

◆특집◆ 인체 물리량 측정 및 표준

# 인체 물리량의 측정 및 표준에 관한 연구 동향

송한욱\*, 김용규\*\*, 김민석\*\*, 우삼용\*\*

## Introduction to the Measurements and Standards in Physical Properties of a Human Body

Han-Wook Song\*, Yong-Gyoo Kim\*\*, Min-Seok Kim\*\* and Sam-Yong Woo\*\*

Key Words : Standard (표준), Measurement (측정), Blood pressure (혈압), Body temperature (체온), Blood Flow (혈류), Intraocular pressure (안압), Ultrasonic wave dose (초음파 피폭량)

### 1. 서론

오늘날 의료산업에 있어서 다양한 분야에서 수많은 측정이 이루어지고 있다. 단순한 혈압의 측정에서부터 수술도중에 환자의 4 대 검진 대상 항목(vital sign)의 측정에 이르기까지 다양한 기술이 요구되고 있다. 하지만 이러한 측정에 있어서 어떤 방식으로 얼마나 정확하게 측정해야 하는지에 대한 표준에 대한 연구는 미비한 현실이다.

의료 측정 분야는 복합적인 측정기술이 필요로 하는 분야이므로 이 분야에 있어서 국가측정표준기관의 중요성은 아주 크다고 하겠다. 의료 측정의 경우 사람의 생명에 직접적으로 연관되는 분야이므로 의료 측정결과에 대한 공정성과 신뢰성을 제공할 수 있는 기관에서 연구를 수행하여야 한다. 또한 의료 측정의 지속적인 보완과 관리를 통해 국가표준을 유지해야 하고 측정정확도와 표준에 대한 국제적 동등성을 유지할 수 있어야 한다. 추가적으로 의료측정에 대한 기준물질 및 측

정표준을 개발하고 보급할 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 의료 측정 분야에 있어서 측정 표준을 확립하고 유지하는 것은 국가측정표준기관이 담당해야 할 임무라고 생각할 수 있겠다.

의료산업에 있어서 이러한 표준에 대한 연구는 현재 여러 해외의 표준기관에서 이루어지고 있다. 일례로 독일의 표준기관인 PTB 에서는 안압과 혈압 등 인체에 관한 연구를 지난 30 년간 수행하여 왔고, 영국의 표준기관인 NPL 의 경우도 혈류나 뇌압 등의 분야를 중심으로 연구를 수행해오고 있다. 그러나 국내의 경우 의료산업에 있어서 측정 표준에 관한 연구는 아직까지 미진한 실정이다.

우리나라를 대표하는 측정표준기관인 한국표준과학연구원의 경우 1975 년 설립된 이래로 지난 30 여년간은 국가기간산업에서 필요한 분야에 대한 측정 표준을 확립하는데 연구의 역량을 쏟아왔다. 그러나 최근 연구의 중심이 인간을 대상으로 하는 환경/식품/보건안전/의료 분야로 이동하게 되었고 또한 국민의 삶의 질을 향상시키는 연구에 대한 관심이 지속적으로 증대되고 있는 바 2007 년부터 연구원 내의 기관 고유 사업으로 의료산업에 있어서 필요로 하는 측정 표준에 관한 연구를 시작하게 되었다.

본 논문에서는 인체 물리량 측정 표준이 기존의 기간 산업에 있어서의 측정표준과 어떠한 연관

\* 한국표준과학연구원 기반표준부

Tel. 042-868-5821, Fax. 042-868-5679

Email hanugi16@kriss.re.kr

암력분야, 의료측정분야, 한의학분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

\*\* 한국표준과학연구원 기반표준부

성을 가질 수 있으며 아울러 현재 한국표준과학연구원 내에서 연구되고 있는 인체 물리량 측정에 관한 연구 동향과 해외 연구동향을 소개하고자 한다.

## 2. 인체 물리량 측정표준의 특징

의료 분야에 있어서의 측정량은 일반적으로 기간산업 분야에 있어서의 측정량과 조금 다른 특성을 보여주고 있다. 의료분야에 있어서는 보통 생리학적인 모델을 근거로 측정된다. 따라서 일반적인 측정 기술 외에도 관련 분야에 있어서의 생리학적 모델링이 추가로 요구된다. 대표적인 예로 안압 측정의 경우 모든 비침습식 안압측정은 1955년 스위스 안과의사인 Goldmann 에 의해 한번 행해진 비교 실험에 근거하고 있다. 죽은 사람으로부터 채취한 10 개의 안구 샘플로부터 안압을 직접 측정한 결과와 간접 측정한 결과를 비교하였으며 이 결과가 안과의사회에 받아들여져 오늘날까지 표준으로 이어지고 있다. 이를 일명 "gold standard"라고 한다. 따라서 안압 측정의 표준은 Goldmann 안압계(압평식)를 채택하고 있다.<sup>1</sup> 이와 같이 인체 물리량에 관한 표준을 확립하고자 한다면 관련된 생리학적 모델링이 필요하게 되는 것이다.



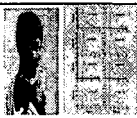

의료측정분야에 있어서 가장 선진기관인 독일의 표준 기관 PTB 의 Mieke 에 따르면,<sup>2</sup> 의료 분야와 일반 산업의 측정표준이 구분되는 또 하나의

특징은 기존 측정 방식이 'hard metrology'인 반면, 의료분야의 경우 측정방식이 'soft metrology'라는 것이다. 즉, 기간 산업에 있어서의 측정 표준의 경우 국가측정 표준기가 기본 SI 단위로부터 소급성을 가지면서 확립되어 있는 반면, 의료분야의 경우 절대적인 기준이 없고 측정 대상인 사람들 사이에서 측정량의 변동을 가질 뿐만 아니라 동일한 사람에게도 측정량의 변동을 가진다는 점이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 세가지 접근 방식을 가지고 문제를 해결하고자 하고 있다(table 1).<sup>2</sup> 즉, 직접 인체 역학량을 기존 표준에 연관시키는 방법 (soft I)과 임상 데이터의 데이터 베이스를 이용하는 방법 (soft II), 마지막으로 특정 기기에 대해 임상 실험을 시행하는 방법 (soft III)을 이용하여 의료 분야에 있어서의 측정 표준과 기간 산업에 있어서의 측정 표준을 연관시키고자 한다. 이때 전달용 표준기를 물리량 측정에 바로 적용하는 경우(soft I)는 물리량 측정의 소급성이 잘 유지된다고 할 수 있겠다. 하지만 수집된 신호들의 데이터 베이스를 이용하는 경우(soft II)에 있어서는 기존의 측정표준과는 다른 개념의 소급성이 적용되어야 한다. 때로는 임상시험을 거친 기기가 표준이 될 수 있으며(Soft III) 이와 비교된 전달용 표준기를 이용하여 다른 기기를 비교 교정할 수도 있다.

## 3. 한국표준과학연구원 인체 물리량 측정 표준 연구 동향

Table 1 Characteristics of medical metrology

Hard metrology	Soft metrology		
	Soft I	Soft II	Soft III
Primary standard	Primary standard	Database of test signals	One clinically tested device
Reference standard	Reference standard	Test device/generator or	Transfer standard
Working standard	Working standard		
Device	Device	Device	Device
			

의료 산업에 있어서 필요한 측정 분야의 경우 앞서 언급한 바와 같이 그 분야의 수는 아주 다양하다고 하겠다. 본 연구원에서는 의료 산업의 다양한 연구 분야 중 필수 4 대 검진대상 항목(vital sign)에 있어서 임상현장에서의 측정 표준확립에 대한 수요가 가장 크다는 자료 조사를 통해 4 대 검진 대상 분야 중 현재 측정 표준에 관한 연구가 수행되고 있지 않은 분야에 대한 연구를 먼저 시행하고자 하였다. 즉 4 대 신호에 있어서 현재 연구가 진행되고 있지 않은 혈압과 체온에 대한 측정 표준 연구를 수행하고 있다. 또한 추가로 임상현장의 수요와 측정 표준이 확립되었을 경우 미치는 파급효과를 고려하여 혈류와 안압, 초음파 피폭량에 관한 연구를 동시에 수행하고 있다. 각각

에 대한 연구 개요는 다음과 같다.

### 3.1 혈압

혈압은 심장이 뿜 때 피가 혈관 벽에 작용하는 단위 면적당의 힘을 말한다. 혈압은 환자의 건강을 진단하는 기본적인 지표로서 임상학적 중요도는 매우 크다. 특히 고혈압은 우리나라 성인 인구의 15% - 20% 정도가 해당될 정도로 흔한 질환이며 고혈압의 진단, 치료 및 예후 평가에 가장 중요한 것은 정확한 혈압 측정이다.<sup>3</sup>

최초의 혈압측정은 1773년 영국의 과학자 Stephen Hales 에 의해 이루어 졌으며 유리관을 말의 목 부위 동맥에 직접 삽입하여 측정하였다. 그 후 이러한 직접적인 침습적 방법 대신에 고통이 별로 수반되지 않는 간접 측정방법인 비침습적 측정법이 개발되었다.<sup>4</sup> 침습적인 방법은 혈관에 가는 관을 삽입하여 압력센서에 피 등 용액을 직접 접촉시킴으로써 참 압력을 정확히 측정할 수 있지만 환자에게 고통을 주고 감염의 위험도 있어 현실적으로는 특별한 경우를 제외하고는 사용할 수 없다. 반면에 비침습적인 방법은 신체 밖에서 혈압과 관련된 어떤 물리적 특성을 이용하여 측정하는 방법으로 청진법, 오실로메트릭법, 촉진법, 초음파를 이용한 방법 등이 있다.

청진기와 가압대를 이용한 비침습 혈압측정은 오늘날까지 진료실에서 가장 많이 사용되어 온 방법으로 현재 가장 좋은 방법으로 간주되고 있다. 최근에는 가압대의 진동을 이용한 오실로메트릭법이 자동화 기능을 구비하면서 가정을 중심으로 많이 사용되고 있다. 더욱이 기존의 수은혈압계가 갖는 환경 및 건강의 유해성 문제 때문에 오늘날 병원에서도 오실로메트릭 방법이 점차 많이 사용되고 있는 추세에 있어 실질적인 기준 혈압측정계로 자리 잡아가고 있다.

현재 한국표준과학연구원 압력연구실에서는 정확한 혈압 측정 및 올바른 혈압계 평가를 위해 한국형 혈압 시뮬레이터의 제작 및 혈압 측정 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하고 있다.

### 3.2 체온

의료산업을 위한 체온 측정 기술은 기본 인프라 기술로써, 체온측정관련 관련 산업의 측정정확도를 향상시켜 관련사업의 발전을 촉진할 것이다. 특히 현재 활발하게 기술개발이 진행중인 체온 열

영상 측정 장치의 측정신뢰도 확립에 크게 기여할 것으로 판단된다.

인체 체온을 복사온도계로 측정하는 경우가 많지만 지금까지의 교정이나 시험 결과에 의하면 오차가 상당히 크게 나타나고 있다. 따라서 고안정화 흑체와 저온 표준복사온도계를 이용하여 접촉식으로 또한 비접촉식으로 체온근처의 복사온도 눈금을 만들고 관련 불확도를 분석하여 체온 측정 분야에 있어서 국가 표준의 신뢰도를 확립해야 한다.

현재 체온에 관한 최근 국내외 연구동향의 경우 국내에서는 의료산업용으로 체온근처영역의 온도를 측정하는 복사온도계의 개발이 활발하다. 현재 접촉식온도계를 기준으로 복사온도계를 교정하는 경우에 온도계의 불확도를 1℃ 이내로 줄일 수 없기 때문에 고안정 흑체와 고정점을 기준으로 비접촉식 복사온도눈금을 확립해야 한다. 현재 의료기기용으로 사용되고 있는 복사온도계는 교정서비스를 받고 있지 않기 때문에 병원 등에서 보급하여 사용할 수 있는 고안정흑체의 개발도 필요하며, 최근에 고안정화 흑체를 기준으로 체온측정용 복사온도계의 국제 비교연구도 제안되어 있는 상황이다. 또한 최근에는 급성 호흡기 증후군 관련하여 국제 비교 연구도 활발히 이루어지고 있다.

현재 한국표준과학연구원 온도/광도 실험실에서는 접촉식 및 비접촉식 방식을 이용하여 체온근처의 복사온도눈금을 만들고 관련 불확도를 분석하는 연구를 수행하고 있다.

### 3.3 혈류

인체는 순환계, 호흡계, 신경계, 근골격계 등으로 구성되어 있다. 이 중, 순환계는 생명 유지에 필요한 인체 기관으로 산소와 영양소 공급을 위한 혈액 순환이 주 목적이다. 순환계에 대한 공학적 측면에서는 인공 심장이나 인공 혈관 등이 연구 대상이 된다. 미세 혈류 순환과 같은 유체 역학적 현상에도 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>5,6</sup> 심장 역학이나 미세 순환을 공학적으로 이해하기 위해서는 수치해석이나 실험적 방법이 도입되어야 한다. 이 중에서 실험적 방법은 혈관에 의해 발생하는 복잡한 유동에 대한 데이터를 제공하여 수치해석의 정확도를 높이는 데 기여한다.

비접촉식으로 혈류량을 측정하는 장치들은 여러 가지가 개발되어 있다. 임상적으로 많이 사용

되는 장치는 MRI 와 초음파 도플러 소노그래피로서 뇌 혈류량이나 동맥, 정맥 등 혈관 지름이 1 mm 이상으로 크고 유속이 100 - 1000 mm/s 범위에 있는 혈류를 측정할 때 주로 사용된다. 모세혈관과 같이 혈관 크기가 1 mm 이하로 작은 경우에는 X-ray PIV 나 Echo PIV, 광 도플러 토모그래피 등이 개발되어 있고 미소 유량(microfluidics) 측정이나 혈류 유동을 연구하기 위한 목적으로 사용된다.<sup>7-10</sup> 현재 산업체에서 유지되고 있는 액체 유량 표준에 대한 소급 체계를 혈류량 측정에도 적용하기 위해서는 혈류 측정 방법들의 장단점을 분석하고 표준으로 채택하기에 적합한 측정 방법을 찾아야 한다.

현재 한국표준과학연구원 유동/음향그룹에서는 주사기 펌프와 정밀 저울, 미세관로로 이루어진 유량 발생 및 중량식 장치와 광 도플러 토모그래피를 구축하고 있는 중이다. 장치 구축이 완료되면 중량식 장치와 광 도플러 토모그래피의 유량 측정값을 서로 비교하고 이로부터 두 장치들이 어느 정도로 잘 일치하는지를 확인할 계획이다.

### 3.4 안압

1954 년 스위스 안과의사인 Goldmann 이 압평식 안압계를 발명한 이래, 안과 질환의 진단에 안압계가 널리 쓰여 왔다. 1970 년대 공기 분사를 이용한 비접촉식 안압계(Noncontact tonometer or air-puff tonometer)가 상용화 되면서 간편하게 안압을 측정할 수 있게 되자, 안과질환의 정기검진 또는 예방검진 수단으로 널리 사용되고 있다. 하지만 각 제조사별로 안압을 측정하는 알고리즘이 상이하여 측정값의 차이를 보인다. 따라서 어느 병원에서 비정상적인 안압 수치라고 진단을 받아도 다른 병원에서는 이상이 없다는 소견을 받는 일이 빈번하게 발생하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 안과 의사들은 임상실험을 통해 비교적 정확하다고 믿고 있는 압평식 안압계와 비접촉식 안압계를 비교함으로써 비접촉식 안압계를 검증하고 있는 실정이다. 그러나 이런 방법은 많은 환자들을 대상으로 임상 실험을 해야 하며, 현대의 비접촉식 안압계를 검증하므로 여러 다수의 안압계를 검증하기는 힘든 현실이다.

따라서, 현장에서 조작자들이 쉽고 간편하게 비접촉식 안압계를 교정하기 위해선 실제 안구의 압력 상황을 정확하게 재현하는 일종의 '전달용표

준기' 개발이 필요하다고 할 수 있겠다.

현재 한국표준과학연구원 힘실에서는 압력 가변형 모형안의 제작과 ANSYS 를 이용한 안구 시뮬레이션의 수행, 인체 모사 모형안의 개발 등을 통해 안압계 평가 기술 개발 및 표준 확립을 목표로 연구를 수행하고 있다.

### 3.5 초음파 피폭량

초음파 에너지가 인체라는 매질에 노출될 때 나타나는 부작용 중 현재까지 알려진 부작용은 열적인 영향과 역학적인 영향이 추가적으로 존재한다. 초음파의 이러한 두 가지 영향에 대하여 미국의 AIUM (American Institute of Ultrasound in Medicine)과 NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 두 기관이 협력하여 열 지수(TI: Thermal index)와 역학적 지수(MI: Mechanical index) 모델을 제시하였다.<sup>11</sup> 이 두 지수는 ODS (Output Display Standard)로 초음파 영상진단 장치의 모니터에 표시되어야 하며, 사용자로 하여금 표시된 지수를 참조하여 적절한 노출을 선택하도록 하였다.

인체 초음파 피폭량(dose)은 인체 내에서 열적 영향과 역학적 영향에 의한 부작용의 원인을 정량화하기 위한 지표이다. 이러한 인체 초음파 피폭량은 음향 출력의 측정 표준 기술의 확립에서 출발한다. 특히 최근에 개발된 고강도 집속 초음파(HIFU) 치료 장치에 대한 측정 기술은 미확립 상태이다.

현재 한국표준과학연구원 유동/음향그룹에서는 고강도 초음파 발생장치의 구축 및 측정 기술 개발에 관한 연구와 또한 초음파에 의한 cavitation 피폭량의 정량화 기술 개발에 관한 연구를 수행하고 있다. 이를 통해 인체에 노출되는 초음파 피폭량 측정 표준을 확립하고자 한다.

## 4. 결론

현재 한국표준과학연구원에서는 기반표준부를 중심으로 의료산업에서 수요가 증대되고 있는 4 대 필수 검진대상(vital sign) 항목을 중심으로 인체 관련 물리량의 정확한 측정과 표준 확립을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일차적으로는 임상현장에서의 수요가 큰 혈압, 체온, 혈류, 안압, 초음파의 분야에 있어서 연구가 선행되고 있다.

지난 30 여년간 기간산업에 있어서 축적된 정밀 측정에 관한 기술을 활용하여 향후 국민의 삶의 질 향상에 이바지할 수 있는 인체 물리량 관련 정밀 측정기술 개발 및 표준 확립이 조속히 이루어지리라고 예상된다.

### 후 기

본 연구는 한국표준과학연구원의 기간고유 사업인 '신수요 대응 측정표준 개발' 사업의 지원을 받아 진행하고 있다.

### 참고문헌

1. Goldmann, H. and Schmidt, T., "Über applanations tonometrie," *Ophthalmologica*, Vol. 134, pp. 221-242, 1957.
2. Mieke, S., "Research in PTB 8," Private communication in Germany, 2007.
3. Tlusty, J., Smith, S. and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," *Annals of the CIRP*, Vol. 39, No. 11, pp. 517-521, 1990.
4. Carr, J. I. and Brown, J. M., "Introduction to biomedical equipment technology," Prentice Hall, pp.197-210, 1993.
5. Enderle, J., Blanchard, S. and Bronzino, J., "Introduction to Biomedical Engineering," Academic Press of Burlington, pp. 186-207, 505-548, 2005.
6. Brezinski, M., "Optical Coherence Tomography," Academic Press of Burlington, pp. 277-304, 2006.
7. Lee, S. J. and Kim, G. B., "X-ray Particle Image Velocimetry for Measuring Quantitative Flow Information Inside Opaque Objects." *Journal of Applied Physics*, Vol. 94, No. 5, pp. 3620-3623, 2003.
8. Im, K. S., Fezzaa, K., Wang, Y. J., Liu, X. and Wang, J., "Particle Tracking Velocimetry Using Fast X-ray Phase-Contrast Imaging," *Applied Physics Letters*, Vol. 90, No. 9, pp. 091919-1 - 091919-3, 2007.
9. Mukdadi, O. M., Kim, H. B., Hertzberg, J. and Shandas, R., "Numerical Modeling of Microbubble Backscatter to Optimize Ultrasound Particle Image Velocimetry Imaging: Initial Studies," *Ultrasonics*, Vol. 42, No. 10, pp. 1111-1121, 2004.
10. Zheng, H., Liu, L., Williams, L. and Hertzberg, J. R., Lanning, C. and Shandas, R., "Real Time Multicomponent Echo Particle Image Velocimetry Technique for Opaque Flow Imaging," *Applied Physics Letters*, Vol. 88, No. 26, pp. 261915-1 - 261915-3, 2006.
11. Derwood, D. K., "Temperature range and selective sensitivity of tumors to hyperthermia: A clinical review," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, Vol. 335, pp. 180-205, 1980.