https://doi.org/10.7735/ksmte.2019.28.2.86

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

고무 프레스 성형 에너지 절감을 위한 직접가열 프레스 금형 개발

조영태[a*]

Development of Direct Heating Press Mold for Energy Saving in Rubber Press Molding

Young-tae Cho[a*]

[a] *Department of Basic Science, School of Engineering, Jeonju University, 303, Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju, Jeonbuk-do, 55069, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 30 December 2018
Revised 9 April 2019
Accepted 11 April 2019

Keywords:
Direct heating
Press mold
Energy saving
Rubber
Rubber molding

ABSTRACT

Nowadays, technology of rubber forming is being developed and is being polished for producing precision rubber products and development of related equipment. It was found that most of the rubber forming companies are small and use a conventional hot press method. This method causes a cost increase because the energy efficiency is lowered. The purpose of this study is to improve the energy efficiency by directly heating the cartridge heaters installed in the mold and proving that the mold temperature can be uniformly maintained. It was found that the sample mold required less time for temperature rise initially, more energy was saved due to the large and small temperature change, and product defect reduced due to temperature variation and improved production technology giving a uniform quality.

1. 서 론

고무(rubber)는 플라스틱, 금속, 세라믹 소재와 달리 탄성 등의 독특한 성질을 가지며 밀봉성, 탄력성, 충격 흡수성 등이 다른 소재에 비해 월등히 우수한 특성을 가진 소재로서 각광 받고 있으며 점차 그 쓰임은 더욱 확대되어 전 산업분야에 활용되고 있다. 자동차산업을 비롯하여 수송, 전기·전자, 의료·생체, 생활용품 및 건축 산업 등에 있어서 없어서는 안 될 중요한 소재로 자리 잡고 있다.

고무제품 제조공정은 일반적으로 준비 공정, 성형 공정 그리고 가류공정을 거쳐 제품이 완성된다. 준비 공정은 원재료 입고 후 성형가공하기 전 투입 중량에 맞춰 일정한 규격으로 절단하여 배열하는 공정으로 제품의 품질에도 영향을 미치게 공정으로 원재료 투입중량의 미미한 차이에 의해서도 성형과 미 성형(성형불량), 트리밍 작업의 편리성 등 제품 품질을 결정하게 된다. 가류 공정은 고무제품의 생산 공정에서 가장 많은 시간이 소요되는 공정으로 고무분자를 단단히 결합시키고 넓은 온도범위에 걸쳐 소성 흐름을 감소시켜 탄성, 인장강도 및 내유성을 증대시키는 공정이다[1]. 이처럼 많은 시간이 소요되며 제품이 특성을 발휘하도록 하는 고무가공 공정 개선에 대한 꾸준한 노력이 진행되고 있다[2,3].

최근 고무산업의 발전 방향을 보면 저에너지 기반의 성형 공정이 요구고 있으나, 근본적으로 가장 많은 에너지를 소비하는 프레스 금형의 에너지 절감에 대한 기술개발이 이루어지지 않고 있다.

* Corresponding author. Tel.: +82-63-220-2981
Fax: +82-63-220-2056
E-mail address: choyt@jj.ac.kr (Young-tae Cho).

기존의 고무제품 가공은 열과 압력에 의해 행해지므로, 금형 캐비티(cavity)내에 작용하는 열과 압력에 따라 성형되는 제품의 품질이 결정 된다[4,5]. 압축식인 핫 프레스 성형은 비교적 간단한 구조이지만 균일한 온도 및 압력조절이 용이하지 않고, 핫 프레스 자체에 열판구조를 두고 이를 프레스 금형에 열을 전달하는 방식의 간접 가열방식으로 열 손실이 크고, 작업 초기 금형의 가열 및 온도 유지를 위한 재가열 시에 에너지 절감 차원에서 비효율적이고, 크게는 환경오염에도 영향을 미치게 된다[6].

따라서 이를 근본적으로 해결 할 수 있는 근본적인 방법으로 프레스 금형내부에 직접 히터를 적용하여 일정한 금형내부의 온도 유지를 통해 제품성형 가류공정의 공정품질을 극대화하고, 또한 성형 사이클을 균일화하는 효과를 통해 생산성 증대와 함께 제품의 품질을 균일화할 수 있는 직접가열방식의 프레스금형 기술을 개발하고자 본 연구를 진행하였다.

2. 고무 프레스 성형기 가열방식

2.1 프레스 성형기의 간접 가열 방식

현재 일반적으로 핫 프레스 성형에 사용되는 금형 가열장치는 프레스 장치의 프레스 열판에 카트리지 타입의 히터(heater) 발열장치를 일정간격으로 삽입한 후 공급 전력을 조절하며 가열하여 프레스 열판에 설치된 성형금형으로 열을 공급하는 방식으로 금형을 간접 가열하는 방식을 채택하고 있다. Fig. 1의 기존에 사용되고 있는 열판 구조의 개요도에 나타낸 것처럼 히터를 삽입할 수 있도록 한 방향으로 일정한 간격으로 홀이 있고, 그 곳에 히터를 삽입하여 열을 공급하는 구조이다[7]. 열판이 금형과 접촉되는 면은 경면으로 다듬질 되어져 있고, 내마모성, 내산화성 및 내부식성을 고려하여 질화코팅 되어있다. 이 방식은 초기 발열량 셋업에 반복적인 작업이 필요하고, 성형금형으로 열을 전달하는 간접가열 방식으로 온도 조절 또한 용이하지 않은 단점을 가지고 있다. 작업 시 고무성형기의 컨트롤 패널에 설정된 온도와 열판의 히터온도, 열판온도, 금형온도, 캐비티 온도가 각기 다르므로 금형온도의 불균일로 인해 불량제품의 성형요인이 되고, 성형 후 제품의 취출, 에어 브러싱 및 재료투입 등의 온도 및 환기 등의 작업장 환경에 따른 방열로 30 ℃ 이상의 온도 하강이 일어나게 된다. 이로 인한 재 가열에 따른 에너지 소비가 커지게 되는 원인이 된다.

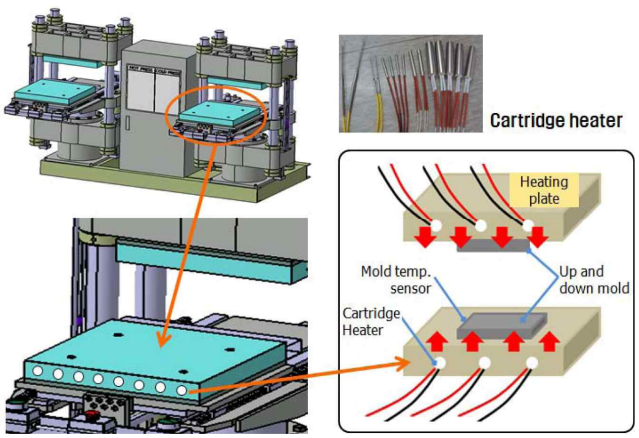


Fig. 1 Conventional heating method

2.2 프레스 금형의 직접가열 방식

기존 프레스 성형기는 카트리지 히터를 열판에 삽입하여 발열시켜 금형으로 열을 전달시키는 구조의 간접가열 방식이라 할 수 있으며, 열판의 내측과 외측의 온도차가 많이 발생하여 제품성형 시 내·외측 제품의 인장강도와 같은 재료 물성치의 차이로 인한 제품의 품질 불균형을 초래하게 된다. 따라서 본 연구는 성형 금형을 직접가열이 가능한 방식을 검토하기 위한 기초 연구를 실시하고, 실제 제품을 생산하는 금형에 적용하여 직접가열 금형을 개발하고, 그 결과에 대한 테스트를 진행하여 금형의 직접가열 방식의 유효성을 검토하였다. 프레스 금형의 직접가열방식의 가능성을 확인하기 위하여 정온발열 및 온도센서 관련분야에 폭넓게 응용 및 사용되고 있는 PTC (positive temperature coefficient resistor) thermistor를 이용하여 간이금형을 제작하여 기존의 단점을 극복할 수 있는지 가능성을 확인하였다. 그리고 실제 생산제품인 O사의 압력패킹 생산 금형에 카트리지 히터를 적용하여 생산 공정에서 직접가열 방식의 적용에 따른 금형의 상태 및 제품 생산과정에 대한 검토를 통해 프레스 금형의 직접가열 방식의 유효성을 확인하였다.

기존의 Fig. 1의과 같은 간접가열 방식은 열판에 카트리지 히터를 삽입해 열판을 가열하여 금형으로 열을 전달하는 방식으로 열손실이 많고, 열판 가열 후 금형을 가열함에 따른 전력소모가 많고, Fig. 2처럼 금형내부에 직접 PCT 또는 카트리지 히터 등의 열원을 적용하는 경우는 열손실이 적고 전력소모도 적을 것이다.

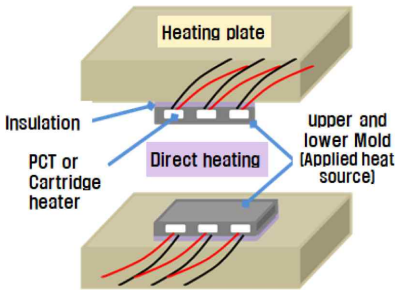


Fig. 2 Concept of direct heating method of mold

3. 직접가열 방식 금형 테스트 및 고찰

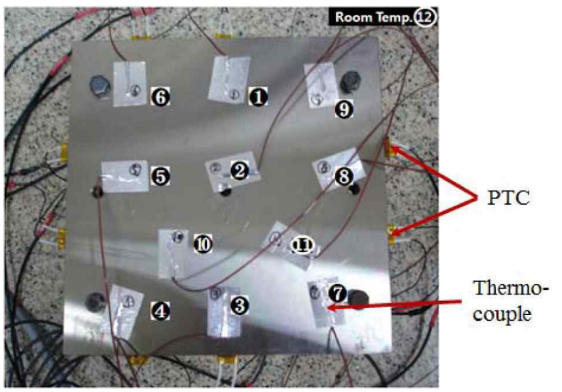
3.1 PTC 소자 적용 금형가열 실험

PCT thermistor는 반도체를 이용하는 대표적인 온도 센서로 어떤 온도에 도달하면 상전환(phase transition)에 의해 온도가 상승함에 따라 급격히 저항값이 증가하는 성질을 갖는 소자로 정의된다. PTC 소자는 저항-온도 특성, 전압-전류 특성, 전류-시간 특성인 3대 특성을 가지고 있다. 이 특성을 이용하여 degaussing 소자, 과전류 및 과열 보호용 소자, 자기 발열소자 등의 제품으로 폭넓게 사용되고 있다. 본 실험에서는 정온 발열기능의 히터로서 이용하여 간이금형에 적용하였다.

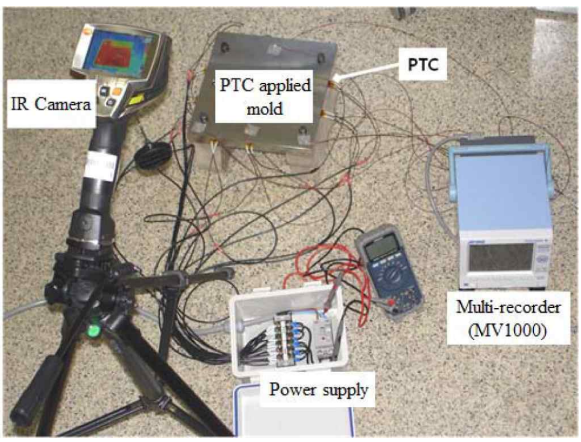
기존에 히터 봉으로 열판을 가열 후 열판에서 금형으로 열을 전달하는 간접 가열방식의 경우 열판과 금형간의 열저항으로 인한 열손실이 많고, 금형의 요구 온도이상으로 열판을 높은 온도까지 가열해야 하며, 금형에 온도센서를 부착하여야 한다. 또한 열판과 금형 모두를 가열하여야 함으로 필요 이상의 전력이 필요하다. 반면에 금형 내에 PTC를 직접 적용하는 직접가열 방식의 경우 PTC 소자 자체가 온도센서 역할을 함으로 금형에 별도의 센서 부착이 불필요하고, 금형 자체만을 가열하기 때문에 전력 소모가 작고, 온도 유지를 위한 전력 소모가 작다. 실험에 사용한 PTC 소자의 규격은 Table 1과 같다.

PCT를 적용한 간이금형 열변화 테스트를 위하여 Fig. 3처럼 장치를 구성하였다. 간이 금형에 PTC 발열소자 8개를 적용하고, 가열을 시작하여 1시간 10분 동안 온도를 올리는 과정에서 금형 전체 온도 분포를 측정하는 방법으로 실험을 진행하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. 이는 제품 생산을 가정하여 초기 대기온도에서 고무성형 가공이 가능한 온도인 금형의 모든 부분에서 160~180 ℃까지 상승하는 시간이 1시간 10분 정도 소요되었으며, 160 ℃까지는 45분 정도면 충분하였고, 소자의 배치, 개수, 모델 변경을 함으로서 30-40분 이내에 제품 성형이 가능한 적정 온도까지 올리는 것이 가능할 것으로 사료되며, PTC 발열소자를 이용한 직접가열 금형개발의 유효성을 확인하였다.

Fig. 5의 그래프를 보면 금형에 적용된 PTC에 전원을 인가한 후 15~60분경과 시의 P1~P11의 온도 분포를 나타내었다. 15분 후의 최대 및 최소 온도의 편차는 34.4 ℃, 30분 후는 26.7 ℃, 45분 후는 22.3 ℃이며, 1시간 후의 18.9 ℃를 보였다. 온도 편차가 큰 것은 PTC의 배치에 따른 편차가 발생한 것으로 사료된다. 시간이 지날수록 온도 편차가 줄어드는 것을 알 수 있었으며, 그 결과 PTC의 최적 배치를 통해 부위별 온도 편차를 10



(a) Simple mold with PTC

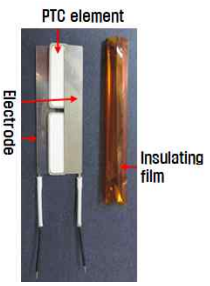


(b) Apparatus for heating test

Fig. 3 Schematic illustration of the heating test device

Table 1 PTC element used in direct heating mold

Type	Bar type assembly
Rated Resistance (Ω)	400～800
Rated Voltage (Vrms)	220
Max. Voltage (Vrms)	265
Inrush Current (A)	Max 3.5
Stability Current (mA±30%)	100
Surface Temp. (℃±10)	245



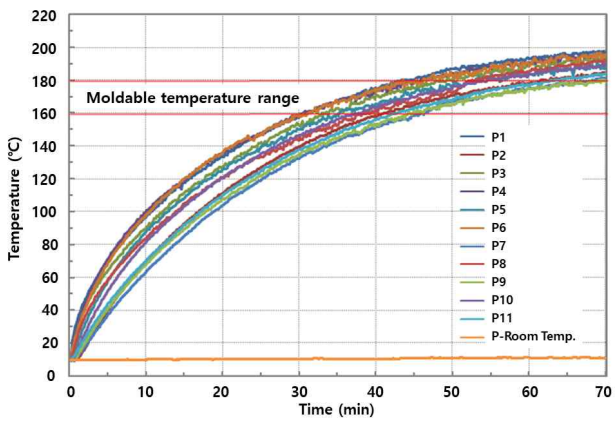


Fig. 4 Thermal change test result of simple mold with PTC application

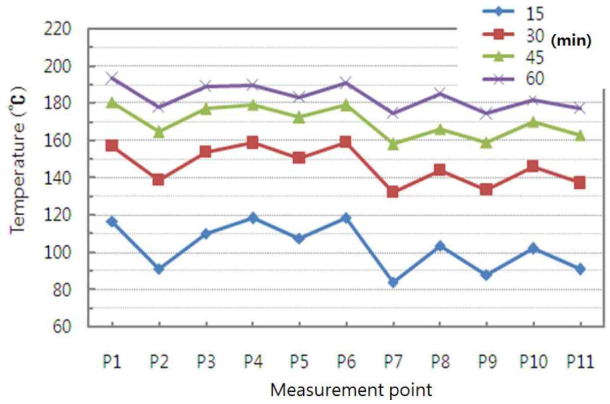


Fig. 5 Temporal temperature distribution after mold heating

℃ 이내로 해소 할 수 있을 것으로 판단되었고, 프레스 금형에 가열원을 직접 적용하는 직접가열 금형 개발의 가능성을 확인하였다.

3.2 직접가열 방식 적용 금형 가열 테스트

본 절에서는 3.1의 PTC를 이용한 직접가열 금형 개발 가능성을 확인 한 결과를 바탕으로 프레스 성형 생산으로 실제 제품에 적용하고 있는 O사 압력용기 제품의 압력패킹을 생산하는 프레스 금형에 원형으로 가공한 카트리지 히터를 적용한 직접가열 금형에 대해 가열 테스트를 실시하였다. 기존 방식은 프레스 열판에 설치된 히터로 열판을 가열하면 프레스금형으로 열이 전달되는 간접 가열 방식이지만, 성형금형을 직접가열하기 위해 봉 타입 카트리지 히터를 제품형상을 고려하여 원형으로 형상 가공 후 금형내부에 설치하여 금형을 직접 가열하는 방식으로 Fig. 6에 상하금형과 카트리지 히터 적용부위를 나타내었다. 기존 방식의 경우 열을 금형으로 전달하는 과정에서 금형과 접촉부에서 열 저항 및 손실이 발생하여 많은 에너지가 필요하다. 반면에 금형을 직접 가열하는 경우는 적은 에너지로 금형의 초기 및 재 가열이 가능하고, 가열 시간도 단축할 수 있으며, 생산 공정 중 금형으로 부터의 열손실이 적어 균일한 온도 유지가 용이하여 에너지 소비를 줄일 수 있으며, Fig. 7에 원형의 카트리지 히터를 적용하는 개념의 모델링 도면과 원형으로 제작된 카트리지 히터를 나타내었다.

O사의 원형 압력패킹 형상의 프레스 금형에 의한 성형 시에 금형에 제품과 같은 형상의 원형히터를 적용함으로서 성형되는 부위의 금형의 온도 분포를 균일하게 유지 할 수 있었다. 이를 확인하기 위해서 직접가열 금형 테스트 장치를 Fig. 8(a)와 같이 구성하고, (b)는 직접가열 금형의 온도 분포 측정 포인트이고, 테스트는 고무성형이 가능한 온도인 150 ℃까지 가열하는 테스트를 실시하였다.

Fig. 8처럼 성형기에 직접가열 금형을 설치하고, 금형가열 온도

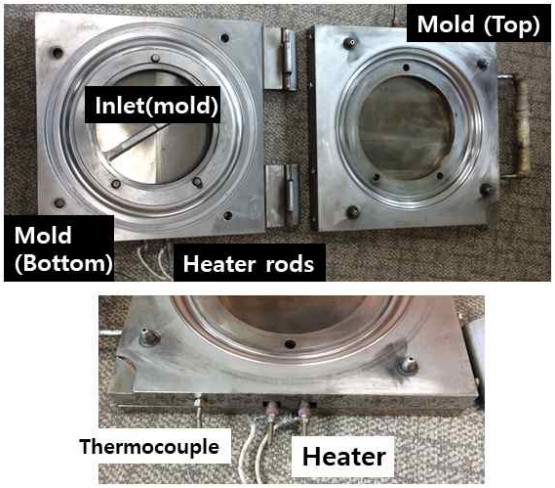


Fig. 6 Direct heating mold with circular heater

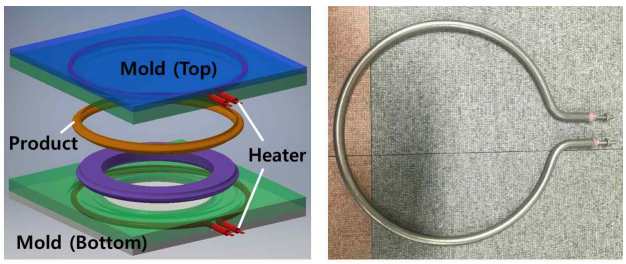
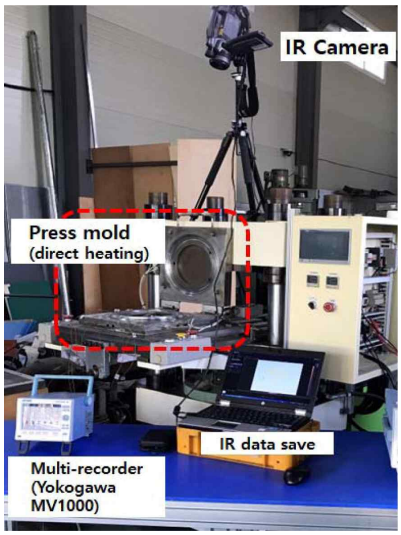


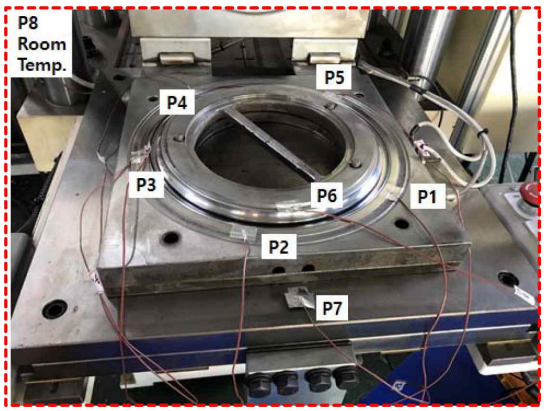
Fig. 7 Direct heating concept of mold and circular heater

를 120 ℃로 설정 후, 수동 온도 컨트롤 모드로 설정한 상태에서 금형을 개방한 상태로 테스트 진행하였으며, 이때 금형 성형부의 5개소(P1~P4), 내부 금형 2개소(P5, P6), 프레스 하판에 1개소(P7) 및 주위온도(P8)를 측정가능 하도록 열전대를 설치한 후, 가열을 시작하여 성형부의 초기가열 온도 상승 특성을 검토하였다. 온도 측정은 멀티레코더 MV-1000(Yokogawa사)를 사용하고 k-type 열전대의 설치 포인트에서 온도를 측정한 결과 아래 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다.

Fig. 10은 프레스금형 하형의 가열전과 3분 후의 IR 이미지이다. 이 실험 결과는 직접가열 금형의 온도 상승 경향을 분석하기 위한 초기 테스트로 프레스금형 하형 및 각 부위의 온도 상승에 대해서 열전대에 의한 데이터를 멀티레코더로 취득한 결과로서 주변온도 17 ℃에서 초기 10분까지는 금형의 온도가 급격하게 올라가는 것을 알 수 있으며, 이후 완만한 상승을 보였다. 하형 금형의 키에 끼워져 올려있는 내부 금형은 초기에는 온도 상승이 더디나, 30분 전후로 하형 금형의 온도와 동일하게 상승함을 알 수 있었으며, P3-P6의 온도분포를 보면 하형 금형과 내부금형의 온도차가 10 ℃ 이내로 균일한 온도 분포를 보임을 알 수 있었다. 초기 온도상승 테스트는 IR카메라를 이용하여 가열전과 가열 3분 후 이미지로 금형 전체의 정성적인 온도분포 경향만을 확인하기 위한 것이며, 하형금형에 내부금형을 결합하고 개방



(a) Heating test equipment configuration of direct heating mold



(b) Temperature measurement point of direct heating mold

Fig. 8 Configuring the heating test device

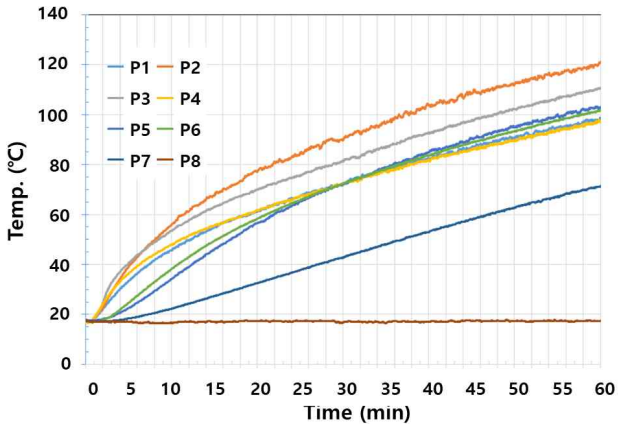
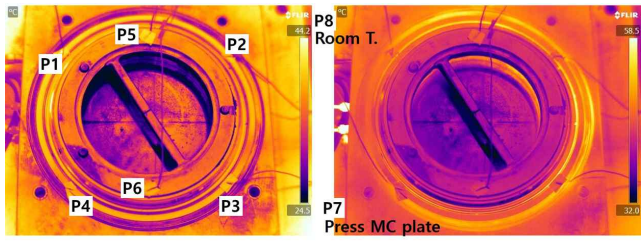


Fig. 9 Temperature distribution of direct heating mold

한 상태로 테스트를 진행하였다.

추가적으로 Fig. 8처럼 테스트 장치를 구성하여 온도 상승 테스트 및 제품 성형테스트를 함께 진행하여 온도 분포와 편차를 확인하였다. 성형기에 직접가열 금형을 설치하고, 금형가열 온도를



(a) 0 min (b) 3 min

Fig. 10 IR inspection of temperature distribution in direct mold

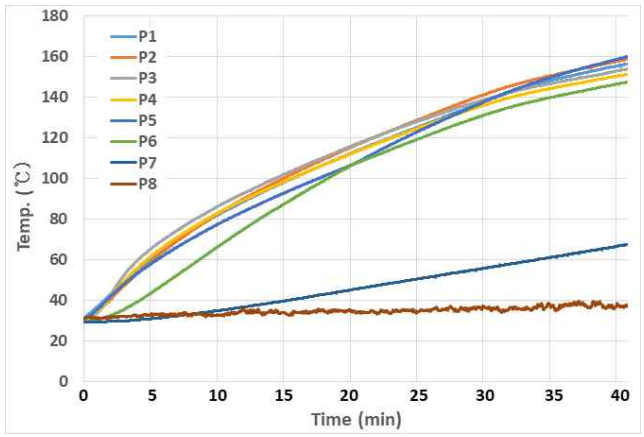


Fig. 11 Product molding heating test using direct heating mold

Table 2 Temporal temperature of direct heating mold

Time (min)	Temperature at each point of the mold (°C)					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	31.4	30.4	30.1	30.3	30.7	29.4
5	62.3	60.9	67.0	63.4	59.4	45.0
10	81.9	82.4	86.2	82.8	77.3	66.1
15	96.9	98.9	100.8	97.2	91.6	85.8
20	111.9	114.9	115.3	111.6	106.0	105.6
25	124.8	128.3	127.7	124.2	122.4	118.9
30	137.6	141.1	138.6	135.9	137.4	131.0
35	148.0	150.4	146.5	144.1	149.4	139.6
40	155.5	157.7	153.0	150.5	158.5	146.6

180 ℃로 설정 후, 자동 온도컨트롤 모드로 설정하고, 실제 생산 시 온도상승 방법과 동일하게 금형을 닫고 진행하였다. 금형 성형부 5개소(P1~P5), 내부 금형 1개소(P6), 프레스 하판에 1개소(P7) 및 주위온도(P8)를 측정 가능하도록 열전대를 설치한 후, 가열을 시작하여 성형부의 온도 상승 특성을 검토하였고, 온도변화를 측정하여 Fig. 11과 같은 결과를 얻었다. 또한 Table 2에 열전대에 의한 온도 분포와 비교하기 위한 데이터로 IR 카메라의 동영상 이미지로부터 5분 간격으로 온도 데이터를 추출한 결과이다. 초기 온도상승 테스트 시 하형금형 5개소에서 제품성형이 가능

Table 3 Power consumption of direct heating mold

Time (min)	Mold power consumption (Wh)	Voltage (V)	Current (I)
5	121.75	217.54	6.55
10	241.23	219.44	6.61
15	371.33	219.27	6.60
20	480.80	219.86	6.61
25	607.91	217.77	6.55
30	722.21	219.69	6.60
35	843.04	218.17	6.56
40	970.68	221.52	6.66
50	1212.71	224.17	6.74
60	1458.80	219.06	6.58
70	1706.31	223.08	6.69
80	1923.02	220.66	6.63
90	2123.31	217.34	6.54
100	2323.53	218.54	6.57

한 150 ℃까지 도달하는 데 약 40분정도 소요되었으며, 최종적으로 성형가능 온도에 도달한 상태인 40분에서 P1~P5의 온도 편차를 보면 최소 온도를 기준으로 각 포인트 온도차는 8 ℃ 이내의 편차를 보임을 알 수 있었다. Fig. 11의 온도 분포 그래프를 보면 초기 15분 내에 급격히 100 ℃정도로 상승하여 40분 정도 지나면 성형 가능한 온도에 도달하였고, Fig. 10의 금형의 단순 온도상승 테스트 결과보다도 가열 초기에 급격하게 온도가 상승함을 알 수 있었다.

테스트 결과 성형가능 온도에 약 40분 정도에 도달하였으나, 금형을 프레스로 가압 상태에서 가열한다면 금형내의 온도가 보다 더 빠르고 고르게 상승할 것이며, 상하형 금형과 내부금형 간의 온도 편차도 적고, 보다 더 빨리 성형가능 온도에 도달할 것으로 판단된다. 작업 시작을 위해 초기 금형가열 시 간접가열 방식의 경우 7.2 kw × 2 set 히터로 프레스의 상하열판을 가열하여 금형으로 열을 전달하여 가열하는 방식으로 1시간 20분 이상 가열해야 하지만, 금형 내부에 가열원을 장착하는 직접가열 방식의 경우 Fig. 11에서 알 수 있듯이 1.5 kw × 2 set의 히터로 40분 만에 가열되었으며, 초기 15분 이내에 100 ℃까지 급격히 상승하였다. 이때 소비전력은 Table 3의 데이터에서 알 수 있듯이 선형적으로 증가하고, 제품성형이 시작되면 보다 더 급격하게 증가하게 되고, 작업 중의 열손실에 따른 재가열시에도 저 전력으로도 가열할 수 있고, 8 ℃ 이내의 균일한 온도 유지가 가능할 것으로 판단되며, 프레스 성형금형의 직접가열방식의 기술에 대한 유효성이 확인되었다. 간접가열의 경우 직접가열 히터 대비 4.8배 용량의 히터로 가열하면서도 금형을 고무 성형이 가능한 온도까지 올리는데 1시간 20분소요(실제 작업 현장 데이터를 기초로 함)되고, 프레스 열판과 금형간의 열저항과 열손실에 의해 많은 에너지가 소비된다. 따라서 직접가열 방식의 경우 많은 에너지 절감이 가능함을 일 수 있었다. 향후 추가적으로 실제 프레스 성형 생산 공정에서 기존의 간접가열방식의 성형과 직접가열방식의 성형 시의 에너지소비에 대한 정량적 비교 테스트를 진행할 예정이다.

4. 결 론

고무성형을 위한 기존의 열판가열 후 금형으로 열을 전달하는 간접가열방식이 아닌 직접 가열하는 방식으로 프레스 금형내부에 열원을 설치하여 직접 금형을 가열하는 방법을 적용함으로서 작업초기 금형가열시간 단축 및 금형 내 온도편차를 최소화하고 균일한 온도분포를 유지함으로서 불량률 감소, 에너지절감 효과 및 생산성 향상이 가능한 프레스 금형의 직접가열 방법에 대한 유효성을 확인하였고, 실제 제품생산에 사용되는 직접가열 금형을 개발하여 제품생산에 적용하고 테스트를 실시하여 유효성을 확인하였다.

직접가열 방식의 프레스성형 금형을 개발함으로서 금형의 부위별 온도 편차를 10 ℃ 이내로 줄여서 제품 불량률 감소와 품질 향상이 가능할 것이며, 기존 성형기 대비 50%이상의 에너지 절감이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구개발 결과는 공기 흐름이 심하고 개방된 현장에서 간이 테스트로 진행한 결과로서 다소 오차가 있으나 신뢰할 수 있는 결과임을 확인하였다. 또한 향후 프레스금형의 간접가열 방식과의 개발된 직접가열방식을 적용한 에너지 절감과 관련한 현장 테스트를 추가적으로 실시할 예정이다.

References

[1] Oh, S. H., ,Kim, H. S., Cheong, S. K., , Shin, K. H., 2018, Evaluation of Accelerated Life of High-temperature Deteriorated Rubber by Stress Relaxation, Journal of the KSMTE 27:1 7-13.

[2] Thiruvarudchelvan, S., Elastomers in Metal Forming: A Review, 1993, J. Mater. Proc. Tech., 39:1-2 55-82.

[3] Valanis, K. C., Landel, R. F., 1967, The Strain-energy Function of a Hyperelastic Material in Terms of the Extension Ratios, J. of App. Phys., 38 2997-3003.

[4] Kim, S .Y. ,Kim, M. J., Lee, S. S., Jeon, E. C. , Kim, S. K., 2003, Application of Reverse Engineering System for Improvement of Press Forming Process, roc. of KSMTE Autumn Conference,412-419.

[5] Kum, J. W., Park, O. J., Homg, S. M., 2016, Tough High Thermal-conductivity Tool Steel for Hot Press Forming, Journal of the KSMPE, 15:3 130-134.

[6] Kim, M. H., 2011, Development of Rapid Cross-link Rubber Material and Rubber Injection Process, Doctoral Dissertation, Pusan University, Republic of Korea.

[7] Cho, Y. T., Lee, C. H., Ma, S. D., 2013, Direct Heating Method using PTC's Press Mold, Proc. of KSMTE Autumn Conference, 303.