

□ 기술 보고서 □

EGS5 기반 사용자코드의 작성과 초기 계산결과

원광대학교병원 방사선종양학과, *전북대학교병원 방사선종양학과, †단국대학교병원 방사선종양학과,
‡충남대학교병원 방사선종양학과, §동아대학교병원 방사선종양학과,
||울지의과대학교병원 방사선종양학과, ||원자력의학원 방사선종양학과

정동혁 · 김진기* · 신교철† · 김기환‡ · 김정기§ · 오영기|| · 지영훈||

최근 발표된 EGS5 몬테칼로 코드의 방사선치료 응용을 위한 시험코드를 작성하였다. 본 시험코드는 점선원 모델과 원통형 팬텀에 대하여 깊이선량을 계산하도록 작성되었다. 시험코드의 평가를 위하여 6, 9, 12, 15 MeV 전자선 그리고 Co-60, 10 MV 광자선에 대한 깊이선량을 계산하고 DOSRZ/EGS4의 결과와 비교하였다. 시험코드와 DOSRZ 코드와의 깊이선량 계산결과의 차이는 전자선에서 약 ±1.5% 이내, 광자선에서 약 ±3.0% 이내를 보였다.

중심단어: EGS5, 몬테칼로 계산, 시험코드

서 론

EGS 코드(Electron Gamma Shower code)는 몬테칼로 방법(Monte Carlo Method)으로 전자와 광자의 물질과의 상호작용을 연구하기 위한 컴퓨터 프로그램이다. 1985년 SLAC (Stanford Linear Accelerator Center)에서는 1 MeV 이하의 광자 및 전자에너지에 대하여 계산을 보완한 EGS4¹⁾를 발표하였는데, 이 코드는 1990년대 의학물리 분야의 이론 및 실험적 연구에 널리 기여한 코드로 인식되고 있다.

최근 SLAC에서는 캐나다 NRCC^{2,3)} 및 일본의 KEK의 연구⁴⁾를 기반으로 계산 알고리즘과 사용 환경이 변화된 EGS5⁵⁾를 발표하였다. SLAC Report-730⁵⁾에 의하면 EGS5는 고에너지 입자에 대한 제동복사와 쌍생성 그리고 저에너지 자료와 전자수송 알고리즘에 있어서 보완되었으며, 저에너지(약 100 keV 영역)에서 광전효과와 콤프산란, 그리고 전자의 K각 이온화(K-shell electron impact ionization) 등에 있어서도 보완이 이루어졌다고 밝히고 있다.

실행 환경의 측면에서 EGS5는 기존의 모트란(mortran)

스크립트(script) 대신 포트란(fortran) 언어를 직접 사용한다. 이때 예전의 EGS4 실행에서 물질자료의 계산에 사용된 PEGS4 코드는 EGS5 코드에 포함되어 컴파일하도록 되어 있다. 현재 EGS5는 사용방법 및 편의성, 계산 정확성, 효율 등에 있어서 충분히 평가되어 있지 않지만 잠정적으로 추후 방사선 분야 몬테칼로 계산의 정확성 향상에 기여할 것으로 기대한다.

방사선치료 응용의 측면에서 현재 EGS5 코드 패키지(package)에는 흡수선량 계산을 위한 사용자코드(USER CODE)가 없다. EGS4 코드의 경우에 DOSRZ, XYZDOS와 같은 흡수선량 계산을 위한 사용자코드를 제공하고 있어서 일반적 계산의 경우에 추가적인 프로그램의 작성 없이 편리하게 사용할 수 있었다. 물론 복잡한 구조를 계산하는 경우에는 새로운 사용자코드의 작성이 필요한데, 이 경우에도 알려진 사용자코드를 참조하는 경우에 보다 효율적인 프로그램 작업을 수행할 수 있다. 한편 최근 NRCC에서 발표한 EGSnrcMP⁶⁾는 기존의 EGSnrc²⁾를 윈도우 환경에서 쉽게 사용할 수 있도록 개발한 것인데, 현재 원통형 물질에 대한 계산만이 가능하다. 따라서 이러한 사용 환경은 편리하지만 물질의 기하학적 형태, 물리량 계산, 결과 분석에 있어서 개발된 프로그램에 전적으로 의존해야 하므로 사용상 제한이 있다. 따라서 현재 EGS5에 관심을 가지는 연구자에게 필요한 것은 EGS5 환경에서 실행 가능한 사용자코드의 작성 기법을 배양하는 것이라고 할 수 있다.

본 연구는 과학기술부 원자력연구개발 중·장기 사업 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

이 논문은 2006년 6월 14일 접수하여 2006년 6월 22일 채택되었음.

책임저자 : 정동혁, (570-711) 전북 익산시 신용동 344-2

원광대학교병원 방사선종양학과

Tel: 063)840-1232, Fax: 063)840-1239

E-mail: physics@wmc.wonkwang.ac.kr

이러한 배경과 함께 본 연구에서는 EGS5 환경에서 흡수선량을 계산할 수 있는 초보적 사용자코드(이후 시험코드라고 함)를 작성하였다. 본 시험코드는 점선원 모델(point source model)을 사용하며 단순한 원통형 기하학적 구조에서 깊이를 따라 중심영역의 깊이선량을 계산하도록 되어 있다. 본 연구에서는 작성된 시험코드를 평가하기 위하여 6, 9, 12, 15 MeV 전자선 그리고 Co-60과 10 MV 광자선에 대한 깊이선량을 계산하고 그 결과를 EGS4 기반의 DOSRZ 코드(DOSRZ/EGS4)의 결과와 비교하였다. NRCC의 연구⁷⁾에서 DOSRZ와 DOSRZnrc에 대하여 100 keV에서 10 GeV까지 전자선에 대한 물 팬텀의 깊이선량을 비교한 결과 두 코드 간에 차이가 거의 없었으므로, 본 시험코드의 경우에도 만약 수치연산 구조에 특별한 오류가 없다면 깊이선량의 계산결과는 DOSRZ의 결과와 일치할 것이다.

본 논문에서는 작성된 EGS5 기반 시험코드의 초기 계산결과를 제시함과 함께, 이 결과들과 DOSRZ 결과와의 일치 여부만을 다루고자 한다. 본 연구는 추후 EGS5의 향상된 알고리즘을 상세히 분석하거나 진보된 사용자코드를 작성하기 위한 초급 단계로서 의미를 가진다고 할 수 있다.

다음의 재료 및 방법에서 개발된 시험코드의 구성과 물리적 요소를 정리하였으며, 결과 및 토의에서는 시험코드의 계산결과를 DOSRZ의 결과와 함께 제시하고 상호 비교하였으며, 계산시간의 차이에 대해서도 언급하였다.

재료 및 방법

시험코드는 주프로그램(main program)과 HOWFAR, AUSGAP의 두 서브루틴(subroutine)으로 구성된다.⁵⁾ 주프로그램에서는 물질, 기하학적 인자, 선원모델, 에너지, 그리고 계산

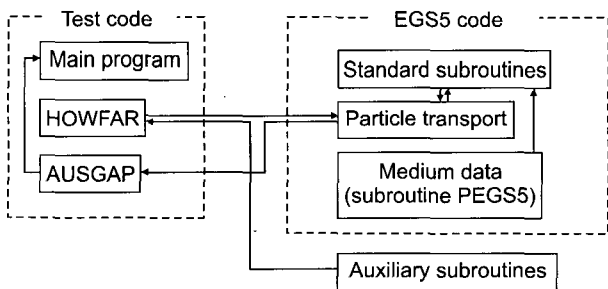


Fig. 1. Test code configuration with EGS5 code. The test code is composed of main program and two subroutines of HOWFAR and AUSGAP. The HOWFAR communicate to transport system in EGS5 and auxiliary subroutines designed for calculation of geometric parameters.

조건들에 관한 값들을 정의하고, EGS5의 최종 계산결과를 통계적으로 처리하여 출력하도록 한다. HOWFAR는 물질의 기하학적 구조와 관련된 인자를 계산하며, AUSGAP은 수행한 세부 연산결과들을 저장하는 기능을 가진다. Fig. 1에 EGS5의 구성을 간단히 나타내었다. 이 그림에서 우측에 표시된 PEGS5 서브루틴은 물질자료를 계산하는 기능을 가지는데, EGS4의 경우에 독립적으로 실행되었으나 EGS5에서는 계산 서브루틴의 일부로 간주된다. 그리고 보조 서브루틴(Auxiliary subroutines)은 기하학적 구조를 계산하고 처리하는 여러 서브루틴들로 구성되어있으며 시험코드에서 요청하는 자료를 계산한다.

주프로그램에서 사용된 선원의 모델은 Fig. 2와 같다. 이 모델은 점선원 모델로서 초기의 전자 또는 광자는 팬텀과 수직으로 거리 SSD 만큼 상단에 위치한 가상의 선원으로 부터 출발하여 반경 f_s 을 가지는 팬텀 표면의 조사면 속으로 입사하는 것으로 가정된다. 이때 입자의 입사좌표(x_0, y_0, z_0)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_0 &= f_s \sqrt{\xi_1} \cos 2\pi\xi_2 \\ y_0 &= f_s \sqrt{\xi_1} \sin 2\pi\xi_2 \\ z_0 &= 0.0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ξ_1 와 ξ_2 는 난수(random number)이다. 결정된 입사좌표로부터 초기 방향코사인(u_0, v_0, w_0)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u_0 &= x_0/D \\ v_0 &= y_0/D \\ w_0 &= z_0/D \end{aligned} \quad (2)$$

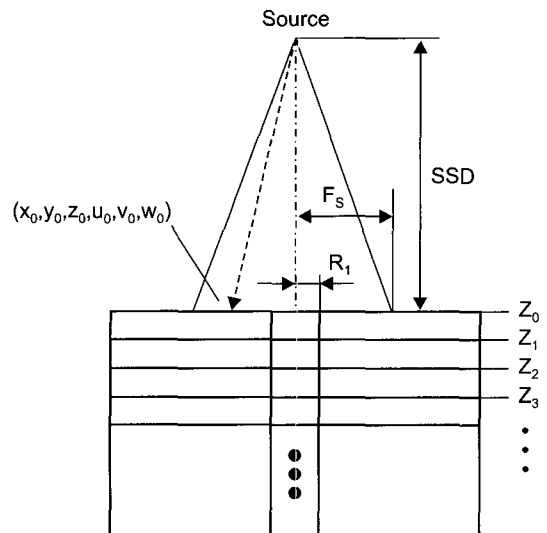


Fig. 2. Point source model used in this study.

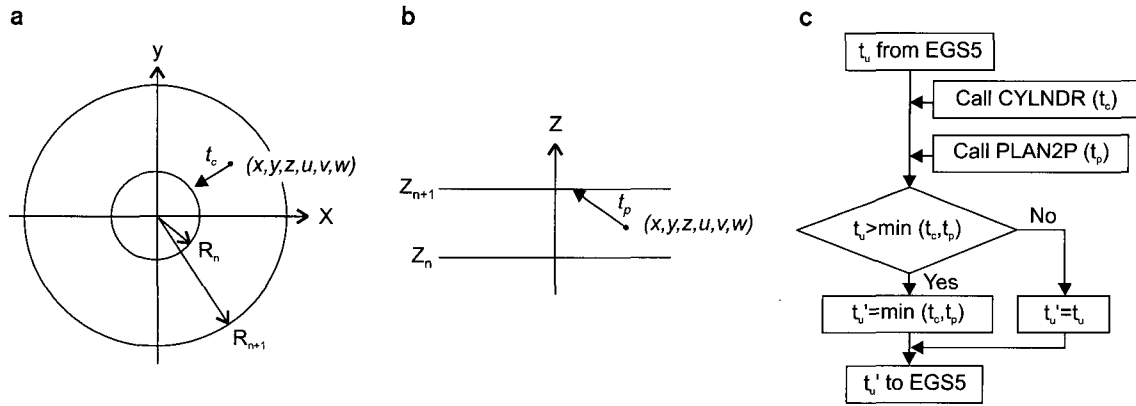


Fig. 3. Mathematical elements in subroutines of (a) CYLNDR, (b) PLAN2P, and (c) HOWFAR, where t_c and t_p are the distance from current position to interface of the cylinder and plane. The t_u and t_u' are the step length (called USTEP in EGS) evaluated by EGS and user respectively.

여기서 $D = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + SSD^2}$ 이다. 입자의 초기 에너지는 전자의 경우에 $E_0 = E_K + 0.511$, 광자의 경우에 $E_0 = E_K$ 로 주어 지는데, 이때 E_K 는 MeV 단위의 초기 입사입자의 운동에너지이다. 본 계산에서 전자의 운동에너지는 6, 9, 12, 15 MeV의 단일에너지이며, 광자의 에너지는 Mohan 등⁸⁾이 연구한 Co-60의 감마선과 10 MV X-선 스펙트럼이었다. 또한 하한에너지(cutoff energy)는 전자 및 광자에 대하여 각각 0.521과 0.01 MeV가 적용되었다. 이 모델은 실제 빔의 기하학적 형태에 대한 근사로서 널리 이용되며 DOSRZ 또는 DOSRZnrc³⁾와 같은 사용자코드에서도 적용되고 있다. Fig. 2에서 본 연구에 적용된 값들은 $SSD=100$ cm, $f_s=5$ cm $R_1=1$ cm 그리고 수직방향 검출기의 두께($Z_n - Z_{n-1}$)는 전자선 계산에서 0.1 cm, 광자선 계산에서 0.2 cm이다. 여기서 R_1 은 빔축을 따라 흡수선량을 계산하는 검출체적의 반경이다. HOWFAR의 작성에서는 EGS5의 보조 서브루틴인 CYLNDR와 PLAN2P를 사용하였다. Fig. 3에 두 서브루틴의 역할을 간략히 나타냈다. 이 그림에서와 같이 CYLNDR는 원의 내부 또는 외부에 위치한 입자에 대하여 진행방향으로 원주까지의 거리(t_c)를 계산하며, PLAN2P는 두 평면 사이에 위치한 입자에 대하여 진행방향으로 평면까지의 거리(t_p)를 계산한다. Fig. 3c는 HOWFAR에서 자료의 흐름을 보여준다. 이 그림에서와 같이 HOWFAR에서는 EGS에서 초기 평가한 입자의 스텝(t_u ; 기하학적 구조와 무관한 진행거리)을 CYLNDR와 PLAN2P를 통하여 검토한 후 최종적으로 적절한 스텝(t_u' ; 기하학적 구조를 고려한 진행거리)을 결정하여 EGS에 응답하는 구조를 가진다.

AUSGAP의 작성에서는 입자 수송 과정에서 물질에 흡

수되는 에너지를 현재 입자의 영역에 저장하도록 하였다. EGS에서는 전자의 진행 중 손실된 에너지, 하한값(cutoff)에 도달한 입자의 에너지, 그리고 광전효과에서 원자의 결합에너지가 물질에 흡수되는 것으로 간주하며 이를 "EDEP" (energy deposited)라는 변수로서 AUSGAP에 전달한다. 따라서 EGS로부터 전달받은 EDEP 변수를 지정된 검출영역에 누적 저장하도록 AUSGAP을 작성하였다. 이러한 방법으로 주어진 N 개의 입사입자에 대한 계산이 종료되면 주 프로그램에서 다음과 같이 흡수선량을 계산하였다.

$$D = 1.6 \times 10^{-10} \frac{1}{\phi} \left(\frac{E_{dep}}{\rho V} \right) \quad (3)$$

여기서 ϕ 는 입사면에서 입자의 플루언스로서, $\phi = N / (\pi f_s^2)$ 와 같으며, 이때 $\pi=3.14159265\dots$, f_s 는 팬텀표면에서 조사면의 반경이다. 이 식에서 E_{dep} 는 N 개의 입사입자에 대하여 검출 영역에 흡수된 총에너지(MeV 단위)이다. 또한 ρ 와 V 검출영역의 밀도와 체적으로서, ρV 는 검출영역의 질량(g)이다. (3)식에서 1.6×10^{-10} 은 MeV/g 단위를 J/kg으로 변환시키는 인자이다. 따라서 D 의 단위는 $Gy\text{cm}^2$ 로서 물리적 의미는 단위 입사 플루언스당의 흡수선량(Dose per incident fluence)과 같다. 본 계산에서 총입자수(N_0)전자에 대하여 10^6 그리고 광자에 대하여 10^7 이었다.

계산결과와 통계적 불확정성(statistical uncertainty)을 평가하기 위하여, EGS 코드에서 일반적으로 사용하는 배치 방법(batch method)²⁾을 사용하였다. 이 방법은 계산 입자수 N 에 대한 계산을 순차적으로 n 번 수행한 후, $D_1 D_2 \dots D_n$ 을 구하여 상대적 불확정도(relative uncertainty)를 다음과 같이 계산한다. 이때 계산 입자수는 총입자수(N_0)로부터, $N =$

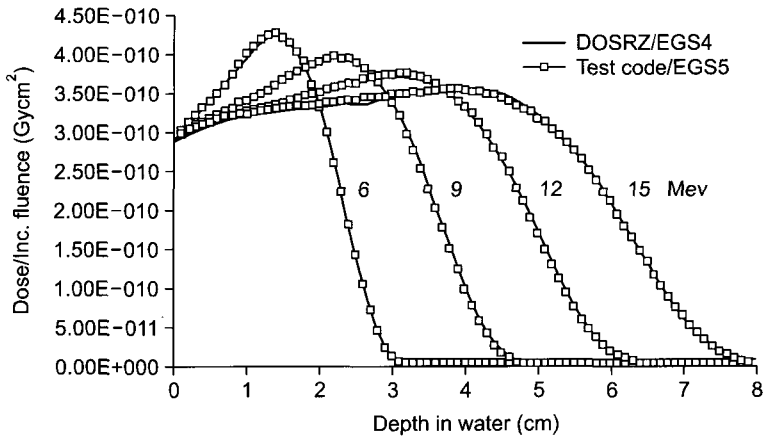


Fig. 4. Electron depth dose curves calculated with EGS5 based test code and EGS4 based DOSRZ code (not normalized).

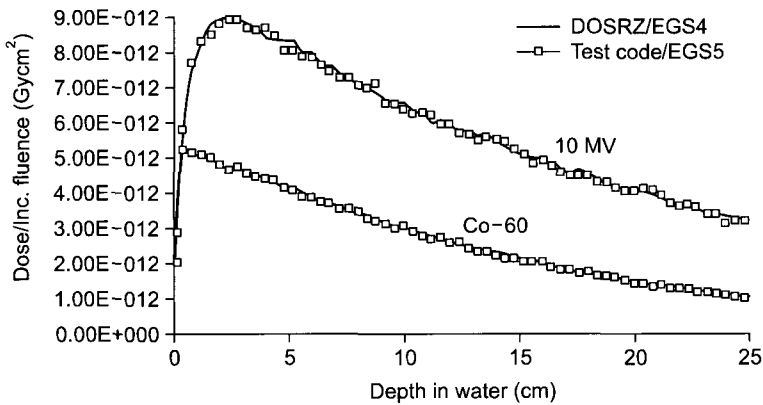


Fig. 5. Photon beam depth dose curves calculated with EGS5 based test code and EGS4 based DOSRZ code (not normalized).

N_0/n 으로 주어지며, 각 계산 시작 시 시작 난수(initial random number)는 서로 다르다.

$$s = \pm \frac{1}{\langle D \rangle} \sqrt{\frac{\langle D^2 \rangle - \langle D \rangle^2}{n-1}} \times 100 [\%] \quad (4)$$

여기서 $\langle D^2 \rangle$ 과 $\langle D \rangle$ 은 n 개의 계산 결과에 대한 제곱평균과 평균이다. 본 계산에서 $n=10$ 을 적용하였다. 본 연구에서는 이러한 일련의 과정들을 포트란 언어로 작성하였으며 이를 EGS5 환경에 적용하였다.

본 연구에서는 작성된 시험코드의 검증을 위하여 계산 결과를 DOSRZ의 계산결과와 비교하였다. DOSRZ는 본 사용자코드와 기하학적 구조가 동일하며 또한 점선원 모델을 지원하므로 개발된 사용자코드의 계산결과를 쉽게 평가할 수 있다. 아울러 DOSRZ는 최종 흡수선량의 계산과 통계적 처리에 있어서 (3)식과 (4)식을 적용하고 있으므로, 일반화를 하지 않은 깊이선량의 원시자료(raw data)의 비교를 통하여 현재 개발된 사용자코드의 타당성을 보다 정확히 확인할 수 있다.

Table 1. Determined electron parameters (see text) defined by AAPM TG-21 in unit of cm using calculated depth dose curves.

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV
d_{max}	1.4/1.4	2.2/2.2	3.2/3.1	3.9/3.8
d_{85}	1.9/1.9	3.0/3.0	4.1/4.1	5.2/5.2
d_{50}	2.3/2.3	3.6/3.6	4.9/4.9	6.2/6.2
R_p	2.9/2.9	4.4/4.4	5.8/5.8	7.4/7.4

결과 및 토의

Fig. 4는 6, 9, 12, 15 MeV 전자선에 대하여 그리고 Fig. 5는 Co-60과 10 MV 광자선에 대하여 시험코드 및 DOSRZ로 계산한 깊이선량을 보여준다. 이 그래프에서 세로축은 (3)식으로 계산한 결과이며 특정 값에 대하여 일반화하지

않은 값이다.

계산결과로부터 전자선에 대한 기본 변수들을 비교하기 위하여 Fig. 4의 계산결과를 최대선량깊이에 대하여 일반화하고, d_{max} , d_{85} , d_{50} , R_p 를 구하였으며 이를 Table 1에 나타냈다. 여기서 d_{max} , d_{85} , d_{50} , R_p 는 각각 최대 흡수선량 깊이와 최대 흡수선량의 85%와 50% 깊이, 그리고 실비정 (practical range)으로서 AAPM TG-21⁹⁾에서의 정의와 같다. 이 표에서와 같이 12 MeV와 15 MeV에 대한 d_{max} 를 제외하고는 상호 일치하고 있다. 이때 깊이의 오차는 검출영역의 두께로서 0.1 cm로 간주할 수 있다.

이와 같이 전자선에 대한 기본 변수들은 두 코드에 있어서 큰 차이를 보이지 않고 있다. 깊이에 따른 차이를 비교하기 위하여, 깊이의 함수로서 DR(d)을 다음과 같이 정의하였다.

$$DR(d) = \frac{D_{Test\ code}(d)}{D_{DOSRZ}(d)} \quad (5)$$

이 식에서와 같이 DR(d)은 깊이 d의 함수로서 시험코드

의 계산 값들을 DOSRZ의 값으로 나누는 형태인데, Fig. 4와 5의 자료를 이용하여 을 계산한 결과를 Fig. 6과 7에 나타냈다. Fig. 6에서 z/R_p 는 앞서 구한 실비정을 단위로 취한 깊이이다. 전자선에 대한 DR(d)의 결과를 볼 때, 표면에서 $z/R_p=0.8$ 까지 비교하면 6과 9 MeV 전자선의 경우에는 대부분 DR=0.99-1.01 범위 즉, $\pm 1\%$ 이내를 보이고 있으며, 12와 15 MeV의 경우에 대부분 DR=1.010-1.015 범위로서, 시험코드의 결과가 1.0-1.5%범위에서 높은 경향을 보였다. 이 때 가장 큰 차이를 보인 것은 9 MeV에서 $z/R_p=0.773$ 그리고 12 MeV에서 $z/R_p=0.586$ 인 깊이로서, 각각 DR=0.981 (-1.9%)와 DR=1.019 (+1.9%)로 나타났다. 광자선의 계산결과는 10 MV의 경우에 깊이 0.2와 4.0 cm에서 각각 DR=0.946 (-5.4%) 및 1.040 (+4.0%)을 보인 것을 제외하고는, 대부분의 경우에 DR=0.97-1.03 범위, 즉 $\pm 3\%$ 이내의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이때 국소적으로 높은 차이를 보이는 것은 몬테칼로 계산의 통계적 요동(fluctuation or noise)으로 보이며 계산 입자수를 증가

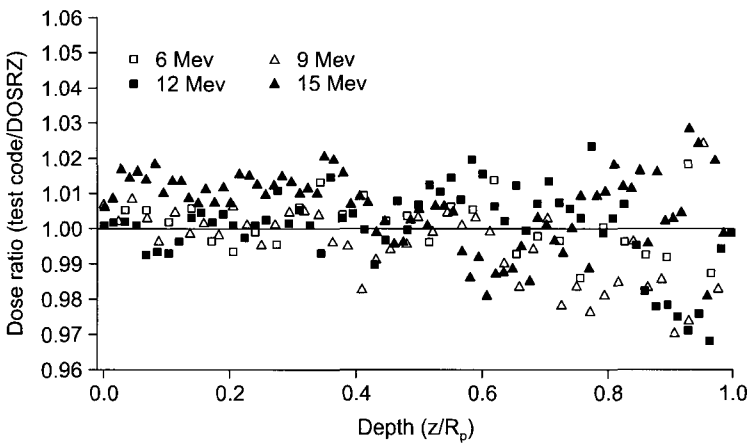


Fig. 6. The ratio of depth dose calculated by test code to DOSRZ/EGS4 for electron beams, where z/R_p is a reduced depth in unit of practical range (see Table 1).

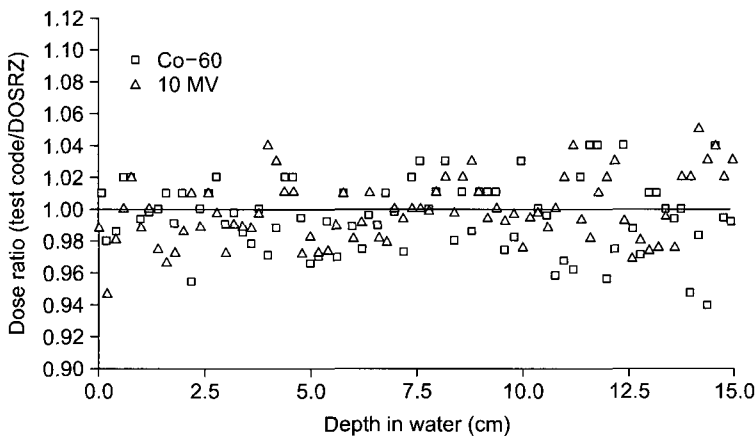


Fig. 7. Same as Fig. 6 except for photon beams.

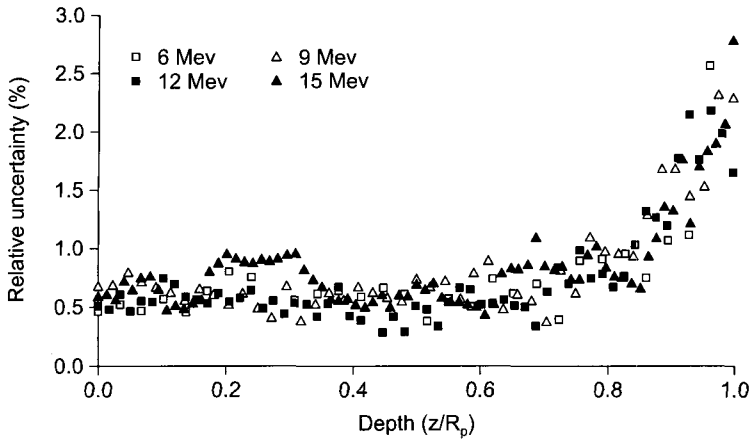


Fig. 8. Statistical uncertainty (relative) of the results calculated with test code for electron beams, where z/R_p is a reduced depth in unit of practical range (see Table 1).

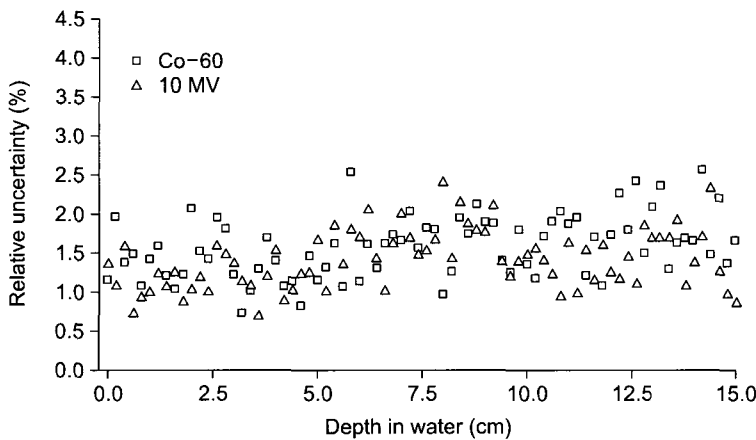


Fig. 9. Same as Fig. 6 except for photon beams.

시켜 통계적 불확정도를 보다 낮춘다면, 이러한 통계적 요동은 제거될 것으로 생각된다.

본 시험코드의 계산값들에 대한 상대적 불확정도(s)는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 나타났다. 전자선(Fig. 8)의 경우에서 표면에서 $z/R_p=0.8$ 까지 $s=\pm 0.3\sim 1.0\%$ 범위, 광자선(Fig. 9)의 경우에서 표면에서 10 cm 깊이까지 $s=0.7\sim 2.5\%$ 범위를 보였다. 이때 평균값(\bar{s})은 6, 9, 12, 15 MeV 전자선에 대하여 각각 $\bar{s}=\pm 0.61\%$, $\pm 0.63\%$, $\pm 0.55\%$, $\pm 0.70\%$ 이며, Co-60과 10 MV 광자선에 대하여 각각 $\bar{s}=\pm 1.49\%$ 와 $\pm 1.37\%$ 를 보였다. 이 결과는 DOSRZ의 경우에도 유사한 경향을 보였다. 사실상 Fig. 4와 5의 계산결과에는 불확정도가 포함되어 있으므로 이를 고려하는 경우에 Fig. 6, 7과 같은 비교는 불확정도 범위에서 근사적 비교라고 할 수 있다. 앞의 비교에서 전자선의 경우에 깊이 $z/R_p=0.8$ 이내 그리고 광자선의 경우에 깊이 10 cm 이내에서만 비교한 것도 계산결과의 불확정도가 비교적 낮은 영역이기 때문이다. 따라서 문테칼로 계산결과간의 작은 차이를 자세히 논의

하기 위해서는 계산결과들의 불확정도가 지극히 작아야 하지만 계산입자수를 무한히 증가시켜야 하는 어려움이 있다. 본 계산의 경우에 전자에 대하여 10^6 , 광자에 대하여 10^7 의 입자수를 사용하였는데, 만약 두 코드에 내장된 알고리즘의 차이로 인한 결과의 작은 차이들을 비교한다면 보다 많은 입자에 대한 계산을 수행해야 한다. 그렇지만 본 연구의 목적상 이와 같은 비교 결과는 현재 작성된 시험코드를 평가하기에 큰 무리는 없다.

지금까지의 결과를 요약하면 본 시험코드는 고에너지 전자선의 경우에 약 $\pm 1.5\%$ 이내($\bar{s} \approx \pm 0.6\%$), 광자선의 경우에 약 $\pm 3\%$ 이내($\bar{s} \approx \pm 1.4\%$)에서 DOSRZ의 결과와 일치한다고 할 수 있다. 본 논문에서는 차이의 원인에 대하여 특별히 논의하지 않는다. 단지 본 연구에서 EGS5 환경에서 실행가능하도록 작성한 시험코드의 계산결과가 DOSRZ의 결과와 큰 차이를 보이지 않은 점으로 미루어 잠정적으로 작성된 시험코드의 수치연산 계통에 심각한 오류는 없는 것으로 결론을 내리고자 한다.

시험코드의 계산시간은 DOSRZ에 비하여 전자선의 경우에 약 3.4배 광자선의 경우에 약 4.5배 더 소요되는 것으로 조사되었다. 본 연구에서 연습용 사용자코드의 일종인 TUTOR1을 사용하여 EGS4 및 EGS5 환경에서 실행시킨 결과, EGS5의 환경에서의 실행시간이 EGS4보다 약 5배 더 소요되는 것을 추가로 확인하였다. 따라서 계산시간의 증가는 EGS5 자체의 계산 알고리즘과 파일구조 등이 원인으로 생각되는데, 이 부분도 추가적 연구를 통하여 계산 지연이 발생하는 요소를 정밀하게 조사하고 이를 개선하는 방법을 고안해야 할 것이다. 추후 본 연구를 기반으로 향상된 알고리즘의 특성의 조사와 평가를 수행해야 할 것이다. 그리고 3차원적 체적소(Voxel)로 구성된 구조에 대한 코드를 개발하여 선량분포, 치료계획장치, 측정 프로토콜에 관한 연구 등으로 EGS5의 응용범위를 확대해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. SLAC Report-265: *The EGS4 Code System*. Stanford Linear

Accelerator Center (1985)
 2. NRCC Report PIRS-701: *The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport*. National Research Council (2003)
 3. NRCC REPORT PIRS-702: *NRC USER codes for EGSnrc*. National Research Council of Canada (2003)
 4. Proceedings: Namito Y, Hirayama H, Ban S: Improvement of low energy photon transport for EGS5. *Second International Workshop on EGS*. 2000, Tsukuba, pp. 11-22
 5. SLAC Report-730: *The EGS5 Code System*. Stanford Linear Accelerator Center (2006)
 6. NRCC Report PIRS-877: *EGSnrcMP: The Multi-platform Environment for EGSnrc*. National Research Council of Canada (2003)
 7. NRCC Report PIRS-703: *QA Test of the EGSnrc System and Comparisons with EGS4*. National Research Council of Canada (2000)
 8. Mohan R, Chui C, Lidofsky L: Energy and angular distributions of photons from medical linear accelerators. *Med Phys* 12:592 (1985)
 9. AAPM TG-21: A protocol for determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 10: 741-771 (1983)

Technical Report

Study on EGS5 Based Test Code and Preliminary Results

Dong Hyeok Jeong, Jhin Kee Kim*, Kyo Chul Shin[†], Ki Hwan Kim[†],
 Jeung Kee Kim[§], Young Kee Oh^{||}, Young Hun Ji[¶]

Department of Radiation Oncology, Wonkwang University Hospital,
 *Chonbuk National University Hospital, [†]Dankook University Hospital,
[‡]Chungnam National University Hospital, [§]Dong-A University Hospital,
^{||}Eulji University Hospital, [¶]Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, Korea

A test code was written to apply the EGS5 Monte Carlo code recently published to radiotherapy. This test code was designed to calculate the depth dose in cylindrical phantom for point source model. The evaluation of the test code was performed by calculating the depth dose curves for high energy electrons of 6, 9, 12, and 15 MeV photons of Co-60 and 10 MV in water and comparing the results with DOSRZ/EGS4 results. In depth dose results, the differences between test code and DOSRZ/EGS4 were estimated to be less than $\pm 1.5\%$ and $\pm 3.0\%$ approximately for electron and photon beams respectively.

Key Words: EGS5, Monte Carlo calculation, Test code