

# 인체 계측학을 이용한 안전하고 편리한 작업 한계면에 관한 연구

- A Study on Safe and Convenient  
Work-Envelop Using Anthropometric Stereotype -

임 영 문 \*

Leem Young Moon

방 해 경 \*\*

Bang Hey Kyong

최 인 려 \*\*

Choi In Ryu

## Abstract

In developing criteria for establishing workstation reach limits, it is essential to select the appropriate anthropometric stereotype for solving a specific design problem. The most important factor for comfortable workstation is to eliminate trunk flexion from the neutral (upright) posture. A solution to this design can be developed using population stature and link length data. This paper provides a methodology for design of comfortable workstation using anthropometric stereotype. Application of this methodology can be utilized in various designs for work space including standing and sitting workplace. For the purpose of this study, the data are measured by some parts on body such as stature, arm length, wrist height, elbow height, and shoulder height. The samples for this study are randomly chosen from university students in Seoul and Kangnung during sixteen months (2003.3 ~2004.6).

**Keyword:** Reach Limit, Anthropometric Stereotype, Stature, Link Length, Work-Space Envelop

† 본 논문은 2004년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

\* 강릉대학교 산업공학과

\*\* 성신여자대학교 의류학과

## 1. 서 론

작업공간과 인간의 자세, 인체의 치수와는 깊은 관계가 있고, 적절한 작업공간의 설정을 위해서는 인체 계측자료가 필요함은 물론 면밀한 분석이 요구된다. 인간공학적 측면에서 작업공간 설계의 주된 목표는 동작을 경제적으로 이용하는 것에 두고 있다. 즉, 물체들을 합리적으로 배치하여 중복되는 작업을 피한다거나 큰 동작과 불필요한 동작을 감소시켜 에너지 사용을 줄이고, 작업 중에 생길 수 있는 대기시간 등을 줄이는데 중점을 둔다. 작업 공간에서 불필요한 동작을 감소시킬 수 있는 설계는 작업자의 피로도를 줄이고 궁극적으로는 생산성 및 경제성의 향상을 추구할 수 있게 해줄 것이다. 작업공간의 설계 시 가장 중요한 것의 하나는 “작업공간 한계면 (Work-Space Envelop)” 을 포함해야 한다는 것이다. 앉은 사람의 작업공간 한계면은 수행되는 수작업의 특성과 기능적으로 팔이 닿는 거리에 의해 결정되는데 기능상 앞팔의 접근거리는 착용한 의복과 그 외의 제약 조건에 의해서도 제한을 받게 된다. “작업공간 한계면”은 어떤 수작업을 행하는 사람에게 최적이 가까운 3차원적 공간으로 구성 되어야만 하는데 자주 사용하는 조정 장치나 물체는 그러한 3차원적 공간내에 위치해야 하며 그 공간의 적정한계는 팔이 닿을 수 있는 거리에 의해 결정된다. 한국산업안전공단의 웹 사이트에 (<http://www.kosha.or.kr>)는 적절한 작업공간 설계를 위해 고려해야 할 사항들을 열거해 놓고 있다. 예를 들어, 서서 일하는 작업장에서 글을 쓰거나 전자 조립과 같은 정밀작업시 작업대 높이는 팔꿈치 높이보다 5cm 정도 높게 해야 하고 아래로 많은 힘을 필요로 하는 중작업의 경우에는 팔꿈치 높이가 작업대 높이보다 20~40cm 정도 낮게 해야 작업자가 작업을 하는데 적절하다고 지침을 주고 있다. 한국산업안전공단과 한국산업표준협회 등과 같은 공공 기관의 웹사이트나 발간된 책자를 통하여 각종 자료나 설계 지침을 손쉽게 얻을 수 있고 또한 많은 연구자들에 [2][3][6][7][8][9] 의해서 작업공간과 작업 자세에 대한 연구결과 및 작업시 팔의 움직임과 도달거리에 관련된 연구자들의[4][10][11][12] 연구 결과를 참고하면 작업 유형 및 특성별 작업 공간 설계를 위한 지침과 구체적인 설계를 위한 기본 수치들은 어렵지 않게 구할 수 있다. 그러나, 문제는 작업공간 설계시 작업자들의 신체치수가 작업장별, 작업 유형별로 다양해서 일률적인 지침이나 수치를 적용하기에는 어려움이 있다는 점과 기존 연구에서는 작업한계면을 구분할 때 왼팔, 오른팔에 대한 각각의 한계면과 팔의 회전이 작업을 함에 있어서 최대, 최소의 도달거리를 정의한다고만 언급하고 있을 뿐이지 작업 한계면에 대한 구체적인 수치값에 대한 연구결과 및 양팔의 도달거리에 대한 교점을 제시하거나 언급한 연구결과는 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 다양한 작업장에서 효율적 작업공간 설계를 위해 공통적으로 사용할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 즉, 그 목적을 위해 본 연구에서는 인체계측학을 이용하여 각 작업자의 신체 치수를 측정한 후 그 자료를 토대로 모든 작업자들이 작업을 수행함에 있어 불필요한 동작을 감소시킬 수 있고 효율적인 작업공간 한계면을 설정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 방법론은 각 작업장에서 작업자의 기본적인 신체치수에 대한 측정값만 확보할 수 있다면 작업장의 특성 및 유형에 관계없이 효율적 작업 공간 설계에 대한 지침이 되어 작업자들이 느끼는

불편함과 피로도를 절감시켜 궁극적으로는 작업자의 안전성과 생산성 및 경제성의 향상을 추구하는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1. 연구방법

연구방법은 서울과 강릉에 소재하는 대학들에서 343명의 대학교 3학년 여학생들을 대상으로 Martin의 인체 측정법을 사용하여 직접 계측하였으며 측정법과 용어는 공업진흥청의 KSA 7004의 측정법을 따랐다. 계측 대상이 된 신체치수 항목은 키, 어깨높이, 팔꿈치 높이, 손목 높이 손끝 높이였다. 본 연구를 위해 얻어진 신체 계측 자료 수집은 2003년 3월부터 2004년 6월까지 진행되었고 얻어진 자료는 Software인 Excel을 이용하여 처리하였고 처리한 값은 아래의 < 표 1 >과 < 표 2 >에 나타나 있다.

< 표 1 > Statistics on ratio and average of body size (cm)

항목 특성	키	어깨높이	팔꿈치 높이	손목 높이	손끝 높이
평균값	162.4	131.7	102.0	78.0	62.8
키에대한 비율	1.000	0.811	0.628	0.480	0.387

< 표 2 > Stature Statistics for population (cm)

Mean	Sta. Dev.	5th %	95th %
162.4	5.1	154.0	171.8

< 표 2 >에서 나오는 5th % 와 95th %는 인체 계측학에서 특정한 설비나 공간 디자인을 위해 자주 사용되는 단위로서 백분위수 (percentile)라 불린다. 주어진 데이터 집단에서 최대 집단치나 최소 집단치를 정할 때, 100%를 모두 수용하는 데서 얻어지는 혜택의 증가분에 비해서 여기에 드는 비용이 지나치게 클 때에는 흔히 95%나 5%치를 사용하는 것이 관례이다[1]. 측정 대상이 되는 데이터의 모집단이 정규분포를 따를 때 50th %의 값은 데이터 집단의 평균값과 일치하고 데이터 분포가 정규분포를 따르지 않을 경우 50th %의 값은 데이터 집단의 평균값과는 다르게 된다. 인체 계측학

에서 실제로는 그렇지 않을지라도 계측값들이 정규분포를 따른다고 가정하는 것이 일반적이다[5]. 참고적으로 다음은 백분위수의 값을 구하는 공식으로 < 표 2 >에 나타나는 값도 아래 공식에 의해 구해진 값이다.

$$X = M + F * s \quad \text{----- 식(1)}$$

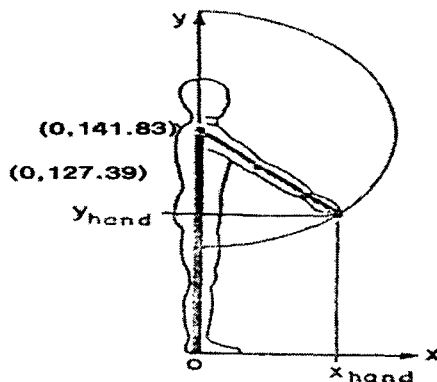
여기에서, X는 계산되어질 백분위수의 값이고 M은 데이터 분포의 평균값을, s는 표준편차를, 그리고 F는 계산되어질 백분위수에 해당되는 곱인자를 각각 의미한다. F값은 구하고자 하는 백분위수에 따라 양수와 음수값을 가질 수 있는데 < 표 3 >에 자주 사용되는 곱인자의 값들을 인용하였다[5].

< 표 3 > Multiplication factors for percentile calculation

Percentile	5th	10th	50th	90th	95th
F	-1.645	-1.282	0	+1.282	+1.645

## 2.2 연구 내용

< 그림 1 >에서 볼 수 있듯이 작업공간 한계면은 팔이 닿을 수 있는 거리에 의해 결정되기 때문에 작업자들 모두에 대하여 팔을 구성하는 어깨 높이, 팔꿈치 높이, 손목 높이, 손끝 높이를 측정한 후 각 항목이 키에 대해 차지하는 비율을 구하여 모든 작업자들이 불편함을 느끼지 않으면서 작업할 수 있는 공간 설계에 대한 값을 주고자 한다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 작업 시 최대로 접근할 수 있는 한계점은 어깨 지점들



<그림 1> Maximum reach limits of 5th % and 95th %.

중심으로 해서 움직이는 원의 궤도이다. 각 관절과 관절 사이의 길이는 다음 식에 의해 구해질 수 있다.

$$\text{관절 연결길이} = K * \text{Stature} \text{ --- 식(2)}$$

여기에서, K는 표 1에 표시된 키에 대한 각 신체 부분의 비율을 의미한다. 일반적으로 작업자들 중에서 5th %는 작은편에 95th %는 큰 편에 속하므로 두 집단 간에 속하는 사람들이 만족할 수 있는 공간은 전체 작업자 집단이 공통적으로 만족할 수 있는 공간이라 여길 수 있다. 5th % 와 95th %가 동시에 만족할 수 있는 팔이 닿을 수 있는 거리를 원의 방정식을 이용해서 구해보면 다음과 같다.  
95th %의 방정식 (단위는 cm),

$$\begin{aligned} \text{어깨높이} &= 0.811 * 171.8 = 139.33 \\ \text{손끝높이} &= 0.387 * 171.8 = 66.49 \end{aligned}$$

그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 팔의 길이는 어깨높이에서 손끝높이를 뺀 값이고 그 값은 72.84cm가 된다. 작업자의 신발 높이를 2.5cm라고 가정하고 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 원의 중심 좌표값을 구하면 (0, 141.83)이 된다. 그러므로 다음과 같은 원의 방정식을 얻을 수 있다.

$$X^2 + (Y-141.83)^2 = 72.84^2 \text{ ----- 식(3)}$$

같은 방법으로 5th %의 방정식은,

$$\begin{aligned} \text{어깨높이} &= 0.811 * 154 = 124.89 \\ \text{손끝높이} &= 0.387 * 154 = 59.60 \text{ 이고 팔의 길} \end{aligned}$$

이는 65.29cm가 된다. 또한 원의 중심은 (0, 127.39)이고 또 하나의 원의 방정식은 다음과 같다.

$$X^2 + (Y-127.39)^2 = 65.29^2 \text{ ----- 식(4)}$$

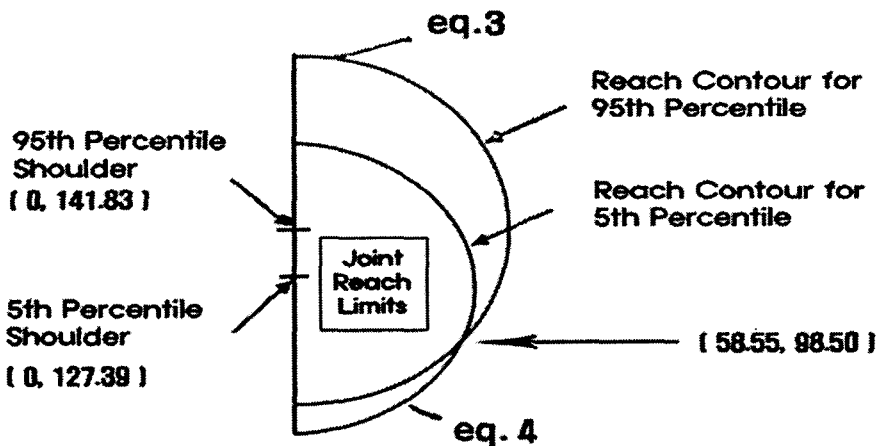
식 (3)과 (4)를 연립해서 풀면, 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이 그 교점은 (58.55, 98.50)가 된다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

전 절에서 95th%와 5th%와의 팔 길이가 원의 움직임을 했을 때 이에 대한 교점이 < 그림 2 >에서도 볼 수 있듯이 (58.55, 98.50)라는 것을 알았는데 이 좌표값이 의미하는 바는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 작업공간 내에서 어떠한 사물도 68.99 ( $139.33 - 72.84 + 2.5$ ) cm 아래에 위치하게 되면 작업자가 비정상 자세에서 물건을 취급하게 된다.
2. 98.50cm 아래 높이에서는 식 (3)이 최대 접근 거리를 정의한다.
3. 98.50cm 위의 높이에서는 식 (4)가 최대 접근 거리를 정의한다.

본 연구에서 얻어진 결과가 무리 없이 작업 공간에서 적용되기 위해서는 다음과 같은 두 가지 조건이 선행되어야만 할 것이다. 첫째, 신체에 가까이 있는 물건들은 95th % 집단의 도달 거리 내에 위치해야만 한다. < 그림 2 >에서 볼 수 있는 바와 같이 작업자가 편한 자세를 취했을 때 95th % 집단의 아래 도달 한계값은 5th % 집단의 아래 도달 한계값보다 작기 때문이다. 둘째, 수평적으로 이동하게 될 물건들은 5th % 집단의 도달 거리 내에 위치해야만 한다. < 그림 2 >에서 볼 수 있듯이 5th % 집단은 95th % 집단에 비해 팔 길이와 접근 반경이 작기 때문이다. 이러한 두 조건이 만족된다면 신체가 서있는 자세에서 상체 몸통의 큰 구부림 (Flexion)없이 작업하는 것이 가능할 것이다.



< 그림 2 > “no trunk flexion” reach envelope.

#### 4. 결론 및 추후연구

본 연구에서 얻어진 결과 중에서 최대 접근 거리에 대한 값들을 사용하는데 있어서 몇 가지 주의해야 하는 사항이 있다. 지나치게 반복적으로 최대 접근거리까지 움직임이 있게 되면 피로도의 누적과 연약한 조직에 상해가 발생할 수 있기 때문에 작업공간 설계 시에 최대 접근 거리로의 반복적인 움직임은 일정수준 이하로 제한되어야만 한다.

본 연구에서 얻어진 데이터는 서울과 강릉의 대학교에 재학 중인 343명의 여학생들로부터 측정된 값들이다. 남학생들과 혼합된 데이터의 측정 및 수집을 통해서 또는 국민 표준체위와의 비교 등을 통해서 본 연구에서 제시한 방법을 적용한다면 다양한 작업 공간에 대한 안전하고 편리한 작업공간 설계에 도움이 될 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서 제시한 최대 접근 거리에 대한 수치는 어깨 움직임에 있어서 과도한 굴곡 (Flexion)과 외전 (Abduction)에 의한 문제점은 고려하지 않은 값이므로 과도한 어깨 움직임 (일반적으로 상체가 전방으로  $20^{\circ}$  이상을 구부리는 경우)을 필요로 하는 작업에 대하여 작업공간 한계면을 설정하는 방법은 추후 연구 과제가 될 것이다.

#### 5. 참 고 문 헌

- [1] 박경수, "인간공학-작업경제학" 제2개정판, 영지문화사, 479-481, 2004.
- [2] Ayoub, M. M., "Work Place Design and Posture", Human Factors, 15(3), 265-268, 1973.
- [3] Bhatnager, V., Drury, C.G., and Schiro, S.G., "Posture, Postural Discomfort and Performance", Human Factors, 27, 189-199, 1985.
- [4] Bullock, M. I., "The Determination of Functional Arm Reach Boundaries for Operation of Manual Controls", Ergonomics, 17(3), 375-388, 1974.
- [5] Christopher D., Wickens, Sallie E. Gorden and Yili Liu, "An Introduction to Human Factors Engineering", Longman, 294, 1998.
- [6] Das, B., and Grady, R.M., "Industrial Workplace Layout Design: An Application of Engineering Anthropometry", Ergonomics, 26(5), 433-447, 1983(a).
- [7] Grandjean, E., "Fitting the Task to the Man (4th ed.)", London: Taylor & Francis, 251-252, 1988.
- [8] Marras, W.S., and Kim, J. Y., "Anthropometry of Industrial Populations", Ergonomics, 36(4), 371-378, 1993.
- [9] Pheasant, S., "Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design", London: Taylor & Francis, 55-56, 1986.
- [10] Snook, S., "The Design of Manual Handling Tasks", Ergonomics, 21(12), 963-985, 1978.
- [11] Thompson, D., "Reach Distance and Safety Standards", Ergonomics, 32(9),

1061-1076, 1989.

- [12] Ward, J. S., and Kirk, N. S., " The Relation between Some Anthropometric Dimensions and Preferred Working Surface Heights in the Kitchen. Ergonomics, 13(6), 783-797, 1970.

## 저 자 소 개

임 영 문 : 연세대학교에서 학사, 석사학위를 취득하였고, 미국 텍사스주립대학교 산업시스템공학과에서 공학박사를 취득하였으며, 미국 ARRI (Automation and Robotics Research Institute) 연구소에서 선임연구원 및 연구교수를 거쳐 현재는 강릉대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다.

방 해 경 : 성신여자대학교에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였고, 수차례의 작품발표회 및 초청전을 가졌으며 현재는 성신여자대학교 의류직물학과 강사로 있다.

최 인 려 : 이화여자대학교에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였으며, 현재는 성신여자대학교 의류직물학과 교수로 재직 중이다.