

최종연구보고서

방사선 표준선량체계 및  
정도관리 기반기술 개발

Development of Fundamental  
Technique for Radiation Standard  
Dosimetry Protocol and Quality Control

연구기관  
경희대학교

과 학 기 술 부

# 제 출 문

## 과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 방사선 이용 표준화 및 의학물리기반기술개발에 관한 연구” 과제 (세부과제 “ 방사선 표준 선량체계 및 정도관리기반기술개발에 관한 연구”)의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 4. .

주관연구기관명 : 경 희 대 학 교  
주관연구책임자 : 신 동 오  
연 구 원 : 홍성언, 강진오  
김상기, 안희경  
박성용, 김성훈  
서원섭, 신동호  
김금배, 이승준  
라정은, 민철희  
한경훈, 박창현  
장지선, 이 석

위탁연구기관명 : 가천의과대학교  
위탁연구책임자 : 최 진 호

위탁연구기관명 : 경 기 대 학 교  
위탁연구책임자 : 권 수 일

## 최종연구보고서 초록

과제관리 번호		해당단계 연구기관	경희대학교	단계구분	(1단계)/(총 2단계)
연구사업명	중사 업 명	중·장기계획사업			
	세부 사업명	방사선 의학 분야			
연구과제명	대과제명	방사선 이용 표준화 및 의학물리 기반기술 개발			
	세부과제명	방사선 표준선량체계 및 정도관리 기반기술 개발			
연구기관명 (연구책임자)	신 동 오	해당단계 연구인력	내부 : 5.1 M·Y 외부 : 15.5 M·Y 계 : 20.6 M·Y	연구비	정부 286,000 천원 민간            천원 계 286,000 천원
위탁연구	연구기관 : 가천의과대학교, 경기대학교    연구책임자 : 최진호, 권수일				
국제공동연구	상대국명:	상대국연구기관명:		참여기업	
색 인 어 (각5개이상)	한글 : 선량측정, 교정, 표준측정법, 정도관리, 흡수선량				
	영어 : Dosimetry, Calibration, Protocol, Quality Control, Absorbed Dose				
요약 (연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				면수	
<p>1. 연구개발 목표 및 내용</p> <p>물 흡수선량 표준에 의한 교정체계 확립과 표준측정법 및 방사선치료관련기기의 정도관리 절차서를 개발하는데 있음.</p> <p>2. 연구결과</p> <p>물 흡수선량 표준에 의한 수식 및 교정체계를 확립하였고, 이들 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법을 개발하여 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화하였고, 인터넷상에서 사용할 수 있는 방사선량 교정 프로그램을 개발하였다. 또한 국내 실정에 적합한 방사선치료관련기기에 대한 성능평가 기준을 설정하여 정도관리 절차서를 개발하였고, 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램을 위한 데이터베이스 기반을 구축함.</p> <p>3. 기대효과 및 활용방안</p> <p>새로운 개념의 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법 개발로 선량측정의 정확성 향상과 선량보증 및 안전성 확보로 환자별 방사선 맞춤치료가 기대된다. 또한 국내 실정에 적합한 방사선치료관련기기에 대한 체계적이고 표준화된 정도관리 절차서를 개발함으로써 방사선 치료선량 및 성적을 상호 비교하는데 기초가 되며, 방사선 사고를 미연에 방지할 수 있는 토대를 마련할 것으로 사료됨.</p>					

# 요 약 문

## I. 제목

방사선 표준선량체계 및 정도관리기반기술개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구목적

- 물 흡수선량 표준 교정체계 확립 및 표준측정법 개발
- 방사선치료관련기기의 정도관리절차서 및 기반기술개발

### 2. 연구 필요성

- 공기커마 혹은 조사선량 교정정수에 토대를 두고 있는 표준측정법들은 수식 체계가 복잡하고, 불확도가 커서 선량측정의 정확성을 향상시키기 위해서는 한계가 있다. 따라서 임상에서 관심 있는 물리량인 물 흡수선량 표준에 기초한 방사선량 교정 프로그램과 표준측정법 개발이 필요한 실정이다.
- 방사선치료기관의 급속한 증가에 따른 환자에게 양질의 의료 서비스 제공 및 의료사고의 예방을 위하여 국내 실정에 적합한 방사선치료관련 기기에 대한 성능평가 기준을 설정하고, 정도관리절차서를 마련하는데 있다.
- 방사선치료기기에 대한 선량체계/정도관리에 대한 교육과 훈련 프로그램용 데이터베이스 구축과 웹(web)상에서 이용할 수 있는 방사선량 교정 프로그램의 개발을 통하여 선량측정의 정확성 향상과 정도관리 기반기술을 구축하여 방사선 치료기술 수준을 한 단계 향상시키는데 있다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

### 1. 물 흡수선량 표준 교정체계 확립 및 표준측정법 개발

- 교정 및 수식체계 확립 및 기준조건 설정
- 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법 개발
- 웹(web) 기반 방사선량 교정 프로그램 개발
- 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화 구축

2. 방사선치료관련기기에 대한 정도관리절차서 개발
  - 선형가속기, 근접치료기 및 방사선치료계획용시스템 정도관리절차서 개발
  - 정도관리 절차서 실용성 평가 및 임상 적용
3. 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발

#### IV. 연구개발결과

1. 물 흡수선량 표준 교정체계 확립 및 표준측정법 개발
  - 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 기준점에서의 물 흡수선량 결정을 위한 교정 및 수식체계 확립 및 기준조건을 설정하였다.
  - 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법을 개발하였다.
  - 방사선량 상호 비교 체계 구축을 위한 선량측정 기준 조건 설정하였으며 이 기준을 바탕으로 윈도우 환경에서 물 흡수선량 표준에 기초한 방사선량 교정 프로그램을 개발하여 임상에 적용하였다.
  - 권역별 병원을 대상으로 직접 현장 방문을 통해 의료기관의 출력선량 측정 및 상호 비교 분석을 하였으며, 이 데이터를 기초로 하여 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화를 구축하였다.
2. 방사선치료관련기기에 대한 정도관리절차서 개발
  - 선형가속기, 근접치료기 및 방사선치료계획용시스템에 대한 정도관리 검사 항목, 검사 주기, 검사 방법 및 허용 기준을 설정하고, 국내 실정에 적합한 정도관리절차서를 개발하였다.
  - 선형가속기, 근접치료기 및 방사선치료계획용시스템에 대해 개발한 각각의 정도관리절차서를 기초로 하여 권역별 병원을 대상으로 실용성 평가 및 임상적용의 가능성을 확인하였다.
3. 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발
  - 교육 및 훈련 프로그램에 대한 교재 및 데이터베이스의 분석을 통해 국내실정에 맞는 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 프로그램을 개발하였으며, 이를 통해 전문인 양성 프로그램을 위한 기초 자료로 활용하였다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 공기커마 표준에서 임상에서 관심 있는 물리량인 물 흡수선량 표준으로 교정체계 및 선량측정법에 대한 패러다임이 전환하고 있는 시점에 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법 개발로 선량측정의 정확성 향상 및 선량보증체계를 확립하는데 활용할 계획이다.
- 인터넷상에서 이용할 수 있는 방사선량 교정 프로그램을 개발하여 자격있는 의학물리학자들이 웹상에서 출력선량 교정을 수행할 수 있어 측정절차를 간소화하였고, 사용자간의 선량측정 관련 정보 공유 및 상호 비교 분석을 통하여 체계적이고 통합적으로 관리할 수 있어 국내 선량측정 기술 수준을 한층 진일보시키는데 활용한다.
- 국내 실정에 적합하게 방사선치료관련기기에 대한 성능평가 기준을 설정하여 정도관리절차서를 개발함으로써 이들 장비의 설치 기준 및 운영과 주기적인 정도관리에 대한 법적·제도적 장치 마련을 위한 기초 자료를 제공할 것으로 사료된다.
- 표준화된 방사선치료관련기기의 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램용 웹 데이터베이스 기초적 기반 구축으로 인해 의학물리 전문인 양성에 활용할 계획이다.

## Summary

### I. Title

Development of fundamental techniques for radiation standard dosimetry protocols and quality controls

### II. Objectives and Necessity of the Research

#### 1. Objectives of the Research

- Establishment of the standard calibration system of absorbed dose to water and development of dosimetry protocols
- Development of the procedures of quality controls and the fundamental techniques for radiation therapy related equipments

#### 2. Necessity of the Research

- Protocols based on standards of an air kerma calibration factor or an exposure calibration factor have the limit of improving the accuracy in radiation dosimetry because of both the complex system of the formalism and undesirable uncertainties. Therefore, the radiation calibration program and Protocols based on standards of absorbed dose to water, which is clinical quantity of interest, need to be developed.
- As the number of hospitals introducing an radiotherapy in Korea has been increasing, the procedures of the quality control and the references of the performance evaluation for the radiation therapy related equipments, which would be good for the actual circumstances hospitals in Korea encounter, are required to provide patients with the better clinical service and protect the medical accidents.
- This aims for the improvement of the level of the radiation therapy techniques through improving the accuracy of radiation dosimetry and constructing the fundamental techniques for the quality control of radiation therapy related equipments by making up the database of the education and training program for radiation protocols and quality controls and developing the dose calibration system available in the web.

### **III. The Scope and Contents of the Research**

1. Establishment of the standard calibration system of absorbed dose to water and development of dosimetry protocols
  - Determination of the calibration system, formalism, and reference conditions
  - Development of protocols based on standards of absorbed dose to water
  - Development of the program for web-based dose calibration system
  - Systematization and standardization of the intercomparison of absorbed dose to water among hospitals
  
2. Development of fundamental techniques for quality control of radiation therapy related equipments
  - Development of the procedures of quality controls for linear accelerators, brachytherapy units, and radiation treatment planning system
  - Evaluation of the practicality and the clinical application of quality control procedures developed
  
3. Development of the education and training programs for the dose calibration system and the quality controls in radiation therapy related equipments

### **IV. Results of the Research**

1. Establishment of the standard calibration system of absorbed dose to water and development of dosimetry protocols
  - The dose calibration system, the formalism, and reference conditions were developed for the determination of absorbed dose to water at the reference point in water in high energy photon and electron beams.



- The protocols based on standards of absorbed dose to water in high energy photon and electron beams were developed.
  - Reference conditions of dose measurement for the intercomparison of radiation dose were determined, according to them the dose calibration program in Window based on standards of absorbed dose to water was developed and applied to the clinical situation.
  - Visiting several hospitals which were selected in the country and measuring and intercomparing the output of their linear accelerators, based on these data we set up the systematization and the standardization for the intercomparison of absorbed dose to water between hospitals.
2. Development of fundamental techniques of quality control for radiation therapy related equipments
- The list, frequency, method, and tolerance of the check-up for linear accelerators, brachytherapy equipments, and radiotherapy treatment planning system were established and the procedures of quality control which would be good for the actual circumstances hospitals in Korea encounter developed.
  - Based on each of the procedures of quality control developed for linear accelerators, brachytherapy equipments, and radiotherapy treatment planning system, its practicability was evaluated in selected hospitals and its clinical applicability was confirmed.
3. Development of the education and training program for the dose calibration system and the quality controls in radiation therapy related equipments
- The dose calibration system and the quality control which are suitable to the domestic actual circumstances for radiation therapy related equipments were developed through the analysis of textbooks and database of the education and training program and were used as fundamental data in the training program of specialists in medical physics.

## V. Proposals for Application

- The paradigm of dose calibration system and dosimetry has been turning to standards of absorbed dose to water, which is clinical quantity of interest, from standards of air kerma. Therefore, protocols developed based on standards of absorbed dose to water will be useful in improving the accuracy of dosimetry and setting up the dose assurance system.
- This dose calibration program permitted to only qualified medical physicists can be performed in the internet and it makes the measurement procedure simple. Because this program is able to manage the informations systematically and generally through sharing and intercomparing the informations related to dose measurements among users, it will be useful in improving the technical level of domestic dosimetries all the more.
- The procedures of quality control for radiation therapy related equipments, which were developed suitable for the actual circumstances hospitals in korea meet, can be used to establish the references of performance evaluation and provide fundamental data for the legal and systematic base on the installation reference, management, and periodic quality control of these equipments.
- The foundation of web database for the standardized education and training program of radiation therapy related equipments has been established and it will be used to bring up specialists in medical physics.

# Contents

Chapter 1. Introduction .....	1
Section 1. Objectives of the research .....	1
Section 2. Necessity of the research .....	1
Chapter 2. The recent development in the inside and outside of the country .....	5
Section 1. The recent development in the inside of the country .....	5
Section 2. The recent development in the outside of the country .....	6
Section 3. Current status of the technology in the inside and outside of the country .....	7
Chapter 3. The contents and results of the research .....	8
Section 1. Establishment of the standard calibration system of absorbed dose to water and development of dosimetry protocols .....	8
1. Methods of the research .....	8
2. Results of the research .....	10
Section 2. Development of fundamental techniques for quality controls of radiation therapy related equipments .....	79
1. Methods of the research .....	79
2. Results of the research .....	80
Section 3. Development of the education and training program for the dose calibration system and the quality controls in radiation therapy related equipments .....	192
1. Methods of the research .....	192
2. Results of the research .....	196
Chapter 4. The achievement of the research aims and its contribution to the relative field .....	207
Section 1. The yearly stage aims and the achievement .....	207
Section 2. The contribution to the relative field .....	210
Chapter 5. Utilizing plan of the research .....	211
Chapter 6. References collected from abroad during the research processing .....	214
Appendix .....	219

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	1
제 1 절 연구개발의 목적 .....	1
제 2 절 연구개발의 필요성 .....	1
1. 기술적 측면 .....	1
2. 경제·산업적 측면 .....	2
3. 사회적 측면 .....	3
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	5
제 1 절 국내 기술개발 현황 .....	5
제 2 절 국외 기술개발 현황 .....	6
제 3 절 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치 .....	7
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	8
제 1 절 물 흡수선량 표준 교정체계 확립 및 표준측정법 개발 .....	8
1. 연구 내용 및 방법 .....	8
2. 연구 결과 .....	10
제 2 절 방사선치료관련기기의 정도관리기반기술 개발 .....	79
1. 연구 내용 및 방법 .....	79
2. 연구 결과 .....	80
제 3 절 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발 .....	192
1. 연구 내용 및 방법 .....	192
2. 연구 결과 .....	196
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도 .....	207
제 1 절 당해 단계목표 및 달성도 .....	207
제 2 절 관련분야에의 기여도 .....	210
제 5 장 연구개발결과의 활용방안 .....	211
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보 .....	214
부록 .....	219

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적

물 흡수선량 표준에 의한 교정체계 확립과 표준측정법 및 방사선치료관련기기의 정도관리 절차서를 개발하는데 있음.

## 제 2 절 연구개발의 필요성(경제·사회·기술적 중요성)

### 1. 기술적 측면

- 방사선 치료는 종양조직에 최대선량을 투여하고 주위 정상조직은 보호하므로써 치료 성적을 극대화시키는데 있으며, 치료성과와 예후에 수반되는 합병증은 투여되는 방사선량에 매우 밀접한 관계가 있으므로 국제방사선단위위원회(ICRU)에서는 투여되는 선량이 계획된 선량의  $\pm 5\%$  이내로 정확하게 조사되어야 한다고 권고하고 있다.[1] 이러한 오차 범위는 치료 전 과정을 통한 오차로 선량측정 단계에서  $\pm 3\%$  이하의 정확성이 유지되어야 함.
- 현재 국내에서 치료용 방사선에 대한 흡수선량 결정을 위하여 사용하고 있는 흡수선량 표준측정법은 공기커마 표준에 토대를 두고 있다.[2-7] 이들 프로토콜은 공기 중에서의 물리량을 물팬텀 속에서의 물리량으로 변환해야하기 때문에 수식체계가 복잡할 뿐 아니라 불확도가 크다. 그러므로 선량측정의 정확도를 향상시키기 위하여 임상에서 관심있는 물 흡수선량 표준에 기초한 표준측정법의 개발이 시급한 실정임.[8]
- 80년대 이후 개발된 공기커마 혹은 조사선량 교정정수에 토대를 두고 있는 표준측정법들은 고도로 정밀한 선량계의 발전에도 불구하고 선량측정의 정확성을 향상시키는데 한계가 있다. 따라서 90년대 초반 이후 선진국의 표준기관 및 의학물리 관련학회에서는 확고한 절대선량계에 의한 교정과 임상에서 하나의 물리적인 변수만 사용하는 물 흡수선량 표준에 기초한 표준측정법을 개발하여 최근 임상 적용을 권고하고 있다.[9-16]
- 21세기 접어들면서 미국의학물리학회(AAPM) 및 세계원자력기구(IAEA) 등의 권고에 따라 선량측정의 패러다임이 물 흡수선량 표준으로 전환되고 있는 만큼 국내 실정에 적합한 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 교정 프로그램 개발과 표준측정법을 개발하는데 있음.

현재 한국의학물리학회와 과기부 고시 “의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술 기준” 에서 권고하고 있는 표준측정법은 공기커마 표준에 토대를 두고 있는 프로토콜(IAEA TRS-277)로 선량 측정의 정확성을 향상시키기 위해서는 임상에서 관심 있는 물리량인 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법 개발이 시급한 실정임.

방사선의료기기의 정도관리는 방사선 진단 및 치료 전 과정에 대한 정도관리의 일부이지만 치료 전 단계에서 생길 수 있는 오차와 환자 치료 과정에서 생길 수 있는 오차 등을 종합적으로 고려한 뒤 기기에 대한 허용 오차를 결정하기 때문에 방사선의료기기의 정도관리는 진단 및 치료에 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있음.

방사선 진단 및 치료에서 QC/QA를 실시하는 목적은 방사선치료 전 과정에서 임의의 불확정도와 계통오차의 원인을 규명하고 이를 최소화하여 방사선치료 효과를 극대화시키는데 있어 방사선 치료기기에 대한 정도관리 프로그램과 절차서의 개발에 대한 관심이 고조되고 있음.[17-23]

ICRU, AAPM, ACMP, ABMP 등에서는 치료하고자 하는 종양부위에 대하여 처방선량의 5% 오차범위 내에서 선량이 전달되도록 권고하고 있다. 그러나 이러한 5% 오차 범위 내에서 치료를 달성하기 위해서는 많은 노력이 필요함.

외국의 경우 의학물리 관련 학회나 단체에서 활발하게 선량보증 평가 방법 및 정도관리 절차서 관한 연구를 하여 각 병원이 사용할 수 있도록 권고안을 제시하고 있다. 특히 미국의 경우 의학물리학회가 주도가 되어 의학물리관련학회와 공동으로 선량보증 평가 방법 및 정도관리 절차서에 대한 권고안을 지속적으로 연구 및 발표하고 개정해 나가고 있다. 물론 각 장비보유 현황, 인력, 측정용 장비, 사회적 환경, 경제적 여건 등이 다르고, 기준이 같지 않다. 그러므로 정도관리에 대한 기준안이 국가별로 차이가 있어 국내 실정에 표준화된 정도관리 절차서 개발이 필요함.

## 2. 경제·산업적 측면

이온함에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법의 개발은 고 에너지 방사선에 대한 선량측정 기술 수준의 위상을 한 단계 높일 수 있으며, 치료용 방사선량에 대한 이온함의 국내 1차 혹은 2차 표준기관의 검·교정에 있어 절대선량계의 개발을 촉진할 수 있음.[24,25]

윈도우 환경에서 사용자 편리성을 고려하여 고 에너지 방사선에 대한 기준점에서의 선량계산을 신속 정확하게 할 수 있게 하기 위하여 개발된 표준측정법에 대한 선량계산 프로그램은 국내에서 축적된 소프트웨어 기술로서 상용화가 가능하여 수출효과를 기대할 수 있음.

국내 의학물리학 전문인들이 주관이 되어 표준화된 측정 절차에 따라 치료방사선 관련기기에 대한 정도관리 프로그램을 개발함으로써 특성화된 고부가가치의 기술을 습득할 수 있고, 고가로 모두 수입에 의존하고 있는 관련 장비의 수입대체 효과 및 고도의 정확성과 정밀성을 요구하는 정도관리를 계측기 및 치료보조기구와 관련된 산업 분야에 파급효과를 기대할 수 있음.

세계적으로도 중요성을 인식하여 고부가가치의 의료장비의 규격화를 위해 활발히 연구하고 있으며, 전량 수입에 의존하고 있는 현시점에서 국산 의료장비의 산업화는 21C 의료시장개방에 따른 무한경쟁시대에 효율적이고 능동적으로 대처할 수 있는 기술 능력을 갖게 될 뿐 아니라 이를 토대로 국산 의료장비의 산업화를 촉진할 수 있어 경제·산업적으로도 수입대체 효과 및 고용 창출 효과를 예상할 수 있음.

방사선 치료에 있어서 방사선치료관련기기의 절대적인 해외 의존도도 문제지만 아직 국내에는 치료관련기기가 일정 수준 이상의 성능을 유지하고, 안전하게 작동되는 지에 대한 구체적인 평가 방법 및 교육, 훈련프로그램이 개발되어 있지 않은 상태임.

방사선 표준 선량 체계 및 방사선치료관련장비에 대한 정도관리 교육은 물리학의 이론 및 개념을 임상에 적용하는 의학물리 전문인을 양성하기 위하여 이론 및 임상 실습을 토대로 의학물리관련 정보에 대한 데이터 베이스가 구축되어 있지 않아 효율적인 교육 및 객관적인 평가를 위해 교육 및 훈련 프로그램 개발이 필요한 실정임.

### 3. 사회적 측면

1991년 독일은 1차 표준기관과 의학물리학자의 주관으로 독자적인 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법(DIN 6800)을 최초로 발표하였고[14], 1999년 미국의학물리학회에서 동일한 개념의 표준측정법(AAPM TG-51)을 발표하여 2000년부터 국가적인 선량 측정 권고로 수행되고 있어 선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 국내 1차 표준기관에서 물 흡수선량 표준에 의한 교정 체계 확립 및 표준측정법의 개발이 요구됨.[15]

최근 2000년 국제원자력기구의 규정서(TRS-398)가 발표되어 선량측정의 정확성을 개선하려는 노력을 경주하고 있어 21세기에 접어들어 물 흡수선량 교정정수에 토대를 두고 있는 고 에너지 방사선의 흡수선량 결정 체계는 방사선 선량 측정 분야의 수준을 한 단계 도약시키기 위하여 개발이 절실히 필요한 실정임.[16]

방사선치료기관의 급속한 증가에 따른 환자에게 양질의 의료 서비스 제공 및 의료사고의 예방을 위하여 방사선치료관련기기에 대한 주기적인 품질관리가 요구되고 있는 바 방사선 치료관련기기의 검사 항목, 실행주기 및 허용기준(오차) 등에 대하여 국내 실정에 적합한 품질관리 기준을 설정하고 수행 방법 및 절차를 마련하는데 있음.[19-23]

보건복지부 산하 식품의약품안전청에서 국내 가동 중인 진단용 방사선 발생장치에 대한 사후 관리가 진행되고 있고, 방사선치료기기 및 영상기기, 이를 측정하는 측정기에 대한 정확성 및 정밀도에 관한 기준이 강화되고 있는 현시점에 치료방사선 관련기기에 대한 정도관리 기반 기술 개발은 병원 상호간의 비교 분석 및 표준화를 위하여 더욱 절실한 실정임.

선진국 대열에 진입하고 있는 현시점에서 의료는 간단한 진료 행위를 하는 것만이 아니고 그 질이 문제가 되는 시대인 만큼 암환자 대부분이 양질의 진료 서비스를 요구하고 있으며, 더 나아가 삶의 질이 보장되는 치유에 대한 욕구가 매우 높아지고 있다. 따라서 방사선치료 성적의 극대화로 삶의 질적 향상이라는 목표를 달성하기 위하여 방사선치료관련기기에 대한 완벽한 정도관리 기술이 개발되어야 한다고 생각됨.[1,4,7,20,]

국외에서는 ACMP, ABMP 등에서 교육 및 훈련 프로그램이 시행되고 있고, 의학 물리 관련 대학에서도 이루어지고 있어 전문인 양성과 함께 병원과의 유기적인 관계를 증진시키고 있어 국내에서 또한 시급한 실정임.

암치료에 있어 방사선치료가 외과적인 수술 및 항암요법와 더불어 중추적인 역할을 하기 위해서는 방사선종양학과에서는 가장 기본적이고 중요한 국제적 수준의 방사선 선량 표준체계 및 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 기반 기술이 구축되어야 함.



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 기술개발 현황

국내 2차 표준기관인 한국 식품의약품안전청(KFDA)에서도 선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 기준선질인 Co-60 선원에서 물 흡수선량 1차 표준에 토대로 두고 있는 교정 체계 준비가 확립되어 있어 이온함에 대한 물 흡수선량교정정수를 제공하고 있다.

국내에서는 1990년 한국의학물리학회에서 공기커마에 토대를 두고 있는 방사선량을 결정하기 위한 흡수선량측정법을 발표하였고, 그 이외에는 일부 관심있는 의학물리학자들에 의해서 선량측정에 관한 연구 보고가 있었을 뿐 체계적이고 통일된 권고안이 나오지는 않았음.[27,44]

국내 의료기관의 일부 의학물리학자에 의해 기존의 공기커마에 토대를 두고 있는 표준 측정법과 물 흡수선량 교정정수에 기초한 표준측정법간의 상호 비교 분석을 통한 기초적인 연구가 진행되고 있다.

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 기초 연구로 기존의 공기커마 교정정수와 물 흡수선량에 토대를 두로 있는 선량측정법간의 비교와 고 에너지 전자선에 대한 기준점에서의 흡수선량을 결정하는 평행평판형 이온함의 교정 방법에 대한 연구가 수행될 정도로 미흡한 실정임.

국내 56개 기관에서는 독자적인 방사선 치료기기에 대한 정도관리 프로그램을 개발 혹은 제작사 및 선진국의 권고안에 따라 자체적으로 시행하고 있는 실정으로 방사선 치료 성적에 대한 다기관 임상 공동 연구를 위해 체계적이고 표준화된 정도관리 프로그램 개발이 시급한 실정이다.

국내 대부분의 병원에서 방사선 치료기기의 정도관리에 대한 깊은 관심과 필요성을 인식하여 몇몇 병원에서는 자체적으로 개발한 물팬텀 및 측정 기구를 개발하여 사용하고 있으나 아직은 상품화 단계에 이루지는 못한 실정이고, 제도화 혹은 법제화 되어 시행되고 있는 선진국형의 방사선치료관련기기의 정도관리에 대한 기반 기술 구축이 요구된다.

교육 및 훈련프로그램의 개발로 의학물리전문인에 대하여 체계적이고 효율적인 양성이 가능하고, 국내 실정에 맞는 교육 및 훈련프로그램의 정립으로 인해 임상에서 선량표준측정법 및 정도관리에 실질적으로 활용 가능할 것으로 예상된다.[7,26,32]

## 제 2 절 국외 기술개발 현황

H. Reich는 1979년 조사선량 표준에 토대를 두고 있는 프로토콜에 있어 이온함에 대한 보정계수 결정과 관련된 문제점을 해결하기 위하여 치료용 기준선량계를 물에 대한 흡수선량으로 검·교정할 것을 최초로 제안했다.[8]

선진국의 몇몇 1차 표준기관에서 적당한 기본 물리량과 유도 물리량을 측정하기 위하여 이온 측정 방법, 화학선량계와 흑연 및 물 열량계를 이용하는 방법 등 선량을 결정하려는 지속적인 노력으로 물 흡수선량 표준에 관한 교정 방법 및 절차가 확립되었다. 현재 국제도량형본부(BIPM)와 그 밖의 몇몇 1차 표준기관은 기준 선질( $^{60}\text{Co}$  감마선)에서 물 흡수선량 교정정수를 제공하고 있다.[13-16]

21세기에 접어들면서 의료용 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 공기커마 혹은 조사선량에 의한 표준측정법에서 1999년 미국의학물리학회(AAPM)는 새로운 개념의 물 흡수선량 표준에 대한 프로토콜, TG-51을 발표하였고, 2000년 국제원자력기구(IAEA)에서는 물 흡수선량표준에 토대를 두고 있는 흡수선량 결정에 관한 규정서(TRS-398)를 발표하여 임상 적용에 앞서 다각도로 시험 중에 있다.[29-39]

방사선 치료기기를 이용한 방사선수술, 3차원 입체조형치료 및 세기조절방사선치료 등 새로운 치료기술의 발달은 방사선 치료기기에 대한 기기적인 정밀성, 방사선량의 정확성, 이를 측정하는 측정기의 고도 정밀성에 관한 기준이 제도적으로 확립되어 있어 정도관리 기반 기술이 확립되어 있다.

방사선치료관련기기에 대한 정도관리는 암치료에 있어 중추적인 역할을 하고 있는 첨단방사선치료기기 급속히 증가하고 있을 뿐만 방사선 사고에 대한 미연의 방지 및 환자에서 양질의 서비스를 제공하기 위하여 스페인은 1986년, 프랑스는 1991년, 일본은 1992년, 유럽은 유럽의회령(84/466/Euratom, 97/43/Euratom)에 의해 정도관리 프로그램을 개발하여 임상에 적용하도록 권고하고 있는 실정이다.

### 제 3 절 국내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

물 흡수선량 표준에 기반한 선량체계 확립 및 표준측정법은 임상에서 관심있는 물리량이며, 수식체계가 간단하여 불확도가 적어 선량측정의 정확성을 향상시킬 수 있어 임상에서 적극적으로 사용할 것임.

국제적인 방사선량 표준체계인 물 흡수선량 표준을 이용한 국내 1차 표준기관 및 2차 표준기관에서 물 열량계 등 절대선량계 개발을 촉구할 것이며, 또한 사용자 기관에 제공할 이온함에 대한 물 흡수선량 교정정수의 불확도를 감소시키고자 하는 노력에 기여할 것임.

방사선량 표준에 있어 글로벌 표준을 확립하기 위해 국내 검·교정기관에서 물 흡수선량 표준에 의한 교정 절차서 개발을 위한 토대를 마련할 것이며, 또한 임상에서도 선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 물 흡수선량 표준에 의한 출력선량 교정으로 점진적으로 전환할 것임.

국가 표준기관의 소급성을 가진 선량계의 사용은 방사선치료기관간의 품질보증 및 출력선량 상호 비교가 용이하고, 방사선 안전성 및 신뢰성 확보로 종양치료에 중추적인 역할 담당하고 있는 방사선치료는 환자별 방사선 맞춤치료가 널리 이용되어 방사선치료 효과와 삶의 질 향상에 기여할 것임.

의학물리 전문가 그룹이 개발한 표준화된 방사선치료관련기기에 대한 성능평가 기준 설정 및 정도관리 절차서는 의료기관 방사선 작업종사자 및 환자를 위한 법적 제도적 장치를 마련하는데 기여할 것이며, 최근 급속히 증가하고 있는 사이버나이프, 감마나이프 등 첨단방사선치료기기에 대한 정도관리 절차서를 개발하는데 기틀을 마련할 것임.

물 흡수선량 표준에 의한 방사선 표준선량체계와 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 기반 기술을 확립함으로써 가까운 장래에 고 부가가치의 정교하고 정확한 선량계 및 정도관리 도구 개발에 대한 핵심요소 연구로 의료시장 개방에 대한 능동적으로 대처할 수 있음.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 물 흡수선량 표준 교정체계 확립 및 표준측정법 개발

#### 1. 연구 내용 및 방법

가. 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법 수집 및 한글화

최근 국제기구 및 선진국의 각 학회에서 권고하고 있는 물 흡수선량교정정수를 1차 표준으로 하고 있는 대표적인 표준측정법을 수집 및 한글화 작업 완성

【 국제원자력기구 TRS-398(2000), 미국의학물리학회 TG-51(1999), 독일 DIN 6800(1997)】

나. 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법(DIN 6800, AAPM TG-51, IAEA TRS-398)간의 비교 분석

치료용 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법(DIN 6800, AAPM TG-51, IAEA TRS-398)에 대한 주요 특징 및 기준조건, 측정 방법, 및 선량결정 수식체계 등에 대하여 비교 분석

다. 공기커마와 물 흡수선량 표준간의 주요 특징에 대한 상호 비교

- (1) 방사선량 표준체계 및 표준측정법의 발전 경향
- (2) 공기커마 표준과 물 흡수선량 표준간의 주요한 특징 비교 분석
- (3) 고 에너지 광자선 선량교정 프로그램 개발

라. 치료용 고 에너지 외부 방사선치료기기 및 기준선량계에 대한 제작사 및 종류별 현황 파악

- (1) 국내 의료기관에서 사용 중인 외부 방사선치료기기(선형가속기, 코발트-60 원격치료기, 감마나이프, 사이버나이프, 노발리스 등) 현황 및 특성 조사
- (2) 방사선 발생장치 제작사별 현황 조사
- (3) 방사선 발생장치 광자선 및 전자선의 에너지 분포 현황조사
- (4) 기준 선량측정에 사용되는 각종 팬텀 현황 조사
- (5) 기준 선량측정에 사용되는 이온함과 전기계 현황 조사

마. 물 흡수선량 표준에 의한 주요 표준기관의 교정절차서 수집 및 비교 분석

- (1) 1차 표준기관(PSDL)들의 절대선량계 현황 및 측정법
- (2) 물 흡수선량 1차 표준(물 흡수선량교정정수)

바. 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 초기 프로토콜 개발

- (1) 물리량 및 기호 목록

- (2) 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 계산 수식체계 확립
  - (3) 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 방사선량 교정 작업서 항목 설정
- 사. 윈도우 환경에서 물 흡수선량 표준에 기초한 선량 교정 프로그램 개발
- (1) 웹(web) 기반 출력선량 교정 프로그램 개요
  - (2) 웹(web) 기반 출력선량 교정 프로그램(AAPM TG-51)
  - (3) 웹(web) 기반 출력선량 교정 프로그램(IAEA TRS-398)
- 야. 기준선량계의 교정방법, 절차 및 품질관리에 대한 기반 기술 구축
- (1) 기준선량계의 교정방법 및 절차
  - (2) 기준선량계의 품질관리
- 자. 방사선량 상호 비교체계 구축을 위한 선량측정 기준조건 설정
- (1) 광자선 선량측정 기준조건 설정
  - (2) 전자선 선량측정 기준조건 설정
- 차. 광자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발
- (1) 물 등가고체팬텀내에서의 물 흡수선량 결정
    - 물과 고체팬텀의 물등가성 측정
    - 물과 고체팬텀의 조직팬텀선량비 값의 비교
    - 광자선에 대한 선량교정 작업서 개발
- 카. 전자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발
- (1) 물 등가 고체팬텀내에서의 물 흡수선량 결정
  - (2) 고체팬텀을 이용한 선질 결정
  - (3) 고체팬텀을 이용한 전자선의 플루언스-척도계수
  - (4) 평행평판형이온함을 이용한 전자선 선량측정 결과
  - (5) 기준선질에 의한 선량교정 작업서 개발
    - 전자선에 대한 교차 교정에 의한 선량교정 작업서 개발
    - 교차교정에 의한 선량교정작업서 개발
- 타. 웹(Web)베이스 선량교정 프로그램 임상 적용
- (1) 인터넷(온라인)상에서 출력선량 상호 비교 분석
  - (2) 웹 기반 선량교정 프로그램 수정 보완
- 파. 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화
- (1) 이온함의 교정정수 및 기준선량계
  - (2) 기관별 상호 선량측정 비교

## 2. 연구 결과

가. 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법(DIN 6800, AAPM TG-51, IAEA TRS-398) 수집 및 한글화

독일규격협회(DIN 6800), 미국의학물리학회(AAPM TG-51) 및 국제원자력기구(IAEA TRS-398)에서 권고하고 있는 물 흡수선량에 토대를 두고 있는 표준측정법을 수집 및 한글화를 완성하였음.

### 국제원자력기구(IAEA TRS-398)의 표준측정법

#### 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 기본틀 .....	15
2.1 국제측정 시스템 .....	15
2.2 물 흡수선량측정 표준 .....	16
제 3 장 수식체계 .....	21
제 4 장 선량측정 .....	27
4.1 개론 .....	27
4.2 선량측정장비 .....	29
4.3 이온함의 교정 .....	44
4.4 사용자 선질에서의 기준선량측정 .....	48
제 5 장 Co-60 감마선에 대한 규약서 .....	57
제 6 장 고 에너지 광자선에 대한 규약서 .....	66
제 7 장 고 에너지 전자선에 대한 규약서 .....	84
부록 .....	165

목 차

제 1 장 머리말 .....	1848
제 2 장 기호와 정의 .....	1849
제 3 장 서론 .....	1850
제 4 장 수식체계 .....	1851
제 5 장 물 흡수선량 교정정수 .....	1852
제 6 장 측정용 팬텀 .....	1852
제 7 장 전하측정 .....	1852
제 8 장 에너지 규명 .....	1854
제 9 장 광자선에 대한 기준선량측정 .....	1856
제 10 장 전자선에 대한 기준선량측정 .....	1858
제 11 장 기준선량계이외의 이온함 사용 .....	1860
선량교정작업서 A : 광자선 .....	1861
선량교정작업서 B : 원통형 이온함을 이용한 전자선 선량측정 .....	1863
선량교정작업서 C : 평행평판형 이온함에 대한 선질변환계수 .....	1865
선량교정작업서 D : 평행평판형 이온함을 이용한 전자선 선량측정 .....	1867
부록 .....	1869

목 차

제 1 장 사용 범위 및 목적 .....	3
제 2 장 측정 원리 .....	3
제 3 장 기준선량계의 구성 .....	4
제 4 장 이온함의 구조 .....	4
제 5 장 여러 가지 측정에 있어 공기 공동 이온함의 구조 선택 .....	5
제 6 장 교정 .....	6
제 7 장 광자선과 전자선에서 물 흡수선량에 대한 보정 .....	13
제 8 장 물 팬텀에서의 광자선에 대한 기준선량 측정 .....	20
제 9 장 물 팬텀에서의 전자선에 대한 기준선량측정 .....	27
제 10 장 고 에너지 방사선에 의한 교정에 따른 물 흡수선량 결정 .....	33
제 11 장 물이외의 매질에서의 광자선과 전자선에 대한 흡수선량결정 .....	37
부록 A : 명목상의 광자선 에너지 1~50 MV에 대한 선질보정계수 계산 ·	40
부록 B : 명목상의 전자선 에너지 1~50 MeV에 대한 선질보정계수 계산	42
부록 C : 자유공간에서 표준조사선량의 지시값으로 교정된 선량계를 이용한 물팬텀내에서 물 흡수선량의 결정 .....	47



나. 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법(DIN 6800, AAPM TG-51, IAEA TRS-398) 간의 비교 분석

(1) 선량 측정 기준조건

(가) 교정 조건

기준선질로는 Co-60 감마선이 공통적으로 사용되며, 특히 IAEA TRS-398(2000)에선 Co-60 감마선 뿐 만 아니라 의료용 선형가속기의 선질과 유사한 가속기 X-선을 사용하여 물 흡수선량 교정정수를 제공하고 있다. 기준 조사면의 크기는 10 cm×10 cm, 선원과 이온함간의 거리(SCD)는 100cm를 모두 사용하고 있다. 기준 온도는 IAEA TRS-398(2000)와 DIN 6800(1997)는 20 °C를, AAPM TG-51(1999)은 22 °C를 사용하고 있다.

방사선 종류	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
기준 선질	Co-60 감마선 가속기 X-선질	Co-60 감마선	Co-60 감마선
물 흡수선량 교정정수	$N_{D,w,Q_0}$	$N_{D,w}^{60Co}$	$N$
조사면 크기	10 cm×10 cm	10 cm×10 cm	10 cm×10 cm
선원과 이온함간의 거리(SCD)	100 cm	100 cm	100 cm
기준 온도	20 °C	22 °C	20 °C
기준 기압	101.3 kPa	101.33 kPa	101.3 kPa

(나) 광자선 및 전자선 에너지 범위

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 3개의 표준측정법에서 권고하고 있는 에너지의 범위는 광자선의 경우 TG-51은 Co-60 감마선에서 50 MV까지이나 TRS-398과 DIN 6800은 저 및 중 에너지 X-선을 포함하여 권고하고 있으며, 전자선의 경우 명목상의 최소 에너지가 DIN 6800에서는 1 MeV, TRS-398에서는 3 MeV 그리고 TG-51에서 4 MeV 이상을 권고하며 최대 명목상 에너지 50 MeV 까지를 허용하고 있다.

방사선 종류	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
광자선	Co-60 감마선 50 kV ~ 50 MV	Co-60 감마선 ~ 50 MV	Co-60 감마선 100 kV 이상 50 MV
전자선	3 MeV ~ 50 MeV	4 MeV ~ 50 MeV	1 MeV ~ 50 MeV

(다) 기준선량계

모든 표준 측정법에서 기준선량계로서 광자선의 경우에 원통형 이온함을 권고하고 있으며, 전자선의 경우엔 원통형 이온함과 평행평판형 이온함이 사용된다. 전자선의 경우에 IAEA TRS-398(2000)과 DIN 6800(1997)은 10 MeV 미만, AAPM TG-51(1999)은 6 MeV 미만에서는 평행평판형 이온함을 사용하도록 권고하고 있다.

방사선 종류	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
광자선	원통형 이온함	원통형 이온함	원통형 이온함
전자선	$R_{50} < 4.0 \text{ cm}$ (10 MeV 미만) : 평행평판형 $R_{50} \geq 4.0 \text{ cm}$ (10 MeV 이상) : 원통형 혹은 평행평판형	6 MeV 미만: 평행평판형 6 MeV 이상: 원통형 혹은 평행평판형	10 MeV 미만: 평행평판형 10 MeV 이상: 원통형 혹은 평행평판형

(2) 선량측정방법

(가) 기준 깊이

광자선의 경우 선량측정의 기준 깊이를 모든 표준측정법이 5 cm 혹은 10 cm를 권고하고 있으나 전자선의 경우 DIN 6800은 최대선량깊이, TRS-398과 TG-51은 기준깊이( $0.6R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2$ )를 권고하고 있다. 이는 명목상의 전자선 에너지가 동일하여도 최대선량의 깊이는 제작사별 차이가 있지만 반가깊이  $R_{50}$ 를 고려한 기준깊이는 제작사와 무관하게 에너지간의 구분이 명확하여 새로 도입한 측정깊이를 권고하고 있다.

방사선 종류	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
광자선	Co-60 : 5 cm 혹은 10 cm X-선 : 10 cm	Co-60 : 10 cm X-선 : 10 cm	Co-60 감마선 : 5 cm X-선 : 0.1~10 MV (5 cm) ≥10 MV (10 cm)
전자선	기준깊이 : $z_{ref}$ $0.6R_{50} - 0.1 g/cm^2$	기준깊이 : $d_{ref}$ $0.6R_{50} - 0.1 cm$	최대선량깊이 : $d_{max}$

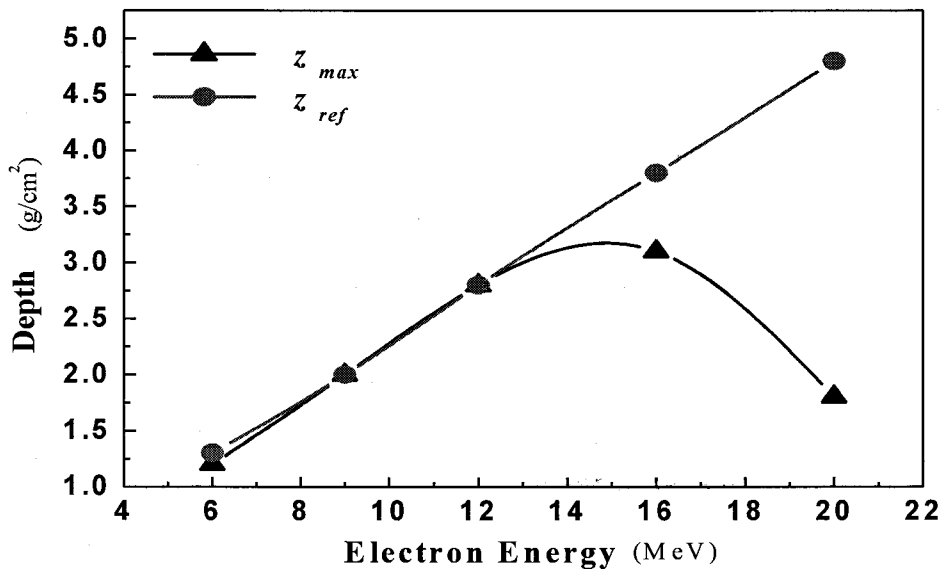


그림 1-2-1. 전자선 선량측정 기준깊이와 최대선량깊이에 대한 상호 비교  
(Varian CL 2100C 선형가속기 자료)

(나) 에너지(선질 결정) 방법

광자선의 경우 TRS-398과 DIN 6800은 조직팬텀선량비  $TPR_{10}^{20}$ 에 의해 에너지를 결정하고 있으나 TG-51은 10 cm 깊이에서의 광자성분만의 깊이선량백분율로 선질을 규정하고 있다. 전자선의 경우 TRS-398과 TG-51은 반가깊이  $R_{50}$ 로 DIN 6800은  $E_o - R_{50}$ 로 에너지를 규정하고 있다.

프로토콜	광자선	전자선
IAEA TRS-398	$TPR_{10}^{20}$	$R_{50}$
AAPM TG-51	$\%dd(10)_x$	$R_{50}$
DIN 6800	$TPR_{10}^{20}$	$E_o - R_{50}$

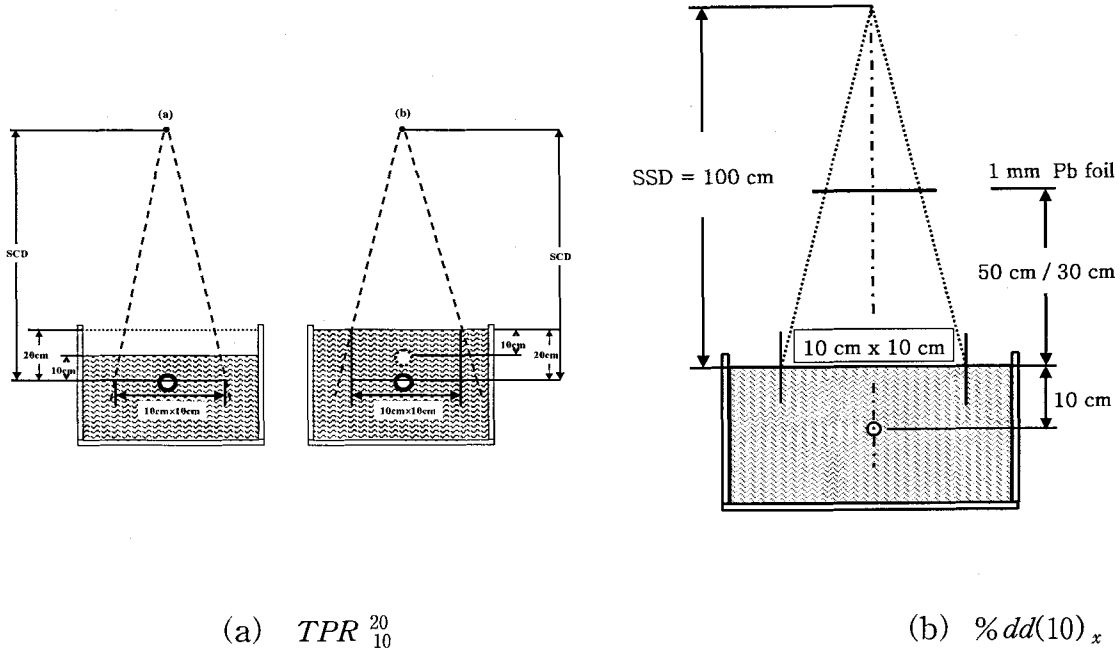
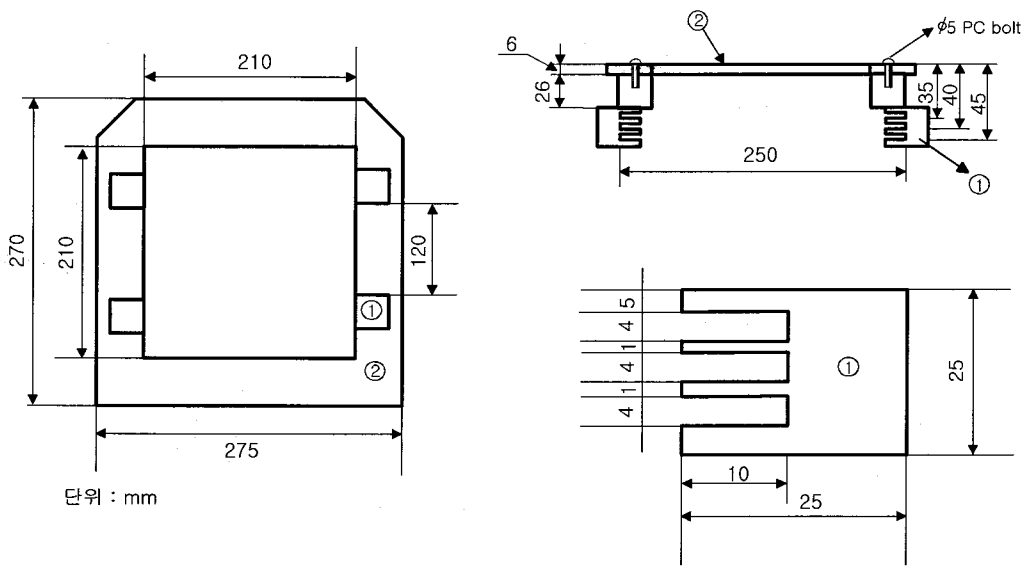
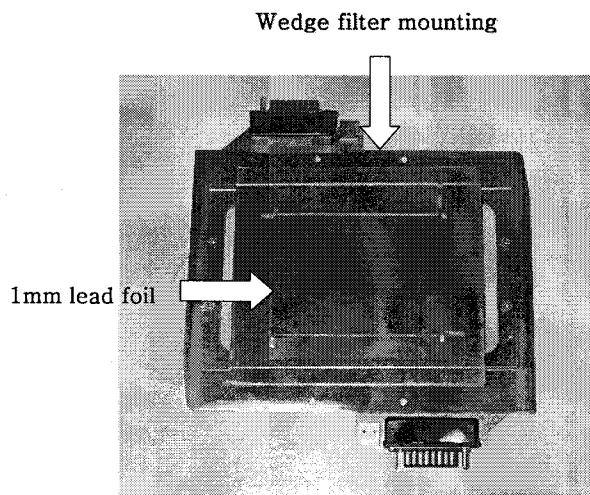


그림 1-2-2. X-선 에너지를 결정하는 선질지표 및 측정조건



(a) 아크릴로 제작한 납판 지지대의 정면도와 측면도 설계 도면(30 cm)



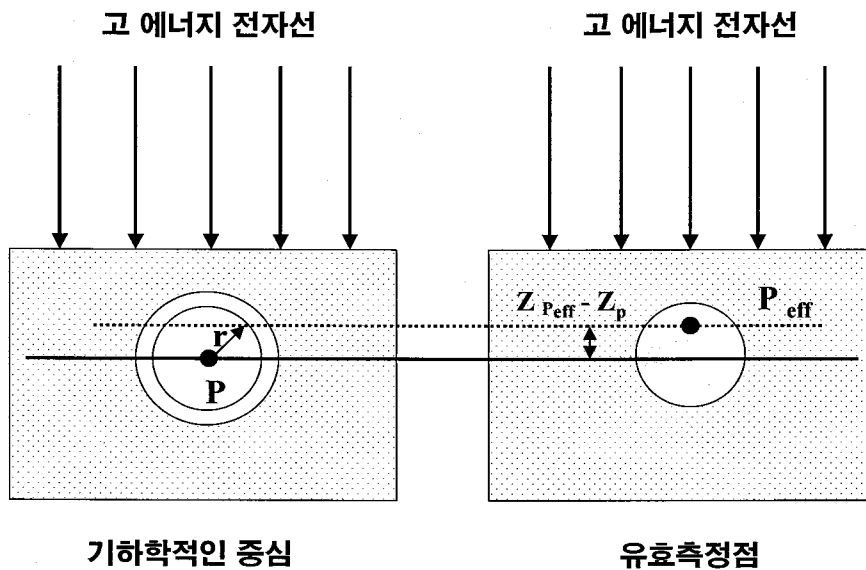
(b) 쉐기 필터 마운트에 설치된 납판(50 cm)

그림 1-2-3. 납판을 설치하기 위한 지지대 설계 도면과 쉐기 필터 마운트에 설치된 납판

(다) 유효측정점(절대선량측정)

TG-51은 광자선 및 전자선 선량측정시 원통형의 경우 중심전극, 평행평판형의 경우 이온함의 공동내 전벽을 측정점으로 권고하고 있다. 그러나 TRS-398 에서는 원통형 이온함을 사용한 전자선 측정시, DIN 6800은 원통형 이온함을 사용하여 광자선 및 전자선 측정시 유효측정점을 고려하여 이온함의 기하학적인 중심을 맞춘다.

프로토콜	광 자 선	전 자 선
IAEA TRS-398	원통형 이온함 : 중심전극	원통형 이온함 : 중심전극, $0.5r$ 평행평판형 이온함 : 이온함 전벽
AAPM TG-51	원통형 이온함 : 중심전극	원통형 이온함 : 중심전극 평행평판형 이온함 : 이온함 전벽
DIN 6800	원통형 이온함 : 유효측정점 $k_r = 1 + \delta r$	원통형 이온함 : 유효측정점, $0.5r$ 평행평판형 이온함 : 이온함 전벽



$$Z_{P_{eff}} - Z_p = 0.5r \text{ ( 고 에너지 전자선 )}$$

그림 1-2-4. 고 에너지 전자선 선량측정시 유효측정점

(라) 조사면의 크기

광자선의 경우 모든 표준측정법이 선량 교정 및 측정시 조사면의 크기를  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 을 사용하고 있으나 전자선의 경우 조사면내 전자평형상태의 성립이 이루어지기 위하여 각 표준측정법에 따라 조사면의 크기를 달리 사용하는 것을 권고하고 있음.

프로토콜	광자선	전자선
IAEA TRS-398	$10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$	$10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 혹은 그 이상(출력계수 규격화 크기)
AAPM TG-51	$10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$	$R_{50} \leq 8.5\text{ cm}$ ( $E_0 \leq 20\text{ MeV}$ ): $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ $R_{50} > 8.5\text{ cm}$ ( $E_0 > 20\text{ MeV}$ ): $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$
DIN 6800	$10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$	$1 \leq E_0 < 20\text{ MeV}$ : $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ $20 \leq E_0 < 50\text{ MeV}$ : $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$

(마) 팬텀 물질

광자선의 경우 모든 표준측정법이 기준 팬텀 물질로 물을 사용하고 있으나 전자선의 경우 AAPM TG-51은 기준 물질로 물, IAEA TRS-398과 DIN 6800은 물 이외에 보조 팬텀물질로 조직등가 고체팬텀의 사용도 권고하고 있으나 선량 측정시 물 팬텀과 상호 비교 측정하여 사용하도록 권고하고 있음.

방사선 종류	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
광자선	물(기준)	물(기준)	물(기준)
전자선	$R_{50} \geq 4\text{ gcm}^{-2}$ 일 경우 ( $E_0 \geq 10\text{ MeV}$ ): 물 $R_{50} < 4\text{ gcm}^{-2}$ 일 경우 ( $E_0 < 10\text{ MeV}$ ): 물 또는 물등가고체팬텀	물(기준)	물(기준) $E_{P,0}$ 혹은 $\bar{E} \leq 10\text{ MeV}$ 물등가고체팬텀(Plexiglas)

(3) 선량결정 수식체계

(가) 물 흡수선량 계산식

TRS-398과 TG-51에서는 전기계의 지시값은 측정대상은 아니지만 측정에 영향을 주는 물리량인 온도, 기압, 이온재결합보정계수 등을 포함하고 있지만 DIN 6800의 물 흡수선량 기본식은 k 값에 이들 보정계수가 포함되어 있다. TG-51에서 전자선의 경우 선질변환계수  $k_Q$ 는 교정기관의 기준선질 Co-60에서 기준 전자선 에너지로 변환하는 변환계수와 사용자 선질에 대한 전자선 선질변환계수로 구분되어 있다.

프로토콜	광자선	전자선
IAEA TRS-398	$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0}$ 전기계 지시값 $M_Q = k_s k_{TP} k_{elec} k_{pol} M$	$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0}$ 전기계 지시값 $M_Q = k_s k_{TP} k_{elec} k_{pol} M$
AAPM TG-51	$D_w^Q = M k_Q N_{D,w}^{60Co}$ 전기계 지시값 $M = P_{ion} P_{TP} P_{elec} P_{pol} M_{raw}$	$D_w^Q = M N_{D,w}^{60Co} P_{gr}^Q k'_{R_{50}} k_{ecal}$ 전기계 지시값 $M = P_{ion} P_{TP} P_{elec} P_{pol} M_{raw}$ 전자선 선질변환계수 $k'_{R_{50}} : N_{D,w}^{Q_{ecal}} \rightarrow N_{D,w}^Q$ Co-60 선질에서 기준 전자선 선질변환계수 $k_{ecal} : N_{D,w}^{60Co} \rightarrow N_{D,w}^{Q_{ecal}}$
DIN 6800	$D_w(P_{eff}) = k \cdot N \cdot M$ 전기계 지시값 : $M$ 물리량에 영향을 주는 보정계수 $k = k_Q k_p k_b k_T k_r k_s k_F k_Z$ 광자선 선질변환계수 : $k_Q$	$D_w(P_{eff}) = k \cdot N \cdot M$ 전기계 지시값 : $M$ 물리량에 영향을 주는 보정계수 $k = k_E k_p k_b k_T k_r k_s$ 전자선 선질변환계수 : $k_E$



(나) 보정계수

TRS-398과 TG-51은 이온함 및 전기계가 하나의 단위로 교정했을 때 전기계 보정계수를 1로 간주하지만 별도로 교정 의뢰하였을 때는 전기계에 대한 보정계수를 고려해야 한다. 그러나 DIN 6800은 전기계에 대한 보정계수가 언급되어 있지 않다.

항 목	IAEA TRS-398(2000)	AAPM TG-51(1999)	DIN 6800(1997)
이온 재결합 보정계수	기호 : $k_s$ 연속방사선 : $k_s = \frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{M_1}{M_2}\right)}$ 펄스방사선 : $k_s = \frac{\frac{M_1}{M_2} - 1}{\frac{V_1}{V_2} - 1} + 1$ $(k_s < 1.03)$	기호 : $P_{ion}$ 연속방사선 : $P_{ion} = \frac{1 - \left(\frac{V_H}{V_L}\right)^2}{\frac{M_{raw}^H}{M_{raw}^L} - \left(\frac{V_H}{V_L}\right)^2}$ 펄스방사선 : $P_{ion} = \frac{1 - \frac{V_H}{V_L}}{\frac{M_{raw}^H}{M_{raw}^L} - \frac{V_H}{V_L}}$ $(P_{ion} < 1.05)$	기호 : $k_s$ 연속방사선 : $k_s = \frac{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - \left(\frac{M_1}{M_2}\right)}$ 펄스방사선 : $k_s = \frac{\frac{U_1}{U_2} - 1}{\frac{U_1}{U_2} - \frac{M_1}{M_2}}$
온도 기압 보정계수	기호 : $k_{TP}$ $k_{TP} = \frac{(273.2 + T)P_0}{(273.2 + T_0)P}$ 기준 온도: $T_0 = 293.2K$ $(T_0 = 20^\circ C)$	기호 : $P_{TP}$ $P_{TP} = \frac{(273.2 + T)P_0}{(273.2 + T_0)P}$ 기준온도 : $T_0 = 293.2K$ $(T_0 = 22^\circ C)$	기호 : $k_\rho$ $k_\rho = \frac{(273.2 + T)P_0}{(273.2 + T_0)P}$ 기준 온도: $T_0 = 293.2K$ $(T_0 = 20^\circ C)$
극성 보정계수	기호 : $k_{pol}$ $k_{pol} = \frac{ M_+  +  M_- }{2M}$	기호 : $P_{pol}$ $P_{pol} = \left  \frac{(M_{raw}^+ - M_{raw}^-)}{2M} \right $	기호 : $k_p$ $k_p = \frac{[(M_1 + M_2)/M_1]}{[(M_1 + M_2)/M_1]}$
전기계 보정계수	기호 : $k_{elec}$ 이온함과 한 단위로 교정	기호 : $P_{elec}$ 이온함과 한 단위로 교정	언급 없음

다. 공기커마와 물 흡수선량 표준간의 주요 특징에 대한 상호 비교

(1) 표준측정법의 발전 경향

(가) 80년대 이전의 표준측정법

흡수선량 결정을 위해 국가표준기관으로부터 Co-60 감마선 또는 2 MV X-선으로 교정 받은 이온함의 조사선량 교정정수( $N_x$ )와 광자선 및 전자선 각각에 대한 조사선량(R)-흡수선량(rad) 변환 계수인  $C_\lambda$  및  $C_E$  를 사용하는 방법이다.

(나) 80년대 이후 표준측정법

최근까지 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있고 한국의학물리학회에서도 공식적으로 사용하고 있는 표준측정법으로 이온함의 공동내 공기흡수선량 교정정수( $N_D$ )에 기반을 두고 있는 방법이다.

(다) 21세기 최근 표준측정법

선량측정의 정확성을 향상시키기 위하여 임상에서 직접적으로 관심있는 물리량인 물 흡수선량 표준으로 교정된 이온함을 사용한다. 최근 독일(DIN 6800, 1990)과 미국(AAPM TG-51, 1999) 및 국제원자력기구(IAEA TRS-398, 2000)에서 이온함의 흡수선량 교정정수( $N_{D,w}$ )를 기반으로 하는 표준측정법을 발표하여 임상에 적용하고 있는 실정이다.

◆ 80년대 이전 표준측정법

- HPA(64)
- ICRU 14,21(69,72)
- SCRAD(71)

◆ 80년대 이후 표준측정법

- NACP(80)
- AAPM TG-21(83)
- IAEA TRS-277(87)
- JARP(86),KSMP(1990)

◆ 21세기 표준측정법

- DIN 6800(90)
- AAPM TG-51(99)
- IAEA TRS-398(00)
- JARP 01(02)

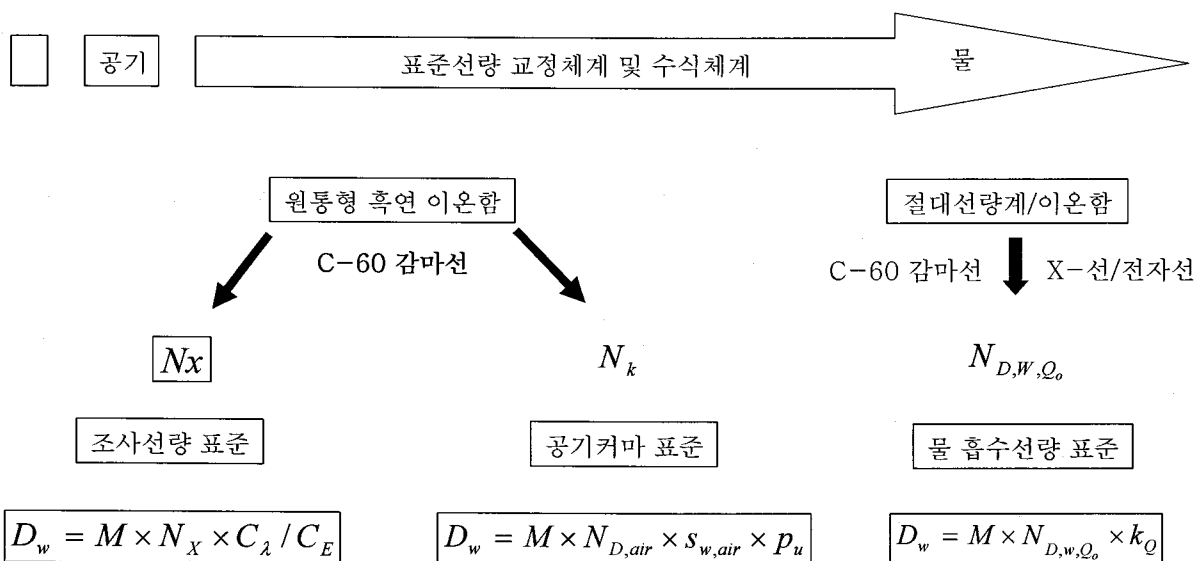


그림 1-3-1. 선량측정 표준체계의 발전 경향

(2) 표준간의 주요한 특징 비교

(가) 기준 조건

공기커마(혹은 조사선량) 표준에 토대를 두고 IAEA TRS-277과 AAPM TG-21은 이온함 벽 재질이 흑연으로 되어 있는 원통형 이온함에 기반하고 있고, 물 흡수선량 표준에 기초한 IAEA TRS-398과 AAPM TG-51은 이온함 이외에 여러 종류의 절대선량계(열량계 및 화학선량계)에 의해 교정정수를 제공하고 있으며, 국제원자력기구는 기준 온도 및 기압이 20℃, 1기압인 반면에 미국의학물리학회는 22℃, 1기압을 기준조건으로 교정 및 선량 측정시 사용하고 있다. 또한 IAEA TRS-398은 기준 선질로 의료기관에서 사용하고 있는 선질과 동일한 선질로 물 흡수선량 교정정수를 제공하는 것을 원칙으로 하고 있으나 대부분의 국가 1차 표준기관이 의료용 선질을 보유하고 있지 않아 Co-60 감마선으로 물 흡수선량 교정정수를 제공하고 있으며, 그 밖의 표준측정법에서는 선진국의 대부분의 1차 및 2차 표준기관에서 보유하고 있는 감마선을 기준 선질로 교정정수를 제공하고 있어 국가 및 국제적인 소급성을 유지하고 있다.

항 목	공기커마(조사선량) 표준		물 흡수선량 표준		비 고
	IAEA TRS-277	AAPM TG-21	IAEA TRS-398	AAPM TG-51	
교정정수	공기커마 $N_k$	조사선량 $N_x$	물 흡수선량 $N_{D,w}$	물 흡수선량 $N_{D,w}$	
기준선량계	흑연선량계	흑연선량계	이 온 함 절대선량계	이 온 함 절대선량계	
기준선질	Co-60 감마선	Co-60 감마선	Co-60 감마선 표준기관 선질	Co-60 감마선	
기준 온도	20 ℃	22 ℃	20 ℃	22 ℃	
기준 기압	1 기압	1 기압	1 기압	1 기압	

(나) 선량측정 방법

- ① 광자선의 선질(에너지 결정) 지표는 IAEA TRS-277, TRS-398 및 AAPM TG-21에서는 조직팬텀선량비  $TPR_{10}^{20}$ 를 사용하지만 AAPM TG-51에서는 10 cm 깊이에서의 광자성분만의 깊이선량백분율  $\%dd(10)_x$ 을 이용하여 의료용 X-선의 에너지를 결정하고 있다.
- ② 전자선의 경우 선질 결정은 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법(IAEA TRS-398, AAPM TG-51)은 최대선량의 50%되는 깊이에 의해 결정하고 있다. 절대선량 및 상대적인 깊이선량백분율에 대한 선량측정점들이 평행평판형 이온함의 경우 중심전극이지만 원통형 이온함의 경우 표준측정법에 따라 유효측정점 혹은 중심전극으로 선량측정시 주의가 요망된다.

항 목		공기커마(조사선량) 표준		물 흡수선량 표준		비 고
		IAEA TRS-277	AAPM TG-21	IAEA TRS-398	AAPM TG-51	
선 질 결 정	광자선	$TPR_{10}^{20}$	$TPR_{10}^{20}$	$TPR_{10}^{20}$	$\%dd(10)_x$	
	전자선	$E_o - R_{50}$	$E_o - R_{50}$	$R_{50}$	$R_{50}$	
깊이선량백분율		유효측정점	중심전극	유효측정점	유효측정점	
선 량 측 정 점	광자선 (원통형)	유효측정점 $0.6 r_{cyl}$	중심전극	중심전극	중심전극	
	원통형 이온함	유효측정점 $0.5 r_{cyl}$	중심전극	유효측정점 $0.5 r_{cyl}$	중심전극	
	평행평판형 이온함	공동내 전벽	공동내 전벽	공동내 전벽	공동내 전벽	

(다) 선량결정 수식체계

공기커마 1차 표준( $N_k$ )에 기반을 두고 있는 기존의 표준측정법 수식체계와 물 흡수선량 1차 표준( $N_{D,w}$ )에 토대를 두고 있는 새로운 표준측정법간의 수식체계를 비교한 것이다. 표에서 볼 수 있는 것과 같이  $N_k - N_{D,air}$  표준에 의한 선량측정은 공기 흡수선량을 물 흡수선량으로 변환해야 하기 때문에 수식체계가 복잡하다.

그러나  $N_{D,w}$  표준에 의한 선량측정은 선량측정의 소급성에 있어서 임상에서 관심 있는 단지 한 개의 물리량 사용과 표준기관에서의 교정과 임상에서 사용자의 측정 조건이 비슷하여 선량측정 시 수반되는 불확도와 사용자 실수의 잠재성을 줄일 수 있어 선량측정의 정확성을 향상시킬 수 있다.

단계	공기커마(조사선량) 표준 ( $N_k - N_{D,air}$ )	물 흡수선량 표준 ( $N_{D,w}$ )	비 고
1	$K_{air, Q_0}$	$D_{w, Q_0}$	
2	$N_{k, Q_0} = \frac{K_{air, Q_0}}{M_{Q_0}}$	$N_{D,w}^{Q_0} = \frac{D_{w, Q_0}}{M_{Q_0}}$	
3	$N_{D,air, Q_0} = \frac{D_{air, Q_0}}{M_{Q_0}}$ $= N_{k, Q_0} \cdot (1-g) \cdot k_{att} \cdot k_m \cdot k_{cel}$		
4	$N_{D,air}^Q = N_{D,air}^{Q_0} = N_{D,air}$		
5	$D_{w, Q} = \overline{D_{air, Q}} \cdot (s_{w, air})_Q \cdot p_Q$		
6	$D_{w, Q} = N_{D,air} \cdot M_Q \cdot (s_{w, air})_Q \cdot p_Q$	$D_w^Q = M_Q \cdot N_{D,w}^{Q_0} \cdot k_Q$	

(라) 표준측정법간의 서로 다른 물리량 자료의 출처

- ① 공기커마 교정정수에 토대를 두고 있으며, 현재 국내 임상에서 널리 사용하고 있는 한국의학물리학회의 “방사선량 표준측정법”의 모태인 IAEA TRS-277과 새로운 개념의 물 흡수선량 표준인 IAEA TRS-398과 AAPM TG-51 표준측정법에서 사용되고 있는 물리적인 파라미터들에 대한 물리량들의 자료 출처를  $^{60}\text{Co}$  감마선, 광자선 및 전자선으로 구분하여 자료의 출처를 비교 분석한 결과는 다음과 같다.
- ② IAEA TRS-277은 임상에서 사용하고 있는 이온함에 대하여 공기커마 교정정수를 표준기관으로부터 제공받기 때문에 이온함의 공기 흡수선량 교정정수를 구하기 위하여 이온함에 대한  $k_{att}$ ,  $k_m$  및 저지능비 등에 대한 자료가 필요하다.
- ③ 물 흡수선량에 표준을 두고 있는 IAEA TRS-398과 AAPM TG-51은 임상에서 관심있는 물리량인 물 흡수선량 교정정수로 제공받기 때문에 수식체계가 간단하고, 이들 물리량에 대한 불확도를 줄일 수 있어 선량측정의 정확성을 향상시킬 수 있어 21C들어 선량측정의 파라다임이 물 흡수선량 표준으로 전환하고 있는 실정이다.

(마)  $^{60}\text{Co}$  감마선에 대한 물리적인 자료 상호 비교

물리량 (기호)	IAEA TRS-277 (1987,1997)	IAEA TRS-398 (2000)	AAPM TG-51 (1999)
$g$	Boutillon(1985)		
$k_{att}$	Nath와 Schultz(1981)		
$k_m$	Andreo, Nahum과 Brahme(1986)		
$s_{w, air}$	Andreo와 Brahme(1986)	Andreo(91,94)	Kosunen, Rogers(93)
$P_{eff}$	Johansson 등(1978)		
$P_{dis}$	-	Johansson등 (1978)	Cunningham, Sontag(80)
$P_{wall}$	Almond와 Svensson(1977)		원통형 : 식 Shiragai(78,79)
$\alpha$	Lempert, Nath와 Schulz(1983)	Lempert, Nath, and Schulz(83)	Lempert, Nath와 Schulz(83)
$s_{wall, air}$	Andreo, Nahum과 Brahme(1986)	Andreo(91,94)	Andreo, Nahum와 Brahme(1986)
$(\mu_{en}/\rho)_{wall, air}$	Cunningham(1986)	Cunningham(86)	Cunningham(86)
$P_{cel}$	Mattsson(1984)	Ma와 Nahum(93); Palm과 Mattsson(99)	Ma와 Nahum(93)

(바) X-선에 대한 물리적인 자료 상호 비교

물리량 (기호)	IAEA TRS-277 (1987,1997)	IAEA TRS-398 (2000)	AAPM TG-51 (1999)
선질 규명	$TPR_{20,10}$ -AAPM TG-21[Schulz 등(1983)]	$TPR_{20,10}$	$\%dd(10)_x$
$S_{w, air}$	Andreo와 Brahme(1986)	Andreo(91,94) $S_{w, air}(TPR_{20,10})$	Kosunen, Rogers(93) $S_{w, air}(\%dd(10)_x)$ 자료: Rogers, Yang(99)과 Rogers(99)
$P_{eff}$	Johansson 등(1978)		
$P_{dis}$	-	Johansson 등(1978)	Cunningham, Sontag (1980)
$P_{wall}$	Almond와 Svensson 수식 (77)		Shiragai 수식 (78,79)
$\alpha$	Lempert, Nath와 Schulz(83)	Lempert, Nath와 Schulz(83)	Lempert, Nath와 Schulz(83)
$S_{wall, air}$	Andreo, Nahum와 Brahme(1986) $S_{wall, air}(TPR_{20,10})$	Andreo(91,94) $S_{w, air}(TPR_{20,10})$	Andreo, Nahum와 Brahme(1986)
$(\mu_{en}/\rho)_{wall, air}$	Cunningham(86) $(\mu_{en}/\rho)_{wall, air}$ ( $TPR_{20,10}$ )	Cunningham(86) $(\mu_{en}/\rho)_{wall, air}$ ( $TPR_{20,10}$ )	Cunningham(86)
$P_{cel}$	Mattsson(1984) Ma와 Nahum(1993)	Ma, Nahum(93); Palm, Mattsson (99)	Ma, Nahum(93) fit by Rogers (96)

(사) 전자선에 대한 물리적인 자료 상호 비교

물리량 (기호)	IAEA TRS-277 (1987,1997)	IAEA TRS-398 (2000)	AAPM TG-51 (1999)
선질 규명	Brahme과 Svensson(1976) $E_o - R_{50}$ 관계식	Burns, Ding과 Rogers(96) $R_{50}$	Burns, Ding과 Rogers(96) $R_{50}$
$E_z$	Andreo와 Brahme(1981) $E_o - E_z(z/R_p)$		
$S_{w, air}$	단일에너지 Berger TG-21 $S_{w, air}(E_o, z)$	의료용 선질 Burns, Ding과 Rogers(96)	의료용 선질 Burns, Ding과 Rogers(96)
$P_{eff}$	ICRU 35(1984)	ICRU 35(1984)	Rogers(96)
$P_{cav}$	Johansson(1978) $f(E_z, Harder)$	Almond 등(77)	원통형 : Johansson (78) 평행평판형 : Wittkamper 등 (91)
$P_{cel}$	Mattsson(1984)	Ma와 Nahum(1993)	Ma와 Nahum(1993)
비정과 물대 플라스틱에 대한 깊이 척도	ICRU 보고서 37 (1984)	Fernandez-Varea등 (96)	
물대 플라 스틱에 대한 플루언스 보정	Mattsson 등(1981) Bruinvis 등 (1984)	IPEMB(96) Nisbet 와 Thwaites (98) Tello 등(95)	



(3) 고 에너지 광자선 선량 교정 프로그램 개발

(가) 선량 교정 프로그램의 흐름도

공기커마 혹은 조사선량 교정정수에 토대를 두고 있는 표준측정법(IAEA TRS-277, AAPM TG-21)과 새로운 개념의 물 흡수선량 1차 표준에 기초한 표준측정법(AEA TRS-398과 AAPM TG-51)에 대한 방사선량 교정/계산 프로그램의 흐름도이다(그림 1-3-2).

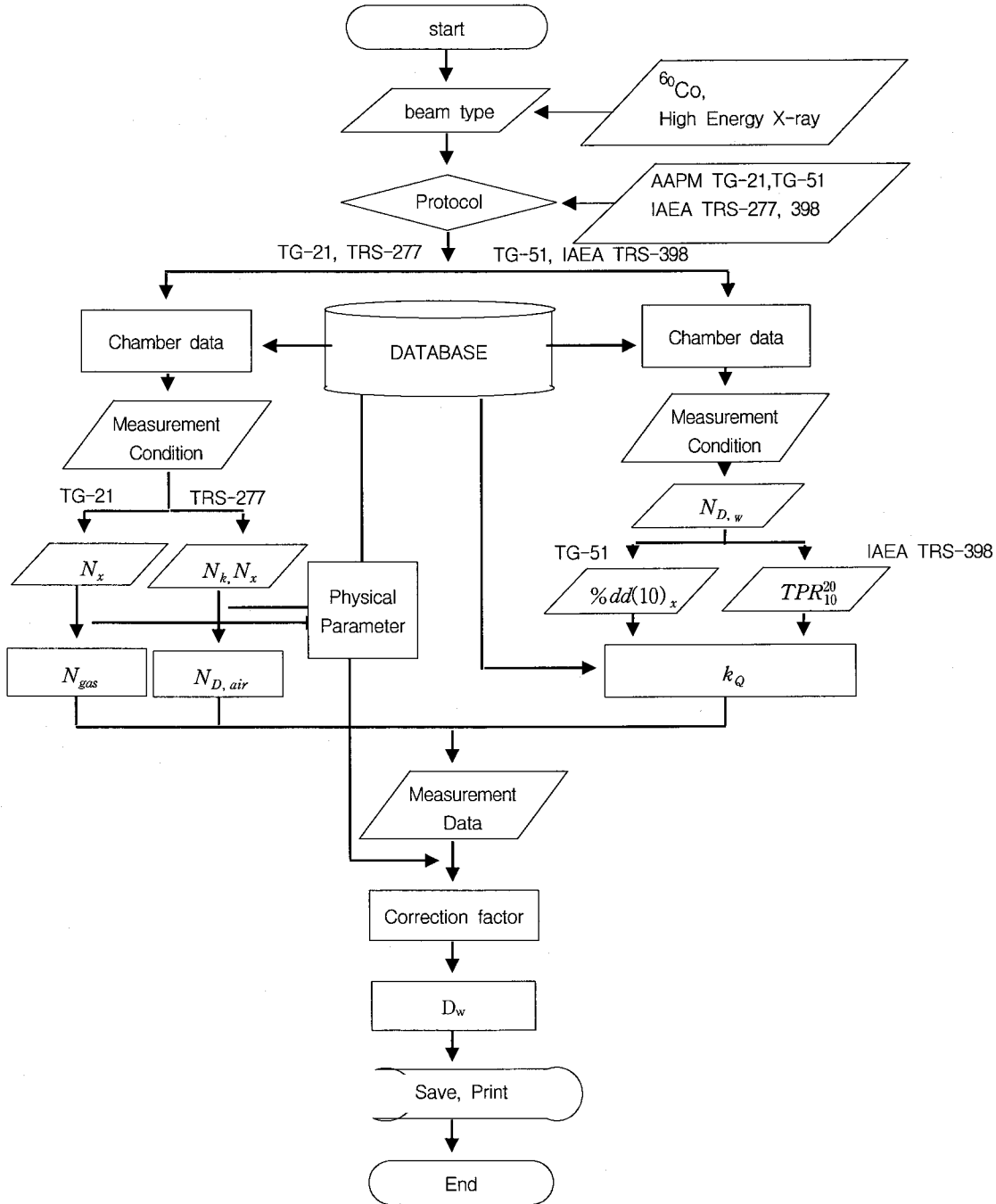


그림 1-3-2. 고 에너지 광자선에 대한 선량 교정 프로그램 흐름도

(나) 선량 교정 프로그램 개발 결과

국내 널리 사용되고 있는 공기커마 혹은 조사선량 교정정수에 토대를 두고 있는 표준 측정법(IAEA TRS-277, AAPM TG-21)과 새로운 개념의 물 흡수선량 1차 표준에 기초한 표준측정법(AEA TRS-398과 AAPM TG-51)에 대한 선량 계산 표준측정법의 초기화면이다. 사용자가 현재 사용하고 있는 표준측정법을 선택할 수 있도록 그래픽-사용자 인터페이스를 구축하였다(그림 1-3-3).

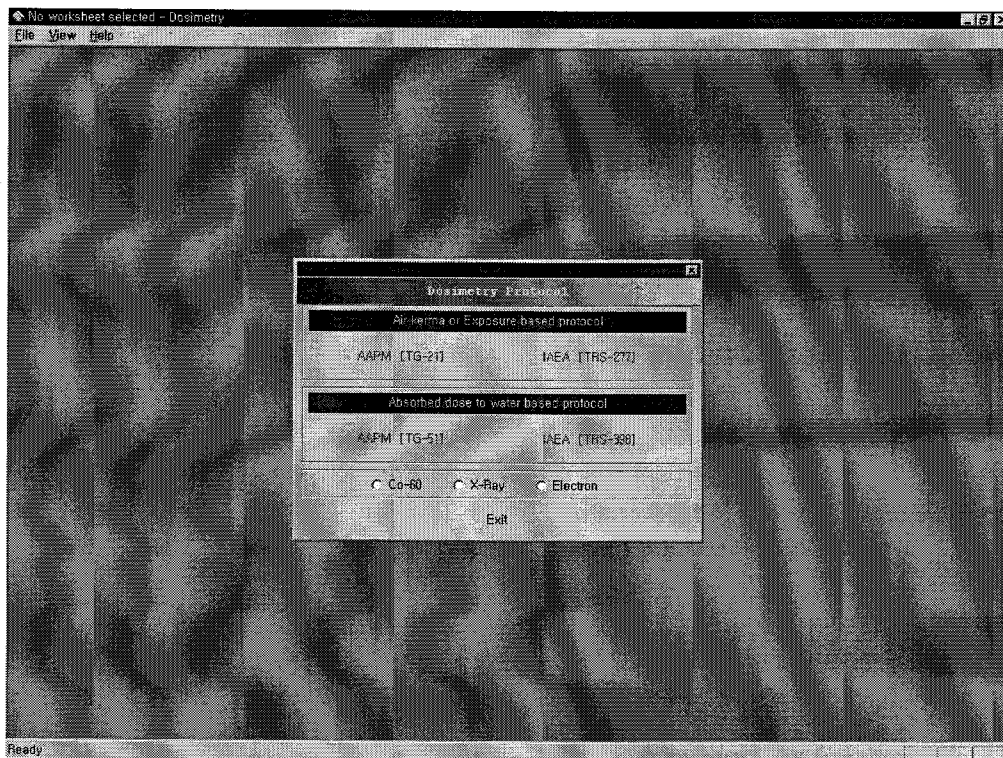


그림 1-3-3. 고 에너지 광자선에 대한 선량 교정 프로그램 초기 화면 (AAPM TG-21, IAEA TRS-277, AAPM TG-51, IAEA TRS-398)

그림 1-3-4은 IAEA TRS-277에서 권고하는 절차에 따라 사용자의 선량계를 선택한 후 표준기관으로부터 이온함의 공기커마 교정정수  $N_k$ 로 교정받은 원통형 이온함에 대하여  $N_k$ 로부터 이온함의 공기흡수선량 교정정수  $N_{D,air}$ 를 계산하는 결과로 사용자 기관의 이온함의  $N_k$  값을 입력하면 구축된 이온함에 대한 데이터베이스로부터 필요한 물리적인 인자를 읽어  $N_{D,air}$ 을 계산하는 화면이다.

**[IAEA TRS277] Nd Factor - Dosimetry**

File View Help

N<sub>D,air</sub> Factor Co-60 Beam X-Ray Beam Electron Beam

Determination of the absorbed-dose-to-air chamber factor,  $N_{D,air}$  for a cylindrical chamber

Responsible physicist:  Date: 2002년 10월 23일 수요일

**1. Ionization chamber**

Chamber model :	PTW 30006 PMMA/Al Farmer	Serial no.	0053
Cavity inner radius	3.05	thickness (g/cm <sup>2</sup> )	0.045
Wall material:	PMMA	thickness (g/cm <sup>2</sup> )	0.541
Bulldup cap materi:	PMMA	total thickness	0.586
Central electrode:	aluminium		

**2. Chamber calibration data**

Calibration laboratory:	KFDA	Date:	2002년 10월 10일 목요일
Calibration factor ref chamber (NK/N <sub>k</sub> units):	NK 4,7043	Gy/div	4,704300e+000
Calibration factor ref chamber (NK):			
given at	Pressure, P <sub>0</sub>	101.3	kPa
	Temperature, T <sub>0</sub>	22.0	°C
	Relative humidity	50.0	%
	Polarizing volt	300	V
	Field size	10 x 10	cm x cm
	Source-chamber dist	100	cm

**3. Constants and factors**

katt km =	0.973
W/e =	33.970
I-g =	0.997 (for Co-60 gamma radiation)

**4. Absorbed dose to air chamber factor**

Calibration factor ref chamber (N <sub>D,air</sub> ):	4,561207e+000	Gy/div	
given at	Pressure, P <sub>0</sub>	101.3	kPa
	Temperature, T <sub>0</sub>	22.0	°C
	Relative humidity	50.0	%
	Polarizing volt	300	V

Ready CAP NUM

그림 1-3-4. IAEA TRS-277 선량측정 프로토콜에 의한 이온함 공기 흡수선량 계산 화면

IAEA TRS-277 표준측정법에서 권고하고 있는 절차에 따라 이온함의 공기 흡수선량 교정정수  $N_{D,air}$ 를 근거로 사용자가 방사선 치료기와 선량측정 기준 조건을 입력하고, 측정 결과를 입력하여 기준점 및 최대선량깊이에서의 물 흡수선량을 계산하는 화면이다.

[IAEA TRS277] X-Ray Beam Dosimetry

File View Help

N.D.air Factor Co-60 Beam **X-Ray Beam** Electron Beam

Determination of the absorbed dose to water in High-energy photon beams

Responsible physicist: D.O.Shin Date: 2002년 10월 23일 수요일

1. Radiator treatment unit and reference conditions for  $D_w$  determination

Accelerator: Varian CL 2100CD Nom Acc Pot: 6 MV  
 Field size (cm x cm): 10 x 10 at S.S.D. = 100 cm  
 Nominal dose rate: 300 mon units/min Type of beam: pulsed  
 Reference phantom: water  
 Depth in water of the centre of the chamber,  $z(ctr)$  = 10.2 cm  
 The shift of the effective point of measurement is 0.6 mm  
 Reference depth in water of the  $P_{ref}$  of the chamber,  $z_{ref}$  = 10.017 cm

2. Ionization chamber

Chamber model: PTW 30006 PMMA/Al Farmer Serial no.: 0053  
 Wall material: PMMA thickness (g/cm<sup>2</sup>): 0.045  
 Central electrode: aluminium  
 Electrometer model: Keithley Serial no.: 35617  
 Absorbed dose to air ch factor: ND,air (Gy/div)= 4.561207e+000  
 given at  $P_0$  = 101.300 kPa  
 $T_0$  = 22.000 °C  
 R.H. = 50.000 %  
 Polarizing volt = 300.000 V

3. Electrometer reading corrections

All readings should be corrected for leakage

Pressure, P (kPa) = 101.2  
 Temperature, T (°C) = 22.5  
 Accelerator monitor units = 300 m.u.  
 Pol. voltages:  $V_1$  = 300  $V_2$  = 150 V-ratio = 2.000  
 At  $V_1$ : aver of the chamber read (both pol): M1 aver = 12.91  
 aver of the ext monitor Mem = 1.000 M1 = 12.910  
 At  $V_2$ : aver of the chamber read (both pol): M2 aver = 12.86  
 aver of the ext monitor Mem = 1.000 M2 = 12.880  
 M1 / M2 = 1.002  
 Table VIII or IX for  $\alpha$ : pulsed beam  
 $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ : 2.337 -3.636 2.299  
 $\rho_s$  = 1.002  
 $\mu_u$  = 12.974

5. Absorbed dose to water

Quality of the beam, 10x10 cm<sup>2</sup>: TPR (20, 10) SCD=100cm = 0.672  
 Quality of the beam in terms of TPR(20,10) = 0.672  
 Stopping-power ratio, water/air (Table XIII) sw,air = 1.119  
 Perturbation factor (eq (25), Tables XX, XXI) pwall = 1.001  
 $a$  = 0.240  
 $sw_{wall,air}$  = 1.087  
 $(\mu_{en}/\rho)_{w,wall}$  = 1.032  
 Central electrode correction = pcel = 1.000  
 $D_w(z_{ref})$  = 65.280 Gy @  $z_{ref}$  per  
 $D_w(\text{chamber centre, } z_{centre})$  = 65.614 Gy/min  
 $D_w(z_{max})$  = 99.222 Gy @  $z_{max}$   
 $\rho_{disp}$  = 300 m.u.  
 (%DD  $z_{ref}$ ) = 0.990  
 (%DD  $z_{ref}$ ) = 66.8

그림 1-3-5. IAEA TRS-277 선량측정 프로토콜에 의한 물 흡수선량계산 화면



그림 1-3-6는 AAPM TG-21에 따라 표준기관으로부터 제공받은 원통형 이온함의 조사선량 교정정수  $N_x$ 로부터 이온함 기체의 흡수선량 교정정수  $N_{gas}$ 를 계산하는 화면이다.

The screenshot shows the 'TG-21 Worksheet: Ngas Factor' window. It contains the following data:

- Name:** D.O.Shin
- Date:** 2002년 10월 23일 수요일
- Chamber Model:** Capintec PR-06C Farmer
- Chamber Inside Diameter:** 6.40 mm
- Buildup Cap Material and Total Wall plus Cap Thickness:** 0.97 g/cm<sup>2</sup>
- Wall Material and Thickness:** C-552 = 0.05 g/cm<sup>2</sup>
- Polarizing Potential:** 0.000 V
- Calibration Laboratory:** KFDA
- Calibration Date:** 2002년 10월 10일 목요일
- Cobalt-60 exposure calibration factor at 22°C and 1 atmosphere:**  $N_x = 4.8594$
- Charge per unit mass of air per unit exposure:**  $k = 2.58310 \times 10^{-4} \text{ C/kg R}$
- Average energy per unit charge:**  $W/e = 33.7 \text{ J/C}$
- Ion-collection efficiency:**  $A_{ion} = 1.000$
- Wall-correction factor:**  $A_{wall} = 0.984$
- Fraction of ionization due to electrons from chamber wall:**  $\alpha = 0.448$
- Stopping-Power ratio, wall/air:**  $(L/\rho)_{wall,air} = 1.000$
- Energy-absorption coefficient ratio, air/wall:**  $(\mu/\rho)_{air,wall} = 1.000$
- Fraction of ionization due to electrons from chamber wall (Fig. 1):**  $1-\alpha = 0.552$
- Stopping-Power ratio, cap/air:**  $(L/\rho)_{cap,air} = 1.000$
- Energy-absorption coefficient ratio, air/cap:**  $(\mu/\rho)_{air,cape} = 1.000$
- Cavity-gas calibration factor at 22°C and 1 atmosphere:**  $N_{gas} = 0.042$

그림 1-3-6. AAPM TG-21에 의한 이온함 기체 흡수선량 계산 화면

AAPM TG-21 표준측정법에서 권고하고 있는 절차에 따라 이온함 기체의 흡수선량 교정정수  $N_{gas}$ 를 근거로 사용자가 방사선 치료기와 선량측정 기준 조건을 입력하고, 측정 결과를 입력하여 기준점 및 최대선량깊이에서의 물 흡수선량을 계산하는 화면이다.

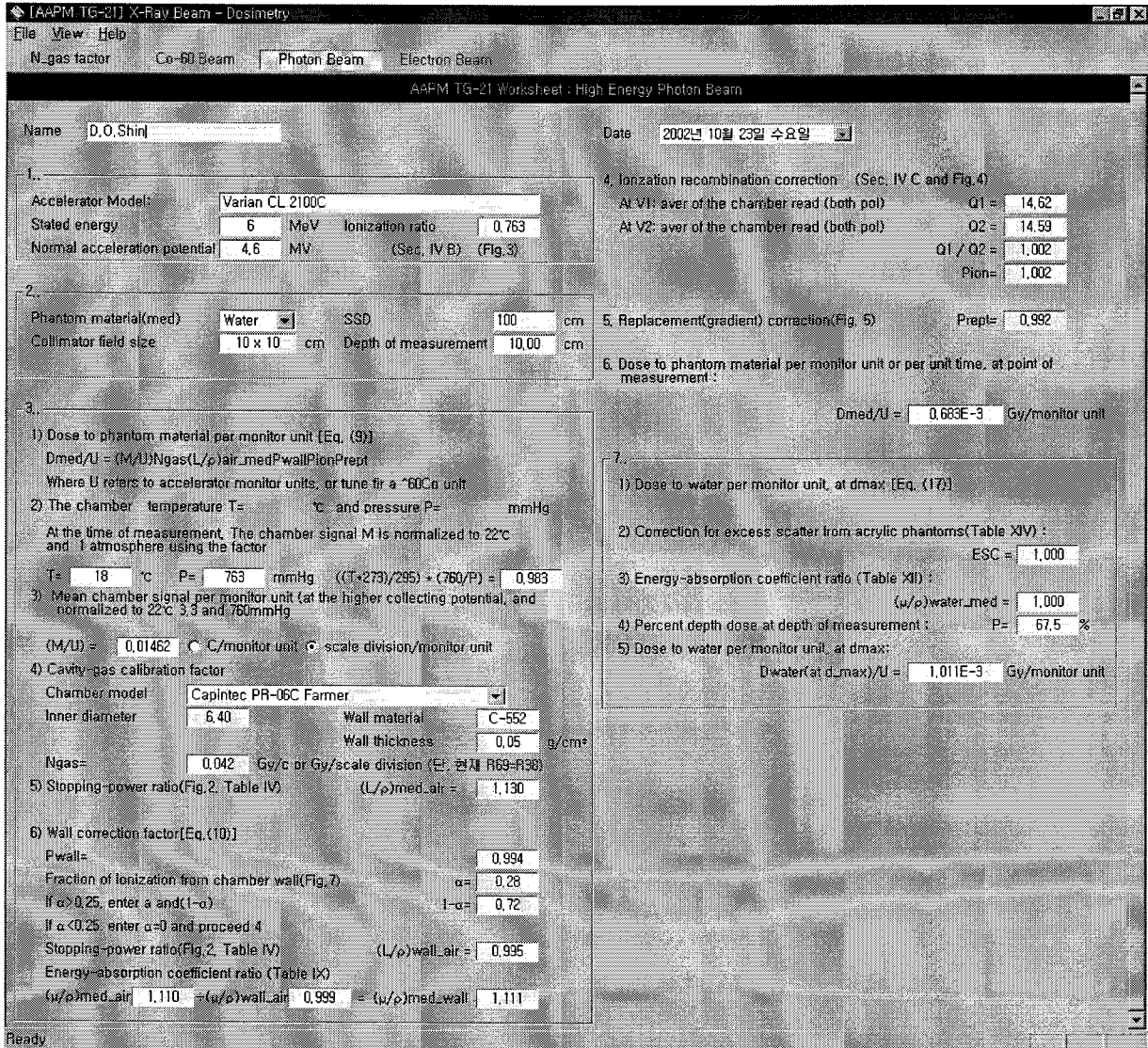


그림 1-3-7. AAPM TG-21에 의한 물 흡수선량 계산 화면

IAEA CoP Worksheet: High Energy Photon Beam

User: D.O. Shin Date: 2002년 10월 23일 수 6

1. Radiation treatment unit and reference condition for D<sub>w,0</sub> determination

Accelerator: Varian CL 2100C Nominal Acc Potential: 15 MV  
 Nominal dose rate: 240.00 MU min<sup>-1</sup> Beam quality, Q(TPR(20,10)): 0.76  
 Reference phantom: Water Set up:  SSD  SAD  
 Reference field size: 10 x 10 cm x cm Reference Distance(cm): 100.000 cm  
 Reference Depth(z<sub>ref</sub>): 10.000 g cm<sup>-2</sup>

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: NE 2571 Farmer Serial no: 0.000  
 Chamber wall material: graphite thickness: 0.065 g cm<sup>-2</sup>  
 Waterproof sleeve material: polystyrene thickness: 1 g cm<sup>-2</sup>  
 Phantom window material: water thickness: 1 g cm<sup>-2</sup>  
 Absorbed-dose-to-water calibration factor N<sub>D,WQ</sub>: 0.044  nC  Gy rdg<sup>-1</sup>  
 Calibration quality Q<sub>0</sub>:  Co-60  photon beam Calibration depth: 5.000 cm  
 If Q<sub>0</sub> is photon beam give TPR(20, 10): 0.000  
 Reference conditions for calibration P<sub>0</sub>: 101.325 kPa T<sub>0</sub>: 22.000 °C Rel. humidity: 50.000 %  
 Polarizing potential V<sub>1</sub>: 300.000 V Calibration polarity:  +ve  -ve  corrected for polarity effect  
 User polarity:  +ve  -ve  
 Calibration laboratory: KFDA Date: 2002년 10월 10일 목 5  
 Electrometer model: Serial no:  
 Calibrated separately from chamber:  yes  no Range Setting: 0.000  
 If yes Calibration laboratory: Date: 2002년 10월 23일 수 6

3. Dosimeter reading and correction for influence quantities

Uncorrected dosimeter reading at V<sub>1</sub> and user polarity: 17.620  nC  rdg  
 Corresponding accelerator monitor units: 100.000 MU  
 Ratio of dosimeter reading and monitor units: M<sub>1</sub> = 17.600  nC MU<sup>-1</sup>  rdg MU<sup>-1</sup>  
 (i) Pressure P: 101.430 kPa Temperature T: 21.000 °C Rel. humidity (if known): 50.000 % K(tp) = (273+T)P<sub>0</sub>/(273+T<sub>0</sub>)P = 0.996  
 (ii) Electrometer calibration factor k<sub>elec</sub>:  nC rdg<sup>-1</sup>  dimensionless k<sub>elec</sub> = 1.000 K(pol) = (|M<sub>1</sub>| + |M<sub>2</sub>|) / 2M = 0.999  
 (iii) Polarity correction rdg at +V<sub>1</sub>: M<sub>+</sub> = 17.620 rdg at -V<sub>1</sub>: M<sub>-</sub> = -17.580  
 (iv) Recombination correction (two-voltage method)  
 Polarizing voltages: V<sub>1</sub> (normal) = 300.000 V V<sub>2</sub> (normal) = 150.000 V Voltage ratio V<sub>1</sub> / V<sub>2</sub> = 2.000  
 Readings at each V: M<sub>1</sub> = 17.620 M<sub>2</sub> = 17.510 Ratio of reading M<sub>1</sub> / M<sub>2</sub> = 1.006  
 Use Table 4, VI for a beam of type:  pulsed  pulsed-scanned  
 a<sub>0</sub> = 2.537 a<sub>1</sub> = -3.636 a<sub>2</sub> = 2.299  
 K<sub>rs</sub> = a<sub>0</sub> + a<sub>1</sub>(M<sub>1</sub>/M<sub>2</sub>) + a<sub>2</sub>(M<sub>1</sub>/M<sub>2</sub>)<sup>2</sup> = 1.006  
 Corrected dosimeter reading at the voltage V<sub>1</sub>: M = M<sub>1</sub> k<sub>tp</sub> k<sub>elec</sub> k<sub>pol</sub> k<sub>rs</sub> = 17.630  nC MU<sup>-1</sup>  rdg MU<sup>-1</sup>

4. Absorbed dose rate to water at the reference depth, z<sub>ref</sub>

Beam quality correction factor for user quality Q: k(Q, Q<sub>0</sub>) = 0.982  taken from Table  specify:  
 D<sub>w(z<sub>ref</sub>)</sub> = MN<sub>D,W</sub> = 0.768 Gy MU<sup>-1</sup>

5. Absorbed dose rate to water at the depth of dose maximum, z<sub>max</sub>

Depth of dose maximum: z<sub>max</sub> = 2.900 cm<sup>-1</sup>  
 (i) SSD set-up  
 Percentage depth-dose at a<sub>ref</sub> for a 10cm x 10cm field size: PDD(z<sub>ref</sub>) 10 g cm<sup>-2</sup> = 76.900 %  
 Absorbed dose rate calibration at z<sub>max</sub>: D<sub>w(z<sub>max</sub>)</sub> = 100 D<sub>w(z<sub>ref</sub>)</sub> / PDD(z<sub>ref</sub>) = 10.999 Gy MU<sup>-1</sup>

그림 1-3-8. IAEA TRS-398에 의한 물 흡수선량 계산 화면



[AAPM TG-51] Photon Beam - Dosimetry

File View Help

Co-60 Beam Photon Beam Electron Beam

AAPM TG-51 Worksheet: High Energy Photon Beam

1. Site data

Institution: KHMC Date: 2002년 10월 23일 수요일

Physicist: D.O.Shin

Accel or Co-60 Mtr: Varian Model & Serial number: CL 2100CD

Nominal photon energy/beam identifier: 10 MV

2. Instrumentation

a. Chamber model: NE2571

Serial number: 1611 cavity inner radius: 0.305 cm

Waterproof:  yes  no

If no, is waterproofing <= 1 mm PMMA or thin latex?  yes  no

b. Electrometer model: Keithley Serial number: 35617

i. Pelec. electrom. corr factor: 1.000 C/C or C/rdg

c. Calibration Factor NCD.w Co-60: 5.0588e- Gy/C (or Gy/rdg)

Date of report(not to exceed 2 years): 2002년 10월 10일 목요일

3. Measurement Conditions(10x10cm<sup>2</sup>)

point of measurement at 10cm depth(water equivalent)

a. Distance (SSD or SAD): 100 cm  SAD  SSD

b. Field size: 10 x 10 cm<sup>2</sup> at detector(SAD setup)

c. Number of monitor units: 100 MU(min for Co-60)

4. Beam Quality (Sec. VII, B-not needed for Co-60)

If energy < 10 MV, use no lead foil.

Measure %dd(10) [%DD at 10 cm depth for curve shifted upstream by 0.6 rcav]

Field size 10x10cm<sup>2</sup> on surface, SSD=100cm:  yes  no

a. %dd(10)x = %dd(10) \_\_\_\_\_

If energy >= 10 MV

Distance of 1mm lead foil from phantom surface:  50±5cm  30±1cm

Measure %dd(10)Pb [%DD at 10 cm depth for curve shifted upstream by 0.6 rcav]

Field size 10x10cm<sup>2</sup> on surface, SSD=100cm:  yes  no

%dd(10)Pb (Includes e- contamination): 74.3

50 cm: %dd(10)x = [0.8905 + 0.00150%dd(10)Pb] %dd(10)Pb [%dd(10)Pb > 73%] Eq.(13)

30 cm: %dd(10)x = [0.8116 + 0.00264%dd(10)Pb] %dd(10)Pb [%dd(10)Pb > 71%] Eq.(14)

If %dd(10)Pb < 71% (30cm) or 73%(50cm): %dd(10)x = %dd(10)Pb

b. %dd(10)x (for open beam): \_\_\_\_\_

Has bead foil been removed?  yes  no

Interim alternative for energy > 10MV, with >=45cm clearance: using no lead foil

Measure %dd(10) [%DD at 10 cm depth for curve shifted upstream by 0.6 rcav]

%dd(10) \_\_\_\_\_

%dd(10)x = 1.267(%dd(10)) - 20.0 [for 75% < %dd(10) <= 89%]

c. %dd(10)x = \_\_\_\_\_

5. Determination of KQ

Chamber model used to get KQ: NE2571

a. %dd(10)x (from 4. above): 74.445

b. KQ [Table I]: 0.962

6. Temperature/Pressure Correction

a. Temperature: 22.5 °C

b. Pressure: 101.2 kPa > P=TP = 1.003

7. Polarity Correction(Sec. VII)

M-(raw): 14.9 nC (rdg)

M+(raw): -14.9 nC (rdg)

a. M-(raw) (for polarity of calibration): 14.9 nC (rdg)

> P-pol = 1.000

8. Pion measurement

Operating voltage V<sub>H</sub>: 300 V

Lower voltage V<sub>L</sub>: 150 V

M(H,raw): 14.9 nC (rdg)

M(L,raw): 14.85 nC (rdg)

Co-60 treated as general recombination  Pulsed/swept beams

> P-ion(V<sub>H</sub>) = 1.003

9. Correction ion. ch. rdg. M(Sec. VI) at 10 cm depth, water equivalent

Fully corrected M: 14.995 C or rdg

10. Dose to water at 10cm depth:

a. Dose to water at 10cm depth = 0.745 Gy

b. Dose / MU(or min, Co-60) at 10cm depth = 0.745 Gy/MU(or min)

11. Dose to water/MU(or min, Co-60) at d<sub>max</sub>(if relevant locally)

Clinical %dd(10) for SSD setup / 100

Clinical TMR(10, 10x10) for SAD setup: 73.8 Gy/MU(or min)

> Dose / MU(or min,m Co-60) at d<sub>max</sub>: 1.010E-2

Ready

그림 1-3-9. AAPM TG-51에 의한 물 흡수선량 계산 화면



라. 치료용 고 에너지 외부 방사선치료기기 및 기준선량계에 대한 제작사 및 종류별 현황 파악

(1) 국내에서 사용 중인 외부 방사선 치료기기 현황(2004.12.31)

방사선치료기기 : 선형가속기(87대), 마이크로트론(1대), Co-60 원격치료기(2대)  
 뇌정위 방사선치료기기 : 감마나이프(9대), 사이버나이프(2대), 노발리스(1대)

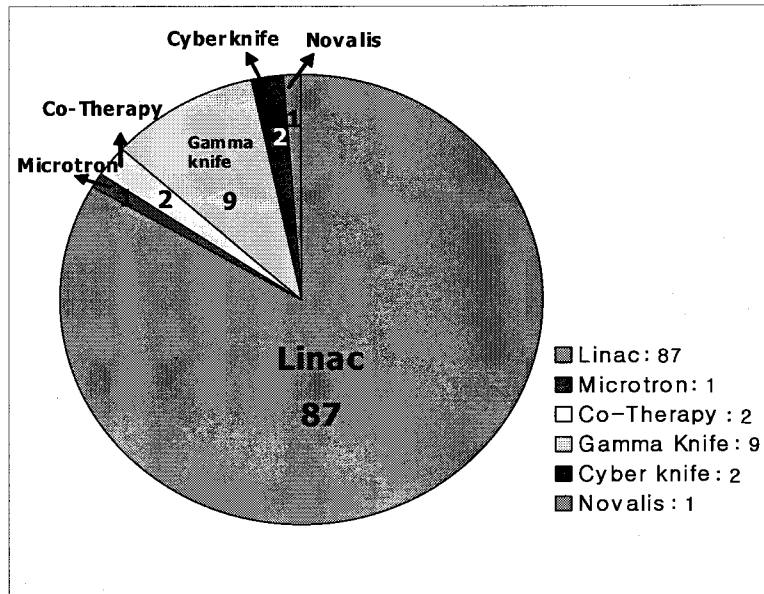


그림 1-4-1. 외부 방사선치료장치 현황

(2) 방사선 발생장치 제작사별 보유 현황(2004.12.31)

선형가속기 및 마이크로트론

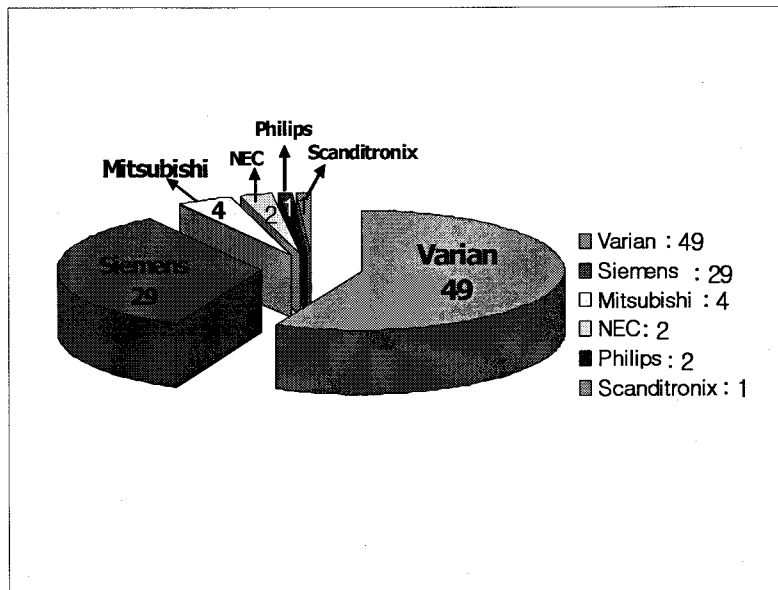


그림 1-4-2. 방사선 발생장치 제작사별 현황

(3) 방사선 발생장치의 광자선(X-선) 에너지 분포 현황 (4 MV ~ 23 MV))

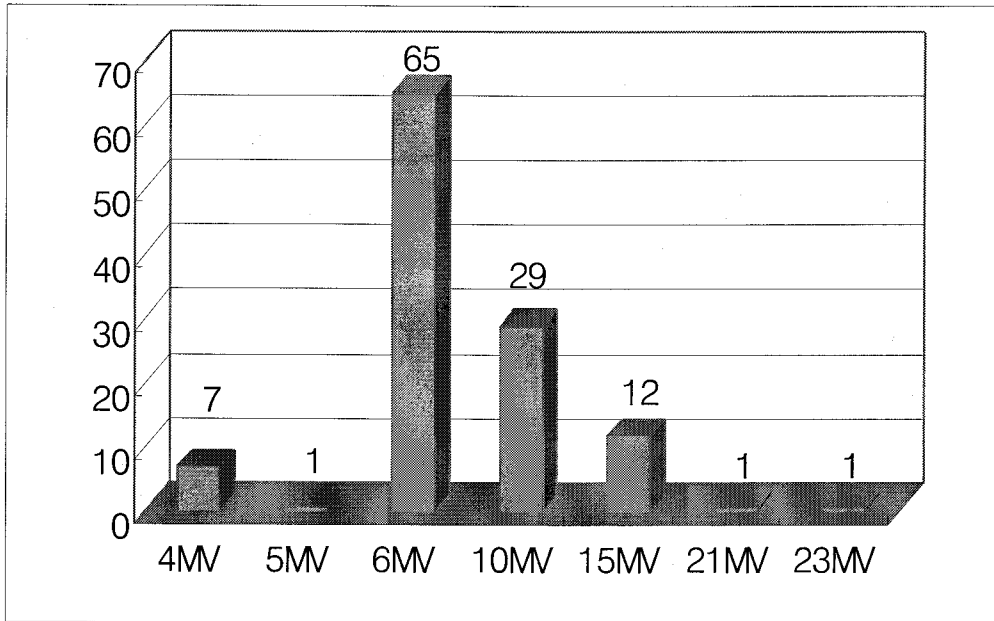


그림 1-4-3. 방사선 발생장치 광자선 에너지 분포

(4) 방사선 발생장치의 전자선 에너지 분포 현황(4 MV ~ 21 MV))

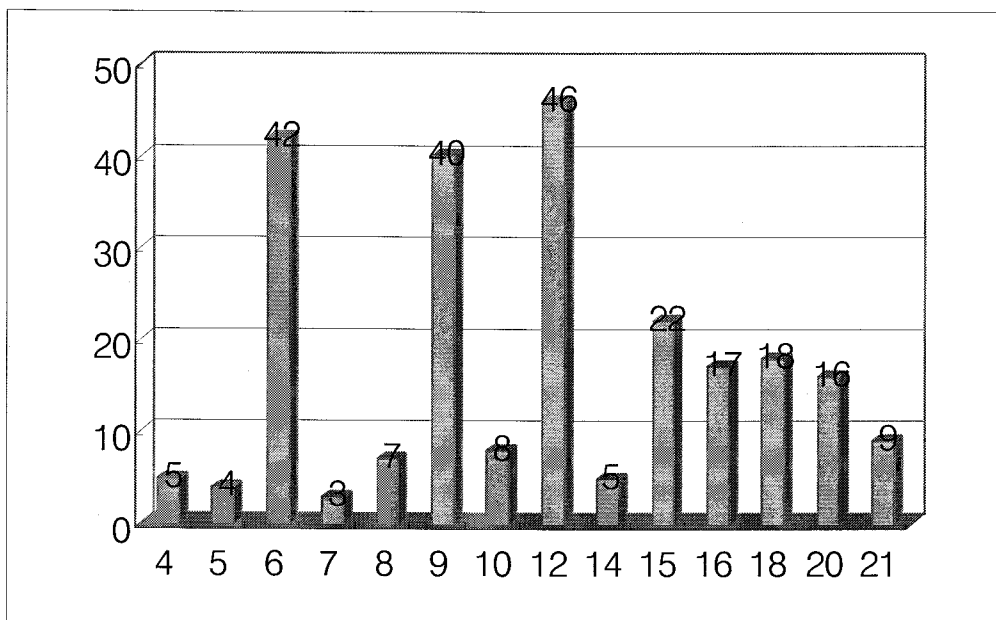


그림 1-4-4. 방사선 발생장치 전자선 에너지 분포

(5) 선량측정용 팬텀 보유 현황

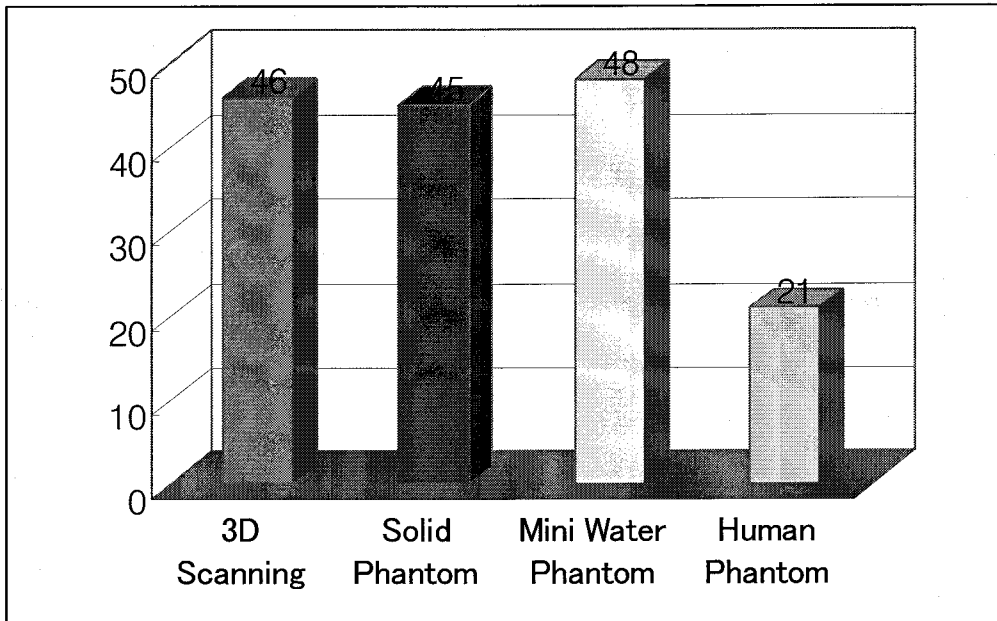


그림 1-4-5. 선량측정용 팬텀 현황

(6) 선량측정을 위해 사용되는 이온함과 전기계 보유 현황

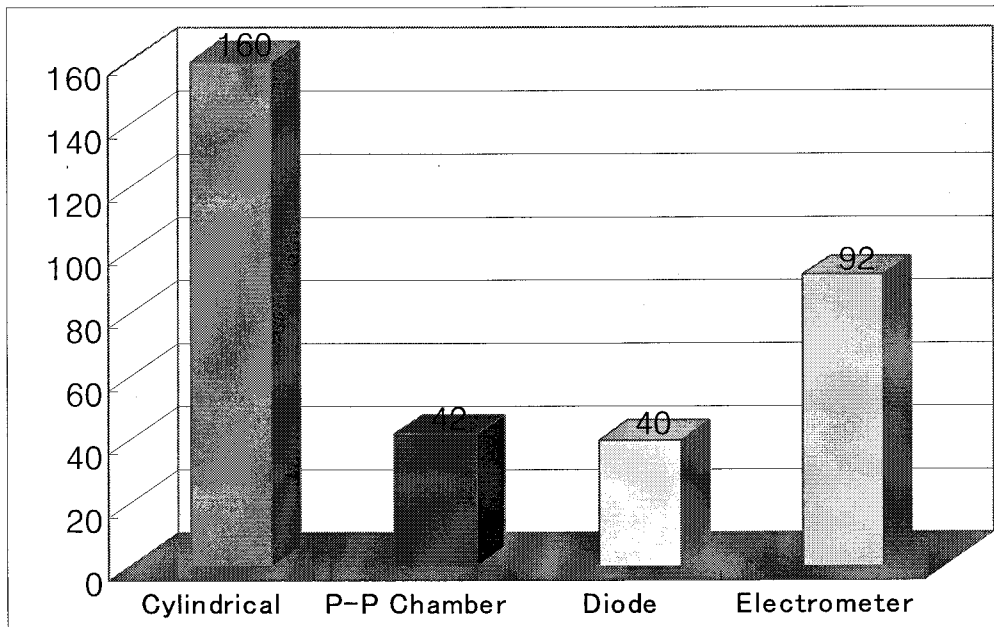


그림 1-4-6. 선량측정용 이온함과 전기계 현황

마. 물 흡수선량 표준에 의한 주요 표준기관의 교정절차서 수집 및 비교 분석

(1) 1차 표준기관(PSDL)들의 절대선량계 현황 및 측정법

· 치료용 고 에너지 광자선과 전자선 빔에서 임상 기준 선량측정에 대한 최근에 발표된 표준측정법(Protocol)의 패러다임은 공기커마표준에서 임상에서 관심있는 물리량인 물 흡수선량 표준으로 전환하고 있다. 이 물 흡수선량 표준을 제공하기 위하여 여러 국가 표준기관들이 이온함 방법이외에 다양한 종류의 절대선량계를 이용하여 1차 표준을 2차 표준기관에 제공하고 있어 선량 교정에 있어 국제적 및 국가 표준의 소급성을 유지하고 있다. 최근 선량측정 정확성의 향상과 물리적인 변환계수가 필요하지 않은 물 열량계에 의한 표준 제공을 위한 기반 기술이 구축 중에 있다.

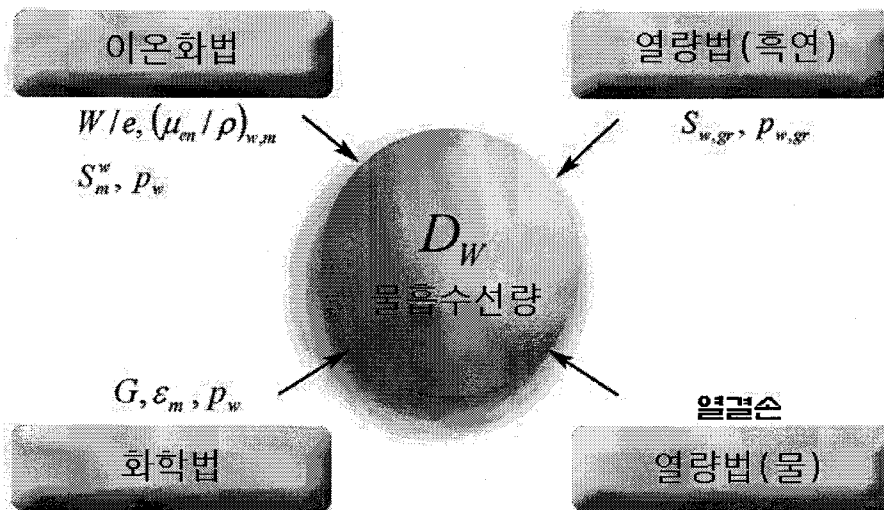


그림 1-5-1. 물흡수선량 측정의 3가지 대표적 방법들.

첫 번째:이온화법, 두 번째: 열량법(흑연 및 물), 세 번째: 화학법.

국제도량형국 (Bureau International Des Poids et Mesures, BIPM)

국제도량형국 (BIPM)은 1차 표준으로 이온함을 사용하고 있으며, 국제도량형국의 이온함의 교정은 다음과 같다.

- 저 에너지와 중 에너지 X-선 범위와 <sup>60</sup>Co와 <sup>137</sup>Cs 감마선으로 공기커마 교정정수
- <sup>60</sup>Co 감마선으로 물 흡수선량 교정정수

공기 온도와 압력에 대한 BIPM 기준조건은 각각  $T_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_0 = 101.325\text{ Pa}$ 이다.

상대습도는 47%에서 53%범위에 있도록 조절되며 결국 습도보정은 하지 않는다. 표 1-5-1은  $^{60}\text{Co}$  감마선에서의 BIPM의 공기커마와 흡수선량 측정조건들을 보여주고 있다.

표 1-5-1. 코발트-60 감마선에서의 BIPM 공기커마와 흡수선량 측정조건

선원방사능 (2000-01-01)(근사값)	45 TBq
선원-기준면 거리	100 cm
기준면에서 조사면의 크기*	10 cm × 10 cm
흡수선량 측정 기준깊이	5 $\text{gcm}^{-2}$

\*10 cm × 10 cm 정사각형 각면의 중심에서 광자 플루언스율은 정사각형 중심에서의 광자플루언스의 50%이다.

공기커마 교정정수  $N_k$ 와 조사선량 교정정수  $N_x$ 를 측정하여 주어지며, 물 흡수선량 교정정수의 경우엔 전달 이온함에 방수용 슬리브를 씌우고 30 cm인 BIPM 물팬텀에 넣는다. 이온함의 축이 기준면에 있도록 하고 물에서의 깊이는 5  $\text{gcm}^{-2}$ 이다. 이 깊이는 팬텀의 창(PMMA, 0.476  $\text{gcm}^{-2}$ )을 포함한다. 물 흡수선량 상대적인 표준 불확도는 0.43%이다.

- 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)  
초기에 비교 목적으로 사용되어온 NIST의 코발트-60 감마선의 물 흡수선량율은 3개의 다른 열량계의 평균값에 근거하고 있었다. 즉, 흑연-물 흡수선량 열량계, 흑연 흡수선량 열량계, 그리고 밀봉된 물 흡수선량 열량계이다. 이들 열량계로부터 수행된 값의 편차는 평균값으로부터 각각 +0.19%, -0.04%, -0.15%이다. 밀봉-물 열량계가 실온에서 작동되었을지라도 민감도 시험결과 대류가 측정에 미치는 영향은 없다. 상대적인 표준 불확도가 0.4%인 이 열량계가 이제는 미국의 국가 표준계로서 사용된다.
- 캐나다 NRC(National Research Council)  
코발트-60 감마선과 고 에너지 광자선(20 MV X-선)의 경우에 1차 물 흡수선량 표준은 이 물 열량계에 흡수되므로 인한 온도 증가에 측정에 기반하고 있다. 20 MV X선에 대해 화학(Fricke) 선량 측정을 물 열계량법과 비교하여 구한 Fricke 용액의  $\text{Fe}^{3+}$  이온의 방사선 화학 산출량은 방사선 선질과 무관하다는 가정하에 코발트-60 감마선에 대한 흡수선량을 유도한다. 이러한 방법에 기초하여 얻은 물

흡수선량에서의 상대적인 표준 불확도는 약 0.7%이다. 1976년에 수행된 코발트-60 감마선에 대한 초기 일차 물 흡수선량 표준은 흑연열량계와 이온계량 전달체계에 근거하고 있다. 코발트-60 감마선에서 이 두 개의 NRC 물 흡수선량 결정은 잘 일치한다.(0.2%) 1999년에 NRC는 4°C에서 작동하는 Domen-형 밀봉 물 열량계를 그들의 물 흡수선량 표준계로 교정 체계를 확립하였다.

#### 독일 PTB(Physikalisch-technische Bundesanstalt)

PTB에선 1차 흡수선량 표준은 화학적인 방법에 기반을 두고 있다. 마이크로트론에서 생성된 5.6 MeV 전자들을 총 흡수하도록 하여 용액의 흡수질량으로 나눈 부여된 에너지 관점에서 Fricke 용액의 방사선 반응을 결정한다. 지금은  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 물 흡수선량 1차 표준으로 물 열량계를 확립하고 있는 중이다. 이 PTB 물 열량계의 상대표준 불확도는 0.5%이다. 물 흡수선량 대 Fricke 흡수선량의 비를 고려하여, Fricke 용액으로 된 소형 탐침(지름 1 cm, 길이 3 cm, 벽두께 0.5 mm)을 유리 용기 안에 두어 물 팬텀내 임의 점에서의 물 흡수선량을 측정한다. 상대적인 표준 불확도는 0.7%이다.

#### 영국 NPL(National Measurement Laboratory)

NPL에선 흑연이 열 계량법의 선택 매질이다. 물 열량계도 개발 중이다. 현재 NPL에선 고 에너지 광자선과 전자선에 대해 1차 표준 흑연 열량계를 분리하여 유지한다. 물 흡수선량 1차 표준은 흑연 열량계이며, 이것을 사용하여 이온함 벽물질이 흑연으로 된 3개의 기준선량계를 교정한다. 이 기준선량계는 NE 2561 이온함이다. 국가 물 흡수선량 표준은 3개의 기준선량계를 사용하여 물 팬텀 속에서 사용하여 얻은 값들을 평균 보정하여 얻은 값이다.  $^{60}\text{Co}$  감마선에 대한 국가 표준은 3개의 NPL 1차 표준 흑연 실린더형 공동(이온)함의 반응값들을 평균 보정하여 얻은 값이다. NPL에서 사용하는 X-선 교정 에너지들은 의료용 방사선 치료에서 사용하는 에너지들과 유사할 뿐만 아니라 스펙트럼 균일성에 있어서도 일치 한다. 기준 조건은 온도 20°C, 기준 기압 101.325 kPa, 그리고 상대습도 50%에서 실행한다. NPL에서 사용되는 빔 특성 및 선질에 대해 표 1-1-2에서 보여 주고 있다. NPL 전자 선형가속기가 만들어 내는 고에너지 X-선은 지름이 11.3 cm인 원형인데 이는 이온함 중심에서  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  조사면과 같으며, 선원-이온함 중심까지의 거리 1.25 m에서 물 흡수선량율은 약 0.5 Gy/min이다.

표 1-5-2. NPL 물 흡수선량 1차 표준에 사용되는 방사선의 종류

빔 선질	빔모양	기준 조사면의 크기	선원-이온함 거리
$^{60}\text{Co}$ 감마선	정사각형	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	0.75 m
X-선 에너지 (4,6,8,10,12,16,19 MV)	원형	지름 11.3 cm = $10 \times 10 \text{ cm}^2$	1.25 m

- 네덜란드 NMi(Netherlands Measurement Institute)  
 현 NMi 물 흡수선량 표준은 열손실-보상-흑연 열량계를 사용하여 교정정수를 제공하고 있다. 선원-검출기간의 거리 1 m, 측정깊이  $5 \text{ gcm}^{-2}$ , 측정점에서 조사면의 크기  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 기준조건하에서 NMi  $^{60}\text{Co}$  감마선을 수직으로 조사하여 흑연-흡수선량을 결정한다. 상대적인 표준 불확도는 0.5%이다. 밀봉-물형 열량계 개발의 국제적 추이에 따라 NMi도 현재 물열량계 개발에 심혈을 기울이고 있다. NMi 물 열량계는 광자선에 대한 새로운 물 흡수선량 1차 표준으로 사용하기 위해 설계되었고, 이 열량계의 특징은 소형으로 휴대하기 용이하고 사용하기가 편리하다.
- 오스트리아 BEV(Bundesamt für das eich-und Vermessungswesen)  
 BEV의 물 흡수선량 1차 표준은 준등온상태로 작동되는 흑연 열량계에 기반하고 있다. BEV는 흑연흡수선량을 열계량법으로 결정하여 이로부터 두가지 방법으로 물 흡수선량을 결정한다. 첫 번째 계산에 의해 물 흡수선량을 구하고, 두 번째 흑연 흡수선량의 관점에서 교정된 흑연 공동이온함을 사용한다. 두 방법에 대한 상대적인 표준편차는 0.37%이다.
- 이탈리아 ENEA(Ente Per Le Nuove Tecnologie, L'energia E L'ambiente)  
 코발트-60 감마선에 대해 ENEA에서 확립된 물 흡수선량 1차 표준은 Domen형 흑연열량계와 흑연 흡수선량 관점에서 열량계에 대해 미리 교정받은 벽이 두꺼운 이온함을 사용하는 이온계량 이동체계에 기반하고 있다. 물흡수선량  $D_w$ 의 상대적인 표준 불확도는 0.45%이다.
- 프랑스 LPRI(Laboratoire Primaire de Metrologie des Rayonnements Ionisants)  
 BNM-LNHB(Bureau National de Metrologie-Laboratoire National Henri Becquerel)  
 LPRI는 전달이온함으로 흑연과 물에서 측정하는 방법으로 흑연 흡수선량을 열계량법으로 결정하여 이로부터 물 흡수선량을 유도한다. 게다가 두가지 유형의 프리케 선량계를 전달 장비로 연구하였다. 두 과정의 차이는 0.1%이하였다. 물 흡수선

량의 상대적인 표준불확도는 0.35%이다. BNM-LNHB에서 물 흡수선량 표준은 흑연 열량계이다. 사용하고 있는 방사선의 종류는 선질은 코발트-60 감마선과 Saturne 43 선형가속기에서 나오는 명목상의 X-선 에너지는 6 MV, 12 MV, 20 MV이다.

스위스 METAS(Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation)

METAS는 1997년에 교정 서비스를 시작하였다. 1차 표준계로 고 에너지 광자선에 대해선 밀봉 물 열량계를 사용하며, 고 에너지 전자선에 대해선 화학선량계를 사용한다. 교정선질로는 코발트-60 감마선과 10개의 X-선( $TPR_{20,10}=0.639$ 에서  $TPR_{20,10}=0.802$ 사이)과 10개의 전자선( $R_{50}=1.75\text{gcm}^{-2}$ 에서  $8.54\text{gcm}^{-2}$ 사이)을 사용하고 있다.

## (2) 물 흡수선량 1차 표준 비교

각국의 1차 표준기관들은 일차표준의 정확성을 기하기 위해 상호 측정 비교를 하고 있다. 이러한 상호비교는 특히 BIPM에 의해 주도적으로 이뤄지고 있다. 흡수선량 열량계는 원리적으로 이동 가능한 장비이다. 따라서 BIPM과 같은 국제기구에서 두 열량계사이의 비교가 가능하다. 그러나 최근까지는 직접적인 비교가 거의 수행되지 않았다. 다소 일반적으로 전달장비를 사용하여 비교가 이뤄졌다. 이온함은 매력적인 전달장비이다. 이는 운반하기 쉽고, 장기적인 안전성이 있으며, 적절한 미소전류계로 정확히 직접 값을 읽을 수 있기 때문이다.

아래 표 1-1-3은 물 흡수선량 표준을 위해 국제 및 국가 1차 표준기관들에서 사용하는 1차 표준들과 빔선질을 보여주고 있다. 각 선진국의 1차 표준 기관들에서 물 열량계를 개발하려는 추세를 볼 수 있으며, 사용되는 빔선질도 코발트-60 감마선 이외에 실제 의료용으로 사용되는 빔선질에 가까운 고 에너지 X-선 및 전자선들도 사용되고 있다.



표 1-5-3. 1차 표준기관들에서 사용되는 1차 표준과 빔선질.

표준기관	선량계 종류	기준 선질
BIPM(국제도량형국)	이온함	Co-60 감마선
NIST(미국)	흑연-물 흡수선량 열량계 흑연 흡수선량 열량계 밀봉 물열량계	Co-60 감마선
NPL(영국)	흑연열량계 (물열량계 개발중)	Co-60 감마선 고 에너지 X-선 (4, 6, 8, 10, 12, 16, 19 MV) 고 에너지 전자선(16 MeV)
NRC(캐나다)	밀봉 물열량계	Co-60 감마선 20 MV X-선
PTB(독일)	화학(Fricke) 선량계 물열량계(개발중)	5.6 MeV(마이크로트론) Co-60 감마선
BEV(오스트리아)	흑연열량계	Co-60 감마선
ENEA(이탈리아)	흑연열량계	Co-60 감마선
LPRI, BNM-LNHB (프랑스)	흑연열량계	Co-60 감마선 고 에너지 X-선빔 (6, 12, 20 MV)
METAS(스위스)	밀봉 물열량계	Co-60 감마선 10개의 X-선 ( $TPR_{20,10}=0.639 \sim TPR_{20,10}=0.802$ ) 10개의 전자선 ( $R_{50} = 1.75 \text{ gcm}^{-2} \sim 8.54 \text{ gcm}^{-2}$ 사이)
NMi(네덜란드)	흑연열량계 (밀봉 물열량계 개발중)	Co-60 감마선

표 1-5-4. BIPM의 코발트-60 감마선에서의 흑연 및 물 흡수선량 측정 비교.

1차 표준기관	비교년도	결과 ( $D_{lab}/D_{BIPM}$ )
NIST(미국)	1977	0.9996 (흑연)
LMRI (헝가리)	1977	1.0011 (흑연)
PTB (독일)	1977	1.0063 (흑연)
RIVM	1979	1.0008 (흑연)
OMH (헝가리)	1986	0.9978 (흑연)
NPL (영국)	1987	1.0014 (흑연)
IRA (캐나다 오타와)	1989	0.9997 (흑연)
NRC (캐나다)	1989	0.9963 (흑연)
	1998	0.9976 (물)
NMI (네덜란드)	1993	0.9975 (흑연)
LPRI (프랑스)	1993	0.9993 (흑연)
ENEA (이탈리아)	1994	0.9966 (흑연)
ARPANSA (오스트레일리아)	1997	1.0024 (물)
LSDG (벨기에)	1999	0.9948 (물)

1977년에 국가표준연구소들의 흑연흡수선량 일차표준 비교가 BIPM에서 코발트-60 감마선에 대해 시작되었다.  $^{60}\text{Co}$  감마선에 대해 공기커마, 조사선량, 그리고 흑연흡수선량표준들의 국제비교가 수년간 수행되었고, 이들 결과들은 매우 만족스러운 정도로 일치하였다. 역사는 훨씬 짧지만 물 흡수선량 표준들의 비교 또한 수행되어 왔다. 일본의 전자기술연구소(ETL, Electrotechnical Laboratory), 벨기에 Ghent대학의 표준선량측정 연구소, 스위스의 연방도량국(OFMET, the Swiss Federal Office of Metrology)과 같은 일차 표준선량 측정기관들(PSDLs)에서도 물 흡수선량 표준을 개발하고 있는 중이다.

표 1-5-4는 BIPM과 다른 국가 표준기관들 사이의 코발트-60 감마선에 대한 흑연 및 물 흡수선량 측정 비교결과를 보여주며, 모두 최대 차이 0.6% 이내에서 측정결과가 일치하고 있음을 볼 수 있다. 표 1-5-5는 코발트-60 감마선에 대해 BIPM과

다른 국가표준기관들과의 공기커마 표준을 비교한 결과를 보여준다. 1.0% 차이 이내로 잘 일치하고 있음을 보여 준다. 표 1-5-6은 1차 표준기관의 물 흡수선량 상대 표준불확도를 보여 주는 데, 최대 0.7%이내에 들어와 있음을 볼 수 있다.

표 1-5-5. BIPM과 국가 표준기관들 사이의 공기커마 비교.

표준기관	비교연도	결과( $K_{lab, BIPM}$ )
NRC (캐나다)	1975	0.9979, 1.0014(revised)
	1989	1.0015(NE 2571-667)
		1.0032(Capintec PR06-65838)
	1998	1.0014(Capintec PR06-66564) 1.0020
SZMDM (유고슬라비아)	1991	0.9982
	2001	1.0079
OMH (헝가리)	1972	1.0039
	1986	1.0009
	1993	1.0025
	1994	1.0109
BEV (오스트리아)	1980	1.0014
	1989	1.0014
	1994	1.0040
	1995	1.0029
LPRI (프랑스)	1994	1.0025
UDZ	1992	0.9992
LNMRI	1986	1.0010
	1995	1.0004
NIST (미국)	1996	0.9989
GUM (폴란드)	1996	0.9987
VNIIM (러시아)	1997	1.0020
ENEA (이탈리아)	1998	1.0103
SMU (슬로바키아)	2000	1.0033
NCM (불가리아)	2002	1.0117

표 1-5-6. 1차 표준기관의 물 흡수선량 상대 표준불확도.

1차 표준기관	상대 표준불확도 (%)
BIPM (국제)	0.43
NIST (미국)	0.4
NRC (캐나다)	0.7
PTB (독일)	0.7 (Frike 선량계) 0.5 (물 열량계)
NPL (영국)	0.56
NMi (네덜란드)	0.50
BEV (오스트리아)	0.37
ENEA (이탈리아)	0.45
LPRI (프랑스)	0.35

바. 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 초기 프로토콜 개발

(1) 물리량 및 기호 목록

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법에서 사용될 물리량 및 기호를 설정

(2) 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 계산 수식체계 확립

(가) 고 에너지 광자선에 대한 물 흡수선량 계산 수식체계 확립

① 기준점에서의 물 흡수선량 수식체계

기준깊이  $z_{ref}$  에서 물의 흡수선량  $D_{w,Q}$ 를 구하기 위한 기본적인 수식 체계는 다음과 같다

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q_0} \quad (1)$$

$M_Q$ 는 1차 혹은 2차 표준기관에서 사용된 기준 조건하에서의 전기계의 지시값,  $N_{D,w,Q_0}$ 는 표준기관으로부터 제공받은 기준선질에 대한 이온함의 물 흡수선량 교정정수이다. 그러나 실제 임상에서 사용자의 선질이 표준기관에서 이온함의 검·교정시 사용된 기준 선질과 다른 고 에너지 광자선의 선질  $Q$ 을 사용할 경우 물 흡수선량  $D_{w,Q}$ 는 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (2)$$

$k_{Q,Q_0}$ 는 표준기관의 기준선질( $^{60}Co$  감마선)과 실제 사용자 선질간의 차이에 대한 영향을 고려한 선질보정계수이다.  $k_{Q,Q_0}$ 는  $^{60}Co$  감마선에 대한 물 흡수선량 교정정수를 임의의 선질  $Q$ 에 대한 물 흡수선량 교정정수로 변환하는 계수이다. 일반적으로  $k_{Q,Q_0}$ 는 사용자 선질과 이온함에 의존하는 고유한 값을 가지고 있다.  $M_Q$ 는 선질이외의 측정될 일련의 물리량에 영향을 줄 수 있는 기준 조건에 대하여 보정된 전기계의 지시값이다. 즉 이온함의 값을 완전히 보정한 전기계의 지시값  $M_Q$ 는

$$M_Q = M_{raw} k_{TP} k_{elec} k_{pol} k_s \quad [\text{단위 : C 혹은 rdg}] \quad (3)$$

이다. 여기서  $M_{raw}$ 는 C 또는 *rdg* 단위로 나타낸 보정 이전의 전기계의 지시값이고,  $k_{TP}$ 는 기준환경에 대한 온도와 압력에 대한 보정계수이다.  $k_s$ 는 불완전한 이온수집에 대한 이온재결합 보정계수이고,  $k_{pol}$ 는 이온함 전극의 극성효과에 대한 극성효과 보정계수이다.  $k_{elec}$ 는 이온함과 전기계가 하나의 단위로 교정을 받지 않았을 경우 추가되는 보정계수이다.

## ② 고 에너지 광자선의 선질 결정

조직팬텀최대선량비  $TPR_{10}^{20}$ 는 10 cm와 20 cm 깊이에서의 조직팬텀 선량비이다. 현재 임상에서 환자 치료시 SAD 기법을 많이 이용되고 있으며, 국내에서 사용되고 있는 광자선 에너지 범위 (~15 MV X-선)에서도 질량저지능비와 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 또한 TG-51에서 권고하고 있는 순수한 광자 성분만의 깊이선량백분율보다 측정하기 용이하다. 따라서 고 에너지 광자선에 대한 선질 결정은 이러한 장점을 고려하여 기존의 공기커마 표준 및 TRS-398에서 권고하고 있는  $TPR_{10}^{20}$ 로 결정한다. 또한 아래와 같이 식을 이용하여 깊이선량백분율  $PDD_{10}$  혹은  $PDD_{10}^{20}$ 로부터 구할 수 있다.

$$TPR_{10}^{20} = 1.2661PDD_{10}^{20} - 0.0595 \quad (4)$$

$$TPR_{10}^{20} = -0.7898 + 0.0329PDD_{10} - 0.000166(PDD_{10})^2 \quad (5)$$

## ③ 광자선 출력선량 교정절차

- ㉠ 광자선에 대한 출력선량 교정을 위해 물 팬텀을 설치한다.
- ㉡ 교정하고자 하는 사용자 기관의 고 에너지 광자선에 대한 선질,  $TPR_{10}^{20}$  을 결정한다.
- ㉢ 이온함의 모델에 따라 선질,  $TPR_{10}^{20}$  에 해당하는 선질변환계수( $k_{Q,Q_0}$ )를 결정한다.
- ㉣ 교정기관에서 이온함의 교정시 기준조건과의 차이를 보정하기 위한 온도와 기압을 측정한다.
- ㉤ 선원과 물 팬텀 표면간의 거리 SSD=100 cm 혹은 선원과 이온함의 중심간의 거리 SAD= 100 cm에서 조사면의 크기를 10 cm x 10 cm로 설정한다.
- ㉥ 이온함의 중심을 깊이 10 cm에 맞춘다.
- ㉦ 가속기의 MU값(100MU)을 설정한 후 적어도 3번 이상 조사하여 평균값을 구하고 완전히 보정된 전기계의 지시값을 계산한다.
- ㉧ 이온함의 극성효과를 결정하기 위하여 전기계의 (+)와 (-)에 대한 지시값을

측정한다.

- ㉔ 이온함의 이온재결합보정계수를 결정하기 위하여 전기계의 전압 V와 1/2V에서 전기계의 지시값을 측정한다.
- ㉕ 사용자 선질에 대한 물 팬텀내 기준 깊이 10 cm에서 물 흡수선량( $D_{w,Q}$ )을 계산한다.
- ㉖ 최대선량깊이에서 MU당 선량(cGy/MU)을 계산한다.

(나) 고 에너지 전자선에 대한 물 흡수선량 계산 수식체계 확립

- ① 기준점에서의 물 흡수선량 결정을 위한 일반적인 수식체계

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (6)$$

- 선질보정계수  $k_{Q,Q_0}$

$$k_{Q,Q_0} = k_{Q,Q_{int}} k_{Q_{int}/Q_0} \quad (Q_{int} \text{는 } R_{50}=7.5\text{cm인 전자선의 선질}) \quad (7)$$

- 평행평판형 이온함의 교차교정에 의해 기준점에서의 물 흡수선량을 결정하기 위한 수식체계

$$D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_{cross}} k_{Q,Q_{cross}} \quad (8)$$

- 물 흡수선량 교정정수  $N_{D,w,Q_{cross}}$  ( $Q_{cross}$ 는 교차교정선질)

$$N_{D,w,Q_{cross}} = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref}}{M_Q} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0} \quad (9)$$

- 기준 이온함(원통형 이온함)의 전기계 지시값  $M_{Q_{cross}}^{ref}$
- 교정 이온함(평행평판형 이온함)의 전기계 지시값  $M_Q$
- 기준 이온함(원통형 이온함)의 물 흡수선량 교정정수  $N_{D,w,Q_0}^{ref}$
- 교정기관의 교정선질  $Q_0$ 와 교차 교정 선질  $Q_{cross}$  간의 선질보정계수  $k_{Q_{cross},Q_0}$

$$k_{Q_{cross},Q_0} = k_{Q_{cross},Q_{int}} k_{Q_{int},Q_0} \quad (10)$$

- 교정기관의 교정선질  $Q_0$ 와 사용자 전자선의 선질  $Q$ 간의 선질보정계수

$$k_{Q, Q_{cross}}$$

$$k_{Q, Q_{cross}} = k_{Q, Q_{int}} k_{Q_{int}/Q_{cross}} \quad (11)$$

### ② 고 에너지 전자선의 선질 결정

공기커마 표준에서 사용되었던 팬텀 표면에서의 전자선 에너지  $E_0$  대신 흡수선량이 최대흡수선량의 50%가 되는 반가깊이  $R_{50}$ 을 사용한다. 이들 반가깊이는 제작사 및 모델에 관계없이 명목상의 에너지와 선형적인 관계를 가지고 있다.

### ③ 전자선 출력선량 교정절차

- ㉠ 전자선에 대한 출력선량 교정을 위해 물 팬텀을 설치한다.
- ㉡ 전자선의 선질은 넓은 크기의 조사면에 대한 반가깊이  $R_{50}$ 를 구한다.
- ㉢ 교정하고자 하는 전자선의 명목상 에너지에 대하여 사용하는 이온함 모델에 대한 선질변환계수를 구한다.
- ㉣ 선원과 물 팬텀 표면간의 거리  $SSD=100$  cm에서 조사면의 크기를  $10$  cm x  $10$  cm 어플리케이션을 사용한다.
- ㉤ 이온함의 기하학적인 중심을 기준 깊이,  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.6$  cm에 설치한다.
- ㉥ 가속기의 MU값(100MU)을 설정한 후 적어도 3번 이상 조사하여 평균값을 구하고 완전히 보정된 전기계의 지시값을 계산한다.
- ㉦ 온도기압 보정계수, 극성효과 및 이온재결합보정계수를 측정한다.
- ㉧ 사용자 선질에 대한 물 팬텀내 기준 깊이  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.6$  cm에서 물 흡수선량( $D_{w,Q}$ )을 계산한다.
- ㉨ 최대선량깊이에서 MU당 선량(cGy/MU)을 계산한다.

### (다) 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 선량교정 작업서 항목 설정

#### ① 방사선치료기와 물 흡수선량 결정을 위한 기준조건

광자선 및 전자선에 대한 선질, 측정 기준 깊이, 조사면의 크기, 측정 매질 및 조사기법 설정

#### ② 이온함 및 전기계

이온함 및 전기계에 대한 사양, 교정선질, 물 흡수선량 교정정수, 이온함과 전기계의 한 단위교정 여부



③ 전기계 지시값과 영향을 주는 물리량들에 대한 보정

온도 및 기압에 관한 보정계수, 전기계 보정계수, 극성효과 보정계수 및 이온함 재결합보정계수

④ 기준 깊이에서의 물 흡수선량

사용자 선질에 대한 선질 보정계수를 고려하여 기준깊이에서 물 흡수선량 결정

⑤ 최대선량깊이에서의 물 흡수선량

깊이선량백분율을 토대로 최대선량깊이에서의 물 흡수선량을 결정

사. 윈도우 환경에서 물 흡수선량 표준에 기초한 선량 교정 프로그램 개발

(1) 웹(web)에 기반 출력선량 교정 프로그램 개요

(가) Microsoft IIS 6.0 웹 서버와 .NET 플랫폼 상에서 Visual Studio.NET 도구와 C# 언어를 사용하여 인터넷상에서 출력선량을 교정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 개발된 두 종류의 표준측정법은 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 AAPM TG-51과 IAEA TRS-398이며, 이들 선량교정 작업서의 디자인은 이전에 C++로 개발된 형식과 동일하게 하며, 선량 교정 흐름도는 아래 그림과 같다.

(나) AAPM TG-51 프로토콜의 경우 기준점에서의 물 흡수선량 결정을 위한 고 에너지 광자선과 전자선의 수식체계가 다르다. 고 에너지 광자선에서는  $D_w^Q = M \cdot k_Q N_{D,w}^{Co^{60}}$ 이다. 여기서  $M$ 은 IAEA TRS-398 수식체계와 같이 완전히 보정된 이온함에 의해 측정된 값이고,  $k_Q$ 는 선질변환계수,  $N_{D,w}^{Co^{60}}$ 는 기준선질  $^{60}Co$ 에서의 물 흡수선량 교정정수이다.

전자선의 경우  $D_w^Q = M \cdot P_{gr}^Q \cdot k_{R_{50}}' \cdot k_{ecal} \cdot N_{D,w}^{Co^{60}}$ 로  $P_{gr}^Q \cdot k_{R_{50}}' \cdot k_{ecal}$ 는 선질변환계수  $k_Q$ 에 해당되며, 교정기관에서 받은  $N_{D,w}^{Co^{60}}$  값을 기준 전자선에서의 물 흡수선량 교정정수  $N_{D,w}^{Q_{cal}}$  값으로 바꾼 후 다시 사용자 선질에서의 물 흡수선량 교정정수  $N_{D,w}^Q$  값으로 바꾼다.

(다) IAEA TRS-398 프로토콜에서는 고 에너지 광자선과 전자선에 대한 물 흡수선량을 결정하는 수식체계는  $D_{w,Q} = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0}$ 로 동일한 수식이 적용된다. 여기서  $M_Q$ 는 측정하고자 하는 대상은 아니지만 측정값에 영향을 줄 수 있는 물리적인 인자들이 보정된 선량계의 지시값이고,  $N_{D,w,Q_0}$ 는 표준기관에서 제공 받은 선량계의 물 흡수선량 교정정수이다.  $k_{Q,Q_0}$ 는 표준기관의 기준선질  $Q_0$ 와 사용자 기관의 선질  $Q$  사이의 차이에 대한 보정계수이다.

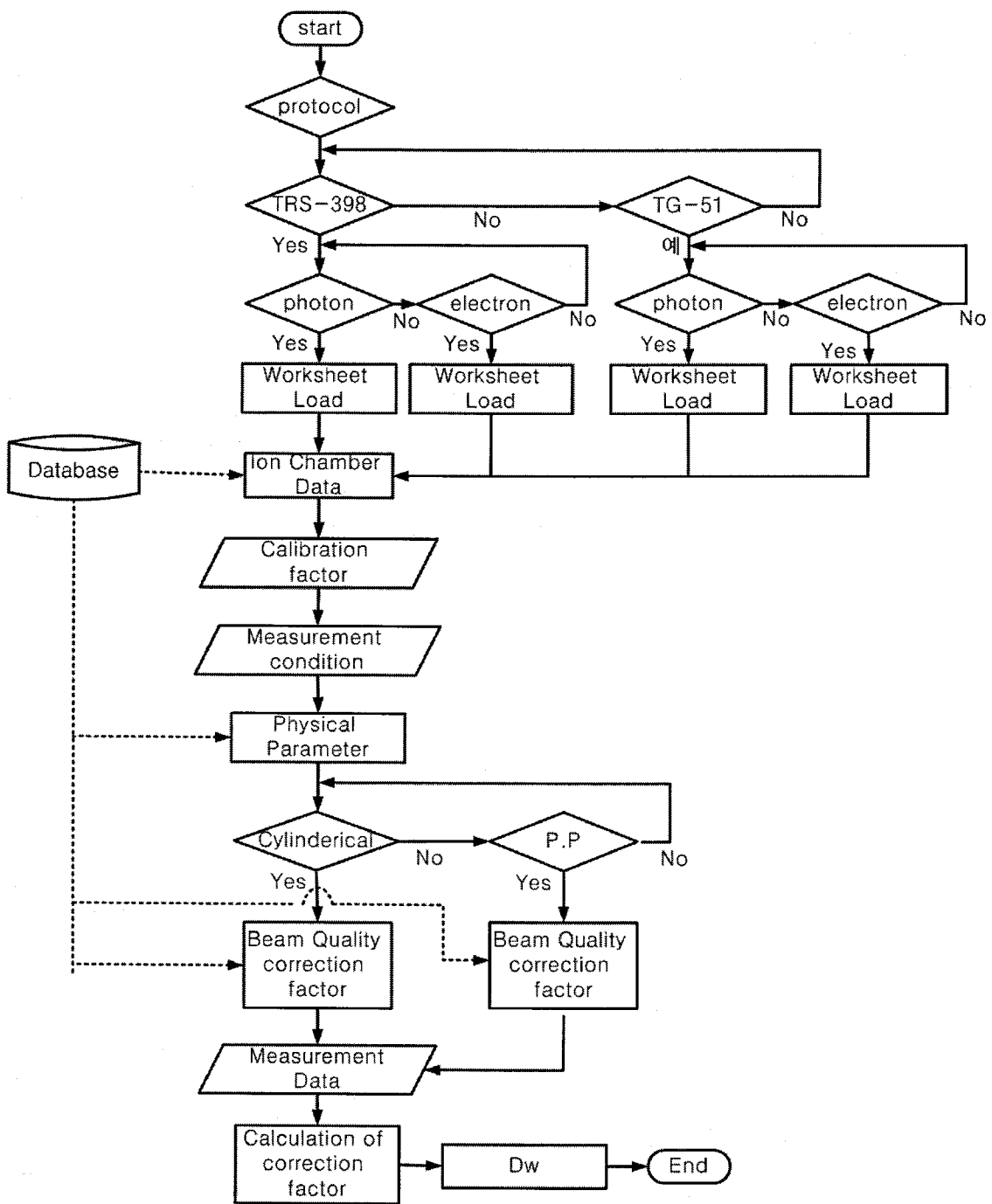


Fig. 1-7-1. 웹 기반 방사선량 교정 프로그램의 흐름도  
(AAPM TG-51과 IAEA TRS-398)

(2) 웹(web)에 기반 출력선량 교정 프로그램(AAPM TG-51)

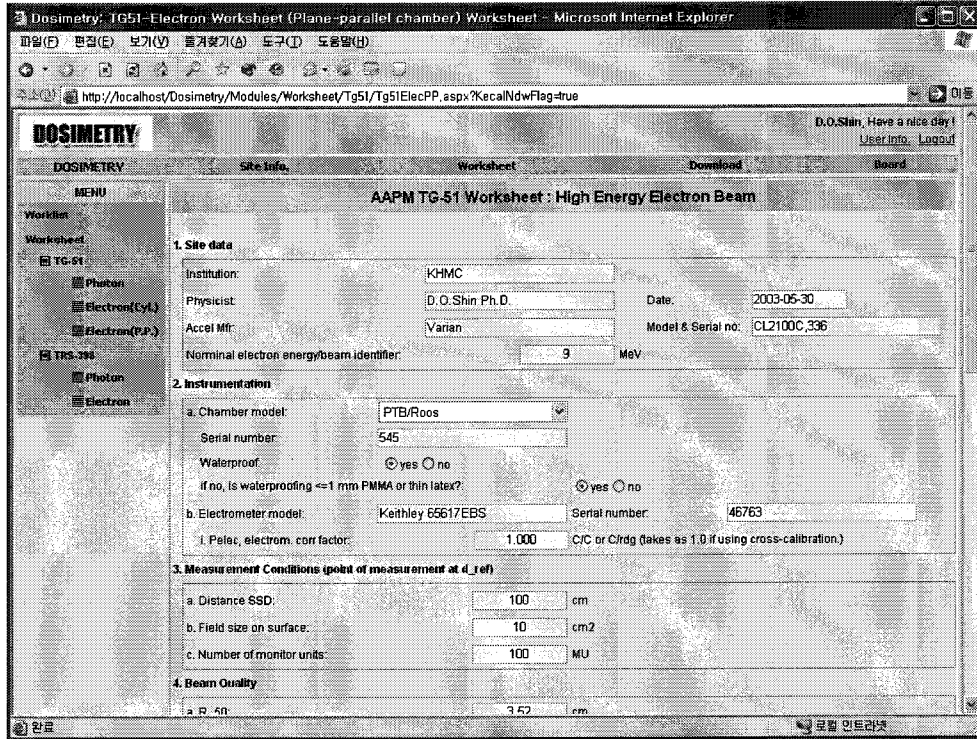


그림 1-7-2. AAPM TG-51 고 에너지 광자선에 대한 선량교정 작업서

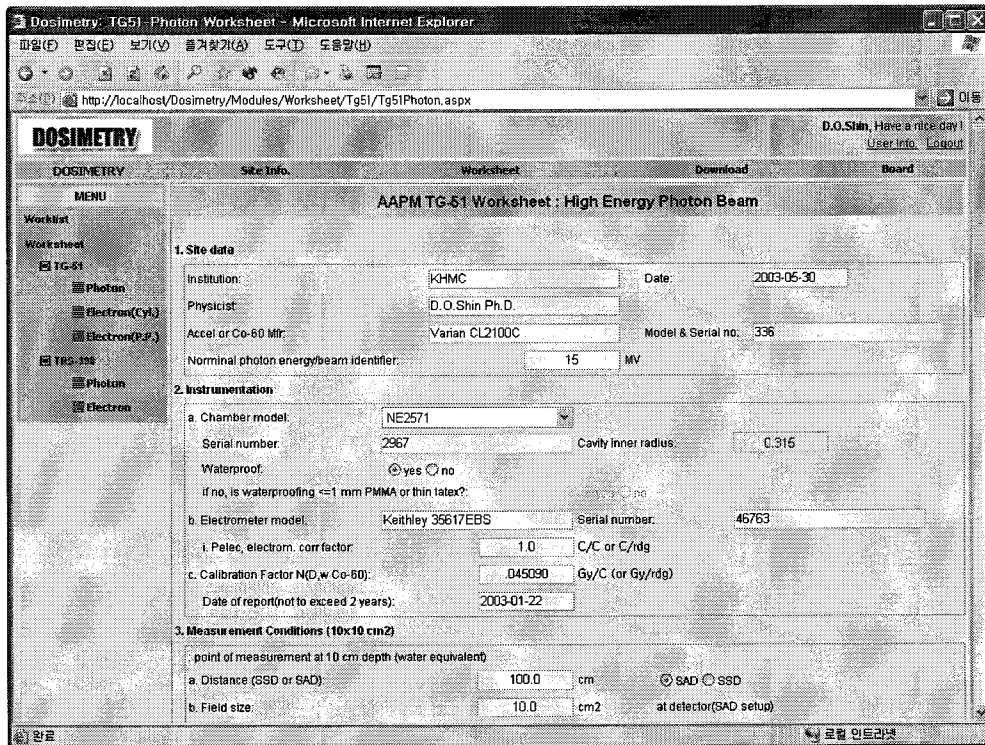


그림 1-7-3. AAPM TG-51 고 에너지 전자선에 대한 선량교정 작업서

(3) 웹(web)에 기반 출력선량 교정 프로그램(IAEA TRS-398)

그림 1-7-4. IAEA TRS-398 고 에너지 광자선에 대한 선량교정 작업서

그림 1-7-5. IAEA TRS-398 고 에너지 전자선에 대한 선량교정 작업서

아. 기준선량계의 교정 방법 및 절차, 품질관리에 대한 기반 기술 구축

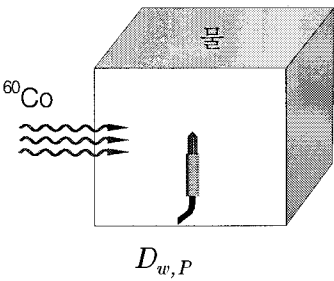
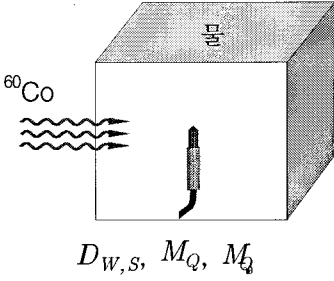
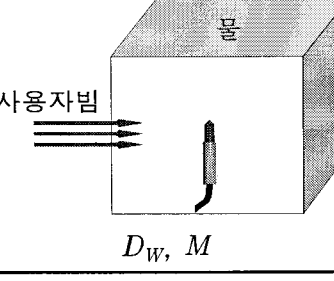
(1) 기준선량계의 교정방법 및 절차

(가) 일차표준기관의 주된 업무는 일차표준을 확립하여 이차표준기관의 이차표준을 교정

(나) 이차 표준기관은 일차표준으로부터 교정받은 이차표준을 사용하여 사용자의 선량계 교정

(다) 국내 실정을 감안하여 사용자 기관의 기준선량계 교정에 사용되는 표준·교정기관의 기준선질은  $^{60}\text{Co}$  감마선이며, 표준기관으로부터 사용자 기관에서의 물 흡수선량 결정까지 표준선량체계의 소급성 및 수식체계는 표 1-8-1과 같다.

표 1-8-1. 1차 표준기관에서 2차 표준기관, 및 사용자 기관까지의 선량 교정 사슬 체계

	기하학적 구조	단계	관련수식체계
PSDL (1차표준)		가	$D_{W,P}$
		나	$N_{D,W,S} = \frac{D_{W,P}}{M_{Q,S}}$
SSDL (2차표준)		다	$D_{W,S}$
		라	$N_{D,W,U} = \frac{D_{W,S}}{M_{Q,U}}$
사용자 기관		마	$k_{Q,Q_0}$
		바	$D_W = N_{D,W} M k_{Q,Q_0}$

(2) 기준선량계의 품질관리

(가) 기준선량계는 최소 1년에 한번 표준·교정기관에 의뢰하여 검·교정을 받으며 교정용 점검선원을 사용하여 기준선량계의 안정성을 주기적으로 점검한다.

(나) 선량측정의 정확성을 유지하기 위하여 기준선량계에 대하여 측정 및 교정 의뢰 전후에 주기적으로 품질관리를 수행하여야 한다.

표 1-8-2. 기준선량계에 대한 주기적인 품질관리

검토항목	중요도	비 고	검토항목	중요도	비 고
온도 및 기압보정	중요	기준온도 및 기압	유효측정점	중요	깊이선량백분율 전자선 측정
이온재결합효과	중요	1/2 전압법	깊이이온화곡선	보통	전자선
극성효과 및 인가전압	중요	전자선 및 평행평판형 이온함	깊이선량곡선	보통	전자선
전기계의 측정범위 설정	보통	교정시 측정 범위	전기계와 이온함	보통	한 단위로 교정
이온함 방수용 슬리브	중요	교정 및 측정시 슬리브 동일, 1 mm 두께 이하	stem 영향	보통	stem부 조사유무
누설전류	보통	측정전후 점검	교정 선원	보통	검·교정의뢰 전후

자. 방사선량 상호 비교체계 구축을 위한 선량측정 기준 조건 설정

(1) 광자선 선량측정 기준조건 설정

(가) 기준조건에서의 물 흡수선량 결정을 위한 장치배열

- 기준조건에서의 물 흡수선량 결정을 위한 선형가속기의 회전중심축, 광조사면과 방사선조사면 및 광거리 지시기의 일치성 등 선량측정에 영향을 주는 기하학적인 일치성을 확인 및 점검한다.

(나) 측정값에 영향을 주는 물리량들 설정

- 기준점에서 물 흡수선량을 결정하는데 측정 대상은 아니지만 측정값에 영향을 주는 물리량으로써 선질 이외에 영향을 주는 물리량들인 각각의 보정계수의 보정법 설정

▪ 그림 1-9-2은 2003년도 국내 7개 지역에 소재한 병원에서 선량 교정시 측정한 기압과 그 지역의 기상청의 해면 및 현지 기압 자료를 상호 비교한 자료이다. 특히 인천 지역의 경우 기상관측소의 현지기압을 교정시 적용한다면 최대 1.56%의 차이가 발생할 수 있어 각 병원은 선량 교정시 교정된 기압계를 사용하는 것을 권고한다. 또한 각 병원은 보유하고 있는 기압계가 고장시 치료실의 기압과 기상청에서 발표하는 현지 및 해면 기압 중 어느 것에 잘 맞는지 숙지하고 있어야 한다.

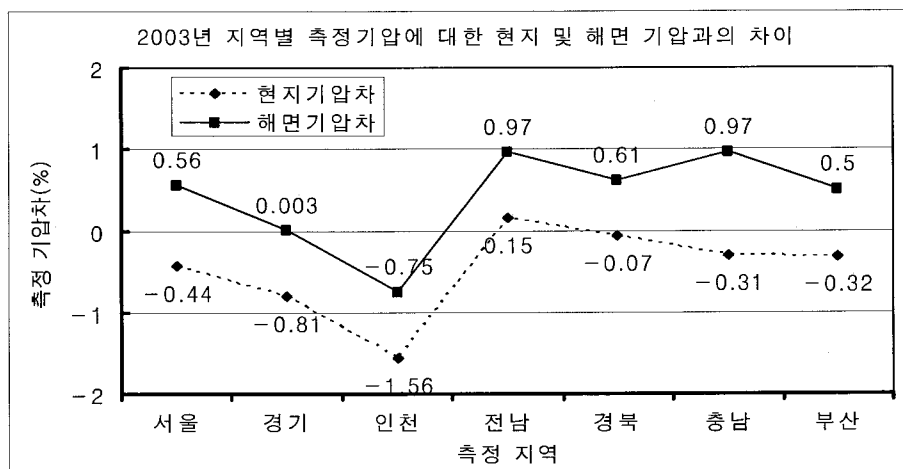


그림 1-9-2. 2003년 지역별 기상청의 현지, 해면 기압과 치료실 측정 기압과의 차이

(다) 방사선량 상호 비교를 위한 선량 측정 기준 조건 설정 여부

· 고 에너지 광자선의 선질  $TPR_{10}^{20}$  (10 cm와 20 cm 깊이에서의 조직팬텀 선량비) 과 물에서의 흡수선량을 측정하기 위한 기준 조건들과 고 에너지 광자선 선질과 물에서의 흡수선량을 측정하는 하는 기학적인 배열을 설정하였다.

표 1-9-1. 고 에너지 광자선의 선질지표 및 흡수선량을 결정하는 기준조건

영향을 주는 물리량	기준조건	
	선질 결정	물 흡수선량 결정
팬텀재질	물	물
이온함 유형	원통형 혹은 평행평판형 이온함	원통형
기준 측정깊이	20 g/cm <sup>2</sup> 와 10 g/cm <sup>2</sup>	10 g/cm <sup>2</sup>
이온함 기준점	원통형 이온함: 공동중심축, 평행평판형 이온함: 충전면	원통형 이온함: 공동중심축
이온함 측정위치	원통형과 평행평판형 모두 기준 측정깊이	기준 측정깊이와 동일
기준 설정거리	SCD 100 cm	SSD 100 cm
기준 조사면 크기	10 × 10 cm <sup>2</sup>	10 × 10 cm <sup>2</sup>
기준온도 및 기압	-	22 °C와 101.3 kPa

(2) 전자선 선량측정 기준조건 설정

(가) 기준깊이에서 물 흡수선량을 결정하기 위한 물리적인 주요 파라미터 결정

① 흡수선량 측정 깊이

물 흡수선량을 측정하기 위한 기준 측정깊이를 결정하기 위하여 3종류의 제작사와 5개의 모델(Scanditronix, Varian 2100EX, 2100C, 1800 및 Siemens)에 대하여 명목상의 에너지와 최대선량깊이( $z_{max}$ ) 및 기준깊이( $z_{ref}$ )와의 관계를 측정한 결과는 그림 1-9-3과 같다. 전자선의 명목상 에너지에 따른 최대선량깊이가 제작사 및 모델별로 상당한 차이를 보이고 있다. 그러나 반가깊이( $R_{50}$ )에 의해 결정한 기준깊이( $z_{ref}$ )는 제작사 및 모델에 의존하지 않고 명목상의 전자선 에너지가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있어 전자선 선량측정의 기준깊이로 결정한다.



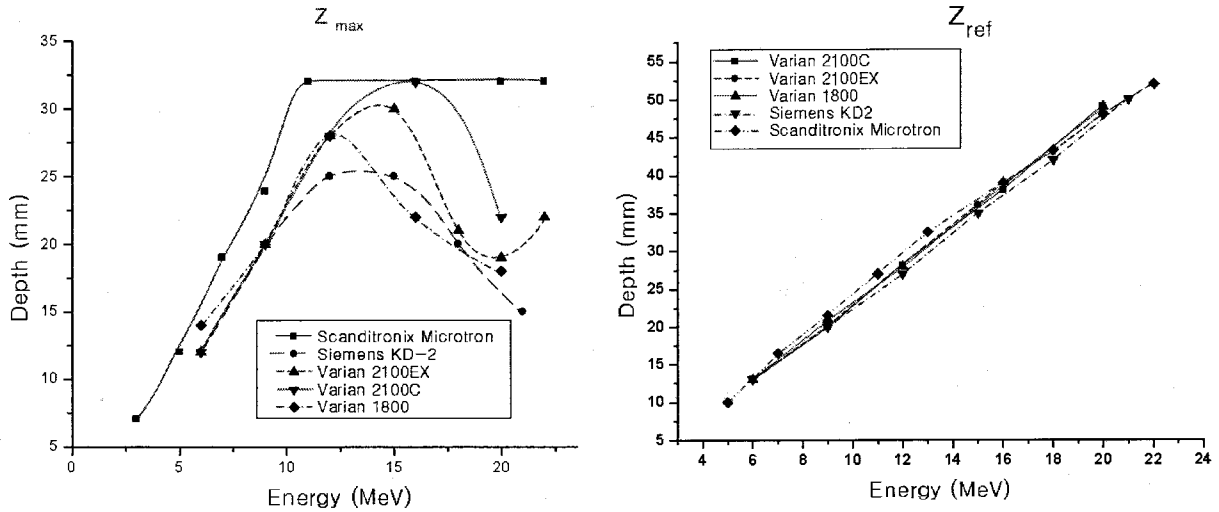


그림 1-9-3. 제작사 및 모델별 명목상의 에너지와 최대선량깊이(좌) 및 기준깊이(우)와의 관계

② 전자선 선질 결정을 위한 조사면의 크기

TRS-398 및 TG-51에서는 전자선의 선질 결정시 조사면의 크기를 전자선의 에너지에 따라 전자평형 상태가 되도록  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  이상의 조사면의 크기를 권고하고 있다. 그러나 Varian 3종류의 모델(2100C, 2100CD, 및 2100EX)에 대하여 인 전자선 에너지에 대해  $10 \times 10$ ,  $15 \times 15$  및  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 의 조사면 크기에 따른  $R_{50}$ 을 조사한 결과  $0.1 \text{ g/cm}^2$  이하로 일치하기 때문에 현재 임상에서 사용하고 있는 모든 전자선 에너지에 대해 선질 결정시 조사면의 크기를  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 결정함.

③ 원통형과 평행평판형 이온함간의 상호 비교

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 AAPM TG-51과 IAEA TRS-398에서는 선량경사도가 급격한 저 에너지 전자선에서의 교란보정 등 선량측정의 불확도를 줄이기 위하여 각각 6 MeV, 10 MeV미만의 전자선 에너지에서 평행평판형 이온함을 권고하고 있다. 본 연구에서 3종류의 저 에너지 전자선(6, 9, 12 MeV)에 대하여 원통형 이온함(PTW 30002)과 평행평판형 이온함(Roos)을 사용하여 기준점에서의 물 흡수선량의 비를 구한 결과 측정된 모든 에너지에 대해서 잘 일치하나 저 에너지로 갈수록 차이가 커지는 경향을 보여 TRS-398에서 0.7%, TG-51에서 0.3%까지 차이가 난다. 따라서 원통형 및 평행평판형 이온함을 모든 에너지에서 사용할 수 있으나 6 MeV이하에서는 평행평판형 이온함의 사용을 권고.

④  $^{60}\text{Co}$  교정과 교차교정간의 상호 비교

평행평판형 이온함은  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 직접 교정하는 경우 선질보정계수의 불확도가 커지기 때문에 TRS-398 및 TG-51에서는 원통형 이온함에 대한 교차 교정을 권고하고 있다. 두 가지 교정 방법 간에 실제로 얼마나 차이가 나는 지를 알아보기 위해 평행평판형 이온함(Roos)에 대해  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 교정하여 물 흡수선량을 구한 결과는 그림 1-9-4와 같다. 또한  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 교정한 PTW 30002 원통형 이온함에 대해 20 MeV 에너지의 전자선에서 교차 교정하여 물 흡수선량을 구해 TRS-398 및 TG-51에 따른 물 흡수선량 비를 비교한 결과  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 교정한 경우 0.7%, 교차 교정한 경우 0.4%로써 TRS-398과 TG-51 간의 선질보정계수 차이의 효과가 줄어 더 잘 일치한다. 따라서 평행평판형 이온함을 사용할 경우  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 교정한 원통형 이온함에 대해 교차 교정할 것을 권고한다. 이 때 교차 교정은 사용자의 전자선 에너지 중 가장 고 에너지의 전자선을 사용하도록 한다.

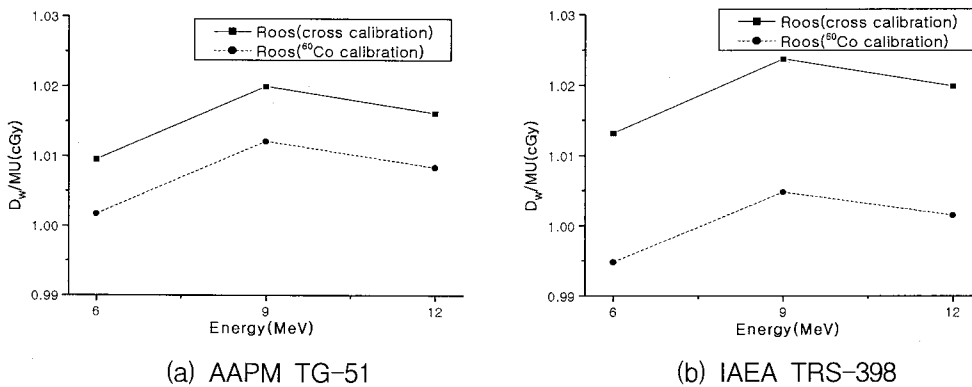


그림 1-9-4. AAPM TG-51과 IAEA TRS-398에서 권고하고 있는 평행평판형 이온함에 대한  $^{60}\text{Co}$  교정과 교차교정간의 흡수선량 상호 비교

(나) 병원간의 방사선량 상호 비교를 위한 선량측정 기준 조건을 설정

기준조건하에서 물 흡수선량 측정을 위한 전자선의 선질지표 및 흡수선량을 결정하는 기준조건들은 표 1-9-2와 같다.

표 1-9-2. 고 에너지 전자선의 선질 지표 및 흡수선량을 결정하는 기준조건

영향을 주는 물리량	기준조건	
	선질 결정	물 흡수선량 결정
팬텀 재질	물	물
이온함 유형	원통형 혹은 평행평판형 이온함	원통형 및 평행평판형 이온함
기준 측정 깊이	이온화곡선이나 깊이선량백분율곡선으로부터 결정	$z_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ cm}$
이온함 기준점	평행평판형이온함: 창내면 원통형 이온함: 공동부피의 중심축상	원통형: 이온함 공동의 중심축 평행평판형: 창내면
이온함 측정위치	평행평판형이온함: 측정위치=이온함기준점 원통형 이온함: 정위치=이온함기준점- $0.5 r_{cav}$	평행평판형: 창내면 원통형: 유효측정점 $0.5 r_{cav}$ 적용
기준 설정 거리	$SSD 100 \text{ cm}$	$SSD 100 \text{ cm}$
기준 조사면 크기	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$10 \times 10 \text{ cm}^2$
기준 온도 및 기압	-	$22 \text{ }^\circ\text{C}$ 와 $101.3 \text{ kPa}$

차. 고 에너지 광자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발

(1) 물 등가고체팬텀에서의 물 흡수선량 결정

- 물 흡수선량 표준측정법을 이용한 고에너지 광자선에 대한 선질 결정과 선량측정을 위한 기준 팬텀은 물팬텀을 권고하고 있으나 취급이 용이하고 재현성이 우수하여 의료용가속기의 주기적인 출력선량 측정 및 정도관리를 위해 고체 팬텀을 사용하고 있다.
- 따라서 국내 임상에 사용되고 있는 일반적인 고체팬텀을 이용한 광자선의 선량 측정과 선질 결정 등을 물 팬텀과 CT영상을 촬영하여 물등가성을 확인하고 고 에너지 광자선의 선질을 결정하는  $TPR_{10}^{20}$ 의 값을 비교하였다.

(가) 물과 고체 팬텀의 물등가성 측정

- 두 종류의 고체 팬텀의 CT 영상을 이용하여 고체 팬텀의 균질성과 물등가성을 확인 하고 마이크로미터를 이용하여 팬텀의 두께를 측정하여 제작사에서 권고하는 두께와 일치하는지 확인하였다.

그림 1-10-1은 CT영상의 CT번호를 확인 하기위해 표준 CT 팬텀을 이용하여 CT 팬텀 중앙에 증류수를 주입한 후 물에 대한 CT번호를 측정 한 후 물과 Plastic Water™(cream colored : Nucear Associates Inc. USA)와 RW3(PTW)물등가팬텀의 CT 번호를 각각 비교하였다.

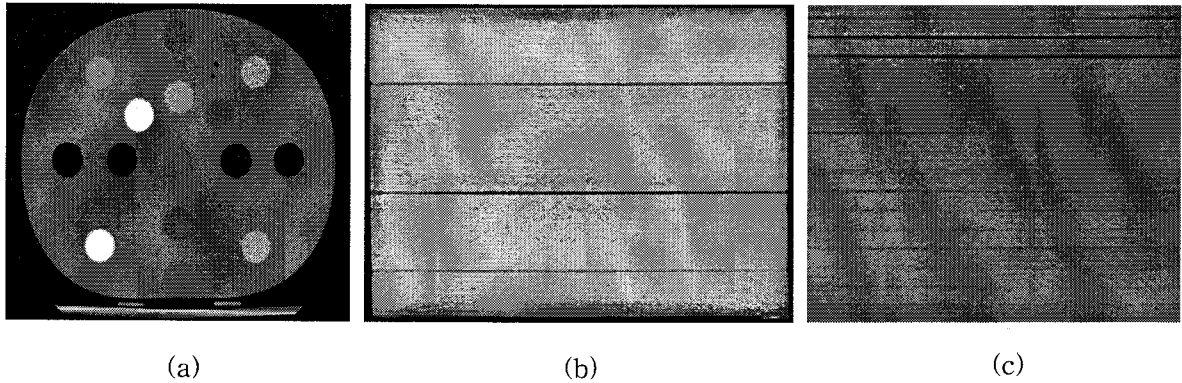


그림 1-10-1. 물과 고체팬텀간의 CT영상 비교 (a) CT 영상 교정용 물 팬텀 (b) Plastic water 팬텀 (c) RW3 물등가 팬텀

표 1-10-1. 물과 고체 팬텀의 CT 값 및 두께 측정

종류	물	Plastic Water	RW3
평균 CT값	-2.15	69.9	-2.66
편차	9.95	7.1	2.56
두께(cm)	10	10.09	10.15

· CT 값을 측정한 결과 RW3가 물에 더 가까운 것으로 나타났으며 육안으로 확인 한 결과 팬텀 사이에 공기층이 있는 것을 확인 하였다. 또 부분에 따라 CT 값도 변화가 있음을 볼 수 있었으며 두께의 편차는 Plastic Water가 더 정확한 것으로 나타났다.

(나) 물과 고체 팬텀의  $TPR_{10}^{20}$  값의 비교

고 에너지 광자선의 선질 지표로  $TPR_{10}^{20}$  값을 이용하여 결정한다. 따라서 고체 팬텀을 이용하여 선질을 결정할 경우 물 팬텀과의 차이를 비교하였다.

표 1-10-2는 명목상의 고 에너지 광자선 6 MV와 15 MV에 대한 선질지표인  $TPR_{10}^{20}$  을 비교 측정 한 것으로 두 종류의 에너지에 대해서 모두 0.4%이내에서 잘 일치하고 있었다. 따라서 고 에너지 광자선의 선질 결정에 고체 팬텀을 이용할 수 있다고 본다.

표 1-10-2. 고 에너지 광자선에서 물과 고체 팬텀간의  $TPR_{10}^{20}$  값의 비교.

에너지	물팬텀	Plastic Water	RW3
6	0.667	0.669	0.668
15	0.759	0.761	0.762

고 에너지 광자선에 대해 물팬텀으로  $TPR_{10}^{20}$  값을 결정한 후 물, Plastic water, RW3를 이용하여 출력선량을 측정 하였을 경우 6 MV광자선의 경우 선량이 최대가 되는  $D_{max}$  깊이에서 모두 물에 대해  $\pm 0.7\%$  이내에서 잘 맞았다. 그러나 15 MV 고 에너지에서는 물과 Plastic water<sup>TM</sup>의 경우 0.8%, 물과 RW3의 경우 -2%의 편차를 보였다.

따라서 고체 팬텀을 이용한 주기적인 선량 측정의 경우 물팬텀과의 정기적인 교차검증이 필요하며, 이를 통해 고체 팬텀에 대한 보정 정수를 결정하여 사용하는 것이 바람직하다고 본다.

표 1-10-3. 고에너지 광자선에서 물과 고체 팬텀간의 출력선량 값의 비교.

에너지	물팬텀	Plastic Water	RW3
6 MV	0.989	0.996	0.982
15 MV	1.0014	1.0094	0.9813

(다) 광자선에 대한 선량교정 작업서 개발(부록 1 표1)

## 카. 전자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발

### (1) 물 등가고체팬텀에서의 물 흡수선량 결정

- IAEA TRS-398 물 흡수선량 표준측정법에서는 고 에너지 전자선에 대한 선질 결정과 선량측정을 위한 기준 팬텀으로  $R_{50} \geq 4 \text{ g/cm}^2$  ( $E_0 \geq 10 \text{ MeV}$ )에서는 물팬텀을 권고하고 있으나,  $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$  ( $E_0 < 10 \text{ MeV}$ )에서는 물과 고체 팬텀을 함께 권고하고 있다.
- 일반적으로 고체팬텀(plastic phantom)의 경우 10 MeV 이하의 전자선에 대해 물속에서의 깊이를 정확히 할 수 없고 이온함이 방수가 아닌 경우의 사용하도록 권고하고 있으며 물에서와 같은 표준측정 깊이를 고려하도록 깊이비례계수(depth-scaling factor :  $c_{pl}$ )와 fluence-scaling factor( $h_{pl}$ )를 고려하도록 하고 있다.
- 고 에너지 전자선에 대한 Virtual Water<sup>TM</sup>와 Plastic Water<sup>TM</sup> 팬텀에 대해 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 16 MeV, 20 MeV의 전자선에 대해  $h_{pl}$ 을 측정하여 고체팬텀을 이용한 전자선의 선량을 측정하였다.

### (2) 고체 팬텀을 이용한 선질 결정

- 고 에너지 전자선에 대해 물에서의 표준측정 깊이의 결정은  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.1 \text{ (g/cm}^2\text{)}$ 로 결정된다.  $R_{50}$ 은

$$R_{50} = 1.029R_{50,ion} - 0.06 \text{ g/cm}^2 \quad (R_{50,ion} \leq 10 \text{ g/cm}^2)$$

$$R_{50} = 1.059R_{50,ion} - 0.37 \text{ g/cm}^2 \quad (R_{50,ion} > 10 \text{ g/cm}^2)$$

로 결정되며 여기서  $R_{50,ion}$ 은 물속에서의 깊이 이온화분포의 50%가 되는 깊이이다. 고체 팬텀을 이용한  $R_{50,ion}$ 은 깊이비례계수(depth-scaling factor:  $c_{pl}$ )를 적용하여 다음과 같이 결정한다.

$$R_{50,ion} = R_{50,ion,pl} c_{pl} \text{ (g/cm}^2\text{)}$$

여기서  $R_{50,ion,pl}$ 은 고체 팬텀에서의 깊이이온화분포가 50%가 되는 깊이이다.

- Plastic Water<sup>TM</sup>(cream colored : Nucler Associates Inc. USA)과 Virtual Water<sup>TM</sup>(MED-TEC, USA)의 두종류에 대해 SSD : 100 cm 10X10 cm<sup>2</sup>을 사용하였고 Roos type의 평행평판형 이온함(TW34001-0545 PTW, Germany)을 Clinac 21EX(Varian, U.S.A)의 20 MeV 고에너지 전자선에서 교차 교정하여 사용하였다.

각 고체 팬텀은 1 mm간격으로 증가하여 깊이 이온화 곡선을 측정하였다.

- 측정된 이온화곡선에서  $R_{50,ion,pl}$ 을 구하고 TRS-398에서 권고하는 cpl값을 적용한 결과 표 1-11-1과 같이 전체 에너지에 대해 물의  $R_{50}$ 에 대해 Plastic Water<sup>TM</sup>의 경우 최대 4.2% 평균 +2%, Virtual Water<sup>TM</sup>의 경우도 최대-4.23%, 평균 -2%의 편차를 보여 전자선에 대한 선질결정은 고체 팬텀 보다는 물팬텀을 이용할 것을 권고한다.

표 1-11-1. 고 에너지 전자선에서 물과 고체 팬텀간의  $R_{50}$  값의 비교.

팬텀 종류 에너지	물팬텀 $R_{50}(g/cm^2)$	Plastic Water <sup>TM</sup> $R_{50}(g/cm^2)$	Virtual Water <sup>TM</sup> $R_{50}(g/cm^2)$
6 MeV	2.39	2.38	2.29
9 MeV	3.52	3.60	3.42
12 MeV	4.93	5.14	4.89
16 MeV	6.60	6.75	6.48
20 MeV	8.23	8.41	8.07

(3) 고체 팬텀을 이용한 전자선의 fluence-scaling factor( $h_{pl}$ )

- 고체 팬텀을 이용한 고에너지 전자선의 측정값은 고체 팬텀에서 얻은 출력값  $M_{Q,pl}$ 의 값에  $M_Q = M_{Q,pl}h_{pl}$ 로 fluence-scaling factor( $h_{pl}$ )값을 보정 해 줌으로써 얻을 수 있다. 표준 측정 깊이에서 얻은 전기계의 측정값을 온도 기압 극성 효과 및 이온재결합에 대한 보정을 한 값에서  $h_{pl}$  값을 구할 수 있었다.
- 표 1-11-2는 각 팬텀에 대한 각각의 에너지에서의  $h_{pl}$ 값을 나타내고 있다. IAEA TRS-398에서 권고하는 Plastic Water<sup>TM</sup>의  $h_{pl}$  값은 0.998을 권고하고 있으며, 10 MeV 이하의 전자선의  $h_{pl}$ 값을 평균한 것으로 10MeV이하의 전자선에서만 적용하도록 권고하고 있다. Bozidar Casar<sup>1)</sup>, 등은 20MeV까지의 전자선에 대한  $h_{pl}$ 값을 평균하여 0.9975로 발표하여 근사한 값을 나타내고 있고, 최근 일본에서 발표한 값은 0.997로 본 연구에서는 0.996의 값과는 다소 차이가 있었다. Virtual Water<sup>TM</sup>의 경우 IAEA TRS-398에서 권고하는  $h_{pl}$  값이 없으나 일본에서 발표한 자료의 경우 10 MeV 이하의 에너지에 대한 평균값이 1.014이며, 본 연구에서는 6MeV에서 12 MeV에 대한 평균 1.013의 값을 얻었다.

1) "Evaluation of water equivalency of Plastic Water for high-energy electron beams using IAEA TRS-398 code of Practice". Radiol. Oncol. 38(1):55-60 (2004)

- 고체 팬텀을 이용하여 전자선을 측정할 경우 물팬텀과 주기적인 교차검증이 필요하며 고체 팬텀을 사용하기전 반드시  $h_{pl}$  값 등을 측정하여 비교한 후 사용하도록 권고한다.

표 1-11-2. 고 에너지 전자선에서 물과 고체 팬텀간의 fluence-scaling factor ( $h_{pl}$ ) 값의 비교.

팬텀종류		에너지						6-12 MeV 평균 $h_{pl}$
		6 MeV	9 MeV	12 MeV	16 MeV	20 MeV		
Plastic Water <sup>TM</sup>	$h_{pl}$	0.998	0.994	0.997	0.997	0.996	0.996	
	$D_{pl}/D_w$	1.001	1.006	1.003	1.003	1.003	-	
Virtual Water <sup>TM</sup>	$h_{pl}$	1.010	1.005	1.025	1.018	1.021	1.013	
	$D_{pl}/D_w$	0.990	0.995	0.975	0.983	0.975	-	

#### (4) 평행평판형이온함을 이용한 전자선 선량측정 결과

##### (가) 교정방법에 따른 선량 차이

- 본 연구에서 물 흡수선량을 표준으로 개발된 표준측정법은 모든 전자선 에너지에 대해 평행평판형이온함을 사용하여 선량측정 할 것을 권고한다. 특히 10 MeV ( $R_{50} \leq 4 \text{ g/cm}^2$ ) 이하 저에너지 전자선에서는 평행평판형이온함을 필수적으로 사용할 것을 명시하고 있다. 또한 평행평판형이온함에 대한 교정방법으로  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 직접 교정정수를 받아 사용하는 것을 제안하고 있다. 하지만 이 방법은 평행평판형이온함들 간의 선량편차 및  $^{60}\text{Co}$  감마선에서 평행평판형이온함에 대한 벽교란보정정수의 불확도가 크다는 이유를 들어 가능한 한 고 에너지 전자선에서 원통형이온함을 이용하여 교차교정 할 것을 권고한다.

- 교차교정방법을 이용한 평행평판형이온함의 사용은 복잡한 측정단계와 계산방법으로 인하여 측정 시 오차가 발생할 가능성이 매우 커 현재 임상에서는 선량측정에 많이 이용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서 선형가속기(Varian CL 2100C, USA)에서 방출되는 전자선 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV에 대해 평행평판형이온함을 이용한 두 가지 교정방법과 원통형이온함을 이용한 선량측정 결과를 상호 비교하였다. 이때 전자선의 물흡수선량은 Famer형의 PTW TN30013 원통형이온함과 Roos형의 PTW



TN34001 평행평판형이온함을 사용하여 결정하였다.

- 표 1-11-3은 원통형이온함에 대한 평행평판형이온함의 물 흡수선량비와 교정방법 차이에 따른 평행평판형이온함의 물 흡수선량비를 나타내었으며, 각각의 물 흡수선량은 그림 1-11-2에 나타내었다.

표 1-11-3. 교정방법에 따른 선량차이

Nominal energy (MeV)	$R_{50}$ (g/cm <sup>2</sup> )	Ratio of cylindrical /PP chamber		Roos type pp chamber
		<sup>60</sup> Co calibration	Cross calibration	Ratio of <sup>60</sup> Co /Cross calib.
6	2.27	1.033	1.024	1.002
9	3.47	1.016	1.009	1.001
12	4.84	1.000	0.999	1.003
16	6.46	0.997	0.997	1.001
20	8.23	1.001	0.998	1.002

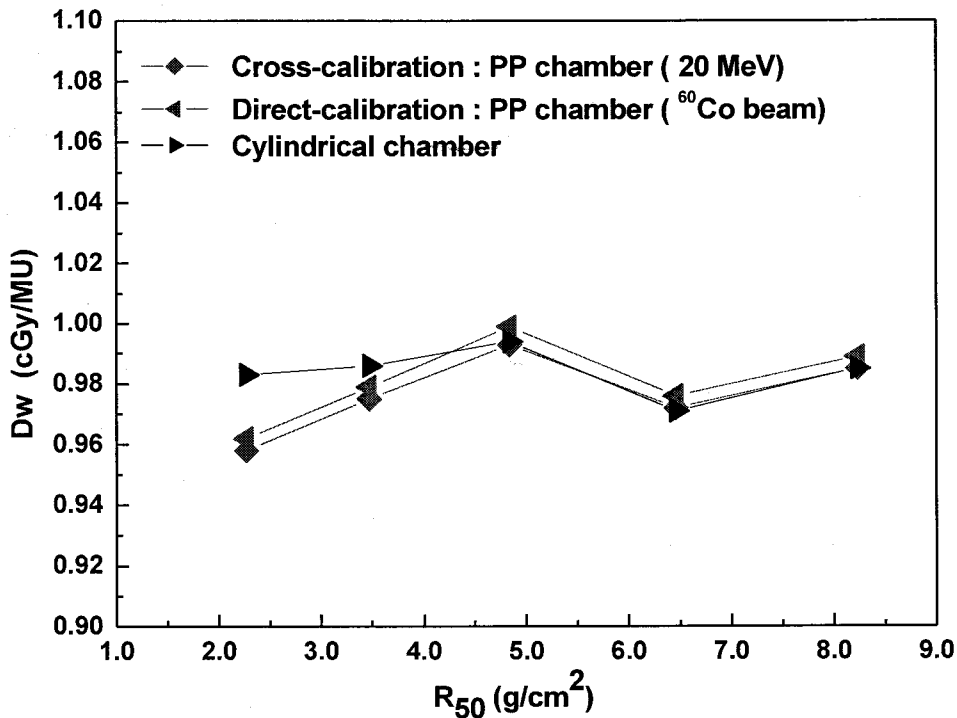


그림 1-11-2 평행평판형 이온함에 대한 <sup>60</sup>Co 교정정수 및 20 MeV 고에너지 전자선을 이용한 교차교정, 원통형이온함을 이용한 물 흡수선량결과

원통형이온함에 대한 평행평판형이온함의 비는 저에너지 전자선에서 최대 3.3% 까지 큰 차이를 보였으나 고에너지 전자선으로 갈수록 최소 0.1%까지 줄어 두 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 권고하고 있는 10 MeV ( $R_{50} \leq 4 \text{ g/cm}^2$ ) 이하의 저에너지 전자선에서는 반드시 평행평판형이온함을 이용하여 선량측정을 해야 함을 알 수 있었다.

$^{60}\text{Co}$  감마선에서 직접 교정정수를 받아 평행평판형이온함으로 측정된 물 흡수선량과 교차교정에 의해 측정된 선량의 차이는 0.3% 정도로 두 교정 방법간의 선량의 차이가 나는 것으로 나타났다.

(나) 평행평판형이온함의 교차교정 시 교차선질에 따른 선량차이

평행평판형이온함을 이용한 교차교정 시, 교차교정 선질에 대해 IAEA (International Atomic Energy Agency) TRS-398에서는 전자선에너지 16 MeV ( $R_{50} \leq 7 \text{ g/cm}^2$ ) 이상에서 교정할 것을 권고하고 있으며 AAPM (American Association of Physicist in Medicine) TG-51은 20 MeV 이상 ( $R_{50} \leq 8.5 \text{ g/cm}^2$ )의 고에너지 전자선에서 교정할 것을 권고하고 있다.

방사선 치료기관의 선형가속기 중 위 프로토콜에서 정의하고 있는 고 에너지 전자선을 갖고 있지 않은 경우도 많아 이에 대하여 국내 실정에 적합한 전자선의 기준 선질을 결정하기 하기 위하여 전자선 에너지에 따라 연구하였음.

실제 교차교정 에너지에 따라 평행평판형이온함의 교정정수 및 선량의 차이를 알아보기 위해 프로토콜에서 권고하고 있는 16 MeV, 20 MeV의 고 에너지 전자선 뿐만 아니라 그 보다 낮은 전자선 에너지인 12 MeV에 대해서도 교차교정을 실시하여 그 결과를 비교하였다. 실험은 각각 2회에 걸쳐 원통형이온함에 대해 평행평판형이온함을 교차교정을 실시하여 교정정수 및 선질보정정수를 산출하였다.

표 1-11-4는 전자선에너지 12 MeV, 16 MeV 그리고 20 MeV에 대해 교차교정에 의한 평행평판형이온함의 교정정수를 나타낸 것이며 이 정수들을 적용하여 결정된 물 흡수선량의 결과는 그림 1-10-3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 20 MeV에서 결정된 교정정수를 사용한 물 흡수선량과 전자선에너지 12, 16 MeV에서의 물 흡수선량 차이는 약 0.01%~0.20% 이내로 비교적 잘 일치하였다.

표 1-11-4. 교차교정에 의한 평행평판형이온함의 교정정수

명목사의 전자선 에너지	교차교정 선질[Cross-Calibration quality( $Q_0$ )]		
	20 MeV	16 MeV	12 MeV
$N_{D,w,Q_{cross}}$ (Gy/nC)	0.0772	0.0780	0.0790
	0.0766	0.0778	0.0786
Deviation (%)	0.78%	0.25%	0.50%

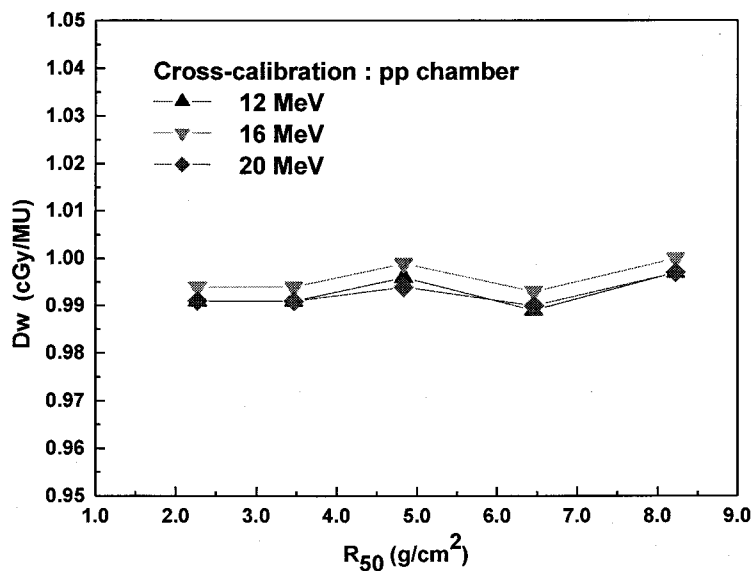


그림 1-11-3 평행평판형 이온함의 교차 교정 선질에 따른 선량차이

그러므로 방사선치료기관의 선형가속기 중 AAPM TG-51 프로토콜에서 권고하고 있는 20 MeV이상의 전자선에너지를 갖고 있지 않은 경우, 그 보다 낮은 전자선에너지를 사용해 평행평판형이온함을 교차교정하더라도 저에너지 전자선만 아니라면 물 흡수선량에는 큰 차이가 없을 것으로 보여 10 MeV이상인 전자선 에너지에 대하여 교차교정을 받아도 측정 불확도내에서 일치할 것으로 사료됨.

(5) 기준선질에 의한 선량교정 작업서 개발(부록 1 표 2)

(6) 전자선에 의한 교차교정에 의한 선량교정 작업서 개발(부록 1 표3)

전자선 교차교정에 의한 교정 이온함의  $N_{D,w,Q_{cross}}^x$  결정 작업서(부록 1 표 4)

고에너지 전자선 흡수선량 결정 작업서(교차 교정된 이온함)(부록 1 표 5)

타. 웹(Web)베이스 선량교정 프로그램 임상 적용

(1) 인터넷(온라인)상에서 출력선량 상호비교 분석

자격있는 의학물리사가 선량교정 프로그램에 사용자 등록을 한 후 웹(web)상에서 운영되고 있는 물 흡수선량 교정 프로그램에 로그인 한 후 사용자 기관의 가속기 및 이온함의 정보를 입력한다. 입력된 정보는 사용자가 선택한 프로토콜에서 자동으로 불러오고, 물리적인 측정값을 웹상에서 입력하면 출력선량이 자동으로 계산되어 저장할 수 있게 된다(그림 1-12-1).

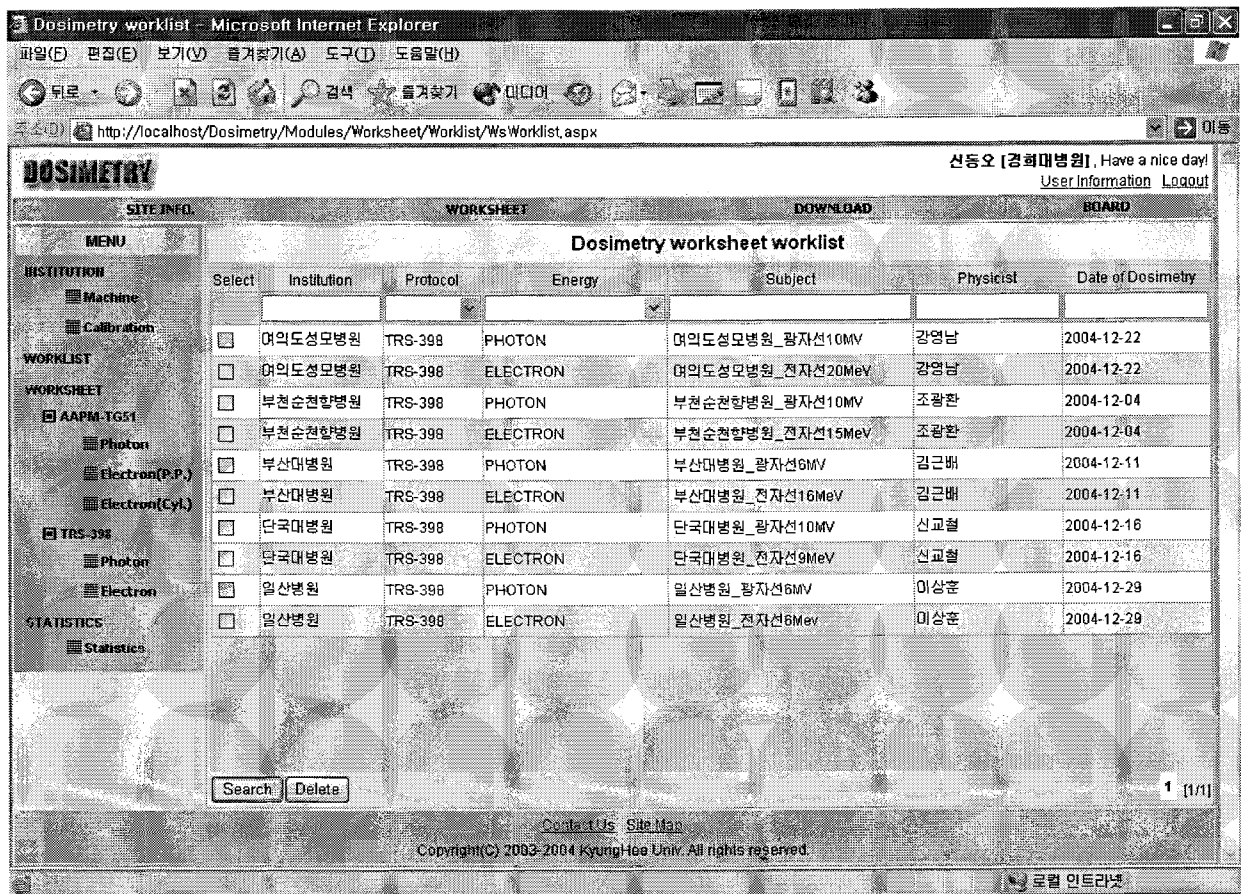


그림 1-12-1. 인터넷상에 접속한 후 출력선량 교정 결과 화면

(2) 웹 기반 선량교정 프로그램 수정 보완

최근 인터넷상에서 문제가 되고 있는 개인정보유출 및 보안문제에 대한 부분을 강화하여 로그인 한 사용자에게 대한 입력 및 저장된 정보만을 볼 수 있으며 서버 관리자 권한 및 보안 조치를 보완 하였다.

최근 뇌정위방사선수술(SRS) 및 세기조절방사선수술(IMRS)의 선량측정에 널리 이용되고 있는 PINPOINT 이온함과 일부 평행평판형 이온함의 선질보정계수가 변경되어 이를 업데이트하였으며, 사용자기관의 기관별 치료기기 및 교정 정보 데이터베이스화하여 사용자의 편의성을 고려하여 방사선량 교정 프로그램을 수정 보완하였다.

과. 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화

물 흡수선량 표준측정법을 국내 실정에 맞게 개발 발전시키고자 국내 권역별 의료기관의 선형가속기를 대상으로 상호교차측정을 실시하였다. 본 상호교차측정에서는 2차 표준 기관인 식품의약품안전청(FDA)에서 교정된 원통형이온함과 미소전위계, 표준기관에서 교정된 온도계 및 디지털 기압계를 이용하였다.

(1) 이온함의 교정정수 및 기준선량계

- 본 기관별 출력선량 비교를 위해 국내 2차 표준기관에서 교정 받은 원통형 이온함을 이용하였다. 원통형이온함은 PTW 사의 PTW30013모델로 식품의약품 안전청으로부터 교정 받았으며, 이를 이용하여 평행평판형이온함인 PTW사의 Roos 이온함을 Varian 사 Clinac 21EX 방사선치료용 선형가속기의 20 MeV 전자선을 이용 교차교정을 실시하여 교정정수를 계산하였음.
- 전위계(electrometer)는 이온함과 함께 교정을 받은 UNIDOSE(PTW, Germany)를 사용하였다.

표 1-13-1. 상호교차측정에 사용된 이온함의 종류 및 교정정수

이온함 종류	제조사	형식	기기번호	교정조건					
				선원	조사면	온도	극성전압	교정깊이	교정기관
Farmer 형 이온함	PTW	PTW 30013	0443	Co-60	10×10cm <sup>2</sup>	22 ℃	+400 V	교정깊이	5g/cm <sup>3</sup>
				SCD	101.3 kPa	KFDA			
				기압					
				교정기관					
				N <sub>K</sub>	0.04894 [Gy/nC]				
				N <sub>D,w</sub>	0.05336 [Gy/nC]				
평행평판형 이온함	PTW	PTW Roos 34001		Electron	20 MeV	22 ℃	+100 V	기기명	Varian 21EX
				R <sub>50</sub>	8.24	K <sub>Q,Q0</sub>	0.897		
				기압	102.8 kPa	교정기관	NCC		
				Cone size	10×10cm <sup>2</sup>	(기기명)			
				교정기관					
				N <sub>D,wQcross</sub>	0.07579 [Gy/nC]				

(2) 기관별 상호 선량측정 비교

- 물 흡수선량교정정수를 바탕으로 하는 표준선량의 측정법을 이용한 선량 측정의 방법 및 절차를 검증하기위해 서울 4개 기관, 경기 3개 기관에 4대의 가속기, 부산의 2개 기관, 충남의 1개 기관에 대해 실시하였다.
- 선량 측정과 계산에서 오차를 가져올 수 있는 각 기관에서 사용하는 온도, 기압의 비교, 광자선에 대한 TPR<sub>20,10</sub>값과 출력선량의 비교 전자선에 대한 출력선량을 비교 하였다.

(가) 기관별 온도기압의 편차

- 상호교차 측정 시 각 기관에서 보유하고 있는 온도계 및 기압계의 측정값과 본 연구의 주관기관에서 보유한 교정된 온도계 및 기압계와의 값을 비교 각각의 편차를 비교하였다.
- 각 기관에 따른 온도 기압의 측정치는 기관에 따라 0.7℃까지 차이가 났으며 평균 0.12℃의 편차를 보여 선량계산시 오차의 큰 요인이 되지 않았다.
- 기압의 경우 일부 기관에서 1.8 kPa의 편차를 보였으며 평균 0.03 kPa의 편차를 보였으며 1.8 kPa의 많은 편차는 선량에 직접적으로 약 1%의 오차를 보였다.

표 1-13-2. 각 기관별 기준기압 및 온도 편차 비교

기관	온도		기압		편차	
	주관기관	측정기관	주관기관	측정기관	온도	기압
A	21.4	22	102.7	102.7	0.6	0
B	19.8	20.5	102.28	102.2	0.7	-0.08
C	21.9	21.6	102.88	102.65	-0.3	-0.23
D	23.3	23.5	102.16	101.9	0.2	-0.26
E	19.1	19.1	102	101.9	0	-0.1
F	24.2	24.2	101.95	101.74	0	-0.21
G	23.4	23.4	103.17	102.88	0	-0.29
H	20.7	20.7	103	102.88	0	-0.12
I	23.5	23.5	100.7	102.5	0	1.8
J	20.4	20.4	102.5	102.3	0	-0.2
평균	21.77	21.89	102.33	102.36	0.12	0.03

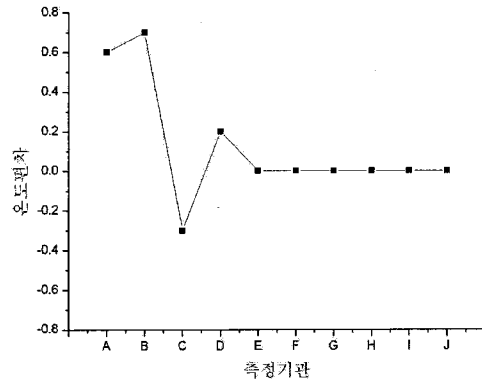
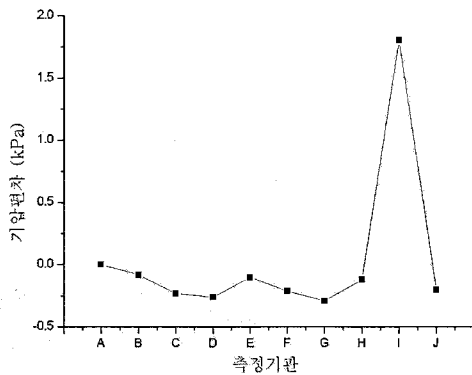


그림 1-13-1 각 측정기관에 따른 기준 온도와 기압과의 편차

(나) 광자선  $TMR_{10}^{20}$  값 비교

- 물 흡수선량 표준 측정법에서 광자선에 대한 선질 지표 사용하는 10 cm와 20cm 깊이에서의 심부선량백분율(PDD)비를 측정하여 TPR값의 비율을 계산 상호 비교하였다.
- 각 기관에서 측정한 평균  $TMR_{10}^{20}$  값은 6 MV광자선의 경우 0.652, 10 MV의 경우 0.711, 15 MV의 경우 0.760의 값을 얻었으며 평균 편차는 6 MV는 -1.8%, 10 MV는 -1.7%, 15 MV는 0.18%의 편차를 보였다. 측정기관이 보유한 TPR 값과 상호비교측정에 의해 얻어진 TPR 값의 편차가 6 MV 광자선에 대해 최대 16.8%, 10 MV에 대해서는 20%의 편차를 보였다.

표 1-13-3. 상호교차 측정에 의한  $TMR_{10}^{20}$  값의 비교

명목상의 X-선 에너지	각 기관의 평균 TPR	측정한 평균 TPR	평균편차
6 MV X-선	0.664	0.652	-0.13
10 MV X-선	0.729	0.711	-0.11
15 MV X-선	0.761	0.760	-0.001

(다) 광자선의 출력선량 비교

- 각 기관에서 사용하는 선량측정프로토콜에 의해 측정한 값을 TRS-277표준프로토콜과, TRS-398 표준 프로토콜을 이용하여 각각 측정한 후 출력선량의 차이를 비교하였음.

- 측정 깊이는 물 10 cm 깊이에서 이루어졌으며 TRS-277의 경우 측정 깊이에서 유효 측정점을 적용하여 이온함 중심축을 1.8 mm 이동하여 측정하였다.
- 표 1-13-4은 측정결과 각 기관에서 제공한 측정값과 기준 이온함을 이용하여 TRS-277을 이용한 측정값과 TRS-398을 이용한 결과 값을 비교한 것으로 각 기관의 자체 측정값과 기준 이온함을 이용한 TRS-277을 이용한 측정과 TRS-398을 이용한 선량계산 알고리즘 간을 비교분석한 것이다.
- 6 MV의 광자선의 경우 선량측정 절차서과 관계없이 평균 1%의 오차 범위를 갖고 있으나 10 MV 또는 15 MV에너지 에서는 평균 약 0.6%이내에서 잘 맞고 있는 것을 볼 수 있었다.
- 그러나 각 기관에서 선량측정용 이온함의 종류와 온도기압의 차이에 따라 최대 5.4%의 편차를 보이고 있었다.

표 1-13-4. 각 기관의 자체 측정값과 기준 이온함을 이용한 선량계산 알고리즘간의 출력선량 비교

기관/프로토콜	기관 : TRS-277		기관 : TRS-398	
	6 MV	10 또는 15 MV	6 MV	10 또는 15 MV
최대 편차	2.7%	5.4%	2.3%	1.62%
평균 편차	0.86%	0.57%	0.98%	0.08%
표준편차	0.83%	2.2%	0.67%	2%

(라) 전자선의 출력선량 비교

- 전자선의 경우 장비의 이동성이 용이하지 않아 전자선의 선질 지표인  $R_{50}$ 은 측정할 수 없어 각 사용자 기관에서 제공하는 값을 사용하였다. 전자선의 출력선량 비교에서는 TRS-398 물 흡수선량 표준측정법에 따라 원통형이온함과 평행평판형이온함의 출력선량을 비교하였다.
- TRS-398 물 흡수선량 표준측정법의 경우 원통형이온함은  $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$  ( $E_0 < 10 \text{ MeV}$ )이하의 전자선에 대해서는 불확실성의 증가로 사용을 권고하고 있지 않아 선질교정 정수인  $k_{Q,Q_0}$  값을 제공하고 있지 않아 TRS-398 물 흡수선량 표준측정법의 부록에 기술된 질량저지능비등을 이용하여 계산하여 사용하였다.



측정결과 대부분의 영역에서  $\pm 2\%$ 영역에서 잘 맞고 있었으나 4 MeV의 전자선의 경우 원통형이온함을 사용한 경우 최대 5.4%의 편차를 보이고 있었으며, 원통형이온함의 경우 기존의 TRS-277 표준측정법을 사용하는 기관의 경우 평행평판형이온함에 비해 측정편차가 작았으나 전자선의 경우 원통형이온함의 불확도의 증가로 인해 평행평판형이온함을 사용하기를 권고한다.

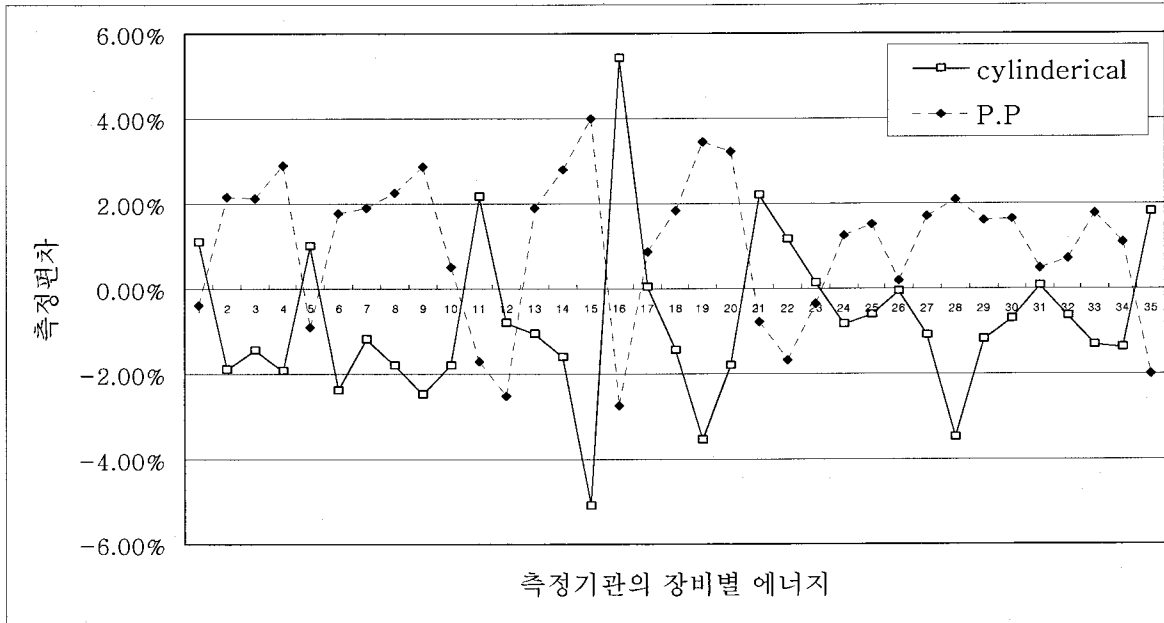


그림 1-13-2. 물흡수선량 표준에 의한 원통형이온함과 평행평판형이온함을 이용한 측정값과 사용자기관의 측정값의 편차.

그림 1-13-3 은 전자선에너지에 따른 평행평판형이온함과 원통형이온함 간의 출력을 비교한 그래프로서 에너지가 낮아질 수록 두 종류의 이온함간의 선량 편차가 커지는 것을 볼 수 있었다.

이는 10 MeV 이하의 전자선에 대한 선질에서 불확도가 높은 원통형이온함의 사용을 권고하지 않는 이유와 잘 일치하고 있으며, 특히 4 MeV 이하의 전자선에서는 높은 불확도와 정확한 측정점의 위치가 어려워 반드시 평행평판형이온함을 쓸 것을 권고한다.

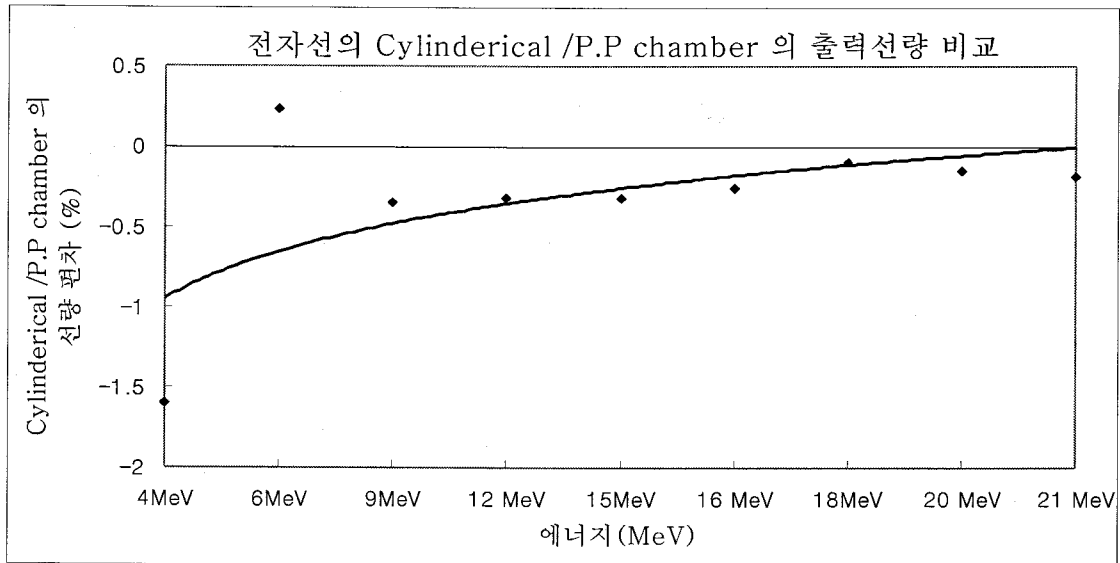


그림 1-13-3. 전자선에너지에 따른 평행평판형이온함과 원통형이온함 간의 출력선량 비교

그림 1-13-4는 전자선에 대한 기관별  $N_k$ 와  $N_{D,w}$ 기반의 표준측정법간의 출력선량을 비교한 것이다. 공기커마교정정수( $N_k$ )를 기반으로 한 표준선량 측정결과가 물 흡수선량교정정수( $N_{D,w}$ )를 기반으로 한 표준측정 선량의 결과보다 평균 약  $-0.9\%$  적게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

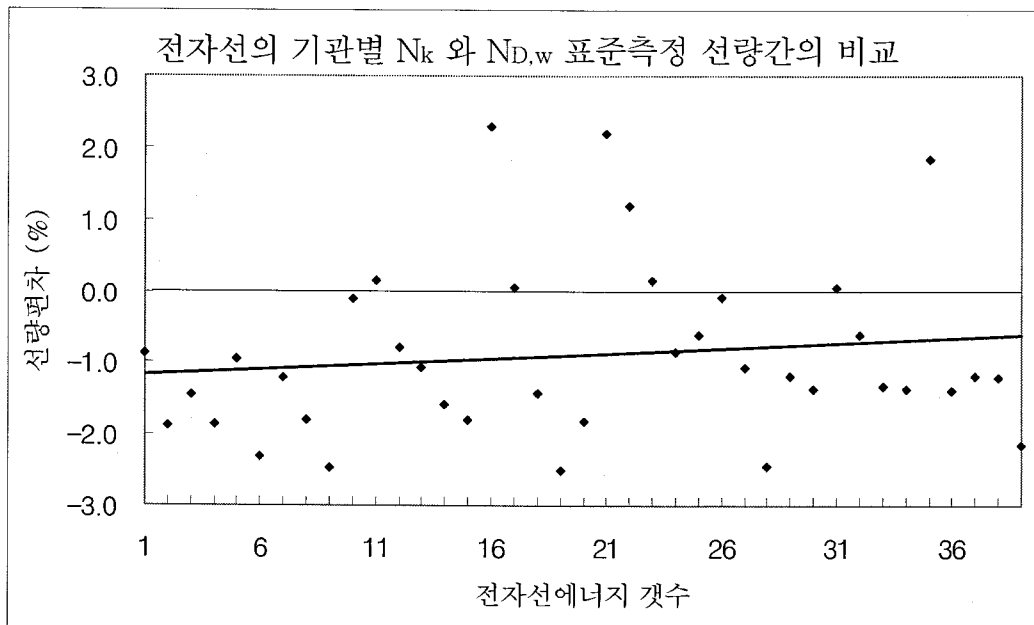


그림 1-13-4.  $N_k$  및  $N_{D,w}$  기반의 표준측정법간의 출력선량 비교

## 제 2 절 방사선치료관련기기의 정도관리 기반기술 개발

### 1. 연구 내용 및 방법

가. 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 절차서의 국내외 자료 수집 및 비교·분석

1) 선형가속기의 정도관리 절차서 수집 및 분석

미국 AAPM TG-13, TG-35, TG-40, TG-45, 일본, ESTRO, WHO 등에서 권고 또 사용하고 있는 정도관리 절차서를 수집하여 주요한 정도관리 검사 항목, 주기, 허용오차 등을 상호 비교 분석함

2) 근접치료기에 대한 정도관리 절차서 수집 및 분석

미국의학물리학회의 TG-40과 TG-56의 정도관리 절차서를 수집하여 주요한 정도관리 검사항목, 주기, 허용오차 등을 상호 비교 분석함.

3) 방사선치료계획용 시스템의 정도관리 절차서 분석

미국 AAPM TG-23, TG-53, TG-55, 스위스 SSRPM, 네덜란드 NCS에서 사용하고 있는 정도관리 절차서를 수집, 분석하여 주요한 정도관리 항목, 주기, 허용오차 등을 요약하고 상호 비교

나. 방사성동위원소의 선량, 비등방성 선량분포, 위치, 삽입기구의 재현성 측정을 위한 기구 설계

선량기울기가 급격하게 변화는 고 선량을 근접치료용 Ir-192 밀봉선원에 대한 선량을 및 선량분포를 측정하기 위하여 조직등가물질인 아크릴에 Radiochromic 필름과 열형광선량계(TLD)를 삽입하여 측정할 수 있는 팬텀의 설계

다. 방사선치료계획용 시스템의 불균질 및 체윤곽 측정용 팬텀 설계 및 제작

불균직조직에 대한 선량계산의 정확성을 확인하기 위하여 조직등가물질인 아크릴과 코르크(페를 모사)를 조합, 체윤곽 보정에 대한 정확성을 확인하기 위하여 조직등가 물질을 이용하여 팬텀을 설계 및 제작

라. 방사선치료관련기기(선형가속기, 근접치료기, 방사선치료계획용시스템)에 대한 정도관리 절차서 초기 모델 개발

마. 근접치료용 방사선량 측정 도구 제작 및 측정 방법 연구

바. 방사선치료관련기기(선형가속기, 근접치료기, 방사선치료계획용 시스템)에 대한 정도관리 절차서 개발

사. 방사선치료계획시스템의 정도관리 보조 프로그램 개발

아. 방사선치료관련기기(선형가속기, 근접치료기, 방사선치료계획용시스템)의 실용성 평가 및 임상 검증

## 2. 연구 결과

### 가. 선형가속기의 정도관리 기반기술개발

#### (1) 선형가속기의 정도관리절차서 수집 및 비교·분석

##### (가) 선형가속기의 국내 현황

국내 56개 방사선종양학과에서 보유하고 있는 선형가속기는 총 86대이며, 제작사 별로 Siemens사 29대, Varian사 49대, Mitsubishi사 4대, NEC사가 2대, 그리고 Phillips 사가 2대이다. Varian사의 선형가속기가 57%로 가장 많이 사용 중이며, 두 번째가 Siemens사의 선형가속기로 34%이다.

선형가속기의 에너지에 따른 분포를 살펴보면 광자선의 경우 4 MV-23 MV의 범위 내에 다양한 에너지가 존재하고 전자선의 경우 6, 10, 12, 15, 21, 23 MeV 등이다. 광자선은 6 MV 에너지가 56%로 가장 많고, 다음으로 10 MV가 23%, 15 MV가 12%의 순으로 나타났다. 선형가속기의 에너지에 따른 분류를 살펴보면, 광자선의 경우 에너지의 값이 다양하지만 주로 6, 10, 15 MV가 사용됨을 알 수 있었다. 전자선의 경우 6 MeV와 10 MeV를 보유하고 있는 기관이 83% 이다.

##### (나) 국가별(미국, 일본, 유럽) 정도관리 항목 및 허용오차

선형가속기의 정도관리 참고문헌으로 가장 많이 이용되고 있는 문서가 미국 의학물리 전문가들이 모여 작성한 AAPM TG-40 "Comprehensive QA for Radiation Oncology"이다. TG-40에는 선형가속기의 정도관리 항목들을 일간, 월간, 연간으로 구분하여 기술하고 있고, 미국 내의 대부분의 의료기관들이 TG-40을 기본으로 한 정도관리 절차서를 작성하여 사용하고 있다. 표 2-1-1은 TG-40에 수록되어 있는 정도관리 항목들을 보여준다.

유럽의 경우 유럽방사선종양학회(ESTRO)에서 유럽의 실정에 맞는 정도관리를 정의하고 새로운 정도관리 프로그램을 개발하였고 최근 IAEA에서도 정도 관리 관련 보고서를 발행하였다, 그러나 두 문서 모두 미국의 AAPM TG-40을 참고문헌으로 사용하여 미국 정도관리 항목들과 거의 중복된다. 따라서 본 연구에서는 미국의 프로그램과 비교하여 조금 차이가 있는 1997년 유럽공동체에서 제시된 정도관리 항목들을 표 2-1-2에 요약하였다.

표 2-1-1. 미국(TG-40) 선형가속기의 정도관리

주기	검사 항목	허용오차
일일점검	선량 측정	
	X-선 출력 안정성	3%
	전자선 출력 안정성	3%
	기계적	
	지시 레이저	2 mm
	거리 표시기(ODI)	2 mm
	안전성	
출입문 연동장치	작동	
시청각적 감시(audiovisual monitor)	작동	

주기	검사 항목	허용오차
월간점검	선량 측정	
	X-선 출력 안정성	2%
	전자선 출력 안정성	2%
	백업 모니터의 안정성	2%
	광자선 중심축에서 선량관련 항목의 안정성 (PDD, TMR)	2%
	전자선의 중심축에서 선량관련 항목의 안정성 (PDD)	2 mm
	x-선 평탄도 안정성	2%
	전자선 평탄도 안정성	3%
	x-선과 전자선의 대칭성	3%
	안전관련 연동장치	
	긴급 시 꺼짐 스위치	작동
	썰기(wedge), 전자선 콘의 연동장치	작동
	기계적 점검	
	광조사면/ 방사선 조사면 일치	2 mm or 1%
	갠트리/콜리메이터 각도 지시기	1도
	썰기(wedge) 위치	2 mm 또는 2%
	트레이 위치	2 mm
	어플리케이터 위치	2 mm
	광조사면 표시	2 mm
	십자선 중심 조준	직경 2 mm
	치료 테이블 위치 지시기	2 mm/ 1 deg
	썰기(wedge)와 블록 트레이의 잠금장치	작동
	콜리메이터 대칭성	2 mm
조사광의 세기	작동	

표 2-1-1. 미국(TG-40) 선형가속기 정도관리(계속)

주기	검사 항목	허용오차
연간점검	선량 측정	
	x-선/ 전자선 출력 안정성	2%
	조사영역에 따른 광자선의 출력 안정성	2%
	어플리케이션 종류에 따른 전자선 출력 안정성	2%
	중심 축 요소 안정성(PDD, TAR)	2%
	축 이탈 선량계수의 안정성	2%
	모든 치료관련 부속품의 투과계수 안정성	2%
	썬기(wedge) 변환 인자 안정성	2%
	모니터함의 선형성	1%
	광자선 출력의 갠트리 각도 의존성	2%
	전자선 출력의 갠트리 각도 의존성	2%
	축 이탈계수의 갠트리 각도 의존성	2%
	호형(Arc) 조사관련 안정성	
	안전한 연동장치	제조회사 절차
	제조업자의 점검 절차	작동
기계적 점검		
콜리메이터 회전 중심점	직경 2 mm	
갠트리 회전중심점	직경 2 mm	
치료테이블 회전 중심점	직경 2 mm	
콜리메이터, 갠트리, 치료테이블 축과 회전중심점과의 일치	직경 2 mm	
방사선과 기계적 회전중심점의 일치	직경 2 mm	
치료테이블 수평	2 mm	
테이블의 수직 움직임	2 mm	

일본의 프로그램으로는 일본중앙학회의 2가지의 연구 그룹(관련기기 연구그룹 및 선량 관리 연구그룹)을 핵심으로 일본의학방사선학회 물리부회(측정위원회) 등 방사선치료 관련학회 및 단체가 공동으로 수행하여 일본 의학물리학회에서 발표되었고, 그 내용이 표 2-1-3.에 표시되었다.

표 2-1-2. 유럽 선형가속기 정도관리

빈도	항목	허용 오차
매일	출력 안정성	±5%
	광 조사면 표시 (10 cm 사각 영역)	2 mm
	십자 와이어와 레이저 축 광선 일치	2 mm
	거리표시기(레이저와 비교)	3 mm
	출입구 연동 장치	
	오디오 시각화 시스템	작동
	장비관련 기록	작동

표 2-1-2. 유럽 선형가속기 정도관리 (계속)

빈도	항목	허용 오차
매주	긴급 시 커짐 스위치	작동
	Touchguard	작동
매주	다른 SSD에서의 거리 표시	3 mm
	포인터(사용될 경우)	2 mm
	교정	± 2%
	썩기 인자 안정성(적절한 썩기 인자를 가진 기계)	± 2%
2주간	갠트리 0도에서 편평성과 대칭성	± 3%
매월	2차적인 접근 연동장치	작동
	긴급 시 해제 스위치	작동
	움직임 연동장치(full check)	작동
	납 트레이 연동장치	작동
	타이머 연동장치 백업	작동
	갠트리와 콜리메이터 회전 스케일	± 0.5°
	1일일 점검에 실행되지 않은 광조사면의 크기	2 mm (작은 크기)
	회전중심점의 빠른 점검	직경 2 mm
	음영 트레이 정렬	중심에서 1 mm
	다른 SSD에서의 거리 표시	2 mm
	치료테이블 움직임 교정	2 mm 상대적
	치료테이블 종방향 움직임	2 mm
	갠트리 각도 표시	1°
	방사선 조사영역 vs 광선 조사영역(1 조사영역 크기)	2 mm
	수중에서의 교정	± 2%
선량비를 이용하는 에너지 점검	선량비 ± 2%	
Arc 치료(사용될 경우)	Dose ± 2%	

3개월간	광조사면 표시기	작동
	필터 연동장치	작동
	선량 측정기와 타이머 연동장치 백업(컴퓨터가 제어)	작동
	연장된 SSD에서 조사영역 크기 표시	3 mm at 150 cm
	갠트리 각도에 따른 출력 교정의 변화	교정 ±2%
	갠트리 각도에 따른 썩기 인자의 변화	±3%
	비표준 조사 영역 크기와 SSD에 대한 선량 점검	±2%
	광조사면 vs 방사선 조사면 크기	2 mm
6개월간	모든 갠트리 각도에서의 편평성과 대칭성	3%
	방사선 회전 중심점	직경 2 mm
	편평성 연동장치	2%
	음영 트레이 정렬(shadow tray alignment)의 방사선 점검	1 mm (isocenter)
	안정성 점검 장치의 교정(사용될 경우)	장비에 의존
선량 측정 시스템의 선형성	1% 이내	

표 2-1-2. 유럽 선형가속기 정도관리 (계속)

빈도	검사항목	허용 오차
연간	냉각수 상태 및 연동장치	작동
	질량이 가해졌을 때 치료테이블 휘어짐	5 mm
	고선량률 연동장치	작동
	회전중심점 점검	직경 2 mm
	출력 교정	± 2%
	선량 측정기와 타이머 연동장치의 백업(컴퓨터제어 아님)	작동
	심부를 및 선량분포도	> 2%
	편평성 측정 모니터함 교정	2%

표 2-1-3. 일본 선형가속기 정도관리

주기	검사항목	허용 오차
주간	선량모니터시스템(X-선, 전자선) 교정 선량률 (Co-60)	± 2%(X), 3%(e) ± 2%
월간	기준 선량계의 점검	± 1%
	X-선의 심부선량 또는 교정 깊이와의 선량비	± 2%
	전자선의 심부선량 또는 교정 깊이와의 선량비	± 3% or ± 2 mm
	X-선 조사면 (주어진 한 개의 조에 대해서의 수치 및 광 표시와의 일치)	± 2 mm
	광 조사면 표시(수치와의 일치)	± 2 mm
	전자선 조사면의 표시 (수치와 광 표시와의 일치, 콜리메이터 사용 중일 때)	± 2 mm
	조사면 콜리메이터의 평행, 직각성	± 0.5°
	환자쪽의 입사점(NSD±25 cm)의 지시	± 2 mm
	환자쪽의 사출점(NSD±25 cm)의 지시	± 3 mm
	회전중심점에서의 지시점의 변위	± 2 mm
	a. 중심심자선(+) 마크	
	b. Front Pointer (또는 광)	
	c. Back Pointer (또는 광)	
	d. Side Pointer (또는 광)	
	e. 기타	
	회전중심점에서의 거리	± 2 mm
	선원에서 거리(Nonisocentric 혹은 SAD 가변 장치)	± 2 mm
	치료테이블상판의 수직 상하	± 2 mm
	치료테이블의 회전 중심점의 회전축	2 mm
선량모니터시스템의 재현성	± 0.5%(X, e)	
선량모니터시스템의 직선성	± 2%(X), 3%(e)	
선량모니터시스템의 일일 안정성	± 2%(X), 3%(e)	
타이머의 단 효과 (Co-60)	± 5%	
전자선의 심부선량 또는 교정 깊이와의 선량비	± 2%	
측방선량분포곡선의 평탄도 (정밀한 점검)	1.06(X:30x30 cm이내) 15 mm (e)	
측방선량분포곡선의 대칭성 및 평탄도 (간단한 점검)	1.03(X:30x30 cm이내) 1.05(e)	
회전중심점에서의 beam축의 변위	± 2 mm	



표 2-1-3. 일본 선형가속기 정도관리 (계속)

주기	검사항목	허용 오차
연간	선량모니터시스템의 갠트리 각도 의존성 호형(Arc mode) 조사 중의 안전성 호형조사의 완료위치 타이머의 갠트리 각도 의존성 (Co-60) 운동조사의 완료위치 (Co-60) 갠트리 각에 의한 심부선량 안정성 심부선량곡선(안전 축, Buildup 영역을 포함) 조사면 변화에 따른 광자선의 출력 계수 조사영역 콜리메이터의 평행 직각성 회전 눈금의 제로(0) 위치 축1. 갠트리 회전 축2. 방사선 head의 횡 방향 치우침 축3. 방사선 head의 종 방향 치우침 축4. 조사영역 콜리메이터의 회전 축5. 치료테이블의 회전 중심점의 회전 축6. 치료테이블 상판 회전 축7. 치료테이블 상판의 횡 방향 치우침 축8. 치료테이블 상판의 종 방향 치우침 치료테이블의 종 방향의 강성	$\pm 3\%$ (X, e) $\pm 2\%$ (X, e) $\pm 5\%$ , $3^\circ$ (X) $\pm 3\%$ $\pm 5\%$ , $\pm 3^\circ$ $\pm 2\text{ mm}$ (X선, 전자선) $\pm 2\%$ (X선, 전자선) $\pm 2\%$ (X선) $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.1^\circ$ $\pm 0.1^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $\pm 0.5^\circ$ $5\text{ mm}$
1-2년	기준 선량계의 교정 온도계 기압계	$\pm 0.5\%$ $\pm 0.5$ $\pm 0.5$

(다) 국가별(미국, 일본, 유럽) 정도관리 항목 비교 및 분석

본 연구에서 참고문헌으로 선정한 세 문서를 비교하여 기계적 및 안전성 관련 항목은 표 2-1-4에 선량관련 항목들은 표 2-1-5에 요약 하였다.

일일 점검항목들을 살펴보면 TG-40(미국)에서 제시하고 있는 일일 점검과정의 항목에는 Co-60 원격치료기 및 선형 가속기 모두 레이저와 거리표시기(ODI)의 점검을 권장하는데 비해 일본은 해당항목이 일일점검 목록에 포함되어 있지 않다. 유럽문서에서 광조사면(Light Field) 크기, 십자선과 레이저의 일치, 레이저와 거리 지시기의 일치에 대한 일일점검에 포함하고 있는 반면 일본 및 미국은 월간 점검 항목에 포함하고 있다. 유럽의 경우 이러한 항목들이 일일 점검항목에 포함되어 있으나 일일 점검 시에는 간단히 실행한다. 예를 들어 광조사면의 크기 점검 시 보통 5×5, 10×10, 15×15, 20×20 cm<sup>2</sup>의 조사면에 대해 점검하지만 일일 점검 시에는 10×10 cm<sup>2</sup> 조사면에 대해서만 실행하고 허용오차는 월간 점검 시 요구되는 허용오차보다 크다.

표 2-1-4. 국가별 정도관리 항목 비교 (안전성 관련 항목)

기계적 및 안전성 관련 검사항목	미국	유럽	일본
레이저	매일	매일	매월
선원에서의 거리표시기	매일	주간, 매월, 3개월	매월
시청각 장비 관리	매일	매일	-
출입문 연동장치	매일	매일	-
백업모니터 안정성	매월	-	-
장비관련 기록	-	매일	-
긴급 시 커짐 스위치	매월	매월	-
쇄기, 전자선 콘의 잠금장치	매월	매월	-
광조사면/방사선 조사면 일치	매월	매월, 3개월	매월
갠트리/콜리메이터 각도 지시기	매월	매월	-
썰기위치	매월	매월	-
트레이 위치	매월	매월	-
어플리케이션 위치	매월	매월	-
광조사면 표시	매월	매일, 매월	매월
십자선 중심조준	매월	매일	매월
치료 테이블 위치 지시기	매월	매월	-
썰기와 블록 트레이의 잠금장치	매월	3개월	-
콜리메이터 대칭성(평행 및 직각)	매월	-	매월, 매년
조사광의 세기	매월	-	-
치료조정실의 모든 표시기	-	3개월	-
음영 트레이 정렬	-	매월, 6개월	-
안전관련 잠금장치 점검 (제조회사에 따름)	매년	매월, 매년	-
편평성 잠금장치	-	6개월	-
콜리메이터 회전 중심점	매년	매년	매년
갠트리 회전 중심점	매년	매년	매년
치료테이블 회전 중심점	매년	매년	매년
콜리메이터, 갠트리, 치료테이블 축과 회전중심점과 일치	매년	매월	매년
치료테이블의 수평	매년	매년	매년
치료테이블의 수직 움직임	매년	매년	매월
방사선과 기계적 회전중심점의 일치	매년	6개월	-
호형(Arc 모드)치료의 안정성 및 정확성	매년	매월	매년
선원에서의 거리(Non isocentric 기구)	-	-	매월
고선량률 잠금장치	-	매년	-

표 2-1-5. 국가별 정도관리 항목 비교 (선량 관련 항목)

선량 관련 검사항목	미국	유럽	일본
광자선 및 전자선 출력 안정성	매일, 매월	매일, 주간, 2주간	주간, 매월
광자선 및 전자선 출력의 하루 중 변화점검	-	-	매월
광자선 및 전자선의 중심축에서의 선량관련 항목의 안정성 (PDD, TMR) 매월, 매년	매월, 매년	매년	매월, 매년
광자선 및 전자선 편평성 유지	매월	2주, 3개월	매월
광자선 및 전자선의 대칭성	매월	2주, 3개월	매월
방사선 편평성 잠금장치	-	6개월	-
방사선 에너지 점검	-	매월	-
조사영역크기에 따른 광자선의 출력 안정성	매년	-	매년
어플리케이션 크기에 따른 전자선 출력 안정성	매년	-	매년
축 이탈계수의 안정성	매년	-	매년
모든 치료관련 부속품의 투과계수 안정성	매년	-	-
썰기의 투과계수 안정성	매년	주간	-
모니터함의 선형성	매년	매년	매월
광자선 및 전자선 출력의 갠트리 각도 의존성	매년	3개월	매년
축 이탈계수의 갠트리 각도 의존성	매년	-	-
심부선량의 갠트리 각도 의존성	-	-	매년
선량계교정	매년	6개월	매년
썰기 계수의 갠트리 의존성	-	3개월	-
표준 조사면 또는 표준 SSD외 조건에서 선량점검	-	3개월	-
기준선량계 점검	-	-	매년
온도계, 기압계	-	-	매월

주간정도 관리는 유럽의 경우만 요구하고 있고 미국 및 일본 정도관리 문서에는 주간 점검을 요구하지 않는다. 유럽의 경우에 주간으로 행해지는 점검항목에는 응급 시 선형가속기 꺼짐 스위치, touchguard, 거리 표시기, 회전중심점 포인터, 광자선 및 전자선 출력 안정성 및 썰기의 투과계수 안정성이 포함된다. 그러나 이러한 항목들 모두 일일 점검 또는 월간 점검에 포함되어 있다.

매달 행해지는 정도관리 항목으로 미국의 보고서에서는 Co-60 Teletherapy의 광선과 방사선 조사영역의 일치, 갠트리와 콜리메이터 각도 일치나 십자선 중심 조준이 포함된다. 선형가속기의 정도 관리 항목은 Co-60 Teletherapy의 것과 유사한데, 빛/방사선 조사영역의 일치, 갠트리/콜리메이터 각도 지시기나 조사영역 크기 지시기, 치료테이블 위치 지시기의 점검 항목이 있다. 그리고 썰기(wedge), 트레이, 어플리케이션의 위치, 십자선 중심조준에 관한 조사도 한다. 일본의 경우에는 월간으로 특히 많은 정도

관리 항목이 제시되고 있는데, 주어진 한 개의 조에 대해서 수치 및 광 표시와의 일치성을 통한 X-선 조사 영역, 전자선 조사영역의 표시를 점검한다. 회전중심점과 치료 테이블에 관한 항목도 포함된다. 유럽에서 월간 행해지는 정도관리에는 갠트리와 콜리메이터 회전 스케일, 다른 조사영역 크기에 대한 시각적 조사영역 크기변화, 여러 조사영역들의 비교에 관한 항목 외에도 회전 중심점의 점검과 치료 테이블의 움직임에 관한 것이 제시되어 있다.

연간 행해지는 항목으로 TG-40에는 Co-60 Teletherapy나 치료 가속기 공통으로 콜리메이터 회전 중심점이나 갠트리, 치료테이블의 회전 중심점에 대한 점검이 제시되어 있다. 콜리메이터, 갠트리, 치료테이블 축과 회전 중심점의 일치 다음으로는 방사선과 기계적 회전 중심점의 일치에 대한 조사를 한다. 테이블에 관한 항목은, 테이블 상판의 처짐이나 수직 움직임에 대한 조사를 한다. 일본의 경우에는 콜리메이터의 평행 직각성, 갠트리와 콜리메이터의 회전에 관한 것과 방사선 head나 치료테이블에 대한 회전 눈금의 제로(0) 위치에 관한 항목이 있다. 유럽에서도 이와 비슷하게 연간 정도관리 항목에 잠겼을 때의 치료 테이블 편차와 회전 중심점의 점검을 포함하고 있다.

국내 치료방사선 장비들의 현황을 조사한 결과 외국과 비슷한 경향을 보인다. Co-60 치료기 사용은 감소되었고 점차적으로 선형 가속기의 사용이 증가 되었다. 따라서 Co-60 치료기의 정도관리 프로그램은 미국 TG-40 에 나와 있는 프로그램만 조사하였다. 선형가속기의 정도관리 항목과 Co-60 치료기의 정도관리 항목들은 몇몇의 항목을 제외하고는 동일하다. 선형가속기의 경우 미국, 일본, 및 유럽에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 정도관리절차서가 수집되어 요약 및 분석 되었다.

미국에서 발표한 TG-40의 경우 유럽이나 일본의 보고서와 비교할 때 측정하는 항목들은 모두 포함하고 있으나 안정성 잠금장치 점검에 대해서는 매년 제조회사의 방침을 따를 것을 권고하나 일본이나 유럽의 경우는 중요한 잠금 장치에 대해서만 점검하도록 되어있다.

유럽의 경우 주목할 만한 사항은 월간 또는 연간 점검 항목들이 일일 또는 주간 점검 리스트에 있는 항목들이 반복 되는데 이때 점검의 강도가 강화된다. 예를 들어 환자선의 대칭성을 점검하는 경우 주간으로 정해진 깊이에서 대칭성을 측정하지만 3개월간 점검 시에는 모든 갠트리 각도에서 심부를 및 선량분포도를 측정하도록 권고한다. 또한 방사선의 출력의 경우 매일 변화의 정도를 점검하고 매주 출력교정을 하도록 권고하며 2주에 1번은 물 팬텀을 이용하여 출력교정 하도록 권고하는 것이 독특하다. 또한

일일점검, 월간점검 등에 반복되는 항목의 경우 일일점검에 비해 월간 또는 연간점검 시의 허용오차 범위가 더욱 작다.

결론적으로 각기 다른 국가의 선형가속기 점검 프로그램을 비교하여 본 결과 점검이 꼭 필요한 항목의 경우 점검빈도는 다를 수 있어도 중복되어 나타난다. 따라서 본 연구 데이터를 근거로 국내 실정에 맞는 선형가속기 프로그램을 개발하였다.

## (2) 국내 13개 기관의 방사선 치료기의 QA 및 QC 점검 목록 현황

국내기관에서 행해지고 있는 정도관리의 실태를 파악하기 위하여 현재 선형가속기를 보유하고 있는 13개 기관의 정도관리절차서를 수집하여 분석하였다. 1차년도 해외사례 연구에 요약된 정도관리절차서에 표기되어 있는 모든 정도관리 항목들을 기계적 항목 및 안전관련 항목(표 2-1-6.), 그리고 선량관련 항목(표 2-1-7.)으로 분류하였다. 각 항목 당 현재 국내에서 정도관리점검이 이행되고 있는 기관의 수를 오른쪽 칼럼에 표시하였다. 또한 해외학회 및 관련기관에서 발표된 참고문헌에는 포함되어있지 않으나 현재 국내에서 점검되고 있는 항목들은 표 2-1-8에 요약하였다.

정도관리 점검 항목 중 대부분의 기관에서 일일점검으로 행하고 있는 항목들에는 출입문 연동장치, 출입문 경고등, 방사선 켜짐/꺼짐 스위치, 환자 감시 장치 점검이 포함되어 있다. 주간 또는 격주 간으로 대부분의 기관에서 수행되고 있는 항목들에는 출력점검, 갠트리 및 콜리메이터 각도점검, 조사량 및 레이저 정렬 등이 있다. 또한 소수의 기관에서 측정하고 있는 항목으로는 충돌방지 시스템, 치료테이블 위치 및 회전 표시기 등이 있다. 연간 점검 항목의 경우 대부분의 기관에서 연간 점검이 없거나 최소의 항목들만 포함하고 있다. 또한 많은 정도관리 항목들이 절차서에 빠져 있는 것으로 보아 국내에서는 아직까지 체계적인 선형가속기의 정도관리가 이루어지지 않고 있다는 것을 의미한다.

선형가속기의 정도관리와 관련하여 법적효력이 있는 문서로는 2001년에 발표된 과학기술부 고시 제 2001-18호 (2001.9.18) “의료분야의 방사선 안전관리에 관한 기술기준”이 유일한 고시이다. 선형가속기가 설치되어 사용된 지 20년이 되었으나 2001 이전에는 정도관리를 권장하는 아무런 법적 규정도 존재하지 않았고 따라서 많은 기관에서 선형가속기의 정도관리가 수행되지 못하였다. 비록 고시가 발표되어 각 기관에서는 기관에 적합한 정도관리절차서를 작성하여 수행하고 있으나 본 연구에서 조사해 본 결과 아직까지는 의학물리사의 수에 비해 정도관리 항목이 과다한 관계로 실제로 정도관리가 제대로 이루어 지지 않고 있음을 알 수 있다.

표 2-1-6. 국내의 정도관리 항목 현황 (기계적 항목)

기계적 항목	국내 현황
레이저 정렬	12
선원에서 거리표시기	7
시청각 장비 관리	11
출입문 연동장치	12
백업모니터 안정성	1
장비관련기록	1
긴급 시 커짐 스위치	12
썰기, 전자선 콘의 잠금장치	0
광조사면/방사선 조사면 일치	8
갠트리/콜리메이터 각도 지시기	11
썰기 위치	4
트레이 위치	1
어플리케이터 위치	1
광조사면 표시	1
십자선 중심조준	7
치료 테이블 위치 지시기	4
썰기와 블록 트레이의 잠금장치	10
콜리메이터 대칭성(평행 및 직각)	4
조사광의 세기	0
치료조정실의 모든 표시기	0
음영 트레이 정렬	1
안전관련 잠금장치 점검 (제조회사에 따름)	0
편평성 잠금장치	0
콜리메이터 회전 중심점	4
갠트리 회전 중심점	4
치료테이블 회전 중심점	5
콜리메이터, 갠트리, 치료테이블 축과 회전중심점과 일치	2
치료테이블의 수평	3
치료테이블의 수직 움직임	3
방사선과 기계적 회전중심점의 일치	1
호형(Arc 모드)치료의 안정성 및 정확성	1
선원에서 거리(Non isocentric 기구)	0
고선량률 잠금장치	0

표 2-1-7. 국내의 정도관리 항목 현황 (선량 관련 항목)

선량 관련 항목	국내 점검 현황
광자선 및 전자선 출력 안정성	11
광자선 및 전자선 출력의 하루 중 변화점검	1
광자선 및 전자선의 중심축에서의 PDD 또는 TMR 의 안정성	5
광자선 및 전자선 편평성 유지	6
광자선 및 전자선의 대칭성	6
방사선 편평성 잠금장치	0
방사선 에너지 점검	4
조사영역크기에 따른 광자선의 출력 안정성	2
어플리케이터 크기에 따른 전자선 출력 안정성	0
축 이탈계수의 안정성	0
모든 치료관련 부속품의 투과계수 안정성	3
썰기의 투과계수 안정성	2
모니터함의 선형성	0
광자선 및 전자선 출력의 갠트리 각도 의존성	2
축 이탈계수의 갠트리 각도 의존성	0
심부선량의 갠트리 각도 의존성	0
선량계교정,	0
썰기 계수의 갠트리 의존성	0
표준 조사면 또는 표준 SSD 외 조건에서 선량점검	0
기준선량계 점검	0
온도계, 기압계	0

(3) 선형가속기에 대한 정도관리절차서 초기 모델 개발

해외 학회 및 여러 기관에서 제시하고 있는 선형가속기의 정도관리 절차서를 참고하는 동시에 국내실정을 고려하여 국내에서 이용할 수 있는 선형가속기의 정도관리 절차서를 개발하였다. 본 연구에서는 다른 해외자료와는 달리 국내여건을 고려하여 반드시 점검되어야 될 필수 항목과 선택적으로 점검될 항목으로 분류하여 허용오차 및 점검 주기를 표시하였다. 필수항목에는 안전하고 고품질의 환자치료를 하기위해 반드시 행하여져야할 항목들이 포함되어 있다. 따라서 일일 점검에 포함되어 있는 항목들에는 오작동 발생 시 장비 및 환자치료에 심각한 문제가 발생할 수 있는 항목들이 포함되었고 월간 점검항목은 환자에게 큰 영향을 미치지 못하는 항목 및 월간동안 장비의 작동상태가 변화할 확률이 적은 항목들이 포함되었다. 마지막으로 연간 항목에는 중요한 항목들이나 점검시간이 많이 소요되는 항목들로 구성되었다.

표 2-1-8. 국내의 정도관리 항목 현황 (해외 참고문헌에 포함되지 않은 항목)

구 분	해외 참고문헌에 포함되지 않은 항목 중 1개 이상의 기관에서 실행하고 있는 항목	국내 현황
기계적 및 안전 관련	MLC 정확성	2
	치료테이블 움직임 제동장치	2
	방사선 켜짐/꺼짐 스위치	9
	Motion Enable/Stop 스위치	4
	출입문 경고등	10
	프레온가스 압력	5
	수위	4
	물의 순도 표시등	4
	수온	5
	수압	4
	WATER CHILLER 온도 및 압력	3
	프레온가스 필터	2
	AIR FILTER	2
	필라멘트 시간	5
	고압시간	4
	가속기 시설 주변 누설 선량 측정	6
	연동장치(interlock) lights	0
선량 관련	전자선의 상대 출력	3



(가) 일일 점검 항목

위에서 제시한 일일 점검 항목 중 대부분의 기관에서 출입문 연동장치, 출입문 경고 등, 방사선 켜짐/꺼짐 스위치, 환자 감시 장치 등은 점검하고 있다. 환자 자세와 관련된 항목 중 하나인 레이저 정렬은 약 50%의 기관에서 일일점검으로 행하고 있고 대부분의 기관에서는 주간/격주 또는 월간으로 행하고 있다. 연동장치표시등, 수위, 냉각수의 온도 및 압력, motion stop 스위치, 치료실 습도 등을 점검하는 기관도 25% 이하이다. 본 연구에서 제안한 필수 측정항목들을 모두 점검할 경우 약 30분의 시간이 소요될 것이며 따라서 각 기관의 여건에 따라 다소 다를 수 있지만 필수항목에 속해 있는 점검은 반드시 수행될 것을 요구한다.

표 2-1-9. 일일 점검 항목

구 분	일일 점검 항목	허용오차	
필수항목	필스탱크 기름온도	25℃	
	필스탱크 기름높이	정상	
	프레온 가스 압력	26 psi 또는 34 psi	
	증류수 수위/순도표시	정상	
	증류수 수온	제조사 권고	
	증류수 수압	70-80 mmHg	
	냉각수 수온	18-25℃	
	냉각수 수압	60 psi	
	치료실 온도	18-25℃	
	치료실 습도	40-60%	
	환자 감시 장치	작동	
	방사선 켜짐/꺼짐 스위치	작동	
	출입문 경고등/연동장치	작동	
	Motion enable 연동장치	작동	
	레이저 정렬(십자선 기준)	2 mm	
	선택항목	필라멘트 시간/고압시간	
		광 조사면 크기(10x10 조사야)	2 mm
거리표시(ODI)		2 mm	
MLC 동작여부(motion check)		작동	
십자선 안정성		반경 1 mm	
원호치료 작동 여부		작동	
광자선/전자선 출력 안정성		3%	
광자선/전자선 편평성 및 대칭성	3%		

(나) 월간 점검 항목

해외사례를 살펴보면 주로 주간 점검 항목과 월간 점검항목이 따로 분류되어 있다. 그러나 주간점검에 포함되어 있는 항목과 월간 점검에 포함되어 있는 항목은 나라별로 다르게 표시되어 있다. 따라서 본 연구에서는 국내의 현 상황을 감안할 때 정도관리를 실행 할 수 있는 측정자의 수에 비해 측정항목이 많은 관계로 주간 점검 사항들도 모두 월간 점검으로 표시하였다.

표 2-1-10. 월간 점검 항목

구 분	월간점검 항목	허용오차
필수항목	일일점검 항목 및 기록 확인	
	광자선 출력 교정	2%
	전자선 출력 교정	3%
	광자선 편평성	2%
	전자선 편평성	3%
	광자선 대칭성	2%
	전자선 대칭성	3%
	긴급 시 꺼짐 스위치	작동
	전자선 콘, 트레이, 썰기 잠금장치	작동
	전자선 콘, 트레이, 썰기 연동장치	작동
	전자선 콘, 트레이, 썰기 움직임	2 mm
	모든 응급차단 스위치들	작동
	치료 테이블 수평이동, 수직이동, 회전 잠금장치	작동
	치료테이블 잠금/열림 표시등	작동
	광조사면 크기	2 mm
	갠트리/콜리메이터 각도 지시기	1°
	광거리 지시기/레이저 정렬	2 mm
	광조사면/ 방사선 조사면의 일치	1% or 2 mm
	치료 테이블 수평, 수직이동 위치표시 정확성	2 mm
선택항목	환자 테이블 회전각도 표시	1°
	콜리 회전에 따른 십자선 안정	2 mm
	조사야 세기	40 Lux 또는 10%

위에서 제시한 월간 점검 항목과 현재 국내기관들이 행하고 있는 항목들을 비교하여 보면 다음과 같다. 방사선의 출력 안정성은 대부분의 기관에서 주간/격주 또는 월간 점검사항에 포함되어 있다. 또한 갠트리/콜리메이터 각도 지시기, 조사영역 크기 지시기, 레이저 정렬도 대부분의 기관에서 시행하고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 월간 점검 항목에 포함되어 있는 항목들은 대부분의 기관에서 주간/격주 또는 월간 점검사항으로 실행하고 있다.

(다) 연간 점검 항목

연간 점검에 포함되어 있는 항목들은 대부분 측정하는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 현재 국내 사정을 고려하여 볼 때 연간 점검을 실제로 행하기에는 어려움이 있다. 이러한 사실은 국내 기관들의 연간 점검 절차서에도 나타난다. 많은 기관들이 연간 점검 항목들을 포함하고 있지 않으나 연간점검 항목이 있는 기관이라 하더라도 측정 항목이 제한되어 있다. 따라서 본 연구에서는 해외에서 제안하고 있는 연간 점검 항목을 포함하되 각 기관별로 인력 및 시간이 허용되는 상황에 맞게 선택적으로 측정하도록 정하였으나 가능한 필수적으로 측정할 것을 제안한다.

표 2-1-11. 연간 점검 항목

구 분	연간 점검 항목	허용오차	
필수항목	월간 점검항목 확인		
	광자선 에너지 안정성(모든 에너지)	2%	
	전자선 에너지 안정성(모든 에너지)	2 mm 또는 5%	
	광자선 단기 및 장기 출력 안정성	2%	
	단 효과(고에너지 광자선)	인수값 대비 10%	
	모니터함 선형성	1%	
	선량률 독립성	2%	
	방사선 회전중심점 일치 (콜리메이터, 갠트리, 테이블)	2 mm	
	선택항목	광자선 심부률 또는 TMR	2%
		조사면 크기에 따른 광자선 출력상수	2%
전자선 어플리케이션의 출력 인자 안정성		2%	
중심 축 요소 안정성(PDD, TAR)		2%	
축 이탈 인자 안정성		2%	
모든 치료 부속품의 변환인자 안정성		2%	
썸기(wedge) 변환 인자 안정성		1%	
광자선 출력 안정성과 갠트리 각도		2%	
축 이탈 인자 안정성과 갠트리 각도		2%	
Arc 모드			
콜리메이터 회전 중심점		2 mm	
갠트리 회전중심점		2 mm	
치료테이블 회전 중심점		2 mm	
방사선과 기계적 회전중심점의 일치		2 mm	
치료테이블 상판의 처짐		2 mm	
테이블의 수직 움직임		2 mm	
조사야 세기			
광자선 누설 방사선량 측정		0.2%	
콜리메이터 투과		1%	

#### (4) 선형가속기 성능 검사방법

선형가속기의 정도관리 절차서에 포함되어 있는 모든 항목들에 대해 국내 정도관리자들이 사용하기 용이하도록 정의, 측정주기, 측정 장비 및 측정방법을 간략히 기술하였고 허용오차를 표기하였다.

##### (가) 일일 점검 항목

- ① 프레온 가스 압력 : 프레온 가스의 압력이 높으면 선형가속기에 심각한 손상을 끼칠 수 있으므로 압력확인  
주기 : 매일  
장비 : 해당사항 없음  
방법 : 선형가속기의 갠트리 몸체 왼쪽 문을 열고 SF6의 게이지를 확인하고 기준 압력 하에 있는지 확인한다.

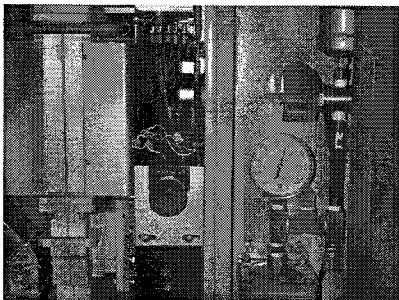


그림 2-1-1. Varian 장비의 프레온 가스 압력 게이지

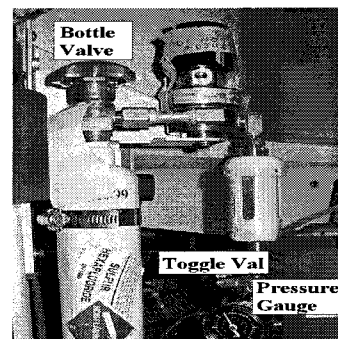


그림 2-1-2. Siemens 장비의 프레온 가스 압력 게이지

허용오차 : Siemens Mevatron: 26 psi, Varian: 34 psi

- ② 수위, 수압, 수온 : 장비내의 물의 높이, 온도 및 압력확인

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- Varian: 갠트리 몸체 뒤편에 있는 캐비닛의 오른쪽을 열고 수위, 수온 및 수압을 확인한다.
- Siemens: 선형가속기의 갠트리 몸체 오른쪽 문을 열고 수위, 수온 및 수압을 확인한다.

허용오차: 제작사에 허용오차 확인

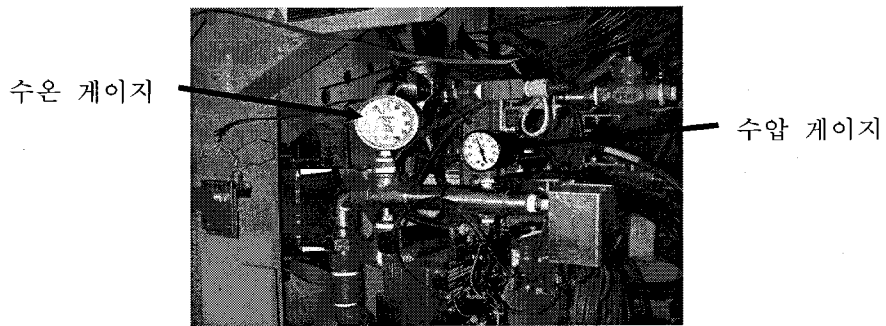


그림 2-1-3. Varian 장비의 수온 및 수압 게이지

③ 물의 순도 표시등 (Water Purity Light)

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 : 물의 순도를 표시하는 표시등을 확인하여 이상 유무를 확인한다.

허용오차 : 이상 또는 정상상태 확인

④ water chiller 온도, 압력

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 : Water Chiller의 온도 및 압력을 확인한다.

허용오차: 제작사에 허용오차 확인

⑤ Motion Stop(또는 Motion Enable) 스위치

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- Motion Stop 또는 Motion enable switch의 작동 여부를 확인한다.
- Siemens 장비의 경우 Motion stop 스위치는 hand pendent, 환자 치료테이블 아래, 그리고 치료 콘솔의 키보드 등 3곳에 위치한다.

허용오차 : 작동 또는 고장

⑥ 출입문 연동장치

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 'Beam On' 을 눌러서 방사선을 조사한다. (약 50 MU)
- 방사선이 조사되는 동안에 치료실 문을 연다.
- 문이 열림과 동시에 방사선이 멈추고 콘솔 화면에 출입문 연동장치 신호가 나타남을 확인한다.

허용오차 : 작동 또는 고장

⑦ 출입문 경고등(warning light)

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 : 방사선이 조사되는 동안 출입문 위에 있는 경고등이 켜지는지 확인하고 방사선 조사가 멈춤과 동시에 경고등이 꺼지는지 확인한다.

허용오차 : 작동 또는 고장

⑧ 방사선 켜짐/꺼짐 스위치

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 : 치료 콘솔에 있는 방사선 켜짐/꺼짐 스위치(Rad On/Rad Off 또는 Beam On/Beam Off 스위치)에 따라 방사선 조사가 시작되고 멈추는지 확인한다.

허용오차 : 작동 또는 고장

⑨ 환자 감시 장치 (오디오, 비디오)

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 환자 감시용 모니터를 켜고 치료실 내부가 보이는지 확인한다.
- 오디오 장치를 켜고 치료실 내부에 있는 사람과 의사소통이 되는지 확인한다.

허용오차 : 작동 또는 고장

⑩ 치료실 온도 및 습도

주기 : 매일

장비 : 온도계 및 습도계

방법 : 치료실 내의 온도 및 습도를 측정한다.

허용오차 : 온도: 18 - 25℃, 습도: 40 - 60%

⑪ 레이저 정렬

주기 : 매일

장비 : 모눈종이가 붙어있는 네모난 플라스틱 또는 Iso-Align device

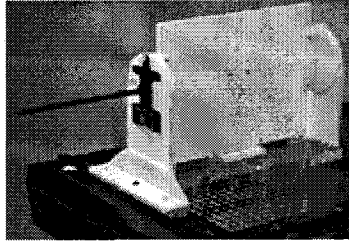


그림 2-1-4. Iso-Align device

방법 :

- 그림에서와 같이 Optical Distance Indicator(ODI)를 이용해서 모눈종이가 붙어 있는 하얀색 플라스틱 지그 또는 Iso-align device 윗면이 100 cm가 되도록 한다.

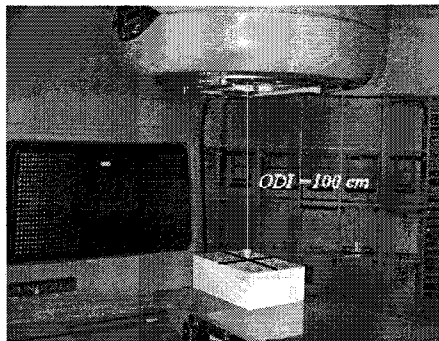


그림 2-1-5. ODI 표시기

- 조사영역의 크기를 20×20 cm<sup>2</sup>로 설정하고 조준용 십자선의 중심에 지그를 맞춘다.
- 시상레이저(sagittal laser)가 지그의 중심과 일치하는지 확인한다.
- 양쪽 벽면에 장착된 측면 레이저들이 지그의 중심과 일치하는지 확인한다.
- 갠트리를 회전한 후, 전면 레이저(anterior laser)를 점검한다.
- 갠트리를 180도 놓고 A4 용지(레이저의가 통과하는 용지)를 이용하여 두개의 측면 레이저가 서로 일치하는지 확인한다.

허용오차 : 2 mm

⑫ 광자선 출력 안정성

주기 : 매일

장비 : Daily Check Device 또는 solid water phantom, 이온함, electrometer

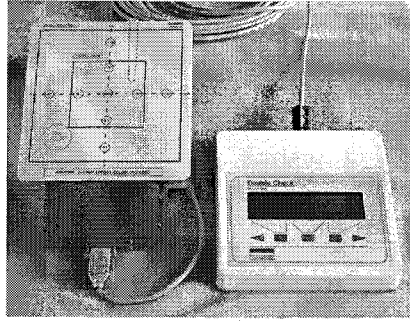


그림 2-1-6. Daily Check Device (DCD)

방법 :

- 갠트리를 0°에 놓고 콜리메이터 조사영역의 크기를 10x10 cm<sup>2</sup>로 세팅한다.
- DCD 장치를 치료기의 십자선(cross hair)에 맞춘다. (이온함을 사용할 시는 이온함의 중심점을 십자선에 맞춘다.)
- 1 cm 두께의 solid water를 DCD 장치 또는 이온함 위에 올린 후 SSD를 100 cm에 고정한다.
- 100 MU 씩 방사선을 조사한 후 electrometer에 표시된 값을 기재한 후 (2회 이상 반복) 평균을 계산해 기준값과 비교한다.
- 모든 에너지의 광자선에 대해 실행

허용오차 : 기준값의 3%

### ⑬ 전자선 출력 안정성

⑫번(광자선 출력 안정성)과 동일하다. 한 에너지 전자선에 대해서 실행하되 매일 점검하는 에너지를 바꾼다.

### ⑭ 광 거리표시기(ODI)

주기 : 매일

장비 : Pointer (장비회사에서 구매) 또는 Iso-Align device

방법 :

- 갠트리를 0°에 맞추고, 콜리메이터 조사영역의 크기를 10x10 cm로 맞춘다.
- 환자테이블 위에 흰 종이를 고정하고, 조사면 투광램프와 광 거리표시기를 이용하여 조사면의 중심십자선이 SSD 100 cm에 맞도록 환자테이블의 높이를 조절한다.
- 포인터를 사용하여 환자테이블의 높이가 기준에 맞는지 확인한다.
- SSD 80, 90, 100, 110, 120, 140 cm에서 실험을 반복한다.

허용오차 : ± 2 mm



⑮ MLC 동작여부(motion check)

주기 : 매일

장비 : MLC 점검판 (장비 업체로부터 구입 또는 자체제작)

방법 :

- 그림과 같이 MLC 점검판의 윗면을 SSD 100 cm에 맞춘다.
- 판 위의 격자선을 조준용 십자선에 맞추고, MLC의 위치가 점검판 위에 표시된 선들과 비교해서 일치하는지 점검한다.

허용오차 : 1 mm

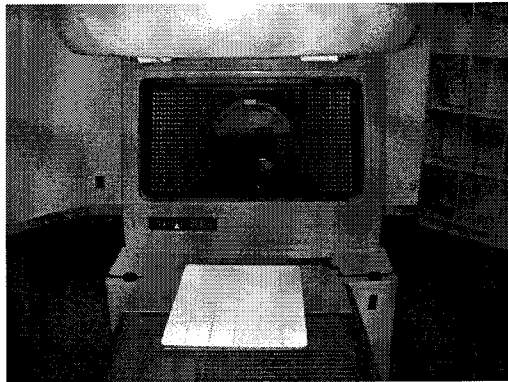


그림 2-1-7. MLC check-board

⑯ 광 조사면 크기

주기 : 매일

장비 : 모눈종이

방법 :

- 갠트리 각을 0에 놓은 후 정밀한 수평기를 사용하여 갠트리 각을 변화 하면서 수평을 맞추고 콜리메이터의 각 또한 0°에 맞춘다.
- 환자테이블의 윗면을 SSD 100 cm에 놓고, 콜리메이터를 90°에서 270°로 돌리면서 포인터가 회전중심점에 단단히 부착되어 있는지 확인한다.
- 1 mm 간격의 모눈종이의 중심이 환자테이블의 위의 중심축과 일치하도록 환자 테이블위에 붙인다.
- 콜리메이터를 90°에서 270°까지 돌리면서 광조사면의 중심 십자선과 기계적인 중심점이 일치하는지 관찰하면서 기준에 맞는지 확인한다.
- 광조사면의 크기를 10×10 cm로 하고 광조사면의 중심십자선이 모눈종이의 중심에 오도록 맞춘 후 조사면의 각 변이 서로 평행 또는 수직이 되는지 관찰하고 조사면의 크기가 모눈종이에 표시된 크기와 일치하는지 확인한다.
- 갠트리에 표시되는 조사면의 디지털 지시치를 확인하여 기준과 일치하는지 확인한다.

• 위의 절차를 5×5 cm<sup>2</sup> 및 20×20 cm<sup>2</sup>의 조사면의 크기에 대하여 반복 확인한다.

허용오차 : 광조사면의 크기와 콜리메이터 지시치의 차이는 2.0 mm 이내 이어야 하며, 광조사면의 각각의 대변은 서로 평행 및 수직으로 그 차이는 2.0° 이내 이어야 하고, 광조사면의 중심 십자선과 기계적인 중심선의 차이는 2.0 mm 이내 이어야 하고, 서로 2.0° 이내로 평행이어야 한다. 또한 콜리메이터의 실제 셔터가 독립동작 기능이 가능한 콜리메이터의 광조사면 조절 범위와 디지털 지시치의 차이는 ± 2.0 mm 이내이어야 하며, 비대칭 동작모드에서 대칭 동작 모드로 변환하였을 때는 자동적으로 대칭모드의 중심으로 재설정되어야 한다.

⑰ 콜리메이터 회전에 따른 십자선의 안정성

주기 : 매일

장비 : 모눈종이

방법 :

- 모눈종이를 광조사면의 중앙에 놓고 십자선 중심과 일치 하는지 확인한다.
- 콜리메이터를 180° 까지 돌리면서 십자선의 교차점이 모눈종이의 교차점이 일치하는지 확인한다.

허용오차: 반경 1 mm

⑱ 필라멘트 시간: 장비사용 시작부터 현재까지의 장비의 전원이 켜 있는 총 시간 표시

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법: 치료 장비의 필라멘트 시간을 기록한다.

허용오차: 해당사항 없음

⑲ 고압 시간: 장비사용 시작부터 현재까지의 총 beam on되어 있는 시간 표시

주기 : 매일

장비 : 해당사항 없음

방법 : 치료 장비의 고압시간을 기록한다.

(나) 월간 점검 항목

① X-선 출력 교정

국내용 : 한국 의학물리 학회의 출력 교정 지침서

미국 : TG 21 또는 TG 51

유럽 : TRS 381

② 전자선 출력 교정

국내용 : 한국 의학물리 학회의 출력 교정 지침서

미국 : TG 21 또는 TG 51

유럽 : TRS 385

③ X-선 편평도 및 대칭도: 모든 광자선 에너지에 대해 실행

주기 : 매월

장비 : Kodak Type V 필름(ready pack film), Solid water, 칠판

방법 :

- 기포수준기를 이용하여 갠트리를 0°에, 콜리메이터를 0°에 위치시킨다.
- 조사면을 20×20 cm<sup>2</sup>로, SSD를 100 cm에 세팅한다.
- 인수검사 시 측정된 기준값을 구한다.
- dmax 깊이에 필름을 끼운 후 40 MU 조사한다.
- 필름을 densitometer를 이용하여 스캔한다.
- In-plane 과 cross plane 에서의 광학 밀도 또는 밀도 비를 그래프로 표시한다.
- 편평도
  - 중심점으로부터 양방향으로 8 cm(80%) 내에서 최대 및 최소 광학밀도를 구한다.

$I_{\min}$  = 필드 세기의 최소값       $I_{\max}$  = 필드 세기의 최대값

아래 공식을 이용하여 편평도를 구한다.

$$\text{편평도} = \left| \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})} \right| \times 100$$

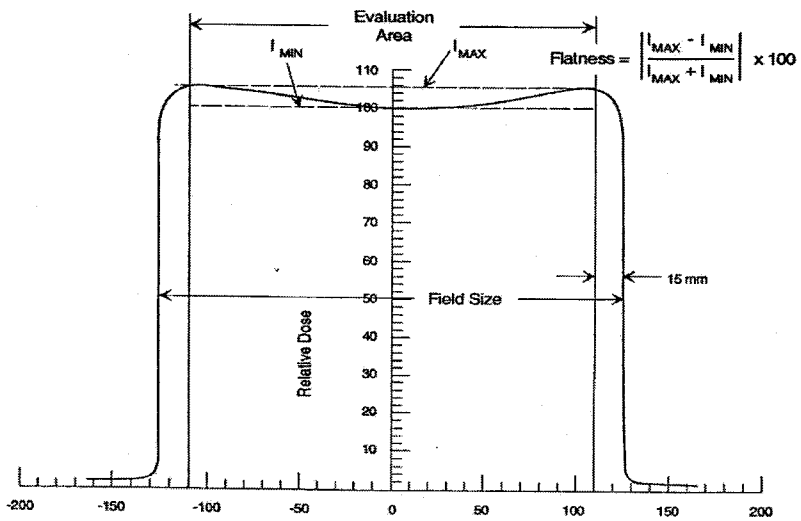


그림 2-1-8. 광자선 편평도

• 대칭도

- 중심을 기준으로 1 cm 간격으로 광학밀도를 구하여 A 방향 평균값( $A_{ave}$ )와 B방향의 평균값( $B_{ave}$ )을 구한다.
- 아래 공식을 이용하여 대칭도를 구한다.

$$\text{대칭도} = \frac{(A_{ave} - B_{ave})}{(A_{ave} + B_{ave})} \times 50$$

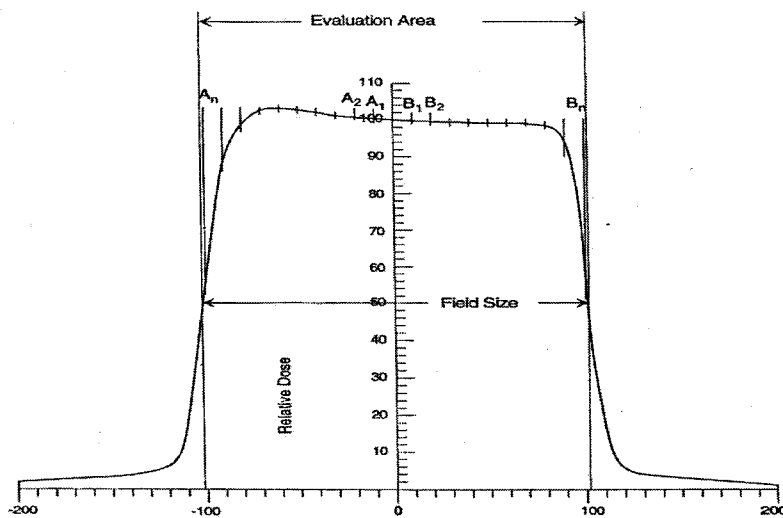


그림 2-1-9. 광자선의 대칭성

허용오차 : 2%

④ 전자선 편평도 및 대칭도

주기 : 매월

장비 : Kodak Type V 필름(ready pack film), Solid water, 핀, 20×20 cm<sup>2</sup> 전자선 콘(cone)

방법 :

- 20×20 cm<sup>2</sup> 전자선 콘을 사용하여 광자선 측정과 같은 방법으로 편평도 및 대칭성을 측정한다.

허용오차: 3%

⑤ 긴급 시 꺼짐 스위치

주기 : 매월

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 방사선을 조사한다.
- 방사선 조사도중 치료 조정실에 있는 긴급시 꺼짐 스위치를 누를 때 방사선 조사가 멈추는지 확인한다.

허용오차: 작동

⑥ 썰기(wedge), 전자선 콘의 연동장치

주기 : 매월

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 썰기 및 전자선 콘이 치료기에 있는 잠금장치에 제대로 위치하고 있는지 확인한다.
- 부착된 전자선콘 및 썰기와 치료조종용 컴퓨터에 나타나 있는 전자선콘 및 썰기의 코드가 일치하는지 확인하고 일치하지 않을 경우 연동장치가 작동하는지 확인한다.

허용오차 : 작동

⑦ 광/방사선 조사면의 일치

주기 : 매월 광자선의 에너지를 바꾸어서 실행한다.

장비 : 수평기, 모눈종이, Kodak Type V 필름(ready pack film), 칩핀

방법 :

- 갠트리 각은 눈금에 따라 정밀한 수평기를 사용하여 0°로 하여 수평을 맞추고

콜리메이터의 각도  $0^\circ$ 에 맞춘다.

- SSD 100 cm에 환자테이블의 높이를 맞추고 필름을 환자 테이블위에 고정한다.
- 조사면의 크기를  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 설정하고, 조사면 투광램프를 켜 후 광조사면의 끝부분 선의 50%의 흑화도가 되는 부분을 볼펜이나 작은 핀을 이용하여 표시한다.
- 40 MU를 조사한다.
- $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 와  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 의 조사면 크기에 대해서 위 과정을 반복한다.
- 필름을 현상한 후 X-선에 의한 50% 흑화도 면의 크기와 광조사에 의해서 표시된 조사면의 크기를 비교한다.

허용오차 : 2 mm

#### ⑧ 갠트리/콜리메이터 각도 지시기

주기 : 매월

장비 : 수평기

방법 :

- 갠트리
  - 갠트리를 시계방향으로  $+180^\circ$ 로부터  $180^\circ$ 까지 회전시킨다.
  - 제어기에서 갠트리를 회전함에 따라 기기가  $270^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  그리고  $180^\circ$ 에 멈추는지 확인한다.
  - 각각의 멈춤 위치에서 기계의 눈금과 디지털의 표시로부터 아래에 있는 갠트리 각도에 따라 그 값들을 기록한다.
  - $270^\circ$ 와  $90^\circ$ 에서 갠트리의 가로대 표면에 수평기를 놓고 정확하게 수평이 될 때까지 회전시켜 디지털 눈금을 기록한다.
- 콜리메이터
  - 갠트리 각도는 정밀한 수평기를 이용해서  $0^\circ$ , 콜리메이터 회전각은  $0^\circ$ 로 맞추고, 조사면의 크기는  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 로 설정한다.
  - 1 mm 간격의 모눈종이를 콜리메이터의 십자선을 기준으로 환자테이블에 고정한다.
  - SSD 100 cm가 되도록 환자테이블의 높이를 조절한 후 디지털 지시기와 기계적 지시치가  $0^\circ$ 가 되는지 확인한다.
  - 정밀한 수평기를 환자테이블의 윗면에 올려놓고 환자테이블이 수평이 되도록 맞춘다.
  - 콜리메이터를 시계방향과 반시계방향으로  $90^\circ$ 로 회전시키면서 중심 십자선

이 지시하는 부분의 모눈종이 위에 점을 찍어 기계적인 눈금 값과 디지털 표시 눈금 값을 기록한다.

- 콜리메이터를 최대 시계방향과 반시계방향 위치까지 회전하고, 그 값들을 기록한다.

허용오차 :  $1.0^{\circ}$

⑨ 트레이 위치

주기 : 매월

장비 : 모눈종이

방법 :

- 트레이를 갠트리에 있는 트레이 슬롯에 삽입한다.
- 트레이 연동장치가 작동하는지 확인한다.
- 환자테이블에 모눈종이를 붙인 후 손으로 트레이를 밀고 당기면서 트레이의 움직임을 확인한다.

허용오차 : 2 mm

⑩ 전자선 콘

주기 : 매월 전자선 콘의 크기가 다른 것으로 변경하여 실행한다.

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 전자선 콘을 갠트리에 있는 슬롯에 삽입한다.
- 고장 나거나 나사가 느슨한 부품이 있는지 확인한다.
- 부착된 전자선 콘과 치료조종용 컴퓨터에 나타나 있는 전자선 콘의 코드가 일치 하는지 확인한다.
- 전자선 콘이 삽입되어 있을 때 광자선을 5 MU 정도 조사한 후 광자선이 조사 될 수 없음을 확인한다.

허용오차 : 작동

⑪ 광조사면 크기표시 : 일일점검 ⑩번과 동일하나 5×5, 15×15, 및 20×20 cm<sup>2</sup>의 조사면의 크기에 대해서도 점검한다.

⑫ 콜리메이터 회전에 따른 십자선의 안정성: 일일점검 ⑩번과 동일

⑬ 광거리 표시기 : 일일점검 ⑩번과 동일

⑭ 치료 테이블 위치 지시기

주기 : 매월

장비 : Front 포인터, 모눈종이

방법 :

- 테이블 높이 (Couch Height)
  - 갠트리의 각을 0°에 맞추고 Front 포인터를 끼운 후 Front 포인터를 SSD 100 cm에 고정한다.
  - 환자테이블의 표면이 Front Pointer 의 끝에 닿도록 환자테이블을 위로 이동시킨 후 환자테이블 높이표시가 0을 나타내는지 확인한다.
  
- 횡축(Couch Transverse) 및 종축(Couch Longitudinal) 이동
  - 환자테이블 표면 위에 1 mm 눈금의 모눈종이를 붙이고 갠트리의 각을 0°에 맞춘 후 Front Pointer의 끝을 모눈종이에 표시한다.
  - 환자테이블을 좌우로 25 cm씩 움직여 디지털 지시기의 값이 모눈종이 값과 일치하는지 확인한다.
  - 환자테이블을 갠트리 방향 및 couch 방향으로 각각 25 cm씩 움직여 디지털 지시기의 값이 모눈종이 값과 일치하는지 확인한다.

허용오차:  $\pm 2$  mm

⑮ 레이저 정렬: 일일점검 ⑪번 항목과 동일

⑯ 조사야 세기(Field Light Intensity)

주기 : 매월

장비 : Light Meter (Photo Meter)

방법 :

- 광조사면을 10×10 cm<sup>2</sup>로 세팅한 후 조사 광(Field Light)을 켜다.
- 치료실 불(room light)을 끈 후 Light Meter를 한쪽 조사면 중앙에 놓고 세기를 측정한다.
- 나머지 3개면에 대해서도 측정한 후 측정한 값의 평균을 계산한다.  
(총 4번 측정)

허용오차 : 제조회사에서 제시하는 값의 10% 이내 (40 Lux 이상)



⑰ 환자 테이블 각도 지시기

주기 : 매월

장비 : 모눈종이, 각도기

방법 :

- 갱트리의 각을  $0^\circ$ 에 맞추고 환자 테이블 위에 모눈종이를 붙인 후 광조사면의 중심점을 모눈종이에 표시한 후 각도기를 환자 테이블 위에 올린다.
- 환자테이블을  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ ,  $-90^\circ$ 로 돌리면서 환자테이블의 디지털 눈금이 각도기의 눈금과 일치 하는지 확인한다.

허용오차 :  $1^\circ$

⑱ X-선 에너지 안정성

주기 : 매월

장비 : 이온함(ion chamber), electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 광자선 에너지를 선택한다.
- 치료 계획용 컴퓨터에 입력한 PDD 값으로부터 10 cm ( $D_{10}$ ) 및 20 cm ( $D_{20}$ ) 깊이에서의 선량을 구한 후 비를 계산한다. ( $D_{20}/D_{10}$ ) 비
- PDD를 얻을 때와 같은 방법으로 SSD 및 광조사면을 세팅한다. (예 SSD=100 cm, Field Size:  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>)
- Ion chamber를 깊이 10 cm에 놓고 100 MU를 조사하여 electrometer의 값을 읽는다. 세 번 반복하여 평균값을 구한다. ( $D_{10}$ )
- Ion chamber를 깊이 20 cm에 놓고 100 MU를 조사하여 electrometer의 값을 읽는다. 세 번 반복한 후 평균값을 구한다. ( $D_{20}$ )
- $D_{20}/D_{10}$ 을 계산하여 (나)에서 계산된 reference 값과 비교한다.
- 모든 광자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2.0%

⑲ 전자선 에너지 안정성

주기 : 매월

장비 : PP chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 전자선 에너지를 선택한다.
- 기준 전자선 콘을 선택하여 치료 계획용 컴퓨터에 입력한 PDD 값으로부터 최대선량의 깊이와 선량이 50%로 되는 깊이( $R_{50}$ )를 구한다. ( $D_{R50}/D_{max}$ ) 비

- PDD를 얻을 때와 같은 방법으로 SSD를 세팅하고 같은 전자선 콘을 사용한다.  
(예 SSD=100 cm, Cone Size: 10×10 cm<sup>2</sup>)
- Ion chamber를 최대선량깊이에 놓고 100 MU를 조사하여 electrometer의 값을 읽는다. 세 번 반복한 후 평균값을 구한다. ( $D_{R50}$ )
- Ion chamber를 깊이  $R_{50}$ 에 놓고 100 MU를 조사하여 electrometer의 값을 읽고 세 번 반복하여 평균값을 구한다. ( $D_{max}$ )
- ( $D_{R50}/D_{max}$ )을 계산하여 (나)에서 계산된 reference 값과 비교한다.
- 모든 전자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 5.0%

(다) 연간점검 항목

- ① X-선 출력의 조사영역 의존성: 광자선 조사면 크기에 따른 출력인자를 측정하여 인수검사 시 측정된 값과 비교한다.

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 광자선 에너지를 선택한다.
- 인수검사 시 측정된 3×3, 5×5, 10×10, 20×20, 30×30 cm<sup>2</sup> 조사면에 대한 출력인자를 구한다.
- 인수검사 때 세팅한 방법으로 세팅한다. (예, SSD=100 cm, 이온함 깊이=최대선량깊이( $d_{max}$ ), phantom: solid water, 모니터 유닛: 100 MU)
- 조사면을 10×10 cm<sup>2</sup>로 세팅하고 100 MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다. (Q10).
- 조사면을 3×3, 5×5, 20×20, 30×30 cm<sup>2</sup>로 세팅하여 각각에 대해 3번씩 측정하여 평균값을 구한다. (Q3, Q5, Q20, Q30).
- 각각의 조사면에 대해 출력인자(output factor)를 구한다.

$$OF(\text{출력인자}) = \frac{\text{Dose}(\text{입의의광조사면})}{\text{Dose}(10 \times 10 \text{ 광조사면})}$$

- 모든 광자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2%

- ② 전자선 출력의 어플리케이션 의존성: 전자선 콘의 크기에 따른 전자선 출력인자를 측정하여 인수검사 시 측정된 값과 비교한다.

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 전자선 에너지를 선택한다.
- 인수검사 시 측정된 5×5, 10×10, 15×15, 20×20 cm<sup>2</sup> 전자선 콘에 대한 출력인자를 구한다.
- 인수검사 때 세팅한 방법으로 세팅한다. (예, SSD=100 cm, 이온함 깊이=최대선량깊이(d<sub>max</sub>), phantom: solid water, 모니터 유닛: 100 MU)
- 15x15 cm<sup>2</sup> 전자선 콘을 끼우고 100MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다. (Q15).
- 전자선 콘을 5×5, 10×10, 20×20 으로 바꾸어 끼우고 각각의 콘에 대해 3번씩 측정하여 평균값을 구한다. (Q5, Q10, Q20).
- 각각의 전자선 콘에 대한 출력인자(output factor)를 구한다.

$$OF(\text{출력인자}) = \frac{\text{Dose}(\text{임의의전자선콘})}{\text{Dose}(10 \times 10 \text{콘})}$$

- 모든 전자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2%

- ③ 광자선 및 전자선 중심 축 요소 안정성(PDD, TAR) : 몇 개의 기준 조사면에 대한 심부률을 측정하여 인수검사 시 측정된 값과 비교한다.

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 광자선
  - 1개의 광자선 에너지를 선택한다.
  - 5×5, 10×10, 15×15, 20×20 cm<sup>2</sup> 조사면에 대해 인수검사 시 측정된 심부률(PDD) 또는 TMR을 구한다.
  - 인수검사 때 세팅한 방법으로 세팅한다. (예, SSD=100 cm, phantom: water, 모니터 유닛: 100 MU)
  - 조사면을 5×5 cm<sup>2</sup>로 세팅하고 최대선량깊이에 챔버를 넣고 100 MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다. (D<sub>max</sub>)
  - 깊이를 5 cm, 10 cm, 20 cm, 25 cm로 바꾸어 측정한다. (각각의 깊이에서 3 번씩)
  - 각각의 깊이에서 심부률을 계산한다.
  - 인수 검사 시 측정된 값과 비교한다.

- 조사면을 10×10, 15×15, 20×20 cm<sup>2</sup>로 바꾸어 위의 과정을 반복한다.
- 모든 광자선에 대해 실행한다.
- 전자선
  - 1개의 전자선 에너지를 선택한다.
  - 인수검사 시 측정된 15×15 cm<sup>2</sup> 콘의 심부률(PDD) 또는 TMR을 구한다.
  - 인수검사 때 세팅한 방법으로 세팅한다. (예, SSD=100 cm, phantom: water, 모니터 유닛: 100 MU)
  - 전자선의 심부률을 측정한다.
  - 최대선량 깊이(R<sub>max</sub>), 최대선량의 80%(R80), 50%(R50)가 되는 깊이 및 R<sub>p</sub>를 구한다.
  - 인수 검사시 측정된 값과 비교한다.
  - 모든 전자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2%

#### ④ 축 이탈 인자 안정성

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 광자선을 선택한다.
- 인수검사 시 측정된 축 이탈인자를 10×10 cm<sup>2</sup> 조사면에 대해 In-plane(Y축) 및 Cross plane(X축)으로 각각 2 cm 간격으로 구한다.
- 인수검사 때와 같은 방법으로 세팅한다. (예, SSD=100 cm, phantom: water, 모니터 유닛: 100 MU).
- 100 MU씩 3번 조사하여 각각의 측정값을 기록하여 평균을 구한다.
- 이온함의 위치를 오른쪽 및 왼쪽으로 1 cm 간격으로 5 cm 까지 움직이면서 (다)을 반복한다. (X방향)
- 이온함의 위치를 위 아래로 1 cm 간격으로 5 cm 까지 움직이면서 (다)을 반복한다. (Y방향)
- 각각의 위치에서 축 이탈 인자를 계산한다.

$$\text{축 이탈인자} = \frac{(\text{중심에서 이탈된 위치에서의 선량})}{(\text{중심축에서의 선량})}$$

- 인수 검사 시 측정된 값과 비교한다.

허용오차 : 2%

⑤ 썰기(wedge) 변환 인자 안정성

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 1개의 광자선 에너지를 선택한다.
- 인수검사 시 측정된 썰기 변환인자를 구한다.
- 인수검사 때 세팅한 방법으로 세팅한다.(예, SSD=95 cm, 깊이:5 cm, 조사면 10×10 cm<sup>2</sup>, phantom: water, 모니터 유닛: 100 MU)
- 조사면 10×10 cm<sup>2</sup>로 세팅하고 5 cm 깊이에 이온함을 고정한다.
- 100 MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다. (Qopen).
- 15° 썰기를 삽입하고 각각의 썰기에 대해 반복한다.
- 각각 썰기에 대해 썰기 인자를 계산한다.

$$WF(\text{썰기인자}) = \frac{Dose(\text{입의의 썰기})}{Dose(10 \times 10 \text{ open})}$$

- 인수 검사 시 측정된 값과 비교한다.
- 30°, 45°, 60° 썰기를 삽입하고 각각의 썰기에 반복한다.
- 모든 광자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2%

⑥ 모니터함의 선형성

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer, water phantom

방법 :

- 하나의 광자 빔 (예를 들어, 저에너지 X-선) 을 선택한다.
- 50 MU에서 세 번, 100 MU에서 세 번, 300 MU에서 세 번 선량 측정을 한다.
- 50, 100, 300 MU에 대해 평균을 계산하여 50 MU 대 100 MU, 300 MU 대 100 MU의 각각의 평균값의 비를 계산한다.
- 다른 광자와 전자 빔에 대해서 테스트를 반복한다.

허용오차 : 1%

- 50 MU 대 100 MU의 평균값의 비는 0.49에서 0.51 사이
- 300 MU 대 100 MU의 평균값의 비는 2.97에서 3.03 사이

⑦ 출력 단기 안정성

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer

방법 :

- 치료 일의 시작, 중간, 끝에 각각 100 MU씩 3번씩 조사하여 평균값을 구한다.
- 치료 일의 시작, 중간, 끝에 측정된 값 중 최대값과 최소값을 구한다.
- 다음의 공식에 의해 오차를 계산한다.  $\left(\frac{\text{최대}-\text{최소}}{\text{최소}}\right)\times 100 < 2\%$ 로 계산한다.
- 장기 안정성 테스트에서 사용하기 위해 세 평균값의 평균 ( $Av_1$ )을 계산한다.

허용오차 : 2%

### ⑧ 출력 장기 안정성

주기 : 매년

장비 : Ion chamber, electrometer

방법 :

- 출력단기안정성 테스트에서와 같은 선량률을 사용한다.
- 단기 안정성 테스트를 한 지 3일 내지 5일 후에, 다시 한 번 치료 일의 시작, 중간, 끝에 각각 100 MU씩 3번씩 조사하여 평균값을 구한다.
- 치료 일의 시작, 중간, 끝에 측정된 값들의 평균값을 구한다. ( $Av_2$ )
- 이 값을 위의 단기 안정성 테스트에서 구한 평균값들의 평균 ( $Av_1$ )과 아래의 공식을 사용하여 비교한다.

$$\left(\frac{(Av_2)-(Av_1)}{(Av_2)}\right)\times 100$$

허용오차 :  $\pm 2\%$

### ⑨ 선량률 독립성

주기 : 매년

장비 : 이온함, water phantom, electrometer

방법 :

- 표준교정 기하배열로 이온함을 설치한다. 예를 들어, 광자의 경우  $10\times 10\text{ cm}^2$  필드, 전자의 경우  $15\times 15\text{ cm}^2$  콘을 사용하고, 100 cm SSD에 대해, 최대 선량 깊이 ( $d_{\max}$ )에서 고체 물 팬텀 내에 전리함을 놓는다.
- 임상에서 사용하는 빔들 중 하나를 선택하여 임상에서 사용하는 선량률로 100 MU에 대해 세 번의 측정을 한다.
- 최소 선량률로 측정을 반복한다.
- 최대 선량률로 측정을 반복한다.

- 세 선량률 각각에 대해 평균 선량률 계산한다.
- 다른 광자와 전자 빔에 대해서 테스트를 반복한다.

허용오차 : 최소 및 최대 선량률에 대한 평균 선량률은 임상 선량률에 의한 선량률의 2%이내

$$\%diff = \left[ \frac{(\text{최대 (또는 최소) 선량률에서의 출력}) - (\text{임상 선량률})}{(\text{임상 선량률})} \right] \times 100 < \pm 2\%$$

⑩ 단 효과(end effect)

주기 : 매년

장비 : 이온함, water phantom, electrometer

방법 :

- 표준 광자 또는 전자 빔 (예를 들어, 고에너지 광자 빔) 을 선택한다.
- 100 MU를 세 번 중단 없이 조사하고 평균값을 R1이라고 한다.
- 100 MU 조사를 매 25 MU마다 예를 들어, 25, 50, 75 MU에 중단하여 조사한 후 누적된 측정값을 기록한다.
- 두 번 더 반복하여 세 번의 누적 결과 측정값들을 평균한다. 이 평균값을 R4이다.
- 다음의 공식에 의해 단 효과를 계산한다.

$$End\ effect = \left( \frac{(R_4 - R_1)}{(4R_1 - R_4)} \right) \times 100 MU$$

허용오차 : 설치 시에 측정된 값 또는 사용 중의 값의 10% 이내

⑪ X-선 및 전자선 출력 안정성과 갠트리 각도

주기 : 매년

장비 : 이온함, electrometer, build-up cap

방법 :

- 전자선 또는 광자선을 선택한다.
- 콜리메이터의 회전각 0° 로 놓고 조사면의 크기를 10x10 cm<sup>2</sup>(전자선일 경우 10x10 cone) 으로 세팅한다.
- 갠트리를 0° 에 놓는다.
- 공기 중에 이온함을 isocenter에 고정한다.
- 100 MU를 조사한 후 측정값을 기록하고 세 번 반복하여 평균값을 구한다.

다.(Q0)

- 갠트리 각을 90°, 270°, 180° 로 돌리면서 위의 과정을 반복한다.(QG)
- 각각의 갠트리 위치에서 측정된 선량값을 비교한다.

$$\frac{Q_G}{Q_0}$$

- 모든 광자선 및 전자선에 대해 실행한다.

허용오차 : 2%

## ⑫ 축 이탈 인자 안정성과 갠트리 각도

주기 : 매년

장비 : 이온함, electrometer, build-up cap

방법 :

- 1개의 광자선을 선택한다.
- 콜리메이터 및 갠트리를 0° 에 놓고 조사면을 25×25 cm로 세팅한다.
- 공기 중에 이온함을 isocenter에 고정한 후 100 MU씩 3번 조사하여 각각의 측정값을 기록하여 평균을 구한다.
- 이온함의 위치를 오른쪽으로 10 cm, 왼쪽으로 10 cm씩 옮긴 후 위의 과정을 반복한다. (X방향)
- 이온함의 위치를 위로 10 cm, 아래로 10 cm씩 옮긴 후 위의 과정을 반복한다. (Y방향)
- 각각의 위치에서 축 이탈 인자를 계산한다.
- 갠트리를 90, 180, 270°로 돌려 위의 과정을 반복한다.
- 축 이탈 인자 갠트리 의존성을 아래 방법으로 계산한다.

$$\text{축 이탈인자 갠트리 의존성} = \frac{(\text{주어진 갠트리각에서의 축 이탈인자})}{(\text{갠트리}0\text{도에서의 축 이탈인자})}$$

허용오차 : 2%

## ⑬ Arc 모드

주기 : 매년

장비 : 이온함, water chamber, electrometer

방법 :

- (임상에서의 실용 범위에 걸친) 여러 MU/° 설정에서, 다양한 시작 및 멈춤 각에 대해 MU의 추이를 기록한다.
- 기록한 총 MU를 설정한 MU/도 시간과 (시작 및 멈춤 각은 정확하다고 가정하여) 원호 각의 곱과 비교한다.



- 모든 광자 에너지에 대해서 테스트한다.
- 허용오차 : 제작자 규격에 나온 기준에 따른다.

⑭ 콜리메이터 회전 중심점

주기 : 매년

장비 : Solid Water phantom, 필름

방법 :

- 필름을 Solid water 또는 Iso-align에 삽인 한 후 SSD를 100 cm에 맞춘다.
- x-jaw는 열고 (20 cm) 열고 Y-jaw 는 거의 닫는다.
- 콜리메이터를 60° 씩 회전하면서 10-15 MU를 조사한 후 필름을 현상한다.
- Y-jaw를 열고 (20 cm) X-jaw를 거의 닫는다.
- 위의 과정을 반복한다.
- 스타샷의 중심에 있는 삼각형의 변을 a, b, c를 측정하여 a, b, c를 측정한다 (그림 2-1-10.). 또는 스타샷의 중심에 있는 삼각형에 원을 내접시키고 그 반경을 측정한다(그림 2-1-11.).

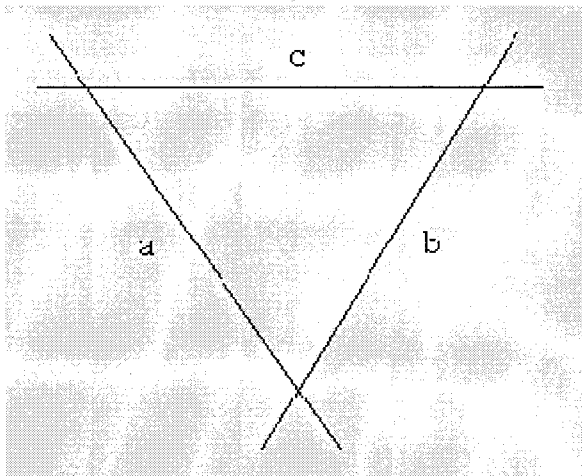


그림 2-1-10

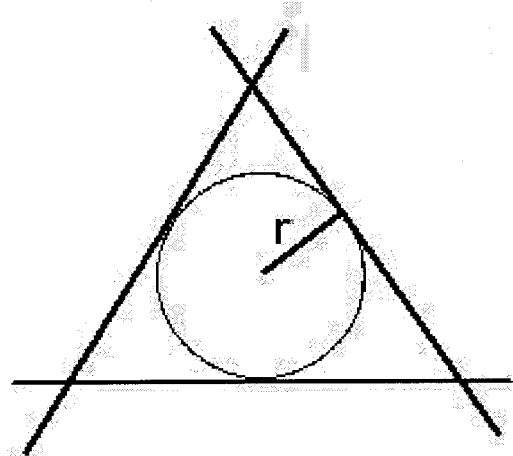


그림 2-1-11

- 허용오차 :
- a, b, c의 최대 길이 < 3 mm
  - 반경 1.5 mm 이하

⑮ 갠트리 회전중심점

주기 : 매년

장비 : Solid Water phantom, 필름

방법 :

- 갠트리를 빔이 아래로 나오는 위치에 놓는다.
- 준비된 필름을 Iso-align 판이나 적당한 펜텀에 붙이고 필름을 수직으로 놓는다. 필름은 회전중심점의 적당한 위치에서 중심에 있어야 하고 갠트리 회전축에 수직이어야 한다.
- 갠트리 회전축에 평행하게 방사선의 가는 틈이 생기도록 적당한 콜리메이터의 X-jaw는 20 cm으로 열고 Y-jaw는 거의 닫는다.
- 갠트리의 매 60 회전마다 10-15 MU씩, 다섯 번의 노출을 한다. 필름을 현상하여 위에 기술한 방법(콜리메이터 회전중심점 측정방법) 중 기관에서 선택한 방법을 사용하여 이미지를 평가한다.

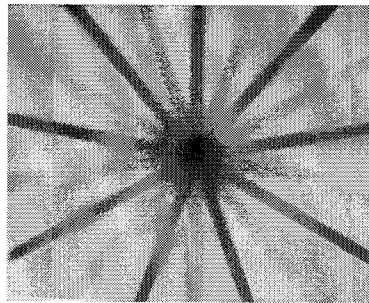


그림 2-1-12. 갠트리 회전중심점 측정 필름

- 허용오차 : • a, b, c의 최대 길이 < 3 mm  
 • 반경 1.5 mm 이하

⑩ 치료테이블 회전 중심점

주기 : 매년

장비 : 필름

방법 :

- 갠트리를 빔이 아래로 나오는 위치에 놓는다.
- 필름을 Solid water 또는 Iso-align 에 삽입한 후 SSD를 100 cm에 맞춘다.
- 필름의 중심이 방사선의 중심축에 놓이도록 한다.
- X-jaw는 열고 (20 cm) Y-jaw 는 거의 닫는다.
- 환자테이블을 45° 씩 오른쪽, 왼쪽으로 회전 (0, 45, 90, -45, -90) 하면서 10-15 MU씩 조사한 후 필름을 현상한다.
- 필름을 현상하여 위에 기술한 방법(콜리메이터 회전중심점 측정방법) 중 기관에서 선택한 방법을 사용하여 이미지를 평가한다.

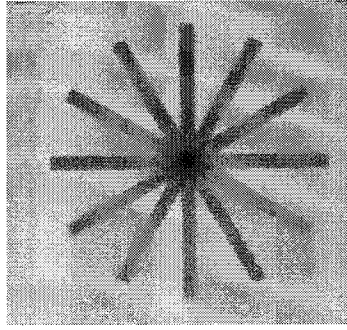


그림 2-1-13. 치료테이블 회전중심점 측정 필름

- 허용오차 : • a, b, c의 최대 길이 < 3 mm  
 • 반경 1.5 mm 이하

⑰ 치료테이블 상판의 처짐

주기 : 매년

장비 : 해당사항 없음

방법 :

- 환자테이블을 최대한 뺀 채 80 kg 의 무게가 균등하게 실리도록 하여 테이블 표면을 회전중심 높이에 놓고 처짐을 측정한다.
- 또는 제작자의 권고 또는 현장에서 개발한 절차에 따라 (예를 들어, 먼저 무거운 물건을 놓은 채 그 다음 놓지 않은 채) 테이블 표면으로부터 바닥까지의 거리를 측정한다.

허용오차 : 인수 테스트에서 측정한 값을 2 mm 이상 초과하지 않음 (규격 사항이 없다면 2 mm 미만)

⑱ 치료테이블의 수직 이동에 대한 십자선의 안정성

주기 : 매년

장비 : 모눈종이

방법 :

- 갠트리를 빔이 아래로 나오는 위치에 놓는다.
- mm 단위의 모눈종이를 환자테이블에 붙인다. 갠트리가 수직이라는 것을 확실하게 하기 위해 스피릿 수준기를 사용한다.
- 투사된 십자선 교차점의 위치를 테이블을 10 cm씩 수직 이동시키면서 표시한다.

허용오차 : < 2 mm

⑲ X-선 누설 방사선량 측정

주기 : 매년

장비 : survey meter

방법 :

- 인수 테스트에 포함되어 있다고 해도 표적 부근 납 차폐를 제거하고 재설치할 필요 있는 구성 요소들의 주요한 변경이나 교체가 있는 다음에는 X-선 누출을 확인할 필요가 있다.
- 빔을 수평 위치에 놓는다.
- 콜리메이터를 닫는다.
- 최대 선량률과 최고 X-선 빔 에너지를 선택한다.
- 교정한 이온 전리함 형 서베이미터 (survey meter)를 사용한다.
- 300 MU에 대해 표적으로부터 1 m 점에서 회전중심 방향의 반대 방향으로 측정을 한다. 즉 평면에서 매 10°-20°의 다른 위치들에 대해서 측정을 반복한다. 다른 면에서도 측정을 반복한다. 일차 빔 방향의 위치들은 포함하지 않는다.

허용오차 : 표적으로부터 1 m 거리에서의 100 cm<sup>2</sup>에 걸친 누적 선량이 콜리메이터를 최대로 열고 300 MU에 대해 회전중심점 (Isocenter) 에서 얻은 평균 표시 도수의 0.2%를 초과해서는 안 된다.

⑳ 콜리메이터 투과

주기 : 매년

장비 : 이온함, electrometer

방법 :

- 인수 테스트 후 콜리메이터 시스템을 바꾸거나 변화가 있을 때 시행
- 빔을 수평 위치에 놓는다.
- 콜리메이터를 30 x 30 으로 연다.
- 최대 선량률과 최고 X-선 빔 에너지를 선택한다.
- 300 MU 조사를 3번 반복한다 (R1).
- 위쪽 jaw를 닫고 마)를 반복한다(R2).
- 아래쪽 jaw 닫고 마)를 반복한다(R3).
- Jaw를 열고 측정된 값의 비를 구한다.

$$(R2/R1) \times 100 = \quad \%$$

$$(R3/R1) \times 100 = \quad \%$$

허용오차: 1%

## (5) 선형가속기의 정도관리절차서 개발

현재 국내외에 발간된 참고문헌을 살펴볼 때 정도관리 항목에 대한 참고문헌들은 많이 있으나 실제적으로 측정방법, 측정기기, 팬텀, 및 정도관리 기록지를 수록하고 있지 않다. 따라서 임상경험이 많지 않거나 새로 개설되는 기관에서 정도관리 절차서를 새로이 수립하기 위해서는 상당히 많은 시간과 노력을 투자하여야 한다. 또한 많은 시간을 들여 정도관리 절차서를 개발한다 하더라도 포괄적인 절차서를 작성하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 국내 많은 기관에서 참고적으로 사용할 수 있는 총괄적인 정도관리 절차서를 개발하였다. 먼저 1차 년도에는 국내기관에서 행해지고 있는 정도관리 항목들에 대해 조사 하였으며 국외 참고문헌을 조사하여 국외에서 요구하는 정도관리 항목들을 살펴보았다.

2차 년도에는 국외에서 발간된 참고문헌을 기반으로 하되 국내 실정을 고려하여 국내 기관들에게 권장하는 정도관리항목들을 필수항목 및 선택항목으로 나누어 제시하였다. 각각의 정도관리 항목들의 측정 방법 또한 기술하였다. 측정방법이 제시된다 하더라도 실제 정도관리를 수행하기 위해서는 정도관리를 위한 기록지 없이는 정도 관리를 실행하기가 어렵다. 따라서 3차 년도에는 전년도에 제시된 정도관리 항목들을 측정하기 위해 필요한 실용성 있는 정도관리기록지를 작성하였으며 측정시간, 측정 장비보유현황 등을 고려하여 수정 보완된 최종 정도관리절차서를 작성하였다.

### (가) 일일 정도관리 기록지

정도관리 기록문서 작성에 있어 가장 중요한 요소가 사용이 용이하며 측정결과를 쉽게 표시하는데 있다. 따라서 일일 점검항목은 정도관리 항목, 허용오차, 및 점검현황이 1장에 표시하면서 1주일에 1장의 기록지를 사용하도록 작성 되었다. 각각의 항목들은 장비성능 점검항목, 안전 관련항목, 기계적 항목, 및 선량관령 항목으로 구분되었고 필수항목 및 선택항목이 모두 포함되어 있다. 따라서 각 기관에서는 선형가속기의 종류에 따라 선택적으로 삽입 및 삭제를 할 수 있다.

### (나) 월간 정도관리 기록지

월간 정도 관리 항목들은 일일 점검항목에 비해 각 항목 당 측정하여야 할 사항이 많으므로 1장의 용지로는 모든 점검이 가능하지 않다. 따라서 월간항목은 크게 선량 및 안전 관련항목 측정지와 기계적 성능점검 측정지로 나누어 2장에 작성 하였고 선량 관

런 항목 중 각각 측정할 데이터를 많은 항목들은 추가용지를 사용하도록 하였으며 이러한 사항은 2장의 기록지에 표기 하였다. 추가용지를 사용하는 항목들에는 선량관련 항목들이 포함되는데 1. 광자선 및 전자선 출력 안전성 점검용지(월간 WS1), 2. 광자선, 전자선의 편평성 및 대칭성 측정용지 (월간 WS2), 3. 광자선 및 전자선의 에너지 안정성(연간 WS1)이다. 에너지 안정성은 월간 항목 중 선택사항이므로 연간 점검지에 포함되었다.(Appendix 1 참고)

#### (다) 연간 정도관리 기록지

연간 정도관리는 원칙적으로 선형가속기 인수 검사 시 점검된 거의 모든 항목들이 점검되어야 하므로 많은 시간이 소요된다. 보통 일주일 이상의 시간이 소요되며 측정 기록지도 많은 분량이 요구된다. 그러나 국내기관의 실정을 살펴볼 때 선형가속기 숫자 대비 의학물리학자의 수가 현저히 부족하므로 연간점검을 수행하기가 어렵다. 따라서 많은 연간점검 항목들이 선택항목으로 추가되었고 필수 항목에는 크게 7개의 항목만 포함하였다. 연간 점검 지는 1장에 요약하였고 각 항목에 대한 세부측정 기록지는 6장으로 따로 추가하였다.

본 연구에서 개발된 정도관리절차서는 사용이 편리하면서 측정에 필요한 모든 요소들을 포함하고 있다. 각 기관마다 사용하고 있는 선형가속기의 모델이 다르고 따라서 사용하고 있는 방사선의 종류 및 에너지도 다르므로 선형가속기의 종류에 따라 다양한 종류의 기록지가 요구될 것으로 생각되었으나 본 연구에서 작성된 정도관리절차서를 이용하여 서로 다른 기관에서 정도관리를 실행하여본 결과 선형가속기가 다르다 할지라도 본 연구에서 개발된 절차서를 사용할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시된 절차서를 참고로 하면 각 기관에 적합한 문서작성이 용이할 것으로 생각된다.

#### (6) 선형가속기 정도관리절차서의 실용성 평가 및 임상적용

작성된 선형가속기 정도관리절차서의 실용성 평가 및 임상적용 효율성을 알아보기 위해 8개 기관을 상대로 실제 측정을 실행 하였다. 선형가속기의 종류는 크게 2개 제조사로 분류되었다. 먼저 일일점검 항목의 경우 선량관련 항목의 측정 시간은 약 15분 정도 소요되고, 기계적 성능 점검 15분, 장비성능 및 안전관련 항목 점검이 약 10분 소요돼 총 40분 정도의 시간이 소요된다. 이들 항목 중 실제 측정된 항목은 선량관련 항목을 제외한 모든 항목들을 측정하였다.

A사의 선형가속기의 경우 몇몇 항목을 표시기가 없어 측정하지 못한 경우도 있으나 대부분의 기관이 허용오차 내에 있다. 그러나 몇 기관의 경우 허용오차를 벗어나는 항목들이 있는데 이러한 항목에는 증류수의 수압, 증류수 수온 및 치료실 온도 및 습도 등이 있다.

치료실 온도의 경우 선형가속기의 출력값에 직접적인 영향을 미치므로 치료실의 온도 및 습도 유지는 무시되기 쉬운 항목이나 주위를 기울여야 한다. 반면에 안전 관련 항목들의 경우는 오작동의 경우 바로 감지할 수 있으므로 모든 기관에서 정도 관리가 잘 되고 있다

월간 점검의 경우 기계적 성능점검에 소요되는 시간은 보통 1시간 30분 정도 이고 선량측정에 소요되는 시간은 한 에너지의 광자선 측정 시 약 20분 정도 소요되며 안전관련 항목 측정 시간은 약 10분이 소요되어 약 2시간이 소요된다. 전자선 및 광자선의 출력교정 프로토콜은 다른 과제에서 수행되므로 본 연구에서는 선량관련항목을 제외한 모든 월간 항목들을 측정하였다.

월간 점검항목 중 대부분의 항목들은 허용오차 범위를 벗어나지 않았다. 가장 많이 허용오차를 벗어나는 항목은 테이블의 움직임을 나타내는 디지털 표시 값이다. 허용오차가 2 mm 인데 비해 약 20 mm 정도 벗어나는 기관도 있는데 테이블 위치표시기의 교정을 주기적으로 하면 방지할 수 있는 문제이나 실제 테이블에 대한 정도관리는 많은 기관에서 실행되고 있지 않으므로 이러한 현상이 나타난 것으로 생각된다.

레이저의 정렬이 허용오차를 벗어나는 기관도 있는데 대부분의 경우 회전 중심점에서는 허용오차 범위에 있으나 회전중심점으로부터 약 20 cm 벗어나는 지점에서는 허용오차를 벗어나는 기관이 많이 있다. 이러한 문제는 레이저의 휘어짐 또는 처짐에 의해 발생되는데 정정하려면 의공기사의 도움이 필요하다. 마지막으로 광조사면 측정 결과를 살펴보면 MLC를 사용할 경우 MLC가 없는 장비에 비해 정확도가 떨어진다.

또한 본과제의 연구대상으로 사용되는 기관 중 광조사면 크기에 대해 월간 정도 관리를 시행하는 기관 중 허용오차를 벗어나는 기관은 없으나 점검을 시행하지 않는 기관은 오차범위를 벗어나는 기관이 있다.

연간 점검은 많은 시간이 소요되므로 모든 항목의 측정이 불가능 하고 또한 선량 관련 항목 중 방사선치료계획시스템 점검항목과 중복되는 항목들이 있으므로 방사선

회전 중심점 일치만 측정하였다. 콜리메이터, 갠트리, 테이블 회전 중 콜리메이터 회전 중심점은 1.0 mm 이내에 위치하였다.

갠트리 회전 중심 및 테이블 회전 중심은 허용오차인 2 mm에 도달하는 기관도 있다. 갠트리 회전 중심점을 교정하기 위해서는 제조사의 의공기사들에 의해 이루어져야 하며 교정도 아주 어렵다. 갠트리 회전 중심에 대한 정확도는 주기적 연간점검과는 관계 없이 선형가속기 인수시의 정확도에 의존함을 알 수 있다.

결론적으로 8개 기관을 방문하여 측정한 결과 기관에서 주기적으로 점검을 실행하는 항목들은 모두 허용오차를 벗어나지 않는다. 그러나 주기적으로 정도관리가 이루어지지 않는 항목들은 허용오차를 벗어나는 빈도수가 높다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시된 QA 항목 중 필수항목들은 반드시 실행할 것을 권고하며 선택항목으로 표시되어 있는 항목들도 시간이 허용하는 한계에서 되도록 모든 항목을 측정하기를 제시한다.

본 연구에는 선형가속기를 이용하여 실행되는 정위적 방사선수 술, dynamic wedge, portal imaging device 등에 대한 정도관리절차서를 포함하지 않고 있으므로 이러한 시스템을 이용하고 있는 기관은 현재 제조사에서 제시하는 정도관리 방법을 따라야 한다.



나. 근접치료기의 정도관리 기반기술개발

(1) 근접치료기의 정도관리 절차서 수집 및 비교·분석

(가) 고선량을 근접치료기의 국내 현황

국내에 개설된 총 56개의 방사선 종양학과 중 37개의 의료기관에 고선량을 근접치료기가 설치되어 있다. 표 2-2-1.에는 제조사별로 고선량을 근접치료기의 수를 정리, 요약하였다.

표 2-2-1. 제조사별 고선량을 근접치료기 현황

제조사별 고선량을 근접치료기	설치대수
Nucletron	20
Gammamed	5
Buchler	4
Shimadzu Ralstron	4
Varian	3
Omnitron	1
국내 고선량을 근접치료 총 설치대수	37

(나) 근접치료기의 국내 정도관리 실태

고 선량을 근접치료에 대한 기본적인 정도관리는 과학기술부 고시 제2001-18호 (2001.9.18)에 의해 37 개 중 25 개의 기관은 의학물리사에 의해 수행되고 나머지 13개의 기관은 방사선 작업 종사자나 외부 전문인에 의해 수행되고 있다.

(다) 근접치료의 정도관리

- ① 근접치료 장치의 정도관리는 크게 안전, 동작, 치료로 할 수가 있는데 기기의 특성에 따라 다음과 같이 다섯 개의 큰 부분으로도 나눌 수 있다.
  - 원격조정 근접치료기 장치와 방사선 감시 장치의 기계, 전기적인 작동
  - 설비의 기계적, 전기적인 특징
  - 기구들의 보존 상태
  - 방사성 선원의 세기 및 위치
  - 조사시간의 정확도
- ② 근접치료가 외부조사 치료와 다른 점은 인접 정상세포나 임계장기에 매우 높은 선량이 조사될 수도 있다는 것이다. 또한, 근접치료의 정도관리는 강제적이

고도 (국내는 아직 아닌) 번거로운 실행과정의 확인, 물리적 측정, 기록의 규격화, 교육과 경험의 규격화, 치료과정의 지침 등으로 이루어져, 물리적 상수의 확인뿐만 아니라 특정한 행위에 대한 정도관리가 더 많은 부분을 차지한다.

- ③ 정도관리 프로그램은 장비의 작동과 특정행위의 오류를 방지하기 위해 주기적으로 수행하는데 근접치료계획 시스템, 근접치료기, 장착기 등의 액세서리, 치료 행위 등으로 정도관리 프로그램을 구별할 수 있다. 또한 실제 임상에 있어서 정도관리 수행의 척도는 환자, 일반인, 종사자에 대한 안전, 선원 위치의 정확도, 조사시간의 정확도, 조사된 선량의 정확도 등의 결과로 평가될 수 있다.
- ④ 환자, 일반인, 종사자의 안전에 대한 정도관리에는 일반적으로 비상상황에 대한 지침서와 적절한 인적구성 및 장비를 포함한다. 예를 들어, 이 지침서에는 선원 케이블의 절단 시 등 상황에 따른 구체적인 분류와 각 상황에 대한 대처요령 등이 명시되고, 지침서에 따른 모의훈련 등이 수행되어야 한다. 또한, USNRC의 NUREG/CR-6642에 의하면, 고선량을 근접치료 시 선원관리와 일반인의 출입통제가 고 순위, 종사자의 출입통제, 선원의 보관과 사용 시의 차폐통제가 중간 순위의 안전보장을 요구하고 있다.
- ⑤ 외부 조사 치료와 비교해 그 위험도가 높은 근접치료의 안전과 정확도를 유지하기 위해 미국 의학물리협회의 Task Group 40(Comprehensive QA for radiation oncology)과 Task Group 56(Code of practice for brachytherapy physics)의 정도관리 프로그램을 표 2-2-2.~ 2-2-13.에 그 직무 및 형태별로 소개 하였다.

㉞ 근접치료 선원을 위한 정도관리(QA) 테스트

표 2-2-2. Task Group 40의 근접치료 선원을 위한 정도관리(QA) 테스트

선원의 형태	테스트	빈도수	허용오차
반감기가 긴 선원: 설명	물리적/화학적 형태	I	D
	선원 캡슐	I	D
	방사성 핵종 선량분포 와 선원의 균일도	I	D
	방사성 핵종의 위치	I	1 mm
반감기가 긴 선원: 교정	평균값	I	3%
	평균편차	I	5%, D
	교정의 검증	E	<sup>a</sup>
반감기가 짧은 선원: 설명	물리적/화학적 형태	I	D
	선원 캡슐	I	D
반감기가 짧은 선원: 교정	평균값	E	3%
	평균편차	E	5%
	방사성 핵종 선량분포 와 선원의 균일도	E	V <sup>c</sup>

<sup>a</sup> : 선원의 색상코드의 육안 검사 또는 교정기에서 측정., V<sup>c</sup>: 육안 검사 , 방사선 사진 검사, I: 구매 초기(initial purchase), D: 기록(documented); E: 매 사용 시(at every use)

표 2-2-3. Task Group 56의 근접치료 선원을 위한 정도관리(QA) 테스트

선원의 형태	테스트	빈도수	오차한계
반감기 긴 선원 : 기술	물리적/화학적 형태	I	D
	선원의 캡슐	I	D
	방사성핵종의 선량분포와 선원의 균일도	I	D
	방사성물질의 위치	I	1 mm
반감기 긴 선원 : 교정	평균값	I	3%
	평균편차	I	5%, D
	교정 검증	E	<sup>a</sup>
반감기 짧은 선원 : 기술	물리적/화학적 형태	I	D
	선원의 캡슐	I	D
반감기 짧은 선원: 교정	평균값	E	3%
	평균 편차	E	5%
	방사성핵종의 선량 분포와 선원의 균일도	E	V <sup>c</sup>

㊤ 근접치료 선원 교정을 위한 정도관리(QA) 테스트

표 2-2-4. Task Group 40의 근접치료 선원 교정을 위한 정도관리(QA) 테스트.

측정기의 형태	테스트	빈도수	허용오차
우물형 전리함	ADSL 교정	I, S <sup>a</sup>	D
	정확도	I	2%
	선형도	I, 2year	1%
	수집효율	I	1%
	기하학적 길이의존도	I	D
	에너지 의존도	I	D
	선원 캡슐 의존도	I	D
	venting	I	D
	Redundant check	E	D
	누출선량	E	D
In-air calibration 전리함 및 외부 선원지지대	ADCL 교정	I, S <sup>a</sup>	D
	선원 전리함 거리의 정확도	1yr, S	1%, D
	Redundancy	E	D

I: initial use , D : document E, each use(measurement sequence) or ongoing evaluation

㉔ 근접치료 기구들의 정도관리(QA) 테스트

표 2-2-5. Task Group 40: 근접치료 기구들의 정도관리(QA) 테스트.

기구의 형태	테스트	빈도수	허용오차
강 내(Intracavitary)	선원이 위치 모의선원과 실제 선원과의 일치도 차폐의 위치	I, yearly I I <sup>b</sup>	D 1 mm D
조직 내(Interstitial)	모의 선원과 실제 선원과의 일치도	I, E	1 mm

I : initial use, D : documented, E : 모의선원이 실제선원의 분포를 잘 나타내는 것을 검증하기위한 육안 조사.

㉕ 강내(Intracavitary) 선원과 기구들의 정도관리(QA)

표 2-2-6. Task Group 56: 강 내(Intracavitary) 선원 과 기구들의 정도관리(QA).

절 차	End point	빈도수
길이, 넓이 및 일련번호 분석	선원 확인 물리적 길이 와 반경	처음
외부 방사선 사진과 선원이 만 든 사진의 중첩	실제 선원 길이 와 처음 균일도 캡슐두께, 선원의 정확도, 구조	처음
선원의 누출 테스트	캡슐의 견고성	연간 2회
선원 교정	선원의 세기	처음 연1회
기구들의 측정분석	차폐효과의 크기와 기하학적 특징	처음
기구들의 AP, Lt 방사선사진	정확한 선원 위치, 기계적 견고성, 선원과 모의 선원의 내부 차폐의 일치도	처음, 연1회
기구들의 길이, 넓이 측정	반경 및 길이 정확도, 모든 콜포스타 캡과 실린더 정확도	처음 연1회
선원조사	선원의 개수	분기별
서베이	종사자	수시로

㉞ 조직 내(Interstitial) 선원과 기구의 정도관리(QA)

표 2-2-7. Task Group 56: 조직 내(Interstitial) 선원과 기구들의 정도관리(QA).

절 차	End point	빈도수
공간과 시드 와 리본의 넘버 분석	리본의 기하학적 과 시드의 양	처음
선원교정	선원의 세기	처음, 사용 시
시드 당 세기 또는 단위길이 당 세기	선원의 세기 균일도	처음
기구의 견고성	금속 바늘 : 날카로움과 직선도 O-링 견고성 과 구멍 위치	처음, 연1회
모의 선원 기하학적 분석	모의선원과 방사성 선원의 일치도	처음, 연1회
선원 누출 테스트	캡슐의 견고성	연2회
선원 재고조사 선원 준비 주변 서베이	정확한 선원의 개수 안전 또는 근접치료 종사자	분기별

㉞ 원격조정 근접치료 장비 정도관리(QA)

표 2-2-8. Task Group 40: 원격조정 근접치료 장비 정도관리(QA).

빈도수	테스트	오차한계
치료하는 날	치료실 문 안전장치, 경고등, 경고음 조정판 기능, S/W, 건전지, 프린트 선원 가이드 육안 검사, 리본 준비의 정확도 확인	기능 기능 꼬임 방지, 견고하게 부착 방사선 사진
매 주	모의선원과 실제선원 정확도 선원의 위치	1 mm 1 mm
선원 교체 및 분기별	교정 시각 기능 선원 가이드 및 연결의 정확도 검사 기구들의 기계적 견고성	3% 1% 1 mm 기능
연간	선량 계산 알고리즘 응급 스위치 상태 검사 선원 재고조사 검사	3%, 1 mm

㉔ 원격조정 근접치료 장비의 일일 정도관리 일일 정도관리

표 2-2-9. Task Group 56 : 원격조정 근접치료 장비의 일일 정도관리

테스트 목표	테스트 방법	시스템 형태
선량 전달의 정확도	날짜, 시간, 치료기 및 치료계획 컴퓨터에서 선원의 강도를 확인 제3의 표준에 대하여 선원의 세기 및 타이머의 정확도 확인	모든 기종 HDR/PDR
모든 장비의 기능	가상적인 치료의 모든 과정을 실행 - 프로그램 - 선원의 방출 - 치료 종료 시간에서 선원이 저장고로 되돌아가는지 - 치료 상태 지시등 과 중요한 선원의 조정 기능을 점검 - 영상 카메라 및 영상 시스템의 정확한 기능	모든 기종 HDR
환자/일반인/종사자 안전	정확한 기능 - 출입문 - 방사선 감시지역 - CCTV 및 상호의사 소통 장비 - 이동용 서베이미터 - 듣고/보는 오류 및 알람 조건 지시계 안전장비 이용가능 - 응급 시 요령 - 응급 장비(집계, 시술도구) - 작동자의 설명 책자 - 서베이미터 환자에 선원을 주입한 후 이동용 차폐를 고정 시켜 놓고 시간별 주간별 방사선의 정도를 측정	HDR/PDR HDR/PDR HDR/PDR  모든 기종 모든 기종  PDR/LDR
1 mm 범위 내 위치 정확도 검증	가능한 많은 테스트 - 한 개의 캐시터에 대한 우선적 위치 정확도 테스트 - 계획된 선원의 이동점 사이 가까이에 놓인 이온 전리함 반응의 변화 - 환자치료에 사용되는 모든 선원의 이동점 사이위치의 다중 채널 방사선 사진과 기대에 의하여 계획했던 위치와 비교 - 날마다 재현되는 캐시터 눈금자에서 상대적인 선원 끝의 위치를 육안 검사 안전기구속에 장착되는 환자에 따른 특별한 선원 배열의 방사선 사진	모든 기종  all fixed & programmable source train units
일시적 정확도	가능한 많은 테스트 - 선원 제거되는 동안 표시등 - 제3의 교정된 표준 Jig를 사용하여 일정한 시간 동안 방사선의 출력의 순간 점검을 수행 - 시각 또는 멈춤 시계로 프린트된 치료기록에서 선원의 출발 및 도착을 비교 LDR에서는 계획된 시간에 비교하여 전체 치료시간에서 정지된 치료시간을 뺀다.	HDR/PDR  LDR

㉞ 원격조정 근접치료 장비의 분기별 점검

표 2-2-10. Task Group 56: 원격조정 근접치료 장비의 분기별 점검

일반적인 endpoint	구체적인 테스트/endpoint	시스템 형태
종사자 안전 환자 안전	헤드/기계는 선원이 저장고에 있는 상태에서 서베이 한다. 중요한 안전장치와 응급은 시스템 기능에 반응한다. 응급 시 선원을 다루는 용구, 차폐된 저장고, 응급 시 기능을 할 수 있고 이용할 수 있는 기구들	모든 기종
선원의 위치, 상태 감지 시스템을 교정:	공급자의 설명서	모든 기종
모든 기구들의 정확한 작동, 모의선원	기구 세트를 통하여 기구들의 길이를 짧게 만드는 꼬임, 구부러진 것에 대한 실험. 모든 전달 기구 접속의 견고성 검사	모든 기종
위치 정확도 : 하나의 스텝핑 선원	방사선선원의 위치는 앞서 모의 치료에서 사용한 선원이 위치한 사이에 대하여 0.5 mm 이내에 일치하는지 검증 케이블 작동 확인 각 채널에서 일정한 선원의 진행으로 다중 채널의 방사선사진을 얻는다. 선원의 간격, 계획된 채널에 위치와 위치의 절차의 할당, 하나의 위치에 상대적인 색인 길이가 1 mm 이내에 정확해야 한다.	모든 기종  HDR/PDR single-stepping source device
선원 교정	이차 표준기관에서 사용한 공기커마세기로 선원을 측정	HDR/PDR
임의의 교정 검사	공기커마세기로 측정한 공급자와 사용자가 측정한 값이 차이가 허용오차 이내 이어야 한다.	HDR/PDR
위치 정확도: 다중선원의 기계	장치의 위치는 선원이 명시된 치료위치로 유도한다. 선원의 유도는 의도된 위치에 1 mm 이내로 계획된 채널에 전달된다. 선원의 유도는 정확하게 정렬되고 구성된다. 선원 재고조사 정확성 사용자가 접근 할 수 있는 저장 위치에서 정확한 위치에서 선원을 저장하는 훈련	모든 기종 모든 기종 programmable source train all fixed source-train devices
선원 교정	이차 표준기관에서 사용한 공기커마세기로 선원을 측정	HDR/PDR
임의의 교정 검사	공기커마세기로 측정한 공급자와 사용자가 측정한 값이 차이가 허용오차 이내 이어야 한다.	HDR/PDR
기 타	선원 교체 시 치료계획 컴퓨터 및 치료기에 선원의 세기를 교정 제2의 의학물리학자가 독립적으로 점검	모든 기종 HDR/PDR

㉞ 원격조정 근접치료 장비의 연간 정도관리(QA)

표 2-2-11. Task Group 56: 원격조정 근접치료 장비의 연간 정도관리(QA).

테스트 endpoint	테스트 방법	시스템 형태
종사자 및 일반인의 안전	주당 치료 환자 수 와 일반구역의 분석/종사자 방사선노출 점검 작업실, 건물 구조변경의 서베이 수행	모든 기종 모든 기종
선량 전달 정확도	분기별 교정위하여 사용한 이차표준 기관 과 다른 기관의 표준과 상호비교 공기커마세기를 검증	HDR/PDR  LDR
위치의 정확도	지그(Jig) 또는 방사선 사진의 카세트를 사용하여 일일, 월간의 위치 정확도를 검증 한 것을 확인한다. 모든 모의실험 표시들의 구조 공간들을 확인한다. 모의실험 표시가 모든 기구형태에 대한 방사선 선원이 일치하는지 확인한다. 모의선원 위치 절차를 확인한다.	모든 기종
일시적 정확도	타이머 선형도 와 독립된 정확도 일시적인 선량과 선원속도 확인한다. 펄스진행을 확인한다.	모든 기종 모든 기종 PDR
부과적인 안전 장치 응급반응 테스트	장비 탐지 선원 붙여진 선원캡슐을 모의 실험한다. 치료실 과 선원 저장고에 붙어 있는 선원 되돌림 응급 스위치를 확 인한다. 선원이 손상된 기구를 만나거나 과도한 마찰력이 발생했을 때 선원 이 되돌아오는지 응급으로 되돌아가는 모터가 작동하는지 확인한다.	HDR/PDR HDR/PDR  모든 기종
기 타	날짜 경과에 따른 선원의 세기 감쇄가 정확한지 확인한다. 모든 치료 장비에서 표준으로 구성된 것의 정확도를 확인한다. QA 절차서를 점검하고 필요하다면 새로운 것을 첨가 한다. 종사자가 요구되는 훈련을 점검한다.	모든 기종

⑥ 미국의학물리학회 Task Group 40 (Comprehensive QA for radiation oncology)과 Task Group 56(Code of practice for brachytherapy physics)의 정도관리 프로그램을 요약한 표 2-2-2.~표 2-2-11.의 내용을 기본으로 근접치료 정도관리의 항목을 주기별로 구분하여 표 2-2-12.~표 2-2-14.에 정리하였다.

㉞ 치료 시 정도관리에 포함할 사항

매일 방사선을 조사하는 외부 조사치료와는 달리 근접치료는 대개 일주일에 두 번 또는 필요에 따라 시행된다. 치료가 시행되기 전에 다음의 검사항목을 포함하는 정도관리가 수행 되어야 한다.



표 2-2-12. 치료 시 고 선량을 근접치료의 정도관리 항목 및 허용오차

검사항목	허용오차	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	
출입문 경고등 동작	정상	
출입문 연동장치 동작	정상	
감시(시청각)장치의 동작	정상	
비상 스위치 동작	정상	일시정지 스위치 포함
방사능 감시기 (alarm meter)	정상	
시각, 날짜 의 확인	정상	
환자의 신원	확인	
환자의 치료 데이터의 확인 및 기록	확인	처방선량, 부위, 횟수, 총선량, 서명 등
장착기의 상태와 종류 확인 및 기록	확인	파손, 이상 등 육안 확인
치료 후 서베이		
감쇄된 선원의 세기 확인	50 mCi	감쇄표로 확인
선원의 위치 확인	±2 mm	
비상상황에 대한 장비 보유 확인	확인	비상용 선원 보관함 long-handled forceps emergency kit 등
근접치료실의 출입통제	확인	열쇠의 별도보관
조정 패널 또는 컴퓨터의 통제	확인	열쇠의 별도보관

㉞ 월간 또는 선원의 교체 시 정도관리 검사항목에 포함할 사항

표 2-2-13. 월간 또는 선원의 교체 시 정도관리 검사항목 및 허용오차

검사 항목	허용오차	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	
출입문 경고등 동작	정상	
출입문 연동장치 동작	정상	
감시(시청각)장치의 동작	정상	
비상 스위치 동작	정상	일시정지 스위치 포함
방사능 검출기 (alarm meter)	정상	
장비 및 치료실의 누설선량 검사	확인	별첨 표
선원의 세기 확인	5 %	
선원의 위치 확인	±2 mm	
조사시간의 정확도	확인	
비상상황에 대한 장비 보유 확인	확인	비상용 선원 보관함 long-handled forceps emergency kit 등
치료 시의 정도관리 기록	확인	

㉔ 연간 정도관리 검사항목에 포함할 사항

표 2-2-14. 연간 정도관리 검사항목 및 허용오차

검사항목	허용오차	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	
출입문 경고등 동작	정상	
출입문 연동장치 동작	정상	
감시(시청각)장치의 동작	정상	
비상 스위치 동작	정상	일시정지 스위치 포함
방사능 검출기 (alarm meter)	정상	
장비 및 치료실의 누설선량 검사	확인	
배터리 전압(battery voltage)	확인	2년마다 교체
다중 channel 동작여부	정상	
선원 및 모의 선원 작동 벨트 상태	확인	2년마다 교체권고
선원의 세기 확인	±5%	
선원의 위치 확인	±2 mm	
조사시간의 정확도	확인	
비상상황에 대한 지침서 및 장비 보유 확인	확인	비상용 선원 보관함 long-handled forceps emergency kit, 지침서 등
월간 정도관리 기록	확인	
장착기 등 관련기기의 재고조사	확인	대조 및 기록
종사자 안전교육	정상	자체 교육 및 외부 의뢰

(라) 각 정도관리 항목의 내용

- ON/OFF : 주 전원의 동력 공급
- 임시 정지(interrupted)  
 예정되지 않았던 상황 발생 시 잠시 치료를 멈추는 기능. 가상적인 시간을 예정하고 치료기 가동한 순간적으로 임시정지 스위치를 눌러 정지 시켰을 때 치료되지 않은 치료 시간이 그대로 유지되는지 확인하고 프린트를 통하여 메시지가 출력되는지를 확인하는 기능.

#### 조사내용 및 오류 코드 출력 유무

정상적인 치료, 오류발생, 장비의 고장 등의 모든 정보를 제작사가 제공한 오류 코드와 일치하여 출력하는 기능.

#### 건전지 전압

건전지는 치료기의 작동 중 전원이 갑자기 공급되지 않을 때 오직 건전지의 힘만으로 선원이 되돌아오도록 하는 기능이다. (장비 공급자는 2년마다 건전지 교체를 권고하고 있다.)

#### 다중 채널 동작

여러 개의 선원의 가이드 튜브를 동시에 사용하여 넓은 면적에서 균일한 선량을 분포를 얻고자 할 때 사용한다. 이때 가이드의 순서대로 정확히 선원이 공급되어야 한다.

#### 치료기 등에 부착된 응급 스위치 작동

선원 교체 시 또는 치료실 내부에서 작업을 할 때 선원의 돌출 상황이 발생하면 또는 치료실 내부에 환자이외의 사람이 존재하는 것을 모르고 치료실 밖의 사람이 치료기를 작동시켰을 때 응급 스위치를 사용하여 치료기의 작동을 멈추게 하고 선원을 제자리로 되돌아가도록 하는 장치

#### 방사선 검출기의 작동

원격 조정 근접 치료기가 작동하는 동안 또는 치료에 상관없이 저장고에 있는 선원이 밖으로 노출되었을 때 비상 음과 함께 방사선의 노출을 감시하는 장치다.

#### 환자 감시용 TV 모니터 및 상호 의사소통 통신 장치

환자의 움직임이나 응급 시 대처 할 수 있고 또는 치료기의 정상적인 작동을 확인하는 장치이다.

#### 치료기 주변의 누설선량 테스트

선원의 저장고로부터 저장고의 상태가 좋지 않을 때 선량은 많이 노출되기 때문에 누출 선량을 측정하여 선원의 저장고의 상태를 점검한다.

#### 출입문의 연동 장치

치료가 가동 중일 상황에서 외부 사람이 치료실 내부로 침입하면 치료기 작동

이 멈추고 선원이 저장고로 되돌아가는 장치이다. 또는 출입문이 완전히 닫혔을 때 조정 판에 시작 신호가 들어오게 하는 장치이다.

#### 치료실 경고 등

출입문 위에서 방사선 치료 경고 등은 치료기가 작동하는 동안 외부사람의 침입을 막기 위한 장치다.

#### 근접치료실 출입 통제

치료실 내부는 고선량의 선원이 존재하므로 관련 종사자를 제외한 외부 사람의 출입을 통제해야 한다.

#### 조정판 또는 컴퓨터의 통제

치료실 통제와 동일하게 선원의 출입을 통제하는 조정판의 관련 종사자를 제외한 외부 사람에게 개방해서는 안 된다.

#### 조정실 응급 스위치 작동

유사시 응급 스위치를 작동하여 치료를 중단하고 선원이 저장고로 안전하게 되돌아 가도록 하는 장치

#### 환자의 신원 확인

치료 전 환자의 신원을 확인하여 환자의 데이터가 다른 사람과 바뀌었는지 확인하고 또는 처음 계획된 데이터가 손상되지 않고 유지되고 있는지 확인.

#### 시각, 날짜의 확인

시각, 날짜는 선원의 감쇄와 직결되고 또한 이것은 조사의 총 시간과 직결되므로 치료 기의 날짜와 치료계획 컴퓨터의 날짜 치료 날짜 시각이 모두 일치해야한다.

#### 치료 후 서베이

환자의 치료가 끝난 후 환자 몸 또는 기구 속에 그대로 남아 있을 경우 환자 또는 종사자 보호자들이 불필요하게 방사선에 노출된다.

#### 장착기의 상태와 종류확인 및 기록

병소의 부위별로 쓰이는 장착기의 종류가 다양하다. 장착기의 상태를 확인하고

종류별로 구별하여 기록하여 보관해야한다.

#### 감쇄된 선원의 세기확인

선원의 종류에 따라 감쇄정도가 다르므로 사용자의 선원에 따라 감쇄표를 이용하여 감쇄를 확인한다.

#### 비상 상황에 대한 장비 보유

선원이 안전하게 되돌아가지 않은 상황에서 환자나 종사자들의 방사선에 과다 노출을 막기 위한 기구이다. 즉 별도의 선원 저장고, 선원을 집을 수 있는 손잡이가 달려 있는 집게 막대 등이다.

#### 월간 정도 관리 기록

주간 및 치료 전 정도관리를 한달 주기로 제 검토하고 기록하여 보관한다.

#### 장착기 등 관련기기의 재고 조사

분기별로 장치기 관련기기의 상태, 개수, 올바른 쌍 등을 조사하여 이것을 인한 치료의 차질을 사전에 차단하는 것이다.

#### 선원의 위치정확도

선원을 선원 가이드 튜브를 통하여 기구들에 이동되는데 이것은 선원케이블에 의하여 이동된다. 이 때  $\pm 2$  mm의 정확도를 요구한다.

#### 선원의 등방성, 비등방성 테스트

선원을 둘러싸고 있는 물질, 물리 화학적 형태에 따라서 선량 분포가 다르다. 그러므로 선원의 상세 구조도를 주의 깊게 관찰하는 것이 중요하다. 비등방성은 선원의 끝에서 많이 발생한다.

#### 선원의 활성화도 테스트

구입한 방사성 선원은 선원을 설명하는 즉 선원의 방사능, 부모 방사능 또는 방사능에 관련된 다른 양 즉 특별한 필터 벽으로서 동일한 라듐의 질량 등을 나타내는 증명서를 제공한다. 증명서는 조사 선량을 또는 기준 공기 커마율(특정한 기하학적 구조에 주어진 거리, 자유공간에서  $\mu\text{Gy/h}$ )와 공기커마세기 ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )로 주어진다. 선원을 설명하기위하여 사용되는 용어가 무엇이든지 사용자의 선원이 기술된 불확정도는  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  이내로 일치하여야한다.

## (2) 근접치료기의 정도관리 절차서 초기 모델 개발

근접치료의 정도관리는 강제적이고도(국내는 일부항목에 한하여 권장) 번거로운 실행과정의 확인, 물리적 측정, 기록의 규격화, 교육과 경험의 규격화, 치료과정의 지침 등으로 이루어져 있다. 이러한 일련의 과정은 각 개인의 치료를 일관성 있게 기록하고, 인접 장기나 정상세포에 방사선이 최소로 조사되고, 종양세포에 높은 선량을 균일하고 정확하게 조사하여 방사선 치료의 최상의 목적을 이루도록 하는 것이다. 그리고 치료하는 동안 일반인 또는 종사자들에게 불필요한 방사선 노출이 되지 않도록 하는 것이다.

### (가) 근접치료의 정도관리(quality assurance) 분류

장비의 오작동과 특정행위의 오류를 방지하기 위해 정도관리 프로그램을 수행하는데 있어서 특성에 따라 세 가지로 구분하여 표 2-15에 요약하였다.

- ① 전체 시스템의 기능
- ② 선량의 정확성, 선원의 위치, 시간
- ③ 종사자의 교육과 안전 및 응급 사항

표 2-2-15. 근접치료 장치 특성별 정도관리의 분류표

A	B	C
다중 채널(channel)	조사시간의 정확도	출입문 경고 등
배터리 전압	선원의 세기	시청각 감시 장치
선원 및 모의 선원 벨트	선원의 위치 정확도	비상 스위치 동작
장착기의 상태와 종류 확인	선원 가이드 및 연결의 정확도	환자의 치료데이터 확인 및 기록
기구들의 기계적 견고성	이온 전리함	방사능 감시기
모든 콜포스타 캡과 실린더	우물 형 전리함	출입문 연동장치
	지그 팬텀	치료 후 서베이
	선량전달 정확도	환자의 신원
		비상 상황에 대한 장비 보유
		캡슐의 견고성
		치료실 누설선량 검사
		장비의 누설선량
		치료 시 정도관리 기록
		비상상황에 대한 지침서
		월간 정도관리 기록
		근접 치료실의 출입통제
		종사자 안전 교육

(나) 국내 병원의 정도관리 현황

국내에서 13개 병원에서 사용하고 있는 근접치료기의 정도관리절차서를 수집 그 내용을 개발된 초기 모델과 비교, 분석한 후 기간별, 항목별로 분류, 선별하여 표 2-2-16., 2-2-17.에 요약하였다.

표 2-2-16. 기간별 정도관리

기간 별	병원 수(총 1개)
일일점검	9
주간점검	1
월간점검	2
선원 교체 시 점검	13
년 간 점검	-

표 2-2-17. 항목별 정도관리

항목별 정도관리	병원 수	정도관리항목별	병원 수
방사선 ON/OFF	10	조정패널 컴퓨터 통제	-
출입문 경고등	8	관련기기의 재고 조사	3
출입문 연동장치	9	월간 정도관리 기록	2
감시(시청각)장치	8	선원의 관리	1
비상 스위치	8	선원 누출(smear test)	2
방사능 감시기	6	기구들의 기계적 견고성	-
방사능 검출기	6	기구들의 길이, 넓이 등 유지	-
치료실 누설선량	4	선량 전달 정확도	2
장비누설선량	3	모든 장비의 기능	-
배터리 전압	5	종사자 안전 교육	1
다중 channel 동작	-	측정기 점검	-
선원 및 모의선원벨트	-	시각, 날짜의 확인	6
선원의 세기	13	환자의 신원	2
선원의 위치	9	환자의 치료데이터의 확인 및 기록	3
선원 가이드 및 연결	3	장착기의 상태 확인	2
조사시간의 정확도	2	치료 후 서베이	5
비상 상황 지침서	2	감쇄된 선원의 세기 확인	4
비상상황 장비 보유	4		
근접치료실 출입통제	13		

국내 병원의 경우, 표 2-2-18. 기간별 정도관리에서 볼 수 있듯이 일일 및 선원교체 시의 정도관리는 자체적으로 개발한 절차서를 사용하여 정도관리를 수행하고 있으나 국내 의료기관의 사정상 연간 정도관리에는 여력이 미치지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 표 2-2-19.에 나타난 항목별 정도관리의 현황에서 국내의 기관들은 시스템의 기능이나 정확도에는 기본적인 정도관리를 수행하고 있으나, 당장은 그 영향이 크지 않으나 사고 시 매우 영향이 큰 교육 및 안전관리에는 미흡한 것을 보여준다.

(다) 근접치료의 정도관리 주기에 따른 항목 및 오차범위

국내에서 사용하고 있는 근접치료기의 정도관리 절차서를 수집, 그 내용을 개발된 초기 모델과 비교, 분석한 후 항목 분류 및 선별하여 정도관리에 대한 검사 항목, 주기, 허용오차 및 검사방법 최종 도출하였다. 근접치료의 정도관리 분류(시스템의 기능, 정확도, 교육 및 안전)와 기간(일일 또는 치료 시, 월간 또는 선원교체 시, 연간)에 따라 항목과 허용오차를 표 2-2-18.~표 2-2-20.에 기술하였다.



표 2-2-18. 일일 또는 치료 시 정도관리 항목 및 허용오차

항 목	허용오차	필/선	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	필수	
출입문 경고 등 동작	정상	필수	
출입문 연동장치 동작	정상	필수	
시청각 장치의 동작	정상	필수	
방사능 감시기(Alarm meter)	정상	필수	
방사능 검출기(GM counter)	정상	필수	
시각, 날짜 의 확인	정상	필수	
비상 스위치	확인	필수	일시정지 스위치 포함
환자의 신원 확인	확인	필수	
환자의 치료 데이터의 확인 및 기록	확인	필수	처방선량, 부위, 횟수, 총 선량, 서명
장착기의 상태와 종류 확인 및 기록	확인	선택	파손, 이상 등 육안 확인
치료 후 서베이	확인	필수	
감쇄된 선원의 세기 확인	±50 mCi	필수	감쇄표로 확인
선원의 위치 확인	±2 mm	선택	
비상상황에 대한 장비 보유 확인	확인	선택	비상용 선원 보관함, long-handled forceps, emergency kit 등
근접치료실의 출입통제	확인	선택	열쇠의 별도보관
조정 패널 또는 컴퓨터의 통제	확인	필수	열쇠의 별도보관

표 2-2-19. 월간 또는 선원의 교체 시 정도관리 항목 및 허용오차

항 목	허용오차	필/선	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	필수	
출입문 경고 등 동작	정상	필수	
출입문 연동장치 동작	정상	필수	
시청각 감시 장치의 동작	정상	필수	
비상 스위치 동작	정상	필수	일시정지 스위치 포함
방사능 감시기 (alarm meter)	정상	필수	
방사능 검출기 (GM counter)	정상	필수	
선원의 세기 확인	±5%	필수	
선원의 위치 확인	±2 mm	필수	
장착기의 상태와 종류 확인 및 기록	확인	선택	파손, 이상 등 육안 확인
치료실의 누설 선량 검사	정상	필수	
장비의 누설 선량 검사	확인	선택	
비상상황에 대한 장비 보유 확인	확인	필수	비상용 선원 보관함, long-handled forceps, emergency kit 등
근접치료실의 출입통제	확인	필수	열쇠의 별도보관
조정 패널 또는 컴퓨터의 통제	확인	필수	열쇠의 별도보관
치료 시 또는 일일 정도관리 기록 확인	확인	필수	

표 2-2-20. 연간 정도관리 항목 및 허용오차

항 목	허용오차	필/선	비 고
방사선 ON/OFF 스위치 확인	정상	필수	
출입문 경고 등 동작	정상	필수	
출입문 연동장치 동작	정상	필수	
감시(시청각)장치의 동작	정상	필수	
비상 스위치 동작	정상	필수	일시정지 스위치 포함
방사능 감시기 (Alarm meter)	정상	필수	
방사능 검출기 (GM counter)	정상	필수	
배터리 전압(battery voltage)	정상	필수	2년마다 교체 권고
다중 channel 동작여부	정상	필수	
선원 및 모의 선원 작동 벨트 상태	확인	필수	2년마다 교체 권고
선원의 위치 확인	±2 mm	필수	
선원 가이드 및 연결의 정확도 검사	2 mm	필수	

조사시간의 정확도	1%	선택	
모든 콜포스타 캡과 실린더 정확도	정상	선택	기구들의 길이 넓이 측정
우물형 측정기	2%	필수	정확도
	1%	선택	선형도
	1%	필수	수집 효율
이온전리함 및 미소전류계	2%	필수	수집 효율
지그 팬텀 점검	1%	필수	선원과 전리함의 거리
선량 전달 정확도	±20%	선택	날짜, 시간, 치료기 및 치료계획컴퓨터에서 선원의 강도 확인 제3의 표준에 대하여 선원의 세기 및 타이머의 정확도 확인
비상상황에 대한 지침서 및 장비 보유 확인	확인	필수	비상용 선원 보관함, emergency kit, long-handled forceps, 지침서 등
기구들의 기계적 견고성	정상	필수	
근접치료실의 출입통제	확인	선택	열쇠의 별도보관
조정 패널 또는 컴퓨터의 통제	확인	선택	열쇠의 별도보관
장착기 등 관련기기의 재고조사	확인	선택	대조 및 기록
월간 정도관리 기록 확인	확인	필수	
선원 캡슐의 견고성(smear test)		필수	선원의 누출 테스트
종사자 안전	정상	필수	안전 장비 이용 가능, 응급 시 요령 작동자의 설명 책자, 서베이미터 작동 여부, 이동용 차폐 용기

미국 NRC에서는 모든 근접치료용 선원의 경우 매 6개월마다 선원의 누설검사를 요구하고 있으며 국내에서는 한국원자력안전기술원(KINS)에서 매년 선원의 누설검사를 권장하고 있다. 이는 선원의 캡슐 손상으로 인한 누출을 우려하는 것이나 고선량을 근접치료에 사용하는 Ir-192 선원의 경우에는 원통형 금속을 방사화시켰기 때문에 누설검사가 필요치 않다고 사료된다.

#### (라) 정도관리 항목별 내용 및 검사방법

① 방사선 ON/OFF 스위치 : 치료기 조정 판이 정상적으로 작동하는지 판단하는 것이다.

주기 : 치료 시 또는 일일, 월간, 연간

방법 : 조정 판의 열쇠를 작동 하였을 때 정상적으로 모든 기능이 인지되는지 확인한다.

허용오차 : 정상

② 출입문 연동장치 및 경고 등 : 방사선 치료 시 치료중인 것을 주의 사람들에게 인지시키고 그리고 인지하지 못한 사람이 치료실을 출입을 하였을 때 선원이 자동으로 저장고로 되돌아오는지 확인 하는 것이다.

주기 : 치료 시 또는 일일, 월간 , 연간

방법 :

- 치료기에 선원 가이드튜브를 연결 하고 가상의 치료거리와 치료시간을 설정한 다음 가상의 치료를 시작 한다. 일정한 시간이 흐른 후에 출입문을 강제로 열고 선원이 저장고로 안전하게 되돌아가는지 확인한다. 이때 선원이 저장고로 안전하게 되돌아 간 후 다시 출입문을 닫고 다시 치료 시작 스위치를 작동 할 때 까지 선원이 안전하게 저장고에 있는지 확인한다.
- 경고등은 치료시작 스위치를 작동한 직후 경고등이 작동되는지 그리고 출입문이 열리거나 치료 종료 후 경고 등 작동이 멈추는지 육안으로 검사한다.

허용오차 : 정상

③ 비상 스위치(일시정지 스위치 포함) : 비상스위치는 방사선 치료 시 예고하지 않은 상황이 발생 하였을 때 방사선 치료를 즉시 멈추고 환자를 안전한 곳으로 대피하도록 유도하는 장치이다.

주기 : 치료 시 또는 일일 점검, 월간, 연간

방법 : 치료기에 선원 가이드튜브를 연결 하고 가상의 치료거리와 치료시간을

설정된 다음 가상의 치료를 시작 한다. 일정한 시간이 흐른 후에 조정 판 또는 조정 실벽에 있는 비상 스위치를 작동 시킨다. 작동 직후 선원이 저장고로 안전하게 되돌아가는지 CCTV를 통하여 확인한다. 그리고 비상 스위치 작동을 멈추고 치료 시작 스위치를 작동할 때 까지 선원이 안전하게 있는지 확인한다.

허용오차 : 정상

- ④ 방사능 검출기 : 방사선 치료 시 선원의 작동 여부를 확인 하고 방사선 누출을 감지한다.

주기 : 치료 시 또는 일일, 월간, 연간

장비 : GM 계수관

방법 : 치료기에 선원 가이드튜브를 연결 하고 가상의 치료거리와 치료시간을 설정한 다음 가상의 치료를 시작 한다. 치료 시작과 동시에 방사능 검출기에서 방사능량이 계기판에 검출되는지 또는 경고음이 나오는지 확인한다.

허용오차 : 정상

- ⑤ 시청각 감시기 : 방사선 치료 시 환자의 안전한 상태를 감시하고 환자의 불필요한 행동자제 시키는 장치.

주기 : 치료 시 또는 일일, 월간, 연간

방법 : CCTV를 통하여 내부에 설치한 카메라 위치를 확인하고 다른 종사자와 함께 치료실과 조정실에서 서로 의사소통을 하면서 의사소통이 제대로 되는지 확인한다.

허용오차 : 정상

- ⑥ 선원의 위치정확도 : 선원은 선원 가이드튜브를 통하여 기구들에 이동되는데 선원은 케이블에 연결돼 이동된다. 이 때 선원의 위치는  $\pm 2$  mm의 정확도를 요구한다.

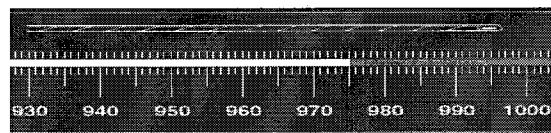
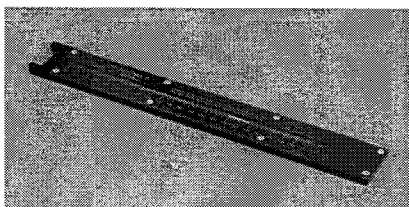


그림 2-2-1. 눈금자

주기 : 치료 시 또는 일일, 월간, 연간

장비 : 제작사에서 제공한(그림 2-2-1, 그림2-2-2) 눈금자 또는 필름, 모의선원

방법 :

- 그림 2-2-1.에 보여준 것과 같은 눈금자를 이용하여 선원의 임의의 위치를 설정한 다음 선원을 지정한 위치에 이동 시켰을 때 눈금자가 가리키는 수치가 임의로 설정한 값에 일치하는지 확인한다.

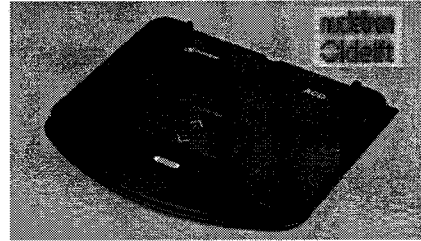
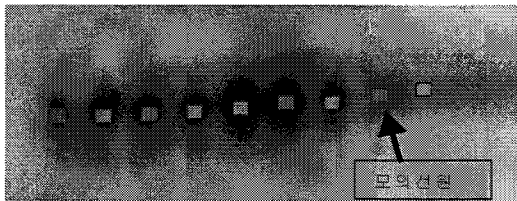


그림 2-2-2. 모의선원과 실제 선원과의 일치도를 나타내는 방사선 사진

- 그림 2-2-2.에 보여준 것처럼 방사성 선원의 위치와 모의 선원의 일치성을 방사선 사진을 통하여 확인 할 수 있다. 필름에다 모의선원을 놓고 외부 방사선을 조사한 다음 모의 선원의 위치에 맞게 선원 이동 할 위치를 계획한 후 실제 선원이 이동하여 필름을 감광 시킨 위치와 일치 하는지 확인하는 것이다.

허용오차 :  $\pm 2$  mm

- ⑦ 치료실 누설선량 검사 : 방사선 구역 내 종사자 및 비종사자의 방사선 피폭에서 보호하고 시설의 안전을 점검한다.

주기 : 월간

장비 : 서베이미터

방법 : 가상의 방사선 치료를 시작한 후 도면상에 따른 지점에 서베이미터를 이용하여 법정 허용 선량을 초과 하는지 측정한다.

허용오차 : 10 mrem/week

- ⑧ 배터리전압 : 배터리는 갑작스러운 정전으로 인하여 전원공급이 중단되었을 때 선원을 안전하게 저장고로 되돌아가도록 하고 치료 데이터를 보존하는 비상전원이다.

주기 : 연간

장비 : 전압 및 전류 측정 테스트기

방법 :

- 치료기에 선원 가이드튜브를 연결 하고 가상의 치료거리와 치료시간을 설정한 다음 치료 시작 후 전원 공급함에서 주 전원 스위치를 off 시킨다. 이 때 선원이 저장고로 안전하게 되돌아가는지 확인하고 치료 데이터가 보존 되는지 확인한다.
- 전류 및 전압계 등을 이용하여 치료기에 부착된 배터리전압을 점검한다.

허용오차 : 정상

- ⑨ 다중 channel 동작여부 : 방사선 치료 시 2개 이상의 채널에 선원 가이드튜브 연결 시 선원이 치료계획에 명시된 치료위치로 선원이 유도되도록 한다.

주기 : 연간

방법 :

- 2개 이상의 채널을 이용한 가상의 방사선 치료 지점을 프로그램화 하고 가상의 방사선 치료를 실시한다. 이 때 프로그램화된 순서대로 치료가 시작되는지 확인한다.
- 강제적으로 치료기 채널의 순번을 바꾸어 연결하고 방사선 치료를 시행 하였을 때 에러 메시지가 출력되는지 확인한다.

허용오차 : 정상

- ⑩ 선원가이드 튜브 연결의 정확도 : 방사선 치료 시 선원 가이드튜브를 통하여 유도된 선원의 위치가  $\pm 2$  mm 이내로 계획된 채널에 전달 되어야한다.

주기 : 월간, 연간

장비 : 필름, 모의선원

방법 : 유도된 선원의 정확도는 그림 2-2.에 나타난 것처럼 방사선 선원의 위치와 모의 선원의 일치성을 방사선 사진을 통하여 확인 할 수 있다. 가상으로 계획된 방사선 치료 지점에 필름을 부착시켜 놓고 가상의 방사선 치료를 실시한다. 그리고 모의 선원을 선원 가이드튜브에 삽입하고 외부 방사선을 조사하여 방사성 선원이 이동한 위치와 모의선원이 놓인 곳이 일치 하는지 확인하는 것이다.

허용오차 :  $\pm 2$  mm

- ⑪ 조사시간의 정확도 : 방사선 치료 시 방사선 조사량은 시간에 따라 좌우 된다. 그러므로 조사시간의 정확도는 방사선 치료에 직접적인 영향을 미친다.

주기 : 월간, 연간

장비 : 표준 시계

방법 : 독립된 타이머를 이용하여 조사 횟수를 5회 이상하여 평균한 값이 치료기의 치료시간과 일치 하는지 확인한다. 이때  $\pm 1\%$  이상의 차이가 발생하였을 때 제조회사에 의뢰한다.

허용오차 :  $\pm 1\%$

⑫ 캡슐의 견고성(smear test) : 방사성 물질을 둘러싸고 있는 캡슐의 부식 또는 파손으로 인하여 치료기 및 방사선 치료기구들의 방사능 오염이 유발 된다.

주기 : 연간

장비 : 면봉, 알코올, GM 계수관 또는 섬광 계수관

방법 :

- 물 또는 알코올 등에 젖은 면봉이나 필터 종이 등을 이용하여 방사선 선원이 지나가는 선원 가이드 튜브 내부 또는 방사선 치료기구 내부를 문지름 방법으로 닦는다.
- 오염도 측정은 교정된 GM 계수관 또는 섬광 계수관 등을 이용하여 측정한다. 이러한 측정 장비들은 37 Bq(1.0 nCi)까지 측정 할 수 있어야 한다.

허용오차 :

⑬ 모든 콜포스타 캡과 실린더 정확도 : 초기 기구들의 길이 넓이 밀도 등의 기하학적 변화로 인하여 차폐 및 정확한 방사선 치료에 오류를 가져온다.

주기 : 연간

장비 : 측정자 또는 마이크로미터 또는 필름

방법 : 측정자 및 마이크로미터 등을 이용하여 외경 및 내경 등을 측정한다. 그리고 기구들의 평면 및 측 면 등의 방사선 사진을 통하여 기구들의 견고성 및 밀도 등을 확인한다.

허용오차 : 정상

⑭ 선원의 세기 : 구입한 방사성 선원은 선원을 설명하는 즉 선원의 방사능, 부모 방사능 또는 방사능에 관련된 다른 양 즉 특별한 필터 벽으로서 동일한 라듐의 질량 등을 나타내는 명세를 제공한다. 증명서는 조사선량을 또는 reference air-kerma rate (특정한 기하학적 구조에 주어진 거리, 자유공간에서  $\mu\text{Gy/h}$ )와 air-kerma strength ( $\mu\text{Gym}^2/\text{h}$ )로 주어진다.



그림 2-2-3. a) 우물형 전리함을 이용한 선원의 활성화도 측정  
 b) 고체 팬텀을 이용한 선원의 활성화도 측정  
 c) Jig를 이용한 선원의 활성화도 측정

주기 : 월간 또는 선원 교체 시

장비 : 이온 전리함 그리고 지그 팬텀 또는 우물형 전리함,

방법 : 그림 2-2-3.의 a, b에 보여준 것처럼 우물형 전리함을 또는 지그 팬텀을 가지고 정해진 절차서에 따라서 사용하여 선원의 활성화도를 측정한다. 공기 중에서 지그 팬텀을 이용하여 이온전리함을 일정한 거리(10 cm)에 위치 시켜 놓고 일정한 시간에 방사선을 조사하여 측정하여 비교한다.

허용오차 :  $\pm 5\%$

⑮ 종사자 안전 : 평소의 교육 및 실습으로 방사선 치료 시 및 유사시 환자 및 종사자의 안전을 도모한다.

주기 : 연간

장비 : 교육자료

방법 :

- 평소 안전 장비 착용 및 이용을 습관화한다.
- 응급 시 요령을 교육, 숙지 및 실습 등으로 숙지시킨다.
- 작동자의 설명 책자 등을 숙지하고 서베이미터, 이동용 차폐용기 응급 시 선원 제거용 집게 등을 항상 비치하고 점검한다.

⑯ 이온 전리함 및 우물 형 측정기 검 교정 : 정확한 선량을 측정하여 선량 계산의 오류를 방지 하는데 있다.

주기 : 연간

방법 : 각종 전리함 등을 주기적으로 국가 표준기관에 의뢰하여 검 교정을 받는다.

허용오차 : 2%



⑰ 감쇄된 선원의 세기 확인 : 방사선 치료는 선원의 감쇄에 따라 방사선 치료 시간이 길어진다. 그러므로 방사선 감쇄정도를 사전에 인지하는 것이 방사선 치료의 정확성을 높인다.

주기 : 치료 시 또는 일일

장비 : 감쇄 표

방법 : 처음 선원 구입 시부터 날짜 별로 선원 감쇄 표를 작성하여놓고 주기적으로 치료기의 계산된 값과 비교한다.

허용오차 :  $\pm 50$  mCi

### (3) 근접치료용 방사선량 측정 도구 설계

- 방사성동위원소의 선량 및 비등방성 선량분포를 측정하는 방법 중 본 연구에서는 GafChromic 필름을 이용하여 선량 및 비등방성 선량분포를 측정하고자 아크릴을 이용한 팬텀을 설계하여 그림 2-2-4에 표시하였다. 이 팬텀은 300 × 300 × 50 mm의 아크릴 4장으로 구성되며 3장은 선원에서 나오는 감마선의 후방산란을 방지하기 위해서 1장은 선원의 삽입용이다.

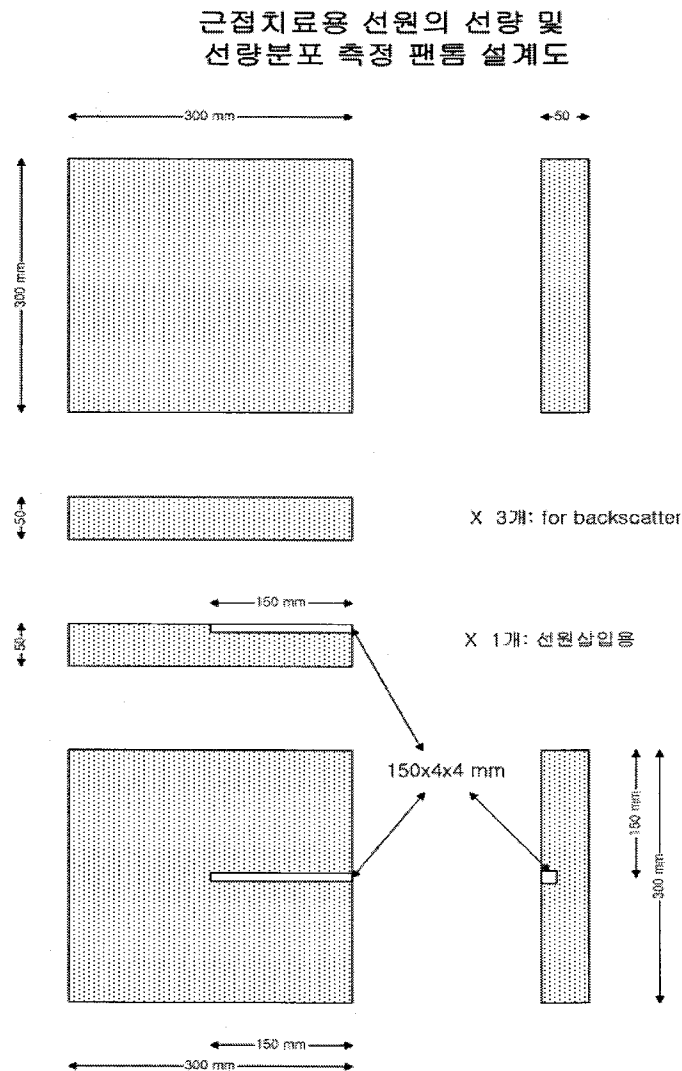


그림 2-2-4. 근접치료용 선원의 선량 및 선량분포 측정 팬텀 설계도

#### (4) 근접치료기의 정도관리 절차서 개발

##### (가) 정도관리 절차서

외국논문, 관련책자, 사고사례집, 등과 국내 고선량을 근접치료기기를 이용하고 있는 37개 기관에서 자체 개발하여 사용하고 있는 정도관리 절차서 등 기초 자료를 수집하여 이를 토대로 초기 모델을 개발을 하였다. 이와 같이 개발된 절차서를 각 기관들의 의견서와 자문을 참고하여 항목분류 검사주기 허용오차 및 검사 방법 등을 보완하고 개발하여 최종의 절차서를 만들었다. 최종적으로 만든 절차서를 가지고 9개 기관을 대상으로 실험을 하여 의학물리학회 및 외국 학회 등에 발표하였다. 실험하는 동안 문제점을 보완하고, 학회발표 등에서 지적된 내용을 바탕으로 절차서를 수정 보완하여 국내 인원과 환경에 맞게 포괄적이면서 세심하고 적용하기에 편리한 정도관리 절차서를 최종적으로 수립하였다. 수립된 내용은 Appendix 2. 표 1-3에 나타내었다.

정도관리절차서는 내용적으로 방사선 안전, 치료기의 동작, 환자 치료 등으로 구분하였고 주기별로는 일일(환자 치료 시), 월간 및 선원 교체 시, 연간으로 구분하였다.

첫째 방사선 안전에 관하여서는 치료 기기의 기계적 동작, 전기적 안전, 선원의 관리, 선원을 감시하는 검출기, 치료 시 환자를 안전하게 감시하는 장비, 건물차폐, 치료기기와 구조물과의 상호 연계, 사고 때 안전하게 대처 할 수 있는 장비와 종사자의 교육 등을 기본으로 하여 항목을 설정하였다. 둘째 치료기의 동작은 치료기 설치 때와 동일한 수준을 유지하면서 정확하고 안전하게 환자를 치료 할 수 있도록 항목을 설정하였다. 셋째 환자치료는 치료 시에 필요한 도구들의 상태 및 유지 보수 등으로 항목을 설정하였다. 검사 주기는 국내 실정에 맞게 인력 장비 등을 고려하여 환자치료 시(일일), 월간, 연간 등으로 구분하였다.

##### ① 방사선 안전

- ㉠ 출입문 경고 등, 출입문 연동장치 : 가상 프로그램을 설정하여 조사하는 동안 경고 등의 정상작동 여부를 조사하고, 출입문 연동 장치는 조사 때 강제적으로 출입문을 열면 방사선 선원이 제자리로 되돌아오는지 조사하였다. 조사결과 9곳 모두 프로그램을 적용하는데 문제가 없었다. 시간은 30초정도 소모되었다.

- ㉔ 시청각 감시 장치 : 두 사람이 치료실과 조정 실에서 대화 하는 방식으로 시행 하였다. 모든 조사기관이 통신 장비는 모두 설치되었다. 그러나 음향기기의 상태가 양호한 곳은 5곳 보통은 2곳 좋지 않은 곳 2곳이 조사되었다.
- ㉕ 근접치료실 출입통제 시건장치, 제어판 또는 컴퓨터 통제 시건장치 : 조사기관마다 인원 문제에 있어서 약간의 차이는 있지만 우리가 조사한 기관은 모두 의학물리사가 담당하여 외부인 출입 또는 담당자 이외의 사람이 장비 조작 등은 철저히 관리 되고 있는 것으로 조사하였다.
- ㉖ 비상 스위치동작 : 선원이 저장함 밖으로 나왔을 때 강제적으로 선원을 저장함으로 신속하게 되돌아가도록 하는 장치이다. 조사기관 모두 정상적으로 작동되었다. 이 경우 강제적으로 선원 구동 모터를 빠르게 회전 시키므로 잦은 시험은 선원의 구동 모터 손상의 원인이 되는 것으로 판단하였다.
- ㉗ 치료실 및 치료 장비 누설 검사 : 시설 도면을 통하여 구조물 변경 또는 파손으로 인하여 방사선 누출이 있는지 살피는 것이다. 별도의 구조 도면과 기록 장부가를 조사기관 모두 보유하고 관리가 잘 되고 있는 것으로 조사되었다. 조사 시간은 30분 정도 소모되었다.
- ㉘ 비상상황을 위한 장비 : 제조사에서 제공된 비상시 선원보관함과 비상시 선원케이블을 절단 할 수 있는 도구 등을 비치하고 있는지 조사하였다. 조사기관 모두 비치하고 있었다. 비상시 신속히 대처 할 수 있도록 비치 장소가 문제로 대두 되었다. 구석진 곳 보다는 출입구 가까운 곳에 비치하는 것이 비상시 신속히 대처하는데 용이하다고 판단되었다.
- ㉙ 문지름 시험을 통한 선원 캡슐의 견고성 : 직접적인 실험은 할 수 없었고 조사기관 모두 검사장비의 미 보유로 인하여 외부업체에 의뢰하고 있었다. 외부업체 시행한 데이터에 의존하는 실정이다. 그러나 이 항목은 밀봉선원의 경우 대부분의 방사선 선원들이 분말로 구성되어 있는 것이 아니라 하나의 덩어리로 제조되었고 금속으로 밀봉 되어 있으므로 금속 덩어리가 파손되어 각종 기구에 오염 시킬 확률이 0% 정도이다. 만약 밀봉된 금속이 파손되면 바로 사고로 이어지기 때문이다. 그러므로 이러한 항목은 불필요 한 것으로 판단되었다.

㉔ 방사선 측정기 점검 : 조사기간 모두 1년 단위로 국가 표준기관에(참고: 식품의약품안전청)에 의뢰하여 점검 받는 것으로 조사되었다.

㉕ 장착기 및 관련기기의 재고 확인 : 각 기관의 자산 관리와 연계되어 연단위로 시행되고 있었다.

㉖ 선원 교체 시 방사능의 세기 확인 : Zig 팬텀을 보유한 기관과 우물형 전리함을 보유한 기관들로 조사되었다. 측정 장비를 보유하지 않은 곳도 조사되었다. 상호 비교 실험을 통하여 두 장비의 비교우위는 판단할 수 없으나 사용상에 장단점은 있었다. Jig 팬텀의 경우 설치하여 측정하는데 시간이 많이 소요되는 반면 우물형은 간단하게 이용할 수 있었다. 그러나 우물형 전리함은 국내 표준기관에서 검교정이 이루어지지 않고 있는 반면 Zig 팬텀에 사용하는 Farmer Type 전리함은 국내에서 검교정이 이루어지고 있다. 조사기간 모두 선원의 세기는 제조사에서 제공된 오차범위  $\pm 5\%$  내에 포함되었다. 외국의 사고 사례 등을 참고로 할 때 선원의 세기는 제조사에서 제공된 값에만 의존하는 것은 문제가 있는 것으로 사료되고 반드시 측정이 필요하다고 판단되었다.

㉗ 일일 및 월간 점검, 연간 점검 : 조사기관마다 정도관리 절차서를 가지고 시행하고 있으나 주기를 구분하지 않고 운영하는 것으로 조사되었다.

㉘ 치료 후 서베이 : 하루에 치료환자가 여러 명일 때 하나의 차트에 기록하는 것은 어려움 점이 많았고 환자 치료 차트에 기록하는 것이 가장 합리적인 것으로 조사되었다.

## ② 치료기기 동작

㉙ 제어판 ON/OFF : 스위치를 ON 하였을 때 모든 기능이 정상적으로 작동하는지 그리고 OFF 하였을 때 모든 기능이 정지하는지 조사하였다. 조사기관 모두 장비의 기능은 정상적으로 되고 있었다.

㉚ 선원의 가이드 및 선원의 위치 확인 : 두 가지 방법을 통하여 실험하였다. 첫째 카메라 장치와 선원의 길이를 측정하는 자를 가지고 화면을 통하여 선원이 지정된 위치에 도달하는지 관찰하였고 둘째 필름과 모의선원을 이용하여 모의선원과 선원이 일치하는지 구별하였다. 사용된 필름은 X-omat V

필름을 이용하였다. 조사 기관 마다 오차 범위  $\pm 2$  mm 이내에 포함되었다.

㉔ 컴퓨터와 치료 장비간의 선량전달 정확도 : 전산화 치료계획 장비에 가상적인 프로그램을 계획된 시간과 치료 장비에 적용하였을 때 계획된 시간이 정확하게 전달되는지 판단하는 것이다. 소요시간 약 1시간 이상 소요되었고 조사기관 마다 오차 범위  $\pm 0.5\%$  이내에 정확하게 일치하였다.

㉕ 가상적인 모든 치료 과정을 실행 : 근접치료의 여러 가지 치료기술 중에 자궁경부치료 하는 과정을 실시하였다. 이과 정은 기구 설치와 가상적인 치료계획을 계획 하는데 걸리는 시간은 약 1시간 30분 이상의 시간이 소요 되었다. 조사 기관 모두 정상적으로 운영되고 있었다. 그러나 인력 및 많은 시간 소요로 평소 정도관리절차서에 포함하여 실시하는 기관은 없었다.

㉖ 배터리 전압 : 측정은 별도의 전압계가 필요하고 엔지니어의 도움을 받아서 실시하였다. 공급되고 전원을 일시 중지하여 선원이 보관함으로 되돌아오고 치료 데이터가 보존되는지 확인하였고 그리고 전압계를 가지고 직접 배터리 전압을 측정 하였다. 시간은 약 10분정도 소요 되었다. 각 조사기관 마다 제조사의 2년마다 교체 권고로 관리가 잘 되고 있었다. 그러나 배터리 전압을 측정 하였을 때 전압은 배터리 수명과 거의 무관하게 일정하게 유지 하였고 대부분 전류 값이 떨어지는 것으로 조사되었다. 전압과 전류를 동시에 측정 하는 것이 필요 하였다.

㉗ 조사시간의 정확도 : 별도의 시계와 CCD카메라 등을 가지고 선원이 치료지점에 도착되었을 때부터 떠날 때 시간을 측정하였다. 조사기관마다 카메라의 성능 및 위치에 따라서 적용 불가능한 곳이 있었다. 시간은 약 20분 정도가 소요되었다. 조사 기관마다 오차 범위  $\pm 1\%$  이내에 포함되었다.

㉘ 다중 channel 동작 : 모든 channel에 catheter를 설치하여 프로그램을 입력한 다음 조사하여 선원이 프로그램 순서대로 출구 되는지 조사 하였다. 순서를 바꾸었을 때 에러 메시지가 출력되는지 확인 하였다. 소요 시간은 약 30분이상이 걸렸고 조사기관 마다 순서의 오류는 없었고 순서를 바꾸었을 때 에러 메시지도 출력하였다. 대부분 조사기관은 이 항목을 정도관리절차서에 포함 하지 않았고 1곳만 포함하여 수행 하는 것으로 조사 되었다.

### ③ 치료

㉔ 치료기구들의 기계적 견고성 : 육안 검사 및 단순 기계적 작동을 하여 검사하였다. 별도의 시간은 필요 하지 않고 기구 소독직전에 검사가 가능하였다.

㉕ 모든 콜포스타 캡과 실린더의 길이, 넓이 확인 : 별도의 정밀 측정자가 필요하였고 조사기관 모두 변형된 것은 없었다.

### ④ 종사 안전교육

㉖ 종사자 안전교육 : 종사자 안전 교육은 조사기관 모두 자체 안전 교육과 외부에 의뢰하여 교육을 실시하고 있었다.

## (5) 근접치료기 정도관리 절차서의 실용성 평가 및 임상적용

개발된 정도관리절차서를 국내 고선량을 근접 치료기가 설치 이용되고 있는 37개 기관 중 Ir-192 선원을 사용하고 있는 9개 기관을 대상으로 적용하였다. 검사 항목은 총 24개 이다. 이들 항목 중 14개 항목은 9개 조사기관에서 이미 정도관리 프로그램에 포함하여 시행하고 있었다. 전혀 포함되지 않은 항목은 4개 항목이었다. 각 항목에 대한 상세한 내용은 다음과 같이 이루어져 있고 결과에 대한 요약은 표 2-2-21.에 제시 하였다.

## (6) 결 론

9개 기관을 검사한 결과 24개 항목 중 임상에 적용 불가능한 것은 없었다. 그렇지만 일부 검사 항목이 시간이 많이 요구되어 다소 어려움은 있었다. 조사에 참여한 기관은 각 항목별로 정도의 차이는 있으나 각 항목의 측정치는 오차범위 내에 포함되었다. 그러나 조사기관이 일부이기 때문에 국내에 이용되고 있는 모든 치료 장비가 오차 범위내에 포함될 것이라고 결론짓기에 더 많은 데이터가 필요하다고 사료되나 9개 기관을 대상으로 결과 본 연구에서 국내 의료 환경과 인력 등을 고려하여 개발된 하나의 규격화된 정도관리 절차서가 실용성 및 임상적용에 적합하다고 사료된다. 그리고 이를 이용함으로써 근접치료기기 정도관리 데이터를 상호 비교하고 할 수 있고 또한 데이터베이스 구축 하는데 용이 할 것으로 판단된다.

표 2-2-21. 개발된 정도관리 절차서 항목별로 국내 기관에 적용한 결과

항 목		적용	참 고	시행
안 전	출입문 경고 등	가능	육안 검사가 가능함	9
	출입문 연동장치	가능	별도의 도구가 필요 없고 30초정도의 시간이 요구됨	9
	감시 장치(시청각)	가능	2인 이상의 사람이 필요함	9
	비상 스위치	가능	강제적인 구동 모터 사용으로 모터의 손상을 초래 할 수 있음	2
	치료실 및 치료 장비 누설 검사	가능	별첨의 표와 서베이미터가 필요하고 30분 정도의 시간이 요구됨	9
	제어판 또는 컴퓨터 통제를 위한 시건장치	가능	별도 보관 장소와 담당자가 필요함	9
	근접치료실 출입 통제 시건장치	가능		
	비상시 상황에 대한 지침서 보유 확인	가능	치료 조정실에 비치하여 주기별로 훈련이 필요함	1
	비상 상황을 위한 장비	가능	제조사에서 제공되지 않은 선원케이블을 절단 할 수 있는 도구가 별도로 필요로 함	9
	문지름 시험을 통한 선원 캡슐의 견고성	가능	외부업체에 의뢰	9
	방사선 측정기 점검	가능	주기를 정하여 표준원에 의뢰	9
	일일 및 월간 점검 기록 확인	가능	일일 점검은 모두 하고 있거나 월간, 연간 등을 구분하여 시행하는 기관은 없었다.	N/A
	장착 기 및 관련기기의 재고 확인	가능	별도의 기록장부가 요구됨	9
	선원 교체 시 방사능 세기 확인	가능	별도의 측정 장비가 필요하고 1시간 이상의 시간이 요구됨	6
치료 후 서베이	가능	서베이미터가 필요하고 별도의 기록 장부가 필요함	9	
동 작	제어판 ON/OFF스위치	가능	별도 보관함과 담당자가 필요함	2
	선원의 가이드 및 선원 위치 확인	가능	카메라 장치와 선원길이를 측정하는 자 외에 필름 등이 필요하고 시간이 많이 소요됨	5
	컴퓨터와 치료 장비간의 선량전달 정확도	가능		9
	가상적인 모든 치료 과정을 실행	가능	시행하는데 많은 시간이 소요됨	N/A
	배터리 전압	가능	별도의 전압계가 필요하고 엔지니어의 도움이 요구됨	2
	조사시간의 정확도	가능	별도의 시계와 CCD 카메라가 요구되고 20분정도의 시간이 요구됨	N/A
	다중 channel 동작	가능	30분 이상의 시간이 많이 요구됨	1
치 료	치료 기구들의 기계적 견고성	가능	육안 검사 및 단순 기계적 작동이 필요함	9
	모든 볼포스타 캡과 실린더의 길이, 넓이 확인	가능	정밀 측정자가 요구됨	9
	종사자 안전 교육	가능	별도의 안전교육이 요구되므로 비용과 1시간 이상의 시간이 요구됨	9

적용: 개발된 절차서를 현장 적용 후 가능, 불가능을 판단

참고: 적용 시 문제점, 시행: 이미 현장에서 시행되고 있는 항목



## 다. 방사선치료계획시스템의 정도관리 기반기술개발

### (1) 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서 수집 및 비교·분석

방사선치료계획이란 환자가 가진 정보, 임상적인 소견, 환자의 체 윤곽, 병소 주위의 주요 장기를 포함한 내부 기관의 위치와 크기 및 전자밀도 등에서 가장 적합한 선량의 결정, 공간적(물리적) 및 시간적인(생물학적) 선량 분포가 되는 조사 방법을 얻는 것을 말한다. 얻어진 치료계획을 수행하기 위해서는 계획에 따라 조사하기 위해 환자의 위치 결정이 필요하다. 이들을 고도로 정밀하게 수행하기 위해서는 방사선 치료계획의 정도관리 프로그램을 작성하고, 실행하지 않으면 안 된다. 치료계획의 주된 역학은 선량 투여에 관한 인자이며, 선량측정의 과정에서 일어나는 부정확도와 치료기기와 환자의 움직임에 기인하는 부정확도를 나타내고 있다. 이 부정확도는 방사선치료의 정밀도를 위한 것이며, 보다 양호한 정밀도를 유지하기 위해서는 치료계획의 정도관리 프로그램을 확립하고 실행하지 않으면 안 된다. 현재 많은 기관에서 2차원 치료계획 시스템을 새로운 3차원 시스템으로 바꾸고 있는 상태이고, 3차원 시스템은 더 많은 함수를 가지고 있는 까닭에 인수검사, 취역 검사, 정도관리를 위한 과정의 필요성이 더욱 증대되고 있다.

방사선치료기술의 발달은 방사선치료계획 능력과 정확성에 관계되며 컴퓨터의 발달로 다변, 복잡해지고 있다. 치료계획이 복잡해짐에 따라 치료계획의 결과 또한 예측하기가 어려워져 치료계획 장치의 정확도를 판단하기가 어려워지며, 외국의 제품을 수입해서 쓰는 우리의 형편상 정도관리를 수행하기도 쉽지 않고, 정도관리의 절차도 명확히 확립되지 않은 실정이다. 방사선치료계획 시스템에 대한 주기적인 상호비교 측정, 교육훈련 미흡 등 정도관리가 제대로 이루어지지 않음으로 인해 다양한 방사선사고 사례가 보고 되고 있다.

#### (가) 방사선치료계획시스템에 관하여 보고 된 방사선사고 사례

방사선치료 과정에서 항목별로 발생 가능한 사고의 위험도를 분석한 결과에 의하면 치료계획 시스템에 관련된 사고의 위험도가 전체의 약 20%를 차지하는 것으로 보고되고 있다. 치료계획 시스템과 관련한 사고의 유형은 크게 빔 데이터 입력 오류, 프로그램 오류(버그), 계산 알고리즘의 부정확성, 모니터 유니트(monitor unit; MU) 계산오류, 그리고 치료 처방 오류 및 차폐물제작 및 보조기구에 대한 오류 등으로 나눌 수 있다. 국내의 경우 보고 된 사고사례는 없는 상태이나, 외국에서는 각 유형별로 사고사례가 보고 되고 있다.

사례1) 일본 Government official benefit society hospital (2000)

췌기 인자가 다른 2 대의 선형가속기와 1 대의 치료계획 시스템을 사용하던 중 췌기인자의 입력 오류로 인해 23 명의환자가 1.35 배의 과 피폭

사례2) 일본 모 대학 병원 (2000~2002)

치료계획 시스템의 인수 및 취역 후, 초기 데이터 입력 오류로 인해 12 명의 암 환자가 1.2~1.45 배의 과 피폭

사례3) 파나마 국립암센터 (2000년 8월~12월)

치료받은 28 명의 환자에게서 치료계획시스템의 방사선차폐물과 관련된 프로그램 변경 사항을 숙지하지 않아 방사선량이 1.2~2 배 과다 노출로 추정

(나) 국내 방사선치료계획시스템의 보유현황

현재 국내에서 사용하고 있는 방사선치료계획 장치는 크게 2차원치료계획 장치(2D), 3차원치료계획 장치(3D)로 나눌 수 있고, 3차원치료계획 장치에는 특수 치료용 계획 장치로 세기변조방사선치료용(IMRT)과 정위적방사선수술용(SRS)계획 장치가 포함된다. 현재는 2D에서 3D로 변화하고 있는 실정이고, 세기변조방사선치료 전용 시스템과 3D 치료계획과 IMRT의 치료계획을 모두 할 수 있는 장치도 늘어나고 있는 실정이다. 국내 56개 방사선종양학과에서는 86개의 치료계획장치가 사용되고 있고, 아직도 2D 방사선치료계획 장치가 전체의 절반을 차지하고 있는 실정이다.

(다) 방사선치료계획의 절차 및 정도관리 규약

방사선치료계획의 과정은 환자의 영상을 얻은 후 영상에 해부학적 구조물을 표시하고 방사선의 에너지, 조사방향, 치료범위 등을 설정한다. 치료계획장치를 이용하고 계산을 하고 결과를 평가하고 실제 치료에 적용하는 것이다. 그림 3-2에서 치료계획 과정의 절차를 나타내고 있으며, 표 2-3-1에서 치료계획 과정의 각 항목별 정도관리 절차를 표시

1996년에 Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, NCS에서 사용자들에게 도움을 주기 위해서 3차원 치료계획장치의 정도관리의 공식화된 지침을 위한 task group이 설립되었다. Task Group은 specific system의 정도관리 전문가들과 여러 종류의 3차원 시스템의 사용자들로 구성되었다. 현재까지 방사선치료계획 시스템의 정도관리에서의 주요활동은 선량계산의 검증이었다. 많은 저자들에 의해서 기하학적인 제한을 위한 계산과 측정의 비교 결과가 발표되었다. 최근에 AAPM Task Group 23 방사선치료계획 시스템의 정도관리를 위한 검사항목이 발표되었다. 일반적으로 이러한 검사는 빔 데이터 입력과 선량계산 알고리즘의 제한점을 나타

냈다. 조직 밀도뿐만 아니라, 체표면의 기하학적인 크기의 정도를 결정하기 위한 실험과 같은 비선량학적인 검사는 토의하기가 어렵다.

다른 나라에서 working groups의 대부분은 방사선치료계획 시스템의 정도관리에 대한 특별한 국가적인요구를 평가하고 문서화하게 되었다. 캐나다(Van dyk et al. 1993) 에서 상세한 지침에 의하면 선원의 불확실성, 권고된 허용 범위, 초기와 주기적인 시스템 검사에 관해서 주어졌다. 그런 까닭에 이 보고서는 방사선치료계획 시스템의 정도관리에 유용한 문서이다. 이러한 주제에 대한 다른 포괄적인 보고서는 최근에 영국에서 보고 되었으며, 방사선치료를 위한 방사선치료계획 시스템의 정도관리를 위한 권고 사항이 스위스(SSRPM, 1997)에서 보고 되었다. 이 보고서는 계산된 결과와 검증할 수 있는 측정된 결과 사이의 선량의 차이, 등선량곡선의 이동에 관해 언급하였다. 3차원치료계획의 정도관리에 관한 좀더 포괄적인 접근은 AAPM Task Group 53에서 공식화되었다. 이 보고서에서 치료계획의 검사, 문서화, 비선량학적인 관점뿐만 아니라 정도관리 소프트웨어, 절차, 훈련과 같은 3차원 치료계획 장치의 정도관리에 연관된 많은 논의가 이루어졌으며, 각 국가별 방사선 치료계획시스템의 정도관리 규약이 표 2-3-2에 제시하였다.

표 2-3-1. 치료계획 과정에 관련된 정도관리 절차

방사선치료계획 절차	정도관리 절차
위치설정과 고정	조사문 사진, 레이저 배열
모의 치료	영상 질과 기계의 무결성을 포함한 모의치료기의 정도관리
환자 정보 획득 (CT, MRI, 수동 윤곽선)	영상 질과 기계의 무결성을 포함한 CT, MRI의 정도관리 기계적 윤곽선의 정확성
치료계획 시스템으로 자료 전송	디지털이저와 디지털자료전송 등을 포함한 전체 자료전송과정의 정도관리
표적 용적의 정의	신환 계획 집담회, 차트 회진과 같은 검토
조사면 설계	조사에 대한 독립적인 점검 및 검토
선량분포 계산	취역검사에서 얻은 치료기 정보와 치료기의 정도관리. 치료계획 시스템의 정확성과 정도관리
계획 평가	차트 회진 시 계획의 검토. 의학물리학자에 의한 독립적인 점검
처방	서명과 날짜가 포함된 처방 기록
모니터단위 계산	치료계획 시스템 정도관리. 48 시간 이내에 독립적인 점검
차폐체와 빔 수정기 제작	블록 제작과 보상 물질 시스템의 정도관리 조사문 사진 검토
계획 실행	치료계획 팀에 의한 설정 검토. 차트 검토
환자 정도관리	치료계획 검토, 조사영역을 새로 만들거나 수정한 후에 차트 검토, 매주 차트 검토, 조사문 사진 검토. 예외적인 조사영역에 대한 생체 내 선량측정, 결정 장기 선량, 상태 점검, 추적조사

(라) 방사선치료계획시스템의 일반적인 정도관리 항목

① 취역(commisioning)과 인수검사(acceptance test)

취역과 인수검사는 하드웨어 구성요소의 기술적인 고장 혹은 오동작을 감지하고 제작사에서 제시한 절차서 점검, 시스템을 일상적으로 임상 이용할 때 부정확성과 허용범위를 조사하는 것이다. 현재 모든 제작사에서 절차서가 제공되지는 않고 있으며, 몇몇 제공된 절차서 상의 내용은 극히 기본적인 내용에 그치고 있다. 아래 표 2-3-3는 Varian사에서 제공된 Eclipse/Soma Vision에 대한 인수검사 항목을 나타낸다.

표 2-3-2. 국가별 방사선치료계획용 시스템의 정도관리 규약

연 도	국 가	그 룹	제 목	내 용
1993	캐나다	Van dyk	Commissioning and quality assurance of treatment planning computers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불확도의 원인</li> <li>• 허용오차</li> <li>• 반복적인 시스템 검사</li> </ul>
1995	미국	AAPM Task Group 23	Radiation treatment planning dosimetry verification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방사선치료계획 시스템의 정도관리를 위한 검사 항목</li> <li>• 빔 데이터의 입력과 선량계산 알고리즘의 제한점</li> <li>• 조직 밀도, 체표면의 기하학적인 크기의 정확도를 결정</li> <li>• 비선량학적인 검사는 어려움</li> </ul>
1998	미국	AAPM Task Group 53	Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 치료계획의 검사, 문서화</li> <li>• 비선량적인 관점</li> <li>• 정도관리 소프트웨어</li> <li>• 정도관리 과정</li> <li>• 정도관리 훈련</li> </ul>
1999	스위스	SSRPM	Quality control of treatment planning systems for teletherapy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계산된 결과와 수용할 수 있는 측정된 결과 사이의 선량 차이</li> <li>• 등선량곡선의 이동</li> </ul>
2000	네덜란드	NCS	Quality assurance of 3D treatment planning systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선량계산의 검증</li> </ul>

(라) 방사선치료계획시스템의 일반적인 정도관리 항목

① 취역(commissioning)과 인수검사(acceptance test)

취역과 인수검사는 하드웨어 구성요소의 기술적인 고장 혹은 오동작을 감지하고 제작사에서 제시한 절차서 점검, 시스템을 일상적으로 임상 이용할 때 부정확성과 허용범위를 조사하는 것이다. 현재 모든 제작사에서 절차서가 제공되지는 않고 있으며, 몇몇 제공된 절차서 상의 내용은 극히 기본적인 내용에 그치고 있다. 아래 표 2-3-3은 Varian사에서 제공된 Eclipse/Soma Vision에 대한 인수검사 항목을 나타낸다.

방사선치료계획용 장치는 크게 2D와 3D로 분리할 수 있고, 각각 다른 허용오차를 가지고 있다.(표 2-3-4) 이런 허용오차는 영상과 관련한 체표윤곽의 정확성, 기하학적인 허용오차, 선량학적인 허용오차로 구분할 수 있다. 3D 방사선치료계획 장치가 기하학적·선량학적인면에서 작은 허용오차가 요구 되어진다.

표 2-3-3. 제작사에서 제공된 인수검사 항목 예 (Varian사의 Eclipse/Soma Vision)

항 목	검 사 내 용
선량 계산	계산 검사 <ul style="list-style-type: none"> <li>전자선과 광자선의 선량분포와 치료시간 계산</li> </ul>
DICOM 영상 입력	DICOM 영상 입력 검사 <ul style="list-style-type: none"> <li>DICOM images can be sent from external source and are stored to hard disk on vision system.</li> <li>images can be imported to the vision system</li> </ul>
DICOM RT 입력과 출력	DICOM RT 입출력 필터 검사 <ul style="list-style-type: none"> <li>The structure set and the plan including the dose distribution can be exported by using DICOM RT Export File</li> <li>The DICOM RT structures, the plan and the dose distribution can be imported to Eclipse/SomaVision</li> </ul>
Vision 6 Link	Vision Link Check <ul style="list-style-type: none"> <li>approve the plan and open the same plan in vision environment. the parameters are the same</li> </ul>
Link to CadPlan external beam TPS	CadPlan - Eclipse/SomaVision Link Check <ul style="list-style-type: none"> <li>export from Eclipse/SomaVision transfers images, structures and plan information to CadPlan</li> <li>import from CadPlan to Eclipse/SomaVision works for plan data including dose distribution</li> </ul>
디지털라이저	디지털라이저 연결 검사 <ul style="list-style-type: none"> <li>block can be digitized from the film into the field</li> </ul>
레이저 투시 시스템의 인터페이스	레이저 투시 시스템 검사 <ul style="list-style-type: none"> <li>laser projection export works according to specification</li> </ul>

② 계산 알고리즘의 정확성의 정도관리

계산 알고리즘을 이해하고 그 계산의 정확성을 평가해 두는 것이 필요하다. 선량 계산은 무한대의 균일한 팬텀의 평탄한 표면에 수직으로 입사한 등선량곡선을 표준으로 하여 여기에 환자의 체표면에 대하여 사방향 입사, 불균질 조직, 보상필터와 차폐 블록 등의 보정을 해야 한다. 주된 정도관리 항목은 표준 선량분포, 다문 조사의 선량분포, 부정형 조사면의 선량분포, 불균질 조직 보정, 쇄기 필터, 보상체, 모니터 유니트(MU)의 계산 등이 포함되어있다.

③ 빔 데이터에 대한 품질보증

빔 데이터 획득 시스템 자체가 정확하고 재현성이 있어야하고 방사선치료계획 시스템에 데이터 전송에 대한 점검이 우선되어야 한다. 빔 측방선량분포는 평편형 필터와 산락박의 차이로 인하여 동일한 제작사의 선형가속기라 하더라도 치료기기에 따라 다르다. 제작사의 인수검사 계획에 따라 조사면의 크기 30 cm × 30 cm 까지 개조사면의 평평한 영역 내에서 6% 변화까지 허용하며, 보다 큰 조사면의 경우 10% 변화도 허용되고 있는 실정이다. 방사선 빔 출력의 불안정함으로 인하여 빔 데이터에 있어 불확도의 원인이 될 수 있다.

표 2-3-4. 2D와 3D의 일반적인 허용오차 범위

검사 항목	2D	3D
단면 윤곽선의 등록	0.3 cm	0.1 cm
계획용 표적 체적(PTV)과 임상 표적 체적(CTV)의 단면 윤곽선 설정	0.5~10 cm	0.3 cm
중앙 설정을 위한 자기공명영상의 사용	1.0~2.0 cm	0.2~0.5 cm
빔 위치 분해능(Beam location resolution)	0.5 cm	< 0.1 cm
콜리메이터에 의한 조사면 결정	0.5 cm	0.1 cm
Aperture definition	0.3 cm or more	0.1 cm
Collimation and aperture display	up to many cm	0.1 cm
갠트리 회전각	1 deg	< 1 deg
테이블, 콜리메이터 회전각	N/A	< 1 deg
중심축 선상에서 빔 폭이 80% 되는 지점에서의 선량	1%	1%
입의의 선상에서 빔 폭이 80% 되는 지점에서의 선량	>10%	1%
개조사면에서 반음영(80% to 20%)에서의 선량	2~5 mm	1 cm, 5 mm
차폐체가 있는 조사면에서 기준점 (normalization point) 의 선량	10%	2%
차폐된 지점에서의 선량	>100%	2%
차폐된 반음영에서의 선량	>1 cm	1 mm
선량-체적 간 히스토그램(DVH)의 정확도	N/A	여러 인자에 의존
정상조직 손상확률(NTCP)	N/A	여러 인자에 의존

④ 선량계산과 선량 표현에 대한 품질보증

제작사는 선량계산 모델과 제약에 대한 설명을 사용자에게 제공하는 것이 중요하다. 제작사는 시스템 사용, 빔 세기 절차와 쇠기계수에 대한 자료를 만들어야 하고, 소프트웨어 버그와 관련 있는 정보와 기타 정보를 사용자들 간의 모임 등에서 모든 사용자들에게 알려야 한다. 선량계산과 소프트웨어의 표현에 대한 품질보증을 위한 검사 절차는 너무 광범위하거나 시간이 오래 걸리지 않아야 한다. 치료기술에 대한 전체적인 범위가 포함되어 있어야 하며, 대부분의 치료계획 시스템을 포함 하고 있어야 한다. 대부분의 치료계획의 품질보증은 선량계산을 검증하는 선량학적 관점이 주를 이루고 있다. 대부분의 선량계산에 대한 검증은 치료계획장치에서 계산된 선량과 측정된 선량 사이의 오차를 검증하는 방법으로 이루어진다. 선량계산과 관련된 항목별 허용범위는 표 2-3-5에 표시 되었고, 치료계획장치의 선량계산 검증은 빔 데이터의 입력, 계산알고리즘이 정확한지에 대한 알고리즘의 검증, 계산된 선량의 검증, 선량계산 알고리즘의 제한점과 적응력, 임상 사용 범위를 이외의 선량 검증 등이 포함된다.(표 2-3-6)

표 2-3-5. 선량계산과 관련된 검사 항목에 대한 허용범위 (AAPM TG 53)

검사 항목	Abs.Dose@ normpt(%)	중심축 (%)	inner beam(%)	반음영 (mm)	outer beam(%)	Build-up 영역(%)
정방향 조사면	0.5	1	1.5	2	2	20
직사각형 조사면	0.5	1.5	2	2	2	20
비대칭성 조사면	1	2	3	2	3	20
차폐체 조사면	1	2	3	2	5	50
다엽콜리메이터 조사면	1	2	3	3	5	20
썬기 조사면	2	2	5	3	5	50
외부 표면 변화	0.5	1	3	2	5	20
선원-표면거리(SSD)변화	1	1	1.5	2	2	40
불균질성	3	3	5	5	5	-
3차원 불균질성	5	5	7	7	7	-

광자선 선량계산의 정도관리는 깊이 선량, 출력 인자, 조사면 데이터, 환자 윤곽 영향, 썬기, 차폐체, 다엽콜리메이터, 비대칭 조사면, 밀도 보정, 보상체, 인체모형 팬텀 등의 항목으로 이루어져 있고, 전자선은 깊이 선량과 조사면, 출력 인자, 확장된 거리, 모형이 있는 조사면, ECWG (Electron Contract Working Group) 검사 등의 항목으로 구성되어 있다. 방사선치료계획 장치의 정도관리에서 각 인자의 따른 데이터 입력, 알고리즘, 선량계산, 빔 모델 파라미터의 검사가 이루어져야 한다.

⑤ 비선량적 정도관리

현재의 치료계획 과정은 선량계산과 연관되지 않은 많은 요소가 포함되어 있다. 따라서 방사선치료계획 시스템의 정도관리 프로그램은 비선량적 요소가 중요하게 대두되고 있다. 비선량적 정도관리에는 환자의 자세와 고정, 영상 획득, 획득한 영상에 해부학적 구조물 설정, 빔 파라미터, 알고리즘, 밀도 보정 등과 같은 선량계산 조작상의 관점, DVH, TCP, NTCP 등을 이용한 치료계획의 평가, 치료계획된 결과의 출력, 완료된 치료계획을 실행하고 검증하는 것 등이 포함된다. 또한 프린터, 디지털라이저, 필름 스캐너, CT, 차폐체 제작 장치, 환자 데이터의 저장 장치 등의 외부 장치에 대한 품질검사도 시행되어야 한다. 이러한 장비들도 주기적으로 허용오차를 넘지 않는지 검사도 이루어져야 한다. 주변 장치들에 대한 정도관리 주기와 허용오차 범위에 대한 권고치를 표 2-3-7에 표시하였다.

표 2-3-6. 선량계산 평가 항목에 대한 검사 상황 (AAPM TG 53)

선량계산 항목	데이터입력	알고리즘 검증	계산 검증	빔 모델 매개변수 검사
정방향 조사면	Y	Y	Y	Y
직사각형 조사면	-	Y	Y	-
선원-표면간 거리(SSD) 변화	-	Y	Y	-
외부모양의 변화	-	Y	Y	-
썬기 조사면	Y	Y	Y	Y
차폐체 조사면	M	Y	Y	Y
다엽콜리메이터 조사면	M	Y	Y	-
부정형조사면	-	Y	Y	Y
불균질 조사면	-	Y	Y	-
보상체	Y	Y	Y	Y
입상 실험	-	-	Y	Y

Y = Yes, M = Maybe

표 2-3-7. 주변 장치들의 정도관리 주기와 허용오차 범위

주변장치	검사주기	허용범위
프린트 / 플롯 장치	월 간	0.1 cm
디지털라이저	월 간	0.1 cm
필름 스캐너	월 간	0.1 cm
컴퓨터 단층촬영	월 간	0.1 cm
컴퓨터 단층촬영(전자 밀도( $\rho$ ))	연 간	$\rho \leq 1.5$ 이면 $\rightarrow 0.05$ $\rho > 1.5$ 이면 $\rightarrow 0.1$
차폐체 제작 장치	연 간	-
환자데이터의 백업·저장	연 간	-



(마) 주기적인 시스템 점검

반복적인 점검은 정기적으로 수행되어야 한다. 이러한 점검은 치료방사선과의 조사 기술 범위를 포함하고 있는 선택된 일련의 예제에 대한 등선량 분포를 계산함으로써 쉽게 수행된다. 이러한 문제에 대한 반복된 수행 결과는 초기의 점검 결과와 비교할 수 있다. 이러한 확인들은 빔 라이브러리 혹은 각 프로그램의 수정 혹은 하드웨어 변경 후 수행되어야 한다. 이 이상의 문제인 경우 주기적인 간격으로 별도의 현장 점검이 하드웨어 혹은 소프트웨어에 대한 부주의로 혹은 사고로 인한 변경을 감지하는 것이 의미가 있다. 환자 데이터와 치료조건으로 이루어져 있는 품질보증 도구를 축적하거나 이용할 수 있는 수단을 증대하는 것이 유용할 수 있다. 이러한 도구는 넓은 범위의 실제 조건을 포함하기 위해서 주의 깊게 설계되어야 한다. 이러한 점검에 대한 결과는 영원히 기록·보관되어야 하고 어떤 오차가 예상되는지에 대하여 언급되어야 한다. 이러한 도구는 서로 다른 치료계획 장치의 정확성과의 상호 비교하는데도 유용성이 있다는 것을 입증할 수 있다. 표 3-9에서는 검사주기에 따른 방사선치료계획 과정의 정도관리 항목을 나타내고 있다.

표 2-3-8. 주기적인 방사선치료계획 과정의 정도관리

검 사 주 기	요 소
일 간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 입출력 장치</li> <li>• 에러 로그</li> <li>• 로그 변화</li> </ul>
주 간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 디지털라이저</li> <li>• 인쇄출력</li> <li>• 컴퓨터 파일</li> <li>• 임상치료계획의 검토</li> </ul>
월 간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CT 데이터의 방사선치료계획 시스템으로의 입력</li> <li>• 문제점 검토</li> <li>• 방사선치료계획 시스템의 검토</li> </ul>
연 간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선량계산</li> <li>• 데이터 입출력장치</li> <li>• 특수한 소프트웨어 도구</li> </ul>
비 정기 적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 빔 매개변수 변화</li> <li>• 소프트웨어 변화</li> </ul>

(바) 방사선치료계획시스템을 위한 국가간 절차서 비교

방사선치료계획시스템에 대한 각국의 절차서는 공통적으로 시스템에 대한 엄격한 취역과 인수검사를 거치고 정도관리 프로그램을 확립해서 실행 할 것을 권고하고 있지만, 가능한 모든 오류의 원인들을 다 점검할 수는 없고 제작자가 사용자에게 버그 없는 시스템을 보증할 수 없음을 인식해야 한다. 그러므로 치료계획시스템이 임상에서 전형적으로 사용되어지는 매개변수 범위를 곳곳에서 점검하여야하고 주기적으로 점검하여야 한다. 시스템들에 대한 포괄적이고 일반적인 권장 사항들은 AAPM(미국의학물리학회)의 보고서에 잘 나타나 있다. 그밖에 네덜란드와 스위스에 대한 절차서와의 중복된 선량계산 항목에 대한 허용범위를 표 3-10에 표시하였다.

표 2-3-9. 국가별 선량계산 평가항목의 허용오차

구 분	미국 AAPM TG-53 (%)	네덜란드 NCS (%)	스위스 SSRPM (%)
정방향 조사면	1	1	1
직사각형 조사면	1.5	2	2
비대칭 조사면	2	3	2
차폐체 조사면	2	3	2
다엽콜리메이터 조사면	2	-	2
췌기 조사면	2	3	2
선원-표면간 거리(SSD) 변화	1	2	-
불균질성	3	3	3
사방향 조사	-	2	3

(2) 방사선치료계획시스템의 불균질 및 체윤곽 측정용 팬텀 설계 및 제작

치료계획용 시스템의 정도관리에 대한 측정을 시행하기 위해 아크릴을 이용하여 인체 팬텀을 제작하였고, 흉부에서 폐 부분의 묘사를 위해서는 코르크를 이용하였다. 본 연구에서는 동일조사면 내에서도 실제 인체 내부가 불균질한 점을 고려하기 위하여 30 cm × 30 cm × 5 cm, 30 cm × 15 cm × 5 cm, 30 cm × 15 cm × 2 cm, 30 cm × 15 cm × 1 cm, 30 cm × 15 cm × 0.5 cm, 30 cm × 15 cm × 0.2 cm, 30 cm × 15 cm × 0.1 cm의 크기로 제작하여 보다 다양한 기하학적 조합을 통해 보다 다양한 측정조건에서 치료계획시스템의 성능확인을 하고자 하였다.(그림 2-3-1)

복부, 흉부(Breast 포함) 등의 묘사를 위한 삼각기둥 모양의 팬텀을 제작하였고(그림 2-3-2), 열형광 선량계를 이용하여 측정 할 수 있도록 TLD holding tray를 제작

하였다(그림 2-3-3). 본 연구에서 Farmer type 전리함을 이용한 측정을 위해서는 이미 보유하고 있는 전리함 홀더 팬텀을 이용하였다. 그림 2-3-4에서는 제작한 팬텀을 이용한 기하학적 측정조합의 몇몇 예를 보여준다.

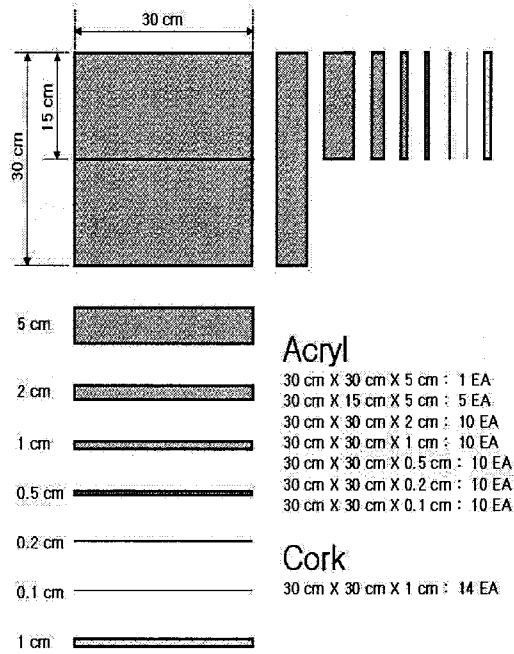


그림 2-3-1. 팬텀의 구성 내역도

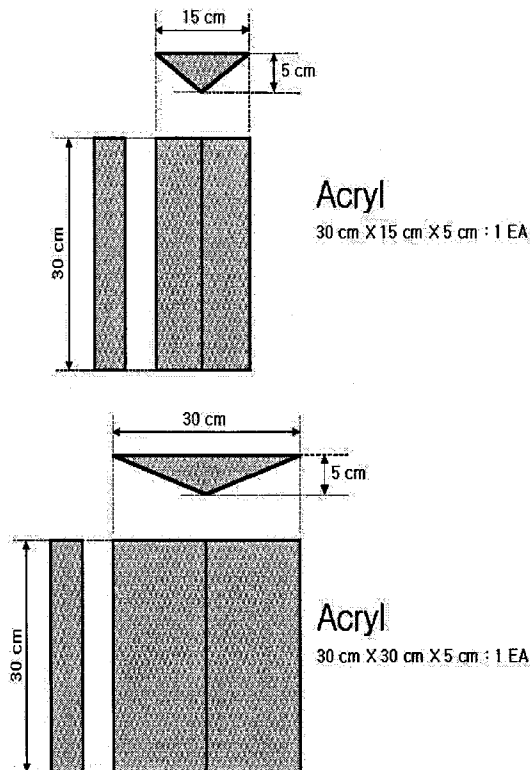
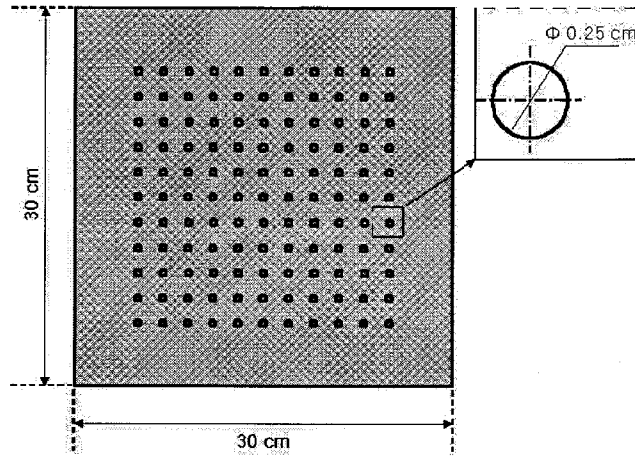


그림 2-3-2. 복부, 흉부 등의 모사를 위한 팬텀



### Acryl

30 cm X 30 cm X 0.2 cm : 1 EA

그림 2-3-3. 열형광선량계의 holding tray

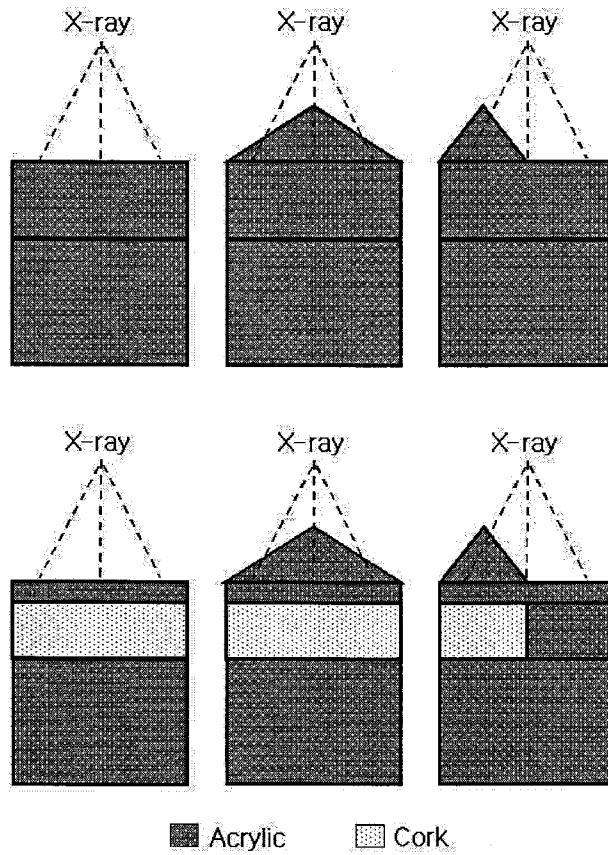


그림 2-3-4. 제작한 팬텀을 이용한 기하학적 측정 조합의 예

### (3) 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서 초기 모델 개발

방사선 치료 기술은 컴퓨터의 발달로 인해 다변·복잡해지고 있으며, 특히 소프트웨어적인 치료방법의 기술 개발을 통해 방사선 치료의 부작용을 최소화하기 위한 노력이 계속해서 연구되고 있지만, 국내의 현실 상황은 방사선치료계획용 시스템이 일정 수준 이상의 성능을 유지하고, 안전하게 작동되는 지에 대한 구체적인 평가 방법(정도관리를 시행할 수 있는 절차서 및 프로그램 등의 객관화, 명문화)이 개발되어 있지 않은 실정이다. 방사선치료계획용 시스템에 대한 미국, 스위스, 네덜란드 등의 정도관리 절차서는 각 주기별 정도관리 항목과 허용오차간의 일부 차이를 보였으나, 공통적으로 엄격한 취역과 인수검사를 거치고 각 주기별로 정도관리 프로그램을 확립해서 실행할 것을 권고하고 있다. 하지만 국내의 상황은 다른 방사선 치료관련기기에 비해서 정도관리가 거의 이루어지고 있지 못한 상황이고, 위의 각국 프로토콜에 나타난 모든 항목을 점검한다는 것은 더욱 어려운 실정이다. 따라서 각 프로토콜의 정도관리 항목을 방사선치료계획의 순서에 입각한 주기별로 나열하여 허용오차, 방법 등을 정리하고, 국내 현실에 맞는 항목 및 수를 선정하여 각각에 대한 주기, 장비, 방법, 허용오차 등을 정하였다.

#### (가) 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서 개발

방사선치료계획용 시스템을 제외한 방사선 치료관련 기기에 대한 정도관리는 대다수 기관에서 각 상황별로 실정에 맞게 시행하고 있는 것으로 파악되고 있으나, 현재 국내에서 보유하고 있는 방사선치료계획용 시스템은 도입 시기에 따라 모델이 다양하며, 기능도 서로 다르고, 더욱이 국내에서 개발된 정도관리 절차서가 없는 상황에서 외국의 정도관리 절차서를 참고할 수밖에 없는 실정이다. 또한 국내의 상황은 인적·시간적 제약이 많아 미국, 스위스, 네덜란드 등의 정도관리 절차 항목을 모두 수용하기 어려우므로 국내의 실정에 맞는 항목과 그에 따른 허용오차, 주기 등을 설정하여 정도관리 절차서의 초기 모델을 개발하고자 하였으며, 각 정도관리 항목을 필수 또는 선택항목으로 분류하여 각 기관의 여건에 따라 정도관리를 수행하도록 하였다.

##### ① 주간 점검

수집된 각국의 프로토콜에서는 에러로그, 로그변화 등의 항목을 일일점검의 항목을 설정하였으나, 국내의 상황에서는 방사선치료계획용 시스템을 제외한 대부분의 장치에 대해 일일점검을 시행하도록 되어있어서 현실적으로 인적 및 시간적 제약이 불가피하므로 최소 주기는 주간점검으로 정하였으며, 그 항목으로서 표 2-3-10.에 나타난

바와 같이 입력장치와 출력장치의 작동여부에 대한 육안적 검사를 시행하도록 하였다.

표 2-3-10. 주간 정도관리 항목 및 허용오차

검사 항목	필/선	세부 항목	허용오차
입력장치 on/off	필수	디지털타이저	작동여부
	필수	필름 스캐너	작동여부
	선택	네트워크에 의한 영상 전송	작동여부
출력장치 on/off	필수	프린터, 플로터	작동여부
	필수	모니터	작동여부
	선택	필름 현상기	작동여부

② 월간 점검

월간점검 항목에는 표 2-3-11 에 나타난 바와 같이 기본적으로 주간 점검 항목이 필수 항목으로 포함되었으며, 입력장치와 출력장치에 대해 기하학적 정확도를 점검하여 허용오차를 1 mm로 정하였다. 특히, 월간 점검의 주요 항목은 빔의 선질 특성에 관련된 항목과 (조직최대선량비, 심부선량백분율) 상대적 측정 계수에 대한 항목을 필수 항목으로 설정하였으며, 환자 데이터의 전송 및 백업 항목을 선택항목의 확인 사항으로 정하였고, 각각에 대하여 방사선치료계획 시스템에 입력된 데이터와 인수 시 실제 측정을 해서 입력했던 값을 비교하도록 하였다.

표 2-3-11. 월간 정도관리 항목 및 허용오차

검사 항목	필/선	세부 항목	허용오차
주간 점검 확인	필수		확인
입력장치의 기하학적 정확도	선택	디지털타이저	1 mm
	선택	필름 스캐너	1 mm
출력 장치의 기하학적 정확도	필수	프린터, 플로터	1 mm
	선택	필름 현상기	1 mm
입력된 데이터의 확인	필수	조직최대선량비 (TMR)	확인
	필수	심부선량백분율 (PDD)	확인
	선택	빔 프로파일	확인
	필수	팬텀 산란계수( $S_p$ )	확인
	필수	콜리메이터 산란계수( $S_c$ )	확인
	필수	썰기인자 (Wedge)	확인
	필수	Tray Factor	확인
환자 데이터의 전송 및 백업	선택	환자 치료 데이터의 전송	확인
	선택	DRR (BEV) 영상의 검증	확인
	선택	환자 데이터 백업	확인

③ 연간 점검

연간 점검 항목에는 표 2-3-12 에 나타난 바와 같이 월간 점검 항목을 필수적으로 확인하도록 하였으며, 빔 데이터의 확인, 선량계산, CT 데이터 입력의 검사항목으로 나누어 설정하였다. 빔 데이터의 확인 항목에서는 월간 점검에서의 입력 데이터의 확인 사항에 대해 기준 조건(Norm. Pt.: 10×10, at 10 cm 깊이)에 대하여 측정을 통하여 얻은 값과의 허용오차를 2%로 하였다. 선량계산 항목과 CT 데이터 입력에 대한 세부항목들은 1차년도 과제를 통해 제작된 팬텀(불균질 모사 가능)과 CT 밀도 팬텀을 이용하여 적합한 필요조건하에 측정을 통하여 얻은 값과 계산을 통해 얻은 값을 비교하여 허용오차를 설정하였다.

표 2-3-12. 연간 정도관리 항목 및 허용오차

검사 항목	필/선	세부 항목	허용오차
월간 점검 확인	필수		확인
빔 데이터의 확인	필수	조직최대선량비 (TMR)	2%
	필수	심부선량백분율 (PDD)	2%
	선택	빔 프로파일	2%
	필수	S <sub>p</sub> (Norm. Pt.: 10×10, at 10cm 깊이)	2%
	필수	S <sub>c</sub> (Norm. Pt.: 10×10, at 10cm 깊이)	2%
	필수	Wedge (Norm. Pt.: 10×10, at 10cm 깊이)	2%
	필수	Tray Factor (Norm. Pt.: 10×10, at 10cm 깊이)	2%
선량 계산	필수	정방형 조사면	1%
	필수	직사각형 조사면	2%
	필수	비대칭 조사면	3%
	필수	차폐체 조사면	3%
	선택	다엽콜리메이터 조사면	2%
	필수	썬기 조사면	3%
	필수	선원 표면간 거리(SSD) 변화	2%
	선택	불균질성	3%
	선택	사방향 조사	3%
CT 데이터 입력	필수	기하학적 정확도	1 mm
	선택	전자 밀도	† (≤ 1.5): 0.05 ‡ (> 1.5): 0.1

† 물에 대한 상대적 전자밀도(≤ 1.5 g/cm<sup>3</sup>): 0.05(허용범위)

‡ 물에 대한 상대적 전자밀도(>1.5 g/cm<sup>3</sup>): 0.1(허용범위)

④ 비정기적 점검

비정기적 항목에는 선량계산 확인, 소프트웨어 업그레이드에 대한 내용을 설정하였으며, 항목별로 선량계산 확인의 MU 점검은 실제로 몇몇 기관에서는 방사선치료계획 시스템에서 계산된 MU값을 실제 치료 전 매뉴얼 계산을 통해 점검하도록 하고 있으나, 이 또한 각 기관의 상황에 맞게 탄력적으로 검사하도록 설정하였다. 또한 소프트웨어 업그레이드 항목은 필요 시 적용할 수 있는 항목이며, 이와 관련된 해당 사항이 있을 경우에는 반드시 점검해야 하는 필수 항목으로 정하였다.

표 2-3-13. 비정기적 정도관리 항목 및 허용오차

검사 항목	필/선	세부 항목	허용오차
선량계산 확인	선택	MU 점검	3%
소프트웨어 업그레이드	필수	소프트웨어의 변화된 사항 점검	확인
	필수	소프트웨어 도구 확인	확인
	필수	선량계산 데이터 확인	확인

(4) 방사선치료계획시스템의 정도관리 항목별 내용 및 검사방법

방사선치료계획용 시스템의 정도관리 절차서에 포함되어 있는 각 항목들과 세부 항목에 대해 정의, 점검주기, 장비, 점검방법, 허용오차를 아래에 기술하였다.

(가) 주간 점검

- ① 입력장치 on/off (디지털라이저, 필름 스캐너) : 치료계획을 위한 환자의 영상 정보를 시스템에 직접 입력하며, 잘못된 영상정보의 입력은 기하학적 에러를 유발한다. 장치의 대부분이 위치 및 시간 의존적이다.

주기 : 주간

장비 : 디지털라이저, 필름 스캐너

방법 :

- 장비의 전원을 켜다.
- 정상 작동 여부를 확인한다.

허용오차 : 작동여부



② 입력장치 on/off (네트워크에 의한 영상 전송) : 디지털라이저, 필름스캐너와 달리 네트워크를 통한 영상전송을 통해 기하학적인 에러를 방지할 수 있고, 위치 및 시간에 상대적으로 독립적이다.

주기 : 주간

장비 : CT, PACS

방법 :

- CT 스캐너 또는 PACS를 이용해 치료계획에 필요한 영상을 전송한다.
- 영상의 전송 여부 및 상태를 확인한다.

허용오차 : 작동여부

③ 출력장치 on/off (프린터, 플로터, 모니터, 필름현상기) : 치료계획 장치의 출력은 해부학적 정보, 빔, 선량의 삼차원 영상 정보와 이차원 선량 분포, DVH, BEV, DRR을 포함하고 있다. 또한, 부가적으로 환자의 이름과 ID, 치료계획 ID, 치료 버전 또는 날짜를 포함한다.

주기 : 주간

장비 : 프린터, 플로터, 모니터, 필름현상기

방법 :

- 장비의 전원을 켜다.
- 정상 작동 여부를 확인한다.

허용오차 : 작동여부

#### (나) 월간 점검

① 입력장치의 기하학적 정확도 (디지털라이저, 필름 스캐너) : 치료계획을 위한 영상과 체표윤곽도 입력 시 기하학적인 정보가 일치해야 한다.

주기 : 월간

장비 : 디지털라이저, 필름스캐너

방법 :

- 디지털라이저 또는 필름 스캐너를 이용해서 체표윤곽도 또는 CT 영상을 치료계획장치에 입력한다.
- 실제 영상의 크기와 치료계획장치에 입력된 영상의 크기와의 차이를 x축과 y축에 대해 확인한다.

허용오차 : 1 mm

② 출력장치의 기하학적 정확도 (프린터, 플로터, 필름현상기) : 치료계획 결과와 이를 출력하는 장치의 기하학적인 정보가 일치하여야 한다.

주기 : 월간

장비 : 프린터, 플로터, 필름현상기

방법 :

- 출력된 정보와 치료계획시스템상의 정보를 비교한다.
- 치료계획시스템상의 크기 관련 정보와 출력된 정보의 크기를 다양한 확대율을 통해 일치하는지를 확인한다.
- 좌표이동, 점 설정이 정확한지 확인한다.

허용오차 : 1 mm

③ 입력한 데이터의 확인 (TMR, PDD, 빔 프로파일, Sp, Sc, Wedge, Tray 등의 출력계수) : 각 데이터는 치료 선량의 결정에 가장 기본이 되는 항목으로 선량계산을 위해 초기 입력한 데이터의 변화 여부를 확인한다.

주기 : 월간

장비 : 각각의 데이터

방법 :

- 그래프, 테이블, 소프트웨어 도구 등을 이용하여 인수 시 입력한 빔 데이터와 직접 확인한다.

허용오차 : 확인

④ 환자 데이터의 전송 및 검증 (환자 치료 데이터의 전송) : 치료계획 완료 후 실제 치료를 위해 치료기로 전송한 데이터의 에러를 확인하여 치료의 오류를 확인하여야 한다.

주기 : 월간

장비 : 네트워크 시스템

방법 :

- 치료계획의 결과를 치료장치로 전송하여 데이터의 오류 여부를 점검한다.
- 점검 항목 : 갠트리, 치료테이블, 콜리메이터의 각도, 조사면의 크기, MLC shape, 치료보조 장치 (썰기, 보상체, bolus), MU값 등

허용오차 : 확인

⑤ 환자 데이터의 전송 및 검증 (DRR(BEV) 영상의 검증) : 치료

주기 : 월간

장비 : DRR 영상

방법 :

- DRR 영상에서의 환자의 해부학적 정보, 치료중심점, 조사면의 크기, block shape, MLC shape의 정확도 점검

허용오차 : 확인

- ⑥ 환자 데이터의 전송 및 검증 (환자데이터 백업) : 환자 데이터는 치료계획의 변경 및 확인을 위해 보관되어야 한다. 따라서 정기적인 백업이 필요하다.

주기 : 월간

장비 : 백업 장치

방법 :

- 치료계획장치의 환자데이터를 백업한다.
- 백업된 데이터를 확인한다.

허용오차 : 확인

#### (다) 연간 점검

- ① 선량계산 데이터의 점검 (TMR, PDD, 빔 프로파일, Sp, Sc, Wedge, Tray 등의 출력계수) : 치료기기 데이터와의 오차를 확인하기 위해 입력된 데이터와 측정된 데이터를 비교한다.

주기 : 연간

장비 : 물팬텀, 이온함, 전기계

방법 :

- 물팬텀과 이온함을 이용하여 각각의 데이터를 측정한다.
- 치료계획장치에 입력된 데이터와 비교한다.

허용오차 : 2%

- ② 선량계산 : 치료계획장치에 대한 선량계산의 정확도를 평가하기 위해 각각의 조건에서의 계산값과 측정값을 비교한다.

주기 : 연간

장비 : 팬텀, 이온함, 전기계, 썰기, 차폐체, 불균질 물질(코르크)

방법 :

- ㉞ 매뉴얼 계산값과의 비교

- 영상 입력장치(디지털라이저, 필름스캐너 등)를 통해 체표윤곽도 입력  
(단, 체표윤곽도는 조직등가의 균일한 밀도로 가정)
- 기준 조건에 대한 빔 데이터 입력
- 기준 깊이 또는 임의의 깊이에 대해서 방사선치료 계획 장치를 통한 점선  
량 및 MU 계산
- 위의 조건과 같은 깊이에 대해서 매뉴얼에 의한 MU 계산

㉔ 실제 측정값과의 비교

- 컴퓨터 단층촬영 등을 이용한 팬텀(밀도가 다른 물질과의 조합이 가능)의  
영상 입력 (CT 밀도에 의한 팬텀 내의 조직 불균질성을 적용)
- 다양한 조건에 대한 빔 데이터 입력
- 기준 깊이 또는 임의의 깊이에 대해서 방사선치료계획장치를 통한 점선량  
계산
- 위의 조건과 같은 깊이에 대해서 측정기(이온전리함)를 통해 실제 측정값  
을 얻는다. (필요에 따라 필름 또는 열형광선량계를 이용하여 선량 분포를  
측정하여 비교한다.)

허용오차 : 정방향 조사면 (1%), 직사각형 조사면 (2%), 비대칭 조사면 (3%),  
차폐체 조사면(3%), 다엽콜리메이터 조사면 (2%), 췌기 조사면  
(3%), 선원 표면간 거리 변화 (2%), 불균질성 (3%), 사방향 조사면  
(3%)

③ CT 데이터의 입력 (기하학적 정확도) : CT 스캔 시 치료기기와 기하학적 구  
조가 일치하여야 한다. 따라서 기하학적 정확도는 치료계획에 가장 기  
본이 되는 항목이다.

주기 : 연간

장비 : CT

방법 :

- 3D 정보(위치, 확대)가 정확히 전송되는지를 확인한다.
- 환자의 set-up에 따른 정보(head-first, feet-first, prone, supine, left,  
right)가 정확하게 전송되는지를 확인한다.

허용오차 : 1 mm

④ CT 데이터의 입력 (전자 밀도) : 전자밀도는 치료계획 시 밀도 보정의 부정확  
도에 영향을 미치게 되므로 하운스필드 넘버(Hounsfield number)에  
따른 전자밀도 값을 정확하게 입력하여야 한다.

주기 : 연간

장비 : CT 테스트용 팬텀

방법 :

- 제공된 CT 테스트용 팬텀(chemical composition과 densities)을 이용해 영상을 얻는다.
- 치료계획시스템의 도구를 이용해 영상에서의 physical 또는 전자밀도를 제작사에서 제공된 데이터와 직접 비교한다.

허용오차 : ( $\leq 1.5$ ) : 0.05, ( $> 1.5$ ) : 0.1

⑤ 선량계산 확인 (MU 점검) : 선량계산값에 대한 신뢰도를 판단하여 수시로 확인한다.

주기 : 비정기적

장비 : 영상 입력장치

방법 :

- 영상 입력장치(디지털, 필름스캐너 등)를 통해 체표윤곽도 입력 (단, 체표면 윤곽도는 조직등가의 균일한 밀도로 가정)
- 기준 조건에 대한 빔 데이터 입력
- 기준 깊이 또는 임의의 깊이에 대해서 방사선치료계획장치를 통한 점 선량 및 MU 계산
- 위의 조건과 같은 깊이에 대해서 매뉴얼에 의한 MU 계산

허용오차 : 3%

⑥ 소프트웨어 업그레이드 (소프트웨어의 변화된 사항 점검, 소프트웨어 도구 확인, 선량계산 데이터 확인) : 소프트웨어의 업그레이드 시 프로그램의 오류와 입력된 선량계산 데이터의 변화 여부를 확인한다.

주기 : 비정기적

장비 : 소프트웨어

방법 :

- 사용 중인 소프트웨어의 데이터를 백업한다.
- 업그레이드 된 소프트웨어를 설치한다.
- 소프트웨어의 각 기능의 정상 실행여부를 확인한다.
- 선량계산 데이터를 확인한다.

허용오차 : 확인

(5) 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서 개발

치료계획 시스템의 정도관리를 위해서 주간, 월간, 연간, 비정기적 점검 항목으로 분류하여 절차서를 작성하였다. 방사선치료계획시스템의 정도관리 항목은 선진각국 및 각 학회 등 국내·외 방사선치료계획시스템의 정도관리에 관련한 문헌 및 자료를 수집한 후 국내실정을 고려하여 설정하였고, 수집된 각 정도관리 절차서를 기능 및 목적에 따라 구분하여 비교·분석하였다. 분석된 결과를 기초로 항목 및 범위를 선정하여 정도관리 항목을 방사선치료계획시스템의 오류 발생률 및 중요도에 입각해 주기별로 나열하였고, 각각에 대한 사용 장비, 방법, 허용오차 등을 정하였다. 또한 각 항목을 필수, 선택 항목으로 구분하여 정도관리 시 참고하도록 하였다. 외국의 경우에는 일간 정도관리도 수행하고 있지만 국내의 상황은 인력과 시간의 부족으로 고려하지 않았고, 정도관리 항목은 치료계획 시 발생할 수 있는 오류를 감안하여 설정하였다. 이를 토대로 국내 실정을 고려한 합리적이고 실용적인 정도관리 절차서 초기 모델을 수립하였다.(표 2-3-14)

표 2-3-14. 주기에 따른 정도관리 항목

주 기	항 목	방 법
주간 점검	입력장치, 출력장치 등	장치들의 오작동 점검
월간 점검	입력장치, 출력장치, RTP에 입력된 데이터 확인, 환자 데이터의 전송 및 백업 등	입출력 장치의 정확도, 범 데이터의 변화여부 점검
연간 점검	CT 데이터 입력의 정확도, 선량계산 변수 등	치료계획의 경우에 따른 선량계산의 정확성 점검
비정기적	선량계산 확인, 소프트웨어 에러 확인 등	선량계산의 오류 또는 소프트웨어 업그레이드 시 수행

(가) 주간 점검

주간정도관리 절차서에서 수집된 각국의 프로토콜에서는 에러로그, 로그변화 등의 항목을 일일점검의 항목으로 설정하였으나, 국내의 상황에서는 방사선치료계획용 시스템을 제외한 대부분의 장치에 대해 일일점검을 시행하도록 되어 있어서 현실적으로 인적 및 시간적 제약이 불가피하므로 최소 주기는 주간점검으로 정하였으며, 그 항목으로는 입력장치와 출력장치의 작동여부에 대한 육안적 검사를 시행하도록 하였다.(부록 4. 표 1)

#### (나) 월간 점검

월간점검 항목에는 부록 4. 표 2 에 나타난 바와 같이 기본적으로 주간 점검 항목이 필수 항목으로 포함되었으며, 입력장치와 출력장치에 대한 기하학적 정확도를 점검하여 허용오차를 1 mm로 정하였다. 특히, 월간 점검의 주요항목은 빔의 선질 특성에 관련된 항목과 상대적 측정 계수에 대한 항목을 필수 항목으로 설정하였으며, 각각에 대하여 방사선치료계획 시스템에 입력된 데이터와 인수 시 실제 측정을 통해 입력했던 값을 비교하도록 하였다. 정도관리를 수행한 모든 치료계획 시스템이 허용오차를 벗어나지 않았다.

#### (다) 연간 점검

연간점검 항목은 치료계획 시스템에서 선량계산과 관련된 항목에 대해서 정도관리를 수행하였다. 각 항목은 치료계획 시에 사용될 수 있는 조건에 대한 경우를 포함하도록 하였다. 치료계획 시스템별로 각각의 항목을 수행한 결과 오차가 허용범위를 초과하는 경우도 나타났다. 특히 췌기를 사용한 경우와 불균질 조사면의 오차가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. (부록 4. 표 3)

#### (라) 비정기적 점검

비정기적 항목에는 선량계산 확인, 소프트웨어 업그레이드에 대한 내용을 설정하였으며, 항목별로 선량계산 확인의 MU 점검은 실제로 몇몇 기관에서는 방사선치료계획 시스템에서 계산된 MU값을 치료 전 매뉴얼 계산을 통해 점검하도록 하고 있으나, 이 또한 각 기관의 상황에 맞게 탄력적으로 검사하도록 설정하였다. 또한 소프트웨어 업그레이드 항목은 필요시에만 적용할 수 있는 항목이며, 이와 관련된 해당 사항이 있을 경우에는 반드시 점검해야 하는 필수 항목으로 정하였다. (부록 4. 표 4)

#### (6) 방사선치료계획시스템 정도관리 절차서의 실용성 평가 및 임상 적용

수립된 정도관리 절차서의 임상 적용을 위한 방사선치료계획시스템은 AcQ-plan (Philips), Eclipse (Varian), Helax (MDS Nordion), Pinnacle (Philips), Plato (Nucletron), Prowess(SSGI) 등 국내에서 주로 사용하고 있는 3차원 시스템을 대상으로 하였고, 사용된 선형가속기의 에너지는 6, 10 MV 광자선을 이용하였다. 팬텀

은 물 등가 고체팬텀을 사용하였고, 불균질을 모사하기 위해서 코르크를 이용하였다. 사용한 코르크의 밀도는  $0.303 \text{ g/cm}^3$  이었다. 입·출력장치는 장비의 오작동 여부를 점검하고, CT 영상을 디지털라이저, 필름스캐너, DICOM을 이용하여 방사선치료계획용 컴퓨터에 입력한 후 실제 필름영상과의 오차를 점검하였고, 프린터, 플로터, 필름현상기를 이용하여 출력한 결과와 실제 영상과의 크기를 비교하였다. 치료계획컴퓨터에 입력된 빔 데이터는 초기에 입력한 값에서의 변화 여부를 확인하였으며, 환자 데이터가 치료기로 정확히 전송되는지 여부 및 백업이 제대로 수행되는지를 확인하였다. 선량계산과 관련된 항목의 측정조건은 표 2-3-15와 같이 각각의 조사면에서 이온검출기를 이용하여 5 cm 깊이에서의 선량을 측정하였고, 불균질 조사면은 팬텀 사이에 5 cm 코르크를 삽입한 후 불균질 물질을 통과한 빔의 선량을 12 cm 깊이에서 측정하였다. 부정형 조사면은 블록을 제작하여 수행하였고, 사방향 조사는 제작한 팬텀을 고체팬텀 위에 추가로 적용하여 사방향 입사 효과를 재현하였으며, 축 이탈은 중심축에서 5 cm 이동한 위치에서 측정하였다. 각각의 조건에서 치료계획시스템에서 계획된 선량과 동일한 조건에서 선형가속기를 이용하여 측정한 값을 비교하여 허용오차 내에 들어오는지 확인하였다.

표 2-3-15. 선량계산 항목의 측정 인자

검사 항목	조사면 (cm <sup>2</sup> )	SSD (cm)	측정 깊이 (cm)	비 고
정방향 조사면	10 × 10	100	5	-
직사각형 조사면	5 × 20	100	5	-
부정형 조사면	20 × 20	100	5	Block
MLC 조사면	20 × 20	100	5	MLC
Wedge	10 × 10	100	5	wedge 15°, 45°
사방향 조사	10 × 10	100	5	△-Phantom
축 이탈	20 × 20	100	5	off axis, 5 cm
SSD 변화	10 × 10	110	5	SSD 110 cm
불균질 조사면	10 × 10	100	12	cork 5 cm

(가) 주간 점검

각 기관에서 사용하고 있는 영상 입력장치(디지털라이저, 필름스캐너, DICOM 등), 출력장치(프린터, 모니터, 필름현상기 등) 및 방법에 따라 영상의 입·출력 시 장비의 작동 여부를 각 기관별로 선택적으로 수행하고 판단하였다. 주간 정도관리는 입력장치와 출력장치의 작동상의 문제점 여부를 육안적으로 판단하기 위한 것으로 대상 입력장치와 출력장치는 모두 정상적으로 작동하였다.



표 2-3-16. 주간정도관리 결과

검사항목	세부항목	필/선	허용오차	결 과						
				RTP1	RTP2	RTP3	RTP4	RTP5	RTP6	RTP7
입력장치	디지털라이저 상태	선택	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	필름스캐너 상태	선택	작동여부	-	-	-	OK	OK	-	-
	DICOM에 의한 영상전송	선택	작동여부	OK	OK	-	OK	OK	-	-
출력장치	프린터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	플로터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	모니터 상태	필수	작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	필름현상기 상태	선택	작동여부	OK	-	-	-	-	-	-

- : 장치의 부재 또는 측정 불가 상태

(나) 월간 점검

월간 점검은 주간 점검 항목에서 수행한 입력장치와 출력장치의 정확도 및 치료 계획장치에 입력된 측정 데이터를 확인하고, 치료계획 결과의 전송 및 백업에 관한 항목을 수행하였다.(주간점검에서는 입력장치와 출력장치의 작동여부만을 확인하였고, 월간점검에서는 정확도를 정량적으로 확인하였다)

① 입력장치

디지털라이저와 필름스캐너의 허용오차는 1 mm로 정하였고, 정도관리 수행 결과 필름스캐너는 0.3 ~ 0.4 mm로 정확하였고, 디지털라이저는 수동으로 입력하는 관계로 필름스캐너보다 상대적으로 큰 0.4 ~ 0.7 mm의 오차를 보였으나 허용오차 내에서 일치하였다.

② 출력장치

프린터와 플로터의 허용오차는 1 mm이며, 치료계획 결과를 출력한 출력물에 대해서 정도관리 수행결과 0.2 ~ 0.5 mm 내에서 일치하였다.

③ 입력 데이터의 검증

치료계획장치를 이용한 선량계산은 치료기의 특성에 따른 데이터를 입력하여 수행하였다. 이러한 데이터의 변화는 치료 시 환자가 받는 치료선량에 직접적인 영향을 미치게 되므로, 따라서 초기에 입력된 데이터가 외적 영향에 의해 변화하지 않도록 주기적으로 확인하여야 한다. 심부선량백분율, 빔 프로파일, 출력인자를 조

사면과 깊이에 대해 확인하였고, 모든 치료계획장치에서 초기에 입력된 데이터의 변화가 없었다.

#### ④ 데이터의 전송 및 백업

치료계획이 완료된 후 치료에 대한 정보를 네트워크를 이용하여 전송하는 경우 데이터를 전송할 때의 오류를 확인하여야 하며, 환자 치료계획 데이터는 주기적으로 백업하여 보관하여야 하며, 모든 치료계획장치에서 정확하게 일치하였다.

#### (다) 연간 점검

연간 점검은 세부항목별로 치료계획 컴퓨터를 이용하여 선량계산을 수행하고 그 결과를 기준측정기를 통한 측정값과 비교하였다.

- 정방향 조사면의 허용오차는 1%이고, 선량교정의 기준이므로 대부분 잘 일치하였고, 오차가 범위를 벗어난 경우는 반복 측정으로 오차의 정확도를 확인하고 측정오차 범위를 고려하여 빔 데이터의 교정으로 오차를 감소시킬 수 있었다.
- 부정형조사면과 다엽콜리메이터 조사면, 사방향, 축 이탈, SSD 변화 등은 대부분 허용오차 범위 내에서 잘 일치하였다.
- 썰기 조사면은 고 밀도 물질에 의한 투과 방사선의 세기변조 영향으로 인하여 비교적 큰 오차를 보였으며, 대체적으로 썰기 각이 커질수록 오차 범위가 커졌다.
- 불균질 조사면은 치료계획 시스템의 선량 계산 시 실제 인체내부의 불균질성에 대해 얼마나 정확하게 고려할 수 있는냐에 대한 평가 항목으로 임상에서 가장 불균질성이 큰 폐를 모사하기 위해 밀도가 0.303 g/cm<sup>3</sup> 인 코르크를 사용하였고 대체적으로 허용범위 내에서 일치하였으나 최대 3.0% 오차를 보이기도 하였다. 이것은 입력된 빔 데이터나 사용자의 오류가 아니고, 각 치료계획장치에서 사용하는 서로 다른 선량계산 알고리즘의 차이인 것으로 사료된다.

표 2-3-17. 월간정도관리 결과

검사항목	세부항목	필/선	허용 오차	오 차 (mm)						
				RTP1	RTP2	RTP3	RTP4	RTP5	RTP6	RTP7
주간 점검	주간 점검 확인	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
입력장치의 기하학적 정확도	디지털타이저의 정확도	선택	1 mm	0.6	-	0.6	0.4	0.7	0.5	0.4
	필름스캐너의 정확도	선택	1 mm	-	-	-	0.3	0.4	-	-
	DICOM에 영상전송 정확도	선택	확인	OK	OK	-	OK	OK	-	-
출력장치의 기하학적 정확도	프린터의 정확도	필수	1 mm	0.3	-	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4
	플로터의 정확도	필수	1 mm	0.6	-	0.4	0.4	0.3	0.2	0.5
	현상된 필름의 정확도	선택	1 mm	0.5	-	-	-	-	-	-
입력 데이터의 검증	PDD 또는 TMR	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	빔 프로파일	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	출력 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	췌기 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	Tray 인자	필수	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
데이터 전송 및 백업	R & V 확인	선택	확인	OK	OK	-	OK	OK	-	-
	DRR 영상의 검증	선택	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	환자 데이터의 백업	선택	확인	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

표 2-3-18. 연간정도관리 결과

검사 항목	허용 오차 E(MV)	오 차 (%)											
		RTP1		RTP2	RTP3	RTP4		RTP5		RTP6		RTP7	
		6	10	6	6	6	10	6	10	6	10	6	10
정방향 조사면	1%	- 0.9	- 0.1	-0.2	0	+ 0.4	+ 0.3	- 0.7	- 0.8	- 0.8	- 1.2	+ 1.2	+ 1.0
직사각형 조사면	2%	- 0.1	- 0.4	-1.6	+ 0.7	- 0.5	- 0.3	- 1.0	- 1.1	- 2.3	- 1.7	+ 1.5	+ 1.9
부정형 조사면	3%	0	+ 2.6	-	-	+ 1.1	+ 0.7	+ 0.2	- 0.9	- 0.8	+ 1.4	-	-
MLC 조사면	2%	+ 0.6	+ 1.8	0	-	+ 0.8	+ 0.6	+ 1.6	+ 1.1	-	-	+ 1.9	+ 0.4
Wedge (15°)	3%	- 0.4	+ 0.5	+0.4	+ 0.9	- 1.5	- 0.6	- 0.8	- 0.9	- 1.4	- 1.4	+1.1	+ 3.0
Wedge (45°)	3%	- 1.1	- 2.5	-1.0	+ 1.7	- 3.2	- 1.3	- 0.2	0	- 3.4	+ 2.3	+ 2.0	+ 0.8
사방향 조사	3%	- 2.2	- 0.5	-0.4	+ 0.8	+ 0.6	+ 1.2	+ 0.5	- 0.3	+ 1.4	+ 0.4	+ 2.4	+ 2.1
축 이탈	3%	+ 1.2	+ 2.2	+0.6	+ 1.6	- 0.7	+ 0.3	- 1.1	- 0.5	- 2.2	- 2.1	+ 3.1	+ 2.8
SSD 변화	2%	-	-	-1.4	+ 0.3	- 0.2	+ 0.5	- 0.3	- 0.2	- 1.0	- 1.0	+ 2.7	+ 1.0
불균질 조사면	3%	- 2.5	- 2.1	+1.8	+ 1.1	+ 1.5	+ 1.6	+ 1.1	+ 0.8	-	-	- 3.0	- 2.8

(라) 비정기적 점검

비정기적 항목은 치료계획 결과의 신뢰성이 떨어진다고 판단될 때나 소프트웨어의 업그레이드 후에 소프트웨어의 변화된 사항을 점검하고, 선량계산과 관련된 데이터의 일치 여부를 확인하여야 한다. (선량계산은 월간 정도관리에서 수행하는 항목을 수행하는 것임) 주기적 항목이 아니므로 실제 임상적용 평가에서는 제외하였다.

(7) 결론

방사선 치료의 정확도를 향상시키기 위해서 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차를 만들었고, 그 유용성을 평가하기 위해 국내에서 현재 주로 사용하고 있는 방사선치료계획시스템에 대해 정도관리를 수행하였다. 장비 자체의 기하학적 정확도와 선량의 정확도를 측정 등을 통해 평가한 결과 본 연구에서 정한 예비항목의 허용 범위 내에서 대부분 일치하였으나 몇몇 경우에는 허용 범위를 벗어난 경우도 있었다. 실제 임상적용을 시행하는 과정에서의 결과상에 나타난 문제로는 기계적 오차와

측정 시 발생한 개인오차가 포함된 것으로 사료되며, 이것을 해결하기 위해 치료계획시스템에 동일한 빔 데이터를 입력하여 선량계산과 관련된 항목의 반복측정 및 상호측정을 통하여 외적요인에 의한 오차를 줄여야 하지만, 국내의 상황은 인적, 시간적 제약이 많아 선진각국의 정도관리 절차 항목을 모두 수용하기는 어려운 현실이다. 그러므로 국내의 실정에 맞는 항목과 그에 따른 허용오차, 주기 등을 설정하여 방사선치료계획 시스템에 대한 규칙적인 성능 평가가 이루어지면 보다 양질의 진료 서비스를 환자에게 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 방사선치료의 성적을 향상시키기 위해서는 방사선치료계획 시스템에 대한 주기적인 정도관리도 필수적이라 하겠다.

라. 방사선치료계획시스템(외부조사치료, 근접치료)의 정도관리 보조 프로그램 개발

(1) 외부조사치료 용 Manual MU Calculation Program 개발

(가) 서론

치료용 선형 가속기를 이용한 고 에너지 광자 빔 치료계획 및 검증의 과정에서 Target에 선량을 조사하기 위해 가속기에서 설정해주어야 하는 Monitor Unit(MU) 값을 간단히 계산해 주는 프로그램을 개발한다.

(나) 방법

- ① 치료기 설정 : 선형가속기의 광자 빔 에너지 6 MV & 10 MV
- ② 프로그램 언어 : Visual BASIC
- ③ Monitor Unit를 계산하기 위한 공식은 일반적으로 다음과 같다.

$$MU = \frac{D_{presc}}{(D/MU)_{cal} \times TPR(d) \times OAR \times OF_c(r_c) \times OF_p(r) \times (SCD/SPD)^2 \times TTF}$$

TPR: Tissue phantom Ratio

OAR: off axis ratio (for asymmetrical field)

OF<sub>c</sub>(r): collimator output factor which is the change in MU due to scatter from the collimator system. This factor is dependent on the FS

OF<sub>p</sub>(r): phantom output factor which is the change in MU due to scatter from within the phantom. This factor depends on the size of the field entering the patient

SCD: distance from source to calibration point (cm)

SPD: Distance from the source to isocenter

(D/MU)<sub>cal</sub>: calibration dose

TTF: Total transmission factor (block tray, wedge)

실제 프로그램의 적용에서는 일반적으로 치료용 선형 가속기에서 쉽게 얻을 수 있는 데이터 값들과 일반적으로 요구되어 지는 정확성을 고려하여 간단히 사용할 수 있는 수준에서 개발하였다. 본 프로그램에는 TPR값은 물 팬텀을 사용하여 측

정한 값이 조직에서와 동등하다고 가정하고 TMR값을 사용하였다. OAR은 여기에서는 고려하지 않고 1로 가정하여 사용하였고, out factor는 collimator output factor와 phantom output factor를 독립적으로 고려치는 않고 두 값을 OFcp(r)의 형태로 한 값으로 사용도록 프로그램을 구성하였다. 프로그램 상에서 사용된 공식은 다음과 같다. 기본데이터는 TMR data & output factor임

$$M = \frac{D_{presc}}{(D/M)_{cal} \times TMR(d) \times OF(r) \times TTF}$$

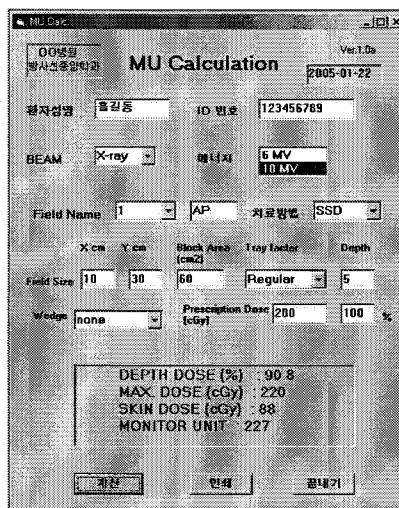
한편 조사면에 대한 고려는 직각 필드로 가정하고, 차폐가 되는 영역에 대해서는 수 계산을 통해 제외한 나머지 면적에 대하여 동등한 정사각형을 구하는 공식을 사용하였다.

$$\frac{A}{P} = \frac{a \times b}{2(a+b)} \quad : \text{Rectangular Field}, \quad \frac{A}{P} = \frac{a}{4} \quad : \text{Square Field}$$

④ 측정 데이터

- Output factor(OFsc(r))의 측정 : 물팬텀의 SAD setup, d<sub>max</sub> 깊이 조건에서 조사면의 크기를 측정 가능한 최소의 조건에서 최대 크기까지 다양한 조건에서 10 cm x 10 cm일 때의 값에 대한 비를 구하였다.
- TMR값의 측정 : output값의 측정에 사용된 조사면의 크기에 대하여 측정
- Wedge(15, 30, 45, 60°), Block tray에 대한 output 값의 측정

⑤ 사용방법



- Monitor Unit을 계산하는 프로그램 상에서의 입력데이터로는
  - 환자의 기본 정보 : 환자의 성명, ID 번호
  - 치료 빔의 종류 : X-ray, Energy (6, 10 MV)
  - Field Name : 빔의 번호, 이름 (AP, PA, RT, LT,...)
  - 치료방법 : SAD 혹은 SSD
  - Field Size 와 Block이 되는 면적
  - Tray factor : block, MLC, open field들을 사용할 때의 factor값
  - Depth : prescription을 하는 target의 피부에서의 깊이.
  - Wedge : 15, 30, 45, 60도의 wedge를 사용하였을 때의 output factor 적용
  - Prescription Dose & % : cGy단위로 fractional dose를 설정하고 몇 퍼센트의 dose 분포 선에서 prescription을 줄 것인가를 설정

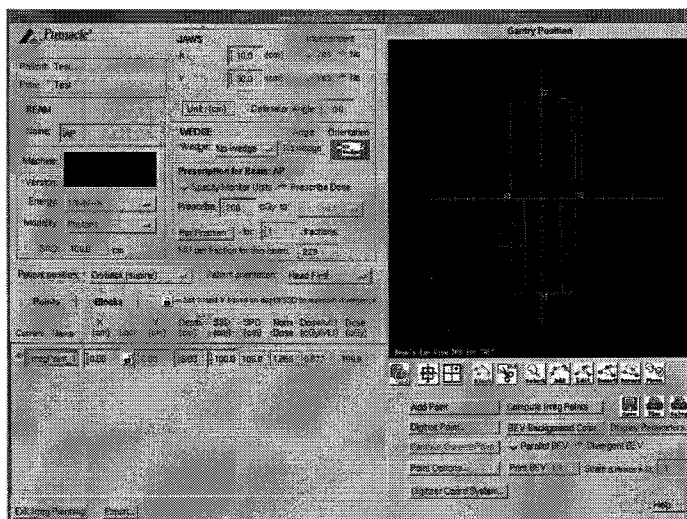
- 결과 출력 방법

모든 입력 data를 설정한 후에 계산 스위치를 눌러 계산을 실행하면 선형가속기에서 설정해 주어야하는 MU값을 계산해 준다. 결과 화면에는 MU값뿐만 아니라 다음과 같은 몇 가지 정보들도 같이 표시되게 프로그램 하였다.

Depth Dose(%), Tissue Maximum Ratio value, Maximum Dose(cGy), Skin Dose(cGy)

(다) 상업적 치료계획 장비와의 비교

본 과제에서 개발한 MU값 계산 프로그램의 유용성을 테스트하기 위하여 상업적으로 많이 사용되어지고 있는 치료계획 장비를 가지고 비교 검토하여 보았다. 아래 그림은 Philips사의 Pinnacle 치료계획기의 irregular field module을 사용하여 계산한 예를 보여주고 있다.





조사면의 크기와 치료방법, 에너지 등의 조건을 고려하여 몇 가지 경우에 대하여 개발된 프로그램과 Pinnacle 치료계획기상의 값들의 차를 비교하여 보았다.

에너지 (MV)	치료 방법	Field Size(cm)		Block (cm <sup>2</sup> )	Depth (cm)	wedge	Prescription	MU		차이 (%)
		x	y					Pinn.	MU-cal	
6	SSD	7	12	0	5	none	250	302	304	0.7
6	SAD	12	23	150	8	none	125	151	150	0.7
6	SAD	8	4.5	12	5.5	none	150	182	183	0.5
10	SAD	10	20	0	10	none	200	230	231	0.4
10	SAD	15	30	150	12	none	200	242	240	0.8
10	SSD	10	30	60	5	none	200	228	227	0.4

위의 표는 비교한 결과를 보여주는 것으로 두 계산 결과는 1%내에서 잘 일치하고 있다. 물론 실제 치료 상에서는 wedge와 인체구조의 고려 등이 포함될 경우는 좀더 큰 차이를 보일 것으로 예상되지만 2차적인 검증용 계산 방법이나 간단한 구조의 팬텀 상에서의 조건에선 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 예상된다.

## (2) HDR 흡수 선량계산 프로그램의 개발

### (가) 서론

치료계획시스템에서의 흡수선량 계산의 정확성을 확인하는 수기계산 방법을 적용한 간단하고 사용하기 쉬운 프로그램을 개발

### (나) 방법

- 단일 선원에 대한 계산만을 고려함
- Micro Visual Program을 이용하여 작성
- 선량 계산식

$$D(r,\theta) = \frac{\Lambda S_K \cdot g(r) \Phi_{an} * 60}{r^2}$$

변 수	의 미
r	선원으로부터 측정점까지의 거리 (cm)
$\theta$	선원의 장축 (y 축)을 기준으로 측정 점의 각도
$D(r,\theta)$ :	측정 점에서의 흡수선량
$\Lambda$	Dose rate constant
$S_K$	air-kerma strength
$1/r^2$	geometry factor. point source approximation
$g(r)$	radial dose function.
$\Phi_{an}$	average anisotropy factor ( x축상의 점=1.0)

• Geometry factor

계산상에서 선원이 point source 또는 cylindrical source 중 어느 것으로 취급이 되는지 확인하고 이에 대응되는 geometry factor를 사용

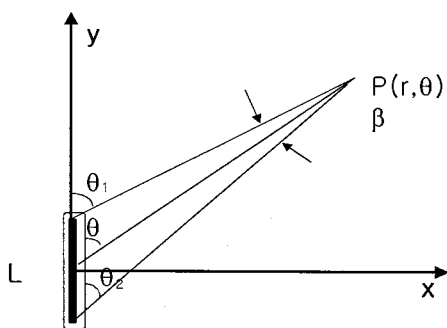
point source ;  $1/r^2$

line source:  $\beta/(Lr\sin\theta)$ ,

line source의 개략도

(다) 프로그램의 사용

① 입력 값



㉠ HDR의 모델을 설정

㉡ Source initial activity, calibration date 입력

㉢ 사용할 catheter 의 개수를 결정

㉣ 날짜를 입력

㉤ Detecting point input

point의 dose와 X, Y, Z 좌표

Number of dwelling position of eachcatheter.

Catheter의 source point의 개수

Source Position & dwelling time input form

② 계산 결과의 출력

- ㉞ Catheter의 선량
- ㉟ Source point에서의 총 선량
- ㊱ 입력되어진 RTP 선량
- ㊲ RTP dose와 프로그램으로 계산되어진 dose와의 에러

(라) 계산 결과의 비교

RTP와 수기공식을 이용한 계산은 3%이내에서 잘 일치하도록 개발되었으며 몇몇 point에서의 비교는 목표 내에서 잘 일치하고 2차적인 검증으로 유효함.

Result of Comparison with RTP		
Catheter 1	60.4724	cGy
Catheter 2	0	cGy
Catheter 3	0	cGy
Total Dose	60.4724	cGy
RTP Dose	60	cGy
% Error with RTP	0.7873	%

### 제 3 절 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발

#### 1. 연구 내용 및 방법

가. 국내외 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

(1) 의료용 선형가속기 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

미국의 AAPM과 ASTRO, 일본의 JARP, 영국의 HPA, 북유럽의 NACP 등 여러 기구들이 자신들의 실정에 맞는 평가 항목들을 개발, 권고하고 있어 이들 상호간 비교, 분석을 시행하고, 전 세계적으로 4개의 권고기관 즉, 미국, 캐나다, 유럽, 세계기관으로부터 의료용선형가속기를 위한 정도관리 권고 항목과 허용범위의 빈도, 정도관리 주기에 따라 비교, 분석하여 결과를 요약하여 테이블로 작성.

(2) 방사선치료계획장치 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

국내의 56여 개 병원의 현재 보유 장비 및 계획 중인 장비를 조사하여 인수검사와 정도관리에 필요한 예비항목을 선정.

(3) 근접치료장비 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

국내외 관련학회에서 권고하고 있는 근접방사선치료 관련 기기의 정도관리 프로그램을 수집하여 권고항목 및 주기 등을 분석.

나. 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련프로그램 개발

(1) 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 프로토콜 개발

의학물리사를 위한 방사선관련치료기기의 선량체계/정도관리 교육용 교재를 개발하되, 용어 통일, 현장감 및 최신정보반영, 체제통일 등 여러 면을 고려하여 작성. 교육용 교재개발은 선량체계와 정도관리로 나누어 작성. 선량체계는 원격치료와 근접치료 및 방사선치료계획장치로 나누어 작성하고, 정도관리는 방사선치료 관련 기기 별로 나누어 작성.

(2) 정도관리 팀 운영 및 항목 보완

방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 교육용 교재의 활용도 및 유용성 평가를 위해 교재를 이용한 선량체계/정도 관리팀을 구성하여 시행.

다. 국내실정에 맞는 교육 및 훈련 프로그램을 위해 구축한 교재 및 데이터베이스의 분석, 검토(그림 2-3-1)

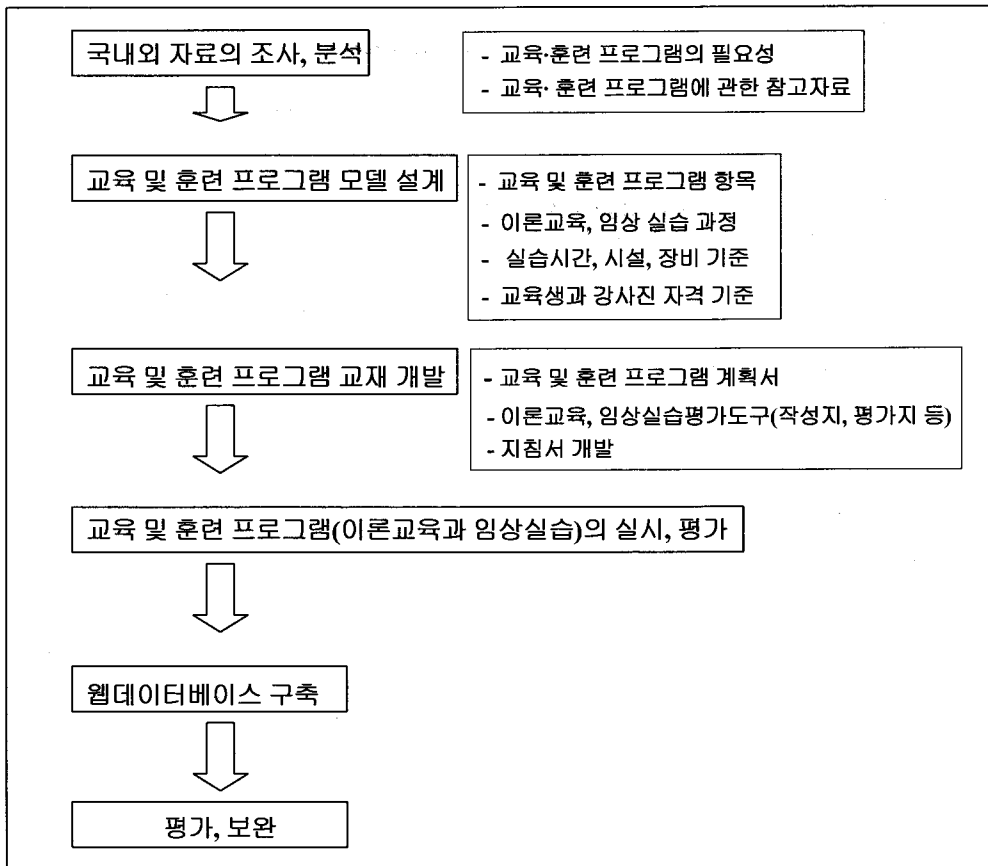


그림 2-3-1. 교재 및 데이터베이스의 분석, 검토 과정

- (1) 국내외 자료의 조사, 분석: 국내외에서 수행되고 있는 교육 및 훈련에 관련된 대학 프로그램과 각 위원회의 보고서를 수집, 분석하고 이에 따른 개선사항을 반영하여 국내실정에 맞는 교재내용과 데이터베이스를 구축하는 과정을 도출함.
- (2) 교육 및 훈련 프로그램 모델 설계
  - (가) 표준지침을 통한 교육교재 제작
  - (나) 강사의 자격기준 제시
  - (다) 이론교육과정과 실습교육과정의 합리화
  - (라) 교육의 효율을 높이기 위한 평가제도 제시
  - (마) 웹 베이스 교육과정 제시
  - (바) 교육과 훈련의 구분, 대상, 방법, 시설, 재료, 평가 등으로 구성

(3) 교육 및 훈련 프로그램 교재 개발

(가) 방사선종양물리학의 구분

(나) 의학물리사 수련의의 교육 프로그램 목적, 구조, 지도: 교육기간, 프로그램 감독, 강사진, 평가, 시설 등

(다) 지침서(교육교재) 항목: 의료용 선형가속기, 모의치료기, 방사선방어, 환자치료, 근접치료

(라) 방사선물리 개요: 원자와 핵의 구조, 방사능 붕괴, 미립자방사선의 상호작용, 엑스선 발생, 고 에너지 치료기구, 상호작용, 방사선측정, 방사선질, 흡수선량 측정, 고 에너지 광자선과 전자선의 선량계산, 선량분포, 원격치료, 밀봉선원 치료 선량분포, 전산화치료계획, 방사선방어 등.

(마) 교육과정 항목: 광자선 특성, 전자선 특성, 광자선과 전자선의 교정 및 선량측정, 선량계산 시스템, 근접치료, 정도관리 등.

(바) 이론, 실습 계획표와 지침서, 실습평가서, 실습 작성지 보완

(4) 교육 및 훈련프로그램(이론교육과 임상실습)의 실시, 평가: 각 항목에 대한 이론교육과 실습 교육 항목 및 시간 결정

1. 서론	1-1. 교육 및 훈련 프로그램의 배경 및 필요성	2. 국내의 교육 및 훈련 프로그램 조사 분석	2-1 국내의 프로그램 자료조사 비교
	1-2 교육 및 훈련 프로그램 목표 및 변위		2-2 학생 대상 설문 조사
	1-3 교육 및 훈련 프로그램의 추진전략 및 추진 방향		
3. 교육 및 훈련 프로그램 개발	3-1 인증	-정의와 영역	-이점
	3-2 지침		
	3-2-1 프로그램 개관		- 프로그램의 목적 - 프로그램의 구조
	3-2-2 실습요구사항		-실습항목과 설계 -프로그램 내용과 실습 계획
	3-2-3 프로그램 관리		- 교육기관에서의 관리 - 임상기관에서의 관리 - 프로그램 감독자의 역할 - 기록
	3-2-4 자원		- 강사진(임상, 교육 실시담당): 실습일자, 실습기관 -재정 -시설
	3-3 프로그램 개발		
	3-3-1 비교 모델(국내외 비교분석)		
	3-3-2 프로그램모델의 과정별 목차		-임상기관(8주) : 이론교육, 실습교육 (영역, 항목, 설명, 실습 기록지) -교육기관(8주) : 이론 교육, 응용 교육
	3-3-3 교육 및 훈련 과정 및 내용		
	3-3-4 교육 및 훈련 운영 방법		
	3-4 프로그램 평가		
	3-4-1 평가제도제시		-평가위원회 운영 -평가기준 -평가방법
	3-4-2 시범 평가		-시범평가 실시 -시범평가 결과

그림 2-3-2. 교육 및 훈련 프로그램 교재 목차

라. 교육 및 훈련 프로그램의 웹(Web) 데이터베이스 기초적 기반 구축

(1) 웹 데이터베이스 구축 모델

(가) 교육 및 훈련프로그램: 대학, 학회 위원회 보고서

(나) 교육 및 훈련프로그램 체계: 시간, 계획, 시설, 장비, 항목, 평가, 기록 등

(다) 교육 및 훈련프로그램 내용: 항목, 절차 방법, 허용범위, 평가, 보정 등

(라) 교육 및 훈련프로그램 작성지 기록

(마) 교육 및 훈련프로그램 결과 보고, 관련 정보 등

(2) 선량체계 중 원격치료는 광자선 특성, 전자선 특성, 광자선, 전자선 교정 및 선량측정(AAPM TG 21, TG 25), 선량학적 계산 시스템, 선량계산 인자(Sc, Sp, Sc,p, PDD, TMR, TAR, TPR, etc.), 선량계산 알고리즘 (방사선치료계획장치) 등으로 나누어 작성하고, 근접치료는 방사선원 특성, 방사성동위원소의 교정, 근접치료 어플리케이션 시스템, 선량계산, 선량체계와 선원 위치 결정방법, 근접치료 시 방사선장해방어 등으로 나누어 작성함.

(3) 정도관리는 의료용 선형가속기 정도관리, 근접치료 정도관리, 방사선치료계획 장비 정도관리 등으로 나누어 작성함.

## 2. 연구 결과

가. 국내의 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

(1) 의료용 선형가속기 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

(가) 전세계적으로 미국, 캐나다, 유럽 및 전세계 등 4개의 권고기관으로부터 의료용선형가속기를 위한 정도관리 권고사항을 비교하였다.(Ref. Review of Quality Assurance in Radiotherapy, Group of Medical Advisors, AECB, 1991, draft).

(나) 4개 기관으로부터 권고된 프로토콜을 정도관리 측정주기에 따라 비교하였다. 그리고 권고하는 정도관리 항목과 허용범위를 요약하여 테이블로 작성하였다.

(2) 방사선치료계획장치 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

(가) 외국학회 및 50-100개의 외국병원에서 보유하고 있는 전산화 치료계획 장비의 인수검사와 정도관리 사례를 논문 review 및 fax 교환 등을 통해 면밀히 조사, 검토하였고, 국내 52여 개 병원의 현재 보유 장비 및 계획 중인 장비를 조



사하여 인수검사와 정도관리에 필요한 예비항목을 선정하였다. 그 결과, 현재 국내에서 사용하고 있는 방사선치료계획장치는 크게 2차원치료계획장치(2D), 3차원치료계획장치 (3D)로 나눌 수 있고, 3차원치료계획장치에는 특수 치료용 계획장치로 세기변조방사선치료용(IMRT)과 정위적 방사선수술용(SRS) 계획장치가 포함된다. 국내 56개 치료방사선과에서는 88개의 방사선치료계획장치가 사용되고 있다.

- (나) 방사선치료계획장치의 정도관리 규약은 1996년에 Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, NCS에서 사용자들에게 도움을 주기 위해서 3차원 치료 계획장치의 정도관리의 공식화된 지침을 위한 task group이 설립되었다. 방사선치료계획장치의 정도관리 항목에는 위치설정과 고정, 모의치료, 환자정보 획득, 치료계획 시스템으로 자료전송, 표적 용적의 정의, 조사면설계, 선량분포계산, 계획평가, 처방, 모니터 단위계산, 차폐체와 빔 수정기 제작, 계획실행, 환자정도관리 등으로 나누어 제시.
- (다) 국외 그룹의 대부분이 방사선치료계획장치의 정도관리를 문서화하였다. 이중 캐나다 (Van dyk et al. 1993)의 상세한 지침서는 자료의 불확정성, 허용범위, 허용준위 등에 대해 자세히 다루고 있어 방사선치료계획장치의 정도관리에 대한 주요 문서중 하나이다. 최근 이외에 영국 및 스위스(SSRPM 1997)등에서도 지침서가 보고되었는데 방사선치료계획장치에서 계산된 결과와 측정결과 사이의 선량의 차이, 등선량곡선의 이동에 관해 언급.
- (라) 방사선치료계획장치의 정도관리에 관한 좀더 포괄적인 접근은 AAPM Task Group 53에서 공식화되었는데 이 보고서에서는 치료계획의 실시, 문서화, 비선량학적 항목뿐만 아니라 정도 관리 소프트웨어, 과정, 교육 등 정도관리에 연관된 많은 내용을 취급.
- (마) 치료계획은 환자자료의 입력으로부터 시작하여 도표화된 치료계획수립, 치료 실시 및 치료 확인에 이르기까지의 전 과정을 포함하는데 이를 시행하기 위해서는 의학물리사, 선량계측사, 방사선 종양학자, 전공의, 그리고 방사선사간의 긴밀한 협력이 요구.

### (3) 근접치료장비 선량체계/정도관리 프로그램 비교, 분석 및 평가

- (가) 방사선원의 특성 : 밀봉된 방사선원의 특성은 선원내 방사능의 분포와 선원의 캡슐화 방법에 따라 크게 달라진다. 따라서 사용자는 방사핵종의 물리적, 화학적 조성, 선원의 캡슐형태, 그리고 방사핵종의 분포와 균질도등에 대해 충분한 이해가 필요하며, 이들의 임상적 영향에 대해서도 평가.
- (나) 선원 교정방법 : 상품화된 근접방사선치료용 방사선원은 선원의 세기를 함께

제공하지만 이것에 전적으로 의존하기는 곤란하며 자체적으로 선원의 세기를 교정하여야한다. 이를 위해 국내병원 간, 더 나아가서는 국제적인 비교가 가능하도록 선원의 교정방법이 확립되어야 하며, 선원교정용 측정 장비의 유효성 및 안전성이 평가할 수 있는 기준이 만들어 져야 하겠다. 그 외에 환자치료에 사용되는 근접방사선치료용 어플리케이션이나 선원목록관련 사항들이 일목요연하게 기록, 보관될 수 있도록 유지.

- (다) 치료계획과 선량측정 : 선원의 위치를 고정시킬 수 있는 특별한 도구가 없는 치료의 경우 실제 치료가 치료계획으로부터 크게 벗어날 수 있다. 따라서 치료계획, 선원위치의 확정, 선량계산 알고리즘, 그리고 치료 시행에 이르기까지 계산 선량과 치료선량의 오차를 가능한 한 줄일 수 있도록 각 항목에 대한 검사 항목과 기준이 요구.
- (라) Remote Afterloading : Remote Afterloading system은 기존의 저선량(LDR) 뿐만 아니라 고선량(HDR) 치료도 가능한 장치로써 미리 환자에 어플리케이션을 강내 혹은 조직 내 삽입 후 원격장치에 의해 선원을 어플리케이션내로 보내는 장치이다. 이 장치의 안전성은 선원 선택, 선원의 위치 제어 및 치료시간의 정확성에 있음.
- (마) 방사선작업 종사자에 대한 안전도 : 근접방사선치료법은 activity가 매우 큰 방사성동위원소를 사용하기 때문에 보관 및 취급에 각별한 주의가 요구된다. 따라서 관련 작업종사자들에 대한 철저한 안전 교육이 필요하다 하겠다. 이를 위한 규정 역시 안전성 평가 항목에 반드시 포함.
- (바) 방사선량 측정 장비의 성능 평가 : 방사선치료기, 방사선원등의 방사선 관련 치료장치의 안전도는 이들 방사선발생장치로부터의 방사선에 대한 특성은 방사선 측정 장비를 통해서만 얻어질 수 있기 때문에 이들 측정 장비의 올바른 교정 및 성능 검사는 환자와 방사선 작업종사자의 안전과 직결된다고 할 수 있겠다. 이들 측정 장비로는 전리함, 전기계, 자동선량 scan 장비, survey meter등이 있다. 이들 장비는 국가표준기관인 한국표준과학연구소로부터의 소급성이 유지될 수 있도록 정기적으로 교정이 이루어져야 한다. 구미, 일본 등에서는 전문단체, 국제기관 또는 국가차원에서 권고, code of practice, 법률 등을 제정, 이용하고 있음.
- (사) 국내 병원의 사용 실태 조사 : 치료방사선과 전국통계에 따르면 00년 12월 현재 33개 병원에서 근접치료를 시행하고 있으며 종류별로는 저선량(LDR)치료가 10개 병원, Remote Afterloading system(RALS)를 보유하고 고선량(HDR) 치료를 시행하는 병원이 25개 병원, 양쪽 모두를 사용하는 병원은 2곳이었다. 사용되는 방사선원으로는 Co-60, Cs-137, Ir-192 등이 이용되고 있는 것으로

보고되었다. 이들 병원에서 사용하고 있는 근접치료장치에 대해 다음 사항을 구체적으로 조사하고 특성 등을 파악.

- (아) 사용선원의 방사핵종의 물리적, 화학적 조성, 선원의 캡슐형태, 방사핵종의 분포와 균질도 조사 및 방사선원의 안전성 평가 항목 작성
- (자) 국내 병원의 선원의 교정방법 및 국내 표준기관의 소급성 조사와 선원교정용 측정장비 및 선원교정의 소급성
- (차) 정도관리 프로그램은 장비의 작동과 특정행위의 오류를 방지하기위해 주기적으로 수행하는데 근접치료계획 시스템, 근접치료기, 장착기 등의 액세서리, 치료 행위 등으로 정도관리 프로그램을 구별할 수 있다. 또한 실제 임상에 있어서 정도관리 수행의 척도는 환자, 일반인, 종사자에 대한 안전, 선원 위치의 정확도, 조사시간의 정확도, 조사된 선량의 정확도 등의 결과로 평가될 수 있다. 외부조사치료와 비교해 그 위험도가 높은 근접치료의 안전과 정확도를 유지하기 위해 미국 의학물리협회의 TG40과 TG56의 정도관리 프로그램의 내용을 기본으로 정도관리의 항목을 주기별로 구분하여 정리.

#### 나. 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련프로그램 개발

##### (1) 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 프로토콜 개발

의학물리사를 위한 방사선관련 치료 기기의 선량체계/정도관리 교육용 교재를 개발하였고, 용어 통일, 현장감 및 최신정보반영, 체제통일 등 여러 면을 고려하여 작성하였음. 교육용 교재는 선량체계와 정도관리로 나누어 작성하였고, 선량체계는 원격치료와 근접치료 및 방사선치료계획장치로 나누어 작성하고, 정도관리는 방사선치료 관련 기기 별로 나누어 작성함.

##### (2) 정도관리 팀 운영 및 항목 보완

방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 교육용 교재의 활용도 및 유용성 평가를 위해 교재를 이용한 선량체계/정도 관리팀을 구성하여 시행함.

다. 국내 실정에 맞는 교육 및 훈련 프로그램을 위해 구축한 교재 및 데이터베이스의 분석, 검토

(1) 병원에서 의학물리학자 교육 프로그램의 지침서: 의학물리사 교육 프로그램의 기반을 구축하고, 이중 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 프로토콜을 도출해 냄.

#### ■ 서론

방사선 종양물리학은 암 환자 관리에 관련된 의학물리학의 일부분임.

1. 치료영역계산
2. 선량측정과 계산
3. 컴퓨터 선량 계획
4. 물리적 치료계획
5. 치료보조기구의 제작과 교안
6. 정도관리
7. 방사선종양학에 관련된 전문가와 물리학자, 임상 방사선종양학 수련의, 선량계측사, 치료방사선사의 훈련
8. 전문적인 치료와 대중적인 방사선종양물리학과 방사선의 영향 교육
9. 방사선 종양물리학에서 임상과 연구

#### ■ 의학물리학자 수련의의 교육 프로그램의 목적

수련의의 교육 프로그램의 목적은 방사선 종양물리학의 실습에서 물리학자들을 훈련하고 교육하는 것이다. 이 목적은 적절한 구조, 시설, 교수진, 환자정보와 교육적인 환경이 제공되어야만 이룰 수 있다.

#### ■ 의학물리학자 수련의 프로그램의 구조와 지도

##### 교육기간

대학 졸업 후 최소한 2년의 교육이 요구되어진다. 첫해는 임상방사선종양물리학에서의 자격경험이 제공되어야한다. 첫해의 목적은 방사선종양치료를 받는 환자의 임상적인 문제 등을 관리하는 능력을 준비하는 것이다. 첫해에서 적어도 11개월 이상의 기간을 임상서비스에 종사하는 경험을 해야만 한다. 방사선 종양물리학 프로그램이 최소 1년 이상은 사용되어야한다. 이 2년 동안 적어도 22개월 이상은 임상방사선종양학에 종사하여야 한다.

#### ■ 프로그램 감독

1. 검증된 자격에 의해 방사선종양물리학을 인증 받아야 한다.
2. 의학물리 전공 전임 교수진이여야 하며
3. 여러 방면으로 프로그램을 충분히 적용할 수 있어야 한다.
4. 물리학 수련의의 의무와 책임을 포함한 방사선 종양물리학의 총 훈련을 책임져야 한다.
5. 임상적인 정보와 교육적인 정보, 교수진, 다양한 지식 등을 제공해야 한다.
6. 물리학 수련의의 선별과 적격자를 선별해야 한다.

#### ■ 교수진

임상방사선종양물리학, 임상방사선종양학, 방사선생물학 등을 지도할 교수진이 제공되어야 한다.

교수진은 적어도 아래를 포함해야 한다.

1. 자격 검증된 2명의 의학물리 전공 전임 물리학자
2. 의학물리학회에 의해 검증된 전임 방사선 종양학자이거나 이와 동등한자.
3. 전임 방사선 생물학자

#### ■ 훈련 목차

교육훈련은 다양한 근접 방사선치료, 비밀봉 방사선원, 표재치료, 고 에너지 조사 (저에너지와 고 에너지), 전자선치료, 모의치료, 컴퓨터선량계획, 물리적 치료계획, 방사선 치료기구의 계산과 방어와 같은 임상적이고 기술적인 주제의 설명이 포함되어야 한다.

#### ■ 훈련보완

수련의 훈련 프로그램 보완은 방사선종양물리학에서 다양한 교육적인 경험을 제공하는 역할을 해야 한다. 수련의의 최대인원은 전임 교수진과의 비율이 1:1.5를 초과해서는 안 된다.

#### ■ 훈련평가

감독자는 지속적 프로그램의 평가와 교육적인 진도와 수련의들의 수행을 책임져야 한다. 수련의 수행과 진도는 적어도 연간 2회는 이론시험, 실기평가등과 같은 적합한 방법을 문서화해야 한다. 이 교육 평가의 결과는 수련의들과 함께 상의해야만 한다.

■ 시설

좋은 임상물리학 실습과 프로그램훈련을 가능하게 하기 위해서는 적당한 공간이 필요하다.

1. 두 대이상의 고 에너지 선형가속기
2. 모의치료기
3. 근접치료기
4. 컴퓨터 치료계획을 위한 기구
5. 물리적 실험실
6. 전기와 기계를 다룰 수 있는 공간

■ 임상 수단

방사선종양물리학에서 훈련프로그램을 적당한 수련의 경험을 위해 충분한 공간과 다양한 암환자가 제공되어야 한다.

■ 제도상의 지원

방사선종양물리학에서 임상훈련 프로그램은 예산, 공간, 임상적이고 교육적인 수단과 같은 제도상의 지원이 제공되어야 한다.

■ 교육적 환경

방사선종양물리학에서 임상훈련 환경이 주어져야 한다.

■ 회의

회의와 교육은 진보적인 수련의 참여를 위해 제공되어야 한다.

■ 도서 자원

다양한 잡지, 참고도서와 방사선종양물리학의 물질적인 수단과 기본적인 과학과 종양학에 관련된 것들이 수련의 연구를 위해 요구되어진다.

(2) 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 항목

(가) 선량체계 (6주)

- ① 준비사항
- ② 측정과정: 광자선, 전자선, 에너지 측정
- ③ 작성지 기록
- ④ 분석 및 평가
- ⑤ 측정과정과 작성지 기록 연습

(나) 정도관리 (6주)

- ① 정도관리 장비: 의료용 선형가속기, 모의치료기, 근접치료기, 전산화단층촬영장치, 방사선치료계획장치, 선량측정장치 등.
- ② 정도관리 주기: 일간, 주간, 월간, 연간
- ③ 검증 과정: 기하학적, 선량학적, 방사선 방어적 정도관리
- ④ 작성지 기록
- ⑤ 검증과정과 작성지 기록 연습

\* 선량체계 및 정도관리 교육시간은 각 6주로 총 12주이며, 각 주당 6 시간으로 총 72시간으로 함.

(3) 교육 및 훈련프로그램용 교재 개발

(가) 의학물리사를 위한 방사선관련치료기기의 선량체계/정도관리 교육용 교재를 개발하였고, 용어 통일, 현장감 및 최신정보반영, 체제통일 등 여러면을 고려하여 작성함.

(나) 국내외 여러 학회, 위원회 및 대학 교육 프로그램 등을 광범위하게 조사하여 교재작성에 반영함.

(다) 교육용 교재 개발은 선량체계와 정도관리로 나누어 작성함.

(라) 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 교재

□ 임상실습계획표

(선량체계 임상실습계획표)

주	내용	평가항목	세부내용	시행	평가
1주	선량체계: 서론 및 선량교정, 측정용을 위한 준비사항		- TG(21,51), TRS(277,398)의 이해 - 선량측정기, 검출기, 전기계, 팬텀, 온도계, 기압계 특성 및 사용방법 숙지 - 선량교정, 선량측정과정과 용어 습득		
2주	선량체계: 선량교정 (광자선, 전자선)		- 선량교정 절차 습득		
3주	선량체계: 선량측정관점 이해 및 시행 (광자선, 전자선)		- 선량측정 절차 습득 - 선량측정 인자의 이해와 설명		
4주	선량체계: 작성지 기록 실습		- 선량교정 작성지 기록 - 선량측정 작성지 기록		
5주	선량체계: 선량교정 분석과 평가		- 선량교정결과 분석, 평가, 보정방법 습득		
6주	선량체계: 선량측정분석과 평가		- 선량측정 결과 분석, 평가, 보정방법 습득		

(정도관리 임상실습계획표)

주	내용	평가항목	세부내용	시행	평가
1주	정도관리: 서론 및 선량교정, 측정용을 위한 준비사항		- TG(21,51), TRS(277,398)의 이해 - 선량측정기, 검출기, 전기계, 팬텀, 온도계, 기압계 특성 및 사용방법 숙지 - 선량교정, 선량측정과정과 용어 습득		
2주	정도관리: 장비의 기계적, 선량학적, 안전관리 항목의 이해		- 정도관리 절차 습득		
3주	정도관리: 장비의 기계적, 선량학적, 안전관리 항목의 시행		- 정도관리 절차 습득 - 정도관리 인자의 이해와 설명		
4주	정도관리: 작성지 기록		- 정도관리 작성지 기록 - 정도관리 작성지 기록		
5주	정도관리: 장비의 정도관리 분석과 평가		- 정도관리 결과 분석, 평가, 보정방법 습득		
6주	정도관리: 장비의 정도관리보정		- 정도관리 결과 분석, 평가, 보정방법 습득		



□ 임상실습지침서

1. 일반적인 실습목표 : 방사선물리학의 기본 원리를 이해하여 방사선치료에서 이를 적용할 수 있는 능력을 습득하여야 함.
2. 구체적인 실습목표 : 선량체계 및 정도관리를 이해하여 이를 임상치료방사선학에 응용할 수 있어야 함.
3. 실습 항목에 “따른 기록지(점검자)
4. 실습일지

시간	1주	2주	-	8주
13:00 - 15:00				
18:00 - 20:00				

5. 실습평가원칙 : 출석, 발표, 시험, 과제, 태도(100 점 만점)
6. 실습 유의사항 : - 실습 시작전 기본적인 개념에 대한 철저한 이해가 요구되며 이를 사전에 배포한 참고문헌을 필독하고 실습에 임해야 한다.  
- 실습시에는 항상 능동적인 자세로 임해야 한다.  
- 시간을 잘 지키고 출석을 철저히 해야 한다.

□ 실습평가서

성명 : \_\_\_\_\_ 실습기관 : \_\_\_\_\_

1. 출석(30점)

1주	2주	-	8주

2. 실습태도(기준 : 적극적인 질의 토론과 실습에 대한 영의)

상 : 30    중 : 20    하 : 10

3. 주제 발표(30점)

발표 능력 : 상(15)    중(20)    하(10)

준비 정도 : 상(15)    중(20)    하(10)

4. 시험(10점)

점수 : \_\_\_\_\_    작성자 \_\_\_\_\_

라. 교육 및 훈련 프로그램의 웹(Web) 데이터베이스 기초적 기반 구축

(1) 웹 데이터베이스 구성

- (가) 교육 및 훈련프로그램: 대학, 학회 위원회 보고서
- (나) 교육 및 훈련프로그램 체계: 시간, 계획, 시설, 장비, 항목, 평가, 기록 등
- (다) 교육 및 훈련프로그램 내용: 항목, 절차 방법, 허용범위, 평가, 보정 등
- (라) 교육 및 훈련프로그램 작성지 기록
- (마) 교육 및 훈련프로그램 결과 보고, 관련 정보 등

(2) 교육 및 훈련 프로그램

- (가) American college of medical physics standard "scope of practice of medical physics"
- (나) ACMP refresher course
- (다) Introduction to CAMPEP and the review process for educational, graduate, and residency programs
- (라) Guidelines for accreditation of graduate educational programs in medical physics
- (마) Application for MPCEC CAMPEP
- (바) Guidelines for accreditation of medical physics residency education programs
- (사) Essentials and guidelines for hospital based medical physics residency training programs
- (아) The importance of accreditation, current activities, and accredited programs

(3) 교육 및 훈련프로그램 내용

- (가) AAPM's TG51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams
- (나) Absorbed dose determination in external beam radiotherapy
- (다) AAPM Report No. 13: physical aspects of quality assurance in radiotherapy

(4) 관련정보: 선량체계와 정도관리 기초, 선량데이터 측정, 선량계산과 교정, 선량측정 프로토콜, 정도관리, 방사선종양학, 방사선물리학(계수장치, 근접방사선치료, 발생장치, 방사선 방어, 방사선진단물리학, 방사선측정, 방사선측정기, 상호작용, 외부방사선치료, 의료용선형가속기, 피폭선량계, 핵변환 등), 특수치료(입체조형치료, 세기변조방사선치료, 정위방사선치료, 전신피부조사, 전신조사, 전자선치료 등), 특수 선량계측(전리함, 필름, 열형광선량계, 다이오드, 투과선량측정 등) 등.

# 제 4 장 연구 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

## 제 1 절 당해 단계목표 및 달성도

### 1. 물 흡수선량 교정체계 확립 및 표준측정법 개발

세부연구목표		주요 연구개발 실적	가중치 (%)	연구목표 달성도 (%)	비 고
물 흡수선량 교정체계 확립 및 표준측정법 개발	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법 수집 및 한글화</li> <li>• 물 흡수선량 표준에 의한 표준측정법간의 비교 분석</li> <li>• 공기커마와 물 흡수선량 표준간의 주요 특징에 대한 상호 비교</li> <li>• 치료용 고 에너지 외부 방사선치료기기 및 기준선량계에 대한 제작사 및 종류별 현황 파악</li> <li>• 물 흡수선량 표준에 의한 주요 표준기관의 교정절차서 수집 및 비교 분석</li> </ul>	30	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국외 표준기관의 교정 절차서(DIN6800, AAPM TG-51, IAEA TRS-398) 수집 비교 분석</li> <li>• 공기커마와 물 흡수선량 표준간의 특징 비교 분석</li> <li>• 국내 방사선치료기기 및 기준선량계 현황 파악</li> <li>• 국외 물 흡수선량 표준 교정절차서 비교분석</li> </ul>
	2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 초기 프로토콜 개발</li> <li>• 윈도우 환경에서 물 흡수선량 표준에 기초한 선량 교정 프로그램 개발</li> <li>• 기준선량계의 교정 방법 및 절차, 품질관리에 대한 기반 기술 구축</li> <li>• 방사선량 상호 비교 체계 구축을 위한 선량측정 기준 조건 설정</li> </ul>	30	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 물 흡수선량 기반 물 흡수선량 표준측정법 초기 모델 개발</li> <li>• 윈도우 환경에서 선량 교정 프로그램 개발</li> <li>• 기준선량계 교정체계 및 품질관리 절차 확립</li> <li>• 방사선량 상호 비교를 위한 기준 측정조건 설정</li> </ul>
	2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발</li> <li>• 전자선에 대한 흡수선량 결정 표준측정법 개발</li> <li>• 웹(Web)베이스 선량교정 프로그램 임상 적용</li> <li>• 병원 상호간의 방사선량 비교 체계화 및 표준화</li> </ul>	40	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광자선 및 전자선 표준 측정법 완성</li> <li>• 웹상에서 선량교정 프로그램 운영</li> <li>• 권역별 의료기관 출력 선량 측정 및 상호 비교 분석</li> </ul>
총계			100	100	

## 2. 방사선치료관련기기의 정도관리절차서 및 기반기술 개발

세부연구목표	주요 연구개발 실적	가중치 (%)	연구목표 달성도 (%)	비고
방사선치료 관련기기의 정도관리 절차서 및 기반기술 개발	2002	30	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국, 캐나다, 스위스, 일본 등 방사선치료 관련 기기의 정도관리 절차서 자료 수집</li> <li>• 방사선치료 관련기기에 대한 정도관리 기술의 국내외 문헌 및 자료 검색 후 목록 작성</li> <li>• 수집된 정도관리 절차서의 기능 및 목적에 따라 구분하여 비교, 분석</li> <li>• 국내 병원의 정도관리 현황 파악 후, 합리적이고, 실용적인 방안 제시</li> </ul>
	2003	30	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 검사 항목, 주기, 허용오차 설정</li> <li>• 방사성동위원소의 선량 비등방성, 위치 측정을 위한 도구제작 및 실험</li> <li>• 방사선치료계획시스템의 불균질 팬텀 시험</li> <li>• 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 검사 항목에 대한 검사방법 및 평가기준 설정</li> </ul>
	2004	40	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선형가속기에 대한 정도관리절차서 개발 및 실용성 평가 및 임상적용</li> <li>• 근접치료기에 대한 정도관리 절차서 개발 및 실용성 평가 및 임상적용</li> <li>• 방사선치료계획용 시스템에 대한 정도관리 절차서 개발 및 실용성평가 및 임상적용</li> <li>• 방사선치료계획 장치의 정도관리를 수행할 수 있는 보조 프로그램 개발</li> </ul>
총 계		100	100	

### 3. 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발

세부연구목표	주요 연구개발 실적	가중치 (%)	연구목표 달성도 (%)	비고
방사선치료 관련기기 선량체계/ 정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발	2002 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 교육 및 훈련 프로그램의 비교, 분석을 통해 국내 실정에 맞는 기초프로그램 도출</li> <li>• 방사선치료관련기기 선량체계/정도관리 항목 분석 및 보완을 통해 기초프로토콜을 도출하였고, 선량체계/정도관리 교육 및 훈련 프로그램을 위한 자료집을 정리</li> <li>• 의학물리사를 위한 방사선관련치료기기의 선량체계/정도관리 교육용 교재를 개발하되, 용어 통일, 최신정보반영 및 체제통일 등 여러 면을 고려하여 작성</li> <li>• 교육용 교재 개발은 선량체계와 정도관리로 나누어 작성하였으며, 선량체계는 원격치료와 근접치료 및 방사선치료계획 장치로 나누어 작성하고, 정도관리는 방사선치료 관련 기기 별로 나누어 작성</li> </ul>	40	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외에서 권고하고 있는 방사선치료 관련기기의 비교, 분석표</li> <li>• 방사선치료관련기기의 교육 및 훈련 프로그램 자료집</li> <li>• 교육용 교재 작성</li> <li>• 훈련용 프로그램 작성</li> <li>• 기타 관련 정보집 작성</li> </ul>
	2003 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 선량측정, 선량계산에 필요한 파라미터와 방사선치료관련기기의 정도관리에 대한 교육 및 훈련을 위한이론 및 실습 매뉴얼 작업표 작성</li> <li>• 방사선치료 관련 기기 선량체계/정도관리 교재 분석 및 보완을 통해 기초프로토콜을 도출하였고, 전문인 양성 프로그램을 위한 기초자료 도출</li> <li>• 웹 데이터베이스 기초적 모델을 제시하였고, 이에선 선량체계와 정도관리에 관련된 프로토콜과 자료 등을 내용별로 구분</li> </ul>	60	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내실정에 맞는 교육 및 훈련 프로그램을 위해 구축한 교재 및 데이터베이스의 분석 웹(web) 데이터베이스의 기초적 자료 분석 및 제공</li> </ul>
총계		100	100	

## 제 2 절 관련분야에의 기여도

물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 방사선량 표준체계는 80년대부터 현재까지 사용하고 있는 공기커마 표준에 토대를 두고 있는 프로토콜에 비하여 선량측정의 정확성을 향상시킬 수 있어 방사선치료 효과의 극대화를 위해 임상 활용 및 국내 표준기관들의 물 열량계 등 절대선량계 개발에 관한 관심을 촉진시킴.

물 흡수선량 표준으로 방사선량 표준체계와 방사선치료관련기기에 대한 정도관리 기반 기술 확보는 올해 국립암센터에 설치중인 차세대 최첨단방사선치료기기인 양성자가속기에 대한 선량보증 및 인수검사 등 품질관리에 기여할 것임.

표준화된 방사선치료관련기기에 대한 정도관리절차서 활용은 환자 및 방사선종사자에 대한 정당화, 최적화 및 선량제한이라는 명제아래 방사선치료에 대한 신뢰성과 안정성을 확보할 수 있어 법적 및 제도적인 장치의 기반을 확보 할 수 있음.

방사선치료관련기기에 대한 정도관리절차서 및 기반기술 개발은 방사선수술물리연구회 및 방사선 표준선량 연구회를 통하여 환자별 맞춤치료를 위해 세기변조방사선수술(IMRS), 사이버나이프 및 감마나이프 등 첨단방사선치료기기에 대한 성능평가 기준 및 기반기술의 저변 확대에 활용할 것임.

국제적 수준의 물 흡수선량표준에 기반한 표준측정법과 표준화된 방사선치료관련기기의 정도관리절차서의 임상 적용은 방사선치료기술의 정확도 향상으로 국내 병원의 중요한 임상 결과를 공유하고 축적함으로써 단기적으로는 정확한 방사선량과 최신 세기변조방사선치료(IMRT) 및 영상유도방사선치료(IGRT) 기술 적용으로 인해 암환자의 치료효과 증대로 삶의 질 향상을 기대할 수 있고 장기적으로는 표준화된 임상 결과의 축적으로 더욱 효과적인 치료기술의 개발에 기여할 것임.

인터넷상에 사용할 있는 방사선량 교정 프로그램은 한국의학물리학회 산하 방사선 표준선량연구회를 통한 적극적인 홍보 및 활용으로 병원간 방사선량 상호 비교 및 측정 정보에 대한 정보 공유로 선량측정 기술을 향상시킴.

암치료에 있어 중추적인 역할을 하고 있는 방사선치료에 대한 안전성 및 정확성 향상으로 환자별 맞춤치료를 의료시장 개방에 대한 적극적인 대응과 고부가가치의 정도관리 도구의 연구 개발로 수입대체 효과 및 관련기술을 저변에 확대함.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용방안

### 제 1 절 경제적 측면

- 새로운 개념의 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법을 개발함으로써 선량측정의 정확성이 향상되어 종양치료에 있어 중추적인 역할을 하고 있는 방사선치료성적의 향상이 기대되어 암으로 인한 경제적 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 사료됨.
- 표준화된 치료방사선 관련기기의 정도관리 프로그램 및 측정 기구의 개발은 전국적으로 보급 될 것이라 기대되며, 방사선치료 관련 장비에 대한 관리지침 및 성능 유지에 활용되어 주기적인 정도관리를 측정 기구 관련 산업의 활성화 및 수입 대체 효과와 국산화로 국제 경쟁력 강화에 기여할 것임.

### 제 2 절 사회적 측면

- 새로운 개념의 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 표준측정법과 표준화된 정도관리 절차를 과학기술부 고시 “의료분야의 방사선안전관리기술개발기준”을 개정하는데 법적 및 제도적 장치의 토대를 마련하는데 기초 자료 제공.
- 방사선치료관련기기에 대한 주기적인 정도관리를 수행할 수 있는 검사항목, 수행주기, 허용오차 및 방법이 포함된 절차를 개발하므로써 국내 기관에 표준화 양식을 제공, 기초 자료의 상호 공유하므로써 양질의 의료서비스 및 의료 사고를 미연에 방지할 수 있도록 홍보.
- 물 흡수선량 표준에 의한 선량측정의 표준화 및 병원 간 상호 비교의 체계화로 선량측정 기술 및 방법에 있어 선진화 진입으로 방사선 치료에 의한 국민 보건 향상에 기여할 수 있음.
- 식품의약품안전청 및 한국원자력안전기술원에서 현재 54개의 의료기관에서 사용하고 있는 치료방사선 관련기기에 대한 정도관리 프로그램의 권고안 및 최첨단 의료장비의 사후관리의 기틀을 마련하는데 유용하며, 방사선 관련 장비의 수입 시 사전검사 기준을 수립하는데 토대가 되어 방사선치료관련기기에 대한 효율적인 관리 및 최적의 상태를 유지할 수 있음.

### 제 3 절 기술적 측면

- 2차년에 개발된 물 흡수선량 표준에 기반을 둔 표준측정법과 인터넷상에서 사용이 가능한 방사선량교정 프로그램을 전국 방사선종양학과에서 근무하고 있는 자격 있는 의학물리학자에게 자료 배포, 세미나 개최 등을 이용하여 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 주기적인 출력선량 교정을 정확하게 수행할 수 있도록 적극 권고하며, 각 기관별로 출력선량 및 물리적인 파라미터에 대하여 데이터베이스가 구축되어 있어 통계처리가 가능하며 방사선량 표준화에 적극 활용할 계획임.
- 물 흡수선량 교정정수에 의한 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 흡수선량 결정은 기존의 공기 커마 혹은 조사선량 교정정수에 토대를 두고 있는 프로토콜보다 수식체계가 간소화되고, 더 확고한 교정체계에 의한 교정으로 선량측정의 정확성이 개선 될 수 있어 암치료에 있어 중추적인 역할을 담당하고 있는 방사선의 치료성적을 극대화시킬 것으로 기대됨.
- 표준화된 방사선 치료기기의 정도관리 기반 기술을 개발하여 사용하게 된다면 치료기술의 정확도 향상으로 국내 병원의 중요한 임상 결과를 공유하고 축적함으로써 단기적으로는 정확한 방사선량과 최신 치료기술 적용으로 인해 암환자의 치료효과 증대로 삶의 질 향상을 기대할 수 있고 장기적으로는 표준화된 임상 결과의 축적으로 더욱 효과적인 치료기술의 개발에 기여할 것임.
- 국내 2차 표준기관인 한국식품의약품안전청(KFDA)에서도 물 흡수선량 표준에 대한 교정체계가 확립되어 가까운 장래에 임상에서 고 에너지 광자선 및 전자선에 대한 기준점에서의 흡수선량 결정시 널리 활용이 가능할 것으로 예상됨.
- 표준화된 선형가속기 및 고선량률 근접치료기의 정도관리 프로그램과 관련 측정기구를 개발, 사용하게 된다면 치료기술의 정확성 및 정밀도 향상으로 인하여 보다 높은 치료율과 낮은 부작용으로 방사선 치료 효과를 향상시킬 수 있음.
- 최근 표준과학연구원에서도 1차 표준으로 물 흡수선량 표준에 토대를 두고 있는 방사선량 표준선량체계 확립 및 화학선량계 개발을 하고 있어 임상에서의 물 흡수선량 표준에 기초한 표준측정법 개발은 표준기관과 의료기관간의 공동 연구 기반의 토대를 마련할 것으로 사료됨.



방사선치료관련기기의 선량체계와 정도관리 교육 및 훈련 프로그램 개발로 인해 국내 선량체계 및 정도관리의 통일화 기대됨.

표준화된 방사선치료관련기기의 선량체계/정도관리 교육 및 훈련프로그램을 개발, 사용하게 됨으로써 치료기술의 정확도 향상으로 국내 병원의 중요한 임상 결과를 공유하고 축적함으로써 단기적으로는 정확한 방사선량과 치료기술에 의해 암환자의 치료효과 증대를 기대할 수 있고 장기적으로는 표준화된 임상결과의 축적으로 더욱 효과적인 치료기술의 개발에 기여할 것임.

웹 데이터베이스 기초적 기반 구축으로 인해 계획되고 전문화된 교육 및 훈련프로그램을 개발함으로써 전문인 양성이 가능하여 치료성적 극대화 가능하며, 데이터 축적이 가능해 유용성 창출 효과 기대됨.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

- [1] ICRU INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, "Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures", ICRU Report 24, ICRU, Bethesda, (1976).
- [2] NACP Nordic Association of Clinical Physics, "Procedures in external radiation therapy dosimetry with electron and photon beams with maximum energies between 1 and 50 MeV", 1980, Acta Radio. Oncol. 19 : 55-99.
- [3] AAPM AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Task Group 21 : "A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams", Med. Phys. 10 (1983) 741-771.
- [4] 日本醫學放射線學會物理部會 : "放射線治療における 高エネルギー X線 および 電子線の 吸収線量の 標準測定法", 東京, 通商産業研究社.(1986).
- [5] IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice", Technical Report Series No.277 (2nd ed in 1997), IAEA, Vienna (1987).
- [6] HOHLFELD, K., "The standard DIN 6800: Procedures for absorbed dose determination in radiology by the ionization method", Dosimetry in Radiotherapy (Proc Symp. Vienna, 1987), Vol. 1, IAEA, Vienna (1988) 13-22.
- [7] 한국의학물리학회 : 방사선량의 표준측정법, 방사선 치료용 광자선 및 전자선 (1990).
- [8] REICH, H., "Choice of the measuring quantity for therapy-level dosimeters", Phys. Med. Biol. 24 (1979) 895-900.
- [9] DOMEN, S.R., "A sealed water calorimeter for measuring absorbed dose", J. Res. Nat. Inst. Stand. Tech. 99 (1994) 121-141.
- [10] KLASSEN, N.V., ROSS, C.K., "Water calorimetry: the heat defect", J. Res. NIST 102 (1997) 63-74.
- [11] FEIST, H., "Determination of the absorbed dose to water for high-energy photons and electrons by total absorption of electrons in ferrous sulfate-solution", Phys. Med. Biol. 27 (1982) 1435.
- [12] BOUTILLON, M., COURSEY, B.M., HOHLFELD, K., OWEN, B., ROGERS, D.W.O., "Comparison of primary water absorbed dose standards", Measurement Assurance in Dosimetry (Proc Symp. Vienna, 1993), IAEA, Vienna (1994)95-111.

- [13] IPSM INSTITUTE OF PHYSICAL SCIENCES IN MEDICINE, "Code of Practice for high-energy photon therapy dosimetry based on the NPL absorbed dose calibration service", *Phys. Med. Biol.* 35 (1990) 1355-1360.
- [14] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, "Dosismessverfahren nach der Sondenmethode für Photonen-und Elektronenstrahlung, Teil 2: Ionisationsdosimetrie", Deutsche Norm DIN 6800-2, Deutsches Institut für Normung, Berlin (1997).
- [15] AAPM AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, "Task Group 51: Protocol for Clinical Reference Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams", *Med. Phys.* 26 (1999) 1847-1870.
- [16] IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Absorbed Dose Determination in External beam Radiotherapy" : An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed dose to Water", Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna (2000).
- [17] ANDREO, P., "Absorbed dose beam quality factors for the dosimetry of high-energy photon beams", *Phys. Med. Biol.* 37 (1992) 2189-2211.
- [18] ROGERS, D.W.O., "The advantages of absorbed-dose calibration factors", *Med. Phys.* 19 (1992) 1227-1239.
- [19] IPSM, Commissioning and Quality Assurance of Linear Accelerators, IPSM Report 54, IPSM, (1988)
- [20] 일본 방사선 종양학회 연구조사위원회, 外部 放射線 治療 裝備 の 保健管理 プログラム, 동경, 통상산업연구소, 1993.
- [21] Kutcher GJ, Coia L, Gillin M: omprehensive QA for radiation oncology ; Report of AAPM Radiation Therapy committee Task Group 40, *Med.Phys.* 21(4), (1994), 581-618.
- [22] Nath R, Biggs P, Bova F et al., AAPM code of Practice for radiotherapy accelerators; Report of AAPM Radiation Therapy Task Group No.45, *Med.Phys.* 21(7) (1994) 1093-1122.
- [23] Van Dyke J, Barnett R, Cygler J, and Shragge P : Commissioning and quality assurance of treatment planning computers, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 26, (1993) 261-273.
- [24] ROGERS, D.W.O., "Fundamentals of dosimetry based on absorbed-dose standards", in : *Teletherapy Physics, Present and Future* (Palta, J.R., Mackie, TR., ed), AAPM, Washington, DC (1996) 319-356.
- [25] ROGERS, D.W.O., ROSS, C.K., SHORTT, K.R., KLASSEN, N.V., BIELAJEW,

A.F., "Towards a dosimetry system based on absorbed dose standards", Measurement Assurance in Dosimetry (Proc Symp. Vienna, 1993), IAEA, Vienna (1994).

[26] BRITISH INSTITUTE OF RADIOLOGY, "Central axis depth dose data for use in Radiotherapy", Brit. J. Radiol. Supplement no. 25, The British Institute of Radiology, London (1996).

[27] Dong Oh Shin, Young Hoon Ji, Sung Yong Park, Hyun Joo Park, Hoe Nam Kim, sung Eon Hong, Soo Il Kwon, Tae Suk Suh, Bo Young Choe, Sung Sil Chu, "Comparison of Beam Quality Index of High Photon Beam", Medical Physics, 9 (1999) 185-192

[28] ANDREO, P., "On the beam quality specification of high-energy photons for radiotherapy dosimetry", Med. Phys. 27 (2000) 434-440.

[29] KOSUNEN, A., ROGERS, D.W.O., "Beam quality specification for photon beam dosimetry", Med. Phys. 20 (1993) 1181-1188.

[30] MA, C.M., NAHUM, A.E., "Effect of the size and composition of the central electrode on the response of cylindrical ionization chambers in high-energy photon and electron beams", Phys. Med. Biol. 38 (1993) 267-290.

[31] PALM, Å., MATTSSON, O., "Experimental study on the influence of the central electrode in Farmer-type ionization chambers", Phys. Med. Biol. 44 (1999) 1299-1308.

[32] ANDREO, P., BRAHME, A., "Stopping power data for high energy photon beams", Phys. Med. Biol. 31 (1986) 839-858.

[33] SEUNTJENS, J.P., RPSS. C.K., SHORTT, K.R., ROGERS, D.W.O., Absorbed-dose beam quality conversion factors for cylindrical chambers in high-energy photon beams, Med. Phys. submitted (2000).

[34] ROSS, C.K., SHORTT, K.R., ROGERS, D.W.O., DELAUNAY, F., "A test of  $TPR_{20,10}$  as a beam quality specifier for high energy photon beams", Measurement Assurance in Dosimetry (Proc Symp. Vienna, 1993), Vienna : IAEA (1994).

[35] ROGERS, D.W.O., "Correcting for electron contamination at dose maximum in photon beams", Med. Phys. 26 (1999) 533-537.

[36] SEUNTJENS, J. P., SHORT, K. R., ROSS, C. K., MA, C. M., ROGERS, D.W.O., "Measurements of beam quality correction factors  $k_Q$  for cylindrical ionization chambers in high energy photon beams", Med. Phys. 23 (1996) 1071.

[37] PALMANS, H., MONDELAERS, W., THIERENS, H., "Absorbed dose beam

- quality correction factors  $k_Q$  for the NE2571 chamber in a 5 MV and a 10 MV photon beam”, *Phys. Med. Biol.* 44 (1999) 647–663.
- [38] ROGERS, D.W.O., YANG, C.L., “Corrected relationship between  $\%dd(10)_x$  and stopping-power ratios”, *Med. Phys.* 26 (1999) 538–540.
- [39] LI, X.A., ROGERS, D.W.O., “Reducing electron contamination for photon beam quality specification”, *Med. Phys.* 21 (1994) 791–798.
- [40] TELLO, V.M., TAILOR, R.C., HANSON, W.F., “How water equivalent are water-equivalent plastic for output calibration of photon and electron beams?”, *Med. Phys.* 22 (1995) 1177–1189.
- [41] AGOSTINELLI, A.G., SMOLEN, S.D., NATH, R., “A new water-equivalent plastic for dosimetry calibration”, *Med. Phys.* 19 (1992) 774.
- [42] S.H.Cho, J.R. Balter, N.H.Wells, and W.F.Hanson, “Comparison between TG-51 and TG-21 : Calibration of photon and electron beams in water using cylindrical chambers”, *Am. Coll. Med. Phys.*, Vol.1 (2000) 108–115.
- [43] HUQ, M.S., HOSSAIN, M., ANDREO, P., “A comparison of the AAPM TG51 protocol and the IAEA absorbed-dose-to-water based Code of Practice for dosimetry calibration of high energy photon beams”, *Med. Phys.* 26 (1999) 1153.
- [44] D.O. Shin, Y.H. Ji, S.H. Kim, and S.E. Hong, et al., “Determination of the Absorbed dose to Water using  $N_D^w$  in High Energy Photon Beams”, *JJMP(日本放射線醫學物理)*, Vol.19, Supp. 61, 93~94(1999)
- [45] Bozidar Casar, Urban Zdesar, and Vlado Robar. “Evaluation of water equivalency of Plastic Water for high-energy electron beams using IAEA TRS-398 code of Practice”. *Radiol. Oncol.* 38(1):55-60 (2004)
- [46] M. Saiful Huq and Pedro Andreo, “Reference dosimetry in clinical high-energy photon beams: Comparison of the AAPM TG-51 and AAPM TG-21 dosimetry protocols,”*Med. Phys.* 28 (2001) 46–54.
- [47] M. Saiful Huq, H Song, Pedro Andreo, and C.J. Houser, “Reference dosimetry in clinical high-energy electron beams: Comparison of the AAPM TG-51 and AAPM TG-21 dosimetry protocols,”*Med. Phys.* 28 (2001) 2007–2087.
- [48] Pedro Andreo, M. Saiful Huq, and Mathias Westermarck, et al., “Protocols for the dosimetry of high-energy photon and electron beams:a comparison of the IAEA TRS-398 and previous international Codes of Practice”, *Phys. Med. Biol.* 47 (2002) 3033–3053.

여 백

## 부록

- 부록 1. 방사선량 교정 작업서
- 부록 2. 선형가속기의 정도관리 절차서
- 부록 3. 근접치료기의 정도관리 절차서
- 부록 4. 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서

여 백



부록 1. 방사선량 교정 작업서

표 1. 고 에너지 광자선 흡수선량 결정 작업서

고 에너지 광자선 흡수선량 결정 작업서

■ 장비명: \_\_\_\_\_ ■ 측정일: \_\_\_\_\_년 \_\_\_\_\_월 \_\_\_\_\_일 \_\_\_\_\_요일

1. 팬텀온도:  $T_0 =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$  실내기압:  $P_0 =$  \_\_\_\_\_ kPa 또는 mmHg

온도 · 기압 보정 :  $k_{TP} = \frac{101.3}{(P_0 = \text{_____})} \times \frac{273.2 + (T_0 = \text{_____})}{295.2} =$  \_\_\_\_\_

2. 측정조건: 물팬텀,  $SSD = 100\text{ cm}$ , 조사면 크기  $10 \times 10\text{ cm}^2$

이온함			전기계		
$N_{D,w}$	[cGy/nC]		이온함 교정일:	년	월 일
에너지	선질( $TMR_{20,10}$ )	$k_Q$	측정깊이	$PDD_{10\text{ cm}}$	
____ MV			10.00 cm		
____ MV			10.00 cm		
____ MV			10.00 cm		

3. 극성효과( $k_{pol}$ )와 재결합 효과( $k_s$ ) 보정(※사용전압  $V_2 = V_1/2$ )

에너지	$Q_+ (= Q_1)$	$Q_-$	$Q_{1/2} (= Q_2)$	$k_{pol}$	$k_s$
__MV					
__MV					
__MV					

※  $k_{pol} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{2Q_+}$ ,  $k_s = 2.337 - 3.636(Q_1/Q_2) + 2.299(Q_1/Q_2)^2 \cong Q_1/Q_2$

4. 장비 출력(Output)

※ 기준 측정값  $Q_{ref} = PDD_{10\text{ cm}} / (k_{TP} \cdot k_{pol} \cdot k_s \cdot N_{D,w} \cdot k_Q)$ , ※ Output =  $(Q_+ / Q_{ref}) \times 100$

에너지	$Q_{ref}$	$Q_+$	장비 출력(Output)
__MV			
__MV			
__MV			

측정자: 의학물리사 \_\_\_\_\_ (사인)

표 2. 고 에너지 전자선 흡수선량 결정 작업서

고에너지 전자선 흡수선량 결정 작업서

■ 장비명: \_\_\_\_\_ ■ 측정일: \_\_\_\_\_년 \_\_\_\_\_월 \_\_\_\_\_일 \_\_\_\_\_요일

1. 팬텀 온도 :  $T_0 =$  \_\_\_\_\_ °C      실내기압:  $P_0 =$  \_\_\_\_\_ kPa

온도 · 기압 보정 :  $k_{TP} = \frac{101.3}{(P_0 = \text{_____})} \times \frac{273.2 + (T_0 = \text{_____})}{295.2} =$  \_\_\_\_\_

2. 측정조건: 물팬텀,  $SSD = 100 \text{ cm}$ , 조사면 크기  $10 \times 10 \text{ cm}^2$

이온함 모델: _____		<input type="checkbox"/> cyln <input type="checkbox"/> p.p				
원통형 이온함 내반경 $r =$ _____ cm			전기계: _____			
$N_{D,W}$	_____ [cGy/nC]		이온함 교정일: _____년 _____월 _____일			
에너지	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV
선질( $R_{50}$ )						
$k_Q$						
기준깊이( $z_{ref}$ )						
이온함깊이						
$PDD(z_{ref})$						

\* 기준깊이  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.1 \text{ [g/cm}^2\text{]}$ ,

\* 이온함 깊이: 원통형;  $z_{cham.} = z_{ref} + 0.5r \text{ [cm]}$ , 평행평판형;  $z_{cham.} = z_{ref}$

3. 극성효과( $k_{pol}$ )와 재결합 효과( $k_s$ ) 보정 ( \*사용전압  $V_2 = V_1/2$  )

에너지	$Q_+ (= Q_1)$	$Q_-$	$Q_{1/2} (= Q_2)$	$k_{pol}$	$k_s$
__MeV					
__MeV					
__MeV					
__MeV					

\*  $k_{pol} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{2Q_+}$ ,  $k_s = 2.337 - 3.636(Q_1/Q_2) + 2.299(Q_1/Q_2)^2 \cong Q_1/Q_2$

4. 치료기기의 출력 (Output= $(Q_+/Q_{ref}) \times 100$ )

\* 기준 측정값  $Q_{ref} = PDD(z_{ref}) / (k_{TP} \cdot k_{pol} \cdot k_s \cdot N_{D,W} \cdot k_Q)$

에너지	$Q_{ref}$	$Q_+$	장비 출력(Output)
__MeV			
__MeV			
__MeV			
__MeV			

측정자: 의학물리사 \_\_\_\_\_ (사인)

표 3. 교차 교정된 이온함의 선질 보정 정수  $k_{Q,Q_{cross}}^x$  계산 작업서

교차 교정된 이온함의 선질 보정 정수  $k_{Q,Q_{cross}}^x$  계산 작업서

■ 계산일: \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

■ 장비명: \_\_\_\_\_

■ 이온함 모델

- ① (기준이온함) \_\_\_\_\_
- ② (교정이온함) \_\_\_\_\_
- ③ (교정이온함) \_\_\_\_\_

- cyln    p.p
- cyln    p.p
- cyln    p.p

■ 교차 교정된 이온함에 의한 물흡수선량

$$D_{W,Q} = M_Q^x \cdot N_{D,W,Q_{cross}}^x \cdot k_{Q,Q_{cross}}^x$$

여기서  $x$ 는 교정할 이온함을 의미한다.

■ 교차 교정된 이온함의 선질 보정정수  $k_{Q,Q_{cross}}^x$  :  $k_{Q,Q_{cross}}^x = \frac{k_{Q,Q_{int}}^x}{k_{Q_{cross},Q_{int}}^x}$

에너지	선질( $R_{50}$ )	이온함	$k_{Q,Q_{int}}^x$	$k_{Q_{cross},Q_{int}}^x$	$k_{Q,Q_{cross}}^x$
_____ MeV					
_____ MeV					
_____ MeV					
_____ MeV					
_____ MeV					
_____ MeV					

측정자: 의학물리사 \_\_\_\_\_ (사인)

표 4. 전자선 교차교정에 의한 교정 이온함의  $N_{D,w,Q_{cross}}^x$  결정 작업서

전자선 교차교정에 의한 교정 이온함의  $N_{D,w,Q_{cross}}^x$  결정 작업서

■ 가속기명: \_\_\_\_\_ ■ 측정일: \_\_\_\_\_년 \_\_\_\_\_월 \_\_\_\_\_일

1. 팬텀 온도 :  $T_0 =$  \_\_\_\_\_ °C 실내기압:  $P_0 =$  \_\_\_\_\_ kPa

온도 · 기압 보정 :  $k_{TP} = \frac{101.3}{(P_0 = \text{_____})} \times \frac{273.2 + (T_0 = \text{_____})}{295.2} =$  \_\_\_\_\_

2. 이온함 정보 및 기준 조건:  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.1$

교차교정에 사용되는 전자 선 에너지 선질 $R_{50}$ : _____ [cm]		
구분	(원통형)기준 이온함	교정 이온함
모델명	_____	_____ □cyln □p.p
내반경(r)	$r =$ _____ [cm]	(원통형일시) $r =$ _____ [cm]
표준기관 교정정수	$N_{D,w,Q_0}^{ref} =$ _____ [cGy/nC] 측정일: _____년 _____월 _____일	×
기준깊이( $z_{ref}$ )	_____ [cm]	_____ [cm]
이온함 깊이	_____ [cm]	_____ [cm]

※ 이온함 깊이: 원통형;  $z_{cham.} = z_{ref} + 0.5r$  [cm], 평행평판형;  $z_{cham.} = z_{ref}$

3. 극성효과( $k_{pol}$ )와 재결합 효과( $k_s$ ) 보정 ( ※사용전압  $V_2 = V_1/2$  )

※  $k_{pol} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{2Q_+}$ ,  $k_s = 2.337 - 3.636(Q_1/Q_2) + 2.299(Q_1/Q_2)^2 \cong Q_1/Q_2$

에너지	$Q_+ (= Q_1)$	$Q_-$	$Q_{1/2} (= Q_2)$	$k_{pol}$	$k_s$
기준이온함					
교정이온함					

4. 교정이온함의 물흡수 선량 교정정수  $N_{D,w,Q_{cross}}^x = \frac{M_{Q_{cross}}^{ref}}{M_{Q_{cross}}^x} N_{D,w,Q_0}^{ref} k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$

$M_{Q_{cross}}^{ref}$	$M_{Q_{cross}}^x$	$N_{D,w,Q_0}^{ref}$	$k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$	$N_{D,w,Q_{cross}}^x$

※ 보정된 전하값  $M_Q = Q_+ \cdot k_{TP} \cdot k_{pol} \cdot k_s$  [nC]

※ 기준이온함의  $k_{Q_{cross},Q_0}^{ref}$  값은 “교차 교정된 이온함의 선질 보정 정수  $k_{Q,Q_{cross}}^x$  계산 작업서”에서 결정한 값을 이용한다.

측정자: 의학물리사 \_\_\_\_\_(사인)

표 5. 고 에너지 전자선 흡수선량 결정 작업서(교차 교정된 이온함)

고 에너지 전자선 흡수선량 결정 작업서(교차 교정된 이온함)

■ 가속기명: \_\_\_\_\_ ■ 측정일: \_\_\_\_\_년 \_\_\_\_\_월 \_\_\_\_\_일

1. 팬텀온도 :  $T_0 =$  \_\_\_\_\_ °C 실내기압:  $P_0 =$  \_\_\_\_\_ mmHg

온도 · 기압 보정 :  $k_{TP} = \frac{101.3}{(P_0 = \text{_____})} \times \frac{273.2 + (T_0 = \text{_____})}{295.2} =$  \_\_\_\_\_

2. 측정조건: 물팬텀,  $SSD = 100 \text{ cm}$ , 조사면 크기  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,

이온함 모델: _____ □cyln □p.p				진기계: _____		
(원통형 이온함시) 이온함 내반경 $r$ : _____				cm		
$N_{D,W,Q_{cross}}^x$ : _____				[cGy/nC]		
				교차 교정일: _____년 _____월 _____일		
에너지	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV	_____ MeV
선질( $R_{50}$ )						
$k_{Q,Q_{cross}}^x$						
기준깊이( $z_{ref}$ )						
이온함깊이						
$PDD(z_{ref})$						

※ 기준깊이  $z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.1$  [g/cm<sup>2</sup>]

※ 이온함 깊이: 원통형;  $z_{cham.} = z_{ref} + 0.5r$  [cm], 평행평판형;  $z_{cham.} = z_{ref}$

3. 극성효과( $k_{pol}$ )와 재결합 효과( $k_s$ ) 보정 ( ※사용전압  $V_2 = V_1/2$  )

에너지	$Q_+ (= Q_1)$	$Q_-$	$Q_{1/2} (= Q_2)$	$k_{pol}$	$k_s$
___MeV					
___MeV					
___MeV					
___MeV					

※  $k_{pol} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{2Q_+}$ ,  $k_s = 2.337 - 3.636(Q_1/Q_2) + 2.299(Q_1/Q_2)^2 \cong Q_1/Q_2$

4. 가속기 출력 (Output=( $Q_+/Q_{ref}$ )×100)

※ 기준 측정값  $Q_{ref} = PDD(z_{ref}) / (k_{TP} \cdot k_{pol} \cdot k_s \cdot N_{D,W,Q_{cross}}^x \cdot k_{Q,Q_{cross}}^x)$  [nC]

에너지	$Q_{ref}$	$Q_+$	장비 출력(Output)
___MeV			
___MeV			
___MeV			
___MeV			

측정자: 의학물리사 \_\_\_\_\_ (사인)

부록 2. 선형가속기의 정도관리 절차서

표 1. 일간 정도관리 절차서

선형가속기 일일 정도관리

날짜 :      년      월      일 ~      년      월      일      병원      과

장비명 : \_\_\_\_\_

		점검항목(필수)	허용오차	월	화	수	목	금	토	참고사항
장비 성능	필수	펠스탱크 기름 온도	25 ℃							
		펠스탱크 기름 높이	정상							
		프레온 가스 압력	26 또는 36 psi							
		중류수 수위	정상							
		중류수 순도표시	정상							
		중류수 수온	104 °F							
		중류수 수압	74~80 mmHg							
		냉각수 수온	18~25 ℃							
		냉각수 수압	60 psi							
		치료실 온도	18-25 ℃							
	치료실 습도	40~60%								
선택	필라멘트 시간	점검								
	고압 시간	점검								
안전	필수	환자 감시장치	작동							
		방사선 ON/OFF 스위치	작동							
		출입문 경고등	작동							
		출입문 연동장치	작동							
		Motion enable 연동장치	작동							
기계적	필수	레이저 정력(십자선 기준)	2 mm							
	선택	조사야 크기표시 (10×10)	2 mm							
		거리표시기(ODI), SSD=100	2 mm							
		MLC 동작여부	작동							
		십자선 안정성(콜리 회전)	반경 1 mm							
		원호치료 작동여부	작동							
선량	선택	광자선 출력 안정성	3%							
		광자선 편평성 및 대칭성	3%							
		전자선 출력 안정성	3%							
		전자선 편평성 및 대칭성	3%							

수행자 :

확인자 :

표 2. 월간 정도관리 절차서 1

선형가속기 월간 정도관리 1 (선량, 안전, 테이블)

병원 과

날짜 : 년 월 일

장비명 :

		점검항목	측정	허용오차	참고사항	
선량	필수	광자선 출력 교정 (모든 에너지)		2%	월간 WS 1	
		전자선 출력 교정 (모든 에너지)		3%	월간 WS 1	
		광자선 편평성 및 대칭성 (모든 에너지)		2%	월간 WS 2	
		전자선 편평성 및 대칭성 (모든 에너지)		3%	월간 WS 2	
	선택	광자선 에너지 안정성		2%	월간 WS 3	
		전자선 에너지 안정성		2 mm (5%)	월간 WS 3	
블록홀더	필수	전자선 콘 (모든 콘)	광자선 조사 잠금 연동장치 코드	작동	4 MU 조사	
			움직임	확인		
			2 mm			
			광자선 조사면 크기			
			블록 holder 에 연결	확인		
		트레이	연동장치	작동		
			움직임	2 mm		
			블록 holder 에 연결	작동		
	선택	빼기	연동장치(코드)	작동		
			블록 holder 에 연결	작동		
안전	필수	일일점검 및 기록 확인		확인		
		모든 응급차단 스위치들		작동		
		치료 테이블	수평이동 잠금장치(좌/우)	작동		
			수평이동 잠금장치(in-head/out-foot)			
			수직이동 잠금장치(상/하)			
			회전 잠금장치(테이블/pedestal)			
			모든 움직임의 유연성			
			잠금/열림 표시등(light)			

		점검항목		측정		허용오차	참고사항	
기계적	필수	치료 테이블 위치 표시	수평이동 위치 정확성 (cm)	우측	좌측	2 mm		
				In(Head)	Out(Foot)	2 mm		
			수직이동 위치 정확성 (cm)	상	하	2 mm		
	선택	회전 각도 정확성	테이블		1 도			
			90					
			45					
			315					
		270						
	광조사야 세기				10% 40 lux			

수행자

표 3. 월간 정도관리 절차서 2

선형가속기 월간 정도관리 2 (기계적)

병원 과

날짜 : 년 월 일

장비명 :

	점검항목	측정				허용오차	참고사항	
		x1	x2	y1	y2			
필수	광조사면 크기 (cm <sup>2</sup> )	10×10				2 mm		
		15×15						
		20×20						
		25×25						
	갠트리 각도 지시기 (도)		디지털		기계적		1도 디지털: 0.5도	
		0						
		90						
		270						
	콜리메이터 각도 지시기 (도)		디지털		기계적		1도 디지털: 0.5도	
		0						
		90						
		270						
	거리지시기(ODI) (cm)		95	100	105	110	2 mm	
	레이저 정렬 (cm)	시상 좌(longi) 좌(depth) 우(longi) 우(depth) 천정	G=0	0	20	-20	2 mm	±20 cm 범위 내
시상 좌(longi) 좌(depth) 우(longi) 우(depth) 천정		G=90						
광조사면과 방사선조사면 일치 (cm)	5×5				1% 또는 2 mm	조사면 및 중심비교		
	10×10							
	15×15							
	20×20							
선택	콜리 회전에 따른 십자선 안정 (mm)		G=0	G=90	2 mm	매월 갠트리를 바꾸어 실행 가능		
		0						
		45						
		90						
		135						
		180						
		270						
315								

수행자



표 4. 월간 정도관리 절차서 3

월간 선량계산작업서 1 (X-선 및 전자선 선량측정)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과  
 장비명 : \_\_\_\_\_

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

허용오차 : 2%

이온함 :	온도 : _____ °K
Electrometer :	압력 : _____ mmHg
팬텀 :	C <sub>tp</sub> = _____
SSD :	
조사면(FS) :	

Dose = M<sub>ave</sub> × C<sub>tp</sub> × Dose Conversion Factor (DFC)

광자선

에너지	깊이 (cm)	DFC	측정값 (nC)	평균 (M <sub>ave</sub> )	선량	오차
6X	5.0					
10X	10.0					
참고사항						

전자선

에너지	깊이 (cm)	DFC	측정값 (nC)	평균 (M <sub>ave</sub> )	선량	오차
6e	1.4					
9e	2.2					
12e	3.0					
15e	4.0					
18e	4.8					
21e	5.5					
참고사항						

수행자 \_\_\_\_\_

표 5. 월간 정도관리 절차서 4

월간 선량계산작업서 2 (X-선 편평성 및 대칭성 측정)

병원 과

날짜 : 년 월 일

장비명 :

측정장비 : 일일 QA용 장비 또는 이온함+고체팬텀

G=0 (수평계 이용), Colli=0, FS = 20×20, SSD = 90 cm, d=10 cm (symmetry 는 dmax)

인수검사 시 측정된 기준(baseline)값을 구한다.

	X (low)		X (high)	
	F(%)	S(%)	F(%)	S(%)
In plane				
Cross plane				

측정 깊이에 이온함을 놓는다.

중심에서부터 1 cm 간격으로 50 MU 씩 조사하여 측정값을 기록한다.

	cm	X (저에너지)		X (고에너지)	
		In plane(x)	Cross plane(y)	In plane(x)	Cross plane(y)
중심 에서 거리	-10				
	-8				
	-6				
	-4				
	-2				
	0				
	2				
	4				
	6				
	8				
	10				

편평성

-8 cm에서 8 cm 사이의 측정값 중 최대 (Mmax) 및 최소 값(Mmin)의 비를 구하여 기준값과 비교 대칭성

(-) 방향의 평균값 (M-) 과 (+) 방향의 평균값 (M+)를 계산

$\{(M- - M+)/ (M- + M+)\} \times 50$  을 계산하고 기준값과 비교

	X-선 (저에너지)		X-선 (고에너지)	
	In plane(x)	Cross plane(y)	In plane(x)	Cross plane(y)
Mmax (최대)				
Mmin (최소)				
Mmax/Mmin				
M- =				
M+ =				
대칭성				

수행자

표 6. 연간 정도관리 절차서 1

선형가속기 연간 정도관리

병원 \_\_\_\_\_ 과 \_\_\_\_\_

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

장비명 : \_\_\_\_\_

		점검 항목	측정	허용오차	참고사항		
선 량	필 수	월간 점검 항목 확인					
		광자선 에너지 안정성 (모든에너지)		2%	연간 WS 1		
		전자선 에너지 안정성(모든에너지)		2 mm			
		광자선 단기 및 장기 출력 안정성		±2%	연간 WS 2		
		단효과 (high 에너지 x-선)		인수값 대비 10%	연간 WS 3		
		모니터함 선형성 (모든 x-선)		1%	연간 WS 4		
		선량률 독립성		±2%	연간 WS 3		
	선 택	선 택	x선 PDD 또는 TMR		2%	연간 WS 5	
			조사면 크기에 따른 x선 출력 상수			연간 WS 1	
			갠트리 회전에 따른 x선 출력 상수		±1%	연간 WS 6	
			갠트리 회전에 따른 x선 off axis factor				
			모든 치료기구의 투과계수	썰기		2%	연간 WS 7
				트레이			연간 WS 7
				Compensator			연간 WS 7
			전자선 콘의 크기에 따른 출력상수				
			갠트리 회전에 따른 전자선 출력				
			갠트리 회전에 따른 전자선 off axis factor				
			전자선 모니터함 선형성				
			전자선 단기 및 장기 출력 안정성				
			전자선 d80%, d50%				
콜리메이터 투과선량		< 1%	콜리메이터 시스템에 변화가 생긴 경우				
x선 누설선량		0.10%	또는 ≤2.5 mR/h@1 m				
대칭도 연동장치 (모든 광자선, 전자선)		2%					
원호치료	MU 정확성			연간 WS 8			
	회전 속도						

		점검 항목	측정				허용오차	참고사항	
기 계 적	필 수	방사 선 회전 중심 일치	콜리메이터 회전		G=0	G=90	2 mm	15 MU 조사 SSD=100 cm FS(X=0.1 ~ 0.3, Y=20 cm)	
			Coll=60,90,120,180,240,300,330						
		갠트리 회전				Colli=0			2 mm
		G=60,90,120,180,240,300,330							
	선 택	치 료 테 이 블	테이블 회전	G=0		G=90		2 mm	
			Couch=0.45,90,315,270						
			Jaw 대칭성	Colli=0		Colli=90		3 mm	
			Gantry 0, 180도에서 각 40 MU 조사						
			회전에 의한 십자선 안정성	45도	90도	135도	270도	2 mm	
				10 cm	20 cm	-10 cm	-20 cm	3 mm	10 cm간격으로 상하 움직임
수직이동에 의한 십자선 안정성					2 mm	또는 인수 검사값의 1 mm			
테이블 처짐					2 mm				

수행자 \_\_\_\_\_

표 7. 연간 정도관리 절차서 2

연간 정도관리(선량) 1 (X-선 출력상수)

병원 과

날짜 : 년 월 일

장비명 :

1. 에너지 안정성 (Ionization Ratio)

FS : 10×10, Depth = 10 cm 및 20 cm, SSD = 100 cm

이온함 :

Electrometer :

팬텀 :

허용오차 : 2%

깊이 (cm)	측정값 (nC)	평균값 Q	Ion. Ratio Q <sub>20cm</sub> /Q <sub>10cm</sub>	기준값 Ion Ratio	오차
6x	10				
	20				
10x	10				
	20				

2. 출력상수 (Field Size dependency: output factors)

이온함 :

Electrometer :

팬텀 :

SSD = 95 cm, Depth = 5 cm

허용오차 : [(측정값-기준값)/기준값]×100 < 2%

SSD = 100 cm

저 에너지

조사면	측정값	평균값	OF (측정)	OF 기준값	오차
3×3					
5×5					
10×10					
20×20					
30×30					
40×40					

고 에너지

조사면	측정값	평균값	OF (측정)	OF 기준값	오차
3×3					
5×5					
10×10					
20×20					
30×30					
40×40					

수행자

표 8. 연간 정도관리 절차서 3

연간 정도관리(선량) 2 (출력 단기 및 장기 안정성)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

장비명 : \_\_\_\_\_

모든 광자선 및 전자선에 대해 측정

광자선 : FS = 10×10, SSD = 95 cm, Depth : 5 cm

전자선 : Cone = 15×15, SSD = 100 cm, Depth : dmax

1. 아침, 점심, 저녁에 각각 100 MU 씩 3번 조사하여 온도 및 압력 보정한 평균을 구한다.
2. 3~4일 후에 다시 한번 반복한다.

첫 번째 ( \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일)

에너지		측정값	온도	압력	보정상수	평균값
6 MV	아침					
	점심					
	저녁					

두 번째 ( \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일)

에너지		측정값	온도	압력	보정상수	평균값
6 MV	아침					
	점심					
	저녁					

단기 안정성

1. Q(아침), Q(점심), Q(저녁) 값 중 최대 및 최소값을 구한다. Q(최대), Q(최소)
2.  $\{(Q(\text{최대}) - Q(\text{최소})) / Q(\text{최소})\} \times 100 = \underline{\hspace{2cm}}$  허용오차 : 2%

장기 안정성

3. Q(첫 번째) 및 Q(두 번째) 측정치의 평균값을 구한다.  
 $Q(1) = \text{평균}(Q(\text{아침}), Q(\text{점심}), Q(\text{저녁}))$  첫 번째 측정치 = \_\_\_\_\_  
 $Q(2) = \text{평균}(Q(\text{아침}), Q(\text{점심}), Q(\text{저녁}))$  두 번째 측정치 = \_\_\_\_\_
4.  $\{(Q(2) - Q(1)) / Q(1)\} \times 100 = \underline{\hspace{2cm}}$  허용오차 : 2%

수행자 \_\_\_\_\_

표 9. 연간 정도관리 절차서 4

연간 정도관리(선량) 3 (단효과 및 선량률 독립성)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과  
 장비명 : \_\_\_\_\_

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

단효과

고에너지 광자선에 대해서만 측정

FS = 10×10, SSD = 95 cm, Depth : 5 cm

1. 100 MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다.
2. 100 MU를 조사하되 25 MU, 50 MU 및 75 MU에서 중단하였다가 다시 시작한다.
3. 2번째 과정을 3번 반복한다.

	측정값	평균값
100 MU를 중단 없이 조사		R1 =
25, 50, 75MU에서 조사 중단 후 다시 시작		R2 =

단효과 =  $(Q2-Q1)/4(Q1-Q2) \times 100 \text{ MU} =$  \_\_\_\_\_ MU

허용오차 : 인수 검사값의 10%

선량률 독립성

모든 광자선 및 전자선에 대해 측정

광자선 : FS = 10×10, SSD = 95 cm, Depth : 5 cm

전자선 : Cone = 15×15, SSD = 100 cm, Depth : dmax

1. 임상에서 사용되는 선량률로 100 MU 씩 3번 조사하여 평균값을 구한다.
2. 가속기의 최대 선량률 및 최소 선량률로 위의 측정 반복

선량률	측정값	평균값
기준 (200 MU/min)		R (기준)
최대 (500 MU/min)		R1 (최대)
최소 (50 MU/min)		R2 (최소)

3. 최대선량률을 이용하여 측정한 값을 기준값과 비교  
 $\{(R1-R)/R\} \times 100 =$  \_\_\_\_\_ 허용오차 : 2%
4. 최소선량률을 이용하여 측정한 값을 기준값과 비교  
 $\{(R2-R)/R\} \times 100 =$  \_\_\_\_\_ 허용오차 : 2%

수행자 \_\_\_\_\_

표 10. 연간 정도관리 절차서 5

연간 정도관리(선량) 4 (X-선 모니터이온함 선형성)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

장비명 : \_\_\_\_\_

모니터함 선형성

FS = 10×10, SSD = 95 cm, Depth = 5 cm

이온함 :

Electrometer :

팬텀 : 고체 팬텀

허용오차 : 2%

선형성 = (QMU/Q100) × (100/MU)

에너지	MU	측정값	평균값	선형성	오차
저에너지	10				
	20				
	50				
	100				
	200				
	300				

에너지	MU	측정값	평균값	선형성	오차
고에너지	10				
	20				
	50				
	100				
	200				
	300				

수행자 \_\_\_\_\_

표 11. 연간 정도관리 절차서 6

연간 정도관리(선량) 5 (X-선 PDD)

병원 과

날짜 : 년 월 일

장비명 :

심부름 (PDD)

최대깊이 = 1.7 cm      SSD = 100 cm

이온함 :

Electrometer :

팬텀 : 고체팬텀

허용오차 : 2%

조사면	깊이	측정값	평균값	PDD(측정)	PDD 기준값	오차
5×5	dmax					
	5					
	10					
	20					
	25					
	30					

조사면	깊이	측정값	평균값	PDD(측정)	PDD 기준값	오차
10×10	dmax					
	5					
	10					
	20					
	25					
	30					

조사면	깊이	측정값	평균값	PDD(측정)	PDD 기준값	오차
15×15	dmax					
	5					
	10					
	20					
	25					
	30					

조사면	깊이	측정값	평균값	PDD(측정)	PDD 기준값	오차
20×20	dmax					
	5					
	10					
	20					
	25					
	30					

수행자



표 12. 연간 정도관리 절차서 7

연간 정도관리(선량) 6 (갠트리 회전에 따른 x-선 및 전자선 출력상수)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

장비명 : \_\_\_\_\_

Gantry angle independence of beam output

FS = 10×10 (광자선, 전자선), SSD = 100 cm, Depth = 5 cm

이온함 : 공기 중 isocenter에 위치, 100 MU 조사

Build up cap : x-선 : 3 cm, 전자선 : 1 cm (9 MeV 까지), 2 cm (9 MeV 이상)

허용오차 : % 차이 = (갠트리 G에서 평균 - 기준값)/(기준값) × 100 < ± 1%

X-선 = \_\_\_\_\_ MV

갠트리각	측정값	평균	오차
0			0%
90			
270			
180			

X-선 = \_\_\_\_\_ MV

갠트리각	측정값	평균	오차
0			0%
90			
270			
180			

X-선 = \_\_\_\_\_ MV

갠트리각	측정값	평균	오차
0			0%
90			
270			
180			

수행자 \_\_\_\_\_

표 13. 연간 정도관리 절차서 8

연간 정도관리(선량) 7 (투과계수)

\_\_\_\_\_ 병원 \_\_\_\_\_ 과  
 장비명 : \_\_\_\_\_

날짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월 \_\_\_\_\_ 일

썰기, 트레이, 보상체 투과계수

FS = 10×10, SSD = 95 cm, Depth = 5 cm

이온함 :

Electrometer :

팬텀 : 고체팬텀

허용오차 : 2%

매년 썰기 방향을 바꾸어 측정 (1RW, 2RW)

Compensator : 8 cm block + Tray

에너지	각도	측정값	평균값	WF(측정)	WF 기준값	오차
저 에 너 지	open				1.000	
	15도					
	30도					
	45도					
	60도					
	Tray					
	Comp					

에너지	각도	측정값	평균값	WF(측정)	WF 기준값	오차
고 에 너 지	open				1.000	
	15도					
	30도					
	45도					
	60도					
	Tray					
	Comp					

수행자 \_\_\_\_\_



표 2. 월간 및 선원교체 시 정도관리 항목 및 허용 오차범위

고선량을 근접치료 선원 교체 및 월간 점검				
기관명 :		날짜 :      년      월      일		
장비명 :				
	항 목	정 상	비정상	참 고
안 전	출입문 경고 등 동작			
	출입문 연동장치의 동작			
	감시 장치(시청각)의 동작			
	비상 스위치 동작			
	치료실 및 치료 장비 누설 검사			별첨 표
	비상상황에 대한 장비 확인			
	근접치료실 출입통제 시건장치			
	제어판 또는 컴퓨터 통제 시건장치			
	방사능 감시기(alarm, GM counter)			
	선원 교체 시 방사능 세기 확인			별첨 표
동 작	제어판 ON/OFF스위치			
	치료 기구들의 기계적 견고성			
	선원의 가이드 및 선원 위치 확인			± 2 mm
	조사시간의 정확도			±1%
	일일 점검 표 확인			일일 점검 표
참고사항 :				

정상 ,  비정상
 확인자 : 의학물리학자:                      (인)



표 4. Jig 팬텀을 이용한 선원의세기 측정

고선량을 선원의 세기 교정 I							
기관명 :							
장비명 :				날짜 :    년    월    일			
1.기본사항 측정 장비 : Jig 팬텀 시스템 선원 출구 번호 : 1, 2 선원 위치 :                   mm							
2. 온도 및 기압 보정 1) 온도:       도   2) 기압 :       kPa $C_{TP} = (273.2+T/295.2) \times 101.3/P$ , $C_{TP} =$							
3. 측정방법							
선원출구번호	1				2		
조사시간(S)	185		5		185		5
측정값(nC)	측정값 1	측정값 2	측정값 3	측정값 4	측정값 A	측정값 B	측정값 C    측정값 D
4. 계산식							
● 순수 측정값(D1) = {(측정값1+측정값2)/2} - {(측정값3+측정값4)}/2 - 누출선원							
● 순수 측정값(D2) = {(측정값A+측정값B)/2} - {(측정값C+측정값D)}/2 - 누출선원							
● 순수 전체평균 측정값(D) = (D1+D2)/2 =           nC							
● 조사율(X) = (M × N <sub>x</sub> × C <sub>room</sub> × C <sub>grad</sub> × C <sub>TP</sub> )/time							
● 1m 거리에서 시간당 조사율(X <sub>100</sub> ) = X × 3600s/hr × (10/100 cm) <sup>2</sup> =       R/hr							
● 유효 선원의 세기(S <sub>M</sub> ) : X <sub>100</sub> / 0.466(R/hr/Ci) =           Ci							
● 제조사의 선원 인증서 방사능(S <sub>c</sub> ) :                   Ci							
5.결과							
차이[(S <sub>M</sub> -S <sub>c</sub> )/S <sub>c</sub> ] × 100 =           %							
확인자 : 의학물리학자:                   (인)							

표 5. 우물형 전리함을 이용한 선원세기 측정

고선량을 선원의 세기 교정Ⅱ					
기관명 : _____					
장비명 : _____ 날짜 :    년    월    일					
1. 기본사항 측정장비: 우물형 전리함 선원출구번호 :					
2. 온도 및 기압 보정 1) 온도 :        도 ,    2) 기압 :        kPa $C_{TP} = (273.2+T/295.2) \times 101.3/P, \quad C_{TP} =$					
3. 측정방법 180초 동안 누출 선원 측정 :        pA					
선원위치	1	2	3	4	5
선원거리(mm)					
측정값 (nA)					
4. 계산식 측정방사능( $S_M$ ) : $M \times N \times P_{ion} \times C_{TP}, \quad S_M =$ Ci 제조사 선원 인증서 방사능( $S_C$ ) :        Ci					
5. 결과 차이 $[S_M-S_C]/S_C] \times 100 =$ %					
확인자 : 의학물리학자:        (인)					

**부록 4. 방사선치료계획시스템의 정도관리 절차서**

표 1. 주간 정도관리 절차서

방사선치료계획 시스템 주간 정도관리					
병 원 명 : _____ 병원 방사선종양학과					
장 비 명 : _____ <span style="float: right; margin-right: 50px;">날 짜 :        년        월</span>					
구분	점검 항목		허용오차	/	참 고
입력 장치	디지털라이저 상태	선택	작동여부		
	필름스캐너 상태	선택	작동여부		
	DICOM에 의한 영상 전송	선택	작동여부		
출력 장치	프린터 상태	필수	작동여부		
	플로터 상태	필수	작동여부		
	모니터 상태	필수	작동여부		
	필름 현상기 상태	선택	작동여부		
<div style="text-align: right; margin-top: 10px;">                         수행자 : _____                          확인자 : _____                     </div>					



표 2. 월간 정도관리 절차서

방사선치료계획 시스템 월간 정도관리

병 원 명 : \_\_\_\_\_ 병원 방사선종양학과

장 비 명 : \_\_\_\_\_

날 짜 : \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월

구분	점검 항목		허용오차	점 검	참 고
입력 장치	디지털라이저 정확도	선택	1 mm		
	필름스캐너 정확도	선택	1 mm		
	DICOM 영상 전송 정확도	선택	1 mm		
출력 장치	프린터의 정확도	필수	1 mm		
	플로터의 정확도	필수	1 mm		
	현상된 필름의 정확도	선택	1 mm		
입력 데이터 검증	PDD 또는 TMR	필수	확인	<u>FS : 10×10</u> d_5 : _____ d_10 : _____ d_20 : _____ <u>FS : 20×20</u> d_5 : _____ d_10 : _____ d_20 : _____	FS : Field Size (cm <sup>2</sup> ) d : depth (cm)
	빔 프로파일	필수	확인	<u>FS : 5×5</u> : _____ <u>FS : 10×10</u> : _____ <u>FS : 20×20</u> : _____	깊이 10 cm
	출력 인자	필수	확인	<u>FS : 5×5</u> : _____ <u>FS : 10×10</u> : _____ <u>FS : 20×20</u> : _____	
	썬기 인자	필수	확인	15° : _____ 30° : _____ 45° : _____ 60° : _____	FS : 10×10
	Tray 인자	필수	확인		FS : 10×10
데이터 전송 및 백업	R & V 확인	선택	확인		
	DRR (BEV) 영상의 검증	선택	확인		
	환자 데이터의 백업	선택	확인		

수행자 : \_\_\_\_\_

확인자 : \_\_\_\_\_

표 3. 연간 정도관리 절차서

방사선치료계획 시스템 연간 정도관리					
병원명 : _____ 병원 방사선종양학과			날 짜 :        년        월		
장비명 : _____					
구분	점검 항목	필수	허용오차	점 검	참 고
선량 계산	정방향 조사면	필수	1%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	직사각형 조사면	필수	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×10
	부정형 조사면	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20 Block
	다엽콜리메이터 조사면	선택	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20 MLC
	썰기 조사면	필수	3%	15° 썰기 ① _____ MV : ② _____ MV : 45° 썰기 ① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	사방향 조사면	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	축 이탈	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20
	선원 표면간 거리 변화	필수	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10 SSD 110 cm
	불균질성	선택	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10 Cork
CT 데이 터 입력	기하학적 정확도	필수	1 mm		
	전자 밀도	선택	0.1 g/cm <sup>3</sup>		

수행자 : \_\_\_\_\_  
 확인자 : \_\_\_\_\_

표 4. 비정기적 정도관리 절차서

방사선치료계획 시스템 비정기적 정도관리					
병원 명 : _____ 병원 방사선종양학과			날 짜 :        년        월		
장 비 명 : _____					
구분	점검 항목	필수	허용오차	점 검	참 고
선량 계산 확인	정방향 조사면	필수	1%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	직사각형 조사면	필수	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×10
	부정형 조사면	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20 Block
	다엽콜리메이터 조사면	선택	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20 MLC
	썰기 조사면	필수	3%	15° 썰기 ① _____ MV : ② _____ MV : 45° 썰기 ① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	사방향 조사면	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10
	축 이탈	필수	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 20×20
	선원 표면간 거리 변화	필수	2%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10 SSD 110 cm
	불균질성	선택	3%	① _____ MV : ② _____ MV :	FS : 10×10 코르크
소프 트웨 어 업그 레이 드	소프트웨어의 변화된 사항 점검	필수	확인		
	소프트웨어 도구 확인	필수	확인		
	선량계산 데이터의 확인	필수	확인		

※ 치료계획의 결과에 문제가 있을 때 또는 소프트웨어 업그레이드 시 수행

수행자 : \_\_\_\_\_  
확인자 : \_\_\_\_\_