

# 탑승자 안전도를 고려한 교각 방호시설물 개발에 관한 연구

박재홍<sup>†</sup> · 성정곤<sup>\*</sup> · 남민균<sup>\*</sup> · 윤덕근<sup>\*</sup>

한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 · \*다스코(주) 기술연구소  
(2018. 3. 24. 접수 / 2018. 5. 24. 수정 / 2018. 8. 20. 채택)

## Development of Non-Redirective Crash Cushion for Bridge Piers Considering Occupant Safety

Jaehong Park<sup>†</sup> · Jung Gon Sung<sup>\*</sup> · Min Gyun Nam<sup>\*</sup> · Duk Geun Yun<sup>\*</sup>

Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology  
<sup>\*</sup>R&D Team, Development Advance Solution Co., Ltd.

(Received March 24, 2018 / Revised May 24, 2018 / Accepted August 20, 2018)

**Abstract** : The traffic accident types are largely classified into vehicle to vehicle accident, vehicle-to-person accident and single-vehicle. Especially, the single-vehicle accident types are severe when the vehicle crashed into road facilities such as bridge, piers, utility poles. The severity of single-vehicle accidents are ten times higher than that of all other accidents types. It is needed to consider to reduce accident severity. This study was conducted to develop crash worthy safety design facility to ensure the vehicle occupant safety. The simulation and the crash tests were conducted for assessment of the safety performance to check the criteria of CC2(Crash Cushion 2) level. THIV(Theoretical Head Impact Velocity) and PHD(Post-impact Head Deceleration) were used to assess occupant impact severity for crashes. The non-redirection collision test conditions for 900 kg and 1,300 kg-head on crash tests, 900 kg-1/4 offset crash tests, 1,300 kg-head on crash test with 15°angle were conducted. The simulation and experiment test result showed that THIV values were below 44 km/h criterion, PHD values were below the 20G. The development non-redirective crash cushion is expected to be used for the fixed object such as bridge piers for assuring occupant safety.

**Key Words** : crash cushion, PHD(Post-impact Head Deceleration), crash test, simulation, THIV(Theoretical Head Impact Velocity)

### 1. 서론

도로의 횡단구성은 차도, 중앙분리대, 길어깨, 보도, 측도 등으로 구성되어 있으며, 도로변은 길어깨 바깥쪽에 위치한 도로와 접도구간을 포함 하는 것으로 정의 할 수 있다<sup>1)</sup>. 도로변의 공작물은 도로 주변에 있는 인공적인 구조물로써, 가로등, 신호등, 전신주, 표지판, 교각 기둥 등이 대표적이다. 각각의 공작물은 차량의 안전성 향상 및 교통 운영 효율성을 높이기 위한 목적으로 설치되어 있다. 그러나, 도로변 공작물과의 충돌 사고를 예방하는 안전 조치가 적절히 이루어지지 않으면, 도로를 주행하는 차량과의 충돌 원인이 된다. 공작물과의 충돌사고는 차량의 전도/전복 또는 도로 이탈로 인한 교통사고건수보다 4배 이상 높게 나타났다<sup>2)</sup>.

특히, 차량과 도로변 공작물의 충돌사고가 발생시에는 운전자의 사고심각도가 높게 나타난다. 교통사고 치사율(사망자 수/100건)을 비교하면, 2016년에 발생한 전체 교통사고의 치사율은 1.94명/100건, 공작물에 의한 교통사고 치사율은 11.06명/100건으로 나타났다. 이러한 분석 결과는 도로변의 공작물과 차량이 충돌하는 경우에는 교통사고 심각도가 10배 이상 높은 것으로 해석이 가능하다. 따라서, 공작물과 충돌시 운전자의 안전도를 확보하여 사고심각도를 감소시키는 연구가 필요하다.

공작물 충돌사고를 예방하는 방법으로써, 도로변 시설물 제거, 공작물 이동 설치, 충돌시 안전성을 확보할 수 있는 안전 설계, Breakaway 지주 설치, 시설물 주변 방호울타리 설치 등의 대안의 제시가 가능하다.

<sup>†</sup> Corresponding Author : Jaehong Park, Tel : +82-31-910-0656, E-mail : jhpark@kict.re.kr

Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyang-daero, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 10223, Korea

도로변의 시설물 또는 공작물과 충돌하는 것은 ‘차로의 공간적 범위’, ‘차로 이탈시 차량의 안전한 복귀에 필요한 공간’의 기능적 범위와 관련이 있으며<sup>3)</sup>, 공작물과의 충돌사고를 예방하기 위한 충분한 공간이 존재해야 한다. 그러나, 국내의 도시부 도로에는 Clear Zone으로 대표되는 공간이 부족하므로, 공작물 충돌 사고를 예방하는 대안 수립시에는 이러한 사항을 고려해야 한다. 본 연구에서는 공간적 범위를 고려한 대안으로써, 교각 기둥을 방호하고 운전자의 안전도를 확보 할 수 있는 안전시설물을 개발하는 연구를 수행하였다. 교각 방호시설물 개발을 위해 국내·외 지침 및 매뉴얼을 검토하고, 시뮬레이션 및 실물충돌시험을 수행하여 교각 방호시설물의 성능을 검증하였다. 차량과의 충돌 발생 시 탑승자의 안전도를 평가하는 객관적 지표는 THIV(Theoretical Head Impact Velocity), PHD(Post-impact Head Deceleration)를 사용하였다. 교각 방호시설물은 탑승자의 안전도를 확보하는 2단 배치 가드레일 형태이며, 기존에 사용되고 있는 동일 물성의 가드레일을 이중으로 설치하는 형태이다. 또한, 안전시설물의 설치 공간이 상대적으로 부족한 도시부에서 설치 가능하도록 노즈부 길이까지 고려하여 설계하였다.

본 연구에서 제시한 탑승자의 안전도를 확보하는 교각 방호시설물 관련 연구는 차량방호 안전시설과 관련 연구의 기초자료로써 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 기존문헌고찰

본 장에서는 차량방호 안전시설과 관련된 국내·외의 지침 및 연구를 검토하였다.

고만기 등은 정면충돌 및 측면충돌 사고 예방을 위한 클립형 단부 분리장치를 갖는 지주를 개발하였다. NCHRP 350을 기반으로 측면충돌의 기준을 제시하고, 35 km/h의 측면충돌시험을 진행하였다. 실험 결과, 클립형 단부분리장치로 기초에 연결한 경우 충돌피해를 줄일 수 있다는 결론을 제시하였다<sup>4)</sup>. 장대영 등은 MASH(Manual for Assessing Safety Hardware)에서 제시된 방법으로 1,300 kg 차량의 충돌시험 데이터로부터 900 kg 차량의 충돌데이터 및 안전지수를 계산하여 900 kg 차량의 충돌시험 데이터와 비교하는 연구를 수행하였다. 분석 결과, 충돌시험데이터에 기초하여 확대해석 방법의 효율성, 정확성을 입증하고 원리를 규명하였다<sup>5)</sup>. 주재용 등은 후미충돌 사고 예방책의 하나로써 작업차량 장착용 충격흡수장치(TMA: Truck Mounted Attenuator)의 성능평가기준 수립 및 개발에 관한 연구를 수행하였다. 연구에서 제시한 성능평가기준은 유럽 및 미국

성능기준을 근거로 국내 실정을 고려하여 정리하였고, 시뮬레이션과 실물충돌시험을 수행하여 안전성을 검증하였다<sup>6)</sup>. 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설)에서는 방호시설물에 대한 충격흡수시설 기준을 제시하고 있다<sup>7)</sup>. 차량방호 안전시설은 주행 중 진행 방향을 잘못 잡은 차량이 길 밖, 또는 대향차로 등으로 이탈 하는 것을 방지하거나, 차량이 구조물과의 직접적인 충돌을 방지하여 차량 탑승자 및 차량, 보행자 또는 도로변의 주요시설을 안전하게 보호하기 위하여 설치하는 시설을 의미한다. 차량방호 안전시설로는 노측, 중앙분리대, 교량 등에 설치하는 방호울타리와 고정구조물의 전면에 설치하는 충격 흡수시설이 있다. 본 연구의 대상인 차량방호 울타리의 경우, 적용 도로의 설계 속도별 시설물의 강도에 따라 9개 등급으로 구분되고, 각 등급에 적합한 시설물의 강도를 가질 수 있도록 각 조건에 따라 성능평가하기 위한 시험을 수행한다. 강도 성능 평가를 위한 시험조건에는 충돌 속도(60 km/h, 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h), 충돌차량 중량(900 kg, 1,300 kg), 충돌 방향(정면, 15°, 165°)에 따라 등급이 구분되어있다. 탑승자 안전도 평가를 위해서는 THIV(Theoretical Head Impact Velocity), PHD(Post-impact Head Deceleration)를 탑승자 안전도 평가 지표로 사용한다. THIV는 44 km/h 이하, PHD는 20 g 이하를 만족하는 경우에, 탑승자 안전도를 확보하는 것으로 제시하였다.

Roadside Design Guide에서는 도로변 지주에 대한 충돌시의 대책을 제시하였다. 차량이 충돌하는 경우 대책으로는 위치이동(Relocate), 방호(Shield), 단부처리(Breakaway 혹은 충격 흡수를 통한 탑승자 보호)를 제시하였으며, 도로변 노출 지주의 위험성과 방호 대책으로 Clear Zone 확보, 이설, 가드레일 방호, 지주 단부 처리 등의 방법을 제시하였다. 단부처리(Breakaway) 혹은 충격 흡수를 통한 탑승자 보호장치의 경우에 따른 실물충돌시험 및 평가 방법을 제시하였다<sup>8)</sup>. EN12767에서는 유럽연합 Passive Safety 기준으로 도로변의 지주구조(표지판, 신호등, 가로등, 각종장비용지주등)에 충돌할 경우 탑승자의 안전을 확보를 위한 충돌 실험 방법 평가기준을 제시하였다. 충돌 차량의 중량은 900 kg, 1,300 kg, 1,500 kg으로 구성되었으며, 차량 속도는 50 km/h, 80 km/h, 100 km/h, 110 km/h로 구분하였다. 또한, ASI(Acceleration Severity Index)를 탑승자의 안전도를 평가하는 안전지표로써 사용하고 있으며, A등급에서는 1.0이하, B등급에서는 1.4이하의 임계값을 제시하였다<sup>9)</sup>. MASH(Manual for Assessing Safety Hardware)에서는 도로안전시설의 성능평가 기준이었던 NCHRP

Report 350을 최근의 교통 흐름에 맞게 수정한 것으로 모든 도로안전시설의 성능기준을 규정하였고, 다양한 고속도로 안전시설의 성능을 평가하기 위한 절차 등을 제시하였다<sup>10)</sup>.

### 3. 교각 방호시설물 개발 방법론

#### 3.1 연구 개요

차량과 공작물의 충돌시 탑승자의 안전도를 확보 할 수 있는 교각 방호시설물을 개발하였으며, 본 장에서는 교각 방호시설물을 개발하기 위한 방법론을 Fig. 1.에 제시하였다.

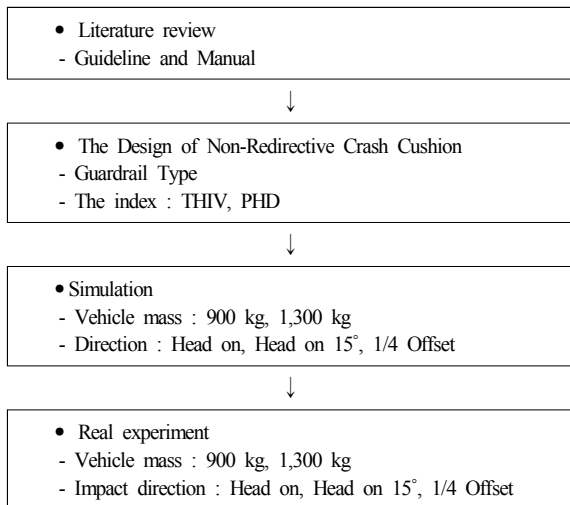


Fig. 1. Research flow.

첫 번째 단계에서는 본 연구에서 개발하는 교각 방호시설물의 성능을 검증하기 위하여 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설’을 포함한 국내·외 지침에서 제시하고 있는 탑승자 보호용 성능 기준 및 실험 조건을 선정하였다. 기존 지침에는 충돌 방향, 충돌 차량 중량, 충돌 속도에 따라 탑승자 안전도 확보에 대한 기준치를 제시하고 있다. 충돌 방향은 정면, 정면 15°, 1/4 Offset, 차량 중량은 900 kg, 1,300 kg, 충돌 속도는 60 km/h, 80 km/h로 제시되었다. 본 연구에서는 주간선도로의 설계 속도(80 km/h)에서 의 충돌 시험 조건인 CC2(Crash Cushion) 등급의 성능 기준을 확보하고, 교각, 교대 등의 구조물 앞에 차량을 안전하게 정지시키는 주행 비복귀형 조건을 충돌 시험 조건으로 선정하였다. 두 번째 단계에서는 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 3.4절 시뮬레이션 모델링에 제시하였으며, CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준을 만족하는 충돌 시험 조건에 따라 시뮬레이션을 수

행하였다. 세 번째 단계에서는 시뮬레이션에서 수행한 동일한 조건(CC2 등급 주행 비복귀형)으로 실물충돌시험을 진행하였다. 실물충돌시험을 통해 시뮬레이션에서 고려되지 못한 변수에 대한 검토 및 성능을 검증하였다. 또한, 실물충돌시험에서는 충격흡수시설의 거동, 충돌 후 차량의 거동 항목을 추가하여, 교각 방호안전시설물의 종합적인 성능을 검증하였다.

#### 3.2 탑승자 안전도 평가 기준

본 연구에서는 교각 시설물 보호용 안전시설물의 탑승자 안전도 측정 기준으로 THIV, PHD를 사용하였다. THIV는 탑승자 두부의 충격 속도으로써, 차량이 차량방호 안전시설에 충돌할 때 탑승자의 충격 위험도를 평가하기 위한 지수이다. 운전자나 탑승자의 두부가 차량의 좌·우 공간에 부딪힐 때까지 이동하는 속도를 의미한다. THIV는 머리 비행시간(T), 차량 좌표계에 대한 상대속도( $V_x$ ,  $V_y$ )를 이용하여 산출하며, 식 (1)에 제시하였다.

$$THIV = [(V_x^2(T) + V_y^2(T))]^{1/2} \quad (1)$$

여기서,  
 $V_x, V_y$  : 차량 좌표계에 대한 머리의 상대 속도  
 $T$  : 머리의 비행 시간

PHD는 차량이 구조물에 충돌 후, 탑승자가 2차 충격을 받는 순간의 차량 내부에 부딪히는 가속도 중에서 두부가 받게 되는 가속도 중에서 최대 값을 의미한다. PHD는 충돌 후( $t>T$ )로 계속된  $x_c, y_c$ 축의 10ms 평균 가운데 최대 값을 이용하여 산출하며, 식 (2)에 제시하였다<sup>9)</sup>.

$$PHD = MAX(\langle \ddot{x}_c \rangle^2 + \langle \ddot{y}_c \rangle^2)^{1/2}, t > T \quad (2)$$

여기서,  
 $x_c, y_c$  :  $x$ 축,  $y$ 축의 10ms 평균 가속도

#### 3.3 탑승자 보호용 교각 방호시설물 설계

본 연구에서 제안하는 탑승자 보호용 교각 방호시설물은 가드레일을 2단으로 설치하여 교각을 방호하는 형태로 설계되었다. 교각 방호시설의 직경은 6.2 m, W형 레일의 형태는 곡형을 2단 배치(2 m 간격), 교각과의 여유 거리는 2.25 m로 선정하였다. 또한, 가드레일과 지주 사이에는 블록 아웃을 설치하였고, 지주는 차량 충돌시 지주가 분리되는 형태로 구성되어 있으며, 중심을 기준으로 36°도 간격으로 지주가 설치되는 형

태이다. 가드레일은 W 형태, 곡형의 가공 전 길이가 2.33 m이며 중앙부에  $\phi 20 \times 120$  mm 슬롯 홀 8개를 두어 차량 충돌시 변형이 유도되는 형태로 설계하였다.

### 3.4 시뮬레이션 모델링

도로안전시설의 특성상 충돌중 구조 부재는 재료의 탄성영역을 넘어 소성 거동을 보이며 대변위를 발생시킨다. 충돌 시뮬레이션을 통해 차량방호울타리의 거동을 정확히 모사하기 위해서는 재료적 특성을 정확히 입력해야 할 필요가 있다. LS-Dyna에서는 강재의 거동을 모사하기 위해 다양한 재료 모델을 제공하며, 각 재료 모델은 별도의 입력 변수가 필요하다. 본 시뮬레이션에서는 비교적 간단한 입력 변수를 사용하여 재료의 비선형 및 대변위를 고려 할 수 있는 Plastic\_Kinematic을 사용하여 재료적 특성을 고려하였으며, 재료모델의 세부사항을 Table 1에 제시하였다.

탑승자 안전도를 확보하는 교각 보호용 안전시설물은 일반적으로 많이 사용되는 W형 가드레일(폭 350 mm, 두께 4.0T)을 직경 6.2 m, 지주간격 1.76 m, 설치높이 77.5 cm, 분리형 지주두께 4.5 t로 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였고, 탑승자 안전도를 산출하였다<sup>11)</sup>. 교각 방호 시설물의 주요 부재는 shell 요소를 사용하였으며, 부재의 연결은 빔 요소를 사용하여 볼트연결을 구성하였다. Slave와 Master 접촉면의 마찰 계수는 0.2를

Table 1. Material model(SS400)

| Class           | Input       |
|-----------------|-------------|
| Mass density    | 7.85e-9 Mpa |
| Young's modulus | 204000 Mpa  |
| Poisson's ratio | 0.28        |
| Yield stress    | 280 Mpa     |
| Tangent modulus | 4000 Mpa    |

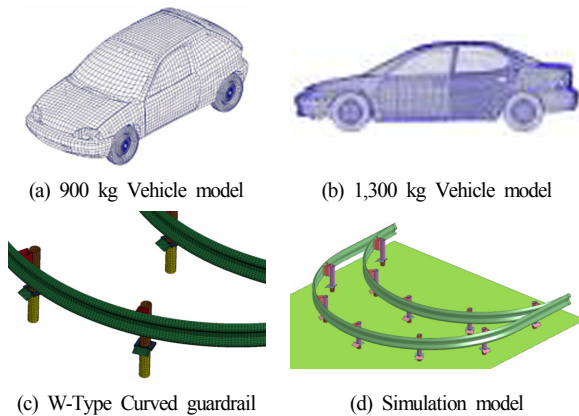


Fig. 2. Simulation configuration.

적용하였다. 시뮬레이션 모델은 도로안전시설과 차량의 부재를 모델링 하고, 차량과 도로안전시설을 3차원으로 모델링 할 수 있는 LS-Dyna를 사용하였다. 충돌 시뮬레이션 해석에 사용한 차량모델은 도로안전시설개발을 위한 성능 모의시험 전반에 걸쳐 활용도가 매우 높은 FE(Finite Element)모델을 사용하였으며, 실물충돌 시험과 유사한 결과를 얻을 수 있도록 개발하였다. Fig. 2-(a), (b), (c), (d)에는 시뮬레이션 모델을 제시하였다.

### 4. 시뮬레이션 결과 및 해석

탑승자 안전도를 확보 할 수 있는 교각 방호시설물의 성능 검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준에 대한 실험조건을 만족하기 위해 충돌 차량 중량 - 충돌 방향 900 kg-정면, 1,300 kg-정면, 900 kg-1/4 offset, 1,300 kg-정면 15° 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행 결과, 4가지 충돌 조건에서 기준치(THIV  $\leq 44$  km/h, PHD  $\leq 20$  g)를 만족하는 결과를 도출했으며, Table 2에 제시하였다. 900 kg-정면 충돌시에는 THIV 39.8 km/h, PHD 17.0 g, 1,300 kg-정면 충돌시에는 THIV 35.2 km/h, PHD 14.9 g, 900 kg-1/4 offset 충돌시에는 THIV 40.3 km/h, PHD 14.9 g, 1,300 kg-정면 15° 충돌시에는 THIV 36.1 km/h, PHD 15.4 g로 도출되었다.

또한, 시뮬레이션에서 나타난 THIV, PHD 변화 및 차량 운동 형태를 충돌 조건에 따라 Fig. 3, Fig. 4에 제시하였다. 각 그래프에 나타난 적색 선은 가상의 탑승자 머리가 차량의 정면으로 60 cm(측면 충돌일 경우 30 cm) 이동한 시간을 의미한다. 즉, 해당 지점에서의 속도가 THIV, 충돌 후 10ms동안의 가속도중 최고치가 PHD를 의미한다. 본 연구에서는 0.1 s~0.2 s 사이에서 THIV 및 PHD가 계산되었다. 900 kg-정면 충돌에서는 교각 방호 시설물은 교각방호울타리의 1열 전면부 지주 3개가 파손되면서 분리되었고, 2단 지주는 분리는 발생하지 않고 일부 파손되는 것으로 나타났으나, 차량을 안전하게 정지시키는 결과가 도출되었다. 시뮬레이션 결과 1,300 kg-정면, 900 kg-1/4 offset, 1,300 kg-정면 15° 조건에서도 동

Table 2. The vehicle crash test result for simulation

| Test | Impact condition |                   | Index value |         |
|------|------------------|-------------------|-------------|---------|
|      | Direction        | Vehicle mass (kg) | THIV (Km/h) | PHD (g) |
| 1    | Head-on          | 900               | 39.8        | 17.0    |
| 2    | Head-on          | 1,300             | 35.2        | 14.9    |
| 3    | 1/4 Offset       | 900               | 40.3        | 14.9    |
| 4    | Head-on 15°      | 1,300             | 36.1        | 15.4    |

일한 결과가 나타남으로써, 본 연구를 통해 개발된 탑승자 보호용 교각 방호시설물은 CC2 등급(주행 비복귀형) 성능 기준을 만족하는 것으로 결론되었다.

### 5. 실물충돌시험 결과 및 해석

본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 탑승자 안전도를

검증한 교각 방호시설물의 실물충돌시험을 수행하였다. 실물충돌시험은 일반 콘크리트 포장면 위에 설치하므로, 콘크리트 포장면에 분리형 하부지주를 항타하였고, 상부지주와 결합한 후 절곡된 W형 레일을 설치하는 형태로 구성하였다. 교각 방호시설물은 5,190 mm(길이), 6,280 mm(폭), 775 mm(높이)의 규격으로, 기초 형식은 콘크리트 기초 분리형지주로 구성되어 있다.

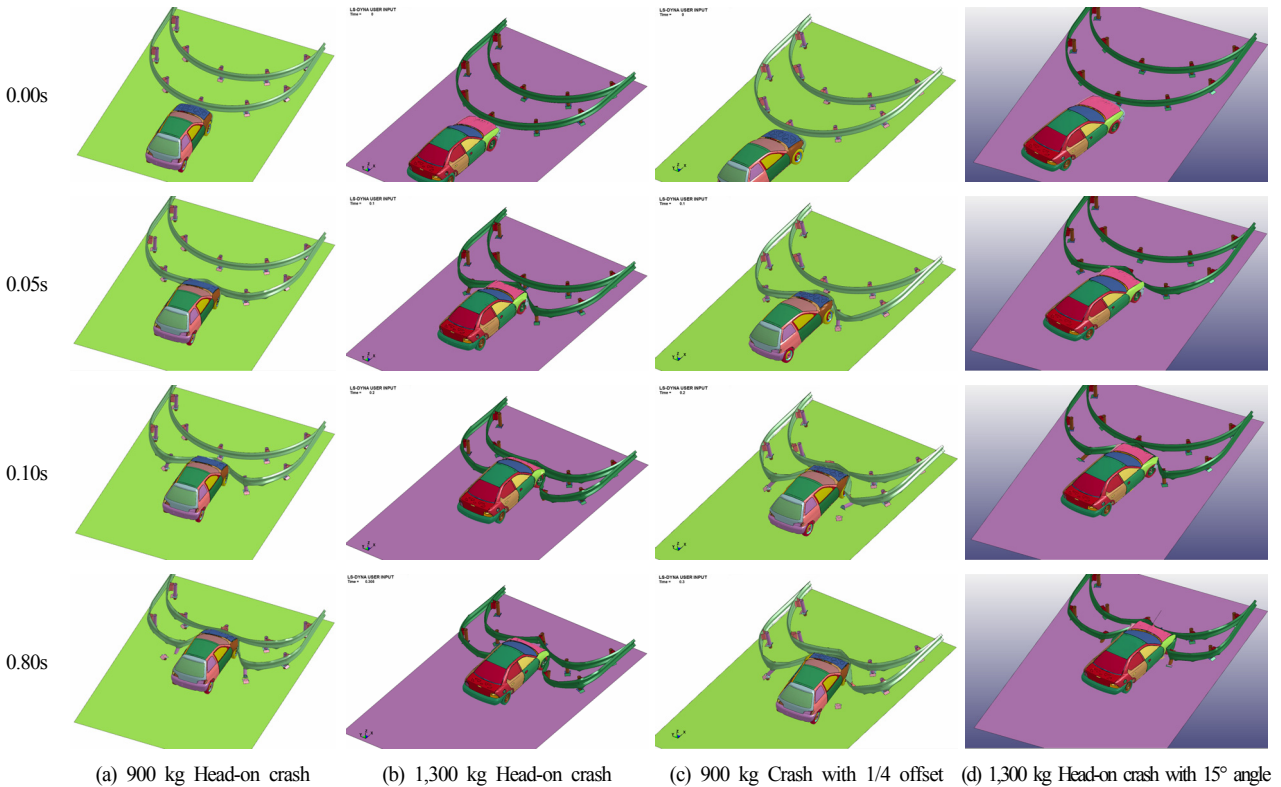


Fig. 3. Vehicle motion in time step for simulation result.

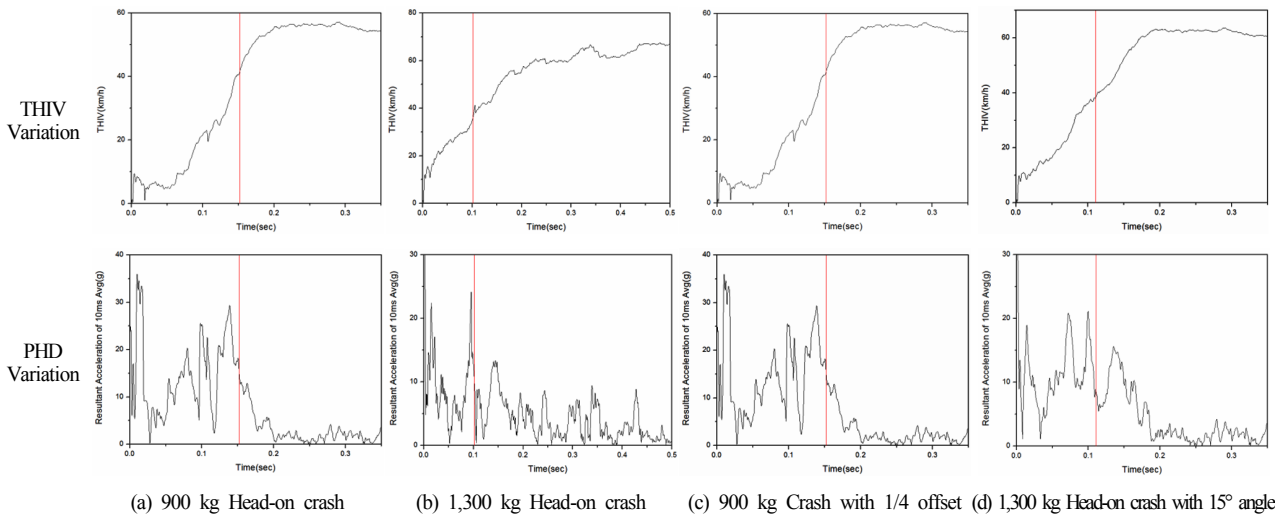


Fig. 4. THIV, PHD Variation of simulation result.

Table 3. The vehicle crash test result for real scale experiment

| Test | Impact condition |                   | Index value |         | Vehicle motion |           |
|------|------------------|-------------------|-------------|---------|----------------|-----------|
|      | Direction        | Vehicle mass (kg) | THIV (Km/h) | PHD (g) | Roll (°)       | Pitch (°) |
| 1    | Head-on          | 900               | 34.0        | 19.0    | -5.8           | -6.9      |
| 2    | Head-on          | 1,300             | 34.0        | 16.0    | 8.4            | -16.8     |
| 3    | 1/4 Offset       | 900               | 39.0        | 16.0    | 17.6           | -21.1     |
| 4    | Head-on 15°      | 1,300             | 34.0        | 13.0    | -4.6           | -8.7      |

한국도로공사 도로교통연구원의 도로안전시설 성능 시험장에서 실물충돌시험을 진행했으며, 탑승자 보호 성능, 충격흡수시설의 거동, 충돌 후 차량의 거동 항목에 대해서 평가하였다. 실물충돌시험은 시뮬레이션에서 수행한 동일한 조건(충돌 속도 : 80 km/h, 차량 중량-방향 : 900 kg-정면, 1,300 kg-정면, 900 kg-1/4 offset, 1,300 kg-정면 15°)으로 진행하였다. 또한, 탑승자보호용 교각 방호시설물의 실물충돌시험을 위해서는 탑승자 보호 성능, 충돌 후 차량의 거동을 통해 성능을 검증하였다.

Fig. 5-(a), (b), (c), (d)에는 실물충돌시험에 따른 교각 방호시설물 상태를 나타내었고, 탑승자 보호 성능에 대한 검증 결과를 Table 3에 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 탑승자 보호용 교각 방호시설물은 4개의 조건에서 탑승자 보호 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 실물충돌시험 결과, 900 kg-정면 충돌 : THIV 34.0 km/h, PHD 19.0 g, 1,300 kg-정면 충돌 : THIV 34.0 km/h, PHD 16.0 g, 900 kg-1/4 offset 충돌 : THIV 39.0 km/h, PHD 13.0 g, 1,300 kg-정면 15° 충돌 : THIV 34.0 km/h, PHD 13.0 g으로 도출되었다. 또한, 차량 충돌 후 차량의 거동은 Roll, Pitch의 회전각, 시설물 좌우 경계선 쪽에 따라

등급 등의 항목으로 검증할 수 있으며, Roll, Pitch의 회전각은 75° 이하를 만족해야 한다. 실물충돌시험 결과, 900 kg-정면 충돌 : Roll -5.8, Pitch -6.9, 1,300 kg-정면 충돌 : Roll : 8.4, Pitch : -16.8, 900 kg-1/4 offset 충돌 : Roll : 17.6, Pitch : -21.1, 1,300 kg-정면 15° 충돌 : Roll : -4.6, Pitch : -8.7로 결과가 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제안하는 교각 방호시설물은 CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준을 만족하는 것으로 결론 할 수 있다.

실물충돌시험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하면 THIV의 경우 시뮬레이션 결과보다 충돌시험 결과가 낮은 경향을 보였고, PHD의 경우 시뮬레이션 결과보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 시뮬레이션에 사용한 차량 FE모델과 실제 충돌시험에 사용한 차량이 상이하기 때문으로 판단된다. 하지만, 시뮬레이션 해석결과와 실제 충돌시험 결과의 차이는 ±10% 이하(900 kg 정면 충돌의 경우 15.7%)로 실제 충돌시험 결과를 적절히 모사한다고 판단된다. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 탑승자 보호용 교각 방호시설물은 CC2등급(주행 비복귀형)의 성능 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

### 6. 결론 및 향후 연구과제

교통사고는 사고발생 유형에 따라 차 대 차, 차 대 사람, 차량 단독사고로 구분되며, 차량 단독사고는 도로변의 공작물과 차량의 충돌사고로 대표 할 수 있다. 차량이 도로변의 공작물과 충돌하는 교통사고가 발생하는 경우에는 전체 교통사고 심각도가 10배 이상 높게 나타나므로, 도로변의 공작물과의 충돌사고를 예방하기 위한 대책이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 차



Fig. 5. Real-scale experiment.

량과 공작물 충돌 사고와 관련하여 탑승자의 안전도를 확보 할 수 있는 교각 방호시설물을 개발하는 연구를 수행하였다. 탑승자 안전도 확보를 위한 교각 방호시설물의 성능 검증을 위한 시뮬레이션 및 실물충돌시험을 수행하였으며, CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준 만족하는지를 검토하였다. THIV, PHD를 이용하여 교각 방호시설물의 성능을 검증했으며, CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준에서 제시하는 실물충돌시험 조건(900 kg-정면, 1,300 kg-정면, 900 kg-1/4 offset, 1,300 kg-정면 15°)으로 시뮬레이션과 실물충돌시험을 수행하였다. 분석 결과, THIV는 44 km/h 이하, PHD는 20 g 이하로 나타났다.

본 연구의 결과를 발전시키기 위하여 향후에는 다음의 내용이 고려되어야 한다. 본 연구에서 제안한 탑승자 안전도를 확보 할 수 있는 교각 방호시설물은 CC2 등급(주행 비복귀형)의 성능 기준을 만족하는 실험으로 연구를 진행하였다. 향후 연구에서는 CC2 등급의 주행 복귀형 성능 기준 조건을 보완하여, 기능적 측면에서 우수한 성능을 확보 할 수 있도록 해야 한다. 또한, 본 연구에서 개발한 탑승자 안전도를 확보하는 교각 방호시설물은 2단의 가드레일 형태로 개발되어 연구가 진행되었다. 그러나, 교각 방호시설물의 실제 설치를 위해서는 방호시설물의 설치 공간이 좁은 공간도 존재하므로, 현장 설치 조건을 고려할 수 있어야 한다.

본 연구의 결과는 차량방호 안전시설과 관련된 도로 안전 분야의 기초연구에 활용 될 것으로 기대된다.

※ 이 논문은 2018년도 한국안전학회 춘계학술대회에서 발표된 내용을 수정·보완하여 완성되었습니다.

**감사의 글** : 본 연구는 국토교통부 교통물류사업의 연구비 지원(18-TLRP-C096228-04)에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1) Samsung Traffic Safety Research Institute, "A Proposal on Road-off Collision Prevention and Damage Mitigation", 2015.
- 2) KoRoad, 2016 Traffic Accident Statistical, 2015.
- 3) J. H. Park and D. G. Yun, "Analysis of Road Cross Section Component Affecting Traffic Accident Severity on National Highway", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 32, No. 6, pp. 143-149, 2017.
- 4) M. J. Ko, K. D. Kim, K. J. Kim, J. G. Sung and D. G. Yun, "Crash Worthiness of a Post with Clip-Type Slip base Subject to Side Impact", Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 12, No. 4, pp. 175-186, 2010.
- 5) D. Y. Jang, M. G. Ko, J. W. Joo and D. Kim, "Transforming Test Data of an Impact to a Crash Cushion into the Data of Different Impact Condition", Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 4, pp. 197-206, 2012.
- 6) J. W. Joo, D. Y. Jang and J. J. Park, "A Study on the Development and of Establishment Performance Evaluation Criteria of Working Truck Mounted Attenuator", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 27, No. 6, pp. 185-191, 2012.
- 7) MLTM, Guideline for Road Restraint System, 2016.
- 8) AASHTO, "Roadside Design Guide", 2011.
- 9) European Committee for Standardization, "Road Restraint System", 2010.
- 10) NCHRP Report 350, "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features", National Cooperative Highway Research Program, 1993.
- 11) K. D. Kim, M. G. Ko, and M. K. Nam, "Data Processing and Numerical Procedures Influencing on Occupant Risk Indices", International Journal of Highway Engineering, Vol. 9, No. 4, pp. 215-126, 2007.