

LED 광원을 이용한 디지털 혀 영상 촬영장치의 기구설계와 개발

남동현^{1)*} · 김지혜¹⁾ · 이상석²⁾

1) 상지대학교 한의과대학 진단·생기능의학교실 / 2) 상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

Abstract

Mechanical Design and Development of a Digital Tongue Imaging System Equipped with LEDs

Dong-Hyun Nam^{1)*} · Ji-Hye Kim¹⁾ · Sang-Suk Lee²⁾

1) *Dept. of Biofunctional Medicine & Diagnosis, college of Oriental Medicine, Sangji University*

2) *Dept. of Oriental Biomedical Engineering, College of Health Science, Sangji University*

Objectives

The aims of this study are to design a optimized mechanical structure of digital tongue imaging system (DTIS) equipped with LEDs in aspects of object distance and camera angle of coverage.

Methods and Results

We tried to find optimized object distance while recording a rectangular object of common tongue size. In case object distance is 22 cm or less, edge of the rectangle was not taken beyond the shooting range. In contrast, if object distance is 40 cm or more, the rectangle image was too small. Therefore when considering the variation of subjects, we selected distance of 35-40 cm as appropriate object distance for the DTIS. We also tried to find optimized angle between camera view axis and horizontal line. We photographed from the side of the face of 7 adults with exposed tongue. We drew an exposed tongue lines to connect the tongue tip points and the tongue root points by using the photos acquired from the side faces. And then we calculated the tongue exposure angles between the vertical line and the exposed tongue lines. Mean tongue exposure angle was 28.3° when tongue was lightly exposed and 13.3° when maximally. So we determined 73° as appropriate slope angle of part in contact with face of the DTIS and by considering that the standard variation was great, we designed control gears to adjust the slope of the camera view axis and to regulate the object distance.

Conclusions

We designed a optimized mechanical structure in object distance and slope angle of part in contact with face of the DTIS.

Key Words

Tongue diagnosis, digital tongue imaging system (DTIS), mechanical design, object distance, camera view axis angle

* 교신저자 : 남동현 / 소속 : 상지대학교 한의과대학 진단·생기능의학교실

TEL : 033-730-7504 / E-mail : omdnam@sangji.ac.kr

투고일 : 2012년 11월 20일; 수정일 : 2012년 12월 16일; 게재확정일 : 2012년 12월 18일

I. 서론

한의학에서는 설진을 통해 인체의 생리적, 병리적 현상들에 대한 정보를 파악하여 질병을 진단해 왔다. 혀는 인체 오장육부와 밀접한 관련성이 있으며, 장부에 병리변화가 생겨 정기가 허손되면 혀에 반응이 나타나게 된다. 따라서 한의학에서는 맥진과 함께 혀의 상태와 여러 특징들을 파악하여 진단에 있어 중요한 지표로 삼아왔다. 설진은 한의학에서 망진의 한 분야로, 환자의 설질과 설태의 변화를 관찰함으로써 질병을 진찰하는 한의학 고유의 진단 방법 중 하나이다. 한의학자는 환자의 질병 진단이나 환자의 건강 상태를 판별하기 위해 설태의 유무, 두께, 색, 습윤도를 먼저 살피고, 설질의 색, 반점, 두께, 부드러움과 활동 정도를 설첨부에서 설근부 순서로 살피게 된다. 설태는 색깔, 습윤 정도, 두께, 형태와 설태가 긴 범위 등을 통해 사기의 성질과 침입한 부위, 진액의 유무를 가려볼 수 있다. 이처럼 한의학에서는 환자의 혀 정보가 환자의 건강 상태 판별에 있어서 중요한 단서가 된다.¹⁾

그러나 설진은 진단환경과 외부 조명 등에 쉽게 영향을 받으며, 진단자의 주관적 판단에 의존적이므로 객관적 진단지표로 활용하기에는 한계점을 가지고 있다.^{2,3)} 설진기란 혀 영상을 촬영하여 설진의 관찰지표들을 객관적이고 정량적으로 평가하기 위해 고안된 혀 촬영 및 분석 장치로서, 설진기를 통해 설진의 정량적인 평가가 가능하며, 표준화된 평가기준을 통한 임상자료의 축적이 가능하고, 반복적이고 재현 가능한 결과를 얻을 수 있다. 2000년대 이후 한국, 중국, 일본, 대만 등에서 전통적인 설진 방법을 객관화하고 정량화하기 위한 설진기 연구가 지속적으로 진행되어왔다.^{4,9)} 그러나 기존 전통방식 설진의 문제점을 해결하기 위한 설진기의 개발도 여전히 해결해야 할 과제들이 남아있다. 설진기를 개발하기 위해서는 혀 영상을 촬영하기 위한 디지털 혀 영상

촬영장치(digital tongue imaging system; DTIS)와, 이 장치를 통해 촬영된 혀 영상을 분석하기 위한 분석 소프트웨어를 제작하여야 한다. 설진기에 적합한 디지털 혀 영상 촬영장치를 제작하기 위해서는 외부 조명이나 촬영 환경에 따른 혀 영상의 변이를 방지하기 위한 차폐구조 설계와 혀 색상의 왜곡을 최소화하기 위한 색상 보정, 촬영거리와 촬영각도와 같은 촬영조건의 최적화가 우선 해결되어야 한다.

전 등¹⁰⁾이 개발한 설진 시스템의 경우, 전반사경을 적용하여 촬영거리의 증가에 따른 설진기의 전체 부피가 지나치게 커지는 문제를 최소화하면서도 60cm 이상의 촬영거리를 확보할 수 있는 구조로 설진기를 제작하였다. 그러나 촬영거리의 증가로 인해 설진기 부피가 커지는 문제를 완전히 피할 수는 없어 전체적인 활용도가 떨어지는 문제점을 가지고 있었다. 박 등¹¹⁾이 개발한 설진 시스템의 경우는 카메라의 시축을 지면과 수평으로 배치하여 혀의 배면부가 비스듬하게 촬영된다는 문제점을 가지고 있었다.

이에 본 연구에서는 최적화된 촬영조건을 제공하는 디지털 혀 영상 촬영장치에 대한 기구설계를 위해 적절한 촬영거리와 촬영각도를 알아보기 위한 기초 실험을 실시하고, 그 결과를 반영한 디지털 혀 영상 촬영장치를 제작하고자 하였다.

II. 디지털 혀 영상 촬영장치의

기구설계 및 구성

디지털 혀 영상 촬영장치 CTS-1000은 크게 3부분으로 구성된다. 시스템의 지지 구조를 이루고 기계적 동작을 담당하는 기구 부분과 기기의 전기적 동작을 담당하는 회로 부분, 마지막으로 회로의 동작을 소프트웨어적으로 제어하는 펌웨어 부분으로 구성된다. 기구부분은 피험자가 안면부를 디지털 설

진 시스템에 접촉하는 접안부와 카메라와 렌즈, 내부회로를 감싸며 외형을 이루는 케이스 부분으로 나뉜다. 회로부분은 기기의 컨트롤, 정보의 디스플레이, 신호의 획득과 증폭, PC와 통신을 담당하는 회로와 전원 그리고 이 모든 것들의 상태를 파악하고 제어하는 프로세서로 나뉘어 기기의 전반적인 동작을 담당한다. 펌웨어 부분은 화이트밸런스 및 노출시간, gain control을 자동 혹은 수동 조절하면서 사용자가 지정한 조명하에서 영상을 촬영하고 저장하는 기능을 담당한다.

1. 촬영부

CTS-1000은 하이비전카메라(HVR-2130CPA, Hyvision system, Korea)와 MP렌즈(H2Z0414C-MP, Hyvision system, Korea)를 장착한 디지털 허 영상 촬영장치이다. 카메라는 SXGA급과 VGA급 해상도로 촬영이 가능하며 본 논문에서 진행된 모든 실험에서는 VGA급 해상도로 허 영상을 촬영하였다.

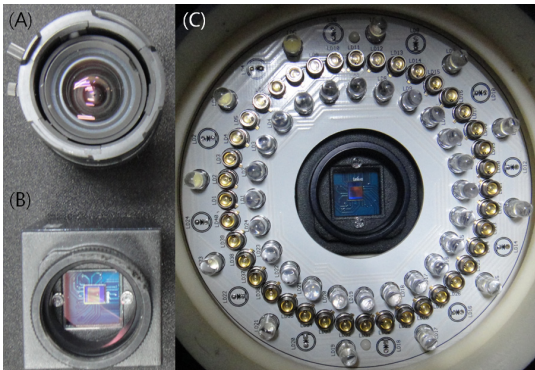


Figure 1. (A) lens, (B) camera body and (C) arrangement of LEDs.

2. 조명부

조명은 각각 다른 특성의 세 가지 종류의 LED 조명을 사용하였다. 가시광선 LED 조명은 제1 피크

파장 470 nm, 제2 피크 파장 580 nm, 색온도 6800 K인 고휘도 LED (LWH5000, LUXPIA, Korea)램프를 이용하였고, 자외선 LED 조명은 365 nm의 peak 파장을 가지는 T5F36 (T5F, SEOUL OPTODEVICE, Korea)램프를 이용하였다. 적외선 LED 조명은 880 nm의 파장을 가지는 CL-1L5 (SI5313-C, Any Vendor, Korea)램프를 이용하였다. 각각의 LED는 가시광선 12개, 적외선 24개, 자외선 40개로 총 76개의 LED 램프가 이용되었다. 피사체 전체에 되도록 균질한 밝기의 빛이 조사되도록 조명판은 카메라를 중심으로 동심원 형태로 LED를 배열하여 설계, 제작하였다. (Figure 1)

III. 적정 촬영거리 측정

최단 촬영거리는 촬영할 때 렌즈와 사물간의 최소한의 간격을 의미하는 값으로 각 렌즈마다 다르며 대략 20-30 cm 정도이다. 최소의 거리만으로는 왜곡이 없는 허 영상을 얻을 수 없기 때문에 렌즈마다 다르지만 약 60-100 cm 정도의 촬영거리가 확보되어야 허 전체 영역에 대한 왜곡 없는 영상을 얻을 수 있다.¹⁰⁾ 하지만 이러한 촬영거리를 갖는 설진기를 제작하게 되면 상당한 부피가 요구되고, 따라서 상용화하기에는 어려움이 생긴다. 그러므로 충분한 촬영거리를 확보하면서 최적의 허 영상을 획득할 수 있는 촬영거리를 구하기 위한 실험을 실시하였다.

설진기 카메라를 지면으로부터 25 cm 높이에 평행하게 고정된 후 고정된 설진기 카메라로부터 피사체에 이르는 거리를 측정하면서 최적의 허 영상이 획득되는 거리를 찾아내고자 하였다. 일반적으로 성인 남자의 경우 허를 힘껏 입 밖으로 내밀었을 때 노출되는 허 배면부의 크기는 가로 8 cm, 세로 10 cm 정도이다. 일반 성인 남자의 허 크기에 해당되는 사각형 틀을 제작한 후 카메라와 측정거리를 조절하

며 영상을 촬영하였다. 제작한 사각형이 촬영화면을 벗어나지 않는 범위를 측정하고 그 범위를 넘지 않는 적정거리를 기록한 결과 사각형이 모두 촬영되는 카메라와 사각형간의 거리는 22 cm 이상이었다. 촬영거리가 22 cm 이하의 경우 설침부가 촬영화면을 벗어나고, 40 cm 이상의 경우 설침부와 설근부가 모두 촬영이 되지만 촬영되는 피사체가 작게 나온다는 문제점을 가지고 있었다. 설진기에 사용된 하이비전카메라의 경우 근접촬영에서의 최적거리는 30-50 cm이다. 따라서 피사체인 혀 전체를 촬영할 수 있는 적정거리가 22 cm 이상이라는 점과 하이비전카메라의 근접촬영 최적거리가 30-50 cm라는 점을 모두 고려하고, 촬영 시 피검자의 변이를 고려하여 본 설진기 시스템의 촬영최적 거리를 35-40 cm로 선정하였다. (Figure 2)

IV. 접안부 기울기 측정

접안부는 설진기의 본체와 안면부가 닿는 부분으로서, 탈부착할 수 있도록 제작된 기구이며, 혀 영상 촬영시 안면부를 보호할 뿐만 아니라 본체와 안면부위 사이로 새어 들어오는 외부의 광을 막아주는 역할을 한다. 기존에 개발된 설진기의 접안부는 지면과 90°를 이루는 디자인으로 설계되어있다. 피검자

가 혀를 노출시킬 때 노출된 혀는 지면과 90°를 이루지 않기 때문에, 기존의 설진기에서 촬영된 혀 영상은 혀의 배면부와 카메라의 시축이 수직을 이루지 않고 비스듬한 각도로 촬영이 되며, 촬영된 혀 형태의 왜곡을 유발하는 문제점이 생긴다. 따라서 접안부는 90°의 각도로 설계되는 것보다는 혀를 노출시키는 각도를 고려하여 설계되는 것이 바람직하다.

따라서 접안부가 지면과 이루는 적절한 경사각 설계를 위해, 혀를 입 밖으로 노출시킬 때 혀의 배면부가 지면의 수직선과 이루는 각도를 측정하였다. 수직선과 노출된 혀가 이루는 각도(θ_1)과 혀의 배면부 촬영을 위해 카메라의 시축과 수평선이 이루는 각도(θ_2)는 같다. 따라서 카메라 시축의 기울기를 정하기 위해서, 노출된 혀의 설근부위와 설침을 이룬 연장선과 지면과 90°를 이루는 수직선이 이루는 예각을 측정하였다. (Figure 3)

수평계를 이용하여 카메라의 수평을 맞춘 후, 총 7명의 성인 남녀를 대상으로 3가지의 다른 자세로 혀를 노출시킨 상태의 측면사진을 촬영하였다. 편하게 입을 '아'하고 벌린 자세에서 혀를 가볍게 노출시킨 자세, 혀를 최대한 노출시킨 자세, 각각 한 장씩 혀의 측면사진을 촬영하여 총 2장의 사진을 획득하였다. 획득한 측면사진에서 노출된 혀의 설근부위와 설침을 이룬 연장선의 기울기를 측정하여 수직선과 노출된 혀가 이루는 각도(θ_1)를 계산하였다.

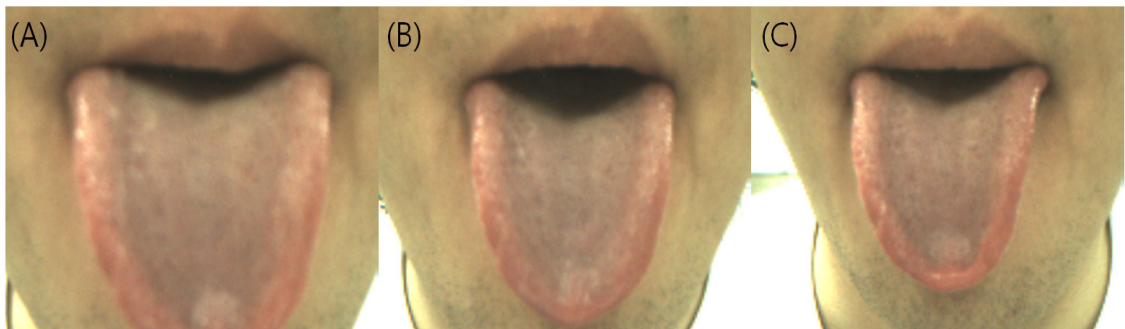


Figure 2. Tongue image according to object distance from lens to tongue. (A) 20cm; (B) 30cm; (C) 40cm.

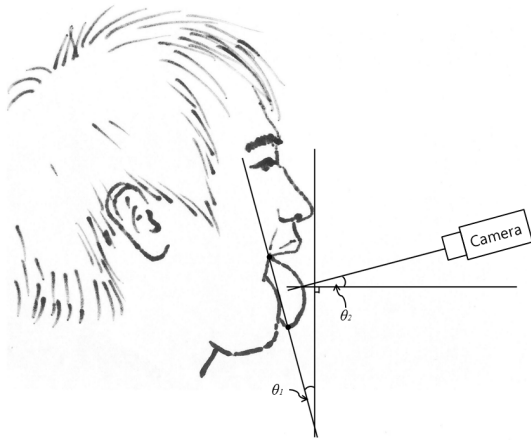


Figure 3. Tongue exposure angle. Acute angle degree between dorsum of tongue body and vertical line.

측정결과, 실험대상자가 가볍게 입을 ‘아’하고 벌린 자세에서 지면과 90°를 이루는 수직선과 혀의 노출된 각도(θ_1)는 평균 28.3°, 표준편차 8.0°, 최소 19.0°, 최대 44.2°이었으며, 혀를 최대한 노출시킨 자세에서 수직선과 혀의 노출된 각도(θ_1)는 평균 13.3°, 표준편차 8.8°, 최소 0.5°, 최대 25.50°이었다. (Table 1)

혀에 힘을 주어 최대한 혀를 노출시킬 경우 혀에 충혈을 유발할 수 있다는 점을 고려했을 때, 적절한 카메라 시축의 경사는 13.3°보다 커야 하며, 가볍게 혀를 노출시킬 경우 설근부가 노출되지 않기 때문에

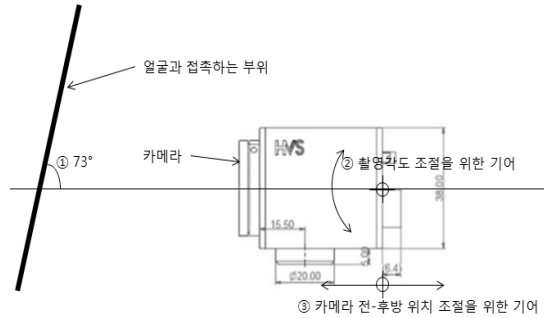


Figure 4. Slope angle of part in contact with face and gears for controlling camera angle of coverage and object distance.

28.3°보다는 충분히 작아야 한다. 또 카메라 시축과 혀의 배면부가 수직을 이룰 경우 치아나 윗입술에 가려서 설근부가 촬영되지 않기 때문에, 설근부위까지 촬영하기 위해서는 카메라의 시축이 혀의 배면부와 다소 경사를 이루어야 한다는 점을 고려하면 적절한 카메라 시축의 경사는 28.3°보다 충분히 작아야 한다. 따라서 혀의 배면부 촬영을 위한 적절한 카메라 시축의 경사도는 15-20° 정도로 선정하였다.

따라서 측정된 적절한 카메라 시축의 경사도를 고려하여, 카메라의 시축은 지면과 수평을 이루도록 설계하는 대신 접안부를 지면과 73°를 이루도록 설

Table 1. Results of Tongue Exposure Angle.

Subject No.	Tongue Exposure Angle 1 (°)	Tongue Exposure Angle 2 (°)
1	29.0	25.5
2	19.0	8.7
3	29.9	6.9
4	27.9	15.9
5	25.4	22.3
6	22.6	0.5
7	44.2	13.5
Mean ± S.D.	28.3 ± 8.0	13.3 ± 8.8

Tongue exposure angle 1: light tongue exposure; Tongue exposure angle 2: Maximal tongue exposure

계하여 혀의 배면부가 적절하게 촬영되도록 하였다. 또 피검자에 따른 변이가 크다는 점을 고려하고 촬영의 용이성을 높이기 위해 사용자가 피검자에 따라 카메라 시축의 경사도를 조절하기 위한 기어와 촬영 거리를 조절하기 위한 기어를 추가 설계하였다. (Figure 4)

V. 디지털 혀 영상 촬영장치의 기구설계

적정한 촬영거리와 촬영각도를 알아보기 위한 기초 실험결과를 반영하여 디지털 혀 영상 촬영장치를 제작하였다. LED 조명으로부터 방사된 빛이 골고루 확산되도록 확산판을 추가하고, 확산된 빛이 혀에 잘 모아지도록 내부에 반사경이 적용된 집광관을 LED와 피사체인 혀의 사이에 배치하였다. (Figure 5)

VI. 고찰

설진기는 혀 영상을 촬영하여 설진의 관찰지표들을 객관적이고 정량적으로 평가하기 위해 고안된 혀 촬영 및 분석 장치로 정의할 수 있을 것이다. 2000년대 이후 국내외에서 설진을 객관화하고 정량화하기 위한 설진기를 개발하기 위한 연구가 지속적으로 진행되어왔다.

1986년 중국에서는 광원과 온도, 의사의 심리적 요소에 의해 정확하지 않은 혀 영상을 획득하고 잘못된 결론을 도출하는 과정을 해결하고자 표준 광원 조건 하에서 조명을 혀 표면에 균등하게 투사하고 촬영하는 방법을 연구하였으며,¹²⁾ 그 후 관련 연구들이 진행된 결과 2000년 대만에서는 밝기 5.1 ± 0.15 Lux., 색온도 5400 K의 표준 광원 하에서 2/3 inch CCD, 4.5/80 mm Lens를 이용한 환경을 제안하였다.⁶⁾ 2005년 대만의 Skylark device & system 사에서 개발된 설진기 TDS-2005는 촬영된 혀 이미지를 출력할 컬러 프린터와 고출력 제논광원을 이용하여

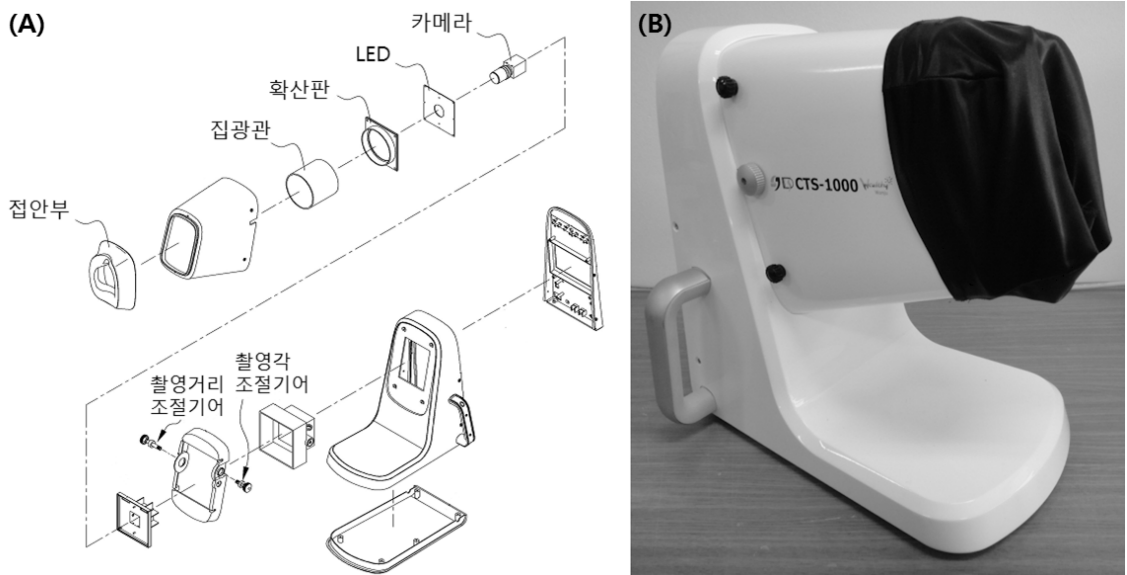


Figure 5. (A) Mechanical design and (B) appearance of the digital tongue image system CTS-1000.

외부 광원의 영향을 줄였다는 특성을 가지며 편리한 사용방법이 장점이다.¹³⁾ 하지만 차폐구조를 따로 설계하지 않아 허 영상의 색상 왜곡이 발생하고 설질과 설태의 인식률이 낮다는 점, 낮은 정확도와 신뢰도를 가지는 한계점도 있다.

2011년 일본의 지바대학에서 개발한 설진기에는 허의 색상 스펙트럼 분석을 지원하고 허 표면의 반사광을 억제하는 방법이 적용되었다.⁹⁾ 그러나 연구용으로 개발된 설진기이다 보니 상용화에 부적합한 설계구조를 가지고 있으며 차폐설계가 적용되지 않았고 설질과 설태의 인식률에 있어서도 큰 진전을 보이지 못 하였다.

국내에서도 2002년 김 등⁴⁾에 의해 최초로 설진기가 개발되었다. 현재 개발된 설진기 중 가장 자연색이 잘 구현된 허 영상을 획득할 수 있지만 스틸영상만 획득할 수 있고 불완전한 차폐로 인한 허의 색상과 형태의 왜곡이 발생할 수 있다. 또한 설태와 설질의 인식률이 낮으며 상용화하는 과정에서 부적합한 구조를 가진다는 한계를 가진다.

2007년 김 등¹⁴⁾에 의해 개발된 설진기는 최초의 가정용 설진기로 화장대나 세면대 위에 설치하여 사용이 가능하며, 일반 가정에서 자신의 건강과 안면의 건강을 함께 점검할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 설태와 설질의 인식률 개선과 허 영상의 색상보정 알고리즘 개발이 요구되며, 초기의 목적과는 달리 개발 업체의 부채로 시작품은 상품화되지 못하였다. 2008년 한국한의학연구원의 김 등¹⁰⁾에 의해 개발된 설진기는 최초로 LED 조명을 이용하여 제작되었으며 표준화된 컬러차트를 설진기에 도입하면서 색상보정을 하였고 촬영 시 모니터링을 가능하게 하여 허 영상을 획득하는 데 좀 더 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 기존에 가장 문제시되었던 불완전차폐를 해결하고자 차폐구조를 설계하여 차폐수준을 개선하고 설질과 설태의 인식률을 높였다.

본 연구에서는 최적화된 촬영조건을 제공하는 디지털 허 영상 촬영장치에 대한 기구설계를 위해 적절한 촬영거리와 촬영각도를 알아보기 위한 기초 실험을 실시함으로써, 기존 설진기의 한계점을 개선한 설진기를 제작하고자 하였다. 적절한 촬영거리를 알아보기 위한 실험을 통해 카메라에서 접안부까지의 최적거리를 35-40 cm로 선정하여 본체를 제작하였고, 촬영각도를 알아보기 위한 실험을 통해 접안부의 경사각이 지면과 73°를 이루는 디자인으로 설계하였다. 또한 설진기 몸체로 유입되는 외부의 광을 차단하기 위해 몸체 안쪽에 차폐시트를 부착하였고, 외부광이 가장 많이 유입되는 안면부 쪽의 차폐를 위해 실리콘 재질의 접안부를 제작하였다. 접안부 덮개를 추가적으로 제작하여 2중 차폐 구조를 통해 최적의 차폐환경을 구성하고자 하였다. 이와 같은 실험 방법들은 다른 설진기 연구에도 응용될 수 있어, 객관적이고 정량적인 설진을 위한 설진기 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

추후의 과제로서는 설진기의 의료기기 규격의 표준화와 피검자들의 촬영환경과 촬영과정의 표준화가 이루어져 한다. 표준화된 기준이 없이 촬영이 이루어지면 촬영과정에서 발생할 수 있는 편의(bias)에 대한 효과적인 제어가 어렵게 되고, 분석하기에 부적합한 허 영상이 촬영될 수 있으며, 임상자료의 축적도 불가능해진다. 또한 분석과정에서 측정자의 주관적 판단에 의해 생기는 오류를 줄이기 위해 설질과 설태의 자동 추출방식 분석용 소프트웨어 개발이 필요하다. 세계 의료기기 시장의 확장과 대체의학에 대한 관심이 증대됨에 따라 한의학적 원리를 이용한 의료기기 개발이 늘어나고 있으나, 개발된 의료기기의 진단 알고리즘과 치료 효능이 한의학적인 관점에서 충분한 검증이 이루어지지 않아 신뢰성에 의문이 제기되고 있다. 따라서 CTS-1000의 경우에도 신뢰성 확보를 위해 실제 임상에서 환자를 대상으로 유효성에 대한 충분한 임상시험이 진행하여야 할 것이다.

VII. 결 론

최적화된 촬영조건을 제공하는 디지털 혀 영상 촬영장치의 기구설계를 위해 적정한 촬영거리와 촬영각도를 알아보기 위한 기초 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 충분한 촬영거리를 확보하면서 최적의 혀 영상을 획득할 수 있는 촬영거리를 35-40 cm로 선정하였다.
2. 적절한 카메라 시축의 경사도는 15-20° 정도로 선정하고, 접안부를 지면과 73°를 이루도록 설계하여 혀의 배면부가 적절하게 촬영되도록 하였다.
3. 적정한 촬영거리와 촬영각도에 대한 실험결과를 반영하여, 디지털 혀 영상 촬영장치를 제작하였다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 한의약선도기술개발사업(B100030)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

참 고 문 헌

1. 이봉교, 박영배, 김태희. 한방진단학. 서울, 정보사, 1992. 70, 90-91.
2. 김지은, 박경모, 최선미. 설 진단에서 주관적 판단의 신뢰성 평가. 대한의용생체공학회 학술대회. 2003.
3. Kim M, Cobbin D, Zaslowski C. Traditional Chinese medicine tongue inspection: an examination of the inter- and intrapractitioner reliability for specific tongue characteristics. J Altern Complement Med. 2008; 14: 527-536.
4. 김보연, 박경모. 디지털 설진 획득 및 관리 시스템의 개발. 대한한의진단학회지. 2002; 6: 65-78.
5. Pang B, Zhang D, Li N, Wang K. Computerized tongue diagnosis based on Bayesian networks. IEEE Trans Biomed Eng. 2004; 51: 1803-1810.
6. Chiu CC. A novel approach based on computerized image analysis for traditional Chinese medical diagnosis of the tongue. Comput Methods Programs Biomed. 2000; 61: 77-89.
7. Pang B, Zhang D, Wang K. The bi-elliptical deformable contour and its application to automated tongue segmentation in Chinese medicine. IEEE Trans Med Imaging. 2005; 24: 946-956.
8. 전영주, 김근호, 도준형, 유현희, 김종열. 설진 시스템 개발 및 재현성 평가. 한국한의학회지. 2008; 14: 97-102.
9. Yamamoto S, Tsumura N, Nakaguchi T, Namiki T, Kasahara Y, Terasawa K, Miyake Y. Regional image analysis of the tongue color spectrum. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2011; 6: 143-152.
10. 전영주, 김근호, 도준형, 유현희, 김종열. 설진 시스템 개발 및 재현성 평가. 한국한의학회지. 2008; 14: 97-101.
11. 어윤희, 김제균, 유화승, 김종열, 박경모. 표리한열의 설 특성에 관한 정량적 연구. 대한한의학회지. 2006; 27: 134-144.
12. Sun L, Cheng Z, Xie H. Study on objective tongue diagnosis using computerized image recognition technique. J. Anhui traditional chinese medical college. 1989; 5: 5-7.
13. Tongue diagnosis system(TDS). available at www.skylarkdevice.com/diagnosis.htm
14. 김종열. 한방진단시스템 개발. 보건의료기술진흥사업 결과보고서. 한국한의학회. 2007.