

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2018.4.1.331

JCCT 2018-2-41

전산해석과 3D 프린팅을 이용한 자동높이조절 베개의 설계

Design of an Automatic Height Adjustable Pillow using 3D Printing and CAE

박근영, 이형욱*

Geun Young Park, Hyoungwook Lee*

요약 본 연구에서는 수면 자세에 따라 옆으로 누웠을 때와 뒤로 누웠을 때 베개 높이를 자동적으로 조절할 수 있는 베개를 전산해석과 3D 프린팅을 통하여 제작하였다. 누웠을 때의 자세 차이에 대한 머리 무게를 측정된 결과 무게 차이는 약 1.2 kg 정도였으며, 이 때 베개 높이 차이를 약 1.0 cm ~ 1.5 cm 나도록 설계하였다. 복잡한 기계적인 기구 구동 대신에 TPU 재질의 아치 형 구조물을 기본으로 하였다. 전산해석을 통하여 직렬조합을 통한 최적모델을 설정하였고 실험과 비교하여 유사한 결과를 얻었다. 최종 제작된 제품은 옆으로 누웠을 때와 뒤로 누웠을 때의 높이 차이가 약 2 cm로 나타났으며 사용감은 좋은 것으로 평가되었다.

주요어 : 높이조절베개, 3D 프린팅, TPU, 전산원용설계(CAE)

Abstract A pillow was fabricated through CAE(Computer Aided Engineering) and 3D printing, which can adjust automatically the height of the pillow when lying sideways and backwards according to the sleeping posture. The target height difference of the pillow was about 1.0 cm ~ 1.5 cm when the head weight difference was about 1.2 kg. Instead of using a complex mechanical device, it was based on an arch structure made of TPU. From the simulation, the optimum model was designed through series combination and the results were compared with the experimental ones. The final product had a height difference of about 2 cm according to the lying posture.

Key words :Height Adjustable Pillow, 3D Printing, Thermoplastic Polyurethane, Computer Aided Engineering

1. 서 론

베개는 인간이 수면하는 동안 머리를 받쳐주고 있기 때문에 지나치게 높은 높이나 낮은 높이는 목과 허리에 부담을 준다. 베개의 높이는 일반적으로 6~8 cm가 적당한 것으로 알려져 있다. 즉 잠을 잘 때 베개의 높이는 몸

의 피로감에 많은 영향을 줄 수 있으며, 옆으로 누웠을 때와 뒤로 누웠을 경우 올바른 베개의 높이가 다르다.

베개 높이에 관한 인간공학적 연구[1]에 따르면 인간의 안식에 영향을 주는 인자로는 베개의 높이, 크기, 속 재료의 탄성 등 여러 가지가 있지만 특히 베개의 높이가 큰 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며, 적절한 높이는

준회원, 한국교통대학교 에너지시스템공학과 (제1저자)
*정회원, 한국교통대학교 자동차공학과 (교신저자)
접수일: 2017년 12월 10일, 수정완료일: 2018년 1월 17일
게재확정일: 2018년 2월 8일

Received: December 10, 2017 / Revised: January 17, 2018
Accepted: February 8, 2018
*Corresponding Author: hwlee@ut.ac.kr
Dept. of Automotive Engineering, Korea National University
of Transportation, Korea

남자의 경우 바로 누운 자세에서는 7.9 cm ± 1.1 cm, 옆으로 누운 자세에서는 9.4 cm ± 1.1 cm, 여자의 경우는 바로 누운 자세에서는 6.3 cm ± 1.0 cm, 옆으로 누운 자세에서는 7.3 cm ± 1.1 cm로 바로 누웠을 때와 옆으로 누웠을 때의 차이가 1.0 cm ~ 1.5 cm 차이가 난다.

베개의 특성 및 개인에 따른 체압분포 측정 방법으로 베개를 평가할 수 있는 방법에 대한 연구[2]를 통하여 객관적이고 정량적인 방법으로 베개를 평가할 수 있는 방법을 제시한 연구와 시뮬레이션을 통하여 천연고무 재질의 에어 셀 형상 변화에 따라 목을 감싸주는 형태의 변화를 찾는 연구[3]도 수행되었다.

본 연구에서는 바로 누웠을 때와 옆으로 누웠을 때의 높이차를 누운 상태에서의 머리의 무게를 통하여 자동으로 조절할 수 있는 베개를 설계, 개발하기 위하여 최근 많이 사용되고 있는 3D 프린터와 구조설계 시뮬레이션을 적용하였다.

II. 연구내용

1. 자동높이조절 베개 특허 연구

자동높이조절 베개의 개발은 많은 사람들이 관심을 갖는 것으로 다양한 특허가 등록되어있다. 대표적으로 기계적 기구를 많이 이용하고 있는데, 특허 등록번호 2003840010000와 2001447600000와 출원번호 2019880003583에서는 X자형 슬라이딩 구조를 이용하여 무게에 따라 높이가 조절되는 형태를 제시하고 있으며, 공개번호 2019850008392에서는 비틀림 스프링을 이용하는 방법을 제시하였다. 그림 1에 요약도를 도시하였다.

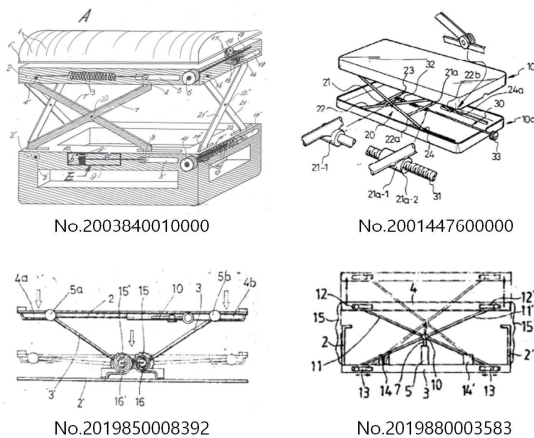


그림 1. 기계적 기구를 이용한 높이 조절베개 특허도
Figure 1. Patent summary of height adjustable pillows using mechanical devices

기계적 기구를 이용한 설계는 제작비용뿐만 아니라 복잡한 구조로 인하여 베개의 무게가 무거워 질 수 있으며 기구적인 운동에 의한 소음, 진동이 일어날 수 있기 때문에 수면 시에 사용하는 베개로는 적합하지 않을 수 있다고 판단하여 복잡한 형상을 쉽게 제작할 수 있는 3D 프린터를 이용하도록 하였다.

2. 베개 사용 시 머리의 무게 측정

본 연구에서는 바로(뒤) 누웠을 때와 옆으로 누웠을 때 베개의 높이 차이를 머리의 무게를 이용하여 자동으로 조절하는 것이 목표이기 때문에 성인 남성을 대상으로 누웠을 때의 머리 무게를 측정하였다.

머리 무게의 측정은 아두이노의 무게 측정 센서를 이용하여 베개 형태의 높이에 맞는 기구를 설계하고 실험을 통하여 옆으로 누웠을 때와 바로 누웠을 때의 무게변화를 측정하였다. 제작된 실험 기구와 실험 장면을 그림 2에 도시하였다. 총 8명에 대하여 실험을 수행하였다. 표 1에 정리된 결과를 보면 옆으로 누웠을 때 평균 3.7 kg, 바로 누웠을 때 4.9 kg으로 약 1.2 kg의 차이를 보이고 있다. 앞선 높이의 변화가 약 1 ~ 1.5cm 이기 때문에 1.2 kg의 무게 변화에 대하여 높이 변화 목표를 2 cm로 설정하였다.

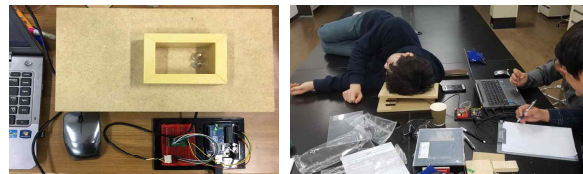


그림 2. 아두이노를 이용한 머리 무게 측정 장치 및 실험
Figure 2. Experiment and measurement system for head weight using Arduino

표 1. 누웠을 때 8명의 머리무게 측정결과

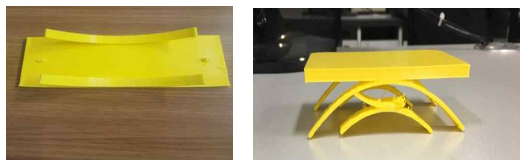
Table 1. Measurement results of the head weight for 8 persons

	1	2	3	4	5	6	7	8
Side Lying (kg)	3.9	3.9	3.3	3.6	3.8	3.7	3.8	3.6
Back Lying (kg)	5.7	5.1	4.3	4.6	4.7	4.7	5.4	4.5
Difference Back-Side	1.8	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0	1.6	0.9

3. 3D 프린팅을 이용한 기본 구조 제작

3D 프린팅에 사용할 수 있는 플라스틱 계열의 재료는 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer), PLA (PolyLactic Acid)와 유연성이 있는 TPU (Thermoplastic Polyurethane)이 있다. 주요 특징으로는 ABS 재질은 컬러가 다양하며 점착성이 우수하고 녹는점이 균일하여 기포발생이 적지만 출력물의 크기와 모형에 따라 균열이나 휨 현상이 생길 수 있다. PLA는 옥수수수와 사탕수수로 만들어진 친환경 수지로 ABS와 달리 소재를 녹여도 냄새가 나지 않고 유해 요소가 거의 없다. 또한 균열 및 수축현상이 적다고 기포 발생도 적다. TPU는 고무성분이 있어서 탄성과 유연성이 뛰어나지만 출력물을 지지하는 서포터를 제거하기 어렵고 빠른 속도로 출력하기 어렵다.

초기 ABS 재질을 이용하여 아치형 다리를 가진 기초구조물을 제작하였다. 무게에 따라 높이가 달라지려면 아치형 다리를 갖는 것이 유리하기 때문에 아치형 다리를 갖는 모델을 기본으로 설계하였다. 아치형 다리가 모델 1은 1개의 아치, 모델 2는 2개의 아치를 갖도록 설계하였다. 제작된 결과를 그림 3에 도시하였다.



Model 1 Model 2
 그림 3 ABS로 제작한 지지다리에 따른 기초구조물
 Figure 3. Basic structures according to the number of the arch bridges using the ABS material

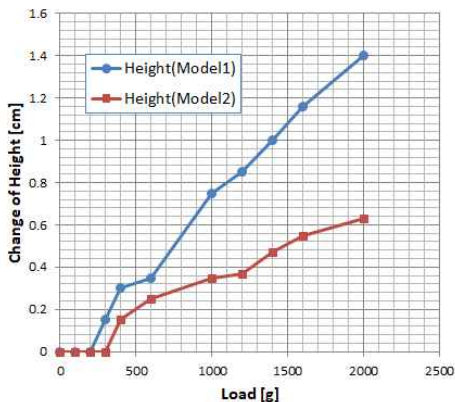
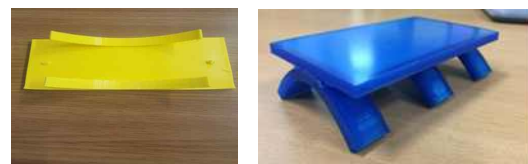


그림 4. 모델별 하중에 따른 높이차 선도
 Figure 4. Variations of the change of height with respect to the load according to the models

무게에 따른 높이변화를 측정된 결과 2단 구조가 1단 구조에 비하여 변형량이 적게 발생된다. 본 연구에서는 무게 1 kg에서 높이차이가 2 cm 발생해야 하므로 보다 유연한 구조인 1개의 다리를 갖는 구조를 선택하였다.

하중에 따른 높이를 측정하고 탄성정도를 시험해 본 결과 ABS 재질은 균열과 휨 현상이 심하여 베개 내부구조로는 적합하지 않다고 판단하여 탄성이 높은 TPU 재료를 이용하여 기초 구조를 다시 만들고 그 결과를 비교하여 그림 5에 도시하였다.



ABS TPU
 그림 5 ABS와 PLA로 제작한 베개 기초구조물
 Figure 5. Basic structures of pillow using ABS and TPU

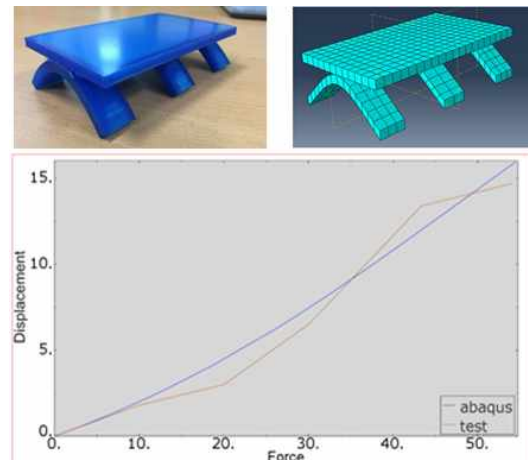


그림 6. 제작된 모델 3 및 유한요소 모델링 결과와 하중 - 높이의 실험 및 해석결과의 비교 (단위: N, mm)
 Figure 6. 3D Printed of model 3, finite element models and comparisons of load - height curve between simulated and experimental results (Unit: N, mm)

4. 유한요소 전산해석을 이용한 기본 구조 검증

3D 프린팅을 이용하여 계속 시제품을 만드는 것은 재료의 낭비와 출력 시간에 따른 시간적 소모가 크기 때문에 TPU로 제작한 기본 모델에 대하여 하중에 따른 실험과 해석을 비교한 후, 해석적인 방법으로 최종 제품을 설계하도록 하였다. TPU 모델에서 가로로 3개

의 아치 구조를 갖는 모델(Model 3)과 가로 2개, 세로 1개의 아치구조를 갖는 모델(Model 4)을 설정하여 제작하였다. 다리의 두께에 따라서 해석결과와 비교해 보기 위하여 제작 시 두께는 모델 3은 5mm, 모델 4는 2 mm로 설정하여 제작하였다.

유한요소해석은 동일한 형상의 모델에 대하여 정적 비선형 구조해석을 수행하였다. 해석 프로그램은 상용 유한요소프로그램인 ABAQUS/Standard를 이용하였고, 탄성계수는 4.3 GPa, 포와송비는 0.3을 사용하였다. 모델 3에 대한 결과를 그림 6에 도시하였다. 모델 4에 대한 결과를 그림 7에 도시하였다.

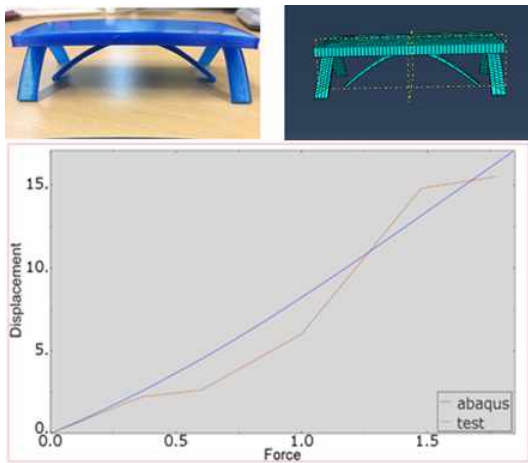


그림 7. 제작된 모델 4 및 유한요소 모델링 결과와 하중 - 높이의 실험 및 해석결과 비교 (단위: N, mm)
Figure 7. 3D Printed of model 4, finite element models and comparisons of load - height curve between simulated and experimental results (Unit: N, mm)

그림 6과 그림 7의 하중 - 높이 선도를 보면 매끄러운 선으로 도시된 것이 해석결과이며, 전반적으로 해석결과와 실험결과가 잘 맞고 있는 것을 알 수 있다. 서로 다른 두께를 가지고 있음에도 해석과 실험은 서로 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. 그래프의 형태를 보면 선형 직선이 아니라 약간 2차식의 형태를 보이고 있어 낮은 하중에서는 높이 변화가 크지 않지만 높은 하중에서는 높이 변화가 더 큼을 알 수 있다. 위 그래프 및 값의 결과로 볼 때 약 2mm의 오차 범위가 나타나며 실험에서의 다양한 변수로 인하여 이러한 오차가 발생하였다. 모델 4의 경우, 하중 1.476 N (147.6 g)에서 변위가 14.8 mm가 발생하였다.

상기의 과정을 통하여 정립된 본 해석방법을 통하여 베개 구조의 설계변수에 대하여 전산원용설계 하였다. 본 구조를 기본 구조로 병렬 및 직렬로 연결하여 하중에 대한 높이를 맞추도록 설계방향을 설정하였다. 기본 구조를 적층하기에는 모델 4 보다는 모델 3이 유리하기 때문에 모델 3에 대하여 치수, 다리 개수 등 설계 변수에 대한 검증은 수행하였다.

III. 최적설계 및 시제품 제작

모델 3의 경우 초기 높이 27 mm이며, 이때 1 kg의 하중에서 높이 변화가 1.8 mm 나기 때문에 최종 높이 변화 목표인 20 mm와는 차이가 많이 나고 있다. 또한 머리로 누르는 기본적인 무게가 최대 약 6 kg정도 되고, 베개의 초기 높이가 약 10 cm가 되어야 한다. 따라서 현재의 기본 모델의 두께를 얇게 하고, 병렬과 직렬 결합을 통하여 총 높이와 하중 부과 상태에서 높이 변화를 맞추어야 하는 최적설계 과정을 거쳐야 한다.

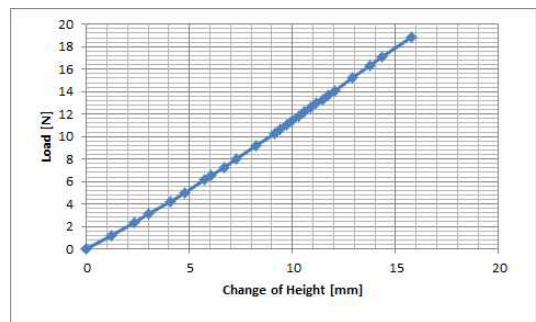
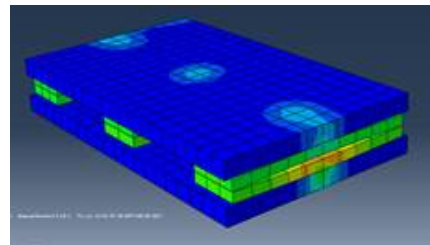


그림 8. 직렬모델의 해석결과 및 하중-변위 선도
Figure 8. Simulation results of the serial combination model and load - height curve

다리의 두께 3 mm에서 두 개의 아치를 결합한 3개의 직렬 모델을 구성하고 유한요소해석을 수행하였다. 두 개의 아치에 대한 직렬 모델의 해석결과와 하중 변위 선도를 그림 8에 도시하였다. 이 결과를 보면 약 19 mm의 높이 변화를 위해서 1.58 kg의 하중이 필요하며, 전체 6 kg 정도의 하중을 견디기 위해서는 4개의

병렬 모델이 결합되어야 하는 것을 알 수 있다. 스프링의 결합을 고려하면 6 kg에서 약 60 mm의 높이 변화가 생겨야 1 kg의 하중에서 약 10 mm의 높이 변화를 예측할 수 있기 때문에 두 개의 아치가 결합된 모델이 직렬로 3개가 결합되어야 하는 것을 알 수 있다.

최종적인 모델은 두 개의 아치가 3개로 직렬 연결된 구조를 4개 제작하고 4개의 구조를 2×2로 배치하는 형태로 계획하였고, 일단 두 개의 아치가 3개 직렬 연결된 모델을 제작하고 하중에 대한 높이의 변화를 측정하였다. 그림 9에 제작된 모델과 그림 8의 기본 모델을 스프링 연결을 기준으로 변위를 3배한 그래프를 같이 도시하였다. 실험 결과와 해석결과가 유사하게 예측됨을 알 수 있다.

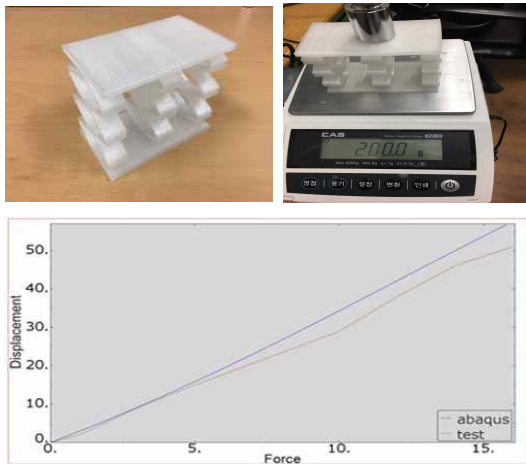


그림 9. 최적설계 된 모델의 제작품 및 하중-변위 선도
 Figure 9. 3D printed product of the optimized model and measurement of the load - height changes

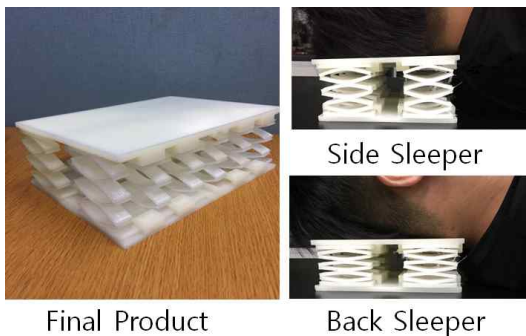


그림 10. 최종 결합된 베개 및 실험 장면
 Figure 10. Final height adjustable pillow and experimental photos

최종적으로 최적설계 된 모델을 2×2로 배치하고 결합된 베개를 제작하였다. 실제로 옆으로 누웠을 경우

와 바로 누웠을 경우 약 2 cm 정도의 높이 차이가 발생하였으며 사용감은 좋은 것으로 평가되었다. 최종 제작된 제품과 실험 사진은 그림 10에 도시하였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 수면 자세에 따라 옆으로 누웠을 때와 뒤로 누웠을 때 베개 높이를 자동적으로 조절할 수 있는 베개를 설계를 통하여 제작하였다. 성인 남성 8명에 대하여 누웠을 때의 자세 차이에 대한 머리 무게를 측정된 결과 무게 차이는 약 1.2 kg 정도였으며, 이때 베개 높이 차이를 약 1.0 cm ~ 1.5 cm가 되도록 설계하였다.

복잡한 기계적인 기구 구동 대신에 아치 형 구조물의 처짐을 기본으로 3D 프린팅을 이용하여 기초 설계를 수행하였다. 아치구조의 다리가 3개인 모델을 기준으로 전산유한요소 해석을 통하여 실험과정과 함께 해석방법을 정립하였다. 전산해석을 통하여 직렬조합을 통한 최적모델을 설정하였고 실험과 비교하여 유사한 결과를 얻었다. 직렬연결과 병렬연결의 조합을 이용하여 최종 제품을 제작하였다. 최종 제작된 제품은 옆으로 누웠을 때와 뒤로 누웠을 때의 높이 차이가 약 2 cm로 나타났으며 사용감은 좋은 것으로 평가되었다.

References

- [1] Y. J. Nam and Y. S. Lee, "The Ergonomic Study on the Height of the Pillow," J. the Human Engineering, Vol. 8, No. 1, pp.3-17, Jun. 1989.
- [2] H. J. Lee, S. J. Park and G. S. Park, "Development of Quantitative Evaluation of Pillow," Proceedings of the Human Engineering Conference, pp.1-5, Oct. 2000.
- [3] H. J. Lim and J. H. Hong, "A Study of the effect of air-cell shape for biomechanics pillow design," Proceedings of KSPE 2012 Spring Conference, pp.779-780, 2012.

※ 이 논문은 2017년 한국교통대학교 융합교육창업학부 첨단융합부품소재전공의 캡스톤 디자인 교과목의 결과이며, 실험과정에 참여한 김덕원, 정동균 학생에게 감사드립니다.