

## 초음파 진동을 이용한 RFID 미세패턴 성형

오명석<sup>a</sup>, 이봉구<sup>a\*</sup>, 박명규<sup>a</sup>

## Fabrication of RFID Micro-pattern using Ultrasonic Vibration

Myung-Seok Oh<sup>a</sup>, Bong-Gu Lee<sup>a\*</sup>, Myung-Kyu Park<sup>a</sup><sup>a</sup> Division of Mechanical Engineering Technology, Yeungnam University College,  
170, Hyeonchung-ro, Nam-gu, Daegu 42415, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	2	February	2017
Revised	22	March	2017
Accepted	24	April	2017

## Keywords:

Fabrication  
Micro-pattern  
RFID Tag  
Ultrasonic forming  
Ultrasonic vibration

## ABSTRACT

In this study, we developed a process technology to fabricate RFID tag antennas using a one-sheet inlay micro-pattern forming process by press-molding RFID tag antennas on insulation sheet layers, such as polymer films, using ultrasonic longitudinal vibration. In addition, a fine pattern applicable for RFID tag antennas was manufactured using a 25  $\mu\text{m}$  thick thin-plate square wire; this is in contrast to the method that uses a conventional round wire. The developed ultrasonic indentation process can be used to fabricate fine pattern of the RFID antenna using one piece of equipment. The simplified manufacturing process technology has a shorter manufacturing time and is more economical. The developed RFID tag antenna forming technique involves pressing the 25  $\mu\text{m}$  square wire directly on the thin sheet insulation sheet of maximum thickness 200  $\mu\text{m}$ , using a 60 kHz ultrasonic tool horn.

## 1. 서론

최근, 정보통신기술의 발전에 따라 다양한 소비자의 전자 제품의 수요가 증가하고 있는 추세이고, 디지털 전자기기의 초소형화, 고집적화, 다기능화 그리고 경량화의 경향이 두드러지고 있다. 이러한 기술적 경향에 따라 빠른 신호처리가 가능한 고성능 반도체 통신 칩의 개발과 칩과 칩 또는 칩과 다른 전자기기의 주변 장치들 간의 상호 신호전달을 위한 패키지(package) 기술의 발전 요구되고 있다. 그리고 정보통신 사회가 다양성과 독창성을 추구하면서 급속하게 발달함에 따라 사물에 부착된 센서를 통하여 정보를 습득하고 관리하는 무선인식 기술인 RFID/USN에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>1-3</sup>. 기존 미세패턴의 RFID Tag 안테나 제조 방

식은 동도금과 에칭을 통한 방식과 프린팅 기법인 인쇄전자 방식이 있지만 고가의 장비와 복잡한 공정으로 인하여 제조단가가 높고 환경유해물질의 배출로 인하여 작업환경 규제를 강력히 하고 있는 실정이다.

일반적으로 널리 사용되고 있는 RFID Tag 안테나의 미세패턴은 크게 카드형태, 직사각형, 원형 등 수많은 미세패턴들이 있다<sup>4,5</sup>. 그러나 기계적 가공공정을 이용한 RFID Tag 미세패턴성형 공정이 절실히 필요하게 되었다. 본 연구에서는 RFID Tag 안테나의 미세패턴 성형공정은 와이어에 초음파 종진동을 가진하여 절연재료인 고분자 필름 표면에 하나의 절연시트층에 one-sheet inlay 형태의 RFID Tag 안테나를 압입성형해서 RFID Tag 미세패턴 성형공정을 개발하고자 한다. 또한 기존의 둥근 형태의 와이어를

\* Corresponding author. Tel.: +82-53-650-9212

Fax: +82-53-625-0861

E-mail address: positive@ync.ac.kr (Bong-Gu Lee).

사용하였던 부분을 25  $\mu\text{m}$ 정도에 박판의 편각코일 와이어를 사용하여 RFID Tag 안테나에 사용할 수 있는 미세패턴을 제조하였다. 초음파 진동을 이용한 RFID 안테나 미세패턴 제조시스템은 편각 와이어 코일이 절연시트지에 직접 압입되는 방식으로 환경오염에 대한 원인을 근본적으로 해결할 수 있다. 또한 RFID 안테나 제조법인 에칭 방식과 인쇄전자 방식은 많은 공정수와 고가의 장비가 필요하지만 개발된 방식은 저가의 장비에서 RFID 안테나의 구현이 가능하게 되었고 제조 공정의 단순화로 제조시간의 단축과 제조단가 절감을 기대할 수 있다.

본 연구에서 개발된 RFID Tag 안테나 성형을 위한 60 kHz 초음파 공구흔을 사용한 미세패턴 제조시스템 장치를 이용하면 200  $\mu\text{m}$  이하의 박판형 절연시트지에 두께가 25  $\mu\text{m}$ 인 편각 코일 와이어를 직접 압입성형을 할 수 있으며 속도는 1,500 mm/min에서 미세패턴의 선폭 간격은 약 150  $\mu\text{m}$  이상을 구현할 수 있는 성능을 평가 검증하였다.

## 2. 초음파 용착 메커니즘

전자제품과 통신기들이 점점 더 소형화, 경량화, 슬림화, 대용량화, 고기능화 되어 가고 있으며, 이에 따라 초음파 기술의 중요성이 한층 높아지고 있으며 생산기반 기술은 접합기술이다. 이러한 시대적 요구에 맞춰 초음파를 이용한 접합 기술도 더욱 확대되어 가고 있는 추세이다. 초음파 용착 기술은 비철금속 박판 용접에 많이 적용되고 있으며, 기존의 접합공정보다 더 정밀하고 안전하게 접합하는 생산기술로 활용범위가 급속히 확산되고 있어 그 중요성이 점차 커지고 있으나 초음파 용착부품의 주요 구성 요소에 대한 연구는 현재 많이 이루어지지 않고 있다. 대부분의 연구 결과에 의하면 초음파 급속용착은 용착시간 및 용착에 의한 접촉저항의 측면에서도 매우 우수하여 정밀 용접방법 중에서도 매우 우수한 방법으로 알려지고 있다. 또한 통상의 방법으로 용접하기 어려운 동종금속이나 이종 금속의 용접에 용이하고, 낮은 온도에서 용착이 가능하여 열 변형이 작아 열 손상을 최소화 하며, 땀납을 이용하지 않아 친환경적인 장점이 있어 고성능 다기능 부품의 접합기술로 부각되고 있다<sup>[6-8]</sup>. 초음파를 활용한 미세패턴 성형공정은 소재 압착, 초음파 가진 및 냉각과 취출의 4단계로 이루어진다. 초음파 용착 공정은 Fig. 1에 나타내었으며 초음파 공구흔은 Z축 가압위치에 의해 설정된 하중으로 절연시트지(PC, PET) 소재를 압착하고, 진공 테이블을 이용하여 절연시트지가 들뜨는 현상 없이 미세패턴 제조시스템의 테이블 표면에 밀착하였다.

이후 진동자의 출력 신호에 의해 공구흔에 종진동이 야기되고 발생된 초음파 진동 에너지가 소재에 전달됨으로써 고분자 소재는 유리전이온도(glass transition temperature,  $T_g$ ) 이상으로 가열되

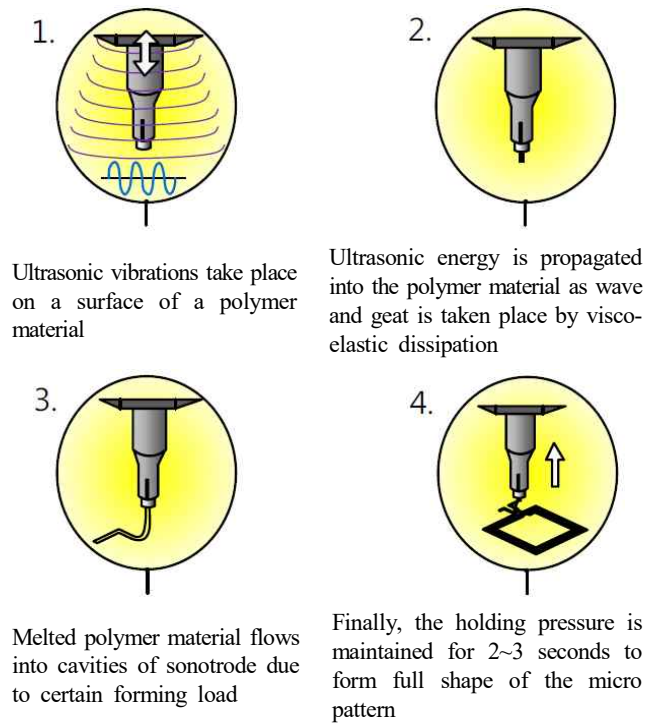


Fig. 1 Ultrasonic fine pattern forming process

어 가소화됨에 따라 용융된 고분자 수지가 공구흔의 가이드를 통해 편각코일 와이어를 가압하게 되며 중공부로 충전되기 시작한다. 고분자 소재를 용융시키기 위한 초음파 가진 단계가 완료되면 충전된 수지가 완전한 구조물의 형태를 이루며 냉각될 때까지 지속적으로 하중을 가하는 보압단계가 이루어진다. 최종적으로 보압 및 냉각단계가 완료되면 공구흔이 소재로부터 분리되면서 편각코일 와이어가 시트지에 미세패턴형태로 성형이 마무리된다. 전체적인 성형공정은 대개 수초 내로 이루어지며 특히 가열단계에서 소요되는 시간은 3초 이내로 이루어진다. 또한 소재의 가열은 패턴이 성형되는 영역에서만 국부적으로 발생하기 때문에 냉각단계 또한 2초 이내로 이루어져 성형품의 급속가열과 냉각이 가능하게 된다. 이러한 초음파 진동을 이용한 가열 과정을 보다 면밀히 살펴보면, 공구흔에 의해 전달된 초음파 진동에너지는 고분자 소재 내로 파동의 형태로 전파 및 산란되고 이에 따라 고분자 내의 분자들 간의 마찰과 반복적인 변형이 발생한다.

## 3. RFID TAG 성형용 초음파 공구흔 설계

### 3.1 초음파 공구흔 모드 해석

본 연구에 사용된 초음파 공구흔은 원통형 스텝형 혼으로 초음파 진동 입력 단에는 압전 세라믹(PZT)을 적층시키고 볼트로 고정된 BLT (bolt langevin transducer)를 사용하였다. 초음파 공구흔은 부스터에서 증폭된 초음파 진동으로 미세패턴성형에 필요한 진동

에너지를 전달하는 역할로 공구의 치수와 형상은 작업물의 크기와 미세패턴형상에 의해 결정되며 진동 출력 면에서 우수한 성능과 효율적인 초음파 진동에너지 전달을 위해 더욱 정확하고 정밀한 설계가 요구된다. 본 연구에서는 공구혼의 재료로 STD-11를 사용하였다. 연구 초기에 초음파 공구혼의 공진주파수를 40 kHz, 60 kHz 대역의 공구혼을 제작하여 출력단의 최대진폭을 측정한 결과 40 kHz의 경우는 최대진폭이 10  $\mu\text{m}$  이상 발생하였고, 60 kHz 공구혼의 경우는 4~5  $\mu\text{m}$ 의 진폭이 발생하여 절연시트지에 실험한 결과 상대적은 낮은 40 kHz의 경우는 최대진폭이 10  $\mu\text{m}$ 의 경우 절연시트지와 와이어의 초음파 용착이 높은 진폭으로 인한 마찰열에 의한 절연시트지의 박리, 와이어의 꼬임, 단선이 발생하였다. 그러나 최대진폭이 4~5  $\mu\text{m}$ 인 60 kHz 공구혼을 이용한 초음파 용착은 절연시트지의 박리, 와이어의 꼬임, 단선이 일어나지 않았고 절연시트지와 와이어가 불량 없이 용착되어 본 연구에서 60 kHz 공구혼을 사용하게 되었다. 미세패턴 성형실험에 사용된 공구 혼의 재료와 물성치를 Table 1에 나타내고 있다. 일반적으로 초음파 공구혼의 경우 큰 진폭을 얻기 위해서는 강도가 강한 재료의 끝을 가늘게 만들어 이것을 진동자와 결합하고, 진동에너지를 전달효율을 높이기 위해 소면적으로 집중시켜야 한다.

따라서 공구혼의 형상이 스텝 형일 때 초음파 진동의 출력부에서

Table 1 The material properties of the ultrasonic tool horn

Material	STD-11 (60 kHz)
Density ( $\text{kg/m}^3$ )	7,700
Modulus of Elasticity (GPa)	190
Poisson's Ratio	0.27

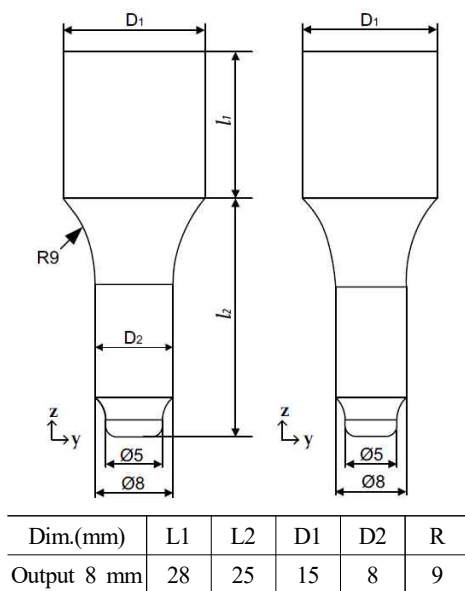


Fig. 2 Step horn design dimensions

진폭확대율이 가장 크기 때문에 미세패턴 성형을 위한 공구혼의 형상은 Fig. 2와 같이 설계하였다. 반과장 길이에서의 최대 진폭을 가도록 설계하였기 때문에 편각코일 와이어를 어느 위치에서도 일정하게 가압할 수 있도록 원형의 출력단 모양으로 설계하였다. 공구혼의 직경은 압전소자(PZT)의 지름을 고려하여 60 kHz 공구혼의 경우는  $\text{Ø}15\text{ mm}$ 로 설계하였다.

적층형 구조를 갖는 원통형 압전 액츄에이터에 공구혼을 가진할 때 가진 주파수는 액츄에이터 공구혼의 종방향 모드의 고유 진동수를 이용하게 된다. 이론적인 파동방정식을 통해 구한 공구혼 모델의 고유진동수인 60 kHz를 판단하기 위해 설계된 스텝형 혼을 솔리드 워크스에서 3D 형상모델링을 행한 후 ANSYS Workbench를 사용하여 모드해석(modal analysis)과 조화응답(harmonic response)해석을 하였다.

Fig. 3은 진동모드 해석을 수행하기 위한 스텝형 공구혼의 유한요소 모델을 나타내고 있으며, 초음파 미세패턴 성형에 적합한 출력단에서 진폭의 균일도와 증폭도가 일정하도록 하였다. 유한요소해석 모델은 해석의 신뢰도를 높이기 위해 3차원 사면체 요소(tetrahedron element)를 사용하였으며, 60 kHz 유한요소로 생성된 모델을 Fig. 3에 나타내었다. 경계조건은 공구혼이 진동자 및

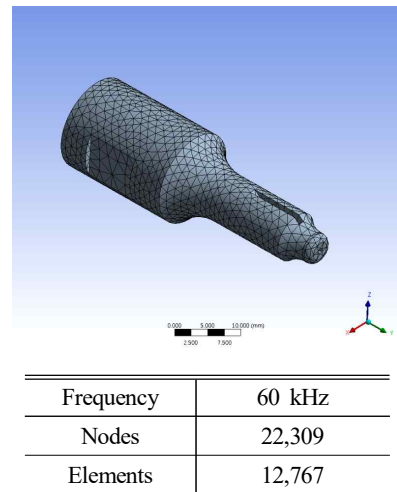


Fig. 3 Ultrasonic horn for FEM model

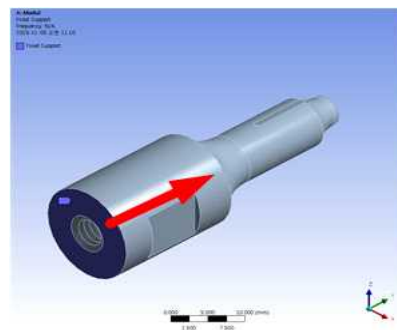
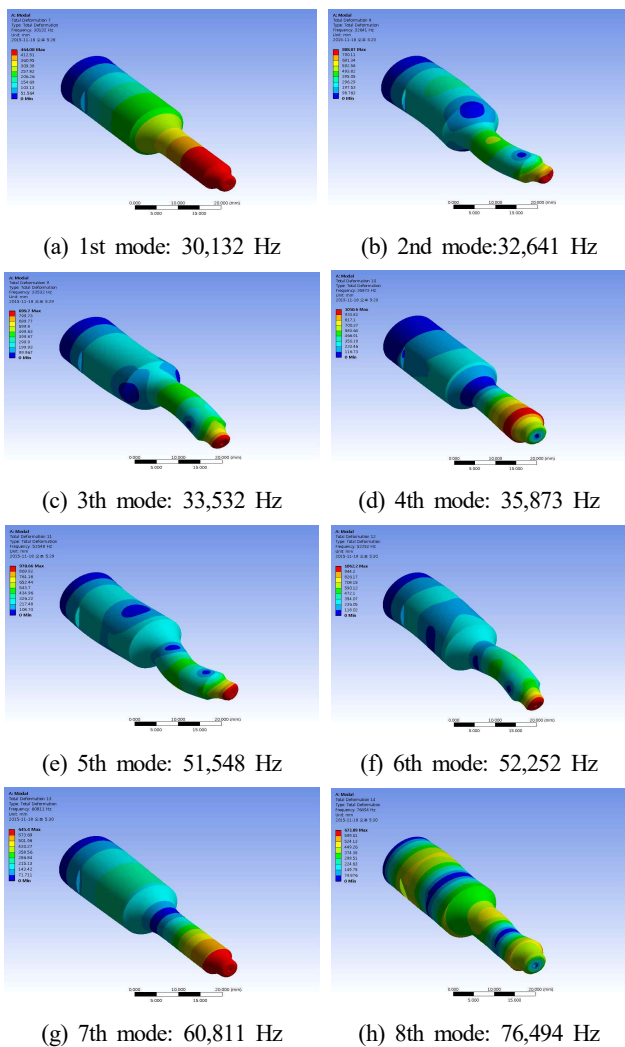


Fig. 4 Boundary condition for finite element analysis

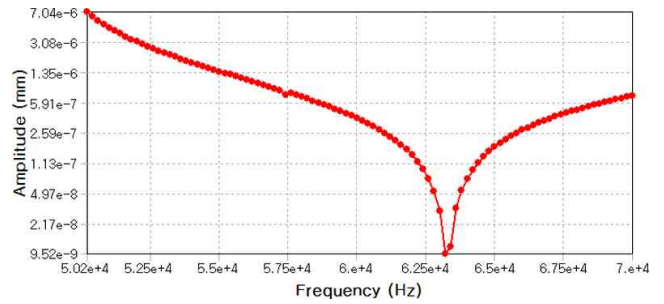
**Table 2 Resonant frequency of the tool horn**

Mode	Horn	60 kHz tool horn	Vibration mode
1		30,132	Longitudinal
2		32,641	Twist
3		33,532	Twist
4		35,873	Transverse
5		51,548	Twist
6		52,252	Twist
7		60,811	Longitudinal
8		76,494	Transverse



**Fig. 5 Vibration mode shape of tool horn**

증폭장치(booster)와 체결되어 있으나 체결된 부위에서 변위량(진폭)이 동일한 점을 고려하였으며, 초음파 미세패턴성형에 사용되는 증진동 모드를 고려하여 Fig. 4와 같이 Y방향에 대하여 자유 상태(free)로, Z축과 X축 방향은 고정된(fixed) 형태로 해석을 수행하여 가진 주파수가 각각 60 kHz에 근접하고, 진폭이 최대가 되는



**Fig. 6 Harmonic vibration response curve of tool horn**

증진동 모드를 찾아 혼의 형상을 설계하였다.

Fig. 5는 공구혼 60 kHz의 공구혼에서 발생하는 다양한 진동모드와 고유진동수를 가지는 혼의 모드 해석 결과이다. 모드 해석의 결과, 60 kHz의 경우도 동일하게 7차 모드에서 60,811 Hz의 고유주파수가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 60,811 Hz의 각각의 고유주파수가 발생하는 경우에 공구혼의 출력 단에서 최대 진폭이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 진동모드 수치해석 결과를 차수별 진동모드형상을 Table 1에 나타내었다. 각 최적 설계한 혼의 입력면을, 60 kHz로 가진했을 때 출력 단 부분에서 진폭변화를 보기 위해 혼의 양끝 면의 나사구멍에 실린더 구속을 지정하고, 진동에너지 입력부에 혼의 입력면에 전달되는 부스터 출력면에 기계적인 힘을 설정하여 하모닉 해석을 하였다.

Table 2는 60 kHz 초음파 공구혼의 모달 해석 결과를 각 모드별 고유주파수와 모드형상을 나타내고 있다<sup>[9]</sup>.

Fig. 6는 진동모드 해석으로 얻은 공구혼의 길이로 설계된 공구혼의 입력면에 발진앰프에서 입력되는 가진 주파수인 60 kHz의 진동을 주었을 때 출력면의 주파수 응답을 알기 위해 조화응답 해석을 수행하여 나타낸 그래프이며, 이는 모달(modal) 해석 결과와 같이 고유진동수 62,200 Hz에서 근접한 주파수에서 초음파 용착에 필요한 최소 진폭을 나타내고 있음을 보여준다.

조화응답 해석을 통해 나타난 주파수와 진폭결과 역시 60 kHz 부근에서 초음파 가진에 따른 RFID Tag 안테나 형상의 미세패턴이 이루어지는 공구혼의 출력 단에서 가장 큰 진폭의 변화를 보이며 진동함을 확인하였다. 조화응답 해석결과 가진 주파수가 60 kHz라고 해서 공구혼의 출력단에 60 kHz가 나와야 하는 것은 아니다. 진동자의 파워앰프에서 일정 영역 내에서는 공진주파수가 보정 되므로 앰프자체에서도 가진 주파수를 가변 할 수 있게 되어 있다.

#### 4. 실험 및 고찰

초음파 패턴성형의 유효성을 판단하고자 60 kHz의 초음파 공구혼을 이용하여 개발된 미세패턴제조시스템에서 성능 검증을 구현

할 수 있는 패턴성형 실험을 실시하였다. 성형실험은 앞 절에서 언급한 바와 같이 이송속도(가진 시간), 가압 깊이(가압력)를 미세패턴 성형에 영향을 주는 인자로 설정하여 성형실험을 진행하였다. 초음파 가진 시 성형조건은 가압력에 따른 열 측정 결과에 따라 절연시트지 접촉면 기준으로 Z축 깊이 5  $\mu\text{m}$  위치에 고정하여 수행하였다. 실험 수행 중 초음파 가진이 발생된 후 PC, PET 필름의 성형가능 온도까지 상승하는 것을 확인하였으며, Z축으로 30  $\mu\text{m}$ 의 가압위치에서 최고 약 160°C까지 온도가 상승하였다. 상승온도가 160°C 이르게 되면 절연시트지가 초음파 가진에 의한 마찰열로 인하여 녹아내려 초음파 패턴성형이 불가능하였다. 패턴 형상은 RFID Tag 안테나의 기본형상에 맞는 직선구간과 코너부의 형상을 실험하였다. 미세패턴 성형 시 사용된 고분자 필름소재는 두께 120  $\mu\text{m}$ 의 PC, 50  $\mu\text{m}$ 의 PET소재를 사용하였다. 그리고 이때 가압 깊이는 공구흔의 가압력을 일정하게 유지하면서 패턴성형을 위한 절연시트지는 평탄도를 유지하기 위해 진공 테이블로 고정하였다. 최초 가진 시간의 변화에 따른 성형특성을 고찰하기 위하여 공구흔의 가압위치를 고정된 상태에서 실험을 진행하였다. Fig. 7은 성형을 위해 직선구간과 코너 구간에 편각 코일 와이어를 초음파 공구흔의 진동에 의하여 절연시트지에 성형하는 공정을 보여주고 있다.

Fig. 8은 RFID Tag 형상의 패턴 실험을 수행한 결과이다. 패턴 성형 실험은 PC, PET 절연시트지 위에 개발된 미세패턴제조시스템의 최대 정밀도 구현 조건인 최소 분해능 1  $\mu\text{m}$  이송정밀도 설정으로 성형속도 1,500 mm/min 조건에서 직선과 원형의 형태를 갖

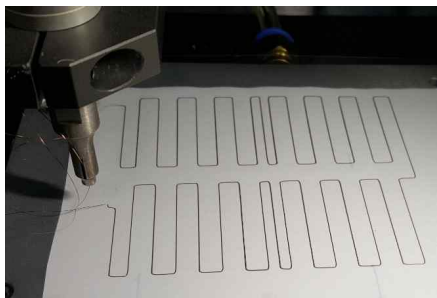
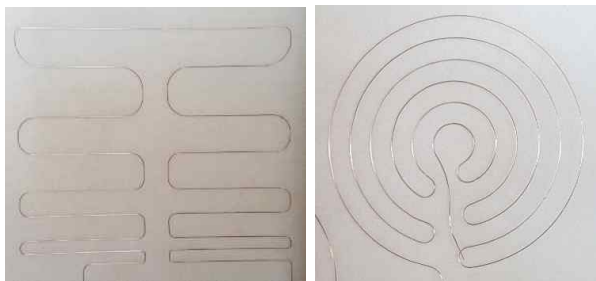


Fig. 7 Micro pattern forming experiment



(a) PC

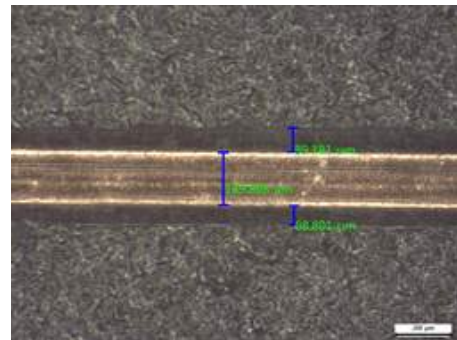
(b) PET

Fig. 8 Micro pattern for forming experiment

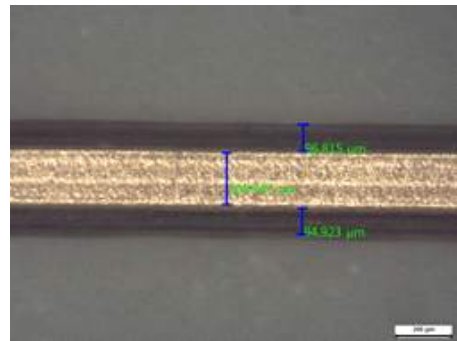
는 기본형상을 패터닝 함으로서 다양한 RFID Tag 안테나 제작의 가능성을 확인하였다.

Fig. 9는 단일 미세패턴을 성형한 결과이다. 패턴 성형 실험은 PC, PET 절연시트지위에 성형속도 1,500 mm/min, 가압 깊이 5  $\mu\text{m}$ 로 고정된 상태에서 초음파 가진을 통하여 직선구간, 코너부 형상의 미세패턴 결과로 절연시트지와 편각코일 와이어와의 접합품질이 우수함을 확인할 수 있었다. 초음파 미세패턴 성형 공정은 공구흔과 고분자필름 사이의 진동마찰에 따른 마찰열과 공구흔이 편각코일 와이어와 고분자필름의 가압 및 초음파 가진에 의한 내부변형에너지에 의해 용착이 Fig. 10과 같이 이루어진다.

이때 고분자필름이 충분히 가소화되지 않은 상태에서 용착이 진



(a) PC (1,500 mm/min, Depth of press: 5  $\mu\text{m}$ )



(b) PET (1,500 mm/min, Depth of press: 5  $\mu\text{m}$ )

Fig. 9 Forming experiment of micro pattern

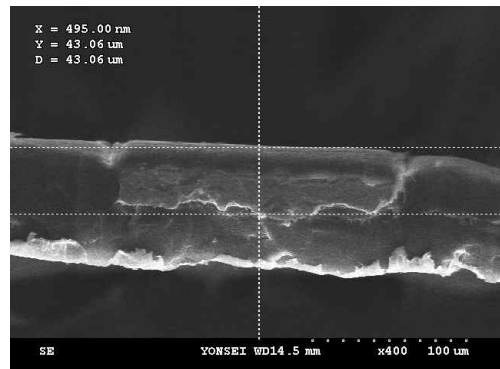
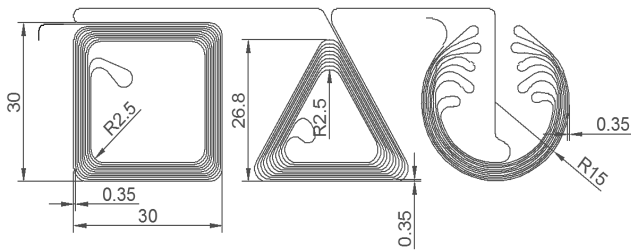


Fig. 10 Cross-sectional SEM micrographs of deposited layer



(a) Pattern shapes for RFID Tag tool path



(b) Microforming pattern by ultrasonic vibration

**Fig. 11 Microforming pattern**

행될 경우 고분자의 높은 점도에 의해 유동특성이 저하되어 미성형이 발생되어 흔적, 와이어 꼬임, 단선, 박리현상 등이 일어나고 과도한 가압력 작용 시 관통 등의 품질 저하 현상이 발생한다.

Fig. 11은 선정된 최적조건에의 형상정밀도 검증을 위한 미세패턴의 가공경로형상을 나타낸 그림이다. 선정된 최적 성형조건으로 RFID Tag 안테나 제작을 위한 다양한 패턴의 형상, 최소 선폭, 생산효율 측면에서 신뢰성을 알아보기 위하여 RFID Tag 미세패턴제조시스템을 이용하여 성능실험을 하였다.

미세패턴 성형을 위한 최소선폭은 180  $\mu\text{m}$ 이며, 패턴성형속도 역시 1,500 mm/min, 절연시트지 두께 120  $\mu\text{m}$ . 조건에서 실험을 수행했다. 실험결과 Fig. 11과 같이 사각형, 삼각형, 원형의 미세패턴 성형이 와이어의 단락이나 박리현상 없이 균일하게 성형된 것을 확인 할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 초음파 진동을 이용하여 고분자 필름(PC, PET)과 같은 절연시트지에 RFID Tag 안테나 패턴모양을 기계적 진동에너지에 이용한 초음파 용착성형 공정을 개발하였다. 기존의 둥근 형태의 와이어를 사용하였던 부분을 25  $\mu\text{m}$ 의 박판의 편각코일 와이어를 사용하여 RFID Tag 안테나에 사용할 수 있는 미세패턴을 제조하였다. 미세패턴 성형을 위한 최소선폭은 180  $\mu\text{m}$ 이며, 패턴성형속도 역시 1,500 mm/min, 절연시트지 두께 120  $\mu\text{m}$ . 깊이방향으로 가압 깊이 5  $\mu\text{m}$  조건에서 실험을 수행한 결과 사각형, 삼각형, 원형의 RFID 안테나 미세패턴 성형 실험을 성공하였다.

초음파 진동을 이용한 RFID 안테나 미세패턴 제조시스템은 편각 와이어 코일이 절연시트지에 직접 압입되는 방식으로 반도체 공정을 사용하는 부식과정에서 오는 환경오염에 대한 원인을 근본적으로 해결할 수 있는 친환경 기술이라고 말할 수 있다.

또한 RFID 안테나 제조 에칭 방식과 인쇄전자 방식은 많은 공정에 사용되는 높은 장비 가격의 부담을 가지고 있지만 개발된 방식은 저가의 장비에서 RFID 안테나의 구현이 가능하게 되었고 제조공정의 단순화로 제조시간의 단축과 제조 단가 절감을 기대할 수 있다.

## References

- [1] Engels, D. W., Sarma, S. E., 2002, The Reader Collision Problem, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3:6 4-10.
- [2] Paek, K. K., Ju, B. K., 2006, RFID Market and Technology Trends, The Polymer Society of Korea, 17:1 18-26.
- [3] Rao, K. V. S., Nikitin, P. V., Lam, S. F., 2005, Antenna Design for UHF RFID tags: A Review and a Practical Application, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 53:12 3870-3876.
- [4] Cho, C., Choo, H., Park, I., 2005, Broadband RFID tag Antenna with quasi-isotropic Radiation Pattern, Electronics Letters, 41:20 1091-1092.
- [5] Huault, G., 2004, How Did They Do That? Play Tag With RFID Manufacturers, Retailers, Shipping Companies, and even Government Officials are Either using or Implementing The use of RFID Tags to Better Identify, Track, and Manage Products. We show you how RFID tags work, Smart computing, 15:4 34-35.
- [6] Kim, K. E., 2016, Study on the Development of the Micropattern Manufacturing System for RFID Tag Packaging, A Thesis for a Doctorate, Korea University of Technology Education, Republic of Korea.
- [7] Lee, B. G., Oh, M. S., Ma, J. B., 2013, Design of Ultrasonic Tool Horn for Wire Wedge Bonding, Journal of the Korea Society of Manufacturing Technology Engineers, 22:4 717-722.
- [8] Lee, B. G., Kim, K. L., Kim, K. E., 2008, Design of Ultrasonic Vibration Tool Horn for Micromachining using FEM, Journal of the Korea Society of Manufacturing Technology Engineers, 17:6 63-70.
- [9] Kim, K. E., Lee, B. G., 2016, Modal Analysis of an Ultrasonic Tool Horn for RFID TAG Micro-pattern Forming, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 17:4 652-658.