

진공 기술 과제: 스팔레이션 소스 를 위한 내방사선 펌프

차세대 중성자 소스는 생체 분자에서 초전도체에 이르기까지 다양한 물질의 구조와 특성을 탐구할 수 있게 해주고 있습니다. 미국, 일본, 중국에 건설된 가장 최근의 스팔레이션 소스는 현재 세계에서 가장 강력한 중성자 소스입니다. 그러나 스웨덴 룬드에 건설 중인 유럽 스팔레이션 소스(ESS)가 2027년에 가동되면 더 높은 기준을 세우게 될 것입니다.

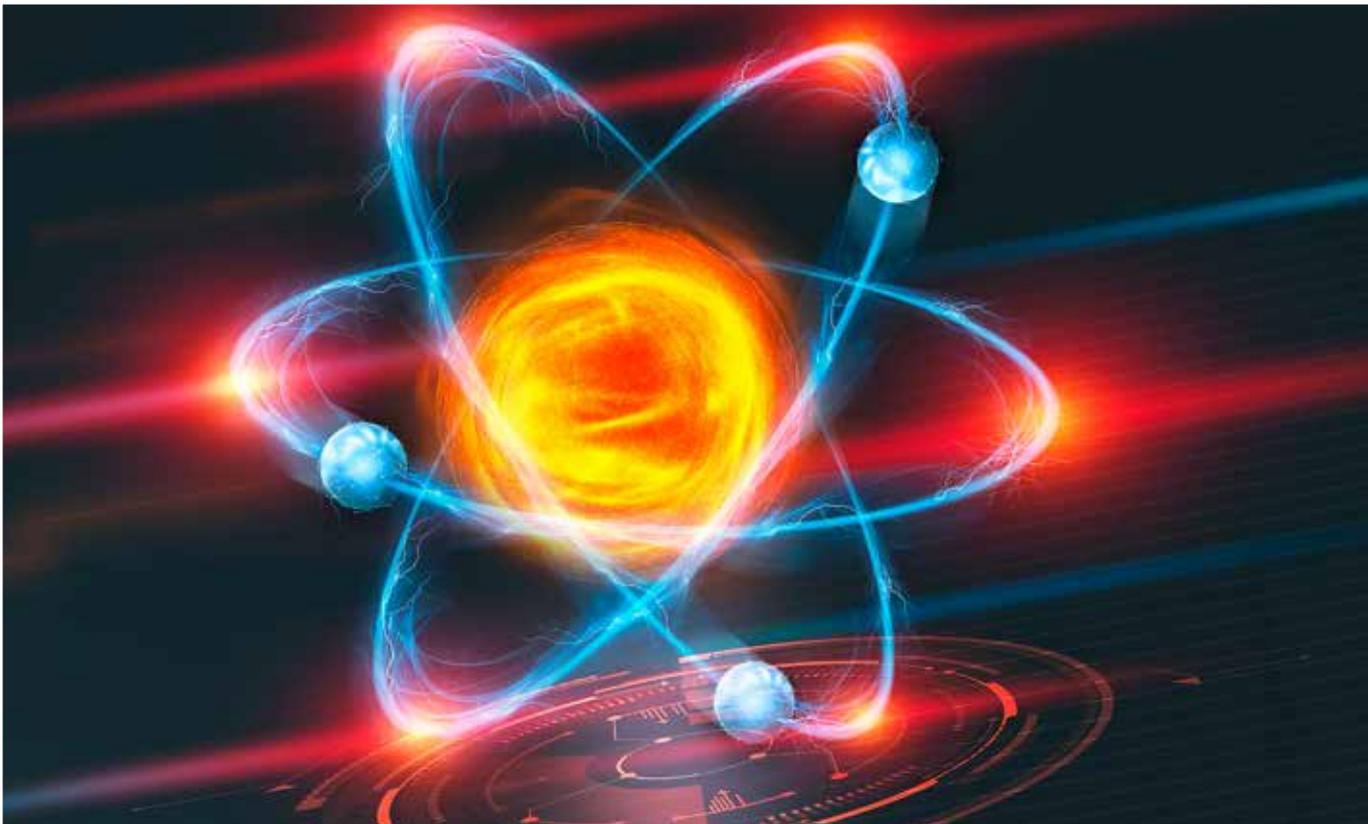




그림 1: 스웨덴 룬드에 있는 유럽 스팔레이션 소스(ESS)의 조감도. (이미지: 페리 노르딩/ESS)

이러한 강력한 새 기기는 이를 지원하는 데 필요한 엔지니어링 시스템에도 도전 과제를 안겨줍니다. 중성자 펄스에 충격을 받아 텅스텐 핵에서 중성자가 방출되면 진공 시스템과 같은 중요한 인프라에 문제가 되는 방사선이 발생하기 때문에 설명이 필요한 경우 스팔레이션 프로세스를 추가합니다. 후자는 가속기 및 실험 시설에서 초고진공을 유지하는 데 사용됩니다. 파이퍼 베콤은 사용자와 긴밀히 협력하여 새로운 스팔레이션 소스를 위한 맞춤형 진공 솔루션을 개발합니다. 그러나 진공 펌프, 측정 장비 및 제조에 사용되는 재료를 제어하는 데 사용되는 전자 시스템 모두에서 문제가 발생할 수 있습니다.

파이퍼 베콤은 사용자와 긴밀히 협력하여 새로운 스팔레이션 소스를 위한 맞춤형 진공 솔루션을 개발합니다.

중성자를 이용한 재료 이해

중성자는 시료 깊숙이 침투할 수 있기 때문에 재료 특성을 연구하는 데 널리 사용됩니다. 중성자는 원자 수준의 정보를 가져와서 재료 내의 정확한 구조를 파악할 수 있는 데이터를 생성합니다. 또한 중성자는 시료의 입자에 운동량과 에너지를 전달하기에 적절한 파장을 가지고 있습니다. 이는 고체의 격자 진동에 대한 귀중한 정보를 제공합니다. 또한 중성자는 핵 스핀의 특성으로 인해 물질 내 자기 모멘트의 위치와 방향에 매우 민감합니다.

중성자 소스는 수년 전부터 사용되어 왔지만, 차세대 스팔레이션 소스는, 원자료를 사용하여 생성된 이전 빔보다 훨씬 더 강한 중성자 빔을 생성할 수 있습니다. 이를 통해 실험을 가속화하여 과학자들이 물질과 물질의 상호작용을 그 어느 때보다 더 자세히 연구할 수 있게 되었습니다.

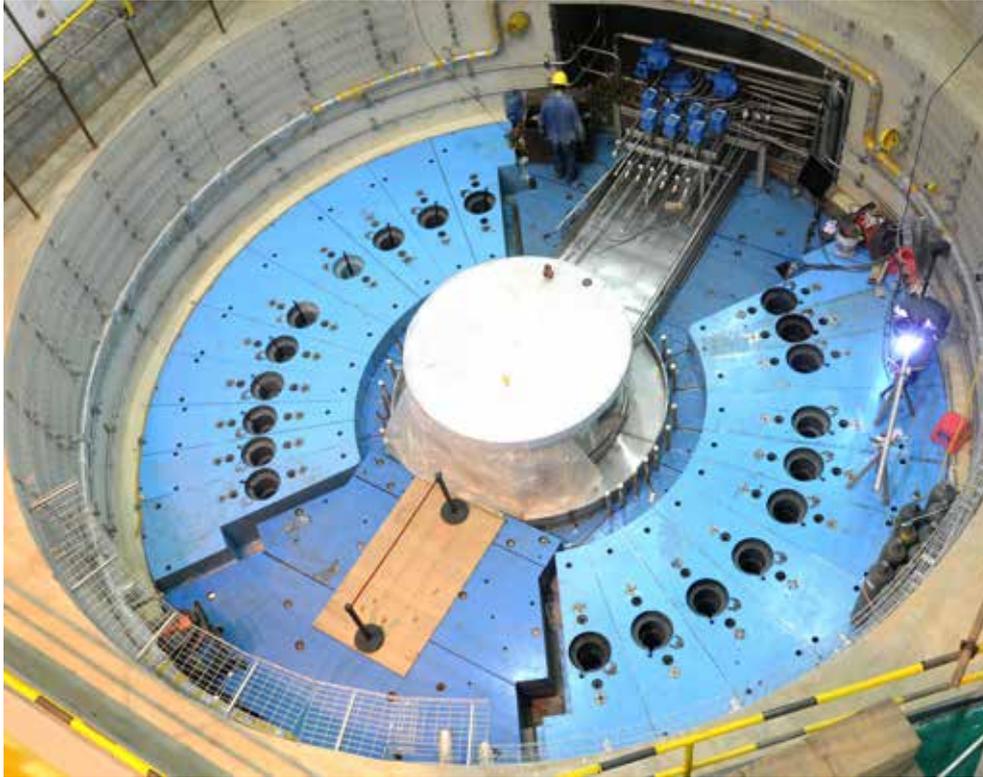
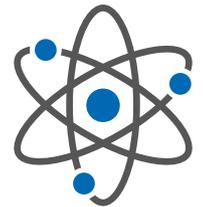


그림 2: 베이징의 고에너지 물리학 연구소(IHEP)에 있는 중국 분열 중성자 소스 (CSNS)의 텅스텐 타겟은 모놀리스로 설치되어 있습니다. (이미지: IHEP)

현재 가장 강력한 원자로 기반 중성자 소스는 프랑스 그르노블에 위치한 로랑뱅 연구소(Institut Laue-Langevin)에 있습니다. 1.5 - 1015의 플럭스를 달성합니다. 초당 중성자 및 58메가와트의 화력에서 평방 센티미터의 플럭스를 달성합니다. 비교를 위해 에너지에 사용되는 가장 강력한 원자로 장치는 약 4 메가 와트의 화력을 제공합니다. 2027년에 완공되는 유럽 중입자가속기는 단위 평방 센티미터에 초당 10^{18} 중성자를 발사하여 텅스텐의 고정된 표적에 고에너지 양성자 빔을 발사합니다. 이 양성자 폭격은 중성자를 방출하고, 이 중성자는 속도가 느려져 중성자 빔으로 묶입니다. 이것은 중성자 산란을 사용하는 실험을 위해 펄스 형태로 제공됩니다. 다른 산란원도 비슷한 원리로 작동하지만 다른 가속 방법과 다른 표적 유형을 사용할 수 있습니다. 이 경우 무거운 차폐막은 스펙레이션 과정에서 생성되는 방사성 핵종을 흡수할 수 있습니다.



그러나 방사선은 고출력 중성자 소스의 경우 더 큰 문제를 야기합니다. 현재 운영 중인 세계에서 가장 강력한 중성자 발생원인 일본 양성자가속기 연구단지 (J-PARC)에서는 중성자 빔 바로 인근의 방사선량이 수백만 그레이에 달할 수 있습니다.

**중성자 빔 바로 근처에서
방사선 수치는 수백만
그레이에 이를 수 있습니다.**

중성자 빔 근처에 위치한 진공 펌프와 측정 기기에 대한 이러한 높은 수준의 이온화 방사선으로 인해 두 가지 주요 문제가 발생합니다. 첫째, 전자 시스템을 진공 펌프나 측정 기기에 직접 연결할 수 없는데, 방사선으로 인해 고장이 나 작동이 중단될 수 있기 때문입니다. 또한 테프론과 같은 특정 재료는 높은 방사선의 영향을 받기 때문에 펌프 설계에서 피해야 하는지 여부도 고려해야 합니다.

방사선 저항의 중요성



전자 장치의 경우 펌프에서 멀리 떨어진 곳에 배치하는 것이 해결책입니다. 예를 들어, 2020년 2월에 100W 빔으로 가동을 시작한 중국 중성자 충돌원에서는 일부 진공 게이지가 최대 220미터 길이의 케이블로 제어 장치에 연결되어 있습니다. 진공 생성도 마찬가지로 중요하기 때문에 터보 펌프와 전진공 펌프는 방사선에 견딜 수 있도록 설계되어야 합니다.

긴 케이블을 통해 펌프를 작동하는 것은 라인 저항이 크기 때문에 큰 도전 과제입니다. 터보 펌프용 긴 케이블 솔루션(최대 1,000m)은 한동안 사용 가능했지만, 건식 배압 펌프용을 새로 개발해야 했습니다. 터보 펌프에 비해 전력이 더 높기 때문에 배압 펌프와 전력 전자 장치 사이의 케이블 길이와 라인 직경을 적절히 조정해야 합니다.

한편, 특정 물질에 대한 전리 방사선의 영향으로 인해 펌프 설계에 완전히 새로운 접근 방식이 필요할 수도 있습니다.

J-PARC의 경우, 프로젝트 팀은 건식 배압 펌프에 사용되는 테프론이 방사선의 영향으로 더 부서지기 쉬워질 것을 우려했습니다.

해결책은 다단계 루츠 펌프 형태의 무급유 배압 펌프 설계를 선택하는 것이었습니다. 다단계 루츠 펌프에는 씰링 재료가 필요하지 않으므로 테프론이 필요하지 않습니다. 최대 6단계의 루츠 블로어 조합으로 가스를 미세 진공 압력에서 대기압까지 압축할 수 있습니다. 또한 펌프의 마찰 없는 작동은 마모를 방지하고 유지보수의 필요성을 줄여주며, 이는 테프론이 없는 펌프에서 특히 실용적입니다.

J-PARC는 초기 펌프 다운 단계에서 다단계 루츠 펌프를 사용한 최초의 중성자 연구 시설입니다. 그 후 파이프 베큘은 ESS와 같은 다른 스파레이션 소스가 높은 수준의 방사선을 견딜 수 있는 새로운 모델을 개발했습니다.

유럽 스파레이션 소스의 솔루션 접근 방식

ESS 장비의 경우 강력한 가속기와 더 높은 중성자 플럭스로 인해 방사선이 더욱 문제가 됩니다. 프로젝트 팀은 배압 펌프뿐만 아니라 터보 펌프의 소량의 테프론에 대해서도 우려했습니다. 예를 들어, 한 터보 펌프에는 테프론으로 절연된 전기 모터가 포함되어 있습니다. 절연이 손상되면 전기 단락이 발생하여 펌프 작동이 중단되고 실험 과정도 중단될 수 있습니다.

터보 펌프에서 모든 테프론을 사용하지 않는 것은 사실상 불가능하지만 일부 장소에서는 가능할 수 있습니다. 이러한 이유로 파이프 베큘은 플랜트에서 프로젝트를 담당하는 사람들과 지속적이고 집중적인 커뮤니케이션을 최우선 과제로 삼고 있습니다.

파이퍼 베큘과 프로젝트 관리자 간의 긴밀한 접촉과 지속적인 논의를 통해서만 펌프의 다양한 재료를 분석하고 고객의 요구에 맞게 조정할 수 있습니다. 어떤 경우에는 대안이 부족하여 공정이 복잡해지기도 합니다. 이러한 경우에는 전체적인 접근 방식이 필요하며, 이는 건식 배압 펌프와 터보 펌프의 조합으로 고객의 응용 분야에 맞는 대안을 찾는 것을 의미합니다. 이렇게 하면 전체 시스템의 조정을 통해 최상의 결과를 얻을 수 있습니다.

파이퍼 베큘은 유사한 응용 분야에 대한 경험을 바탕으로 프로젝트 초기 단계부터 ESS의 프로젝트 관리자와 논의를 시작했습니다. 이렇게 하면 제품을 배치하기 전에 필요한 모든 조정을 수행할 수 있습니다.



- <https://europeanspallationsource.se>
- <https://j-parc.jp/c/en/facilities/index.html>
- <http://english.ihep.cas.cn/csns>



그림 3: HiPace 터보 분자 펌프 시리즈는 ESS에 사용하도록 조정되었습니다.

Your Success. Our Passion.

We give our best for you every day –
worldwide!

완벽한 진공 솔루션을 찾고 계
십니까 당사로 문의하십시오.

파이퍼베콤 GmbH
본사 · 독일
전화: +49 6441 802-0



Errors excepted. All data subject to change without prior notice. PI 0503 PKO (November 2023/0)

Follow us on social media
#pfeiffervacuum



www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**