

초고주파 가열을 이용한 스티로폼 제조기술 연구

한 두 희*

A Study on the Styrofoaming Method by UHF Heating

Doo Hee Han*

요 약 고강도 저발포 스티로폼을 고온고압 수증기를 사용하지 않고 초고주파를 사용하여 제조하는 공법을 개발하였다. 주파수 13.6 MHz이고 출력 7kW의 전자기파와 3배 발포분을 원료로 사용하였다. 유전가열방식이 스팀방식보다 내부 용착성에서 우수하였으며, 모분 온도 105-110°C에서 내부 용착성이 가장 우수하였다.

Abstract The low foamed high strength styrofoam samples made by dielectric heating are discussed. We used the oscillator which have the frequency of 13.6 MHz and the power of 7 kW. 3 times expanded beads by steaming method were used in our foam-molding test. Internal fusion properties and density of internal structure were improved by dielectric foaming process. At the temperature of 105-110°C, the internal fusion property was maximally improved.

Key Words : styrofoam, dielectric heating, steam foaming

1. 개 요

일반적으로 스티로폼(styrofoam)은 원료 모분을 수증기로 일차 발포하여 이것을 금형에 넣어 고압 수증기로 성형한다[1]. 한편, 이러한 방법을 사용할 경우 스티로폼의 단열성에 의하여 열을 먼저 받는 표면은 먼저 용착되고 내부는 용착이 잘 안되어 강도가 떨어질 수 있다. 이것은 열의 전달을 기본적으로 전도 및 대류 현상을 사용하기 때문에 일어나는 현상이며, 원료 모분에 포함되는 수분이 자발적으로 열을 발생한다면 내부 용착성을 획기적으로 증대시킬 수 있을 것이다. 이러한 스티로폼 제조 방법은 국내외적으로 아직 알려지지 않은 획기적인 방법이다. 본 연구에서는 유전가열을 이용한 스티로폼의 제조방법과 종전의 방법을 비교 분석하였다.

1.1. 유전가열의 원리

고주파 가열은 크게 고주파 유도가열과 고주파 유전가열, 마이크로파 가열로 구분할 수 있다. 유전가열의 특징은 물질 내에 전기장이 균일하게 분포하게 되면 물질의 내부를 동일하게 가열할 수 있다는 것이다. 일반

적으로 유전체를 흐르는 전도전류는 매우 적으며, 이것에 의한 손실도 작아서 유전손실이라 하면 주로 변위전류에 의한 손실을 말한다. 유전체에 전기장을 가하면 전기적으로 중성이던 분자들의 전하가 전기장의 강한 응력으로 양전하와 음전하로 나뉘어져 쌍극자를 형성한다. 이와 같이 변위에 수반되어 유전체에 흐르는 전류는 변위전류(drift current)이다.

이때 전극에 흐르는 전류는 전기용량 C에 의해 만들어 지는 변위전류 I의 흐름으로 전압과 같은 위상의 전류이며

$$I_2 = \frac{V}{R}[A], I_1 = 2\pi fCV[A], I = I_1 + I_2 \quad (1)$$

유전체 내에서 소비되는 전력 P는

$$P = VI_2 = VI_1 \tan\delta = 2\pi fCV^2 \tan\delta \quad (2)$$

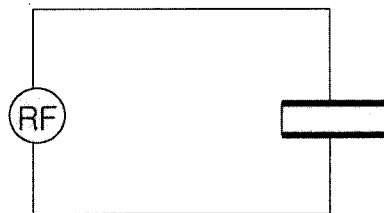


그림 1. 유전체순

이 논문은 청운대학교 2003년도 학술연구조성비의 일부 지원에 의하여 연구되었음.

청운대학교 건축공학과

*교신저자: 한두희(dhhan@cwunet.ac.kr)

여기서 δ 는 유전체의 손실각도이다.
평행판 축전기에서 정전용량 C는

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (3)$$

이때 ϵ 은 유전체의 유전율이고 A는 극판의 면적, d는 극판의 간격이다.

단위체적당 소비전력 p는

$$p=0.555\epsilon_r \tan\delta E^2 \times 10^{-10} \text{ [W/m}^3\text{]} \quad (4)$$

여기서 ϵ_r 은 물질의 비유전율이다. 고주파 유전가열은 유전체 손실에 의해 유전체 자신이 발열하는 것이기 때문에 유전체의 두께는 큰 문제가 되지는 않는다. 또한 발열은 전압의 제곱에 비례하기 때문에 온도상승의 속도를 제어할 수 있고, 발열과 정지를 쉽게 할 수 있다.

1.2. 공업용사용주파수대(ISM)

일반적으로 전자파는 광의적으로는 열 및 빛을 포함하여 복사선을 통칭하는 말이고 협의적으로는 주파수 30 kHz-300 GHz의 인공적인 복사선을 말한다. 이러한 전자파는 목적에 따라 사용할 수 있도록 허가된 영역이 있는데 공업용으로 사용할 수 있는 주파수대역을 요약하면 표 1과 같다[2, 3].

일반적으로 300 MHz에서 300 GHz까지를 마이크로파라 하며 30 kHz에서 300 MHz까지를 통칭하여 고주파라 부른다. 고주파 유전가열은 두 가지 단계로 이해된다. 첫단계는 매질에 의한 복사선 전파 및 에너지 흡수이고, 둘째 단계는 흡수된 에너지가 전도 대류 복사

표 1. ISM 주파수대(일부)

할당주파수(MHz)	허용편차	파장(cm)
13.56	± 6.78 kHz	2,212
27.12	± 16.72 kHz	1,106
915	± 25 MHz	32.8
2,450	± 50 MHz	12.25
5,800	± 75 MHz	5.17

의 과정에 의해 열로 변환되는 것이다[4].

2. 스팀 방식과 유전가열법의 비교

2.1 기술적인 측면의 비교

유전가열법이 보편화되지 않은 기술이기 때문에 직접 비교는 타당하지 않을 수 있지만 진행된 상황을 가지고 비교하면 표 2와 같이 비교할 수 있다[5].

스팀가공법은 일반화된 방법이지만 유전가열법에 의한 스티로폼 성형 기술은 아직 보고된 바 없다. 1차 발포는 원료모분을 필요한 크기로 발포하는 단계로 고압 고온 공기나 스팀을 원료에 직접 투입하는 방법과 높은 온도의 통로를 통과하게 하는 간접발포식으로 대별할 수 있으며 대부분 고온 고압 스팀에 의한 직접발포식을 사용하고 있다. 1차 발포의 방법은 제품을 성형하는데 큰 차이를 주지는 않지만 생산설비를 소형화하는데는 전기가열통로를 원료모분이 통과하게 하는 간접발포식이 유리하다.

표 2. 스팀가공법과 유전가열법의 비교

구분	기본 공정	장 점	단 점
스팀가공법	1차발포 스팀가열성형 냉각 이형	1) 고발포 성형에 알맞음. 2) 고급기술이 필요치 않다.	1) 생산이 까다롭다. 2) 제품의 내부가열이 어려움. 3) 습식가공법으로 작업환경 열악. 4) 대단위 부대설비 필요. 5) 가공공정이 많으므로 가공비가 많이 소요. 6) 내부용착력이 떨어짐. 7) 생산수율이 떨어짐. 8) 단시간 순간가열이 어려움.
유전가열법	1차발포 유전가열성형 냉각 이형	1) 생산공정을 단순화할 수 있다. 2) 작업환경 개선(소음, 열기, 배기 가스 배출 등 산업환경 오염 없음) 3) 생산수율을 높일 수 있음. 4) 내부 순간 가열이 가능하므로 높은 생산성을 얻을 수 있음 5) 기존 개발기술가공비에 비해 가공비를 50% 절감 가능함	1) system 가동유지에 필요한 고급인력 필요. 2) 별도의 전자파 차폐 안전장치 필요.

2.2 시료의 비교

2.2.1 유전자열법에 의한 시료 제작

가) 7 kW 출력의 13.6 MHz 고주파 유전자열 성형기를 이용하여 시험용 시료를 제작하였다.

프레스부의 두 극판 사이에 몰드가 위치하며 몰드는 나무와 두랄루민 금형을 사용하였다. 13.6 MHz 대역은 나무 집성용으로 흔히 사용되는 대역이며, 플라스틱류의 성형에는 30-80 MHz 대역이 사용된다.

나무에 주로 쓰이는 13.6 MHz 대역을 택한 이유는 비교적 안전하고 유전자열매체로 사용되는 물의 적정가열온도가 100-110°C 이기 때문에 30-80 MHz 보다 적합하다고 판단되었기 때문이다. 따라서 1차 발표된 모

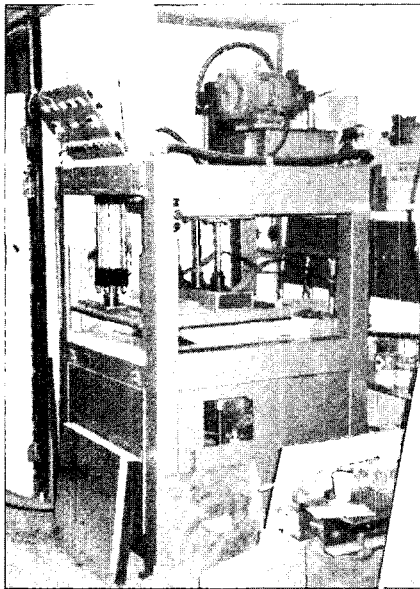


그림 2. 시료 채취에 사용한 유전자열장치

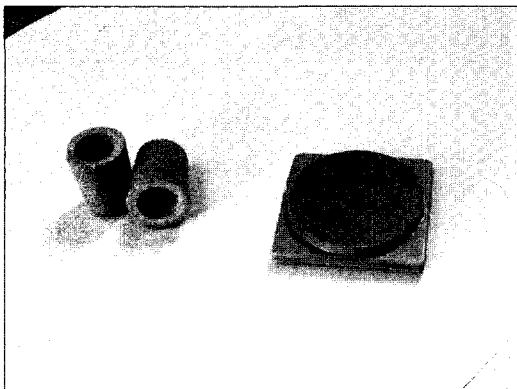


그림 3. 두랄루민 금형과 나무 금형에 의한 시료

분은 나무 몰드에서는 표면이 정교하게 성형되었지만 두랄루민 금형에서는 표면이 잘 성형되지 못하였다. 그 이유는 금속몰드에 연결된 프레스의 극판이 열을 빼앗아 가기 때문이다. 이는 고주파 성형에 금속 몰드가 균일한 전기장을 만들지 못한다는 것과 함께 부적합한 또 하나의 요인이었다.

나) 실험용 집성기 주위에서 발생하는 전자파를 측정하였다.

• 집성기는 목재용으로 사용되는 주파수 13.6 MHz, 최대 출력 7 kW되는 평행판 전극을 가지고 있는 30 kg중의 프레스가 설치된 구조를 가지고 있다.

• 전자파 측정은 배경신호(background signal), 작업자가 서있는 위치(약 1 m), 금형주변에서 실시하였다.

다) 유전자열 성형법에서 나무 몰드와 금속 몰드에 의한 시료 비교

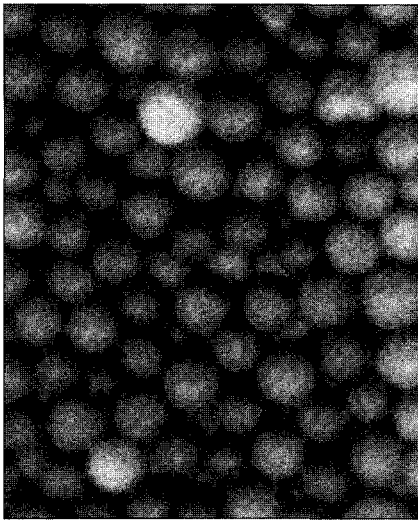
그림 3은 나무와 두랄루민 금형에 의해 제작된 스티로폼 시료의 표면 사진이다. 두랄루민 금형에 의해 만들어진 시료의 표면 융착 상태가 매우 불량한 것을 눈으로 식별할 수 있다. 이것은 금속 표면이 가열되지 못하며, 금속의 열전도율이 높아 외부로 열을 발산시키기 때문이다. 이것은 중요한 사실인데, 유전자열에는 금속 몰드가 균일한 전기장을 만들지 못하고, 그 외에도 열발산에 의해 표면의 융착상태를 불량하게 하므로 금속 몰드의 사용을 피해야 한다는 당위성을 제공한다. 나무는 보온성이 좋으나 내구성은 많이 떨어진다. 금형이 대량 생산을 전제로 한다면 수분에 의한 변형에 약하고 외부 충격에 의해 쉽게 변형되므로 나무는 적당한 소재로 보기 어렵다. 열에 의한 변형이 적고 보온성이 좋은 비금속 소재를 택하는 것이 바람직하다는 결론을 얻게 된다. 따라서 ABS, FRP, PE, PP 등의 비금속 소재에 대한 구체적인 가능성을 조사하는 계기가 되었다.

라) 비금속 몰드

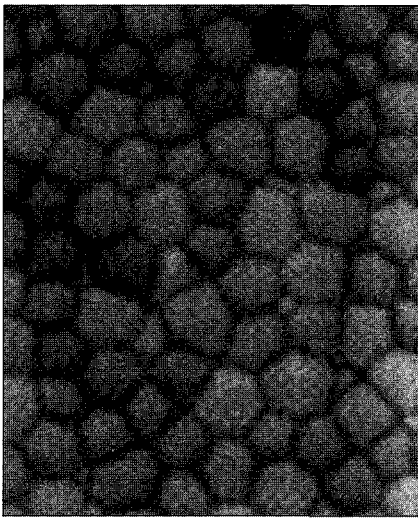
또 다른 비금속 금형의 시도로 PE(poly ethylen), PP(poly propylen), ABS, 나일론 등을 사용하였다. 플라스틱 몰드의 장점은 정교한 모양을 쉽게 만들 수 있지만 열에 의하여 쉽게 변형되는 단점을 가지고 있다. 또한 절연성이 좋아 성형물 표면 온도를 높이는데 부적합하다. 하지만 물을 매개로 한 유전 가열에서 필요한 온도가 100°C 부근이기 때문에 플라스틱 몰드는 최선

표 3. 시료 채취시 전기장 환경

위치	전기장(V/m)	출력(W/m ²)	비고
배경신호②	0.3	0.00	
작업위치③	10	0.30	
몰드주변①	200	40	



(a) 두랄루민 금형



(b) 나무 몰드

그림 4. 나무와 두랄루민 금형에 의한 표면 융착 상태

의 선택될 수 있다.

2.2.2 온도제어기가 부착된 전기 가열장치에 의한 온도 특성 조사

전기가열장치를 활용하여 1차 발포된 폴리스티렌 모분의 90-150°C 사이에서의 융착정도를 비교하였다.

가) 온도 및 시간에 따른 3배발포 모분의 융착 정도 조사

- 전기가열식 플라스틱 사출 성형기를 사용하여 온도 및 시간에 따른 융착정도를 비교 분석하였다.

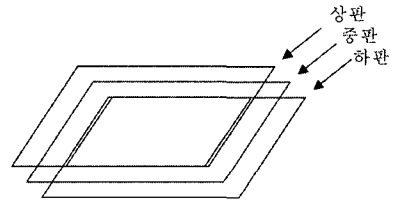


그림 5. 삼판식 금형의 일개도

표 4. 시간에 따른 융착도 변화 조사(온도 110°C)

융착시간(분)	융착상태	비고
5	불량	
10	양호	
15	매우 양호	
20	양호	

표 5. 온도에 따른 융착도 변화조사(시간 15분 고정)

온도(섭씨)	융착상태	비고
90	상태 불량	
110	매우 양호	
130	기포 깨짐	
150	기포가 타버림	

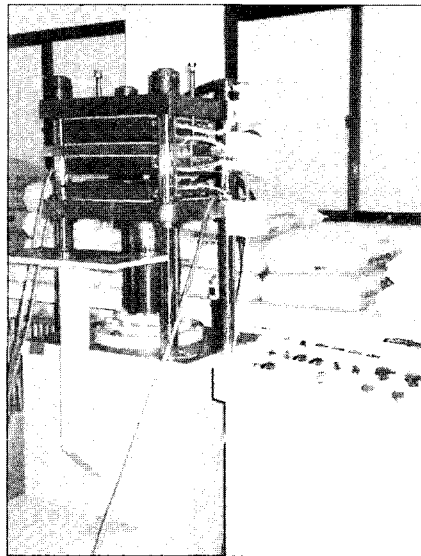
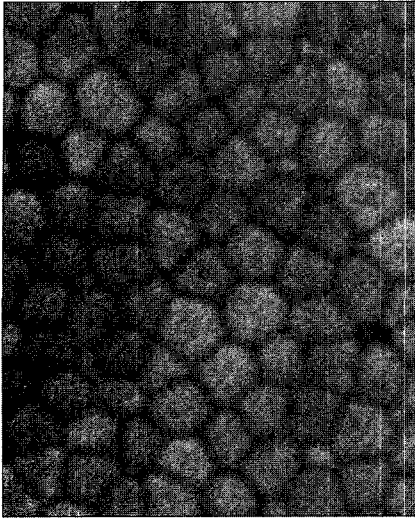
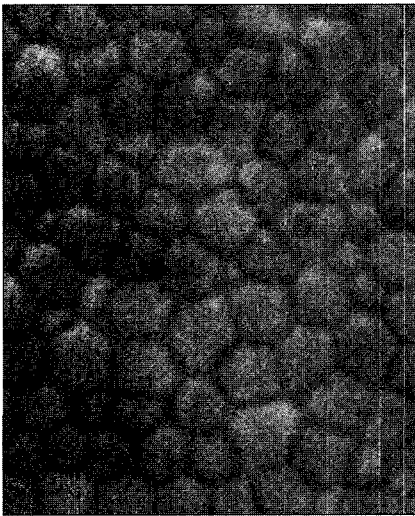


그림 6. 전기가열 프레스 장치

- 이 장치에는 온도조절기가 붙어 있다.
- 전기 가열기에 관이 설치되어 이곳에 냉각수를 흘림으로써 냉각을 용이하게 할 수 있었다.



(a) 전기가열에 의한 스티로폼 표면



(b) 스팀가열에 의한 스티로폼 표면

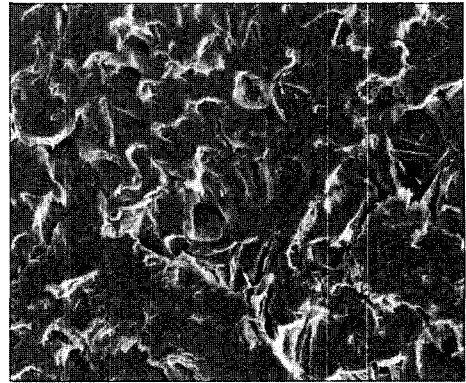
그림 7. 전기 가열과 스팀 가열에 의한 스티로폼 표면의 융착상태

- 금형은 세 개의 평판 금형을 조립하여 사용하였다.
- 밀판에는 좌우로 직선 홈을 내 물이 흘러나오도록 하였다.

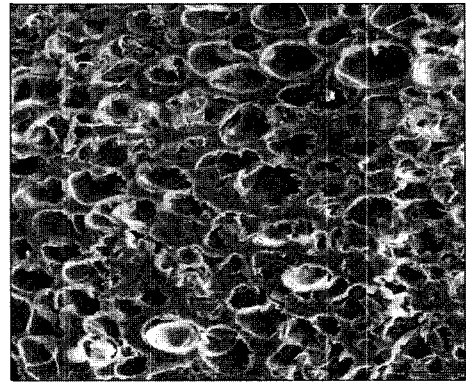
나) 시간 및 온도에 따른 융착정도 변화 조사

시간과 온도에 따른 융착정도를 조사하였다. 스티로폼 원료 모분은 80°C 이상에서 발포하기 시작하며, 130°C 이상에서는 기포가 깨져 표면이 손상되었다. 105-110°C에서 가장 좋은 융착을 보였다.

다) 전기가열에 의한 스티로폼 성형과 스팀가열에 의



(a) 유전자열



(b) 스팀가열

그림 8. 스팀 가열과 유전자열에 의해 만들어진 스티로폼 시료의 단면 비교

한 스티로폼 성형 시료의 비교

전기 가열에 의해 만들어진 스티로폼 시료와 스팀 가열에 의해 만들어진 스티로폼 시료의 표면을 비교하였다. 표면의 광택과 성형된 모양이 거의 차이가 없었다.

라) 스팀 성형과 유전자열 성형의 시료 비교

또한 스팀 방법에 의해 제작된 시료와 유전자열에 의해 만들어진 시료의 내부 단면 구조를 살펴 본 결과 스팀 가공에 의한 시료는 내부에 미소한 수많은 기공이 있는데 비하여 유전자열에 의해 만들어진 시료의 내부는 기공이 적게 나타났다. 이것은 유전자열에 의한 스티로폼의 밀도가 높은 것을 나타내 주며 내부에서부터 융착이 일어난다는 장점과 함께 스티로폼 조직을 조밀하게 하여 강도를 향상시키는 요인이 됨을 알 수 있었다. 그림 8은 스팀가열과 유전 가열에 의한 스티로폼 시료의 단면 구조를 비교한 것이다.

3. 고주파 성형기 및 금형의 설계, 제작

3.1 고주파 용착 성형기

3.1.1 고주파용착성형기의 기본 구조

고주파용착성형기는 발진부, 프레스부, 몰드의 세 부분으로 대별된다. 발진부는 유전가열에 필요한 고주파를 만들어 준다. 고주파의 주파수는 대용량 축전기의 전기용량과 발진 코일의 자체인덕턴스에 의해서 결정되며, 이렇게 만들어진 고주파는 고출력 진공관에 의해 증폭된다. 프레스부의 두 금속판은 발진부에 연결되어 평행판 축전기의 역할을 하며 두 극판 사이에 성형틀이 놓여진다. 성형틀 내의 물질들은 유전체의 역할을 하며 고주파에 의해 자발적으로 가열된다. 자발적 운동은 진동과 회전운동인데 회전운동에 의한 열이 대부분이다. 그림 8은 유전가열에 의한 스티로폼 성형기의 개념도를 보여 준다.

3.1.2 발진부의 설계

220 V 3 상 입력은 No Fuse Break(일반차단기, 일정 전류 이상이면 회로를 차단시킨다) 와 Magnetic 스위치

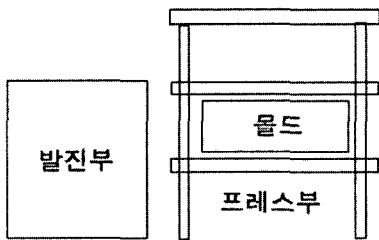


그림 9. 유전 가열에 의한 스티로폼 성형기의 개념도

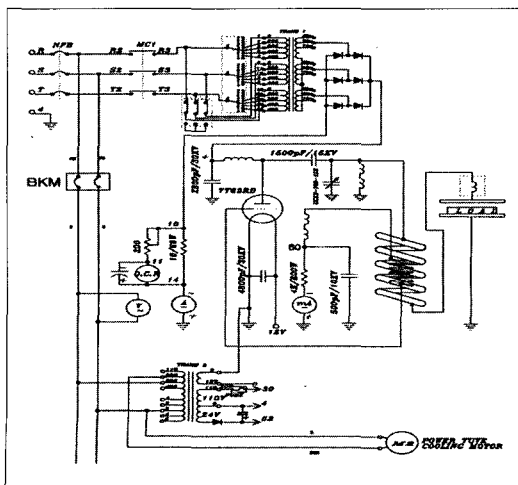


그림 10. 발진부의 설계도

(일정 전류를 못받아 들이면 NFB 는 아웃된다)를 거쳐, 승압 트랜스 TR1 에 입력된다. 이때 RELAY 회로는 Y-Δ 결선으로 결선 방법에 따라 1 차측의 권선비의 선택을 조정하며, 이에 따라 1 차측의 전압이 선택되며, 2 차측에 전압이 유도된다. 이 2차측 전압은 다이오드 정류회로를 거쳐 고출력 증폭기에 인가된다. 진공관 부분의 발진회로는 1차 코일과 2차코일의 쇠고 자속수를 조절하여 부하의 정도에 따라 부하측에 흐르는 전류의 양을 조절한다.

한편 BKM은 회로보호용 과전류 자동차단 장치이고, OCR(Over Current Relay, 과전류 계전기)은 300 VR 에 의해 흐르는 전류 양을 조절한다. 끝으로 TR2는 강압 트랜스로서 단자 52, 4, 30에 각각 21V, 110V, 30V 를 공급하며, 12 V 는 발진회로의 바이어스 전압으로 사용된다. 설계의 기본 방향은 20 kW 용량에 맞추었으며 안전등을 충분히 고려하였다. 설계의 기본 골격은 그림 10과 같다.

3.1.3 유압프레스장치의 설계

프레스부는 발진부와 분리형으로 1000×1000 프레스판을 사용하여 대형의 성형체를 만들 수 있도록 하였다. 조정장치는 발진부에 부착하여 조작이 용이하도록 하였다. 그림 11은 유압 장치의 조정 장치 설계도이다.

3.1.4 개발된 용착성형기의 구조

기본 설계에 따라 고주파 용착 성형기를 제작하였다. 발진부와 프레스부를 독립시켰다는 것이 특징이며, 이것은 향후 한 대의 발진장치로 여러 대의 성형장치를 가동시킬 수 있는 발상의 기초가 된다. 즉 한 대의 발진장치에 여러 대의 성형장치를 병렬로 배열하여 성형체가 냉각되는 동안 번갈아 가며 다른 성형 장치에 발진

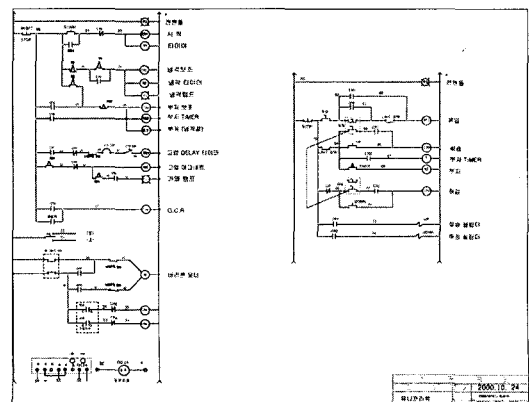


그림 11. 유압장치의 설계도

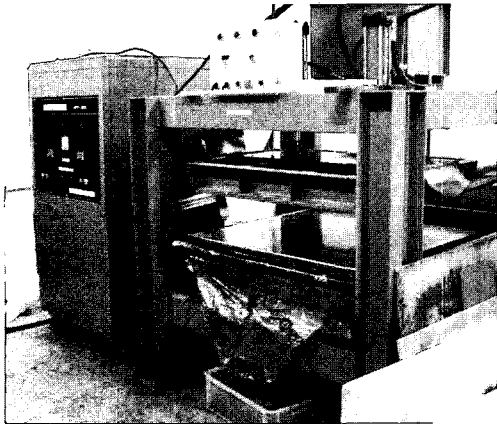


그림 12. 용착성형기의 구조

표 6. 제작된 유전가열기의 제원

출력	20 kW	
전원	3P 220V 60 Hz	
출력전압	DC 5000V	
출력전류	4A	
발전주파수	13.6 MHz	가변적
프레스 정판	1000×1000	
유압펌프	3HP 220V	
압력	14 KG	

장치를 연결해 하여 다중 공정을 하게 하는 것이다. 이것은 성형 용착에 필요한 시간보다 냉각에 필요한 시간이 매우 길다는 사실로부터 착안한 것이다. 발전부는 누전시 자동전원차단이 될 수 있도록 자동조절 기능을 가지고 있으며 일정한 출력을 낼 수 있도록 자동전원공급장치와 시간 조절기가 부착되어 있다. 발전부는 이동설치가 쉽게 고안되었다. 그림 12는 발전부와 프레스부의 전체적인 모양을 보여주며 그림 13에는 발전부의 내부 구조를 보여 준다.

공냉 모터는 고출력 진공관이 과열되는 것을 방지하며, 출력 단자는 고주파 고압전류가 프레스에 장착된 두 극판에 연결해 준다. 전원부는 고전압 전원부와 저전압 전원부가 있으며 발전회로에는 고전압 전원이 공냉 모터 등에는 저전압 전원이 사용된다. 그림 3.6은 발전부를 상세히 보여주고 있다. 동조 코일은 전류의 흐름을 좋게 하기 위하여 구리관을 곁혀 만든 코일을 사용하였다.

3.2. 금형

금형의 기본 구조는 상판, 중판, 하판의 3층구조로 하

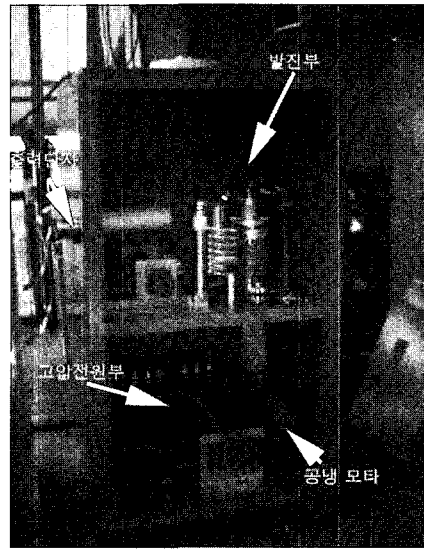


그림 13. 발전부 내부구조

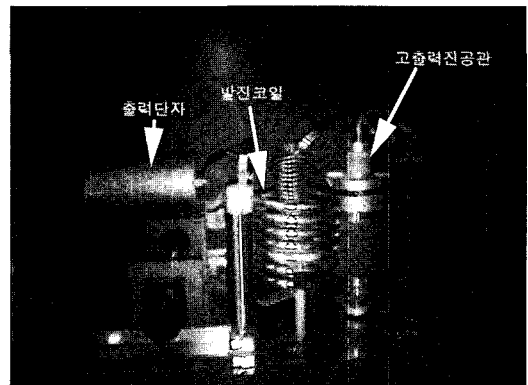


그림 14. 발전부 상세 구조

였다. 그 이유는 유전체의 역할을 하는 물이나 수증기의 배출을 용이하게 하고, 성형 이후 이형 공정을 용이하게 하기 위함이다. 이것은 스팀 성형 방식의 2판 구조와는 다른 구조이다.

몰드 소재는 F.R.P, PE, PP, ABS, Nylon 등을 시도하였다. F.R.P는 가공이 어렵고, PE는 녹는 점이 낮아 열변형이 쉽게 일어났으며, 금형 제작시도 가공부위가 열을 받아 휘는 현상이 나타났다. PP도 PE 보다 녹는 점은 높지만 몰드 가공시와 유전가열 성형시 열변형이 많이 일어났다.

따라서 이런 소재의 몰드는 로봇 트레이 박스를 만드는 데 부적절하였다. 이후 ABS를 사용하여 첫 박스 시료를 만들었다. 한편 ABS는 열을 오랫동안 보관하지 못하는 단점이 있어서 나일론을 이용한 몰드를 만들게 되었다.

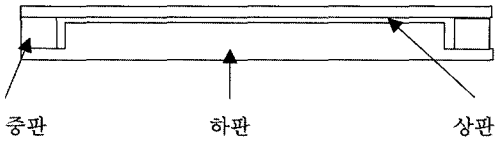


그림 15. 비금속 성형틀의 개념도

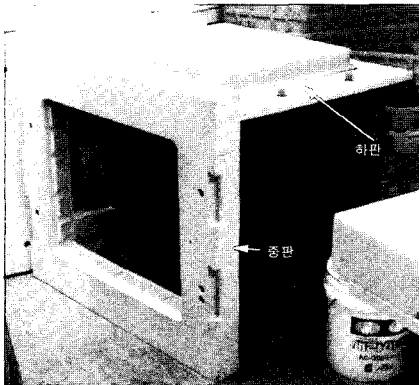


그림 16. 실제 나일론 금형의 구조

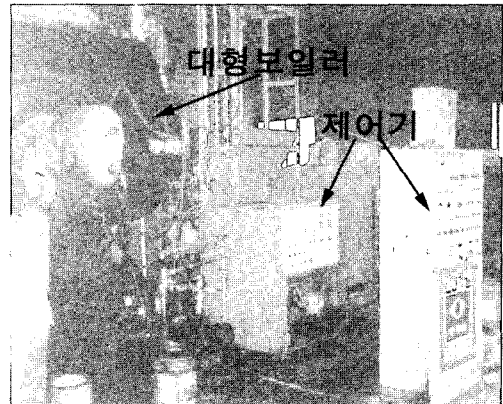


그림 18. 스팀 제조기

4. 스팀방식과 유전가열방식에 의한 제품의 성능 특성

4.1. 스팀성형방식

스팀성형방식은 고온 고압 수증기에 의존한다. 스팀 성형 시설은 1차 발포시설, 스팀 제조용 가열 시설, 원료 이송 시설, 배수 급수 시설, 성형기 등으로 대별할 수 있다. 일반적으로 스팀기는 연관식을 사용하며, 수증기의 압력이 온도를 결정한다. 수증기의 온도는 스팀기에서 나올 때 160°C이며, 이송 중 감압되어 150°C로 다시 금형에 들어갈 때는 110°C 정도로 조절된다. 냉각수의 온도는 60-80°C이며 이는 80°C부터 스티로폼이 발포하기 때문이다. 스팀성형방식에서 성형에 관계되는



그림 19. 1차 발포기

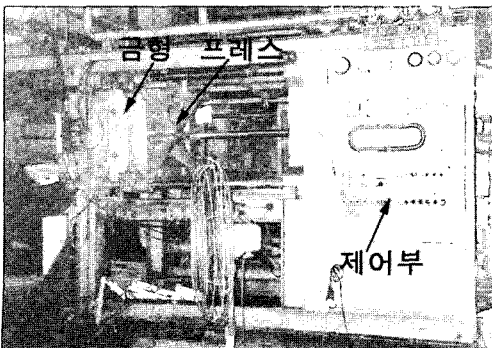


그림 17. 스팀 성형 가공기

인자는 1차발포율, 수분, 온도, 압력 등이다. 그림 18은 스팀성형가공기, 그림 19는 스팀 제조시설을 나타내 준다. 성형장치는 제어부, 프레스부, 몰드부로 크게 나눌 수 있으며, 몰드부는 고정부와 이동부로 이루어진다. 고정 및 이동부에는 1차발포 원료 주입구, 스팀 및 물 주입구가 연결되어 있다. 스팀 가열에 의한 스티로폼 성형 공정을 살펴 보면, 1차발포 원료 주입후 고정부로 스팀이 들어 가고 고정드레인 은 막히며 이동드레인은 열린다(15분). 그후 이동부에 스팀이 들어가며 이동드레인은 막히고 고정드레인은 열린다(2분30초). 다음엔 드레인이 모두 막히고 스팀을 보내며(2분30초), 냉각수를 흘려 냉각시킨다(10분). 프레스가 금형에 가하는 압력

은 6 K/cm³이다. 그림 19은 1차발포기이다. 발포기는 스팀을 사용하여 원료 모분을 성형에 알맞은 크기로 발포시키는 기계이다. 고온 고압 공기나 스팀을 사용하는데 일반적으로 스팀을 사용한다. 발포율은 같은 부피당 질량비로 하며, 부피의 증가율을 말하는 것은 아니다.

4.2 스팀방식과 유전자열방식에 의한 제품의 비교

4.2.1 유전자열에 의한 스티로폼 성형 공정 개발

가) 1차 발포 : 일차 발포는 고온 공기 가열식과 수증기 가열식을 각각 실시하였다. 고온공기 가열식은 전기 가열관을 원료 모분이 통과하게 하여 발포하는 방식으로 플라스틱 사출 장치를 응용하여 제작 실험하였다. 문제점은 발포 이송중 모분 끼리 달라 붙는 것이었다. 원료가 5배 이상 발포에 적합하도록 만들어졌기 때문에 스팀 발포기에서는 시간이 짧아 골고루 발포되지 않는 문제점이 있으나 수증기 가열식을 이용하면 짧은 시간에 균일한 발포를 할 수 있었다.

나) 발포분 주입 : 물 약 300 g을 일차 발포분 3700 g과 혼합하여 성형틀에 넣는 작업으로 초기이기 때문에 수동식으로 하였다.

다) 몰드를 프레스에 결합 : 현재는 수동으로 하지만 자동화할 필요성이 있다.

라) 유전 가열 : 약 1000초 정도 고주파를 사용하여 가열 성형한다.

마) 냉각 : 공기중에서 자연냉각시킨다. 몰드에 가는 관을 풀어 냉각수에 의한 냉각도 병행하였다.

바) 이형 : 프레스를 열고 몰드를 들어내어 성형된 박스를 이형한다.

4.2.2 유전자열방식에서 나타난 문제점

가) 비금속 몰드의 부위에 따라 열분포가 다르게 나타난다. 이것은 극판 사이의 전기장의 불균일, 수분의 배출 능력 부족 및 몰드의 단열성에 기인한 것이다. 극판 사이의 유전체의 두께가 일정하지 않으므로 전기장이 불균일하게 되어 유전체의 두께가 두꺼운 부분에 전

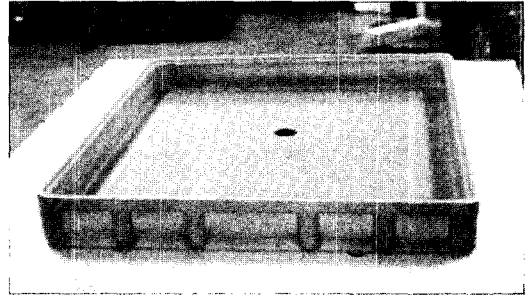


그림 20. 유전자열에 의해 성형된 로봇 트레이 박스

기장이 몰려 많은 열을 내고, 바닥 넓은 부분은 상대적으로 전기장이 약해져 열을 적게 내는 결과가 된다. 또한 스팀 성형 방법에서는 수증기의 출입로를 통한 수분의 왕래가 자유로운데 비하여 유전자열식은 수분의 출입이 봉쇄되어 있다. 또한 몰드의 단열성으로 인하여 불균형한 열이 이웃으로 전달되지 못하여 균일한 열분포를 만들지 못한다.

나) 박스의 모서리 부근이 융착이 잘 되지 않는다.

이것은 원료의 주입과정에서 골고루 들어가지 못한 경우이며, 프레스의 힘에 비하여 극판의 면적이 커서 적절한 압력을 가하지 못하기 때문에 일어나는 현상이다. 따라서 이런 현상은 원료 주입 방법을 개선하고 프레스의 압력을 높여 해결할 수 있다. 현재는 모서리 부근에 좁은 틈을 내어 모분이 틈으로 밀려 올라가게 하여 이 문제를 해결하였으나 필요 없는 부분을 칼로 잘라내야 하는 번거로움이 있다.

다) 재현성이 떨어진다.

같은 비율의 재료와 공정을 사용하여도 시료의 상태가 균일하지 않은 경우가 있다. 이것은 원료 모분의 주입과정에서 불균일하게 되어 프레스의 압력이 부분적으로 다르게 되어 나타나는 현상이다. 이것은 원료주입 방법을 근본적으로 개선하여야 한다는 과제를 안고 있다.

라) 이형이 어렵다.

표 7. 스팀성형법과 유전 가열법의 공정 비교

	스팀성형법	유전자열성형법	비고
1차 발포	스팀발포	고온공기 혹은 열수 발포	
원료 주입	고압공기 자동	모분,수분,첨가제 혼합 수동	개선책 강구 요함
성형	스팀(20분)	유전자열(15분)	
냉각	냉각수(10분)	공냉 및 수냉(50분)	개선책 강구 요함
이형	자동	수동	개선책 강구 요함

표 8. 스티밍성형법과 유전 가열법의 제품 비교

	스티밍성형법	유전가열성형법	비교
외관	스티밍 주입구 및 이형편의자국이 존재	미려함	향상됨
굽힘 강도	60 kg/cm ²	62 kg/cm ²	향상됨
경도	80 kg/cm ²	83 kg/cm ²	향상됨
발포	3배	3배	
조직상태	기포가 많음	기포가 적음	그림? 참조
표면 저항	1012 Ω?	1012 Ω?	정전기 방지제 적합

이것은 몰드와 이형체의 열팽창 계수의 차이에 의한 것이며, 냉각시간을 적절히 조절하면 해결할 수 있다.

4.2.3 스티밍방식과 유전가열방식에 의한 제품의 비교

가) 공정의 비교

스티밍성형공정은 일반화된 공정이고 유전가열성형법은 완성되기 전의 성형법이니 직접비교는 어렵지만 현재까지의 과정을 비교하면 표 7과 같다.

나) 제품의 비교

ABS 및 나일론 몰드를 사용하여 시제품을 만든 결과 재현성이 많이 떨어지지만, 외관이 미려하고 첨가제(비닐 아세테이트 에멀전, PVA)를 1차 발포 모분과 혼합하여 성형하여 표면 강도의 향상을 얻었다. 표 8는 스티밍성형법과 유전가열성형법의 제품 시료에 대한 비교표이다.

5. 결론 및 고찰

13.6 MHz의 7 kW 고출력 고주파를 출력하는 고주파 용착성형기를 이용하여 저발포-고강도-정전기 방지 스티로폼 제조 기술을 개발하였다. 유전가열방식이 스티밍방식보다 내부 용착성에서 우수하였으며, 모분 온도 105-110°C에서 내부 용착성이 가장 우수하였다.

참고문헌

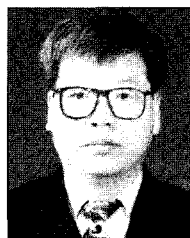
[1] A. Brent Strong, "Plastics: Materials and processing",

Prentice-Hall, 1996.

[2] 高橋, "고주파의 기초와 응용", 東京電氣大學出版局, 東京, 1990.
 [3] Roger Meredith, "Engineer's handbook of industrial microwave heating", IEE Power Series 25, The Institution of Electrical Engineers, London, 1998.
 [4] G. K. Ayappa, "Analysis of Microwave Heating of Dielectric Materials", Thesis of Ph.D, The University of Minesota, 1992.
 [5] 강석환, 한두희 "유전체 가열 방법을 이용한 저발포 고강도 정전기 방지 폴리스틸렌 제조기술 개발", 기술혁신개발사업 최종보고서, 2001.

한 두 희(Doo Hee Han)

[정회원]



- 1981년 2월 : 경북대학교 사범대학 물리교육과(이학사)
- 1987년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
- 1996년 3월~현재 : 청운대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

물리응용분야, 환경분야, 전기전자분야