

2023 Vol. 01

ISSUE

충북 청주

대한민국 미래성장의 빛이 되어줄 희망

다목적방사광가속기

PAPER

충북 청주 다목적방사광가속기가 그 시작을 함께 합니다.

Cover Story

2027년, 국내 최초의 4세대 원형 방사광가속기가
충북 청주에 구축됩니다.

바이오 · 소재 · 에너지 · 나노 등 첨단산업의 원천기술 경쟁력 혁신에 기여할 예정입니다.



~2023

~2024

~2027

~2027

~2028

상세설계

착 공

완 공

시 운 전

본격가동

Contents

이슈 페이퍼 Issue Paper 01

방사광가속기 미래 인재의 꿈

내게 다가오는 롱빔라인 의료전문가의 꿈 01

나의 꿈, 나의 시대, 방사광가속기 03

방사광 가속기 미래 인재의 꿈 04

방사광가속기 인재양성을 위한 개선방안 05

방사광가속기를 활용한 R&D와 첨단기술개발 07

리포트 Report 11

방사광가속기 세대별 발전사

이슈체크 Issue Check 13

방사광가속기 활용사례

오피니언 Opinion 15

충청북도 다목적방사광가속기 산.학.연 혁신협의회 출범

인포 Info 17

기업참여정보

Issue Paper

미래 인재 특별기고

충북 청주 다목적방사광가속기 구축을 계기로 지역의 고교생과 대학(원)생 등을 대상으로 ‘방사광가속기 미래 인재로 성장하기 위한 꿈’을 심어주기 위한 독자 투고란입니다. 방사광가속기에 대한 지역 학생의 참신한 생각과 그 꿈을 응원해주세요!

방사광가속기 미래 인재의 꿈

내게 다가오는 롱빔라인 의료전문가의 꿈

하 만 진

충북대학교병원 방사선종양학과 연구생



석사학위를 취득한 후 충북대학교 병원에서 연구생으로 근무하면서 청주에 건립 중인 차세대 다목적방사광가속기 관련하여 개최되는 여러 행사에 참여한 것이 대학원에서 충북대학교병원 방사선종양학과 의료용 선형가속기를 이용한 방사선 치료 관련 연구한 내게는 행운의 기회인 것 같다.

특히, 작년 연말 개최된 ‘방사광가속기 의생명 활용증진 국제심포지엄’과 차세대 인재 발굴을 위한 온라인 토론회는 나에게 방사광가속기를 활용하는 과학기술자의 꿈을 심어주었다. 그를 위해서 어떤 게 필요하고, 그것으로 무엇을 할 수 있으며, 그를 위해 어떤 준비를 해야 하는지 등에 관한 많은 정보도 주었다.

우선 과거에 설치된 방사광가속기가 가진 문제점 및 한계성이 무엇이며, 새로 도입되는 차세대 다목적방사광가속기는 어떤 것이며, 무엇이 가능하고 얼마나 많은 긍정적인 효과가 있는지를 유수의 석학들을 통해 현장의 상황은 어떠한지 몸소 느낄 수 있었다.

이번 행사에 참여하면서 제가 이 충북 청주 다목적방사광가속기에 바라는 점이 하나 있다면 의료용 롱빔라인 도입이 필요하다는 것이다. 이번 행사 참여를 통해 이미 해외에서 도입되어 관련 연구가 진행되고 있다는 사실을 알게 되었다. 하지만 국내의 경우 이와 관련된 연구가 극히 적으며, 기존에 설치된 방사광가속기는 여러 산업체 및 학교 그리고 연구소에서 사용하기에도 그 크기와 빔라인의 수가 적어 기존의 사용자도 스케줄을 잡고 연구에 활용하는 것에 버거워하는 실정이라 했다. 그러니 현시점에서는 국내 방사광가속기를 활용한 의료 관련 연구에 접근하여 활용하기엔 너무나도 어렵다.

그러나 충북 청주에 설치될 다목적방사광가속기의 경우는 다르다. 4세대 방사광가속기로는 국내에 처음으로 도입되는 4세대 방사광가속기이다. 가속기와 함께 10개의 빔라인을 설치할 예정인데, 이는 소재, 부품, 장비 관련 산학연 활용하기에는 부족함이 없을지는 모르지만, 의료용으로는 턱없이 부족하다고 생각된다. 의료용 롱빔라인이 초기 설치 예정 빔라인에

들어가지 않아 아쉬움이 있다. 새로 설치되는 충북 청주 다목적방사광가속기가 기존의 3세대를 뛰어넘은 4세대가 도입되는 만큼 타 선진국의 사례처럼 의료용 롱빔라인이 설치되어 의료 관련 연구도 가능해지면 좋겠다는 바람이 있다.

이번 행사를 통해 알게 된 해외의 선형 연구 사례를 보면 이미 방사광가속기를 이용해 환자의 의료영상을 얻고, 이 의료영상을 바탕으로 한 의료영상 연구에서부터 환자 치료까지 다양한 연구와 임상 도입을 위한 준비가 진행되고 있다는 사실을 자세히 알 수 있었다.

그 때문에, 국내에서도 이 의료용 롱빔라인을 도입한다면 기존 선형가속기와 관련 연구 분야에서 한발 더 나아갈 수 있는 토대가 될 수 있을 것으로 생각이 든다. 따라서 의료 관련 연구하는 사람들에게는 새로운 연구 분야로 개척할 수 있는 길이 열리는 것이고, 방사선 치료를 받기 원하는 환자나 보호자에게는 서울의 주요 병원뿐만 아니라 충청북도 내에서 방사광가속기 롱빔라인으로 치료받을 수 있는 새로운 선택지가 될 수 있다. 이는 나아가 충청북도 전체에 새로운 활력소가 될 수 있지 않을까 생각한다.

작년에 개최한 충북 청주 다목적방사광가속기 관련 심포지엄과 토론회에 참석하고 나서 내가 충북 청주 다목적방사광가속기에서 일하는 의료분야 전문가의 길에 한 발짝 더 다가섰다는 느낌이 들었다. 충청북도에서는 의료분야 외에도 다양한 분야에 이 차세대 다목적방사광가속기를 활용하는 프로젝트들을 진행하고 있다는 것도 알게 되었다. 특히 충북대학교에서는 다양한 주제로 의학과 물리학이 협업할 수 있는 연구주제를 준비하고 있다는 사실도 나에게 큰 희망을 주었다. 나에게도 이 분야의 연구에 참여할 기회가 다가오고 있다. 나에게 방사광가속기 관련 의료영상 및 치료 전문가가 될 수 있는 밝은 미래가 열리기를 꿈꿔본다.



2022 충북 청주 다목적방사광가속기의 의생명 활용 증진 국제 심포지엄

-

2022.11.23. 충북대학교

나의 꿈, 나의 시대, 방사광가속기

노 수 빈

충북과학고등학교 3학년



모든 출발은 ‘보는 것’에서부터 시작된다. 사과의 떨어짐을 보아 만유인력의 법칙을 만든 뉴턴, 파리를 보아 데카르트 좌표계를 만든 데카르트 등 과학의 발전에 있어서 ‘보는 것’은 매우 중요하다. 과학이 발전할수록 우리는 점점 더 작은 것을 봐야 할 필요가 있다. 따라서 방사광가속기는 앞으로 매우 중요한 역할을 할 것이다. 바이오, 반도체, 의료 등 다양한 분야에서 방사광가속기 덕분에 많은 발전을 이루었고 앞으로도 발전할 것이다. 방사광가속기는 전자를 빛의 속도로 가속 시키면서 발생하는 X-선을 이용하여 미세 구조를 분석하고 관찰하는 초정밀 거대 현미경이다. 방사광이 폭넓은 에너지 영역에서 매우 밝은 빛을 제공하기 때문에 더 미세한 구조를 더 깔끔하게 살펴볼 수 있다.

그런데 이렇게 고마운 방사광이 처음에는 골칫거리였다면 믿어지는가? 1940년대 당시 학자들은 원자 수준을 넘어서는 물질의 구조를 알아보고자 가속기를 개발하였다. 1947년 제너럴 일렉트릭 연구소에서 전자 싱크로트론에서 고전압 방전으로 불꽃을 보기 위해 설치되었던 투명한 관을 통해 우연히 발견된 방사광은 가속된 전자 에너지 손실의 주범이었다. 그러나 1956년 미국의 코넬에서 X선 분광 실험을 하면서부터 실험물리학자들에게 주목받기 시작하였고, 이후 방사광은 당시에 사용하던 X선보다 유용한 성질을 지니고 있다는 것이 알려지며 여러 분야에서 활용되기 시작하였다.

골칫거리였던 방사광처럼 나에게도 골칫거리가 있었다. 바로 구체적인 꿈을 가지지 못한 것이다. 과학에 흥미를 느껴 충북과학고등학교로 진학하였지만, 구체적으로 무엇이 하고 싶은지 찾지 못하였다. 구체적인 꿈이 없다는 것은 남들보다 뒤쳐져 보이게 만들었고, 나의 자존감을 갉아먹었다. 그러다 우연한 기회를 잡게 되었다. 바로 탐구활동이다. 앉아서 그네타기를 ‘보면서’ 어떤 사람은 가운데에서 몸을 접었고 어떤 사람은 끝에서 몸을 접는 것을 알게 되었다. 이 이유가 궁금해져서 그네타기 로봇을 만들었고, 무게 중심의 위치 차이에 따라 사람마다 그네를 다르게 타고 있음을 밝혀내게 되었다. 이 탐구활동으로 제67회 전국과학전람회에서 국무총리상을 받게 되었는데, 상을 받은 것보다 더 기쁜 점이 있었다. 바로 구체적인 흥미와 적성을 느끼게 된 것이다. 이후에도 여러 가지 탐구활동을 하게 되었다. 줄다리기를 ‘보면서’ 줄다리기의 승패를 구분 짓는 메커니즘이 무엇인지 궁금해서 밝히게 되었고, 극지 연구가 왜 필요한지, 극지가 어떤 가치를 가지는지 알리는 논술 작성 활동이나, 탄소 네거티브를 알리는 UCC를 제작하게 되었다. 이처럼 고교 시절 동안의 여러 탐구 활동으로 나는 구체적인 꿈과 목표를 가지게 되었다. 환경오염 문제를 해결하는 물리학자가 되고 싶어졌다.

방사광가속기는 환경, 물리라는 나의 꿈을 더 키워주었다. 또한, 나의 시대에는 방사광가속기의 중요성이 높아졌다. 방사광가속기를 통해 나노 크기에서 일어나는 촉매 물질들의 반응 메커니즘, 에너지 등의 변화를 실시간으로 측정할 수 있다. 이를 통해 이차전지, 수소 저장매체 등 친환경 미래 배터리를 개발하고 이산화탄소 저감 기술 등을 발전시킬 수 있다. 방사광가속기를 이용한다면 환경 분야에서도 물리 분야에서도 큰 성과를 이룰 수 있다. 2028년에 정상 운영될 오창 방사광가속기와 함께라면 나는 훌륭한 과학자가 될 수 있으리라 확신한다. 방사광가속기는 미래 대한민국의 빛이 되어줄 것이며 나 또한 같이 그 길을 걷고 싶다.

방사광 가속기 미래 인재의 꿈

정 여 준

충북대학교 물리학과 학부생



지금부터 여러분이 안대를 쓰고 사과를 그린다고 생각해보자. 어떠한 사과를 그리겠는가? 그렇다. 이는 말도 안 된다. 자신이 그린 것을 확인할 수가 없는데 어떻게 사과를 잘 그렸는지, 또 어떻게 그릴지, 어떤 드로잉 기법을 연구해서 자신만의 독특한 사과 그림을 완성할 것인지. 우리가 볼 수 없다면 아무런 시도도 할 수 없을 것이다. 그러한 우리에게 방사광가속기는 눈이 되어주는 존재라고 할 수 있다.

방사광가속기가 우리들의 눈이 되어준다니, 이게 도대체 무슨 말일까? 분자나 그보다 작은 세계는 물질이 너무나도 작아서 우리는 물질을 직접 두 눈으로 관측하거나 두 손으로 다루기는 매우 어렵다. 이런 작은 세상에서 X-선은 우리의 두 눈과 두 손과 같은 역할을 해준다. X-선을 물질에 조사해서 우리가 알고 싶은 작은 단위 물질의 구조나 성질, 물성 등을 알아낼 수 있다. 이런 X-선, 그리고 그 이상 혹은 이하의 파장 영역의 빛을 강하게 발생시켜주는 것이 바로 방사광가속기이기 때문이다.

그렇다. 우리는 방사광가속기가 만드는 강한 세기의 빛으로 아주 작은 크기의 물질들을 연구할 수 있으며 방사광가속기가 만들어 내는 이런 빛들을 방사광이라고 부른다. 방사광을 이용하면 생명 공학이나 신소재, 반도체 공학 등의 분야에서 여러가지 연구를 할 수 있다. 이들 중에서 흥미로운 연구 몇 가지를 들자면, 우선 생명 공학 분야의 단백질 구조 분석 연구이다. 이는 단백질의 구조나 특성을 밝히는 연구로 다양한 생명 현상을 이해하기 위해 꼭 필요하다. 또 이를 기반으로 개발한 신약은 질병 치료에 필수적인 치료제로 쓰인다. 약물의 작용 메커니즘을 이해하고 나면, 어느 것보다 빠르게 효과적인 약물을 개발할 수 있다. 그 때문에 단백질의 구조를 알아내는 것은 중요하다. 방사광가속기의 방사광을 활용하여 단백질의 3차원 구조를 알아내는 연구분야를 X-선 결정학이라 한다. 최근에 이 분야에서 인공지능(AI)과 연계하여 화두로 떠오른 연구가 바로 구글의 Alpha fold이다. 이 방법은 인공지능으로 단백질 구조를 예측하고 방사광으로 실제 단백질의 구조를 알 수 있다. 그 때문에 첨단과학의 산물로 실재를 알 수 있는 신기한 연구주제로 주목받고 있다. 또 신소재 분야의 2차전지 소재 개발 연구를 들 수 있다. 이는 수소를 생산하는 PEC (광전기화학전지)를 개발하면 고갈되어가는 화석에너지 문제와 환경 문제를 해결할 수 있다. 이는 기후변화와 에너지 위기가 심각하게 대두되고 있는 지금, 성능이 탁월한 PEC를 개발하여 시간과 계절의 변동성이 심한 신재생에너지의 저장 시스템에 사용하면 장시간 높은 밀도로 에너지를 저장할 수 있는 수소를 생산하여 에너지로 저장시키는 기술이다. 이 기술은 주로 태양에서 공급받은 에너지로 물을 산소와 수소로 분해하는데 이때 이용되는 매개 소재의 효율성이 중요한 관건이므로 적절한 소재를 개발해야 한다. 이런 소재의 개발과 평가를 위해선 방사광이 필수적이다. 방사광에서 얻을 수 있는 X-선을 통해 빛이 들어올 때의 전극의 화학적 환경이나 변화, 결합, 결정 구조를 살펴보거나 메커니즘을 이해하고 효율 상승효과를 알 수 있다. 이 외에도 방사광을 이용해서 토양분석, 초전도체 구조, 유전체나 자성체 구조 분석, 환경 시료 분석 등 매우 다양한 연구를 진행할 수 있다.

우리는 이로 미루어 여러 학문 분야의 첨단 연구를 하기 위해선 방사광을 필수적으로 이용해야 할 것이란 걸 예상할 수 있다. 방사광은 우리가 앞으로 마주하게 될 문제나 기존에 풀리지 않았던 문제를 해결하는 데 우리에게 빛과 소금과 같은 필수적인 존재처럼 보인다. 짧은 역사 속에서 인류에게 큰 과학기술 발전을 안겨다 준 방사광가속기가 미래 세대에게도 첨단 과학기술 시대를 열어줄 때, 그 속에서 나도 한 역할을 해야겠다.

방사광가속기 인재양성을 위한 개선방안



전 세계적으로 방사광가속기를 기초과학연구와 첨단기술개발 및 응용에 활용하고 있는 나라는 24개국에 불과하다. 우리나라는 포항방사광속기 덕분에 세계 10위 권의 3세대 방사광가속기 이용국가이다. 미국이나 일본 등 과학 선진국에서는 앞다투어 3세대의 한계를 넘어서서 경쟁적으로 4세대 가속기 건설하여 운영하고 있다. 새로운 가속기의 건설이 에너지 · 환경 소재, 바이오 · 제약, 전자 소재 · 부품 · 장비 등 다양한 분야의 향후 R&D와 산업 발전에 크게 이바지할 것이 분명하기 때문이다. 현재 우리나라도 2027년 완공을 목표로 4세대 방사광가속기를 구축중이다.

[역사는 짧지만, 첨단 과학기술산업을 이끄는 방사광가속기]

방사광가속기는 원자핵이 발견되면서 시작된 선형가속기보다도 역사가 짧은 원형 가속기이다. 1932년 E. O. Lawrence 교수가 최초로 사이클로트론(cyclotron)을 제작하면서 원형 가속기의 역사가 시작되었다. 1944년에는 싱크로트론의 원리가 발명되고 1945년 에드윈 맥밀란이 최초의 전자싱크로트론을 제작하였다. 1946년에 제너럴일렉트릭이 전자를 가속 시키기 위해 전자싱크로트론 가속기를 건설했다. 이듬해에 그 가속기에서 나오는 ‘굴뚝거리 빛’을 발견하고 이를 방사광(synchrotron radiation)이라 이름 지었다. 1960년부터 이 방사광이 기존 X-선의 한계를 극복할 수 있다는 게 알려지면서 이용이 확대되었다. 급기야 1981년에는 휨자석 (bending magnet)을 이용하여 방사광을 전문으로 생산하는 방사광가속기를 건설하여 2세대 방사광가속기 시대를 열었다. 1990년대 후반에는 휨자석 대신에 위글러(wiggler)나 언둘레이터(undulator)를 삽입하여 3세대 방사광가속기 시대를 열었고, 2000년대 들어서는 미국과 일본에서 광원의 파라미터를 대폭 개선하여 4세대 방사광가속기를 건설하여 운영하고 있다.

우리나라는 1987년 3세대 방사광가속기 건설에 뛰어들어 1994년 완공하였다. 그러나 몇 년이 지나지 않아 가동을 중단하고 업그레이드하여 2012년부터 PLS-II로 정상 가동을 시작하였다. 가동 후 많은 업적을 내오고 있으나 지금은 수요가 넘쳐 포화상태에 이르렀다. 넘쳐나는 수요와 맞물려 불어닥친 일본과의 무역마찰을 해소하고자 오창에 4세대 다목적방사광가속기 건설을 위한 사업이 추진되고 있다. 이 사업은 방사광가속기 시설 구축은 물론이고 다양한 과학, 기술, 산업 분야 활약할 인재양성 사업도 함께 추진하는 대형 프로젝트이다. 방사광가속기에서 활약할 인재양성을 위해 오창 인근의 충북대, 청주대, 고려대를 비롯하여 KAIST, 서울대, 서강대 등이 공동으로 인재양성교육단을 설립하고 학문 융합 교육과정을 운영하고 있다.

필자는 충북대학교 물리학과 학생으로 방사광가속기 미래 인재의 꿈을 안고 충북바이오헬스산업혁신센터 Bio-pride 사업단에서 운영하는 방사광융합전공을 이수하고 있다. 지난 두 학기 동안 물리학을 기반으로 한 방사광가속기와 방사광에 관한 융합 지식을 많이 쌓은 것 같다. 융합과정을 이수하면서 느끼는 것은 현재의 교육과정을 넘어서 타 학문과 융합한 방사광 전문인력을 양성하여 안정적으로 인재 공급하기 위해 커리큘럼을 다양화하고 더욱더 체계적으로 운영해야 한다고 본다.

[미래 인재 양성을 위해 커리큘럼을 체계화하고 홍보의 폭을 넓혀야 한다.]

방사광융합학과에서는 현재 [표 1]과 같은 커리큘럼을 운영하고 있다. 개설된 교과목이 모두 전공 선택 과목이다. 여러 전공에서 필요한 과목은 전공 필수과목으로 해야 한다고 생각한다. 필자는 1학기 때 ‘방사광현미경학’을 수강하고 나서 2학기 때는 ‘방사광활용개요’란 과목을 수강하였는데 선호가 바뀌어 2학기 때 꽤 고생했던 기억이 난다. 이는 교육과정이 수강신청을 체계적으로 할 수 있도록 짜여 있지 않은 때문인 것 같다. ‘방사광과학입문’과 ‘방사광활용개요’ 과목을 전공필수로 하여 초기 단계에 수강하도록 해야 한다고 생각한다. ‘방사광활용개요’를 들으면서 이 과목을 이수 했으면 다른 교과목을 쉽게 수강할 수 있었겠다는 생각이 들었기 때문이다. 내용이 방대하기도 하지만 다루는 현장에서 필요한 몇 가지 개념들이 광학이나 고체물리학 등의 전공지식 없으면 제대로 이해하지 못하고 학기를 마무리하기 쉽다. 그렇다 보니 시험을 위해 맹목적인 암기 위주의 공부를 해야 했고 결국에는 머릿속에 남는 것이 없는 것 같다. 암기만 하다 보니 교과목에 대한 흥미도 많이 떨어졌다. 교과목에 대한 학생들의 흥미가 떨어지면 인재양성의 효과가 떨어질 것이 분명하다. 이런 경험을 하지 않도록 융합전공을 선택한 2학년 학생들이 모두 1~2학기 과목을 수강하도록 교과목을 모두 전공필수로 바꾸거나 구체적으로 어떻게 수강을 해야 좋은지에 대해서 학생들에게 소개하는 과정이 필요하다.

현재 충북에는 방사광가속기와 관련된 학과가 없다. 장차 설립하게 될 방사광융합학과는 체계적인 교육과정을 개설하고 개설교과목의 수를 늘리고 적극적인 홍보를 하여야 한다. 그렇게 하지 않으면 선택의 폭이 좁아져 수강생이 더 줄어들게 된다. 이를 해결하기 위해서는 다양한 분야를 전공하는 학생들에게 미래의 연구 현장에서 방사광에 관한 기초 지식이 꼭 필요하다는 것을 인식시켜 주어야 한다. 이렇게 하면 방사광가속기에 대한 관심도가 높아지면서 안정적으로 방사광가속기 인재들을 양성할 수 있을 것이라 생각한다.

학 년	학 기	이수 구분	교과목 번호	교과목명(영문)	학점
2	1	전선	신설	방사광과학입문(Introduction to Synchrotron Radiation Sciences)	3-3-0
	2	전선	신설	방사광활용개요(Synchrotron Radiation Application)	3-3-0
3	1	전선	신설	연X-선 분광학(Soft X-Ray Spectroscopy : Experimental Progress and Scientific Opportunities)	3-3-0
			신설	방사광재료과학(Synchrotron in Materials Science)	3-3-0
			신설	광학재료 특론(Advanced Photonic Materials for X-ray Optics)	3-3-0
			신설	방사광현미경학(Introduction to Synchrotron Microscopy)	3-3-0
3	2	전선	신설	생물물리화학(Biophysical Chemistry)	3-2-2
			신설	생체고분자학(Biomacromolecules)	3-3-0
			신설	XAFS 분광학(XAFS Spectroscopy)	3-2-2
			신설	나노물성분석(Nanoscale Material Characterization)	3-3-0
4	1	전선	신설	물성분석특강(Special Topics in Physical Property Analysis)	3-3-0
			신설	분광현미경학(X-ray Spectromicroscopy)	3-3-0
4	1	전선	신설	방사광의 의생명 활용(Biomedical Application of Synchrotron Radiation)	3-3-0
			신설		3-3-0

[표 1) 방사광융합학과 커리큘럼

Issue Paper

전문가 기고

방사광가속기를 활용한 R&D와 첨단기술개발

김 동 현

충북대학교 물리학과 교수



[방사광가속기]

방사광가속기는 전자 덩어리(electron bunch)를 빛 속력에 가까운 속력으로 가속 시켜서 원형 저장링(storage ring)에 저장하다가 궤도를 바꾸어주었을 때 발생하는 방사광을 발생시켜서 연구에 활용하는 거대 시설이다. 원형 저장링의 접선을 따라 여러 개의 빔라인(beam line)을 설치하여 동시 다양한 실험을 하는 것이 가능하다. 물리학, 화학, 생명과학 등의 기초과학 분야는 물론 재료공학, 환경공학, 반도체산업 등 공학 분야 연구와 의학학 연구에도 널리 활용될 수 있는 주요한 장비다.



물리 · 화학 · 재료공학 등
기초연구



신물질의 합금
고효율 태양전지 재료연구



마이크로
의학용 로봇



신약개발 등
다양한 분야 활용

[세계의 주요 방사광가속기]

대부분 과학선진 국가들은 국립연구소와 근접거리에 방사광가속기를 건설하여 활용하고 있다. 이들이 국가 연구에 밀접하게 연계되어 있다.

• 미국 Brookhaven National Lab > NSLS (National Synchrotron Light Source)

• 미국 Lawrence Berkeley National Lab > ALS (Advanced Light Source)

• 미국 Argonne National Lab > APS (Advanced Photon Source)

• 일본 재료연구소(IMSS) > Photon Factory

• 대만 Hsinchu과학단지 > NSRRC (National Synchrotron Radiation Research Center)

[방사광가속기의 X선 발생 메커니즘]

휨자석(Bending magnet은 2극 자석의 자기장으로 빔의 궤적을 휘게 하여 X선 발생시킨다.

• 자극이 교차되어 있는 위글러(Wiggler)는 자극 개수에 비례하는 밝기의 X선 발생시킨다.

• 전자빔이 다수 자석의 자극을 짧은 주기로 교차시킨 언둘레이터(Undulator)를 통과하도록 만들면 결이 맞고 에너지가 잘 정의된 매우 밝은 X선을 발생시킬 수 있다.

• 자유전자레이저로 불리는 FEL은 4세대 직선 가속기의 한 형태로. 매우 긴 Undulator에 해당한다. 하지만 전자빔이 비선형적인 SASE 과정을 거치게 되면서 매우 밝은 빛이 발생한다.

[신축 예정인 충북 청주 다목적 방사광가속기]

2020년 충북 청주에 유치하여 건설하고 있는 방사광가속기는 2016년 포항에 건설한 4세대 자유전자레이저와는 다르다. Bending magnet, Wiggler, Undulator 등을 갖춘 3세대 또는 3.5세대 방사광가속기의 발전된 형태이다. 이 방사광가속기에서 발생하는 X선은 병원용 X선보다 밝기가 $10^{12} \sim 10^{15}$ 배 더 밝다.

[방사광가속기를 활용한 연구의 강점]

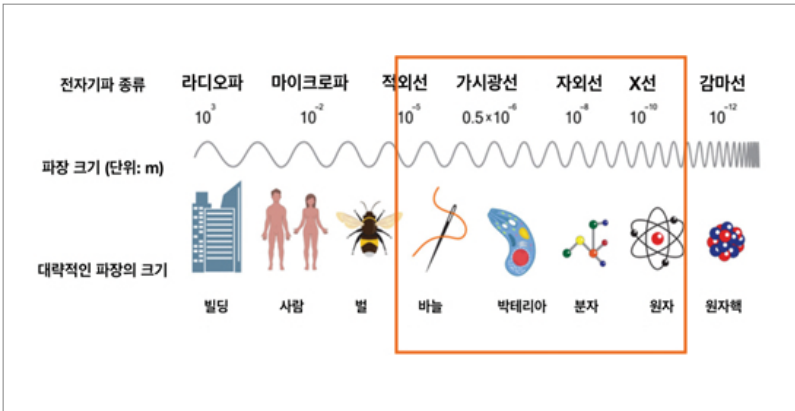
더 빠르고 더 자세하게 시료를 관찰할 수 있다는 게 장점이다. 방사광가속기의 시간 분해능은 저장링 안에서 광속에 가까운 속력으로 회전하고 있는 전자 덩어리의 분산 폭과 전자 덩어리 사이의 시간 간격에 따라서 결정된다. 이 전자 덩어리가 저장링을 한 바퀴 도는데 백만분의 1초(마이크로 초) 정도의 시간이 걸리기 때문에 1초에 수백만 번 이상 회전하게 된다. 전자덩어리의 분산 폭이 약 수십 피코초 수준이라 피코초의 시간분해능을 가진다. 그 때문에 최대 마이크로초 이하에서 발생하는 동역학적 현상을 관찰할 수 있다.

한편, X선의 파장은 에너지가 높은 경 X선 영역에서 비교적 온도가 낮은 연 X선 영역까지 1 나노 이하에서 수십 나노미터에 이르는 값을 갖게 된다. 이러한 파장으로 공간분해능이 결정되기 때문에 만약 X선 기반의 현미경을 만든다면 나노미터 수준의 분해능을 갖는 현미경을 제작할 수 있게 되어 다양한 분야의 연구에 유용하게 활용될 수 있다. 이미 수 많은 연구 결과가 이것을 입증하고 있다.

또 다른 방사광가속기 활용연구의 강점은 가속기에서 방출된 X선의 에너지를 조절하여 시료 내에 있는 원소별 특징을 독립적으로 관찰할 수 있다는 점이다. 시료를 해체하거나 파괴하지 않고 방사광 X선의 에너지만 변화시킴으로써 시료 내의 원소별 특징을 조사할 수 있다. 이를 이용하면, 반도체 소자 내의 Si 이외 물질 결함이나 파킨슨병에 걸린 사람의 뇌에 있는 구리이온 농도의 변화 등을 나노 스케일에서 관찰하는 것이 가능하다. 이런 이유로 방사광이 첨단 연구에 폭넓게 활용될 가능성이 높아지고 있다.

[방사광가속기에서 나오는 빛의 파장]

방사광스펙트럼은 전자기파스펙트럼에서 볼 수 있는 것처럼 방사광의 파장이 가시광선에서부터 자외선 DUV/EUV등의 극자외선 영역을 넘어서까지 존재한다. 일부는 방사선 영역인 감마선과 같다. 그러나 대부분은 감마선보다 파장이 짧은 영역에 해당한다.



(그림1) 전자기파스펙트럼과 방사광 스펙트럼(□)

대역명칭	광자에너지	파장
경X-선(hard X-ray)	6.2keV ~ 124keV	2Å ~ 0.1Å
연X-선(soft X-ray)	413eV ~ 6.2keV	300Å ~ 2Å
진공자외선(VUV;vacuum ultraviolet)	6.2eV ~ 6.2keV	2000Å ~ 2Å
극자외선(EUV;extreme ultraviolet)	12.4eV ~ 6.2keV	1000Å ~ 2Å
가시광(visible)	1.65eV ~ 3.1eV	7500Å ~ 4000Å
적외선(infrared)	~ 1.24×10-3eV ~ 1.65eV	~ 1000μm ~ 0.75μm

[방사광을 이용한 기초연구]

방사광은 기초연구와 밀접한 관계가 있으며 빔 물리 자체가 전자 덩어리를 광속에 가깝게 가속 시켰을 때 나타나는 현상에 기반을 두고 있다. 그 때문에 현상 자체가 특수상대론에 적용된다.

한편 방사광가속기에서 방출되는 빛의 파장영역에선 대부분 물질에서 굴절률이 1이 되므로 일반적인 굴절렌즈를 활용한 광학계를 사용할 수 없다. 그 때문에 회절에 기반을 둔 광학계가 필요하다. 이는 최근 활발히 연구되고 있는 첨단분야이기도 하다. 가속기 개발 자체만으로도 이와 같이 기초과학과 밀접한 관계가 있다. 그뿐만 아니라, 가속기를 제작하고 빔라인을 설치하려면 영구자석, 전자석, 초전도자석 등과 관련된 기초과학과 공학 분야의 자석기술과 고진공 기술이 필요하다. 그러므로 가속기과학은 기초과학 및 기초공학의 발전에 이바지할 수 있다.

[방사광 활용한 근래의 기초연구]

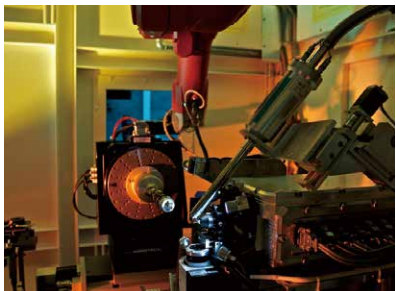
- COVID-19 에 대한 연구
- 광-물질 상호작용 연구
- 결정 및 비정질에서의 비선형 광학특성 연구
- 새의 깃털에서 금속 성분 원소의 맵핑
- 중시계 원자/격자 구조의 발견
- 단백질 세포의 3차원 토모그래피
- 공룡알 화석의 성분분석
(출처 : lightsources.org)

[충북 청주 방사광가속기 활용 전망]

충북 청주 방사광가속기가 완공되면 충북의 주력산업인 바이오헬스, 전자 · 반도체, 에너지, 2차전지, 재료 및 신물질, 첨단기계 · 부품 등 폭넓은 산업분야 연구 활용이 예상된다.

국토중앙부인 청주 · 충북지역에 위치하여 수도권 · 대전충남 · 경상 · 전라 지역에서 접근이 용이하여 국내의 대학 · 연구소 · 기업 연구환경에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 오창 · 오송을 포함한 충북 지역대학 및 산업체, 연구소 뿐 아니라 인근 대덕연구단지와 충청권이 광역적으로 연계되어 큰 시너지 효과를 얻을 수 있을 것이 예상된다.



Report

방사광가속기 세대별 발전사

1945

X선의 발견

독일 뢰트겐, X선 최초 발견

- 1895년독일의 빌헬름 뢰트겐(Wilhelm Roentgen)은 내부를 열어보지 않고 물체 내부의 정보를 획득할 수 있는 X선을 발견
- X선을 발견한 이듬해인 1896년부터 많은 의학자들은 뢰트겐의 X선을 질병의 진단에 활용하기 시작



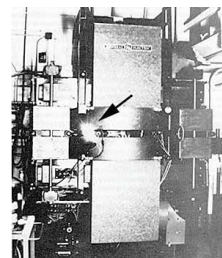
뢰트겐과 X-ray 촬영 사진

1947

최초의 방사광 관측

미국 General Electric 사의 입자물리 연구를 위한 70MeV 가속장치에서 최초의 방사광 발견

- 미국 General Electric사에서 방사광이 발생하는 가속장치 제작
- 높은 에너지로 빔을 가속시키는 것이 원래 목적이었기 때문에, 빔을 가속할 때 나오는 방사광은 에너지를 낮추는 부산물 정도로 여겨짐



General Electric
synchrotron accelerator
출처 : NSLS, Brookhaven

1950
-
1970

1세대 방사광가속기

방사광에 대한 인식이 전환되어 입자가속기에서 발생한 방사광을 연구에 활용하기 시작하였으며, 방사광을 기생적으로 활용한다고 하여 Parasitic Operation Mode(기생 운용 모드)로도 불렸음

- 1956년 미국 코넬의 320MeV 장치에서 최초의 연X-선 분광실험
- 1960년대 미국의 SURF(320 MeV), 일본의 SOR(750 MeV), 이탈리아의 ADONE(1.1 GeV), 독일의 DESY(6 GeV) 등
- 1970년대 최초의 X-선 빔라인이 설치된 미국 스탠포드의 SPEAR(2.5 GeV), 구소련 VEPP-3(2 GeV), 독일 DESY의 DORIS(4.5GeV), 미국 코넬의 CSER(6 GeV) 등 다양한 입자가속기에서 실험이 이루어짐



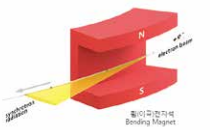
이탈리아 ADONE(1.1 GeV)

1980

2세대 방사광가속기

방사광 이용을 목적으로 한 방사광가속기가 본격적으로 만들어지기 시작함

- 휨자석(Bending-magnet)을 사용해 빔의 경로를 바꾸어 방사광을 발생 시킴
- 방사광의 세기와 밝기 향상, 경X-선 영역의 주파 대역까지 넓어져서 이용 분야가 더욱 확대됨
- 영국의 SRS(2 GeV), 미국의 NSLS(700 MeV), 독일의 BESSY(800 MeV), 일본의 Photon Factory(2.5 GeV) 등



휨자석 활용 방사광 발생원리
출처 : KAFAT



최초의 2세대 방사광가속기
: 영국의 SRS(2 GeV)

1990
후반

3세대 방사광가속기

전 세계적으로 보편적으로 활용되는 방사광가속기로 태양빛의 100억배, 2세대에 비해 빛의 밝기가 높고, 빔의 크기(emittance)는 작음

- 휨자석 대신 삽입장치(언듈레이터)*를 사용하여 빔출력 강화
- 미국의 ALS(1.5 GeV), 이탈리아의 ELETTRA(2 GeV), 한국의 PLS-II (3GeV), 유럽 ESRF(6 GeV), 미국 APS(7 GeV), 일본 SPring8(8 GeV)

* 위글러 및 언듈레이터로 자석의 N극과 S극을 교대로 배열하면 전자빔이 통과하면서 경로가 여러 번 바뀔때 따라 방사광이 많이 발생하여 휨자석보다 강한 빛 발생



유럽 ESRF(6 GeV)
출처 : ESRF

2000

4세대 방사광가속기

기존 3세대보다 100억 배 밝은 강력한 빛을 내 나노 크기 물질을 더 선명하게 보여주며, 3세대는 정적분석만 가능한 반면, 4세대는 동적 분석(변화관찰)도 가능

- 원형 : 더 밝고, 작고, 결맞는 광원을 얻기 위해 피코미터급으로 고도화 (브라질의 SIRIUS, 스웨덴 MAX-IV 등 운영중이며, 충북 청주 방사광가속기가 이에 해당)
- 선형(X선 자유전자레이저) : 펨토초의 짧은 시간 동안 물질의 동적현상 관찰을 위한 특수 성능 방사광가속기(한국 PAL-XFEL, 미국 LCLS, 일본 SACLA 등 총 6기 운영 및 구축 중)



브라질의 SIRIUS(3GeV)
출처 : LNLS

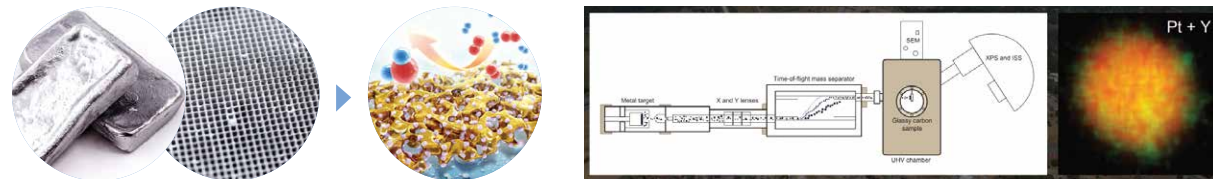
Issue Check

방사광가속기 활용사례

에너지 · 신소재 · 반도체 분야

• 연료전지 촉매 재료 개발

그동안 연료전지는 촉매로 백금을 사용했기 때문에 비용이 높다는 단점이 있었는데 미국 스탠퍼드대학 SLC 국립가속기 연구팀은 방사광가속기를 활용해 나노 입자 크기의 백금, 이트륨 혼합물을 촉매로 개발, 순수한 백금보다 5배 더 활성이 높고 저렴한 연료전지 촉매 재료를 개발



• 차세대 전고체전지 개발 ‘RISING 프로젝트’

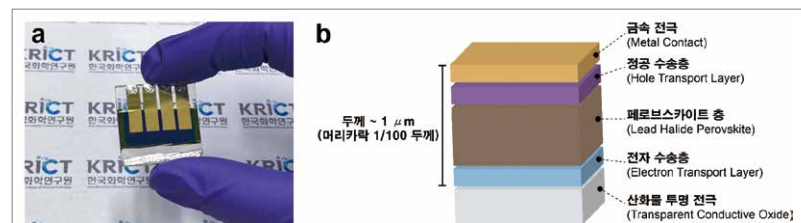
일본은 2009년부터 방사광가속기를 활용한 분석기법 혁신을 통해 차세대전지(전고체전지) 개발을 진행하고(RISING 프로젝트) 있으며, 2018년 도요타 · 닛산 · 혼다 등 완성차 기업과 Panasonic, GS-Yuasa등의 전자기업, 이데미츠 등 소재기업이 참여하는 차세대 전고체전지 개발 프로그램 착수

• 보잉 787 비행기 엔진 내구성 향상

영국의 롤스로이스(Rolls-Royce)는 Diamond 방사광가속기를 이용하여 보잉 787 비행기 엔진 플레이드의 코팅층을 3차원 영상 촬영하고 내구성을 향상

• 페로브스카이트 태양전지* 개발

한국화학연구원은 방사광가속기를 이용해 효율 및 안전성이 향상된 페로브스카이트 태양전지를 개발하여 태양광 시장의 패러다임 전환이라는 평가를 받음 *페로브스카이트 태양전지는 태양광 발전 단가를 획기적으로 낮출 것으로 기대되는 차세대 전지



a. 페로브스카이트 태양전지 사진
b. 페로브스카이트 태양전지 구조

바이오 · 제약 · 의료 분야

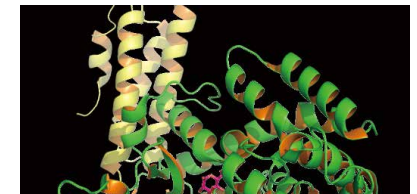
• 신종인플루엔자 치료제 ‘타미플루(Tamiflu)’개발 GILEAD

미국 제약회사 길리어드는 미국 스탠퍼드대가 운영하는 방사광가속기 ‘SSRL’을 이용하여 신종인플루엔자 바이러스를 촬영, 단백질 구조를 확인한 후 접촉 부위를 차단할 수 있는 치료제를 컴퓨터로 디자인 개발



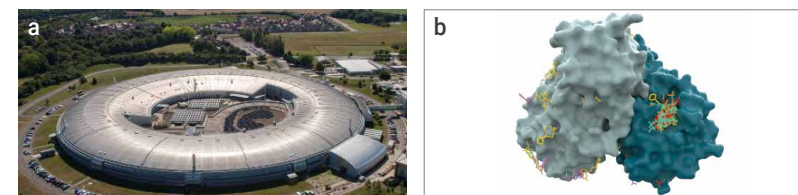
• 병원성 설사 원인균 구조 규명

장염의 일종으로 병원성 설사의 원인균인 ‘클로스트리디움 디피실 독소B(Toxin B, TcdB)’의 구조 규명



• 코로나19 바이러스 백신 ‘아스트라제네카’ 개발 AstraZeneca

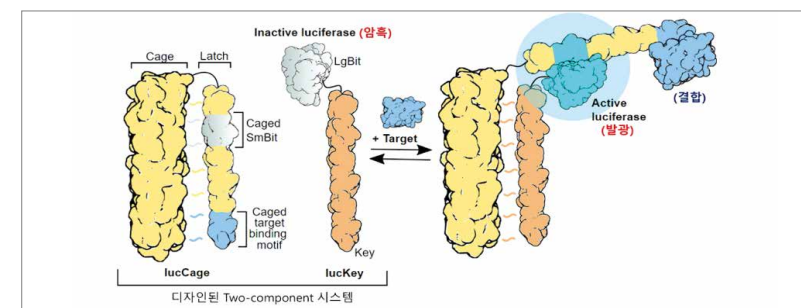
옥스퍼드 대학교와 아스트라제네카는 영국 다이아몬드 방사광가속기를 활용하여 코로나19 백신 개발을 위한 바이러스 구조 분석과 백신 효과 측정, 치료제 개발 등에 기여



a. 영국 다이아몬드 방사광가속기
b. 코로나19 바이러스의 주요 프로테아제와 결합하는 화학물질 구현 모습

• 고감도 단백질 센서 플랫폼 개발

한국과학기술원과 미국 워싱턴 주립대 공동 연구팀은 인공적인 골격 단백질을 제작해 특정 바이러스 단백질을 감지하면 발광하는 “고감도 단백질 센서 플랫폼”을 개발하였으며, 이는 기존의 자연계 단백질 센서보다 비용과 시간을 절약함



Opinion 충청북도 다목적방사광가속기 산·학·연 혁신협의회 출범

신 현 준

충북대학교 물리학과 교수
충청북도 방사광가속기 산·학·연 혁신협의회장



“충청북도 다목적방사광가속기 산·학·연 혁신협의회”가 2023년 5월 11일 충북도청에서 발대식을 갖고 출범하였습니다. 그동안 산발적으로 있어 왔던 도내의 방사광 관련 기획, 연구, 다양한 참여의 아이디어 도출이 보다 연속적이고 효율적으로 되게 하고, 나아가 충청북도 다목적방사광가속기의 성공적인 구축과 활용에 기여하기 위한 목적으로 구성하였습니다.

방사광가속기는 최첨단 다기능 분석 장치입니다. 기초과학의 연구 경쟁력 향상은 물론, 최상의 물성 분석 결과를 제공해 줌으로써 산업경쟁력을 한껏 올릴 수 있는 장치입니다. 예를 들어, 유전체 박막, 메모리 소재, 디스플레이 소재와 같은 반도체 물질들, 다양한 종류의 이차 전지들, 효율 높은 태양전지들, 다양한 종류의 촉매들, 신약개발을 위한 단백질들, 및 다양한 기능성 신소재들에 대한 물질 구조, 화학 상태, 및 내부 구조의 규명은 물론, 결합 형성 및 오작동 원리의 이해, 등 근간의 핵심 산업 발전에 필요한 정보를 제공해주는 최첨단 분석 도구로써, 두루두루 여러분야에 핵심적인 기여를 해오고 있습니다. 이 외, 의생명 부분에서도 중요한 기능을 하는 방사광가속기 활용 연구장비·기법들이 개발되고 있습니다.

이미, 3세대 방사광 광원인 포항 방사광가속기에서 위 물질들에 대한 연구 및 그 결과물들이 매우 많습니다. 예를 들어, 최근에 연평균 500편 이상의 논문이, 우리나라 연구 결과의 평균 임팩트 대비 3배 정도의 값을 가지고, 발표되고 있습니다. 강조되는 것은, 대부분의 연구 결과가 위에서 언급한, 이차전지, 태양전지, 신소재, 반도체 소재, 단백질을 주제로 하고 있다는 것입니다. 즉, 국가발전의 전략 산업에 핵심인 물질들의 연구가 주를 이루고 이들 경쟁력 향상에 필요한 결과를 제공한다는 것입니다.

이곳 오창에 구축되고 있는 충청북도 다목적방사광가속기는 4세대급의 방사광 광원을 가지게 되며, 포항의 기능보다 1차원 높은 수준의 기능을 제공해 주게 됩니다. 이를 활용하는 결과는 국가 경쟁력 증가를 더욱 가속시킬 것임이 자명합니다. 이러한 역할을 해 줄 방사광가속기가 성공적으로 구축되게 하기 위해, 그리고 구축 후 활용 효율을 극대화하기 위해 본 협의회가 구성되었습니다. 특이한 점은, 저희는 범 국가적인 시설의 성공을 위한 노력도 해야 하며, 충청북도를 중심으로한 지역 기반을 활성화 시키고, 도내 산·학·연이 시너지를 가지고 혜택을 받을 수 있는 아이디어 개발 및 활동도 해야 한다는 것입니다. 저희 도 내에 훌륭한 방사광가속기가 있는데, 그리고 구축 사업에 1/5 이상의 예산을 지원하였기에, 도를 위한 최상의 활용 결과가 나오게끔 하는 것은 도내 구성원의 소명이기도 합니다.

충청북도 다목적방사광가속기를 통해 기대되는 것은, (i) 과학기술의 발전, 자연의 이해, 지식 향상, (ii) 가속장치, 빔라인, 각종 분석 장비, 및 기법 개발 및 활용을 통한 산업적 이윤 및 인프라 개발 및 경쟁력 향상, (iii) 이들 장치 구축과 활용이 효율적으로 되게 하기 위한 환경 조성 및 지역 클러스터 형성, (iv) 장기적으로, 과학기술 경쟁력 향상을 통한 산·학·연 및 지역 위상의

세계 경쟁력 향상 등이 있겠습니다. 이러한 기대치는 꾸준하고 적극적인 기획과 참여를 통해서 얻어지는 것이지, 도내에 자발적으로 다가오는 것은 아닙니다. 도내의 다목적방사광가속기 관련 다양한 의견을 모으고 지속적인 관심, 기획 및 활동에 기여할 수 있는 협의회의 필요성이 계속 대두되었으며, 충북도청과 충북과학기술혁신원에서 준비해 왔으며, 준비위원회 구성을 거쳐, 그 결과 5월 11일에 본 협의회가 출범하였습니다.

본 협의회는 우선 운영위원들과 3개의 분과를 가지고 출범합니다. 3개의 분과로는 (i) 가속기, 빔라인, 활용 기법 관련 장치 및 기술 개발에 기여할 “장치개발 분과”, (ii) 산학연 기관들이 시너지를 낼 수 있는 빔라인 구축 및 연구 활성화를 위해 기여할 “활용연구 분과”, (iii) 그리고 분석센터 구성, 인력양성, 홍보에 기여할 “인력양성 분과”가 있습니다. 각 분과들은 독자적으로 혹은 서로 협업하여 운영하는 모양이 될 것이며, 효율적인 성과 도출이 기대합니다.

시작은 미약하나마, 나중에는 전세계의 경쟁력을 뚫고 나갈 수 있는 연구결과들이 많이 발생하여, 국가적으로 그리고 우리 충북지역에 큰 이윤을 가져오는데 기여하며, 나아가 세계적인 경쟁력을 갖는 선도 대학, 연구소, 기업체들을 보유한 선도 지역이 되는데 기여하는, ‘충청북도 다목적방사광가속기 산·학·연 혁신협의회’가 될 수 있게끔 회원분들 및 관심 있는 분들의 많은 성원과 노력을 부탁드립니다.

충북 다목적방사광가속기 산·학·연 혁신협의회는 △산·학·연 협력활성화 △인력양성 및 지원 △기술공유 및 지식재산보호 △혁신 프로젝트 발굴 추진 △다양한 커뮤니케이션 채널 활용 △산·학·연 협력 프로젝트 지원 △정책연구 및 정보교류 등 가속기 기술을 활용한 산업체 간 네트워크를 강화하고 연구개발을 촉진함으로써, 새로운 기술과 제품을 개발하여 국가경제 발전을 이루는 데 커다란 역할을 할 것으로 기대된다.



충북 다목적방사광가속기 산·학·연 혁신협의회 발대식 개최, 2023. 05. 11. 충북도청

Info

기업참여정보

투자
인센티브



보조금 및 현금지원	<ul style="list-style-type: none">• 수도권 이전기업 입지 최대 40%, 설비투자 최대 24% 지원• 지방 신·증설기업 설비투자 최대 24% 지원• 고용보조금 50만원(1인-월, 12개월), 기업당 10억원 한도• 교육훈련보조금 50만원(1인-월, 12개월), 기업당 10억원 한도• 연구원 고용보조금 200만원(1인-월, 12개월), 기업당 5억원 한도
세제감면	<ul style="list-style-type: none">• 국세 감면 양도차익 법인세 연기(5년), 그 후 분할납부(3년) 법인세 100 %(7년), 50%(3년)• 지방세 감면(지방산업단지) 취득세 75%, 재산세 75%(5년)
다양한 저리의 자금지원	<ul style="list-style-type: none">• 창업 및 경쟁력 강화자금(1,000억원)• 경영안전자금(2,000억원)• 영세기업 일자리 안정자금(300억원)• 특별경영안정지원자금(300억원)
행정지원	<ul style="list-style-type: none">• 기업민원 One-stop 처리• 투자기업 전담공무원 지정 운영• 투자기반 인프라(전력, 통신, 가스 등) 신속한 지원

지역 여건



저렴한 분양가	<ul style="list-style-type: none">• 오창테크노폴리스산업단지 100~110만원대(3.3㎡당)• 서울·인천 : 400~1,000만원 / 경기 : 200~500만 / 천안·아산 : 120~140만원• 입주가능업종 : MT(메카트로닉스첨단), BT(바이오), GT(환경에너지), NT(신소재)
재난·재해 없는 안전한 충북	<ul style="list-style-type: none">• 전국기후변화 평가 가장 안전한 지역(홍수, 태풍 등)• 전국 지진발생 590건 중 6건('16~'18, 규모 2.0이상)• 2019 재난관리평가 우수기관 선정
풍부한 공업용수 및 전력공급	<ul style="list-style-type: none">• 전국 최대 저수용량(충주댐 2위, 대청댐 3위) 풍부한 공업용수 공급(5,029백만㎡)• 안정적인 산업전력 공급2024년 LNG발전소 2기 가동예정(청주 600MW, 음성 1100MW)

모집 공고



충북 청주 방사광가속기 산학연 혁신협의회 회원(산, 학, 연) 모집

충청북도와 충북과학기술혁신원에서는 방사광가속기 활용 주체인 기업, 대학, 연구기관이 소통과 교류를 통해 상호 협력하고, 다양한 연구활동을 할 수 있는 산학연 협의회를 산학연 혁신협의회를 운영하고 있습니다. 이에 기업, 대학, 연구기관을 대상으로 회원을 모집하고 있으니 많은 관심과 참여 부탁드립니다.

신청방법	충북과학기술혁신원 누리집 내 공지사항▶ 가입신청 서식 다운로드 후 메일로 신청
신청 자격	<ul style="list-style-type: none">• 개인회원 : 방사광가속기에 관심이 있는 산학연 연구자• 단체회원 : 방사광가속기 관련 사업을 영위하고 있는 개인회원이 있는 산학연 단체 및 공공기관
제출처	충북과학기술혁신원 디지털사업부 디지털혁신팀 배윤영 선임 E. byy@cbist.or.kr / T. 043-210-0836 / F. 043-210-0849 ※ 기업 및 대학, 연구기관별 서식 상이
향후일정	<ul style="list-style-type: none">• 23.7 기술교류회 개최 예정• 23.10 산학연 혁신협의회 세미나 개최 예정

2023 Vol. 01

ISSUE

충북 청주

다목적방사광가속기

PAPER

발행일 2023년 6월 28일

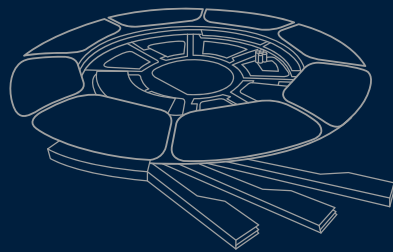
발 행 충청북도, 충북과학기술혁신원

기 획 충북과학기술혁신원

디자인 디자인크리포유

본지에 글이나 사진을 충북과학기술혁신원의 허락없이 무단, 복사, 전재하는 것을 금합니다.

본 이슈페이퍼에 수록된 내용은 충북과학기술혁신원의 공식적인 견해와 다를 수 있음을 밝힙니다.



충청북도
CHUNGCHONGBUK-DO



충북과학기술혁신원
Chungbuk Innovation Institute of Science & Technology