

요철 표면 팬텀을 이용한 치료계획시스템 선량계산 정확성 평가

*원광대학교 의과대학 방사선종양학교실, †원광의과학연구소, †전북대학교 임상의학연구소,
 §단국대학교병원 방사선종양학과, ††계명대학교병원 방사선종양학과, †††동아대학교병원 방사선종양학과,
 #충남대학교 암공동연구소, **충남대학교 의과대학 방사선종양학교실

정동혁* · 김기환#*** · 이강규**† · 문성록**† · 김진기† · 신교철§
 오영기‡ · 김정기‡ · 조문준#*** · 김준상#***

본 연구에서는 방사선치료에 사용되고 있는 치료계획시스템 중 AAA와 PBC (Batho, M-Batho, E-TAR)의 알고리즘이 내장된 Eclipse (Varian, USA)을 이용하여 요철 표면을 가진 팬텀에 대한 선량계산 정확성을 평가하였다. 측정 조사면은 10×10 cm²과 20×20 cm², 그리고 각각에 대한 MLC 차폐 조사면을 대상으로 하였다. 팬텀 속 측정점은 SSD=90 cm에서 깊이 5, 10, 15 cm에서 전리함을 이용한 6 MV X-선에 대한 측정값과 선량계산을 알고리즘 별로 수행하고 비교하였다. AAA알고리즘을 이용한 계산값들은 평탄표면과 양각표면에서 ±1% 이내로 측정과 일치하였으며, 음각표면에서 단위 MU당 선량을 최대 -1.9%까지 낮게 평가하였다. PBC알고리즘을 이용한 계산값들은 평탄표면과 양각표면에서 측정과 각각 최대 +1.7% 및 +4.1%의 차이로서 대체로 단위 MU당 선량을 높게 평가하였으며, 음각표면의 경우에 측정과 차이가 -3.1%에서 +2.1% 범위를 보였다. 계산값들을 AAPM과 IAEA 허용기준과 비교하고 또한 통계적으로 분석할 때, AAA의 결과가 측정과 가장 잘 일치하는 것으로 나타났으며, PBC의 경우에 Modified Batho 알고리즘이 비교적 측정과 잘 일치하는 것으로 평가되었다.

중심단어: 치료계획시스템, 불균일 표면, 팬텀

서 론

최근 방사선치료(RT; Radiation Therapy) 기술은 급속도로 발전하여, 과거에는 시행이 어려웠던 세기변조방사선치료(IMRT; Intensity Modulated RT), Gated RT, IGRT (Image Guided RT), 방사선수술(Radiosurgery) 등이 점차 일반화 되어가고 있다.¹⁾ 이러한 특수치료가 실용화된 주된 이유 중의 하나는 하드웨어적 조작의 자동화에 있다. 예를 들어 다엽콜리메이터(MLC; Multi leaf collimator)를 이용하여 방사선치료에 사용되는 복잡한 모양의 조사면들을 쉽게 만들어 낼 수 있다. 이러한 자동화 시스템들은 대부분 디지털 신호로 제어되므로 오차를 검출할 수 있어 기계적 파라미터들의 신뢰도는 높다. 그렇지만 선형가속기와 함께 치료의 핵심 장비인 치료계획시스템(Treatment Planning System; TPS)

은 그 정확도가 입력 빔데이터, 계산 알고리즘 및 환자 영상자료에 의존하기 때문에 오류의 발생 가능성이 높지만 이를 쉽게 발견할 수 없다. 따라서 TPS의 정확성을 확인하는 것은 방사선치료의 신뢰도를 높이기 위해 필요하며 특히 IMRT와 같은 경우에 이 작업은 더욱 중요하다.

TPS의 정도관리와 관련하여 AAPM Report-47 (1994)²⁾에서 인수검사의 중요성에 대하여 논의한바 있으며 Report-62 (1998)³⁾를 통하여 치료계획시스템의 구체적 정도관리 사항에 대하여 논의한바 있다. 또한 최근에 IAEA에서는 TRS-430 (2004)⁴⁾과 관련 기술보고서 TECDOC-1540⁵⁾을 통하여 TPS의 도입시 평가해야할 항목들의 구체적 지침을 해설한바 있다. 그러나, 각 기관에서 TPS의 평가를 위하여 각 에너지, 다양한 조사면의 크기 및 형태, 썬기들, 팬텀 형태 등이 중첩된 다양한 조건에 대한 많은 측정을 수행하는 것은 쉽지 않다. 특히 TPS를 새로 도입하는 경우에 치료에 앞서 정확성의 평가가 매우 중요한 업무이지만 인력과 시간의 부족으로 인하여 적절한 측정과 평가를 시행하지 못하는 경우가 많다.

TPS의 평가가 어려운 다른 이유 중의 하나는 측정의 높은 불확정성에 있다. 즉, TPS는 물질의 종류와 형태에 관계없이 CT 데이터가 주어지면 모든 점들의 절대선량(absolute

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M20709005492-07B0900-49210).

이 논문은 2008년 4월 8일 접수하여 2008년 6월 15일 채택되었음.

책임저자 : 김기환, (301-721) 대전시 중구 대사동 640

충남대학교병원 방사선종양학과

Tel: 042)280-7861, Fax: 042)280-7899

E-mail: khkim@cnuh.co.kr

dose)을 계산하지만, 현재 매질이 물인 경우에 한하여 측정 프로토콜을 적용할 수 있기 때문에, 대상 물질이 물이 아닌 경우에 측정 프로토콜을 직접 적용할 수 없다.^{6,7)} 따라서 물과 성분이 다른 고체 팬텀들의 조합이나 불균질 매질에 대한 측정은 대부분 상대측정(relative dosimetry)이 되며 이에 따른 결과는 높은 불확정성을 유발한다. 그러나 어떤 형태로든지 TPS의 평가는 필요하며 궁극적으로 국내 실정에 비추어 최소한의 시간과 노력으로 적절한 결과를 얻을 수 있는 평가 방법이 고안되어야 할 것이다.

본 연구에서는 불균일 입사면을 가진 팬텀과 부정형 조사면에 대한 선량계산과 측정을 통하여 방사선치료에 사용되는 방사선치료계획시스템의 계산 정확성을 평가하고자 한다. 본 측정에서는 측정 프로토콜을 직접 적용할 수 있는 물팬텀과 파머형 전리함을 사용함으로써 결과의 불확정성을 최소화하였다. 본 연구에서는 Eclipse의 전통적 알고리즘인 PBC (Pencil beam convolution)와 최근에 개발된 AAA (Anisotropic analytical algorithm)에 대하여 계산값의 정확성을 평가하였다. 특히 PBC의 경우에 불균질 매질 계산시 세 종류(Batho power law, Modified Batho, Equivalent TAR)의 보정방법이 사용되고 있으므로 이를 각각 평가 하였다. Eclipse의 AAA 알고리즘은 Tommy 등(2006)⁸⁾, Christopher 등(2008)⁹⁾에 의하여 연구된바 있으며 불균질 매질의 계산에 있어서 PBC 알고리즘에 비하여 정확성이 개선된 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 모든 평가는 6 MV X-선에서 100 MU 조사에 대한 흡수선량의 계산값과 측정값을 비교하는 과정으로 수행하였는데, 각 팬텀 형태별 또한 알고리즘별로 분석하였다. 그리고 이 결과를 AAPM Report-47²⁾ 및 IAEA

TECDOC- 1540⁵⁾의 허용기준(Criteria of acceptability)과 비교하였으며 또한 통계적 관점에서 다루어보기도 하였다. 본 연구의 방법은 비록 단순하지만 RTP의 실용적 평가 방법 마련에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

재료 및 방법

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 세 형태의 팬텀에 대하여 측정과 계산을 수행하였다. 이 팬텀은 출력측정용으로 사용되는 소형 물팬텀의 표면에 아크릴 조각들을 부착한 형태와 같다. 이 그림에서 좌측은 평탄한 표면을 가진 팬텀(Flat surface)이며 가운데는 음각 형태의 표면(Negative surface) 그리고 우측은 양각 형태의 표면(Positive surface)을 가짐을 알 수 있다. 연구에 사용된 아크릴 팬텀의 기하학적 구조는 5 cm×30 cm×2 cm 또는 10 cm×30 cm×1 cm의 크기이며, 밀도는 1.12~1.17 g/cm³ (평균 1.14 g/cm³) 범위를 가진다. 본 측정에서 선량평가 지점은 그림에서 설정된 세 점(d1, d2, d3)이며 이는 각각 물팬텀의 표면에서 깊이 5, 10, 15 cm와 같다. 이 그림에서와 같이 본 실험에 적용된 세 형태의 기하학적 구조는 모두 깊이 10 cm 지점과 SAD(source to axis distance) 지점이 동일하다. 이 때 SAD=100 cm 이다. 또한 측정에 적용한 조사면의 크기는 10×10 cm²와 20×20 cm²이며 각각에 대한 민조사면(Open field)과 차폐 조사면(Fig. 2)에 대하여 측정이 수행되었다.

한편, 본 연구에서 적용한 실제 기하학적 구조는 Fig. 1의 형태가 시계방향으로 90도 회전한 것과 같다. 그 이유는 실제 물팬텀이 갠트리 90도에서 방사선을 조사할 수 있도록 되어 있기 때문이다.

본 연구의 대상 방사선치료계획시스템은 Varian사의 Eclipse (USA) TPS를 사용하였다. Eclipse는 광자선에 대하여 PBC

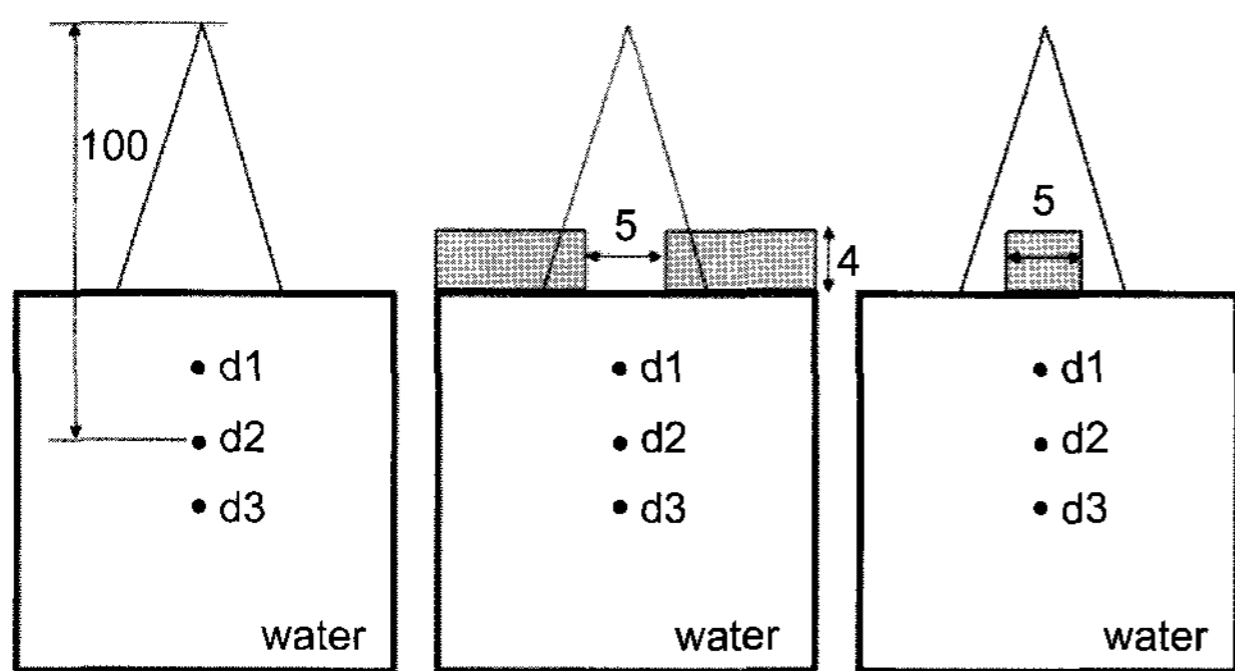


Fig. 1. Schematic views of the phantom geometry. Three setups were named as flat surface (left), negative surface (middle), and positive surface (right). The d1, d2, and d3 are depths of 5 cm, 10 cm, and 15 cm respectively.

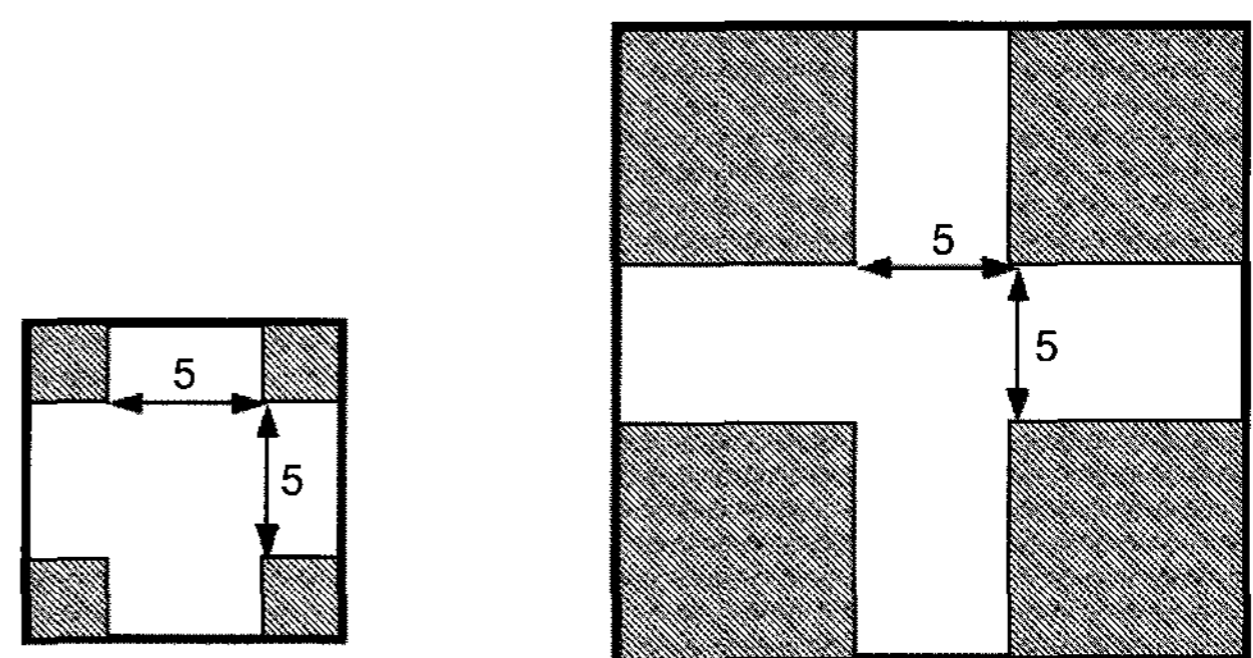


Fig. 2. Blocked field shapes for 10×10 cm² (left) and 20×20 cm² (right).

와 AAA 두 알고리즘이 내장되어있다. PBC에서 불균질 조직의 보정을 위한 알고리즘은 세종류인데, 이는 각각 Batho power law (Batho), Modified Batho (M-Batho), Equivalent

TAR (E-TAR)이다. 여기서 괄호안의 약어는 결과에서 사용된다. AAA는 최근에 개발된 Convolution/ superposition 방법을 탑재한 알고리즘으로서 주어진 빔데이터에 대한 모델

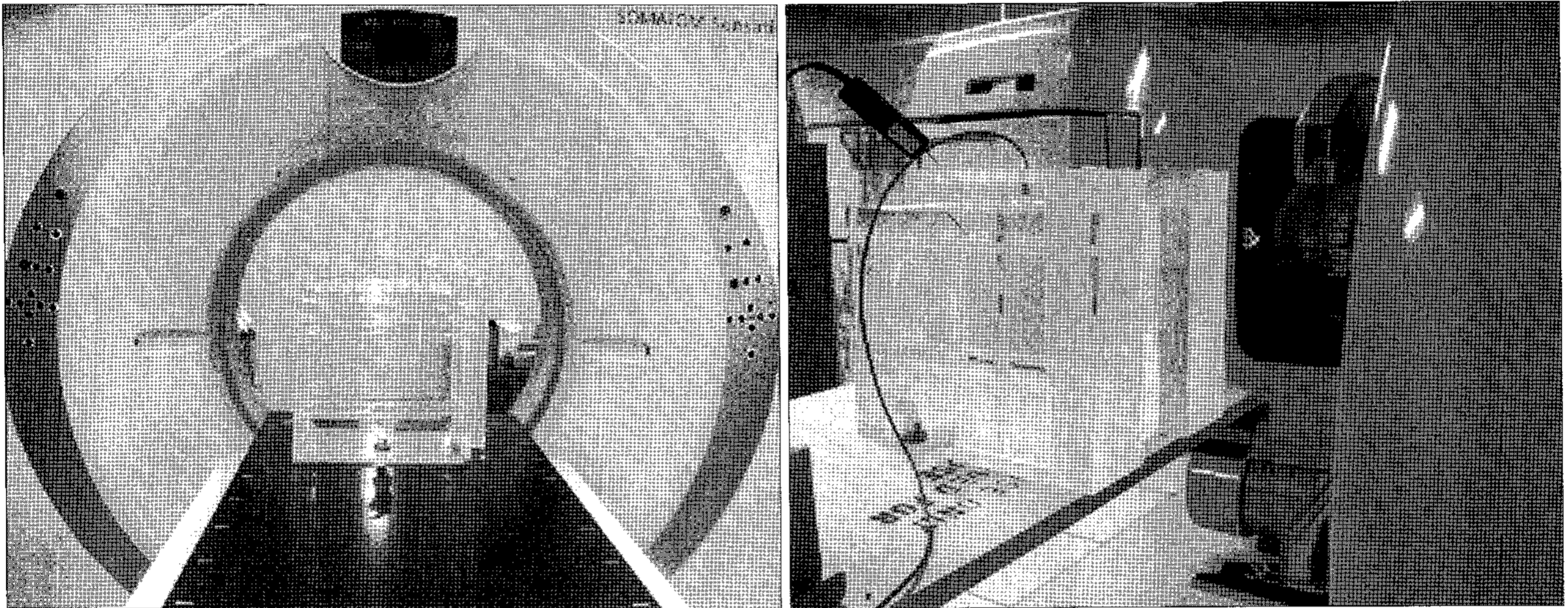


Fig. 3. CT scanning for planning and phantom setup for measurement.

Table 1a. Calculated and measured dose at the three depths in flat phantom setups. The percentage difference between two values was. In here the unit of dose is cGy/100 MU.

Depth (cm)	Flat surface			
	5	10	15	
	Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)	
AAA	F1 10×10 Open	104.6 / -0.3	79.4 / 0.0	59.7 / +0.3
	F2 10×10 MLC	103.7 / -0.2	78.1 / 0.0	58.3 / +0.3
	F3 20×20 Open	111.7 / -0.1	87.6 / 0.0	67.9 / +0.3
	F4 20×20 MLC	107.7 / -0.7	82.3 / -0.6	62.3 / -0.4
PBC: Batho	F1 10×10 Open	104.9 / 0.0	79.7 / +0.4	59.8 / +0.4
	F2 10×10 MLC	103.9 / -0.1	78.6 / +0.7	58.4 / +0.5
	F3 20×20 Open	112.1 / +0.3	88.2 / +0.7	68.4 / +1.1
	F4 20×20 MLC	109.4 / +0.9	83.7 / +1.1	63.6 / +1.7
PBC: M-Batho	F1 10×10 Open	105.0 / +0.1	79.9 / +0.4	59.7 / +0.3
	F2 10×10 MLC	103.9 / -0.1	78.6 / +0.7	58.5 / +0.7
	F3 20×20 Open	112.1 / +0.3	88.2 / +0.7	68.4 / +1.1
	F4 20×20 MLC	109.4 / +0.9	83.7 / +1.1	63.6 / +1.7
PBC: E-TAR	F1 10×10 Open	104.9 / 0.0	79.8 / +0.5	59.7 / +0.2
	F2 10×10 MLC	103.9 / -0.1	78.8 / +0.9	58.4 / +0.5
	F3 20×20 Open	112.0 / +0.3	88.4 / +1.0	68.3 / +0.9
	F4 20×20 MLC	109.4 / +0.9	83.9 / +1.2	63.5 / +1.6
Measured	F1 10×10 Open	104.9	79.4	59.6
	F2 10×10 MLC	104.0	78.1	58.1
	F3 20×20 Open	111.8	87.6	67.7
	F4 20×20 MLC	108.4	82.8	62.5

파라미터의 결정에 몬테칼로 계산을 이용한다.¹⁰⁾

팬텀속 선량 계산을 위하여 Fig. 3에서 보여지는 것처럼 먼저 CT (Computed Tomography)를 이용하여 단면상을 획득하였으며, 얻어진 단면상은 서버(Aria, Varian)를 통하여 TPS에 전송되었다. TPS에서 선량계산은 각 기하학적 조건에 대하여 100 MU 조사에 대한 선량계산을 수행한 후 Fig. 1에 나타낸 세 깊이의 선량을 조사하는 방법으로 수행하였다. 계산과 측정에 적용된 선형가속기는 Clinac iX (Varian, USA) 이었으며 대상 선질은 6 MV X-선이었다.

따라서 본 연구에서는 측정을 통하여 양각 및 음각 표면을 가진 팬텀에 대한 계산결과 그리고 이러한 팬텀의 조건에서 MLC에 의해 차폐된 조사면에 대한 계산결과를 측정값과 비교하고자 한다.

측정에 사용한 전리함은 파머형 전리함 N30001 (PTW, Germany)이었으며 전기계는 DOSE-1 (Wellhofer, Germany)을 사용하였다. 각 실험 결과들을 국제원자력기구의 TRS-398

프로토콜⁶⁾에 따라 절대선량으로 환산하였으며 어떤 기준 조건에 대해 일반화하지 않았다. 단지, 측정 시점의 장비의 출력에 대한 보정만을 실시하였다. 본 장비에 대한 출력 기준값은 SSD=100 cm, 10×10 cm², d=10 cm에서 100 MU당 66.1 cGy이며, 측정시점에서 물팬텀 WP34 (Wellhofer, Germany)와 전리함 FC65G (Wellhofer, Germany) 및 측정 프로토콜 TRS-398을 써서 확인한 출력은 66.7 cGy이었다. 따라서 이어지는 모든 측정값에 보정값으로서, 66.1/66.7=0.991을 적용하여 측정시점의 출력을 보정하였다.

본 연구에서 사용한 N30001 전리함의 6 MV X-선에 대한 물흡수선량교정계수는, $N_{D,W}=5.183$ cGy/nC이다.⁶⁾ 그러므로 어떤 기하학적 조건에서 측정값에 영향을 미칠 수 있는 물리량등에 대해 보정된 전리함 측정값이 M (nC)으로 주어질 때 흡수선량은 식1)과 같다.

$$D_w = MN_{D,W} \quad (1)$$

본 측정에서 D_w 에 대한 불확정도는 TRS-398에 제시된

Table 1b. Calculated and measured dose at the three depths in negative surface phantom setups.

Depth (cm)	Concave surface			
	5	10	15	
	Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)	
AAA	F1 10×10 Open	105.0 / -1.2	78.9 / -1.5	58.8 / -1.1
	F2 10×10 MLC	103.7 / -1.3	77.4 / -1.6	57.4 / -1.3
	F3 20×20 Open	113.9 / -1.1	88.1 / -1.5	67.3 / -1.1
	F4 20×20 MLC	108.3 / -1.5	82.0 / -1.9	61.5 / -1.6
PBC: Batho	F1 10×10 Open	105.0 / -1.2	79.8 / -0.4	59.7 / +0.4
	F2 10×10 MLC	104.0 / -1.0	78.7 / +0.1	58.3 / +0.2
	F3 20×20 Open	112.2 / -2.5	88.3 / -1.3	68.5 / +0.7
	F4 20×20 MLC	109.6 / -0.4	84.0 / +0.5	63.8 / +2.1
PBC: M-Batho	F1 10×10 Open	105.7 / -0.6	80.3 / +0.3	59.8 / +0.6
	F2 10×10 MLC	104.7 / -0.4	79.1 / +0.6	58.5 / +0.6
	F3 20×20 Open	113.1 / -1.8	88.8 / -0.7	68.7 / +1.0
	F4 20×20 MLC	110.7 / +0.7	84.5 / +1.1	63.7 / +2.0
PBC: E-TAR	F1 10×10 Open	104.5 / -1.7	79.3 / -1.0	59.2 / -0.4
	F2 10×10 MLC	103.3 / -1.7	78.1 / -0.7	57.9 / -0.5
	F3 20×20 Open	111.6 / -3.1	87.7 / -2.0	67.9 / -0.2
	F4 20×20 MLC	109.0 / -0.9	83.3 / -0.4	63.2 / +1.6
Measured	F1 10×10 Open	106.3	80.1	59.4
	F2 10×10 MLC	105.1	78.6	58.2
	F3 20×20 Open	115.1	89.5	68.1
	F4 20×20 MLC	110.0	83.6	62.5

Table 1c. Calculated and measured dose at the three depths in positive surface phantom setups.

Depth (cm)			Concave surface		
			5	10	15
			Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)	Dose (cGy)/Diff. (%)
AAA	F1	10×10 Open	89.0 / +0.3	66.8 / +0.7	50.0 / +0.8
	F2	10×10 MLC	87.9 / +0.6	65.4 / +0.6	48.6 / +0.8
	F3	20×20 Open	96.2 / +0.5	74.7 / +0.4	57.9 / +0.5
	F4	20×20 MLC	91.9 / -0.1	69.4 / -0.1	52.3 / -0.3
PBC: Batho	F1	10×10 Open	90.1 / +1.6	67.1 / +1.1	50.0 / +0.8
	F2	10×10 MLC	88.8 / +1.6	65.6 / +0.9	48.7 / +1.0
	F3	20×20 Open	99.6 / +4.1	76.6 / +2.8	58.6 / +1.7
	F4	20×20 MLC	94.8 / +3.1	71.3 / +2.6	53.4 / +1.8
PBC: M-Batho	F1	10×10 Open	90.0 / +1.5	67.0 / +1.0	49.9 / +0.6
	F2	10×10 MLC	88.7 / +1.5	65.6 / +0.9	48.7 / +1.0
	F3	20×20 Open	99.5 / +4.0	76.5 / +2.7	58.6 / +1.7
	F4	20×20 MLC	94.8 / +3.1	71.2 / +2.5	53.4 / +1.8
PBC: E-TAR	F1	10×10 Open	89.9 / +1.3	67.1 / +1.1	50.0 / +0.8
	F2	10×10 MLC	88.6 / +1.4	65.6 / +0.9	48.8 / +1.2
	F3	20×20 Open	99.2 / +3.6	76.6 / +2.8	58.7 / +1.9
	F4	20×20 MLC	94.3 / +2.5	71.3 / +2.6	53.4 / +1.8
Measured	F1	10×10 Open	88.7	66.4	49.6
	F2	10×10 MLC	87.4	65.2	48.2
	F3	20×20 Open	95.7	74.5	57.6
	F4	20×20 MLC	92.0	69.5	52.5

광자선 측정에 대한 불확정도를 적용하면 ±1.5%로 평가된다.

결 과

Table 1은 주어진 기하학적 팬텀 구조에 대하여 TPS를 이용한 계산과 측정결과를 나타낸 표이다. (a)는 표면이 평탄한 경우(평탄표면), (b)는 표면이 음각인 경우(음각표면), (c)는 표면이 양각인 경우 팬텀(양각표면)에 대한 결과이다. 이 때 각 팬텀의 형태는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 이 표에 나타낸 우선량은 100 MU 조사에 대한 값이며 계산값과 함께 나타낸 것은 측정에 대한 차이(%)를 의미한다. 이 표에서 F1, F2, F3, F4는 조사면의 형태로서 F1과 F3은 각각 콜리메이터 조사면(open field) 10×10 cm²과 20×20 cm²을 나타내며, F2와 F4는 MLC로 형성한 차폐 조사면으로서 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 세 형태의 팬텀에 대한 계산결

과를 정리하면 다음과 같다.

평탄표면의 경우에 모든 알고리즘에서 측정값과 대부분 ±1% 이내에서 일치하는 것으로 나타났다. AAA에서는 대부분의 조사면 및 깊이에서 -0.7%에서 +0.3% 범위에서 측정과 일치하였다. AAA의 경우에 깊이 10 cm에서는 측정과 거의 일치하지만, 깊이 5 cm에서는 측정값보다 약간 낮게 그리고 15 cm에서는 약간 높게 평가하는 경향을 보였다. 가장 큰 차이를 보이는 경우는 PBC 알고리즘에서이며 이중 조사면 F4와 깊이 15 cm의 값들에 있어서 측정과 약 +1.7%의 차이를 보였다. 그리고 PBC 알고리즘들은 대체로 선량을 약간 높게 평가하는 것으로 나타났다.

음각표면의 경우에 AAA에 의한 계산값은 측정과 -1.1%에서 -1.9%까지의 차이를 보였다. PBC에서 Batho인 경우 측정값과의 차이는 -2.5%에서 +2.1% 범위, M-Batho인 경우 -1.8%에서 +2.0% 범위, 그리고 E-TAR인 경우 -3.1%에서 +1.6%를 보였다. PBC에서 이러한 차이들은 대부분

20×20 cm² 조사면(F3, F4)에서 나타났으며, 10×10 cm² 조사면(F1, F2)의 경우에는 비교적 차이가 적었다. 특히 평탄표면의 경우처럼 조사면 F4이고 깊이 15 cm에서의 차이가 약 +2%로서 가장 크게 나타났다. 음각표면의 경우에 모든 알고리즘에서 대체로 선량을 낮게 평가하는 경향을 보였으며, 특히 AAA와 E-TAR (PBC)의 경우에 대부분의 계산값들이 측정값보다 낮았다.

양각표면의 경우에 AAA에 의한 계산값은 대상 조사면 및 깊이에서 측정값과 -0.3%에서 +0.8% 범위에서 일치하였다. 이 때 PBC의 경우에는 +0.9%에서 +4.1% 범위로서 차이를 보였으며 아울러 PBC의 세가지 보정 알고리즘들이 양각표면에서 모두 선량을 높게 평가하고 있는 것으로 나타났다. 또한 PBC 알고리즘에 의한 계산값들은 음각표면의 경우처럼 조사면 F3, F4에서 측정값과 큰 차이를 보였다. 이 때 F1과 F2의 경우에는 대부분 +1.6% 이내에서 잘 일치하는 것으로 나타났다.

PBC의 경우에 깊이 5 cm와 10 cm에서 비교적 큰 차이(PBC-Batho: 최대 +4.1%)를 보였다. AAA의 경우에 F4를 제외하고 대부분의 조사면에서 측정과의 차이가 +0.8% 이내를 보이면서 선량을 약간 높게 평가하고 있었는데, 이 때 F4의 경우에는 세 깊이에서 -0.3% 이내로서 약간 낮지만 측정과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

결과를 계산 알고리즘 별로 정리할 때, 먼저 AAA의 경우에는 평탄표면과 양각표면에서 측정값과 ±0.8% 이내로 일치하였으며, 음각표면에서는 대부분 선량을 낮게 평가하면서 최대 -1.9%를 보였다.

PBC의 경우에 세가지 보정 알고리즘에 대해 비교하였을 때, 평탄표면과 양각표면에서는 선량을 약간 높게 평가하는 경향을 보였는데, 평탄표면에서 +1.7%, 양각표면에서 +4.1% 이내로 측정과 일치하였다. 그리고 음각표면에서는 선량을 약간 낮게 평가하면서 최대 -3.1%를 보였다. 이 결

과를 종합할 때 비록 음각표면에서 Eclipse AAA 알고리즘의 오차가 -1.9%를 보였지만 상대적으로 PBC 알고리즘들에 비하여 측정값에 가장 가까운 것으로 나타났다.

토의 및 결론

본 연구에서는 TPS의 선량계산 정확성 평가의 차원에서 표면 형태가 다른 세 종류의 팬텀을 이용하여 네가지 형태의 조사면과 빔축상 세깊이에 대하여 계산과 측정을 수행하였다. 대상 TPS는 Varian사의 모델 Eclipse이며, 이 TPS에 내장된 네가지 선량계산 알고리즘에 대하여 계산을 수행하였다. 또한 측정에 물팬텀과 전리함을 사용함으로써 측정값의 불확정성을 최소화하였다. 비록, 본 연구에서 비교적 단순한 기하학적 구조를 대상으로 평가한 점은 있으나, 불균일한 표면의 경우에 AAA 알고리즘에 의한 계산결과가 측정과 가장 잘 일치한다는 것을 알 수 있었다. 이 때 평탄한 표면의 경우에는 모든 알고리즘에서 측정과 잘 일치함을 알 수 있었다.

다음은 본 결과들을 AAPM Report-62³⁾와 IAEA TECDOC-1540⁵⁾에 제시된 허용기준(Criteria of acceptability)과 비교해 보았다. 이 때 두 보고서간에 다루는 항목에 있어 서로 다른 점이 있어 의미적으로 동일한 항목만을 선정하여 허용기준을 취하였으며 결과를 Table 2에 수록하였다. 단, 이 표에 나타난 항목은 AAPM Report-62³⁾에서와 같다. 본 평가에서는 정방형면 항목에 대하여 평탄표면에서 F1과 F3의 결과, MLC shaped field 항목에 대하여 평탄표면에서 F2와 F4의 결과를 취합하여 적용하였다. External surface variation 항목에 대해 음각과 양각표면에서 F1과 F3의 결과를 취합하여 적용하였는데, 이 항목의 경우에 TECDOC-1540⁵⁾에 허용기준이 없으므로 이 문헌에서 제시되는 Complex geometry 항목에 대한 허용기준을 적용하였다. 마지막으로

Table 2. Dose difference between calculation and measurement, and comparison with criteria of acceptabilities from AAPM Report-62 and IAEA TECDOC-1540. The values for items were determined from the results of field F1 and F3 at Flat-surface^{a)}, F2 and F4 in Flat-surface^{b)}, F1 and F3 at concave and convex-surface^{c)}, and d) F2 and F4 at concave and convex-surface^{d)}.

Items	Criteria (%)		AAA (%)	Batho (%)	M-Batho (%)	E-TAR (%)
	AAPM	IAEA	min : max	min : max	min : max	min : max
Square fields ^{a)}	1.0	2.0	-0.1 : +0.3	0.0 : +1.1	+0.1 : +1.1	0.0 : +1.0
MLC-shaped fields ^{b)}	2.0	3.0	-0.7 : +0.3	-0.1 : +1.7	-0.1 : +1.7	-0.1 : +1.6
Ext. surface variation ^{c)}	1.0	3.0	-1.5 : +0.8	-2.5 : +4.1	-1.8 : +4.0	-3.1 : +3.6
3D Inhomogeneities ^{d)}	5.0	4.0	-1.9 : +0.8	-2.5 : +4.1	-1.8 : +4.0	-3.1 : +3.6

3D Inhomogeneities의 경우에 TECDOC-1540⁵⁾에서는 Inhomogeneities와 Irregular field 등이 혼합된 경우로서 More Complex geometries라는 항목으로 다루고 있다. 따라서 관점상 약간의 차이가 있지만 본 연구에서는 3D Inhomogeneities 항목에 대하여 음각과 양각표면에서 MLC shaped field인 F2와 F4의 결과를 취합하여 적용하였다.

한편, 본 연구에서 설정한 팬텀의 형태와 조사면의 형태는 실제 환자 치료에 대한 표본으로 가정할 수 있다. 이 가정은 약간은 무리일 수 있으나, 우선 가장 일반적인 SAD 조사법을 적용하고 있으며, 세종류의 팬텀 표면과 네종류의 조사면 그리고 각각에 대한 세 깊이의 조합으로 생성되는 36개의 표본 속에 실제 치료의 상당부분이 포함될 것이다. 단지 본 연구에 팬텀속 조직 불균일성에 관한 사항이 제외된 점이 있다. Fig. 4는 이 결과를 계산 알고리즘별로 나타낸 것이다. 이 때 $\pm 2\%$ 이내에 대한 통계를 구한다면

조건을 만족하는 비율이 AAA의 경우에 100% (36/36), Batho (PBC)의 경우에 83% (30/36), M-Batho (PBC)의 경우에 89% (32/36), 그리고 E-TAR (PBC)의 경우에 83% (30/36)로 추산된다. 이 결과로부터 AAA의 결과가 측정과 가장 잘 일치하며 PBC의 경우에는 M-Batho가 다른 보정방법에 비하여 비교적 정확하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 팬텀 표면의 형태와 조사면 및 깊이에 있어 단편적인 결과를 도출하였다. 따라서 조건들을 확장하여 가능한 모든 범위에 대한 측정을 수행해야 할 것으로 보인다. 특히, 팬텀속 조직 불균일성에 대한 추가적 연구가 필요하다고 생각하며 팬텀 등에 있어 적절한 방법을 고안하여 수행해야 할 것이다. 아울러 임상에서 실제 치료하는 영역에 대한 보다 실용적인 표본을 개발하여 이를 토대로 연구를 수행한다면 좋은 결과를 얻을 것으로 생각한다.

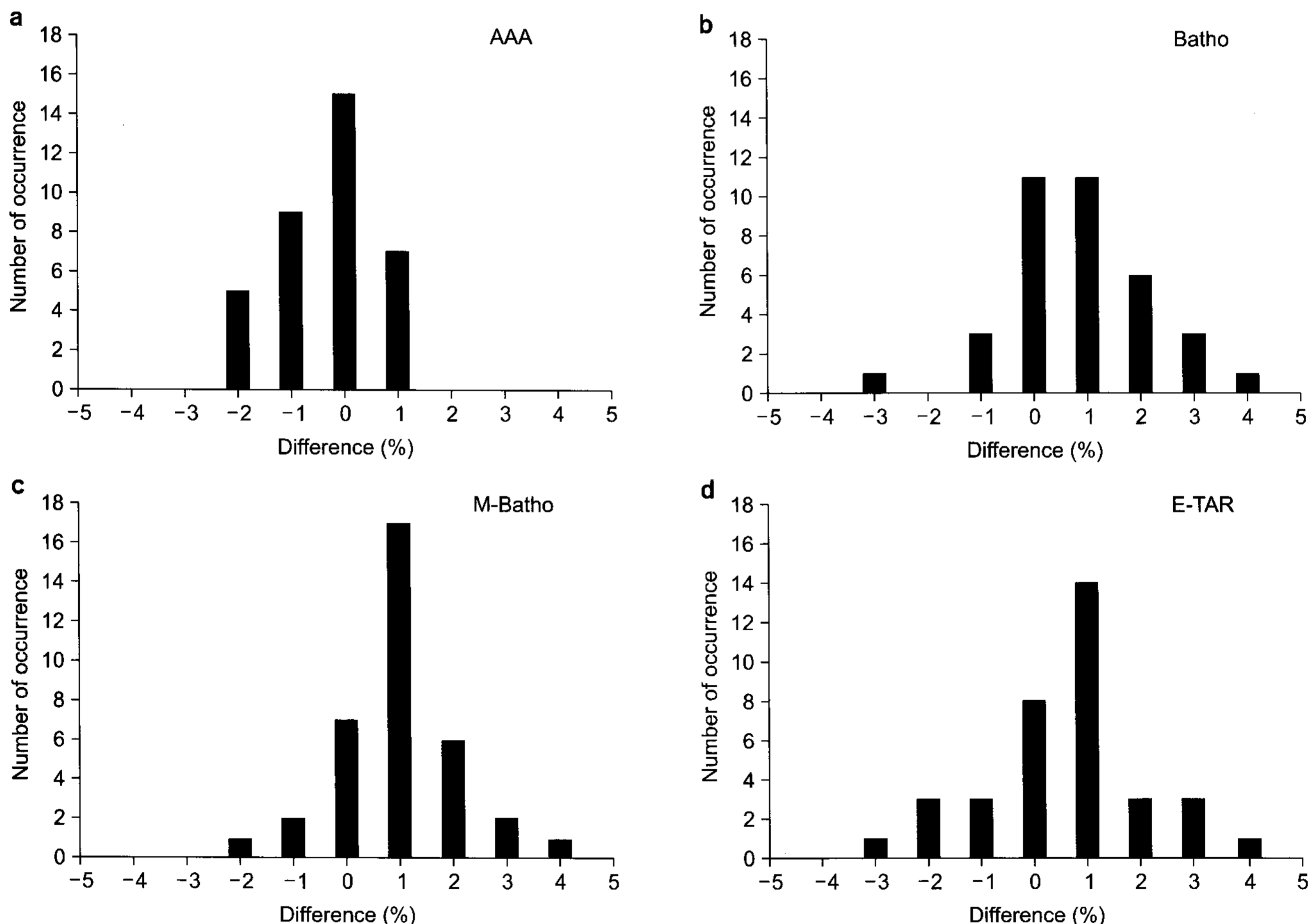


Fig. 4. Error histogram for calculation algorithms of Anisotropic analytical algorithm (a), Batho power law (b), Modified Batho power law (c), and Equivalent TAR (d) in Eclipse.

참 고 문 헌

1. Bucci MK, Bevan A, Roach M: Advances in radiation therapy: conventional to 3D, to IMRT, to 4D, and beyond. *CA Cancer J Clin* 55:117-134 (2005)
2. AAPM Report 47: AAPM Code of Practice for radiotherapy Accelerators, American Association of Physicists in Medicine, NY (1994)
3. AAPM Report 62: Quality Assurance of clinical radiotherapy treatment planning, American Association of Physicists in Medicine, NY (1998)
4. IAEA Technical Reports 430: Commissioning and Quality Assurance of Computerized Planning Systems for Radiation Treatment of Cancer, International Atomic Energy Agency, Vienna (2004)
5. IAEA TECDOC 1540: Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems. International Atomic Energy Agency, Vienna (2007)
6. IAEA Technical Reports 398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed dose to Water. IAEA, Vienna (2000)
7. 정동혁, 신교철, 오영기, 김정기, 김진기, 김기환: 고에너지 광자선에 대한 TRS-398 선질 보정 인자의 직접계산. *의학물리* 17:54-60 (2006)
8. Knoos T, Wieslander E, Cozzi L, Brink C, et al: Comparison of dose calculation algorithms for treatment planning in external photon beam therapy for clinical situations. *Phys Med Biol* 51:5785-5807 (2006)
9. Christopher MB, Wingate K, Conway J: Clinical implications of the anisotropic analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification. *Radiother Oncol* 86:276-284 (2008)
10. VARIAN: Eclipse Algorithm Reference Guide, VARIAN Medical Systems, US (2006)

Accuracy Evaluation of Treatment Planning System Using Irregular-surface Water Phantom

Dong Hyeok Jeong*, Ki Hwan Kim^{#,**}, Kang Kyoo Lee^{*,†}, Sun Rock Moon^{*,†}, Jhin Kee Kim[†], Kyo Chul Shin[§], Young Kee Oh^{||}, Jeung Kee Kim[¶], Moon June Cho^{#,**}, Jun Sang Kim^{#,**}

*Department of Radiation Oncology, Wonkwang University, School of Medicine, Iksan,

†Institute of Wonkwang Medical Science, Iksan, †Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University, Jeonju, §Department of Radiation Oncology, Dankook University Hospital, Chonan,

||Department of Radiation Oncology, Keimyung University Dongsan Medical Center, Daegu,

¶Department of Radiation Oncology, Dong-A University Hospital, Busan, #Cancer Research Institute,

**Department of Radiation Oncology, College of Medicine, Chungnam National University, Daejeon, Korea

We evaluated on the calculation accuracy of treatment planning system (TPS) with phantom having convex and concave surface. The TPS is Eclipse (Varian, USA) using both algorithms AAA and PBC for photon dose calculations. PBC algorithms have three corrections of Batho, modified Batho (M-Batho), and equivalent TAR (E-TAR). The field sizes were 10×10 cm² and 20×20 cm², and MLC-shaped fields for these fields. We measured doses at three depths 5, 10 and 15 cm in phantom of SSD=90 cm in the condition of inserted farmer chamber. For given conditions, we have calculated dose with these algorithms and compared them with measured doses. In AAA the calculated doses (dose/MU) were agreed to measured doses within ±1% in flat and convex surface and were under estimated with -1.9% maximum in concave surface. In PBC the calculated doses were over estimated with +1.7% and +4.1% respectively in flat and convex surface and the differences were from -3.1% to +2.1% in concave surface. In comparison of criteria from AAPM and IAEA reports, and statistical analysis for these results, it is found that the AAA's results are in good agreement with measured values and the M-Batho's results are generally good agreed with measured values among PBC algorithms.

Key Words: Treatment planning system, Irregular surface, Phantom