

한 중 국제 공동 연구 사업  
International Collaboration between Korea and China

고에너지 첨단과학기술에 관한 韓中 공동연구사업  
International Collaboration in High Energy Sciences between  
Korea and China

고 려 대 학 교

과 학 기 술 부

# 제 출 문

## 과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “韓 中 국제공동연구사업”과제 (세부과제 “고에너지 첨단과학기술에 관한 韓中 공동연구사업”) 의 보고서로 제출합니다.

2000 . 10 . 25

주관연구기관명 : 고려대학교

주관연구책임자 : 강 주 상

연 구 원 : 박 환 배(고려대)

“ : 김 선 기(서울대)

“ : 김 태 연(서울대)

“ : 김 홍 주(서울대)

“ : 손 동 철(경북대)

“ : 박 일 흥(경북대)

“ : 최 중 범(전북대)

협동연구기관명 : 서울대, 경북대, 전북대

협동연구책임자 : 해당 사항 없음

협·공동연구기관명 : 中國 高能物理學研究所

협·공동연구책임자 : Chen He-Sheng

# 요 약 문

## I. 제 목

고에너지 첨단과학기술에 관한 韓中 공동연구사업

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

입자가속기를 이용하는 고에너지 과학은 순수학문적인 면에서는 주로 물리학 분야에 속하지만 여러 가지 공학분야가 복합적으로 이루어진 첨단기술중의 한가지이다.

- 中國科學院 산하 高能物理學研究所(IHEP)에서는 BEPC<sup>1)</sup> 입자 가속기를 이용한 양전자-전자 충돌실험(BES<sup>2)</sup> 실험이라 불린다)이 진행되고 있다. 국제전산망의 네트워크를 효율적으로 사용함으로써 고에너지 분야에서 中國과의 국제공동연구사업의 추진을 통하여 검출기 제작 프로젝트와 그와 관련된 분야의 첨단기술을 우리 쪽으로 이전해온다. 또한 취득된 실험데이터를 분석함으로써 기초과학분야의 연구를 수행할 수 있다. 또한 이 과정을 통하여 韓國의 고급인력을 양성할 수 있고 국제공동연구사업을 통하여 이루어지고 있는 고에너지 실험분야에서 우리의 위상을 높이는데 기여를 한다.

- 長期的으로 넓은 의미에서는 韓中 간의 과학 문화교류를 통하여 상호 신뢰구축과 해양오염, 대기오염 등 양국간의 긴밀한 협조가 필요한 거대과학 분야에서 긴밀한 협조가 이루어 질 수 있도록 신뢰와 여건의 조성을 넓혀나갈 수 있다.

- 그리고 최근에 활발히 논의되고 있는 아시아지역 대형선형가속기 사업<sup>3)</sup>에 관한 타당성을 함께 조사한다. 이것은 일본이 중심적인 역할을 하지만 韓國과 中國의 공동협조가 필수적인 사업분야이다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

취득된 많은 양의 실험데이터를 가격이 저렴한 개인용 컴퓨터에 리눅스 운영체제를 설치하여 분석한다. 이를 위하여 자동화된 스크립터를 가지고 국제전산망을 이용하여 中國에 있는 실험분석 소프트웨어 라이브러리들을 주고받는다. 또한 검출기 양단(endcap)에 위치한 Time of Flight(TOF) 검출기의 성능을 업그레이드(upgrade)하는 R&D 프로젝트로서 TOF 검출기에 관한 전산 시뮬레이션과 프로토타입

1)Beijing Electron-Positron Collider

2)Beijing Electromagnetic Spectrometer

3)Linear Collider

(prototype)의 설계 및 제작을 수행한다. 구체적인 연구 수행내용 및 범위는 다음과 같다.

- 中國과의 자동화된 자료 교환체계 구축
- 리눅스 운영체계에 실험분석 소프트웨어 라이브러리 설치 및 검증
- 리눅스 운영체계에서 실험데이터 분석 및 결과 비교
- 검출기 양단의 영역에서의 TOF 검출기의 정밀한 전산시능
- TOF 검출기의 프로토타입(prototype) 설계, 제작 및 빔 테스트
- 아시아지역 대형선형가속기 건설에 관한 타당성 조사
- 대형선형가속기 환경하에서 힉스(Higgs)입자 발견 가능성에 관한 전산시능

#### IV. 연구개발결과

연구비의 대폭삭감으로 원래 계획했던 연구개발목표를 모두 달성한 것은 아니지만 주어진 환경하에서는 목표가 충분히 이루어졌다고 판단한다. 그 내용들을 항목별로 나누어서 구체적으로 그리고 연차별로 살펴보면 다음과 같다.

- 韓中間의 구체적 교류

- (1) 98년 1월 연구책임자를 포함한 4명의 한국 연구원 팀이 高能物理學研究所 (IHEP)를 방문하여 구체적인 협력계획을 논의하였다.
- (2) 98년 3월 일본에서 개최된 Asian Committee for Future Accelerators(ACFA) 회의에서 연구책임자는 중국 IHEP 소장과 한국의 경제적 여건(IMF 상황하에 있을 때)을 고려한 탄력성 있는 계획을 상의하였다.
- (3) 98년 11월 연구책임자를 포함한 4명의 한국 연구원 팀이 高能物理學研究所를 방문하여 장기적으로 韓國과 中國간의 기초과학분야에서의 긴밀한 협조관계에 대하여 상호의견을 나누었고, 실험협약서(MOU)도 새로이 체결했다.
- (4) 99년 1월부터 한 달 동안 IHEP의 실험현장을 방문하여 실험데이터를 中國과 공동으로 취득하였고, 실험 진행상황을 온라인을 통하여 모니터링 한 다음 그 결과를 그룹모임에서 보고 및 발표하였다.

- 역할분야 설정

IHEP의 장기발전 계획에 따라서 신축성 있는 두 분야를 한국에서 집중적으로 분담하기로 했음

- (1) BESII 검출기와 BTCF(Beijing Tau-Charm Factory) 검출기에 사용될 endcap TOF 검출기의 연구개발 및 공동제작
- (2) 리눅스 운영체계에 근거한 실험데이터 분석 및 분석방법 개발. 분석된 결과를 워크스테이션에서 분석된 결과와 비교 분석

- 설정된 역할분야의 연구수행 결과

수행된 연구결과들은 국내외의 학술대회에서 발표되었으며, 연구수행 결과의 구체적 내용은 다음과 같다.

- (1) 국내에서 참여하는 세 대학 팀이 공동으로 테스트 장비를 설치하였으며, 프로토타입을 설계, 제작하여 섬광계수기와 광전관을 이용하여 120 ps의 분해능을 얻었다. 이 결과는 1999년 봄 그리고 올해(2000년) 봄 물리학회에서 발표되었다.
- (2) 국제 데이터 통신망의 준비, 검사는 잘 설치되어 운용되고 있으며 기대 이상의

효과를 얻었다. 또한 리눅스 운영체제에서 실험분석에 필요한 관련 소프트웨어들을 설치하여 유닉스에서 얻어진 결과들과 비교, 분석하였다. 이 연구결과는 1999년 봄 물리학회에서 발표되었다.

(3) 98년 12월부터 R값을 측정하기 위한 실험데이터를 획득하기 시작했으며, 99년 가을부터는  $J/\psi$  입자의 자세한 물리현상을 측정함을 목표로 약 5천만개의  $J/\psi$  입자를 취득하였다. 이 실험데이터는 워크스테이션(workstation)과 리눅스의 다른 운영체제에서 분석되었고 그 결과들을 정밀히 분석하였다. 98년에 취득된 실험데이터를 이용한 분석결과는 99년 봄 물리학회에서 발표되었고 99년에 취득된 실험데이터를 이용한 분석결과는 올해 봄 물리학회에서 발표되었다.

(4) 98년 11월 중국의 청화대학교에서 열린 첫 번째 워크숍을 계기로 아시아 지역에서 대형선형가속기 건설의 타당성을 조사하는 연구가 시작되었다. 연구진행상황 및 결과보고는 99년 11월 본 사업의 연구책임자의 주도로 고려대학교에서 개최된 2차 워크숍<sup>4)</sup>에서 발표되었다. 차세대 대형선형가속기에서의 기본입자의 질량과 관계된다고 보고 있는 힉스(Higgs)입자의 발견 가능성에 관한 전산시뮬결과를 발표하였으며 또한 여러 가지의 검출기 옵션에 대하여 조사한 연구결과도 99년 가을과 올해 봄 물리학회에서 발표되었다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

### • 국제협력연구의 관점

전반적으로 국내에서 정부의 지속적인 연구지원만 증가하면 고에너지 과학분야의 韓中공동연구는 더욱 원만하게 이루어지리라 판단한다.

(1) 본 사업을 통하여 중국의 IHEP 같은 國立研究所와의 협력을 통한 거대학문의 연구를 가능하게 하는 기반을 마련하였다.

(2) 일본을 중심으로 미국이나 유럽과 경쟁하여 아시아 지역에 대형선형가속기 시설을 건설하자는 움직임이 활발해지고 있다. 이 사업에는 韓國과 中國의 참여가 결정적인 역할을 할 것이며, 이런 측면에서 본 사업을 통한 긴밀한 韓中間의 공동협조는 아주 중요했으며, 향후 이 분야에서 한국이 주도적인 역할을 할 수 있는 기술이 많이 축적되었다.

### • 기술적 및 학문적 관점

고에너지분야에서 전하를 띤 입자 판별을 위한 검출기 설계, 제작의 R&D를 수행하였으며, 획득된 실험데이터를 이용하여 다양한 에너지 영역에서 QCD의 연구를 수행했다.

(1) endcap TOF 개발의 R&D를 통하여 테스트, 시설설립 및 전자장비의 이용면에서 中國으로부터 기술이전을 받는 효과를 보았다. 이들 기술들은 향후 검출기 개발을 할 때 직접적으로 활용될 수 있다.

(2) IHEP에서 인수한 BES 소프트웨어들을 국내 리눅스 운영체제에 성공적으로 설치함으로써, 기존의 워크스테이션 시스템에서 분석 가능한 물리현상 연구를 개인 PC에서 할 수 있는 know-How를 축적할 수 있었다. 향후의 고에너지 실험들이 리눅스를 위주로 사용할 것으로 기대하고 있기 때문에 본 연구수행을 통하여 얻어진 know-How는 본 연구진이 향후 실험에서 DAQ와 소프트웨어 분야에서 직접 활용할 수 있게 되었다.

4)ACFA Workshop on Linear Collider

(3) BES 실험에서 획득된 실험데이터를 이용하여, 매혹쿼크로 이루어진 입자들의 물리적 성질을 정밀하게 조사할 수 있었다. 또한 R값의 측정으로부터 QCD의 이론치와 비교할 수 있었다. 이 결과들은 고에너지에서의 QCD 연구결과들을 이해하는데 기여를 한다.

# S U M M A R Y

|  |   |
|--|---|
| Project Title  | International Collaboration in High Energy Sciences between Korea and China |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Research Objectives and Goals</li></ul> <p>BES experiment at IHEP in China has been carried on by using BEPC particle accelerator. We can learn their know-How of high technology in building detector and using international network link with international collaboration in high energy sciences between Korea and China. Analyzing experimental data we perform researches in basic science field. We can nurture expert manpower and make substantial contributions to international collaboration for research. Korea and China work together to carry out a feasibility study of a linear collider in Asian region. Japan plays main role in this project but involvement of Korea and China is of extreme importance.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Research Contents and Scope</li></ul> <p>We analyze data which was recorded at the BES experiment by using Linux operating system. We design and build a prototype of TOF detector. Concrete research contents are:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▷ establishment of exchanging data with China by using automation scripts</li><li>▷ installation and verification of software libraries for data analysis on Linux</li><li>▷ precise simulation for endcap TOF detector</li><li>▷ design, construction and testing of a TOF prototype</li><li>▷ feasibility study of Linear Collider</li><li>▷ simulation study for Higgs particle search in Linear Collider environment</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>• Research Result</li></ul> <ol style="list-style-type: none"><li>① collaboration visits between Korea and China<ul style="list-style-type: none"><li>▷ visit IHEP for discussing plan of collaboration on Jan. 98</li><li>▷ visit IHEP on Nov. 98 and make contract MOU with IHEP</li><li>▷ data taking for a month from Jan. 99</li><li>▷ report data taking results from online monitoring in BES meeting</li></ul></li><li>② establishing Korea's role in collaboration<ul style="list-style-type: none"><li>▷ development and construction of endcap TOF detector for BESII and BTCF</li><li>▷ development analysis tool based on Linux operating system</li></ul></li><li>③ accomplishment of established Korea's role</li></ol> <p>All of these results were presented in Korea Physics Society(KPS) Meeting</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▷ obtained 120 ps resolution of a prototype with scintillator and PMT</li><li>▷ compared and analyzed physics results from Linux with that from Unix workstation</li><li>▷ analyzed properties of charmed particle</li><li>▷ held the second ACFA Linear Collider workshop at Korea University</li><li>▷ presented simulation results of Higgs particle search in Linear Collider workshop</li></ul> |   |

# C O N T E N T S

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction  | 9  |
| 1.1 research Goals and Objectives . . . . .  | 9  |
| 1.2 research Contents . . . . .  | 9  |
| 2 Status of Domestic and Worldwide Technical Development                               | 11 |
| 2.1 domestic and worldwide circumstances . . . . .                                     | 11 |
| 2.2 the present situation of technical development in the related fields . . . . .     | 11 |
| 2.3 role of research in the domestic and worldwide technological development . . . . . | 12 |
| 3 Contents and Results of Research   | 13 |
| 3.1 contents and results . . . . .   | 13 |
| 4 Achievement of Research Goal and Contributions to Other Fields                       | 16 |
| 4.1 achievement of research goal . . . . .   | 16 |
| 4.2 contributions in the related fields . . . . .                                      | 18 |
| 5 Application Plan of Research Results   | 19 |
| 5.1 necessity of additional support . . . . .  | 19 |
| 5.2 application in the other research fields . . . . .                                 | 19 |
| 6 References   | 20 |



# 목 차

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 제 1 장 서론                        | 9  |
| 1.1 연구목적과 필요성                   | 9  |
| 1.2 연구범위                        | 9  |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황               | 11 |
| 2.1 국내외 여건                      | 11 |
| 2.2 관련분야에 대한 기술개발 현황            | 11 |
| 2.3 연구결과가 국·내외 기술개발현황에서 차지하는 위치 | 12 |
| 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과            | 13 |
| 3.1 연구수행 내용 및 결과                | 13 |
| 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도        | 16 |
| 4.1 연구개발목표의 달성도                 | 16 |
| 4.2 관련분야의 기여도                   | 18 |
| 제 5 장 연구개발결과의 활용계획              | 19 |
| 5.1 추가연구의 필요성                   | 19 |
| 5.2 타 연구에의 응용                   | 19 |
| 제 6 장 참고문헌                      | 20 |

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구목적과 필요성

- 낮은 에너지<sup>5)</sup>에서 매혹쿼크로 이루어진 입자들의 물리적 성질들을 정밀 조사하고자 하며, 中國의 高能物理學研究所(IHEP)의 BES(Beijing Electron Spectrometer)실험에서 취득된 실험데이터를 이용한다.
- 韓中間의 科學 文化交流를 통하여 상호 신뢰를 구축하며, 장기적으로 넓은 의미에서 이는 양국간의 긴밀한 협조가 필요한 거대과학 분야(해양오염, 대기오염 조사등)의 상호협조 연구를 할 수 있는 기반을 조성한다.
- 고에너지 분야에서 앞서 있는 중국의 검출기 제작에 관한 기술을 이전할 수 있다.
- 본 사업을 통하여 한국의 고급인력을 양성할 수 있고, 이들은 향후 진행될 고에너지 실험에서 중요한 역할을 할 것이다.
- 고에너지 분야에서 유럽을 비롯한 여러 나라가 참여하여 계획 준비하고 있는 하드론 충돌기(Large Hadron Colider) 실험과 상호보완을 이루는 실험이 될 차세대 대형선형 가속기(Linear Collider) 건설의 필요성은 인정되어졌다.<sup>1)</sup> 현재 日本, 美國 그리고 유럽을 중심으로 대형선형가속기 건설에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 韓國과 中國간의 공동협조를 통하여 이 프로젝트에 중요한 역할을 하며 거대과학 분야의 국제 공동연구에서 한국의 위상을 높일 수 있다.
- 지금까지는 실험데이터가 대부분 高價의 워크스테이션(workstation)을 이용하여 분석되어져 왔다. 실험데이터 분석 방법에서 개인용 PC를 이용한 물리적 현상 분석을 가능하게 함으로서 연구비를 절감할 수 있고 또한 이 분야에서의 경험을 축적함으로써 향후에 진행될 실험들에서 개인용 PC(리눅스 운영체제)를 이용한 실험데이터 분석에서 중요한 역할을 주도적으로 수행할 수 있다.

## 1.2 연구범위

중국 IHEP의 검출기 담당 책임자인 Li Jin 교수의 방문과 본 연구진의 IHEP 방문을 통하여 의견을 교환하고 공동연구 방안을 논의하였다. 구체적인 한국의 역할분담은 다음과 같다.

- 韓中間의 실험데이터 분석 및 자료 교환을 위한 자동화된 전산교환체계 구축

5)중국 高能物理學研究所에서 수행되고 있는 경입자 실험은 질량중심에너지가 5 GeV보다 작은 에너지영역에서 충돌하는 전자-양전자 충돌실험이다.

- 리눅스 운영체계에 관련된 소프트웨어 설치 및 새로운 운영체계에서의 물리현상 분석
- 고에너지 실험에서 입자판별을 위한 Time of Flight(TOF) 검출기 설계, 제작 및 테스트
- 아시아 지역에서의 차세대 대형선형가속기 건설에 관한 타당성 조사 및 전산시뮬

## 제 2 장 국내·외 기술개발 현황

### 2.1 국내·외 여건

외국에서 유사분야연구를 하던 고에너지 연구분야의 고급인력이 귀국하고 있으며 정부의 초고속통신망 사업등으로 국제적 데이터 통신망의 구성이 용이해져서 국제공동연구의 환경은 개선되었다고 판단한다. 특히 中國에서는 최근에 科學技術을 중요시하는 정책이 채택되고 이는 高能物理學研究所 같은 국립연구소의 활동이 활발해질 것을 예상케 한다. 전반적으로 국내에서 정부의 지속적인 연구지원만 있다면 고에너지 분야의 韓中공동연구는 더욱 원만하고 긴밀하게 이루어지리라 판단한다.

최근에는 日本을 중심으로 (美國, 유럽과 경쟁하여) 아시아지역에 대형선형가속기 시설을 건설하고자 노력하고 있다. 이 사업에는 韓國과 中國의 참여가 결정적 역할을 할 것이며 이를 위하여 韓中間의 공동협조가 절실하다. 이 目的으로 이미 99년 11월에 선형가속기 사업의 타당성 조사를 위한 아시아 지역의 제2차 선형가속기모임을 본 연구책임자의 주도로 고려대학교에서 아시아지역으로부터 약 100명의 과학자가 참석하여 개최된 바 있다<sup>6)</sup>.

### 2.2 관련분야에 대한 기술개발 현황

- 상대적으로 가격이 훨씬 저렴한 개인용 컴퓨터를 이용하여 실험데이터를 분석하고자 하는 노력이 진행 중에 있다. 본 연구진은 지금까지 BESS 실험에서 취득된 실험데이터를 워크스테이션이 아닌 리눅스 운영체제에서 분석하는 것에 관한 연구를 수행했다. 본 연구진들은 이미 일본의 KEK(고에너지연구소)에서 수행되고 있는 Belle 실험<sup>2)</sup>에서 이와 같은 연구를 수행한 경험과 know-How는 본 프로젝트를 수행하는데 많은 도움이 되었다. 현재 고에너지 분야의 많은 실험들이 리눅스 운영체제를 이용한 실험데이터 분석 방법을 개발 중에 있으며 앞으로 보다 많은 실험들에서 리눅스를 이용하여 분석된 실험결과들의 논문들이 나오리라 기대된다. 현재 진행 중에 있는 일본의 Belle 실험, 미국의 BaBar 실험<sup>3)</sup> 그리고 BNL의 RHIC 실험은 공식적으로 리눅스 운영체제에서 물리현상을 분석하는 것을 지원하고 있다.

- TOF 검출기는 고에너지 입자물리 실험에서 아주 중요한 검출기이다. 이 검출기를 이용하여 들어온 입자의 종류가 무엇인지 판별하는데 이용된다. 이 목적을 위하여 현재의 대

6) 제1차 워크숍은 98년 11월 중국의 청화대학교에서 개최되었고 제3차 워크숍은 타이페이국립대학교에서 금년 8월에 개최되었다.

부분의 고에너지 실험 검출기에서는 TOF 검출기를 사용하고 있다. 그러나 검출기 양단에 위치한 (endcap) 지역에서는 많은 백그라운드로 인해 TOF 검출기를 사용하여 입자를 판별하는 것은 거의 불가능하였다. 본 연구진은 상대적으로 백그라운드가 적은 낮은 에너지의 전자-양전자 충돌실험(BES)에서 입자 판별을 위한 검출기의 R&D를 수행함으로써 endcap 지역에서도 입자판별이 가능한 TOF 검출기 제작을 위한 연구를 수행했다. 현재 진행되고 있는 실험들로서 TOF 검출기를 사용하고 있는 실험은 코넬대학교에서 진행 중인 CLEO 실험<sup>4)</sup>과 Belle 실험<sup>5)</sup>들을 그 대표적인 예로서 들 수 있다.

## 2.3 연구결과가 국·내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

- 현재 진행되고 있거나 앞으로 진행될 실험들이 리눅스 운영체계를 이용한 실험데이터 취득 또는 실험데이터 분석을 하려고 한다. 본 연구 수행을 통하여 얻어진 경험의 축적은 이들 실험에서 데이터 취득(DAQ)과 실험데이터 분석에서 주도적 역할을 할 수 있는 기반을 조성했다고 판단된다.
- Endcap TOF 검출기의 개발을 수행하면서 韓中間의 국제공동협력을 통하여 中國으로부터 이전받은 기술의 know-How를 본 연구진이 가질 수 있었으며, 이는 현재 진행 중인 실험들이 앞으로 검출기 업그레이드를 할 때와 향후 진행될 대형선형가속기의 검출기 개발에서 TOF 검출기 분야에서 한국이 주도적인 역할을 할 수 있는 계기를 마련했다고 본다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 3.1 연구수행 내용 및 결과

- 韓中間의 데이터 교환체계 구축

- ① 실험적 접근방법

韓中間에 많은 양의 분석에 관련된 자료들과 실험데이터를 교환하는데 오랜 시간이 걸리므로 전산망의 속도는 매우 중요하다. 이를 위하여 한국통신의 초고속 통신망을 256 Kbps에서 512 Kbps로 전산망의 링크(link)를 업그레이드(upgrade)했다.

- ② 연구결과

BES 실험에 관한 자료 및 실험데이터를 자동교환체계의 성공적 구축을 통하여 매일 정보 및 실험 관련 소프트웨어들이 자동적으로 업데이트(update) 되어지고 있다.

- 리눅스 운영체제 관련 소프트웨어 설치 및 테스트

- ① 이론적 접근방법

개인컴퓨터는 상대적으로 워크스테이션에 비해 값이 저렴하고 특히 리눅스 운영체제는 무료로 다운로드 받을 수 있다는 점과 점차 많은 고에너지 실험들이 연구비의 문제등으로 리눅스 운영체제의 사용을 지원하고 있는 추세이다.

- ② 실험적 접근방법

리눅스 버전 5.2를 설치하고 실험분석에 필요한 모든 소프트웨어들을 韓中間의 데이터 교환체계를 통하여 받아서 라이브러리들을 만들어 설치하였다. 그 결과가 워크스테이션에서의 결과들과 잘 일치하는지를 테스트하였으며 버전 6.0을 사용하는 연구도 수행하였다. 또한 다양한 물리적 사건들을 만들어 내어서 여러 가지 물리적 양들을 워크스테이션에서의 결과들과 비교 분석했다.

- ③ 연구결과

리눅스에서의 결과와 워크스테이션에서의 얻어진 결과가 잘 일치함을 보았고, 98년 12월부터 취득하기 시작한 실험데이터를 이용하여 리눅스 운영체제에서 물리적 분석을 수행하였으며, 분석된 R값의 측정 결과를 99년 10월에 열린 봄 물리학회<sup>6)</sup>와 미국 스탠포드 대학교에서 99년 8월에 개최된 국제학술회의<sup>7)</sup>에서 발표하였다.

- TOF 검출기 제작 준비

- ① 이론적 접근방법

고에너지 실험분야에서 전하입자들의 종류를 구별하기 위해서는 아주 정밀한 분해능을 갖는 TOF 검출기가 요구된다. 특히 endcap지역에서는 많은 백그라운드로 인해 현재까지 대부분의 실험에서는 그 지역에서 TOF 검출기의 정보를 모두 잘 활용하고 있지 못하고 있는 실정이다. 본 연구진은 상대적으로 낮은 에너지에서 충돌하는 BES 실험에서의 endcap TOF 검출기 업그레이드에 관한 R&D를 수행하고자 한다.

- ② 실험적 접근방법

프로토타입(prototype)을 설계 및 제작하여 BC408과 BC418 섬광계수기와 자기장에 강한 광전관을 이용하여 프로토타입의 분해능을 측정하였다.

- ③ 연구결과

TOF 검출기 제작의 준비단계로서 프로토타입을 설계, 제작하여 테스트했다. 이때 BC408과 BC418 섬광계수기와 자기장에 강한 광전관을 이용하여 전하를 띤 입자들의 분해능이 약 120ps를 얻었다. 연구결과는 99년<sup>8)</sup>과 2000년 봄 물리학회<sup>9)</sup>에서 발표되었다.

- 차세대 대형선형 가속기에 관한 타당성 조사

- ① 이론적 접근방법

현재까지 표준이론<sup>10)</sup>은 실험데이터와 잘 일치되어왔다. 그러나 물질에 질량을 주는 원인인 힉스(Higgs)입자는 현재까지 발견되지 않았다. 힉스입자의 발견, 톱쿼크의 물리적 성질에 관한 정말 조사 그리고 새로운 이론모델<sup>11)</sup>에 근거한 새로운 입자 존재 탐구등과 같은 목적으로 질량중심에너지가 500 GeV~1.5 TeV인 대형선형가속기 충돌기(전자-양전자 Linear Collider)실험은 필수적이다. 이 실험은 현재 준비 중인 유럽의 LHC실험과 물리 현상 연구에 있어서 상호보완적인 관계에 있다.

- ② 실험적 접근방법

일본을 중심으로 아시아 지역에서 대형선형가속기 건설을 위한 타당성 조사 연구로서 韓國과 中國은 상호 협조하여 검출기 중 입자판별 검출기나 전하입자의 자취를 알아내는 트랙커(tracker)에 관심을 가지고 상호협조 하에 연구를 수행했다. 또한 여러 가지 검출기 옵션 중 어느 옵션이 관심있는 물리적 현상을 보는데 가장 적합하고 타당한지에 관한 전산 시뮬레이션을 수행했다.

### ③ 연구결과

대형선형 가속기에서 intermediate tracker를 이용한 전하입자의 자취측정을 좋게 하는 방법을 연구하여 99년 11월 고려대학교에서 열린 제2차 아시아 지역 선형가속기 워크숍에서 발표하였으며, 또한 질량 중심에너지가 500 GeV에서 질량이 120 GeV인 힉스입자를 여러 가지 백그라운드 사건들로부터 신호사건을 찾을 가능성을 다양한 검출기 조건에서 조사했으며 그 결과는 1999년 가을과 2000년 봄 물리학회<sup>12)</sup>와 일본에서 있었던 APPI 모임<sup>13)</sup>에서 발표하였다.



## 제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 4.1 연구개발목표의 달성도

중간 보고서에 제출된 연도별 연구목표 및 내용의 개략적 내용은 다음과 같다.

| 구 분         | 연구개발목표  | 연구개발 내용 및 범위   |
|-------------|---|--|
| 1차 년도(1997) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feasibility study</li> <li>• Simulation</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 구체적 교류계획</li> <li>• 공동연구 워크숍</li> <li>• 역할분야 설정</li> <li>• 테스트 장비 설계</li> <li>• 네트워크 장비 준비 및 테스트</li> <li>• 시뮬레이션</li> </ul>          |
| 2차 년도(1998) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linux OS 시스템 구성</li> <li>• Endcap TOF R&amp;D</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 리눅스 소프트웨어 설치 및 테스트</li> <li>• Endcap TOF의 자세한 전산시능</li> <li>• 프로토타입 설계, 제작</li> <li>• 대형선형가속기 타당성 조사</li> </ul>                       |
| 3차 년도(1999) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험데이터 분석</li> <li>• 빔 테스트 준비 및 분석</li> <li>• 입자 발견 탐색</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• BES에서 취득된 실험데이터를 이용하여 매혹입자들의 물리적 성질 분석</li> <li>• 제작된 프로토타입을 가지고 다양한 빔 에너지에서 분해능 조사</li> <li>• 대형선형가속기에서의 힉스입자 및 새로운 입자 조사</li> </ul> |

위의 연구목표 및 평가착안점에 입각하여 연구개발목표를 항목별로 나누어서 그들의 달성도를 살펴보면 다음과 같다<sup>7)</sup>.

#### ▶ 韓中間의 데이터 교환체계 구축

- 中國의 전산시설을 서버(server)로 본 연구팀들의 PC들을 클라이언트(client)로 구축한 다음 cvs(concurrent version system) 시스템을 사용하여 中國과 韓國에서 개발된 분석 소프트웨어들을 교환하며, 필요에 따라 상호 고칠 수 있는 시스템을 설치하였다. 또한 빠른 자료 및 실험데이터의 상호 교환을 위하여 한국토인의 초고속 통신망을 256 Kbps의 전산망을 512 Kbps로 업그레이드 했다.

- 달성도 : 韓國과 中國간의 자동화된 교환체계가 구축됨에 따라 물리적 현상의 분석이 현지 실험 장소를 방문하지 않고 본 연구진들의 실험실에서 가능하게 되었다.

7)연구의 성과는 통상 학술발표와 논문게제로 나타난다.

▶ 리눅스 운영체제 관련 소프트웨어 설치 및 테스트

- 설치: 리눅스 OS 버전 5.2를 설치하여 물리적 분석을 하였고 또한 업그레이드 버전인 6.0에 BES 소프트웨어의 설치도 연구 수행하였다.

- 테스트 : 리눅스에서 분석된 물리 현상 결과들을 워크스테이션에서 얻은 결과와 잘 일치함을 보였고, R값의 측정 및 매혹쿼크로 이루어진 매혹입자의 물리적 성질들을 연구 조사하였다.

- 달성도 : 수행 결과들은 물리학회 및 국제학술대회에서 발표되었다.

① Current Status of BES at IHEP (2000년 4월)

② A Measurement of the Mass and Full Width of the  $\eta_c$  Mesons, Phys. Rev. **D62** (2000) 2001

③ R Measurement in BESII (99년 10월)

④ A Measurement of the Branching Ratio of  $\phi(2S) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  at BES (99년 10월)

⑤ Performance of BESII, XIX International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies, August 9-14, 1999 Stanford, California, USA

⑥ Comparisons of Monte Carlo Simulation on HP and Linux for the BESII Experiment (99년 4월)

▶ TOF 검출기 제작준비

- 제작준비: 상대적으로 백그라운드 많은 endcap 영역에서 입자판별 검출기의 업그레이드 R&D를 위해 프로토타입을 설계하고 제작하였다. BC408과 BC418 섬광계수기와 자기장에 강한 광전관을 이용하여 프로토타입의 분해능을 측정하였다.

- 달성도 : 프로토타입을 이용하여 분해능이 120 ps임을 측정하였고 이 결과들은 물리학회에 발표되었다.

① BES Endcap TOF의 성능향상을 위한 R&D (2000년 4월)

② Time of Flight System R&D with Plastic Scintillator (99년 4월)

▶ 차세대 대형선형 가속기에 관한 타당성 조사

- 타당성 조사 : 일본과 미국 그리고 유럽에서는 차세대 선형가속기의 건설을 위한 R&D 프로젝트를 수행하고 있으며 아시아 지역에서는 韓國 그리고 中國의 상호협조아래 일본을 중심으로 아시아 지역에서 대형선형 가속기 건설의 타당성을 조사하고 있다. 어떤 검출기 옵션을 사용하여야지 관심있는 물리현상을 발견할 가능성이 높은지에 관한 연구가 다양하게 수행되고 있다.

- 달성도 : 수행 결과들은 물리학회, 선형가속기 워크숍 및 국제학술대회에서 발표되었다.

① intermedator tracker의 검출기 옵션 (99년 11월)

- ② Feasibility Study of the light Higgs Search at future Linear Collider (2000년 4월)
- ③ Simulation Study of Higgs Search in Future Linear Collider Experiment (99년 10월)

## 4.2 관련분야의 기여도

### ▶ 學問的 기여도

- 다양한 에너지에서 QCD의 정밀 연구 및 매혹쿼크로 이루어진 입자들의 물리적 성질 정밀 조사

### ▶ 技術的 기여도

- PC를 이용한 물리분석 연구를 수행함으로써 양성된 고급인력들은 바로 정보화 사회에서 주도적인 역할을 수행할 수 있다
- 대단위, 대용량 실험에서의 데이터 획득 기술
- 검출기 개발을 통해 얻어진 기술경험과 축적은 응용분야에서도 중요한 역할을 할 수 있다.

### ▶ 社會的 기여도

- 창의력과 국제경쟁력을 갖춘 우수한 고급인력 양성
- 최첨단 장비 및 기술 경험을 통한 산업체에 직접 응용
- 과학분야에서의 韓中間의 국제공동 연구사업을 성공적으로 수행함으로써 향후 中國과의 거대학문분야에서의 공동연구의 기반 조성

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 5.1 추가연구의 필요성

• 차세대 대형선형가속기 건설은 2007년경에 실험데이터의 취득을 목표로 하고 있는 거대 프로젝트이다. 현재 한국에서는 2005년경에 실험데이터 취득을 목표로 하고 있는 질량중심에너지가 14 TeV인 하드론 충돌기인 LHC 실험<sup>14)</sup>에만 주력하고 있는 실정이다. 국제적으로는 아주 고에너지에서의 경입자 충돌실험의 중요성을 인식하고 있기에 일본, 미국 그리고 유럽에서는 전자-양전자 충돌을 이용한 차세대 대형선형가속기의 건설에 관한 R&D를 진행 중에 있다. 본 사업의 추진을 통하여 본 연구진은 中國과의 협력을 통하여 아시아 지역에서의 대형선형가속기 건설 타당성을 조사하고 물리적 현상을 볼 수 있는 가능성에 관한 전산 시뮬레이션을 수행함으로써 대형선형가속기 프로젝트에서 아주 중요한 역할을 했다. 대형선형가속기 건설 프로젝트에서 한국의 역할을 확대시키고 지속적인 연구수행을 위해서는 지속적인 추가적인 연구비의 지원이 절실하다.

• 앞으로 국제사회에서 中國이 차지할 역할은 중요하다고 보며 특히 아시아 지역에서의 역할은 큰 비중을 가질 것이다. 특히 南北간의 화해무드가 조성되고 있는 현 시점에서 中國의 역할을 고려할 때 여러 가지 측면에서 韓國과 中國과의 학문적, 문화적 교류는 중요하다고 판단된다. 본 사업의 추진으로 이제 韓中間의 基礎科學분야에서 긴밀한 상호협력 관계의 기반을 조성했다고 보며 추가적인 연구비의 지원으로 韓中間의 교류를 더욱 확대 증진 시켜나갈 수 있다. 이는 中國의 高能物理學研究所에서 향후를 위하여 계획 중인 여러 가지 고에너지 분야의 R&D 계획에도 한국이 직접 참여할 수 있는 계기가 될 수 있다.

### 5.2 타 연구에의 응용

- ▶ 입자판별 검출기 관련 기술 자체 개발 확보를 통하여 다른 고에너지 분야의 실험 검출기 프로젝트에 응용
- ▶ 대용량의 실험데이터를 분석, 처리한 경험은 정보산업 분야에서 응용

## 제 6 장 참고문헌

- 1) Physics and Technology of the Next Linear Collider: A Report Submitted to Snowmass '96 by the NLC zeroth-order design group and the NLC physics working group, June 1996 SLAC-Report-485; JLC-I, JLC group
- 2) A Study of CP Violation in B Meson Decays, Technical Design Report, KEK Report 95-1, April 1995.
- 3) Letter of Intent for the study of CP Violation and Heavy Flavor Physics at PEP-II, SLAC-443, June 1994; BaBar Technical Design Report, SLAC-R-95-457, March, 1995
- 4) THE CLEO-III Upgrade, Nucl. Instrum. Meth. A408:58-63, 1998; THE CLEO-II Detector, Nucl. Instrum. Meth. A320:66-113, 1992
- 5) Performance Test of a Double-Layer TOF Scintillation Counter, Nucl. Instrum. Meth. A437:206-211, 1999
- 6) "R Measurement in BESII" (99년 10월 한국물리학회)
- 7) "Performance of BESII", XIX International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies, August 9-14, 1999 Stanford, California, USA
- 8) "Time of Flight System R&D with Plastic Scintillator" (99년 4월 한국물리학회)
- 9) "BES Endcap TOF의 성능향상을 위한 R&D" (2000년 봄 한국물리학회)
- 10) N. Cabibbo, "Unitary Symmetry and Leptonic Decays", Phys. Rev. Lett. 10, 531 (1963); M. Kobayashi and T. Maskawa, "CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction", Prog. Theor. Phys. 49, 652 (1973).
- 11) Probing Anomalous Top Quark Couplings at the Future Linear Colliders, T. Huang, hep-ph/0009047; New Physics Beyond the Standard Model at  $\gamma\gamma$  Colliders, Thomas G. Rizzo, hep-ph/0008037; Impact of  $e^+$  and  $e^-$  Beam Polarization on Chargino and Neutralino Production at a Linear Collider, G. Moortgat-Pick, A. Bartl, H. Fraas, W. Majerotto, hep-ph/0007222; Higgs Particles in the Standard Model and Supersymmetric Theories, M.M. Muhlleitner, hep-ph/0008127;
- 12) "Feasibility Study of the light Higgs Search at future Linear Collider" (2000년 4월 한국물리학회); "Simulation Study of Higgs Search in Future Linear Collider Experiment" (99년 10월 한국물리학회).
- 13) March 1 - 4, 1999 APPI99, Iwate-ken, Japan: "The 4th Accelerator and Particle Physics Institute"
- 14) CMS Collaboration, "The Compact Muon Solenoid: Technical Proposal", CERN LHCC 94-38 (1994).