
Global Report

유럽 신차평가 프로그램 기술회보: 보행자 인체 모델 검증 버전 2.0.1

1. 서론
2. 배경
3. 보행자 인체 모델 인증 절차

1. 서론

보행자 시험의 프로토콜은 자동차 제조업체에게 Euro NCAP(The European New Car Assessment Programme)에 능동 보행자 보호 시스템 관련된 가능한 한 세부 정보를 제공하도록 요구한다. Euro NCAP 사무국은 자동차 제조업체가 제공한 근거를 토대로 자동차의 배치(deployed) 또는 비배치(undeployed) 상태에서 하위시스템 테스트가 적합한지 혹은 동적 테스트가 필요한지 여부를 결정한다. 보행자 크기의 범위, 시스템 배치 시점, 차체 하중에 따른 보닛 처짐 등에 대한 감지 시스템의 적합성을 입증하기 위해 물리적 테스트와 수치 인체 모델(HBM, Human Body Model) 시뮬레이션의 조합이 요구된다.

현재까지 이 목적에 적합하고 승인된 HBM은 TB 013에 실려 있다. 2018년부터는 본 문서에 명시된 인증 요건을 충족하는 HBM으로 생성된 CAE시뮬레이션 결과만이 Euro NCAP에 의해 승인된다. HBM 적용 가능 여부는 본 문서에 있는 절차에 따라 자동차 제조업체가 입증해야 한다. HBM 적용 가능 여부를 입증할 수 없는 경우 능동형 보닛의 시험은 비전개 상태로 수행된다.

이 문서 전반에는 다음의 정의를 사용하였다.

- 수치 인체 모델(HBM)은 가상의 인체를 기하학적으로 그리고 기계적으로 표현한 것으로 이 모델의 기하 구조는 표준 인체 측정 데이터베이스에 부합하는 신체 각 부위의 치수, 질량 및 관성 모멘트가 적용되어야 한다. 복잡한 인간 해부학을 바탕으로 모든 뼈(단순화가 허용되는 발, 손, 얼굴, 귀는 제외)와 인대 및 근육 조직으로 구성된 완전한 골격으로 구성되어 있어야 한다. 모든 뼈는 모든 관절에서 생체 충실도 범위의 운동이 구현되도록 구성되어야 한다.
- 휴머노이드 모델이라고 불리는 보다 단순한 인간 모델은 계산 시간을 개선하기 위해 세부사항이 부족할 수 있으며 완전한 골격으로 구성되어 있지 않고 단순화된 모델링 접근법을 사용한다. 휴머노이드 모델에 대한 특별한 사양이 없는 프로토콜의 모든 부분에서 HBM에 관한 일관된 절차를 휴머노이드 모델에도 적용해야 한다.
- 인증 시뮬레이션: 특정 인체 모델이 다른 모델과 비교 가능하고 일관된 결과(특히 인체 거동 및 머리 충돌 시간 등)를 보여 주는 컴퓨터 시뮬레이션으로 정의된다.
- 능동형 보닛 시뮬레이션: Euro NCAP 보행자 시험 프로토콜에 명시된 전개 가능한 시스템을 평가하는 컴퓨터 시뮬레이션으로 정의된다.
- 일반 자동차(GV) 모델은 현재 자동차 전면부의 일반적인 복제품이며 모든 유한요소 코드로 제공된다. 자동차 전면부는 운동학적 비교만을 위해 개발되었으며 UN-R127을 충족하지 못하므로 상해 측정 기준 평가에 사용해서는 안 된다.

1.1 일반 요구사항

인증된 보행자 인체 모델은 최종 능동형 보닛 시뮬레이션에 사용된 것과 정확히 동일한 모델이고 이는 다음에 적용된다.

- 인체 모델 버전 • 인체 모델의 모든 단일 노드의 노드 위치
- 적용 가능할 경우 : 동일한 초기 요소 응력/변형률, 동일한 초기 접촉 간섭/접촉력
- 동일한 재료 물성 데이터(골절 모드 포함), 접촉 카드, 제어 카드 및 구속 조건
- 시뮬레이션에 사용된 시간 간격,

뿐만 아니라, 모든 시뮬레이션(인증과 능동형 보닛)을 일관된 조건으로 수행하는 것이 중요하다. 이는 다음에 적용된다.

- 해석 프로그램 버전, • 해석 프로그램 플랫폼, • 해석 프로그램 정밀도, • 사용된 CPU/노드 수,
- 시간 간격 설정값, • 접촉 조건, • 보행자 모델에 영향을 미치는 제어변수의 설정

이상적으로는, HBM 인증 및 능동형 보닛 시뮬레이션은 동일한 수의 CPU로 동일한 컴퓨터 시스템에서 수행되어야 한다. 클러스터 아키텍처가 일관된 수의 CPU 또는 동일한 플랫폼에서 시뮬레이션을 수행할 수 없는 경우, 결과가 재현 가능하고 비교 가능하다는 증거를 제공해야 한다. 이는 다양한 CPU

개수와 플랫폼을 사용하여 40kph의 FCR 및 SUV 충돌 해석 결과를 제공해야 한다.

1.2 출력 요구 사항

HBM 인증 데이터와 능동형 보닛 해석 결과는 소정의 서식으로 제출해야 한다. 최종 출력 서류는 가능한 한 빨리 Euro NCAP 사무국으로 보내야 한다. Euro NCAP에서 제공하는 최신 파일 버전을 사용하여 완성된 Excel 템플릿을 제출한다. 또한, 각 해석 조건에 대해 해석 결과의 동영상 파일이 제공되어야 한다. 사무국은 정확한 형식으로 제출하지 않거나, 불완전하게 제출하거나, 정시에 제출 않은 데이터를 거부할 권리를 갖는다. 각각의 인증을 위해서는 다음 파일들이 요구된다.

Impactor 시뮬레이션 결과가 포함된 Excel 파일: 1. GV_Check.xlsx

- ✓ 적용된 모델 및 해석 조건을 정리한 Excel 파일: 2. Documentation.xlsx
- ✓ HBM-GV 시뮬레이션 결과가 포함된 Excel 파일: 3. FCR_AM50.xlsx, 4. FCR_6yo.xlsx
5. MPV_AM50.xlsx, 6. MPV_6yo.xlsx, 7. RDS_AM50.xlsx, 8. RDS_6yo.xlsx
9. SUV_AM50.xlsx, 10. SUV_6yo.xlsx

요청된 모든 데이터는 제공된 템플릿의 노란색 필드에 입력되어야 한다(이름을 변경해서는 안 됨). 해석 모델의 총 질량을 포함시키고 자동적으로 H 감지가 적용되었는지 확인한다. 전체 해석 결과인 24개의 동영상은 제출된 각 시뮬레이션(측면)에 대한 시간표시를 포함하여 제출해야 한다(t=0에서 H까지). 동영상은 해석 조건에 따라 명명되어야 하며 데이터가 입력된 각 엑셀 시트(예: FCR_50kph_AM50)의 셀 C1에 따라 명명된다.

각각의 능동형 보닛 시뮬레이션(즉, 등급이 정해진 자동차에 대한 시뮬레이션)에 대해 다음 파일이 요구된다.

- ✓ "Template_assessment_simulations.xlsx"에 기반한 엑셀 파일 작성
- ✓ 해석 결과 동영상(머리 충격이 선명하게 보이는 측면). 파일은 해당 해석조건의 엑셀 파일에 있는 셀 D2에 따라 명명되어야 한다.

모든 파일이 포함된 인증팩은 다음 링크에서 다운로드할 수 있다.

<https://cloud.tugraz.at/index.php/s/ehzfzo3CloZLy0c>

2. 배경

보행자 인체 모델(HBM) 인증 절차는 Graz University of Technology CoHerent 프로젝트(보행자 해석을 위한 인체모델 비교 방법론) 내에서 개발되었다.(Klug et al. 2017, Klug et al. 2019) 인증 절차는 인체 모델이 상호 비교 가능하고 재현 가능한 결과를 갖도록 해야 한다. 이러한 이유로, 이 절차의 목표는 다음과 같다.

- 사용된 유한요소 프로그램과는 무관(모든 정의된 유한요소 코드에 적용되는 절차)
- 수치 인체 모델과는 무관(모든 HBM에 적용되는 기준점)
- 재현 가능성(정확하게 정의된 경계 조건)
- 보행자 시험 프로토콜의 경계조건의 적용

인체모델(HBM) 인증 절차에서, 한 모델의 거동은 30~50kph의 속도에서 일반 자동차 모델에 대한 보행자 충돌 시 보고된 최첨단 모델의 일관된 반응과 비교된다. 다음과 같은 범주를 나타내는 4개의 일반 자동차 모델을 규정한다.

- 가죽용 자동차, • 다목적 자동차, • 로드스터, • 스포츠 유틸리티 자동차

자동차 모델은 선택된 자동차 범주에서 대표적이고 최신의 자동차 형상을 반영하고, 하중-변위 특성의 측면에서 보행자 충격 시 자동차 중앙부의 반력 특성을 제공하며, 고려된 모든 명시적 유한요소 코드에 대해 견고하고 전달 가능하도록 모델링된다. 인체 모델을 인증하는데 필요한 일반 자동차 모델은 시장에서 가장 적절하고 명시적인 4개의 유한요소 해석프로그램에서 제공된다.

- LS-Dyna by LSTC; • VPS by ESI; • Radioss by Altair; • Abaqus by Dassault;

일반 자동차 모델 개발에 대한 상세한 모델링 접근법은 부록 D에 요약되어 있다.

3 보행자 인체 모델(HBM) 인증 절차

3.1 일반 자동차 모델의 강건성 확인

인체 모델(HBM) 인증 해석에 앞서 곧 출시되거나 구형의 해석프로그램이 버전과 문제가 발생하지 않도록 일반 자동차 모델로 점검해야 한다. 따라서 제공된 해석조건 설정으로 4개의 충격장치 해석 시뮬레이션을 자동차 중심선(ID 1, 3, 5, 7)에서 수행해야 한다. 총 중량이 5.95kg인 강체 원통형 임팩터는 일반 자동차 전방으로 4개의 다른 지정된 충격 위치에서 해석이 수행되어야 한다. 제공된 템플릿을 사용하여 각 자동차 형상에 대한 각 코드(부록 C 참조)의 기준 반응과 비교하여 임팩터의 가속도로 계산된 반력과 임팩터의 변위를 제공해야 한다.

해석결과의 계산을 위해 ID 10,000인 절점의 시간에 따른 결과 값(3차원 변위 및 가속도)을 사용해야 한다. 충격 부위의 정보를 포함한 임팩터 시뮬레이션을 위한 전체 시뮬레이션 설정은 Euro NCAP 웹사이트 LS-Dyna, VPS, Abaqus 및 Radioss에서 제공된다. 가장 최근의 모델정보와 해석조건이 적용되며 제공된 일시는 문서 템플릿에 명시된다. 일반 자동차 모델과 관련한 문제가 있을 경우, Euro NCAP에 연락하기 전에 먼저 각각의 해석프로그램 개발회사에 보고해야 한다.

3.2 모델 인증 시뮬레이션

3.2.1 인체 모델(HBM)의 전처리

신발: 인체 모델(HBM)은 신발 밑창의 두께가 20 mm ~ 30 mm (뒤꿈치)인 신발 모델이 장착되어야 한다. 좌우의 신발 모델은 밑창으로만 구성될 수 있다. 후자의 경우, 밑창은 파손 없는 재질모델로 발에 구속되어 있어야 한다. 중간 크기의(mid-sized) 남성 보행자를 위한 신발 모델의 무게는 1,300 g 이상이면 안 된다.

결과 변수: 인체 모델(HBM)에는 특정 신체 부위의 움직임을 계산할 수 있는 "센서" 및 기타 결과출력의 정의가 되어야 한다. 신체 부위의 움직임을 계산하는 센서의 위치는 모든 절점의 중심, 즉 평균 위치의 좌표가 있는 절점으로 지정한다. "센서"는 부록 B에 지정한 위치에 위치해야 하며 주변 절점의 이동이 평균화되어 센서 절점에 적용되도록 주변 구조물에 구속되어야 한다. 해당 키워드는 부록 B에도 명시되어 있다.

모델의 자세: 자동차 제조사는 자세설정 도구를 선택할 수가 있다. 자세설정은 사전 시뮬레이션(팔과 다리를 원하는 위치로 당기기/밀기) 또는 재매싱/몰핑을 함으로써 가능하다. AM50 모델의 목표 자세는 표 1(Table 1)에 명시되어 있다. 다리의 관절 각도는 SAE J2782를 기반으로 하며 팔 자세는 자연스러운 자세를 기반으로 한다.

각도는 부록 A에 정의된 기준 축을 사용하여 측정해야 한다. 기준 골격은 Euro NCAP 웹 사이트의 인증 팩을 적용할 수 있으며 AM50 모델의 초기 자세설정과의 정성적 비교에 사용해야 한다. 인체 모델(HBM)과 기준 골격의 차이를 보여주는 스크린샷은 Euro NCAP과 공유된 인체 모델(HBM) 문서에 추가되어야 한다. 기준점 AC는 실제 모델과 기준 골격 사이에 정렬되어야 한다. 다른 크기의 보행자 모델 초기 자세설정은 AM50 모델(신체 부위의 방향에 관해서)과 일치해야 한다. 다른 크기의 모델에 대한 기준 척도는 표 2(Table 2)에 수록되어 있다. (참고: 민감도 연구 결과(Klug et al. 2017)는 팔 자세가 머리 충격 시간에 현저한 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 두 모델 사이의 최상의 상관관계는 가능한 동일한 자세에서 나타났다. 따라서 인체 모델(HBM)의 자세는 목표 자세와 최대한 근접해야 한다.)

인체 모델(HBM)의 우측은 자동차와의 충돌 시 접촉하는 면으로 정의된다. z-방향은 수직축으로 정의되며, 하방으로 양(+)의 값이다. 인체 모델(HBM)의 국부 좌표계, x축은 전방을 향한 정면 축이다. 신발의 각도는 민감도 연구에서 운동학에 큰 영향을 주지 않았기 때문에 기준 측정치로 제시되지 않았다. 초기 자세는 자연스러운 보행 자세를 지향해야 한다. 신발의 밑창 각도는 AC의 목표 높이에 최대한 근접하도록 변경할 수 있다.(두 신발 밑창이 모두 지면에 완벽하게 닿아야 한다, ACz를 지면 접촉으로 달성할 수 없는 경우 모델의 z-offset이 허용된다.) 팔/다리 중 어느 것도 인위적으로 서로 연결하거나 묶

거나 구속해서는 안 된다(예: 손목 묶음). 인체 모델(HBM)은 인증 및 평가 시뮬레이션 모두에서 중력이 적용되는 수직 방향 가속장에 노출되어야 한다. (참고: 민감도 연구는 지면 접촉력이 인체 모델(HBM)의 무게와 같을 때까지 사전 시뮬레이션을 수행했을 때 운동학적 측면에서 무시할 수 있는 차이를 보였다. 따라서, 초기 평형 자세를 위한 사전 시뮬레이션은 의무사항은 아니지만 허용 된다.)

3.2.2 충돌 시뮬레이션

총 12가지 경우의 충돌 시뮬레이션이 수행되어야 한다. 세 가지 다른 충돌 속도(30kph, 40kph 및 50kph)의 4 차종 자동차와 인체 모델(HBM)의 충돌 시뮬레이션이 수행된다. 시뮬레이션 시간은 머리 충돌 예상 시간보다 커야 한다. 인체 모델(HBM)은 가능한 한 자동차에 가깝게 위치되어야 한다.(특히 SUV와의 충돌 시뮬레이션의 경우 초기 간섭 조건을 점검한다.) 자동차와 인체 모델(HBM)의 외부 표면 간에 세그먼트(segment) 기반 접촉을 정의해야 한다. 자동차와 인체 모델(HBM) 간의 정적 및 동적 마찰 계수는 0.3으로 설정해야 한다.

인체 모델(HBM)의 머리 무게중심은 자동차 중심선(글로벌 좌표계의 $y=0$)에 맞춰 위치시킨다. 질량 조정(mass scaling) 및 시간 간격(time step) 설정은 평가를 위한 시뮬레이션에도 사용될 수 있어야 한다. 시간 간격 설정을 위한 과정은 그림 1(Figure 1)에 나와 있다. (참고: 뼈 모델 골절 모드의 활성화는 관찰된 결과의 근소한 변화를 가져왔다. 따라서 사용자는 인체 모델(HBM)이 일관된 결과를 보이고 수치적 불안정성이 없는 한 파단(뼈 골절)에 의한 요소 제거 여부와 상관없이 사용할 수 있다. 그러나 모든 시뮬레이션에서 동일한 설정을 적용해야 한다. 골절 모드가 활성화된 경우 골절 위치가 타당하지 확인해야 한다.)

3.2.3 후처리

시뮬레이션 이후 다음과 같은 출력이 요구된다.

- 글로벌 좌표계에서 추적점의 x와 z 방향 좌표 이력
- 글로벌 좌표계에서 자동차 무게중심의 x 방향 변위
- HC의 합력 및 z 방향 가속도
- 접촉력(템플릿에 명시된 자동차와 인체 모델(HBM) 사이의 총 접촉력과 자동차 모델 인터페이스 층 및 신체 부위별 접촉력)
- Hourglass, 접촉 및 내부 에너지
- 애니메이션 결과

모든 해석 결과의 시간 간격은 0.1 ms여야 하고, 충분한 애니메이션을 위해 애니메이션의 시간 간격은 1 ms로 한다. 필터링을 적용할 필요는 없다. 해석 결과 그래프는 각 자동차 차종의 사후처리 템플릿에 포함되어야 한다. 그림 2(Figure 2)는 사후처리 템플릿의 기능을 보여준다.

3.2.4 요소 품질 확인

후처리 템플릿 내에 정의된 모든 점검 및 품질 기준을 충족해야 한다.

- 접촉하는 유한요소(FE) 표면은 서로 교차하지 않는다.
- 접촉하는 표면은 다른 표면에 침입하지 않는다.(붙는 절점은 없음)
- 시뮬레이션 시작 시 접촉력(인체 모델(HBM)과 자동차 사이)은 0 이다.
- 총 에너지는 15%의 허용오차 내에서 일정하게 유지되어야 한다.
- Hourglass 에너지는 전체 에너지의 10% 이하여야 한다.
- 시뮬레이션 시작 시 접촉력 에너지는 전체 에너지의 1% 이하여야 한다.
- 인위적 에너지(접촉 에너지 및 모래시계 에너지)는 전체 에너지의 15% 이하여야 한다.
- 인위적 무게의 증가는 3% 이하여야 한다.

3.2.5 머리 충돌 시간의 계산

머리 충돌 시간(HIT)은 그림 3(Figure 3)과 같이 범퍼 접촉력(C)의 첫 번째 증가부터 일반 자동차 모델(H) 사이의 접촉력이 최초로 증가할 때까지의 시간으로 정의된다. 그림 4(Figure 4)는 HIT를 도출하

는 과정을 설명한다. H는 접촉력이 증가하기 시작하는 시간(접촉력이 더 이상 0이 아닌 첫 번째 시간)으로 정의되며, 제공된 템플릿에서 자동적으로 계산된다. 명확하게 계산이 어려운 경우, 머리 모델의 무게중심 3차원 계산값과 z 가속도를 추가로 사용해야 한다. 상지부가 머리와 자동차 사이에 끼어 머리가 자동차에 닿지 않는 경우 머리와 상지의 접촉을 비활성화하여 H를 명확히 측정할 수 있도록 해야 한다. 각각의 시뮬레이션은 비활성화된 접촉으로 다시 실행해야 한다. C의 측정을 위해서는 상지와 범퍼 사이의 첫 번째 접촉은 무시해야 한다.

3.2.6 모델 움직임의 계산

HC, T12 및 AC의 움직임을 계산하여 제공된 corridors(일정한 범위를 가지는 그래프 상의 경로)와 비교해야 한다. 절점의 이력은 후처리 템플릿에서 C에서 H로 자동 가공된다. 자동차 무게중심의 x 변위는 모든 측정점의 x 좌표에서 빼서 변환된 x 좌표를 구한다. z 좌표는 변환된 x 좌표 위에 표시된다.

3.2.7 접촉력의 평가

자동차 모델과 인체 모델(HBM) 사이의 총 접촉력을 제공된 corridors와 비교해야 한다. 또한 후처리 템플릿에 명시된 모든 접촉력을 계산해야 한다. 접촉력 결과 곡선의 시간은 범퍼 접촉력이 처음 증가할 때 시작되도록 C(참고: 3.2.5절에서 설명됨)로 상쇄되어야 한다. 이 작업은 엑셀 템플릿 내에서 자동으로 수행된다. 자동차 모델과 인체 모델(HBM) 상지와의 첫 번째 접촉은 무시된다. 따라서 범퍼, 하지, 몸통 사이의 접촉력은 템플릿에서 요구된다. 접촉력은 모니터링 자료로 쓰인다.

3.3 AM 50 모델의 Corridors

인체 모델의 움직임은 모든 12개의 시뮬레이션에 대해 제안된 경로와 비교되어야 한다. 접촉력은 모니터링만 된다. 기준 HIT와 도출된 HIT와의 차이는 정의된 기준 값 내에 있어야 한다. 왼쪽 상단의 그래프는 보행자 모델과 일반 자동차 모델 사이의 접촉력에 대한 corridor를 보여주며, 이 corridor는 모니터링만 한다. 다른 그래프는 HC, T12 및 AC의 corridor를 보여주며, 이 corridor는 기준값에 충족되어야 한다. (참고: 기준 HIT 값과 corridor는 모든 4개의 코드로 TB 013 v1.5(2016)에 제시된 보행자 모델과의 일관된 시뮬레이션에서 도출되었다. Corridor를 도출하는 절차는 Klug et al.(2019)에 기술되어 있다.)

3.4 6 YO 모델의 Corridors

인체 모델의 움직임은 모든 12개의 시뮬레이션에 대해 제안된 경로와 비교되어야 한다. 접촉력은 모니터링만 된다. 기준 HIT와 도출된 HIT와의 차이는 정의된 기준 값 내에 있어야 한다.(CoHerent project phase 4의 12 개의 결과로 도출된 ± 2.1 표준편차가 적용됨) 왼쪽 상단의 그래프는 보행자 모델과 일반 자동차 모델 사이의 접촉력에 대한 corridor를 보여주며, 이 corridor는 모니터링만 한다. 다른 그래프는 HC, T12 및 AC의 corridor를 보여주며, 이 corridor는 기준값에 충족되어야 한다.

3.5 다른 크기의 보행자 인체 모델의 Corridors

AM 50 모델의 검증이 완료되면 다른 크기의 보행자 모델(AM 95와 AF 05)도 해석에 적용할 수 있다. 모든 보행자 인체 모델은 1.1절의 일반적 요구 조건과 표 2(Table 2)의 초기 자세 조건을 만족해야 한다.