

감성평가를 위한 한국인 인체모델의 동적 해석

김성진*, 손 권**, 최경현***

*부산대 기계설계공학과, **부산대 기계공학부, ***제주대 기계에너지생산공학부

Dynamic Analysis of Korean Dummy Models for Sensibility Ergonomic Evaluation

Seong-Jin Kim*, Kwon Son**, Kyung-Hyun Choi*

*Dept. of Mechanical Design Eng., Pusan National Univ.,

**Dept. of Mechanical Eng., Pusan National Univ.,

***Dept. of Mechanical, Energy and Production Eng., Cheju National Univ.

ABSTRACT

한국인 인체모델은 동적 환경에서 정면 및 측면 충돌에 대한 지체의 가속도를 얻을 수 있도록 개발되었다. 우선 GEBOD에 입력하기 위한 32개의 한국인 인체치수를 선별하고, 15개의 지체를 가진 한국인 인체모델을 구성한다. 손 동작의 감성평가에 이용하기 위해 손을 독립된 지체로 분리한 17개 지체의 인체모델을 완성한다. MADYMO를 통한 정면충돌 테스트에서는 Hybrid III에 비해 한국인의 머리와 흉부 가속도가 비교적 높게 나왔고, 측면충돌 테스트에서 흉추 1번의 가속도는 ISO에서 요구하는 범위의 상한값을 조금 벗어나는 결과를 얻었다.

Keyword : Frontal crash, Lateral Crash, Dummy, Normalization, Regression equations

1. 서론

인간의 감성을 고려하여 차량을 개발하는 데 있어서 인체모델은 차량 설계를 위한 기반기술이다. 차량 내부에서 인간의 조작 능력이나 리치평가를 위해 한국인의 치수를 고려한 인체모델이 필요하고, 정적 환경에서의 평가로부터 나아가 동적 환경에서의 평가도 요구된다.

외국에서는 Hybrid III, BioSID, WorldSID와 같은 충돌 모델이나 인체의 골격과 근육의 모델링에 기초한 RAMSIS와 같은 인체모델을 개발하였고 계속해서 연구를 진행중이다[1-2].

국내에서는 한국인의 키와 체중을 이용하여 스케일링을 통한 한국인 체형의 Hybrid III를 개발한 연구가 수행된 바 있고, 이를 통해 체중이 작은 한국인이 서구인과 비교할 때 상해치

가 더 높다는 결과를 얻었다[3].

본 연구에서는 구체적인 한국인의 인체 데이터로부터 충돌용 한국인 인체모델을 위한 데이터를 산출하였다. GEBOD에서 생성한 15개 지체의 인체모델로부터 손을 독립된 지체로 분리하여 손 동작의 평가에도 활용할 수 있는 17개 지체의 정면충돌용 한국인 인체모델을 개발하였고, 정면충돌 시뮬레이션을 통해 Hybrid III와 비교하였다. 그를 통해 해석한 결과 머리와 흉부의 가속도가 전반적으로 크게 나타나는 결과를 볼 수 있다. 그리고, 12개 지체를 가지는 측면충돌용 한국인 인체모델도 개발하여 ISO 규정에 따른 흉부 테스트를 수행하였고, T1의 가속도가 표준 측면 인체모델 기준의 상한값에 이르는 큰 가속도를 가진다.

2. 인체자료의 통계학적 분석

본 연구에서 한국인 인체모델의 기초자료로 국민 표준체위 조사 보고서를 사용하였다[4]. 이 보고서에 따르면, 0세의 영아부터 70세까지의 노인층에 이르는 각 연령층의 전국민을 모집단으로 층화추출법에 의한 통계적 방법으로 표본을 선정하여 남자 6,578명, 여자 6,484명 등, 총 13,062명에 대해 측정하였다. 측정항목의 선정은 KS A 7003(인체측정용어정의)에 따랐으며 측정방법은 Martin자를 이용한 직접측정법을 사용하였고 KS A 7004(인체측정방법)에 따랐다.

수집된 자료는 연령별로는 영유아(0-5세), 초등(6-11세), 중등(12-17세), 청년1(18-24세), 청년2(25-39세), 장년(40-59세), 노년(60세 이상)으로 분류되었으며, 영유아, 초등, 중등층은 남녀의 구별 없이 각 나이별로 측정항목의 평균값이 주어지고, 청년1, 청년2, 장년, 노년층은 남녀 각각의 부위별 통계량을 평균과 백분위수(5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 %ile)로 주어져 있다.

3. 기구학적 인체모델

3.1 인체모델 데이터 생성 및 구성

인체모델의 데이터를 생성하기 위해 미 공군에서 개발한 인체자료 생성 프로그램인 GEBOD(Generator Of Body Data)을 사용하였다[5]. GEBOD은 지체들의 형상, 질량, 조인

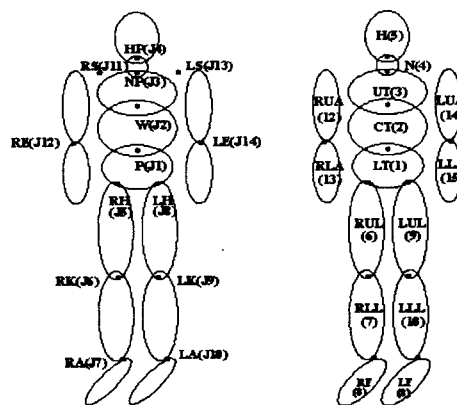


그림 1. 인체모델의 조인트와 지체

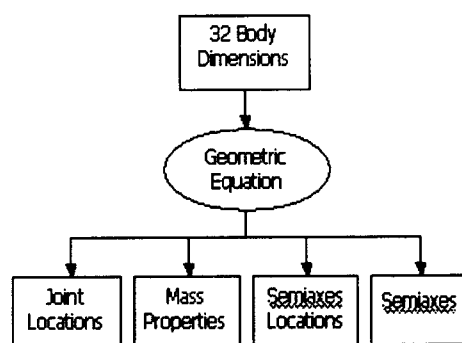


그림 2. 인체 관성 데이터 생성 과정

트의 위치와 기계적 특성치를 계산한다. GEBOD의 데이터는 모두 지역 좌표계를 기준으로 기술되며 각각의 지체 좌표계의 원점은 지체의 질량 중심으로 정의한다.

인체모델은 15개의 지체와 14개의 조인트로 구성되고, 형태는 접촉 타원 반축(contact ellipsoid semiaxis)과 조인트의 상대위치에 의해 결정된다. 각 지체들은 접촉 타원의 형태로 표현되며 물리적 조인트로 결합되어 있고 질량과 관성모멘트를 가진다. 그리고, 접촉 타원은 외부와 지체 사이의 접촉을 정의한다. 인체모델의 조인트와 지체 구성은 그림 1과 같고, 조인트는 지체를 연결하고 회전축의 중심이 된다.

GEBOD은 프로그램에 포함되어 있는 인체측정학적 조사와 입체사진술 연구에 기초한 데이터가 아닌, 특정한 인체자료의 입력에 의해서도 인체 데이터의 생성이 가능하다. 입력자료는 32개의 인체치수를 가지고 있어야 하며, 그림 2와 같이 4가지 그룹의 회귀방정식을 이용하여 15

표 1. GEBOD의 32개 입력데이터

No.	GEBOD	한국국민표준체위조사보고서	
		번호	측정항목
0	WEIGHT	120	몸무게
1	STANDING BIGHT	1	키
2	SHOULDER HEIGHT	3	어깨높이
3	ARMPIT HEIGHT	5	겨드랑이높이
4	WAIST HEIGHT	6	허리높이
5	SEATED HEIGHT	70	앉은키
6	HEAD LENGTH	90	머리두께
7	HEAD BREADTH	89	머리너비
8	HEAD TO CHIN HEIGHT	88	머리길이
9	NECK CIRCUMFERENCE	54	목둘레
10	SHOULDER BREADTH	37	어깨너비
11	CHEST DEPTH	45	가슴두께
12	CHEST BREADTH	39	윗가슴너비
13	WAIST DEPTH	46	허리두께
14	WAIST BREADTH	40	허리너비
15	BUTTOCK DEPTH	48	엉덩이두께
16	HIP BREADTH, STANDING	41	엉덩이너비 (서있는 자세)
17	SHOULDER TO ELBOW LENGTH	84	어깨정-팔꿈치길이
18	FOREARM-HAND LENGTH	86	팔꿈치-손끝길이
19	BICEPS CIRCUMFERENCE	57	윗팔둘레
20	ELBOW CIRCUMFERENCE	58	팔꿈치둘레
21	FOREARM CIRCUMFERENCE	59	아래팔둘레
22	WRIST CIRCUMFERENCE	60	팔목둘레
23	KNEE HEIGHT, SEATED	75	앉은무릎높이
24	THIGH CIRCUMFERENCE	67	넓적다리둘레
25	UPPER LEG CIRCUMFERENCE	(67+68)/2	(넓적다리둘레+무릎둘레) / 2
26	KNEE CIRCUMFERENCE	68	무릎둘레
27	CALF CIRCUMFERENCE	69	장딴지둘레
28	ANKLE CIRCUMFERENCE	115	발목허스둘레
29	ANKLE HEIGHT	118	발목허스점높이
30	FOOT BREADTH	111	발너비
31	FOOT LENGTH	109	발길이

개의 지체를 가진 인체모델의 치수, 조인트 위치좌표, 지체의 체적, 주관성 모멘트에 대한 데이터를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 위의 과정을 통해 25-39세의 50%ile 한국인 성인 남성에게 대한 인체모델을 구성하였고, 입력자료로 사용한 32개의 인체치수는 표 1과 같다. GEBOD에서 요구하는 32개의 인체치수는 국민 표준체위 조사 보고서의 120개 항목과 비교하여 정의가 가장 유사한 것을 사용하였다. 이는 GEBOD에서 정의하는 인체 측정학적 용어와 국민 표준체위 조사 보고서에서 사용하는 용어가 정확히 일치하지 않기 때문이다.

3.2 손의 분리

GEBOD으로 구성된 인체모델의 아래팔(lower arm)은 손을 포함하여 하나의 지체로 구성되어 있다. 손의 조작과 관련하여 정적 및 동적 평가를 위해 아래팔에서 손을 분리하고 손과 아래팔을 각각의 독립된 지체로 구성하여 17개 지체의 인체모델을 완성하였다. 기하학적 데이터는 국민 표준체위 조사 보고서로부터 얻어진 결과를 사용하였다.

질량은 Clauser의 연구 결과로부터 얻어진

표 2. 손과 아래팔의 지체 질량비

Segment	Mass ratio to total body
Hand	0.0065
Lower arm	0.0161

표 3. 회귀방정식의 계수와 상수

Moment of inertia	Coeff. for Stature	Coeff. for Weight	Constant	R	SE EST (%)
Right lower arm					
X	+905	+537	-166,237	0.910	13.1
Y	+867	+566	-162,961	0.909	13.1
Z	-142	+167	+9,488	0.885	15.5
Right hand					
X	+133	+48	-18,865	0.852	12.9
Y	+124	+34	-17,258	0.847	13.1
Z	+12	+26	-2,404	0.884	11.3
Left lower arm					
X	+938	+431	-158,022	0.921	11.2
Y	+891	+470	-154,021	0.922	11.2
Z	-105	+140	+6,431	0.884	14.7
Left hand					
X	+181	+27	-23,856	0.802	14.8
Y	+167	+17	-21,834	0.795	15.3
Z	+22	+19	-3,028	0.837	12.3

표 4. 아래팔과 손의 관성모멘트와 질량

	Moment of inertia (kg · m ²)				Mass (kg)	
	Right lower arm	Right hand	Left lower arm	Left hand	Lower arm	Hand
X	0.0068	0.0011	0.0069	0.0011	1.1801	0.4786
Y	0.0069	0.0009	0.0068	0.0009		
Z	0.0010	0.0004	0.0009	0.0004		

인체의 전체 질량에 대한 각 지체의 질량비를 이용하여 계산하였고[6-7], 표 2는 손과 손을 제외한 아래팔의 인체 전체 질량에 대한 질량비이다.

관성모멘트는 McConville의 연구 결과로부터 얻어진 다음의 회귀방정식을 사용하여 계산하였다[8].

$$\text{계산값} = \text{Coeff.} \cdot \text{Stature} \pm \text{Coeff.} \cdot \text{Weight} \pm \text{Const.} \quad (1)$$

식 (1)의 회귀방정식으로부터 인체의 신장과 체중을 입력값으로 하여 각 지체의 관성모멘트를 계산한다. 회귀방정식을 위한 계수와 상수는 표 3과 같고, 여기서 X축은 정면, Z축은 위 그리고 Y축은 인체의 왼쪽을 나타낸다. 표 4는

한국인 50%ile 성인 남성의 손과 아래팔에 대한 질량과 관성모멘트의 계산 결과를 보여준다.

4. 정면충돌을 위한 인체모델

4.1 인체모델의 구성

정면충돌을 위한 50%ile 한국인 성인 남성 인체모델의 구성과 해석은 충돌 시뮬레이션 해석 프로그램인 TNO사의 MADYMO(V 5.41)를 사용하였다[9]. GEBOD로부터 얻어진 결과로부터 MADYMO 입력 데이터 파일을 작성하였다. 17지체 인체모델의 기하학적 데이터와 질량 및 관성모멘트는 GEBOD에서 생성된 데이터를 그대로 사용하였고, 손은 표 2와 4의 결과를 사용하여 구성하였다. 그리고 기계적 특성은 전면 충돌용 국제표준 인체모델인 Hybrid III의 데이터를 수정하여 사용하였다.

4.2 국제표준모델과의 비교

정면충돌을 위한 50%ile 한국인 성인 남성 인체모델의 검증을 위해 국제 표준 인체모델인 Hybrid III의 정면충돌 썰매 테스트와 동일한 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 한국인 인체모델을 썰매에 앉히고 안전벨트를 부착하고, 앉은 자세에서 인체모델이 움직임이 없이 동적 평형을 이루도록 하였다. Hybrid III와 한국인 인체모델에 대해 20 g, 50 km/h의 전면충돌 상황에 대해 200 msec동안 해석을 수행하였다. 그림 3은 Hybrid III(좌)와 한국인 인체모델(우)의 정면충돌시 인체의 거동을 보여준다.

시뮬레이션 결과로부터 Hybrid III와 한국인 인체모델의 부위별 가속도를 비교하였고, 그 결과는 그림 4와 같다. 한국인 인체모델의 머리와 흉부 가속도가 Hybrid III보다 비교적 높게 나왔으며, 전반적인 거동은 Hybrid III와 유사하였다.

5. 측면충돌을 위한 인체모델

5.1 인체모델의 구성

측면충돌을 위한 50%ile 한국인 성인 남성 인체모델 역시 정면충돌 모델과 마찬가지로 MADYMO(V 5.41)을 사용하여 구성하고 해석을 수행하였다. 측면 더미의 팔은 측면 에어백을 사용할 경우 전체팔(full arm)을 사용하기

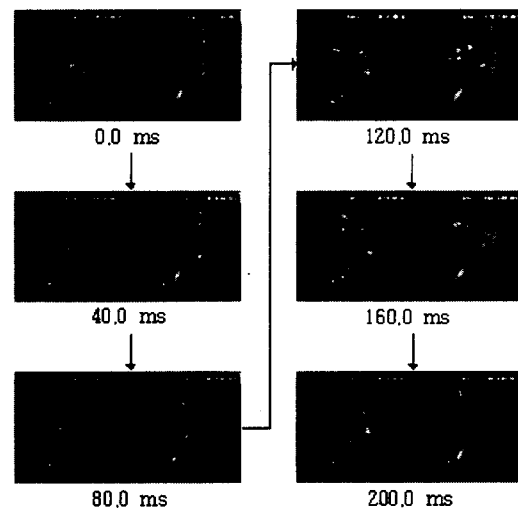


그림 3. Hybrid III(좌)와 한국인 인체모델(우)의 정면충돌 시뮬레이션

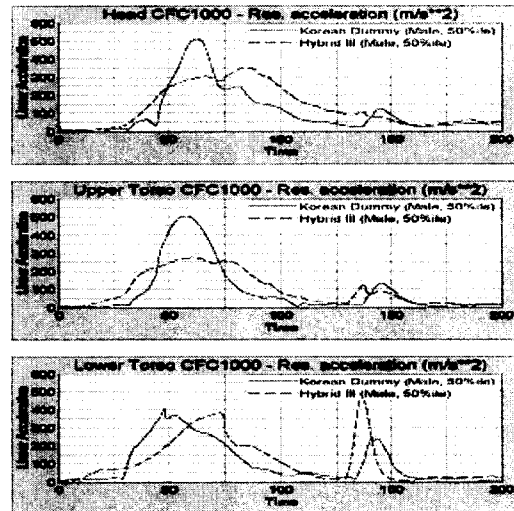


그림 4. 정면충돌에서의 머리, 흉부 및 골반 가속도

도 하지만, 아래팔이 없는 경우(half arm)가 일반적이다[10]. 한국인 인체모델도 아래팔이 없는 모델로 구성하였다. 왼쪽 측면충돌에 대해 테스트가 가능하고 오른쪽 팔은 부착되어 있지 않다. 아래팔을 제외하고 12개 지체를 가지는 측면충돌용 50%ile 한국인 성인 남성 인체모델의 각 지체에 대한 기하학적 구성, 질량 및 관성모멘트는 정면충돌 인체모델과 동일하다.

각 지체를 연결하는데 필요한 조인트와 기계적 특성은 측면 충돌용 국제표준 인체모델의 하나인 BioSID 데이터를 사용하였다. 측면 충돌용 국제표준 인체모델은 EuroSID나

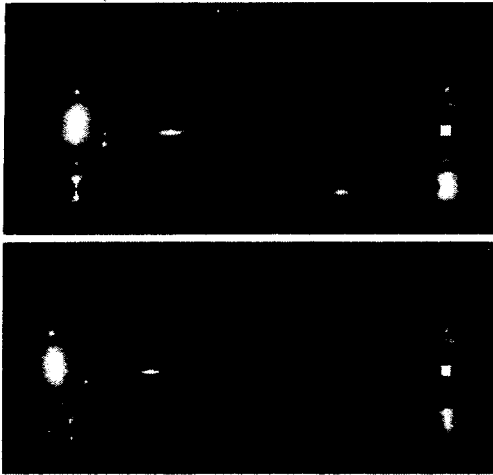


그림 5. 한국인 인체모델의 측면충돌 시뮬레이션

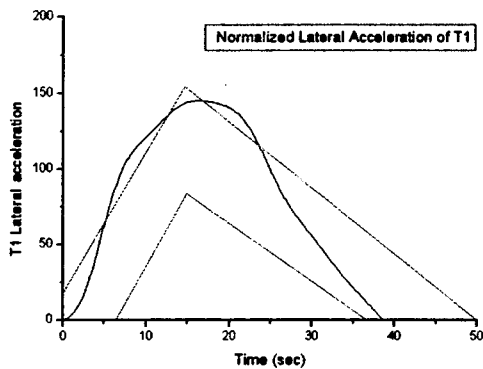


그림 6. 한국인 인체모델의 정규화 된 T1의 가속도

US-SID등도 있으나 GEBOD에서 생성된 지체의 기하학적 구성은 BioSID와 유사하다. 그리고, ISO 규정에 따라 흉부 테스트를 수행하기 위해 한국인 인체모델의 흉부를 수정하였다. BioSID와 마찬가지로 흉부에 rib mounting을 부착하여 3개의 thoracic ribs를 구성하였다. rib mounting과 ribs 사이에는 각각 3개의 병진 조인트로 연결되어 있고, 기계적 특성 역시 BioSID 데이터를 사용하였다. 국내에서는 아직 사체 실험 등을 통한 인체의 물리적 특성에 대한 연구 결과가 부족하여 한국인의 완전한 물리적 데이터를 사용할 수 없었음을 밝혀둔다.

5.2 ISO규격과의 비교

ISO/TR 9790에서는 측면충돌용 더미가 측면

충격에 대해 머리, 목, 어깨, 흉부, 복부 및 골반의 테스트 방법과 요구 조건을 규정하고 있다 [11]. 본 연구에서는 Annex B에서 규정하고 있는 흉부에 대한 진자충격 테스트를 수행하였다.

사체는 바로 앉은 자세에서 팔을 들어 가슴 부분에 바로 충격을 줄 수 있게 한다. 진자는 직경 150 mm, 질량 23.4 kg으로 평평한 강체면을 가지고 있고, 측면에 대하여 수직으로 흉부에 충격을 가한다. 그리고, T1(흉추 1번)에 대한 가속도를 측정한다. 그림 5는 위와 동일한 조건 하에서 시뮬레이션 했을 때의 인체모델의 거동을 보여준다.

사체 테스트로부터 구한 T1의 가속도는 미국인 50%ile 성인 남성의 데이터와 비교하기 위하여 정규화 한다. 그리고, 정규화 된 가속도로부터 측면충돌용 더미의 흉추 T1 가속도에 대한 상한값과 하한값을 규정한다.

그림 6은 측면충돌용 50%ile 한국인 성인 남성 인체모델의 정규화 된 T1의 가속도이다. T1에서 높은 가속도를 얻을 수 있고, 부분적으로 상한값을 벗어나는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

국민 표준체위 조사 보고서로부터 얻은 한국인의 인체 데이터와 GEBOD를 이용하여 구성된 한국인 인체모델의 동적 환경에서의 거동 해석을 수행한 결과, 전반적으로 가속도가 크게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 정면충돌에서는 Hybrid III와 경향은 비슷하나 머리와 흉부에서 143%와 178%의 가속도가 발생하였고, 측면충돌에서는 최대 상한값을 벗어나는 경향을 보였다. 한국인의 체중이 미국인이나 유럽인보다 작으므로 동일한 충격에 대해 가속도가 크게 나타나는 것으로 판단된다

감성공학적 평가를 위한 한국인 인체모델을 동적 환경에 적용하기 위해서는 조인트나 인체모델의 접촉면 등에 대한 구체적인 한국인의 데이터가 필요하다. 앞으로 한국인 인체로부터 감성평가를 위한 정확한 결과를 얻기 위해서는 보다 기초적인 연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 선도기술개발 사업연구비(가상 환경 제시 시스템 구축을 위한 감성 측정 및 평가 지원. M1-9817-01-0003)의 지원으로 수행되었습니다.

Anthropomorphic Side Impact Dummy - Lateral Impact Response Requirements to Assess the Biofidelity of the Dummy, ISO, 1999.

참 고 문 헌

- [1] Stanley, H. B. and Harold, J. M., Hybrid III: The First Human-Like Crash Test Dummy, PT-44, SAE, 1994.
- [2] Moss, S., Wang, Z., Reed, M., et al, "Anthropometry for WorldSID: A World-Harmonized Midsize Male Side Impact Crash Dummy," 2000-01-2202, SAE, 2000.
- [3] 정영한, "스케일링을 통한 한국인 더미의 구성 및 MADYMO를 이용한 정면충돌해석," 박사학위논문, 한양대학교, 1999.
- [4] 한국표준과학연구원, 국민표준체위 조사보고서, 국립기술연구원, 1997.
- [5] Cheng, H., Rizer, A and Obergefell, L., Generator of Body Data Manual, Springfield, NTIS, 1994
- [6] Clauser, C. E., McConville, J. T. and Young, J. W., Weight, Volume and Center of Mass of Segments of the Human Body, AMRL-TR-69-70, WPAFB OH, 1969.
- [7] Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds H. M. and Young J. W., Investigation of Inertial Properties of the Human Body, AMRL-TR-74-137, WPAFB OH, 1975.
- [8] McConville, J. T., Churchill, T. D., Kaleps, I., Clauser, C. E., and Cuzzi, J., Anthropometric Relationships of Body and Body Segment Moments of Inertia, AMRL-TR-80-119 (AD A097238), Aerospace Medical Research Laboratory, WPAFB OH, 1980.
- [9] TNO Automotive, Madymo Manual Version 5.4, TNO Automotive, 1999.
- [10] The ISO WorldSID Task Group, WorldSID Newsletter, Issue 2, Biokinetics and Associates Ltd., May 2000.
- [11] ISO, ISO/TR 9790: Road Vehicles -