

Evaluation of Temperature and Humidity of a Thermo-Hygrostat of PET/CT Equipment using a Temperature and Humidity Sensor(BME 280)

Chan-Ju Ryu,^{1,2} Jeong-A Kim,³ Jun-Su Kim,³ Geun-Yeong Yun,³ Seung-Hui Heo,³ Seong-Jong Hong^{2,3,*}

¹Department of Nuclear Medicine, Bundang Cha Medical Center

²Department of Healthcare, Graduate School, Eulji University

³Department of Radiological Science, Eulji University

Received: January 06, 2020. Revised: February 25, 2020. Accepted: February 28, 2020

ABSTRACT

PET(Positron Emission Tomography) devices are used as PET/CT or PET/MRI devices fused with the devices of CT or MRI for obtaining anatomical information. Therefore, the devices are constructed in circular ring-type structure whose length of gantry(the main part of filming) becomes wider and the interior depth becomes longer in comparison to other common medical equipments. scintillator, one of the components in PET devices, is inside the gantry, and as it is consisted of crystal which is sensitive to the change of temperature and humidity, large temperature change can cause the scintillator to be damaged. Though scintillator located inside the gantry maintains temperature and humidity with a thermo-hygrostat, changes in temperature and humidity are expected due to structural reasons. The output value was measured by dividing the inside of the gantry of the PET/CT device into six zones, each of which an Adafruit BME 280 temperature and humidity sensor was placed at. A thermo-hygrostat keeps the temperature and humidity constant in the PET/CT room. As the measured value of temperature and humidity of the sensor was obtained, the measured value of temperature and humidity appeared in the thermo-hygrostat was taken at the same time. Comparing the average measured values of temperature and humidity measured at each six zones with the average values of the thermo-hygrostat results in a difference of 2.71°C in temperature and 21.5% in humidity. The measured temperature and humidity of PET Gantry is out of domestic quality control range. According to the results of the study, if there is continuous change in temperature and humidity in the future, the aging of the scintillator mounted in the PET Gantry is expected to be aging, so it is necessary to find a way to properly maintain the temperature and humidity inside the Gantry structure.

Keywords: PET/CT, thermo-hygrostat, temperature and humidity sensor

I. INTRODUCTION

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography, PET)이란 환자에 투여한 방사성 의약품의 분포를 기능적 단면 영상으로 얻을 수 있는 촬영이다. PET은 여러 생화학적 물질의 생체 내 분포를 영상화하고 체내의 생리적 지표들을 정량적으로 측정이 가능하여 생화학·병리현상의 규명, 질병 진단, 치료 후 예후 판정, 치료계획 등에 탁월하다.^[1] 또한 비

침습적으로 암을 진단하고 한 번의 검사로 원격 전이도 진단할 수 있기 때문에 임상적 유용성이 많이 알려지게 되면서 PET 장치의 사용이 증가하게 되었다.^[2] 하지만 영상의 해상도가 비교적 낮고 해부학적 위치와 주변 조직과의 관계를 평가하기 어렵기 때문에 PET 영상으로 해부학적 상세 정보를 구분하기는 힘들다. PET의 이러한 불선예함은 CT와 결합한 PET/CT나 PET/MRI를 통하여 극복할 수 있었다. PET/CT는 먼저 CT를 촬영한 후에 연이어

* Corresponding Author: SeongJong Hong

E-mail: hongseongi@eulji.ac.kr

Tel: +82-31-740-7185

PET을 촬영하는 방법을 사용한다. 따라서 환자는 이동하지 않고 같은 위치에서 편하게 PET과 CT가 융합된 영상을 얻을 수 있다. 그러나 두 장비가 결합 하면서 다른 의료 장비와 비교하여 Gantry(촬영부 본체) 내부의 깊이가 깊어지고 지름이 커지는 원형(ring) 타입의 구조로 제작되므로 이런 구조적 문제가 Gantry 내·외부의 온·습도 차이를 유발할 것으로 예상된다. 더불어 PET/CT 장비 중 CT를 구동시킬 때 발생하는 열, 공기의 적은 흐름, 내부에 장착된 전자 장치 등 다양한 원인으로 인하여 더 큰 차이가 예상된다.

PET 장치의 구성 요소 중 하나인 신틸레이터(Scintillator)는 Gantry 안쪽에 위치하는데, 온·습도 변화에 굉장히 민감한 크리스탈 성분으로 되어있기 때문에 큰 온도 변화가 있을 때, 정도관리에서 벗어나는 온·습도 범위를 벗어날 경우 신틸레이터가 깨지거나 금이 가는 등의 심각한 손상을 가져올 수 있다.^[3] 또한 PET/CT 장비 중 CT를 구동시킬 때 발생하는 열로 인하여 Gantry 내부의 온도가 더 상승할 것으로 예상된다. 현재 PET/CT나 PET/MRI 장치는 NEMA(National Electrical Manufacturers Association) 규격에 따라 진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙(2013)과 특수 의료 장비의 설치 및 운영에 관한 규칙(2012.5 보건복지부)을 만족시키는 온·습도 조건을 설정하여야 한다.^[4] 현재 PET/CT 장비의 정도관리 기준에서는 온도는 20~25℃ 습도는 40~60%를 유지하는 것을 기준항목으로 지정하고 있다.^[5] 이에 따라 임상에서는 실내 공기에 영향을 받는 장비나 기기가 정도관리의 기준 상태를 유지 하도록 공기 상태를 조절하는 향온향습기를 사용하여 온·습도를 유지하고 있다.^[6] 신틸레이터는 향온향습기로 PET 장치가 설치되어 있는 공간에 온·습도를 유지하지만, 앞서 말한 PET/CT 장치의 구조적 원인으로 인한 온·습도의 변화가 예상된다.

이에 따라 본 연구의 목적은 PET/CT Gantry 내부 구조에서 6곳의 위치를 설정하여, 각 위치별에 따라 온·습도 센서를 이용한 출력 값과 향온향습기에서 유지되고 있는 측정값을 비교하여 PET/CT 기기가 정도관리의 기준 범위 안에 온·습도를 유지

하고 있는지 평가하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 장비 및 재료

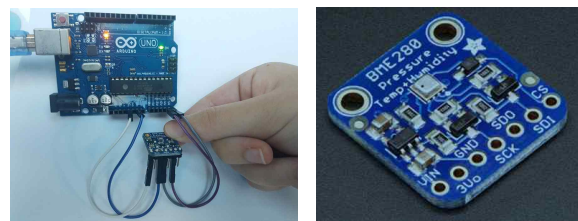
본 연구에서 사용된 PET/CT 장비는 Siemens사의 Biograph mCT Flow PET/CT Scanner이며, 기본 사양은 Table 1에 표시하였다.^[6]

Table 1. Technical specifications of Biograph mCT.

Gantry	
Bore diameter	78 cm
Tunnel length	136 cm
CT	
Slices	128
PET	
Axial field of view	22.1 cm
Crystal size	4 × 4 × 20mm
Crystal	LSO

장비의 온·습도를 365일 유지시켜 주기 위한 향온향습기는 Fig. 1과 같이 수냉식 천장형인 드림에어의 DCTH-A150DU를 사용하였으며, 공기의 흐름을 자연대류식으로 유도하여 실내 온·습도의 분포가 더욱 균일하게 하며, 집진효과를 높이기 위하여 실내공기의 환기 흡입구 위치시켜 천장에서부터 전체적인 공간의 온·습도를 유지할 수 있다.^[7]

연구에 사용된 온·습도 센서는 Arduino MOUSE R ELECTRONICS의 Arduino UNO의 BME 280이다(Fig. 2). 센서의 온도 측정 범위는 -40~+85℃(±1.0℃ 정확도)이고, 습도 측정 범위는 0~100% RH (± 3% 정확도)이다.^[8]



(a) Arduino UNO

(b) BME 280

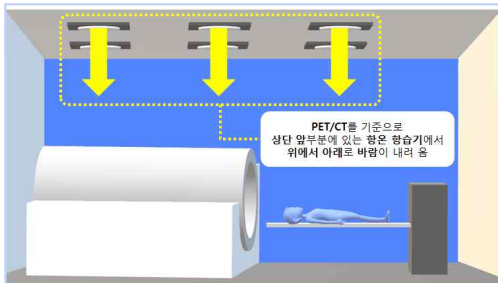
Fig. 2. Arduino thermo-hygrostat sensor.



(a) DreamAir DCTH -A150DU



(b) The location of the ceiling thermostat



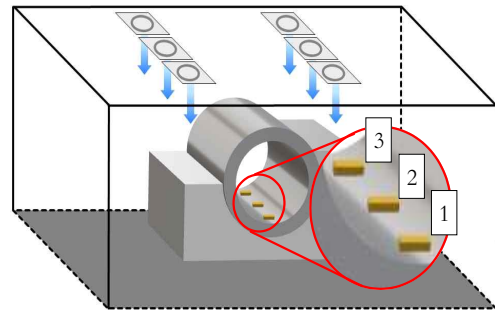
(c) Location of Thermo-hygrostat and PET/CT Gantry

Fig. 1. Thermo-hygrostat (Water cooled type).

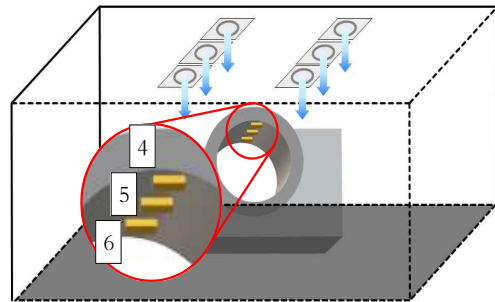
2. 실험방법

2.1 온 · 습도 측정의 구역 설정

Fig. 3와 같이 Gantry 안쪽 상단부와 하단부에 각각 3개(총 6구역)의 위치를 선정하였다. 이를 선정한 구역은 Fig. 4과 같이 Gantry 내부는 CT부분, CT와 PET이 접합하는 부분, PET부분의 3 부분으로 나누고, 각 부분의 향온 환습기의 위치가 천장형에서 장비 쪽으로 공기가 흐르기 때문에 3부분에서 상층부분과 하층부분으로 다시 나누어 구역을 설정하였다.



(a) Sensor location under the PET/CT Gantry



(b) Sensor location above the PET/CT Gantry

Fig. 3. Schematics of DCTH-A150DU sensor positions (Each number indicates the position of the sensor.).

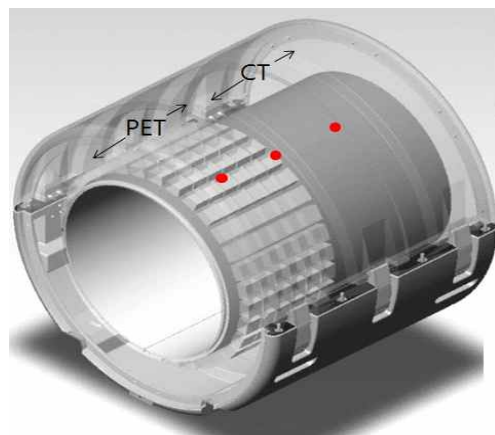


Fig. 4. Setting of section of gantry.

2.2 온 · 습도의 측정

Arduino MOUSER ELECTRO-NICS의 Arduino U NO의 BME 280 sensor를 Fig. 5 같이 지정한 6개의 구역에 부착하여 Arduino 프로그램을 통해 온도와 습도에 대한 출력되는 값을 받아들였다. 그리고

Fig. 6과 같이 출력되어지는 동일 시간에 향한 습기의 원격 모듈 시스템에서 측정된 현재의 온도와 습도 값을 저장하였다. 신뢰도 향상을 위해 이와 같은 측정을 각 구역마다 30회의 반복을 거쳐 반복한 30회의 모든 값을 평균을 내었다.

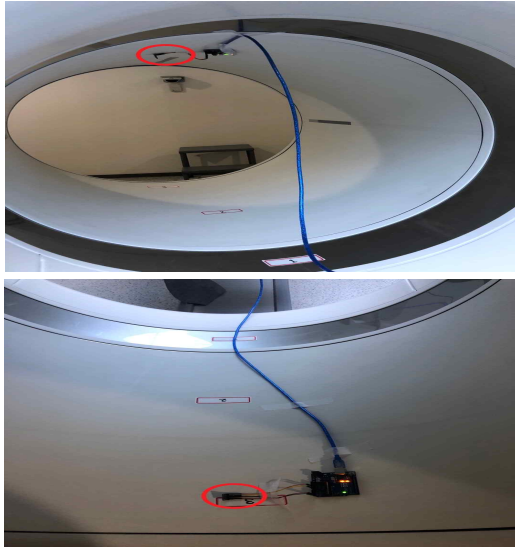
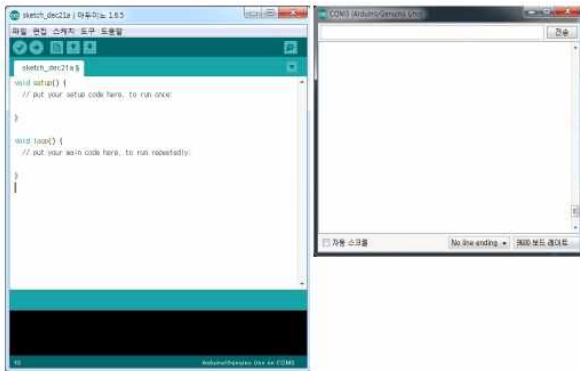


Fig. 5. Temperature and humidity measurements using the sensors above and below.



(a) Arduino input window and output window



(b) Current reading of the thermo-hygrostat

Fig. 6. Simultaneous measurement of temperature and humidity sensor and thermo-hygrostat.

III. RESULT

1. 향한습기의 Remote Management System의 측정값과 온·습도 센서(BME 280) 출력 값의 온도 분석

각 6구역에서 30회의 온·습도 센서를 이용하여 측정된 평균값과 동시에 향한습기에서 지시하는 온도 값의 평균 값 그리고 각 구역에 따른 차이 값은 Table 2와 같으며, Fig. 7와 같이 그래프로 나타내었다.

Table 2. Temperatures obtained with the sensor and thermo-hygrostat

	Temperature from the sensor(°C)	Temperature from the thermo-hygrostat(°C)	Difference
District 1	23.99	22.0	1.99
District 2	23.98	22.0	1.98
District 3	25.09	22.1	2.99
District 4	24.22	22.5	1.72
District 5	25.94	22.3	3.64
District 6	26.16	22.2	3.96

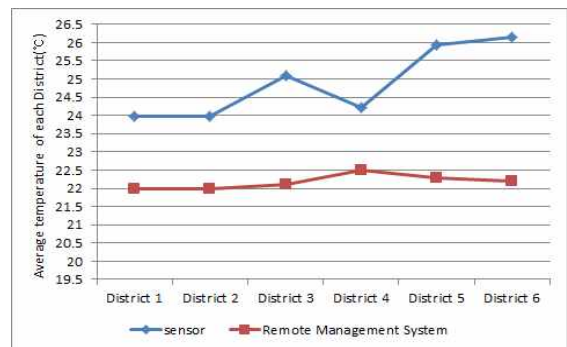


Fig. 7. Temperature measurement value of sensor output value and remote control system of thermo-hygrostat.

첫째로 CT Gantry 부분의 상·하의 구역(District 1, District 4) 에서는 1.99, 1.72°C 온도 차이 값을 보였으며, 두번째 Gantry 내의 CT와 PET의 접합부위 구

역의 상·하의 구역(District 2, District 5)에서는 1.98, 3.64℃ 온도 차이 값을 보였으며, 마지막으로 PET Gantry 부분의 상·하의 구역(District 3, District 6)에서는 2.99, 3.96℃ 온도 차이 값을 보였다. 측정을 통해 항온항습기의 Remote Management System의 측정값과 온·습도 센서 출력 값의 온도가 가장 많은 차이를 보이는 구역은 Gantry 내부 구조 중 PET Gantry 구역(District 3, District 6)으로 측정되었다.

PET/CT 장비의 온도관리의 기준의 경우 온도는 20~25℃를 유지해야 하여야 한다. 항온 항습기의 Remote Management System에서 측정되고 있는 현재의 PET/CT 시설 공간은 온도관리의 기준 안에 알맞은 온도를 유지하는 것으로 나타나고 있으나, BME 280 sensor의 측정을 통해 나오는 출력 값을 통해서 Gantry 내부 중 CT와 PET이 접합하는 부분의 하향 구역(District 5), PET 구역(District 3, District 6)에서는 각 25.94, 25.09, 26.16℃로 온도관리 기준 온도 범위에서 벗어나는 것을 측정할 수 있었다.

2. 항온항습기의 Remote Management System의 측정값과 온·습도(BME 280) 센서 출력 값의 습도 분석

각 6구역에서 30회의 온·습도 센서를 이용하여 측정한 평균값과 동시에 항온항습기에서 지시하는 습도 값의 평균 값 그리고 각 구역에 따른 차이 값은 Table 3과 같으며, Fig. 8과 같이 그래프로 나타내었다.

Table 3. Humidity obtained with the sensor and thermo-hygrostat

	Humidity from the sensor(%)	Humidity from the thermo-hygrostat(%)	Difference
District 1	41.67	60.1	18.43
District 2	41.54	60.6	19.06
District 3	39.29	61.2	21.91
District 4	42.35	62.8	20.45
District 5	37.99	62.2	24.21
District 6	37.09	62.0	24.91

첫째로 CT Gantry 부분의 상·하의 구역(District 1,

District 4)에서의 18.43, 20.45% 습도 차이 값을 보였으며, 두 번째 Gantry 내의 CT와 PET의 접합 부위 구역의 상·하의 구역(District 2, District 5)에서는 19.06, 24.21% 습도 차이 값을 보였으며, 마지막으로 PET Gantry 부분의 상·하의 구역(District 3, District 6)에서는 21.91, 24.91% 습도 차이 값을 보였다.

측정을 통해 항온항습기의 Remote Management System의 측정값과 온·습도 센서 출력 값의 습도가 가장 많은 차이를 보이는 구역 또한 Gantry 내부 구조 중 PET Gantry 구역(District 3, District 6)으로 측정되었다.

PET/CT 장비의 온도관리 기준의 경우 습도는 40~60%를 유지해야 한다. 현재의 PET/CT 시설 공간은 온도관리의 기준 안에 알맞은 습도를 유지하고 있는 것으로 나타나고 있으나, BME 280 sensor의 측정을 통해 나오는 출력 값을 통해서 Gantry 내부 중 CT와 PET이 접합하는 부분의 하향 구역(District 5), PET 구역(District 3, District 6)에서는 각 37.99, 39.29, 37.09%로 온도관리 기준 습도 범위에서 벗어나는 것을 측정할 수 있었다.

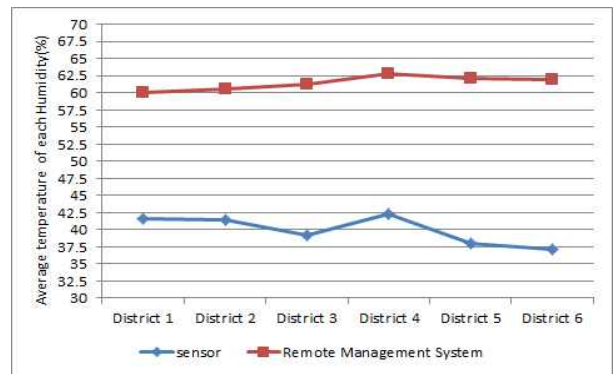


Fig. 8. Humidity measurement value of sensor output value and remote control system of thermo-hygrostat.

종합적으로 각 구간별 온·습도의 차이는 Table 4와 같으며, 온도는 평균 2.71℃, 습도는 평균 21.05%로 온도보다는 습도에서 Gantry의 내·외부의 차이가 많이 발생함을 알 수 있다.

Table 4. The difference between the six temperature and humidity values measured by the temperature-humidity sensor and the thermo-hygrostat(°C).

District Number	Difference in temperature(°C)	Difference in humidity(%)
District 1	1.81	19.81
District 2	1.80	19.94
District 3	2.91	22.19
District 4	2.04	19.13
District 5	3.76	23.49
District 6	3.98	24.39
Total average	2.71	21.05

IV. DISCUSSION

PET 장치는 NEMA에 따라 진단용 방사선 발생 장치의 안전관리에 관한 규칙(2013)과 특수 의료장치의 설치 및 운영에 관한 규칙(2012.5 보건복지부)을 만족하는 온·습도 조건을 설정하여야 한다.^[6] 현재 PET/CT 장비의 정도관리 기준에서는 온도는 20~25°C 습도는 40~60%를 유지하는 것을 기준항목으로 지정하고 있다.^[8] 따라서 이러한 온·습도의 조건을 충족시키기 위해 PET/CT가 설치된 공간에는 항온항습기라는 항상 일정하게 온·습도를 유지시켜주는 장치를 설치하게 된다. 하지만 PET/CT 장치의 장비 구조 상 다른 방사선 발생장치보다 Gantry 내부의 긴 길이와 넓은 넓이 그리고 원형상태의 구조로 인해 Gantry의 내·외부적으로 온·습도의 차이가 날 것으로 예상하였다. 이에 따라 Gantry 내부에 6곳의 위치를 설정하고 각 위치에 따라 온·습도 센서에서 출력되는 값과 항온항습기에서 유지되고 있는 측정값을 비교·분석해본 결과, 각 위치에서 측정된 온·습도 측정값이 모두 항온항습기가 유지하고 있는 값과 차이가 발생했다. 또한 항온항습기가 PET/CT 전면부의 천장 부근에 위치하므로 인해 Gantry 내부의 전면부에서 후면부로 갈수록 측정된 온도 값이 증가하였고, 습도 값은 감소하였으며 상단부가 하단부에 비해 상대적으로 온도는 높았고, 습도는 낮았다.

온도와 습도를 각 구역에서 측정하였을 때, PET Gantry 에서 PET/CT 장비의 정도관리 유지 기준에서 벗어나는 것을 알 수 있었다. 이는 항온항습기의 Remote Management System은 적절한 온·습도를 유지하는 것으로 측정이 되지만 실제적인 장비의 온·습도가 다르게 유지되고 있다는 것을 의미 한다. 이러한 온·습도의 잘못된 관리는 의료기기의 문제 현상을 일으키는 요인 중 하나가 될 수 있으며, 나아가 의료장비의 장기간의 사용을 생각하여 가장 기본적인 것부터 올바른 관리가 필요하다. 이러한 장비의 정도관리는 CT, MRI와 같은 모든 의료 영상 장비에서 적용 되어야 하는 부분이다.

본 연구의 제한점으로는 제조사에 따른 PET/CT 장비와 항온항습기의 타입에 따라 차이가 있기 때문에 다양한 조건을 고려할 수 없었다.

V. CONCLUSION

PET 영상은 해상도가 상대적으로 낮고 해부학적 정보가 부족한 단점이 있어서 CT와 MRI의 장치를 PET 장치와 융합시킨 PET/CT나 PET/MRI 장치로 사용된다. 그렇기 때문에 일반 의료 장비들과 비교하여 Gantry의 내부 길이가 길어지고 넓이가 커지는 원형(ring) 타입의 구조로 제작된다. 이러한 구조적 특징이 Gantry 내부와 외부의 온·습도 차이를 유발할 것으로 예상되는데 이것이 문제가 되는 가장 큰 이유는 Gantry 내부에 위치한 신틸레이터이다. PET 영상의 분해능에 크게 영향을 주는 신틸레이터는 온·습도에 민감하기 때문에 작은 변화에 따라 손상이 발생하므로 PET 장비실 내의 온·습도를 적절히 유지하기 위해 각 병원마다 항온항습기를 설치해야 한다. 이점을 착안하여 PET/CT Gantry 안을 온·습도를 측정하고 항온항습기의 온·습도 값과 비교하는 실험을 진행하였다. 실험에 따르면 항온항습기와 온·습도 센서를 통한 측정값의 차이가 국내 의료장비의 온·습도 유지 조건의 범위 안에 있으나, PET Gantry 부분에서는 조건이 유지되지 않고 있었다.

항온항습기의 온·습도 유지는 PET 장비실의 공간을 기준으로 온·습도를 설정을 하고 있는 것으로 장비 관리자는 주기적인 온·습도를 점검하여 장

비의 넓이와 길이, 그리고 다양한 요인들로 인한 PET Gantry 내부의 온·습도를 고려하여 항온항습기의 온·습도 조절이 필요하다.

Reference

- [1] T. Beyer, G. Antoch, S. Muller, T. Egelhof, L. S. Freudenberg, J. Debatin, A. Bockisch, "Acquisition Protocol Considerations for Combined PET/CT Imaging," *The Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 45, No. 1, pp. 25-35, 2004.
- [2] Korea Medical Devices Industry Association, "Medical device usage statistics," 2019.
- [3] T. Beyer, G. Antoch, S. Muller, T. Egelhof, L. S. Freudenberg, J. Debatin, A. Bockisch "Acquisition Protocol Considerations for Combined PET/CT Imaging," *The Journal of Nuclear Medicine*, Vol. 45, No. 1, pp. 25-35, 2004.
- [4] D. Mattes, D. R. Haynor, H. Vesselle, T. K. Lewellen, W. Eubank, "PET-CT Image Registration in the Chest Using Free form Deformations," *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Medical Imaging*, Vol. 22, No. 1, pp. 120-128, 2003.
- [5] P. V. Haibach, F. P. Kuhn, F. Wiesner, "PET-MR imaging using a tri-modality PET/CT-MR system with a dedicated shuttle in clinical routine," *Springer Science + Business Media*, Vol. 26, No. 1, pp. 25-35, 2013.
- [6] J. L. Humm, A. Rosenfeld, A. D. Guerra, "From PET detectors to PET scanners," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, Vol. 30, No. 11, pp. 1574-1597, 2003.
- [7] W. Sureshbabu, O. Mawl, "PET/CT Imaging Artifacts," *Journal of Nuclear Medicine Technology*, Vol. 33, No. 3, pp. 156-161, 2005.
- [8] Z. Burbar, C. Michel, D. Townsend, B. Jakoby, "Continuous Bed Motion Data Processing for a High Resolution LSO PET/CT Scanner," *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Medical Imaging*, Vol. 4, No. 1, pp. 2046-2048, 2005.
- [9] W. Hettinga, "Questions&Answers Arduino," *Circuit Cellar*, Vol. 321, No. 1, pp. 40-43, 2017.

온·습도센서(BME 280 센서)를 이용한 PET/CT 장비의 향온 향습기 온·습도 평가

류찬주,^{1,2} 김정아,³ 김준수,³ 윤근영,³ 허승희,³ 홍성종^{2,3,*}

¹차의과학대학교 분당차병원 핵의학과

²을지대학교 대학원 보건학과

³을지대학교 방사선학과

요 약

PET(Positron Emission Tomography)장치는 해부학적 정보를 얻기 위한 CT와 MRI의 장치를 PET 장치와 융합시킨 PET/CT나 PET/MRI 장치로 사용된다. 그렇기 때문에 일반 의료장비들과 비교하여 Gantry(촬영부 본체)의 길이가 늘어나고 내부의 공간이 넓어지는 원형(ring)타입의 구조로 제작된다. PET 장치의 구성요소 중 하나인 신틸레이터는 Gantry 안쪽에 위치하는데 온·습도 변화에 민감한 크리스탈 성분으로 되어있기 때문에 커다란 온도 변화로 인해 신틸레이터의 손상을 가져올 수 있다. 신틸레이터는 향온향습기로 PET장치가 설치되어 있는 공간에 온·습도를 유지하지만 이러한 PET 장치의 구조적 원인과 CT 장비에서 발생하는 열로 인한 Gantry 내부의 온·습도의 변화가 예상된다. 향온향습기를 가동하여 온·습도를 유지중인 PET/CT 장치의 Gantry 내부를 6개의 구역으로 나눈 후 각 구역에 Arduino 온·습도 센서인 Adafruit BME 280을 부착하여 출력 값을 분석했다. 각 6개 구역에서 센서를 이용해 측정한 평균 온·습도 값과 향온향습기의 평균 측정값을 비교하면 평균적으로 온도는 2.71℃ 상승, 습도는 21.5% 감소의 차이가 발생하였고, PET Gantry의 온·습도 측정값은 국내에서 지정한 정도 관리 범위에서 벗어나는 결과 값이 나왔다. 연구 결과를 통해 앞으로 지속적인 온·습도의 변화를 가진다면 PET Gantry 안에 장착된 신틸레이터의 노후화가 예상되므로 Gantry구조 내부의 온·습도를 적절히 유지하는 방안을 모색해야 한다.

중심단어: PET/CT, 향온 향습기, 온·습도 센서

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	류찬주	차의과학대학교 분당차병원, 을지대학교 대학원 보건학과	방사선사, 대학원생
(공동저자)	김정아	을지대학교 방사선학과	학부생
	김준수	을지대학교 방사선학과	
	윤근영	을지대학교 방사선학과	
	허승희	을지대학교 방사선학과	
(교신저자)	홍성종	을지대학교 방사선학과	교수