

부산대학교 산업공학과 종합설계프로젝트

무선 청소기 무게 중심 위치에 따른 관절 부담 연구

201627509 김종음
201627529 이건희
201727506 김동우
201927507 김예서

목차

1. 프로젝트 소개

- 연구 배경 및 차별성
- 적용 방법론

2. 실험 소개

- 실험 계획
- 실험 방법

3. 실험 결과

- 데이터 분석(ANOVA) 결과
- 사후 검정
- 설문 결과 종합

4. 결론

1.1 프로젝트 소개 및 연구차별성

◆주제: 무선 청소기 무게중심 위치에 따른 관절 부담 연구

◆연구 배경

1. 무선 청소기의 높은 보급률 & 지속적인 기능 발전

- 유선 청소기보다 무거운 무게로 인해 장시간 사용시 근골격계 측면에서 무리가 가는 경우 여전히 발생

2. 시장조사를 통한 청소기 분류 결과 무선 청소기를 근골격계 측면에서 2가지로 분류 가능

- 대부분 상중심 유형(다이슨-싸이클론, 삼성-BESPOKE 제트, LG-코드제로 등)

3. 무선 청소기 무게 중심 관련 선행 연구는 진행된 바 없음

- 사용자의 자세/손잡이 유형/유선 청소기/청소기 사용 환경과 관련한 신체부하도 관련 연구

(Ergonomic Evaluation on Handle Designs of Vacuum Cleaner 2016 ,상중심형 청소기 종류와 사용 자세에 따른 팔 근육의 근활성도 비교 평가2019)

무게중심을 중점적으로 분석하여 주제 차별화, 유의미한 개선방안 제시

∴청소 상황과 청소기 무게중심 위치(상중심, 하중심)를 고려하여 관절에 무리가 덜 가는 유형 도출을 목표로 진행

① Xsens를 부착하여 신체 부하도 정량적 측정 (Objective measure)

- 신체 부위에 가는 부담을 정량적으로 측정 할 수 있는 센서
- 각각의 신체부위 3곳 (손, 전완근, 이두근)에 부착하여 x축, y축, z축 회전량 측정

② 피실험자의 설문조사를 통한 주관적인 인식 측정 (Subjective measure)

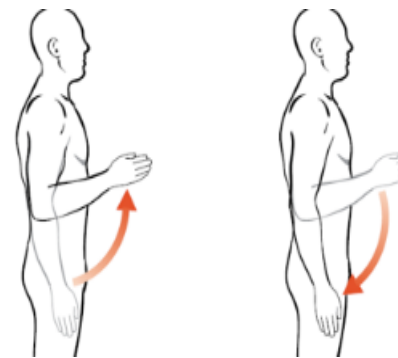
- 실험 도중 느낀 신체 부하도 관련 문항들로 구성

③ 팔꿈치, 손목 관절의 가동 범위 바탕으로 ANOVA 분산 분석 + Tukey 사후검정

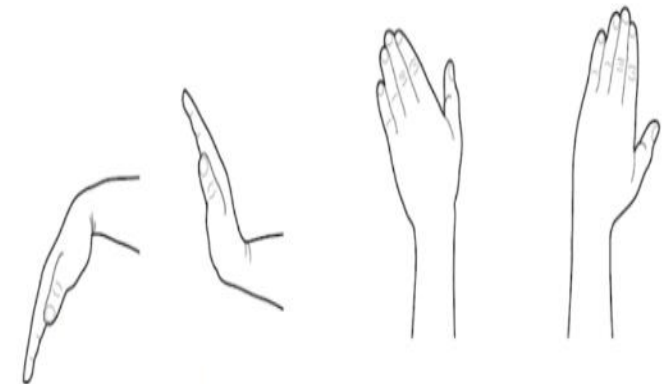
1. 팔꿈치 Flexion(굽힘): 팔꿈치를 굽히는 행위
2. 팔꿈치 Extension(펴): 팔꿈치를 펴는 행위
3. 손목 Flexion(굽힘): 손목을 아래로 꺾는 행위
4. 손목 Extension(펴): 손목을 위로 꺾는 행위
5. 손목 Ulnar deviation: 손목을 몸의 바깥방향으로 꺾는 행위
6. 손목 Radial deviation: 손목을 몸의 안쪽방향으로 꺾는 행위



센서 부착 모습



팔꿈치 가동범위



손목의 가동범위

2.1 실험계획

◆ 표본: 20대 남녀 10명

◆ 통제 변수

- 청소기 조건: 두 청소기(상중심, 하중심)의 무게(2.9kg)와 손잡이 모양이 같도록 보정
- 실험 위치: 시작 위치와 55cm 길이는 실험실 바닥에 테이프로 마킹
- 왕복 속도: 왕복 운동 실험 진행 시 메트로놈(60bpm)을 통해 왕복 속도 동일하게 유지

(* 표본 및 왕복 횟수: 관련 논문 참조하여 평균 인원수 반영, 평균 속도에 따른 왕복 횟수 확정)

◆ 실제 청소기를 사용하며 근관절에 크게 무리가 갈 상황을 재현하기 위해 총 2가지 실험 진행

<실험1>

• 독립 변수

- 1) 청소기 무게중심 (상중심, 하중심)
- 2) 청소기 사용 상황: 0°, 45° 각도

• 종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

<실험2>

• 독립 변수

- 1) 청소기 무게중심(상중심, 하중심)
- 2) 청소기 사용 상황: 높이(0cm, 침대 밑-20cm, 의자 밑-40cm)

• 종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

Min, Max, Range, 50%ile 데이터를 이용하여 ANOVA와 Tukey(유의수준 5%)로 데이터 분석

2.1 실험계획

◆ 실험 진행 순서

- ① 본격적인 측정에 앞서 피실험자의 가만히 서있는 neutral한 자세 측정(비교 기준 값 마련)
- ② 각각의 청소 상황에 맞게 시작위치에서 55cm 너비를 유지하며 청소기 사용
(일반적인 청소기 사용 상황->45도 각도 청소 상황->침대 밑 청소 상황->의자 밑 청소 상황 순)
- ③ 청소기를 자연스럽게 들고 있는 자세, 앞으로 내민 자세, 5회 왕복 운동(10초)을 한 세트로 진행
(상중심 청소기 사용하여 진행 -> 하중심 청소기 사용하여 동일한 세트 반복)
- ④ 각 측정 사이에 있는 3분 휴식시간 동안 해당 실험 내용에 대한 질의 실시



실험장 마킹 예시

2.2 실험방법 - 측정① (일반적인 청소기 사용상황)

① 상중심 청소기



자연스럽게 들고 있는 자세



앞으로 내민 자세



왕복 운동

② 하중심 청소기



자연스럽게 들고 있는 자세



앞으로 내민 자세



왕복 운동

2.2 실험방법 - 측정②,③,④(특정상황)

- ◆ 청소기 사용 시 특정한 상황을 청소하는 상황 재현
- ◆ 측정 3,4의 경우 침대 밑 높이와 동일한 상자와 실제 의자를 통해 실험 환경 조성
- ◆ 그 외 실험 과정 및 측정 시간은 측정 1과 동일 (상중심, 하중심 / 자연스럽게 내민 자세-앞으로 내민 자세-왕복운동 5회)



측정2 (방향전환 재현: 45도 각도로 청소)



측정 3(가구 밑 청소 재현: 침대 밑 청소)



측정4(가구 밑 청소 재현: 의자 밑 청소)

3.1 데이터 분석 (실험1) - ANOVA

◆ 0°로 청소했을 때와 45°로 청소했을 때의 비교 ANOVA (Angle)

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ijk} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

• 독립 변수

μ : 전체평균

α_i : 요인 A의 처리 효과

β_j : 요인 B의 처리 효과

γ_k : 블록효과 (실험자)

$(\alpha\beta)_{ij}$: 두 독립변수 간 교호작용

• 종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

• 귀무가설

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

무게중심의 주 효과 유무: H_{A0} : $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$

청소기 사용 상황의 주 효과 유무: H_{B0} : $\beta_1 = \beta_2 = 0$

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

① 팔꿈치 - Flexion, Extension(Range)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	322.29	322.29	2.6215	0.4305
청소 각도	1.0	274.80	274.80	2.2352	0.5389
블록	9.0	12434.31	1382.59		
무게중심* 청소 각도	1.0	222.87	222.87	1.8129	0.6966
잔차	27.0	3319.28	122.94	NaN	NaN

분석 결과, 각각의 표에서 $P > 0.05$ 확인

∴ 무게중심과 청소 각도는 변수로서 '유의하지 않음'

3.1 데이터 분석 (실험1) - ANOVA

◆ 0°로 청소했을 때와 45°로 청소했을 때의 비교 ANOVA (Angle)

① 팔꿈치-Flexion, Extension (Min)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	2.5923	2.5923	0.5714	0.4781
청소 각도	1.0	7.7827	7.7827	1.5535	0.2233
블럭	9.0	204.933	22.7703		
무게중심* 청소 각도	1.0	2.47098	2.47098	0.4932	0.4885
잔차	27.0	135.26	5.00972	NaN	NaN

② 손목-deviation(50%ile)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	46.0814	46.0814	0.09535	0.75984
청소 각도	1.0	335.799	335.799	0.6948	0.4118
블럭	9.0	21690.05	2410.005		
무게중심* 청소 각도	1.0	27.8827	27.8827	0.0576	0.8119
잔차	27.0	13048.01	483.259	NaN	NaN

③ 손목 - deviation(Max)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	98.6356	98.6356	0.2179	0.6443
청소 각도	1.0	290.7601	290.7601	0.6425	0.4298
블럭	9.0	23646.6	2627.39		
무게중심* 청소 각도	1.0	8.7423	8.7423	0.01931	0.8904
잔차	27.0	12218.4	452.534	NaN	NaN

분석 결과, 각각의 표에서 $P > 0.05$ 확인

∴ 무게중심과 청소 각도는 변수로서 '유의하지 않음'

3.1 데이터 분석 (실험2) - ANOVA

◆ 일반 청소기 사용 상황(0cm)과 의자 밑(20cm), 침대 밑(40cm) 청소 상황 비교(ANOVA)

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ijk} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

• 독립 변수

μ : 전체평균

α_i : 요인 A의 처리 효과

β_j : 요인 B의 처리 효과

γ_k : 블록효과 (실험자)

$(\alpha\beta)_{ij}$: 두 독립변수 간 교호작용

• 종속 변수: 손목과 팔꿈치의 각도 변화량

① 손목 - Flexion, Extension(Min)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	298.1552 9	298.1552 9	5.590883	0.022639
장애물 높이	2.0	153.3522 7	76.67613 8	1.437799	0.248636
블럭	9.0	1151.377 7	127.9308 5		
무게중심* 장애물 높이	2.0	202.0050 3	101.0025 1	1.893957	0.162816
잔차	43.0	2293.140 2	53.32884 2	NaN	NaN

• 귀무가설

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

무게중심의 주효과 유무: H_{A0} : $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$

청소기 사용 상황의 주효과 유무: H_{B0} : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

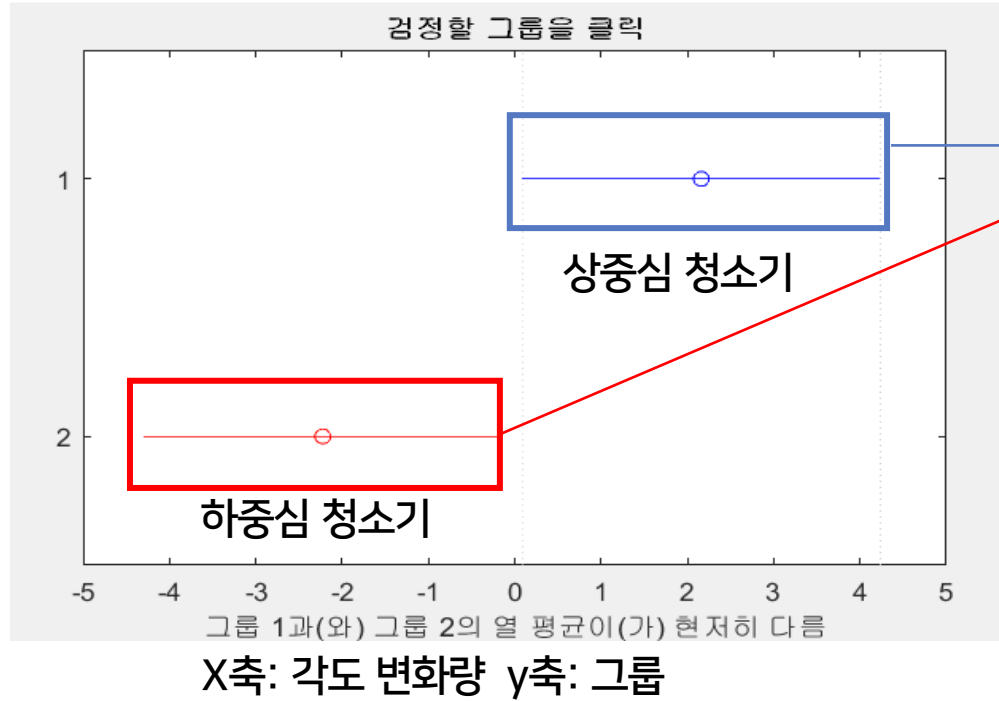
상호작용효과 유무: H_{AB0} : $(\alpha\beta)_{11} = \dots = (\alpha\beta)_{23} = 0$

분석 결과, 각각의 표에서 $P < 0.05$ 확인
무게중심은 변수로서 '유의함'

∴ 유의 수준을 만족했으므로 사후검정 실시

3.2 사후검정 - Tukey

◆ 장애물 높이 상황: 무게중심 사후검정- 손목 Flexion, Extension(Min)



- 상중심, 하중심 청소기가 유의함을 확인
단, 절대적인 값 차이는 거의 없음(0.08°)을 확인
∴ 관절 부담의 경우 상중심, 하중심 간 차이 X

◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

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

3.2 데이터 분석 (ANOVA)

◆ 장애물 높이 – 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)

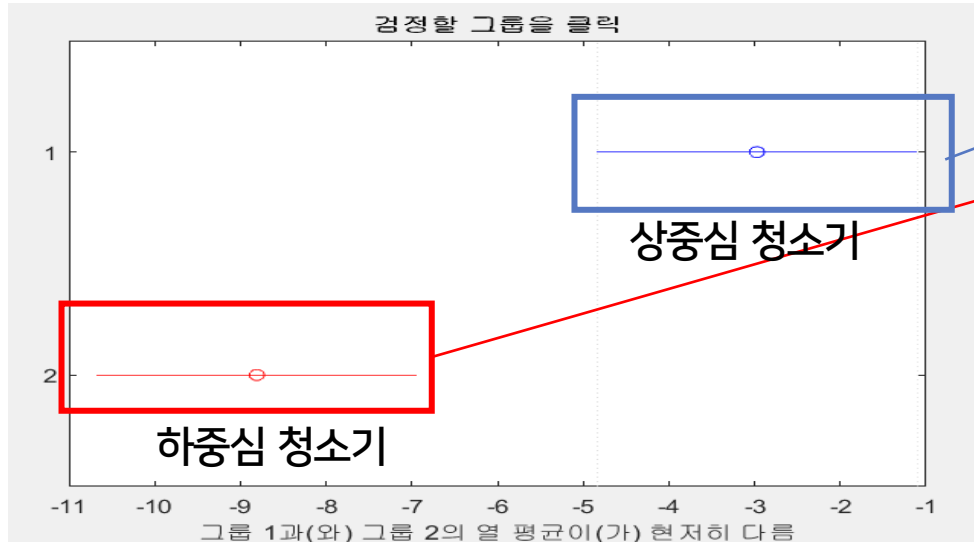
출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	548.3019	548.3019	13.35087	0.000698
장애물 높이	2.0	1291.499 729	645.7498 65	15.72367 6	0.000007
블럭	9.0	1024.316	113.8128		
무게중심* 장애물 높이	2.0	1017.444	508.7219	12.38712	0.000056
잔차	43.0	1765.951	41.06863	NaN	NaN

분석 결과, 각각의 표에서 $P < 0.05$ 확인
무게중심과 장애물 높이는 변수로서 '유의함'

∴ 유의 수준을 만족했으므로 사후검정 실시

3.2 사후검정 - Tukey

◆ 장애물 높이 상황: 무게중심 사후 검정 - 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)



X축: 각도 변화량 y축: 그룹

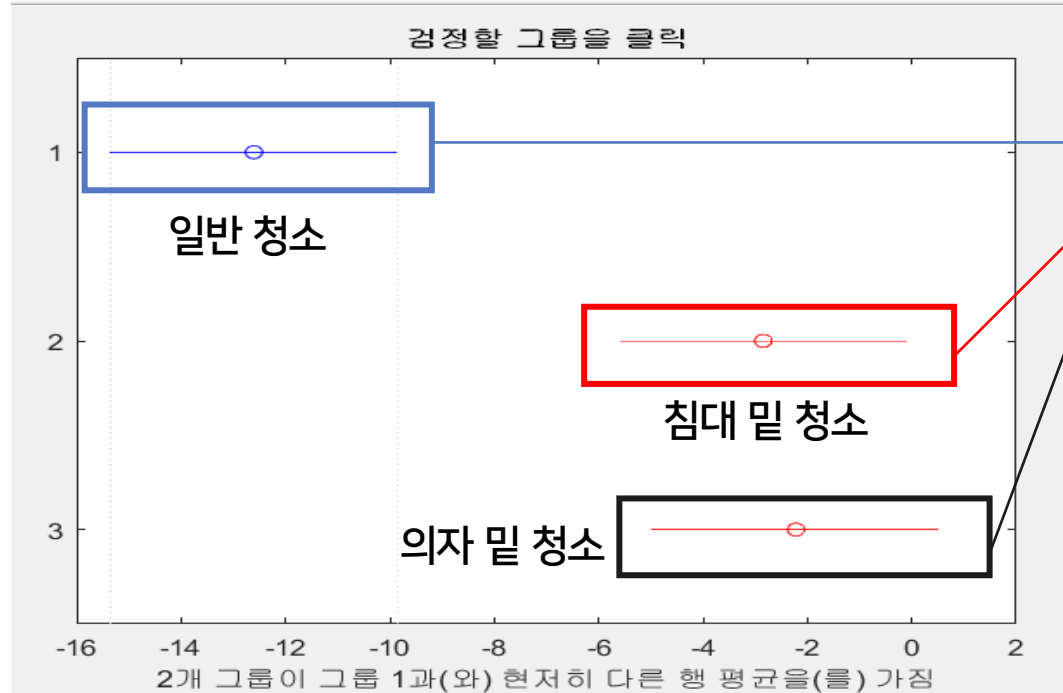
- 상중심, 하중심 청소기가 유의함을 확인
- ∴ 하중심 청소기가 상중심 청소기에 비해 부담이 큰 것 확인

◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

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

3.2 사후검정 - Tukey

◆ 장애물 높이 - 팔꿈치 Flexion, Extension(Min)



- 그룹 1: 일반적인(0cm) 청소 상황
- 그룹 2: 침대 밑(20cm) 청소 상황
- 그룹 3: 의자 밑(40cm) 청소 상황

- 일반적인 청소 상황과 나머지 상황에서 유의한 차이가 존재
(*다른 부위의 높이에 대한 ANOVA와 사후 검정은 뒤에 있는 Appendix 참조)

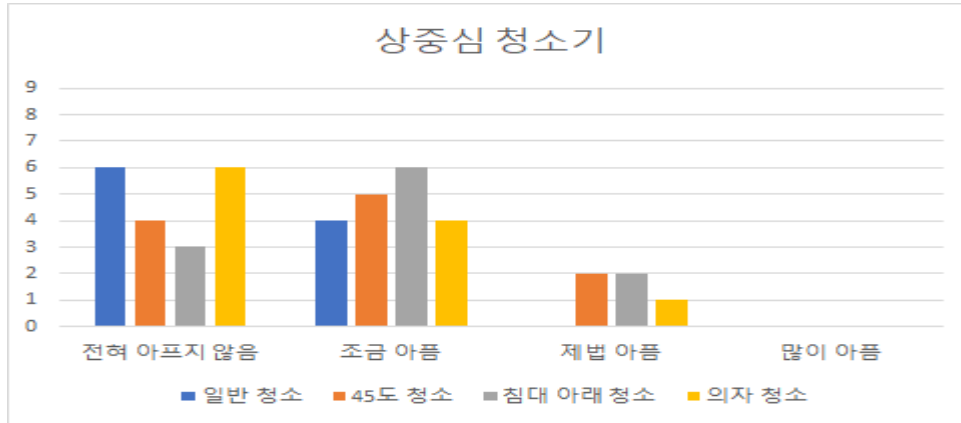
◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

장애물 높이 수준의 차이	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
일반 청소-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

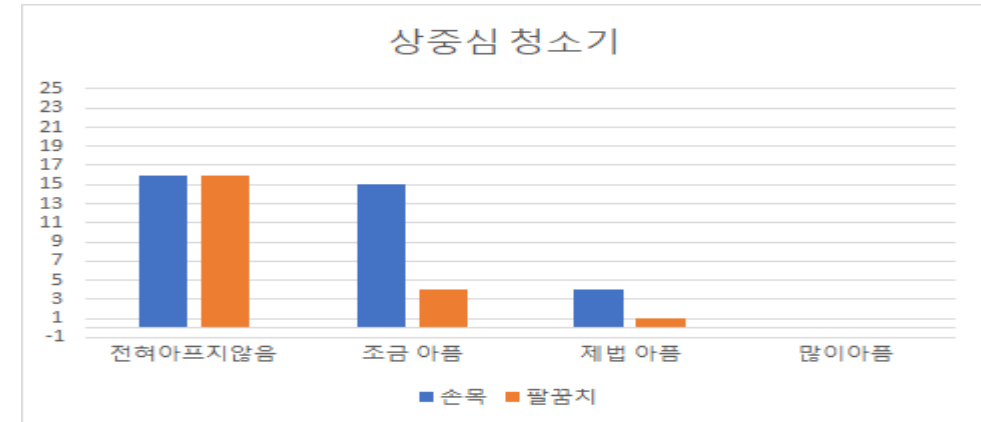
3.3 설문조사결과종합

◆ 설문조사 결과 (세로축: 인원수)

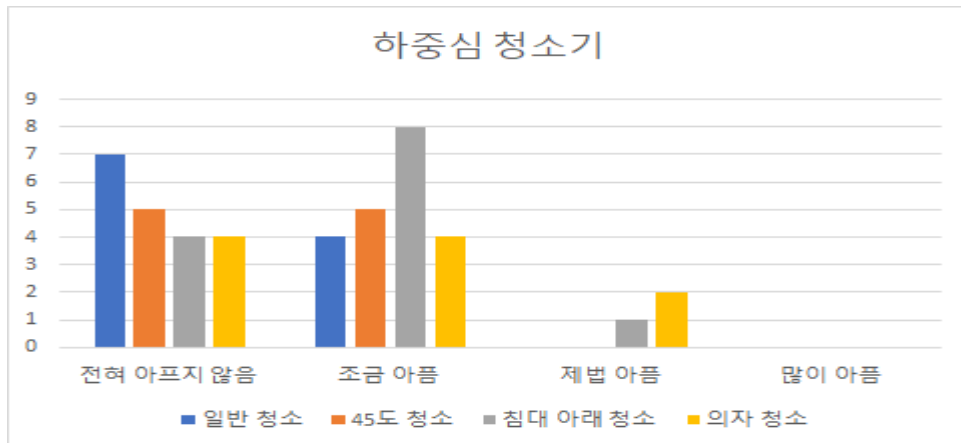
① 상황에 따른 상중심 청소기 사용 시 통증 정도



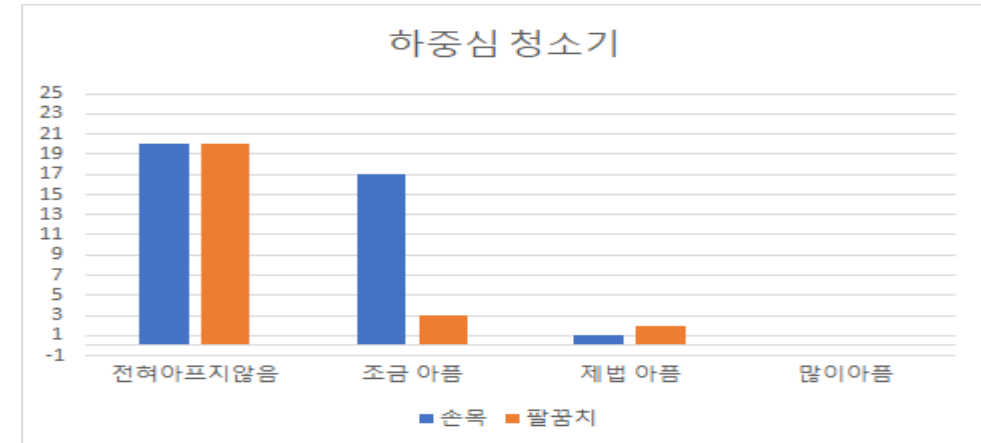
② 상중심 청소기 사용 시 부위 별 통증 정도(모든 실험 통증 통합)



③ 상황에 따른 하중심 청소기 사용 시 통증 정도



④ 하중심 청소기 사용 시 부위 별 통증 정도 (모든 실험 통증 통합)



* 통증 정도 상중심/하중심 유사, 선호도 조사 결과 상중심:하중심 = 6:4로 유사한 결과

◆ 데이터 분석 결과

• 일반 청소 상황과 45도 각도로 청소하는 상황

- 1) 무게중심과 손목에 미치는 부하 정도의 관계는 유의하지 않음을 확인
- 2) 청소하는 각도와 손목에 미치는 부하 정도의 관계는 유의하지 않음을 확인

• 일반 청소 상황과 침대 밑, 의자 밑 청소하는 상황

- 1) 침대 밑 청소 상황에서는 하중심 청소기가 상중심 청소기에 비하여 팔꿈치에 미치는 부담이 큼
- 2) 장애물 높이에 따른 청소 상황에서는 손목과 팔꿈치에서 유의함을 확인



상중심형 청소기



하중심형 청소기



침대 밑 청소 상황에서는 하중심 청소기가 관절의 부하도가 크고, 다른 모든 상황에서 무게중심은 관절 각도 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것 확인 가능.

◆결과 활용 방안

• 기업 측면

-현재 기업에서 많은 비중을 차지하고 있는 상중심형 무선 청소기에 대해 무게중심의 위치 보다는 손잡이 모양, 무게 등 다른 측면에서 개선 필요

• 사용자 측면

-관절에 이상이 있는 사용자의 경우 무게중심의 위치보다 손잡이의 형태나 다른 조건이 더욱 중요하다고 볼 수 있음.

-호텔과 같은 낮은 곳(침대 밑)을 빈번하게 청소하는 시설의 경우 하중심 청소기보다 상중심 청소기를 사용하는 것이 관절에 부담이 덜 감.

◆한계점 및 향후 연구 방향

① 제한된 신체부위(관절) 바탕으로 측정 진행

-> 관절 외에, 근육 활성도를 알아볼 수 있는 근전도 실험 추가적으로 필요

② 제한된 청소 상황 바탕으로 연구 진행

-> 더 다양한 상황(청소기를 들어서 사용하는 경우, 다양한 청소 각도 등) 바탕으로 근골격계 부담 연구 필요

③ 제한된 청소기 종류 바탕으로 연구 진행

-> 손잡이 종류(일자 손잡이, 건식 손잡이 등), 청소기 무게와 같은 여러가지 청소기 조건을 바탕으로 근골격계 부담 연구 필요

감사합니다

Appendix

① 장애물 높이에 따른 손목 – Deviation(Range)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	109.94	109.94	0.209	0.6488
장애물 높이	2.0	6816.31	3408.15	6.504	0.003
블럭	9.0	13912.1	1545.78		
무게중심* 장애물 높이	2.0	47.513	23.75	0.045	0.955
잔차	52.0	27247.7	523.99	NaN	NaN

② 장애물 높이에 따른 손목-Extension, Flexion(Max)

출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	210.279	210.279	0.2991	0.5872
청소 높이	2.0	6330.98	3165.49	4.5030	0.0167
블럭	9.0	16671.2	1852.35		
무게중심* 장애물 높이	2.0	223.387	111.693	0.1588	0.8535
잔차	43.0	30227.64	702.968	NaN	NaN

③ 장애물 높이에 따른 팔꿈치-Extension, Flexion(50%ile)

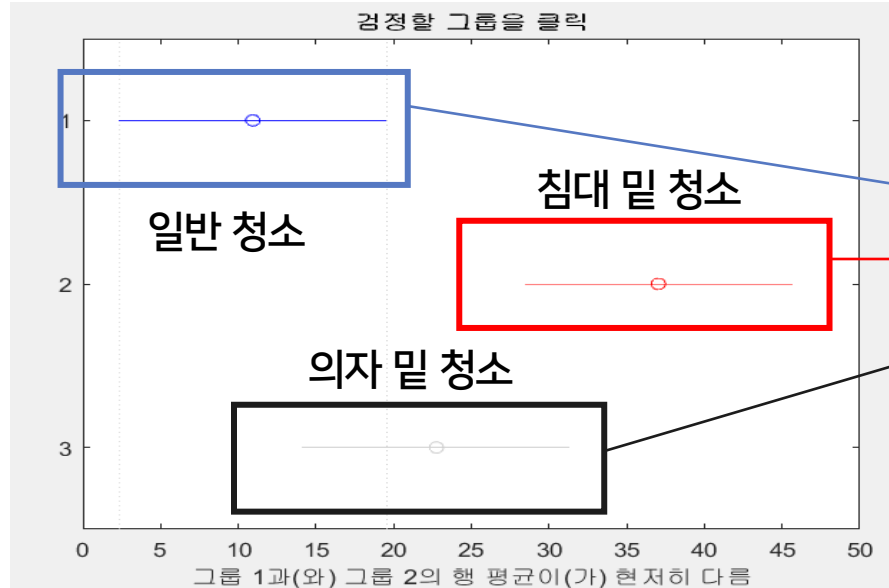
출처	DF	SS	MS	F	P
무게중심	1.0	159.694	159.694	0.4570	0.5026
장애물 높이	2.0	4798.51	2399.25	6.8671	0.00258
블럭	9.0	15368.3	1707.58		
무게중심* 장애물 높이	2.0	200.428	100.214	0.28683	0.75206
잔차	43.0	15023.34	349.3801	NaN	NaN

이전 페이지(부록 1p)의 3가지 표에서 장애물의 높이 P-Value값은
0.05보다 작으므로 장애물 높이는 변수로서 '유의함'

∴ 유의수준을 만족했으므로 사후검정 실시

3.2 사후검정 - Tukey

① 장애물 높이에 따른 손목 - Deviation(Range)



X축: 각도 변화량 y축: 그룹

- 그룹 1: 일반적인(0cm) 청소 상황
- 그룹 2: 침대 밑(20cm) 청소 상황
- 그룹 3: 의자 밑(40cm) 청소 상황

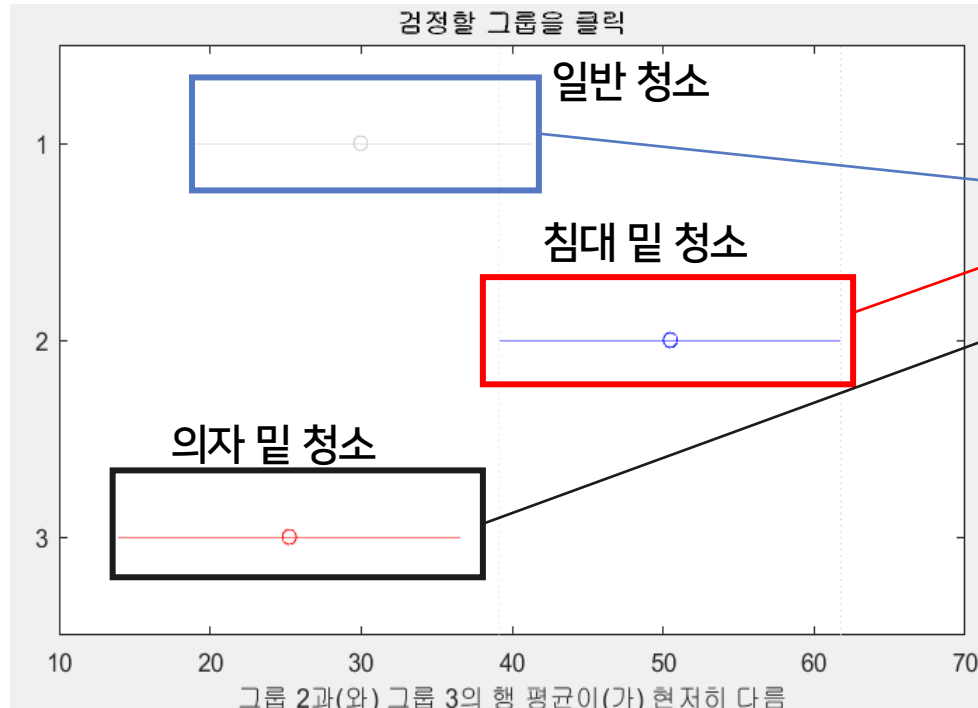
• 일반적인 청소 상황과 침대 밑 청소 상황에서만 유의한 차이가 존재

◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

장애물 높이 수준의 차이	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
일반 청소-침대 밑	-26.1063	(-43.3545, -8.8581)	0.0017

3.2 사후검정 - Tukey

② 장애물 높이에 따른 손목-Deviation (Max)



- 그룹 1: 일반적인(0cm) 청소 상황
- 그룹 2: 침대 밑(20cm) 청소 상황
- 그룹 3: 의자 밑(40cm) 청소 상황

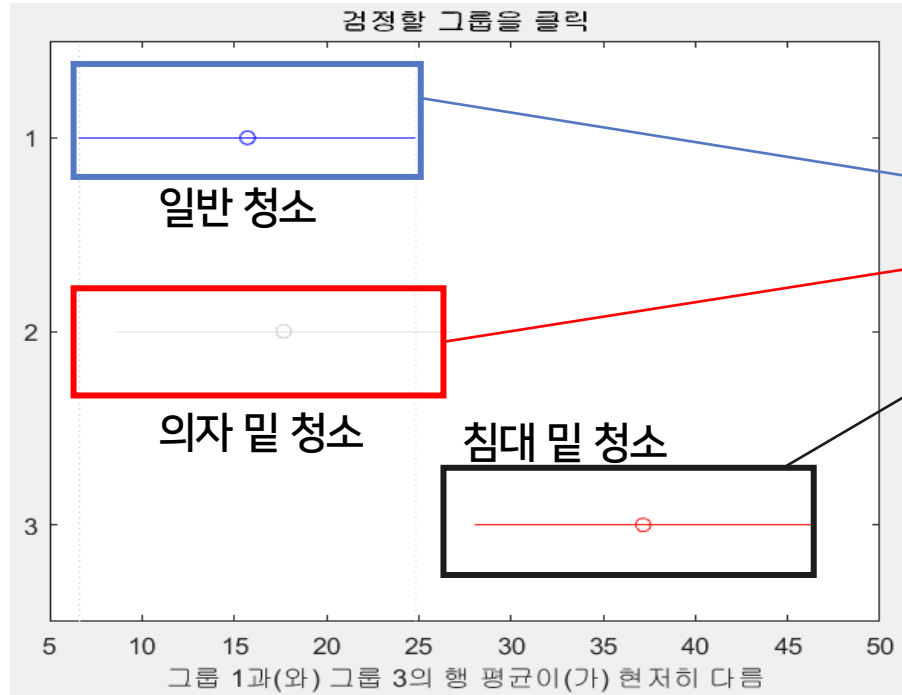
• 침대 밑 청소 상황과 의자 밑 청소 상황에서만 유의한 차이가 존재

◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

장애물 높이 수준의 차이	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
일반 청소-침대 밑	-20.5057	(-43.1201, 2.1086)	0.0829
일반청소-의자 밑	4.7102	(-17.9042, 27.3245)	0.8707
침대 밑-의자 밑	25.2159	(2.6016, 47.8302)	0.0255

3.2 사후검정 - Tukey

③ 장애물 높이에 따른 팔꿈치-Extension, Flexion(50%ile)



- 그룹 1: 일반적인(0cm) 청소 상황
- 그룹 2: 침대 밑(20cm) 청소 상황
- 그룹 3: 의자 밑(40cm) 청소 상황

• 의자 밑 청소 상황과 다른 두 그룹 사이에서 유의한 차이가 존재

◆ 평균 차이에 대한 Tukey 동시 검정

장애물 높이 수준의 차이	평균의 차이	동시 95% CI	수정된 P값
일반 청소-침대 밑	-1.9645	(-20.1644, 16.2353)	0.9634
일반청소-의자 밑	-21.4523	(-39.6522, -3.2525)	0.0172
침대 밑-의자 밑	-19.4878	(-37.6877, -1.2879)	0.0332