

# Design Structure Matrix 를 활용한 인체측정학적 제품설계 방법:

## 컴퓨터 워크스테이션 설계 적용\*

### An Anthropometric Product Design Approach using Design Structure Matrix (DSM): Application to Computer Workstation Design

정기효\*\*, 권오채\*\*\*, 유희천\*\*\*\* 포항공과대학교 기계산업공학부, \*\*\* 삼성전자 무선사업부

#### ABSTRACT

Design equations for anthropometric product design are developed by considering the geometrical relationships of design dimensions and anthropometric dimensions. The present study applied the design structure matrix (DSM) method to develop design equations for a computer workstation design, and compared the developed-design values with the recommended and benchmarking design values. First, the relationships between design dimensions (e.g., legroom and worktable) were analyzed by a DSM, and then the application order of design equations (e.g., seatpan  $\Rightarrow$  backrest  $\Rightarrow$  armrest  $\Rightarrow$  legroom  $\Rightarrow$  worktable) was determined. Second, design equations were developed by the geometrical relationship analysis between computer workstation design dimensions and anthropometric dimensions. Lastly, design values for a computer workstation were determined by applying a standard posture and percentile representative human models (5<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup> %ile) for US Army population. The developed design values were similar to the recommended design values found in literature and benchmarking design values of two commercial products; however, some design values (e.g., seatpan height) were different due to variation in user's posture. The DSM method would be

## 1. 서 론

인체측정학적 제품설계에는 설계대상의 특성을 고려하여 개발된 설계공식이 활용된다. You *et al* (1997)은 운전석, 운전대, 그리고 페달에 대한 인체측정학적 설계공식을 개발하여 버스 운전실의 layout을 설

계하였다. 그리고 BSR/HFES100 (2003)은 인체측정 변수, 표준자세 및 여유공간을 고려하여 개발된 설계공식을 통해 컴퓨터 워크스테이션의 표준설계 지침 초안을 개발하였다. 이러한 인체측정학적 설계공식은 사용자 특성(인체크기 및 자세)과 제품특성(예: 설계변수 연관성, 설계원칙, 제약사항)을 고려하여 구성된다.

설계공식 및 설계지수의 도출 순서는 설계변수들 간

\* 이 논문은 2006년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRD-2006-331-D00683)

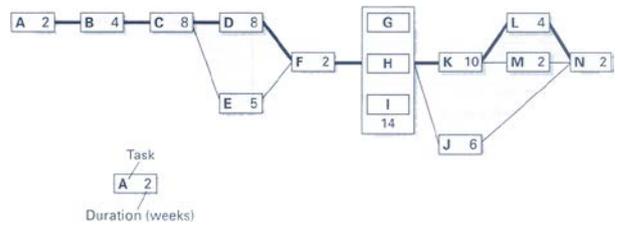
의 연관관계(독립, 순차, 병행)를 고려하여 결정된다. 제품을 구성하는 설계변수들은 상호 연관성에 따라 독립(independent), 순차(sequential), 병행(coupled)의 관계를 가진다(Ulrich and Eppinger, 2000). 독립 관계에 있는 설계변수는 상호 영향이 없어 독립적으로 설계공식이 결정되나, 순차관계에 있는 설계변수는 다른 설계변수의 치수 결정에 영향을 주기 때문에 순차적으로 공식이 도출된다. 한편, 병행 관계에 있는 설계 변수는 상호 영향을 주기 때문에 동시에 설계가 이루어져야 한다. 따라서, 설계변수들 간의 연관관계를 체계적으로 분석하여 설계공식 및 치수의 도출 우선순위가 결정되어야 한다.

작업 또는 설계요소들 간의 연관관계를 체계적으로 분석하는 design structure matrix (DSM)는 인체측정학적 치수설계의 순서 결정에 유용하게 적용될 수 있다. DSM은 작업 또는 시스템 구성요소들 간의 종속성을 행렬에 도식화하는 도구로써 시스템 분석 및 프로젝트의 일정관리에 활용된다(DSMWEB, 2007). DSM에서 작업의 종속성 표시는 행에 영향을 받는 작업, 열에 영향을 주는 작업을 표시하여 이루어진다. 그림 1.a를 예로 들어, F 작업은 행에 표시된 C, D, E 작업에 영향을 받고, 열에 표시된 G, H 작업에 영향을 준다. 이와 같이, DSM은 작업에 대한 종속성을 체계적으로 분석하여 그림 1.b와 같이 작업의 시행우선 순위를 결정할 수

있게 한다.

Task	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Receive and accept specification	A													
Concept generation/selection	X	B												
Design beta cartridges	X	X	C											
Produce beta cartridges			X	D										
Develop testing program	X	X	X		E									
Test beta cartridges			X	X	X	F								
Design production cartridge	X	X	X			X	G	X	X					
Design mold	X	X				X	X	H	X					
Design assembly tooling							X	X	I					
Purchase assembly equipment					X		X		X	J				
Fabricate molds							X				K			
Debug molds					X	X					X	L		
Certify cartridge			X								X		M	
Initial production run									X	X	X	N		

(a) Design structure matrix



(b) 작업 시행 순위

그림 1. 제품개발 일정관리를 위한 design structure matrix (DSM) (Ulrich and Eppinger, 2000)

본 연구는 DSM을 활용하여 인체측정학적으로 컴퓨터 워크스테이션을 설계하고, 문헌과 시판제품의 설계치수와 비교 평가하였다. 컴퓨터 워크스테이션 설계에 DSM을 적용하여 체계적 설계요소들 간의 종속성 분석을 통해 인체측정학적 설계공식이 개발되었다. 또한, 개발된 설계공식에 문헌의 표준치세 정보(Diffrient *et al.* (1981; BSRHFEST100, 2002)와 US Army 인체측정자료(Gordon, 1988)를 적용하여 설계치수를 도출하고,

컴퓨터 워크스테이션 권장설계 및 시판제품의 설계치수와 비교 평가되었다.

## 2. DSM을 활용한 인체측정학적 컴퓨터 워크스테이션 설계

본 연구의 인체측정학적 설계는 그림 2에 나타난 것과 같은 5 단계 절차를 통해 이루어졌다. 첫째 단계에서는 DSM을 적용하여 설계변수들 간의 종속성을 분석하여 치수설계 순서가 결정되었다. 둘째 단계에서는 설계대상 인구집단을 대표하는 인체모델의 인체크기와 표준자세가 정의되었다. 셋째 단계에서는 컴퓨터 워크스테이션을 위한 인간공학적 설계원칙, 설계요구사항, 그리고 제약사항이 결정되었으며, 넷째 단계에서는 상기 파악된 정보에 근거하여 설계공식이 개발되었다. 마지막 단계에서는 개발된 설계공식에 대표인체모델의 인체크기와 표준자세를 대입하여 설계치수가 도출되었다.

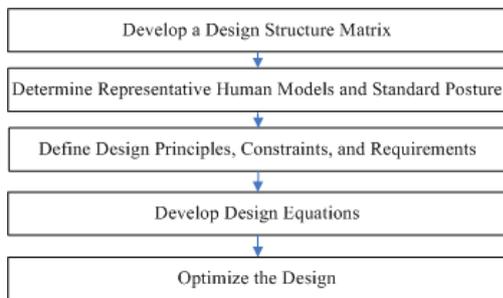


그림 2. 인체측정학적 설계 절차

### 2.1 DSM 분석

컴퓨터 워크스테이션 설계변수에 대한 계층적 분석을 통해 14개 설계변수가 파악되었다(표 1 참조). 본 연구는 설계대상 제품인 의자와 책상을 체계적으로 분석하여 설계변수의 계층적 구조가 파악되었다. 예를 들어, 의자는 좌판, 등받이, 그리고 팔걸이로 구성되며, 그 중에서 좌판은 높이, 너비, 깊이의 설계변수로 보다 세분화된다.

DSM을 적용한 설계변수의 종속성 분석을 통해 치수설계 순서가 결정되었다. DSM 분석결과, 설계변수 14개는 표 1과 같이 순차적으로 영향을 주는 3개 집단으로 구분되었다. 따라서,

표 1. 컴퓨터 워크스테이션 설계에 대한 design structure matrix (DSM) 예

Cluster	Design dimension (DD)			Code	DD1	DD2	DD3	DD8	DD9	DD10
1	Seat	Seatpan	Height	DD1						
	Seat	Seatpan	Depth	DD2						
	Seat	Seatpan	Width	DD3						
2	Worktable	Legroom	Height at operator	DD8	x					
	Worktable	Legroom	Height at knee	DD9			x			
	Worktable	Legroom	Width	DD10	x					
	Seatback	Seatback	Height	DD4	x					



extreme person으로 결정되었다. 또한, 설계변수에 대한 여유공간은 BSR/HFES100 (2002)에서 제공하는 정보가 활용되었다(예: 좌판의 높이 설계에는 인체측정에서 고려되지 않은 신발 높이(2.5 cm) 보정).

## 2.4 설계공식

DSM 분석을 통해 결정된 지수설계 순서에 따라 설계변수 14개에 대한 공식이 개발되었다. 예를 들어, 설계변수 중에서 설계공식이 가장 우선적으로 개발되어야 하는 의자좌판의 높이는 설계변수 및 인체변수 연관관계에 의해 그림 4에 나타난 것과 같이 'BD11 × sin(AD3 - AD6) - BD6 × sin(AD6) + 2.5'으로 설정되었다.

## 2.5 컴퓨터 워크스테이션 설계치수

개발된 설계공식에 대표인체모델의 인체크기와 표준 자세 정보를 대입하여 설계치수가 도출되었다. 예를 들어, 그림 4의 의자 높이는 대표인체모델 3명에 대해 31 cm ~ 39 cm의 범위를 가지게 되어, 의자 높이는 8 cm가 조절이 되도록 설계된다.

## 3. 결과 및 토의

본 연구에서 개발된 설계치수는 표준지침 및 시판제품의 치수와 유사한 것으로 나타났다. 예를 들어, 본 연구의 좌판 깊이는 43 cm로서

Classification	Content
Design Dimension	Seat - Seatpan - Height (DD1)
Design Principle	Design for adjustability
Allowance	Heel height: 2.5 cm (BSRHFES100, 2002)
Related Dimension	Seatpan angle: 4° (BSRHFES100, 2002)
Design Equation	$DD1 = BD11 * \sin(AD3 - AD6) - BD6 * \sin(AD6) + 2.5$

Body Dimension	Buttock-popliteal length Popliteal height (BD11)	5th %ile	50th %ile	95th %ile
		44.5	48.9	53.8

Angular Posture	Knee flexion (AD3) Hip flexion (AD6)	Lower Bound	Upper Bound	Value
		45°	85°	65

Design Value	Max	39.3
	Min	30.7

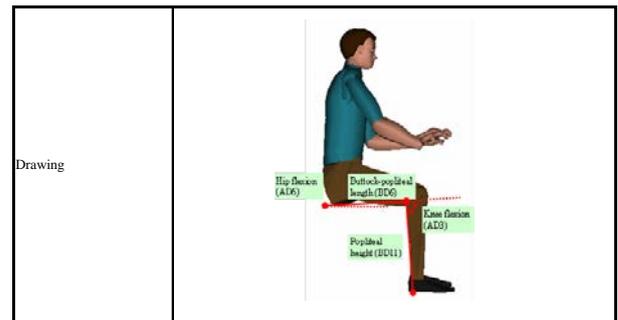


그림 4. 컴퓨터 워크스테이션의 의자좌판 높이에 대한 설계공식 및 설계치수

문헌(Chaffin *et al.*, 1999; BSR/HFES100, 2002)에 제시된 33 ~ 47 cm 범위에 포함된다. 또한, 시판 중인 의자 2종의 좌판 깊이는 42 cm와 43 cm로 조사되어 본 연구의 결과와 유사한 것으로 나타났다.

그러나 사용자의 자세에 영향을 받는 설계변수(예: 좌판 높이)에 대한 설계치수는 상이한 것으로 분석되었다. 문헌의 좌판 높이 조절범위는 8 ~ 18 cm (제한된

설계: 8 cm)이나, 시판제품은 5 cm와 8 cm로 큰 차이가 있었다. 또한, 본 연구의 의자 높이는 31 cm ~ 39 cm로 결정되어, 문헌의 35 cm ~ 56 cm와 차이를 보였다. 이러한 설계치수의 차이는 표준자세에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 예를 들어, 본 연구의 표준 자세에서 무릎 굽힘을 65°에서 문헌에서 사용하는 90° 자세로 변경시키면 35 ~ 45 cm로 증가하게 된다. 또한, 좌판의 각도를 4°에서 0°로 조정하면 좌판 높이는 38 cm ~ 49 cm으로 변경된다.

인체측정학적 설계 최적화를 위해서는 사용자의 자세 변화에 따른 효과분석이 필요하다. 본 연구는 설정된 표준자세를 적용하여 설계치수를 도출하였다. 그러나 사용자들은 선호에 따라 자세를 결정하거나, 다양한 다리자세를 취하더라도 편안하게 착석할 수 있기를 바란다. 그러므로, 사용자의 자세 변화에 따른 설계치수 시뮬레이션을 통한 설계가 필요하다.

본 연구에서는 percentile을 활용하여 생성된 3명의 대표인체모형을 사용하였으나, 통계적으로 모집단을 보다 적합하게 대표하는 인체모형의 활용이 필요하다. Percentile 방법은 설계 관련 개별 인체변수에 대해 백분율(예: 95%ile)을 사용하여 대표인체모형의 크기를 결정한다(HFES300, 2003). 그로 인해, 개별 인체변수는 지정된 백분율의 인구를 수용하지만, 다수 인체변수를 설계에 고려하는 다변량 설계에는 설계대상 인

구를 통계적으로 적합하게 수용하지 못한다(Roebuck et al., 1975). 따라서, 본 연구의 결과는 설계대상 인구를 통계적으로 적합하게 대표하는 인체모형을 적용한 설계의 보완이 요구된다.

## 참고 문헌

- BRS/HFES100 (2002). *Draft Standard for Trial Use: Human Factors Engineering of Computer Workstations*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J., and Martin, B. J. (1999). *Occupational Biomechanics* (3<sup>rd</sup> ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Diffrient, N., Tilley, A. R., and Harman, D. (1981). *Human Scale 7/8/9*, Cambridge, MA, The MIT Press.
- DSMWEB (2007). The design structure matrix web site. Retrieved from <http://www.dsmweb.org/>
- Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I., and Walker, R. (1988). *1988 Anthropometric Survey of US Army Personnel: Methods and Summary Statistics* (Technical Report NATICK/TR-89/O44), US Army Natick Research Center: Natick, MA.
- HFES300 (2003). *Guidelines for Using Anthropometric Data in Product Design*.

Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Roebuck, J. A., Kroemer, K. H. E., and Thomson, W. G. (1975). *Engineering Anthropometry Methods*. New York: Wiley-Interscience.

Sanders, M. S., and McCormick, E. J. (1992). *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill.

Ulrich, K. T., and Eppinger, S. D. (2000). *Product Design and Development*. McGraw-Hill, NY.

You, H., Bucciaglia, J., Lowe, B. D., Gilmore, B. J., and Freivalds, A. (1997). An ergonomic design process for a US transit bus operator workstation. *Heavy Vehicle Systems, A Series of the International Journal of Vehicle Design*, 4(2-4), 91-107.