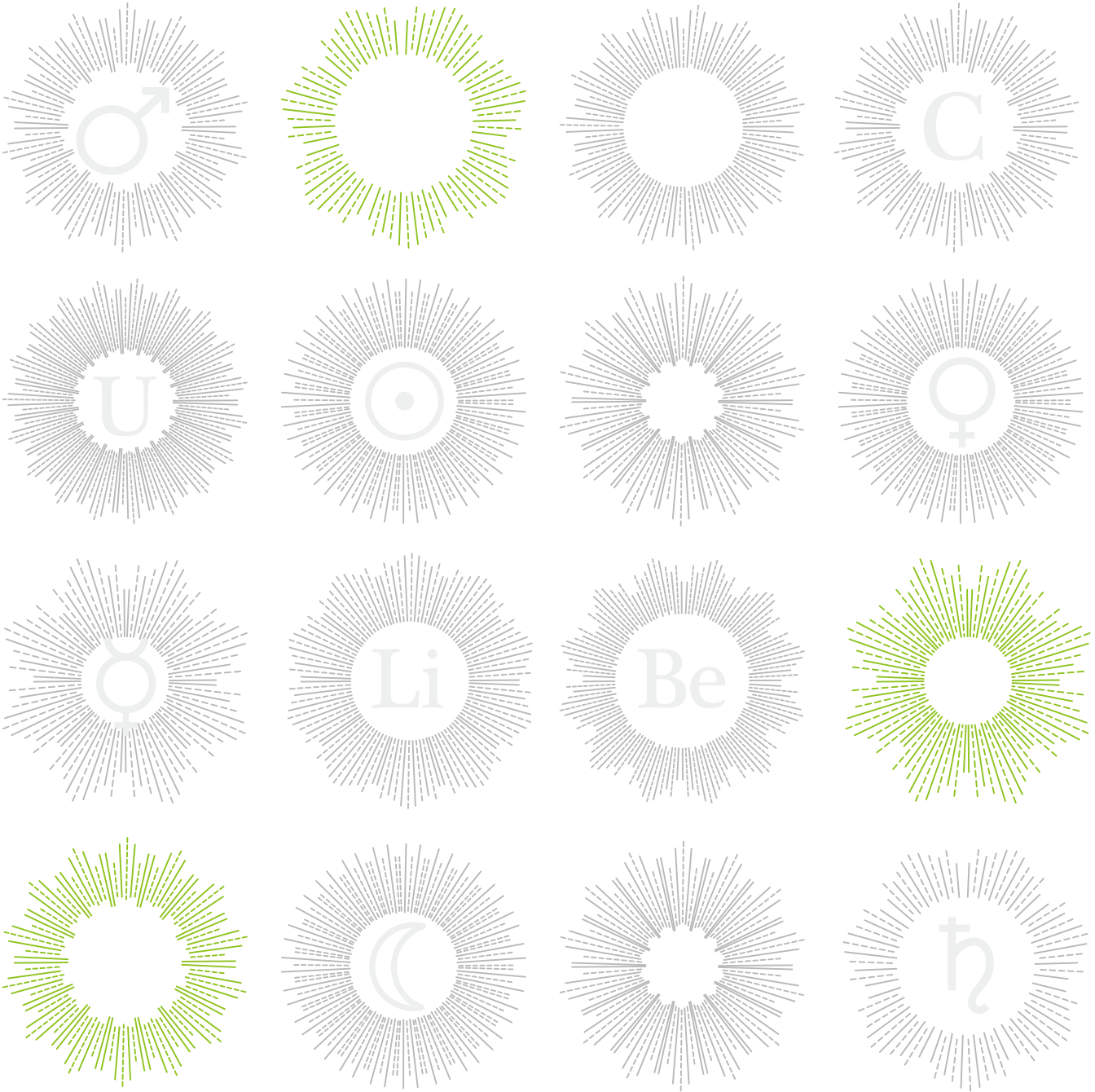


Beyond Basic Science

RISP 중이온가속기건설구축사업단

대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 70(전민동 463-1)  
Tel 042.878.8701 <http://risp.ibs.re.kr/>



Beyond Basic Science

차세대 중이온가속기, **RAON**  
국제과학비즈니스벨트의 핵심 거대과학 시설

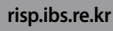


U 우라늄 C 탄소 Li 리튬 Be 베릴륨 현대 원소기호

RAON은 '즐거움', '기쁜'이라는 뜻을 지닌 순 우리말로써, 현대 기초과학의 한계를 넘어 새로운 지평을 열어갈 차세대 중이온가속기입니다.

# CONTENTS

- 03 Part I. 기초과학, 난제에 도전하다
- 07 Part II. 희귀동위원소, 기초과학의 해답을 찾다
- 11 Part III. RAON, 새로운 발견을 꿈꾸다
- 17 Part IV. RAON, 무한한 가능성을 열다

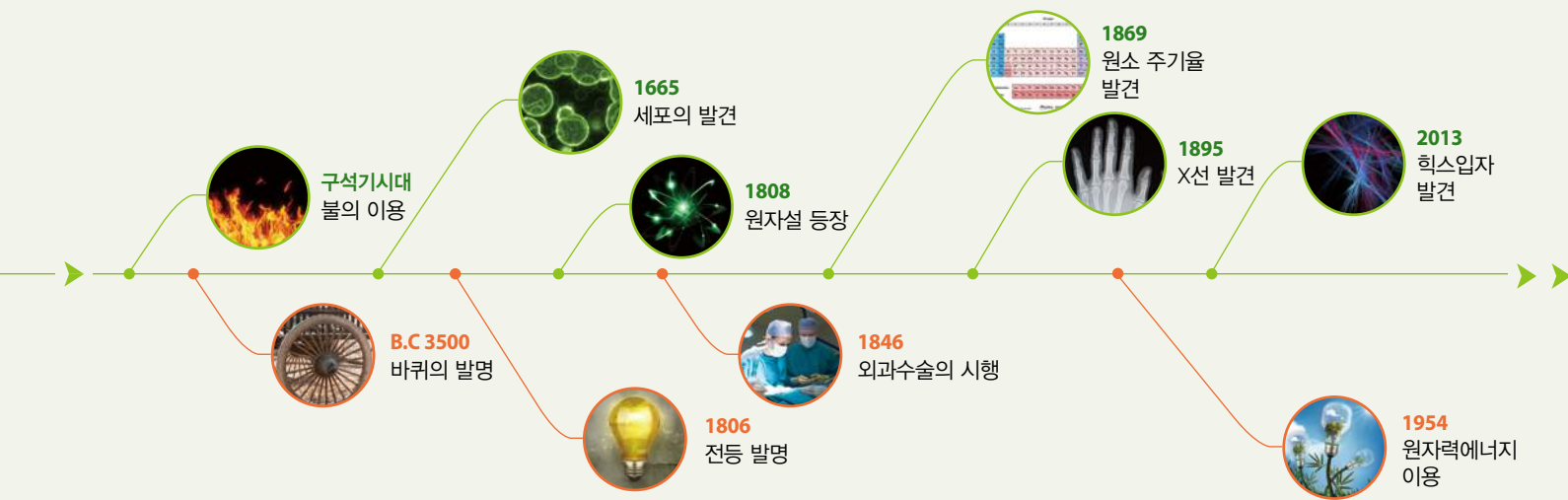


The science of today is the technology of tomorrow.  
Edward Teller (미국 원자물리학자, 1908-2003)

## 기초과학, 새로운 발견으로 비밀을 밝히다

기초과학은 자연의 비밀을 풀기 위해  
인류가 던지는 끊임없는 질문입니다.

기초과학을 통한 새로운 발견은 인류의 시야를 넓혀 주었고,  
보다 원대한 꿈을 꿀 수 있게 해 주었습니다.  
기초과학은 새로운 발견을 위한 끊임없는 질문입니다.



## 응용과학과 첨단기술, 새로운 발명으로 세상을 바꾸다

기초과학의 발견은 눈에 바로 보이지 않지만,  
늘 세상을 진일보하게 하는 원동력이었습니다.

기초과학을 우리 삶에 적용시킨 응용과학은  
첨단기술을 창출하여 인류 문명의 발전을 이끌었습니다.  
응용과학과 첨단기술은 새로운 발전을 이끄는 기초과학의 산물입니다.

## 희귀동위원소, 과학의 미래를 열다

자연을 구성하는 기본 단위 '원소'는  
기초과학의 가장 근본적인 질문거리입니다.

새로운 원소가 만들어지거나 희귀동위원소가 발견될 때마다  
기초과학이 이전과 전혀 다른 차원으로 확대되는 것은 그 때문입니다.

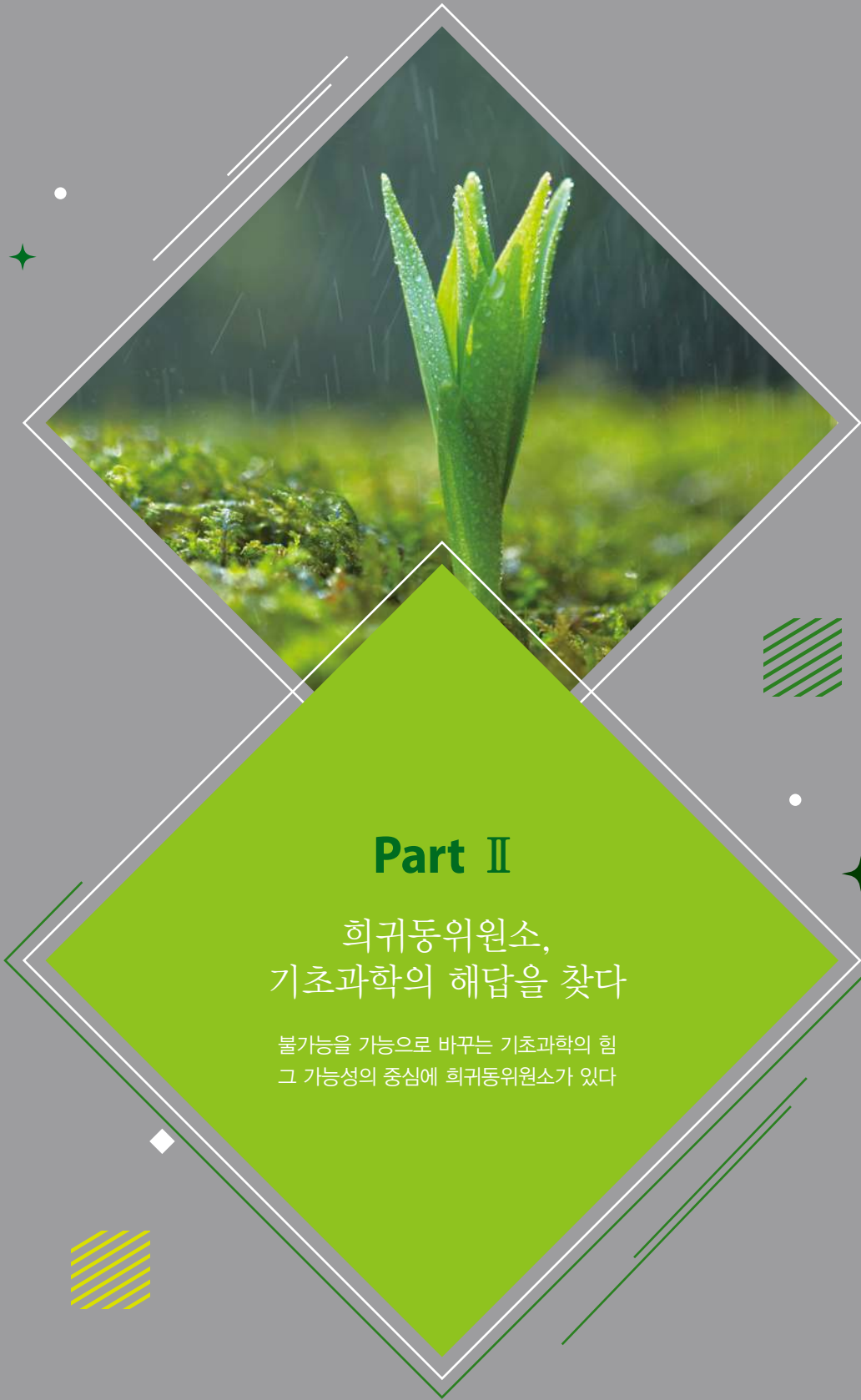
Rare isotopes

## 중이온가속기, 펨토 사이언스의 문을 열다

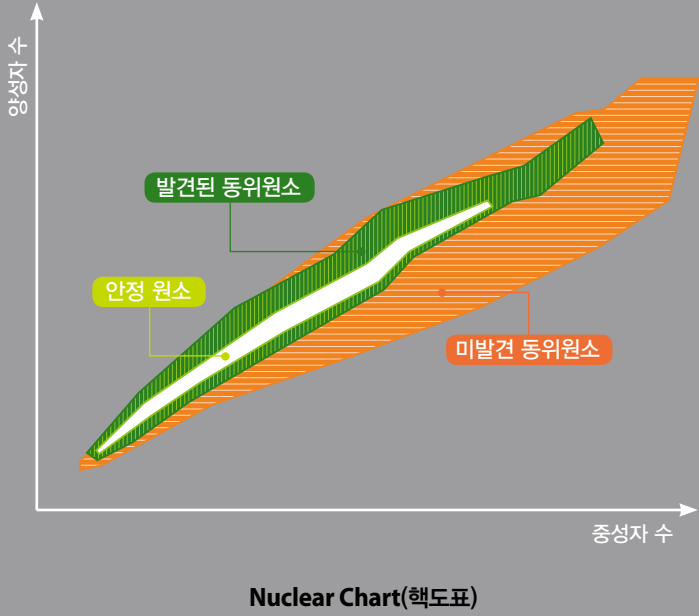
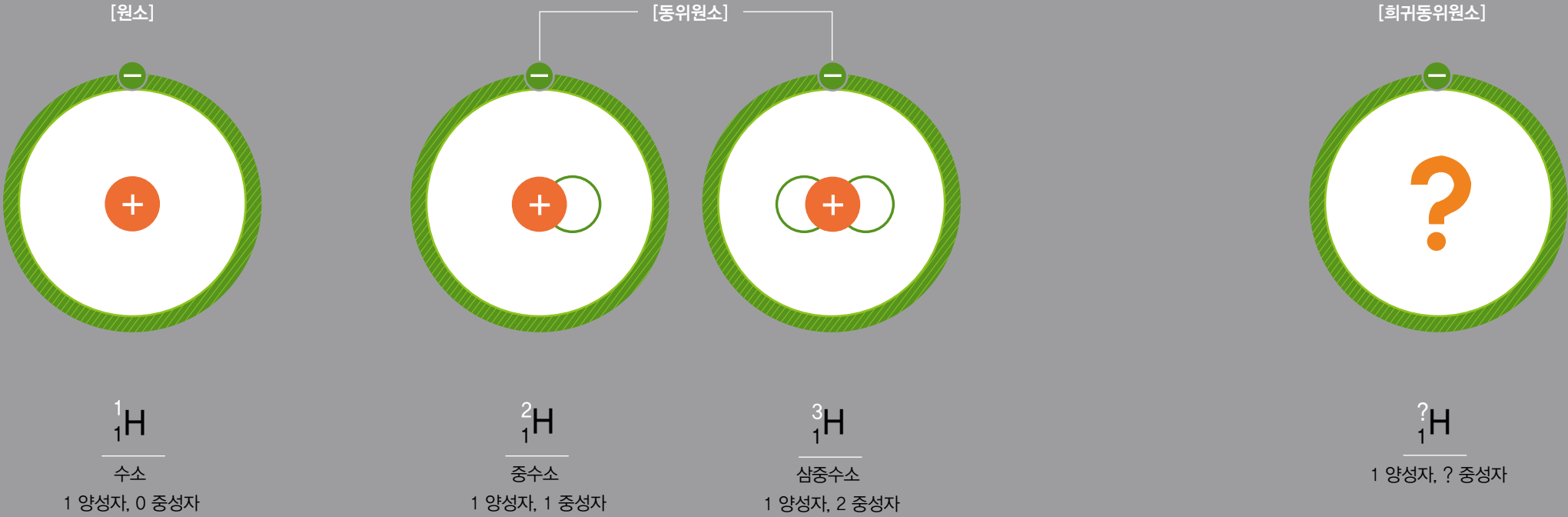
나노 과학으로는 분자보다 큰 세계만 연구할 수 있는 반면,  
펨토 과학에서는 원자와 원자핵의 세계까지 탐구할 수 있습니다.

중이온가속기는 펨토의 세계를 들여다볼 수 있게 해주며  
동시에 새로운 희귀동위원소를 발견할 수 있도록 합니다.









⊕ 양성자   ⊖ 중성자   - 전자

## 원소의 쌍둥이 원소, 동위원소(Isotope)

‘원소’는 자연을 구성하는 기본 단위입니다. 원소는 양성자, 중성자, 전자로 이루어져 있으며, 그 수와 성질에 따라 원소의 성질도 달라집니다. 양성자의 수는 원자번호와 원소의 화학적 성질을 결정하고, 양성자의 수와 중성자의 수의 합은 원소의 질량을 결정합니다.

‘동위원소’는 여러 원소들 중 양성자의 수가 같아 원자번호가 같지만 중성자의 수가 달라 질량이 다른 쌍둥이 원소입니다. 각각의 원소에는 몇몇 서로 다른 동위원소가 있습니다. 과학자들은 연구를 통해 118개의 원소와 3,000여개의 동위원소를 밝혀냈습니다.

✓ Tip

질량 수 (양성자 수+중성자 수)  
원소기호  
원자번호(양성자 수)

## 감춰진 태초의 원소, 희귀동위원소(Rare isotope)

‘희귀동위원소’는 이름 그대로 매우 희귀하고 수명이 짧아 아직 발견되지 않은 동위원소입니다. 우주의 진화과정 중 아주 짧은 찰나에 나타났다가 사라져, 지구상에는 극히 미량만 남아 있거나 존재하지 않아 인공적으로 생성·발견해야 합니다.

Nuclear chart는 지구상에 존재하는 안정 원소, 존재하지 않았으나 인공적으로 발견해 낸 동위원소, 아직 발견하지 못한 희귀동위원소의 분포를 나타낸 표입니다. 세계 과학계는 지구상에 존재하는 모든 원소보다 아직 발견하지 못한 희귀동위원소가 더 많을 것으로 예측하고 있습니다.

## 기초과학의 신기원, 희귀동위원소

늘 새로운 지식을 추구하는 기초과학의 역사에서 새로운 발견은 희귀할수록 특별한 의미를 가졌습니다. 아무도 발견하지 못한 것을 발견하는 것은 그 자체로 가치 있으며, 아직 알려지지 않은 새로운 지식까지 얻을 수 있기 때문입니다.

새로운 희귀동위원소를 활용하면 기존의 기초과학이 밝혀내지 못한 새로운 지식을 얻을 수 있습니다. 희귀동위원소는 특히 자연계와 우주의 생성 및 진화과정, 물질의 특성 등을 정확히 규명할 수 있도록 합니다. 이는 희귀동위원소가 연구 영역을 확장시켜 현재 기초과학 연구의 한계를 넘고, 새로운 활용 연구 분야를 창출할 수 있다는 의미입니다.

### 희귀동위원소 발견을 통한 활용 연구 사례

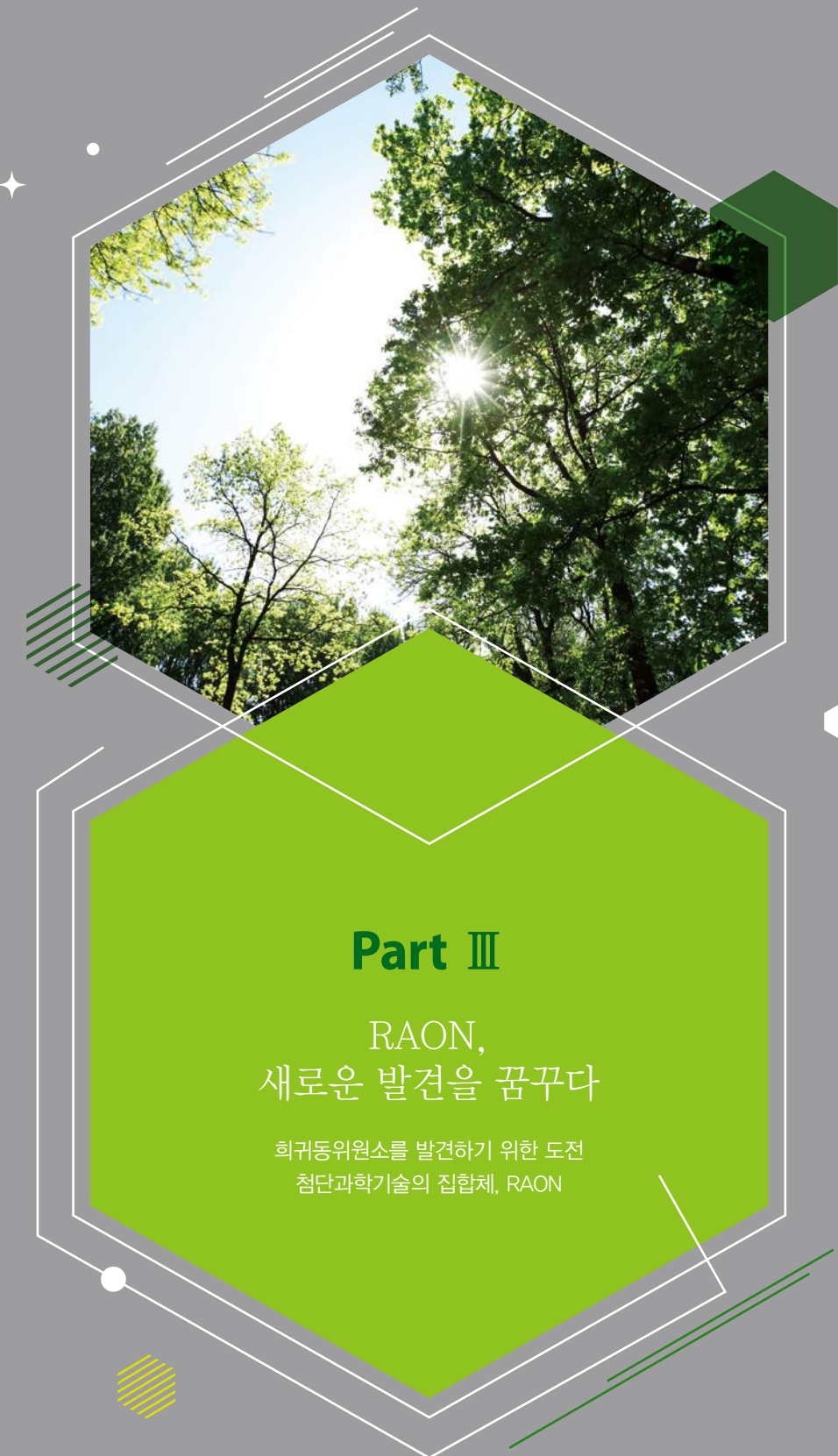


✓ Tip  ${}^6\text{Li}$  안정원소  ${}^7\text{Li}$  양성자 수는 같고 중성자 수가 다른 동위원소

### 희귀동위원소 발견을 통한 미래의 활용 연구



✓ Tip 초중핵 매우 많은 양성자를 가지고 있는 원자핵



## Part III

### RAON, 새로운 발견을 꿈꾸다

희귀동위원소를 발견하기 위한 도전  
첨단과학기술의 집합체, RAON

The important thing in science is not so much to obtain new facts  
as to discover new ways of thinking about them.  
William Henry Bragg (영국 물리학자, 1862-1942)

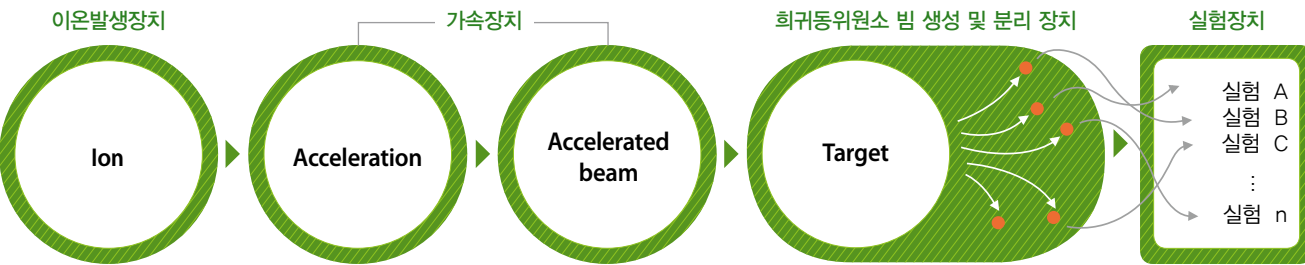
희귀동위원소 과학시설,  
중이온가속기 (Heavy ion accelerator)

가속기는 전자, 양성자, 이온 등의 전하를 가지고 있는 입자를 가속시키는 장치입니다. 가속기는 가속입자의 종류와 활용 목적에 따라 방사광가속기 · 양성자가속기 · 중입자가속기 · 중이온 가속기 등으로 구분됩니다. 그 중 중이온가속기는 자연에 존재하지 않는 희귀동위원소를 생성 하기 위한 가속기입니다.



희귀동위원소 생성 원리

중이온가속기는 수소와 헬륨보다 무거운 원소를 이온화하여 매우 빠르게 가속시킨 뒤, 표적 원자핵에 충돌시킵니다. 충돌 이후에는 원자보다 작은 세계를 볼 수 있으며, 새로운 희귀동위 원소를 발견할 수 있게 됩니다.



**Tip** 이온 전자를 잃거나 얻어 전하를 띠는 입자 또는 상태 **이온화** 원자 속 전자가 빠져나가 이온이 되는 현상 **중이온** 수소, 헬륨보다 무거운 원소의 이온 **가속** 큰 운동에너지를 발생시키기 위해 속도를 더하는 것 **가속빔** 빛의 속도에 근접하게 가속된 빔

희귀동위원소 생성 방법

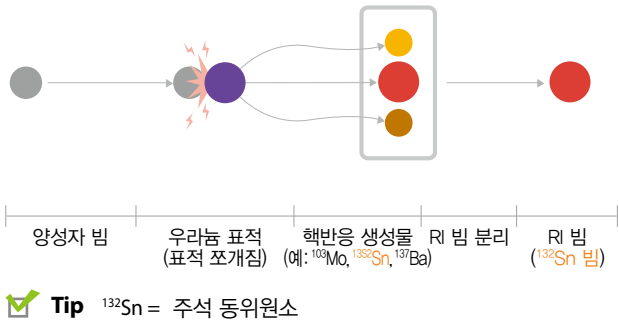
기존의 가속기를 이용한 희귀동위원소 생성 방법에는 ISOL(대전류 저에너지 동위원소 빔 생성 방법)과 IF(소전류 고에너지 동위원소 빔 생성 방법)가 있습니다.

ISOL (Isotope Separation On-Line)

대전류 저에너지 희귀동위원소 빔 생성

- 가벼운 원소이온을 가속하여 무거운 원소 표적에 충돌시키는 방법
- 많은 양의 희귀동위원소 생성 방법

가벼운 원소이온을 빠르게 가속하여, 무거운 원소로 된 표적에 충돌 시켜 무거운 원소를 쪼갬 후 그 파편 중에서 새로운 희귀동위원소를 추출하는 방법입니다. 이 방법으로는 많은 양의 희귀동위원소를 생성할 수 있으며, 희귀동위원소를 추출하는 과정이 여러 번 반복 되어 최종 추출되는 희귀동위원소의 순도가 매우 높습니다.

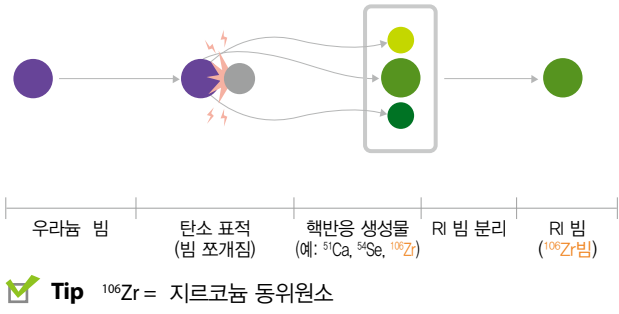


IF (In-flight Fragmentation)

소전류 고에너지 희귀동위원소 빔 생성

- 무거운 원소이온을 가속하여 가벼운 원소 표적에 충돌시키는 방법
- 다양한 종류의 희귀동위원소 생성 방법

무거운 원소이온을 가속하여 가벼운 원소로 된 표적에 충돌시킨 후, 쪼개진 무거운 원소 이온빔의 파편 중 목표로 하는 희귀동위원소만을 추출하는 방법입니다. 빔의 파편이 매우 다양하고 고속으로 날아가는 희귀동위원소들을 자석으로 빠르게 분리함으로써 짧은 수명의 다양한 희귀동위원소를 얻을 수 있습니다.

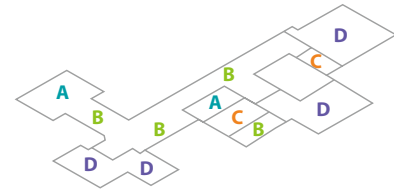


방식	가속되는 원소	표 적	특 징	장 점	단 점
ISOL	저에너지 양성자 빔	무거운 표적 (우라늄 등)	장수명 동위원소 빔	동위원소 빔 품질 우수	동위원소 종류가 제한적
IF	고에너지 중이온 빔	가벼운 표적 (탄소 등)	단수명 동위원소 빔	다양한 동위원소 빔 생성	동위원소 빔 품질이 낮음



## 차세대 중이온가속기, RAON

RAON은 희귀동위원소를 생성하기 위한 차세대 중이온가속기입니다. RAON은 이온 발생 장치와 가속장치, 희귀동위원소 생성장치 및 각종 실험장치로 구성되어 있습니다.



**A 이온 발생장치**  
원소를 이온화시키는 장치

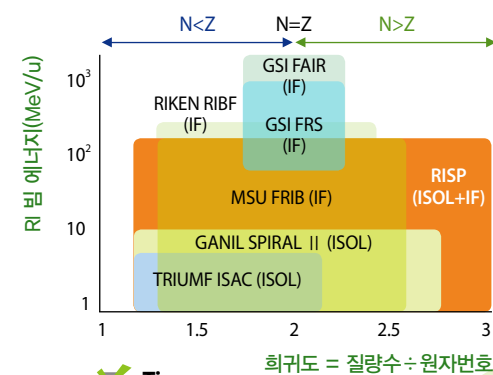
**B 가속장치 (SCL : Super-Conducting Linac)**  
낮은 에너지를 가지고 있는 이온빔을 높은 에너지를 갖도록 가속시키는 장치

- Driver LINAC : SCL1, SCL2
- Post Accelerator : SCL3

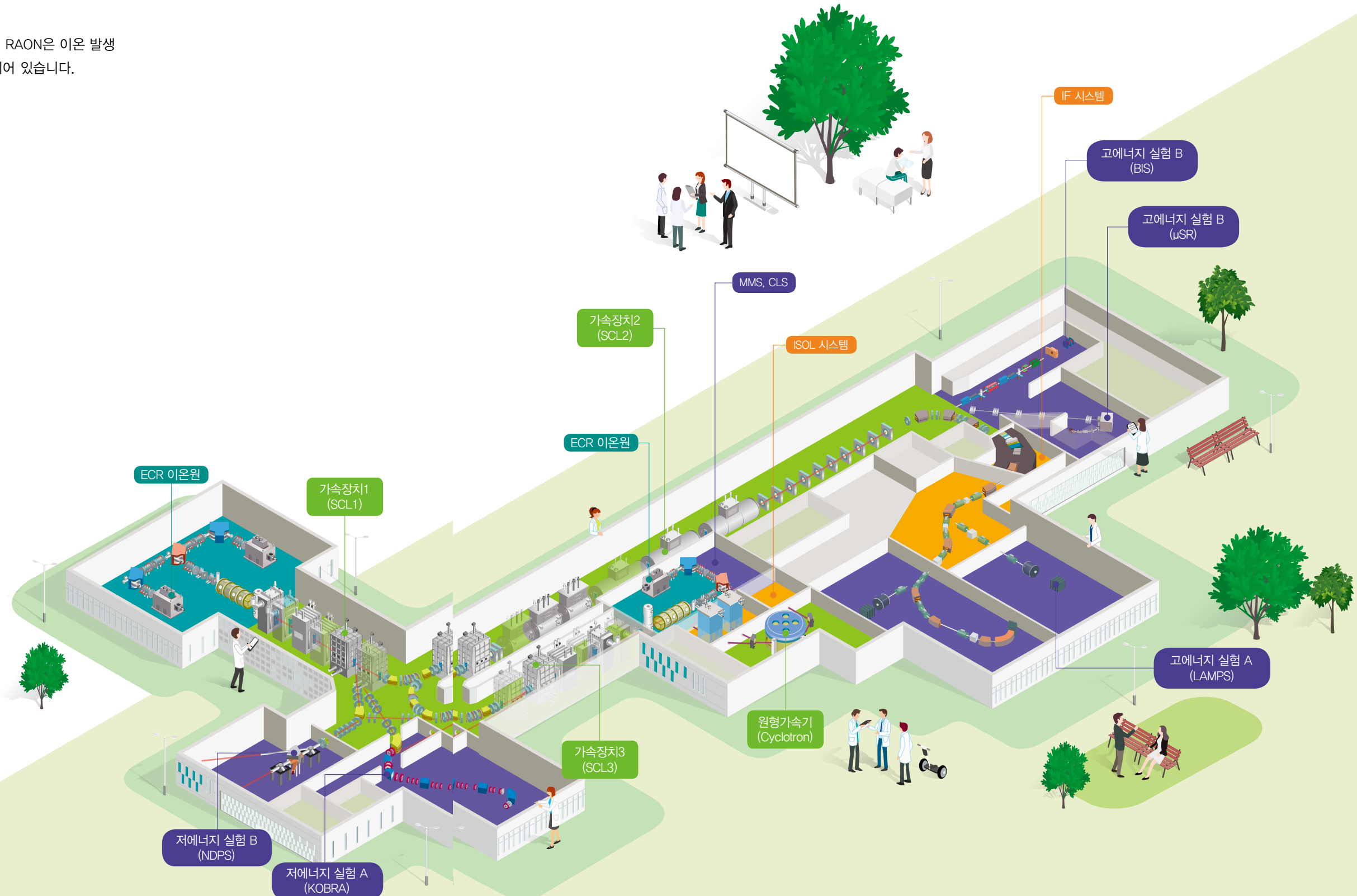
**C 희귀동위원소 생성장치**  
가속된 이온빔을 표적에 충돌시켜 희귀동위원소를 생성하는 장치

**D 실험장치**  
생성된 희귀동위원소를 추출하여 다양한 연구를 수행하는 장치

- KOBRA : 되튔분광장치
- LAMPS : 대수용다목적핵분광장치
- NDPS : 핵데이터생산장치
- MMS : 질량측정장치
- CLS : 동축레이저분광장치
- $\mu$ SR : 뮤온스핀완화기
- BIS : 빔조사장치



**Tip**  
해외 유사 시설과 비교하여 수행 가능한 연구영역 확대

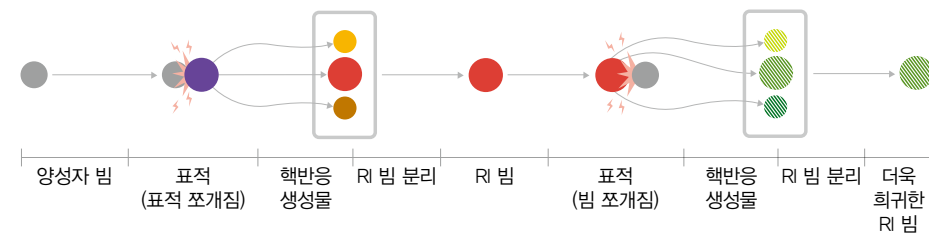




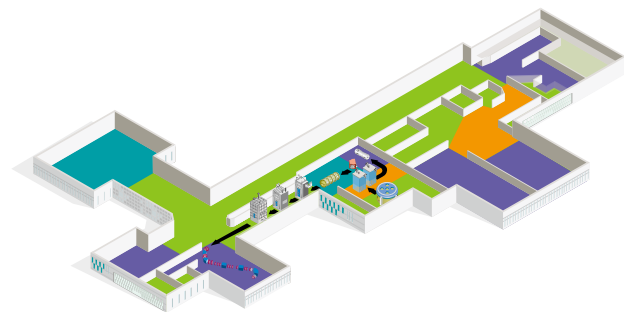
## RAON의 희귀동위원소 생성 방법 (ISOL+IF)

세계의 가속기들이 ISOL과 IF 중 한 가지 방법만을 사용하는 반면, RAON은 ISOL과 IF 방식은 물론 ISOL과 IF 결합 방식을 적용한 세계 최초의 시설입니다. 먼저 ISOL로 희귀동위원소를 생성한 뒤 이를 IF로 다시 가속하면 한 가지 방법만을 사용하는 기존 방법보다 더욱 새롭고 희귀한 동위원소를 발견할 수 있는 가능성이 높아집니다. RAON은 세계 과학계가 아직 발견하지 못한 희귀동위원소를 더 많이, 더 다양하게 발견할 수 있는 유일한 시설이 될 것입니다.

### ISOL+IF

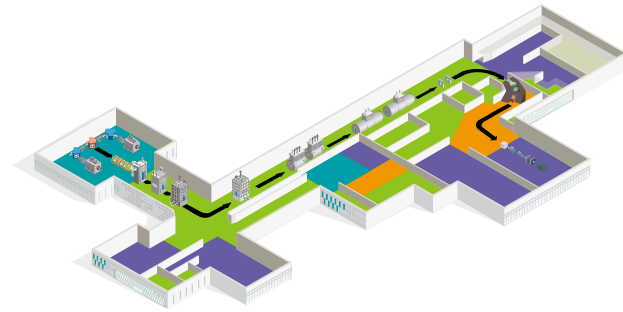


### ISOL 방식



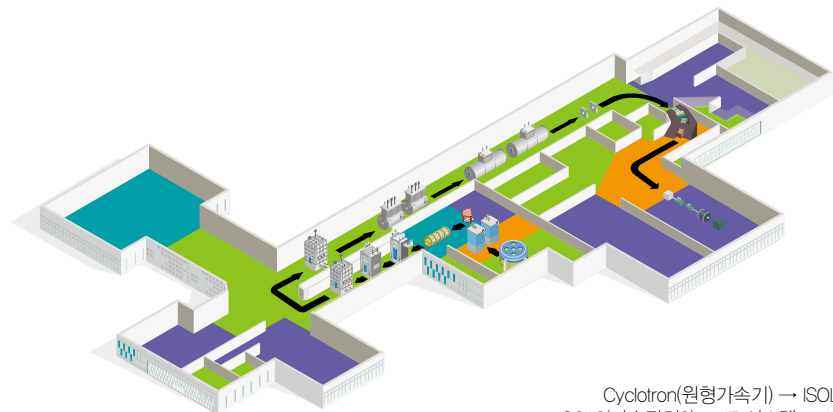
Cyclotron(원형가속기) → ISOL 시스템 → MMS(질량측정장치), CLS(동축레이저분광장치)  
Cyclotron(원형가속기) → ISOL 시스템 → SCL3(가속장치3) → KOBRA(외원분광장치)

### IF 방식

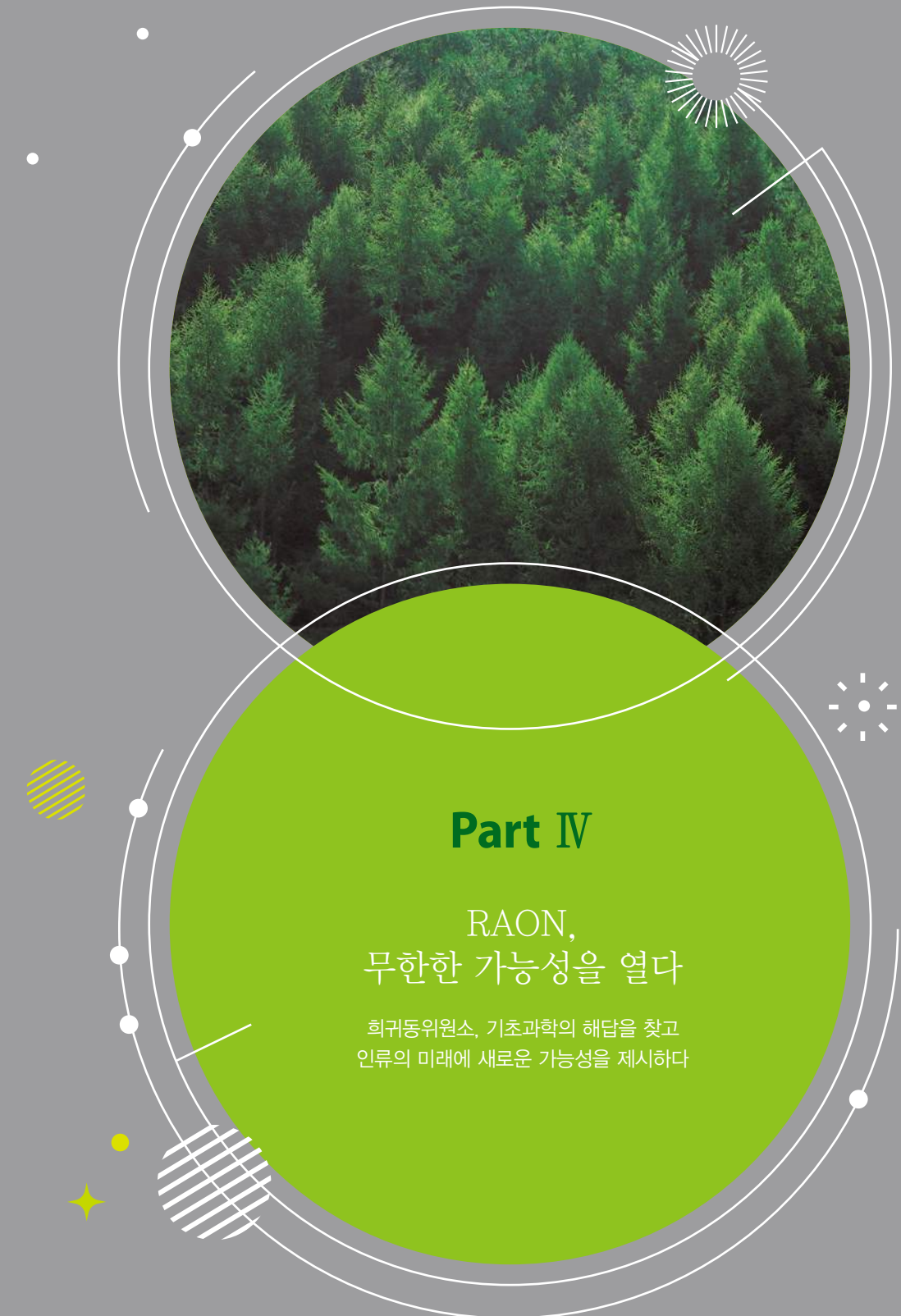


ECR-IS(ECR 이온원) → SCL1(가속장치1) → SCL2(가속장치2) → IF 시스템 → LAMPS(대수용다목적핵분광장치)

### ISOL+IF 방식



Cyclotron(원형가속기) → ISOL 시스템 → SCL3(가속장치3) → SCL2(가속장치2) → IF 시스템 → LAMPS(대수용다목적핵분광장치)



There are two possible outcomes. If the result confirms the hypothesis, then you've made a measurement.

If the result is contrary to the hypothesis, then you've made discovery.

Enrico Fermi (이탈리아 물리학자, 1901-1954)

## 핵과학

새로운 원소의 발견과 원소 생성의 근본원리를 밝혀 핵과학의 새로운 지평을 엽니다.

### 연구 분야

- 우주 원소의 기원 및 별의 진화 연구
- 핵구조 및 핵력의 본질 규명 연구
- 차세대 원자력 연구개발의 기본요소인 핵반응/핵구조 연구
- 핵과학 이론연구

### 실험 장치

- 되튐분광장치(KOBRA) : 희귀동위원소의 핵과 안정원소 핵들이 서로 충돌하여 발생하는 융합·분리 현상을 통해 희귀동위원소의 생성과정과 핵의 특이구조를 규명하는 장치
- 대수용다목적핵분광장치(LAMPS) : 중성자과잉 희귀동위원소 핵의 충돌을 통해 중성자 별과 같은 물질의 고밀도 상태를 규명하는 장치
- 핵데이터생산장치(NDPS) : 희귀동위원소들간의 다양한 반응 경로를 이용하여 고속 중성자와 원자력 소재간의 정밀한 핵반응 데이터를 생산하는 장치

## RAON의 실험장치별 활용연구 분야

## 원자 및 분자과학

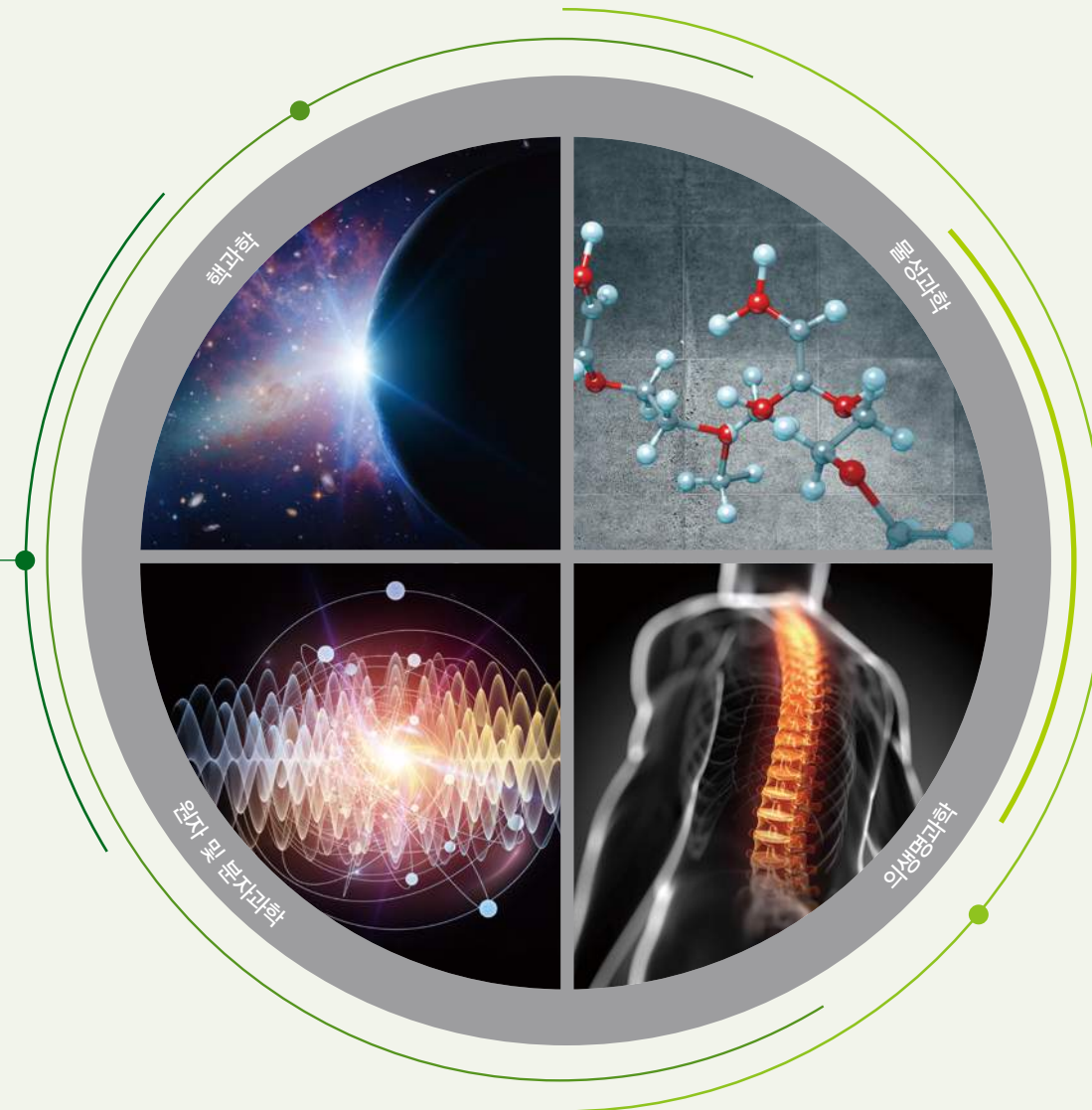
희귀동위원소의 질량, 크기, 모양을 정밀하게 측정하여 핵의 종류를 세밀하게 분리할 수 있습니다.

### 연구 분야

- 희귀동위원소 질량 정밀 측정 기술 및 원자 조작 기술 개발
- 미세 '원자핵구조' 측정기술 개발
- 원자물리 기본상수 정밀측정

### 실험 장치

- 질량측정장치(MMS) : 희귀동위원소의 정밀 질량측정을 통해 희귀동위원소의 구별과 새로운 원소를 발견하는 장치
- 동축레이저분광장치(CLS) : 원자에너지 초미세 준위의 변화와 희귀동위원소의 크기(모양)를 측정하여 희귀동위원소의 구별과 그 핵의 특성을 규명하는 장치



## 물성과학

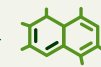
뮤온을 이용하여 물질의 전자기적 미세구조를 비파괴 방식으로 탐구합니다.

### 연구 분야

- 원자핵 하나의 전자기효과도 측정할 수 있는 초민감 물성 측정 장치 개발
- 고온초전도체, 반도체, 나노자성체 및 위상절연체 등의 신소재 물질 특성 연구

### 실험 장치

- 뮤온스핀완화기( $\mu$ SR) : 뮤온을 이용한 물질 내부의 국소적 전자기 특성 측정을 통해 초전도, 나노자성체, 위상절연체 등 새롭고 특이한 물질현상을 규명하는 장치



## 의생명과학

희귀동위원소의 고유한 특성을 활용하여 의생명 분야의 효율성과 안정성을 발전시킵니다.

### 연구 분야

- 희귀동위원소를 이용한 암 치료법 개발
- 희귀동위원소 육종법 개발

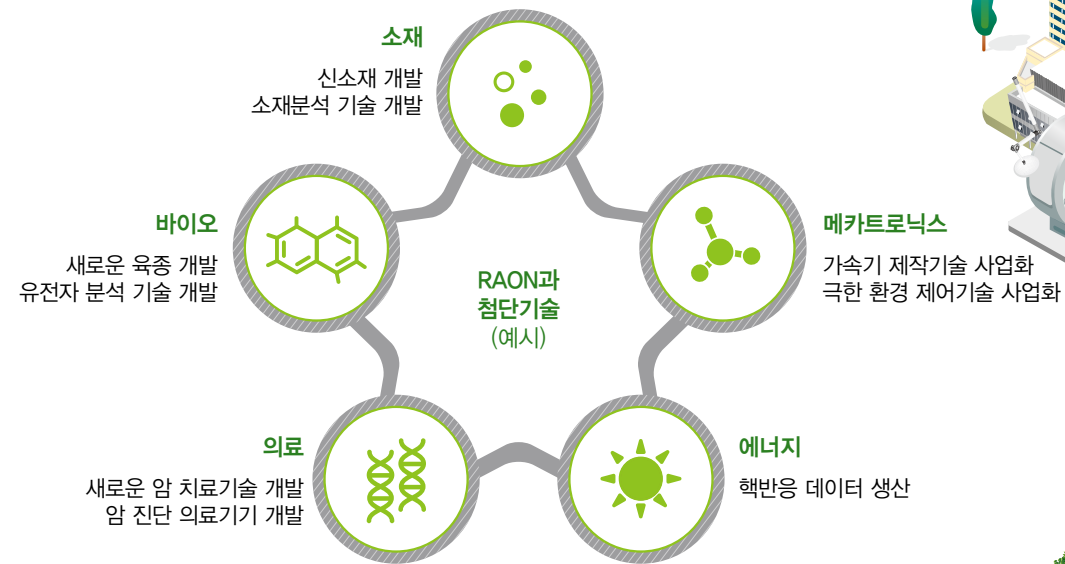
### 실험 장치

- 빔조사장치(BIS) : 희귀동위원소 빔 또는 중이온 빔을 생체조직에 조사하여 세포파괴, DNA 변형 등을 일으키고, 이를 통해 암치료, 희귀동위원소 육종 등의 새로운 의생명 기법을 개발하는 장치



## RAON의 잠재적 가치 창출 분야

RAON과 희귀동위원소는 자연의 문제를 풀어 기초과학의 지평을 넓힐 뿐만 아니라, 응용과학과 첨단기술을 발전시켜 우리 삶의 문제들까지 해결해 줄 것입니다.



## RAON의 미래, 새로운 역사를 쓰다

RAON이 희귀동위원소를 발견하기 시작한 이후 대한민국은 세계적으로 과학 강대국으로서의 위상을 높이게 되었습니다. 무엇보다도 희귀동위원소를 이용한 기술이 상용화되어 더욱 많은 사람들이 풍족하게 먹을 수 있고, 더욱 오래 살 수 있게 되었습니다.

새로운 자원의 개발로 식량부족 문제가 크게 해결되었고, 인공 장기와 면역 치료의 발달로 인류의 수명이 크게 늘어났습니다. 또한 희귀동위원소에서 발생하는 핵에너지를 압축한 전지가 석유를 대체하여 대기오염과 지구온난화라는 큰 숙제를 풀 수 있게 되었습니다. 이밖에도 세탁이 필요 없는 친환경 신소재 옷감, 핵반응을 이용한 난방장치, 누구나 우주와 통신할 수 있는 반도체 등... 신소재와 에너지, 의료 기술의 발달로 인류의 일상은 이전과는 비교할 수 없을 정도로 개선되었습니다.

RAON은 대한민국을 넘어 온 인류에게 '즐거움, 기쁨(라온)'을 선물하였습니다. 세계 과학계는 이 변화를 일컬어 '기초과학의 미래를 바꾼 발견'이라고 칭하고 있습니다.

# Appendix I

## 중이온가속기구축사업 일반현황 및 추진계획

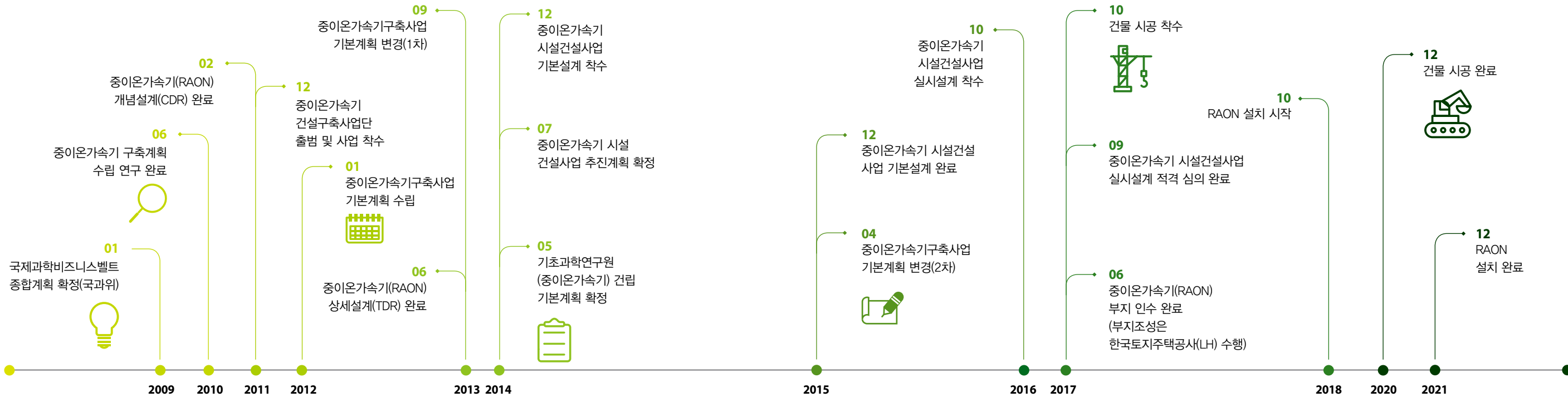


사업개요

사업목표	· 희귀동위원소 기반의 최첨단 기초과학 연구 수행을 위한 차세대 중이온가속기(RAON) 구축
제원/성능	· 제원 : 200MeV/u 빔에너지와 400kW 빔출력의 중이온가속기 · 성능 : 세계 최초로 두 가지 희귀동위원소 생성방법 결합(ISOL+HF)
사업기간	· 2011~ 2021년
위 치	· 국제과학비즈니스벨트 신동지구(대전광역시 유성구)
사업규모	· 총사업비 : 14,298억 원(장치구축 4,602억 원, 시설건설 6,096억 원, 부지매입 3,600억 원) · 부지 952,066㎡(약 29만평), 연면적 130,144㎡(약 4만평)
기대효과	· 국내 기초과학의 글로벌 경쟁력 확보를 통한 세계적 수준의 연구성과 창출 · 중이온가속기 원천기술 확보를 통한 국내 산업 활성화 및 기술력 증대

주요 사업내용	장치구축	RAON에 중이온 빔을 제공하는 이온발생 및 가속 장치와 희귀동위원소 연구를 위한 희귀동위원소 생성 및 실험 장치의 개발 · 설치 · 운전 등
	시설건설	RAON의 안정적인 가동과 쾌적한 연구환경 조성을 위한 연구 및 지원시설 (가속기터널, 실험동, 지원시설동, 관리동, 이용자 숙소 등) 건설 등

### 추진경과





## Appendix II

### 국제과학비즈니스벨트(ISBB)

