중력과 검출을 이끈 사람들

- 2017년 노벨 물리학상 수상자를 중심으로

DOI: 10.3938/PhIT.26.042

오 정 근

People Who Have Led Gravitational-wave Detection
- Mainly Focusing on Laureates of 2017 Nobel Prize for Physics

John J. OH

In this article, I introduce some key contributors who have led the gravitational-wave experiment, in particular, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) project, including the Nobel laureates for physics 2017 and their achievements for gravitational-wave detection.

들어가며

2017년 노벨 물리학상은 '라이고의 기술을 발전시켜 중력과 최초 검출에 기여한 미국의 세 물리학자 라이너 바이스, 킵 손, 배리 배리시에게 돌아갔다. 이들은 1970년대부터 중력파를 직접 검출하기 위한 실험과 설계, 계산 등을 수행하여 그 결과들을 현실화하고 거대화하기 위한 노력을 기울였고, 마침내 2002년 '라이고' 중력과 관측소가 완성되어 가동이 시작되었다. 13년에 걸친 초기 가동과 업그레이드 기간을 기다려 드디어 2015년 9월 14일 13억 광년 전 블랙홀 쌍성 충돌에서 발생한 중력과 신호를 감지하는데 성공했다. 이 업적은 누구의 이견도 없이 20세기 물리학과 천문학의 최대의 업적으로 평가받는다. 이 글에서는 중력과 발견의 성공을 이끌어 노벨상을 수상한 주역과

저자약력

오정근 박사는 서강대학교 물리학과에서 이학박사 학위(2004)를 취득한 후 University of Waterloo(2004-2006), 연세대학교 물리학과(2006-2008)에서 박사후연구원을 거쳐 현재 국가수리과학연구소 선임연구원(2008-현재)으로 재직 중이다. 현재 한국중력파연구협력단(Korean Gravitational-Wave Group, KGWG)의 총무간사이며, 중력파 검출 국제공동연구단인 라이고 과학협력단(LIGO Scientific Collaboration, LSC)과 일본의 카그라협력단(KAGRA Collaboration)의 회원으로 활동하고 있다.
(johnoh@nims.re.kr)

The Nobel Prize in Physics 2017

© Nobel Media, Ill. N. Elmehed
Rainer Weiss
Prize share: 1/2

© Nobel Media, Ill. N. Elmehed
Barry C. Barish
Prize share: 1/4

© Nobel Media, Ill. N. Elmehed
Kip S. Thorne
Prize share: 1/4

Fig. 1. Medal of Nobel Prize and three laureates in physics in 2017.
(credit: nobel media)

이외에 충분히 평가받아 마땅한 숨은 공로자들의 업적을 소개하고자 한다.

라이너 바이스: 레이저 간섭계의 기술을 대형 중력파검출기로 발전시킨 실험가

1932년 베를린의 유복한 집안에서 태어난 라이너 바이스

Fig. 2. Rainer Weiss (right) and Peter Saulson (left), the third spokesperson of LSC. [Adapted from Harry Collins <Gravity's Shadow>]

(Rainer Weiss)는 제2차 세계대전 당시 독일의 심각한 정치상황으로 인해 1939년 미국으로 이주해 맨해튼에 정착했다. 바이스는 물리학에 흥미를 느꼈으며 아울러 손재주에 매우 뛰어났다. 모터, 시계, 라디오 등을 닦지는 대로 분해하고 조립하였고 일찍이 어린 나이에 이를 사업화하여 전후 거리에 넘쳐나는 최신 장비들을 수리하며 수입을 올리는 수완을 보였다. 학교를 종종 빠지고 진공관, 콘덴서 같은 전자부품을 조달하러 다니곤 했다. 16세 때 파라마운트사의 대화재로 인해 버려진 10개의 대형 스피커를 구해서 직접 수리한 뒤 되팔 정도의 실력이 있었다. 이런 재능으로 MIT의 전자공학과에 입학한 그는 그러나 정작 공학 과목에 흥미를 느끼지 못했고 바로 물리학과로 전과하였다. 한 학년 간 연인과의 불같은 사랑으로 학교생활은 뒷전이었는데, 거의 일 년을 일리노이에서 시간을 보내다 실연을 당한 뒤 MIT로 돌아온 그에게 남은 건 낙제생이라는 결과뿐이었다. 낙제생으로 한국전쟁에 징집될 불안감 속에 불안해하던 그에게 한줄기 빛이 된 이는 제럴드 재커리야스(Jerrold Zacharias) 교수였고 그는 이내 그의 실험실에서 실험과 연구를 계속한 뒤 1957년 박사학위를 받았다. 이후 1962년 로버트 디키(Robert Dicke)의 연구원 생활을 하며 일반상대론 등에 대해 관심을 가지게 되었으며 지구의 고유 공명 현상을 측정하는 비중계(gravimeter)를 제작하는 일에 몰두했다. 그러나 이듬해 알래스카 대지진으로 시설이 파괴되며 프로젝트가 중단되었다. 모교인 MIT 조교수가 된 바이스는 1969년 조지프 웨버(Joseph Weber)의 중력과 검출 소식을 듣게 되었고, 세미나에서 발표를 듣고 학생들에게 강의를 준비하면서 자신이 이런 실험을 하게 된다면 중력과 검출기를 더 잘 만들 수 있으리라 생각했다.

레이저 간섭계를 이용한 중력과 검출기를 구상하던 바이스는 간섭계가 가질 수 있는 모든 잡음원을 제시했고 이에 대한 분

Fig. 3. NSF's letter of approval for the development of the prototype of gravitational wave detector by Rainer Weiss in 1975. The amount of the grant was 97,500 USD that corresponds to about 437,000 USD now. [Credit: LIGO Scientific Collaboration]

석을 수행했으며, 1972년 기초실험의 결과를 담은 보고서를 작성했다. 1975년 그는 2년간 9만 7천 500달러의 연구비를 승인 받았고 30미터 간섭계의 기초 실험과 제작을 수행했다. 1980년까지 프로토타입 제작에 몰두한 바이스는 10킬로미터의 팔길이를 가진 간섭계를 만들 수 있다고 공언할 정도로 자신에 차 있었다. 1983년 바이스, 피터 솔슨(Peter Saulson), 폴 린제이(Paul Linsay)의 MIT 그룹은 라이고 제안서의 초안이 되는 <블루북(blue book)>이라 불리는 보고서를 미국과학재단에 제출했다. 그리고 마침내 이 보고서는 캘리포니아 공과대학교와 함께 추진되는 것을 조건으로 채택이 되어 라이고 프로젝트가 본격적으로 시작되는 전초 역할을 하였다.

킵 손: 중력파원의 성질과 파형, 신호검출의 방법을 개발한 이론가

킵 손(Kip S. Thorne)은 1965년 존 아키발드 휠러(John Archibald Wheeler)에게 프린스턴에서 이론물리학 박사를 받았다. 휠러는 1957년경부터 중력과 검출 실험의 선구자인 조지프 웨버와의 공동연구로 중력과 검출에 대한 연구를 시작한 이론물리학자였고, 그 자신이 '블랙홀' 등의 이름이 알려지는데 공헌한 일반상대론의 전문가였다. 때문에 손은 웨버의 일에 대해 초기부터 알게 되었고, 그가 1969년 중력과 검출의 성공을 발표한 신시내티 중서부 상대론 학술회의에서도 그 모습을 직접 목도했으며 그 발표에 적지 않은 충격을 받았다. 비록 자신은 이론물리학자이지만 그가 개발하는 중력과 검출 기술에 대한 기대와 관심을 가지고 있었으며 심정적으로도 호의적이었다. 따라서 웨버의 발표 이후 많은 이들이 웨버의 주장을 신랄하게 비판하고 검증할 때에도 의심은 가지만 다소 중립적인 자세로 웨

Fig. 4. Kip Thorn (left), Ronald Drever (center) and Robbie Vogt (left) in front of 40 m prototype of LIGO in 1990. [Credit: Archives, California Institute of Technology]

버의 결과의 다른 가능성에 대해서도 고려해보아야 한다는 주장을 펼치기도 했다.

초창기 킵 손은 중력파를 방출하는 중력파원 천체에 대한 연구를 시작했고, 특히 중성자별 쌍성의 운동과 파형에 대한 연구에 몰두했다. 그리고 중력파 검출 실험의 기술들에 특별한 관심을 가지고 초기 웨버 검증단의 연구진들과 폭넓게 교류하며 대화했다. 그들은 글래스고 대학의 로널드 드레버(Ronald Drever), 모스크바 대학의 블라디미르 브래긴스키(Vladimir Braginsky), 스탠포드 대학의 로빈 기파드(Robin Giffard) 등이었다. 그리고 레이저 간섭계의 아이디어를 처음 들었을 때 그것이 현실화될 가능성에 대한 이론적 문제에 심각하게 고민했다. 브래긴스키와 했던 막대검출기와 표준양자한계 등에 대한 대화나 뉴욕공향에서 방을 구하지 못해 바이스의 방을 빌려 쓰며 밤새 했던 레이저 간섭계에 대한 토론 등에서 그는 차츰 레이저 간섭계의 가능성에 대해 확신하게 되었다.

그는 은퇴까지 52명의 박사 제자들을 길러냈으며 그들의 대부분이 라이고의 주축이 되었다. 라이고의 데이터의 분석기법, 중력파원의 파형을 통해 신호 추출 원리, 신호검출의 파이프라인과 소프트웨어 및 검출 알고리즘, 중력파원의 검출 확률 등에 대한 이론적으로 중요한 작업들을 수행했으며, 이는 추후 라이고 프로젝트의 제안서를 작성하는데 기초가 되었다.

이와 별도로 그는 칼텍에 독립적인 간섭계 실험 그룹을 만들고자 하여 브래긴스키를 염두에 두고 있었다. 그러나 브래긴스키는 냉전 상황에서 미국으로 이주했을 때의 고국 소비에트 연방과의 여러 불편한 관계들, 자신의 문화적 차이와 적응의 문제들 속에서 고민 끝에 글래스고 대학의 로널드 드레버를 추천했다. 그렇게 손은 드레버를 칼텍으로 영입하여 칼텍에 독립적 레이저 간섭계 그룹을 구축했으며, 칼텍에 당시로 가장 큰 40미터 프로토타입 레이저 간섭계를 개발하는데 산파 역할을 했다.

손은 라이고의 의회의 승인을 앞두고 있을 무렵 무수한 반대와 비판에 직면한 학계를 설득하고 혹은 미래지향적 프로젝트임을 확신시키는데 여념이 없었고 결국 그 열정과 노력이 받아들여져 라이고 프로젝트가 본격화되는데 기여했다.

배리 배리시: 라이고 프로젝트가 안정화되도록 이끈 노련한 리더

배리 배리시(Barry C. Barish)는 1994년 라이고의 두 번째 책임자를 맡았다. 그는 중성미자 검출 실험에 평생을 헌신한 입자물리학자였으며, 라이고의 책임을 맡길 프로젝트 매니저로 개리 샌더스(Gary Sanders)를 영입했다. 이 배리시-샌더스 체제는 프로젝트를 운영하고 지휘할 수 있는 최적의 역량을 가진 지도자 타입이었다. 모든 것이 조직적이었고, 체계적이었고, 투명했다. 칼텍의 빌딩 통로 벽은 프로젝트의 진행 상황을 표시하는 간트 차트(Gantt chart)^{a)}가 되었고, 여기에 목표, 마일스톤, 모든 구성원이 수행해야 하는 책무가 표기되어 일정별로 공개가 되었다. 그 시간대는 완전히 라이고의 각 진행 상태에 맞추어져 있었다. 이 시기에 모든 공정이 계획대로 진행되도록 조직의 문화가 정제화되고 투명하게 공개되었고, 배리시는 라이고의 조직체계에 새로운 시도를 했는데 그것은 라이고 실험실(LIGO Laboratory)을 만든 것이었다. 이는 라이고의 연구개발을 책임지는 일종의 그림자 연구조직이었다. 이는 현재 라이고의 관측소(리빙스턴, 핸포드)와 별도로 라이고의 기술적 연구개발을 책임지며 MIT와 칼텍에 위치하고 있다. 1999년까지 기기의 조립이 완료되었을 때 이 스태프들은 자연스럽게 라이고 실험실로 흡수되어 차기 프로젝트를 위한 준비와 연구를 할 수 있도록 했다. 초기 기기 개발에 참여한 인력이 운용과 관측 시기에 수행해야 할 또 다른 미션을 가질 수 있도록 사전에 준비해야 했다는 점에서 이 결정은 매우 현명한 것이었다.

배리시-샌더스 체제에서는 소통과 팀워크, 그리고 중개자 역할을 강조하는 조직경영의 문화를 택하였고, 이는 향후 거대 조직문화로 발전할 수 있는데 초석이 되는 경영전략이었다. 그러나 배리시-샌더스 체제에서의 변화에 모두가 수긍한 것은 아니었다. 드레버의 40미터 프로토타입 간섭계를 만든 팀들의 집단 탈퇴가 이어지는 등의 내용이 있었다. 이들은 당신 현존하는 가장 큰 간섭계를 만든 기술력을 가진 연구진들이었기에 조직 내의 인력 손실로 인한 위기감이 상당했으나, 이들을 대체할 수 있는 새로운 조직과 구성을 통해 피해를 최소화했는데 그것은 라이고 과학협력단(LIGO Scientific Collaboration, LSC)의 조

a) 프로젝트의 일정관리를 위한 톨로서 업무별 시작과 끝 세부 업무들 사이의 관계 등을 보여주는 도구.

Fig. 5. Leaders that has stablized the LIGO Scientific Collaboration. Barry Barish (left), the second spokesperson of the LSC and the Nobel Laureate in 2017, and Gerry Sanders (right), the project manager [Source of the picture: Harry Collins <Gravity's Shadow>]

직이었다. 국제적인 조직화를 통해서 수많은 인력 전문가들을 수급하고 여전히 수평적이고 소통 중심적인 조직 문화를 이식하는 것이 가능해지도록 한 것이었다. 이는 배리시와 샌더스가 그가 몸담았던 고에너지 물리학 연구조직에서 습득한 것이 이식되는 과정이었다. 그렇게 라이고는 2002년 최종 설치와 테스트를 마치고 가동이 시작되었다. 2005년까지 가동 테스트를 반복하면서 드디어 목표한 설계 감도에 도달하였다. 이런 배리시의 지도력과 경영철학, 조직문화는 그가 몸담았던 고에너지 물리학에서 많은 부분을 차용했고, 이를 라이고라는 시설에 적합하도록 적절하게 변형한 것들이었다. 그리고 이들은 이전 손-바이스-드레버의 트로이카 체제하에서는 절대로 현실화될 수 없는 것들이었다.

그 밖의 숨은 공로자들

로널드 드레버(Ronald Drever)는 라이고 프로젝트의 설립자들 중 한사람이다. 레이저 간섭계의 개발에 라이너 바이스와 함께 지대한 공헌을 한 인물이나 2017년 3월 7일 세상을 떠나는 바람에 노벨상 수상자의 반열에 오르지 못하였다. 1959년 우주선 물리학으로 글래스고대학에서 박사학위를 취득한 그는 웨버의 중력과 검출 소식에 고무되어 중력과 검출 실험으로 뛰어 들었다. 일찍이 로버트 포워드(Robert Forward)와 교류하며 그의 간섭계에 자극 받은 그는 자신이 극저온 기술에 대한 지식과 경험이 없어서 바 검출기보다는 레이저 간섭계로 뛰어 들겠다 마음먹었다. 그리고 글래스고 대학에 프로토타입 레이저 간섭계를 구축하며 기초실험을 수행했다. 그가 처음 당면한 문제는 레

이저 빛의 불안정한 반사와 산란문제였다. 이를 해결하기 위해 도입한 것이 파브리-페로(Fabry-Perot) 공진기를 이용한 간섭계로 전환하는 것이었다. 그리고 이와 함께 안정화된 레이저 빛을 생성하는 기법을 개발하였는데 이는 ‘파운드-드레버-홀(Pound-Drever-Hall) 기법’으로 알려져 있다. 이 두 가지의 도입은 라이고가 과학적 목표를 달성하는데 매우 중요한 기술적 성취로 여겨졌다. 실제로 마이컬슨(Michelson) 간섭계에서 파브리-페로 간섭계로의 전환은 라이고의 감도를 비약적으로 향상시켜준 결정적 기술이었다.

그는 글래스고를 떠나 킵 손의 제안을 수락하여 1983년 캘리포니아 공대로 이직하였다. 캘리포니아 공대 중력과 실험그룹을 이끌며 수십 미터, 수백 미터의 프로토타입 간섭계를 개발했고, 킵 손, 라이너 바이스와 함께 라이고 프로젝트의 공동설립자가 되었다. 바이스가 꼼꼼하고 엄밀한 계산하에 실험적 테스트를 통해 구현하는 진지한 수행자라면 드레버는 창조적 상상력과 아이디어를 통해 직관적 구현을 하는 재기 넘치는 설계자였다. 이렇게 다른 둘의 성향은 트로이카(troika) 체제였던 프로젝트 초기에 종종 마찰을 일으켰고, 그 상황은 매우 심각한 불화로 이어졌다. 결국 미국과학재단은 두고 볼 수 없어 세 사람의 공동 지도체제를 중단하고 로커스 보트(Rochus Vogt)의 단일 경영체제로 전환하였다. 로커스 보트는 우주선 물리학에 헌신해 온 캘리포니아 공과대학 교수로 초대 라이고의 소장으로서 임명되었고, 이 시기 세 사람의 설립자와 함께 ‘라이고 건설 제안서’가 의회의 승인을 받도록 하는 노력을 기울였다. 1994년 드디어 라이고 프로젝트의 건설과 연구개발의 연구비가 확정되었고, 이후 라이고는 제2대 지도체제의 책임자로 중성미자 물리학에 헌신해온 캘리포니아 공대 교수인 배리 배리시(Barry Barish)를 영입하기에 이른다.

한편, 필립 채프먼(Phillip Chapman)은 1967년 MIT에서 일 반상대론 실험으로 바이스에게 박사학위를 받았다. 이후 나사에서 우주비행사로서 과학실험을 수행하며 바이스에게 조언을 얻었는데, 처음으로 바이스에게 레이저 간섭계 이야기를 들었다. 채프먼이 웨버의 제자 포워드를 만나서 바이스의 레이저 간섭계 아이디어를 전했을 때 그는 포워드로부터 이미 수년 전에 웨버가 레이저 간섭계의 아이디어를 이야기한 사실을 전해 들었다. 웨버가 바 검출기에서 레이저 간섭계로 옮겨갔다면 아마도 웨버와 바이스는 함께 일을 했을지도 모를 일이었다. 포워드는 웨버의 제자로서 초기 웨버의 바 검출기 실험을 도왔다. 그러나 그는 웨버가 가졌던 초기 레이저 간섭계의 아이디어를 구현하여 말리부의 휴즈 항공 연구소(Hughes Aircraft Research Laboratory)의 지하실에 동료 게일로드 모스(Gaylord Moss)와 래리 밀러(Larry Miller)와 함께 작은 간섭계를 구축했다. 그 간섭계는 실제로 1972년 약 150시간 정도 가동되었고

초보적이었지만 데이터도 얻었다. 그리고 포워드도 그 장비를 이제 실험실 외부로 꺼내어 수 킬로미터짜리 간섭계를 만들 계획도 세웠다. 레이저 간섭계의 가능성을 웨버보다 잘 이해하고 독립적으로 제작하여 실험했던 그는 불행하게도 필립 채프먼이 우주항공 회사로 이직함에 따라 나사로부터 지원이 중단되면서 그의 레이저 간섭계 프로젝트도 종료되었다. 하지만 그의 연구 성과들은 다른 연구자들 특히 로널드 드레버 등에 의해 승계되어 간섭계의 초기 연구가 지속되었다. 포워드는 이후 과학저술가로서도 명성을 날렸는데 11편의 공상과학소설을 집필하기도 했다.

레이저 간섭계와 그를 이용한 중력과 검출의 연구 측면 외에 이 프로젝트가 성공하는데 지대한 공헌을 한 인물이 있었는데 그는 리처드 아이작슨(Richard Isaacson)이었다. 그는 휠러의 제자였던 찰스 미스너(Charles Misner)에게 메릴랜드 대학교에서 일반상대론으로 박사학위를 받았다. 그는 레이저 간섭계의 연구가 시작되고 라이고 프로젝트가 본격화되던 1973년에서 2002년까지 미국 과학재단의 중력물리 분야의 프로그램 책임자를 역임했고, 라이고 프로젝트가 지속적으로 지원과 관심을 받을 수 있도록 정부차원에서 도움을 주었던

인물이었다.

마치며

이 글에서 소개하지 못한 수많은 레이저 간섭계와 중력과 천체물리학 분야의 공헌자들이 있다. 그들의 업적은 그러나 최초의 중력파의 발견에 고스란히 녹아있다. 20세기의 최대의 발견 중 하나가 될 이 발견 이면에는 수십 년간의 고단히 노력해온 인류의 집단지성의 발전 과정이 담겨있다. 그렇게 과학은 실패했던 성공했던 관계없이, 앞선 세대에서 이루어 놓은 지식의 결과뿐 아니라 그 과정과 문화까지도 흡수하며 성장한다.

REFERENCES

- [1] Marcia Bartusiak, *Einstein's Unfinished Symphony* (Yale University Press, 2017).
- [2] Harry Collins, *Gravity's Shadow* (University of Chicago Press, 2004).
- [3] John J. Oh, *Gravitational-wave, the last gift from Albert Einstein* (Dongasiabook, 2016).