

電子에너지 20億볼트

방사광 가속기 건설추진

浦項工大

1. 방사광 가속기(Synchrotron Radiation Source)의 개요

가. 개요

포항공과대학에서는 10억분의 1초 정도의 짧은 시간으로 물질의 원자 단위의 미세구조까지 규명해 줄 수 있는 방사광 가속기(Synchrotron Radiation Source)를 국내 최초로 건설중이다.

방사광(Synchrotron Radiation)이란 거의 빛의 속도로 움직이는 전자가 원형의 저장링 내에서 회전할 때 원 궤도의 접선 방향으로 적외선에서 X-선에 이르기까지 넓은 영역에 걸쳐 발생하는 고강도, 고밀도의 빛을 말하며 이 빛을 발생시키는 장치가 방사광 가속기이다.

이 방사광 가속기는 물질의 분자 및 원자단위의 구조분석, 금속 및 응집물질의 물성연구, 화학반응의 정밀분석 등 빛을 이용하는 전 분야에 이용되며, 재료공학에 이용되는 표면분석과 비파괴분석에 방사광을 이용함으로써 수백에서 수백만배까지의 정밀도를 얻을 수 있는 등 기초과학 뿐만 아니라 응용과학 및 첨단산업 기술개발을 위해서도 필수적인 장치이다.

나. 방사광 가속기의 발전과정

1930년 캘리포니아 버클리대의 로렌스박사가 사이클로트론(Cyclotron)을 개발한 이래 원형입자가속기(Circular particle accelerator)는 방사광 발생장치인 Synchrotron Radiation Source까지 크게 3단계로 발전되었다. 핵물리용 입자

가속기에서 부산물로 발생되는 방사광을 이용하는 제1세대를 거쳐, 1976년 이후부터는 방사광만을 위한 고강도의 방사광 전용 가속기가 건설, 가동하기 시작하였는데 이를 제2세대 방사광 가속기라 할 수 있다. 최근에는 256M Dram 등의 개발을 가능케하는 고밀도, 고강도의 방사광 전용가속기가 일본 및 구미 각국에서 건설 착수단계에 들어갔는데, 원하는 특성을 가진 강력한 세기의 방사광을 효율적으로 발생시키기 위하여 Wiggler와 Undulator가 부착된 제3세대 방사광 가속기가 바로 그것이다. 이 두가지 장치는 전자가 직선으로 움직이는 부분에 자석을 배치하여 전자를 한 번 혹은 여러번 휘었다가 다시 본 궤도로 돌아가게 하면 각각의 휘는 부분에서는, 마치 회전하는 우산에서 물방울들이 튀어가듯 가속운동을 하면서 방사광을 내는 원리를 이용한 것이다. 따라서 전체 Storage Ring의 전자에너지나 Beam Current의 크기를 높이지 않고도 방사광의 임계에너지와 강도를 높일 수 있는 잇점이 있다. 최근 Wiggler/Undulator에 대한 연구개발이 많이 진행되었으며, 새로 건설하는 제3세대형 방사광 가속기에는 모두 이러한 장치를 이용할 수 있도록 설계한다. Storage Ring을 이용한 또 하나의 최근 연구개발 대상은 자유전자레이저(Free Electron Laser)로서 Undulator 자석을 광학진동공(Optical Cavity) 안에 넣어 Undulator에서 나오는 빛을 공진시키며 자유전자에 의한 Stimulated emission을 이용하여 coherent한 빛을 얻는 원리로 현재 프랑스, 미국, 소련 등에서 매우 활발히 연구되고 있다.

이 자유레이저의 편리한 점은 Storage Ring 안의 전자의 에너지가 변화하면 그에 따라 나오는 빛의 파장도 쉽게 연속적으로 변화하므로 0.1 μ m 내지 20 μ m의 파장 영역에서 10~100W 정도의 CW Power를 얻을 수 있다. 이것이 개발되면 적외선으로부터 자외선 부근까지 완전히 연속적으로 파장을 변화시킬 수 있는 레이저가 얻어지는 것으로서, 그 다양한 응용가능성 때문에 과학기술계의 깊은 관심의 대상이 되고 있다.

다. 국내의 방사광 가속기 시설현황

(1) 세계의 가속기 시설현황

현재 미국을 비롯한 일본 유럽 등의 선진국에서는 이미 1세대 또는 2세대의 방사광 시설을 500여대나 보유하고 있으며 2000년대에 경제 및 첨단 과학기술면에서 주도권을 잡기위해 제3세대 방사광 시설의 건설도 활발히 추진중에 있다.

이와같은 추세는 선진국에만 국한된 것이 아니라 중공의 경우 이미 28억 전자볼트 규모의 2세대 방사광 가속기 건설을 완료한 상태이고 인도, 브라질, 대만도 2세대 방사광 시설을 건설중이거나 3세대 방사광 시설을 계획중에 있다.

현재 세계 여러나라의 방사광 가속기 건설추진 현황을 보면 미국 캘리포니아 버클리대학에서 '93년도 완공예정으로 15억 전자볼트 규모의 가속기를 건설중에 있으며, 이태리 트리에스테(Trieste)는 20억 전자볼트 규모 가속기를 포항공과대학보다 먼저 착수하였지만 완공시기는 비슷할 것으로 보인다. 한편 대만도 13억 전자볼트 규모의 방사광 가속기를 우리보다 빨리 완공할 것으로 예상된다. 이외에 미국 시카고 소재 아르곤 국립연구소(ANL), 그레노블의 유럽 방사광 가속기(European Synchrotron Radiation Source)의, 일본 쓰쿠바의 국립 고에너지 물리 연구소(National Lab for High Energy Physics) 등지에서 건설 추진되고 있다.

(2) 국내 가속기 시설현황

우리나라에는 현재 D.C Machine 5대,

Betatron 1대, Linear Accelerator 4대, Cyclotron 1대가 설치되어 있으나 대부분이 의료용으로 기초과학 연구에는 이용할 수 없으며, 방사광 가속기는 1대로 없는 실정이다.

1989년 현재 우리나라 1인당 GNP가 4천달러를 넘어서 브라질이나 대만과 거의 같은 수준이나 기초과학 연구용 입자 가속기는 보유하고 있지 않다. 인도의 경우도 방사광 가속기 시설에 있어서는 국민 1인당 GNP가 250달러 정도의 후진국임에도 불구하고 우리보다 앞서고 있다.

과학기술은 하루아침에 발전되는 것이 아니라 지속적으로 정책적인 지원이 있어야 가능하다. 기초과학 연구용 입자가속기가 국가의 과학기술 발전에 미치는 영향을 고려할 때, 포항공과대학에서 2.0GeV(20억 전자볼트) 규모의 제3세대 방사광 가속기를 건설추진하는 것은 매우 바람직한 일로, 국민1인당 GNP가 3천달러가 넘는 우리나라의 실정에 비취볼 때 오히려 때늦은 감도 없지 않다 하겠다.

2. 방사광 가속기의 이용분야

가. 기초과학 발전

우리가 물체를 보는 것은 그 물체에서 반사 또는 산란되는 빛을 포착하는 것이기 때문에 보려고 하는 물체의 크기가 원자나 분자와 같이 빛의 파장보다 작을 경우에는 물체의 형태나 위치를 제대로 관찰할 수 없게 된다.

원자나 분자의 크기는 대략 1A(1억분의 1cm)에서 100A(100만분의 1cm)이기 때문에 이것들과 비슷한 정도의 파장을 지닌 진공자외선이나 X선을 이용하여야 이들을 관찰할 수 있다. 이 파장 영역에서는 지금까지 강력한 광원이 없었기 때문에, 현대과학 연구의 대상이며 첨단 산업기술중 소재개발의 기초가 되는 원자 및 분자의 연구에 많은 장애가 되어 왔으나 방사광은 종래의 어느 광원도 갖지 못했던 광범위한 파장영역과 고밀도, 고강도를 갖고 있으므로 해서

빛의 작용에 의하여 물질의 구조와 성질을 지배하는 전자의 성질을 규명하는 등 지금까지 불가능했던 원자나 분자의 세계를 관찰하는데 있어서 최대의 기술혁신으로 손꼽히고 있다. 따라서 포항공과대학 방사광 가속기는 고체물리학, 화학, 생물학, 금속재료공학, 전자공학 등 기초과학 전반에 걸친 물성연구에 획기적 기여를 할 것으로 기대되고 있다.

이외에 화학공학의 촉매연구, DNA 및 고분자 물질의 구조해석, 생명공학, 약학 등의 산업계에서 방사광을 폭넓게 응용할 수 있을 것이다.

나. 의학 및 산업계의 응용

방사광은 기초과학 학문분야 뿐만 아니라 고도의 기술을 요구하는 의학 및 첨단산업계에서도 응용이 늘고 있다. 실제적인 가속기 응용분야는 다음과 같다.

(1) 반도체 산업

방사광 가속기에서 나오는 고강도 고분해능의 X선을 사용함으로써 Photolithography에 의하여 제작하고 있는 VLSI의 한계를 극복하여 256M DRam과 같은 초고밀도의 집적회로 제작을 가능케 한다. 이미 이 기술개발에 있어서는 미국, 일본, 유럽 등에서 연구가 활발히 진행중이고, 서독, 일본에서는 X-선 Lithography전용의 가속기 개발이 진행되고 있다. 방사광 가속기를 이용한 이 분야의 연구는 1990년대 중반 이후 한국 반도체 산업에서 필수적인 것으로서 방사광 가속기의 건설, 가동은 이 분야의 발전에 결정적인 기여를 하게 될 것이다.

(2) 의학적 응용

심장의 관상동맥 등의 진단의료 목적에 방사광을 이용하므로써 이러한 진단에 따르는 위험률을 낮출 수 있고, X-선 현미경을 이용하던 박테리아 등의 시료를 살아있는 그대로 관찰할 수 있게 된다.

(3) 재료분석 응용 및 신소재 개발

방사광을 이용하면 재료공학, 금속공학, 반도체

체공학 등에서 쓰이는 재료들의 표면분석 및 비파괴분석을 행할 수도 있다. 즉 X-선 Topography, EXAFS, ARUPS등의 방법으로 신소재 개발을 위한 재료의 성질분석에 이용하는 것이다. 신일본제철, US STEEL, EXXON, AT&T사 등은 이와같은 방사광을 이용, 새로운 고부가 가치의 고급강이나, 파인세라믹스 미결정물질 등의 신소재 개발을 하고 있다.

3. 포항공대의 방사광 가속기(PLS) 건설 계획

가. 건설규모

포항공과대학이 '93년 9월 말까지 완공할 계획인 포항 방사광 가속기(PLS)는 가장 최근에 개발된 제3세대형을 모델로하여, 가속된 전자가 통과하는 도너츠 모양의 전자 저장링의 직경이 88m나 되며 선형 가속장치 길이가 220m, 전자 에너지는 20억볼트나 된다. 이 방사광 가속기는 건설후 빔라인을 적절히 설치함에 따라 적외선에서 X-선에 이르기까지 넓은 영역에 걸쳐 고밀도, 고강도의 빛을 나오게 할 수 있으므로 다목적으로 사용할 수 있다.

포항공과대학은 이러한 방사광 가속기 건설을 위해 부지공사에서 건물 및 설비제작, 설치에 이르기까지 약 5개년이 소요되는 계획을 수립, 지난 '88년 4월부터 건설추진본부를 설립, 본격적인 착수에 들어갔다. 이러한 가속기 건설에 필요한 인력수급은 가능한 한 우리나라의 우수한 해외과학자를 활용한다는 방침아래 이미 포항공과대학에 부임한 일부 교수들에 의해 소요 시설의 기초연구가 개시되었고 1987년 8월 미국 아르곤 국립연구소의 6GeV 가속장치 설계 책임자인 조양래 박사를 초빙, 20억 전자볼트 규모 포항방사광 가속기(PLS)의 건립 계획서를 초안하였다. 그리고 캐나다 마니토바 대학의 오세웅 교수와 미해군 연구소의 남궁원 박사가 지난해에 포항공대에 부임, 포항 방사광 가속기(PLS)

연구소장과 부소장으로 각각 부임하였다.

나. 소요예산 및 투자계획

본 방사광 가속기 건설에는 '93년 9월말 준공 시점까지 총 739억원이 투자된다.

건설비용 및 운영재원은 건설기간중에 소요되는 739억원은 포항제철에서 별도 출연하였으며, 건설후에 소요되는 운영비는 산업과학기술연구소를 통해 포항제철이 매년 30억원씩 지원하게 되며, 정부 및 기업체 등 외부기관의 연구비로 연간 50억원을 충당할 계획이다.

부문별 소요경비는 저장링 및 주사장치에 265억원, 컴퓨터와 제어장치에 32억원, 빔라인 48억원, 시설관리비 40억원, 부지조성 및 건물공사비 211억원, 기술도입 및 해외연수비 33억원, 예비비 110억원 등 총 739억원이다.

다. 추진계획

방사광 가속기 건설에는 5년이상 건설기간이 소요되고 특히 국내 과학자들로 부터이용이 크게 기대되고 있는 가운데 1990년도 중반이후 국내 산업계에서 방사광을 이용한 연구의 수요가 급증할 것을 생각해 볼 때 제3세대 방사광 가속기 건설은 매우 시급한 실정이다.

따라서 포항공과대학은 1988년 7월 예비사업 계획서를 완료한 후 1989년 6월부터 부지조성공사에 착수 1989년 7월 부터 기기발주개시, '90년 부터 건축공사개시, 1991년 12월까지 LINAC (선형가속장치) 기기설치 완료, 1992년 12월 까지 저장링 설치를 완료한 후 빔라인 설치와 일정기간의 시험가동을 거쳐 1993년 9월말 준공예정이다.

라. 해외협력

포항공과대학은 포항 방사광 가속기(PLS) 프로젝트의 성공적인 완공을 위해, 가속기 분야의 권위있는 해외연구소들과 긴밀한 해외협력 방안을 추진하였다. 즉 미국의 BNL(Brookhaven

National Laboratory), LBL(로렌스 버클리 연구소), 영국 Daresbury 연구소, 캐나다 Manitoba대 가속기 연구소 등을 자매 연구소(Sister Lab)로 구성하여 가속기 건설 및 운영에 관한 전반적인 기술협력 방안을 추진하였다.

PLS는 BNL을 위시한 기타 연구소와 가속기 건설에 따르는 인적, 기술적 교환에 기여하는 명제하에 국제적인 협력을 공고히 하기로 하였다. PLS 건설에 대한 국제 전문가들의 협조를 위하여 1988년 8월 18일 미 부루크헤븐 국립연구소(BNL)에서 가속기 분야의 저명인사들의 기술적자문을 받은 제1회 PLS 자문회의를 가졌으며 이어 1989년 2월 20일에서 24일까지 포항공 대학에서 미국 로렌스 버클리 연구소의 Dr. Berkner와 영국 Daresbury연구소 부소장 제이 톰슨박사 등 4인의 해외 자문위원과 포항공대 김호길 학장을 비롯한 30여명의 교수진이 참가한 가운데 제2회 PLS 자문회의를 개최하였다.

4. 건설에 따른 부수적 효과

방사광 가속기를 건설함으로써 얻는 과학과 기술면에서의 직접, 간접적 효과는 매우 크다. 즉 방사광 가속기 자체를 이용한 순수응용과학 및 첨단공학의 연구 발전은 물론 방사광 가속기를 건설함으로써 얻는 전공기술 컴퓨터 제어기술 등 기술면에서의 부수적 효과도 막대하다.

특히 포항공과대학은 우리나라의 자체기술로 방사광 가속기를 건설할 계획이어서 1960년대의 미국 우주개발 계획이 공학 및 산업기술에 결정적인 혁신을 불러일으켰듯이 우리나라 산업기술 발전에도 획기적인 전기를 이룩할 것으로 기대된다.

가. 초고진공 기술의 발달

건설에 따르는 부수적인 기술축적의 효과로는 여러가지가 있으나 무엇보다도 초고진공기술의 발전을 들 수 있다. 방사광 가속기에는

Synchrotron Storage ring 등에서 입자들을 오랫동안 가속시키고 유지하기 위하여 다른 공기 분자들과의 충돌을 막아야 하기 때문에 초고진공을 유지하여야 한다. 보통 진공을 10^{-4} 내지 10^{-10} torr (1기압=760torr) 정도로 유지하게 되며, 이것은 현대기술로 이룩할 수 있는 최고의 진공상태이다. 이와같은 초진공상태를 만들기 위해서는 진공실의 재료물질, 표면처리, 용접기술, 진공펌프의 성능 등이 고루 갖추어져야 하는데, 현재 우리나라의 기술로는 10^{-4} torr 정도의 진공을 만드는데 머물러 있다. 따라서 그 이상의 초고진공을 필요로 하는 기구들을 현재 모두 외국에서 수입되고 있으므로 연구용 기자재, 반도체 및 신소재 물질의 생산 및 분석에 필요한 기계 등 많은 첨단기자재, 반도체 및 신소재 물질의 생산 및 분석에 필요한 기계등 많은 첨단기자재들이 이러한 초진공을 요구하고 있어 이에 드는 비용만도 상당한 실정이다.

이러한 실정 때문에 얼마전 부터 한국 표준연구소에서 초고진공기술 개발을 시도하고 있으나 포항공과대학에서 방사광가속기를 건설하게 됨으로써 우리나라의 초고진공 기술이 빨리 정착하는 계기가 될 것으로 기대된다. 이것은 수입 대체효과 외에도 근본적으로 초진공 부품들이 노동집약적인 중소기업 형태의 제품이므로 앞으로 부가가치가 높은 수출유망 품종이라고 할 수 있다.

나. 고주파 기술의 발달

선형가속기, 싱크로트론 등에서 입자를 가속시키는 전장을 만들어 주는 장치로서 크라이스트론 등 고주파 장비가 쓰인다. 이러한 고주파 기술은 통신장치, 전자제품 등에 절대적으로 필요하며, 또한 레이더 등 방위산업에도 필수 불

가결한 기술이다. 우리나라는 아직도 많은 고주파 부품 등을 일본 등에서 수입하고 있는데, 입자가속기가 건설되면 이 방면의 기술개발에도 좋은 계기가 될 것이다.

다. 고속 계측제어 기술의 발달

방사광 가속기는 전자빔이나 가속 장치의 작동 등 모든 과정에서 정확한 제어가 요구되기 때문에 컴퓨터를 이용한 제어기술을 써야만 한다. 이러한 제어기술은 보통 산업계에서 요구되는 공정제어기술보다 훨씬 정확하고 방대하기 때문에 하드웨어 뿐만 아니라 소프트웨어에서도 많은 발전이 기대된다.

라. 자장제어기술의 발달

저장링에서는 입자들의 궤적을 조절하기 위하여 벤딩 마그네틱(Bending Magnet), Focusing Magnet 등 많은 자석들을 이용한다. 이러한 자기장은 보통 전자석을 써서 전류를 조절하여 만들어 주는데, 입자속(Beam)을 정확히 제어하기 위해서는 전자석의 자장의 크기 및 방향을 세밀히 조절할 수 있어야 한다. 또한 이러한 전자석외에 제3세대형 방사광 가속기에서 고밀도, 고강도 방사광을 얻기 위하여 최근에는 Wiggler 나 Undulator 등 장치를 삽입하게 되는데 좀 더 강한 자기장을 얻기 위하여 초전도 물질을 이용한 자석을 쓰는 연구가 실용화 단계에 와 있다.

이 초전도 자석기술은 핵자기공명 단층촬영(NMR CT) 등에도 이용되는 최첨단기술로서 방사광 가속기 건설은 이 기술의 국내 정착화에도 커다란 기여를 할 것으로 보인다.

이외에도 가속기 제작기술의 발전은 산업계나 의료용 가속기의 국산화를 가능케할 것이다.