

Development of Prototype Quality Assurance Procedure for Blood Irradiator Using Glass Dosimeter Jig

Dong Hyeok Jeong*, Yeong-Rok Kang*, Young Min Moon[†], Hyo Jin Kim[†],
Dong Won Kwak[†], Jeung Kee Kim*, Man Woo Lee*

*Research Center, Dongnam Inst. of Radiological & Medical Sciences,
[†]Department of Physics, Dong-A University, Busan, Korea

For the purpose of quality assurance (QA) of the blood irradiator, QA programs for daily, monthly, and yearly were developed. For daily tests, simple items for basically operating the machine are recommended. For monthly and yearly tests, the measurement of dose to assure the dose delivery system are performed by a dosimetry devices (Glass dosimeter jig) developed in this study. The QA program is practical for clinical environment.

Key Words: Blood irradiator, Quality assurance, Glass dosimeter jig

서 론

골수이식이나 장기이식 또는 조혈계 질환과 같은 면역기능이 저하된 환자에 대한 수혈시에는 수혈후 발생 가능한 이식편대숙주반응(GVHD: graft-versus-host reaction)을 예방하기 위하여 혈액속의 림프구를 제거하는 것이 필요하며 이를 위해 고선량의 방사선조사기 필요하다.^{1,2)} 혈액에 대한 방사선조사는 기존에는 의료용 선형가속기나 코발트 조사가기가 사용되었으나 최근에는 조작이 간편한 혈액조사기(Blood irradiator)가 사용되고 있다.

일반적으로 혈액조사기에는 분당 2 Gy 이상의 고선량으로 방사선을 전달하기 위하여 수천 큐리(Ci)의 Cs-137 동위원소가 사용되고 있는데, 이 때 혈액조사에 사용되는 방사선량은 약 20 Gy이다.

혈액조사기는 원통형의 조사 콘테이너 속에 위치한 혈액제제에 균일한 방사선을 전달하기 위하여, 선원이 상하로 왕복운동하면서 콘테이너를 동시에 일정속도로 회전시키는 방법을 이용하고 있다. 이러한 경우에 조사 콘테이너 속 방사선량의 분포는 중심부가 낮고 주변이 높게 되는데,

FDA (Food and Drug Administration, USA)에서는 중심부의 방사선량은 25 Gy 주변부에는 최소 15 Gy 이상이 되어야 한다고 권고하고 있다.¹⁾ 국내의 대한임상정도관리협회에서도 혈액조사기의 품질관리에 대하여 강조하고 있으며 실무부서에서 체계적인 정도관리를 권고하고 있다.²⁾

혈액조사기는 캐비닛형 방사선장비로서 조사 콘테이너가 장비 속에서 작동하기 때문에 선량 평가나 품질관리가 쉽지 않은 것이 단점이다. 혈액조사기는 의료기기로서 진료의 품질보장을 위해서는 정기적인 정도관리가 필요하다고 할 수 있으나 국내의 경우 정도관리에 관한 구체적 실무절차나 방법이 충분히 알려져 있지 않다.

혈액조사기 방사선량의 측정에는 보다 어려운 측면이 있는데 조사 콘테이너가 회전하기 때문에 TLD (Thermoluminance detector) 또는 ESR (Electron spin resonance)용 소자를 이용한 측정방법만이 가능하다. 본 연구에서는 최근 사용이 증가되고 있고 다양한 응용성을 가진 유리선량계를 이용하는 방법을 도입하였다.

본 기관에는 혈액 방사선조사와 생물학적 연구에 공동으로 활용할 목적으로 혈액조사기(Biobeam-8000, STS GmbH, Germany)를 사용하고 있다. 이 조사가기는 81.4 TBq (약 2,200 Ci)의 Cs-137 선원이 내장되어 있다. 생물학적 연구의 경우에 콘테이너 속에 배치되는 시료의 형태와 크기에 따라 선량의 차이가 크기 때문에 연구진들은 유리선량계 등을 이용한 방법으로 실측을 통하여 확인된 방사선량을 사용하여 연구를 수행하고 있다.³⁾ 이에 본 연구에서는 혈액조사기와 유리선량계를 이용한 연구 경험을 토대로 임상에

이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 동남권원자력 의학원의 지원을 받아 수행된 연구임(동남권원자력의학원 과제번호: 50497-2012).

이 논문은 2012년 6월 11일 접수하여 2012년 6월 13일 채택되었음.
책임저자 : 이만우, (619-953) 부산시 기장군 장안읍 좌동길 40
동남권원자력의학원 연구센터(방사선의학물리연구실)
Tel: 051)720-5070, Fax: 051)720-5826
E-mail: mwlee@dirams.re.kr

Table 1. Daily QA of the blood irradiator (this study).

Items	Methods	Check
Locking system	Check locking system of the irradiator	✓
Source survey	Check source keeping using survey meter (about 0.8 μ Sv/h) by opening the loading hatch	✓
Computer system	Check booting state of the internal computer	✓
Irradiation timer	Measure irradiation time (1 min) using daily check mode	✓
Turntable rotation	Measure number of revolution (6 rpm) of the irradiation container using daily check mode	✓

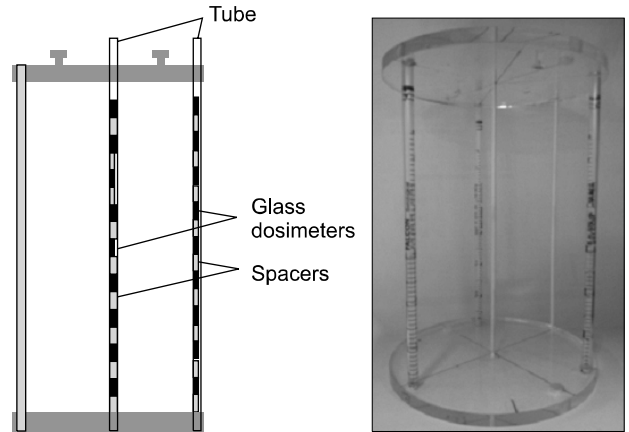


Fig. 1. Jig design (left) and fabricated form(right) for measuring dose in monthly and yearly QA of the blood irradiator.

서 활용 가능한 혈액조사기 정도관리 절차를 개발하였다.

재료 및 방법

혈액조사기 일일점검은 장비의 시건장치와 선원의 보관 상태를 점검한 후 장비를 가동시켜 회전속도와 조사시간을 점검하도록 하였다. 이 때 선원의 보관 상태는 서베이미터를 이용하여 선원의 내장 유무를 점검하는 방법으로 점검하며 회전속도와 조사시간은 사전에 설정된 조건으로 시험 조사하는 동안 모니터 상에 작동되는 형상을 육안으로 점검하는 방법을 도입하였다.

Table 1에 일일점검 항목과 방법을 제시하였다. 일일점검 항목은 장비 작동에 필요한 기본적 사항을 단순히 점검하는 것이며 장비의 모델과 형식에 따라 적절한 항목을 고안할 수 있다.

혈액조사기의 월간과 연간 점검은 장비에 입력된 시간과 방사선량에 관한 관계를 확인하기 위한 방사선 측정에 관한 항목으로 구성되어 있다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 Fig. 1과 같이 조사 컨테이너에 장착할 수 있는 측정 기구(유리선량계 지그)를 자체 제작하였다.

이 그림에서와 같이 기구에 부착된 두 개의 관은 중심과 주변에 배치되어 있으며 관속에는 유리선량계를 삽입할 수 있도록 되어있다. 두 유리선량계 사이는 일정한 길이의 얇은 관을 삽입하여 일정 거리를 유지하도록 하였다. 이 때 유리선량계는 직경 2.9 mm 길이 13 mm의 GD-302 M (DoseAce, Japan), 관독기는 FGD-1000 (Asahi Techno Glass, Japan)을 사용하였다.⁴⁾

혈액조사기 월간점검은 컨테이너의 회전과 선원의 운동

상태를 선량측정을 통하여 간접적으로 점검하기 위하여 고안되었으며 이를 위해 본 연구에서 선정한 방법은 컨테이너의 중간 높이에서 중심과 주변부의 공기커마를 측정하는 방법을 사용하였다. 만약 컨테이너의 회전이 균일하지 않은 경우에 주변부에서 선량의 차이가 기준치보다 높을 것이며, 선원의 상하 운동에 문제가 있는 경우에 중심부의 선량은 기준치에 비해 차이를 보일 것이다. 그리고 중심과 주변 측정값의 평균은 장비 소프트웨어에서 계산한 조사시간에 문제가 있을 경우에 기준값에 비하여 차이를 보일 것이다. 이 때 장비는 날짜에 따라 반감기를 고려하여 소프트웨어적으로 조사시간을 계산하도록 되어있으므로 이 항목은 중요하다.

공기커마의 측정점은 중심과 주변 영역이며, 측정기는 Cs-137 선원에 대하여 표준조사 방법으로 교정된 유리선량계를 사용하였다. 이를 위해 본 연구에서는 한국원자력연구소에서 Cs-137 선원에 대해 표준조사한 소자를 사용하여 관독기를 교정하였다.

본 장비의 조사시간 조건은 장비 설치 후 Vendor가 측정 한 선량에 기초한다. 장비 설치 후 선량측정은 알라닌 (Alanine) 소자로 수행되었으며, 본 장비의 조사모드에서 조사시간은 선량분포가 균일하지 않은 컨테이너 바닥과 상단을 제외한 부분의 평균값으로 설정되어 있다. 본 연구에서는 월간점검시 기준값을 장비 설치 후 측정 자료를 이용하여 Table 2와 같이 결정하였다.

연간점검은 컨테이너에 물을 채운 상태에서 중심과 주변 영역에 각각 9개의 선량계를 삽입한 상태에서 전체 선량을 측정하여 조사한 흡수선량 값과 비교하도록 하였다. 이 조건은 혈액제제의 조사와 유사하기 때문에 중요한 점검이라

Table 2. Reference values for monthly QA (this study).

Test items	Reference value
Irradiation dose	20.0 Gy
Center dose	20.9 Gy
Periphery dose	19.3 Gy
Average	20.1 Gy

고 할 수 있다. 그렇지만 유리선량계는 공기커마에 대하여 교정되어 있기 때문에 물속 측정시 물흡수선량으로의 변환은 추가적인 절차가 필요하다.

유리선량계는 점차 사용이 증가되고 있으나 Cs-137 선원에 대한 물 흡수선량 측정은 아직 충분히 정립되지 않았기 때문에 본 연구에서는 근사적으로 물과 공기에 대한 질량에너지흡수계수비(Mass energy absorption coefficient ratio)를 취하여 사용하고 있다. 이 방법은 Kwak 등(2010)의 Cs-137 저선량 조사기를 이용한 연구에서 몬테칼로 계산과 근사적으로 일치하는 것으로 보고된 바가 있다.³⁾ 연간 점검에서는 장비 설정값으로 20 Gy를 조사한 후 각 소자의 측정값을 물흡수선량으로 환산하고 평균을 취하여 다음과 같이 비교하도록 하였다.

$$Diff(\%) = 100\% \times \frac{D_{mea} - D_{ref}}{D_{ref}}$$

여기서 D_{mea} 와 D_{ref} 는 각각 측정한 선량과 기준값(20 Gy)이다.

결 과

Table 3은 월간점검의 결과(예)로서 제작한 기구를 이용하여 공기커마를 측정한 결과를 보여준다. 이 표에서와 같이 측정결과에는 약 3%의 차이를 보이고 있다. Table 4는 연간점검의 결과(예)로서 조사 콘테이너에 물을 가득 채운 조건에서 중심과 주변에 배치된 9개의 유리선량계를 이용하여 흡수선량을 측정한 결과이다. 이 표에서와 같이 측정결과는 장비 조사량 20 Gy에 대해 약 4.6% 높은 결과를 보이고 있다.

공기 또는 물 측정에 따른 현재의 차이는 제작사에서 설치후 입력한 값을 기준으로 평가하기 때문에 만약 보다 정확한 측정 방법이 개발된다면 장비의 설정값을 수정할 필요가 있다. 그렇지만 현재 적절한 방법이 없기 때문에 현재

Table 3. Measured results in monthly QA (this study).

Test items	Reference value (Gy)	Measured value (Gy)	Difference from irradiation dose	Check
Irradiation dose	20.0	20.0	--	
Center dose	19.9	19.3	3.0%	✓
Periphery dose	20.1	19.6	2.6%	✓
Average	20.0	19.5	2.5%	✓

Table 4. Measured results in yearly QA (this study).

Dosimeter number	Center dose (Gy)	Periphery dose (Gy)
1	(18.5)*	(22.4)
2	19.5	22.1
3	19.9	22.3
4	20.5	21.7
5	20.4	22.3
6	19.1	22.2
7	19.4	22.6
8	18.7	22.4
9	(16.9)	(21.2)
Average (Gy)		22.1
Estimated average (Gy)		20.9
Reference value (Gy)		20.0
Difference		4.6%

*These values (parenthesis) is excluded in calculating average value.

의 방법을 적용해야 할 것으로 본다. 제작사에서 측정한 방법은 자국의 표준기관에서 교정한 알려진 소자를 사용하고 있다. 이 선량계는 전자스핀공명 현상을 이용하여 선량을 평가하며 3.0~3.8%의 불확도를 가지는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 이는 유리선량계의 불확도 약 2.4% 보다는 높다.⁶⁾ 그렇지만 총불확도는 측정절차와 측정기구에 의해서 증가할 수 있으므로 보다 추후 정확한 방법으로 흡수선량을 결정해야 할 것이다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 혈액조사기에 대한 정도관리 절차를 개발하였다. 혈액조사기는 장비 특성상 임상적 차원의 정도관리가 어렵기 때문에 일반적으로 장비 기술자나 제작사에 의한 점검이 수행되고 있다. 이에 본 연구에서 정기적인 정도관리를 위하여 일일, 월간 및 연간 점검 항목을 개발하였으며, 월간과 연간 점검을 위한 선량측정 기구를 제작하였

다. 본 연구에서 제작한 측정 기구는 비교적 단순하기 때문에 임상에서 쉽게 제작이 가능할 것으로 생각한다. 유리선량계의 경우에 작고 취급이 간편하며 또한 판독이 용이하기 때문에 최근 방사선치료 분야 이용이 증가하고 있다.^{7,8)}

추후에는 측정결과와 허용범위(Tolerance level)에 대하여 연구가 필요하다. 현재 허용범위의 결정이 어려운 이유는 장비의 작동 이상에 따른 선량변화를 단순히 예측하기 어렵기 때문이다. 또한 유리선량계에 있어서 Cs-137 선원에 대한 물흡수선량의 기준 측정법 개발이 필요하다고 생각한다. Cs-137에 대한 기준 측정법이 개발되면 현재는 정도관리 차원에서 장비 설정값과 비교하는 수준이지만 장비 자체의 조사조건에 대한 교정도 가능할 것으로 본다. 따라서 추후에는 이러한 부분들에 대한 연구를 지속적으로 수행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. FDA: Recommendations regarding license amendments and procedures for gamma irradiation of blood products. Food and Drug Administration (1993)
2. 서동희: 혈액 방사선조사기 품질관리: 대한임상정도관리협회 정도관리 소식지 (2004)
3. Kwak DW, Moon YM, Kang YR, et al: Measurement of absorbed to small phantoms irradiated by Cs-137 gamma irradiator. 醫學物理 31(sup 4):190-190 (2011)
4. Asahi Techno Glass Corporation: Glass Dosimetry System FDG-1000 Instruction Manual Ver.1.3.0.0:1-13 (2004)
5. Chen FD, Covas, DT, Baffa O: Dosimetry of blood irradiation using an alanine/ESR dosimeter. Appl Radiat Isot 55:13-16 (2001)
6. IAEA: Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment. IAEA-TECDOC-1331 (2002)
7. Rah JE, Hwang UJ, Jeong HJ: Clinical application of glass dosimeter for in vivo dose measurements of total body irradiation treatment technique. Radiat Meas 46:40-45 (2011)
8. Son KH: Evaluation of dosimetric characteristics on glass dosimeter system for radiotherapy. Univ. of Science and Technology. MD Thesis (2011)

유리선량계 지그를 이용한 혈액조사기의 정도관리 절차 초안 개발

*동남권원자력의학원 연구센터, †동아대학교 물리학과

정동혁* · 강영록* · 문영민[†] · 김효진[†] · 박동원[†] · 김정기* · 이만우*

혈액조사기의 정기적 정도관리를 위하여 일일, 월간 및 연간점검 항목을 개발하였다. 일일점검은 육안으로 기본적 작동을 점검하고, 월간과 연간점검은 자체 제작한 기구(유리선량계 지그)를 사용하여 조사 콘테이너에 대한 선량평가를 수행하도록 하였다. 본 연구에서 도출한 항목들은 임상적 차원에서 실용적이라고 평가한다.

중심단어: 혈액조사기, 정도관리, 유리선량계 지그