

# Design Structure Matrix를 활용한 인체측정학적 제품설계 방법: 컴퓨터 워크스테이션 설계 적용\*

정기효<sup>1</sup> · 권오채<sup>2</sup> · 유희천<sup>1</sup>

<sup>1</sup>포항공과대학교 기계산업공학부 / <sup>2</sup>삼성전자 무선사업부

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

Kihyo Jung<sup>1</sup>, Ochaekwon<sup>2</sup>, Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 790-784

<sup>2</sup>Samsung Electronic Co., LTD. 16th Fl., Jungang-Ilbo Bldg. #7, Soonhwa-dong, Jung-gu, Seoul 100-759

### 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 the development of design equations for a computer workstation, and compared design values from the design equations with corresponding design values of ergonomic recommendations and existing products. 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, backrest, armrest, legroom, and worktable in descending order) was determined. Next, design equations were developed by analyzing the geometric relationships between computer workstation design dimensions and anthropometric dimensions. Finally, design values for a computer workstation were determined by considering a standard posture defined and representative human models (5th, 50th, 95th %ile). The design values calculated using the design equations were similar with those of ergonomic recommendations found in literature and two commercial products measured in the study; however, some design values (e.g., seatpan height) were different due to discrepancy in standard posture. The DSM method would be utilized to systematically analyze the relationships between design dimensions for anthropometric product design.

Keyword: Anthropometric product design, Computer workstation design, Design structure matrix

### 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 설계하였다. 그리고 BSR/HFES 100(2003)은 인체측정변수, 표준자세 및 여유공간을 고려하여 개발된 설계공식을 통해 컴퓨터 워크스테이션의 표준설계 지침 초안을 개발하였다. 이러한 인체측정학적

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

교신저자: 유희천

주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

설계공식은 사용자 특성(인체크기 및 자세)과 제품특성(예: 설계변수 연관성, 설계원칙, 제약사항)을 고려하여 개발된다.

설계공식 및 설계치수의 도출 순서는 설계변수들 간의 연관관계(독립, 순차, 병행)를 고려하여 결정된다. 제품을 구성하는 설계변수들은 상호 연관성에 따라 독립(independent), 순차(sequential), 병행(coupled)의 관계를 가진다(You et al., 1997). 독립관계에 있는 설계변수는 상호 영향이 없어 독립적으로 설계공식이 결정되나, 순차관계에 있는 설계변수는 다른 설계변수의 치수 결정에 영향을 주기 때문에 순차적으로 공식이 도출된다. 한편, 병행관계에 있는 설계변수는 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) 기법은 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 들면, F 작업은 행에 표시된 C, D, E 작업에 영향을 받고, 열에 표시된 G, H 작업에 영향을 주는 것을 나타낸다. 이와 같이 DSM 기법은 작업수행에 대

한 연관성을 체계적으로 분석한 정보를 사용하여 그림 1.b와 같은 작업의 시행 순서를 결정할 수 있게 한다.

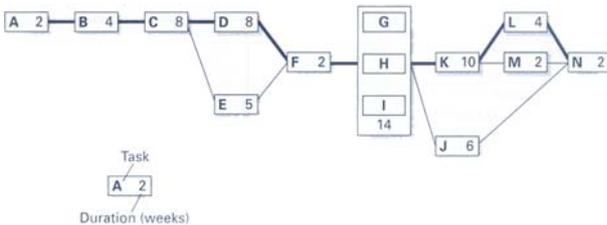
본 연구는 DSM을 활용하여 인체측정학적으로 컴퓨터 워크스테이션을 설계하고, 문헌과 시판제품의 설계치수와 비교 평가하였다. 컴퓨터 워크스테이션 설계에 DSM을 적용하여 체계적 설계요소들 간의 종속성 분석을 통해 인체측정학적 설계공식이 개발되었다. 또한, 개발된 설계공식에 문헌의 표준자세 정보(Diffrient et al., 1981; BSR/HFES 100, 2002)와 US Army 인체측정자료(Gordon et al., 1988)를 적용하여 설계치수가 도출되었으며, 개발된 설계치수는 컴퓨터 워크스테이션 권장설계 및 시판제품의 설계치수와 비교 평가되었다.

## 2. DSM을 활용한 인체측정학적 컴퓨터 워크스테이션 설계

본 연구의 인체측정학적 설계는 그림 2에 나타난 것과 같은 5 단계의 절차를 통해 이루어졌다. 첫째 단계에서는 DSM 기법을 활용하여 설계변수들 간의 연관성을 분석하여 치수설계 순서가 결정되었다. 둘째 단계에서는 설계대상 인구집단을 대표하는 인체모델의 인체크기와 표준자세가 정의되었다. 셋째 단계에서는 컴퓨터 워크스테이션을 위한 인간 공학적 설계원칙, 설계요구사항, 그리고 제약사항이 결정되었으며, 넷째 단계에서는 상기 파악된 정보에 근간하여 설계공식이 개발되었다. 마지막 단계에서는 개발된 설계공식에 대표인체모델의 인체크기와 표준자세를 대입하여 설계치수가 도출되었다.

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	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 순서

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

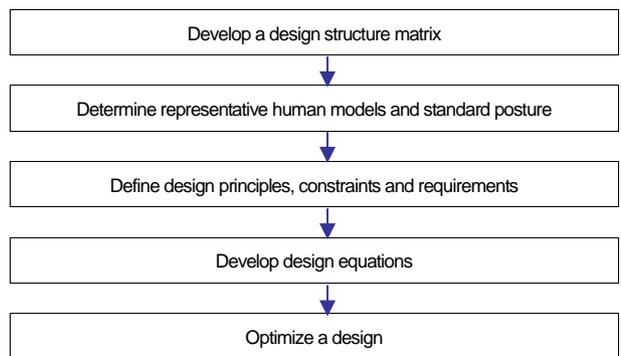


그림 2. 인체측정학적 설계 절차

### 2.1 DSM 분석

컴퓨터 워크스테이션 설계변수에 대한 계층적 분석을 통

해 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 세분화되었다.

DSM을 적용한 설계변수의 연관성 분석을 통해 치수설계 순서가 결정되었다. DSM 분석결과, 설계변수 14개는 표 1과 같이 순차적으로 영향을 주는 3개 집단으로 구분되었다. 집단 간에는 설계 우선순위가 있어 그림 3과 같이 순차적으로 치수설계가 이루어지며, 집단 내에서는 영향이 없어 독립적인 순서로 치수가 결정될 수 있다.

표 1. 컴퓨터 워크스테이션 design structure matrix 기법 분석결과 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 thigh	DD8						
	Worktable	Legroom	Height at knee	DD9						
	Worktable	Legroom	Width	DD10						
	Seat	Seatback	Height	DD4						
	Seat	Seatback	Width	DD5						
	Seat	Armrest	Height	DD6						
	Seat	Armrest	Clearance	DD7						
	Worktable	Legroom	Depth at knee	DD11						
	Worktable	Legroom	Depth at foot	DD12						
	3	Worktable	Table	Height	DD13					
Worktable		Table	Width	DD14						

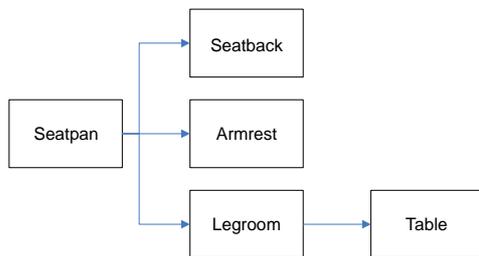


그림 3. 컴퓨터 워크스테이션 설계 순서

## 2.2 대표인체모델 및 표준자세

인체측정학적 설계를 위해 설계변수와 연관된 인체변수(13개)와 설계대상 인구의 90%를 수용하는 percentile 대표인체모델(3명)이 선정되었다. 본 연구에서는 컴퓨터 워크스테이션 설계변수와 인체변수의 연관성을 체계적으로 분석

하여 설계와 관련된 인체변수 13개가 선정되었다. 그리고 대표인체모델은 미군 3,982명(남자: 1,774; 여자: 2,208)에 대한 인체크기 정보를 제공하는 US Army 자료(Gordon et al., 1988)에 백분위수(5th, 50th, 95th %ile)를 적용하여 3명이 생성되었다.

컴퓨터 워크스테이션 사용 표준자세는 기존 연구의 편안히 앉은 자세범위를 고려하여 설정되었다. Diffrient et al. (1981)은 자동차 운전 시 안락한 자세범위가 제공되어 있으며, BSR/HFES 100(2002)에는 컴퓨터 워크스테이션 사용 표준자세에 대한 정보가 제공되어 있다. 본 연구는 기존 연구에서 제시한 자세범위를 통합하여 평균에 해당하는 자세를 표준자세로 정의하였다.

## 2.3 설계 가이드라인

컴퓨터 워크스테이션의 설계변수에 대한 설계원칙과 여유공간 정보가 결정되었다. 각 설계변수에 대한 설계원칙은 인간공학적 설계원칙 세 가지(design for average person, design for extreme person, design for adjustability; Sanders and McCormick, 1992) 중에서 설계변수의 특성을 고려하여 정의되었다. 예를 들어, 의자 높이에 대한 설계원칙은 design for adjustability로 설정되었고, 의자 너비는 design for extreme person으로 결정되었다. 또한, 설계변수에 대한 여유공간은 BSR/HFES 100(2002)에서 제공하는 정보가 활용되었다(예: 좌판의 높이 설계에는 인체측정에서 고려되지 않은 신발 높이 2.5cm를 보정).

## 2.4 설계공식

DSM 분석을 통해 결정된 치수설계 순서에 따라 설계변수 14개에 대한 공식이 개발되었다. 예를 들어, 설계변수 중에서 설계공식이 가장 우선적으로 개발되어야 하는 의자 좌판의 높이(단위: cm)는 설계변수 및 인체변수 연관관계에 의해 그림 4에 나타난 것과 같이  $BD11 \times \sin(AD3 - AD6) - BD6 \times \sin(AD6) + 2.5$ 으로 설정되었다.

## 2.5 컴퓨터 워크스테이션 설계치수

개발된 설계공식에 대표인체모델의 인체크기와 표준자세 정보를 대입하여 설계치수가 도출되었다. 예로 들어, 그림 4의 의자 높이는 대표인체모델 3명에 대해 31~39cm의 범위를 가지게 되어, 의자 높이 조절범위는 8cm가 권장된다.

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	$DD1 = BD11 * \sin(AD3 - AD6) - BD6 * \sin(AD6) + 2.5$

		5th %ile	50th %ile	95th %ile
Body Dimension	Buttock-popliteal length	44.5	48.9	53.8
	Popliteal height (BD11)	35.8	40.8	46.4

		Lower Bound	Upper Bound	Value
Angular Posture	Knee flexion (AD3)	45°	85°	65
	Hip flexion (AD6)			4
Related Design Dimension	Seatpan angle			4

Design Value	Max	39.3
	Min	30.7

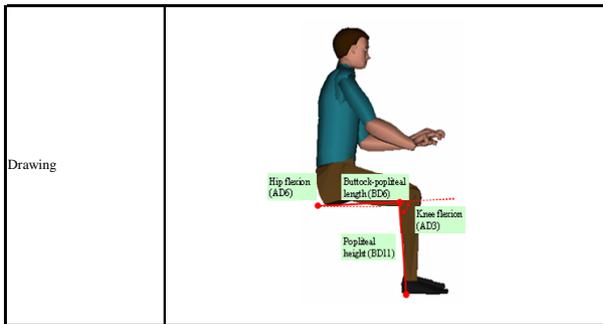


그림 4. 컴퓨터 워크스테이션의 의자좌판 높이에 대한 설계공식 및 설계치수

### 3. 토 의

본 연구는 DSM 기법을 활용한 체계적 인체측정학적 설계 방법을 개발하였다. DSM 기법은 작업 또는 시스템 구성요소들 간의 중속성을 체계적으로 분석하는 기법으로써, 시스템 분석, 제품설계, 프로젝트 일정관리에 주로 활용된다 (DSMWEB, 2007). 본 연구는 인체측정학적 설계를 위한 설계변수 간의 중속성 분석에 DSM 기법을 활용하였다. 개발된 DSM을 활용한 인체측정학적 설계 방법은 컴퓨터 워크스테이션 설계뿐만 아니라, 다양한 제품의 인체측정학적 설계에 활용될 수 있다.

본 연구에서 개발된 설계치수는 표준지침 및 시판제품의 치수와 유사한 것으로 나타났다(표 2 참조). 예를 들어, 본 연구의 좌판 깊이는 43cm로서 문헌(Chaffin et al., 1999; BSR/HFES 100, 2002)에서 제시된 33~47 cm 범위에 포함된다. 또한, 시판중인 의자 2종의 좌판 깊이는 42cm와 43cm로 조사되어 본 연구의 결과와 유사한 것으로 나타났다. 또한, 팔걸이 높이도 24cm로 설계되어 문헌(BSR/HFES 100, 2002)의 18cm~27cm에 포함된다.

한편, 본 연구의 일부 설계치수는 문헌 및 시판제품과 차이를 보였는데, 원인은 표준자세의 차이에 따른 것으로 분석되었다. 예를 들어, 본 연구의 중립 좌판 높이(35cm)는 문

표 2. 컴퓨터 워크스테이션 설계치수 비교\*

Design dimension (DD)		Proposed	Reference design*						Product benchmarking		
			BSR/HFES100 (2002)	BS**	CEN**	Diffrient et al. (1974)	Grandjean (1980)	DIN**	A	B	
Seat	Seatpan	Height	[31, 39]	[38, 56]	[43, 51]	[39, 54]	[35, 52]	[38, 53]	[42, 54]	[45, 50]	[45, 53]
		Depth	43	43	[36, 47]	[38, 47]	[33, 41]	[38, 42]	[38, 42]	43	42
		Width	41	46	41	40	41	[40, 45]	[40, 45]	50	47
	Seatback	Height	57	45	33	-	-	[48, 50]	32	60	45
		Width	36	36	[30, 36]	[36, 40]	33	[32, 36]	[36, 40]	44.5	44
		Armrest	Height	24	[18, 27]	[16, 23]	[21, 25]	[18, 25]	-	[21, 25]	19
Clearance	50		46	[47, 56]	[46, 50]	[48, 56]	-	[48, 50]	50	48	
Legroom	Height at thigh	66	[50, 72]	-	-	-	-	-	-	70	
	Width	63	52	-	-	-	-	-	-	-	
	Height at knee	56	52	-	-	-	-	-	-	-	
	Depth at knee	40	44	-	-	-	-	-	-	52	
	Depth at foot	61	60	-	-	-	-	-	-	52	
Table	Height	66	[50, 70]	-	-	-	-	-	-	70	
	Width	65	70	-	-	-	-	-	-	-	

\*BSR/HFES: Board of Standard Review/Human Factors and Ergonomic Society, BS: British standards, CEN: European standards, DIN: German standards

\*\* Source: Chaffin et al.(1999)

현(45.5cm)과 시판제품(49 cm)보다 작은 경향을 보였다. 그러나 표준자세를 문헌에서 사용한 자세로 변경하면(무릎 각도: 65° ⇒ 90°, 좌관 각도: 4° ⇒ 0°) 좌관 중립 높이는 43.3cm로 증가하여 문헌과 유사한 수준이 된다.

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

마지막으로, 본 연구에서는 percentile을 활용하여 생성된 3명의 대표인체모델을 사용하였으나, 통계적으로 모집단을 보다 적합하게 대표하는 인체모델의 활용이 필요하다. Percentile 방법은 설계 관련 개별 인체변수에 대해 백분율(예: 95th %ile)을 사용하여 대표인체모델의 크기를 결정한다(HFES 300, 2003). 그로 인해, 개별 인체변수는 지정된 백분율의 인구를 수용하지만, 다수 인체변수를 설계에 고려하는 다변량 설계에는 설계대상 인구를 통계적으로 적합하게 수용하지 못하게 된다(Roebuck et al., 1975). 따라서, 본 연구의 결과는 설계대상 인구를 통계적으로 보다 적합하게 대표하는 인체모델을 적용한 보완이 요구된다.

### 참고 문헌

BSR/HFES 100, *Draft Standard for Trial Use: Human Factors Engineering of Computer Workstations*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 2002.

Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J., *Occupational Biomechanics (3rd ed.)*. John Wiley and Sons, Inc, 1999.

Diffrient, N., Tilley, A. R. and Bardagjy, J. G., *Human Scale 1/2/3*, Cambridge, MA, The MIT Press, 1974.

Diffrient, N., Tilley, A. R. and Harman, D., *Human Scale 7/8/9*, Cambridge, MA, The MIT Press, 1981.

DSMWEB, The design structure matrix web site. Retrieved from <http://www.dsmweb.org/>, 2007

Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I. and Walker, R., 1988 *Anthropometric Survey of US Army*

*Personnel: Methods and Summary Statistics (Technical Report NATICK/TR-89/044)*, US Army Natick Research Center: Natick, MA, 1988.

Grandjean, E., *Fitting the Task to the Man*, International Publication Service, New York, 1980.

HFES 300, *Guidelines for Using Anthropometric Data in Product Design*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 2003.

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

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

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

You, H., Buccigaglia, J., Lowe, B. D., Gilmore, B. J. and Freivalds, A., 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, 1997.

### ◎ 저자 소개 ◎

❖ 정 기 효 ❖ khjung@postech.ac.kr

포항공과대학교 산업공학과 석사  
 현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정  
 관심분야: 인체측정학적 제품설계, 가상환경상 인간공학적 제품설계 및 평가, 직업성 근골격계질환 예방

❖ 권 오 채 ❖ ochae.kwon@samsung.com

포항공과대학교 산업공학과 박사  
 현 재: 삼성전자 무선통신사업부 책임연구원  
 관심분야: 산업인간공학, 생체공학, 인간공학적 제품설계

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr

미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학과 박사  
 현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수  
 관심분야: 인간공학적 제품설계 기술, 사용자 중심의 제품설계, 가상 환경 기반 인간공학적 제품설계 및 평가, 사용성 공학, 근골격계질환 예방 및 통제

논문 접수 일 (Date Received) : 2007년 07월 11일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2007년 08월 25일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 08월 27일