

“양전자 흔적으로 되살린 감마선의 본래 모습”

GIST, 신호가 겹치는 환경에서

고에너지 감마선의 에너지 분포 복원 성공

- 물리·광과학과 방우석 교수 연구팀, 고선속 환경에서 겹쳐진 감마선 신호 복원하는 새로운 분석 기법 제시... 국제학술지《Radiation Physics and Chemistry》게재
- 레이저 핵융합·레이저 플라즈마 가속기 등 극한 물리 실험 분석 정확도 향상 기대



▲ (왼쪽부터) GIST 물리·광과학과 방우석 교수, 이성민 석박통합과정생, 노유환 석박통합과정생

광주과학기술원(GIST·지스트, 총장 임기철)은 물리·광과학과 방우석 교수 연구팀이 짧은 시간 동안 매우 많은 감마선이 한꺼번에 검출기에 도달해 신호가 서로 겹치는 ‘고선속 환경’에서도 양전자 신호만으로 GeV^{*}(기가전자볼트, 10억 전자볼트)급 고에너지 감마선의 에너지 분포와 광자(photon)^{**} 수를 복원하는 분석 기술을 개발했다고 밝혔다.

이 기술은 고선속 환경에서도 고에너지 감마선의 에너지 분포와 발생량을 정밀하게 분석할 수 있어, 향후 ▲레이저 핵융합 ▲레이저-플라즈마 가속기 ▲핵물리 등 극한 물리 현상 연구의 정확도를 높이는 데 활용될 것으로 기대된다.

* GeV: 입자의 에너지를 나타내는 단위로, 1 GeV는 10억 전자볼트에 해당한다. 이번 연구에서 다룬 감마선은 병원에서 사용하는 의료용 엑스선보다 수천 배 이상 높은 에너지를 가진다.

** 광자(photon): 빛을 구성하는 기본 입자로, 감마선도 광자로 이루어진 전자기파의 한 종류다.

병원에서 사용하는 엑스선(X선)과 같은 전자기파인 ‘감마선’은 원자핵 반응이나 고출력 레이저 실험에서 발생하는 극한 물리 현상을 분석하는 중요한 단서다.

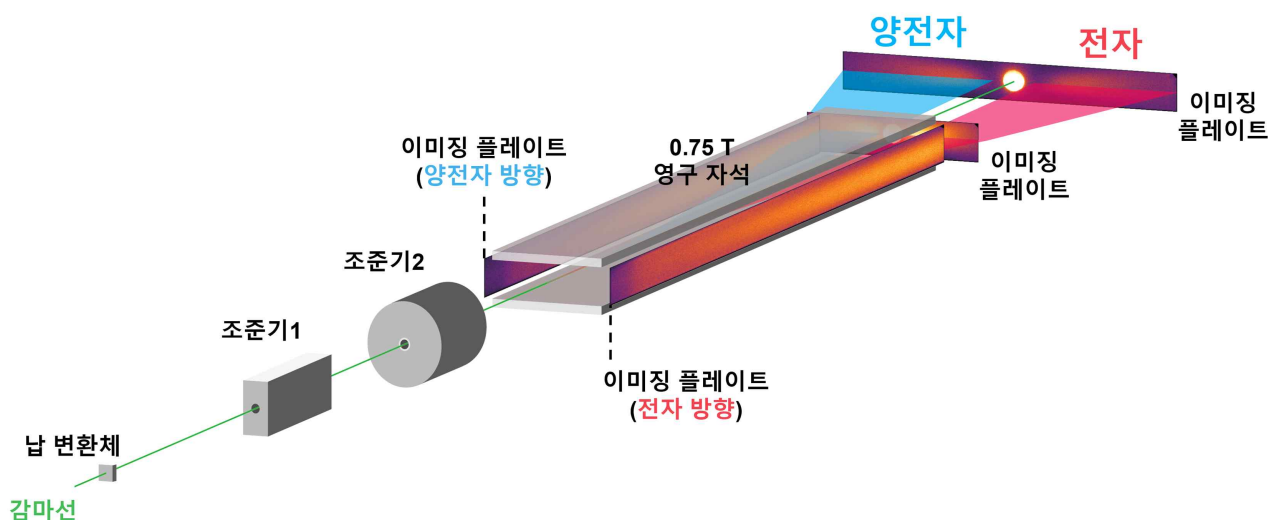
특히 이번 연구에서 다룬 기가전자볼트급 ‘고에너지 감마선’은 의료용 엑스선보다 수천 배 이상 높은 에너지를 지니며, 감마선의 분포를 분석하면 실험 과정에서 에

너지가 어떻게 전달되고 변환됐는지 확인할 수 있어 실험 결과를 검증하는 핵심 지표로 활용된다.

그러나 고선속 환경에서는 짧은 시간에 많은 감마선이 동시에 발생해 검출기 신호가 서로 겹치므로, 감마선의 에너지 분포를 정확하게 측정하기 어렵다는 한계가 있었다.

연구팀은 감마선을 직접 측정하는 대신, 감마선이 납판을 통과하며 생성되는 '반물질'인 양전자 신호를 이용해 감마선의 에너지 분포를 복원하는 방법을 제시했다.

에너지가 높은 감마선은 납판을 통과하는 과정에서 전자(-)와 양전자(+) 쌍을 생성한다. 연구팀은 이 가운데 다른 입자나 배경 신호의 영향을 상대적으로 적게 받는 양전자 신호를 이용해, 감마선의 에너지와 양전자 신호의 관계를 컴퓨터 시뮬레이션으로 계산하고, 이를 바탕으로 감마선의 에너지 분포를 역으로 복원했다.

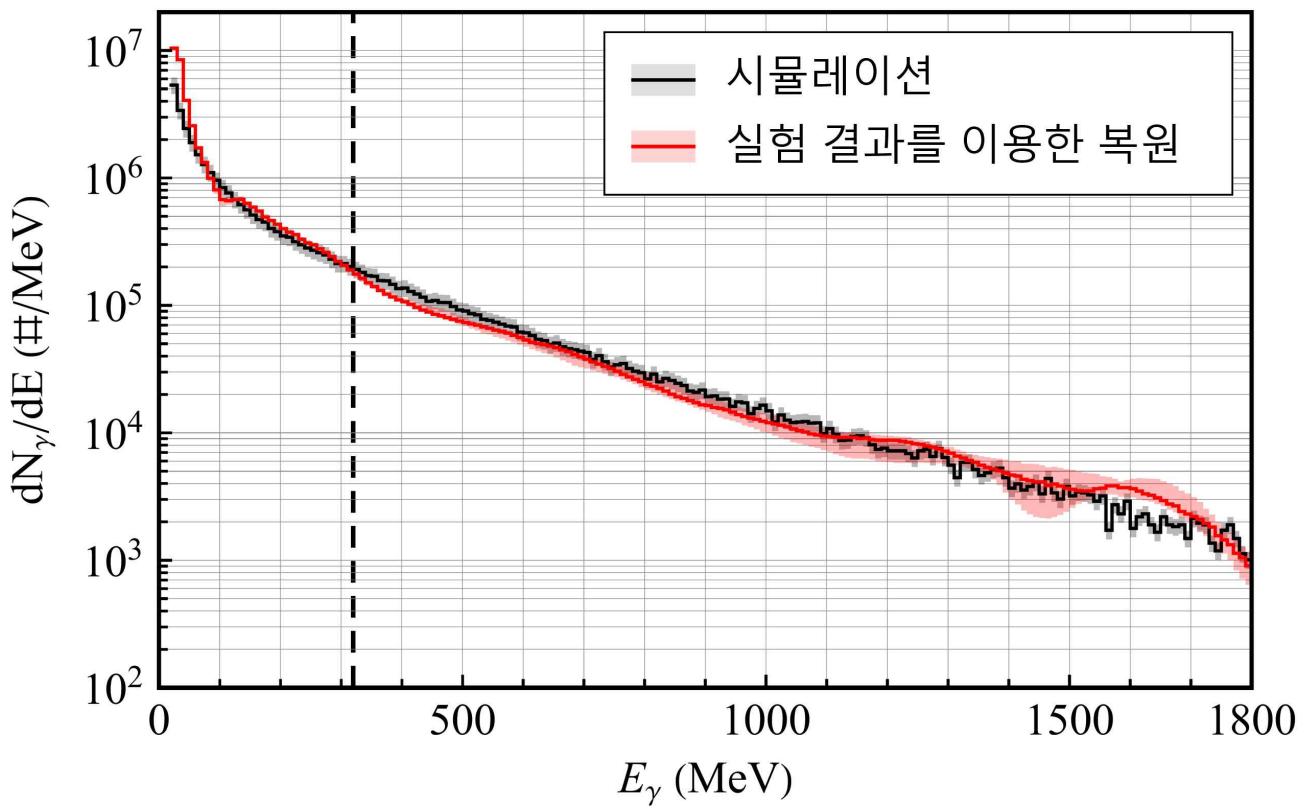


▲ 고에너지 감마선의 에너지 분포 측정 개념도. 감마선이 납 변환체에 입사하면 전자와 양전자가 생성되고, 두 개의 조준기로 입자의 진행 방향을 제한한 뒤 영구자석과 이미징 플레이트를 통해 전자와 양전자의 에너지 분포를 측정한다.

분석 과정에서는 먼저 감마선 에너지 분포의 초기값을 안정적으로 추정된 뒤, 반복 계산을 통해 세부 구조를 점차 보완하는 분석 기법을 적용했다.

그 결과, 신호 겹침이 심한 고선속 환경에서도 고에너지 감마선의 에너지 분포와 전체 광자 수를 함께 복원하는 데 성공했다. 이로써 극한 물리 실험에서 발생한 감마선을 더욱 정확하게 분석하고, 실험 결과를 정량적으로 해석할 수 있는 기반을 마련했다.

모의 감마선 데이터를 이용해 성능을 검증한 결과, 감마선을 이루는 전체 '광자 수'는 실제값 대비 2% 이내의 오차로 복원했으며, 감마선의 '에너지 분포' 역시 실제값과 거의 일치하게 재현했다.



▲ **측정된 양전자 신호로부터 복원한 감마선 에너지 분포.** 연구팀이 복원한 결과(빨간색)는 컴퓨터 시뮬레이션 결과(검은색)와 일치하며, 제안한 방법으로 고선속 GeV급 감마선의 에너지 분포와 광자 수를 함께 구할 수 있음을 보여준다.

실제 고출력 레이저 실험 데이터를 기반으로 한 검증에서도, 복원한 고에너지 감마선의 에너지 분포가 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 전반적으로 일치해 기술의 유효성을 확인했다.

이번 연구는 고선속 환경에서 발생하는 고에너지 감마선을 보다 정확하게 진단할 수 있는 기반 기술을 마련함으로써, **향후 다양한 극한 물리 실험의 분석 정확도를 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.**

방우석 교수는 “여러 사람이 동시에 말하면 각 사람의 목소리를 구분하기 어려운 것처럼, 짧은 시간에 대량으로 발생하는 고에너지 감마선은 검출기 신호가 서로 겹쳐 에너지 분포를 직접 측정하기 어렵다”며 “이번 연구는 **감마선이 만들어낸 양전자 신호를 이용해 원래 감마선의 에너지 분포와 전체 광자 수를 함께 복원하는 분석 방법을 제시했다는 데 의미가 있다**”고 말했다.

GIST 물리·광학과 방우석 교수가 지도하고, 이성민·노유환 석박통합과정생이 공동 제1저자로 참여한 이번 연구는 과학기술정보통신부·한국연구재단 중견연구사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 세계 학술지 평가 지표인 저널 인용 보고서(JCR) 기준 **핵과학 분야 상위 6% 국제학술지 《방사선 물리 및 화학(Radiation Physics and Chemistry)》**에

2026년 7월 11일 온라인으로 게재됐다.

한편 GIST는 이번 연구 성과가 학술적 의의와 함께 산업적 응용 가능성까지 고려한 것으로, 기술이전 관련 협의는 기술사업화센터(hgmoon@gist.ac.kr)를 통해 진행할 수 있다고 밝혔다.

논문 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Radiation Physics and Chemistry
(IF=3.5, 핵과학 분야 상위 6%, JCR 2025)
- 논문명 : Spectral reconstruction of high-flux GeV gamma rays from pair spectra using hybrid Tikhonov–D’Agostini unfolding
- 저자 정보 : 이성민(공동제1저자, GIST 물리·광과학과 석박통합과정생), 노유환(공동제1저자, GIST 물리·광과학과 석박통합과정생), 조수지(공저자, GIST 물리·광과학과 석박통합과정생), 김형일(공저자, GIST 물리·광과학과 석박통합과정생), Mohammad Mirzaie(공저자, IBS 상대론적 레이저과학 연구단 책임연구위원), 방우석(교신저자, GIST 물리·광과학과 교수)