

# 표준한국인 체적소 모델 HDRK-Man의 외형 보정 및 선량 산출에 미치는 영향 평가

정중휘, 조성구, 조건우\*, 김찬형  
한양대학교, 한국원자력안전기술원

2008년 8월 28일 접수 / 2008년 11월 28일 1차수정 / 2008년 12월 1일 채택

최근 한양대학교에서는 고해상도 연속절단면 컬러해부영상 자료를 이용하여 표준한국인 성인남성 체적소 모델 HDRK-Man을 개발하였다. HDRK-Man은 기존의 다른 모델들과 마찬가지로 누워있는 인체의 영상을 사용하여 제작하였기 때문에 등과 엉덩이 부분이 납작하다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 HDRK-Man 체적소 모델을 변형이 용이한 면(surface) 모델로 변환하였고 전신의 형을 보정한 후 외형 보정이 선량 계산에 미치는 영향을 평가하였다. 면 모델로의 변환 작업은 상용 소프트웨어인 3D-DOCTOR™, Rapidform® 2006, Rhinoceros® 4.0을 사용하였고, 전신의 형의 보정작업은 MAYA® 8.5를 사용하였다. 면의 형태로 변환된 모델은 곧바로 몬테칼로 선량계산에 사용할 수 없으므로, 다시 체적소 모델로 변환하여 선량계산을 수행하였다. MCNPX 몬테칼로 코드를 이용하여 보정 전 후의 유효선량을 계산하여 비교해 본 결과 전체적으로 큰 차이는 없었으며, 예상대로 전(AP), 좌(LLAT), 우(RLAT)방향에 비하여 후(PA)방향에서 상대적으로 가장 큰 차이를 보였다. 본 연구를 통하여 변환된 면(surface) 모델은 방사선 방호 분야에서 활용할 수 있는 다양한 자세를 갖는 변형된 인체모델 개발에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

중심어: HDRK-Man 체적소 모델, 면 모델, 외형 보정, MCNPX, 유효선량

## 1. 서론

방사선 방호 목적의 기본량으로 정의된 유효선량은 인체를 이용하여 직접적으로 측정하는 것이 불가능하므로 주로 가상의 인체모델과 몬테칼로 전산모사 기법을 사용하여 간접적으로 평가하는 방법, 즉 계산에 의한 방법이 사용되어 왔다. 인체모델로서 지난 30여 년간 사용되어 온 MIRD (Medical Internal Radiation Dosimetry) 수학적 모델은 사람의 외형과 장기들을 구, 원통, 원뿔, 타원체 등의 간단한 수학적 식으로 표현한 모델로서, 키와 몸무게뿐만 아니라 장기의 무게 등이 모두 ICRP 표준인 자료와 일치한다. 하지만, 이러한 수학적 모델은 인체를 표현하는데 있어서 사실성이 떨어진다는 문제가 꾸준히 지적되어 왔으며, 이러한 문제는 1984년 Gibbs가 자기공명영상(MRI) 자료를 이용하여 복잡한 인체 해부구조를 매우 사실적으로 표현하는 체적소(voxel) 모델을 처음 제작함으로써 해결되었다. 최근 전산단층촬영(CT)과 자기공명영상(MRI) 등의 의료영상 기술의 발달과 컴퓨터의 급속한 발전으로 체적소 모델의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 2007년에 발간된 ICRP 103 신권고에서는 수학적

모델 대신 실제 인체 영상을 기반으로 제작된 체적소 모델(voxel model)을 표준 모델('Reference phantom')로 사용하기로 하였다[3].

일본에서 개발된 JM24를 제외한 모든 체적소 모델들은 누워있는 피폭영자의 영상을 기반으로 제작되었으므로 실제 방사선 종사자와 같이 서 있는 자세에서 피폭되는 경우 피폭 선량을 정확하게 평가 할 수 없다는 문제가 있다. 외부피폭의 경우 일반적으로 인체 내장기의 위치가 가장 중요한데 서 있을 때와 누워있을 때 장기의 위치는 중력에 의하여 변화한다. 서 있는 자세에서는 복부에 위치한 장기들이 중력에 의하여 발쪽으로 쏠리는 반면 눕게 되면 가슴과 등 쪽으로 이동하게 된다. 이로 인하여 폐같은 경우는 압축되어 부피까지 달라지는 문제가 발생한다. 대부분의 체적소 모델들이 누워있는 사람의 영상을 사용하였으므로 ICRP에서는 누운 자세를 인정하고 선량평가에 사용하기로 하였으나 누운 자세의 모델과 서있는 자세의 모델의 선량평가 차이가 크다면 문제가 될 수 있다[5]. 이러한 차이를 확인하기 위해서는 모델의 외형 및 장기위치 변화가 용이한 모델이 필요하게 되는데 체적소 모델은 인체를 매우 사실적으로 정밀하게 표현하는 반면, 장기의 모양이나 위치를 조정하기 매우 어렵다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 3D-DOCTOR™, Rapidform® 2006, Rhinoceros® 4.0, MAYA® 8.5 등의 3D 상용 소프트웨어들을 사용하여 표준한국인 체적소 모델을 변형이 용이한 면(surface) 모델로 변환하였고, 이를 이용하여

책임저자: 김찬형, chikm@hanyang.ac.kr, 한양대학교  
서울시 성동구 행당동 17 한양대학교 원자시스템공학과

전신의형을 보정한 후 MCNPX 몬테칼로 코드를 이용하여 외형 보정이 선량 계산에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 표준한국인 체적소 모델 HDRK-Man

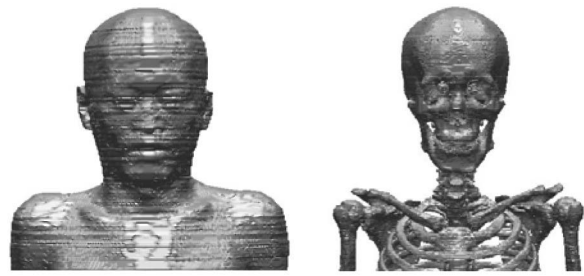
최근 한양대학교에서는 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 제공하는 해상도 0.2 mm급의 고해상도 연속절단면 컬러해부영상 자료를 이용하여 방사선에 민감한 모든 장기와 조직을 정밀하게 분할하여 성인남성 체적소 모델을 개발하였다. 또한, 표준체형을 가지는 한국인 성인 남성의 자료를 사용하고 키, 몸무게, 장기 무게 등을 모두 표준한국인의 자료에 맞추어 줌으로써 서양인 모델과는 차별된 한국인의 모델을 완성하였다[7]. HDRK-Man은 키와 몸무게가 각각 171 cm, 68 kg이고, 29,602,950(247×141×850)개의 체적소(1.981×1.981×2.085 mm<sup>3</sup>)로 구성되어 있다. 본 연구에서는 HDRK-Man 체적소 모델을 변형이 용이한 면(surface) 모델로 변환하였다.

### 2.2 면(surface) 모델로의 변환

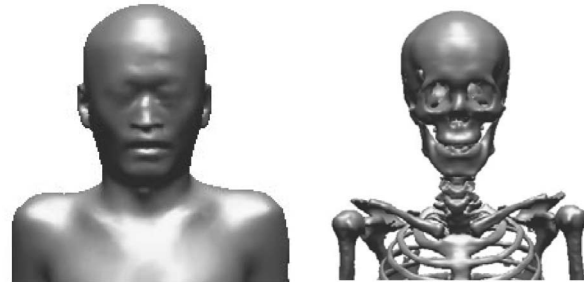
3D 그래픽에서 사용되는 면(surface)은 표현 방식에 따라 몇 종류로 나눌 수 있는데 그 중 가장 보편적으로 사용되는 것으로는 폴리곤(polygon)과 넘스(NURBS, Non-Uniform Rational B-Splines) 면이 있다(그림 1).

그림 1에서 볼 수 있듯이 폴리곤 면은 작은 삼각형이 모여 만들어지는 면으로써 삼각형의 크기가 작고 개수가 많을수록 면을 부드럽게 표현할 수 있고, 넘스 면은 control point, knot, degree 세 파라미터를 이용한 다항식으로 표현되는 면으로서 곡면을 잘 표현할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 HDRK-Man 체적소 모델의 장기의 외형적인 특징에 맞추어 외형과 부피를 유지할 수 있는 면을 적절하게 선택하여 변환하였다.

HDRK-Man의 전신의형과 골격의 경우 모양이 매우 복잡하여 외형을 그대로 유지하기 위해서는 넘스 면보다는 폴리곤 면을 사용하는 것이 적합하였다. 먼저, 체적소 형태의 전신의형과 골격을 3D-DOCTOR™의 'Surface Rendering' 기능을 사용하여 폴리곤 모델로 변환하였다. 최초 변환된 폴리곤 모델

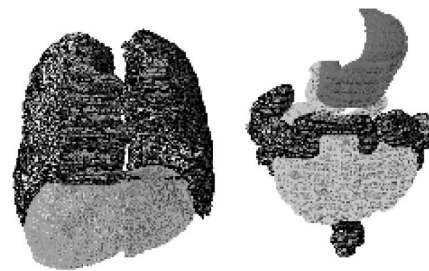


(a) Primary polygonal rendering

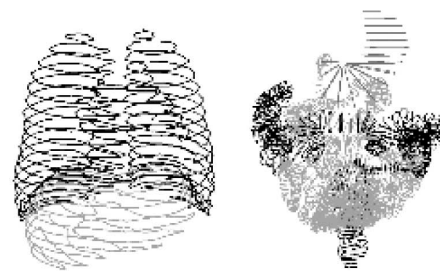


(b) Remesh

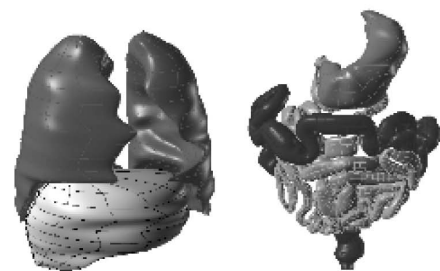
Fig. 2. Conversion of the skin and skeleton into the polygon model.



(a) Polygon models

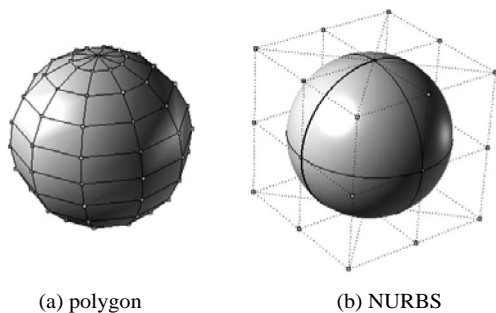


(b) Contours



(c) NURBS models

Fig. 3. Conversion of the internal organs into NURBS surface model.



(a) polygon

(b) NURBS

Fig. 1. Polygon and NURBS surfaces.

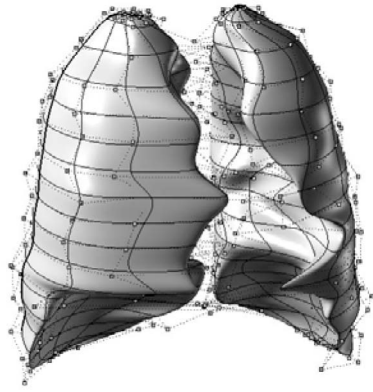


Fig. 4. NURBS surface model of the lung and control points.

은 부드럽지 못하고 조잡한 모양을 하고 있으므로 이를 부드럽게 만들어 줄 필요가 있었다. 이를 위해서 Rapidform<sup>®</sup> 2006의 'Remesh' 기능을 사용하여 일정한 크기의 폴리곤으로 재생성하고, 'Smooth' 기능을 사용하여 부드러운 면을 갖도록 하였으며, 마지막으로 법선 벡터 방향으로 크기를 조정하는 'Polygon Offset' 기능을 사용하여 부피를 원래의 부피에 맞추었다. 그림 2는 HDRK-Man의 전신의 형과 골격을 폴리곤 모델로 변환하는 과정을 보여주고 있다.

전신의 형과 골격과 같이 모양이 복잡한 장기를 제외한다면 나머지 장기들에 대해서는 넵스 면(NURBS surface)으로 변환하였다. 먼저, 3D-DOCTOR<sup>™</sup>의 'Surface Rendering' 기능을 사용하여 장기를 폴리곤 모델로 바꾼 후, Rhinoceros<sup>®</sup> 4.0의 'Contour' 기능을 이용하여 적절한 수의 평면으로 잘라내고, 이때 생성된 곡선(Contour)들을 'Surface Loft' 기능으로 연결하여 넵스 면 모델로 만들었다. 그림 3은 장기를 넵스 모델로 변환하는 과정을 보여주고 있는데 폐와 간(그림 3 좌)은

contour를 xy 평면으로 생성하는 방식을 사용하였고 위, 소장, 대장(그림 3 우)과 같이 파이프 형태의 장기에 대해서는 트랙의 흐름에 맞추어 contour를 생성하는 방식을 사용하였다.

그림 4는 콘트롤 포인트(control point)가 활성화된 폐의 넵스 모델을 보여주고 있는 그림이다. 콘트롤 포인트는 넵스 면을 구성할 때 사용되는 다항식의 파라미터로써 이를 조정하면 부드러운 모양의 변화를 줄 수 있다는 특징이 있다.

### 2.3 외형 보정 및 체적소화

HDRK-Man은 기존의 다른 모델들과 마찬가지로 누워있는 인체의 영상을 사용하여 제작하였기 때문에 등과 엉덩이 부분이 납작하다는 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 폴리곤 면으로 변환된 전신의 형을 MAYA<sup>®</sup> 8.5의 'Soft Modification Tool'을 사용하여 부드럽게 당겨 줌으로써 등과 엉덩이의 모양을 잡아 주었다(그림 5). 'Soft Modification Tool'은 원 형태로 변형 범위를 지정할 수 있는데 등과 엉덩이의 적당한 지점들을 선택하여 납작한 부위를 뒤쪽으로 끌어 당겨 도톰한 모양을 만들어주었다.

현재 기술상 면(surface)의 형태로 변환된 모델은 곧바로 몬테칼로 선량계산에 사용할 수 없으므로, 다시 체적소 모델로 변환하여 선량계산을 수행하였다. 보정된 폴리곤 형태의 전신의 형을 체적소화(그림 6 (a))하고 다른 장기들에 대해서는 HDRK-Man 원래의 데이터(그림 6 (b))를 덮어주는 방법으로 전신의 형이 보정된 HDRK-Man(그림 6 (c))을 제작하였다.

## 3. 결과 및 논의

### 3.1 면(Surface) 모델로의 변환 결과

체적소 모델은 인체를 매우 사실적으로 정밀하게 표현할 수 있는 반면, 장기의 모양이나 위치를 조정하기 어려우므로, 본 연구에서는 앞서 제작된 HDRK-Man 체적소 모델을 변형

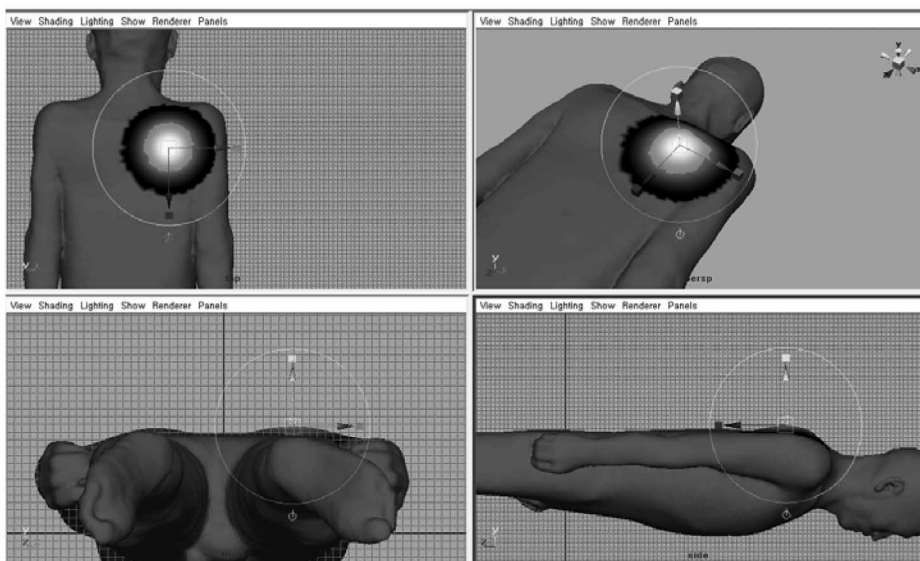


Fig. 5. Adjustment of flattened back.

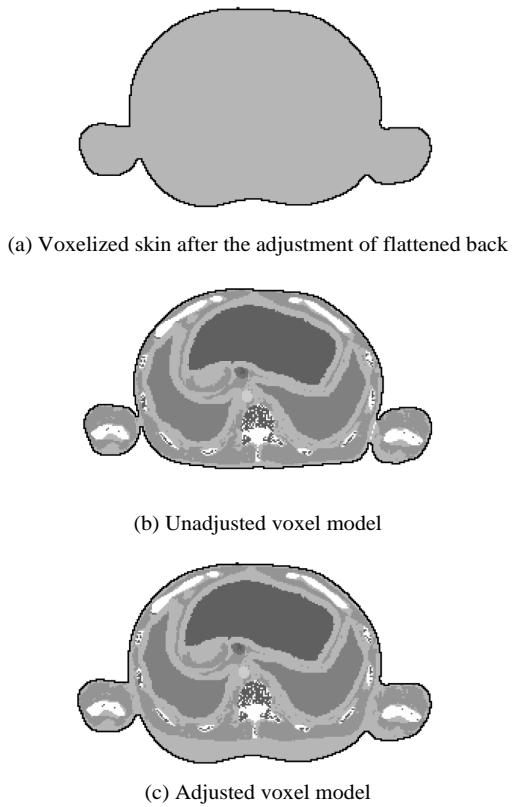


Fig. 6. Voxelization of the surface model.

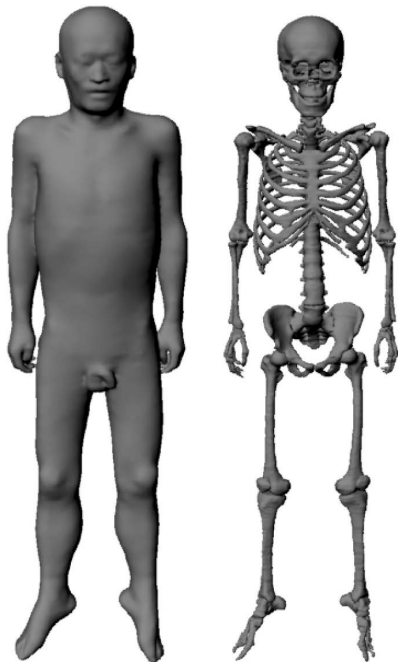


Fig. 7. Polygon model of skin and skeleton.

이 용이한 면(surface) 모델로 변환하였다. 전신의형이나 골격과 같이 모양이 복잡한 장기는 폴리곤 면으로 변환하였고, 그 외 나머지 장기들에 대해서는 넘스 면(NURBS surface)으로 변환하였다. 그림 7은 폴리곤 모델로 변환된 전신의형과 골격 모델이며 그림 8은 넘스 모델로 변환된 장기 모델이다.

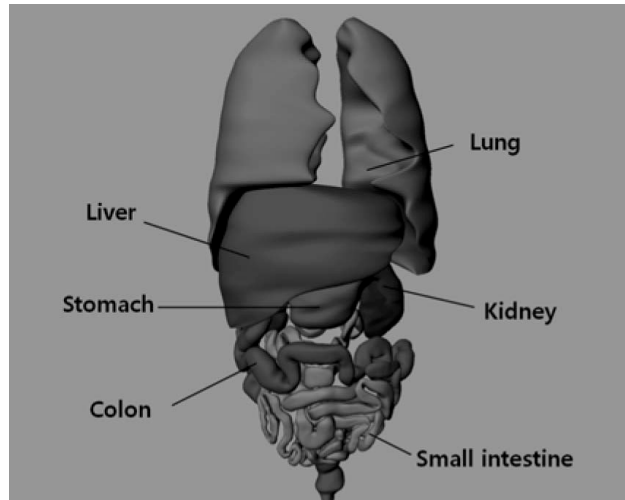


Fig. 8. NURBS model of internal organs.



Fig. 9. Side view of unadjusted and adjusted surface models.

### 3.2 전신의형 보정 결과

본 연구에서는 누워있는 인체의 영상을 사용하여 제작된 HDRK-Man 체적소 모델을 폴리곤 면으로 변환된 전신의형의 등과 엉덩이의 모양을 잡아 주었다. 그림 9는 전신의형의 보정 전후의 모습을 보여주고 있다.

### 3.3 보정 전·후 외부피폭 선량환산계수비교 분석 결과

면(surface)의 형태로 변환된 모델은 곧바로 몬테칼로 선량계산에 사용할 수 없으므로, 다시 체적소 모델로 변환하여

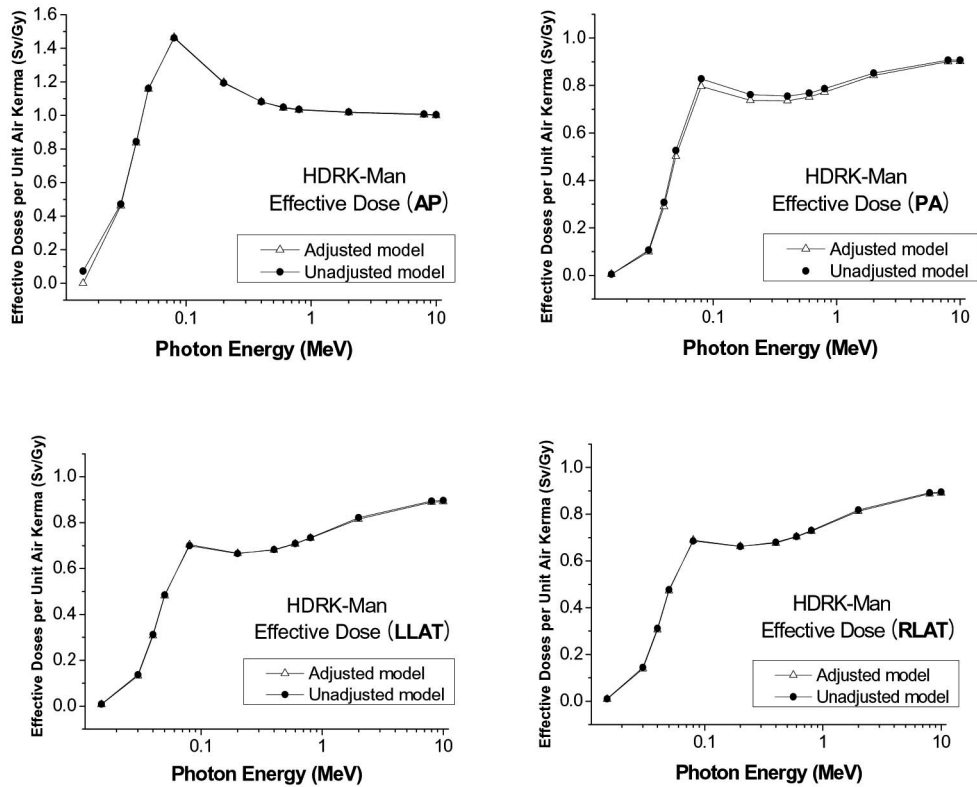


Fig. 10. Comparison of the effective dose between unadjusted (●) and adjusted(△) models.

선량계산을 수행하였다. 그림 10은 전신의형 보정 전·후의 모델들을 이용하여 각각 유효선량을 계산하고 이를 비교한 결과이며, 전체적으로 큰 차이는 없으나 예상대로 전(AP), 좌(LLAT), 우(RLAT)방향에 비하여 후(PA)방향에서 상대적으로 가장 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다(0.03 MeV 이상에서 최대 6.6%).

#### 4. 결론

본 연구에서는 최근 한양대학교에서 고해상도 연속절단면 컬러해부영상 자료를 이용하여 제작한 성인남성 체적소 모델을 변형이 용이한 면(surface) 모델로 변환하였고 이를 이용하여 전신의형을 보정한 후 MCNPX 몬테칼로 코드를 이용하여 전신의형 보정이 선량평가에 미치는 영향을 평가하였다. 이러한 기술들은 앞으로 방사선 방호분야에서 활용할 수 있는 다양한 자세의 변형된 인체모델을 개발하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 우수연구센터육성사업(ERC, R11-2000-067-03002-0), 기초공동연구소사업(BAERI, M20508050003-05B0805-00310) 및 한국원자력안전기술원의 지원(원자력연구개발사업 위탁과제)으로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. Fisher HLJ and Snyder WS. Distribution of dose in the body from a source of gamma rays distributed uniformly in an organ. ORNL-4168, Oak Ridge, TN;Oak Ridge National Laboratory, 1967.
2. International Commission on Radiological Protection. Report of the task group on Reference Man, ICRP Publication 23, Oxford UK;Pergamon Press, 1975.
3. International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, London UK;Elsevier, 2007.
4. Sato K, Noguchi H, Endo A, Emoto Y, Koga S, and Saito K. Development of a voxel phantom of Japanese adult male in upright posture. Radiat Prot Dosim. 2007;127(1-4):205-208.
5. Zankl M, Becker J, Fill U, Petoussi-Henss N, Eckerman KF. GSF male and female adult voxel models representing ICRP Reference Man - the present status. Proceedings of The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World. Chattanooga, TN:American Nuclear Society, 2005.
6. Park S, Lee J, Kim JI, Lee YJ, Lim YK, Kim CS, Lee C. In vivo organ mass of Korean adults obtained from whole-body magnetic resonance data. Radiat Prot Dosim. 2005;118:275-279.
7. Kim CH, Choi SH, Jeong JH, Lee C, Chung MS. HDRK-Man: a whole-body voxel model based on high-resolution color slice images of a Korean adult male cadaver. Phys Med Biol. 2008;53:4093-4106.

## Deformation of the Reference Korean Voxel Model and Its Effect on Dose Calculation

Jong Hwi Jeong, Sungkoo Cho, Kun-Woo Cho\*, Chan Hyeong Kim  
Hanyang University, Korea Institute of Nuclear Safety\*

**Abstract** - Recently a high-quality voxel model of a Korean adult male was constructed at Hanyang University by using very high resolution serially-sectioned anatomical images of a cadaver, which was provided by the Korean Institute of Science and Technology Information (KISTI). Most existing voxel phantoms are developed based on an individual in the supine posture. This study converted the HDRK-Man voxel model into surface model and adjusted the flattened back of the HDRK-Man to a normal shape in the upright posture using 3D graphic softwares such as 3D-DOCTOR™, Rapidform®2006, Rhinoceros®4.0, MAYA®8.5. The effective doses of adjusted model were compared with those of unadjusted model for some standard irradiation geometries (i.e., AP, PA, LLAT, RLAT). In general, the differences were not very large and, among those, the largest difference was found for the PA radiation geometry, as expected. These methodologies can be used for the development of various deformed posture models of HDRK-Man in the later stage of this project.

**Keywords** : HDRK-Man, Surface model, Adjustment of flattened back, MCNPX, Effective dose