

환자의 재현성을 위한 고정장치(Vac-lok) 제작과 방사선치료에서 유용성 평가

이재승^{*,†}, 김경희[‡], 정규환[‡], 권대철[§], 구은희^{||,†}, 박철우[¶], 임인철[#], 동경래^{**,#}, 정운관[¶]

*선린의료원 방사선종양학과, †순천향대학교 물리학과, ‡선린대학 방사선과, §신흥대학 방사선과, ||서울대학교병원 영상의학과, ¶동의과학대학 방사선과, #동의대학교 방사선학과, **광주보건대학 방사선과, **조선대학교 원자력공학과

2011년 1월 26일 접수 / 2011년 3월 1일 1차수정 / 2011년 3월 15일 2차수정 / 2011년 3월 21일 3차수정 / 2011년 3월 22일 채택

방사선치료에서 특수한 체형을 갖거나 특별한 자세가 요구되는 환자에게 적용할 수 있으며 환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성을 향상시킬 수 있는 고정 장치(Vac-lok)를 제작하고 그 유용성을 검증하였다. EVA 합성수지와 1.5 mm 바이오 비드폼을 이용하여 제작된 Vac-lok의 기능적, 형태적 검사를 시행하고 모형 및 환자의 상대적 재현성을 분석하였다. 전 방사선치료 기간 동안 제작된 Vac-lok의 기능적 검사에서 미소한 진공 압력의 변화는 있었으나 무시할 정도로 작았다. 모형의 상대적 재현성은 기존 상품화된 제품보다 재현성이 향상되었으며 평균 4% 미만의 오차를 보였다. 또한 환자의 상대적 재현성에서 전후 또는 측면방향에서 다소 오차가 증가하였으나 최대 ± 2.3 mm 미만이었다. 결론적으로 방사선치료의 한계 오차를 ± 3 mm 미만이라 할 때 임상적으로 충분하게 사용 가능하였고 재현성의 향상과 특수한 환자에게 맞춤형 고정 장치를 가격이 저렴하면서 신속하게 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

중심어: Vac-lok, 방사선치료, EVA 합성수지, 바이오 비드폼, 재현성

1. 서론

최근 방사선치료는 3차원입체조형방사선치료(three-dimensional conformal radiation therapy: 3D-CRT)가 보편화되었으며 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy: IMRT) 등의 특수한 방사선치료 기술이 도입되면서 단순히 종양의 원발 병소 뿐 만 아니라 궁극적으로 원격전이를 감소시켜 국소제어효과를 극대화시키는 동시에 주변 결정 장기(critical organ) 및 정상조직에 대한 부작용을 최소화함으로써 치료 후 삶의 질과 치료의 질을 향상시키고 있다[1,2]. 따라서 환자의 위치결정(positioning) 및 조사영역 내에서 표적체적(target volume)의 위치 재현을 효율적으로 증가시키기 위한 노력이 필요하며 이를 위하여 환자의 고정 장치의 개발 및 적절한 사용이 무엇보다도 중요하다[3]. Pollack[4-5] 등은 전립선암을 대상으로 2차원 및 3차원 방사선치료를 비교한 연구에서 고정 장치를 사용함으로써 직장의 동일 체적 안에서 조직의 견딜 수 있는 선량(tissue tolerance dose: TTD)의 감소와 방사선치료로 인한 급성 독성 및 초기 생화학적

반응이 매우 감소하였음을 보고하였다.

방사선치료계획의 수립은 임상표적체적(clinical target volume: CTV)을 충분하게 포함하고 체내 장기들의 움직임과 환자의 재현성을 고려하여 계획용표적체적(planning target volume: PTV)을 수립하도록 권고하고 있다[6-7]. 그러나 조직의 피폭선량을 최소화하고 종양에 충분한 처방선량을 정확하게 전달하기 위해서는 환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성을 향상시키고 방사선치료 오차를 최소화함으로써 임상표적체적의 마진을 최소화할 수 있어야 한다[8]. 이를 위하여 적절한 고정 장치의 사용은 필수불가결한 요소이다.

임상에서 보편적으로 사용되고 있는 다양한 고정 장치 중에서 Vac-lok은 폐암, 흉선종, 맨틀조사면 등의 흉부 방사선치료나 대동맥주변 림프절 등의 하복부 방사선치료에서 주로 사용되는 고정기구이다[9]. 일반적으로 환자는 종양의 위치 및 형태, 주변 조직에 따라 바로누운(supine) 자세나 엎드린(prone) 자세에서 10분 이상을 움직임 없이 고정하고 있어야 되기 때문에 Vac-lok은 환자에게 편안함을 제공하고 치료 체위의 재현성이 우수하여야 한다. 또한 환자의 고정에 소요되는 시간을 최소화하고 방사선치료 효과에 영향을 주지 않아야 한다[5]. 그러나 Vac-lok은 시장의 희소성으로 가격이 고가이고 사용

책임저자 : 정운관, wkchung@chosun.ac.kr, 광주광역시 동구 서석동 375번지, 조선대학교 원자력공학과

목적에 따른 다양한 제품을 구비하기에는 많은 비용이 소모되며 재사용으로 인한 제품의 손상으로 재구매가 필요하다. 또한 일률적이며 획일적인 형태로서 개인별 환자의 상태 및 체형을 충분히 고려하지 못하기 때문에 재현성 향상에 탁월한 효과를 보이지 못하는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 특수한 체형을 갖거나 특별한 자세가 요구되는 환자에게 개인별 적용할 수 있는 맞춤형 Vac-lok 시스템을 개발하기 위한 실험적 모형 연구로서 기존의 상품화된 Vac-lok과 비교하여 기능은 동일하지만 가격이 저렴하면서 환자의 위치결정 재현성을 향상할 수 있는 Vac-lok을 제작하고 그 유용성을 평가하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 고정장치(Vac-lok)의 제작

현재 임상에서 사용되고 있는 Vac-lok의 형태는 일반적으로 우레탄(urethane) 또는 나일론(nylon) 합성수지 안에 일정량의 스티로폼 비드(직경 1.5 mm 미만)가 들어 있는 사각형 모양으로 제작되었다[9]. 따라서 특수한 체형을 갖거나 특별한 자세가 요구되는 환자에게 개인별 적용할 수 있는 맞춤형 Vac-lok 시스템을 개발하기 전 실험적 모형로서 임상에서 일반적으로 사용하고 있는 사각형 형태의 Vac-lok을 제작하였다.

그림 1은 160 μm 두께의 EVA 합성수지 및 직경 1.5 mm 바이오 비드폼과 필터링이 가능한 밸브를 이용하여 제작된 Vac-lok을 보여준다. 외부 재질은 상용화된 제품에 비하여 가격이 매우 저렴하며 구매 접근성이 용이한 EVA(Ethylene Vinyl Acetate) 합성수지를 사용하였다. EVA 합성수지는 에틸렌(Ethylene)과 비닐(Vinyl), 아세테이트(Acetate)가

결합된 합성수지로서 유연성이 기존 제품과 비교하여 우수하고 내부 충격에 강한 장점을 지니고 있다 [10]. 기타 재질에 대한 자세한 사양은 표 1에 나열하였다. 내부는 항균력이 우수하고 반영구적 사용이 가능한 바이오 비드폼(Biobeadform, 영일수지, Korea)을 채워 넣었다.

제작된 Vac-lok의 크기는 가로 폭을 70 cm로 일정하게 하고 세로 폭을 각각 70, 100, 150 cm로 하였다. 동일한 크기의 Vac-lok 마다 각각 10, 20, 30 리터의 바이오 비드폼을 채워 넣었다. 바이오 비드폼이 채워진 내피를 EVA 합성수지에 넣고 가열접합기(FM-06, 올인, Korea)를 이용하여 공기의 유입이 완전하게 차단되도록 밀봉한 후 테두리 부분은 접착제로 마감하였다. 기존에 사용하고 있는 진공펌프(CS-VP, Chun Sung, Korea)와 호환될 수 있는 밸브를 부착하여 제작된 Vac-lok에 공기를 유입 또는 진공할 수 있도록 하였다.

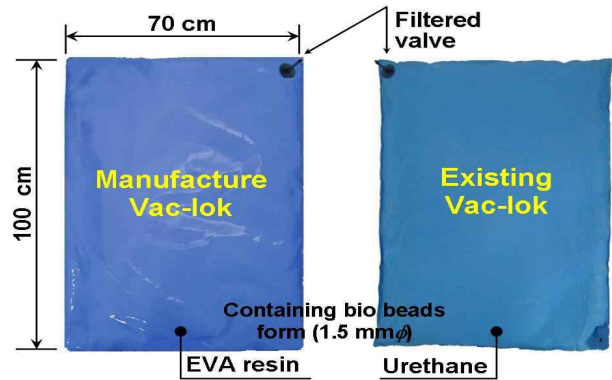


Fig. 1. The manufacture Vac-lok composed of 160 micron EVA resin bag containing bio beads form with a filtered valve and the existing Vac-lok composed of clear urethane and blue nylon bag containing styrofoam bead with a filtered valve.

Table 1. Compared of a property of matter for the quality of the material of common using and the manufacture Vac-loks.

	Using materials in the Vac-lok*		
	Urethane	Nylon	EVA†
Specific gravity	1.2	1.13 ~ 1.15	0.93 ~ 0.96
Tensile strength (kg/cm ²)	250 ~ 600	720 ~ 845	200 ~ 350
Stretch ratio (%)	500 ~ 700	25 ~ 300	500 ~ 1200
Friction coefficient	0.4 ~ 0.8	0.37	0.08 ~ 0.18
Impact strength	-	1.0 ~ 3.6	16
Thermal conductivity	1.7 ~ 7.4	5.3	9
Vicat Softening Point (°C)	90	130 ~ 170	85

*: data given in KPMIC(Korea Plastic Molding Information Center).

†, Including 19% of the VR component. EVA resin tends to be increased cost of resin itself and laminating cost due to extrude-ability.

2.2 Vac-lok의 공기유량검사(air flux test)

방사선치료는 종양의 크기 및 세포의 종류 등에 따라

5주에서 7주 동안 분할조사를 시행하기 때문에 Vac-lok은 전 치료 기간 동안 기능적, 형태적으로 변형이 없어야 한다[11]. 따라서 제작된 Vac-lok의 기능적, 형태적 성능

검사로서 공기유량검사를 시행하였다[10]. 공기유량검사는 공기방울검사와 유량계검사로 구분하여 실시하였다. 공기방울검사는 75리터의 물이 담긴 탱크(50 × 50 × 50 cm³) 안에 공기를 채운 Vac-lok을 넣고 압력을 가했을 때 공기의 유출 여부를 알 수 있도록 하였다. 유량계검사는 제작된 Vac-lok의 공기를 최대한 제거한 후 밸브와 디지털 유량계의 유입구를 연결하였다. 이 때 디지털 유량계의 압력 지시 값은 68.3 kPa 이었으며 진공도는 67.4% 이었다. 최초 지시 값을 기준 값으로 하고 1일 1회, 주당 5일간 총 5주 동안 시간의 경과에 따라 기록한 값을 측정 값이라 할 때 시간의 경과에 따른 Vac-lok의 공기유량비율(air flux ratio, $AF_{vac-lok}$)은 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$AF_{vac-lok} = \frac{\text{daily measurement value}}{\text{reference value}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

측정에 사용된 디지털 유량계(TSI, 4143, USA)는 국립 표준연구소(National Institute of Standards and Technology: NIST)의 표준을 따라 유속, 유량, 압력, 온도 등의 다양한 디지털 출력이 가능하며 지시치의 오차는 ± 0.5%미만 이다. 모든 공기유량검사는 Vac-lok의 크기별, 바이오 비드폼의 양에 따라 동일한 방법으로 측정하였다.

2.3 모형 및 환자의 재현성 평가

2.3.1 모형의 재현성 평가

모형의 재현성 평가는 모형을 이용하여 Vac-lok을 제작하고 모의치료(simulation)를 시행한 후 제작된 Vac-lok이 모형의 형태를 어느 정도 표현할 수 있는가를 모의치료영상에서 측정하였다. 실험에 사용되어진 모형은 정사각형(phantom A: PA), 꼭지점이 6개인 별형(PB), H-형 블록(PC)의 3가지 형태로 하였으며 각 모형의 자세한 제원은 그림 2에 나타내었다.

모의치료과정은 모형의 측정 위치 및 중심선을 그림 2와 같이 표시한 후 모의치료영상에서 측정 위치를 확인할 수 있도록 직경 1 mm인 납 볼을 모형에 부착하였다. Vac-lok 위에 모형을 올려놓고 일정한 압력으로 진공시켜 제작하였다. 여기서 모형에 가한 무게는 3 kg(납 블록)이었으며 진공압력은 65.2 kPa, 진공도는 64.3%이었다.

제작된 Vac-lok을 모의치료기(Simulix EVOLUTIONTM, Nucletron, Netherlands) 위에 올려놓고 모형에 표시된 중심점과 모의치료기의 동중심점(isocenter)을 일치시킨 후 전후방향의 모의치료영상을 획득하였다. 이때 모의치료영상에서 모형 형태가 명확하도록 Vac-lok에 표현된 모형의 형태 안에 조영제와 생리식염수 비율을 1 : 20 으로 희석된 비이온성 조영제(Optiray[®] 350, tyco, Canada) 50 ml를 주입하였다. 획득한 영상은 모의치료용 소프트웨어(Oncentra Sim ver.2.3.0, Nucletron, Netherlands)에서 0.1 mm 단위까지 측정할 수 있는 디지털 측정자를 이용하여 모형에 표시된 위치를 측정하였다. 모든 측정은 기존 상품화된 제품과 제작된 Vac-lok에 대하여 크기별, 바이오 비드폼의 양에 따라 동일한 방법으로 측정하여 모형의 재현성을 비교하였다.

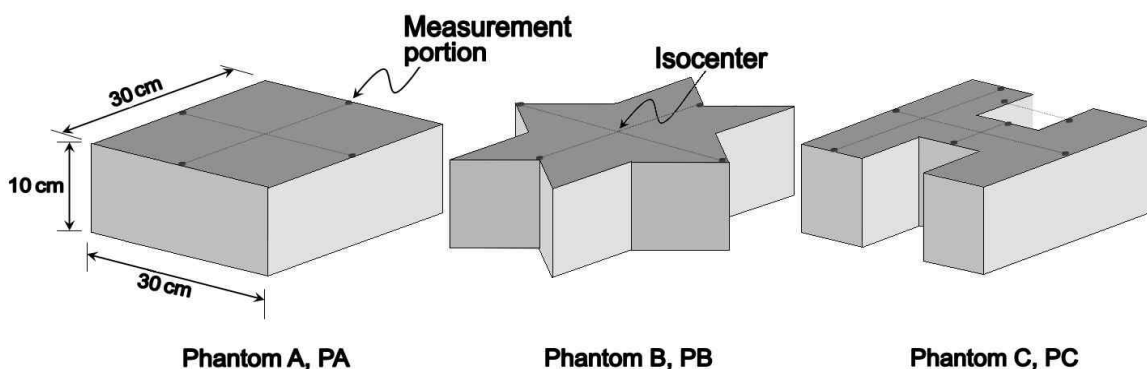


Fig. 2. Illustration of phantom form and dimension using in this study.

여기서 실제 모형의 크기를 $S_{phantom}$ 라 하고 모의치료영상에서 측정된 모형의 크기를 S_{image} 라 할 때 각 Vac-lok에서 모형의 재현성(reproducibility of phantom, $RP_{phantom}$)은 식(2)을 사용하여 계산하였다.

$$RP_{phantom} = \frac{S_{image}}{S_{phantom}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

2.3.2 환자의 재현성 평가

환자의 재현성 평가는 흉부 및 하복부 방사선치료를 시행하는 환자 2명을 대상으로 방사선치료를 시행하기 전 조사문영상(portal image)을 촬영하여 기존 상품화된 제품과 제작된 Vac-lok을 비교하였다. 여기서 사용된 Vac-lok은 기존 상품화된 제품과 동일한 조건으로 흉부 방사선치료는 70 × 100 cm², 하복부 방사선치료는 70 ×

150 cm²를 사용하였으며 바이오 비드폼의 양은 20리터로 하였다.

기존 상품화된 제품으로 모의치료(simulation)를 시행한 후 몸에 그려진 좌표를 이용하여 다시 제작된 Vac-lok을 이용하여 동일하게 재현하였다. 각각의 Vac-lok을 이용하여 전산화단층촬영모의치료(CT-simulation)와 방사선치료계획(radiation treatment planning, RTP)을 거쳐 모의치료 확인과정을 시행하고 방사선치료 좌표를 환자의 피부면에 표시하였다. 선형가속기 치료실에서 환자의 위치결정 및 중심점을 일치시키고 방사선치료 전 조사문영상을 확인하였다. 조사문영상은 흉부 방사선치료의 경우 좌전후방향 사선입사(LAO) 60°, 우전후방향 사선입사(RAO) 300°, 후전방향 입사(PA) 180°이며 하복부 방사선치료의 경우 전후방향(0°)과 좌측면방향(90°)이었었으며 주당 1회, 5주간 5회 촬영을 반복하였다.

조사문영상에서 측정 위치는 흉부 방사선치료의 경우 중심점과 상, 하 방향 3 cm 지점에서 보이는 척추골을 측정하였으며 하복부 방사선치료의 경우 중심점과 상, 하 방향 5 cm 지점에서 보이는 척추골을 측정하였다.

3. 결과

특수한 체형을 갖거나 특별한 자세를 요구하는 환자에게 개인별 적용할 수 있는 맞춤형 Vac-lok 시스템을 개발하기 위한 실험적 모델로서 임상에서 보편적으로 사용하고 있는 사각형 형태의 Vac-lok을 제작하였다. 제작된 Vac-lok은 가로 폭을 70 cm, 세로 폭을 70, 100, 150 cm로 하고 각 크기별로 10, 20, 30리터의 바이오 비드폼을 채워 9개의 Vac-lok을 제작하였다. 실험방법에 따라 제작된 Vac-lok의 기능적, 형태적 성능 검사를 하였으며 모든 측정마다 10회씩 반복 측정하고 평균값을 기록하였다.

3.1 제작된 Vac-lok의 공기유량검사

제작된 Vac-lok의 기능적, 형태적 변형정도를 측정하기 위한 공기유량검사는 공기방울검사와 유량계검사로 구분하여 시행하였다. EVA 합성수지의 접합부에서 공기의 누출 여부를 육안적으로 확인하기 위한 공기방울검사서서 누출되는 공기방울은 관찰되지 않았다.

그림 3은 20리터의 바이오 비드폼을 채운 Vac-lok의 진공도가 67.4% (압력 지시값 68.3 kPa) 일 때 측정 기간 동안 Vac-lok의 크기에 대한 공기유량을 측정하고 주어진 식(1)을 이용하여 구한 공기유량비율(air flux ratio)을 나타낸다. 이 비율은 최초의 진공 압력에 대한 기간의 경과에 따른 공기유량의 변화를 의미한다. 동일한 바이오 비드폼을 채웠을 때 Vac-lok의 크기가 증가할수록 공기유량의 변화도 증가하는 경향을 보였으며 최초의 진공압력에 대하여 최대 0.516% 정도의 감소를 보였다. 그러나 실제 디지털 유량계의 측정값의 변화는 0.00257 Lmin⁻¹의 미소한 차이를 보이며 이 값은 제작된 Vac-lok을 육안으로 보거나 측지 하였을 때 전혀 느낄 수 없을 정도의

근소한 값이었다. 또한 진공상태가 최대일 때 일정 기간 동안 선형적으로 미소한 감소를 보이다가 더 이상 진공압력의 변화는 보이지 않았다.

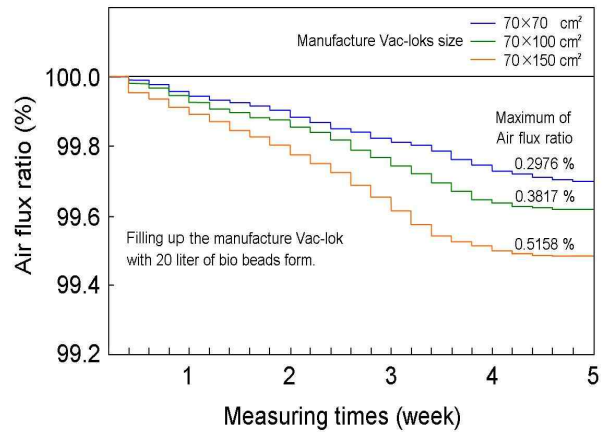


Fig. 3. Comparison of air flux ratio during the period of measurement (five weeks) in the filling up the 20 liter of bio beads form. (The Vac-lok is 70 cm width and blue; 70 cm, green; 100 cm, orange; 150 cm vertical length.)

3.2 모형 및 환자의 재현성

3.2.1 모형의 재현성

모형의 재현성 평가는 제작된 Vac-lok에 채워진 바이오 비드폼의 용량에 따라 기존 상품화된 제품과 비교하여 모형의 형태를 어느 정도 표현할 수 있는가를 모의치료영상에서 디지털 측정자를 이용하여 실측하고 주어진 식(2)를 이용하여 평가하였다.

표 2는 기존 상품화된 제품과 제작된 Vac-lok에 채워진 바이오 비드폼의 용량에 따른 모형의 재현성을 보여준다. 실제 모형의 크기에 대한 Vac-lok이 표현할 수 있는 정도를 식(2)를 이용하여 상대적으로 구하였다. 기존 상품화된 제품은 평균적으로 97.68%의 재현성을 보이는 반면 제작된 Vac-lok은 바이오 비드폼의 용량에 따라 평균적으로 10리터를 채웠을 때 97.72%, 20리터를 채웠을 때 97.95%, 30리터를 채웠을 때 96.75%의 모형 재현성을 보여 제작된 Vac-lok에 채워진 바이오 비드폼의 양에 따른 모형의 재현성 평가에서 20리터의 바이오 비드폼이 채워진 Vac-lok이 가장 우수한 재현성을 보였고 30리터의 바이오 비드폼을 채운 Vac-lok을 제외하고 대부분 제작된 Vac-lok에서 기존 상품화된 제품보다 재현성이 다소 향상되었다. 또한 모형의 형태에 따라 기존 상품화된 Vac-lok의 경우 기본형의 정사각형 모형에서 98.73%로 최대였으며 별 모형의 복잡한 형태에서 96.89%로 모형 재현성이 감소하였고 모형의 평균 재현성은 0.70 mm의 감소를 보였다. 그러나 제작된 Vac-lok에 채워진 바이오 비드폼이 20리터인 경우 정사각형 모형에서 최대 99.34%이었고 H-형 모형에서 최소 97.26%로 모형의 재현성이 감소하였고 모형의 평균 재현성은 0.61 mm의 감소를 보

였다.

Table 2. Evaluation for relative reproducibility of phantoms with three kinds of form in the filling up the 10, 20 and 30 liter of bio beads form.

Vac-locks size (cm ²)	Phantom type [*]	Reproducibility (%) [†]			
		Existing Vac-lok	Manufacture Vac-locks		
	capacity (liter)		10	20	30
70×70	PA	98.73	98.92	99.16	96.82
	PB	96.89	97.38	97.54	95.97
	PC	97.26	97.03	97.18	95.46
70×100	PA	98.24	98.63	98.97	97.24
	PB	97.03	97.08	97.41	96.81
	PC	97.92	97.61	97.38	96.73
70×150	PA	98.53	98.63	99.34	98.43
	PB	96.96	97.06	97.29	96.82
	PC	97.58	97.11	97.26	96.47

^{*}, dimension of phantoms produced with three kinds of rectangular form(PA, 30 × 30 × 10 cm³), star form(PB, 30 × 30 × 10 cm³), H-form(PC, 30 × 30 × 10 cm³)

[†], Average for relative reproducibility of a phantom at the variety of measurement portion

Table 3. Based on the simulation image in the portal orientation, measuring portal vision image of existing and manufactures Vac-locks (a reference point from bony landmark).

Treatment site (Vac-lok)	Portal orientation [*] (degree)	Relative error (mm) [†]	
		Existing Vac-lok	Manufacture Vac-lok
Chest (70×100)	LAO (60)	1.3	1.4
	RAO (300)	1.6	1.2
	PA (180)	1.6	1.8
Abdopelvis (70×150)	AP (0)	1.9	1.6
	LAT (90)	1.8	2.3

^{*}, LAO : left anterior oblique, RAO : right anterior oblique, AP : antero-posterior, PA : postero-anterior, LAT : lateral.

[†], tolerance of patient set-up error less than ± 3 mm.

그림 4는 20리터의 바이오 비드폼이 채웠을 때 기존 상품화된 Vac-lok과 제작한 Vac-lok들을 3가지 모형의 상대적 재현성을 나타낸다. Vac-lok의 크기에 대한 모형의 재현성은 특이한 결과를 보이지 않았지만 H-형 모형을 제외하고는 기존 상품화된 Vac-lok과 비교하여 제작된 Vac-lok에서 모형의 재현성이 증가되었음을 알 수 있다.

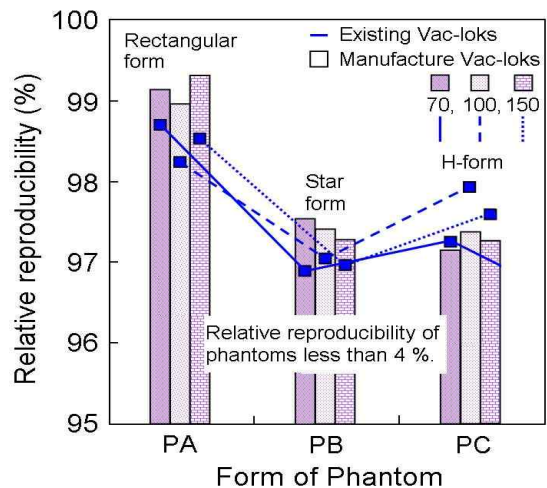


Fig. 4. Relative reproducibility of phantom for existing and manufacture Vac-lok with three kinds of form in the filling up the 20 liter of bio beads form.

3.2.2 환자의 재현성

흉부 및 하복부 방사선치료 환자를 대상으로 환자의 재현성 평가는 기존 상품화된 제품과 동일하게 20리터의 바이오 비드폼이 채워진 Vac-lok을 사용하였으며 흉부

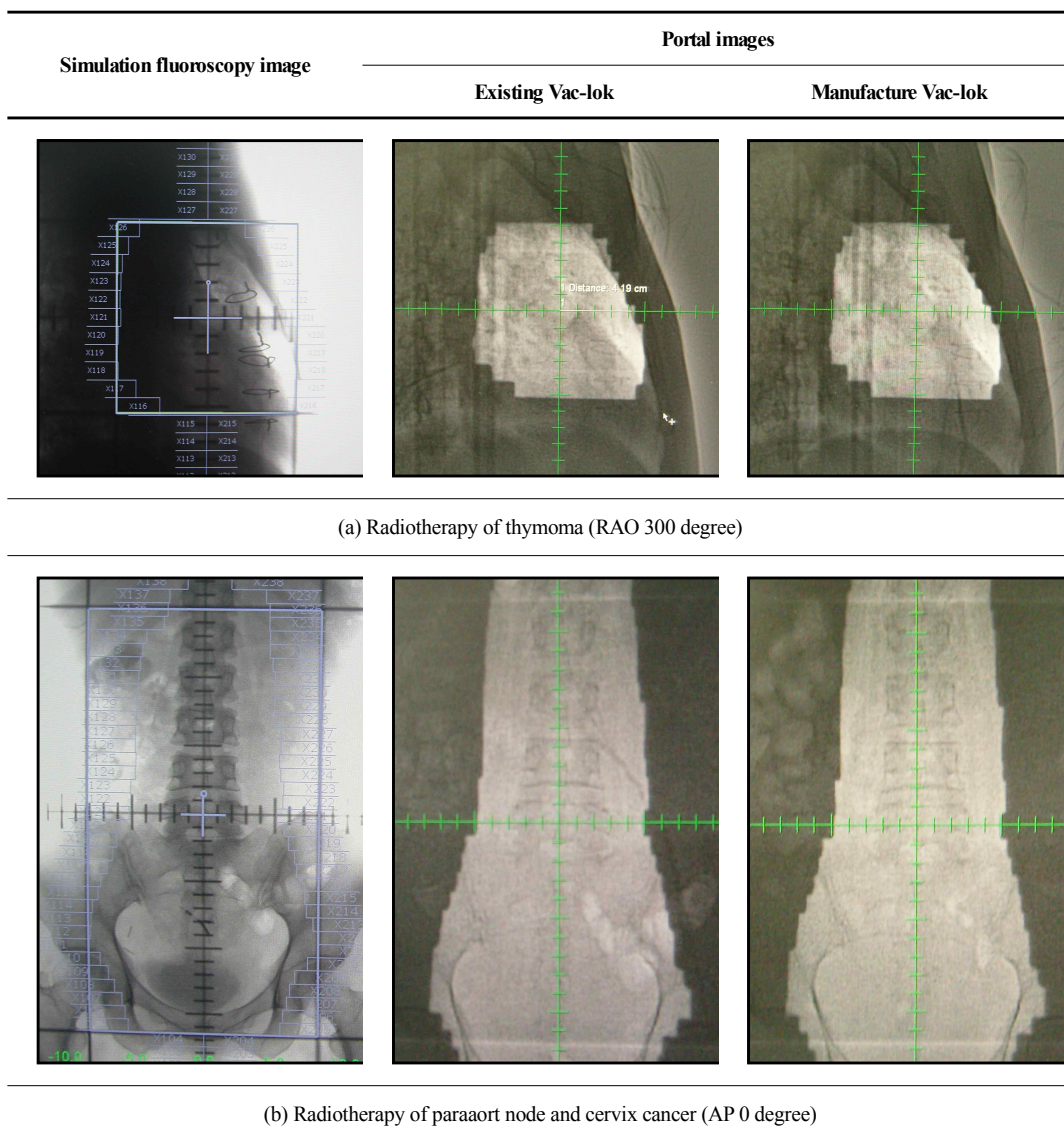
방사선치료의 경우 $70 \times 100 \text{ cm}^2$, 하복부 방사선치료의 경우 $70 \times 150 \text{ cm}^2$ 를 사용하였다. 두 가지 Vac-lok을 비교하기 위하여 각 조사방향의 모의치료영상과 조사문영상의 중심선속에서 보이는 척추골을 기준으로 디지털 측정자를 이용하여 비교하였다.

표 3은 각 조사방향의 모의치료영상을 기준으로 두 가지 Vac-lok의 조사문영상에서 측정한 오차를 보여준다. 기존 제품화된 Vac-lok은 흉부 방사선치료 환자의 경우 최대 1.6 mm의 오차를 보였고 하복부 방사선치료 환자의 경우 최대 1.9 mm의 오차를 보였다. 또한 제작된 Vac-lok은 흉부 방사선치료 환자의 경우 최대 1.8 mm의 오차를 보였고 하복부 방사선치료 환자의 경우 최대 2.3 mm의 오차를 보였다. 방사선치료 환자의 자세 재현성은 최대 $\pm 3 \text{ mm}$ 이내의 오차를 권고하고 있으므로 실험에 사용되어진 기존 상품화된 제품과 제작된 두 가지의 Vac-lok은 임상적으로 충분하게 사용 가능하였다. 또한 두 가지 Vac-lok의 비교 오차는 모두 $\pm 1 \text{ mm}$ 미만이었으며 이는 동일한 고정기구를 사용할 때 환자의 상태 및 조건에 따라 충분히 발생될 수 있는 오차이기 때문에 측정 결과에서 무시해도 될 것이다.

4. 고찰

방사선치료는 일반적으로 5주에서 7주간 분할조사를 시행하기 때문에 매일 치료시마다 정확한 환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성이 필요하며 이를 위하여 환자는 가장 편안한 자세와 최적화된 고정 장치를 사용함으로써 환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성을 극대화시키고 국소제어율의 향상과 방사선치료에 의한 합병증을 최소화 할 수 있다[11]. 다차원적인 방사선치료를 위하여 다양한 고정 장치를 사용하고 있으며 그 중에서 Vac-lok은 흉부 또는 하복부 방사선치료 등에 폭 넓게 사용되고 있다[9]. 그러나 임상에서 흔히 사용하고 있는 Vac-lok은 일률적이며 획일적인 형태로서 개인별 환자의 조건 및 체형을 충분히 고려하지 못하기 때문에 재현성 향상에 탁월한 효과를 보이지 못하는 한계가 있다.

따라서 특수한 체형을 갖거나 특별한 자세가 요구되는 환자에게 개인별 적용할 수 있는 맞춤형 Vac-lok의 개발이 필요하며 이를 위한 모형 연구로서 자체적으로 Vac-lok을 제작하고 그 유용성을 평가하고자 하였다. 임상에서 보편적으로 사용하고 있는 사각형 형태의 Vac-lok을 제작하고 제작된 Vac-lok의 기능적, 형태적 성능 검사로서 공기유량검사와 모형 및 환자의 재현성 평가를 시행하였다.



(a) Radiotherapy of thymoma (RAO 300 degree)

(b) Radiotherapy of paraaort node and cervix cancer (AP 0 degree)

Fig. 5. Compared the portal images for simulation images of the existing and the manufacture Vac-loks in the radiotherapy of thymoma(a), paraaortic node and cervix cancer(b). Relative reproducibility of patient was similar in the result.

Table 4. Compared the prices of the existing and the manufacture Vac-loks.

Manufacturing company	Existing Vac-loks			Manufacture Vac-loks.		
	A	B	C	In person		
	imports		domestic products	Materials	Quantity	Price
Vac-lok(medium)						
Size (cm ²)	70×80	75×80	80×80	EVA resin	80 × 100(2ea)	5,000
Import price(\$)	287	232	-	Bio beads form	20 liter	25,000
domestic price(₩)*	320,000	260,000	210,000	etc [†]		18,000
				Total price (₩)		48,000

* converted at the exchange rate of 1,120 won to the U. S. dollar from the basic date January, 21, 2011.

†, fabric net(80 × 100, 2 ea) : 7,000 won, valve : 1,000 won, a high-strength adhesive(4ea) : 10,000 won.

제작된 Vac-lok을 평가한 결과, 기존 제품화된 Vac-lok과 비교하여 재현성이 다소 향상된 것을 확인할 수 있었으며 저렴한 비용으로 개인별 맞춤형 고정기구의 제작이 가능함을 알 수 있었다. 공기유량검사에서 방사선치료 기간 동안 Vac-lok의 진공압력의 변화는 일정 기간 동안 선

형적으로 미소한 감소를 보이다가 포화되는 경향을 보였으며 값의 변화는 무시할 정도로 미소한 차이를 보여 가정용 가열접합기와 접착제를 이용한 접합 방법은 유효하였다. 모형의 재현성 비교에서 제작된 Vac-lok의 경우 기존 제품과 비교하여 평균 2.8 mm (2.23%)의 오차를 보

여 대부분 모형의 재현성이 향상되었다. 특히 복잡한 모형의 재현성에서 탁월한 향상을 보였으나 H-형 모형에서 다소 감소하였다. 이는 기존 제품은 1.5 mm 미만의 스티로폼 비드를 필터링할 수 있는 밸브를 사용한 반면 제작된 Vac-lok은 공기의 유출입이 가능한 망사형 모직을 사용하였기 때문에 바이오 비드폼이 좁은 공간을 채우는데 한계가 있었으며 이는 보완해야 할 부분이다.

흉부 및 하복부 방사선치료 환자를 대상으로 기존 상품화된 제품과 제작된 Vac-lok을 모의치료영상과 조사문영상을 디지털 측정자를 이용하여 중심선속에서 보이는 척추골을 측정환 환자의 위치결정에 대한 재현성 비교에서 그림 5와 같이 사방향입사(oblique incidence)는 최대 1.6 mm 이내의 오차를 보였으나 전후(후전) 또는 측면 입사에서 최대 2.3 mm 이내의 오차를 보였다. Song [14-15] 등은 전후 또는 후전방향에서의 고정 오차가 비교적 크게 나타나는 경향이 있다고 보고하고 있으며 본 연구 결과도 이에 대하여 일치하였다. 또한 Bijhold[12] 등은 방사선치료에서 환자의 자세 재현성은 최대 ± 3 mm 이내의 오차를 권고하고 있으며 Catton[16,17] 등은 분할 치료를 받는 환자의 약 15% 정도에서 10 mm 이상의 오차가 발생할 수 있고 약 50% 정도에서 5 mm 이상의 고정오차가 발생할 수 있다고 보고하고 있어 제작된 Vac-lok은 임상적으로 충분하게 사용 가능하다고 판단하였다.

5. 결 론

환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성을 위한 고정 장치를 제작하는 과정에서 환자의 체형이 특이하거나 특별한 자세가 요구되는 경우 기존 상품화된 고정 장치로 해결할 수 없을 때가 종종 있다. 이런 경우 임시방편으로 고정 장치를 자체적으로 제작하고 환자의 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성은 상태가 양호한 환자보다 현저하게 저하된다. 그러나 본 연구를 통하여 상품화된 고가의 기존 제품에 비하여 매우 저렴한 비용으로 필요에 따라 신속하게 고정기구의 제작이 가능하였고 척추후만증 등의 특수한 체형을 갖거나 턱을 최대한 거상시키는 등의 특별한 자세를 요구하는 환자에게 개인별 적용할 수 있는 맞춤형 Vac-lok의 제작이 가능하였다. 또한 환자에게 편안함을 제공하며 위치결정 및 조사영역 내에서 표적체적의 위치 재현성이 기존 제품과 비교하여 유사하거나 우수하기 때문에 향후 흉부 및 하복부 방사선치료 뿐만 아니라 소모성 고정 장치를 사용하는 골반부 및 두경부 방사선치료에 확대 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Huh SJ, Park CI. Advances in radiation oncology in new millennium in Korea, J Korean Soc Ther Radiol Oncol. 2000;18(3):167-176.

2. Hanks GE, Schultheiss TE, Hunt MA, Epstein B. Factors influencing incidence of acute grade 2 morbidity in conformal and standard radiation treatment of prostate cancer. Int J Radat Oncol Biol Phys. 1995;31(1):25-29.
3. Suh YL, Yi BY, Shin SA, Kim JH, Ahn SD, Lee SW, Choi EK. A feasibility study on the abdomen immobilization with air injected balloon blanket. Korean J Med Phys. 2002;13(3):176-180.
4. Pollack A, Zegars GK, Starkschall G, Childress CH, Kopplin S, Boyer AL, Rosen II. Conventional vs conformal radiotherapy for prostate cancer: preliminary results of dosimetry and acute toxicity. Int J Radat Oncol Biol Phys. 1996; 34(3): 555-564.
5. Fukunaga-Johnson N, Sandler HM, McLaughlin PW, Strawderman MS, Grijalva KH, Kish KE, Lichter AS. Results of 3D conformal radiotherapy in the treatment of localized prostate cancer., Int J Radit Oncol Biol Phys. 1997;38(2):311-317.
6. ICRU. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy (supplement to ICRU Report 50). ICRU Report 62. Bethesda, Maryland. International Commission of Radiation Units and Measurements, 1999.
7. Kahn FM. The physics of radiation therapy. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins; Philadelphia, 2003:222-225.
8. Huh SN, Cho W, Park YK, Ha SW. Development of devices for improving the reproducibility of patient positioning on a breast board. J Korean Soc Ther Radiol Oncol. 2005;23(2):123-130.
9. CIVCO. Radiation Oncology 2010 Source book. 2010:61-73.
10. Plastic science. A Manual on Plastics and Physical. Korea Plastic Molding Information Center; Korea, 2006:372-373.
11. Dickie CI, Parent A, Griffin A, Craiq T, Catton C, Chung P, Panzarella T, O'Sullivan B, Sharpe M. A device and procedure for immobilization of patients receiving limb-preserving radiotherapy for soft tissue sarcoma. Med Dosim. 2009;34(3): 243-249.
12. Bijhold J, Herk MV, Vijlbrief R, Lebesque JV. Fast evaluation of patient set-up during radiotherapy by aligning features in portal and simulator images. Phy Med Bilo. 1991;36(12):1665.
13. Negoro Y, Nagata Y, Aoki T, Mizowaki T, Araki N, Takayama K, Kukubo M, Yano S, Koqa S, Sasai K, Shibamoto Y, Hiraoka M. The effectiveness of an immobilization device in conformal radiotherapy for lung tumor: reduction of respiratory tumor movement and evaluation of the daily setup accuracy. Int J Radiat Oncol Bio Phys. 2001;50(4):889-898.
14. Song PY, Washington M, Vaida F, Hamilton R, Spelbring D, Wyman B, Harrison J, Chen GTY, Vijayakumar S. A comparison of four patient immobilization device in the treatment of prostate cancer patients with three dimensional conformal radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1996;34(1):213-219.

15. Gildersleve J, Dearnaley DP, Evans PM, Swindell W. Reproducibility of patient positioning during routine radiotherapy, as assessed by an integrated megavoltage imaging system. *Radiother Oncol.* 1995;35(2):151–160.
16. Catton C, Lebar L, Warde P, Hao Y, Catton P, Gospodarowicz M, McLean M, Milosevic M. Improvement in total positioning error for lateral prostatic fields using a soft immobilization device. *Radiother Oncol.* 1997;44(3):265–270.
17. Rosental SA, Roach M, Goldsmith BJ, Doqgett EC, Pickett B, Yuo HS, Soffen EM, Stern RL, Ryu JK. Immobilization improves the reproducibility of patient positioning during six-field conformal radiation therapy for prostate carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1993;27(4):921–926.

Manufacture of Immobilization Device (Vac-lok) and the Usefulness of Evaluation for Reproducibility of Patients in the Radiotherapy

Jae-Seung Lee^{*†}, Gyoung-Hee Kim[‡], Kyu-Hwan Jeong[‡], Dae-Cheol Kweon[§], Eun-Hoe Goo^{||†}, Cheol-Woo Park[¶], In-Chul Im[#], Kyung-Rae Dong^{**††}, and Woon-Kwan Chung^{††}

^{*}Department of Radiation Oncology, Good Samaritan Hospital, [†]Department of Physics, Soonchunhyang University,

[‡]Department of Radiologic Technology, Sunlin University, [§]Department of Radiologic Science, Shin Heung College University,

^{||}Department of Radiology, Seoul National University Hospital, [¶]Department of Radiological Technology, Dong Eui Institute of Technology,

[#]Department of Radiological science, Dong Eui University, ^{**}Department of Radiological Technology, Gwangju Health College University,

^{††}Department of Nuclear Engineering, Chosun University

Abstract : We manufactured the Vac-lok that can be applied to patient of special body shape and need to special set-up position and evaluated the usefulness in the radiation therapy. The manufacture Vac-lok, It was used EVA resin and biobeadform of a diameter 1.5 mm. carried out the test of functionality, structural and analyzed the relative reproducibility of phantoms and patients. During the total period of radiation therapy, Vacuum pressure bring variety to a very small amount in the test of functionality of the manufacture Vac-lok. But It was a negligible quantity. The manufacture Vac-lok improved the relative reproducibility of phantoms than the existing Vac-lok and tolerance has a confidence less than 4% error. Also, relative reproducibility of patient increased error than phantom in the antero-posterior and lateral plan. However, the maximum set-up error was less than ± 2.3 mm. In conclusion, If tolerance set-up error of radiotherapy is less than ± 3 mm, the manufacture Vac-lok was enough possible to use and improvement of reproducibility, considering supply with the Vac-lok made to measure of special patient that produced at a low price and without delay.

Keywords : Vac-lok, radiation therapy, EVA resin, biobeadform, reproducibility