

컴퓨터 워크스테이션의 인간공학적 디자인

Ergonomic Design of Computer Workstation

정 석 길

중앙대학교 산업디자인학과 부교수

이 상 도

동아대학교 산업공학과 교수

본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업디자인 기반기술사업의 일환으로 연구된 개발결과입니다.

1. 서론

- 1-1 연구배경 및 목적
- 1-2 연구범위 및 방법

2. 컴퓨터 워크스테이션의 설계원칙

- 2-1 좌면의 높이
- 2-2 키보드 책상높이
- 2-3 책상높이
- 2-4 화면높이

3. 컴퓨터 워크스테이션의 평가실험

- 3-1 인체측정자료에 따른 설계권장치수
- 3-2 선호 치수 실험
- 3-3 주관적 실험
- 3-4 EMG 측정실험

4. 결론

참고문헌

(要約)

컴퓨터의 도입과 함께 VDT증후군이라는 새로운 사회문제가 제기 되고 있다. 다양한 체격의 사용자가 무리 없는 자세로 VDT작업을 수행하기 위해서는 인간공학적인 설계기준이 필요하다. 본 연구에서는 선 연구의 설계지침을 이용하여 설계 권장치수를 먼저 제시하였다. 이에 대한 타당성 검증은 위해 사용자의 선호치수를 구하였고, 그것과 설계지침에 따른 차이를 분석하였다. 그리고 안락감과 신체불편도 평가를 통한 주관적 평가와 근전도(EMG)분석을 통한 객관적 평가를 사용하여 각 설계치수가 인체에 미치는 영향을 비교분석 하였다. 워크스테이션에서 중요한 키보드의 높이는 팔꿈치보다 높이가 낮다면 손과 손목에 영향을 미치고, 높으면 목과 어깨에 피로를 가져다준다. 본 연구 실험결과 한국인을 위한 키보드책상의 권장치수는 고정식일때 660mm, 조절식일때 540 ~ 774mm를 추천한다. 그 외 설계권장치수는 본문에 제시하였으며 이와 같은 인간공학적 권장치수는 결론적으로 사용자의 신체에 맞게끔 조절범위를 제공하므로 설계 분야에 중요한 기초자료가 되리라 본다.

(Abstract)

With the increase in use of the computer, the VDT syndrome has occurred as a new social/health problem. Ergonomical design standards are needed for the users to reduce stress and poor physical posture in the human body. In this study, we have suggested design dimensions recommended from previous studies. We also have reviewed users' preference dimension, and analyzed differences between users' preference dimension, and the previous design criteria to verify physical appropriateness. We analyzed how each design dimension was reached and affected the human body by objective EMG evaluation, and subjective evaluation of physical discomfort and comfort. We have found that keyboard height is very important in a workstation. If the elbow's height is lower than the keyboard's height, it effects the hand and wrist. If higher, it brings fatigue to the shoulder and neck. As a result of this experiment, we suggested that the height of a keyboard desk for Koreans be 660mm for the fixed type and 540-774mm for the adjustable type. Also other design recommendations were suggested in the thesis. In conclusion, our research will be very important in the database because it provides adjustable ranges to fit user's body types in the various design fields.

(key word)

Ergonomic design of computer workstation, recommended dimension, physical discomfort evaluation, EMG evaluation.

1. 서론

1-1. 연구배경 및 목적

컴퓨터의 도입과 함께 VDT중후군이라는 새로운 사회문제가 제기 되고 있다. 즉, 많은 VDT작업자들이 근골격계에 대한 불편을 겪고 있는 주된 원인은 인간공학적 원칙을 고려하지 않고 VDT를 도입하는데 있다. 다양한 체격의 사용자가 무리하지 않는 자세로 VDT작업을 수행하기 위해서는 VDT워크스테이션의 각종 치수에 대한 인간공학적 설계기준이 필요하다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하는 사무실의 워크스테이션을 대상으로 설계권장치수 및 설계지침을 연구하므로써 디자인 표준자료로 활용되어지며, 소비자 불편요소를 사전에 제거하는데 목적이 있다.

1-2. 연구범위 및 방법

피실험자의 인체측정 자료를 바탕으로 선행¹⁾²⁾ 연구의 워크스테이션 설계지침을 이용하여 조절식 및 고정식 설계치수를 제시하였다. 몇 가지 설계치수에 대한 타당성 검증으로 사용자의 선호치수를 구하였고, 그것과 설계지침에 따른 차이를 분석하였다.

그리고 KS설계치수에 따라 생산된 기존의 워크스테이션을 비롯하여 자신의 신체에 맞게 조절된 의자를 평가하여 안락감과 신체불편도의 주관적평가와 근전도(EMG:electromyogram)분석³⁾을 통한 객관적평가를 사용하여 각 설계치수가 인체에 미치는 영향을 각 의자에 따라 비교 분석하였다.

전체 연구 내용 및 절차는 (표1)과 같다.

[표1] 연구내용 및 절차

| 분류 | 연구내용 | 연구방법 | 결과 |
|------------|-----------|---|-----------------------|
| 컴퓨터 워크스테이션 | 설계권장치수 제시 | 설계지침에 따른 워크스테이션 설계치수 선정 | |
| | 선호치수 측정 | · 피실험자 인체측정 · 선호치수 측정 | 선호치수, 설계지침의 타당성 |
| | 주관적 평가 | · 4가지 높이의 워크스테이션에 대한 일반적 안락감 측정 · 신체적 불편도 측정 | 워크스테이션 설계치수에 따른 영향 평가 |
| | 객관적 평가 | · 근전도 측정 | 근육별 영향정도 |

2. 컴퓨터 워크스테이션의 설계원칙

2-1. 좌면의 높이

일반적으로 좌면의 높이와 관련한 인체측정 치수로는 앉은 자세에서의 오금높이(바닥에서부터 무릎 바로 뒤 넓적다리까지

의 수직거리)가 있다. 좌면의 높이가 오금높이보다 높다면 넓적다리 부위가 좌면과 접촉되어 그 부위의 압박감을 주게 되고 더불어 혈액순환 장애를 유발하며, 너무 낮으면 다리를 앞으로 뻗거나 몸을 앞으로 구부려야 하며, 이때 발은 안정을 잃게 된다. 고정식 의자(조절이 불가능한)의 적절한 좌면의 높이를 결정할 때는 5퍼센타일(Percentile)의 오금 높이를 사용하며, 발 받침대를 사용할 때는 50퍼센타일을 고려하여 키가 작거나 큰 사람에게도 사용이 편리하도록 하는 것이다. 이 오금 높이에 다스의 신발 높이를 추가(일반적으로 2.5~3.7cm)하여 적절한 좌면의 높이를 결정하는 것이 일반적이고 모든 사람이 만족 할 수 있도록 의자의 좌면 높이는 조절식으로 주는 것이 일반화되어 있다.

이에 본 연구에서는 다음 식(1)과 같은 좌면 높이의 설계지침을 제시하였고,

$$\text{좌면의 높이} = \text{앉은 오금높이} + \text{신발 두께}(2.5\text{cm}) + \text{옷두께}(0.5\text{cm}) - 1.0\text{cm} \quad (1)$$

조절식인 경우 5퍼센타일의 여자와 95퍼센타일의 남자치수를 고려하여 좌면의 높이를 결정할수 있다.

2-2. 키보드 책상높이

의자의 높이에서부터 키보드의 높이가 너무 높다면 상완의 외전이 커져서 삼각근에 부담을 주거나 어깨가 위로 올라가게 되어 승모근이 쉽게 피로해진다. 반대로 키보드의 높이가 너무 낮다면 몸통이 앞으로 치우치게 되어 허리가 아프거나 어깨가 앞쪽과 아래쪽으로 쳐져서 견갑근에 부담을 갖게 되어 통증을 느끼게 된다⁴⁾.

이런 자세를 유지하기 위해서는 키보드의 높이가 앉은 팔꿈치 높이보다 지나치게 높아서는 안 된다. 적절한 키보드 책상높이는 일반적으로 의자의 조절범위에 영향을 받는다. 50퍼센타일 앉은 오금높이를 적용한 고정식 의자를 사용하고, 높이가 고정(조절이 불가능한)된 책상을 사용할 경우 50퍼센타일 앉은 팔꿈치 높이를 사용하여 키보드 책상높이를 구한다. 이 때 키가 적은 사람은 발 받침대의 사용이 편리하다. 따라서 본 연구에서는 키보드 책상 높이(키보드 자체의 높이를 제외한)를 식 (2)와 같이 제시하였다.

$$\text{키보드책상 높이} = \text{좌면 높이} + \text{앉은 팔꿈치 높이} - \text{여유치}(1.5\text{cm}) \quad (2)$$

2-3. 책상높이

일반적으로 VDT워크스테이션을 설계하는데는 책상높이가 고려되지 않고 있다. 그 원인으로서는 VDT작업의 대부분이 키보드 및 마우스를 이용한 작업으로 간주하는데 있다. 그러나 VDT와 더불어 책상을 이용한 서류 작업을 하는 복합적인 작업이 점차적으로 증가하고 있다. 적절한 책상높이는 일반적으로 의자의 조절 범위에 영향을 받는다. 50퍼센타일 앉은 오금 높이를 적용한 고정식 의자를 사용하고, 높이가 고정(조절이 불가능한)된 책상을 사용할 경우 50퍼센타일 앉은 팔꿈치 높

1) Henry Dreyfuss: The measure of man and woman, the whitney library of design, N.Y., pp.25-26, 1993.

2) 한국표준과학연구소: VDTworkstation의 인간공학적 설계 및 평가기술에 관한 연구(1차년도), KSRI-91-69-1R, pp.99-124, 1991.

3) 근육활동이나 전위차는 조직에 전류를 일으키며, 피부에 도달하는 것을 전극들로 검출하여 증폭, 기록한 것에 의해 근육피로도 및 활동을 분석한다.

박 경수: 인간공학, 영지문화사, p.181, 1980.

4) 한국표준과학연구소: op. cit, pp.113-116.

이를 사용하여 책상높이를 구한다. 이 때 키가 적은 사람은 발받침대의 사용이 편리하다. 본 연구에서 책상 높이는 식 (3)와 같이 권장치수를 제시하였다.

$$\cdot \text{책상높이} = \text{의자높이} + \text{앉은 팔꿈치높이} + \text{여유치} \quad (3)$$

(6.0cm)

2-4. 화면높이

지나치게 낮은 화면의 높이는 머리를 숙이도록 하여 머리를 지지하는 근육이 쉽게 피로하게 되고, 화면의높이가 너무 높을 경우는 편안한 시선의 방향, 즉 수평으로부터 10~15° 아래로 시선이 벗어나게 되어 불편 호소율이 증가하게 된다. 따라서 화면 높이의 인간공학적 설계원칙은 화면의 상단이 VDT사용자 눈의 수평높이를 넘지 않도록 하여야 한다. 본 연구에서는 화면의 상단을 중심으로 하였을 경우 화면의 크기에 따라 불편을 호소할 수 있기 때문에 화면의 모니터의 상단의 높이보다 책상 높이를 기준으로 화면의 중앙높이를 식 (4)와 같이 제시하였다.

$$\cdot \text{화면(중앙)높이} = \text{책상높이} + \text{모니터의 중간높이(17인치 모니터에서 약 30.0cm)} \quad (4)$$

3. 컴퓨터 워크스테이션 평가 실험

3-1. 인체측정 자료에 따른 설계권장치수

기존 문헌의 설계지침을 적용하여 한국인 성인 인체측정치수)에 따른 사무용 의자의 설계권장치수는 (표2)와 같다.

[표2] 인체측정치에 따른 설계권장치수 (단위 :mm)

| 명 칭 | 조립식 설계치수 | | 고정식 | 비고 (고정식) |
|---------|------------|------------|-----|------------------|
| | 최소 (여자) | 최대 (남자) | | |
| 의자높이 | 365 | 484 | 425 | 남녀평균 |
| 키보드책상높이 | 540 | 774 | 660 | 남녀평균 (키보드 제외) |
| 책상높이 | 615 | 849 | 735 | 남여평균 |
| 화면 높이 | 915 | 1149 | - | (화면중앙) |

3-2. 선호치수 실험

① 실험방법 및 내용

우선 나이가 20대인 남자 피실험자 33명을 선정(선정된 표본은 한국인 20대 남자 모집단의 분포를 따른다고 가정), EckAdams사의 조절 가능한 의자를 사용하여 자신의 신체에 맞는 의자높이를 설정하도록 하였다. 이러한 의자에서 자신의 신체에 알맞은 키보드 책상 높이(키보드 자체의 높이는 제외)를 선택하도록 하였고, 더불어 책상 높이를 선정하도록 하였다. 그리고 화면의 높이를 10mm단위로 수동으로 조절하도록

하였다. 이때 일반적 101키보드와 17인치 모니터를 선정하였으며, 실험에 사용된 조절 가능한 책상은 (그림1)과 같다.



[그림1] 실험에 사용된 조절식 책상

각 피실험자가 선호한 치수를 측정한 뒤 설계지침에 따른 치수와 비교 분석하였다. 피실험자의 인체측정치는 (표3)과 같다.

[표3] 선호실험 피실험자의 인체측정치 (단위:cm)

| 측정 항목 | mean | S.D. |
|------------|--------|------|
| 키 | 169.34 | 5.42 |
| 몸무게 | 66.33 | 5.84 |
| 앉은 오금높이 | 42.42 | 1.71 |
| 앉은 허벅지높이 | 14.67 | 1.21 |
| 앉은 엉덩이오금길이 | 46.66 | 3.12 |
| 앉은 팔꿈치높이 | 26.28 | 2.38 |
| 앉은 어깨높이 | 56.36 | 3.25 |
| 앉은 키 | 88.40 | 2.24 |
| 앉은 팔꿈치너비 | 41.20 | 2.89 |
| 앉은 엉덩이너비 | 36.21 | 5.09 |
| 앉은 어깨너비 | 35.25 | 2.37 |
| 앉은 요추높이 | 11.32 | 1.87 |

② 선호치수 결과분석

20대 남자 피실험자 33명을 대상으로 피실험자가 앉은 상태에서 워크스테이션의 키보드 책상높이, 책상의 높이, 화면높이를 조절하도록 하여 측정하였다.

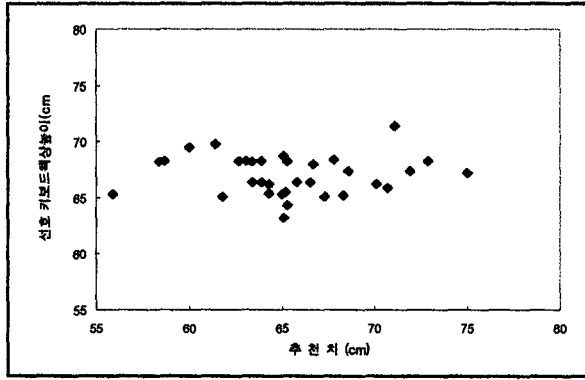
● 키보드 책상높이

키보드 책상높이는 바닥에서 키보드 책상까지의 높이를 측정하였다. 선호된 키보드 책상 높이의 평균은 67.04cm이고 표준편차는 1.76cm이다. 최소값은 63.2cm이고 최대값은 71.4cm이다. (그림2)는 피실험자가 선택한 선호치수와 앞에서 제시한 추천치(좌면 높이+앉은 팔꿈치높이-3.0)와의 관계를 보여준다. 피실험자 집단의 인체측정치 중 앉은 좌면 높이+앉은팔꿈치높이 평균이 68.42cm, 표준편차가 4.24cm이고 이에 따른 피실험자 집단에 대한 추천치의 평균은 65.42cm, 표준편차가

5) 곽 원모 외 : 산업디자인을 위한 한국인 인체측정 활용에 관한연구, 산업자원부, pp.110-121, 1998.

4.24cm으로 나타나 평균적으로 추천치에 비해 선호된 높이가 1.62cm가 높게 선호하였다 ($t=-2.03, p=0.046$)⁶⁾.

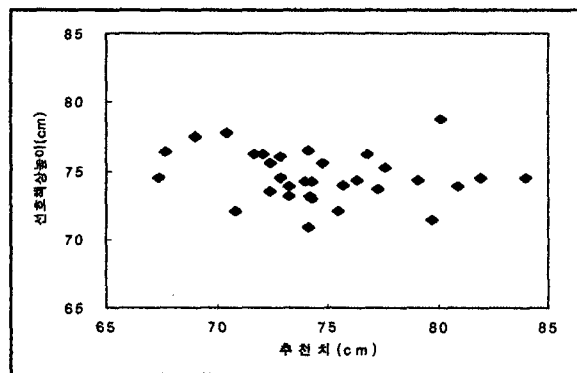
앞에서 키보드 책상의 높이를 좌면 높이+앉은 팔꿈치높이+여유치(3.0cm)를 제시하였으나 본 선호치수 실험의 결과에 따라 너무 낮은 것으로 나타났다. 따라서 키보드자체의 높이(2.8~3.5cm)를 감안한다면 적절한 키보드의 높이의 설계권장치수는 좌면 높이+앉은 팔꿈치높이+여유치(1.5cm)로 제시할수있다.



[그림2] 선호된 키보드책상높이의 추천 치와의 산점도

● 책상높이

선호된 책상 높이는 바닥에서 선택한 책상 높이 상단까지의 높이를 측정하였다. 선택된 책상 높이의 평균은 74.55cm이고 표준편차는 1.83cm이다. 최소값은 68.7cm이고 최대값은 76.6cm이다. (그림3)은 피실험자가 선택한 선호치수와 앞에 제시한 추천치(좌면 높이+팔꿈치높이+6.0)와의 관계를 보여준다. 피실험자 집단의 인체측정치 중 앉은 좌면 높이+앉은팔꿈치높이 평균이 68.42cm, 표준편차가 4.24cm이고 이에 따른 피실험자 집단에 대한 추천치의 평균은 74.42cm, 표준편차가 4.24cm으로 나타나 평균적으로 추천치에 비해 선호된 높이가 0.12cm가 높게 선호하였으나 통계적 차이는 없는 것으로 나타났다. ($t=0.15, p=0.875$).



[그림3] 선호된 책상높이의 추천 치와의 산점도

● 화면높이

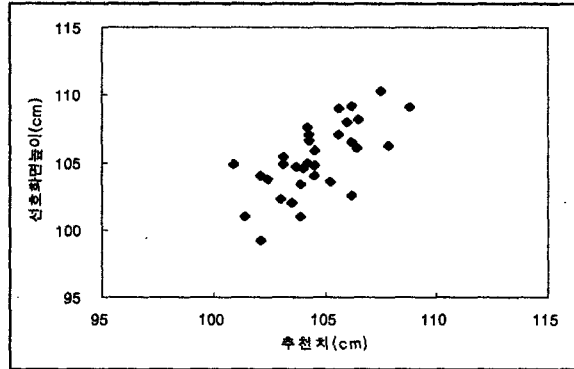
선호된 화면 높이는 바닥에서 모니터의 중앙 점까지를 측정하

6) 평균치검정인 pair-wised t검정에서 P값이 0.05 이상이면, 신뢰수준 95%에서 평균치 차이가 없는 것으로 하고, 0.05 이하이면 차이가 있는 것으로 본다. 이때 t값은 검정통계량이다.

장 지민 외 : SAS / PC를 이용한 통계자료, 법문사, p.163, 1993.

였다. 화면 높이의 평균은 105.25cm, 표준편차는 2.60cm이고, 최소값은 99.2cm, 최대값은 110.3cm이다. (그림4)는 피실험자가 선택한 선호치수와 앞에서 제시한 추천치(책상높이+30.0)와의 관계를 보여준다.

피실험자에 대한 앞에서 선호된 책상높이의 평균이 74.55cm, 표준편차가 1.83cm이고, 이에 따라 범용으로 많이 사용하는 17inch 모니터를 기준으로 피실험자 집단에 대한 추천치는 104.55cm, 표준편차가 1.83cm로 나타나 선호된 높이는 추천치에 비해 0.7cm 높은 것으로 나타났으나 검정 결과 차이가 없는 것으로 나타났다. ($t=-1.83, p=0.196$)



[그림4] 선호된 화면높이의 추천 치와의 산점도

3-3. 주관적 실험

① 실험방법 및 내용

워크스테이션의 주관적 평가 실험은 일반적 안락감 평가, 신체불편도 평가 실험을 2시간동안 실시하였다. 일반적 안락감 평가 실험에서는 Drury와 Coury⁷⁾가 사용한 11점 척도를 사용하여 매 30분마다 현재의 안락정도를 평가하게 하였으며, 신체불편도평가 실험에서는 여러 연구에서 3점척도를 사용하였으나 본 연구에서는 Corlett과 Bishop⁸⁾이 사용한 5점 척도법을 이용하여 신체 9개 부위의 불편정도를 평가하였다. 피실험자는 20대 남자 20명을 선정(선정된 표본은 한국인 20대 남자 모집단의 분포를 따른다고 가정)하였고 피실험자 집단의 선호치수 측정실험에 사용된 피실험자의 인체측정치는 (표4)와 같다.

평가실험에 사용된 워크스테이션은 기존에 사용되고 있는 워크스테이션의 각 치수를 고려한 3가지 형태(A, B, C-height)와 선호치수실험에서와 같은 방법으로 피실험자에게 선택시킨 워크스테이션(T-height) 등 4개의 형태이다. 특히 각 워크스테이션의 주로 키보드 책상의 높이와 화면 높이를 고려하여 선정하였다. 실험에 사용된 워크스테이션 형태의 각 치수는 (표5)와 같다.

피실험자는 2시간 동안의 대상 워크스테이션에 앉은 상태로 안락감 및 신체적 불편도를 측정하기 때문에 과도한 데이터 입력 작업을 제외한 일반적인 VDT업무로 탐색작업을 주로 하여 실시하였다. 평가는 매 30분 간격으로 각 평가지에 현재의

7) 박 세진 외 : 자동차 운전석의 주관적 안락감 평가와 체압분포에 관한 연구, 대한인간공학회지, Vol.12, No.1, pp.3-15, 1993.

8) E. N. Corlett and R. P. Bishop : A technique for assessing postural discomfort, Ergonomics, Vol. 19, pp.175-182, 1976.

상태를 기술하도록 하였다.

[표4] 선호실험 피실험자의 인체측정치 (단위:cm)

| 측정 항목 | mean | S.D. |
|-----------|--------|------|
| 키 | 171.83 | 5.01 |
| 몸무게 | 67.45 | 5.26 |
| 앞온몸높이 | 42.46 | 2.98 |
| 앞손허벅지높이 | 13.85 | 1.90 |
| 앞손엉덩이오금길이 | 47.09 | 2.67 |
| 앞손팔꿈치높이 | 23.99 | 2.21 |
| 앞손어깨높이 | 56.07 | 3.28 |
| 앞손키 | 88.64 | 2.54 |
| 앞손팔꿈치너비 | 45.89 | 2.78 |
| 앞손엉덩이너비 | 35.23 | 5.56 |
| 앞손어깨너비 | 35.88 | 2.23 |
| 앞손요추높이 | 16.37 | 1.24 |

[표5] 평가실험에 사용된 워크스테이션의 주요 설계치수

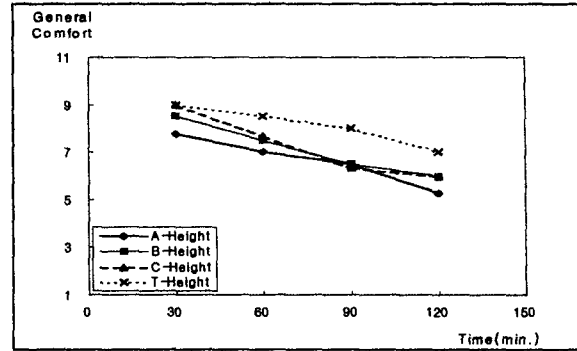
| 분류 | A-height | B-height | C-height | 비고 |
|--------------|----------|----------|----------|------------|
| 의자높이 | 조절가능 | 조절가능 | 조절가능 | |
| 키보드책상높이 | 60 | 68 | 76 | (키보드높이 제외) |
| 책상높이 | 69 | 76 | 84 | |
| 화면 높이 (화면중앙) | 96 | 106 | 114 | |
| 화면과 눈과의 거리 | 70으로 고정 | 70으로 고정 | 70으로 고정 | |
| 발받침대높이 | 없음 | 없음 | 없음 | |
| 발받침대각도 | - | - | - | |
| 머리각도 | 0~15° | 0~15° | 0~15° | |

② 일반적 안락감 평가

11점 척도로 인한 각 시간대별 일반적 안락감 평가의 결과는 (표6)과 같고 그에 따른 그래프는 (그림5)와 같다.

[표6] 일반적 안락감 평가의 결과

| 의자 | 30 | | 60 | | 90 | | 120 | |
|----------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| | 평균 | S.D. | 평균 | S.D. | 평균 | S.D. | 평균 | S.D. |
| A-height | 7.8 | 1.00 | 7.0 | 1.53 | 6.5 | 2.89 | 5.3 | 2.65 |
| B-height | 8.5 | 0.74 | 7.5 | 0.72 | 6.5 | 2.12 | 6.0 | 2.83 |
| C-height | 9.0 | 2.06 | 7.7 | 1.63 | 6.3 | 1.29 | 6.0 | 2.06 |
| T-height | 9.0 | 0.03 | 8.5 | 0.71 | 8.0 | 0.02 | 7.0 | 0.23 |



[그림5] 일반적 안락감 평가의 시간대별 추이

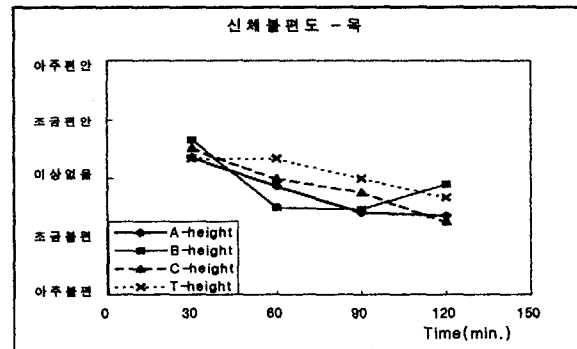
이 결과를 보면 키보드의 높이 및 화면의 높이를 자신의 신체에 맞도록 한 T-height의 전체 안락감이 다른 높이에 비해 더 나은 것을 볼 수 있다. 그리고 가장 낮은 높이인 A-height의 워크스테이션이 안락한 정도가 가장 적었다. 이것은 높은 키보드의 높이 보다는 신체에 비해 낮은 높이의 키보드가 사용자에게 더 불편함을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

③ 신체불편도 평가

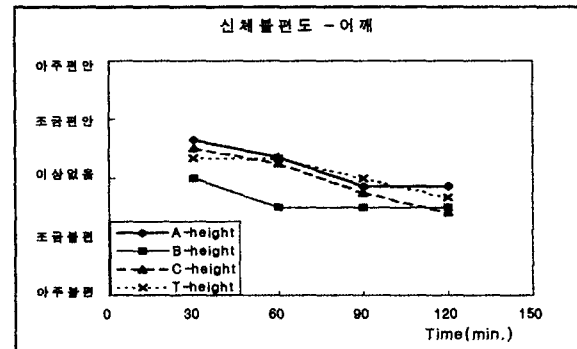
각 의자에 대하여 9개 부위별 시간에 따른 각 부위별 신체불편도 평가 실험의 결과는 다음과 같다.

● 목, 어깨 부위

시간에 따른 목과 어깨 부위의 안락감 평가 결과는 (그림6~7)과 같다.



[그림6] 목 부위의 신체불편도 추이



[그림7] 어깨 부위의 신체불편도 추이

그래프에서 보면 2시간 작업 후 C-height의 높이에서 목과 어깨의 불편도를 가장 많이 느끼는 것으로 나타났고, 안락감의 저하율 또한 C-height가 목과 어깨에서 동일하게 다른 높이의 워크스테이션보다 저하율이 높게 나타났다. C-height는 가장 높은 워크스테이션으로 피실험자가 작업을 위해서는 목을 들고 화면을 바라보며, 키보드의 높이가 높기 때문에 상완을 들어주는 어깨의 부담도 많은 것이 그 원인이다. 즉 사용자의 신체보다 상대적으로 높은 위치의 키보드는 상완을 드는 작용을 하는 사용자의 목과 어깨에 많은 불편을 주는 것으로 들 수 있다.

● 상완과 전완

시간에 따른 상완과 전완 부위의 안락감 평가 결과로 상완과 전완 부위의 안락감은 2시간 작업 후 모두 비슷한 척도를 보이고 있으며, 안락감의 저하율은 A-height와 C-Height에서 높게 나타났다. 지면관계상 그래프는 생략하였다.

● 손목과 손 부위

시간에 따른 손목과 손 부위의 안락감 평가 결과로 2시간 작업 후의 손목과 손의 안락감은 C-height가 가장 낮았다. 이것은 높은 위치에 있는 키보드를 동작하기 위하여 손목의 신전(extension) 운동을 가져오기 때문으로 볼 수 있으며, 또한 자신의 신체보다 낮은 위치에 키보드를 위치한 A-height에서는 손목이 굴곡(flexion) 운동을 가져오게 됨에 따라 시간이 지날수록 손목의 부담이 증가하게 된다.

● 등 부위

등 부위의 안락감 평가 결과로 등부위에서는 다른 것에 비해 상대적으로 B-height가 낮았으나 저하율에서는 C-height가 가장 높았다. 따라서 키보드 혹은 화면의 높이는 사용자의 신체보다 높거나 낮을 때 신체 부위의 불편함이 증가한다고 할 수 있다.

3-4. EMG 측정실험

① 평가방법

주관적 평가 실험에 사용된 4개의 컴퓨터 워크스테이션 높이에 대해 주관적 평가의 타당성을 검토하기 위하여 각각의 워크스테이션에서 45분간 키보드 작업을 시켜 매 5분 간격으로 4개의 근육과 대하여 10초간 전기신호를 측정하였다. 측정에 사용된 EMG 측정장비는 (그림8)과 같다.

전극은 등세모근 및 삼각근, 그리고 키보드 작업에 직접 작용하는 근육 등 4개의 근육에 부착하였고, 비교분석을 위하여 각 시간대별로 Mean F (Mean Frequency)의 값을 계산하여 비교하였다. 피실험자는 키가 50퍼센타일 이상인 20대 남학생 2명(T-group)과 50퍼센타일 이하인 20대 남학생 2명(S-group)을 선택하였고, 피실험자의 인체 측정치는 표7과 같다.

A-height 워크스테이션의 작업전과 45분간 작업 후의 EMG 그래프의 예는 (그림9)와 같다. 6번 채널의 그래프는 등세모

근, 7번 채널의 삼각근, 9번 채널은 손가락퍼짐근, 10번 채널은 척골쪽 손목퍼짐근의 전기신호이다.

동일하게 B, C, T-height에서도 EMG근전도 실험을 실시하였으나 지면관계상 생략한다.

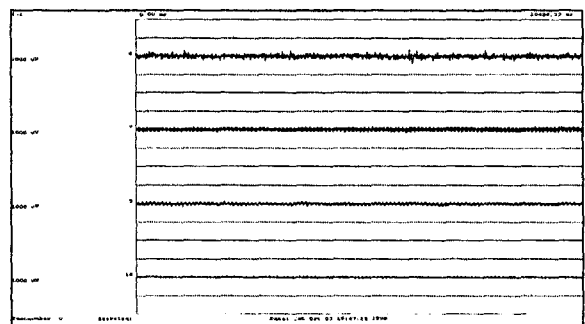
피실험자에게 키보드 작업을 시킨 후 측정시에는 작업을 멈추고 10초간 전기신호를 측정하였다. 10번 채널의 척골쪽 손목퍼짐근을 제외한 모든 근육에서 작업후 강한 불규칙적이고 강한 파형을 볼수있다.



[그림8] 워크스테이션의 EMG 실험사진

[표7] 근전도 실험 피실험자의 인체 측정치 (단위:cm)

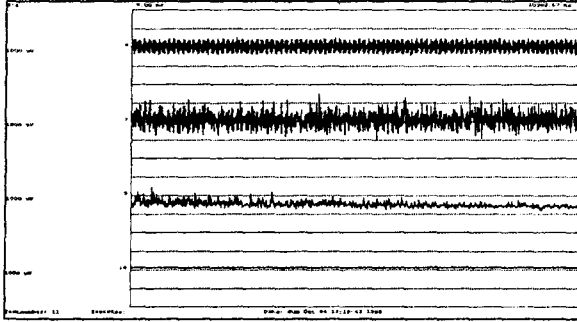
| 측정 항목 | T-Group | S-Group |
|-----------|---------|---------|
| 키 | 171.40 | 161.30 |
| 몸무게 | 66.45 | 62.50 |
| 앞은오금높이 | 43.30 | 42.45 |
| 앞은허벅지높이 | 14.90 | 13.95 |
| 앞은엉덩이오금길이 | 46.50 | 42.50 |
| 앞은팔꿈치높이 | 22.45 | 28.10 |
| 앞은어깨높이 | 55.35 | 54.50 |
| 앞은키 | 90.40 | 87.55 |
| 앞은팔꿈치너비 | 51.35 | 45.70 |
| 앞은엉덩이너비 | 34.30 | 36.50 |
| 앞은어깨너비 | 37.90 | 34.85 |
| 앞은요추높이 | 17.45 | 15.25 |



(a) A-height 워크스테이션의 작업 전 EMG 그래프의 예

9) 근전도 분석에 많이 사용되는 것으로서 단위 시간내 평균을 낸 주파수, 일반적으로 작을수록 피로가 많다.

J. V. Basmajian : Muscles a live, 4th Edition, Williams and Wilkins Co, Batimore, 1978.



(b) A-height 워크스테이션의 작업 후 EMG 그래프의 예
 [그림9] A-height 워크스테이션의 작업전, 작업후 EMG 그래프

② MeanF를 이용한 근육별 EMG 분석

● 등세모근

피실험자 그룹(T, S-group)의 시간에 따라 각 워크스테이션의 등세모근 Mean F 추이는 시간에 따라 Mean F 값이 점차적으로 감소하는 추세를 보이기 때문에 감소정도를 알아보기 위하여 회귀분석¹⁰⁾을 한 결과가 (표8)과 같다.

[표8] 등세모근 Mean F 값의 회귀분석 결과

| 분류 | S-Group | |
|----------|----------------------|------|
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 173.7 - 1.530 · Time | 65.1 |
| B-height | 187.7 - 1.327 · Time | 90.9 |
| C-height | 168.1 - 2.026 · Time | 91.2 |
| T-height | 168.9 - 1.070 · Time | 58.3 |
| 분류 | T-Group | |
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 169.4 - 1.342 · Time | 72.5 |
| B-height | 162.7 - 0.807 · Time | 72.7 |
| C-height | 164.7 - 1.598 · Time | 79.3 |
| T-height | 159.2 - 0.975 · Time | 63.0 |

각 워크스테이션별 등세모근의 시간에 따른 감소추세는 비슷한 경향을 보이나 특히 C-height의 워크스테이션에서 2개의 피실험자 그룹에서 모두 Mean F 값의 감소가 가장 크게 나타났다. C-height의 워크스테이션에서도 S-Group의 감소가 더 크게 나타났는데 이것은 키가 작은 피실험자에 높은 위치의 키보드 높이가 등세모근에 큰 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 또한 A-height에서 T-Group의 실험자들이 S-Group 보다 더 큰 저하를 가져왔다.

● 삼각근

피실험자 그룹(T, S-group)의 시간에 따라 삼각근의 MeanF의 추이는 또한 시간에 따라 Mean F 값이 점차적으로 감소하는 추세를 보이기 때문에 감소정도를 알아보기 위하여 회귀분

석을 한 결과가 (표9)와 같다. 등세모근과 마찬가지로 키보드의 높이가 높은 C-height가 가장 큰 기울기를 보인다. 저하가 등세모근보다 더 크며, 이것은 높은 위치의 키보드는 사용자 의 삼각근에 더 많은 피로를 가져다주는 것으로 볼 수 있다.

[표9] 삼각근 Mean F 값의 회귀분석 결과

| 분류 | S-Group | |
|----------|----------------------|------|
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 118.2 - 2.076 · Time | 74.5 |
| B-height | 185.5 - 1.595 · Time | 85.3 |
| C-height | 182.9 - 3.164 · Time | 88.3 |
| T-height | 170.6 - 0.762 · Time | 66.6 |
| 분류 | T-Group | |
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 107.2 - 2.311 · Time | 75.9 |
| B-height | 163.1 - 0.834 · Time | 67.8 |
| C-height | 169.0 - 2.253 · Time | 93.2 |
| T-height | 150.5 - 0.766 · Time | 43.8 |

● 손가락퍼짐근

피실험자 그룹(T, S-group)의 시간에 따라 손가락퍼짐근의 MeanF의 추이는 시간에 따라 Mean F 값이 점차적으로 감소하는 추세를 보이기 때문에 감소정도를 알아보기 위하여 회귀 분석을 한 결과가 (표10)과 같다. 손가락퍼짐근의 EMG 분석 결과에 보면 앞의 2개의근육보다 빠른 시간에 피로를 보이고 있다.

이것은 근육이 키보드 작업과 관련한 근육이기 때문으로 볼 수 있고, S-Group에 비해 T-Group이 대체적 적은 저하를 보이고 있다.

[표10] 손가락 퍼짐근 Mean F 값의 회귀분석 결과

| 분류 | S-Group | |
|----------|----------------------|------|
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 71.00 - 1.624 · Time | 29.2 |
| B-height | 70.6 - 1.712 · Time | 69.3 |
| C-height | 87.5 - 2.518 · Time | 41.2 |
| T-height | 102.8 - 2.501 · Time | 69.9 |
| 분류 | T-Group | |
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 61.0 - 1.173 · Time | 55.7 |
| B-height | 92.9 - 1.495 · Time | 46.7 |
| C-height | 103.3 - 2.248 · Time | 72.7 |
| T-height | 107.7 - 1.573 · Time | 77.4 |

● 척골쪽 손목퍼짐근

피실험자 그룹(T, S-group)의 시간에 따른 척골쪽 손목퍼짐근

10) 종속변수와 독립변수들 간의 회귀식을 추정하고, 추정된 회귀식을 이용하여 예측을 하는 통계적 분석.
 대한 산업공학회편 : 산업공학용어사전, 청문각, p.222, 1993.

의 Mean F 감소 추세는 시간에 따라 Mean F 값이 점차적으로 감소하는 추세를 보이기 때문에 감소정도를 알아보기 위하여 회귀분석을 한 결과가 (표11)와 같다.

척골쪽 손목퍼짐근의 EMG 결과에 따르면 손가락퍼짐근과 마찬가지로 많은 저하를 보이고 있다. 이 근육 또한 키보드 작업에 관여하는 근육이기 때문에 볼 수 있고 S-Group보다 T-Group의에서 대체적으로 더 많은 저하를 보이고 있다. 즉 키보드의 높이보다는 작업자재가 이 근육의 피로에 더 많은 영향을 보인다는 것을 알 수 있다.

[표11] 척골쪽 손목퍼짐근 Mean F 값의 회귀분석 결과

| 분류 | S-Group | |
|----------|----------------------|------|
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 133.6 - 2.517 · Time | 62.4 |
| B-height | 118.2 - 2.076 · Time | 74.5 |
| C-height | 115.2 - 2.271 · Time | 57.6 |
| T-height | 148.0 - 2.893 · Time | 88.2 |
| 분류 | T-Group | |
| | 회귀식 | 결정계수 |
| A-height | 155.0 - 3.833 · Time | 87.1 |
| B-height | 107.2 - 2.311 · Time | 75.9 |
| C-height | 118.5 - 2.614 · Time | 91.7 |
| T-height | 167.8 - 3.310 · Time | 88.5 |

4. 결론

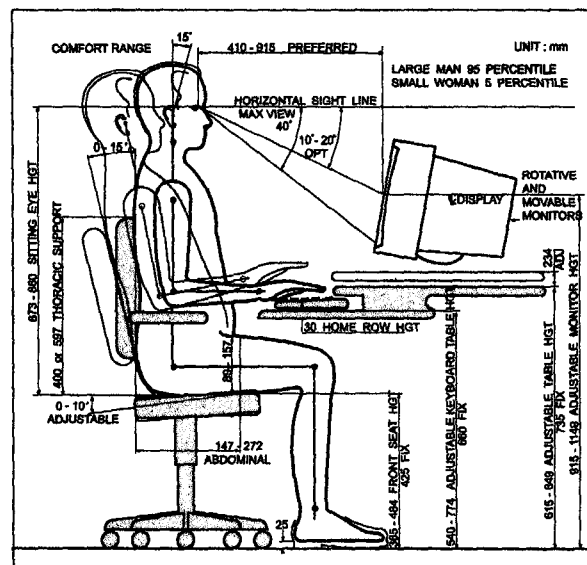
피실험자가 워크스테이션의 높이 등을 자신의 신체에 적합하도록 한 선호치수 실험에서는 3개의 워크스테이션 설계치수(키보드 책상높이, 책상높이, 화면간의 거리)에 대하여 선 추천치와 선호치수간의 차이를 pair wised t-검정¹¹⁾을 통해 분석하였다. 분석 결과, 키보드 책상 높이는 선 추천치가 선호치수에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다.

- 안락감 평가에서는 가장 낮은 키보드 높이를 가지는 것이 가장 낮은 안락감을 보이고 있다. 따라서 키보드의 높이가 높았을 때보다 키보드의 높이가 신체에 낮을 때 사용자는 불편함을 더 느낀다고 할 수 있다.
- 신체불편도 평가 실험에서는 2시간 작업 후 피실험자는 낮은 높이에서 상완과 손목과 손의 통증을 호소하였고, 키보드 높이가 비교적 높은 위치에서는 목과 어깨 그리고 가운데 등 그리고 허리에서 통증을 호소하였다. 이것은 키보드의 높이가 낮으면 손목의 굽곡(flexion)을 초래하며 손과 손목에 피로를 주며, 키보드의 높이가 높으면 어깨를 들어올리는 어깨의 삼각근과 등세모근, 그리고 상체를 지지하는 넓은 등근에 피로를 주는 것으로 보인다.

● EMG근전도 실험에서는 4개의 근육에서 시간이 지날수록 근육의 활동(피로)이 높았으며 그 중에서도 손목퍼짐근과 척골쪽 손가락퍼짐근이 피로가 짧은 시간 내에 발생하고 있는 것으로 나타났다. 이 근육은 키보드 작업에 있어 손가락의 운동과 손목의 운동에 중대한 영향을 미치기 때문이다. 또한 각 컴퓨터 워크스테이션별로 등과 어깨 삼각근의 근육피로는 키보드가 낮은 것보다 비교적 높은 위치에 많은 저하를 보고 있다. 이것은 키보드의 높이가 높으면 상완과 전완을 들려주는 근육의 활동이 활발해짐을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 결과에 의하면 워크스테이션에 있어 책상의 높이보다는 키보드의 높이가 사용자의 신체 근육 활동과 작업에 중대한 영향을 미치기 때문이다. 키보드의 높이를 작업시 사용자의 팔꿈치 높이보다 낮다면 손과 손목에 영향을 미치고, 높으면 목과 어깨에 피로를 가져다주기 때문에 키보드 높이의 설계에 주의가 기할 필요가 있다.

한국인 인체측정치에 따른 설계권장치수는 (표2)에 제시하였으며, 컴퓨터워크스테이션 그래픽도형은 (그림10)과 같다.

본 연구는 설계분야에서 실질적으로 중요한 기초자료가 될 것이며, 평가와 실험의 결과들에 의한 인간공학 적 권장치수는 결론적으로 사용자의 신체에 맞게끔 워크스테이션의 조절식 범위를 제공하므로 설계의 표준화가 되리라고 생각된다. 향후 생활제품에 대한 권장치수는 계속적으로 연구하므로써 산업디자인 기술 선진화는 한층 확대 되어질것이다.



[그림10] 설계권장치수에 따른 컴퓨터 워크스테이션

참고문헌

- 팍 원모 외 : 산업디자인을 위한 한국인 인체측정 및 활용에 관한연구, 산업자원부, 1998.

- 박 경수 : 인간공학, 영지문화사, 1980.

11) 두 표본 집단간에 평균치의 차이를 검정하는 방법, 쌍체비교, Ibid, p.225.

- 박 세진 외 : 자동차 운전석의 주관적 안락감 평가와 체압 분포간의 관계에 관한 연구, 대한인간공학회지, Vol. 12 , No. 1, 1993.
- 장 지인 외 : SAS / PC를 이용한 통계자료, 법문사, 1993.
- 한국표준과학연구소 : VDT workstation의 인간공학적 설계 및 평가기술에 관한 연구(제1차년도), KSRI-91-69-IR, 1991.
- Henry Dreyfuss: The measure of man and woman, the whitney library of design, N.Y., 1993.
- J. V. Basmajian : Muscles a live, 4th Edition, Williams and Wilkins Co, Batimore, 1978.
- E. N. Corlett and R. P. Bishop : A technique for assessing postural discomfort, Ergonomics, Vol. 19, 1976.