

## 국제기준을 적용한 치료계획시스템 정확성 평가

계명대학교 동산의료원 방사선종양학과\*, 충남대학교 암공동연구소†, 충남대학교 의과대학 방사선종양학교실‡, 원광대학교병원 방사선종양학과§

오영기\* · 김기환<sup>†,‡</sup> · 정동혁<sup>§</sup> · 최태진\* · 김진희\* · 김옥배\*

본 연구에서는 6종에 대한 RTP의 실험 결과에 대하여 오차를 평가하고 AAPM Report-62의 평가 항목에 적용하여 RTP 오차의 허용범위 여부를 조사하였다. 이를 위하여 NDR (Normalized dose rate) 개념을 도입하여 RTP 계산값과 측정값을 동일한 기준으로 비교할 수 있도록 하였다. 평가결과 대부분의 RTP들은 차폐조사면과 불균질 물질의 계산에서 허용범위 이내의 오차를 보였으나 표면 불균일성에 대해서는 대부분 허용범위를 초과하는 것으로 나타났다.

**중심단어:** 방사선치료계획장치, 오차평가, AAPM Report-62

### 서 론

방사선치료에서 품질관리는 치료성적의 향상은 물론 방사선사고를 예방할 수 있는 가장 중요한 요소로 인식되고 있다.<sup>1-3)</sup> 이 과정에서 치료계획시스템에 대한 정확도 검사<sup>4,11)</sup>는 치료계획시스템의 신뢰성과 관련이 있으며, 보다 정확한 치료계획을 수립하기 위한 필수 사항이라 할 수 있다. 치료계획시스템은 정확성 향상을 목표로 지속적으로 보완되고 발전되어 최근에는 3차원 선량계산은 물론 세기조절 방사선치료의 최적화 및 선량계산에 필수 장비로 인식되고 있다. 최근의 치료계획시스템의 특징 중의 하나는 인체 흡수선량을 구하기 위한 선량계산용 모델인데 현재 사용되고 있는 모델은 Pencil beam, Convolution, Superposition, Monte Carlo와 같은 3차원 선량계산용 모델<sup>12-15)</sup>이다. 이러한 계산모델은 물리적 데이터, 연산 알고리즘, 및 기타 수학적 요소들이 매우 복잡하게 얽혀 있는 구조로 되어 있다. 따라서 과거의 물팬텀 빔데이터에 기초한 선량계산 방법과 같이 수학적으로 단순하지 않아 알고리즘을 분석하여 정확도를 예측하는 것이 어렵다.<sup>16,17)</sup>

한편, 최근 Conformal과 IMRT를 이용하여 종양치료의

성적이 높아짐에 따라 방사선종양학과의 신설이 증가되고 있고 기존의 기관들도 구형의 2차원 치료계획시스템을 최신의 3차원 치료계획시스템 기종으로의 교체가 활발히 진행되고 있다. 이와 함께 새로 도입되는 치료계획시스템에 대한 정확도의 평가가 보다 강조되지만 장비의 설치와 치료의 시행만을 중요시 여기는 국내 환경에서 적절한 평가가 시행되고 있지 않다. 이는 국내 각 기관에 의학물리를 기반으로 하는 품질관리 체계가 아직 정착되지 않았기 때문으로 여겨진다. 따라서 치료계획시스템의 정확도 평가를 위한 팬텀의 개발과, 불확정도를 2~3% 이내로 달성할 수 있는 측정시스템의 구축, 그리고 국내 모든 기관에서 실용적으로 사용할 수 있는 평가 기준의 마련이 매우 시급한 실정이다.

본 연구에서는 임상에 사용 중인 6개 기관의 방사선치료계획장치(Radiation Treatment Planning: RTP)에 대한 측정결과에 대하여 오차를 평가하고 AAPM Report-62<sup>9)</sup>에서 제시되는(하는) 허용범위(Criteria) 여부를 조사하였다. 먼저 본 측정이 고체팬텀에서 수행된 관계로 절대선량의 평가에 한계를 가지기 때문에 먼저 기준값을 정하고 다른 측정값들을 일반화(Normalize)하는 수학적 과정을 제시하였고 그리고 AAPM Report-62의 평가항목들과 각각의 항목에 적용할 기하학적 구조와 조사면 형태를 제시하였다. 마지막으로 6대의 RTP에 대한 오차의 계산결과를 제시하였고 Report-62에 주어진 허용범위에 대하여 논의하였다.

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M20709005492-07B0900-49210). 이 논문은 2008년 6월 9일 접수하여 2008년 6월 13일 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

### 재료 및 방법

본 연구에서 오차계산 및 평가에서는 평가 대상으로서 5종류의 팬텀 형태와 3종류의 조사면 형태만을 선정하였다. 오차 평가에서 다루는 팬텀 및 조사면의 기하학적 형태는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다. 오차평가를 위해서는 절대선량의 관점에서 논의되어야 하는데 일반적으로 고체 팬텀은 상대적 선량계측용이기 때문에 절대선량으로 환산하기 어렵다. 이에 분석과정에서는 특정한 측정치를 기준으로 정하고 이에 대하여 일반화하였으며 이를 토대로 RTP 계산결과와 오차를 평가하였다.

본 연구에서는 임의 형태의 팬텀과 조사면들에 대한 RTP의 오차를 평가하기 위하여 먼저 다음과 같이 NDR (normalized dose rate)을 도입하여 측정값을 일반화 하였다.

$$NDR \text{ (normalized dose rate)} = \frac{\text{Dose rate for a setup (cGy/M)}}{\text{Dose rate for ref. setup (cGy/M)}} \quad (1)$$

즉, NDR은 임의 기하학적 조건에 대한 단위 모니터유니

트에 대한 선량과 기준조건에 대한 단위 모니터유니트 (Monitor Unit)에 대한 선량의 비와 같다. 여기서 ref. setup은 기준 셋업으로서 본 연구에서는 Fig. 1a 형태의 팬텀에 Fig. 2의 Open field인 경우로 정하였다. 이 때 기준 셋업은 RTP와 측정이 서로 일치하는 조건을 의미한다.

NDR은 측정 당일의 출력변화에 영향을 받지 않으며 단지 RTP의 계산모델에 대부분 의존하는 양이기 때문에 본 실험결과를 이용하여 RTP의 정확성 평가에 적용하는 것은 적절한 것으로 생각된다. 또한 기준 셋업의 경우에 균질팬텀과 Open field에 대한 흡수선량이기 때문에 대부분의 RTP에서 측정과의 오차는 매우 적을 것이다.

RTP 계산결과에 대한  $NDR_{RTP}$ 는 다음과 같이 쉽게 계산할 수 있다.

$$NDR_{RTP} = \frac{(100 \text{ cGy/nMU})_{\text{setup}}}{(100 \text{ cGy/nMU})_{\text{ref. setup}}} \quad (2)$$

여기서 nMU는 각 기하학적 조건에서 100 cGy 전달에 필요한 모니터 유니트의 수(number of monitor unit)이다.

측정결과에 대한  $NDR_{Mea}$ 은 다음과 같다.

$$NDR_{Mea} = \frac{(CF \times M/nMU)_{\text{setup}}}{(CF \times M/nMU)_{\text{ref. setup}}} \approx \frac{(M/nMU)_{\text{setup}}}{(M/nMU)_{\text{ref. setup}}} \quad (3)$$

여기서 CF (conversion factor)는 측정 전하를 고체팬텀의 선량으로 환산하는 인자이다. CF는 선질과 팬텀의 형태 및 조사면의 형태에 의존할 수 있다. 그러나 이 인자가 현재 알려지지 않으므로 본 연구의 분석에서는 잠정적으로 CF가 본 측정의 조건들에 대하여 동일한 것으로 간주하였다.

측정값에 대한 NDR 즉,  $NDR_{Mea}$ 은 특정 기하학적 조건에 대한 전하를 기준 조건에 대한 전하로 나누는 결과이기 때문에 선질이 동일한 경우에 측정기의 종류에 의존하지 않으며, 각 기관의 calibration 조건에도 의존하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 모든 기관의 측정값에 대한 NDR을 구하고 이를 평균하여 하나의 셋업에서 하나의 값으로 단일화하였으며 이를 결과 분석에 활용하도록 하였

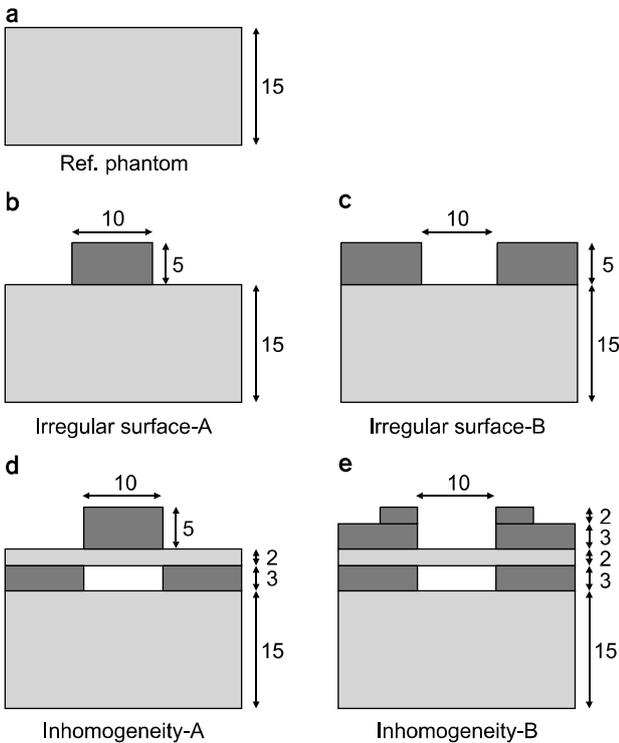


Fig. 1. Phantom geometries used in this evaluation of RTP (unit: cm).

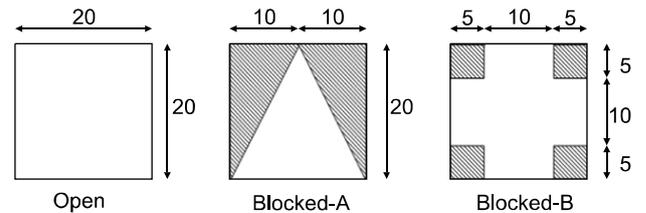


Fig. 2. Field shapes used in this evaluation of RTP (unit: cm).

다. 이 때 각 기관의 측정값을 평균하는 경우에 상대적 표준편차는 대부분  $\pm 0.8\%$ 을 가지며 최대값은  $\pm 1.3\%$ 로 나타났다. 따라서 본 오차 분석에서 측정값의 불확정도는 약  $\pm 1\%$ 이다.

RTP 계산과 측정결과에 대한 NDR이 구해지면 RTP의 오차는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_{RTP}(\%) = 100 \times \frac{ND_{TPS} - ND_{Mea}}{ND_{Mea}} \quad (4)$$

Table 1. Dose calculation criteria for RTP in AAPM report-62 and applied.

Items	Criteria (%)	Applied geometries	
		Phantoms	Fields
Square fields	1.0	none	none
MLC-shaped fields	2.0	Ref. Phantom	Blocked-A and Blocked-B
Ext. surface variation	1.0	Irregular surface A and B	Open and Blocked field (A, B)
Slab Inhomogeneities	3.0	Inhomogeneity A and B	Open field
3D Inhomogeneities	5.0	Inhomogeneity A and B	Blocked-A and Blocked-B

따라서 임의의 기하학적 셋업에 대한  $E_{RTP}(\%)$ 가 음(또는 양)일 경우에는 RTP가 선량율(cGy/MU)을 낮게(또는 높게) 계산함을 의미한다.

한편 본 연구의 평가에서는 RTP의 인수검사 및 품질관리에 대하여 논의한 미국의학물리학회 AAPM Report-62 (TG-53)를 적용하였다. 이 보고서에서는 RTP의 오차 평가에 적용 가능한 허용기준(Criteria of acceptability)을 제시하고 있으므로 본 연구에서 평가한 RTP의 오차를 여기에 적용할 수 있다. 물론 AAPM 보고서에서도 이 기준은 단지 예시일 뿐이므로 특수한 상황에서는 적용될 수 없음을 언급하고는 있다.

Table 1은 AAPM Report-62에서 허용기준의 평가에서 제시하는 항목들 중에서 본 분석에 적용되는 항목만을 나타낸 것이다. 이 보고서에서는 이 외에 직사각형 조사면, wedge 조사면과 같이 본 연구의 실험에서 수행하지 않은 부분들에 대해서도 허용범위를 제시하고 있으나 본 연구에서 측정과 무관하기 때문에 분석에 포함시키지는 않았다. 그리고 Table 1에는 도출된 평가항목들에 대응하는 기하학적 셋업을 제시하였다.

이 포에서 square field의 경우에 허용범위가 1%로 주어짐에도 불구하고 본 연구에서는 분석에 적용하지 않았는데 그 이유는 Open field- $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 을 NDR 계산을 위한 기준 조건으로서 RTP가 측정과 일치하는 것으로 가정했기 때문이다.

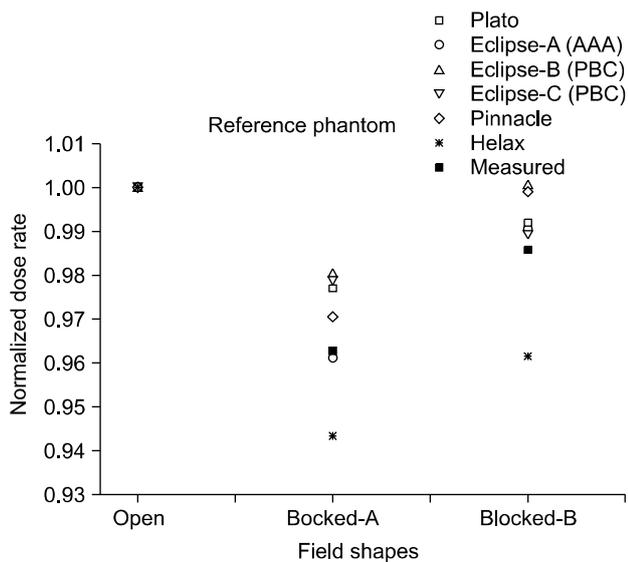


Fig. 3. Normalized dose rate calculated and measured in reference phantom.

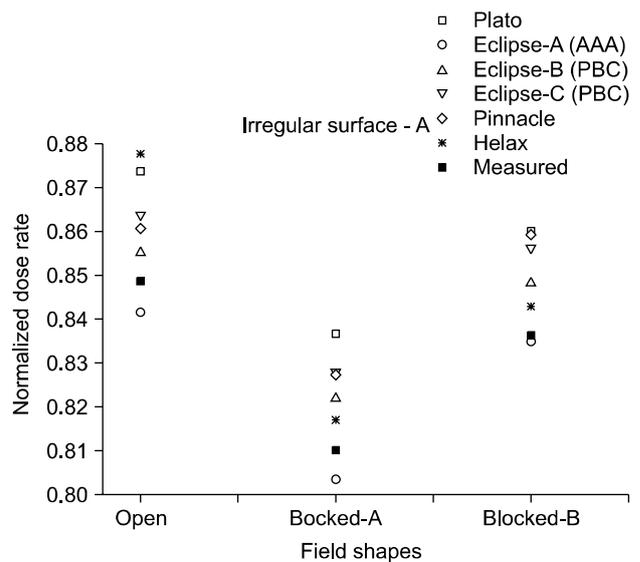


Fig. 4. Normalized dose rate calculated and measured in irregular surface-A.

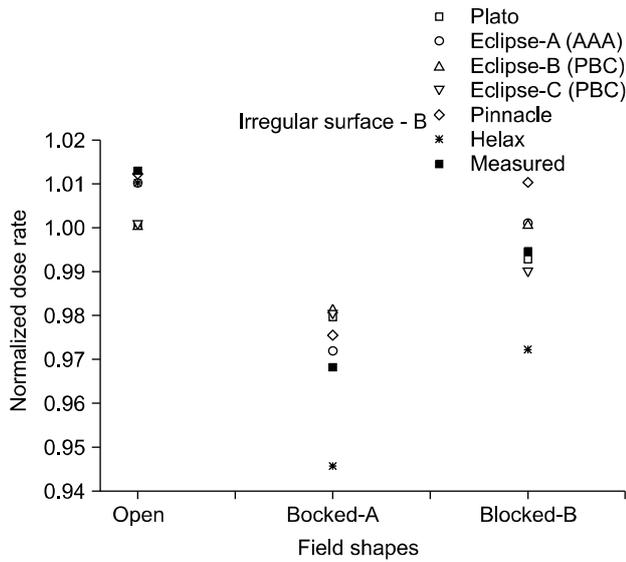


Fig. 5. Normalized dose rate calculated and measured in irregular surface-B.

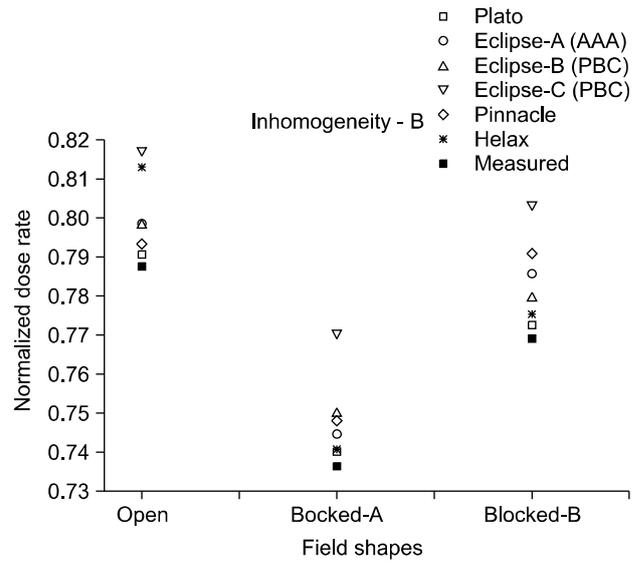


Fig. 7. Normalized dose rate calculated and measured in inhomogeneous phantom-B.

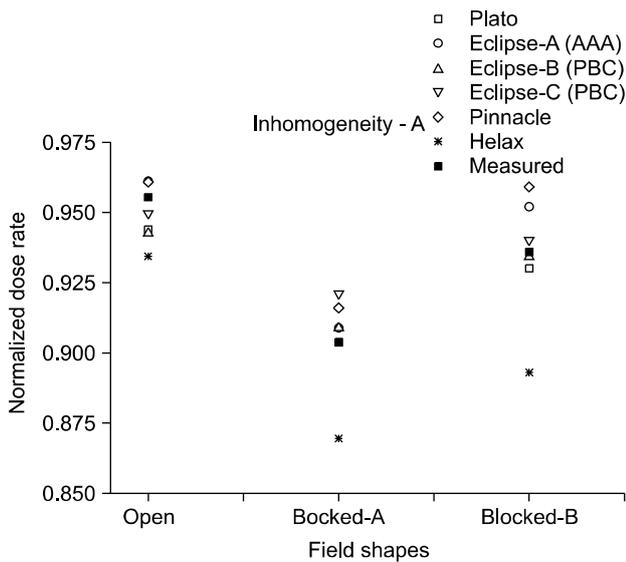


Fig. 6. Normalized dose rate calculated and measured in inhomogeneous phantom-A.

## 결 과

Fig. 3에서 Fig. 7까지의 결과는 대상 기하학적 구조들에 대하여 RTP 계산과 측정에 대한 NDR (Normalized dose rate)을 보여준다. 이 그래프들에서 측정값은 앞에서 언급한 바와 같이 각 기관에서 측정된 값들을 모두 평균하여

나타낸 것이다.

Fig. 3에 나타난 기준 팬텀(Fig. 1a)에 대한 결과에서 차폐조사면 Blocked-A인 경우에 Eclipse-A가 측정과 가장 가까운 결과를 보이고 있다. 4종류의 RTP 즉, Plato, Eclipse-B, C, Pinnacle은 측정보다 NDR을 높게 평가하고 있었으며, Helax는 낮게 평가하고 있음을 알 수 있다. 차폐조사면 Blocked-B의 경우에 Helax를 제외한 5종 RTP 모두는 NDR을 높게 평가하고 있다. 여기서 측정과 가장 가까운 결과를 보이는 RTP는 Plato, Eclipse-A와 C임을 알 수 있다. Helax의 경우에 두 종류의 차폐 조사면에 대하여 모두 NDR을 낮게 평가하고 있다. 이러한 분석은 RTP간의 차이는 물론 RTP의 오차까지 평가할 수 있다는 점에서 흥미롭다.

Fig. 4와 5는 비균일 표면을 가진 팬텀에 대한 분석결과로서 Fig. 3의 경우보다 다양한 특성을 관찰 할 수 있다. 양 각형태의 표면(Fig. 1b)에 대한 결과인 Fig. 4에서 Eclipse-A를 제외한 모든 RTP들은 NDR을 높게 평가하고 있음을 알 수 있으며, 이 때 Eclipse-A는 낮게 평가 하고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 Eclipse-A의 오차는 비교적 적으며 Blocked-B인 경우에 측정과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

음각형태의 표면(Fig. 1c)에 대한 결과인 Fig. 5에서 Open field의 경우에 대부분의 RTP 들은 NDR을 낮게 평가 하고 있음을 알 수 있으며, 차폐 조사면의 경우에는 Helax

를 제외하고는 높게 평가하고 있음을 알 수 있다. 음각형태의 팬텀 및 차폐 조사면에서 Helax는 모두 NDR을 낮게 평가하고 있었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 불균질 팬텀에 대한 결과이다. 양각형

태의 불균질 팬텀에 대한 계산결과인 Fig. 6에서, Open field의 경우에 Pinnacle을 제외한 모든 RTP들은 NDR을 낮게 평가하고 있다. 그렇지만 차폐조사면 Blocked-A에서는 Helax를 제외하고 모두 NDR을 높게 평가하고 있으며,

Table 2. Difference (%) between calculated and measured normalized dose.

		Plato	Eclipse-A (AAA)	Eclipse-B (PBC)	Eclipse-C (PBC)	Pinnacle	Helax
Ref. Phantom	Open	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Blocked-A	1.46	-0.18	1.79	1.67	0.77	-2.03
	Blocked-B	0.64	0.45	1.46	0.40	1.36	-2.44
Irregular Surface-A	Open	3.15	-0.90	0.81	1.78	1.50	3.62
	Blocked-A	3.52	-0.87	1.59	2.38	2.30	0.94
	Blocked-B	3.07	-0.14	1.57	2.58	2.96	0.87
Irregular Surface-B	Open	-1.28	-0.27	-1.27	-1.27	-0.06	-0.28
	Blocked-A	1.16	0.40	1.39	1.29	0.77	-2.42
	Blocked-B	-0.25	0.57	0.57	-0.49	1.60	-2.36
Inhomogeneity-A	Open	0.40	1.39	1.39	3.80	0.75	3.24
	Blocked-A	0.48	1.10	1.87	4.65	1.61	0.61
	Blocked-B	0.46	2.18	1.37	4.48	2.84	0.81
Inhomogeneity-B	Open	-3.45	0.02	-1.89	0.84	0.68	-2.75
	Blocked-A	-2.23	0.24	0.24	3.75	1.49	-3.19
	Blocked-B	-2.88	1.33	-0.58	2.11	2.69	-4.10

Table 3. Dose calculation criteria for RTP in AAPM report-62 and applied geometries to this evaluation.

Items	Criteria (±%)	Diff (%) / RTP		
		Plato min/max	Eclipse-A min/max	Eclipse-B min/max
Square fields	1.0	-	-	-
MLC-shaped fields	1.0~2.0	0.64/1.46	-0.18/0.45	1.46/1.79
Ext. surface variation	0.5~1.0	-1.28/3.52	-0.90/0.57	-1.27/1.57
Slab Inhomogeneities	3.0	-3.45/0.40	0.02/1.39	-1.89/1.39
3D Inhomogeneities	5.0	-2.88/0.48	0.24/2.18	-0.58/1.87
Items	Criteria (±%)	Diff (%) / RTP		
		Eclipse-C min/max	Pinnacle min/max	Helax min/max
Square fields	1.0	-	-	-
MLC-shaped fields	1.0~2.0	0.40/1.67	0.77/1.36	-2.44/-2.03
Ext. surface variation	0.5~1.0	-1.27/2.58	-0.06/2.96	-2.36/3.62
Slab Inhomogeneities	3.0	0.84/3.80	0.68/0.75	-2.75/3.24
3D Inhomogeneities	5.0	0.84/4.65	1.49/2.84	-4.10/0.81

Blocked-B에서는 Plato와 Eclipse-A는 NDR을 다소 높게 평가하고 있었으며 Helax는 낮게 평가하고 있었다. Blocked-B에서 Eclipse-B,C 그리고 Plato는 측정값과 가장 좋은 일치율을 보이고 있다.

Fig. 7은 음각형태의 불균질 팬텀에 대한 계산결과이다. 이 결과에서는 모든 RTP들이 NDR을 높게 평가하고 있음을 알 수 있다. Open field의 경우에 Eclipse-A, B 및 Pinnacle과 Plato가 비교적 측정값에 가까우며, 차폐조사면 Blocked-A의 경우에는 Eclipse-C를 제외하고는 대체로 측정값에 근접함을 알 수 있다. 차폐조사면 Blocked-B의 경우에는 Eclipse-B, C 및 Plato가 비교적 측정값에 근접하고 있다.

Table 2는 팬텀과 조사면의 형태들에 따른 각 RTP 계산 결과의 측정결과와의 차이 즉, 오차를 정리하여 나타낸 것이다. 그리고 Table 3은 AAPM Report-62의 평가항목에 대하여 RTP간 오차의 최소값과 최대값을 허용범위와 함께 나타낸 것이다.

Plato의 경우에 차폐조사면(MLC shaped field)과 불균질 물질(Slab and 3D inhomogeneity)의 계산에 있어서 오차가 대체로 허용범위 이내이지만 팬텀이 표면 불균일성(External surface variation)을 가지는 경우에 오차가 다소 큰 것으로 나타났다.

Eclipse-A의 경우에 주어진 평가항목에 있어 대부분 허용범위에 해당한다. 특히 오차가 비교적 높은 표면 불균일성에 있어서도 측정과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Eclipse-B는 불균일 물질의 계산에 있어서 오차가 허용범위 이내를 가지지만 차폐조사면과 표면 불균일성을 가지는 경우에 오차가 비교적 높은 것으로 나타났다.

Eclipse-C는 표면 불균일성을 가지는 경우를 제외하고는 차폐조사면과 불균질 물질의 계산에서 오차가 허용범위 이내를 가지는 것으로 나타났다.

Pinnacle의 경우에도 표면 불균일성을 가지는 경우를 제외하고는 차폐조사면과 불균질 물질의 계산에서 오차가 허용범위 이내를 가지는 것으로 나타났다. 특히 Pinnacle은 Slab inhomogeneity에서 측정과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

Helax는 3D inhomogeneity에서 허용범위 이내를 보이는 것을 제외하고 다른 기하학적 구조에서 모두 허용범위를 초과하는 것으로 나타났다. 그렇지만 Helax는 차폐조사면의 계산에서 측정과 잘 일치하고 있었으며, 종합평가에서 높은 오차를 보인 이유는 Open field에서 오차가 다소 높게 나타났기 때문이다.

## 토의 및 결론

본 연구에서는 6종에 대한 RTP의 실험 결과에 대하여 오차를 평가하고 AAPM Report-62의 평가 항목에 적용하여 RTP 오차의 허용범위 여부를 조사하였다. 이를 위하여 NDR(Normalized dose rate) 개념을 도입하여 RTP 계산값과 측정값을 동일한 기준으로 비교할 수 있도록 하였다.

평가결과 대부분의 RTP들은 차폐조사면과 불균질 물질의 계산에서 허용범위 이내의 오차를 보였으나 표면 불균일성에 대해서는 대부분 허용범위를 초과하는 것으로 나타났다. 계산결과가 가장 측정과 가까운 RTP는 Eclipse-A로 나타났다.

비록, 6종류의 대상 RTP 및 4가지의 평가항목 그리고 NDR이라는 선량개념 만으로 RTP의 오차를 평가하였지만, 본 연구결과는 기초 데이터 확보에 있어서 중요하다. 그 이유는 본 실험은 CT 스캔에서 치료계획 및 MU 계산 그리고 기하학적 구조에 대한 측정에 이르기까지 각 기관별 만 하루가 소요되는 과정으로서 추후 오차의 공개여부에 이르기까지 각 기관의 적극적 협조가 필요한 연구인 관계로 국내에서는 현재까지 수행된바 없기 때문이다.

계산결과 오차는 기초 데이터와 계산 알고리즘 그리고 CT 교정곡선 등에 의존하기 때문에 현재 각 RTP들의 오차가 어느 요소로부터 기여하는지는 확인하기 어렵다. 이 때 본 연구에서 분석한 RTP의 오차들이 모든 기하학적 요소를 대변하는 것은 결코 아니다. 즉, 한 평가항목에 대하여 다양한 기하학적 구조가 도출될 수 있기 때문에 이 경우 RTP의 오차의 평가는 어려우며 주관적 요소가 상당히 개입될 수 있다. 이는 AAPM Report-62에서 각 평가항목에 대하여 기준이 되는 기하학적 형태를 제시하지 않기 때문인데, 본 연구를 토대로 RTP의 올바른 오차의 평가를 위한 표준 기하학적 구조를 도출해야 할 것으로 생각한다. 따라서 본 연구는 RTP의 평가를 위한 기초 자료의 확보와 방법론 개발에 기초 연구로서 초석이 될 것으로 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. AAPM Report No. 13 (Task Group-24): Physical Aspects of Quality Assurance in Radiation Therapy (1994)
2. AAPM Report No. 46 (Task Group-40): Comprehensive QA for Radiation Oncology (1994)
3. AAPM Report No. 47 (Task Group-45): AAPM Code of

- Practice for radiotherapy Accelerators (1994)
4. **AAPM Report No. 62 (Task Group-53):** Quality Assurance of clinical radiotherapy treatment planning (1998)
  5. **AAPM Report No. 85 (Task Group-65):** Tissue Inhomogeneity Corrections for Megavoltage Photon Beams (2004)
  6. **AAPM REPORT NO. 86:** Quality Assurance for Clinical Trials: A Primer for Physicists (2004)
  7. **Technical Reports Series No. 430:** Commissioning and Quality Assurance of Computerized Planning Systems for Radiation Treatment of Cancer (2004)
  8. **Umeå University:** Developing and Evaluating Dose Calculation Models for Verification of Advanced Radiotherapy. Department of Radiation Sciences, Radiation Physics. Umeå University, Sweden (2006)
  9. **IAEA-TECDOC-1540:** Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems (2007)
  10. **CAPCA (Canadian Association of Provincial Cancer Agencies):** Standards for Quality Control at Canadian Radiation Treatment Centres - Treatment Planning Systems (2007)
  11. **IAEA-TECDOC-1583:** Commissioning of Radiotherapy Treatment Planning Systems: Testing for Typical External Beam Treatment Techniques (2008)
  12. **Starkschall G, Steadham Jr RE, Popple RA.** Beam-commissioning methodology for a three dimensional convolution-superposition photon dose algorithm. *Am Coll Med Phys* 1:8-20 (2000)
  13. **Butts JR, Foster AE.** Comparison of commercially available three-dimensional treatment planning algorithms for monitor unit calculations in the presence of heterogeneities. *J Clin Appl Med Phys* 2:32-41 (2001)
  14. **Miften M, Wiesmeyer M, Kapur A.** Comparison of RTP dose distributions in heterogeneous phantoms with the BEAM Monte Carlo simulation system. *J Clin Appl Med Phys* 2:21-31 (2001)
  15. **Krieger T, Otto A, Sauer.** Monte Carlo- versus pencil-beam/collapsed-cone dose calculation in a heterogeneous multi-layer phantom. *Phys Med Biol* 50:859-868 (2005)
  16. **Knoos T, Wieslander E, Cozzi L, 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)
  17. **Bragga CM, Wingatea K, Conway J.** Clinical implications of the anisotropic analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification. *Radiother Oncol* 86:276-284 (2008)

## Estimation of RTP Accuracy Based the International Reference Level

Young Kee Oh\*, Ki Hwan Kim<sup>†,‡</sup>, Dong Hyeok Jeong<sup>§</sup>, Tae Jin Choi\*, Jin Hee Kim\*, Ok Bae Kim\*

\*Department of Radiation Oncology, Keimyung University Dongsan Medical Center, Daegu,  
<sup>†</sup>Cancer Research Institute, <sup>‡</sup>Department of Radiation Oncology, Chungnam National University College of Medicine, Daejeon, <sup>§</sup>Department of Radiation Oncology, Wonkwang University Hospital, Iksan, Korea

In this study, we have estimated error of calculation results for 6-type RTP systems and investigated a toleration for error of the RTPs referenced from the evaluation items of AAPM Report-62. For this study, we have introduced the concept of 'normal dose rate(NDR)' and compared the results of experiment and calculation from RTPs at the same reference level. The results from all RTPs were satisfied at various field shapes and heterogeneous phantom materials except the surface irregularity.

**Key Words:** RTP, Error estimation, AAPM Report-62