

High Energy Lab and BSI

KIAS Workshop on
Nuclear and Particle Physics in KoRIA and BSI
2011.9.17

김 선 기

고에너지 과학 연구소의 역할

•고에너지 과학 연구소는 고에너지 과학 연구에 필요한 연구 및 연구 지원 인프라를 제공할 수 있어야 한다.

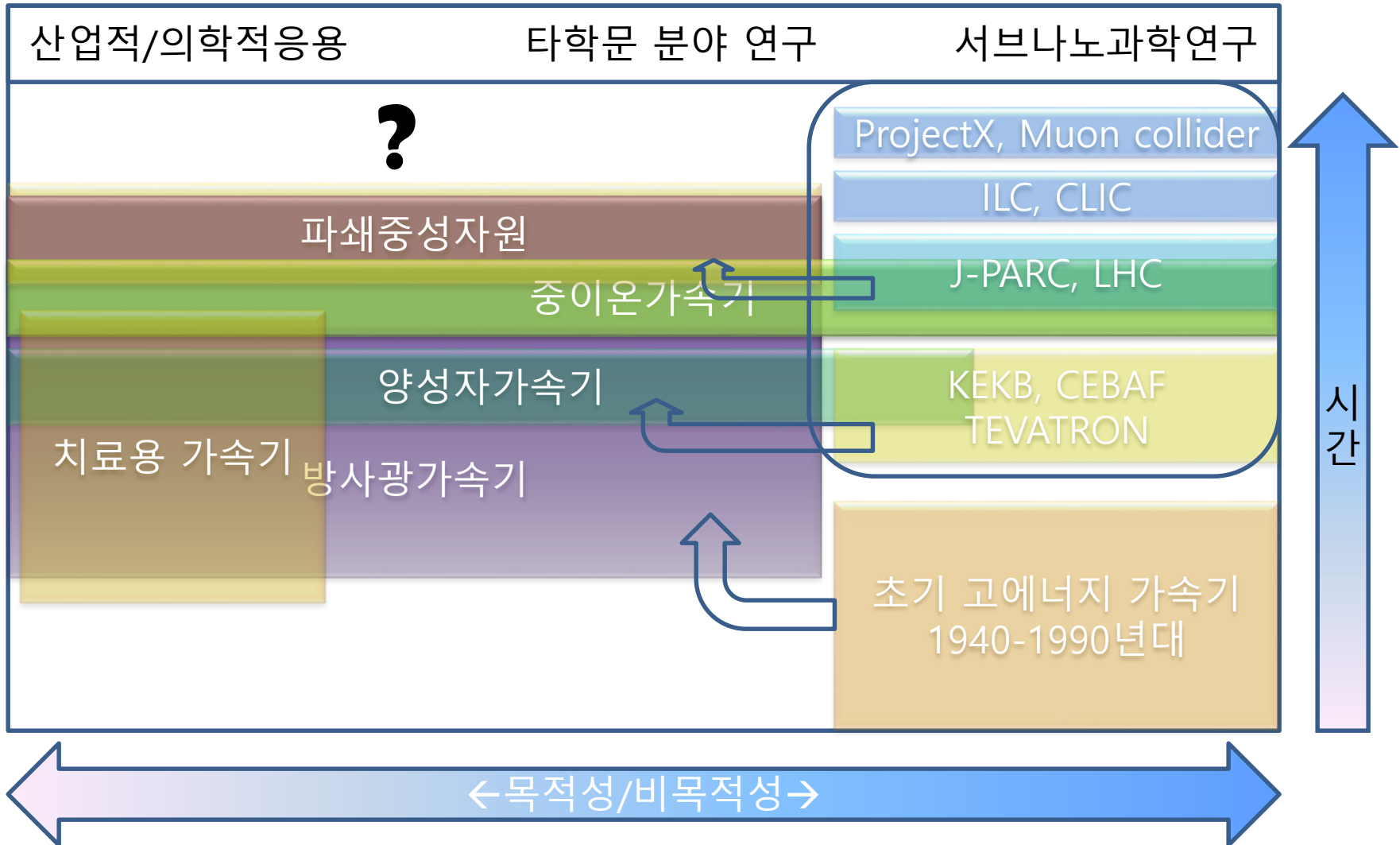
•장기적으로 국가를 대표하는 거대 연구 시설의 건설을 목표로 한다. 고에너지 과학 연구소는 인접 연구 분야 및 산학연과의 상호 교류와 공동/협동 연구를 증진하여, 연구의 효율성을 제고하고, 시너지 효과를 극대화 한다.

•고에너지 과학 연구소는 고에너지 과학 분야 국제 공동 연구에서 한국을 대표하여 이를 지원하며, 장차 아시아 지역 대표 연구소로서 발돋움 할 수 있도록 노력한다.

Physics, Detector, Accelerator

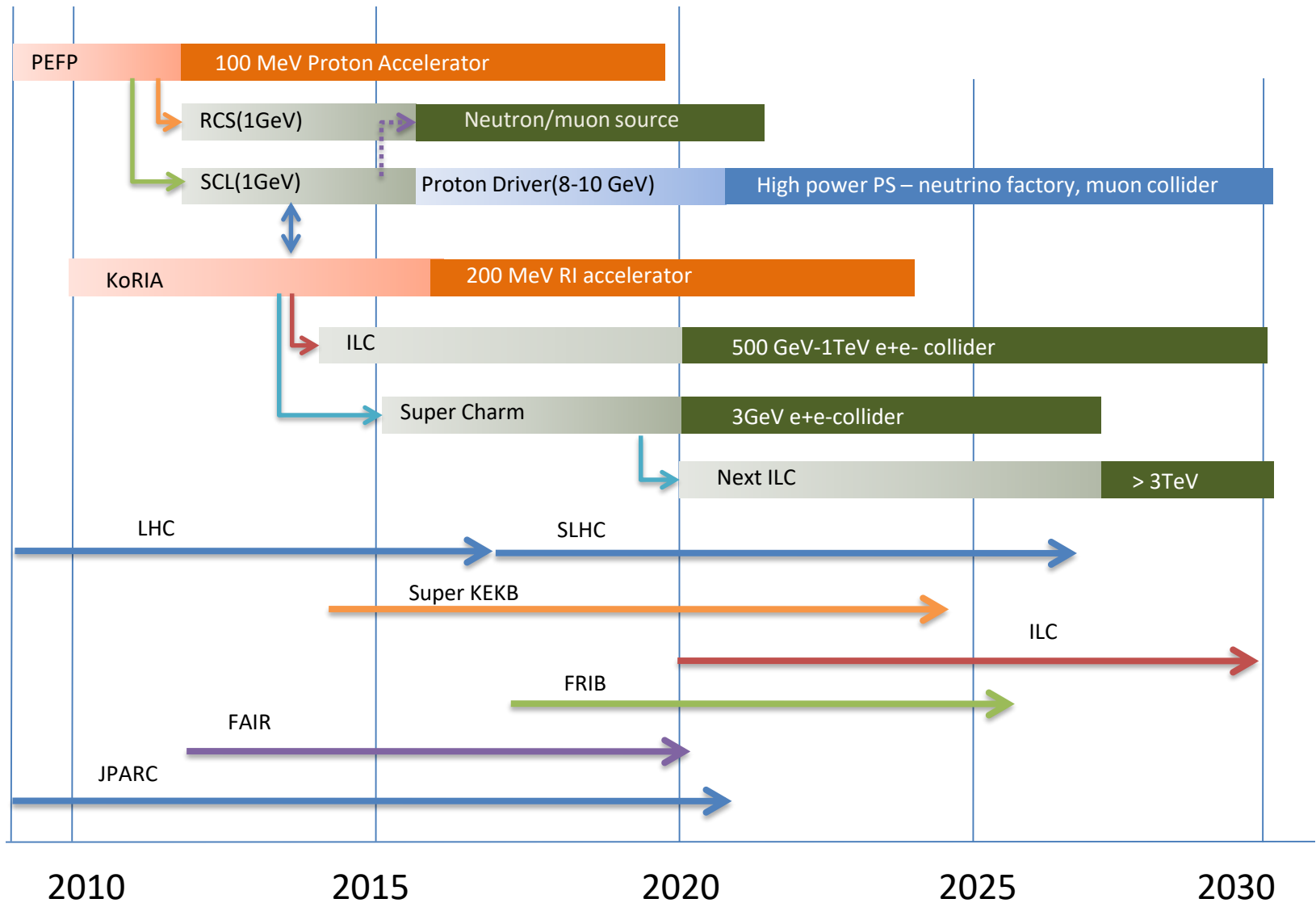
→ 이들을 구상, 설계, 제작, 운영할 수 있는 Infrastructure

각종 가속기와 고에너지 가속기의 연관



Accelerator Road Map (2009.4)

고에너지물리협의회 기획위원회



REMARKS

- 여러 가능한 경로를 고려
- PEFP, KoRIA, (방사광가속기)를 고에너지 가속기 기반시설로 활용하며
장래 계획과 연계 노력 강화
- PEFP의 2단계 및 KoRIA의 선형가속기에 초전도 가속공동 기술 적용
- 장래 계획을 위해 초전도 가속기술 개발을 우선 순위로 추진
- PEFP의 2단계 경로에 무관하게 Neutron source 건설
- KoRIA에 광핵분열반응(Photofission)에 의한 희귀핵종 비임 생성을 위한
전자가속기(30 MeV, 100 kW) 건설
- 크게 Proton drive 방식과 ILC 방식의 두 유형으로 추진하되 2015년 이후
한 경로로 선택 가능
- ILC를 다른 나라에서 건설할 경우 SuperCharm, post-ILC 의 경로도 고려
- Laser/Plasma 등 기반의 새로운 입자가속 기술에 대한 R&D 병행
- 새로운 입자가속 기술에 의한 새로운 로드맵 가능성

| 국가 | 연구소 | 설립연도 | 고용인원 | 년간예산 (억원, '08) | 주요연구시설 |
|------|--|------|------|-------------------|---|
| 미국 | FNAL (페르미 연구소 : FermiLab.) | 1967 | 1800 | 3,100 | Tevatron (양성자 충돌가속기) |
| | BNL (브룩헤이븐연구소 : Brookhaven Nat'l Lab.) | 1947 | 3000 | 6,000 | RHIC (중이온 충돌가속기) |
| | JLab (제퍼슨 연구소 : Jefferson Lab) | 1985 | 617 | 1,000 | CEBAF (전자가속기) |
| 유럽공동 | CERN (유럽공동핵물리연구소 : European Organization for Nuclear Research) | 1954 | 3000 | 12,000 | LEP (전자반전자 충돌가속기), LHC (양성자 충돌가속기) |
| 독일 | DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) | 1959 | 1560 | 2,500 | HERA (전자-양성자 충돌가속기) |
| | GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) | 1969 | 900 | 1,100 | SIS (중이온가속기) |
| 영국 | RAL (Rutherford Appleton Laboratory) | 1957 | 1200 | 6,900 | |
| 스위스 | PSI (Paul Scherrer Institute) | 1988 | 1300 | 3,500 | |
| 이탈리아 | INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) | 1951 | 2014 | 4,500 | DAFNE (전자-반전자 충돌가속기), LNGS (지하관측소) |
| 프랑스 | IN2P3 (Institut National de Physique Nucleaire et de Physique des Particules) | 1971 | 2500 | 4,600 | |
| 일본 | KEK (일본 고에너지가속기연구기구 : 高エネルギー-加速器研究機構) | 1971 | 699 | 4,000 | KEKB (전자-반전자 충돌가속기), KEK-PF (방사광가속기), J-PARC (다목적 양성자가속기) |
| | ICRR (도쿄대 우주선연구소 : Institute for Cosmic Ray Research) | 1975 | 102 | 200 | Kamioka 관측소 (중성미자관측소) |
| 중국 | IHEP (Institute of High Energy Physics, China) | 1973 | 1087 | 1,000 | BEPC (전자-반전자 충돌가속기) |
| 러시아 | BINP (Budker Institute of Nuclear Physics) | 1959 | | | VEPP-2000 (전자-반전자 충돌가속기) |
| 캐나다 | TRIUMF | 1970 | 384 | 560 | Cyclotron, ISAC |

3.5.4. 이탈리아 INFN(National Institute for Nuclear Physics)

○ 설립

1951년 Milan, Rome, Padue, Turin 대학이 유치한 4개의 지역연구소로 시작하였다.

○ 역사

▶ 1951년 - 연구소 설립

- 4개 지역연구소
- 교수는 각 유치대학 소속, 각 대학별로 수명의 기술지원직
- 첫째 예산 : 200M Lire ~ 330 K\$
- 검출기 제작 등에 사용됨

▶ 1958년 - 확장

- CNRN(National Council for Nuclear Research)가 Frascati에 1100MeV 전자 싱크로트론 가속기 건설, INFN에 양도
- 1974년에 Adone 충돌 가속기 포함 시크로크론이 INFN에 이관

▶ 1974년 - 중성자를 이용한 첫 암치료

▶ 1977년 - bottom 쿼크 입자 발견

○ 현황

▶ 현재 19개의 연구분소, 4개의 국립연구소로 구성되어 있다.

▶ 인력 :

약 2000명의 직원, 400명의 임시직, 3200명의 준멤버로 구성되어 있다. 2000명의 직원은 연구원 620, 엔지니어 253, 기술자 829, 행정지원직 304 및 소장급 8명으로 구성되어 있다.

준멤버는 연구원 1000, 기술직 200, 비연구직 700, 학부및 대학원생 1300으로 구성되어 있다. 준멤버는 매년 결정되며, INFN의 여비 및 연구비를 직원과 대등하게 사용할 수 있다.

▶ 예산 :

연간예산은 2.3억 Euro (2005년)이다 (핵 및 입자 물리 합). CERN에 기여 분담금은 외무부에서 지원하며 140 MCHF (2005

년)이다. 참고로, 이탈리아의 연간 기초연구 예산을 약 60억 Euro로 추정할 때, INFN+CERN지원 예산은 약 5.5%에 해당한다.

- ▶ INFN은 이탈리아의 고에너지 과학 연구 예산 지원의 대부분을 받고 있다. 대학 연구자들은 INFN에 소속되어져서 연구비 지원을 받게 된다.

〉 연구의 임팩트

INFN과 관련된 연구를 통해 발표된 논문의 수는 2008년에 2500여 편으로 집계된다. 이는 페르미연구소나 KEK에 비하여 월등히 많은 양이지만, Impact Factor에 대해 고려하지 않은 점, 또 이탈리아의 경우 대학 연구자들이 INFN에서 연구비 지원을 받는 점 등, 미국이나 일본과 연구 상황이 다르다는 점이 고려되어야 한다.



그림 18 INFN의 인적구성

〉 조직

- ▶ 현재 19개의 연구분소 (대학의 물리학과에 소재)
- ▶ 4개의 국립연구소로 구성
- ▶ 집중형과 분산형의 조화
- ▶ Council of Directors가 최고 결정 기구로 INFN 총장(총괄소장), 운영위원회(Executive Board), 4개연구소와 19개 연구분소의 소장, 그리고 다른 대학의 대표자들로 구성된다.



그림 19 INFN 의 조직도



그림 20 INFN 에 소속된 연구소 및 연구분소

○ INFN 산하 연구소

INFN 산하에는 다음과 같은 4개의 연구소가 있어 핵 및 입자 가속기, 지하실험실 등 국가의 대형 연구시설을 개발하고 건설하여 운영하고 있다. 최근에는 차세대 가속기인 Super B factory를 건설하는 제안을 내

놓고 있다. Gran Sasso의 지하실험실은 암흑물질, 이중베타붕괴 탐색 및 중성미자 실험의 세계적인 중심시설이 되고 있다.

- LNF(Frascati 국립연구소) 가속기 기반 연구소
- LNGS(Gran Sasso 국립연구소) 지하실험실 기반 연구소
- LNL(Legnaro 국립연구소) 가속기 기반 핵물리 연구소
- LNS(Sud 국립연구소) 가속기 기반 핵물리연구소

○ INFN의 국제공동 연구현황

아래 표는 INFN 소속 연구소인 LNF, LNGS, LNL, LNS에서의 연구 활동을 제외하고 외국의 시설을 이용한 공동연구현황을 보여주고 있다. 이탈리아는 FermiLab의 CDF 실험, LHC의 CMS실험 등의 일부 국제 공동연구에서 실험대표(Spokesperson)를 배출하는 등, 괄목할 만한 업적을 내고 있다. 이 들 연구는 대학소재 연구분소의 연구인력이 중요한 기여를 하고 있는 실험들이며, 이를 통해 자국에는 없는 국제공동가속기를 사용하면서도, 좋은 연구업적을 내면서 해당 연구 분야를 선도하고 있다. 이는 INFN이 분산형이라는 장점을 잘 살린 것이라 말할 수 있다.

| 연구분야 | 실험명 (가속기) | 연구소 | 소재국가 |
|-------|---------------|---------------|------|
| 입자물리학 | BABAR | SLAC | 미국 |
| | CDF(TEVATRON) | FermiLab | 미국 |
| | ZEUS(HERA) | DESY | 독일 |
| | COMPASS | CERN | 유럽 |
| | ATLAS(LHC) | CERN | 유럽 |
| | CMS(LHC) | CERN | 유럽 |
| 핵물리학 | JLab12 | Jefferson Lab | 미국 |
| | PANDA | GSI | 독일 |
| | ALICE | CERN | 유럽 |

표 9 INFN 의 국제 공동 연구 참여 현황

3.5.5. 프랑스 IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules)

○ 설립

1971년 CNRS¹⁾ 산하 조직으로, 대학교 그리고 CEA에서의 핵물리학, 입자물리학, 입자천체물리학 분야의 연구를 활성화하기 위하여 설립하였다.

○ 현황

▶ 현재 21개의 연구분소, 4개의 연구 지원시설로 구성되어 있으며, 연구지원 시설에는 RI가속기인 GANIL을 포함하고 있다.

▶ 인원 :

약 2500명의 직원으로 구성되어 있다. (CNRS 연구원 510명, CNRS 기술인력, 행정인력 1380명, 대학의 교수, 연구원 390명, 대학의 기술, 행정인력 210명)

▶ 예산 :

연간예산은 49M 유로(2010년, 핵 및 입자물리 합계)이지만, CNRS 예산 중 250M 유로의 예산이 직원 2,500명의 인건비 및 운영비로 사용되므로, 실 예산 총액은 약 300M 유로로 보는 것이 타당하다.

총예산 가운데 약 23M 유로를 대형시설 건설에 사용하여, 이 예산은 컴퓨팅에 31%, GANIL에 30%, 입자천체물리학 연구에 29%, LHC에 10% 가 사용된다. 총예산 가운데 약 11M 유로를 연구활동에 사용한다.

○ 조직

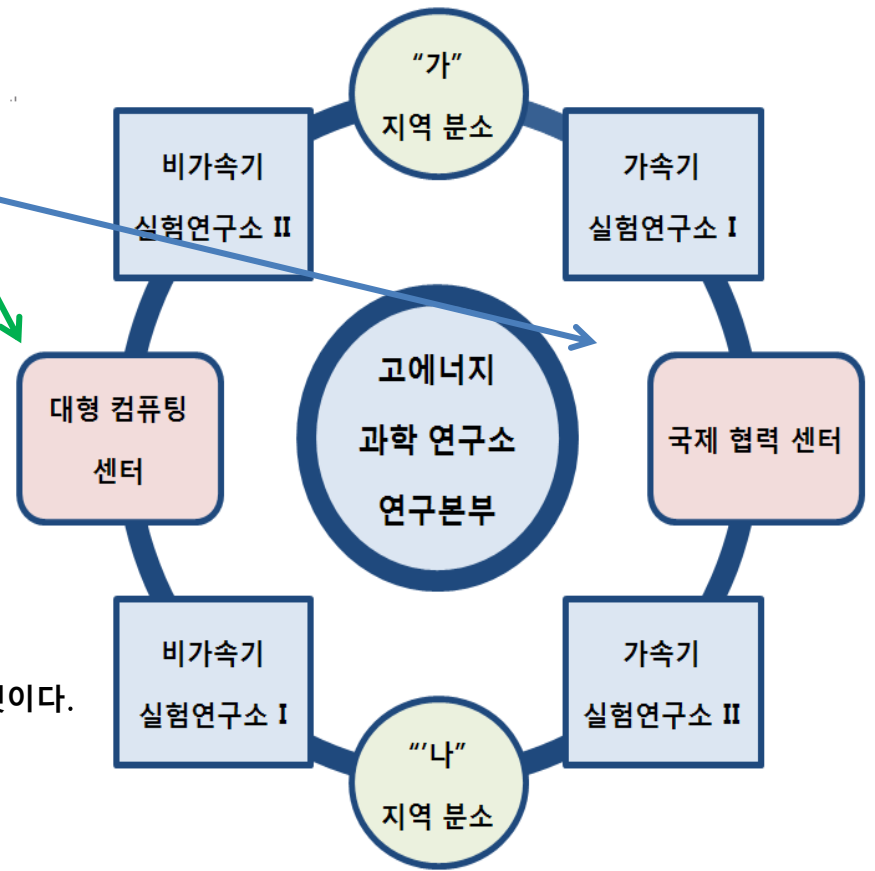
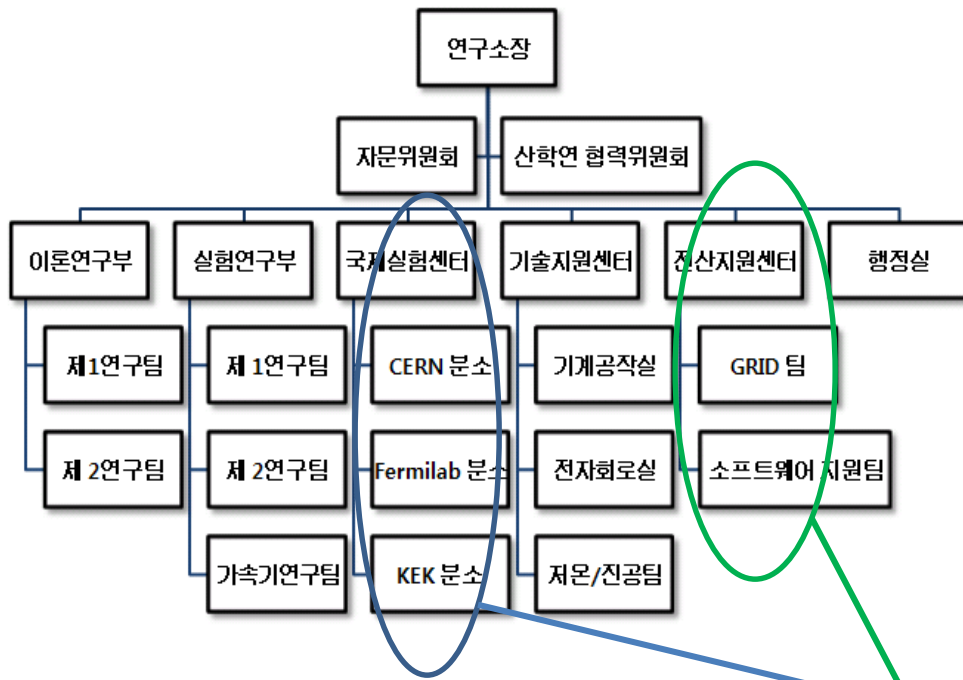
- ▶ 현재 21개의 연구분소(주로 전국 각 대학에 소재)와, 4개의 연구지원시설(중앙전산원, GANIL 등)로 구성되어 있다.
- ▶ 이탈리아의 INFN 보다 더 분산형에 가까운 형태이다.

| 약자 | 연구소명 | 연구소 위치 |
|--------------|--|-------------------------|
| APC | Astroparticule et cosmologie | Paris |
| CENBG | Centre d'études nucléaires de Bordeaux Oradignan | Bordeaux - Gradignan |
| CPPM | Centre de physique des particules | Marseille |
| CSNSM | Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse | Orsay |
| IMNC | Imagerie et modélisation en neurobiologie et cancérologie | Orsay |
| IPHC | Institut pluridisciplinaire Hubert Curien | Strasbourg |
| IPNL | Institut de physique nucléaire | Villeurbanne |
| IPNO | Institut de physique nucléaire | Orsay |
| LAL | Laboratoire de l'accélérateur linéaire | Orsay |
| LAPP | Laboratoire d'Annecy le Vieux de physique des particules | Annecy |
| LLR | Laboratoire Leprince-Ringuet | Palaiseau |
| LMA | Laboratoire des matériaux avancés | Villeurbanne |
| LNCA | Laboratoire neutrino de Champagne Ardenne | Rancennes |
| LPC Caen | Laboratoire de physique corpusculaire | Caen |
| LPC Clermont | Laboratoire de physique corpusculaire | Clermont-Ferrand |
| LPNHE | Laboratoire de physique nucléaire et de hautes énergies | Paris |
| LPSC | Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie | Grenoble |
| LPTA | Laboratoire de physique théorique et astroparticules | Montpellier |
| Subatech | Laboratoire de physique subatomique et des technologies associées | Nantes |
| ULISSE | Unité de logistique internationale - services et soutien aux expériences | Annecy |
| | Musée et archives de l'institut du radium Pierre et Marie Curie, Frédéric et Irène Joliot | Paris |

표 10 IN2P3 산하 21개 연구소

연구소 형태의 2가지 옵션

| | 집중형 | 분산형 |
|----------|--|--|
| 외국 연구소 예 | <ul style="list-style-type: none"> • CERN (유럽) • Fermilab(미국) • KEK(일본) | <ul style="list-style-type: none"> • INFN (이탈리아) • IN2P3 (프랑스) |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> • 인적/시설 인프라 집중 • 연구 분야간 조정 쉬움 • 초대형 프로젝트의 독자적 추진이 용이 | <ul style="list-style-type: none"> • 무한한 확장성 • 지방 균형 발전 • 대학 연구 균형 발전 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> • 초기에 대규모 투자 필요 • 확장성에 한계 • 대학 연구 축소 | <ul style="list-style-type: none"> • 인적/물적 자원 분산 • 연구 분야간 조정 어려움 |



현재 우리나라의 상황에서는 초기에 대형 시설 투자보다는 장기적으로 유연한 확장성을 고려하는 것이 중요하다고 판단되므로, INFN이나 IN2P3와 같은 분산형 연구소가 적합하다.

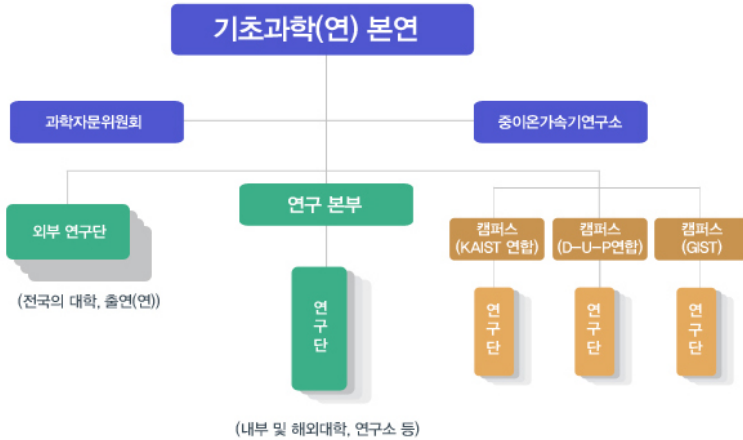
그러나 연구 역량이 약화될 수 있는 문제점도 반드시 고려되어야 하며, 이러한 장단점을 모두 고려한 적극적인 논의가 필요하다.

또한 장기적으로 이러한 구조 내에 기존의 대형시설들을 편입하여 체계적으로 대형시설을 운영, 기획할 수 있는 가능성도 열어 두어야 할 것이다.

어떻게

1. 독립적인 연구소 설립 (독립/기초기술연구회 산하)
 - 근거법 제정/개정 필요 → 장 시간 필요
 - 탑-다운
2. 기초과학연구원 산하
 - 3-4개의 연구단으로 출발
 - 영구적인 연구소 가능성 ?
 - 중이온 가속기 연구소를 본부로 출발? → 현재 아이디어는?

〈기초과학연구원의 네트워크 시스템 개념〉



전체 50개의 연구단으로 구성되는 기초과학연구원은 본원 15개, 지역캠퍼스 25개, 기타지역 10개 등으로 나뉘어 설치된다. 그중 지역캠퍼스에는 10개 내외의 연구단을 대전 KAIST연합캠퍼스에, 10개 내외를 영남 DUP연합캠퍼스에, 5개 내외를 광주과학기술원(GIST)에 배정할 예정이다.

전체 상근인력은 3천명 규모로 연구자 비중이 77%를 차지하며, 타 대학의 교수와 출연연 연구원 등 다양한 인력을 모집해 개방형으로 구성한다. 예산은 중이온가속기연구소 운영비 500억 원을 포함해 연간 7천억 원을 지원한다. 3년 단위로 조정될 연구단별 운영비도 연간 100억 원에 달한다.

각 연구단장은 기존처럼 사전에 테마를 정한 후에 선출하는 방식이 아니라, 초반에는 우수한 인력을 우선 확보한 후 자율적으로 연구테마를 정할 수 있도록 허용한다. 안정기에 접어들면 국내외 동향을 고려해 테마를 정하고 그에 걸맞은 인재를 확보할 예정이다.