

## 사출성형기 유압시스템 분석용 시뮬레이션 모델 개발 (1)

신성철\*, 박영진\*, 김진영\*, 이강결\*\*

### Development of Simulation Model for Analysis of Hydraulic Systems in Injection Molding Machine (1)

Sung Chul Shin, Yung Jin Park, Jin Young Kim, Khang Keol Lee

#### Abstract

Hydraulic systems of injection molding machine are modelled and simulated with AMESim which is a commercial program. Detail models of hydraulic components are simulated and simulation results are evaluated with maker's test results in catalog. Sub system models which is divided according to functional operation are made and its analysis results shows how design parameters work on operational characteristics like cylinder speed, cylinder displacement, pressure, flow rates at each node and so on. Total circuit model is also made and analyzed. The prediction made by simulation will be used design of hydraulic systems of injection molding machine.

**Key Words:** Injection molding machine, AMESim, simulation of hydraulic system.

\* LG전선(주) 기계연구소

\*\* 주식회사 신호시스템

### 1. 서론

유공압 시스템은 제어가 용이하고 크기에 비해 강력한 힘을 전달하여 건설용 기계, 사출 성형기 및 자동화 시스템 등 다방면에 적용되고 있다. 국내의 경우 1970년대 초반부터 밸브 및 펌프의 설계기술도입을 시작하였으나, 수요시장의 협소 및 전문 기술인력의 부족으로 간단한 밸브나 부품을 생산하는 수준으로 해외 의존도가 60% 정도로 기술자립이 취약한 편이다.

국내 유압시스템의 설계 기술 수준은 발주 업체가 주문사양에 따른 회로 설계의 미흡으로 주로 외국의 엔지니어링사나 유압부품 제조회사에 의존하나, 최근에는 몇몇 업체에서 독자적인 유압시스템을 설계하고 있다. 이러한 설계 기술 수준을 높이기 위해서는 설계 단계에서 유압시스템의 거동을 예측하고 각 유압부품을 수정하였을 때 어떠한 성능변화나 문제점이 발생하는지 예측하는 것이 중요하다. 지금까지는 유압설계자의 경험에 의존하여 이러한 예측을 수행하였기 때문에 근거를 객관화하기 어렵고 전문적인 유압설계

자를 양성하는 것도 어려웠다.

본 논문에서는 AMESim을 이용하여 개발중인 사출성형기의 유압시스템을 모델링하고 시뮬레이션을 수행하여 그 거동을 해석하였다.

AMESim은 프랑스 Imagine S.A.에서 개발한 시스템 해석 소프트웨어로서 유압시스템과 기계, 제어 시스템을 1D 제어개념도 형식으로 모델링하고 해석할 수 있는 분석용 도구이다.

시뮬레이션은 상용 설계 소프트웨어의 장점을 최대한 활용하여 시스템적인 분석을 목적으로 모델링과 해석을 수행하였다.

이러한 시뮬레이션 과정을 통하여 시제품을 제작한 후 튜닝 시험시 문제점이 발생했을 경우 해결방안 및 개선점에 대해 체계적으로 접근할 수 있고 시간을 절약할 수 있는 토대를 구축할 수 있다.

### 2. 유압단품 모델링 및 시뮬레이션

시뮬레이션 대상인 사출성형기의 유압시스템은 Fig. 1의 유압회로도에 나타낸 바와 같이 많은

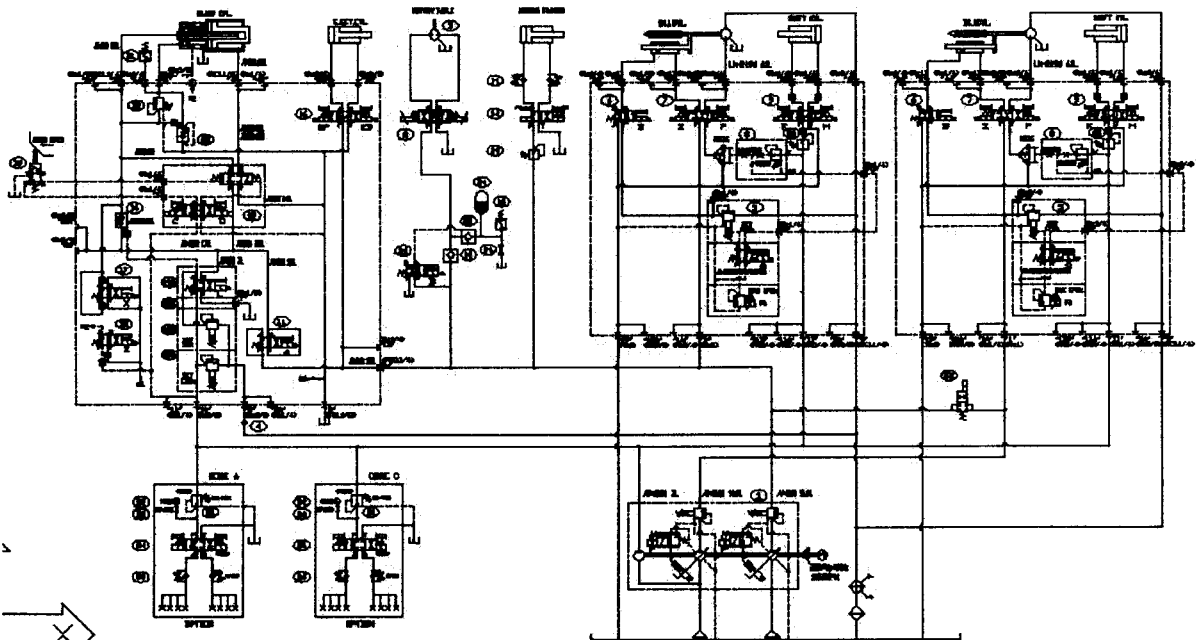


Fig. 1 Hydraulic circuit of injection molding machine which is simulated

종류의 유압부품으로 이루어진 복잡한 시스템이다. 이렇게 복잡한 유압시스템을 분석하기 위해서 각각의 유압단품의 모델링과 그 유효성을 검증해 나가는 것이 우선적인 과정이다.

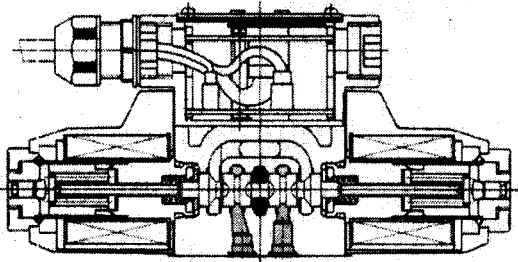


Fig. 2 Sectional diagram of proportional valve (Model no.: COM-7-33C-130-AN-10, Tokimec Co.)

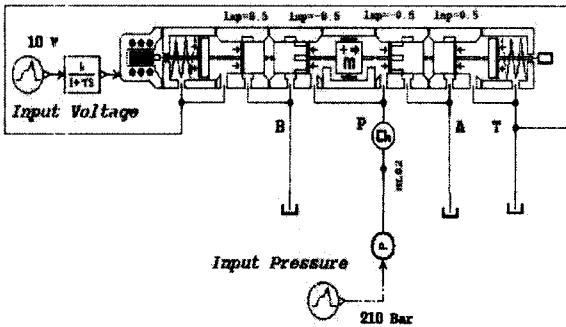
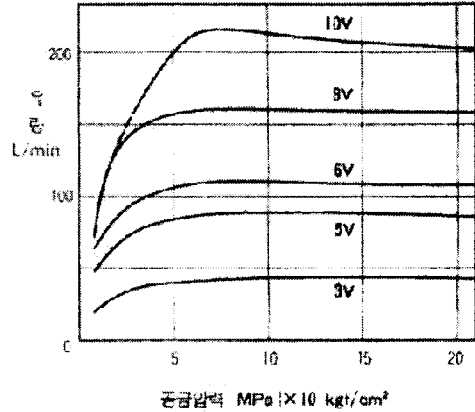


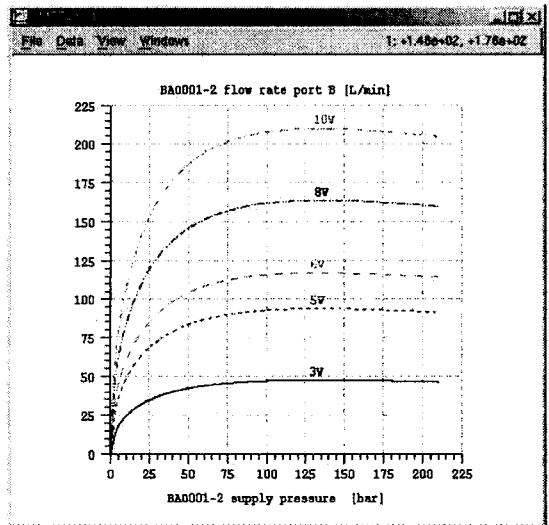
Fig. 3 Simulation model of proportional valve

Fig. 2는 사출성형기의 유압부품 중 형체실린더(clamp cylinder)를 제어하는 비례제어밸브의 단면도를 나타내었고, Fig. 3은 그 해석모델을 나타낸 것이다. AMESim은 HCD Library를 이용하여 각 유압부품을 설계의 관점에서 모델링이 가능하다. Fig. 3을 보면 알 수 있듯이 밸브 스톱과 하우스링 간의 중첩량(overlap)에 따라 유량조절특성을 모델링할 수 있다. 삼각 또는 사각 스톱 노치 등도 간단한 콤포넌트 하나로 표현할 수 있다. 밸브 개도등의 유체역학적 모델뿐만 아니라 밸브 스톱의 동역학 모델도 하나의 AMESim 모델에 표현되어 있다.

공급압력-유량특성



(a) Catalog specification(maker test)



(b) Simulation results

Fig. 4 Comparison of P-Q curves at valve in Fig. 3

단품 모델은 설계자의 의도에 따라 실제 물리 시스템을 가정을 통하여 표현한 것이므로 단품모델의 유효성을 검증할 필요가 있다.

Fig. 4는 Fig. 3 모델을 검증하기 위하여 카탈로그(catalog)에 표현된 성능특성곡선과 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 초기 50~100bar사이의 값에서 약간의 차이를 보이는 것을 제외하고

는 대체적으로 성능특성곡선의 결과와 시물레이션 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 차이가 발생하는 원인은 저압(100bar 이하) 구간에서의 실험이 유량이 많아지는 경우 높은 압력에서 실행해야지만 유효성이 있기 때문이다.

이러한 방식으로 각각의 유압부품을 모델링하고 그 유효성을 검증하여 시스템 모델링에 이용하였다.

### 3. Sub system 모델링 및 시물레이션

#### 3.1 Clamp sub system

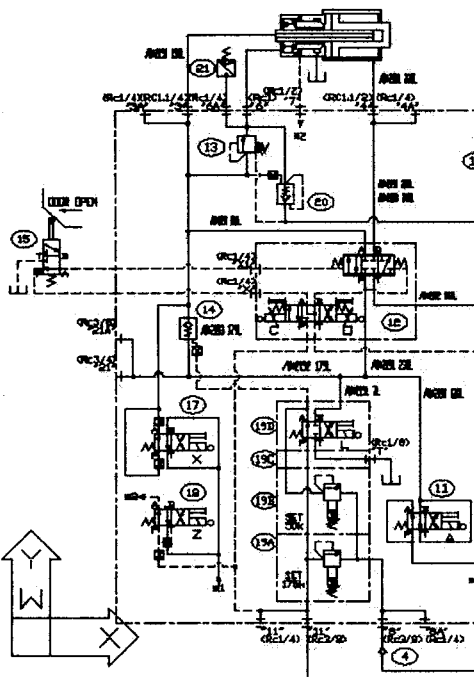


Fig. 5 Clamp sub system circuit

해석대상 사출성형기의 유압시스템은 기능상으로 형체 sub system, 사출 sub system, 회전테이블 sub system, 그리고 펌프 sub system으로 나눌 수 있다.

Fig. 5는 금형을 개폐하는 기능과 사출시 압력에 의하여 밀리지 않도록 강력하게 금형을 고정하는 장치인 형체장치의 유압회로도를 나타낸 것

이다. 이를 AMESim으로 모델링한 것은 Fig. 6과 같다.

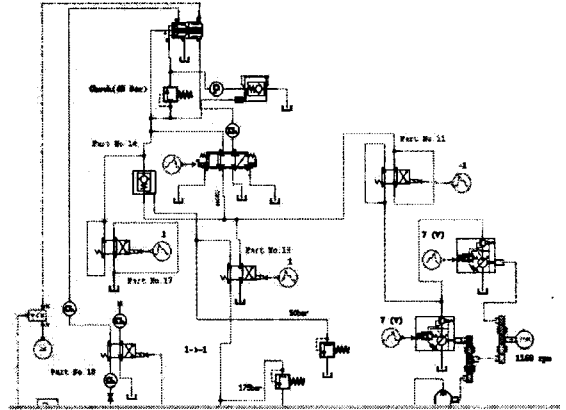
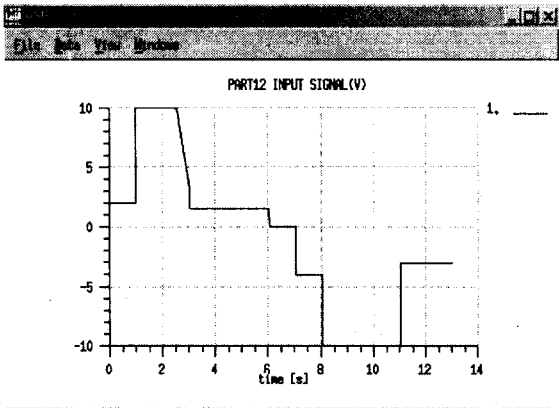


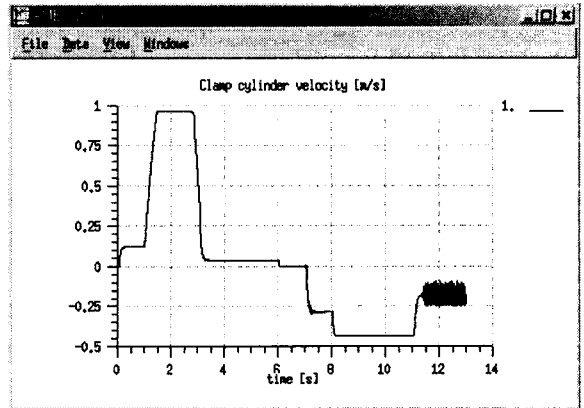
Fig. 6 Simulation model of clamp sub system

형체실린더의 제어에 가장 중요한 역할을 하는 Fig. 5의 12번 밸브는 Fig. 3과 같이 모델링 되어 있고 Fig. 6에서는 중앙부에서 아이콘화하여 간단하게 표현하였다. 이렇듯 Fig. 6에 표현된 유압 부품들은 내부에 자체의 물리적 상황에 맞는 모델들이 포함되어 있다.

Fig. 7은 Fig. 6 해석모델에서 시물레이션한 결과이다. Fig. 7의 (a), (b)에서는 형폐, 형개의 한 행정을 13초 동안 진행한다는 가정하에 각각의 시퀀스(sequence) 신호를 주었다. (c), (d)는 시퀀스 신호에 대한 결과를 나타낸 것으로 한 행정이 진행되는 동안의 형체실린더의 변위, 속도를 각각 나타내었다. 형체실린더는 1속, 2속, 3속을 거쳐 형폐 행정을 거치고 사출과정동안 가압한 후 형개 행정에 들어가는 과정을 시물레이션하였다. 이러한 시물레이션 결과는 각 유압부품의 설계사양 및 구조가 변경되었을 때 동일 입력에서 시스템의 거동이 어떻게 변화되는지 알 수 있다. 시물레이션 결과는 각 유압부품의 물리적 특성을 표현하는 수학적 모델과 파라미터(parameter)의 정확성을 검증하기 위하여 향후 실험결과와 비교할 필요가 있다. 검증된 모델로서 시퀀스 제어 로직의 변경에 대한 유압시스템 및 기계시스템의 반응을 알 수 있다.

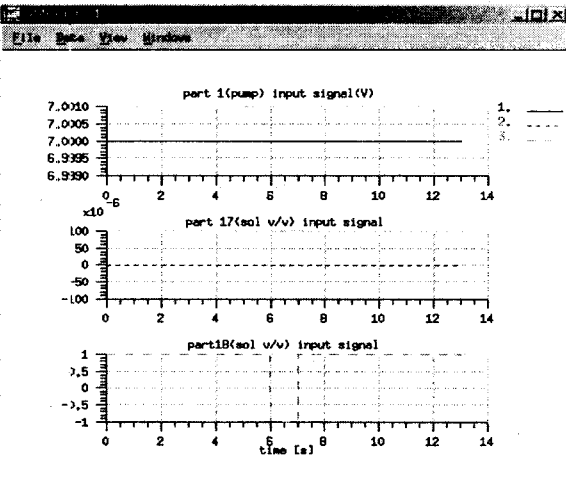


(a) Part No.12 input signal

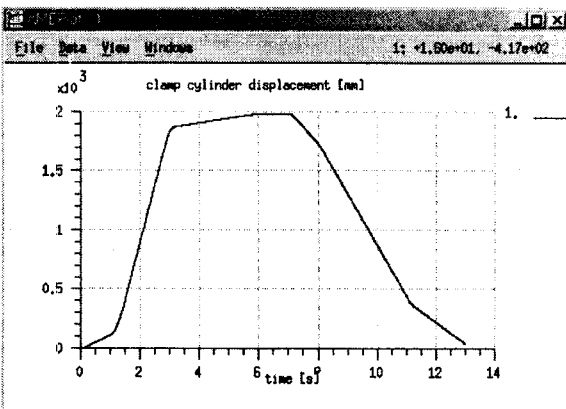


(d) Clamp cylinder velocity

Fig. 7 Simulation results of clamp sub system model



(b) Part No.1,17,18 input signal



(c) Clamp cylinder displacement

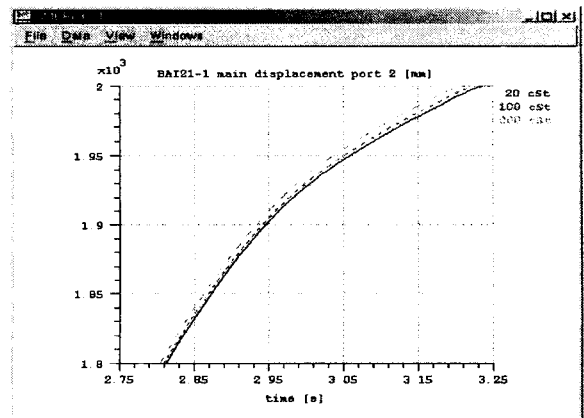


Fig. 8 Various results according to kinematic viscosity of oil

형체실린더의 제어는 개회로제어(open loop control)방식으로 이루어지는데 형체 sub system에서는 형체실린더 제어의 재현성이 설계상 매우 중요하다. 형체실린더 제어의 재현성을 높이기 위해서 이를 저해하는 요인을 파악하고 이를 분석하는 것이 중요하다.

Fig. 8, Fig 9는 형체실린더의 제어 재현성을 저감시키는 인자 중 온도에 따라 변화하는 작동유의 동점도, 형체실린더의 점성 저항의 변화에 따른 형체실린더의 변위 변화를 살펴본 것이다.

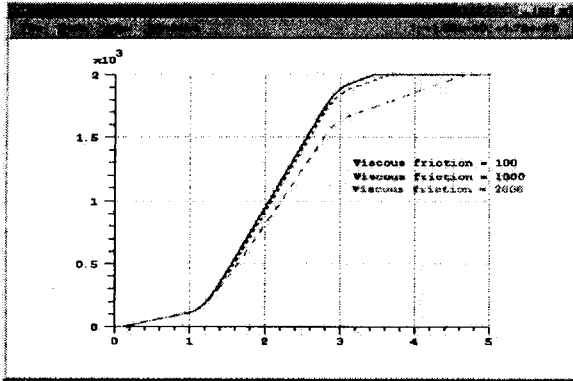


Fig. 9 Various results according to viscous friction of clamp cylinder

Fig. 8에서 동점도가 작을수록 누유 등의 영향이 크게 작용하여 운전 말기의 지연이 발생하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9에서는 형체실린더의 속도에 비례하는 마찰특성인 점성 마찰 계수 (viscous friction coefficient)가 100일 때와 1000일 때는 형체실린더의 변위변화가 거의 없으나 2000일 때는 변위가 크게 변함을 알 수 있다.

이외에도 사출 sub system과 회전테이블 sub system에 대해서도 시물레이션을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

#### 4. Full circuit 모델링 및 시물레이션

유압단품 모델 및 sub system모델을 통합하여 사출성형기 전체 유압시스템에 대한 모델을 구축하고 시물레이션을 수행하였다.

Fig. 10은 전체 유압회로 모델을 나타내고 있다. 전체 유압회로를 통하여 펌프의 각 sub system으로의 유량배분, 각 sub system이 타 sub system에 끼치는 영향 등을 알 수 있다.

전체 유압회로 모델은 하나의 시물레이션 모델에 전체 유압시스템이 표현되어 있으므로 유압회로내의 모든 곳에서의 해석결과치를 얻을 수 있는 장점이 있으나 해석시간이 많이 걸리므로 sub system 별로 작동이 독립적인 경우에는 개별 sub system 모델을 이용하여 해석 작업을 수행하였다.

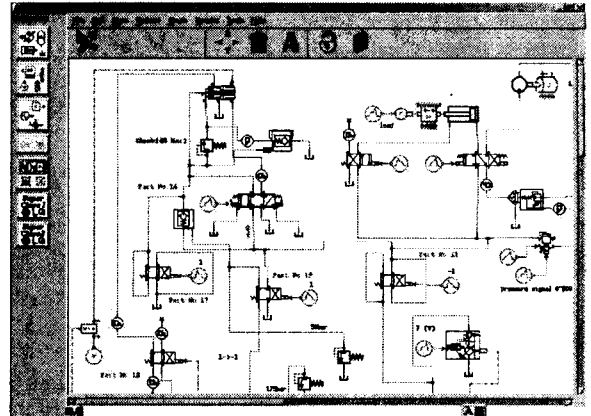


Fig. 10 Partial view of full circuit model

Fig. 11은 Fig. 10의 전체 유압회로 모델의 시물레이션 결과 중 하나로서 사출행정시의 유압회로상의 다양한 포트에서의 압력을 나타낸 것이다. 각 포트의 위치에 따라 압력의 차이, 반응의 지연, 과도한 피크 압력의 발생 여부 등을 알 수가 있었다.

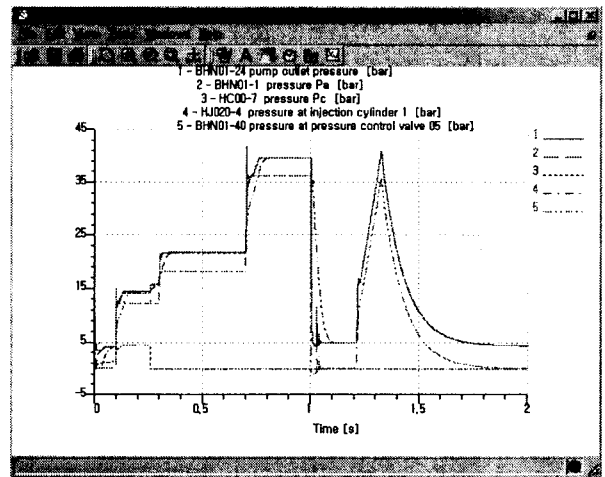


Fig. 11 Simulation results of full circuit model

## 5. 결론

사출성형기에서 전체 유압회로에 대한 신뢰성 있는 해석모델을 구축하기 위해 각 부품의 기능 및 특성분석과 부품모델링(component modeling), sub system modeling 및 full circuit modeling을 수립하여 시뮬레이션을 수행하였다. 카탈로그 사양과 비교를 통해 신뢰성 있는 모델을 개발하였으며, 모델링을 통해 성능을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개상 사출성형기의 유압시스템에서 사용하고 있는 각 부품 및 조합품의 기능분석과 분석 모델 개발을 통해 해석 모델을 개발하였다.

2) 카탈로그 사양을 이용하여 모델 검증을 수행하여 신뢰성을 확보하였으며, 주요 튜닝 인자에 대해 해석을 수행하였다.

3) 개발된 해석모델을 통해 유압시스템의 제작 이전단계에서 해석을 수행함으로써 설계의 타당성 검증 및 시스템의 거동을 해석적으로 확인하였으며, 개선방안 도출 및 성능을 정량적으로 확인하였다.

4) 해석 모델 개발을 통해 향후 신제품 개발시 모델 재사용 및 문제점 분석이 사전에 가능하여 신제품 개발 기간 단축 및 문제점 분석, 해결에 활용 가능하다.

향후 시작 개발된 사출성형기를 시험하여 그 결과를 토대로 하여 시뮬레이션 모델의 유효성을 검증하고, 신뢰성을 높일 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] 이종선, 김엽래, 이강손, “평면 차체프레임구조물의 민감도 해석 및 최적설계”, 한국공작기계기술학회지, v.5, n.4, 1996, pp.74-81
- [2] 김성청, 하영민, 주현준, “항공기의 RAM예측을 위한 모델 개발에 관한 연구”, 한국공작기계학회 1998년도 추계학술대회 논문집, 1998, pp.102-114
- [3] 원종진, 이종선, “차체구조물의 탄소성좌굴에 관한 민감도해석과 최적설계”, 한국공작기계학회지, v.7, n.6, 1998, pp.106-112
- [4] 이종선 “차량승객실의 최적설계”, 한국공작기계학회지, v.8, n.1, 1999, pp.60-66
- [5] 조백희, 성활경, 1999, “유전적 알고리즘을 적용하여 머시닝센터 베드두께의 동하중을 고려한 최적설계에 관한 연구”, 한국공작기계학회지, v.8, n.1, 1999, pp. 67-73
- [6] 윤영환, 최명진, 장승호, “엘리베이터용 로프브레이크 시스템의 설계변수 최적화에 관한 연구”, 한국공작기계학회지, v.10,n.6, 2001, pp.85-94
- [7] TOKIMEC hydraulic catalog
- [8] AMESim (Advanced Modeling Environment for Simulation of engineering system) User Manual, IMAGINE S.A.
- [9] AMESim Hydraulic Component Design Library User Manual, IMAGINE S.A.
- [10] Herbert E. M., "Hydraulic Control Systems", John Wiley & Sons, 1967, pp.76-131

## ● 저자소개 ●

## 신성철



1999년 한국과학기술원 기계공학과 학사  
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 2001년~현재 LG전선(주) 기계연구소 연구원  
 관심분야: 피로, 제어

## 박영진



1987년 인하대학교 기계공학과 학사  
 1988년~1995년 LG전선(주) 사출시스템사업부 개발팀  
 1996년~현재 LG전선(주) 기계연구소 선임연구원  
 관심분야: 유압제어

## 김진영



1985년 부산대학교 금속공학과 학사  
 1990년~현재 LG전선(주) 기계연구소 선임연구원  
 관심분야: 구조, 진동

## 이강걸



1996년 서울대학교 농업기계학과 석사  
 1996년~2001년 동양물산기업(주) 중앙기술연구소  
 2001년~2002년 주식회사 신호시스템 기술연구소 선임연구원  
 관심분야 : 유압제어, 유압시스템 해석