

# 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 제품설계 방법 개발 및 헬리콥터 설계 적용\*

## Development of an Anthropometric Design Method using Computer Simulation: Application to Helicopter Design

정기효\*\*, 박장운\*\*, 이원섭\*\*, 강병길\*\*\*,  
이정효\*\*\*, 엄주호\*\*\*, 박세권\*\*\*\*, 유희천\*\*

\*\* 포항공과대학교 기계산업공학부

\*\*\* 한국우주항공산업

\*\*\*\* 공군사관학교 산업공학과

### ABSTRACT

인간공학적 제품 설계 및 평가를 위해 디지털 시뮬레이션 시스템(예: Jack®, RAMSIS®)이 활용되고 있으나, 디지털 시뮬레이션 시스템은 유기적인 설계, 분석, 평가의 통합 미비로 인간공학적 설계 및 평가에 많은 시간과 노력이 필요하다. 본 연구는 인체측정자료를 이용한 3 단계(설계공식, 설계 시뮬레이션, 설계 최적화) 시뮬레이션 과정을 통해 체계적인 인체측정학적 제품 설계 방법을 개발하였다. 먼저, 인체측정학적 시뮬레이션을 위해 설계변수와 인체변수의 기하학적 관계를 수식화한 설계공식을 개발한다. 다음은 제품의 설계치수가 변함에 따라 설계대상 집단을 대표하는 인체모델의 자세변화를 설계공식을 이용하여 시뮬레이션하고 분석한다. 마지막으로, 시뮬레이션 분석 결과에 근거하여 대표인체모델의 자세 불편을 최소화하면서, 설계 요구사항을 충족하는 최적 설계를 결정한다. 본 연구에서 개발된 인체측정학적 설계방법은 헬리콥터 설계에 적용되었으며, 다양한 제품의 인체측정학적 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

*Keyword:* Anthropometric product design, Design equation, Design structure matrix, Design optimization, Helicopter design

### 1. 서론

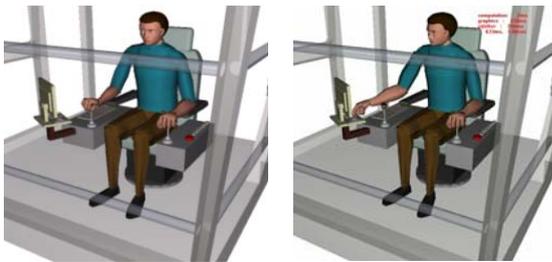
사용자의 인체크기에 적합한 제품을 개발하기 위해 인체측정학적 제품 설계 및 평가가 이루어지고 있다. BSR/HFES 100 (2002)와 Das and Sengupta (1996)는 컴퓨터 워크스테이션 (computer workstation)과 작업대(industrial workstation)를 인체측정자료를 이용하여 설계하였다.

또한, You et al. (1996)과 이상기 외(2005)는 Jack®을 이용한 디지털시뮬레이션 (digital human simulation, DHM)을 통해 버스 운전석과 천장크레인 운전석 설계를 인간공학적으로 평가하였다.

인체측정학적 설계 및 평가를 위한 디지털 시뮬레이션 시스템은 인간공학적 설계, 분석, 평가의 유기적인 통합 미비로 인간공학적 설계 및 분석에 많은 시간과 노력이 필요하다. Jack® 및 RAMSIS®와 같은 디지털 시뮬레이션 시스템은 그림 1 과 같이 컴퓨터상에 제품과

\* 본 논문은 2006년 KHP 위탁연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 내용은 주요 방산기밀자료임으로 무단으로 사진 촬영 및 복제·복사를 할 수 없으며, 업무상 관련 없는 자에게 누설을 금합니다.

디지털인체모델(digital human model)을 시각화한 후, 인간공학적 설계, 분석, 평가를 수행한다. 그러나, 디지털 시뮬레이션 시스템은 인간공학적 설계, 분석, 평가의 유기적인 통합이 미비하여 인간공학적 설계에 많은 시간과 노력이 소요된다.



(a) 크레인 기본 운전 자세 분석 (b) 버튼 도달성 분석

그림 1. 디지털시뮬레이션을 통한 천장크레인 운전석의 자세 및 도달성 평가 사례 (이상기 외, 2005)

효율적인 인체측정학적 설계 및 평가를 위해서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 인간공학적 분석을 보다 간편하고 신속하게 수행하는 방법 개발이 필요하다. 컴퓨터 시뮬레이션은 다양한 인체모델의 제품 사용 자세를 자동으로 분석할 수 있어 보다 효율적인 설계 및 평가를 가능하게 한다. 또한, 제품의 설계치수 변화에 따른 인간공학적 평가를 신속하게 수행할 수 있어 최적 설계치수를 용이하게 분석할 수 있다.

본 연구는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 인체측정학적 제품 설계 및 평가를 효율적으로 수행하는 방법을 개발하였다. 개발된 설계 방법은 제품 설계변수의 치수가 변함에 따라 인체모델의 자세를 자동으로 시뮬레이션 분석할 수 있어 효율적인 인체측정학적 설계 및 평가를 가능하게 한다. 본 연구의 설계 방법은 다양한 제품의 인체측정학적 설계 및 평가에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 설계 방법

### 2.1 설계 절차

본 연구의 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 설계방법은 3 단계 절차(설계공식, 시뮬레이션, 설계 최적화)로 구성된다(그림 2 참조). 먼저, 인체측정학적 시뮬레이션을 위해 설계변수와 인체변수의 연관성을 수식화한 설계공식(design equation)을 개발한다. 그리고, 개발된 설계공식을 이용하여 설계변수의 치수 변화에 따른 인체모델의 자세를 시뮬레이션 분석한다. 마지막으로, 자세 시뮬레이션 분석결과에 대해 인체모델의 자세손실점수(posture loss score)를 분석하여 최적설계치수를 결정한다.

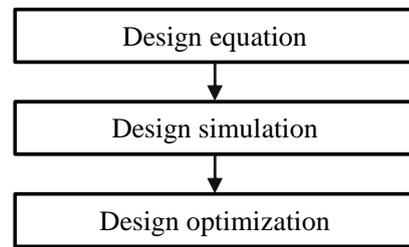


그림 2. 인체측정학적 제품 설계 절차

### 2.2 설계공식(design equation)

설계변수와 인체변수의 기하학적 연관관계(geometrical relationship)를 수식화한 설계공식을 개발하기 위해 설계변수 종속관계와 설계변수-인체변수 연관관계를 design structure matrix (DSM) 기법을 이용하여 분석한다. 먼저, 설계변수 종속관계 분석은 표 1에 나타난 것과 같이 설계변수 간의 연관관계를 행렬에 도식화하는 것으로, 설계변수의 치수결정 시 고려되어야 하는 다른 설계변수를 체계적으로 파악할 수 있게 한다(정기효 외, 2007). 그리고, 설계변수-인체변수 연관관계 분석은 표 2에 나타난 것과 같이 설계변수와 인체변수의 연관관계를 행렬에 도식화하는 것으로, 설계변수의 치수 결정 시 고려되어야 할 인체변수(예: 인체부위 및 자세변수)를 파악하게 한다.

표 1. 헬리콥터 조종석의 설계변수에 대한 종속관계 분석 예\*

Design dimension (DD)		Code	DD1	DD2	DD3
Seat	Seat pan	Height	DD1		
		Depth	DD2		
		Width	DD3		
	Seat back	Height	DD4	X	
		Width	DD5		X
	Arm rest	Height	DD6	X	
		Clearance	DD7		X
Legroom	Height at thigh	DD8	X		
	Width	DD9		X	
	Height at knee	DD10	X		
	Depth at knee	DD11		X	
	Depth at foot	DD12		X	
Table	Height	DD13	X		
	Width	DD14		X	

\* 열의 설계변수가 행의 설계변수에 영향을 미치는 경우 'X'로 표시하였음

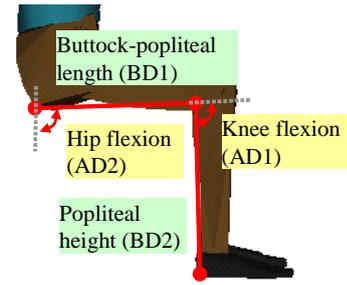
표 2. 헬리콥터 조종석의 설계변수와 인체변수 연관관계 분석 예\*

Classification		Body dimension		Angular dimension	
		BPL**	PH	KF	HF
Design dimension	Code	BD1	BD2	AD3	AD6
Seat Pan	Height	DD1	X	X	X
	Depth	DD2	X		X
	Width	DD3			
Seat Back	Height	DD4			
	Width	DD5			
Arm Rest	Height	DD6	X		X
	Clearance	DD7	X		X

\* 설계변수와 연관관계가 있는 인체변수에 'X' 표시하였음

\*\* BPL: buttock-popliteal length, PH: popliteal height, KF: knee flexion, HF: hip flexion

인체측정학적 설계를 위한 설계공식은 설계변수 종속관계와 설계변수-인체변수 연관관계 분석에 근간하여 개발된다. 그림 3의 의자 높이를 예로 들어, 의자 높이 설계공식은 의자 높이와 연관되는 설계변수 및 인체변수의 기하학적 특성을 고려하여 'BD2×sin{AD1-(AD2-90°)} - BD1×sin(AD2)+여유'으로 결정된다.



$$\text{Seat height} = \text{BD2} \times \sin\{\text{AD1} - (\text{AD2} - 90^\circ)\} - \text{BD1} \times \sin(\text{AD2}) + \text{allowance}$$

그림 3. 의자 높이 설계공식 예

### 2.3 설계 시뮬레이션(design simulation)

설계 시뮬레이션은 설계치수 변화에 따른 인체모델의 자세를 시뮬레이션 분석한다. 설계치수에 따른 인체모델의 자세는 개발된 설계공식(2.2 장 참조)을 이용하여 파악된다. 의자 높이 설계(그림 2 참조)를 예로 들어, 의자 높이에 대한 설계치수를 30 cm에서 50 cm까지 1 cm 씩 (시뮬레이션 정밀도) 변화시켜 가면서 의자에 앉은 인체모델의 자세를 설계공식을 이용하여 분석한다.

### 2.4 설계 최적화(design optimization)

설계 최적화는 2 단계(자세손실점수 분석 및 최적 설계치수 결정)로 이루어진다. 먼저, 시뮬레이션을 통해 파악된 설계치수 변화에 따른 인체모델 자세에 대해 자세손실점수(loss score)를 산출한다. 자세손실점수는 그림 4에 나타낸 것과 같이 인체모델의 자세가 기본자세에서 벗어날수록 손실이 증가하는 함수(loss function)를 이용하여 산출될 수 있다. 그림 4의 손실함수에서 기본자세(standard posture)는 자세 편의성(posture comfort)이 가장 좋은 자세로 설정될 수 있으며, 최소 및 최대 허용 자세는 신체부위의 동작범위 (range of motion)로 설정될 수 있다.

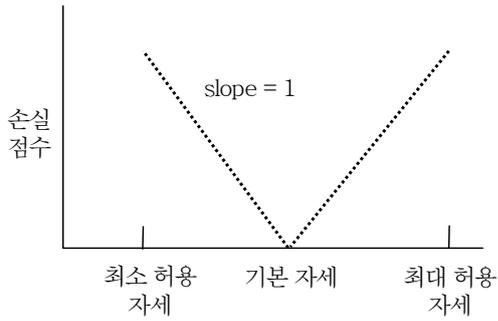


그림 4. 손실함수(loss function) 예

그리고, 설계대상 인구를 통계적으로 대표하는 다양한 인체모델(representative human models)에 대해 자세손실점수를 최소화하는 치수를 최적설계로 결정한다. 예를 들어, 제품 설계치수가 변함에 따라 대표인체모델 3 명(5<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 95<sup>th</sup> %ile)의 자세손실점수가 그림 5 와 같이 변화하면 최적설계치수는 자세손실점수를 최소화하는 31 cm로 결정된다.

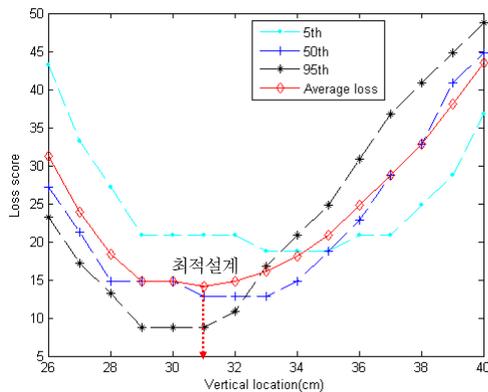


그림 5. 설계치수 변화에 따른 대표인체모델의 자세손실 분석 예

### 3. 토의

본 연구는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 설계 방법을 개발하였다. 개발된 방법은 3 단계(설계공식, 시뮬레이션, 설계최적화) 절차를 통해 인체측정학적 설계 및 평가를 수행한다. 또한, 인체모델의 자세분석을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수행할 수 있어 보다 효율적인 인체측정학적 제품 설계를 할 수 있다.

인체모델의 자세손실 산출을 위한 손실함수는 자세 불편도를 고려하여 설정되어야 한다. 본 연구는 제품의 설계치수에 따른 인체모델의 자세손실 분석에 제품 사용 기본자세에서 벗어나는 정도에 따라 자세손실이 1 차로 증가하도록 하였다. 그러나, 손실함수는 설계대상 제품의 특성에 따라 자세 불편도를 고려하여 설정되는 것이 바람직하다.

본 연구에서 개발된 설계 방법은 한국형 헬리콥터의 조종실 설계 개발에 적용되어 유용성이 파악되었다. 개발된 인체측정학적 설계 방법은 한국형 헬리콥터의 조종실(Korean Helicopter Program, KHP) 설계 개발에 적용되어 설계대상 인구의 인체크기에 적합한 조종실 공간을 설계하였다. 또한, 본 연구의 방법은 인체측정자료를 이용한 다양한 제품의 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- 이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호 (2005). Digital human simulation 을 통한 overhead crane 의 인간공학적 설계 개선 및 평가. *대한인간공학회/ 한국감성 과학회 2005 춘계학술대회 및 제 8 회 한일 공동 인간공학 심포지움*, 57-60.
- 정기효, 권오채, 유희천 (2007). Design Structure Matrix 를 활용한 인체측정학적 제품설계 방법: 컴퓨터 워크스테이션 설계 적용. *대한인간공학회 2007 춘계학술대회*.
- BRS/HFES100 (2002). Draft Standard for Trial Use: Human Factors Engineering of Computer Workstations. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Das, B., and Sengupta, A. K. (1996). Industrial workstation design: a systematic ergonomics approach. *Applied Ergonomics*, 27(3), 157-163.
- You, H., Lowe, B. D., Oesterling, B., Freivalds, A., Gilmore, B. J., 1996. Computer Simulation for Ergonomic Transit Operator's Workstation Design Using JACK®. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*. Santa Monica, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.