

애질런트 사례 연구: 애질런트 인증 러퍼비시 6470B  
QQQ LC/MS 및 1290 Infinity II UHPLC

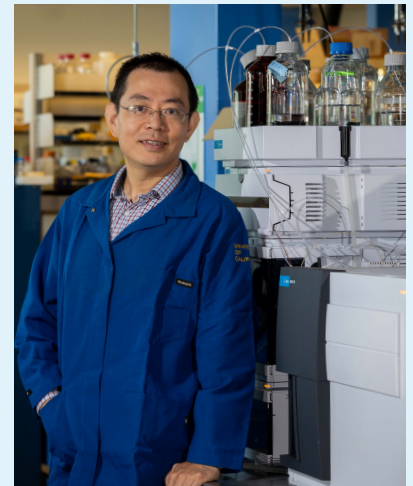
## 수질 오염 연구에서의 성공적인 리더십

### PFAS 직접 처리

PFAS (Per- and polyfluoroalkyl substances)는 일반적으로 사용되는 많은 제품에서 발견되는 오래 지속되는 합성 화학 물질이며 먹는물을 포함한 환경에 잔류합니다.<sup>1</sup> 미국 환경 보호국(EPA)은 고농도의 PFAS가 동물과 인간의 건강에 해로운 위험을 초래하는 것으로 확인했습니다.<sup>1</sup> 따라서 수원에서 PFAS 화학물질을 제거하고, 제거 후 파괴하는 효과적인 분석법을 식별하는 것이 연구자에게 중요해졌습니다.

캘리포니아 대학교 리버사이드(UCR) 화학 및 환경 공학과 부교수인 Jinyong Liu 박사는 수질 오염 물질 제거 및 분해에 중점을 두고 있습니다. 특히 Liu 박사와 그의 실험실("환경을 위한 화학", Liu 실험실)의 연구원들은 PFAS와 과염소산염, 염소산염, 브롬산염 및 질산염과 같은 독성 산화 음이온을 분해하는 방법을 연구합니다.

Liu 박사와 그의 팀은 PFAS 화학물질을 분해하는 혁신적인 기술을 개발하여 구조-반응성 관계, 분해 메커니즘 및 경로, 성능 향상에 관한 일련의 논문을 *Environmental Science and Technology* 및 *Nature Water*에 발표했습니다.<sup>2,3</sup> 연구팀은 기술의 효과를 더욱 증명하기 위해 저농도에서 PFAS 화학물질과 그 분해 성분을 검출하는 분석 능력이 있다는 것을 입증해야 했습니다.



Jinyong Liu 박사

부교수  
화학 및 환경 공학과  
캘리포니아 대학교 리버사이드  
(University of California, Riverside)

Liu 실험실에서는 주로 액체 크로마토그래피-질량분석법(LC/MS)을 사용하여 PFAS를 식별하고 정량화합니다. Jinyu Gao 박사는 Liu 실험실의 박사후 연구원이자 질량분석기 슈퍼유저입니다. Gao 박사는 변형 생물 분석을 위해 이온 트랩 질량분석기를 사용했지만 낮은 농도의 분석물질을 검출하는 것이 어렵다는 사실을 확인했습니다. Liu 박사와 Gao 박사는 혁신적인 분석법으로 물을 처리한 후 잔류 PFAS가 안전한 배출 가능한 특정 임계값 아래로 떨어지는지 조사해야 했습니다. "이 목적을 위해 우리는 QQQ 기기가 필요했습니다. 그리고 우리는 애질런트 제품을 구입할 수 있는 좋은 기회를 얻었습니다."라고 Liu 박사는 말했습니다.

## 합리적인 가격의 기회

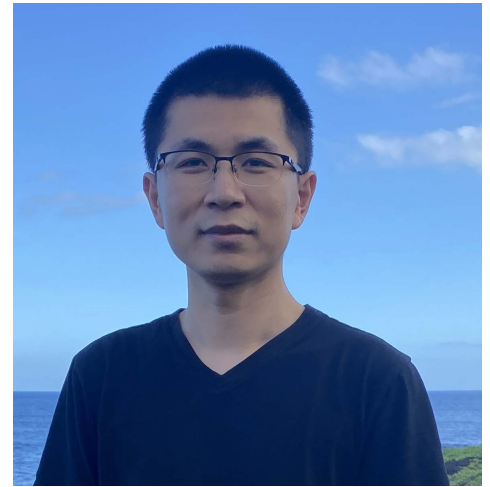
연구에 QQQ 질량분석기가 필요하다는 사실을 깨닫고 Liu 박사는 애질런트를 포함한 세 공급업체에 연락했습니다. 그러나 비용 때문에 그는 예산에 또 다른 질량분석기를 적용할 수 있는지 궁금했습니다. "처음에는 이것이 불가능하다고 생각했습니다." 라고 Liu 박사는 말했습니다. 애질런트 담당자는 능동적인 접근 방식을 통해 인증 러퍼비시 기기를 고려해 볼 것을 권장하고 그들이 창의적인 금융 솔루션을 찾을 수 있도록 도왔습니다.

그들은 애질런트 인증 러퍼비시 6470B QQQ LC/MS와 Agilent 1290 Infinity II UHPLC를 평가했습니다. **애질런트 인증 러퍼비시 기기**는 유로 내에서 시료가 닿는 모든 내부 부품을 새 부품으로 교체하거나 새 기기와 동일한 사양을 통과하도록 엄격하게 세척됩니다. 인증 러퍼비시 기기에는 1년 보증이 제공됩니다. 평가 중에, Liu 박사와 Gao 박사는 인증 러퍼비시 6470B QQQ LC/MS 및 1290 Infinity II UHPLC의 외관과 성능이 새것과 같다고 언급했습니다. 또한 애질런트 담당자는 시스템 비용의 일부로 **연장 보증 강화**를 포함하도록 도와주었습니다. 전반적인 평가를 바탕으로 Liu 박사에게 남은 질문은 단 하나뿐이었습니다. "Why not?" 애질런트는 견적을 작성하는 동안 최선의 제안을 제공하고, 유연한 구매 옵션을 제공하며, 서비스 비용을 최소화하는 보증을 제공했기 때문에 Liu 박사와 다른 UCR 교수진은 특히 금융 비용을 부담함으로써 애질런트 시스템이 실험실을 위한 최상의 옵션이라고 생각했습니다.

자체적으로 QQQ 질량분석기를 구입하기 전에 Liu 박사는 평가를 위해 외부 실험실에 시료를 보내는 비용을 충당하고자 매년 수만 달러의 예산을 책정해야 했습니다. 이제 현장에서 테스트하여 전체 운영 비용을 절감하고 긍정적인 투자 수익을 입증할 수 있습니다.

*"이 목적을 위해 우리는 QQQ 기기가 필요했습니다. 그리고 우리는 애질런트 제품을 구입할 수 있는 좋은 기회를 얻었습니다."*

- Jinyong Liu 박사  
부교수,  
캘리포니아 대학교 리버사이드  
화학 및 환경 공학과



Jinyu Gao 박사는 Liu 실험실의 박사후 연구원입니다.

## 성공적인 저농도 검출

Liu 실험실은 2023년 5월부터 인증 러퍼비시 6470B LC/TQ 및 1290 UHPLC를 사용해 왔으며 미량의 PFAS를 검출하는데 원하는 감도를 달성했습니다. 2022년에 EPA는 0.004ng/L ( $4 \times 10^{-6}$ ppb, 0.004 ppt)의 PFAS 제한을 제시했지만, 많은 과학자들은 이 수준을 효과적으로 측정할 수 없다는 사실을 발견했습니다. 2023년 EPA는 EPA1633 분석법을 통해 측정된 4ng/L(0.004ppb, 4 ppt)의 한계를 제시했습니다.<sup>4</sup> Gao 박사는 6470B LC/TQ를 사용하여 50ng/L(0.05ppb, 50 ppt)에서 1,000ng/L(1ppb, 1000 ppt)의 낮은 검출 한계로 다양한 PFAS 구조를 검출할 수 있었습니다. 애질런트의 인증 러퍼비시 시스템과 신속한 고체상 추출(표적 PFAS를 농축하는 동안 원치 않는 성분이 시스템에 유입되는 것을 방지하기 위해 필요)을 통해 Liu 박사와 Gao 박사는 이제 현재 EPA 요구 사항의 농도 범위에서 PFAS를 쉽게 검출할 수 있게 되었습니다.

현재 EPA는 검출 임계값을 4ng/L까지 낮출 것을 요구하지 않을 수도 있지만, Liu 박사와 Gao 박사는 앞으로 이런 상황이 바뀔 수 있다고 예상합니다. 그들은 또한 EPA가 현재보다 더 많은 PFAS 구조를 평가하기를 원할 것으로 예상합니다. EPA의 요구 사항보다 앞서 나가기 위해 Liu 실험실은 이미 낮은 검출 한계에서 새로운 PFAS 구조를 식별할 수 있는 역량을 입증했습니다.

Liu 박사와 또 다른 박사 과정 학생(Zekun Liu 박사)은 2022년에 발표한 논문에서, 최적화된 UV/아황산염 및 요소드화물(UV/S + I) 시스템이 합성 폐수에서 perfluorosulfonates (PFSAs)와 perfluorocarboxylates (PFCAs)을 99.7% 이상, 농축 PFAS 혼합물을 90% 이상 제거하는 방법을 밝혔습니다.<sup>2</sup> 이와 같은 결과를 통해 Liu 실험실은 PFAS 연구의 최전선에 서게 되었습니다.<sup>5,9</sup> "우리는 이미 환경 화학 및 오염 물질 분해 분야에서 매우 강력한 역량을 구축했습니다. PFAS가 어떻게 분해되는지 이해하고 더 깊은 분해를 달성하는 방법에 있어 우리가 이 분야를 선도하고 있다고 말할 수 있습니다."라고 Liu 박사는 말합니다.

## 파트너십 및 교육

PFAS 연구 분야에서 강력한 과학적 리더십을 갖춘 Liu 박사가 업계 구성원들과 파트너십을 맺은 것은 놀라운 일이 아닙니다. 과거에는 대부분의 실험이 합성 물 시료를 사용한 벤치탑 연구였지만, Liu 박사와 Gao 박사, 또 다른 박사후 연구원인 Dandan Rao 박사는 업계 파트너의 실제 물 시료를 평가하기 시작했습니다.

대학 실험실은 수자원 관리 및 엔지니어링, 수질 오염, 기후 변화와 같은 분야에서 혁신을 이루는 환경, 엔지니어링 및 건설 회사와 협력해 왔습니다. 이들 협력 업체들은 PFAS 분해 및 분석을 위해 이온 교환 및 거품 분리와 같은 지하수 정화 시스템의 까다로운 폐수 시료를 Liu 실험실로 보냅니다. 앞으로 더 많은 업계 파트너와 협력하면서 Liu 박사와 그의 실험실 구성원은 그들의 서비스 기반 테스트가 증가할 것으로 기대합니다.

실험 전반에 걸쳐 Liu 박사와 그의 동료들은 실험실 구성원들이 질량분석기를 사용하여 실습 경험을 얻는 것이 얼마나 유용한지 알아냈습니다. 대학원생들이 취업 시장에서 경쟁하기 위해서는 다양한 질량분석기 운영에 대한 실용적인 지식이 필요합니다. Liu 박사는 자신의 실험실이 PhD 학생들이 질량분석법을 배우고 사용하여 취업 준비 및 개발을 도울 수 있는 교육 센터가 되는 것을 구상하고 있습니다.

## 결론

미래의 중요한 환경 연구를 위해서는 Liu 박사와 그의 동료들이 실험실에 적합한 기기를 확보하는 것이 중요했습니다. 처음에는 QQQ 질량분석기를 감당할 수 없는 것처럼 보였지만 애질런트 담당자는 인증 러퍼비시 6470B LC/TQ 및 1290 UHPLC를 통해 창의적이고 효과적인 솔루션을 찾았습니다. 이제 Liu 박사와 그의 실험실 구성원은 영향력 있는 연구를 계속하여 환경의 수질을 개선하고 위대한 과학에 생명을 불어넣을 수 있습니다.

## 참고 문헌

1. US EPA, O. A. PFAS Explained. **2016**, <https://www.epa.gov/pfas/pfas-explained> (accessed 2023-09-18).
2. Liu, Z.; Chen, Z.; Gao, J.; Yu, Y.; Men, Y.; Gu, C.; Liu, J. Accelerated Degradation of Perfluorosulfonates and Perfluorocarboxylates by UV/Sulfite + Iodide: Reaction Mechanisms and System Efficiencies. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56* (6), 3699–3709. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c07608>.
3. Gao, J.; Liu, Z.; Chen, Z.; Rao, D.; Che, S.; Gu, C.; Men, Y.; Huang, J.; Liu, J. Photochemical Degradation Pathways and Near-Complete Defluorination of Chlorinated Polyfluoroalkyl Substances. *Nat Water* **2023**, *1* (4), 381–390. <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00046-z>.
4. Surface Water. *Analysis of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in aqueous, solid, biosolids, and tissue samples by LC-MS/MS*. Epa.gov. [https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-12/3rd%20Draft%20Method%201633%20December%202022%2012-20-22\\_508.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-12/3rd%20Draft%20Method%201633%20December%202022%2012-20-22_508.pdf) (accessed 2023-10-23).
5. Gao, J.; Liu, Z.; Bentel, M. J.; Yu, Y.; Men, Y.; Liu, J. Defluorination of Omega-Hydroperfluorocarboxylates ( $\omega$ -HPFCAs): Distinct Reactivities from Perfluoro and Fluorotelomeric Carboxylates. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (20), 14146–14155. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04429>.
6. Liu, Z.; Bentel, M. J.; Yu, Y.; Ren, C.; Gao, J.; Pulikkal, V. F.; Sun, M.; Men, Y.; Liu, J. Near-Quantitative Defluorination of Perfluorinated and Fluorotelomer Carboxylates and Sulfonates with Integrated Oxidation and Reduction. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (10), 7052–7062. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00353>.
7. Bentel, M. J.; Liu, Z.; Yu, Y.; Gao, J.; Men, Y.; Liu, J. Enhanced Degradation of Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) by UV/Sulfite Treatment: Reaction Mechanisms and System Efficiencies at PH 12. *Environ. Sci. Technol. Lett.* **2020**, *7* (5), 351–357. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00236>.
8. Bentel, M. J.; Yu, Y.; Xu, L.; Kwon, H.; Li, Z.; Wong, B. M.; Men, Y.; Liu, J. Degradation of Perfluoroalkyl Ether Carboxylic Acids with Hydrated Electrons: Structure–Reactivity Relationships and Environmental Implications. *Environ. Sci. Technol.* **2020**, *54* (4), 2489–2499. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05869>.
9. Bentel, M. J.; Yu, Y.; Xu, L.; Li, Z.; Wong, B. M.; Men, Y.; Liu, J. Defluorination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) with Hydrated Electrons: Structural Dependence and Implications to PFAS Remediation and Management. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, *53* (7), 3718–3728. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06648>.

애질런트 인증 러퍼비시 기기에 대해 자세히 알아보세요.

<https://www.agilent.com/go/cpo>

DE17372236

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2023  
2023년 12월 12일, 한국에서 발행  
5994-6991KO

한국애질런트테크놀로지스(주)  
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,  
A+ 에셋타워 9층, 06621  
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)  
팩스: 82-2-3452-2451  
이메일: [korea-inquiry\\_lsca@agilent.com](mailto:korea-inquiry_lsca@agilent.com)

 **Agilent**  
Trusted Answers