

# 보도자료



서울대학교  
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보도일시	2024. 11. 7.(목) 08시부터 보도 가능
	국제엠바고를 준수하여 주시기 바랍니다
문의	담당자: 노현주 (02-880-8159)
	연구책임자 물리천문학부 우종학 교수(02-880-4231) / 교신저자
	연구단/연구진 왕 슈 (Wang, Shu) 연구원 / 제1저자

## ■ 제목/부제

제목	빛의 메아리 효과로 블랙홀 엔진을 분해하다 - 가스방출선 영역의 크기와 블랙홀 광도의 상관관계를 새롭게 밝히다 -
----	--

## ■ 요약

연구 필요성	블랙홀의 존재는 이미 확인되었지만 사건지평선 밖에서 일어나는 다양한 물리 현상은 여전히 베일에 쌓여있다. 그 이유는 블랙홀 엔진이 작동이 영역이 매우 크기가 작기 때문이며, 최첨단 관측기기를 사용해도 분해능의 한계 때문에 공간적 정보를 얻기 어렵다. 반면, 빛의 메아리 효과를 이용하면 빛이 도착하는 시간차를 이용하며 블랙홀 엔진의 다양한 구성요소의 크기를 측정하여 탐구할 수 있다. 이렇게 측정된 가스 방출선 영역의 크기는 가스의 속도와 함께 블랙홀 질량 측정에 필요한 두 물리량이다. 광이온화(photo-ionization)의 모형에 따르면 가스방출선 영역의 크기는 가스원반의 광도와 비례할 것으로 예측되는데 이를 검증하는 연구는 블랙홀 엔진의 이해와 블랙홀 질량 결정에 매우 중요하다.
연구성과/기대효과	이 연구는 빛의 메아리 효과를 이용하여 수소방출선 영역의 크기를 측정하고 가스원반의 광도와 비교분석하여 블랙홀 엔진의 광이온화를 밝히고 간접적인 블랙홀 질량 측정의 기초를 마련한 중요한 의미가 있다. 연구결과에 따르면 기존에 알려진 상관관계와 달리 고광도 활동성 블랙홀들의 가스방출선 영역 크기가 예측보다 줄어들었음을 밝혔으며 이는 에딩턴 비율이 커질수록 광이온화 영역이 줄어든다는 사실을 드러낸다. 이 결과에 따라 새롭게 블랙홀의 질량을 측정하면 기존의 측정법 보다 블랙홀 질량이 줄어든다. 이는 고광도 블랙홀의 경우, 블랙홀 질량이 3배까지 과측정되었음을 드러낸다. 이 결과는 블랙홀의 질량함수 및 블랙홀

	밀도에 크게 영향을 주고 특히 제임스웹 우주망원경 등으로 측정한 먼 우주의 블랙홀 질량이 크게 수정되어야 함을 제시한다.
Journal Link	11월 5일 전자출판 (3일 이후 논문 링크 생성 예정) The Astrophysical Journal Supplement Series (IF = 8.6)

## ■ 본문

□ 블랙홀로 가스가 빨려 들어가면서 엄청난 빛과 에너지를 방출하는 활동성 블랙홀의 엔진은 어떻게 작동하는 것일까? 사건지평선 너머로 가스가 사라지기 전에 사건지평선 바깥쪽에는 가스의 강착원반이 형성되어 매우 높은 광도의 빛이 방출된다. 이 빛은 가까이 있는 영역 (가스 방출선 영역)의 가스를 이온화시키고 수소의 전자들을 들뜨게 하여 수소 방출선 등을 만들어낸다. 과학자들이 예측하는 블랙홀 엔진은 이렇게 고온의 강착원반과 가스방출선 영역으로 구성되어 있지만 블랙홀 엔진은 여전히 베일에 가려져있다. 사건지평선 망원경 (Event Horizon Telescope)으로 연구된 블랙홀은 두 개 (우리은하 중심의 블랙홀과 M87 은하 중심의 블랙홀) 밖에 없으며, 사건지평선 망원경은 전파 망원경이기 때문에 이 두 경우마저도 블랙홀 엔진을 자세히 연구할 수 없다. 그렇다면 블랙홀 엔진을 파헤치기 위해서는 어떤 방법이 가능할까?

□ 블랙홀 연구자들은 빛의 메아리 효과 방법을 개발해 냈다. 강착원반에서 나오는 자외선/가시광은 지구에서 직접 관측할 수 있지만 주변의 가스를 이온화시키며 다양한 방출선을 만들어 낸다. 수소가 만들어내는 수소방출선이 대표적이다. 그러나 가스 방출선 영역에서 생성된 빛은 강착원반에 비해 지구에 늦게 도착한다. 왜냐하면 강착원반에서 출발한 자외선/가시광이 가스영역에 도착할 때 걸리는 시간만큼 시차가 생기기 때문이다. 이를 빛의 메아리 효과라고 한다. 마치 산에서 소리를 지르면 메아리가 늦게 들리는 효과와 마찬가지로, 천문학자들은 블랙홀 엔진의 강착원반과 방출선 영역을 함께 모니터링 관측하여 각각의 밝기 변화를 측정하고 강착원반이 밝아진 이후에 방출선 영역이 밝아지기까지 걸리는 시간차를 측정한다. 이 시간차는 빛이 방출선 영역에 도착하는데 걸리는 시간이며 빛의 속도를 곱하면 거리를 구할 수 있다.

□ 이번 연구는 200개에 가까운 활동성 블랙홀들의 빛의 메아리 효과를 측정한 기존의 연구들과 더불어 서울대학교 블랙홀 연구실에서 지난 6년간 모니터링 관측을 수행하여 얻은 광도가 높은 활동성 블랙홀 32개의 표본을 합하여 광이온화 모형을 검증하고 방출선영역의 크기와 강착원반의 광도의 상관관계를 통일된 분석방법과 통계처리를 통하여 구한 연구다.

### □ 연구결과

※ 이번 연구결과에 따르면 빛의 메아리 효과로 측정된 방출선 영역의 크기는 블랙홀이 내는 광도

의 0.4승에 비례한다. 이 결과는 지금까지 알려진 비례관계와 현저한 차이가 있으며 강착원반의 광도의 0.5승에 비례하여 방출선 영역의 크기가 결정된다는 광이온화 모형과도 불일치한다. 최근에는 이런 문제를 제기하는 연구결과들이 발표되면서 이 주제는 논쟁적이 되었는데 이번 연구결과는 대형표본과 통일된 분석법으로 방출선 영역과 광도의 관계를 명확히 밝혀냈다. 특히 광도가 높고 에딩턴 비율이 높은 활동성 블랙홀들은 광이온화 모형이 제시하는 것보다 방출선 영역의 크기가 훨씬 작음을 경험적으로 밝혀냈다. 이 결과는 고광도 블랙홀들의 엔진 구조가 광도가 낮은 블랙홀들에 비해 체계적으로 다름을 암시하며 블랙홀 엔진의 구조와 특성이 에딩턴 비율에 따라 달라짐을 제시한다.

더불어 이번에 제시된 상관관계는 현재 광범위하게 사용되는 블랙홀 질량 측정법의 오류가 있음을 드러낸다. 이 상관관계를 이용하여 간접적으로 블랙홀 질량을 측정한 기존의 방법은 고광도 활동성 블랙홀의 경우, 질량이 3배까지 과측정됨을 드러냈다. 즉, 이번 결과를 수용하며 기존에 측정된 블랙홀 질량들을 크게 수정해야 하며, 이는 우주 전체의 블랙홀 질량 밀도가 지금까지 알려진 것보다 훨씬 낮음을 드러낸다.

#### □ 용어설명

- 블랙홀 엔진: 블랙홀로 가스가 유입되며 일어나는 다양한 현상으로 엄청난 양의 빛과 에너지가 방출된다.
- 강착원반: 사건지평선 너머로 가스가 들어가기 전에 가스 원반이 형성되며 마찰에 의해 매우 고온을 갖기 때문에 엑스선, 자외선, 가시광 등의 빛이 방출된다.
- 가스 방출선 영역: 블랙홀 사건 지평선에서 조금 떨어진 영역에 있는 가스가 강착원반에서 나오는 자외선/가시광을 받아서 광이온화가 되는 영역. 블랙홀 중력장 때문에 가스가 매우 빠른 속도로 운동한다.
- 광이온화 모형: 강착원반에서 나오는 자외선/가시광이 가스를 이온화시킬 때 가스영역의 크기를 결정하는 모형으로 광도의 0.5승에 비례하여 그 크기가 결정된다.

### ※ 연구 이야기

#### □ 연구를 시작한 계기

- Shu Wang 박사는 북경대학에서 박사학위를 하고 서울대학교 블랙홀 연구실에 박사후연구원으로 함께 연구하기 시작했으며, 촉망되는 박사후연구원들에게 서울대학교가 수여하는 SNU 펠로십을 수상하여 3년간 연구비를 지원받고 함께 연구하고 있다. 이 결과는 SNU 펠로십의 모범적인 사례라고 할 수 있음.

○ 서울대학교 블랙홀 연구실은 삼성육성재단의 연구비를 지원받아 블랙홀 엔진을 연구하기 위한 빛의 메아리 프로젝트를 2015년 시작하였으며 2021년까지 6년에 걸쳐 전세계의 여러 관측시설을 사용하여 30 여개의 활동성 블랙홀을 모니터링 관측함. 그중에서 수소방출선 영역을 메아리 효과로 측정된 결과를 담은 핵심 논문을 올해 출판하였으며 (Woo et al. 2024, ApJ), Shu Wang 박사는 이 자료를 분석하고 연구하는 주요한 역할을 함. 후속 연구로 이어진 이번 연구는 지난 수십년 간 전세계의 여러 그룹에서 측정된 메아리 효과 자료를 모두 취합하고 서울대 블랙홀 연구실의 모니터링 자료를 더해서 통일된 방법으로 광도곡선 메아리 효과 측정을 한 결과로 기존의 결과와 다른 논쟁적이고 중요한 결과를 도출함.

#### □ 이전 연구와 차별화 포인트

○ 메아리 측정은 장기간의 모니터링 관측이 필요하며 광도가 높은 활동성 블랙홀들은 최소 5년 이상의 관측이 필요하기 때문에 그동안 연구가 미비하였음. 그러나 서울대 블랙홀 연구실의 장기 관측 프로젝트를 통하여 고광도 블랙홀들을 포함함으로써 방출선영역과 광도 관계의 기울기를 처음으로 정확히 측정된 결과를 도출함. 더불어 이 결과는 간접적으로 측정된 블랙홀 질량값이 수정되어야 함을 암시하기 때문에 이 분야에 중요한 디딤돌이 될 것으로 기대함