

# 4차 산업혁명과 방사선의학 육성 발전 방안

조청원

서울과학기술대학교

발표자 성명: 조청원

발표자 약력:

학 력

- 서울대학교 공과대학 ('77, 학사)
- 한국과학기술원(KAIST) ('79, 석사)(서울)
- 미국 University of Cincinnati 대학원 ('87, 박사)



경력

- 1979 과학기술처 사무관
- 1983 미국 University of Cincinnati, Center of Excellence in Membrane 연구원
- 1989 과학기술처 장관비서관, 원자력통제과장, 원자력협력과장, 원자력정책관
- 1992 국립서울과학관 관장
- 1996 외교통상부 주오스트리아대사관 과학참사관
- 2001 과학기술부 원자력국장, 원자력안전심사관, 과학기술기반국장
- 2005 국립중앙과학관 관장
- 2008 과학기술인공제회 이사장
- 2012 서울과학기술대학교 초빙교수 (현재)

활동

- 원자력시설방호및방재에관한법률 입안
- 방사성폐기물관리에관한법률 입안
- 비파괴검사및안전에관한법률 입안
- 방사선및방사성동위원소이용진흥법 입안
- 원자력시설방호및방재에관한법률 입안
- 남북 핵통제위원회 부위원장
- IAEA Radioactive Waste Convention 외교회의 부의장
- 국가원자력진흥종합계획 수립 시행
- 한국비파괴검사학회 부회장

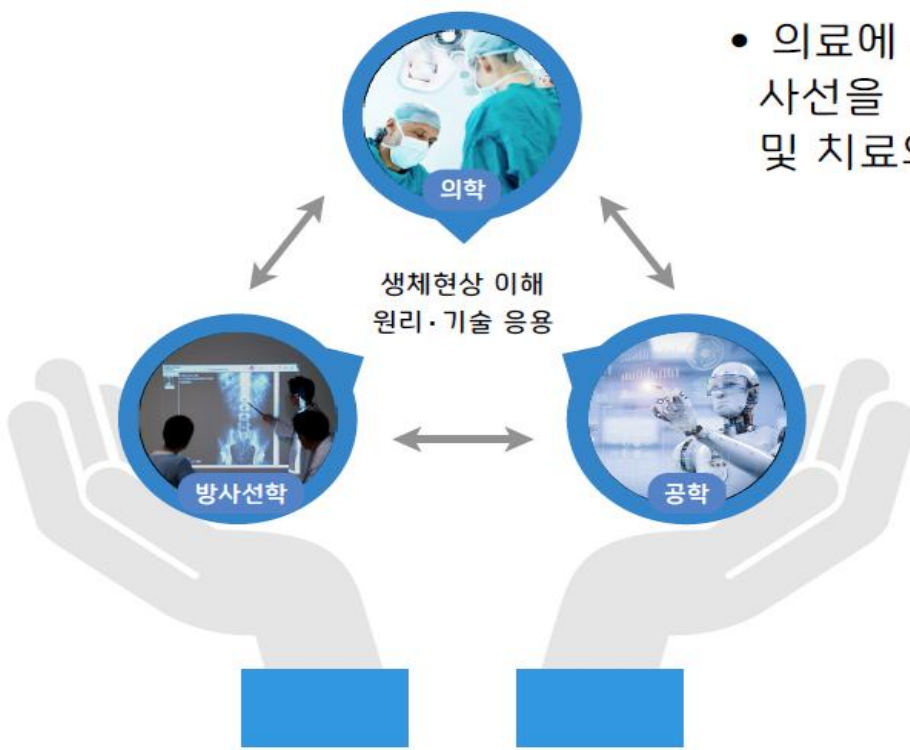
상 훈

- 대한민국정부 홍조근정훈장 (2002)
- 프랑스정부 레종드뇌르 최고훈장 (2006)
- 세계원자력협회 공로상 (2010)

# 4차 산업혁명과 방사선의학 육성 발전 방안



## 방사선의학



- 의료에 사용할 수 있는 각종 방사선을 이용하여 질병의 진단 및 치료와 그 질환의 병태생리

# 방사선의학 산업

## 산업 범위

방사선기술과 생명공학, ICT, Robotics, 기계공학, 조직생체공학, 생체재료 등의 융합 산업화

### 진단분야

진단용 엑스선 기기  
진단용 엑스선 발생장치  
치과진단용 엑스선 장치



### 치료분야

IMRT & IGRT  
사이버나이프  
양성자/중입자 치료장치  
감마나이프



### 핵의학분야

진단용 방사성동위원소  
- F-18, C-11, I-123, Tl-201 등  
치료용 방사성동위원소  
- I-131, Lu-177, Y-90, Ho-166 등  
RI 생산용 가속기



-02-

## 2015~2020년 전세계 헬스케어 지출 규모

- 아시아 및 전환경제 국가를 중심으로 빠르게 성장

(단위 : 10억 달러, %)

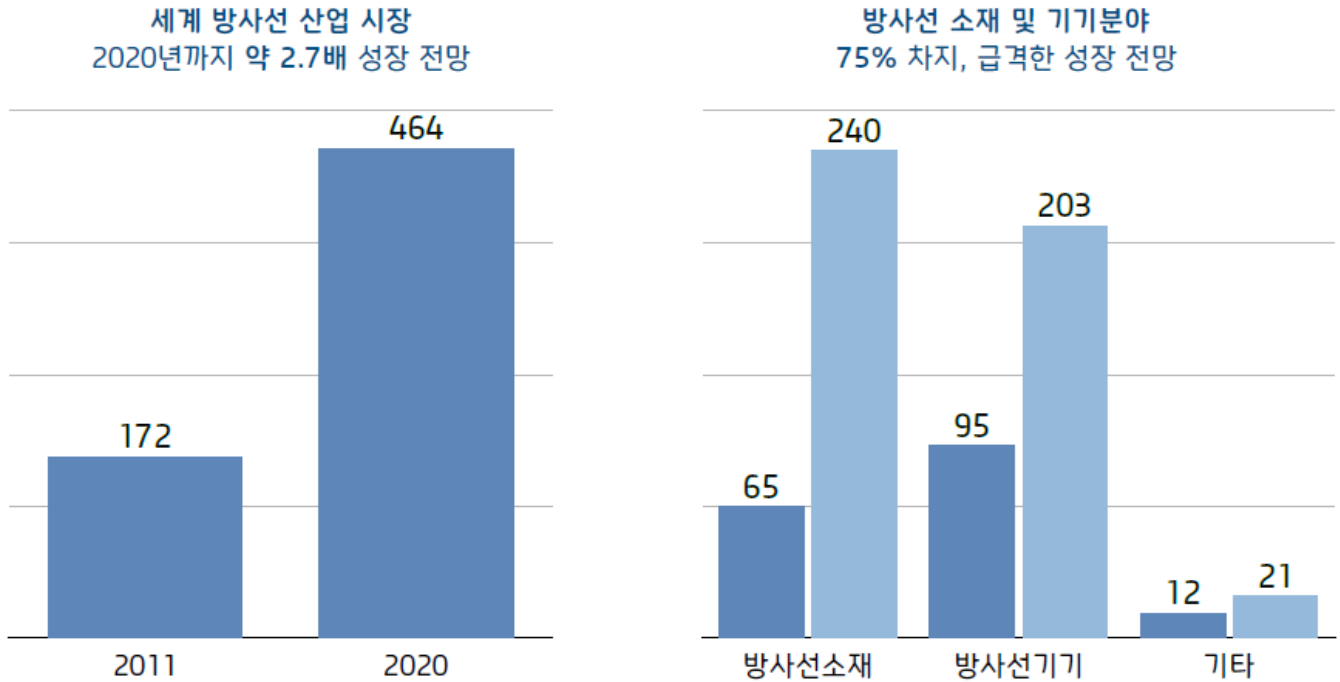
구 분	2015	2020	CAGR (2015~2020)
전세계	7,077.1	8734.6	4.3
북미	3,306.2	4,083.6	4.3
서유럽	1,645.7	2,006.6	4
아시아·오스트레일리아	1,537.5	1,964.9	5
남미	355.7	400.5	2.4
중동·아프리카	112.7	138.9	4.2
전환경제	170.9	246.1	7.5

(출처 : World Industry Outlook, Healthcare and Pharmaceuticals, The Economic Intelligence Unit, June 2016)



# 방사선의학 해외 시장 현황 및 전망

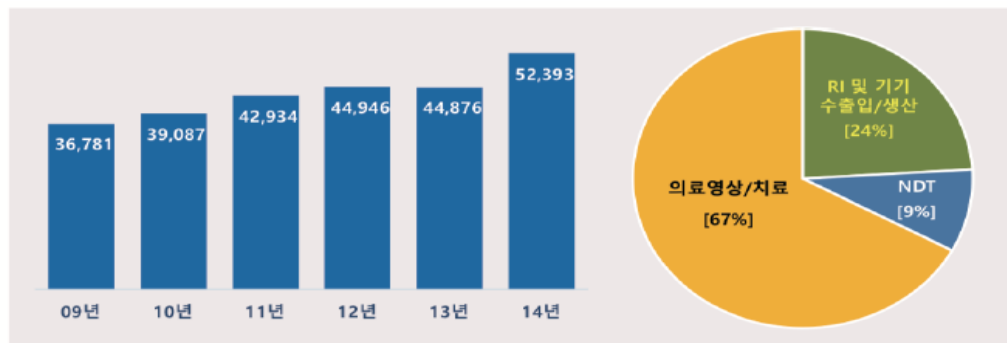
- 세계 방사선 시장 규모는 172조원에서 464조원으로 급증



(출처 : 창조경제 계획과 KARA의 중장기 발전방향, KISTEP, 2014)

## 방사선의학 국내 시장 현황 및 전망 (1)

- 국내 방사선의학 시장 규모는 4조2천억('11년)에서 5조2천억('14년)으로 급증
  - 노령화 사회 진입 및 의료산업 활성화로 방사선 진단, 치료기기 수요 및 신시장 확대

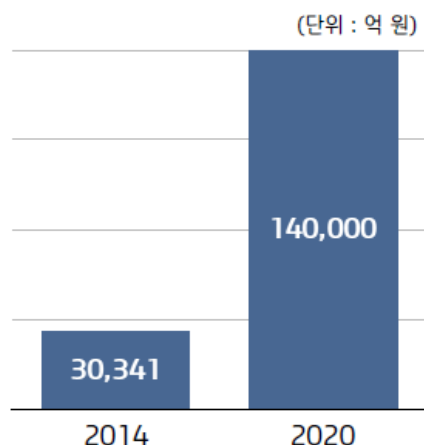


국내 방사선 시장 규모 및 분야별 점유율 (천억, %)

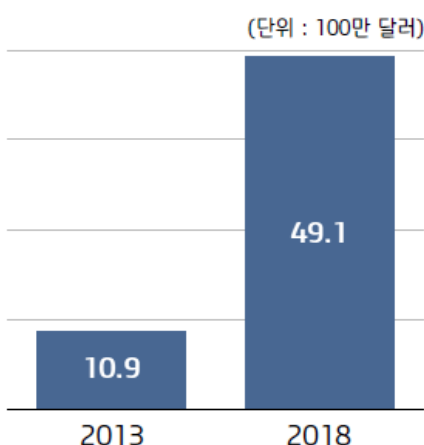
- 국내 방사선의학 관련 의료기관은 31,281개에서 33,471개로 7.0% 증가
  - 관련 종사자 수는 70,666명에서 76,134명으로 7.7% 증가

# 방사선의학 국내 시장 현황 및 전망 (2)

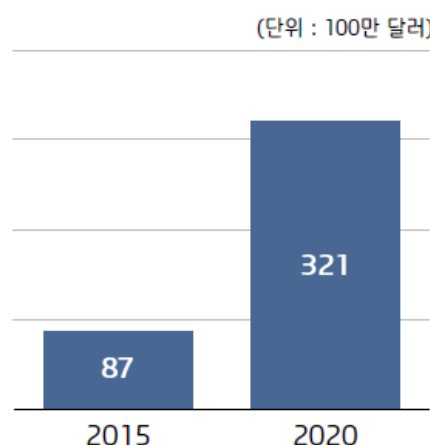
ICT 기반 의료기기 시장 전망



수출용 로봇 시장 전망



의료용 3D 프린터 시장 전망



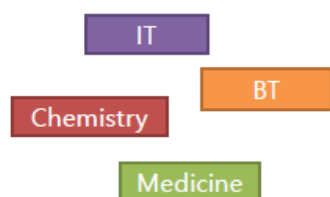
(출처 : 경제와 노후생활, 유-헬스 관련 시장 현황 및 사업 기회, 현대경제연구원, 2014)

(출처 : Image-guided Surgery and Robot-assisted Surgery, Market in Asia-Pacific, Frost&Sullivan, 2014)

(출처 : 3D 프린팅 전략기술 로드맵, 미래창조과학부, 산업통상자원부, 2014)

## 지난 10년간 의생명 과학의 발전 추세

(AACR을 중심으로 하는 연구 동향 변화)



# 2022년의 변화된 미래 모습 (1)

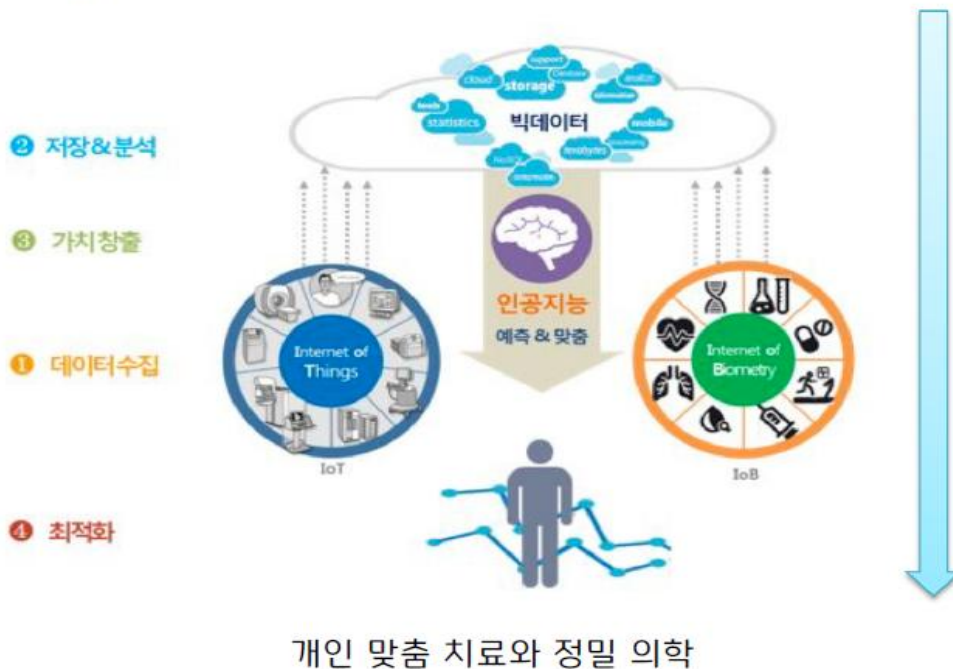
## • 의료 분야

진료정보 전자교류 체계	개인 맞춤형 정밀의료	AI 기반 신약개발 혁신
<p>진료정보 온라인 교류 <b>전국 확산</b></p> <p>건강보험 수가 적용 추진</p> <p>시범사업 수준 → 전국 확대</p> <p>2017 → 2022</p>	<p>맞춤형 건강관리, 정밀진단·치료 <b>건강수명 3세 연장</b></p> <p>73세 → 76세</p> <p>2015 → 2022</p>	<p>신약개발 기간·비용 단축 <b>후보물질 44개 신규 개발</b></p> <p>85개 → 129개</p> <p>2015 → 2022</p>

(출처 : 4차산업혁명위원회)

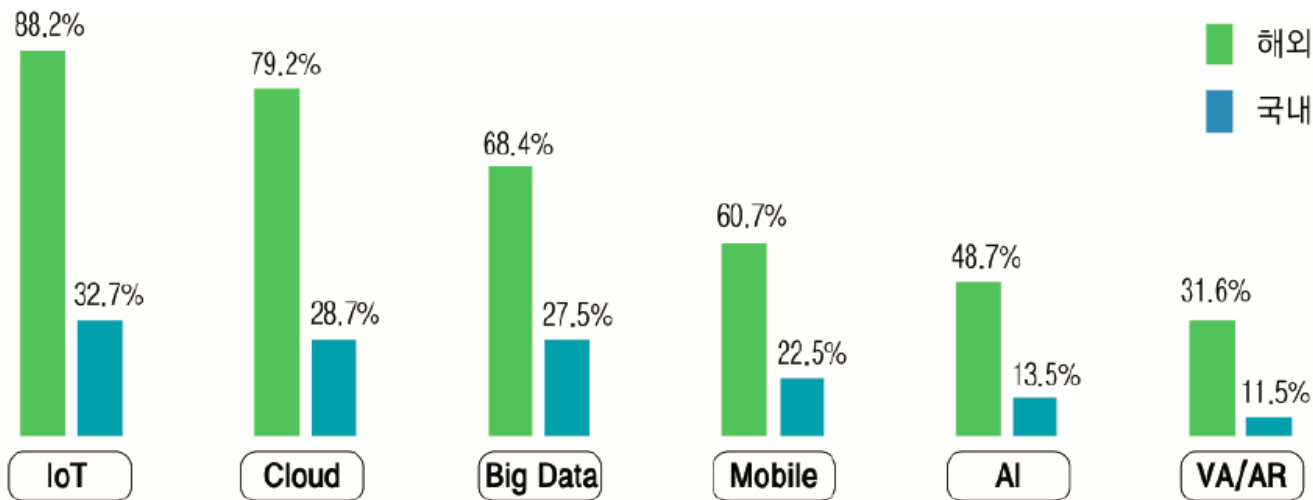
# 2022년의 변화된 미래 모습 (2)

## • O2O 헬스케어



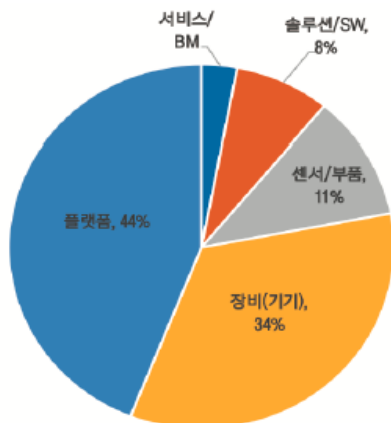
# 방사선의학 국내 기술개발 상황 및 전망

- 해외 대비 4차 산업혁명 대응 기술의 수준 및 역량을 선진국 수준으로 발전시키려면 정부의 역할이 시급히 필요
  - IoT, 빅데이터, 딥러닝 등 4차 산업혁명 대응 기술의 투자 및 보유 기업은 22.7% 수준
  - 해외 주요 기업의 62.8%는 4차 산업혁명 대응 기술을 보유 또는 준비 중

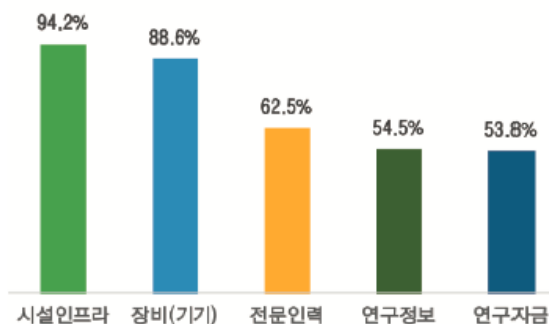


# 방사선의학 국내 기술개발 상황 및 전망

- 플랫폼(데이터), 솔루션(SW) 등의 기술 중요성 대부
  - 방사선의학 중점 기술개발 분야가 장비기술\*(46%)에서 플랫폼기술\*\*(54%)로 이동 중
  - 방사선의학 기술개발 인프라 부족으로 시설(인프라), 장비(기기) 관련 정부지원 수요가 매우 높음



방사선의학 기술투자 희망 분야



방사선의학 기술개발 애로사항 (지원수요)

# 방사선의학 발전방안

- 4차 산업혁명에 부합하는 체계적인 방사선의학 육성 전략 및 중기 계획 변화 필요
- 미래 환경변화 대응의 방사선 기술개발, 신시장 창출, 인프라 강화 등 종합적인 육성 방안 필요



## 방사선의학 비전





# 방사선의학 혁명 청사진 (1)

## 크로스테크놀로지

테크놀로지 융합으로 모든 것을 재생한다

다양한 테크놀로지의 융합이 한층 더 진행되어 인간, 생활, 산업 그리고 지구 환경에 이르는 모든 것이 재생된다  
다학제 융합 및 협동연구 필수

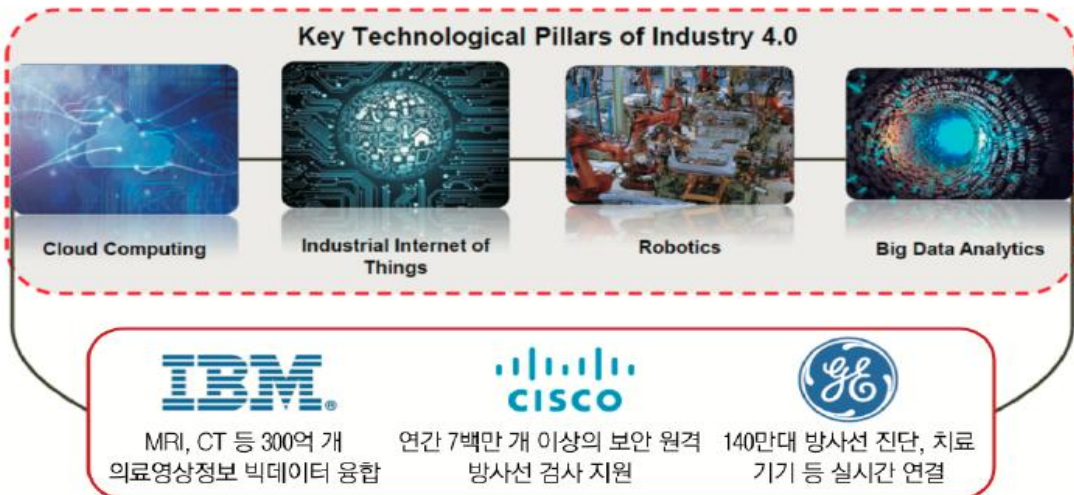


# 방사선의학 혁명 청사진 (2)

## 산업플랫폼

4차산업 혁명 대응기술 선점

ICT 융합 및 신기술(IoT, 딥러닝, 클라우드, 빅데이터 등) 발전으로 방사선의학 산업의 지능화, 자율화 기술개발



# 방사선의학 미래 전망 (3)

## 클러스터링

### 선순환적 기능 클러스터 구축

국가 균형 발전 및 방사선의학 핵심기술개발 거점 구축



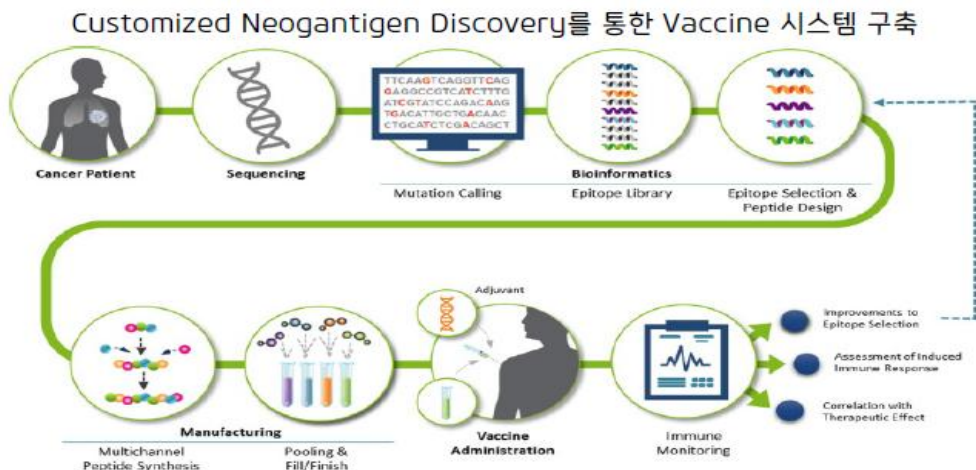
-19-

# 방사선의학 혁명 청사진 (4)

## 신약개발 파이프라인

블록버스터급 혁신신약 개발 및 글로벌 메이저 제약사 창출

정밀의료 구현을 위한 복합 기술 개발을 통해 건강 수명의 증가





# 방사선의학 기대효과 (1)

## • 방사선의료기기 분야

- '14년 방사선기기 2,665억원 수출(통계청) → '23년 1조원 수출 달성
- '23년 2,000명 일자리 창출 (수출기업 200개 육성, 기업당 10.8명 고용 창출)
- '14년 선진국 대비 기술수준 59.0% (과기정통부) → 선진국 대비 기술수준 90%
- '14년 기술자급율 20.8% (KISTEP) → 기술 자급율 80% 이상

## • 방사성의약품 분야

- 2020년 기준 방사성동위원소 생산용 사이클로트론 시장의 20% 점유 시 258백만달러 수출
- 사이클로트론 기반 의료 동위원소 생산시스템 Full Turnkey 수출시 Facility 당 3,600만 달러 수출
- 2014년 기준 국내 방사성의약품 수입의 20% 대체 시 연간 약 21억2천만원 수입 대체 효과
- 2020년 기준 전세계 주요 방사성의약품 시장 점유율 5% 가정시 약 2,750억달러 수출
- 사이클로트론 기반 국가 의료 동위원소 공급체계 구축시 43개 기업, 740명 일자리 창출

# 방사선의학 미래비전 (2)

## • 고령화 사회 대응 분야

- 2012년 65세 이상 노인의 치매유병률은 9.18%로 환자 수는 54만1천명으로 추정되며, 2030년에는 약 127만명, 2050년에는 약 271만명으로 급속한 노령화와 관련하여 치매유병률은 지속적으로 상승
- 국가 총 치매비용은 연간 8조7천억원(2010년)으로 매 10년마다 두배씩 증가할 것으로 추정되며, 1인당 치매로 인한 진료비는 연간 310만원으로, 뇌혈관(204만원), 심혈관(132만원), 당뇨(59만원), 고혈압(43만원), 관절염(40만원)에 비하여 높은 수준
- 2020년 기준 치매 조기 진단 및 치료기술 개발로 인한 치매비용 20% 감축 시 연간 3조7천8백만원 절감

# 제2차 방사선진흥계획

## 비 전

방사선 신가치 창출로 풍요롭고 건강한 사회 구현

## 목 표

방사선 신기술·신산업 강국 진입  
- 방사선 기술분야 고용·매출 창출로 경제성장 견인

4대 정책과제	추진전략
1. 방사선 원천기술 확보	(1) 국가 동위원소 안전공급체계 및 기술경쟁력 확보 (2) 방사선 이용 및 비파괴 산업육성을 위한 원천기술 개발 (3) 방사선 신산업에 대한 수출전략 마련 및 추진체계 정비
2. 방사선의료·바이오 신시장 창출	(1) 국가 동위원소 안전공급체계 및 기술경쟁력 확보 (2) 방사선 이용 및 비파괴 산업육성을 위한 원천기술 개발 (3) 방사선 신산업에 대한 수출전략 마련 및 추진체계 정비
3. 방사선 인프라 내실화	(1) 방사선 시설·장비 활용도 재고 (2) 방사선 전략·기초연구 및 빅데이터 구축 추진 (3) 방사선 기업성장 지원 확대
4. 환경변화 대응역량 강화	(1) 방사선 정책기획 기능 강화 및 기술개발사업 개편 (2) 사회문제 해결형 방사선 기술개발 및 현장 전문인력 양성

## 방사선의학 특별법 제안

### 현황 및 과제

#### ▶ 방사선의학에 대한 법·제도적 여건 합리화

- 선진국의 경우 민간과 시장경제의 원리를 기반으로 자율화

과학기술정보통신부	- 방사선 및 방사성동위원소 이용 진흥 (방사선기술개발사업) - 방사선 관련 관할 및 규제
보건복지부 (식약처)	- 방사성의약품 - 진단용 방사선발생장치 - 방사선치료장비 - 영상의학장비·특수의료기기 (PET/CT, PET 포함)
원자력안전위원회	- 방사선치료장비 (의료용 선형 가속기) - 방사선발생장치 (RI 생산용 가속기)

- 방사선의학의 미래경쟁력 확보를 위해서는 범국가적으로 일원화하여 독립기구로 통합

#### ▶ Startup 기업 진흥 시책

- Positive system 도입을 통한 현장 수요 중심 진흥정책 시행

#### ▶ 투자유치에 대한 방안

- 우수 기술 보유 기업에 대한 기술투자 활성화 방안 필요

- Worldclass Unicorn 육성 방안 마련

#### ▶ 방사선의학 지역간 기업 협력체계 필요

- 대구경북/오송/원주 등 기존 첨단의료기술개발특구의 육성지원 및 네트워크 강화

- 방사선의학 관련 기업 협력/지원 체계 마련

#### ▶ 고령화시대 대응

- 고령화 사회에 급증하는 난치성 질환 정복을 위해 대증적 치료 약물이나 진단법이 아닌 빅데이터, 인공지능, 개인 맞춤형 치료 등의 융합 혁신기술 개발 필요

# 방사선의학 특별법 제정 방안

- 목적

- 4차 산업혁명 시대 대응 및 방사선의학의 혁신적 발전을 위한 한시적 특별법 제정

- 내용

- 방사선의학 발전을 위한 특별 Fund 조성
- 방사선의학 클러스터의 규제 Free Zone
- 방사선의학 육성을 위한 국가 독립 전담 기구 신설
- 방사선의학 정책수립 및 국가자문 Brain Pool 구성
- 방사선의학 인력양성을 위한 특수목적대학원 신설
- 방사선의학 국제협력 네트워크 구축
- 북한 의료지원을 위한 남북방사선의학협력기구 설립

# 의료용 사이클로트론 기술개발

정인수

한국원자력의학원



발표자 성명: 정인수

발표자 약력:

성균관대학교 전자공학 박사

한국원자력의학원 의생명협력연구팀장

대한방사선방어학회 학술위원

의료입자방사선연구회 기술위원

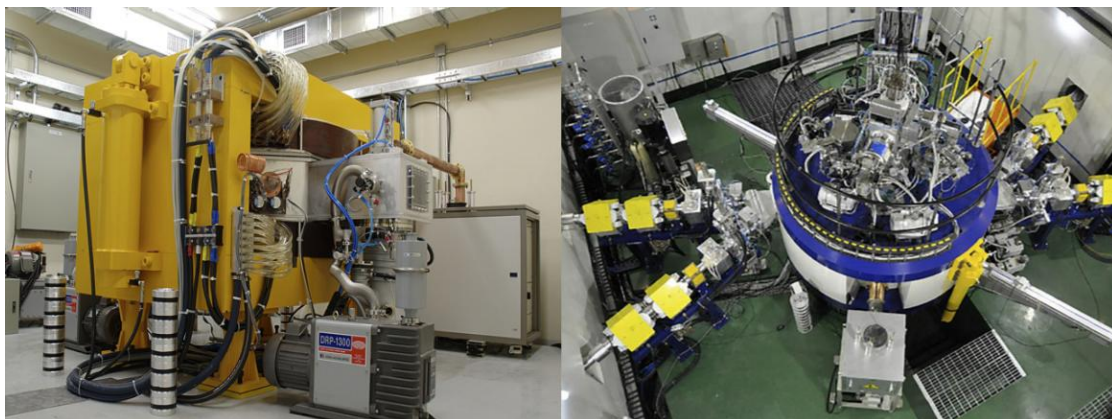
# ABSTRACT

한국원자력의학원 2001년 국내 최초 의료용 사이클로트론, KIRAMS-13 개발에 성공하였으며, 이를 바탕으로 전국 7개 권역별 사이클로트론 연구소 및 베트남 Hanoi Irradiation Center 구축을 수행하였다. 또한 SPECT용 동위원소 대량 생산을 위한 30MeV 사이클로트론, KIRAMS-30을 개발하여 정읍 첨단방사선연구소에서 방사성동위원소 연구 및 생산에 활용하고 있다.

이와 같이 한국원자력의학원은 국내 유일 사이클로트론 개발기술을 보유한 연구기관으로써, 2017년 한국원자력의학원 제1호 연구소기업을 설립하여 사이클로트론 산업 활성화를 위해 노력하고 있다.

국내 사이클로트론 시장은 일시적으로 침체되고 있으나 전세계 사이클로트론 시장은 개발도상국을 중심으로 지속적인 성장을 유지하고 있다.

국산 사이클로트론의 해외 시장 진출 및 국내 시장 확대를 위해서 한국원자력의학원 NCT용 사이클로트론 개발과 같은 미래 기술 개발 및 신시장 창출을 위한 수요중심의 기술개발 등 다양한 노력을 진행 중이다.

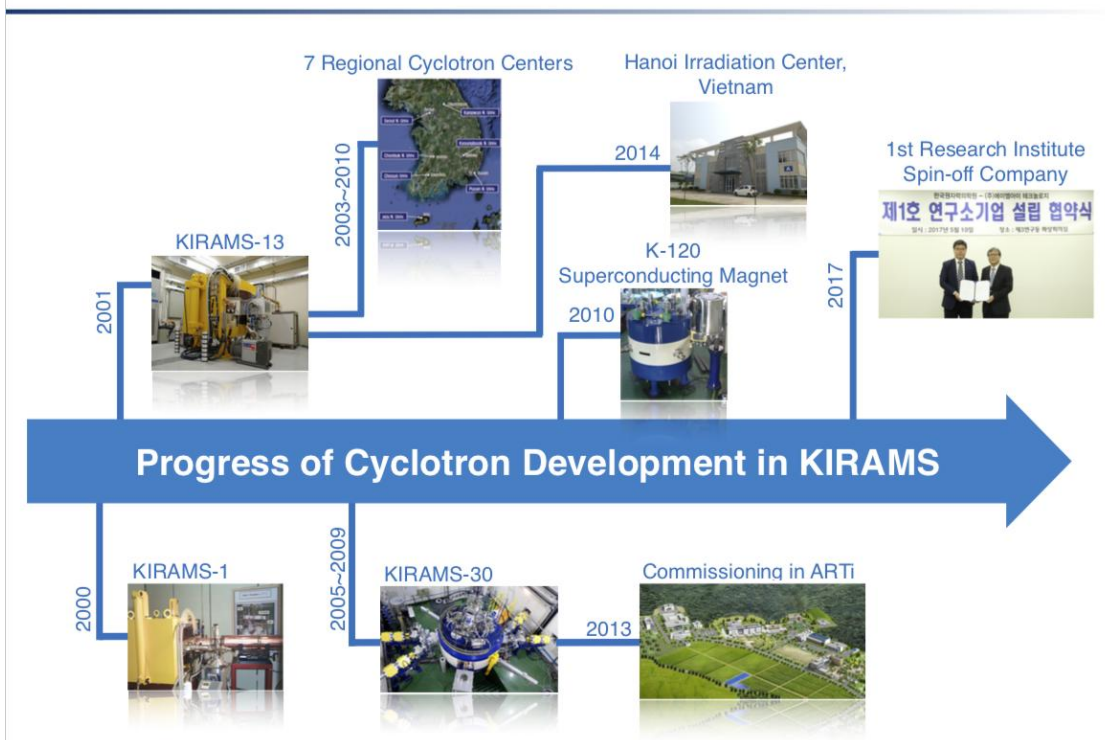


# 의료용 사이클로트론 기술 개발

국산 사이클로트론 개발 및 미래전망



## 국산 사이클로트론 개발 연혁





# KIRAMS-1



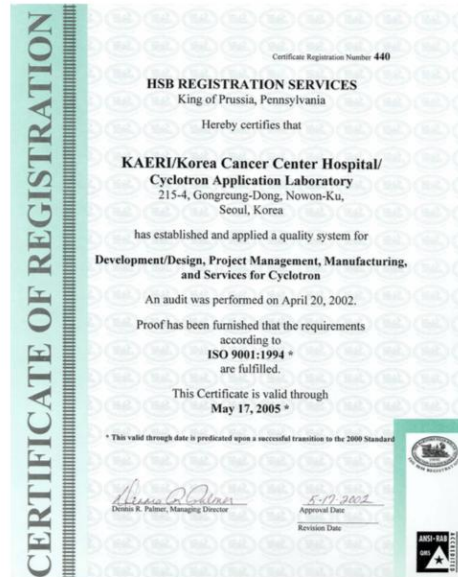
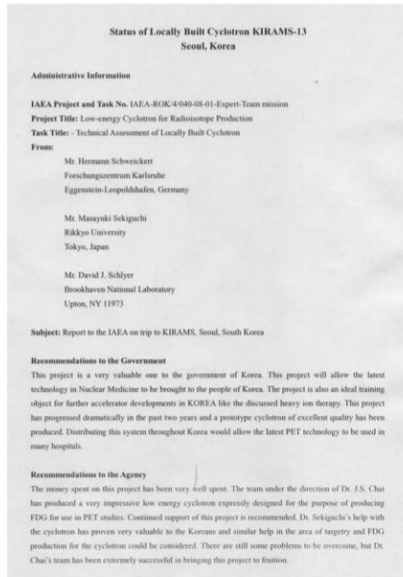
Ion Source	Type	PIG
	Extracted Ions	H <sup>+</sup> , D <sup>-</sup>
Magnet	Type	H
	Average Field	1.2 T
RF	Frequency	20 MHz
	Harmonic Number	2
	No. of Dee	2
	Amp. Power	1.8 kW
Extraction	Type	Stripper Carbon Foil
	Beam Energy	1 MeV

# KIRAMS-13

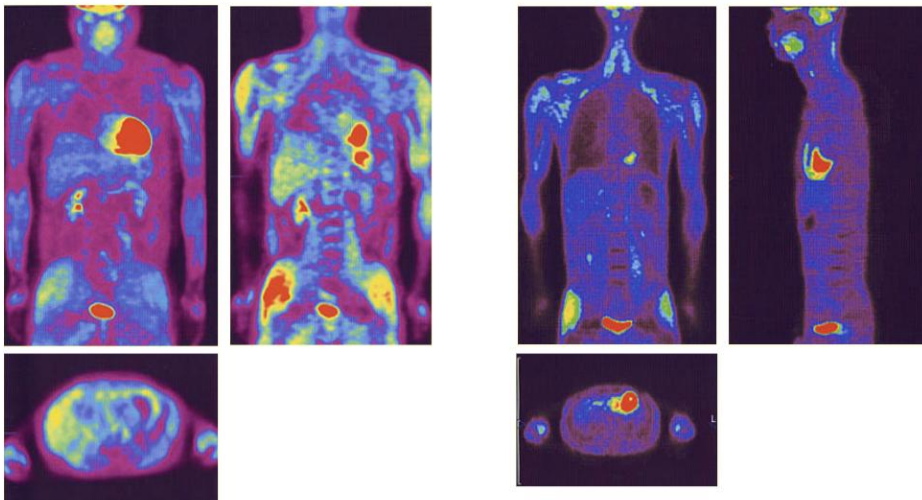


Ion Source	Type	Internal Cold Cathode PIG
	Extracted Ion	H <sup>+</sup> , D <sup>-</sup>
Magnet	Type	H
	No. of Sector	4
	Pole Diameter	0.96 m
	Hill / Valley Gap	5 / 14 cm
	$\mu_r / \mu_z$	1.022 / 0.25~0.3
	$B_{\max}(\text{Hill}) / B_{\max}(\text{Valley})$	1.92 / 0.84 T
	Coil Current	466 A
	Power Consumption	36 kW
RF	Frequency	77.3 MHz
	Harmonic Number	4th
	No. of Dee	2
	Dee Angle	39 deg
	Dee Voltage	40 kV
Extraction	Type	Stripper Carbon Foil
	Energy / Current	13 MeV / 50 $\mu$ A

# KIRAMS-13



# KIRAMS-13



# 권역별 사이클로트론 연구소 구축



Main Institute	Project Period
Kyoungbook N. Univ. Hospital	2003.07.01 ~ 2005.06.30
Chosun Univ.	2003.07.01 ~ 2006.02.28
Pusan N. Univ.	2004.07.01 ~ 2007.09.30
Seoul N. Univ. Bundang Hospital	2004.07.01 ~ 2007.12.31
Kangwon N. Univ. Hospital	2004.11.08 ~ 2010.02.28
Chonbuk N. Univ. Hospital	2005.07.01 ~ 2009.01.31
Jeju N. Univ. Hospital	2005.07.01 ~ 2010.02.28

## KIRAMS-30



Ion Source	Type	Multicusp
	Max. Extraction Beam Current	10 mA
Injection	Extracted Ions	Negative Hydrogen
	Components	Eingel lens Buncher Faraday cup Solenoid lens
Magnet	Pole / Extraction Radius	0.81 / 0.736 m
	Height / Diameter	1.94 / 2.7 m
	Hill Angle	48 deg
	Center Field	1.05 T
	Radial / Vertical tunes	1.1 / 0.75
	Operating Coil Current	134 A
	Consumption Power	12 kW
RF	Frequency	63.96 MHz
	Harmonic Number	4th
	No. of Dee	2
	Dee Angle	39 degree
	Amp. Power	50 kW
Extraction	Stripper Carbon Foil	50 ug/cm <sup>2</sup>
	Extracted Ions	Proton
	Beam Current	Max. 300 uA
	Beam Energy	15~30 MeV
	No. of Extraction Port	2
	No. of Beam Line	4
	Beam Irradiation	Dual Available
Beam Transport Line	Components	Steering Magnets
		Faraday cup
		Triplet Quadruples
		AC Magnet



# KIRAMS-30



## 베트남 Hanoi Irradiation Center 구축



- ▶ 원자력기반확충사업 : 사이클로트론 및 RI생산설비 공여
- ▶ 사업기간 : 2008~2014
- ▶ 예산 : 2,400백만원 (정부출연금 1,800백만원, 기업부담금 600백만원)

# 사이클로트론 시장 현황

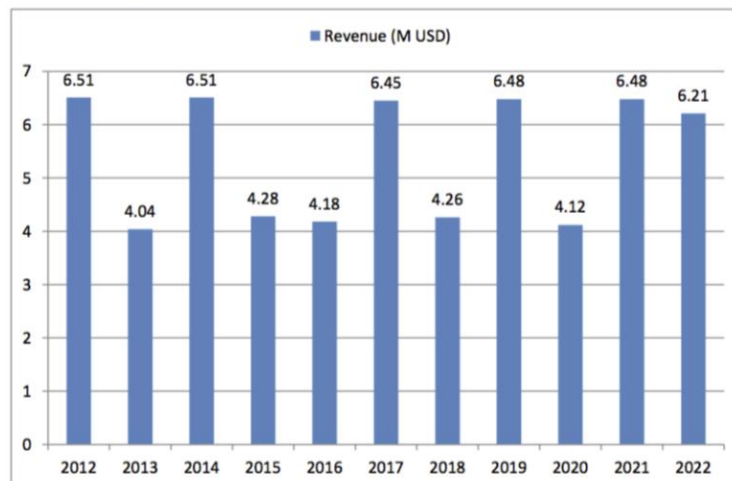
- 국내시장

- ▶ 사이클로트론 공급 포화
- ▶ 핵의학 영상진단에 관한 보험 적용 범위 축소
- ▶ 방사성의약품 생산에 관한 GMP 규정 강화
- ▶ 치매진단용 방사성의약품 개발 및 수입
- ▶ 기존 시설 폐쇄에 따른 틈새 시장 확대

# 사이클로트론 시장 현황

- 국내시장

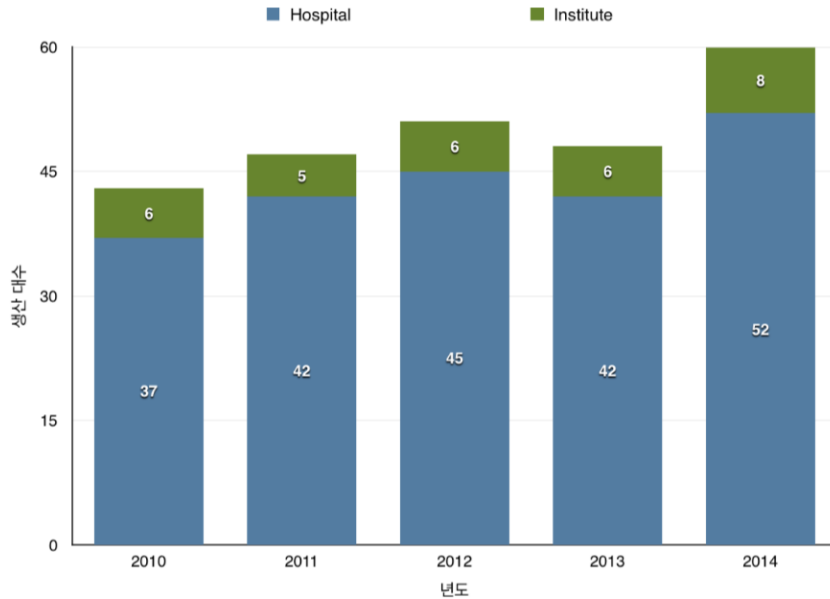
**Figure Korea Medical Cyclotron Revenue (M USD) Development Trend (2012-2022)**



Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

# 사이클로트론 시장 현황

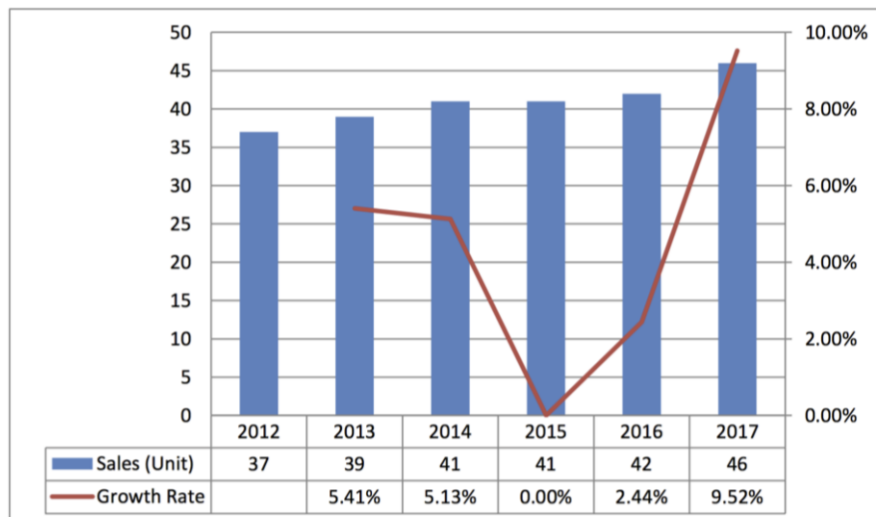
- 해외시장



# 사이클로트론 시장 현황

- 해외시장

**Figure Global Medical Cyclotron Sales (Unit) and Growth Rate (2012-2017)**

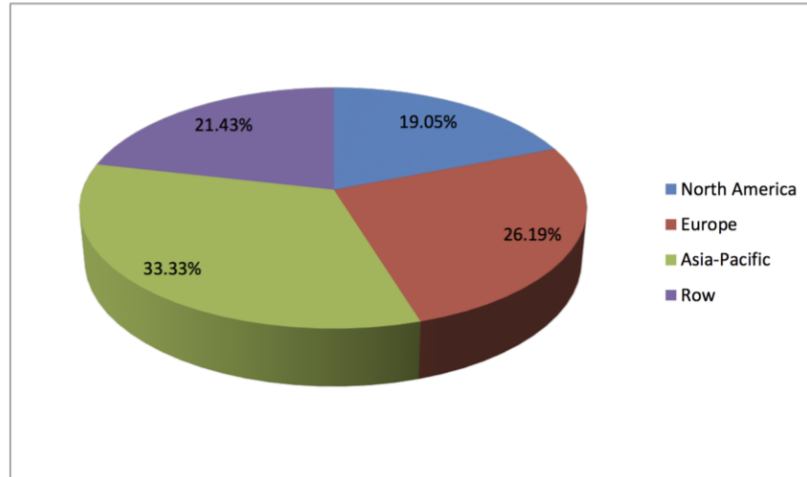


Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

# 사이클로트론 시장 현황

- 해외시장

Figure Global Medical Cyclotron Revenue Market Share by Regions in 2016

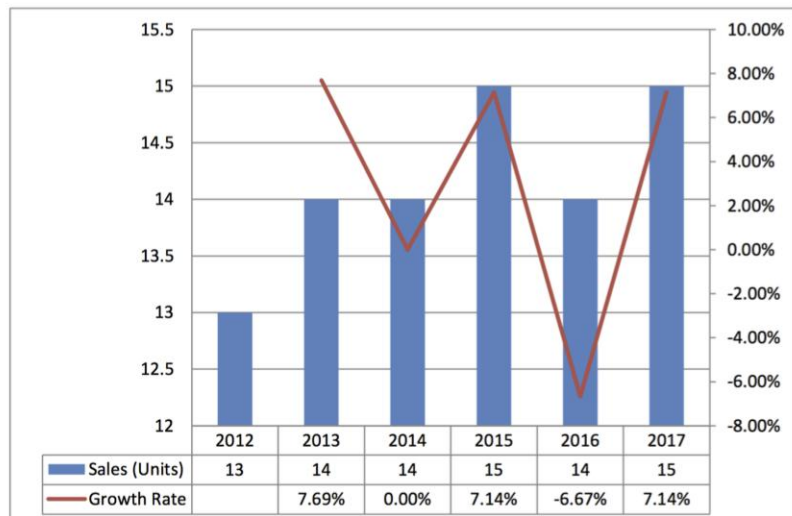


Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

# 사이클로트론 시장 현황

- 해외시장

Figure Asia-Pacific Medical Cyclotron Sales and Growth Rate (2012-2017)



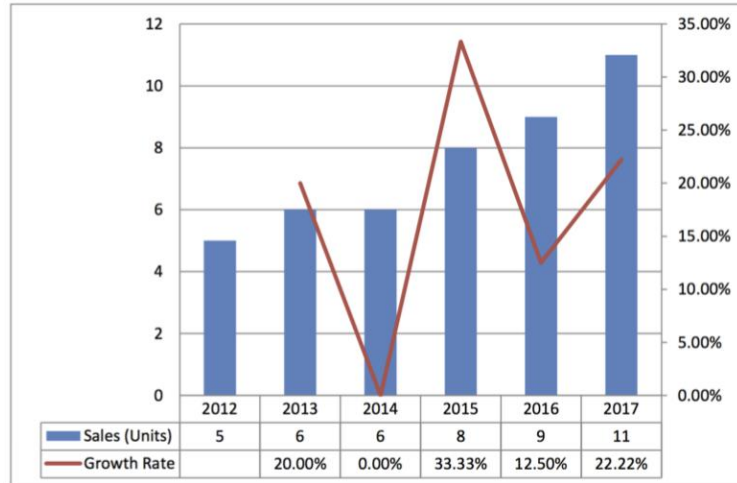
Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017



# 사이클로트론 시장 현황

- 해외시장

**Figure South America, Middle East and Africa Medical Cyclotron Sales (Unit) and Growth Rate (2012-2017)**

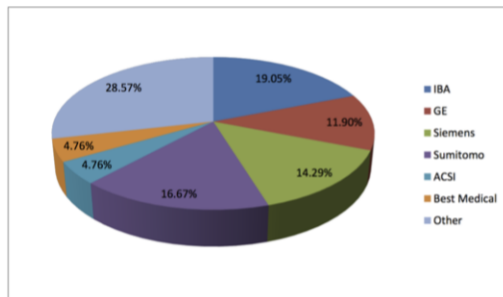


Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

# 사이클로트론 시장 현황

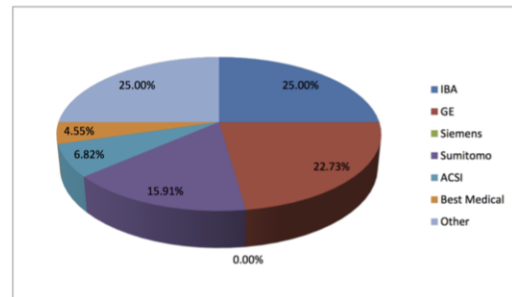
- 해외시장

**Figure Global Medical Cyclotron Sales Market Share by Manufacturer in 2016**



Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

**Figure Global Medical Cyclotron Sales Market Share by Manufacturer in 2017**



Source: Expert Interviews, Secondary Sources and GIR Analysis, 2017

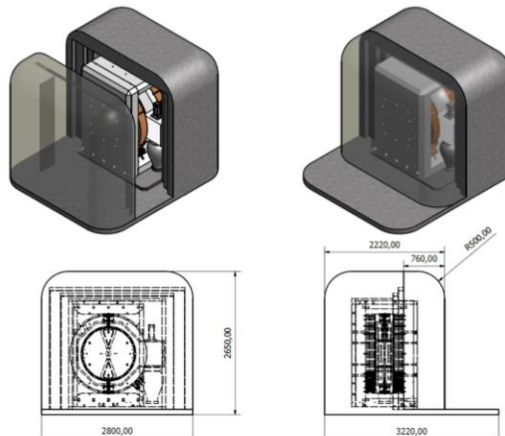
# 미래 대응 전략

- 지속적인 기술개발
  - ▶ 수출형 13MeV 사이클로트론 개발



# 미래 대응 전략

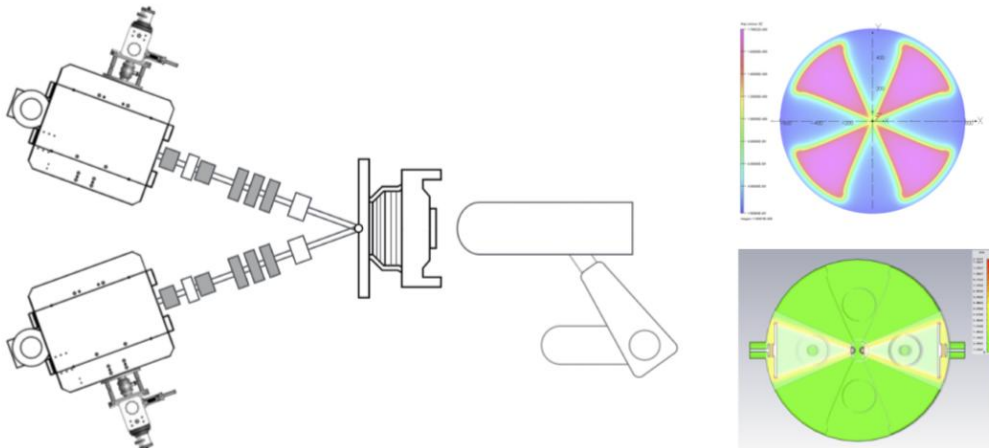
- 타겟 시장 특화 제품 개발
  - ▶ Dose on Demand 소형 방사성의약품 생산시스템 개발
  - ▶ 9.8MeV 사이클로트론 개발



# 미래 대응 전략

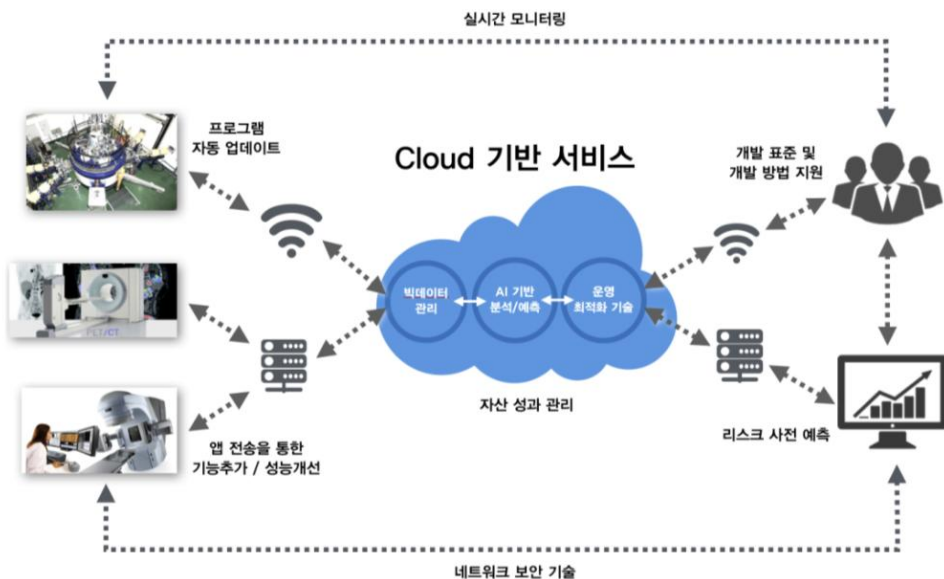
- 신시장 개척

- ▶ 사이클로트론 기반 BNCT 시스템 개발



# 미래 대응 전략

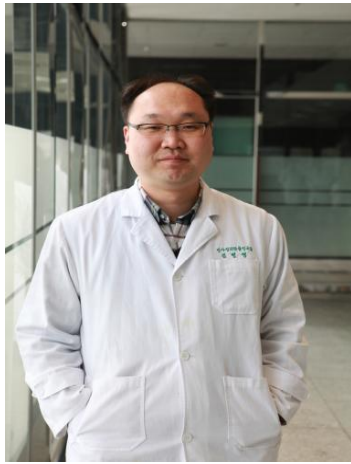
- 산업플랫폼 기술 융합



의료 동위원소 활용  
융복합기술개발

김정영

한국원자력의학원



발표자 성명: 김정영

발표자 약력:

1993-2000 한국외국어대학교 화학과 학사

2000-2002 한국외국어대학교 무기재료 석사

2003-2011 한국외국어대학교 방사화학 박사

2002-2004 서울아산병원 핵의학과 연구원

2004-2006 화순전남대학교병원 핵의학과 연구원

2006-현재 한국원자력의학원 선임연구원 재직

2015-현재 대한방사성의약품학회 편집위원

# 의료 동위원소 활용 융복합기술 개발

- KIRAMS의 연구결과 중심 -

RI응용중개연구팀

2018.05.16

김 정 영

([jkim@kirams.re.kr](mailto:jkim@kirams.re.kr))



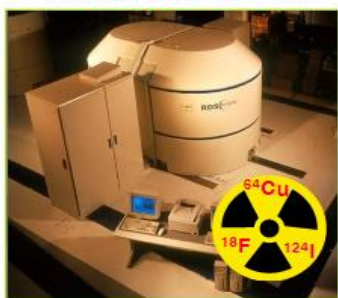
한국원자력의학원



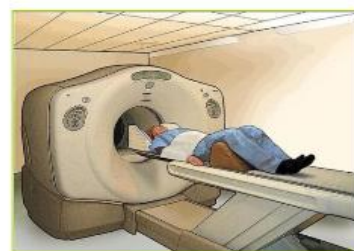
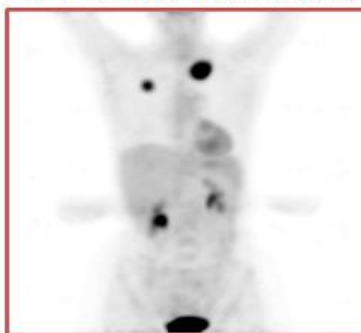
## Nuclear Medicine & Radiopharmacy

Positron Emission Tomography (양전자방출단층촬영)

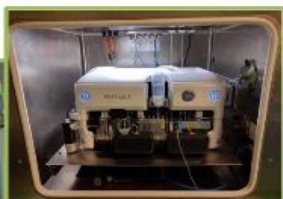
사이클로트론  
(의료용 방사성동위원소 생산)



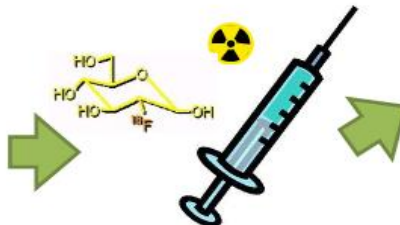
PET 영상(암조기진단, 종양의 생리학적 크기 및 위치, 치매, 간질, 파킨슨병 등)



방사성의약품 합성 & QC



의약품 제조 공정과 동일  
투여 당일 생산 및 공급



방사성의약품  
(Radiopharmaceutical)

환자 주사



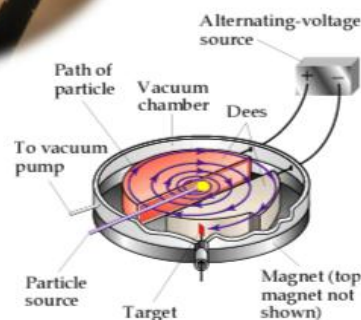


# 사이클로트론 의료 RI 생산기술의 장점

- 전자석으로 구성되어,
- 전기로 작동하는,
- 사이클로트론은,
- 연구용 원자로에 비해,
- 설치비가 적게 들고,
- 운영비가 적게 들고,
- 방사성이물질이 적고,
- 방사선사고로부터 안전하고,
- 맞춤형 생산이 가능하고,
- 의료용 방사성동위원소 생산에 최적화된,
- 생산기법으로,
- 병원이나 연구소 등에 운영 가능



연구용 원자로



## Cyclotron-Produced RI ???

### PET 진단용 방사성동위원소

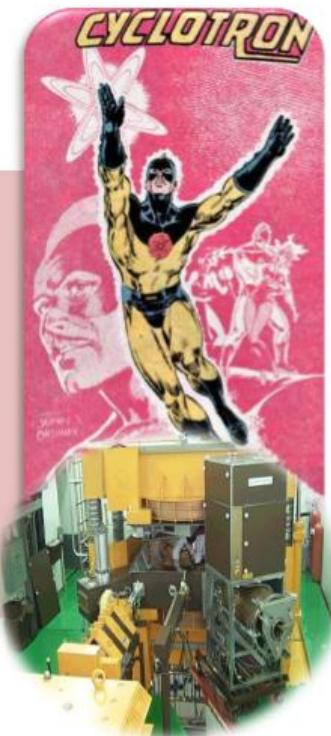
- 비금속 :  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{76}\text{Br}$ ,  $^{124}\text{I}$  등
- 금속 :  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{68}\text{Ga}$ ,  $^{86}\text{Y}$  등

### SPECT 진단용 방사성동위원소

- 비금속 :  $^{123}\text{I}$  등
- 금속 :  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  등

### 치료용 방사성동위원소

- 금속 :  $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{211}\text{At}$ ,  $^{117\text{m}}\text{Sn}$ ,  $^{186}\text{Re}$  등



# Medical Cyclotrons in KIRAMS

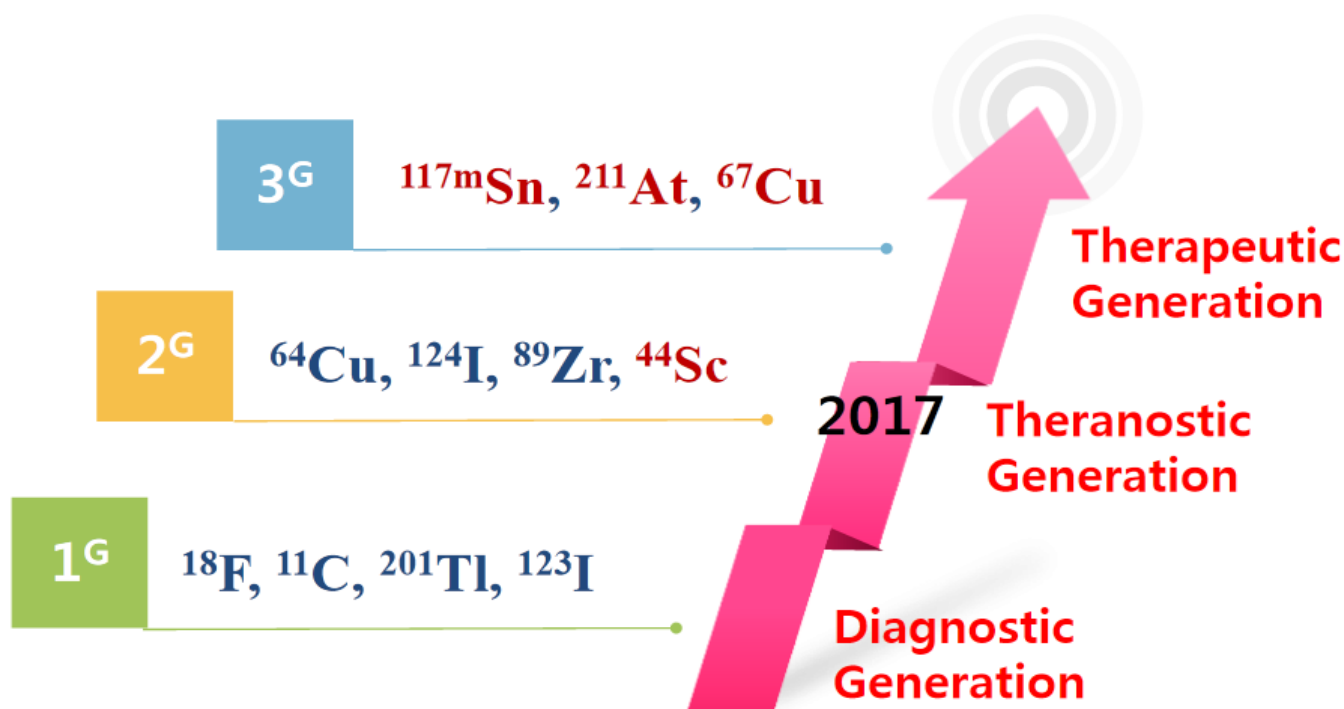
Energy (Proton beam)	Producer	Beam	Target Isotopes
50 MeV	Scantronix (1985)	Alpha Deuteron Proton	$^{64}\text{Cu}$ (PET), $^{124}\text{I}$ (PET), $^{89}\text{Zr}$ (PET), $^{18}\text{F}$ (PET), $^{44}\text{Sc}$ (PET), $^{117\text{m}}\text{Sn}$ (beta), $^{211}\text{At}$ (alpha), $^{67}\text{Cu}$ (beta)
30 MeV	IBA (2000)	Proton	$^{18}\text{F}$ (PET), $^{11}\text{C}$ (PET), $^{123}\text{I}$ (SPECT), $^{201}\text{Tl}$ (SPECT)
16.5 MeV	GE (2018)	Deuteron Proton	$^{18}\text{F}$ (PET), $^{11}\text{C}$ (PET)



## Research History of KIRAMS-RI

- 1986년 MC-50 가속기(Scanditronix사, 스웨덴) 설치 및 운영
- 1989년 국내 최초 SPECT 진단용 방사성동위원소  $^{67}\text{Ga}$  개발 및 보급
- 1990년 국내 최초 SPECT 진단용 방사성동위원소  $^{201}\text{Tl}$ (심장질환) 개발 및 보급
- 1990년 국내 최초 SPECT 진단용 방사성동위원소  $^{123}\text{I}$  개발 및 보급
- 1992년 국내 최초 연구용 방사성동위원소( $^{111}\text{In}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$  등) 개발 및 보급
- 1995년 국내 최초 PET 진단용 방사성동위원소  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$  개발 및 보급
- 1995년 국내 최초 PET 암진단용 방사성의약품 [ $^{18}\text{F}$ ]FDG, [ $^{11}\text{C}$ ]메티오닌 개발 및 보급
- 2002년 Cyclone-30(IBA사, 벨기에) 설치
- 2003년 국내 유일 방사성동위원소  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{123}\text{I}$ 의 대용량 공급체계 구축
- 2003년 국내 최초 SPECT 암진단용 방사성의약품 [ $^{123}\text{I}$ ]mIBG 개발 및 보급
- 2005년 국내 최초 PET 진단용 방사성동위원소  $^{124}\text{I}$  개발 및 보급
- 2006년 국내 최초 치료용 방사성동위원소  $^{103}\text{Pd}$  개발
- 2007년 국내 최초 PET 진단용 방사성동위원소  $^{64}\text{Cu}$  개발 및 보급
- 2007년 국내 최초 PET 암진단용 방사성의약품 [ $^{64}\text{Cu}$ ]ATSM 개발 및 보급
- 2012년 국내 최초 PET 진단용 방사성동위원소  $^{89}\text{Zr}$  개발

# Cy-RI Research Trend in Nuclear Medicine



## 방사선기술개발사업('17.05-'20.01)

### 미래선도 PET-RI 기술개발사업 및 실용화

#### 한국원자력의학원 RI융합부 (1세부과제)

##### 중양성자빔 → \*RI(3종) 개발

- RI 생성을 위한 중양성자빔 (D<sup>+</sup>) 인출 및 표적기술
- 생산능력 선진국화
- $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{124}\text{I}$  중심 개발
- 정제기술 고도화 & 자동화
- RI별 표지기술 향상



#### (주)카이바이오텍 (2세부과제)

##### 신규 RI 실용화 연구

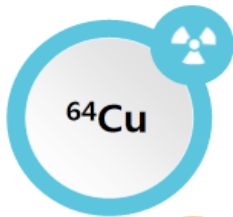
- RI 특성별 차폐기술
- RI 특성별 포장기술
- GMP 포장, 관리매뉴얼
- KINS 허가
- 국내 이용자그룹 조직

#### 국내 대학 및 의학연구소

- 이용자그룹에 의한 수요
- 활용방안 구체화(임상시험)
- 기관 간 기술협업 추진동력
- RI 기술 피드백



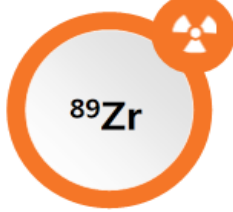
# 미래선도 PET-RI 3종 이란???



- 양전자방출 방사성동위원소 → 511KeV 감마선 방출
- 물리적 반감기 : 12.7 시간
- 적용 연구: 종양 PET 진단(ATSM, 펩타이드 & 항체, 치료용 <sup>67</sup>Cu의 모니터링)



- 양전자방출 방사성동위원소 → 511KeV 감마선 방출
- 물리적 반감기 : 4.2 일
- 적용 연구: 갑상선암 PET 진단, 나노입자/<sup>131</sup>I 모니터링 등



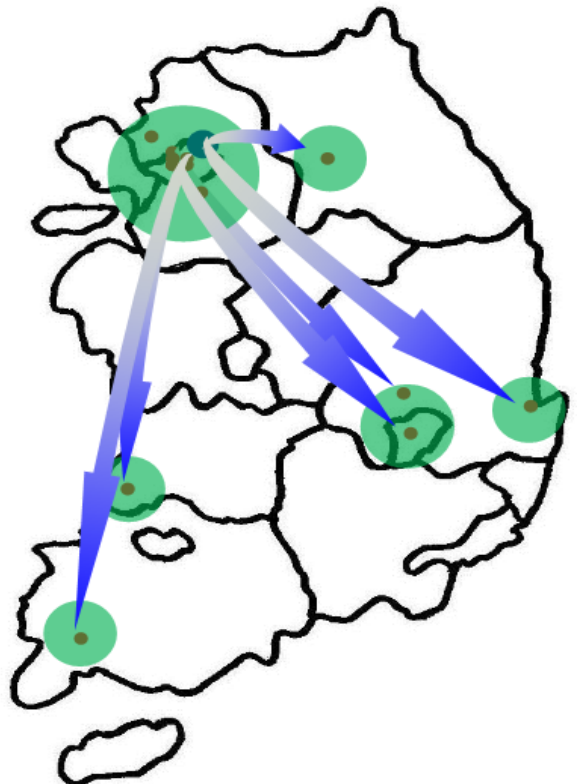
- 양전자방출 방사성동위원소 → 511KeV 감마선 방출
- 물리적 반감기 : 3.3 일
- 적용 연구: 종양 PET 진단(항체의약품의 모니터링 → 임상시험 진입)

※ 상기 RI 판매가격: 약 €300/mCi(포장 및 운반비 별도, 출발시점 기준)  
- ECA 주최 '유럽 방사성의약품 GMP 교육'에서 조사, 2017년 2월

## <sup>64</sup>Cu & <sup>124</sup>I 연구지원현황

### 방사성동위원소 지원 공급 기관

- (1) 서울대학교 병원 (2)
  - (2) 서울아산 병원
  - (3) 삼성서울 병원 (2)
  - (4) 신촌세브란스 병원
  - (5) 아주대학교 병원
  - (6) 경북대학교 의과대학
  - (7) 칠곡 경북대학교 병원
  - (8) 화순 전남대학교 병원
  - (9) 정음 첨단 방사선연구소
  - (10) 연세대학교 (원주)
  - (11) 포항공과대학교
  - (12) 한국원자력의학원 분자영상연구부(자체)
- (국제협력지원) 싱가포르 국립대학교



# 국내 기술 주요 파급효과

## 임상시험 지원

▶  **$^{64}\text{Cu}$ -ATSM** (식약처 승인);  
저산소증 종양 진단(종양학과, 한국원자력의학원 & 신촌세브란스병원)

▶  **$^{64}\text{Cu}$ -DOTA-Trastuzumab &  $^{64}\text{Cu}$ -NOTA-Trastuzumab** (식약처 접수);  
유방암 진단(외과, 한국원자력의학원)

KINS  
생산허가  
취득



## 국내 주요 논문 지원 실적

PET-RI	Cu-64 (32)	I-124 (11)	Zr-89 (2)
2016년 (13)	Amino Acids(2) J. Nucl. Med.(2) Nucl. Med. Commun.(1) Biochem. Biophys. Res. Comm.(1) Nucl. Eng. Tech. (1) Nucl. Med. Commun.(1) Cancer Biother. Radiopharm. (2)	Appl. Radiat. Isot. (1) Mol. Imaging Biol. (1)	Mol. Pharm.(1)
2015년 (9)	EANMMI Res. (1) PloS One (1) Nucl. Med. Commun.(1) Int. J. Oncol.(1) Inorg. Chem. (1) ACS Med. Chem. Lett.(2)	Biochem. Biophys. Res. Comm.(1)	Cancer Biother. Radiopharm. (1)
2014년 (6)	J. Nucl. Med.(1) Nucl. Med. Biol. (1) J. Med. Chem. (1) ACS Med. Chem. Lett.(1) Bioconj. Chem.(1)	ACS Med. Chem. Lett.(1)	
2013년 (4)	Nucl. Med. Biol. (1) Biomaterials(2) Bioconj. Chem.(1) ACS Med. Chem. Lett. (1)		
2012년 (5)	Nucl. Med. Biol. (1) Bioconj. Chem.(2)	Bioorg. Med. Chem.(1) J. Korean Med. Sci (1)	
2010년 (3)	Nucl. Med. Mol. Imaging(1) Appl. Radiat. Isot. (1)	Appl. Radiat. Isot. (1)	
2008년 (1)		Angewandte Chemie(1)	
2007년 (2)		J. Med. Chem. (1) J. Label. Comp. Radiopharm(1)	
2005년 (1)		J. Nucl. Med.(1)	
RI 개발 년도	2009년	2005년	2014년

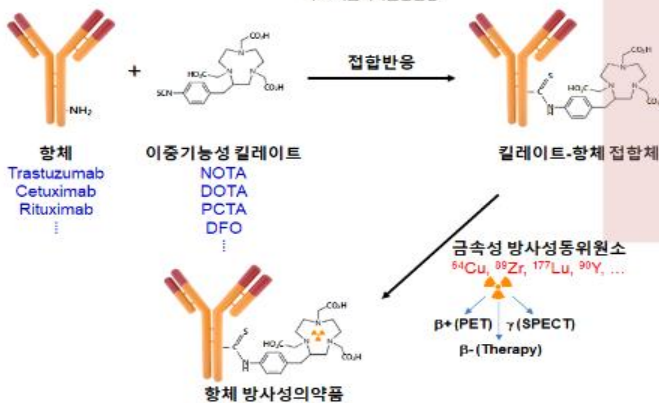
## $^{64}\text{Cu}$ 활용 기술 및 연구 사례

바이오시밀러 추진 의약품 시장규모

단위:달러, ( )안은 특허만료

약품명	용도	79억 (2012년)
엔브렐	류마티스관절염	79억 (2012년)
휴미라	류마티스관절염	79억 (2016년)
레미케이드	류마티스관절염, 크론병	72억 (2013년)
리툭산	비호지킨림프종	66억 (2015년)
허셉틴	유방암	58억 (미국:2019, 유럽:2014년)
아바스틴	직결장암	58억 (2019년)
에포젠	조혈속진호르몬	37억 (2013년)

자료:식품의약품안전청



**$^{64}\text{Cu}$ -DOTA-trastuzumab과  $^{64}\text{Cu}$ -NOTA-trastuzumab**  
임상시험(RI연구부-핵의학과-유방암센터 협업) 지원

**74용실험**  
조직검사 없이 난치성 유방암 정확히 집어낸다

연구: 2017.11.05, 13.76, 5.25, 8.76

(서울신문)여성암 중 하나인 유방암은 발병 원인을 아직 정확히 모르기 때문에 유방암 발병 확률을 정확히 어렵다는 문제가 있다.

유방암 환자에서 암 조직을 정확히 찾아내는 것은 매우 중요한 과제이다. 그러나 기존의 조직검사는 암 조직을 정확히 찾아내는 데 한계가 있다. 최근에는 PET-CT를 이용하여 암 조직을 정확히 찾아내는 기술이 개발되고 있다.

한국원자력의학원 유방암 연구팀은 방사성동위원소인 구리-64( $^{64}\text{Cu}$ )를 이용한 양전자방출단층촬영(PET-CT)으로 유방암의 표적치료 효과와 진단을 예측하는 기술을 개발했다고 6일 밝혔다.

PET-CT는 암 초기진단과 치료에 사용되는 영상진단검사법 중 하나로 암세포 주변에 초정밀 방사성동위원소 집속되도록 해 암의 위치, 크기, 전이 및 성장 정도를 파악하는 기술이다.

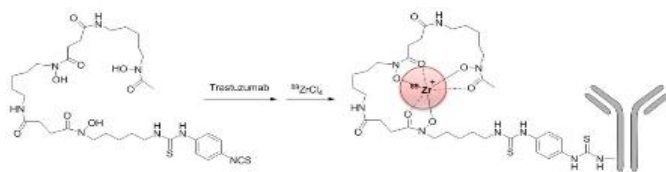


**ABSTRACT:** To obtain an indirect immunological assay for the diagnosis of inflammation involving the nodal use of *Escherichia coli* serotype O157:H7 (EHEC O157:H7) probes for the visualization of antigen and compared it with that of *Salmonella*  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -gal) and another *E. coli* serotype O157:H7 antigen. High specificity in serotype O157:H7 probe for the tissue in mice. The inflammatory lesions and necrosis were clearly identified by EHEC O157:H7 probe. The results of the immunological assay were compared with the histological results. High sensitivity in the tissue at an early time point after infection and in inflammation at a delayed time point after infection (day 14). Through identifying exotoxins, a few serotypes of *Salmonella* and *Escherichia coli* were observed in the tissue lesions with the highly  $\beta$ -galactosidase activity. In a fluorescent antibody (FA) mouse model, *Es. coli* serotype O157:H7 probe results demonstrated a high level of sensitivity in the tissue lesions. The results of this study suggest that the use of EHEC O157:H7 probe for the diagnosis of inflammation.

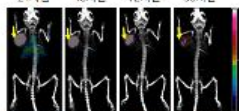
**KEYWORDS:** *Escherichia coli*, *Salmonella*, tissue, inflammation, infection, FA, mouse model.



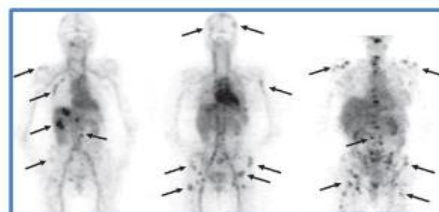
# <sup>89</sup>Zr 활용 기술 및 연구 사례



<sup>89</sup>Zr-Df-trastuzumab 종양 진단 PET 영상

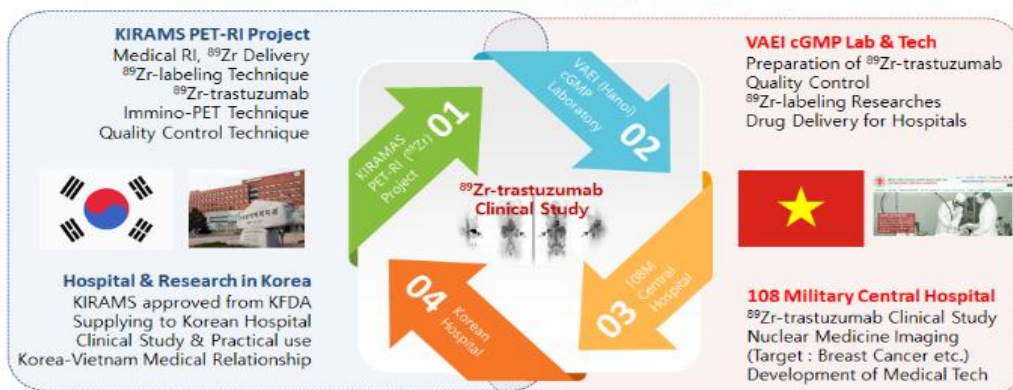


소용량 투여 후 종양에 대한 선택적 축적 및 장기간 체내에 축적됨을 확인함 (24시간: 0.05% ID/g, 96시간: 0.15% ID/g)



Biodistribution of <sup>89</sup>Zr-trastuzumab and PET Imaging of HER2-Positive Lesions in Patients With Metastatic Breast Cancer, *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 87(5) 2010

## International Project for Clinical Study of PET-RI New Drug

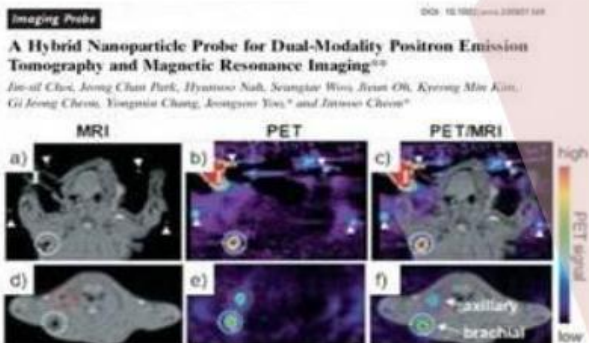


# <sup>124</sup>I 활용 기술 및 연구 사례

## 대학 공동연구성과

### PET-MRI 하이브리드 조영제 개발

- 유정수, 안광일
- Angewandte Chemie. 47:6259-62, 2008 (IF=11.261)



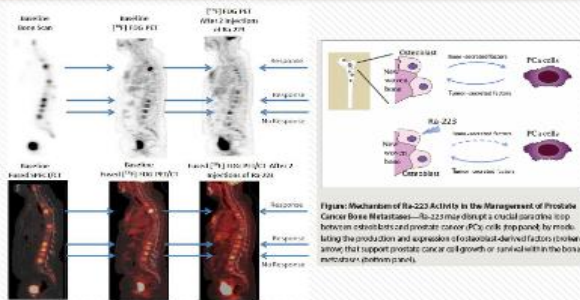
### 암 전이 조기진단 다중영상 조영제

- 유정수, 안광일
- PET-MRI-Optical 3중 영상 조영제 최초개발
- Small 6(24):2862-8, 2010 (IF=8.349)

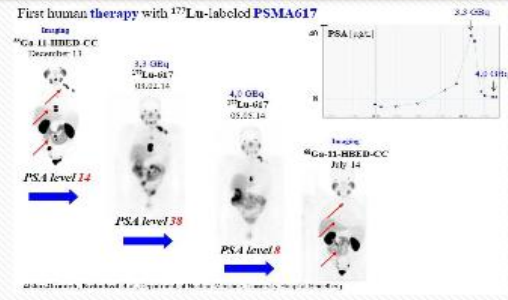


# 질환치료기술을 위한 제3의 길, 치료 RI

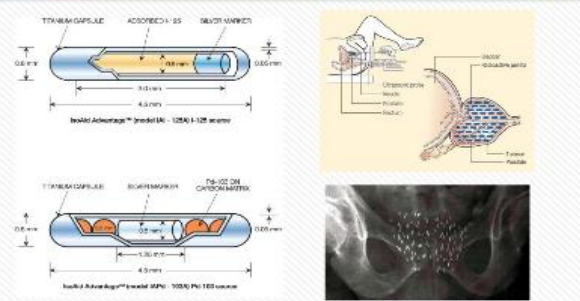
## 암환자를 위한 통증 치료제 등장



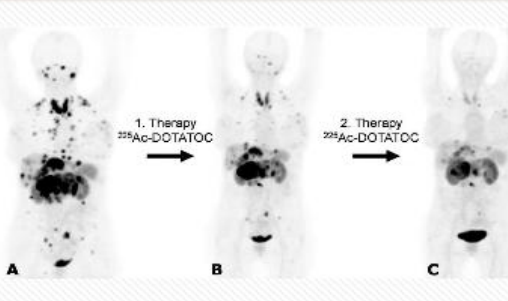
## 전이성 전립선암 치료 사례 보고



## 공학적 개념의 치료제 시장 성장



## 알파선 방출 치료제의 임상 진입



# First Therapeutic RI in KIRAMS ; <sup>117m</sup>Sn

Author's personal copy

J Radiat Oncol (2017) 34:1683–1689  
© Australasian Radiotherapy Society 2017



## Development of new <sup>116</sup>Cd/<sup>117</sup>Sn target for cyclotron produced <sup>117m</sup>Sn as a medical radiometal

Soyoung Oh<sup>1,2</sup> · Hyungil Kim<sup>1</sup> · Jung Young Kim<sup>1</sup> · Minu Ghorghorhe<sup>1</sup> · He Sung Seung<sup>1</sup> · Seung-rook Shin<sup>1</sup> · Jung Seok Choi<sup>1</sup>

Received: 10 June 2017 / Accepted: 8 November 2017

**Abstract** The radioisotope <sup>117m</sup>Sn has recently attracted considerable attention because of its application in theranostics and its imaging using 159-keV γ-rays. In this study, we developed a target system that yielded <sup>117m</sup>Sn via a <sup>116</sup>Cd( $\alpha$ ,n)<sup>117m</sup>Sn nuclear reaction. A separable Pt substrate was utilized to prepare the cyclotron target in the irradiation, and the enriched <sup>117m</sup>Sn in a certain activity solution was deposited onto the Pt substrate. The substrate was thermally analyzed via ANSYS simulation, and the plating thickness was optimized through calculations with TASC code. The production of <sup>117m</sup>Sn was confirmed through the emission measurement of inherent gamma rays.

**Keywords** <sup>117m</sup>Sn · Solid target · Medical radioisotopes · Cyclotron electron · Cyclotron · Alpha irradiation

✉ Jung Seok Choi  
jseokchoi@kribs.re.kr

1. Radioisotope Production Center, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, 72 Nonseong-ro, Seodong, Seoul 140-709, Republic of Korea
2. Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, 2066 Secheon, Suwon 16419, Republic of Korea
3. Division of Environmental Research, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, 72 Nonseong-ro, Seodong, Seoul 140-709, Republic of Korea
4. College of Science and Engineering, Sungkyunkwan University, 300 Secheon, Suwon 16419, Republic of Korea
5. Radioisotope Production Center, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, 72 Nonseong-ro, Seodong, Seoul 140-709, Republic of Korea

1688

Author's personal copy

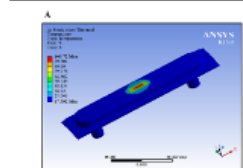


Fig. 4 Thermal analysis results of the target using aluminum in the four external units

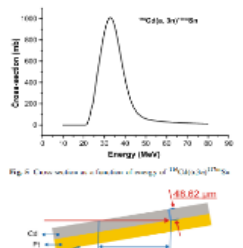


Fig. 6 Plating thickness of <sup>117m</sup>Sn target at 10° angle

Gamma-spectrum analysis with multichannel analyzer

To investigate the <sup>117m</sup>Sn production after irradiation of the enriched <sup>116</sup>Cd target with the alpha beam, we used an HPGe detector for the γ-spectrum analysis (Fig. 9). The production of <sup>117m</sup>Sn was confirmed with the observation of gamma rays with an energy of 159-keV and half-life of

1689

Author's personal copy

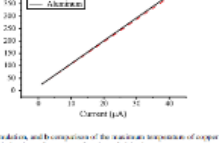


Fig. 7 SEM picture of plated <sup>117m</sup>Sn on Pt

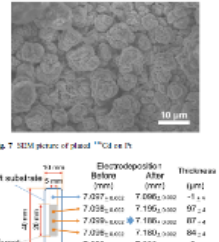


Fig. 8 Target yield for production of <sup>177m</sup>Sn via (α, n) reaction

with <sup>117m</sup>Sn

15.4 days. In addition to the <sup>117m</sup>Sn peak, energy peaks corresponding to <sup>117g</sup>Sn, <sup>115g</sup>Sn (three peaks), and <sup>115m</sup>Sn with energy of 76.7, 497.1, 577.9, and 557.9 keV, respectively, were observed. The isotopes <sup>117m</sup>Sn and <sup>117g</sup>Sn exhibited short half-lives of 4.53 and 49.2 min, respectively, as listed in Table 1 [15].

Springer

Author's personal copy

J Radiat Oncol (2017) 34:1683–1689

1687

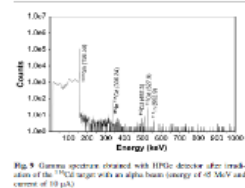


Fig. 9 Gamma spectrum obtained with HPGe detector after irradiation of the <sup>116</sup>Cd target with an alpha beam (energy of 45 MeV and current of 10 nA)

Isotope	TLG	E <sub>γ</sub> (keV)	Decay
1. <sup>117m</sup> Sn	12.8 days	159.6	<sup>116</sup> Cd(α,n) <sup>117m</sup> Sn
2. <sup>117g</sup> Sn	45.3 h	336.2	<sup>116</sup> Cd(α,n) <sup>117g</sup> Sn
3. <sup>115g</sup> Sn	51.5 h	336.2	<sup>114</sup> Cd(α,n) <sup>115g</sup> Sn
4. <sup>115m</sup> Sn	51.5 h	497.1	<sup>114</sup> Cd(α,n) <sup>115m</sup> Sn
5. <sup>117m</sup> Sn	51.5 h	557.9	<sup>116</sup> Cd(α,n) <sup>117m</sup> Sn
6. <sup>117g</sup> Sn	42.2 min	557.9	<sup>116</sup> Cd(α,n) <sup>117g</sup> Sn

We demonstrated a new target system for generating <sup>117m</sup>Sn using an alpha particle beam, with a minimized and recycled platinum substrate, compared with previously reported targets. In addition, we obtained a <sup>117m</sup>Sn production yield of 3.14 ± 0.29 MBq/μA/h after irradiation of an alpha beam (10 μA, 45 MeV) for 30 min, and the production of <sup>117m</sup>Sn was confirmed by its intrinsic gamma energy and half-life.

**Conclusions**

We demonstrated a new target system for generating <sup>117m</sup>Sn using an alpha particle beam, with a minimized and recycled platinum substrate, compared with previously reported targets. In addition, we obtained a <sup>117m</sup>Sn production yield of 3.14 ± 0.29 MBq/μA/h after irradiation of an alpha beam (10 μA, 45 MeV) for 30 min, and the production of <sup>117m</sup>Sn was confirmed by its intrinsic gamma energy and half-life.

**Acknowledgments** This work was funded by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea and by the Ministry of Science, ICT & Future Planning Grant 2017R1A5A1A01010001.

**References**

1. Shono H, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
2. Shono H, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
3. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
4. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
5. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
6. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
7. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
8. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
9. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
10. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
11. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
12. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
13. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
14. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687
15. Shimizu N, Nishida T, Chikawa Y, Sawada K, Shimizu N, Gotoh K, Saito S (2012) Targeting of vascular plate using the <sup>117m</sup>Sn-<sup>117m</sup>Sn reaction. J Nucl Med 54:1687

Springer

Springer



# 3R One-Stop KIRAMS!



## Medical Radioisotope

- 다목적 사이클로트론 기반
- 한국원자력연구원 연계
- 국가 RI 융복합기술



## Radiopharmaceuticals

- 환자맞춤형 정밀의료 구현
- 신규 방사성의약품 개발



## Clinical Research

- 방사성의약품 임상적용
- 의료 신기술향상
- 다기관 임상시험 추진



## 방사성동위원소이용 신개념치료기술개발 플랫폼구축사업단

## KINS + GXP

방사성동위원소 생산  
KINS 허가  
불순물이 없는 RI 생산  
다양한 치료방사선 방출 RI 개발

임상시험

GCP

Good Clinical Practice  
식약처 허가  
임상시험 계획 및 수행

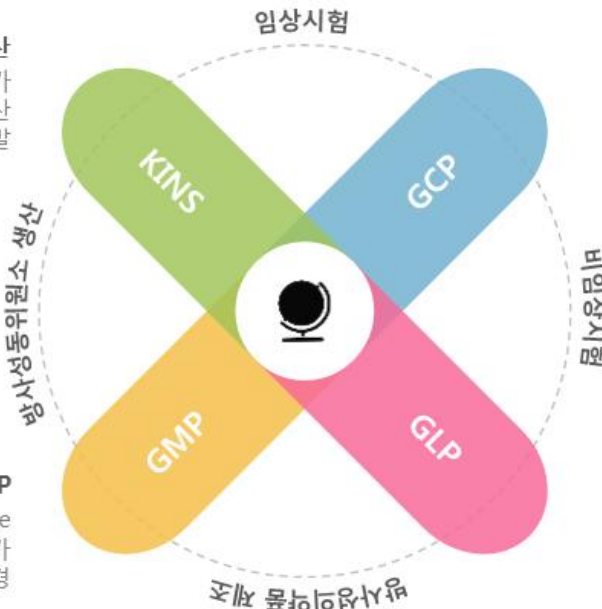
GMP

Good Manufacturing Practice  
식약처 허가  
방사성의약품 제조환경

비임상시험

GLP

Good Laboratory Practice  
식약처 허가  
동물시험환경



# 국가 의료 RI 치료기술혁신센터(안)

## 국가 의료 RI 치료 인프라 연계 동위원소 생산기술 고도화

### 핵종생산기술

- 표적기술 • 입자조사 • 분리정제 • 품질관리

기술

대량, 다핵종, 고품질 RI

고부가가치 제품화

- RI 발생장치(기)/표지장치 • 밀봉선원 • 과학분석기기

### 제품화 기술

시설



다목적 사이클로트론  
(서울)



사이클로트론  
(정읍)



양성자가속기  
(경주)



하나로  
(대전)

## 동위원소 기초연구 진흥 및 기반기술 개발

### 활용진흥기술

- 공학활용 • 기초연구진흥 • 생명과학

응용 신기술

원료 RI  
원료의약품  
선원 등 제  
품

End User

병원  
산업  
연구  
수출

### 연구기반



RI 플랫폼  
(서울)



융합연구시설  
(부산, 예정)

국가 의료 RI 기술 총합 추진

방사선 의학연구를 위한  
종합 방사선 조사시설 고도화

박승우

한국원자력의학원



발표자 성명: 박승우

발표자 약력:

2007.02 인하대학교 전자공학 공학박사

2010.08-2011.11 한국생산기술연구원 전략사업본부, 선임연구원

2011.12-현재. 한국원자력의학원 방사선의학연구소, 선임연구원

대표연구과제

2015-2017 과기부, 의료용 방사선 기기 개발플랫폼 구축 및 방사선 조사시설 운영  
고도화

2016-2019 과기부, 방사선융합 동물치료 기반기술 개발

2016-2017 복지부, 중재적 방사선 시술에서 환자안전을 위한 가변형 콜리메이터  
개발

2012-2018 과기부, 치료시간 30% 단축을 위한 자동 병변 추적 기술기반 악성종양  
치료용 500 cGy급 Dual-head 갠트리 방사선 치료시스템 개발



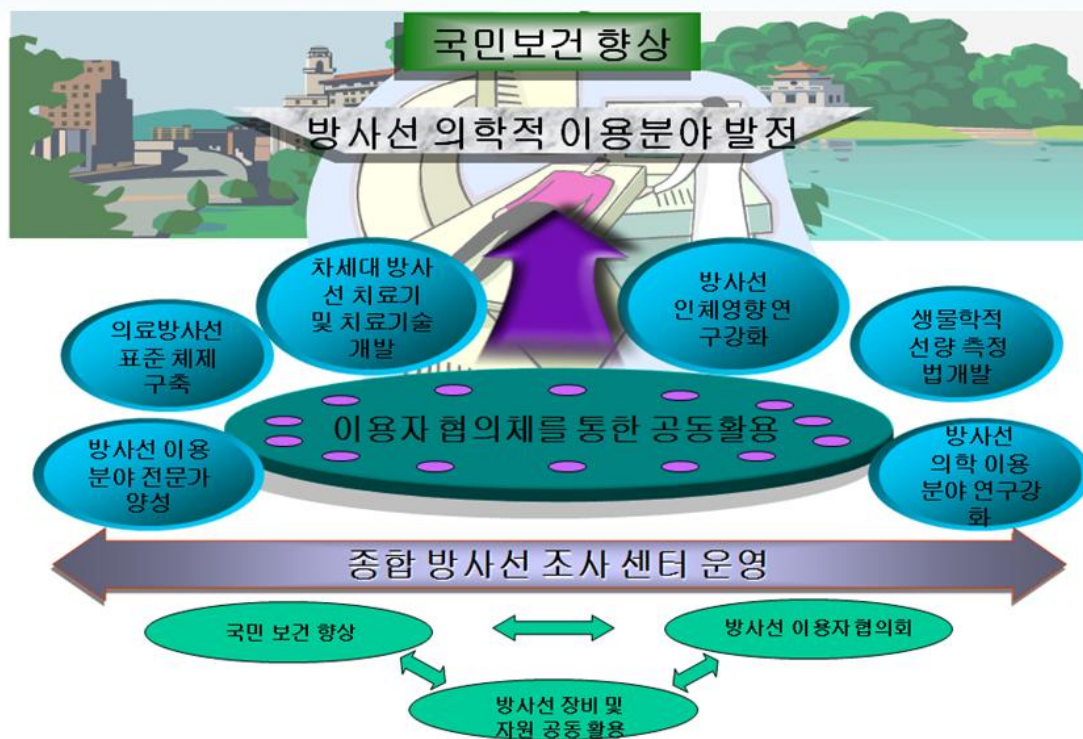
## ABSTRACT

한국원자력의학원 종합방사선 조사시설은 방사선의학연구 활성화를 위한 연구 인프라로 활용 중이다. 조사시설에서 운영 중인 Co-60 감마선 조사기의 경우 연간 평균 100건 이상, Cs-137 감마선 조사기의 경우 연간 평균 4,000건 이상의 방사선 조사 수행으로 의료 방사선 연구의 활성화를 이루어 2006년 조사시설 구축 이후 1,800여건의 연구 성과 논문을 도출하였다. 그러나 일부 조사기의 성능저하로 연구자들이 수요를 충족시키는데 많은 어려움을 겪고 있는 실정이었으며 방사선의학연구 활성화에 제약요인이 되고 있었다. 종합방사선 조사시설 내 노후 장비 교체를 통한 조사장치의 성능향상과 최근 정밀 방사선 조사 연구개발수행에 필수적인 임상유사 방사선 조사 플랫폼의 신규 구축을 통한 종합방사선 조사시설의 활용성을 향상시켰다. 특히 임상유사 방사선 조사 플랫폼의 경우 국내 처음 도입되는 시스템으로 세계적인 우수 연구를 지원 할 수 있는 시설이다.

# 1. 종합방사선 조사시설



한국원자력의학원  
방사선 의학 연구소



## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
방사선 의학 연구소

### 방사선 조사시설운영 고도화

: 종합 방사선 조사시설 운영 고도화를 위한 실험 인프라 업그레이드를 통한 국가 공동 활용 연구 장비의 활용성 제고



#### 고선량을 감마선 조사장치 성능향상

- 노후 Co-60 조사장치 대체 도입
- 고선량을 감마선 조사장치의 인수검사
- 고선량 감마선 조사장치의 정도관리

#### 연구용 정밀 방사선 조사시스템 구축

- 연구용 소동물 정밀 방사선 조사장치 도입
- X선 조사선량 측정 및 동물전용 radiation planning 시스템
- 정량 · 정성적 방사선 조사를 위한 보조기구 개발
- 정밀 방사선 조사를 위한 선량평가
- 연구용 소동물 정밀 방사선 조사 장치 (X-RAD SmART) 활용

#### 방사선 의학연구 활성화를 위한 구축시설 고도화

- 출입 관리 시스템 구축
- 방사선조사시설 활용도 확대를 위한 동물시설 구축 및 운영
- 감마선(Cs-137) 방사선 조사기의 방사선량 관리
- 방사선의학연구 활용 개발
- 이용자 교육 프로그램 운영

• 방사선의학연구소 지하 2층에 운영중인 종합방사선 조사시설

## 2. 주요 내용 및 결과

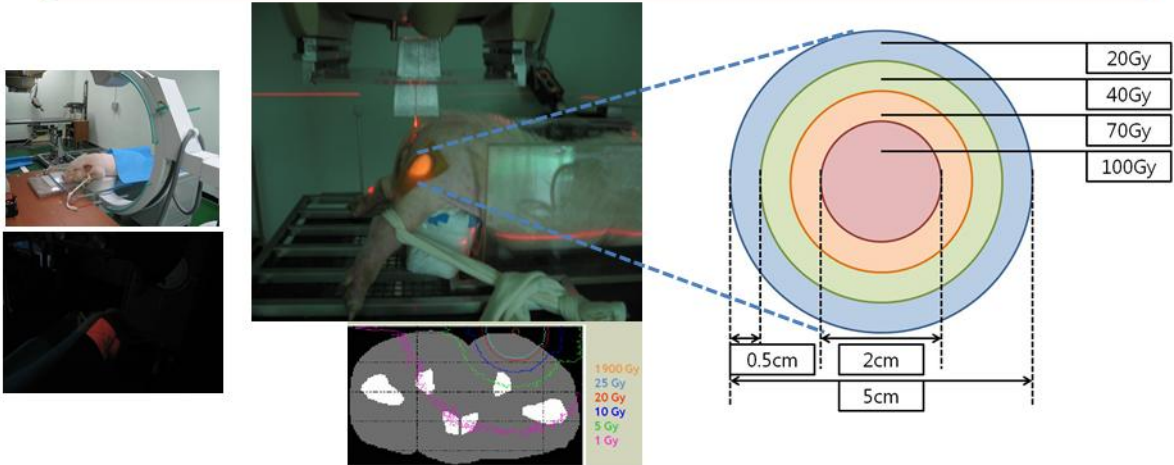


한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 노후 Co-60 조사장치 대처 도입

#### 연구장비도입 배경

- 국소부위에 100 Gy 이상의 고선량 방사선 조사를 수행하는 연구가 진행되는 등 요구되는 방사선 조사범위는 다양하나 현재(2015년)의 감마선 조사장치는 분당 0.5 Gy 정도의 선량으로 원활한 방사선 조사가 어려운 상황
- 정밀 방사선 조사 요구에 따른 조사 면이 다양해지고 있으나 조사면을 효율적으로 제어하기 위한 다엽콜리메이터가 없어 조사 준비에 많은 시간이 요구됨



방사선 사고시의 피폭상황과 유사한 국소화상 모델 제작

## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 노후 Co-60 조사장치 대처 도입

➢ Theratron 780 (MDS Nordion)

- 47.47 cGy/min

➢ Gamma Beam 100-80 (Best Theratronics)

- 198.4 cGy/min





## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 연구용 소동물 정밀 방사선 조사장치 도입

#### 연구장비도입 배경

전신/부분  
방사선조사

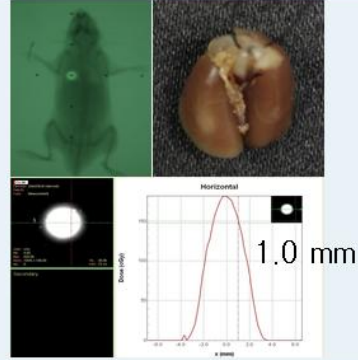
연구용 정밀 방사선 조사시스템의 필요성 증대

고정밀  
방사선 조사

#### 전신/부분 방사선조사



#### 임상유사 방사선 조사



## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 연구용 소동물 정밀 방사선 조사장치 도입



#### 소동물 정밀 방사선 조사 시스템 인수검사

- SmART Plan Commissioning/Testing
- Absolute Dose Measurement
- Relative Output Factor Measurements
- Radiochromic Film Calibration
- SmART Plan Adjustments
- Percent Depth Dose Measurements
- Complex Plan Deliveries
- Data Delivery and Final Corrections



#### X-선 조사선량 측정 및 동물전용 radiation planning 시스템

- **Start case:** 동물 전용 방사선조사 계획 시스템은 정밀 방사선 조사 시스템으로부터 획득한 CBCT 이미지를 기반으로 하고 있으며, DICOM CT 혹은 smART-plan 케이스 파일로 업로딩함
- **CT2MD:** 복셀에 밀도와 물질에 대하여 CT2MD 모듈을 이용하여 분할 할 수 있음
- **Contour:** 컨투어링 모듈을 이용하여 실험동물의 중요 장기를 구분 지어 표현할 수 있으며, 타겟을 정의할 수 있음
- **Beam:** 임상와 유사하게 방사선 조사의 빔의 방향 및 크기를 결정할 수 있는 모듈임. 중요 장기를 피하면서 타겟에 원하는 선량 줄 수 있음

- 제조사: Precision X-ray, USA
- 모델명: X-RAD SmART
- 선 원: X-ray (0.5 Gy/min - 2 Gy/min at SSD 40cm)
- 용 도: 세포실험, 동물실험, 선량 측정 교육
- 특 징: 영상유도 기반의 3차원 방사선 조사 및 고선량 방사선조사가 가능한 소동물(mouse, rat) 전용의 정밀 방사선 조사 시스템으로 실험동물의 3차원 방사선치료 계획과 방사선 조사가 동일 시스템에서 가능

## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
KIRAMS INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 감마선(Cs-137) 방사선 조사기의 방사선량 점검

◇ 종합 방사선 조사시설에서 활용중인 Cs-137 감마선 조사장치

■ 용도: 혈액방사선조사, 세포실험, 소동물 전신 방사선조사, 선량 측정 교육



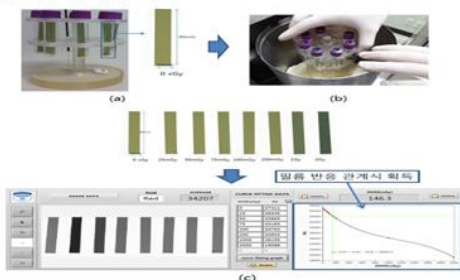
■ 제조사: MDS Nordion, Canada  
■ 모델명: Gammacell 3000 Ekan  
■ 선원: Cs-137  
■ 방사선조사량: 3 Gy/min

■ 제조사: GSM, Germany  
■ 모델명: KIRAMS-137  
■ 선원: Cs-137  
■ 방사선조사량: 3 Gy/min

■ 제조사: 한국원자력의학원  
■ 모델명: KIRAMS-137  
■ 선원: Cs-137  
■ 방사선조사량: 0.67 cGy/min

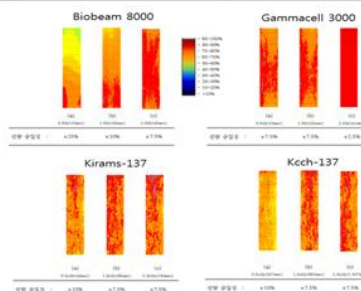
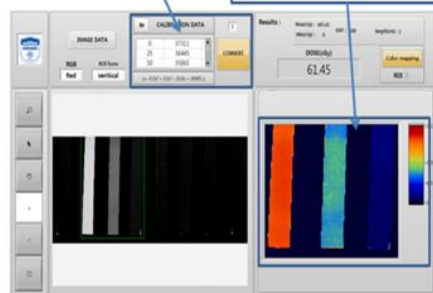
■ 제조사: 한국원자력의학원  
■ 모델명: Kech-137  
■ 선원: Cs-137  
■ 방사선조사량: 0.1 cGy/min

◇ 필름 반응 관계식 획득



필름 반응 관계식 적용

Color mapping을 통해 선량 분포도 확인



◇ Color mapping을 통한 선량 분포도 및 선량 균질성 분석

## 2. 주요 내용 및 결과



한국원자력의학원  
KIRAMS INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

### ❖ 방사선 조사시설 활용도 확대를 위한 동물시설 구축 및 운영

□ 방사선비임상센터의 non-GLP 동물시설 연계 비임상연구 동물시설 구축



★: 개별환기사육장치, ▲: 사료 및 깔짚 보관 전용 냉장고, ●: 깔짚처리기



개별환기사육장치

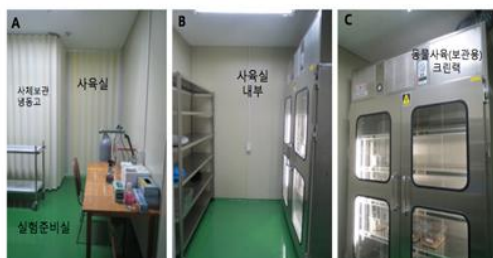


사료 및 깔짚 보관 전용 냉장고



깔짚 처리기

□ 조사시설 연계 동물사육환경 조성



(A)동물실험 준비 공간, (B) 중단기 동물 사육공간, (C)환기장치가 부착된 크린랙

- ✓ 내·외부 연구자의 방사선조사시설 이용 시 실험동물의 안정과 중단기 관리를 위해 조사시설 연계 동물보관 공간을 구축함
- ✓ 환기장치가 부착된 크린랙을 구비하여 방사선조사 전후 기간 동안 동물의 안정적인 사육환경을 유지하도록 조성함
- ✓ 신규 구축 조사시설 연계의 독립된 동물보관 공간을 조성함에 따라 각 기관의 SPF 사육실의 출입 제한으로 발생하는 동물보관 문제를 해결함
- ✓ 조사시설 이용시 발생했던 외부 연구자들의 동물운송에 대한 번거로움과 실험동물이 운송과정에서 받는 스트레스를 감소시키는 데 도움을 줌



### 3. 활용 현황



한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

❖ 방사선의학연구 활용 개발 및 이용자 교육 프로그램 운영



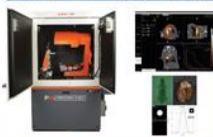
종합방사선조사시설

한국화학연구원의 방사선 조사시설은 방사선과 화학의 이용 확대, 방사선 열안정성, 방사선 질의 개발, 방사선 조리기구 개발, 방사선 기구 및 용도 관리 및 방사선 관련 전문 인력 양성과도 활용을 목적으로

## 외부 감마선(Co-60) 조사장치 [External Gamma Beam(Co-60) irradiation system]



## 소동물 방사선 조사 연구 플랫폼 [Small animal radiation research platform]



## 고·중·저 선풍율 감마선(Cs-137) 조사장치



- 물도 열팽창이어서 계류교량, 수문 등 안전 장치에서 팽창 속한 교량



● 조사시설 이용안내

전화 및 e-mail 상담

- 조사책임자 : 박승우 02-970-9572, [sewpark@karama.co.kr](mailto:sewpark@karama.co.kr)
- 조사지원자 : 김민서 02-970-1364, [cmnsws@karama.co.kr](mailto:cmnsws@karama.co.kr)

발행문의  
서울시 노원구 노원로 75 한국원자력연구원 방사선안전연구소  
181-0000 3120호



☞ 조사시설  
이용자 교육



Co-60  
조사장치  
사용 교육



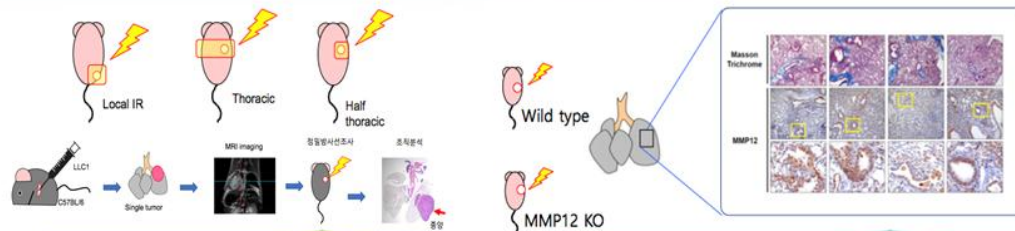
소동물 정밀  
방사선 조사  
장치 교육

### 3. 활용 현황



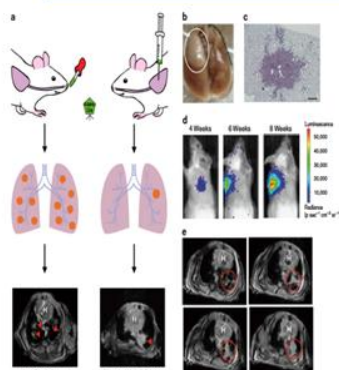
한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

## ❖ 연구용 소동물 정밀 방사선 조사 장치 (X-rad SmART) 활용



□ 폐암 방사선 치료 기술 개발 연구

□ 방사선 폐섬유화 동물모델 구축 연구



면역대식세포의 활성화에 의한 형광발현이미징

방사선 조사전      방사선 조사후

B6.Cg-Tg(Col1; ROSA)

◆ 유전자 변형 마우스를 이용한 자발적 폐암동물모델에서 Image-guided radiotherapy를 이용한 폐암반응성 연구결과

◆ B6.Cg-Tg(Col1;ROSA) 유전자변형 마우스모델에서 방사선 조사에 의해 활성화되는 면역세포의 형광발현 관찰 결과, 붉은 색은 면역세포에 대한 양성 반응임

□ 방사선 면역치료 연구



# ICT-바이오 융합 연구 프로세싱 및 연구사례

오동인  
경희대학교



발표자 성명: 오동인

발표자 약력:

1999.02 경희대학교 전자전파 공학사

2002.02 경희대학교 전자공학 공학석사

2006.02 경희대학교 동서의료공학 공학박사

2006.03 - 2007.02 경희대학교 임피던스영상신기술 연구센터 박사후연구원

2007.03 - 2009.08 University College London, Medical Physics and  
Biomedical Engineering, Research Fellow

2010.02 - 2015.03 경희대학교 전자정보대학 조교수

2015.04 - 현재 경희대학교 의과대학 의예과 부교수

주관심 분야 : 생체계측, 생체신호처리, 임피던스 영상 시스템, 세포/조직 배양  
자동화 시스템

# ABSTRACT

발전된 ICT 기술을 바탕으로 다양한 주제의 융합연구 및 새로운 융합기술의 개발을 독려하고 있다. 그러나 실질적 융합연구와 기술적 혁신을 위해서는 전문적 지식을 바탕으로 한 분야간 소통과 공감, 인내의 시간이 요구된다. 암의 조기발견과 방사선 치료 효과의 규명, 퇴행성 관절염의 조기진단과 치료, 세포치료제 및 조직공학제제 제품화를 위한 부작용 줄기세포의 대량배양 기술 등의 연구과정에서 다학문적 배경을 가진 연구자들 간의 협력 연구 사례를 통해 문제 해결을 위한 협력과정을 소개하고, 전기물성의 측정과 활용을 중심으로 진행하였던 융합 연구의 결과를 소개하고자 한다.

# ICT-바이오 융합연구 (연구사례중심)

2018. 05. 16.

경희대학교 의과대학 의공학교실

오동인



## Introduction



전자공학

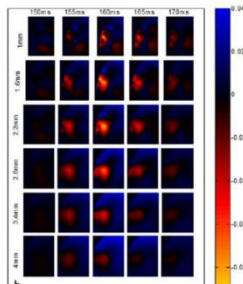


비파괴검사



의공학

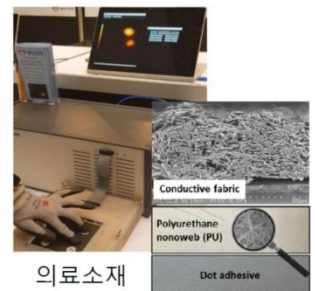
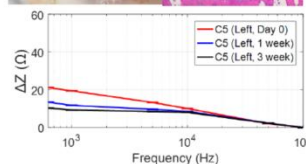
의학 물리



의료기기

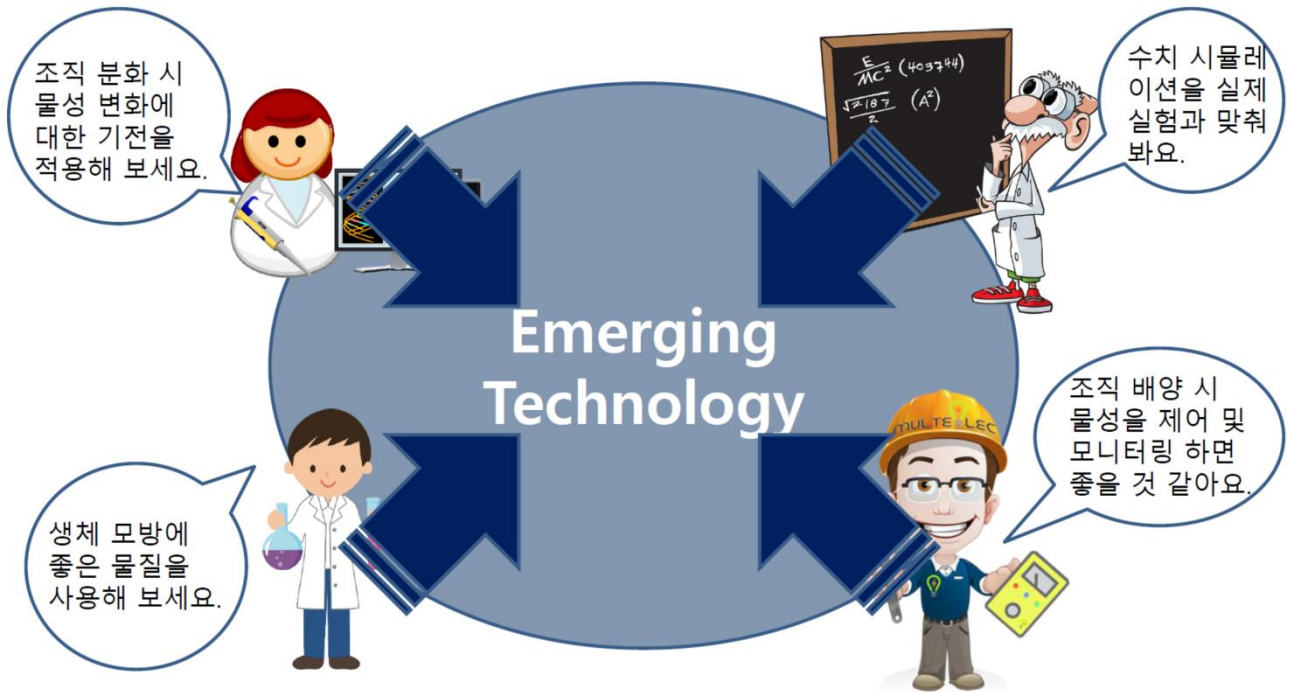


바이오



의료소재

# 소통과 공감을 통한 창의적 사고

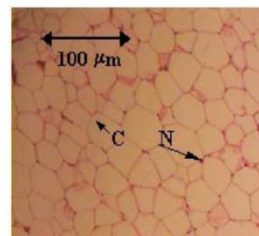
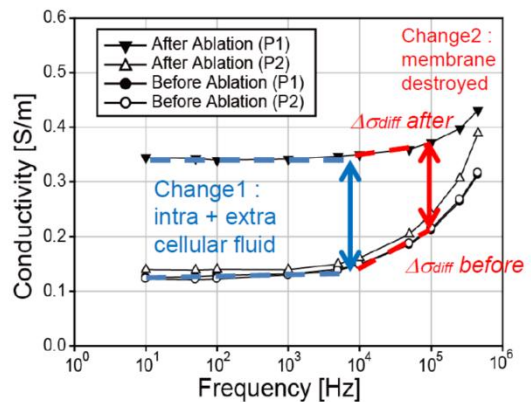
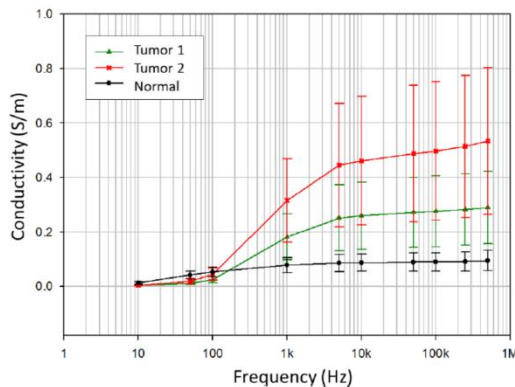
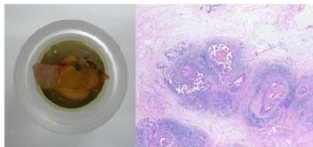


## 생체조직 임피던스 스펙트럼 측정

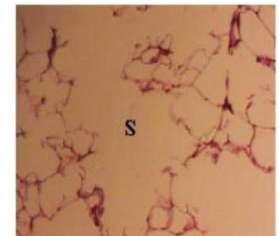
Normal  
Breast  
Tissue



Breast  
Tumor  
Tissue



Native, freshly  
excised tissue

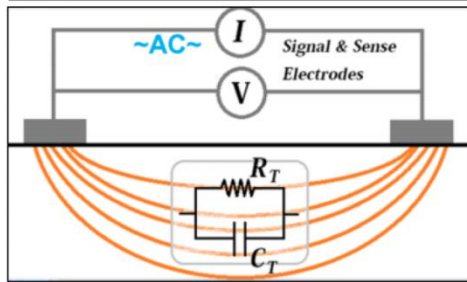


After exposure at  
78.4°C



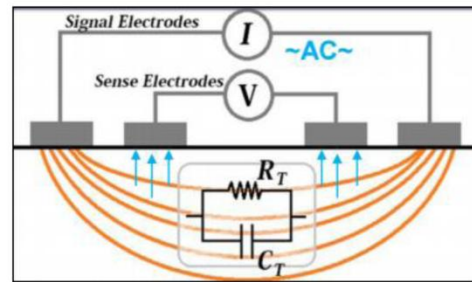
# Measurement Error

Error 1: Electrode-skin contact Z



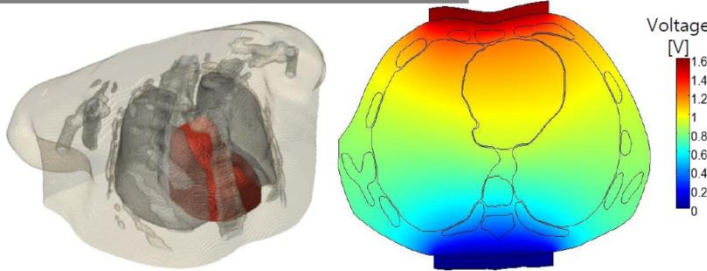
- Two-electrode Measurement

Error 2: Negative sensitivity effect

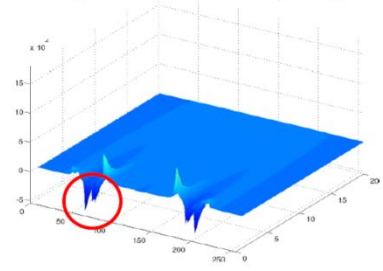


- Four-electrode Measurement

Error 3: Sensing current distribution

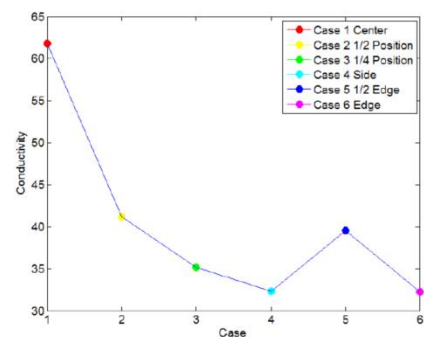
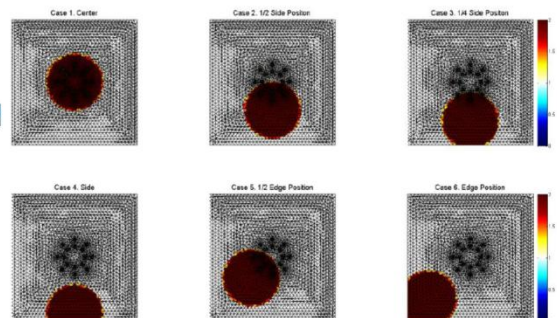
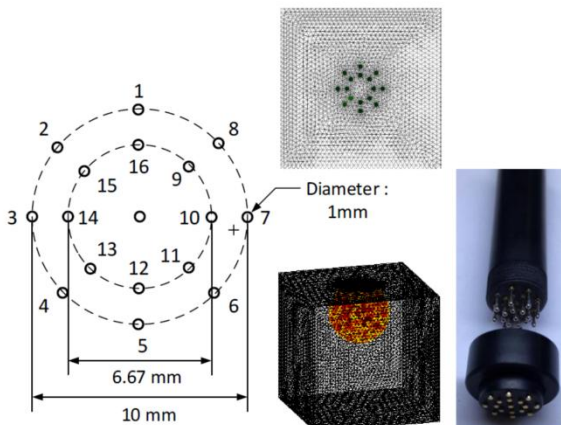


Negative sensitivity region



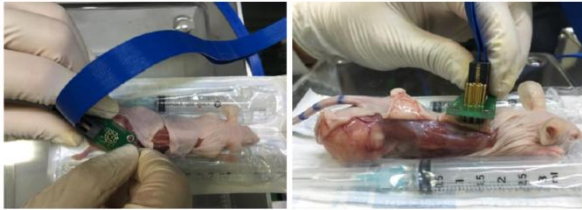
## Bioimpedance spectroscopy tensor probe

- 16 miniaturized electrodes in a circular configuration
- Localized electrical energy concentration method
- Minimize the effects of geometrical errors
- Detection of anisotropic conductivity



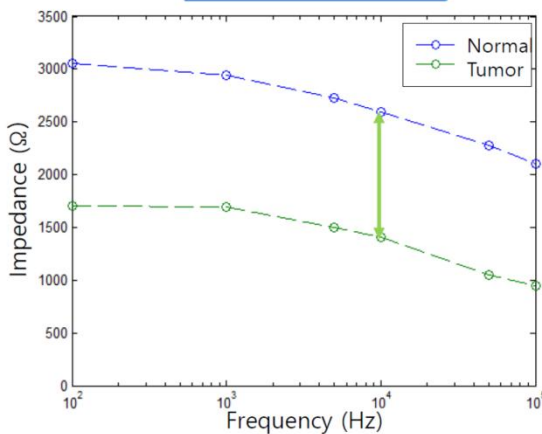


# 폐암 이종이식체를 이용한 방사선 치료효과

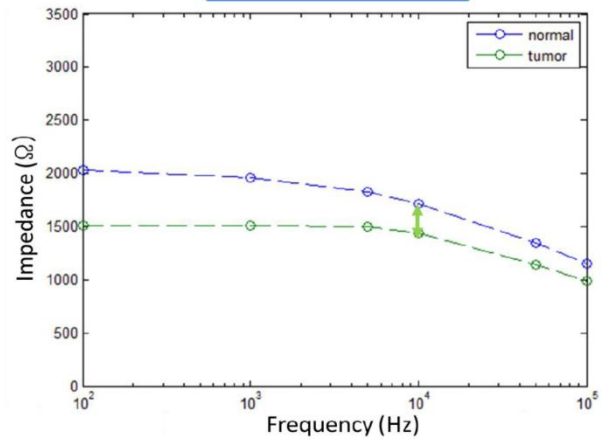


- 6주령 BALB/cAnNCrj-nu/nu 마우스
- NCI-H460 폐암 세포주 이식을 통한 종양모델
- 이종이식체의 크기가 100 mm<sup>3</sup> 이상
- 방사선 5 Gy를 3일 간격으로 4회 국소 조사

방사선 치료 전



방사선 치료 후



## Integrated Monitoring & Control System

IMCS v1.x

확장배양 수율 증가

세포 활성 유지 및 최적화

+

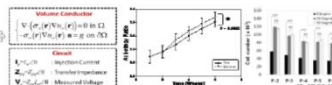
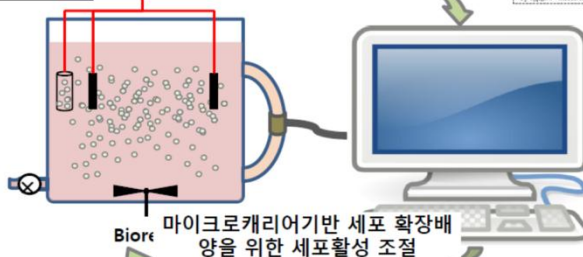
마이크로캐리어 기반 3D 배양  
모니터링 기술 검증

배양-모니터링 다변수 피드백

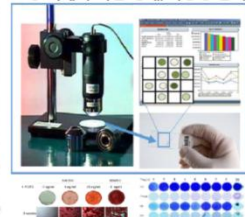
IMCS v2.0

Monitoring

Information or data

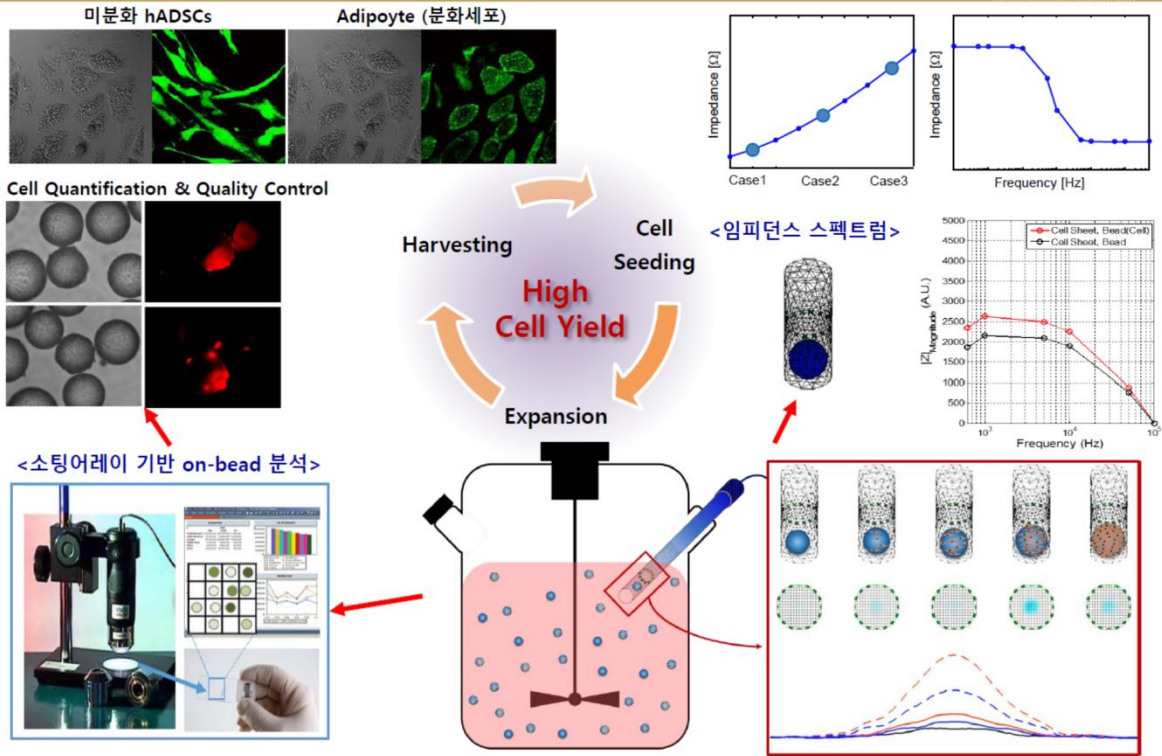


소팅 어레이 기반 형태/기능성 분석



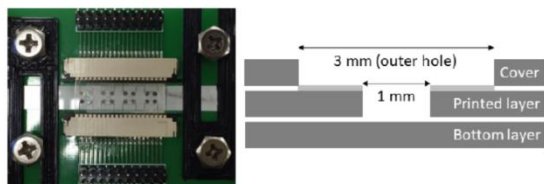
MSC 3D 모니터링-피드백 제어 통합 솔루션

# 마이크로캐리어 기반 다변수 측정

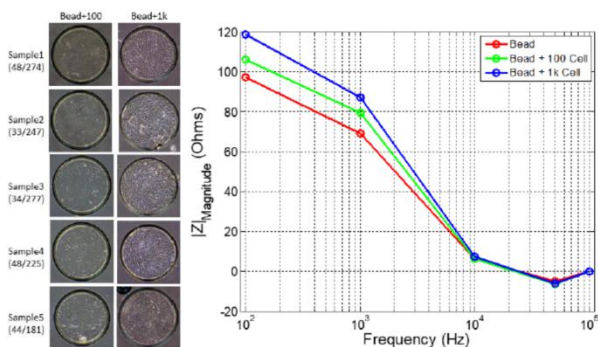


## 2.5D 원반형 마이크로캐리어 이용 세포 밀도 측정

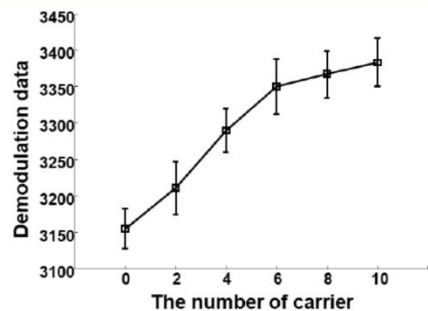
### 2.5D 원반형 마이크로캐리어를 이용한 세포 밀도 측정 실험



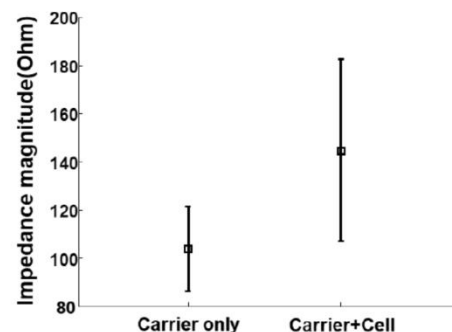
<포집되는 마이크로캐리어의 측정위치 제어를 위한 3차원 구조를 제작>



<2.5D 원반형 마이크로캐리어 상 배양된 줄기세포의 밀집도에 따른 임피던스 스펙트럼 증가>



<마이크로캐리어 개수에 따른 임피던스 측정 결과>



<마이크로캐리어 상 세포 증식에 따른 임피던스 측정 결과>

# 노령화 사회에서의 방사선 바이오 산업

이재연

한국원자력의학원



발표자 성명: 이재연

발표자 약력:

1996.03. - 2000.02. 이화여자대학교대학원 이학박사  
2000.03. - 2001.08. 한국원자력연구소 부설 원자력병원 박사후 연수  
2001.09. - 2004.11. Vanderbilt Univ. Research fellow  
2005.02. - 2006.02. 이화여자대학교 연구교수  
2006.03. - 2013.08. 한국원자력의학원 선임연구원  
2013.09. - 현재 한국원자력의학원 책임연구원



## ABSTRACT

의학 기술의 발전과 함께 인간의 수명이 길어지면서 우리나라도 점차 노령 인구가 증가하고 있다. 2014년 기준, 국내 65세 이상의 인구는 638만 6천명으로 전체 인구의 14.3%이고 향후 더 증가하여 2030년에는 전체 인구의 약 24.3%를 차지할 것으로 예상된다. 노령화가 증가하면서 이와 관련된 질병의 증가도 두드러지고 있다. 증가하는 대표적인 질환으로는 치매가 25.4%로 (1999~2010년 기준) 1위를 차지하고 있으며, 그 뒤를 파킨슨병, 그리고 결장·직장암, 간암, 요추 추간판 장애가 뒤따른다. 이 중 방사선 바이오 산업은 크게 치매 등을 포함하는 뇌 질환과 전통적으로 사용되었던 암 치료에 적극적인 적용이 가능하다. 두 질환 모두에서 방사선을 이용한 영상 기법으로 빠른 진단에 사용될 수 있으며, 현재 이용하고 있는 방사선의 항암 치료 외에도 새로운 방사성 의약품의 지속적인 개발로 적극적인 암 치료와 치매 치료 기술 개발에 적용될 수 있다. 따라서 노령화에 따라 증가하는 대표적인 두 질환인 암과 치매의 효과적인 예방과 치료를 위해서는 방사선을 이용한 생물학적, 의학적 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 노령화 사회에서의 방사선 바이오 산업

한국원자력의학원

방사선생명의과학연구부

이재연



한국원자력의학원  
Korea Institute of Radiological & Medical Sciences  
방사선의학연구소

## 노령화 사회



**한국원자력의학원**  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
**방사선의학연구소**

- ❖ 총인구 중, 노령의 비율이 증가하는 사회
- ❖ UN 기준, 65세 이상 노인 인구 비율이 전체 인구의 7% 이상을 차지
- ❖ 우리나라는 2000년 7월 1일 기준으로 65세 인구가 전체 인구의 7.1%를 차지, 그 이후 노령 사회에 진입함



이런 모습, 상상은 해보셨나요?

[illegible]

공익광고협의회  
한국방송광고공사

# 노령화에 의해 증가한 질병



한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

## 주요 질환 노인 외래환자 연평균 증가율 (단위: %, 1999~2010년 기준)



자료: 한국보건사회연구원

세계일보 (2012)

## 지난해 65세 이상 노인의 1인당 진료비 상위 10개 질환 (단위: 만원)



자료: 건강보험심사평가원

경향신문 (2014)

# 암과 방사선 바이오 산업



한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

## 방사선을 이용한 암 진단

### 영상의학

- 일반 X선 촬영, 유방 X선 촬영, 투시조영촬영, CT, 중재적 X선 촬영, 초음파, MRI
- 인체의 단면 구조, 암조직의 장기 침범 등 해부학적 정보 획득

### 핵의학

- 평면 신티그라피, SPECT, PET
- 세포의 생화학적 변화 및 암세포 대사 등 기능적 정보 획득

### 융합영상

- PET/CT, PET/MRI
- 해부학적 정보와 생화학/생리적 정보를 동시에 획득
- 암의 진단율 향상, 암 감별진단, 병기설정, 치료효과판정, 예후예측 등 널리 이용

# 암과 방사선 바이오 산업



한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIATION MEDICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

분자생물학

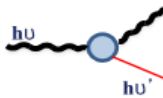
## • 분자표적치료제

바이오의약품(리툰시맙 등)과 치료 동위원소( $^{90}\text{Y}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  등)를 결합한 RI 면역치료제의 임상효능 CTLA-4, PD-1 억제 수용체 항체와 방사선치료의 병행치료 임상연구 진행

## • 미토콘드리아 대사기능 조절, 방사선 민감제 및 보호제 개발, 줄기세포를 이용한 손상회복

나노기술

### 방사선치료 단독 시행



물 분자와의 상호작용으로 제한된 수의 전자 생성

### NanoXray를 이용한 방사선치료



Hafnium 입자와 상호작용을 통해 더 많은 전자 생성

유전체의학

## • 암 치료 및 종양분류, 치료반응 예측 등의 분야에서 유전체의학 연구 진행 중

Oncotype Dx: 유방암의 예후 예측

대장암, 급성 골수성 백혈병, 미만성 거대 B세포 림프종 예후 예측에도 이용

방사선치료 분야: 두경부암, 유방암 등 방사선감수성 차이 예측 연구 진행 중

# 암과 방사선 바이오 산업



한국원자력의학원  
KIRAMS  
KOREA INSTITUTE OF RADIATION MEDICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

중입자치료

## Heavy Ion Therapy

중입자선  
탄소이온  $^{12}\text{C}$

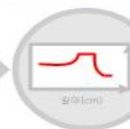
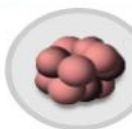
입자가속  
광속의 70-80%

종양조직에  
조사

브래그피크

종양조직에  
최대선량 전달

난치성 암  
치료효과 증대



B N C T

## Boron Neutron Capture Therapy

붕소화합물  
합성

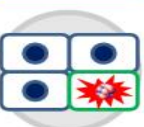
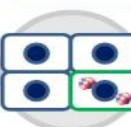
암환자 투여

암세포에만  
집적

가속기에서  
중성자 조사

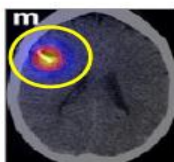
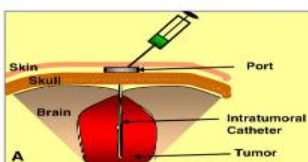
중성자를붕소가포획  
⇒ 4알파 + 7L

투과거리 짧아  
암세포만 파괴



방사성동위원소

## Radiation Isotope

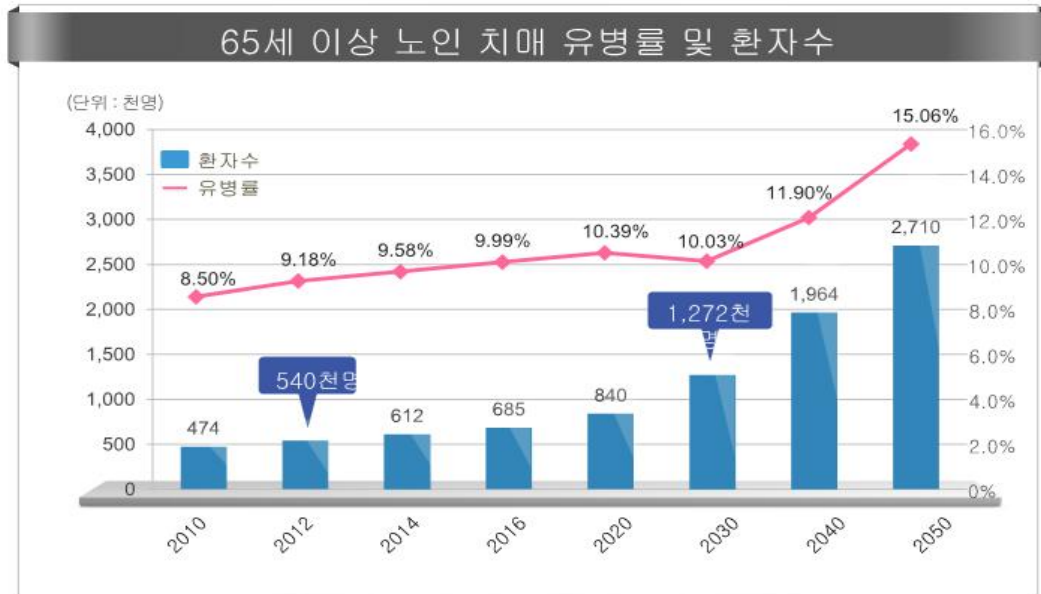


213Bi-DOTA-substance P  
종양에 주입한지 30분 후  
촬영한 SPECT/CT

출처 : Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2014.



## 퇴행성 뇌질환 추세

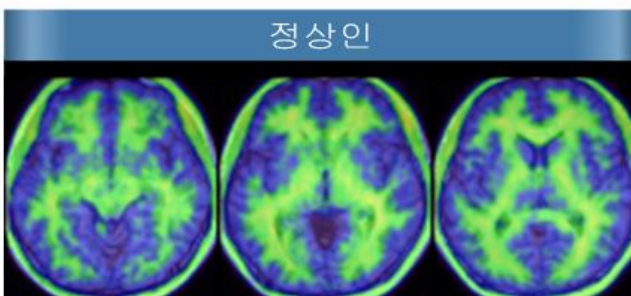


출처 : 2012년 치매 유병률 조사, 2013. 보건복지부.

# 뇌질환과 방사선 바이오

## 알츠하이머 치매 진단 보조영상검사

- [ $^{18}\text{F}$ ]FC119S PET ; 치매 PET 진단 관련 국내 1호 신약  
베타아밀로이드에 높은 친화도 보이는 국내 개발 PET용 방사성의약품  
→ (주)퓨처캠과 한국원자력의학원의 공동임상연구(100명) 수행 및 허가 달성(2018년)
- 알츠하이머치매 환자 : 뇌에 베타아밀로이드가 높은 농도로 존재



## PET 진단을 위한 방사성의약품

신경전달 시스템	요소 전달경로	방사성 리간드 사용
세로토닌	합성	$\alpha$ -[ <sup>11</sup> C]MTp
	전달	[ <sup>11</sup> C]McNeil 5652
		[ <sup>11</sup> C]DASB
	1A형 수용체	[ <sup>11</sup> C]WAY-100635
		[ <sup>18</sup> F]FCWAY
		[ <sup>18</sup> F]MPPF
		[ <sup>11</sup> C]P943
	1B형 수용체	[ <sup>18</sup> F]setoperone
		[ <sup>18</sup> F]altanserine
		[ <sup>11</sup> C]MDL 100907
		[ <sup>18</sup> F]FESP
도파민	합성	[ <sup>18</sup> F]fluoro-L-DOPA
	D1 수용체	[ <sup>11</sup> C]SCH 23,390
		[ <sup>11</sup> C]NNC 112
	D2/3 수용체	[ <sup>11</sup> C]raclopride
		[ <sup>18</sup> F]FLB 457
	전달	[ <sup>18</sup> F]RTI-32
		[ <sup>11</sup> C]CFT

신경전달 시스템	요소 전달경로	방사성 리간드 사용
모노아민 옥시다제	모노아민 옥시다제 A형	[ <sup>11</sup> C]harmine
비 모노아민성 메커니즘	무스카린 2형 수용체	[ <sup>18</sup> F]FP-TZTP
	니코틴 수용체	[ <sup>18</sup> F]FA-85380
	GABA A형 수용체	[ <sup>11</sup> C]flumazenil
	포스포디에스테라아제 4형	[ <sup>11</sup> C]-(R)-rolipram
	아밀로이드와 $\tau$ 단백질	[ <sup>18</sup> F]DDNP
	P-당 단백질	[ <sup>11</sup> C]verapamil
	히스타민 H1 수용체	[ <sup>11</sup> C]doxepin

## 노령화 사회에서의 방사선 바이오 산업의 활용

### 1. 암의 진단 및 치료

- 암세포의 대사 물질 변화 등 세포의 생화학적 변화를 영상으로 구현 가능한 기술의 지속적 개발
- 암 환자의 방사선 치료 시, 발생하는 저항성 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 세포 반응의 연구
- 체내에 직접 주입하는 방사성의약품 개발

### 2. 노화 관련 질환의 진단 및 치료

- 치매 진단을 위한 방사성 물질을 이용한 PET 바이오마커 개발
- 대사성질환의 영상 진단을 위한 세포 신호 전달 물질의 추적
- 동위 원소를 표지한 항체 사용을 활용한 치료 기술 개발

- 인구 8명당 1명을 65세 이상 고령인구 - 아시아 경제 2014
- 한국 고령화 속도, OCED의 4배 - 헤럴드 경제 2016
- 노인치매환자 11년새 8배 증가 - 세계일보 2012
- 치매환자, 1년 치료비로 1093만원 쓴다 - 경향신문 2014
- 바이오 클러스터 구축 전략 - 한림대학교 2006
- Frost & Sullivan Radiation, OncologyFunding Trend Analysis(Technical Insights)
- N Engl J Med(2012), "Two Hundred Years of Cancer Research," 366: 2207
- H.J. Kang, S.S. Lee, K.M. Kim et al.(2011), "Radioimmunotherapy with (131) Irituximab for patients with relapsed/refractory Bcell nonHodgkin's lymphoma(NHL)," Asia Pac J Clin Oncol, 7: 136
- C.W. Song, H. Lee & R.P. Dings et al.(2012), "Metformin kills and radiosensitizes cancer cells and preferentially kills cancer stem cells," Sci Rep, 2: 362
- L. Maggiorella, G. Barouch & C. Devaux et al.(2012), "Nanoscale radiotherapy with hafnium oxide nanoparticles," Future Oncol, 8: 11671181
- B. Jeremic, A.R. Aguerri & N. Filipovic (2013), "Radiosensitization by gold nanoparticles," Clin Transl Oncol, 15: 593601
- J. Pramana, M.W. van den Breke & M.L van Velthuysen et al.(2007), "Gene expression profiling to predict outcome after chemoradiation in head and neck cancer," Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys, 69: 1544

- S.A. Eschrich, W.J. Fulp & Y. Pawitan et al.(2012), "Validation of a radiosensitivity molecular signature in breast cancer," Clin. Cancer Res, 18: 5134
- S.H. Patel, Z. Wang, W.W. Wong et al.(2014. 8), "Charged particle therapy versus photon therapy for paranasal sinus and nasal cavity malignant diseases: a systematic review and meta analysis," Lancet Oncol, 15(9): 10271038
- T. Ohno(2013. 3), "Particle radiotherapy with carbon ion beams," EPMA J, 4(1): 9
- Andres Juan Kreiner et al.(2014), "Present status of Acceleratorbased BNCT," Report of Practical Oncology and Radiotherapy, Available online 12 December 2014
- 국민건강보험 2012
- 보건복지부 2012년 치매 유병률 조사 2013
- 정신건강문제의 사회경제적 영향 분석 및 관리방안 연구-우울증을 중심으로, 국민건강보험공단, 2013
- Frost&Sullivan, Radiotherapy today and tomorrow, 2011
- 미래사회의 방사선의학 - 한국원자력의학원 2016

방사선의학  
R&D 미래전략

김용한  
한국원자력의학원





발표자 성명: 김 용 한

발표자 약력:

2001.03~2003.02 KAIST 원자력 및 양자공학과 석사

2003.03~2005.02 KISTEP 위촉연구원

2007.01~(현재) 한국원자력의학원 연구기획팀

2009.02~(현재) 한국원자력의학원 연구기획팀장

## ABSTRACT

방사선의학은 각종 방사선을 의학적으로 이용하여 질병의 진단, 치료와 그 질환의 병태생리 또는 생화학적 연구를 하는 학문이다. 방사선의학의 범위는 기초 및 응용분야와 임상분야 별로 각 세부 분야로 구분될 수 있다. 방사선의학은 전통적으로 암정복을 위하여 활용되어 왔으나 그 외에도 뇌질환 극복에도 활용도가 높아지고 있고, 우주환경이나 저선량 등 인체영향 분야에도 적용이 되고 있다. 그동안 한국원자력의학원과 여러 대학 등을 통하여 많은 연구 성과를 도출한 방사선의학 분야의 미래 전략을 전망하면, 단기·중기적으로는 동위원소 생산기술 및 핵의학 분야에서는 국가 차원에서 의료용 동위원소 생산기술 체계를 갖추어 차세대 RI 생산을 고도화하고, PET 융합영상 기술 및 치료용 방사성의약품이 혁신적으로 발전할 것으로 보인다. 뇌질환에도 활용도가 높아갈 것이며, 빅데이터 및 맞춤형 의학의 기반이 다져질 것으로 전망된다. 중입자 치료기가 상용화 되고, 사이클로트론 기반의 NCT와 같은 방사선치료 혁신이 예상된다. 또한, 오래 전 국산화에 성공한 사이클로트론 기술의 수출 기반을 갖추어 나갈 것으로 보인다. 장기적으로는 4차산업혁명 관련 기술들의 성숙과 함께 빅데이터 의료정보 및 개인맞춤형 의학이 구현될 수 있을 것으로 기대되며, 우주 시대에 필요한 우주방사선 등에 대한 기반이 갖추어져야 할 것이다. 마지막으로 통일시대를 대비하여 남북 의료 관련 교류의 확대를 대비하여 장기적으로 통일 비용 부담을 줄일 수 있는 대비가 필요할 것으로 보인다.



# 방사선의학 R&D 미래전략

한국원자력의학원 김용한



한국원자력의학원  
방사선의학연구소

## 목차



한국원자력의학원  
방사선의학연구소

방사선의학? ..... 3

방사선의학의 범위 ..... 4

방사선의학의 활용 ..... 6

방사선의학 R&D 성과 ..... 10

방사선의학 미래전략    중·단기 ..... 11  
장 기 ..... 17

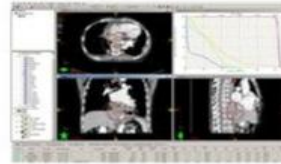




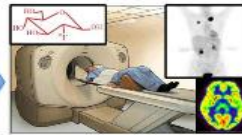


## 방사선의학 임상분야

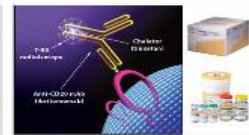
### 방사선종양학



### 핵의학

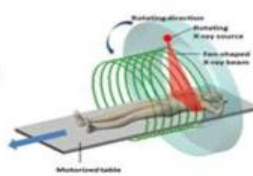


진단



치료

### 영상의학

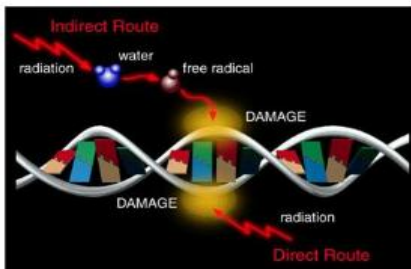


5

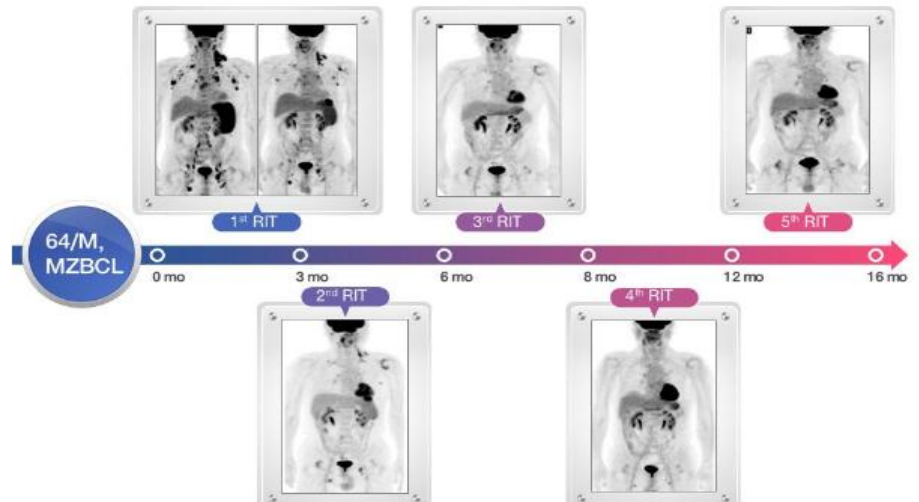
# 방사선의학의 활용

## 암정복

### 방사선 조사

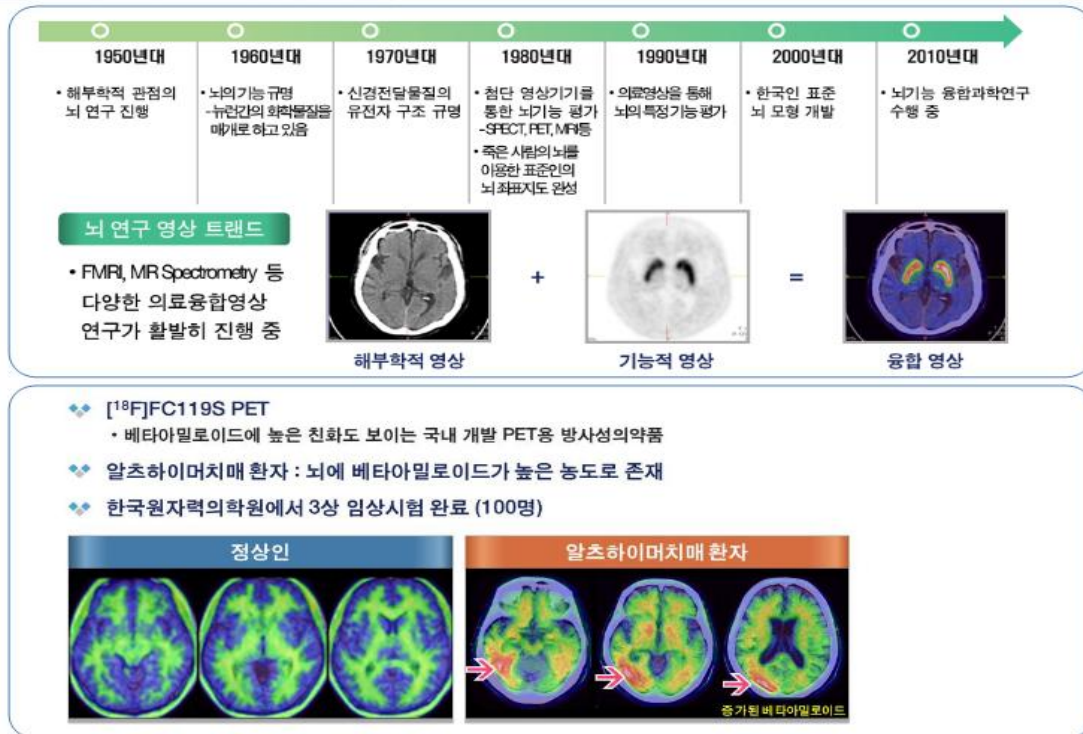


### 방사면역치료



6

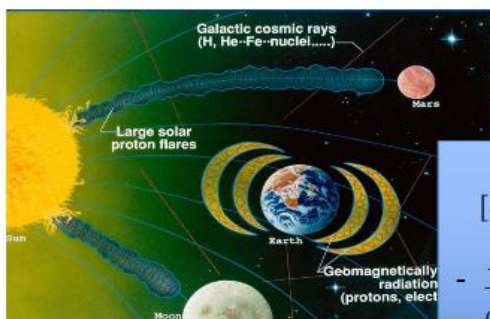
## 뇌질환 극복



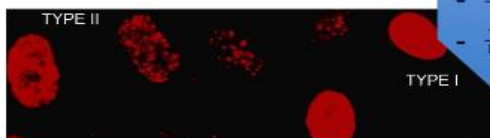
7

# 방사선의학의 활용

## 우주 환경 준비

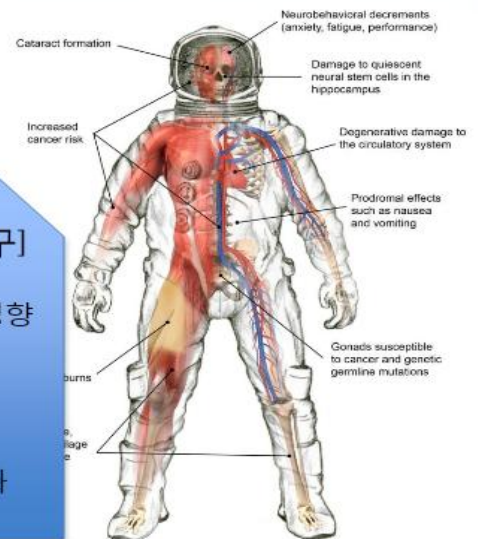


<우주방사선>



### [우주방사선 생물학 연구]

- 고에너지 양성자·중입자 영향
- 이차양성자·중성자 영향
- 중입자 차폐
- 무중력상태 방사선영향
- 근골격계 및 심혈관계 변화



<우주인의 인체영향>

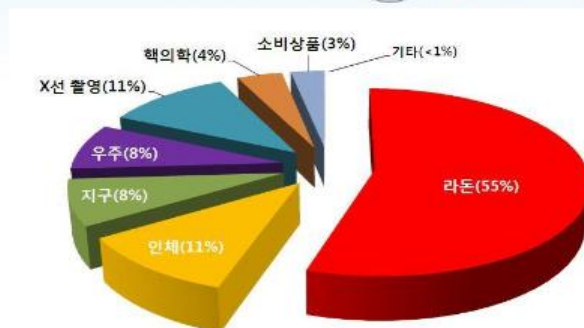
<인체에 대한 우주의 양대 영향  
- 미세중력, 우주방사선, NASA>



## 방사선의 인체영향



### <방사선치료 부작용 극복>



### <자연방사선>



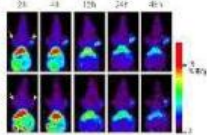
### <생활 속의 우주방사선>

9

# 방사선의학의 R&D 성과

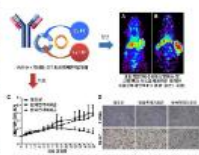
#### ○ PET 이용 암 진단치료 융합 진료 시스템 개발

- 세계 최초로 PET 이용 암 진단과 동시에 치료할 수 있는 유전자 시스템 개발
- Journal of Nuclear Medicine 게재 ('14.8)



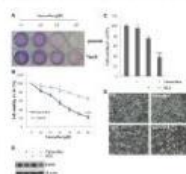
#### ○ 식도암 진단치료용 방사성의약품 개발

- 세계 최초로 원격 양전자 방출단층촬영(PET) 이용 식도암의 진단과 치료를 동시에 할 수 있는 전비전스 방사성의약품 개발
- Journal of Nuclear Medicine 게재 ('16.7)



#### ○ 유방암 치료 효능 증진 약물 치료법 개발

- 유방암 환자에 대한 호르몬 치료 효과를 증진시키고 재발을 방지할 수 있는 새로운 약물 치료법 개발
- Oncotarget 게재 ('16.8)



#### ○ 유방암 재발 가능성을 사전에 확인할 수 있는 분자지표 개발

- 방사선 치료 후 재발률이 높은 유방암 환자를 미리 선별할 수 있는 분자진단 지표 개발
- Oncotarget 게재 ('16.1)



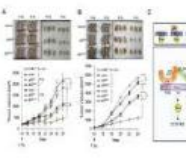
#### ○ 국내 최초 의료용 사이클로트론 개발

- 국내 최초 사이클로트론 개발(KIRAMS-13, '01) 및 7대 권역 공급('10)
- 30MeV 사이클로트론 개발(KIRAMS-30, '09) 및 청단방사선연구소 설치
- 관련 기술 이용 연구소 기업 설립('17)



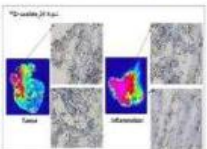
#### ○ 암 전이재발 원인 규명

- p53/p21 단백질 결합체가 정상적으로 작동하지 못할 경우, 암의 전이와 재발이 촉진됨을 최초로 규명
- Cancer Research 게재 ('17.4)



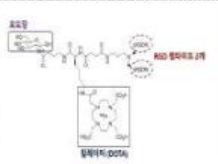
#### ○ 염증과 종양 구별이 가능한 염증 진단용 방사성의약품 개발

- 국내 최초로 인체 내 염증과 종양을 구별할 수 있는 염증 진단용 방사성의약품(지르코늄 옥살레이트) 개발
- Molecular Pharmacuticals 게재 ('16.5)



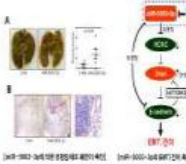
#### ○ 암세포 결합력 높은 방사성의약품 개발

- 국내 최초로 방사성 동위원소 구리-64 이용 암세포 결합력이 향상되고 간에 대한 축적률이 낮은 방사성의약품 개발
- Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals 게재 ('16.7)



#### ○ 유방암 전이 촉진 기전 최초 발견

- 세계 최초로 유방암 전이를 촉진시키는 특정 miRNA를 발견함으로써 유방암 전이 억제 약물 개발 가능성 제시
- Journal of Molecular Cell Biology 게재('16.3)



## 동위원소 생산기술 및 핵의학

### ☀ 국가 의료용 동위원소 생산기술 고도화

- : 난치성 질환 진단/치료에 유용한 차세대 방사성동위원소 종합 양산(국산화)
- 차세대 RI : 진단용( $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{89}\text{Zr}$ ,  $^{44}\text{Sc}$ ,  $^{124}\text{I}$ ), 치료용( $^{117\text{m}}\text{Sn}$ ,  $^{67}\text{Cu}$ ,  $^{211}\text{At}$ )
- 의료용 동위원소 표지기술 선도

### ☀ 핵의학 진단/치료

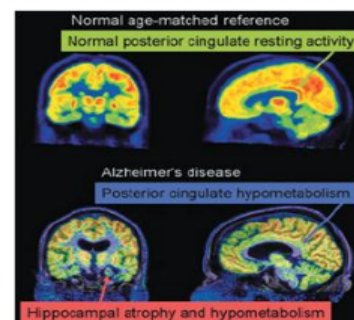
- : PET 영상의 임상유용성은 관련 기술의 긍정적인 발전과 함께 지속적으로 진화 중
- 융합영상 중 하이브리드 PET-CT는 당분간 PET 영상의 중심 역할 수행
- 하이브리드 PET-MRI 점차 암진단 주도 예상
- 치료 및 진단용 방사성의약품 임상 진입
- 컨버전스 방사성의약품(진단 및 치료 동시 가능) 기술 확보
- 난치성 종양 알파 핵종 표적치료 기술 개발

11

## 뇌질환

### ☀ 뇌질환 극복 방사선 융복합 선도 기술

- 한국형 뇌질환(파킨슨병, 우울증, 치매, 종양 등) 조기 진단 바이오마커
- 방사성의약품 활용 뇌영상법
- 뇌질환 추적 모니터링 기술을 통한 조기진단 및 치료제 평가시스템 구축
- ➔ 고령화 시대 방사선의학의 중요 기여 예상 분야



## 저선량 방사선기술

### ☀ 생체영향 저선량 방사선기술

- 저선량 방사선 생물학적 평가기술(정성적, 정량적 분석)
- 인체 작용(노화, 염증, 대사, 행동, 만성질환 등) 규명
- 저선량 방사선 대처기술, 인체 보호 기술 및 활용기술 개발

12



## 빅데이터 기반 정밀의료

### 빅데이터 의료정보화

- 방사선 정밀의료 실현을 위한 진료 및 임상정보, 유전정보, 진단기기 등으로 획득한 데이터를 종합한 방사선 특화 빅데이터 구축
- 인체 유래물을 통한 방사선에 의한 생체 정보 수집/분석
- 피폭 유전체 정보화를 통한 인체 유전체 반응지도 구축

### 질환맞춤형/환자맞춤형 정밀의료 구현

- 환자 맞춤형 방사성의약품 개발
- 개인 맞춤형 치료 및 효과 예측(방사선치료 효과 예측)
- 질환 맞춤형 정밀 방사선 조사시스템 개발
- ➔ 유전체 정보, 의료·임상정보, 생활습관 정보 등을 통합 분석한 개인별 최적의 맞춤형 의료서비스 구현

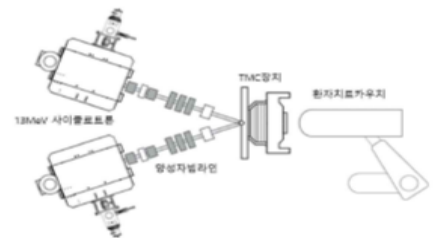


13

## 방사선 치료 혁신

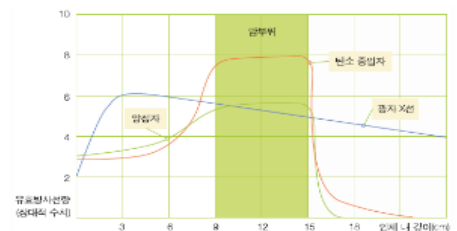
### 사이클로트론 기반 NCT 치료시스템 개발

- 뛰어난 암 치료효과 및 정상세포 손상 극소화
- NCT 최적 사이클로트론 설계
- BNCT(Boron), GdNCT(Gadolinium) 고기능 종양 표적 의약품 개발



### 중입자 치료 상용화

- 우수한 Bragg Peak로 암 부위에만 작용하고, 기존 방식(X선 등)에 비해 암부위에 대한 생물학적 효과가 2-3배 높아 정상조직 손상이 전혀 없는 매우 우수한 치료법
- 싱크로트론 방식 중입자 치료기 국내 도입 및 임상적용
- 향후 가속기 및 치료시스템 국산화 및 소형화 경량화 연구 필요



14

# 방사선의학 미래 전략 <중·단기>



한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

## 방사성의약품 생산 시스템 수출

### 수출형 사이클로트론 개발 및 고도화

- 30MeV, 50MeV 사이클로트론 수출형 고도화
- 초전도 사이클로트론 개발 → 소형화 및 GMP 최적화 사이클로트론 개발



### 사이클로트론 기반 방사성의약품 생산 시설 일괄 수출

- 한국형 수출형 사이클로트론 개발
- 선진국 GP 기준을 통한 방사성의약품 제조시설 구축 등 사이클로트론에서 방사성의약품 제조시설까지 통합 플랫폼 수출
- 동남아, 중동 등 국가들의 공동연구 및 기술이전 요청 및 수출 수요 발생에 따른 대응



# 방사선의학 미래 전략 <장기>



한국원자력의학원  
KOREA INSTITUTE OF RADIOLOGICAL & MEDICAL SCIENCES  
방사선의학연구소

## 4차 산업혁명 시대의 방사선의학

### 4차산업혁명 기술과 함께

- 빅데이터 의료정보화 영상기술 및 수학적모델 개발/활용
- 빅데이터 이용 AI 및 수학적모델을 통한 임상 적용
- 피폭 유전체 정보화로 개인 맞춤형 의학 구현(적용)
- 치료 및 진단용 의약품의 임상효과 예측을 통한 개인맞춤형 의료 구현
- 방사선치료를 위한 3D 프린터 활용(방사선량 정도관리를 위한 팬텀 등)

## 우주 시대를 준비하는 방사선의학

### 우주 환경 준비를 위한 기술개발

- 본격적인 우주시대의 도래에 따른 우주방사선 이해 및 대비 필요
- 우주환경(미소중력, 우주방사선)의 인체영향 규명
- 특히, 우주선 탑승자 및 우주 체류자 보호를 위한 우주방사선 차폐 및 우주방사선생물학 연구가 필수

## 통일시대를 대비하는 방사선의학

### 열악한 진단/치료 인프라

- 핵의학 인프라 전무
- 방사선 치료기 및 관련 전문의, 의학물리학자, 방사선사 등 많은 인프라와 인력 필요
- 남북 건강 수준 격차는 향후 통일비용에 부담 가중

### 통일 대비 남북 의료 격차 단계적 해소 필요

- 남북 화해무드 조성에 따라 장기적으로 열악한 북한의 의료시설에 대한 지원 필요성 대두 예상  
(방사선 치료장비 극소수, 핵의학 기기 전무)
- 통일 직후 자유로운 이동의 제한(환자 이동 제한) 을 고려인프라 구축 필요
- 남한의 구형 장비 교체 후 무상공급 등 대책 마련 필요
- 공공기관 분원 설립 및 인력 파견 등의 형태로 주요 인구 밀집지역부터 인프라 구축 필요



# THANK YOU