

시뮬레이션을 통한 인체측정학적 제품 설계 방법 개발 및 헬리콥터 설계 적용



정기효¹, 박장운¹, 이원섭¹, 강병길²,
이정효², 엄주호², 박세권³, 유희천¹



¹포항공과대학교 인간공학설계기술 연구실

²한국항공우주산업(주)

³공군사관학교 산업공학과



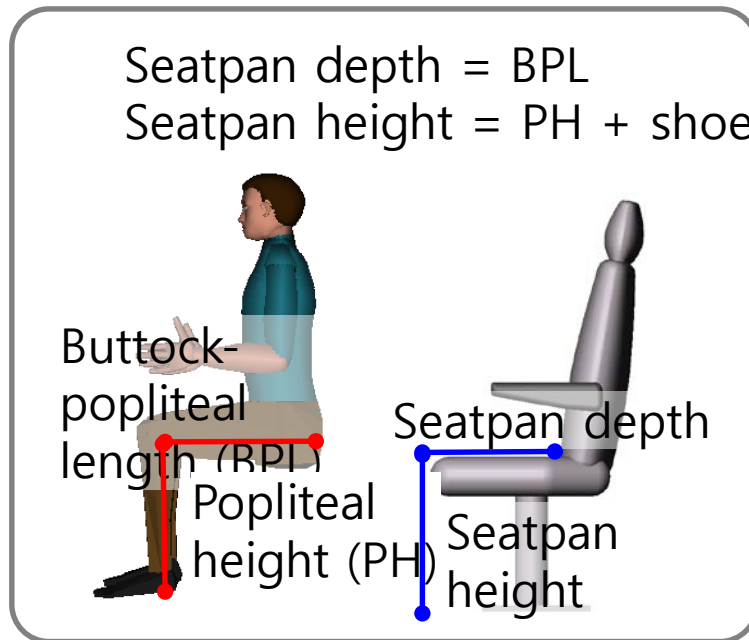


- 연구 배경 및 목적
- 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 설계 방법
- 헬리콥터 조종실 설계 사례
- 토의 및 향후 연구 내용

State of the Art - Design



- HFES 100 (2002)와 Das and Sengupta (1996)은 제품 사용 표준자세 (standard posture)에서의 인체크기 정보를 적용하여 work space 설계

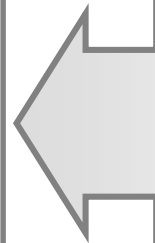
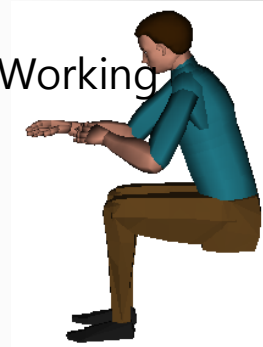


자세 다양성 반영 미흡: 제품 사용 시의 다양한 사용자 자세 특성을 설계에 반영 미흡

Relaxed



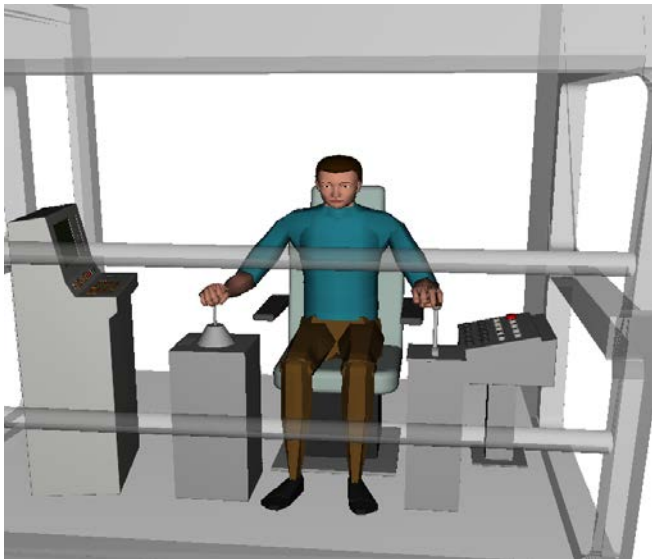
Working





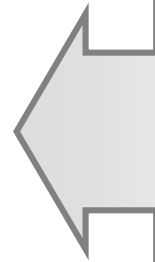
- You et al. (1997)과 이상기 외(2005)는 디지털 인체모델 시뮬레이션(digital human model simulation)을 통해 자동차와 천장크레인 설계 평가

천장크레인 도달성 평가 사례



인간공학적 설계 및 평가의
유기적인 통합 미비

- **Sensitivity analysis:**
설계치수 변화에 따른
신체부하 분석 미흡
- **설계 대안 비교 분석:**
설계 대안에 따른
신체부하의 정량적 비교
분석 미흡
- **Time and effort demand:**
시뮬레이션 분석에
시간과 노력이 많이 소요





인체측정학적 시뮬레이션을 통한 제품 설계 방법을 개발하고, 헬리콥터 조종실 설계에 적용

1. 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 설계 방법 개발

- 인간공학적 설계 및 평가의 유기적 통합
- Sensitivity analysis
- 다양한 제품 사용 자세를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석

2. 제안된 방법 적용: 헬리콥터 조종실 설계

- Korean Utility Helicopter (KUH)의 조종석과 주요 control 3종 (cyclic, collective, yaw pedals) 설계
- 개발된 인체측정학적 설계 방법의 유용성 분석

시뮬레이션을 통한 설계 절차

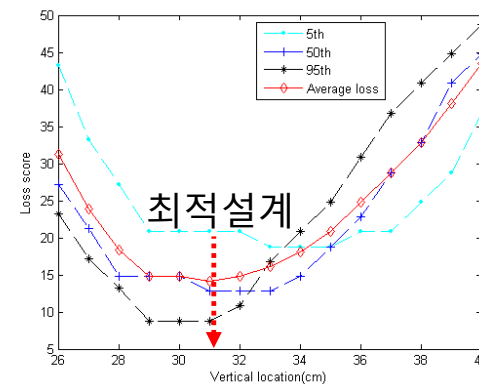
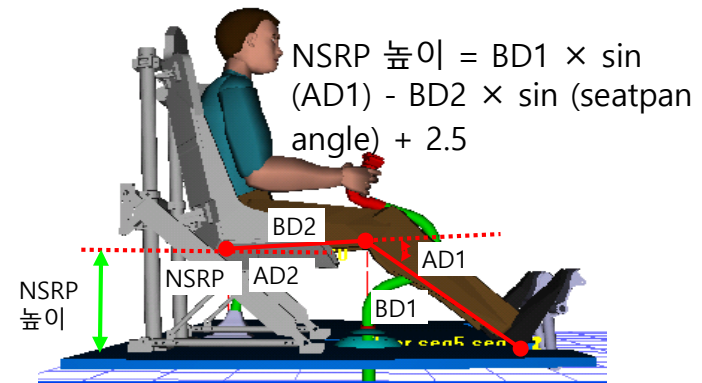


- 시뮬레이션을 통한 3-step (설계공식, 시뮬레이션, 최적화) 인체측정학적 설계 방법

설계 공식(design equation)

설계 시뮬레이션(design simulation)

설계 최적화(design optimization)





Step 1: 설계 공식

- Design structure matrix (DSM) 분석을 통한 설계공식 개발에 대한 선행 연구 방법(정기효 외, 2007) 적용

설계변수 종속성 분석

Classification		Design dimension		
Design dimension	Code	DD 1	DD 2	DD 3
Seat pan	Height	DD1		
	Depth	DD2		
	Width	DD3		
Seat back	Height	DD4	X	
	Width	DD5		X

설계변수-신체부위 연관성 분석

Classification		Body dimension		Angular dimension	
Design dimension	Code	BD1	BD2	AD 1	AD 2
Seat pan	Height	DD1	X	X	X
	Depth	DD2	X		X
	Width	DD3			
Seat back	Height	DD4			
	Width	DD5			

설계공식 개발

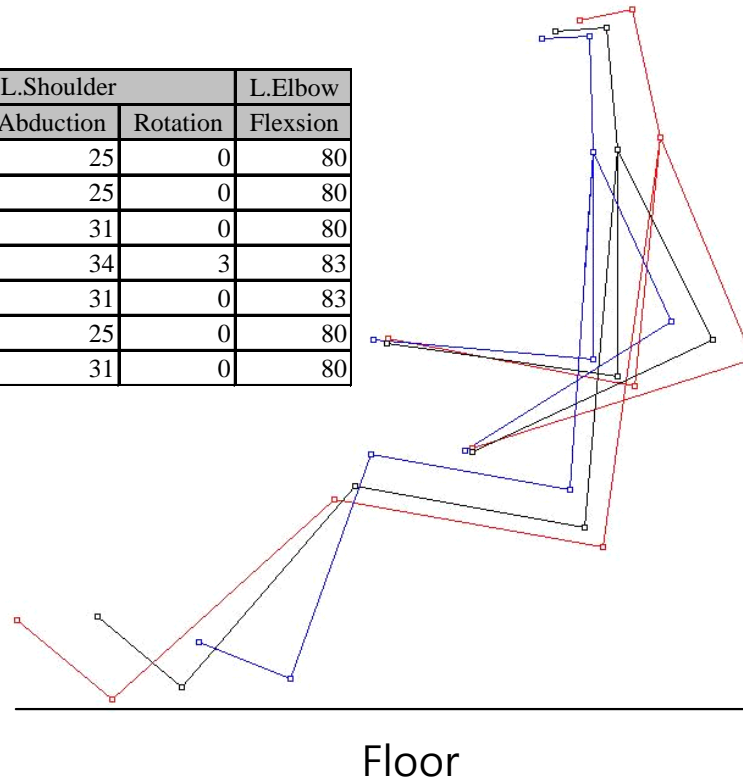
$$\begin{aligned} \text{NSRP 높이} &= \text{BD1} \times \sin(\text{AD1}) \\ &- \text{BD2} \times \sin(\text{seatpan angle}) \\ &+ 2.5 \end{aligned}$$

Step 2: 설계 시뮬레이션



- 설계공식을 적용한 Matlab 시뮬레이션을 통해 설계치수 변화에 따른 인체모델의 자세 분석

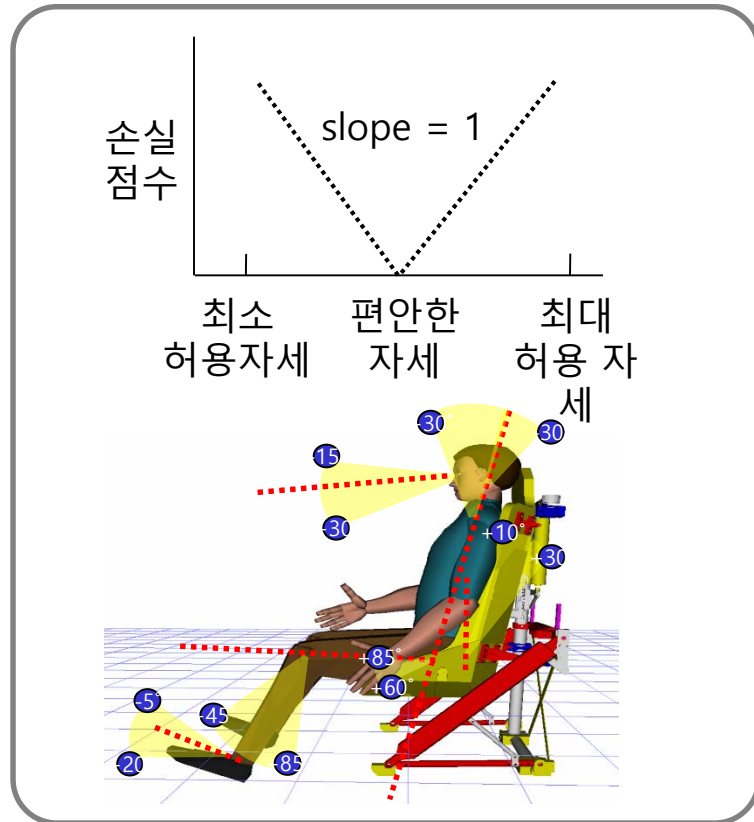
No.	Loss score	Neck	Trunk	L.Shoulder			L.Elbow
		Flexion	Flexion	Flexion	Abduction	Rotation	Flexion
1	32.2	0	0	-27	25	0	80
2	29.2	3	0	-27	25	0	80
3	26.2	3	3	-27	31	0	80
4	24.2	3	6	-27	34	3	83
5	30.8	3	9	-24	31	0	83
6	28.2	6	0	-27	25	0	80
7	25.2	6	3	-27	31	0	80



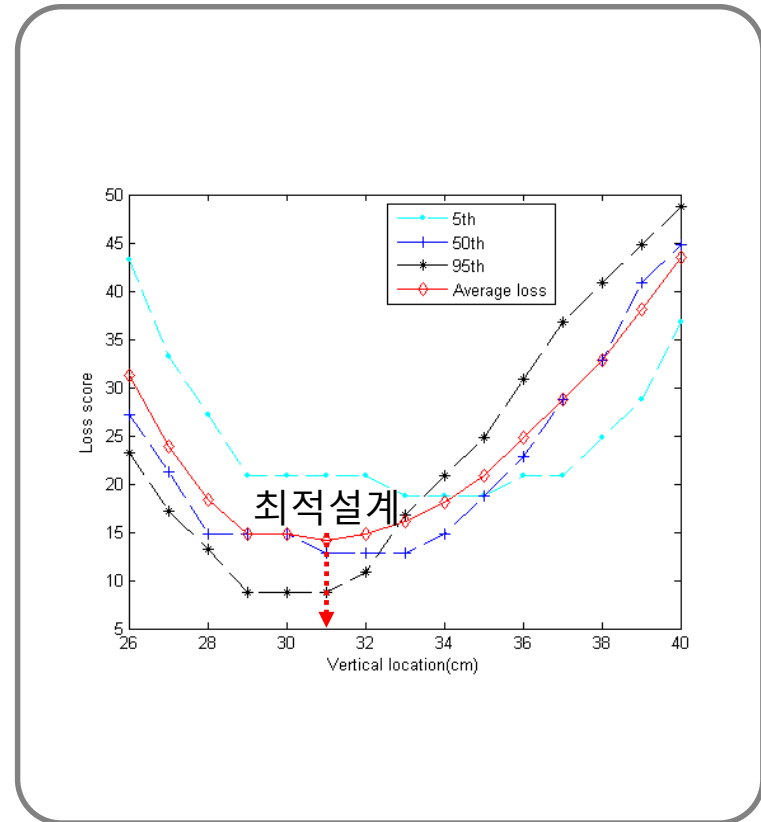
Step 3: 설계 최적화

- 손실함수(loss function)를 적용한 인체모델의 자세 손실점수(loss score)를 최소화하는 설계 치수 분석

손실 함수 (loss function)



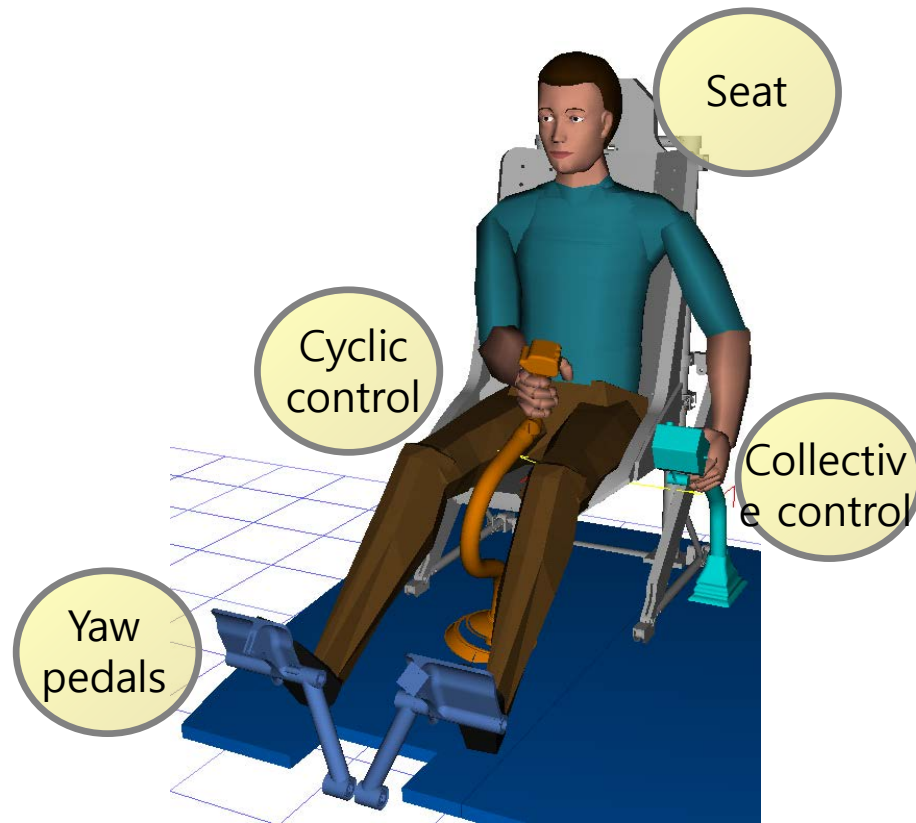
손실 점수 (loss score)



헬리콥터 설계 사례: 설계 대상



- 헬리콥터 조종실의 주요설계요소 4개(seat, cyclic control, collective control, and yaw pedals)에 대한 위치, 조절 범위, 조작 범위 설계



설계변수 종속성 분석 예



- 설계 공식 개발을 위해 design structure matrix (DSM)를 이용하여 설계변수 종속성 분석

Design dimension (DD)			Code	DD1	DD2	DD3	DD4	DD5	DD6	DD7	DD8
DEP	Location	Lateral (x)	DD1				X				
		Horizontal (y)	DD2					X			
		Vertical (z)	DD3							X	
Seat	Neutral location (NSRP)	Lateral (x)	DD4								
		Horizontal (y)	DD5								
		Vertical (z)	DD6								
	Adjustment range	Horizontal (y)	DD7		X						X
		Vertical (z)	DD8			X				X	
Cyclic control	Neutral location	Lateral (x)	DD9	X							
		Horizontal (y)	DD10		X					X	
		Vertical (z)	DD11			X				X	X
	Operating range		DD12				X	X	X	X	X

* 종속적 설계변수에 'X'를 표시하였음.

설계변수와 인체변수의 연관관계 분석 예



- 설계공식 개발을 위해 DSM 분석을 이용하여 설계변수-인체변수 연관성 분석

Design dimension (DD)			Code	Body dimension				Angular dimension			
				BD1	BD2	BD3	BD4	AD1	AD2	AD3	AD4
Seat	Neutral location (NSRP)	Lateral (x)	DD4								
		Horizontal (y)	DD5								
		Vertical (z)	DD6	X	X			X	X		
	Adjustment range	Horizontal (y)	DD7			X	X			X	X
		Vertical (z)	DD8			X	X			X	X
DEP	location	Lateral (x)	DD1								
		Horizontal (y)	DD2			X	X			X	X
		Vertical (z)	DD3			X	X			X	X
Cyclic control	Neutral location	Lateral (x)	DD9								
		Horizontal (y)	DD10			X	X				X
		Vertical (z)	DD11			X	X				X
	Operating range		DD12	X	X	X	X	X	X	X	X

* 종속적 설계변수에 'X'를 표시하였음.

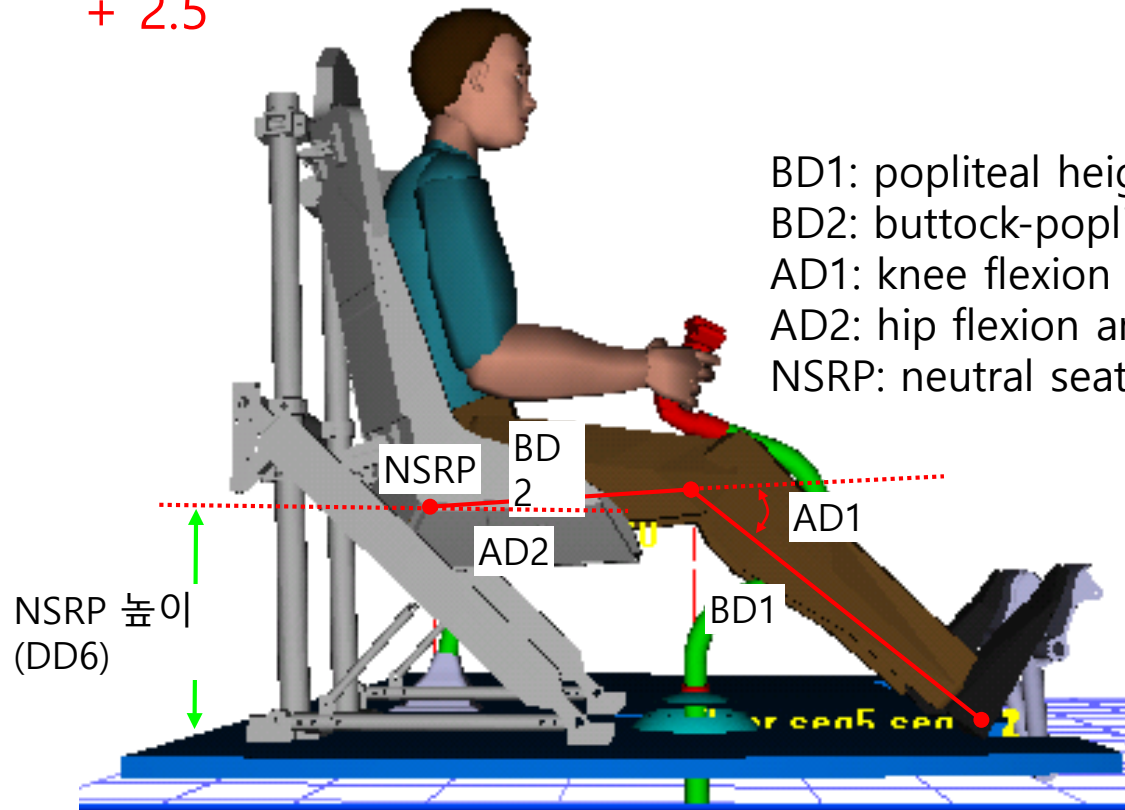
** BD1: popliteal height, BD2: buttock-popliteal length, BD3: acromial height, BD4: eye height
AD1: knee flexion, AD2: hip flexion, AD3: truck extension, AD4: neck flexion



설계공식 예

- DSM 분석을 통해 연관성 정보를 활용하여 설계변수와 인체변수의 기하학적 관계를 수식으로 정의

$$\text{NSRP 높이} = \overbrace{\text{BD1} \times \sin(\text{AD1})}^{\text{아랫다리}} - \overbrace{\text{BD2} \times \sin(\text{seatpan angle})}^{\text{윗다리}} + \text{조종화 높이} + 2.5$$



BD1: popliteal height
BD2: buttock-popliteal length
AD1: knee flexion angle
AD2: hip flexion angle
NSRP: neutral seat reference point

설계 공식 타당성 평가 예

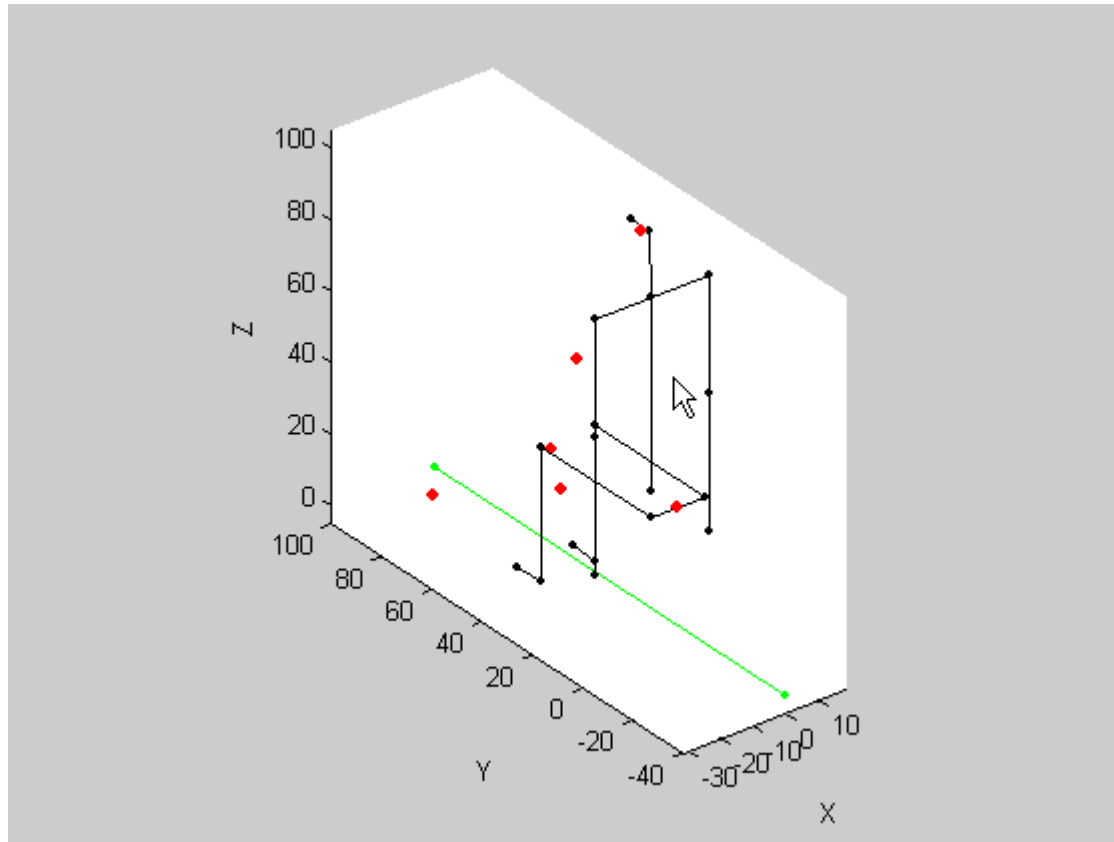


- 설계공식 개발의 정확성을 평가하기 위해 CAD와 설계공식을 적용한 설계 치수의 차이 비교(오차는 ± 13 mm 이하)

(단위: mm)

구분		설계공식	CAD
DEP - Location - Horizontal (y) (DD2)	설계치	156	155
	Drawing	$DD2 = 104.6 - BD3 \times \sin(AD3) + (BD4 - BD3) \times \sin(AD4) + BD9$	
	DE와 차이	-	-0.1

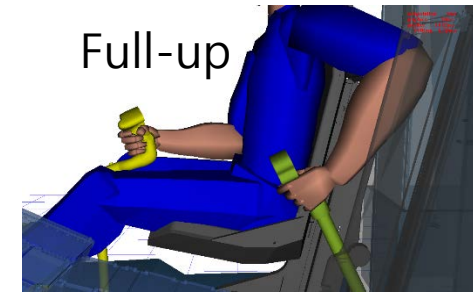
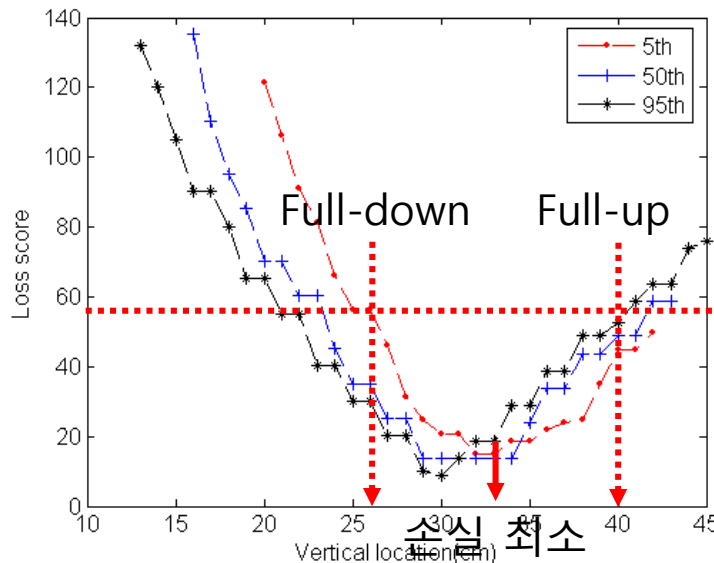
시뮬레이션 분석 예



Collective Control 설계 사례



- 대표인체모델(5th, 50th, and 95th %ile)의 자세 손실점수를 고려하여 33 ± 7 cm 조작 범위로 설계 권장
 - 대표인체모델 3명 공통 조작 가능 범위: 20 ~ 42 cm
 - 대표인체모델 3명 자세손실 최소화 위치: 33 cm
 - 조작 범위: 자세 손실점수(55점 기준)를 고려하여 full-up 40 cm, full-down 26 cm 권장



Collective Control 조작 자세 손실점수 예



- Collective control 조작(full-up and full-down)에 따라 어깨 굽힘(shoulder flexion)과 팔꿈치 굽힘(elbow flexion)에서 높은 자세 손실 발생

인체 모델	Collective 조작 위치	손실 점수	Shoulder			Elbow
			Flexion	Abduction	Rotation	Flexion
5th %ile	Full-up	44.8	31.8	3.0	0.0	10.0
	Full-down	55.0	12.0	3.0	0.0	40.0
50th %ile	Full-up	48.8	31.8	2.0	0.0	15.0
	Full-down	35.2	8.2	2.0	0.0	25.0
95th %ile	Full-up	48.8	21.8	7.0	0.0	20.0
	Full-down	30.2	8.2	7.0	0.0	15.0



□ 시뮬레이션을 통한 인체측정학적 제품 설계 방법 개발

- Sensitivity analysis
- 설계 대안의 비교 평가
- 시뮬레이션을 통한 분석 시간 절약

⇒ 인간공학적 설계 및 평가의 유기적 통합

□ 손실함수(loss function)에 대한 과학적 연구 필요

- 본 연구는 편안한 자세에서 벗어날수록 자세손실이 선형으로 증가하는 함수 적용
- 과학적인 실험을 통한 손실함수 결정이 보다 적합



인체측정학적 설계 지원 시스템(anthropometric design supporting system)

- 설계 대상 제품에 대한 정보(예: 설계변수, 연관관계)를 입력하면 사용자의 인체크기와 동작범위에 적합한 인체측정학적 제품 설계
- 합리적인 크기(예: 1개일) 내에 설계 거리를 충족





Thank you for your attention...

