

충돌안전도 해석을 위한 유아 인체모델 개발에 관한 연구

A study on the 3Yr. old child human model for crashworthiness simulation

김 현 영 김 상 범**
Kim, Heon-Young Kim, Sang-Bum

Abstract

Airbag systems have improved the occupant safety in reducing the injuries of driver and passenger during collisions. They have occasionally caused fatalities; especially to small occupants and children. Recent airbag related fatalities of children have raised serious concerns on how to evaluate the safety of children in various crash environments. This paper present the development of the 3-year-old human model. Child human model is composed of skin, skeleton and joints. The positions of joint and mass properties of body segments are calculated from ARB(Articulated Rigid Body) program GEBOD. To verify the developed human model, ROM simulation and OOP simulations are conducted.

키워드 : 인체모델, 회전반경, 비정상자세

Keywords : *Human model, Range of motion, OOP*

1. 서론

충돌 시 유아 상해치를 구하기 위한 Hybrid III 유아 충돌 시험용 더미(Child crash test dummy) 중 3세 더미와 6세 더미가 각각 1991년과 1993년 SAE Biomechanics Committees와 미국 도로 교통 안전국(NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration)에 의해 개발되었으며, 어린이에 대한 에어백의 전개시 "Out-of-Position" (OOP) 조건에서 발생하는 위험도를 평가하기 위한 개선이 1997년까지 진행되어 완료되었다[1-3]. 유아 더미 (Child dummy)는 OOP시험을 위하여

반복적인 시험에서도 목하중(Neck loading), 가슴 압축(Chest compression), VC(Viscous criterion) 등을 측정할 수 있다. 이러한 더미들은 기본적으로 개발된 목적을 만족하는 정도의 생체적합성을 가지고 있다. 그러나 HYBRID III는 단순히 정면충돌만을 위한 것이고 정면과 측면충돌이 복합되어 나타나는 경우에 대해서는 사용할 수 없다. 특히 최근 에어백의 장착이 의무화되면서 차량의 앞에 탑승하고 있는 어린이의 Out-Of-Position상태의 상해가 사회문제가 되고 있다. 이러한 목적으로 NHTSA에서는 앞서 언급하였듯이 3세와 6세 그리고 12개월 어린이에 대한 더미를 개발하여 이 문제에 대처하고 있다. 그러나 최근에 측면 에어백과 커튼형태의 에어백의 장착이 늘어나면서 이러한 에어백에 의한 어린이의 상해가 새로운 문제로 대

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 부교수

** 강원대학교 산업기술연구소 전문연구원

두됨으로서 3세/6세 어린이에 대한 인체모델의 필요성이 대두되고 있다. 해부학적으로 유아와 성인은 전체 무게에서 머리가 차지하는 비율이 다르다. 심지어 출생 시 성인의 머리가 차지하는 비율이 6%인데 비하여 유아는 30%를 차지하기도 한다. 또한 머리부분의 길이는 유아의 경우 신체 길이의 1/4인데 비하여 어른은 1/7 정도이다. 유아의 머리부분 무게가 전체 무게에서 차지하는 비율이 크기 때문에 전체적인 질량중심(center of gravity)이 윗쪽에 위치한다. 이것은 어른과 비교하여 볼 때 정면충돌시 상이한 거동을 보일 수 있다. 어린이의 근육은 일반적으로 성인의 것 보다 유연하기 때문에 근육부분의 관절 가능성이 어른보다는 낮지만 압축력에 대하여 장기의 손상 가능성이 높아지게 된다. 유아는 성인보다 복합적인 장기손상의 발생률을 갖는데 이유는 운동에너지가 보다 작은 질량에 분포해야 되기 때문이다.

3세 인체모델 개발시 데이터의 확보가 매우 힘들기 때문에 본 연구에서는 기존에 개발되었거나 수행중인 성인 모델의 데이터를 활용하여 먼저 3세 인체의 거동을 표현할 수 있는 모델을 개발하고 향후 어린이의 상해가 가장 문제가 되고 있는 목과 가슴 부위에 대해 보다 상세한 모델을 개발하고자 한다.

2. 인체측정학에 의한 유아 인체 모델링

2.1 유아 외형 모델링

인체모델링을 위한 유아의 신체 사이즈는 1997년 국립기술품질원에서 실시한 한국표준체위조사 연구에 근거하여 신체 외형의 D/B를 조사하였다 [4]. Fig. 1은 유아 신체 사이즈 조사 시 대표적인 신체의 측정항목을 나타내며 특히 영유아에 대하여는 47여개의 측정항목을 대한 조사가 수행되었다. Table. 1에서 3세 남/녀에 대한 측정결과 일부를 나타내었다. 외형(skin)의 상세한 형상에 대하여 모델링을 수행하기 위하여 ViewPoint™에서 상용 인체 스캐닝 모델을 구입한 후, 한국인의 표준 신체사이즈에 적합하도록 하기 위하여 한국표준체위조사 결과에 근거하여 팔다리의 둘레, 가슴둘레 등을 조정하였다. Fig. 2(a)는 ViewPoint™에서 구입한 인체의 정밀 모델을 나타내며, Fig. 2(b)는 정밀 모델을 바탕으로 재구성하여 유한요소 작업을 수행한 3세 유아인체모델을 나타낸다.

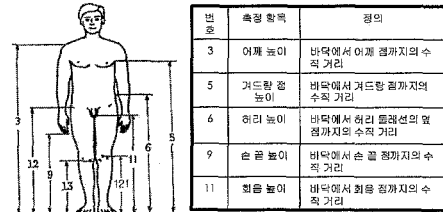
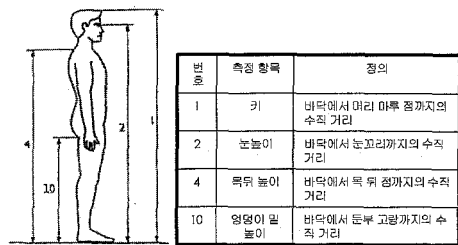
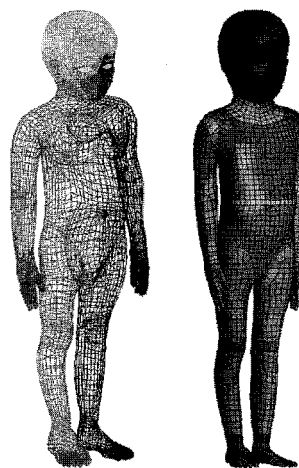


Fig. 1 Measurement category

Table 1 Measurement results of 3year old child

3세 (50%) 측정 항목	측정 결과		
	남	여	평균
키	99.4	98.6	99
눈높이	89.4	88.4	88.9
어깨높이	76.7	76.1	76.4
목뒤높이	80.4	80.1	80.25
거드랑 끝높이	71.3	70.2	70.75
허리높이	56.2	56.1	56.15
장골끝높이	51.1	51.1	51.1
팔꿈치 끝까지 높이	58.4	58.3	58.35
손끝높이	33.9	33.8	33.85
영역이 밑 높이	40.2	40	40.1
최종 높이	40.1	40	40.05
대퇴골 길이	44.8	45.1	44.95
무릎과 다관절 높이	24.6	24.9	24.75
장관지 높이	18.5	18.3	18.4
머리 위로부터 손끝까지 높이	117.4	117.6	117.5
머리 위로부터 손주먹 끝까지 높이	113	113.3	113.15
앞등 길이	22.7	21.7	22.2



(a) CAD model (b) F.E. model

Fig. 2 Skin of child model

2.2 관절부 모델링

유아 인체 모델의 외형에 대한 정밀 유한요소 모델을 제작하였고, 질량 특성과 관절의 적절한 위치를 계산하기 위하여 ARB(Articulated Rigid Body) 모델의 인체 관련 데이터(인체 각부의 질량 특성, 조인트 위치 등)를 계산하는 GEBOD를 사용하였다. ARB는 자동차 충돌이나 항공기 충돌 등의 다양한 동역학적인 환경에서 인체의 반응을 예측하기 위하여 사용되는 모델이다. GEBOD는 Fig. 3과 같이 대상 인체의 나이, 키, 몸무게 등을 입력하면 관절의 위치 및 인체 각 부분의 질량 및 질량관성모멘트를 계산하는 프로그램이다. GEBOD를 사용하여 3세 유아의 관절의 위치를 계산하였을 때 15개의 관절 위치가 계산되었으며 그 위치는 Fig. 4에서 나타낸 것과 같다. 각 관절은 유한요소 해석프로그램 PAM-SAFE에서 지원하는 조인트 모델을 사용하여 모델링하였다. 인체모델에 사용할 뼈 모델은 3차원 스캐닝 데이터를 사용하여 모델링 된 공용 유아 뼈모델을 사용하였으며, 3세 모델에 적합하도록 축소하여 제작하였다.

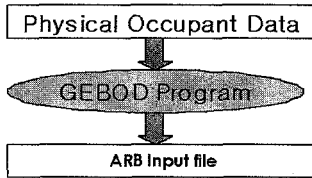
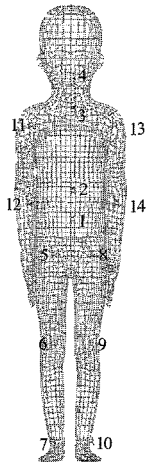
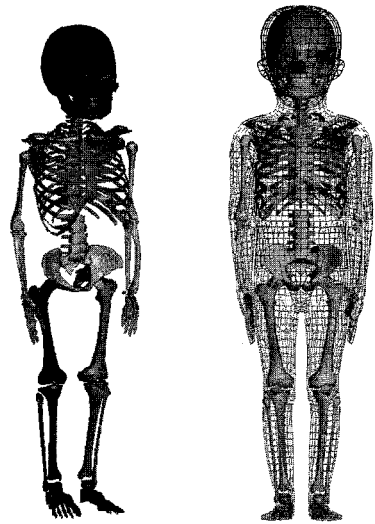


Fig. 3 Organization of ARB program



Symbol	Joint Type
1 P Pelvis	Flexion-Torsion
2 W Wrist	Flexion-Torsion
3 NP Neck Fivot	General
4 HP Head Fivot	General
5 RH Right Hip	Spherical
6 RK Right Knee	Spherical
7 RA Right Ankle	Spherical
8 LH Left Hip	Spherical
9 LK Left Knee	Spherical
10 LA Left Ankle	Spherical
11 RS Right Shoulder	Spherical
12 RE Right Elbow	Spherical
13 LS Left Shoulder	Spherical
14 LE Left Elbow	Spherical

Fig. 4 Joint location clacuated from ARB program-GEBOD



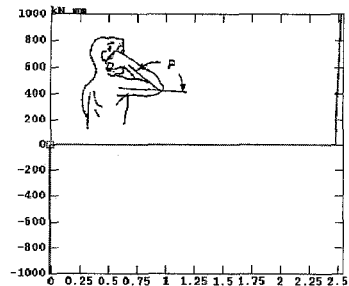
(a) Skeleton model (b) Skin with skeleton

Fig. 5 3 year old human model

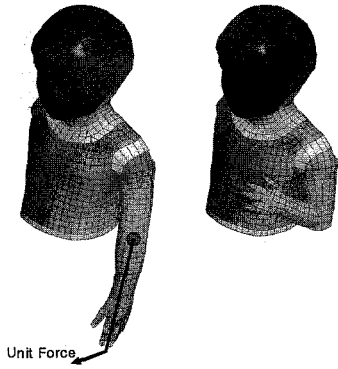
3. 유아 인체모델의 거동평가

3.1 관절의 작동반경 해석

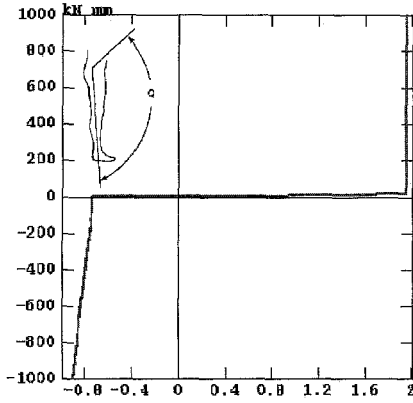
인체모델에서 관절부는 뼈와 뼈 사이를 비선형 스프링으로 연결하는 방법을 사용하였기 때문에 실제 인체 관절의 움직임에 대하여 정상적인 작동 여부 및 유연성을 평가하여야 하므로 작동반경 (ROM; Range of motion) 해석을 수행하였다. 작동반경에 대한 해석은 신체의 각 관절부에 대하여 수행하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 팔과 엉덩이부에 대하여 해석하고, 평가한 그림을 나타낸다. Fig. 5(a)은 관절의 최대/최소 회전 각에 대한 굽힘력을 나타내며, 최대/최소 회전 위치에서 곡선의 기울기를 증가시켜 지나친 회전을 방지한다. Fig. 5(b)는 관절부를 기준으로 상박을 고정시킨 상태에서 하박을 회전시켰을 때 거동이다.



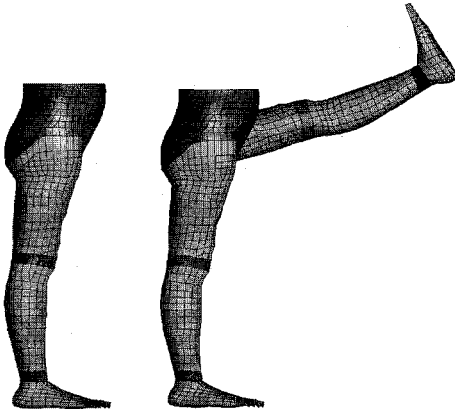
(a) Moment-rotation characteristic



(b) Elbow flexion motion
Fig. 6 Elbow flexion test



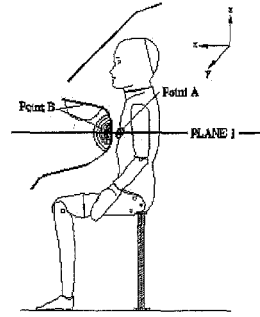
(a) Moment-rotation characteristic



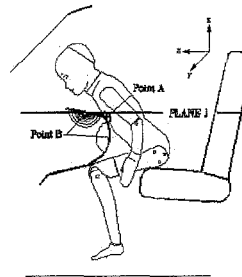
(b) Hip flexion motion
Fig. 7 Hip flexion test

3. 유아 인체모델의 OOP 해석

OOP 상태 중 개정된 범규에 나와있는 Position 1과 Position 2에서 Position 1 대한 에어백의 영향 평가 해석을 수행하였다. OOP 자세는 Fig 8에서 보듯이 어린이 더미를 에어백 중앙에 위치 시킨 후 상체를 바로 세워 최대한 앞으로 당겨 앉혀 더미의 가슴부가 차량의 I/P(Instrument Panel)에 거의 닿을 정도로 앉히고 수행하는 시험이다. 실제 차량에서는 이와 동일한 자세를 만드는 것이 본 해석 모델에서는 불가능하여 이와 유사한 자세를 만들어 해석을 실시하였다. Fig. 9에서는 3세에 대한 OOP 시험결과와 부족으로 6세 더미와 거동을 비교하였다. 전체적인 질량의 차이로 시간에 따른 위치에서 약간의 차이를 보이나, 모델의 거동을 비교하여 보았을 때 유사한 양상을 보였다. Fig. 10에서 6세 유아모델에 대한 해석 결과 중 머리 가속도를 본 논문에서 개발된 모델의 가속도와 비교하여 보면 시간의 차이는 있으나 유사한 가속도 경향을 갖는 것을 알 수 있다.

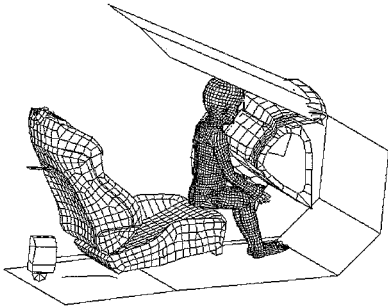
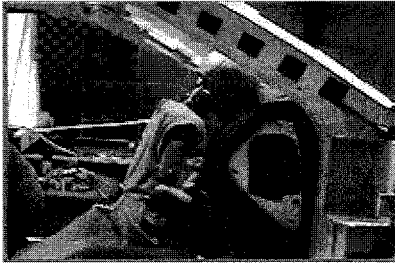


(a) Position 1

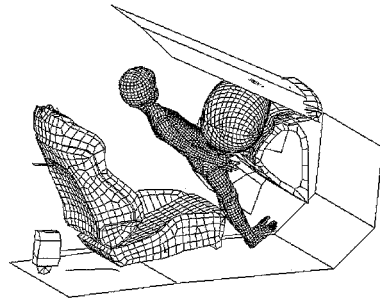


(b) Position 2

Fig. 8 Child dummy out-of-position

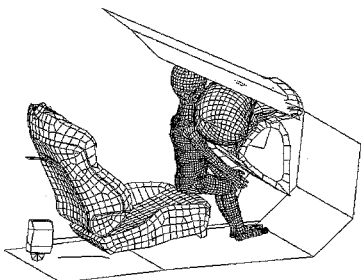


(a) at 25 msec



(c) at 50 msec

Fig. 9 Posture of OOP simulation



(b) at 15 msec

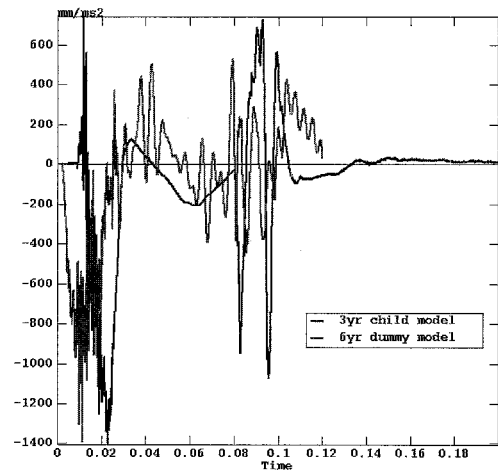


Fig. 10 Comparison of head acceleration

5. 결론

충돌안전도 평가를 위한 3세 유아 인체모델을

개발 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 또한 향후 각종 상해치에 대한 정량적인 비교 및 개선을 통하여 모델의 신뢰성을 더욱 높혀 갈 예정이다.

(1) 국민표준체위조사 결과를 사용하여 3세 유아 인체모델의 외형을 모델링하였으며, 관절의 위치 및 질량특성을 계산하여 충돌해석에 적용가능한 기구학적 인체모델을 완성하였다.

(2) 기구학적 인체모델에 3차원 골격을 모델링하였으며, 관절부의 운동 기능을 포함하는 3세 인체모델을 개발하였다.

(3) 인체모델의 정상적인 동작 여부를 평가하기 위하여 ROM 테스트를 수행하였으며, 각 관절이 정상적으로 작동함을 확인하였다.

(4) 본 연구에서 개발된 3세 유아 인체모델에 대한 OOP상태에서의 승객안전도 해석을 수행하였다. 각 단계별 변형양상 및 거동을 분석하였으며, 인체모델의 정상적인 거동을 확인하였다.

후 기

본 논문은 “국책연구개발사업-엔지니어링핵심공통기반기술개발사업(M1-0139-08-0000)” 지원으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] "Hybrid III Type Six-year-old Child Test Dummy(Alpha Version)", NHTSA, Office of crashworthiness standards vehicle research and test center, December 1999
- [2] Cathy Gotshcall, "NHTSA's draft child restraint system safety plan", NHTSA, 1999
- [3] "Development and evaluation of the hybrid III three-year-old child crash test dummy(H-III 3C)", NHTSA, December 1998
- [4] 한국 표준 과학 연구원 "국민 표준 체위 조사 보고서", 국립 기술 품질원, 1997
- [5] Frank Arlt, Amin Marach, "CAD modelling of a human 3D child body", International Journal of Industrial Ergonomics 22, pp. 333-341, 1998
- [6] A. Irwin and H. J. Mertz, "Biomechanical

basis for the CRABI and Hybrid III child dummies", SAE 973317, 1997

- [7] Walter D. Pilkey "Out-of-Position Occupant(OOPS) ISO-1 Position Series 2 Tests". Automobile Safety Laboratory of the University of Virginia
- [8] 천정현, "6세 더미의 비정상 자세에 대한 조수석 에어백의 성능평가", 강원대학교 석사학위논문, 2002. 8