

## 평화를 위한 과학

### 한반도 고등학교 학생들의 고에너지 우주 입자 관측 실험 EEE-Korea 프로젝트

Antonino Zichichi <sup>a)b)</sup>, Crispin Williams<sup>a)c)d)</sup>, Do-Won Kim<sup>d)</sup>

a) CERN, Geneva, Switzerland

b) World Federation of Scientists. Geneva, Switzerland

c) INFN, Bologna, Italy

d) Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Republic of Korea

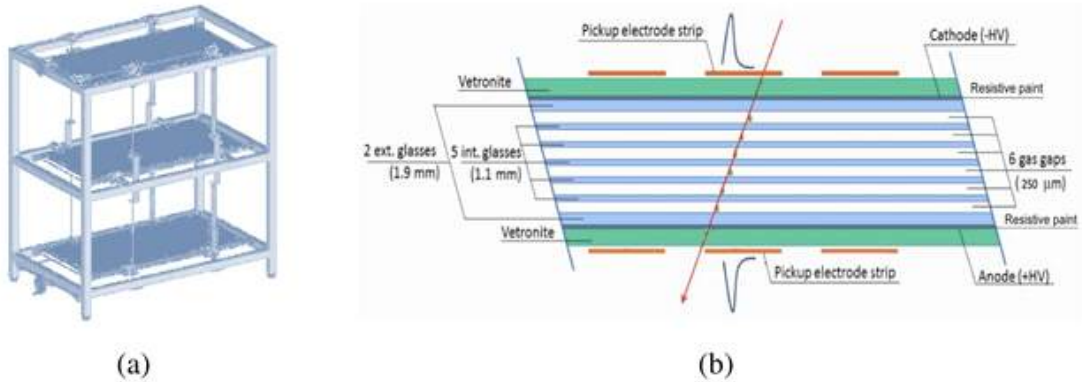
#### <요약문>

고등학교 학생들이 유럽입자물리연구소에서 첨단 기술을 사용하는 입자 검출기를 제작하여 자신들의 학교에 보내 설치한 후 고에너지 우주선 입자 데이터를 수집, 분석하는 과학 프로젝트를 한반도에서 수행하는 것을 제안한다. 한반도 EEE 프로젝트는 한반도의 미래를 이끌 남한과 북한의 학생들에게 과학 탐구에 대한 열정을 심어주는 한편, 이들이 국제적인 공동 연구를 통하여 힘을 합하고 서로를 이해하는 능력을 발전시키는 데에 기여할 것이다.

◆ 주제어 : 우주방사선, 뮤온, 저항판 검출기, 고등학교, 국제공동연구

## I. 한반도 EEE 프로젝트 제안의 배경

우주 공간에서 지표면을 향하여 온 높은 에너지 입자는 상부 대기에서 대기 중 원자와 상호 작용하여 입자들의 샤워를 만든다. 이탈리아 반도의 EEE (Extreme Energy Event) 프로젝트는 이러한 입자 샤워를 감지하도록 설계되었다. 이 입자 샤워가 생성된 초기에는 그 구성 입자들이 대부분 파이온(pion,  $\pi$ )인데, 그 수명이  $2.6 \times 10^{-8}$ 초로 짧아 그 입자들의 대부분이 뮤온(muon,  $\mu$ )으로 붕괴한다. 따라서 EEE 검출장치는 지상에서 뮤온을 감지하도록 설계되었으며, 세 개의 검출기들을 지나가는 뮤온의 입사 각도와 비행시간을 측정한다. <그림 1(a)>는 전형적인 EEE muon 망원경의 형태를 보여준다. EEE 검출장치는 세 개의 다중간극저항판검출기(Multigap Resistive Plate Chamber, MRPC) 평면으로 구성되어 있다. MRPC의 세부 구조는 <그림 1(b)>에 나타나 있다.



<그림 1(a)> EEE 프로젝트 망원경; (b) EEE MRPC의 기본 요소

MRPC는 낚싯줄로 서로 분리된 유리판들로 구성된다. 외부 유리판의 한 면은 높은 저항의 물질로 코팅되어 고전압 공급 장치에 연결된다. 되는데, 외부 유리판들에 높은 전압을 인가하면 그 사이의 가스 간극들에 높은 전기장이 생성된다. MRPC를 통과하는 뮤온은 유리판 사이의 가스 간극에 있는 가스 분자를 이온화한다. 간극 내의 높은 전기장에 의하여 이온화에서 발생한 전자가 급속히 가속되며 연쇄적으로 가스 애벌런치(avalanche)를 형성한다. 이러한 애벌런치 전자들의 움직임은 신호 전극에 빠른 신호를 유도한다(<그림 1(b)>에 표시). MRPC의 탁월한 성능은 검출 효율이 매우 높고 입자가 통과한 시간을 매우 정확히 측정할 수 있다는 것이다. 수십 피코초(pico second)의 시간 분해능을 이용하여 입자의 방향을 결정하고 에너지를 측정할 수 있다.

## II. 이탈리아 고등학교 학생들의 EEE 프로젝트

EEE 프로젝트는 이탈리아 전역의 고등학교들에서 수행되는 공동 과학 활동이다. 이 프로젝트에 참여하는 고등학교들에는 EEE 망원경이 설치되어 있다. 학생들은 망원경이 잘 작동하도록 유지하고, 얻어진 데이터를 중앙 컴퓨터로 전송해 분석에 사용할 수 있도록 한다. MRPC는 성능이 뛰어난 반면 그 제작이 비교적 쉽기 때문에 선발된 고등학교 학생들이 교사와 함께 유럽입자물리연구소(CERN)의 실험실에 와서 MRPC를 직접 제작한 후 자신의 고등학교로 보낸다. <그림 2(a)>, <그림 2(b)>는 MRPC를 제작하는 학생들의 모습을 보여준다.



(a)



(b)

<그림 2(a)> : 고등학교 학생이 vetronite에 구리 테이프를 적용하여 판독 전극을 제작하는 모습. <그림 2(b)> : 직경이 250  $\mu\text{m}$ 인 뉘싯줄 (유리 시트 사이에 스페이서로 사용)을 검출기 한쪽 면에서 다른쪽 면으로 유리 표면을 가로 질러 플라스틱 나사에 고정하는 모습

고등학교 학생들의 참여에는 두 가지 의미가 있다. 첫 번째는 EEE 망원경을 설치하기 위하여 특별한 장소를 확보하지 않고 고등학교의 빈 공간을 활용하여 <그림 3>의 붉은 색 점들의 분포와 같이 넓은 영역에서 실험을 수행할 수 있다는 것이다. 두 번째는 고등학생들이 첨단 과학 프로젝트에 참여한다는 것이다. 검출기의 제작, 망원경 운영과 함께 CERN의 최첨단 물리학 연구 프로젝트에 접하게 되는 학생들은 장래에 과학자가 되는 꿈을 가지게 된다. 실제로, EEE 프로젝트에 참여한 학생들 중 많은 수가 대학의 물리학과 진학을 선택한다.

우리의 미래는 오늘날의 젊은이들에 의해 결정될 것이다. 기초 물리학 연구가 문명의 필수 요소라고 믿고 있는 우리 과학자들은 한반도의 고등학생들을 위한 EEE 프로젝트를 제안한다.



<그림 3> 이탈리아의 고등학교들에 설치된 EEE 망원경의 위치

### Ⅲ. 한반도 EEE 프로젝트의 실행 방안

이탈리아에서 수행되는 EEE 프로젝트와 유사한 절차를 따를 것을 제안한다. 한반도의 고등학생에서 선발된 학생들과 교사가 최소 1 주일 동안 CERN을 방문한다. 그 기간 동안 학생들과 교사는 CERN에 체재하는 전문가들과 함께 뮤온 망원경의 구성 요소인 MRPC 검출기들을 제작한다. 같은 기간 동안 그들은 대형 가속기 실험인 CERN의 LHC 실험이 수행되는 장소를 방문하고, MRPC의 작동 원리와 muon 망원경으로 수행할 수 있는 물리 실험 (예 : Forbush 감소, muon의 수명 측정 등)에 대한 강의에 참석한다.

이 프로젝트에 참여할 고등학교들을 선택하여 순차적으로 진행한다. 각 고등학교 안에 EEE 망원경을 설치하고 운영할 영역을 확보한다. 한반도의 적절한 장소(예를 들면 한국과학기술정보연구원, KISTI)에 중앙 저장소를 설치하여 그 곳에 데이터를 전송, 보존하고 분석한다. 또한 관찰 결과에 대해 다른 학교들과 공유하고 서로 의사를 소통할 수 있는 체계를 갖춘다. 이탈리아에서는 고등학교가 속한 지역에 가까운 국립핵과학연구소 (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN) 지부의 훈련된 연구원들이 고등학교 학생들이 EEE 프로젝트를 수행하는 과

정에서 발생할 수 있는 문제들을 해결해 준다. 한국의 경우 물리학과 대학원이 있는 인근의 대학교에서 그러한 지원을 수행하는 것이 적절하다. 이탈리아 반도와 한반도에서 얻은 데이터를 서로 공유하여 분석하고 두 나라의 학생들이 정기적으로 만나 그 결과를 발표하고 토론하는 기회를 만들 수 있을 것이다.

한반도 EEE 프로젝트는 남한과 북한 전체를 위한 것으로서, 한반도 전역의 남학생과 여학생 모두에게 물리학 법칙을 배우고 국제적 과학 공동 연구 활동에 참여하는 즐거움을 줄 것이다. 우리의 목표는 과학에 관심이 있는 모든 젊은이들에게 그러한 기회를 부여하는 것이다.

참고로, EEE 검출기 시스템의 장비 제작비용은 55,000 스위스 프랑(한화 6천6백만원) 정도로서, 주요 구성 장치는 CERN에서 개발된 MRPC와 최첨단 신호처리 전자 장치이다. 한국 학생들과 교사들이 스위스의 CERN을 방문하고 체재하는 비용이 추가로 필요할 것이다. CERN 현지의 전문가 연구진은 연간 10개 그룹을 수용하여 제작 및 훈련을 수행할 수 능력을 보유하고 있다.

#### IV. 결론

남한과 북한의 고등학생들이 유럽입자물리학연구소를 방문하여 고성능 우주 방사선 검출기를 제작하고 이를 본국의 학교에 보내 설치한 후 초고에너지 우주 방사선 입자를 탐색하는 실험 연구를 제안하였다. 한반도 EEE 프로젝트는 우리나라의 미래를 이끌 학생들에게 과학 탐구에 대한 열정을 심어주는 한편, 이들이 힘을 합하고 서로를 이해하는 능력을 키워주는 국제 공동연구이다.

## 참고문헌

- Nania R., Pinazza O. (EEE Collaboration), "Measuring cosmic ray showers near the North Pole with the Extreme Energy Events project", *Il Nuovo Saggiatore - Bollettino della Società Italiana di Fisica, Nuova Serie Anno 34 • N. 5 settembre-ottobre 2018 • N. 6 novembre-dicembre 2018*
- EEE Collaboration, "The Extreme Energy Events Project and its most recent results", *Il Nuovo Cimento 41 C (2018) 66*, DOI 10.1393/ncc/i2018-18066-y, Colloquia: IFAE 2017 - EEE Collaboration, "FISICA PER TUTTI - Come varia il flusso dei raggi cosmici con la quota? Basta chiederlo agli studenti del progetto EEE"
- EEE Collaboration, "The Extreme Energy Events experiment: an overview of the telescopes performance", Published by IOP Publishing for Sissa Medialab, *Journal of Instrumentation*, August 31, 2018
- EEE Collaboration, "Time and orientation long-distance correlations between extensive air showers detected by the MRPC telescopes of the EEE Project", *Il Nuovo Cimento 40 C (2017) 196*, DOI 10.1393/ ncc/i2017-17196-0, Colloquia: Physics in Collision 2017
- EEE Collaboration, "Search for long distance correlations between extensive air showers detected by the EEE network", *Eur. Phys. J. Plus (2018) 133: p.34*
- EEE Collaboration, "Operation and performance of the EEE network array for the detection of cosmic rays", *Nucl.Inst.&Meth. A 845 (2017)*, pp.383-386
- EEE Collaboration, "Time and orientation long distance correlations between extensive air showers detected by the MRPC telescopes of the EEE Project", Poster presented at the "XXXVII Physics in Collision" Conference, Praga, 4-9 Settembre 2017 (Sito Web: <http://pic2017.fjfi.cvut.cz/>)
- EEE Collaboration, "EEE Project - Students from all parts of peninsula collaborate to study cosmic rays", *Proceedings of Science, Volume 314, Poster PoS (EPS-HEP2017) 823*, <https://pos.sissa.it/314/823/>
- EEE Collaboration, " Extreme Energy Events Project: construction of the detectors", *Proceedings of Science, Volume 314, Poster PoS (EPS-HEP2017) 820*, <https://pos.sissa.it/314/820/>

- EEE Collaboration, "Recent results and performance of the multi-gap resistive plate chambers network for the EEE Project", JINST, 11 (2016) C11005, doi: 10.1088/1748-0221/11/11/C11005
- EEE Collaboration, "Looking at the sub-TeV sky with cosmic muons detected in the EEE MRPC telescopes", Eur.Phys.J.Plus 130 (2015) p.187
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), A study of upward going particles with the Extreme Energy Events telescopes, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 816 (2016) 142-p.148.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Cosmic rays Monte Carlo simulations for the Extreme Energy Events Project, Eur. Phys. J. Plus (2014) 129, p.166.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Time Correlation measurements from extensive air showers detected by the EEE telescopes, Eur. Phys. J. Plus (2013) 128, p.148.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), The EEE experiment project: status and first physics results, Eur. Phys. J. Plus (2013) 128, p.62.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), The EEE Project: cosmic rays, multigap resistiveplate chambers and high school students, JINST (2012) 7 P11011.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), The EEE experiment: cosmic rays, multigapresistive plate chambers and high school students, PoS (RPC2012) 012
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Observation of the February 2011 Forbush decrease by the EEE telescopes, Eur. Phys. J. Plus (2011) 126, p.61.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), First detection of extensive air showers with the EEE experiment, Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica B-Basic Topics in Physics (2010) 125, 4, p.479.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), First detection of extensive air showers with the EEE experiment, Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica B-Basic Topics in Physics (2010) 125, 2, pp.243-254.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Towards the installation and use of an extended array for cosmic ray detection: The EEE Project, Nuclear Physics B - Proceedings Supplements (2009) 190 pp.38-43.
- Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Performance of a six gap MRPC built for large area coverage, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A (2008) 593 p.3.

Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Extreme Energy Events Project: Construction of the detectors and installation in Italian High Schools, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A (2008) 588 pp.1-2.

Abbrescia M. et al. (EEE Collaboration), Multigap Resistive Plate Chambers for EAS study in the EEE Project, Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference (2008), Vol. 5, HE part 2, pp.1565-156.

An S. et al. (EEE Collaboration), Multigap resistive plate chambers for EAS study in the EEE Project, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A (2007) 581 pp.1-2.

Antolini R. et al. (EEE Collaboration), The EEE Project: status and perspectives, Nuclear Physics B Proceedings Supplements (2007) 165, pp.333-340.

## EEE 프로젝트 연구진 (The EEE collaboration)

M. Abbrescia<sup>a,b</sup>, C. Avanzini<sup>a,c</sup>, L. Baldini<sup>a,c</sup>, R. Baldini Ferroli<sup>a,d</sup>, G. Batignani<sup>a,c</sup>, M. Battaglieri<sup>a,q</sup>, S. Boi<sup>a,e</sup>, E. Bossini<sup>a,o,e</sup>, F. Carnesecchi<sup>a,f</sup>, A. Chiavassa<sup>a,g</sup>, C. Cicalo<sup>a,h</sup>, L. Cifarelli<sup>a,f</sup>, F. Coccetti<sup>a</sup>, E. Coccia<sup>a,i</sup>, A. Corvaglia<sup>a,j</sup>, D. De Gruttola<sup>a,k</sup>, S. De Pasquale<sup>a,k</sup>, F.L. Fabbri<sup>a,d</sup>, V. Frolov<sup>p</sup>, L. Galante<sup>a,g</sup>, P. Galeotti<sup>a,g</sup>, M. Garbini<sup>a,f</sup>, G. Gemme<sup>a,q</sup>, I. Gnesi<sup>a,g</sup>, S. Grazzi<sup>a</sup>, C. Gustavino<sup>a,l</sup>, D. Hatzifotiadou<sup>a,f,o</sup>, P. La Rocca<sup>a,r</sup>, G. Mandaglio<sup>a,s</sup>, O. Maragoto Rodriguez<sup>n</sup>, G. Maron<sup>m</sup>, M.N. Mazziotta<sup>a,t</sup>, S. Miozzi<sup>a,d</sup>, R. Nania<sup>a,f</sup>, F. Noferini<sup>a,f</sup>, F. Nozzoli<sup>a,u</sup>, F. Palmonari<sup>a,f</sup>, M. Panareo<sup>a,j</sup>, M.P. Panetta<sup>a,j</sup>, R. Paoletti<sup>a,e</sup>, W. Park<sup>n</sup>, C. Pellegrino<sup>m</sup>, L. Perasso<sup>a,q</sup>, F. Pilo<sup>a,c</sup>, G. Piragino<sup>a,g</sup>, S. Pisano<sup>a,d</sup>, F. Riggi<sup>a,r</sup>, G.C. Righini<sup>a</sup>, C. Ripoli<sup>a,k</sup>, M. Rizzi<sup>a,b</sup>, G. Sartorelli<sup>a,f</sup>, E. Scapparone<sup>a,f</sup>, M. Schioppa<sup>a,v</sup>, A. Scribano<sup>a,c</sup>, M. Selvi<sup>a,f</sup>, S. Serci<sup>a,h</sup>, S. Squarcia<sup>a,q</sup>, M. Taiuti<sup>a,q</sup>, G. Terreni<sup>a,c</sup>, A. Trifirò<sup>a,w</sup>, M. Trimarchi<sup>a,w</sup>, M.C. Vistoli<sup>m</sup>, L. Votano<sup>a,l</sup>, M.C.S. Williams<sup>a,f,o</sup>, L. Zheng<sup>a,n,o</sup>, A. Zichichi<sup>a,f,o</sup> and R. Zuyeuski<sup>a,n,o</sup>

a Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche “Enrico Fermi”, Roma, Italy

b INFN and Dipartimento Interateneo di Fisica, Università di Bari, Bari, Italy

c INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Pisa, Italy

d INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati (RM), Italy

e INFN Gruppo Collegato di Siena and Dipartimento di Fisica, Università di Siena, Siena, Italy

f INFN and Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna, Bologna, Italy

g INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Torino, Torino, Italy

h INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Cagliari, Cagliari, Italy

i INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Roma, Italy

j INFN and Dipartimento di Matematica e Fisica, Università del Salento, Lecce, Italy

k INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Salerno, Salerno, Italy

l INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Assergi (AQ), Italy

m INFN CNAF, Bologna, Italy

n ICSC World Laboratory, Geneva, Switzerland

o CERN, Geneva, Switzerland

p JINR Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

q INFN and Dipartimento di Fisica, Università di Genova, Genova, Italy

r INFN and Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Catania, Catania, Italy

s INFN Sezione di Catania and Dipartimento di Scienze Chimiche, Biologiche, Farmaceutiche e Ambientali, Università di Messina, Messina, Italy

t INFN Sezione di Bari, Bari, Italy

u INFN and ASI Science Data Center, Roma, Italy

v INFN and Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, Cosenza, Italy

w INFN Sezione di Catania and Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra, Università di Messina, Messina, Italy