

# LASER COMMUNITY.

광자 그리고 사람



빔의  
새로운  
시대

레이저의 2차 빔 소스가  
새롭게 활용될 수 있는  
산업 및 의학분야

#35



## 새로운 시대의 개막

매 해마다, 저는 올해의 노벨 물리학상 수상자 발표를 손꼽아 기다립니다. 이번 가을에는 양자역학 분야에서 획기적인 업적을 이룬 3인의 연구자, 알랭 아스페트(Alain Aspect)와 존 F. 클라우저(John F. Clauser), 안톤 차일링거(Anton Zeilinger)가 공동 수상자로 선정되었습니다.

세계적으로 유명한 물리학자 3인의 이론을 일반적인 사람들이 이해하기는 어렵지만, 그들의 놀라운 연구는 우리 모두에게 영향을 미칩니다. 노벨 물리학 위원회는 수상자를 발표하며 다음과 같이 밝혔습니다. “양자 상태와 그 중첩 속성을 조작하고 제어한다면, 예상을 뛰어넘는 잠재력을 가진 툴(Tool)에 다가설 수 있게 될 것입니다.” 이는 초고속 양자 컴퓨터와 절대적으로 안전한 양자 통신, 양자 센서 기술을 의미합니다. 저는 양자 기술을 통해 포토닉스가 핵심적인 역할을 하는 새로운 산업시대가 열릴 것이라고 확신합니다.

양자 기술 분야뿐만 아니라 특히 2차 빔 소스와 관련된 분야에서도 레이저 기술이 아직 최고 수준에 도달하지 않았습니다. 특정 물질에 레이저 펄스를 발사하면 다양한 형태의 방사선이 방출되는데, 이는 다양한 방식으로 활용할 수 있습니다. 커버 스토리(p12~)에서 설명하는 바와 같이, 현재 과학자들은 레이저를 사용하여 다양한 빔 소스를 생성하고 있습니다. 이 원리는 당구 게임으로 설명할 수 있죠. 15개의 공을 구멍에 집어넣으려면 정확한 각도와 속도로 흰색 공을 쳐서 다양한 색깔의 공을 맞춰야 합니다.

2차 빔 소스에서는 레이저가 흰색 공에 해당하며, 다양한 색깔의 공은 전자 또는 양성자, 중성자의 유도 빔이라고 할 수 있습니다. 이와 같은 새로운 방사선원은 의학 및 산업에 혁명을 일으킬 수 있는 잠재력을 지니고 있습니다. 예를 들어 레이저 기반 전자나 양성자 빔을 비침습성 종양 치료의 한 형태로 활용하면 암 치료에 상당한 변화를 가져올 수 있을 겁니다. 2차 빔 소스는 다른 문제도 해결할 수 있습니다. 전기차 배터리 제조업체는 레이저 유도 전자 빔을 사용하여 전해액이 전지로 유입되는 시점의 분포를 HD 화질로 모니터링할 수 있습니다. 또한 적절한 소프트웨어를 함께 사용하면 배터리 수명도 예측할 수 있죠. 관련 개발에 관한 자세한 내용은 16페이지에서 확인할 수 있습니다.

해당 분야에서도 TRUMPF는 레이저 기반 2차 빔 소스의 원리와 관련하여 2017년 세계 최초의 상업적 혁신을 이루는 등 선도적인 역할을 하고 있습니다. 이후 마이크로칩 산업은 극자외선(EUV)을 사용하여 반도체 웨이퍼에 포토리소그래피 방식으로 회로를 인쇄하고 있습니다. 현재 TRUMPF의 주력 사업도 바로 EUV 리소그래피 기계용 고출력 레이저입니다.

매일 전 세계에서 수많은 인재가 물리학의 한계에 도전하고 있습니다. 앞으로 누가 노벨상을 수상하게 될지 기대됩니다. Laser Community 35호에서 물리학의 마법을 만나보세요. 여러분에게 즐거운 시간이 되기를 바랍니다.

DR.-ING. 크리스티안 슈미트(CHRISTIAN SCHMITZ)

레이저 기술 최고경영자  
TRUMPF SE + Co. KG 경영진  
christian.schmitz@trumpf.com



## LASER COMMUNITY. #35

발행 2022년 가을 출판 TRUMPF SE + Co. KG, Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen, Germany; www.trumpf.com

콘텐츠 책임자 및 편집장 Gabriel Pankow+49 7156 303-31559, gabriel.pankow@trumpf.com

배포 Gabriel Pankow, Phone +49 7156 303-31559, gabriel.pankow@trumpf.com, www.trumpf.com/en\_INT/newsroom/customer-magazines

편집 Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Germany; Florian Burkhardt, Martin Reinhardt

기고 Benjamin Bauer, Florian Burkhardt, Thilo Horvatichs, Dr. Mauritz Möller, Martin Reinhardt, Maria Seidenkranz, Julia Stolte

사진 및 일러스트 Ackermann + Gruber, Dominik Asbach, Chandler Crowell, Stephanie Dierolf, Tadas Kazakevičius, Gernot Walter

디자인 및 제작 Die Magaziniker GmbH, Stuttgart, Germany; Gernot Walter (AD), Martin Reinhardt 번역 Apostroph Group, Hamburg

편찬 Reprotechnik Herzog, Stuttgart, Germany 인쇄 W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, Stuttgart, Germany

표지: DALL-E / Florian Burkhardt; 일러스트: p2: Stephanie Dierolf

Gernot Walter

# LASER COMMUNITY.



쾅!

인간의 눈으로 결코 볼 수 없는 것을 상상하는 것은 쉬운 일이 아닙니다. 그래서 텍스트로부터 이미지를 생성하는 인공지능 기계 DALL-E를 통해 다음 설명에 대한 이미지를 만들어냅니다. “레이저 빔이 임계값을 초과하여 입자 빔이 됩니다.” 생성된 이미지는 1페이지 표지에서 확인하세요.



멍멍!

노동학을 공부한 사람이라면 회사에서 키우는 강아지가 근무 환경에 도움이 된다는 사실을 알고 있을 겁니다. 미네소타의 알파인 레이저에서는 엠마가 그런 역할을 합니다. 지금 엠마는 TruMicro 를 지키고 있습니다. 동료들이 어떤 역할을 하는지 궁금하다면 6페이지를 확인하세요.



와!

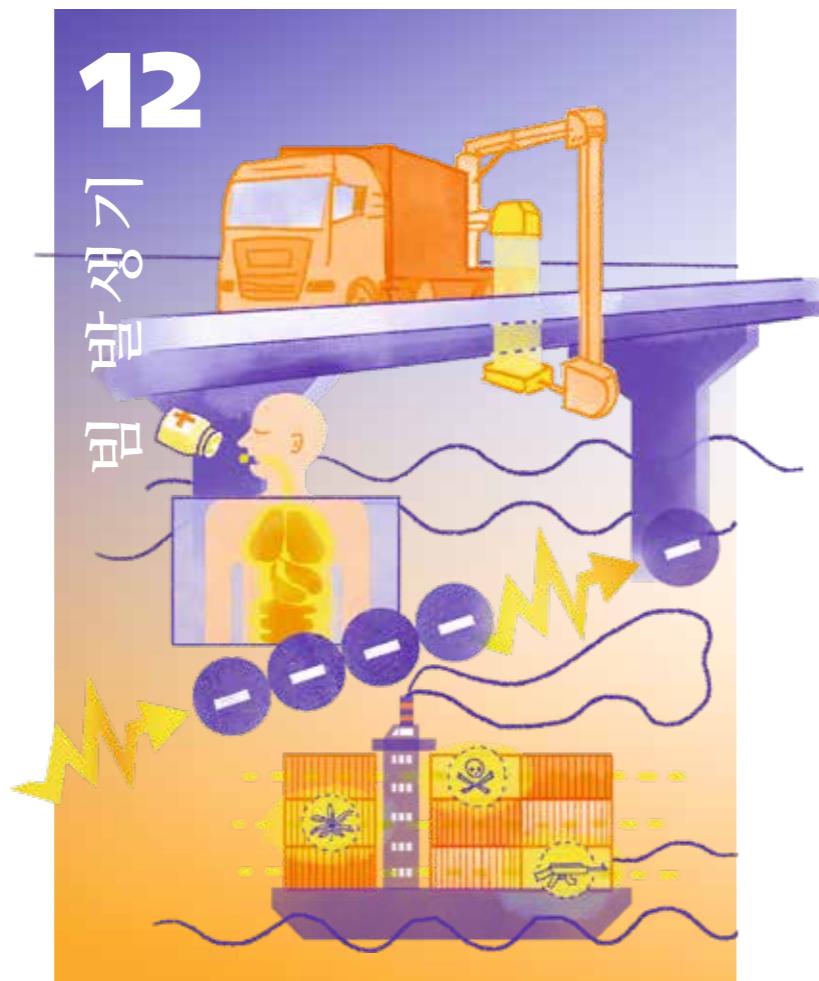
양성자 빔은 어떻게 생성할까요? 중성자는 어떤 역할을 할까요? 스템파니 디에루프(Stephanie Dierolf)가 이 흥미로운 주제를 다채롭게 보여줍니다. 시간이 부족한 상황에서도 스템파니는 이 프로젝트를 멋지게 완성했습니다. 멋진 일러스트는 12페이지에서 확인하세요.

DALL-E / Florian Burkhardt, Stephanie Dierolf, Ackermann + Gruber | Fotogloria



20 우주 발사 추진체

Ackermann + Gruber | Fotogloria, TRUMPF, Tadas Kazakevičius | Fotogloria



12

발생기

빔

## 12 빔의 시대

레이저 기반 빔 생성을 통해 고량 전체를 스캔하고, 현장에서 거대한 부품을 비침습적으로 검사하며, 신상 배터리의 예상 수명을 예측할 수 있습니다.

## 6 스텐트를 위한 리부팅

심장병 환자의 생명을 구할 수 있는 스텐트는 늘 부족하죠. 미네소타의 한 스타트업이 이를 변화시키고자 합니다.

## 10 POWER

유럽우주국(ESA)의 미션을 통해 화성에서 생명체의 혼적을 찾고 있습니다. 온보드: 매우 강력한 소형 레이저.

## 11 GLORY

세계 최초의 레이저 외과의사이자 레이저 마이크로빔의 아버지인 마이클 벤스(Michael Berns)는 재능이 많았습니다.

## 18 AHEAD

안드레아 란페만(Andrea Lanfermann) 연구원이 미세플라스틱과의 전쟁을 선포했습니다. 비밀 무기는 바로 펩토 레이저 기술입니다.

## 20 우주 경쟁 재점화

애자일 스페이스(Agile Space)는 스스로를 ‘달 착륙 시장의 리더’라고 자랑스럽게 말합니다. 적층제조로 전환하면서 매출이 크게 증가했죠.



6 마이크로 스타트업

4

LASER COMMUNITY #35

## 23 마법의 금속!

3D 프린팅 기술이 비정질 금속뿐만 아니라 엔지니어링과 소비자 가전 부문의 다양한 제품을 획기적으로 발전시키고 있습니다.

## 24 알루미늄 기밀용접

고질적인 문제를 간단한 작업으로 1개가 아닌 4개의 멀티포커스 빔 사용

## 26 “작아야 좋은 경우도 많습니다.”

게디미나스 라추카이티스(Gediminas Račiukaitis)는 리투아니아의 레이저 산업에 대해 누구보다 잘 알고 있는 전문가입니다. 그가 해당 산업의 강점에 대해 설명합니다.

## 30 LASER LAND

태국의 레이저 기술을 소개합니다.

## 31 WHERE'S THE LASER?

건강한 허리 만들기에 사용됩니다.



23 금속유리



26 리투아니아 &amp; 레이저

5

LASER COMMUNITY #35

“기존의 제조업체가  
스텐트의 수요 증가에  
대처하지 못하고 있습니다.

우리는 그에 대한  
솔루션을 갖고 있죠.”



새로운 USP  
레이저용  
광케이블을 통해  
공동 창립자 조 캠프  
(Joe Kempf)는  
경쟁업체보다  
컴팩트한 모듈식  
기계를 만들 수 있게  
되었습니다.

Ackermann + Gruber | Fotografia: Gerot Walter

## 스텐트 시술을 리부팅시키다!

스텐트 시술에 사용되는 스텐트는 생명을 구합니다. 스텐트는 레이저로 가공되는 유연한 튜브로 혈관 및 신경관을 넓히는 역할을 합니다. 이에 대한 수요가 증가하면서 기존의 제조업체가 시장의 요구에 부응하기 위해 노력하고 있습니다.  
혁신적인 스타트업으로 업계를 선도하기에 지금처럼 좋은 때가 또 있을까요?



조 캠프(Joe Kempf)가 기능성 가구로 꾸민 회의실의 회전 의자에 편안하게 앉아 있습니다. “우리 팀은 수년에 걸쳐 의료용 튜브 절단에 특화된 레이저 절단 플랫폼을 개발하고 있습니다. 워크스테이션의 모든 측면을 최적화하여 기계를 최대한 효율적이고 빠르게 만들어서 기존 제품의 기술 및 사용 격차를 해소하고 있습니다.” 의료기술분야의 직장을 그만두고 저금한 돈을 모아 파트너와 함께 스타트업 알파인 레이저(Alpine Laser)를 설립한 엔지니어의 자신감 넘치는 설명입니다. 때는 2019년으로 거슬러 올라갑니다.

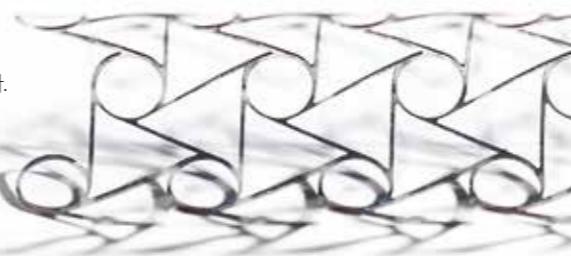
**용량 병목현상** 캠프는 스텐트와 중재적 튜브 부품을 만드는 기계를 제작하는 신규 제조업체에서 황금 같은 기회를 발견했습니다. 스텐트는 외과의사가 수축된 혈관에 삽입하여 혈관을 벌리는 용도로 사용하는 반탄성 와이어 메시 튜브입니다. 인구 고령화가 가파르게 진행되고 있는 선진국에서는 이와 같은 최소 침습 수술이 점차적으로 보편화되면서 위험한 수술을 대체하고 있습니다. 미국에서만 매년 2백만 개 이상의 스텐트가 이식되고 있으며, 그 수는 계속

증가하고 있습니다. 또한 레이저 절단 튜브 부품을 활용하는 새로운 치료법이 매년 도입되고 있습니다.

하지만 스텐트 제조용 기계 생산이라는 캠프의 계획은 큰 장애물에 부딪혔습니다. 바로 의료제조시장 진입이 쉽지 않다는 것이었습니다. 의료기기 시장은 세계적으로 규제당국이 엄격하게 통제하고 있습니다. 따라서 품질 및 인증에 관한 법률과 규정이 매우 까다로웠고 그 결과 몇몇 스텐트 절단기 제조업체가 해당 분야를 독점하고 있습니다. 기존의 제조업체가 수요 증가에 대처하지 못하면서 병목 현상이 발생했다고 캠프는 설명합니다.

**더 작고, 더 빠르게** 캠프와 그의 팀은 의료제조산업에 대해 잘 알고 있습니다. 수십 년 동안 알파인 레이저는 이러한 유형의 장비를 사용하고 운영해왔죠. 따라서 무엇이 효과적이고 그렇지 않은지, 기계가 어떤 역할을 해야 하는지에 대해 잘 알고 있습니다. 그들은 18개월에 걸쳐 시중에서 판매되는 거의 모든 시스템에 대하여 레이저 절단 시스템을 벤치마킹했습니다. 해당 기계의

생명을 구하는 지름 2.5밀리미터의 제품:  
미국에서만 연간 200만 개 이상의  
반탄성 튜브가 수술에 사용됩니다.



설계는 항상 주요 결충을 수반하는데, 한편으로는 손쉬운 확장으로 저렴한 제조가 가능해야 하고 다른 한편으로는 개별 사용자의 요구에 따른 고도의 맞춤 구성이 가능해야 합니다. “우리는 모듈식 설계가 이 두 가지 목표를 동시에 달성하는 유일한 방법이라고 생각했어요.”라고 켐프는 말합니다. 알파인 레이저는 기존의 기계보다 2~5배 빠른 속도로 고품질 부품을 미세가공할 수 있는 시스템을 제공했습니다. 이것이 가능했던 이유는 강력하고 유연한 기계를 개발하는데 많은 노력을 기울였기 때문입니다. 예를 들어 새 부품을 설치하고 광학장치를 정렬하는데 5분도 걸리지 않습니다. 이는 기존의 어떤 시스템보다도 훨씬 빠른 속도입니다. 또한 설치 공간이  $1.2 \times 0.7$ 미터로 관련업체에서 가장 작은 스텐트 제작 기계입니다.

물론 기계의 한쪽 구성에는 울트라숏 펄스(USP) 레이저가 장착되어 있습니다. 펠토초 레이저가 없으면 지름 0.25밀리미터, 벽 두께 0.5밀리미터 튜브에 필요한 매끈한 모서리와 작은 지지대를 구현할 수 없습니다. 하지만 켐프가 설명한 바와 같이 USP 레이저는 그다지 유연하지 않습니다. “이는 USP 레이저와 펄스 CW 파이버 레이저를 포함하여 모든 기계 구성에서 대다수의 공통 시스템 구성요소를 활용할 수 있는 모듈식 플랫폼을 개발하려는 자사의 전략에 문제가 될 수 있었습니다.” ■

**파이버 전달 USP 레이저** 그때 켐프는 TRUMPF가 세계 최초로 파이버 전달 USP 레이저를 개발하고 있다는 사실을 알게 되었습니다. “그 때 바로 이것이 모듈 설계의 핵심이라는 사실을 깨닫게 되었습니다.” 새로운 레이저 광케이블은 중공 코어 파이버로 제작됩니다. 이는 안정성을 유지한 채로 A에서 B로 USP 레이저 펄스를 전달합니다. “따라서 가공 구역 주변에 커다란 레이저 헤드 유닛을 장착하지 않고도 레이저 소스와 절단 광학장치를 분리할 수 있습니다.”라고 켐프는 설명합니다. “이를 통해 기계를 보다 컴팩트하게 만들고, USP 레이저와 파이버 레이저 모두에 대한 기계 설계를 표준화하고 있습니다.”

알파인 레이저는 TRUMPF에 연락을 취했습니다. 이후 두 회사는 알파인 레이저의 Medicut Pro 개발을 위해 협력하게 되었습니다. 이는 중공 코어 파이버 전달이 가능한 USP 레이저를 산업 규모의 생산에 사용한 최초의 기계입니다. TruMicro의 빔 품질은 또 다른 장점을 제공합니다. “

“USP  
레이저는  
가장자리를  
깔끔하게  
절단하여  
고객이  
유해  
화학물질을  
사용하는  
후처리 없이  
부품을  
생산할 수  
있습니다.”

Gernot Walter



LASER COMMUNITY #35

LASER COMMUNITY #35



**상단:** 조 켐프(Joe Kempf)와 그의 팀이 마이크로프로세싱 스텐트용 모듈 기계를 조립하고 있습니다.

**중앙:** 기계 설비 교체용 클램핑 장치

**하단:** 스텐트 검사



Ackermann + Gruber | Fotogloria



## 생명체를 찾는 레이저

새로운 우주 미션은 화성에 생명체가 존재하는지 확인하는 것입니다.  
이 탐사의 핵심 요소는 작지만 매우 강력한 고체 레이저입니다.



크기는 1쿼터에  
불과하지만,  
이 다이오드 펌프 고체  
레이저는 극한의 조건에  
노출되어도 대처할 수  
있습니다.

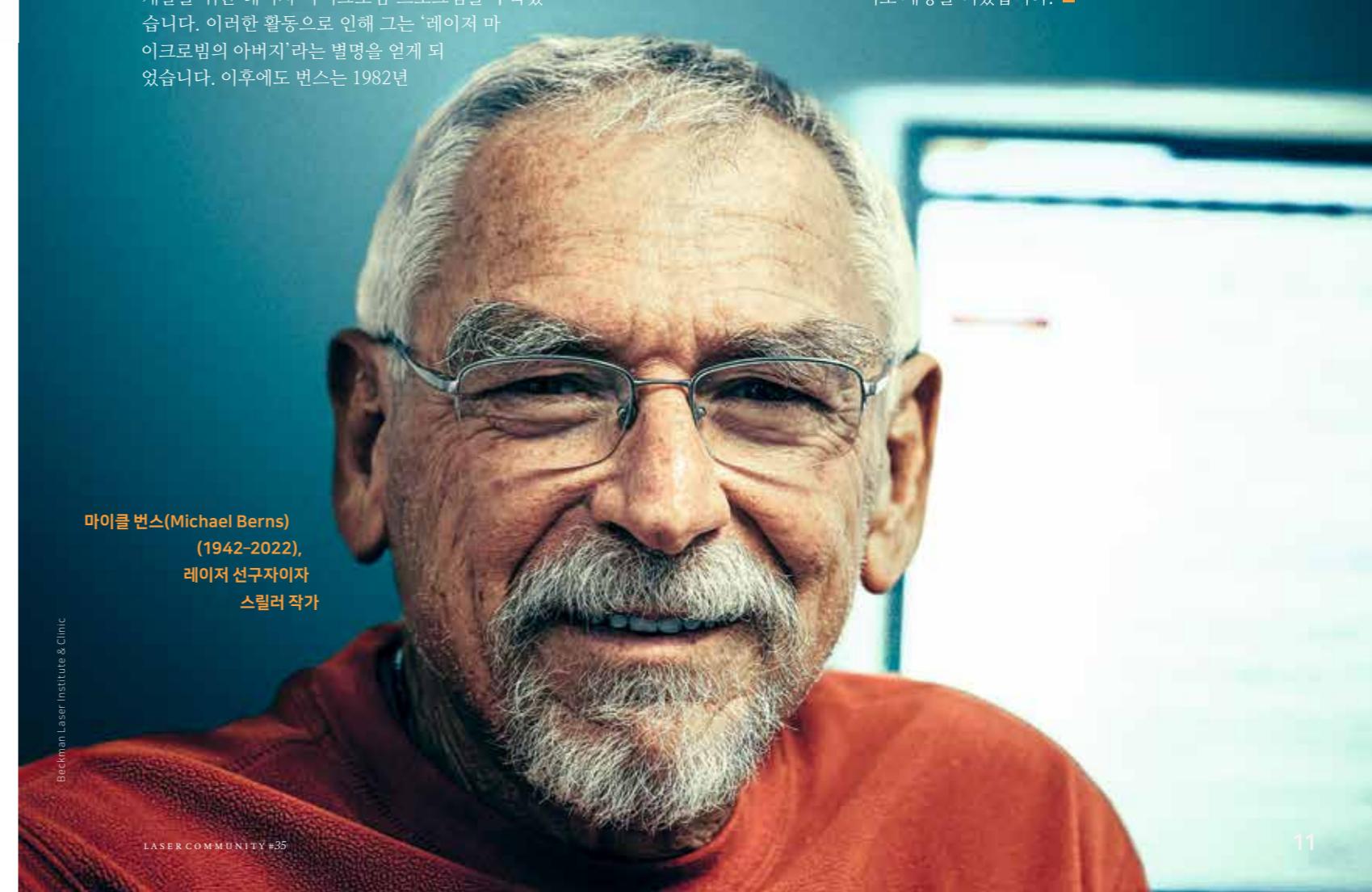
안타깝게도 화성 표면에는 생명체가 존재할 가능성이 매우 낮습니다. 건조하고 강력한 방사선으로 인해 아무리 강한 생명체도 버틸 수가 없기 때문입니다. 하지만 20~30 억 년 전에는 상황이 달랐습니다. 당시 화성에는 물이 풍부했고, 기후도 따뜻하고 습했습니다. 많은 과학자가 지구와 거의 같은 시기에 화성에서도 생명체가 진화했을 것이라고 추정하는데 그렇다면 이러한 생명체의 흔적이 화석의 형태로 행성의 지각 표면 아래에 묻혀 있을 것입니다.

유럽우주국(ESA)에서 찾고자 하는 것이 바로 이것입니다. 그리고 이를 위해 소형 시추장비와 분석장비를 화성에 보낼 예정입니다. 모든 장비는 높이 2미터, 폭 2.5미터, 무게 310킬로그램의 화성 탐사선에 실리게 됩니다. 이러한 장비로 2미터까지 시추하여 암석 표본을 채취하고 탐사선 내부에서는 다양한 분석장비로 표본을 분석하여 과거 생명체의 흔적인 생물지표를 검사합니다. 이러한 장비 중 하나가 바로 라만 분광기입니다. 라만 분광기는 암석 표본의 표면에 녹색 레이저 빛을 비춥니다. 분광기는 산란 광선을 분석하고, 파장의 변화를 바탕으로 해당 물질의 분자 특성을 파악합니다. 이때 다이오드 펌프 고체 레이저를 통해 빛이 생성되는데 매우 엄격한 사양을 충족해야 합니다. 즉, 가볍고 초소형이어야 하며 강력한 우주 방사선을 견딜 수 있어야 하고 영하 130도에서 영상 24도에 달하는 큰 온도 범위 내에서도 안정적으로 작동해야 한다는 뜻입니다. 마지막으로 로켓 발사 및 화성 착륙 과정

에서 발생하는 큰 진동과 충격을 견딜 수 있어야 합니다. 프라운호퍼 응용광학 및 정밀공학 연구소(Fraunhofer IOF)의 연구진은 7년에 걸쳐 해당 레이저를 개발했습니다. 전체 모듈의 크기는 1쿼터, 무게는 50그램에 불과하지만 100밀리와트의 출력을 제공합니다. 프라운호퍼 연구진은 필요한 강건성을 보장하기 위해 특수 레이저 납땜 기술로 초감도 레이저 공진기의 모든 부품 및 기타 광학 부품을 조립했습니다. 이러한 접합부는 극심한 기계적 및 열적 응력을 견딜 수 있을 만큼 강합니다.

원래는 러시아 연방 우주국(Roskosmos)과 함께 기획했으며, ExoMars 프로그램의 2차 발사가 2022년에 예정되어 있었습니다. 하지만 현재 정치적 상황으로 인해 협업이 중단되었고, 발사 또한 2024년으로 잠정 연기되었습니다. ■

Fraunhofer ILT, ESA, Gernot Walter



마이클 번스(Michael Berns)  
(1942-2022),  
레이저 선구자이자  
스릴리 작가

## 세계 최초의 레이저 외과의사

생물학 및 의학 분야에 레이저 기술을 도입한 마이클 번스(Michael Berns)는 국제광학 및 포토닉스 학회로부터 사후에 SPIE 금메달을 수상했습니다.

“때는 1966년이었습니다. 제가 레이저에 대해 알고 있던 사실이라고는 골드핑거가 제임스 본드를 반으로 가르려고 했을 때 사용했던 거라고 알고 있는 정도였습니다.” 이는 2022년 중반에 마이클 번스가 발표한 커퍼런스 논문의 첫 문장입니다. “당시 교수님 중 한 분이 학과에서 소형 루비 레이저를 구입했는데 사용법을 모르겠다고 말씀 하셨습니다.” 그때 번스는 몇 가지 아이디어를 떠올렸습니다.

버몬트주 출신인 번스는 생물학을 전공하다가 세포와 조직이 레이저 광선에 반응하는 방식에 관한 연구로 전환했습니다. 이는 레이저 수술의 토대를 마련하는 계기가 되었습니다. 번스는 신경세포 복원 등과 같이, 개별 염색체를 조작하고 세포 단위의 수술을 실시한 최초의 인물입니다. 그는 해당 유형의 수술을 위한 생물의학 기초작업뿐만 아니라 피부와 눈, 혈관계 질환을 치료하는 새로운 레이저 치료법도 개발했습니다. 1970년대 말에는 레이저 수술 장비 개발을 위한 레이저 마이크로빔 프로그램을 구축했습니다. 이러한 활동으로 인해 그는 ‘레이저 마이크로빔의 아버지’라는 별명을 얻게 되었습니다. 이후에도 번스는 1982년

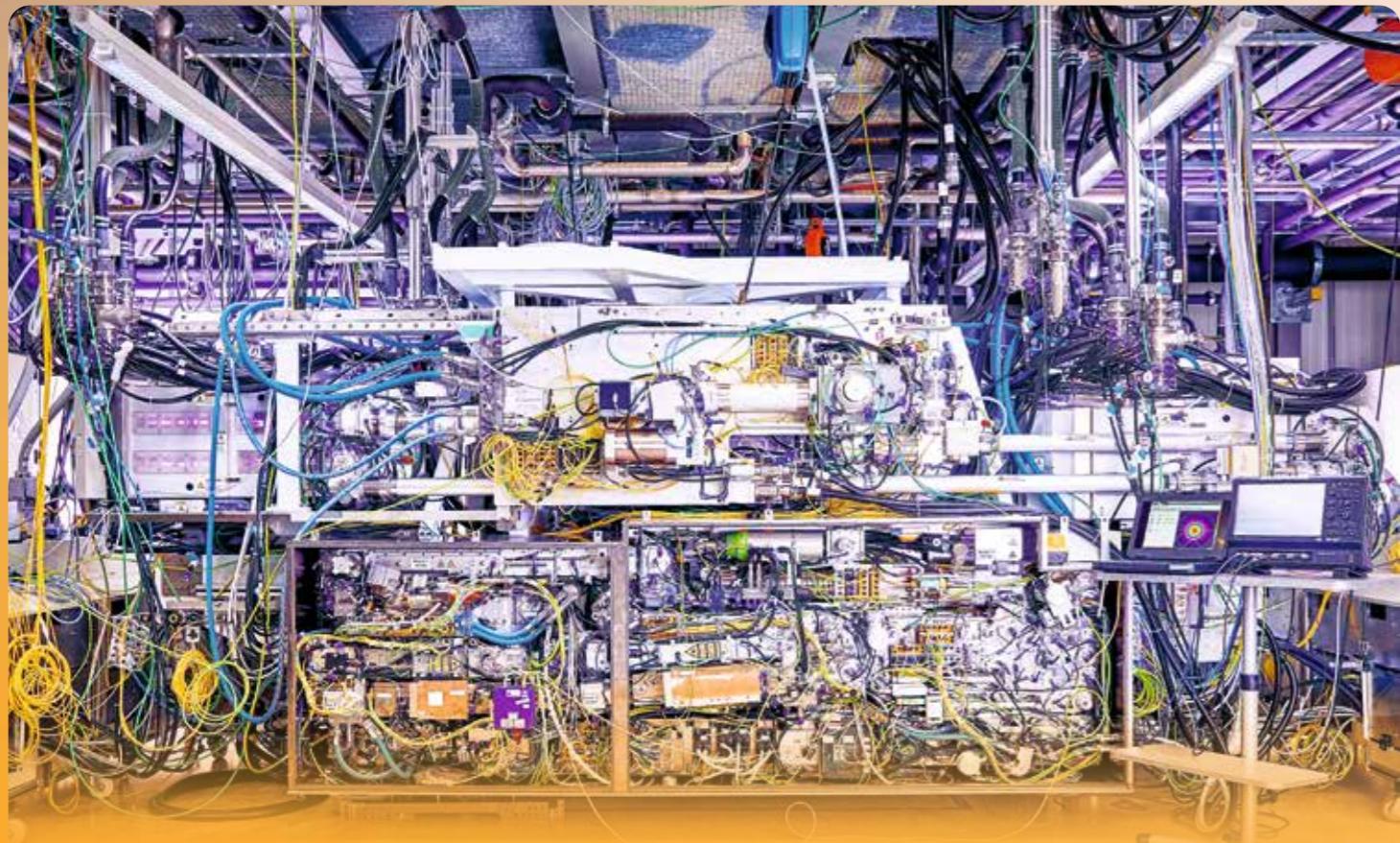
UCI의 베크만 레이저 연구소 및 메디컬 클리닉 등 생물의학 관련 기관을 추가로 설립했습니다.

그는 과학 이외에도 여러 가지 분야에 관심을 보였습니다. 여가 시간에는 화가 겸 아보카도 농부, 스파이 스릴러 소설가로 활동했습니다. 1979년에는 모스크바 주립대학에 생물의학 강의를 하러 가던 중에 여행가방에 유대인 기도서를 숨겨서 밀반입하려다 적발되어 KGB 요원으로부터 12시간동안 심문을 받기도 했습니다. 이후 번스는 소련 입국이 영구 금지되었습니다. 이 사건은 그가 과학이 아닌 분야에서 처음으로 결실을 맺고 2021년에 출간한 스파이 소설『The Tinderbox Plot』의 소재가 되었습니다.

2022년 SPIE 국제광학포토닉스학회는 생물학 및 의학 분야에 레이저 기술을 도입한 공로를 높이 평가하여 마이클 번스에게 최고상을 수여한다고 발표했습니다. 마이클 번스는 8월에 열릴 시상식을 불과 며칠 앞두고 79세의 나이로 세상을 떠났습니다. ■

**2차 소스**

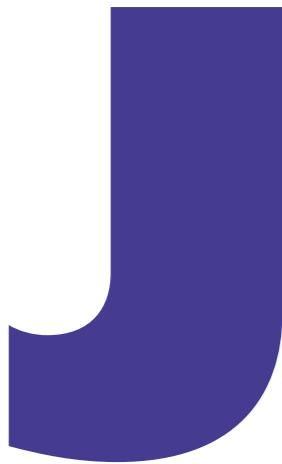
2차 빔 소스는 특정 유형의 물질에  
레이저 펄스를 주사하여 X선  
스펙트럼이나 입자 빔의 광선과  
같은 유용한 방사선을 생성할 때  
사용합니다. 이 원리의 원칙은  
마이크로칩 생산에 극자외선  
(EUV)을 사용하는 것입니다.  
미래의 빔 발생기는 EUV  
리소그래피 기계용 시드 모듈  
등과 같은 형태일 수 있습니다.



TRUMPF

고강도 X선 및 고에너지 입자 빔에 대한 접근성을 향상시킬 수 있으며  
이에 따라 새로운 응용(application) 분야도 등장할 것입니다.

# 빔의 시대



육교나 다리, 교량 전체를 스캔하여 내부 콘크리트가 아직 정상인지, 혹은 벌써 붕괴가 시작됐는지 확인할 수 있을까요? 걱정하지 마십시오. 중성자 빔만 있으면 됩니다. 그리고 약 10억 유로의 예산으로 100미터의 양성자 가속기와 중성자를 생성하는 원자로를 건설하기만 하면 됩니다. 게다가 이러한 시설은 검사할 교량 바로 옆에 건설해야 합니다. 그렇지 않으면 충분한 숫자의 레이저 기반 입자 가속기를 수백만 유로의 가격으로 사용할 수 있게 될 때까지 기다리는 것도 한 방법입니다. 해당 장치는 교량 전체를 주행하는 트럭에 장착할 수도 있습니다. 그리고 다음 교량으로 넘어가게 됩니다.

향후에는 하드 X선뿐만 아니라 전자 및 양성자, 심지어 중성자 빔의 사용도 크게 증가할 것으로 보입니다. 이러한 빔 소스의 생산을 단순화하고 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 기술을 바탕으로 과학자와 엔지니어들이 빔을 가장 잘 사용할 수 있는 방법에 관한 새로운 아이디어를 구상하고 있습니다(16, 17 페이지 참조). 그런 아이디어들은 의학과 산업에 혁명을 일으킬 수 있는 잠재력을 갖추고 있습니다. 그렇다면 이 새로운 동향의 배경은 무엇일까요?

**USP 혁신** 이 트렌드의 배경에는 울트라숏 펄스(Ultra Short Pulse) 레이저가 있습니다. 지금까지는 단순한 X선 이미지나 전자 현미경 검사, 전자빔 용접 등을 목적으로 상대적으로 입자 에너지가 적은 광범위한 X선 및 입자 빔에 대한 생성만이 가능했습니다. 반면 고에너지 빔을 생성하기 위해서는 엄청난 전자기 입력이 필요합니다. 예를 들어 전자 빔의 경우, 통상적으로 전자를 강력하고 합리적으로 배열된 빔으로 배치한 후 가속화하는 방법을 사용하는데 이 때 직선형 또는 링 형태의 긴 빔 파이프를 사용합니다. 이 빔 파이프를 따라 배열된 전자석과 가속 셕션은 빠르고 세밀하게 조정된 연속성으로 활성화되어 전자의 속도를 높이게 됩니다. 빔 파이프의 최소 길이는 100미터입니다. 이렇게 하면 전자가 빛의 속도 영역 어딘가에서 필요한 속도에 도달할 수 있습니다.

레이저가 실제 분야에서 응용되고 있습니다.



수십 년 동안 보다 간결한 방식으로 빔을 생성할 수 있는 방법에 대해 다양한 의견이 제시되었습니다. 그 중 하나가 레이저로 생성한 광자 패킷을 사용하여 입자를 가속화하는 것 이었습니다. 문제는 이러한 요구사항을 충족할 수 있는 레이저 빔 소스가 없다는 것 이었습니다.

하지만 이제는 상황이 달라졌습니다. USP 레이저가 실험실에서 산업계로 퍼져 나간 지 약 10년이 지났고 이러한 변화가 관련 기술에 강력한 원동력을 제공하고 있습니다. 이 도전적인 새로운 세계에 적응하기 위하여 TRUMPF를 비롯한 USP 선구자들은 성능과 신뢰성을 개선하는데 총력을 기울이고 있습니다. 두 가지 우선순위는 펄스 에너지와 평균 출력, 즉 초당 펄스 수를 높이는 것입니다. 지난 5년 동안 TRUMPF USP 레이저의 평균 출력이 50와트에서 200와트로 증가했습니다. 또한 회사 엔지니어들이 여러 번에 걸쳐 평균 출력 1,000와트 이상을 시연하는데 성공하였습니다.

다시 말하면 칠판에서 잡자고 있던 아이디어가 실제로 개발되고 있다는 뜻입니다. 산업계의 변화는 레이저 기반 입자 가속이 점점 현실화되고 있는 차세대 UKP 기술로 이어졌습니다. 과거에는 100미터 터널이 필요했지만 이제는 수 밀리미터의 가속 경로만 있으면 됩니다. 이를 위한 하드웨어는 차고나 트럭 뒤에 설치합니다. 전자 빔의 경우, 정확한 시간에 기반하는 강력한 펨토초 펄스가 플라즈마 튜브에 발사되며 작동합니다. 해당 작업이 제대로 수행되면, 레이저 펄스가 이에 따라 전자를 끌어당기지만 하면 됩니다. 이 때는 10밀리미터로도 필요한 전자 속도를 충분히 달성할 수 있습니다(개별 개념에 대한 자세한 내용은 우측 참조). 자기 시스템은 전자를 빔으로 압축하고 원하는 지점으로 유도합니다. 이것이 바로 레이저 기반 입자 가속기가 터널 기반 대형 제품보다 훨씬 작고 저렴한 이유입니다.



**빔 발생기로서의 레이저** 곁으로 보기에 차세대 입자 가속기는 매우 까다로운 요구사항을 충족해야 합니다. 초소형 광자 패킷이 나노초 이내에 정확한 에너지로 정확한 순간에 수 마이크로미터의 지점에 충격을 가해야 합니다. 그렇지 않으면 가속 공정이 시작되지 않거나 중간에 중단됩니다. 하지만 최신 USP 기술 사용자들은 이에 대해 더 잘 알고 있습니다. 모드 잡금 오실레이터는 수 펨토초 범위 내에서 시간 정밀도를 갖습니다. 반면에 레이저 매니아라면 다소 실망할 수도 있습니다. 매우 강력한 이 레이저 필스를 목적을 위한 수단에 불과하기 때문입니다. 실험실 전문용으로 이를 레이저 기반 2차 빔 소스라고 합니다. 전원 콘센트와 전자레인지 등과 같은 역할을 합니다. 점심을 데우고 싶을 때 전기 에너지를 직접 사용하는 대신 마이크로파를 생성하여 수프 한 그릇을 데우는 것과 같습니다. 이 비유처럼 레이저 빔은 귀중한 에너지 형태의 전기이지만, 진짜 목적은 다른 유형의 빔을 생성하는 것입니다. 다시 말해서, 레이저는 빔 발생기입니다.

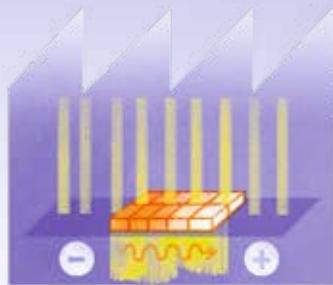
**상업적 혁신** TRUMPF는 오래 전부터 이 아이디어를 연구해왔습니다. 레이저 기반 빔 생성 원리에 대한 첫 번째 상업적 혁신은 2017년에 이루어졌습니다. 매우 부드러운 X선, 즉 극자외선(EUV)을 사용하여 실리콘 웨이퍼에서 반도체 회로를 포토리소그래피 방식으로 생산하게 된 것입니다. TRUMPF는 ASML이 칩 제조산업에 공급하는 리소그래피 기계에서 사용하는 고성능 레이저 시스템을 제공합니다. TRUMPF 시스템은 물방울 모양의 주석을 향해 레이저 필스를 발사합니다. 이를 통해 플라즈마는 웨이퍼에 최소 트랜지스터 회로를 만들 수 있는 정확한 파장인, 13.5나노미터의 방사선을 방출합니다. ASML 리소그래피 기계는 시간당 100개의 칩을 생산하는데 이 차세대 마이크로칩은 휴대폰 및 기타 디바이스에 사용됩니다.

향후에는 레이저 기반 빔 생성의 상업적 응용과 관련하여 성공 사례가 더 많이 나올 것으로 기대합니다. 그 중 다수는 아직 시험 단계에 있습니다. 전문가들은 관련 기술 대부분이 산업과 의료 분야에서 널리 사용되기까지 5~10년

이 걸릴 것으로 예상합니다. 하지만 레이저 기술의 발전에 따른 잠재력은 상당합니다. 아직은 생소한 분야인 레이저 기반 2차 빔 소스 분야에서 나타나는 새로운 도약은 포뮬러 원 레이싱의 새로운 성과와 마찬가지로 관련 역량이 입증되면 일반 차량 제조에도 도입될 것 입니다. USP 레이저의 경우, 소재 가공 분야의 발전을 의미합니다.

우리는 즉시 사용할 수 있는 일관된 아원자 입자 빔이 가장 일반적인 것으로 여겨지는 새로운 시대의 여命을 보고 있습니다. 모든 발명과 마찬가지로 이 기술 역시 성공적으로 도입된 순간 기술적 및 사회적 변화가 일어났습니다. 이는 수십 년 전 전자기 입자 가속기의 개발과 함께 시작되었습니다. 하지만 진정한 혁명은 관련 기술이 저렴하고 단순하며 널리 적용될 수 있을 때 비로소 시작된다고 할 수 있습니다. 레이저 기반 입자 가속기의 경우, 이러한 순간이 가까워지고 있습니다. 그리고 관련 유형의 방사선을 쉽게 사용할 수 있게 된다면 모두가 곧 빔을 발사하게 될 것입니다. ■

**연락처:** 토르스텐 맨스(Torsten Mans), 제품 관리 2차 소스  
전화번호: +49-7422-515-000, torsten.mans@trumpf.com



## 품질 관리

품질 관리 및 고장 진단과 관련하여 가장 좋은 방법은 물체를 파괴하지 않고 내부를 살펴보는 것입니다. 하드 X선과 전자 빔은 이러한 유형의 비침습적 스캔이 가능합니다. 현재 소형 트랜지스터 회로를 자동으로 검사하는 X선 시스템이 산업적 성숙기에 접어들고 있습니다. 마찬가지로 유지관리 엔지니어가 해당 방식으로 타빈이나 내부 구조물이 있는 적층 제조 부품을 검사할 수도 있습니다. 전자 빔은 금속 등과 같이 매우 단단한 물질도 투과할 수 있어서 현장에서 초대형 구조물이나 부품의 내부를 살펴볼 수 있습니다. 흥미로운 점은 배터리 제조에도 응용이 가능하다는 것입니다. 레이저로 생성한 빔은 시간 해상도가 높아서 배터리가 충전되는 과정에서 전해액 분포 방식을 영상으로 구현할 수 있습니다. 그 다음에 소프트웨어로 배터리 배치의 기능을 확인하고 예상 수명까지 예측합니다.



## 폭발물 및 마약 탐지

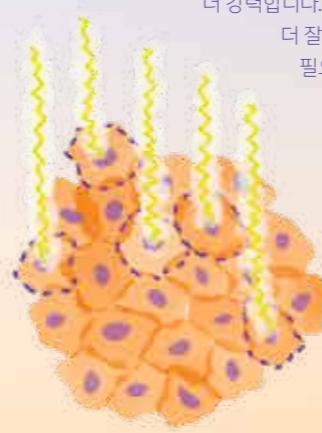
중성자 빔으로 물체를 스캔하면, 원자가 특정 형광을 발산하여 검사 물질의 특성을 정확하게 알 수 있습니다. 이는 X선에는 잡히지 않는 약물과 폭발물 등의 유기물에도 적용됩니다. 중성자 빔은 매우 강력하고 범위가 넓어서 선적 컨테이너 전체를 스캔할 때도 사용할 수 있습니다. 따라서 공항에서 수하물을 검사하는 것처럼 화물 항구에 도착하는 모든 컨테이너를 스캔할 수도 있습니다. 또한 특수 소프트웨어로 폭발물 또는 마약, 밀수품을 감지할 수도 있습니다.



Stephanie Dierolf

## 약품 개발

약품의 효과는 쉽게 판단할 수 있지만, 어떻게 효능을 나타내는지는 확인하기 어렵습니다. 하드 X선과 전자 빔을 사용하면 영상에서와 같이 체내에서 약품이 어떻게 작용하는지 이미지를 만들고 이를 모니터링할 수 있습니다. 앞으로 이러한 형태의 방사선을 쉽게 사용할 수 있게 되면, 과학자들이 개별 단백질의 중첩이나 바이러스의 도킹 메커니즘을 관찰하기가 훨씬 쉬워질 것입니다. 다시 말하면 레이저 기반 빔 생성이 신약 및 백신 개발에 추진력을 제공할 수 있다는 뜻입니다.



## 비침습적 암 치료

수년 동안 암 치료는 암 세포가 사라질 때까지 방사선 빔을 반복 조사하는 것이 관행이었습니다. 일반적으로 이러한 치료에는 X선 또는 감마선을 사용하는데 최근 전자 빔 치료가 새롭게 도입되었습니다. 환자가 방사선 치료를 힘들어하는 경우가 많지만, 전자 빔 치료는 장비가 크고 비싸서 아직 널리 보급되지는 않은 상황입니다. 저렴한 비용의 레이저가 기반이 된 전자 빔이 이러한 상황을 바꿀 수도 있을 것입니다. 또한 전자가 전하로 인해 자기적으로 초점을 맞출 수 있기 때문에, 기존의 X선 및 감마선보다 정밀한 작동이 가능합니다. 따라서 이러한 형태의 치료는 종양 주변의 조직을 덜 파괴하여 환자를 덜 고통스럽게 할 수 있습니다. 또한 전자 빔이 훨씬 더 많은 에너지를 더 빠르게 전달하며 종양을 보다 빠르고 효과적으로 파괴합니다. 양성자 빔은 훨씬 더 강력합니다. 게다가 체내 깊숙한 곳에서도 초점을 더 잘 맞출 수 있습니다. 이는 양성자 빔이 필요한 곳에만 작용하고 종양 옆의 조직은 파괴하지 않는다는 것을 의미합니다. 최근에는 연구진이 양성자 빔을 통한 마우스 치료에 성공하기도 했습니다.



## 교량 스캔

최근까지도 모바일 시스템으로 중성자 빔을 생성한다는 아이디어는 허황된 이야기로 여겨졌습니다. 일반적으로 이를 위한 원자로가 필요했기 때문입니다. 하지만 레이저 방식을 사용하면 원자로가 필요하지 않으며, 트럭 하나만으로 전체 시스템을 실을 수 있습니다. 이를 통해 소위 '콘크리트 암'의 적시 진단으로 심각한 문제를 해결할 수 있습니다. 콘크리트는 시간이 지날수록 습기로 인해 기공이 생기고 불안정해지는데, 이는 특히 교량에서 우려되는 현상입니다. 여기에서 물은 콘크리트의 두 가지 주요 요소, 알칼리성 시멘트와 실리카의 반응을 촉발합니다. 엔지니어는 트럭에 장착한 모바일 중성자 소스를 사용하여 교량의 거대한 콘크리트 기둥을 매우 높은 해상도로 검사하여 구조적 상태를 파악할 수 있습니다. 현재 일본에서 이러한 유형의 초기 개념을 개발 중입니다. 이 시스템은 다른 물체 및 구조물에서도 사용할 수 있는데 핵폐기물을 저장하고 자체적으로 방사선을 차단하는 캐스켓도 중성자 빔으로 스캔하여 구조적 상태를 확인할 수 있습니다.

→ ... 이렇게 활용할

수 있습니다!

# 미세플라스틱 건져 올리기

우리에게 유해한 미세플라스틱은 어디에나 존재합니다.  
심지어 정제된 물에서 조차 발견됩니다.  
하지만 안드레아 란퍼만(Andrea Lanfermann)이 해결책을 찾아냈다고 합니다.

안드레아 란퍼만님은 미세플라스틱과의 전쟁을 선포하셨다고 들었습니다.  
이미 폐수 처리장에서 미세플라스틱 처리단계를 거치지 않나요?  
안타깝게도 그렇지 않습니다. 여기에서의 문제는 처리장에서 무엇을  
해야 하는지에 대한 명확한 지침이 부족하다는 겁니다.

**그게 무슨 뜻인가요?**  
현재 미세플라스틱은 5밀리미터 미만의 입자로만 정의됩니다.  
나노미터 단위의 플라스틱 입자도 존재한다는 점을 고려하면, 이는  
매우 꼭넓은 정의입니다. 어떤 크기의 입자를 걸러내거나 통과시켜  
야 하는지 명확하지 않습니다. 현재는 10마이크로미터 크기의 입자  
까지 여과하는 것을 목표로 하고 있습니다.

**목표는 어떻게 달성할 수 있을까요?**  
협력업체와 함께 10마이크로미터 메시의 사이클론 필터를 개발했습니다.  
원심력과 필터 유닛을 통해 물에서 입자를 걸러냅니다. 폐수 처리장에서의  
초기 검사는 매우 희망적이었습니다. 10마이크로미터 미만의 거의 모든  
플라스틱 입자를 걸러낼 수 있었거든요.

**매우 촘촘한 메시를 사용하는군요.**  
맞습니다. 이렇게 촘촘한 메시는 울트라숏 필터를 사용하여 만듭니다. 프로젝트 협력사인 레이저잡(Laserjob)이 TruMicro 5225를 사용하여 프로토타입의 필터 유닛용 메시를 절단했습니다. 2주 안에 하나의  
레이저 범으로 5,900만 개의 구멍을 뚫었습니다.

**유해한 적** 우리의 물이 미세플라스틱으로 오염되고 있습니다. 알프레드 베거너 연구소(ALFRED WEGENER INSTITUTE)에 따르면, 일반 폐수 처리장에서 여과된 물에도 여전히 세제곱미터당 700개 이상의 미세플라스틱 입자가 포함되어 있다고 합니다. 이는 매년 동물과 인간이 작고 유해한 입자 53억 개를 섭취한다는 의미입니다.



Dominik Asbach | Fotogloria

**협력사** 공동 프로젝트 SimConDrill은 협력사인 클래스 필터 (KLASS-Filter GMBH), 레이저잡(Laserjob GMBH), 루노부 (LUNOVU GMBH), 옵티와이(OptiY GMBH), 프라운호퍼 레이저기술 연구소(FRAUNHOFER INSTITUTE FOR LASER TECHNOLOGY)의 전문가 의견을 반영했습니다.

**필터** SimConDrill 사이클론 필터에서는 레이저로 구멍을 낸 필터 유닛이 용접된 중앙 드럼을 중심으로 폐수가 순환됩니다. 유체역학 스크레이퍼로 필터 구멍에 입자가 끼지 않도록 합니다.



## 그것이 왜 경제적인가요?

경제적이지 않았기 때문에 멀티빔 드릴링 공정을 개발했습니다. 이 공정에서는 TruMicro 5280 Femto Edition을 사용하여 두께 100마이크로미터의 스테인리스강 포일 시트에 작은 구멍을 뚫습니다. 특수 광학 시스템이 동일한 레이저 범의 매트릭스를 생성합니다. 이에 따라 레이저 범이 144개의 범으로 나눠지며 한 번에 144개의 구멍을 뚫기 때문에 가공 시간이 크게 단축되었습니다. 하지만 여전히 문제는 있습니다. 레이저 범 분할은 개별 범의 에너지를 줄여든다는 것을 의미합니다. 그런데도 시스템을 통해 정확한 위치에 구멍을 뚫을 수 있어야 합니다. 또한 가열 면적이 넓어지기 때문에 열 왜곡이 커집니다. 따라서 멀티빔 드릴링은 공정과 품질 모니터링이 매우 중요합니다. 이를 통해 관련 열 효과를 보다 잘 이해하고 관리할 수 있게 되는데, 우리는 연구소에서 레이저 드릴링 시뮬레이션 소프트웨어를 개발했으며 협력사 옵티와이(OptiY)의 최적화 소프트웨어로 이를 지원하고 있습니다. 이 방식으로 드릴 구멍의 모양과 열 응력을 계산하고 올바른 매개변수를 선택하여 왜곡을 방지합니다. 우리는 최대한 구멍이 많은 필터 유닛의 생산을 목표로 하고 있습니다.

## 그 이유는 무엇입니까?

우리의 필터는 분당 33리터를 여과하는데, 이는 폐수처리장에서는 너무 부족한 양입니다. 또 다른 이유는 레이저 범이 원뿔형 구멍을 만들어서 더 많은 공간을 차지하기 때문입니다. 10마이크로미터 구멍의 업스트림 지름이 30마이크로미터입니다. 이렇게 하면 필터에서 절단할 수 있는 구멍의 수가 줄어서 유속이 느려집니다. 현재는 각 포일 시트 면적의 2.5%에만 구멍이 있습니다. 이를 늘리는 것이 향후 연구의 핵심 과제가 될 것입니다.

## 또 다른 목표는 무엇이 있을까요?

레이저를 사용하여 더 얇은 강철 포일 시트에 500나노미터의 작은 구멍을 뚫는 방식을 산업에 적합한 공정으로 만들고 싶습니다. 협력사인 루노부(LUNOVU)에서 사용자가 원하는 구멍의 크기 및 면적, 구성 등을 입력할 수 있는 인터페이스를 만들었습니다. 덕분에 수동으로 공정을 계획해야 하는 수고스러운 작업이 줄었습니다. 이는 다른 용도로 필터를 만들 수 있다는 것을 의미합니다.

## 어떻게 활용할 수 있을까요?

지역 상수수 관리에 사용할 수 있습니다. 이러한 경우 미세플라스틱이 생성되는 위치에 필터를 설치합니다. 폐트병 재활용 시설이라고 한다면, 폐수를 처리장으로 보내기 전에 자체적으로 여과하는 것입니다. 미세플라스틱 이외의 분야에서도 응용이 가능합니다. 예를 들면 필터에 생물학적 구성요소를 장착합니다. 기계적 여과 후에 나노입자는 분해를 위해 효소나 단백질과 결합되고 이를 통해 물에서 미량물질을 제거할 수 있습니다. 잠재력은 무한합니다. 이것은 시작에 불과합니다. ■

# 우주 경쟁 재점화

우주산업에서는 사업자들이 동일한 필수 동력, 즉 추력을 찾고 있습니다.  
이제 로켓과 인공위성, 달 착륙선 등 필수 하드웨어 제작업체가 3D 프린팅을 선택하는 것이 대세입니다.

콜로라도주 두랑고 이른 아침부터 찰리 가르시아 (Charlie Garcia)의 메일함에는 다음과 같은 문의가 가득합니다. “달 촬영을 계획하고 있는데...”, “금성의 궤도를 돌고 싶은데...”, “화성 착륙을 계획하고 하는데...”. 가르시아는 콜로라도주 애자일 스페이스 산업 (Agile Space Industries)의 특수 프로젝트 수석 엔지니어입니다. 그는 이전에 근무했던 스페이스X(SpaceX)에서 우주비행에 반드시 필요한 인기 상품, 즉 추력에 대한 전문 지식을 쌓았습니다.

**달 착륙 시장의 리더** 우주비행이 다시 각광받고 있다고 그는 말합니다. “현재 민간 및 상업적으로 봄이 일어나고 있습니다. 해마다 고객들과 하드웨어 주문이 증가하고 있습니다.” 애자일 스페이스는 우주선 추진 시스템, 스러스터(thruster)를 판매합니다. 스러스터는 기능에 따라 유형이 다양합니다. 예를 들어 위성의 궤도 유지를 위한 스러스터도 있고, 로켓을 우주로 쏘아 올리는 클래식한 스러스터도 있습니다. 애자일 스페이스의 전문 분야는 달 착륙선에 사용되는 유형입니다. “우리가 달 착륙 시장의 리더라고 할 수 있죠.”라고 가르시아는 설명합니다.

달 착륙선의 자세 제어 스러스터는 0.5리터 음료수 캔 정도의 크기입니다. 하우징에는 이원추진 연료와 산화제를 전달하는 내부 덕트 시스

템이 있습니다. 달 착륙선이 달 표면을 향해 하강하면 스러스터가 점화되며 우주선의 수평을 맞추고 부드러운 착륙을 유도합니다. 이 특수 추진제 조합은 혼합되면서 최대 섭씨 3,000도의 온도에서 연소합니다.

**금을 버리는 것처럼** 애자일 스페이스는 스러스터 제조에 3D 프린팅을 사용한 선구자입니다. 우주산업에서는 최근에야 ‘적층제조’라고도 알려진 이 기술에 대한 우려를 극복할 수 있었습니다. 과거에는 기존에 검증된 공정을 선호했습니다. 우주에서 문제가 생긴 경우 예비부품을 제공할 수 없기 때문입니다. “4년 전쯤부터, 우주 경쟁에 다시 불이 붙었습니다.”라고 가르시아는 설명합니다. “그즈음부터 적층제조에 대한 태도가 달라졌습니다. 3D 프린팅이 우주산업에 완벽하게 적합하다는 사실을 깨닫게 되었습니다.” 이는 내부 덕트를 포함하여 생소한 합금으로 제작하는 초경량 및 초복합 부품을 극소량 또는 일회성 배치로 제작해야 한다는 것을 의미합니다. “하지만 결정적이었던 것은 관련 업계에서 “buy-to-fly” 비율이라고 부르는 것이었습니다.” 이는 부품에 사용되는 소재의 무게와 실제 비행에 사용되는 소재의 무게를 비교한 수치입니다. 적층제조는 탁월한 “buy-to-fly” 비율을 제공합니다. →



지나치게 비싼  
우주 합금  
나오븀 103.



애자일 스페이스(Agile Space)  
우주 탐험가 닉 가브리엘리  
(Nick Gabrielli)가 새로운  
3D 프린팅 전략을 제안하면서  
공식적으로 알려진 기능을  
뛰어넘어 기계를 활용하고  
있습니다.

Chandler Crowell | Fotogloria



달 착륙 시 자세 제어를 위한  
3D 프린팅 스러스터

## “3D 프린팅이 우주산업에 완벽하게 적합하다는 사실을 깨닫게 되었습니다.””

찰리 가르시아, 애자일 스페이스 산업(Agile Space Industries) 수석 엔지니어



우주산업에 사용하는 특수합금은 가격이 매우 비쌉니다. 애자일 스페이스의 스러스터는 내열성이 매우 높은 합금 니오븀 C-103으로 제작되는데, 이 합금의 가격은 키로그램당 최고 1,600달러입니다. “금속 플랭크의 터닝 및 밀링, 드릴링 등 단단한 소재로 작업을 하는 경우에는 스러스터당 최대 5킬로그램의 니오븀 C-103을 구입해야 합니다.”라고 가르시아는 설명합니다. “최종 부품의 무게가 0.5킬로그램이기 때문에 결국 약 4.5킬로그램의 폐기물이 남게 됩니다. 그러니까 금괴로 결혼반지를 만들고 남은 금을 버리는 것과 같다고 할 수 있습니다.” 반면에 애자일 스페이스는 적층 제조를 통해서 완제품에 실제로 포함되는 만큼만 고가의 합금을 사용합니다.

**펜실베이니아주 마운트 플레전트** 현재 우주산업에서는 3D 프린터에 대한 수요가 당연히 높습니다. 관련 기계를 최적화하는 계약업체도 마찬가지입니다. 이에 따라 애자일 스페이스는 펜실베이니아주 소재의 트로닉스3D(Tronix3D)와 함께 2021년 애자일 애드디티브(Agile Additive)라는 새로운 이름의 법인회사를 설립했습니다. 공동 설립자인 카일 메츠거(Kyle Metsger)와 트로닉스3D 임직원은 적층 제조가 애자일 스페이스에 어떤 이점을 제공할 수 있는지 재빠르게 파악했습니다.

**테스트를 통한 귀중한 피드백** 메츠거는 이렇게 회상합니다. “애자일 스페이스는 항상 스러스터 개발 및 테스트에서 발생하는 병목 현상을 정확하게 파악하고 해결했습니다. 이는 아무리 좋을 때도 시간이 걸리는 작업이죠. 그게 그들의 강점입니다. 우리는 서로 다른 아이디어가 있지만 서로를 신뢰해야 한다는 얘기를 했습니다.” 메츠거에게 필요한 것은 스러스터의 고온 및 저온 테스트에서 나온 데이터였습니다. 메츠거와 그의 팀은 이 데이터를 직접 확인하고, 기계의 생산 데이터와 결합했습니다. 애자일 스페이스도 이에 동의했습니다. “거의 바로 관련 공정을 수정할 수 있는 방법을 파악했습니다.”라고 메츠거는 말합니다. 이 방법은 즉시 시행되었고, 결과적으로 몇 달이 걸릴 것으로 예상되었던 개발 기간은 몇 주로 단축되었습니다. 당연히 애자일 스페이스의 고객도 우주사업에 대한 큰 추진력을 얻었습니다.



## “오늘날의 우주산업에서 성공하려면 적층제조를 사용해야 합니다.”

카일 메츠거(Kyle Metsger), 애자일 애드디티브(Agile Additive)의 기술 & 혁신 부문

**낮은 열 전도성**

비정질 금속의 원자는 덜 자유롭게 이동합니다. 따라서 열 에너지를 천천히 흡수하고 만지면 따뜻하게 느껴집니다.

**높은 부식내성**

격자 구조에서와는 달리 비정질 금속 내에는 자유롭게 움직이는 전자가 없습니다. 이는 다른 원소와의 반응성을 억제합니다.

**높은 기계적 강도**

비정질 금속은 결정 구조가 없기 때문에 모든 방향에서 동일하게 탄력적일 뿐만 아니라 단단하고 매우 유연합니다.

용융금속이 매우 빠르게 응고되면, 빠르게 움직이는 원자가 격자 형태로 정렬할 시간이 없습니다. 그래서 대신 유리와 같은 비정질 구조를 형성합니다. 이러한 비정질 금속은 특별한 속성을 갖고있습니다.

**[굴곡 배이링]**  
사양: 레이저 기계에서  
스핀들 장착 초기 미러의 고정밀 가이드,  
부싱과 하우징 사이의  
다중 자유도로 걸림 방지,  
복잡한 조립 및 배열.

**[의료용 보철물]**  
사양: 경량, 생체 적합성,  
기계적 강도 비정질  
장점: 생체 적합성,  
뼈보다 강한 탄성으로  
하중에 따라 움직이고,  
선호하는 하중 방향이 없음

**[내성 워치케이스]**  
사양: 높은  
기계적 강도 및 충격,  
긁힘, 물, 땀에 대한 화학적 내성  
비정질 장점: 유연한 디자인  
- 3D 프린팅, 경도와 탄성,  
부식 내성

# 마법의 금속!

금속유리는 놀라운 속성을 가지고 있지만, 과거에는 거의 활용되지 않았습니다.  
하지만 3D 프린팅의 등장으로 상황이 달라졌습니다.  
4가지 제품이 이미 대량으로 생산되고 있습니다.

**[이어버드]**

사양: 작은 기기에서 나오는 고품질 음향,  
복합적 형태, 떨어뜨리거나 굽혀도 견딜 수 있는  
기계적 강도, 신체 접촉을 위한 생체적 합성,  
차가운 금속이지만 겨울에도 편안한 사용 가능.

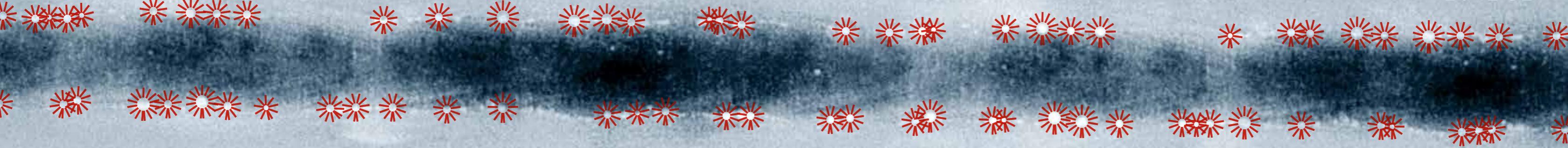
비정질 장점: 캐비티를 포함한 성형성 강화,  
경도와 탄성, 부식 내성, 귀에서의 따뜻한 느낌과  
관련된 낮은 열 전도성.

**[연락처]**

Heraeus AMLOY,  
발레스카 멜데(Valeska Melde), amloy@heraeus.com;  
TRUMPF, 얀 크리스티안 사우어(Jan Christian Schauer), jan-christian.schauer@trumpf.com

1,000 μm

알루미늄 용접



# 드디어 가능해진 알루미늄 기밀용접

**알루미늄 밀폐 용접의 가장 큰 문제는 용접부에 가스가 통과할 수 있는 기공이 생긴다는 것입니다.  
하지만 키홀의 불꽃과 증기를 살펴보면 다른 형태의 레이저 빔으로  
기공을 없앨 수 있다는 사실을 확인할 수 있습니다.**

이제 반사율이 매우 높은 알루미늄을 매우 쉽게 레이저 용접할 수 있으며, 용접부를 단단하고 빠르게 용접할 수 있습니다. 이러한 용접부에 몇 개의 기공(가스 포함)이 있어도 용접의 기계적 강도에는 영향을 미치지 않습니다. 물론 용접부에 철저한 기밀성이 필요한 경우에는 상황이 달라집니다. 용접부에 기공이 많으면, 가스가 침투하거나 빠져나갈 수 있는 작은 통로가 생깁니다.

**기밀 용접의 딜레마** 일반적으로 두 가지 방법을 통해 기밀 용접을 합니다. 일단 빠르고 품질이 좋으며 에너지 효율적인 공정이 필요한 경우 스테인리스강과 같은 고가의 소재에 대해 레이저를 선호하며, 또 다른 경우에는 기밀 접합부를 위한 납땜에서 알루미늄을 선호하는데 이 공정은 훨씬 느릴 뿐만 아니라 에너지 소비가 100배나 많고 농구코트 크기의 면적이 필요합니다.



글: 마우리츠 몰러 박사(Dr. Mauritz Möller)는 용접 엔지니어로 TRUMPF 자동차 부문 부서에 근무하고 있습니다. 그는 멀티포커스 용접 시스템 개발에 참여했습니다.  
연락처: +49-7156-303-34604,  
Mauritz.Moeller@trumpf.com

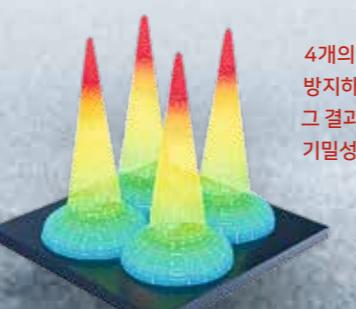
단일 초점에서는 알루미늄 키홀이 주기적으로 봉괴하고 용접부에 가스 기공이 생깁니다. 이러한 기공은 용접부의 기밀성을 악화시킵니다.

“**이제 전기자동차  
제조업체에서  
알루미늄 기밀 용접이  
가능해졌습니다.**”

**불꽃과 증기 속으로** 불꽃과 증기 속으로 외부 R&D 협력업체와의 공동 분석을 통해 앞으로 나아갈 길을 알 수 있었습니다. 우리는 금속 용접 과정에서 레이저 옆에 의한 용융과 기화로 인해 생겨나는 깊고 좁은 공간을 조사했습니다. 이 때 생긴 증기가 용융금속을 옆쪽과 아래쪽으로 밀어내는데 이 과정에서 깊고 좁은 형태로 증기가 채워져 있는 공동, 일명 키홀이 생깁니다. 빔이 금속을 통과하면 용융금속이 키홀 주변으로 흐르고 그 길을 따라 응고되며 용접부가 만들어집니다.

키홀이 안정적으로 유지되는 동안에는 전부 괜찮습니다. 하지만 키홀 내벽의 레이저 출력에 변동이 생기면 구멍의 지름에 변화가 나타날 수 있습니다. 구멍이 너무 작아지면 증기 중의 일부가 빠져나가지 못하면서 킷 벽에 돌출부가 생길 수 있습니다. 결과적으로 가스의 흐름이 차단되면서 음압이 발생하여 용융금속이 키홀로 봉괴되고 증기를 가두게 됩니다. 이로 인해 가스 기공이 생기게 됩니다. 다양한 소재에서 일어날 수 있는 일입니다. 하지만 알루미늄 합금의 경우 이러한 일이 강철보다 빠르고 쉽게, 그리고 더 자주 발생합니다.

**키홀을 열린 상태로 유지하려면** 그럼 키홀이 너무 작아지면 어떻게 해야 할까요? 간단합니다. 넓히면 됩니다. 그럼 레이저 출력의 변동으로 봉괴 위험이 있는 경우에는 어떻게 해야 할까요? 안정성을 높이면 됩니다. 두 가지 경우의 해답은 모두 우리의 검증된 빔 생성 시스템 BrightLine Weld(브라이트라인 웨eld)에 있습니다. 이 시스템은 광케이블의 레이저 빔을 내부 광케이블 코어와 외부 광케이블 코어로 분할하여 고속 용접을 위한 전력 분배를 최적화함으로써 보다 안정적인 공정을 실현합니다. 하지만 이는 광학 시스템의 실제 트릭에 대한 준비단계일 뿐입니다.



4개의 레이저 스팟이 키홀 봉괴를 방지하면서 모든 가스를 배출합니다.  
그 결과 용접부는 기공이 없고 완벽한 기밀성을 자랑합니다.

여기에서는 레이저를 유효 반지름이 중첩되도록 배열한 정사각형 형태의 개별 스팟 4곳으로 분할합니다. 최종 목표는 네 개의 작은 키홀이 아니라 매우 큰 하나의 키홀을 만드는 것입니다. 레이저가 이미 링과 코어로 나눠져 있기 때문에 4개의 개별 스팟에서 각각 매우 효율적으로 유효 전력을 사용할 수 있습니다. 이제 레이저 출력이 전체 영역에 고르게 분산되면서 키홀은 열린 상태를 유지하고 증기는 빠져나갑니다.

그 결과 용융금속이 키홀로 봉괴하지 않고 증기가 갇히지 않으면서 가스 기공이 생기지 않습니다.

멀티포커스 시스템의 성공을 보여주는 명백한 신호는 키홀 면적이 이제 10배나 더 커졌다는 것입니다. 또한 용융 풀의 크기가 50%가 아니라 7%만 달라집니다. 결과적으로 공정이 더 원활하게 진행됩니다.

테스트 및 측정 결과에 따르면, 새로운 멀티포커스 시스템은 기밀 용접부 생성에서 거의 100%의 신뢰도를 보여줍니다. 또한 매우 빠르고요. 현재 우리는 분당 최대 15미터의 속도로 작업을 하고 있습니다. 실험실에서는 이미 분당 30미터의 속도로 테스트를 진행하고 있습니다. 우리의 개발 협력업체 벤틀러는 이 특허 기술을 바탕으로 한 생산을 기대하고 있습니다. 전력 전자기기 및 배터리 냉각판을 위한 레이저 용접 알루미늄 케이싱에 대한 수요가 상당하기 때문입니다. ■

# “작아야 좋은 경우도 많습니다.”

게디미나스 라추카이티스  
(Gediminas Račiukaitis)는  
리투아니아의 레이저협회  
회장입니다.  
그는 어떻게 그 작은 나라가  
이 분야에서 뛰어난 평판을  
얻을 수 있었는지 설명합니다.

“

리투아니아의 레이저 산업에 대해 얘기하면 사람들이 놀라지 않나요?  
네, 매번 놀랍니다.

왜일까요?  
리투아니아는 인구가 300만 명도

되지 않은 작은 나라로, 구소련에서 독립하여 유럽연합에 가입한 지 20년도 채 되지 않았습니다. 우리는 과소평가에 익숙합니다. 하지만 대부분의 국가보다 훨씬 빠른 1966년부터 레이저 기술을 보유하고 있습니다.

왜 그렇게 오래 되었나요?  
기본적으로 리투아니아의 레이저 산업은 1962년 양자 전자공학과 더불어 새롭게 떠오르는 레이저 기술을 공부하기 위해 모스크바 유학을 떠났던 3명의 학생으로 거슬러 올라갈 수 있습니다. 그들이 1966년



리투아니아에서 최초의 레이저 발사에 기여했고, 빌뉴스대학교에 레이저연구센터와 현재 제가 레이저 기술부서 책임자로 일하고 있는 물리과학기술센터를 설립했습니다. 리투아니아에서 레이저와 관련된 일을 하고 있다면 누구나 이 두 곳 중의 하나, 보통은 두 곳 모두와 어떤 식으로든 관련되어 있다고 할 수 있습니다. 두 센터는 겨우 20킬로미터 떨어져 있습니다. 리투아니아의 상업 과학용 레이저는 1983년부터 구축되었습니다.

#### 현재 리투아니아 레이저 산업 현황이 궁금합니다.

50개 이상의 회사에서 레이저 및 레이저용 광학 부품을 제조하고 있습니다. 약 1,400명이 일하고 있으며 연간 매출은 1억7,600만 유로입니다.

**그렇게 많지는 않군요.**  
그렇습니다. 하지만 당신이 휴대전화를 갖고 있다면 그 안에 분명 리투아니아 USP 레이저로 만든 부품이 있을 겁니다. 일부 하이테크 시스템은 미국이나 중국, 독일과 견줄 만하다고 생각합니다.

#### 관련 기업은 무엇을 만들고 있나요?

우리는 과학 레이저 분야에서 꾸준하게 두각을 나타내고 있습니다. 현재는 유럽 연구 이니셔티브, ELI(Extreme Light Infrastructure) 프로젝트의 일환으로 세계에서 가장 강력한 레이저를 연구하고 있습니다. 리투아니아에서 최초로 산업용 레이저와 광학 부품을 제조하기 시작한 지 약 15년이 지났습니다. 우리가 시장에서 두각을 나타나게 된 계기는 USP 레이저의 상용화였는데, 이 분야에서 초창기부터 강세를 보이고 있습니다. 오늘날에는 다양한

제조업체에서 레이저 및 레이저 가공 기계, 또는 코팅된 렌즈 등의 광학 부품, 광학 변수 오실레이터 등을 생산하고 있습니다. OPO는 레이저 광선을 변환하고 증폭하는 역할을 합니다. 전 세계에서 판매되는 OPO의 90%는 리투아니아에서 제조하고 있으며 이곳에 있는 다수의 제조 하청업체가 레이저 기계를 사용하여 유리 절단 등의 하이엔드 레이저 가공 서비스를 제공하고 있습니다. 현재는 몇몇 회사가 의료공학 분야로 진출하고 있습니다.

#### 레이저 시장에서 리투아니아의 주력 제품은 무엇인가요?

굳이 한 분야를 꼽으라면, 울트라숏 레이저 필스를 증폭하는 기술, 바로 OPCPA입니다. 리투아니아 기업이 오래 전부터 이 분야에서 강세를 보이고 있습니다. USP 레이저 및 부품 분야에서는 전 세계의 다른 국가들과 대등한 조건에서 경쟁하고 있습니다. 이러한 최첨단 기술을 통해 더 높은 강도의 레이저를 만들 수 있기 때문에 저로서는 매우 기쁜 일입니다.

**관련 제품은 어디로 판매되나요?**  
모두 수출합니다. 안타깝게도 리투아니아에는 제조 과정에서 레이저 기술을 사용하는 회사가 많지 않습니다. 예를 들어 우리와는 달리 독일은 관련업체를 만나고 생산시설을 돌아볼 수 있는 기회가 많습니다. 그래서 관계자의 의견을 수렴하고 진짜 필요한 것이 무엇인지 더 쉽게 알 수 있습니다. 리투아니아에서도 최종 사용자로부터 더 많은 피드백을 받는 방법을 모색하고 있습니다만, 그들이 우리를 찾아오지 않으니까 우리가 찾아가야 합니다. 현재는 리투아니아 레이저 협회가 한국과 대만의 기업 방문을 계획하고 있습니다. 오늘날에는 다양한

**“당신이  
휴대전화를  
갖고 있다면  
그 안에  
리투아니아  
USP 레이저로  
만든 부품이  
들어 있을  
가능성이  
매우 높다고  
할 수 있습니다.”**

**리투아니아가 레이저  
기술 분야에서  
성공할 수 있었던 비결은  
무엇이 있을까요?**  
작아야 좋은 경우도 많습니다. 그건 바로 우리가 서로 잘 알고 있다는 것을 의미합니다. 대부분의 기업이 유명 연구소에서 분할된 회사이며, 회사 설립자와 직원 대부분이 동종 업계의 관계자들과 비슷한 연령대이고 함께 공부했기 때문에 서로를 잘 알고 있습니다. 학계에서 산업계로, 다시 학계로 돌아가는 경우도 많습니다. 따라서 연구소의 연구개발은 기업이 실제로 필요로 하는 것에 중점을 두고 있습니다. 레이저 커뮤니티에서는 회사의 경계를 넘어서 서로를 신뢰합니다. 시장에서는 여전히 라이벌이지만, 이곳의 기업들은 서로 경쟁하기보다는 협력하려는 경향이 강하죠. 포토닉스 업계에서 매우 특이한 사례라고 할 수 있습니다.

**포토닉스 산업에서의 성공이  
리투아니아라는 국가에 어떤  
영향을 미치고 있나요?**  
일단 예상할 수 있는 것처럼 경제가 성장하고 세계적인 인정을 받고 있습니다. 하지만 더 중요한 점은 리투아니아 국민을 위한 짐이 생겼다는 것입니다.

**그게 무슨 뜻인가요?**  
리투아니아에서는 해외에서 일자리를 찾는 사람이 많습니다. 전공이나 성적에 상관없이 옥스퍼드에서 공부를 했다면, 스웨덴이나 독일에서 일하는 게 좋다고 생각합니다. 어떤 사람들에게는 그게 맞을 것 입니다. 하지만 그 과정에서 자신의 뿌리를 잊고, 많은 사람들이 불행하다고 느끼게 됩니다. 리투아니아에서 레이저 산업이 성장하고 있다는 사실은 청년들이 고국으로 돌아와 흥미롭고 보수가 좋은 직업을 찾을 수 있는 밝은 미래가 가능해졌다는 것을 의미합니다. 이는 인재 유출을



Tadas Kazakevicius | Fotolia

막을 수 있는 가장 좋은 방법이기도 합니다. 점점 더 리투아니아에 머물고 싶어하는 사람들이 늘어나고 있습니다.

**레이저 기술의 미래가  
리투아니아에서 어떻게  
펼쳐질까요?**  
2009년부터 2021년까지 리투아니아의 포토닉스 산업은 매년 16%씩 성장했습니다. 이는 놀라운 성과이며 앞으로도 비슷한 수준을 이어갈 것으로 보입니다. 또한 동시에 더 많은 시장에 진출하여 성장을 뒷받침할 수 있는 출구를 마련해야 한다는 것을 의미하기도 하는데 레이저협회가 이를 돋고 있습니다. 관련 기술의 새로운 응용분야라고 한다면, 광학과 양자 광통신 분야에서 기회가 열릴 것으로 예상합니다. 실제로 그러한 관점에서 본다면 산업적 활동의 첫 번째 증거가 이미 나타나기도 했습니다. 이제 곧 더 많은 일들이 가능해질 겁니다.

**다른 국가를 위한 조언을  
해주신다면 무엇이 있을까요?**  
과학과 산업에서 레이저를 사용하지 않으면 결국 모든 것이 멈추게 될 것입니다. 모든 것이 암흑 세상이 될 것입니다. ■

**프로필:** 게디미나스 라주카이티스 (Gediminas Račiukaitis)는 빌뉴스에 있는 물리과학기술센터의 레이저기술 부서 책임자입니다. 그의 연구 분야는 레이저를 통한 고에너지 전자빔 생성 및 전자제품 응용분야를 위한 레이저의 선택적 금속화 등입니다. 또한 리투아니아 레이저 협회장을 맡고 있으며, 초창기부터 리투아니아의 수출 주도형 레이저 산업 발전과 성장에 기여하고 있습니다.



# 태국

## 경제 상황

레이저랜드  
태국에 오신 것을  
환영합니다!

**동남아시아의 산업계에서는 태국이 가장 강력한 존재감을**  
드러내고 있습니다. 관련 기업은 수도 방콕과 그 주변에 밀집해  
있습니다. 태국의 다른 지역은 산업화가 아직 진행되지 않은 곳이  
많습니다.

주요 산업은 **자동차 산업**입니다. 특히 일본 OEM(토요타, 혼다,  
미쓰비시, 닛산) 제조업체와 포드 및 중국 자동차기업 등이  
이곳에서 연간 총 약 **250만대**의 자동차를 생산하고 있습니다.

태국에서는 최대업체인 타이 서밋 그룹(Thai Summit Group)을  
중심으로 **자동차 공급 산업**이 안정적으로 운영되고 있습니다.



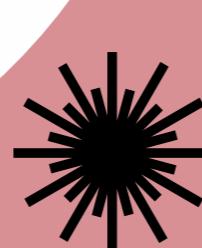
GDP 대비  
산업비율

**7,168**

미국 달러

**70m**

인구



태국의 기업은  
주로 **고출력 레이저 기계**에  
투자하고 있습니다.

## 태국의 레이저 기술

자동차 제조업체와 공급업체 모두  
차체 부품 등을 제조하는  
**3D 레이저 절단기**에 대한  
수요가 높습니다.



현재 태국에서는 **전기자동차의**  
**생산량**이 증가하고 있습니다. 이곳에서  
메르세데스 벤츠(Mercedes-Benz)  
가 전지를 제조하고 BMW는 5가지  
플러그인 하이브리드 모델을 조립하고  
있는데, 두 회사 모두 특정 유형의  
레이저 기계에 대한 수요가 늘어날  
것으로 보입니다.

nukui2533 / AdobeStock, Ford, Gernot Walter

# WHERE'S THE LASER?

**건강한 허리** 넷플릭스를 비롯한 스트리밍  
서비스로 인해 소파에 앉아 있는 시간이  
늘어나며 허리 건강이 문제가 되고 있습니다.  
한편으로는 30세 이후부터 디스크의 퇴화가  
시작되기 때문에 그에 따른 온갖 허리 질병  
이 발생하는 것이 자연스러운 일인지도 모르  
겠습니다. 이럴 때는 규칙적인 운동이  
큰 도움이 됩니다. 하지만 너무 많이, 너무  
빨리 하지 않도록 주의하세요. 성급하게  
운동을 시작하면 부상을 입을 수 있습니다.  
운동 초보라면 EGYM의 Smart Strength  
와 같은 피트니스 기구를 추천합니다.  
이 기구는 각 사용자의 운동 요구사항에  
따라 조정이 가능하며, 화면 내  
애니메이션을 통해 올바르게 운동하고  
있는지 보여줍니다. 프레임은 독일 남부의  
금속 전문 가공업체 스타인하트  
(Steinhart)가 레이저 투브 절단 및 복합기  
를 사용하여 제작합니다. 지금 바로 소파에  
서 일어나 스마트한 개인 트레이너와 함께  
운동을 시작해보세요. ■



광학 마이크는 기존의 마이크보다  
다이나믹 레인지(dynamic range)가 큽니다.  
어떤 방식일까요? 레이저 다이오드와 간섭계(interferometer)를  
조합하여 마이크 자체에 잡음 없이 실리콘 막의 아주 작은 진동까지  
정확하게 측정합니다. 노르웨이 기업인 센시벨(sensiBell)이 개발한 이 기술은  
부피가 1세제곱밀리미터에 불과하여 휴대폰과 헤드셋 등의 기기에  
적합합니다. 이제 길거리 콘서트와 대학, 동영상 사운드트랙을  
영구적인 스튜디오 음질로  
녹음할 수 있습니다.

센시벨

TRUMPF

LASER COMMUNITY.36호는 2023년 봄에 출간됩니다.  
지금 구독하여 최신 이슈를 받아보세요. [trumpf.com/s/lc-abo](http://trumpf.com/s/lc-abo)