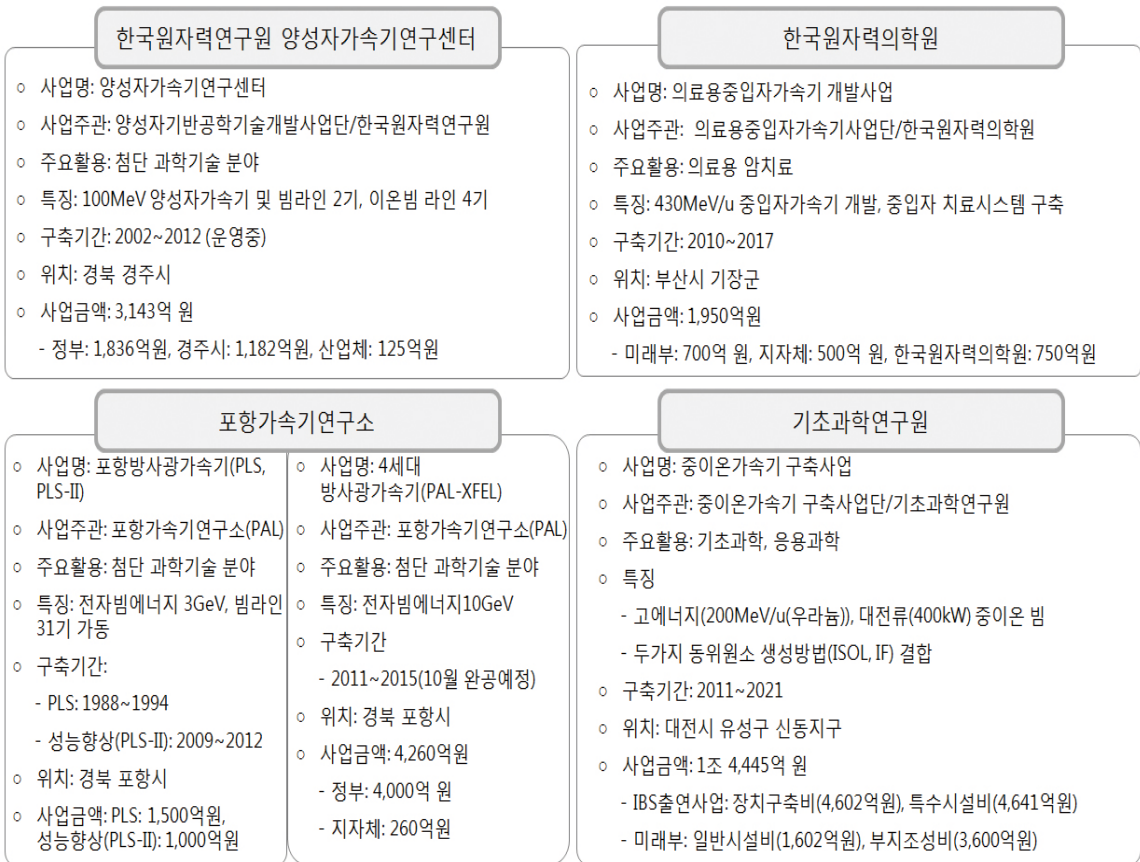


산업을 꽃 피우는 기초과학의 요람, 입자가속기

글 : 장영선(ysjang@kriect.re.kr)
 한국화학연구원 정책연구팀 연구원
 임수연(sylim@stepi.re.kr)
 과학기술정책연구원 연구원

그림 1 : 국내 연구기관 가속기 사업 현황



자료: 각 사업단 웹사이트, 발표자료를 기반으로 구성

1994년 우리나라 최초의 입자가속기인 포항 제3세대 방사광가속기가 완공되었다. 그로부터 약 20년이 지난 현재 국내에서는 대형과학기술 인프라인 가속기¹⁾ 구축사업이 활발히 진행 중이다. 경주 양성자 가속기가 2014년부터 정상 운영 중이며, 제4세대 포항방사광가속기도 올해 10월 완공을 앞두고 있다. 또한 국내 가속기 연구기관과 중소·중견기업이 함께한 상생한마당, 국제가속기학교 등 관련행사도 잇달아 열렸다.

그 가운데 지난 7월에 개최된 제9회 국가과학기술심의회에서는 대형 과학기술인프라 구축을 위해 중이온가속기 장치구축(15년 400억 → '16년 500억원: 25.0% 증가), 4세대 방사광가속기 운영(신규, 154억원), 가속기 핵심기술개발(신규, 10억원)을 골자로 하는 '2016년도 정부연구개발사업 예산배분조정(안)'을 의결하였다.²⁾

이러한 추세를 바탕으로 본 고에서는 대형 과학기술 인프라로서의 입자가속기 사업과 관련 산업의 최근 동향을 연·산·학으로 분류하여 조명하고 그 의의를 찾아보고자 한다.

(연)- 연구기관의 가속기 사업 동향

● 기초과학연구원(IBS)의 중이온가속기(RAON)

중이온³⁾가속기는 기초과학연구원의 중이온가속기 건설구축사업단이 건설·구축을, 중이온가속기 활용연구단이 연구 역할을 분리하여 담당한다.⁴⁾ 중이온가속기 건설구축사업은 국내 기초과학의 글로벌 경쟁력 기반을 확보하고 국내 가속기 전문인력을 육성하는 데 목적을 두고 있다.

총 사업금액은 1조 4,445억원으로 사업단을 중심으로 추진하고 있으며, 사업기간은 2011년~2021년이며 대전시 유성구 신동지역에 위치할 예정이다.

중이온가속기의 원리는 헬륨보다 무거운 원자를 이온상태로 만들어 전기장을 이용하여 빠른 속도로 가속시킨 후 표적 물질에 충돌시켜 자연 상태에서 존재하지 않는 다양한 희귀동위원소를 생성하는 방식이다. 생성된 희귀동위원소를 통해 핵물리, 천체물리, 원자/입자물리, 재료과학, 핵자료, 의료 및 바이오 과학 등과 같은 첨단과학 분야 연구를 하게 된다.⁵⁾

중이온가속기의 주된 특징은 고에너지(200MeV/u), 대전류(400kW) 중이온 빔을 제공하는 선형 가속기 및 실험장치를 개발, 설치, 운전하는 것이다.⁶⁾ 또한

1) 가속기(Accelerator)는 원소에서 전자가 분리되어 전기를 띤 이온을 강력한 전기장으로 속도를 높여주는 가속장치이다. (자료: 김형진(2015. 7. 13), 「중이온가속기 건설구축사업단 소개」, 「2015년 핵융합·가속기 중소·중견기업 상생한마당」, 국가핵융합연구소, 미래창조과학부)

2) 국가과학기술심의회(2015. 7. 10), 「2016년도 정부연구개발사업 예산 배분 조정(안)」

3) 중이온(heavy ion): 지구상에 존재하는 원소들 중에서 가장 가벼운 수소를 제외한 헬륨, 산소, 우라늄 등의 무거운(重) 이온을 일컫는다. (자료: 김형진(2015. 7. 13), 「중이온가속기 건설구축사업단 소개」, 「2015년 핵융합·가속기 중소·중견기업 상생한마당」, 국가핵융합연구소, 미래창조과학부)

4) 중이온가속기건설구축사업단(2014. 11. 12) "중이온 가속기 라온의 태동", 뉴스레터 Volume. 1

5) Dong-O Jeon(2015. 7. 30), 「Status of the Rare Isotope Science Project」, 「The 3rd Korea Particle Accelerator School(KoPAS 2015)」, IBS/RISP(Rare Isotope Science Project) in cooperation with USPAS(U.S. Particle Accelerator School)

6) 김형진(2015. 7. 13), 「중이온가속기 건설구축사업단 소개」, 「2015년 핵융합·가속기 중소·중견기업 상생한마당」, 국가핵융합연구소, 미래창조과학부

실험에 필요한 희귀동위원소를 발생시키는 방법으로 온라인 동위원소분리(ISOL)⁷⁾ 방식과 비행파쇄(IF)⁸⁾ 방식을 사용하여 새로운 희귀동위원소 발견의 가능성을 높이고 있다.⁹⁾

● 한국원자력연구원 양성자가속기연구센터의 양성자가속기

한국원자력연구원은 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진된 '양성자기반공학기술개발사업'을 통해 양성자¹⁰⁾가속기 연구센터를 구축하였다. 총 사업비 3,143억원, 사업기간은 2002년~2012년이며 2013년 시범운영기간을 거쳐 2014년부터 정상운영하고 있다.¹¹⁾

현재 연구센터의 주요시설로는 100MeV 양성자가속기, 양성자 빔라인 2기, 이온빔 장치 4기가 있다. 또한 장기적으로는 빔 에너지 1GeV, 빔 파워 2MW급 양성자가속기로 발전시킨다는 계획을 갖고 있다.¹²⁾ 양성자가속기를 이용하여 기초연구 뿐 아니라, 암치료, 우주항공기술, 나노입자 제조기술, 원자력 및 핵물리 등 첨단 과학기술 분야에서의 연구를 수행하고자 한다.

● 한국원자력의학원 의료용중입자가속기

한국원자력의학원 중입자가속기사업단은 암치료를 위한 의료용중입자가속기 개발 사업을 진행 중이며, 총사업비는 1,950억원 사업기간은 2010년~2017년이다. 주요 사업내용은 430MeV/u(우라늄) 중입자¹³⁾가속기 개발, 중입자가속기 치료시스템 구축, 중입자가속기 치료센터 건설을 포함한다.¹⁴⁾ 주된 목적은 탄소입자를 중입자가속기로 가속하여 생성된 빔을 체내 깊이 암부위에 도달하게 하여 암세포만 선택적으로 파괴하는 데 있다.

● 포항가속기 연구소의 3세대 방사광가속기, 4세대 방사광가속기

포항방사광가속기(Pohang Light Source, PLS)는 1988년~1994년 동안 1,500억 원의 사업비로 구축되었으며, 이후 2009년~2012년 동안 1,000억 원 사업비가 투입되어 현재의 3세대 방사광가속기(Pohang Light Source II, PLS-II)로 성능이 개선되었다. 3세대 포항방사광가속기(PLS-II)는 전자총에서 발생된 전자가 자기장 속에서 가속되고 휘어질 때 접선방향으로 방출하는 매우 강력한 빛인 방사광¹⁵⁾을 만드는 장치이며, 크게 선형가속기, 저장링, 빔

7) ISOL(Isotope Separation On-Line): 두꺼운 표적에 양성자를 충돌시켜 대전류 저에너지 동위원소 빔 생성

8) IF(In-flight Fragmentation): 얇은 표적에 중이온을 충돌시켜 소전류 고에너지 동위원소 빔 생성

9) 중이온가속기건설구축사업단(2014. 11. 12) "중이온 가속기 라온의 태동", 뉴스레터 Volume. 1

10) 양성자(proton): 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있는데, 전자는 음의 전하를 띠며, 원자핵은 전하를 띠지 않는 중성자와 양의 전하를 띠는 양성자로 이루어진다. 즉, 양성자는 중성자와 함께 원자핵을 구성하는 소립자의 하나이다.

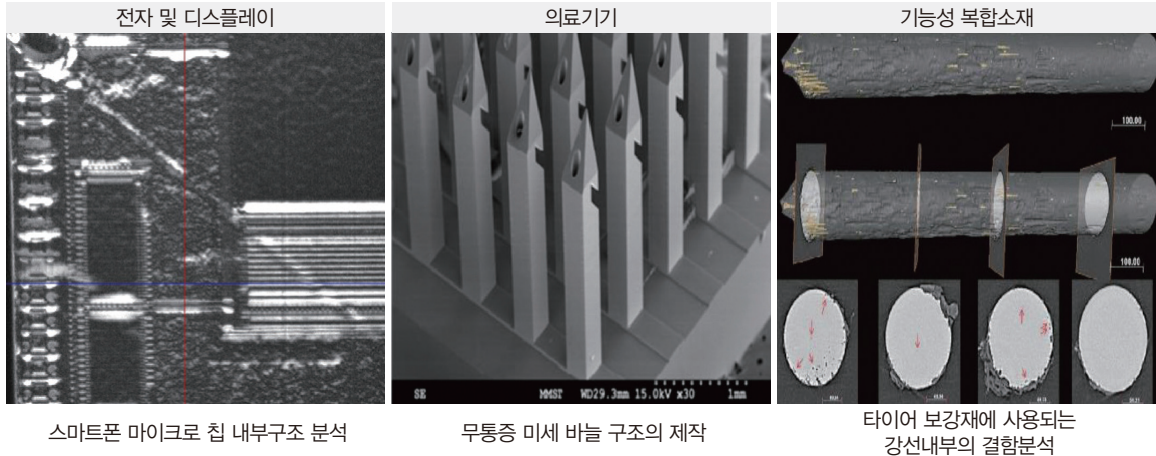
11) 여승목(2015. 7. 13), 「양성자가속기 연구센터 연구개발과 기업참여방안」, 『2015년 핵융합·가속기 중소·중견기업 상생한마당』, 국가핵융합연구소, 미래창조과학부

12) 국가과학기술위원회(2014), 「2차 국가대형연구시설구축지도」

13) 중입자: 의료용 중입자가속기에 사용되는 중(重)입자는 수소보다 무거운 원소의 원자를 의미한다. 탄소, 아르곤 등 중입자가속기용으로 연구되었지만 탄소가 암 살상 능력이 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 부산 의료용중입자가속기는 중입자 중 탄소원자에서 전자를 분리시킨 후(즉, 이온화) 양의 전하를 가진 탄소이온을 가속하여 얻은 에너지로 암을 치료하게 된다.(한국원자력의학원(2013. 6. 28), 「의료용중입자가속기 소개」)

14) 한국원자력의학원 의료용중입자가속기사업단(2015), 「중입자가속기」

그림 2 : 포항가속기연구소의 산업지원 사례



자료: 포항가속기연구소 산업기술융합센터(2015. 4. 20), 「산업기술융합센터 브로셔」

라인으로 구성되어 있고, 현재 31기의 빔라인을 연구자들이 이용하고 있다.

4세대 방사광가속기(PAL X-ray Free Electron Laser, PAL-XFEL) 구축사업은 연구소 내에 4세대 방사광가속기 추진단이 2011년~2015년 동안 사업을 수행하고 있다. 올해 10월 정도에 완공 예정이며, 총사업비는 4,260억 원이다. 기존 3세대 방사광으로는 원자나 분자의 정지상태만 관측이 가능했으나, 4세대 방사광은 극초단 펄스형태의 광원으로 원자들의 동적 현상을 관측 할 수 있게 된다.

(산)- 관련 산업단

포항가속기연구소는 연구소 내에 자체적으로 산업

기술융합센터(ITCC)를 설립하여 방사광 기반기술 및 분석기법의 산업화를 촉진하고, 중소기업 및 외부기관의 기술개발을 지원하고 있다. 지원분야는 X선 영상촬영, 초정밀 소자제작 등의 방사광 융합분석과 진공부품의 화학세척, 구조물의 구조해석 등 중소기업 설비지원으로 구성되어 있다.¹⁵⁾ 또한 연구소 인근에는 포항테크노파크와 포항 창조경제혁신센터가 입주해 있어서 관련기업들과의 협력이 활발하게 진행 중이다.

한국원자력연구원 양성자가속기연구센터의 경우 가속기 이용자협의회를 설립하여 효율적인 가속기 운영을 논의하는데, 이용자의 약 35%는 산업계에서 참여하고 있다. 양성자가속기 연구센터는 장치 응용

15) 방사광(light source)은 적외선에서부터 X-선까지 다양한 파장을 갖는 강력한 빛 (자료: 포항가속기연구소(2013), 「3세대 방사광 가속기(PLS-II) 브로슈어 2013」)

16) 포항가속기연구소 산업기술융합센터(2015), <http://industry.pal.postech.ac.kr/> (2015. 8. 6)

과 빔 이용분야로 나누어 산업계를 지원하고 있다. 또한 최근에는 빔이용연구동 및 산업체 R&D 통합 지원센터를 개관하여 중소·중견기업의 현장에로 기술지원, 빔이용 기술의 산업화 적용 지원을 추진하고 있다.

기초과학연구원의 중이온가속기의 경우 아직 시설 구축 단계에 있으나, 가속기가 들어설 부지 주변으로 첨단산업용지를 설정하는 등 부지확정 단계에서부터 관련 산업을 고려하여 진행하고 있다.¹⁷⁾ 특히 중이온가속기의 핵심장치인 초전도 가속관(Quarter Wave Resonator: QWR)¹⁸⁾은 자체설계 이후 국내 한 중소기업이 시제품을 제작하고 국제적 성능시험을 통과함으로써¹⁹⁾, 구축비용의 실질적인 절감과 국산화 제작에 참여한 국내 업체의 해외진출을 기대할 수 있게 되었다.

(학)- 가속기학과

국내에서는 가속기 구축과 운영에 직접적으로 관련된 학과가 없었으나 최근 고려대학교의 세종캠퍼스를 시작으로 전문학과가 신설되었다. 현재 가속기 분야에 진출해 있는 인력들은 물리학과, 핵공학과 출신인 경우가 많지만, 앞으로는 가속기학과에서 훈련된 인력들이 현장에 진출하는 일이 늘어날 것으로

전망된다.

고려대학교는 기초과학연구원과 공동으로 2014년 세종캠퍼스에 대학원 과정으로 가속기과학과를 개설하여 신입생을 모집하였다. 석사, 박사 및 석박사 통합과정으로 운영되며, 가속기 물리학, 가속기실험 및 검출기실험 등의 과목으로 구성되어 있고²⁰⁾, 정원은 약 5~10명 이내로 예정되어 있다. 또한 50억원의 사업비를 들여 가속기 교육과 연구개발을 위한 라온(RAON) 실험동을 구축하는 것으로 알려져 있다.²¹⁾

동아대학교의 경우 학연산 협동과정으로 2014년 9월 입자가속기 및 의학물리학과를 개설하여 석사과정 신입생을 모집하였고, 정원 20명 규모로 학과를 운영 중이다. 여기에서 배출된 인력들은 중입자가속기암치료센터(가칭) 운영에 투입되는 것을 목표로 하고 있다.²²⁾

한편 대학이 기업과 함께 학과를 운영하는 특수한 형태의 가속기 인력양성과정이 과학기술연합대학원대학교(이하 UST)에 의해 추진되고 있다. UST는 한국원자력연구원과 (주)한빛레이저와 함께 최근 '가속기 및 빔나노공학' 전공을 신설하였다. 이는 기업이 UST에 인력양성을 위탁하는 계약학과(재교육형) 제도로써 기업의 임직원들은 한국원자력연구원

17) 미래창조과학부 보도자료(2014. 9. 15), 「과학벨트 신동·둔곡 거점지구 개발계획 변경」 승인·고시.

18) 초전도가속관(QWR)은 전기에너지를 활용해 중이온을 빛의 속도에 근접하도록 가속시키는 원통형 진공관으로 초전도체인 나이오븀(Nb)로 만들어져 절대온도 0도에서 전기저항이 '0'이 되는 초전도 현상을 일으키는 중이온 가속기의 핵심 장치이다.

19) 미래창조과학부 보도자료(2015. 3. 6), 「중이온가속기 초전도 가속관 국산화 성공」

20) 고려대학교 가속기과학과(2015), <http://graduate.korea.ac.kr/department/univManage/data.jsp?idx=103> (2015. 8. 6)

21) 지나라(2013. 9. 26), 「고려대 세종캠퍼스에 세계 첫 '가속기대학원' 문연다」, 「대덕넷」

22) 동아대학교(2014), 「입자가속기 및 의학물리학과 석사과정 모집안내」(2014. 5. 14)

23) 한국원자력연구원 보도자료(2014. 1. 15), 「출연연-대학-기업 손잡고 맞춤형 인재 키워낸다」.

지도교수의 교육을 받게 된다.²³⁾ 또한 지질자원연구원, 기초과학연구원, 핵융합연구소와 공동으로 ‘가속기 및 핵융합 물리공학’ 전공도 운영하고 있다. 해당전공은 가속기, 플라즈마, 레이저 그리고 빔 이용, 플라즈마 이용과 관련된 현장중심의 심도 있는 연구를 통하여 전문가를 양성하는 것을 목표로 하고 있다. 2015년 2월 기준으로 박사 2명, 석사 3명의 졸업생을 배출하였다.²⁴⁾

국제가속기학교

기초과학연구원 중이온가속기 구축사업단은 최근 가속기 분야 신진연구인력 육성 및 연구자 간 국제 교류 네트워크 확대를 위해 제3회 국제가속기학교(KoPAS 2015)²⁵⁾를 개최하였다. 올해 국제가속기학교에는 국내외 관련 대학, 연구기관, 기업에서 약 100명이 참가하였고, 미국가속기학교(USPAS)의 강사진을 포함한 국내외 강사진들이 가속기 물리 기초, 싱크로트론 복사, 초전도가속관 등 핵심 장치에 대한 열정적인 강의를 진행하였다. 국내 강사진은 울산과학기술원(UNIST)의 정모세 교수와 한국원자력연구원의 김유종 박사가, 미국가속기학교 강사진으로는 John Byrd 로렌스버클리국립연구소 빔물리센터장(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL/CBP)과 Jean Delayen 올드도미니언 대학교 교수(Old Dominion University/

JLab)가 참여하였다.

국제가속기학교는 비전공자들에게는 가속기분야로의 입문을, 신진 연구자 및 기존 현장 연구원들에게는 재교육의 기회를 제공하고 있다. 또한 가속기분야 전문 강사진, 현장연구자, 학생들 간 자유로운 논의의 장으로 큰 역할을 하고 있다.

기초과학에서 시작된 가속기, 첨단 과학기술 산업에서의 활용

가속기는 처음 물리학자들이 우주를 구성하는 물질의 기본구조를 연구하기 위해 최첨단 기술을 동원하여 설계하였고, 이후 입자물리학·우주론 등 기초과학 발전에 큰 기여를 해 오고 있다.

그런데 가속기의 역할은 자연과 우주에 대한 인류의 지식을 넓히는 데 머무르지 않았다. 가속기 장치에 적용되는 고도의 기술은 산업적인 필요에 폭 넓게 쓰일 수 있다는 것을 알게 되었고, 이후 새로운 산업과 일자리 창출에 기여해 오고 있다.

이렇듯 우리는 기초과학이 새로운 산업 탄생의 요람이 될 수 있는 대표적인 사례를 가속기에서 찾을 수 있다. 우주 구성물질의 비밀을 찾는 프론티어 정신이 어떻게 첨단과학기술로 발전하여 산업을 꽃피우는 원천이 될 수 있는지, 선도적이고 파괴적인 기술혁신 모델로의 체질변화를 추구하는 한국이 주의 깊게 살펴봐야 할 부분이다.

24) 양성자가속기연구센터(2015. 6. 2), 「양성자가속기연구센터 브로셔」

25) 기초과학연구원 대전 본원에서 개최된 국제가속기학교는 올해 3회째이며, 7월 28일~31일 동안 개최되었다.