

펄토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 기술

Femtosecond laser microperforated film for modified atmosphere packaging

광주과학기술원 고등광기술연구소 손익부, 최성철, 노영철, 고도경, 이종민
대형포장산업 최영진

1. 서론

펄토초 레이저는 펄스폭이 매우 짧기 때문에 평균출력에 비해 광펄스의 첨두출력이 매우 크다는데 있다. 비선형 광학 현상은 빛이 강할수록 크게 일어나기 때문에, 펄토초 레이저를 이용하면 강한 비선형 광학 신호를 얻을 수 있다. 펄토초 레이저를 이용한 레이저 가공에서 가장 큰 특징은 레이저와 재료의 상호반응시 발생하는 열이 전파되는 시간을 갖지 못하기 때문에 재료의 열적손상이나 구조변화를 발생 시키지 않는 장점이 있다. 다시 말하면, 한 개의 광자가 가진 에너지가 분자의 결합에너지보다 큰 경우에는 분자 고리가 절단되어 재료의 국부적인 부분이 극도의 짧은 시간 내에 제거되므로 일반적인 레이저 가공에서 나타나는 열확산 현상은 발생되지 않으며 기존 레이저의 열적(thermal) 가공보다 정밀한 가공이 가능하다. 또한, 펄토초 레이저는 가공물의 주변에 형성되던 용융물(melt) 및 잔유물(debris)의 발생도 대부분 억제할 수 있고 발생된다 하더라도 매우 미세한 파우더 형태이며 이는 쉽게 세척(cleaning)이 가능하다는 장점이 있어 현재 전 세계적으로 각광을 받고 있다 [1].

유기농 식품에 대한 관심과 더불어 웰빙과 환경친화적인 사회 환경변화에 따라 일반 합성수지 필름에 미세한 기능성 구멍이나 흡을 이용한 공기 투과 필름은 식품의 저장수명을 보다 더 연장하기 위한 기능성 식품 포장재의 사용이 늘어갈 것으로 전망된다. 이러한 기능성 포장은 채소류 판매, 유통 단계에서 생산자, 판매자, 소비자가 신선도가 살아있는 상태 그대로 채소류를 서로 믿고 거래하여 보다 안전한 식생활을 영유하는데 도움을 주는데 중요한 역할을 할 것이다. 본 연구에서는 각종 물품이나 식품을 포장하는 필름에 공기 투과를 위한 미세 흡을 형성하기 위하여, 펄토초 레이저를 이용한 펄스 가공법으로 고속 마이크로 천공 필름(microperforated film) 가공 기술 및 장치에 관하여 연구하였다.

2. 실험 및 결과

2-1. 공기 투과 기능을 갖는 통기성 필름 개발 동향

최근에는 포장의 고유 목적을 만족시키면서 내용물의 특성과 맛을 유지하고 목적에 따라서는 오히려 그 특성과 맛을 향상시키는 기능성 포장재료의 개발과 연구의 필요성이 점차적으로 증대하고 있다. 식품을 효과적으로 보호하고 부가적인 목적을 위해서 기존의 식품 포장에 특수한 기능을 부여한 것이 바로 기능성 포장(active packaging)이다. 즉 기능성 포장이란 식품 고유의 영양학적 품질과 안전성을 유지하면서, 포장 물질과 식품간의 상호작용을 유발하여 포장재에 부여된 특수한 기능성이 효과적으로 발휘되도록 만든 포장재 및 포장 부자재를 말하며 포괄적으로는 포장재료외에 특정 포장기법과 사용상의 편리한 기능 등을 포함한다. 포장 필름에 대한 시장은 점점 다양한 기술이 등장하고 있으며, 특히 식품 포장 필름에 대해서는 신선도 유지를 배려한 것을 기본으로 유기농 식품과 같은 다양한 소비자의 요구에 맞춰 공기 투과 필름과 같은 새로운 기능성 제품이 등장하고 있다 [2-5]. 공기 투과 필름은 공기 또는 기체 등은 투과할 수 있지만, 액체는 투과할 수 없는 플라스틱 필름을 말한다. 부패하기 쉬운 내용물을 담고 있는 포장용기 내의 발생 가스를 배출시키면서 포장용기 내의 수분은 외부로 증발되는 것을 막아 줄 수 있도록 식품 포장용 필름에 공기 투과용 미세 기공을 형성함으로써 부패되기 쉬운 과일이나 음식물의 신선도 유지할 수 있다. 또한, 일회용 기저귀와 생리대 등의 위생용품으로, 현재 국내에 유통되는 거의 모든 기저귀는, 외부 방향의 바깥 층(back-sheet)에 공기 투과 필름을 채용하고 있다. 장판재용으로, 바

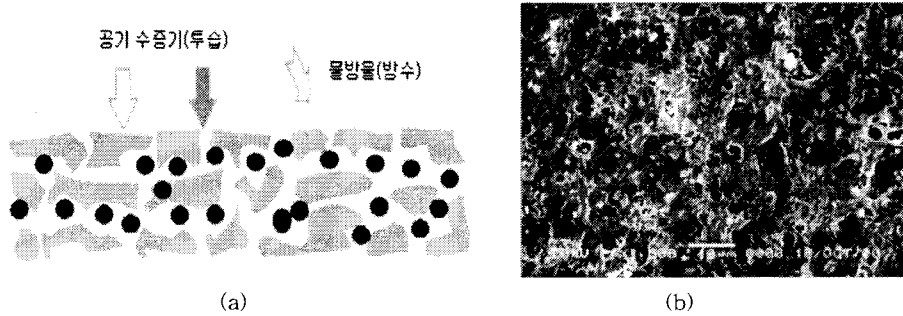


그림 1. (a) 탄산칼슘, 황산바륨이나 아황산칼슘 입자를 도입한 합성수지 필름으로부터 연신을 통해 얻어지는 통기성 필름 모식도. (b) SEM 측정 사진.

닥에서의 습기를 통과시킴으로써 부패를 막아 기존 장관재보다 수명을 2-3배 정도 연장할 수 있는 공기 투과 필름이 개발되어 있다. 과수봉지 제조용으로, 종래에 전량 수입되는 종이 과수 봉지 대신에 공기 투과 필름을 사요하려는 시도가 진행되고 있다. 잡초의 제거 및 햇빛의 반사를 위하여 과수원의 바닥재로도 검토되고 있다. 이와 같이 식품 포장, 과수봉지, 기저귀 및 생리대, 일회용 의류 및 시트 등 통풍과 방수가 필요한 곳이라면 어디든지 응용될 수 있다.

지금까지 이러한 공기 투과 기능을 가지는 필름 가공 기술에는 탄산칼슘, 황산바륨이나 아황산칼슘 입자를 도입한 합성수지 필름으로부터 연신을 통해 얻어지는 통기성 필름은 대량 제조 공정은 가능하지만 별도의 생산 설비 및 제조 공정이 필요하며 공기 투과도 조절이 어려워 응용성이 낮다는 문제점이 있다 [2]. 포장용 필름에 천공편이 부착된 천공 로울러를 이용하여 기계적으로 구멍을 형성하거나 체크밸브 설치나 섬유막 부착을 통하여 공기 투과 효과를 충분히 확보하여 습기와 가스를 제거할 수 있지만, 구멍의 크기가 커서 개미나 해충들이 포장지 내부로 들어오게 되는 문제와 기계적 천공의 한계점인 장기 안정성과 균일한 50 마이크로 이하의 미세 천공과 연속적인 생산이 어려워 경제성과 실용성 낮다는 문제점이 있다 [3, 4].

2-2. 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 기술

펨토초 펄스 레이저를 가공분야에 이용하게 되면, 빛의 흡수에 의하여 발생한 열이 주변으로 전달되기 전에 가공이 끝나게 되어 가공부의 주변에 어떠한 손상이나 구조변화를 일으키지 않는 장점이 있다. 펨토초 가공은 일반적인 다른 가공과 달리 매질을 녹이는 것이 아니고 매질의 화학적 결합을 끊어내어 날려버리기 때문에 일반적인 가공에서 나타나는 열에 의한 매질의 변형이 발생하지 않는다. 또한, 펄스

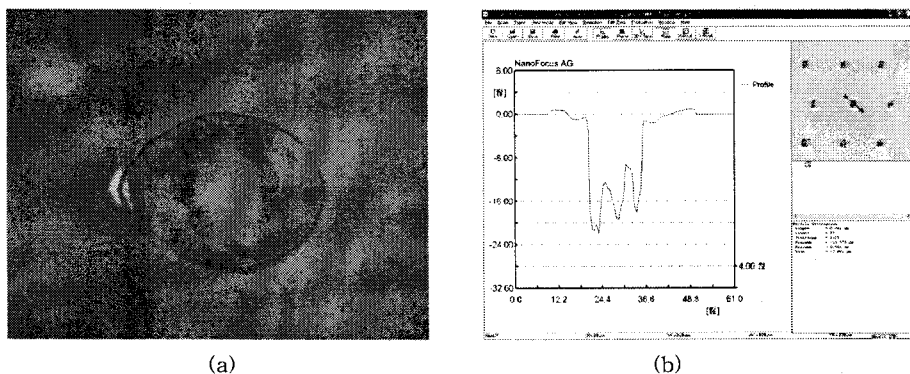


그림 2. 펨토초 레이저에 의해서 필름에 가공된 홈 측정 사진. (a) 광학 현미경 측정 사진(X 500) (b) 3차원 측정 사진(X 200).


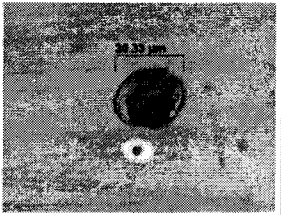
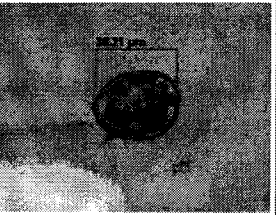
			
Material	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)
Pulse energy	27 μJ	91 μJ	160 μJ
Telecentric lens	f=100 mm	f=100 mm	f=100 mm
Pulses	1 (single-shot)	1 (single-shot)	1 (single-shot)
Scan speed	4 mm/s	4 mm/s	4 mm/s

그림 3. 펄토초 레이저 스캐너 가공 시스템에 의해서 제작된 마이크로 천공 현미경 측정 사진. 펄스 에너지는 (a) 27 uJ (b) 91 uJ 와 (c) 160 uJ 이며, 필름 두께는 0.03 mm이다.

폭이 극도로 짧은 반면 침투출력은 아주 높기 때문에 매우 높은 광세기는 물질 내에 다광자 흡수가 가능하게 하여 가공의 정밀성을 높일 뿐만 아니라 투명한 물질의 가공도 가능하게 한다. 이러한 특성덕분에 펄토초 레이저를 이용하여 매우 많은 종류의 물질을 가공할 수 있다.

고등광기술연구소에서 보유하고 있는 펄토초 레이저의 사양은 파장이 785.5 nm, 펄스폭이 184 fs, 펄스 반복률이 1kHz, 그리고 펄스 에너지는 1 mJ이다. 그리고 정밀 가공에 적합한 스테이지 가공 시스템과 고속 가공에 유리한 스캐너 가공 시스템을 모두 갖추고 있다. 그림 2는 펄토초 레이저 스캐너 가공 시스템에 의해서 필름에 가공된 홈 측정 사진이다. 91 uJ의 에너지를 갖는 펄토초 레이저 펄스에 의해서 가공된 30um 두께를 갖는 폴리프로필렌 필름 홈의 폭과 깊이는 3차원 측정 결과 약 18과 23 um이다. 그림 3은 펄토초 레이저 스캐너 가공 시스템에 의해서 제작된 펄스 에너지에 따른 마이크로 천공 현미경 측정 사진이다. 실험에 사용된 펄스 에너지는 27 uJ, 91 uJ와 160 uJ 이며 필름 두께는 0.03 mm이다. 그림 4는 펄토초 레이저 스테이지 가공 시스템에 의해서 제작된 펄스 에너지에 따른 필름 홈 현미경 측정 사진이다. 각각의 필름 홈 가공에 10개의 펄스가 조사되었으며 펄스 에너지는 2.62 uJ, 6.67 uJ와 12.9 uJ 이며 필름 두께는 0.03 mm이다. 이와 같이 펄토초 레이저를 이용한 공기 두과 필름 홈 가공은 레이저 펄스 세기, 빔 사이즈, 초점 거리 등과 같은 가공 조건에 따라서 필름에 가공된 홈의 형상,


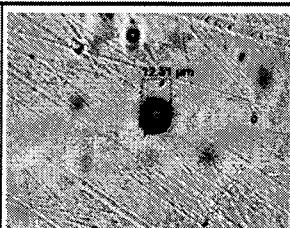
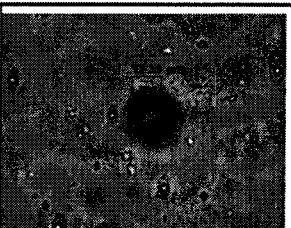
			
Material	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)
Pulse energy	2.62 μJ	6.67 μJ	12.9 μJ
Pulses	10 (multi-shot)	10 (multi-shot)	10 (multi-shot)
Objective lens	10x (NA=0.28, f=20 mm)	10x (NA=0.28, f=20 mm)	10x (NA=0.28, f=20 mm)
Scan speed	1 mm/s	1 mm/s	1 mm/s

그림 4. 펄토초 레이저 스테이지 가공 시스템에 의해서 제작된 마이크로 천공 현미경 측정 사진. 펄스 에너지는 (a) 2.62 uJ (b) 6.67 uJ 와 (c) 12.9 uJ 이며, 필름 두께는 0.03 mm이다.

Material	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)	Polypropylene (30 μm thickness)
Pulse energy	6.67 μJ	6.67 μJ	6.67 μJ
Pulses	10	10	10
Objective lens	10x (NA=0.28, f=20 mm)	10x (NA=0.28, f=20 mm)	10x (NA=0.28, f=20 mm)
Hole diameter	12.5 μm	12.5 μm	12.5 μm
Period	0.05 mm	0.1 mm	0.2 mm

그림 5. 펄스 레이저 스테이지 가공 시스템에 의해서 제작된 마이크로 천공 현미경 측정 사진. 천공 간격은 (a) 0.05 mm, (b) 0.1 mm 와 (c) 0.2 mm 이며, 필름 두께는 0.03 mm이다.

즉 폭과 깊이를 조절할 수 있으며 이에 따른 공기 투과도 조절이 가능하다는 장점이 있다. 기존의 천공 펀을 사용한 기계적 천공 방식은 직경이 0.1 mm 이하인 통기공 형성이 어려우며, 통기공의 직경이 0.1 mm 보다 커질 경우에는 내부의 공기를 신속하게 방출할 수 있으나, 보관 및 진열을 하는 과정에서 몸집이 작은 벌레나 이물질이 내부로 유입될 수 있는 문제가 생긴다. 공기 투과도는 가공된 홈의 폭과 깊이뿐만 아니라 단위면적당 가공된 홈의 개수에 의해서 결정된다. 펄스 레이저를 이용한 공기 투과 홈 가공 기술은 스캐너의 스캔속도나 스테이지 이송속도 변화를 통하여 쉽게 필름 홈 개수를 조절할 수 있음을 그림 5에서 보여준다. 펄스 레이저 스테이지 가공 시스템에 의해서 필름에 가공된 홈의 간격은 각각 0.05 mm, 0.1 mm 와 0.2 mm 이며 필름 두께는 0.03 mm이다.

2-3. 펄스 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 장치

현재 고등광기술연구소에서는 스캐너와 스테이지를 이용한 펄스 레이저 가공 시스템을 활용하여 공기 투과 필름 가공 연구를 수행하고 있다. 펄스 레이저에서 조사되는 각각의 레이저 펄스로 가공이

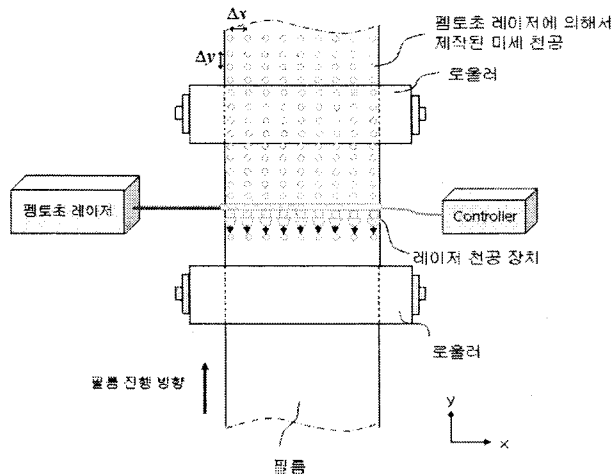


그림 6. 펄스 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 장치 예시도.

이루어지는 펄스 가공법(pulse patterning)에 의하여 고속으로 필름에 홈을 가공하는 것이 가능하며 홈의 폭, 깊이와 간격도 쉽게 조절할 수 있다. 그러나 산업현장에서 대량으로 공기 투과 필름을 생산하기 위해서는 일반적으로 수 m 정도의 폭을 갖는 필름에 홈을 동시에 가공해야 한다. 이에 따라 고등광기술 연구소에서 제안하는 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 장치에 대한 모식도는 그림 6과 같다. 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 장치는 원단공급부와 레이저가공부로 구성된다. 원단공급부는 원단필름을 로울러를 통해서 레이저가공부로 유도한다. 레이저가공부는 펨토초 레이저, 레이저가공장치와 컨트롤러로 구성되어 있으며, 원단공급부에서 공급되는 필름에 주기적이고 연속된 공기 투과용 홈을 형성한다. 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 장치에 의한 필름 홈 가공 방식은 펨토초 레이저에서 조사되는 레이저 각각의 펄스에 의해서 각각의 홈이 가공되게 하는 펄스 가공법(pulse patterning)에 의해서 기존의 필름 제조 공정과 일체형으로 고속 연속 생산이 가능하게 된다. 또한, 레이저가공장치와 컨트롤러를 통해서 홈의 x축 간격(Δx)을, 상기 원단공급부에서 로울러 속도와 펨토초 레이저의 반복률을 통해서 y축 간격(Δy)을 조절할 수 있다. 이와 같이 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공은 단위면적당 가공된 홈의 수를 변화시켜 쉽게 공기 투과 조절이 가능하다는 장점이 있다.

III. 결론

앞으로 생활의 고급화와 편리화에 따라, 공기 투과 필름의 적용 범위는 더욱 다양하게 확대될 것으로 기대된다. 포장용 합성수지 필름에 공기 투과용 홈을 가공함으로써, 식품의 신선도를 유지하고, 김치와 같은 발효 식품 포장에 의해 발효 가스가 외부로 방출되지 못해 부풀어 올라 필름이 찢어지는 것을 방지하고, 액체를 차단하여 습기가 포장된 식품에 들어오는 것을 방지할 수 있다. 식품 포장 외에도, 기계장치의 부식을 막아주거나, 과수봉지, 기저귀 및 생리대, 일회용 의류 및 시트 등 통풍과 방수가 필요한 곳이라면 어디든지 공기 투과 필름이 사용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용하여 공기 투과 필름 홈 가공 기술 및 장치에 대한 연구결과를 소개하였다. 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 홈 가공 장치에 의한 필름 홈 가공 방식은 레이저에서 조사되는 레이저 각각의 펄스에 의해서 각각의 홈이 가공되게 하는 펄스 가공법(pulse patterning)에 의해서 기존의 필름 제조 공정과 일체형으로 고속 연속 생산이 가능하며, 또한 가공된 홈의 형상 및 간격을 변화시켜 공기 투과도 조절이 가능하다는 장점이 있어 펨토초 레이저를 이용한 공기 투과 필름 가공 방법은 산업화에 매우 근접한 기술이라고 할 수 있겠다. 따라서 이러한 기능성 필름 포장산업에서 머지않아 펨토초 레이저 기술의 실용화를 기대한다.

IV. 참고문헌

1. 손익부, 최성철, 노영철, 고도경, 이종민, “스캐너를 이용한 고속 펨토초 레이저 가공 기술”, *Korean Society of Laser Processing*, 9(2), pp. 9-13, 2006.8.
2. 한진피앤씨㈜, “부직포가 합지된 압연 통기성 필름과 그 제조방법 및 장치”, 국내등록특허 10-0514905-0000, 2005.09.07.
3. 신길수, “공기방출기능을 구비한 농산물 포장용기”, 국내실용신안 20-0252526, 2001.10.18
4. 차상철, “초음파 진동을 이용한 비닐포장지의 천공장치”, 국내실용신안 20-0398070, 2005.10.04
5. Elizabeth Varriano-Marston, “Registered microperforated films for modified/controlled atmosphere packaging”, US 6,441,340 B1, Aug. 27, 2002.