《研究論文》

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol. 1 No. 1 June 1982

作業空間의 設計-CAD에 의한 接近

(Workplace Design-A CAD Approach)

李 南 植† 朴 景 洙†

Abstract

Traditional methodologies for ergonomic evaluation are too laborious to be accepted broadly. CAD flexflexibility and its ease can be a key to breaking this barrier. In this paper, a biokinematic model is suggested for interactive computer aided ergonomic evaluation. Model parameters are derived and validated by regression analysis. This model showes more flexibility than the stick and joint models. An application is presented to show the clarity of this approach.

Ⅰ. 서 론

人間-機械体系(man-machine system) 의 성능은 이 体系의 使用者나 조작자에게 얼마나 "잘 맞는가?"에 의해 크게 左右 될 수 있다. [1] 특히 人間-機械의 계면-계기판의 배열 혹은 표시장치의 설계등-과 体系가 제공하는 作業空間 設計의 문제는 중요한 研究대상이 되어 왔다. [7, 10, 12, 15, 16]

後者의 경우에 있어 작업공간의 설계 방법으로는 人型(anthropometnic dummy)이나 実体모형(mockup)을 써서 模擬実験 (simulation)한 결과를 가지고 체계성능을 평가하고 재설계하는 것이 일반적이었으나[16] 이와 같은 方法은 많은 시간과 경비가 들 뿐만 아니라 설계의 유연성(flexibility) 또한 좋지 못하다[表 1].

최근에 들어 컴퓨터 그래픽스(computer graphics)가 널리 보급됨과 더불어 이와 같은 人間-機械体系의 설계에도 전산기 보조설계(CAD : computer aided design)를 응용하려는 노력이 있다. [3, 4, 6, 8, 9, 13, 14] 이러한 설계方法의 장점으로는

i) 設計에 소요되는 시간과 비용을 절감 할 수 있으며 다양한 설계의 조합(Combination)에 대한 타당성을 검토 할 수 있으며

ii) 새로운 생산체계 개념인 CAD/CAM体系에 人間要素에 대한 고려를 첨가하는 것이 매우 수월해 진다. (마치 유한요소 분석법(FEM)이 도입되는 것 처럼).

이와 같은 設計를 위해서는 다양한 人間測定要素 및 인간의 동작을 고려하여 作業領域을 예측 할 수 있는 "動作-模型"(Bio-kinematic model)이 필요하며 이 모형을 사용하여 設計를 평가 수정하게 된다. 특히 가장 기본적인 평가로는 조절장치들이 작업자의 把握限界(Grasping reach) 內에 있는가 하는 것으로 本研究에서는 기존의 人体測定値와 作業台의 形態 등을 고려하여 착석한 作業者의 把握領域을 予測할 수 있는 컴퓨터 模型을 提示하고 그 응용 사례를 들고자 한다.

Ⅱ. 接近方法

作業領域을 예측하는 모형은 아래와 같이 크게 두가지 類型으로 나눌 수 있는데[11]

†韓国科学技術院 産業工学科

(1) 보관資料模型(stored-data model)

(2) 解法절차模型(algorithm model) 이중 前者는 필요로 하는 집단의 작업영역을 실제로 측정하여 資料化 하는 것으로 기존의 인체측정치를 이용할 수 없으며 有意性을 가지기 위해서는 측정인원도 상당히 커야 하며 따라서 컴퓨터의 기억공간도 많이 필요로 한다.〔7, 10, 12〕 後者의 경우에는 模型에 필요한 母数들을 실험적으로 구한 뒤 적절한 解法 절차를 통해 작업영역을 구하는 모형으로 그 모형의 유연성이 前者에 비하여 대단히 크다.〔11, 13〕

本 硏究에서는 後者의 여러가지 모형中 컴퓨터 対話性(interactivity)이 우수한 Kil patrick〔13〕의 접근방법을 바탕으로 개선된 형태의 모형 정립을 시도 하였다. Kilpatrick 모형의 단점을 지적 하자면 우선 骨格의 지렛목길이(link-length) 자료를 사용하므로써 기존한 인체측정치를 가지고는 사용이 곤란하고 동일한 대상에 대해서도 새로이 자료를 수집 하여야 하며 개개인에 대하여 模型의 母数를 各各 추정하여야 하므로 실용적이지 못하다.

Ⅲ. 컴퓨터 模型

Kilpatrick의 모형〔13〕은 SRP(seating reference point)를 기준으로 척추(spine) 어깨관절 및 손의 위치 사이의 관계를 기하적으로 가정하고 축차적으로 구하였으며 관절 사이의 거리는 일정하다고 보았으나 그의 논문에서도 지적 되었던 것처럼 단순한 기학적 관계만으로 어깨관절의 위치를 표시하는 것은 만족스럽지 못하다.〔2, 13〕 本 模型에서는 어깨관절의 위치를 安楽, 最大 및 制限把握 姿勢에 대하여 各各 작업목표의 方向(D)과 높이(Z), 여러가지 인체계측 변수들(Aj)의 함수로 표시하고, 정중면(symmetric sagittal plane)을 기준으로 左右90° SRP를 기준으로 上下 −10 ~ 120㎝에 걸쳐 팔을 이동시키면서 Adaptive 하게 어깨위치를 구하고 이어 팔의 위치를 그림 1과 같이 기하적 관계를 이용하여 구하였다. 즉 S(x, y, z) 를 예측하면 RSL과 B角을 求할 수 있고 팔의 길이 RAL로 부터 주어진 위치와 높이에 해당되는 손의 위치 H(x, y, z) 를 구할 수 있다. 컴퓨터模型의 전체적인 흐름도 (flom chart)는 그림 2에 나와있다.

MATERIAL	MAN-HOURS	COST($)
Farm-Cor	300	300
Wood	1500	500
Iron	3400	750

Table 1. Relative costs for 3 types of mooc up materials

Ⅳ. 母数추정

右手 및 左手의 안락, 최대 및 제한파악 자세에서의 各各의 어깨관절 S(x, y, z)의 예측 위치는 다음과 같이 표시 될 수 있다.〔17〕

$$\hat{X}_{ij}=F_{ij}(D, Z, A_k)$$
$$\hat{Y}_{ij}=G_{ij}(D, Z, A_k)$$
$$\hat{Z}_{ij}=H_{ij}(D, Z, A_k)$$

$i=1, 2, 3$ (安楽, 最大, 制限 把握姿勢)

$j=\begin{cases}0 : 右手\\ 1 : 左手\end{cases}$

$k=$인체측정부위

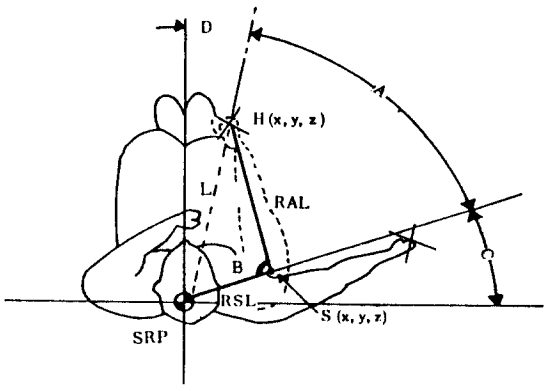

Fig 1. Geometric relation between grasping hand position and shoulder joint location. D

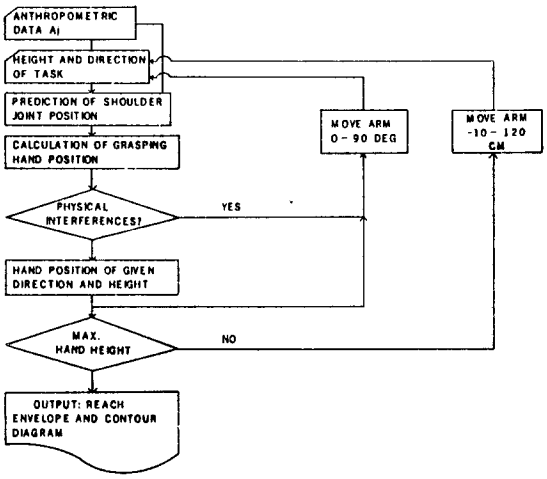

Fig2. Flow diogram of grasping reach prediotion model.

그런데 실제의 어깨관절 위치(공간좌표)와의 Euclidean distance의 제곱의 合을 최소화 하는 $\hat{X}_{ij}$, $\hat{Y}_{ij}$, $\hat{Z}_{ij}$가 되도록 模型의 母数를 구하는 것은 各各의 좌표에 対한 회귀 분석에서의 Normal equation과 일치하므로 各各의 좌표에 대한 회귀식으로 대체 하였다. 회귀식에는 작업목표의 方向(D)와 작업높이(Z) 및 기능적으로 어깨관절 위치와 단련이 있는 흉골단-견봉단 사이의 직선거리(supraclavicul to acromion distance), 앉은어깨높이(sitting acromion height)와 신장(staure), 앉은키(sitting heinght), 및 팔길이(arm length)등이 첨가 되었다. 이들은 표준 인체측정자료[3]로 부터 쉽게 구할 수 있는 측정치 들이다.

V. 実　　験

어깨관절의 위치를 예측하는 模型의 母数를 決定하기 위해서는 動作에 따른 정확한 어깨관절 위치를 측정하는 것이 필요하며 이를 위하여 Frankenstein式 測定裝置의 原理[16]를 이용한 장치(그림 3)를 考案하여 측정하였으며 피실험자는 20~24세의 청년을 신장을 기준으로 5퍼센타일에서 95퍼센타일의 신체장애 경험이 없고 体型(somatotype)이 비슷한 10名과 模型의 타당성 검토를 위하여 다른 2名을 선발하였다.(表-2) 실험은 피실험자의 어깨관절 부위에 표식을 한 뒤 인체측정자의[10]에 피실험자를 앉히고 손의 위치와 높이를 변화시키면서 角a, a′, b, b′ 및 0点을 기준으로 어깨까지의 길이를 sliding scale로 측정하여 SRP를 원점으로 한 좌표계의 점으로 변환시켰다. 이때 安楽, 最大 및 제한 파악자세에 대하여 各各 실시 하였으며 피실험자들은 모두 Y-shirt 차림으로 측정에 臨했으며 제한파악자세에서는 어깨복합체 (shoulder complex)가 움직이지 못하도록 하고 측정 하였다. 이 자료를 바탕으로 회귀분석을 통하여 어깨관절의 위치를 예측하는 모형의 母数를 求하였으며 (表-3), 앞의 컴퓨터 모형에 의하여 작업영역의 예측치를 구할수 있었다.

한편 2명의 실험자를 통해 模型의 예측력을 다음과 같은 측정치(measure)를 사용하여 검토 하였다.

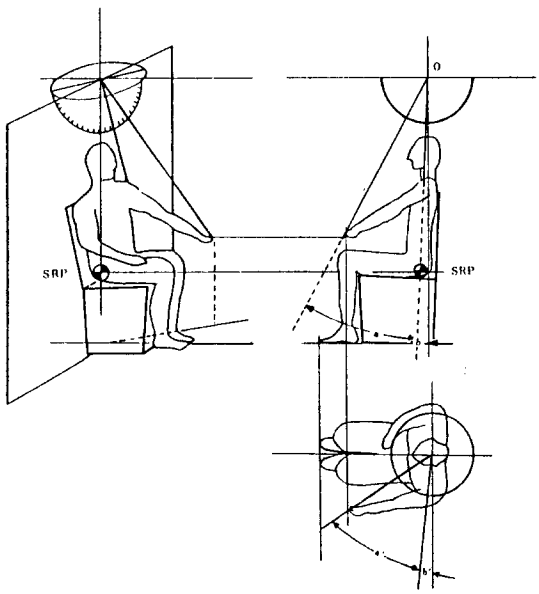

Fig3. Measuring device

Table2· Anthropometric data of subjects

Subject	Stature (1)	%tile	Sitting height (2)	Sitting Acromion height (3)	Arm length(4)	Sboulder beadth (5)	Acromion-clavicle length (6)	Knee height (7)
1	159.2	5	87.4	56.3	57.3	36.3	15.7	51.7
2	161.5		89.3	58.1	59.1	35.8	15.5	50.8
3	162.6	25	88.2	65.2	58.3	37.4	15.9	50.1
4	165.3		89.7	63.0	58.7	36.3	16.0	51.5
5	167.0	50	96.6	64.5	59.1	36.1	16.2	52.1
6	169.2		92.1	65.4	62.1	37.2	16.3	52.5
7	170.5	75	93.6	66.8	66.2	36.0	13.6	52.6
8	173.7		95.7	66.1	64.9	36.5	16.5	51.8
9	175.3		93.3	66.9	67.3	37.0	17.2	53.1
10	178.3	95	97.2	67.1	69.7	37.2	16.8	53.3
11	168.7		91.1	63.5	59.5	37.7	15.9	51.1
12	174.2		94.8	65.5	63.3	36.5	16.4	53.5

Table 3. Model parameters for prediction of shoulder joint location

Indepencdet Variables	3 D Coordinate of shouldes joint (Comfortable reach)					
	Right shoulder			Left shoudder		
	Fc_R(Xi)	Gc_R(Yi)	Hc_R(Zi)	Fc_L(Xi)	Gc_L(Yi)	Hc_L(Zi)
Constant	- 6.4969471	- .1761709	90.9902230	217.01920	1.8870013	57.981325
D	.663394255	- .0339062		- .08638547	- .09334846	.040046521
Z	.03424090		.34313416		- .01862126	
(4)		- .026674267		.14769287	- .12670097	
(5)	.61170029			- .74161720		
(3)	.27766624	- .48696803	- 1.7414565	- 4.53435470	.03716155	- 1.7375824
(1)		.25302238	.84029858	-.22586915		.9603198
D^2	- .000820295		.000467130	.000890154	- .000129815	
Z^2	- .000602702	-.0003060436	.000331471	.000090130	- .000090130	.00023543
(6)	- .000820295	.14829207	- .058226242		- .025063753	.06855282
$(6)^2$				.000431746		
$(5)^2$			.076395386		.015731970	- .047393835

* Variables are same as those in Table 2

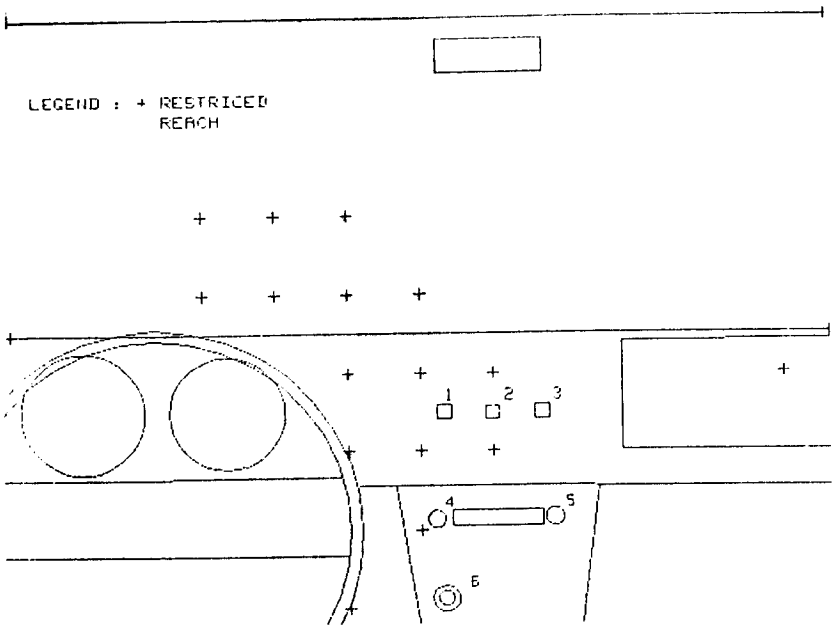

Fig 4. 5 %tile reach on panel plane

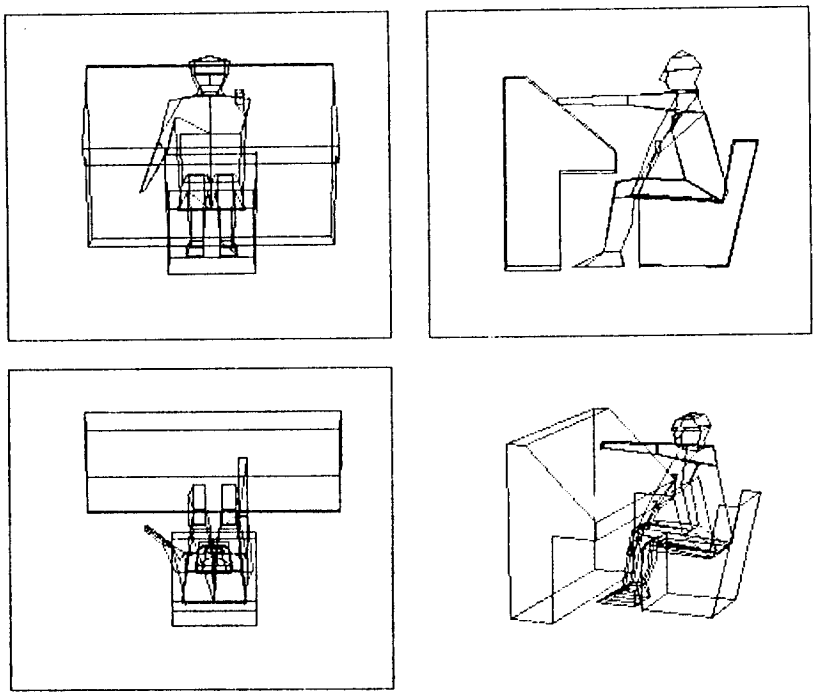

Fig 5. 3 D evaluation of workplace

$$DE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} d_i^2}{\sum_{i=1}^{N} (d_i - \bar{D})^2}$$

$$\bar{D} = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_{i=1}^{N} di}$$

$$d_i = \sqrt{(X_i - \hat{X}_i)^2 + (Y_i - \hat{Y}_i^2)}$$

결과 DE가 0.9 이상 되어 관측치 분산의 90% 이상을 설명하는 것으로 나타났고 이때 최대 오차는 2.14cm였다.

Ⅵ. 模型의 適用

이와 같은 模型은 디자이너가 컴퓨터 그래픽터미널 앞에서 대화식으로 디자인 할 때 유용하게 사용 될 수 있다. 즉 그림4 에서와 같이 (+)가 표시하는 것은 本 모형에 의해 예측된 5퍼센타일 남자가 좌석 벨트를 매었을 때 여러가지 조종장치가 부착된 패널面上에서의 파악 가능한 위치 - 즉 제한 파악가능 위치를 표시해 준다. 따라서 디자이너는 쉽게 스위치(3)과 라디오 튜닝다이얼(5)·라이터(6)등이 파악한계 밖에 있음을 設計의 초기 단계에 알 수 있으며 인간공학적 기준에 맞도록 설계를 변경시킬 수 있다. 또한 필요에 따라서는 파악자세를 나타내는 人体모형(Simulated dummy)를 좌석에 앉히고 여러 視点에서 작업대를 평가할 수도 있다. (그림 5)

Ⅶ. 結　論

人間-機械体系를 설계하는데 있어 효율적인 方案의 하나로 CAD를 이용하는데 필요한 動作모형을 제시 하였다. 이 模型은 인체측정치, 작업형태 등을 고려하여 착석한 작업자의 작업영역을 예측 할 수 있으며 기존의 인체 측정치를 사용 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또 실험결과 모형의 타당성이 잘 입증 되었으며 끝으로 例를 통하여 이 모형이 CAD에 잘 적용될 수 있음과 CAD를 이용한 人間要素디자인의 강점을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 朴景洙, 人間工学-作業経済学, 英志文化社, 서울, 1980

[2] 李南植, 電算化된 作業設計体系, 미출판 석사학위논문, 한국과학기술원, 1981

[3] 한국과학기술원, 산업의 표준치 설정을 위한 국민체위조사연구, 1980

[4] Bonney, M. C. and Williams, R. W., "CAPABLE. A Computer Program to Layout Controls and Panels," *Ergonomics*, vol. 20, No. 3, p p. 297-316, 1977.

[5] Bonney, M. C. and Schofield, N. A., "Computerized Work Study Using the SAMMIE/AUTOMAT System," *Int. J. PROD*, vol. 9 No. 3, pp. 321-336, 1971.

[6] Bonney, M. C., Blunsdon, C. A., Case, K. and Porter, J. M., "Man-machine Interaction in Work Systems," *Int. J. PROD* vol. 17, No.6, pp. 619-629, 1972.

[7] Bullock, M. I., "The Determination of Function Arm Reach Boundaries for Operation of Manual Controls," *Ergonomics*, vol. 17, No.3, pp. 375-388, 1974.

[8] Case, K., Porter, J. M. and Bonney, M. C., "Desing of Mirror System for Commercial Vehicles," *Ergonomics*, vol. 11, No.4, pp. 199-206, 1980.

[9] Chaffin, D. B., Kilpatrik, K. E. and Hancock, W. M., A Computer-Assisted Manual Work-Design Model, *AIIE Transactions*, Vol. 2, No. 4, pp. 348-354, 1970.

[10] Dempster, W. T., Space *Reguirents for the Seated Operator*, WADC TR 55-159, WPAFB, 1955.

[11] JANAIR, *Cockpit Geometry Evaluation*, Project No 690106. Boeing Aircraft Corporation, 1969.

[12] Kennedy, K., W., *Reach Capability of the USAF population*, AMRL-TDR-64-59, WPAFB, Ohio, 1964.

[13] Kilpatrick, K. E., A. Biokinematic Model for Workplace Design, *Human Factors*, vol. 14, No. 3, pp. 237-247, 1972.

[14] Lewis, J. L. Anthropometry and Computer-Aided Crew Station Design, *Fall IE CONFERENCE PROCEEDING*, pp. 170-174, 1979.

[15] Nowak, E., Determination of the Spatial Reach Area of the Arms for Workplace Design purposes. *Ergonomics*, *vol.* 21, No. 7, pp. 493-507, 1978.

[16] Roebuck, J. A. Kroemer, K. H. E. and Thomson W. G., *Engineering Anthropometry, Methods*, *John Wiley & Sons*, 1975.

[17] Synder, R. G., Chaffin, D. B., Schutz, R. K., *Link System of the Human Torso*, 1972.