

## NEMA NU2-2001을 이용한 PET-CT 스캐너의 물리적 특성평가

이병일<sup>†</sup>

### Evaluation of Physical Characteristics of Discovery ST scanner Using NEMA NU2-2001 Standard

Byeong-il Lee<sup>†</sup>

#### Abstract

As a new standard for performance measurement, NEMA NU2-2001 was presented recently. In this study, I investigated the spatial resolution, sensitivity, scatter fraction, and noise equivalent count ratio (NECR) in order to know the information of physical characteristics and system performance of GE discovery ST using this new standard. Bismuth germinate crystals (6×6 array, 6.3 mm×6.3 mm×30 mm) were used in discovery ST (energy window:375-650 keV, coincidence window:11.7 nsec). To measure the sensitivity, five aluminum sleeves (Data Spectrum Corp., Chapel Hill, NC., USA, thickness:1.25 mm)-NEMA sensitivity phantom- filled with F-18 solution were used. Successive measurements in 2D and 3D acquisition mode were made with a line source at the center of transaxial field of view and 10 cm off from the center until the count was over 500,000. Spatial resolution was estimated using a point source (F-18, 0.1 mCi) at different locations in the FOV. Scatter fraction and NECR was tested using a NEMA scatter phantom. Dynamic data were acquired for 7 half-lives using F-18 solution. And true to background ratio was averaged at last three frames when the random rate was as small as ignorable for the calculation of scatter fraction. We anticipate this overall evaluated results could be used for the quality assurance and optimized image acquisition for clinical research.

**Key words :** PET-CT, Quality assurance, Sensitivity, Scatter fraction, Noise equivalent count ratio, NEMA.s

#### 1. 서 론

PET-CT (positron emission tomography-computed tomography)의 보급으로 핵의학 진단 성능 및 검사 시간이 단축되면서 많은 병원에서 PET-CT의 사용이 증가되고 있다. 여러 회사에서 판매되고 있는 PET 및 PET-CT는 2008년 현재 약 100대가 국내 대형 병원에서 가동이 되고 있으며, 많은 환자들에게 고급의료서비스를 지원하고 있다. 국내 암환자 검진을 위한 수요의 증가로 지난 5년간 많은 공급이 이루어지면서 시스템의 성능평가에 대한 관심이 높아졌으며, 핵의학 영상기기에 대한 유지보수에 대한 움직임도 일고 있다. 핵의

학 영상기기의 정도관리에 대한 표준화 작업은 핵의학 회 및 식약청 연구과제를 통하여 진행되고 있으며, 성능에 대한 평가와 유지보수의 효율성이 주요한 논쟁의 대상이 되고 있다. 표준적인 기기 성능에 대한 평가로 가장 널리 알려져 있는 NEMA NU2-2001 표준 방법은 PET-CT기기 초기 설치에서 첫 기종에 대해 시행하고 있으며, 국내 인허가 관련자료에 포함이 되어 있다. 하지만 지속적인 관리는 대부분 병원의 유지보수 계약을 통해 정기점검이 이루어지고 있으며, 이 때 회사별 자체 프로그램을 이용하여 점검이 이루어지고 있다. 성능비교를 위한 국제적인 표준화 방법으로 NEMA에서 제안한 방법이 자리를 잡았고 기기의 성능평가 뿐 아니라 최적의 영상을 얻기 위해 알아야 하는 기본적인 물리적 특성을 평가하는 중요한 방법으로 알려져 있다.<sup>[1-3]</sup> NEMA 1994 이 후 개발된 영상기기의 변한 점들을 반영하여 NEMA 방법도 발전해 오고 있다.

조선대학교 병원 및 화순전남대병원에 설치가 되어

전남대학교병원 핵의학과(Dept. of Nuclear Medicine, Chonnam National University Hospital)

<sup>†</sup>Corresponding author: dewpapa@hanmail.net  
(Received : August 26, 2008, Revised : September 6, 2008  
Accepted : September 12, 2008)

운영중인 PET-CT 기기는 같은 기종으로 GE사의 기종이다. Discovery ST는 8 슬라이스 CT를 장착하고 Bismuth germanate (BGO)를 사용한 PET-CT로 영상의 품질 및 동적영상획득, 그리고 2차원이나 3차원 모드로 영상을 얻을 수 있는 특징이 있으며, 여러 가지 소프트웨어를 통하여 뇌영상 및 심장영상, 그리고 암환자에 대한 분석을 지원하고 있다. 따라서 이 연구에서는 PET-CT의 정도관리에 대한 이해 및 방법적 발전을 위해 우선 기본적인 표준적 측정방법으로 자리를 잡고 있는 NEMA NU2-2001 표준 방법을 통하여 성능측정을 하여 물리적 특성을 파악하고자 하였다. 먼저 PET-CT의 2차원 모드와 3차원 모드 영상 획득에 따른 성능의 변화와 민감도, 해상도, scatter fraction, NECR 등을 PET에 대해 물리적 성능을 평가하였다. NEMA NU2-2001은 PET의 성능에 대한 표준 평가 방법이므로 영상에 대한 품질평가를 위해 추가적인 측정을 시행하였다.

## 2. 대상 및 방법

### 1. 스캐너 사양

Discovery ST PET-CT 스캐너는 70개의 블록이 4개의 링에 각각 있으며, 하나의 블록에 6×6개의 BGO 섬광결정을 사용하고 있다. 섬광결정의 길이는 6.3 mm × 6.3 mm × 30 mm이며, 링의 지름은 88.6 cm, 축방향의 유효시야는 157 mm이다. 따라서 교차단면까지 모두 47개의 단면영상이 얻어진다. 2차원 모드로 영상을 얻을 때는 텅스텐으로 만들어진 길이 54 mm, 두께 0.8 mm의 격벽(septa)이 움직이게 되며, 이동시간은 약 1분이

다. 2차원 모드로 영상을 얻을 때 ±5개의 섬광결정 링, 3차원 모드에서는 24개의 섬광결정 링에서 신호를 받는다. 에너지창은 375-650 keV이며, 동시계수창은 11.7 nsec이다.

### 2. 네마표준평가

#### 2-1. 공간분해능

공간분해능의 측정을 위해 1 mm 내경의 튜브에 점선원을 만들고 100,000카운트에서 얻어진 영상으로부터 radial, tangential, axial 방향의 공간분해능을 측정한다. 다음 NEMA에서 권고한 방법으로 결과를 작성하였다. 영상은 2D, 3D 방법으로 (0,1) (0,10) (10,0)의 세 부분에서 74 MBq/mL의 F-18을 이용해 각각 획득하였으며, FOV의 1/4 되는 지점으로 이동하여 같은 방식으로 측정하였다. 영상재구성은 2D로 얻은 영상은 Filtered Back Projection을 이용하여 256 X 256 영상을 ramp filter로 6.3 mm cutoff frequency로 얻었다. 3D로 얻은 영상은 OSEM(iteration 2, subset 30)을 이용하여 재구성하였다. 한 픽셀의 크기는 0.9735였다. 각 방향으로 획득한 영상으로부터 프로파일 데이터를 얻고 FWHM을 각각 계산하였다.

#### 2-2. 민감도

민감도는 스캐너가 양전자를 검출하는 능력을 측정하는 것으로 민감도 팬텀(Data Spectrum Corp., Chapel Hill, NC., USA)을 이용하여 측정하게 되면 감쇠되지 않은 상태에서의 민감도를 측정할 수 있다. 민감도 측정용 팬텀은 70 cm 길이의 알루미늄 관이 튜브를 바깥

표 1. 대표적인 PET-CT 기종별 특징

	GE	Philips	Siemens
Model	Discovery ST	GEMINI 16 Power	Biograph 16
Acquisition modes	2D or 3D	3D	3D
Transmission source	CT AC	Cs-137 and CT AC	CT AC
Number of crystals	10,080	17,864	24,336
Crystal size	6.2×6.2×30 mm	4×6×20 mm	4.0×4.0×20 mm
Detector materials	BGO	GSO	LSO
Plane spacing	3.27 mm	2 mm	2 mm
# of slices per FOV	47	90	81
Transvers resolution @1cm	6.2 mm (2D / 3D)	5.5 mm	4.2 HIREZ
System sensitivity	9.3 cps/kBq	4.9	4.5 cps/kBq
Peak NECR (3D)	63 kcps@12kBq/cc	30.5	93 kcps@29kBq/cc
Scatter fraction	19%(2D), 44%(3D)	28%	<36%(@425 keV)
Special features	2D, 3D, dynamic, gating acquisition	Good energy resolution	Finest coincident timing window(4.5nsec)

으로 하나씩 덮게 되어있으며 관의 두께는 1.25 mm이다. 알루미늄관은 모두 5개로 내경이 3.9 mm, 7.0 mm, 10.2 mm, 13.4 mm, 그리고 16.6 mm 이다. 영상은 0.5 분에서 3분 사이에서 얻었으며, 500,000카운트 이상을 얻어 불응시간을 5%미만이 되게 하여 랜덤이벤트로부터의 영향을 최소화 하였다.

2-3. 산란분획과 NECR

산란분획 측정을 위하여 비중이 0.95 g/cm<sup>3</sup> 인 폴리에틸렌으로 만들어진 실린더형태의 산란팬텀을 제작하였다. 길이는 백서의 경우에 대해 측정하기 위하여 길이 150 mm, 지름 60 mm의 크기를 만들었고, 중심에서 13 mm 떨어진 위치에 실린더 종축과 평행하게 약 3 mm 지름의 구멍을 뚫고 내경 1.7 mm의 선선원을 삽입하였다. 2.57 GBq의 F-18을 선선원에 넣고 불응시간이 1%이하가 될 때까지 20분 간격으로 14시간 동안

영상을 획득하였다.

산란분획은 전체 계수 중 산란계수에 대한 비율을 측정하는 것으로 총계수가 충분히 작을 때의 총 계수에 대한 랜덤계수와 산란계수의 합인 비율이다. 즉, 총계수가 충분히 작으면 랜덤계수는 무시할 만 하므로 이 비율은 산란분획이 된다. 시간이 충분히 지나야 불응시간이 1%이하로 떨어지는데, 불응시간이 약 50% 정도의 높은 때 시작하므로 7 반감기 이상 영상을 획득해야 하며, 각 프레임의 길이는 반감기의 4분의 1 시간 이하가 되어야 하므로 20분으로 하였다. 산란계수는 불응시간 1% 미만의 프레임만으로 측정할 수 있으나, NECR의 측정을 동시에 하기 위하여 불응시간을 높여서 낮아질 때까지 전체 시간에 대해 측정하였다. 전체 데이터 중에서 마지막 3개의 프레임을 이용하여 산란분획을 계산하고 전체 데이터를 이용하여 NECR을 계산하였다.

3. 추가적인 성능 평가

3-1. 영상품질평가

영상의 질을 평가하기 위해 IEC 팬텀과 scatter 팬텀

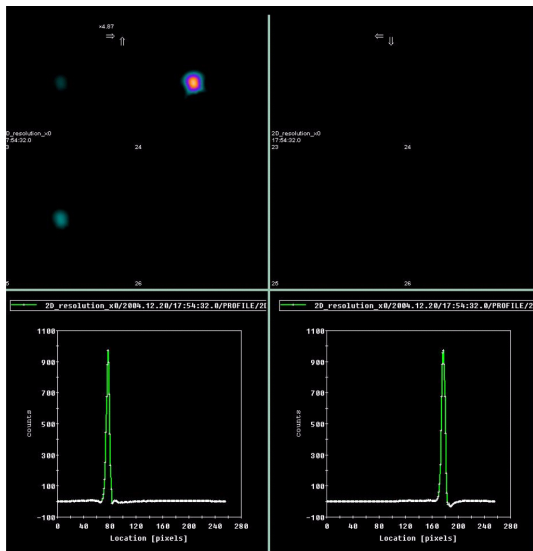


그림 1. 공간분해능 측정 그림

표 2. 공간해상도 측정 결과

1 cm radius			
2D		3D	
Transverse	Axial	Transverse	Axial
6.15	5.77	6.16	5.93
10 cm radius			
FBP		OSEM	
2D (10 cm)	3D (10 cm)	2D (10 cm)	3D (10 cm)
4.71 (6.42)	5.43 (5.66)	6.17 (7.16)	6.66 (6.59)

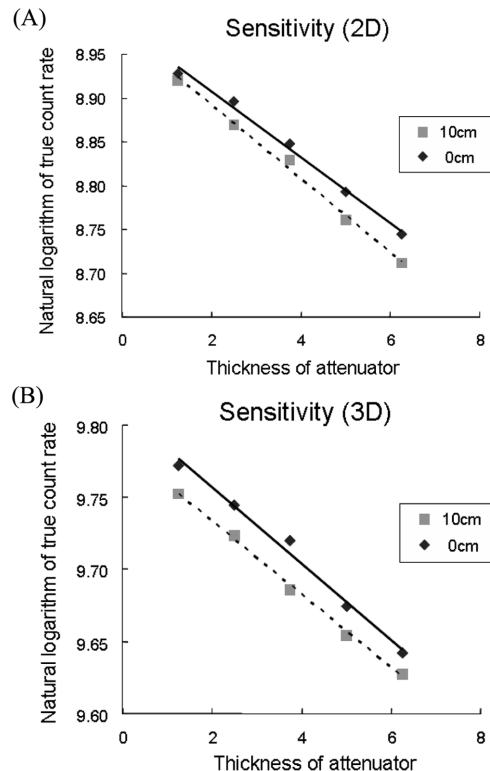


그림 2. 2D (A), 3D (B) 영상획득 모드에서 절대민감도 측정결과

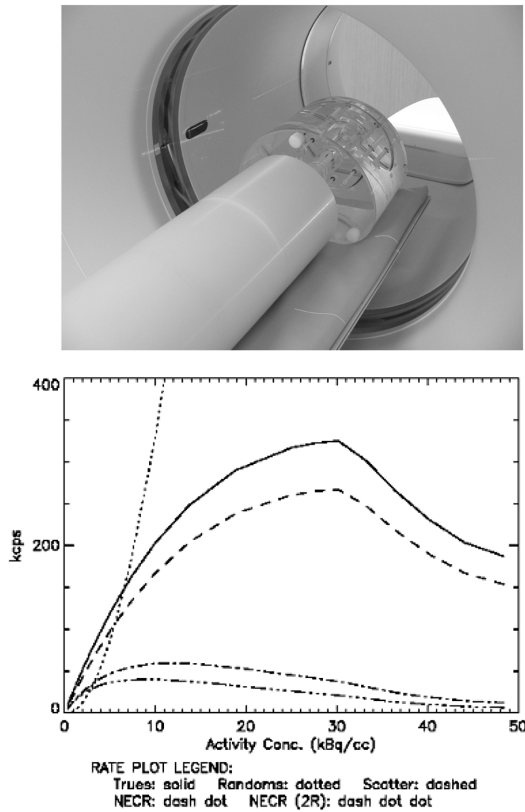


그림 3. 산란분획과 NECR 측정결과 리포트

을 이용하여 실험을 하였다. IEC 팬텀 내부에 있는 지름 1 cm, 1.3 cm, 1.7 cm, 2.2 cm, 2.8 cm, 3.7 cm의 sphere 에 백그라운드와 4배, 8배가 각각 차이가 나도록 F-18 수용액을 채운 다음, 2D와 3D 모드에서 각각 3번씩 촬영을 하였다. 이때 사용한 activity는 sphere: 0.77 mCi/L, Background: 1.94 mCi/10L, Line source: 4.52 mCi/10 ml 이었으며, 사용된 선선원은 스캐터 팬텀의 내부에 들어갔고, 이것은 스캔 부위 주변의 외부 백그라운드를 만들기 위한 것이다. 2D와 3D모드로 8분 20초와 7분 19초씩 각각 영상을 획득하였으며, 3번 측정값을 평균을 정리하였다. 제일 큰 sphere 두 개는 hot source를 주지 않았고, cold region을 만들어 대조도를 측정하였다.

### 3. 실험결과

#### 1. 네마표준평가

##### 1-1. 공간분해능

FBP로 재구성한 영상의 공간분해능은 횡단면 중심

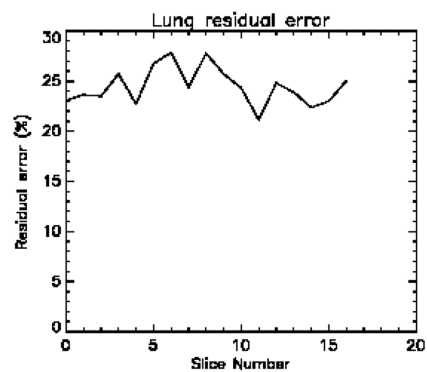
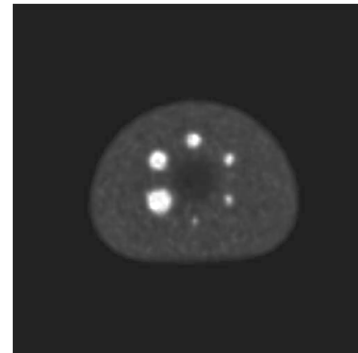


그림 4. 영상품질평가 결과 리포트

및 10 cm 떨어진 곳에서 5-6 mm 정도로 측정되었다. 영상재구성 방법에 따라 조금씩 차이가 있었다.

#### 1-2. 민감도

알루미늄 관이 포함된 팬텀을 이용하여 측정된 절대 민감도는 축방향 중심에서 1.79 counts/sec/MBq, 축방향에서 10 cm 떨어진 곳에서 1.78 counts/sec/MBq 이었다. 3D 모드에서 측정된 절대민감도는 중심에서 9.84 counts/sec/MBq, 10 cm 떨어진 곳에서 9.62 counts/sec/MBq 이었다.

#### 1-3. 산란분획과 NECR

산란분획은 45%이었고, NECR의 최고치는 59.3 kecps 였고, 이 때 방사선 농도는 13.7 kBq/mL 였다. 참계수 최고치는 325.1 kecps 에서 방사선 농도가 30.1 kBq/ml 이었다.

### 2. 추가적인 성능평가

#### 2-1. 영상품질평가

영상품질평가를 위하여 팬텀을 이용한 측정에서 영상대조도는 각각의 hot sphere에서 45%, 80%, 105 %,

130%였으며, 이 때 background variability는 각각 9%, 8%, 7%, 6%였다. 평균 lung error는 24%였다.

#### 4. 결 론

핵의학 영상기기의 성능평가는 소동물 영상기기에서 많이 연구되었으며, 이는 새로운 임상기기의 개발로 이어지고 있다.<sup>14)</sup> 임상기기에 대한 평가도 국제적으로 인지도 높은 연구기관 및 병원을 통해 결과를 발표해 왔다. 이 연구에서는 최근 국내에 널리 보급되어 사용되고 있는 PET-CT 스캐너의 물리적 특성에 대한 평가 및 시스템의 성능에 대한 확인을 위해 초기에 사용되는 방법인 NEMA NU2-2001 방법을 이용한 측정을 하였다. 성능평가와 정도관리의 측면에서 생각하는 시스템의 평가는 개념이 조금 다르지만, 많은 임상가들의 성능에 대한 궁금증에 대한 한 가지 방법으로 널리 NEMA에서 제안한 방법이 사용되고 있다. 이 연구에서는 기본적인 표준화 방법인 NEMA 방법과 영상의 품질 및 PET-CT 성능에 대한 평가를 위한 추가적인 방법으로 영상품질평가를 수행하였다. 수행을 위한 방법의 복잡성으로 인해 전문적인 지식을 가진 연구자가 있어야 수행이 될 수 있는 어려움이 있다. 또한 총 소요시간이 길어서 지속적인 검사에 활용하는 것은 많은 연구를 필요로 한다. 하지만 이 연구에서 수행한 내용을 정도관리의 측면을 고려한다면 시스템을 이해하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 최근 국내에서도 정도관리의 효율성 있는 시행을 위해 NEMA가 제안한 표준적인 방법과 실제 수행중인 시스템의 성능측정 방법을 현실적으로 접목하기 위한 노력이 있다. 국제적으로도 AAPM, ACR, ICANL 등의 학회에서 여러 가지 방

법들의 제안이 이루어지고 있음을 볼 때, 핵의학 영상기기의 물리적인 특성을 더욱 자세히 이해한 후 성능 유지 및 평가에 올바르게 활용하는 것이 중요하다.

#### 참고문헌

- [1] Daube-Witherspoon ME, Karp JS, Casey ME, DiFilippo FP, Hines H, Muehllehner G, Simic V, et al. "PET performance measurements using the NEMA NU 2-2001 standard", *J Nucl Med.* 43(10), pp 1398-1409, 2002.
- [2] National Electrical Manufacturers Association: NEMA standards publication NU2-2001: performance measurements of positron emission tomographs. Rosslyn, VA, *National Electrical Manufacturers Association*, 2001.
- [3] Kim JS, Lee JS, Lee DS, Chung J-K, Lee MC. "Performance evaluation of Siemens CTI ECAT EXACT 47 scanner using NEMA NU2-2001", *Korean J Nucl Med* 38, pp 259-67, 2004
- [4] Weber S, Bauer A. "Small animal PET: aspects of performance assessment". *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 31(11), pp 1545-55, 2004.
- [5] Christof K, Stefan S, Anne S, Danny N, Norbert R, Alexandra W, et al. "Performance evaluation of the microPET R4 PET scanner for rodents", *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 30(5), pp 737-47, 2003.
- [6] Cherry SR, Shao Y, Silverman RW, Meadors K, Siegel S, Chatziioannou A, et al. "MicroPET: a high resolution PET scanner for imaging small animals", *IEEE Trans Nucl Sci* 44, pp 1161-66, 1997.