

# 사출성형 조건 설정 지원시스템 구축

백재용<sup>#</sup>, 이일량<sup>\*</sup>, 김보현<sup>\*</sup>

## Construction of a Support System for Determining the Condition of Injection Molding

Jae Yong Baek<sup>#</sup>, Il Lang Yi<sup>\*</sup>, Bo Hyun Kim<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

The set-up of an injection molding process is a very complicated and time-consuming job because it is required to well determine a lot of variables closely related to products. Thus, the productivity of the set-up process mainly depends on operators' expertise and know-how. To solve the problem mentioned before, this research constructs a support system which helps operators determining the condition of the injection molding easily and systematically. The construction of the support system consists of the following four steps: 1) to determine the control variables which affect the target defect types, 2) to design and implement UI(user interface) using a scenario of set-up process, 3) to design and implement the search algorithms for the initial and optimal condition, and 4) to construct the embedded system which integrates the support system with the operating system of a plastic injection molding machine. The test experiments of some typical products are performed using the embedded system to verify the validity of the support system.

**Key Words** : Injection molding(사출성형), Support system for determining injection molding condition(SSDIMC:사출 성형조건설정지원시스템구축), Initial and optimal condition(초기 및 최적조건)

### 1. 서론

사출성형 공정은 복잡하고 정밀한 형상의 제품을 저렴하게 대량 생산할 수 있다는 장점에 가장 널리 사용되는 생산기술 중의 하나이다. 그렇지만 사용되는 수지의 종류가 제조회사에 따라 다양하고 금형의 설계자 및 사출 성형기의 기종에 따라 성형조건이 다양하게 설정되어 생산공정에 익숙하지 않은 작업자일 경우에는 쉽게 조건 설정을 하지 못하여 숙련공에 의존하는 경우가 많

다. 이러한 사출성형기법을 분석하여 숙련된 작업자가 없는 환경에서도 쉽게 공정이 수행되도록 많은 연구가 시도되고 있는데 크게 세 가지 분야로 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째 분야는 성형해석에 관한 내용으로 용융된 수지가 금형에 유입되어 냉각되는 과정에서 상대적으로 낮은 온도의 금형 표면과 고온의 용융된 수지 사이에서 발생하는 전단응력을 분석하여 제품의 형상변형에 대한 원인을 분석하고 이를 제거할 수 있도록 금형의 설계요소를 개선시키는 분야

\*\*\* 접수일: 2004 년 1 월 15 일; 게재승인일: 2004 년 11 월 19 일

# 교신저자: 한국생산기술연구원 지능형생산정보팀

E-mail jybaek@kitech.re.kr Tel. 041 - 589 - 8457

\* 한국생산기술연구원 지능형생산정보팀

가 그 한 예이다.<sup>14</sup> 둘째 분야는 사출조건을 설정하는데 필요한 파라미터와 성형품과의 상관관계에 대한 연구이다. 수지 용융온도, 금형온도, 사출압력, 사출속도, 보압 및 보압시간 등의 사출공정변수의 설정 조건에 따라 생성된 성형품의 결과를 분석하는 연구로 1990 년대에 국내에서 활발히 연구가 진행되었다.<sup>5-9</sup> 마지막 한 분야는 숙련된 작업자의 노하우나 경험데이터를 기반으로 다양한 기법들을 활용하여 사출공정을 최적화할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구이다.<sup>10-14</sup> 신경망(neural network), 퍼지(fuzzy), 유전자 알고리즘 등의 다양한 기법들이 활용되어 사출공정에 관한 통합 모델을 소개하였지만, 실제 현장에서 활용될 수 있는 시스템의 개발사례는 거의 알려져 있지 않다.

본 연구의 목적은 일반적인 사출공정이 수행되는 업무흐름에 따라 복잡한 성형해석을 거치지 않고 초보자가 쉽게 성형조건을 설정하고 이해할 수 있도록 조연자 역할을 하는 지원시스템 구축에 있다. 이를 위해 사출현장에서 가장 빈번히 발생하는 불량유형과 이를 제거할 수 있는 방법을 소개하고 민감도 분석을 통하여 사출공정을 통제하는 제어변수의 우선순위(priority)를 부여하여 상황에 맞는 알고리즘을 개발하였다. 또한 사출현장에서 이루어지는 업무 시나리오를 작성하여 시스템 사용자가 쉽게 사용 가능한 MMI(man machine interface)를 설계하고 구현하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 사출공정을 수행하는 작업자에게 가이드라인(guideline)을 제공할 것이다. 개발된 시스템은 현재 상용화되어 있는 사출성형기(MS-120: 우진세렉스)에 시스템을 장착하여 실제 시사출 과정을 수행하여 실제 작업현장에서 이용 가능한 기여부를 확인하였다.

## 2. 사출성형 조건 설정 지원 시스템

본 연구에서 개발된 사출성형 조건설정 지원 시스템을 개발하는 과정이 Fig. 1 에 잘 나타나 있다. 먼저 시스템에서 다루고자 하는 불량유형을 정의하고 발생원인을 분석한 다음, 대상 불량유형에 대한 공정 제어변수를 선택하였다. 사출성형기에 장착하기 위해 공정 시나리오(process scenario)를 작성하고 분류체계도(WBS: work breakdown structure)를 통하여 사용자 인터페이스를 체계적으로 설계/구현하였다. 다음 단계에서는 대상 불량

유형과 공정 제어변수의 상관관계를 이용하여 사출성형 조건 설정 알고리즘을 개발하였다.

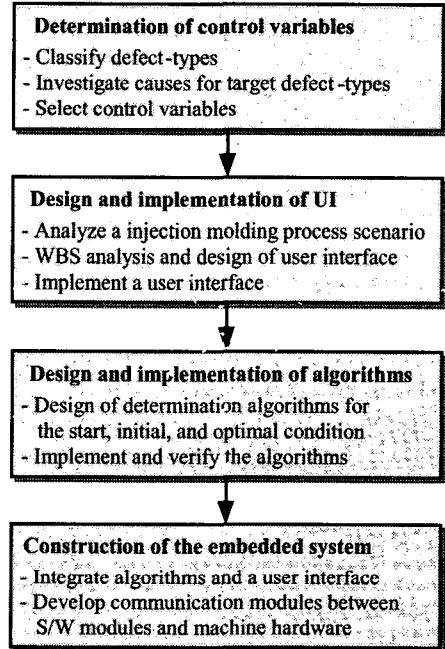


Fig. 1 Development process of an embedded system

마지막 단계에서는 알고리즘과 사용자 인터페이스가 통합된 사출성형 조건설정 지원시스템을 완성하고, 데이터 연동을 위한 통신 및 제어기능을 개발하여 사출성형기에 장착하였다.

본 연구에서는 사출성형 조건설정 과정을 크게 시작조건 부여단계, 초기조건 설정단계, 최적조건 설정단계의 세 단계로 나누어서 접근하였다. 각 단계의 수행내용 및 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 시작조건 부여단계: 사용수지, 기계, 제품 및 금형정보로부터 사출성형 공정의 시작조건을 결정하는 단계로, 동일한 수지라도 생산업체에 따라 소재의 물성이 다르게 나타나기 때문에 업체의 노하우나 축적된 실험데이터를 이용하여 시작조건을 계산한다.

② 초기조건 설정단계: 시작조건에서 출발하여 최초의 양품이 나올 때까지 성형조건을 탐색한다. 제어변수를 한꺼번에 조정하면 성형품의 불량형태가 너무 다양하게 나타나기 때문에 각 제어변수를

독립적으로 조정하면서 초기조건을 설정한다.

③ 최적조건 설정단계: 초기조건에서 출발하여 약간의 변동 상황에 대해서도 양품이 계속적으로 생산될 수 있는 보다 안정적인 성형조건을 찾는 과정으로 체계적인 접근방법이 필요하다.

### 2.1 불량유형에 따른 원인분석 및 제어변수의 설정

사출공정이 진행되는 동안 발생 가능한 불량 유형은 다양하다. 이러한 불량유형은 동일한 원인에 의해서 발생하기도 하고 서로 상반된 관계를 갖기도 한다. 예를 들어 은줄이나 플로우마크는 유사한 원인에 의해서 발생하여 하나의 불량을 제거하다 보면 다른 불량이 감소하기도 한다. 또한 미성형과 플래시는 서로 상반된 원인으로 발생하여 미성형을 제거하는 과정에서 플래시가 발생하기도 한다. 그러나 이러한 일반적인 관계가 항상 이루어지는 것은 아니다. 제품 형상에 따라 과도한 사출압력에도 제품의 끝단에는 적절한 압력전달이 이루어 지지 않아 게이트 주변에는 플래시가 발생하고 제품의 끝단에는 미성형이 발생하기도 한다. 위와 같은 경우에는 금형에 게이트를 추가하는 설계변경을 필요로 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템은 사출조건 설정을 지원하는 시스템으로 금형설계의 문제점까지 고려할 수는

없다. 그러므로 설계된 금형은 Try-out 과정에서 수정이 이루어졌다고 가정하고 본 시스템은 Table 1 과 같이 사출현장에서 통상적으로 이용하는 해결 방안을 토대로 알고리즘을 개발하였다. 사출공정에서 가장 빈번히 발생하는 미성형, 플래시, 싱크마크 세 가지 불량유형을 선택하여 불량원인을 제거하고 양품을 성형하는 것을 목표로 하여 초기조건 설정단계에서는 세 가지 불량유형 중 미성형과 플래시가 발생한 경우에는 사출압력과 스트로크량, 사출속도를 제어변수로 선택하고 싱크마크가 발생한 경우에는 보압, 보압시간을 제어변수로 설정하여 불량을 제거한다. 싱크마크의 경우에도 사출압력에 의해 불량을 제거할 수도 있지만 미성형과 플래시의 불량을 제거하면서 양품을 생성하기 위한 사출압력이 95%이상 결정되었다고 가정하여 싱크마크의 경우에는 보압과 보압시간만으로 불량을 제거한다. 초기조건을 거쳐 보다 안정적인 제품 양산을 위한 최적조건 설정단계에서는 사출속도, 보충압력, 스트로크 량을 제어변수로 선택하였다. 여기서 사출압력과 보압시간이 제외된 이유는 스트로크가 증가하면 캐비티 내에 전달되는 사출압력이 증가되는 효과를 볼 수 있기 때문에 사출 스트로크만을 최적조건 설정의 제어변수로 선택하였고, 보압시간의 경우에는 최적조건설정 제어변수에 적합하지 않다고 판단되어 제거되었다.

Table 1 Solution of defect type

불량유형	발생원인	해결방안
미성형 (Short Shot)	수지가 금형 내 유입량이 작음	사출압력을 높이거나 수지계량(스트로크)을 늘림
	수지의 유동성이 낮음	수지온도를 올리거나 금형온도를 높임 사출시간이 부족한 경우에는 사출속도를 증가시킴
	캐비티, 스프루, 런너에서 수지의 유동저항이 큼	스프루, 런너, 게이트 단면적을 늘리고 유동길이를 감소시키거나 게이트의 위치를 변동하여 수지흐름을 통케
플래시 (Flash)	수지 충전 과다	수지계량을 줄임
	수지의 유동성이 큼	수지, 금형온도를 낮추고 사출압력과 속도를 낮춤
	금형의 체결 문제	금형 내의 이물질 등을 확인하고 금형의 평행도, 다듬질 등을 점검, 또한 금형 체결력을 높이고 사출압력을 높임
싱크마크 (Sink Mark)	수지량의 문제	수지 계량을 늘리거나 사출압력과 보압을 증가
	냉각시간의 문제	금형온도를 낮추고 냉각시간을 늘림
	수지가 냉각과정에서부피 변화가 큼	수지온도를 낮추고 첨가제를 이용(무기질 재료: 유리섬유 등)
	성형품의 치수문제	리브를 금형설계에 추가하거나 두께방향의 치수를 줄임

### 2.2 사용자 인터페이스 설계 및 구현

시스템을 개발하기 전에 대상 업무흐름을 정확하게 파악하고 사용자가 시스템을 편하게 사용할 수 있는 인터페이스를 설계 및 구현해야 한다. WBS 를 이용하여 사출 성형조건을 설정하는 업무를 정리하였는데, Fig. 2 에는 사출성형 공정업무의 마지막 단계인 최적조건 설정단계의 WBS 를 도식화한 것이다. WBS 를 바탕으로 사용자 인터페이스를 설계하고 구현하였는데, Fig. 3 에는 설정된 사출압력과 속도에 관한 프로파일을 확인할 수 있는 인터페이스의 한 예가 나타나 있다.

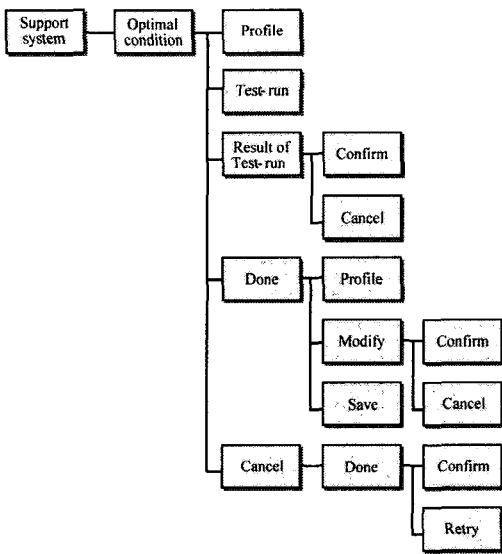


Fig. 2 WBS for determining optimal condition

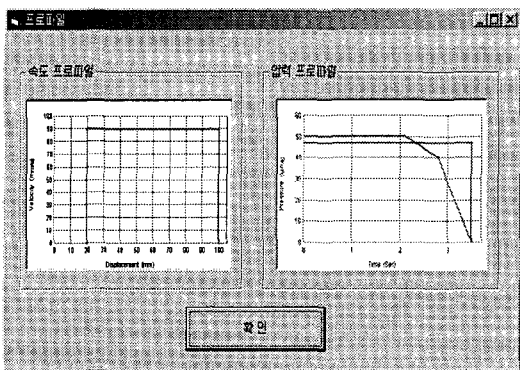


Fig. 3 An example of UI

### 2.3 사출조건 설정 알고리즘의 설계 및 구현

본 연구에서는 각 단계별로 사출조건 설정 알고리즘을 설계하고 구현하였는데, 이는 각 단계의 업무내용과 공정 제어변수가 다르기 때문이다. Fig. 4 에는 전체적인 관점에서 사출조건 설정 업무의 흐름이 나타나 있는데, 작업자의 피드백 정보 (feedback information: 성형품의 불량유형 및 정도 정보)가 전체 업무흐름에서 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 작업자의 피드백 정보를 효율적으로 반영할 수 있도록 각 단계별 알고리즘을 구분하여 상황에 맞도록 구현하였다.

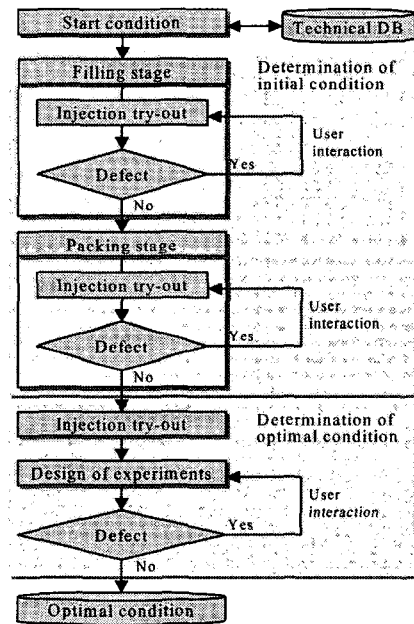


Fig. 4 Work flow of determining injection condition

그러나 성형품의 결과를 판단하는데 작업자의 숙련도와 경험과 같은 주관적인 요소가 크게 작용하기 때문에 시스템 이용에 제한요소로 작용한다. 본 연구에서 사용자 정보를 받아들이는 과정에서 사출성형품의 판독에 대한 정보가 매우 중요하기 때문에 정확한 불량유형에 대한 선택이 필요하다. 이를 위해 10 년 이상의 현장 경험을 지닌 사출성형 전문가가 성형결과를 판정을 하여 육안으로 바로 확인이 가능한 경우에 불량유형을 '대'로, 그렇지 못한 경우에 '소'를 적용하였다. 또한 양품이

생성되었을 때의 중량(100%)을 기준으로 80% 미만일 경우에는 불량정도 선택을 '대'로, 90% 미만일 경우 '중', 95% 미만일 경우 '소'를 적용하였다.

### 2.3.1 시작조건 설정

제품의 용도 및 사용환경에 따라 결정되는 수지종류와 성형품 형상에 대한 CAD 데이터를 이용하여 시작조건을 설정하였다. 수지 제조업체가 추천하는 수지 가열온도, 배압, 금형온도 등을 DB화 하여 선택된 수지에 대한 사출조건을 설정하도록 하였다. 또한 금형설계 자료를 바탕으로 제품의 부피를 산출하여 사출스트로크를 계산하고 제품의 두께를 고려하여 사출압력 및 속도, 냉각시간을 설정하였다. 본 연구에서 사용된 수식은 '사출성형기술(한국생산기술연구원, 2001)'에서 소개된 내용을 토대로 구성하였다.<sup>15</sup>

$$L_S = \frac{Vol_{cavity}}{\pi \left(\frac{d_S}{2}\right)^2} \quad (1)$$

$$P_F = K_F \times K_S \times f_W \quad (2)$$

$$T_{cool} = \frac{K_S^2}{\pi^2 \times a_{eff}} \ln \left( \frac{4}{\pi} \times \frac{T_m - T_w}{T_e - T_w} \right) \quad (3)$$

$$V_{in} = \frac{4 \times Vol_{cavity}}{\pi \times d_S^2 T_{inject}} \quad (4)$$

여기서,  $L_S$  는 스트로크,  $Vol_{cavity}$  는 캐비티부피,  $d_S$  는 스크류 직경이고  $P_F$  는 사출압력,  $K_F$  는 유동계수,  $K_S$  는 평균두께,  $f_W$  는 최대유동거리이다. 또한  $T_{cool}$  은 냉각시간,  $a_{eff}$  는 유효열확산계수,  $T_m$  은 수지온도,  $T_e$  는 이젝팅온도,  $T_w$  는 금형온도이고  $V_{in}$  은 사출속도,  $T_{inject}$  는 충전시간이다. 사출압력을 기준으로 80%를 보압으로 설정하고, 보압시간은 제품의 형상에 관계없이 5sec를 부여하여 최초 사출조건을 설정한다. Table 2는 본 연구에 사용된 수지별 유동계수를 나타낸다. 시작조건으로 설정된 사출압력은 금형 게이트형상이나 내부의 구조를 고려하지 않은 값으로 실제 필요한 압력보다 부족하게 설정되어 초기조건 설정단계에서 최초발생불량을 미성형으로 유도하는 효과를 줄 수 있다. 이를 이용하여 초기조건을 충전단계(filling stage)와 보압단계(packing stage)로 구분하여

미성형과 플래시에 대한 불량유형을 먼저 제거하고 다음단계에서 싱크마크를 제거하도록 단계별 불량유형에 대한 독립적인 알고리즘을 설계하였다.

Table 2 Flow rate of resin material

Material	$K_F$	Material	$K_F$
ABS	2.0	PES	3.7
PE	1.8	PMMA	1.8
PAG	2.0	POM	2.4
PA 66 + GF	2.4	PP	1.2
PBTP	2.0	PPO	1.9
PBTP + GF	2.3	PPO + GF	3.2
PC	3.3	PS	1.2
PC + GF	3.7	SAN	1.8

### 2.3.2 초기조건 설정

도광판 제품을 이용하여 양품이 생성될 때의 조건에서 각각의 제어변수에 변화를 주어 시사출을 수행한 후 각 조건에서 생성된 사출품의 중량 변화량을 계산하여 불량유형별 제어변수의 우선순위를 결정하였다. Table 3은 제어변수의 설정값 및 그때의 조건에서 생성된 중량평균과 감소량을 나타낸다. 여기서 보압시간이 80%에서 60%로 감소할 때 성형품 중량이 다소 증가하였는데 이는 수작업으로 기계에서 성형품을 분리하는 과정에서 이물질이 포함되거나 측정상의 미세한 오차가 발생한 것으로 판단된다.

Table 3 Weight variation of control variable

Ratio	Injection velocity	Injection pressure	Packing pressure	Packing time	Injection stroke	
100%	21%	94bar	56bar	5.5sec	25.8mm	
Weight (Variation)	29.84g (0.0%)	29.84g (0.0%)	29.84g (0.0%)	29.84g (0.0%)	29.84g (0.0%)	
80%	Variable	16.8%	75.2bar	44.8bar	4.4sec	20.6mm
	Weight (Variation)	29.76g (-0.3%)	26.37g (-11.6%)	29.64g (-0.7%)	29.52g (-1.0%)	27.38g (-8.2%)
60%	Variable	12.6%	56.4bar	33.6bar	3.3sec	15.4mm
	Weight (Variation)	27.49g (-7.9%)	15.22g (-49.0%)	29.52g (-1.1%)	29.55g (-0.9%)	21.49g (-28.0%)

불량유형에 대하여 사출압력과 스트로크량을 제어변수의 major factor 로 결정하고 상대적으로

덜 민감한 사출속도, 보압, 보압시간을 minor factor 로 정하여 시스템에 필요한 알고리즘을 설계하였다. Fig. 5 와 같이 충전단계에서는 미성형과 플래시를 대상으로 각 불량률이 단독으로 발생할 경우와 중복불량이 발생할 경우로 구분하여 미성형이 발생할 때 스크류가 보압절환위치까지 도달하지 못하는 경우에는 사출압력을 증가시키고 그렇지 못한 경우에는 사출스트로크와 사출속도를 통하여 불량을 제거하도록 하였다. 이와 반대로 플래시는 사출스트로크와 속도를 감소시켜 불량을 제거한다. 또한 미성형, 플래시 중복불량인 경우에는 초기조건 설정횟수를 카운트하여 설정횟수 5 회 미만에 중복불량이 발생한 경우에는 금형상의 문제로 판단하여 본 연구에서 개발된 시스템의 문제해결능력에 부담을 줄였다. 보압단계에서는 싱크마크 불량을 추가하여 불량을 제거한다.

축공간에서 각각의 제어변수에 일정한 변화량 ( $\pm \Delta$ )을 주어 8 회 의 시사출을 수행하고 발생한 불량정보를 사용자 입력을 통하여 받아들여 새로운 사출조건을 설정한다.

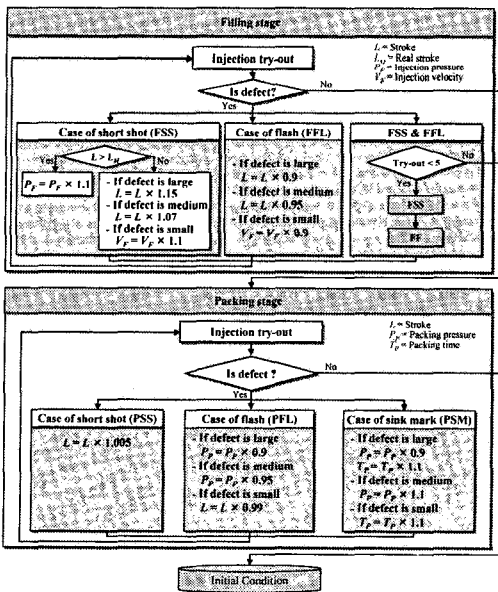


Fig. 5 Overall flow of determining initial condition

2.3.3 최적조건 설정

본 연구에서는 최적조건을 설정하기 위해 직교배열법에 의한 실험계획법에 따라 시사출을 수행하고 그 결과를 바탕으로 보다 안정적인 새로운 사출조건을 설정하도록 유도하였다. Fig. 6 과 같이 사출속도, 보압, 사출 스트로크로 구성된 가상의 3

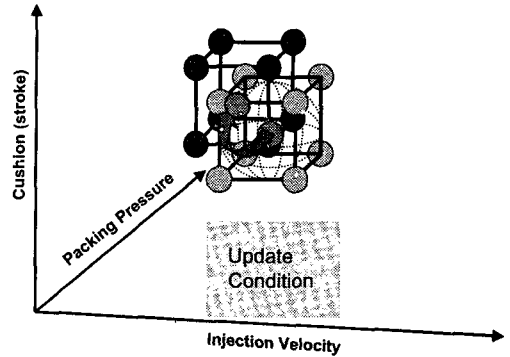


Fig. 6 Overall flow of determining optimal condition

Fig. 7 에는 최적조건 설정단계의 흐름도가 나타나 있는데, 적용된 두 가지 방법의 기본적인 차이는 성형조건을 개선하는 방법에 있다.

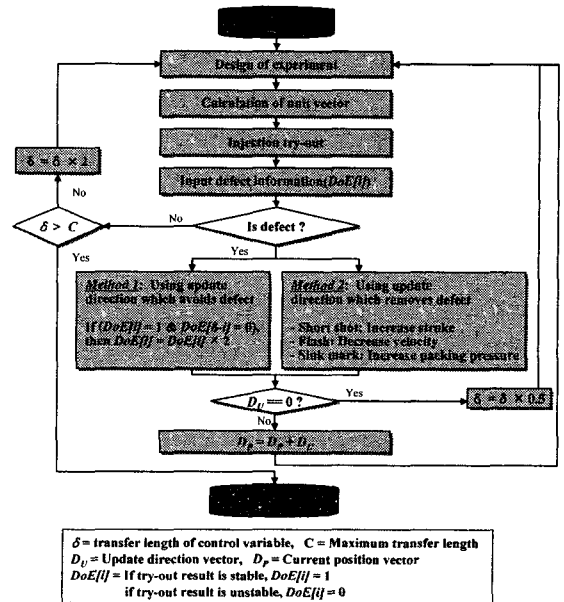


Fig. 7 Overall flow of determining optimal condition

첫 번째 방법은 불량유형에 관계없이 불량 발생되지 않는 방향으로 새로운 성형조건을 설정하는 방법이다. 실험계획법에 의해 8 회의 시사출을 수행한 후 불량 발생되지 않은 방향벡터에 가중치를 부여하고 합산하여 설정조건을 개선하기 위한 새로운 방향벡터를 계산한다. 이렇게 산출된 방향벡터를 이용하여 사출조건을 설정한다. 이 방법은 불량유형을 고려하지 않기 때문에 설정과정에서의 수렴속도가 느리다는 단점이 있지만, 현재 사출조건에서 다루지 않는 불량유형이 발생하더라도 발생원인이 사출속도, 보압, 사출스트로크와 밀접한 관계가 있다면 불량이 제거될 가능성이 있으며 사출성형 공정이 아닌 다른 생산시스템에도 손쉽게 이식이 가능하고 응용범위가 넓다는 장점이 있다.

두 번째 방법은 초기조건에 관련된 로직을 발전시켜 불량을 없애는 방향으로 보다 안정적인 사출조건을 탐색하는 과정이다. 시사출 결과 미성형이 발생하면 사출스트로크가 증가하는 벡터 성분을 조합하고, 플래시인 경우에는 사출속도를 감소시키는 벡터 성분을 조합하며, 싱크마크의 경우에는 보압이 증가되는 벡터를 조합하여 새로운 성형조건을 설정을 위한 방향벡터를 생성한다. 생성된 새로운 방향벡터는 사출조건 생성에 적용된다. 이러한 기법은 시사출 결과에서 불량유형을 고려하므로 첫 번째 방법보다 최적조건에 수렴하는 속도가 빠르지만 다른 불량유형에 대해서는 응용이 불가능하고 불량유형 상호간에 교호작용이 있을 경우에는 시스템이 불안정하다는 단점을 가지고 있다.

## 2.4 통합 시스템의 구축

일반적인 사출 성형기는 사용자가 직접 개별 공정 제어변수 값을 입력하는 방식으로 사출 성형조건을 설정한다. 따라서 지금까지 개발된 성형조건 설정 지원시스템을 사출 성형기에 장착하여 통합적으로 운영하기 위해서는 사출 성형기의 동작 상태를 모니터링하는 기능과 각종 기계 파라미터를 실시간으로 변경 및 조정할 수 있는 고속 통신 기능을 갖춘 사출 성형기의 운영프로그램의 개발이 필요하다. 통합시스템 구축을 위한 데이터 통신은 다음과 같은 과정을 통하여 이루어진다. 성형조건 설정 지원시스템에서 사출성형 공정을 준비하기 위한 공정변수 제어관련 데이터 전송을 완

료하면, 사출기 운영 프로그램은 사출 성형기의 동작 상태를 감시하기 위한 모니터링 모드로 전환한다. 모니터링 모드에서 운영 프로그램은 사출 성형기의 동작 상태, 경보 상태 및 각종 기계제어 정보를 사출 성형기로부터 받아서 통제 관널에 표시한다. Fig. 8 은 통합 시스템 구축에 필요한 사출 성형기와 운영프로그램 간에 송수신되는 통신 내용을 개략적으로 표시하고 있다. 여기서 사출 성형기와 운영 프로그램 사이에는 많은 양의 데이터가 송수신되기 때문에 원활한 사출 성형기의 모니터링을 위해서는 통신의 우선순위를 조정하고 전송시간을 단축할 필요가 있다. 모니터링 도중에 사용자가 공정 제어변수를 변경하는 경우에는 데이터 전송을 잠시 멈추고 제어변수 변경에 관련된 데이터의 송수신을 먼저 수행한 다음, 사출 성형기의 모니터링을 다시 실행한다.

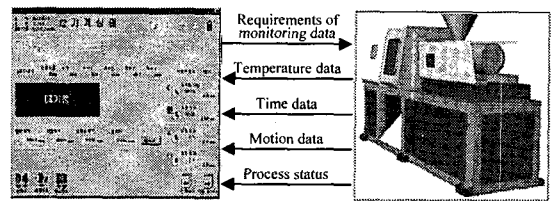


Fig. 8 Data communication of plastic injection molding machine

## 3. 시험 적용 및 문제점

사출성형 조건설정 지원시스템의 성능 테스트를 위하여 Fig. 9 와 같은 바타입 제품과 Fig. 10 의 밀폐용기 덮개를 이용하여 사출전문가의 성형과정과 Mold Flow 사의 MPX 설정조건과 비교하였다. 초기조건 설정까지의 반복횟수를 통하여 양품생성 조건 탐색에 걸리는 시간을 비교하고, 최적조건 설정에서는 안정화 범위(현재 공정제어 변수 값으로부터 양품이 생성될 수 있는 변수 값의 범위)를 산출하여 보다 안정적인 사출조건을 판단하였다. 바타입 금형의 경우, 게이트에서 성형품 끝단까지의 수지 유동거리가 멀어서 쉽게 싱크마크가 발생하기 때문에 이를 제거하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 실험에서 10년 이상의 현장경험을 보유한 사출성형 전문가는 총 8 회의 반복 시사출에서 싱크 마크의 불량을 제거한 반면에 본 연구에서

개발된 시스템은 6 회 만에 싱크마크가 없는 양품을 생산하였으며, Moldflow 사의 MPX 는 3 회 반복횟수 만에 양품을 생산하였다. 시사출의 시작조건을 어떻게 설정하는가에 따라 초기조건을 탐색하는 회수는 크게 달라진다. 즉, MPX 는 그동안 축적된 경험과 해석데이터를 이용함으로써 보다 신뢰성 있는 시작조건을 설정할 수 있어 쉽게 양품이 생성되는 조건을 탐색하였지만, 사출성형 전문가의 현장 경험이 많아 다양하고 복잡한 불량에 대한 대응능력은 우수하지만, 단일 불량에 대한 대응방법이나 체계적이고 객관적인 시작조건을 설정할 수 있는 능력은 부족하여 비교적 많은 시도횟수 만에 양품을 생성하였다.

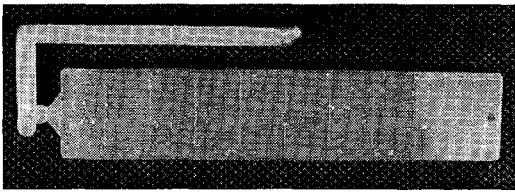


Fig. 9 An image of bar-type product

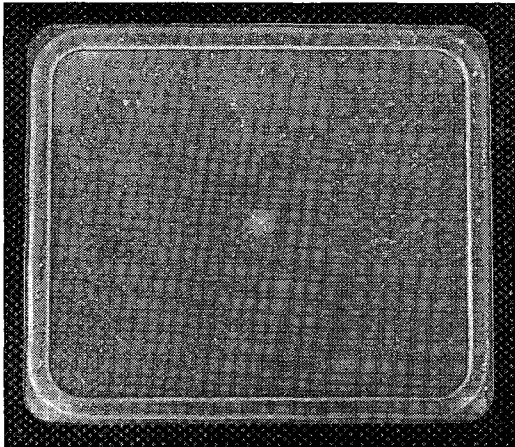


Fig. 10 An image of airtight box's lid

최적조건 설정단계에서 방법 I(불량이 없는 방향으로 성형조건 개선)은 4 번의 반복횟수, 방법 II(불량을 없애는 방향으로 성형조건 개선)는 3 회 반복횟수 만에 안정된 성형조건을 탐색하였다. 여기서 방법 I 에서 탐색된 성형조건의 안정화 범

위가 10%이고, 방법 II 에서 탐색된 성형조건의 안정화 범위는 5%이다. MPX 는 2 회 반복회수 만에 안정된 성형조건 탐색을 탐색하였지만, 공정 제어변수들의 안정화 범위는 개발된 시스템에 비해 작은 것으로 나타났다. MPX 는 각각의 공정 제어변수에 대해서 서로 다른 탐색증분(searching gradient)을 사용하고 있기 때문에 안정화 범위도 다르게 나타난다(Table 4 참조).

밀폐용기 덮개 금형은 사출 게이트 직경이 0.5mm 로 작아서 핫러너(hot runner)를 이용하여 사출공정을 수행한다. 이러한 금형의 경우에는 충분한 사출압력이 설정되어야만 게이트를 통과하여 수지를 캐비티내에 유입시킬 수 있다. 실험결과, 사출성형 전문가는 총 6 회 반복회수, 개발된 시스템은 4 번의 반복회수, MPX 는 2 번의 반복회수 만에 초기조건에 도달하였다. 여기서 MPX 는 2 번의 반복시도만으로 초기조건에 도달하였지만, MPX 는 시작조건에서 설정된 사출압력을 수정할 수 없어 사출압력이 부족한 채로 초기조건 설정이 이루어졌다(사출공정이 잠시 멈추는 경우에는 성형품 생성이 불가능하다 계속 사출공정을 진행하는 경우에는 양품이 생성됨). Table 5 는 사출성형 전문가, 개발된 시스템, MPX 에 의해 수행된 밀폐용 덮개의 초기조건 설정과정이 잘 나타나 있는데, 여기서도 MPX 는 보다 좋은 시작조건을 설정하였기 때문에 적은 반복 횟수만으로도 초기조건에 도달한 것으로 예측된다.

본 연구에서 개발된 시스템으로 최적조건을 탐색한 결과, 방법 I 은 8 번의 반복회수, 방법 II 는 3 번의 반복회수 만에 안정된 성형조건에 도달하였다. 방법 I 은 반복회수는 많았지만 본 연구에서 고려하지 않았던 불량유형인 냉각과정에서 발생한 성형품의 휨 현상을 어느 정도 해결할 수 있었다. 성형품이 휘는 현상은 본 연구에서 다루고 있는 제어변수인 사출스트로크, 사출속도 및 보압과 밀접한 관련이 있어 불량이 없는 사출조건영역으로 이동하는 과정에서 휨 불량이 조금씩 개선된 것으로 해석되었다.

방법 II 는 방법 I 보다 빠른 수렴속도를 나타내었지만, 성형품의 휨 현상에 대해서는 해결이 불가능하였고, 방법 I 보다 안정적인 사출조건을 탐색하는 최적조건 설정과정에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.



Table 4 Stable range of SSDIMC and MPX

Classification		Iteration	Stable range				
			Injection velocity	Packing pressure	Injection stroke	Packing time	Cooling time
Developed system	Method I	4 회	10%	10%	10%	10%	10%
	Method II	3 회	5%	5%	5%	5%	5%
MPX		2 회	1%	5%	1.5%	8%	10%

Table 5 Process of setup initial condition

Classification	Iteration	Defect type	Control variable	Process
Human expert	1	Short shot	Injection velocity, Injection pressure	10 % ↑ 10 Bar ↑
	2	Short shot	Injection pressure	10 Bar ↑
	3	Short shot	Injection stroke	10 mm ↑
	4	Flow mark	Injection velocity, Injection pressure	15 % ↑ 5 Bar ↑
	5	Flow mark	Injection velocity	5 % ↑
	6	Flow mark	Injection velocity	5 % ↑
Developed system	1	Short shot	Injection stroke	15 % ↑
	2	Short shot	Injection stroke	15 % ↑
	3	Short shot	Injection stroke	15 % ↑
	4	Sink mark	Packing pressure	10 % ↑
MPX	1	Short shot	Injection stroke	15 % ↑
	2	Sink mark	Packing pressure	7 % ↑

사출성형 조건설정 지원시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 Mold Flow 사의 MPX 와 같이 사용되는 수지에 대한 보다 정확한 정보를 축적하여 DB 화하고 제품의 CAD 데이터를 직접 입력 받거나 정확한 부피계산을 위한 추가 알고리즘 개발이 필요하다. 초기조건 알고리즘에서도 불량유형을 추가하여 다양한 상황에 대처가 가능하도록 노력해야 할 것이며, 또한 최적조건에 대한 알고리즘에 대해서도 방법 II 에 대한 보완 및 두 가지 방법을 융합한 형태의 연구가 필요하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 재료, 제품 및 기계 데이터를 이용하여 시작조건을 설정하고, 사출공정에 대한 업무 흐름 및 사용자 인터페이스를 고려한 사용자 입력정보를 이용하여 초기조건 및 최적조건을 설정을 지원하는 사출성형 조건설정 지원시스템을 구축하였다. 개발된 지원시스템은 사출성형 조건

설정 과정을 체계적으로 저장할 수 있기 때문에 향후 유사한 제품의 성형공정에서 저장된 파일을 이용하여 성형조건 설정 시간을 단축할 수 있다. 본 시스템은 사출공정에 익숙하지 않은 작업자에게 조연자 역할을 할 것으로 기대된다. 또한 사출성형기 운영 프로그램에 통신 및 제어기능을 추가하여 개발된 지원시스템을 사출성형기 내부에 이식하여 통합시스템으로 구축하였다. 이로 인해 작업자는 성형조건 설정뿐만 아니라 기계 제어에 관한 모든 업무를 사출성형기 통제판에서 해결할 수 있다.

개발된 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 우선 MPX 의 경우처럼 오랜 현장 경험 및 축적된 연구 데이터를 이용하여 보다 신뢰성 있는 시작조건을 설정하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 향후 실제 현장에서 개발된 시스템을 널리 활용되기 위해서는 현재 고려한 세 가지 불량유형에서 다양한 불량유형을 추가하여 알고리즘을 확장할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부와 정보통신부 지원사업인 “플라스틱 금형제조형 IES 기술개발”과제의 2차년도 수행내용중의 일부분입니다.

## 참고문헌

1. Kumar, Amit., Ghoshdastidar, P. S., Muju, M. K., “Computer Simulation of Transport Processes during Injection Mold Filling and Optimization of the Molding Condition,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 120, pp. 438-449, 2002.
2. Yokoi, H., Masuda, N., Hitsuhata, H., “Visualization Analysis of Flow Front Behavior during Filling Process of Injection Mold Cavity by Two Axis Tracking System,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130, pp. 328-333, 2002.
3. Yang, Sang Sik, Kwon, Tai Hun, “Deformation Analysis of Injection Molded Articles due to In-mold Residual Stress and Subsequent Cooling after Ejection,” *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 26, No. 2, pp. 340-348, 2002.
4. Kim, Jong Sun, Yoon, Kyung Hwan, “A Study on the Prediction of Thermally-Induced Residual Stress and Birefringence in Quenched Polystyrene Plate Including Free Volume Theory,” *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 27, No. 1, pp. 77-87, 2003.
5. Yoo, Joong Hak, Kim, Hei song, “The Effects of Injection Molding Conditions of Polypropylene on the Linear Shrinkage and Weight of molded Parts,” *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 322-329, 1995.
6. Jo, Y. M., Kwon, O. J., Yoo, Y. J., Kim, J. D., “A Study of Estimation of Filling Phase Condition in Injection Molding Process,” *Journal of The Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 110-118, 1995.
7. Kang, S. N., Huh, Y. J., Cho, H. C., “A Study on Intelligent Generator of Optimal Process Condition to Avoid Short Shot,” *Journal of The Korean Society of Precision Engineering*, Spring Conferences, pp. 402-405, 2001.
8. Kim, B. G., Min, B. H., “A Study of Warpage of Bobbin Molded by Injection Molding Process,” *Journal of The Korean Society of Precision Engineering*, Spring Conferences, pp. 811-814, 2001.
9. Kim, Jong Hun, Lee, Jong Soo, Cha, Sung Woon, “The Optimization of Injection Molding System Using Axiomatic Approach,” *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 27, No. 6, pp. 1020-1027, 2003.
10. Shelesh-Nezhad, K., Siores, E., “An Intelligent System for Plastic Injection Molding Process Design,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 63 pp. 458-462, 1997.
11. Lau, H.C.W., Wong, T. T., Pun, K. F., “Neural-Fuzzy Modeling of Plastic Injection Molding Machine for Intelligent Control,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 17, pp. 33-43, 1999.
12. Kenig, S., Ben-David, A., Omer, M., Sadeh, A., “Control of Properties in Injection Molding by Neural Networks,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 14, pp. 819-823, 2001.
13. Bozdana, A. T., Eyercioglu, O., “Development of an Expert System for the Determination of Injection Molding Parameters of Thermoplastic Materials : EX-PIMM,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 128, pp. 113-122, 2002.
14. Kang, I. H., Cho, Y. S., Park, H. S., “Study on Image Processing Technique for Injection of Injected E.V.A Midsole,” *Journal of The Korean Society of Precision Engineering*, Fall Conferences, pp. 269-272, 2001.
15. “Injection Molding Process Technology,” Korea Institute of Industrial Technology.