

PART

II

# 주요 분야별 60년사

## 1. 진료

서울대학교병원의 핵의학 진료는 1959년 8월 이문호 교수가 방사성요오드를 이용하여 갑상선 섭취율, 배설률을 연구하고 갑상선기능항진증을 치료하며 시작되었다. 1960년 5월 30일 국제원자력기구의 지원을 받아 의과대학 부속병원에 방사성동위원소진료실이 개설됨으로써 진료가 본격화되었고, 그 이후 지난 60년간 비약적으로 성장하였다. 서울대학교병원 핵의학 진료는 크게 갑상선 질환 등의 방사성동위원소치료, 체내 영상검사, 체외 검체 및 생리학적 검사의 세 분야로 나뉘며, 각각 초기부터 현재까지 지속적 발전을 이어 오고 있다.

1960년대는 태동기로서 방사성동위원소 이용 진료를 시작한 시기이다. 1959년 저용량  $^{131}\text{I}$ 을 이용한 갑상선 치료가 처음 시작되었고, 1961년 미국 원자력위원회에서 서울대(농과대학, 문리과대학, 의과대학), 경북대, 전남대, 원자력청 등 6개 기관에 당시 금액으로 \$107,226에 해당하는 장비를 기증하며 진단평가가 시작되었다. 이 때 들어온 Tracer Lab의 scintiscanner(dot scanner), 우물형 섬광계수기, 서베이미터, 섭취측정시스템 등이 핵의학 진료의 출발점이 되었다.

1970년대에 정착기로 들어서며 본격적 핵의학 진료가 시작되었다. 치료 측면에서는 갑상선 기능항진증에 대한 방사성요오드치료가 본격화되었다. 1969년 우리나라 처음으로 감마카메라(Pho-Gamma II, Nuclear Chicago 사, USA)를 도입하여 뛰어난 품질의 핵의학 영상을 얻을 수 있었다. 연속검사 형태로 초보적인 동적(dynamic) 스캔을 시행할 수 있게 되었다. 1969년 방사면역측정법을 실험적으로 시작했다. 곧이어 상업용 키트가 나오고 1971년 섬광감마계수기가 도입되어 검체검사가 본격화되었다. 1978년 7월 15일 특수법인 서울대학교병원으로 발전하면서 방사성동위원소진료실이 제2진료부 핵의학과로 승격되고 1979년 1월 신축병원으로 이전을 완료하며 새로운 발전의 계기가 마련되었다.

1980년대 발전기에는 현재까지 이어지는 임상진료의 틀이 갖추어졌다. 1979년  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  발생기가 이용되기 시작했고, 감마카메라와 컴퓨터시스템이 도입되어 제대로 된 동적 스캔이 가능해지면서 특히 심혈관촬영술, multigated blood pool scan 등 심장병 진단에 사용하였다. 1986년 SPECT 검사를 시작했으며, 80년대 후반 뇌단락기능검사, 고환스캔, 레이노스캔 등 다양한 특수검사가 정착되었다. 1986년에는 어린이병원 내 핵의학검사실이 개설되었다. 검체검사는 검사종목의 확대와 자동화가 이루어졌으며 방사수용체 검사도 시작되었다. 치료 분야에서는 전용 치료병실을 갖추고 갑상선암에 대한 고용량  $^{131}\text{I}$  치료를 시행하였고 치료 환자도 꾸준히 증가하였다.

1990년대 도약기에는 진료 장비와 체계의 현대화, 정밀화가 이루어졌다. 1990년 삼중헤드 감마카메라 등 다중헤드 감마카메라가 일반화되었고 영상 및 검체검사가 큰 폭으로 증가하였다.

IAEA 후원 아래 우리 과 주관으로 방사면역측정법 외부정도관리 시스템을 개발하였고, 1990년부터 전국 핵의학 검사실에서 시행하고 있다. 진료 서비스 강화를 목적으로 연중무휴검사 시스템, LAN을 이용한 결과조회시스템 등을 도입하였다. 1994년 국내 최초의 PET과 사이클로트론을 도입하여 PET 검사를 시작하였다. 난치성 갑상선암의  $^{131}\text{I}$  치료에 레티노이드 병합요법, 최대안전용량 치료법 등이 사용되었고, 건수가 많지는 않았지만 갑상선암 이외의 방사성동위원소 치료 다양화가 이루어졌고 1998년 치료병실이 핵의학과 소속으로 변경되었다.

2000년대는 핵의학 진료의 안정화와 함께 FDG PET이 비약적으로 성장하였다. 2003년 첫 PET/CT가 도입되었고 2005년 핵의학영상 전문 PACS가 시작되었다. 2006년 FDG PET이 건강보험 급여에 포함되면서 서울대학교병원은 물론 전국적으로 진료량이 급증하였다. 반면 일반 영상과 검체검사는 성장세가 둔화하거나 정체 양상을 보였다. 새로운 PET 영상법의 임상도입도 제도적 미비로 지연되었다. 갑상선암의 급증에도 불구하고, 치료병실을 확장하지 못하여 방사성동위원소치료의 양적 성장에 제한을 받았다. 2003년 분당서울대학교병원, 2008년 보라매 병원에 핵의학과가 설치되었다.

2010년대는 핵의학 진료의 성숙과 함께 여러 난관에 직면하였고 이를 새로운 시도와 도전으로 극복하고자 하는 노력이 이어졌다. 2011년 암병원 종양영상센터 개설과 PET/MR 도입, 2015년 UAE SKSH 핵의학과 개설 등 외형적 확대가 있었고,  $^{90}\text{Y}$ -미소구 방사선선택술,  $^{223}\text{Ra}$ -Xofigo 등 새로운 치료가 도입되었다. 그러나 2014년 FDG PET 건강보험급여기준 개정으로 진료량의 급격한 감소와 갑상선암 과잉진단 논란에 따른 방사성요오드치료 급감, 2017년 방사성의약품 GMP 시행에 따른 수익성 악화 등 다양한 어려움이 발생하였다. 이에 대해 2010년 본격 시행된 신의료기술평가제도를 통한 새로운 PET 영상의 임상실용화, theranostics 개념에 따른 새로운 진단/치료법 개발 및 도입, 다양한 임상시험의 유치 등 적극적 자세로 난관을 극복하고 또 한번 도약하고자 노력하고 있다.

## 1) 갑상선 진료 및 방사성의약품 치료

### 가. 갑상선 진료 및 치료

갑상선질환 진료와 방사성요오드치료는 1960년대 서울대학교 핵의학 초창기부터 시작된 핵의학 진료의 기본으로서 갑상선질환 치료는 지속적으로 변화하였으나, 방사성요오드치료는 현재까지 꾸준히 이어지고 있는 중요한 핵의학 진료분야이다.

1957년 프라이부르크 대학에서 귀국한 이문호 교수는 전공의 고창순과 함께 1959년 방사성요오드 섭취율 측정과 치료를 국내 최초로 시행하였다. 이때 시작된 방사성요오드 치료는 갑상선기능항진증, 갑상선결절, 암 등을 대상으로 주로 15 mCi 이하, 최대 100 mCi의  $^{131}\text{I}$  치료

용량을 사용했으며 통원 및 자가격리 치료 방식 모두를 활용하였다. 1970년대까지는 연간 100여 명 가량의 환자가 방사성요오드 치료를 시행 받았고, 방사성동위원소진료실에서 진료받은 갑상선질환 환자는 꾸준히 증가하였다. 1978년 병원신축과 더불어 핵의학과의 독립하고 124병동 11, 12호실에 치료방사선과와 함께 이용할 수 있는 차폐병실이 마련되면서 고용량을 포함하는 방사성동위원소 치료가 본격화되었다. 1980년대 후반에는 연간 500여 건의 외래치료(5~30 mCi)와 100여 건(100 mCi 이상)의 입원치료가 시행되었다. 영상 및 치료에 사용한 <sup>131</sup>I 사용량은 1979년 1,175 mCi에서 1985년 6,241 mCi, 1990년 7,565 mCi로 증가하였다.

1990년대에는 핵의학의 전문진료과목 독립(1993년)에 따라 진료가 급증하였다. 2000년 <sup>131</sup>I 사용량은 40,990 mCi로 1990년의 5배가 넘었다. 이명철, 정준기 교수의 외래진료도 독립진료과목인 핵의학과 외래로 변경 개설되었다. 방사성요오드 치료 건수가 더욱 증가하여 1996년 연간 700여 건에 이르렀다. 1998년 124병동 12호실에 대해 관련 법규에 맞추어 별도 정화조 설치 공사를 시행하였다. 2000년대에는 전국적으로 갑상선암이 급증하면서 방사성요오드 치료도 크게 증가하였다. 2009년에는 30 mCi 이하 저용량을 사용하는 외래 치료 환자가 1,680명, 입원 병실 제약에도 불구하고 100 mCi 이상을 사용하는 입원환자는 226명으로 급증하였다. <sup>131</sup>I 사용량도 2009년에는 80,402 mCi에 이르렀다. 2007년 강건욱 교수가 이임해 오면서 외래를 추가 개설하였고, 2010년 병원내 암센터 개원에 따른 센터 중심 진료체제로의 변화 추세에 맞추어 갑상선센터핵의학과로서 진료하기 시작하였다. 2000년대 말부터 2011년까지는 입원 환자에 비해 병실이 모자란 상태로 치료를 더 늘리지 못하였다.

2011년 암센터 개원과 함께 124병동에 있던 방사성동위원소 치료병실 이전이 기획되어 2012년 4월 18일 별관병동에 갑상선센터 방사성동위원소치료 병실을 개설하였다. 총 3개로 1인실 2개와 2인실 1개로 구성, 최대 4인까지 입원이 가능한 치료병실을 구축하였다. 치료병실 이전 및 갑상선센터를 통한 외래진료가 확대되면서 치료환자 수가 증가하여, 2013년에는 입원환자 573명(연인원)과 외래환자 2,659명(총 진료수)을 진료하는 등 갑상선질환에 대한 핵의학 치료가 크게 성장하였다. 그러나 2014년 이후 건강검진에 의한 미세갑상선암 과잉진단 논란이 사회적 이슈로 떠올랐고, 이후 급격히 갑상선암에 대한 수술이 감소하여 2014년에는 전국적으로 갑상선암 수술이 감소하기 시작하였다. 이에 따라 갑상선암 방사성동위원소치료도 줄어들기 시작하였으며, 세계적으로 치료지침이 적극적 치료에서 능동적 감시의 형태로 점차 변하면서 갑상선암의 방사성동위원소치료 건수 및 용량의 감소 추세가 이어지게 되었다. 2018년 이후에는 30 mCi 초과외 입원 환자가 다시 늘어났으나 외래로 치료받는 환자는 지속적으로 줄어들고 있다. 이는 최근 추세에 부합하여 중간 및 고위험군 갑상선암 환자에서 방사성요오드치료를 선택적으로 시행하는 데 따른 것으로, 이와 같은 진료형태 변화 및 용량 다변화로 대응하고 있다.

갑상선 질환 진료 및 방사성동위원소 연간 치료 건수

연도	핵의학 치료 외래 (진료환자 수)	핵의학 치료 입원 (입원일 수)	<sup>131</sup> I (외래)	<sup>131</sup> I (병실)
1967	533		123	
1970	776			
1975	4,129			
1980			137	
1985			214	
1990			367	
1995	458	45	430	
1998	1,016	394	597	
2004	1,784	342	888	29
2007	2,329	368	1,278	217
2009	2,228	395	1,680	226
2013	2,649	573	1,219	342
2015	2,659	251	537	115
2018	2,057	627	174	339

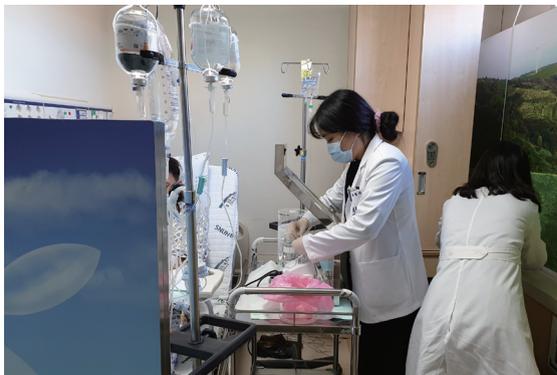
#### 나. 기타 방사성동위원소치료와 테라노스틱스

1990년대 이전에는 방사성요오드치료 외 다른 핵종을 활용한 치료가 연간 10여 건 이내로 적지만 다양화되었다. 1960년대 이래 계속되어 온 <sup>32</sup>P 치료가 간헐적으로 이어졌고 <sup>131</sup>I-MIBG, <sup>89</sup>Sr 치료 등이 시행되었다. 2000년대에는 <sup>90</sup>Y-Zevalin 치료가 추가되어 연간 3~6건 가량 시행하였고, <sup>90</sup>Y-미소구를 이용한 방사선색전술 다기관 임상시험에도 참여하였다. 2010년대 이후부터는 진단과 치료를 동시에 시행할 수 있는 방사성의약품 기반의 테라노스틱스가 핵의학 분야의 큰 흐름이 되면서 핵의학 치료가 다변화되었다. <sup>131</sup>I-MIBG는 <sup>123</sup>I-MIBG를 통한 진단과 치료를 동시에 시행하는, 비교적 오랫동안 진행해온 테라노스틱스로서 2010년대에는 꾸준히 연 10여 건 정도를 수행하였다. 간암 치료에 대한 선택적 내부방사선치료로서 <sup>90</sup>Y-SIR-sphere 및 <sup>90</sup>Y-Therasphere가 2010년부터 시작되어 현재까지 꾸준히 증가하고 있다. 현재는 <sup>223</sup>Ra (상품명 조피고) 및 <sup>177</sup>Lu-DOTATATE (상품명 루타테라) 등이 각각 전립선암의 뼈전이 및 신경내분비종양 치료약제로 사용가능한 상태이다. 2010년대 말까지 신경내분비종양에 대한 <sup>177</sup>Lu-DOTATATE는 국내 도입이 어려워 강건욱 교수 외래진료 후 독일이나 동남아 등 치료제 사용이 가능한 국가로 원정치료를 보내는 어려움을 겪었으며 이를 해결하는 것이 최대의 과제였다. 2019년 프랑스 AAA의 루타테라가 희귀의약품센터를 통해 도입이 가능해져 2019년 10월 국내에서는 최초로 <sup>177</sup>Lu-DOTATATE 치료를 시행하였다. 한편 천기정 교수가 우리나라 카

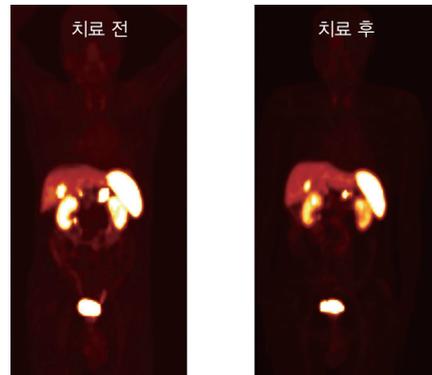
이바이오텍의  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE (SNU-KB-01)에 대한 임상화를 추진하여 2019년 1상 임상 시험 승인을 받았고, 2020년 국내 테라노스틱스 최초로 임상실용화를 위한 임상시험을 시작하였다. 2020년은 국내 핵의학의 테라노스틱스 원년이라고 할 수 있을 정도로 서울대병원에서의 치료가 급증하였다. 이와 더불어 핵의학치료의 범위가 넓어져, 2020년 서울대병원과 셀비온의  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-NGUL 및  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-DGUL의 임상시험 두 건이 승인받아 전립선암의 새로운 테라노스틱스 도입이 시작되었다.

갑상선 이외의 핵의학치료 연간 건수

연도	$^{32}\text{P}$	$^{131}\text{I}$ -MIBG	$^{89}\text{Sr}$	$^{90}\text{Y}$ -Zevalin	$^{90}\text{Y}$ -SIRsphere	$^{90}\text{Y}$ -Therasphere	$^{223}\text{Ra}$	$^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE
1967								
1970	3							
1975								
1980	2							
1985	3							
1990	9							
1995	8	7	10					
1998	4	3	2					
2004			3					
2007		1	6	6				
2009		1	2	3				
2013		27			12			
2016		8				33		
2018		6				71		
2019		11				68	2	1
2020 (~10월)		7				79		56



$^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE 치료



본원  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE 치료 전후

## 2) 체내 영상검사

### 가. 방사성동위원소진료실 시기

1961년 도입된 Tracer Lab의 scintiscanner(도트스캐너)를 이용해  $^{198}\text{Au}$  콜로이드를 이용한 간스캔과 갑상선스캔 등을 시행하였다. 1964년  $^{131}\text{I}$ -hippuran을 이용한 신장기능검사(renogram)와  $^{51}\text{Cr}$ -RBC를 이용한 비장스캔도 시작하였다. 1969년 서울대학교병원 최초의 감마카메라인 Pho-Gamma II (Nuclear Chicago)가 도입되었다. 이로써 영상의 해상도 향상은 물론 '동적스캔'이 시작되는 계기가 되었다. 간담도 연속영상, 뇌영상, 심장 연속영상, 신장 연속영상 등의 진단법이 시작되어 이용이 확대되었고, 1965년 703건에 불과하던 영상검사는 1970년 1,793건으로 급증하였다. 이 당시 가장 큰 비중을 차지한 영상검사는 갑상선, 간, 신장스캔이었고, 1970년대 중반 뼈스캔이 도입되었다.

### 나. 신축 병원 이전과 핵의학과 개설 및 성장

1979년 1월 신축병원으로 이사를 완료하면서 새로운 영상 장비들이 대거 도입되었다. Picker의 PDP11 컴퓨터시스템과 Dyna 4/15, Ohio Nuclear의 Sigma 410과 Sigma 420을 도입하고 감마카메라를 Pho-Gamma III로 업그레이드하였다. 이 가운데 PDP11 컴퓨터 시스템은 본격적인 동적검사(dynamic study)를 시행할 수 있는 장비로서, 이때부터 심장의 일회통과검사, 심박출률 측정 등 구미의 선진화된 검사를 대부분 국내에서도 할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 컴퓨터의 응용으로 동적검사만이 아니라 영상 정량화가 가능해짐으로써 기능 측정의 진일보를 가져왔다. 또한 1979년  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  발생기를 수입하기 시작하여 상시검사 체계를 갖추었다. 1980년 8,417건의 영상검사를 시행하였고, 갑상선, 간, 신장스캔에 더해 심장과 뼈스캔이 중요한 검사가 되었다. 검사의 종류는 꾸준히 증가하여 1982년에는  $^{67}\text{Ga}$  스캔 및  $^{201}\text{Tl}$  심근스캔, 게이트 혈액플스캔 등을 시작하였다.

1980년대 중반까지 여전히 갑상선과 간이 가장 중요한 검사부문이었는데, 1985년에는 갑상선과 간스캔이 전체 영상검사건수의 65%를 차지하였다. 1986년에는 전체 영상검사 14,699건 중 간스캔이 6,481건, 44%로 최고에 이르렀으나 이후 초음파와 CT의 발전으로 간스캔은 점차 감소하였다. 1986년 Siemens의 ZLC-75 Rota 감마카메라가 도입되면서 최초로 SPECT가 가능해졌다. ZLC-75 Rota는 원래 설계상 이중헤드인데 예산 부족으로 한쪽은 dummy head인 상태로 도입되었으나 SPECT 영상을 시행함으로써 뇌, 심장을 중심으로 여러 분야의 핵의학영상검사에서 많은 발전을 가져왔다. 1985년 10월에는 소아 핵의학검사실이 설치되어 어린이에 대한 검사 지원을 강화하였다. 이때부터 핵의학검사의 양적 확대와 함께 질적 수준의 유지와 향상을 위하여 정서관리업무를 정례화하여, 감마카메라 기기점검(매일)과 방사성의약품 조

제 후 정도관리(방사크로마토키프)를 시행하였다.

1988년에는 골밀도측정기를 도입하여 골밀도검사를 시행하기 시작하였고, 특수분야 검사가 신규로 활발히 추가되어 뇌단락기능검사, salphingogram, penogram 등을 시행하기 시작하였다. 1989년에는 뇌 SPECT와 심근 SPECT가 일상 검사로 시행되었고, 1990년에는 미국 NIH에서 연수하고 귀국한 정준기 교수가 항CEA항체, 항과립구항체 등 단일클론항체를 방사성동위원소 표지한 방사면역신티그래피를 임상에 도입 시도하였다. 1991년에는 뼈스캔, 심근 SPECT 등의 검사수요가 늘어 적체가 심해짐에 따라 야간검사를 실시하기도 하였다. 1990년 이동수 교수 발령으로 뇌, 심장 영상검사가 더욱 성장하였다. 1994년 이중헤드 Prism 2000과 삼중헤드 Prism 3000 감마카메라가 설치되어 SPECT가 더욱 활성화되었고 1995년에는 디아목스부하뇌관류 SPECT, 게이트심근관류 SPECT를 임상화하였다. 1995년 연간 검사건수는 16,932건이었는데, 뼈스캔이 가장 많이 시행한 검사가 되었고 뇌와 심장검사의 비중도 높아졌다. 갑상선검사는 여전히 증가 추세였으나 간스캔이 대폭 감소하였다.

#### 다. PET 도입 및 체내영상검사의 안정적 발전

1994년 우리나라 최초 PET인 Siemens의 ECAT이 설치되어 6월 15일 개소식을 열었다. EBCO의 사이클로트론은 11월에 설치가 완료되어 1995년 2월 2일 기념식과 함께 본격 가동을 시작하였다. FDG PET이 가장 중요한 검사였으나  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ 를 이용한 다양한 검사도 시행되었으며, 1995년 한 해 473건의 PET 검사를 시행하였다.

초기에는 신경과, 정신과적 질환에서 PET 이용이 많아 약 30~40% 가량을 차지하였으나 2000년 이후 뇌 PET에 비해 종양 분야에서 PET 이용이 폭발적으로 증가하여 2009년에는 PET 검사의 95% 이상이 종양 FDG PET 검사였다. 1998년부터 FDG를 외부판매하기 시작하여 삼성서울병원과 상호판매하였고 2000년 이후 PET 설치 병원이 늘어나면서 판매량이 늘어났다. 다양한 PET이 진료용, 연구용으로 시행되었으나 임상진료용으로는 FDG와  $^{11}\text{C}$ -methionine을 생산하였다. 2006년 6월 1일 FDG PET 건강보험 급여화와 함께 검사량이 급증하여 2005년 2,877건이던 총 PET 검사가 2006년 4,610건으로 증가하였다.

2000년에는 본원 체내검사실 리모델링 공사를 시행하여 쾌적한 환경으로 개선되었다. 2001년 병원 PACS 도입과 더불어 핵의학도 전환을 시작하여 2005년 전면 PACS를 시작하였다. 2003년 서울대학교병원 최초 PET/CT인 Philips의 Gemini가 본원과 강남헬스케어센터에 도입되어 본격적인 융합영상시대를 시작하였다. 건강보험급여 이후 급증한 PET/CT 검사 수요에 대응하기 위해 2007년 11월 Siemens의 Biograph가 추가 도입되었고 늘어난 임상수요에 대응해 2007년 강건욱 교수가 국립암센터에서 이임해 오면서 전문의교수 정원도 5명으로 늘어났

다. 소아핵의학검사실은 2007년 감마카메라 1대를 추가 도입하였고, 2008년 어린이병원 리모델링 공사에 따라 4층으로 검사실을 이전하였다. 2008년 심근 SPECT 전용 장비인 Philips의 CardioMD가 도입되었다.

핵의학이 필수진료분야로 인식되면서 분당병원이 2003년 개원하며 핵의학과를 개설하였고 보라매병원도 2008년 기존 핵의학검사실을 핵의학과로 확대개편하였다.

### 라. 핵의학영상검사의 새로운 변화

2011년 3월 25일 암병원 개원은 전체적 진료량 증가와 새로운 장비 도입의 계기가 되었다. 암병원 중앙영상센터에 서울대학교병원 최초의 SPECT/CT인 GE Discovery 670 과 함께 새로운 PET/CT인 Siemens mCT 40 등이 도입되었다. 환자 검사를 중단하지 않기 위하여 각 장비의 이전 또는 설치 시마다 3회에 걸쳐 시설검사를 받는 노력을 하였다. ECAT은 국내 최초 PET 스캐너로서의 역사적 가치를 고려하여 중앙핵의학검사실에 부조형태의 기념물로 보존하였다. 신규로 GE 16.5 MeV 사이클로트론 PETtrace 800을 설치하여 4월 9일 시험가동을 하였다. 신규 사이클로트론은 고체 타겟을 사용할 수 있어, 9월  $^{64}\text{Cu}$  및  $^{124}\text{I}$ 를 시범 생산하였다. FDG 자동주사장치를 추가도입하여 근무자의 방사선 피폭을 획기적으로 줄이기도 하였다. 2012년 6월 mCT64가 도입 설치되었고, 11월에는 융합형 PET/MRI인 Siemens mMR이 도입되면서 새로운 첨단융합영상을 임상에 제공하였다. 핵의학과와 영상의학과의 PET/MRI를 공동으로 운영하면서 각 분야의 전문화된 기술과 지식을 공유하여 임상진료 및 연구에 많은 공헌을 하였다. PET센터가 암병원으로 이전하면서 1994년 설치되었던 EBCO TR-13 사이클로트론은 교육 및 연구목적으로 12월 21일 성균관대학교에 이전하였다. 해체운반 과정에 많은 제도적, 기술적 어려움이 있었으나 서울대학교병원과 한국원자력안전기술원 간 협력을 통해 극복하였고, 성공적으로 사이클로트론을 타 기관으로 이전설치한 국내 최초 사례가 되었다.



융합형 PET/MRI 스캐너



우리나라 최초 PET인 ECAT 기념물



Cyclotron 세대교체; 2011년 EBCO TR-13을 성균관대학으로 이전하고 신규 도입

2016년부터 병원의 공간재배치 계획이 본격 진행되었고 이 과정에서 핵의학과는 일부 손실에도 불구하고 병원 발전계획에 적극 협력하였다. 수술장 확충계획에 따라 2017년 본관 2층 의국, 교수실, 체외검사실을 의생명연구원 6층으로 이전하였고, 본원 체내검사실은 공간 활용도를 높이기 위해 11월 판독실, 영상분석실, 탈의실 등을 재배치하였다. 같은 해 CZT 감마카메라로는 최초로 Spectrum Dynamics의 D-SPECT가 도입되었다. 2018년 병원의 어린이병원 공간부족 해소방안에 협력하여 150 m<sup>2</sup>의 검사실면적을 어린이병원에 제공하고 소아핵의학검사실은 본원 체내검사실으로 통합하였다. 이에 따라 소아핵의학검사실에서 Ecam 감마카메라가 본원과 암병원에 각각 1대씩 이전 설치되었다. 또한, 핵의학과 감마카메라 노후화에 따라 2019년 GE의 NM830, 2020년 Siemens의 Symbia Evo Excel이 새롭게 도입되었다.

이 시기 외부 제도 변화에 따라 새로운 핵의학진료의 변화로 대처하였다. 신의료기술평가 제도가 정착하면서 2010년 4월 <sup>90</sup>Y-미소구를 이용한 방사선색전술, 10월에 <sup>11</sup>C-acetate PET, <sup>18</sup>F-fluoride PET 등이 신의료기술로 인정받았다. 특히 새로운 PET 신의료기술 인정은 교실의 주도적 지원 하에 분당병원과 국립암센터가 협력하여 이룬 성과로서 핵의학영상검사 확대의 길을 제시하였다. 2012년 <sup>13</sup>N-ammonia PET, 2014년 <sup>68</sup>Ga-DOTATOC PET, 2018년 <sup>18</sup>F-choline PET 등도 서울대학교병원에서 신의료기술허가를 이끌었다. 2015년 <sup>18</sup>F-FMISO PET, 2017년 <sup>18</sup>F-FET PET도 신의료기술로 인정받았다. 2016년 10월에는 <sup>18</sup>F-FDOPA에 대한 품목허가를 얻었다. 이 외에 새로운 PET 검사로서 2012년 <sup>18</sup>F-FP-CIT, 2015년 <sup>18</sup>F-florbetaben PET 등이 시작되었고, 검사종류 증가에 따라 PET 오더명을 체계적으로 일제 정비하였다.

2018년 방사성동위원소 진료재료 중 방사성의약품의 도입전 심의가 약사위원회로 이관되어 약사위원회 산하 방사성의약품소위원회에서 관장하게 되었다. 한편, 2015년 7월 방사성의약품에 대한 GMP 의무화가 시행되어 TFT를 구성하여 준비를 시작하고 12월 시설공사를 시작하였다. 2017년 3월 분배용 핫셀 설치 등 시설공사가 완공되었고, 4월 식품의약품안전처로부터 현

장평가를 받아 최종보완을 마친 11월 20일 GMP 적합인정을 받았다. 외부 전문업체에 GMP를 위한 컨설트를 의뢰하지 않고 방사성의약품실 직원들이 주도적으로 자료를 수집하고 가이드라인을 분석하며 미국 국립보건원, 존스홉킨스병원 등 해외연수를 통해 GMP 운영절차 및 시설 설계 등을 고안한 끝에 이룬 성과였다.

병원 내부 시스템 개편작업도 이어졌다. 2016년 11월 운영을 시작한 차세대 HIS 구축 작업에 적극 참여하였으며, 하반기부터 홈페이지 개편 작업을 시작하여 외부인용 extranet과 직원용 intranet을 분리하고 영문, 모바일 홈페이지를 추가한 개편이 2017년 3월 완료되었다. 방사성 동위원소 진료재료 중 체내영상검사 관련 방사성의약품에 대한 관리가 약사위원회로 이관되어 2018년도 계약부터 약사위원회 산하 방사성의약품소위원회에서 담당하게 되었다. 또한 2018년, 다양한 검사들이 공존하는 영상검사실 특성을 고려하여 과거 각 검사별 업무 진행상 문제점들과 개선내용을 토대로 검사지침서를 세부적으로 강화하여 업그레이드하였다. 또한, 검사가 다변화되고 급격한 핵의학 기술발전을 적용하기 위해 프로토콜의 전문적 검토와 신규 기술의 빠른 적용을 목표로 영상검사 프로토콜을 정례화를 추진, 2020년 핵의학과 영상검사 프로토콜 위원회를 구성하였다.

이 시기 건강보험급여기준의 변경에 따라 FDG PET 진료량의 급격한 변화가 있었다. FDG PET은 2014년 급여기준 변경에 따라 2015년 전년 대비 25% 감소하였다. FDG PET 급여기준 변경에 따른 일종의 풍선효과로 뼈스캔이 증가하면서 감마카메라 영상이 지속적으로 증가하고 있으며 FDG PET은 2019년 들어 전년 대비 9.5% 증가하는 등 회복세를 보였다. FDG PET의 급여기준 변경에 따른 검사 감소와 회복세에 더해 PET검사가 다변화됨에 따라 <sup>68</sup>Ga-DOTA-TOC, <sup>18</sup>F-choline, <sup>18</sup>F-florbetaben, <sup>18</sup>F-FP-CIT 등 다양한 목적의 검사가 증가하면서 핵의학영상검사는 양적 성장 뿐만 아니라 검사의 다양화로 이어지고 있다.

전체 영상검사건수

연도	갑상선	소화기계	비뇨기계	뇌신경계	순환기계	근골격계	PET	기타	합계
1965	541	38	124	0	0	0	0	0	703
1970	776	715	227	47	28	0	0	0	1,793
1975	1,114	88	144	15	3	1	0	0	1,365
1980	2,466	3,886	573	31	740	721	0	0	8,417
1985	3,093	6,117	840	52	1,510	2,444	0	108	14,164
1990	3,410	1,009	1,068	687	1,639	4,661	0	133	12,607
1995	4,224	491	1,141	1,085	2,542	6,475	473	501	16,932
2000	3,615	249	1,016	461	2,598	8,133	1,039	1,516	18,627
2005	5,592	444	975	1,126	5,915	12,275	3,151	601	30,079

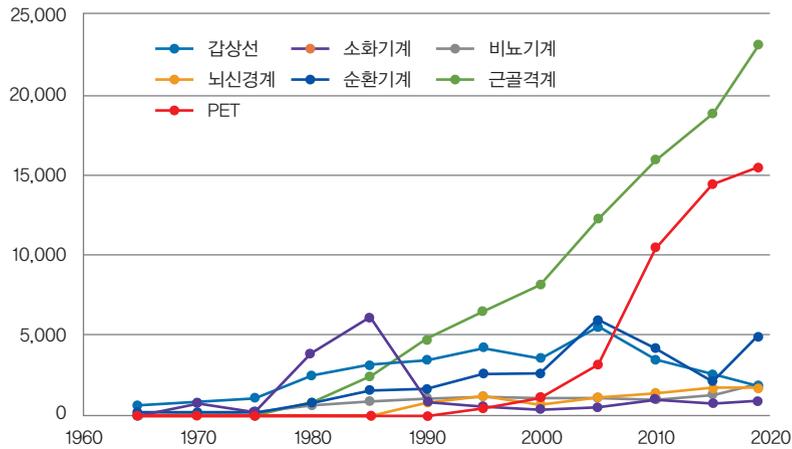
2009	3,869	636	1,027	1,376	4,690	16,450	9,384	25	39,369
2010	3,472	840	1,010	1,373	4,167	15,976	10,473	1,775	39,086
2015	2,487	742	1,264	1,791	2,154	18,903	14,462	2,454	44,257
2018	1,680	996	1,520	1,494	5,029	22,436	14,162	1,701	49,018
2019	1,733	867	1,832	1,561	4,913	23,208	15,508	1,675	51,297

### 동위원소 구입량

(단위: mCi)

	<sup>99m</sup> Tc	<sup>131</sup> I	<sup>198</sup> Au	<sup>67</sup> Ga	<sup>201</sup> Tl	<sup>123</sup> I	기타	합계
1964~1969	80	4,841	2,380	0	0	0	145	7,446
1973~1980	101,235	10,150	3,562	0	0	0	473	115,420
1981~1990	906,370	54,505	280	1,791	960	0	81	963,987
1991~2000	1,444,500	244,791	0	1,209	17,767	1,225	281	1,710,664
2001~2009	1,803,050	555,403	0	328	77,850	4,781	580	2,523,892
2010~2019		549,298	0		70,809	5,562		

### 영상검사 건수 변화 (1965~2019)



### 우리나라 최초의 핵의학 장비와 진료

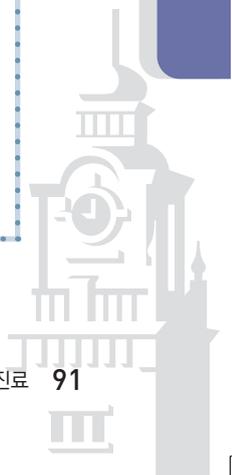
방사성동위원소의 의학적 이용은 서울대학교와 대구동산병원이 국내 최초로 다뤘었다. 1959년 대구동산병원 내과 도상희 과장이 치료에 필요한 장비를 도입하여 1960년 3월 30일 첫 치료를 시작하였다. 서울대학교에서

는 생리학교실 조교 이상돈이 1955~1957년 미네소타 대학에 석사과정 유학 후 귀국하며 섬광계수기를 들여왔고 1959년 8월 이문호 교수가 1년차 전공의 고창순과 함께 생리학교실 장비를 이용하여 갑상선 검사와 치료를 시작하였다. 1961년 도상희 과장은 대한의학협회지(4권 1호)에 정상인과 치료 증례를 보고하였고, 이문호 교수 등은 같은 해 대한내과학회지(4권 3호)에 방사성요오드치료에 대해 보고하였다. 서울대학교병원은 의료기관과 비의료기관을 통틀어 정부에 등록한 방사성동위원소 허가사용기관 제1호가 되었다.

검체검사용 임상장비로는 미국 원자력위원회의 기증으로 1961년 6개 기관에 들어온 Tracer Lab의 갑상선섭취측정시스템과 우물형섬광계수기가 최초이다. 서울대학교병원에서는 혈액량 및 적혈구수명측정(1964년), 총 T4 방사면역측정(1970년), T3섭취율 및 키트를 이용한 T4 검사(1974년), T3와 AFP(1976년), HBsAg과 인슐린(1977년) 등을 국내 최초 임상검사로 시작하였다. 핵의학 영상장비로는 1961년 들어온 Tracer Lab의 rectilinear 도트스캐너가 국내 최초이다. 1963년에는 컬러사진이 가능한 도트스캐너인 Picker의 Magnascanner가 방사선의학연구소(현 원자력병원)에 최초 도입되었다. 최초로 도입된 감마카메라는 1969년 방사선의학연구소에 도입된 Picker의 Dyna Camera와 서울대학교에 들어온 Nuclear Chicago의 Pho-Gamma II였다. 최초의 SPECT용 감마카메라는 1986년 서울대학교에 도입된 Siemens의 ZLC-75 Rota이다. 이 장비는 원래 이중헤드로 되어 있었으나 예산문제로 dummy head를 가진 단일헤드 장비로 도입되었다. 다중헤드 감마카메라는 서울아산병원에서 1989년 개원시 Siemens의 이중헤드 BodyScan을 최초 도입하였고 1991년 삼중헤드 감마카메라인 Trionix Triad88을 도입하였다.

PET은 서울대학교병원과 삼성서울병원이 비슷한 시기에 도입하여, 서울대학교병원은 1994년 5월, 삼성서울병원은 7월 설치하였다. 그러나 서울대학교병원에서는 EBCO의 사이클로트론 설치가 지연되어 원자력의학원의 사이클로트론을 이용해 생산한  $^{18}\text{F}$ 으로 fluoride, FDG PET 등을 시행하였고 6월 15일 개소식과 국제심포지움을 개최하였다. 이후에도 사이클로트론이 정상화된 1994년 11월까지 한동안은  $^{82}\text{Rb}$  발생기를 이용해 심근 PET 영상만을 시행하여야 했고, 1995년 2월 2일 사이클로트론 가동기념식을 가졌다. 삼성서울병원은 PET과 사이클로트론 모두 무리 없이 설치되어 자체 생산한 FDG로 7월 14일 첫 PET 영상을 얻었고 1994년 11월 9일 정식 개소하였다.

융합영상장비인 PET/CT 도입은 서울대학교병원이 약간 뒤처졌다. 2003년 원자력병원, 서울아산병원, 한일병원 등에서 PET/CT를 먼저 도입하였고, 서울대학교병원에는 2003년 11월 본원과 강남센터에 Philips의 Gemini 장비가 동시 도입되었다. PET/MRI는 2011년 8월 부산대병원에서 직렬형 장비인 Philips의 Ingenuity TF PET/MRI가 우리나라 최초로 도입되었다. 일체형 PET/MRI는 2012년 7월 영남대병원에서 Siemens의 mMR을 국내 최초 도입하였고, 서울대학교병원은 2012년 11월 동일기종 장비를 도입하였다. SPECT/CT는 cone-beam CT를 장착한 GE Hawkeye가 2003년 국내 최초 도입되었고 온전한 진단용 CT를 갖춘 융합형 SPECT/CT는 2010년대 들어와서 국내 도입되었다. 서울대학교병원에는 2011년 GE의 NM630이 최초 도입되었다. CZT 검출기 장착 스캐너는 2016년 서울대학교병원에 Spectrum Dynamics의 D-SPECT가 국내 세 번째로 도입되었고, SPECT/CT로는 2019년 분당병원에 GE NMCT 870이 국내 최초 도입되었다.



### 3) 체외 검체검사

#### 가. 방사성동위원소진료실 시기

서울대학교 핵의학 검체검사의 시작은 1962년 갑상선호르몬(T3)의 적혈구섭취 검사로서, “ $^{131}\text{I}$ -triiodothyronine 적혈구 섭취율 측정법을 중심으로 한 갑상선 기능검사의 비교관찰”이라는 제목으로 1962년 대한내과학회잡지에 게재되었다(5권 8호 523). 1969년에는 spectrophotometer 등의 기기가 설치되었고 Coulter counter의 효시인 자동혈구측정기가 동물실험에 이용되었다. 국제 혈액학 측정치 표준화작업에 참여하여 여러 동물의 혈액량을 비롯하여 철동태를 측정하는 연구가 이루어졌으며 적혈구수명측정법 국제표준화 정립에 중추적 역할을 하였다. 장출혈 진단을 위한 생물학적 검사법으로 적혈구에 방사성동위원소( $^{51}\text{Cr}$ )를 표지, 주사 후 대변의 소각 잔여 무기물에서 크롬 방사선량을 측정하는 검사를 시행하기도 하였다. 1970년 방사면역측정법이 시작되어 시험관내 검사법이 임상의학에 널리 이용되기 시작하였다. 1971년 병원에서 새로운 감마선계측기를 도입하였으며 검체검사가 본격화되어 방사면역측정법에 대한 연구가 시작되었다. 1974년에는 키트를 사용한 T4측정이 시작되었고, 호르몬을 비롯한 혈액 내 미량물질을 정량하게 되었다.

#### 나. 임상서비스의 확대

1978년 신축병원 건립을 계기로 도입된 자동감마선계측기, 자동베타선계측기는 방사면역측정법 검사의 정확성을 눈에 띄게 향상시켰다. 이들 기계가 가동된 1979년은 미량물질과 호르몬 정량으로 인하여 검체검사가 병원전체 환자의 진단과 치료에 결정적인 영향을 미치게 되는 시기로 바뀐 첫 해였다. 신축병원으로 1979년 1월 이사를 완료하고 한편 방사면역측정실에 Packard 자동감마선계측기 및 컴퓨터 결과처리기 3대가 가동되고 저온실험실, 냉동기 등이 확보됨에 따라 ferritin, hCG 등 각종 호르몬 19종의 신규검사종목을 추가하였으며 이와 더불어 정도관리에도 역점을 두었다. 또한 측정기 및 초자기구 세척기의 자동화 등으로 검사의 효율성이 크게 향상되었다. 1980년에는 전국 각 병원으로부터 수탁검사 제도를 시행하여 지역사회 및 국민보건향상에 기여하게 되었고, 우리나라 중심검사실로서의 위치를 다지게 되었다.

1983년 방사수용체검사를 실시하기 시작하여 인체조직시료에서 에스트라디올수용체와 프로게스테론수용체 등 유방암환자의 호르몬 치료 마커를 측정하게 되었고 1984년 TSH수용체 항체검사도 시작하여 본격적인 방사수용체 검사 시기로 접어들었다. 직접 제조하거나 상품화된 표준혈청으로 방사면역측정법 내부정도관리체계를 확립하였고 Bactec system을 이용한 결핵균 배양동정 및 감수성검사도 이 시기 시작하였다. 산부인과에서 난임, 인공수정/시험관아기 진료가 본격화되면서 1984년 에스트라디올(E2) 측정을 매일 검사로 시행하게 되었다. 1985년 소

아병원이 신축되었고 소아검체에 대해서도 본원으로 이송하여 모든 종목의 검사를 시행하였다. 1987년 신생아 TSH (neonatal TSH), 마이크로솜항체, 갑상선글로불린항체 등의 검사를 시작하였고, 1988년 미량알부민검사가 시작되었다. 1991년에는 산부인과 시험관아기 프로그램 지원을 위하여 E2, LH, FSH 검사를 연중무휴로 전환하였고 아세틸콜린수용체 항체 검사도 시작하였다. 1992년에는 C형간염 항체검사인 HCV Ab 검사를 추가하였다.

1994년 검사실과 내과 외래 사이에 LAN을 설치하여 검사결과보고의 신속성과 편의성을 향상시켰고 1995년에는 산전감별검사를 시행하였다. 1998년에는 사구체여과율(GFR) 측정을 시행하여 신장내과 분야의 기준검사로 활용하게 하였다. 병원 전산화가 확대됨에 따라 검체검사결과 병실조회시스템이 개발되었다. 2000년에는 유방암 검진검사인 CA15-3과 성장호르몬 IGF-1, BP-3 검사로 종목이 확대되었다. 2003년 말 헬스케어시스템 강남센터가 개설되면서 갑상선호르몬, 종양표지자 등 10여 종목이 진단 기본검사종목에 포함되어 검사건수가 증가하기 시작했고 한때 전체검사건수의 25% 가량을 차지하기도 하였다.

2000년대 이후 의료기술 변화와 함께, 진단검사의학과와 경쟁 양상이 나타나며 검체검사 분야에 많은 변화가 나타났다. 생물학적 검사 가운데 사구체여과율(GFR) 측정은 현재까지 임상에 이용되고 있으나 적혈구량측정, 적혈구수명측정, 철대사측정, 실링검사 등은 국내 이용이 줄어들어 실질적으로 검사가 없어졌다. 검체검사에서 1970년대에는 갑상선호르몬이 가장 주된 검사였고 1980년대에는 간염 항원 항체 검사가 중심이었는데, 1990~2000년대를 거치면서 간염 관련 검사는 진단검사의학과와 확대와 함께 많이 줄어들었고, 종양표지자 검사가 증가하여 갑상선호르몬과 종양표지자가 검체의 대부분을 차지하게 되었다.

#### 다. ISO 15189 국제기준의 정도관리 강화와 새로운 변화

검체검사 외부정도관리는 1989년에 시작되어, 서울대학교병원 핵의학과와 중추적 역할 하에 대한핵의학회사업으로 현재까지 이어지고 있다. 2010년 경 검체검사 경쟁력 강화를 위한 외부협력사업으로 ISO 15189 국제기준에 따라 핵의학검사수행능력을 공식 인정하는 KOLAS (Korean Laboratory Accreditation Scheme) 국제공인메디컬시험기관 인정사업이 추진되었으며 서울대학교병원이 2010년 7월 국내 최초로 시범인정을 받았다. KOLAS 인정은 미국, 독일, 일본 등 34개국 2,200여 기관들이 받았으며, 호주는 ISO 15189 공인기관에만 의료보험을 적용하는 등 기관의 정도관리에 대한 국제적 공식 인정이다. 인정을 통하여 검사의 질 향상과 표준화를 통한 신뢰도 향상을 이룰 수 있으며, 국제적 동등성을 확보함으로써 국내인정기관의 검사 결과가 국제적으로 통용될 수 있는 장점이 있다. 시범인정 5년 후인 2015년 KOLAS 본인정을 받았으며, 2016년에는 국제평가사가 방문하여 사후관리평가를 받았다. 4년마다 시행하는 의료

기관 평가 시 KOLAS 공인메디컬시험기관 인정을 받은 기관은 인정 평가결과를 수용하여 중복평가를 면제받는 성과를 이루었다.

2011년에 free alpha subunit 검사를 시행하였다. 2015년에는 강남센터에서 건강검진으로 의뢰되던 검체검사 항목이 강남센터 자체검사로 전환되어 18% 정도 진료량이 감소하는 어려움이 있었다. 같은 해 핵의학과 검체검사실이 임상의학연구소 건물로 이전 결정되어 공사를 시작하였으며, 2017년 10월에 교수실, 행정실, 체외검사실이 병원 본관 2층에서 의생명연구원 6층으로 이전을 완료하였다. 2018년 10월에는 검체검사가 예약검사로 전환되면서 7시와 8시 출근자를 두는 등 시프트근무를 시행하여 당일검사를 가능하게 하였으며, 갑상선검사의 검사횟수를 10회로 증가시켜 환자편의를 도모하는 등으로 2% 성장을 보였다. 한편 건강보험급여 질관리 가산수가 신설되면서 우수인증기관에 대한 검체검사 질가산수가 4%를 받게 되어 병원 수익 개선에 기여하였다. 2019년 4월에 신경내분비종양 마커인 크로모그라닌 A 검사, 9월에 Macroprolactin 검사, free testosterone 등을 신규검사도 추가하였다. 10월에는  $^{51}\text{Cr}$ -EDTA 공급이 중단됨에 따라  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA를 허가초과약제로 승인 받아 사구체여과율 검사에 이용하게 되었다. KOLAS 인정 획득과 유지 등 이러한 여러 성과로 2019년 12월 체외검사실 전 직원이 병원장 표창을 받았다.

검체검사 동위원소 구입량

(단위: mCi)

년도	$^{125}\text{I}$	$^{51}\text{Cr}$	기타	합계
1964~1969		115	0	115
1973~1980	52	51	15	118
1981~1990	280	33	4	217
1991~2000	709	82	2	793
2001~2009	1,361	120	0	1,481
2010~2019	1,078	81	0	1,159

### 2010년 이후 핵의학과 직원 수상

#### 1. 과 포상

- 2008년 연말 실적평가 은상(연초 과 운영계획서 발표에 따른 연말 실적평가)
- 2017년 유공포상(방사성의약품합성실, GMP 적합판정 획득)
- 2018년 환자경험 우수부서(체내검사실)

- 2019년 유공포상(체외검사실, KOLAS 인정 및 유지, 예약화검사 시행)
- 2019년 소방훈련 우수부서(체내검사실)

## 2. 개인 원외

- 과학기술정보통신부장관상: 김진의(2015), 노경운(2017), 이홍재(2018)
- 보건복지부장관상: 노경운(2013), 김진의(2018)
- 대한임상병리사협회 우수논문발표상: 노경운(2017)
- 대한핵의학기술학회 우수논문발표상: 이형진(2010), 윤석환(2011, 2019), 권형진(2017)

## 3. 개인/팀 원내

- 모범직원 시상: 민경선(2010), 김태훈(2011), 이형진(2012), 김정수(2013), 박희원(2014), 도용호, 성용준, 이홍재(2015), 이용석(2016), 김병진(2017), 강신후(2018), 유태민(2019) 등 1978년부터 2019년까지 40명
- 수혈관리위원회 추천 모범직원상: 박민호(2019)
- 병원보 직원칭찬릴레이 주인공: 김종필, 임정진, 이해은(2017), 전재환(2019)
- 학습조직활동 경진대회: 문일상 (2018 동상)
- CP개발 대상: 핵의학과-갑상선센터 (2019 대상, 고용량 방사성요오드치료)

## 4. 개인 과내

- 2012년 이후 글로벌리더쉽, 창의와도전, 화합과협력, 특별상으로 구분하여 파트별, 직종별로 52명 수상

## 4) 부문별 구성원 및 운영

### 가. 체내검사실

서울대학교병원은 지난 60년 간 주요 핵의학기술인력의 교육센터 역할을 하였고, 핵의학 구성원들은 여러 주요 병원에서 핵의학진료를 시작하고 발전시키는 데 크게 기여하였다. 1969년 최초의 감마카메라인 Pho-Gamma 운영은 김일섭이 담당하였다. 1970년 김용봉, 1971년 신승훈, 1973년 장덕상이 입사하여 각각 1~2년 근무 후 경희의료원, 국립의료원, 순천향병원 등 새로이 개설된 핵의학검사실로 옮겼다. 1975년에는 박성욱이 6개월 근무 후 동남보건대학 방사선과 교수로 이직하였고, 최종훈은 10개월 근무 후 목사의 길을 걸었다.

1976년 안순자, 조규진이 입사하였다. 조규진은 우리나라 핵의학영상기술 발전에 크게 기여하였고 2003~2006년 기사장 보직을 수행한 뒤 2006년 말 명예퇴직하였다. 안순자는 임상병리사로서 영상검사를 담당하였고 1980년 미국으로 이민하였다. 1978년 김영현, 최기용이 입사

하였고 김영현은 한양대학병원, 최기용은 현대건설전문대학으로 각각 자리를 옮겼다. 1979년에는 김일태, 진광호가 입사하였다. 진광호는 임상병리사였으나 영상검사를 담당하며 수석기사를 역임하였고 1993년 삼성서울병원 개원 때 실장으로 참여하였다. 핵의학기술학회장을 역임하고 2008년 정년퇴임 후 현재 새한산업에 근무하고 있다. 김일태는 컴퓨터 전공으로 영상분석 업무를 담당하였으며 1982년 미국으로 이민하였다.

1981년 입사한 박장순은 1년 후 부천성가병원으로, 유광열은 1988년 신구보건대학 방사선과 교수로 자리를 옮겼다. 1982년 입사한 전병길은 1993년 아주대학교병원 핵의학과 개설 시 기사장으로 참여하였고 최승환은 1984년 고려대구로병원으로 이입하였다. 1985년 심상미, 이치영, 조시만이 입사하였다. 이치영은 1990년 한일병원 기사장으로, 조시만은 1989년 서울아산병원으로 옮겨 기사장을 역임하였으며, 심상미는 1997년 퇴직했다. 1986년 변대홍, 석재동, 좌성수가 입사하였고 변대홍은 천안단국대병원 개원 시 기사장으로 이입하였다. 석재동은 서울아산병원을 거쳐 삼성서울병원으로 옮겨 실장을 역임하였으며 좌성수는 포항기독병원으로 옮겼다. 안성민은 1년간 수습 후 가천의대 방사선학과 교수로 이입하였다. 1987년 입사한 배원규는 1993년 아주대병원으로, 이원국은 충북대학교병원으로 자리를 옮겼다. 1988년 입사한 서원영은 삼성서울병원으로, 신상기는 서울아산병원 개원 시 이입하였다. 1989년 황길동이 입사하였다.

1990년 송우강, 우재룡이 입사하여 송우강은 삼성서울병원으로 옮겼다. 같은 해 9개월간 영상검사 교육을 받은 김장환과 노준희는 현재 한일병원과 방사선보건연구원에서 근무하고 있다. 1991년 김진의, 1992년 김영석, 송재범, 신성화가 입사하였다. 송재범은 1993년 단국대학교병원 핵의학과 개설 시, 김영석은 2000년 국립암센터 개원 시 이입하였고 신성화는 2004년 건국대학교병원 핵의학과 기사장으로 이입하였다. 1994년 김영준, 박영재, 조성욱, 이경재, 이홍재, 임형태가 입사하였다. 박영재와 이경재는 분당서울대병원으로 자리를 옮겼고, 이경재는 현재 팀장직을 맡고 있다. 임형태는 6년간 근무 후 미국으로 이민하였으며 김영준은 1년 후 한양대병원으로 옮겼다. 1995년 입사한 김재홍과 임대응은 각각 경상대병원과 타 회사로 옮겼다. 1996년 성영수가 입사하여 방사선안전관리 전담으로 2년간 근무 후 퇴직하였다. 1998년 고길만, 윤상혁, 임정진, 정규일이 입사하여 윤상혁은 국립암센터, 고길만은 분당서울대병원으로 이입하였다.

2000년 김병진, 김재석, 주성우가 입사하여 주성우는 서울성모병원으로, 김재석은 부천순천향병원으로 자리를 옮겼다. 2001년 박주홍, 박진웅, 이충훈, 이형진이 입사하여 박진웅은 건국대학교병원, 이충훈은 국립의료원으로 자리를 옮겼으며 박주홍은 1년 후 퇴직하였다. 2002년 이진호, 정민기가 입사하여 이진호는 건국대병원으로, 정민기는 동국대 일산병원으로 자리를 옮겼다. 2003년 김영선, 김정수, 남궁식, 이양모가 입사하였다. 이양모는 2년 7개월 근무 후 퇴직하였고 김영선은 단국대병원, 남궁식은 건국대학교병원, 김정수는 2015년 동남보건대학교 방

사선과 교수로 이임하였다. 2004년 이보성, 정재훈이 입사하여 2년간 근무 후 각각 국립암센터와 한양대병원으로 이임하였다. 2005년 김홍주가 방사선안전관리 업무로 입사한 후 2008년 퇴직하였고, 2006년 임현진이 입사하였다.

2007년 김태엽, 송호준, 최진욱이 입사하였고 김태엽은 2017년부터 서울대학교병원 노동조합 분회장으로 파견근무 중이다. 2008년에는 권형진, 도용호, 승종민, 윤석환, 정용훈, 주시연이 입사하였고 주시연은 연구원으로 재직하다 2011년 퇴사하였다. 보라매병원 핵의학과가 설립되면서 2009년 우재룡이 수석기사로, 조성욱, 문일상, 성용준, 도용호, 윤석환과 함께 파견되었다. 2009년 김종필, 김하균, 신병호, 최현준, 현준호가 입사하였다. 2010년 전재환이 강남센터에서 핵의학과로 전보되었다. 2011년 우재룡이 보라매병원 기사장으로, 문일상, 조성욱이 각각 소아핵의학검사실과 체내검사실 수석기사로 보임되었다.

2012년 김현주 기사장 퇴임으로 김진외가 기사장으로 보임되고 조성욱 수석기사가 방사선안전관리실 팀장을 겸임하게 되었다. 2014년 UAE SKSH 핵의학과가 개설됨에 따라 김계환, 박주선, 석은미, 정용훈이 파견되었다. 2015년 김현, 하태환이 입사하였다. 2017년 노경운이 기사장에 보임되었고 이홍재, 문일상이 각각 소아핵의학검사실과 중앙핵의학검사실 수석기사로 보직 변경되었다. 2019년 국가시책에 따라 김준, 박주연, 이성태, 이은별이 정규직으로 전환되었다. 2020년 서울대학교병원 내 최초로 순환보직제를 실시하여, 우재룡, 조성욱 수석기사가 검사실 업무담당으로, 김병진, 임정진이 각각 중앙핵의학검사실과 체내검사실 담당 신입수석기사로 보임되었다.

간호사는 1979년 처음 장현숙이 간호부에서 파견되어 검사예약과 접수, 환자관리업무를 담당하였고 조강현, 이영자, 이은주, 박승현, 주영희, 김정희, 김미정, 안지희, 이영미, 최선분, 김정



2020년 체내검사실 구성원

옥, 홍승연, 한현미 등이 근무하였다. 2019년 간호사의 소속이 간호부에서 핵의학과로 변경되었으며 현재 본원에 이미정, 김봉선, 김지현이, 암병원에 강신후, 김연희가 근무하고 있다. 간호운영기능직은 이정신, 최종미, 서봉숙, 김영숙, 최효임, 진소희, 서효영, 정아, 박경옥, 허유진, 유아영이 근무하였고 현재 본원에 최경진, 암병원에 오은영이 근무하고 있다. 운영기능직은 현재 본원에 김은경, 신은영, 암병원에 이해은이 근무하고 있다.

#### 나. 종양핵의학검사실

1994년 국내 최초 PET설치와 함께 PET센터라는 이름으로 PET과 사이클로트론 운영 부문이 시작되었으며, 2011년 암병원 개원과 함께 암병원 종양영상센터 내 종양핵의학검사실로 체계가 개편되었다. 1981년 입사한 김문혜가 1993년 말부터 차폐공사 등 PET 설치 실무작업을 담당하였고, PET센터 개설과 더불어 1994년 이홍재가 입사, 합류하였다. 1994년 5월 보강공사를 거쳐 10월부터 사이클로트론 설치를 시작하였고 1995년 2월 6일 방사성의약품 생산 시작하였다. 이에 따라 1994년 입사한 김용근이 PET센터에서 근무를 시작하였고, 2000년 국립암센터로 옮겨 PET센터 개설 중심역할을 담당하였다. 1984년 입사한 이인원이 1997년 3월부터 PET센터로 옮겨 근무를 시작하였다. 당시 토요일 10시에 정재민 교수 주재 하의 PET센터 운영회의를 진행하였는데, 주5일제 근무가 되면서 목요일 점심시간으로 옮겼다. PET 환자 증가와 방사성의약품 수요 증가로 인하여 1998년 입사한 조영권이 1999년부터 사이클로트론실 근무를 시작하였는데, 현재 청주대학교 방사선과 교수로 재직 중이다.

꾸준한 PET검사 증가로 1998년 입사한 정규일이 2000년 PET센터에 합류하였고 이 즈음 PET검사실과 사이클로트론실이 분리되었다. 1999년 입사한 조용현이 2000년 3월 사이클로트론실로 옮겨 현재까지 방사성의약품 생산과 합성의 중심 역할을 하고 있다. 2000년 이후 전국 각지 병원의 PET센터 개설이 급증하여 서울대학교병원은 PET 기술교육 사관학교로 변모함과 동시에 교육을 통하여 많은 근무자가 타 병원으로 진출하였다. 1999년 강건호, 2000년 박대호가 입사하여 방사성의약품 생산을 담당하였고 정현정은 연구원으로 2001년 2월까지 근무하였다. PET센터 증가 및 FDG 수요 확대에 따라 2004년 강건호는 동강무역으로, 박대호는 경북대학교병원으로 옮겼다. 2000년 입사한 박주홍은 송도병원으로 옮겼고 서석근이 3개월 근무 후 순천향대 부천병원으로 이직하였다. 홍성택이 2001년, 박광서는 2004~2006년 근무 후 국립암센터 사이클로트론실로 옮겼다. 박준형은 2005~2007년 근무 후 분당서울대병원을 거쳐 현재 미국 스탠포드대학병원에 근무 중이다. 2006년 입사한 황기영은 현재 칠곡경북대병원에 근무 중이다.

2003년 입사한 남궁식, 이진호는 2005년 건국대학교병원 핵의학과 개설 시 옮겼고, 그 해 10월 김재일이 입사하였다. 2005년에 김다은과 성용준이 입사하였고 김다은은 PET센터에 근무한

첫 여성 방사선사였으나 동국대 일산병원으로 이입하여 현재 국립암센터에 근무 중이다. 2006년 김승정, 나명대, 백승찬, 유연옥이 입사하여 유연옥은 국립암센터, 백승찬은 원자력병원으로 옮겼으며 나명대는 2008년 퇴직하였다. 2007년부터 체내검사실과 PET영상검사실 순환근무가 본격화하였다. 2008년 이용석, 2009년에는 최현준과 현준호가 입사하였다. 권형진과 이재형이 각각 체내검사실과 체외검사실에서 사이클로트론실로 옮겼다. PET센터에 간호사 인력이 충원되며 강신후가 간호부로부터 전보되어 환자에게 한층 높은 간호서비스를 제공할 수 있게 되었다.

2011년 암병원이 개원하면서 본원 PET센터가 종양영상센터로 이전하면서 이홍재가 종양핵의학검사실 수석기사로 보임되었고 이용석과 이재형이 정규직으로 입사하였다. 홍승연이 간호부에서 종양핵의학검사실로 전보되어 간호사 2인이 근무하게 되었다. 2012년 PET/MRI가 도입되면서 김재일이 업무를 맡았다. 2014년 이해은이 입사하였고 2015년 김연희가 종양핵의학검사실로, 박희원이 사이클로트론실로 옮겼다. 2017년 GMP 시행과 함께 사이클로트론실을 내부적으로 방사성의약품 생산·연구·개발실로 명칭 변경하였고, 동시에 인력이 확충되어 윤창식과 인우진이 정규직으로 입사하였다. 이보은 약사가 사직 후 김호영이 제조관리 약사직을 이어받았다. 2018년 이홍재가 소아핵의학검사실 수석기사로 보직변경되며 방사성의약품 업무를 맡았고, 문일상이 종양핵의학검사실 수석기사직을 맡았다. 2019년 박종범과 김한울이 정규직으로 입사하여 방사성의약품 생산 업무를 임상병리사 7명이 담당하게 되었다. 방사성의약품 제조관리 약사 김호영이 퇴직하고 정인수가 입사하였으나 곧 사직하였고, 원내 약제부 지원자 공모를 거쳐 10월 옥인화가 종양핵의학검사실로 옮기게 되었다. 2020년 문일상이 보라매병원 기장으로 전보되고 김병진이 종양핵의학검사실 수석기사로 보임되었다.



2020년 종양핵의학검사실 구성원



2020년 방사성의약품실 구성원

#### 다. 체외검사실

1960년대 방사성동위원소진료실에는 의료기사 면허소지자가 근무하지 않았다. 의사 중심으로 운영되며 이영숙이 여러 실무를 도와주는 업무를 하다가 1974년 퇴직하였다. 1969년 8월 고창순 교수가 동위원소실로 옮긴 후 같은 해 11월 서일택이 임상병리사 면허소지자로서 처음으로 근무를 시작하였다. 서일택은 우리나라 핵의학기술의 선구자로서 일반행정 업무와 의료보험제도 업무도 담당하였고, 후에 핵의학검사학회장과 핵의학기술학회장을 역임하였다. 국내 최초 PET 센터 개소에 공헌하였고 방사선안전관리업무, 외부정도관리업무에도 많은 기여를 하였다. 고려대학 강사로서 학생교육에도 기여하였으며 1978년 서울대학교병원이 특수법인이 된 후 기사장으로 보임되었고 2002년 말 정년퇴임 후 대한핵의학회 사무국장으로 자리를 옮겨 외부정도관리, 전국 검사현황통계, 의료보험, 핵의학검체검사인증 등 많은 핵의학 관련업무를 수행하였다.

1975년 김현주, 동희초가 입사하여 혈액내 미량물질을 정량화할 수 있는 방사면역검사법이 정착되는 계기가 되었다. 진료실에서 오더가 발행되면 환자가 직접 검사의뢰지를 들고 동위원소실로 와서 접수하고 바로 검사실에서 채혈하여 검사를 하였다. 시험관 1개씩을 일일이 우물형 계수기에 넣어 계측을 하고 종이에 계측수를 기록, 모눈종이에 표준곡선을 그려 결과를 읽었다. 검사종목마다 노트에 기록하고 영상판독지에 결과를 타이프해서 보고했다. 김현주는 1983년 수석기사로 보임되어 검체검사관리, 직원교육, 학회업무, 연구, 외부정도관리 등에 기여하였으며 2007년 기사장으로 보임되었고 2012년 6월 정년퇴임하여 현재 랩케어진단검사센터에서 근무 중이다. 1978년 새 병원 이전을 앞두고 검체검사가 크게 증가함에 따라 인력을 충원하게

되어 박영자, 서미경, 이승관이 입사하였다. 박영자는 이화여대 약대를 나온 약사로서 특채되어 근무하였고 1980년 퇴직하였다. 이승관은 현재 고려대학교 보건대학 임상병리학과 교수로 재직 중이며 서미경은 1984년 퇴직하였다.

1980년 윤성혜, 정운영이 입사하였다. 정운영은 1988년 서울아산병원 개원 시 핵의학과 기사장으로 자리를 옮겼고 핵의학검사학회장, 핵의학기술학회장 역임하였으며 2016년 정년퇴임하였다. 1981년 신숙희, 장철수가 입사하였다. 장철수는 1984년 김천보건대학으로, 신숙희는 1985년 SCL, 함춘임상검사센터를 거쳐 대전보건대학으로, 강형태는 수습생으로서 RI 면허를 취득해 문화재관리국으로 이직하였다. 1982년 박은경이 수습생으로 입사하여 1984년 한강성심병원을 거쳐 제일병원으로 자리를 옮겼다. 박은미는 1982년 일반외과 연구실에서 핵의학과로 전보되었으며 1994년 차병원으로 자리를 옮겼다. 1983년 수습생으로 입사한 장연길은 10월 국립보훈병원 검체검사실 개설로 이직하였다. 강미희, 오정순, 정명화는 개인적 연수 후 순천향병원, 경찰병원, 고대구로병원에 검체검사실 개설 시 이직하였다. 1984년에는 민경선, 신금철, 조미라가 입사하였다. 조미라는 1990년 퇴직하였고 민경선은 2011년 명예퇴직하였다. 1985년에는 이재길, 이정선, 홍명신이 입사하였다.

1988년 김연옥, 유만길이 입사하여 김연옥은 서울아산병원 개원 시 이임하였다. 유만길은 1993년 삼성서울병원 개원 시 이임하였고 원우재는 임상병리과에서 전보되어 2000년 국립암센터 개원 시 기사장으로 이직하였으며 대한핵의학기술학회장을 역임하였다. 1989년 박형기, 홍미경이 입사하여 박형기는 이듬해 동아대학병원 검체검사실 개설 시 이임하였다. 1990년 김동민, 노경운, 장운균이 입사하였다. 노경운은 2006년 세계핵의학회 기술학회부문 총무를 맡았고 2008년 핵의학검사학회장으로서는 외부정도관리 확대, KOLAS 인정, 키트성능평가 등 여러 공헌을 하였으며, 2007년 수석기사로 보임되었고 2017년부터 기사장직을 수행하고 있다. 장운균은 9개월 근무 후 한일병원 검체검사실을 개설 시, 김동민은 1994년 아주대학교병원 핵의학과 개설 시 수석기사로 자리를 옮겼다.

1991년 조만익이 입사하여 2003년 분당병원 개원 시 검체검사실 개설에 참여하였다. 1993년 입사한 문우연은 서울아산병원으로 이직 후 2019년 퇴직하였고, 1994년 김태훈, 유태민, 장현영, 박준모, 이선호가 입사하여 이선호는 1994년 서울아산병원으로, 박준모는 10개월 근무 후 여의도성모병원으로 옮겼다. 김태훈은 탁월한 인화력으로 체외검사실 및 과 화합에 기여하였고 검사의 안정화, 표준화에 많은 기여를 하였다. 유태민은 2017~2019년 수석기사를 역임하며 검사횟수 확대와 시프트근무 도입으로 임상서비스를 개선하였고 검사자안전지침, 검사오류방지지침 등을 확립하였다. 장현영은 차기 핵의학검사학회장(2021년)으로 선출되었다. 1995년 박훈수, 1998년 김지나, 신선영, 윤태석이 입사하였다. 윤태석은 현재 부회장으로 노동조



함에 파견근무 중이고, 김지나는 국립암센터 개원 시 옮겼다. 신선영은 2020년부터 수석기사로 근무중이며, 2006년 세계핵의학회 및 세계임상병리사학회 구연연제, 2008년 SCI저널 제1저자 논문 등을 발표하였다. 2001년 문기춘, 박희원이 입사하여 문기춘은 분당병원 개원 시 이임하였다. 2002년 강애희, 김대운, 이현주가 입사하였고 강애희는 보건소 공무원으로 현재 송파구에 근무 중이며 이현주는 2007년부터 보라매병원에서 근무 중이다.

2003년 김지선이 연구원으로 입사 후 신진메디스로 이직하여 국산키트개발에 참여하였고, 안재석은 3년간 근무 후 국립암센터로 이임하였다. 2005년 홍창현이 입사하여 2년간 근무 후 이직하였고, 2006년 입사한 신희정은 2007년 7월부터 정규직으로 근무하고 있다. 2007년 서효열, 임소희, 하동혁, 김희선이 입사하였고, 김희선은 2014년부터 보라매병원에서 정규직으로 근무 중이다. 2013년 최성희가 입사하였고, 2016년 조현수, 2017년 박민호, 2018년 류화진이 정규직 발령을 받았다. 2020년 이해주가 입사하였다. 보라매병원과 본원 간에 정기적으로 순환근무를 시행하였으나, 장기근무를 희망하는 직원들의 장기근무 지원으로 인하여 2019년부터 정기 순환근무가 중단되었다.

검체검사의 변화와 함께 체외검사실은 임상서비스 강화와 정도관리 강화에 노력하여 2019년 체외검사실 전 직원이 KOLAS 인정, 핵의학 검체검사 실시 및 수탁기관인증으로 질가산율 4% 등 성과로 12월 병원 월례회의에서 유공표창을 받기도 하였다. 비예약검사가 예약시스템으로 전환되어 중앙표지자검사는 일 8회, 갑상선기능검사는 일 10회로 검사횟수를 늘렸으며, 7시와 8시 출근자로 시프트 근무를 시행함으로써 결과보고시간을 단축하여 진료서비스와 당일진료환자 만족도를 향상시켰다. 2017년 10월 의생명연구원 6층 현재 위치로 이전하였고 매주 화요일 오후 4시부터 30분 동안 직무교육 및 업무회의를 통해 자기개발과 업무 원활화를 추구하고 있다.



2020년 체외검사실 구성원

## 보건직 해외연수

서울대학교병원은 1978년 특수법인화를 앞두고 CMB 자금에 의한 직원연수제도가 처음 시행되었다. 보건직으로는 서일택이 1978년 3월부터 3개월간 일본 교토대학병원에서 방사면역측정기술에 대하여 연수하였고 그 해 12월초 조규진이 일본 도쿄도립노인병원에서 영상촬영기술, 김현주가 일본 시즈오카 약대에서 방사면역측정기술을 연수하였다.

이후 영상검사실은 SPECT, PET 영상기술과 장비정도관리, 컴퓨터 응용기술, 방사성의약품 합성기술 습득을 위한 해외연수를 하였다. 1980년 박현숙, 안순자, 1982년과 1992년 진광호, 1985년, 1990년, 2006년에는 조규진이 연수하였다. 1983년 유광열, 1985년 전병길, 1987년과 1994년에 이인원, 1988년과 1992년에 김문혜, 1990년 변대홍, 1998년 임형태, 2000년 신성화, 2002년 김진의, 2004년 이홍재, 2005년 장영수, 2008년 문일상, 2018년 도용호가 일본, 미국, 호주, 대만, 독일 등에서 연수하였다. 검체검사실은 방사면역측정기술과 정도관리에 대하여 연수하였으며 1980년 동희초, 1982년 정운영, 1987년 이재길, 1993년 박은미, 1995년 김현주, 1996년 노경운, 1999년 조만익 2015년 신선영이 홍콩, 대만, 일본, 영국, 싱가포르에서 연수하였다. 연수기간은 초창기 3개월이었으나 1992년부터 2개월로 단축되었고 1998년부터는 다시 1개월로 단축되어 현재에 이르고 있으며 1978년부터 2019년까지 40년간 27명이 총 37회 연수를 다녀왔다.

### 라. 행정실

1963년부터 이영숙, 채수영이 동위원소실의 전반적인 업무를 보다가 1974년 퇴직하였다. 1973년 고경희가 입사하여 1975년 퇴직하였고, 이어 임상병리사 김현주가 2년여간 동위원소실의 제반 행정업무를 2년간 맡은 뒤 1977년부터 최송희가 5년간 근무하였다. 특수법인 전에는 임영심, 최순혜, 조화자, 권명화가 접수업무를 거쳐 갔다. 1979년 첫 정규사무직 안성란이 입사하여 2년간 근무 후 전보되었다. 1980년대 초반, 이부순, 정명희, 김사임, 박미숙, 이강미, 이기분, 오정미, 최혜현이 의무전사와 접수, 과장실 업무를 담당하였다. 1984년 윤순분이 입사하여 의무전사로 일하다 1994년 퇴직하였고, 1985년 박춘자, 이종금이 입사하여 접수업무에 종사하였다. 이종금은 1986년 전보되었고 박춘자는 1996년 퇴직하였다. 1983년 입사한 곽은자는 과장실에서 근무하였고 1997년 전보되었다.

1986년 김주희, 서영미, 최정희가 입사하였다. 최정희는 의국업무를 시작으로 사무직으로 전환하여 현재 의대와 병원 행정업무 및 연구행정관리 실무를 총괄하는 행정실 책임자로 근무 중에 있다. 김주희는 접수 근무 후 1993년에, 서영미는 의무전사에 종사하다 1989년 전보되었다. 1987년 김순애가 의국업무를 맡았다가 1995년 이직하였고 기우탁은 3년간 사무직에 종사한 후 1990년 전보되어 현재 보라매병원 종합검진센터운영팀장으로 있다. 1990년 노승옥이 사무직으

로 근무하다 1993년 퇴직하였고 후임으로 1993년 최윤희, 남은주, 신은영이 입사하여 현재 신은영은 접수업무, 남은주는 1995년 행정실로 옮겨 의대 학사행정 및 연구관련 행정업무를 맡고 있다. 최윤희는 2002년 전보되었다. 1994년 입사한 주홍녀는 검체검사실 접수업무를 담당하다가 2002년 전보되었다. 1995년 박선경이 입사하여 영상검사실 접수실 근무 후 2000년 퇴직하였고 1996년 황미나가 입사하여 접수 근무 후 1999년 전보되었다. 2000년 최윤정이 입사하여 현재까지 행정업무를 담당하고 있으며 김현화는 14개월 근무 후 전보되었다. 유영주는 2001~2019년, 안미숙은 2003~2006년 근무 후 전보되었다. 2006년 문영실이 전보되어 2018년 3월부터 행정실에서 업무를 함께 담당하고 있다.

1970년대에는 행정업무를 선임기사가 담당하였고 동위원소실장 비서업무, 환자접수업무, 의무타자업무는 고용직이 담당했다. 1978년 특수법인화 이후 기사장제도가 생겨 기사장이 행정을 담당하다가 규모가 커지면서 사무직이 충원되어 행정을 보조하였고 운영기능직은 각 검사실 접수와 의무전사업무를 담당하였다. 1980년대 중반 행정사무직 업무는 주로 교수 비서와 접수 직원으로 구성되어 사무실 정리, 교수 업무보조 등 단순비서업무와 함께 교수 강의자료 작성, 강의슬라이드 필름 제작 등도 담당하였고 부수적으로 대한핵의학회 업무도 담당하였다. 이후 개인용 컴퓨터가 보급되면서 보석글 등을 이용한 워드프로세싱, Lotus, Dbase 등을 이용한 데이터 통계 및 그래프 작성 등 자료분석 업무를 수행하게 되었으며 학회 업무도 타과보다 먼저 컴퓨터로 주소라벨 작업을 시작하여 교수들이 타과에 자랑을 하곤 하였다. 당시 2명의 직원이 비서 및 교수업무를 담당하고 1명의 사무직이 행정업무를 담당하였는데 그 후로 빠르게 사무자동화가 진행되고 1997년 핵의학교실 설립 후 교수와 업무량이 늘어나면서 인원이 충원되었다. 연구관리행정 담당 보조연구원으로 강승현, 김수정, 조예란이 입사하였다. 강승현은 2016년 1월까지 근무하였고, 후임자로 박소정이 2016년 2월부터 2017년 4월까지 근무하였으며 2017년 3월부터 대형과제 행정인력지원으로 신하은이 입사하여 2018년 6월까지 근무하다가 서울대병원에 직원으로 임용되어 전보되었다.

1987년부터 연구과제를 통합 운영, 관리하면서 연구비 사용관리를 행정실로 통합하여 운영하도록 하였다. 수십 개의 연구과제를 동시 수행하며 집행뿐만 아니라 신규과제 신청 시 예산 책정과 과제종료 후 정산을 담당하였다. 또한 핵의학교실, 의과학과, 중앙생물학, 분자의학 및 바이오제약학과 등 교실을 포함한 여러 전공과정에 대한 의대 행정업무와 물리, 뇌과학, 화학, 생물팀 등 여러 팀 소속 연구원과 대학원생들에 대한 행정지원을 맡고 있다.

과의 세계화와 함께 행정업무 역시 국제적으로 변모하였다. 2000년 세계핵의학회 유치가 결정되면서, 준비 실무담당자로 2001년 이순용이 입사하여 2003년 퇴직하였고 후임자로 김승원이 입사하여 학회를 성공리에 마친 2007년에 퇴직하였다. 한연주는 2002년 입사하여 2003년

퇴직하였으며 후임자로 한주형이 입사하여 학회를 끝마친 후 퇴직하였다.

세계핵의학회 개최 이후에도 국제업무의 필요성이 높아져, 임윤희가 2007년 입사하여 2012년까지 IAEA Collaborating Center 업무로 아시아 각 나라 훈련생 연수프로그램 진행 절차지원을 담당하였다. 아시아지역핵의학협력기구(ARCCNM) 사무국으로서 아시아 지역뿐 아니라 국제적 위상이 올라가도록 기여하였으며, (사)원자력응용의학진흥협회, 한국PET협회의 사무국 역할도 담당하여 국내 핵의학 분야의 협력과 발전에 기여하였다. 2011년 고창순프로젝트가 발족되고 2010년 외국인 펠로우 연수자를 시작으로 매년 1~2명의 해외연수자가 생기면서 꾸준히 국제업무를 담당하였다. 임윤희가 퇴직하면서 이해원이 2012년부터 2014년까지 근무하였고, 임수지가 2015년 입사하여 1년 근무하였다. 이동수 교수가 세계핵의학회 회장 선거에 나서며 허희석이 2016년 1월부터 기획 및 국제업무를 담당하고 2017년 퇴직하였고, 10월 김진우가 입사하여 2019년 6월까지 차기회장직 업무를 맡았다. 2019년 6월 이상은이 입사하여 세계핵의학회 사무국 업무 지원, KOICA와 TEIN 사업의 국제행정업무를 담당하고 있다. 다양한 영상데이터 연구수행과 함께 원내에서 선도적으로 화상회의시스템을 도입하면서 전산지원직도 충원하였다. 2006~2010년 장순이 네트워크 및 전산환경 구축 및 운영 업무를 담당하였고, 2011~2012년 장준하, 2012~2015년 오상훈이 근무하였다. 이동수 교수가 KREONET 사업에 참여하면서 2015~2017년 정경식이 첨단초고속망 도입 및 화상회의 시스템 구축에 기여하였고 현재 김동빈이 업무를 담당하고 있다.



2020년 행정실 구성원

## 2. 교육 및 인력양성

### 1) 학생, 전공의, 전임의

#### 가. 학부생 교육

1997년 핵의학교실 설립 이전의 학부생 핵의학 교육은 주로 통합(블록)강의 또는 내과 및 진단방사선과 교과목과의 협조를 통해 이루어졌다. 1970~80년대에는 2학년 통합강의 중 혈액학, 내분비학, 순환기학, 소화기학, 신장학 등의 교과목에서 1시간씩을 배정받아 강의하였고, 1990년대에는 중앙학 통합강의에도 강의를 추가되었다. 3학년 과정에서는 진단방사선과학에서 2시간을 할당받아 개론과 영상기법을 강의하였고, 내과학에서는 5시간을 할당받아 핵의학의 임상 적용을 강의하였다.

실습은 1980년 이전까지 3학년 내과 12주 실습 중 수 시간을 교육하였으며, 4학년에 4~12주의 선택과정 교육을 하기도 하였는데 이 때 우수한 연구로 상을 받는 학생도 여럿 있었다. 1980년대 중반 이후 실습 교육은 내과와 더불어 진단방사선과 실습에서도 시간을 할당받아 시행하였는데, 내과 실습에서는 1992년 2시간, 1994년 5시간, 1996년 10시간 등, 시기에 따라 수업 시간을 조정하였고 진단방사선과 실습 중에는 꾸준히 2시간을 교육하였다.

의과대학 학생에 대한 핵의학 교육은 1997년 핵의학교실 설립 이후 본격화되어, 이듬해인 1998년 3월 최초로 3학년 학부 교과과정에 1학점 '핵의학' 교과목이 신설되었다. 이 때 주당 1시간씩(토요일) 한 학기에 걸쳐 19시간의 강의교육을 시행하였고 실습은 여전히 내과학 실습 중 10시간(격주 목요일 오후~금요일), 진단방사선과학 실습 중 2시간(월요일 오후)을 할당 받아 교육하였다. 이후 핵의학 교과목은 3학년 교과과정 중 1학점 과목으로 지속되었다. 실습은 2004년 3학년 임상 통합과정으로 개편되면서 영상의학/핵의학 실습으로 명칭이 변경 신설되어 2주간의 실습 중 둘째 주 8시간(월요일)을 교육하게 되었다. 내과학 실습 중 교육도 여전히 지속되어 8시간(격주 목요일)으로 변경되었다가, 2008년 4시간(격주 금요일 오전)으로 다시 조정되어 총 12시간의 실습 수업이 현재까지 지속되고 있다. 2005년부터 분당병원과 교육을 분담하여, 2개 조로 나눈 뒤 한 조씩 본원과 분당병원에서 동일 교과과정에 따른 교육을 받았다. 2018년 의과대학의 전반적 교육과정 개편에 따라 핵의학 교과목이 4학년 전공필수과목으로 이동되면서 이 해에는 실습 수업이 없었다. 2019년부터는 4학년 실습에서 1주를 나누어 월요일과 화요일 오전에 핵의학 실습을 진행하고 나머지 기간 가정의학 실습을 하게 되었다. 강의는 임상특과 가운데 3시간을 배정 받았다.

또한 2010년대 초까지는 핵의학과가 개설되어 있지 않거나 핵의학 교육 여건이 충분하지 못

했던 대학의 학부생들을 위탁 받아 교육하기도 하였는데, 인하대학교, 제주대학교 등 여러 대학 학생들이 서울대학교병원에서 핵의학 실습 수업을 받았다.

#### 핵의학 강의 수업 내용

연도	강의 구성
1969	핵의학서론, 핵의학 영상형성의 원리, 심맥관계 질환 핵의학, 조혈장기 핵의학, 내분비 질환 핵의학, 위장관 및 간담도계 질환 핵의학, 종양질환 핵의학
2009	핵의학개론 및 영상원리, 방사성의약품, 뼈 및 관절계, 간담도계 및 소화기계, PET, SPECT, 분자핵의학영상, 생물학적 검사와 감염 및 전신질환, 방사성의약품 치료
2019	핵의학원리I (진단), 핵의학원리II (치료), 핵의학적 활용과 분자영상

#### 나. 전공의 교육

1995년 핵의학 전문의 제도가 신설되면서 1996년 첫 핵의학 전공의를 선발하게 되었으나, 그 전부터 서울대학교병원 내에는 핵의학 전공의라는 비공식적 개념이 있었다. 1966년 김명재, 1968년 이정상, 최강원 등이 내과 전공의로써 핵의학에 입문하여 이문호 교수의 대학원 지도 학생으로 방사성동위원소실에서 전일제로 근무하며 연구하였다. 이후 1974년 이명철이 최초로 군진의로 핵의학 전공요원으로 별도 선발되어 내과에 입국하였기 때문에, 실질적인 국내 첫 핵의학 전공의가 되었다. 이명철은 고창순 교수의 지도학생이 되었다. 이듬해 홍기석, 김명덕이 이와 같이 입국하였고, 이후 서울대학교병원 내과의 분과 전공의로써 실질적 핵의학 전공의가 계속 이어졌다(역대 전공의 표 참조). 이 외에도 내분비학, 호흡기학, 혈액종양학, 신장학, 감염학, 류마티스학 등 다른 분과를 주 전공으로 하면서도 핵의학에 대한 열의를 가진 내과 전공의들이 이문호, 고창순 교수 지도 하에 동위원소를 이용한 연구와 진료에 노력하였고, 이들이 동원회라는 모임으로 이어졌다.

핵의학교실 설립 전까지 1970~1980년대에는 내과와 방사선과 전공의 과정 중 내과에서 2명, 진단방사선과에서 1~2명이 1~3개월 파견 근무를 하며 전공의 교육이 시행되었다. 영상판독, 교과서 강독, journal review, 증례토론, 방사성옥소 치료 등으로 수련 교육 일정이 구성되어 있었다. 파견 근무는 점차로 줄어 1990년대 초반에는 내과 1명, 진단방사선과 1명이 1개월씩 파견 근무를 하였고, 핵의학 전공의 제도가 정착된 1999년 이후에는 업무부담보다는 교육적 차원에서 파견이 이루어졌다. 1996년에는 핵의학 전문의 제도 신설 이후 첫 핵의학 전공의로 김석기가 입국하였다. 1999년 IMF 사태의 후폭풍으로 진단방사선과, 임상병리과 등과 함께 핵의학 전공의 지원자가 급감하여 선발하지 못한 해도 있었으나 이후 현재까지 우수한 전공의들의 입국이 지속적으로 이어졌다. 서울대학교병원 전공의 정원은 1996년 이후 현재까지 계속

1명이지만, 2003년 분당병원 전공의 정원 1명이 추가되어 모자병원 협약을 맺고 통합선발하게 되었다. 2005년 국립암센터 전공의 1명도 통합 선발, 교육하게 되었고 2013년부터는 보라매병원 정원 1명이 추가되어 연간 4명의 전공의를 통합선발하였다. 이후 2019년 전공의 모집부터는 분당병원 및 국립암센터에서 독자적으로 전공의를 선발하게 되었고 2020년에는 전공의 수련을 위한 필요 전문의 수가 변경되어 2021년부터는 보라매병원 전공의 정원이 배정되지 않았다. 통합 선발을 통해 선발된 전공의는 각 병원을 순환하며 수련을 받았다.

전공의 수련 과정은 시대에 따라 변천이 있었으나 기초핵과학, 핵의학영상판독, 체외검사, 방사성동위원소치료, 핵의학 기초연구 등을 망라하고 있다. 대한핵의학회 수련규정에 따라 임상능력 함양을 위하여 내과와 영상의학 파견을 시행하였는데, 1996년 이후 2004년까지는 각 6개월, 2005년 이후는 각 4개월씩 파견하고 있다. 내과와 영상의학 파견은 2개월씩 1년차 및 2년차에 시행하고 있다. 핵의학과는 일찍부터 연구 성과에 따라 전공의 기간 중 1~2회의 해외학

핵의학 전공의 수련 교과과정 (2020)

	1년차	2년차	3년차	4년차
전공의 교육 미션	핵의학의 전문적 지식 및 기술을 습득하여 환자의 진단과 치료에 적극적으로 참여하고, 임상자문과 핵의학의 교육을 담당할 수 있는 능력을 배양하여, 보건향상과 의학의 발전에 공헌할 수 있는 유능한 핵의학과 전문의를 양성함.			
연차별 수련과정	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 핵의학 검사를 위한 환자 문진, 신체검사, 병력 청취, 타 검사 결과 해석 능력 배양</li> <li>2. 핵의학 planar scan, SPECT, PET 영상검사의 원리 이해</li> <li>3. 핵의학 planar scan 검사의 판독 소견서 작성</li> <li>4. 핵의학 planar scan, SPECT, PET 영상의 검사 프로토콜을 이해하여 최적의 영상을 획득</li> <li>5. 방사성 핵종 치료에서 환자에 대한 설명과 동의서 취득</li> <li>6. 치료 병실 입원 환자에 대한 병력 청취, 신체 검진과 입원 진료</li> <li>7. 영상의학 검사 등 타 검사에 대한 기초적인 이해를 통한 판독 능력 향상</li> <li>8. 방사성동위원소 투여와 소아 진정에 대한 술기</li> <li>9. 방사선 안전관리에 대한 지식 습득</li> <li>10. 핵의학 영상 장비의 조작법 습득</li> <li>11. 방사성동위원소의 기본 취급 술기</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 의료진 간 의사 소통을 통한 다학제 진료 능력 배양</li> <li>2. 핵의학 planar scan, SPECT, PET 영상의 검사 프로토콜을 확립하여 최적의 영상을 획득하고, 환자의 병력, 치료 유무 등에 의한 영상 소견의 차이를 반영하여 판독 질 향상</li> <li>3. 연관 검사 해석 능력 향상을 통한 핵의학 planar scan, SPECT, PET 영상검사의 이해 및 판독 능력 증진</li> <li>4. 핵의학 SPECT, PET 검사의 판독 소견서 작성</li> <li>5. 방사성 핵종 치료의 프로토콜을 이해하고 방사선 안전관리</li> <li>6. 방사성핵종 치료 환자의 외래 진료 능력</li> <li>7. 방사선 안전관리에 대한 술기</li> <li>8. 핵의학 영상 장비의 정도관리</li> <li>9. 피폭관리, 오염관리 지역 등에서의 방사선 장애방어</li> <li>10. 새로운 방사성핵종이나 새로운 방사성의약품 도입을 위한 제반 사항 이해</li> </ol>		
특기사항	내과, 영상의학과 파견(각 2개월)	내과, 영상의학과 파견(각 2개월)	해외 연수(1 개월), 타병원 파견(1 개월)	

회 참가 기회를 부여하였으며, 2009년 이후부터는 핵의학 전공의 제도의 정착과 발전, 국제적 리더십 확보노력 등에 기반해 전공의 해외파견을 실시하는 등 새로운 시도도 이어지고 있다. 모집 전공의는 2005년 이후 2016년까지 지속적으로 증가 및 유지되어 연 3~4명을 유지하였으나, 2017년 2명, 2018년 1명의 전공의가 선발되었고, 2019년은 1999년 이후 20년 만에 전공의를 선발하지 못하였다.

이 외에도 외부 전공의 위탁교육이 많이 이루어졌으며, 특히 핵의학과가 없는 병원에서 진단 방사선과를 수련 중인 전공의들이 1~2개월간 파견되어 교육을 받았다. 또한, 대한핵의학회 수련기준에 의하여 타병원 핵의학 전공의들도 많이 파견받아 교육하였다.

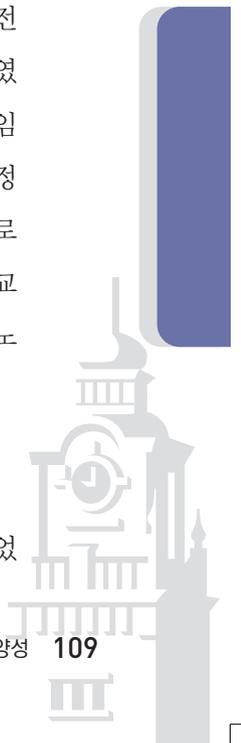
#### 다. 전임의/임상강사 연수

서울대학교병원은 1983년 국내 최초로 핵의학 전임의 연수 과정을 시행하였고 이후 꾸준히 핵의학 전임의 과정을 통해 우수한 전문인력을 핵의학 전공자로 재교육하거나 심화 연수할 수 있도록 함으로써 국내 핵의학 발전의 인적 기반을 탄탄히 하는 데 크게 기여하였다 (역대 전임의 표 참조). 특히, 2000년대 이전에는 타 병원에서 전공의 과정을 이수하고 서울대학교에서 전임의 과정을 통해 핵의학을 심화 연수한 핵의학 전공자 상당수가 전국 주요 병원에서 근무하며 핵의학을 이끌어 왔다. 핵의학 전임의 과정은 주로 연구경험과 업적을 쌓는 데 중점을 두었는데, 이를 통해 PET, 분자영상, 핵의학치료 등 서울대학교가 이끌고 있던 분야의 연구에 본격적으로 참여하게 되는 경우가 많았다. 일례로 전남대학교병원에서 전공의를 마친 민정준은 2000년 서울대학교병원에서 전임의 과정 이후 미국 Sam Gambhir 교수의 연구실로 연수를 다녀와 현재 국내 분자영상학 분야의 핵심 연구자로 활동하고 있다.

전임의 과정은 2000년대 후반 이후에 점차 다변화되었다. 2008년 이후에는 분당병원에서 전임의를 따로 선발하여 분당병원에서 진행하는 독자적인 연구와 진료를 수행하는 역할을 하였다. 또한, 이동수 교수가 서울대학교 융합과학기술대학원 분자의학 및 바이오제약학과의 겸임 교수로서 연구실을 운영함에 따라 전공의 과정을 마친 후 군미필인 남자 전문의는 전임의 과정과 전문연구요원 과정을 연계하여 연구에 중점을 둔 연구전임의 과정을 거치게 되었다. 일례로 2012년 임형준은 연구전임의와 전문연구요원 과정을 거친 후 Wisconsin 대학교 Cai Weibo 교수 연구실에서 연수를 한 뒤 현재 서울대학교 융합과학기술대학원 소속 교수로 핵의학 및 나노의학 분야 연구자로 활동하고 있다.

#### 라. 집담회

학생, 전공의, 전임의, 대학원생 등의 교육에 있어서 집담회는 매우 중요한 교육 공간이었



다. 과내 집담회의 기원은 1960년대 병원 차원에서 행해지던 postgraduate training schedule이었다. 1967년 병원 연보에도 매주 화요일 오전 8시 30분부터 1시간동안 내과 의국에서 열린 'Nuclear Medicine Seminar' 기록이 있다. 고창순 교수가 서울대학교로 복귀한 1970년부터는 동원회 자체의 화요세미나를 개최하였다가 1978년 핵의학과 설립 이후 이를 본격화하였다. 1990년대 중반까지 시행하였으나 이후 각 전문분과의 전문성이 강화되고 수준이 심화됨에 따라 발전적으로 중단하였다. 1980년 당시 오후 4~5시가 집담회 시간이었으며, 월, 화, 목은 textbook review, 수요일은 의공학과 공동 seminar, 금요일 journal review, 토요일 problem case 등으로 짜여 있었다. 1981년에는 nuclear physics 교육이 추가되었다. ERC를 유치하며 금요일세미나가 시행되기도 하였다.

1997년 4월 10일 교실 설립 이후 매일 오전 8~9시는 과내 집담회로서 20년 넘게 이어지고 있다. 1998년까지는 월, 화, 목, 금, 토요일로 주 5회 집담회가 있었으나, 1999년 월요일 집담회가 수요일로 옮겨졌으며, 2003년에는 토요일 집담회가 폐지되었다. 이후 화-금 주 4회 집담회 형식을 유지하다가 연구팀의 주제 다변화 및 현행되는 연구 주제에 대한 토론을 위해 금요일을 전체 교실원을 대상으로 연구팀별 세부 연구 진행을 소개하는 랩미팅으로 변경되었다. 2019년에는 금요일에 한정하여 점심시간에 연구팀별 랩미팅을 진행하기도 하였다. 분당병원에서는 연구 주제 및 임상 케이스들이 다변화됨에 따라 2018년부터 금요일 아침 집담회를 독자적으로 진행하고 있다.

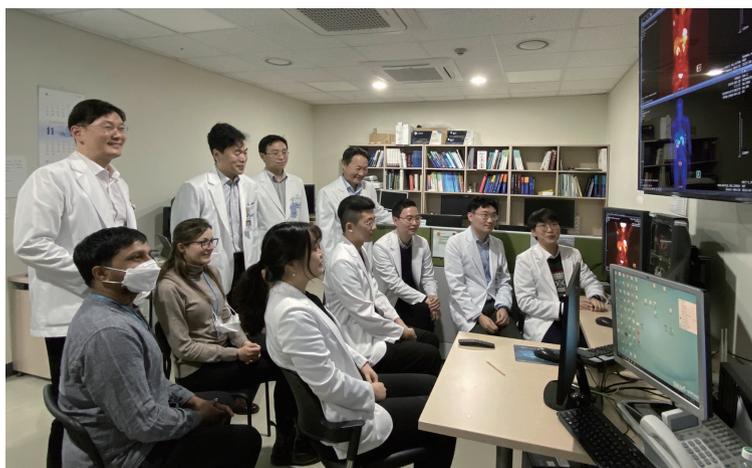
과내 집담회의 초기 주요 구성은 최신 문헌에 대한 초독회, 한 주제에 대한 집중 토론인 미니심포지움, 임상증례에 대한 영상집담회, 물리 및 화학 연구 모임 등이었다. 이후 과내 집담회의 변천 경향은 교육강화와 lab meeting의 전문화, 개별화로 요약할 수 있다. 1999년에는 교육강화를 위해 staff lecture가 추가되었고, 2005년에는 staff lecture가 격주에서 매주로 바뀌었

교실 설립 후 과내 아침 집담회 변천

요일	1996	1999	2003	2009	2019
월	미니심포지움				
화	화학임상연구모임	문헌초독회	문헌초독회	문헌초독회/ 흥미영상	임상중점교육/ 임상케이스리뷰
수		미니심포지움	미니심포지움	미니심포지움	미니심포지움/ Structured Course
목	문헌초독회	화학임상연구모임	화학임상연구모임	Staff lecture	Focused Topic Seminar
금	영상집담회	흥미영상/Staff lecture	흥미영상/Staff lecture	연구모임	연구팀 meeting
토	물리임상연구모임	물리임상연구모임			

으며, 2006년부터는 2개월 남짓 핵의학 전체를 체계적으로 집중 교육하는 Structured Course가 신설되어 현재까지 이어지고 있다. 2014년 이후에는 핵의학과 연관된 분야에 대해 3-4주씩 집중적으로 다루는 Focused Topic Seminar를 신설하였고, 현재까지 활발하게 이루어지고 있다. Structured Course는 2013년 이후 임상주제에 대한 기초 교육 강화를 목표로 하는 임상중점교육과 주로 핵과학 분야의 기초를 다루는 Structured Course로 구분하였다. 2020년 현재, 화요일은 임상중점교육과 각 병원별 case를 다루는 시간으로, 수요일 및 목요일은 Structured Course와 Focused Topic Seminar 및 교수별 Mini symposium을 시행하고 있으며, 금요일은 연구팀별 lab meeting으로 각 시점에서 진행 중인 연구를 다루고 있다. 화요일 임상 주제로 이루어지는 집담회도 성격이 점차 변화하면서, 2000년대에는 흥미영상 위주로 다루다가, 2018년 이후에는 핵의학치료 관련 연구가 진행되고 다양한 치료 방법들이 소개되면서, 임상경과를 평가하고 판단하는 총괄적인 case 리뷰의 형태로 변화하였다.

집담회 형식에 있어서는, 정준기 교수의 미국 연수 후인 1990년대 초부터 미니심포지움을 영어로 진행하였고 90년대 후반부터는 흥미영상 집담회도 영어로 진행하여 국제화를 추진하였다. 2005년부터는 3개 병원을 연결하는 화상회의시스템을 서울대학교병원 최초로 도입하여 전공의들의 순환 근무 중에도 무리 없이 교육 프로그램이 이어질 수 있도록 하였다. 2012년 이후에는 교실 내 국제 연수자들이 증가함에 따라 일부 프로그램을 제외한 모든 집담회를 영어로 진행하기도 하였다. 2016년 이후에는 학생 및 전공의의 참여 확대와 커뮤니케이션 증대를 위해 언어를 자유롭게 하였으나, 국제 연수자 참여를 위해 현재까지도 상당수의 집담회를 영어로 진행하고 있다. 뿐만 아니라 화상회의시스템을 보다 확대하고, 집담회를 전국으로 오픈하여 2010년대 이후로는 예외적인 경우를 제외하고는 교육적 목적의 집담회는 다양한 국내 기관에서 접속하여



2020년 의생명연구원 6층 판독실

참여할 수 있도록 하였다. 현재까지도 포괄적인 주제에 대해서는 10여 곳의 기관에서 접속하여 집담회를 듣고 있으며, 순환근무 중에도 자유롭게 참여하고 토론하는 형태로 이어지고 있다.

## 2) 대학원 교육

핵의학 연구 인력의 체계적 양성을 위한 대학원 과정은 동원회 시절 이문호, 고창순 교수를 지도교수로 하는 내과학교실 대학원 과정에서부터 비롯되었다. 이후 교실이 설립되면서 1997년부터 의학과 내에서 핵의학 전공 대학원생을 뽑아서 양성할 수 있게 되었다. 이 외에도 학위 과정이 정비되기 전에는 기초과학 분야에서 대학원 과정 중인 학생이 핵의학과에서 연구를 진행하며 핵의학 교수를 공동지도교수로 하여 학위를 준비하기도 하였는데, 정재민, 이재성, 이윤상 등이 대표적이다.

한편, 융합연구라는 핵의학 연구의 특성상 한 가지 분야에 대한 깊이 있는 지식뿐만 아니라 연관 분야에 대한 폭넓은 이해를 필요로 하므로 핵의학물리학, 방사화학, 분자생물학 등을 전공하는 인력들을 상호 연관 하에 체계적으로 교육할 프로그램으로서 대학원 과정이 필요하게 되었다. 이에 따라 핵의학교실 및 이와 비슷한 요구를 가진 다른 교실 또는 의과대학 외의 타 단과대학들이 힘을 합쳐 의과대학 내에 협동과정을 만들어 대학원생을 모집, 지도하게 되었다. 이렇게 만들어진 것이 중앙생물학협동과정, 방사선응용생명과학협동과정, 뇌과학협동과정 등으로 핵의학 기초과학 발전에 크게 기여를 하였다. 2008년 의과대학내에 의과학과가 신설되고, 2009년 WCU (World Class University) 프로젝트의 일환으로 분자의학 및 바이오제약학과와 뇌인지과학과가 출범하였으며, 2012년 방사선응용생명과학협동과정이 융합과학기술대학원내 방사선융합의생명 전공으로 개편됨에 따라 더욱 체계적인 대학원생 교육 및 활발한 연구가 가능해졌다.

### 가. 내과학 전공 대학원

서울대학교의과대학 초기에는 별도의 대학원 과정 없이 특정 지도교수 밑에서 연구와 논문작성을 지도받고 이를 전공으로 보는 체제였다. 이 당시에도 이문호 교수의 지도로 여러 사람이 학위를 받았으나 정규 대학원 과정이 시작된 이후 1966년 김명재가 처음으로 대학원 석사과정에 입학하였고 1973년 이문호 교수의 지도를 받은 제1호 박사가 되었다. 고창순 교수의 첫 박사과정생은 이명철로 1983년 학위를 받았다. 내과학 교실 소속으로 이문호, 고창순 교수를 지도교수로 하여 핵의학을 전공한 대학원생들은 동원회를 통해 결속을 다졌으며 핵의학교실의 산실 역할을 하였다. 또한 이명철, 정준기 교수가 발령을 받은 뒤에도 핵의학교실 독립 전까지는 내과학교실 소속으로 한동안 핵의학 전공 대학원생을 선발하였다.

## 나. 핵의학 전공 대학원

1997년 핵의학교실 설립 뒤 핵의학교실 소속으로 대학원생을 선발하기 시작하였다. 1998년 성균관대학교 교수로 재직 중이던 김상은이 이명철 교수를 지도교수로 하는 첫 박사과정 학생으로, 전임의 여정석이 정준기 교수를 지도교수로 하는 첫 석사과정 학생으로 입학하였다. 김상은은 2000년 핵의학교실에서 배출한 제1호 박사가 되었다. 이후 연평균 석, 박사 각 1명 정도가 입학하고 있다.

## 다. 종양생물학 협동과정

종양생물학 협동과정은 암에 대한 과학을 통합적으로 교육함으로써 암을 연구하는 세계적인 과학자를 양성하는 것을 목표로 1998년 시작되었다. 암에 대한 통합적 교육을 위해 다양한 분야의 교수진이 협동하여 교육을 담당하고, 졸업 후 생물학의 다양한 분야에서 연구를 수행할 수 있는 역량 함양에 힘썼다. 이에 따라 외국 기관이나 우리나라의 대학, 연구소, 기업 등에서 활동하는 여러 종양생물학 선도연구자를 양성하여 왔다. 특히 의학 전공 학생에게는 기초학문 지식 함양을 위한 생명과학 분야 교육에 역점을 두고, 기초과학 전공 학생에게는 의학 지식 함양을 위한 기초의학 교육에 역점을 두어, 졸업 후 양자가 서로 교감하고 협동하여 BT 분야 연구에 상승효과를 발휘할 수 있도록 하고 있다. 핵의학 교실에서는 정준기 교수가 2006년 이용진을 지도 학생으로 하여 참여 시작하였으며, 2020년 현재 정재민, 강건욱, 천기정 교수가 참여하고 있다.

## 라. 방사선응용생명과학 협동과정

핵의학 발전을 위하여 방사선을 응용한 각종 생명과학분야와 협동과정을 만들 필요가 있어 1997년부터 이명철 교수가 주축이 되고 정재민 교수와 함께 서울공대 원자핵공학과, KIST를 비롯한 각 분야의 관계자를 설득하기 시작하여 학-연 협동과정 설립을 추진하였다. 그러나 대학본부 차원에서는 진행되지 못하다가, 2003년 의과대학 대학원을 개편하면서 진단방사선과학(현 영상의학)교실 및 방사선종양학교실과 함께 청원하여 전공단위를 설치하고 석사 1명 정원을 배정받았다. 2004년 대대적인 대학원생 정원 감축이 있어, 공대와 약대 등의 감축 정원 일부를 협동과정에 배정 요청하고 본부에서 방사선응용생명과학 협동과정을 승인하여 의과대학 내 석사 정원 1명을 합쳐서 박사 2명 석사 4명의 정원을 배정받았다. 이어 이명철 교수를 초대 주임 교수로 하여 정식 협동과정을 출범하였다. 핵의학교실에서는 이명철, 정준기, 이동수, 정재민, 이재성 교수가 참여하여 김진수, 김수진 박사 등 8명의 박사와 8명의 석사 졸업생을 배출하였으나, 2012년 융합과학기술대학원에 방사선융합의생명 전공이 생기면서 폐지되었다.



## 마. 뇌과학 협동과정

뇌과학 협동과정은 두뇌 및 신경계의 기초원리를 탐구하고 의학적, 공학적으로 응용할 수 있도록 교육하여, 뇌과학 분야 고급연구인력을 양성하는 것을 목표로 설립되었다. 1998년도에 뇌과학 협동과정 설립의 타당성은 인정되었음에도 입학정원 배정이 되지 않는 초창기 어려움이 있었으나, 2000년 6개 필수과목을 신설하여 준비에 들어가 2001년 석사 입학정원 8명을 배정 받음으로써 설립되었다. 자연과학대학을 주관대학으로 하여 의과대학, 공과대학 등 7개 대학 10개 학과 1개 연구소에 산재되어 있는 뇌과학 관련 교수들을 유기적으로 결합하여 협동 교육을 수행하였고, 핵의학교실에서는 초대 주임교수 이명철 교수와 이동수, 김상은 교수가 참여하여 황도원, 홍수경 박사 등을 배출하였다.

## 바. 의과학과

2008년 3월 의과대학 대학원에 기존 의학과와는 별도로 의과학과를 설립하고 신입생(석, 박사 정원 각 40명)을 모집하였다. 의과학과는 우수한 비 의과대학 BT 분야 출신 학생을 유치하여 의학지식 생산자로 길러내어 우리나라를 의학 선진국으로 만드는 계기를 마련하고, BT 연구가 실용 및 응용 가능한 결과를 생산토록 유도하는 것을 목표로 하여, 2020년 현재 61명의 참여 교수가 180여 명의 재학생을 지도하고 있다. 의학과 생명과학 지식을 겸비하는 기본 과정과 함께, 신경과학, 면역학, 종양학, 분자의학, 시스템정보, 바이오영상 등 의생명과학 핵심 분야 전문과정 프로그램을 제공하고 있다. 정준기 교수 지도 하에 2013년 김영화 박사가 첫 의과학과 박사가 되었으며, 현재 정재민, 강건욱, 이재성 교수가 참여하고 있다.

## 사. 인지과학 협동과정

인지과학협동과정은 1993년 인문대학, 사회과학대학, 자연과학대학, 공과대학, 의과대학에 소속되어 있는 교수진으로 구성된 개설준비위원회에서 개설신청서를 제출한 후 1994년 12월 신설이 승인되어 1996년 첫 신입생으로 석사과정 4명, 박사 과정 2명을 선발하였다. 1997년 9월, 연구의 중심기관 역할을 담당하게 되는 인지과학연구소가 신설되었다. 현재 인지과학 협동과정에는 철학, 언어학, 심리학, 신경과학, 컴퓨터공학(인공지능), 인류학, 인지공학 분야의 30여 명의 교수진이 겸임으로 재직하고 있다. 핵의학교실에서는 이동수 교수 지도 하에 김희정 박사가 2012년 첫 학위를 취득하였다.

## 아. 분자의학바이오제약학과

분자의학 및 바이오제약학과는 WCU (World Class University) 프로젝트의 일환으로 해외초빙교수를 포함한 의학, 약학 분야 다학제 연구 활동을 목적으로 서울대학교 대학원에 2009년

설립되었다. 의생명과학의 기초 학문과 병리생리학, 전임상, 임상 그리고 임상약학 등 응용 학문의 협동 연구를 위한 전문가 양성 프로그램으로 이동수 교수가 참여하고 있으며 학과장을 역임하였다. 2014년 최홍운 박사가 첫 학위를 취득한 이후 여러 전공의, 임상강사 등이 본 과정을 통해 학위를 취득하였다.

#### 자. 뇌인지과학과

WCU (World Class University) 프로젝트의 일환으로, 다양한 뇌인지과학 연구 활동을 목적으로 서울대학교 자연과학대학원에 2009년 설립되었다. 뇌 시스템 수준에서의 신경 활동에 대한 주요 인지 및 감정적 기능들에 따른 사고, 행동 양상과 뇌의 관계를 이해하는 것을 목적으로 하고 있으며 이재성 교수가 2016년까지 참여하였다.

#### 차. 융합과학기술대학원 방사선융합의생명 전공

방사선응용생명과학 협동과정이 협동과정으로서 갖는 제한점을 극복하고자 2012년 융합과학기술대학원 내의 새로운 전공으로 출범하여 방사선의과학, 의생명물리학, 방사선의공학, 방사화학·약학, 나노·분자영상, 영상과학 등 의생명방사선과학 분야 교육 및 연구를 하고 있다. 북미 지역을 제외하고 최초로 방사선의학물리분야에서 CAMPEP 인증을 받는 등 세계적 수월성을 갖춘 교육·연구 기관으로 발전하고 있다. 김상은 교수가 초대 전공과정 주임교수를 역임하며 2019년 최지영 박사가 첫 학위를 취득하였으며, 정재민, 이재성 교수가 겸무로 참여하고 있다.

### 3) 보건직 교육

#### 가. 과내 보건직 교육

체계적 과내 보건직 교육프로그램은 1979년 1월 신축병원으로 이전 후, 체내검사실내 회의실에서 체내, 체외 전체 보건직이 모여 한 가지 주제를 가지고 발표와 토론을 하게 되면서 시작되었다. 김병국 의무장 지도하에 보건직이 순환하면서 발표와 토론을 하였고 2년 후부터는 각 검사실에서 편리한 시간을 이용하여 교육하게 되었다. 체내검사실 교육은 매주 목요일 4시부터 1시간동안 환자예약에서 필름현상에 이르는 제반 업무에 대해 교육하였고 체외검사실 교육은 매주 목요일 오후 4시부터 30분 동안 각 검사종목별 검체처리부터 최종 검사결과보고까지의 과정에 대해 발표하고 토론하였다. 또한 매년 각 실에서 해외연수를 통해 얻은 새로운 영상기술, 방사면역측정기술, 장비정도관리, 방사선안전관리 등의 정보를 발표하고 자료를 공유하였다. 특히 체내검사실은 교육한 모든 자료를 제본해 둬으로써 이후 입사하는 직원들의 교육에 큰 영향을 주었고, 2001년에는 학회에서 주관한 IAEA 프로그램인 핵의학전문기사를 위한



원거리교육을 수행하였다.

1994년 PET센터 개소는 국내 최초였기 때문에 교육자료가 미흡하였고 이에 따라 보건직만의 교육은 불가능하여 PET 스캐너 원리, 영상재구성 등은 꼭철은 교수와 물리학 전공 강사를 초청하여 교육하였고 사이클로트론과 방사성의약품 생산, 합성은 정재민 교수와 화학자를 통해 교육하였다. 특히 전체 영상검사에서 임상부문은 전공의가 교육에 참여하여 큰 도움이 되었다.

현재 체내검사실은 매주 금요일 오후 5시, 1시간 동안 보건직을 대상으로 핵의학 영상 및 관련질환, 환자처치 등 다양한 주제로 자체교육을 시행하고 있으며, 체외검사실은 화요일 4시 30분부터 30분 동안 검사종목별 검사법, 임상적 의의, 특이사항, 정도관리 등 전반적인 교육을 하고 있다. 강사는 보건직이 순환하면서 발표하고 월 1회는 의사직, 방사약사, 안전관리 담당자가 필요한 교육을 하고 있으며 이러한 프로그램에 힘입어 매년 전체 보건직에서 대한핵의학기술학회에 6편 이상 연제를 발표하고 있다.

특히 2009년에는 물리팀의 협조에 힘입어 캐나다 토론토에서 열린 미국핵의학회(SNMMI)에 구연 1편(조용현)과 포스터 2편(김병진, 이형진)이 채택되어 발표하였고 유럽핵의학회(EANM)에도 포스터 3편이 채택되었다. 이후 2010년에는 SNMMI에 구연 3편과 포스터 1편, 2011년

보건대학 학생실습 교육현황

연도	방사선학과		임상병리학과	
	개수	인원	개수	인원
2001	고려대 등 9개	71	고려대 등 14개	64
2002	고려대 등 8개	88	고려대 등 15개	51
2003	고려대 등 10개	135	고려대 등 13개	46
2004	고려대 등 8개	144	고려대 등 13개	47
2005	고려대 등 10개	140	고려대 등 16개	53
2006	고려대 등 13개	115	고려대 등 18개	45
2007	고려대 등 15개	131	고려대 등 19개	47
2008	고려대 등 14개	119	고려대 등 16개	40
2009	고려대 등 16개	129	고려대 등 19개	40
2010	고려대 등 16개	91	고려대 등 40개	40
2011	고려대 등 16개	135	고려대 등 42개	42
2012	고려대 등 16개	142	고려대 등 41개	41
2013	고려대 등 16개	167	고려대 등 42개	42
2014	고려대 등 16개	169	고려대 등 42개	42
2015	고려대 등 16개	149	고려대 등 43개	43
2016	고려대 등 16개	112	고려대 등 47개	47
2017	을지대 등 16개	99	을지대 등 43개	43
2018	을지대 등 16개	97	을지대 등 45개	45
2019	을지대 등 16개	98	을지대 등 41개	41
계		2,331		859

에는 SNMMI 구연 4편(문일상, 김재일, 조용현, 임현진), 2012년에는 SNMMI 구연 4편(김정수, 이재형, 김계환, 김승정), 2013년에는 SNMMI 구연 3편(이형진, 최진욱, 신병호), 포스터 4편(노경운, 조성욱, 도용호, 송호준), 2014년에는 SNMMI 구연 4편(윤석환, 도용호, 송호준, 현준호), 포스터 1편(문일상), 2015년에는 SNMMI 구연 4편(김병진, 김재일, 전재환, 이용석), 포스터 2편(이홍재, 조성욱), ISRS 포스터 1편(조용현), 2016년에는 SNMMI 포스터 3편(임정진, 권형진, 박찬록), 2017년에는 SNMMI 구연 1편(도용호), 포스터 1편(이홍재), ISRS 포스터 1편(조용현), 2018년에는 WFNMB 포스터 4편(문일상, 김재일, 이용석, 박찬록)과 SNMMI 구연 1편(윤석환), 포스터 1편(김병진), 2019년에는 ISRS 포스터 1편(조용현)과 SNMMI 포스터 1편(권형진), EANM 포스터 1편(김병진) 등을 발표함으로써 보건직이 병원 내 전문화된 역량개발에 머무르지 않고 글로벌 역량을 갖춘 인재로 성장하도록 하고 있다.

#### 나. 보건대학 학생실습교육

핵의학기술 부문 보건대학 학생교육은 실습학생을 받는 것뿐만 아니라 경험과 학식을 갖춘 보건직 전문가가 대학에 직접 출강하는 형태로 이루어졌다. 1980년대 서일택, 조규진이 고려대 보건대학에, 그 이후에는 김진의, 김정수, 박찬록 등이 타대학에 출강하여 영상검사기술을 교육하였으며, 서울보건대학, 신흥대학, 원광대학 등의 강의 요청으로 정윤영, 노경운, 김태훈이 방사면역측정법과 정도관리에 대해 교육하였다. 이러한 경험을 바탕으로 보건대학 교수로 초빙되어 이직하는 경우도 적지 않았는데, 1970년대 박성옥(동남보건대), 이승관(고려보건대), 1980년대 장철수(김천보건대), 유광열(신구보건대), 안성민(가천대), 2000년대 조영권(대구보건대), 2010년대 김정수(동남보건대), 박찬록(전주대) 등이 대학으로 이직하였다.

2001년부터 현재까지 학사교육방침에 따라 전국 보건대학에서 8주간씩, 방사선학과는 핵의학과, 영상의학과, 방사선종양학과를 순환하면서 1월에서 10월까지 실습교육을 받고 있으며 임상병리학과는 핵의학과, 진단검사의학과, 병리과, 신경과를 순환하면서 겨울방학을 이용하여 실습교육을 받고 있다.

#### 다. 기술인력 수탁교육

1978년부터 전국 각 병원에서 동위원소실을 개설하면서 각 병원 직원들에 대한 수탁교육을 의뢰 받아 영상검사, 검체검사 전반에 걸쳐 자세한 이론과 실습교육을 하였다. 1980년대에는 영상검사, 검체검사가 필수적으로 임상에 이용되면서 43명이 교육을 받아 이 시기에 핵의학검사는 큰 발전을 이루었다. 2000년 이후에는 PET 영상검사 교육이 대부분이었고 EIA의 증가로 RIA 교육은 대폭 감소하였다.



### 기술인력 수탁교육 현황

교육기간	영상검사	검체검사	합계
1978~1980	4	5	9
1981~1990	16	27	43
1991~2000	2	1	3
2001~2009	5	1	6
2010~2019		0	
합계	27	34	61

## 4) 외부 전문인력 교육 및 외국연수생 교육

### 가. 연수교육

전공의, 전문의 등 핵의학 전공자들을 주 대상으로 하고 그 외에 핵의학에 관심 있는 다른 의사 및 관련 과학자들을 대상으로 하는 재교육 프로그램으로 연수교육을 개최하였다. 1991년 12월 6일 제1차를 시작으로 2009년 9월 4일 제15차에 이르기까지 평균 연 1회 연수교육을 개최하였으며, 심장, 신경, 종양핵의학 등 질환군별 주제나 SPECT, PET 등 영상법별 주제, 기타 분자영상학, 핵의학뇌영상 등과 같은 방법론적 주제 등을 망라하였다. 2010년대 이후에는 대한핵의학회 연수강좌 구성에 적극 참여하면서 교실이나 병원 차원의 연수교육은 별도로 개최하지 않았다.

### 서울대학교의과대학 핵의학교실 주최 연수교육

차수	제 목	날 짜	장 소
1	심장핵의학의 최신지견	1991.12.06	서울대병원 임상제1강의실
2	양전자방출단층촬영(PET) 심포지움	1992.10.16	서울대병원 임상제2강의실
3	국제 PET 심포지움	1994.06.15	서울대병원 임상제2강의실
4	신경핵의학의 최신지견	1996.12.06	서울대병원 A강당
5	심근 SPECT의 임상적용	1997.11.08	서울대병원 임상제1강의실
6	종양핵의학회 최신지견	1998.09.26	서울대병원 임상제2강의실
7	PET experience in SNUH	1999.03.06	서울대병원 임상제2강의실
8	핵의학 연구 방법론	2001.03.10	임상의학연구소 1층 대강당
9	분자핵의학 영상	2002.04.27	임상의학연구소 1층 대강당
10	방사성의약품 연구의 최신동향	2003.04.26	임상의학연구소 1층 대강당
11	핵의학뇌영상의 분석과 응용	2004.04.22	임상의학연구소 1층 대강당
12	방사성핵종치료법의 임상이용	2005.07.01	임상의학연구소 1층 대강당
13	핵의학 분자영상 기법	2007.04.27	임상의학연구소 1층 대강당
14	종양 PET의 최신지견	2008.04.24	임상의학연구소 1층 대강당
15	Functional & Molecular Imaging in Preclinical & Clinical Drug Development	2009.09.04	분당서울대학교병원 대강당

## 나. 교과서 발간

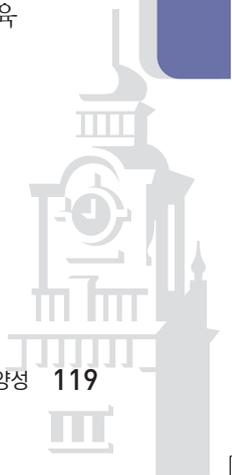
핵의학 전공자뿐만 아니라 타 분야의 연구자 및 학생들에게 핵의학에 대해 교육하여 이해의 저변을 확산시키기 위하여 가장 중요한 것은 참조하기 쉬운 훌륭한 교과서를 보급하는 것이라 할 수 있다. 영어로 된 외국 교과서는 오래 전부터 다양한 것들이 출간되어 있었으나 핵의학 전반을 체계적으로 다루는 우리말 교과서는 서울대학교에서 처음으로 발간하여 현재까지 판수를 거듭해 가며 발간하고 있다.

1982년 10월 6일 이문호 교수의 회갑에 맞추어 우리나라 최초의 핵의학교과서인 『臨床核醫學』이 발간되었다(이문호 저, 여문각, 392 p). 1992년 4월 20일에는 고창순 교수의 회갑에 맞추어 『핵의학』 1판이 발간되었다(고창순 편저, 고려의학, 892 p). 1997년 고창순 교수의 퇴임에 맞추어 제2판이 발간되었으며(고창순 편저, 고려의학, 873 p), 이 책은 학생들을 위해 요약, 재편집하여 『핵의학입문』이라는 이름의 학생용 교과서로 같은 해 발간되었다(핵의학교육연구회 저, 고려의학, 284 p). 이후 여러 교실 내외의 사업으로 인하여 3판 발간이 지연되다가 2008년 9월 이명철 교수의 회갑을 맞아 3판이 발간되었으며(정준기, 이명철 편저, 고려의학 828 p), 이 때 고창순 교수의 업적을 기념하여 『고창순 핵의학』으로 이름을 바꾸었다. 이 책도 학생들을 위해 요약, 재편집하여 2009년 1월 『핵의학길잡이』라는 학생용 교과서를 함께 발간하였다(서울의대 핵의학교실, 핵의학교육연구회 편저, 고려의학, 257 p). 2019년 5월에는 『고창순 핵의학』 제4판이 강건욱, 김상은, 이동수, 정준기 편저로 발간되었다.

분야별 교과서를 발간하거나 외부의 교과서 발간에 교실 차원에서 적극적으로 참여한 경우도 많았다. 2002년에는 『심장핵의학』 교과서를 발간하였고(이명철, 정준기 편저, 고려의학, 150 p), 2004년에는 『Clinical PET: Principles and Applications』 (Edmund E. Kim, Myung-Chul Lee, Tomio Inoue, Wai-Hoi Wong 편저, Springer, 394 p) 발간에 교실 차원에서 적극 참여하였다. 이 외에도 개별 교수들이 여러 교과서 작업에 공저자로 참여하였다.

## 다. 외국 연수생 교육

1990년대 이후 세계적 수준의 핵의학과로 올라서면서 우리의 발전 경험이 후발 국가의 핵의학 발전에 도움이 되도록 외국의 임상 의사, 핵과학자, 핵의학기사 등을 연수생으로 받아 교육하는 프로그램을 진행 중에 있다.

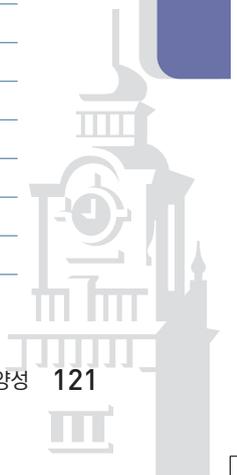


## IAEA Training

2002			
Alexius Y Joe	Germany		2002.6.10~2002.8.10
Anthony Michael Migura	USA		2002.6.29~2002.8.8
Muh. Naeem	Pakistan		2002.8.31~2002.10.31
Cetin Onsel	Turkey		2002.10.13~2002.10.18
2003			
Omur Carikeci	Turkey		2003.3.22~2003.4.4
Muhammad Aleem Khan	Pakistan	Pakistan Atomic Energy Commission	2003.9.1~2003.10.31
2004			
Jasna Mihailovic	Serbia		2004.5.20~2004.5.24
Dharmendra Harichandra	Malaysia		2004.8.1~2004.8.8
Mohd Farid Isa	Malaysia		2004.8.1~2004.8.8
Nguyen Tan Chau	Vietnam		2004.10.1~2004.12.31
Vladimir Obradovic	Serbia		2004.10.18~2004.10.29
Ozcan Senmevsim	Turkey		2004.10.3~2004.11.1
Thi Minh Bao Pham	Vietnam		2004.10.31~2004.11.5
2005			
Thi Minh Bao Pham	Vietnam	Tran Hung Dao General Hospital	2005.4.6~2005.4.16
Dinh noc Duy	Vietnam	Tran Hung Dao General Hospital	2005.4.6~2005.4.16
Sunil Chopra	Malaysia	General Hospital PJalan Residential	2005.9.1~2005.12-31
Salim Abd Talib	Malaysia	Kuala Lumpur Hospital	2005.9.25~2005.12.26
Khalida Khurshid	Pakistan	Pakistan Atomic Energy Commission	2005.11.7~2006.5.6
Afaq Qureshi	Pakistan	Principial Consultant, Nuclr Med, INMOL	2005.11.21~2005.12.5
Viet Truong Van	Vietnam	Cho Ray Hospital	2005.12.12~2005.12.16
Tran Duy Anh	Vietnam	Tran Hung Dao General Hospital	2005.12.4~2005.12.18
2006			
Jasmine Ara Haque	Bangladesh		2006.9.18~2006.12.17
Kanaungnit Kingpetch	Thailand	Chulalongkorn University	2006.11.1~2007.1.31
Sanya Pasawang	Thailand	King Chulalongkorn Memorial Hospital	2006.11.1~2007.1.31
Vera Artiko	Serbia		2006.10.27~2006.11.19
Dragana Sobic-Saranovic	Serbia		2006.10.27~2006.11.19
2007			
Nam Vo Khac	Vietnam	Cho Ray Hospital	2007.9.27~2008.1.26
Diem Duong Phu Triet	Vietnam	University Medical Center	2007.9.27~2008.1.26
Le Doan Pha	Vietnam	Veitnam Atomic Energy Commnis-sion	2007.7.16~2007.7.20
Huu Tan Vuong	Vietnam	Veitnam Atomic Energy Commnis-sion	2007.7.16~2007.7.20

Hoa Binh Pham	Vietnam	Tran Hung Dao Hospital	2007.10.17~2007.10.23
Durr-E Sabih	Pakistan	Multan Institute of Nuclear medicine and Radiotherapy	2007.11.19~2007.11.30
W. Keerthi Kumara	Sri Lanka	University of Peradenlya	2007.12.2~2007.12.14
2008			
Pham Hong Phuc	Vietnam	Tran Hung Dao Hospital	2008.5.6~2008.10.5
AB, AZIZ Aini	Malaysia	Hospital University Kebangsaan	2008.6.9~2009.2.28
2009			
Nguyen Ngoc Duong	Vietnam	Tran Hung Dao Hospital	2009.5.18~2010.10.17
Tanzeel Zehra	Pakistan	Institute NORI	2009.6.15~2009.12.14
2015			
Socheath Ly	Cambodia	Calmette Hospital	2015.4.3~2016.3.31
Kohkon Kumar Nath	Bangladesh		2015.5.4~2015.6.3
Dusika Kimmanthudawage	Sri Lanka	National Hospital Sri Lanka	2015.10.1~2015.12.30
Luong Kinh Lguyen	Vietnam	Cho Ray Hospital	2015.10.5~2015.12.31
Van Tan Ngo	Vietnam	Cho Ray Hospital	2015.10.5~2015.12.31
2017			
Taratip Narawong	Thailand	Rajavithi Hospital	2017.2.20~2017.3.3
Taerakul Tarit	Thailand	Rajavithi Hospital	2017.2.20~2017.3.3
Boonyaleepan Araya	Thailand	Rajavithi Hospital	2017.2.20~2017.3.3

Koh Chang-Soon Fellowship			
Jefferson R. Pagsisihan	Philippines	ST. Luke's Medical Center	2010.6.10~2011.5.30
Amitabh Arya	India	Sanjay Gandhi Post Graduate Institute of medical Sciences	2011.5.16~2012.5.15
Hendra Budiawan	Indonesia	Mochtar Riady Comprehensive Cancer Center	2012.5.21~2013.5.30
Muhammad K Rahim	Pakistan	Nishtar Medical College and Hospital	2013.4.29~2014.4.28
Jamila C. L. Gomez	Philippines	St. Luke's Medical Center	2014.3.1~2015.2.29
Su Thet Oo	Myanmar	North Okkalapa General Hospital, Ministry of Health	2014.3.1~2015.2.28
Azmal Kabir Sarker	Bangladesh	Institute of Nuclear Medicine & Ultrasound	2014.3.1~2015.2.28
Bolormaa Ganbaatar	Mongolia	1st State Central Hospital	2015.3.1~2016.2.28
Apichaya Cliamon	Thailand	Siriraj Hospital, Mahidol University	2015.3.1~2016.2.28
Ivana Dewi Mulyanto	Indonesia	MRCCC-Siloam Hospital Semanggi	2016.3.1~2017.2.28
Qaid Ahmed Shagera	Yemen	Althawrah Modern General Hospital	2016.3.1~2017.2.28
Deverly D. Tumapon	Philippines	Philippine Heart Center	2017.3.1~2018.2.28
Akintunde Taiwo Orunmuyi	Nigerial	University of Ibadan	2017.3.1~2017.10.28
Teck Huat Wong	Malaysia	Hospital Kuala Lumpur	2018.3.1~2019.2.28



Bui Tien Cong	Vietnam	Mach Mai Hospital	2019.3.1~2020.2.29
Febby Hutomo	Indonesia	MRCCC Siloam Hospital	2019.3.1~2020.2.29
Rasna Tiwari	India	Delhi Medical Council	2019.7.1~2020.6.30
Vanessa Murad	Colombia	Fundacion Santa Fe de Bogota University Hospital	2020.11.1~2021.10.30

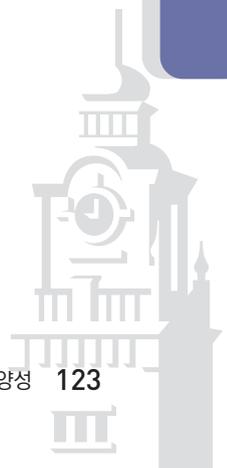
#### KOICA Project

2018			
Pupree Mutsuddy	Bangladesh	National Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences	2018.4~2019.3
Sunny Chowdhury	Bangladesh	National Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences	2018.4~2019.3
Afroza Akhter	Bangladesh	National Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences	2018.4~2019.3
Shariful Chowdhury	Bangladesh	National Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences	2018.4~2019.3
2019			
Mohammad Simoon Salekin	Bangladesh	National Institute of Nuclear Medicine & Allied Sciences(NINMAS)	2019.4~2020.4
Mohammed Mehedi Al Zahid	Bangladesh	Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences(INMAS)	2019.4~2020.4
Shafaly Khatun	Bangladesh	Institute of Nuclear Medicine and Allied Sciences	2019.4~2020.4
Jashim Uddin	Bangladesh	Bangladesh Atomic Energy Commission	2019.4~2020.4

#### SIEMENS Fellowship

2017			
Teik Hin Tan	Malaysia	Sunway Medical Center	2017.4.17~2017.4.21
Farhan Binti Yusof	Malaysia	Sunway Medical Center (Radiographer)	2017.4.17~2017.4.21
Nur Idalia Binti Abudl Majid	Malaysia	Sunway Medical Center (Physicist)	2017.4.17~2017.4.21
2019			
Dale Reiner A. Malonzo	Philippines	The Medical City (Technologist)	2019.3.25~2019.3.29
Noelle Joyce P. Marasigan	Philippines	The Medical City (Technologist)	2019.3.25~2019.3.29
Andrea M. Sumilla	Philippines	The Medical City (Technologist)	2019.3.25~2019.3.29
John Michael B. Medina	Philippines	The Medical City (Technologist)	2019.3.25~2019.3.29

Others			
Tee Yin Tracy Teo	USA	University of Iowa Hospital & Clinic	2015.3.2~2015.3.27
Mai Hong Son	Vietnam	108 Centre Military Hospital	2019.6.10~2019.9.6
Le Phan Duy Khanh	Vietnam	Da Nang Hospital (Nurse)	2019.11.25~2020.1.24
Le Quoc Dung	Vietnam	Da Nang Hospital (Technician)	2019.11.25~2020.1.24
Pham Duy Khiem	Vietnam	Da Nang Hospital	2019.11.25~2020.1.24



## 3. 연구

### 1) 연구체계

#### 가. 교실 연구체계 개괄

1960년 방사성동위원소진료실 개설 이후 1980년대에 이르기까지는 동원회 전공의들이 이문호, 고창순 교수의 지도 아래 핵의학 방법론을 중심으로 다양한 분야를 포괄적, 융합적으로 연구하는 체계가 유지되었다. 이를 통해 내과의 내분비학, 혈액학, 신장학, 감염학, 류마티스학 등 여러 전문분과가 동원회로부터 출발하는 성과를 이루었다. 이후 이명철, 정준기 교수가 핵의학과로 발령받고 방사화학 연구조교 정재민이 합류함으로써 임상연구뿐만 아니라 핵의학 기초 분야 연구를 위한 기틀이 마련되었다. 1986년 대형 국책연구과제 수행을 계기로 실험실 내의 기초적인 실험장비를 갖추 수 있었고, 이렇게 만들어진 기초실험실은 이후 생물 연구팀으로 발전하였다. 물리 연구팀을 갖추고자 하는 노력은 고창순 교수가 광철은 교수를 팀에 합류시킴으로써 시작하여 이동수 교수의 노력으로 이재성 교수가 임용됨으로써 틀을 갖추게 되었다.

2020년 현재 교실 연구체계는 핵의학 임상팀, 종양과 뇌 분자영상 연구를 중심으로 하는 생물팀, 방사성의약품의 합성 및 개발을 전담하는 화학팀, 핵의학영상 처리 및 장비 개발을 담당하는 물리팀, 영상을 이용하여 뇌 인지기능을 연구하는 인지신경팀으로 나뉘어 있고, 연구주제에 따라 협력하여 연구를 진행 중이다.

임상팀은 동원회 및 핵의학과 교수들의 꾸준한 전통을 이어 받아 기초과학 분야와의 융합적 교류를 바탕으로 활발한 임상 협력을 추구하고 있으며, 연구주제별로 지도교수와 임상강사 또는 전공의로 팀을 구성하고 있다. 화학팀은 1982년 정재민이 방사화학 조교로 발령받음으로써 팀이 시작되었으며, 1994년 임상교수로 발령을 받으며 체계가 갖추어졌고 이윤상 교수가 2008년 발령받아 연구교수로 있다. 물리팀은 1994년 광철은 교수가 임상교수로 발령받아 첫 체계를 꾸렸으나 이후 광철은 교수가 이직하며 이동수 교수가 물리팀을 담당하였고, 대학원생으로 처음 핵의학과에 들어 온 이재성이 2005년 기금교수로 발령 받으면서 확고하게 연구팀을 구성하였다. 생물팀은 정준기 교수가 김채균 교수를 영입하여 처음 팀을 꾸렸으나 분자생물학 등을 전문으로 담당하는 연구진 보강의 필요성을 절감한 이동수 교수의 적극적 영입으로 강주현(2001~2006), 김순화(2006~2009), 윤혜원(2008~), 황도원(2010~2019), 김미정(2011~2019), 최유리(2018~) 교수 등이 연구교수진을 구성하였고 현재 윤혜원 교수가 임상교수로 있다. 인지과학 연구는 이동수 교수가 인지과학 협동과정에 참여하며 시작되었고 김재진(2000~2002), 강은주(1999~2005) 연구교수의 참여로 팀이 갖추어졌다. 현재 강혜진, 이혜경

연구교수가 팀을 이끌고 있다.

분당서울대학교병원은 2003년 개원 후 김상은 교수가 연구체계를 준비하여 인지과학, 신경 화학, 영상분석팀을 구축하였다. 2007년 권역별사이클로트론연구소 구축사업을 통해 국산 사이클로트론(KOTRAN-13)을 성공적으로 설치하여 운영을 시작하였고 이에 맞추어 이병철 교수가 합류하여 새로운 방사화학팀을 꾸리게 되었다. 이후 지속적인 연구인력 확충으로 문병석 박사(2009~2018)가 합류하여 연구경쟁력을 갖춘 방사화학 연구팀을 구성하였다. 소동물 전용 SPECT/CT(2008년)와 PET/CT(2010년)가 연이어 도입되고 “분당서울대학교병원 전임상·임상분자영상센터”가 설립되면서 연구조직의 기능적 완성도가 절정에 이르렀다. 현재 이병철 교수가 이끌고 있는 방사화학연구팀은 국내 최고수준의 연구역량을 확보하고 있으며 새로운 진단용/치료용 방사성의약품을 연구개발 중이다. 박현수 교수(분당서울대학교병원 연구중점교수)는 신약개발을 위한 핵의학분자영상 기술개발 및 적용에 관한 연구를 수행중이다.

서울대학교 핵의학 연구 Staff

구분	유형	인원
M.D.	전임/기금교수	6
	비기금임상교수	5
Ph.D.	전임/기금교수	2
	비기금임상교수	2
	연구교수	5
	연구직	1
합계		21

(2020년 5월 현재)



화학팀 (2018년)

이와 같이 교실연구체계가 현재의 모습을 갖추었으며, 각 연구팀은 자체 연구수행과 더불어 우수한 핵의학 연구인력을 배출하는 교육기능을 수행하며 현재 21명의 Staff와 32명의 연구원, 학생들이 다양한 분야에서 연구를 진행하고 있다.

## 나. 화학 연구진

### (1) 본원 화학팀

화학팀은 1982년 당시 서울대학교약학대학 석사과정 1년차이던 정재민이 고창순 교수 공동 지도 하에 방사약학 연구를 수행하면서 시작되었다. 본관 3층 체외검사실에 제3실험실을 개설하였고 이후 병원 12층 임상의학연구소로 자리를 옮겨 한동안 연구를 진행하였다.  $^{99m}\text{Tc}$  표지 방사성의약품의 정도관리법을 확립하고, 갑상선기능항진증 환자 혈청 항체를 분석하였고, TSH에 도노마이신을 결합 후 갑상선 표적화 및 약물운반 연구, 사이클로스포린 혈청농도 방사면역측정법 확립,  $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ ,  $^{99m}\text{Tc-ECD}$  등의 합성연구를 수행하였다. 정재민은 일반외과 박재갑 교수가 확립한 한국인 대장암 세포주 SNU-C1, SNU-C4 등에 대한 단일클론항체 개발로 박사학위를 받은 후 1990-1993년 미국 국립보건원(NIH)에 박사후연구원을 거쳐 1993년 전임 강사로 발령 받았다.

1994년 PET센터 설립과 사이클로트론 도입이 있었고, 이를 바탕으로 새로운 방사성동위원소인  $^{18}\text{F}$ 와  $^{11}\text{C}$ 에 대한 연구가 집중적으로 진행되기 시작하였다. 이후 화학팀 실험실은 임상의학연구소가 가정의학과 병동의 한 층을 사용하는 동안 방사성동위원소 사용 공용구역의 화학용 후드가 설치된 5평 남짓한 공간으로 이동하였다. 1998년 5월 임상의학연구소(현 의생명연구원)가 준공되어 화학팀 합성연구실은 4층 303호 공동실험실로 이전하게 되었으나 후드가 없어 다시 합성용 후드가 설치된 310호로 옮겨 2008년까지 사용하였다. 2008년 5월 서울의대 의생명과학관(현 의과대학) 준공과 함께 새롭게 설치된 사이클로트론실로 옮겨 합성과 방사성동위원소 표지를 같은 장소에서 할 수 있게 되었으며, 현재 후드를 비롯한 각종 유기합성용 장비를 보유하고 있다. 2018년부터는 나노물질 연구를 위한 독립공간으로 의과대학 1층 실험실 벤치 2개를 얻어 나노물질 측정장비 등을 보유한 실험실을 꾸려 연구를 진행하고 있다.

화학팀 초기에는 방사성동위원소 표지 후 생물학적 평가에 이를 이용하여 주로 생물팀과 함께 연구하였으며, 따라서 생물팀과 화학팀의 연구 분야가 혼재하였다. 연구 인력으로는 1989년 홍미경을 비롯하여 1990년 장영수, 1991년 김영주 등이 들어와 연구를 진행하였으며, 1996년 유기합성을 전담하기 위하여 한국과학기술연구원(KIST)의 학생연구원이었던 홍성현이 합류하였다. 이 시기 세포실험 및 소동물실험 등 일부 연구는 제3실험실에서, 합성에 관련된 실험은 가정의학과 내 방사성동위원소 실험실에서 진행하였다. 이후 화학팀은 합성 및 표지를 담당하

는 팀과 생물학적 평가(세포 및 동물실험)를 담당하는 팀으로 세분화된다. 1998년 1월 석사과정을 마친 이윤상이 합류하였으며, 2000년 석사과정생으로 홍성민(현 동아제약), 2001년 박사과정생으로 김형우(현 한국소비자원)가 합류하였고, 방사선응용생명과학 과정 등을 포함한 의과대학 협동과정이 생기면서 많은 대학원생이 진학하여 연구를 진행하였다. 현재는 2001년부터 PET센터 내에 설치된 유기합성실, 의과학관 사이클로트론실, 그리고 암연구소에서 화학팀 소속 연구원과 학생들이 연구 중이다.

화학팀은 그 동안 여러 연구 주제에 참여하여 많은 논문과 특허를 산출하였으며, 이는 끊임 없는 과내 투자가 있었기에 가능하였다. 1999년 암연구소 설립과 함께 도입된 핵자기공명분광기(NMR)는 화합물 구조를 분석하는 데 필수인 장비로서 다른 기관에 수탁하지 않고 측정하게 됨으로써 유기합성 시간을 단축시켜 국제적 경쟁에 뒤처지지 않도록 하였다. 또한 2006년 액체크로마토그래피-질량분석기(LC-MS)의 도입으로 화합물 분자량을 합성 중간단계에서 확인할 수 있어 보다 효율적인 유기합성이 가능하게 되었다. 이와 함께 산업체 협력으로 의과학관 내 연구용 사이클로트론이 도입되어 방사성동위원소를 이용한 표지실험이 보다 효율적으로 진행될 수 있게 되었다.

화학팀은 과내 다른 연구팀에 비하여 비교적 이른 시기에 해외 우수인력을 유치하였다. 2003년 인도 Mangalore Univ.에서 박사학위를 받은 Ganesha Rai(현 미국 NIH)를 박사후연구원으로 채용하였으며, 이후 Prashant Singe가 박사후연구원으로 채용되었다. 그 뒤로는 인도, 파키스탄 등의 학생을 직접 학위과정생으로 받아들여 Dinesh, Lathika, Vinay, Nadeem 등이 서울대학교 의과대학의 협동과정에서 박사과정을 마쳤다. 국내에서도 대학원생을 선발하여 석사, 박사를 꾸준히 배출하였고, 양보연(현 하버드의대), 문성현(현 하버드의대), 이보은(현 펜실베니아대), 김호영(현 펜실베니아대), 이지연(현 펜실베니아대) 등이 박사를 마치고 대부분 미국 방사성의약품 관련 학과에 재직 중이다. 박지용 박사는 현재 전문연구요원으로 화학팀에 근무하면서 과내외 협력 연구에 주요 역할을 하고 있다. 현재 화학팀은 초기부터 화학팀 책임을 맡고 있는 정재민 교수를 주축으로 연구교수로 재직 중인 이윤상 교수가 이끌고 있으며, 김영주 연구원, 석사과정생 권용경, 이상현, 서혜연과 신재환 박사, 박지용 박사가 함께 연구를 진행 중이다.

## (2) 분당 화학팀

2003년 분당서울대학교병원 개원과 더불어 김상은 교수는 지속적인 연구 체계를 준비하여 2007년 권역별사이클로트론 연구소 구축사업을 통해 국산 사이클로트론(KOTRAN-13)을 성공적으로 설치하고 가동을 시작하였다. 권역별사이클로트론 연구소는 FDG 방사성의약품 생산뿐만 아니라 전임상, 임상실험을 위한 다양한 방사성의약품을 합성하고 개발할 수 있는 화학

팀 체계를 갖추었다.

2006년 김상은 교수의 노력으로 미국 일리노이대학교 박사후과정에 있던 이병철이 연구진에 합류하여 분당서울대학교병원 화학팀이 시작되었다. 사이클로트론을 안정적으로 가동하며  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$  등을 생산하였고 국내에서는 처음으로 높은 방사성의약품 생산성을 갖는 장비로 업그레이드 하였다. 지속적으로 시설을 확충하여, 2008년 nanoSPECT/CT와 항온항습 동물 사육기, 2009년  $^{18}\text{F}$  및  $^{11}\text{C}$  자동화생산장치(TRACERlab  $\text{FX}_{\text{FN}}$  and TRACERlab  $\text{FX}_{\text{C}}$ Pro), 2010년 핵자기공명분광기(NMR), 그리고 2010년 동물세포 배양실을 도입하거나 구축하며 100여 평의 분당서울대학교병원 전임상·임상 분자영상센터를 설립하였다. 본 센터는 방사성동위원소 생산( $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ), 방사성동위원소를 이용한 다양한 표지 실험(연구용 핫셀 3대, 자동화생산장치 2대, HPLC 3대), 새로운 방사성의약품 개발을 위한 유기합성(후드 2대, NMR), 개발된 방사성의약품의 생물학적 평가를 위한 생물팀, 그리고 얻어진 방사성의약품 및 후보물질의 영상평가팀(nanoSPECT/CT)이 유기적으로 한 공간에서 운영될 수 있는 센터로 구성되었다. 이후 경기도 영상분석 R&D 인프라 지원사업 후원으로 2011년 센터 확장(140여 평)과 함께 nanoPET/CT 장비를 추가로 도입하여 경기도전임상임상분자영상지원센터로 확대운영을 시작하였고, 2012년에는 진단 및 치료의약품의 질량분석을 위해 LC/MS를 도입하였다.

분당화학팀 연구진은 2006년 김지선 연구원을 시작으로 2008년 전영신 연구원과 2009년 박사학위를 받은 문병석 박사(현 이화여대서울병원)가 합류하였으며 동년 11월과 12월에 임남희 방사선사, 정재호 연구원 그리고 김정환 연구원을 분자영상, 소동물실험 및 방사화학 전문연구 인력으로 확충하였다. 2010는 이효준 방사선사(현 듀캠바이오), 최미향, 광세훈 연구원이 거쳐 갔으며, 2011년에는 권성란, 김예진 연구원이 개발 의약품 전임상실험 평가를 위한 연구원으로 합류했다. 2012년에는 변형규 방사선사, 2013년에는 최은화 연구원과 조병민 임상병리사가 방사성의약품 모듈 운영과 리간드 합성을 위해 근무하였다. 분당화학팀은 서울대학교 융합과학기술대학원의 방사선융합의생명 전공을 통해 2014년 최지영 박사(2019년 박사취득, 현 서울대학교 BK 박사후과정)와 중국유학생인 육영청 학생(2017년 석사취득, 현 UCLA 박사과정), 2015년 이상희 석박사통합과정, 2017년 이원창 석박사통합과정, 2018년 이소영 석사과정, 2019년 김정민 석사과정 학생들이 열심히 연구에 매진하여 왔다. 해외 우수 박사급 인력 합류도 이어져, 2011년 인도의 Peela Induvadana 박사(National Chemical Laboratory, India)가 핵의학과 해외 의학자연수자로 화학팀에서 연구를 수행하였고, 2016년에는 인도의 Shyamsundar Das 박사(National Chemical Laboratory, India)가 합류하여 현재까지 연구를 하고 있으며 2019년에는 한국연구재단의 해외 우수신진연구자유치사업이 선정되어 파키스탄의 Ali Bahadur (Quaid-i-Azam University, Pakistan)이 연구진과 함께 나노파티클 및 나노캐리어 개발 연구를 하고 있다.

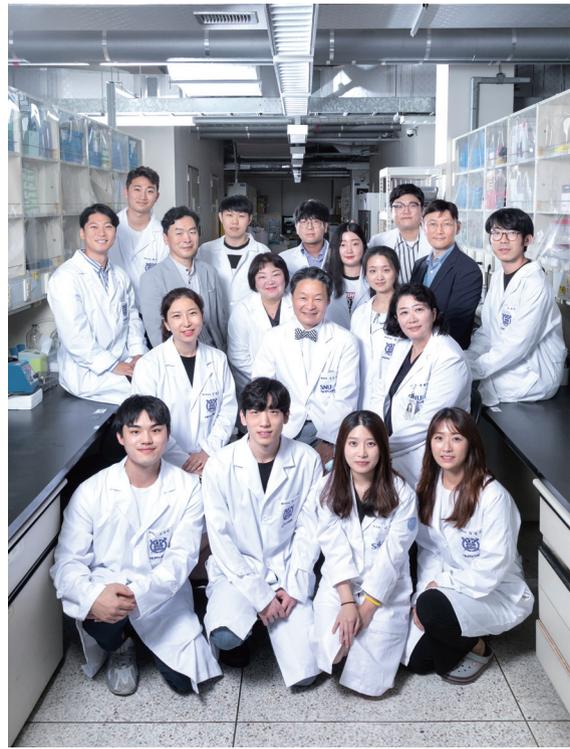
#### 다. 생물학 연구진

생물팀은 정준기 교수가 1985년 부임하여 서울대학교의과대학 암연구소에 자리를 잡으면서 시작되었다. 1989년 미국 NIH에서 방사성동위원소 표지 단일클론항체 활용 진단 및 치료 연구 후 귀국하여 정재민 교수, 염미경(약사), 홍미경 등과 본격적인 연구팀을 구성하였다. 1995년 이용진(현 한국원자력의학원 책임연구원)이 병역특례요원으로 합류하여 항체를 이용한 영상법 개발과 GLUT-1을 이용한 FDG 섭취 기전 연구를 수행하였다. 1998년 종양생물학 협동과정의 개설과 함께 1998년 김보광, 1999년 최용운, 2001년 신재훈, 2002년 김광일(현 한국원자력의학원), 오현정 등을 석사과정생으로 받아들여 핵의학 생물학자 육성을 위한 요람으로 기틀을 다지기 시작하였다.

생물팀은 2001년 강주현 교수(현 한국원자력의학원 방사선의학연구소장)의 부임과 함께 복합적인 리포터 유전자를 이용한 분자영상법 연구를 시작하면서 새로운 연구 방향으로의 전환이 시작 되었다. 2002-2003년 다수의 학위과정생이 들어옴과 동시에 복합 리포터 유전자의 세포 내 변화를 확인하는 연구들이 시작되었는데, 리포터 유전자의 세포 내 발현을 증진시키기 위한 연구(김광일; 현 원자력의학원 선임연구원, 오현정, 소민경; 현 삼성병원 임상강사), 분자영상법을 이용한 DNA 백신의 추적(전용현; 현 대구경북첨단의료산업진흥재단 선임연구원), 종양의 유전자치료와 이의 효과를 영상화할 수 있는 이중 목적 유전자의 개발(정우석), 간암 특이적 분자영상 및 치료법 개발(김영남) 등의 연구가 진행 되었다. 2004년 이후에도 많은 학위과정생들과 함께 핵의학 영상 및 치료기술을 이용한 생물학적 연구가 발전되었다. 질환모델에서 줄기세포 영상법 개발(정혜경; 현 원자력의학원 선임연구원), 암 특이적 microRNA 발현과 표적 유전자 조절의 생체 영상법 개발(김현주), 복합 리포터 유전자를 이용한 암 특이적 영상 및 치료연구(염찬주; 현 아산병원 연구원, 김승후; 현 알파바이로랩 이사) 등 다양한 분야에서 분자영상 기술을 접목한 연구들을 진행하였다.

2007년 강건욱 교수의 부임과 함께 방사성 물질 혹은 항체가 표지된 나노 물질을 이용한 분자영상법 개발 연구가 본격적으로 시작되어 금나노입자(김영화; 현 서울대학교 핵의학과 연구교수), 알부민(송명근; 현 서울대학교 의학연구원 연구교수, 장솔아; 현 방사선진흥협회, 조정환; 현 셀리버리 연구원, 박초롱, 장혜정) 등의 테라노스틱 표적치료법 개발 및 유관기전 연구가 현재까지 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 알부민 기반 나노플랫폼을 확립하고 임상적용의 토대를 마련하게 되었으며, 강건욱 교수는 2017년부터 「바이오나노메디신 쌀롱」을 주관하여 바이오의학을 연구하는 기초 과학자와 임상 의사, 바이오벤처 기업 및 투자 회사가 모두 한자리에 참여하여 최신 의학 연구 관련 공동연구, 기술이전 및 투자의 토론장을 마련하여 나노의학의 임상적용에 기여하고 있다.

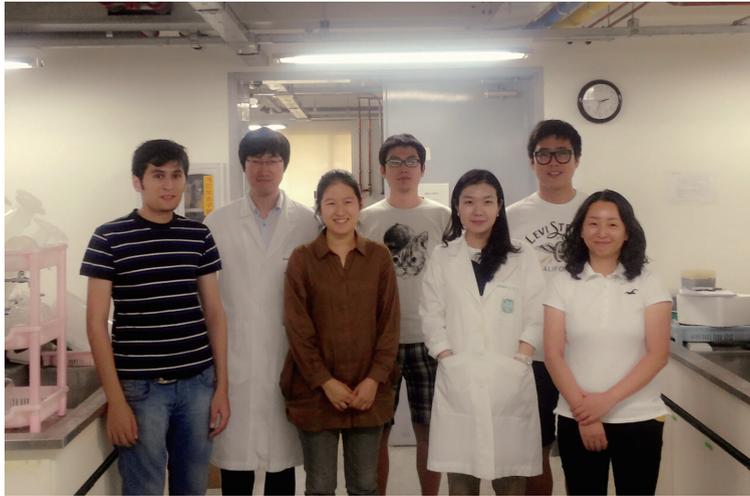
강주현 연구교수 이직 후 2008년 Texas Tech Health Sciences Center, South-West Cancer Center, Masonic Cancer Center 등에서 분자생물학 기반 종양 생성기전 및 치료법을 연구한 윤혜원 교수가 합류하였다. 리포터 유전자 최적화 엔지니어링을 통한 효율적인 테라노스틱 리포터 유전자 개발(김영화), 변형 올리고 miRNA 저해제를 이용한 항암 치료법개발(김현희; 현 경기과학진흥원), NIS 발현증진 물질 발굴(유경현; 현 국민건강보험공단), 면역세포 생체분포 추적용 유전자변형 마우스 개발(송명근), 치료용 줄기세포/면역세포 추적 영상(정태문; 현 ColdSpring Harbor Laboratory, 미국, 박사후연구원), 방사선민감도를 증



분자영상팀

진시키는 항암 유전자 치료법(나주리; 현 Oxford University, 영국, 박사후연구원), 종양미세환경 내의 엑소좀 추적영상(정경오; 현 Stanford University, 미국, 박사후연구원), 분자영상을 이용한 백신 및 신약 후보물질 유효성/안전성 평가(김하; 현 동국대학교 연구원, 배성환, 오세라), FDG 섭취에 영향을 미치는 미토콘드리아 단백질의 역할(이철희; 현 원자력의학원 선임연구원, 이석용), PET/MR을 이용한 염증성질환 바이오마커 TSPO 표적영상(김경민), 종양미세환경에서 종양-면역-섬유아세포 등의 상호작용 (오호림) 등에 관한 연구가 진행되어 오고 있다.

2011년 부임한 김미정 연구교수(현 분당서울대학교병원 영상의학과 연구원)는 갑상선암의 치료효과증진을 위한 다양한 약물의 적용, FDG 섭취에 미치는 탈인산화 효소의 기능에 관한 연구, 갈색지방 분화에 미치는 다양한 약물의 영향에 관한 연구를 수행하였다. 2012년 천기정 교수의 부임과 함께 다양한 진단, 치료용 테라노스틱스 프로브와 임상핵의학과 기초연구를 연결하는 연구를 수행하게 되었고, 관절염모델에서 대식세포의 활성을 표적하는 새로운 프로브의 개발(정석진; 현 Michigan State University, 미국, 박사후연구원), FDG 섭취에 미치는 탈인산화 효소의 기능(이영은; 현 녹십자셀 과장), 갈색지방 표적 핵의학 영상(오호림) 등에 관한 연구가 진행되어오고 있다. 2015년 부임한 송명근 연구교수는 생체유래 알부민 나노입자에 표적물질과 치료약물 등을 연결한 테라노스틱스 프로브의 개발 및 치료효과 증진 기전에 관한 연구를



뇌과학팀

하고 있으며 알부민 나노입자의 세포내 유입에 관여하는 다양한 인자에 관한 연구를 수행하고 있다. 2018년 김영화 연구교수 부임 이후 다양한 생체적합형 나노입자를 활용한 종양 환경에서의 면역 세포간의 상호작용 관찰에 관한 연구와, 생체적합성 미네랄화 나노전달체를 개발하여 임상적용이 용이하고, 인체에 무해한 테라노스틱 나노물질을 이용한 진단 치료법을 개발하는 연구를 수행하고 있다. 또한 2019년부터 팽진철, 최홍운 교수의 참여로 핵의학영상을 통한 면역관문저해제 효과 예측 및 Radiomics를 이용한 다양한 연구도 수행하고 있다. 2020년 원자력의학원에서 근무하던 이철희 연구교수가 본 연구실에 부임하여 FDG 섭취에 미치는 FDG 인산화에 미치는 GLUT와 hexokinase 및 다양한 미토콘드리아 단백질(TSPO, VDAC, ANTs)들의 역할에 관한 연구와 섬유아세포를 표적화하는 FAPi를 이용한 방사성 동위원소 치료를 통한 종양미세환경 변화에 관한 연구를 수행하였다.

현재 복합 분자영상기술은 핵의학과 의 지속적 관심과 투자 속에서 날이 발전되어 가고 있다. 분자영상의 효과적인 발전을 위해서는 고해상도, 고민감도의 소동물 전용 스캐너가 필수적이라 할 수 있는데 2007년 생물발광 영상을 위한 IVIS 장비의 도입과 광학 영상을 효과적으로 얻을 수 있는 Maestro 장비 도입으로 분자영상기술 개발에 박차를 가하고 있고, microPET/CT(2008), microSPECT/CT(2015), PET/MR(2018) 등의 도입과 함께 고해상도 핵의학 영상을 얻을 수 있게 되었고 세계적 수준의 장비 확보를 위한 투자를 지속하며 발전하고 있다.

현재 핵의학 생물연구팀은 강건욱, 천기정, 윤혜원, 팽진철, 최홍운 교수를 주축으로 여러 연구교수진(송명근, 최유리, 김영화, 이철희 교수)과 두터운 학생층과 연구원층(연구원: 배성환; 박사과정: 박초롱, 김경민, 오세라, 오호림, 이석용, 이준현; 연구원: 홍민영, 심유선, 김인우)을 갖추고 있으며 세분화된 다양한 주제를 가지고 연구를 지속하여 다수의 논문과 학회 발표를 통

해 생물팀의 발전을 이끌고 있다. 또한 다수의 핵의학 관련 생물학자(이용진, 김영남, 김광일, 전용현, 소민경, 정혜경, 김현주, 김보광, 최용운, 신재훈, 오현정, 김윤희, 이지영, 김현희, 유경현, 고해영, 고미향, 김승후, 송명근, 김영화, 정태문, 나주리, 정경오, 이철희, 장솔아, 조정환, 장혜정, 이영은, 정석진, 장혜정, 정은진)와 연구원(김하, 배성환, 권준호)들을 배출하여 여러 분야에서 의학 발전에 기여하도록 하였다.

2002년부터는 이동수 교수에 의해 생물학 연구팀 내의 뇌과학팀이 뇌신경과 관련된 생물학적 연구팀으로 분화하였다. 같은 해 석사 과정 김윤희의 입학과 함께 뇌졸중 모델에서의 줄기세포 추적영상 연구가 시작되었고 2003년 석사 과정 황도원의 입학으로 도파민 D2 수용체와 리포터 유전자를 이용한 신경세포 영상연구가 시작되었다. 이후 2005년 김순학 교수(현 관동가톨릭대학교 교수)의 부임과 함께 나노 물질을 이용한 신경분화 영상 및 암 표적 영상의 연구(황도원)와 신경세포 분화와 연관된 miRNA의 생산과 작용을 리포터 유전자 기술로 영상화 하는 기술(고해영, 고미향, 이지영) 연구가 시작되었고 뒤이어 2008년 윤혜원 교수의 부임과 함께 체계적인 연구환경이 구축되면서 테라노스틱스 관련 다양한 진단치료 연구가 추가 및 확장되었다. 소그룹 연구인력을 통해 재생의료 분야 관련 줄기세포 치료제에 대한 체내분포 영상추적 및 뇌질환 표적능 영상화 연구를 진행하다가 국내 나노의학 분야가 태동하면서 다양한 형태의 생체적합성 나노소재를 이용한 융합연구를 추진하여 Nat, Protocol 등 수많은 논문게재와 특허를 보유하고 있다. 또한, 마이크로RNA의 생성에 대한 영상을 최초로 개발하여 국내 RNA 연구를 가속화시켰으며, 이와 관련 새로운 형태의 long noncoding RNA의 유전자 조절기작과 관련 해외 우수대학과 공동연구를 꾸준히 진행하였다. 최근 세포분비 소포체인 엑소좀을 활용하여 포항공대 및 싱가포르 팀과 협업하여 다양한 의생명 응용 연구에 활용하고 있고, 진단분야에서는 서울대 화학과 홍병희 교수팀과 공동연구를 통해 그래핀 나노소재를 이용해 조직내 존재하는 타겟 RNA 발현양을 빠르게 검출할 수 있는 그래핀-FISH기술을 개발하였다. 또한, 알츠하이머 치매를 대상으로 치료제에 대한 새로운 치료기전을 연구함으로써 치료제에 대한 이해수준을 높이고 치료효과를 극대화하는 전략을 마련하고 있다. 즉, 난치성 뇌질환에 대한 기초연구부터 응용연구까지 폭넓게 연구를 수행하고 있으며 이를 통해 향후 기초과학발전에 이바지할 뿐만 아니라 개발된 다양한 신물질/신기술을 실용화할 수 있는 토대를 마련 중이다. 뇌과학팀은 지금까지 이동수교수를 주축으로 황도원, 최유리 교수가 연구 관련 실무지도를 통해 2003년부터 현재까지 수많은 대학원생 및 전공의/전임의들의 석사, 박사학위 취득을 이끌었고(김한영-KIST, 장재호-중외제약, 정다이-국립암센터, 오현정-고려대 연구교수, 이송-아산병원, 진연아-분자영상센터, 천인국-강원대 핵의학과장, 임형준-융합과학기술대학원 교수 등), 이들은 대부분 대학, 병원, 기업 및 정부출연 기관 등에 자리를 잡고 각 분야에서 전문성을 가

지고 연구를 수행하고 있다.

분당병원 생물팀은 교수진의 석사급 연구원(김상은 교수: 정인순 연구원, 이원우 교수: 박소연 연구원, 이호영 교수: 이윤우 연구원, 이병철 교수: 정재호 연구원)을 시작으로 교수 고유연구 및 협업연구를 수행하였고, 현재까지 생물팀으로서 최미향(2010), 권성란(2011), 김예진(2011), 이윤우(2012~), 장희정(2016~), 박도담(2015~2017), 김영랑(2016~2019), 이수정(2019~), 이윤지(2020~) 연구원 등이 근무하였거나 근무 중이다. 박사급 인력으로는 홍수경 박사(2010년 학위취득)가 배출되었고 이후에 한정희 박사(2012~)와 송인호 박사(2018~)가 합류하여 개발된 방사성의약품 후보물질 평가를 위한 *in vitro* 실험, 실험동물에서의 생체분포 및 전신영상 획득 연구 등을 수행하고 있다. 주요 연구성과로는 RGD peptide를 이용한 신생혈관 및 종양 특이적 영상 프로브 개발, 미토콘드리아 외막 단백질인 TSPO에 대한 영상프로브 개발, 알츠하이머병 등을 포함한 퇴행성 뇌질환 영상진단용 프로브개발 등이 있다.

#### 라. 물리학 연구진

1994년 PET이 설치되고 PET 영상 연구에 대한 필요성이 제기됨에 따라 영상 분야에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다. 광철은 교수가 1994년 조교수로 임용되고, 그해 겨울 건국대 전산과 석사과정이던 박용우, 성신여대 통계학과를 졸업한 황은경과 서울공대 전기전자제어공학부 3학년이던 이재성이 초기 구성원으로 연구를 시작하였다. 박용우는 C-프로그램에 능통하여 ECAT PET의 압호와 같은 파일 구조를 분석하여 초기 PET 영상처리 연구에 매우 중요한 기여를 하였다. 이재성은 이후 대학원 의용생체공학 협동과정에 진학하여 핵의학교실 겸임 교수인 박광석 교수의 지도학생으로 핵의학영상 연구를 계속하여 2005년 우리 교실 교수가 되었다. 1995년 강원대 물리학과를 졸업한 이태훈이 합류하여, 이동수 교수를 도와 Diamox 뇌혈류 SPECT의 프로토콜을 확립하고 학업을 위해 미국으로 떠났다. 이 당시에 연구기자재라고는 MS-DOS가 설치된 컴퓨터 몇 대가 전부였다.

1996년 초 한양대 물리학과 박사과정 김경민, 단국대 전자공학과 석사과정 양묘근, 이화여대 물리학과 석사과정 안지영이 새로이 합류하였다. 김경민은 물리연구팀장을 맡아 이동수 교수를 도와 물리 연구의 기틀을 닦는 데 중요한 역할을 하였으며, 박사학위 취득 후 일본 국립순환기센터의 Iida 박사에게 사사한 후 귀국하여 원자력의학원 물리연구팀을 창설하였다. 이 당시 이명철 교수가 기획한 G7 의료공학과제가 출범하고 이는 우리나라의 의공학 분야가 발전하는 초석이 되었는데, 광철은 교수팀은 이동형 감마프로브 개발을 시작하며, 양묘근이 PS-PMT와 앵거회로를 이용한 감마프로브 프로토타입 개발을 담당하였다. 안지영은 이재성과 함께 O-15 water PET 연구를 수행하였으며 이대 물리학과로 돌아가 박사학위 취득 후 식약청에 근무하게

되었다. 이진, 백미영 등도 이화여대 물리학과 석사과정 중 우리 교실에서 연구를 수행하여 석사학위를 취득하였다. 이 당시 PET 데이터 저장과 처리를 위해 DEC 알파 서버 1대와 워크스테이션 3대를 도입하고, 추가로 SGI 워크스테이션을 도입하였다. 이는 당시 PC로는 처리가 어려웠던 SPM 분석, 동적 PET 영상처리를 가능하게 하여 많은 연구업적을 생산하는데 큰 기여를 하게 되었다.

1998년 이화여대 통계학과를 졸업한 장명진이 합류하여 SPM, ICA 기법의 기반이 되는 수학, 통계적 지식을 전파하는 역할을 하였다. 이후 서울대 통계학과 이영조 교수 지도로 박사학위를 취득하고 현재 질병관리본부에 근무 중이다. 또한, 이화여대 전자공학과 정소현, 서울대 원자핵공학과 염정렬이 학부 연구원으로 참여하게 되었는데 정소현은 이후 박광석 교수 연구실을 거쳐 UC Irvine에서 광학영상으로 박사학위를 취득한 후 삼성전자에, 염정렬은 동경대 Hiroyuki Takahashi 교수에게서 APD용 ASIC 개발로 박사학위를 받은 후 LG전자에 입사하였으며 현재 고려대 교수로 재직 중이다. 1999년 말부터 서울대 물리학과 대학원생인 서강준, 조성일, 김준식이 들어왔으며 김준식은 컴퓨터공학과 장병탁 교수에게 박사 학위를 받았다.

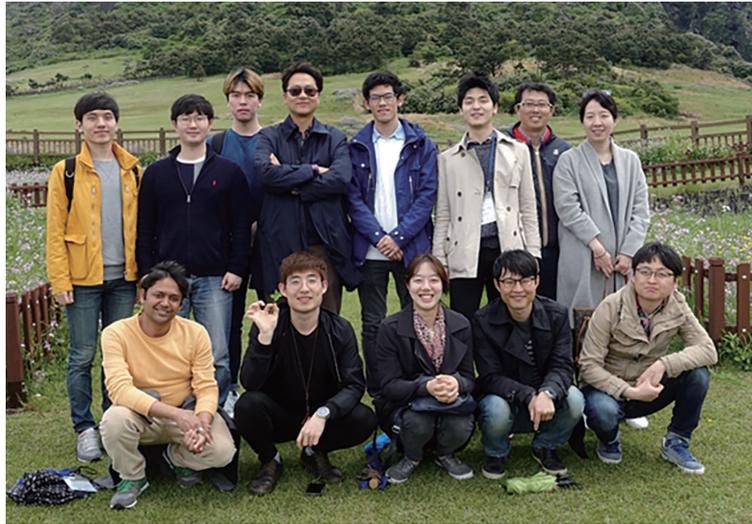
2000년, 2001년에 동국대 기계공학과를 졸업한 김진수, 인제대 의공학과를 졸업한 신희원, 인제대 전산학과 최흥국 교수의 지도학생이었던 이병일 등이 들어왔고, 이재성이 2001년 3월 박사학위를 받으면서 점차 학생 지도를 담당하게 되었다. 김진수는 방사선응용생명과학 협동과정에 진학해 특유의 끈기와 부지런함으로 후배들의 귀감이 되었으며 협동과정의 첫 박사학위를 배출되어 원자력의학원에 들어갔다. 신희원은 Siemens에 들어가 현재 싱가포르 아시아 본부에서 근무하고 있다. 이병일은 게이트 심장 SPECT 연구로 박사학위를 받은 후 전남대병원 핵의학과 교수가 되었고, 핵의학회 정도관리 이사를 맡아 핵의학영상장비 정도관리 표준을 확립하는데 크게 기여하였다. 현재는 한국광기술원 광융합생명연구본부장을 맡고 있다.

이재성 박사가 미국 Johns Hopkins 대학 Dean Wong 교수 및 Martin Pomper 교수 연구실에서 수용체 PET 정량화와 소동물 PET 연구를 하고 2003년 귀국하면서 물리연구팀을 맡고, 교실의 적극적 지원으로 물리 연구 분야가 제2의 도약을 하게 되었다. 2004년, 2005년에는 포항공대 전자공학과에서 석사학위를 받은 김수진과 배재대 이수진 교수에게 석사학위를 받은 김수미가 차례로 박사과정으로 입학하여 추적자동역학과 재구성 연구를 담당하였고, 서울대 원자핵공학과를 졸업한 김중현이 2004년 석사과정으로 입학하여 소동물 SPECT와 도시메트리 연구를 맡으면서 비로소 연구실의 규모를 갖추었다. 김수진은 비가역추적자에 대한 새로운 정량화 기법을 개발하여 2008년 12월호 JCBFM 표지 논문을 발표하였으며, Yale 대학의 Evan Moris 교수와 Richard Carson 교수 연구실을 거쳐 현재 분당서울대병원에 재직 중이다. 김수미는 컴프턴카메라 영상재구성 분야에서 괄목할만한 여러 업적을 이루었으며 PET 영상재구성 연구의

기틀을 닦는다. 워싱턴 주립대의 Paul Kinahan 교수 연구실에서 CT에 관한 연구를 한 후 원자력연구원을 거쳐 현재는 한국해양기술연구원에 재직 중이다. 김종현은 PET 영상기반 도시메트리 기법 등 다양한 분야의 연구를 수행하고 한국표준과학원에 들어간 이후에도 이재성 교수와 지속적으로 도시메트리에 대한 공동연구를 하고 있다.

2005년 서울시 산학연과제 수주를 계기로 경기대 전산학과 석사인 박상근이 합류하여 프로그램 개발을 담당하게 되었고, 이재성 교수의 의공학과 후배인 오정수 박사와 박사과정 박민재가 합류하였다. 오정수는 박사후연구원 재직 중 이동수 교수와 DTI 분석 연구를 주로 한 후 하버드대학 등을 거쳐 현재 울산의대 서울아산병원 핵의학과 교수로 재직 중이다. 박민재는 유닉스 전문가로 GATE 시뮬레이션 기법을 이재성 교수와 함께 프랑스에서 배워와 연구실 전체에 보급하는 중요한 기여를 하였고, 2010년 이를 활용한 재구성 연구로 박사학위를 받는다. 이후 Johns Hopkins 대학 Benjamin Tsui 교수 연구실과 필립스를 거쳐 서울아산병원 방사선종양학과에서 근무하고 있다. 또한, 뇌영상 분석 및 추적자동력학 연구가 가장 활발하던 당시에는 임상병리사 출신의 홍성탁(2001)과, 방사선사 출신의 한상희(2005), 김승정(2006), 주시연(2008), 유윤혜(2009), 이주희 등이 연구원으로 영상분석과 동물실험 업무에 참여하였다.

2006년 이재성 교수의 특정기초 연구로 본격적인 하드웨어 연구가 시작되는데, KAIST 전자공학과 출신의 권순일, 윤현석이 각각 2006년, 2008년 방사선응용생명과학 의공학과 석사과정으로 들어와 각각 아날로그와 디지털 회로 개발을 맡고, 고대 물리학과 박사과정인 일본 출신 Ito Mikiko와 서울대 원자핵공학과를 졸업한 이찬미가 합류하여 검출기 디자인 및 실험을 맡았다. 이재성 교수와 공동연구를 하던 홍성종 박사가 2007년 서울대 의학연구원 방사선의학연구소 책임연구원으로 발령받아 같이 연구를 하게 되며 이전에 소프트웨어와 하드웨어로 나누어 연구하던 PET 개발이 같은 장소에서 동시에 이루어지면서 비약적인 도약을 하였다. 홍성종 박사는 2009년 을지대 방사선학과 교수가 되어 보건기술직 양성에도 기여하고 있다. PET 하드웨어 연구 초기에는 각종 측정장치가 없어 NIM, VME 모듈들을 건국대 물리학과에서 빌려 사용하는 등 어려움이 많았으나, 교육과학기술부의 특정기초, 고유강점 과제 등을 수행하면서 이러한 인프라를 차차 갖추게 되었다. 권순일과 윤현석은 각각 연구실의 아날로그와 디지털 회로 기술 개발의 초석을 다지고 2011년과 2012년에 JNM에 실린 세계최초 SiPM PET과 PET/MRI 논문의 제1저자가 되었다. 졸업 후 권순일은 UC Davis의 Simon Cherry 교수의 사사를 받은 후 Senior Scientist로 PET 기기 연구를 지속하고 있으며, 이찬미와 윤현석은 한국 원자력안전기술원(KINS)에 들어간다. 이도 미끼꼬는 다양한 DOI PET 검출기를 설계하고, GE Healthcare의 TOF PET/MRI 그룹에 들어가는데 이후 ETH Zurich를 거쳐 현재 LG전자에 재직 중이다. 2009년과 2010년에 이화여대에서 정보통신학과 물리학을 복수전공한 김지후와 고



물리팀

려대 전자공학과를 졸업한 손정아가 방사선응용생명과학 협동과정과에 입학하여 추적자동역학과 영상재구성 연구를 수행하였다. 김지후는 다양한 새로운 방사성추적자에 대한 동역학 모델을 개발하는데 박사 학위 취득 후 하버드대학 Georges El Fakhri 교수와 UC San Fransico 서영호 교수의 사사를 받는다. 손정아는 미술에 관심이 많아 석사학위 취득 후 미디어 아트를 공부하러 UC Santa Barbara에 진학하였다.

2009년 이재성 교수가 WCU 뇌인지과학과에 참여하면서, 서울대 전기공학부를 졸업한 유혜빈과 뉴질랜드 Auckland 대학에서 Biomedical Sciences를 전공한 신성아가 석사과정으로 입학하였다. 유혜빈은 파킨슨병의 DTI 연구를 한 후 UT Dallas 박사과정에 진학하였고, 신성아는 의과학과로 옮겨 박사과정에 진학하는데 김유경 교수의 지도로 보라매병원에서 주로 연구를 수행하였다. 또한, 뇌인지과학과에 참여하였던 Wisconsin신대의 정무경 교수가 WCU 과제가 끝나고 미국으로 돌아가게 되어 그 박사과정 학생이었던 서성호가 이재성 교수의 지도학생이 되었다. 권순일의 대구과학고 동기이기도 한 서성호는 그때부터 추적자동역학을 공부하여 새로운 정량화 기술을 다수 개발하고, 가천의대 뇌과학연구소로 옮긴 후에도 이재성 교수와 공동연구를 계속해서 진행하고 있으며, 최근 배재대 전자공학과 교수로 발령 받았다.

의과학과의 학부 연구생 인턴 프로그램은 학부 학생들에게 연구실의 첨단 연구를 소개하고 연구 경험을 쌓는 좋은 기회가 되었다. 우수한 학생들이 인턴 프로그램을 통한 검증을 거쳐 연구실에 합류하게 되는 긍정적인 면이 많은 한편, 인턴 프로그램 후에 의전원이나 치전원에 진학하는 일도 종종 있었다.

2009년 삼성전자가 의료기기 사업을 신성장동력으로 육성키로 하고 의료기기 사업부를 만들

면서, 의료기기 개발에 관한 관심이 고조되었다. 이에 이재성 교수는 “Time-of-flight PET 핵심 기술개발(2010-2012)”, “뇌질환 임상연구를 위한 7T MR-Compatible PET System 개발(2014-2018)”, “차세대 초저선량 PET 시스템 핵심 기술 개발(2016-2020)” 등 규모가 큰 인체용 PET 시스템 개발과제들을 수주하고, 우수한 대학원 학생들을 계속 유치하여 연구실 규모를 키우고 인프라를 확충하는 한편 과에서는 암병원 중앙영상센터 내의 미니 PET실 공간을 시스템 개발에 할당하여 연구를 적극 지원하였다.

2010년에는 서울대 전기공학부를 조기 졸업한 고근배가, 2012년도에는 고근배의 06학번 동기인 김경윤이 입학을 하며, 같은 해에 원자핵공학과 07학번인 이민선과 전기공학부 09학번인 손정환이 입학을 하고 다음 해에 손정환의 동기인 원준연이 입학을 하면서 PET 시스템 개발의 2세대 진영이 갖추어졌다. 즉, 권순일, 윤현석이 담당했던 회로 설계를 고근배, 손정환, 원준연이 이어받고, Ito Mikiko, 이찬미가 담당했던 검출기 디자인 및 시뮬레이션을 이민선이, 김수미의 영상재구성을 김경윤이 이어받으며 자연스러운 세대교체와 협업이 이루어졌다. 고근배는 우리가 세계적으로 앞서 나가던 SiPM PET 기술을 집약하여 소동물 전용 7T MRI와 결합할 수 있는 고해상도 PET insert를 개발하고, 손정환은 TOF PET의 검출기 및 회로개발을 담당하여 2010년대 중반 당시 세계 최고 시간분해능을 갖는 TOF PET 시스템 개발을 가능하게 하였다. 이민선은 continuous DOI PET 기술을 시스템 레벨까지 끌어 올리고 다양한 새로운 voxel-based dosimetry 기술을 확립하며, 원준연은 새로운 TDC와 QTC 기술을 개발하여 뇌 PET/MRI용 PET insert에 적용하는데, 이 둘은 이러한 연구업적을 인정받아 2019년도에 IEEE NPSS의 Ronald Jaszczak Graduate Award와 Glenn Knoll Graduate Educational Grant를 수상한다. 그런데, 이러한 모든 연구가 가능했던 것은 김경윤이 개발한 3D PET 재구성 및 보정기술 덕분이었다. 2016년 이재성 교수와 고근배, 김경윤은 브라이토닉스 이미지를 창업하고 이어서 손정환이 합류한다. 이민선은 Stanford대의 Craig Levin 교수 연구실을 거쳐 원자력연구원에 들어갔으며, 원준연은 박사학위를 받은 후 삼성전자에 입사하였다.

2011년에 KAIST 예종철 교수의 제자인 정홍 박사가 박사후과정으로, 2012년에는 안현준이 박사과정으로 연구실에 합류하였다. 정홍 박사는 병역특례를 마친 후 덴탈 CT 회사인 HDXwill의 연구소를 맡고 있으며, 안현준은 박사과정 수료 후 서울대병원 방사선종양학과에 들어가 현재 진료조교수로 근무하고 있다. 네팔 B.P. Koirala institute of Health Sciences에서 Senior Demonstrator로 근무하던 Arun Gupta가 2015년 핵의학교실 박사과정에 들어와서 소동물 도시메트리 연구를 담당하여 박사학위를 받고 네팔로 돌아갔다. 2014년 강승관, 2015년 황동휘, 박해욱, 2016년 이승은, 2019년 이수아가 의과학과 석박통합과정으로 들어오고, 삼성전자 의료기기사업부에 소속된 박준영이 2017년 회사의 학술연수 프로그램으로 석사과정에 들어왔다. 2010



년대 말에 deep learning이 크게 유행함에 따라 강승관, 황동휘, 박준영 등이 deep learning 연구에 매진하고 있으며, 박해욱은 아날로그 회로를, 이승은은 image correction 연구를 맡고 있으며 brain PET insert 및 TOF PET 개발을 담당하고 있다. 2020년 김건민, 김대운이 박사과정에, 서민지, 이시영, 심형석이 석박통합과정에 입학하였다.

### 마. 인지신경과학 연구진

핵의학과 인지신경팀은 1999년 이동수 교수와 박사과정 학생 이재성이  $^{15}\text{O}\text{-H}_2\text{O}\text{-PET}$ 을 이용하여 기억기능을 알아보기 위한 뇌영상 인지실험을 시도하며 시작되었다. 같은 해 미국 Stanford 대학에서 자기공명영상촬영법(fMRI)을 이용한 기억기능연구로 박사후 연구원을 마친 강은주 교수가 방사선의학연구소 책임연구원



인지신경과학팀

으로 핵의학과에 자리잡으면서 본격적인 인지팀 구성이 시작되었고, 국내 뇌 기능 규명을 위한 인지실험 및 인지과학적 접근과 영상분석의 길을 핵의학과에서 열었다고 할 수 있다.

인지팀 초기 연구는 간질환자의 기억기능을 지도화하는 것이었고, 2000년 초반에 성균관대 인지과학과 석사과정 학생이었던 강혜진이 초기 팀원으로 합류하면서 신경과 이상건 교수와의 공동연구로 간질환자를 대상으로 해마 활성화를 위한 연합기억과제 패러다임으로 행동실험 및 심리검사를 비롯한  $\text{H}_2^{15}\text{O}$  PET 이용 연구가 진행되었다. 2000년 후반에는 서울대 인지과학 석사신입생으로 김희정이 팀에 합류하였다. 강은주 교수는 PET 뿐만 아니라 성균관대 인지과학과 이정모 교수와의 뇌과학 연구과제 공동수행으로 국내 초기단계의 fMRI 연구를 활성화시켰고,  $\text{H}_2^{15}\text{O}$  PET과 fMRI를 모두 이용한 기억기능 규명에 노력을 쏟았다. 그 당시 fMRI 연구가 바탕이 되어 현재 인지신경팀에서는 PET, SPECT, fMRI, MEG의 다양한 신경 영상을 처리할 수 있게 되었다. 2001년 당시 성균관대 인지과학과 박사과정 중의 조상수가 김상은 교수의 공동지도하에 강은주 교수의 지도 학생으로 팀에 합류하였다. 2003년에 강은주 교수가 핵의학교실의 BK21 연구조교수로 승진하였고, 2004년 고려대 교육학과 윤미선 박사가 박사후 연구원으로 함께 하면서 교육학과의 fMRI 연구 활성화에 기여하였다. 강은주 교수가 2005년 강원대 심리학과 교수로 자리를 옮기기 전까지, 인지신경팀은 2001년 이동수 교수의 Nature 논문을 바탕으로 이비인후과와의 공동연구를 시작하였고, 전농에서 발달에 따른 청각피질의 연결성의 변화, 나이에 따른 변화, 수술이후 언어청각능력과의 상관 뇌영역 규명 등의 연구를 잇따라 주요

잡지인 Neuroimage에 실었다. 시청각 양상의 통합적 처리 및 독순(lipreading)을 이해하기 위한 노력은 PET 뿐만 아니라 fMRI 연구로 수행되었고, 교차양상처리연구는 김희정의 인지과학 석사논문으로 수행되었다. 2005년에는 경북대 심리학과 출신의 박효진이 인지신경팀에 들어오게 되면서 MEG 연구에 발을 들여놓게 되었고, 새로운 분석방법을 시도하였다.

또한 인지신경팀은 2005년부터 국제적 흐름에 따른 뇌 연결성에 초점을 두어 2009년 FDG PET 영상에서의 뇌 연결성 규명을 위한 임상적용을 시도하였고 이로 강혜진이 뇌신경과학 박사학위를 취득하였다. 또한 소아청소년과와의 공동연구로 ADHD 및 자폐에 관련한 뇌 연결성 규명에도 주력하였다. 2009년 포항공대 컴퓨터공학과 이해경 박사의 합류와 2009년 후반 위스콘신대학 교수이면서 서울대 WCU 뇌인지과학과에 부임한 정무경 교수의 자문에 힘입어 기존의 일반선형모델을 이용한 SPM 분석에서 벗어나 다양한 computational modeling 방법을 개발하게 되었다. 특히 기존 뇌네트워크 구성의 단점을 보완한 퍼시스턴트 호몰로지(persistent homology) 접근의 graph filtration 방법을 도입하여 뇌영상으로부터 유용한 네트워크의 위상수학적 속성을 추출할 수 있는 방법을 개발하면서, PET, MRI, fMRI등에 적용함으로써 새로운 네트워크 모델링 접근의 장을 열게 되었다. 또한 서울대학교 수학과 임선희 교수와 이동수/이혜경 교수의 공동노력으로 위상수학적 뇌 네트워크 정보흐름에 대한 속성을 정량화하는 데 성공하였고, 이에 새롭게 개발한 위상수학적 불변량이 임상적 질병의 예후 예측 및 분류를 위해 활용될 수 있는지에 대한 가능성을 다양한 질환에서 시도 중에 있다. 2012년 강혜진은 통계학과 이영조 교수와의 공동연구로 연구교수로, 2013년 이해경은 의학연구원 연구교수로 승진하였고, 김희정(2012년), 박효진(2013년), 함자랑(2015년), 김은경(2015년)이 박사학위를 배출되었고, 현재는 2020년 인지과학 박사학위를 받은 허영민과 2018년 BK조교수로, 2017년 서울대학교 병원 연구교수로 재직중인 강혜진, 이해경교수가 함께 신경발달장애 및 노화와 관련한 위상수학 기반의 뇌네트워크의 속성을 추출하기 위한 연구 및 인지조절과 관련한 네트워크 특징을 알아보기 위한 연구를 수행하고 있다.

#### 바. 분당서울대학교병원 연구진

분당서울대학교병원 연구팀은 경기도전임상분자영상지원센터를 구심점으로 협력하고 있으며, 시간의 흐름에 따라 주요 연구내용 변화와 더불어 연구체계의 확립 및 발전을 거듭하고 있다. (이병철 교수가 이끌고 있는 방사화학팀은 화학 연구진 항목에서 전술)

2003년 분당서울대학교병원의 개원과 더불어 김상은 교수는 지속가능한 연구체계 확립을 지향하며 인지과학, 신경화학, 핵의학 영상 정량분석 연구에 중점을 둔 연구조직 구축을 시작하였고, 조상수(2001~2008)와 김상은 교수의 지도학생인 홍수경(2003~2010), 박현수(2006~)



분당 연구팀

가 중추적인 역할을 담당하였다. 당시 성균관대학교 대학원에서 이정모 교수의 지도아래 박사 과정을 밟고 있던 조상수는 김상은 교수의 공동지도 아래 인간 인지기능(기억, 주의, 언어, 의사결정 등)의 생물학적 기전을 뇌영상을 이용해 평가하는 연구를 주로 수행하였다. 인간뇌지도화연구(human brain mapping)라고 일컬어지는 이 연구는 당시 인지심리학, 인지과학, 뇌신경과학, 신경생물학 등을 융합한 분야로서 과학계 전반에서 가장 진보적인 연구분야 중 하나로 손꼽혔다. 우수 국내외 학술대회 및 학회지에 우수한 연구성과를 발표하였으며 연구수요가 늘어남에 따라 조상수 박사(2010년 박사학위 취득)의 동문 후배인 윤은진(2005~2014)과 방성애(2006~2014), 박현수가 이어 연구에 합류하였다. 홍수경 박사(2010년 학위취득)는 서울대학교 뇌과학협동과정에서 김상은 교수 지도 하에 실험용 동물을 이용해서 신경퇴행 또는 신경병, 중추신경계작용 약물의 처치에 따른 신경화학적 변화를 평가하는 연구를 수행하였다. 같은 실험 동물 연구를 수행했던 정인순 연구원(2004~2015)은 11년 동안 김상은 교수의 연구를 수행하였으며, 뒤를 이어 김영낭(2014~2019), 현재는 송인호 박사(2018~) 등이 연구를 이어가고 있다.

이재성 교수의 지도를 받아 방사성추적자동역학 및 핵의학 영상 정량분석 등을 박사학위과정 기간 동안 연구한 김수진 박사와 김중현 박사가 각각 2008년과 2012년 박사후과정을 거쳤다. 김수진 박사는 박사후과정 동안 PET과 방사성동위원소가 표지된 항정신병약 할로페리돌을 이용해 할로페리돌의 인체 주요장기 및 표적조직 약동학 평가연구를 수행하였다. 김중현 박사는 박사후과정동안 새로운 암 진단용 방사성추적자로서 신생혈관의 바이오마커인  $\alpha_v\beta_3$  인테그린 수용체에 선택적·특이적으로 결합하는  $^{99m}\text{Tc-IDA-D-[c(RGDfK)]}_2$ 의 인체 분포와 도시메트리 평가 연구를 수행하였다. 김수진 박사와 김중현 박사가 연구실을 떠난 후 박현수 박사가 방사성추적자 약동학 및 핵의학 영상 정량분석 연구를 주도하였다.

박현수 연구교수는 2006년 연구팀에 합류하여 조상수 박사와 함께 연구활동을 시작하였다. 그러나 조상수 박사가 연구팀을 떠난 후 김상은 교수의 권유에 따라 방사성추적자 약동학 및 핵의학 영상 정량분석으로 연구주제를 바꾸었다. 박현수는 알츠하이머병 진단을 위한 새로운 PET

진단용 방사성의약품의 안전성 및 진단 유효성을 평가하기 위한 임상시험에 참여하며 방사성추적자 약동학 및 핵의학 영상 정량분석에 본격적으로 뛰어들었고 이 경험을 바탕으로 마이크로도스 PET을 이용한 약물의 약동학 연구, 핵의학 분자영상을 이용한 약력학 연구로 연구범위를 확장하였다. 2012년 박사학위를 취득하고 2015년부터 연구교수로 발령 받으 후부터 현재까지 신약개발을 위한 핵의학분자영상 기술개발 및 적용에 관한 연구를 수행 중이다.

분당서울대학교병원 연구팀이 우수한 성과를 계속 창출할 수 있었던 데는 서울대학교 융합과학기술대학원에서 김상은 교수 지도 아래 공부한 학생들의 기여가 매우 컸다. 석사과정생 김옥(2013~2015), 신유미(2015~2017), 박소현(2016~2018), 김혜원(2019~), 김수빈(2019~)은 방사성추적자 약동학 및 핵의학 영상 정량분석, 테라노스틱스 핵의학 등을 주제로 학업을 이어가고 있다. 분당서울대학교병원에 사이클로트론이 구축되고 방사화학팀이 꾸려진 후, 소동물 전용 SPECT/CT 시스템(2008)과 PET/CT 시스템(2010)이 연이어 도입되고 “분당서울대학교병원 전 임상·영상 분자영상센터”가 설립되면서 연구조직의 기능적 완성도가 절정에 이르렀다. 손지연은 2003년부터 근무하며 SPECT/CT 시스템과 PET/CT 시스템의 운영자로서 시스템의 이용방법과 유지관리 방법을 확립하는 데 기여하였다. 임남희(2009~2014), 김아란(2014~2017), 강형근(2017) 등이 그 역할을 이어 받았으며, 현재는 박기선이 운영자로서 일하고 있다.

## 2) 주요 연구주제

### 가. 핵의학 임상연구: 1960~1980년대

서울대학교병원 동위원소진료실에서 최초로 진행된 임상연구는 갑상선 질환에서 방사성옥소를 이용한 진단 및 치료였고, 이는 동위원소실 최초의 논문 “방사성동위원소옥소( $^{131}\text{I}$ )를 사용한 갑상선종 연구” (대한내과학회지 1961;4(3):29-47)로 출간되었다. 1960년대에는 이처럼 갑상선 질환이 주된 임상연구 주제이긴 하였으나 이 외에도 방사성동위원소의 임상 응용을 다각도로 시도해 보던 시기였다. 이 시기 방사성동위원소를 이용한 심기능검사, 간기능검사, 신기능검사 등과 간암, 뇌종양 등 각종 암의 진단,  $^{198}\text{Au}$ 을 이용한 종양 치료 등에 관한 임상연구가 행해졌다.

1970년대에도 갑상선 질환이 가장 중요한 축이었으나, 임상연구의 주제가 더욱 다양해졌다. 이는 고창순 교수가 동위원소진료실을 맡으면서 다양한 관심을 가진 전공의나 연구자들이 동위원소를 이용한 임상연구를 수행하였고 동위원소실 자체에서 특정한 연구 방향만을 지향하지는 않았기 때문이다. 이 시기에는 감마카메라의 도입에 의해 영상 연구가 본격화되었고 방사면역검사의 도입으로 혈청학적 검사를 이용하는 임상연구가 증가한 것이 특징이다. 심기능검사, 신장스캔, 간스캔 등이 많이 연구된 영상검사였다.

1980년대에 들어오면서 영상검사에 대한 연구가 좀 더 다양해졌으며 특히 임상 검사의 확대

와 맞물려 뼈 스캔에 대한 연구가 많이 늘어났다. 이 시기에 자주 연구주제로 다루어진 영상 검사는 뼈 스캔, 혈관촬영술, 게이트 혈액풀 스캔 등이었고 이 외에도 심근경색에 대한  $^{99m}\text{Tc}$ -PYP 스캔, 위배출시간검사, 간담도스캔, 신장스캔, 비장스캔 등 다양한 영상검사가 연구되었다. 1980년대 중반으로 접어들면서 갑상선 질환의 임상연구 비중은 약간 감소하였고, 방사면역 검사는 일반적 임상 서비스화가 되어 감에 따라 핵의학 연구주제로서의 비중은 점차 감소하였다. 1986년 SPECT 카메라의 도입과 더불어 심근관류스캔과 뇌관류스캔 등이 1980년대 후반부터 새로운 연구주제가 되어 점차 비중이 커졌으나, 여전히 갑상선 질환과 더불어 다양한 일반 핵의학 영상 검사가 연구 주제의 상당수를 차지하였다.

#### 나. 핵의학 임상연구: 1990년대

1990년대로 접어들면서 종양학 관련 연구는 정준기 교수, 신경학과 심장학 관련 연구는 이동수 교수가 주관하여 담당하게 되면서 연구가 한층 심화되고 충실해졌다.

1990년대 임상 종양핵의학 연구는 갑상선암, 항체를 이용한 스캔 및 치료, 그리고 종양 PET 이 주요 주제였다. 방사성옥소를 이용한 갑상선암의 진단 및 치료는 그 전부터 꾸준히 이어져 온 주제였는데 이와 관련해 스캔의 진단성적, 간이 보이는 것과 같은 특정 스캔 소견의 의의, 혈청 호르몬이나 마커와의 관련성 등이 주로 연구되었다. 단일클론항체를 이용하는 암의 진단과 치료는 정준기 교수의 미국 연수 후 1990년대에 계속 주요 주제로 다루어졌다. 항CEA 항체 등 암에 대한 여러 항체를 방사성동위원소로 표지하는 방법,  $^{131}\text{I}$ 이나  $^{111}\text{In}$ 로 표지한 항체를 이용한 동물 종양 모델에서의 진단 및 치료 등이 시도되었다. 항과립구 항체를 이용한 스캔은 종양 등에서의 골수 스캔이나 염증 스캔으로 연구되었다. 종양에 대한 진단 스캔으로 뇌종양에 대한  $^{201}\text{Tl}$  스캔 등이 연구되기도 하였으나 1994년 PET 도입 이후에는 FDG PET에 연구가 집중되어 1990년대 후반부터 FDG PET을 이용한 종양 진단에 대한 다양한 연구가 이루어졌다. GLUT 등 FDG의 섭취 기전에 대한 연구와 더불어, 뇌종양, 유방암, 부인암 등 여러 종양에서 PET의 유용성을 입증하는 연구들이 이루어졌다. 갑상선암에서  $^{131}\text{I}$  스캔과 FDG PET 소견의 상관관계를 연구한 흥미로운 논문도 보고되었다.

1990년대 임상 심장핵의학 연구는 주로 심근관류 SPECT 영상법의 발전을 임상에 반영하는 과정이었다. 90년대 초기에는 심장 게이트 혈액풀 스캔을 이용한 기능평가를 80년대에 이어 연구하기도 하였고 항myosin 항체나  $^{99m}\text{Tc}$ -pyrophosphate 스캔을 이용한 심근경색 스캔도 일부 시도되었으나 중심적 연구주제는 아니었다. 관류스캔에서  $^{201}\text{Tl}$ 을 이용한 연구는 1987년, MIBI 이용 연구는 1990년 처음 보고되었는데, 그 이후 방법론 측면에서 관류영상에 대한 연구가 주를 이루었다. 디피리다몰 부하법의 유효성 및 부작용,  $^{201}\text{Tl}$  스캔의 정량분석(1991), 극성지도(polar

map) 이용의 유효성(1993), 게이트 심근 SPECT(1995), 폐/심 섭취비 등 관류스캔의 새로운 영상법 및 분석법들이 도입과 더불어 같이 연구되었다.  $^{201}\text{Tl}$ 과 MIBI를 비교하는 연구도 이런 측면의 하나였다. 이어 1990년대 후반에는 관류 SPECT가 정착된 방법론으로 받아들여져 이를 이용한 임상적 의의와 유효성이 많이 연구되었다. SPECT를 이용하여 CABG 수술효과를 평가하거나 SPECT에서 발견된 일과성 심근기질, SPECT를 이용한 예후평가 등이 연구되었다. 이 외에  $^{82}\text{Rb}$  PET,  $^{188}\text{Re}$ -DTPA를 이용한 관상동맥 근접조사 등이 이 시기 연구주제로 다루어졌다.

1990년대 임상 신경핵의학 연구는 뇌관류 SPECT가 중심을 이루고 있었고 후반기에 PET이 점차 비중을 키워나갔다. HMPAO를 이용한 뇌관류 SPECT 연구는 1989년 처음 보고하였으나 금세 중심적 위치를 차지하였다. 허혈성 질환에서 CT 및 MRI와의 비교, 뇌동맥류, 간질, 모야모야병 등 질환에서의 적용이 1990년대 전반기에 시도 및 연구되었고, 이를 바탕으로 후반기에는 EDAS 수술 효과의 평가, 간질에서 발작기 및 발작기-간기 감산 SPECT의 이용, 뇌경색에서 교차소뇌해리 등 뇌관류 SPECT를 이용한 임상평가 연구가 이루어졌다. 뇌관류 SPECT 방법론으로서 ECD 합성법이나 디아목스 SPECT 프로토콜 최적화 연구 등이 다루어졌다. PET을 이용한 연구는 포도당대사율 평가가 연구되었고, 간질에 대한 적용이 임상 연구로서 이루어졌다.  $^{15}\text{O}$ - $\text{H}_2\text{O}$ 을 이용한 PET으로 뇌기능지도를 작성하는 연구가 1990년대 후반에 처음으로 시도되었다. 이 외에  $^{123}\text{I}$ -베타CIT를 도입하여 연구하기도 하였다.

그 외에 일반 핵의학 스캔도 단속적으로 연구되어 보고되었는데, 뼈 스캔을 이용한 강직성척추염이나 신성골이영양증 진단, DMSA 또는 DTPA를 이용한 신장스캔, 캡토프릴 스캔, DISIDA 스캔, 무릎의 뼈관절 SPECT 등이 자주 다루어진 주제였다.

#### 다. 핵의학 임상연구: 2000년대

2000년대 임상연구에서도 여전히 정준기, 이동수 교수가 중심적 역할을 담당하였다. 2000년부터 교수 정원이 확대되어 젊은 임상 담당 교수가 보강되었으나 전국적 핵의학 인력 수요 급증으로 여정석, 소영, 강원준 교수 등이 차례로 이직하게 되어 지속적 연구로 이어지지는 못하였고, 2007년 강건욱 교수, 2008년 팽진철 교수 발령 이후 협력적 임상연구 다양화를 추진하고 있다. 한편 2003년 분당병원 개원과 더불어 김상은, 이원우, 김유경 교수가 임상연구의 또 다른 주요한 축을 담당하고 있다.

2000년대 임상 종양핵의학 연구는 FDG PET의 임상 적용이 중심이었다. 다양한 암에서 FDG PET의 진단 유용성, 영상 소견 분석 등이 주 연구주제로서, 폐암, 유방암, 뇌종양, 갑상선암, 부인과암 등에서 FDG PET의 진단성적, CT 등 다른 영상법과의 비교, 종격동 림프절에 대한 분석 및 감별진단법 등이 다루어졌다. 건강검진용 FDG PET의 진단성적과 같은 한국적 특수성

이 보이는 주제도 있었다. 2000년대 후반기에는 예후와 관련해 폐암, 뇌종양, 간암에 의한 간 이식 등에서 FDG PET의 예후 예측 성능이 연구되었다. FDG 이외의 종양 영상으로는 유방암에서 MIBI 스캔, 뇌종양에서  $^{11}\text{C}$ -methionine PET 등이 연구주제로 다루어졌고 2000년대 말에는 FDG를 이용한 PEM(양전자유방촬영술)이나  $^{11}\text{C}$ -acetate를 이용한 간암, 폐암 영상 등도 연구되었다. 갑상선암도 상대적 비중은 줄었으나 꾸준히 이어진 연구주제로서 FDG PET,  $^{131}\text{I}$  스캔과 혈청 갑상선글로블린 간의 상호관계 등이 주 관심사였다. 방사성동위원소 치료는 중심은 아니었지만 이 시기 꾸준히 모색된 연구주제였다. 2000년대 초중반, 갑상선암에서는 최대한 전용량을 이용한 치료나 레티노이드를 병합한 치료가 시도되었고  $^{188}\text{Re}$  발생기 공급과 더불어  $^{188}\text{Re}$ -HDD가 개발되어 이를 이용한 간암치료도 다국적 임상연구로 시도되었다. 2000년대 말에는  $^{90}\text{Y}$ -microsphere가 업체 주도의 임상연구로 수행되었다.

2000년대 임상 심장핵의학 연구는 심근관류 SPECT 정량분석법의 정착과 더불어 다양한 질환에서 이를 이용한 활발한 임상연구가 이루어졌으나 2000년대 말로 가면서 점차 연구의 중심에서 벗어나게 되었고, 심근관류 PET 및 심장분자영상이 대안으로 모색되고 있다. 2000년대 초반에는 심근 SPECT 분석방법론과 임상유효성이 주 연구주제로서, 감쇠보정 영상의 효용, 자동정량 소프트웨어에 대한 재연성 평가 및 임상지표 설정, SPECT를 이용한 진단의 예후 예측능, 비용-효과분석 등이 연구되었다. 또한 심근생존능 평가가 주요 주제였는데, FDG PET을 이용한 연구도 있었으나 주로는  $^{201}\text{Tl}$  지연스캔을 이용한 심근생존능 평가에 대해 지속적인 연구가 이루어졌다. 임상 과에서 SPECT를 주요 평가 수단으로 받아들여, 흉부외과에서는 CABG 수술법 비교평가에, 내과에서는 줄기세포 치료 효과 평가에 이를 이용하여 여러 연구 결과를 내었다. 이와 관련해 FDG로 표지한 줄기세포를 주입하고 전신 분포를 평가하는 의미 있는 연구도 이루어졌다.

2000년대 임상 신경핵의학 연구는 HMPAO SPECT와 FDG PET이 중심으로 이전과 크게 달라지지 않았으나 SPM(statistical parametric mapping) 및 SPAM(statistical probabilistic anatomical mapping) 도입과 더불어 응용의 획기적 확대가 이루어졌고, 이의 연장선에서 개발된 한국인 뇌지도를 이용한 임상 연구도 있었다. 간질은 가장 많이 연구된 분야로서 측두엽, 신피질, 소아 간질 등 여러 세부유형에서 발작기 SPECT와 PET에 대한 진단성적이 연구되었고, SPM과 SPAM을 영상분석에 이용한 간질 진단도 다양하게 시도되었다. 이외에 SPM의 도입으로 인해 정신과 질환에서 SPECT나 PET을 이용해 질환을 평가하거나 기타 신경학적 질환 및 메커니즘을 밝히는 연구가 이루어졌는데, 강박증, ADHD, 가성치매, 알츠하이머 치매, 전측두엽 치매 등의 SPECT나 PET이 연구대상이 되었다. 특히 인공와우 이식 청각장애 환자에서 FDG PET을 이용한 뇌가소성 연구는 Nature지에 게재되었고 이를 이어 피질시각장애에서도 유

사한 연구가 수행되었다. 뇌혈관질환에서 SPECT는 꾸준히 이어진 연구주제였다. 모야모야병이나 경동맥 협착의 수술 전후 평가에서 주요한 임상 수단으로 이용되면서 유효성이 꾸준히 재평가되었고, 특히 이러한 경우에도 SPM과 SPAM을 적용한 연구가 이루어졌다.

핵의학의 전반적 추세를 반영하여 임상 일반핵의학 연구는 크게 줄었다. 무릎에 대한 뼈관절 SPECT, 림프관확장증에 대한 림프신티그라피, 복합부위통증증후군에 대한 뼈스캔 등의 진단법이 간헐적으로 연구주제로 등장하였고 치료법으로는 colloid를 이용한 활액막절제술이 2000년대 초반 잠시 시도되었다.

## 라. 핵의학 임상연구: 2010년대

2010년대의 임상연구는 보다 세분화되고 여러 임상분야와의 협업을 통한 보다 폭넓은 연구가 진행되었다. 새로운 진단용 방사성의약품 기반의 연구뿐만 아니라, 핵의학 치료에 대한 연구로 확대되었고, 그에 따라 방사성의약품 신약개발 임상시험 등이 진행되기 시작하였다. 갑상선암 분야 연구에서 정준기 교수가 지속적으로 중심적 역할을 수행해왔고, 이동수 교수는 임상 신경 핵의학 관련 연구를 진행하였다. 천기정 교수는 임상 분과와의 협업을 통한 다학제 연구 및 핵의학 치료를 위한 임상시험을 주도하였으며 팽진철 교수는 심장 및 순환기 핵의학 연구를 주도하며 종양 핵의학 관련 연구도 다수 진행하였다. 한편, 분당병원에서는, 김상은 교수의 신약개발 및 분자영상 관련 연구, 이원우 교수의 심장 핵의학 연구, 이호영 교수의 다학제간 임상 연구를 추진하면서 독자적인 새로운 연구가 진행되었다. 최근에는 임상 및 기초 분야의 벽이 허물어지면서 다양한 중개연구가 시도되며, 인공지능이 접목된 핵의학 임상 연구 및 정밀의료와 관련된 연구들도 다수 진행되고 있다.

### (1) 임상 종양핵의학

2010년대에는 FDG PET의 유용성과 관련된 연구가 지속되었는데, 보다 세분화되고 정량화된 기법들이 다수 활용되었다. FDG PET의 임상적 유용성을 위한 새로운 측정치로서 대사적체적이나 전체 해당량 (total glycolysis) 등을 측정, 3차원 기반의 파라미터 획득이 쉬워지며 임상적 유용성 연구가 다수 진행되었다. 이후, 종양의 디지털화 된 복셀 기반의 연구가 2010년대에 진행되어 Radiomics라는 이름으로 핵의학 영상 기반의 빅데이터 분석의 시작을 알렸다. 한편, 2010년대에는 융합영상 연구가 활발히 이루어졌는데, 대표적인 것이 PET/MR 도입으로 인한 융합연구이다. 기존 여러 PET용 방사성의약품 영상과 MR 영상기법들을 접목하여 임상적 유용성을 찾고자 하는 연구가 다수 진행되었다.  $^{11}\text{C}$ -methionine PET의 섭취정도와 MR에서 얻는 확산영상 파라미터를 통합하여 보다 우수한 감별능력을 보이는 연구 등이 대표적이다. 또

한, 종양 분야 연구가 점차 유전체 기반의 연구로 정밀의료 기술로 이어지면서, 종양 유전자 프로파일에 따른 FDG의 섭취 패턴과 같은 연구들이 다수 진행되었다. 이러한 연구는 2010년대 후반 이후에는 유전자 패널의 확대, NGS 수가 도입 및 오믹스기반의 종양치료가 급격히 증가하고, 암면역치료가 폭발적으로 증가하면서 FDG PET을 비롯한 핵의학 영상, 치료의 역할 재정립과 관련된 연구가 진행되고 있다.

2010년대 후반에 이르러서 가장 큰 변화는 핵의학 치료와 관련된 연구가 전세계적으로 큰 관심을 갖기 시작한 점이다. 특히 신경내분비 종양 및 거세저항성 전립선암에서 테라노스틱스가 또 다른 획기적인 암 치료로서 자리잡으면서, 국내 도입과 연구가 시급해지게 되었다. 국내에서는 다국적제약회사 기반의 치료적 방사성의약품 도입을 위해 힘쓰면서, 동시에 신약개발 임상연구를 진행하기 시작하였다. 그 결과, 2019년에는  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE는 국내 신약으로 임상 시험 승인을 받고 치료적 목적 활용이 가능해지게 되었다.

FDG이외의 종양 영상 연구 역시 활발히 진행되었고, 2010년대 초반에는 신생혈관 연구가 활발히 이루어져  $^{68}\text{Ga}$ -RGD를 활용한 유방암에서의 특성 연구 등이 진행되었다. 그 외에도  $^{11}\text{C}$ -methionine도 여전히 활발하게 쓰이면서, 소아 종양에서의 감별 연구 등이 진행되었고,  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA-TOC,  $^{18}\text{F}$ -choline 등도 종양 영상 연구에 활용되었다.

갑상선암의 방사성요오드 치료와 관련된 연구는 이전보다 감소하였으나, 갑상선암의 유전자 변이 기반의 예후 연구 및 FDG PET, Iodine imaging의 통합 연구, SPECT/CT의 활용 연구 등이 진행되었다. 또한, 갑상선암의 재분화 치료를 통한 방사성요오드치료 연구가 이어졌고, 특히 핵의학 교실에서는 Retinoic acid를 통한 재분화치료의 임상연구 및 진료 활용이 있었다. 재조합 인간 갑상선호르몬을 방사성요오드 치료와 함께 사용할 수 있게 되면서 이에 대한 치료 효과 등의 연구도 활발히 이어졌다.

## (2) 임상 심장핵의학

2010년대 임상 심장핵의학 연구는 SPECT에서 보다 다변화되었다. 특히, 심근관류 뿐만 아니라, 점차 만성 심부전 및 동맥경화 단계에서의 예방적 치료 흐름으로 변화하면서 연구 주제 역시 발맞춰 변하게 되었다. 관류 영상은  $^{13}\text{N}$ -ammonia가 사이클로트론을 통해 생산이 가능해지면서, 이를 활용한 다양한 연구가 진행되었다. 특히, 관상동맥 질환에서의 혈류역학의 중요성이 점차 대두되면서  $^{13}\text{N}$ -ammonia PET을 비롯한 정량적 관류의 중요성이 부각되었고, 순환기내과와의 협업으로 심장 혈관의 기능적 연구를 다수 수행하였다. 관상동맥질환에서 분획혈류예비량(FFR)이 주요한 기능적 지표로 대두되면서 SPECT 또는 PET에서 구현된 혈류예비량(CFR)의 생리적 의의에 대한 중요성이 높아졌다. 또한, SPECT에 있어서도, 기존보다 훨씬 민감도가

높은 CZT SPECT가 도입되면서 임상적 유용성에 대한 연구가 진행되었다.

심장핵의학에서도 분자영상 기반의 다양한 질병에 대한 임상연구가 2010년대에는 진행되었다. 특히, 치매 영상에서 활용하던 아밀로이드 PET을 심장 아밀로이드증 영상에도 활용, 진단적 가치를 다루는 연구를 시행하였다. 2010년대 초반에는 심장핵의학 분야에서도 RGD를 활용한 관상동맥질환에서의 신생혈관 영상 등의 연구가 진행되기도 하였다. 또한, 혈관의 동맥경화반에 대한 염증을 영상화 하는 연구가 2010년대에 활발하게 이어져 FDG나 NaF,  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA-TOC, RGD 등이 이러한 기능적 분자영상 연구에 활용되었다. 최근에는 염증 영상 등이 순환기 영상에 활용되어,  $^{68}\text{Ga}$ -MSA 등을 통한 대식세포 영상으로 혈관 염증을 영상화 하거나 폐동맥 고혈압에 대한 바이오마커 연구가 진행된 바 있으며, 점차 분자영상의 활용범위가 넓어지고 있다.

### (3) 임상 신경핵의학

2010년대 임상 신경핵의학 연구는 크게 신경퇴행성질환연구, 새로운 방사성의약품을 통한 연구 및 PET/MR과 같은 융합연구가 주도하였다. 특히, 신경퇴행성질환 연구는 Amyloid PET을 필두로 하여 2010년대 초반 활발한 치매 관련 연구가 이어졌다.  $^{11}\text{C}$ -PIB는 임상적 활용이 용이한  $^{18}\text{F}$ -florbetaben을 포함한 다양한  $^{18}\text{F}$  기반 amyloid PET으로 이어졌고, 임상적 유용성이 입증되어 진료에 활용될 수 있는 단계에 이르렀다. 치매와 관련된 아밀로이드 타겟 면역치료들의 다국적 임상시험이 실패하면서 2010년대 중반부터는 amyloid PET에서 Tau PET으로 연구들이 전세계적으로 흐름이 바뀌기 시작하였고, Flortaucipir를 비롯한 여러 Tau PET 방사성의약품들이 현재도 활발히 연구되고 있다. 파킨슨증 영상과 관련하여서는  $^{18}\text{F}$ -FP-CIT PET 및  $^{123}\text{I}$ -FP-CIT SPECT가 꾸준히 증가하였고, 파킨슨증의 진단에 큰 영향을 미치고 있다. 또한, TSPO를 통한 신경퇴행성질환을 비롯한 다양한 뇌질환에서의 염증 영상이 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 분당서울대학교병원에서는 새로운  $^{18}\text{F}$  기반의 TSPO 방사성의약품을 개발하고 임상에 활용하기 위해 현재까지도 연구를 활발하게 이어오고 있다.

2010년대 중반에는 PET/MR의 도입과 함께 PET의 영상 정보와 MR의 영상 정보를 융합하는 연구가 이어졌다. 초기에는 감쇠보정과 같은 기술적인 문제와 관련된 연구들이 많았으며, 이후에는 FP-CIT의 저하와 연관된 구조적 변화 등을 분석하는 융합영상 기반 연구들이 발표되었다. 2010년대 후반에는 핵의학 뇌영상분야에 인공지능을 통한 연구가 활발하게 접목되었다. 특히 Amyloid 및 FDG PET을 통해 경도인지장애환자의 인지적 기능 예후를 예측하는 연구나, 영상 패턴으로부터 수치화된 이상정도를 평가하는 연구 등이 활발하게 진행되었다. 최근에는 뇌영상의 획득부터 정량분석, 그리고 임상적 평가까지 이미지와 관련된 모든 분야에 인공지능이 접목되고 있다.

#### (4) 기타 임상 핵의학

2010년대에 이르러서는 기타 임상 핵의학의 연구는 많이 감소하였다. SPECT/CT의 활용이 증가하면서 일부 염증영상이나 근골격계 질환에서의 SPECT/CT의 유용성 관련 연구가 진행되기도 하였다. FDG PET을 통한 말초신경질환연구나 기타 혈관염 등의 염증관련 연구가 이루어지기도 하였다. 비록 과거의 감마카메라 및 SPECT 기반의 양성질환 연구는 많이 감소하였으나, 분자영상 타겟 방사성의약품이 지속적으로 증가하면서 향후 다양한 적용 연구가 가능할 것이 기대된다.

#### 마. 핵의학 방사화학 연구

1979년  $^{99m}\text{Tc}$  제너레이터(generator)를 사용할 수 있게 되면서부터 핵의학 분야는 큰 부흥기를 맞게 되었다. 1980년대 기초연구도 주로  $^{99m}\text{Tc}$ 을 이용한 연구분야였다. 1982년 정재민이 핵의학교실에 참여하면서 임상에서 사용되는  $^{99m}\text{Tc}$  표지 방사성의약품에 대한 정도관리법에 관한 연구를 시작으로 방사성의약품을 포함한 방사화학에 관한 연구가 시작되었다.  $^{99m}\text{Tc}$ -MAG<sub>3</sub>,  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD 등을 합성 표지하여 *in vitro* 실험 및 동물에서의 영상화를 진행하였고, 이와 함께 방사성의약품의 전구물질합성 등에 관한 연구도 함께 진행되었다. 1990년에 정재민이 미국 NIH에서 연구를 하고 1993년에 귀국한 후에는  $^{99m}\text{Tc}$ -HMPAO와  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI를 키트화하는 기술을 동아제약에 기술이전하여 국산 방사성의약품 산업 진흥에 노력하였다.

1995년 사이클로트론의 도입으로  $^{11}\text{C}$  및  $^{18}\text{F}$ 의 생산이 가능하게 되어 다양한 화합물에 대한 합성법 연구와 새로운 방사성의약품의 개발이 가능하였다. 사이클로트론 도입 초기 [ $^{18}\text{F}$ ]FDG의 생산법을 확립하였고, 이를 바탕으로  $^{18}\text{F}$  화학에 대한 기술을 축적하여 간질환자의 뇌영상 연구를 위한 [ $^{18}\text{F}$ ]fluoroethylflumazenil 등을 포함한 수많은 새로운  $^{18}\text{F}$  표지화합물을 개발하였다. 최근에는 알츠하이머성 치매 진단을 위한  $^{18}\text{F}$  표지화합물을 개발하였다. 2003년 [ $^{11}\text{C}$ ]methionine 합성법을 확립하고, 이를 위한 자동합성장치를 개발하였다. 이를 [ $^{11}\text{C}$ ]PIB, [ $^{11}\text{C}$ ]Raclopride, [ $^{11}\text{C}$ ]ABP688, [ $^{11}\text{C}$ ]SCH23390 등의 다양한  $^{11}\text{C}$  표지 방사성의약품의 합성법을 확립하여 여러 임상 연구에 쓰이고 있다. 1996년부터 시작된  $^{188}\text{Re}$ 에 대한 연구는 진단용 방사성의약품이 대부분을 차지하던 핵의학 현장에 치료용 방사성동위원소를 도입하기 위한 노력이었다.  $^{188}\text{Re}$ 은 제너레이터에서 용출하여 사용이 가능한 치료용 방사성동위원소로  $^{99m}\text{Tc}$ 과 주기율표상에 같은 족에 위치하여 기존에  $^{99m}\text{Tc}$ 의 표지에 이용되던 킬레이트제에 바로 적용하여 연구가 진행되었다.  $^{188}\text{Re}$ 은 치료용인 베타선과 함께 진단용으로 사용이 가능한 감마선을 동시에 방출하기 때문에 체내의 분포를 직접 영상으로 확인할 수 있다는 장점이 있다.  $^{188}\text{Re}$ -HEDP를 이용한 뼈전이암의 고식치료,  $^{188}\text{Re}$ -DTPA를 이용한 관상동맥의 방사성동위원소 근접치료,  $^{188}\text{Re}$ -주석 콜

로이드를 이용한 류마티스성 관절염의 치료,  $^{188}\text{Re-HDD/lipiodol}$ 을 이용한 간세포암의 치료 등을 연구하여 정재민교수가 방사성의약품 연구 분야에서 세계적으로 명성을 얻게 된 계기가 되었고,  $^{188}\text{Re-HDD/lipiodol}$ 의 경우에는 국제원자력기구의 협력으로 세계 11개국의 다기관임상 시험을 통하여 간세포암에서의 높은 치료효과를 입증하였으나 국정감사에서 한 국회의원의 문제제기에 의하여 현실화의 큰 벽에 부딪혔다.  $^{188}\text{Re}$  방사성의약품의 임상적용이 병원 내 연구윤리심의위원회의 승인을 받아 시행되었더라도 식품의약품안전청의 승인을 받지 않았다는 점이 문제가 되어 기존  $^{188}\text{Re}$  방사성의약품의 임상적용뿐 아니라 향후 계획되었던 모든 계획도 취소되었다. 이후 모든 방사성의약품, 특히 치료용 방사성의약품 임상적용은 일반 의약품과 마찬가지로 식품의약품안전청의 승인을 받도록 2001년 약사법이 개정되어 방사성의약품의 개발이 어렵게 되었다. 이 후 치료용 방사성의약품에 대한 연구는 한동안 미뤄지고 있다가 최근  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  등의 방사성동위원소를 이용한 방사성의약품 개발이 연구 중에 있다. 이러한 일련의 경험을 바탕으로 대한핵의학회 내 방사성의약품위원회가 가칭 ‘방사성의약품특별법’ 제정을 추진하였으나, 과학기술부와 보건복지부, 식품의약품안전청의 이해가 달라 무산되기도 하였다.

2005년부터 시작된  $^{68}\text{Ga}$  방사성동위원소에 대한 연구는 PET용 방사성의약품의 다른 방향을 제시하였다. 기존의 PET용 방사성의약품은 주로 사이클로트론이 설치된 장소에서 복잡한 표지 실험을 통하여 생산되고 있었는데,  $^{68}\text{Ga}$ 은 제너레이터에서 용출하여 키트에 섞어주기만 하는 간단한 조작방법으로도 생산이 가능하여 사이클로트론이 없거나 충분한 연구기반시설 확보가 어려운 장소에서도 쉽게 PET용 방사성의약품을 생산, 사용할 수 있는 길이 되었다.  $^{68}\text{Ga}$ 은 양전자를 방출하고, 반감기가 68분으로 짧아 진단용 방사성동위원소로서 장점을 가지고 있으며, 제너레이터의 모핵종인  $^{68}\text{Ge}$ 의 반감기가 271일로, 1년 가까이 사용이 가능하여 경제적인 방사성동위원소라 할 수 있다. 많은 연구를 통하여 신생혈관형성 과정을 영상화할 수 있는  $^{68}\text{Ga-RGD}$ 를 개발하였고, 심근관류 PET 제제인 BAPEN을 키트로 개발하여 임상 활용도를 높였으며, 체내 대식세포를 영상화할 수 있는  $^{68}\text{Ga-MSA}$ 를 개발하여 현재 심혈관영상 임상연구를 진행하고 있다.

2006년경 시작된 나노입자의 방사성동위원소 표지를 통한 생체내분포 실험 등의 경험을 바탕으로 현재 교내외의 여러 연구팀과 협력을 통하여 방사성동위원소 표지 나노입자의 개발에 참여하고 있으며, 이를 이용한 다양한 다중영상용 프로브를 개발하고 있다. 정재민 교수에 의해 개발된 나노입자의 새로운 친수화법은 다양한 나노입자의 친수화에 사용되고 있으며, 친수화 후에도 일정한 크기의 나노입자를 유지하는 것이 가능하여 앞으로 개발될 나노의약품 개발을 가속화할 것으로 기대된다. 또한 이운상 교수는 2017년부터 나노관련 국제표준화기구인 ISO TC229 나노기술 분야에서 나노물질의 방사성동위원소 표지에 대한 국제표준문서 작업을 주도하고 있으며, 향후 국제표준으로 제정되어 나노의학분야에서 활용될 것으로 보인다.



2011년 개원한 서울대학교암병원 내 중앙영상센터에 새로운 사이클로트론이 설치되어 다양한 PET용 방사성의약품이 임상에 활용될 수 있게 되었고, 방사성의약품 제조 및 품질관리기준(GMP)에 부합하는 시설과 인력, 장비를 갖추고 2017년부터 GMP 적합시설을 운영하고 있다. 2020년 현재 서울대학교병원 사이클로트론연구실에서 생산가능한 방사성의약품은 허가품목 2종, 조제실제제 9종, 연구용제제 28종 등으로 임상진료와 연구에 다양하게 활용되고 있다.

한편 화학팀에서 자체 개발된 방사성의약품의 산업화에도 힘쓰고 있으며, 정재민교수가 개발한  $^{68}\text{Ga}$ -MSA,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MSA,  $^{68}\text{Ga}$ -NOTA-GUL,  $^{177}\text{Lu}$ -DOTA-GUL 등은 방사성의약품 전문기업인 (주)셀비온에 기술이전되어 임상시험 중이다. 이러한 산업화 노력으로 머지않아 우리 기술로 자체개발한 방사성의약품을 활용한 진단과 치료가 핵의학 현장에서 이루어질 것으로 예상된다.

### 레늄( $^{188}\text{Re}$ ) 표지 방사성의약품 개발 이야기

정재민

레늄-188은 반감기 17시간인 베타 핵종(2.11 MeV)으로서 15%의 감마선(155 keV)도 내기 때문에 치료용이면서 동시에 체내 분포를 영상으로도 볼 수 있다. 또,  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ -제너레이터에서 생산할 수 있기 때문에 잘 사용하면 병원에서 매우 경제적으로 사용할 수 있다. 그래서 1996년 국내 최초로  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ -제너레이터를 도입하여 새로운 방사성의약품을 개발하기 시작하였다.

세계 최초로  $^{188}\text{Re}$ -주석 콜로이드를 개발하였는데 내과 송영욱 교수와 병원 IRB를 통과하고 약 20명의 류마티스 관절염 환자의 무릎에 투여하여 치료 효과를 검증하여 보았다. 그래서 좋은 결과가 나왔지만 김홍신 국회의원이 식약처 허가 없이 투여하였다고 문제를 삼는 바람에 중단되고 말았다.

세계 최초로 간동맥으로 투여하여 간암을 치료할 수 있는  $^{188}\text{Re}$ -HDD/리포솜을 개발하였으나 국내에서는 사용하지 못하였다. IAEA의 Ajit Padhy 박사의 주도로 국제 임상연구 과제를 만들어 우리 병원에서  $^{188}\text{Re}$ -HDD/리포솜을 표지할 수 있는 키트를 만들어 공급하였다. 이 과제에는 한국, 베트남, 인도, 싱가포르, 말레이시아, 콜롬비아, 몽골, 중국, 필리핀, 태국 등 10여 개국이 참여하여 간암 환자를 치료하였는데 좋은 효과를 보았다. IAEA와는 별도로 벨기에에서 키트를 보내달라고 해서 보내줬더니 환자에 사용하여 좋은 효과를 보았다. 그래서 인도에서 본격적으로 간암 환자를 치료할 계획을 세웠으나 Ajit Padhy 박사가 타계하면서 계속 진행되지 못하고 중단되고 말았다.

뼈전이 통증 치료제인  $^{188}\text{Re}$ -HEDP를 개발하여 원자력의학원에서 말기 뼈전이암 환자 3명에 투여하여 좋은 효과를 확인하였으나 연구는 계속되지 못하였다. 먼저 개발한  $^{188}\text{Re}$ -주석 콜로이드를 피부암 치료와 복강내 전이암 치료용으로 사용할 수 있는지 동물실험을 하여 좋은 결과를 얻었으나 역시 임상적인 사용은 하지 못했다.

국내 최초로  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ -제너레이터를 도입하여 열심히 새로운 방사성의약품을 개발하였으나 국내 제품 허가를 받지 못하고 그냥 연구로만 끝나서 아쉬움이 남는다. 우리나라의 제약 산업이 충분한 수준에 오르지 못했기 때문인 것 같다. 이제는 여건이 나아지고 있어 여러 가지 방사성의약품의 제품화가 성공할 수 있을 것 같다.

## 바. 핵의학 생물학 연구

### (1) 종양핵의학

종양핵의학 연구는 1985년 암연구소에 참여하며 시작되었는데, 초창기에는 정준기 교수를 중심으로 항체를 이용한 영상법 개발과 GLUT-1과 연관된 FDG 섭취 기전 연구를 통한 PET영상의 개발에 중점을 두었다. 이후 종양영상 연구는 분자생물학의 놀라운 발전과 더불어 유전자 조작 리포터 유전자를 이용한 영상법이라는 새로운 시대가 도래 하였고 이에 따라 종양생물학 영상팀도 복합적인 리포터 유전자를 이용한 분자영상법 연구로 방향이 전환하였다.

2000년대 들어 분자영상을 이용한 종양진단 및 치료를 위한 영상 개발에 본격적으로 집중하게 되었고, 리포터 유전자 이입을 통한 소동물 종양모델을 확립하여 종양치료의 효과를 영상화할 수 있는 다양한 방법을 개발하는 데 선도적 위치를 차지하게 되었다. 광학적으로서는 형광단백질과 생물발광효소를 이용한 분자영상법을 개발하였고 핵의학적 영상으로는 갑상선세포막에 존재하는 sodium/iodide symporter (NIS) 유전자를 이용한 분자영상 및 방사성핵종 유전자 치료법 개발에 연구를 집중하였다. 또한 새로운 분자영상용 리포터 유전자로서 광학영상과 핵의학영상을 동시에 가능하게 하는 다양한 리포터 유전자 복합체를 개발하였다. 이는 세포수준뿐 아니라 소동물 수준에서도 동시에 종양의 영상을 가능케 하여 *in vitro*와 *in vivo*의 영상을 연결하는 종양생물학 연구의 기반이 되었다. 또한 NIS를 이용한 방사성핵종 유전자치료의 한계점을 극복하고자 TPO 유전자 주입, p53 유전자 주입 등을 이용하여 방사성핵종 축적을 증진시키거나 retinoic acid 등 NIS 발현 촉진제 및 NIS 활성 증진 약제들의 복합 적용을 통한 항암치료효과를 증진하는 연구 등을 수행하였다. 이러한 연구성과를 바탕으로 정준기 교수는 NIS 분자영상뿐 아니라 리포터 유전자 이용 소동물 영상에서 국제적으로 높은 위상을 갖게 되었다. 또, 종양치료 효과 강화를 위한 암 특이적 유전자 표적 치료법 개발, DNA 백신 등을 이용한 종양 면역치료, NIS를 이용한 방사성 핵종치료 병합 항암치료 등으로 종양핵의학 연구토대를 굳건히 하였다.

윤혜원 교수 부임 이후에도 NIS를 이용한 다양한 종양표적 치료 연구는 계속되었는데, 갑상선암 방사성요오드치료의 심각한 부작용인 침샘 손상 완화를 목표로 역가 높은 NIS 유전자의

siRNA를 이용한 치료법개발, 방사선 민감도를 증진시키는 유전자치료제 (브로모도메인) 병합으로 NIS를 이용한 유전자치료 효과 증진 연구, NIS유전자 엔지니어링을 통한 진단치료용 최적화 합성유전자 (oNIS)를 개발하여 유전자치료에 도입하였다. 또한 oNIS를 이용한 다양한 유전자/세포치료제(면역, 줄기세포 등)의 생체분포, 안전성 및 유효성 평가에 핵의학 영상을 활용하는 연구도 시도되었다. 최근들어 종양연구에서 종양미세환경 내에서의 다양한 세포들(면역세포, 섬유아세포 등)의 상호작용을 규명하는 것에 대한 관심이 커지면서, 섬유아세포표적 FAPi를 이용한 방사성 동위원소 치료를 통한 종양 미세환경의 변화와 이에 관여하는 엑소좀의 역할을 이용해 표적치료항체, 면역관문억제제 치료법과 핵의학치료를 병합하는 연구도 수행하고 있다. 또한 FDG PET의 기본원리가 되는 FDG 인산화에 미치는 GLUT와 hexokinase 및 다양한 미토콘드리아 단백질(TSPO, VDAC, ANTs)들의 역할에 관한 연구는 2020년 이철희 연구교수의 부임과 함께 활성화 되었고, 염증의 마커로서 TSPO (or PBR) 을 표적화하는 프로브의 개발 및 검증에 관한 연구도 분당 방사화학팀 이병철 교수와 함께 수행하고 있다.

2012년 천기정 교수가 부임하면서 임상이행연구로서 종양핵의학 기초연구가 진행되었고, 방사 화학팀과의 공동연구를 통하여  $^{68}\text{Ga}$ -MSA,  $^{18}\text{F}$ -FEDAC 등을 이용한 대식세포의 체내분포를 영상화하고, 서울대 수의대와 공동 연구를 통해 대사질환 관련 대식세포 및 다양한 지방세포의 역할에 관한 기초연구를 수행하고 있다. 또한  $^{68}\text{Ga}$ -NOTA-GUL,  $^{177}\text{Lu}$ -DOTA-GUL 등을 이용한 전립선 암의 진단치료와 섬유아세포를 표적하는 FAPi를 이용한 종양진단에 관한 임상이행 연구도 진행되고 있다. 2019년 이후 팽진철, 최홍운 교수의 합류하면서 핵의학영상을 이용한 면역관문억제제의 치료효과 예측과 radiogenomics 및 인공지능을 이용한 영상바이오마커 발굴 등 종양핵의학 기초연구도 활발히 수행하고 있다.

## (2) 뇌과학

2002년 이동수 교수 주도로 분자생물학을 기반으로 한 생체분자영상 연구가 시작되었으며, 주로 뇌 분야에 초점을 두어 다양한 생물학적 현상을 특정 영상 탐침자를 이용하여 영상으로 평가하는 연구가 시작되었다. 뇌과학팀이라는 소속 하에 처음으로 시도된 연구는 뇌졸중 쥐 모델에서 인간유래 신경줄기세포의 이동 경로를 핵의학적인 방법을 통하여 평가하는 연구를 시작으로 본격적인 연구를 착수하였고, 이를 바탕으로 본격적으로 이식된 줄기세포의 신경세포 분화과정을 영상으로 평가하는 시스템을 개발하였고, 조직특이적인 프로모터의 약한 활성도를 증가시키기 위해 TSTA (two step transcriptional amplification) 방법을 도입하여 광학 활성을 100배 이상 증폭시킴으로써 고민감도의 광학영상을 분화과정 동안 획득할 수 있었다.

신경세포 분화관련 연구는 2010년 황도원 박사의 연구교수 보강으로 다양한 miRNA, ncRNA

의 기능과 관련된 뇌질환 치료제 개발에 관한 연구로 확장되게 되었고, 2012년 최유리 연구교수의 부임과 더불어 퇴행성신경질환과 신경발달장애에 대해 관심을 가지고, 퇴행성신경질환인 알츠하이머병 형질전환 동물모델을 확립하여 영상기반 뇌연결성 분석, 약물에 의한 인지기능 변화, 집중초음파에 의한 뇌청소 기전 연구들이 진행되고 있다. 또한 파킨슨병 동물모델을 제작하여 뇌연결성분석 및 엑소좀에 의한 신경세포 보호 효과를 확인하였다. 특히 miRNA와 long noncoding RNA 등의 새로운 기능이 보고되면서 신경질환관 관련된 역할 및 후성전사체에 대한 연구를 진행하고 있다. 발달장애의 경우 ADHD와 자폐증에 대한 동물모델을 활용하여 인지탐과 함께 영상기반 뇌연결성 분석과 약물에 의한 행동 변화 평가, 그에 따른 뇌연결성 변화가 반영되는지 확인함으로써 정신병의 진단연구에 활용할 수 있게 되었다. 특히 단일세포 전사체 분석 연구가 발달하면서 질병 동물모델 또는 치료에 의한 뇌 변화를 이해하는 도구로 활용하게 되었다. 이러한 단일세포 분석을 통해 뇌의 기능 및 질병 상태에서의 변화를 이해하므로 진단 및 치료제 표적을 제안하고자 하는 연구를 수행하고 있다.

### (3) 나노의학

나노의학 연구는 2005년경 이동수 교수의 뇌질환치료 효과를 극대화하기 위한 줄기세포/지지체 복합체 이식술에 대한 연구에서부터 시작되었는데 다양한 나노파이버 생체적합성 지지체 (biocompatible scaffold)를 이용하여 생체내에서 신경줄기세포 및 중간엽줄기세포의 생존, 증식을 영상으로 평가하였다.

2010년 황도원 교수의 부임과 함께, 형광/발광/핵영상/MR영상을 하나의 nanoparticle에서 구현할 수 있는 multimodal nanoparticle을 이용하여 암 추적에 위한 연구를 진행했었고, 나아가 암 특이적인 aptamer나 peptide를 nanoparticle에 conjugation하여 systemic한 injection방법을 통해 다양한 imaging modality를 이용한 암표적 영상연구를 진행하였다. 최근에는 small RNA중 하나인 miRNA생산 및 작용을 평가하는 영상방법을 개발하였고 이에 대한 review논문도 작성한바 있다. 또한, 뇌질환 특이적인 miRNA를 이용하여 뇌질환치료제를 개발하고 이를 영상으로 평가하기 위해 miRNA 및 siRNA를 nanoparticle을 이용하여 뇌에 전달하는 시스템을 개발 중이다.

최근 산화그래핀 신소재를 활용하여 뇌조직에서 발현하는 RNA발현양을 신속하고 간편하게 검출할 수 있는 G-FISH기술을 개발하였다. 그래핀 소재의 형광 소광 특성을 이용하고 단일 RNA가닥의 높은 친화력 특성을 활용하여 관심 RNA양을 측정하는 기술이다. 이를 통해 뇌조직절편 수준에서 특정 관심 RNA의 양을 microscopic 수준에서 형광 영상으로 확인함으로써 향후 특정 질환 관련 RNA 바이오마커양을 측정하여 기초연구 및 진단용으로 활용되기를 기대



한다. 또한, 최근 대부분 세포에서 분비하는 엑소좀과 같은 세포의 소포체의 의생명 응용 가능성이 대두되면서, 엑소좀을 약물전달체나 치료제 자체로 활용하려 시도하고 있다. 또한, 특수제작된 미세유체칩을 기반으로 세포간 엑소좀의 이동을 형광 모니터링 하여 타겟세포로의 전달을 직접 눈으로 확인할 수 있고, 타겟세포의 기능변화를 바로 측정할 수 있는 기술을 개발하여 나노센싱 관련 저널에 게재하였다. 특히, 표적약물 전달체로 활용되기 위해서는 엑소좀의 시간별 체내 분포, 잔류량, 배설경로를 파악하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 본 연구실에서는 처음으로 엑소좀 내부에 방사성핵종을 표지하여 체내에서의 엑소좀 분포 및 배설경로를 관찰함으로써 향후 엑소좀 치료제 개발을 위한 기술로 활용될 수 있는 가능성을 마련하였다.

체내에 투여된 엑소좀의 거동을 모니터링 하고 전신 분포를 빠르게 파악하여 엑소좀 전달체의 표적장기 또는 병변부위 도달 가능성을 예측하는 용도로 사용할 목적이다. 이와 같이 본 연구실에서는 분자영상기술을 활용하여 관심 질환을 손쉽게 진단할 수 있는 차세대 범용 신기술 개발뿐만 아니라 부작용을 줄이고 치료 효율을 극대화할 수 있는 소포체 기반 나노표적치료제를 개발 중이다.

또한 2007년 강건욱 교수의 부임 이후 표적화된 생체적합형 나노 물질을 이용한 분자영상법의 개발 연구도 본격적으로 진행되었는데, 2015년 송명근 연구교수, 2018년 김영화 연구교수 등의 연구진 보강과 더불어 방사성 물질 혹은 항체가 표지된 생체적합형 나노 물질을 이용한 분자영상법 개발 연구와 그 밖에 나노 물질을 활용한 다양한 암 표적화 영상 및 진단 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 융합학문으로서의 핵의학, 분자영상의 중요성이 강조되기 시작하면서 의학뿐 아니라 생물학, 생화학, 약학, 화학, 물리 및 재료공학 등과 같은 다양한 분야의 연구와 분자영상 기술의 접목을 위한 노력도 진행 되었다. 이러한 시도의 일환으로 본 연구실 외의 학계와 산업체의 다양한 연구자들과의 협력연구를 통하여 타 분야의 기술을 도입하여 중앙 분자영상의 개발에 적용하고 있으며 이를 통하여 핵의학 분자영상의 적용범위 또한 다양하게 넓히는데 기여하고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 다양한 나노플랫폼을 확립하여 임상적용의 토대를 마련하고 있으며, 2017년 이후 바이오의학을 연구하는 기초 과학자와 임상 의사, 바이오 벤처 기업 및 투자 회사가 모두 한자리에 참여하여 최신 의학 연구 관련한 공동연구, 기술 이전 및 투자의 토론장인 “나노메디신 쌀롱”을 주관하여 나노의학의 임상적용에 기여하고 있다.

#### (4) 테라노스틱스

최근 들어 진단과 치료를 겸하는 프로브의 개발을 기반으로 하는 핵의학 연구가 테라노스틱스의 한 분야로 각광받게 되었고, 다양한 질환 표적물질과 진단, 치료용 동위원소를 이용한 동반진단, 테라노스틱 프로브 및 치료법 개발이 시작되었다.

2006년경부터 이동수 교수의 주도로 생체 적합형 나노물질을 이용한 테라노스틱스 연구가 시작되어, 강건욱, 천기정 교수에 의해서 더욱 심도 깊은 연구가 이뤄져 왔고, 핵의학 방사화학연구팀과의 협력연구를 통하여 표적물질과 나노물질 및 진단 치료를 겸하는 방사성 동위원소를 이용한 테라노스틱 프로브의 개발을 통하여 본격화 되었다. 특히 2015년 무렵부터 알부민 기반의 다양한 테라노스틱 프로브를 개발하여 왔는데, 종양을 표적하는 RGD를 이용하여  $^{68}\text{Ga}$ -RGD, 대식세포를 표적화하는  $^{68}\text{Ga}$ -MSA, 전이성 전립선암을 표적하는  $^{68}\text{Ga}$ -NOTA-GUL,  $^{177}\text{Lu}$ -DOTA-GUL의 연구를 통해서 진단과 치료를 겸하는 테라노스틱 프로브의 임상적용을 위한 이행연구를 수행하고 있으며, 2019년에는 제 5회 Theranostics World Congress를 유치하여 국제적인 테라노스틱 연구의 리더로서 자리매김하고 있다.

또한 2008년 윤혜원 교수 부임이후 유전자 엔지니어링을 통한 테라노스틱 합성유전자 개발을 시작하게 되었고, 기존의 분자영상용리포터 유전자보다 10000배 이상 민감한 루시페레이즈 리포터 유전자를 도입하여 면역세포 및 줄기세포 추적을 위한 영상의 개발하고, 각종질환모델에서의 면역/줄기세포의 동태 파악을 위한 최적의 루시페레이즈 유전자발현 마우스도 제작하였다. 이 마우스는 면역세포 치료제의 유효성 및 동태를 파악하는 연구와 백신후보물질의 고속 스크리닝을 위한 생체 내 면역세포 동태파악에 적용하는 연구에 활용하고 있다. 나아가 리포터유전자 엔지니어링을 통한 진단과 치료를 위한 최적의 oNIS를 개발하여 2015년 국내외 특허를 획득하였다. 또한 암 특이적 miRNA 발현을 이용한 anti-microRNA 치료법개발을 위하여 분자영상을 통하여 Peptide Nucleic Acid (PNA)와 Locked Nucleic Acid (LNA) 와 같은 변형된 올리고를 사용하여 그 안정성과 효율성 증진을 영상화 하고 치료/진단용 프로브로서의 가능성제안하는 연구를 수행하였고, 최근에는 섬유아세포 (Cancer Associate Fibroblast)를 표적하는 FAPi (fibroblast activation protein inhibitor)를 이용한  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA-FAPi,  $^{177}\text{Lu}$ -DOTA-FAPi 의 진단, 치료효과 및 종양미세환경에 미치는 변화를 관찰하고 면역관문 억제제와의 병합을 통한 새로운 치료법 개발에 관한 연구를 진행 중이다.

## 사. 핵의학 물리학 연구

### (1) 핵물리 및 의공학 연구

80년대 초부터 구획모델을 이용한 신장기능 측정, 디컨볼루션 분석을 이용한 심장좌우단락의 정량적 평가 연구 등의 핵의학 물리 및 의공학 연구가 서울대병원 의공학과 민병구 교수팀과의 공동연구를 통해서 이루어졌다. 1982년는 감마프로브형태의 핵청진기를 개발하여 좌심실 기능평가에 활용하기도 하였으며, 1987년에는 골밀도 측정기 개발로 정부연구과제를 수주하기도 하였다. 이명철 교수가 사업기획 책임을 맡았던 보건복지부 G7 선도기술개발사업·의료공

학기술개발 사업에 의해 다목적 이동형 감마프루브 개발이 괄철은 교수 주도로 1995년부터 이루어진다.

1994년 PET과 사이클로트론이 도입되면서 더욱 활발한 물리 및 의공학 분야 연구가 시작되었다. 사이클로트론이 본격 가동되기 전에는  $^{82}\text{Rb}$  심근혈류 PET에 대한 정량화와 파라미터 영상에 대한 연구가 이루어졌으며, 이후에는  $^{15}\text{O}$  water를 이용한 심근혈류 정량화 연구가 이동수 교수의 지도로 활발하게 이루어졌다. 2001년도에 인자분석 및 독립분석법을(ICA) 이용한 좌심실 입력함수 추출연구가 JNM에 연이어 게재되었는데, 이재성 당시 박사과정생의 ICA 논문은 ICA 기법을 핵의학 영상에 적용한 세계 최초의 연구로 인정받고 있다. 또한, 다중선형최소자승법을 이용하여  $^{15}\text{O}$  water PET 데이터만을 이용한 최초의 심근혈류 파라미터 영상을 개발하기도 하였는데(JNM, 2005), 이동수 교수 연구팀은 이러한 업적을 인정받아 과학재단의 2005년 우수연구과제 50선에 선정되는 쾌거를 이룩하기도 하였다.

1990년대 당시 박사과정이던 김경민, 이병일을 주축으로 한 SPECT 연구 또한 이동수 교수의 지도로 활발하게 이루어졌는데, 영상 대 잡음을 고려한 Diamox SPECT 프로토콜 확립, 심근 SPECT와 토노메트리를 이용한 심근 수축능 평가기법 개발(JNC, 1999), 동적  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO를 이용한 뇌혈류 정량화 기법 개발 등의 주요 연구업적을 이룬다. 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한  $^{188}\text{Re}$  방사선의약품의 도시메트리 연구 또한 당시의 중요한 물리연구 주제였다(EJNM, 2000).

90년대 중반부터 활발하게 이루어진 서울대 핵의학과와 뇌 PET, SPECT 영상분석 연구는 우리나라 신경핵의학 및 뇌기능매핑 분야 발전에 큰 기여를 하였다. 이동수, 이재성 교수는 90년대 중반 이후 기능적 뇌영상 분석분야에 획기적인 발전을 가져온 SPM 기법을 도입하고, 자체적으로 한국인 표준뇌영상과 확률뇌지도 및 이를 이용한 뇌영상 정량화 기법을 개발하였으며, 이들을 전국적으로 보급하는 선구적인 역할을 하여, Nature, NeuroImage, HBM 등의 우수 저널에 많은 뇌기능매핑 관련 논문을 발표하였다. 인공지능회로망을 이용한 뇌 PET 자동진단(IEEE TMI, 2000), 뇌영상 정합 및 퓨전기법 개발 등도 당시의 중요한 연구 성과로 들 수 있다.

이명철 교수가 2002년 방사선응용생명과학 협동과정을 개설하여 대학원 교육이 수월해지고, 이재성 박사가 Johns Hopkins 대학에서 Dean Wong 교수와 Martin Pomper 교수의 지도로 포스트닥 연수를 한 후 2003년 귀국하여 물리 및 의공학연구팀을 맡게 되면서 물리연구 분야도 새로운 전기를 맞게 된다. 뇌수용체 PET에 대한 추적자동력학 기법을 도입하고, SK(주)에서 개발한 신약후보물질 YKP-1358에 대한 도파민 D2 수용체 점유율을 평가하여 신약 개발 및 약동학 연구에 PET을 본격적으로 사용하는 계기가 된다. 또한, 비가역적 결합을 하는 추적자 정량화를 위한 새로운 선형분석 기법인 MLAIR를 김수진 당시 박사과정생이 고안하여 이재성,

김유경 교수가 미국에서부터 고심하던  $^{11}\text{C}$ -MeNTI PET 정량화에 적용하였는데, 이는 25년간 표준 분석기법으로 쓰이던 Gjedde-Patlak 분석법 보다 그 결과가 훨씬 좋아 추적자 동력학 분야의 가장 권위 있는 저널인 JCBFM 표지논문으로 선정된다(2008).

2000년대 들어 분자영상 연구가 활발해짐에 따라 소동물영상에 대한 관심이 높아지는데, 소동물 PET에 대한 성능평가 기법을 도입하여 KIRAMS와 아산병원에 국내 최초로 도입된 소동물 PET 평가에 적용하고(JNM, 2007), 분당병원의 3중헤드 SPECT를 이용한 소동물 SPECT 영상기법도 개발한다.

2000년대 중반부터 독자적인 PET 시스템 개발이 시작되었다. 2006년 이재성 교수가 2008년에 서울의대 방사선의학연구소 책임연구원으로 합류한 홍성종 당시 가천의대 교수 등과 함께 과학재단 특정기초 과제로 본격적인 소동물 PET 개발을 시작하였는데, 아날로그, 디지털 신호처리 회로와 알고리즘, 영상처리 소프트웨어 등을 순수 자체기술로 개발하여 2010년 1월에 1차 시작품 개발을 완료하였으며, 이를 소동물용 PET과 유방전용 PET으로 확장한다. 또한, PET/MRI를 위한 SiPM PET 개발에서 세계적으로 앞서가는 연구를 하였다. 2006년부터 SiPM PET에 관한 연구를 본격적으로 시작하여 2009년 6월 미국핵의학회에서 세계최초의 SiPM PET 영상을 발표하여 세계적인 주목을 받는다. 배재대 이수진 교수와 공동연구로 진행한 컴프턴 카메라의 영상재구성 분야 역시 세계적으로 앞서 있는 연구 분야로 인정받았다.

2010년대 들어 대학원생들의 세대교체가 점차 이루어지고, PET 시스템 연구가 더욱 고도화되는데 SiPM을 이용한 PET/MRI, HQE PMT를 이용한 TOF PET, 해상도 개선을 위한 DOI PET 개발을 중심으로 연구가 이루어진다. 2011년도 미국핵의학회에서 SiPM PET을 이용한 PET/MRI 영상을 발표하고, 2012년 JNM에 논문으로 실리게 되는데 이는 SiPM을 이용한 최초의 in vivo PET/MRI 영상으로 알려진다.

2013년 10월 말에 서울에서 개최된 IEEE NSS/MIC 학회에서 이재성 교수가 MIC Chair를 맡고, 같은 해 한국공학한림원에서 선정한 “2020년 미래 100대 기술과 주역”(차세대 융합의료 영상기기 핵심기술)에 선정되는 등 핵의학 물리연구팀의 연구 역량이 국내외적으로 인정받는 계기가 된다. 또한, 이를 더욱 발전시켜 소동물 전용 7T MRI에 결합한 SiPM PET insert를 개발하고(JNM, 2016), HQE PMT를 이용하여 세계 최고의 시간분해능을 갖는 전신용 TOF PET 개발을 한다(Med Phys, 2017),

10여 년에 걸친 PET 시스템 개발 연구는 이재성 교수와 고근배, 김경윤이 2016년에 브라이토닉스 이미지를 창업하고 이어서 손정환이 참여하여 PET/MRI용 PET을 생산, 판매하게 되면서 산업화 성과로 이어지게 된다. 창업 초기에 이스라엘의 Aspect Imaging과 함께 미국 NIH/NCI, UC Davis, 원자력의학원 등에 animal PET insert를 공급하는 등 소기의 성과를 올리고

있다. 한편, 연구실에서는 2014년부터 5년에 걸쳐 가천대 정준영 교수 팀과 협력하여, 인체용 7T PET/MRI 연구를 수행하는데 국내에서는 처음으로 뇌 전체를 한번에 스캔할 수 있는 PET 시스템이며, 전 세계에서 최초로 개발된 7T MRI 기반 동시 PET/MRI 시스템이다.

2016년에도 딥마인드 챌린지 매치에서 알파고가 이세돌을 꺾으면서 전 세계적으로 deep learning 열풍이 분다. 이후 deep learning이 영상처리 연구의 중심이 되는데, amyloid PET spatial normalization, fast voxel-based dosimetry, simultaneous activity and attenuation reconstruction 등 기존의 수학적 기법으로는 풀기 어려웠던 난제들을 deep learning 기법을 적용하여 풀어가고 있다. 2018년도에 JNM에 실린 최초의 deep learning 논문 3편 중 2편이 우리 과에서 나오는 등 이 분야 연구에서도 선도적 역할을 하고 있다.

## (2) 뇌인지신경 연구

1994년 싸이클로트론이 도입되고,  $^{15}\text{O}$  생산이 가능해지면서 1999년 이동수 교수와 그 당시 박사과정의 이재성 교수가 시작했던  $\text{H}_2^{15}\text{O}$ -PET을 이용한 기억기능의 뇌 활성화 PET 실험은 국내 최초 핵의학 분야의 뇌 기능 활성화 연구였고, 인지신경팀의 시작이라고 볼 수 있다. 본격적으로 다양한 임상질환과 관련한 뇌 기능매핑연구를 할 수 있는 인지신경팀의 구성은 1999년 책임연구원으로 강은주 박사가 자리하게 되면서부터라고 할 수 있다. 강은주 박사는 University of Illinois at Urbana-Champaign에서 심리학박사를 하고 1996년부터 1998년까지 fMRI를 이용한 기억연구로 Stanford University에서 postdoctoral research associate를 하고 국내로 들어왔고, 1999년 핵의학과에 참여하게 되었다. 그 당시 국내 뇌 기능 영상분야는 그야말로 걸음마 수준으로 강은주 박사는 핵의학 분야 뇌 기능 영상분야의 발판을 마련했다고 볼 수 있다.

초기연구는 간질환자의 기억기능을 매핑하기 위한 시도였다. 정상인을 대상으로 해마 활성화를 위한 기억실험 패러다임을 구성하고, 간질환자에서 인지신경검사를 통한 평가와 행동연구를 바탕으로  $\text{H}_2^{15}\text{O}$ -PET을 이용하여 기억의 부호화 동안의 뇌 활성화를 관찰하였다. 이러한 연합기억 부호화 패러다임은 뇌 기능 활성화 PET이 특히 내측측두엽 간질환자의 기억기능의 진단평가로의 가능성을 열었다. 또한 2001년 이동수 교수가 Nature에 수술 전 청각영역의 포도당 대사감소는 전농환자의 수술 후 언어청각능력 회복을 예측할 수 있다는 중요한 지표임을 발표하면서 전농환자의 뇌 가소성을 규명하는데 있어  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET이 중요한 도구임이 인식되었고, 그 이후로도 현재까지 이비인후과와 지속적인 공동연구를 구축하게 된 중요한 계기가 되었다. 특히 2003년에 핵의학교실 BK21 연구조교수로 강은주 교수가 승진하면서 연구가 더욱 활발하게 진행되었다. 전농환자의 뇌 기능을 규명하기 위한 시도로 발달에 따른 청각피질의 기능성 대사 연결성의 변화, 나이에 따른 대사분포의 변화, 수술전 대사 상태와 수술이후 언어청각

능력과 상관 뇌영역 규명등의 연구를 잇따라 Neuroimage에 발표하였다. 또한 시청각 정보의 통합적 처리 및 독순(lipreading)을 이해하기 위한 노력으로  $H_2^{15}O$ -PET뿐만 아니라 fMRI를 통해서도 활발하게 진행하였다.

2005년 서울대병원에 MEG 센터가 개소하면서 인지신경팀은 MEG를 통한 연구에도 발을 들여놓았고, 시공간 작업기억의 뇌 기능을 알아보기위한 실험도 진행하게 되었었고, 2005년 핵의학과의 인지신경연구에 큰 기여를 한 강은주 교수는 강원대학교 심리학과로 부임하였다. 이에 인지신경팀은 강은주 교수 지도로 fMRI 연구를 진행 경험을 쌓고  $H_2^{15}O$ -PET으로 석사수여, 2009년 이동수 교수 지도로 박사수여한 강혜진이 팀을 이끌게 되었다. 컴퓨터 공학 전공의 이해경 박사의 조인으로 Nonnegative tensor factorization, classification 등의 다양한 새로운 계산방법론(computational methods)을 도입하여 새로운 분석방법의 제안을 연구하였다. 이에 더불어 수학통계 전공이면서 뇌 연결성 모델링을 연구하고 있는 정무경 교수의 도움으로 기존 뇌네트워크 구성의 임의성에서 벗어난 새로운 방법론인 persistent homology 기반의 뇌그래프 구성의 틀을 확립하였고, PET, fMRI, MEG, MRI 의 뇌 신경망 특성을 다양한 임상질환에 적용하기 시작하였고, 뇌네트워크에서 위상수학적 모델링을 하기 위해서 수학과 임선희 교수와의 공동연구등을 적극 시도하면서 static 영상으로부터 방법론적으로 새로운 위상수학적 directed weighted graph를 구성할 수 있는 방법론의 틀을 마련하고, 이를 통해 여러 신경계 뇌질환의 임상적 질병의 예후 예측 및 분류를 위한 방법론적 개선에 관한 연구를 이동수 교수의 열정과 함께 진행 중에 있다.

#### 아. 분당서울대학교병원 임상 핵의학 연구

분당서울대학교병원 핵의학과는 특히 신경 핵의학 연구와 분자 영상 연구에 중점을 두고 있다. 질병 특이적 FDG brain PET 소견 등의 연구 외에도 최근에는 김상은 교수가 게임 중독에서의 특징적인 PET의 소견을 발표하여 언론의 주목을 받았다. 그 외에도 도파민( $[^{18}F]$ FDOPA), 세로토닌( $[^{18}F]$ MPPF), GABA 수용체( $[^{18}F]$ Flumazenil), 아세틸콜린에스터라제( $[^{18}F]$ CP118,954) 영상 물질 등 각종 신경계 방사성 의약품을 개발하여 임상 연구에 활발히 이용하고 있다. 도파민 운반체 영상화를 통해 파킨슨병 및 기타 이상 운동 질환의 진단과 평가에 대한 많은 연구가 이루어 졌다. 도파민 수용체 영상화 약제인  $[^{18}F]$ fallypride,  $[^{123}I]$ FP-CIT,  $[^{18}F]$ FE-PE2I를 이용하여 도파민 수용체에 작용하는 약물의 occupancy를 측정하는 연구도 활발하다. 뿐만 아니라 고령화 시대에 나날이 증가하고 있는 알츠하이머 병을 진단, 평가할 수 있는 beta-amyloid 영상 ( $[^{18}F]$ SNUBH-NM-333) 임상 시험을 국내 처음으로 수행하였으며, 중앙 신생혈관 표적 SPECT 용 암 진단의약품( $^{99m}Tc$ ]SNUBH-NM-333)의 성공적인 임상시험과 함께 최근에는 전이체 단백질

질(translocator protein 18 kDa)를 표적으로 한 다양한 리간드를 수년간 개발에 전념하였고, 이를 기반으로 신경염증 PET 영상 방사성의약품 후보물질( $[^{18}\text{F}]\text{BS224}$ )를 개발하여 임상시험 진행중에 있다. “분자영상을 활용한 혁신적 신약개발 솔루션을 제공한다”는 모토로 2008년 3월 분당서울대학교임상·전임상분자영상센터를 개설하여 mechanism-based imaging biomarker 발굴, 질병/표적 특이 분자 영상 프로브 개발, 신약 후보 물질 평가의 분자 영상 기술 개발, 분자 영상을 이용한 질병 기전 연구, imaging-based PK/PD modeling 등의 고유 연구를 수행하였고 이를 확대 발전시켜 2013년 경기도전임상분자영상지원센터로 동물용 SPECT/CT와 PET/CT를 모두 갖춘 센터가 되었다. 2014년에는 그동안 분당서울대학교병원 핵의학과에 축적되어 있던 연구중심의 분자영상을 이용한 신약후보물질 평가기술을 직접 제약산업업체 및 제약관련 연구기관에 세계 최고 수준의 분자영상 서비스를 제공하는 보건복지부지원의 “신약개발바이오이미징융합기술센터”를 2019년까지 성공리에 수행하였으며, 현재까지 신약개발 혁신을 선도하는 센터로 운영 중에 있다.

심장 핵의학에서는  $^{201}\text{Tl}$ 을 이용한 gating의 임상적 의의를 밝히는 연구와, coronary CT와 MR, PET, myocardial SPECT 등 여러 modality 영상을 통합하여 분석하는 시도가 있었다. 종양 핵의학은 GLUT의 발현과 FDG 섭취와의 상관 관계를 보는 연구가 병리과와 활발하게 진행되었다. GLUT의 발현과 FDG PET 소견 연구는 폐암과 내분비 종양, 림프종 등 다양한 종양을 대상으로 시행되었다. 그 외,  $^{18}\text{F}\text{-NaF}$  bone PET를 임상에 도입하여  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  일변도의 골영상 탈피 시도가 있었다. 또한 폐암에서 PET/CT의 유용성을 밝히는 다국적, 다임상기관 연구에도 참여 중이다.

#### 자. 분당서울대학교병원 핵의학 방사화학 연구

한편 분당서울대학교병원에서는 2006년 미국 일리노이대학교에서 박사후 연구원이었던 이병철 교수가 연구진에 합류하여 방사화학팀이 시작되었으며, 당해 세계핵의학회(9th World Congress of Nuclear Medicine and Biology)에서 젊은 과학자 경쟁 발표 분야에서 ‘Masahiro Iio’상을 수상하면서 분당서울대학교병원의 방사화학분야에 방향족  $^{18}\text{F}$  표지기술을 정립하고 발전시키기 시작하였다. 2007년 설치된 국산사이클로트론의 안정된 운행 및 국산사이클로트론을 이용한  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$  생산 및 방사성의약품 생산을 국내에서는 처음으로 높은 생산성을 갖는 장비로 업그레이드 하여 그 기술을 논문 및 국제 학회에 보고하였고 국산사이클로트론으로 처음으로 13년 가까이 안정되게 운영하고 있는 중이다. 분당서울대학교병원 전임상·임상 분자영상센터는 기반 구축 후 경기도전임상분자영상지원센터로 확대되었고, 이를 기반으로 2014년부터는 보건복지부 지원의 신약개발 바이오이미징 융합기술센터로서 국내 신약개발 제약업체 및 관련 연구기

관에 세계 최고의 분자영상 서비스를 제공하고 신약개발 적용을 통한 신약개발 혁신을 선도하는 센터로서 자리매김하였다. 김상은 교수는 이러한 센터를 도와 성공리에 완성하여 사이클로 트론에서의 방사성동위원소 생산, 방사성동위원소를 이용한 다양한 표지 핫셀름, 새로운 방사성의약품 개발을 위한 유기합성실, 생물학적 평가를 위한 실험공간, 그리고 얻어진 방사성의약품 및 후보물질의 영상 장비실이 유기적으로 한 장소에서 운영될 수 있는 센터를 구축하였다.

연구과제로는 2007년 원자력연구기반확충사업(핵심기초)를 시작으로 2008년에는 5년동안 지원되는 원자력연구개발사업 고유강점기술육성과제, 다수의 대형연구시설 활용 과제, 2012년 보건중재연구 그리고 2014년 중견연구자지원사업 등을 수행하였다. 연구내용으로는 방향족  $^{18}\text{F}$  표지 원천기술을 이용한 알츠하이머병 진단 의약품( $^{18}\text{F}$ )SNUBH-NM-333)을 개발하여 국내, 외 특허 출원, 논문 발표 그리고 국내 최초 알츠하이머병 방사성의약품 개발을 위한 임상시험을 국내 처음으로 수행하였다. 본 연구의 우수성을 인정받아 제 56회 미국핵의학회에서 The young professional committee (YPC)에 선정되어 구두발표를 하였다. 또한 퇴행성 뇌질환 타깃 방사성의약품의 합성 연구를 중점으로 저용량 염기사용 자동화 생산 기술을 개발하여 뇌질환 타깃 방사성의약품의 대량생산 기술을 확보하였으며 이를 이용하여  $^{18}\text{F}$ fallypride (PCT 출원), 확보된 방향족  $^{18}\text{F}$  표지기술을 이용한 세계 최초 자동화 생산에 성공한  $^{18}\text{F}$ flumazenil, 현재까지 합성할 수 없었던 치매 진단물질 3- $^{18}\text{F}$ donepezil의 표지 성공 및  $^{18}\text{F}$ CFT 연구를 수행하였다. 특히  $^{18}\text{F}$ flumazenil 방향족  $^{18}\text{F}$  표지기술은 그동안 자동화 합성에 실패한 다른 연구진의 결과를 뛰어넘는 기술로서, 그 표지기술의 우수성을 인정받아 미국의 Stanford의과대학의 Frederic T. Chin 교수팀과 Lawrence Fung 교수팀과  $^{18}\text{F}$ flumazenil를 이용한 공동 임상연구를 성공리에 수행하고 있으며, 오스트리아의 IASON 회사와의 공동 임상연구도 진행 중에 있다. 더불어 마이크로웨이브를 도입한 새로운 개념의  $^{18}\text{F}$  표지기술로 높은 수율과 순도를 갖는  $^{18}\text{F}$ haloperidol과  $^{18}\text{F}$ N-methylspiperone 표지방법을 개발하였으며 앞서 개발한 저용량 염기 사용 자동화 생산기술과 접목하여 새로운 개념의 microwave가 장착된 자동화 합성장치의 개발에 성공하였다. 중앙 신생혈관 타깃 진단 의약품 개발로서  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  트리카르보닐 전구체를 이용한 진단과 치료를 동시에 구현할 수 있는 cyclicRGD 유도체( $^{18}\text{F}$ )SNUBH-NM-505)을 개발하여 성공적으로 뇌암 그리고 폐암 환자에서의 임상시험을 수행하였고 실용화 가능성을 확인하였다. 또한  $^{188}\text{Re}$ 등을 이용한 중앙 신생혈관을 표적으로 하는 중앙 치료 연구를 진행 중이다. 2014년부터는 미토콘드리아 외막에 존재하는 전이체 단백질(translocator protein 18 kDa, TSPO)에 결합하는 신규 PET 영상용 방사성추적자 개발을 한국에서 처음으로 시작을 하였고, 관련되어 4개의 신규 리간드를 개발하고 결과를 논문에 게재하였으며, 본 연구와 관련되어 2016년 대한 방사성의약품학회 춘계학술대회 학술상을 수상하였다. 최근에는 개발된 리간드 중에서 가장 우

수성을 갖는 [<sup>18</sup>F]BS224의 전임상 평가를 모두 맞추고 국내 연구진의 기술력으로 개발한 진단 의약품을 갖고 국내 최초로 PET 신경염증 영상화 임상시험을 수행하고 있다.

### 3) 주요 연구과제 수행

#### 가. 연구과제 수행 역사 개괄

핵의학교실에서 그 동안 수행한 공공의 연구비를 통한 연구는 핵의학 분야의 기초, 임상 등의 발전에 크게 이바지하였다. 최근의 연구비는 주로 교육과학기술부, 보건복지부, 지식경제부, 지방자치단체의 연구과제공모에 응모, 채택되어 진행되고 있으며, 이러한 국가연구비를 사용한 연구를 통하여 국제학회에서의 발표, 국제학술지에의 논문 발표, 국내외 특허의 출원 및 획득 등 가시적인 결과물과 함께, 국내외의 핵의학 기반을 확충하고, 인력을 양성하였으며, 크게는 국가의 핵의학, 원자력 및 보건의로 정책의 방향을 제시하기도 하였다.

##### (1) 초기 국가연구비 수혜

방사성동위원소진료실 설립 초기 외부 연구비는 1959년 설립된 최초의 국책연구기관인 원자력원(1967년 원자력청으로 개칭)을 통해 지원 받았다. 1959년 이문호 교수는 “방사선 장애의 인체 및 동물에 미치는 영향에 대하여”라는 제목으로 50,000원의 연구비를 지원 받았고, 1960년에는 “빈혈성 질환이 Fe<sup>59</sup>로 표지된 철중간대사에 관한 연구”라는 제목으로 역시 원자력원으로부터 50,000원의 연구비를 지원받는 등 원자력 관련 연구비를 지원 받았다. 한편 1960년 ‘갑상선종에 관한 연구’라는 제목으로 800,000원이라는 당시로서는 큰 연구비를 지원받았는데 이는 당시 학장이던 나세진 교수의 명의로 받기는 하였으나 실제 연구는 이문호, 고창순 교수가 진행하였고, 연구비 사사를 대한내과학회잡지에 1961년 명기하여 발표하였다.

이후 국가연구과제 체계가 정비된 상태에서 최초의 국가연구비 수혜는 1984년 고창순 교수가 총괄책임자, 한국유전공학연구조합을 주관연구기관으로 하여 ‘Hybridoma 기법에 의한 소화기암 진단시약용 단일클론항체 개발’ 과제와 ‘방사성동위원소를 이용한 골밀도측정기 개발’이라는 연구주제로 과학기술처(현 교육과학기술부)의 특정연구개발사업(목적기초) 연구비를 받은 과제이다. 이 연구는 1987년 과제보고서를 제출하였다.

##### (2) 대규모 국가연구비 수혜 (1987년)

1986년 말 이명철 교수가 미국연수를 마치고 교실로 돌아와 국가연구비의 수혜 필요성을 느끼고, 고창순 교수의 도움을 받아 이흥규 교수를 총괄책임자로 과학기술처의 ‘방사성동위원소를 이용한 노령자 및 각종 대사성 골질환에서 골무기물 함량의 정량적 분석을 위한 기계의 개

발 및 임상응용'(1억5천만원/년)과 조보연 교수를 총괄책임자로 하여 '방사성동위원소 표지-단세포균 항체를 이용한 악성종양의 진단과 치료에 관한 연구'(1억5천만원/년)라는 연구주제로 서울대학교 최초의 대형 규모 국가연구과제를 수행하였다. 이 연구비를 바탕으로하여 교실 내 연구를 위한 실험실의 기반이 마련되었으며, 이와 함께 교실 내 연구비관리제도를 확립하여 이후의 과내의 모든 국가연구과제의 연구비 집행을 투명하게 할 수 있었다.

### (3) 원전지역주민역학조사 (1990년)

이후 1990년 '원전 종사자 및 주변 주민에 대한 역학조사'라는 연구주제로 1986년대 우크라이나 체르노빌 원전사고, 1989년 영광원전 주변에서 원전 출입자의 무뇌아 유산 등으로 인하여 사회적으로 불안감이 확대되는 분위기에서 원전 운영 시 부수적으로 발생하는 방사선과 인체와의 영향을 규명하는 대규모 역학조사를 원전 종사자와 지역주민을 대상으로 국가연구비를 받아 추진하게 되었다. 원전 종사자 및 주변주민에 대한 역학조사는 서울대병원을 주축으로 한일병원은 신체검사반을 담당하였다. 각 지역 참여 대학병원과 함께 원전종사자 및 주변주민의 현장 검진을 실시하고 이 시료와 자료를 서울대병원에서 분석하고 결과를 도출하였다. 1992년 이명철 교수가 단장, 정준기 교수가 총괄반장직을 이어 받아 수행하였으며 원전역학조사단의 1단계(1992-1995) 최종보고서를 1996년에 제출하였고, 2단계(1998-2000년) 1차 보고서는 서울대학교 의학연구원 원전역학조사단에 의해 '원전 역학조사의 증장기추진과 방사선 영향의 학술적 연구'라는 제목으로 2000년에 제출되었다. 이후 의과대학 의학연구소 산하 원자력영향연구소에서 추적연구가 수행되었다. 이 두 단계의 보고서는 1990년 이후 장기간에 진행된 대규모 인구 집단을 대상으로 한 자료라는 점에서 그 의미가 크다고 하겠다.

### (4) SRC와 ERC 장려센터 (1990, 1994년)

1990년에 한국과학재단(현 한국연구재단)의 과학연구센터(Science Research Center, SRC) 연구과제에 공모하여 '방사성동위원소응용물질장려연구센터'로 지정받아 서울대학교 의과대학 핵의학교실 내에 센터를 설립하고, 국내의 핵의학관련 연구자의 대부분이 참여한 커다란 규모의 연구를 진행하였다. 이때 참여하였던 연구자는 후에 각 기관의 핵의학관련 핵심인력이 되었으며, 참여연구기관으로 핵의학과가 있는 거의 모든 의과대학과 공과대학, 약학대학 등이 대학 연구기관으로 참여하였고, 국가출연연구소로 한국원자력연구소(현 한국원자력연구원), 국방과학연구소 등이 연구에 참여하였다.

이 연구과제는 이후 1994년 시작된 공학연구센터(Electronic Research Center, ERC)과제의 '동위원소응용물질개발연구센터'로 이어졌으며, 서울대, 한국원자력병원(현 한국원자력의학원),

KIST, 울산의대, 삼성의료원, 한일병원 등이 참여하여 운영되었다. 이를 통하여 방사성동위원소 표지물질의 개발에 관한 SRC의 후속연구를 진행하였다.

#### (5) 융합연구활성화 (1990, 1992년)

1990년대 초반에 고창순 교수가 총괄책임자로 서울대학교, 한국과학기술원(KAIST), 한국과학기술연구원(KIST), 울산대학교 등의 참여로 '한국과학기술원부설 의과학연구센터설립 타당성 조사연구'와 '의과학 연구 활성화 실천계획 관련 조사연구'를 수행하여 의학과 과학의 융합연구의 필요성을 주창하였다. 1996~1998년 이명철 교수가 보건복지부 G7 선도기술의료공학사업의 기획, 총괄책임을 맡아 국내 최초로 국가지원의 의공학 분야 대형과제를 기획하였고 이는 의공학 뿐만 아니라 핵의학 관련 산업 발전에 중요한 계기가 되었다. 이후 기초과학 분야 출신 연구자가 자연스럽게 핵의학교실에 참여하게 되는 계기가 되기도 했다.

1990년대 초반까지의 핵의학 저변확대 노력에 힘입어 1990년대 중반 이후에는 각 교수별로 3~5 가지 이상의 주제를 가지고 국가연구과제뿐 아니라 각 기관의 고유과제에도 참여할 수 있었고, 이러한 과제수행이 현재 핵의학교실의 연구체계를 이루는데 바탕이 되었다. 이러한 공공의 연구비를 수혜하여 진행된 연구과제는 1980년대 연간 1~3개의 과제가 진행되었던 것이, 1990년대 초 연간 10여 개로 1990년대 중반 이후 연간 20여 개의 과제가 교실 내에서 진행되었으며, 현재는 본원뿐 아니라 분당, 보라매 병원을 포함하여 연간 50여개 주제의 과제가 진행되고 있다(과제수행역사 표 및 그림 참조).

#### (6) KIST2000 (1995년)

1995년부터 시작된 KIST2000 과제에 이명철, 정준기 교수가 '뇌혈류 평가용 방사화합물의 정량분석 및 임상평가'라는 주제와 '혈류평가용 방사화합물의 표지 및 생체분포 연구'라는 주제로 참여하여 2년간 KIST의 조정혁 박사와 함께 연구를 수행하였다. 이는 핵과학을 포함한 핵의학 분야가 국가연구정책 방향에 반영되고 있는 것을 확인할 수 있는 중요한 계기가 되었다.

#### (7) 원자력기초공동연구소 사업 (1999년)

1999년부터 6년간 과학기술부 지원(원자력연구기반확충사업)으로 이동수 교수가 총괄책임자를 맡아 '핵의학 영상 처리 기술 개발'이라는 제목으로 수행하였으며, 인제대 최홍국, 성균관대 최용, 배재대 이수진 교수가 세부 및 위탁과제 책임자로 참여하였다. SPECT/PET 영상의 물리적 인공물 보정, 생체 현상의 정량화, 영상도해 및 용량분석 기법 등을 개발하였고, 추적자 동역학 분석 및 응용도 향상 방법, 방출 및 투과영상을 위한 통계학적 영상재구성법 등에 대한 연

구를 수행하였다. 동적  $^{15}\text{O}$ -water PET을 이용한 국소 심근혈류 파라미터 영상기법 개발에 대한 탁월한 연구 성과를 인정받아 한국과학재단의 2005년 대표적 우수연구성과 50선에 선정되었다.

#### (8) 서울시 전략산업 혁신 클러스터 육성 지원사업 (2005년)

2005년부터 ‘첨단의료영상기술 개발 혁신클러스터’라는 제목으로 이동수 교수가 총괄책임자를 맡아 수행하고 있는 서울시 전략산업 혁신 클러스터 사업은 생체분자영상 신기술, 의료영상 성능 개선/최적화 및 영상 유도 암치료 기술, 고감도 감마선 및 광학 첨단 영상장치 개발 및 산업화, 첨단 의료영상기술 산학연 협력 네트워크 구축, 첨단 의료 영상 기술 산업화 촉진을 위한 기술 및 경영지원을 사업 목표로 하며 서울의대 핵의학교실, 가톨릭의대 의공학교실, 중앙대 물리학과 및 7개 의료영상관련 기업(새한산업, 삼영유니텍, 해동기기 등) 등이 참여하고 있다. 정재민, 김상은, 이재성 교수가 부문책임자로 참여하고 있으며, 분자영상 연구수행을 위하여 소동물 전용 PET/CT를 도입하는 등 우리 과의 연구인프라 구축에 큰 기여를 하고 있다.

#### (9) 국가지정연구실 (NRL; 2008년)

2008년 정재민 교수는 ‘홍분/억제성 조절성 신경계의 신경가소성 평가 영상 기술 개발’이라는 제목으로 교육과학기술부의 기초과학연구사업의 하나인 국가지정연구실에 선정되었다. 최근 뇌 영상연구의 방향이 기존의 한 가지 수용체나 질환을 타겟으로 하는 방향에서 각 질병이나 현상에 대한 다양한 수용체나 타겟을 동시에 살펴 이들의 상호작용을 밝히려는 경향에 발맞추어 뇌 신경계가 손상되었을 경우 이를 극복하기 위하여 신경계가 어떤 상호작용을 하며 변화하는지 PET용 방사성프로브를 이용, 영상화하여 밝히고자 하는 연구주제이다. 그동안 여러 종류의 뇌영상용 방사성프로브를 개발하거나 합성방법을 확립한 경험, 뇌영상을 평가하여 섭취율, 친화도 등을 평가한 영상평가 기법, 이러한 방사성프로브의 임상적용 경험 등을 활용하여 현재 본원의 정재민, 이재성, 이운상 교수, 분당서울대병원의 김유경 교수, 보라매병원의 이호영 교수 등이 협력하여 각종 동물모델에서 microPET 영상, 정상인과 환자를 대상으로한 PET 영상 등을 획득하여 신경가소성을 평가할 수 있는 영상 기술을 개발 중에 있다.

#### (10) 공동연구센터 육성사업 (DRC; 2008년)

2008년 원자력연구원과 서울대학교는 방사선융합기술의 선진화, 고도화 및 의료 산업 현장에서 바로 활용이 가능한 방사선융합기술 협동연구를 위한 공동연구컨소시엄 구성(Joint research program)을 합의하였으며, 기초기술연구회 지원으로 서울대학교 차세대융합기술연구원 및 한국 원자력연구원 정읍방사선과학연구소 내에 공동연구센터(Degree & Research Center: DRC) 설

립을 추진하기로 한다. 김상은 교수가 협동연구 책임자를 맡고, 이재성, 이운상, 이호영 교수가 참여하여 공동연구센터를 매개로 하여 RI 활용 질병진단치료기술 및 나노분자영상학, 동식물 융합방사선분자영상기술 연구, 방사선융합화학, 방사선융합생물학 등으로 대표되는 방사선융합 의과학 분야의 공동연구를 원자력연구원 정읍방사선과학연구소와 수행하고 있다.

#### (11) 나노의학 분야 연구 (2009년 이전)

강건욱 교수는 2005년 고려대학교 안동준 교수가 이끄는 나노바이오연구회와 나노기술연구협의회에서 주관하는 제2차 나노기술종합발전계획에 참여하면서 나노의학 분야의 연구를 시작하였다. 2006~2008년 국립암센터 기관과유사업 “분자영상을 이용한 새로운 HER2 검사법의 개발 및 생체영상화”를 국립암센터 유방암센터 이은숙, 공중보건학의 이호영과 함께 수행하여 “양자 점과 허셉틴을 이용한 유방암 진단 키트와 허셉틴 민감성 HER2 과발현 세포를 검출하는 방법” (특허등록번호 10-0972618)을 개발하였다. 2008년 서울대학교 학제간연구 “핵의학/광학 복합 나노영상을 이용한 감시림프절 검사”를 화학부 정두수 교수와 공동수행하여 형광 실리카나노입자를 개발하였다. 김순학 교수는 강건욱 교수와 2008~2011년 암정복추진연구사업으로 “Optical PET/MRI 영상나노입자를 이용한 종양 표적 및 진단법 개발”을 수행하였다.

#### 나. 최근 수행한 주요 연구과제 (2009년 이후)

##### (1) 미래기반기술 의학-첨단과학기술 융합원천기술개발

2009년 서울대학교 화학생물공학부의 이윤식, 정대홍 교수 연구진과 이동수, 강건욱 교수가 협력하여 ‘SERS 나노입자를 이용한 다중복합 생체 라만분광영상법 및 진단기술 개발’ 과제를 제안하여 채택되었다. 이 과제사업은 그간 급성장해온 첨단과학기술과 유망 산업분야인 의학이 융합하여 미래성장기반이 될 기술을 개발하는 것이 필요하다는 취지에서 정부에서 추진하였으며, M.D.와 Ph.D.가 융합하여 과제를 개발할 것을 전제로 한 것이었다. 이동수 교수는 이윤식 교수와의 긴밀한 협력을 통하여 나노 의학물질과 라만분광영상법이 의료에 획기적 변화를 가져올 수 있다는 전망 하에 이를 연구하는 과제를 구성하였다. 연간 375백만원으로 2009년 9월부터 시작하여 총 5년간 진행되었다.

##### (2) 나노의학 분야 연구

강건욱 교수는 2009~2011년 한국생명공학연구원 자유공모과제 “핵의학/MRI/광학 복합나노영상을 이용한 감시림프절 검사”를 (주)바이테리얼즈와 산학협력하여 PET/MRI/광학영상이 동시에 가능한 실리카나노입자를 개발하였다.

2010~2012년 교육과학기술부 일반연구지원사업으로 “방사선표지 형광 나노리포좀을 이용한 선택적 암 진단치료 복합법 개발”을 수행하였고 2010~2012년 보건복지가족부 보건의료 기술개발사업 “바이오마커 특이적 RNA 앵타머를 이용한 생체 분자영상법 개발”을 단국대학교 분자생물학과 정선주 교수와 협동 연구하여 알부민 나노입자를 도입하였다. 2011~2012년 (주)누리비스타 기업체 용역과제로 싱가포르국립대학교 배성태 교수가 개발한 산화철나노입자를 이용하여 “발열성 자기나노입자의 생체영상화 및 거동평가”를 수행하였다. 2011~2012년 교육과학기술부 국제화기반조성사업으로 Nanomedicine 편집장인 영국 UCL Kostarelos 교수와 함께 “한국-영국 나노분자영상 및 세포분열 조작기작 융합연구 협력기반 조성”을 수행하여 국제교류를 하였다.

2012~2017년 원자력연구개발사업 “방사선 테라그노시스 의약품 및 기술 개발”을 수행하여 이윤상 교수와 함께 “알부민 기반 질환 추적 진단 또는 치료 나노플랫폼” (특허등록번호 10-1879682)을 개발하였다. 2013년 서울대학교병원 SK텔레콤 일반지원연구 “다기능성-생체기능성 코어셸 금나노입자를 이용한 암추적 분자영상법의 개발”을 화학부 남좌민 교수와 협력 수행하였다. 2017~2019년 서울대학교병원 집중육성사업으로 “뇌종양의 진단과 치료에 있어서 방사성동위원소 표지 알부민 및 형광염료의 활용 가능성 평가 및 실용화”를 신경외과 백선하 교수와 협력하여 임상연구를 수행하였다. 2018~2020년 원자력연구개발사업 “난치성 뇌종양 치료를 위한 SPARC 표적 알부민 방사선 테라노스틱스 개발”을 수행하여 알부민 기반 나노플랫폼의 응용을 확대하였다. 2019년 미국 컬럼비아대학교 김태완 교수 의뢰로 (주)멜라니스 기업과제 “인체적합성 멜라닌 나노소재 생체 분포추적 기술 개발”을 수행하였다. 강건욱 교수는 2018~2020년 한국연구재단 국책연구본부 나노·소재 분야 전문위원으로 활동하였다.

### (3) 질병중심 중개연구

2009년 분당서울대학교병원의 김상은 교수가 주관연구책임자로 보건복지가족부의 보건의료 연구개발사업에 응모하여 ‘알츠하이머병의 신경병리 및 신경화학 영상기술 개발과 임상 적용 연구’라는 제목으로 과제가 채택되었다. 이는 알츠하이머병의 각종 신경병리현상을 영상화할 수 있는 각각의 방사성프로브를 개발하고, 이를 임상에 적용하고자하는 연구이다. 이 연구에서는 서울대학교 융합과학기술대학원의 박원철 교수를 영입하여 알츠하이머 치매 영상에 작은 분자의 PET용 방사성프로브뿐 아니라 나노입자를 이용한 영상을 얻으려는 연구를 진행 중이다. 또한 본원의 우종인 교수가 임상적용연구에 같이 참여하여 알츠하이머성 치매 환자에서 치료약물에 대한 치료효과를 분당서울대병원 이병철 박사가 자체적으로 개발한 PET용 방사성프로브를 이용하여 검증해 내고자 하였다.

#### (4) 신기술융합형 성장동력사업

2009년 방사성의약품의 산업화를 통한 신성장동력의 확보를 위해 국내의 방사성의약품 관련 연구자를 모두 모아 연 30억의 규모로 과제를 구성하였고, 여기에 정재민 교수가 5세부 책임자로 참여하여 2014년까지 과제를 진행하였다. 연 667백만 원의 연구비를 확보하여 새로운  $^{18}\text{F}$  표지기술을 개발하였고, 발생기를 통하여 생산되는 PET 방사핵종인  $^{68}\text{Ga}$ 를 활용한 연구의 기틀을 마련하였으며 본원의 이윤상 교수, 분당의 이병철 교수가 함께 참여하였다.

#### (5) 중앙미세환경 글로벌코어 리서치센터

2011년부터 10년간 서울대 약대-의대 공동연구로 중앙미세환경 글로벌 코어 리서치 센터(센터장: 서영준, 연 30억)에 정준기(2011~2018), 윤혜원 교수(2019~2021)는 3-2세부연구책임자로 참여하여 중앙미세환경의 변화에 따른 중앙 이질성의 변화를 분자영상을 통해 증명하는 연구를 수행하고 있다. 이를 통하여 다양한 중앙 미세환경 내의 세포(중앙세포, 면역세포, 섬유아세포 등)의 실시간 분포를 탐지할 수 있는 민감도를 획기적으로 개선한 다양한 리포터를 개발하고 광학, 핵의학을 통한 다양한 방법으로 영상화 하여왔다. 특히 중앙 미세환경 내의 엑소좀에 의한 세포간의 신호전달과 세포주기의 변화 등을 영상화 하였고 방사선에 의한 중앙미세환경의 변화의 관찰을 통하여 난치성 종양 및 전이, 재발에 관한 다양한 치료법 개발과 유관 메커니즘을 연구 중이다.

#### (6) 신약개발 바이오이미징 융합기술센터

2014년부터 5년간 보건복지부 임상연구인프라조성사업(연 15억)으로 신약개발 바이오이미징 융합기술센터를 김상은 교수를 센터장으로 수행하였다. 본 교실의 강건욱, 천기정, 윤혜원, 이병철 교수 등과 약리학교실 이형기, 유경상 교수, 대구경북첨단의료산업진흥재단의 김동규, 이태관 박사 등이 참여하여 ICBigD3 라는 이름의 센터로 개방형 신약개발 바이오이미징 네트워크(컨소시움)를 구축하고, 신약개발 바이오이미징 서비스 지원 시스템을 통한 보유기술, 인력, 시설, 장비를 활용하여 신약 후보물질의 비임상 및 임상 시험에서 생체 분자영상 등의 바이오이미징 통합 서비스를 실시하고 바이오이미징 융합 신기술개발 및 임상적용 연구를 수행함으로써 국내 신약개발 고속화에 기여하여 신약개발 바이오이미징 기술개발 및 서비스 확산의 글로벌 센터로 발돋움하였다.

#### (7) 뇌과학연구

이동수 교수는 뇌영상 기반 뇌연결성 분석에 관한 과제를 지난 2014년부터 3년간 진행된 질환

극복기술개발사업의 ‘알츠하이머치매 치료 효과 평가를 위한 뇌 분자영상 및 뇌 연결성 분석 기술 개발’(연세대학교 김영수 교수와 공동연구)과 2015년부터 5년간 수행된 원천기술개발 사업의 ‘뇌신경발달장애의 뇌회로해석을 통한 진단 및 치료효과 평가기술과 뇌자극이용치료기술 개발’(서울대병원 소아정신과 김봉년 교수와 공동연구)을 수행하여 지속적으로 질병의 특이적 뇌연결성 변화 관찰 기술을 개발하고 있다. 또한 뇌과학원천기술개발사업은 이동수 교수의 단독 과제로 ‘개인 맞춤형 매크로커넥톰 구성 및 활용기술개발’을 통해 뇌영상 기반 특정 뇌질환의 특이적 손상뿐만 아니라 뇌영상을 개인 진단 도구로서 활용하고자 2017년부터 5년간 진행하고 있다.

#### (8) 7T PET/MRI 개발

이명철 교수가 2013년 가천길병원장으로 취임하면서, 우리 교실 이재성 교수팀과 가천뇌과학연구소 7T MRI 연구진의 교류가 활발해졌다. 2012년 이명박 대통령과 사우디아라비아 압둘라 국왕의 정상회담에서 체결된 보건의료 분야 협력 사업의 하나로 한국 의료시스템을 사우디아라비아에 수출하는 쌍둥이 프로젝트가 진행되어, 서울대와 가천대가 강점을 갖는 SiPM PET과 7T MRI를 결합한 최첨단 7T PET/MRI 개발 및 수출을 추진하였으나, 정권이 바뀌면서 무산되었다. 그러나 미래창조과학부에서는 이 과제의 중요성을 인지하여 “뇌과학원천기술개발사업”을 통하여 2014년부터 2019년까지 인체용 7T PET/MRI 연구개발을 지원하게 되었다. ‘뇌질환 임상연구를 위한 7T MRI 기반 융복합 영상진단기술 개발’이라는 대과제 명으로 진행된 이 과제에서 이재성 교수팀은 7T MR-compatible PET 시스템 개발을 맡아 국내 최초로 뇌 전체 영상이 가능한 PET prototype을 개발하고 가천대 정준영 교수팀과 함께 7T PET/MRI 동시 영상에 성공했다. 2019년 최종평가에서 최우수 등급인 ‘S’등급을 받았다.

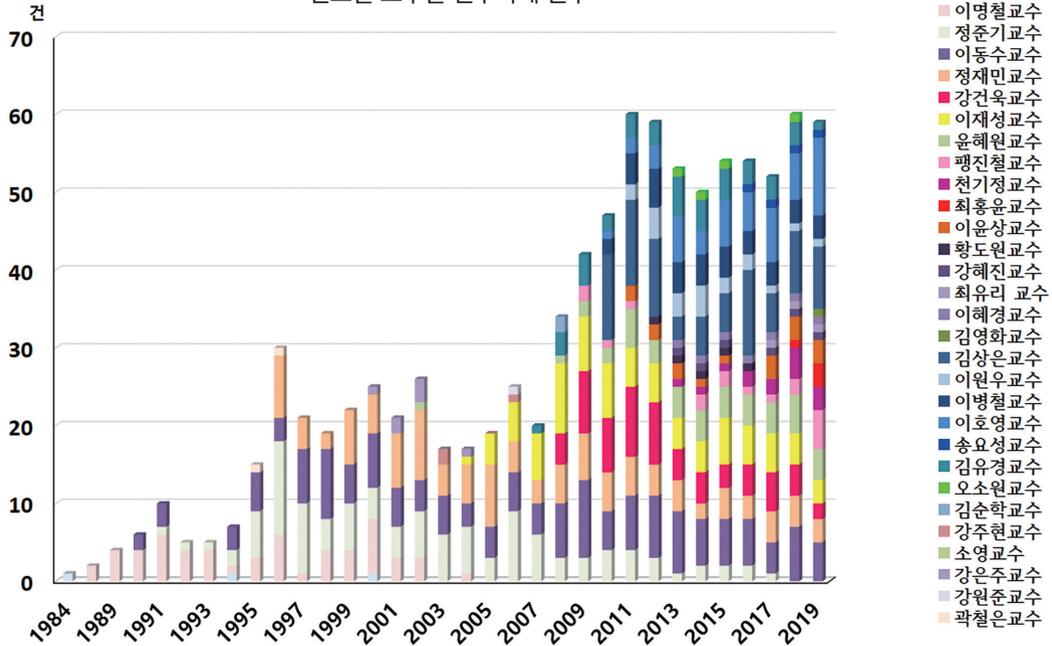
#### (9) 연구중심병원 사업 (임상)

연구중심병원 사업은 높은 인적 열량을 지닌 우리나라 주요 병원들을 연구개발의 주요인프라로 활용하여 통합 개방함으로써 산, 학, 연, 병 간 연구개발 협력을 촉진하는 것을 목표로 2014년 시작되었다. 특히 비즈니모델과 플랫폼 개발을 중요가치로 뒀으로써 실용화를 달성하고자 하였고 개별 과제당 년 25억 내외로 9년간 사업을 진행하는 대규모 과제로 기획되었다. 서울대학교 병원은 사업 첫해인 2014년, ‘암 유전단백체 기반 맞춤형치료실용화’와 ‘염증재사질환을 극복하기 위한 개방형 플랫폼 구축’이라는 2개의 유닛으로 시작하였고 2018년 유전자-세포-장기 융합 바이오치료 플랫폼 구축 유닛이 추가 되었다. 핵의학과는 제2유닛에 세부과제로 참여하여 6년간 성공적으로 과제를 수행하였으며, 염증영상 신기술개발, 신약후보물질의 영상기반 PK/PD 평가, 약물 유효성 평가, 염증영상 임상 실용화 등에서 여러 성과를 내고 있다.



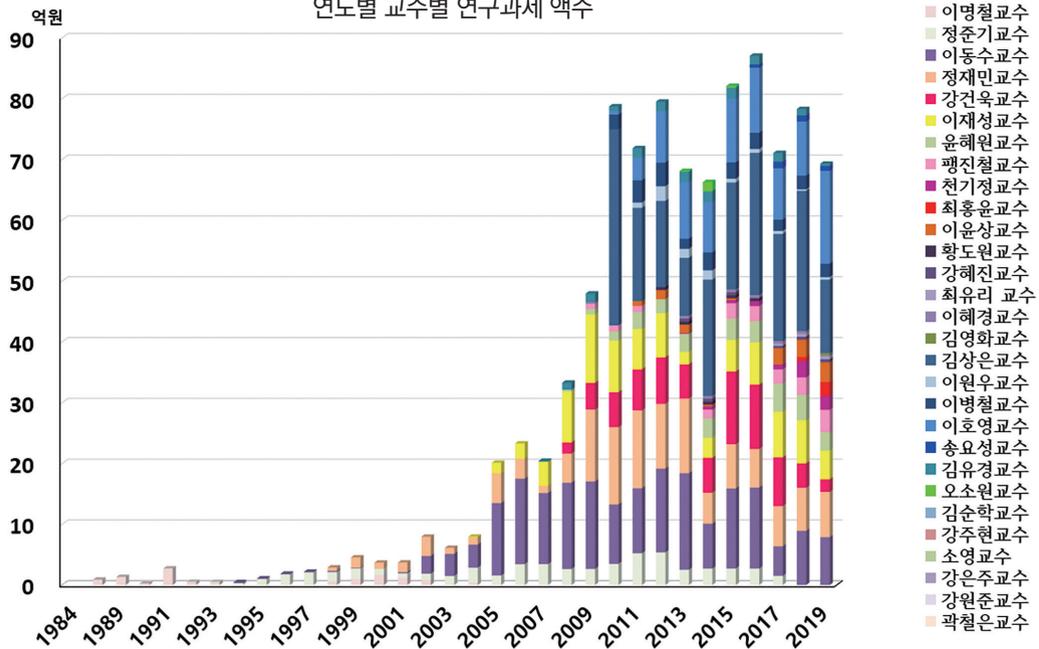


연도별 교수별 연구과제 건수



과제수행 역사 표(건수)

연도별 교수별 연구과제 액수



과제수행 역사 표(액수)

#### 4) 연계 학술활동

##### 가. 논문 및 초록 발표

1960년 개설된 서울대학교의과대학부속병원 동위원소진료실은 많은 연구와 논문의 산실이였다. 1959년 국내 최초로 방사성동위원소를 의학적으로 이용한 이래 발표된 첫 연구 논문은 1961년 대한내과학회지(4(3);29)에 발표된 것으로 이문호, 강수상, 고창순 등 10인의 “放射性同位元素沃素(I131)를 사용한 甲状腺腫의 研究”였다. 이후 1965년까지 이문호 교수의 지도와 고창순 당시 전공의의 주도로 연간 3~6편의 방사성동위원소 이용 논문이 발표되었다. 고창순 교수는 방사선의학연구소 재직 시절 일본 放射線醫學總合研究所에 10개월간 방문하여 연구하였고 이때의 연구를 J Nucl Med에 ‘An approach to developing adrenal gland scanning’ (Nagai T, Solis BA, Koh CS, 1968)라는 논문으로 게재하여 국내 핵의학자의 첫 국제 논문으로 기록되었다. 1969년 고창순 교수가 서울대학교동위원소 진료실로 옮기면서부터 본격적인 논문 발표가 시작되어, 1970년대에는 고창순 교수와 함께 동원회 체계가 구성되면서 연간 6~10편의 논문이 꾸준히 발표되었다. 1971년 고창순 교수는 미국 LA에서 열린 세계핵의학회(미국핵의학회 중 열림)에 참석하여 ‘Renogram in Korean hemorrhagic fever patients’를 주제로 처음으로 국제 학회 발표를 하였다. 이후 미국핵의학회에서는 1988년 정준기 교수가 우리나라에서는 최초로  $^{111}\text{In}$  표지 anti-myosin antibody에 관한 동물실험 연구로 연제 구연발표를 하였다.

1980년대에 들어 조보연(1979년), 이명철(1981년), 정준기(1985년) 등 교수진의 보강과 전임의 제도 시행(1983년), 우수 전공의 확보 등으로 인적 자원이 늘어나면서 연구 논문이 많이 늘어났다. 1980년대 초중반에 이미 연 10~17건의 논문을 발표하였고, 1980년대 후반에는 매년 20~24편의 논문이 발표되었다. 이와 더불어 논문의 질적 향상도 이루어져 1989년에는 조보연 교수의 논문 ‘HLA and Grave’s disease in Korea’가 처음으로 SCI 학술지인 Tissue Antigen (1987;30:1191)에 게재되기도 하였다.

1990년대에 접어들면서 질적, 양적으로 연구 성과가 향상되는 여러 계기가 마련되었다. 임상, 방사화학, 물리 등 핵의학 각 측면에서 이동수(1990년), 정재민(1994년), 곽철은(1994년) 같이 젊은 교수들이 충원되었고, 1996년부터는 김석기를 필두로 핵의학 전공의가 들어오기 시작했으며 이재성과 같은 우수한 학생들도 합류하였다. 한편 정준기(미국 NIH; 1988~1989), 이동수 교수의 연수(미국 워싱턴대학; 1993~1994)로 새로운 연구 분야가 열렸다. 장비 측면에서도 1993년 이중/삼중헤드 SPECT 카메라, 1994년 PET 및 사이클로트론 도입 등이 이루어졌다. 이러한 성과로 1980년대에는 통틀어 2편 발표되었던 SCI 등재학술지 논문이 1990년대에는 68편으로 증가하였다. 전체 논문 수도 매년 20편 전후를 기록하다가, 1999년에 32편에 이어 2000년에는 40편에 이르게 되었다.

이 시기 정준기 교수는 핵의학 주요 학술지인 J Nucl Med에 교실 처음으로 'Clinical immunoscintigraphy of ovarian carcinoma using iodine-131-labeled 145-9 monoclonal antibody'라는 논문을 게재하였으며(1993), 김석기와 천기정은 핵의학 전공의 최초의 해외 논문을 비슷한 시기에 게재하였으며(Clin Positron Imaging 1999), 이재성은 우리 교실에서 처음으로 IEEE 논문 중에 가장 피인용회수가 높은 IEEE Trans Med Imaging (2000)에 논문을 게재하기도 하였다. 또한, 우수논문상을 수상한 수준 높은 논문도 여럿 발표되었는데 FDG PET과 <sup>131</sup>I 스캔 간의 역 상관관계를 밝힌 정준기 교수의 J Nucl Med 논문(1999)과 심근 줄기세포 영상을 위한 NIS 유전자 형질전환 마우스를 개발, 보고한 강주현, 이동수 교수의 J Nucl Med 논문(2005)은 각각 미국핵의학회지의 우수논문상을 받았다.

국내 연구로 미국핵의학회(SNM)에 발표한 초록은 1990년대에 들어서야 처음 나타났으나 그 이후 급격히 증가하였다. 1995년 SNM 발표 연제는 3개에 불과했으나 1999년에는 26개에 이르렀다. 2000년대는 논문 및 초록 발표 등 연구 성과가 만개한 시기였다. 매년 40~50편 이상의 논문을 발표하였으며 2005년에는 56편으로 역대 최다를 기록하였다. 이러한 성과에는 새로운 연구 분야를 활발히 개척하고 인적 자원을 충원한 것이 주효하였으며, 2004년 개원한 분당병원이 또한 큰 역할을 하였다. 핵의학물리 분야의 이재성(2005~) 교수, 분자영상학 분야의 강주현(2001~2006), 김순학(2006~2009), 윤혜원(2008~), 황도원(2010~) 교수, 방사화학 분야의 이운상(2008~) 교수, 인지정신과학 분야의 김재진(2000~2002), 강은주(2003~2005) 교수 등 다양한 분야를 전공한 연구교수진이 수준 높은 연구를 이끌어 냈고, 우수한 전공의와 학생들이 충원되어 주요 국가연구과제를 수행하며 많은 연구 성과를 내었다.

특히, 2000년대에는 괄목할만한 연구업적들이 많았는데, 대표적으로 이동수 교수는 2001년 'Deafness: cross-modal plasticity and cochlear implants'라는 논문을 서울의대 자체 연구로는 최초로 Nature에 게재하였다. 또한, 정준기 교수의 J Nucl Med 종설논문(2002)인 'Sodium iodide symporter: Its role in nuclear medicine'은 현재까지 382회 인용되었으며 새로운 신생혈관영상용 방사성의약품 개발에 대한 정재민 교수 논문인 'Preparation of a promising angiogenesis PET imaging agent: <sup>68</sup>Ga-labeled c(RGDyK)-isothiocyanatobenzyl-1,4,7-triazacyclononane-1,4,7-triacetic acid and feasibility studies in mice'은 214회 인용되었다. 김수진 박사의 논문 'Multiple linear analysis methods for the quantification of irreversibly binding radiotracers'은 J Cereb Blood Flow Metab(2008) 표지논문으로 소개되기도 하였다. 또한, 전공의와 학생의 연구업적도 질과 양 측면에서 향상되어, 전공의 최초로 팽진철이 주요 학술지인 J Nucl Med에 논문을 게재하였으며(2001), 이후 이호영, 이종진 등 전공의들이 주요 SCI 학술지에 논문을 게재하였다. SNM 초록 발표도 2000년대에 활발해져 연 30편 가량을 유지하다가

2009년에는 52편에 이르렀으며, 질적으로도 꾸준히 향상되어 매년 많은 발표가 각 분야 하이 라이트 세션에서 그 해의 주요 연구업적으로 소개되기도 하였다. 2010년대 들어 분자영상 연구는 나노메디신과 테라노스틱스 분야로 발전하고, 물리 및 뇌인지 분야에서는 PET 영상기기 개발과 뇌 네트워크 모델링 관련 논문들이 증가하는데 매년 평균 80편(본원: 45, 분당: 18, 보라매: 8) 정도의 논문을 출간하였다. 특히 각 분야에서 획기적인 발전을 선도한 업적들이 많이 있었는데 그 중 대표적인 논문들로는 세계 최초로 SiPM PET을 개발하고 PET/MRI 영상을 얻는데 성공한 ‘Development of small-animal PET prototype using silicon photomultiplier (SiPM): initial results of phantom and animal imaging studies’ (J Nucl Med 2011, 제1저자: 권순일, 교신저자: 이재성)과 ‘Initial results of simultaneous PET/MRI experiments with an MR-compatible silicon photomultiplier PET scanner’ (J Nucl Med 2012, 제1저자: 윤현석, 교신저자: 이재성), 나노입자의 새로운 친수화 기법 개발로 일정한 크기의 나노입자의 구현을 가능하게 한 ‘Nanoparticles modified by encapsulation of ligands with a long alkyl chain to affect multispecific and multimodal imaging’ (J Nucl Med 2012, 제1저자: 이영경, 교신저자: 정재민), Bone SPECT/CT의 정량화에 관한 세계 최초의 임상 논문인 ‘Maximum standardized uptake value of <sup>99m</sup>Tc hydroxymethylene diphosphonate SPECT/CT for the evaluation of temporomandibular joint disorder’ (Radiology 2016, 제1저자: 서민석, 교신저자: 이원우), MIT Technology Review에 소개된 ‘Predicting cognitive decline with deep learning of brain metabolism and amyloid imaging’ (Behav Brain Res 2018, 최홍윤, 진경환) 등을 들 수 있다.

또한, 우수 저널의 표지를 장식한 논문들도 많이 나왔는데, 무감정과 우울증을 동반한 알츠하이머 치매 환자의 뇌혈류 이상을 분석한 ‘Regional cerebral blood flow abnormalities associated with apathy and depression in Alzheimer disease’ (Alzheimer Dis Assoc Disord 2012, 제1저자: 강지연, 교신저자: 이재성), 인간 발현에서 최적화된 진단/치료용 합성 NIS 리포터 유전자를 개발한 ‘Codon-optimized human sodium iodide symporter (opt-hNIS) as a sensitive reporter and efficient therapeutic gene’ (Theranostics 2015, 제1저자: 김영화, 윤혜원, 교신저자: 윤혜원, 정준기), 치료용 중간엽 줄기세포의 뇌종양에서의 효과를 보고 다중영상 추적한 ‘Dihydropyrimidine dehydrogenase is a prognostic marker for mesenchymal stem cell-mediated cytosine deaminase gene and 5-fluorocytosine prodrug therapy for the treatment of recurrent gliomas’ (Theranostics 2016, 제1저자: 정태문, 나주리, 교신저자: 윤혜원, 정준기), 클릭화학을 이용 알부민 기반 나노플랫폼을 개발한 ‘Versatile and finely tuned albumin nanoplatfrom based on click chemistry’ (Theranostics 2019, 제1저자: 박지용, 송명근, 교신저자: 이윤상, 강건욱, 임형준) 등이다.



SNM 초록 발표는 2010년대 중반까지는 매년 40~50편 정도의 숫자를 유지하다가 후반기 들어 교실원들이 참석하는 국제학회의 종류가 다양해지고, 전공의 숫자가 감소함에 따라 발표 숫자도 점차 줄어드는 추세이나, 연구의 질 향상을 추구하고 있다.

## 나. 학술지 활동

서울대학교 핵의학 교수 및 동문들은 대한핵의학회지 등 국내 학술지는 물론이고 다양한 주요 국제 학술지에서 편집위원 및 편집자로 활동하고 있으며 교실 교수들의 대표적인 학술지 편집위원 활동은 다음과 같다.

학술지명	편집위원 활동
American Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging	정재민(2012~), 강건욱(2011~), 이재성(2011~)
Annals of Nuclear Medicine	이명철(2008~), 정준기(2005~)
Asia Oceania Journal of Nuclear Medicine & Biology	강건욱(2013~), 이재성(2013~)
Biomedical Engineering Letters	이재성(2010~, 편집장 역임)
Current Medical Imaging Review	강건욱(2013~)
Electronics	이재성(2020~)
EJNMMI Physics	이재성(2017~)
European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging	이명철(1998~), 정준기(1998~), 이동수(2001~)
IEEE Transaction on Radiation and Plasma in Medical Sciences	이재성(2020~)
Journal of Korean Medical Sciences	팽진철(2014~)
Journal of Nuclear Medicine	이명철(1999), 정준기(1997~), 이동수(2003), 정재민(2013~), 윤혜원 (2018~)
Journal of Radiopharmaceuticals and Molecular Probes	정재민(2015~, 편집장 역임)
International Journal of Molecular Sciences	윤혜원 (2020~ )
Medicine	팽진철(2012~)
Molecular Imaging and Biology	정준기, 이재성(2020~), 강건욱(2020~)
Molecular Imaging, Human Gene Therapy	정준기(2005~)
Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine	이동수(2014~2016), 강건욱(2011~)
Nuclear Medicine and Biology	정재민(2009~)
Nuclear Medicine and Molecular Imaging	정준기(1985~ 편집장 역임), 이동수(2005~, 편집장 역임), 정재민(2009~), 이원우, 이재성(2006~), 천기정, 팽진철
Physics in Medicine and Biology	이재성(2013~)
Precision Nanomedicine	이동수(2018~)
Radiation Medicine	이명철(1998~2008)
World Journal of Nuclear Medicine	이명철(2002~), 정준기(2001)

## 다. 저술 활동

서울대학교 핵의학 교수 및 동문들은 학문적성과의 확산을 위하여 교과서 등 각종 저술 작업을 적극적으로 주도하거나 함께 하여 많은 성과를 내었다.

저서명	저자
臨床核醫學	이문호 저, 여문각, 1982
임상 핵의학 검사 기술학	서일택 저, 고창순 감수, 고려의학, 1987
Progress in thyroidology	고창순 저, 고려의학, 1989
환자를 위한 갑상선	고창순 저, 고려의학, 1990
핵의학	고창순 편저, 고려의학, 1992
Handbook of Targeted Delivery of Imaging Agents	Torchilin VP 편저, 정재민, 고창순 공저, CRC Press, 1995
갑상선백과	고창순 공저, 서음출판사, 1996
핵의학 제2판	고창순 편저, 교실동문 공저, 고려의학, 1997
Nuclear Imaging of the Chest	박용휘, 김의신, Isawa T 편저, 이동수 공저, Springer, 1998
암연구기법	정준기 저, 의학문화사, 2000
심장핵의학	이명철, 정준기 편저, 교실동문 공저, 고려의학, 2002
Brain Imaging Using PET	Senda M, Kimura Y, Herscovitch 편저, 강건욱, 이재성, 이동수, 이명철 공저, Academic Press, 2002
진단방사선학	한만청 편저, 정준기 공저, 일조각, 2003
Molecular Nuclear Medicine: The Challenge of Genomics and Proteomics to Clinical Practice	Feinendegen LE, Shreeve WW, Eckelman WC, 박용휘 편저, 정준기 공저, Springer, 2003
Clinical PET, Principles and Applications	김의신, 이명철, Inoue T, Wong WH 편저, 정준기, 김병태, 이동수, 김상은, 이경한, 김성은, 팽진철, 이호영 공저, Springer, 2004
Sectional Anatomy: PET/CT and SPECT/CT	김의신, Mar MV, Inoue T, 정준기 편저, Springer, 2008
고창순 핵의학 제3판	정준기, 이명철 편저, 교실동문 공저, 고려의학, 2008
핵의학 길잡이	핵의학교육연구회 편저, 고려의학, 2009
순환기학	최윤식, 이영우 편저, 이동수, 팽진철 공저, 일조각, 2010
Moyamoya Disease Update	조병규 편저, 이동수, 팽진철 공저, Springer, 2010
Electronic Circuits for Radiation Detection	Iniewski K 편저, 이재성, 홍성중 공저, CRC Press LLC, 2010
영상의학회 물리학교과서	영상의학회 편저, 이재성 공저, 일조각, 2010
PET-CT Beyond FDG	anti S, Farsad M, Mansi L 편저, 강건욱, 정재민 공저, Springer, 2010
영상의학 제3판	한만청 편저, 강건욱 공저, 일조각, 2010
임상 PET	이명철 편저, 교실동문 공저, 고려의학, 2011
Radiation Technology and Its Applications	Yoo BD 편저, 정재민 공저, Design MORU, 2011

Handbook of Nuclear Medicine and Molecular Imaging: Principles and Clinical Applications	김의신, 이동수, Tateishi U, Baum RP 편저, 이재성, 이운상, 김유경, 이동수, 이호영, 정준기, 팽진철, 천기정, 김석기, 오소원, 강건욱 공저, World Scientific; 2012
Clinical PET and PET/CT: Principles and Applications, 2 <sup>nd</sup> Edition	김의신, 이명철, Inoue T, Wong W-H 편저, 이호영, 박은경, 김석기, 강건욱, 이동수, 오소원, 김상은, 이종진, 송요성, 이원우, 강원준, 팽진철, 최창운, 김병태, 정준기, 이경한, 임상무, 최준영, 이재성, 강건욱 공저, Springer, 2013
Medical Imaging: Technology and Applications	Farncombe T, Iniewski K 편저, 이재성, 이동수 공저, CRC Press, 2013
Theranostics, Gallium-68, and Other Radionuclides	Baum RP, Rösch F 편저, Hoigebazar L, 정재민 공저, Springer-Verlag, 2013
한국인의 건강검진	조상현 편저, 팽진철 공저, 고려의학, 2013
Therapeutic Nuclear Medicine	Baum RP 편저, 이운상, 정재민 공저, Springer-Verlag, 2014
Molecular Imaging of Small Animals – Instrumentation and Applications	Habib Zaidi 편저, 정준기, 윤희원, 강건욱 공저, Springer, 2014
Internet Addiction	Montag C, Reuter M 편저, 김상은, 박현수 공저, Springer, 2017
Pitfalls in Musculoskeletal Radiology	Wilfred CGP 편저, 이재성, 양승오 공저, Springer, 2017
Combined Scintigraphic and Radiographic Diagnosis of Bone and Joint Diseases	박용휘 편저, 이원우 공저, Springer, 2017
Radionanomedicine	이동수 편저, 강건욱, 송명근, 황도원, 이운상, 서민석, 임형준, 천기정, 이재성, 서성호, 최홍윤, 하승균, 김용일, 오소원 공저, Springer, 2018
고창순 핵의학 제4판	강건욱, 김상은, 이동수, 정준기 편저, 교실동문 공저, 고려의학, 2019
심부전	대한심부전학회 편저, 팽진철 공저, 대한의학, 2020

## 4. 대외협력활동

### 1) 국내 협력활동

#### 가. 대한핵의학회

서울대학교는 대한핵의학회 창립에서 주도적 역할을 하였다. 방사성동위원소의 의학적 이용을 계속 발전시킬 학문적 토대가 필요함을 절감하여 1961년 11월 대한핵의학회 설립을 받기 하였을 때 이문호 교수를 비롯한 이장규, 민병석, 고창순, 이민재 등 동문들이 주축으로 참여하였다. 같은 해 12월 28일 서울대학교 의과대학 강의실에서 43명의 동호인이 참석한 가운데 창립총회를 개최하여 회칙을 채택하고 초대 회장으로 이문호 교수를 선출하여 대한핵의학회가 정식 출범하였다.

1975년까지 학회를 이끌었던 이문호 교수가 1976년 명예회장으로 추대되었으며 고창순 교수가 제1대(1976~1985) 대한핵의학회 이사장, 이장규 교수가 제2대 회장으로 선출되어 학회를 이끌게 되었다. 그 후 고창순 교수가 제8대 회장(1989~1990), 김목현 동문이 제11대 회장(1994~1996), 홍성운 동문이 제16대 회장(2004~2006), 노홍규 동문이 제4대 이사장(1990~1992), 이명철 교수가 제5대 이사장(1993~1996), 정준기 교수가 제7대 이사장(1999~2002), 김병태 동문이 제8대 이사장(2002~2005)을 맡는 등, 학회를 위해 활동하였다. 이명철 교수가 제17대 회장(2006~2007) 역임 시 이사장직을 없애고 회장 단일체제로 정관을 개정 변경하였다. 이후에도 범희승 동문(제19대, 2008~2010), 이동수 교수(제20대, 2010~2012), 문대혁 동문(제21대, 2012~2014), 김상은 교수(제23대, 2016~2018), 이경한 동문(제24대, 2018~2020)이 회장으로 선출되어 활동하였다. 현재 민정준 동문이 제25대(2020~2022) 회장으로 활동 중이며, 강건욱 교수가 차기회장(제26대, 2022~2024)으로 선출되었다. 이 외에도 여러 교수와 동문들이 학회 이사 등의 보직을 맡아 활발히 활동하였다.

대한핵의학회의 공식 학술잡지인 '대한핵의학회잡지' 제1권 제1호는 1967년 3월 1일 창간되었다. 이후 매년 2회씩 발간되다가 1985년 연 4회로 늘려 발행하였으며, 2009년까지 질적 양적 향상을 거듭해오던 중 학회지의 SCI 등재 추진을 결정하였다. 2010년부터 영문으로 전환하고 Springer를 출판사로 하여 Nuclear Medicine and Molecular Imaging이라는 이름으로 출판하게 되었다. 이 과정에서 학회 간행이사 정재민 교수가 크게 공헌하였고 전환 후 첫 편집위원장으로 정준기 교수가 위촉되었다. 이후 이동수 교수가 2014~2020년 편집위원장을 맡아 비공식 impact factor 2.0을 넘기는 등 비약적 발전을 이루었고, 현재 범희승 동문이 편집위원장을 맡고 있다.

## 나. 대한핵의학기술학회

대한핵의학기술학회는 1976년 12월 5일 동위원소진료실에 근무하는 서울의대부속병원, 고려병원, 원자력병원의 직원 7명이 모여 기술학회의 발족이 필요하다는 공감대를 이루고, 12월 18일 18명이 참석한 송년회장(필동성심병원)에서 정식으로 거론하고 발기인 모임을 가짐으로써 설립되었다. 1977년 1월 5일 원자력병원 동위원소실에서 가칭 준비위원회를 구성하고 학회 명칭을 “대한핵의학기술학회”라 정하고 정관 및 회장단(임원)을 선출하였다. 회장 곽종철(필동성심병원)과 더불어 재무이사로 서일택 당시 수석기사가 선출되었다. 서울대학교병원 서일택 기사가 1993년부터 1995년까지 제9대 회장으로 학회를 이끌었다. 이후 진광호 수석기사(제11대), 조규진 기사장(제12대), 정윤영(제13대), 원우재(제15대), 이인원 팀장(제16대), 조시만(제17대), 노경운 기사장(제18대, 2017~2019) 등이 회장으로 선출되어 학회를 이끌었고, 현재 이홍재 수석기사가 제19대(2020~2022) 회장으로 활동 중이다.

## 다. 연관 학회 활동

### (1) 대한의료정보학회

대한의료정보학회는 정보화 사회로 지향하자는 사회적인 요구에 따라 의료계, 학계, 산업계 인사들이 한데 모여 1987년 9월 25일 창립되었다. 고창순 교수가 대한의료정보학회 초대회장으로 추대되어 학회의 토대를 구축하였으며 제9차 세계의료정보학술대회 조직위원장(1995~1998)으로서 학술대회의 성공적인 개최에 크게 이바지 하였다.

### (2) 대한방사선방어학회

대한방사선방어학회는 방사선방어에 관한 제반 연구 및 발전에 이바지하고 학술의 국제교류 및 국제학술단체와의 상호협력 증진에 기여함을 목적으로 1975년 창립총회를 열고 활동을 시작하였다. 고창순 교수가 창립 주역으로 제1, 2대 부회장(1975~1979)을 역임하였고, 이명철 교수가 제16대 회장(2006~2007)으로 학회를 이끌었다. 범희승 동문(2008~2009, 2016~2017), 김종순 동문(2010~2011)이 부회장으로 활동하였으며, 송호천 동문이 대외정책이사(2018~2019), 강건욱 교수가 미래기획위원장(2020~2021) 등으로 기여하였다.

### (3) 대한의용생체공학회

대한의용생체공학회는 의학, 생물학에 대한 공학적인 방법과 공학에 대한 의학, 생물학적 지식의 응용에 관한 학술 및 기술의 진흥과 지식의 교류, 사회에 대한 사업의 진흥을 도모하는 것을 목적으로 1979년 창립총회를 개최하고 활동을 시작하였다. 고창순 교수가 제5대 회

장(1985~1987)을 맡았고, 고창순 교수의 제안으로 보건복지부 G7 선도기술의료공학사업이 1996년 시행되어 이명철 교수가 기획 및 총괄책임자를 맡았다. 이명철 교수는 제12대 회장(1997~1999)으로 학회를 이끌면서 1998~1999년 제4차 아태의공학회 조직위원회 부위원장으로 활동했다. 이재성 교수가 2010년부터 편집이사를 맡고 있으며 2016년부터 영문학술지 Biomedical Engineering Letter의 편집위원장을 맡고 있다.

#### (4) 대한뇌기능매핑학회

2002년 뇌기능 매핑 연구에 관심을 가진 국내 연구자들이 모여 창립되었다. 뇌기능 매핑을 위한 획기적 영상 도구들의 발전을 기반으로 하여 정상적 뇌기능에 대한 이해 증진과 뇌기능 이상과 관련된 질환에 대한 진단 및 치료 활용도 증가를 목표로 한 연구들을 활성화하기 위하여 창립하였다. 이명철 교수가 초대회장을 맡은 후 고문으로 활동하였고, 이동수 교수가 국제이사, 기획이사, 교육이사, 감사 및 제5대 회장으로 기여하였다.

#### (5) 대한분자영상(의)학회

2002년 12월 10일 분자 수준의 변화를 영상으로 분석 평가함으로써 질병에 대한 이해, 질병의 조기 진단, 분자유전자 수준의 치료를 발전시키고자 하는 목적으로 연구회가 창립되었다. 2004년 분자영상의학회로, 2009년 다시 분자영상학회로 명칭을 변경하였다. 정준기 교수, 문대혁 동문, 이경한 동문 등이 회장직을 맡았고, 강건욱 교수, 민정준, 정환정, 강주현, 김광일 동문 등이 주요 이사로 참여하고 있다.

#### (6) 대한갑상선학회

갑상선 질환의 급격한 증가를 배경으로, 핵의학을 포함한 여러 다양한 분야의 상호 협력적인 진료와 연구를 위하여 2008년 2월 16일 창립되었다. 2008년 정준기 교수가 초대 부회장, 김종순 동문이 이사장을 맡았다. 조보연 교수(2010), 정준기 교수(2013), 범희승 동문(2021) 등이 회장을 맡아 기여하였다.

#### (7) 대한방사성의약품학회

대한핵의학회 내의 방사성의약품화학연구회가 2010년 구성되어 정재민 교수가 연구회의 주요 구성원으로 활동하였다. 방사성의약품연구회는 기존 핵의학에서 사용되는 방사성의약품과 새롭게 개발되는 방사성의약품에 대한 연구교류를 목적으로 설립되었으며, 이를 바탕으로 2014년 대한방사성의약품학회가 설립되어 정재민교수가 초대회장으로 2년간 학회를 운영하였다. 2020년 현재 이윤상 교수가 총무이사로 학회 업무를 하고 있다.



## 라. 유관 기관/단체 활동

### (1) 한국방사선진흥협회

한국방사선진흥협회는 방사성동위원소 이용조성, 안전증진 및 산업 발전에 기여하는 것을 목적으로 설립된 단체이다. 1985년 5월 30일 한국방사성동위원소협회 창립총회를 열어 고창순 교수가 부회장으로 선출되었고, 이후 고창순 교수가 제3~5대 회장으로 선임되어 협회를 위해 공헌하였다. 1991년부터는 이명철 교수가 협회 감사, 이사, 부회장으로서, 이어 정준기 교수가 부회장으로서 협회에 기여하였다. 2008년 4월 28일 '방사선 및 방사성동위원소 이용진흥법'에 의한 한국동위원소협회로 변경되어 재창립하였으며, 2014년 사단법인 한국방사선진흥협회로 개칭하였다. 2010~2017년 이명철 교수가 제9~11대 회장을 맡아 협회를 이끌었으며, 특히 재임 기간 정읍연구센터를 설립하였고 숙원 사업이던 협회 회관을 확보하였다. 현재 김상은 교수가 부회장, 강진욱 교수가 이사 및 핵의학발전전략위원장으로 활동하고 있다.

### (2) 방사선의학연구소 (현 원자력의학원)

1960년대 방사선의학 연구가 점차 다양해지면서 더욱 효율적인 연구와 이용을 위해 중심기구의 필요성에 부응하기 위해 원자력원은 1962년 11월 26일자로 원자력연구소 안에 방사선의학연구실을 설치했고, 방사선의 의학적 이용에 관한 학술적인 연구를 분장시켰다. 이것이 모체가 되어 다음해 12월 17일 방사선의학연구소로 승격하여 원자력원 직속기구로 독립하게 되었다. 고창순 교수가 1964년부터 1969년까지 동위원소연구실장으로 방사선의학연구소에서 근무하였고, 서울대학교병원 동위원소진료실 멤버였던 이장규 교수가 1969년 2월 15일 제2대 소장으로 취임하였다. 이후 원자력병원으로 변경되었다가 과학기술부 산하 원자력의학원으로 승격되었다. 원자력병원 및 원자력의학원에는 홍성운(부원장), 김종순(의학원장), 임상무(방사선비상진료센터장), 최창운(병원장), 천기정, 김성은, 김병일, 임일한, 이인기 동문 등이 근무하였거나 근무하고 있으면서 한국 핵의학 발전의 견인차 역할을 하고 있다. 원자력병원 시기 고창순 교수, 이명철 교수, 홍성운 동문 등이 이사직을 맡았고, 원자력의학원에서는 이명철, 정준기 교수가 이사를 맡았다.

### (3) 원자력연구원

원자력연구원은 원자력연구개발의 종합적 수행을 목표로 1959년 설립된 정부출연 연구기관이다. 비발전 원자력기술 연구 분야에서 핵의학과 밀접한 연관을 갖고 있으며, 특히 방사성동위원소 및 방사성의약품의 생산 연구 분야에서 깊은 협력관계를 맺었다. 이명철 교수가 이사(1997~2003)로 활동하였고, 연구원 소속의 최선주 박사가 교실 겸임교원으로 임용되기도 하였으며  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE의 초기 비임상 개발 단계에서 국가 과제를 함께 수행하기도 하였다.

#### (4) 방사선보건원

방사선보건원은 방사선보건 전문기관으로서 김종순 동문이 주도적으로 활동하여 1996년 한일병원 방사선보건연구소로 발족하였으며, 2001년 한국수력원자력(주) 산하로 변경되었다가 2014년 방사선보건원으로 변경되었다. 정준기 교수와 이명철 교수가 원전역학조사 등 여러 협력사업을 공동수행하였으며, 이명철 교수는 2006년부터 현재까지 자문위원장으로 역할을 하고 있다. 방사선의학의 최일선에 있는 핵의학과 밀접한 협력을 하여 왔으며, 김종순, 김소연 동문이 원장을 역임하였다.

#### (5) (사)원자력응용의학진흥협회

‘(사)원자력응용의학진흥협회’는 세계핵의학회의 운영 및 개최를 위한 법적 기구로서, 원자력응용의학 연구와 그에 관한 학술발전 및 보급에 기여하기 위하여 발족되어 2003년 10월 14일 사단법인으로 설립되었다. 이명철 교수가 초대 회장으로 추대되었으며 정준기 교수가 총무이사, 서일택이 사무국장에 선임되었다.

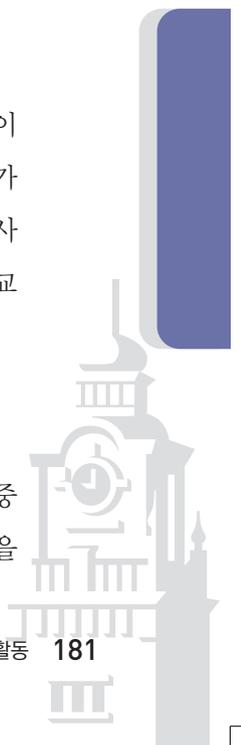
세계핵의학회 개최와 관련된 업무를 비롯 국제원자력응용의학 분야의 과학기술발전에 필요한 대외협력, 조사, 학술 연구 개발에 관한 정보 및 자료의 수집과 교류업무 등을 담당하였으며 원자력응용의학의 국제진흥을 위한 기금 조성 및 국제원자력응용의학 이용에 관한 학술연구 발표회, 토론회 및 강연회 등을 개최하고 원자력응용의학의 이용과 관련된 국내외 제 기관과의 상호 기술협력과 학술진흥 교류활동에 관련된 출판업무 등을 진행해 왔다. 세계학회 개최 후에는 주로 리더십 교육, 핵의학 포럼 운영, 국내외 핵의학진흥사업을 주로 해왔으며, 현재 강건욱 교수가 회장으로 활동하고 있다.

#### (6) 대한의학회

대한의학회는 1966년 의학협회에서 당시 34개 분과학회를 통괄할 기구로서 시작되었다. 이문호 교수가 기획이사(1969~1971), 부회장(1971~1972) 및 회장(1972~1994), 고창순 교수가 이사(1991~1994) 및 고문, 이명철 교수가 임상의학이사(1997~2000), 이동수 교수가 보험이사(2006~2012) 및 의료정책이사(2012~2015) 등으로 기여하였다. 2019년 3월 26일故고창순 교수는 대한의학회 명예의 전당에 헌정되었다.

#### (7) 한국과학기술한림원

한국과학기술한림원은 한국 과학기술진흥과 과학기술 정책의 연구, 평가 및 자문에 대한 중추적 역할 수행을 위해 1994년 11월 22일 창립되었다. 고창순 교수가 2007~2010년 이사장을



역임하였고, 이명철 교수가 2011년 의약학부장, 2014년 회원담당부원장을 거쳐 2016~2019년 제8대 원장직을 수행하였으며 2019년부터는 이사장으로 우리나라 과학기술 진흥에 기여하고 있다. 이동수 교수가 2006년 정회원, 이재성 교수가 2007년 준회원이 되었다.

#### (8) 대한민국의학한림원

2004년 출범한 대한의학한림원은 의학, 치의학, 약학, 영약학, 간호학, 보건학 등 관련 전문 분야의 최고의 석학들로 구성된 단체로, 의학의 지속적인 진흥 창달과 선진화를 선도하며 의학 발전과 국민 건강증진에 이바지하기 위해 설립되었다. 고창순, 이명철, 정준기, 이동수, 김상은 교수와 이경한 동문이 정회원으로 활동하였거나 활동 중에 있다.

## 2) 국제 협력활동

### 가. 해외 핵의학회

#### (1) 미국 핵의학분자영상학회 (SNMMI)

미국핵의학분자영상학회(Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, SNMMI)는 국제적 핵의학 학술활동의 가장 중요한 무대 가운데 하나였다. SNMMI 연례학회에는 1984년 가톨릭의대 박용휘 교수가 국내 처음 연제를 발표하며 참여하였고, 서울대학교에서는 1988년 정준기 교수가 국내에서 이루어진 연구를 처음으로 구연 발표하였다. 연제 발표는 1990년대 후반부터 기하급수적으로 늘어 2001년에는 발표 논문 수에서 4위 국가가 되기에 이르렀다. 미국 핵의학회지(JNM)에는 이명철 교수, 정준기 교수, 이동수 교수 등이 편집위원회에 참여하였다.

#### (2) 유럽핵의학회 (EANM)

유럽핵의학회(European Association of Nuclear Medicine, EANM) 역시 중요한 학술활동 공간으로 매년 꾸준히 연례대회에 참가하고 있다. 유럽핵의학회지(EJNMMI)에는 이명철 교수, 정준기 교수, 이동수 교수와 문대혁 동문 등이 편집위원회에 참여하였고 이재성 교수가 EJNMMI Physics 편집위원으로 활동하고 있다.

#### (3) 세계핵의학회 (WFNMB)

세계핵의학회(World Federation of Nuclear Medicine and Biology, WFNMB)는 1974년 도쿄와 교토에서 첫 학술대회를 개최한 이후 서울대학교 핵의학교실에서 적극적으로 참여하였으며 2006년 이명철 교수가 회장으로 서울에서 제9차 대회를 개최하기에 이르렀다. 이러한 국제적 리더십을 계승하여 이동수 교수가 2016년 세계핵의학회 회장으로 다시 선출되었다. 같은

기관에서 2명의 세계핵의학회장이 나온 초유의 사건으로 서울대학교 핵의학교실의 국제적 리더십을 극명히 보여준 계기였다.

#### (4) 한중일핵의학회

한중일 핵의학회는 동아시아 3국의 핵의학 동반 발전을 위해 서울대학교 핵의학의 주도로 만들어졌다. 일본은 핵의학 학계 및 산업계의 주도로 1992년부터 중-일 핵의학회를 열고 있었으나 우리나라가 함께 하는 모임은 없었다. 이에 이명철, 정준기 교수 등은 동아시아 지역내 협력을 위하여 1998년 10월 8~10일 제1차 한-중 핵의학회를 중국 북경에서 가졌고 2000년 제2차 대회를 춘계 대한핵의학회에 맞추어 서울대학교 호암교수회관에서 개최하였다. 이때 효율적인 3국간의 협력을 위하여 일본 핵의학회 이사장을 초청, 협의하여 다음 대회부터 한-중, 중-일을 통합한 한중일 핵의학회를 개최하기로 하였고, 2002년 중국 대련에서 첫 한중일 핵의학회를 열었다. 격년으로 학술대회를 개최하였으며 2006년 대회 이후 다른 핵의학 학술대회와 일정을 조정하여 2009년으로 옮겨 매 홀수 해마다 개최하고 있다.

#### (5) 아시아핵의학기술학회 (ASNMT)

아시아핵의학기술학회(Asian Society of Nuclear Medicine Technology, ASNMT)는 2011년 한국, 일본, 대만 핵의학 technologist가 모여 학술교류를 위해 결성되었다.

핵의학기술학의 학술 교류는 2011년 10월 27~29일 일본 TSUKUBA에서 1차 회의 후 한국, 대만 순서로 개최되어 많은 학술 교류가 시작되었다. 2017년 도쿄 ASNMT에 중국이 옵서버로 참석하고 한국에서 열린 제8차 회의에서 중국이 정식으로 가입하였다. 제8차 ASNMT에서는 미국 핵의학기술학회장 Norman Bolus가 참석하여 축하해 주었고 SNMT 현황에 관한 강의로 ASNMT와 SNMT가 교류가 시작되는 계기가 되었으며 2020년 COVID-19로 인하여 제 10차 회의는 2021년도로 연기되었다.

### 나. 해외 유관학회

#### (1) 세계분자영상학회 (WMIC)

2000년대 이후 분자영상학이 핵의학의 주요한 분야로 편입되면서 분자영상학회 활동도 지속적으로 확대되었다. 국제 분자영상학회는 AMI (Academy of Molecular Imaging)와 SMI (Society for Molecular Imaging)가 양대 국제학회로 자리 잡고 있었고 2008년부터 FASMI (Federation of Asian Societies for Molecular Imaging)와 ESMI (European Society for Molecular Imaging) 등의 지역 학회와 연합하여 WMIC (World Molecular Imaging Congress)로 공동 학술대회를

개최하고 있다. 이 과정에서 서울대학교 핵의학교실은 중추적 역할을 담당하였는데, 2006년 정준기 교수가 일본 및 대만 분자영상학계 인사들을 모아 FASMI를 창립하는 데 주도적 역할을 하며 제1대 회장을 맡았고, WMIC에서도 2007년 창립되면서부터 20명으로 구성된 집행위원회 위원으로 활동하였다. 정준기 교수 주도로 학술대회 유치활동을 하여 2014년 WMIC를 서울에서 개최하였고, 이는 2010년 일본 교토에 이어 아시아에서 열린 두 번째 WMIC가 되었다. 강건욱, 이재성 교수가 WMIC의 학술지인 Molecular Imaging and Biology 편집위원을 맡고 있다.

### (2) 세계방사성의약품과학회 (SRS)

세계방사성의약품과학회(Society of Radiopharmaceutical Sciences, SRS)는 원래 International Symposium on Radiopharmaceutical Sciences (ISRS)가 학회 없이 2년마다 진행되다가 이를 더 조직적으로 운영하기 위하여 생긴 학회이다. ISRS는 원래 International Symposium on Radiopharmaceutical Chemistry (ISRC)로 1976년에 Brookhaven National Laboratory에서 처음 열렸는데, 그로부터 매 짝수년에 열리다가 1993년에 열린 제10차 일본 교토 학회부터 홀수년에 열리게 되었다. 2007년 독일 아헨에서 열린 제17차 대회부터 ISRS로 이름이 바뀌면서 화학 분야뿐만 아니라 생물학 관련 분야를 더 많이 포용하게 되었다. 제20차 대회가 2013년 우리나라 제주에서 열렸고 이 때 정재민 교수가 사무총장직을 맡았다. ISRS는 2003년부터 SRS를 운영하기 시작하였는데 초대 회장은 독일의 August P. Schubiger였고, 정재민 교수는 2017년부터 2019년까지 제8대 회장을 역임하였다. SRS는 방사성의약품과학 분야에서 세계적으로 뛰어난 학자들이 모두 참여하여, 현재 세계의 방사성의약품 분야를 이끌고 있다.

### (3) IEEE Nuclear and Plasma Sciences Society (NPSS)

공학 분야에서 가장 큰 전문가 조직인 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)의 산하학회로 핵 및 플라즈마 과학 분야를 관장하고 있다. 8개의 Technical Committee 중 의료영상 분야 Nuclear Medical and Imaging Sciences Technical Committee (NMISTC)에서 이재성 교수를 비롯한 공학, 물리분야 전공 교실원과 동문들이 활발하게 활동하고 있다. NPSS에서 주관하는 학회들 중 가장 규모가 큰 학회인 IEEE NSS/MIC (Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference)를 2013년 서울에서 개최하여 이재성 교수가 MIC Chair로 활동하였으며, 2021년 일본 요코하마 학회에서 MIC Co-chair를 맡을 예정이다. 이재성 교수는 또한 NMISTC 활동과 MIC 학회를 관장하는 NMISC의 Vice Chair, Chair, Immediate Past Chair로 6년간 활동하고 있으며(2016-2021), NPSS AdCom 멤버로도 활동(2018-2019)하고 있다. Seoul Chapter에서는 매년 겨울 동계 심포지움을 핵의학 영상 및 기기 연구회, 한국방사

선산업학회와 공동 개최하고 있다. 2019년 이민선, 원준연 동문이 Ronald J. Jaszczak Graduate Award와 Glenn F. Knoll Graduate Education Grant를 수상하기도 하였다.

#### 다. 해외 유관 단체 활동

##### (1) 세계동위원소대회 (ICI)

세계동위원소대회(International Conference on Isotopes, ICI)는 세계 각국의 동위원소 분야 전문가들이 연구논문을 발표하고 정보를 교류하는 장으로 1995년 베이징을 시작으로 1999년까지는 매 2년마다, 이후로는 매 3년마다 열리고 있는 대회이다. 제6차 ICI 유치는 핵의학계 뿐 아니라 관련 학계, 산업계가 공동으로 이루어낸 주요한 국제협력 성과였다.

ICI는 이전부터 중국이나 일본이 집행위원으로 활동하고 있었던 데 반해 2002년까지 우리나라의 참가는 거의 없었다. 2000년 차기 세계핵의학회장으로 선출된 이명철 교수는 관련 분야 국제협력을 강화하기 위해 ICI를 주목하였고, 국내 방사선기술 산업 육성과 국가간 기술정보 교류 인프라로 활용할 수 있는 좋은 기회임을 정부와 학계에 환기시켰다. 이에 과학기술부에서는 ICI 유치를 추진하기로 결정하고, 2002년 제4차 남아공 케이프타운 대회에 유희열 차관을 대표로 유치위원회를 파견하여 유치활동을 벌였다. 이때 유치에 성공하지는 못하였으나 이명철(서울대), 김종경(한양대), 박경배(원자력연구소) 등이 ICI 집행위원 자격을 얻었고, 2005년 벨기에에서 열린 제5차 대회에서는 과학기술부 최석식 차관을 대표로 30여 명의 전문가가 참가한 유치활동을 벌여 마침내 제6차 대회 유치에 성공하였다.

제6차 ICI는 동위원소협회를 주관단체로 하여 진행되었으며 협회의 김철중 회장이 대회장, 이명철 교수가 조직위원장, 정재민 교수가 학술위원회를 맡아 활동하였다. 대회는 Global Well-being with Isotopes라는 주제를 가지고 서울 웨라톤 워커히 호텔에서 역대 최대 규모로 2008년 5월 12일부터 16일까지 개최되었다. 동위원소 학술대회와 동위원소 전시회에 총 44개국 700여 명이 참석하였고, 동위원소 학술대회에서는 Applied Radiation and Isotopes 등 세계적 저널에 게재된 100여 편을 포함하여 총 600여 편의 논문이 발표되어 세계 전문가들의 많은 관심을 받았으며, 동위원소 전시회의 경우에도 최신 암 진단장비, 치료장비, 첨단 방사선 계측시스템 등 세계 최고수준의 연구 장비 및 기법이 60여 개 전시부스를 통해 소개되었다. 대회 기간 중 동위원소 관련 학술과 산업적 활동에 관해 논의할 지속가능한 기구의 필요성이 제기되었고, 이에 따라 2008년 IAEA 총회기간 중 세계동위원소기구(World Council on Isotopes, WCI)가 창립되었는데 이는 한국이 주도한 국제 동위원소기구라는 의미가 있다. WCI는 초대회장으로 강창순 교수(서울대 원자력공학과)가 기여하였으며 2009년 시카고에서 열린 집행위원회에서 이명철 교수가 회장(2011~2013)으로 선출되었다. WCI는 세계동위원소대회를 총괄 조정하며 2011년 러시아 모

스코바, 2014년 미국 시카고, 2017년 카타르 도하 그리고 2020년 말레이시아 쿠알라룸푸르에서 3년마다 개최되었으며 강건욱교수가 의료이용위원회 위원장으로 활동 중이다. 현재는 WCI 사무국을 한국방사선진흥협회에 두고 있으나 향후 공익법인체로 독립을 위한 노력을 하고 있다.

## (2) IAEA RCA

국제원자력기구(IAEA)에서의 RCA(Regional cooperative agreement to research, development and training related to nuclear science and technology)는 핵과학 및 기술의 발전을 위해 전문 인력이나 조직 강화 노력을 위한 협정이다. RCA는 1972년 일본의 지원으로 처음 발표되었고, 회원국은 2001년까지 아시아 지역 17개국이었다. 서울대학교는 고창순 교수가 1984년부터 1986년까지 IAEA의 “Investigation of the reliability of radioimmunoassay of thyroid-related hormones”에 관한 합동 연구 프로그램의 일환으로 국내 15개 기관이 참여한 “External quality assessment in radioimmunoassay of thyroid related hormones in the Republic of Korea” 연구를 수행하였다. 고창순 교수는 1989년부터 이 프로젝트의 regional center coordinator가 되어 국내 뿐 아니라 아시아지역의 정도관리를 주도하였고, 이 프로젝트가 학회와 연결되어 현재까지 각종 방사면역측정법의 외부정도관리를 수행하고 있다.

1986년 IAEA/RCA 본회의를 우리나라에서 개최하였는데 당시 우리나라 RCA 사업은 원자력이용기술이나 방사선방호 협력분야가 매우 취약하여 이에 대한 대책의 일환으로 의학분야 회의를 우리나라에서 처음으로 유치하게 되었다. 당시 결정한 연구 프로그램은 의학 분야로는 “evaluation of liver disease”로 정하고 imaging, RIA 및 이에 대한 quality control 등 3가지로 크게 나누어 사업을 벌이기로 결정하였다.

우선 image 분야는 ‘evaluation of imaging procedures for the diagnosis of liver disease’로 정하고 우선 1단계로 nuclear medicine image로 3년간, 2단계는 ultrasonographic image procedure로 3년간 사업을 시행하고 재원은 일본에서 지원하기로 하였다. RIA 분야는 diagnosis of hepatitis B using RIA로 그 외 정도관리 분야는 quality control of gamma-camera 정하고 이에 따른 각각의 워크숍 및 연수를 시행하기로 정하였다. 이때 이명철 교수가 B형 간염진단, 조보연 교수가 QC of RIA 부분을 수행하였고, 워크숍은 서울대학교병원에서 IAEA 지원하에 Dr. Bergman이 와서 수행하였다.

제3차 회의 후 서울대학교병원에서 1999년 7월 19~23일에 “radionuclide technique in the management of diabetic nephropathy”를 주제로 regional training course가 열렸다. 2000년 7월 27일에는 서울대학교병원에서 “Intravascular radionuclide therapy to prevent restenosis following coronary angioplasty”의 consultants’ meeting이 열려 서울대학교병원에서 개발한

<sup>188</sup>Re DTPA 치료법을 표준 방법으로 채택하고 아시아 국가에 보급하였다. 또한 2001년 3월 26일부터 4일간 간질에 대한 IAEA 다국적 공동연구를 위한 coordinator meeting을 서울대학교병원에서 개최하였다.

한편 각종 사업에 대해 과학자 방문, 지역훈련 과정, 전문가과건, 각종 워크숍, 세미나 개최, 지침서 발간 등이 IAEA 참여국에서 주관하여 수행하게 되었고 참여국의 요구에 따라 다양한 프로그램이 현재까지 활발하게 진행되고 있다. 또한 이들 주제별 공동연구사업을 성공적으로 추진하기 위해 주제별 기술 협력 프로젝트(Thematic TC Project)를 추진하여 IAEA는 인프라개발, 인적자원교육, 기자재 공급 등 보조적인 역할을 수행하고 있다. 2000년 2월부터는 IAEA 핵의학 전문기사 원격교육프로그램에 의해 영상분야의 지역교육을 1년간 실시하였는데 대한핵의학회 정준기 이사장이 자문역을 맡았다. 2005년 5월 24일에는 IAEA 핵의학 collaboration center 로 서울대학교 핵의학과가 지정되어, 외국 핵의학자들과의 교육 및 공동 연구의 활성화의 토대를 마련하였다. 2011년 1월부터 2013년 12월까지 RCA는 UNDP와 협력하여 아시아 11개국의 임상핵의학 진흥을 위한 'RCA/UNDP Project on Promoting and Accelerating Nuclear SPECT/PET Imaging Technologies in the Region'을 수행하였으며 김상은 교수가 사업책임자로 활동하였다.

### (3) 아시아지역핵의학협력체 (ARCCNM)

아시아지역핵의학협력기구(Asian Regional Cooperative Council for Nuclear Medicine, ARCCNM)는 지역 핵의학 발전을 위해 이명철, 정준기 교수의 주도로 우리나라를 포함한 아시아 7개국이 홍콩에서 모여 창설한 기구이다. 2000년 세계핵의학회 유치 이후 대회의 성공을 위해서나 대회의 성과를 지역적으로 확산시키기 위해서 아시아 지역 핵의학의 발전 촉진이 주요한 관심사로 떠올랐다. 이에 이명철, 정준기 교수는 역내 핵의학 활동을 촉진하고 인지도를 확산시키며 교육수련 지원을 담당할 국제 기구의 필요성을 절감하고, 아시아 지역 핵의학자들을 규합하였고 2000년 두 차례의 준비모임을 거쳐 2001년 2월 9일~11일 제1차 집행위원회를 열고 발족하였다.

ARCCNM은 이후 참가국을 늘려 2010년 현재 우리나라를 포함해 방글라데시, 차이나, 북한, 홍콩, 인도, 인도네시아, 일본, 말레이시아, 몽골, 미얀마, 네팔, 파키스탄, 필리핀, 싱가포르, 스리랑카, 대만, 태국, 베트남 등 19개국이 참여하고 있다. ARCCNM은 조직위원회, 자문위원회, task-force 그룹으로 구성되어 있으며 역내 학술활동 증진, 국제 심포지움을 통한 공동 연구사업 형성, 핵의학 관련 정보 공유, 교육 활동 등을 담당하고 있다. 특히 교육 활동을 위하여 2003년 2월 산하에 Asian School of Nuclear Medicine (초대 학장 Dr. Felix Sundram)





을 설립하여 개별국가 또는 국제 학술대회에서 세션을 열거나 training course를 주최하는 등의 활동을 하고 있다. ARCCNM은 이명철 교수가 초대 의장, 정준기 교수가 초대 사무총장을 담당하였고 정준기 교수가 2003년 2월부터 2대 회장을 맡았다. 그리고 2010년부터 현재까지 범희승 동문이 회장으로 활동하고 있고 이경한 동문이 2011~2012 사무총장, 그리고 2020년부터 강건욱 교수가 사무총장이 되었다.

## 5. 병원 확장 발전

### 1) 분당서울대학교병원

분당서울대학교병원은, 개원준비 기간인 2003년 3월 이원우 교수가 개원준비단 조교수로 참가하여 초기 핵의학과 설립에 공헌하였고, 부교수(2008년 10월), 교수(2014년 3월)로 승진한 후 2017년 9월부터 현재까지 과장으로 핵의학과를 이끌고 있다. 개원 후 2003년 10월에는 김상은 교수가 삼성서울병원에서 분당서울대학교병원 부교수 겸 과장으로 이임하여 2006년 10월 교수로 승진하였고, 2003년부터 2017년까지 과장으로서 핵의학과를 이끌었다. 2007년 5월 김유경 교수가 새로이 부임하였고 조교수(2008년 5월) 발령을 받아, 2012년 2월까지 근무 후 서울특별시보라매병원으로 이직하였다. 2007년 6월 이병철 교수가 별정전문직으로 부임하여 조교수(2011년 9월), 부교수(2015년 9월)를 거쳐 교수(2019년 3월)로 근무하고 있다. 2009년 9월 이종진 교수가 조교수 발령을 받아 2011년 2월까지 근무 후 서울아산병원으로 이직하였다. 2012년 3월부터 이호영 교수가 조교수로 부임하였으며, 2014년 3월 부교수(2014년 3월)로 승진하였다. 2016년 3월 송요성 교수가 조교수로 발령을 받았다.



분당서울대학교병원



분당서울대학교병원 핵의학과 직원 (2020년)

분당서울대학교병원 핵의학과는 영상검사와 검체검사 등 핵의학 분야의 모든 진료를 수행하고 있다. 2020년 현재 실시하고 있는 영상 검사는 SPECT 35종(심근, 뇌혈류, MIBG, 기타 등)과 일반 영상 검사 48종 등이다.

2019년 기준으로 영상검사 23,169건(PET 포함), 검체검사 491,235건, 치료 418건을 시행하였다. 특히 암 환자와 퇴행성 뇌질환에 주로 사용되는 PET 검사는 2003년 도입 첫해 293건을 시작으로 2019년에는 총 6,925건을 실시해 도입 첫해와 비교해 23배의 괄목할만한 실적 증가를 이루었다. SPECT 및 일반 영상검사는 2003년 첫해 4,079건에서 2019년에는 16,244건으로 약 4배 증가하였고 검체검사는 2003년 첫해 33,979건에서 2019년 49,1235건으로 14배 성장하는 성과를 거두었다. 방사성요오드를 이용한 치료는 개원 첫해에는 갑상선기능항진증 환자를 대상으로 실시하였고 현재 암환자까지 포함하여 시행하고 있다.

### 가. 영상검사

분당서울대학교병원 2003년 개원 초 국내 최초 전면 디지털 병원으로 시작하기 위해 수차례의 EMR 전산 테스트를 진행되었으며, 핵의학과 역시 검사용지 없이 환자 병력청취 사항, 의료기사의 검사방법 및 기술내용, 판독의의 판독문 등 모든 내용을 병원 전산화 시스템을 이용하여 네트워크상에서 처리하도록 하였다. 4월 감마카메라 FORTE, VERTEX60, ARGUS 3대를 설치하여 5월 폐 관류, 간담도 검사를 시작으로 4,081건의 검사를 시행하였으며, 7월 1일에는 암환자 진료에 유용한 최신형 PET스캐너가 해동기기와 산학협동으로 설치되어 293건의 검사를 시행하면서 개원 1년 만에 안정적 진료과로 자리를 잡았다.

2004년 순환기계 분야의 심장 SPECT 검사, 중추신경계 분야의 뇌 SPECT 검사, 근골격계의 뼈 검사, 갑상선 검사, 종양학의 PET 검사 증가로 그 해 1만 건 이상의 검사를 시행하였으며, 전년대비 135%의 증가율로 명실상부한 분당서울대학교병원 진료과로서 핵의학과를 확고히 하였다. 2006년 6월 1일자로 PET이 건강보험 급여 대상에 포함됨에 따라 중증 암 환자 기준 FDG PET 검사의 본인부담금이 기존 90만원에서 15만원으로 대폭 감소하였다. 한국인에 흔한 10대 암을 비롯하여 대부분의 암 환자들이 혜택을 보게 되었으며, 암이 의심되거나, 수술을 계획하거나, 암 치료 후 경과 판정 등에 PET 급여가 포괄적으로 확대되었다. 허혈성 심질환 환자의 심근생존능 평가와 부분성 간질 환자도 급여 대상이 되었다. 그로 인하여 종양 FDG PET 검사는 6개월 만에 전년대비 35%의 증가를 보이게 되었다. 2007년 6월 25일 삼중헤드 감마카메라(Triad XLT9)의 도입으로 기존에 2일에 걸쳐 시행할 수밖에 없었던 Diamox Brain SPECT를 1회 내원으로 시행할 수 있게 되어 검사 효율성 증대 및 환자 만족도 향상을 이룰 수 있었으며, 전년 대비 뇌 SPECT 검사는 28%의 증가를 보였다.

2007년 7월 13일 권역별 사이클로트론(KIRAMS-13)을 삼영유니텍과 산학협동으로 설치하며 FDG 자체 생산이 가능해졌다. 2008년에는 고용량 <sup>131</sup>I 치료병실 오픈으로 갑상선 치료환자의 격리치료가 가능해지고 전년대비 <sup>131</sup>I 치료가 123% 증가하였다. 임상진료과의 지속적 요구로 인해 2009년에는 최신 장비인 64채널 PET/CT인 GE Discovery VCT가 도입되어, 기존 PET (Allegro) 장비만 사용할 때 2~3개월에 이르던 검사대기일수를 5일 이내로 줄였으며, 진료량은 전년 대비 35% 증가하였다. 2011년에는 악성 종양의 뼈 전이 평가, 진단, 모니터링에 용이한 <sup>18</sup>F-플루오리드 PET(bone PET)을 신의료기술화하여, 우리나라 최초로 건강보험심사평가원에 영양급여행위평가 신청서를 제출하였다. 2012년에도 도파민 신경세포 손상에 대한 진단 정확성과 정량성이 우수하여 임상진단 및 조기진단, 진행 정도 평가, 치료방법 결정 및 치료효과 판정에 도움을 주는 <sup>123</sup>I-FP-CIT 뇌 SPECT 신규검사를 신설하였으며 2013년 1월 건강보험심사평가원에 영양급여행위평가 신청서를 제출하였다. 같은 해, 뇌종양, 전립선암 등의 진단에 유용한 <sup>11</sup>C-Methionine PET을 신설하여 현재까지 시행하고 있다. 병원 본관 리모델링에 맞추어서 131병동에 방사성요오드 치료병실을 1실 증설하여 모두 2실의 치료병실을 운용하게 되었고, 2013년 4월 암센터/뇌신경센터가 개원함에 따라 핵의학과와 영상검사건수도 꾸준히 증가하고 있다.

2014년에는 정량적 SPECT 검사가 가능한 SPECT/CT (NMCT/670, GE) 장비가 도입되었고, 이에 따라 SPECT/CT 검사종목을 Hip, Knee, Foot, Hand, Shoulder, C-Spine, T-spine, L-spine 등으로 다양화하였으며 다른 감마카메라 영상검사에도 활발하게 적용하고 있다. 그러나 안타깝게도 2014년 12월 1일자로 FDG PET 급여기준이 축소되어, 급여기준 변경 직후에는



전월대비 28%까지 FDG PET 검사건수가 감소하였다. 그러나 다른 병원들에 비해서는 검사건수 감소 정도가 크지 않았고 이후 검사건수는 점차 회복되었다.

2015년에는 새로운 PET/CT 영상장비인 Siemens mCT FLOW가 설치되었다. FDG PET은 급여기준 제한의 여파를 많이 받았으며, 삭감 사례가 점차 늘어나 이에 대한 이의신청서 작성에 많은 노력을 기울이게 되었다. 이러한 FDG PET 검사건수 감소는 핵의학과 혁신과제로서 “PET 검사 친화도 증대 혁신활동”을 본격 시작하는 계기가 되었고, 대안진료로  $^{18}\text{F}$  Bone PET,  $^{11}\text{C}$ -Methionine PET,  $^{11}\text{C}$ -Acetate PET 등의 검사를 꾸준히 실시하게 되었다. 정량적 SPECT/CT 검사가 많이 늘어났는데, Kidney, Thyroid, Salivary gland, Bone 등에 적용되어 임상진료과로부터 많은 호응을 받았다. 6월 말 중동호흡기증후군(MERS)이 발병하여 전월대비 30%까지 검사건수가 감소하였으나 이후 검사 건수는 점차 회복되었다.

2016년 7월 말부터 11월까지 과내 리모델링의 일환으로 판독실이 기존 in vitro실 자리로 이동하고, in vitro실은 기존 소아재활치료실 자리로 이동하였다. 또한 핵의학과 과내 혁신활동으로 “핵의학과 교직원 한마음 혁신활동”, “핵의학 진료프로세스 개선 혁신활동”을 통해 자율적 변화를 통한 성장을 시도하였다. SPECT/CT는 지속적으로 활발하게 시행하였고 2016년 12월 2호기 SPECT/CT인 GE NMCT670 pro를 도입 설치하여 CT에 의한 방사선노출량을 줄이고 영상의 질을 향상시켰다. 신규 PET 검사로  $^{18}\text{F}$ -Florbetaben PET을 신설하였다.

2017년에는 핵의학과 자율적 혁신활동으로서 “핵의학과 영상 프로토콜 재정비”, “핵의학 검사 예약/수행 모니터링 개선활동, 처지약품 사용프로세스 개선”을 수행하였다. 치매 진단용  $^{18}\text{F}$ -Florbetaben PET 검사는 FDG PET 다음의 진료량을 차디하며 꾸준히 증가하였으며, 이외에  $^{68}\text{Ga}$  발생기의 도입과 함께  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET 등을 신설하였다. 2018년에는 “핵의학 치료의 아시아 허브”라는 비전으로  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET에서 섭취가 확인된 신경내분비종양환자들을 말레이시아 Beacon Hospital에 의뢰하여  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE 치료를 시행하였고(15회), 9월부터는 간암환자에서  $^{90}\text{Y}$ -Therasphere를 이용한 경동맥방사선색전술을 시행하였다(3건). 2018년 PET/CT는 6,357건을 시행하였으며, 감마카메라 영상검사는 15,369건으로 전년대비 약 9% 증가하였다. 신규 PET 검사로서  $^{18}\text{F}$ -FET PET,  $^{18}\text{F}$ -Fluorocholine PET을 시작하였다.

2019년 2월 감마카메라 GE NM630의 도입으로 빼스캔 시간을 대폭 줄였다. 아날로그 형태의 PM 튜브 방식에서 CZT 반도체소자 이용으로 개선된 SPECT/CT인 GE NMCT870 CZT)가 12월에 국내 최초로 도입되었다. 감마 신호에 대한 반응속도를 더 빠르게 처리할 수 있어 더욱 뛰어난 이미지 구현이 가능한 장비로서 활발하게 사용하고 있다.

## 나. 검체검사

2003년 분당서울대학교병원 핵의학과 검체검사실은 감마카운터 2대, RIA-MAT 2대, 자동분주기(Hamilton), cold room, 검체 운송시스템(기송관, 컨베이어) 등 모든 시설을 갖춘 상태에서 개원하였다. 분당서울대학교병원은 대한민국 최초 4-less (paper-less, chart-less, film-less, slip-less) 디지털 병원을 자부하며 명실 공히 최첨단 시스템을 갖추었으며, 핵의학과 검체 검사실도 시설/ 인력/ 장비 면에서 꾸준한 투자와 함께 지속적인 성장을 이루어왔다. 2003년 진료 시작 이후 검체검사는 매년 10% 내외의 꾸준한 증가세를 보여, 2019년에는 491,235건의 검사건수로 개원 당시와 비교하여 3~4배의 증가세를 보였다. 임상수요의 증가에 따라 검사 횟수도 증가시켰고 위탁검사에서 자체검사로 전환한 결과 검사건수의 증가 효과를 얻을 수 있었다. 또한 정확한 결과를 보고하기 위하여 매년 4회 대한핵의학기술학회에서 주관하는 36종목에 대한 외부정도관리에 참여하고 있으며, 이외 종목에 대하여는 기관 간 정도관리를 시행하여 검사 질 유지 및 향상에 노력하는 등, 전 직원들 모두가 크게 기여하고 있다.

2011년에는 DS8150 Auto sampler가 도입되어 RALS 시스템 환경이 만들어져 검체 분주부터 카운터까지 동일한 카세트를 활용하여 검사를 시행하게 되었고 2014년에는 감마카운터 1대가 추가로 도입되어 총 3대의 감마카운터를 보유하게 되어 검사결과를 신속하게 보고할 수 있게 되었다. 2017년과 2019년 Sampler가 2개인 Auto RIA SYSTEM이 도입 되어 다량의 검체를 신속하게 검사하는 데 활용되고 있다.

## 다. 방사성동위원소 치료

2003년 4월 15일 신규 방사성동위원소 사용허가를 신청하였고 4월 29일 치료에 필요한 개봉방사성동위원소  $^{131}\text{I}$  뿐만 아니라  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  외 34종, 밀봉방사성동위원소  $^{133}\text{Ba}$  외 8종에 대해 사용허가를 취득하였다. 6월 18일  $^{131}\text{I}$  7 mCi 치료를 처음 시작하였다. 2005년부터 치료오더 30 mCi의 증가로  $^{131}\text{I}$  사용량을 증량하고  $^{131}\text{I}$  Therapy (30 mCi) 오더를 따로 신설하였다. 고용량 갑상선암 환자의 치료를 위해 2008년 1월 본관 13층에 옥소치료병실(1인실)을 오픈하고 75 mCi, 150 mCi, 200 mCi 고용량 치료오더를 신설하였다. 2013년 본관 13층을 리모델링하여 치료병실을 기존 1실에서 2실로 확충하여 사용하고 있다. 2014년  $^{223}\text{Ra}$  Therapy를 신설하여 골 전이로 인한 증상이 있는 거세 불응성 전립선암 환자 치료를 시작하였으며, 2018년 9월부터는 간암 환자에서  $^{90}\text{Y}$ -Therasphere를 이용한 경동맥방사선색전술을 시행하였다. 2020년  $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE 치료를 위한 준비를 진행하였다.



## 라. 사이클로트론 센터 및 방사성의약품 생산

2004년 당시 과학기술부 산하 과학재단의 원자력연구 기반확충사업의 일환으로 권역별 사이클로트론 센터를 분당서울대학교병원에 유치하기로 하여 2006년 5월 사업에 대한 협정을 체결하였고 경북대(2005년), 조선대(2006년), 부산대(2007년)에 이어 13 MeV 용량 국산 사이클로트론 KOTRON-13을 설치하였다. 본관 지하 3층에 423 m<sup>2</sup> 규모의 사이클로트론 센터를 짓고 2007년 11월 방사성동위원소 생산허가를 취득, 2008년 1월 제조업 허가 및 FDG 품목허가를 받았으며 5월 사이클로트론센터 개소식을 갖고 6월부터 본격적인 FDG 양산을 시작하였다. 2020년 현재까지 권역별 사이클로트론으로서는 최고의 성과를 보여주고 있다. 뿐만 아니라 각종 방사성 의약품과 분자 나노추적자 등을 직접 생산하여 분자영상 연구에 활발히 사용하고 있다.

2009년 4월 1일부로 산학협동으로 도입되어 사이클로트론이 병원자산으로 등록되었고, 제조소 명칭이 분당서울대학교병원에서 서울대학교병원 제2공장으로 변경되면서 FDG 가격이 1도즈 기준 224,000원에서 280,000원으로 변경되었다. PET/CT 도입에 따라 FDG 수요가 많아졌고 지속적인 성능개선 연구를 통해 사이클로트론 가동률의 안정적 유지는 물론 더욱 효율적인 FDG 생산이 가능해져 2009년 8월부터 서울대학교병원 강남센터에 FDG 판매가 시작되었다. 2011년 7월부터 <sup>11</sup>C 생산 장비를 도입하여 <sup>18</sup>F 생산만 가능했던 한계를 극복했으며 <sup>11</sup>C 방사성의약품인 아세트산나트륨, 메치오닌, PIB 등을 생산하여 외산 사이클로트론과 견줄 수 있는 성능개선을 이루었다. 2012년 9월 파킨슨병 진단에 이용되는 <sup>123</sup>I-FP-CIT 주사액을 생산하여 진료를 시작하였고 이후 여러 조제실제제를 추가 등록하여 진료활동에 질적, 양적 성장을 이루었다.

2017년 11월 방사성의약품에 대한 의약품 제조 및 품질관리기준(Good Manufacturing Practices; GMP) 적합 판정서를 취득하였다. 2018년 1월 1일부터 시행된 GMP는 의약품을 제조하고 품질관리를 거쳐 출하하는 전체공정에 대한 관리기준을 정한 것으로 모든 의약품 제조업체는 이를 반드시 준수해야 한다. 이전까지 방사성의약품은 GMP 적용대상이 아니었으나 2014년 식품의약품안전처가 의약품실사상호협력기구(PIC/S)에 가입하면서 모든 의약품으로 이를 확대 적용하여 GMP 적합 판정 없이는 방사성의약품 생산이 불가능하게 되었다. 3년 주기로 방사성의약품 GMP 재인증을 받게 되어 있어 2020년 식품의약품안전처로부터 받는 실사 및 재인증을 받았다.

## 2) 서울특별시 보라매병원

### 가. 개요

보라매병원은 1955년 서울특별시립영등포병원으로 출범하였고 1987년 본원에서 위, 수탁운영계약을 하게 되었으며 핵의학 검체검사실은 1991년 10월 본관 1층에 면적 40평 규모로 시

작하였다. 새 병원이 신축됨에 따라 검체검사실은 2008년 5월 신관 3층 40평 규모로 이전하였고 영상검사실은 기존 검체검사실을 포함한 주위면적 110평을 우선 개보수하여 2009년 5월부터 영상장비를 설치하고 8월에 진료를 시작하였다.

2013년 1월에는 희망관 4층에 약 10평 규모의 옥소치료병실 2실을 개설하여 운영하고 있다. 보라매병원 핵의학과 교수진의 변천사를 연도별로 살펴보면, 2008년에 이호영 교수가 핵의학과 과장으로 부임하여 체내검사실 개설에 공헌하였다. 2012년 3월 1일 김유경교수가 핵의학과 과장으로 부임하여 2020년 2월까지 핵의학과를 이끌었다. 2020년 3월 1일자로 김유경교수가 보라매병원 홍보실장으로 부임하여 의무장인 오소원교수가 핵의학과 과장으로 승진발령받았다.

#### 나. 2009~2011년

2009년 희망관 1층에 체내검사실을 신설하여 PET/CT 1대, SPECT/CT 1대, 감마카메라 3대를 설치하고 영상검사를 시작하였다. 같은 시기에 핵의학과 외래진료를 시작하였고 <sup>131</sup>I 치료를 개시하였다. 직원은 우재룡 기사장 외 체내검사실 9명, 체외검사실 3명이 근무하였다. 2010년 도용호가 강남센터로 진출되고 김태엽이 전입되었다.

2011년에 감마카메라 1대가 SPECT/CT로 업그레이드 되었으며 조성욱, 장현영, 문일상이 진출되고 임정진, 신희정, 김승정이 전입되었다.

#### 다. 2012~2019년

2012년 3월 2011년 최우수부서 표창을 수상했고 2012년 6월에 1사분기 성과평가 우수부서 표창을 수상했다. 2012년 3월 이호영 교수가 분당서울대학교병원으로 진출되었고, 분당서울대학교병원 김유경 교수가 보라매병원 핵의학과장으로 발령받아 근무를 시작하였다. 2012년에 성용준이 진출하였고 김병진이 전입하였다. 2013년 1월에는 희망관 4층에 약 10평 규모의 옥소치료병실 2실을 개설하였다.

10월에 고객만족도조사 우수부서상, 4분기 성과평가 우수부서상을 수상하였다. 같은 해 윤석환, 김종필이 진출하였고 현준호, 오세문이 전입하였다. 2014년 급격히 증가한 PET 검사로 인하여 안정실 1개실을 증설하였고 판독실 및 진료실을 확장하였다. 같은 해 신선영, 신병호, 김태엽, 이현주가 진출하였고, 김태훈, 최진욱, 김대운, 권형진, 서효열, 장현영이 전입하였다. 2015년에는 임정진, 김승정 직원이 진출하였고 정규일, 송호준 직원이 전입하였다. 2016년 핵의학과 영상검사 시 사용 가능한 환자안전 보조기구 연구라는 주제로 QI 경진대회 금상을 수상하였고 한국의료질향상학회 가을학술대회에 참가하였다. 같은 해 김병진, 김대운, 현준호 직원이 진출하였고 이형진, 이현주, 최현준 직원이 전입하였다. 2017년 김하균, 서효열, 오세문 직

원이 전출하였고 임현진, 박희원, 김현 직원이 전입하였다. 2018년 자동분주기 1대가 도입되었으며 최진욱, 권형진 직원이 전출하고, 박주선, 도용호 직원이 전입하였다. 2019년 정규일, 송호준 직원이 전출하고, 김재일, 전재환 직원이 전입하였다.

#### 라. 2020년

2020년 3월 김유경 교수가 보라매병원 홍보실장으로 발령 받아 의무장인 오소원 교수가 핵의학과장으로 승진 발령받았다. 1월에는 본원 중앙핵의학검사실 문일상 수석기사가 보라매병원 기사장으로 발령받아 근무를 시작하였다. 환경개선 사업을 하여 진료대기실 환자 대기 의자, 오픈형 물품 보관장, 직원 의자 등 가구를 노후 교체하였다. 8월에 체외검사 건수 증가에 대응하고자 감마카운터 1대를 추가 설치하였다. 10월에는 체외검사실 RI 폐수조 방류허용치의 법적 기준 충족을 위해 체외 RI 폐수조를 옥소 RI 폐수조에 연결하는 공사를 완료하였다. 같은 해 이형진, 최현준 직원이 전출하였고 하태환 직원이 전입하였다.



보라매병원 핵의학과 직원 (2020년)

### 3) Sheikh Khalifa Specialty Hospital (셰이크 칼리파 전문병원)

#### 가. 병원의 설립과 초기 모습 (2014년)

아랍연방공화국(UAE)의 가장 북쪽에 위치한 라스알카이마 초입에 자리 잡은 셰이크 칼리파 전문 병원은, 토후국 중 하나인 아부다비의 왕이며 일곱 토후국(Emirate) 연합정부의 수반(대통령)

령)인 셰이크 칼리파(Sheikh Khalifa bin Zayed Al Nahyan)의 뜻에 의해 전국에 수준 높은 의료 서비스를 골고루 제공하기 위해 설립되었다. 서울대학교병원에서 위탁운영이 결정되고 2014년 9월 개원 준비단으로 서울대학교병원 핵의학과의 김계환, 박주선이 도착해서 핵의학과 개설 준비를 시작했다. 이어 2014년 10월 국립중앙의료원 핵의학과장으로 있던 장성준 교수가 2014년 11월과 2015년 2월 2단계로 나누어 개원한 병원의 초기 개원 준비를 위해 핵의학과장으로 부임했다. 2014년 11월 두바이 병원(Dubai Hospital) 핵의학과에서 근무 중이던 사미아 알자루니 (Samya Alzarouni)가 현지 채용으로 합류했으며 이어 서울대학교병원 핵의학과에서 정용훈이 합류했다. 이중헤드 감마카메라(Philips, Brightview)와 PET 장비(Philips, Gemini TF64)가 설치되어 있었고, 병동에는 동위원소 투약 후 환자를 위한 특수 병실이 애초에 두 곳 건설되어 있었다.

구분	직종	이름	입사일(근무기간)
의사	핵의학 전문의	장성준	2014년10월27일
간호사	전문 간호사	석은미	2015년 1월11일
보건의직	핵의학 기사	김계환	2014년 9월 1일
		박주선	2014년 9월14일 (-2017년12월)
		정용훈	2014년11월10일 (-2018년12월)
		사미아 알자루니(Samya Alzarouni)	2014년12월 1일
		승종민	2017년12월18일 (-2019년12월)
		무함메드 무하신(Muhammed Muhasin)	2019년 3월17일
	핵의학 물리학자	사미르 바드완(Samir Badwan)	2014년12월 1일

#### 나. 2015~2016년

2014년 8월 첫 본진이 도착했을 때, 기본적 장비는 설치되어 있었으나 장비의 상태를 확인할 수 없었고, 설치 이후 고온의 환경에 방치되었을 가능성도 있었기에 신뢰할 수 있는 상황이 아니었다. 이에 2014년 12월 이후 핵의학과 기사진과 방사선 안전관리실 인원들은 국가의 규제 기관으로부터 동위원소 및 방사선 사용시설 허가를 받기 위한 실무 작업에 공을 들이면서 동시에 과 운영에 필요한 세부 설비를 하나하나 갖춰나가기 시작했다. 아무것도 없는 상황에서 모든 것을 이 나라에서 기대하는 만큼 맞춰나가기 위해 직원들 각자 최선을 다해 준비했다. 2015년 1월 11일 핵의학과의 다양한 검사에 경험이 풍부한 전문 간호사 석은미가 근무를 시작하면서 약품, 의료 비품, 소모품 등의 관리가 보다 체계적으로 갖추어졌고, 심장 약물부하를 비롯한 약물 투여, 환자 관리 업무에 대한 준비를 시작했다.

2015년 2월 매주 2회 핵의학과 외래가 개설되었으며 갑상선 결절, 갑상선 암, 갑상선 기능



이상 등 갑상선 관련 질환 및 핵의학과 검사 관련 환자에 대한 진료를 개시했다. 당시 내분비내과 진료가 개시되기 전이라 갑상선 및 부갑상선 기능 이상 환자에 대한 진료도 핵의학과에서 임시로 담당하였으며 이후 내분비내과 진료 개시 이후에는 주로 갑상선 결절, 갑상선 암, 갑상선기능 항진증 등의 환자들을 주로 담당하게 되었다. 2015년 4월 7일 방사선 관리 규제 기관으로부터 방사성동위원소 사용 허가를 받고 검사실을 정식으로 운영하기 시작했으며 이후 검사의 종류가 다양해졌다. 2015년 6월 14일 PET 검사를 개시하면서 원내 전문진료센터에 필요한 핵의학 검사를 제공할 수 있게 되었다.

2015년 외래 및 입원 환자 수가 천천히 증가하면서 핵의학과 검사 건수도 차차 증가하기 시작했고 새로이 시작하는 검사들도 늘어나 명실상부한 아랍에미리트연합국 북부지역의 유일한 핵의학 시설로 자리매김을 했다. 이즈음 이 병원과 자매 병원 관계에 있는 셰이크 칼리파 종합 병원(Sheikh Khalifa General Hospital)에서 검사 환자 의뢰를 위한 회의를 갖는 등 주변의 병원에서 환자 의뢰를 시작했다. 점차 검사가 늘어나고 준비해오던 장비와 설비들도 자리를 잡아가면서 좀 더 발전한 모습의 핵의학과로 거듭나게 되었다. 한편, 진료 서비스를 확대해 나가면서 지역 내 교육 활동에도 기여를 하게 되었다. 가까이 있는 국립 샤르자 대학교(University of Sharjah) 공과대학의 원자핵공학과(Department of Nuclear Engineering, College of Engineering) 학생들이 2015년 본 병원 핵의학과로 첫 실습을 나온 이래 매년 의료 현장에서 사용되는 핵물리학, 방사선학, 방사선안전을 공부하기 위해 방문하고 있다. 또한 학기 중에는 초빙 강사로 방사선의 의학적 이용 및 병원에서의 방사선 안전을 주제로 강의를 의뢰받아 교육 활동을 이어가고 있다.

#### 다. 2017~2018년

개원 초기, 준비가 되어있던 차폐 병실은 안전관리실의 의학 물리학자와 차폐 평가, 그리고 실제 병실로의 운용에 대한 고려를 해본 결과 즉시 운용이 어려울 것으로 판단하여 구조변경이 결정되었고 두 곳의 병실 중에 한 곳만 활용하기로 결정해서 최종 구조변경이 2017년 마무리 되었다. 내부 설비와 규정 정비 등 준비과정을 거쳐 2018년 첫 고용량 입원환자를 받기 시작했다. 2017년 12월에는 최초 개원단으로 참여했던 박주선이 한국으로 귀국하고 이어 2017년 12월 17일 서울대학교병원에서 승종민이 파견 근무를 시작했다. 이전까지 방사선 안전관리실에서 근무하던 사미르 바드완(Samir Badwan)은 2018년 1월 핵의학과 소속 물리학자(Nuclear Medicine Physicist)로 발령받아 근무하게 되었다. 2018년 12월에는 정용훈이 귀국했다.

### 라. 2019년~현재

2019년 3월 두바이 병원에서 근무하던 무함메드 무하신(Muhammed Muhasin)이 근무를 시작했다. 2019년 12월 승종민 기사가 한국으로 귀국하고 2020년 현재 3명의 기사와 1명의 물리학자, 1명의 전담 간호사, 1명의 전문의로 운영되고 있다.

SKSH는 중앙, 신경, 심장 분야를 전문으로 특화하여 진료할 목적으로 준비되어 현재까지 세 가지의 전문 분야(Specialty)와 그 분야를 지원하는 임상 과목들을 중심으로 운영 중이다. 병원 안에서는 물리적으로 영상의학과와 함께 영상센터(Imaging Centre)를 이루고 있으며, 검사와 관련된 병리, 진단의학과 하나의 기능적/행정적 단위를 이루고 있다. 핵의학과는 영상진단 검사 외에도 동위원소치료, 방사선안전관리와 관련한 업무 등을 함께 보고 있으며, 일찍이 2015년 개원시기부터 갑상선암 및 갑상선 일반 질환에 대해 외래를 개설하여 2020년 현재 주 4회의 외래를 유지하고 있다. 이 외래에서는 갑상선 환자뿐만 아니라, 이 인근 병원에서 핵의학적 검사가 필요한 환자들의 검사를 의뢰할 경우 문진과 신체검사 등 필요한 외래 처치도 함께 수행하고 있다.

2018년 핵의학과 외래 방문객/입원환자/영상검사

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
외래	116	85	122	102	96	106	146	173	126	135	127	158	1,492
입원					1						1	4	6
검사	203	189	189	227	181	131	235	204	238	244	236	244	2,524

2019년 핵의학과 외래 방문객/입원환자/영상검사

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
외래	194	153	159	180	113	154	228	172	179	202	154	120	2,008
입원	5	4	3	4	0	3	2	3	3	1	2	1	31
검사	261	223	229	159	176	198	246	198	244	218	216	198	2,566

