

## 소형 전리함에 대한 TRS-398 선질인자 계산과 중심전극 보정에 관한 연구

동남권원자력의학원 \*연구센터, †방사선종양학과, ‡동아대학교 물리학과, §전북대학교 방사선과학기술학과

강영록\* · 이창열† · 김진호† · 문영민\*‡ · 광동원\*‡ · 강상구§ · 김정기\* · 양광모\* · 정동혁\*

TRS-398 프로토콜에서 중심전극에 대한 최근의 연구 결과들을 적용하여 선질인자( $k_{Q,Q_0}$ )를 평가하였다. 대상 전리함은 PTW-31010과 IBA-CC13이었다. 광자선 및 전자선 선질의 함수로서 선질인자를 계산하였으며 현재 TRS-398 프로토콜의 값들과 비교하였다. PTW-31010 전리함과 같이 알루미늄 전극으로 구성된 전리함에 대하여 새로운 보정을 취하는 경우에 선질인자가 광자선에서 최대 0.4% 그리고 전자선에서 최대 0.9% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 IBA-CC13과 같이 C-552 전극을 사용하는 전리함의 경우에 기존의 보정체계를 그대로 적용할 수 있음을 확인하였다.

중심단어: TRS-398 프로토콜, 선질인자, 중심전극보정

### 서 론

2000년 국제원자력기구에서 개발한 선량측정 프로토콜 TRS-398<sup>1)</sup>과 같은 시기 미국의학물리학회(American Association of Physicist in Medicine, AAPM)에서 발표한 TG-51<sup>2)</sup>은 기존의 공기커마에 기반한 복잡한 방법보다 물흡수선량에 기반한 방법을 사용함으로써 방사선치료 분야에서 흡수선량의 불확정성을 낮추는데 큰 기여를 하고 있다. TRS-398의 경우에 2004년 버전 11 b<sup>3)</sup>를 통하여 그간 새로 상품화된 전리함에 대한 자료들을 보충함으로써 사용자에게 다양한 전리함들을 사용하여 물 흡수선량을 결정할 수 있도록 하고 있다. 반면에 TG-51은 광자선 선질변수를 %DD(10)<sub>x</sub>로 취하고 있는 점, 선질변수 측정에 오염전자 제거용 납판이 필요한 점, 그리고 다양한 전리함에 대한 자료가 적은 점 등으로 인하여 IAEA 프로토콜보다 다소 불편함을 가진다. 이에 TRS-398의 사용이 확대될 것으로 예측할 수 있으며 이에 대한 기반 연구의 수행에 관심을 가지는 것이

필요하다고 할 수 있다.

TRS-398 프로토콜<sup>1)</sup>에서는 고에너지 광자선 및 전자선에 대하여 표준기관으로부터 소급성이 유지된 물흡수선량고정계수( $N_{D,w,Q_0}$ )와 프로토콜에 수록된 선질인자(Quality factor;  $k_{Q,Q_0}$ )를 이용하여 흡수선량을 결정하도록 하고 있다. 여기서  $N_{D,w,Q_0}$ 는 표준기관에서 결정하는 인자이며  $k_{Q,Q_0}$ 는 프로토콜에 제시된 수치값이다. 따라서 임상 의학물리학자는 프로토콜의 적용시  $k_{Q,Q_0}$ 의 결정에 신중을 기해야 하는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 Jeong 등<sup>4)</sup>은 파머형전리함 7종에 대하여 알려진 수식체계를 사용하여  $k_{Q,Q_0}$ 를 계산하여 프로토콜에 수록된 값과의 0.4% 이내 일치를 보고한바 있다.

한편 TRS-398 (V.11b)<sup>3)</sup>에서는 새로운 전리함에 관련된 자료들을 추가하여 제시하고 있지만 수식체계에 대해서는 전혀 보완되지 않았다. 현재 선질인자 결정의 수식체계에서 다소 취약한 부분 중의 하나는 중심전극의 보정( $p_{cel}$ )이라고 할 수 있다. 현행 TRS-398 프로토콜에서는  $p_{cel}$ 의 결정에 있어서 알루미늄 전극에 대해서만 다루고 있으며 모든 선질에서  $p_{cel}$ 의 선형적인 변화를 가정하거나 또는 선질과 무관한 단일 값을 취하고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 점은 최근 Muir와 Rogers<sup>5)</sup>의 연구에서 나타났듯이 동일한 물질에서도 전극의 직경과 길이에 따라  $p_{cel}$ 의 차이가 있음을 고려할 때 전극의 물질과 크기에 대해서 다양한 평가가 요구되며 필요시 프로토콜의 보완도 필요하다고 할 수 있다. 특히 소형 전리함의 경우에 파머형 전리함(Farmer type ionization cha-

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 동남권원자력의학원의 지원을 받아 수행된 연구임(동남권원자력의학원 과제번호: 50592-2011).

이 논문은 2011년 9월 1일 접수, 2011년 9월 19일 수정, 2011년 9월 21일 채택되었음.

책임저자 : 정동혁, (619-953) 부산시 기장군 장안읍 좌동리  
동남권원자력의학원 연구센터  
Tel: 051)720-5085, Fax: 051)720-5979  
E-mail: physics7@empal.com

mber)과는 달리 공동의 체적이 유사한 경우에도 제작사에 따라 형태와 구조가 서로 상이하기 때문에 TRS-398 프로토콜을 적용하기 위해서는 개별 전리함에 대한 보정과 선질 인자의 평가가 선행되어야 할 것으로 생각한다. 최근 임상에서 세기조절방사선치료와 방사선수술이 증가되고 있으며 이에 대한 정도관리시 소형 전리함이 사용되고 있는 것을 고려할 때 소형 전리함에 대한 평가가 보다 중요한 시점이라고 할 수 있다.

이러한 배경과 함께 본 연구에서는 임상에서 널리 사용하는 대표적 두 소형 전리함을 선정하고 앞에서 언급된 문제들을 두 가지 측면에서 다루었다. 첫번째는 대상 전리함에 대한 선질인자의 재평가로서 TRS-398에 제시된 방법대로 선질인자를 계산으로 결정하여 프로토콜에 수록된 값과 비교하였으며, 두번째는 중심전극 보정에 대한 보완으로서 최근 보고된 중심전극 보정에 관한 자료를 선질인자 수식 체계에 적용하여 새로운 선질인자를 유도하여 평가하였다.

본 논문에서는 기존 Jeong 등<sup>4)</sup>의 논문에서 수식과 수치 등을 상세히 다루었기 때문에 본 논문에서는 선질인자 계산과 관련된 내용을 단순화하였으며 중심전극의 보정에 관한 내용에 보다 비중을 두었다.

## 대상 및 방법

### 1. 전리함 및 선질인자

본 계산에 적용된 전리함과 각 전리함의 주요 특성은 Table 1과 같다. 이 Table에서 PTW-31010 전리함은 Semiflex<sup>®</sup>로 알려져 있으며 벽물질은 밀도 1.19 g/cm<sup>3</sup>인 PMMA (Poly Methacrylate)로 제작되어 있다. IBA-CC13 전리함에서 벽과 전극은 모두 C-552 물질을 사용하며 이 때 C-552는 공기등가 플라스틱(Air equivalent plastic)으로 알려져 있으며 밀도는 1.76 g/cm<sup>3</sup>이다. 이 두 전리함은 모두 전리 체적 0.13 cm<sup>3</sup>로서 일반적인 파머형전리함보다 약 4.5배 정도 작아 임상에서 세기조절방사선치료와 방사선수술 등에 유용하게 사용되고 있다. 세기조절방사선치료의 인수검사에 대하여 다룬 AAPM TG-119 보고서<sup>6)</sup>에서도 선량측정에 0.125 cm<sup>3</sup> 전리

함의 사용을 권고하고 있다.

IAEA TRS-398에 의하면 광자선 및 전자선에 대한 선질 인자를 다음과 같이 표현할 수 있다.<sup>1)</sup>

$$k_{Q,Q_0} \approx \frac{[s_{w,air} P_Q]_Q}{[s_{w,air} P_Q]_{Q_0}} \quad (1)$$

여기서,  $s_{w,air}$ 는 물과 공기의 저지능비, 그리고  $P_Q$ 는 전리함으로 인한 물속의 플루언스의 변화를 보정하는 총교란 보정인자(Overall perturbation factor)이다.<sup>1)</sup> 총교란보정인자는  $P_Q = [p_{cav} p_{dis} p_{wall} p_{cel}]_Q$ 와 같이 표현되며, 이 때  $p_{cav}$ 는 전리함 공동에서 전자의 산란이 물과 다른 점을 보정,  $p_{dis}$ 는 공동의 크기로 인한 변위 보정,  $p_{wall}$ 은 전리함의 벽이 물과 다른 점을 보정, 그리고  $p_{cel}$ 은 중심전극에 의한 반응의 차이를 보정한다. (1)식에서  $Q$ 는 전자선 또는 광자선 임의의 선질에 대한 값이며  $Q_0$ 는 교정선원 즉, 코발트-60 선원에 대한 값이다.

### 2. 선질인자 결정 수식체계

고에너지 광자선에 대한  $s_{w,air}$ 의 경우에 본 연구에서는 실용적 측면에서 Andereo<sup>7)</sup>의 연구로부터 얻어진 다음 식을 사용하였다.

$$s_{w,air} = 1.3614 - 1.2963Q + 2.5302Q^2 - 1.6896Q^3 \quad (2)$$

여기서  $Q$ 는 선질변수  $TPR_{20,10}$ 이다.

$P_Q$ 의 성분들은 TRS-398에 제시된 식 또는 Jeong 등<sup>4)</sup>의 연구에서 해석한 식들을 사용하여 계산할 수 있다. 이 때  $p_{wall}$ 의 경우에 다음 식으로 주어지는데<sup>1)</sup>,

$$p_{wall} = \frac{\alpha s_{wall,air} (\mu_{en}/\rho)_{wall}^w + \tau s_{sleeve,air} (\mu_{en}/\rho)_{sleeve}^w + (1 - \alpha - \tau) s_{w,air}}{s_{w,air}} \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\tau$ 는 공동에 수집된 전하 중 전리함벽과 방수슬리브로부터 발생한 비율,  $s_{wall,air}$ 와  $s_{sleeve,air}$ 는 전리함벽 및 방수슬리브 물질과 공기의 저지능비, 그리고  $(\mu_{en}/\rho)_{wall}^w$ 과  $(\mu_{en}/\rho)_{sleeve}^w$ 은 물과 전리함벽 및 방수슬리브 물질의 질량에너지흡수계수의 비이다. 본 연구의 경우에

Table 1. Cylindrical ionization chambers used in this study.

Chamber model	Cavity volume (cm <sup>3</sup> )	Cavity radius (mm)	Wall		Central electrode material
			Material	Thickness (g/cm <sup>2</sup> )	
PTW 31010	0.13	2.8	PMMA	0.078	Aluminium
IBA CC-13	0.13	3.0	C-552	0.070	C-552

대상 전리함은 모두 방수가 가능한 전리함들이기 때문에 위 식의 적용시  $\tau=0$ 으로 취하였다.

$P_Q$ 의 계산시 중심전극의 효과를 보정하는  $p_{cel}$ 의 경우에 TRS-398에서는 직접 값을 제시하고 있지 않으나 중심전극이 알루미늄으로 구성된 경우에만 고려하며 선질의 함수로서  $TPR_{20,10}=0.58$ 과  $0.80$ 에서  $p_{cel}=0.993$ 과  $0.995$ 로 정하고 중간 선질에 대하여 선형내삽을 한 것으로 해석된다.<sup>1,4)</sup>

고에너지 전자선에 대하여 선질인자의 계산시 TRS-398에서는  $s_{w,air}$ 와  $P_Q$ 의 성분중  $p_{aw}$ 와  $p_{cel}$ 만을 고려하며 다음과 같은 식으로 결정하였다.<sup>1)</sup>

$$s_{w,air} = 1.253 - 0.1487(R_{50})^{0.214} \quad (4)$$

여기서  $R_{50}$ 은 전자선 깊이선량율이 50%인 깊이(g/cm<sup>2</sup> 단위)이다. 그리고  $p_{aw}$ 는 다음과 같은 식을 사용하였다.<sup>1)</sup>

$$p_{aw} = 1 - 0.0217 r_{cyl} \exp(-0.15R_{50}) \quad (5)$$

여기서  $r_{cyl}$ 은 mm 단위의 전리함 공동의 반경이다.  $p_{cel}$ 의 경우에 Ma와 Nahum<sup>8)</sup>의 연구를 토대로 전극이 알루미늄인 경우에 모든 에너지에서  $p_{cel}=0.998$ 을 적용하였다고 언급하고 있다.

고에너지 전자선에 대하여  $P_Q$ 의 결정에서 나머지 인자들을 보면, 변위보정의 경우에 전리함의 위치가 기준 조건을 만족하는 경우에  $p_{dis}=1.000$ , 벽에 대한 교란보정( $p_{wall}$ )의 경우에는 자료의 부족으로 인하여  $p_{wall}=1.000$ 으로 취하였다고 언급하고 있다.<sup>1)</sup>

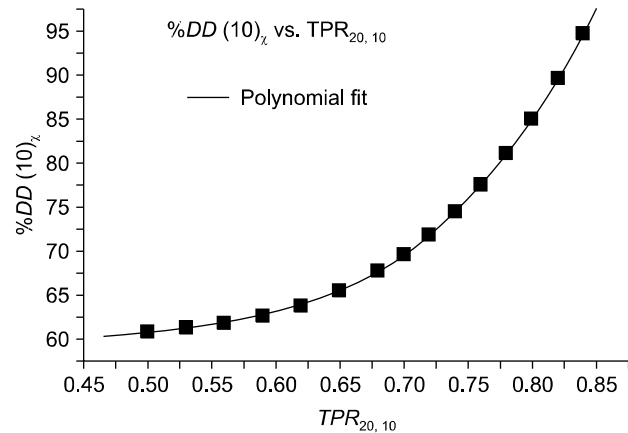


Fig. 1. Relationship between  $\%DD(10)_x$  and  $TPR_{20,10}$  in description of photon beam quality.

### 3. 중심전극의 효과

앞에서 논의한 바와 같이 TRS-398에서는 광자선과 전자선 모두 중심전극에 대한 보정이 미흡함을 알 수 있다. 최근 Muir와 Rogers<sup>5)</sup>는 몬테칼로 계산을 이용하여 킬로볼트 선질에서 고에너지 광자선 및 전자선에 이르기까지 다양한 중심전극 물질에 대하여  $p_{cel}$ 을 보고한 바 있다. 먼저 코발트-60 기준 선원에 대하여 알루미늄 전극을 사용하는 PTW-N31010 전리함의 경우에  $p_{cel}(Q_0)=0.9885$ 로 나타났으며, C-552 전극을 사용하는 IBA-CC13 전리함의 경우에  $p_{cel}(Q_0)$ 은 거의 1에 가까운 값을 보였다. 우선 이 결과는 TRS-398에서 알루미늄 전극을 사용하는 모든 전리함에 대하여  $p_{cel}(Q_0)=0.993$ 으로 가정한 것과 약 0.5%의 차이를 보이고 있다.

본 연구에서는 Muir와 Rogers<sup>5)</sup>의 연구 결과를 직접 적용하였는데, 이들의 연구에서 AAPM TG-51<sup>2)</sup>의 관점에서 광자선 선질변수를  $\%DD(10)_x$ 로 취하였기 때문에 본 연구에 직접 적용할 수 없으므로 다음과 같이 저지능비를 이용하여 선질변수를  $TPR_{20,10}$ 로 변환하였다.

먼저 Rogers와 Yang<sup>9)</sup>의 연구에 의하면 광자선의 저지능비를 다음과 같이  $\%DD(10)_x$ 의 함수로 표현할 수 있다.

$$s_{w,air} = 1.275 - 0.0231(\%DD(10)_x) \quad (6)$$

따라서  $TPR_{20,10}(Q)$ 과 저지능비의 관계가 (2)식으로 주어지므로 본 연구에서는 이 두식을 조합하여 다음과 같은 다항식을 결정하였다.

$$\%DD(10)_x = -37.403 + 561.169Q - 1095.32Q^2 + 731.43Q^3 \quad (7)$$

이 결과는 Fig. 1과 같은데, 이 관계는 본 연구의 목적 이외에도 고에너지 광자선 선질변수에 관한 연구시 유용하게 사용될 수 있다.

따라서 위 관계식을 이용하여 Muir와 Rogers<sup>5)</sup>의 결과에서  $\%DD(10)_x$ 의 함수로 주어진 알루미늄과 C-552 전극에 대한  $p_{cel}$ 의 값을 본 연구에 적용 가능한 형태로 변환할 수 있다.

Fig. 2는 이와 같이 구한  $TPR_{20,10}$ 의 함수로서 알루미늄 전극에 대한  $p_{cel}$ 값을 보여준다. 여기서 선형적으로 결정된 알루미늄 전극에 대한  $p_{cel}$ 의 맞춤식을 제시하면 다음과 같다.

$$p_{cel}(Al, Q) = 0.97884 + 0.01722Q \quad (8)$$

광자선에 대한 C-552 전극의 경우에 Muir와 Rogers<sup>5)</sup>의 연구결과 TRS-398 프로토콜에서 예상한 바와 같이  $p_{cel}$ 이

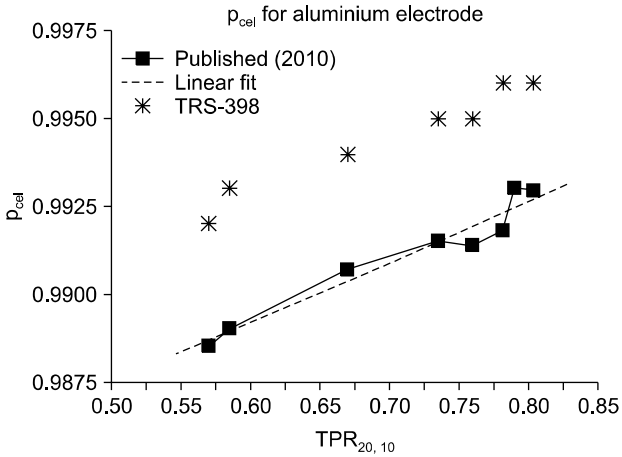


Fig. 2. Central electrode correction factors based on the study of Muir and Rogers (2011) for aluminium electrode as a function of photon beam quality and comparison with those of TRS-398 protocol.

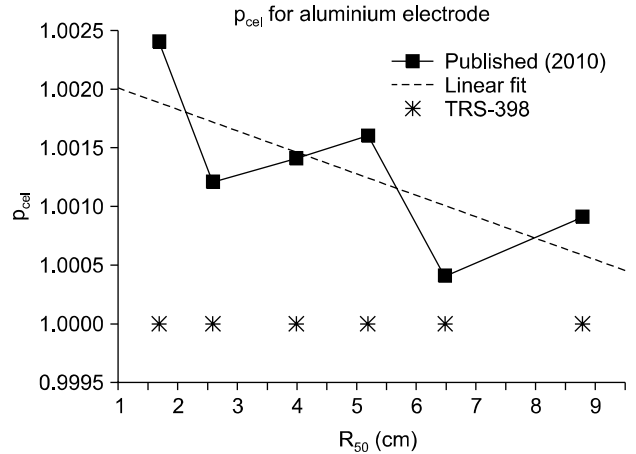


Fig. 4. Central electrode correction factors based on the study of Muir and Rogers (2011) for C-552 electrode as a function of electron beam quality and comparison with those of TRS-398 protocol.

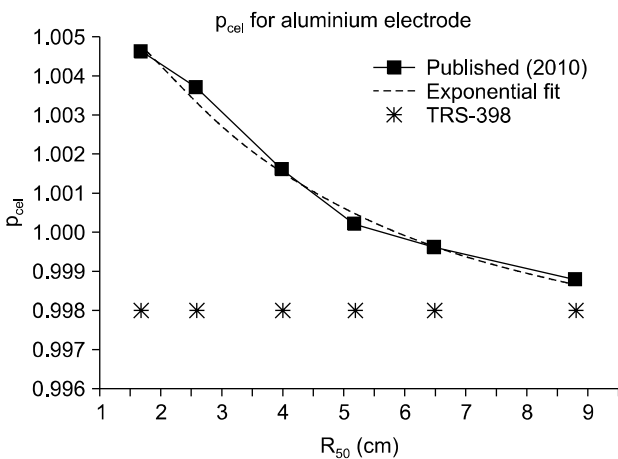


Fig. 3. Central electrode correction factors based on the study of Muir and Rogers (2011) for aluminium electrode as a function of electron beam quality and comparison with those of TRS-398 protocol.

1.000 근처를 보이고 있으므로 본 연구에서는 기존과 변화 없이  $p_{cel}=1.000$ 으로 취하였다.

전자선의 경우에도 유사한 방법으로 구한 결과 알루미늄과 C-552 전극에 대하여 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 나타났으며 각 그림에 제시된 맞춤식은 다음과 같다.

$$p_{cel}(Al, R_{50}) = 0.9975 + 0.00734 \times \exp(-0.2553R_{50} - 0.4340) \quad (9)$$

$$p_{cel}(C-552, R_{50}) = 1.0022 - 1.8395 \times 10^{-4} R_{50} \quad (10)$$

이러한 단편적 결과들을 볼 때 최근 연구된 알루미늄 전

극에 대한  $p_{cel}$ 의 값이 현재 TRS-398에서 사용하는 광자선에서 약 5% 그리고 전자선에서 0.1~0.7%의 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며, C-552의 경우에는 기존에 사용된 값들과 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

본 연구에서는 이와 같이 결정한 알루미늄과 C-552에 대한 수식 체계를 선질인자에 적용하여  $p_{cel}$ 을 결정하였으며 그 결과를 현재 사용중인 TRS-398에서의 값과 비교하였다.

## 결 과

Fig. 5와 Fig. 6은 PTW-31010과 IBA-CC13 두 전리함 각각에 대한 광자선 선질의 함수로서 선질인자의 계산 결과를 보여준다. 그리고 Fig. 7와 Fig. 8은 고에너지 전자선에서 각각의 전리함에 대한 결과이다. 이 때 선으로 나타낸 것(default  $p_{cel}$ )은 TRS-398에서 사용한  $s_{w,air}$ 와  $P_Q$ 의 값으로 계산한 결과이며, 점선으로 나타낸 것(new  $p_{cel}$ )은  $P_Q$ 의 성분인  $p_{cel}$  계산식 앞에서 결정한 (8)식을 사용한 결과를 의미한다.

Fig. 5에서 알루미늄 전극을 사용하는 PTW-31010 전리함의 경우에 기존의 자료들을 사용하여 선질인자를 계산한 경우에 TRS-398에 수록된 값과 약 0.2% 이내의 차이로서 잘 일치하고 있으며, 새로운  $p_{cel}$ 을 적용한 경우에도 최대 0.4%의 차이만이 있었다.

Fig. 6에서 C-552 전극을 사용하는 IBA-CC13 전리함의 경우에  $p_{cel}$ 의 변화가 없으므로 기존 자료를 사용한 계산결과와 TRS-398에 수록된 값만을 비교하였다. 두 결과는 0.2% 이내로 잘 일치하였다.

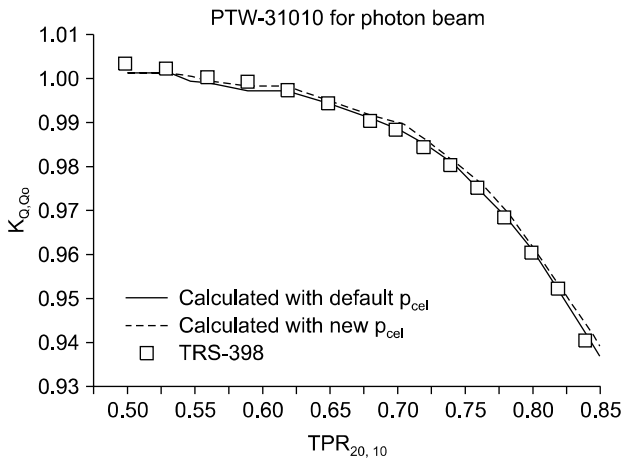


Fig. 5. Quality factors calculated with default central electrode correction in TRS-398 protocol and new correction in this work, and compared with listed data for PTW-31010 chamber in high energy photon beam.

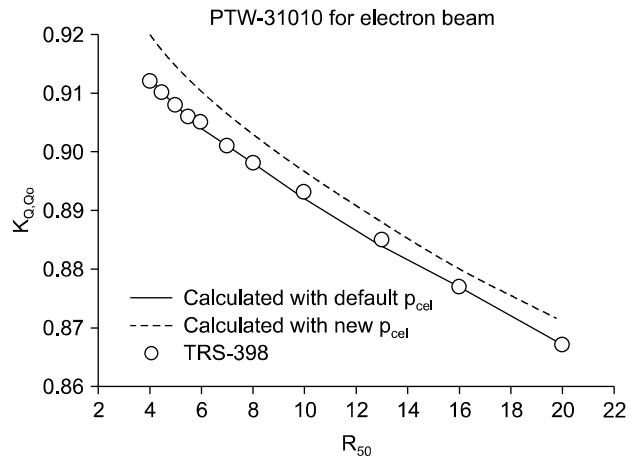


Fig. 7. Quality factors calculated with default central electrode correction in TRS-398 protocol and new correction in this work, and compared with listed data for PTW-31010 chamber in high energy electron beam.

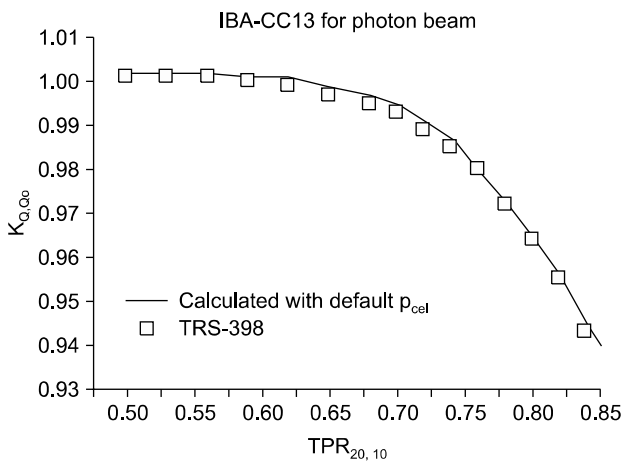


Fig. 6. Quality factors calculated with default central electrode correction in TRS-398 protocol and compared with listed data for IBA-CC13 chamber in high energy photon beam.

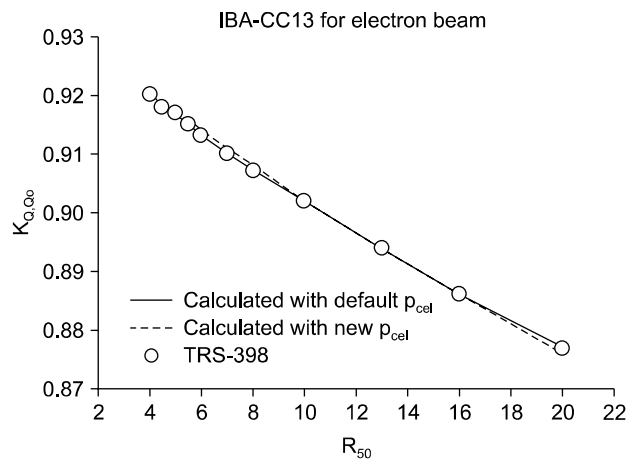


Fig. 8. Quality factors calculated with default central electrode correction in TRS-398 protocol and new correction in this work, and compared with listed data for IBA-CC13 chamber in high energy electron beam.

Fig. 7에서 PTW-31010 전리함의 경우에 기존의 자료를 사용하여 계산했을 때 TRS-398에 수록된 값과 0.1% 이내 차이로서 거의 동일한 값을 보이고 있으나, 새로운  $p_{cel}$ 을 적용한 경우에 최대 0.3~0.9% 범위에서 차이를 보였다. 그 차이는 에너지가 낮을수록 높는데 그 이유는 (9)식 및 Fig. 3에 나타난 바와 같이 현재 TRS-398에서는 알루미늄 전극에 대해 모든 에너지에서 동일한 값을 취하고 있으나 새로운  $p_{cel}$ 의 경우에 에너지에 따라 반비례하는 특성을 가지기 때문이다.

Fig. 8에서 보인 IBA-CC13 전리함의 경우에 (10)식 및 Fig. 4에서와 같이 C-552 물질에서  $p_{cel}$ 의 기여가 거의 없기

때문에 기존 값과의 차이가 0.1%로 나타났다.

### 고찰 및 결론

본 연구에서는 TRS-398 프로토콜의 정확한 적용 그리고 수식체계의 평가와 보완 차원에서 두 소형 전리함에 대하여 TRS-398에 제시된 측정학적 인자들을 조합하여 선질인자를 계산하고 또한 이를 토대로 중심전극의 보정에 대해

최근 연구된 자료를 적용하여 선질인자를 계산하여 현재 사용하는 값들과 상호 비교하였다. 그 결과 현재 프로토콜에 수록된 값들과 잘 일치하는 결과를 얻었으며 새로운 보정을 취했을 때 알루미늄 전극의 경우에 광자선에서 최대 0.4% 그리고 전자선에서 최대 0.9%의 차이를 발견하였다. 이 때 C-552 전극인 경우에는 현재 프로토콜의 값들과 차이가 없는 것으로 나타났다.

TRS-398에서는 선질인자의 불확정도를 약 1%로 평가하고 있으므로 알루미늄 전극을 사용하는 전리함에 대하여 새로운 보정을 적용하지 않아도 큰 문제는 없을 것으로 평가된다. 그렇지만 이러한 절차를 통하여 프로토콜에 수록된 값들을 재확인하는 것은 전리함 사용자의 관점에서 중요하다 할 수 있다. 또한 본 연구에서와 같이 새로운 인자들을 적용하고 프로토콜을 보완하고자 하는 시도는 향후 새로운 전리함을 개발하거나, 새로운 모델의 전리함의 도입시, 그리고 새로운 프로토콜의 개발을 위한 기반 연구로서 필요하다고 생각한다.

비록 본 연구에서 다양한 전리함과 중심전극 물질에 대하여 다루지 않았으나 연구결과는 소형 전리함이 사용되는 세기조절방사선치료와 방사선 수술 분야에서 참고할 수 있을 것으로 본다. 이러한 측면에서 향후 보다 작은 전리함을 대상으로 연구를 확장해야 할 것으로 생각하며 중심전극의 물질과 형태와 관련된 보정에 대해서도 지속적인 연구를 수행해야 할 것으로 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. **TRS-398**: Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Report Series No. 398. IAEA Vienna (2000)
2. **TG-51**: AAPM's TG-51 protocols for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. Med Phys 26: 1847-1870 (1999)
3. **TRS-398**: Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Report Series No. 398 (Ver. 11 b). IAEA Vienna (2004)
4. 정동혁, 신교철, 오영기, 김정기, 김진기, 김기환: 고에너지 광자선에 대한 TRS-398 선질보정인자의 직접 계산. 의학물리 17: 54-60 (2006)
5. **Muir BR, Rogers DWO**: The central electrode correction factor for high-Z electrodes in small ionization chambers. Med Phys 38:1081-1088 (2011)
6. **AAPM TG-119**: IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons. Med Phys 36:5359-5373 (2009)
7. **Andreo P**: Improved calculations of stopping-power ratios and their correlation with the quality of therapeutic photon beams. Measurement Assurance in Dosimetry (Proc. Symp. Vienna, 1993) IAEA, Vienna (1994) pp. 335-359
8. **Ma CM, Nahum AE**: Effect of the size and composition of the central electrode on the response of cylindrical ionization chambers in high-energy photon and electron beams. Phys Med Biol 38:267-290 (1993)
9. **Rogers DWO, Yang CL**: Corrected relationship between  $\%DD(10)_x$  and stopping-power ratios. Med Phys 26:538-540 (1999)

## Study on the Evaluation of TRS-398 Quality Factors with Central Electrode Corrections for Small Cylindrical Chambers

Yeong-Rok Kang\*, Chang Yeol Lee<sup>†</sup>, Jin Ho Kim<sup>†</sup>, Young Min Moon\*<sup>‡</sup>, Dong Won Kwak\*<sup>‡</sup>, Sang-Koo Kang<sup>§</sup>, Jeung Kee Kim\*, Kwangmo Yang\*, Dong Hyeok Jeong\*

\*Research Center, <sup>†</sup>Department of Rad. Oncology, Dongnam Inst. of Radiological & Medical Sciences,

<sup>‡</sup>Department of Physics, Dong-A University, Busan,

<sup>§</sup>Department of Radiation Science & Technology, Chonbuk National University, Jeonju, Korea

The quality factors ( $k_{Q,Q_0}$ ) were evaluated by applying the results recently studied for the effect of central electrode in TRS-398 protocol. The PTW-31010 and IBA-CC13 chambers were used in this study. The quality factors were calculated as a function of beam quality for high energy electron and photon beams and compared with data currently used in TRS-398 protocol. In the PTW-31010 chamber using aluminium electrode, applying the new central electrode corrections, the quality factors were 0.4% and 0.9% higher than current TRS-398 data for high energy photon and electron beams respectively. In the IBA-CC13 chamber using C-552 electrode, there are no variations in quality factors compared to TRS-398 data currently used.

**Key Words:** TRS-398 protocol, Quality factor, Central electrode correction