포항방사광가속기 개요

고 인 수
포항가속기연구소

포항가속기연구소는 "한국과학창달의 초석"이라는 기치아래 정부, 포스코, 포스텍(포항공과대학교)의 상호협력으로 국가공동연구시설인 포항방사광가속기(PLS, Pohang Light Source)를 1500억 원의 재원으로 건설하였다. 건물설계/부지조성의 준비기간(1988. 4 ~ 1991. 3)과 건설/설치/시운전의 사업기간(1991. 4 ~ 1994. 12)을 통하여, 부지 20만평 위에 우리나라 역사상 최대 규모의 단일 연구 설비이자 국제적으로도 경쟁력을 갖춘 최첨단형인 포항방사광가속기를 우리나라 과학자들의 힘으로 완공하여 1995년 9월부터 운영 12년째를 맞이하고 있다. 포항방사광가속기는 오늘날 기술 패권주의가 날로 치열해지고 있는 국제 사회에서 우리나라 과학기술의 자립과 선진화의 기틀을 이룩하는데 한 축을 담당하였다.
그러면, 단군 이래 국내 최초의 거대과학 프로젝트였던 포항방사광가속기에 관하여 살펴보기로 하자.

빛은 자연의 신비를 밝히는 과학의 가장 중요한 도구이다. 먼 은하계로부터 세포, 분자, 원자의 세계까지 즉, 우주를 볼 수 있는 열쇠이다. 이러한 빛은 과학적으로 말해서 질량이 없는 입자의 흐름으로 보는 입자와 동시에 공간을 통해 전파하는 전자파의 이중성을 갖는다.

일상생활에서 우리 주위의 물체를 볼 수 있게 하는 가시광선(전자파 중에서 사람의 눈에 보이는 범위의 파장)은 쉽게 만들 수 있고 또 쉽게 감지할 수 있다. 태양, 전등과 불은 가시광선을 만드는 대표적인 예이다. 눈을 통해 가시광선을 볼 수 있고 사진필름으로 그것을 탐지할 수 있다. 그러나 전자파로 알려진 우주에 있는 빛의 전 영역 중에서 가시광선은 아주 작은 부분으로 구성되어 있다. 눈으로 볼 수 있는 파장의 범위는 사람에 따라 다소 차이가 있으나, 대체로 380~770㎚이다. 또 대기를 통해서 지상에 도달하는 태양복사의 광량은 가시광선 영역이 가장 많다.
단색광인 경우 700~610㎚의 빨강에서부터 450~400㎚의 보라까지로 보인다. 빨강보다 파장이 긴 빛을 적외선, 보라보다 파장이 짧은 빛을 자외선이라고 한다. 적외선 쪽으로는 파장이 긴 마이크로파, 라디오파가 있고 자외선 쪽으로는 파장이 짧은 X-선과 감마선이 있다. 이러한 영역의 빛은 우리 눈으로 볼 수 없고 특별한 장치가 있어야 볼 수 있다. 각 영역은 빛이 통과하고 물질과 상호작용 하는 정도를 결정하는 파장과 광자에너지 범위를 갖는다.

포항방사광가속기의 원리는 165m의 직선 모양의 선형가속기의 시작점에서 전자총에 의해서 전자를 발생시키고 가속관을 통하여 고출력 고주파 발생장치를 이용하여 전자를 빛의 속도(광속의 99.999997%)로 가속시키는 것이다. 선형가속기 끝단에서 빛의 속도에 도달한 전자는 25억 전자볼트(2.5 GeV ; 1eV는 전자 한 개를 1볼트만큼 가속시키는데 드는 에너지)로써 약 100 m의 전송관(BTL, Beam Transport Line)과 입사장치(Injection System)을 통해서 저장링에 입사된다. 둘레 280 m의 저장링에 입사된 전자를 저장링의 진공파이프 내에서 연속으로 회전시켜 그 접선방향으로 방사광을 만든다. 저장링은 전자의 궤도를 원형으로 만들어주고 (횡방향의 가속을 담당) 궤도를 조절하는 전자석들과 초고진공의 환경을 제공하는 진공장치, 방사광의 방사로 잃은 에너지를 보충해주는 고주파 공명장치(RF Cavity) 등과 각종 제어장치들로 구성되어 있다. 직선 길이 약 20~30m의 빔라인(BL, Beam Line)은 방사광을 이끌어내는 관으로써 여기에 실틈(Slit)이나 단색화 장치(Monochromator), 반사경(Mirror)등의 조절장치를 통하여 이용자가 원하는 파장을 뽑아내어 궁극적으로 이용자가 실험에 활용하는 장치이다. 1995년 9월부터 2기의 빔라인으로 이용자에게 활용한 이래 24기의

빔라인을 가동하고 있고 추가로 6기를 건설하고 있는 중이다. 최종적으로 완성될 빔라인의 수는 총 40기로 보고 있다.

포항방사광가속기는 제 3세대 가속기로 방사광 이용만 목적으로 개발된 것이다. 방사광의 특성은 종래의 어떤 광원에 비해서도 훨씬 강력하고 넓은 파장영역에서 원하는 파장의 방사광을 물질에 비추어 봄으로써 그 물질을 구성하고 있는 원자 및 분자 규모의 물성연구가 가능하다는 점이다. 방사광은 파장영역이 적외선에서 X-선에 이르기까지 넓으며, 높은 에너지를 갖는 전자에서 방출되는 광원으로 낮은 에너지가 방출되는 기존의 광원과는 달리 전자의 진행 방향으로 집중(Collimate)되어 있어 단위 면적당 받게 되는 전자파의 광 세기가 매우 크며 따라서 빛이 밝고 강하다. 또한 저장링에서 전자는 묶음(Bunch)으로 움직이고, 전자묶음이 원회전시 10억분의 2초 간격으로 빛을 방출하는 단락구조를 갖고 있으나 육안으로는 연속적인 것처럼 보인다. 따라서 방사광을 물질과학 연구에 활용할 경우 첫째 기존 X-선 광원으로 24시간 걸리던 분석처리속도를 2~3초 내로 획기적으로 단축할 수 있고, 둘째 십억 분의 1(1PPb, Part Per Billion)의 미량 원소까지도 측정이 가능하며, 셋째 입체분석 기능이 월등하게 우수하고, 넷째 빛을 비추는 시간이 짧아짐에 따라 실험 재료로 쓰이는 시료에 피해를 거의 주지 않으며, 다섯째 백만분의 1초 사이의 화학적 물리적 변화까지도 순간 포착이 가능하여 초고속 셔터로 활용할 수 있다는 등의 장점을 갖게 된다.

이러한 방사광의 장점을 이용하여 발표한 우수 연구 성과를 들어보면 다음과 같다. 첫 전용 빔라인이었던 LG 반도체 빔라인을 통하여 1996년 LG 반도체가 4 GDRAM 제작에 필요한 0.13㎛ 미세 선폭의 가공에 성공한 것이 포항방사광가속기를 이용한 최초의 괄목할 만한 성과였다.

2004년 3월 방사광 X-선 영상 촬영 기술을 개발하여 살아 있는 모기, 쥐, 토끼 등 동물의 세포조직을 관찰하는 성과를 올렸다. 나아가 조영제 없이 살아 있는 쥐의 미세혈관을 관찰하는데도 세계 최초로 성공한 바 있다. 특히 조영제 없이 미세혈관을 촬영, 검진하는 기술은 사람의 미세혈관까지 촬영, 검진할 수 있는 길을 열었다는 점에 그 의의가 매우 크다. 지금까지 혈관과 다른 세포를 구별하기 위해 무거운 금속 물질인 조영제를 사용했으나, 이런 조영제를 사용하지 않은 채 혈관을 관찰하여 심장, 뇌질환, 및 암을 안전하고 간단하게 포착하는데 이용될, 이 신기술은 사람의 혈관질환이라 할 수 있는 심장질환과 각종 미세혈관으로 이루어진 뇌에 생기는 질환, 그리고 조기진단이 힘든 암과 같은 질병의 예방에 크게 기여할 것은 물론, 그들 질병 치료의 정확도와 효율을 비약적으로 상승시킬 수 있을 것으로 전망된다. 또한 방사광 X-선 영상 촬영 기술은 새로운 분석 도구로서 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 내다본다. 2002년에는 구리-아연 전기 도금시 결함을 유발하는 메커니즘을 밝혀내어 Nature지에 발표된 바 있다. 한편, 2005년 10월에는 사람의 머리카락 내부를 80㎚ 분해능으로 촬영하는 기술을 확보하여 세계 유수 가속기보다도 10배 이상 뛰어난 해상도를 나타낸 연구 성과를 보여준 바 있다.

분자생물학 분야에서도 방사광 X-선 회절을 이용한 분자구조 분석기술을 이용하여 52년간 어느 누구도 풀지 못한 난제인 오른쪽 나선(B형 핵산)과 왼쪽 나선의 핵산(Z형 핵산)이 이웃하는 접합부위(BZ Junction)의 삼차원 입체구조를 밝히는데 활용되어 Nature지의 표지논문으로 2005년 10월에 발표되였다. 이것은 이전에 크리스탈 지노믹스(주)가 2003년 비아그라의 작동원리에 관해 표지논문으로 낸 연구결과에 이어 두 번째로 게재되는 쾌거였다. 이외에도, 위염이나 위 십이지장궤양, 위암 등을 발병시키는 원인균으로 알려져 있는 헬리코박터 파일로리의 Urease 단백질의 구조를 규명하여 그 결과를 Nature Structural Biology에 게재하였다. 이 결과는 사람의 위와 같은 강한 산성 조건 하에서 서식하는 병원 원인균들을 제거할 수 있는 새로운 항균제 개발을 가능하게 하였다. 이 헬리코박터 파일로리 단백질 외에 다양한 종류의 단백질 구조에 대한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있어 향후 각종 신약 개발에 상당한 기여를 할 것으로 예상된다.

방사광 X-선 소각산란 기술을 이용하여 블록고분자라는 플라스틱으로 다양한 형태의

나노 구조를 제조하고 그 생성 메카니즘을 밝혀 그 결과가 Nature Materials와 Physical Review Letters에 발표되었다. 최근에는 방사광 X-선을 이용한 스침각산란이라는 분석 신기술을 개발하여 50나노급 차세대 반도체 제조에 활용할 수 있는 나노구조의 절연 나노박막을 개발하는데 성공하여 Nature Materials 와 Advanced Materials에 게재되었다. 또한 방사광 연X-선 분광기술을 이용하여 스핀자석 나노입자의 구조와 특성을 규명하여 역시 Nature Materials에 게재되었다.

삼성종합기술원에서는 2001년 소형의 광통신 반도체소자 개발에 있어 불량품이 발생하는 원인을 비파괴 방사광 X-선 투과 영상 실험으로 규명함으로써, 불량률을 70%에서 10%이하로 현저하게 낮추는 큰 연구 성과를 올렸다. 포스코에서도 2001년부터 지금까지 비파괴 방사광 X-선 투과 영상 검사를 선박용 강재의 표면 및 내부의 불순물 관찰, 개선에 이용하여 고부가가치 철강 신소재 개발에 활용하고 있다.

방사광을 활용한 벤처기업의 신기술 및 신제품 개발연구도 활발하게 추진되고 있다. 크리스탈 지노믹스(주)는 비아그라의 작동원리에 관한 연구결과를 Nature지의 표지논문으로 게재하는 개가를 올렸고, 이어서 비만치료에 탁월한 효과가 있는 신약 후보물질 발굴에 성공한 바 있다. 이 후보물질이 임상시험을 거쳐 비만 치료제로서 허가를 받게 될 경우 세계적으로 가장 심각한 질병 중의 하나로 부상하고 있는 비만을 치료할 수 있는 수조원대의 시장을 가질 것으로 기대된다.

포항방사광가속기의 건설은 20세기 한국과학기술사의 톱 10에 선정되어 한국과학기술사에 한 획을 그은 큰 업적이었다. 이는 비단 방사광가속기의 활용 측면뿐만 아니라 우리나라 과학기술발전 전반에 미친 파급효과 면에서도 의의가 매우 큰 것이다. 포항방사광가속기는 1994년까지의 건설기를 지나 지난 12년간의 운영기간을 통해 괄목할만한 발전과 성장을 하여 정착단계를 지나온 것으로 평가되고 가속장치의 운영 및 개발 기술의 고도화를 이룩하였으며, 방사광 이용분야의 저변을 확대함으로써 일부 분야에서는 세계적인 경쟁력을 지니게 되었다.

이 같은 발전에 힘입어 포항가속기연구소는 앞으로 제 3세대 방사광 시설의 국가적 과학기술 용량을 확충함과 동시에 기존 시설과 일부를 공유한 새로운 장치를 구축하여 미국, 독일, 일본 등 과학기술 선진국들과 함께 제 4세대 방사광원인 자유전자레이저(Free Electron Laser, FEL) 개발을 꾀할 예정이다. 이런 제 4세대 방사광가속기가 건설되면 우리나라는 지금까지 해외 과학 선진국들을 쫓아가던 방사광 연구에서 벗어나, 아직 실용화 되지 않은 꿈의 빛으로 불리는 제 4세대 방사광 분야에서 세계를 선도하는 선두그룹으로 도약할 수 있게 될 것이다.

포항가속기연구소는 1988년 당시 제 3세대 방사광가속기 설계 때에 이미 추후에 있을 제 4세대 방사광가속기로의 확장과 활용을 고려하여 그 당시 전 세계적으로 보편화된 원형가속기형 부스터 입사장치 대신에 선형가속기를 전자 입사 장치로 선택하여 165미터의 긴 선형가속기를 만들었다. 이 선형가속기는 약간의 개선과 보완을 거쳐 제 4세대 방사광가속기로 활용할 수 있기 때문에 앞으로 건설하게 될 제 4세대 방사광가속기의 건설기간을 크게 단축시키는 한편 건설비용 수백억 원을 절감할 수 있는 경제적 효과도 거둘 수 있다.

포항가속기연구소는 현재의 제 3세대 방사광가속기보다 100억 배 이상 밝은 빛을 만들 수 있는 제 4 세대 방사광가속기를 2012년까지 준공하는 것을 목표로 건설 사업을 추진하고 있다. 앞으로 제 4세대 방사광가속기는 3단계 과정으로 추진될 예정인데, 1단계에서는 기존 선형가속기를 개선·보완하면서 제 4세대 전자총을 개발 추진·완료하고 1.2 GeV 선형가속기를 증설하여 최종적으로 3.7 GeV급으로 에너지를 늘려서 완료할 예정이다. 다음 2단계로서는 레이저 발생장치, 빔라인 건설 및 실험실을 건설하여 2011년경에 제 4세대 방사광가속기 시운전을 마칠 예정이다. 마지막 3단계는 이듬해 2012년부터 본격적인 이용자 실험지원을 실시할 예정이다.

제 3세대까지 기존의 방사광가속기가 원형인데 비해 제 4세대 방사광가속기는 직선형이다. 기존의 제 3 세대 방사광은 밝기의 한계 때문에 상대적으로 긴 시간 동안 평균한 정지 영상 정보만 얻을 수 있었지만, 제

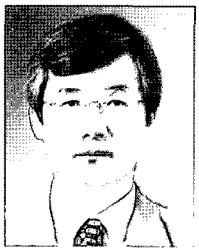
4세대 방사광인 X-선 자유전자레이저는 물질의 내부에서 일어나는 현상을 실시간으로 관찰할 수 있다. 즉 화학반응에서 일어나는 반응의 중간과정들을 펨토초(femto second=10-15초=1000조분의 1초)의 시간분해능으로 관측할 수 있다. 그리고 강력한 레이저의 특성을 이용하여 결정화되지 않은 한 개의 DNA 분자로부터 복잡한 구조를 갖는 비결정 구조의 해석에 필요한 정보의 수집도 가능하다.

한편 레이저 특성, 짧은 파장, 강력한 밝기, 빠른 펄스의 성질을 모두 갖춘 제 4세대 방사광은 극미 세계를 연구하는 나노 과학과 극 초단의 빠른 세계를 연구하는 펨토과학을 동시에 가능하게 하여 새로운 과학적 지식과 기술개발을 창출할 것이다. 이러한 지식은 새로운 재료나 분자를 개발하고 특성을 향상시키는데 필요한 기초로 활용되어 관련기술과 경제를 발전시키며 생활의 질을 비약적으로 끌어 올릴 수 있을 것으로 예상된다.

제 4세대 방사광가속기를 미국 및 유럽연합에 비해 약간 앞서거나 비슷한 시기에 완공함으로써, 방사광 연구 분야에서 만큼은 선진국보다 앞서거나 적어도 대등한 연구의 수행이 가능하도록 도약할 수 있을 것이다. 따라서 시간을 다투는 IT, BT, NT, ET 등의 분야들에서 원천기술 확보가 가능할 것이다.

끝으로, 포항가속기연구소는 독창적인 연구결과와 연구의 탁월성을 통해 세계와 대등한 방사광시설로 운영 및 활용하는데 지속적으로 노력해 나갈 것이다. 향후 2012년경에 제 4세대 방사광가속기가 완공된다면, 포항가속기연구소는 제 3세대 방사광가속기와 제 4세대 방사광가속기를 모두 보유하게 되어 제 2의 도약을 통해 21세기 우리나라 첨단 과학기술을 선도하는 견인차로 새롭게 태어나게 될 것임을 확신하는 바이다.

저자이력



고인수(高 仁 洙)
서울대학교 공과대학 응용물리학과 졸업(1975), 서울대학교 대학원 물리학과 이학석사 (1977), 미국 UCLA 물리학과 Ph. D. (1987), 해군사관학교 전임강사(1977-1980),한국전자통신연구소 선임연구원(1987-1988), 포항공과대학교 물리학과 교수(1988-현재), 포항가속기연구소 소장(2004-현재)