

영상기반 방사선 치료기기를 위한 QA 팬텀 시제품 개발

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †가톨릭대학교 강남성모병원 방사선종양학과,
†가톨릭대학교 성빈센트병원 방사선종양학과, §국립암센터 방사선종양학과

장지나* · 오승중* · 정원균* · 장흥석† · 김희남† · 강대규† · 이두현§ · 서태석*

본 연구에서는 영상 기반 방사선 치료기기의 영상 QA를 위한 필요한 추가적인 요소를 포함시킨 QA 팬텀 시제품을 개발하였다. 개발된 팬텀은 크게 영상 질 평가 부분과 정합 정확도 평가 부분의 두 가지로 이루어져 있다. 영상 질 평가를 위해 CT number 선형성과 공간 해상도 평가가 가능하게 설계되었고, 정합 정확도 평가를 위하여 간단한 이동 및 회전 조절이 가능하게 설계되었다. 제작된 팬텀의 영상은 일반 CT와 Tomotherapy의 MVCT에서 획득되었고, 두 영상 모두 해상도 평가 기준을 충족하였다. 이 팬텀은 일간 영상 QA를 위한 간단하고, 효율적이며, 그리고 영상 정합 평가의 새로운 개념을 제시했다는 데에 큰 의의가 있다.

중심단어: QA 팬텀, 영상기반 방사선 치료장치, 영상 질, 정합 정확도

서 론

최근 on-board imager (OBI)를 결합한 Varian EX 선형가속기(Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA) 또는 Tomotherapy (Tomotherapy, Madison, WI, USA) 같은 영상기반 방사선 치료기기 시스템이 영상유도방사선치료에 사용되고 있다.¹⁻³⁾ 치료 전 획득하는 OBI의 kilovoltage cone-beam CT (kV-CBCT) 영상과 Tomotherapy의 megavoltage CT (MVCT) 영상은 환자의 치료준비 과정에서 발생할 수 있는 부정확성을 현저하게 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 국내 도입이 점차 늘고 있는 추세이다. OBI의 kV-CBCT는 선형가속기에 부착된 kilovoltage의 x-ray 소스와 평판 검출기로 영상획득이 가능하고, Tomotherapy의 MVCT는 megavoltage의 치료 빔과 xenon 검출기로 영상획득이 가능하다. 이 영상 기반 방사선치료기기는 치료기기와 진단기기가 결합된 복잡한 구조이므로 기기 특성을 유지시킬 수 있는 총체적인 QA 프로그램을 필요로 한다.

OBI가 부착된 Varian EX는 기본적으로 치료기기이므로, 일반 선형가속기 QA 프로토콜인 TG-40⁴⁾을 따르고 있으며, cone-beam 영상의 QA를 위해서는 영상 QA 팬텀을 따로 구입하기도 하지만 진단 CT용 QA 팬텀을 이용하기도 한다. Tomotherapy는 치료 원리가 일반 선형가속기와는 다르므로 선량 검증을 위한 원형아크릴팬텀(Tomotherapy Cheese phantom)이 기본적으로 사용되고 있고, 이 팬텀 내부에 밀도바 삽입이 가능한 공간이 들어있어 부수적으로 영상의 QA를 수행하고 있다. 그러나 이러한 영상 기반 방사선 치료기 장비들은 일반 선형가속기 시스템과 다르므로, 이 기기들에 대한 QA 프로그램은 추가적인 요소를 포함하고 있어야 한다.

본 연구에서는 영상기반 방사선 치료기기의 영상 QA를 위한 새로운 개념의 QA 팬텀 시제품을 제작하였다. 새롭게 개발된 팬텀은 영상 질 평가와 정합 정확도 확인을 목적으로 제작되었다. 예비적인 연구로서 본 논문에서는 팬텀 재질과 제작 정확도 평가는 수행되지 않았다.

대상 및 방법

1. 영상 질 평가

최근 적응 방사선 치료를 위해 kV-CBCT와 MVCT에 기반한 선량 계산 정확성에 관련된 연구가 수행되고 있다.^{5,6)} 이런 연구 추세에 맞추어 영상기반 방사선 치료기기의 QA 팬텀은 CT의 영상 평가 부분을 포함하고 있어야 한다. 본 팬텀은 영상 질 평가를 위해 CT number의 선형성과 공간

이 논문은 과학기술부 원자력연구기반확충사업(M20709005474-08B0900-47410)과 원자력기술개발사업(M20706000007-08M0600-00710)의 지원으로 수행되었음.

이 논문은 2008년 4월 17일 접수하여 2008년 6월 12일 채택되었음.

책임저자 : 서태석, (137-701) 서울특별시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2414, Fax: 02)532-1779

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

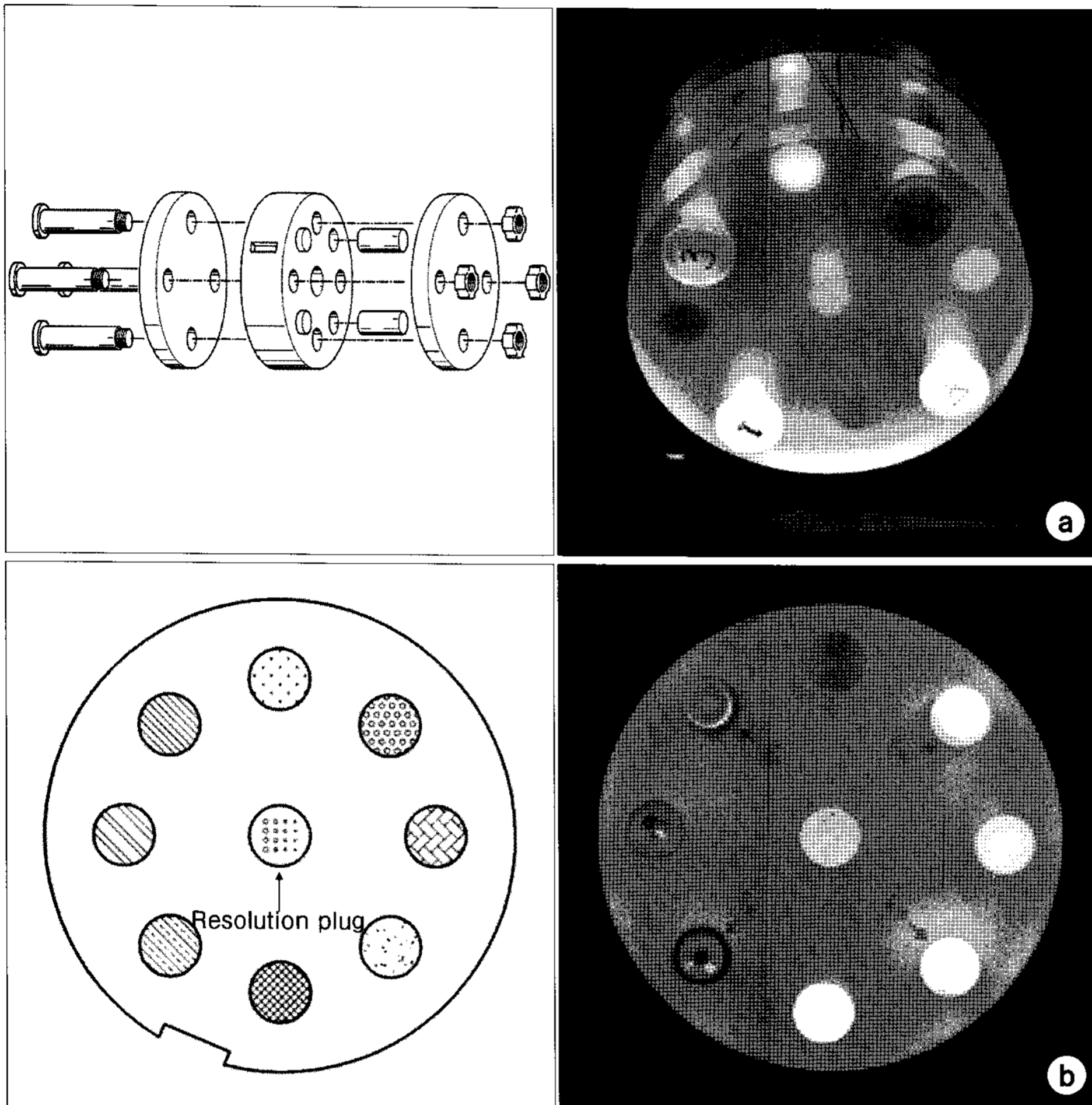


Fig. 1. The diagrams and photographs of the QA phantom prototype. (a) Frontal view; (b) sectional view.

해상도 측정을 위한 구조가 포함되어 있다.

CT number 선형성 평가는 팬텀 내 삽입된 밀도바의 밀도가 감쇄계수에 따른 Hounsfield Unit (HU) 혹은 CT number를 정확하게 표현하는가를 평가한다. 또한, CT 기기는 같은 선량에 따른 공간 해상도와 잡음이 상충적인 관계에 있으므로 CT 기기가 적절한 공간 해상도와 잡음을 가지는지 확인 할 필요가 있다. CT 영상 내에서 인지 가능한 작은 물체의 측정은 해상도를 측정하는 기준이 되지만, 이것은 해상도뿐 아니라 대조도와 잡음의 함수와 상관성이 있으므로⁸⁾ 본 팬텀에서는 공간 해상도 측정을 위한 해상도 플러그를 제작하였다. 팬텀에 삽입된 해상도 플러그의 hole 지름은 0.4 mm에서 1.9 mm까지 16개의 hole로 구성되며, hole 지름은 0.1 mm씩 증가한다.

제작된 QA 팬텀은 길이 120 mm에 지름이 200 mm의 아크릴로 8개의 밀도 바(bar)와 해상도 플러그가 삽입되어 있다. 8개의 밀도 바는 일반적인 플라스틱으로 제작되었고, 그 재질은 polyethylene (0.94 g/cm^3), polypropylene (0.95

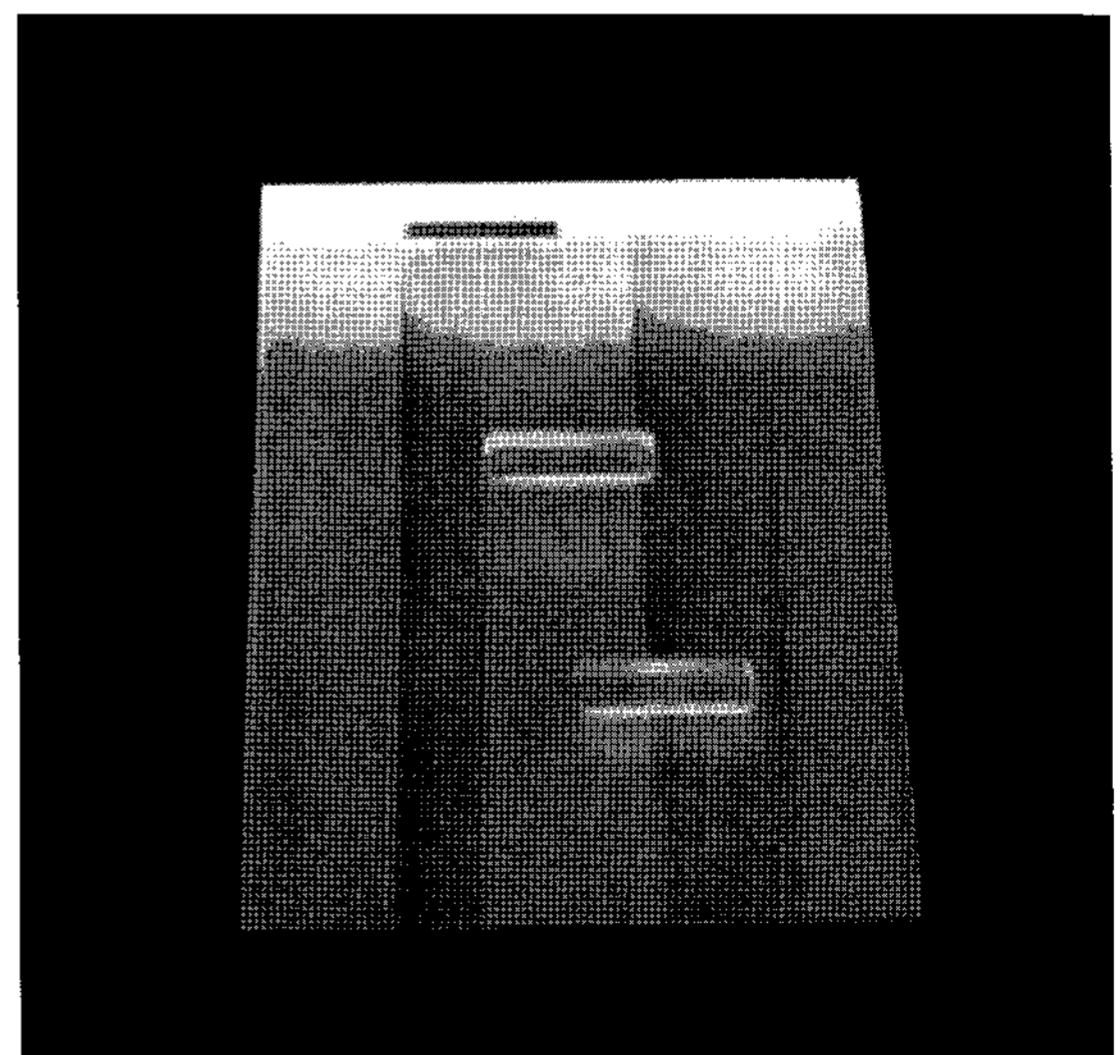


Fig. 2. The photograph of the QA phantom supporter.

g/cm³), nylon scrap (1.14 g/cm³), PMMA (1.16 g/cm³), polycarbonate (1.21 g/cm³), polyvinylchloride (1.38 g/cm³), Teflon (2.16 g/cm³) 이다. Fig. 1은 제작된 팬텀 시제품의 앞면 및 단면 도식도와 사진을 보여주고 있다.

2. 정합 정확도 평가

치료 전 획득한 kV-CBCT나 MVCT의 영상은 치료 계획 시의 일반 CT 영상과 비교된다. 영상기반 방사선치료 기기의 수동 혹은 자동 정합 시스템은 두 영상(planning CT와 kV-CBCT 또는 planning CT와 MVCT)의 위치를 비교하여 환자 치료 위치를 조정한다.

개발된 팬텀은 정합 정확도 평가를 위한 구조인 팬텀 지지대(Fig. 2)와 팬텀과 지지대 사이를 고정시키는 piece가 포함되어 있다. Fig. 3a는 팬텀, 지지대 및 piece의 결합도식

을 보여주고 있다. 기울기가 있는 지지대의 구조로 인해 팬텀과 piece를 이동함으로써 x, y, z 방향의 이동을 구현할 수 있으며, 각이 진 piece를 사용하면 회전의 구현도 가능하다. Fig. 3b는 각이 진 piece의 구조를 보여주고 있다. Fig. 3c는 제작된 팬텀과 각이 진 piece의 결합 모습을 보여주고 있으며, 이 각은 CT 영상 상에서 x 축으로 θ 만큼의 회전을 보여주고 있다. 이 지지대와 piece의 구조로 인해 지정된 위치로의 팬텀의 이동과 회전 조절이 가능하다. 지정된 위치로 이동 및 회전 되어진 팬텀은 영상 기반 방사선 치료기기의 정합 시스템과 비교하여 검증하게 된다. 이동 및 회전 조작을 수행하는 piece와 팬텀 지지대의 기계적인 제작 오차가 검증되지 않았기 때문에, mm 단위 이하를 고려하는 정합 프로그램을 평가할 경우 정확성에 문제가 있다고 사료되어 본 연구에서 정합 정확도 평가는 수행되지 않

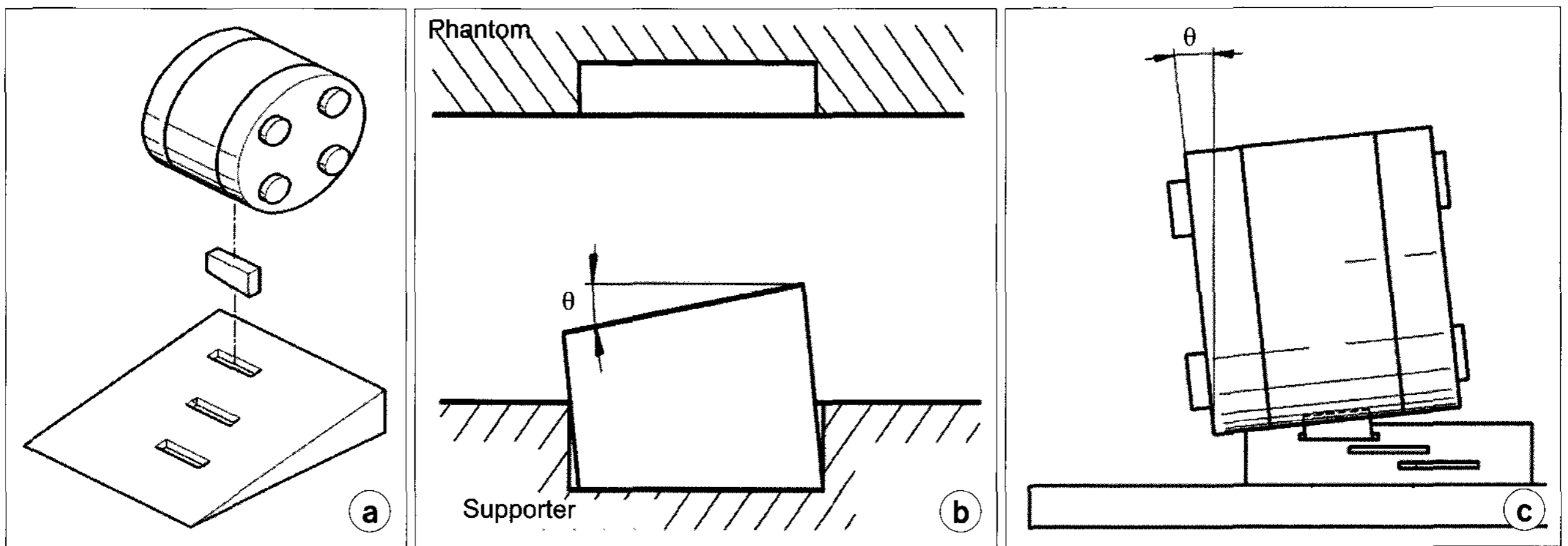


Fig. 3. Diagram of the phantom, piece, and supporter (a) Assembly diagram of the phantom and supporter; (b) demonstration of angled piece; (c) composition view of the phantom and angled piece.

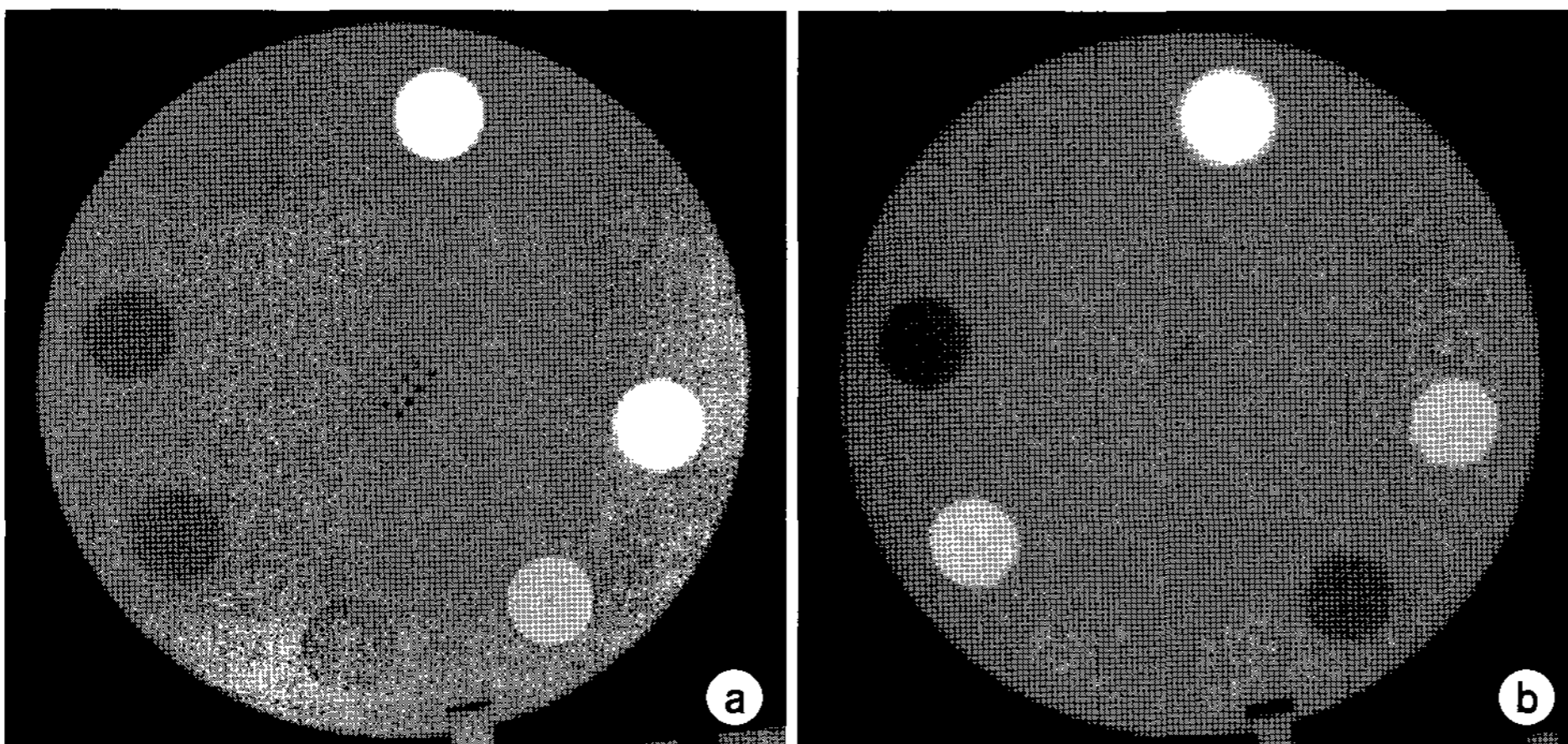


Fig. 4. Phantom images from (a) conventional CT; (b) MVCT of a Tomotherapy unit.

았다.

결과 및 고찰

Fig. 4는 제작된 팬텀의 CT 영상으로 일반 CT와 Tomotherapy의 MVCT에서 획득되었다. Fig. 5는 일반 CT 영상에서의 밀도 바의 프로파일을 보여주고 있고, Table 1은 팬텀에 삽입된 8개의 밀도 바의 CT number를 보여준다.

Fig. 6은 확대된 해상도 플러그를 보여주고 있다. Fenwick 등⁹⁾은 MVCT 해상도 평가에서 5 holes/9.5 mm를 제안하고 있고, 그림에서 보듯이 두 CT 영상에서 1.0 mm의 hole이 깨끗하게 보여지고 있다.

최근 각각 장비의 특성에 맞는 독립적인 QA 지침에 관련된 연구가 수행되고 있다. Yoo 등¹⁰⁾은 OBI의 kV-CBCT 시

스템을 위한 전반적인 안전성, 기하학적 그리고 영상 질에 관련된 QA 프로그램을 기술하였고 Fenwick 등⁹⁾은 갠트리 회전 일치성, 환자 테이블 이동, 가속기 펄싱 등 일반 선형 가속기와는 다른 Tomotherapy를 위한 QA 지침서를 서술하였다. 영상 기반 방사선 치료기기가 우리나라에 점차 많이 도입되고 있기 때문에, 각각의 병원 환경에 맞는 QA 프로토콜과 도구를 개발해야 할 필요가 있다. 이를 위해 영상 질과 정합 정확도 평가를 목적으로 QA 팬텀을 개발하였고, 이 기술은 다양한 QA 도구를 개발하는데 기반 기술이 될 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 영상 기반 방사선 치료기기를 위한 QA 팬텀 시작품을 개발하였다. 제작된 팬텀은 일반 영상 QA를 위한 간단하고 효율적인 팬텀이며, 영상 정합 평가라는 새로운 개념을 제시했다는 데에 큰 의미가 있었다. 향후 팬텀의 정확도와 일관성 평가를 위한 연구가 추진될 것이다.

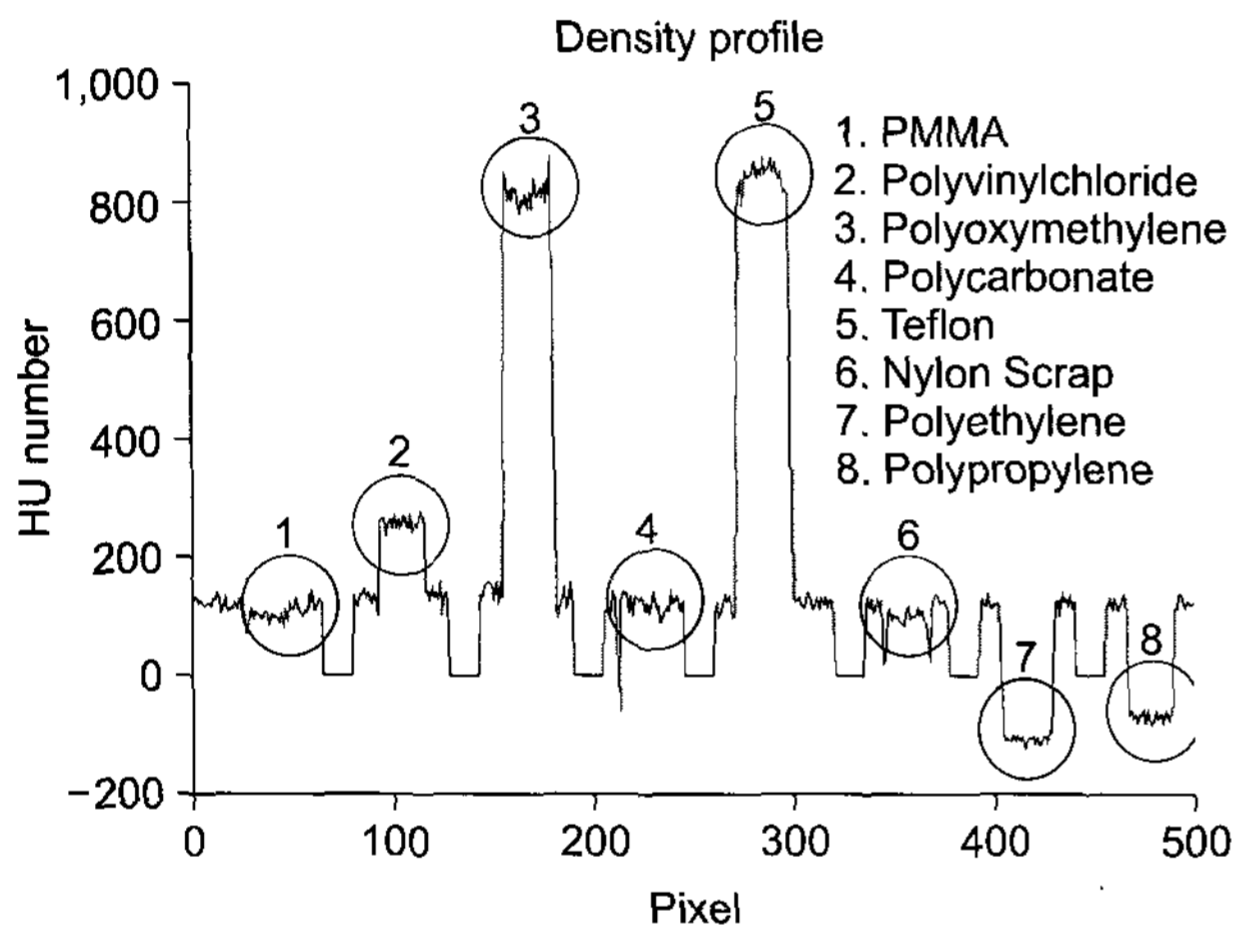


Fig. 5. Density bar profiles from a conventional CT image.

Table 1. CT numbers of the density bars.

Material	Mean CT number
PMMA	113.3±15.4
Polyvinylchloride	258.4±11.2
Polyoxymethylene	813.6±22.4
Polycarbonate	122.1±16.1
Teflon	840.7±24.3
Nylon Scrap	99.5±11.3
Polyethylene	-103.6±14.7
Polypropylene	-66±9.5

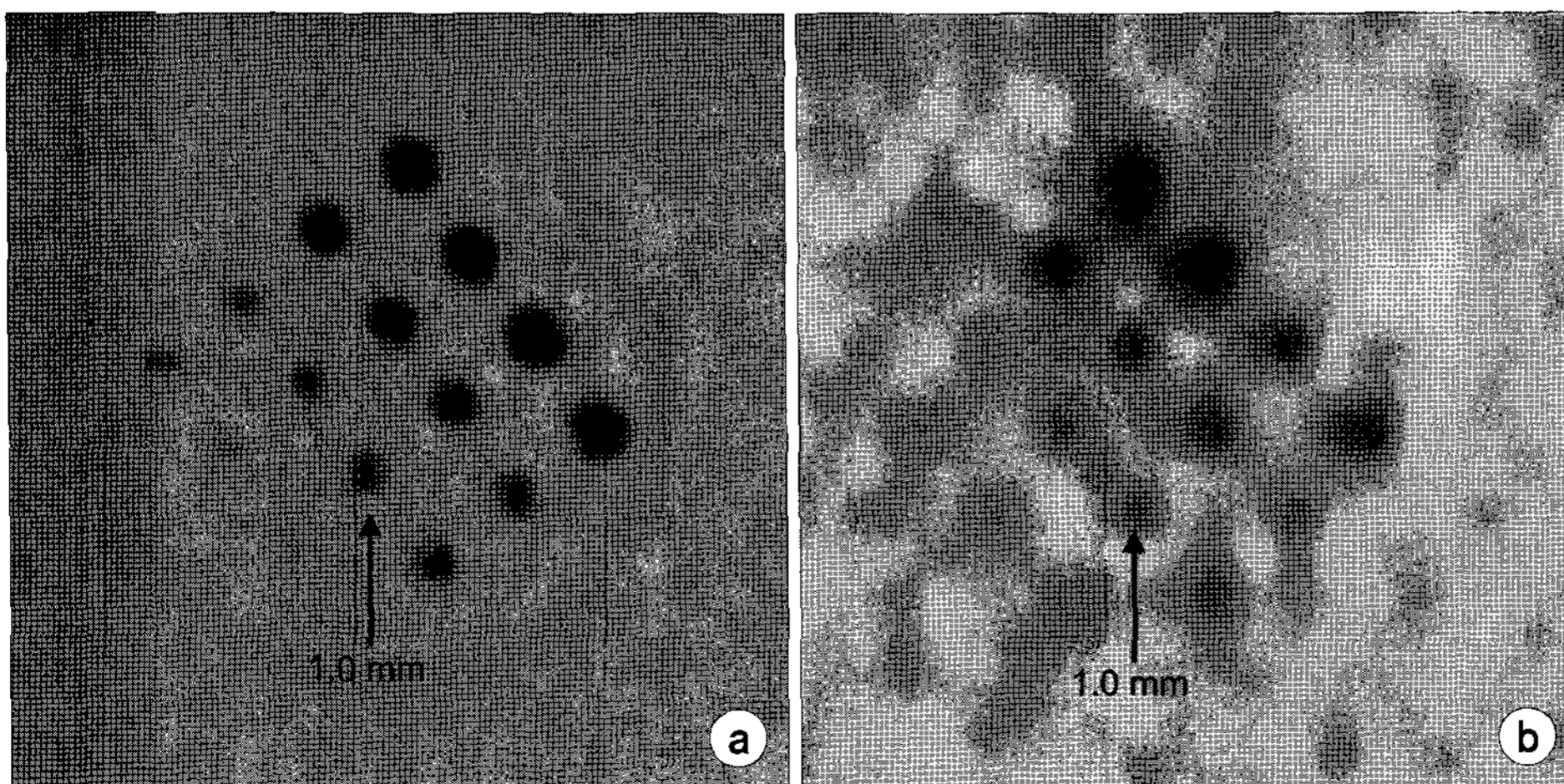


Fig. 6. Resolution plug from (a) conventional CT; (b) MVCT of the Tomotherapy unit.

참 고 문 헌

1. **Jaffray D, Siewerdsen J, Wong J, Martinez A:** Flat-panel cone-beam computed tomography for image-guided radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 53:1337-1349 (2002)
2. **Hawkins M, Brock K, Eccles C, Moseley D, Jaffray D, Dawson L:** Assessment of residual error in liver position using kV cone-beam computed tomography for liver cancer high-precision radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 66:610-619 (2006)
3. **Thilmann C:** Correction of patient positioning errors based on in-line cone beam CTs: clinical implementation and first experiences. *Radiat Oncol* 1:16 (2006)
4. **Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, et al:** Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med Phys* 21:581-618 (1994)
5. **Yang Y, Schreibmann E, Li T, Wang C, Xing L:** Evaluation of on-board kV cone beam CT (CBCT)-based dose calculation. *Phys Med Biol* 52:685-705 (2007)
6. **Morin O, Chen J, Aubin M, et al:** Dose calculation using megavoltage cone-beam CT. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 67:1201-1210 (2007)
7. **Nosil J, Pearce K, Stein RA:** Linearity and contrast scale control in computed tomography. *Med Phys* 16:110-113 (1989)
8. **P.F. Judy et al.** AAPM Report No. 1: Phantoms for Performance Evaluation of CT Scanners. American Institute of Physics (1977)
9. **Fenwick JD, Tome WA, Jaradat HA, et al:** Quality assurance of a helical tomotherapy machine. *Phys Med Biol* 49:2933-2953 (2004)
10. **Yoo S, Kim G, Hammoud R, et al:** A quality assurance program for the on-board imager[®]. *Med Phys* 33:4431-4447 (2006)

Development of QA Phantom Prototype for Imaged Based Radiation Treatment System

Jina Chang*, Seoung Jong Oh*, Won-Kyun Jung*, Hong-Suk Jang[†], Hoi-Nam Kim[†],
Dae-Gyu Kang[‡], Doo-Hyun Lee[§], Tae-Suk Suh*

*Department of Biomedical Engineering, The Catholic University of Korea, [†]Department of Radiation Oncology, Kangnam St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea, [‡]Department of Radiation Oncology, St. Vincent's Hospital, The Catholic University of Korea,
[§]Department of Radiation Oncology, National Cancer Center, Seoul, Korea

In this study, we developed the prototype of QA phantom for image QA including an additional component for image based radiation treatment system. The new phantom considered two main parts: Image quality and fusion accuracy. Image quality part included for daily CT number linearity and spatial resolution, and fusion accuracy part designed to simulate a simple translation-rotation setting. The CT scans of the phantom obtained from conventional CT, MVCT of Tomotherapy unit, and both image sets were satisfied the recommendation of spatial resolution. This phantom was simple and efficient for daily imaging QA, and it is important to provide a new concept of verification of image registration.

Key Words: QA phantom, Image based radiation treatment system, Imaging quality, Fusion accuracy