

## Study on Staffing of Medical Physicist in the Field of Radiation Therapy

Ui-Jung Hwang\*, Young Gyung Lim<sup>†</sup>, Dong Wook Kim<sup>‡</sup>, Dong Oh Shin<sup>§</sup>,  
Sung Kyu Kim<sup>||</sup>, Haijo Jung<sup>||</sup>, Young Hoon Ji<sup>||</sup>

\*Department of Radiation Oncology, National Medical Center, Seoul,

<sup>†</sup>Proton Therapy Center, National Cancer Center, Goyang,

<sup>‡</sup>Department of Radiation Oncology, Kyung Hee University Hospital at Gandong,

<sup>§</sup>Department of Radiation Oncology, Kyung Hee University Medical Center, Seoul,

<sup>||</sup>Department of Therapeutic Radiology and Oncology, Yeungnam University College of Medicine, Daegu,

<sup>||</sup>Department of Radiation Oncology, Korea Institute of Radiological & Medical Sciences, Seoul, Korea

Recently, an adequate number of qualified medical physicist is needed for achieving effective treatment and securing safety to the patient, staff and the public on the course of radiation therapy, since the equipment and the technique of radiation therapy are being developed fast and becoming complex. The studies on medical physics staffing level in United State and European countries were investigated. These results were applied to the domestic situation in order to anticipate indirectly the adequate number of medical physicist in Korea. The current number of medical physicists of 6 (middle to large sized) hospitals in Korea was less than 50% of number recommended in the study. Further detailed research specified on the domestic situation is needed in order to expect adequate number of medical physicist more accurately, and particle beam therapy has to be also considered in the research since the facility site is increasing gradually.

**Key Words:** Radiation therapy, Medical physics, Medical physicist, Staffing

### 서 론

방사선은 의료분야에서 각종 질병의 진단과 치료를 위하여 폭넓게 사용하고 있으며, 특히 방사선치료는 여전히 국내 사망률 1위를 기록하고 지속적으로 증가하는 암을<sup>1)</sup> 치료하는 하나의 방법으로서 그 사용빈도가 점점 증가하는 추세에 있다.<sup>2)</sup> 특히 최근 20년 사이에 과학기술의 발달로 방사선치료기기가 보다 복잡해지고 정밀해지는 경향에 따라, 방사선치료기법 또한 비약적으로 발전하고 있다. 방사선과학과 기계공학 분야와 함께 수준 높은 수학 계산기법, 영상분석과 융합기술, 컴퓨터를 이용한 계산기법 등 여러 다른 학문분야들과 융합을 통하여 새로운 기법에 대한 연구가 진행되고 있으며 일부는 임상에 활용되고 있다.<sup>3-5)</sup> 따라서 방사선을 이용한 의료기기의 발전과 치료기법에 대한

발전은 점점 더 빨라질 것으로 예상된다.

현대 의학에서 방사선의 진단 및 치료에 물리 및 공학의 응용 비중은 점점 커지고 있다. 초음파, 내시경, 기능성 첨단 광학현미경, 자기공명영상(MRI)을 비롯한 비전리방사선을 이용하는 기기에서부터 양전자방출단층촬영(PET), 전산화단층촬영(CT), 단일광자방출단층촬영(SPECT), 혈관조영술, 방사선치료기 등 방사선 및 방사성동위원소를 사용하는 진단 및 치료기기까지 그 응용범위는 매우 넓으며 계속 발전하고 있는 중이다. 의학물리는 이 모든 분야에서 물리 및 공학 분야와 임상의학의 경계에서 임상과 연구를 포함하고 있다. 하지만 국내의 경우 방사선치료분야에 의학물리분야의 대부분 인력이 집중되어있는 실정이다.<sup>2)</sup> 외국의 경우 진단방사선분야, 방사선치료분야, 핵의학분야에서 모두 의학물리학 인력이 적절하게 종사하고 있고, 의학물리학 적정 인원을 산정할 때 각 분야에 대해 모두 고려를 하고 있으나<sup>6,7)</sup> 본 논고에서는 국내 상황을 고려하여 방사선 치료분야에만 국한하기로 한다.

국내 각 병원에서 의학물리학 적정인력을 정량적으로 산정한 사례는 지금까지는 전무하고, 각 기관의 사정에 따라

이 논문은 2012년 11월 22일 접수하여 2012년 12월 11일 채택되었음.

책임저자 : 지영훈, (139-706) 서울시 노원구 노원로 75

한국원자력의학원 방사선치료연구센터

Tel: 02)970-1371, Fax: 02)970-2462

E-mail: jyh328@kirams.re.kr

서 인력을 채용하는 실정이다. 다만 과거 외국의 적정인력에 대한 연구자료를 바탕으로 참고하는 수준으로<sup>8)</sup> 방사선 치료 초창기에는 치료기나 치료기법이 지금에 비해 매우 단순하였기 때문에 이때의 자료를 토대로 현재 의학물리사 적정 인력을 계산하는 것은 매우 상이한 결과를 초래할 수 있다.

방사선치료장비는 빠르게 발전하고 있다. 전자선이나 광자선을 이용하는 선형가속기 이외에도 양성자치료기, 중입자치료기 등이 이미 가동 중이거나 추진되고 있다. 방사선 치료기법 측면에서도 세기조절방사선치료(IMRT), 세기조절회전방사선치료, 영상유도방사선치료(IGRT), 적응방사선 치료 등 비약적으로 발전하고 있다.

이러한 첨단 치료기기를 사용하여 환자에게 보다 안전한 치료를 보장하고 보다 효과적인 치료를 제공하기 위해서는 전문성과 적절한 인원의 의학물리사가 무엇보다 필요하다. 방사선치료기는 부적절하게 사용될 경우 치명적인 결과를 초래할 수도 있다. 실제로 국제보건기구(WHO: World Health Organization)의 분석에 따르면 1976년부터 2007년까지 방사선치료와 관련된 문제가 발생한 3,125명의 환자들을 조사한 결과 그 중의 약 1%에 해당하는 38명의 환자는 과다 피폭으로 인하여 사망에까지 이르렀다는 결과가 있다.<sup>9)</sup> 방사선치료기를 사용하는 데 기본적인 안전에 관한 사항은 여러 가지 제도로 규제를 하고 있지만<sup>10)</sup> 복잡하고 다양한 임상 과정에서 안전을 고려하고 검토하기 위해서는 적절한 인원의 전문화된 의학물리사가 반드시 필요하다. 따라서 의학물리사 적정 인원을 계산하는 노력이 절실한 실정이나, 국내 연구사례가 전무한 실정이므로 우선 외국 연구사례를 검토하고 이를 국내 현실과 비교해 봄으로서 국내 적정인력 규모를 계산하고, 향후 국내 연구를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 방사선치료와 의학물리사

### 1. 방사선치료의 단계

의학물리학에 관련된 업무는 매우 다양하여 일일이 열거하기에는 무리가 있다. 따라서 방사선치료의 과정을 전반적으로 이해한 후 각 과정마다 의학물리사의 역할을 간략하게 살펴보고자 한다.

방사선치료는 크게 환자의 신체 외부에서 체내로 방사선을 조사하여 치료하는 외부방사선치료와 환자의 신체 중앙부위에 방사성동위원소를 삽입하여 중앙에 집중적으로 방사선을 조사하는 근접방사선치료로 나눌 수 있다. 외부방

사선치료에는 Co-60 등의 방사성동위원소 등이 사용된 적도 있었으나 현재 국내에는 선형가속기를 이용하고 있으며 근접방사선치료에는 Ir-192, I-125, Cs-137 등 방사성동위원소를 주로 이용하고 있다. 두 방사선치료의 세부 치료과정은 서로 다르지만 각 치료단계의 절차는 전체적으로 비슷하다.

외부방사선치료는 치료기법에 따라 다르지만 일반적인 단계는 환자를 상담하고 어떤 치료를 할 지 결정하는 환자 평가(patient evaluation) 단계, 방사선치료계획을 위한 CT 등 영상을 획득하고, 획득한 영상에 치료계획을 수립하며 환자 치료에 앞서 수립된 치료계획을 확인하고 이상유무를 확인하는 준비(preparation) 단계, 환자를 정확하게 위치시키고 수립된 치료계획대로 방사선을 조사하여 치료를 하며 치료가 계획대로 이루어지고 있는지 확인하는 치료(treatment) 단계, 방사선치료가 모두 끝난 후 치료의 실행이 올바르게 진행되었는지 사후 확인하고 환자의 경과를 지켜보는 완료(complete) 단계의 4가지로 나누어 볼 수 있다.<sup>6)</sup> 이 때 치료 단계는 치료 일정에 따라 반복적으로 시행되며 경우에 따라서는 치료가 완료되기 이전에 치료계획이 변경될 수도 있고, 그 이전 단계인 준비 단계로 다시 돌아가 치료계획을 위한 영상획득부터 다시 실행하는 경우도 있는 등 다양한 상황이 발생할 수 있다.

근접방사선치료 과정도 역시 환자를 평가하고, 영상을 획득하여 치료계획을 수립하고, 치료를 한 후 환자의 경과를 관찰하는 네 단계로 외부방사선치료과정과 큰 틀에서는 다르지 않음을 알 수 있다. 다만 치료의 반복 횟수가 외부방사선치료와 같이 많지 않고, 한 번의 치료에서 조사되는 방사선량이 상대적으로 크므로 치료계획 및 치료계획의 검증은 신중하게 하여야 하고 환자의 위치 교정 또한 매우 중요하다.

방사선치료과정에서 매우 다양한 인력들이 관여하게 되는데, 치료의 전 과정을 책임지고 주도하는 방사선종양학 전문의와, 환자의 치료부위를 치료계획대로 맞추고 방사선 치료기를 직접 운용하여 치료를 시행하는 방사선사, 그리고 간호사 이외에 영상획득의 적절성을 확인하는 것에서부터 치료계획을 수립하고 확인하며, 특수치료 등에 관여하여 처방선량의 정확한 전달을 위한 모든 일을 담당하는 의학물리사와, 의학물리사를 도와 선량을 계산하고 검증을 실행하는 등 직접 실행의 역할을 수행하는 선량계획사 등이 있다. Table 1에 방사선치료의 각 과정에 참여하는 여러 직군들의 역할과 책임을 나타내었다.

Table 1. Roles and responsibilities of the radiation oncology team.

역할 및 책임	방사선종양학과 구성원					
	방사선종양학 전문의	의학물리사	선량설계사	치료방사선사	의료보조인력	방사선종양 전문 간호사
임상평가	○				○	○
심리/사회 평가	○				○	○
방사선치료 결정	○					
환자 및 가족 병력 조사	○			○	○	○
다학제간 간호 협력조정	○			○	○	○
환자 자세 및 영상획득	○	○	○	○		
영상 융합 및 등록	○	○	○			
윤곽 그리기/분할	○	○	○			
선량-체적 제한	○	○	○			
선량 계산	○	○	○			
최종 치료계획 검토	○	○	○	○		
환자 정도관리	○	○	○	○		
치료 실시	○	○	○	○		
특수치료(정위방사선치료, 세기조절방사선치료, 근접방사선치료 등)	○	○	○	○		
치료정확도 관리(조사문, 선량 등)	○	○	○	○		
주간 환자 치료 차트 확인	○	○	○	○	○	○
추적 관찰	○				○	○
생존 여부	○				○	○
장비, 소프트웨어, 시스템 인수검사, 유지관리, 사용준비	○	○	○	○		

2. 의학물리사의 역할

국제적으로 몇몇 기관/단체에서 의학물리사의 직무 및 역할에 대해 정의하고 있으나, 물리학을 의학에 적용하는 전문가로서 그에 수반되는 일들 특히 기존에 의사나 방사선사 등 다른 인력들이 수행하기에 어려운 일들을 주로 하는 사람인 것은 공통된 정의인 것 같다.<sup>11-14)</sup> 더욱이 국제원자력기구(IAEA: international Atomic Energy Agency) 등 유럽에서는 방사선방어 및 안전에 관한 책임을 좀 더 중요시하는 경향이 있고, 미국에서는 장비의 최적 상태 유지와 환자에게 정확한 선량 전달에 기여하는 역할을 좀더 강조하는 경향이 있다.

기기 및 기법 등이 발전하고 복잡해져 감에 따라 일반적인 의학물리사와 구별하고 분야를 세분화하여 보다 전문적이고 공인된 의학물리사(QMP: Qualified Medical Physicist)를 따로 정의하기도 한다. 북미에서는 ABR (American Board of Radiology), ABMP (American Board of Medical Physics), CCPM (Canadian College of Physics in Medicine) 등의 자격증 제도가 있어 QMP를 지정하여 일할 수 있게 하고 있으며, 특히 미국의 플로리다주, 뉴욕주, 텍사스주 경우에는 주에서 발행하는 면허(license)를 취득해야만 의학

물리사로 종사할 수 있도록 제한하고 있다.<sup>6)</sup>

유럽의 경우, 나라마다 제도와 환경이 각기 다르지만 소정의 교육과정을 이수한 후 병원에서 의학물리 분야의 일정 임상경력을 획득하고, 자격 시험을 통하여 각 나라별 정부소관부처에서 의학물리전문인(MPE: Medical Physics Expert)으로 공인을 하도록 권고하고 있다.<sup>15)</sup>

방사선치료에서 의학물리사는 방사선치료의 각 단계에서 다양한 역할을 수행하고 있다. 각 단계마다 선량확인, 정도관리, 새로운 시스템의 연구개발 등 항목이 매우 많으며, 장비 및 기기, 소프트웨어, 측정, 방사선안전관리, 임상적인 자문, 교육, 학술, 행정업무까지 분야 또한 너무 다양하여 본문에 그 내용을 모두 기술하기에는 한계가 있다. Table 2에 의학물리사의 역할에 대해 간략하게 표로 나타내었다.<sup>16)</sup>

의학물리사 적정 인원 연구현황

1. 북미의 연구사례

1) 미국 정부간행물(Blue Book): 미국에서 의학물리사 적정 인원에 관한 연구는 상당히 오래되었다. 처음으로 의학물리사 적정인력에 관한 언급은 미국 정부간행물(Blue

**Table 2. Tasks of Qualified Medical Physicist in radiotherapy.**

장비	치료계획	선량측정	방사선안전관리	교육 및 행정
사양 선택	치료계획시스템의 정도관리	선량계산 형식	법, 시행령, 시행규칙	강의
수입 검사	빔데이터 관리	특수치료 기법	방사선시설 선량측정	연구
사용준비, 빔데이터 측정	모의치료 자문	특수 선량계측	개인 피폭선량 관리	개발
교정	치료계획을 위한 환자 데이터	체내 선량계측	시설 설계	행정
정도관리	기술 최적화/ 등선량 치료계획, 치료계획 분석/평가, 치료지원, 출력 수정			

Book)이었다.<sup>17)</sup> 첫 번째 미국 정부간행물은 1968년에 “A prospect for radiation therapy in the united states”란 이름으로 출판되었으며, 23년 동안 네 번의 개정을 거쳐 1991년 마지막 다섯번째 완결판이 “Radiation oncology in integrated cancer management”라는 제목으로 출판되었는데, 이 때까지만 해도 연간 신환자 400명 당 1명의 의학물리사가 필요하다고 되어있다. 덧붙여서 신환자가 400명이 넘지 않더라도 한 기관에 적어도 한 명의 의학물리사는 필요하며 임상지원, 교육, 연구 등을 하기 위해서는 그 두 배의 인력이 필요하다고 되어있다. 이 당시에는 방사선치료기기 및 기법이 단순하였으므로 환자수를 기준으로 적정인력을 산출해도 큰 문제가 없었을 수 있다고 생각된다.

**2) Abt 회사의 연구:** 방사선치료가 점점 복잡해지면서 “Abt Associates Inc”라는 공공 정책에 대한 연구를 대행하는 회사에서 “방사선 종양 물리 서비스를 함에 있어서 의학물리업무의 가치에 대한 연구”를 수행하였다.<sup>18)</sup> 1995년 그 결과에 대한 보고서가 처음 나왔으며 2003년에 두 번째 보고서가 발표되었고, 가장 최근으로 2008년 세 번째 보고서가 발표되었다. 이 연구에서는 보다 체계적으로 의학물리사가 하는 업무의 가치를 계산하려고 노력하였는데, 우리나라 건강보험심사평가원에 해당하는 미국 CMS (Center for Medicare and Medicaid Services)의 수가항목 중에서 의학물리와 관계된 수가항목을 선택하고 이 항목에 대해 업무의 가치를 그 작업(work)을 수행하는데 소요되는 시간(time)과 그 작업을 수행할 때 요구되는 노력의 정도인 강도(intensity)의 곱으로 계산하였다. 어떤 작업을 할 때의 시간은 작업을 수행하기 전 준비시간(pre-service time)과 실제 수행하는 시간(intra-service time) 그리고 수행 후 처리에 소요되는 시간(post-service time)으로 세분화하여 계산하였고, 또한 어떤 장비나 소프트웨어를 가지고 업무를 수행할 때 실제 업무를 수행하는 시간(procedural time)과 함께 그 장비를 유지하고 관리하는데 소요되는 시간(non procedural

time)도 따로 계산하여 합산하였다. 업무 강도는 정신적 노력, 육체적 노력, 그리고 업무 난이도와 관련한 스트레스 등을 고려한 것으로 이는 정량적으로 측정하기가 어려우므로 기준이 되는 항목을 정하여 그 강도를 “1.0”으로 정하고 그 표준항목보다 세면 1보다 큰 값으로 하고 그 표준항목보다 약하면 1보다 작은 값으로 계산하였다. 시간과 강도의 곱인 업무 가치는 사실상 시간의 단위로 보면 된다. 왜냐하면 강도가 다른 작업을 표준강도의 작업을 하는 시간으로 환산하여 나타낸 것이기 때문이다. 강도의 표준항목은 수가코드 77736의 “continuing medical physics consultation”으로 환자차트 확인, 치료 파라미터 확인 및 선량의 정도관리 등에 관한 수가항목이다. 시간과 작업의 강도는 이 분야 전문가 집단을 대상으로 한 설문조사를 통하여 그 중앙값으로 계산하였다. 즉 미국의학물리사회(ACMP: American College of Medical Physics)와 미국의학물리학회(AAPM: American Association of Physicists in Medicine) 회원 중에서 지역적 안배와 대학병원이나 개인병원 등 기관 종류 및 규모에 대한 안배를 고려하여 100명의 대상자를 선정하여 진행하였다. 이렇게 계산된 업무의 항목 및 그 강도를 곱하여 Table 3에 나타내었다. 세 번의 개정을 통하여 새로운 항목이 나타나기도 하였는데 세기조절방사선치료계획과 고선량률 근접방사선치료와 관련된 것들이다. 이 두 가지 종류의 항목의 가치 또한 다른 항목에 비해 비중이 큰 것을 알 수 있는데, 세기조절방사선치료계획의 경우 추정 작업량 중앙값이 2003년 조사에서 18.64이었으나 4년 후인 2007년 조사결과에서는 28.66으로 크게 높아졌다. 근접방사선치료 중에는 의학물리사가 임회하게 되어있어 이와 관련한 항목도 10 내외의 점수로 다른 대부분의 항목의 경우 10 미만이며 1보다 작은 항목도 다수 있는 것과 비교했을 때 비중이 큰 것을 알 수 있다.

**3) Klein 논문:** Klein는 2010년도에 Abt 연구 결과 및 방법을 응용하여 의학물리사 적정인력을 계산하였다.<sup>19)</sup> 일정

Table 3. Median relative work estimates for surveyed radiation oncology physics services.

CPT Code	절차 설명	1995	2003	2007
		추정 작업량 중앙값	추정 작업량 중앙값	추정 작업량 중앙값
77295	모의치료	없음	3.21	1.63
77300	선량계산	0.33	0.29	0.49
77301	세기조절방사선치료계획	없음	18.64	28.66
77305	단순 등선량 치료계획	0.75	0.54	0.69
77310	중간 등선량 치료계획	1.24	0.72	0.83
77315	복잡 등선량 치료계획	1.69	1.30	1.65
77321	단순 원격치료계획	1.81	1.52	1.64
77326	단순 근접방사선치료계획	3.18	1.87	3.88
77327	중간 근접방사선치료계획	4.73	3.53	5.64
77328	복잡 근접방사선치료계획	11.67	8.67	11.98
77781	고선량률 근접방사선치료, 1~4 선원정지 위치	없음	없음	5.72
77782	고선량률 근접방사선치료, 5~8 선원정지 위치	없음	없음	10.34
77783	고선량률 근접방사선치료, 9~12 선원정지 위치	없음	없음	14.67
77784	고선량률 근접방사선치료, 12 이상 선원정지 위치	없음	없음	13.85
77331	특수 선량계측	4.35	3.60	2.66
77332	단순 치료 용구	0.06	0.11	0.12
77333	중간 치료 용구	0.31	0.42	0.30
77334	복잡 치료 용구	0.39	0.40	0.45
77336	의학물리 자문	1.50	1.50	1.00
77370	특수 의학물리 자문	15.00	20.92	13.94

수의 장비 및 기기를 보유한 병원에서 일정 수의 치료환자가 있는 실제적인 임상 상황에서 어떤 특정한 일을 모든 환자에 대하여 시행하는데 소요되는 연간 총 시간을 계산한다면 그 시간을 정규직 근로자 한 사람이 연간 일하는 총 시간인 2,080시간으로 나누어 그 일을 하는 데 연간 몇 사람이 필요한 지 알 수 있다. 이를 상근직(FTE: Full time equivalent)이라고 하며 약자로 FTE로 표현한다. 이 논문에서는 업무 항목을 Abt 연구에서와 다르게 임상상황에 맞게 새로이 설정하고 그 각 항목에 대하여 실행하는 데 걸리는 시간을 총 연간시간으로 계산한 후 FTE를 산출하였다.

4) 미국방사선종양학회(ASTRO) 보고서: 가장 최근의 연구결과로 2012년에 미국방사선종양학회(ASTRO: American Society for Radiation Oncology)에서 “Safety is No Accident”라는 보고서가 발표되었다.<sup>6)</sup> 방사선치료에 있어서 구조, 인력, 그리고 기술적인 측면에서 안전을 위한 필요사항들을 정리한 것으로, 그 내용 중에 방사선종양학과에서 종사하고 있는 각 직종의 최소 필요 인원에 대해서도 기술하고 있다. 미국 정부간행물에서부터 Abt 연구에 이르기까지 그동안의 연구결과를 바탕으로 현재의 장비와 기술의 발전상황에 맞추어 다시 정리한 것이다. 의학물리사 인력에 관한 결과를 보면 각 기관마다 적어도 한 명의 의학물리사 팀장

을 두도록 하고 있고, 의학물리전문인의 경우 장비와 환자 규모에 따라 FTE 값들을 산정할 수 있도록 하였다. Table 4에 각 항목마다의 FTE 값들을 표시하였다. 전체적으로, 보유한 장비들에 관한 항목과 치료방법에 따른 환자의 규모와 관련된 항목, 기타 교육훈련이나 행정적인 일들에 관한 항목으로 나누어 정리되어 있다. 앞서 Klein 논문에서는 각 기관의 상황에 맞게 총 시간을 일일이 계산하여 FTE 값을 산출하였는데, 이 보고서에서는 각 항목마다 FTE 값들을 명시하여 시간을 계산하지 않아도 기관의 규모를 대입하여 적정 인력을 쉽게 계산할 수 있게 하였다. 다중에너지로 갖는 선형가속기와 단일 에너지만을 갖는 선형가속기에 서로 다른 FTE 값을 갖도록 하였고, 토모치료기 또는 사이버나이프 같은 치료기는 다중에너지 선형가속기보다도 더 큰 FTE를 갖는다. 장비와 함께 치료계획시스템 같은 소프트웨어나 컴퓨터에도 FTE를 따로 할당하였다. 환자규모에 대한 항목은 일반적인 외부방사선치료와 삼차원입체조형치료와 별도로 세기조절방사선치료나 정위방사선치료 등 특수한 치료를 받는 환자규모를 따로 계산하는데 특수치료환자의 경우 근접방사선치료환자와 대등하게 3차원 입체조형방사선치료 환자 등에 비해 큰 FTE 값을 갖도록 하였다.

**Table 4. Staffing level of medical physicist represented in ASTRO report.**

장비 및 사용허가 서비스의 개수/연간 신환자수		상대 FTE 인자		
		의학물리사	선량계획사	
장비, 선원, 시스템	다중 에너지 선형가속기	0.25	0.05	
	단일 에너지 선형가속기	0.08	0.01	
	토모치료기, 사이버나이프 치료기, 감마나이프 치료기	0.3	0.03	
	코발트 치료기, 세기조절방사선치료, 의료영상저장전송시스템(PACS), 전자의무기록, 윤곽 그리기	0.08	0.03	
	저에너지와 표재 치료기	0.02	0.01	
	수동 근접방사선치료, 저선량을 씨알(seed)이식	0.2	0.03	
	고선량을 근접방사선치료	0.2	0.02	
	엑스선 모의치료기, CT 모의치료기, PET, MRI 영상 융합	0.05	0.02	
	컴퓨터 치료계획시스템(워크스테이션 10개당)	0.05	0.02	
	고선량을 치료계획시스템	0.2	0.01	
	환자수	3차원 입체조형방사선치료	0.0003	0.003
		기존 외부방사선치료	0.0002	0.002
		밀봉선원 근접방사선치료(저선량을 및 고선량을)	0.008	0.003
개봉선원치료기		0.008	0.005	
IMRT, IGRT, 정위방사선수술, 전신조사, 체부정위방사선치료		0.008	0.005	
비임상 총 추정 FTE	교육 및 훈련(FTE)	0.667	0.333	
	내부 보고서 생산(FTE)	0.667	0.333	
	위원회 및 회의; 방사선안전관리 포함(FTE)	0.667	0.333	
	운영 및 관리(FTE)	0.667	0.333	

**2. 유럽의 연구사례**

1) 유럽의학물리연합조직(EFOMP)의 연구: 안전문제를 더욱 강조하는 유럽의 경우 1984년 유럽원자력공동체(EURATOM: European Atomic Energy Community)의 위원회 규정에 방사선치료를 시행하는 기관에는 방사선물리에 대한 공인된 전문가가 반드시 필요하다고 명시한 바 있으며, 1991년 들어 유럽의학물리연합조직(EFOMP: European Federation of Organisations in Medical Physics)의 규정으로 의학물리와 관련된 기관에 필요한 의학물리사의 인력에 대한 기준을 제시하였다.<sup>13)</sup> 1997년도에 개정된 의학물리사의 인력에 대한 새로운 규정이 오랫동안 유럽의 기준으로 사용되어왔다. 이 규정에 따르면 Table 5에 나타낸 바와 같이 선형가속기, 코발트치료기 등 장비들과 치료계획시스템과 환자규모 등에 관한 상근직(WTE: Whole Time Equivalent) 값들로 되어있는데, 치료계획시스템과 환자규모는 외부방사선치료와 근접방사선치료로 나누어 WTE 값을 할당하였다. WTE는 미국에서 사용하는 FTE 값과 동일한 개념이다.

이 규정에서도 계산된 WTE 값이 1보다 작더라도 각 기관마다 적어도 1명의 의학물리사는 필요하다고 권고하고 있다. Table 5에서는 3차원입체조형방사선치료나 정위방사선치료 등 특수치료에 대한 고려는 제외되어있고, 연구, 교

육 훈련, 방사선방어 등에 대한 항목도 제외되어있다.

2) 유럽공동 설문연구: Guidelines on Medical Physics Expert Surveys: 1991년 EFOMP의 준칙에 의학물리사 적정 인원 기준이 제시되어있지만, 실제로는 유럽 각 나라마다 제도나 환경이 달라 각 나라의 실정에 맞게 달리 적용하여오고 있는 듯 하다. 영국의 의학물리공학회(IPEM: Institute of Physics and Engineering in Medicine)가 2009년 제시한 인원기준에는 WTE 값을 정하는 항목을 보다 세분화 했는데, 먼저 장비 인자와 환자 인자 그리고 부서 인자의 세 과목으로 나누고, 장비 인자 중에서는 선형가속기를 다중에너지와 단일에너지 가속기로 나누었고, 컴퓨터단층촬영기, 모의치료기, 치료계획시스템, 근접방사선치료장비 등은 보다 높은 값을 가지는 주요 항목으로, 영상유도시스템, 특수치료계획시스템, 정위방사선치료에 필요한 장비 등은 다소 낮은 값을 가지는 부가 항목으로 분류하였다.<sup>14)</sup> 환자 인자에서도 세기조절치료, 정위방사선치료, 전신조사(TBI) 등 특수치료 환자수를 외부방사선치료환자와 따로 분류하여 근접방사선치료환자와 동일한 높은 WTE 값을 할당하였다. 부서 인자에서는 방사선방어와 정도관리시스템 등의 항목에 WTE 값을 할당하였다.

2010년부터 2년 동안 실시된 의학물리전문인 기준에 관한 설문조사에서 유럽의 각 나라마다 의학물리전문인의 역

**Table 5. Minimum staffing of medical physicist represented in policy statement No. 7 of EFOMP.**

항목	총인원(WTE)	총인원중 최소 공인의학물리사 (WTE)
선형가속기	0.88	0.37
코발트-60원격치료기	0.34	0.14
저에너지 엑스선치료기	0.07	0.03
후장전 근접방사선치료기	0.42	0.18
모의치료기	0.30	0.13
치료계획시스템		
외부방사선치료	0.38	0.16
근접방사선치료	0.08	0.04
연간 신환자 100명 당		
외부방사선치료	0.27	0.11
근접방사선치료	0.22	0.09

할과 의학물리전문인이 되기 위한 훈련의 정도가 다르고 전문자격의 수준도 저마다 다르기 때문에 이런 과정과 지위를 통합하여 유럽국가간 의학물리전문인의 자유로운 이동을 가능하게 하려고 의학물리전문인의 자격기준과 적정수의 기준을 제시하고 있다.<sup>15)</sup> 이 설문은 유럽 40개 나라, 145개 과를 대상으로 실시되었으며 철저한 통계분석으로 2012년도 최종 보고서를 발표하였다. Table 6에 적정 인원의 계산을 위한 WTE 값들을 나타내었다. 앞서 IPEM에서 발표한 내용을 바탕으로 좀 더 세밀하게 WTE 값들을 조정하였는데, 세기조절이나 정위방사선치료와 같은 특수치료를 받는 치료환자에 관한 항목은 물론 장비에 관한 WTE 값을 추가하여 장비를 유지하고 운용하는데 소요되는 노력과 환자를 치료하는 데 필요한 노력을 모두 고려하였다.

이 설문조사의 결과로 유럽 주요국가의 전문인의 실제수와 WTE 값들로부터 계산된 최소 필요 인원도 알 수 있었다. 설문은 핵의학과와 영상의학 분야의 인력도 함께 조사되었는데 방사선치료 분야에만 국한하여 인력 수를 비교해 보면, 덴마크의 경우 최소 필요 인원은 18명이지만 실제로 종사하고 있는 인력은 26명으로 충분한데 반해, 프랑스나 영국의 경우 실제 종사하고 있는 인력은 최소 필요 인원의 50% 이하인 것으로 나타났으며, 핀란드, 이탈리아나 네덜란드의 경우 필요 인원과 실제 인원수가 근접하였다.

**3. 북미와 유럽 연구결과의 비교**

미국과 유럽의 기준이 각 나라마다 제도와 기관의 상황이 다르고 연구한 기관 및 방법 또한 다르므로 계산표에서도 FTE 또는 WTE 값을 정하는 항목이 서로 동일하지 않

**Table 6. Staffing level of medical physics expert represented in guidelines on medical physics expert.**

항목	단위	의학물리전문인 (WTE)
<b>장비 관련 인자</b>		
선형가속기	다중 에너지	0.6
선형가속기	단일 에너지	0.2
영상유도방사선치료	대	0.1
고선량률 근접방사선치료	대	0.2
CT 모의치료기	대	0.2
치료계획시스템	시스템	0.1
세기조절방사선치료	대	0.2
방사선치료 데이터/영상	데이터 네트워크	0.1
엑스선 모의치료기	대	0.1
다엽콜리메이터	대	0.05
전자조사문영상기구	대	0.05
근접방사선치료계획시스템	대	0.1
300 kV 엑스선치료기	대	0.05
150 kV 엑스선치료기	대	0.05
저선량률 후장전근접치료기	대	0.1
차폐물 가공기구	대	0.05
자동 윤곽그리기	대	0.05
정위방사선치료(신규)	대	0.2
정위방사선치료(기존)	대	0.1
<b>환자 관련 인자</b>		
외부 방사선치료	1,000	0.5
삼차원 입체조형방사선치료	100	0.1
전신조사	100	0.4
정위방사선치료	100	0.4
세기조절방사선치료	100	0.4
전신피부전자선조사	100	0.4
근접방사선치료	100	0.4
I-125	100	0.4
<b>서비스 관련 인자</b>		
방사선 방어 기구	센터	0.1
정도관리시스템	센터	0.2

고, 같은 항목의 값일지라도 그 일의 세부적인 수행과정이나 일의 범위가 다르고 또한 중요시하는 관점이 다르기 때문에 FTE 값이 다르다. Table 7에 미국과 유럽에서 가장 최근 제시한 계산표의 주요 항목들을 서로 비교하였다. 미국의 계산표에 의하면 장비에서 가장 높은 점수를 차지하는 것이 토모치료기나 사이버나이프치료기로 0.3의 FTE 값을 가지며 그 다음으로 다중에너지 선형가속기가 0.25의 FTE 값을 가진다. 근접방사선치료기 및 근접방사선치료계획시스템이 0.2로 그 다음을 차지하고 있다. 유럽의 경우 다중에너지 선형가속기가 0.6으로 매우 큰 값을 가지며 다음으로 단일에너지 선형가속기, 근접방사선치료기, 컴퓨터단층촬영기가 0.2로 비교적 큰 비중을 가진다. 주로 방사선원이

**Table 7. Comparison of FTE for medical physicist between the latest results of US and Europe.**

항목	FTE (미국)	WTE (유럽)	비율 (유럽/미국)
<b>장비 관련 인자</b>			
다중 에너지 선형가속기	0.25	0.6	2.4
단일 에너지 선형가속기	0.08	0.2	2.5
토모치로기, 사이버나이프치로기	0.3	0.1	0.3
고선량률 근접방사선치료	0.2	0.2	1.0
수동 근접방사선치료, 저선량률 씨알이식	0.2	0.1	0.5
저에너지와 표재 치료기	0.02	0.05	2.5
CT 모의치료기	0.05	0.2	4.0
엑스선 모의치료기	0.05	0.1	2.0
컴퓨터치료계획시스템	0.05	0.1	2.0
고선량률치료계획시스템	0.2	0.1	0.5
세기조절방사선치료	-	0.2	-
다엽콜리메이터	-	0.05	-
전자조사문영상기구	-	0.05	-
차폐물가공기구	-	0.05	-
<b>환자 관련 인자</b>			
기존 외부방사선치료계획	0.0002	0.0005	2.5
3차원 입체조형방사선치료계획	0.0003	0.001	3.3
말봉선원 근접방사선치료 (저선량률 및 고선량률)	0.008	0.004	0.5
정위방사선수술, 정위방사선치료	0.008	0.004	0.5
세기조절방사선치료	0.008	0.004	0.5
전신방사선조사	0.008	0.004	0.5
전신피부전자선조사	0.008	0.004	0.5
<b>비임상 관련 인자</b>			
교육 및 훈련(FTE)	0.667	-	-
내부 보고서 작성(FTE)	0.667	-	-
위원회 및 회의, 방사선안전관리 포함(FTE)	0.667	-	-
운영 및 관리(FTE)	0.667	-	-
방사선 방어 용구	-	0.1	-
정도관리시스템	-	0.2	-

되는 장비에는 높은 값을 주고 있는 것을 알 수 있다. 세기 조절방사선치료를 위한 장비는 선형가속기에 대한 점수와 별도로 0.2를 추가로 합산하기 때문에 실제로는 가장 큰 점수를 갖고 있다고 할 수 있다. 미국의 계산표와 달리 세기 조절, 영상유도, 근접방사선치료 등 장비에 대해서도 각 치료방법 별 환자와는 별도로 계산을 추가하도록 되어있어 그만큼 환자보다는 장비의 유지와 활용에 중점을 두고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 미국은 장비의 비중이 유럽과 비교하여 낮은 편이며 대신 환자수에 대한 값이 유럽에 비해 높은 편이다. 유럽은 장비가 안전하게 유지되고 사용되는 것에 중점을 둔 반면 미국은 환자에게 정확한 선량의 전달에 보다 더 중점을 두고 있는 까닭의 결과로 예상된다.

그리고 전체적으로 유럽의 WTE 값들이 미국의 FTE 값들 보다 다소 커서 하나의 동일한 기관에 대해 각각 계산했을 때 유럽의 기준에 의한 적정 인원의 계산이 미국의 기준에 의한 계산값보다 대부분 크다.

### 국내 의학물리사 인원 현황

국내에서는 1930년대부터 이미 방사성동위원소를 치료에 이용하였고, 1962년도에 코발트-60 원격치료기 최초 도입, 1972년 선형가속기 최초 도입 이래 현재까지 방사선치료가 비약적으로 발전하고 있지만 의학물리사 수요에 대한 조사나 연구는 거의 전무한 실정이다. 2003년 교육과학기술부의 “의료방사선 안전관리체계 정립에 관한 연구”보고서에서 EFOMP에서 제시한 Table 5의 기준을 토대로 당시의 국내 실제 인력 수준과 비교해 본 정도이다.<sup>8)</sup> 이 보고서에 의하면 1999년 장비 및 환자현황을 기준으로 최소 79명의 의학물리사가 필요하고 적정 인원은 181명으로 조사되었다. 실제로는 2002년 당시 47명의 인력이 근무하고 있는 것으로 조사되었으므로 이는 최소 필요 인원의 60% 수준, 적정 인원과 비교할 때는 26% 수준으로 매우 열악했다고 할 수 있다.

현재까지는 국내 실정에 맞는 인력산정표가 연구된 바 없기 때문에 미국 및 유럽에서 최근 제시한 계산표를 바탕으로 국내 몇 개 중대형 병원에 대하여 필요 인원을 계산하여 실제 인원과 비교하여 현 수준을 간접적으로나마 파악해 볼 수 있을 것이다.

국내 주요 중대형 병원 6개를 선정하여 각 기관의 실제 보유 치료장비와 환자 현황을 미국과 유럽의 각 기준으로 계산한 결과를 Table 8에 나타내었다. A~D는 서울 및 수도권권 중대형 병원들이고 E와 F는 지방 병원들인데 주변에서 비교적 큰 규모의 병원들이다. 실제 인원에는 국내 의학물리전문인 자격과 상관없이 정규인력으로 근무하고 있는 모든 인원수를 말하며 교육과정에 있는 연수생은 제외하였다. 유럽에 비해 더 적은 필요 인원으로 계산되는 미국의 기준으로 보더라도 조사한 모든 병원에서 실제 인원이 필요 인원의 50% 이하임을 알 수 있다.

국내 의학물리사의 적정한 수요를 예측하기 위해서는 국내 상황과 현실에 맞는 고유한 계산표가 필요할 것이다. 물론 미국이나 유럽의 계산표에서 크게 벗어나지는 않을 것으로 예상되지만 국내 상황을 고려한 연구가 있어야 보다 국내실정에 맞는 적정 인원을 알 수 있을 것이다. 소개한 미국이나 유럽의 각 표에서는 각 항목에 대한 범위가 각



Table 8. Staffing level of medical physicist for arbitrary chosen 6 hospitals in Korea.

병원	A	B	C	D	E	F
AAPM (1991)	12.3	13.9	7.9	6.8	2.3	2.2
미국기준(2012)	14.4	9.8	6.9	6.3	4.3	4.0
유럽기준(2012)	18.5	13.4	10.2	8.6	4.9	5.0
국내현황 <sup>a)</sup>	4	4	2	3	2	2
인력구성						
박사	3	4	2	3	1	1
석사	1	0	0	0	1	1
미국대비 비율(국내/미국)	0.28	0.41	0.29	0.48	0.47	0.51
유럽대비 비율(국내/유럽)	0.22	0.30	0.20	0.35	0.41	0.40

<sup>a)</sup>국내현황은 전문인자격증 취득여부와 상관없이 정규직만 계산함(교육과정 연수생은 제외함).

나라의 실정에 맞게 되어 있기 때문에 국내에 바로 적용하기에는 무리가 따른다. 예를 들면, 선형가속기 장비의 항목 속에는 장비를 유지, 관리, 활용함에 있어서 정도관리를 어느 범위까지 포함할 것인지, 얼마나 자주하는 것을 기본으로 할 것인지에 대해 확정해주어야 한다. 교육에 대한 항목도 정기적인 교육인지, 비정기적인 교육인지, 어떤 규모의 교육인지가 정해져야 할 것이며, 새로운 기술의 개발도 기존 장비 및 기법을 유지하고 보완하는 규모인지, 새로운 기법을 적극적으로 개발하는 것인지, 연구까지도 포함할 것인지 등이 국내 현실과 일치해야 한다.

또한 어떤 장비나 치료기법이 개선되어 업무의 비중이 바뀌거나, 새로운 장비나 치료기법이 새로 도입되어 업무의 비중이 바뀐다면 이에 맞는 새로운 계산표를 적용하여야 할 것이다. 따라서 국내에서의 조사는 적절한 기간을 두고 정기적으로 행해져야 바람직하다고 본다.

### 결 론

방사선치료분야에서 적정한 의학물리사 수에 대하여 미국과 유럽의 연구를 중심으로 조사하였다. 미국과 유럽 모두는 일찍부터 의학물리사의 적정한 인력에 대해 연구가 시작되었고, 방사선치료 장비 및 치료 기법이 점점 발전하여 복잡 및 정교해지고 고도의 지식이 필요함에 따라 적정한 인력을 계산하는 방법도 복잡해져 가고 있음을 알 수 있었다. 방사선치료 전 과정 중에서 의학물리사의 역할에 따른 항목을 만들고 그 각 항목을 수행하는 데 필요한 FTE 값을 도출하였다. 이 항목들은 다시 장비 및 환자수 현황을 바탕으로 구분되어 총 FTE 값이 계산되도록 되어있었다. 그 결과에 따라 국내 여건에 맞는 의학물리사의 적정 인원을 산정해 본 결과, 현재 인력은 필요 인원의 절반 이하임

을 알 수 있었다. 보다 정확하고 객관적인 예측을 위하여 국내 상황을 반영한 국내 고유의 FTE 값의 도출에 관한 연구가 필요하다. 또한, 현재 양성자치료 또는 탄소이온치료에 필요한 의학물리사 적정 인원에 대한 연구는 미국이나 유럽 모두 아직 이루어지지 않고 있는 상태이지만 입자방사선치료가 지속적으로 늘어나고 있는 상태이므로 이 분야에 대한 의학물리 적정 인원에 대한 고려가 조만간 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 통계청: 주요 사망원인별 사망률 추이. <http://www.index.go.kr/egams/index.jsp>
2. 대한방사선종양학회: 대한방사선종양학회 30년사. 메드랑, 서울(2012), pp. 6-12
3. Ma CM, Li JS, Pawlicki T, et al: A Monte Carlo dose calculation tool for radiotherapy treatment planning. *Physics in Medicine and Biology* 47(10):1671 (2002)
4. Nishioka T, Shiga T, Shirato H, et al: Image fusion between 18FDG-PET and MIR/CT for radiotherapy planning of oropharyngeal and nasopharyngeal carcinomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 53(4):1051-1057 (2002)
5. Verellen D, Ridder MD, Linthout N, Tournel K, Soete G, Storme G: Innovations in image-guided radiotherapy. *Cancer* 7:949-960 (2007)
6. Framework for quality radiation oncology and care: Safety is no accident. American Society for Radiation Oncology, Fairfax, VA (2012)
7. IPEM report: IPEM recommendations for the provision of a physics service to radiotherapy. Institute of Physics and Engineering in Medicine, York, UK (2009)
8. 연구보고서: 의료방사선 안전관리체계 정립에 관한 연구. 과학기술부, 서울(2003)
9. Technical Manual: Radiotherapy risk profile. World Health Organization, Switzerland (2008)
10. 원자력안전법: 제5장(방사성동위원소 및 방사선발생장치) 제53

조(방사성동위원소·방사선발생장치 사용 등의 허가 등) 및 제 55조(허가기준 등). 원자력안전위원회(2011)

11. **IAEA homepage**: Commonly used terms. <https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/Patients/radiation-terms.htm>, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria
12. **AAPM professional policy 1-H**: Definition of a qualified medical physicist. The American Association of Physicist in Medicine, College Park, MD (2011)
13. **Policy statement 7**: Criteria for the staffing levels in a medical physics department. The European Federation of Organizations for Medical Physics, UK (1997)
14. **Council Directive 97/43/EURATOM**: Health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure. European Commission, Bruxelles, Belgium (1997)
15. **Contract TREN/09/NUCL/SI2.549828**: Guidelines on medical physics expert. European Commission, Bruxelles, Belgium (2012)
16. **Khan FM**: Residency training for medical physicist. Int J Radiat Oncol Biol Phys 24(5):853-855 (1992)
17. **Report of the inter-society council for radiation oncology**: Radiation Oncology in Integrated Cancer Management (Blue book). Inter-Society Council for Radiation Oncology (1991)
18. **American College of Medical Physics final report**: The Abt study of medical physicist work values for radiation oncology physics services: Round III. Abt Associates Inc, Washington D.C. (2003)
19. **Klein EE**: A grid to facilitate physics staffing justification. J Appl Clin Med Phys 11(1):263-273 (2010)

## 방사선치료분야에서 의학물리사의 적정인력 분석

\*국립중앙의료원 방사선종양학과, †국립암센터 양성자치료센터, ‡강동경희대학교병원 방사선종양학과, §경희대학교병원 방사선종양학과, ||영남대학교 의과대학 방사선종양학교실, ¶한국원자력학원 방사선종양학과

황의중\* · 임영경† · 김동욱‡ · 신동오§ · 김성규|| · 정해조¶ · 지영훈¶

최근 방사선치료기기 및 방사선치료기술이 빠르게 발전하고 복잡해짐에 따라 방사선치료의 신뢰성을 높이고 정확한 환자 치료와 환자 및 치료관련 종사자의 방사선안전을 확보하기 위하여 자격있는 의학물리사 적정 인원에 대한 재평가가 이루어지고 있다. 방사선치료분야에서 의학물리사의 적정한 인원수준에 대하여 외국의 연구사례 및 결과에 대해 미국과 유럽을 중심으로 분석하였다. 또한 외국연구결과를 토대로 국내에 필요한 의학물리사의 적정 인원을 간접적으로 계산해 보았다. 국내 중대형 6개 병원의 현재 의학물리사 적정 인원은 국제적 적정 권고 인원의 50% 이하였다. 더욱 더 객관적인 의학물리사의 필요 인원수를 예측하기 위하여는 국내 여건에 적합한 추가적인 연구가 요구되며, 특히 지속적으로 증가되고 있는 입자방사선치료를 고려한 인원수 예측이 필요하다.

중심단어: 방사선치료, 의학물리, 의학물리사, 적정 인원