

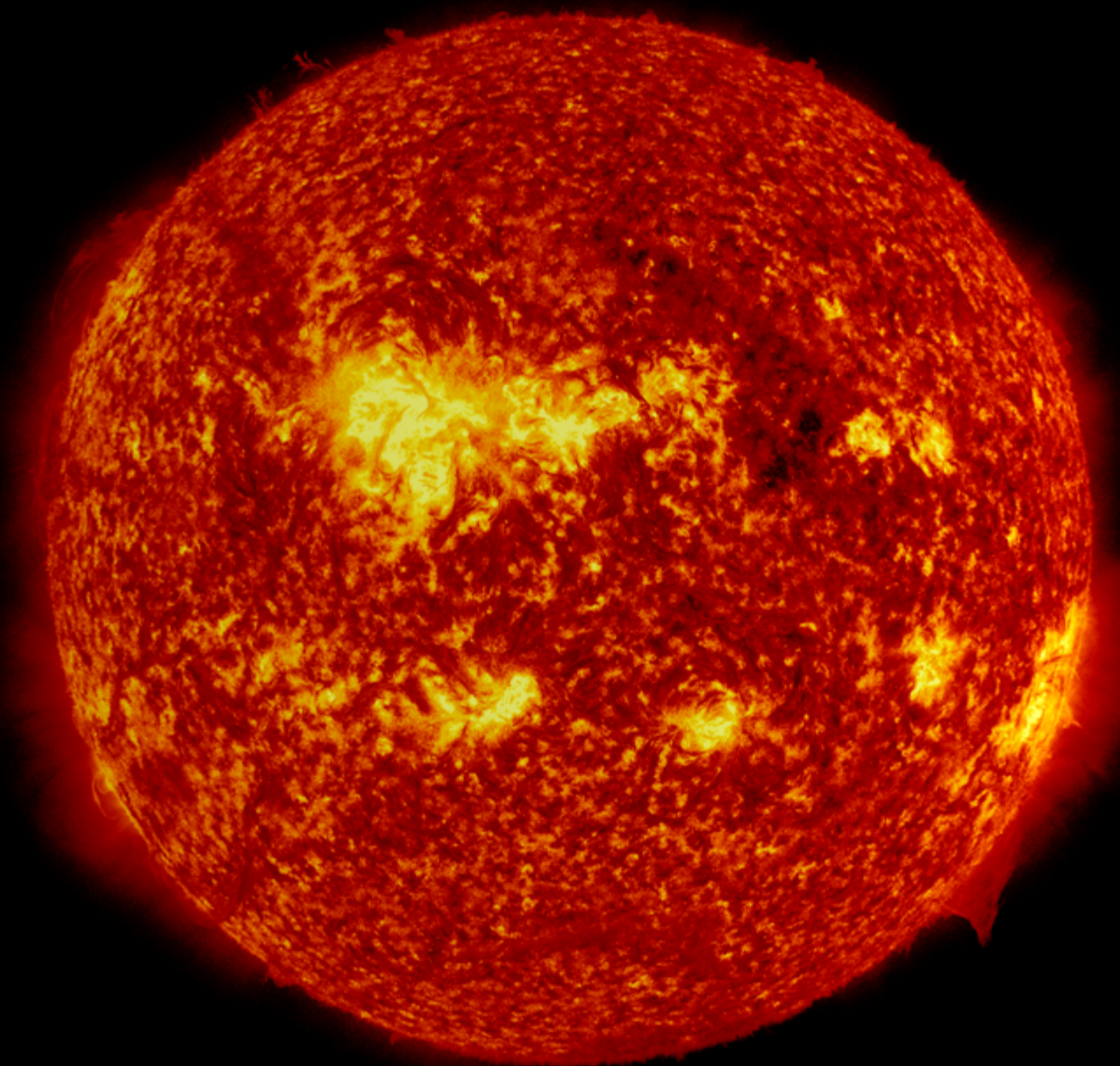
LASER COMMUNITY.

광자 그리고 사람



레이저를 이용한 정밀센싱

산업용 초소형 광학센서가 촉각과 청각을 넘어
후각까지 발전시키고 있습니다.



LASER COMMUNITY. #36

발행 Summer 2023 출판 TRUMPF SE+Co.KG, Johann-Maus-Strasse2, 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 Florian Burkhardt, Thilo Horvatitsch, Martin Reinhardt, Maria Seidenkranz, Julia Stolte

사진 및 일러스트 Dominik Asbach, Matti Immonen, Philippe Keith, Melina Mörsdorf, Mark Oliver, Gernot Walter

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

편집장 Reprotechnik Herzog, Stuttgart, Germany

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

표지: midjourney / Die Magaziniker, 2페이지: NASA

Gernot Walter

EDITORIAL



독자 여러분

핵융합을 통해 소비자에게 전기를 공급하는 정확한 시간, 소위 '핵융합 상수(fusion constant)'는 일반인에게는 낯선 전문 용어입니다. 학계는 반 세기 동안 그 시간이 약 50년이라는데 동의해왔습니다. 이제 우스개소리는 제쳐두고, 작년 말부터 이 주제와 관련하여 중요한 사건이 확인되고 있다는 사실을 밝히고자 합니다. 수십 년 간의 연구 끝에, 미국 로렌스 리버모어 국립연구소 (Lawrence Livermore National Laboratory)의 과학자들이 돌파구를 찾았습니다. 레이저로 핵융합을 점화하여 지구에서 태양의 원리를 재현할 수 있게 된 것입니다.

물론 산업 규모의 핵융합 발전소에서 활용하기 위해서는 레이저 기술 분야에서 아직 해야 할 일이 많이 남아 있습니다. 하지만 우리가 성공한다면 인류에게는 큰 도약이 될 것입니다. 18페이지에서는 프라운호퍼 레이저 기술 연구소 ILT(Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT) 소장인 콘스탄틴 헤프너(Constantin Häfner) 교수와의 인터뷰를 소개하면서 '에너지 생성의 성배'를 향한 여정이 얼마나 남았는지, 그리고 이러한 발전이 레이저 기술에 미칠 수 있는 결과에 대해 알아보겠습니다. 세기의 핵융합 발전 프로젝트에 참여하는 모든 분들에게 새로운 기술 솔루션을 위한 많은 용기와 격려를 보냅니다.

한편 또 다른 기술인 e-모빌리티의 경우 이미 상당한 발전을 이루었는데, 레이저 기술을 바탕으로 대중 시장에 진출하고 있습니다. TRUMPF는 이미 중국과 한국의 첫 번째 배터리 프로젝트에 장비 공급업체로 참여했습니다. 현재는 유럽의 제조업체들도 이 풍부한 경험의 혜택을 누리고 있습니다. 대표적인 예가 바로 핀란드의 발멧 오토모티브(Valmet Automotive)입니다. 이 회사는 입지 비용이 높은 국가에서도 수익성 있는 배터리 제조가 가능하다는 사실을 증명하고 있습니다. 6페이지에서는 발멧 오토모티브가 높은 인건비를 우수한 인재와 스마트한 솔루션 및 TRUMPF의 다양한 레이저 기술을 활용하여 어떻게 보완하고 있는지 보여줍니다.

마지막으로 드릴 말씀이 있습니다. 지난 24년 동안 저는 TRUMPF에서 수많은 성공과 몇 번의 좌절을 경험했습니다. 이제 은퇴라는 인생의 새로운 단계를 눈앞에 두고 여러분께 마지막 인사를 드리고자 합니다. 다음 호에서는 저의 후임자인 하겐 치머(Hagen Zimer) 박사가 인사를 드릴 예정입니다. 하겐 치머 박사의 성공, 그리고 새로운 비전을 기대하고 있습니다. 이번 호도 즐겁게 보시기 바랍니다.

DR. - ING. 크리스티안 슈미트(Christian Schmitz)

레이저 기술 최고경영자

TRUMPF SE + Co. KG 경영진

christian.schmitz@trumpf.com



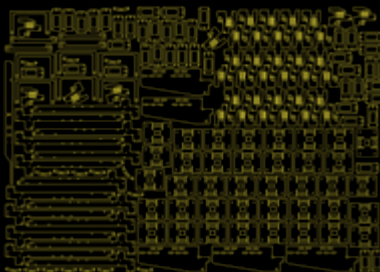
달콤하게

TRUMPF는 창립 100주년, Laser Community는 창간 17주년을 맞이합니다. 2006년 창간호에서는 레이저 장비의 독특한 디자인 컨셉, 그리고 현재는 수천 개의 생산라인에서 표준 공정이 된 원격 레이저 용접이라는 두 가지 스토리를 소개했습니다. 창간호에서 확인하세요.



강인하게

살로(Salo)에 있는 배터리 공장을 촬영한 마티 이모넨(Matti Immonen)의 사진은 빛과 구도, 디테일을 묘사한 이미지로 눈길을 사로잡습니다. "판타스틱 핀란드!" 6페이지에서 확인하세요.



새롭게

앞장과 뒷장 표지의 투명한 부품 패턴이 판금 가공(시작)에서 레이저 가공(첨단기술), 양자 컴퓨터 가공(다음 단계)으로 이어지는 TRUMPF의 역사를 상징적으로 보여줍니다. 그 어느 때보다 새롭게! 1페이지 및 32페이지에서 확인하세요.

Gernot Walter, Matti Immonen, TRUMPF

LASER COMMUNITY.



6 배터리 공장

Mark Oliver, Matti Immonen

LASER COMMUNITY.

FEATURE

12 레이저의 새로운 감각

마이크로칩의 미니 레이저가 센서 기술에 새로운 기능을 제공하고 있습니다. 이 작은 인공 감각기관은 산업계와 가전업계, 환경기술업계가 기다려온 바로 그 기술입니다.

6 배터리 붐

발멧 오토모티브(VALMET AUTOMOTIVE)는 고임금 산업구조에서 배터리 제조가 어떻게 경쟁할 수 있는지 보여줍니다.

11 POWER

유럽 최강의 고체(SOLID-STATE) 레이저가 MIG/MAG로 새로운 바람을 일으키고 있습니다.

18 “레이저 시대는 이제 막 시작되었을 뿐입니다.”

프라운호퍼 레이저 기술 ILT의 소장, 콘스탄틴 헤프너(Constantin Häfner) 교수 연구소는 핵융합의 미래가 레이저에 달려 있다고 예측합니다.

22 곡물바구미 퇴치!

화학물질을 사용하지 않고서도 해충을 방제할 수 있을까요? 새로운 레이저 시스템이 그 방법을 제시합니다.

25 GLORY

노벨상 수상자인 안톤 차일링거(Anton Zeilinger)가 양자이론의 실용적 용도를 찾는 엔지니어들을 지원하고 있습니다.

26 레이저 컨피덴셜

JT 오토메이션(JT Automation)은 업계에서 가장 까다로운 작업을 수행합니다.

28 AHEAD

DESY의 사빈 브록(Sabine Brock)이 레이저 기반 입자 가속기 개발을 주도하고 있습니다.

30 LASER LAND

체코의 레이저 기술

31 WHERE'S THE LASER?

걱정 없는 간식 시간



18 레이저 스케일링

Dominik Astbach, Die Magaziniker, Philippe Keith



22 해충 방제



26 자동화



발멧 오토모티브 (Valmet Automotive)는 불과 9개월만에 살로(Salo)에 배터리 공장을 설립했습니다.

배터리



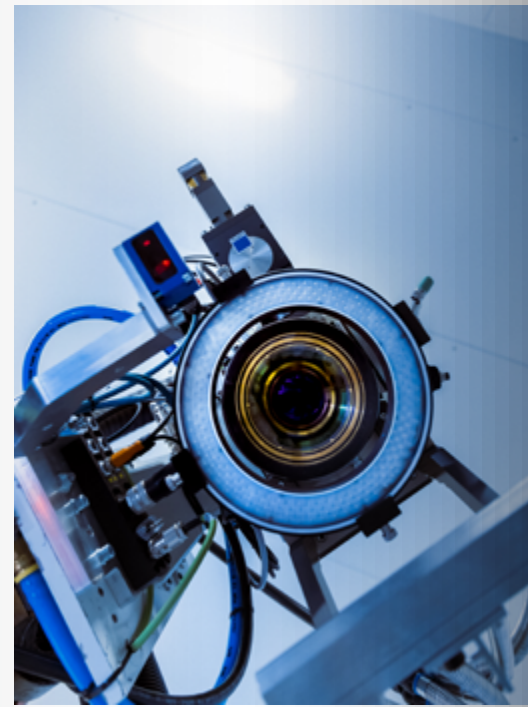
핀란드 제조업체인 발멧 오토모티브(Valmet Automotive)가 자동화 및 레이저 기술을 통해 고임금 산업구조에서 배터리를 제조하는 방법을 제시하고 있습니다.

"9개월 내에 완전하게 가동되는 배터리 공장을 설립해야 합니다. 여기에 바로 빈 건물이 있고요." 매튜 콘글턴(Matthew Congleton)이 그 순간의 놀라움을 회상합니다. "엄청난 도전이었습니다!" 미국 출신의 콘글턴은 핀란드의 자동차 위탁 제조업체, 발멧 오토모티브(Valmet Automotive)의 살로(Salo) 배터리 공장에서 생산 책임자로 일하고 있습니다. 2019년 2월, 그는 헬싱키에서 서쪽으로 차로 한 시간 거리에 있는 살로로 향했습니다. 과거 노키아(Nokia) 공장이 있었던 빈 생산시설에는 먼지만 굴러다니고 있었습니다. 하이테크 제조가 이루어졌다고는 상상조차 할 수 없는 모습이었습니다. "한동안 사용하지 않아서 텅 빈 상태였습니다." 라고 그는 말합니다. "하지만 노키아가 이곳에서 전자부품을 생산했다면 배터리도 충분히 가능하다는 생각이 들었습니다." 그는 곧바로 작업에 착수했습니다.

속도가 핵심 e-모빌리티의 인기로 전기차 부품의 수요가 급증하고 있습니다. "우리가 생산하는 모든 제품을 자동차 제조업체가 매입하고 있습니다." 라고 콘글턴은 말합니다. 이러한 폭발적 성장세에 맞춰 발멧 오토모티브는 최대한 빨리 독자적인 배터리 제조 공장을 설립하기로 결정했습니다. 이 핀란드 회사는 배터리 제조 부문에서 성공하는 방법을 터득하면서 단순 위탁 제조업체에서 OEM으로 전환하는 첫 걸음을 내딛었습니다. 유럽에서 배터리팩을 제조하면 유럽 내 자동차산업의 큰 리스크를 제거하고 공급망을 상당히 줄일 수 있습니다. "팬데믹 기간 동안 공급망이 얼마나 취약해질 수 있는지 확인할 수 있었습니다. 마치 과거에 컨테이너선이 수에즈 운하에 갇혔을 때와 같은 상황이었습니다." 라고 콘글턴은 말합니다.



발멧 오토모티브는 노키아가 휴대폰을 생산했던 곳에서 이제 배터리팩을 용접하고 있습니다. 이는 숙련된 인재 채용으로도 이어졌습니다.



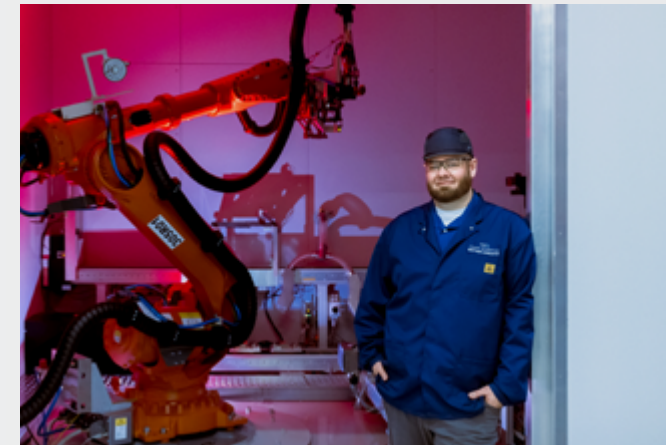
"그리고 우크라이나 전쟁으로 인해 또 다시 같은 문제가 발생하고 있습니다." 그는 핀란드와 같은 고임금 국가에서도 배터리 제조가 가능하다고 보았습니다. "핀란드는 교육수준이 매우 높습니다. 이는 배터리와 같은 복합적인 시스템 생산에서 중요한 요소입니다. 이 분야는 전문가를 필요로 하니까요. 또한 생산량과 효율성이 높아지면 높은 인건비의 부담을 감당할 수 있습니다."

이와 같은 프로젝트의 온갖 압박에도 불구하고 살로에서의 경험은 할 수 있다는 확신으로 이어졌습니다. 하나의 팀이 독일에서 생산라인 자동화를 검토하는 동시에 살로에서는 건물 공사가 진행되었습니다. "우리는 여러 가지 일을 동시에 진행해야 했습니다." 라고 콘글턴은 회상합니다. "우리의 첫 배터리 공장이고, 완전히 새로운 장소에 있었습니다. 생산 가동을 위한 인력을 고용했고, 동시에 완전히 새로운 비즈니스 영역에서 필요한 전문지식을 습득해야 했습니다. 정신이 하나도 없었습니다." 하지만 2019년 10월 초, 예정대로 발멧 오토모티브는 살로에서 첫 번째 배터리팩을 생산했으며 현재까지 약 8천만 번의 레이저 용접을 통해 100만 개 이상의 팩을 생산했습니다. 30명이었던 직원 수는 현재 800명으로 늘어났습니다.

유연성 극대화 현재 e-모빌리티 분야에서는 많은 일이 일어나고 있습니다. 발멧 오토모티브에게 이는 도전이자 기회입니다. 표준화가 충분히 이루어지지 않은 상황에서 여전히 다양한 시스템과 디자인이 유통되고 있습니다.

Matti Immonen

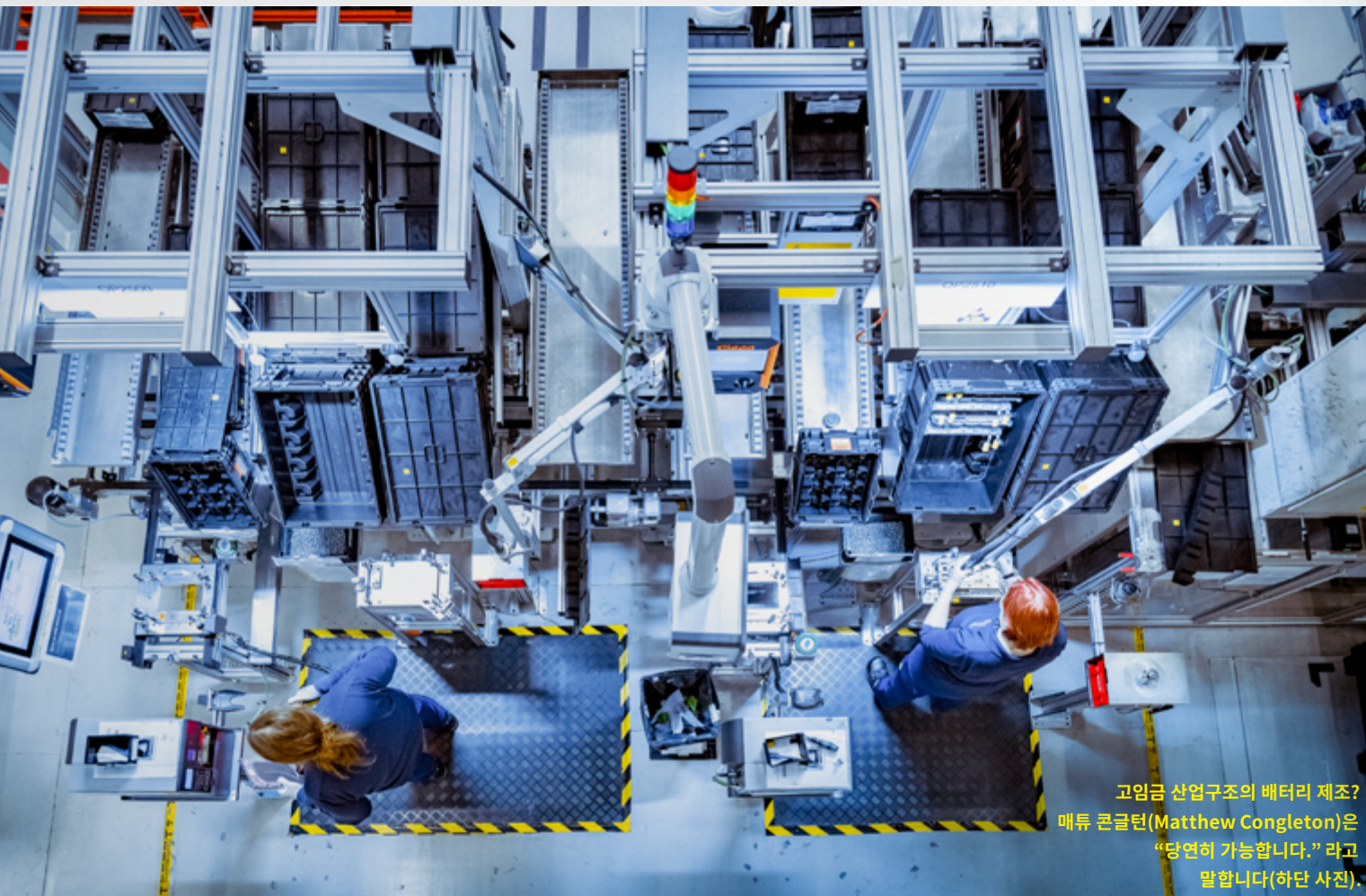
"레이저는 정말로 대단합니다." 라고 매튜 콘글턴(Matthew Congleton)은 말합니다. 레이저는 내부의 구성요소들을 손상시키지 않고 배터리 셀 랩을 밀봉된 팩과 단단하게 용접할 수 있습니다.



180미터 이상으로 자동화 라인 확대. 살로의 생산 라인에서는 오히려 수동 작업이 예외에 속합니다.

Matti Immonen

"전기차 배터리 제조 분야는 표준화가 거의 이루어지지 않은 상태입니다. 따라서 발멧 오토모티브(Valmet Automotive)는 생산라인을 매우 유연하게 구축했습니다."



고임금 산업구조의 배터리 제조? 매튜 콘글턴(Matthew Congleton)은 "당연히 가능합니다." 라고 말합니다(하단 사진).

전문지식을 활용한다면 높은 비용을 충분히 감당할 수 있습니다.

"새로운 산업이고, 수많은 기술 및 품질표준이 이제 막 개발되고 있는 단계입니다." 라고 콘글턴은 설명합니다. 자동차 제조업계에서는 여전히 테스트가 진행 중입니다. 예를 들어 배터리의 위치는 무게 배분과 차량 핸들링에 중요한 영향을 미칩니다. 일부 제조업체는 배터리를 차량 하부에 배치하고, 또 다른 제조업체는 이를 새시에 통합하는 등 다양한 옵션이 시도되고 있습니다. 이는 발렛 오토모티브와 같은 제조업체가 유연성을 최대한 갖추어야 한다는 것을 의미합니다. "각 생산라인을 특정 제품에 맞춰 조정하고 있습니다." 라고 콘글턴은 말합니다. 자동차의 등급은 고객의 니즈 및 속도에 따라 달라집니다. "자동화 라인 설정에 상당한 시간이 걸리지만, 그 후에는 더 빠른 생산이 가능합니다. 고도로 자동화된 대량 생산라인을 구축할 수도 있고, 더 많은 수동 입력으로 소량 생산라인을 구축할 수도 있습니다." 현재 발렛 오토모티브는 살로에 있는 총 3개의 생산라인에서 메르세데스 벤츠와 볼보의 배터리팩을 용접하고 있습니다. 또한 무게 역시 부품마다 매우 다양해서 12킬로그램에 불과한 배터리 시스템도 있고 100킬로그램에 웃도는 배터리 시스템도 있습니다.

하지만 구리 및 알루미늄 배터리 셀 탭을 배터리팩에 용접하는 데 사용하는 레이저 시스템은 항상 동일합니다. 이음매가 매끄럽고 강하며 단단해야 진동이 발생해도 셀이 단단히 결합된 상태로 유지될 수 있습니다. "레이저를 사용하면 매우 얇은 판금에서도 이와 같은 작업을 할 수 있습니다." 라고 콘글턴은 말합니다. "레이저는 용접 자재를 가열하지 않고도 빠르게 고강도 이음매를 만듭니다. 이음매가 강해야 차량 충돌 시에도 배터리팩 내부의 민감한 부품이 손상되지 않습니다." 메르세데스 벤츠 배터리팩을 위한 길이 180미터의 생산라인에는 각각 5킬로와트 용량의 TruDisk 레이저 두 대가 설치되어 있습니다. PFO 스캐너 광학장치를 사용하면 빠른 처리 및 정밀한 결과로 원격 용접이 가능하기 때문에 대량 생산 및 높은 수준의 자동화가 요구되는 이와 같은 작업에 이상적입니다. 수동 개입은 거의 필요하지 않으며 최종적인 품질검사만 직원이 담당하면 됩니다. 콘글턴은 레이저 공정의 또 다른 장점으로 높은 반복성을 언급합니다. "용접 매개변수를 올바르게 설정하면 언제나 정확한 공정이 가능합니다. 우리는 지난 3년 동안 매개변수를 변경하지 않았습니다."



연락처 : 발렛 오토모티브(Valmet Automotive), 매튜 콘글턴(Matthew Congleton), 살로 생산 책임자, matthew.congleton@vallmet-automotive.com

Matti Immonen

심층용접을 위한 순풍

지금으로서는 풍력 터빈용 철탑 레이저 용접이 불가능합니다. 하지만 유럽 최고 수준의 산업용 고체(solid-state) 레이저를 적용한 테스트가 끝나면 상황이 달라질 수도 있습니다.

독일의 연방 재료시험연구소(Federal Institute for Materials Research and Testing, BAM)는 현재 풍력 터빈 타워, 철도 차량을 위한 부품, 해양선박 선체 및 핵폐기물 용기에 필요한 견고한 강철 부품을 용접할 수 있는 새로운 방법을 모색하고 있으며 여기에는 최소 20밀리미터의 용접이 필요합니다. 현재 MIG/MAG 용접이 사용되고 있는데, 충분히 효과적인 방법이지만 두 가지 중요한 단점이 있습니다. 공정 과정이 정밀하지 않고 용접되는 재료에 많은 열이 가해진다는 것입니다. 보다 더 나은 선택지는 바로 레이저를 사용하는 것입니다. 하지만 매우 두꺼운 부품을 레이저로 용접하기 위해서는 아주 많은 전력이 필요합니다.

올해 초부터 BAM은 유럽 최고 수준의 고체 레이저를 이용하여 테스트를 진행하고 있습니다. 이 레이저는 60킬로와트의 출력을 자랑합니다. 참고로 자동차 제조업체의 차체 레이저 용접이 4~6킬로와트를 요구합니다. 이렇게 출력을 높여서 레이저를 사용하면 20밀리미터 이상의 깊이까지 용접이 가능합니다.

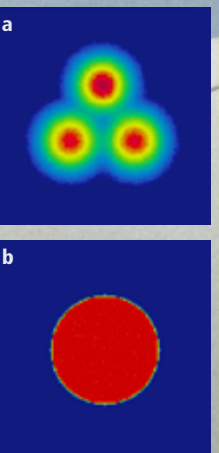
현재 BAM에서 테스트하고 있는 메가 레이저는 각각 20킬로와트 용량의 TruDisk 고체 레이저 3대를 사용하고 있습니다. 이 3대의 레이저에서 나온 광선이 먼저

100마이크로미터 두께의 레이저 광케이블을 통과한 후 300마이크로미터 케이블과 합쳐집니다. 그 다음에는 광학장치가 이 빔의 초점을 400마이크로미터 지점에 맞춥니다. 매우 간단해 보이는 이 과정은 정원 호스로 멜론을 통과시키는 것과 비슷하다고 할 수 있습니다. 먼저 고품질의 빔이 필요합니다. 둘째, 시스템이 역반사를 감당할 수 있어야 하며 이를 통해 엄청난 레이저 출력을 제어하면서 용접할 수 있어야 합니다. 따라서 백리플레쉬에 강한 디스크 고체 레이저, 렌즈 대신 포물면 거울이 있는 특수 광학장치, 레이저 광케이블과 광학장치 사이에 특수 LXX 커넥터를 사용합니다.

이 시스템을 산업용으로 사용하기 전에 용접 과정에서 발생하는 다량의 용융물을 처리하는 방법과 작은 스폿으로 넓은 접합 간격을 안전하게 용접하는 방법 등의 문제를 해결해야 합니다. BAM 팀은 25킬로와트에서 시작하여 점차적으로 최대 출력을 높여가면서 매우 두꺼운 판금에서도 작업이 가능하도록 테스트를 진행하고 있습니다. ■

POWER

세 가지를 하나로: 레이저 광케이블의 시작 부분(a)과 끝 부분(b)의 단면 강도 분포.



풍력 터빈 타워 등 대형 부품의 레이저 용접을 위한 테스트가 진행 중입니다.

AdobeStock / bernid schieber/EyeEm, Gernot Walter

레이저의 새로운 감각

VCSEL은 하이테크 센서 설계의 새로운 마법공식입니다.
레이저 다이오드가 통합된 이 미니 마이크로칩을 사용하여 산업 및 가전제품 시장을 위한 고정밀 센서를 만듭니다.
그리고 이제 이 마이크로칩이 냄새를 맡고, 만지고, 듣기까지 합니다.

연기 기둥 속에는
과연 무엇이 있을까요?
퍼널(funnel)의 센서는
답을 알고 있습니다.

컨

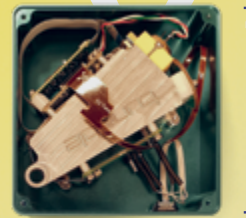
테이너 용기의 퍼널에서 두꺼운 연기 기둥이 올라옵니다. 그런데 이 연기는 얼마나 유해한 걸까요? 이와 같은 환경에서는 화학 센서가 더러워지고 진동과 열을 견디지 못하게 되면서 시간이 지날수록 잘못된 판독값을 제공하는 등의 문제가 발생합니다. 또한 화학 시약도 정기적으로 보충해야 합니다. 노르웨이의 스타트업 투나블(Tunable)이 개발한 최초의 광학 가스센서는 바로 이 문제를 해결하고 있습니다. 이 센서는 퍼널 내부에서 고정밀 디지털 데이터를 안정적으로 제공합니다. 유지보수 또한 필요하지 않습니다.

가스 분자는 적외선 스펙트럼에서 각각의 시그니처를 갖고 있기 때문에 분광법으로 이를 감지할 수 있습니다. 이 광학 방식은 천문학자가 멀리 떨어진 외계 행성의 화학성분을 측정하는 데 사용됩니다. 반면 투나블은 아주 작은 규모에서 작동합니다. 이 센서는 버전에 따라 대기에서 최대 10가지 이상의 다양한 가스를 감지하며 그 농도를 측정할 수 있습니다. 선박의 퍼널 모델은 이산화탄소 및 질소산화물, 메탄과 같은 탄화수소 등을 감지할 수 있도록 조정합니다. 때마침 유럽연합

이 2024년부터 해양 배출량을 정확하게 모니터링해야 한다는 내용의 법안을 도입했습니다. 지금으로서는 투나블의 광학센서가 이러한 정보를 안정적으로 전달하는 유일한 장비라고 할 수 있습니다.

투나블은 이 기본 좋은 출발에 기반하여 대기의 정확한 구성을 알면 유용한 또 다른 응용분야를 검토하고 있습니다. 투나블 센서의 주요 특징 중 하나는 특정 가스의 유무뿐만 아니라 가스 혼합물의 스펙트럼 지문도 감지한다는 것입니다. 예를 들어 토마토나 기타 과일이 실린 컨테이너의 숙성도를 확인할 수 있기 때문에 항구에도 도착한 후 농산물을 얼마나 빨리 슈퍼마켓으로 배송해야 하는지를 파악할 수 있습니다. 이를 통해 물류 공정을 개선하고 음식을 쓰레기도 줄일 수 있습니다. 투나블 센서는 액화천연가스 운송에서도 중요한 역할을 하는데, LNG 탱크를 모니터링하고 가스의 성분을 분석하여 발열량을 판단합니다. 마찬가지로 LNG 파이프라인에 설치하면 아주 미세한 누출도 추가적으로 감지할 수 있습니다.

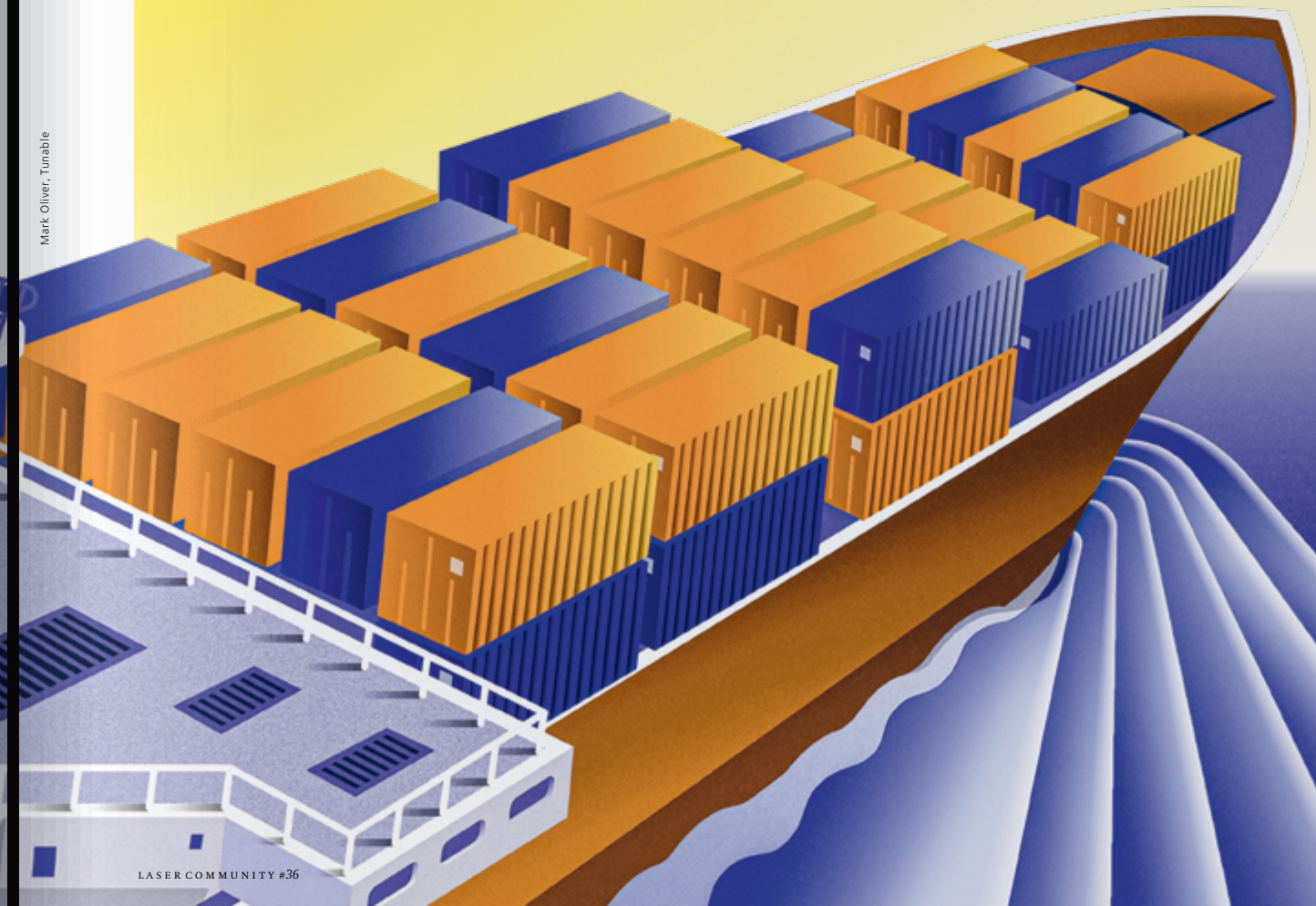
콧(NOSE)



10센티미터

최초의 광학 가스센서로서 가스 분자를 감지 및 식별하고 대기중 농도를 측정합니다.

Mark Oliver, Tunable



02



손가락 (FINGER)

레이저 기반 미립자 센서가 대기에서 미립자를 스캔하여 위험수준에 도달하면 경고 메시지를 보냅니다.

미

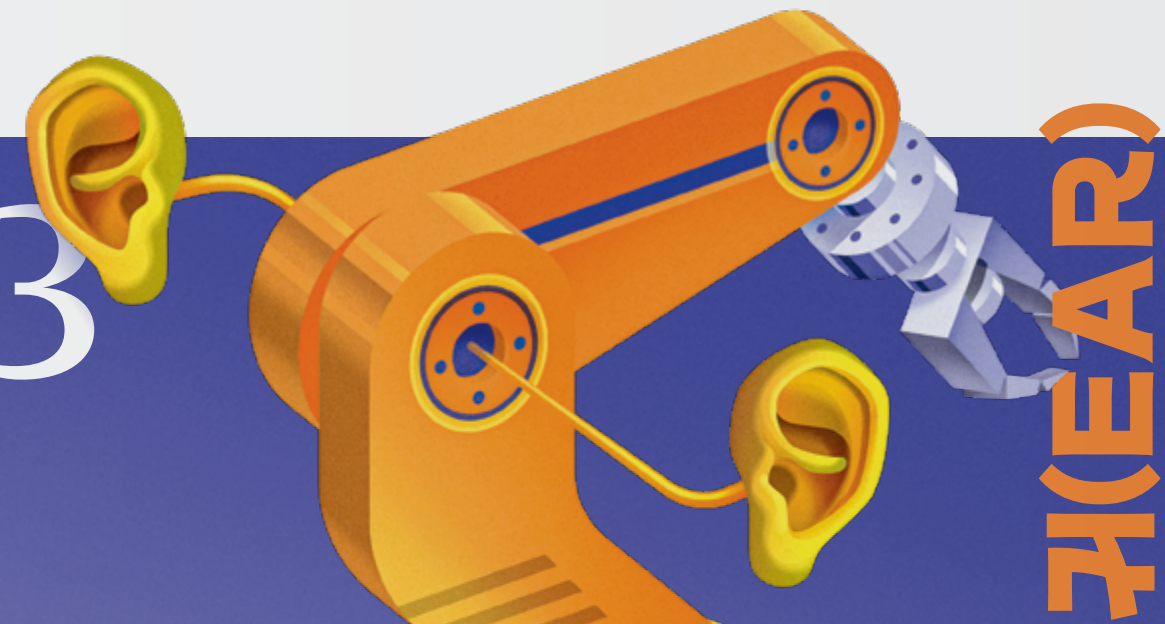
립자는 건강에 심각한 위험을 초래합니다. 지름 10마이크로미터 미만의 입자를 흡입하면 폐에서 혈류로 유입되어 체내에 계속 남아 있을 수 있습니다. 입자가 작을수록 더 위험합니다. 따라서 보쉬 센서텍(Bosch Sensortec)은 미립자를 감지하는 소형 광학 센서를 개발했습니다. 이 센서는 지름 2.5마이크로미터 미만의 입자를 감지하고 정확한 농도로 측정할 수 있습니다. 잘 알려진 미립자 발생원은 바로 도로를 달리는 교통수단과 거기에서 나오는 배기가스입니다. 하지만 음식을 튀기거나 양초 또는 장작 난로를 사용하는 경우에는 실내의 미립자 수치가 더 높을 수도 있습니다.

센서는 여러 개의 미니 레이저로 구성되어 있으며 이 레이저가 대기에서 미립자를 스캔하고 크기를 측정합니다. 센서가 유리 뒤에 있어서 주변 공기와 직접 접촉하지 않기 때문에 청소도 필요하지 않습니다. 이와 같은 이유로 팬도 없기 때문에 소음을 걱정할 필요도 없습니다. 손가락 같은 이 작은 센서는 스마트워치 디스플레이 뒤에 장착할 수 있을 정도로 작아서 미립자 수치가 위험 수준으로 높아지면 착용자에게 경고 메시지를 보낼 수 있습니다. 이 기술은 스마트홈 분야에도 적용이 가능합니다. 예를 들어 음식을 튀길 때 배출되는 미립자 수치가 너무 높아지면 레인지 후드의 미립자 센서가 자동으로 팬을 최대 출력으로 전환합니다. 마찬가지로 실내온도 조절기에 탑재하면 신선한 공기가 필요할 때마다 환기 시스템에 메시지를 보냅니다.

공기가 깨끗한가요?
미립자 수치가 위험 수준이 되면 스마트워치의 레이저 센서가 이를 알려줍니다.

Mark Oliver, Bosch Sensortec

03



귀(EAR)

빛을 오디오 매체로 사용하는 아이디어는 의외로 낯설지 않습니다. 광학 마이크는 크기가 작아도 아주 미세한 소리까지 선명하게 포착합니다.

로봇에 문제가 있나요?
고장이 발생하기 전에 광학 마이크가 의심스러운 소음을 감지합니다.

I

Zoom 회의를 통해 업무를 진행하고 휴대폰의 WhatsApp에서 라이브 음악 클립을 공유하는 시대 속에서 우리 모두는 대부분의 미니 마이크가 제 기능을 못한다는 사실을 알고 있습니다. 사운드가 뚜렷하지 않고 잡음이 섞이는 경우가 많기 때문입니다. 그런데 노르웨이의 스타트업 센시벨(sensiBel)이 미니 마이크에 혁신을 일으키고 있습니다. 이 마이크는 소리를 전기적으로 측정하는 대신, 작은 레이저 빔을 사용하여 광학적으로 작동합니다. 그 결과 아주 미세한 소음까지 충실하게 포착하여 대형 스튜디오 마이크 못지 않은 선명한 사운드를 구현합니다. 앞으로는 스마트폰으로 촬영한 TikTok 영상이 하이파이 오디오로 제공되고, 원격회의에서도 상대방의 말을 더 잘 이해하고 원활하게 대화를 나눌 수 있게 될 것입니다.

한편 이 놀라운 미니 사운드의 응용분야는 무궁무진합니다. 광학기술의 장점은 사람의 청각과는 달리 매우 시끄러운 환경에서도 아주 미세한 소리까지 포착할 수 있다는 것입니다. 예를 들어 산업장비에 설치

한 마이크를 통해 생산설비에서 발생하는 의심스러운 소음을 감지할 수 있습니다. 스마트 프로그래밍을 통해 특정 소음의 의미를 확인하고 고장이 발생하기 전에 유지보수 절차를 제안하도록 학습시킬 수도 있습니다. 이러한 종류의 음향 모니터링은 발전소나 공항 등의 주요 인프라를 포함하여 자동차와 비행기, 기타 여러 시스템에도 적합합니다. 낮게 떠 있는 구름 뒤로 수상한 드론이 돌아다니고 있나요? 카메라에 잡히지 않아도 지상에 설치된 광학 사운드 센서가 이를 즉시 포착할 수 있습니다.



Mark Oliver, SensiBel

미니어처 광학 혁명



VCSEL 기술 덕분에 하이테크 센서가 매우 작아졌습니다. 진취적인 스타트업이 실적을 내고 있습니다.

VCSEL은 수직 공진형 표면 발광 레이저(vertical-cavity surface-emitting laser)의 약자입니다. 뿔 부스러기만한 크기로 레이저 다이오드가 통합된 이 마이크로칩은 최소한의 전력만을 필요로 하며, 대량 생산 덕분에 단가가 몇 유로에 불과합니다. 또한, 탁월한 데이터 포착 및 데이터 평가 기능을 제공합니다. 예를 들어 스마트폰 디스플레이 뒤에 설치하면 얼굴인식기술에 사용되는 눈에 보이지 않는 무해한 레이저 빔을 생산합니다. 여러 개의 미니 레이저를 사용하는 VCSEL은 매우 세분화된 데이터를 포착하며 통합 마이크로칩을 통해 이를 전기 신호로 변환합니다.

다양한 응용분야 투나블(Tunable)과 센시벨(sensiBel) 같은 스타트업이 이 강력하지만 저렴한 기술을 위해 새로운 응용분야를 제안하고 있습니다. 이 회사들은 해당 센서를 고안 및 설계할 수 있는 비전과 노하우를 보유하고 있으며, 센서를 작동시키는 알고리즘을 프로그래밍하는 전문지식이 있습니다. 이를 통해 원시 데이터를 정확하고 의미 있는 측정값으로 변환합니다. 현재 VCSEL 기술의 가능성을 모색하고 있는 모든 회사를 연결하는 공통점은 새로운 센서 개념이 개발되고 알고리즘이 확정되면 이전에는 생각하지도 못했던 수많은 응용분야가 순식간에 등장한다는 것입니다. 그 예로는 고음질 녹음을 위한 광학 마이크가 산업장비를 위한 유지관리 센서로 새롭게 개발된 경우를 들 수 있습니다. 센시벨은 현재 마이크로 광학기술을 가속도 센서처럼 움직임을 감지하는 개념으로 발전시키고 있습니다. 투나블은 선박 퍼널용 가스 센서를 음식물 쓰레기와의 전쟁을 위한 무기로 변화시키고 있습니다. ■

연락처: 알렉산더 웨이글(Alexander Weigl), TRUMPF 포토닉 컴포넌츠 제품 관리 책임자, 전화: +49-731-550-1940, photonic.components@trumpf.com

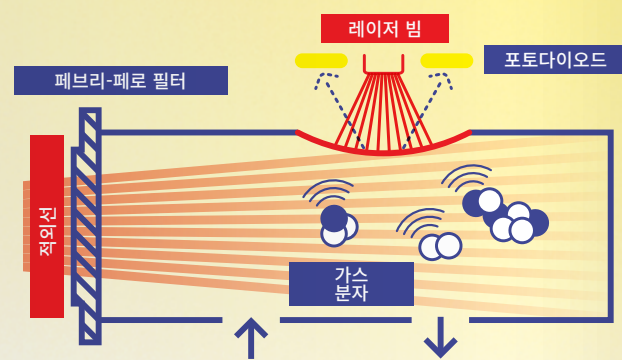
후각



크리스티안 호벳 (Kristian Hovet), 투나블(Tunable) CEO, 노르웨이 오슬로

01

SINTEF는 산업 응용분야를 중심으로 한 노르웨이의 연구기관입니다. 오슬로에 있는 이 나노마이크로기술센터는 광학센서 분야의 대표 주자로서 독창적인 제품 아이디어로 여러 개의 닷테크 스타트업을 탄생시키고 있습니다. 투나블의 CTO인 토르 바케(Thor Bakke)도 이 길을 걷고 있습니다. 그는 2015년부터 대기에서 특정 가스의 구성과 농도를 측정할 수 있는 광학센서 개발에 착수했습니다. 투나블의 CEO인 크리스티안 호벳은 이렇게 설명합니다. "우리 시스템의 핵심은 패브리-페로(Fabry-Pérot) 간섭계 역할을 하는 초소형 필터 MEMS입니다." 패브리-페로 필터는 빛이 통과할 때 파장을 조정하여 센서를 통해 공기에서 특정 가스 분자를 스캔합니다. "옛날 라디오처럼 FM 다이얼을 돌리면서 방송국을 찾는 것과도 같습니다." 이 시스템에 추가된 또 다른 기능은 광학 마이크입니다. 가스 분자를 스캔하면 음파가 발생하고 광학 마이크로 이 음파를 포착하면 측정 결과가 더 정확해집니다. "가스 센서를 훨씬 더 작게 만들 수 있으므로 완전히 새로운 범위의 응용분야와 관련된 가능성이 열립니다." 라고 호벳은 설명합니다. '완벽한 인공 후각'이라는 슬로건을 내세운 이 스타트업은 2022년에 신제품을 출시했습니다.



작동방식: 적외선을 조사한 공기층에 주변 공기를 채웁니다. MEMS에서 사용할 수 있도록 크기를 조정한 소형 패브리-페로 필터로 이 빛의 정확한 파장을 수정합니다. 특정 가스 분자가 특정 파장에서 적외선을 흡수합니다. 이로 인해 공기가 순간적으로 가열되면서 압력이 변하고 음파가 발생합니다. 음파를 광학 마이크의 멤브레인에서 포착하고, 이 진동을 판독 가능한 신호로 변환합니다. 이를 바탕으로 시스템에서 공기 샘플에 있는 가스와 해당 농도를 확인할 수 있습니다.

TRUMPF, private, Gernot Walter

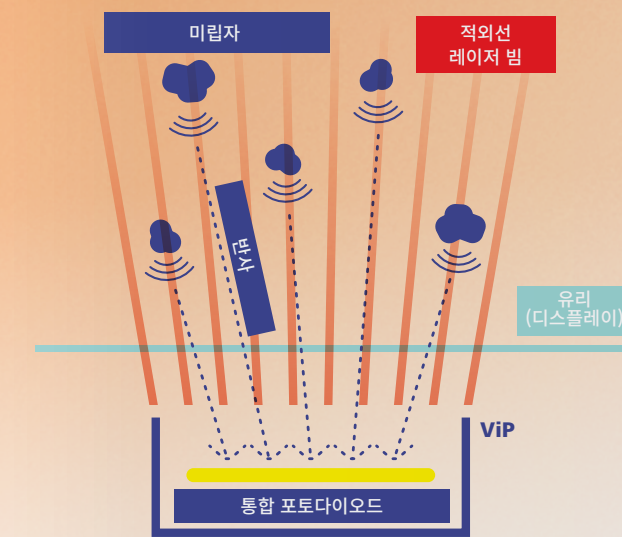
촉각



피터 오스테르타크 (Peter Ostertag) 보쉬 센서텍(Bosch Sensortec) 광학 담당 이사, 독일 로이틀링겐

02

미립자로 인한 건강 문제가 제기되기 시작한 지 벌써 약 10년이 지났습니다. 2014년 한 개발팀이 기발한 아이디어를 떠올렸습니다. "전략적으로 위치한 측정소에서 판독값을 통해 계산한 평균값은 실제로 우리가 호흡하는 주변 공기의 질보다 건강과의 관련성이 더 적을 수밖에 없습니다." 라고 그는 설명합니다. "그래서 스마트워치와 같은 웨어러블 기술에 통합할 수 있는 미립자 센서 개발에 착수했습니다." 이 센서개발을 위해 VCSEL을 제공하는 TRUMPF 포토닉 컴포넌츠와 협력했습니다. 엔지니어들은 곧바로 레이저 다이오드를 특정 방식으로 배열하면 통합된 모터릭 솔루션(motoric solution) 없이도 VCSEL이 주변 공기를 스캔할 수 있다는 사실을 밝혀냈습니다. "획기적인 발견이었습니다." 라고 오스테르타크는 말합니다. "우리의 미립자 센서는 경쟁사 제품보다 450배 더 작지만 감도는 동일합니다." 현재는 대량 생산 준비에 박차를 가하고 있으며 2024년 봄에 제품을 출시할 예정이며 이는 스마트워치뿐만 아니라 실내 공기를 모니터링하는 스마트홈 기기에도 적용할 수 있습니다.



작동방식: 포토다이오드가 통합된 VCSEL(VIP)은 전자기기의 디스플레이 화면 등과 같은 유리를 통해 적외선 레이저 빔을 비춥니다. 빔이 대기 중에 떠다니는 미립자에 닿으면, 포토다이오드가 반사광을 포착하고 자체 혼합 간섭계(self-mixing interferometry)라는 기술을 사용하여 이를 측정합니다. 그러면 알고리즘이 입자의 크기와 공기 중 농도를 계산합니다.

Private, SensiBel, Gernot Walter

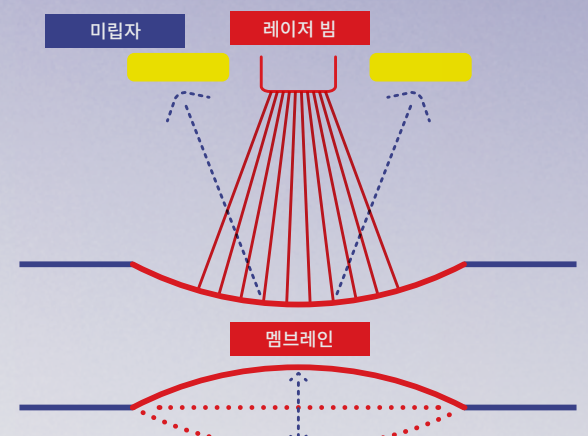
청각



스베르 데일 모엔 (Sverre Dale Moen), 센시벨(sensiBel) CEO, 노르웨이 오슬로 Sensortec) 광학 담당 이사, 독일 로이틀링겐

03

투나블(Tunable)과 마찬가지로 센시벨(sensiBel) 역시 노르웨이의 유명 연구기관 SINTEF에서 시작된 기업입니다. 2017년 이 스타트업은 마이크를 재설계하기 시작했고 얼마 후 현재 CEO를 맡고 있는 스베르 데일 모엔이 합류했습니다. "마이크 기술은 100년 넘게 본질적으로 동일하게 유지되어 왔습니다." 라고 그가 설명합니다. "하지만 우리의 광학 MEMS는 완전히 새로운 사운드 측정 방식을 도입했습니다." 과거에는 마이크의 크기가 작아지면 성능이 저하되었습니다. "이제는 그렇지 않습니다. 광학 기술을 사용하면 마이크의 크기가 음질에 전혀 영향을 미치지 않게 됩니다. 수 밀리미터의 광학 마이크로도 탁월한 다이내믹 레인지를 통해 자체 노이즈가 거의 없는 스튜디오 품질의 녹음이 가능합니다." 공항이나 제조시설처럼 소음이 심한 환경에서도 아주 미세한 소리와 뉘앙스까지 포착할 수 있습니다. "또한 크기가 작기 때문에 360도 사운드 감지를 위한 소형 마이크 어레이를 만드는 데도 사용할 수 있습니다." 센시벨의 새로운 광학 마이크는 이미 시장에서 판매 중입니다.



작동방식: 음파가 소형 실리콘 멤브레인에 부딪히면서 진동을 일으킵니다. 회절을 통해 멤브레인에 적외선 레이저 빔을 비춥니다. 포토다이오드가 반사광을 포착하고 멤브레인까지의 거리를 측정하는데, 이는 진동할 때마다 달라집니다. 이를 통해 마이크 자체에서 발생하는 노이즈 없이 아주 작은 진동까지 포착할 수 있습니다. 마이크로칩은 광학 신호를 디지털 오디오 출력으로 변환합니다.

“앞으로는
고품질
레이저도 대량
생산이 가능한
제품이 될
것입니다.”

콘스탄틴 헤프너
(Constantin Häfner)
교수는 레이저로 빵을
굽는 날이 오기를 기대하고
있습니다.

Dominik Asbach

“

프라운호퍼 레이저 기술 연구소
ILT(Fraunhofer Institute for
Laser Technology ILT)의
소장을 맡고 있는 콘스탄틴 헤프너
(Constantin Häfner) 교수를
소개합니다. 핵융합과 관련된
레이저 기술의 미래에 대해
이야기를 나눠보았습니다.

헤프너 교수님, 10년 또는 20년 후의 레이저 기술이라고 하면 어떤 모습이 떠오르십니까?
레이저 토스터요.

진심이신가요?
네, 저는 진지합니다.

어떤 의미인지 설명 부탁드립니다.
오늘날에는 어디에나 레이저가 존재합니다. 산업현장, 데이터 전송, 슈퍼마켓 계산대, 자동차 헤드라이트 등 거의 모든 곳에서 레이저가 사용되고 있습니다. 예를 들어 제조 분야에서는 레이저가 엠보싱 롤러에 패턴을 에칭하는 등 환경에 유해한 습식 화학 공정을 점점 더 많이 대체하고 있습니다. 이와 같은 지속가능한 공정에 특히 적합한 레이저 유형이 바로 극초단펄스(USP) 레이저입니다.

USP 레이저는 어떤 점이 특별한가요?
USP 레이저는 보다 더 많은 분야에서 사용이 가능합니다. 매우 정밀하지만 아직까지는 비교적 소수의 응용분야에서만 활용되고 있습니다. 왜 그럴까요? USP 레이저는 흥미로운 지점에 도달해 있습니다. 이론적으로 USP 레이저는 훨씬 더 높은 수준의 평균 출력(수 킬로와트 급)을 달성할 수 있어야 하고, 이를 안정적으로 수행할 수 있어야 합니다.

하지만 관련 개발 및 제조 비용이 여전히 너무 높고 현재의 시장 규모를 감안한다면 그만큼 가치가 없기 때문에 아직은 그 단계에 도달하지 못했습니다. 하지만 앞으로 규제 조치가 도입되고 나면 시장에서도 변화가 나타나게 될 것이고 자원을 절약할 수 있는 지속가능한 생산방식을 사용하게 될 겁니다. USP 레이저는 다양한 제조 공정을 보다 친환경적으로 만들 수 있어요.

강력한 USP 레이저를 적용할 만한 다른 분야가 또 있을까요?
2차 광원은 또 다른 유망한 분야입니다. 레이저 빔으로 X선과 입자 빔 같은 유용한 빔을 생성하는 경우입니다. 이 기술은 이미 마이크로칩 생산의 EUV 리소그래피에 사용되고 있습니다. 또한 2차 광원을 사용할 수 있는 다양한 아이디어가 있는데 우리가 진지하게 모색하고 있는 분야는 차세대 응용분야, 그러니까 EUV와 함께 시장을 더욱 넓힐 수 있는 분야입니다. 그 예로 암 진단 및 치료 등의 의학 분야를 들 수 있습니다. 어쩌면 전혀 예상하지 못한 것이 나타날 수도 있습니다. 확실한 건 아무것도 없으니까요.

그게 레이저 기술 분야 전체에 영향을 미칠 수도 있을까요?

꼭 그렇지만은 않습니다. 다른 뭔가가 레이저 기술을 변화시키고 완전히 바꿔 놓을 겁니다.

그게 무엇인가요?

수십억 달러 규모의 에너지 시장과 에너지 생산의 성배라고 할 수 있는 핵융합입니다. 2022년 가을, 캘리포니아의 로렌스 리버모어 국립연구소(Lawrence Livermore National Laboratory)에서 핵융합과 관련된 획기적인 성과를 거두었다는 소식이 전해졌습니다. 보다 정확하게 말하면, NIF(National Ignition Facility)에서 역사상 최초로 레이저를 이용한 플라즈마 점화에 성공한 것입니다. NIF는 핵융합을 촉발하여 이전에 레이저 빔에서 흡수했던 것보다 더 많은 에너지를 방출할 수 있었는데, 이는 기존의 약 3배에 달하는 양이었습니다. 저는 2006년부터 2019년까지 NIF에서 근무했는데 특히 저희 팀은 핵융합 발전소를 운영하는 데 필요한 차세대 레이저를 연구했습니다.

이 획기적인 발견이 핵융합에 어떤 의미가 있을까요?

핵융합 발전소가 현실적인 목표가 되었다는 것을 의미합니다. 이 실험은 플라즈마가 점화되고 흡수한 에너지보다 더 많은 에너지를 방출하면서 물리학이 작동한다는 사실을 보여줍니다. 이제 남은 과제는 발전소 건설에 필요한 실제 기술을 개발하는 일입니다. 따라서 관련 업계와 엔지니어가 이 비전을 추진하고 현실화해야 합니다. 이것이 제가 레이저 기술을 바라보는 맥

락이라고 할 수 있습니다. 핵융합으로 생성된 모멘텀을 놓치지 말아야 합니다. 레이저에 기반한 핵융합을 상업적으로 실용화하려면 레이저 기술에서 규모의 경제를 달성해야 합니다. 즉, 레이저 기술이 보다 더 효율적이고 강건하면서도 무엇보다 경제적으로 발전해야 한다는 겁니다.

얼마나 경제적이어야 할까요?

관련 규모를 대략 살펴본다면, 미래의 레이저 기반 핵융합 발전소를 상업적으로 실용화하기 위해서는 약 1기가와트의 전력 등급으로 60~80억 달러를 넘지 않는 비용이 필요합니다. 그 중 10~20억 달러가 빔라인에 배정될 겁니다. 현재 시장 가격으로 빔라인 생성에 사용하는 다이오드 레이저의 가격만 약 500억 달러인데 이러한 프로젝트에는 현재 전세계 펄스 다이오드 레이저 연간 생산량의 약 2배가 필요합니다. 이 모든 것이 지금보다 약 50배는 더 저렴해져야 합니다. 가능하기는 하지만, 반도체 업계에서 이미 알고 있듯이 규모의 경제를 달성하기 위해서는 생산량을 확대하는 것이 관건입니다.

대담한 계획처럼 들리는데 과연 어떻게 실현할 수 있을까요?

물론 대담한 발상입니다만, 핵융합은 세계적으로 중요한 프로젝트입니다. 깨끗하고 무한한 에너지원을 제공할 수 있으며, 이는 국가경제 및 민간 투자자에게도 이익이 될 것입니다. 현재 프라운호퍼 ILT는 관련업계와 협력하여 레이저 기술을 발전시키면서 비용을 낮추고 있습니다. 이를 통해 레이저 드라이버 등을 비용 효율적으로 생산할 수 있게 될 것입니다.

“레이저 생산 기술을 향상시켜서 지금까지 본 적 없는 규모의 경제를 달성해야 합니다.”

이를 위해서는 예를 들어 다이오드 레이저 조립을 보다 경제적으로 만들 수 있는 혁신이 필요합니다. 이는 레이저 바 분리, 포장, 렌즈 부착 등의 영역에서의 자동화를 의미하기도 합니다. 목표는 거의 100%에 가까운 생산율을 달성하는 것인데 이 목표를 달성하게 되면 고급 다이오드 레이저 시스템이 매우 저렴해질 겁니다. 여기에서의 청사진은 한때는 첨단기술이었지만 이제는 규모의 경제 덕분에 일상적인 제품이 된 LED 생산입니다. 전 세계가 핵융합을 진지하게 준비한다면, 제 생각에는 향후 10년에서 15년 내에 필요한 기술을 모두 갖추게 될 것 같습니다. 그렇게 되면 첫 번째 데몬스트레이터(demonstrator)를 건설할 수 있고, 이번 세기의 중반에는 전력망에 연결할 수 있을 겁니다. 규모의 경제에 따라 시장 출시도 이어질 거고요. 전 세계적으로 매년 5~10개의 핵융합 발전소를 전력망에 연결한다고 하면, 연간 약 700메가와트 출력의 레이저를 생산해야 합니다. 이는 레이저 및 포토닉스 시장을 뒤흔들 것입니다.

그건 레이저 가공산업 전체에서 어떤 의미를 갖게 될까요?

레이저 시대가 이제 시작되었다는 것을 의미합니다. 향후 몇 년간 우리는 빠르고 격렬한 혁신의 주기로 모든 유형의 개발과 발전을 목격하고, 이를 또 다른 유형의 레이저 응용분야에 사용하게 될 겁니다. 동시에 레이저 가격이 하락하면서 레이저 기술에 혁명이 일어날 거고요. 첨단 레이저가 대량 생산되면 스위스 군용 칼처럼 일상적인 제품이 되면서 현재는 상상할 수도 없고 비경제적인 모든 분야에서 점점 더 많은 레이저가 사용될 겁니다.

마치 레이저 토스터 같은 거군요! 맞습니다! ■



프로필: 콘스탄틴 헤프너(Constantin Häfner) 교수는 2019년부터 프라운호퍼 레이저 기술연구소 ILT를 이끌고 있습니다. 또한 라인 베스트팔렌 아헨 공과대학교에서 레이저 기술을 가르치고 있습니다. 프라운호퍼 ILT에 합류하기 전에는 캘리포니아의 로렌스 리버모어 국립연구소에서 첨단 광자 기술 프로그램 책임자로서 10년 이상 근무했습니다.



“핵융합은 레이저 기술을 완전히 달라지게 할 것입니다.”



핵융합

핵융합은 태양이 에너지를 만들어내는 원리와 같습니다. 이제 관련 연구팀이 그 과정을 지구에서 재현하려고 합니다. 연구팀은 높은 압력과 섭씨 1억도의 온도를 이용하여 수소 핵을 융합하고자 합니다. 이 때 반응을 촉발하는 데 필요한 것보다 더 많은 에너지가 방출됩니다. 여기에는 두 가지 접근방식이 있습니다.

1. 프랑스 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)에서 사용하는 강력한 자기장을 이용한 핵융합.
2. 레이저 구동 핵융합: 다수의 강력한 레이저를 미세 표적(중수소 캡슐)에 발사하여 핵융합을 촉발합니다. 2022년 말 캘리포니아의 로렌스 리버모어 국립연구소 연구팀(왼쪽)이 바로 이 실험에 최초로 성공했습니다.

곡물바구미 퇴치!

곤충은 가장 안전한 식품창고까지 침입합니다. 한 번 들어가면 농작물을 먹어 치우고 박테리아를 유입시키며 빠르게 번식합니다. 관련 연구진은 곡물바구미 및 기타 해충과의 전쟁에서 스마트 레이저 기반의 방제 시스템을 제안하고 있습니다.



Gernot Walter / Die Magaziner



곡물바구미

[Sitophilus granarius]는 인류가 농경을 시작한 이후로 끊임없이 농작물을 파괴하고 있습니다. 농업의 확산에 발맞춰 서식지를 넓혀 왔으며, 오늘날 전세계의 모든 기후대에 서식하고 있습니다.

밀가루줄명나방

[Plodia interpunctella]은 식량 창고를 번식지로 사용합니다. 애벌레는 말린 과일 및 시리얼, 커피 원두 등 모든 종류의 건조식품을 먹어 치우고 오염시킵니다.

날

고, 기어 다니고, 징그러운 곤충이 일년 내 내 농산물 창고와 식품가공장으로 들어 갈 길을 찾습니다. 일단 들어가고 나면 풍부한 영양분을 찾아다니며 빠르게 번식하기 때문에 즉각적인 조치가 필요합니다. 그렇지 않으면 저장 식품이 부패하고 수확 후 손실되는 작물의 비율이 높아질 수 있습니다. 유엔식량농업기구(FAO)에 따르면 현재 유럽 곡물 생산량의 약 4%, 연간 약 1,200만 톤이 이러한 이유에서 손실되고 있다고 합니다.



군나르 뵘트거 (GUNNAR BÖTTGER)는 베를린 소재의 프라운호퍼 신뢰성 및 마이크로통합연구소 IZM(Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration IZM)에서 베를린의 율리우스 쾨른 협회 (Julius Kühn Institute, JKI)가 주도하고 코트부스(Cottbus)의 브란덴부르크 공과대학교 (BTU)가 참여하는 곤충 레이저 공동 연구 프로젝트를 담당하고 있습니다.

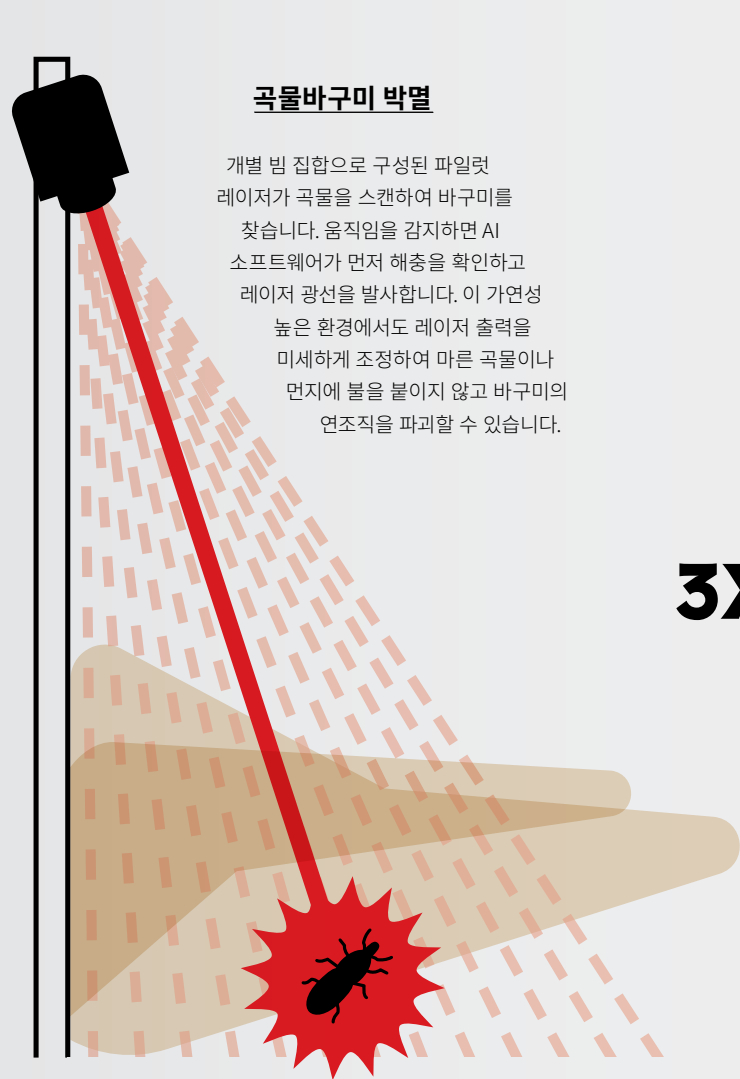
Gernot Walter / Privat

현재는 해충 박멸에 훈증 방식을 사용하고 있으나, 이는 해충 유입이 확인된 경우에만 가능한 방식입니다. 이와 같은 과정으로 해충을 없앨 수는 있지만, 제한적으로 사용할 수밖에 없습니다. 처리를 반복해야 하는 경우에는 곡물에 잔류물이 남을 수 있고, 소비자의 건강과 환경에 위험을 초래할 수 있기 때문입니다. 따라서 연구진은 화학물질을 사용하지 않고도 바구미와 다른 곤충을 퇴치할 수 있는 방법을 찾고 있습니다. 연구진은 공상과학에서 영감을 얻어 해충이 침입하는 순간 레이저를 쏘는 친환경적 해충 박멸 시스템을 고안했습니다. 이 프로젝트에는 수년에 걸쳐 프로토타입 곤충 레이저를 개발한 독일 연구기관 3곳의 전문지식이 응축되어 있습니다. 연구진은 가장 악명 높은 두 종류의 해충, 즉 곡물창고를 초토화시키는 곡물바구미와 식품가공공장을 노리는 밀가루줄명나방을 목표로 정하고 연구에 박차를 가하고 있습니다.

500밀리초만에 박멸 곡물바구미는 곡물 내부가 아닌 곡물 표면에서 움직인다는 점에 착안해 레이저 시스템에서 인공지능 (AI)으로 위치를 파악하고 식별하여 조준 후 발사합니다. 곡물 위든 곡물창고 벽이든 카메라의 시야에 바구미가 포착되면 BTU 코트부스(BTU Cottbus)가 개발한 AI 소프트웨어가 이미지를 데이터베이스와 비교합니다. 그리고 목표물을 확인되면 레이저 시스템을 작동시킵니다. 먼저 스캐너가 미세한 적색 파일릿 빔을 관련 좌표로 맞추고 목표물을 조준하면 0.5 초 후 해충에게 레이저를 발사함으로써 감지 후 500밀리초만에 박멸합니다.

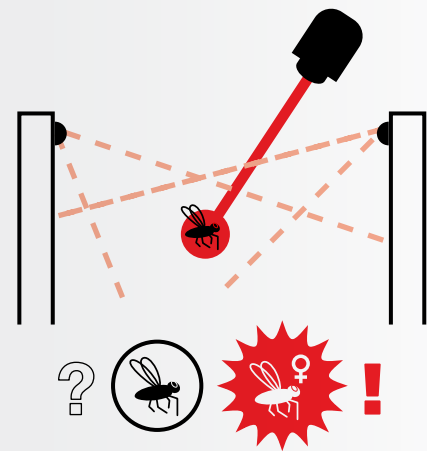
이제 이 시스템에서는 90% 이상의 정확도로 곡물바구미와 밀가루줄명나방을 감지할 수 있습니다. 하지만 이미지 처리 기술이 대형 창고에서 목표물을 안정적으로 식별할 수 있게 되기까지는 많은 노력이 필요했습니다. 수백만 개의 밀알 중에서 길이가 몇 밀리미터에 불과한 바구미를 감지하는 것은 모래사장에서 바늘 찾기라도 같기 때문에 AI 소프트웨어는 곤충의 사진과 짧은 영상 클립을 조합한 딥 러닝 과정을 거쳤습니다.

레이저 작동 프라운호퍼 IZM의 연구진 역시 레이저 시스템이 해충을 박멸하면서 식품이나 포장재, 창고에는 그 어떠한 피해도 주지 않아야 한다는 어려운 과제를 해결해야 했습니다. 또한 화재가 발생할 위험이 있기 때문에 레이저가 실수로 마른 곡물이나 포장재에 불을 붙이거나 분진 폭발을 일으키지 않도록 해야 합니다.



곡물바구미 박멸

개별 빔 집합으로 구성된 파일릿 레이저가 곡물을 스캔하여 바구미를 찾습니다. 움직임을 감지하면 AI 소프트웨어가 먼저 해충을 확인하고 레이저 광선을 발사합니다. 이 가연성 높은 환경에서도 레이저 출력을 미세하게 조정하여 마른 곡물이나 먼지에 불을 붙이지 않고 바구미의 연조직을 파괴할 수 있습니다.



포토닉 펜스

기둥에 장착한 레이저가 틈새를 스캔합니다. AI 소프트웨어를 탑재한 카메라가 곤충의 모양과 날갯짓을 기반으로 곤충을 감지 및 식별합니다. 식별된 곤충은 모두 공중에서 격추됩니다. 이 시스템은 모기 퇴치를 위하여 개발되었으며, 현재는 농업용으로 활용되고 있습니다.

3X 레이저 대 해충

화학물질을 사용하지 않는 잡초 관리

카메라 레이저 시스템이 농작물을 스캔합니다. 컴퓨터가 잡초를 식별하고 이상적인 목표 지점을 결정하면 레이저 스캐너가 적외선 펄스를 발사하여 잡초의 성장을 억제합니다.



유용한 매개변수 설정에 도움이 될 만한 연구 결과가 없었기 때문에, 연구진은 자체 테스트를 통해 작업에 적합한 최적의 파장과 레이저 빔 강도를 파악해야 했습니다.

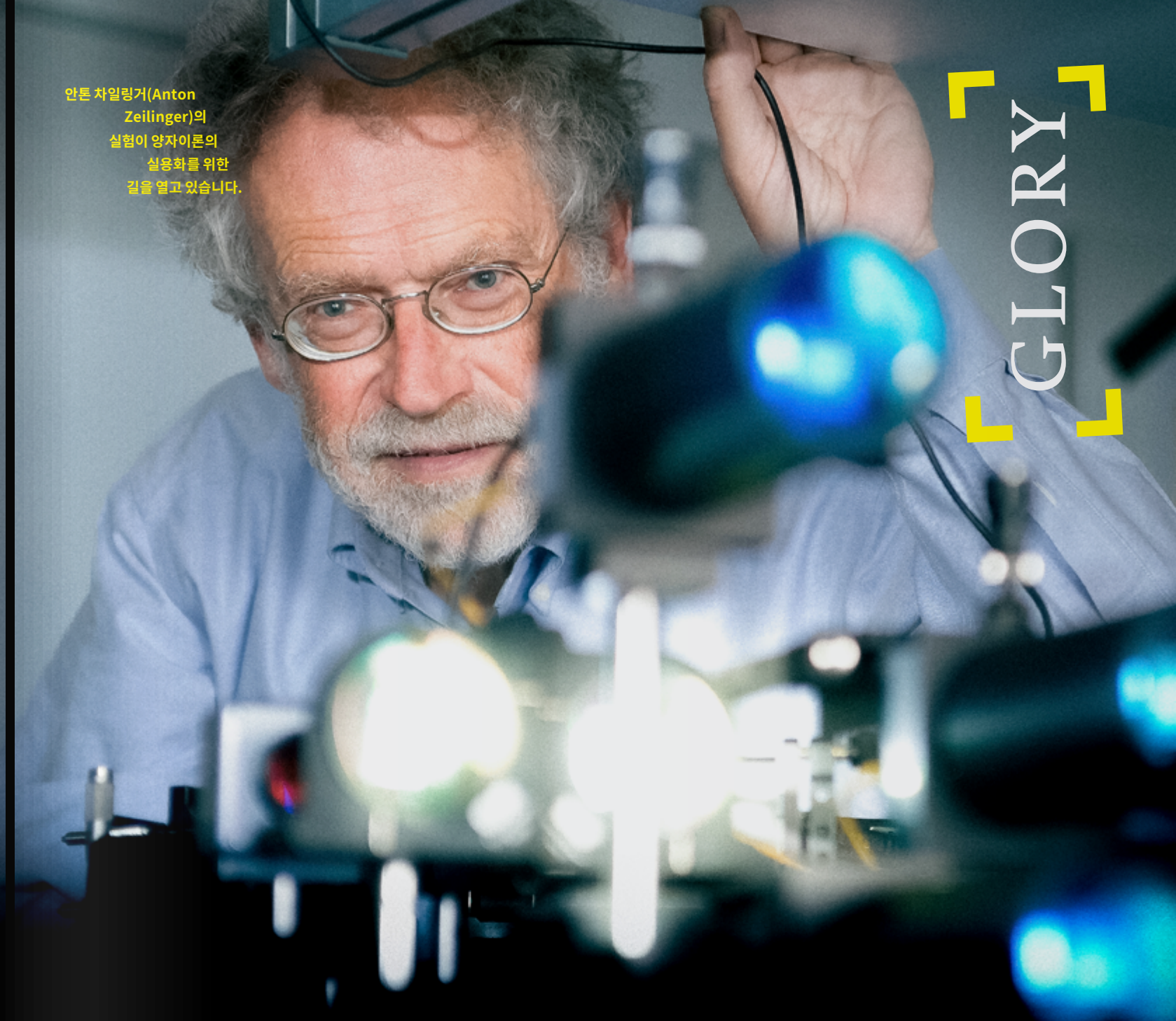
이에 따라 선택한 것이 바로 808나노미터에서 최대 10와트까지 작동하는 상용 파이버 결합 다이오드 레이저였습니다. 이 파장의 반도체 레이저는 크기가 담배 한 갑보다 작고 통합하기 쉬운 뿐만 아니라 생산 비용도 매우 저렴합니다. 테스트를 진행한 결과, 밀가루줄명나방의 알개를 태우고 곡물바구미의 외피를 그슬리기에 충분한 최적의 출력값은 8.44와트였습니다. 프라운호퍼 IZM 연구진은 1,470나노미터의 파장에서 작동하는 파이버 결합 다이오드 레이저로 구성된 자체 제작 모듈도 시험했습니다. 이는 의료장비 제조업체에서 사용하는 파장이기도 합니다. 해당 모듈은 혈장으로 구성된 체세포와 같은 수성물질이나 곤충 내부의 연조직에 에너지를 효율적으로 가하는 동시에 레이저가 껍데기를 손상시키지 않고도 2와트의 에너지로 열을 주입합니다.

두 레이저 모듈 모두 곡물창고에서 화재를 초래할 수 있는 온도를 생성하지 않습니다. 유리 광학은 하나의 조정된 파장에만 초점을 맞출 수 있기 때문에, 금속 포물면 거울을 사용하여 빔을 유도하고 형태를 조정했습니다.

결론 레이저 기술 및 자동 이미지 인식, 인공지능의 결합을 통해 이제 농업 분야에서도 친환경적인 방식으로 저장 곡물 및 식품을 보호할 수 있게 되었습니다. 이에 따라 새롭게 떠오르는 애그로포토닉스(agrophotonics), 즉 레이저 지원 농업 분야에서 추가적인 응용분야의 개발 및 상용화의 길이 열리고 있습니다. 그 전까지는 해충이 레이저의 빨간 점을 두려워하지 않아도 될 겁니다. ■



Gernot Walter



안톤 차일링거(Anton Zeilinger)의 실험이 양자이론의 실용화를 위한 길을 열고 있습니다.

「GLORY」

이론에서 실용까지

안톤 차일링거(Anton Zeilinger)는 양자물리학의 구체적인 응용분야를 개발하는 엔지니어를 지원하고 있습니다.

안톤 차일링거는 평범한 물리학자가 아닙니다. 그의 관심분야는 전공 분야를 훌쩍 뛰어넘습니다. 예를 들어 그는 YouTube에서 근본적이고 철학적인 질문에 관한 수많은 토론과 논의에 참여하고 있습니다. 우연이란 무엇일까요? 자연계의 모든 일에는 원인이 있을까요? 그렇지 않다면, 그건 과연 무엇을 의미하는 걸까요? 모든 것이 논리적이 아니라면, 과학의 논리적인 결론에 의미가 있을까요? 오스트리아 출신의 이 물리학자에게는 이러한 질문들이 단순한 오락거리가 아닙니다. 오히려 명성의 바탕이 된 정교한 실험에서 유기적으로 파생된 질문들이라고 할 수 있습니다.

올해 78세가 된 그는 일상적인 생활과 양자물리학을 연결하는 데에 평생을 바쳤습니다. 그는 레이저를 사용하여 양자 입자를 얽히게 하는 독창적인 방법을 개발했습니다. 이렇게 얽힌 양자는 각각의 상태에 관한 정보를 즉각적으로

교환합니다. 이 양자들은 서로 멀리 떨어져 있어도 하나의 입자처럼 움직일 수 있습니다. 차일링거는 양자 얽힘의 일상적인 용도를 찾기 위하여 몇 가지 획기적인 실험을 진행했습니다. 예를 들어 그의 연구팀은 광섬유 케이블을 통해 양자 암호화된 전신 송금을 최초로 시도했습니다. 또한 테네리페(Tenerife)섬과 라 팔마(La Palma)섬 사이에서 양자 기반 정보의 텔레포테이션에도 성공했습니다. 이러한 차일링거의 연구 덕분에 이제 현실 속 엔지니어링 분야에서도 양자역학이 적용되고 있습니다.

전 세계 개발팀이 그의 연구를 활용하여 고정밀 산업용 양자 센서 및 세계 최초의 양자컴퓨터 등을 개발하고 있습니다. 안톤 차일링거는 양자 연구자인 알랭 아스페(Alain Aspect), 존 F. 클라우저(John F. Clauser)와 함께 2022년 노벨 물리학상을 수상했습니다. ■

Jacqueline Godany



레이저 컨피덴셜

JT 오토메이션(JT Automation)은 업계에서 가장 까다로운 작업을 수행하며, 일급기밀의 계약을 통해 다양한 맞춤형 시스템을 기획 및 설계하고 있습니다. 미국의 독창성과 독일의 레이저 기술을 결합하여 빠르게 성장 중인 기업이라고 할 수 있습니다.

“죄송하지만 비밀입니다!” 라고 JT 오토메이션의 스코트 보이nton(Scott Boynton)이 환하게 웃으면서 말합니다. "말씀드릴 수 있는 건 우리 장비로 만든 제품을 매일 수백만 명이 사용하고 있다는 사실에 자부심을 느낀다는 겁니다. 여러분도 그 중의 한 명일 수 있습니다!" 그는 화장품 업계의 한 회사를 언급하면서 지금까지 JT 오토메이션이 참여한 프로젝트 중에서 가장 비밀스러운 프로젝트일 것이라고 말했습니다. "해당 회사는 경쟁업체가 이 새로운 기술에 접근하는 것을 너무 걱정한 나머지 대부분의 장비를 아시아에서 개발 및 제작했음에도 불구하고 가장 중요한 공정은 우리에게 맡겼습니다." 라고 자동화 전문업체 JT 오토메이션의 공동창립자 보이nton은 설명합니다. "우리의 프로젝트 대부분이 높은 보안 유지를 요구합니다." 라고 JT 오토메이션의 사장 라이언 롬바르디니(Ryan Lombardini) 역시 설명합니다. "우리에게 큰 돌파구가 되었던 항공업계와의 첫 계약에 대해서도 말씀드릴 수가 없습니다."라고 보이nton이 덧붙입니다. "말씀드릴 수 있는 건 항공사를 위하여 3가지 설계로 약 30개의 시스템을 개발했고, 현재 생산 중이라는 정도입니다. 이 프로젝트를 위해 약 10명의 직원을 새로 채용했는데, 이는 약 2천만 달러의 가치가 있었습니다.우리에게 큰

도움이 되었습니다." 이를 통해 JT 오토메이션은 더 큰 규모의 새 부지를 마련할 수 있는 자금을 확보했습니다. 앞으로 몇 달 내에 코네티컷주 이스트 그랜비(East Granby)에서 윈저(Windsor)로 이전하여 개발 및 생산 공간을 6배 이상 확장할 예정입니다. "이를 통해 회사 구조를 조정하고 보다 더 효율적으로 정비하고자 합니다."

세 명의 인재 - 하나의 철학 보이nton은 회사의 공동 설립자입니다. 대학 졸업 후 조인팅 테크놀로지(Joining Technologies, JT)에서 차근차근 경력을 쌓았고, 2016년 JT 경영진과 함께 JT 오토메이션을 설립했습니다. JT 오토메이션은 고객의 특정 요구사항에 맞춘 레이저 가공장비, 특히 자동화 시스템에 대한 수요 증가에 대응하기 위하여 설립되었습니다. 처음에 사장을 맡았던 보이nton은 제품 개발이라는 창의적인 분야에 보다 흥미를 느꼈고 2016년 인턴으로 입사했던 롬바르디니에게 사장 자리를 넘겼다고 합니다. "당시만 해도 소수의 인원으로 이루어진 작은 스타트업이었습니다."라고 그가 설명합니다. "이제는 30명이 넘는 직원들과 함께 일하고 있고, 여전히 새로운 인재를 찾고 있습니다."

레이저 기반 자동화에 대한 수요가 그 어느 때보다 높습니다. JT 오토메이션(JT Automation)의 프로젝트는 철저한 보안을 필요로 하는 경우가 대부분입니다.

퍼즐의 또 다른 조각은 영업 및 마케팅 부사장인 제이 드류(Jay Drew)입니다. 그의 역할은 고객의 의견을 듣고 고객의 니즈를 파악하는 것입니다. "처음부터 많은 시스템을 개발해 왔기 때문에 우리는 고객의 니즈에 맞춰 자유롭게 조정할 수 있습니다." 라고 드류가 설명합니다.

로봇 및 자동화 시스템에 대한 수요는 그 어느 때보다도 높습니다. 우선 많은 제품이 점점 더 복잡해지고 있기 때문에 제조 공정에서도 절대적인 정밀도가 요구됩니다. 또한 숙련된 노동력이 부족하기 때문에 인건비가 높을 수밖에 없습니다. 로봇과 자동화는 이러한 격차를 해소하고 기존 인력의 부담을 줄일 수 있습니다. "고객의 주문은 정말로 다양합니다." 라고 드류가 말합니다. "고객은 새로운 것을 원하는 경우가 많은데, 그렇게 되면 새롭게 계획 단계부터 시작해서 개발을 진행해야 합니다. 하지만 TRUMPF의 특정 워크스테이션이나 추가 기능이 있는 특정 레이저를 원하는 경우도 있습니다." 보이nton은 자신이 가장 좋아하는 두 가지 장비를 예로 들었습니다. "TRUMPF 시스템을 커스터마이징하거나 새로운 기능을 추가해야 하는 경우에는 TruLaser Cell 7040 또는 TruLaser Station 7000이 좋습니다. 이 두 가지를 사용하면 100% 커스터마이징 시스템을 제공하는 것보다 훨씬 적은 비용과 리드 타임으로 훌륭한 솔루션을 생산할 수 있습니다."

독창성을 장려하는 문화 JT 오토메이션은 빠르게 성장하고 있습니다. 롬바르디니는 다음과 같이 설명합니다. "직원들의 역량이 매우 뛰어납니다. 많은 엔지니어와 기술자가 새로운 업무에서 관리직과 리더 역할을 하고 있고 새로운 영역을 탐색하고 있습니다. 우리가 안정적으로 성장할 수 있었던 건 재

정적인 이유에서만은 아닙니다." 드류가 JT 오토메이션의 기업 문화에 대해서도 설명합니다. "우리는 해당 업무를 잘 하는 사람을 채용하기 때문에 직원들에게 업무 방식을 알려줄 필요가 없습니다."

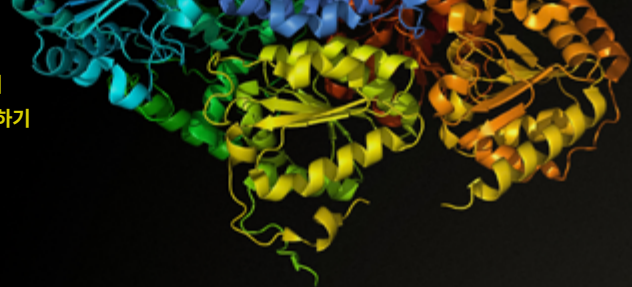
의료장비 산업을 위한 프로젝트는 이 회사가 제공할 수 있는 독창성의 전형을 보여줍니다. 의료과학의 발전을 통해 최소 침습 기술에 사용되는 기구는 점점 작아지고 있고 이에 따라 제조 공정 역시 한계에 직면하고 있습니다. 예를 들어 한 글로벌 의료장비 제조업체는 섬세한 수작업 조립품의 생산 비용을 절감하기 위해 기존 공급업체에 도움을 요청했습니다. 문제는 0.5밀리미터 미만의 작업을 자동으로 로딩하고 용접할 수 있는 시스템을 고안하는 것이었습니다. 그러던 중 JT 오토메이션에 대해 알게 되었습니다. "기존의 수작업 공정에서는 수십 개 정도의 조립품을 생산하고 있었는데, 시간당 수백 개의 조립품을 생산할 수 있는 시스템을 갖추기 위해서는 레이저 제거 및 절단, 용접 단계를 정밀 자동화 및 검사와 결합할 필요가 있었습니다." 라고 보이nton

이 회상합니다. "어려운 도전이었지만, 우리는 그 누구도 생각하지 못했던 방법을 찾아냈습니다." 약 2년간의 연구 개발을 거쳐 JT 오토메이션은 시스템을 납품할 수 있었습니다. 이후 해당 회사는 용량 확장을 위해 동일한 시스템을 추가로 주문하기도 했습니다. "최고의 정밀도뿐만 아니라 아주 작은 규모에서의 기계적 복잡성을 요구하는 이 시스템은 작동하는 걸 보는 것만으로 아주 즐겁습니다." 라고 그는 덧붙입니다. "하지만 무엇보다 중요한 점은 대량생산을 통해 수많은 사람들의 삶을 변화시키는 과정을 만들어낼 수 있고, 우리 시스템이 바로 그 지점을 지원하고 있다는 것입니다." ■

스코트 보이nton(Scott Boynton, 왼쪽)과 제레미 드류(Jeremy Drew, 가운데), 라이언 롬바르디니(Ryan Lombardini, 오른쪽)의 성공 비결은 바로 직원들을 믿고 그들에게 맡긴다는 것입니다.



성공 임박: 단백질접힘의
복합 과정 관찰하기



European XFEL / Heiner Müller-Eisner



사 빈 브록(Sabine Brock) 씨, 레이저 구동 플라즈마 가속기가 정확하게 무엇인가요?

기본적으로는 매우 컴팩트한 형태의 입자 가속기입니다. 미래에는 플라즈마 기반 입자 가속기를 사용하여 매우 밝은 X선뿐만 아니라 전자 및 양성자, 중성자 빔을 생성할 수 있을 겁니다. 현재는 수 킬로미터 길이의 진공 파이프가 있는 가속기가 필요합니다. DESY의 유럽형 XFEL을 위한 가속기 터널은 3킬로미터가 넘습니다. 이 신기술은 레이저로 구동되는 플라즈마 내부의 입자를 단 몇 센티미터 거리에서 가속합니다. 앞으로는 의료 및 산업 응용분야에서 유용한 실험실 규모의 시스템 개발도 가능해질 겁니다. 기술력이 있으니까요. 이제 최대한 빨리 시장에 출시하는 일만 남은 셈입니다.

이 소형 빔 발생기가 있다면 DESY의 기존 입자 가속기가 필요하지 않게 될까요?

아니요, 그렇지 않습니다. 레이저 구동 플라즈마 기반 시스템은 특정 작업에 최적화된 전문 응용분야에 이상적입니다. 반면 우리의 대규모 연구시설은 연구 개발의 모든 과정을 위한 스위스 군용 칼과 같다고 할 수 있습니다.

이러한 소형 가속기는 어떤 응용분야와 관련이 있을까요?

예를 들어 재료 테스트나 배터리 개발, 반도체 산업의 품질 관리 등 다양한 분야에서 활용할 수 있는데 현재 우리의 혁신 플랫폼은 신약 활성성분 개발에 초점을 맞추고 있습니다. 우리가 시급하게 박차를 가해야 하는 분야라고 할 수 있습니다.

HI-ACTS 가속기 기반 기술 및 솔루션을 위한 헬름홀츠 혁신 플랫폼(Helmholtz Innovation Platform for Accelerator-Based Technologies & Solutions, HI-ACTS)은 과학과 산업을 통합하고 있습니다. 이 플랫폼의 목적은 상업적 사용을 위한 레이저 구동 입자 가속기를 개발하는 것이며 DESY가 이 플랫폼을 관리하고 있습니다.
www.hi-acts.de

혁신적 파트너 HI-ACTS 플랫폼은 대학병원 및 헬름홀츠 협회 연구센터, 프라운호퍼 연구소와 TRUMPF 및 바이어스도르프(Beiersdorf), 지멘스 헬시니어스(Siemens Healthineers), 올림푸스(Olympus) 등의 기업을 연결하고 있습니다.

왜 시급한 과제인가요?

선진국의 인구통계 추세를 보면 선택의 여지가 거의 없다고 할 수 있습니다. 인구의 고령화는 심혈관 질환과 암 발생의 증가를 의미하니까요. 게다가 코로나19 팬데믹은 의약품의 새로운 활성성분을 최대한 빨리 개발해야 하는 것의 중요성을 깨닫게 해주었습니다. 현재 신약은 최초 발견부터 시장 출시까지 평균 12년이 걸립니다. 아주 오랜 시간이 필요합니다. 게다가 1만 개의 잠재적 활성성분 중 고작 1개 정도만이 실제 의약품 단계까지 이어진다고 합니다.

그럼 레이저 가속기가 어떤 도움을 줄 수 있을까요?

레이저 가속기를 사용하면 단백질 사슬이 반응하고 접히는 모습을 관찰하고, AI로 이 과정을 분석할 수 있습니다. 단백질접힘은 의약품의 작용 방식에 중요한 역할을 하는 매우 복잡한 과정입니다. 현재는 특정 사례에 대하여 예측하거나 재구성할 방법이 없습니다. 하지만 레이저 가속기를 사용하면 매우 작고 강력한 X선원을 구축할 수 있고, 이를 통해 의약품이 인체를 통과하는 경로를 분자 수준까지 정밀하게 추적할 수 있습니다. 이 과정을 영상으로 촬영하는 것과 유사하다고 할 수 있

을 겁니다. 우리의 목표는 의약품 승인에 필요한 연구를 간소화 및 가속화하는 것이라고 할 수 있습니다.

과학과 산업, 연구와 공학을 하나로 합치기 위해 새로운 HI-ACTS 혁신 플랫폼을 구축하셨는데요.

그 목표가 레이저 가속기 기술을 개발하고 실현시키는 것이라고 들었습니다. 그게 왜 중요한 걸까요?

강력하면서 상업적으로도 가능한 레이저 플라즈마 가속기를 개발해야 합니다. 그리고 최대한 빨리 실현할 수 있어야 해요. 구체적으로 말하자면 시작 단계부터 건전한 산업 표준을 수립하는 것을 의미합니다. 작동에 필요한 인터페이스를 나중에 고민할 것이 아니라 처음부터 고민하고 인증 프로세스를 병행해야 합니다. 미래의 모든 사용자가 물리학 전공자일 수는 없다는 사실도 기억해야 하고요. 다시 말하자면 모든 시스템을 쉽게 조작할 수 있도록 설계해야 한다는 뜻입니다. 이 지점에서 산업계가 과학계를 실질적으로 지원할 수 있을 겁니다. ■

레이저 기반 가속기가 신약 개발을 지원하게 될 것입니다!

DESY(Deutsches Elektronen-Synchrotron)의 사빈 브록(Sabine Brock)이 레이저 기반 입자 가속기 개발을 주도하고 있습니다. 주요 목표는 새로운 활성성분을 신속하게 발견하는 것입니다.



DESY 함부르크 소재의 DESY(Deutsches Elektronen-Synchrotron)는 입자 가속기 개발 및 시공, 운영을 위한 세계 최고의 개발센터 중 한 곳입니다. 이곳에서는 기초과학 연구뿐만 아니라 TRUMPF의 최신 구리 용접 연구 등 응용연구를 위한 시설을 제공합니다.

「AHEAD」





체코 공화국

경제 상황



체코는 19세기부터 산업의 중심지였습니다. 1989년 시장경제로의 전환이 신속하게 이루어진 나라이기도 합니다.



주요 산업은 자동차 제조(예: 필젠(Pilsen) 소재의 스코다(Škoda)), 전자 및 기계공학입니다.



수출 무역은 EU에 집중되어 있습니다.

레이저의 나라
체코공화국에
오신 것을
환영합니다!



1,050만 명
인구



레이저의 나라

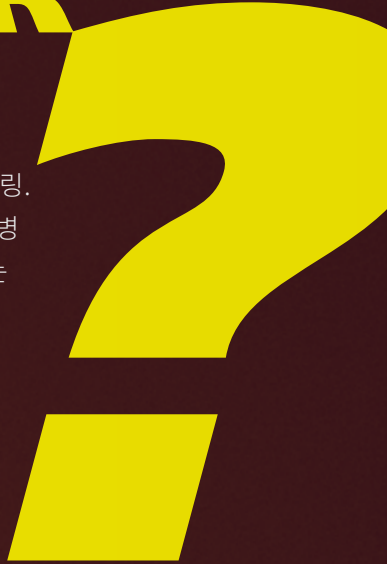
체코는 약 300년 전부터 유리 제조와 보석 세공의 중심지였습니다. 두 산업 모두 광학 산업에 뿌리를 두고 있습니다.

현재 체코의 포토닉스 산업에 약 3만 명이 종사하고 있으며, 5개의 주요 기업과 약 25개의 중소기업 및 스타트업이 있습니다. 주요 제품 및 서비스는 하이엔드 광학 및 복합렌즈, 크리스탈 생산 등입니다.

체코의 연구 환경이 뛰어난 이유는 최고 수준의 대학 및 연구소, 투르노프(Turnov)의 토탉(TOPTEC)과 프라하 부근 돌니베자니(Dolní Břežany)의 하이레이스(HiLASE) 센터 등이 있고, 세계 최강의 레이저를 보유한 ELI 빔라인(ELI Beamlines) 센터가 근처에 위치해 있기 때문입니다.



WHERE'S THE LASER



걱정 없는 간식 시간 — 혈당 수치의 정밀 모니터링. "오늘은 어느 손가락을 찌러야 할까?" 많은 당뇨병 환자가 매일 고민하는 문제입니다. 하지만 이제는 덴마크 회사인 RSP 시스템(RSP Systems) 덕분에 피를 흘리지 않고도 혈당 수치를 측정할 수 있습니다. VCSEL로 알려진 소형 레이저 다이오드가 피부에 광선을 투사합니다. 그럼 체세포를 둘러싸고 있는 조직간질액의 포도당 분자가 이 광선을 특정 파장으로 반사하는데 이 반사 결과를 분석하는 특허 방식을 통해 불과 몇 초 만에 혈당수치를 밀리몰 단위로 계산할 수 있습니다. 현재는 유선전화 정도의 크기지만, 향후 출시될 모델은 손목시계만큼 작아져서 당뇨병 환자가 보다 더 자유롭게 생활할 수 있게 될 것입니다. 점점 더 많은 당뇨병 환자가 주사 바늘에 작별을 고하고 있습니다. ■



ELI Beamlines, pty / AdobeStock, Gernot Walter

unsplash | luke wang

3 YEARS OF SENSORS
10 YEARS OF ULTRASONIC SENSORS
15 YEARS OF LITHOGRAPHY
24 YEARS OF LASER CUTTING
38 YEARS OF LASER MACHINES
44 YEARS OF LASER MACHINES
100 YEARS OF TRUMPF
CABLES

TRUMPF



지금 LASER COMMUNITY를 구독하여 최신 이슈를 받아보세요.