

PC 기반 PLC를 이용한 사출성형기 배럴의 퍼지 온도 제어에 관한 연구

A Study on Fuzzy Temperature Control for the Barrels of Injection Molding Machine using PC based PLC

김 훈 모*
(Hum-Mo Kim)

Abstract : Injection molding has been widely used for the mass production of a plastic product. With the development of the relative technique, various injection molding techniques have been developed and we could get more precise plastic product. The temperature of a melting resin is an important factor in the injection molding and this temperature has direct influence on the quality of a plastic product. In the present injection molding machine, the deviation of a temperature controlled by PID control method is within 2°C in the injection molding machine but PID control method takes too much time to stabilize after preheating and its overshoot is so big. We applied fuzzy control to alleviate the problem. In this research, we experimented the fuzzy temperature control with the usage of PC based PLC.

Keywords : fuzzy, injection molding machine, PC based PLC

I. 서론

사출성형은 플라스틱의 가공 공정중 뛰어난 생산성으로 인해 압출공정과 함께 플라스틱 가공법의 주류를 이루고 있다. 열가소성 수지로 일정한 형상의 제품을 성형하는 방법의 일종으로, 성형수지는 사출성형기 내에서 열에 의하여 용융되고, 유동화된 수지는 성형기의 플런저 또는 스크류에 의하여 균게 단혀진 금형 내에 주입시켜 필요한 모양을 성형한다. 사출성형은 복잡한 형상의 제품을 대량 생산하는데 적합하다.

사출성형기의 기본적인 원리는 금형을 개폐하여 수지를 용융한 후 금형내에 사출하여 원하는 제품을 생산하는 작동의 원리로 되어있다. 성형가공에서 1회의 성형을 완료하는데 필요한 공정을 사이클이라고 하며, 사출성형에서의 사이클은 금형 닫힘→용융수지 사출→충전→성형품의 냉각→금형 열림→성형품 빼내기 순으로 이루어 진다. 용융된 수지가 순간적인 압력을 받아 노즐을 통해 금형으로 유입되어 제품이 성형된다. 이때 유입되는 재료의 온도는 사출품의 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 온도가 적절하게 제어되지 못했을때는 표면불량, 미성형, 치수상한, 치수하한등의 불량이 생기게 된다[1]. 따라서, 사출공정에서의 온도제어는 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

현재 사출성형기의 대부분은 PID 제어 방식의 온도 제어를 하고 있으며, 온도 편차가 섭씨 2도 내외이고, 자기동조 수행으로 인한 오버슈트 때문에 온도의 안정화 시간이 오래 걸린다. 본 논문에서는 온도의 안정화 시간을 보다 빠르게 개선하고 사출기의 배럴들이 서로 인접하여 발생하는 배럴간의 온도간섭에 의한 제어 성능 저하를 개선하기 위해

기존의 PID 제어 방식보다 강인한 퍼지 제어가 적절하다고 판단하여 연구를 수행하였다. 지금까지의 대부분의 온도제어는 공조시스템을 대상으로 한 것이고, 사출성형기에서는 금형의 온도제어에 대한 연구가 있었다[2]. 하지만, 사출성형기 배럴의 온도제어에 대한 연구는 거의 없는 상태이다. 특히 온도 제어의 경우는 사출시 인가해야 할 온도가 녹는 점 및 glassy온도에서 유지가 되면서 충분히 유동을 가지는 온도를 지속적으로 유지를 해야하므로 사출 후 정밀성에 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 온도편차의 감소와 예열시간을 단축하기 위해 PC 기반 PLC를 이용한 퍼지 온도 제어기를 제안하였다. 기존의 PLC에 실시간성의 필드버스와 개방형 구조를 채택한 PC 기반 PLC를 사용하여 실제 사출성형기에 적용하였으며, 그 성능을 평가하였다. 2장에서는 PC 기반 PLC와 분산모듈, 온도센서에 대한 내용을 알아본다. 3장에서는 온도제어를 위한 퍼지알고리즘과 구성에 대해 알아보고, 4장에서는 실험결과와 함께 향후 개선사항을 논의한다.

II. 시스템 구성

1. 사출성형기

사출성형기를 이루는 구성부는 크게 금형을 개폐하는 형체부, 성형재료를 용융하는 사출부, 제어를 위한 시스템제어부, 성형 구동을 위한 유압구동부, 기타 프레임부로 나눌 수 있다. 이 부분중에서 실제적인 사출과 온도형성을 담당하는 부분인 사출부를 그림1에 나타내었다.

주요 구성부의 역할은 다음과 같다. 가열실린더(BARREL)는 재료를 호퍼(Hopper)로부터 수지를 전달받아 수지를 용융시켜주는 역할을 하는 중요한 부분으로서 가열실린더 외부에는 구간별 밴드히터가 부착되어 수지에 따라 온도를 적절하게 조절하도록 되어있으며, 그 구조는 가열실린더, 실린더헤드, 노즐로 구성되어 있다.스크류(Screw)는

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 4. 29., 채택확정 : 2003. 8. 29.

김훈모 : 성균관대학교 기계공학부(kimhm@me.skku.ac.kr)

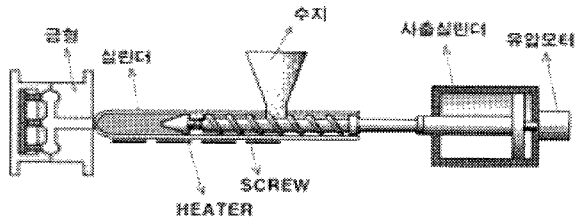


그림 1. 사출 유니트.
Fig. 1. Injection Unit.

계량, 혼련, 사출의 역할을 하는 매우 중요한 부분으로서 재료 공급부, 압축부, 용융부로 나누어지며 수지의 특성에 따라 스크류의 길이 및 내경의 비(L/D)와 압착비 (나사산 높이의 비), 그리고 회전속도 등을 달리한다. 사출실린더는 스크류가 충전된 수지를 수지의 특성 및 제품의 형상에 따라 적절한 압력과 속도로서 금형에 주입시키는 역할을한다.

성형품의 품질저하에 영향을 주는 성형조건에 있어서는 수지온도, 사출속도와 압력, 균일한 냉각을 꼽을 수 있다. 수지온도가 적절치 않을때는 표면불량, 미성형, 치수상한, 치수하한등의 불량이 발생하게 된다. 또한, 생산 제품의 특성에 맞추어 온도를 제어한다. 예를 들어 제품표면에 광택을 요구 하는 성형품의 성형에는 실린더 온도를 높게 설정하면 안 된다. 극단적으로 온도를 높게 설정하면 재료의 열분해, FLASH가 발생하기 쉽다. 이밖에도 제품 두께가 두꺼운 제품은 유동저항이 적기 때문에 실린더 온도는 재료의 유동성과 크게 영향을 미치게 된다.

2. PC 기반 PLC

1990년대부터 등장한 PC 기반 Control 기술은 PLC 제어 시스템이 가지고 있는 단점들, 예를 들어 프로그램 및 HMI를 위해 별도의 PC를 필요로 하며, 간단한 업그레이드에도 많은 비용이 들고, 표준의 Hardware와 Software를 사용하지 않는 점등을 극복할 수 있는 여러 장점 및 Computer와 Network을 이용해서 수직으로 본사와 공장들을 연결해서 생산성을 극대화 하려는 산업계의 경향에 따라 입지를 확대해 가고 있다.

본 연구에 사용된 컨트롤러는 BOSCH사의 PC 기반 PLC인 BT150이며, 외형을 그림 2에 나타내었다.

CPU 는 INTEL Pentium MMX 200Mhz 가 사용되며 64Mbyte 의 메모리를 탑재하고 있다. 각 모듈간의 통신을 위해 PCI방식의 CAN(Controller Area Network) 인터페이스 카드를 사용하고 있다. BT150은 메인 운영체제로 Microsoft 사의 Windows NT 를 사용하고 있으며, PLC의 실시간성을 보장하기 위해 실시간 운영체제인 VxWorks와 병행하는 구조로 되어 있다. 두 운영체제는TCP/IP 통신을 하며, 일반 어플리케이션과 실시간성을 요구하는 제어프로그램 사이를 조율하여 작동된다[5].

각 I/O, AD/DA 모듈은 CAN 방식으로 PLC와 연결되며 모듈은 확장가능 하게 구성되어 있다. CANOpen프로토콜을 사용하여 마스터 컨트롤러와 통신을 하며 실시간성을 만족한다. 각각의 모듈은 ID를 부여받으며 메시지 기반 구조를

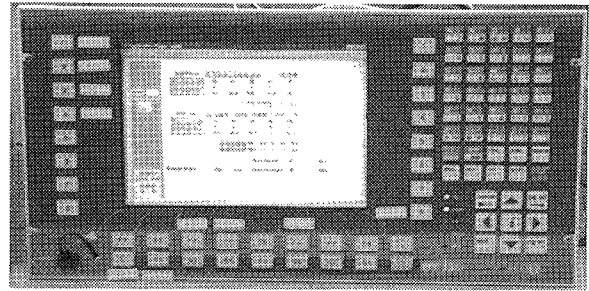


그림 2. PC 기반 PLC.
Fig. 2. PC 기반 PLC.

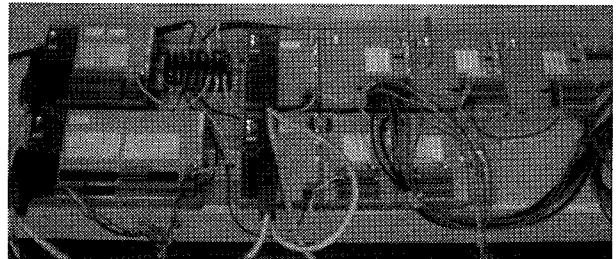


그림 3. 분산 I/O 모듈.
Fig. 3. Distributed I/O Module.

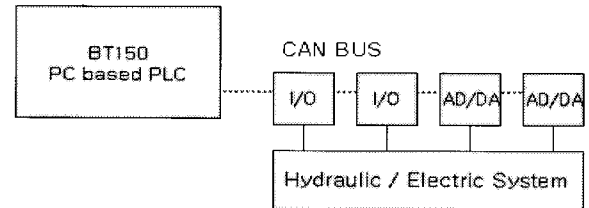


그림 4. 시스템 구성도.
Fig. 4. The configuration of a system.

가진다. 메시지 기반 구조는 네트워크상의 메시지를 원하는 모듈이나 컨트롤러가 모두 획득할 수 있게 되므로, 양한 형태의 전송을 가능케 한다[6]. 분산 I/O 모듈을 그림 3에 나타내었다.

컨트롤러 시스템의 전체구조는 그림 4와 같으며, PC 기반 PLC에서는 모니터링 과 제어를 수행한다. 또한 HMI를 구성하여 운영할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한, 개방형 프로토콜인 TCP/IP, MOTCP(Modbus over TCP/IP)[7]를 사용하여 외부 어플리케이션과의 통신을 수행할 수 있다. 이를 통해 다수 컨트롤러를 분산제어 또한 모니터링을 할 수 있는 구조로 되어 있다.

3. 온도 센서

베럴에는 4개의 히터와 4개의 K-type 열전대가 설치되어 있다. 열전대는 서로 다른 성질의 금속을 연결하여 온도차이에 의한 기전력의 발생을 이용한다. 열전대를 사용할때는 온도 측정부분의 접점과 기준접점의 온도차이를 보상해주는 것이 필요하다. 기준접점부분의 온도를 0°C로 유지시키는 것이 가장 좋은 방법이지만, 기준접점의 온도를 측정하여 보상해 주는 방식이 널리 사용되고 있다. 또한 측정장소

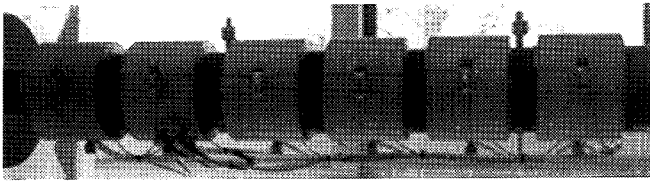


그림 5. 사출성형기 Barrel.
Fig. 5. The barrel of a injection molding machine.

와 계측장소가 떨어져 있을 경우 보상도선을 사용하여 오차를 최소화 시켜야 한다[8]. 보상도선은 열전대의 각 type에 맞는 것을 사용해야 한다. 본 연구에서는 온도 보상을 위해 기준접점에 정밀도가 높은 측온저항체 PT100을 사용하였다. 또한 입력분해능 14bit 인 A/D 모듈을 사용하였다. 실제 배럴을 그림 5에 나타내었다.

4. 온도 제어 모듈

히터의 구동방식은 SSR(Solid State Relay)을 사용한다. SSR 은 전자식 릴레이로서 전기적 절연과 함께 빠른 응답속도를 보인다. I/O모듈의 출력 전압인 DC 24V로 AC220V를 제어한다. 본 연구에서는 SSR의 펄스폭을 변화시켜 온도를 제어하는 방식을 사용하였다. 듀티비(Duty-ratio)에 따라 SSR이 ON 되는 시간이 변화한다.

그림 6은 온도 제어 모듈의 구성도를 나타낸 것으로 ①은 히터, ②는 K-type의 열전대이며 보상도선을 사용하여 계측부분까지 연결되어 있다. ③은 SSR이고, ④는 CAN bus에 연결된 분산I/O모듈을 나타낸다.

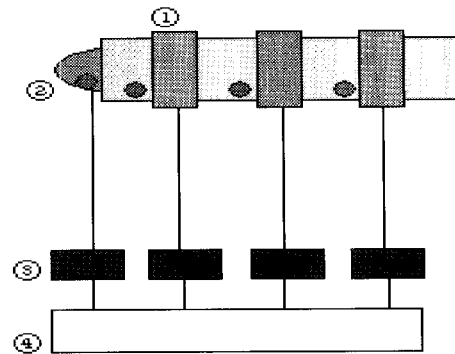


그림 6. 온도 모듈 구성도.
Fig. 6. The configuration of temperature modules.

III. 제어 알고리즘

1. Fuzzy 알고리즘

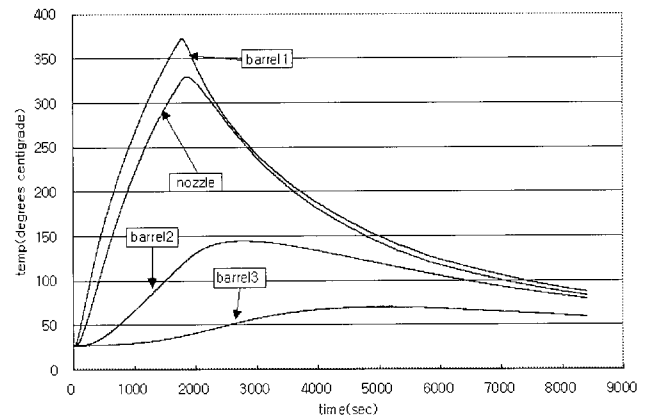
배럴부분은 서로의 온도가 다른 부분의 온도에 영향을 미치기 때문에 열전달특성을 명확히 모델링 하기 어렵다 [11,12]. 각각의 히터가 서로 간섭하는 현상을 그림7에 나타내었다.(배럴1에 370℃를 가하고 나머지는 가열하지 않은 결과와 노즐을 188℃까지 가열하고 선풍기로 냉각시킨 실험 결과) 따라서, 이러한 상황에 유연하게 대처하며, 보다 정밀한 제어를 수행하기 위해 인공지능 알고리즘인 퍼지 로직을 사용하였다.

퍼지 입력으로는 설정온도와의 차이값인 error와 error의 변화율을 사용하였다. 표 1에 나타난것과 같이 13단계의 양자화를 수행하였다.

배럴은 시정수가 크기 때문에 열을 가하고, 반응하는데 걸리는 시간이 길다. 따라서, 에러 폭이 크고, 에러 변화율이 작은 초기가열기간에는 듀티비를 크게 하여 가열 시간을 길게 한다. 그리고, 에러 폭이 중간 정도이고, 에러 변화율이 중간정도 일때는 초기가열로 인해 온도증가의 폭이 커지는 구간임으로 듀티비를 낮추게 된다. 4개의 히터를 제어하기 위해 다음과 같은 룰베이스를 구성하였다. 에러와 에러 변화율에 따른 듀티비를 출력하는 방식으로. 표2 에 룰 베이스와 소속함수를 나타내었다.

위의 룰베이스를 바탕으로 표 3과 같은 룰업테이블을 작성하였다. 추론은 min-max방식을 사용하였으며, 비퍼지화

배럴1만 370℃까지 가열 후 자연 냉각



노즐만 188℃까지 가열 후 선풍기로 냉각

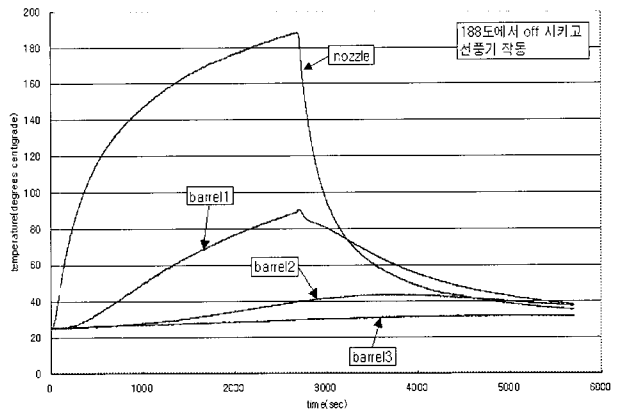


그림 7. 히터간의 간섭.
Fig. 7. The interference of Heaters.

방법은 무게중심법을 사용하였다[9,10]. 퍼지추론에 소요되는 시간을 최소화하기위해 룰업테이블을 컨트롤러의 메모리에 저장하여 제어로직을 수행하였다. 룰업테이블을 이용한 방식은 마이크로 컨트롤러등을 이용한 퍼지 제어기에 유용하게 사용될 수 있다.

표 1. error 양자화.

Table 1. Quantization.

양자화	범위
0	$E < 0$
1	$0 \leq E < 1$
2	$1 \leq E < 2$
3	$2 \leq E < 3$
4	$3 \leq E < 4$
5	$4 \leq E < 6$
6	$6 \leq E < 8$
7	$8 \leq E < 11$
8	$11 \leq E < 14$
9	$14 \leq E < 18$
10	$18 \leq E < 25$
11	$25 \leq E < 30$
12	$E \geq 30$

E : error[℃]

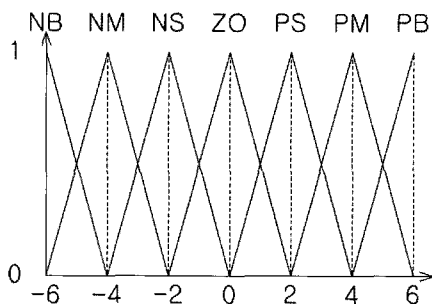
표 2. 룰 베이스 및 소속함수.

Table 2. Rule Base.

$\begin{matrix} E \\ e_c \end{matrix}$	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO
PM	PB	PB	PB	PM	PS	ZO	NS
PS	PB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB
NM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	NB
NB	ZO	NS	NM	NB	NB	NB	NB

Membership Function of input variables

$E, \Delta E$



Membership Function of output variable

ΔU

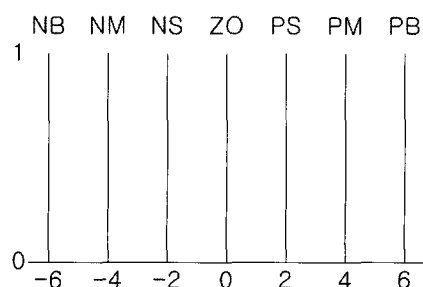


표 3. 룩업 테이블.

Table 3. Lookup table.

$\begin{matrix} E \\ e_c \end{matrix}$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-5.39000	-5.29529	-5.35000	-5.29529	-4.69291	-4.52174	-3.90625	-3.64865	-2.71429	-2.42953	-1.31250	-0.42953	0.00000
-5	-5.29529	-5.29529	-5.29529	-5.29529	-4.52174	-4.25000	-3.64865	-3.26667	-2.42953	-2.00000	-1.00000	0.00000	0.42953
-4	-5.39000	-5.29529	-4.69291	-4.52174	-3.90625	-3.64865	-2.71429	-2.42953	-1.31250	-1.00000	0.00000	1.00000	1.31250
-3	-5.29529	-5.29529	-4.52174	-4.25000	-3.64865	-3.26667	-2.42953	-2.00000	-1.00000	0.00000	0.00000	1.00000	2.42953
-2	-4.69291	-4.52174	-3.90625	-3.64865	-2.71429	-2.42953	-1.31250	-1.00000	0.00000	0.00000	1.00000	1.31250	2.71429
-1	-4.52174	-4.25000	-3.64865	-3.26667	-2.42953	-2.00000	-1.00000	0.00000	1.00000	1.31250	2.42953	3.26667	3.64865
0	-3.90625	-3.64865	-2.71429	-2.42953	-1.31250	-1.00000	0.00000	0.00000	1.00000	1.31250	2.42953	2.71429	3.64865
1	-3.64865	-3.26667	-2.42953	-2.00000	0.00000	0.00000	1.00000	1.00000	2.00000	2.42953	3.26667	3.64865	4.52174
2	-2.71429	-2.42953	-1.31250	-1.00000	0.00000	1.00000	1.31250	2.42953	2.71429	3.64865	3.90625	4.52174	4.99291
3	-2.42953	-2.00000	-1.00000	0.00000	1.00000	2.00000	2.42953	3.26667	3.64865	4.25000	4.52174	5.29529	5.29529
4	-1.31250	-1.00000	0.00000	1.00000	1.31250	2.42953	2.71429	3.64865	3.90625	4.52174	4.99291	5.29529	5.39000
5	-0.42953	0.00000	1.00000	2.00000	2.42953	3.26667	3.64865	4.25000	4.52174	5.29529	5.29529	5.29529	5.29529
6	0.00000	0.42953	1.31250	2.42953	2.71429	3.64865	3.90625	4.52174	4.99291	5.29529	5.39000	5.29529	5.39000

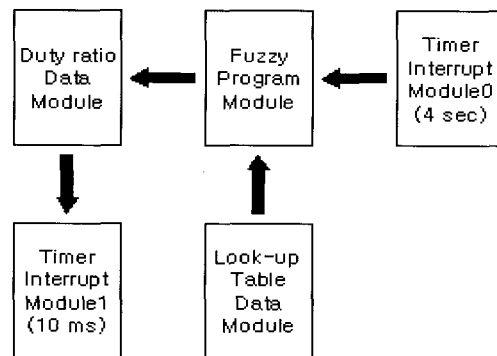


그림 8. 제어 프로그램 구조.

Fig. 8. The structure of Control Program.

2. PC 기반 PLC 프로그래밍

퍼지로직을 이용한 온도제어를 수행하기 위해 PLC언어의 한 형태인 IL(Instruction List)와 LD(Ladder Diagram)로 프로그래밍 했으며, 정확한 듀티비를 위해 interrupt를 이용한 timer를 사용하였다[3]. 프로그램 구조를 그림 8에 나타내었다.

제어프로그램은 다음과 같은 방식으로 작동한다. 4초 주기의 인터럽트 모듈은 퍼지로직 모듈을 호출한다. 호출시 설정온도, 현재온도, 에러, 에러변화율을 파라미터로 넘겨게 된다. 파라미터를 넘겨받은 퍼지로직 프로그램 모듈은 에러와 에러변화에 따라 lookup table을 검색한다. 최종적인 듀티비는 데이터 모듈에 저장되고, 10ms 주기의 인터럽트 모듈은 계산된 듀티비로 SSR을 구동한다.

온도의 설정과 상태를 보기 위해 그림 9의 사용자 인터페이스를 구성하였다[4]. PLC프로그램과 사용자 인터페이스는 TCP/IP 방식으로 데이터를 주고받는다. 사용자 인터페이스를 통해 온도를 설정하고, 현재의 온도 등을 확인할 수 있다.

IV. 실험 및 고찰

1. 실험 및 결과

실험은 120℃와 200℃의 설정온도로 구성된 제어 프로그

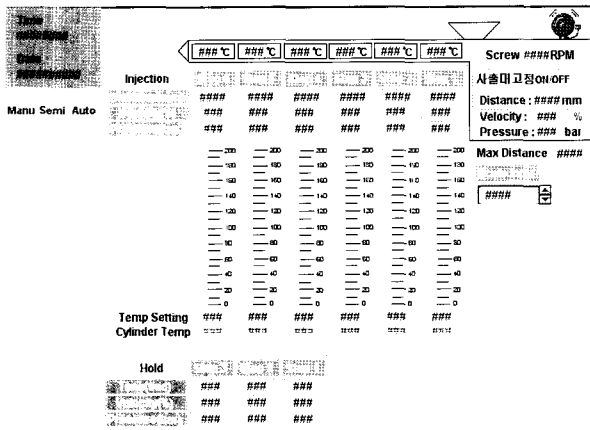


그림 9. 사용자 인터페이스 화면.

Fig. 9. User Interface Screen.

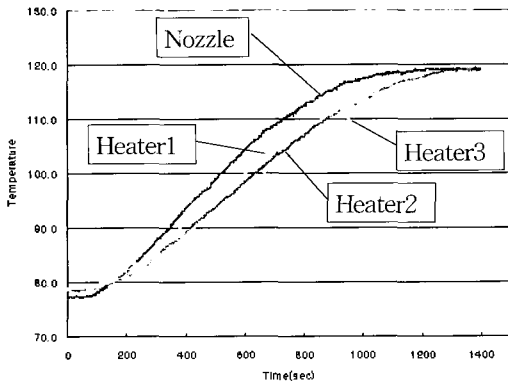


그림 10. 120°C 제어 온도 그래프

Fig. 10. Temperature Graph of 120°C control.

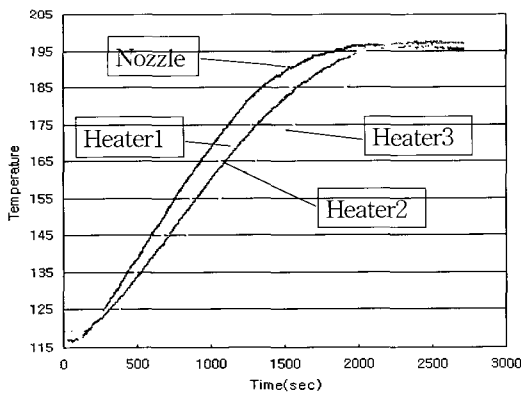


그림 11. 200°C 제어 온도 그래프.

Fig. 11. Temperature Graph of 200°C control.

램을 이용하여 온도제어 실험을 실행하였다. 그림 10,11에서 가장 위에 나타난 것이 노즐 부분의 온도 곡선, 두번째가 히터1 세번째가 히터2, 마지막 곡선이 히터3이다.

그림 10,11에서 볼 수 있듯이 노즐부분은 가장 빨리 가열되는 경향을 보였으며, 가장 끝 부분의 히터3은 가장 늦은 반응을 보였다. 히터1,2는 양쪽의 노즐과 히터3의 영향을 받아 온도의 변동이 적은 반면, 히터3의 경우 열의 발산 속도가 빠르기 때문으로 보여진다.

설정 온도와의 2°C내외의 오차를 보이는데 K-type열전대의 오차를 감안해 볼 때, 각 히터의 온도 제어 오차는 1도 내외였으며, 예열시간 은 기존의 것보다 15%정도 단축된 결과를 보였다.

온도측정은 YOKOGAWA社의 DA100모듈을 사용하였으며, 결과 그래프에 나타난 설정온도의 차이는 열전대 온도 측정시 컨트롤러상의 A/D모듈과 계측기간의 차이에 기인한 것이다. 기존의 사출성형기의 PID 온도제어기는 예열시작 때 자기 동조를 수행하게 되는데, 이때 오버슈트의 발생으로 강제 냉각 기능이 없는 가운데서 냉각되는데 걸리는 시간이 길게 된다. 실제 실험을 통해서 봤을때 100°C설정 온도시 약 120°C~130°C까지 오버 슈트가 일어난 후 설정 온도 근처까지 다시 냉각되는데 약 20~30분의 시간이 소요되었다. 냉각시에는 외부로 노출되어있는 노즐부분이 가장 먼저 냉각되고, 가운데부분이 가장 늦게 온도가 낮아짐을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

2. 향후 적용 분야

향후 마이크로-나노 시스템 제작 공정에 있어서 대량생산 방법으로 사출성형이 주목받을 것으로 기대된다. 특히 온도 제어의 경우는 사출시 인가해야 할 온도가 녹는점 및 glassy온도에서 유지가 되면서 충분히 유동을 가지는 온도를 지속적으로 유지해야하므로 사출 후 정밀성에 중요한 요소가 된다. 마이크로-나노 사출공정은 극미세 사출이므로 온도, 압력에 따른 재료 특성 변화가 발생할 수 있으므로 이를 최적의 조건으로 제어할 수 있어야 한다.

마이크로-나노 시스템의 제조는 주로 lithograph방법을 통해서 이루어지고 있다. e-beam, UV, X-ray등 각 형상의 크기 및 재료의 특성에 따라서 적용이 되고 있지만 공통적인 특징은 형상을 제조하는데 너무 많은 시간이 소요되고 beam의 파장에 따라서 제조할 수 있는 형상의 한계점이 있다. 또한 재료 자체가 가지는 특징으로 인하여 마이크로 시스템에서 중요한 aspect ratio에 한계점을 보이고 있는 것이 사실이다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해서 현재 연구 중인 내용은 hot embossing이 있다. Hot embossing을 할 경우 어느 정도의 대량 생산은 가능하다. 하지만 hot embossing특성상 복합 형상의 제조에는 문제점이 있다. 그리고 형상 제조 후 물질에 남은 잔류 응력을 비교해 본 결과 사출 성형 결과물보다 높은 잔류 응력을 나타내고 있음을 알 수가 있다.

V. 결론

본 논문에서는 PC 기반 PLC를 이용한 사출성형기의 온도제어 시스템을 구현하였다. 사출성형에서의 온도제어는 사출성형물의 품질에 중요한 요소로 작용한다. 사출성형기 배럴은 모델링이 쉽지 않고, 서로간의 간섭으로 인한 영향이 크기 때문에 Fuzzy알고리즘을 사용하여 온도제어를 수행하였다. PLC에서의 추론을 빠르게 하기위해 lookup table 형태로 구현하였으며, 인터럽트를 사용하여 정확한 듀티비를 나타내었다. 기존의 컨트롤러의 PID제어는 설정온도가 100°C일때, 약 120°C~130°C까지 오버슈트가 일어난 후 자기 동조에 의해 온도 제어를 하였으나 퍼지 알고리즘을 적

용하여 이 오버슈트를 크게 줄였으며, 온도 오차와 예열시간에서 성능향상을 얻을 수 있었다. 향후 마이크로-나노 사출성형에서의 온도제어에서도 이를 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 배럴의 온도제어와 연계한 몰드의 온도제어에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 이기만 외역, 사출성형기, 한국플라스틱정보센터, 2002
- [2] 박영철, 전효병, 심귀보, 임채복, 퍼지제어기를 이용한 사출금형 자동 온도컨트롤 시스템, 제어계측.자동화.로보틱스연구회합동학술발표회 1999년 pp.218-221
- [3] WINSPTS training manual, BOSCH, 2002
- [4] WINSTUDIO user guide, BOSCH, 2002
- [5] Software PLC, BOSCH, 2001
- [6] CAN Specification Ver 2.0, BOSCH, 1991
- [7] Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0, MODBUS.ORG, 2002
- [8] 안복신, 유재일, 이성재, 자동화를 위한 센서활용, 테크미디어, 2002
- [9] 박종진, 최규석, 퍼지제어시스템, 교우사, 2001
- [10] L. H. Tsoukalas, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley & Sons, 1997
- [11] T. C. Bulgrin and T. H. Richards, Application of Advanced Control Theory to Enhance Molding Machine Performance
- [12] C.-H. Lu, C.-C. Tsai, Multivariable Self-Tuning Temperature Control for Plastic Injection Molding Process



김 훈 모

1961년 02월 06일생. 1984년 성균관대 기계공학과 졸업. Univ.of.Michigan 항공우주공학과 석사(1990), Univ.of. Alabama 기계 공학과 박사(1993). 1995년~ 현재 성균관대학교 기계공학과 교수.