

한국원자력연구소에서 개발한 Ir-192 선원의 감마메드 치료기 호환성 연구

*원광대학교병원 방사선종양학과, †강원대학교병원 방사선종양학과

정동혁* · 이강규* · 김수곤† · 문성록*

본 연구에서는 한국원자력연구소에서 제작한 Ir-192 밀봉선원(IRRS20, KAERI, Korea)을 감마메드 근접치료기에 장착하고 치료기와의 호환성을 조사하였다. 기계적 호환성의 평가로서 선원의 이동간격, 채널별 이동간격, 와이어의 최소 곡률 반경, 비상시 작동을 검사하였다. 약 45일 동안 수회에 걸쳐 기준 거리에서 공기커마세기를 측정하였으며, 필름을 사용하여 기존의 선원과 선량분포를 비교하였다. KAERI 선원의 감마메드 장비와의 기계적호환성은 양호하였다. 시간에 따른 방사능 특성도 계산과 잘 일치하였으며, 선원주변의 선량분포에 있어서 기존 선원과 큰 차이를 보이지 않았다.

중심단어: 한국원자력연구소, Ir-192, 감마메드

서 론

한국원자력연구소(Korea Atomic Energy Research Institute; KAERI)에서는 2007년 연구용 원자로인 하나로(Hanaro, KAERI, Korea)를 사용하여 고선량을 근접치료용 Ir-192 밀봉선원을 개발하였다.¹⁻³⁾ KAERI에서는 2005년 ISO-2919(밀봉선원 성능기준)에 따른 안전성을 평가하여 한국인정기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)로부터 인증을 받았으며, 2006년 한국원자력안전기술원(KINS, Korea Institute of Nuclear Safety)으로부터 특수형방사성물질설계승인을 획득하여 국산화 및 수출을 위한 준비가 완료되었음을 언론을 통하여 보고한바 있다.^{2,3)} 따라서 현재 대부분 수입에 의존하고 있는 근접치료용 선원의 국산화 가능성을 기대할 수 있게 되었다.

KAERI에서 개발한 선원의 초기 모델은 선원의 캡슐과 와이어가 마이크로셀렉트론(MicroSelectron, Nucletron Netherlands) 근접치료기와 호환 가능한 형태를 가졌으며, 치료기에 장착시켜 시험하고 안전성 및 기계적 호환성은 우수한 것으로 보고하였다.¹⁾ 한편, 최근 KAERI에서는 와이어의 재질을 더욱 보완하여 감마메드 12i (GammaMed, Germany)

치료기에 장착 가능한 선원(model: IRRS-20, KAERI, Korea)을 개발하였다.

본 연구에서는 KAERI에서 제작한 IRRS-20 모델 실험용 선원을 Gammamed 12i에 장착하고 장비와의 기계적 호환성과 선원의 선량적 특성을 평가하였다. 기계적 호환성 검사에서는 새로운 선원과 와이어가 장비의 제어에 따라 정확하게 이동하는 것과 환자치료시 안전에 관계된 사항을 확인하였으며, 선량적 특성의 평가에서는 공기커마세기의 결과와 함께 시간에 따른 방사능의 변화 그리고 기존 선원과 팬텀속 선량분포의 차이를 조사하였다.

본 연구는 병원 차원에서 시행 가능한 검사로 구성되어 있으므로 타 기관에서도 시행 가능할 것으로 생각한다. 아울러 KAERI에서 제작한 IRRS20 선원의 감마메드 치료기와의 호환성의 검사는 아직 시행된바 없으므로, 본 연구의 결과는 국산 선원에 관심을 가지는 의료기관에 참고 자료로 활용될 수 있으며 아울러 국산 선원의 우수성에 관한 대외적 홍보에 기여할 수 있다.

재료 및 방법

KAERI에서 감마메드 장비 호환용으로 제작한 선원(IRRS-20, KAERI, Korea)의 구조와 형태는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 이 선원은 기존에 개발했던 마이크로셀렉트론 장비용 선원에 감마메드 장비에서 사용 가능하도록 와이어의 재질과 길이를 변경하여 제작한 새로운 모델이다. 이

이 논문은 2009년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.
이 논문은 2010년 2월 4일 접수하여 2010년 3월 5일 채택되었음.
책임저자 : 문성록, (570-711) 전북 익산시 신용동 344-2
원광대학교병원 방사선종양학과
Tel: 063)859-1876, Fax: 063)859-1889
E-mail: physics7@empal.com

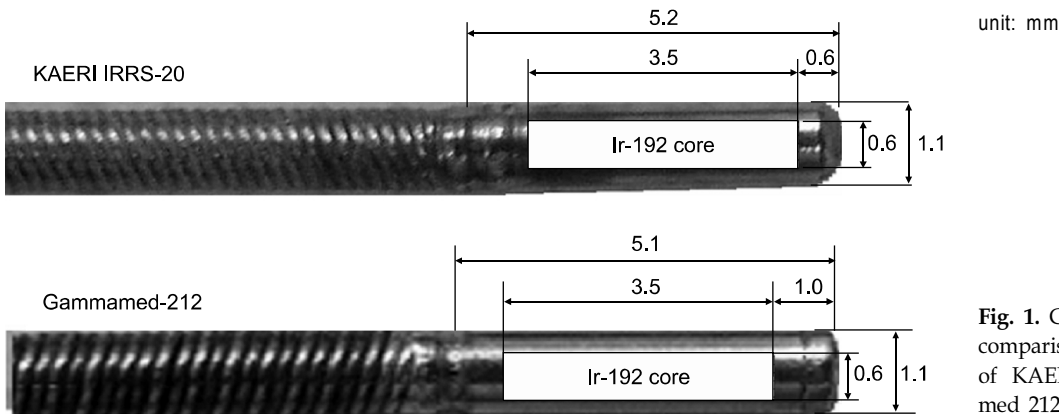


Fig. 1. Geometric description and comparison of IRRS-20 (new type of KAERI) source and Gammamed 212 (Gammamed 12i) source.

Fig. 1에서 캡슐부는 강철(AINI SUS316L)로 제작되어 있으며 재질과 형태에 있어 기존 선원(Gammamed-212, Isotopen, US)과 거의 동일하다. 선원 코어의 형태는 기존 선원과 동일하지만 캡슐속 위치에 있어 0.4 mm 전방에 위치하고 있어 KAERI 선원을 감마메드 치료기에 사용하기 위해서는 이 오차를 교정하기 위한 새로운 초기점의 설정이 필요하다. 본 연구에서는 모든 실험에 앞서 감마메드 치료기에 KAERI에서 공급한 실험용 선원을 장착하였으며, 모의선원(simulation source)과 필름을 사용하여 모의선원에 부착된 마커(marker)와 동일한 위치를 가지도록 실험용 선원의 위치를 교정하였다. 여기서 실험용 선원의 장착 당시 겔보기 방사능은 약 2.4 Ci이었다. 또한 감마메드 장비의 경우에 정상 작동을 위해서는 더미선원(dummy source)이 필요한데 본 연구에서는 KAERI에서 공급한 방사능이 없는 선원과 와이어를 더미선원으로서 장비에 장착하였다.

여러 문헌들에서 근접치료기의 인수검사, 정도관리, 그리고 선량평가에 대하여 다루고 있으나,^{4,6)} 본 연구에서는 과거 근접치료기 운영 경험을 토대로 관련 문헌들을 참고하여 임상에서 시행할 수 있는 기계적 호환성 평가와 선량적 특성 평가로 분류하였다. 기계적 호환성은 이동간격 검사, 채널재현성 검사, 어플리케이션 검사, 곡률검사, 그리고 비상시 복귀 검사로 구성하였으며, 선량적 특성 평가는 공기커마세기의 결정, 일정 기간 동안 방사능의 감쇠 특성의 평가, 그리고 기존 선원과의 흡수선량 분포의 차이 평가로 구성하였다.

1. 기계적 호환성 평가

1) 이동간격 검사: 선원 이동 간격의 정확성을 검사하기 위하여 본 연구에서는 먼저 필름조사를 통한 육안검사를 실시하였는데, Gafchromic 필름을 사용하여 초기점에서 15

cm 거리까지 1 cm 간격으로 선원이 이동하도록 계획하여 필름에 조사하고 확인하는 방법으로 수행하였다. 그러나 필름상 육안으로 검사하는 방법은 선원코어의 길이가 3.5 mm를 가지기 때문에 약 1~2 mm 이상의 오차에 대하여 발견 가능하지만 1 mm 이하의 오차에 대해서는 평가가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 필름계측을 이용한 방법으로서 조사된 필름을 스캐너로 읽은 후 필름계측 소프트웨어를 사용하여 선량으로 환산한 후 선원 이동방향에 대한 선량 프로파일을 이용하여 선량 봉우리들 사이의 거리를 측정하였다.

2) 채널 재현성 검사: 감마메드 치료기는 24개의 채널을 가지고 있으며, 앞에서 기술된 이동간격과 곡률의 검사는 첫 번째 채널에 대해서만 수행되었다. 치료기 내부에서 채널은 선원 방출구에 위치한 인덱스(index)라고 하는 장치에 의해 선택되는데, 만약 선원 또는 와이어가 특정한 채널을 통과할 때 하드웨어적으로 호환되지 않는다면 그 채널의 사용에 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 필름상에 2 cm 간격으로 4곳의 선원 이동위치를 계획하고, 모든 24개의 채널에 대하여 검사하여 모든 채널에서 동일한 결과를 보이는지를 조사하였다.

3) 어플리케이션 검사: KAERI 선원과 와이어의 외경은 1.1 mm로서 기존의 선원과 동일하지만, 선원과 와이어 표면의 가공시 미세한 불균일이 있다면 특정 어플리케이션의 사용시 문제가 발생할 수 있다. 만약 선원 장전시 선원 또는 와이어의 물리적 결함으로 인하여 어플리케이션 내부에서 멈추는 경우에 치료기에서는 인터록 메시지를 발생하고 자동 복귀되도록 되어있다. 따라서 본 연구에서는 치료기에서 사용되는 어플리케이션 9종(tandem 4종, needle 2종, tube catheter 2종, bronchial catheter 1종)에 대하여 선원을 초기점까지의 이동시킬 때 인터록이 발생하는지를 확인하는 방법으로 검사를 수행하였다.

4) **곡률검사:** 곡률검사는 치료 장치에서 선원을 구동시킬 때 허용 가능한 선원 와이어의 회전반경을 의미한다. 따라서 이 결과는 치료계획시 직접 반영되어 어떤 치료 조건에 대한 장치의 작동여부를 판단할 때 참고할 수 있다. 본 연구에서는 필름상에 관내 근접치료(intraluminal brachytherapy)용 튜브형 어플리케이터(applicator)를 원형으로 굽힌 상태에서 작동 가능한 최소 곡률반경을 조사하였다. 이 때 어플리케이터의 재질은 플라스틱이며 내경은 1.5 mm이며 외경은 2.8 mm이다. 본 논문의 결과에서는 필름 조사의 결과와 결정된 곡률반경을 제시할 것이다.

5) **비상작동 검사:** 비상 또는 응급상황시 선원은 자동 복귀되거나 비상버튼의 조작에 의하여 신속하게 복귀되어야 한다. 이 과정은 한 쌍의 결합된 바퀴(wheel) 사이에서 와이어가 작동함으로써 선원의 이동이 제어되는 것을 고려할 때 기존과 다른 모델의 선원이 장착되는 경우에 필수적으로 시행되어야 한다. 본 연구에서는 선원을 노출시키고 비상 단추(emergency button)를 누르는 방법으로 비상시 복귀시험을 5회 이상 실시하고 안전한 위치로의 정상적 복귀 여부를 확인하였으며, 또한 복귀 시간을 측정하고 항상 일정한 값을 보이는지를 확인하였다.

2. 선량적 특성 평가

1) **공기커마세기 측정 및 감쇠특성 평가:** 팬텀속 선량계산을 위해서는 먼저 기준거리에서 공기커마세기를 결정해야 한다. 본 연구에서는 파머형전리함(N30001, PTW, Germany)과 우물형전리함(Well-type chamber, PTW, Germany)을 병행 사용하여 KAERI 선원에 대한 공기커마를 측정하였다.

국제원자력기구(IAEA)의 기술서 TECDOC-1274(2002)에 의하면 파머형전리함을 사용한 자유공기측정법(free in-air measurement technique)을 적용하는 경우에 선원과 공기중 거리 d 에서의 공기커마율(cGy/min)은 다음과 같이 주어진다.⁷⁾

$$K = N_K (M/t) k_{TP} k_{air} k_{scatt} k_n (d/d_{ref})^2 \quad (1)$$

Table 1. Correction factors for PTW-N30001 farmer type chamber in determination of air Kerma strength for Ir-192 small source.

SCD	k_{air}	k_{scatt}	k_n
10 cm	1.001	0.998	1.012
20 cm	1.002	0.992	1.004

여기서 N_K 는 기준선원에 대한 전리함의 공기커마교정정수(cGy/nC), M/t 는 측정된 단위 시간당 전하(nC/min), k_{TP} 는 대기보정, k_{air} 는 공기중 감쇠보정, k_{scatt} 는 산란선 보정, k_n 은 전리함 형태에 대한 보정인자이다. 이 보정인자들은 측정거리와 전리함 공동의 형태에 의존하는데, 상세한 결정방법은 TECDOC-1274에 제시되어 있다. 본 측정에 사용한 보정인자들을 Table 1에 제시하였다.

(1)식에서 공기커마교정정수는 Ir-192 표준선원에 대한 값을 적용해야 하지만, 현재의 교정 체계에서 결정과 적용이 모두 어렵다. 따라서 본 연구에서는 Co-60 표준선원에 대한 공기커마교정정수($N_{K, Co}$)에 정 등⁸⁾의 연구로 얻어진 선질보정인자($k_u=1.010$)을 도입하여, $N_K = N_{K, Co} k_u$ 로 적용하였다.

공기커마의 측정은 지그 팬텀(jig phantom)을 사용하였으며 형태는 Fig. 2와 같다. 이 그림에서 선원 장착 부분에 부착된 것은 튜브형 어플리케이터 끝단의 유동으로 인한 거리오차를 방지하기 위한 보조 튜브로서 자체 제작한 것이다. 이러한 장치를 사용하여 선원과 전리함거리 10 cm와 20 cm에서 각각 공기커마세기를 측정하였다.

감마메드 치료기에 대한 선량계산에 적용되는 공기커마세기의 기준값은 겔보기 방사능 10 Ci인 선원에 대하여 1 m에서 4.084 cGy/h 이다. 따라서 이 인자를 사용하여 측정된 공기커마로부터 겔보기 방사능(Ci)을 결정할 수 있다.

전리함에 의한 공기커마세기의 측정은 초기 방사능 2.4 Ci의 선원이 1.6 Ci가 될 때까지 약 45일 동안 7회에 걸쳐

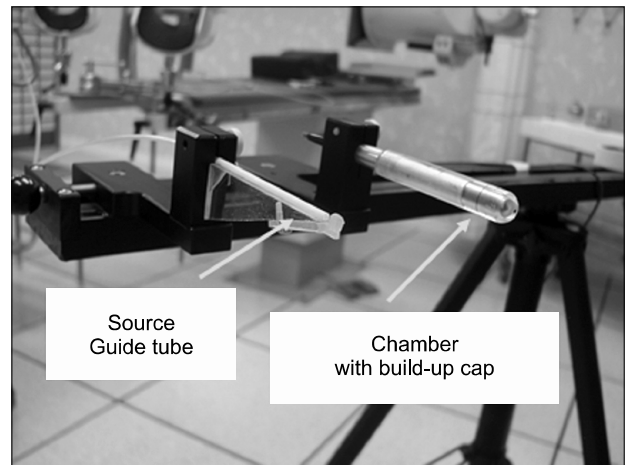


Fig. 2. Photography of setup for measurement of air kerma strength using jig phantom. Home made source guide is equipped on this jig to fix the guide tube and to provide constant source to chamber distance.

서 측정하였다.

본 연구에서는 파머형전리함의 측정값과 비교하기 위해 우물형 전리함(PTW, Germany)을 사용하였으며 걸보기방사능을 다음과 같이 결정하였다.⁷⁾

$$K = N_W i_{max} k_{TP} k_r \quad (2)$$

여기서 N_W 는 방사능교정정수(Ci/nA), i_{max} 는 전리 전류가 최대가 되는 지점에서의 전류(nA), k_{TP} 는 대기보정, k_r 은 다음과 같이 결정되는 이온 재결합 보정인자이다.

$$k_r = \left(\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \right)^{-1} \quad (3)$$

여기서 Q_1 과 Q_2 는 각각 전리함 인가전압 300 V와 150 V에 대한 전하 또는 전류와 같다. 본 연구에서 측정된 $k_r = 1.001$ 이었다.

2) 선량분포 측정: 본 연구에서는 필름 측정을 통하여 GammaMed 기존 선원과의 선량분포를 비교하였다. 이 측정은 기존 선원을 KAERI 선원으로 대체하는 경우에 선원과 캡슐부의 구조가 정확하게 동일하지 않기 때문에 선량 분포상에서 기존의 선원과 차이가 발생할 수 있으며 이를 근사적으로 확인하기 위한 것이다. 본 측정에 사용된 필름

은 모델 Gafchromic EBT (3cognition, USA)이었다. 측정은 먼저 필름에 선원 가이드튜브 위치를 표시하여 필름을 올려내고, 이를 총 10 cm 두께를 가지는 판형의 RW3 고체 팬텀(SP34, Wellhofer, Germany) 사이에 삽입하였다. 측정시 필름에는 걸보기방사능 10 Ci에 대하여 1분에 해당하는 방사선량을 조사하였다.

KAERI 선원에 대한 측정은 본 연구자의 기관에서 직접 수행하였으며, 기존선원에 대한 선량측정은 타기관의 GammaMed 12i 치료기에서 시행하였다. 측정된 두 필름은 분석 소프트웨어인 FilmQA (3cognition, USA)를 사용하여 선량분포로 환산하고 감마방법(Gamma method)을 이용하여 상호 비교하였다.⁹⁾

필름측정을 위해서는 필름교정곡선의 결정이 필요하다. 본 측정에서는 필름을 약 3×3 cm³ 크기로 여러장 절단하고 RW3 고체 팬텀에서 선원과 거리 2.15 cm에 필름을 위치시킨 상태에서, 각 필름에 41.4, 82.2, 165.6, 331.3, 496.9, 662.5, 993.8 cGy를 조사하였다. 이 측정은 기존선원이 사용되는 Gammamed 12i 치료기에서 시행되었다.

결 과

Fig. 3과 Fig. 4는 필름측정을 이용하여 이동 간격을 측정 한 결과를 나타낸다. Fig. 3에서 (a)는 조사된 필름인데 좌

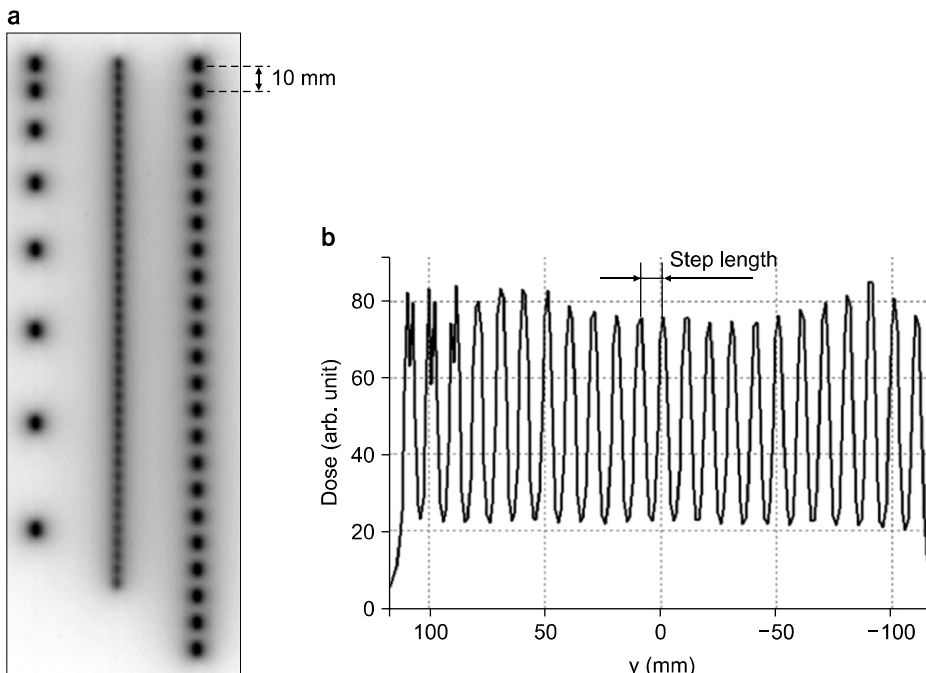


Fig. 3. Step movement test. (a) Irradiated film with increasing step distance (left), constant movement of 5 mm (middle), and 10 mm (right). (b) Evaluated dose profiles from film dosimetry to determine the step movement error in case of constant movement with 10 mm.

측은 임의 이동점에 대한 결과로서 초기점으로부터 0, 10, 25, 45, 70, 100, 135, 175 mm 지점으로 계획된 점에 대하여 조사된 필름이며, 가운데와 우측은 각각 균등하게 5 mm 및 10 mm 간격으로 이동할 때의 조사된 필름이다. 이동 간격은 조사된 필름을 육안으로 관찰할 경우에 거의 계획과

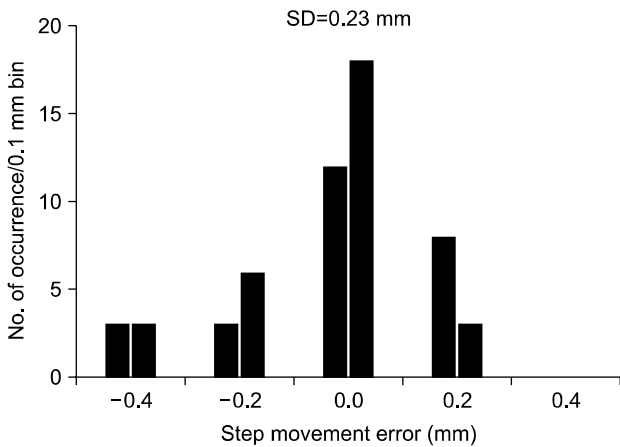


Fig. 4. Error distribution evaluated from the film dosimetric data in Fig. 3 for IRRS-20 source wire. The standard deviation of step movement is ± 0.23 mm with maximum error of -0.45 mm.

일치하고 있었으며 오차는 발견되지 않았다. Fig. 3b는 이동 간격 10 mm에 대한 필름을 소프트웨어로 분석한 결과이다. 여기서 각각의 봉우리들은 선원이 위치한 곳의 근사적 중심을 나타낸다. 각 필름에 대하여 이동간격의 오차들을 모두 집계하여 통계적으로 분석한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 이 그림에서 이동간격의 오차는 대부분 ± 0.3 mm 이내였다($SD = \pm 0.23$ mm). 이 분석으로 나타난 최대 오차는 -0.45 mm로 나타났다. 이와 같이 평가된 오차는 AAPM TG-40⁵⁾에서 권고하는 1 mm 이내에 적합하였으며, 아울러 감마메드 치료기가 KAERI 선원을 정확하게 제어하고 있음을 알 수 있었다.

이동 간격의 검사는 모든 채널에 대하여 시행되어야 타당하지만 본 연구에서는 실용적 측면에서 다른 채널에 대해서는 육안 검사를 실시하였다. Fig. 5는 24개 모든 채널에 대하여 선원을 일정 간격으로 이동시킨 필름을 보여준다. 이 그림에 나타난 점들을 확인할 때 모든 채널에서 계획된 위치와 차이를 보이지 않았다. 또한 치료에 사용되는 어플리케이터 9종에 대하여 선원의 정상적 장착과 복귀를 시험한 결과에서도 어떤 인터록 메시지도 발생하지 않았으며 모두 정상적으로 작동하였다.

KAERI 와이어의 곡률시험 결과 반경 3.5 cm 이상인 원

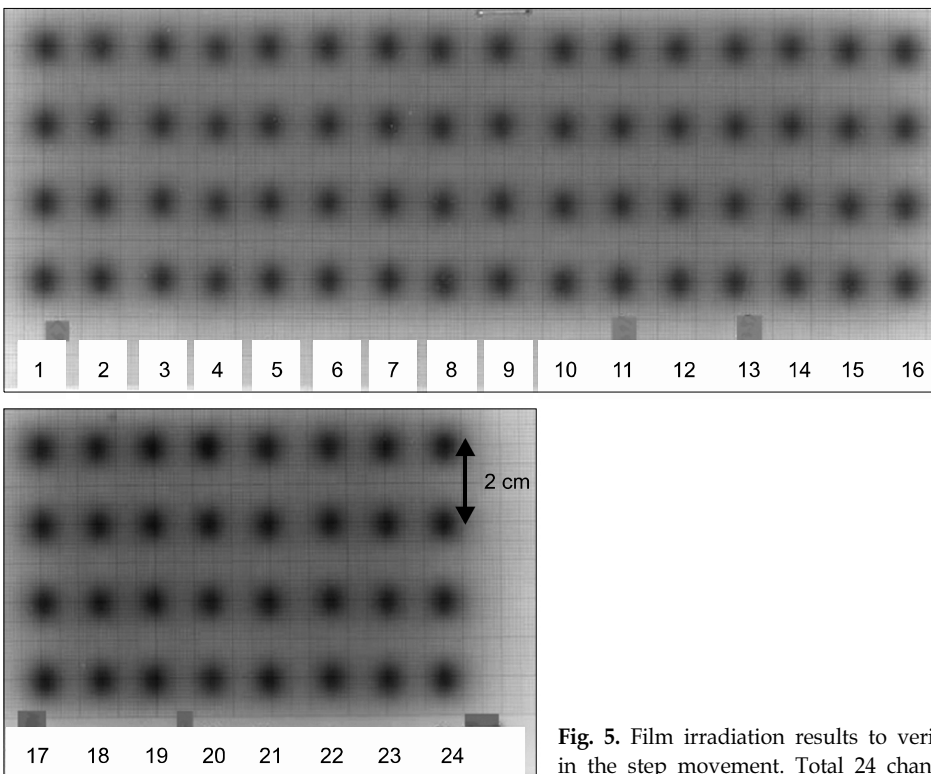


Fig. 5. Film irradiation results to verify the reproducibility for all channels in the step movement. Total 24 channels were tested by single applicator.

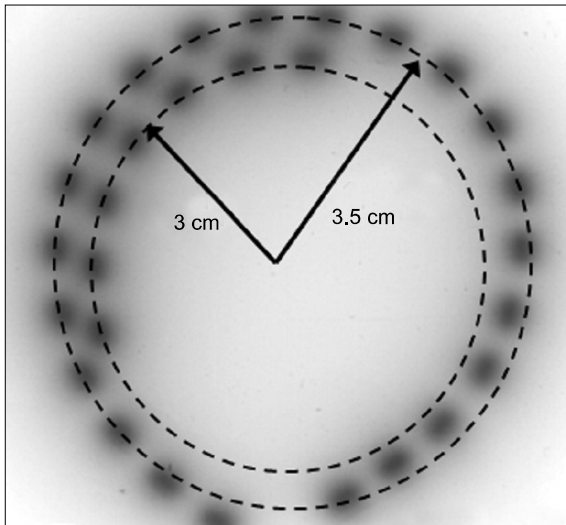


Fig. 6. The minimum curvature of radius of the IRRS-20 source wire is estimated to 3.5 cm in moving full circle. In case of moving in partially curved path about 3 cm of curvature of radius was available.

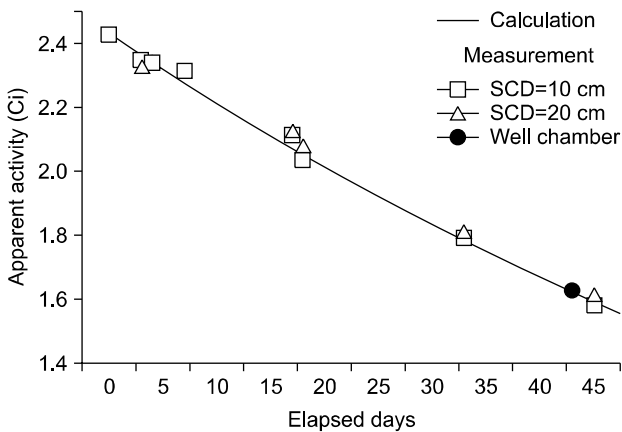


Fig. 7. Measured apparent activity for 45 days and comparison with calculated values by applying 73.831 days in half life of Ir-192 radioisotope.

형 경로에서 선원이 초기점까지 도달 가능하였으며, 반경 3 cm인 경우에는 굽어진 짧은 경로만을 도달할 뿐 전체 원 경로를 진행하지 못하였다(Fig. 6). 따라서 사용 가능한 최소 곡률반경은 3.5 cm였다. 물론 이 값은 사용되는 어플리 케이터에 따라 차이를 보일 수 있으므로 근접치료 시술 전 검사해야 한다.

근접치료기 선원이 노출된 상태에서 비상 단추를 누를 때 선원의 치료기속 보관위치로 정상적으로 복귀되었으며, 복귀시간은 5회 시행 결과 매회 일관적으로 약 3.5초로 측

Table 2. Measured air kerma strength and normalized to 10 Ci in apparent activity. For farmer type chamber the values are average air kerma strength and standard deviation for seven values measured for 45 days at two distances. The error is the percentage difference from the reference air kerma strength rate (4.084 cGy m²/h) at 1 m for 10 Ci source.

Chamber	Normalized air		
	SCD*	kerma rate (cGy/h)	Error (%)
Farmer type chamber	10 cm	4.096±0.047 [†]	0.30
	20 cm	4.107±0.056	0.56
Well type chamber	—	4.094	0.26

*Source to chamber distance, [†]Standard deviation.

정되었다.

Fig. 7은 45일 동안 총 8회에 걸쳐 측정된 겔보기 방사능의 변화를 나타낸다. 이 그림에서 계산값은 초기 방사능 2.4 Ci에 대하여 Ir-192 선원의 반감기 73.831일을 적용하여 계산한 것과 같다. 이 그림에서와 같이 KAERI 선원의 방사능의 변화는 계산값과 잘 일치하였다. 이 때 17일째 측정 한 결과의 경우에 SCD=10 cm와 20 cm에서 각각 2.0%와 2.3%의 오차를 보였는데, 측정시 거리의 오차와 대기조건의 오차로 인한 것으로 생각된다. 이 그림에서 파머형전리함의 측정값들을 10 Ci 선원에 대한 공기커마세기로 일반화하고 이를 산술 평균한 값을 우물형전리함의 측정값과 함께 제시하면 Table 2와 같다. 이 Table에 나타난 오차(error)는 공기커마세기의 측정값과 기준 값과의 차이를 나타낸다. 이 표에서 오차들은 0.6% 이내를 보이고 있으나 이는 대부분 측정 시 거리의 오차와 공기 중 측정시의 대기조건의 오차로 인한 것으로 생각된다. 파머형 전리함과 독립적으로 시행된 우물형전리함의 측정결과는 파머형전리함의 결과와 거의 차이를 보이지 않았다.

Fig. 8은 KAERI 선원과 기존 감마메드 선원의 팬텀속 선량분포의 필름계측 결과를 보여준다. 두 필름은 각각 겔보기 방사능 10 Ci에서 1분에 해당하는 방사선량이 조사되었으며, 계측 결과는 선원으로부터 2 cm 거리에 대하여 규격화되어있다. 앞서 언급된 바와 같이 본 연구에서 두 선원에 대한 선량분포의 비교는 감마방법⁹⁾(선량차이 3% 및 거리 차이 1 mm)을 사용하였다. 이 때 Fig. 8a에서와 같이 선원의 장착되는 중심부는 필름을 도려낸 부분이므로 선량평가가 불가능한 영역이며, 또한 선원으로부터 1 cm까지의 영역은 1분당 약 750 cGy (약 400%) 이상의 고선량이 조사되는 곳으로서 선량평가가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이

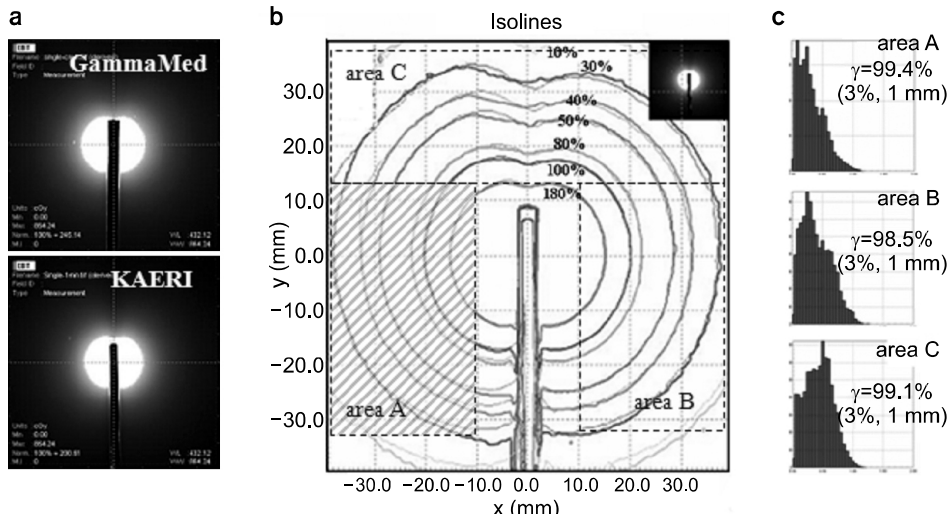


Fig. 8. Film dosimetry for GammaMed-212 and KAERI-IRRS20 Ir-192 source. (a) Scanned films, (b) isodose distributions for two sources (thick lines for GammaMed-212 and thin lines for KAERI IRRS20), and (c) passing rate in gamma methods for three area of interest with a criteria of 3% dose difference and 1 mm distance to agreement.

영역을 제외한 좌측, 우측, 그리고 상단 영역으로 나누어 각각 감마방법을 적용하였다. 이러한 조건을 적용한 세 영역에 대한 평가결과 모두 98% 이상의 합격율(passing rate)을 보였다.

고찰 및 결론

한국원자력연구원(KAERI)에서 개발한 선원을 감마메드 치료기에 장착하여 기계적 호환성과 선량적 특성을 평가하였다. 이동간격의 검사, 채널별 검사, 어플리케이션 검사, 그리고 비상시 작동의 검사 결과 선원과 장비와의 기계적 호환성은 매우 우수한 것으로 나타났다. 시간에 따른 방사능의 변화도 예상 값과 잘 일치하였으며, 파형전리함수와 우물형전리함수의 두 방법에 의하여 측정된 공기커마세기는 상호 좋은 일치를 보였다.

기존 선원과 KAERI 선원에 대하여 팬텀속 선량분포를 측정하고 비교한 결과에서도 측정오차 범위에서 상호 좋은 일치를 보였다. 물론 Fig. 1에 보인바와 같이 선원의 기하학적 구조가 약간 다른 점으로 인하여 전방의 선량분포에서 차이가 예상될 수 있으나 현재의 측정결과에서 명확하게 확인되지는 않았다. 그 이유는 구조상 차이를 가지는 선원의 윗부분의 경우에 캡슐 두께의 차이로 지극히 좁은 영역에서 일차선의 투과에 차이가 있을 수 있으나 주변으로부터 산란방사선의 기여, 선원 장전시 기하학적 오차, 그리고 필름 계측상의 오차 등으로 인하여 최종 측정결과에 명확하게 나타나지 않은 것으로 생각한다. 이 부분은 추후 정밀한 측정을 통하여 재확인할 필요가 있으나 선원의 길이

방향의 좁은 영역에서 발생하는 선량분포의 오차는 임상적 관점에서 중요하지 않을 수 있다.

선원의 기하학적 형태의 차이는 선량분포에 영향을 미칠 수 있는데, AAPM TG-43¹⁰⁾에 의하면 이를 기하학적인자(geometry factor)와 비등방성함수(anisotrophic function), 그리고 반경선량함수(radial dose function)로 분류하여 다루고 있다. 이 때 기하학적 인자는 작은 선원의 경우에 점선원으로 근사화할 수 있으나 비등방성함수와 반경선량함수는 실측을 통하여 평가되어야 한다. 이 때 측정으로 구한 비등방성함수는 선원의 개발 초기에 보고된 바 있으며,¹⁾ 몬테칼로 계산을 이용한 반경선량함수도 최근 보고된바 있다.¹¹⁾ 단지 반경선량함수의 경우에 측정과의 비교결과가 아직 없으므로 향후 정밀한 측정을 통한 평가가 필요하다.

향후의 연구에서 선량계산 인자와 선량분포의 분석이 중요한 이유는 기존에 사용했던 치료계획 프로그램과의 호환성에 대한 평가가 필요하기 때문이다. 본 연구에서 마지막으로 보인 필름계측의 결과는 선원의 한점에서 나타나는 선량분포의 기존 선원과 단순한 비교결과이며 치료계획 프로그램과 비교한 결과는 아니다. 따라서 향후에는 각각의 선량 인자들에 대한 정량적 연구가 시행되어야 할 것이며 이를 이용하여 KAERI 선원의 치료계획 프로그램과의 호환성에 대하여 평가함으로써 선원의 기초 자료 확보와 함께 임상적 적용을 위한 기반을 마련해야 할 것이다.

본 실험은 4개월에 걸쳐 시행되었으며 이 과정에서 400회 이상의 선원의 장착과 탈착이 있었다. 본 연구에서 실험 종료후 더미선원의 와이어와 캡슐용접부의 상태를 확인한 결과 초기와 동일한 상태임을 확인하였다. 또한 선원에 대

해서도 실험 후 KAERI에서 수거하여 검사한 결과 케이블 풀립이나 용접부 균열과 같은 물리적 결함은 발견되지 않았다. 이러한 부분의 과도한 점검은 와이어를 구동하는 플라스틱 휠의 심각한 마모를 유발할 수 있기 때문에 본 연구에서 별도 항목으로 다루지는 않았다. 그렇지만 선원 개발 초기인 만큼 선원의 사용 전후 또는 사용중 물리적 결함의 관찰은 반드시 필요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 한현수: 방사성동위원소 및 방사선원 개발에 관한 연구, 한국 원자력연구소 (2003)
2. www.kaeri.re.kr 보도자료 (2007.2.30)
3. www.ytn.co.kr 사회면 (2007.3.21)
4. **AAPM Task Group 41**: Remote afterloading technology. American association of physicist in medicine (Report 41), New York (1993)
5. **AAPM Task Group 40**: Comprehensive QA in Remote afterloading technology. American association of physicist in medicine (Report 46), New York (1994)
6. **AAPM Task Group 56**: Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 56. Med Phys 54:1557-1598 (1997)
7. **IAEA TECDOC 1274**: Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy. International atomic energy agency, Vienna (2002)
8. 정동혁, 김진기, 김기환 등: 원통형 전리함을 이용한 Ir-192 선원에 대한 공기커마세기 측정시 선질보정에 관한 연구. 의학물리 20:1-7 (2009)
9. **Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA**: A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Med Phys 25: 656-661 (1998)
10. **AAPM Task Group 43**: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources. American association of physicist in medicine (Report 51), New York (1995)
11. 이철영: 근접방사선치료의 방사선 측정기술 개발. 식품의약품 안전청 보고서 (2007)

Study on the Compatibility for an Ir-192 Source Manufactured by Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) in GammaMed Brachytherapy Machine

Dong Hyeok Jeong*, Kang Kyoo Lee*, Soo Kon Kim[†], Sun Rock Moon*

*Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Wonkwang University Hospital, Iksan,
[†]Kangwon University Hospital, Chuncheon, Korea

The compatibility with GammaMed-12i brachytherapy machine for an Ir-192 encapsulated source (IRRS20, KAERI, Korea) manufactured by Korea atomic energy research institute (KAERI) has been investigated. As a mechanical testing of compatibility, precise measurement of step movement with channels, measurement of curvature of radius for wire, and emergency return testing were performed. Periodic measurements of air kerma strength for 45 days were carried out to evaluate decay characteristics of Ir-192 radioisotope and comparison of dose distributions in phantom between KAERI and old sources previously used were performed by film dosimetry. KAERI source has a good compatibility with GammaMed12i machine as a result of mechanical testing. There are in good agreement with calculated values in activity characteristics and there were small differences in dose distributions around the source in comparison between KAERI and old source.

Key Words: KAERI, Ir-192, GammaMed