

무선청소기 무게중심 위치에 따른 관절 부담 연구

201627509 김종음 · 201627529 이건희 · 201727506 김동우 · 201927507 김예서
지도교수 진상은

Abstract Despite the size of wireless vacuum cleaner market has grown recently, there's not much ergonomic research on design of its products, especially their center of weight. We conducted two experiments to find how joints of waists and elbows rotate differently under various conditions such as center of weight of products and usage environment. We used MTw Awinda to measure the joint rotation of subjects and ran two-way ANOVA to see how two independent variables affect it. As a result, we couldn't find any statistical evidence, which proved that the center of gravity of wireless vacuum cleaners affects the joint rotation.

Keywords: Vacuum cleaner, Center of gravity, Wrist, Elbow, Joint Rotation

1. 프로젝트 개요

1.1 프로젝트 수행 배경 및 필요성

본 연구는 무선청소기 무게중심 위치에 따른 관절 부담 연구이다. 가전제품 중 높은 보급률을 보이며 [1], 장시간 사용하는 청소기의 경우 다이슨의 지능적인 흡입력 조절 기능, 사용시간 알림 등과 같이 기능적인 면에서는 지속적으로 발전하고 있지만 사용 시 신체에 부담이 가는 경우는 여전히 발생[3]하고 있다. 그 중 최근 들어 청소기 유형 중 많은 비율을 차지하고 있는 무선청소기의 경우 유선청소기보다 비교적 무거운 무게로 인해 장시간 사용시 근골격계 측면에서 무리가 가는 경우가 더 빈번하게 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 시장 조사를 통해 청소기 유형을 분류[3]해 본 결과, 무선 청소기를 근골격계 측면에서 상중심, 하중심 총 2가지로 분류가 가능하였고, 다이슨의 싸이클론, 삼성의BESPOKE 제트, LG의 코드제로 등과 같이 다수의 모델은 상중심으로 설계된 것을 확인할 수 있었다. 또한 무선 청소기 무게 중심 관련 선행 연구에 대해 조사해 본 결과 대부분의 청소기 관련 연구는 사용자의 자세, 손잡이 유형, 유선청소기, 청소기 사용 환경과 관련한 신체 부하도 연구이거나 디자인에 초점을 맞춘 연구가 주로 이루어졌으므로, 본 연구에서는 무게 중심 위치와 청소 상황을 연관시켜 주제를 차별화하고, 무게중심 위치와 관련하여 유의미한 개선방안을 제시하고자 한다.

1.2 프로젝트 수행 목표 및 범위

본 연구의 목표는 청소 상황과 무게중심 위치(상중심, 하중심)를 고려하여 각각의 상황에 따라 관절에 무리가 덜 가는 무게 중심 유형을 도출하는 것이다. 이 때 청소 상황의 경우 사람들이 청소기를 사용하는 목적을 파악하여 가장 빈번하게 나타나는 청소 상황 4가지로 설정하였다. 먼저 일반적으로 청소기를 사용하는 상황. 즉 높이나 방향의 제한없이 단순히 청소기를 밀며 사용하는 상황, 청소기를 옆으로 들어서 청소하는 상황, 침대 밑의 높이와 같이 비교적 낮은 높이를 청소하는 상황, 의자 밑과 같이 비교적 높은 위치를 청소하는 상황이다. 이 때 책상 위와 같이 신체보다 위에 있는 높이를 청소하는 경우는 청소기를 분리하여 재조립 후 사용하는 경우가 많기 때문에 무게 중심의 위치와는 관련이 없으므로 위와 같이 총 4가지 유형으로 진행하였다. 따라서 이러한 4가지 상황에서 무게중심이 어디에 위치해있을 때 신체에 부하가 덜가는지를 목표로 연구를 진행을 한 결과는 다음과 같다.

2. 이론 및 기술 현황

2.1 프로젝트 관련 이론 및 기술

청소기 사용시 관절에 어떻게 무리가 가는지 알아보기 위하여 근골격계질환이 무엇인지와 어떠한 원인으로 일어나는지, 그리고 어떠한 요인이 손목과 팔꿈치의 불편도에 영향을 미치는지에 대해 정리해보았다. 최광수[9]에 따르면 근골격계질환이란 반복적인 동작, 부적합한 자세, 무리한 힘의 사용 등의 요인에 의해 발생하며 목, 어깨, 허리, 근육 및 그 주변의 신체조직 등에 나타나는 질환을 일컫는다.(노동부, 2004). 따라서 근골격계질환은 신체의 반복적인 질환이나 과도한 움직임으로 인해 발생하며, 극단적인 관절의 움직임, 동일한 동작의 잦은 반복 등이 원인이라고 볼 수 있다. 또한 손목 불편도에 영향을 미치는 자세요인으로는 굴곡 및 신전, 요골 편향 및 척골 편향이 있다. 김수근[10]에 따르면 팔꿈치 관절(elbow joint)은 위팔뼈의 먼 쪽 부분, 노뼈(요골)와 자뼈(척골)의 윗부분 등 총 3개의 뼈가 모여서 이루어지는 부위로 굽힘 운동과 펴는 운동을 담당한다. 팔꿈치 관절의 정상 운동 범위는 0~140도 정도이며 일상생활을 하는데 필요한 기능적인 운동 범위는 30~130도이다. 따라서 이 범위를 넘어가면 팔꿈치 관절에 무리가 간다고 볼 수 있다.

2.2 타 기술과의 차별성

기존에 진행되었던 청소기와 관련한 프로젝트에서는 청소기 무게중심의 위치에 초점을 맞추기 보다는 디자인적인 측면이나 바닥 재질과 같은 다른 조건을 바탕으로 연구하였다는 점에서 가장 크게 차이가 드러난다. Mari-Anne Wallius[2]에서는 물걸레 청소기(일반 청소기와 형태 유사) 손잡이의 높이 차이가 사용자의 자세와 움직임에 영향을 미친다는 것을 보여주었다. 이 때, 네 종류의 걸레 손잡이 높이(어깨, 턱, 코 및 눈높이)를 임의의 순서로 사용하면서 측정을 진행하였고 이를 통해 어깨와 턱 수준 사이의 걸레 핸들 높이가 팔의 부하도를 줄인다는 결과를 확인하였다. 즉, 이 연구에서는 청소기 손잡이에 높이에 초점을 맞추어 무게중심과 관련한 본 연구와는 차이가 있다고 볼 수 있다. 황정행[3]에서는 캐니스터형과 무선진공청소기의 장점을 바탕으로 사용 편의성을 높인 제품을 디자인하여 일반 가정에서 캐니스터형을 대체할 수 있는 2in1형태의 제품을 디자인함에 목표를 두었다. 근골격계 측면에서도 청소기 디자인적 측면에 있어서 고려가 이루어졌지만 신체부위에 대한 부하도를 직접적으로 고려하기 보다는 디자인적인 측면에서 연구가 중점적으로 이루어졌기 때문에 이 점에서 본 연구와의 차이가 드러난다. 장혜민[4]에서도 [3]과 유사하게 청소기 개선방안에 대해 디자인적인 측면에서 연구가 이루어졌다. 이 연구에서는 가정용 진공청소기 사용자들을 대상으로 청소기를 사용하는 과정의 행동 패턴 및 동선의 형태를 관찰하여 사용자들의 행동을 분석하였고, 이러한 행동들이 청소기 사용성과 어떠한 연관성이 있는지 살펴보았다. 또 실제로 사용자들이 청소기를 어떻게 사용하고 있는지, 어떠한 니즈가 있는지 사용자 행태 분석을 통해 사용성에서의 문제점을 체계화하여 개선책을 얻고, 이를 실제 디자인으로 제시하는 것에 목적을 두어 사용자의 행동 패턴에 큰 비중을 두었다는 점에서 본 연구와 차이가 있다고 볼 수 있다. 김수한[6]에서는 바닥재의 재질과 걸레의 건조 상태에 따라 달라지는 청소기 흡입부와 바닥의 지면 반력을 측정하였고 청소기 사용자의 자세, 걸레의 건조상태, 진공의 유무에 따른 근전도 실험을 하여 작업성을 규명한 결과를 정리하여 고려한 조건에서 차이가 있다고 볼 수 있다. 마지막으로 [7]박승원 외에서는 본 연구와 유사한 목적으로 연구를 진행하였지만 상중심형에 대해서만 분석했다는 점에서 차이가 드러났다.

따라서 본 연구에서는 각각의 청소 상황을 무게 중심 위치와 연관시켜 신체 부하도를 측정하고 분석하여 상황에 맞는 무게중심의 위치를 확인하였다는 점에서 차별성이 드러난다고 볼 수 있다.

3. 프로젝트 수행 내용 및 결과

3.1 프로젝트 수행 방법 및 내용

본 연구는 센서부착형 실험, 실험 기반 설문조사, 실험 결과 데이터 분석 총 3가지의 방법으로 진행하였다. 센서 부착형 실험의 경우 Xsens를 이용해[1] 피실험자의 손목, 전완근, 이두근에 센서를 부착하여 x축, y축, z축의 회전량을 측정하였고, 측정된 회전량을 바탕으로 신체부하도를 정량적으로 분석[8]하였다. 실험 기반 설문조사의 경우 각각의 실험에서 청소기를 사용하며 피실험자들이 느꼈던 통증의 부위와 정도를 중점적으로 분석하였고 피실험자들의 청소기 종류 선호도에 대해 조사를 실시하였다. 마지막으로 데이터 분석의 경우 회전량 측정 값을 Christian M[1]에서 팔꿈치 및 손목 관절이 청소기 사용 시 결정적일 수 있고 영향을 받을 수 있는 관절이라는 연구 결과에 따라 이 두 부위의 관절범위를 바탕으로 하여 ANOVA와 Tukey를 통해 결론을 도출하였다.

(*팔꿈치, 손목의 가동 범위[5])

1. 팔꿈치 Flexion(굽힘): 팔꿈치를 굽히는 행위
2. 팔꿈치 Extension(펴): 팔꿈치를 펴는 행위
3. 손목 Flexion(굽힘): 손목을 아래로 꺾는 행위
4. 손목 Extension(펴): 손목을 위로 꺾는 행위
5. 손목 Ulnar deviation: 손목을 몸의 바깥방향으로 꺾는 행위
6. 손목 Radial deviation: 손목을 몸의 안쪽방향으로 꺾는 행위

3.1.1 실험 설계

무선 청소기 모델의 무게 중심의 위치에 따른 신체 부하의 차이 분석을 목적으로 실험을 진행하였으며, 시중에 나와 있는 무게 중심이 다른 두 청소기를 대상으로 다른 조건하에서 신체의 부위에 가는 중하를 측정 및 비교하였다. 실험 설계에 대한 구체적인 내용은 아래와 같다.

본 실험의 표본은 20대 학생 남녀 10명으로 진행되었으며, 각 유형의 청소기를 상황에 맞추어 자연스럽게 청소기를 들고 있는 자세, 청소기를 앞으로 내민 자세, 왕복운동 5회 총 3가지의 자세로 측정하였다.[6] 표본의 경우 1인 가구가 많아짐에 따라 대부분의 1인 가구 비중을 차지하고 있는 20대 즉, 자취를 하며 무선청소기를 주로 사용하는 인원으로 구성하였다. 또 실험 과정에서 여러 조건을 모두 통일시키기 위하여 청소기 조건과 실험 위치, 왕복속도를 통제변수로 두어 동일한 조건 하에 실험을 진행하였다. 청소기 조건의 경우 두 청소기(상중심, 하중심)의 무게(2.9kg)와 손잡이 모양이 같도록 보정하였고, 시작 위치와 55cm 길이(왕복 운동 시 움직이는 거리)는 실험실 바닥에 테이프로 마킹하여 실험위치를 동일하게 맞추었다. 마지막으로 왕복 속도의 경우 왕복 운동 실험 진행 시 메트로놈(60bpm)을 통해 왕복 속도를 동일하게 유지하였다. 김수한[6]에 따르면 청소기 사용자의 실제 사용 속도가 0.8~1.0m/s이며, 10초 사용하는 실험을 진행하여 타당성을 확보함에 따라 이 속도에 맞추어 총 5번 왕복하는 것으로 진행하였다.

나이	키	몸무게	직업
26	172	57	학생
24	164	49	학생
26	182	72	학생
26	177	68	학생
24	170	60	학생
23	167	54	학생
24	165	51	학생
27	180	75	학생
22	175	67	학생
23	185	71	학생

표 1. 표본 구성

모든 실험은 공통적으로 무게 중심의 위치(상하, 2개의 수준)를 공통된 처리를 가지며, 실험마다 다른 4개의 수준을 가지는, 또 다른 처리를 가지는 반복이 있는 이원 배치법으로 설계하였다. 이때 무게 중심이 상단에 있는 청소기(상중심)를 모델 1, 하단에 있는 청소기(하중심)를 모델 2 로 표기하고, 무게 중심의 위치에 따른 처리를 A, 실험마다 달라지는 처리를 B 로 표기한다. 실험은 요인 B에 따라 청소기의 각도를 바꿀 때의 상황(청소기의 방향을 전환하는 상황의 재현-실험1) 장애물 밑을 청소하는 상황(가구 밑 청소하는 상황의 재현-실험2) 총 두가지로 진행하였다. 또한 피실험자의 신체조건에 따른 변동을 무시하기 위해 한 실험자를 블록으로 두었다.

실험 ①: 청소기의 각도를 바꿀 때의 상황 재현

•독립 변수: 청소기 모델 (A1: 상중심 청소기 모델 사용, A2: 하중심 청소기 모델 사용), 청소기 사용 상황(0°, 45° 각도)

•종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

•고정효과 모형식:
$$_{jk} \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ijk} + \Upsilon_k + \varepsilon_{ijk}$$

: 전체평균

α : 요인 A의 처리 효과

β_j : 요인 B의 처리 효과

Υ_k : 블록효과(실험자)

$(\alpha\beta)_{ij}$: 두 독립변수 간 교호작용

•가설검정:

모든 처리의 효과에 대한 가설 검정 H_0 : 모든 μ_{ij} 가 동일

요인 A의 주효과 유무: $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$

요인 B의 주효과 유무: $H_{B0} = \beta_1 = \beta_2 = 0$

상호작용효과 유무: $H_{AB0}: (\alpha\beta)_{11} = \dots = (\alpha\beta)_{22} = 0$

실험 ②: 일정 높이 아래를 청소하는 상황의 재현 (의자 밑, 침대 밑 청소 상황)

•독립 변수: 청소기 모델 (A1: 상중심 청소기 모델 사용, A2: 하중심 청소기 모델 사용), 청소기 사용 상황(0cm, 20cm, 40cm)

•종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

• 고정효과 모형식(실험1과 동일): $_{jk} \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ijk} + \Upsilon_k + \varepsilon_{ijk}$

: 전체평균

α : 요인 A의 처리 효과

β_j : 요인 B의 처리 효과

Υ_k : 블록효과(실험자)

$(\alpha\beta)_{ij}$: 두 독립변수 간 교호작용

• 가설검정:

모든 처리의 효과에 대한 가설 검정 H_0 : 모든 μ_{ij} 가 동일

요인 A의 주효과 유무: $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$

요인 B의 주효과 유무: $H_{B0} = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

상호작용효과 유무: $H_{AB0}: (\alpha\beta)_{11} = \dots = (\alpha\beta)_{23} = 0$

• 실험 순서

① 본격적인 측정에 앞서 피실험자의 가만히 서있는 neutral한 자세를 측정한다.(비교 기준 값 마련)

② 각각의 청소 상황에 맞게 시작위치에서 55cm 너비를 유지하며 청소기를 사용한다.

(*이 때, 일반적인 청소기 사용 상황->45도 각도 청소 상황(실험1)->침대 밑 청소 상황(실험2)->의자 밑 청소 상황(실험2) 순으로 진행한다.)

③ 청소기를 자연스럽게 들고 있는 자세, 앞으로 내민 자세, 5회 왕복 운동(10초)을 한 세트로 진행한다.

(각 상황에 맞게 상중심 청소기를 먼저 사용하여 진행하고, 하중심 청소기를 사용하여 동일한 세트를 반복한다.)

④ 각 측정 사이에 있는 3분 휴식시간 동안 해당 실험 내용에 대한 질의를 실시한다.

3.1.2 설문 조사

측정 사이에 있는 휴식시간 마다 실험 내용에 대한 질의를 실시하여 피실험자들의 청소기 사용과 관련한 주관적인 인식을 측정하였다. 문항의 내용은 각각의 상황에서 상중심, 하중심 청소기를 사용하며 느낀 통증 부위와 통증 정도를 바탕으로[5]로 구성하였으며, 모든 실험이 종료된 뒤에 두 가지 유형의 청소기 중 어떠한 유형을 선호하는지에 대해서도 조사하였다.

문항 예시) <실험 1>에서 상중심 청소기를 사용할 때 불편했던 신체 부위 및 정도-복수 응답 가능

[①: 전혀 불편하지 않았다 ②: 조금 불편했다 ③: 제법 불편했다 ④: 많이 불편했다]

☐ 손목 ① ② ③ ④

☐ 어깨 ① ② ③ ④

3.1.3 데이터 분석

실험 진행 이후 각 실험의 자료구조를 바탕으로 처리가 관절의 각도 변화에 영향을 주지 않는다는 귀무가설(H_0)을 세우고, 이원분산분석을 통해, 처리에 따른 관절의 각도 변화량의 차이가 유의수준 0.05에서 유의미한 지 확인하였다.

3.2 프로젝트 수행 결과

3.2.1 데이터 분석 결과

실험 결과에 대한 값들을 표로 나타내보면 다음과 같다. Min, Max, 50%ile의 값으로 분석하였으며, ‘각도’의 경우 실험1을 ‘높이’의 경우 실험2를 통한 값을 나타낸다. 팔꿈치, 손목의 경우 각 부위에서 측정된 값들을 나타내었으며, 이 때 pitch는 deviation을, yaw는 flexion, extension을 나타낸다.

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	548.301862	548.301862	13.350867	0.000698
청소높이	2.0	1291.499729	645.749862	15.723676	0.000007
실험자	9.0	1024.315500	113.812833	2.771284	0.011880
무게중심:청소높이	2.0	1017.443793	508.721896	12.387116	0.000056
잔차	43.0	1765.951175	41.068632	NaN	NaN

표 2. Min 높이 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	16.126467	16.126467	0.046910	0.829555
청소높이	2.0	2528.872417	1264.436209	3.678069	0.033531
실험자	9.0	14011.559595	1556.839955	4.528630	0.000317
무게중심:청소높이	2.0	424.592069	212.296035	0.617540	0.543983
잔차	43.0	14782.420823	343.777228	NaN	NaN

표 3. Min 높이 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	298.155296	298.155296	5.590883	0.022639
청소높이	2.0	153.352276	76.676138	1.437799	0.248636
실험자	9.0	1151.377724	127.930858	2.398906	0.026563
무게중심:청소높이	2.0	202.005031	101.002516	1.893957	0.162816
잔차	43.0	2293.140209	53.328842	NaN	NaN

표 4. Min 높이 손목 yaw

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	2.592261	2.592261	0.517446	0.478114
청소각도	1.0	7.782776	7.782776	1.553533	0.223321
실험자	9.0	204.933162	22.770351	4.545228	0.001035
무게중심:청소각도	1.0	2.470981	2.470981	0.493237	0.488498

잔차	27.0	135.262620	5.009727	NaN	NaN
----	------	------------	----------	-----	-----

표 5. Min 각도 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	0.000405	0.000405	7.787893e-07	0.999302
청소각도	1.0	277.889630	277.889630	5.350122e-01	0.470808
실험자	9.0	19312.458252	2145.828695	4.131296e+00	0.001967
무게중심:청소각도	1.0	71.835067	71.835067	1.383018e-01	0.712878
잔차	27.0	14024.017602	519.408059	NaN	NaN

표 6. Min 각도 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	37.289437	37.289437	0.984694	0.329853
청소각도	1.0	3.438612	3.438614	0.090803	0.765468
실험자	9.0	2642.541168	293.615685	7.753448	0.000015
무게중심:청소각도	1.0	20.870677	20.870677	0.551128	0.464267
잔차	27.0	1022.464242	37.869046	NaN	NaN

표 7. Min 각도 손목 yaw

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	5.066109	5.066109	0.017514	0.895334
청소높이	2.0	520.382712	260.191356	0.899481	0.414296
실험자	9.0	17259.929482	1917.769942	6.629724	0.000007
무게중심:청소높이	2.0	75.692272	37.846136	0.130834	0.877711
잔차	43.0	12438.542636	289.268433	NaN	NaN

표 8. Max 높이 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	210.279615	210.279615	0.299131	0.587255
청소높이	2.0	6330.983587	3165.491793	4.503035	0.016765
실험자	9.0	16671.166853	1852.351873	2.635042	0.015938
무게중심:청소높이	2.0	223.387102	111.693551	0.158888	0.853590
잔차	43.0	30227.645955	702.968511	NaN	NaN

표 9. Max 높이 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	404.842437	404.842437	0.766799	0.386075
청소높이	2.0	791.239030	395.619015	0.749329	0.478755
실험자	9.0	6111.174378	679.019375	1.286109	0.272201
무게중심:청소높이	2.0	240.635664	120.317832	0.227890	0.797167
잔차	43.0	22702.458865	527.964160	NaN	NaN

표 10. Max 높이 손목 yaw

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	267.070418	267.070418	1.963927	1.724847e-01
청소각도	1.0	190.089576	190.089576	1.397841	2.473932e-01
실험자	9.0	14094.259827	1566.028870	11.515936	3.579843e-07
무게중심:청소각도	1.0	178.407747	178.407747	1.311938	2.620956e-01
잔차	27.0	3671.675457	135.987980	NaN	NaN

표 11. Max 각도 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	98.635606	98.635606	0.217963	0.644342
청소각도	1.0	290.760160	290.760160	0.642516	0.429800
실험자	9.0	23646.577769	2627.397530	5.805967	0.000170
무게중심:청소각도	1.0	8.742356	8.742356	0.019319	0.890488
잔차	27.0	12218.418200	452.534007	NaN	NaN

표 12. Max 각도 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	145.486491	145.486491	0.298486	0.589320
청소각도	1.0	43.753488	43.753488	0.089766	0.766769
실험자	9.0	16004.877455	1778.319717	3.648471	0.004295
무게중심:청소각도	1.0	976.373714	976.373714	2.003167	0.168402
잔차	27.0	13260.205394	487.415015	NaN	NaN

표 13. Max 각도 손목 yaw

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	159.694153	159.694153	0.457079	0.502613
청소높이	2.0	4798.517734	2399.258867	6.867188	0.002582
실험자	9.0	15368.253570	1707.583730	4.887467	0.000159
무게중심:청소높이	2.0	200.428481	100.214241	0.286834	0.752061

잔차	43.0	15023.344789	349.380111	NaN	NaN

표 14. 50%ile 높이 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	152.728197	152.728197	0.290193	0.592875
청소높이	2.0	2840.490291	1420.245145	2.698554	0.078696
실험자	9.0	15795.611917	1755.067991	3.334738	0.003576
무게중심:청소높이	2.0	111.916661	55.958330	0.106324	0.899369
잔차	43.0	22630.837577	526.298548	NaN	NaN

표 15. 50%ile 높이 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	134.609891	134.609891	1.333304	0.254595
청소높이	2.0	203.266148	101.633074	1.00670	0.373882
실험자	9.0	1837.583309	204.175923	2.022352	0.059880
무게중심:청소높이	2.0	213.394828	106.697414	1.056832	0.356408
잔차	43.0	4341.264279	100.959634	NaN	NaN

표 16. 50%ile 높이 손목 yaw

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	46.081433	46.081433	0.095355	0.759846
청소각도	1.0	335.799865	335.799865	0.694864	0.411829
실험자	9.0	21690.051638	2410.005738	4.986980	0.000536
무게중심:청소각도	1.0	27.882741	27.882741	0.057697	0.811988
잔차	27.0	13048.007239	483.259527	NaN	NaN

표 17. 50%ile 각도 팔꿈치 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	126.931270	126.931270	2.058648	0.162827
청소각도	1.0	12.898463	12.898463	0.209195	0.651058
실험자	9.0	4542.867672	504.763075	8.186554	0.000009
무게중심:청소각도	1.0	24.279788	24.279788	0.393784	0.535588
잔차	27.0	1664.754545	61.657576	NaN	NaN

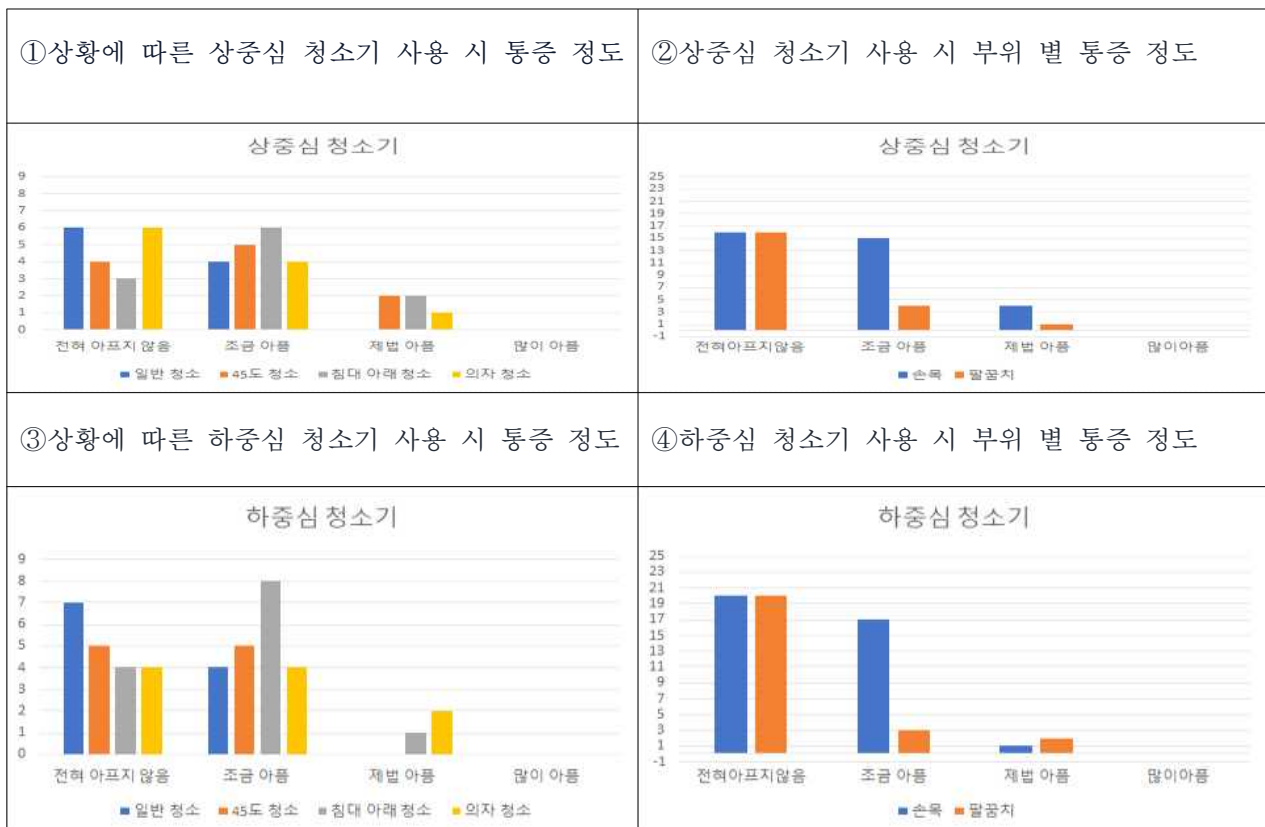
표 18. 50%ile 각도 손목 pitch

	df	sum_sq	mean_sq	F	PR(>F)
무게중심	1.0	112.316464	112.316464	0.264413	0.611288
청소각도	1.0	0.353715	0.353715	0.000833	0.977197
실험자	9.0	4817.177791	535.241977	1.260056	0.302467
무게중심:청소각도	1.0	265.567554	265.567554	0.625194	0.436014
잔차	27.0	11468.961395	424.776348	NaN	NaN

표 19. 50%ile 각도 손목 yaw

3.2.2 설문조사 결과

설문조사 결과는 각각의 상황에서 느낀 통증 정도와 부위별로 느낀 통증 정도에 대해 그래프로 나타내었다. 상중심 청소기의 경우와 하중심 청소기의 경우 대부분의 값들이 큰 차이가 없이 유사한 양상으로 나타났으며, 사용자들의 선호도 조사 결과 상중심:하중심이 6:4로 선호도 또한 큰 차이가 없었다. 따라서 두 청소기에 대해 사용시 통증 정도와 사용자들의 선호도가 유사하다고 볼 수 있어 최종 결과에 영향을 미칠만한 유의미한 결과는 나타나지 않았다.



3.2.3 결과 종합

1. 일반 청소기 사용 상황(0cm)과 의자 밑(20cm), 침대 밑(40cm) 청소 상황을 비교하였을 때, 손목 Flexion, Extension(Min)값에 대해 ANOVA분석을 실시한 결과, $P < 0.05$ 를 확인하였으므로 무게중심은 변수로서 유의하다고 볼 수 있으며, 이에 따라 사후검정을 실시하였다.
2. 침대 밑, 의자 밑 청소 상황에서 손목 Flexion, Extension(Min)과 관련하여 무게중심에 대해 사후검정을 실시한 결과 상중심, 하중심 청소기가 유의함을 확인하였지만 절대적인 값 차이는 거의 없음(0.08°)을 확인하였다. 따라서 이 경우 상중심, 하중심 간 관절 부담도는 차이가 존재하지 않는다고 볼 수 있다

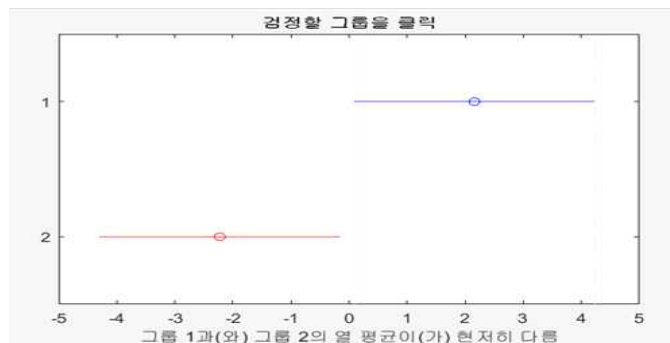


그림 1. 장애물 높이 상황 무게중심 사후검정- 손목 Flexion, Extension(Min), 그룹1: 상중심, 그룹2: 하중심

무게중심	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
상중심-하중심	3.3854	(0.2324, 8.5384)	0.0389

표 20. 평균 차이에 대한 Tukey 동시검정

3. 침대 밑, 의자 밑 청소 상황에서 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)값에 대해 분석한 결과, 각각의 표에서 $P < 0.05$ 를 확인하여 무게중심과 장애물 높이는 변수로서 유의하다는 결과가 나타났고, 유의 수준을 만족했으므로 사후검정을 실시하였다.
4. 침대 밑, 의자 밑 청소 에서 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)과 관련하여 무게중심에 대해 사후 검정을 실시한 결과 상중심, 하중심 청소기가 유의함을 확인하였고, 하중심 청소기가 상중심 청소기에 비해 부담이 큰 것을 확인하였다.

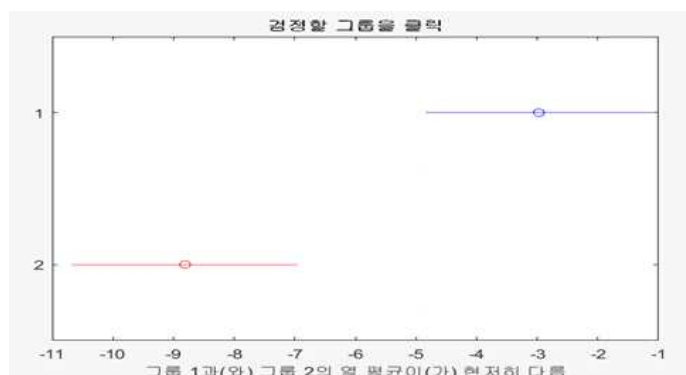


그림 2. 장애물 높이 상황 무게중심 사후검정- 팔꿈치 Flexion, Extension(Min), 그룹1: 상중심, 그룹2: 하중심

무게중심	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
상중심-하중심	5.8351	(2.1011, 9.5691)	0.0028

표 21.. 평균 차이에 대한 Tukey 동시검정

5. 침대 밑, 의자 밑을 청소하는 상황에서 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)의 경우 일반적인 청소 상황과 나머지 상황에서 유의한 차이가 존재함을 확인하였다.

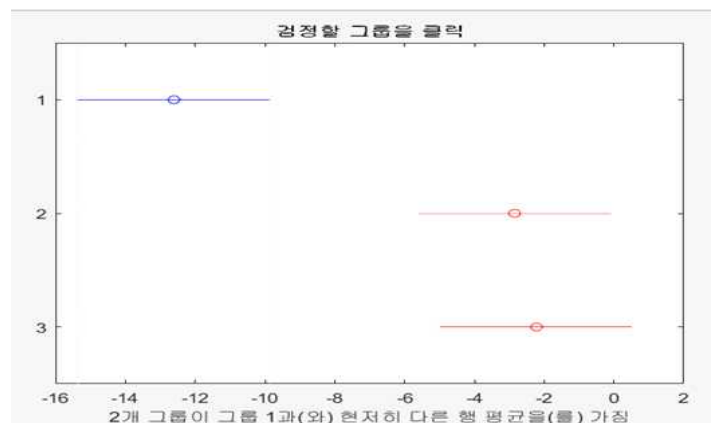


그림 3. 장애물 높이 상황 팔꿈치 Flexion, Extension(Min),
그룹1: 일반 청소 상황(좌측), 그룹2: 침대 밑 청소 상황,
그룹3: 의자 밑 청소 상황(가장 우측)

장애물 높이 수준의 차이	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
일반청소-침대 밑	-9.7577	(-43.3543, -8.8581)	0.0017
일반청소-의자 밑	-10.3873	(-29.0661, 5.4302)	0.2334
침대 밑-의자 밑	-0.6296	(-2.9598, 31.5365)	0.1228

표 22. 평균 차이에 대한 Tukey 동시검정

이 외의 모든 경우에는 유의하지 않음을 확인하였고, 사후 검정 대상에 대해 Tukey(유의수준 5%)를 실시한 결과 침대 밑 청소 상황에서는 하중심 청소기가 관절의 부하도가 크고, 다른 모든 상황에서 무게중심은 관절 각도 변화에 큰 영향을 미치지 않는다는 결론을 도출하였다. 또한 설문조사 결과는 데이터 분석 결과와 관련하여 큰 차이가 드러나거나 결론에 영향을 미칠만한 유의미한 결과가 나타나지 않았다.

3.3 프로젝트 수행 결과의 검증 및 중요성

연구를 진행하는 방법에서, 관절 부위에 센서를 부착하여 관절이 얼마나 움직이는지 측정하였으며 피실험자들의 주관적인 인식 또한 측정하였기 때문에, 정량적인 측정 방법과 주관적인 측정을 모두 사용하였다는 점에서 타당한 방법으로 진행하였다고 볼 수 있다. 또한, 실험 상황을 모두 통제하지 않은 것이 아닌 청소기 조건(상중심, 하중심)과 실험 위치(시작 위치 및 사용 거리 55cm), 왕복 운동 시 사용속도에 대해서만 통제하였고, 사용 자세와 같은 요인들은 피실험자가 편하게 생각하는 자세로 자유롭게 사용하였기 때문에 실제 청소기 사용 상황과 유사하다고 볼 수 있다. 기존의 사람들이 청소기 무게중심과 관련하여 가지고 있던 인식을 조사해보면 상황에 따라 상중심, 하중심 중 신체에 무리가 덜 가는 유형이 분명하다고 인식하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 실제 실험 결과, 무게중심의 위치는 청소기 사용에 있어 큰 의미가 없었으며, 연관성이 없다는 것이 증명되었기 때문에 이 점에서 본 연구는 중요성이 크다고 볼 수 있다. 따라서 이 연구결과를 청소기 제조사에서 청소기 제작 시에 고려한다면, 도움이 될 수 있을 것이다.

4. 결론 및 토의

4.1 프로젝트 요약 및 토의

본 프로젝트는 청소기 사용상황과 관련하여 진행한 근골격계 부담도 연구로, 각각의 상황에서 신체에 부하가 얼마나 가는지 분석하여 결론을 도출하기 위해 총 3가지의 방법으로 연구를 진행하였다. 관절부위에 센서 부착 실험을 통하여 관절과 근육이 자연스러운 상태에서 얼마나 움직이는지에 대해 정량적으로 측정하였으며, 실험을 바탕으로 한 설문조사를 통해 청소기 사용자의 주관적인 인식을 측정하였다. 또 이러한 결과를 바탕으로 데이터 분석을 실시하여 최종 결론을 도출하였다. 먼저 일반 청소 상황과 45도 각도로 청소한 상황의 경우 무게 중심의 위치와 손목에 미치는 부하 정도의 관계는 유의하지 않음을 확인하였으며 청소하는 각도와 손목에 미치는 부하 정도의 관계는 유의하지 않음을 확인하였다. 다음으로 일반 청소 상황과 침대 밑, 의자 밑 즉, 특정 높이를 청소하는 상황의 경우 손목과 팔꿈치에서 유의함을 확인하였고, 침대 밑 청소 상황에서는 하중심 청소기가 상중심 청소기에 비하여 팔꿈치에 미치는 부담이 큰 것을 확인하였다. 따라서, 이러한 결과에 따라 침대 밑 청소 상황에서는 하중심 청소기가 관절의 부담도가 상중심 청소기에 비해 크고, 다른 모든 상황에서 무게중심은 관절 각도 변화에 큰 영향을 미치지 않은 것을 확인하였다. 설문조사의 경우 피실험자들이 느낀 통증 정도가 모두 유사하게 나타났으며 청소기 유형 선호도 조사 결과 6:4로 유사한 결과가 나타났기 때문에 주관적인 인식 면에서 상중심과 하중심이 큰 차이가 없다고 볼 수 있으므로 실험 결과에 큰 영향을 미칠만한 결과는 나타나지 않았다.

4.2 기대 효과 및 활용 방안

기업 측면에서는 현재 많은 비중을 차지하고 있는 상중심형 무선 청소기에 대해 무게중심의 위치 측면에서 개선하는 방안보다는 손잡이 모양, 무게 등 다른 측면에서 개선이 필요하다고 볼 수 있다. 또한, 사용자 측면에서는 관절에 이상이 있는 사용자의 경우 무게중심의 위치보다 손잡이의 형태나 다른 조건이 더욱 중요하다고 볼 수 있으며, 호텔과 같이 낮은 곳(침대 밑과 같은 상황)을 빈번하게 청소하는 시설의 경우 하중심 청소기보다 상중심 청소기를 사용하는 것이 관절에 부담이 덜 간다는 것을 활용하면 용이할 것이다.

4.3 향후 연구 및 시사점

본 연구에서 가장 큰 한계점은 제한된 조건이라는 점에 있다. 제한된 신체부위(관절)를 바탕으로 측정을 진행하였기 때문에 관절 외에 근육 활성도를 알아볼 수 있는 근전도 실험이 추가적으로 필요하다고 볼 수 있다. 청소 상황의 경우 3가지 상황 정도로 제한하여 연구를 진행하여 다소 제한적인 상황이라고 볼 수 있어 더 다양한 청소기 사용 상황(청소기를 들어서 사용하는 경우, 다양한 청소 각도 등)을 바탕으로 근골격계 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 마지막으로 손잡이 종류(일자 손잡이, 건식 손잡이 등), 청소기 무게와 같은 여러 가지 청소기 조건을 바탕으로 근골격계 부담 연구가 추가적으로 필요하다고 볼 수 있다.

〈참고문헌〉

- [1] Christian M, Jasmin H., The Movement Profile of Habitual Vacuuming as a Cyclic Movement—A Pilot Study, 2020
- [2] Mari-Anne Wallius., Effects of Mop Handle Height on Forearm Muscle Activity, Wrist and Upper Arm Posture and Movement During Floor Mopping, 2018
- [3] 황정행, 2in1무선진공청소기 디자인 개발에 관한 연구, 2014
- [4] 장혜민, 사용자 행태 분석을 통한 가정용 진공청소기 디자인 개선 연구, 2013
- [5] 최광수, 박재규, 손목 자세와 외부 부하에 따른 손목 불편도 모델링
- [6] 김수한, 가정용 청소기 작업 시 지면반력과 주동근의 근전도 분석, 2009
- [7] 박승원 외, 상중심형 청소기 종류와 사용 자세에 따른 팔 근육의 근활성도 비교 평가, 2019
- [8] Nahyeon Lee 외, Ergonomic Evaluation on Handle Designs of Vacuum Cleaner 2016
- [9] 최광수 외, 손목 자세와 외부 부하에 따른 손목 불편도 모델링, 2005
- [10] 김수근, 업무상 팔과 팔꿈치 질환, 2017