

패션비즈니스 제27권 4호

ISSN 1229-3350(Print)
ISSN 2288-1867(Online)

J. fash. bus. Vol. 27,
No. 4:125-140, Sept. 2023
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2023.27.4.125](https://doi.org/10.12940/jfb.2023.27.4.125)

Corresponding author

Jooyong Kim
Tel : +82-2-820-0631
Fax : +82-2-817-8346
E-mail : jykim@ssu.ac.kr

거북목 예방을 위한 텍스타일 센서 개발

김민석* · 박진희 · 김주용+

*송실대학교, 스마트웨어블공학과, 석사
송실대학교, 신소재공학과 교수
+송실대학교, 신소재공학과, 교수

Development of Textile Sensors for Prevention of Forward Head Posture

Minsuk kim* · Jinhee Park · Jooyong Kim†

*Master, Dept. of Smart Wearable Engineering, Soongsil University, Korea,
Professor, Dept. of Materials Science and Engineering, Soongsil University, Korea
†Professor, Dept. of Materials Science and Engineering, Soongsil University, Korea

Keywords

Forward Head Syndrome,
Stretch Sensor,
Textile Senso,
Upper Crossed Syndrome,
Radiating Painr
거북목증후군, 스트레치센서,
텍스타일센서, 상부교차증후군,
방사통

Abstract

This study aimed to develop a smart wearable device for assessing the risk angle associated with turtle neck syndrome in patients with Video Display Terminal (VDT) syndrome. Turtle neck syndrome, characterized by forward head posture resulting from upper cross syndrome, leads to thoracic kyphosis. In this research, a stretch sensor was used to monitor the progression of turtle neck syndrome, and the sensor data was analyzed using a Universal Testing Machine (UTM) and the Gauge Factor (GF) calculation method. The scapula and cervical spine angles were measured at five stages, with 15-degree increments from 0° to 60°. During the experimental process, the stretch sensor was attached to the thoracic spine in three different lengths: 30mm, 50mm, and 100mm. Among these, the attachment method yielding the most reliable data was determined by measuring with three techniques (General Trim Adhesive, PU film, and Heat Transfer Machine), and clothing using the heat transfer machine was selected. The experimental results confirmed that the most significant change in thoracic kyphosis occurred at approximately 30° of forward head posture. Prolonged deformity can lead to various issues, highlighting the need for textile sensor solutions. The developed wearable device aims to provide users with real-time feedback on their turtle neck posture and incorporate features that can help prevent or improve the condition.

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원과(20016038) 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업 기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012770, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)

I. 서론

현재 대부분의 사무 작업 및 일상생활에서 컴퓨터나 스마트 기기가 필수 불가결한 존재로 자리 잡았다. 그러나 이러한 디스플레이 기기의 지속적인 사용은 근골격계 및 시각계 등 다양한 건강 문제를 일으킬 수 있다. 이에 따라 컴퓨터 사용과 관련된 건강 문제를 총칭하는 VDT 증후군(Visual Display Terminal syndrome) 환자 수가 증가하면서 이러한 역기능적인 측면이 드러나고 있다. 사람들은 일상생활에서 스마트기기를 하루 평균 2.5시간 이상 사용하고 있으며, 이는 근골격계 문제뿐 아니라 시각계 장애 등 다양한 건강 문제를 유발할 수 있다는 조사 결과가 있다(Seoul City Hall[SCH], 2021).

연속적인 스마트폰이나 모니터 사용은 안구 충혈 및 안구 건조증과 같은 여러 가지 문제를 일으킨다. 눈은 일반적으로 1분에 15~20회 깜빡인다. 그러나 스마트폰이나 모니터를 볼 때는 이 수치가 5회로 줄어들게 된다. 긴 시간 동안 스마트폰이나 모니터를 보게 되면 눈의 수분을 생성하는 안구 막이 눈을 깜빡이지 않아 수분이 증발하며 안구건조증이 발생한다(Ko., Ban, Lee, Bae, & Chang, 2016). 또 다른 문제는 VDT 증후군으로 알려진 근골격계 질환이다. 컴퓨터나 스마트폰을 오랫동안 사용하면서 잘못된 자세 습관을 형성하게 되어 VDT 증후군을 비롯한 척추 질환을 유발할 수 있다. 이 중에서도 거북목증후군은 경추 각도가 전방으로 나아가면서 근골격변형의 자세가 되며, 청소년부터 노년층까지 널리 발생하는 건강 위험 요소로 인식되고 있다(Lee & Jung, 2009). 거북목증후군은 반복적인 작업과 부적합한 근무 환경 등 작업 환경 요인 외에도 정신적 스트레스 등의 심리적 요인이 원인으로 작용할 수 있다. 이러한 요인들이 누적되면, 경추 주변 근육의 약화로 인해 목과 어깨 주변의 통증을 유발하게 된다. 이와 같은 거북목증후군의 원인과 발생 메커니즘은 연구에서 보고되었다(Kim, Lee, Kim, Lee, Kim, Jung, Shin, Jang, & Cho, 2007).

현대 사회에서 기술의 광범위한 사용으로 인해 근골격계 질환 중 하나인 거북목증후군의 중요성이 점차 증가하고 있다. 이 증후군은 무력증 증상, 시야 흐림, 안구건조증, 목 통증, 요통, 어깨 통증, 수근관 증후군 등의 근골격계 증상과 심리·사회적 요인과 관련이 있다(Parihar, Jain, Chaturvedi, Kaushik, Jain, & Parihar, 2016).

최근 건강보험심사평가원이 발표한 자료에 따르면, VDT 증후군의 연간 질환 진료자 수는 매년 6.5%씩 증가하고 있다. 2019년 근골격계 질환으로 인한 진료자 수는 1,761만

명이며, 이에 따른 진료비는 7조 4,599억 원에 이르렀다. 이는 전체 건강보험 총진료비의 10.9%를 차지하는 수치이다(Jeong, Lee, & Lee, 2022). 이중 이번 연구와 관계가 있는 코드 M54 등 통증(목등뼈 통, 요통 등 포함)의 진료는 500만 명 이상으로 통계되며 총진료비는 1조 1,883억이다. 2017년부터 2021년까지 여성이 35.3% 남성이 39.7% 증가했으며, M54 코드(M54.1~9, 근골격근질환, 신경, 경추, 좌골신경, 요통, 등통증 등) 질환은 근골격질환 전체 대비 비율이 가장 높다(Health Insurance Review & Assessment Service[HIRAS], 2021).

VDT 증후군 중의 거북목자세는 상부 경추(경추 1번 atlas(C1)와 경추 2번 axis(C2) 척추를 포함하는)가 앞으로 치우쳐져 목 주변의 근육 중 대표적으로 목뿔근(sternocleidomastoid, SCM), 뒤통수밑근(Suboccipital muscles) 두 가지의 근육이 짧아지고 그로 인한 방사 통증(Radiating Pain)이 생긴다(Missaghi, 2004). 이런 통증과 뻣뻣함을 유발하는 자세는 머리의 무게는 목의 근육과 관절, 특히 상부 경추에 더 많은 스트레스를 가하게 된다. 이러한 자세는 두통의 증상을 유발할 수 있으며, 이마나 뒤통수에 둔탁한 지속적인 통증이 나타날 수 있다.

국내 거북목 예방을 위한 선행 연구들은 자이로 센서(Park, Joo, Jeon, Koo, & Lee, 2021), 피부 부착형 유연 센서(Jeong, L, Jang, Jang, & KIM, 2022), 조도 센서(Kim, Seok, Cho, Han, & Lee, 2015) 등을 활용한 알림 기반 시스템을 개발해왔다. 그러나 연구 논문들을 살펴본 결과 목이 기울어지는 것을 감지하거나 디스플레이 스마트기기에 가까워지는 것을 감지하는 등 신체의 움직임 상태를 알려주는 알림만을 위한 것이며, 움직이는 각도까지 정확하게 파악하여 위험 각도를 예측하고 알려줄 수 있는 기능이 부족한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 실시간으로 자세의 변형을 감지하고 교정할 수 있는 스트레치 센서를 개발하여 스마트 의류 개발에 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한 텍스타일 센서를 활용하여 착용자의 편의성과 거북목의 각도별 측정에 초점을 둔 새로운 방향성을 갖는 연구가 될 것으로 기대한다.

II. 이론적 배경

1. VDT 증후군이란

(Visual Display Terminal syndrome)

VDT(Visual Display Terminal) 증후군은 컴퓨터 등의 업무를 수행할 때 반복적으로 정적인 자세를 유지하거나 스마트 기기 사용으로 장시간 근육의 긴장도가 높은 자세를 유지할 때 발생하는 근골격계의 장애이다. 이는 정신적 스트레스를 포함한 건강장애로서, 근골격계 질환의 증상인 무력증, 시야 흐림, 안구건조증, 목 통증, 요통, 어깨 통증, 수근관 증후군 등을 유발한다. 이러한 부작용은 현대 사회에서 기술의 광범위한 사용으로 인해 중요성을 더해가고 있으며, 연간 VDT 증후군 질환 진료자 수는 증가하고 있다(Sim & Lee, 2008).

근무시간 동안의 VDT(Visual Display Terminal) 유발률은 어깨에서 유의하게 높은 것으로 나타났고, 이어서 목, 손, 손가락, 팔, 허리, 손으로 높은 결과를 보였다. 노동시간의 VDT는 노화와 함께 감소했으며, 근로시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였으며, 독신이거나 습관적인 운동이 적으면 VDT 유발률이 높은 것으로 나타났다. 책상 높이, 의자 높이, 앉은 자세, 팔꿈치 각도 등 모두 VDT 기준에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 VDT 증후군 예방 및 개선을 위해 적극적인 대처와 개선이 필요함을 시사한다(Kang, 2003).

2. 거북목증후군과 증상 (Forward head syndrome)

일반적으로, 거북목증후군은 일자목과 거북목으로 구분되지 않고 통합적으로 분류되지만, 실제 현장에서는 두 가지 형태로 나타난다. 첫 번째 형태는 주로 학생들에게 나타나며, 스마트기기를 사용할 때 눈높이보다 낮은 위치에서 목만 앞으로 내미는 동작이 특징이다(Figure 1 - a). 두 번째 형태는

업무 중이나 컴퓨터를 사용할 때 모니터 등이 눈높이보다 높거나 같은 위치에 있을 때 나타나며, 고개를 앞으로 내밀고 상부 경추를 신전시키는 자세이다(Figure 1 - b). 이런 자세는 다양한 근골격계 질환에 노출될 가능성이 크다. 일부 의사들은 일자목 다음에 거북목이라고 판단하는 예도 있으며, 병원에서 의사의 진단에 따라 다를 수 있다.

Figure 1 에 언급된 (b)의 자세에서의 경추(Cervical vertebrae)는 상부 경추 C1~2번(atlas (C1) and axis (C2) vertebrae)을 의미한다. C1은 극돌기가 없는 상태로 경추의 회전을 담당하며, C2의 Dens는 구조물이 C1의 공간에 들어가 경추의 신전(Extension)과 굴곡(Flexion)을 담당한다(Figure 2 - a).

거북목의 경우 경추뼈 중 1번과 2번이 신전 될 경우, 해당 부위에 붙어 있는 뒤통수 밑근(Suboccipital muscle)이 과도하게 긴장되어 문제점을 유발할 수 있다(Figure 2 - b).

주요 문제로는 과도하게 긴장된 근육에서 발생하는 통증 유발점인 Trigger Point(TrP)가 있다. 이 TrP는 두통이나 방사통과 같은 머리 관련 증상을 유발할 수 있으며, 선행 연구에서 이를 확인할 수 있다(Travell & Simons, 1999) (Figure 3).

상부 경추는 뇌에 혈액을 공급하는 척추 동맥을 포함하고 있다. 만약 추간판이나 척추에 어긋나거나 무리가 생긴다면, 척추 동맥을 압박하거나 자극하여 뇌로 유입되는 혈류와 산소의 공급량이 감소할 수 있다. 이는 두통을 유발하며, 일반적으로 머리뼈의 기저부에서 느껴지며 목의 통증과 뻣뻣함을 동반할 수 있다.

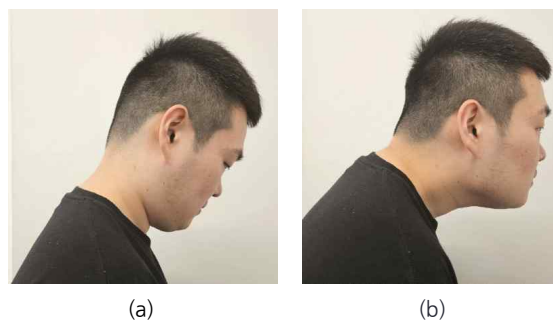


Figure 1. Symptoms Based on Cervical Spine Angles.
(a) Straight Neck Syndrome, (b) Forward Head Syndrome
(taken by authors)

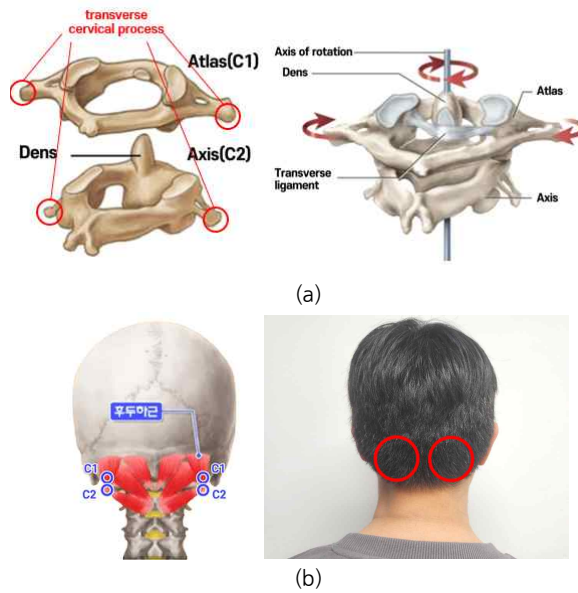


Figure 2. The Structure of The Cervical Vertebrae and Suboccipitals
 (a) Atlas (C1) and Axis (C2) Vertebrae, (b) Sub Occipital Muscle.
 (taken by authors)



Figure 3. Trige Point(TrP) Referred Pain Pattern (red),
 (Janet. 2013, p493)

3. 현재 개발된 제품들과 선행논문

현재 거북목 관련 제품의 개발이 활발히 이루어지고 있는데, 이와 관련된 선행 연구를 살펴보면, 기울기 값을 측정하는 자이로 센서를 이용하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다 (Park et al., 2021)(Figure 4 - a). 두 번째 선행 연구로는

피부 부착형 유연 센서를 활용하여 거북목 관련 정보를 실시간으로 측정하는 방법이 제안되었다. 이 방법은 센서가 측정한 정전용량 값을 기반으로 특정 값 이상이면 진동 모터를 사용하여 사용자에게 피드백을 제공하는 방식으로 동작한다(Jeong et al., 2022)(Figure 4 - b). 세 번째 방법은 조도 센서를 사용하여 밝기 값으로 측정하고, 그 값이 일정

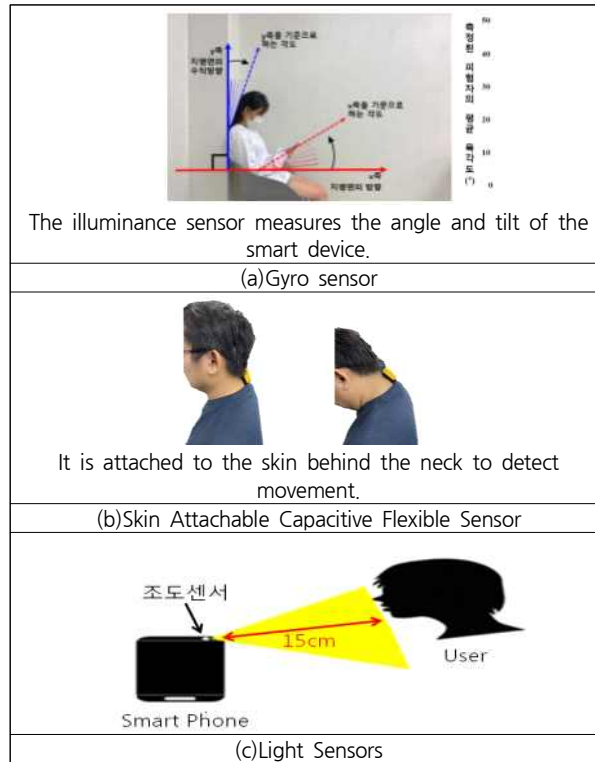


Figure 4. Sensor Types in Previous Studies.
 (a)Gyro Sensor, (b)Skin Attachable Capacitive Flexible Sensor, (c)Light Sensors
 ((a)Park et al., 2021, p. 1; (b)Jeong et al., 2022. p 2; (c)Kim et al., 2015. p. 2)

기준값 이하로 떨어질 때 알람을 주는 방식이다(Kim et al., 2015)(Figure. 4 - c) 이들 제품들은 등에 착용이 불편하거나 기울기만을 측정하는 등의 기능을 가진 센서들이다.

본 연구에서 사용된 스트레치 센서는 초기 저항을 가지고 있으며, 스트레치 센서가 신장됨에 따라 저항값이 변화할 수 있도록 신장성이 높은 직물을 사용하여 변화된 수치 값을 계산하는 방식을 사용하였다(Jang, Park, & Kim, 2021).

신장성이 좋은 직물을 사용하여 초기 저항을 보유하고 신장에 따라 저항이 변화되는 특성을 이용하며, 저항의 변화는 길이의 변화로 인식하여 그에 따른 수치를 계산해 나타내는 방식을 사용한다(Chun, Kim, & Kim, 2021). 전자계측장비 대비 더욱더 효율적이며 제조 비용이 저렴하고 간단한 제작 방법으로 길이와 넓이를 조절할 수 있는 Soft Platform 스트레치 센서는 변화되는 길이를 측정하는 데 매우 유용하며 다양한 분야에서 활용 가능하다(Kwak, 2021). 센서의 성능을 평가하기 위해 게이지울을 사용하였는데, 이는 센서의 민감도를 나타내는 중요한 지표로서 활용된다(Roh, 2016).

선행 연구들은 주로 기울기나 거리와 같은 단순한 측정 방법을 사용하여 연구 대상자의 상태나 움직임을 개선하는 것보다는 단순히 기울기에 대한 경고를 제공하는 형식으로 기능을 두었다. 하지만 이 연구에서는 간편하게 의류에 센서를 부착하여 사용자의 편의성을 고려하였으며, 경추와 흉추의 움직임 관계를 다양한 각도로 측정할 수 있다. 따라서 가장 크게 변화하는 각도와 구간을 파악하고 착용자에게 피드백을 줄 수 있다.

III. 연구 방법 및 절차

1. 스트레치 센서의 부착 위치

블라디머 안다(Vladimir Janda)의 이론으로 알려진 신체 불균형 중 하나인 상부 교차 증후군(Upper-Crossed Syndrome)에 관한 내용에 따르면, 상부 교차 증후군은 근골격계의 불균형으로, 근력 불균형과 자세 이상을 포함한다

(Travell & Simons, 1999). 블라디머 안다의 이론을 기반으로 한 스트레칭 프로그램, 물리치료 및 IASTM(계기조직 이완 기술)의 효과 비교, 거북목 및 둥근 어깨 교정 운동, 약화된 근육 강화 운동 및 하부 강화 운동프로그램에 대한 다양한 연구가 소개되었다. 블라디머 안다의 이론을 기반으로 한 다양한 연구들을 포함하며, 상부 교차 증후군 환자들의 가동범위, 근력, 통증 및 기능 개선에 대한 영향 등이 있다.

블라디머 안다의 접근법에 기반한 스트레칭 프로그램이 가동범위, 근력 및 통증 변화에 미치는 영향을 소개 하였다(Kim & Kim, 2015). 상부 교차 증후군으로 인한 목 통증 환자의 통증 및 장애 개선을 위한 일상적인 물리치료와 IASTM의 효과를 비교하였다(Mahmood, Afzal, Ahmad, Arif, & Ahmad, 2021). 블라디머 안다의 교차 증후군 이론을 기반으로 여성 컴퓨터 사용자의 거북목, 둥근 어깨, 후만 증 등을 효과적으로 교정 운동을 제시하였다(Javazi, Sedaghati, & Daneshmandi, 2019). 블라디머 안다의 교차 증후군 이론 기반으로 만성 허리통증 환자에게 약해진 근육에 강화 운동을 권장되었는 근육의 스트레칭으로 효과를 증명하였다(Kang & Kim, 2019).

상부 교차 증후군의 이론으로 전방 머리 자세를 가진 목 통증 환자에게 불안정한 지지 면에 대한 하부 강화 운동프로그램이 목 기능장애, 자세 정렬에 미치는 영향을 조사하는 내용의 연구(Park & Lee, 2022) 등 국내외 많은 연구 및 논문들이 위 이론을 인용하였다.

블라디머 안다의 이론에 따르면, 신경학적 장애와 만성 근골격계 통증이 있는 환자들은 상위 운동 뉴런(Upper

Motor Neuron)에서 발견할 수 있는 근육 패턴과 유사한 근육 불균형이 있다. 이러한 근육 불균형은 중추신경계(CNS)에 의해 조절되며, 긴장된 근육이 지배적이라는 안다의 주장이 있다. 또한, 이러한 근육 불균형은 약화(weakness)와 긴장된 대항근(길항근, Antagonists)의 상호억제(Reciprocal inhibition)로 인해 발생한다. 개인별로 긴장과 약화의 정도는 다양하지만, 패턴은 비슷하게 나타나며, 이 패턴은 자세 변화와 관절 기능장애 및 퇴화를 유발할 수 있다는 것이 이론적 배경이다(Figure 5 - a). 이 연구에서는 상부 교차 증후군의 대표적인 증상 중 하나인 거북목(Forward head syndrome)과 이와 반대로 흉추(thoracic vertebrae)의 후만(kyphosis)을 다루었다(Izraelski, 2012) (Figure 5 - b).

본 연구에서는 경추와 흉추의 상관관계를 확인하고 경추 외에 흉추중에 변형이 가장 심한 흉추(T1~5)에 스트레치 센서를 부착하여 데이터를 확인하고자 한다.

2. SWCNT 수용액을 사용한 직물 제작

본 연구에서는 전기 전도성 부여를 위해 SWCNT (Single Wall Carbon Nanotube, KH WAR 1200 ST, KH CHEMICALS, Korea)를 직물에 함침하는 방법을 사용하였다(Chun et al., 2021). 이러한 방법은 다양한 분야에서 활용되고 있는 원단의 전기 전도성 향상을 위한 연구 중 하나이다. 이를 위해 전기전도도가 높은 은 코팅제를 활용하거나 직조 직물에 은막이나 탄소이크를 인쇄하는 등 다양한 방법

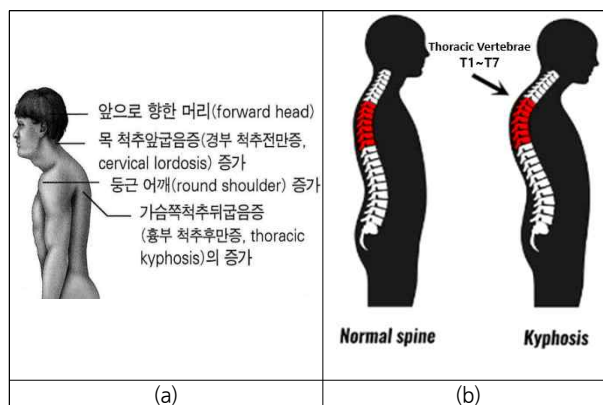


Figure 5. The Structure of The Cervical and Thoracic Vertebrae (a) UCS (Upper Crossed Syndrome), (b)Normal Spine & Thoracic Kyphosis ((a)Phil page, 2012, p.53; (b)taken by authors)

이 모색되고 있다. E-Band로 전도성 코팅하여 세척 저항성을 높이는 등 전도성의 내구성을 높이기 위한 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서는 많이 사용된 E-band 중에 fiber content 70%, Polyurethane 30%를 사용하였다. SWCNT 분산 용액을 0.1 wt % SWCNT 분산 용액을 사용하였으며, 가로 10mm의 세로 100mm의 E-band를 시료 용액에 5분간 적신 후 패딩기(Padder, DL-2500V, DAELIM lab)를 이용하여 SWCNT의 전도성 입자를 함침 시킨 후, 시료를 건조기(Dryer, DLS-6600, DAELIM lab, Korea) 100° C에서 5분간 건조하였으며, 최종적으로 시료를 실온(20° C)에서 24시간 건조해 전도성 시료를 생성하는 공정을 완료하였다. 스트레치 센서 선정은 거북목 각도별로 흉추의 움직임에 따라 설계하였으며, 폭 10mm의 E-band 센서를 길이 30mm, 50mm, 100mm를 제작해 실험을 진행하였다. 위와 같은 과정을 통해, 거북목증후군 예방을 위한 스마트 웨어러블 개발에 필요한 기초적인 자료를 수집하고 분석하였다.

경추 분절별 길이 제작 및 최종 센서 선정은 다음과 같다. 길이 선정은 흉추의 각 분절에 맞게 설계했으며, 거북목 모양으로 경추가 앞으로 내밀 때 변형이 시작되는 흉추 1번부터 짧게 30mm, 흉추 1~2번으로 50mm, 흉추 1~5번을 감싸는 100mm길으로 총 3가지의 길이로 제작했다(Table 1).

첫 번째 실험은 길이를 선정할 수 있는 실험이었다. 실험을 위해 흉추 중 변형이 가장 심한 흉추 1~5번 사이에 위에 제작한 스트레치 센서 중 가로 경추의 움직임을 잘 반영하는 길이 10mm, 세로 100mm 센서를 선정하였다.

3. 스트레치 센서 부착 방법

의류 선정은 소재 Polyester 87%, Spandex 13%의 티셔츠 의류로 선정하였다. 사용된 의류의 사이즈는 Teble 2와 같다

Table 1. Design of Materials and Comparison Methods for Stretch Sensor






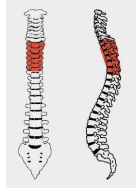

Item	30mm length	50mm length	100mm length
Image			
Location			
	T1	T1~T2	T1~T5
Organization	Polyester 70% Polyurethane 30%	Polyester 70% Polyurethane 30%	Polyester 70% Polyurethane 30%
Composition	3 Line Pattern	5 Line Pattern	10 Line Pattern
Width	10mm	10mm	10mm

Table 2. Size Table of Women's Clothing

	Size Chart	Free
	Body Length	64cm
	Chest Width	80cm
	Sleeve Length	58cm
	Shoulder	35cm

본 연구에서는 의류에 접착 방법을 3가지 형태로 선정하여 실험하였다. 게이지율(Gauge factor)이 가장 크고, 이력 현상(Hysteresis)이 가장 적은 E-band 직물을 사용하여 의류에 부착하는 실험을 진행하였다. E-band 100mm×10mm는 일반 폴리에스터 직물에 첫 번째 열전사기(Heat Transfer Machine) 두 번째 접착 스프레이(General Trim Adhesive) 세 번째 접착 필름(PU film)을 사용하는 총 3가지 방법으로 부착하였다(Figure 6).

이번 연구는 경추(Cervical vertebrae)와 흉추(Thoracic vertebrae) 간의 상관관계만을 중점적으로 조사하기 위해 단일 참여자에게 일관된 조건으로 진행하였다. 동일한 의류 세 개 각각에 제작된 100mm 길이 스트레치 센서 3가지를 다른 방법으로 부착하였다.

첫 번째 핫멜트 접착제 (Hot-melt adhesive)를 사용하여 열전사기(Heat Transfer machine, IS-530, INNOSTA)로 전체를 부착하였으며, 두 번째로 접착 스프레이(General Trim Adhesive, PN7700, 3M), 세 번째 접착 필름(PU film)을 사용하여 양끝 부분만 부착하였다(Figure 6).

4. 거북목의 동작 평가 기준

재활의학 센터 케네스한스라즈박사 연구팀 연구에 따르면 경추가 받는 하중은 목을 다양한 각도로 구부릴 때 증가한다(Hansraj, 2014). 성인의 머리는 중립 위치에서

4.5~5.4kg의 무게이지만, 머리를 15° 에서는 12.2kg, 30° 에서는 18.1kg, 45° 에서는 22.2kg, 60° 에서는 27.2kg의 하중을 받는다.

머리를 앞으로 기울이면 척추에 가해지는 무게가 크게 최대 5배 이상 증가한다. 경추 척추의 자연 곡선을 잃으면 경추 주위의 스트레스가 점진적으로 증가한다. 이러한 스트레스는 연부조직의 손상이나 수술 가능성으로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 일으키는 원인을 피하는 것은 거의 불가능하지만, 개인들은 중립적인 척추 자세로 휴대전화를 보고 하루에 몇 시간 동안 몸을 굽히는 것을 피하기 위해 노력해야 한다고 하였다(Hansraj, 2014)(Figure 7).

제작한 의류를 피험자에게 입고 위에 각도별로 실험을 진행하였다. 피험자는 사회활동의 중심이 되는 40대에서 근 골격계 질환이 없으며, 사이즈코리아가 제공한 신체사이즈 표준에 부합하는 대상으로 성별 여성으로 나이 43세, 키 163cm 몸무게 60kg으로 표준 체형이다.

스트레치 센서를 3가지 접착방식인 열전사기(Heat Transfer Machine), 접착 스프레이(General Trim Adhesive), 접착 필름(PU film) 타입의 다른 방법으로 설계한 의류를 입고, 거북목 각도별 하중에 따른 변화를 측정하였다. 이를 위해 단계별로 목등뼈 각도를 0도부터 60도까지 5단계로 분류하였고, 사용한 전자 각도계는 Unit weight: 85g±1.5g인 2in1 Digital angle ruler이다(Figure 8).

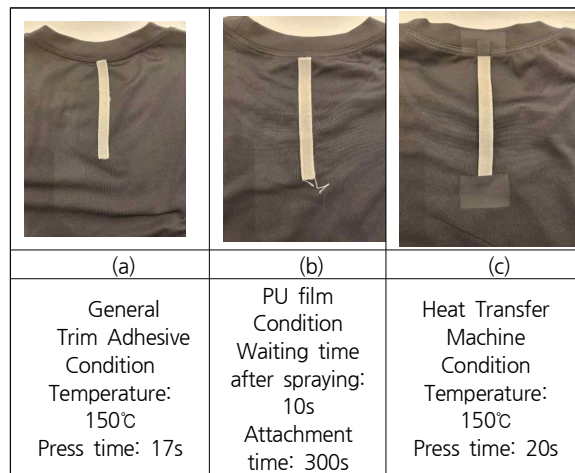


Figure 6. Sensor Attachment Methods.
(a) General Trim Adhesive, (b) PU Film General Trim Adhesive, (c) Heat Transfer Machine (taken by authors)

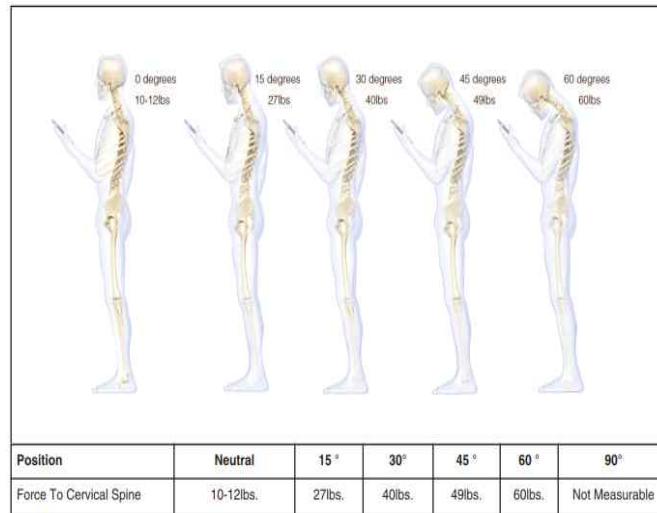


Figure 7. The Weight Seen by the Spine Increases When Flexing the Neck at Varying Degrees. (Hansraj, 2014, p2)



Figure 8. 2in1 Digital Angle Ruler (taken by authors)

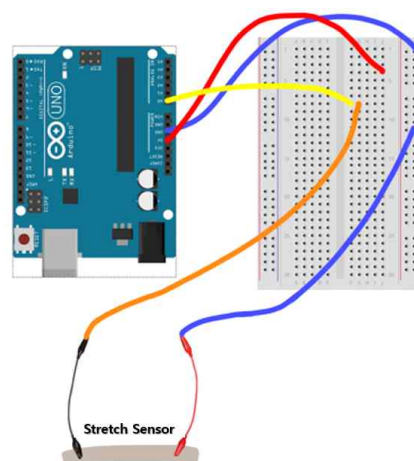


Figure 9. Textile Sensor Measurement Using Arduino (taken by authors)

5. 아두이노로 Sensor Value 산출

본 연구에서는 인장 직물 센서의 성능을 평가하기 위해 인장 직물 센서를 Figure 11과 같이 아두이노와 연결하여 Sensor Value를 측정했다. Sensor Value는 아두이노에 가해진 5V를 0부터 1023까지의 범위로 설정하여 센서값의 변화를 측정하는 값이다. 인장 직물 센서를 늘리거나 줄이면 저항이 변화하고, 아두이노는 이 저항 변화를 Sensor Value 값으로 변환한다. Sensor Value는 아두이노의 시리얼 플롯터(Serial Plotter)에서 직물 센서를 늘렸을 때의 최대 점과 직물 센서를 원래대로 돌아왔을 때의 최저점을 빼 것을 계산하여 구하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 센서 성능 평가

변형율인 ϵ (strain value)은 섬유가 압축되는 방향으로 외력이 가해져서 최초 길이 L_0 인 섬유가 ΔL 만큼 변할 때의 길이 변형을 $\Delta L/L_0$ 을 의미한다.

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

- GF : 게이지율(Gauge Factor)
- R : 최초 저항(Initial Resistance)
- ΔR : 저항 변화(Applied Resistance)
- L : 최초 길이(Initial Length)
- ΔL : 길이 변화(Applied Length)
- ϵ : 길이변형율(Strain Value)

CNT 분산액을 이용하여 100mm의 전도성 센서를 제작하고 UTM 기기를 이용하여 GF 게이지를 측정하였다. UTM으로 300번 반복하여 인장 실험을 통해 게이지율 그래프를 도출하였으며, 스트레치 센서를 의류에 부착하고 경추의 움직임에 따라 흉추의 움직임을 분석한 결과, 실제 등뼈가 굽어지는 각도는 크지만 길이는 길지 않은 것으로 확인하였다. 미세한 오차는 있지만 ± 1.6 cm를 벗어나지 않는 것으로 확인하였다. 이 결과를 바탕으로, 최대 평균 저항 변화율과 고정된 길이 변화율(20%) 값을 식에 대입하여 게이지율을 계산하였다(Chun et al., 2021).

전도성 센서를 제작하여 UTM을 300번 반복 실험하여 다음과 같은 내구성을 보여주었으며, 이번 인장 실험을 통해 게이지율 그래프 중에 1000~1040의 값을 확대하여 다음과 같은 그래프를 구하였다(Figure 10).

게이지율 그래프는 처음 저항값이 높았지만 시간이 지날수록 안정화되었으며, 1000번 이상의 값에서는 일정한 수준의 데이터 값을 보였다(Figure 13).

내구성에서 민감도의 저항값이 텍스타일 센서의 길이가 거북목 자세로 인해 늘어남에 따라 같이 늘어나는 것을 확인하였다. 하지만 저항 표준편차가 센서의 길이가 30% 이상 늘어나면서 커지는 것을 확인하였다(Figure 11).

거북목 자세에서 흉추의 스트레치 센서가 100mm의 20%인 20mm미만으로 늘어났으며, 실험에서 길이 ± 16 mm으로 확인하였다.

2. 텍스타일 센서 부착 방법이 센서 감도에 미치는 영향

100mm로 선정된 3개의 센서를 의상에 부착하였으며, 부착 방법으로 열전사기(Heat Transfer Machine), 접착 스프레이(General Trim Adhesive), 접착 필름(PU film)을 사용하여

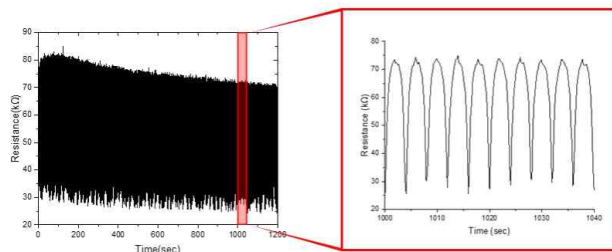


Figure 10. Characteristics of the Durability (taken by authors)

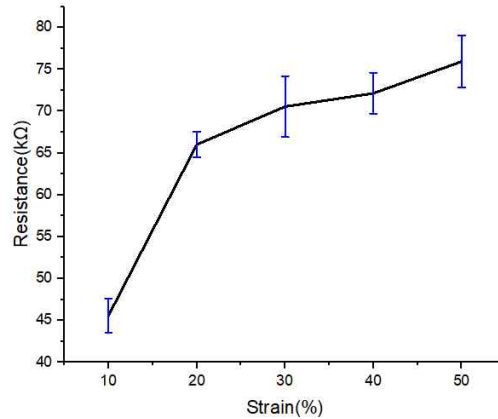


Figure 11. Characteristics of the Durability and Sensitivity (taken by authors)

3가지 방법으로 부착 후 아두이노로 데이터를 확인한 결과 (a)열전사 방식은 경추 각도별 움직임에서 유지는 하였으나 일부 구간에서 유지하지 못하였다. 아두이노 데이터 최소값 783 최대값 791로 편차가 심했다. (b)의 접착 스프레이는 센서가 정적인 자세에서도 유지하지 못하고 데이터값이 움직였으며, 최소값 827 최대값 839으로 세가지 방법중에 편차가 가장 심해 실험에 사용할 수 없을 정도의 데이터가 나왔다(Figure 12).

가장 안정적으로 센서의 데이터 값을 보여준 (c)접착필름 (PU film) 부착 방법으로 이후 실험을 진행하였다.

3. 텍스타일 센서의 길이가 센서 감도에 미치는 영향

거북목의 각도별로 움직임이 다르기에 스트레치 센서 길이를 흉추 분절 구간에 따라 동일한 방법으로 직물 30mm, 50mm, 100mm 센서를 제작하였다.

첫 번째 센서는 30mm 길이로 흉추1~2(T1~2) 사이의 구간을 측정하였으나, 해당 구간에서는 센서 길이가 늘어나는 정도가 작았다. 이는 경추와 흉추가 움직일 때 센서가 반응하여 늘어나야 하는데 너무 짧은 구간이라 늘어나는 센서 값이 구간마다 거의 다르지 않았지만 안정성이 떨어져 센서 오차가 컸다. 두 번째 센서는 50mm 길이로 흉추1(T1)~흉추2(T2)까지의 구간을 측정할 수 있게 설계하였지만, 처음 각도인 0° ~15° 와 마지막 각도인 45° ~60° 에서 제대로 늘어나지 않았으며, 아두이노 구간의 데이터 오류가 생겼으며, 센서 오차가 컸다.

본 연구에서는 100mm 흉추1(T1)~흉추5(T5)은 흉추의 작은 움직임에도 늘어나고, 첫 번째 센서 30mm는 아두이노 최소값 789 최대값 817 이었으며, 두 번째 센서 50mm에서는 최소값 792 최대값 834로 편차가 심해 계측할 때 정확성이 떨어졌다. 반면에 100mm는 최소값 846 최대값 851로 편차가 작았으며 움직임에 따라 데이터 값이 잘 변화되어 앞서 30mm, 50mm 센서의 문제들을 보완할 수 있었다. 100mm 센서는 흉추 움직임을 잘 반영한 길이여서, 경추의 각도별 움직임을 가졌을 때 흉추 1~5번까지 잘 늘어났으며, 아두이노 데이터값도 잘 늘어났다(Figure 13).

실험 후 센서는 100mm의 스트레치 센서를 선정했다. 세가지의 길이 데이터는 앞서 Table. 1에 비교 하였다. 따라서 결론적으로 센서의 최종 길이는 100mm로 선정하였다.

4. 100mm센서 데이터 실험 결과

본 연구에서는 단계별로는 30초 동안 약 900개의 데이터가 측정되었으며, 샘플링 주파수는 30Hz로 설정하였다. 거북목 각도별로 스트레치 센서를 부착한 3가지 타입의 의류를 입고, 단계별로 경추 각도를 0° 에서 60° 까지 5단계로 분류하여 데이터를 측정된 값을 한 그래프로 표기하였다. 그래프로 볼 수 있듯이 0° ~15° 까지는 변화량이 많지 않았으며, 15° ~45° 구간 즉, 30° 전후로 큰 폭으로 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 30° 전후에서 가장 많은 변화가 나타났다는 결론을 얻었다(Figure 14).

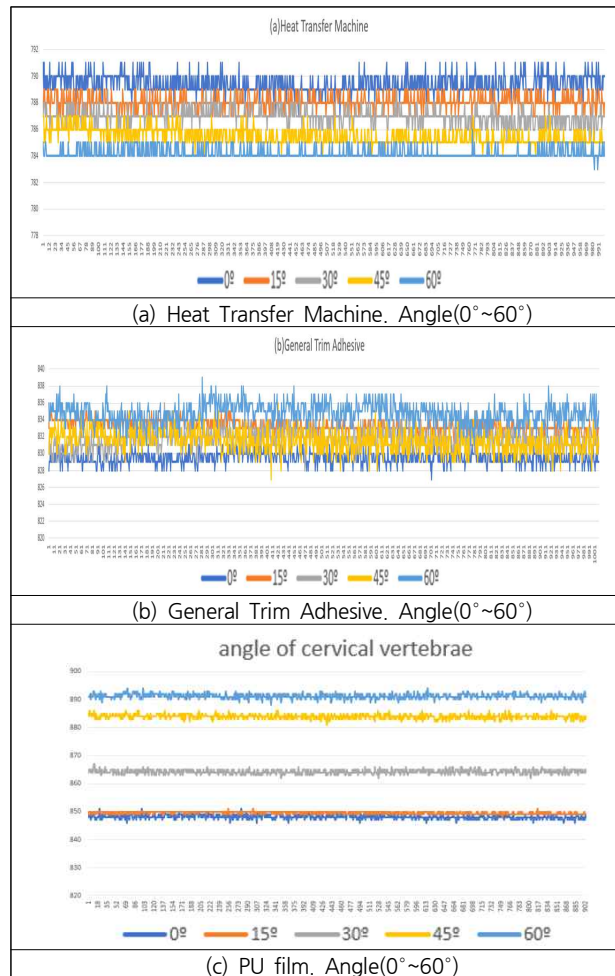


Figure 12. Cervical Angle Comprehensive Graph (a)Heat Transfer Machine (b) General Trim Adhesive (c) PU Film (taken by authors)

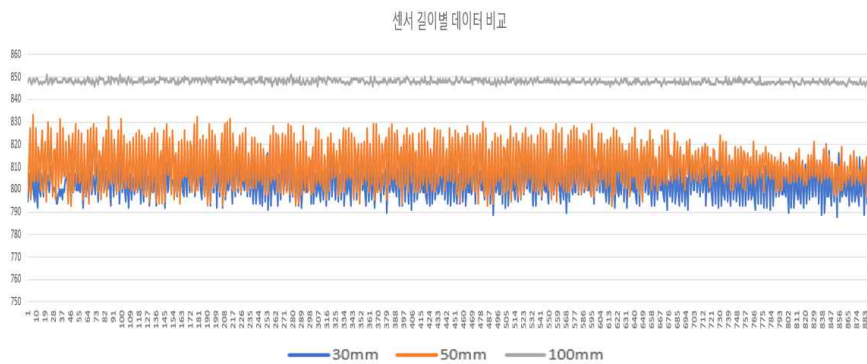
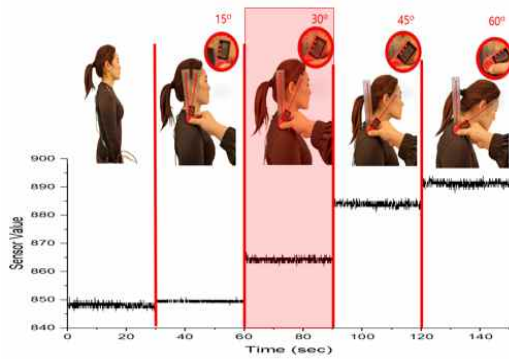


Figure 13. 30mm, 50mm, 100mm Graph of Sensor Value by Length (taken by authors)



	Minimum value	Maximum value	Sensor Initial Value Mean	standard deviation
0°	846	851	848.172	0.804
15°	848	851	849.574	0.503
30°	862	867	864.255	0.773
45°	881	886	883.924	0.801
60°	888	894	891.244	0.847

Figure 14.
 (a)Angle of Cervical Vertebrae (b)Sensor Value Minimum Value, Maximum Value (taken by authors)

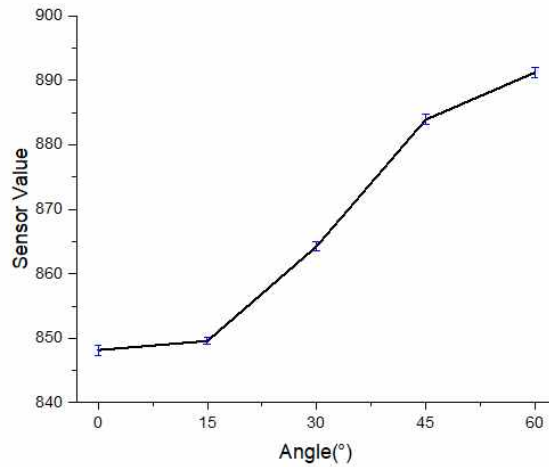


Figure 15. Sensor Values and Standard Deviation by Angle (taken by authors)

0° 에서 최소값(Minimum value)은 846 최대값(Maximum value)은 851, 15° 에서부터 각각 848, 851, 30° 에서는 862, 867, 45° 에서는 881, 886, 60° 는 888, 894의 값을 측정하였다.

5개 각각 데이터의 평균(Sensor initial value mean) 및 표준편차(Standard deviation)는 0° ~60° 까지 각 0.804, 0.503, 0.773, 0.801, 0.847이 산출됐다.

센서는 전방 머리 자세에서 경추의 각도가 커짐에 따라 평균값이 같이 커졌으며, 30초 자세를 유지하는 동안의 센

서값은 변경이 아주 적었다. 그로 인해 표준편차는 적었음을 확인할 수 있었다(Figure 15).

표준편차는 데이터의 변동성을 나타내는 지표로, 값이 작을수록 데이터가 그래프상에서 밀집되어 있음을 의미한다. 분석 결과, 표준편차 그래프를 확인해 보면 전체 그래프에서 30° 전후에서 변화량이 큰 것을 Figure 15 그래프에서 확인할 수 있었다. 이는 경추 각도가 30° 전후에서 흉추에도 큰 변화를 일으키는 것을 알 수 있었다.

V. 결론

본 연구는 거북목 예방을 위해 경추와 흉추 간의 관계를 이용한 새로운 실험 방법을 제안하고 있다. 기존의 연구들은 거북목의 각도별 진행 상태를 파악하는 것이 아니고 자이로 센서나 각도센서를 주로 경추의 기울기만을 활용하였다. 본 연구에서는 스트레치 센서값을 활용하여 거북목의 진행 상태를 각도별로 파악하는 방법을 도입하였다. 이는 신뢰도가 높은 텍스타일 센서를 개발하여 의류에 부착하는 것으로 스트레치 센서값을 활용하여 거북목의 진행 상태를 각도별로 정량화하였다.

일상 생활에서 많은 사람들이 머리와 목을 앞으로 내밀고, 어깨를 앞으로 마는 둥근 어깨 자세로 오랜 시간을 유지하는 경향이 있다. 이에 따라 자연스럽게 않은 자세가 유지되며, 경추와 흉추의 정렬이 깨지고 거북목이 형성된다. 앞으로 내밀린 머리와 목의 자세는 목 근육과 관절에 부담을 주고, 오랜 시간 동안 이러한 자세를 유지하다 보면, 경추와 흉추의 근육과 관절이 압력과 긴장을 겪게 되어 통증과 통증 감도 증가를 초래할 수 있다. 거북목은 경추와 흉추의 정렬이 변형되는 상태이다. 머리와 목의 앞으로 내밀린 자세로 인해 경추가 앞으로 이동하면서 흉추도 함께 변형된다. 이는 척추의 안정성을 해치고, 정상적인 움직임에 제약을 줄 수 있으며 거북목은 신체 기능에도 영향을 미칠 수 있다. 정상적인 경추와 흉추의 정렬은 신경 전달과 혈액 순환에 이상을 초래하지 않는다. 그러나 거북목으로 인해 정렬이 깨지면 신경과 혈액의 원활한 흐름이 방해되어 두통, 어지러움, 어깨와 팔의 통증, 피로 등의 증상이 나타날 수 있다.

본 연구는 상부 교차 증후군(Upper-Crossed Syndrome)을 기반으로 거북목 예방을 위해 경추와 흉추 간의 관계를 이해하기 위한 실험을 수행하였다. 연구를 위해 세 가지 길이의 스트레치 센서를 개발하여 의류에 부착하고, 늘어나는 길이가 가장 신뢰도가 높은 100mm 스트레치 센서를 3개 제작하여 의류에 3가지 방법으로 부착하였으며, 그중 접착 필름(PU film)으로 평가 실험하였다. 의류에 부착된 스트레치 센서를 이용하여 흉추 1~5번의 움직임을 관찰하였다. 실험은 미국 뉴욕 척추 수술 및 재활의학 센터의 케네스 한스라즈 연구팀이 제안한 방법에 따라, 0° 부터 60° 까지 15° 간격으로 진행되었고, 각도별로 30초 동안 측정되었다.

실험 결과로 경추의 변화가 척추의 정렬을 무너뜨려 거북목으로 변화할 때, 30° 전후의 각도에서 흉추의 움직임이 크게 변형되는 것을 확인했다. 이러한 자세가 계속되면 목과

어깨 근육이 긴장하고 피로를 느끼며, 머리, 목, 어깨 주변에 뼈근함과 방사통, 두통 등이 발생할 수 있으며, 어깨와 목의 움직임이 제한될 수 있다. 이러한 관찰 결과는 거북목 발생 위험을 예측하고 예방하기 위한 중요한 지표로 활용될 수 있다. 따라서, 이후에는 30° 전후의 각도에 도달하면 예방 조치를 취할 수 있는 알람을 제공하고, 간단한 스트레칭이나 몸을 움직이는 짧은 휴식을 통해 목을 정상 정렬로 되돌리고 어깨를 뒤로 넣는 방법을 안내할 수 있다. 이러한 예방 조치들은 거북목 예방에 효과적인 것으로 사료된다.

이번 연구는 착용자 스스로 각도별 변화를 확인함으로써 거북목 증상을 예방하기 위한 계기를 마련하는데 그 의의를 두고 있다. 연구 대상은 표준 신체 사이즈와 근골격 질환이 없는 사람들로 한정되었으나, 근골격 질환이 있는 사람들에 대한 연구도 필요하며, 그 부분에 제한이 있다. 더 많은 참여자를 포함한 확대된 연구가 필요하다고 여겨진다. 다른 의학 연구들은 거북목 환자들이 둥근 어깨나 흉추의 만곡을 유지하는데 더 집중하여 치료하고 있다고 한다. 따라서 둥근 어깨와 거북목 사이의 관계에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이에 따라 향후 연구에서는 다양한 상황을 고려하여 거북목의 특성을 분석하고, VDT 증후군 예방에 적용할 수 있는 연구를 계획하고자 한다.

References

- Chun, S., Kim, S., & Kim, J.. (2021) Development of wrist tunnel syndrome prevention smart gloves using cnt-based tensile fabric sensor: Focusing on mouse use. *Science of Emotion & Sensibility*, 24(4), 117-128. doi:10.14695/KJSOS.2021.24.4.117
- Hansraj, K. K. (2014). Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head. *Surg Technol Int*, 25(25), 277-279.
- Health Insurance Review & Assessment Service [HIRAS]. (2021). *Health insurance treatment data*, Korea: Author. Retrieved 2023, May .02 from <https://www.hira.or.kr/bbsDummy.do?pgmid=HIRAA020045020000&brdScnBltno=4&brdBltno=2314&pageIndex=1&pageIndex2=1#none>.
- Izraelski, J. (2012). Assessment and treatment of muscle imbalance: The janda approach. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 56(2), 158.
- Janet G. D. (2013) *Travell, simons & simons' myofascial*

- pain and dysfunction: The trigger point manual (hardcover, 3)*. USA: wolters kluwer.
- Jang, J. C., Park, J. H., & Kim, J. Y. (2021). Development of stretch sensors to measure thigh motor capacity. *Journal of Fashion Business*, 25(5), 99. doi:10.12940/jfb.2021.25.5.99
- Javazi, F., Sedaghati, P., & Daneshmandi, H. (2019). The effect of selected corrective exercises with physioball on the posture of female computer users with upper crossed syndrome. *Journal of Sport Biomechanics*, 5(2), 112–123. doi:10.32598/biomechanics.5.2.5
- Jeong, O. H., Lee, S. H., & Lee, K. I.(2022) The Relationship between health, athletic fitness and functional movement for the physical health of adults. *The Journal of Humanities and Social science*, 13(5), 3849–3862.
- Jeong, S. H., L, Q. N., Jang, S. J., Jang, I. Y., & KIM, Y. J. (2022) Skin attachable capacitive flexible sensor for preventing text neck. *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2,816 – 2,818.
- Kang, J. D. (2003) The relationship analysis in VDT of work hours. *The Journal of Korean Academy of Orthopedic Manual Physical Therapy*, 9(1), 19–28.
- Kang, T. W., & Kim, B. R. (2019). The effects of stretching and strengthening exercise on the pain, pelvic tilt, functional disability index, and balance ability of patients with chronic lower back pain. *The Journal of Korean Physical Therapy*, 31(1), 7–12. doi:10.18857/jkpt.2019.31.1.7
- Kim, D., Lee, K., Kim, H., Lee, H., Kim, H., Jung, H., Shin, S., Jang, S., & Cho, Y. (2007). Application and effect of yoga program for the military neck. *Journal of Korea Sport Research*, 18(5), 591–600.
- Kim, J. E., & Kim, Y. P. (2015). The effect of stretching program based on janda approach on range of motion, muscle strength and pain changes. *Science of Emotion & Sensibility*, 108–108.
- Kim, S. W., Seok, J. H., Cho, S. W., Han, S. H., & Lee, S. H. (2015) A turtle neck syndrome prevention pervice using light sensors of smart phone. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 37 – 38.
- Ko, S. I., Ban, S. R., Lee, H. R., Bae, J. H., & Chang, M. (2016) Designing the eye health care platform for long time pc users. *Journal of the HCI Society of Korea*, 509 – 516.
- Kwak, J. H. (2021). *Analysing effect of treatment by pva to stretch sensor based on e-textile made by cnt* (Unpublished master's thesis). Soongsil University, seoul, korea.
- Lee, H. J., & Chung, D. H.(2019) Influence of virtual reality image depth on user's perceived characteristics, presence, and fatigue. *Korean Association for Broadcasting & Telecommunication Studies*, 33(2), 184 – 216.
- Lee, K. S., & Jung, H. Y. (2009). Analysis of the change of the forward head posture according to computer using time. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*, 4(2), 117–124.
- Mahmood, T., Afzal, W., Ahmad, U., Arif, M. A., & Ahmad, A. (2021). Comparative effectiveness of routine physical therapy with and without instrument assisted soft tissue mobilization in patients with neck pain due to upper crossed syndrome. *J Pak Med Assoc*, 71(10), 2304–2308. doi: 10.47391/JPMA.03–415
- Missaghi, B. (2004). Sternocleidomastoid syndrome: A case study. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 48(3), 201.
- Parihar, J., Jain, V. K., Chaturvedi, P., Kaushik, J., Jain, G., & Parihar, A. K. (2016). Computer and visual display terminals (VDT) vision syndrome (CVDTS). *Medical Journal Armed Forces India*, 72(3), 270–276. doi: 10.1016/j.mjafi.2016.03.016
- Park, C. S., Joo, C. H., Jeon, K. H., Koo, J. W., & Lee, S. M. (2021) Development of a posture correction application with gyro sensor to prevent turtle neck. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 26 – 26.
- Park, S.-H., & Lee, M.-M. (2022). Effect of lower trapezius strengthening exercise program on unstable support surface for neck pain patients with forward head posture: A randomized controlled trial. *Physical Rherapy Rehabilitation Science*, 11(2), 189–197. dor: 10.14474/ptrs.2022.11.2.189

Phil P, Clare C. F, & Robert L(2010) *Assessment and treatment of muscle imbalance*. USA, Human Kinetics.

Roh, J. S. (2016). Wearable textile strain sensors. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(6), 733-745. doi:10.5805/SFTI.2016.18.6.733

Seoul City Hall[SCH]. (2021) *Seoul statistics national leisure activity survey, Korea: Author*. Retrieved May 02, 2023, from <https://opengov.seoul.go.kr/analysis/25282386>.

Sim, M. J., & Lee, Y. S. (2008). A study on the vdt syndrome and relating work factors of office workers. *Korean Journal of Health Education and Promotion*, 95 - 109.

Travell, J. G., & Simons, D. G. (1999). *Myofascial pain and dysfunction* (Vol. 1). USA, williams and wilkins baltimore.

Received (August 29, 2023)

Revised (September 8, 2023; September 14, 2023)

Accepted (September 18, 2023)