

# CAE 성형해석 데이터의 사출금형 설계 활용 방법에 관한 연구

남승돈<sup>†</sup>

유한대학교 3D프린팅 금형공학과<sup>†</sup>

## A study on the injection mold design application method of CAE mold analysis data

Seung-Don Nam<sup>†</sup>

Dept. of 3D Printing Tool & Mold Engineering, Yuhan University<sup>†</sup>

(Received September 09, 2019 / Revised September 26, 2019 / Accepted September 30, 2019)

**Abstract:** Cell phone injection is characterized by its small size and thinness. In addition, the product has a short cycle time, requiring a very short production schedule. To produce more accurate products faster, data from experience in producing similar products is required. In this study, two mobile phone models are presented. In this study, the quality problems caused by molding analysis and actual injection molding were analyzed and made into a database. As a result, it was considered that all the defects in the molding analysis do not affect the product in some cases, rather than appear as defects in the actual product. All defects shown in the molding analysis can be made into a database, and based on this data, it will be possible to obtain an effect that can predict more accurately whether it will cause problems after injection

**Key Words:** Cell phone injection, Data base, Defective Prediction, Molding Analysis, Weld line

### 1. 서 론

핸드폰 사출품은 그 크기가 작고, 두께가 얇은 제품들이 대부분을 차지하고 있어서, 사출성형 시 이러한 특징들로 인하여 많은 변수들이 발생하게 되고, 이 변수들은 제품 품질 및 성능뿐만 아니라 제품 출시에도 영향을 미치게 되는데 이러한 불확실한 변수들에 대한 리스크(Risk)를 최소화하기 위하여 금형이 제작되기 전에 사출성형품의 특징에 따라 발생될 수밖에 없는 불확실한 요소들을 제거하거나 최소화하기 위하여 여러 종류의 소프트웨어 프로그램을 활용하고 있다. 특히, 핸드폰 분야의 경우 제품 사이클 타임이 짧아 경쟁사 보다 빠른 신제품 출시가 이루어지지 않을 경우 시장의 주도권을 빼앗기게 되기 때문에 시장 선점을 위한 단 납기에 대한 요구가 높아지고 있는 실정이다. 이러한 이유

로 인하여 금형 가공 기술은 정밀 기계들의 발전과 함께 많은 발전이 이루어졌다.

금형가공 기술이 발전되고 표준화되어짐에 따라 금형을 얼마나 빠르게 제작하느냐가 아니라 얼마나 빠른 시간에 성형품의 완성도를 높여 양산에 투입하느냐가 사업 성공의 주요 포인트가 되었다.

금형 제작 전 사출 성형시 발생될 수 있는 불확실한 요소들에 대한 충분한 검증 및 예측이 이루어져야 불확실한 요소들이 발생되지 못하도록 예방이 가능하게 되며, 발생되었을 경우 이를 제거하고 개선하는데 소요되는 시간과 비용을 최소화할 수 있을 것이다. 이에 많은 금형 업체들은 사출 성형시 발생될 수 있는 불확실한 요소들을 해결하기 위해 CAE 프로그램에 대한 활용도는 증가하고 있다.

프로그램에서 제공하는 데이터(Data)에 대한 이해 능력, 각 제품의 특성에 따른 변수, 많은 경험을 통하여 확보되어진 데이터베이스(Data base) 구축이 함께 이루어져야 급변하는 시장상황 및 산업 환경

<sup>†</sup> 교신저자: 유한대학교 3D프린팅금형공학과  
E-mail: scham@yuhan.ac.kr

의 변화에 능동적으로 대처하고 경쟁력을 확보해 나갈 것이다.

본 연구에서는 휴대폰 제품의 금형 설계에서 제품 생산까지의 과정을 유기적으로 연결하여 성형품에 발생 될 수 있는 변수들에 대하여 미리 검토하여 최적 설계 데이터를 구현 할 수 있도록 사출 성형 CAE 데이터의 활용 방안에 대하여 연구하고자 한다.

## 2. 선행연구

사출성형 해석 프로그램을 이용하여 금형온도와 수지온도, 사출시간 시출속도 등의 인자를 활용하여 실험계획을 수행하여 최적설계 (Design Optimization : DO)와 근사최적설계 (Approximate Optimization : AO) 결과를 통해 사출압력을 최소화하는 최적의 설계 변수 값을 도출하였지만, 두 결과에서 모두 웰드라인(Weld line)이 발생하는 문제점이 있었다.

웰드라인이 발생하는 이유는 제품의 형상 특성으로 인한 수지의 유동거리 때문이었다. 형상적 특성으로 두 개의 유로가 서로 달라져 두 유로가 만나는 부분에서의 수지 합류각이 웰드라인을 정의하는 설정 값보다 작아지게 되므로 웰드라인이 발생하는 것이다<sup>1)</sup>.

웰드라인은 사출속도와 사출 시간 설정의 변경만으로는 그 발생을 방지하기 어렵다. 따라서 두 유로의 경로 개선을 통한 웰드라인의 발생을 방지하기 위해 길이가 긴 유로에 해당하는 부분의 두께를 줄임으로써 유동선단의 속도를 상대적으로 늦춰 유로 A와 B가 만나는 부분에서의 수지 합류각을 증가시켜 기존 모델과 세 가지 두께 변경 모델들에 대한 사출압력을 비교하였다.

비교 결과 서로 유사한 압력값을 가지면서 초기 모델에 비해 평균적으로 17%의 압력감소를 보였다.

이와 같이 압력값이 유사하다는 것은 8~25%에 해당하는 두께 감소율이 사출압력 변화에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 또한 웰드라인은 합류각이 가장 큰 25%의 두께 감소율이 적용된 모델에서만 웰드라인이 발생하지 않았다. 따라서 이 제품에는 웰드라인 발생을 방지할 수 있는 최상의 두께 감소율이 25%임을 알 수 있다.

웰드라인이 발생하지 않은 25% 두께 감소율 모델의 해석 결과를 검증하기 위해 실제 금형을 제작하여 시사출을 수행하였고 이를 해석 결과와 비교

하였다.

그 결과 실험과 해석의 유동 패턴이 유사함을 알 수 있었고, 제품의 관심 부위인 원형 부분에 웰드라인이 발생하지 않음을 확인하였다.

이와 같이 성형해석 프로그램을 어떻게 활용하는지에 따라 성형 불량률을 충분히 해결 할 수 있으나 핸드폰 부품의 경우 제작 기간이 짧아 충분한 실험과 검증이 어려운 것이 사실이다.

## 3. CAE 성형해석 데이터 활용

### 3.1. 사출 성형 CAE 소개

시대의 요구에 따라 가볍고 기계적 성질이 우수한 플라스틱 재료를 만들기 위해 고분자 기술이 발달되고 그로인하여 독특한 특징을 갖고 있는 많은 플라스틱 재료들이 등장하게 되고, 이 중 사출성형에 의해 제조되는 플라스틱 제품은 산업의 모든 분야에 널리 활용되고 있다<sup>2)</sup>. 특히 금형기술과 사출성형 기술이 발달됨에 따라 대량 생산 능력이 극대화되고 있으며 이는 금속재료에 비해 경량화뿐만 아니라 가격 경쟁력까지 더욱 향상되고 있다. 그러나 사출 성형 제품은 고유한 공정 특성 및 변수로 인해 제품의 품질을 예측하기 어렵고 불량이 발생하는 경우, 가공된 금형을 수정하게 되고 이는 많은 시간이 소요되는 경우가 많은데 이러한 특성으로 인해 정확한 문제의 진단과 효과적인 해결 방법의 모색이 절실히 요구되고 있다<sup>3)</sup>.

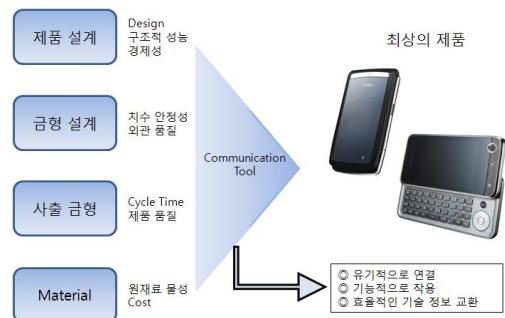


Fig. 1 Considerations when developing plastic parts.

Fig 1과 같이 최상의 성형품을 얻기 위해서는 제품 설계, 금형설계, 사출성형, 고분자 재료의 각 단계별로 다양한 요구사항들이 있으며 그에 맞는 기능들을 효과적으로 작용시키고 유기적으로 연결하여 단계별 기술 정보교환이 원활히 이루어 질 수 있

게 하여 불확실 요소들을 사전에 도출하고 이를 해결하거나 이에 대한 대응책을 세울 수 있게 하는 툴(Tool)이 사출성형 CAE의 역할이라 할 수 있다. 그러나 종래의 플라스틱 제품 개발 프로세스를 살펴보면 Fig 2와 같이 표현할 수 있으며, 디자인 요구 단계에서 생산까지 각 단계가 분리되어 있고 수직적인 연결과정을 보여 주고 있다. 이렇게 각 단계별로 분리되어 있을 경우 상호간의 정량적인 의사전달이 어렵게 되므로 사출 후 발생하는 제품 불량에 대해서는 원재료 변경, 금형수정, 설계변경 등의 시행착오적 방법 등을 사용하여 해결하게 되고, 결과적으로는 이러한 경험적 방법들이 되풀이 되면서 핸드폰 개발기간의 지연이나 원가상승의 요인이 되게 된다. 또한 제품 품질의 균일성을 확보하지 못하게 되어, 경쟁력 저하의 원인이 되고 있다.

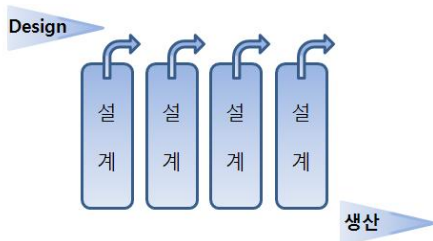


Fig. 2 Conventional Product Development Process

최종 제품의 품질을 정확히 예측하고 문제점들을 사전 검토하여 원가절감 및 최적의 설계를 이루기 위해서는 Fig 3과 같은 통합적 분석 관리가 필요하다<sup>4)</sup>.

사출성형 CAE는 플라스틱 제품 개발의 모든 단계를 통합하고 분석하고, 각 단계별 동시 진행을 통해 최적 제품설계 및 금형설계, 시사출 반복 및 수정을 줄임으로써 비용 절감, 제품 품질 향상을 이루어 결과적으로는 개발 기간을 단축하는 효과를 얻을 수 있다.

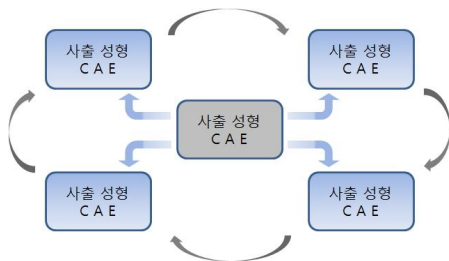


Fig. 3 Concurrent Engineering Development Process

### 3.2. 사출성형 CAE 활용 현황 및 방안

플라스틱 개발 과정에 있어서 각 단계별로 중요한 고려사항을 살펴보면 개발기간 단축, 품질향상, 원가절감을 위해 고려되어야 할 사항들이 많이 있다. 그러나 이전의 플라스틱 부품의 경우 앞서 언급한 “통합적 분석관리” 방법과는 달리 제품 설계를 담당하는 OEM이나 모듈업체의 경우 설계 최적화를 위해, 금형업체는 금형설계 및 제작을 위해, 생산업체는 사출성형 조건 선정을 위해, 또한 원재료 업체의 경우 원재료 개발이나 기술지원을 위해 즉 자신의 개발 영역에서만 사출성형 및 최종 단계에서의 개발이력 정리 및 데이터베이스(Data Base)화 등 모든 단계가 일괄적으로 연결되어 효율적인 기술정보 교환을 하기 위해 사출성형 CAE를 활용하는 경우는 드문 실정이고 더욱이 중소기업의 특성상 모든 단계를 일괄적으로 연결하여 활용하기란 더욱더 어려운 실정이다.

Table 1 Important Step-by-Step Considerations

Step	Work content
Product design	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyze expected problem through analysis</li> <li>Selection of appropriate thickness for shape / structure</li> <li>Moldability Review</li> <li>Exterior quality / deformation influencing factor analysis</li> </ul>
Mold Design / Manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimum runner, gate selection</li> <li>Optimum Cooling Conditions</li> </ul>
Injection Preparation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preliminary evaluation of molding characteristics of raw materials</li> </ul>
Injection	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selection of optimal injection condition</li> <li>secure quality/ dimensional stability</li> <li>Minimize Mold Modification</li> </ul>
Molding resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of raw materials suitable for structure and performance</li> <li>Propose design guide suitable for resin</li> </ul>

Table 1에는 성형제품생산에 필요한 단계별 중요 고려사항에 대하여 나타내었으며, 이전의 플라스틱 부품 개발 프로세스의 경우 설계 단계에서부터 예상되는 모든 문제점을 미리 분석하여 최적의 설계 데이터를 얻기 위해 성형해석 데이터를 활용하는 것이 아니라 설계 데이터가 나오고 시작금형이 제작되면 검증 개념으로 성형해석을 진행하여 왔다<sup>5)</sup>. 시작 제품이 나오면 그 품질 상태에 따라 불량발생 원인을 검토하고 해결방안을 찾고자 해석을 진행하

다 보니 종래의 시행오차의 방법이 그대로 적용되어 오고, 또한 시작개발 단계에서의 개발이력이 양산개발 단계로 피드백(Feed Back)이 되지 않아 이전 단계에서의 문제점들이 사전 검증 없이 그대로 적용되고 이에 따라 개발 과정에서 잠재되어있던 많은 문제점들이 최종 개발 단계에 이르러서야 가시화되는 결과를 초래했었다.

최근에는 제품 설계 단계에서 양산까지의 모든 단계를 유기적으로 통합-관리하기 위한 동시 공학적 (Concurrent Engineering) 개발 프로세스의 기본 개념이 적용되어 사출성형 CAE가 활용되어짐에 따라 사출성형 CAE 활용이 보편화 되었고 이것으로 인하여 단순한 성형 해석 데이터 제공이 아닌 높은 정확도의 성형해석 결과를 제공하기 위해 사출성형 CAE가 활용 되어야 한다.

Table 2에는 핸드폰 부품 개발 기준으로 제품 불량 단계와 플라스틱 제품 개발 단계라는 2가지 단계로 나누어 사출성형 CAE의 활용 방안에 대해 정리하였다.

Table 2 Important step-by-step use cases

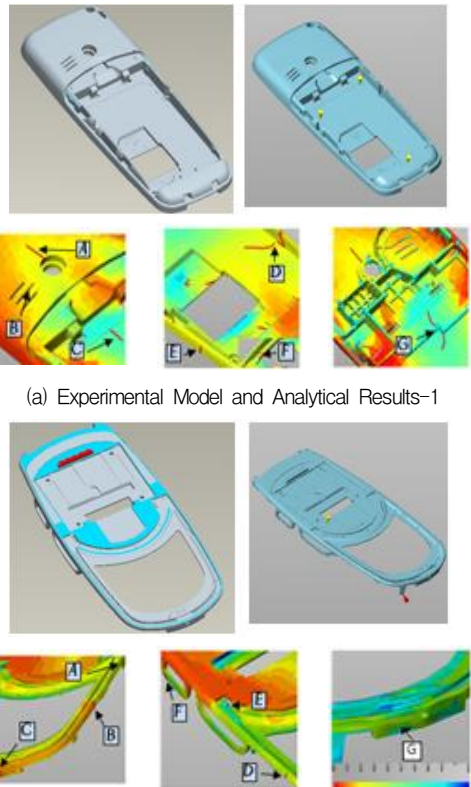
Step	Work content
Defective stage (initial)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avoid waste of time and money such as design changes, mold modifications, and repeated injections</li> <li>- Dimensional stability against shrinkage / deformation</li> <li>- Cause of defect and suggest improvement plan</li> <li>- Development history and database</li> </ul>
Development stage (after)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expected problem analysis before production</li> <li>- Optimal design proposal</li> <li>- Determination of molding method suitable for product specification</li> <li>- Raw Material Properties and Injectionability Review</li> <li>- Analyze past problems and suggest improvements</li> </ul>

초기 단계에서는 제품 성형 및 불량 발생단계에 접근이 용이하므로 사출성형해석의 많은 부분이 이 단계에 활용되었으며, 이후 단계에서는 플라스틱 제품 개발 단계에서의 활용을 통해 공정개선을 통한 개발 기간 단축이나 조기 품질 확보 등의 목적을 위해 사용되었다. 이러한 활동 방안을 통해 개발 초기 단계에서부터 최적의 설계 데이터를 도출하였으며, 실제 사출 결과와 해석 결과를 비교 분석하여 얻은 데이터를 신규모델 개발 시 활용하였다.

### 3.3. 사출 성형 CAE 데이터 활용 사례

사출 성형 CAE 사용이 보편화 되면서 제품 설계 전 성형해석 진행은 필수 요소가 되었고 얼마나 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있는지에 대한 관심이 높아지고 있다.

성형 해석을 통하여 최적의 게이트 수량, 위치, 러너시스템, 냉각시스템을 설계한 후 제품 설계를 하고 금형을 제작해도 사출 금형에서 피할 수 없는 웰드라인으로 인하여 제품 불량이 발생되고 이를 해결하기 위하여 또 게이트 수정 및 형상 변경 등의 수리 과정을 거쳐야하는 경우가 많이 발생되고 있다. 즉, 불량률을 줄이기 위해서는 TO 사출 결과와 성형 해석 데이터와의 비교 분석이 이루어 져야 한다.



(a) Experimental Model and Analytical Results-1  
(b) Experimental Model and Analytical Results-2  
Fig. 4 Molding Analysis Results (Resin : Polycarbonate)

Fig 4에서는 성형해석 결과에 맞춰 금형을 제작하고 실제 사출 제품과 비교해 보았다. 수지가 만나는 곳 즉 게이트가 2개 이상이거나 홀이 있을 경우 웰드라인은 무조건 발생되고 이는 성형해석 데이터에서도 쉽게 확인할 수 있다. 즉 성형해석 데이터는

일정 수준 이상의 정확한 정보를 제공하고 있다고 할 수 있는 것이다 다만 그걸 사용하는 사용자가 얼마나 성형해석 데이터를 잘 이해하느냐에 따라 불량 발생 확률은 달라질 수 있을 것이다.

Fig 4와 같은 데이터분석 작업을 6가지의 모델에 대하여 반복하여 진행하였고, 웰드라인이 발생하는 것으로 해석결과 나타나는 부위를 A~G까지 7개소를 선정하여 결과 값을 Table 3에 나타내었다. 이 때의 실험은 동일한 수치 및 제품군으로 분류하여 온도 와 압력, 사출속도 등을 비교한 결과 제품에서 문제가 발생하는 부위와 그렇지 않은 부위의 해석 결과가 매우 유사한 형태로 나타나지고 있었다. 즉, 동일 수치를 사용하고 형태가 유사한 경우 사전 구축된 데이터베이스를 통하여 단순 불량 발생 여부가 아닌 실제 제품에 문제를 발생 시킬 것인지 그렇지 않을 것인지를 판단하는데 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되어 진다. 피할 수 없는 불량의 경우 최소화 할 수 있는 위치로 유도하여 불량률의 수준을 낮추는 형태로도 활용 되어 질 수 있을 것이라고도 판단되어 진다.

Table 3 Analysis result

Location	(a) Experimental Model and Analytical Results-1		(b) Experimental Model and Analytical Results-2	
	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Temperature (°C)	Pressure (MPa)
A	275	110	295	139
B	308	130	295	115
C	310	85	220	88
D	283	95	296	125
E	170	65	295	107
F	250	80	278	110
G	223	80	223	88

Fig 4에 나타낸 데이터를 분석한 결과를 Table 4에 나타내었으며, 일반적으로 A부 보다 C부의 웰드라인이 문제가 될 것으로 판단되고 있으나, 실제 제품에서는 A부의 웰드라인이 문제가 되었고 이 때문에 금형 수정을 진행 한 것만 봐도 성형해석 데이터를 어떻게 이해하고 기타의 다른 조건 (가스발생, 수치유동속도) 들과의 상관관계에 대해서도 얼마나 깊이 있게 바라봐야 정확도를 높일 수 있는지 알 수

있었다.

Table 4 Start product test result

Step	Analysis location	Analysis result
Model-1	A	- Create a Weld line, Can be covered up with spray - Air vent Installation(Mold repair)
	B	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	C	- Create a Weld line
	D	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	E	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	F	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	G	- Create a Weld line, Can be covered up with spray - Backside only
Model-2	A	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	B	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	C	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	D	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	E	- Create a Weld line, Can't be covered up with spray - Allow Deco Assembly
	F	- Create a Weld line, Can be covered up with spray
	G	- Severe shrinkage - Product Geometry Modification Progress

### 3.4. 종합평가

Fig 4에 나타낸 것과 같이 성형 해석 데이터에서 보여주는 모든 불량률 전부 제품에 영향을 미치지 않으며, 웰드라인 뿐만 아니라 성형 해석 시 보여주는 모든 불량률에 대해서도 충분히 데이터 베이스화 할 수 있으며 이러한 데이터를 근거로 사출 후 제품에 문제를 일으킬 수 있는 요인이 될 것인지를 보다 정확하게 예측할 수 있게 되는 효과를 얻을 수 있을 것이다 즉, 앞으로 개발되어지는 신규 모델에 경우 동일 수치를 사용하고 유사한 형태의 제품군일 경우 축적된 데이터를 활용하여 성형 해석 결과가 보여주는 불량률 중 실제 제품 불량률로 나타나는 불량률은 어느 것인지를 식별해 낼 수 있다면 분명 제품 개발 기간 단축뿐만 아니라 제품 품질까지 향상시키는 중요한 데이터가 될 것이다.

성형 해석 프로그램의 경우 프로그램 성능을 좌우하는 것이 정확도이기 때문에 실제 제품에 나타나지 않을 수 있는 불량 유형들도 식별 없이 모두 표현하고 그 중 제품에 불량률로 나타나는 것과 일치시키고 정확도가 높다고 하는 경우가 많은 것 같다.

무분별한 데이터 속에서 나에게 필요한 데이터를 발췌하여 활용할 수 있는 능력을 키워야하고 그러한 능력을 키우기에 좋은 방법이 될 수도 있을 것이다.

#### 4. 결론 및 토의

성형 해석 데이터의 경우 실제 사출 제품을 완벽히 표현하기는 불가능하다. 그 이유는 성형해석 프로그램의 경우 실제 가공 되어진 금형의 표면 거칠기를 반영하지 않고 있을 뿐만 아니라 실제 사출 현장의 조건을 절대 완벽히 반영할 수 없기 때문이다.

실제 현장에서 사출기를 향온·향습실에 설치하고 사출 생산하는 업체가 얼마나 있을 것인지 알 수 없지만, 최소한 지금 금형 업체의 현실에는 매우 어려운 것이 사실이다. 그렇다면 더욱이 각 업체의 사출 환경과 금형 가공 기술에 따른 표면 거칠기를 감안한 실제 제품에 발생된 불량 유형과 해석 프로그램에서 보여주는 데이터와의 차이를 데이터 베이스화 하는 작업은 해석 프로그램의 활용을 극대화하고 보다 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 절대 필요한 작업인 것이다.

전혀 다른 제품군의 경우 적용이 어려울 수도 있지만 이러한 데이터베이스구축 작업은 절대 게을리해서는 안 될 것이다. 이러한 작업들을 반복하고 학습하다 보면 형상이 완전히 다른 제품군의 경우도 보다 정확하게 문제점을 도출하고 보다 빠르게 해결 하는데 분명한 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 특정 제품에 한하여 데이터를 확보하였기에 그 효과는 한정적이라 생각할 수도 있으나 이러한 방법은 다양한 제품군에 충분히 적용할 수 있을 것이라 생각한다. 또한, 신규 제작될 금형의 표면 거칠기를 성형 해석 프로그램에 접목하

고, 업체의 사출 환경을 수식으로 입력할 수 있는 성형해석 프로그램을 개발시키는 연구가 이루어져야 할 것이다. 이러한 데이터들이 해석 프로그램에 반영되어 진다면 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 데이터를 얻을 수 있을 것이고 누구나 손쉽게 정확한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- 1) Chang, H. P., Pyo, B. G., Koo, M. S. and Choi, D. H., "Design Optimization of Injection Molding Parts for Minimizing Injection Pressure and Preventing Weldlines", KSAE Annual Conference pp. 2553-2559, 2009.
- 2) Park, Y. J., Chun, Y., Park, C. S., "The Application of Injection Molding Analysis in Automotive Development Process", KSAE Annual Conference pp. 1980-1984, 2006.
- 3) Gil, M.H., "A Study on the effective use of design system being introduced", KSI, Vol2., pp. 98-106
- 4) Chang, H. H., Himasekhar, k., Santhanam, N. and Wang, K. K., "Integrated Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in Injection Molding for Shrinkage and Warpage", J. Eng. Master. Tech., Vol . 115. pp. 33-47, 1993.
- 5) Park, K., Ahn, J. H. and Choi, S. R., "Optimal design for Injection Molding Process using design of experiments and finite element analysis", CAE and Related Innovations for Polymer Processing. IMECE, Orlando, USA, pp. 63~74, 2000.