

전방 충돌에 따른 유아 승객 거동을 위한 3세 유아 모델의 개발

김 영 은·김 희 석*

단국대학교 기계공학과, 단국대학교 대학원*
(1999년 1월 20일 접수, 1999년 2월 18일 채택)

Development of a Three Year Old Child Model for the Analysis of Child Occupant Response subjects in Frontal Collision

Y.E. Kim, H.S. Kim*

Department of Mechanical Engineering, Dankook University Graduate School Dankook University*
(Received January 20, 1999, Accepted February 18, 1999)

요 약 : 최근 들어 많은 관심에 대상이 되고있는 자동차 사고시 어린이 승객의 부상현상을 해석하기 위하여 범용 동역학 패키지인 DADS를 이용하여 3세 어린이 모델 개발하였다. 모델은 모두 14개의 요소들과 12개의 조인트로 구성 시켰으며 부스터를 장착한 시트에 3점식 벨트를 체결한 형태로 개발되었으며 썰매를 이용한 전방 충돌 시뮬레이션 결과 기존의 더미를 이용한 실험 결과와 일치하는 응답 특성을 얻을 수 있었다.

Abstract : In order to increase our understanding of the injury mechanism in the child occupant, three year old child model was developed using commercial dynamic package DADS. Total 14 segments and 12 joints were used to compose a model in three points belted condition with booster seat. HYGES sled test case was simulated to validate the developed model. Based on the comparison of the model and published test results, the developed model appears to be a reasonable representation of the three year old dummy.

Key words : 3세 유아모델(three year child model), 동적 응답특성(dynamic response), 상용 동역학 패키지 DADS(commercial dynamic package DADS), 전방 충돌(frontal collision)

서 론

지금까지 자동차 안전사고에 대하여 부상 메커니즘(injury mechanism)에 대한 체계적인 연구와 자동차 안전 시스템의 향상을 목적으로 생체역학적 연구가 지속적으로 이루어져 왔다. 이러한 연구에서는 사체(cadaver)나 더미(dummy)를 이용한 실험 방법이 일반적으로 사용되어 왔으나 이와 같은 방법으로는 매우 제한적인 데이터만을 얻을 수 있기 때문에 최근 들어 실험 데이터를 근거로 한 수학적 모델링을 이용한 연구 역시 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 수학적 모델링은 그 연구의 목적에

따라 매개변수를 쉽게 바꾸어가며 시뮬레이션 할 수 있기 때문에 실험을 통해 얻을 수 있는 가시적인 데이터뿐만 아니라 실험을 통해서는 얻어내기 불가능한 여러 변수에 대한 데이터를 얻을 수 있다는 이점을 가지고 있다. 또한, 충돌 실험은 극히 짧은 시간에 일어나는 현상을 관찰하기 위하여 고속 촬영을 이용한 방법이 통상적으로 사용되고 있으나 이에 는 막대한 자금과 시간이 요하는 반면 컴퓨터를 이용한 수학적 모델은 시뮬레이션 시간을 조절하면서 거시적인 관점뿐만 아니라 미시적인 관점에서 인체의 거동 해석을 할 수 있기 때문에 보다 정밀한 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 따라서 여러 종류의 수학적 모델이 개발되어 사용되고 있으며 이와 같은 해석을 용이하게 할 수 있도록 전용 패키지도 개발되어 사용되고 있다. 최근 자동차 사고시 어린아이의 부상에 대한 예방책에 관심이 매우 증대되고 있으나 이에 대한 해석은 아직 시작 단계에 머무르고 있는 형편이다. 이에 대한 연구로 1987년에 Richard Stalnaker

<속보논문>

본 연구는 단국대학교 연구비 지원에 의해 연구되었음.

통신저자 : 김영은, (140-714) 서울시 용산구 한남동 산 8 단국대학교 기계공학과,
Tel. (02)709-2561, Fax. (02)790-9661
E-mail. yekim@ns.dankook.ac.kr

는 50th% HYBRID III 더미를 이용하여 여성 모델, 평균 남자 성인 모델, 6세 어린이 모델 등을 개발하였으며, 1990년대에 들어서면서 CRABI(Child Restraint Air Bag Interaction)에서는 6, 12, 18개월의 어린이 더미를 개발하고 이를 이용하여 에어백이나 3점식 안전 벨트 등의 보호 장비가 어린이 사고 예방에 미치는 영향 등에 대한 연구를 수행하였다[2]. 이러한 시도에 이외에도 최근 들어 더미의 실험 데이터를 기초로 한 수학적 모델링이 시도되고 있으며 컴퓨터를 통한 시뮬레이션을 이용하여 각종 사고에 미칠 수 있는 매개변수들을 바꾸어 안전사고에 대한 예방과 안전장치 디자인에 적용하고 있다. 이에 대한 예로 Wisman과 Hermans[3]는 MADYMO를 이용하여 HYBRID III를 통한 전방 충돌시 인체의 거동에 대하여 Ford Motor Co.의 실험치와 비교, 분석하였으며, Nilson과 Hland 등[4] 역시 MADYMO를 이용하여 전방 충돌시 골반 벨트의 미끄러짐 현상 때문에 발생하는 둔부의 가라앉음(submarining)현상에 대하여 시뮬레이션 하였다. 또한 Song등[5]은 유한요소법을 사용하여 어깨벨트가 가슴과 둔부에 미치는 압축 변위에 대한 연구를 하였고, Shimanura 등[6]은 MVMA-2D를 사용하여 실험에 통한 승객 거동을 연구하였다. 이 외에도 CAL3D, ATB-CVS, PAMCRASH 등을 이용한 승객 거동 해석들이 발표되어 왔다. 본 연구에서는 이미 널리 알려진 전방 충돌에 대한 실험적 데이터를 근거로 3세 유아에 대한 수학적 모델을 기존에 개발되어 사용중인 범용 동역학 패키지인 DADS를 이용하여 개발하고자 하였다. 개발된 모델은 부스터를 장착한 3점식 안전 벨트 시스템에서 더미를 이용한 전방 충돌에 대한 측정 결과와 비교 분석을 통하여 모델의 타당성을 확인하도록 하였다.

수학적 배경

인체의 거동은 능동적 운동(active motion)과 수동적 운동(passive motion)으로 나누어 분류될 수 있다. 전자는 사람의 의지에 따라 근육의 움직임이나 골근육계내의 힘의 분포가 결정되어 지나 후자는 신체 부위 등의 위치와 방향의 변화에 의존적인 운동을 말한다. 본 연구에서 해석하고자 하는 차량 전방 충돌에서의 승객 거동은 매우 짧은 시간 내에 발생되기 때문에 수동적 운동 형태로 분류 할 수가 있다.

차량 충돌에 의한 승객 거동에 의한 해석은 기구학적으로 구속된 시스템에 대한 다음의 운동방정식과 속도, 가속도 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$M \ddot{q} + \Phi_q^T \lambda = g \tag{1}$$

$$\Phi_q \dot{q} = -\Phi_{it} \equiv v \tag{2}$$

$$\Phi_q \ddot{q} = -[(\Phi_q \dot{q})_q \dot{q} + 2 \Phi_{q\dot{q}} \dot{q} + \Phi_{it}] \equiv \gamma \tag{3}$$

위 식들에서

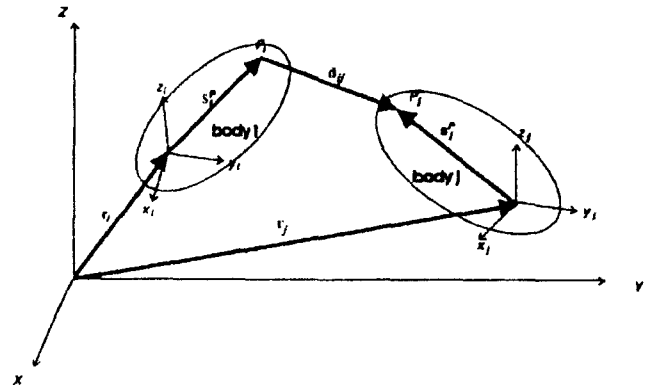


그림 1. 두 개 강체 사이의 벡터
Fig. 1. Two rigid bodies and their associated vectors

- M = 질량 행렬 ($nc \times nc$), nc : 일반 좌표의 수
- Φ_q = 구속조건의 자코비안 행렬 ($nh \times nh$), nh : 구속방정식의 수
- Φ_q^T = 구속조건의 자코비안의 전치행렬 ($nc \times nh$)
- λ = 구속 조건에 대한 라그랑지 승수 벡터 ($nh \times 1$)
- g = 일반화된 힘 벡터 ($nc \times 1$)

을 각기 나타내고 있다.

한편 본 연구에서 각 관절의 모델링에 사용된 회전 조인트의 구속 방정식은 다음과 같이 주어진다(Fig. 1. 참조)

$$\Phi^s(P_i, P_j) = r_j + A_j s_j^p - r_i + A_i s_i^p = 0 \tag{4}$$

위 식에서

- s_i^p = 요소의 고정점으로부터 고정점 P_i 까지의 거리 벡터
- s_j^p = 요소의 고정점으로부터 고정점 P_j 까지의 거리 벡터
- A_i, A_j = 강체의 원점 매트릭스

를 나타낸다.

3세 유아 승객 모델의 개발

1. 3세 유아 모델의 형상

어린이는 자동차에 탑승시 보통 보호 장구를 갖추어 앉히게 되므로 몸통 자체에 상해를 크게 입는 경우는 드물다. 반면 목에 대한 근육이나 뼈의 강성도가 떨어지기 때문에 이에 대한 심한 상해를 입는 경우가 많다. 따라서 어린이의 모델은 머리에 대한 상해와 목의 반응을 보다 자세히 관찰할 필요가 있다. 이에 본 모델에서는 목부분을 2개의 요소로 나누어 구성을 하는 반면 몸통에 대해서는 거시적인 반응만을 관찰 하고자 하나의 요소로 모델링 하였다. 전체 어린이 모형을 14개의 요소(머리, 윗목, 아랫목, 몸통, 2개의 윗팔, 2개의 아랫팔, 2개의 윗부분 다리, 2개의 아랫부분 다리 2개의 발)로 나누어 모델링 하였으

표 1. 모델에 사용된 조인트의 종류

Table 1. Types of joint used for occupant model

Joint	A kind of joint	DOF	Used element
Neck 1	Spherical	3	Bushing
Neck 2	Spherical	3	Bushing
Shoulder	Spherical	3	Bushing
Elbow	Revolution	1	RSDA
Hip	Spherical	3	Bushing
Knee	Revolution	1	RSDA
Ankle	Revolution	1	RSDA

며, 각 요소를 연결하기 위하여 사용한 조인트는 표 1에 나타내었으며 개발된 모델의 형상은 그림 2와 같다.

2. 물성치 및 좌표계의 설정

어린이 모델의 각 요소에 대한 질량 분포와 관성 데이터는 First Technology Safety System에서 개발한 3세 어린이 더미를 기초로 하였으며, 무게 중심 좌표계는 주 관성모멘트의 축과 일치하도록 상대 방위를 결정하여 주 관성모멘트 성분 즉, I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} 만이 입력되도록 하였다(표 2 참조). 각 요소에 대한 국부 좌표는 요소 끝단에 위치시킴으로써 회전과 이동에 편의를 도모하였다. 각 좌표계의 원점은 표 3에서 보여주고 있다. 본 연구에서는 DADS의 조인트 요소 중 대표적으로 1 자유도를 갖는 회전 조인트와 3 자유도를 갖는 구이음 조인트를 사용하여 모델링 하였다. 구이음 조인트의 경우 조인트로 연결된 두 물체를 i 와 j 로 표시하면 물체 j 는 물체 i 에 대하여 3개의 회전 자유도를 갖게 된다. 이때의 상대좌표는 브라이언트 각(bryant

angel)을 사용하여 표시하였다. 조인트는 z 축에 대하여는 상대 비틀림(torsion), x/y 축에 대하여는 상대 굽힘(bending)이 작용하도록 모델링 하였고, 이러한 토크 작용 모델의 특성은 부상 요소(bushing element)를 통한 커브 스프링과 커브 댐퍼를 사용하여 정의하였다. 부상 요소는 DADS의 힘요소(force element)로서 3축에 대하여 각각 병진할 수도 있고, 또한 회전할 수 있는 요소이다. 이때 각각의 축에 대하여 선형 또는 비선형의 스프링과 댐퍼를 정의함으로써 상대 운동을 제한할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 둘째로 회전 조인트에 대해서는 z 축에 대하여 회전하는 1 자유도 만을 갖기 때문에 주 모멘트를 받는 방향에 z 축을 위치시키고 이곳에 RSDA(rotational spring damper and actuator)요소를 삽입하였다. RSDA는 회전축에 대하여 선형 또는 비선형의 스프링, 댐퍼, 액츄에이터를 삽입하여 상대 회전량을 제어할 수 있는 요소이다.

썰매 모델링

1. 썰매의 형상 정의

썰매는 4개의 평면을 사용하여 좌석쿠션, 좌석등받이, 발 받침대, 바닥 판으로 모델링 하였고 1개의 직사각형 패널을 사용하여 부스터(booster)로 정의하였다. 그 형상에 대한 데이터는 전방 충돌 모형에서 사용한 것과 동일하게 모델링 하였으나, 좌석 쿠션 평면은 후방 충돌 모형 모델에서처럼 평면으로부터 13.5°가 기울어지도록 모델링 하였다[7]. 한편 부스터에서의 마찰 계수는 0.6-0.68의 값이 이용되고 있으나[8] 본 연구에서는 0.67을 사용하였다. 그리고 발과 바닥 판, 몸통과 좌석 등받이에

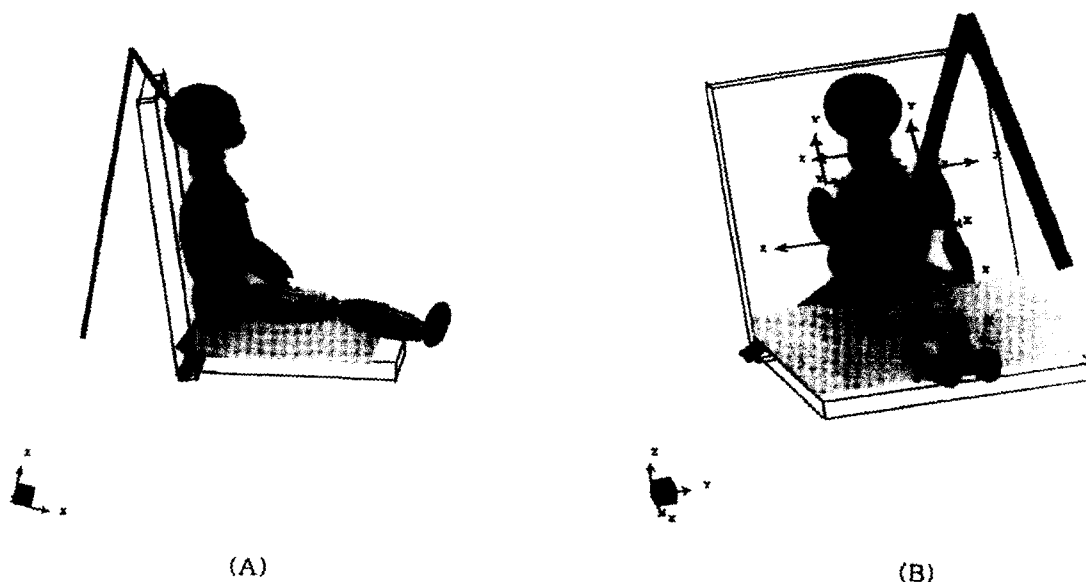


그림 2. 개발된 3세 유아 모델(A)과 각 관절에서의 좌표계(B)
Fig. 2. Developed 3 year old child model(A) and joint tried for child model(B)

표 2. 모델 각 요소의 물성치

Table 2. Material properties of the child dummy model

Element number	Element name	Mass(kg)	$I_{xx}(kgm^2)$	$I_{yy}(kgm^2)$	$I_{zz}(kgm^2)$
1	Head	2.739	0.007	0.009	0.007
2	Neck 1	0.324	0.001	0.001	0.001
3	Neck 2	0.324	0.001	0.001	0.001
4	Torso	4.682	0.064	0.062	0.015
5	Left upper arm	0.338	0.001	0.001	0.001
6	Right upper arm	0.338	0.001	0.001	0.001
7	Left lower arm	0.278	0.001	0.001	0.001
8	Right lower arm	0.278	0.001	0.001	0.001
9	Left upper leg	1.842	0.001	0.001	0.001
10	Right upper leg	1.842	0.001	0.001	0.001
11	Left lower leg	0.476	0.002	0.002	0.001
12	Right lower leg	0.476	0.002	0.002	0.001
13	Left foot	0.252	0.001	0.001	0.001
14	Right foot	0.252	0.001	0.001	0.001

표 3. 기준 좌표계와 무게 중심점의 위치

Table 3. Reference frame and center of gravity data of the child model

Body name	Reference triad			Center of gravity		
	x(m)	y(m)	z(m)	x(m)	y(m)	z(m)
Head	0.0000	0.0000	0.3340	0.0160	0.0000	0.06500
Neck 1	0.0000	0.0000	0.3060	0.0000	0.0000	0.0100
Neck 2	0.0000	0.0000	0.2800	0.0000	0.0000	0.0100
Thorax	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0040	0.0000	0.1480
Pelvis	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Upper arm	0.0000	±0.0865	0.2400	-0.0116	±0.0150	-0.0520
Lower arm	0.0343	±0.0865	0.1275	0.0878	0.0000	0.0000
Upper leg	0.0000	±0.0369	0.0000	0.0788	±0.0180	0.0000
Lower leg	0.2318	±0.0369	0.0000	0.0010	0.0000	-0.0860
Feet	0.2318	±0.0396	-0.1830	0.0190	0.0000	-0.0230

서의 마찰 계수는 지금까지 명확히 측정된 값이 없어 0.9를 사용하도록 하였다.

2. 썰매의 구동 조건

썰매는 기존의 실험 결과[7]와 비교하기 위하여 초기 속도 6.3 m/s 가 되는 가속도 파형을 사용하였으며, 이 어린이 모델에서도 주어진 가속도 파형을 2번 적분하여 속도와 변위 곡선을 얻어낸 후 이것을 DADS의 구동 조건으로 사용하였다. 본 논문에서 사용한 가속도 파형은 실험에서 사용한 가속도 파형과 그 개형은 다를 것이나 초기 속도가 같은 값이 나오도록 전방 충돌 모형 모델에서 사용한 가속도 파형을 변형하여 입력 조건으로 사용하였다. 어린이의 모델은 전방 충돌에 대한 거동을 해석하고자 하는 것이므로 x 방향을 진행 방향으로 설정하고 이 의

의 방향은 모두 구속함으로써 x 방향으로만 진행하도록 설정하였다.

3. 제한(restraint) 시스템 설계

어린이 모델은 보통 어린이 보호대(tot guard)또는 부스터 등을 사용하여 착석시키게 되는데 이는 안전 벨트만으로는 어린이의 작은 몸체를 제대로 보호를 할 수 없기 때문이다. 이에 본 모델에서도 둔부 밑에 부스터를 삽입하여 썰매 좌석 평면에서의 마찰력 보다 마찰력을 증대시키는 실험데이터를 근거로 하여 모델링 하였다. 또한 몸통 부분에서 둔부에 해당하는 부분과 양쪽 윗부분 다리를 다시 여러 개의 구로 재구성하여 부스터와의 접촉 깊이에 따른 하중-중첩량 함수를 통해 접촉 반력이 형성되도록 구성하였다. 벨트 시스템은 5개의 벨트 요소로 나누어 하니

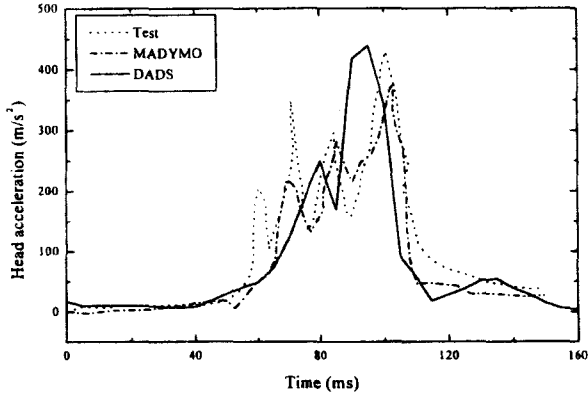


그림 3. 머리의 합성 가속도 변화
Fig. 3. Resultant head acceleration for child model

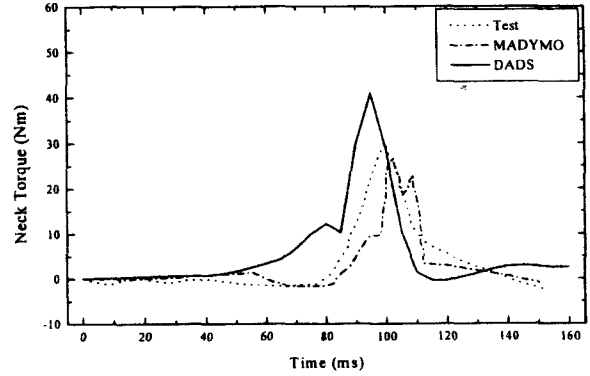


그림 6. 목 요소에 발생하는 토크의 변화
Fig. 6. Upper neck resultant torque for child model

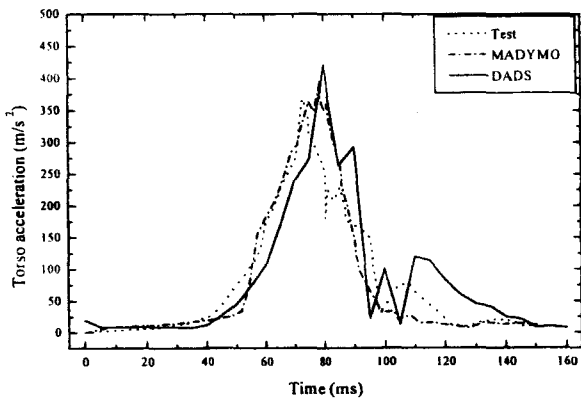


그림 4. 몸통의 합성 가속도 변화
Fig. 4. Torso resultant acceleration for child model

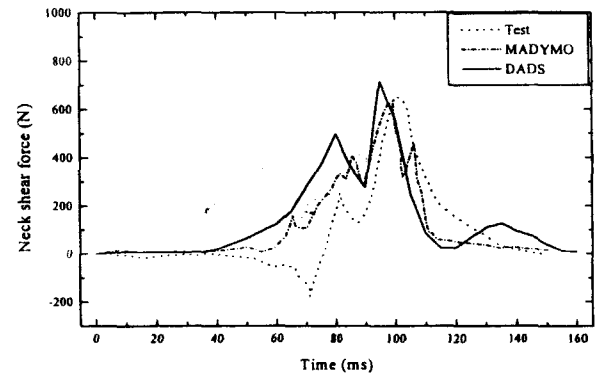


그림 7. 목 요소에 발생하는 전단력의 변화
Fig. 7. Lower neck shear force for child model

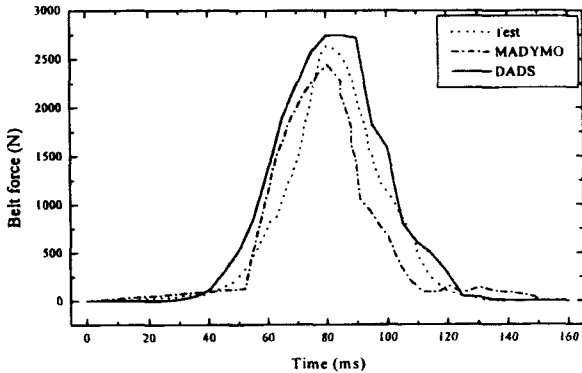


그림 5. 어깨벨트의 인장력 변화
Fig. 5. Upper torso shoulder belt force for child model

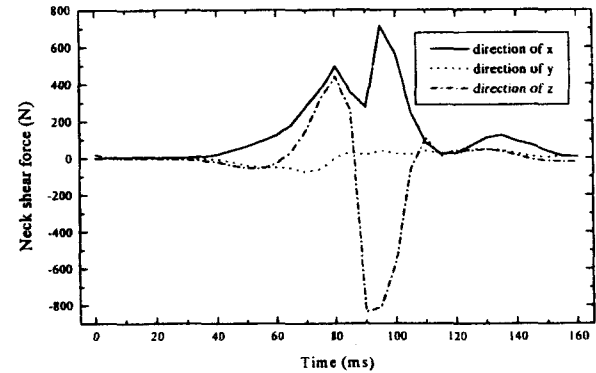


그림 8. 목 요소에서 발생하는 힘의 성분별 변화
Fig. 8. Each component of lower neck force

스 알고리즘을 이용한 3 점식 벨트 시스템으로 설계하였다. 벨트에 대한 신장량-하중 함수는 에너지 소산을 고려하여 부하시와 제하시 그 신장량에 따라 다른 경로를 따르도록 프로그래밍하였다. 이러한 작업은 DADS의 사용자 정의 부 프로그램으로 완성하였으며, 사용자가 입력하기 용이하도록 입력 데이터는 외부에서 불러들이는 방식을 채택하였다.

해석 결과 및 토의

본 모델의 타당성 검증을 위하여 더미를 이용한 실험 측정치와 MADYMO로 해석한 결과를 본 모델의 해석결과와 비교하여 보았다. 비교 대상으로는 머리에 대한 합성 가속도, 몸통의 합성

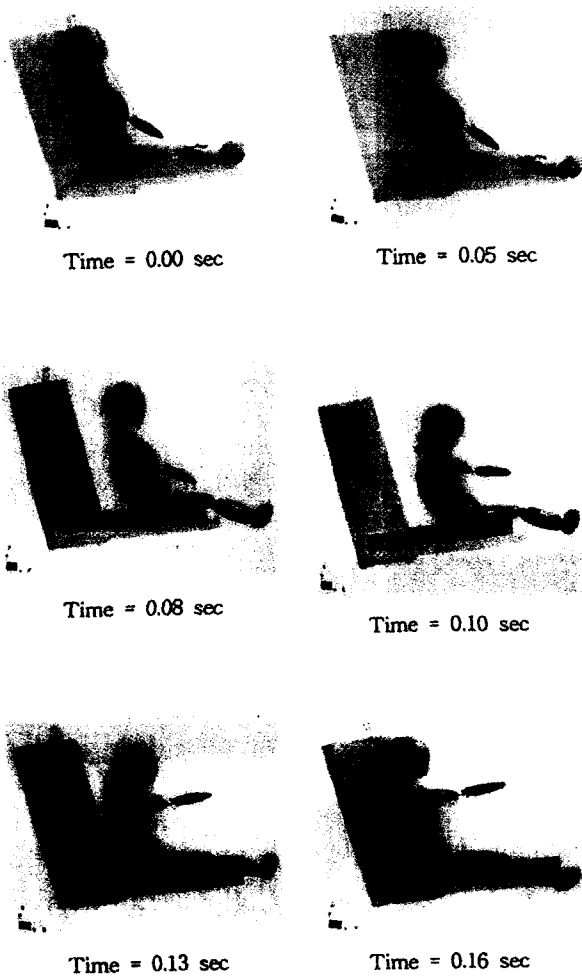


그림 9. 시간대별 모델의 거동 특성
 Fig. 9. Simulation results at each time step

가속도, 아랫목에 대한 x 방향 전단력, 윗목에 대한 회전 토크 및 어깨 벨트의 하중량 등을 설정하여 비교 분석하여 보았다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 머리의 합성 가속도를 보면 그 최대 값에 있어서는 MADYMO의 결과보다도 실험 결과에 정확히 일치하고 있는 모습을 보이고 있으나 발생 시기와 최대값까지 도달하는데 생성되는 부차적인 상승점 값들에서 오차를 나타내고 있다. 이러한 이유는 더미의 경우 목으로 디자인된 고무와 빔 사이에서 마찰력도 발생하고 있으나 DADS에서는 마찰력을 삽입하는 것에 있어서 많은 한계가 있기 때문에 이러한 마찰력에 대한 모델링이 적절히 되지 않았기 때문으로 보인다. 한편 몸통에 대한 합성 가속도의 경우(그림 4)에는 그 최대값은 물론 발생 시점에서도 잘 일치하고 있는 모습을 보이고 있다. 이는 몸통이 하나의 요소로 모델링 되어 흉골이나 둔부의 조인트 등에서 생성될 수 있는 힘의 분산 효과가 적은 것과 실제 벨트의 반응을 고려하여 에너지 소산을 적용한 벨트의 하중량 계산법

때문인 것으로 생각된다. 이것을 뒷받침하는 근거로 벨트의 하중량(그림 5)도 실험치와 잘 일치하고 있는 모습을 보이고 있다.

한편 목에 발생하는 토크량의 크기(그림 6)를 보면 그 최대 값이 더미를 이용한 실험값에 1.35 배가되어 유아모델에 대한 비교 중 가장 큰 오차를 발생시키고 있으나 그 최대점의 발생 시기는 잘 일치하고 있는 양상을 보이고 있다. 이는 부스터에 대한 부하시의 하중 중첩량 함수를 입력함에 있어서 몸통이 되튀어 오르는 현상이 실제 실험보다 큰 값을 갖게되고 이 때문에 발생하는 z 방향 압축력이 목에 대한 굽힘 모멘트에 영향을 준 때문이라고 보인다. 목의 전단력에 대한 비교(그림 7)는 전체적인 힘의 분포와 최대값 역시 실험치 및 MADYMO를 이용한 해석 결과와 잘 일치하고 있는 모습을 보이고 있다. 목에 미치는 성분별 하중 분석에서 보면 (그림 8) 진행 방향의 x 방향 전단력과 z 축 방향 압축력이 크게 발생하는 것으로 되어 있다. 먼저 x 방향의 전단력 생성되는 시기가 75~110 ms로 목에 대한 토크 발생시기인 80~110 ms와 거의 같은 영역을 차지하고 있는 모습에서도 알 수 있듯이 관성력에 의한 목의 굽힘 현상이 발생하면서 이때 목에 대한 전단력이 생성되는 것으로 보인다. 또한 z 방향에 대한 압축력은 충돌에 의하여 둔부의 가라앉음 현상이 발생된 후 부스터와 좌석 쿠션에 의한 탄성의 영향으로 몸이 되튀어 오르는 현상이 발생하고, 이때 목에 대하여 순간적으로 강한 z 방향 힘이 생성되게 되는데 이것이 목에 대한 z 축 방향으로의 압축 하중이 작용한 것으로 보인다. 이러한 현상은 사고 시 측정되는 데이터와도 일치하는 현상으로 본 모델에서 나타나는 현상은 충분한 타당성을 나타내고 있다고 할 수 있다. 그리고 그림 9는 개발된 3세 유아 모델을 이용하여 위에서와 같은 해석 조건하에서의 전체적인 거동 현상을 보여주고 있다.

결 론

본 연구에서는 이미 널리 알려진 인체 데이터를 사용하여 전방 충돌 시 3세 유아의 충격 응답 특성 해석을 위해 범용 동역학 프로그램인 DADS를 이용하여 3세 유아의 3차원 인체 모델을 제작하였다. 개발된 3세 어린이 모델은 목을 2개의 요소로 분리하여 모델링 함으로써 2개의 조인트로 목의 거동을 표현하는 것 보다 실제 더미의 거동에 훨씬 더 근접한 경로로 움직이는 현상을 보이고 있었다. 또한 본 연구에서 제시된 인체 모형 모델은 자동차 충돌시 인체의 응답특성 해석을 위한 전용 패키지인 MADYMO를 이용한 해석 결과보다도 기존의 더미를 이용한 실험결과에 더 근접한 해석 결과를 보이고 있었다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 범용 동역학 패키지인 DADS를 이용하여서도 자동차 충돌에 따른 승객 거동 현상을 분석하는 인체 모형 모델개발을 효율적으로 수행할 수 있음을 입증 할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 모델중 벨트의 마찰력 및 쉘매 평면과

의 반력 등을 보강한다면 여러 형태의 충격 조건에 따른 유아의 응답 특성을 효율적으로 구할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Szabo, J. T., and Welcher, J. B., "Human Subject Kinematics and Electromyographic Activity During Low-Speed Rear Impact", SAE Paper No. 962432, pp. 295~315, 1996
2. Irwin, A. L., and Mertz, H. J., "Biomechanical Bases for the CRABI and Hybrid III Child Dummies", SAE Paper No. 973317, pp. 1~12, 1997
3. Wismans, J., and Hermans, J., "MADYMO 3D Simulations of Hybrid III Dummy Sled Test", SAE Paper No. 880645, pp. 735~749, 1988
4. Nilson, G., and H land, Y., "An Analytical Method to Assess the Risk of the Lap-Belt Slipping Off the Pelvis in Frontal Impacts", 39th Strapp Car Crash Conference Proceedings SAE No. 952708, pp. 59~70, 1995
5. Song, D. F., Le, C. J. Y., and Lavaste, F. et al, "Finite Element Simulation of the Occupant/Belt Chest and Pelvis Deformation, Belt Sliding and Submarining" SAE Paper No. 933108, pp. 1053~1073, 1993
6. Shimamura, M., Omura, H., and Isobe, H., "An Occupant Movement Analysis Using Improved Input Data for MVMA-2D Simulation", SAE Paper No. 870332, pp. 151~159, 1987
7. O'Connor, C. S., and Rao, M. K., "Development of a Mode of a Three-Year-Old Child Dummy Used in Air Bag Applications", SAE Paper No. 922517, pp. 81~102, 1992
8. Khatua, T., Cheng, L., and Piziali, R., "ATB Simulation of Hybrid III Dummy in Sled Tests" SAE Paper No. 880646, pp. 751~759, 1988
9. "DADS Revision 8.5 User's Guide", Computer Aided Design Software, Inc., 1997
10. "DADS Revision 8.5 Reference Manual", Computer Aided Design Software, Inc., 1997
11. "DADS Revision 8.5 User Define Subroutine Manual", Computer Aided Design Software, Inc., 1997