ICHEP의 의의와 역사

DOI: 10.3938/PhiT.27.044

Story of the International Conference on High Energy Physics

Jihn E. KIM

I present a brief history on the series “International Conference on High Energy Physics (ICHEP)”, which has significantly contributed to our understanding of the fundamental particles in the Universe and their interactions. Particle physics is high energy physics, culminating the reductionism that emerged as a new discipline in physics around 1956–1957. This series witnessed how we have come to accept (mainly by plenary talks) the current standard model of particle physics based on reports from various experimental laboratories and have become acquainted (mainly by parallel talks) with new ideas leading to a better understanding of fundamental particles.

국제고에너지물리학회(International Conference on High Energy Physics, ICHEP)는 에너지가 아주 커졌을 때의 물리 현상에 대한 최근의 연구 결과들을 서로 만나서 공유하기 위한 국제학회이다. 이 에너지는 단일 입자에 대한 것이 통상적인 추론이지만, 우주론 및 상전이에서 고려하듯 많은 입자들의 집합체에 관한 것일 수도 있다. 단일 입자에 대한 아주 큰 에너지라면 바로 불확정성 원리에 따라 아주 짧은 시간 또는 아주 작은 크기 Δx 에서의 물리이기 때문에, Δx 가 아주 작다면 이 영역을 한 개의 에너지 덩치로 볼 수 있기에 이것을 우리는 이 영역에서의 기본입자라 부를 수 있다. 따라서, 고 에너지 물

저자약력

김진의 교수는 로체스터대학 물리학 이학박사(1975)로서, 브라운대학 연구원(1975-77), 펜실베이니아대학 연구원(1977-80)을 거쳐, 1980년부터 서울대학교 교수로 재직해왔으며, 광주과학기술원 석좌교수(2010-2013), ICHEP-2018-Seoul 조직위원장(2018)을 역임하였다. 현재 서울대학교 명예교수로 있으며 경희대학교 석좌교수(2013-현재)를 맡고 있다.
(jihnekim@gmail.com)

김 진 의

리학회는 입자물리 학회와 동의어로 간주된다.

한 개의 에너지 덩치에 대한 공간적 크기 개념은 그 에너지에 대한 불확정성 개념으로부터 생각해 볼 수 있다. 에너지를 질량으로 생각해서 얻는 크기가 소위 Compton Wave Length (콤프턴 파장 크기)이다. 전자의 콤프턴 파장 크기는 10^{-11} cm 이고 양성자의 콤프턴 파장 크기는 0.5×10^{-14} cm 정도이다. 이 정도 크기의 에너지 덩치를 구체적으로 보려면 여기에 상호작용의 크기를 고려해야 한다. 양성자의 구조를 보려면 양성자와 상호작용하는 π 중간자의 크기를 고려해야 하니까 대략 10^{-13} cm가 기본이고 이 단위를 Fermi Length라 불러 왔다. 1930년대에 원자핵의 존재를 밝힌 후, 원자핵 크기에서의 물리학을 양자역학적으로 연구한 것이 원자핵물리학이었으며 이후 20년간 가장 높은 에너지를 다루는 물리학이었다. 세계 제 2차 대전 중 미국은 원자핵 에너지를 한순간에 운동에너지(열, 화학에너지 등도 포함)로 바꾸는 연구인 맨해튼 프로젝트(Manhattan Project)를 미국의 핵물리학자들을 Los Alamos에 모아서 수행하였고 그 결실은 1945년 7월 16일 오전 5시 29분에 New Mexico주 Socorro 서남쪽 56 km 사막에서 행한 최초의 원자탄 폭발 실험으로 나타났다. 이 핵에너지를 천천히 운동에너지로 변환하여 평화적으로 이용하는 구조물들이 현재 여러 나라에서 가동 중인 원자력 발전소들이다.

핵물리학자 Robert Oppenheimer는 맨해튼 프로젝트에서 연구 분야의 총 책임자였고, 2차 대전 후 프린스턴의 고등연구소 소장을 20년 가까이 역임했다. 박애주의자이면서도 평화론자(Oppenheimer는 히로시마 원폭 투하를 반대했다고 알려져 있다)인 Oppenheimer는 맨해튼 프로젝트의 결과를 끝내는 의미에서 1947년 6월 1일 뉴욕 주 롱아일랜드 끝자락에 위치한 Shelter Island에서 미국학술원(National Academy of Science)으로부터 \$3,100 지원을 받아서 25명이 참석한 Shelter Island Conference라 불리는 학회를 개최하였다. 25명의 참석자 중에는 E. Fermi, W. Lamb, H. Bethe, R. Feynman, J. Schwinger, R. Marshak, A. Pais 등 양자역학 대가들은 있었지만 Einstein은 참석하지 않았다. 이 학회에서의 최고의 관심사는 Lamb이 1947년 발견한 Lamb Shift이었다. 당시까지의 양자역학 계산에 의해서 Lamb이 발견한 수소원자에서의 에너지 준위 차이

1058 MHz를 설명할 수 없었다. Oppenheimer는 이 학회를 1948년 펜실바니아주 포코노 산의 Pocono Manor에서 1949년 뉴욕주 허드슨강가의 Oldstone-on-Hudson에서 이어 갔다. 이 학회들에서 Oppenheimer가 주장했던 무한대를 해결해야 한다는 문제는 Feynman-Schwinger-Tomonaga-Stueckelberg-Dyson 이 완성한 양자장론 QED의 재규격화(Renormalization)로 결론 이 났다. Oppenheimer는 더 이상 Shelter Island Conference 를 이어가지 않았다.

1946년 우주선으로부터 μ 입자와 비슷한 질량을 가진 입자를 발견했고, μ 입자로 보기에 무리가 있어서 Robert Marshak은 두 개의 중간자 가설을 생각하게 되고(출판은 Bethe와 같이 했음), 1946년 발견된 중간자가 바로 Hideki Yukawa가 1933년 제안한 강한 상호작용을 매개하는 π 중간자이다. Susumu Okubo 교수가 나에게 Ride를 주면서 언급한 바에 의하면, π 중간자 발견 후 Oppenheimer의 추천에 의해 Yukawa는 1949년 노벨물리학상을 수상하게 되었다.

1950년 Marshak은 로체스터대학 물리학과 학과장으로 부임하면서 Oppenheimer의 학회를 이어가게 되는데 이를 Rochester Conference라 불러 왔다. 사실 Rochester Conference는 QED 이후의 다른 기본 상호작용들을 QED 정도의 이론으로 정립해 가는 과정이었다. 초창기의 참가자들은 물론 핵물리학자들이었다. 제1회 Rochester Conference(Rochester-1)는 1950년 12월 16일 로체스터대학 물리학과에서 개최되었다. 이후 매해 로체스터대학 물리학과에서는 이 학회를 개최했는데 꾸준한 주제는 π 중간자와 관계된 것이었고 Rochester-5(1955년 1월 31일-2월 2일)에서의 τ - θ puzzle 논의 후, T. D. Lee와 C. N. Yang은 그의 회고록에서 밝혔듯이 Rochester-6(1956년 4월 3일-6일) 참가 후, 약한 상호작용에서는 공간반전대칭성 (Parity Symmetry)이 보존될 실험적 근거가 없다는 발표를 하게 되었다. 1956년 이후 이 핵물리 분야에서, 주로 대칭성 (Symmetry)에 관한 연구를 수행한 학자들이 최초의 입자물리 학자들이다. 대칭성 연구의 초기 결과들은 1957년 Shoichi Sakata가 주장한 강한 상호작용에서의 p-n- Λ 모형, Marshak, Sudarshan, Feynman, Gell-Mann이 주장한 약한 상호작용에서의 “V-A” 이론들을 들 수 있다. 이 각각은 강한 상호작용에서는 쿼크모형, 약한 상호작용에서는 자발적으로 깨진 표준모형에서 W 보존과 상호작용하는 왼손잡이 Chiral field로 정착 되게 되었다. 이후의 역사가 보여주듯 입자물리학에서는 수많은 이론들이 기회 있을 때마다 부침했기에 Andrew Pickering은 입자물리학을 ‘Opportunism in context’라 불렀다. 그러나 John Polkinghorne은 그의 책 “Rochester Roundabout”에서 ‘Fundamental Physics’를 찾아가는 물리학 본연의 일이라 규정하고 있다. 입자물리학을 Pickering은 사회과학적으로 Polkinghorne은

자연과학적으로 보고 있다. 제 8, 9회를 Geneva-8 및 Kiev-9에서 개최한 후 Rochester에서 Rochester-10을 다시 개최했을 때 Heisenberg가 ICHEP에 최초로 참석했고 참가자들은 300명으로 늘었다. 이후에는 매해가 아니라 격년으로 이 학회가 개최되었다. 1962년 Geneva-11을 거쳐 1964년 Dubna 대회 때부터 학회 명칭이 12th International Conference on High Energy Physics(ICHEP-12)로 불리게 된다. 격년으로 개최된 학회부터 ICHEP을 쓰면 Geneva-11은 ICHEP-11이다. 이런 계산으로 짝수 해 2018년은 ICHEP-39에 해당한다. ICHEP-39-Seoul에는 등록자가 1200명이었다. ICHEP 개최지는 유럽, 북미, 아시아-오세아니아 주를 순회한다. 한국에서 ICHEP 유치를 최초로 논의한 해는 2010년 종로의 한 회의장에서였으며 이 논의에 대략 25명쯤 참가했다. 당시 상황으로서는 2012년에는 ICHEP이 Melbourne에서 개최될 예정이었기 때문에 한국 개최는 2018년이나 가능하다는 것을 알았다. 당시에 2018년까지 연장되는 큰 연구비가 없어서 논의가 더 이상 안 되던 중, CMS 한국 그룹이 연속적 연구비 획득이 가능하여 재추진하여 2014년 Valencia의 ICHEP-37에서 서울시의 도움을 받아 Seoul 유치에 성공하였고, 그 후 기초과학연구원의 CUP, CAPP, CTPU가 개최 연구기관으로 참가하여 본격적으로 ICHEP-2018-Seoul을 추진하게 되었다.

Polkinghorne은 ICHEP-10-Rochester(1960)에서 몇 가지 특기할 사항들을 다음과 같이 적고 있다. 이 학회에서 나이가 가라 폭포로의 Conference Excursion을 도입했고 이후 거의 모든 ICHEP 학회에서 Conference Excursion을 고려하게 되었다. 여기에서 큰 주목을 받지 못하고 발표한 것들 중, 나중에 입자물리학을 송두리째 바꾸게 되는 것들은 Nambu의 Parallel Session에서의 말 “고체물리는 입자들의 운동을 이해 하는데 적당한 모형을 제공할 수도 있다.”는 속칭 Nambu 나 림의 Higgs Mechanism, Yoshio Ohnuki가 말한 “몇 년 전의 Sakata 모형을 SU(3) 대칭으로 생각해 볼 수 있다.”는 것, 참석하지 못한 소련의 L. B. Okun을 대신해 발표한 M. L. Goldberger의 당시에 활발했던 약한 상호작용을 매개하는 무거운 Intermediate Vector Boson(IVB)에 대한 신랄한 언급 “IVB 이론이 재규격화가 불가능하다는 것은 종교이다.” 등이다. 이 말들을 현재의 표준모형에 견주어 곱씹어 보면 얼마나 정확히 미래의 연구 방향들을 예견하는지 알 수 있다.

ICHEP-16-Chicago(1972)는 현대의 고에너지 가속기(Fermi National Accelerator)를 시카고 근교 바타비아에 건설하고 학회를 유치했다. 이 학회는 당시의 화두 자발적으로 깨어진 게이지 이론의 재규격화를 기존의 입자물리학자들이 알 수 있도록 증명한 Benjamin W. Lee(이회소)를 화려하게 등장시켰다. B. W. Lee는 이 학회에서 당시 Steven Weinberg 모형이라 알려

졌던 것을 Weinberg-Salam 모형이라 불렀다. 400 GeV 에너지의 양성자 가속기인 FNAL은 뉴트리노 빔 가속기였고 최초 목표는 약한 상호작용에서의 중성류(Weak Neutral Current) 존재 여부를 규명하는 것이었다. 중성류의 존재는 1974년 CERN의 Gargamelle 실험 그룹이 발견한 후 ICHEP-19-Tokyo(1978)에서 SLAC의 Polarized e-D 충돌 실험 결과에 대한 R. E. Taylor의 Parallel session 발표로 중성류 현상은 반전대칭성을 깨고 있다는 것이 받아들여지고 Plenary Talk에서 C. Baltay는 $\sin^2\theta_w = 0.29 \pm 0.05$ 를 발표했다. 다음해 Neutrino-79-Bergen(1979)에서 $\sin^2\theta_w = 0.233 \pm 0.009 \pm 0.005$ 이 Kim, Langacker, Levine, Williams, Sidhu에 의해 정해지고 DESY의 TASSO 그룹에 의한 글루온 발견을 Salan Wu가 발표한 것들은 1980년대 초에 표준모형을 완성하는 중요한 실험들로 평가된다.

ICHEP-17-London(1974)은 이후 입자물리학 연구 주제들을 정립해 가는 최초의 학회라 할 수 있다. Plenary Session에서 J. Iliopoulos의 Glashow-Iliopoulos-Maiani 모형 설명, Parallel Session에서 B. Zumino가 발표한 초대칭성(Supersymmetry) 등이 주목을 끌었다.

ICHEP-19-Tokyo(August 23-30, 1978)는 아시아-오세아니아에서 열린 최초의 ICHEP이었다.[서울 학회는 이후 40년 만에 개최되었음.] 학회 장소는 도쿄 신주꾸에 있는 게이오플라자호텔이었다. 이 학회 바로 전 서울대학교에서 이휘소 추모 심포지엄이 열렸기에 재미 한국인 물리학자들도 다수 참가했다. 이 학회 기간 중 로체스터 출신 참석자들과 Marshak이 저녁을 같이하는 모임이 있어서 나는 이때 Marshak을 만날 수 있었다. 일본어에 능통한 박봉열 교수께서는 신주꾸 변화가에 있는 어떤 주점에 한국인 참석자들을 모두 인도하기도 하였다. 이 학회 Parallel Session에서 Robert Peccei가 "In view of quite strong evidence against axions, it is also useful to look for alternative theoretical problems to the strong CP problem"이라 말한 결론은 나에게 큰 감명을 주었다. 원래 Hideki Yukawa가 Summary Talk를 하기로 되어 있었지만, 건강 때문에 Yoichiro Nambu가 대신 Summary를 하였고 학회에서 초대칭성이 논의되었었기에 여기에 관해, "The only new appearance is the spin 3/2 gravitino field"라 말한 것은 본질을 꿰뚫어 본 문장이었다. 전술한 것처럼 SLAC의 중성류 발표로써, 거의 모든 사람들이 Weinberg와 Salam이 노벨상을 받을 것으로 예상했다. 학회가 끝난 금요일 저녁에 NHK는 게이이지론을 발전시킨 학자들에 관한 1시간 정도의 다큐멘터리를 방영하여 이런 추측을 하게 하였지만, 노벨상은 1979년 Glashow와 함께 주어졌다.

ICHEP-21-Paris(1982) 학회는 대통일이론의 예측인 양성자 붕괴 발견이 기대되는 때 열렸고 Howard Georgi의 Plenary

Session 발표 "Grand Unification"이 주목을 받았던 학회였다. 이 학회 중 커피 테이블에서의 다음 대화가 많은 것을 암시한다. Georgi "Supersymmetry introduces too many particles", Ibanez "How about in your GUT?". 이후 미국의 양성자붕괴를 탐색하는 실험그룹 IMB가 1983년에 발표한 것으로부터 SU(5)가 예측하는 정도로 양성자는 붕괴하지 않는다는 것을 알게 되었다.

ICHEP-23-Berkeley(1986) 학회에서 Weinberg는 태양으로부터 나오는 뉴트리노의 진동에서는 물질 내에서의 진동 효과가 크다는 소위 Mikheyev-Smirnov-Wolfenstein(MSW) 효과를 소품을 진동시켜 가며 Summary Talk에서 보여주었고, 이후 뉴트리노 진동에서 MSW 효과를 꼭 고려하게 되었다.

ICHEP 학회에는 새로운 발견들이 발표되고 미래 연구들을 가능케 볼 수 있는 아이디어들이 풍성하다. ICHEP-10-Rochester에서처럼 중요한 실험 발표가 없을 때에는 오히려 미래를 예측하는 아이디어들이 쏟아지기도 했다. 최근의 상황은 다음과 같다. ICHEP-35-Paris(2010)에서는 사르코지 프랑스 대통령이 기초과학의 중요성을 강조한 축하, ICHEP-36-Melbourne(2012)에서는 질량 125 GeV의 Higgs Boson 발견을 CERN과 동시에 학회 장소에서 발표한 것들을 기억할 만하다. ICHEP-37-Valencia(2014)에서는 남극에서의 실험 BICEP2 그룹이 2014년 초에 발표한 우주배경복사에서 텐서/스칼라 비율 r 이 0.1보다 크다는 점이 주목을 끌었다. 그 후의 데이터에서 " r 은 0.1 정도는 아니다."라는 것으로 결론이 났다. ICHEP-38-Chicago(2016)에서는 블랙홀 2개가 합쳐져서 태양질량 60배 정도의 블랙홀이 될 때 나오는 중력과 GW150914가 화두이었으며 이후 중력파는 더 발견되고 있다. 나는 ICHEP-39-Seoul(2018)에서 크게 주목을 끈 발표를 들었다고 할 수는 없지만 Parallel Session이나 Poster 발표들에서는 미래의 연구에 길잡이가 될 많은 아이디어들이 있음을 확인할 수 있었다.

J. J. Thompson이 1897년 전자를 발견한 이래 QED로써 원자 내에서의 전자의 주 상호작용이 Shelter Island Conference를 통해 정립될 때까지 50년이 걸렸다. 이 기간에 패러다임을 바꾼 양자역학의 등장이 있었다. L. Susskind의 주장에 의하면 물리학에서 패러다임의 변환에는 50년이 필요하다. 1947년 π 중간자가 발견된 후 그 구성원 쿼크의 상호작용을 완전히 이해할 수 있게 된 것은 표준모형의 정립이라 할 수 있고 2012년 Higgs 입자 발견으로 중지부를 찍었다. 그러나 표준모형의 등장 1967년부터 계산하면 2017-18이 50년을 마감하는 해이고 ICHEP이 주 역할을 하였다. 이 기간 중, 초대칭성의 등장 및 초끈이론의 등장이 있었다. ICHEP-2018-Seoul은 한 패러다임을 마감하고 새로운 패러다임의 등장을 기다리는 학회가 되었고 P. Langacker의 Summary Talk는 이를 잘 나타내 주었다.