

레이저를 이용한 의료기기용 미세 동축케이블의 실드선 탈피

Shield Wire Stripping of Micro Coaxial Cable for Medical Device Using Laser

이정완^{1,✉}, 김정훈¹
 Jeong Wan Lee^{1,✉} and Jung Hoon Kim¹

¹ 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 (Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, Kangwon National University.)
 ✉ Corresponding author: jwlee@kangwon.ac.kr, Tel: 033-250-6377

Manuscript received: 2009.2.5 / Revised: 2009.6.10 / Accepted: 2009.6.16

Recently, as ultrasonic medical devices are gradually developed, many of those require smaller and more precision coaxial cables in the probe. So, the use of micro coaxial cable becomes an efficient solution for ultrasonic machine. However, there are many difficulties in stripping micro coaxial cable by traditional mechanical process. In this paper, we use the Nd:YAG laser for the efficient stripping of conduct wire of cable. Through some experiments, we found that there is a new possibility in the proposed method. Also, we propose a pre-process of the cable before stripping in order to enhance the performance.

Key Words: Cable Stripping (케이블 탈피), Micro Coaxial Cable (마이크로 동축케이블), Laser Cutting (레이저 절단), Medical Device (의료기기)

1. 서론

최근 의료기기 분야에서는 인간 및 환경 친화적 장치의 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 특히 초음파 의료기기의 경우에는, 작은 크기의 제품개발이 핵심적인 주안점이 되며, 이를 위해 영상신호의 핵심적 전송을 담당하는 프로브의 제조에, 다중구조를 갖는 미세동축 케이블(micro coaxial cable(MCX))이 사용되고 있다.¹ MCX의 사용을 통한 소형화는 환자는 몸에서 느끼는 불편함을 줄일 수 있다.

MCXs는 직경 0.25mm 이하의 미세동축 케이블이 64 가닥에서 210 가닥의 다발로 묶여있는 케이블로써, 향상된 EMI 특성과 고속의 신호 전송 시에도 임피던스 특성을 제어할 수 있다는 장점 때문에 의료기기뿐만 아니라 최근에는 슬림화되고 있는 노트북 및 휴대폰 등에도 폭넓게 적용되고 있다.^{1,2}

특히 고성능 초음파 진단기의 경우에는, 많은 수의 신호선이 필요하기 때문에 프로브의 신호선이 다중 코어의 구조를 지니며, 전체 케이블 다발의 직경은 점점 커지는 경향이 있다. 지금까지 초음파 의료기기용 프로브의 경우 42AWG 선이 가장 널리 사용되고 있으나, 프로브의 경량화와 기술 경쟁으로 인하여 46AWG 선으로까지 선의 굵기가 가늘어지는 경향이다.³ Table 1의 표에서 보듯이

Table 1 Trend of reduction in the diameter of medical use micro coaxial cable

AWG Size	40AWG	42AWG	44AWG	46AWG
Stranding (No./mm)	7/0.030	7/0.025	7/0.020	7/0.016
Area ratio	100	66	42	26
Use	Usual probe			
			3-dim. ultrasound	
	Endoscopic			

AWG: American Wire Gauge

고성능의 프로브의 경우에는 44AWG 보다 작은 MCX 를 사용하는 것이 요구된다.

최근에는 휴대폰, 노트북, PDA 등이 초경량화, 초슬림화의 시장 경향을 보이면서 의료기기에서만 사용되는 42AWG 케이블이 이 분야에 직접적으로 적용되고 있다. 이에 따라 42AWG 케이블의 가공에 대한 신뢰성 있는 양산기술을 확보하는 것이 케이블 및 커넥터 제조업체의 경쟁력 확보의 가장 핵심적인 사항이 되고 있다.⁴

본 논문에서는 초음파 의료기기용 프로브를 생산하는 공정에서 가장 문제가 되고 있는 실드선 탈피를 위한 새로운 기법을 개발하고자 한다. 기존에 주로 사용하는 공정은 실드선의 전체영역을 납으로 덮핑한 후, 이를 벤딩과정을 통한 기계적 탈피하는 방법을 주로 사용하고 있다. 이러한 기계적 절단 방식은 전체 공정에서의 복잡함과 가공 후의 품질의 일관성을 유지하지 못하는 단점을 지니고 있다.

기계적 절단방법의 문제점에 대한 해결 방법의 하나로 Nd:YAG 레이저를 이용한 실드선 탈피 방법을 제안하였다. Nd:YAG 레이저는 고체레이저의 대표적인 종류로서 YAG 크리스탈과 Nd³⁺ 이온을 병합하여 고출력을 가지고 기계적인 성질과 온도속성이 훌륭한 특징이 있다.^{5,7} Nd:YAG 레이저는 각종 재료가공 용접 및 의료용으로 사용되고 있는데 파형제어를 이용하여 가공 및 용접 특성을 향상시키려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.^{8,13}

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 MCX의 특성을 설명하고, 3 장에서는 사용된 레이저의 특성을 설명하고, 레이저를 이용한 실드선 탈피 장치를 설계하고, 4 장에서는 몇가지 실험을 통하여 그 성능과 특성을 확인할 것이다. 마지막으로 5 장에서 결론을 논의할 것이다.

2. 프로브용 마이크로 동축 케이블

Fig. 1 은 현재 초소형 휴대폰, 초음파 진단기기 프로브에 널리 사용되는 42AWG 선의 전형적인 형태이다.^{1,2} 한 가닥의 미세 동축케이블에는 신호선(inner conductor), 절연물질(insulation), 실드선(outer conductor), 자켓(jacket)의 4 개의 영역이 Fig. 1 과 같은 단면으로 구성되어 있으며, 0.025mm 이하 직경의 신호선이 내장되어 있다. 일반적으로 프로브용으로 사용되는 MCXs 의 경우 196 개의 MCX 가 하나의 다발을 이루고 있으며, 전체 다발

의 직경은 42AWG 의 경우 4.5mm 이다.

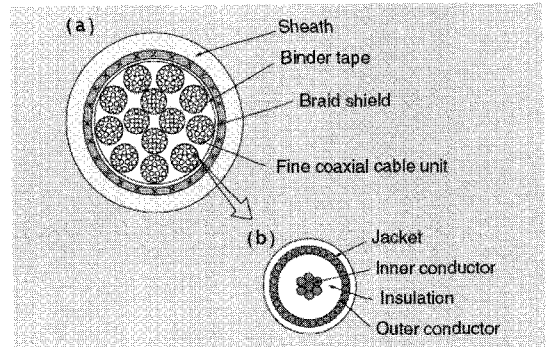


Fig. 1 Sectional view of probe cable (a) and micro coaxial cable (b): The probe cable is composed of a number of micro coaxial cables for transmitting image signals of the ultrasonic diagnostic equipment

MCX 다발이 사용되는 초음파 의료기기용 프로브(Fig. 2)는 초음파 관련 진단 의료기기의 원천적인 진단 신호를 전송하는 기능을 지니며, 초음파 관련 의료기기에 있어서 청진기와 같은 역할을 하고 있다. Fig. 3 에서 보듯이 프로브의 신호의 전송을 위해 MCX 가 신호선으로 사용되고 있다. MCX 는 개개의 동축케이블의 선의 굵기가 매우 가늘고 잘 휘어지기 때문에, 개개의 미세 동축 케이블내의 신호선을 효과적으로 탈피하고 납땀하는 가공이 매우 많은 시간과 비용이 소요되는 어려운 기술이다. 따라서, 효과적인 MCX 탈피를 위해서는 기존의 기계적인 wire stripping 기술로는 한계가 있기에 새로운 생산 기법이 요구되고 있다.¹² 그 중에 하나인 레이저탈피 기법이 가장 가능성 있는 대안이다.⁵

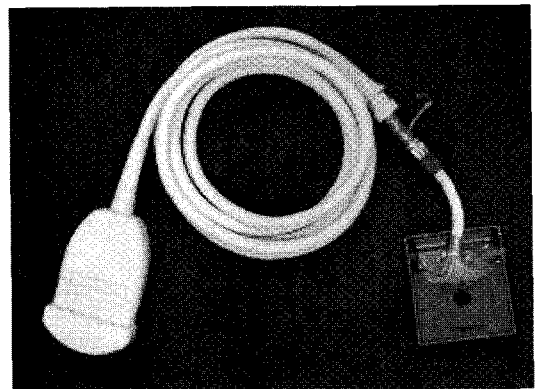


Fig. 2 Whole shape of probe

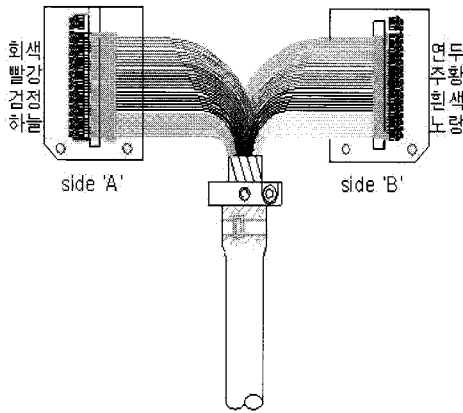


Fig. 3 Cable connection diagram of probe

3. Nd:YAG 레이저를 이용한 MCX 실드선 탈피 시스템

레이저 탈피 기법 중에는 CO₂ 레이저는 탄화플루오르에 대하여 효과적으로 자를 수 있다는 장점이 있다.⁹ 그러나 절단 후 절연체 찌꺼기를 남기고 보통 열 손상을 가져온다는 단점을 지니고 있으며,⁸ 일반적인 구리나 알루미늄들의 도체에는 효과적인 절단이 이루어지지 않기 때문에 동축케이블 실드선 탈피에는 적절치 못하다.

한편 1064nm 의 파장을 가지는 Nd:YAG 레이저는 MCX 의 피복 탈피와 구리, 유리, 폴리이미드, 테프론을 포함한 여러 재료의 마이크로 가공에 사용이 되고 있다.^{5,10,11} 주로 사용되는 레이저는 2KHz 의 반복률과 40ns 의 펄스폭으로 동작한다. 이것은 메탈, 폴리머, 유리, 세라믹 가공의 새로운 가능성을 열어 주었다. 레이저 파장에 따른 대표

적인 금속의 반사 변화에 따르면, 구리도선에 대하여 Nd:YAG 레이저가 우수한 흡수율을 보이고 있다. 이러한 결과는 Aluminum-Mylar 또는 미세 동축케이블의 도금된 구리와 같은 실드 부분의 정밀한 커팅의 가능성을 열어주고 있으나 극미세 동축케이블의 경우에는 아직까지 결과가 뚜렷하지 않다.

본 논문에서는 42AWG MCX 의 실드선 탈피를 위한 Nd:YAG 레이저 가공 시스템을 제작하였다. 탈피 시스템에 사용된 레이저는 Spectron Technology 사의 레이저 시스템을 사용하였고, 그 사양은 Table. 2 와 같고, 제작된 시스템의 레이저 헤드와 광학계의 전체 구성도는 Fig. 4 와 같다.

Table 2 Specification of Nd:YAG laser system

Laser Parameters	
Wavelength[nm]	1064
Nominal Power,cw[W]	16
Repetition Rate[KHz]	4
Polarization	Vertical, 100:1
Beam parameters	
Spatial Mode	TEM _∞
M ²	<1.3
Peak Power, 30[KHz][kW]	30
Pulse Energy, 30[KHz][μJ]	280
Pulse Width, 30KHz[ns]	<10
Pulse to Pulse Stability[rms]	1.5% @30KHz
Beam Diameter, 1/e ²	0.8
Beam Divergence, Full Angle, 1/e ² [mrad]	2

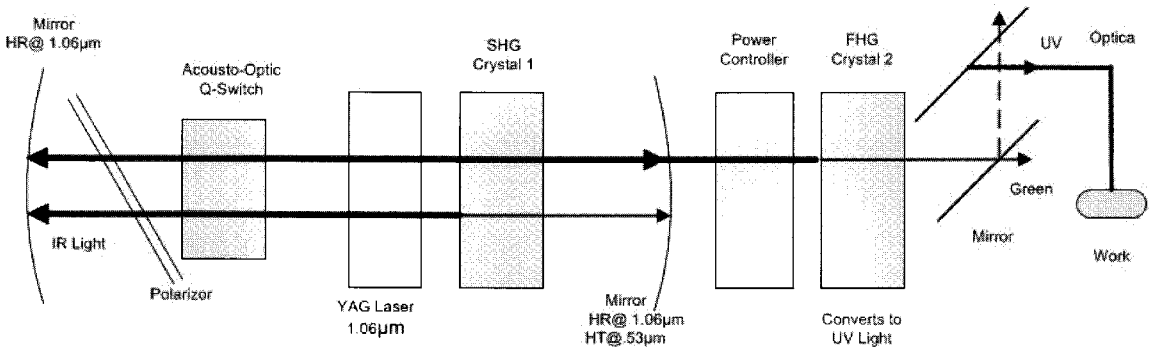


Fig. 4 Schematics of Nd:YAG laser system

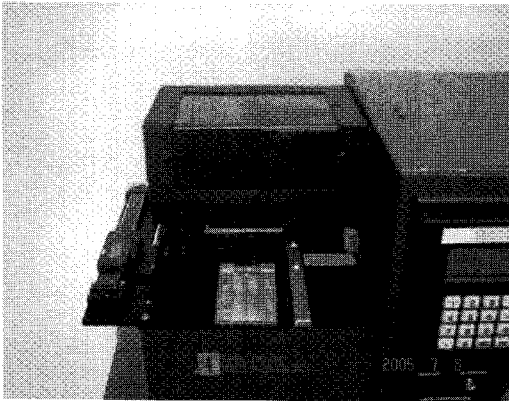


Fig. 5 Entire Nd:YAG laser system



Fig. 6 Convey part of Nd:YAG laser system

레이저의 동작은 공냉방식의 다이오드 펌프 방식 Nd:Yag 레이저로 마이크로 콘트롤러를 통해 레이저의 파워, 반복횟수, 이송속도, 이송거리를 조절할 수 있도록 제작되었다. 동축케이블의 GND 실드선 탈피를 위한 지그 및 이송시스템은 Nd:YAG 레이저 특성에 맞게 기존 CO₂ 레이저 장치에서 변형하여 구성하였으며, 전체시스템의 사진은 Fig. 5 와 같고 이송시스템의 사진은 Fig. 6 과 같다.

4. 실험

4.1 실험 방법

42 AWG MCX 를 이용한 초음파 의료기기용 케이블 가공 공정중 핵심은 Signal 선과 Signal GND 선을 Fig. 7 과 같은 형태로 탈피시키는 것이다.

실제 실험에 적용된 케이블은 한 다발의 MCXs 에 총 64 개의 MCX 가 내장되어 있는 케이

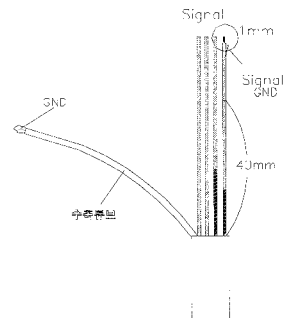


Fig. 7 Assembly of 42 AWG MCX in the process of manufacturing ultrasonic probe

블을 사용하였다. 전체적인 실험은 다음과 같은 과정을 통하여 수행하였다.

64 개의 MCX 를 일렬로 정렬한 다음 투명 테이프로 테이핑 작업을 한다.

가장 바깥 부분의 자켓을 CO₂ 레이저를 통하여 40mm 길이로 탈피시킨다.

2 번의 작업후 드러난 실드선을 Nd:YAG 레이저를 이용하여 38mm 절단한다.

마지막으로 내부 절연 물질을 CO₂ 레이저를 이용하여 절단하고 1mm 의 신호선이 끝단으로 나오게 가공한다.

제작된 Nd:YAG 레이저 시스템을 사용하여 다음과 같은 3 번의 공정을 수행하였는데 다음의 두 가지 방법으로 실험을 수행하였다.

1) MCX 에 전처리 작업 없이 Nd:YAG 레이저만으로 절단을 하였다.

2) MCX 에 2 번 공정후 실드선에 납 침지(dipping) 작업을 거친 후 Nd:YAG 레이저로 절단 하였다.

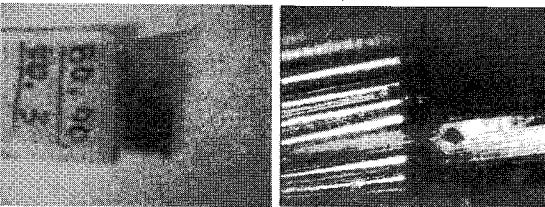
사용된 레이저 시스템의 컨트롤러의 변수 값은 각각 출력(power, %), 속도(speed, mm/s), 거리(distance, mm), 횟수(cycle)의 값이다. 이들중 거리는 MCX 의 폭에 따라 결정되는 변수 값으로 실제 MCX 의 폭에 해당하는 22mm 보다 큰값으로 결정하면 되는 변수이다. 실험에서는 거리변수는 50mm 를 사용하였다. 속도변수의 경우는 실제 생산공정이 이루어 질 때 생산성과 관련된 변수값으로, 본 실험에서는 양산을 고려하여 70mm/s 의 값을 고정시켰으며, 출력과 횟수를 달리하여 비교 실험을 수행하였다.

4.2 실험 결과

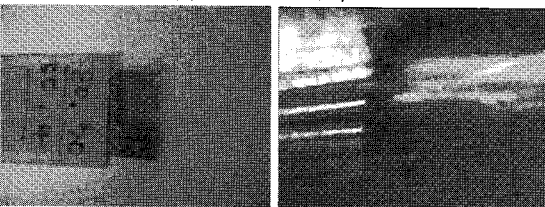
Fig. 8 은 전처리 작업을 하지 않은 첫 번째 방법의 실험을 통하여 얻은 실제 카메라 사진과 확대 현미경 사진들이다. 출력의 변화는 80%, 85%, 95%의 변화를 주었으며, 횃수는 2 회, 3 회, 4 회의 변화를 주었다. 이러한 변화를 준 이유는 75%이하의 출력에서는 실드선 탈피가 효과적으로 이루어지지 않았으며, 95%이상의 출력에서는 신호선에 과도한 영향을 주어 비교실험의 대상에서 제외하였다.



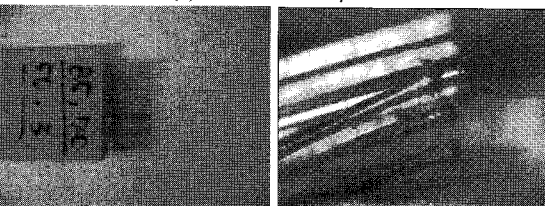
(a) burr size 18.6 μm



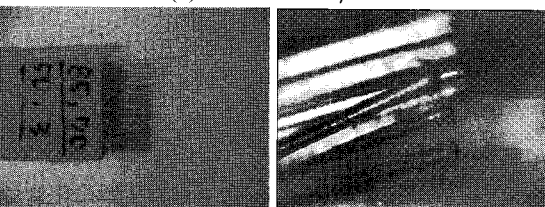
(b) burr size 33,7 μm



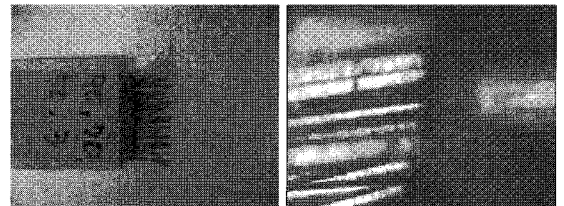
(c) burr size 39.7 μm



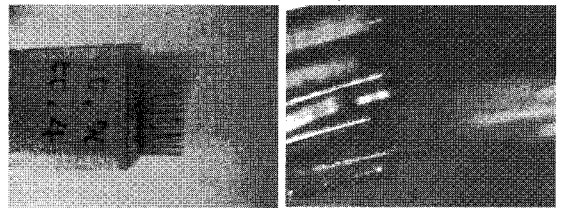
(d) burr size 17.6 μm



(e) burr size 24.1 μm



(f) burr size 17 μm



(g) burr size 17.3 μm

Fig. 8 Result of cutting cable using laser without pre-processing:

*	power	speed	distance	cycle
(a)	80%	70mm/s	50mm	2
(b)	80%	70mm/s	50mm	3
(c)	80%	70mm/s	50mm	4
(d)	85%	70mm/s	50mm	3
(e)	85%	70mm/s	50mm	4
(f)	90%	70mm/s	50mm	3
(g)	90%	70mm/s	50mm	4

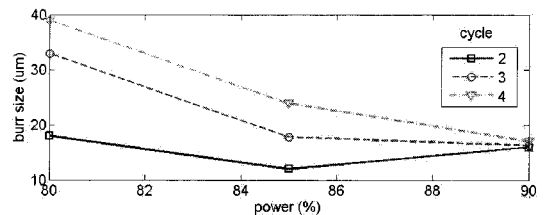


Fig. 9 The variation of bur size without pre-processing due to laser power, and cycle

실험 결과에서 보듯이 2 개의 콘트롤러 매개변수의 변화에 따라 연쇄적 상관 관계를 가짐을 볼 수 있다. 첫번째 방법의 실험결과를 출력과 횃수를 주된 매개변수로 하여 각각 버 사이즈를 정리하면 Fig. 9 와 같은 결과 값을 가진다. Fig. 9 에서 보듯이, 출력이 클수록 버 사이즈가 작아짐을 볼 수 있으며, 왕복횃수가 적을수록 오히려 버 사이즈가 작아짐을 볼 수 있다. 85% 출력 이상에서는 비슷한 크기의 버 사이즈로 수렴됨을 볼 수 있으며 90%이상에서는 왕복횃수에 상관없이 일정한 버 사이즈로 수렴함을 볼 수 있다. 생산성의 관점에서

보았을 때는 출력을 90%로 하고 왕복횟수를 2 회 하는 것이 가장 최적의 결과로 볼 수 있다.

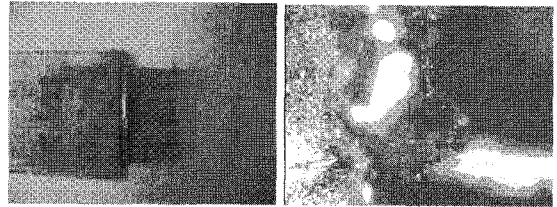
왕복횟수의 증가가 오히려 큰 버사이즈를 보이는 것은 왕복 이송기구의 반복이송 정밀도가 평균 버사이즈의 크기에 비하여 크기 때문에 발생한 것으로 판단된다. 즉 실드선을 완전하게 절단하기는 부족한 출력에서 왕복횟수의 증가는 전체적인 출력을 증가시켜 절단성능을 높이는 역할을 하는 잇점은 있으나, 왕복횟수에 따라 레이저를 가하는 부분이 동일한 지점에 이루어지지 않기 때문에 오히려 버사이즈를 크게 만드는 현상을 발생한다. 실험의 결과로 보았을 때, 왕복 횟수는 2 회 이상 하지 않는 것이 더 효율적인 것으로 판단되며, 가장 중요한 변수는 출력의 세기의 최적값을 취하는 것이 더 합리적인 것으로 판단되었다.

전처리를 하지 않는 첫번째 방법으로 수행한 실험 결과에서 최소 17.6 μm 수준의 버 사이즈로 매우 양호한 결과를 얻었으나, 실드가 완전히 잘렸을 때는 내부 신호선도 함께 손상을 입는 것으로 나타났다. 이를 피하기 위하여 출력을 약하게 할 때는 실드 잔여선이 많이 남아 실제 가공결과물을 양산하여 적용하기에는 부적합 한 것으로 나타났다. 따라서 이에 대한 해결책이 요구되었으며 이를 위하여 절단하기 전에 납 침지(dipping)작업을 통한 전처리 방법(두번째 방법)을 고려하였다. 실험방법은 먼저 자켓을 탈피한 다음 실드선의 전체 부분을 납으로 침지한 후에 레이저 탈피가공을 수행하였다.

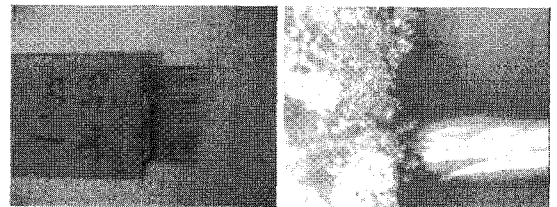
Fig. 10 은 납 침지(dipping)작업 후 레이저 매개 변수 변화에 따른 버 사이즈 변화를 촬영한 사진 이고 Fig. 11 은 왕복횟수와 출력세기에 따른 버 사이즈를 비교한 그래프이다. 출력의 변화는 80%, 85%, 90%, 95%를 주었으며, 횟수는 1,2,3,4 회를 수행하였다. 버사이즈의 크기의 관점에서는 90%의 출력 세기와 1 회의 왕복횟수일 때 최적의 결과를 얻었으며, 90%이하의 출력에서는 출력이 클수록 왕복횟수가 작을수록 버사이즈는 작아지는 경향을 보였다. 전처리를 하지 않은 경우와 차이점은 출력의 세기를 좀더 크게 했을 때 버사이즈의 최적 오차가 나타남이 보였으며, 왕복 횟수의 관점에서는 왕복횟수를 1 회만 하여도 충분한 성능을 얻을 수 있었다. 이러한 점은 양산시 생산성을 더 높일 수 있다.

전반적으로 버 사이즈는 전처리를 하지 않은 경우에 비하여 커졌지만(최적값 25.7 μm), 심선에

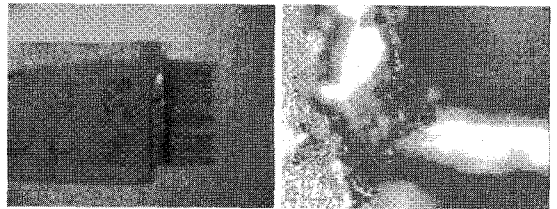
대한 영향은 전혀 없었다. 80 μm 이하는 버 사이즈 는 제품의 기능에 영향을 거의 없을 정도로 작기



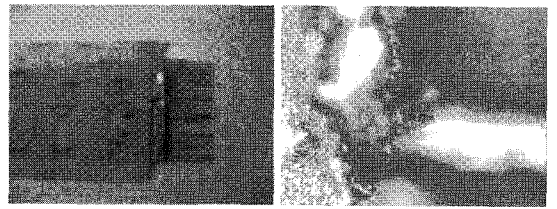
(a) burr size 124 μm



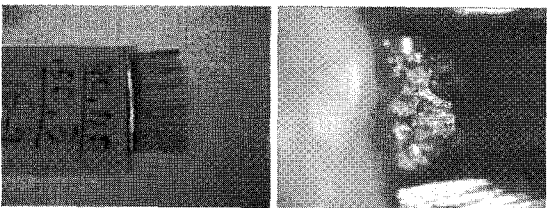
(b) burr size 69.7 μm



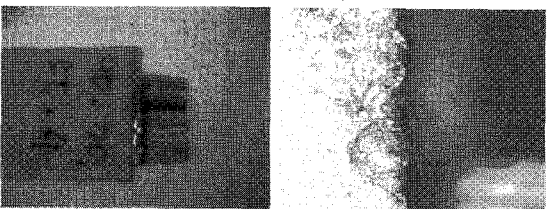
(c) burr size 124.7 μm



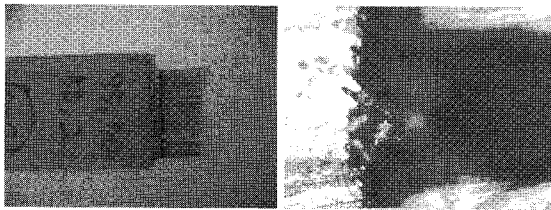
(d) burr size 25.7 μm



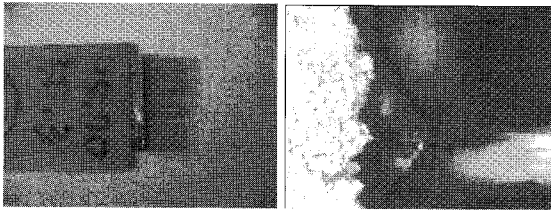
(e) burr size 63.1 μm



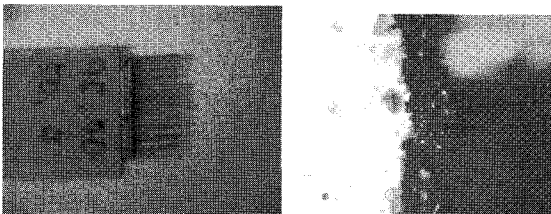
(f) burr size 40.3 μm



(g) burr size 64.6 μm



(h) burr size 107.1 μm



(i) burr size 66.7 μm

Fig. 10 Result of cutting cable using laser with pre-processing:

*	power	speed	distance	cycle
(a)	80%	70mm/s	50mm	2
(b)	85%	70mm/s	50mm	1
(c)	85%	70mm/s	50mm	2
(d)	90%	70mm/s	50mm	2
(e)	90%	70mm/s	50mm	3
(f)	90%	70mm/s	50mm	4
(g)	95%	70mm/s	50mm	2
(h)	95%	70mm/s	50mm	3
(i)	95%	70mm/s	50mm	4

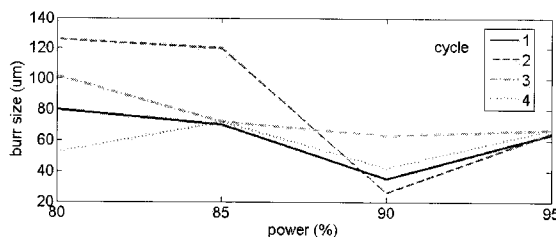


Fig. 11 The variation of bur size with pre-processing due to laser power, and cycle

때문에 심선에 주는 영향 대한 고찰이 보다 중요하다.

이상의 실험결과를 토대로 볼 때 구성된 Nd:YAG 레이저 시스템을 사용하여 전처리를 하지 않은 경우에는 버 사이즈에서는 매우 만족할 만한 결과를 보이지만 신호선에 손상을 주는 결과를 얻었으며, 납 침지 작업에 의한 전처리를 하였을 때는 요구되는 버 사이즈와 함께 신호선에 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 마이크로 동축 케이블을 효과적으로 절단하기 위해 Nd:YAG 레이저를 이용한 시스템을 구성하고 레이저의 강도, 절단 속도, 거리 및 반복 횟수를 조절하여 심선이 상하지 않는 최적의 결과를 위한 실험을 하였다. 전처리 없이 탈피를 하기에는 현재까지 만족할 만한 특성을 얻지 못하였으나 전처리 후 레이저 탈피는 실제 제품에 적용할 수 있을만한 품질을 얻을 수 있음을 입증하였다.

전처리없이 심선에 영향을 받지 않는 절단을 위해서는 레이저 흡수율 특성이 우수한 케이블을 사용하여 기존의 방식대로 절단하는 방법이 있을 수 있고, 보다 정밀한 레이저 절단 시스템을 구성하여 심선에 영향이 없는 결과물을 만들어 낼 수 있는 레이저 콘트롤 기술의 향상이 있다. 이 두가지 방법 모두 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Ichikawa, T., Aoyama, S., Matsui, H. and Seya, O., "Properties of Ultra Coaxial Cable for Electronic Equipment," Hitach Cable Review, No. 22, pp. 47-50, 2003.
2. Martyniuk, J., "UV Laser-Assisted Wire Stripping and Micromachining," AMP Journal of Technology, Vol. 4, No. 1, pp. 77-83, 1995.
3. Futamata, H., Satoh, Y., Watanabe, T., Aoki, H., Nakazawa, Y., Kojima, S. and Noda, Y., "Micro Coaxial Cable Assembly," Fujikura Tech. Rev., No. 31, pp. 1-6, 2002.
4. Nakamura, A., Yamamoto, Y., Kunii, M. and Saito, H., "Micro-coaxial Cable and Assembly for Notebook

- PCs,” Hitach Cable Review, No. 19, pp. 39-42, 2000.
5. Ready, J., “Industrial Applications of Lasers,” Academic Press, 1978.
 6. Kennedy, C. and Barry, J., “Stability of an Intracavity Frequency-doubled Nd-YAG Laser,” IEEE Journal of Quantum Electron, Vol. 10, No. 8, pp. 596-599, 1974.
 7. Zhu, X., “A New Method for Determining Critical Pulse Width in Laser Material Processing,” Applied Surface Science, Vol. 167, No. 3-4, pp. 230-242, 2000.
 8. Jung, J. H. and Uchida, T., “Development of Power Feedback Nd:YAG Laser with Waveform control Function,” Journal of KWS Vol. 19, No. 4, pp. 366-370, 2001.
 9. Weber, R., Beuenschwander, B. and Weber, H. P., “Thermal Effects in Solid-state Laser Materials,” Optical Materials, Vol. 11, No. 2, pp. 245-254, 1999.
 10. Bang, S. Y., “Effects of Beam Parameters on Excimer Laser Ablation,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 22, No. 7, pp. 38-46, 2005.
 11. Lee, H. C. and Kim, Y. P., “Output Characteristics of a Q-Switched Nd:YAG laser with GRM(Gaussian Reflectivity Mirror),” Hankook Kwanghak Hoeji, Vol. 16, No. 2, pp. 152-158, 2005.
 12. Park, D. Y., Kim, H. T. and Choi, C. C., “Output Characteristics and Measurement of the Gain Coefficient of a Pulsed Nd:YAG laser,” Hankook KwangHak Hoeji, Vol. 10, No. 1, pp. 53-57, 1999.
 13. Gross, A., Kotler, Z. and Lipman, E., “Multiple Beam Micromaching System for Removing At Least Two Different Layers of A Substrate,” US Patent, No. 7176409B2, 2007.