

# 차량의 충돌을 고려한 지하차도 기둥의 손상 평가

박 장 호<sup>1</sup> · 김 영 웅<sup>1</sup> · 박 재 균<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 건설시스템공학과, <sup>2</sup>단국대학교 토목환경공학과

## Damage Evaluation for the Column of Underpass Considering the Collision of a Vehicle

Jang Ho Park<sup>1</sup>, Young Woong Kim<sup>1</sup> and Jaegyun Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil System Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749, Korea

<sup>2</sup>Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin, 448-701, Korea

### Abstract

The protection facilities against the collision of the vehicle should be considered in the design of the bridge by the regulations, but there is no regulation against the collision of the vehicle in the design of the column of underpass. Impact analysis for the column of underpass was performed in order to evaluate the damage of the structure by the collision of the vehicle. Impact analysis was performed according to the various parameters such as material properties of the structure and types and velocities of the vehicle. From the numerical results, the structural damage for the column of underpass by the collision of the vehicle was evaluated and considerations in the design for a column of underpass against the collision of the vehicle were examined.

**Keywords** : column of underpass, impact analysis, collision, vehicle, damage

### 1. 서 론

현재의 대도시들은 산업화와 더불어 도시화가 진행됨에 따라서 도로 등의 기반시설 건설에 활용할 수 있는 공간이 한정되어 있다. 이러한 한정된 공간을 효율적으로 활용하기 위하여 고가차도, 지하차도 등 다양한 형태의 구조물이 활용되고 있으며, 현재는 고가차도보다는 지하차도의 건설이 점차 증가하고 있다. 고가차도, 지하차도 등의 구조물은 한정된 공간을 효율적으로 활용할 수 있으나, 사고가 발생할 경우 구조물의 손상에 따른 직접적인 피해가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 인명피해 및 해당지역의 경제적, 사회적 피해와 같은 간접적 피해가 크게 발생할 수 있다. 따라서 도시의 기반시설에 대해서는 발생 가능한 다양한 재해에 대하여 안전하고 경제적인 건설의 요구가 지속적으로 증대되고 있다.

차량 충돌에 의하여 구조물에 손상이 발생하는 사고는 발생확률이 높지 않고, 대부분의 경우 직간접적인 손상비용이

크지 않다. 그러나 1998년 9월 서울 반포대교 지하차도 기둥과 트레일러 충돌사고의 경우 지하차도 일부 기둥이 완전 파손된 것을 비롯하여 다수의 기둥이 부분 파손돼 구조물들이 도로 위로 무너져 내렸다. 이 사고로 직접적인 구조물의 손상뿐만 아니라 이로 인한 간접적인 경제적, 사회적 손실비용 또한 크게 발생하였다. 도로 가운데 세워지는 고가차도의 교각 같은 경우는 도로교설계기준(2008)에 의거하여 콘크리트 벽 등으로 안전한 방호시설을 설치하거나 충격하중을 고려한 설계가 이루어지도록 규정되어 있으나(Korean Highway Bridge Design Code, 2012), 지하차도 기둥은 관련된 규정이 없으며 고가차도의 교각에 비하여 상대적으로 두께와 폭이 작아서 대형차량 등에 의한 충돌이 발생할 경우 치명적인 구조적 손상이 발생할 수 있다(EI-Tawil *et al.*, 2005; Thilakarathna *et al.*, 2010). 또한 지하차도의 경우 차량 통행이 많은 지역에 위치하고 상부에 차량이 통행하도록 되어 있어 지하차도 기둥에 구조적 손상이 발생하면 도로 사용

\* Corresponding author:

Tel: +82-31-8005-3473; E-mail: jpark@dankook.ac.kr

Received December 22 2014; Revised January 5 2015

Accepted January 6 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 제한이나 폐쇄 등에 의하여 간접적인 피해가 크게 발생할 수 있다.

본 연구는 차량의 충돌에 의한 지하차도 기둥의 충돌해석을 통하여 지하차도 기둥의 손상평가를 수행하였다. 외연적 시간적분법(Explicit Method)을 적용하였으며, 구조물 재료의 비선형성을 고려하여 충돌해석을 수행하였다. 차량 모델은 European Standard 대형 차량 모델 3가지를 사용하였고 (European Standard EN-1317 Test Vehicle Models, 2008), 지하차도 기둥 모델은 현재 공용되고 있는 지하차도 기둥의 제원을 활용하였다. 차량의 종류와 속도, 구조물의 형상과 재료물성 등을 인자로 하여 충돌해석을 수행하고, 이에 따른 충격하중을 비교하고 차량의 충돌에 의한 지하차도 기둥의 최대 변위를 통하여 손상을 파악하였다. 또한 지하차도 기둥의 설계시 고려사항들을 살펴보았다.

## 2. 차량의 충돌에 대한 구조물의 동적해석

차량이 구조물에 충돌할 경우 차량과 구조물에 구조적 손상이 발생한다. 충돌해석을 통하여 차량과 구조물에 대한 구조적인 손상을 구할 수 있으며, 본 논문에서는 피충돌체인 지하차도 기둥의 손상을 중점적으로 다루었다.

충돌해석에서의 충돌하중은 차량과 구조물의 특성 등의 충돌조건에 따라 변하게 된다. 충돌조건으로는 차량의 종류, 충돌 시 차량의 속도, 충돌 시 차량의 진행방향 등이 있으며, 구조물의 형상 및 재료 특성도 포함될 수 있다. 본 논문에서 중량을 고려한 차량의 종류, 충돌 시 차량의 속도, 지하차도 기둥의 형상과 재료 특성을 고려하였다.

### 2.1 비선형 동적해석

비선형 동적해석은 시간  $t$ 에서의 상태로부터 구조물에 대한 평형방정식을 구성하고 이로부터 다음 시간  $t + \Delta t$ 에서의 상태를 구하며, 이를 각 시간에서 반복적으로 수행하여 전체 시간에서의 구조물 운동을 구하게 된다. 여기서 평형방정식의 해를 구하는 시점에 따라 시간  $t$ 에서 평형방정식의 해를 구하는 외연적(explicit) 시간적분법과 다음 시간  $t + \Delta t$ 에서 평형방정식의 해를 구하는 내연적(implicit) 시간적분법으로 나눌 수 있다(Hallquist *et al.*, 2007; Zienkiewicz *et al.*, 2005).

비선형 동적해석에서 내연적 시간적분법은 각 시간에서 내력과 외력의 차이를 줄이기 위해 반복법을 사용하기 때문에 수렴성은 떨어지지만 안정적으로 해를 구할 수 있다. 반면에 외연적 시간적분법은 행렬의 역변환이나 행렬 계산을 필요로

하지 않고 각 시간에서 해를 구하는 장점이 있으나, 시간에 따라서 오차가 누적될 수 있으므로 안정적인 해를 구하기 위해서는 수치 적분의 시간 간격이 다음과 같은 시간 간격  $\Delta t_{stable}$  보다 작아야 한다.

$$\Delta t \leq \Delta t_{stable} = 2/\omega_{max} \quad (1)$$

여기서,

$2\pi(\text{원주율 파이})/\omega_{max}$ 는 해석에서 고려하는 구조물의 가장 작은 고유주기이다. 감쇠를 고려하면 안정적인 해를 구하기 위한 시간 간격  $\Delta t_{stable}$ 는 다음과 같다.

$$\Delta t_{stable} = \frac{2}{\omega_{max}} (\sqrt{1+\zeta^2} - \zeta) \quad (2)$$

여기서,  $\zeta$ 는 해석에서 고려하는 구조물의 최고차 모드에서 임계 감쇠비이다. 일반적으로 외연적 시간적분법에서 시간 간격은 내연적 시간적분법에 사용되는 간격보다 1/100~1/1000 수준으로 작게 해야만 한다. 그러나 계산을 반복하면서 행렬을 다시 계산하지 않기 때문에 비선형 동적해석에서는 내연적 시간적분법에 비해 시간, 비용적인 이점을 갖고 있다.

본 논문에서는 상대적으로 짧은 시간에 대한 물체의 거동을 해석하였으며 LS-DYNA의 외연적 시간적분법을 적용하여 해석을 수행하였다(Hallquist *et al.*, 2007). 이 때, 총 해석시간은 0.3초로 하였으며 시간간격은  $4.36 \times 10^{-7}$  초를 사용하였다.

### 2.2 수치해석모델

충돌해석에 사용된 차량 모델 및 지하차도 기둥 모델은 다음과 같다.

#### 2.2.1 차량 모델

차량 모델은 Fig. 1과 같이 CM/E Group(Politecnico di Milano, Italy)에서 모델링한 European Standard

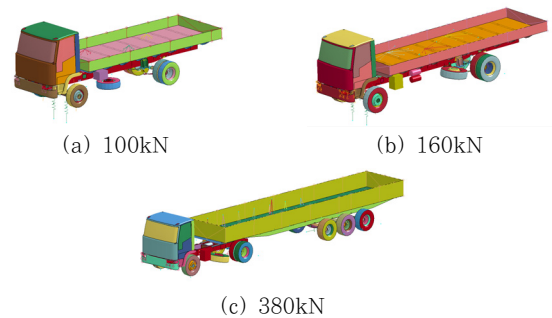


Fig. 1 Vehicle Models for impact analysis

EN-1317 Test Vehicle Model(2008. Nov. 3) 3가지를 사용하였다(European Standard EN-1317 Test Vehicle Models, 2008). 차량의 무게는 각각 100kN, 160kN, 380kN, 사용된 절점수는 각각 29,930개, 34,088개, 55,789개 이며, 사용된 요소수는 각각 28,496개, 32,813개, 51,997개이다. 지하차도 기둥과의 충돌 위치는 바닥면으로부터 800mm로 모두 동일하다.

### 2.2.2 지하차도 기둥 모델

현재 공용되고 있는 지하차도 중에서 통행량이 많은 지하차도의 제원을 조사하여 이로부터 Fig. 2와 같이 지하차도 기둥 모델을 선정하였다(Kim, 2014). 그리고 절점수 25,975개, 요소 수 18,800개를 갖도록 모델링하였다.

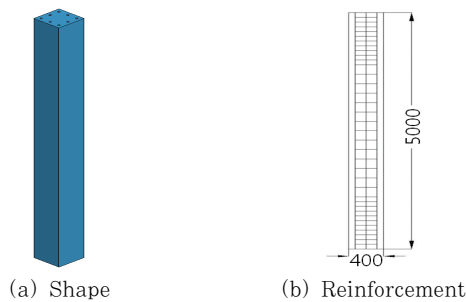


Fig. 2 Concrete column model

해석에 사용된 정사각형 기둥에서 콘크리트 강도는  $f_{ck} = 27$  MPa를 적용하였고 철근(SD350)의 항복강도  $f_y = 350$ MPa를 적용하였다. 콘크리트의 물성은 LS-DYNA에서 Material Card No.159 CSCM-Concrete를 사용하였으며, Fig. 3과 같은 응력에 따른 변형률이 비선형해석에 사용되었다.

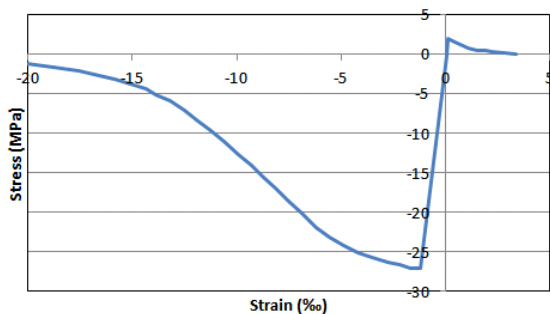


Fig. 3 Nonlinear stress-strain diagram for concrete

### 3. 차량 충돌에 따른 지하차도 기둥의 손상 평가

현재 공용되고 있는 지하차도 기둥에 대하여 구조물의 형상, 구조물의 재료특성, 차량의 종류 및 충돌속도에 대하여

해석을 수행하고 이러한 인자들에 의한 영향을 파악하였다(Kim, 2014). 또한 차량충돌에 의한 지하차도 기둥의 손상 정도를 파악하였다.

### 3.1 기둥의 형상에 따른 충격하중

지하차도 기둥의 형상에 따른 충격하중을 비교하기 위해 충돌해석을 수행하였다. 단순 충격하중만을 비교하기 위하여 모델은 모두 강체로 가정하였으며, 각 모델 모두 두께와 높이는 400mm, 5,000mm으로 일정하며 폭은 각각 400mm, 1,200mm, 2,000mm, 4,000mm로 하였다(Fig. 4 참조). 차량 모델은 Fig. 1(b)의 160kN 트럭으로 하였으며, 충돌시 속도는 80km/h를 적용하였다.

Fig. 4는 기둥의 폭에 따른 충돌 후 형상을 도시한 것이다. 기둥의 폭에 따라 충돌 후 차량의 변형이 다르게 나타나고 있다.

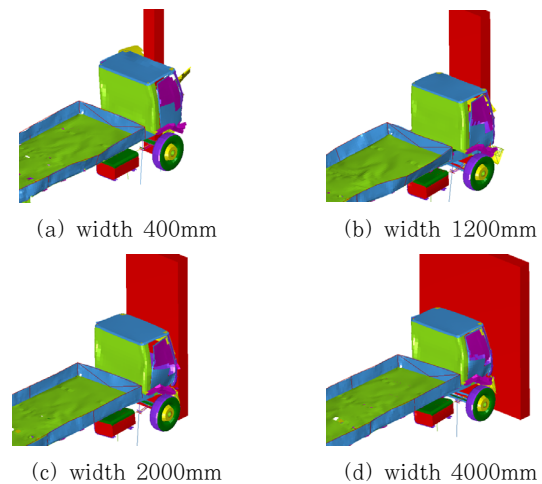


Fig. 4 Shapes of columns for collision analysis

Fig. 5는 기둥의 폭에 따른 충격하중을 도시한 것이다. 이때 충격하중은 지하차도 기둥이 받은 하중을 의미한다. 기둥

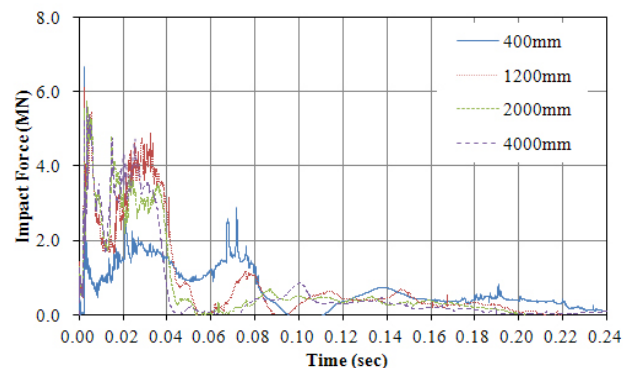


Fig. 5 Comparison of impact forces for different shapes of column

의 폭 400mm, 1,200mm, 2,000mm, 4,000mm인 모델에서 순간 최대 충격하중은 각각 6,650kN, 6,125kN, 5,750kN, 5,633kN으로 기둥이 폭이 작을수록 순간 최대 충격하중이 크게 작용하였다. 기둥의 높이가 차량의 전 면적을 포함하기 때문에, 단위면적당 하중도 기둥의 폭이 작을수록 커지게 된다. 이는 동일한 운동량을 가진 차량이 기둥에 닿아 멈추면서 처음 닿는 면적이 작을수록 힘이 기둥에 집중되기 때문으로 볼 수 있다. 해석결과 벽체의 형상에 따라 작용하는 충격하중에 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 기둥의 재료특성에 따른 충격하중

지하차도 기둥의 재료특성에 따른 충격하중을 비교하였다. 차량 모델은 Fig. 1(b)의 160kN 트럭을 사용하였으며, 충돌 시 속도는 80km/h로 고정하였다. 기둥의 형상은 Fig. 2의 정사각형 단면을 갖는 기둥이며, 두께, 폭, 높이는 각각 400mm, 400mm, 5000mm이다. 재료의 특성으로 물성을 강체, 선형탄성 모델, 그리고 CSCM-Concrete Material을 각각 사용하였다(Murray, 2007). 단, 탄소성 콘크리트 모델의 잔류변형은 모델에 따라 차이가 있을 수 있다.

Fig. 6은 재료의 물성으로 선형 모델 및 비선형 탄소성 모델을 사용한 경우의 충돌 후 형상을 도시한 것이다. 탄소성 모델을 사용한 경우 에너지의 소산이 기둥의 영구변형으로 이루어지기 때문에 기둥의 변형이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

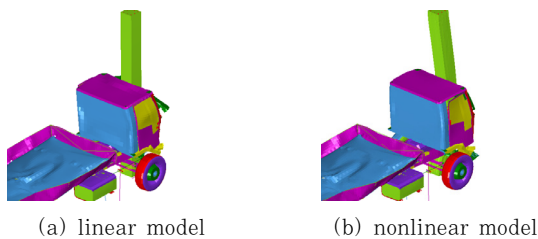


Fig. 6 Deformed shapes after collision for different material properties of column

Fig. 7은 정사각형 단면을 가지는 기둥의 재료모델에 따른 충격하중을 도시한 것이다. 강체 모델, 선형 탄성 모델, 비선형 탄소성 모델에서 순간 최대 충격하중은 각각 6,650kN, 6,108kN, 5,444kN으로 기둥의 강성이 작아질수록 기둥에 작용하는 순간 최대 충격하중도 작게 나타나고 있다. 이는 일반적으로 강체에 가까울수록 충돌 시 접촉시간이 짧아지며, 따라서 일정한 운동량의 변화, 즉 일정 충격량에 대하여 힘이 커지는 것을 보여주는 것이다.

그리고 충격하중의 Peak값들이 발생하는 시간이 약간의 차이를 보이는데 기둥의 변형에 의하여 범퍼에 기둥이 닿는

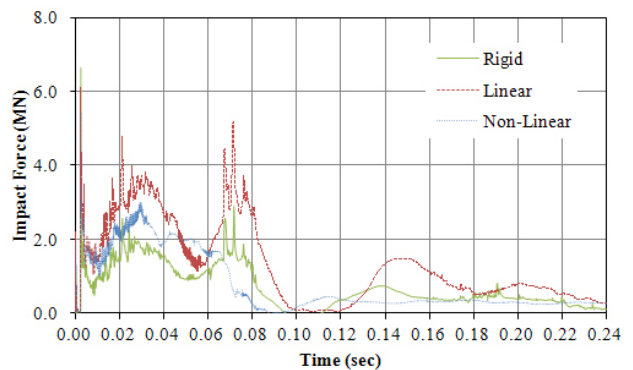


Fig. 7 Comparison of impact forces for different material properties of column

순간부터 트럭 본체가 기둥에 충돌하는 시간까지의 차이라고 판단된다(반면에 전체 시간에 걸쳐 작용한 충격하중의 합은 선형 모델인 경우가 가장 크게 나타났다). 해석결과 재료의 물성에 따라 작용하는 충격하중에 차이가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 차량의 특성에 따른 충격하중

차량의 질량과 충돌 시 속도에 따른 충돌해석을 수행하고 충돌하중을 비교하였다. Fig. 1과 같은 3가지 차량모델을 사용하였으며, 충돌 시 차량의 속도는 40km/h, 60km/h, 80km/h를 사용하였다. 정사각형 단면을 가지는 비선형 탄소성 모델 기둥에 대하여 해석하였다.

#### 3.3.1 100kN 차량 충돌해석 결과

Fig. 8은 100kN 차량의 속도별 충돌 후 형상을 도시한 것이다. 충돌 시 차량의 속도가 커질수록 변형이 크게 나타나고 있다.

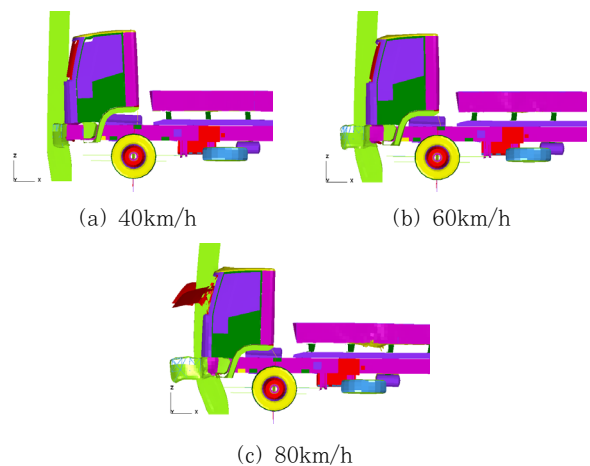


Fig. 8 Deformed shapes after collision for different velocities of 100kN vehicle

Fig. 9는 100kN 차량의 속도별 충격하중을 도시한 것이다. 순간 최대 충격하중은 40km/h, 60km/h, 80km/h에서 각각 1,100kN, 2,261kN, 5,210kN으로 나타났다. 차량의 속도가 증가함에 따라 충격하중이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

달리는 차량의 운동에너지는  $mv^2/2$ 로 일정하고( $m$  = 차량의 질량,  $v$  = 차량의 속도), 충돌 후 초기에 소성 변형이 생기기 전의 탄성 변위의 크기도 일정하므로 충격하중이 충돌속도의 제곱에 비례한다는 가설을 세울 수 있다. 이 계산을 통하여 나오는 비율 1:2.25:4와 위에서 계산한 값의 비율 1:2.05:4.74을 비교하면 근사적인 추정이 가능하다는 결론을 얻는다.

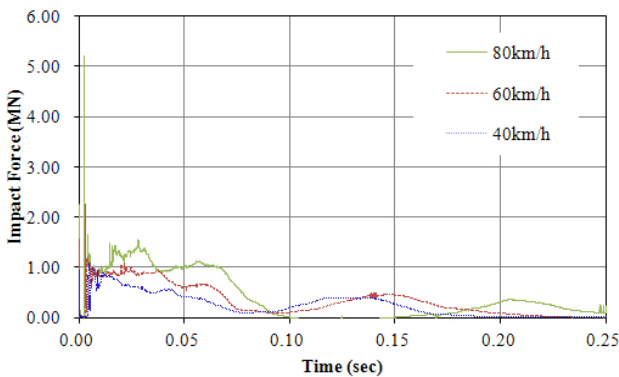


Fig. 9 Comparison of impact forces for different velocities of 100kN vehicle

### 3.3.2 160kN 차량 충돌해석 결과

Fig. 10은 160kN 차량의 속도별 충격하중을 도시한 것이다. 순간 최대 충격하중은 40km/h, 60km/h, 80km/h에서 각각 1,532kN, 2,576kN, 5,444kN으로 나타났으며, 이 때의 비율은 1:1.68:3.55이다.

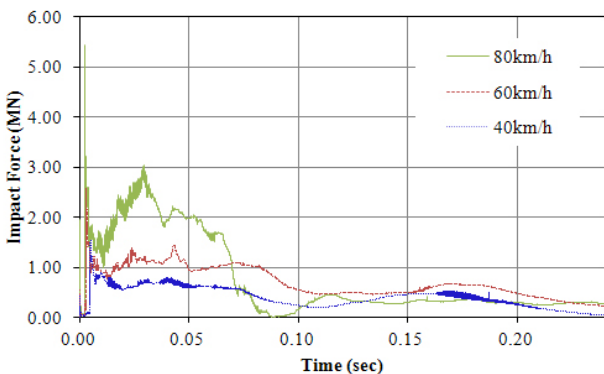


Fig. 10 Comparison of impact forces for different velocities of 160kN vehicle

### 3.3.3 380kN 차량 충돌해석 결과

Fig. 11은 380kN 차량의 속도별 충돌 후 형상을 도시한 것이다. 충돌 시 차량의 속도가 커질수록 변형이 크게 나타나고 있다.

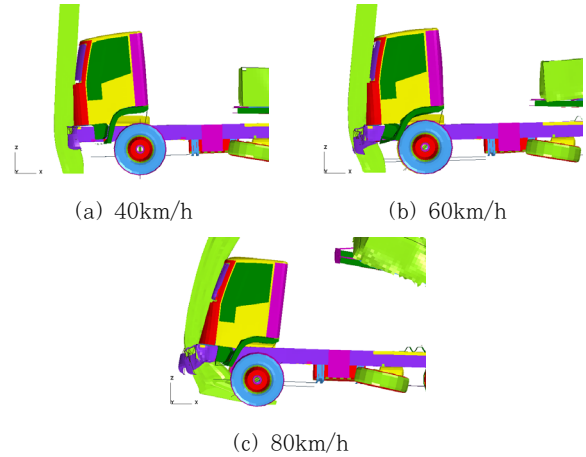


Fig. 11 Deformed shapes after collision for different velocities of 380kN vehicle

Fig. 12는 380kN 차량의 속도별 시간에 따른 충격하중과 기둥의 변형을 도시한 것이다. 순간 최대 충격하중은 40km/h, 60km/h, 80km/h에서 각각 1,995kN, 2,709 kN, 5,944kN으로 나타났으며, 이 때의 비율은 1:1.36:3.0이다.

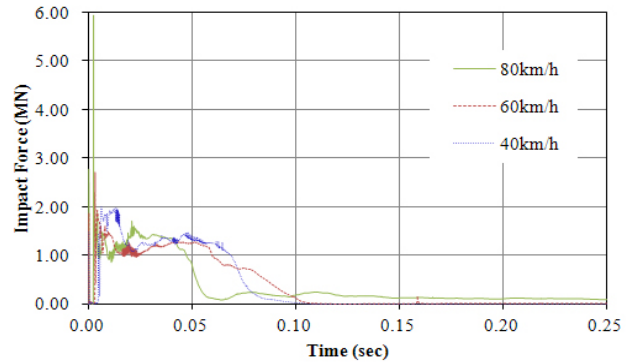


Fig. 12 Comparison of impact forces for different velocities of 380kN vehicle

## 3.4 차량의 충돌에 따른 기둥의 손상

본 절에서는 차량의 질량 및 충돌 속도에 따른 지하차도 기둥의 손상을 평가하였다.

### 3.4.1 충돌 속도 40km/h

Fig. 13은 차량의 속도가 40km/h일 때 차량의 질량(100kN, 160kN, 320kN)에 따른 기둥의 변형을 도시한 것



이다. 차량의 질량이 커질수록 운동량과 운동에너지가 증가하므로 그 에너지를 소산하기 위한 최대변형이 크고 그 최대변형이 발생한 시간도 크게 나타났다. 변형의 최대값 발생 후에는 약간의 탄성 복원 후 소성 변위가 일정하게 유지되고 있다.

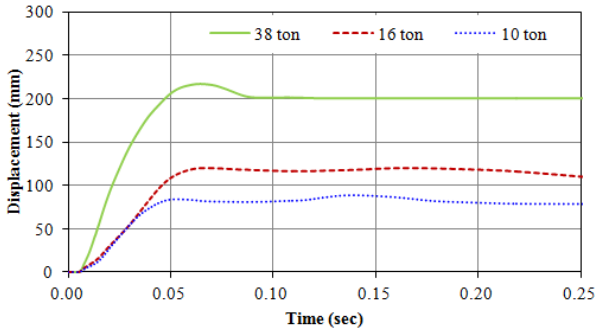


Fig. 13 Comparison of displacements of column for different vehicles at the speed of 40km/h

Fig. 14는 차량의 속도가 40km/h일 때 차량의 질량에 따른 충격하중의 시간이력으로 충격 초기의 값을 도시한 것이다. 충격하중은 차량의 질량이 커질수록 크게 나타나고 있다. 차량의 속도가 40km/h일 경우 100kN, 160kN 차량과 320kN 차량에 의한 초기 충격하중은 근사적으로 질량에 비례해서 증가하고 있다. 이는 앞 절에서 초기 충격하중이 운동에너지에 비례한다는 가설과 부합된다. 가장 초기에 나타나는 충격은 범퍼에 의한 것이고, 이후 범퍼의 소성변형으로 충격이 흡수되고, 다시 0.005초 이후 본체가 기둥에 닿으면서 하중이 급격히 증가하는 현상을 볼 수 있다.

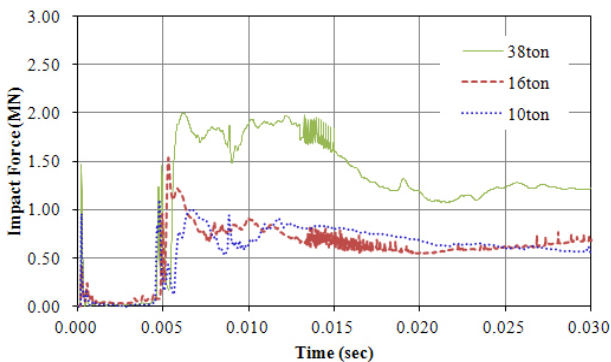


Fig. 14 Comparison of impact forces for different vehicles at the speed of 40km/h

### 3.4.2 충돌 속도 60km/h

Fig. 15는 차량의 속도가 60km/h일 때 차량의 질량에 따른 기둥의 변형을 도시한 것이다. 차량의 속도가 40km/h인 경우와 비교했을 때, 최대변위는 속도에 따라 증가하였으나 차량의 질량에 따른 경향은 유사하게 나타나고 있다. 그림 3

에서는 보는 바와 같이, 압축에 대한 탄성계수가 소성변형 이전 까지 일정하기 때문에 탄성 스프링의 저장 에너지는 운동에너지에 비례하므로( $mv^2 = kd^2$ ,  $k$ 는 기둥의 스프링 상수,  $d$ 는 최대 변위) 그 이후의 소성 변형이 탄성 변형에 비해 상대적으로 작다고 가정하면 최대 변위는 속도에 비례하게 된다.

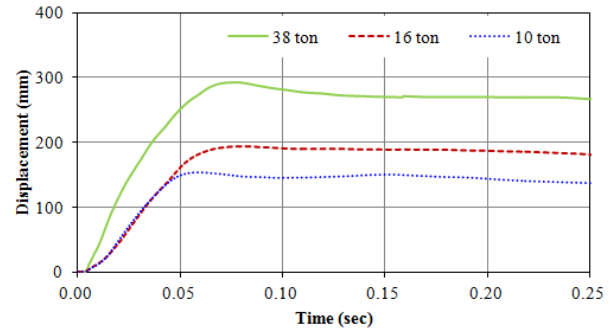


Fig. 15 Comparison of displacements of column for different vehicles at the speed of 60km/h

### 3.4.3 충돌 속도 80km/h

Fig. 16은 차량의 속도가 80km/h일 때 차량의 질량에 따른 기둥의 변형을 도시한 것이다. 차량의 속도가 40km/h, 60km/h인 경우와 다르게 160kN 차량과 380kN 차량의

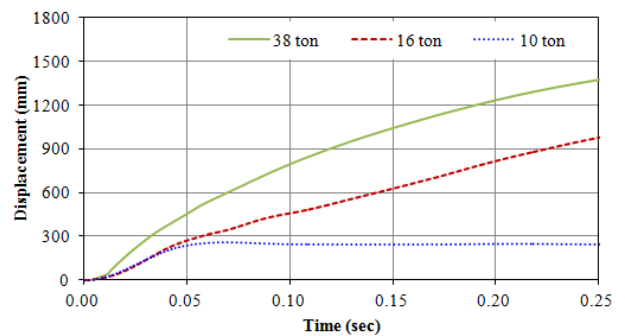


Fig. 16 Comparison of displacements of column for different vehicles at the speed of 80km/h

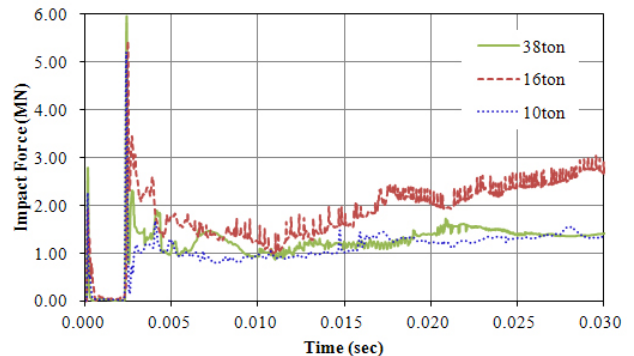


Fig. 17 Comparison of impact forces for different vehicles at the speed of 80km/h

경우에서 기둥의 변위가 계속 증가하고 있다. 이는 차량의 충돌에 의하여 기둥이 파괴되고 차량이 계속 진행함에 따라 기둥의 변형이 같이 증가하고 있음을 의미한다.

Fig. 17은 차량의 속도가 80km/h일 때 차량의 질량에 따른 충격하중의 시간이력으로서 충격 초기의 값을 위주로 도시한 것이다. 순간 최대 충격하중은 380kN 차량에서 가장 크게 나타났으나, 시간에 따른 충격하중을 보면 160kN 차량에서 가장 크게 나타나고 있다.

#### 4. 결 론

교량의 교각은 도로교설계기준 등에 의거하여 충돌에 대하여 안전하도록 방호시설을 설치하거나 충격하중을 고려한 설계가 이루어지도록 규정되어 있으나, 지하차도 기둥은 관련된 규정이 없으며 상대적으로 충돌에 취약한 형상을 가지고 있어 대형차량의 충돌에 의해 치명적인 구조적 손상이 발생할 수 있다. 본 연구는 차량의 질량, 차량의 속도, 기둥의 형상 및 기둥의 재료 물성 등을 고려하여 차량의 충돌에 의한 지하차도 기둥의 충돌해석을 수행하고 이를 통하여 지하차도 기둥의 손상평가를 수행하고 고려사항을 도출하였다.

- 1) 지하차도 기둥의 형상에 따른 충돌해석을 수행한 결과 기둥의 폭이 작을수록 순간 최대 충격하중이 크게 작용하였으며, 이는 동일한 운동량을 가진 차량이 기둥에 충돌하면서 처음 닿는 면적이 작을수록 기둥에 순간적으로 큰 하중이 집중되기 때문으로 볼 수 있다. 단위 면적에 작용한 충격량도 기둥의 폭이 작을수록 크게 나타나 기둥의 구조적인 안전을 위해서는 차량이 충돌할 면의 폭을 적절히 확보하는 것이 좋을 것이다.
- 2) 지하차도 기둥의 재료물성에 따른 충돌해석을 수행한 결과 기둥의 강성이 클수록 순간 최대 충격하중이 큰 값을 보였으며, 이는 동일 충격량에 대하여 접촉시간이 짧아지면서 일어나는 현상으로 판단된다.
- 3) 비선형 탄소성 기둥에 대하여 차량의 질량과 속도에 따른 충돌해석을 수행한 결과 차량의 질량이 클수록, 충돌 속도가 빠를수록 기둥에 가하는 손상이 더 큰 것으로 나타났다. 이 때, 초기 충격하중과 기둥의 최대

변형은 근사적으로 차량의 운동에너지에 비례하였다.

- 4) 특정 차량 속도와 질량에서 지하차도 기둥의 완전 파괴가 일어났으며, 이로부터 차량의 충돌에 대한 지하차도의 안전을 위해서는 설계 시 차량의 질량과 차량의 속도에 대한 영향을 고려하여 방호시설 구축이나 통행 제한 등의 고려가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2011-0006712).

#### References

- El-Tawil, S., Severino, E., Fonseca, P.** (2015) Vehicle Collision with Bridge Piers, *J. Bridge Eng.*, 10, pp.345~353.
- European Standard EN-1317 Test Vehicle Models** (2008) CM/E Group - Politecnico di Milano, Italy.
- Hallquist, J.O.** (2007) LS-DYNA Keyword user's Manual, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, Calif.
- Kim, Y.W.** (2014) Dynamic Analysis of Underpass Column Considering Vehicle Collision Load, Master's thesis, Ajou Univ.
- Korean Highway Bridge Design Code** (2012) Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Murray, Y.D.** (2007) User Manual for LS-DYNA Concrete Material Model 159, APTEK Inc.
- Thilakarathna, H.M.I., Thambiratnam, D.P., Dhanasekar, M., Perera, N.** (2010) Numerical Simulation of Axially Loaded Concrete Columns under Transverse Impact and Vulnerability Assessment, *Int. J. Impact Eng.*, 37, pp.1100~1112.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L.** (2005) The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition.

---

## 요 지

교량의 교각 설계시에는 설계기준에 의거하여 차량의 충돌에 대비한 적절한 방호시설 등이 고려되고 있으나, 지하차도의 기둥 설계시에는 차량의 충돌과 관련된 규정이 없다. 또한 지하차도의 기둥은 상대적으로 폭이나 두께가 작아서 차량의 충돌에 의하여 큰 손상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 지하차도 기둥에 대한 충돌해석을 통하여 차량의 충돌에 의한 구조물의 손상을 평가하였다. 충돌해석에서는 지하차도 기둥의 물성과 형태 그리고 차량의 속도와 종류 등이 매개변수로 고려되었다. 수치해석 결과 지하차도 기둥이 심하게 손상되는 경우가 있었으며 따라서 지하차도의 기둥 설계시에는 차량 충돌에 대한 적절한 고려가 필요하다.

**핵심용어** : 지하차도, 충격해석, 충돌, 자동차, 손상