

# Ansys와 LabView를 이용한 프레스 성형용 파이프 인서트 주조금형 개발

노태정<sup>1\*</sup>, 최현창<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>동명대학교 메카트로닉스공학과

## Development of Pipe-Inserted Cast Die for Press Forming Process Using Ansys and LabView

Tae-Jung Lho<sup>1\*</sup> and Hyeon-Chang Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechatronics Engineering, Tongmyong University

**요 약** 종래에는 신발 부품 등을 제작하는데 주조금형을 가열, 냉각하는 별도의 가열판과 냉각판을 사용해 왔다. 그러나 이것은 금형을 가열 및 냉각하는데 시간이 너무 오래 걸리는 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 가열판과 냉각판을 사용하던 방법을 대체하여 파이프 인서트 주조 금형을 사용한 신발창의 프레스 성형에 대한 적용 가능성을 제안하였다. 유한요소법을 사용한 수치해석이 금형의 온도분포 해석에 적용되었으며, 또한 LabView에 의해 그 온도를 실제로 측정하였다. 프레스 성형용 파이프 인서트 주조금형에 의해 부품을 제작하는 공정은 특히 생산성 면에서 아주 효과적이라고 검증되었다.

**Abstract** Heating and cooling plate are separately used for heating and cooling cast dies for footwear parts. However, this has a disadvantage that it takes a long time to manufacture footwear parts etc.. In the present study, the pipe-inserted cast die for press forming process was proposed to substitute heating and cooling plate. The temperature distribution on the pipe-inserted cast die was analyzed by numerical work using a FEM. And its temperature was measured by LabView. A manufacturing by the pipe-inserted cast die for press forming process was effectively verified, especially in a productivity.

**Key Words** : Pipe-inserted Cast Die, Finite Element Method(FEM), LabView, Temperature Distribution, Press Forming, Heat Conduction, Heat Convection

### 1. 서론

종래에는 밑창(out-sole), 중창(mid-sole), 안창(inner-sole) 등의 신발창(footwear sole)과 신발 부품들을 제조할 때는 가열판(heating plate)과 냉각판(cooling plate)을 이용한 프레스 성형(press forming)이 많이 사용되어 왔다. 여기서 가열판 및 냉각판은 통상 압연 알루미늄 판재를 절단하여 외형을 가공한 후, 가열판의 경우에는 증기스팀(water steam) 관로를, 냉각판의 경우에는 냉각수의 관로를 건 드릴링(gun drilling) 등의 기계가공으로 제작하게 된다. 그러나 이러한 종래의 플레이트는

관통된 구멍을 연결하여 관로를 만들기 위해서 각 연결부를 막음작업을 하여야만 함으로 기계가공 및 수작업 공수가 과다하게 소요되는 단점을 가지고 있다. 또한 각 연결 부위가 'T' 자로 형성되어 있기 때문에 열 및 냉각 매체의 흐름을 방해하는 주원인으로서 제조비용을 증가시킬 뿐만 아니라 가열 및 냉각 효율을 저해하여 신발창 및 부품의 성형 생산성을 저하시키고, 가열판 및 냉각판은 금형과 분리되어 갭이 생기므로 열효율이 떨어지며, 또한 뜨거운 금형을 냉각수 프레스로 옮겨야 하는 불편한 문제점을 가지고 있다.

이에 대하여 금형의 신발 성형 흡에 인접한 부위에 열

본 연구는 산업자원부의 산업기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*교신저자 : 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 09년 09월 07일

수정일 09년 12월 09일

게재확정일 09년 12월 16일

매체유 및 냉 매체유가 흐르는 관로를 설치하여 냉간가공과 열간가공을 동시에 수행할 수 있는 신발창용 파이프 인서트 주조 금형을 제작하는 추세에 있다. 이는 가열판 및 냉각판의 제조공정을 기계가공법에서 일체식 주조법으로 전환할 수 있어서 제조공정 및 가공비 요인을 최소화할 수 있으며, 열 및 냉각 매체의 흐름을 방해하는 T자형 관로의 문제가 해결되어 열효율을 높일 수 있으며, 금형 내에 배관처리로 가열판 및 냉각판을 금형과 일체화시켜 작업의 공정수를 줄일 수 있고, 높은 열효율로 작업시간을 단축할 수 있으므로 많이 채택될 것으로 예상된다. 따라서 파이프 인서트 주조금형을 사용하는 것은 기존의 별도의 가열판 및 냉각판을 사용하여 금형을 가열, 냉각하는 것에 비하여 열효율이 50%이상 향상되어 작업시간이 50% 이상 단축되며 금형 회수율이 50%이상 향상되며, 또한 금형개폐장치의 자동화로 품질도 균일하고 좋기 때문에 많은 채용이 있을 것으로 예상된다.

연구적 배경으로서, [2]는 Ansys를 이용하여 용접 코팅된 연속주조 몰드의 열해석을 하였으며, [3]은 Fluent를 사용하여 NO<sub>2</sub> 마이크로 가스센서에 대한 열전달을 해석하였으며, [4]는 사출금형의 3차원 냉각채널에 대한 시뮬레이션을 수행하여 설계, 제작하였으며, [5]는 내부 채널을 갖는 사출 금형의 온도해석을 하였으며, [6]은 판형 핀을 가진 원통-다관형 열교환기의 열전달 특성에 관한 연구를 하였으며, 그리고 [7]은 내연기관의 실린더 헤드 조립체 내부의 냉각수 유동 및 열전달에 관한 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 유한요소법(FEM)을 적용한 수치해석 방법을 이용한 파이프 인서트 주조금형의 열유동 현상을 해석하고, LabView에 의한 온도 측정을 통하여, 개발 금형의 가열 및 냉각 효과에 대한 열효율 및 성능을 시험하여 개발 금형의 적용 가능성을 진단하고자 한다.

## 2. FEM Formulation

금형의 내부에 파이프를 통하여 150℃의 증기스팀을 공급하여 금형에 열을 가하고, 또한 10℃ 냉각수를 공급하여 금형을 냉각하고, 이 때 금형으로 전도에 의한 열전달이 일어난다. 단열처리된 밀면을 제외한 외부에는 자연 대류가 발생한다.

### 2.1 열전도 지배방정식 및 경계조건[1]

금형에서 정상(steady) 상태의 3차원 열전도 방정식은 (1)과 같다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

여기서  $x, y, z$ 는 금형의 각각 길이, 폭, 두께 방향의 좌표이며,  $T$ 는 온도(temperature, °C)이다. 과도(transient) 상태에서의 3차원 열전도 방정식은 (2)와 같다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

여기서  $\alpha = k/\rho c$ ,  $\alpha$ 는 열확산율(thermal diffusivity),  $k$ 는 열전도도(thermal conductivity),  $\rho$ 는 밀도(density),  $c$ 는 비열(specific heat),  $t$ 는 시간(time) 이다. 경계조건으로서 관 내부 표면에서는 관내부의 유체로 부터의 대류 열전달이므로 (3)와 같다.

$$\begin{aligned} -k \frac{\partial T}{\partial x} &= h(T - T_w) \\ -k \frac{\partial T}{\partial y} &= h(T - T_w) \\ -k \frac{\partial T}{\partial z} &= h(T - T_w) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $h$ 는 대류열전달 계수(W/m<sup>2</sup>°C),  $T_w$ 는 관내부의 유체의 온도이다. 금형의 밀면에서는 단열처리 되어 있으므로 (4)와 같다.

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=P} = 0 \quad (4)$$

여기서  $P$ 는 금형의 두께이다. 그 이외의 면에서는 자연대류이므로 (5)와 같다.

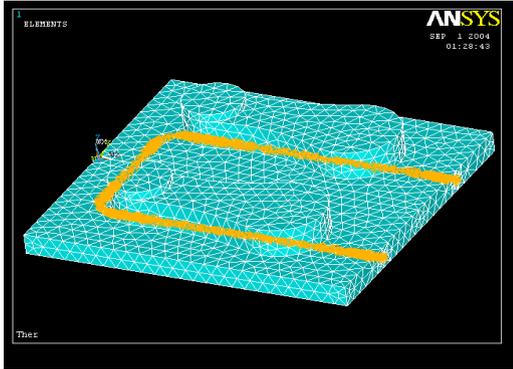
$$\begin{aligned} -k \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0,L} &= h(T - T_a) \Big|_{x=0,L} \\ -k \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0,W} &= h(T - T_a) \Big|_{y=0,W} \\ -k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} &= h(T - T_a) \Big|_{z=0} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $L, W$ 는 길이 및 폭이며,  $T_a$ 는 대기의 주위 온도이다.

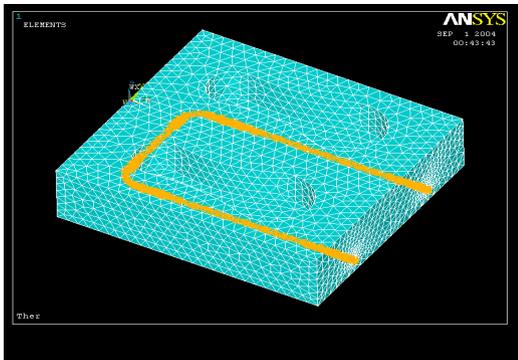
### 2.2 FEM 모델링

금형의 온도를 FEM 해석하기 위하여 실제 금형을 토

대로 솔리드 모델링 후 적절한 메쉬 크기를 정하여 그림 1(a), (b)와 같은 유한 요소들을 생성한다.



[그림 1(a)] 금형상판 Grid Generation



[그림 1(b)] 금형하판 Grid Generation

금형의 온도분포 해석에 사용된 프로그램은 *Ansys 8.1*이며, 금형의 재질은 알루미늄 합금 *T6061*를 사용하였으며, 이에 대한 물성치와 입력조건은 표 1과 같다.

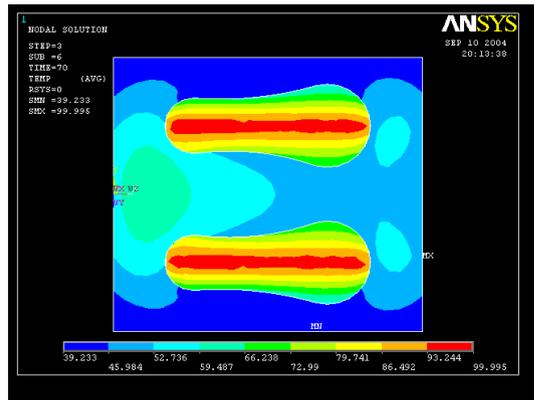
[표 1] 금형의 물성치 및 입력 조건

항 목	물성치
금형 열전도계수( $k$ )	$210 \text{ W/m}^2\text{K}$
대류열전달 계수( $h$ )	$5 \text{ W/m}^2\text{K}$
water steam 온도	$150 \text{ }^\circ\text{C}$
cooling water 온도	$10 \text{ }^\circ\text{C}$
주위 온도( $T_w$ )	$25 \text{ }^\circ\text{C}$

### 3. 금형 온도해석 결과

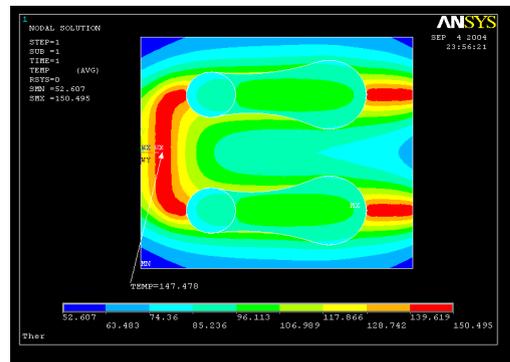
파이프 인서트 주조금형을 사용한 프레스 성형은 약 5초

간 압축공기를 주입하여 금형을 청소한 후 약  $150\text{ }^\circ\text{C}$ 의 스팀을 약 7분간 주입하여 금형을 가열하고, 약 5분간 약  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 의 냉각수를 주입하여 냉각하여 프레스 성형품을 취출하는 공정이다. 따라서 그림 2는 스팀 주입 70초 후 금형 하판의 온도분포를 FEM 해석한 결과를 나타내며, 관 주위의 온도가 약  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 로 올라감을 알 수 있다.



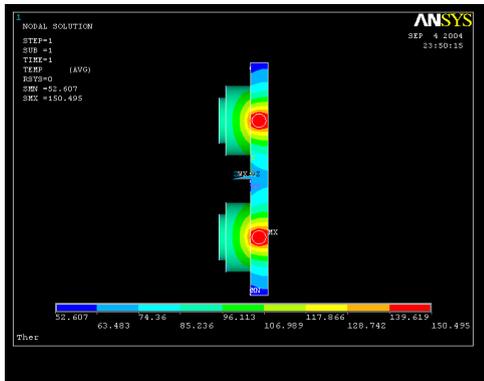
[그림 2] 스팀 주입 70초 후 금형 하판의 온도분포

그림 3은 스팀 주입 후 정상상태의 금형 상판전체의 온도 분포의 해석결과를 나타내며, 이는 최고온도가  $147.5\text{ }^\circ\text{C}$ 로 유지하며 프레스 성형이 충분히 가능함을 알 수 있다.

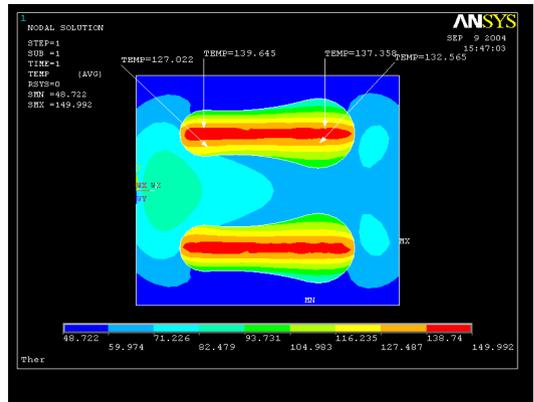


[그림 3] Steam 주입 후 정상상태에서 금형상판의 온도분포

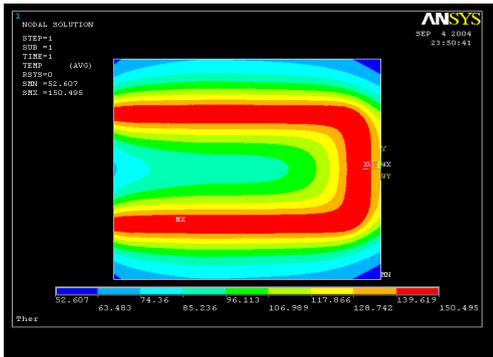
그림 4, 그림 5는 스팀 주입 후 정상상태의 금형 상판의 스팀 주입부와 밑면에서의 각각 온도 분포의 해석 결과를 나타낸다.



[그림 4] Steam 주입 후 정상상태에서 금형상판 steam 주입부의 온도분포

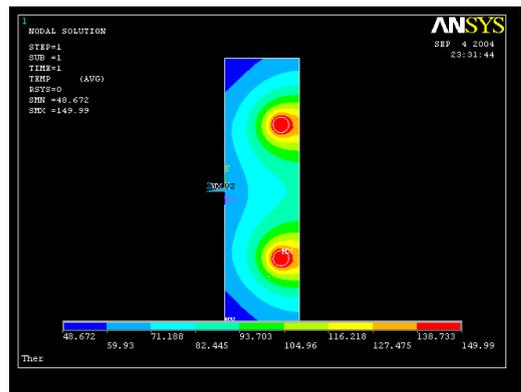


[그림 7] Steam 주입 후 정상상태에서 금형 하판의 전체 온도분포(실험#2 측정위치)



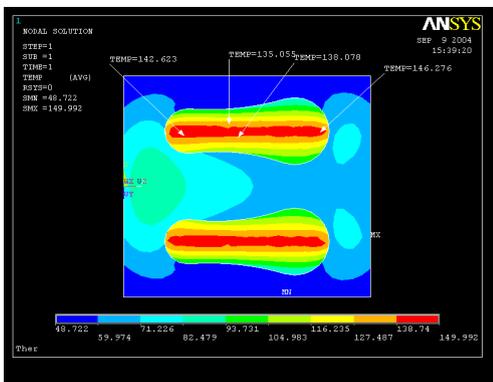
[그림 5] Steam 주입 후 정상상태에서 금형상판 밑면의 온도분포

그림 8, 그림 9는 스팀 주입 후 정상상태의 금형 하판의 스팀 주입부와 밑면에서의 각각 온도 분포의 해석 결과를 나타낸다.

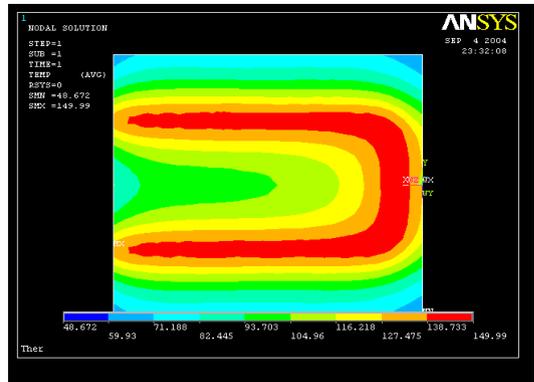


[그림 8] Steam 주입후 정상상태에서 금형하판의 water steam 주입부 온도 분포

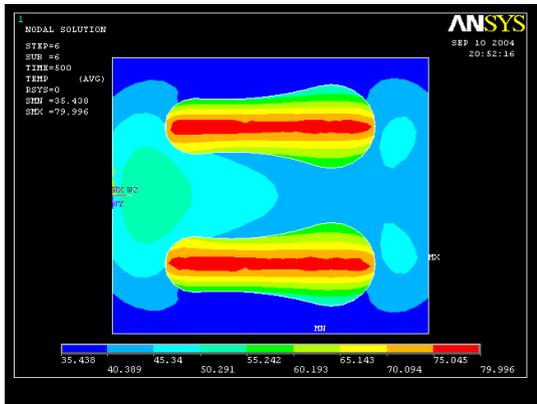
그림 6, 그림 7은 Steam 주입 후 정상상태에서 금형 하판의 전체 온도분포의 해석결과로서, 각각 실험#1 및 실험#2 측정위치에 대한 해석 값을 나타내며, 이는 인서트 파이프 경로를 중심으로 온도가 적절히 분포함을 알 수 있다.



[그림 6] Steam 주입 후 정상상태에서 금형 하판의 전체 온도분포(실험#1 측정위치)

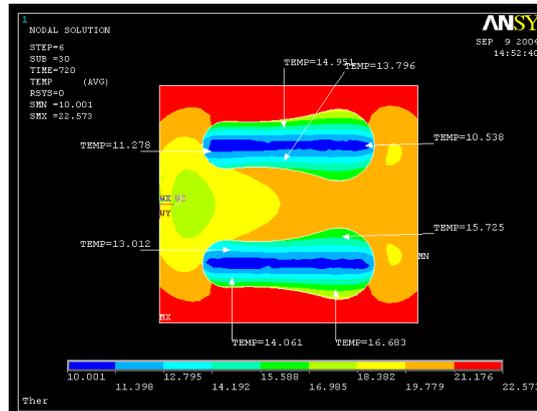


[그림 9] Steam 주입 후 정상상태에서 금형하판 밑면의 온도 분포



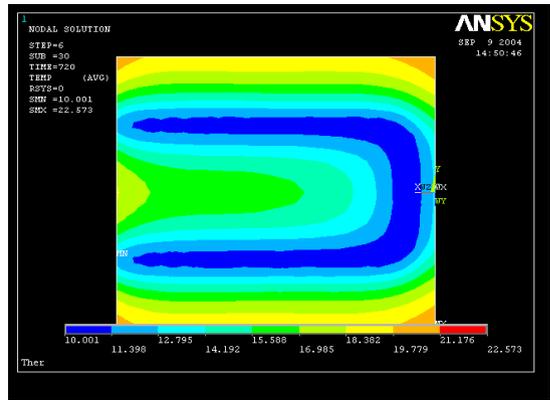
[그림 10] 냉각수 주입 70초 후 금형의 온도분포

그림 10은 냉각수 주입 70초 후에 금형의 온도가 35℃ - 80℃ 정도로 하강하여 금형이 냉각됨을 알 수 있다. 그림 11은 냉각수로 냉각 후 정상상태에서 금형하판의 전체 온도분포를 나타내며, 이는 10.5℃ - 22.6℃ 정도로 분포하며 특히 판로 근처에는 충분히 냉각됨을 수 있다.

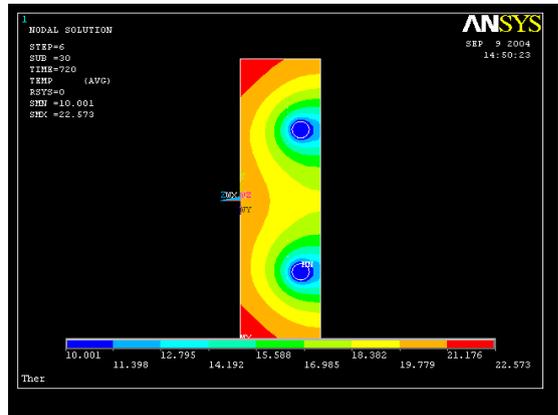


[그림 11] 냉각수 냉각 후 정상상태에서 금형하판의 전체 온도분포

그림 12, 그림 13은 냉각수로 냉각 후 정상상태에서 금형하판의 각각 밑면 및 냉각수 주입부의 온도분포 해석결과를 나타낸다.



[그림 12] 냉각수 냉각 후 정상상태에서 금형하판 밑면의 온도분포



[그림 13] 냉각수 냉각 후 정상상태에서 금형하판 냉각수 주입부의 온도분포

#### 4. 실험장치 구성 및 실험 결과

실험에 사용된 프레스 장비는 그림 14와 같으며 PLC와 연결되어져서 스팀과 냉각수를 주입하는 시간을 조절한다. 개발된 금형은 알루미늄 합금 T6061으로서 파이프 인서트 구조로 제작되었으며 그림 15에서와 같이 스팀과 냉각수는 금형의 상판과 하판에 연결되어 있다.



[그림 14] 개발된 프레스 장비



(a)금형 하판 (b)금형 상판 (c)스팀/냉각수 주입구  
[그림 15] 개발된 파이프 인서트 구조금형

약 1200℃까지 금형의 온도측정이 가능한 K-type 열전대(Thermocouple)를 사용하고, 이 아날로그신호를 PCLD-789D Amplifier & Multiplexer Board(Advantech사)를 통하여 증폭하여 PCL-812PG A/D Converter(Advantech사)를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 PC에 내장된 LabView 응용 프로그램으로 연결되어 실시간으로 계측, 모니터링 하도록 계측시스템을 구성하였다.

실제적인 금형의 온도 측정은 실험#1, #2로서 총 2회를 하였으며, 온도 측정을 한 위치는 신발의 중앙이 만들어지는 부분으로 아래와 같다.

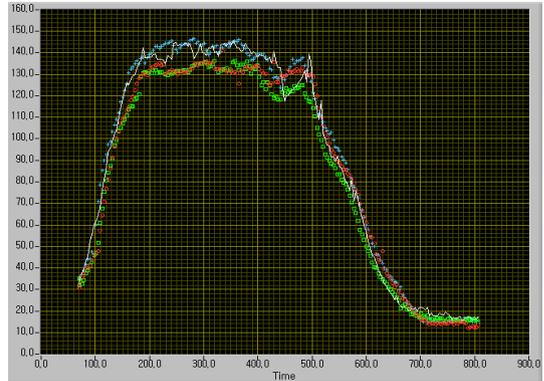


(a) 실험#1 (b) 실험#2

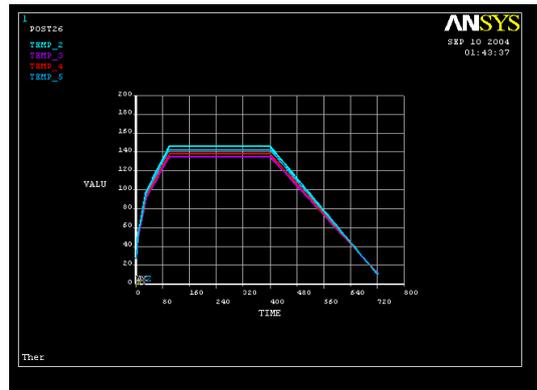
[그림 16] 금형 온도 측정위치

그림 17, 그림 19는 각각 실험#1, #2의 위치에서 금형의 온도를 실제로 측정된 결과로서, 이는 스팀이 주입되는 7분(420초) 동안은 온도가 올라가고 냉각수가 주입되는 5분(300초) 동안은 온도가 내려가는 것을 알 수 있다. 또한 그림

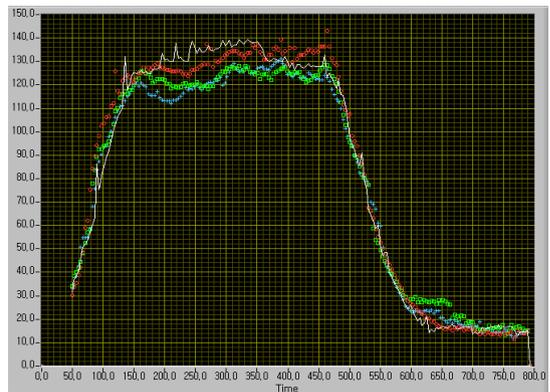
18, 그림 20은 실험#1, #2의 위치에서 금형의 온도를 해석한 결과로서, 각각 실제로 측정된 그림 17, 그림 19와 거의 일치함을 알 수 있다.



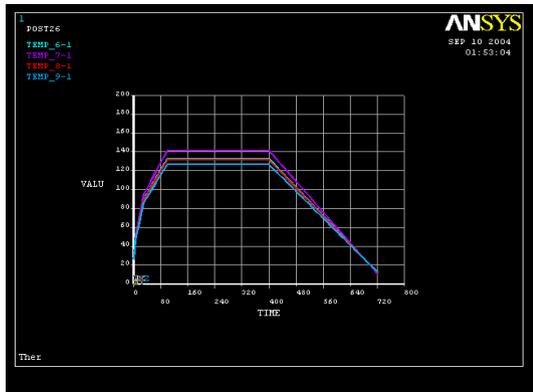
[그림 17] 실험#1의 금형온도 측정 결과



[그림 18] 실험#1의 금형온도 FEM 해석결과



[그림 19] 실험#2의 금형온도 측정 결과



[그림 20] 실험#2의 금형온도 FEM해석 결과

정상상태에서의 금형상판의 최고 온도의 실제 측정값은 147°C이며, FEM 해석 결과는 147.5°C로서 오차가 0.5°C 정도로 아주 무시할 정도이다. 정상상태에서의 금형하판의 최고온도는 표 2와 같으며, 오차는 최저 0.2°C 최고 4.4°C를 나타내고 있다.

[표 2] 가열 후 금형하판의 최고온도 결과 비교

실험별	측정 위치	측정치 [°C]	해석결과치 [°C]	오차 [°C]
실험#1	1	145.897	146.276	0.379
	2	135.326	135.055	-0.271
	3	135.421	138.078	2.657
	4	146.380	142.623	-3.757
실험#2	1	139.331	137.358	-1.973
	2	137.074	139.645	2.571
	3	128.157	132.565	4.408
	4	127.205	127.022	-0.187

냉각 후 금형하판의 온도는 표 3과 같으며, 오차는 최저 0.28°C 최고 5.08°C를 나타내고 있으며 해석결과가 측정치와의 거의 일치함을 알 수 있다.

[표 3] 냉각 후 금형하판의 온도 결과 비교

실험별	측정 위치	측정치 [°C]	해석결과치 [°C]	오차 [°C]
실험#1	1	15.626	10.538	-5.080
	2	12.026	14.951	2.925
	3	14.808	13.796	-0.284
	4	14.803	11.278	-3.525
실험#2	1	13.250	15.725	2.475
	2	11.401	13.012	1.611
	3	13.302	16.683	3.381
	4	12.1	14.061	1.961

## 5. 결론

본 연구를 통해 신발창 등을 제조하는 프레스 성형에서 금형을 가열, 냉각시에 기존의 가열판과 냉각판을 사용하던 방법을 대체하여 파이프 인서트 주조금형을 사용한 프레스 성형에 대하여 그 가능성을 ANSYS에 의한 금형의 온도분포 해석과 LabView에 의한 금형 온도 측정으로 검증해 본 결론은 다음과 요약할 수 있다.

- 1) 약 150°C 증기스팀을 주입한 후 약 100초가 지나면 금형의 신발창 성형홈 주위의 온도가 약 147-150°C 정도로 분포함을 해석과 실제 측정에서 검증되었으며, 이는 약 420초 동안의 가열하면 수지가 용융되어 신발창 성형에 충분함을 알 수 있다.
- 2) 약 10°C의 냉각수를 주입한 후 약 120초가 지나면 금형의 신발창 성형홈 주위의 온도가 약 20°C로 내려감을 해석과 실제 측정에서 검증되었으며, 이는 약 300초 동안 냉각하면 용융된 수지가 냉각되어 신발창을 성형하는데 충분함을 알 수 있다.
- 3) 결론적으로 파이프 인서트 금형을 사용한 프레스 성형은 5초 동안 압축공기를 주입하여 금형을 청소한 후 약 150°C의 스팀을 약 7분간 주입하여 금형을 가열하고, 약 5분 동안 약 10°C의 냉각수를 주입하여 냉각하여 프레스 성형품을 취출하는 공정을 개발하였으며, 이는 종래의 가열판과 냉각판을 사용하는 방법에 비하여 생산성이 2배 이상으로서 대체하여 사용할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Yunus A. Cengel, *Heat Transfer(A Practical Approach)*, McGraw-Hill, 1999.
- [2] 이종선, 김세환, “용접 코팅된 연속주조 몰드의 열해석”, *산학기술성공학회논문지*, Vol.2, No.1, pp.7-12, 2001.
- [3] 주영철, 이창훈, 김창교, “MEMS 공정으로 제작한 NO<sub>2</sub> 마이크로 가스센서의 열전달 해석”, *한국산학기술논문지*, Vol.5, No.2, pp.132-136, 2004.
- [4] 김종덕, 홍석관, 이경환, 김미애, 이대근, “RT 기술을 이용한 사출금형의 3차원 냉각채널 구현”, *Proc. of KSPE 2006 Spring Conference*, 2006.
- [5] 이재철, 이준철, 안성훈, “금형의 온도 제어를 위한 내부 채널 가공”, *Proc. of KSPE 2007 Spring Conference*, pp.723-724, 2007.
- [6] 임태우, 조동현, “관형 핀을 가진 원통-다관형 열교환기의 열전달 특성에 관한 연구”, *한국산학기술논문지*,

Vol.10, No.1, pp.46-51, 2009.

- [7] 서용권, 허성규, 김병휘, “내연기관의 실린더 헤드 조립체 내부의 냉각수 유동 및 열전달에 관한 연구”, *한국전산유체공학회지*, 제14권 제1호, pp.9-17, 2009.
- 

**노 태 정(Tae-Jung Lho)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과(공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과(공학석사)
- 1992년 8월 : KAIST 정밀기계공학과(공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

공정해석, Mechatronics, Robotics, 계측제어 및 자동화 등

---

**최 현 창(Hyeon-Chang Choi)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 부산대 기계설계학과(공학학사)
- 1984년 2월 : KAIST 기계공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : KAIST 기계공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1997년 2월 : 한국중공업 기술연구원 (선임연구원)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Fatigue, Fracture, Structural Integrity, FEM, 발전설비 수명평가