

고품질 플라즈마 절단 및 레이저 절단기술

김 환 태^{*.†} · 길 상 철^{**}

^{*}한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램

^{**}한국과학기술정보연구원

High Quality Plasma Cutting and Laser Cutting Technology

Hwan Tae Kim^{*.†} and Sang Cheol Kil^{**}

^{*}Korea Institute of Science and Technology Information ReSEAT Program, Deajeon 305-806, Korea

^{**}Korea Institute of Science and Technology Information, Deajeon 305-806, Korea

[†]Corresponding author : htkimm@reseat.re.kr

(Received October 4, 2016 ; Revised December 8, 2016 ; Accepted December 23, 2016)

Abstract

The trend of the plasma cutting and laser cutting technology of metal alloys including high strength steel, aluminum alloys for the welding structures has been studied. The high-precision plasma systems offer a denser, higher energy arc that in effect produces a sharper cutting tool and high quality cutting products. The high-quality fiber laser systems with compact design and easy set-up make it ideal for cutting in the pipeline or steel structure manufacturing.

This paper covers the scientometric analysis of the high efficient cutting technology which are based on the published research works in the 'plasma and laser', and 'cutting technology' obtained from Web of Science, and deals with the details of the background data of the plasma cutting and laser cutting technology.

Key Words : Plasma cutting technology, Laser cutting technology, Steel, Aluminum alloys, Scientometric analysis, Methodologist and source of data

1. 서 론

최근 세계 각국은 인류의 복지와 생활수준 향상을 위한 환경 개선과 에너지 절약을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 자동차산업, 발전플랜트, 건축, 조선·해양산업 등 많은 산업분야에서 용접공정과 더불어 전 생산 공정에서 필수적인 핵심 공정으로 활용되고 있는 절단공정의 효율화를 위한 기술의 개발에 집중적인 투자를 하고 있다. 현재 미국과 일본 등 선진기술국들은 절단제품의 품질과 신뢰성을 높여주는 고효율 플라즈마 절단, 레이저 절단과 같은 고능력 자동 절단 등 산업용 구조물 절단부의 품질과 신뢰성을 높여주는 첨단 절단 기술개발을 활발히 진행하고 있다. 이에 따라 국내에서도 부가가치가 높은 자동차용 박강판에서부터 중후장대 산업용 중후 강판의 절단에 이르는 산업 분야에서도 우수한 품질을 확보할 수 있도록 고속, 고정밀, 저가격의

맞춤형 절단기술에 대한 국내외 연구개발 현황과 발전 동향을 분석하는 것이 중요하다.

2. 고품질 절단기술

2.1 플라즈마 절단기술

용접에 사용할 모재 강판의 절단 및 용접홈의 가공작업은 용접구조물의 제작에서 매우 중요한 제조 공정으로 조선소를 포함한 용접현장에서는 산소 및 아세틸렌을 이용한 가스절단법과 더불어 제조원가 절감을 위해 더 능률적이고 효과적인 플라즈마 절단시스템이 사용되고 있다. 플라즈마 자신이 갖고 있는 열과 압력에 의해 절단 대상물의 일부를 용융 배제하여 절단이 진행되는 플라즈마 절단법은 가스 절단법에 비해 절단속도가 매우 빠르고 절단물의 두께도 두꺼우며 절단면의 품질도 매우 양호하다^{1,2)}. 최근에는 플라즈마 아크의 둘레에 제

2의 보호가스를 공급하여 아크의 모서리를 냉각시키고 이 결과로 아크를 수축시키는 기술을 플라즈마 아크 절단에 도입하여 아크가 수축되면 아크의 집중화가 일어나 에너지 밀도가 높아지고 이에 따라 절단속도가 증가하고 절단 품질이 향상되는 Fig. 1과 같은 Dual Flow 플라즈마 절단법이 적용되고 있다.^{3,4)}

자동화 플라즈마 공정에서는 12개 정도의 작업조건에 대해 1/1000초의 타이밍 제어와 초정밀 공차가 요구되며, 통합화된 작동을 위해 처음부터 끝까지 제어장치와 통합시스템을 이용하면 절단부의 품질을 높이고 절단 비용을 낮출 수 있다⁵⁾. 현장의 날씨와 작업조건이 열악한 상태에서는 정밀한 절단작업이 쉽지 않다. 이러한 상황에서 우수한 용접품질을 얻기 위해서는 프로그램으로 작동되는 가변속 운반장치(variable-speed carriage)를 사용하는 자동화된 공정을 채택하여 현장의 절단작업에 적용하는 것이 중요하다.

2.2 레이저 절단기술

레이저를 절단에 이용하는 가공기술의 발전에 따라 산업현장에서 레이저 절단법의 적용이 증가하고 있으며, 지금까지 펄스 CO₂ 레이저가 휴대전화용 프린트 기관의 천공작업에 이용되어 왔으나 향후 고품질, 저열영향 등의 관점에서 펄스시간이 짧은 나노초 또는 더 나아가 피코초나 펨토초 레이저 등의 이용이 추진되고 있다. Fig. 2는 산소와 아세틸렌을 이용한 가스절단법, 아크를 이용한 플라즈마 절단법, 그리고 레이저 빔을 이용한 레이저 절단법에 따른 금속 및 비금속 재료의 절단 가능한 두께를 비교하였다⁴⁾.

레이저를 이용하는 가공기술이 등장한 이래 빔의 품질이 우수한 파이버 레이저는 CO₂ 레이저와 동일하게 절단에도 활용되고 있다^{6,7)}. 파이버 레이저의 출력은

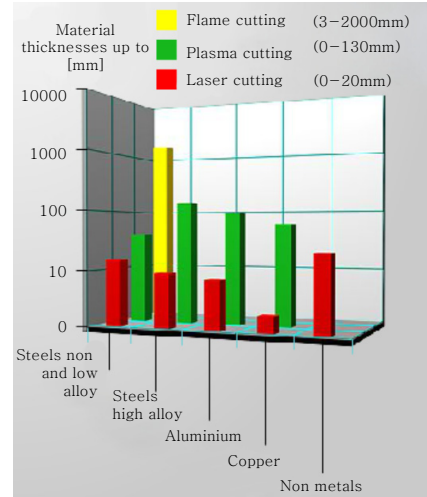


Fig. 2 Thermal cutting process, materials and cutting ranges in practice⁴⁾

기존의 ND:YAG 레이저보다 높으며 빔의 품질도 우수하다. 고체 레이저 빔의 품질은 BBP(beam parameter product)값으로 표시할 수 있으며 BBP값이 작을수록 빔의 품질이 우수하다⁸⁾. 일례로 BBP가 약 12mm.mrad인 17kW급의 Yb-파이버 레이저가 최근 유럽에 설치되었으며 BBP가 2mm.mrad인 5kW급의 Yb-파이버 레이저는 사용할 수 있다. 일례로 영국의 TWI에 설치된 7kW급 Yb-파이버 레이저의 경우 21%의 출력 전환 효율(power-conversion efficiency)을 보여 주고 있다. 이와 같은 파이버 레이저의 고효율성은 출력 전환 효율이 8%인 CO₂ 레이저와 3%인 다이오드 펌프형 ND:YAG 레이저와 비교하면 확실히 파악할 수 있다. 그리고 7kW급 Yb-파이버 레이저의 설계는 CO₂ 레이저와 다이오드 펌프형 ND:YAG 레이저에 비해 매우 간단하고 치밀하기 때문에 이를 설치하는데 단지 몇 시간만 소요될 뿐이다. 기계류부품의 정밀가공분야에서는 고휘도 디스

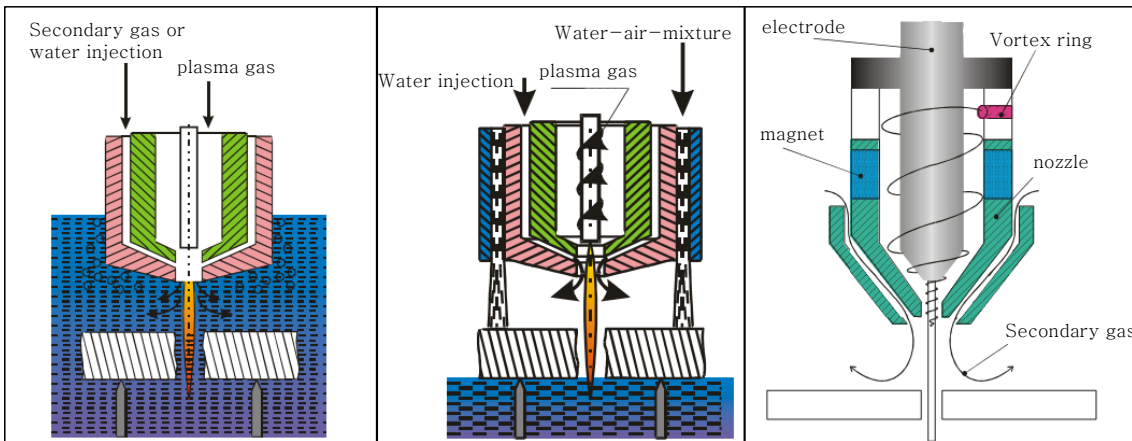


Fig. 1 Schematic of dual flow plasma system⁴⁾



Fig. 3 Combi-head at work. cutting and welding process on the B-pillar with a gantry robot⁸⁾

크레이저와 파이버레이저의 개발에 힘입어 3차원 레이저 가공기술이 많이 채택되고 있다. 이와 같은 레이저 가공기술의 장점으로는 파이버 결합형 빔 유도, 고품질의 빔, 고효율 레이저, 우수한 펄스기능, 장치의 소형화, 그리고 장비가격의 저렴화 등을 들 수 있다. 독일의 Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT는 통합 빔 유도시스템을 갖춘 새로운 결합형 헤드의 설계를 통해 최적의 3차원 가공기술을 달성할 수 있게 되었다⁹⁾.

레이저 용접과 절단을 동시에 수행하는 고품질의 복합공정(〈Fig. 3 참조〉)이 경제적인 측면에서 매력적이기 위해서는 ① 직선형으로 추진되고 통합 빔으로 유도되는 갠트리 로봇과 같이 동적 응답성이 높고 정확성을 갖는 3차원 장비 또는 로봇시스템, ② 파이버 레이저 또는 디스크 레이저와 같이 파이버 결합 빔 전송과 훌륭한 빔 품질을 갖는 레이저, ③ 슬림형 디자인, 짧은 길이, 그리고 동적인 z-축의 신속한 거리 통제의 결과에 의해 3차원 능력을 최적화시킨 복합헤드 등의 요소를 충족시켜 주는 것이 필수적이다.

3. 학술정보분석

3.1 학술정보분석 개요

ISI Web of Knowledge를 통해 제공하는 Web of Science(Thomson Reuters), SCI-Expanded를 이용하여 플라즈마 절단기술과 레이저 절단기술에 관한 학술정보를 검색하여 분석하였다. SCI-Expanded는 1899년부터 현재까지 데이터가 수록되어 있는 과학잡지 문헌의 학술적 색인으로서, 150개 과학 분야에 걸쳐 7,100개 이상의 주요 잡지를 완전하게 색인을 부여

Table 1 Bibliographic search flow chart of automobile welding technologies

Search Query	
#1	21,738 Topic: ((laser OR plasma OR plazma) AND cut*) Data base=SCI-EXPANDED Time span=2000-2016
#2	190,723 Topic: (aluminium* OR aluminum* OR steel* OR stainless OR AL) Data base=SCI-EXPANDED Time span=2000-2016
#3	431 #1 AND #2 Data base=SCI-EXPANDED Time span=2000-2016

하고 색인기사 모두의 피인용 문헌을 수록하였다.

3.2 고품질 절단기술의 국내외 학술정보

Table 1의 검색식을 이용하여 SCI-Expanded DB에 발표된 고품질 절단기술에 관한 학술정보(2000년 이후 발표분, 2016년 6월 16일 기준)를 검색한 후, 총 431건의 기술자료 중에서 초록을 검토하여 관련도가 다소 떨어지는 학술정보를 제외한 고품질 절단기술에 해당되는 문헌 244건 만을 대상으로 연도별, 국가별, 연구기관별 기술문헌 발표동향을 분석하였다.

연도별 기술문헌 발표현황(Fig. 4 참조)을 보면, 2005년부터 발표량이 증가하였으며, 특히 2009년에 27편, 2013년에는 29편의 학술정보가 발표되었다.

기술문헌의 저자 국적을 분석한 전반적인 동향을 보면(Fig. 5 참조) 러시아가 31편의 기술문헌을 발표하여 전체 244편의 논문 중 12.7%를 점유하며 가장 많은 기술문헌을 발표한 것으로 나타났으며, 인도(25편, 10.2%), 사우디아라비아(21편, 8.61%), 영국(16편, 6.56%), 이탈리아(13편, 5.32%), 미국(12편, 4.92%), 중국(11편, 4.51%), 독일(9편, 3.69%), 터키(8편, 3.28%), 순으로 뒤를 이었다. 한편 대한민국은 4편(1.64%)의 기술문헌을 발표하였다.

국가별 질적 수준 평가 지표(index level)는 (Fig. 6

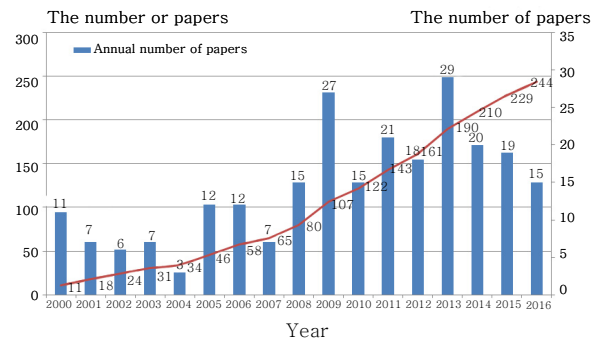


Fig. 4 Annual trend of the published papers in cutting technologies

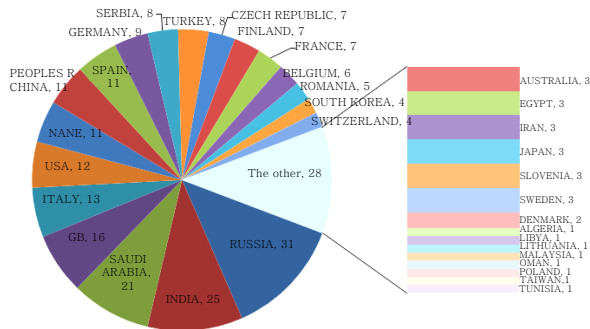


Fig. 5 Comparison of the papers in automobile welding technologies (countries)

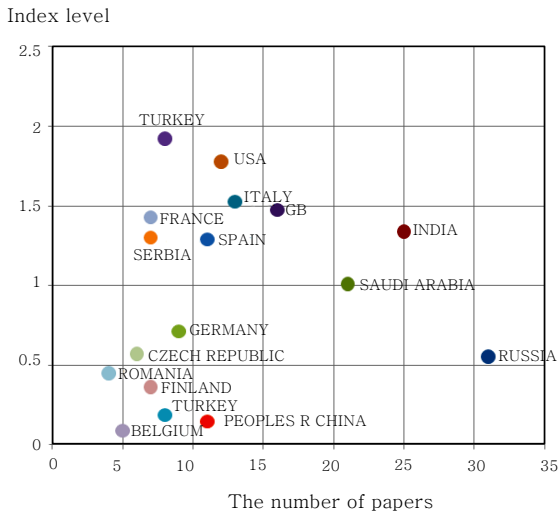


Fig. 6 Index level/number of the papers (countries)

참조) 터키가 제일 높은 값(1.92)을 보여 기술문헌의 피인용 관점에서 질적 수준이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 분야 평균 이상의 수준을 보이는 국가는 터키를 비롯하여 미국(1.78), 이탈리아(1.53), 영국(1.47), 인도(1.33) 등이 있다. 한편 우리나라는 수준 지수가 0.45를 기록하였다.

4. 결 론

1) 최근 인류의 복지와 생활수준 향상에 필요한 환경 개선과 에너지 절약을 위해 자동차산업, 발전플랜트, 건축, 조선·해양산업 등 많은 산업분야에서 용접공정과 더불어 전 생산 과정에서 필수적인 핵심 공정으로 활용되고 있는 절단작업의 효율화에 대한 절단기술 개발의 중요성이 한층 더 높아지고 있는 추세이다. 이에 따라 절단제품의 품질과 신뢰성을 높여주는 고효율 플라즈마 절단, 레이저 절단과 같은 고능력 자동 절단기술이 핵심적인 생산기술로 성장했다.

2) 기계류부품의 정밀가공분야에서는 파이버 결합형

빔 유도, 고품질의 빔, 고효율 레이저, 우수한 펄스기능, 장치의 소형화, 그리고 장비가격의 저렴화 등의 장점을 갖추고 있는 고회도 디스크레이저와 파이버 레이저의 개발에 힘입어 3차원 레이저가공기술이 향후 많이 활용될 것으로 예측된다. 이에 따라 최적의 3차원 가공기술을 달성하기 위한 통합 빔 유도시스템을 갖춘 새로운 결합형 헤드 생산을 포함한 절단시스템의 연구개발의 성공가능성을 높일 수 있는 기초분석 자료 등 객관적이고 충실한 정보를 중소기업에 제공하는 것이 중요하다.

3) 비철금속의 고정밀 절단에 적용되는 새로운 절단 공정으로서 질소를 플라즈마 가스로, 분무 미립자 형태의 물을 보호가스로 사용하는 신공정 플라즈마 아크 절단기술의 비중이 높아지고 있으며, 고정밀 플라즈마 아크 절단장치에서 레일, 베어링, 치구를 포함한 전원장치, 토치, 소모품 카트리지, 토치 높이 제어기, 시스템 제어기, 가스유량 제어기 등에 대한 개량의 중요성이 높아지고 있다. 이것이 성공을 거두기 위해서는 주어진 오차범위에서 절단부위에 대한 신뢰성과 반복성을 확보되어야 하며 이를 위해 플라즈마 아크 절단의 능력을 향상시키는 연구개발이 활발히 수행되어야 한다.

4) 고품질 절단기술에 관한 학술정보를 검색하고 분석한 결과, 러시아(31편, 12.7%), 인도(25편, 10.2%), 사우디아라비아(21편, 8.61%), 영국(16편, 6.56%), 이탈리아(13편, 5.32%) 순으로 기술문헌을 발표하였으며 대한민국은 4편(1.64%)의 기술문헌을 발표하였다. 특정 기술분야 전체 기술문헌의 평균 피인용 수에 대한 특정 국가 발표 기술문헌의 평균 피인용 수의 비로서 피인용 수에 기반을 둔 질적 수준 평가 지표(Index level)를 보면, 터키(1.92), 미국(1.78), 이탈리아(1.53), 영국(1.47), 인도(1.33) 순이며, 대한민국은 0.45를 기록하였다. 이를 볼 때 우리나라의 '고능력 절단기술력'을 향상시키고 자동차산업, 발전플랜트, 건축, 조선·해양산업 등을 포함한 많은 산업분야의 절단품질을 높이며, 대외경쟁력과 해외 수출 시장에서도 우위를 확보할 수 있도록 양질의 기술논문을 많이 발표하는 것이 요청되며, 국내의 '고품질 절단기술개발'을 촉진하기 위해 국가의 적극적인 지원을 강화할 필요가 있다.

후 기

본 기술해설은 미래창조과학부 과학기술진흥기금과 복권기금을 지원받아 수행하는 ReSEAT프로그램의 성과물입니다.

References

1. AWS WELDING HANDBOOK, VOLUME 2, EIGHT

- EDITION, *WELDING PROCESS*, 482-489
2. Yong Woo Bang, Duk Jun Choi, Hee Seok Chang and JinSeung Yang, Design of Plasma Cutting Torch by Tolerance Propagation Analysis, *Journal of KWS*, 18 (3) (2000), 383-391(in Korean)
 3. John Henderson and Nakhlen Hussary, A History of the Oxyacetylene and Plasma Cutting Process, *Welding Journal*, 92 (10) (2013), 44-49
 4. SLV-Duisburg, Gmbh, Cutting and other edge preparation processes II, *EWE-3/1.19*, (2000), 1-5
 5. J. P. Kinos and D. Ott, A Holistic Study of Automated Plasma System Costs, *Welding Journal*, 91 (11) (2012), 28-32
 6. 石井辛二, 沼田慎治, 中厚板切斷分野のファイバーレーザー切斷機, *溶接技術*, 63 (9) (2015), 48~53 (in Japanese)
 7. Yong Kim, Ki-Young Park and Kyoung-Don Lee, Development of Remote Laser Welding-Cutting Process for Maintenance of Hydraulic Connection Module on ITER Project, *Journal of KWJS*, 30 (1) (2012), 51-58 (in Korean)
 8. G. Verhaeghe, The Fiber Laser - A Newcomer for Material Welding and Cutting, *Welding Journal*, 84 (8) (2005), 56-60
 9. Dirk Petring and Frank Schneider, One Machine Does It All for Laser Beam Welding and Cutting, *Welding Journal*, 88 (3) (2009), 38-41