

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/264061405>

A Stability Analysis for Vehicle Impact in U-Channel Segmental Concrete Bridges

Article · January 2010

CITATIONS

0

READS

28

2 authors, including:



Dong-Ho Choi

Hanyang University

98 PUBLICATIONS 670 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Dynamic Analysis of Submerged Floating Tunnel [View project](#)

U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량의 차량충돌에 대한 안전성 분석

A Stability Analysis for Vehicle Impact in U-Channel Segmental Concrete Bridges

최동호* · 나호성**
Choi, Dong-Ho · Na, Ho-Sung

Abstract

This paper studied on stability of the U-channel segmental concrete bridge under vehicle-impact loads. The U-channel bridge has advantages in that it reduces an additional dead load and the edge beams role as a barrier. But it has a dangerous factor which collapses the bridge structure when the edge beams are ruptured. Therefore, it is necessary to verify behaviors of the bridge system under vehicle-impact loads. Static and dynamic vehicle impact simulations were carried out on the basis of AASHTO LRFD design specifications. In case of the static analysis, equivalent static loads specified in the AASHTO codes are loaded on the edge beams and in case of the dynamic analysis, FEM vehicle models are modeled by applying the dynamic test specifications of AASHTO codes. As a result, it is shown that U-channel bridge system has sufficient safety against static and dynamic impact loads specified in the AASHTO LRFD design specifications.

Key words : U-channel segmental concrete bridge, Edge beam, Impact simulation, Structural Stability

요 지

본 연구는 U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량의 차량 충돌 안전성에 대한 연구를 수행하였다. U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량은 추가 고정하중을 감소시키고, 측보가 방호벽 역할을 동시에 수행하는 교량이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 측보의 파괴는 전체 교량의 붕괴로 이어질 수 있는 위험 요소를 가지고 있다. 따라서, U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량 측보의 차량 충돌에 따른 거동분석 및 특성파악이 필요하다고 판단된다. 본 논문에서는 AASHTO LRFD 설계기준 (2007)의 정적 및 동적 차량 충돌해석 기준을 적용하여 U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량의 충돌해석을 수행하였다. 정적차량충돌해석의 경우에는 AASHTO LRFD 설계기준 (2007)에서 제시하고 있는 등가정적하중 재하하여 해석을 수행하고, 동적차량충돌의 경우에는 AASHTO LRFD 설계기준 (2007)의 방호벽 충돌실험기준에 근거한 실제 차량을 모델링하여 충돌해석을 통한 안전성 검토를 수행하였다. 검토결과, AASHTO LRFD 설계기준 (2007)을 만족하는 정적 및 동적 충돌하중에 대해 U-채널 교량시스템은 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량, 측보, 충돌시뮬레이션, 구조적 안전성

1. 서 론

U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량(UCB)은 현장 타설을 없애고 낮은 형고비를 갖는 경제성과 시공성이 우수한 조립식 프리캐스트 U-채널 하로교 시스템으로 일반적인 교량 형식과 달리 측보를 슬래브 측면에 배치하여 교량 방호벽의 역할을 동시에 수행하는 교량형식이다. 이 시스템은 기존 교량에 비해 큰 내구성을 가지고 있으며, 상부구조물의 추가 고정하중을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 빠른 공기와 낮은 공사비로 건설할 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한 UCB는 포스트텐션 세그먼트 시공방법을 이용한 프리캐스트 콘크리트 하로교로서 형하공간을 증가시키기 위하여

새로운 교량을 가설하거나, 기존 교량을 교체하는 경우 매우 유용한 공법이다. 그림 1은 이러한 UCB의 형상을 나타내고 있다.

그러나 UCB는 추가 고정하중을 감소시킬 수 있는 효율적인 교량형식임에도 불구하고, 측보의 파괴 시 전체 교량의 붕괴로 이어질 수 있는 위험 요소를 가지고 있다. 또한, 방호벽의 역할을 수행하는 측보는 운전자에게 안전운전을 유도하고 교량 아래로 차량 추락을 방지할 수 있어야 한다. 따라서 UCB 측보의 차량 충돌에 따른 거동 분석 및 특성 파악이 필요하다고 판단된다.

본 연구에 앞서 차량 충돌과 관련하여 기존 연구 동향을 살펴보면 주로 충돌 차량의 거동에 중점을 두고 있다. 충돌

*정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 (E-mail : samga@hanyang.ac.kr)
**학생회원 · 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

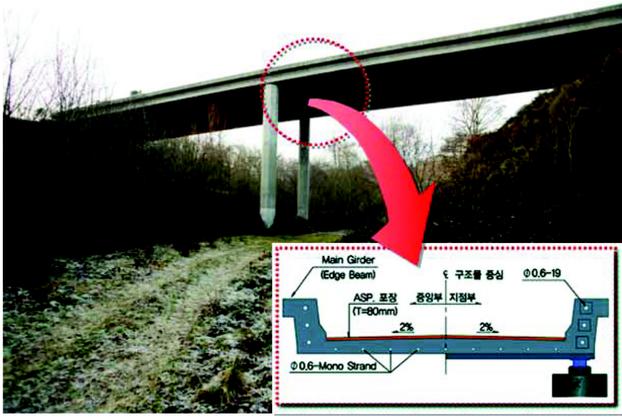


그림 1. UCB의 형상

에 대한 개념을 명확히 규명할 수 있는 방법은 충돌차량의 가속도-시간 이력을 구하는 것인데, Emori(1968)는 차량 구조물을 설계하기 위해 차량-강성벽 충돌 실험에서 구한 가속도-변형 곡선의 기울기가 충돌 속도와는 상관없이 일정하다는 사실을 발견하여, 그 곡선의 기울기를 스프링으로 하는 단 자유도계 시스템으로 충돌과정을 설명하였지만 연구 결과가 방호벽의 설계에는 활용되지 못하였다. 최근, 고만기 등(2003)은 철재 방화벽과 차량 충돌 과정에서 관측되는 충돌차량의 가속도-변형 관계가 충돌속도에 관계없이 일정함을 밝히고 차량과 방호벽의 충돌과정을 단 자유도계로 설명하였다. 그에 비해 Macmillan(1983)은 차량의 충돌과정을 수치해석적인 방법으로 설명하려는 일련의 방식에서 탈피하여 충돌과정 전체를 설명할 수 있는 해석적인 모델을 제시함으로써 충돌 과정에 대한 직관적인 이해를 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 충돌차량의 거동에 중점을 둔 것이 아니라 AASHTO LRFD 설계기준(2007)의 방호벽 충돌 실험기준에 근거하여 본 연구에서 제시한 UCB에 대해 실제 차량을 모델링하여 충돌해석을 수행하고 정적해석 결과와 비교 검토하였으며, 이 해석결과를 통해 UCB에 대한 차량충돌에서의 동역학적 안전성을 검토하였다.

2. 방호벽 설계에 대한 국내외 설계기준

2.1 국내 도로교 설계기준

국내 차량 방호벽에 대한 최소높이는 650 mm로 규정하고 있고, 철근콘크리트 벽식인 경우의 차량 방호벽은 벽하단의

설계에 사용한 작용모멘트를 사용하여 차량의 충돌이 슬래브에 미치는 영향을 검토하여야 한다고 규정하고 있다. 따라서 UCB의 경우 슬래브와 측보가 직접 접합되어 측보에 작용하는 모멘트가 교량 전체시스템에 영향을 주기 때문에 차량 충돌에 대한 교량 전체 시스템의 안전성 검토가 필요하다.

하지만 국내 설계기준의 경우 차량충돌에 관한 명확한 기준이 없으므로 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거하여 충돌해석을 실시한다.

2.2 AASHTO LRFD 설계기준(2007)

AASHTO LRFD 설계기준(2007)에서는 방호벽에 대한 두 가지 설계 방법을 제안하였다.

첫 번째 방법은 정적하중으로 치환된 차량 충돌 하중에 의한 교량의 안전성을 검토하는 방법이다. 표 1은 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 따른 정적 충돌하중을 나타내고 있다. 충돌하중은 각각 횡방향하중(F_H)과 종방향하중(F_L), 수직력(F_V)으로 구분하여 그림 2에 제시된 바와 같이 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거하여 하중을 재하하였다.

두 번째 방법은 동적 충돌 실험을 통해 교량의 안전성을 검토하는 방법이다. 표 2는 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거한 방호벽 충돌 실험기준을 나타낸 표이다. 실험기준은 표 2에서 나타낸 바와 같이 차량모델을 소형차, 픽업트럭, 밴트럭, 밴타입 트렉터 트레일러, 트렉터-탱커 트레일러로 구분하여 각각 중량, 무게중심거리, 폭원, 충돌 입사각 및 충돌 속도 등을 제시하고 있다. 본 연구에서는 국내 도로 통행 차량 현황에 근거하여 트렉터-탱커 트레일러를 제외한 4개의 차량 모델에 대한 동적 차량 충돌 시뮬레이션을 실시하여 U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량 시스템의 동적안전성 검토를 실시하였다.

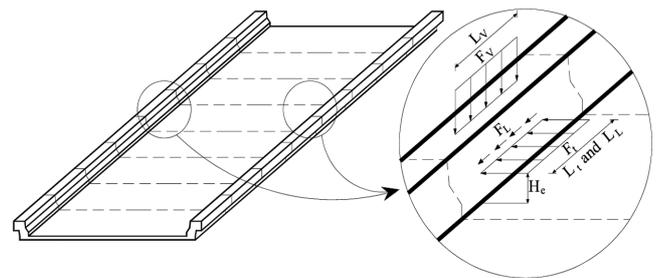


그림 2. AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거한 하중재하도

표 1. AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거한 차종별 충돌하중

구분	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6
횡방향하중, $F_H(N)$	60000	120000	240000	240000	550000	780000
종방향하중, $F_L(N)$	20000	40000	80000	80000	183000	260000
수직력, $F_V(N)$	20000	20000	20000	80000	355000	355000
종방향 하중분배길이, $L_L(mm)$	1220	1220	1220	1070	2440	2440
횡방향 하중분배길이, $L_H(mm)$	1220	1220	1220	1070	2440	2440
수직력의 분배길이, $L_V(mm)$	5500	5500	5500	5500	12200	12200
유효충돌 높이, $H_c(mm)$	460	510	610	810	1070	1420

표 2. AASHTO LRFD 설계기준(2007)의 방호벽 충돌 실험기준

실 험 속 도						
실험차량제원 및 충돌각도						
실 험 차량 제원	구 분	소형차	픽업트럭	밴트럭	밴타입 트래क्टर 트레일러	트래क्टर 탱커 트레일러
	중량(N)	8000	20000	80000	355000	355000
	무게중심거리(mm)	550	700	1250	1850	2050
	폭 원(mm)	1700	2000	2300	2450	2450
	충돌 입사각(도)	20	25	15	15	15
실 험 속도 (km/h)	TL-1	50	50	-	-	-
	TL-2	70	70	-	-	-
	TL-3	100	100	-	-	-
	TL-4	100	100	80	-	-
	TL-5	100	100	-	80	-
	TL-6	100	100	-	-	80

3. 충돌해석

3.1 차량 하중을 이용한 정역학적 해석

3.1.1 모델링

충방향 구조해석에 관한 모델 검증에 있어서 UCB를 해석할 수 있는 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 첫 번째 방법은 그림 3과 같이 측보와 슬래브의 절반을 하나의 강성으로 치환하여 단순보로 해석하는 것이다. 두 번째 방법은 그림 4와 같이 프레임 요소와 판 요소를 강결시켜 실제의 거동을 반영하도록 모델링 한 판-프레임 모델이다. 이 모델에 대한 검증은 아직 이루어지지 않았지만 본 연구에서 모델의 정확성을 검증할 것이다.

세 번째 방법은 구조물 전체를 4절점 솔리드 요소로 모델링하는 것이다. 솔리드 모델은 그림 5와 같이 콘크리트 전체를 솔리드로 모델링하고, 내부의 강연선은 트러스 요소로 모델링한다. 이러한 솔리드 모델이 구조물의 거동을 가장 명확하게 표현할 수 있다고 판단하고, 솔리드 해석에서의 결과를 정해로 가정하였다.

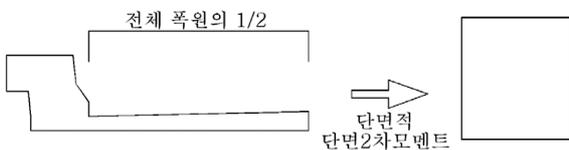


그림 3. 유효폭을 적용한 프레임 해석

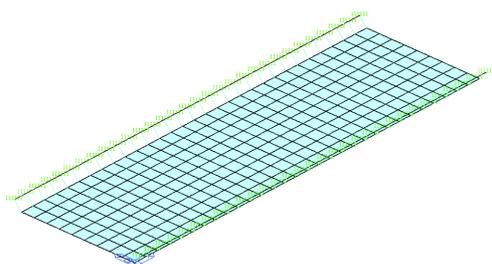


그림 4. 판-프레임 요소의 FEM 해석

제시한 모델 중 솔리드 모델에서의 결과를 정해라고 가정 하였으므로, 나머지 해석방법의 결과들과 비교하여 해석방법의 타당성을 검증하였다. 적용모델의 내측폭원은 9m이고 경간은 40m로 설정하여 각각의 해석을 수행하여 결과를 비교 하였다. 재하한 하중은 자중, 2차 고정하중, 프리스트레스 하중만을 고려하였다. 각각의 해석결과는 응력을 비교하였으며 그림 6~9에 결과를 나타내었다. 그래프의 횡축은 교축방향의 길이를 나타내며, 종축은 응력값을 의미한다.

분석 결과, 모두 솔리드 모델을 기준으로 판-프레임 모델이 가장 작은 오차를 나타내었다. 판-프레임 모델의 경우 5%이 내의 오차율을 나타내었지만, 슬래브의 절반을 강성으로 환산한 경우와 유효폭을 적용한 경우 최대 68%이상의 오차율을 나타내었다. 이는 프레임을 적용한 모델의 결과는 신뢰성이 없다고 판단되며, 판-프레임 모델이 실제 구조물의 거동을 가장 유사하게 반영한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 판-프레임 모델을 실제 구조물의 거동을 반영하는 것으로 판단하며, 이 모델을 구조해석 모델로 제안한다. U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량에 차량 충돌하중을 적용하였을 경우 UCB의 안전성을 평가하기 위하여 지간 45m, 폭원 12m의 최적 단면을 바탕으로 UCB의 슬래브를 판요소를 이용하여 모델링 하고, 측보의 충방향 긴장재 및 슬래브의 횡방향 긴장재를 트러스 요소를 이용하여 모델링하였다. 또한, UCB 측보에 작용하는 충돌하중에 대해 차종별 충돌 하중을 고려하여 교량의 중앙 지간에 차량 충돌하중을 재하하였다.

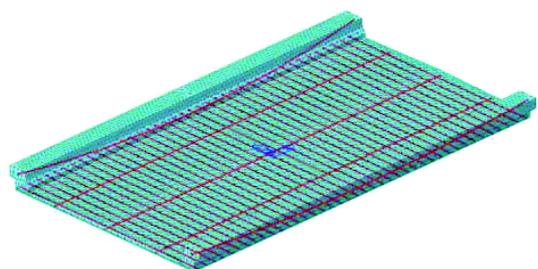


그림 5. 솔리드 요소를 이용한 UCB 모델링

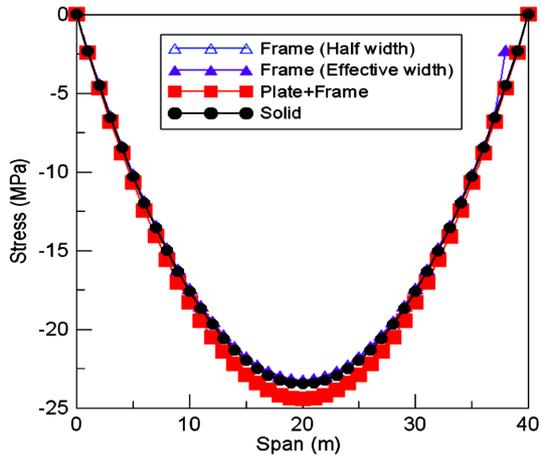


그림 6. 고정하중에 의한 상연응력

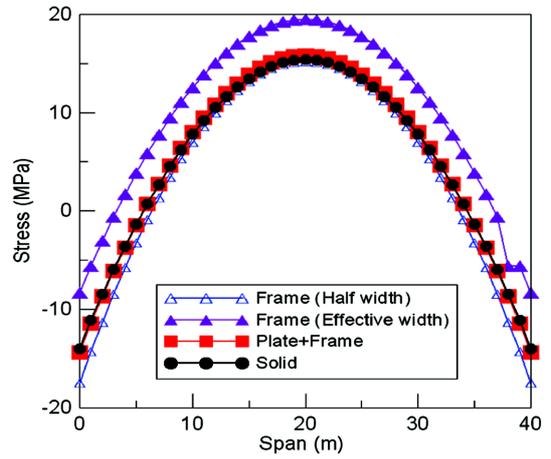


그림 8. 프리스트레싱에 의한 상연응력

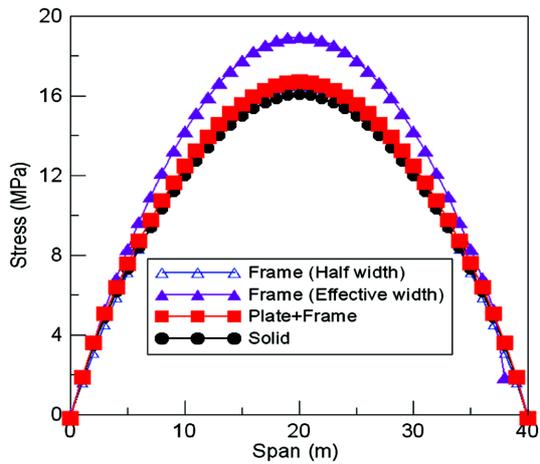


그림 7. 고정하중에 의한 하연응력

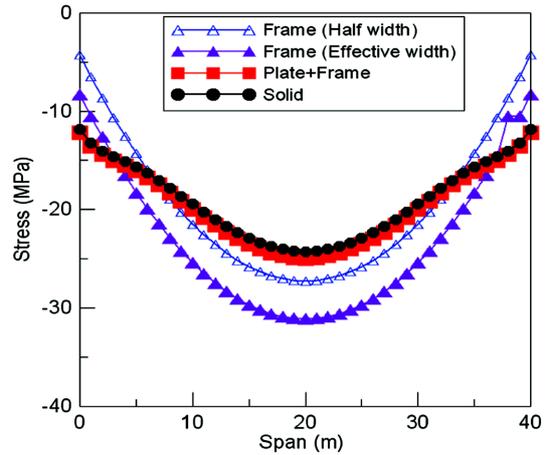


그림 9. 프리스트레싱에 의한 하연응력

3.1.2 검토결과

AASHTO LRFD 설계 기준(2007)에 근거한 UCB의 차량 충돌 해석 결과, TL-1~TL-6의 각각 측보와 슬래브에서 발생하는 최대 응력은 콘크리트 허용응력 20MPa를 만족하고 있음을 알 수 있다. 표 3은 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거하여 충돌 하중을 재하 하였을 경우의 충돌해석 결과이다.

3.2 충돌차량을 이용한 동역학적 해석

3.2.1 구조해석 프로그램

UCB의 차량충돌 해석은 충돌조건에서 측보가 받는 동적 충격력을 정확히 산정하고, 측보의 거동을 분석하여 교량의 안전성을 검토함으로써 UCB의 최적 설계에 반영하는데 있다. 본 연구에서는 ANSYS/LS-DYNA 프로그램을 사용하여 동적

차량충돌해석을 수행하였다. 이 프로그램은 충돌문제를 해석 하기 위해 개발된 것으로 다양한 접촉 문제의 해결과 충돌해석 분야의 광범위한 적용이 가능하다. 또한 부재의 복잡한 비탄성, 비선형 거동을 정의할 수 있을 뿐만 아니라 3차원으로 모델링 할 수 있기 때문에 보다 세밀히 검토를 할 수 있다.

3.2.2 충돌해석 교량모델

UCB 측보에 차량 충돌하중을 적용하였을 경우 UCB의 안전성을 평가하기 위하여 교량의 폭을 12 m로 결정하고 지간 간격을 5 m씩 늘려가면서 지간 길이 20~45 m에 대하여 검토하였다.

그림 10은 UCB의 단면형상이고, 그림 11은 ANSYS/LS-DYNA 프로그램을 이용하여 UCB를 모델링한 형상이다. 사용

표 3. AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거한 U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량의 차량 충돌해석

구분		발생 응력	허용 응력	비고	구분		발생 응력	허용 응력	비고
TL-1	측보	5.69 MPa	20 MPa	O.K	TL-4	측보	12.24 MPa	20 MPa	O.K
	슬래브	8.24 MPa	20 MPa	O.K		슬래브	14.85 MPa	20 MPa	O.K
TL-2	측보	9.54 MPa	20 MPa	O.K	TL-5	측보	14.89 MPa	20 MPa	O.K
	슬래브	10.12 MPa	20 MPa	O.K		슬래브	16.99 MPa	20 MPa	O.K
TL-3	측보	11.87 MPa	20 MPa	O.K	TL-6	측보	17.14 MPa	20 MPa	O.K
	슬래브	13.24 MPa	20 MPa	O.K		슬래브	18.24 MPa	20 MPa	O.K

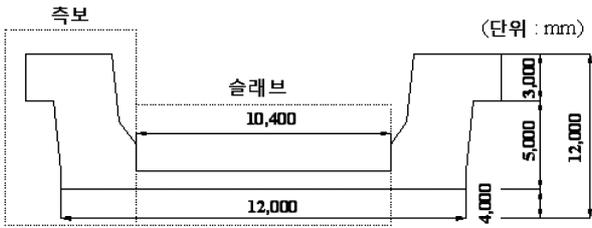


그림 10. 단면형상

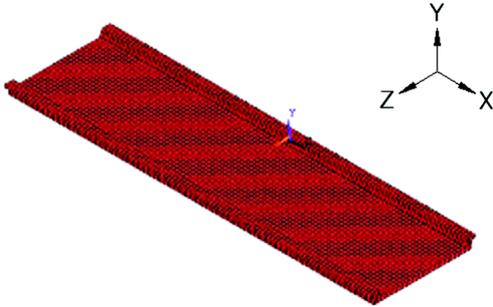


그림 11. 시뮬레이션 모델링

한 모델 요소는 LS-DYNA Explicit 3D Soil 164를 사용하였다.

3.2.3 충돌해석 차량모델

차량계원은 AASHTO LRFD 설계 기준(2007)을 적용하여 차량을 모델링하였다. 설계기준의 차량모델 중 밴타입 트렉터-트레일러와 트렉터-탱커 트레일러는 두 모델이 무게중심거리만 다르고 중량과 폭원, 충돌입사각 및 충돌속도가 같고 국내 도로 통행 차량현황에 근거하여 비교 검토해 본 결과 밴타입 트렉터-트레일러가 국내 도로통행차량 현황에 더 적합하기 때문에 트렉터-탱커 트레일러모델을 제외한 4개의 차량모델에 대해 안전성 검토를 수행하였다. 차량모델은 표 2의 각 차종별 중량 및 무게중심거리, 폭원 등이 정확히 반영될 수 있도록 각 차종의 형상을 결정하여 모델링하였고, 차량을 모델링하기 위해 사용된 요소는 UCB의 모델링에 사용된 LS-DYNA Explicit 3D Soil 164를 사용하였다. 또한, 차

량을 강체로 모델링하기 위해 사용된 요소의 탄성계수를 1×10^{20} MPa으로 적용하였다. 그림 12는 AASHTO LRFD 설계 기준(2007)에 근거한 차량모델을 나타낸 것이다.

3.2.4 동해석 결과

ANSYS/LS-DYNA를 이용하여 동적 차량충돌해석을 수행한 결과, 그림 13은 지간 길이 45 m에서 시속 80 km의 밴트럭 차량의 충돌 시뮬레이션 장면을 나타내고 있다.

그림 13(a)은 충돌차량의 $t=0.40s$ 일 때의 충돌 양상을 나타내고 있고, 그림 13(b)에서는 충돌차량의 $t=0.70s$ 일 때의 충돌 양상을 보여주고 있는데 충돌 순간 충돌차량의 진행방향이 변화되는 모습을 볼 수 있다. 그림 13(c)에서는 충돌차량의 $t=1.20s$ 일 때의 충돌 양상을 보여주고 있는데 그림 13(a)에서 차량전면부가 충돌한 후 $t=1.20s$ 일 때 차량 후면부가 UCB 측보에 충돌하면서 차량이 진행하는 양상을 나타내고 있다.

각각의 해석결과는 충돌차량형태에 따라 지간 길이별로 응력과 속도에 대해 비교하였고, 그림 14~21에 나타내었다. 그래프의 횡축은 시간을 나타내며, 종축은 응력 값을 나타낸다. 응력선도는 측보와 슬래브를 구분하여 나타내었고, 대상 교량 중앙부 측보에 차량이 충돌되는 위치의 응력이력을 검출하여 도시하였다.

지간 길이별로 나타낸 응력선도를 분석해 보면 시속 80 km/h의 밴타입 트렉터-트레일러의 경우가 가장 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 지간 길이가 20 m일 때 밴타입 트렉터-트레일러의 충돌에 의해 발생하는 응력은 측보에서 8.5 MPa이 발생하고, 슬래브에서는 3.3 MPa이었다. 또한, 지간 길이가 20 m일 때와 45 m일 때의 응력 지속시간을 살펴보면 측보의 경우 지간 길이가 20 m일 때는 $t=0.4\sim 1.8s$ 에서 응력파형이 지속되고 그 이후에는 응력 값이 거의 0에 가깝게 나타난다. 또한, 지간 길이가 45 m일 때는 $t=0.4\sim 5.8s$ 에서 응력파형이 지속되는 것을 알 수 있다. 슬래브의 경우에는 지간 길이가 20 m일 때 $t=0.4\sim 2.9s$ 에서 응력파형이 지속되고, 지간 길이가 45 m일 때는 $t=0.4\sim 6.2s$ 에서 응력파형이

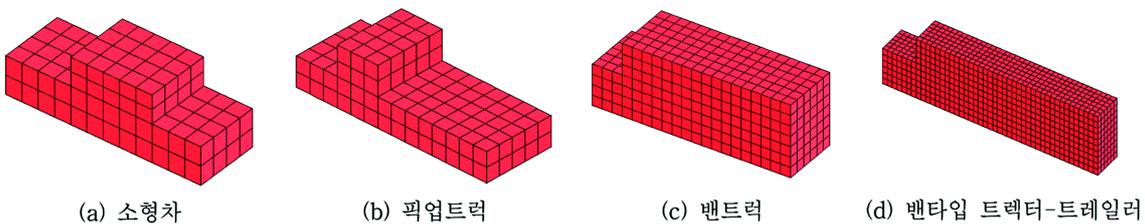


그림 12. 차량 모델

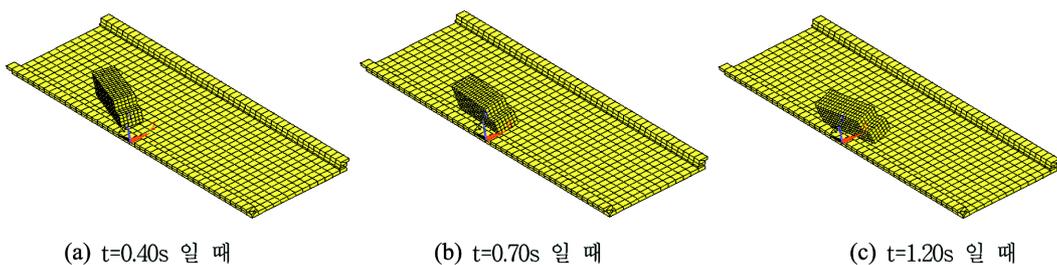
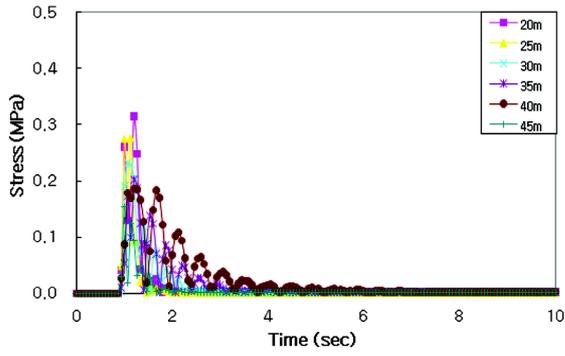
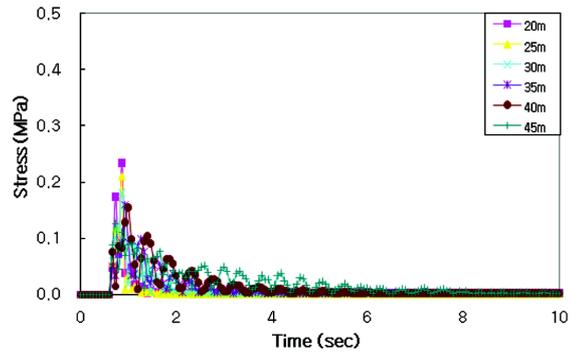


그림 13. 충돌 시뮬레이션 장면

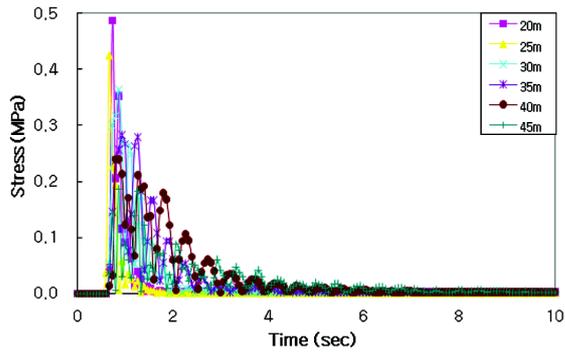


(a)축보의 응력이력

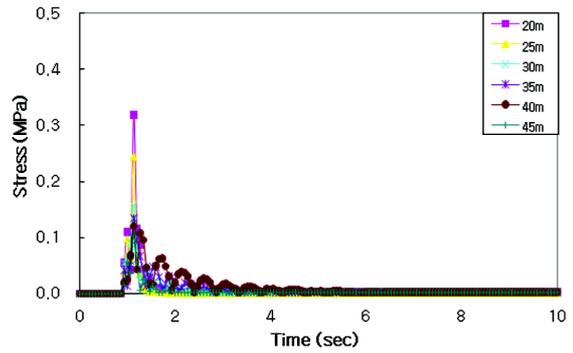


(b)슬래브의 응력이력

그림 14. 소형차 시속 50 km/h 충돌 시 축보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 20도)

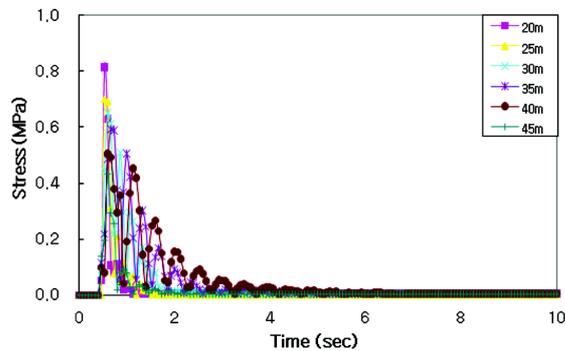


(a)축보의 응력이력

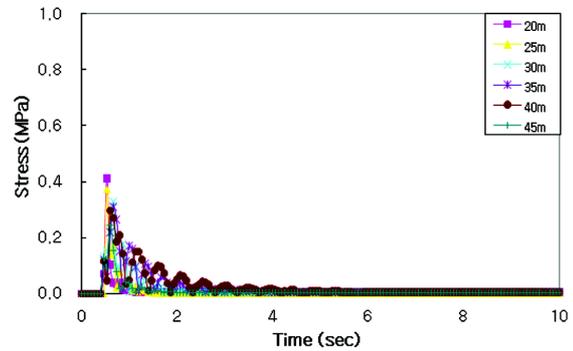


(b)슬래브의 응력이력

그림 15. 소형차 시속 70 km/h 충돌 시 축보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 20도)

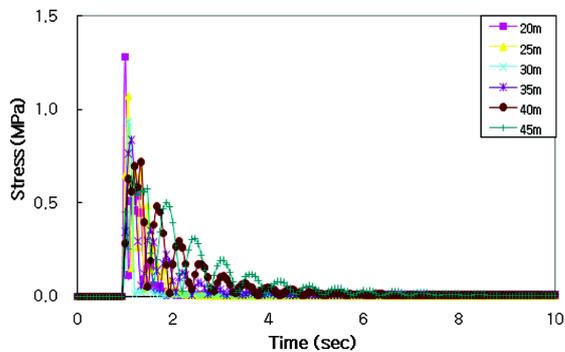


(a)축보의 응력이력

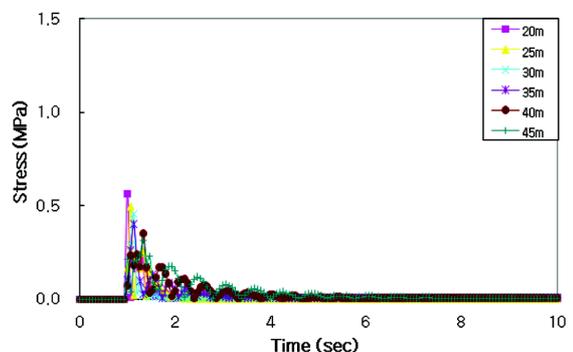


(b)슬래브의 응력이력

그림 16. 소형차 시속 100 km/h 충돌 시 축보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 20도)

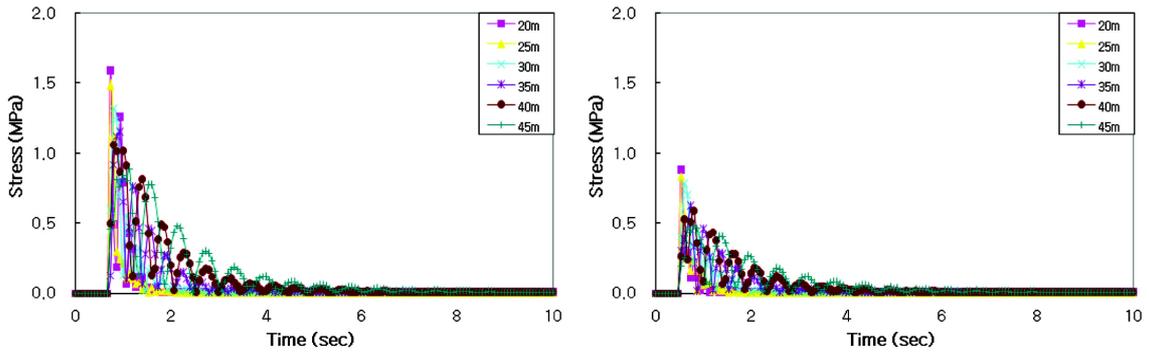


(a)축보의 응력이력



(b)슬래브의 응력이력

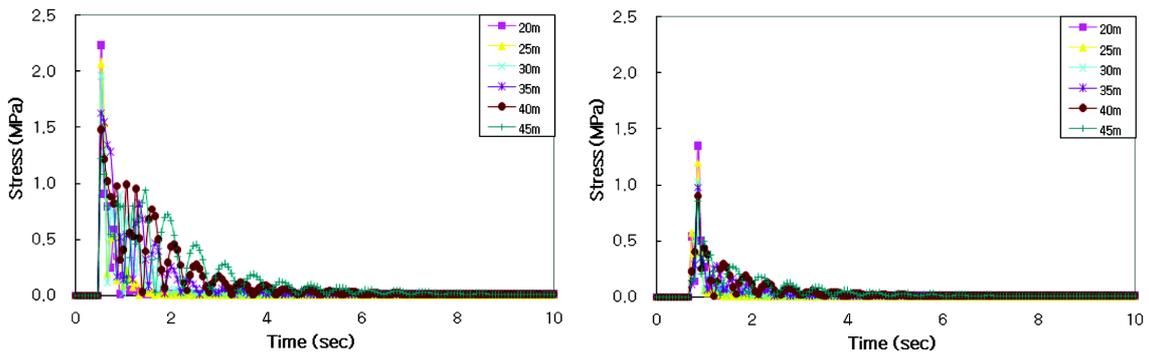
그림 17. 픽업트럭 시속 50 km/h 충돌 시 축보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 25도)



(a)측보의 응력이력

(b)슬래브의 응력이력

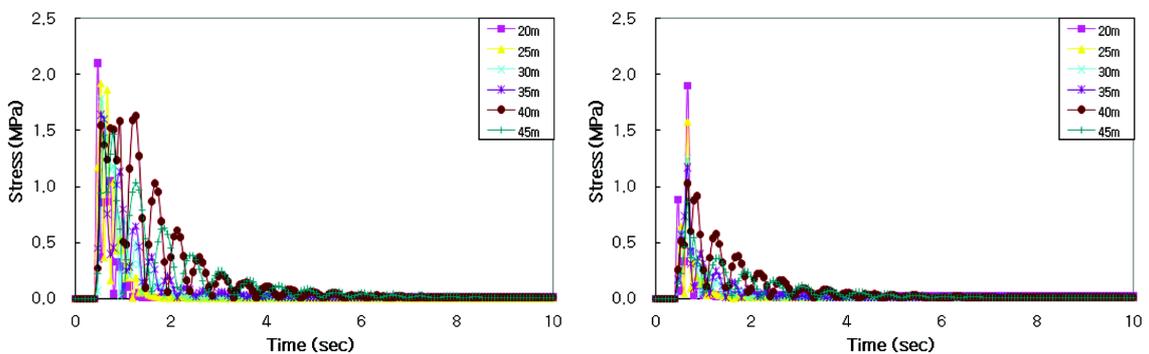
그림 18. 픽업트럭 시속 70 km/h 충돌 시 측보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 25도)



(a)측보의 응력이력

(b)슬래브의 응력이력

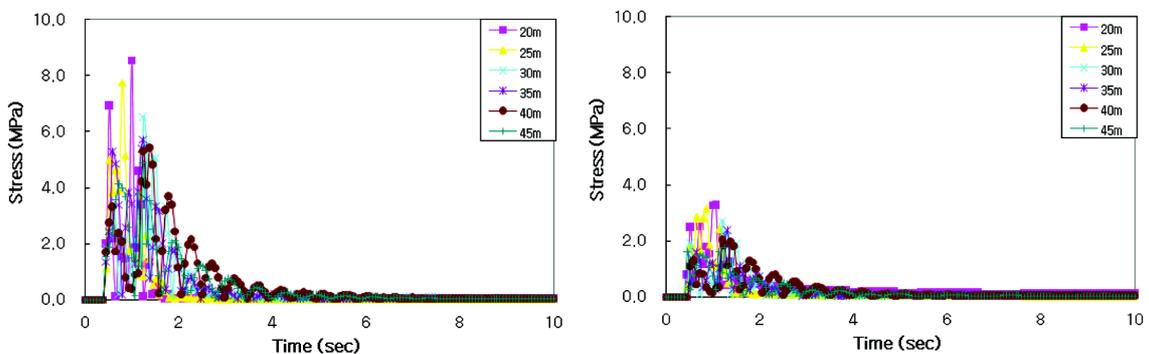
그림 19. 픽업트럭 시속 100 km/h 충돌 시 측보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 25도)



(a)측보의 응력이력

(b)슬래브의 응력이력

그림 20. 밴트럭 시속 80 km/h 충돌 시 측보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 15도)



(a)측보의 응력이력

(b)슬래브의 응력이력

그림 21. 밴타입 트렉터-트레일러 시속 80 km/h 충돌 시 측보와 슬래브의 응력이력 (충돌입사각 : 15도)

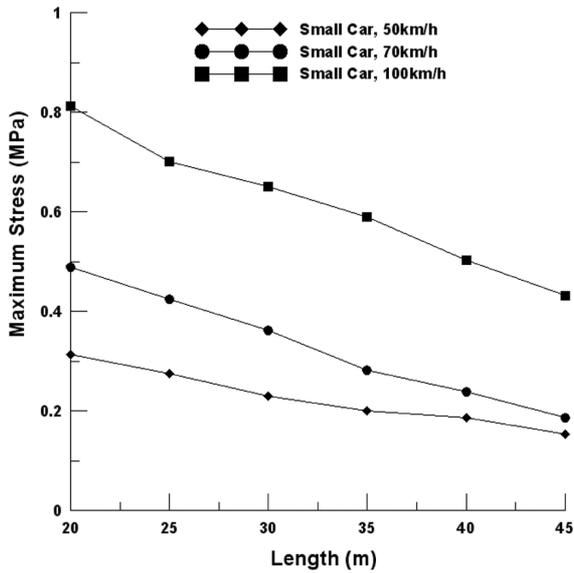


그림 22. 소형차의 축보 최대응력이력(충돌입사각 : 20도)

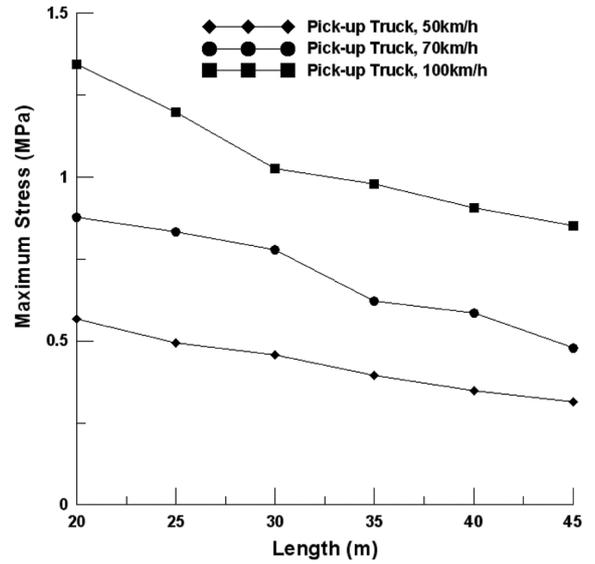


그림 25. 픽업트럭의 슬래브 최대응력이력(충돌입사각 : 25도)

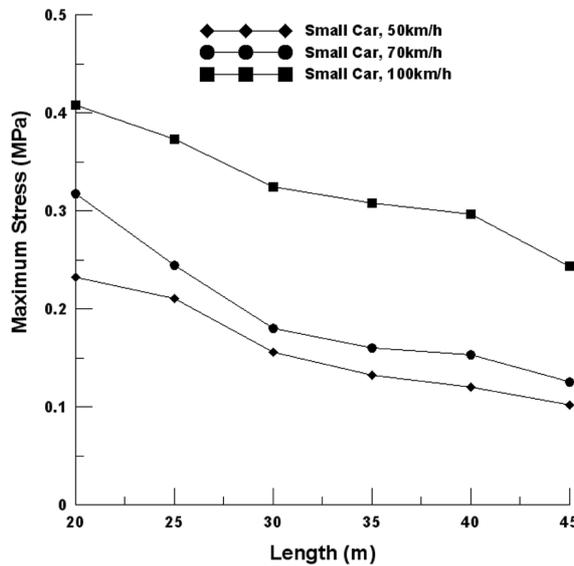


그림 23. 소형차의 슬래브 최대응력이력(충돌입사각 : 20도)

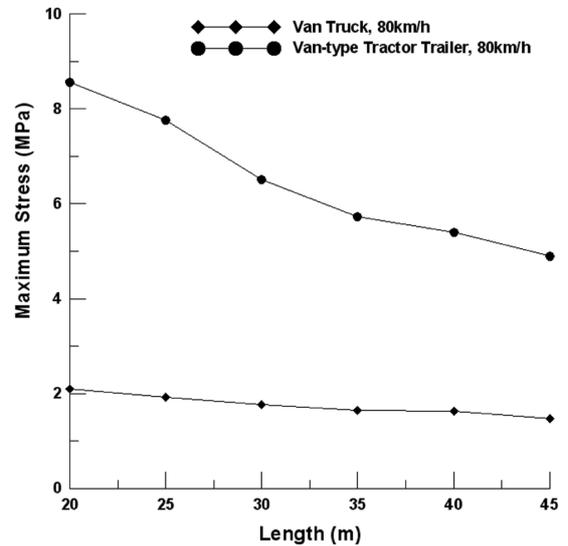


그림 26. 밴트럭과 밴타입 트랙터-트레일러의 축보 최대응력이력(충돌입사각 : 15도)

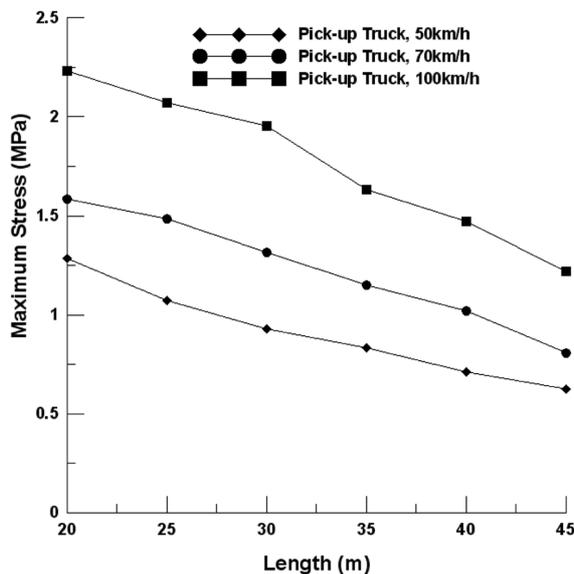


그림 24. 픽업트럭의 축보 최대응력이력(충돌입사각 : 25도)

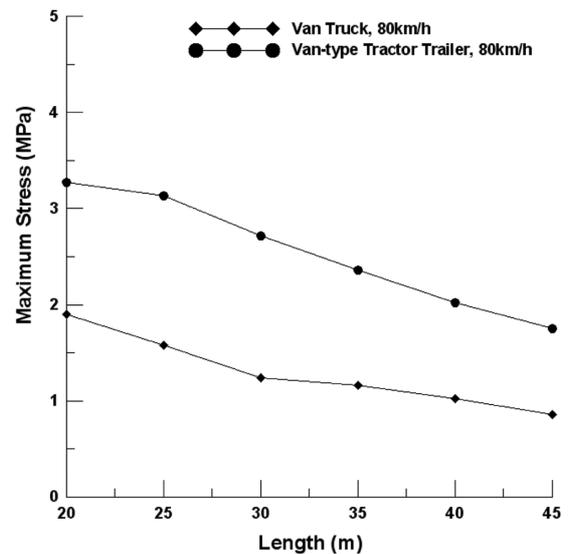


그림 27. 밴트럭과 밴타입 트랙터-트레일러의 슬래브 최대응력이력(충돌입사각 : 15도)

지속됨을 알 수 있다. 시간이 길면 길수록 응력파형의 지속 시간이 길어짐을 알 수 있다.

충돌차량에 따라 시간별로 최대응력이력을 나타내면 그림 22~27과 같다. 최대응력이력 그래프를 분석해보면 충돌차량의 속도가 빠를수록 시간 길이는 짧을수록 응력의 크기가 커지는 것을 알 수 있다.

4. 충돌해석 결과 비교

UCB의 차량 충돌하중에 대한 안전성을 평가하기 위하여 정적해석의 경우에는 시간 45 m, 폭원 12 m의 최적 단면을 바탕으로 UCB 슬래브를 판요소를 이용하여 모델링하고, 측보의 종방향 긴장재 및 슬래브의 횡방향 긴장재를 트러스 요소를 이용하여 모델링하였다. UCB 측보에 작용하는 충돌하중에 대해 표 1의 차종별 충돌 하중을 고려하여 정해석을 수행한 결과 TL-6의 경우에서 최대 발생응력은 측보 및 슬래브에서 각각 17.14 MPa 및 18.24 MPa이었다. 실차량모델을 재하한 동해석 결과에서는 시간 길이가 증가할수록 모든 검토 경우에서 최대응력이 감소하는 것으로 나타났고, 최대응력은 벤트리를 충돌입사각 15도, 80 km/h의 속도로 충돌시켰을 때 약 8.5 MPa로 나타났다. 일반적으로 정해석의 경우에는 시간길이가 증가할수록 등가 정재하 하중에 의해 발생응력은 증가하나 동해석의 경우에는 이와 반대되는 결과를 보여주었다. 이는 U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량과 같이 측보와 슬래브가 일체로 거동을 하는 경우에는 AASHTO 기준의 등가 정적하중을 재하하는 것은 결과의 신빙성이 떨어지고 설계기준에서 제시하고 있는 실차량 모델을 이용한 동해석을 통해 설계 단면을 설정하여야한다는 것을 보여준다.

5. 결 론

U-채널 세그멘탈 콘크리트 교량에 대한 차량충돌 안전성 검토를 위해 본 연구에서는 두 가지 방법을 수행하였다. 첫 번째 방법은 교량 측보에 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에 근거한 정하중만을 재하 하였을 때의 충돌시 발생하는 응력을 검토하였다. 그러나 이는 차량의 중량만을 고려했을 뿐 충돌 각이나 속도 등은 고려되지 않았기 때문에 실제 충돌 결과와는 다를 수 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 두 번째 방법으로 동역학적인 시뮬레이션을 적용하여 차량충돌 해석을 수행하였다.

본 연구를 통하여 얻은 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 속도와 가속도의 경우 충돌에 대하여 직접적인 영향을 받는 교축방향과 교축직각방향에서 큰 변화가 일어나는데, 특히 교축직각방향의 경우 충돌이후 차량진행방향이 바뀌는 방향이어서 속도 및 가속도의 변화가 심하게 나타났다.
- 2) 충돌 차량 중량이 가장 큰 밴타입 트랙터-트레일러에 대해 UCB의 파형의 지속시간은 측보에서 시간길이가

20 m일 때 1.4 s, 45 m일 때 4.4 s 정도가 되고, 슬래브에서 시간 길이가 20 m일 때 2.5 s, 45 m일 때 5.8 s로 나타났다. 응력의 경우에는 최대 8.5 MPa이 발생했는데, 이는 AASHTO LRFD 설계기준(2007)에서 제시하는 허용응력 20 MPa을 초과하지 않았다. 제시된 모든 차량을 이용한 시뮬레이션 결과도 허용응력초과 하지 않았으므로 본 연구에서 제안한 UCB의 차량 충돌에 대한 동적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 추후 실물 충돌실험 및 상세해석을 통한 검증이 필요할 것으로 예상된다.

한편, AASHTO LRFD 설계기준(2007)에서 제시한 정적하중에 의한 해석 결과와 동적해석에 의한 해석 결과를 비교 검토해 본 결과, 각각의 해석 방법에서 제한하고 있는 충돌하중에 의해 교량 시스템에 발생하는 응력 양상이 확연히 차이가 남을 알 수 있었다. 이는 UCB와 같이 슬래브와 방호벽 역할을 하는 측보가 일체로 구성된 구조물에서는 차량충돌에 대한 구조물의 안정성을 명확히 평가하기 위해서는 실제 차량중량 및 충돌조건을 고려한 충돌 검토를 수행하는 것이 반드시 필요하다고 판단된다. 또한, 본 연구의 대상교량처럼 차량충돌이 구조전체계에 영향을 줄 수 있는 구조물에 대한 충돌 안전성 검토를 위한 설계기준과 관련된 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 고만기, 김집동, 김경주 (2003) 강체벽에 충돌하는 차량의 거동분석을 위한 절충형 가속도-시간 모델, **대한토목학회논문집**, 제 24권, 제2호, pp. 301-309.
- 한국도로교통협회 (2005) **도로교 설계기준**, 건설교통부.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2007) **AASHTO LRFD Design Specifications**, ASCE, USA.
- Ali, O.A., and Omer, F.C. (2005) Impact analysis of a vertical flared back bridge rail-to-guardrail transition structure using simulation, *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 41, pp. 371-396.
- Beason, W.L., Ross, H.E., Perera, H.S., and Marek, M. (1991) **Single-Slope Concrete Median Barrier TRR-1302**, Engr. Instruction, N.Y. State Department of Transportation, USA.
- Livermore Software Technology Coporation (2003) **LS-DYNA Version 970 Keyword User's Manual**.
- Livermore Software Technology Coporation (1998) **LS-DYNA Theoretical Manual**.
- Ross, H.E., Perera, H.S., Sicking, D.L., and Bligh, R.P. (1989) **Roadside Safety Design for Small Vehecles**, NCHRP Report 318, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.

- © 논문접수일 : 10년 11월 05일
- © 심사의뢰일 : 10년 11월 08일
- © 심사완료일 : 10년 11월 17일