Journal of Radiation Industry 7 (2~3) : 209~219 (2013)

Technical Paper

RI-Biomics 분야 인력양성 모델 정립

염유선 · 신우호* · 황영묵 · 박태진 · 박상현[1]

한국동위원소협회 방사선연구부,
[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소 방사선실용화기술부

Establishment of Model for the Human Resource Development in RI-Biomics Field

Yu-sun Yeom, Woo-Ho Shin*, Young-Muk Hwang, Tai-Jin Park and Sang-Hyun Park[1]

Radiation Research Division, Korea Radioisotope Association, Seoul 132-822, Korea
[1]Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea

Abstract - RI-Biomics field comes into the limelight as a new fusion radiation technology. These rapid development of RI-Biomics cause the necessity of establishment of a new methodical education program model for consistent training of professional manpower in RI-ADME, Biomics field. But domestic current status is not satisfied to training human resource development in RI-Biomics. Actually domestic educational organization related to RI-Biomics just run educational programs oriented basic theory, so practical and fusion education are not existed nowadays for preliminary RI-Biomics expert. Therefore we established a new education program model for educate of the expert in RI-Biomics field to overcome current problem about the route of knowledge that has more monotonous and concentrated tendency and non-professional education. To improve universality and practicality, we conduct education-training model survey about domestic and foreign country. This new human resource development model will contribute to fostering new expert in RI-Biomics field.

Key words : Radiation technology, Biomics field, RI-Biomics, RI-ADME, Fusion education, Education-training model

서 론

방사선을 이용한 신약 및 의료용 신소재의 체내 분포, 소실, 대사 및 질병 선택성을 평가하기 위한 방사선융합 기술 개발은 선진국을 중심으로 세계적으로 기술 개발에 박차를 가하고 있는 Platform 기술이다. 특히, 방사성동위원소 기반 신약평가 기술(RI-ADME)과 더불어 신약후보물질의 생물체 및 세포 내에 거동 및 효능평가를 수행할 수 있는 분자영상 기술을 접목한 RI-Biomics 기술은 후보 약물의 선별 효율을 획기적으로 높이고 연구의 신뢰도를 높임으로써 향후 거대 시장을 형성할 것으로 전망하고 있다.

* Corresponding author: Woo-Ho Shin, Tel. +82-2-3490-7170, Fax. +82-2-445-1014, E-mail. swh0410@ri.or.kr

최근 미국과 일본을 중심으로 신약개발의 리스크를 줄이면서 신약과 같은 파급효과를 낼 수 있는 신규 약물 개발에 대한 연구가 활발하게 추진되고 있는 실정이며, 이와 같은 국제적인 추세에 맞추어 RI-Biomics 분야 중 RI-ADME에 대한 미래 전문가 및 지도자를 지속적으로 양성할 수 있도록 첨단 방사선 시설 및 전문인력을 활용한 체계적인 교육훈련 프로그램의 개발 및 운영체계 확립의 필요성이 강하게 대두되고 있다.

RI-Biomics 분야는 생체 분자영상, 나노바이오기술, 방사화학, 물리, 생물 등이 융합된 기술 분야이다. 국내외적으로 RI-Biomics 기술을 이용한 핵심기술의 개발이 요구되고 있을 뿐만 아니라, 동위원소 취급을 포함한 기본적인 생물학적 · 화학적 지식, 동위원소 표지와 관련한 방사화학 등의 기초 지식 및 동위원소를 표지한 신약의 in vivo 동태를 확인하기 위한 방사성 영상의 분석기술 개발의 필요성 역시 대두되고 있다. 그러나 국내 약대, 의대, 한의대 및 방사선, 원자력 등 관련분야에 대해 커리큘럼이 있음에도 불구하고 각 분야에서 이론 위주의 교육에 집중되어 있고, 새로운 방사선 융복합 기술인 RI-Biomics에 대한 전문교육 커리큘럼은 부재한 상황이다. 또한 현 국내 RI-Biomics 산업에서는 이와 같은 핵심기술의 개발을 수행할 수 있는 전문인력을 양성하기 위한 교육기관이나 교육프로그램이 전무한 실정이다.

이와 같은 전문 교육기관이나 교육프로그램의 부재로 인해 원자력 전공자나 관련 전공자가 방사선융합기술 산업에 취업하는 데 많은 어려움이 있고, 취업 후 기술적 문제로 이탈율이 높아지고 있기 때문에 전문화된 RI-Biomics 인력들의 지속적인 공급에 어려움을 내포하고 있다. 따라서 이러한 문제점을 근본적으로 해결하기 위해 인프라 보유기관 간의 유기적인 연계를 통한 효율적인 실험 · 실습기회를 제공할 수 있는 체계적이고 융복합이 가능한 RI-Biomics 분야 인력양성 모델을 정립코자 한다.

본 론

1. 국내외 인력양성 현황

국내외 RI 및 Bio 분야, 그리고 RI-Biomics 관련 인력양성 현황에 대해 조사하였다. RI 및 Bio 분야는 각각의 교육분야별 인력양성 프로그램은 다양하게 이루어지고 있었으나, 두 분야가 융복합된 경우 전문적인 교육프로그램의 부재로 인해 참여가 어렵고, 관련 분야의 실습과정 부재로 전문인력의 실무능력 향상에 어려움이 있다.

1) RI 분야

국내에서 RI 분야에 대한 교육은 과거부터 현재까지 세부적이고 다방면으로 운영되고 있다.

한국동위원소협회의 경우 방사선작업 종사자에 대해 교육을 수행하고 있으며, 2003년부터 전문적인 강좌도 운영하여 관련 분야의 전문인력을 양성하고 있다. 또한 전문강좌로서 개설된 프로그램은 강좌운영 취지에 맞게 다양한 주제가 반영될 수 있도록 국내 · 외 방사선분야 최신동향 정보 등도 반영하고 있다.

한국원자력연구소에서 운영하는 방사선방호 석사과정(PGEC)은 학사학위 및 이에 준하는 교육을 받은 교육생을 대상으로 국제 권고기준에 근거하여 방사선방호 및 선원의 안전에 관한 이론과 실무로 구성되는 전문지식 및 기술을 교육하고 있다. PGEC 표준 교수요목은 Table 1과 같이 11개 파트로 구성되고, 각 파트는 다시 여러 개의 모듈로, 그리고 실무역량 강화 목적으로 시연, 실험실습, 사례연구, 현장방문 그리고 시뮬레이션을 포함하는 실습 목록을 제시하고 있다(한국원자력연구원 2012). 따라서 한국형 PGEC의 총 교육 기간은 20주로, 이론교육과 실무역량을 강화하기 위해 실습, 현장방문 그리고 Project work, 특별강연으로 구성하고 있으며, 실습을 포함하여 현장방문과 Project work가 실습의 일환임을 고려할 때 전체 과정에서 실습이 차지하는 비율은 32% 정도 구성되어 있다.

방사선기술학교(WNU-RT)에서는 전세계 방사선 분야의 젊은 과학자들을 대상으로 차세대 글로벌 리더를 육성하기 위해 방사선 기술운영 현황 및 국제체제, 방사선 응용기술의 현재와 미래 등 방사선 분야에 대한 교육을 실시하고 있다(한국원자력협력재단 2013). 이 교육의 가장 큰 특징은 세계 저명 전문가의 강의를 청취할 수 있을 뿐만 아니라, 멘토들을 주축으로 그룹토론의 시간을 가질 수 있다는 점이다. 이러한 과정을 통해 방사선기술 분야에 대한 지식과 함께 경험을 공유할 수 있으며, 1차원적인 교육훈련을 뛰어넘어 실제 연구현장에서 수행하고 있는 방사선기술 응용의 실험실습을 체험함으로써 지식과 경험을 함께 얻는 다차원적 교육훈련을 실시하고 있다.

국내에서 운영중인 아시아원자력교육훈련네트워크(ANENT: Asian Network for Education in Nuclear Technology)는 교육훈련정보 · 자료교환을 위한 사이버교육 플랫폼을 개설하여 운영하고 있다. ANENT는 회원 국가별 업무를 분장하여 운영 · 관리하고 있으며, 신 · 구세대의 학생, 교수, 연구원들을 포함한 인적자원의 교류를 적극적으로 추진하고 있다(한국원자력협력재단 2013).

국외의 경우는 대표적으로 미국, 러시아, 독일, 영국 등

Table 1. The Constitute of the Master's Course for Radiation Protection in Korea

Division			Period		Total (Week)	Practice ratio (%)
			Hour	Week		
Instruct Ion subject	I. Review of fundamentals	Theory Practice	49 24	1.7 0.8	2.5	0.32
	II. Quantities and measurements	Theory Practice	28 28	0.9 0.9	1.9	0.50
	III. Biological effects of ionizing radiation	Theory Practice	18 6	0.6 0.2	0.8	0.25
	IV. Principles of radiation protection and the international framework	Theory Practice	7 –	0.2 –	0.2	–
	V. Regulatory control	Theory Practice	18 5	0.6 0.2	0.8	0.22
	VI. Assessment of external and internal exposures	Theory Practice	35 16	1.2 0.5	1.7	0.31
	VII. Protection against occupational exposure	Theory Practice	44 14	1.5 0.5	1.9	0.24
	VIII. Medical exposures in diagnostic radiology, radiotherapy and nuclear medicine	Theory Practice	71 10	2.4 0.3	2.7	0.12
	IX. Exposure of the public due to practices	Theory Practice	29 6	1.0 0.2	1.2	0.17
	X. Interventional in situations of chronic and emergency exposure	Theory Practice	44 8	1.5 0.3	1.7	0.15
	XI. Training the trainers	Theory Practice	18 –	0.6 –	0.6	–
	Total	Theory Practice	364 117	12.1 3.9	16.0	0.24
Tutorial			18	0.6	0.6	
On the spot visit			35	1.2	1.2	
Project work			20	0.7	0.7	
Special lecture			16	0.5	0.5	
Evaluation of study accomplishment			24	0.8	0.8	
Write feedback questionnaire			3	0.1	0.1	
Orientataion etc			3	0.1	0.1	
Total			597	20	20	

원자력선진국을 대상으로 조사하였다.

미국은 학·연 간의 협력, 인터넷을 활용한 교육특화, Simulator (가상 원자로) 활용교육, 국제협력을 통한 교육 및 경력개발 특성화교육과정 등 5개로 분류하여 개설되어 있다. 테네시대학과 바텔기념연구소 간의 협력을 통해 시설공동활용 및 연구참여 기회제공 등의 다양한 활동을 추진해오고 있다. 또한 국립연구소를 중심으로 공동연구 추진대학과의 협력을 통한 연구센터 설립 등 다양한 형식으로 교육·연구 활동이 이루어지고 있다. 그리고 인터넷의 대중화로 인해 원격교육과 웹기반 인터넷 기술의 출현으로 미국의 많은 원자력공학 및 보건물리학 교육과정들이 수요의 증가에 맞추어 교육프로그램을 확장하고 있다 (한국원자력협력재단 2013).

러시아의 경우는 구소련 시절부터 핵연료주기시설 (NFC) 부지 조성과 함께 현장요건에 적합한 우수인력을 양성하기 위해 다수의 대학 프로그램이 개설되었으며, 최근에는 연방원자력공사 (State Corporation on Atomic Energy, SCAE) 부설 R&D 연구소, 원자력산업발전소의 기술관련 부서 및 기타 부서, 생태학과 의학 등을 통하여 인력양성 프로그램을 운영하고 있다. 또한 러시아 고등교육기관·원자력연구센터·관련업계 간의 유기적인 협력관계를 통해 공인 전문가 훈련을 위한 효과적인 시

Table 2. Summer School Eduction Program of WNU

Item	Subject	Content	
Part 1 (Expert presentation)	Global Setting	• Energy demand/supply • Global warming/climate change	• Sustainable development nuclear technology • Nuclear related main issues & lately trend etc
	International Regimes	• Radiation protection • Radioactive waste	• Radioactive material transport • Nuclear related statute etc
	Technology Innovation	• Next generation nuclear reactor • Radioactive waste management	• Advanced Nuclear fuel development • Hydrogen production etc
	Nuclear Industry Operations	• Nuclear Industry & Economy • Atomic power knowledge management	• Nuclear fuel market • Comparative risk evaluation • Process industry
Part 2 (Team nursing & discussion with mentor)	Discuss primary consideration & matter such as sharing variety viewpoint and case study		
Part 3 (Facilities tour)	• Nuclear reactor (including research reactor), R&D facilities • Fuel cycle facilities, Nuclear fuel facilities	• Waste storage facilities etc	

Table 3. Eduction Program of UNENE

Course name		Program feature	University	Remarks
Expert training	Nuclear engineering master degree course	• Operator re-education • Expertise, Technology & business administration skill education • Overtime work management	• Mcmaster • Waterloo • Western Ontario • Queens etc	Ontario graduated school educational committee approved the program
Regular study/ research	NPP design, manage, safety & related field fundamental technology education	• All registered class of UNENE & obtaining grade is available • UNENE course 10 or correspond course 8 & complete industry project can acquire master degree of engineering		Preparation fund: Consortium with province of Ontario university & committee of national science engineering in Canada

스템 구축 및 양질의 원자력 교육을 제공하기 위해 운영되고 있다(한국원자력협력재단 2013).

영국은 우리나라의 학사과정에 해당하는 3년제 학사과정(이학사, 공학사) 및 석사과정과 통합해서 운영되는 4년제 과정(물리학석사, 공학석사, 과학석사)이 학부에 개설되어 있으며, 원자력기술교육컨소시엄(NTEC, Nuclear Technology Education Consortium)에서는 대학과 연구원 간 교육훈련을 연계하며, 양성 인력의 현장실무 능력을 키울 수 있도록 산업체와의 협력을 통해 인턴십 및 취업의 기회도 제공하고 있다(한국원자력협력재단 2013).

독일의 경우는 원자력기술 부문의 고용추이와 교육역량 제시, 대학기관들과의 협력관계 확충 및 국제기관 지원(예: ENEN, WNU) 및 원자력안전 및 폐기물저장과 관련된 정부지원 연구활동을 체계화하여 추진, 외부재원을 통한 우수 신진 과학자 육성과 국제안전기준 개발활동에 적극 참여(EU, IAEA, OECD-NEA)할 수 있도록 교육을 진행하고 있다(한국원자력협력재단 2013).

그 외에 국제적으로 운영되고 있는 교육프로그램으로서 교육훈련분야 협력확대 등을 골자로 하는 유럽원자력교육네트워크(ENEN: European Nuclear Education Network)는 회원 간 공통 교육과정, 학점공유제, 정기적 인력교류 및 국제 교환학생 프로그램을 개설하여 운영 중에 있다. 그리고 세계원자력대학(WNU: World Nuclear University)에서 운영되는 교육프로그램 중, 대표적으로 Table 2와 같이 총 6주 과정의 WNU 여름학교가 있다. 교육프로그램은 원자력기술의 이용에 따른 국제 환경(Global Setting) 및 원자력 산업(Nuclear Industry)에 미칠 영향에 대하여 다양한 문제를 주제로 국제 전문가들의 강의 및 강연자와의 토론의 시간이 2주간의 과정으로 진행되며, 시설견학(1주), 원자력안전 및 방사선방호 관련 규정 등 관련법령(2주)에 대한 내용을 포함하여 참여자 간 활발한 토론을 할 수 있도록 다양한 포럼(1주)을 제공하고 있다. 또한 Table 3과 같이 일반인을 대상으로 하는 원자력 전문가 양성과정과 일반학생들을

대상으로 하는 정규 학문・연구 과정으로 교육프로그램을 운영하고 있는 캐나다 원자력공학대학네트워크(University Network of Excellence in Nuclear Engineering, UNENE)도 있다.

2) Bio 분야

(1) 한국폴리텍대학

한국폴리텍대학의 바이오캠퍼스는 신성장동력 분야별 맞춤형 우수전문기술인력을 산업현장에 보급하고, 유전자와 단백질정보 등 바이오정보의 획득・조작 전문가 및 바이오정보 분석 능력과 바이오정보 데이터베이스 구축・관리에 필요한 기반기술을 갖춘 전문기술인력을 양성하기 위해 바이오생명정보분야에 신성장동력부분인 바이오신약과 바이오진단시스템 관련 교육프로그램을 개설하여 운영 중에 있고, 재학생뿐만 아니라 현장인력에 대한 실무기술을 함양할 수 있도록 국비지원이 가능한 바이오기업대상 실무교육도 운영 중에 있다. 이와 같이 바이오캠퍼스는 유전자 조작과 진단 등 바이오기업체에서 필요한 현장실무 중심의 분자생물학 핵심기술을 배우고, 맞춤의약을 위한 게놈 분석기술을 습득하여 BT와 IT의 융합기술을 겸비한 전문기술인력을 양성하기 위해 유전자조작, 유전자검사 등에 관한 유전자진단분야와 바이오데이터의 수집・분석에 관한 생명정보분야에 대한 전공 프로그램을 개설하여 운영하고 있다(한국폴리텍 바이오대학 2013).

전공 프로그램은 크게 “유전자진단 특성화전공”과 “바이오생명정보 특성화전공”으로 나누어 운영하고 있는 바이오생명정보과와 보건・의료산업의 중추라고 할 수 있는 신약개발과 바이오시밀러 의약품 개발에 핵심적인 실험동물/진단/의약품 생산 및 품질분석과 관련한 현장 실무형 핵심 실험동물기술의 전문인력을 양성하고 있는 생명의약분석과를 개설하여 교육프로그램을 운영 중에 있다. 이와 관련하여 생명의학분석과의 각 기술별 세부목표 및 방향은 Table 4에 나타내었다.

(2) 바이오협회

바이오협회에서 수행하는 사업 중에서 바이오제품의 해외수출 활성화를 위한 GMP (Good Manufacturing

Table 4. Detailed Objectives and Course for Life and Drug Analysis Part

Field	Main education material
New medicine development technology	• Acquisition of skill about gene analysis/production protein & analysis technique needed to process of identify target
Laboratory animals technology	• Acquisition maintenance/management/operation skill about animal that bio-reagent methodical breed & facilities • Variety animal experiment technique, basic operation technique, toxicity/evaluation of medicinal effect, basic skill acquisition
Core bio technology	• Acquisition of molecule heredity・diagnosis technique for disease-model animal & experiment animal maintenance of bloodline/analysis

Table 5. The Ordered Training Program of Bio Manpower for Level

Sort	Program name	Education materials
Elementary level	Bio-internship program	• Group meeting: basic theory education (1 month) • Technical meeting: Practice training, Korea polytechnics bio-university course • Corporation meeting: the perfomance of operator’s duties (1 month) • Vocational support: After completing related course, vocational guidance & constant support
	Bio-phamaceutical Cultivation program	• Common capability course: MBA for non-major people, SMART & SPEED of fair-comparative period, Phamacology, Disease therapeutics • Professional capability course: CRA education
Intermediate level	Bio field incumbent training program	• Operate technical education by occupation related position of R&D & blue collar etc
High level	Biotechnology specialized graduated school	• In-ha university Red-Biotechnology specialized graduated school major course • So-gang university White-Biotechnology specialized graduated school major course

Practice) 실증 교육과정 및 바이오기술 산업화 과정에서 필수적인 핵심기술 교육과정을 운영하여 바이오산업분야 재직자의 직무능력을 향상시키기 위한 목적으로 “바이오 전문인력 양성사업”을 추진해오고 있다(한국바이오협회 2013). 2009년부터 올해 2013년까지 총 5차에 걸쳐 인력양성 프로그램을 진행되어 오고 있으며, 국내 관련 학·연기관 간의 협력을 통해 “바이오제품 선진 GMP 전문인력 양성”과 “바이오핵심기술 전문인력 양성” 2가지 대분류로 구성되어 있다. 바이오협회를 통해 운영중인 바이오분야의 전문인력 양성 프로그램은 Table 5와 같으며, 급증하는 의약품 임상시험 전문인력 수요 및 CRO (임상전문기관)의 인력수급 애로를 해결하기 위해 공통역량강화와 전문역량강화 교육으로 프로그램을 운영하고 있고, 공통역량은 비전공자를 위한 MBA (Master of Business Administration), 공정경쟁 시대의 SMART & SPEED 2개 과정과 총 8개의 약제약리학·질병치료학 교육과정으로 운영되고 있다. 또한 전문역량과정은 CRA (Clinical Research Associate: 임상시험모니터요원) 현장중심 실무교육으로 주로 운영되고 있다.

(3) 서울대학교

단백질생산공학과는 바이오산업 제품 시장의 상당 부분을 차지하는 단백질 제품의 산업화 촉진 및 생산성 향상을 위한 단백질생산공학분야 고급 전문인력 양성 및 공급시스템 구축을 위해 개설된 과정으로서 생물화학공학특론, 발효공학, 동물세포공학특론, 생물분리정제공학 등의 교육프로그램을 수행하고, 산업화 측면에서는 생물공학세미나, 생물산업경영 등을 주요 프로그램으로 수행하고 있다. 또한 의약품산업의학 고위과정 교육은 국내 제약의학 분야의 고위관리자 및 M.D, Ph.D 등을 대상으로 수행되는 교육으로서 매년 2회의 과정을 통해 약 50명의 전문가를 배출하고 있으며, 서울대학교병원의 의생명연구원 연구실험부 교육 프로그램에서는 매년 2월 신규 전임의를 대상으로 하여 핵산관련 DNA, RNA의 추출 및 정량실험, 단백질관련 Western blotting 등을 교육하는 기초과정과 8월에 전임의 및 연구원을 대상으로 하는 특수공용기기관련 면역조직염색, 단백면역 (ELISA), 유세포분석, 공초점현미경, LC Mass 등 전문과정 워크샵을 개최하여 인력양성을 수행하고 있다(서울대학교 의생명연구원 2013).

(4) 임상연구코디네이터 교육과정

신약개발이 21세기 핵심 사업으로 인식됨에 따라 신약개발의 주요한 영역인 임상시험의 중요성에 대한 사회적인식이 높아지고 있는 추세로서 임상시험의 선진 인프라 구축과 인력양성에 기여해 오고 있으며, 임상시험을 수행 중인 각 기관에서는 임상시험의 전문인력 배출과 임상시험 수행의 질 향상을 위해 Table 6과 같이

Table 6. The Coordinator Eduction Program for Clinical Research

Educational Institution	Education name	Education materials	Education period
Seoul National University Hospital clinical Trials Center	Clinical research (CRC) required curriculum	Clinical Trials management standard (GCP full text review), EMR usage guide (CRC main program related), EMR security education, Document management, Basic document Review, Extraordinary reaction (AE) report & practice, department task cooperation (IRB, other insfecting room CTC etc), Q&A	1 week (10 hour)
ASAN Medical Center	Clinical research curriculum	Definition & performance, research design	Once a week (2 week program)
Samsung hospital	Clinical trials professional course	Cultivate researcher that have clinical trial performing ability based on researcher	22 hours
Pusan university	Clinical test Workshop	Application of clinical test & group analysis in pharmacodynamics, Subject procurement & obtain agreement in clinical trials	7 week (once a week)
KSCD (Korea Society for Clinical Development)	GCP training	Practice issues related GCP & violation cases	
Yonsei Sevrance Hospital	Clinical research basic curriculum	Researcher based clinical trials & comparative clinical research design	5 days
The Catholic univ. of Korea Seoul st.mary’s hospital	Clinical research deepen curriculum	Phamacokinetics and research Early clinic & clinical phamacology research Quality assurance of clinical trials	3 days (24 hours)

CRC (Clinical Research Coordinator: 임상연구코디네이터) 교육을 시행하고 있다 (바이오전문인력양성사업 2013).

(5) 기타

RI-Biomics 분야는 방사선영상학을 포함한다. 방사선영상공학이 개설되어 있는 학교는 고전적 학문 영역으로 분류되었던 방사선 분야와 전기전자 및 IT 분야와 같이 첨단적 요소가 결합된 융합형 공학 분야로서, 방사선 제어기술, 방사선 전환자 (Radiation Converter) 설계 및 제작 기술, 반도체센서 설계 및 제작 기술, 아날로그 및 디지털 신호처리기술, 그리고 방사선 검출 및 영상화 기술 등이 관련되어 있는 학문이다. 그러나 아직 국내 대학에서는 특화된 전문 인력 공급을 위한 교과목이나 교수요원이 부족한 상태이다. 따라서 기존의 이론 중심의 학문을 바탕으로 수행되었던 교재 구성으로는 상기와 같은 국내외 기술 환경의 변화와 융합적 교육의 원활한 수행이 어려워 관련 교과목 개발과 실무엔지니어 배출 등의 특성화가 필요한 시점이다.

고려대학교 생물법제학은 국제적으로 통용되는 생물법제 관련 규정 (유효성, 안정성 등)의 세부 기술 부문들을 교과과정으로 확립, 교육하여 국제수준의 바이오제품 생산에 필수적인 인·허가 전문 인력을 확보하기 위해 고급생물법제학, cGMP (Current GMP) 총론, IND (Investigational New Drug)/NDA (New Drug Application) 개론, 전임상 및 임상시험 개론, 품질관리 및 품질보증, 유효성 및 안전성 평가, 세포주 검증과 오염관리, 생물법제학연구, 고급생물법제학 특수연구 등 주요 교과목을 개설하여 교육프로그램을 수행하고 있으며, 연세대학교 생물소재공학과는 산업화를 필요로 하는 국내 생물소재·의공학·인공장기·생체적합성 폴리머 등 전반적인 생물소재 (Biomaterials) 분야 고급 전문인력 양성 및 공급시스템을 구축하기 위해 응용천연물화학, 응용분자생물학, 기능성 식품소재, 기능성 화장품소재, 생물신소재 탐색법, 생물분리공정, 생촉매반응공정, 나노바이오공학, 기능성 제품개발론, 생물산업 마케팅, 생물산업 법규론, 생물통계특론, 생물소재기기분석, 희귀생물자원개발론, 응용생물소재 연구법 등 교육과정으로 구성하고 있다.

3) RI-Biomics 분야

RI-Biomics 분야는 생체 분자영상, 나노바이오기술, 방사화학, 물리, 생물 등이 복합적으로 포함된 분야이다. 이 분야에서 대표적 활용분야인 RI-ADME는 신약 및 신소재 물질에 방사성동위원소를 포함하도록 완전합성 또는 표지하여 시험물질이 동물체내에서 어떻게 흡수, 분포, 대사, 배설되는지를 정성, 정량적으로 분석함으로써 시험물질이 생체에 의해 어떠한 영향을 받게 될 것인지를 평가하여 합성, 분석, 효능 및 안전성 평가 등 주변기술과의 융합을 통해 제약 및 신소재 산업에서 필요로 하는 첨단 평가기법을 제공하는 기술로서 세계적으로 각광받고 있는 융합기술이다.

미국의 신약개발을 위한 방사성의약품 시장은 2006년 기준 14.8억 달러 수준으로 2015년에는 44.5억 달러로 확대될 것으로 전망하고 있고, 미래 의약품 시장을 선점하기 위해 진단 및 치료용 방사성동위원소와 방사성의약품 개발에 대한 투자를 확대하고 있다. 그리고 RI-ADME 기술 분야는 거대 제약회사의 경우 관련기술을 확보하고 자체적으로 운영하거나, 선진국에 거점을 두고 있는 몇몇 시험평가대행기관 (CRO 시험기관)에서 독점하고 있어 국내 개발 신약의 경우에도 신약 평가를 위해 고가의 외화 유출 및 기술노출의 우려속에서도 해외에 의존하고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 이러한 문제를 해결하기 위한 국내 전문 교육프로그램은 현재 국내에서 운영중인 교육프로그램은 없다. 따라서 신규 대상자는 참여가 어려운 과정으로 보편성이 떨어지는 단점을 가지고 있지만 위의 문제를 대체할 수 있도록 국내에 관련 특수시험시설을 구축하고 이와 관련된 전문인력을 양성하기 위한 새로운 형태의 인력양성 모델 개발이 반드시 필요하다.

2. RI-Biomics 인력양성 신모델 정립

국내의 RI-Biomics 관련 첨단 방사선 시설 및 전문인력을 활용한 체계적인 교육훈련 프로그램의 개발 및 운영 체계 확립의 필요성이 강하게 인식되고 있는 상황이지만, 국내 RI 분야와 Bio 분야의 교육은 각각에 해당하는 분야에 대해서만 교육 프로그램을 수행하고 있다. 그리고 RI 분야는 학생 및 전문가를 대상으로 하는 교육프로그램이 시행되고 있으나 Bio 분야는 한국폴리텍대학을 제외하고 모든 부분이 현장 전문인력이나 고위과정을 양성하는 것을 기반으로 하고 있다. 그러나 RI와 Bio 분야가 융합된 경우 즉, RI-Biomics 분야에 대해 기초적인 과정뿐만 아니라 전문적으로 수행하는 대학 교육과정이나 연구기관에서 수행하는 전문적인 교육과정이 부재함에 따라 방사성동위원소 기반 방사선융합기술 분야의 전문인력 수급에 어려움이 내포되어 있다. 따라서 융복합되고 있는 RI-Biomics에 대한 커리큘럼을 정립함으로써 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해 RI-Biomics 분야의 RI-ADME 인력양성에 대한 모델을 정립하였다.

1) 모델 방향

RI-ADME는 타 분야의 첨단 기술과 접목함으로써 다

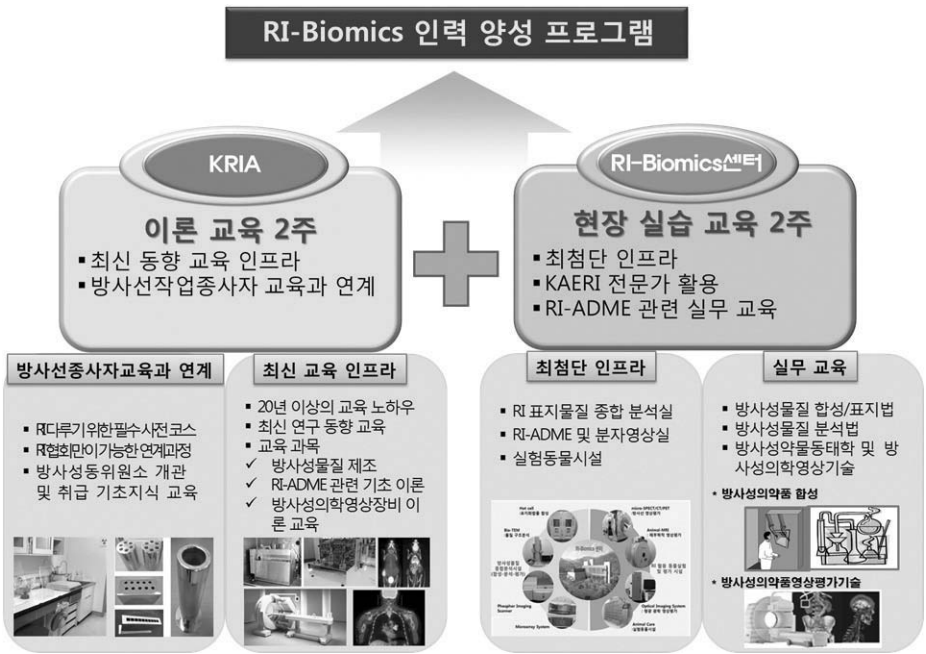

Fig. 1. The basic course of the specialist fosterage program of RI-Biomics field.

방면에서 이용되고 있기 때문에 기존에 분산 · 운영되고 있는 다양한 분야의 교육프로그램을 통합하여 인력의 전문성을 고려한 수준별 맞춤형식의 특화프로그램으로 구성하여 체계적인 이론학습 교육을 제공하고자 한다. 그러므로 이러한 이론교육을 바탕으로 질환 동물모델을 이용한 신약 후보물질의 평가방법으로 후보 약물의 체내 거동(Biodistribution), 약동력(Pharmacokinetics) 및 잠재적인 치료 활성(Biological activity)을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 후보 약물의 독성 평가도 이루어질 수 있기 때문에 다차원적 교육훈련을 위해 실습위주의 교육 역시 수행할 것이다. 따라서 교육대상자의 기본 지식이나 전공분야를 고려하여 신규인력, 전문인력으로 인력양성 단계를 세분화하고, 동일한 수준의 교육을 실시하기보다는 단계에 따른 인력양성의 방법(기간, 수준, 이론, 실습 등)에 차이를 두는 방향으로 모델을 정립하였다. 또한 교육 진행은 전문인력 양성 프로그램에 대해 관련분야에 관심을 갖고 있는 일반인이나, 전공취득자 중 취업대상자/재교육 희망자, 기존의 RI 및 Bio분야 인력을 대상으로 중 · 단기과정으로 운영할 수 있도록 방향을 정립할 것이다. 그리고 향후 RI-ADME 분야 교육훈련 프로그램의 대상자가 다양한 점을 고려하여 일과시간(평일 09시~18시)에 참여가 어려운 직장인을 대상으로 이론교육의 경우 웹기반 교육을 운영하거나 특정기간 동안 참여가 가능한 대학생 등을 대상으로 기간제(Summer/Winter School)형식의 교육을 제공하는 방안도 함께 고려할 것이다. 이와 관련하여 Fig. 1에 RI-Biomics 분야 인력양성을 위한 기본 방향을 제시하여 나타내었다.

2) 교육방법

교육대상은 화학, 생물학, 약제학 관련 전공의 제약회사 연구원 및 시험평가대행기관(CRO) 연구원, 그리고 방사선공학, 전자공학, 소프트웨어공학 전공자들이나 이러한 방사선 이용기술(RT) 분야로 진출코자하는 신진연구인력 및 기술인력과 향후 관련 분야 취업을 준비하는 재학생 및 대학원생 그리고 취업준비생을 대상으로 수행할 것이다. 따라서 기초과목과 심화과목을 구분하여 교육과정을 개설하고, 질환 동물모델을 이용한 신약 후보물질의 평가방법으로 후보 약물의 체내 거동(Biodistribution), 약동력(Pharmacokinetics) 및 잠재적인 치료 활성(Biological activity)을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 후보 약물의 독성 평가 수행을 위한 실습프로그램도 함께 구성할 것이다.

3) 교과과정

RI-Biomics 분야는 동위원소를 다루는 특수성 때문에 실습을 하기 위해서는 방사성 동위원소 관련 사고나 안전 등의 교육이 우선시 되어야 한다. 따라서 교과과정은 크게 방사성동위원소 취급, 방사성물질 제조(표지, 합성, 분석), 방사성약물동태학, 방사선 영상평가 기술과목으로 총 네 개의 분류로 과정을 개설하는 방향으로 모델을

Table 7. The Education Program related General Radioisotope Usage in RI-Biomics

Education name	Main contents
• Radioisotope theory	- Character & production of Radioisotope (nuclear reactor/generator/cyclotron) - Radiation physics - Application of Radioisotope
• Radioisotope usage	- Radiation detector - Raditation detect technology - Radioactive waste management
• Radioisotope usage protection	- The principle of radiation protection - Radiation safety management outline - Safety management method as usage of radioisotope

Table 8. The Education Program related Radioactive Materials Production in RI-Biomics

Education name	Main contents
• Radioisotope & chelator	- Variety & characteristic of radioisotope (nuclear reactor/generator/cyclotron) - Character of radioisotope & labeled compound composition - Chelator type & coordination chemistry
• Radioisotope & labeled compound composition	- Bio-pharmaceutical (antibody/peptide/new medicine/biomaterials/nano) - Biomaterial labeling method (preconjugation/postconjugation) - conjugation chemistry
• Radioisotope & labeled compound analysis	- Radioisotope labeled compound analysis method (Radio-LC/MS, GC/MS, radio-TLC) - Radioisotope labeled compound seperation & refinement - Radioisotope labeled compound character evaluation method (Log P/Stability test)

정립하였다. 교과과정의 세부 교육내용은 다음과 같다.

첫 번째, 기초과목으로서 방사성동위원소 취급 일반과 관련된 교육은 방사성동위원소에 대한 개관, 방사성동위원소의 취급에 관한 기초지식과 기술을 습득하고, 방사성동위원소 취급 시 장해방호에 관한 내용을 기술하여 교육을 진행할 것이며, 두 번째, 방사성물질 제조(표지, 합성, 분석)와 관련된 교육은 방사성동위원소를 이용한 신약평가방법, 신약후보물질에 방사성동위원소를 표지하기 위한 기초지식 및 기술 습득은 물론 방사성동위원소가 표지된 물질의 분석 기술을 습득하도록 이론적 교육을 계획하였다. 세 번째, 방사성약물동태학(RI-ADME 등) 교육은 비임상시험의 지원을 위한 실험동물관리와 실험동물의 물리적 환경과 시설관리에 대한 지식과 기술을 습득하고, 실험동물의 사육관리 및 수의학적관리, 위해관리에 대한 지식 등을 기술하여 교육을 진행할 것이며, 네 번째, 방사선 영상평가 기술은 방사선 영상의 종류 및 그 영상 원리, 방사성동위원소 기반 영상기술에 대한 지식과 기술을 습득하고 영상기반 체내거동 평가기법에 대한 기술 등을 기술하여 교육과정을 수행할 것이다.

첫 번째 기초과목을 제외하고 나머지 교육과정은 심화과정으로서 다차원적 교육훈련을 실시하기 위해서 이론교육과 실험・실습을 포함하여 설계하였다. 이와 관련하여 RI-ADME 각 교육과정에 세부내용은 Table 7부터 Table 10에 자세히 나타내었다.

4) 인력양성 신모델의 타당성

국내외 RI 분야, Bio 분야, RI-Biomics 분야에 대한 각각의 인력양성 현황분석을 통해 국내실정에 맞추어 전문인력양성 신모델을 해당 전문인력들의 체계적인 양성을 위해 기초과목과 심화과목을 구분하여 구성하였다.

본 RI-ADME 분야는 생체 분자영상, 나노기술(NT), 생명기술(BT), 정보기술(IT), 생체 분자영상, 나노바이오기술, 방사화학, 물리, 생물 등 타 분야의 첨단 기술과의 연계를 통해 환경과 생명공학, 우주항공, 농수산, 식품, 공중보건 등 다방면에서 이용되고 있기 때문에 기존에 교육프로그램들이 보유하고 있는 각각 분야에 대한 전문성을 통합함으로서 분산화되어 있는 교육과정을 해결하고, 인력의 전문성을 고려한 수준별 맞춤형식의 특화프로그램으로 이루어졌다. 또한 질환 동물모델을 이용한 신약 후보물질의 평가방법으로 후보 약물의 체내 거동(Biodistribution), 약동력(Pharmacokinetics) 및 잠재적인 치료 활성(Biological activity)을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 후보 약물의 독성 평가 수행을 위한 실습프로그램 또한 함께 구성함으로서 전문인력들의 이론만이 아닌 실습을 통해 실무능력 향상을 도모하였다. 특히 신모

Table 9. Education Materials related Pharmacokinetics in RI-Biomics

Education name	Main contents
• Understanding of institution related experiment animal	- Institution status that needed to experimental animal researcher
• Physical environment of Experimental animal	- Breed environment of experimental animal - Breeding room - Researcher protection measure from animal experiment
• Experimental animal breed I	- Feed, water, examination of bedding, inspection, analysis
• Experimental animal breed II	- Cage exchange - Washing, disinfection of environment - Disinfection & action of contamination zone - Waste disposal
• Veterinary medicine management of experiment animal	- Operation status of institution related domestic & foreign experimental animal - Transportation of animal & examination - Observation, quarantine, isolation of disease - Anesthesia of experimental animal - Euthanasia of experimental animal
• Moral management of experimental animal	- Interaction of ethics & animal experiment - Euthanasia, Introduction of Humane Endpoints
• Management of experimental animal facilitise	- Water supply & distribution of water of experimental animal facilities - Management of entrance person - Estimation of Temperature, Humidity, Ventilation, lighting, noise etc
• Risk element management of experimental animal	- Character of disease from experimental animal, Individual health control - Measure of occuring infectious disease in animal facilities
• Correction method of experimental animal	- Experimental animal management & correction
• Radio-pharmacy injection	- Inject method of radio-pharmacy to rodent
• Blood gathering method of rodent	- Blood gathering method of rodent after inject radio-pharmacy
• Collection of urine & feces of rudent	- Collection of urine & feces of rodent after inject radio-pharmacy
• Anesthesia method of rudent	- Anesthesia of rodent after inject radio-pharmacy - Euthanasia of rodent after inject radio-pharmacy
• Autopsy method of rudent	- Autopsy of rodent after inject radio-pharmacy
• Pharmacokinetics	- Use of experimental animal - Absorption & excretion of drug - RI-ADME study using radioisotope

Table 10. Education Materials related Radiation Image Evaluation in RI-Biomics

Education name	Main contents
• Radiation imaging outline	- Radiation imaging? (X-ray, CT, Nuclear imaging) - Development of character & image probe used imaging device - RI-ADME study
• Image technique based radioisotope	- Nuclear medicine imaging (SPECT, PET) - Nuclear medicine (Imaging probe) - Image technique (Functional imaging, Molecular imaging)
• Evaluation technique of movement in the body	- Test material tracing image - Dynamic imaging - Image analysis & interpretation

델에서 강조하고자 하는 현장실습교육은 방사성동위원소를 활용한 RI-ADME관련 방사성물질 합성/표지법, 방사성물질 분석법, 방사성약물동태학 및 방사성의학영상기술 등에 관해 한국원자력연구원 정읍 첨단방사선연구소의 RI-Biomics 센터 시설인프라 및 전문가를 활용함으로서 기존 이론중심의 인력양성 교육프로그램에서 벗

어나 관련 실무업무의 효율적 및 다차원적으로 업무수행이 가능하도록 구성하였다. 뿐만 아니라 인력양성 신모델 개발 및 운영을 정읍 첨단방사선연구소 RI-Biomics 센터의 기반시설을 바탕으로 개발된 인력양성 교육프로그램은 실제 실무자 및 기관의 전문성이 높아 우수한 교육여건 및 내용을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 신약 평가를 위해 고가의 외화 유출 및 기술노출의 우려를 방어함으로서 미래 의약품 시장을 선점하기 위한 인력을 양성하기 위한 교육프로그램 모델이다.

결 론

RI-Biomics 분야 RI-ADME 인력양성에 대한 모델을 정립하였다. 이러한 정립된 모델을 통해 방사선 이용기술(RT) 분야 또는 방사선 응용 분야의 지식확산을 유도함에 따라 미래 방사선 전문가로서 역할을 수행할 수 있는 전문적인 인력양성 교육을 수행할 수 있을 것으로 판단되고, 현재 방사선 분야 지식습득의 경로는 매우 단조롭고 편중된 경향이 있는 문제점과 방사선융합기술은 방사선기술과 IT, BT, NT, ET, ST 등의 첨단기술을 융합한 기술로서 다양한 산업분야에 적용 가능해야 하는 추세에 반해, 현재 방사선융합기술 관련 대학 학과, 전문교육과정 등이 전무한 상태로서 연구현장에서의 필요에 따라 연구 참여인력에 대한 교육이 비전문적으로 이루어지고 있는 현실의 문제점을 보완할 수 있을 것이다. 또한 향후 성장세에 있는 방사성의약품 시장에 신약개발을 위한 평가비용으로 고가의 외화 유출 및 선진 기술의 노출을 예방할 수 있을 뿐만 아니라 미래 의약품 시장을 선점하여 RI-Biomics 분야 국가 경쟁력을 향상할 수 있을 것으로 판단된다.

본 모델은 RI-Biomic 관련 기술을 보유한 전문인력의 양성을 위한 교육프로그램의 효율적인 운영을 위한 기초자료로써 활용될 것이며, 최적화된 기술정보시스템과의 연계를 통해 관련 연구자뿐만 아니라 일반인의 접근성 또한 증가시킴으로서 방사선융합기술 및 RI-Biomics 분야의 지식확산에 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 따라서 “방사성동위원소 이용 신개념 치료기술개발 플랫폼”구축(’16년 예정)과 관련하여 인프라 구축에 필요한 교육프로그램 개발에 활용될 수 있을 것이며, 전문지식을 갖추고, 실질적인 업무를 수행할 수 있는 실무인력을 양성할 수 있는 기초가 될 것으로 사료된다. 이를 바탕으로 차세대 원자력 및 방사선 종사자를 대상으로 한 멘토링 역할을 수행함과 동시에 본 모델을 수료함에 따라 관련 대상자들이 방사선 이용기술 분야에 진출할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 미래창조과학부 원자력연구개발사업의 원자력연구기반확충사업 과제로부터 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

한국원자력연구원. 2012. IAEA 방사선방호석사과정(PGEC) 유치 및 운영.
한국원자력협력재단. 2013. 해외 원자력교육훈련 현황 조사, 분석을 통한 교육협력 정책방향연구.
한국동위원소협회. 2012. 방사선안전관리 기반구축.
한국바이오협회. 2013. 2011년, 2012년 바이오산업 실태조사.
한국바이오협회. 2013. 바이오인력 현황 및 향후 추진방안.
한국폴리텍 바이오대학. 2013. 바이오생명정보과 종합운영계획서.
한국원자력연구원. 2009. 이공계 대학생 연구용 원자로 체험 및 활용 프로그램 운영.
한국바이오협회. 2013. http://www.koreabio.org.
서울대학교 의생명연구원. 2013. http://bri.snuh.org/pub/_/singlecont/view.do.
바이오전문인력양성사업. 2013. http://www.biopro.or.kr/.

Manuscript Received: November 18, 2013
Revised: November 21, 2013
Revision Accepted: November 25, 2013