

자궁주위 방사선 근접치료시 MIRD 팬텀을 이용한 주변장기의 피폭환경평가

이 윤 중* · 노 영 창 · 이 재 기¹

한국원자력연구소 정읍분소 방사선연구원
¹한양대학교 시스템공학부

Assessment of Dose Distribution using the MIRD Phantom at Uterine Cervix and Surrounding Organs in High Doserate Brachytherapy

Yun-Jong Lee*, Young-Chang Nho and Jai-Ki Lee¹

Korea Atomic Energy Research Institute, 1266 Sinjeoung-dong Jeongeup-si jeonbuk, Korea
¹Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

Abstract - Computational and experimental dosimetry of Henschke applicator with respect to high dose rate brachytherapy using the MIRD phantom and a remote control afterloader were performed. A comparison of computational dosimetry was made between the simulated Monte Carlo dosimetry and Gammadot brachytherapy planning system's dosimetry. Dose measurements was performed using ion chamber in a water phantom. Dose rates are calculated using Monte Carlo code MCNP4B and the Gammadot. The computational models include the detailed geometry of Ir-192 source, tandem tube, and shielded ovoids for accurate estimation. And transit dose delivered during source extension to and retraction from a given dwell position was estimated by Monte Carlo simulations. Point doses at ICRU bladder/rectal points which have been recommended by ICRU 38 was assessed. Calculated and measured dose distribution data agreed within 4% each other. The shielding effect of ovoids leads to 19% and 20% dose reduction at bladder surface and rectal points.

Key words : Brachy therapy, MCNP, HDR, MIRD Phantom

서 론

1898년 Marie Curie에 의해 라듐이 발견된 이후 소형방사성동위원소를 종양에 삽입 또는 근접시켜 치료하는 근

접치료가 많이 시행되어 왔고 국내에서도 많은 치료 경험 이 축적되고 있다(추 등 1984; 허 1998; 김 등 2000).

특히, 원격조정 강내조사기(remote control afterloading system)의 개발로 고선량률(high dose rate: HDR)조사 치료가 가능하게 되었으며, 이는 시술자가 선원을 직접 조작하여 과도한 피폭이 유발되는 저선량률(low dose rate: LDR) 치료에 비해서 치료시간이 짧고, 종양주위 정상조

* Corresponding author: Yun-Jong Lee, Tel. 063-570-3271, Fax. 063-570-3259, E-mail. yjlee@kaeri.re.kr

직의 손상을 최소화하면서 종양근접부위에 집중적으로 방사선을 조사할 수 있으며 시술자가 피폭을 적게 받을 수 있다(Yoichi *et al.* 1998). 이러한 이점으로 점차 시술 적용 범위가 넓어지고 있어 국내에서도 저선량률치료에서 고선량률 원격강내조사에 의한 시술로 옮겨가는 추세이다.

HDR 치료에 있어서 중요한 것은 선원의 미소위치 변화에 따라 치료부위 및 그 주변장기가 받는 선량에 큰 차이를 보일 수 있다는 것이다(Yoichi *et al.* 1998). 따라서, ICRU 38에서는 기존에 일반적으로 처방선량을 결정할 때 사용하던 Manchester system방식을 보완하여 방광 표면 및 직장에서의 관심점 (reference points)과 주변장기 선량을 고려하여 처방선량을 결정하도록 권고하였다.

HDR 치료시 자궁 및 주변장기가 받는 선량평가는 의미 있는 연구라 생각되며, 인체 조직에서의 흡수선량을 직접측정하기 곤란하므로 MIRD 팬텀과 몬테칼로 모사를 이용하여 주변장기가 받는 선량을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

강내조사기는 Gammamed 12-i에 장착된 ¹⁹²Ir 선원을 사용하였다. 선원의 모양은 실린더형태로 0.6 mm 직경에 3.5 mm길이를 가지고 있으며 0.2 mm의 스테인레스강 (Type 304)으로 밀봉되어 있다 (Fig. 1). 선원은 치료 지점의 장착기와 선원을 저장하는 원격조정 강내조사장치 내를 이동을 위하여 스테인레스 강선에 연결되어 있

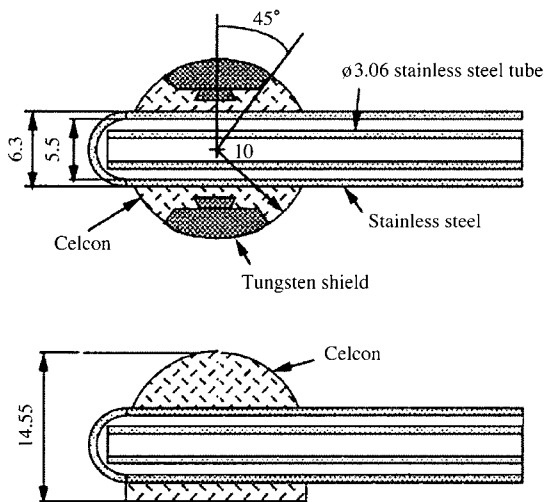


Fig. 1. Longitudinal section of applicators: Ovoid applicator, planes through and midway between shield center (Dimensions are in mm).

다. 장착기는 HDR 치료시 선원의 미세한 위치 변화에 따라 자궁주변의 선량분포가 큰 차이를 보이므로 선원을 정확한 병소 위치에 삽입·고정하고 시술 후 안전하게 제거할 수 있는 기구로서 본 연구에서는 난형체에 텅스텐 차폐체가 달려있어 방광 및 직장에 차폐효과를 가진 Manchester system 타입의 Henschke 장착기를 사용하여 (Fig. 3) 난형체 차폐효과를 3차원적으로 알아보고, 실용방사선치료프로그램 (GAMMADOT brachytherapy planning system, RTP)과 MCNP로 모사하여 그 결과를 상호 비교하였으며, 마지막으로 모의피폭체를 이용하여 자궁 및 주변장기의 흡수선량을 계산하였다.

또한 자궁 및 주변 정상조직이 받은 선량을 계산하기 위해 ORNL (Oak Ridge National Laboratory)에서 수립한 여성의 MIRD (Medical Internal Radiation Dose)형 모의피폭체를 이용하여 주변장기가 받는 선량을 MCNP로 계산하였다.

실용프로그램은 GAMMADOT RTP를 이용한 일반적인 자궁경부암 환자의 모의치료계획을 MCNP로 모사한 후 두 결과를 상호 비교하였다.

본 연구에서는 일반적인 자궁암 환자의 경우로서, 자궁의 길이는 5 cm로 가정하고 Manchester system에 의해 A점 (중심으로부터 자궁외벽까지 좌, 우 거리 약 2 cm 정도의 위치)의 5 Gy를 처방하는 모델을 계산하였다 (Fig. 2). 이때 사용한 장착기는 난형체 지름이 2 cm, 난형체 간의 간격은 3 cm으로 정하고, RTP에 의해 획득한 선원의 체류 위치와 시간을 MCNP로 모사한 결과를 상호 비교하였다. Manchester system에서의 특정한 위치에서

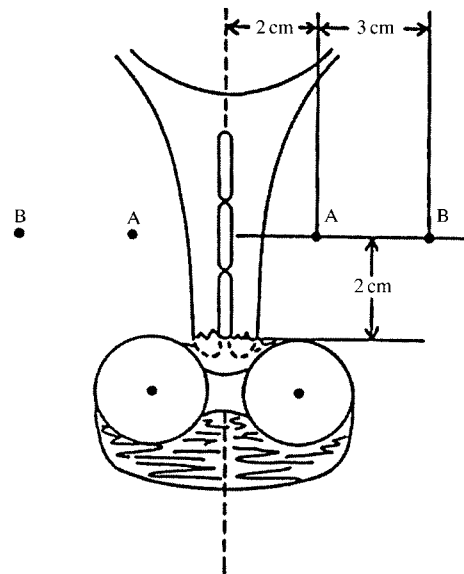


Fig. 2. Original definition of points A and B, according to the Manchester system.

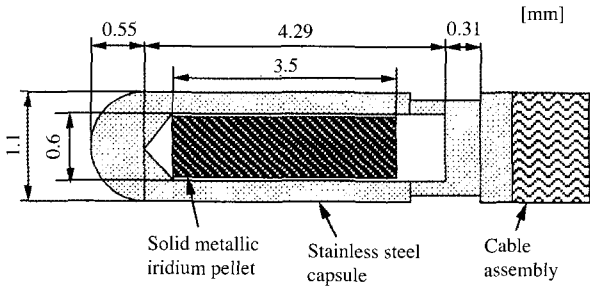


Fig. 3. Schematics of iridium source and capsule used with GAMMAMED remote control afterloaders.

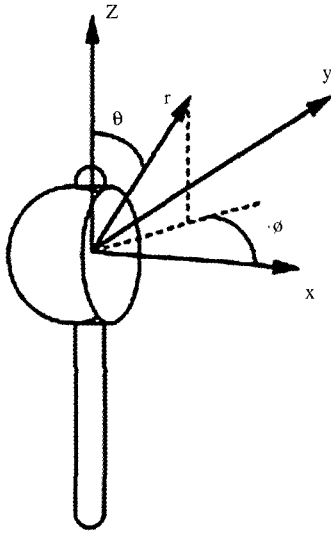


Fig. 4. Spherical coordinate system of shielded ovoid.

의 선량값을 사용하는것에 대해 ICRU에서 권고한 조사부위 체적체에 분포한 선량이 등 선량분포를 이루는지 알아보기 위해 가로, 세로 14×14의 격자로 point tally하여 등선량 곡선을 비교하였다.

또한, ICRU가 권고하는 방광표면 및 직장에서의 관심점 (reference points)과 주변장기 9곳을 정하여 각 점의 선량을 계산 비교하였으며, 이때 난형체의 선량분포를 알아보기 위해 방광표면과 직장까지의 거리를 1.5 cm과 3 cm로 가정하고 난형체의 차폐체 유무에 따른 선량분포를 알아보았다.

결 과

난형체로부터 거리가 1.5 cm와 3 cm에 각기 방광과 직장이 있다고 가정하고 장착기 난형체의 차폐효과를 알아보기 위해 $\theta=90^\circ$ 에서 θ 별 선량분포를 $\theta=30^\circ$ 의 값

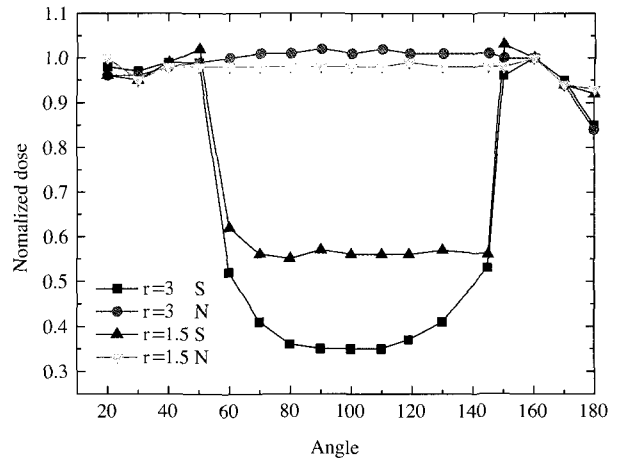


Fig. 5. Dose vs. polar angle for r=1.5 cm, 3 cm, normalized to dose at $\theta=160^\circ$.

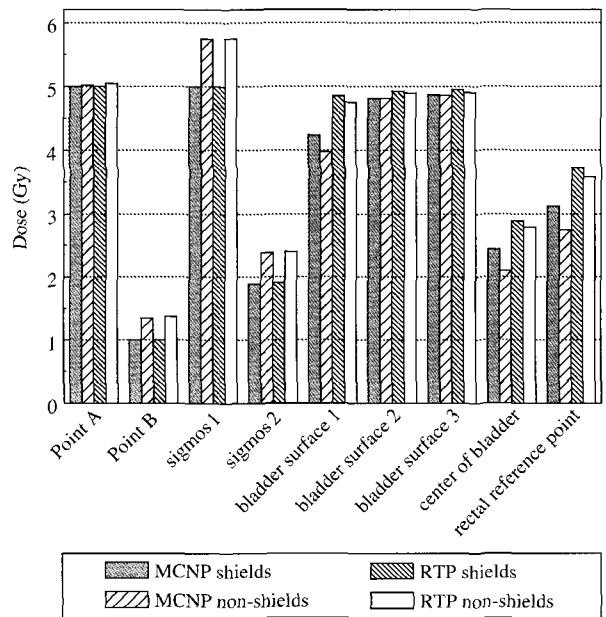


Fig. 6. Comparison of the doses calculated with shields and without shields by RTP and MCNP runs.

을 기준으로 규격화한 선량을 나타내고 있다(Fig. 5). 텅스텐 차폐체의 영향이 있는 θ 는 $45^\circ \sim 135^\circ$ 까지로서 다른 각도에서 보다 선량 값이 약 1/3으로 낮아짐을 볼 수 있으나 나머지 각도에서는 난형체 차폐의 유무에 상관없이 일정한 값을 보이고 있으며, θ 가 160° 에서 180° 까지는 선원의 후방으로 선원 연결선 등의 영향으로 선량이 감소되고 있다. θ 가 90° 를 중심으로 서로 대칭된 결과를 보이고 있다(Fig. 5).

자궁경부암의 치료시 사용되는 실용계산프로그램과

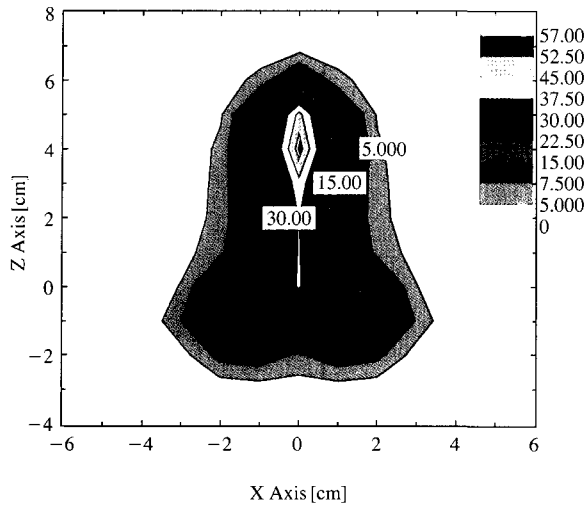


Fig. 7. Isodose curves obtained from MCNP calculated to 10 Ci of Ir-192 source (y=0).

MCNP로 모사한 결과를 서로 비교하였다 (Fig. 6). 계산 결과 좌우측 A점과 B점의 값은 차폐체 유무에 상관없이 값이 동일하였으나 방광의 표면과 직장에서 난형체의 차폐체 유무에 따라 MCNP는 19%, 20%, RTP는 15%, 19%의 차이를 보였다 (Fig. 6). 선원으로 부터의 거리가 멀어질 수록 두 계산치의 차이를 보이지 않았으나 근접한 거리의 일부 좌표 값에서 수 mm 차이에도 선량 값에 차이를 발견 할 수 있었다. 이는 선원으로부터 떨어진 거리에 대하여 물질을 고려하여 거리 역사승 법칙으로 계산하는 실용프로그램의 계산방법과 MCNP의 경우 선원의 행동을 확률적으로 계산하는 소프트웨어적 차이로 인해 선량 값의 차이가 생겼다고 보여진다.

y축 0인 상태에서 x, z평면상의 선량 분포는 정확하게 치료위치에 선량이 분포함을 알아보기 위하여 MCNP와 GAMMADOT를 각각 이용하여 A점에 5 Gy를 처방한 예제에 대하여 계산된 등선량 곡선의 그래프이다 (Fig. 7). 두 계산 모두 A점의 선량이 각각 5 Gy를 만족하였다.

GAMMADOT의 경우 부피에 대한 선량 계산을 할 수 없어 주변장기에 대한 선량평가는 여성의 MIRD (Medical Internal Radiation Dose)형 모의피폭체를 MCNP로 모사하여 주변장기가 받는 선량을 계산하였다 (Fig. 8).

난형체에 차폐체를 설치하지 않은 경우 자궁에 근접한 장기인 방광 (bladder), 난소 (ovaries), 작은창자 (small intestine), 골반 (pelvis), 큰창자 (large intestine)에 1.5, 1.15, 0.66, 0.43, 0.36, 0.30 Gy의 선량을 각각 받는 것으로 계산되었으며, 차폐를 한 경우 1.21, 1.13, 0.66, 0.40,

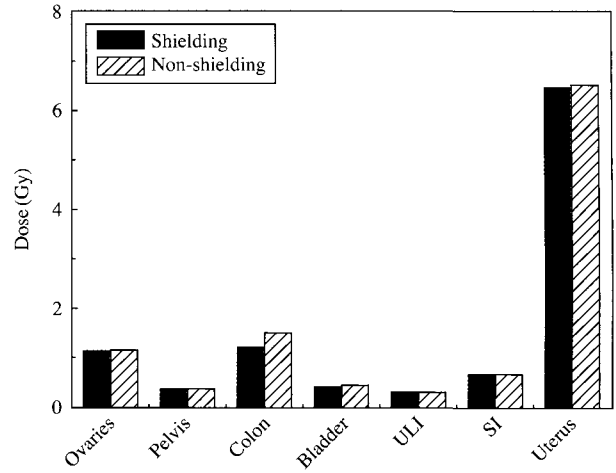


Fig. 8. Absorbed doses of ORNL phantom in an abdomen brachytherapy examination.

0.35, 0.29 Gy의 선량을 받는 것으로 계산되었다 (Fig. 8).

이중 큰창자는 오름창자 (ascending), 가로창자 (transverse) 내림창자 (descending), 직장 (sigmoid)을 모두 합한 값이며, 장착기와 가장 근접한 직장만을 계산한 결과 0.44 Gy로 계산되었다.

차폐 유무에 따라 선량의 차이가 가장 많은 장기는 방광으로 24%의 차이를 보였으며, 직장은 7%, 골반 7%, 가로창자 (upper large intestine: ULI) 2%, 작은창자 (small intestine: SI) 1%의 차이를 각각 보였다.

고 찰

본 연구는 환자의 의료상 피폭을 저감하는 치료환경 결정에 활용할 수 있도록 함이며, 방사선 근접치료의 일반적인 예제를 선정하여 MIRD형 모의피폭체에 선원의 위치 및 체류시간과 장착기 구조 등을 치료조건과 동일하게 구성한 후 몬테칼로 방법으로 모의 계산하여 자궁 및 주변장기에 대한 선량평가를 수행하였다.

그 결과 상용계산프로그램과 MCNP에 대해 ICRU가 정하는 방광 및 직장에 대한 관심점을 제외한 곳에서의 선량 차이는 4% 이내로 별 차이를 보이지 않았으나, 방광과 직장의 관심점에서 난형체의 차폐체 유무에 따라서 방광과 직장의 관심점에서 각각 19%, 20%의 차이가 나타나는 결과를 얻었다.

그러나, 자궁 및 주변장기가 받는 체적선량에 대해서는 상용계산프로그램에 의한 계산이 불가하여 MCNP모사를 MIRD모의피폭체에 대해 이용하여 계산한 결과 방광에서 27%, 직장에서 7%의 선량을 더 피폭되는 것

으로 계산되었다. 이는 환자의 일반장기에 대한 보호차원에서 매우 중요한 의미를 가지고 있다고 보며, 의료상 피폭을 줄일 수 있는 하나의 방법으로 제시되어야 한다고 본다.

또한, 모의 피폭체를 통한 선량평가는 우리나라 국민의 체형과 다를 수 있는 부분이 있고, 피폭체 자체가 표준화된 체격에 해당하여 편협적인 결과를 얻을 수 있다. 다만 환자의 치료계획 수립시 일반적인 계산이 어려운 장기를 가지고 있는 환자의 경우 치료계획을 수립함에 있어 도움이 될 수 있다고 판단된다.

사 사

본 연구는 한국원자력연구소 방사선조사시설운영과제의 지원으로 수행되었으며, 한양대학교 원자력공학과, 연세의료원 방사선종양학과 분들에게 감사드립니다.

적 요

Manchester system 타입의 장착기중 상, 하부에 차폐체가 장착되어 있는 Henschke 장착기를 이용하여 자궁암 근접치료시 자궁 및 주변장기의 선량분포를 평가하기 위하여 치료계획수립에 사용되는 실용프로그램 결과와 몬테칼로 모의계산 결과를 비교하였다. 또한 자궁 및 주변 정상조직이 받은 선량을 계산하기 위해 ORNL (Oak Ridge National Laboratory)에서 수립한 여성의 MIRD (Medical Internal Radiation Dose)형 모의피폭체를 이용하여 주변장기가 받는 선량을 MCNP로 계산하였다. 몬테칼로 모사에는 MCNP 4B코드를 사용하였으며, 실용계산프로그램에는 GAMMADOT를 이용하였다. MCNP 계산에는 ^{192}Ir 선원과 장착기의 기하학적 모양을 정밀하게 모사하여 계산 오차를 줄이도록 하였으며, 치료계획용 실용계산프로그램의 계산 조건과 동일하게 치료선원의 강내 체류시간과 체류위치를 적용하여 선량을 계산하였

다. 주요 선량 비교 평가점은 Manchester system에서 사용되는 4곳과 ICRU 38에서 Manchester system을 보완하기 위해 제시한 방광표면 및 직장이었다. 실용계산 결과는 MCNP모의계산의 결과와 비교했을 때 대부분 위치에서 상대오차 4% 이내의 결과를 보였고, 난형체의 차폐체 장착효과로 인한 방광과 직장에서 선량감쇠효과는 각각 19%, 20%였다.

참 고 문 헌

- 추성실, 오원용, 서창욱, 김귀언. 1984. 자궁경부암 ICR장치에 의한 직장 및 방광의 피폭선량 평가. 대한치료방사선학회지. 2:261-270.
- 허승재. 1998. 자궁경부암 고선량을 강내조사 치료의 국내 현황과 적정치료방법. 대한치료방사선과학회지. 16:21-24.
- 김우철, 김귀언, 정은지, 서창욱, 홍순원, 조영갑, 노준규. 2000. 자궁경부선암 환자에게 고선량을 강내치료와 저선량을 강내치료와의 비교. 대한방사선종양학회지. 18: 32-39.
- Yoichi Watanabe, jitendra Roy and Patrick J Harrington. 1998. Experimental and Monte Carlo dosimetry of the Henschke applicator for high dose-rate Ir-192 remote afterloading. Med Phy. 25:736-745.
- Ravindr Nath, Lowell L Andron, Gary Luxton, Keith A Weaver, Jeffrey F Williamson and Ali S Meigooni. 1995. Dosimetry of interstitial Brachytherapy sources. Med Phy. 22:209-234.
- Ballester F, C Hernandez, J Perez-Calatayud and J Lliso. 1997. Monte Carlo calculation of dose rate distributions around 192Ir wires. Med Phy. 24:1221-1228.
- ICRU. 1985. Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology, International Commission on Radiation Unit and Measurements.

Manuscript Received: September 18, 2006

Revision Accepted: September 29, 2006

Responsible Editor: Jin Kyu Kim