의료용 Cyclotron의 방사선안전관리 행위 예측모형

정지혜, 한은옥, 김쌍태*
대구보건대학 방사선과, 케어캠프(주)*

2008년 2월 18일 접수 / 2008년 4월 18일 1차수정 / 2008년 5월 6일 채택

방사성동위원소(RadioIsotope) 생산시설인 Cyclotron의 방사선안전관리는 방사선작업종사자뿐만 아니라 일반 이용자들의 방사선에 의한 건강장해를 예방하기 위해 중요한 부분이므로 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 예측모형을 도출하여 방사선안전관리 행위수준을 높이는데 필요한 근거자료를 제공하고자 하였다. 문헌고찰, 현장관찰, 전문가 포커스 토의를 통하여 도출되고 내용타당도가 확보된 설문지를 사용하여 국내 Cyclotron이 설치된 24개 허가기관의 방사선안전관리자를 대상으로 2008년 1월 2일부터 30일간 조사하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 방사선안전관리에 관한 경로는 1단계 생산준비, 2단계 RI생산, 3단계 합성, 4단계 분배, 5단계 품질관리, 6단계 운반용기 포장, 7단계 운반 단계로 지정하였다. 방사선피폭의 우려가 가장 높다고 생각하는 단계는 분배 15명(62.5%), 시설 설치부터 운영까지 가장 힘든 업무는 ‘인허가 관련’과 ‘설치시설 및 생산장비 확보’가 각 9명(37.5%), 방사선피폭 관련 문제가 발생한 단계는 ‘합성과 분배’ 각 4번(30.8%)으로 높게 나타났다. 방사선안전관리 행위수준은 4점 만점을 기준으로 최소 2.42점, 최고 4.00점, 평균 3.46±0.47점으로 나타났다. 방사선안전관리 행위와 직업에 대한 복지후생(r=0.529)이 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 변수를 기준으로 예측모델을 도출한 결과 일반적 특성, 기관 특성, 자기효능감은 통계적으로 유의한 경로를 나타내지 않았고 직업특성 중 복지후생이 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 방사선안전관리 행위수준을 높이기 위해 직업적 특성 중 복지후생 수준을 향상시킬 수 있는 전략이 필요하다고 본다. 본 연구는 최근 설치가 급격히 증가하는 Cyclotron의 방사선안전관리에 대한 국내 전수조사로 최초 수행하여 기초자료를 제공하는데 의미가 있다고 본다.

중심어 : 싸이크로트론, 방사성동위원소, 방사선안전관리, 예측모형, 행위

1. 서론

방사성동위원소는 원자력 이용기술 중에서도 국민의 삶에 직접적인 영향을 미치는 암진단 및 치료, 각 산업분야의 안전성 향상, 생명공학을 비롯한 첨단기술 연구 등에 이용이 확대되는 추세이다[1]. 방사성동위원소의 의학적 이용은 대표적인 원자력의 평화적 이용분야로서 암, 심장질환, 뇌혈관질환 등 각종 난치성질환의 진단 및 치료에 광범위하게 이용되고 있다[2-4]. 단반감기 핵종 및 의료용 방사성동위원소는 질병 진단 및 치료에 사용되고 있고 점차 수요가 증가하고 있다[5,6].

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)은 원자력의 비발전 이용 분야에서 가장 잘 알려진 첨단 의학기술이며 악성종양, 심장질환, 뇌질환 등의 고도화된 현대사회의 가장 문제가 되는 질환을 진료하기 위해서는 반드시 필요한 첨단의료 기술이라고 할 수 있다. 특히 최근 몇 년간 우리나라 핵의학 계는 PET 실용화에 있어서 양적 · 질적으로 괄목할만한 성장을 이룩하였다[7]. PET 및 PET CT의 핵의학 진단의 수요 급증으로 진단용 방사성핵종은 양전자방출 방사성동위원소가 의료용 방사성핵종을 중심으로 재편되고 있어 PET용 Cyclotron의 수요도 급증하기 시작하였다[8]. Cyclotron을 이용한 방사성동위원소 생산기술 개발은 방사선 이용분야의 활성화에 필수적이다.

그러나 방사선은 양면성을 가지고 있어 적절하게 관리될 때는 유용하게 사용되지만, 관리에 소홀하거나 방심하게 되면 방사선을 취급하는 사람뿐만 아니라 방사선을 이용하는 환자나 보호자 등에게까지 방사선 피폭에 영향을 주고 그 정도에 따라 심각한 장해가 발생 할 수 있다[9,10]. 방사성동위원소 생산시설인 Cyclotron의 방사선안전관리는 방사선작업종사자뿐만 아니라 일반 이용자들의 방사선에 의한 건강장해를 예방하기 위해 중요한 부분이므로 본 연구에서는 Cyclotron 방사선안전관리 주도자로 볼 수 있는 방사선취급감독자의 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 예측모형을 도출하여 방사선안전관리 행위수준을 높이는데 필요한 근거자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

책임저자 : 한은옥 eohan@mail.dhc.ac.kr, 대구보건대학 방사선과
대구광역시 북구 태전동 산7번지 대구보건대학 방사선과 창의관 2209호

2.1 연구도구 및 내용

본 연구는 최근 설치가 급격히 증가하는 Cyclotron의 방사선안전관리 행위에 대한 국내 전수조사를 최초 수행하므로 이에 대한 선행연구가 미비하여 양적조사와 질적조사를 병행한 조사방법을 사용하였다. 연구도구는 질적 조사로 문헌고찰, 현장관찰, 전문가 포커스 토의를 사용하였고 양적조사는 이를 바탕으로 내용타당도가 확보된 설문지를 사용하였다. 문헌고찰은 검색 도구로 EBSCOhost Academic Search Premier, Educator's Reference Desk(ERIC), 국회도서관, 학술진흥재단 등을 이용하였고, 검색키워드로 Cyclotron, RI, 방사성동위원소, 방사성물질, 방사성의약품 등을 포함하여 연도 제한을 두지 않고 2007년 10월까지 발표 또는 게재된 학위논문 및 학술지 등의 문헌을 선정하여 방사선안전관리에 관한 변수들을 선별하는 기초자료로 사용하였다. 현장관찰은 의료용 Cyclotron의 방사선안전관리에 대한 선행연구는 극히 미비한 상태이므로 현장에서의 변수를 파악하기 위하여 대구광역시 소재의 Cyclotron실 케어캠프(주)에서 2007년 5월부터 6개월 이상 연구자 3인을 파견하여 현장관찰을 하였다. 크게 방사선량 및 방사능을 측정하여 피폭의 우려가 존재하는 단계 및 행위경로를 객관화하였다. 국내 Cyclotron이 설치된 24개 허가기관의 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 예측모형을 도출하는 연구가 최초이기 때문에 내용타당도의 확보가 필요하여 실제 안전관리를 담당하고 있는 방사선취급감독자면허 소지의 방사선안전관리자 2인, 기술자 1인, 방사선과 교수 2인을 대상으로 포커스 토의를 하였다. 문헌고찰과 현장관찰에서 도출된 변수에 대한 점검을 통하여 내용타당도를 확보하였고 이를 바탕으로 설문도구의 Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성(업종형태, 방사선안전관리 담당의 직､간접 상태, 방사선작업종사자수, 생산회수, 생산량, 가동률, 안전관리 업무비중, 근무시간, 작업시간, 피폭의 우려가 높은 단계, 힘든 작업영역, 피폭문제 발생경험, 전체적인 작업문제 발생경험 등) 15문항과 방사선안전관리 행위(교육훈련, 건강검진, 판독확인, 개인선량계 착용, 측정기 검교정, 선량측정, 방호장구 사용, 방어원칙 준수, 운반규정 준수, 문제발생 처리, 폐기물 처리규정 준수, 기록 및 보관에 대한 준수 등) 12문항을 구성하였다.

설문조사는 국내 Cyclotron이 설치된 24개 허가기관의 방사선안전관리자를 대상으로 2008년 1월 2일부터 약 30일간 조사하여 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 예측모형을 도출하고자 도구화된 설문지를 사용하였다. 설문지는 한국인의 직업의식 조사[13], 윤일선[14]의 논문을 바탕으로 직업에 대한 가치(경제적 자립, 일의 즐거움, 자아실현, 인정, 사회적 지위확보, 삶의 의미, 가족을 위하여, 사회구성원의 의무, 사교, 노후대책이 포함된 내용) 10문항, 의견(중요도, 이직, 실업대비, 승진, 계획성이 포함된 내용) 5문항, 보수(능력대비 적절성, 업무량 대비 적절성, 수당 지급방법의 타당성이 포함된 내용) 3문항, 복지후생(고충사항 처리, 근무환경, 휴가 및 포상제도, 신분보장, 권익보호, 안전성이 포함된 내용) 6문항이 포함된 직업특성을 구성하였고, 한국원자력의학원[2,3,4,5,6,15,16], 채종서[8], 한국원자력병원[17], 경북대학교[7], 울산대학교[18]의 문헌고찰과 현장관찰, 전문가 포커스 토의를 통하여 Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성 15문항과 방사선안전관리 행위 12문항을 구성하였다. 행위에 영향을 미치는 가장 강력한 변수인 자기효능감 6문항, 대상자의 일반적 특성 4문항으로 총 61문항으로 구성하였다. 도구의 신뢰도 계수는 직업에 대한 가치 0.613, 의견 0.590, 보수 0.779, 복지후생 0.711, 자기효능감 0.736, 방사선안전관리 행위 0.947로 나타났다.

2.2 자료의 분석방법

문헌고찰, 현장관찰, 전문가 포커스 토의는 질적 연구방법으로 수행되었고, 이를 통해 내용타당도가 확보된 도구화된 설문지의 변수를 선정하였다. 설문조사는 양적 연구방법으로 수행하였다. 수집된 자료는 SPSS Win 12.0 통계프로그램을 이용하였고 분석기법으로는 빈도와 백분율, 평균과 표준편차, Pearson's Correlation Coefficient, t-test, ANOVA를 사용하였으며 방사선안전관리 모형을 예측하기 위한 요인 선별을 위해 다중회귀분석을 수행하였다. 경로분석(path analysis)을 실시하여 예측모형을 구축하고자 하였으나 전수조사를 한 24개 기관에 대한 모집단수의 제한된 값으로 경로분석은 수행될 수 없는 한계점을 가졌다.

3. 연구결과

3.1 문헌고찰

Cyclotron 중심의 원문이 포함된 문헌 13편을 분석한 결과 1989년 최초 1편의 문헌이 관찰되었으며, 1990년 1편, 2000년 1편, 2003년 1편이 발표되었고, 최근 2005년부터 2007년까지 9편의 논문이 발표되었다. Cyclotron에 대한 연구는 최근에 높은 빈도로 연구가 되었음을 알 수 있었다. 문헌고찰을 통해 방사선안전관리에 대한 변수를 선별하고자 하였으나 이에 대한 연구는 없는 것으로 나타났다. 따라서 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 주요변수를 선별하기 위해 현장관찰 및 전문가 포커스 토의를 실시하였다. 국내 Cyclotron이 설치된 현황은 사이버 방사선안전정보센터에 의해 2007년 기준 24개 기관으로 나타났다.

3.2 현장관찰

방사선량 및 방사능을 측정하여 피폭의 우려가 존재하는 단계와 방사선작업종사자의 행위경로를 객관화하여 방사선안전과 관계된 작업경로를 지정하여 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 주요 변수들을 선별하였다. 행위에 영향을 미치는 변수를 선정하기 위해 사회인지이론(Social Cognitive Theory)을 근거로 하였다. Albert Bandura[11, 12]의 사회인지이론은 개인적, 행위적, 환경적 요인들 사이의 끊임없는 상호작용에 의해 인간행위를 설명한다고 하였다. 이에 환경측면은 기관특성, 행위측면은 행위수준, 개인측면은 직업특성, 자기효능감, 인구사회학적 특성으로 크게 3부분으로 분류하여 변수선정 작업을 하였다. 행위에 영향을 미치는 환경측면인 기관특성은 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 변수라고 예측되어지는 업종형태, 방사선안전관리 담당의 직､간접 상태, 방사선작업종사자수, 생산회수, 생산량, 가동률, 안전관리 업무비중, 근무시간, 작업시간, 피폭의 우려가 높은 단

계, 힘든 작업영역, 피폭문제 발생경험, 전체적인 작업문제 발생경험 등을 질적 방법으로 최종 선정하였다.

개인특성은 인구사회학적특성, 직업특성, 자기효능감으로 분류하였고 그 중 직업특성은 작업장 안전행위에 영향을 미치는 주요 인지변수이고 문헌고찰에서 나타난 한국인의 직업의식 조사[13], 윤일선[14]의 논문을 바탕으로 직업에 대한 가치(경제적 자립, 일의 즐거움, 자아실현, 인정, 사회적 지위확보, 삶의 의미, 가족을 위하여, 사회구성원의 의무, 사교, 노후대책이 포함된 내용), 의견(중요도, 이직, 실업대비, 승진, 계획성이 포함된 내용), 보수(능력대비 적절성, 업무량 대비 적절성, 수당 지급방법의 타당성이 포함된 내용), 복지후생(고충사항 처리, 근무환경, 휴가 및 포상제도, 신분보장, 권익보호, 안전성이 포함된 내용)으로 선정하였다.

또한 작업 전 과정을 현장 관찰하여 피폭과 관계된 작업경로를 따라 실시간으로 방사능 및 방사선을 측정하여 피폭이 우려되는 단계 및 행위 경로를 크게 7단계로 지정하였다: 1단계 생산준비, 2단계 RI생산, 3단계 합성, 4단계 분배, 5단계 품질관리, 6단계 운반용기 포장, 7단계 운반 단계<Fig 1>.

3.3 전문가 포커스 토의

문헌고찰, 현장관찰에서 도출된 환경측면인 기관특성, 행위측면인 행위수준, 개인측면인 직업특성, 자기효능감, 인구사회학적 특성으로 크게 3부분으로 분류하였다. 선정된 변수들을 기준으로 최종 일반적 특성(연령, 직업형태, 학력, 경력), 기관 특성(업종형태, 안전관리담당상태, RI기관수, 피폭사고경험, 운영문제발생경험), 직업 특성(직업에 대한 가치, 의견, 보수, 복지후생), 행위에 영향을 미치는 주요 변수인 자기효능감이 방사선안전관리 행위에 영향을 미치고 각 변수간의 관련성이 있어 방사선안전관리 행위 예측모형을 도출한다고 설정하였다<Fig 2>.

3.4 설문조사

3.4.1 대상자의 일반적 특성

본 연구의 대상자는 과학기술부장관으로부터 생산허가를 받은 Cyclotron이 설치된 총 24기관의 방사선안전관리자를 대상으로 조사하였다. 성별은 남자 23명(95.8%), 연령은 30대 16명(66.7%), 주직업으로는 관리자 11명(45.8%), 학력은 대졸 9명(39.1%), 방사선안전관리 실무경력은 5년 이하가 11명(45.8%)으로 가장 높게 나타났다<Table 1>.

3.4.2 Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성 1

Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성으로 허가된 업종형태는 산업체 11개(45.78%)로 가장 높게 나타났고, 의료기관 10개(41.7%), 교육기관 2개(8.3%), 연구기관 1개(4.2%)로 나타났다. 방사선안전관리 업무를 직접 담당하는 기관은 20개(87%)로 높게 나타났으나 직접 담당하지 않는 방사선안전관리자도 3개(13%) 기관이 있는 것으로 나타났다. RI공급기관수는 자체사용이 8개 기관(33.3%)으로 가장 높게 나타났고, 2-5개 기관은 6개 기관(25%), 6-10개 기관은 5개 기관(20.8%), 1개 기관은 3개 기관(12.5%), 11개 이상 기관은 2개 기관(8.3%)순으로 나타났다. 방사성의약품을 자체 사용하는 경우가 가장 많게 나타났지만 11개 이상 공급하는 기관도 2개 기관이 있는 것으로 나타났다. 방사선피폭의 우려가 가장 높다고 생각하는 단계는 분배 15명(62.5%)으로 가장 높게 나타났고, 그 다음이 RI생산 단계인 것으로 나타났다. 이는 피폭과 관련하여 분배단계에 대한 심층 연구를 수행할 필요가 있다고 본다. 시설 설치부터 운영까지 가장 힘든 업무는 ‘인허가 관련’과 ‘설치시설 및 생산장비 확보’가 각 9명(37.5%)으로 가장 높게 나타났다. ‘RI보급 기관 확보’ 4명(16.7%)이 그 다음 순으로 높게 나탔다. 이는 RI생산에 관한 인허가 부분에 대해 규제기관은 접근이 용이한 절차나 방법을 제시할 필요가 있다고 본다. 방사선피폭 관련 문제 발생 경험에서는 없다 17명(70.8%)으로 높게 나타났으나 피폭관련 문제 발생 경험이 있는 경우도 7명(29.2%)으로 나타났다. 이는 RI생산업체이기 때문에 방사선피폭에 대해 안전관리측면에서의 심도 있는 점검 및 보완이 필요한 부분이라고 사료된다. 방사선피폭 관련 문제가 발생한 단계는 주로 합성과 분배가 각 4번(30.8%)으로 높게 나타났다. 합성과 분배단계에서는 방사선(능)량을 실시간 알람으로 측정할 수 있는 시스템 도입 의무화 정책을 고려할 필요가 있다고 본다. 시설 설치부터 운영까지 전체적인 업무에서 문제가 발생한 경험은 ‘있다’ 13명(54.2%)으로 ‘없다’ 11명(45.8%)보다 높게 나타났다. 문제가 발생한 부분은 ‘인허가 관련부분’과 ‘시설 설치 및 생산 장비확보’가 각 7명(35%)으로 높게 나타났다.

PET CT의 핵의학 진단의 수요 급증으로 인해 PET용 사이클로트론의 수요도 급증하고 있기 때문에 관련 학과 학생들의 학습이 필요한 영역이라 사료된다. 이에 방사선 또는 원자력 등의 관련학과 재학생의 실습 또는 교육제공 여부를 질

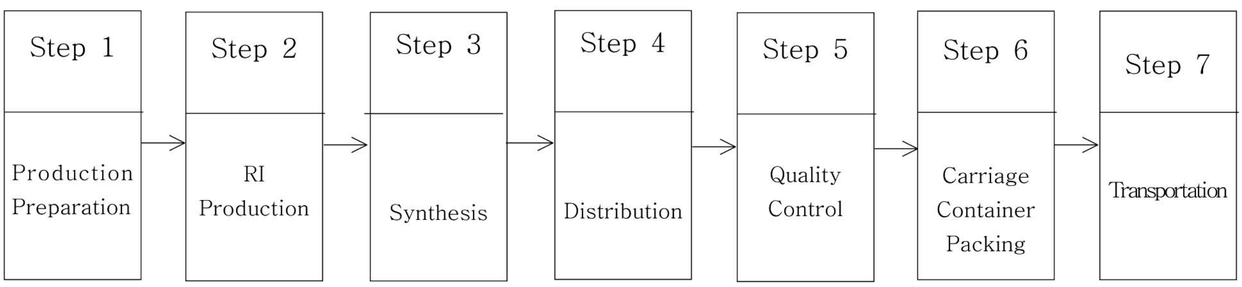

Fig. 1. Steps for the evaluation of the radiation safety management of Cyclotrons.

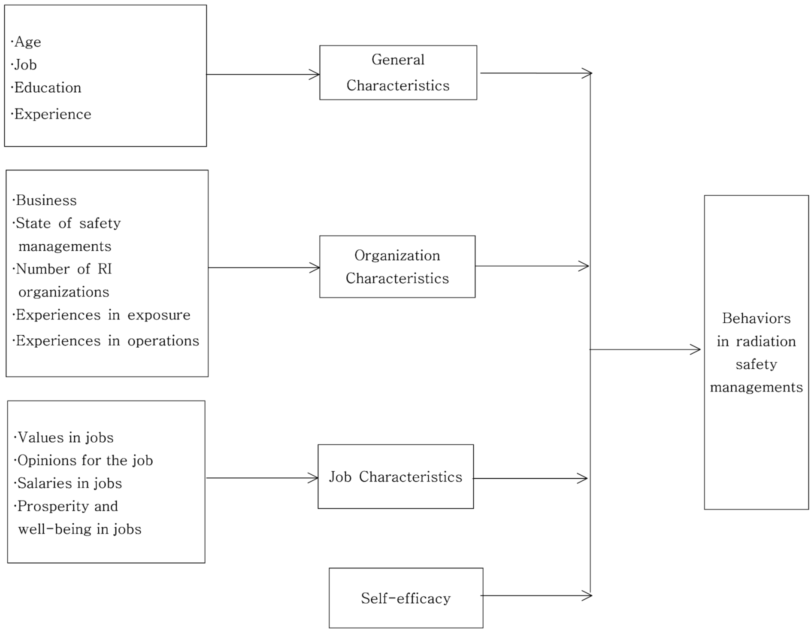

Fig. 2. Prediction model used in radiation safety management behavior.

Table 1. General Characteristics of Subjects.

Characteristics	Description	Frequency	(%)
Sex	Male	23	95.8
	Female	1	4.2
	Total	24	100.0
Age	30’s	16	66.7
	40’s	4	16.7
	50’s	2	8.3
	over 60’s	2	8.3
	Total	24	100.0
Job	Doctor	2	8.3
	Medical operator	5	20.8
	Researcher	4	16.7
	Engineer	2	8.3
	Manager	11	45.8
	Total	24	100.0
Education	Junior collage	8	34.8
	Collage	9	39.1
	Beyond graduate school	6	26.1
	Total	23	100.0
Experiences in radiation safety managements	Less than 5 years	11	45.8
	6~10 years	4	16.7
	11~15 years	5	20.8
	16~20 years	2	8.3
	More than 21 years	2	8.3
	Total	24	100.0

문한 결과 제공하지 않는 경우 14명(63.6%)으로 높게 나타났고 제공하는 경우 8명(36.4%)으로 나타났다. 관련 분야의 인력양성 측면에서 현장교육 기회의 빈도를 높일 필요가 있다고 본다<Table 2>.

Table 2. Organization Characteristics of the Cyclotron and RI Production I.

Characteristics	Description	Frequency	(%)
Authorized business type	Medical organization	10	41.7
	Industries	11	45.8
	Research organization	1	4.2
	Education center	2	8.3
	Total	24	100.0
State of radiation safety managements	Direct charge	20	87.0
	Indirect charge	3	13.0
	Total	23	100.0
Number of RI suppliers (sellers)	Self application	8	33.3
	1	3	12.5
	2~5	6	25.0
	6~10	5	20.8
	More than	11	28.3
	Total	24	100.0
Steps in the highest exposure	Production preparation	2	8.3
	RI production	3	12.5
	Distribution	15	62.5
	Quality control	2	8.3
	Carriage container packing	1	4.2
	Others	1	4.2
	Total	24	100.0
Hardest works applied from the facility installation to the operation	Sanction and permission	9	37.5
	Installation facility and production equipments	9	37.5
	Operators14.2RI distribution (seller)	4	16.7
	Transportation	1	4.2
	Total	24	100.0
Experiences in the trouble of radiation exposure	Yes	7	29.2
	No	17	70.8
	Total	24	100.0
Steps in the occurrence of radiation exposure	Production preparation	1	7.7
	RI production	2	15.4
	Synthesis	4	30.8
	Distribution	4	30.8
	Quality control	1	7.7
	Carriage container packing	1	7.7
	Total	13	100.0
Experiences in the general trouble from the facility installation to the operation	Yes	13	54.2
	No	11	45.8
	Total	24	100.0
Steps in the occurrence of the trouble from the facility installation to the operation	Sanction and permission	7	35.0
	Installation facility and production equipments	7	35.0
	Operators15.0RI distribution (seller)	3	15.0
	Radiation safety managements	2	10.0
	Total	20	100.0
Practices or educations for radiation and nuclear related students	Yes	8	36.4
	No	14	63.6
	Total	22	100.0

3.4.3 Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성 2

Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관특성으로 기관별 방사선 작업종사자는 평균 4.96명이었고, 최소 2명, 최대 15명까지 구성원수의 차이가 있는 것으로 나타났다. 방사성동위원소의 1일 생산회수는 평균 2.2회였고 최고 4회까지 생산하는 기관이 있는 것으로 나타났다. 1일 방사성동위원소생산량은 평균 2943.48 mCi였고 최저 400 mCi, 최고 14000 mCi 생산하는 것으로 나타났다. Cyclotron의 연간 정상가동률은 평균 90.3%로 나타났고 최저 60%, 최고 100%로 나타났다. 전체 업무 중 방사선안전관리 업무의 비중이 평균 40.21%였고 최저 8%, 최고 100%로 나타나 방사선안전관리에 대한 비중이 기관마다 차이가 있는 것으로 나타나 방사선안전 측면에 대해 심도 있는 조사가 필요하다고 본다. 1일 근무시간은 평균 8.65시간이고, 최저 5시간 최고 14시간 까지 근무하는 것으로 나타나 기관마다 차이가 있는 것으로 보인다. 1일 생산 작업시간은 평균 4.57시간이며 최저 2시간, 최고 9시간 인 것으로 나타났다<Table 3>.

3.4.4 방사선안전관리 행위수준

방사선안전관리 행위수준은 4점 만점을 기준으로 최소 2.42점, 최고 4.00점으로 기관별로 점수 차이 있는 것으로 나타났고 평균과 표준편차는 3.46 ± 0.47점으로 나타났다. 항목별 수준을 살펴보면 ‘나는 정기적으로 방사선 측정기 검 교정을 받는다.’와 ‘규정에 의한 기록, 보고, 서류보관을 철저히 수행한다.’ 두 항목이 3.63점으로 가장 높은 수준을 나타냈고, ‘나는 체내ㆍ외 피폭 방어를 위해 방호장구를 착용한다.’ 항목이 3.08점으로 가장 낮은 수준을 나타냈다. 비교적 정기검사에서 검사항목에 해당하는 행위항목에 대한 수준이 높은 경향을 보였다<Table 4>.

3.4.5 Cyclotron 및 RI생산 기관 특성에 따른 방사선안전관리 행위

Cyclotron 및 RI생산에 관한 기관 특성 중 업종형태, 방사선안전관리 담당 상태, RI 공급(판매)기관수, 방사선 피폭우려가 높다고 생각되는 단계, 방사선피폭 관련 문제 발생경험 유무, 시설 설치부터 운영까지 전체적인 문제 발생경험 유무의 각 항목별로 방사선안전관리 행위의 평균을 비교한 결과 ‘시설 설치부터 운영까지 전체적인 문제 발생경험 유무’ 항목에

Table 3. Organization Characteristics of the Cyclotron and RI Production II.

Item (Unit)	Min.	Max.	mean ± s.d.
Number of operators in radiation works	2	15	4.96 ± 3.641
Number of production (time/day)	1	4.0	2.217 ± 0.9514
Amount of production (mCi/day)	400	14000	2943.48 ± 2834.018
Normal operation rate (100%/year)	60	100	90.30 ± 10.687
Radiation related works in the entire works (%)	8	100	40.21 ± 32.659
Daily working hours (hour)	5	14	8.65 ± 1.849
Daily production hours (hour)	2	9	4.57 ± 1.779

Table 4. Behavior Levels in Radiation Safety Managements.

	Description	mean ± s.d.
1.	I have received a periodic training for radiological operators.	3.54 ± 0.59
2.	I have received an annual medical test.	3.58 ± 0.50
3.	I have checked the results of the amount of exposure periodically.	3.54 ± 0.59
4.	I have worn a personal dosimeter in works.	3.54 ± 059
5.	I have applied a periodic inspection or correction of radiation detectors.	3.63 ± 0.50
6.	I have measured the radiation and contamination based on the specified regulation.	3.29 ± 0.70
7.	I have worn a protection gear to prevent internal and external exposures.	3.08 ± 0.72
8.	I have kept the rules of time, distance, and protection to prevent external exposure.	3.38 ± 0.65
9.	My organization have kept the specified rules in the transportation of RI.	3.50 ± 0.51
10.	I have managed the troubles occurred in the production based on the specified rules.	3.38 ± 0.65
11.	I have treated nuclear wastes (solid, liquid, and gaseous wastest) based on the specified rules.	3.46 ± 0.51
12.	I have strictly managed recording, reporting, and filing based on the specified rules.	3.63 ± 0.50

서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. ' 시설 설치부터 운영까지 전체적인 문제 발생경험이 없는 집단 '이 ' 문제 발생경험이 있는 집단 '보다 방사선안전관리 행위점수가 높았다<Table 5>.

3.4.6 방사선안전관리 행위의 상관관계

방사선안전관리 행위, 일일 평균 생산회수, 일일 근무시간, 일일 생산 작업시간 간의 상관분석을 한 결과 모든 항목에서 유의한 차이가 없었다. 방사선안전관리 행위와 직업에 대한 가치, 의견, 보수, 복지후생 및 자기효능감과 상관분석을 한 결과 방사선안전관리 행위와 직업에 대한 복지후생 (r =0.529)이 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다<Table 6>.

3.4.7 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 요인 및 예측모형

방사선안전관리 행위를 종속변수로 하고 직업에 대한 가치, 의견, 보수, 복지후생 및 자기효능감을 독립변수로 하여 회귀분석을 한 결과 직업에 대한 복지후생이 상대적으로 영향을 가장 크게 주는 것으로 나타났다<Table 7>. 방사선안전

Table 5. Behaviors of the Radiation Safety Managements According to the Cyclotron and the Organization of RI Production.

Characteristics	Description	mean ± s.d.	t or F
Business type	Medical organization	3.45 ± 0.52	0.873
	Industries	3.42 ± 0.41	
State of radiation safety managements	Direct charge	3.45 ± 0.49	0.931
	Indirect charge	3.47 ± 0.46	
Number of RI suppliers (sellers)	1	3.46 ± 0.51	0.888
	More than 2	3.49 ± 0.46	
Steps in the highest exposure	Distribution	3.44 ± 0.49	0.761
	Others	3.50 ± 0.46	
Experiences in the trouble of radiation exposure	Yes	3.44 ± 0.52	0.889
	No	3.47 ± 0.46	
Experiences in the general trouble from the facility installation to the operation	Yes	3.29 ± 0.49	0.054*
	No	3.66 ± 0.36	

*p<0.01

Table 6. Relationship between Behaviors in Radiation Safety Managements.

Item	Behavior	Number of Production	Working Hour	Production Hour
Behavior	1			
Number of Production	-0.202	1		
Working Hour	0.036	0.136	1	
Production Hour	-0.078	0.184	-0.103	1

Item	Behavior	Values in jobs	Opinions for the job	Salaries in jobs	Prosperity and well-being in jobs	Self-efficacy
Behavior	1					
Values in jobs	0.2031					
Opinions for the job	0.378	0.2041				
Salaries in jobs	0.006	0.000	0.088	1		
Prosperity and well-being in jobs	0.529*	0.067	0.287	0.568**	1	
Self-efficacy	0.313	0.066	0.269	0.147	0.302	1

*p<0.01, **p<0.05

관리에 영향을 미치는 변수를 기준으로 예측모델을 도출한 결과 일반적 특성, 기관특성, 자기효능감은 통계적으로 유의한 경로를 나타내지 않았고 직업특성 중 복지후생이 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 것으로 나타났다<Fig 3>. 이는 현재 방사선안전관리 행위수준을 높이는데 직업특성으로 복지후생을 향상시키는 것이 중요하다고 할 수 있다. 그러나 본 연구의 제한점은 국내 Cyclotron이 설치된 기관의 법적 방사선안전관리자는 총 24명이고 이에 대한 전수조사를 하였으나 경로분석에 있어 모집단 수가 극히 적기 때문에 일반화된 값을 도출하기는 한계가 있다고 본다.

4. 결론

방사성동위원소(RadioIsotope) 생산시설인 Cyclotron의 방사선안전관리는 방사선작업종사자뿐만 아니라 일반 이용자들의 방사선에 의한 건강장해를 예방하기 위해 중요한 부분이므로 방사선안전관리에 영향을 미치는 예측모형을 도출하여 방사선안전관리 행위수준을 높이는데 필요한 근거자료를 제공하고자 하였다. 양적조사와 질적 조사를 병행한 문헌고찰, 현장관찰, 전문가 포커스 토의를 통하여 내용타당도가 확보된 설문지를 도구화하여 국내 Cyclotron이 설치된 24개 허가기관의 방사선안전관리자를 대상으로 2008년 1월 2일부터 30일간 조사하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 국내 Cyclotron이 설치된 현황은 2007년 기준 24개 기관으로 나타났다. 방사선안전관리에 관한 경로는 1단계 생산준비, 2단계 RI생산, 3단계 합성, 4단계 분배, 5단계 품질관리, 6단계 운반용기 포장, 7단계 운반 단계로 지정하였다. 본 경로지점을 중심으로 방사선(능)량을 측정한다면 작업장 방사선안전관리를 객관적이고 효율적으로 수행할 수 있을 것이라 사료된다. 기관 특성 중 방사선안전관리자가 방사선안전관리 업무를 간접적으로 담당하는 경우가 3기관(13.0%)으로 나타났다. 방사선안전관리를 직접 전담한다 해도 사고의 빈도는 존재하기 때문에 이들 기관에 대한 안전측면은 더욱 강화될 필요가

Table 7. Factors in the Behaviors of Radiation Safety Managements.

Independent Parameter	Non-Standard Regression Weight		Standard Regression Weight	t	Significant Probability
	B	**Standard Error**	**Beta**		
(Constant)	0.277	1.327		0.209	0.837
Value	0.189	0.303	0.124	0.623	0.542
Opinion	0.196	0.251	0.164	0.781	0.447
Salary	-0.350	0.220	-0.378	-1.595	0.132
Prosperity and Well-being	0.733	0.301	0.603	2.434	0.028
Self-efficacy	0.283	0.307	0.189	0.922	0.371
F(p-value)	2.285(0.099)				
	R^2=0.432	adj-R^2=0.243			

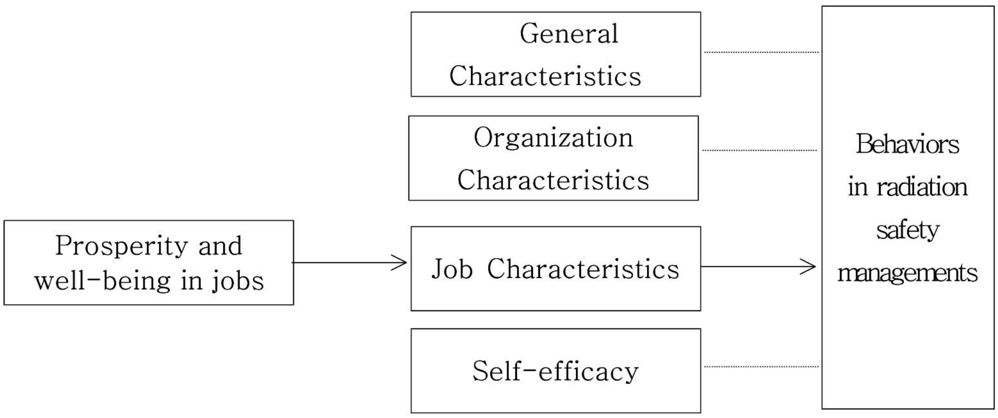

Fig. 3. Prediction model used in radiation safety management behavior.

있다고 본다. 방사선피폭의 우려가 가장 높다고 생각하는 단계는 분배 15명(62.5%)이고 방사선피폭 관련 문제가 발생한 단계는 주로 합성과 분배가 각 4번(30.8%)으로 높게 나타났으므로 방사성의약품 분배단계의 안전관리에 대한 전문적인 시스템 도입이 필요하다고 본다. 특히 실시간 방사선(능)량을 알람으로 측정하는 시스템을 갖추므로 방사선피폭 사고를 사전 예방할 수 있거나 사고 발생 시 신속한 방어행위에 돌입하는데 도움이 된다고 본다. 시설 설치부터 운영까지 전체적인 업무에서 문제가 발생한 경험은 ‘있다’가 13명(54.2%)이며, 가장 힘든 업무는 ‘인허가 관련’과 ‘설치시설 및 생산장비 확보’가 각 9명(37.5%)으로 높게 나타났고, 실제 문제가 발생한 부분은 ‘인허가 관련 부분’과 ‘시설 설치 및 생산 장비확보’가 각 7명(35%)으로 가장 높게 나타났다. 인허가 관련에 대해서는 규제기관과 현장의 방사선안전관리자가 커뮤니케이션 할 수 있는 장을 마련하여 규제와 현장업무에 대한 문제점과 개선방안을 도출 및 보완 한다면 방사선안전관리 행위가 향상될 수 있다고 본다. 설치 시설 및 생산 장비 확보의 어려움에 대해서는 Cyclotron이 최근 설치되는 장비이므로 정보 확보 및 교환에 대한 한계에 의해 어려움이 존재할 수 있으므로 기존 설치기관은 Cyclotron에 대한 정보를 공유할 필요가 있다고 본다.

방사선안전관리 행위수준은 4점 만점을 기준으로 최소 2.42점, 최고 4.00점으로 방사선안전관리자 별로 점수 차이가 높게 나타났고 구체적으로 ‘나는 정기적으로 방사선 측정기 검、교정을 받는다.’와 ‘규정에 의한 기록, 보고, 서류보관을 철저히 수행한다.’두 항목이 3.63점으로 가장 높은 수준을 나타냈다. 이는 생산허가 기관의 정기검사 시기가 1년 단위이고 정기검사 시 주요 검사내용에 해당되므로 이에 대한 행위수준이 높은 것으로 사료된다. 방사선피폭에 대한 확률적 영향을 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 피폭을 낮게 유지하기 위해 모든 항목의 방사선안전관리 행위 수준을 향상시켜야 한다고 본다.

방사선안전관리 행위와 직업에 대한 복지후생(r=0.529)이 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 변수를 기준으로 예측모형을 도출한 결과 환경측면인 기관특성, 개인측면인 자기효능감, 인구사회학적 특성 및 직업특성 일부 등은 통계적으로 유의한 경로를 나타내지 않았고 개인의 인지특성인 직업특성 중 복지후생이 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 방사선안전관리 행위수준을 높이기 위한 선행요건으로 직업적 특성 중 복지후생 수준을 향상시킬 수 있는 전략이 필요하다. 본 연구에서 사용된 복지후생은 회사 측이 직장의 고충사항 처리를 위하여 최선을 해야 하고, 편의시설 등의 근무환경이나 근무조건이 만족스러워야 하며, 휴가 및 포상제도가 잘 시행되어야 하며, 신분이 보장되어야 하고, 직원의 권익 및 직장의 안정성이 보장되어야 한다는 것이다. 방사선안전관리를 위한 환경특성인 기관특성의 근무시간, 업무량 등과 인구사회학적 특성, 자기효능감은 방사선안전관리 행위에 영향을 미치는 요인에 포함되지 않았다. 본 연구는 국내 실정에 맞는 방사선안전관리 행위수준을 향상시키는 예측모형이라는 제한점이 있고 최근 설치가 급격히 증가하는 Cyclotron의 방사선안전관리 행위에 대한 국내 전수조사로 최초 수행하여 기초자료를 제공하는데 의미가 있다고 본다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단을 통하여 교육과학기술부가 시행한 원자력연구개발사업중 인력양성사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국원자력연구원. 의료 및 산업용 RI 생산기술개발:방사성동위원소 및 방사선원 개발. 과학기술부. 2007.
2. 한국원자력의학원. 동위원소 생산용 사이클로트론가속기 핵심 기술 개발. 과학기술부. 2005.
3. 한국원자력의학원. 싸이클로트론 및 PET 이용기술개발. 과학기술부. 2005.
4. 한국원자력의학원. IAEA 및 아시아국가와의 싸이클로트론 활용기술 공동연구 및 기술 수출기반 구축 사업. 과학기술부. 2005.
5. 한국원자력의학원. 가속기 방사성 핵종 및 의약품 개발. 과학기술부. 2007.
6. 한국원자력의학원. 원자력연구개발중장기계획사업. 동위원소 생산용 사이클로트론 가속기 핵심기술 개발. 과학기술부. 2007.
7. 경북대학교. 권역별 싸이클로트론 연구소 구축. 과학기술부. 2006.
8. 채종서. KOTRON-13과 상용 PET 사이클로트론의 최근 기술. 대한핵의학회지 2005;39(1):1-8.
9. 김낙상. 진단방사선과에 종사하는 방사선사의 방사선 방어에 관한 의식조사. 경산대학교 보건대학원 학위논문. 2000.
10. 임재동. 진단용 방사선안전관리규칙에 대한 안전관리자의 인식도. 연세대학교 보건대학원 학위논문. 2000.
11. Bandura A. Self-efficacy: Towards a Unifying Theory of Behavioral Change. Psychological Review. 1977;84:191-215.
12. Bandura A. Human Agency in Social Cognitive Theory. American Psychologist. 1989;44(9):1175-1184.
13. 김병숙. 한국인의 직업의식 조사. 한국직업능력개발원. 1998.
14. 윤일선. 대학행정직원의 직무만족도 비교 분석. 경희대학교 행정대학원 학위논문. 2004.
15. 한국원자력의학원. IAEA 및 아시아국가와의 싸이클로트론 활용기술 공동연구 및 기술 수출기반 구축 사업. 과학기술부. 2005.
16. 한국원자력의학원. 싸이클로트론 및 PET 이용기술 개발 2단계. 과학기술부. 2003.
17. 한국원자력병원. 싸이클로트론 및 PET 이용기술 개발. 과학기술부. 2000.
18. 울산대학교. PET용 방사성의약품으로 [^{18}F]FMISO와 [^{18}F]FES의 제품화. 과학기술부. 2006.

A Prediction Model for the Radiation Safety Management Behavior of Medical Cyclotrons

Ji Hye Jung, Eun Ok Han and Ssang Tae Kim*
Department of Radiologic Technology, Daegu Health College, CareCamp Inc*

Abstract - This study attempted to provide reference materials for improving the behavior level in radiation safety managements by drawing a prediction model that affects the radiation safety management behavior because the radiation safety management of medical Cyclotrons, which can be used to produce radioisotopes, is an important factor that protects radiation caused diseases not only for radiological operators but average users. In addition, this study obtained follows results through the investigation applied from January 2 to January 30, 2008 for the radiation safety managers employed in 24 authorized organizations, which have already installed Cyclotrons, through applying a specific form of questionnaire in which the validity was guaranteed by reference study, site investigation, and focus discussion by related experts.

The radiation safety management were configured as seven steps: Step 1 is a production preparation step, Step 2 is an RI production step, Step 3 is a synthesis step, Step 4 is a distribution step, Step 5 is a quality control step, Step 6 is a carriage container packing step, and Step 7 is a transportation step. it was recognized that the distribution step was the most exposed as 15 subjects (62.5%), the items of 'the sanction and permission related works' and 'the guarantee of installation facilities and production equipments' were the most difficult as 9 subjects (37.5%), and In the trouble steps in such exposure, the item of 'the synthesis and distribution' steps were 4 times, respectively (30.8%). In the score of the behavior level in radiation safety managements, the minimum and maximum scores were 2.42 and 4.00, respectively, and the average score was 3.46 ± 0.47 out of 4. Prosperity and well-being programs in the behavior and job in radiation safety managements (r=0.529) represented a significant correlation statistically. In the drawing of a prediction model based on the factors that affected the behavior in radiation safety managements, general characteristics, organization characteristics, and self-efficacy didn't show a significant path statistically in which the prosperity and well-being programs in job characteristics affected the behavior in radiation safety managements.

Therefore, it is necessary to establish a strategy that improves the level of prosperity and well-being levels in job characteristics in order to increase the behavior in radiation safety managements. Thus, this study provides basic materials for the radiation safety management of Cyclotron through the full-scale investigation that is first applied in Korea.

Keywords : Cyclotron, Radioisotope, Radiation Safety Management, Prediction Model, Behavior