사용하여 공장 내 측정실로 금형을 운반하여 입고한다.

Fig. 2에는 요소 부품 및 코어부 절삭가공의 흐름도를 나타내었으며, 금형 요소 부품과 코어의 정밀 측정 시 금형부품 입고 후 12시간 동안 항온-항습

환경에서 대기 후 3차원 접촉식 측정기, 비접촉식 측정기를 활용하여 각 요소 부품의 주요 포인트를 측정한다. 이러한 품질 운영방안은 다수의 대형 사출 금형부품 가공을 위해 금형 설계 단계에서 부품 크기, 형상 및 치수 정밀도를 반영하여 가공 기계를 선정한다. 그러나 실제 금형가공에서는 기계 가공 정밀도 편차가 기계별로 상이하여 부품 가공 후 조립 시 조립 공차 누적이 발생할 수밖에 없으며 품질 확보를 위한 재가공 및 조립공정 시간이 증가하는 원인이 된다.

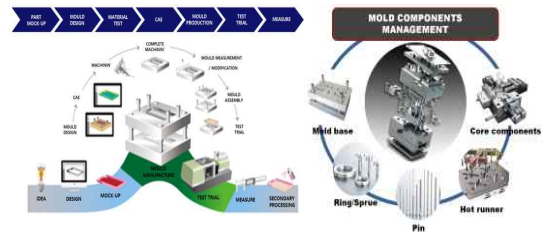


Fig. 1 Mold production process and Mold components⁸⁾

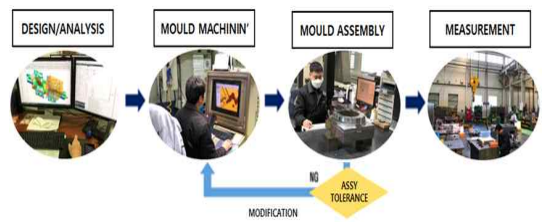


Fig. 2 Mold manufacturing process(Compones parts and core cutting process)

본 연구자가 제시하는 설계-가공 연계 MES 프로세스는 설계 기반 측정형상/측정 위치 결정 시스템, M/C(Machining Center) 가공 연계 측정 가공 시스템 및 CAD 연계 측정 결과분석 시스템, 관리자 금형 부품 품질 관리 시스템은 4단계가 융합된 금형 제조(공차) 관리가 가능한 통합 시스템이다.

2.1.1 설계 기반 측정형상/측정위치 결정 시스템

설계 기반 측정형상 및 측정 위치 결정 시스템은 금형 설계 단계에서 금형부품별 치수 공차 및 부품 조립 면에 대한 형상 공차를 설정하여, 설정한 조립 면에 대한 측정 위치 설정 및 측정형상 (진직도, 평면도, 진원도 등)을 결정할 수 있는 시스템이다.

금형 부품 조립 면 형상 및 치수 공차 설정을 위

한 2D CAD API, 금형 설계 기반 측정형상/위치 결정을 위한 3D 좌표 추출 기능, 조립부품의 2D 도면 공차 표시 및 3D 좌표 형상 이미지 뷰어 기능을 포함하며, 시스템의 개념도를 Fig. 3에 나타내었다.

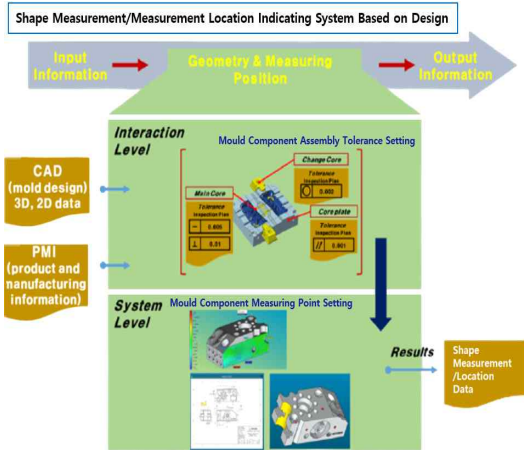


Fig. 3 Shape measurement/Measure location indicating system based on design

2.1.2 M/C 가공 연계측정 구동 시스템

효율적인 금형 품질 관리를 위해서는 설계, 기계 가공, 정밀측정, 조립 등 각 공정에서 주요 관리 치수와 측정 포인트를 상호 교류하여 가공 품질을 초기부터 관리 및 제어할 수 있게 하는 시스템이 요구된다.

본 연구에서 구축한 M/C 가공 연계측정 구동 시스템은 설계 단계에서 지정한 측정 위치와 정보를 연계하여 금형 가공품의 치수 및 공차 정보를 확인할 수 있는 시스템으로서 기계 가공 후 공작물의 이동 없이 공작기계 상에서 가공품을 측정할 수 있도록 가상측정 시스템(on machine verification)을 적용하였다.

M/C 가공 연계측정 구동 시스템은 설계 기반의 3차원 측정 위치 데이터와 기계 가공 좌표계가 연동되며, 측정형상 및 위치에 기반하여 가상측정 결과 데이터를 맵핑할 수 있도록 설계되었다.

Fig. 4에 M/C 가공 연계측정 구동 시스템의 개념을 나타내었다.

2.1.3 CAD 연계측정 결과분석 시스템

CAD 연계측정 결과분석 시스템은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 기계 가공 후 M/C 가공 연계측정 구동 시스템에서 가상 측정된 결과 데이터와 금형 설계 데이터를 대조하여 금형부품의 치수, 형상 및 조

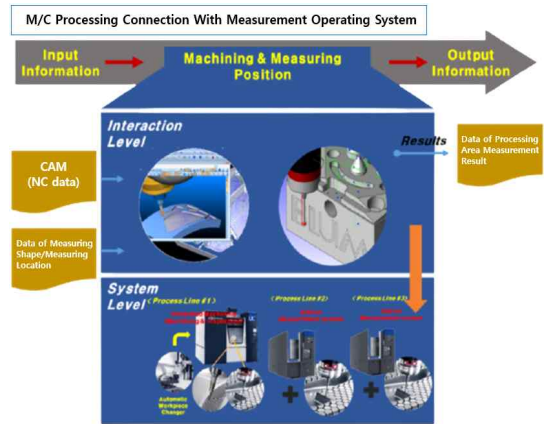


Fig. 4 Concept of M/C processing connection with measurement operating system

립 공차 데이터 출력(sheet, file 형태 등)하여 금형 조립공정 작업자에게 전송하는 시스템으로서, 측정 데이터의 일원화를 기대할 수 있으며, 측정 포인트를 상호 교류하여 가공 품질을 초기부터 관리 및 제어를 할 수 있게 된다.

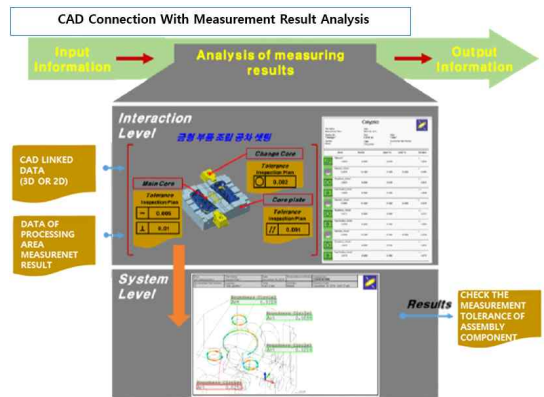


Fig. 5 Concept of CAD connection with measurement result analysis

2.1.4 관리자 금형부품 품질 관리 시스템

금형 제작 수주부터 납기까지 관리자, 설계자, 생산자가 같은 데이터를 확인하고 원활한 의사소통을 위하여 관리-설계-생산 양방향 연계를 통한 실시간 금형 제조공정관리 시스템을 구축하였다.

구축된 관리자 금형부품 품질 관리 시스템은 이미 구축된 MES와 연계되어 관리자, 설계자, 생산자가 일원화된 금형 제조공정 데이터와 가공 품질 데

이터를 확인할 수 있도록 설계되었으며 시스템의 개념도를 Fig. 6에 나타내었다.

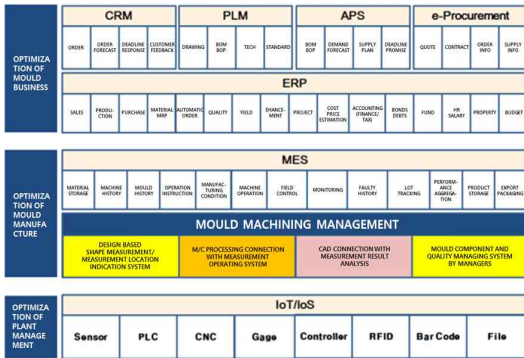


Fig. 6 Definition of Mold machining management concept

3. 금형 제조(공차) 관리 시스템 H/W 및 평가

Fig. 7은 금형 제조(공차) 관리 시스템에 사용되는 H/W(Hardware) 구성의 개념도를 나타내었다. 기존의 가공 설비를 활용하기 위하여 M/C에 애드온 방식의 기상측정 시스템을 적용하였으며, 기상측정 시스템이 내장된 M/C와의 네트워크 연결을 통해 단위 셀 형태로 구성하였다.

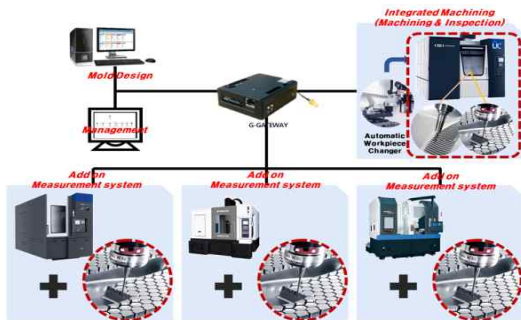


Fig. 7 Mold machining management flow

단위 셀 내의 가공 설비들은 하나의 금형을 구성하는 부품들을 각각 가공 후 설계 기반 측정 위치/측정 형상 결정 시스템과 M/C 가공 연계측정 구동 시스템을 통하여 가공물의 치수를 측정하며, 측정된 결과는 CAD 연계측정 결과분석 시스템을 통하여 공차 데이터를 도출하여 관리자 금형부품 품질 관리 시스템에 출력된다.

금형 제조(공차) 관리 시스템의 전체적인 흐름도를 Fig. 8에 나타내었다.



Fig. 8 Mold machining management diagram

구축된 금형 제조(공차) 관리 시스템을 평가하기 위하여 절삭 가공된 금형부품 측정시간, 동일 크기를 갖는 공작물의 가공 준비시간을 비교하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Comparison of measurement time before and after application of the mold manufacturing management system based on 3D Point Processing Waiting Movement including the preparing time

Process	Role	Time Required Time	
		Before Application	After Application
Design	Indicate Point	-	1
	Dimension Measurement	-	0.5
Machine Process	Part Removal	1.5	-
	Automatic Workpiece Changer	-	-
Measurement	Moving	0.5	-
	Waiting	8	-
	Indicate Point	1	-
Total Time Required Time	Measure	1	-
		12	2

일반적으로 금형제조 현장에서의 측정방식은 각각의 가공 설비에서 가공이 완료된 후 측정실로 이동하여 측정하는 방식이며 측정 지점 또한 측정자의 경험과 금형의 특성을 고려한 측정방식으로 운영되었으나, M/C 가공 연계측정 구동 시스템은 기상측정을 적용하여 부품 탈 거, 측정실로 이동, 대기로 걸리는 시간이 없어 기존 소요 시간(12시간) 대비 16.7% 수준(2시간)으로 감소한 결과를 얻을 수 있었다. 또한, M/C 가공 연계측정 구동 시스템을 적용하는 경우 금형 설계 단계부터 주요 관리 포인트가 사내 표준으로 정립되어 운영되어 데이터의 일

관성을 확보할 수 있고, M/C 가공 작업자의 관점에서 측정이 필요하다고 판단되는 부분에 추가적인 측정 포인트를 지정할 수 있어, 시스템상에서 관리자, 설계자, 생산자가 같은 데이터를 공유할 수 있다.

기존 측정 시스템인 CMM(coordinate measuring machine)과 M/C 상에서의 기상측정 시스템인 OMV(on machine verification)의 측정 정밀도를 비교하여 Table 2에 나타내었다.

측정은 동일 형상에서 같은 20개의 지점을 측정 하였으며 3회 반복 수행하였고 CMM의 측정 데이터와 OMV 측정 데이터의 오차는 최대 0.02 mm 이내임을 확인하였다.

Table 2 Comparison of measurement precision between existing measurement methods(OMM) and weather measurement methods(DMM)

No	Measurement # 1			Measurement # 2			Measurement # 3		
	OMV	CMM	OMV-CMM	OMV	CMM	OMV-CMM	OMV	CMM	OMV-CMM
1	0.005	0.014	-0.009	0.005	0.009	-0.004	0.009	0.011	-0.002
2	0.005	0.008	-0.003	0.002	0.008	-0.006	0.019	0.008	0.011
3	0.006	0.01	-0.004	0.007	0.01	-0.003	0.002	0.01	-0.008
4	0.006	0.011	-0.005	0.011	0.011	0	0.005	0.011	-0.006
5	0.009	0.011	-0.002	0.011	0.011	0	0.008	0.011	-0.003
6	0.008	0.011	-0.003	0.007	0.011	-0.004	0.019	0.011	0.008
7	0.007	0.01	0.003	0.014	0.01	0.004	0.006	0.01	-0.004
8	0.006	0.008	-0.002	0.015	0.008	0.007	0.002	0.008	-0.006
9	0.003	0.004	-0.001	0.014	0.004	0.01	0.003	0.004	-0.001
10	0.007	0.006	0.001	0.014	0.006	0.008	0.001	0.006	-0.005
11	0.007	0.005	0.002	0.016	0.005	0.011	0.004	0.005	-0.001
12	0.008	0.005	0.003	0.015	0.005	0.01	0.005	0.005	0
13	0.013	0.011	0.002	0.015	0.011	0.002	0.002	0.011	-0.009
14	0.005	0.001	0.004	0.012	0.001	0.011	0.009	0.001	0.008
15	0.011	0.008	0.003	0.013	0.008	0.005	0.006	0.008	-0.002
16	0.012	0.011	0.001	0.014	0.011	0.003	0.019	0.011	0.008
17	0.007	0.008	-0.001	0.001	0.008	-0.007	0.004	0.008	-0.004
18	0.001	0.006	-0.005	0.013	0.006	0.007	0.002	0.006	-0.004
19	0.019	0.013	0.006	0.014	0.013	0.001	0.006	0.008	-0.002
20	0.008	0.001	0.007	0.013	0.001	0.012	0.019	0.011	0.008
Standard deviation by measurement	0.00578			0.00594			0.00583		
Overall Standard deviation by measurement	0.00583								

Table 3 Comparison of time spent on setting up for re-processing before and after the application of the mold manufacturing management system

Process	Role	Time Required Time	
		Before Application	After Application
Measurement	Measure	-	-
	Moving	2	-
Machine Process	Component Setting	1	-
	CAM P/G	1	1
Total Time Required Time		4	1

공정과 금형 제조(공차) 관리 시스템 적용 후 재가공을 위한 셋업까지 걸리는 시간을 비교하여 Table 3에 나타내었다.

재가공을 위한 셋업에 걸리는 시간 또한 금형 제조(공차) 관리 시스템 적용 후 기상측정의 영향으로 이동 및 공작물 셋업 측정 시 재가공이 필요한 경우에 대하여 기존 업에 드는 시간이 없어 기존 공정(4시간) 대비 25% 수준(1시간)으로 감소하는 것으로 확인되었다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 정밀금형을 제조하는 금형업체의 당면 과제인 품질 확보, 납기 단축, 제조 원가절감의 해결 방안으로 설계-가공 연계를 통한 금형 제조(공차) 관리 시스템을 구축하였다.

설계-가공 연계 금형 제조관리 시스템은 설계 기반 측정형상/측정 위치 결정 시스템, M/C 가공 연계 측정 구동 시스템, CAD 연계측정 결과분석 시스템, 관리자 금형 부품 품질 관리 시스템의 4개 부분으로 구성되었다. 또한, 구축된 시스템을 현장에 적용하였으며, 기존 공정과의 시스템 구축 효과를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다

- 1) 측정 정밀도는 기존의 측정방식인 CMM 측정 데이터와의 오차는 최대 0.02 mm 이내였다.
- 2) 가공 이후 측정까지 걸리는 시간은 기존 공정 12시간에서 2시간으로 대비 16.7% 수준으로 감소하였다.
- 3) 측정 후 재가공을 위한 셋업까지 걸리는 시간은 4시간에서 1시간으로 기존 공정 대비 25% 수준으로 감소함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 구축된 금형 제조(공차) 관리 시스템의 현장 적용이 초기 품질을 확보하고 부품의 재가공률 감소와 납기 시간 단축에 긍정적인 영향을 줄 것으로 생각되며, 운영상의 미흡함은 존재하나 시스템운영이 거듭될수록 안정화는 빠르게 자리 잡을 것으로 판단된다.

5. 후기

본 연구는 국가 뿌리 산업진흥센터의 기관 주요 사업 중 2020년 지능형 뿌리 공정 시스템 구축사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- 1) J. S. Ok, A “Study on Smart Factory Establishment Based on Production Automation and MES”, Graduate School, Daejeon University, p. 11, 2018.
- 2) J. S. Kim, “A Study on the Establishment of Smart Factory for Small and Medium-sized Molding Companies”, Graduate School of Industrial Chonnam National University, pp. 10-16, 2020.
- 3) U. G. Choi, “A Study on MES Function Model for Efficient Smart Factory Development”, Graduate School of Information Technology and intellectual Property Dankook University, pp. 21-62, 2019.
- 4) J. S. Han “MES system based on real-time process capability management”, Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 25, No. 11, pp. 115-122, 2020.
- 5) Y. J. Park., K. S. Yoo. and D. H. Hyun., “A Study on the Improvement of Mold Production System by Applying Smart Factory”, Journal of Next-generation Convergence Technology Association, Vol. 4, No. 3, pp. 338-347, 2020.
- 6) H. J. Lee, “A Study of Implementing MES Monitoring System in Distributed Environment”, Department of IT Management Graduate School of Information Science Soongsil University, 2017.
- 7) H. D. Kim, “A case study of success factor of MES construction and implementation at automotive medium size manufacturing company”, Department of Management Engineering Graduate School Sangmyung University, 2017.
- 8) Production Technology Research Institute Data, 2013.

저자 소개

박 해 웅(Woong-Hae Park) [학생회원]



- 1989년 5월~2000년 9월: 영신공업사
- 2000년 10월~2012년 10월: 제일솔루텍 대표 (사출금형제작)
- 2012년 11월~현재: (주)우리엠텍 부사장
- 2021년 5월~현재: 공주대학교 금형공학과 재학중

< 관심분야 >
사출 금형 및 성형

이 승 욱(Seung-Wook Lee)



- 1999년 5월~2004년 3월: 발레오연구소
- 2004년 12월~2008년 4월: 금주환라 전기 유한공사 연구소 설계팀장
- 2015년 6월~현재: 동원테크놀러지 연구소 개발팀장
- 2021년 5월~현재: 공주대학교 금형공학과 재학중

< 관심분야 >
사출 금형 및 성형

한 희 봉(Heui-Bong Han)



- 1986년 2월~1998년 10월: (주)SKC
- 1998년 11월~2005년 11월: 삼우금형 (주) 공동창업 및 근무
- 2007년 2월~2010년 3월: 핫시스(주)
- 2015년 7월~현재: (주)한창이지엠
- 2021년 5월~현재: 공주대학교 금형공학과 재학중

< 관심분야 >
사출 금형 및 성형

윤 재 웅(Jae-Woong Yun) [정회원]



- 2005년 2월 : 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과 (공학박사)
- 2005년 8월 ~ 2013년 1월: LG전자 금형기술센터장
- 2013년 2월 ~ 2018년 8월: OPS-INGERSOLL KOREA 대표이사
- 2018년 8월~현재: 공주대학교 금형설계공학과 교수

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형

최 계 광(Kye-Kwang Choi) [정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과(공학박사)
- 2005년 8월 : (주)현대배관 기술부장
- 2006년 4월~현재 : 공주대학교 금형설계공학과 교수
- 2013년 2월~현재 : 공주대학교 글로벌금형기술연구소 소장

< 관심분야 >
3D CAD, CAM Programing, Reverse Engineering

한 성 렬(Seong-Ryeol Han)

[정회원]



- 2007년 2월: 부경대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 5월 ~ 2014년 2월: ㈜화승알 엔에이 성능평가팀 팀장
- 2014년 3월~현재: 국립공주대학교 금형설계공학과 부교수

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 유동해석

이 춘 규(Chun-Kyu Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 공주대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 3월~2016년 12월 : 유한대학교 금형설계공학과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 금형설계공학과 교수

< 관심분야 >

프레스 성형 및 금형

김 경 아(Kyung a. Kim)

[정회원]



- 2015년 3월: 홍익대학교 제품디자인 전공/디자인·공예학과(미술학박사)
- 2015년 0월~2019년 2월: 젠디자인 (주) 디자인부서, 과장
- 2019년 3월~현재: 국립공주대학교 금형설계공학과 조교수

< 관심분야 >

제품디자인, Additive Manufacturing(3D printing), 사출성형