



## 소형표지판 지주와 차량의 충돌해석에 관한 연구

### Study on the Analysis of Vehicle Impact to Small Sign Support

고만기\*                      김기동\*\*                      성정곤\*\*\*                      윤덕근\*\*\*\*  
Ko, Man Gi                      Kim, Kee Dong                      Sung, Jung Gon                      Yun, Duk Geun

#### Abstract

Barrier VII program is normally used for the design of flexible barrier, but if modelled properly it can be used for the analysis of vehicle impact to small sign posts. In this paper sign post is shown to be modelled as flexible barrier by combining beam and column elements at each beam node. Simulations with the Barrier VII program have been made for 7 impact cases composed of sign posts of circular and H section with rigidly connected support and breakaway support system. The impact speed used for the simulation ranged from 30km/h to 110km/h. The study shows that in the vehicle impacts to a circular sign post with high speed, the large deflection and high inertia force causes the sign plate to hit the windshield leading to a hazard to the occupants. It is also shown that impact to H section post results in small deflection of the post and abrupt velocity change and high deceleration of the impact vehicle causing severe damage to both the vehicle and occupants. Simulation study also shows that breakaway support system eliminates the potential danger of the vehicle impact to the rigidly connected small sign posts by reducing deflection of the post, abrupt change in velocity and deceleration level.

**keywords :** *small sign support, impact analysis, breakaway support, barrier VII*

#### 요 지

원형 혹은 H형 단면의 표지판 지주에 소형차가 충돌할 때 차량 및 지주의 거동을 확인하기 위하여 Barrier VII 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 이 프로그램은 연성 베리어에 충돌하는 차량의 운동과 베리어의 변위를 해석하는 프로그램이나, 지주를 수평 빔 요소로 하고 각 노드에 강성을 조절한 기둥 요소로 연결함으로써 소형지주에 대한 충돌해석이 가능함을 보였다. 0.9ton 소형차가 기초와 강결된 파이프형태의 소형 지주에 30km/h, 60km/h, 70km/h 110km/h의 속도로 충돌하는 경우, 0.9ton 소형차와 1.35ton 중형차가 기초에 강결된 H형 단면 지주에 110km/h의 속도로 충돌하는 경우, 그리고 0.9ton 소형차가 분리되는(slip base) 형태로 기초에 연결된 파이프형태의 소형 지주에 110km/h의 속도로 충돌하는 경우 등 총 7가지 경우에 대한 시뮬레이션을 실시하여 지주의 변형과 충돌차량의 거동을 분석하였다. 시뮬레이션을 통하여 고속충돌 시 기초에 강결된 원형지주의 경우 과도한 휨 변형으로 표지판과 차량 전면부와의 충돌위험성이 있고 H형 지주와 같이 비교적 큰 표지판용 지주는 소형차 충돌 시 지주의 변형은 거의 없고 차량에 가해지는 충격력, 지주가 과도하게 차체 안으로 침투할 위험성이 크다는 사실과 breakaway 장치로 단부처리를 하는 경우 위험이 줄어들 수 있음을 확인하였다.

**핵심용어 :** *소형지주, 충돌해석, breakaway 지주단부, barrier VII*

- \* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수·공학박사
- \*\* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수·공학박사
- \*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원·공학박사
- \*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원



## 1. 서론

차량의 안전을 위해서는 도로변에 구조물이 없는 것이 좋지만, 표지판, 조명시설, 신호등, 비상전화, 전신주 등 기능상 혹은 지형여건상 도로변에 꼭 필요한 시설들이 있다. 그런데, 국내에서 1988년부터 2004년 사이에 발생한 단독교통사고 중에서 전신주, 표지, 중앙분리대, 안전섬 등 도로변의 고정시설물과 충돌한 사고는 전체사고의 33%를 차지하고, 그 중에서도 전주와 표지판 등과 충돌한 경우에는 20%이상의 높은 치사율을 보이고 있다(도로교통안전관리공단, 2005). 따라서 도로변에 설치된 각종 지주에 대한 안전대책이 노변안전 설계에서 중요한 요소로, 도로설계 시 주어진 여건에서 도로변 안전을 도모하여야 한다. 도로변의 안전을 확보하는 방법은, 1) 모든 노변 시설물을 제거 2) 노변 시설물을 부딪쳐도 안전하게 설계 3) 시설물을 부딪칠 위험이 적은 곳으로 이전설치 4) 지주에 특별한 장치를 설치하여 충돌 시 위험도를 경감 5) 노변 시설물의 제거, 이전 설치, 특별한 장치의 설계가 어려운 경우에는 시설물 주변에 종 방향 방호시설을 설치하는 방법 등이 있다. 모든 노변 시설물을 도로 노변 밖에 설치하는 것이 노변 안전에 가장 확실한 해법이 되겠으나, 표지판, 신호등, 조명주 등의 시설물은 제거능을 하기 위해서 도로변 가까이 위치해야 한다. 이러한 어려움을 해소하기 위해서 미국에서는 1960년대 중반부터 breakaway sign support 개념이 개발되어 대부분 도로변 표지 지주나 조명주 등에 사용되고 있다. breakaway sign support는 지주와 기초의 연결부를 강결하는 대신 풍하중에 대한 구조적 안전성은 확보하면서 충격하중 작용 시 연결부가 분리되어 소형차의 충돌에 대한 충격력, 또는 속도변화를 최소화시킴으로써 탑승자의 위험요인을 제거하는 개념으로, 여러 가지 특별한 장치가 고안되어 1975년에는 이미 AASHTO의 설계기준으로 채택되었다.(AASHTO, 1975). breakaway sign support를 설계하기 위해서는 지주와 차량의 충돌에 대한 거동을 이해하여야

하며, 이를 위해 일반 차량방호 안전시설 설계와 마찬가지로 충돌실험이 필수적인 절차로 되어있다. 그러나 고가의 충돌실험 횟수를 줄이기 위하여 다른 해석 방법이 강구 되었는데 대표적인 것이 강체 운동 모델이다.

1968년 Texas 교통연구소(Texas Transportation Institute)는 Texas 교통부(Texas Department of Transportation)와 H형 단면을 갖는 표지판 기둥의 단부장치를 개발하였는데 개발과정에 breakaway 장치를 갖는 지주의 충격에 대한 거동을 이해할 수 있는 수학적 모델을 고안하였다(Rowan et al., 1965). 이 모델에서 지주는 표지판을 기점으로 상단부와 하단부로 나누고 상하단부 사이에 힌지가 있으며 상단부의 지주는 표지판에 고정된 것으로 보았다. 하단부는 단부와 기초 사이에 분리(slip)가 일어나는 마찰판으로 모델하고 분리가 일어나는 동안 일정한 마찰력이 작용하였다. 여기서 지주 하단부의 회전각과 충돌차량의 이동을 미지수로 차량과 지주하단부의 운동방정식을 세우고 초기조건을 이용하여 방정식을 수치 적분하였다.

이와 유사한 연구로 Martinez과 Hairston(1972)의 비상전화용 지주에 대한 충돌연구가 있었다. 여기서 비상전화용 지주는 2개의 직선운동 자유도와 한 개의 각운동을 나타내는 자유도를 갖는 강체로 모델하고, 질량과 스프링으로 구성된 1자유도의 Mass-spring system으로 나타낸 차량의 충돌에 의하여 강체운동을 하는 것으로 묘사하였다. 이러한 해석법은 이미 취성기초(brittleness base)에 연결된 표지판용 알루미늄 지주, 가로등, 문형 표지판지주 해석에도 성공적으로 적용된 바 있었다(Martinez et al., 1971). 그러나 이 해석법의 한계는 지주를 강체로 보고 있다는 점이다. 이는 H형 지주 두 개를 갖는 복주식 지주의 해석에서는 적당한 방법이고, 특히 미끄럼 고정부가 있는 구조의 해석에만 유효하다. 즉, 이 해석법의 경우 고정지주로 인한 피해라든가 소형지주의 충돌 시 대변위와 이로 인한 위험도를 해석하지 못 하고 있다.

최근에는 해석기술의 발달로 LS-DYNA3D 같은 프로그램이 개발되어 지주의 충돌해석에 사용되고 있다(Reid and Paulsen, 1998). 그러나 이 프로그램은 충돌 시 지주의 변형을 포함하는 충돌상황을 정밀하게 묘사해 주는 대신 정확한 해석을 위한 입력 데이터 작성 및 해석이 어렵고 해석시간이 길기 때문에 설계에 쉽게 이용하는데 한계가 있다.

본 연구는 breakaway sign support 초기 개발 단계에서 사용되었던 강체해석 모델이 지주의 변형을 고려하고 있지 못하는 한계와, 범용 프로그램인 LS-DYNA3D가 갖는 입출력 데이터 작성 및 해석상의 난이도, 긴 해석시간의 문제를 극복하기 위하여 방호시설(barrier) 설계에 널리 사용되고, 도로안전시설 전문가에게 친숙하여 입출력이 비교적 용이하며, 해석결과에 대한 신뢰도가 충돌실험을 통하여 오랜 기간에 걸쳐 입증된 Barrier VII 프로그램이 표지판용 지주의 충돌해석에 이용될 수 있는지 그 가능성과 한계를 탐색하고자 하였다. 표지판은 크게 문형식 표지판, 노측에 설치되는 대형 표지판, 소형 표지판으로 나눌 수 있는데 본 연구는 노측에 설치되는 소형 표지판으로 단주식 및 복주식 지주에 대하여 Barrier VII 해석을 위한 모델링 방법, 시뮬레이션, 해석결과를 통해 기존 단부가 지주-차량간의 충돌 위험, Breakaway support system의 필요성 및 기능을 보이고자 하였다.

국내 표지기준에는 소형, 대형표지를 구분하지 않았으며, 단지 표지의 구조적 안전성을 확보하기 위하여 표지를 소형 도로표지와 대형 도로표지로 구분하였다(건설교통부, 2006). 이 연구에서는 소형표지의 경우 소형표지판은 한 개 혹은 두 개의 지주로 지지된 면적 5m<sup>2</sup> 이하의 표지판으로 가정하였다. 소형차량의 저속충돌 시에 과도한 속도변화를 줄 수도 있고 고속충돌 시에는 표지판의 관성력으로 지주 하단부가 꺾이면서, 표지판의 높이에 따라서, 표지판이 소형차의 전면부 유리와 충돌할 위험이 있어 소형표지 일 경우에도 차량충돌시 차에 큰 피해를 줄 수 있다. 반면에 H형 지주와 같이 비교적 큰 표지판용 지주는

소형차 충돌 시 지주의 변형은 거의 없으나, 충격량이 차량에 전달되어 차량에 가해지는 충격력, 표지의 관통이 문제가 된다. 그림 1은 H형강으로 설계된 지주에 눈길에 미끄러진 승용차가 회전하면서 지주 측면에 충돌한 사고현장으로 지주가 차량에 어떤 피해를 주는지를 잘 보여주고 있다. 그림 2는 breakaway 기능이 있는 지주에 충돌하는 경우 지주가 분리되는 원리를 보여주고 있다.



그림 1. 지주 충돌사고(2006년, Canada Saskatoon)

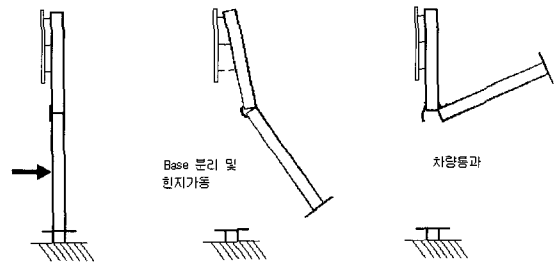


그림 2. 분리(breakaway) 기능이 있는 지주에 차량 충돌 시 작동 원리

## 2. 시뮬레이션 절차 및 방법

원형 혹은 H형 단면의 표지판 지주에 소형차가 충돌할 때 지주 및 차량의 거동을 살펴보고 breakaway support의 필요성을 확인하기 위하여 Barrier VII 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 이 프로그램은 연성 방호시설에 충돌하는 차량

의 운동과 차량방호 안전시설의 변위를 해석하는 프로그램이나, 수직의 지주를 수평으로 생각하면 차량의 충돌로 인한 지주의 거동을 볼 수 있다. 본 연구에서는 지주 충돌 상황의 모델링, 원형지주에 대한 저속과 고속충돌 시뮬레이션 및 H형 지주에 대한 충돌, breakaway 단부 설치 시 충돌 시뮬레이션을 통하여 지주가 강결합 되었을 때의 문제점, breakaway 설치의 효과를 나타내고자 하였다.

시뮬레이션 수행시 동적효과, 대변형과 재료의 비선형 거동 등이 모두 고려되어야 함은 물론이고 동적하중을 분명하게 나타내야 하며, 자동차와 구조물 사이의 힘의 평형 조건과 적합 조건 등을 만족해야만 하기 때문에 자동차와 방호시설간의 상호작용을 컴퓨터를 사용하여 모사 한다는 것은 매우 복잡하다. 이러한 문제의 복잡성 때문에 모든 충돌현상을 해석할 수 있는 범용 프로그램을 개발하는 것은 매우 어렵고 사용에도 전문성을 필요로 한다. 하지만 자동차와 방호 구조물간의 충돌 같은 특수한 경우의 충돌에 국한된 해석 프로그램은 개발이 가능하고 이미 미국에서는 1970년대 중반부터 개발되어 왔다. 그 중 하나가 방호시설과 차량충돌 전용해석 프로그램인 Barrier VII인데 그 동안 해석 결과에 대한 많은 검증이 되어왔다. Barrier VII 프로그램의 내부에서 사용된 해석기법과 그 제한 사항은 다음과 같다(Powel, 1973).

- (1) 구조물은 임의 형상의 2차원 구조의 프레임으로 이상화된다.
- (2) 여러 요소를 복합적으로 사용할 수 있는데 보, 케이블, 용수철, 기둥, 점성감쇠, 마찰감쇠, 지주 등의 요소가 사용 가능하다. 2차원 및 3차원 요소는 없지만 2차원 요소의 경우는 1차원 요소들의 적절한 조합으로 고려할 수 있고 3차원 효과는 2차원 해석결과를 검토함으로써 고려할 수 있다.
- (3) 각 부재의 복잡한 비선형 거동을 정의할 수 있고 부재의 항복거동은 Bilinear 탄소성 (Bilinear Elastic-Plastic) 관계로 모델링된다.

- (4) 차량은 비탄성 용수철로 둘러싸인 임의의 형상을 가진 강체로 모델링된다.
  - (5) 구조물과 자동차의 충돌작용 발생 부분이 미리 정의되어 있어야 한다.
  - (6) 해석은 수평면에 있어서의 2차원 해석이다. 자동차나 구조물의 수평면 외 변형은 고려되지 않는다.
- 이 프로그램은 크고 복잡한 방호시설의 해석을 수행할 수 있게 효율적으로 Fortran으로 코딩 되어있다. 또, Barrier VII은 방호시설의 설계 개념들을 비교하거나 예비설계의 제안에 사용될 수 있고, 특정 실험조건인 실험실에서의 대상 구조물들에 대하여 프로그램이 좋은 결과를 도출할 경우, 다른 실험조건에서의 시설물 거동을 예측할 수 있어 실험실험 횟수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 해석이 실행되기 전에 방호시설 요소들의 특성을 알아야 사실에 가까운 해석이 가능하나, 이러한 특성들을 정확히 산정하기가 어렵고, 또 방호시설의 거동이 전체적인 형태보다는 방호시설의 국부적인 설계에 훨씬 영향을 받기 때문이다 시뮬레이션 결과들을 주의 깊게 판단해야 하는 주의가 요구된다.

Barrier VII에 사용 가능한 요소는 보요소, cable 요소, 기둥요소, 용수철요소, 마찰감쇠요소, 점성감쇠요소, 지주요소, 힌지요소 등이 있고 이상의 요소들을 조합하여 사용할 수도 있다. 이 프로그램은 동적단계해석(Dynamic step-by-step analysis)을 수행하고 일정 시간 동안에 구조물과 차량이 선형거동을 하는 것으로 생각하고, 각 시간 간격에서의 (1) 차량과 구조물의 그 시간 단계에서의 위치, 속도, 가속도 (2) 차량과 구조물의 접촉면의 법선 및 접선방향 마찰력 (3) 각 부재의 부재력을 결정하는데 그 과정은 다음과 같다.

- 단계 1) 각 부재의 축력 및 굽힘 모멘트를 구하고, 그 부재의 응력상태가 탄성영역인지 소성영역인지를 결정한다.
- 단계 2) 각 부재의 강성행렬, 변형 형상을 조합하고 만약 항복한 부재라면 강성을 제거한다. 이

강성행렬은 관성, 점성감쇠효과를 고려하도록 변형된다.

단계 3) 전 단계에서 구한 차량과 방호시설 사이의 상호 작용력을 사용하여 두 물체가 독립적으로 거동하는 것처럼 해석하고 차량과 방호시설의 변위를 계산한다.

단계 4) 두 물체가 독립적으로 거동한다고 가정하고 해석을 하였으므로 두 물체 간에 겹침이나 분리현상이 일어난다. 즉, 각 물체에 작용하는 등적하중은 하중의 증가분뿐만 아니라 두 물체의 접촉, 분리에 의해 증감되므로 다음과 같이 보정해 주어야 한다. 단계 3)에서 계산한 결과에서 접촉면을 검사하고 새로운 차량에 대한 방호시설 접촉면을 계산한다. 이 결과를 이용하여 새로운 접선 및 법선방향 마찰력을 계산한다. 이동한 차량의 위치에 대한 새로운 접촉면에서의 새로운 접촉하중을 전 단계의 접촉하중 대신 넣어준다. 이 새로운 하중에 대한 구조물의 새로운 변형이 단계 4)에서 구한 변형에 더해진다. 새로운 차량의 위치와 차량에 대한 접촉하중도 다시 결정된다.

단계 5) 단계 4)에서의 차량 및 구조물의 위치는 접촉력이 일정하다는 가정에서 유도된 것이므로 아직 기하학적 적합조건은 만족되지 않았다. 모든 차량의 절점이 접촉될 수 있다는 가정하에 유연도 행렬을 이용하여 새로운 절점의 위치를 찾아낸다. 만약 접촉력이 인장력으로 계산되는 절점이 존재한다면 그 점의 하중은 전 단계의 하중만큼을 빼준 후 다시 계산하게 된다.

단계 6) 현 시간 간격에서 변화된 변위는 단계 4) 및 단계 5)에서의 값들을 모두 더해서 구하게 된다. 또한 가속도, 속도축력, 굽힘 모멘트의 변화량이 다시 계산되고 다시 단계 1)로 되돌아가서 다음 단계의 시간에 대한 계산을 반복하게 된다.

이 해석과정의 정확도는 시간 간격의 크기에 좌우되고 시간 간격의 크기는 사용자가 정의하게 되어 있으므로 수행시간과 정확도간의 상호관계와 해의 수렴성을 고려하여 정해 주어야 한다. 강성행렬은 접선 강성행렬(tangent stiffness matrix)을 사용하여 시간적분방법은 implicit 방법 중에서 Newmark, Wilson 방법을 주로 사용하고 추가로 고안된 적분법을 사용하고 있다.

### 3. 표지판 지주의 모델링

도로표지판 설치규격은 설치높이의 기준으로 일반 도로의 복주식 표지판 설치높이를 200cm로, 주의, 규제, 지시표지판 및 보조표지의 높이를 190cm로 규정하고 있다(건설교통부, 2006). 한편 지주의 직경은 단일 지주에 한 개 이상의 표지판이 부착된 경우 호칭경 80(외경 89.1mm, t=4.05mm), 1개의 표지판 부착 시는 직경 호칭경 60(외경 60.5mm, t=3.65mm)를 사용하도록 되어있다(건설교통부, 2006). 이 규격을 기준으로 가장 일반적인 소형 지주형태로 높이 190cm, 호칭경 60mm의 표지판을 그림 3과 같이 방호시설 형태로 모델링 할 수 있다.

지주는 14개의 node, 즉, 13개의 beam 부재로 구성한다. 범퍼와 직접 접촉하는 지표면으로부터 범퍼와 지주의 접촉부를 제외하고는 21.11cm의 길이로 하고 지표면으로부터 42.22cm~84.46cm 높이의 접촉부에서는 길이 7.04cm의 빔 요소 6개로 모델링 하였으며, 각각의 빔은 탄성계수  $E=2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 (=30,000 \text{ksi})$ , 항복응력  $2,520 \text{kg/cm}^2 (=36 \text{ksi})$ 의 완전 탄소성 재료로 보았다. 표지판은 마지막 빔 요소의 단위 길이 당 무게를 나머지 빔 요소의 단위 무게인 4.97kg/m의 3배로 함으로써 고려하였다. 지주를 나타내는 각 빔 요소의 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14 node에 Barrier VII의 지주요소로 지점을 표시하였다. 최초의 지점으로 사용된 지주 요소는 강결된 상태를 나타낼 수 있게 A, B 두 주축

의 강성도(stiffness)를 1000klb/in(17857.97ton/m)로 하였고 항복 모멘트(yield moment)는 10000klb·in(11.52ton·m), 전단 파괴 기준을 10000klb(4.536ton), 및 10000in(254m)로 함으로써 무한 강성을 갖도록 하였다. 나머지 지점을 나타낸 지주요소의 강성은 주축에 대한 강성도는 1번 post 요소의 1.0<sup>4</sup>배로 하고, 항복 모멘트 및 전단 파괴기준은 1.0<sup>6</sup>배로 함으로써 자유지점 상태를 나타내고자 하였다.

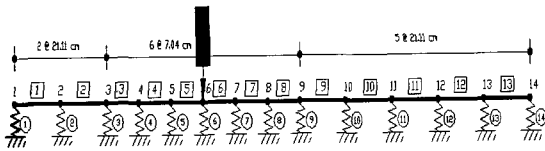


그림 3. 표지판 지주의 해석 모델

일반적으로 방호시설과 차량의 충돌 시 차량 범퍼가 방호시설과 동일선상에 있게 된다. 그러나 실제 상황에서는 표지판 기둥과 차량이 충돌할 때는 범퍼와 방호시설로 표현된 지주가 서로 교차상태로 된다. 이러한 상황을 구현하기 위해서 차량은 폭이 범퍼높이에 해당하는 61cm(24in), 길이 152cm(60in)인 사각형으로 하고 이 사각형은 11개의 접촉 노드(interface node)로 구성하였다. 무게는 소형차 무게인 0.9ton 혹은 1.3ton으로 하고 Moment of Inertia는 일반적으로 소형차와 방호시설 충돌 시 사용하였던 21890 kg.cm.sec<sup>2</sup>(=19000 lb.in.sec<sup>2</sup>)를 사용하였다. 접촉 노드의 스프링 상수도 일반적인 방호시설과 차량충돌 시뮬레이션에서 사용한 값을 사용하였는데, 그 값은 bottoming 이전에 0.8k/in/in(=56.25kg/cm/cm), bottoming 이후에 5.0k/in/in(=350kg/cm/cm), 제하시 30.0k/in/in(=2100kg/cm/cm)이고 bottoming 거리는 0.025cm로 하였다. 결과는 차량의 무게중심을 r, s 좌표계의 원점으로 하여 0.0001초 마다 차량의 운동 궤적과 속도 가속도, 이를 이용하여 지주의 변위를 구하여 그래프로 나타냈다.

지주를 수평으로 시공된 방호시설로 보고 시물레이션하는 경우 수직으로 서있는 지주에 충격이 가해지는 것과 다른 점은 시물레이션이, 실제 상황에서 충격점에 형성된 힌지와 표지판의 관성으로 인하여 상단이 차량 전면 유리창쪽으로 기우는 경우에 표지판과 지주에 작용하는 중력의 영향을 무시하고 있다는 점과, 수직으로 서있는 지주에 차량이 충돌할 경우 차량이 지면을 따라 평행 이동하므로 차량의 서스펜션을 고려하지 않는 한 가능하지 않은 rolling이 시물레이션에서 yawing으로 나타날 수 있다는 것이다. 이러한 문제점에도 불구하고 대변위 충돌해석이 가능하여 충돌 시 지주의 대변위로 인한 위험도를 살펴볼 수 있다는 면에서 실용적인 의미를 가진다. 아래의 시물레이션은 지주 충돌 시 위험도를 정성적으로 살펴보기 위한 것으로 0.9ton 소형차가 기초와 강결된 파이프형태의 소형 지주에 30km/h, 60km/h, 70km/h 110km/h의 속도로 충돌하는 경우 지주의 변형과 충돌차의 속도 및 가속도 변화, 0.9ton 소형차와 1.35ton 중형차가 기초에 강결된 H형강(150×75×5×8mm)지주에 110km/h의 속도로 충돌하는 경우 지주의 변형과 충돌차의 속도 및 가속도 변화 그리고 0.9ton 소형차가 slip base 형태로 기초에 연결된 파이프형태의 소형지주에 110km/h의

표 1. 소형 표지판 지주와 차량충돌 시뮬레이션 요약

Name	차량 무게 (ton)	충돌 속도 (km/h)	지주형상			기초연결		시뮬레이션 결과	
			O형강 (O)	H형강 (H)	고정식 (F)	분리식 (Slip) (S)	변형	충돌차량 속도 및 가속도	
OF0.9/30	0.9	30	O		F		그림 4	그림 5	
OF0.9/60	0.9	60	O		F		그림 6	그림 7	
OF0.9/70	0.9	70	O		F		그림 8	그림 9	
OF0.9/110	0.9	110	O		F		그림 10	그림 11	
HF0.9/110	0.9	110		H	F		그림 12	그림 13	
OF1.35/110	1.35	110	O		F		그림 14	그림 15	
OS0.9/110	0.9	110	O			S	그림 16	그림 17	

\* OF: 원형 고정식 지주  
 HF: H형강 고정식 지주  
 OS: 원형 slip base형 지주

속도로 충돌하는 경우 지주의 변형과 충돌차의 속도 및 가속도 변화를 각각 보여주고 있다.

시뮬레이션 matrix를 요약하면 표 1 과 같다.

## 4. 충돌해석 결과

### 4.1 OF0.9/30

그림 4는 직경 60mm의 원형 지주에 0.9ton 소형차가 30km/h의 속도로 충돌하는 것을 모사한 것이다. 충돌초기 충돌지점으로부터 상단부가 그래프의 하단으로 휘어지는 것을 볼 수 있는데 표지판 및 충돌지점 상단지주의 무게로 인한 관성 때문이다. 0.05초 후에는 이 관성이 거의 사라지는 것으로 보인다. 그러나 그 관성으로 인한 변형량이 미미하기 때문에 이 변형으로 표지판이 차량 전면 유리를 파고 들 가능성은 많지 않다. 0.01-0.03sec 사이에 지점과 충돌지점 부위에 힌지가 형성된다. 이후 0.19sec까지 지주가 약 70cm 변형되는데 1번 및 2번 부재에 큰 인장변형이 있음을 알 수 있다. 0.01초 이후에 지주의 충돌 포인트가 Node 번호 6에서 점차 위로 올라가는 것을 볼 수 있다. 이는 충돌이 진행되면서 지주가 차량 밑으로 밀려들어가는 것을 나타낸다. 이

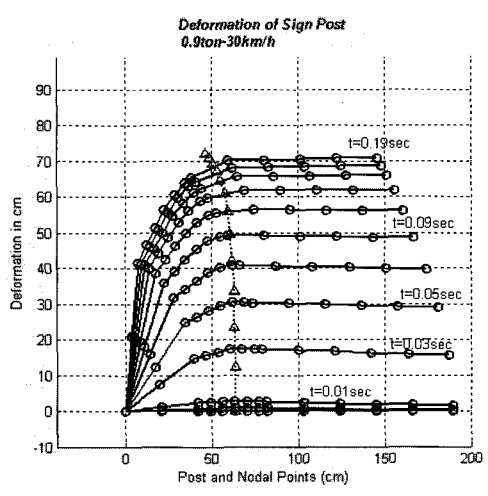


그림 4. 지주의 변형 (0.9ton-30km/h)

결과 0.19초에서는 9번 Node가 이미 충돌점의 아래에 위치한다. 그림 5에서 차량속도는 0.14초 까지 5km/h로 급격하게 감소하다 이후 완만한 감소를 거쳐서 0.3초에 정지하는 것으로 나타났다. 직경 60mm인 소형 표지판용 원형지주는 지지점으로부터 범퍼의 접촉점까지 점진적인 소성파괴를 거치는 동안 30km/h로 충돌하는 차량을 정지시키게 된다는 것을 알 수 있다. 최대 감가속도는 0.1초에서 6.5g 정도이다.

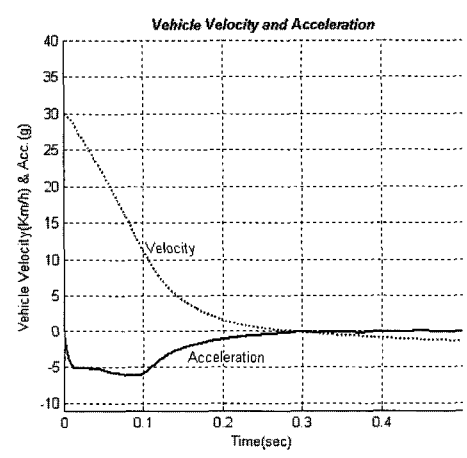


그림 5. 충돌차량의 속도 및 가속도 (0.9ton-30km/h)

### 4.2 OF0.9/60

원형지주에 0.9ton 소형차가 60km/h의 속도로 충돌하는 것을 시뮬레이션 한 것이다. 충돌초기 충돌 지점으로부터 상단부가 그래프의 하단으로 휘어지는 것을 볼 수 있는데 표지판 및 충돌지점 상단지주의 무게로 인한 관성 때문이다. 그러나 관성으로 인한 변형이 충돌속도 30km/h인 경우에 비하여 특별히 큰 차이를 보이지는 않는다. 0.05초 후에는 이 관성이 거의 사라지는 것으로 보인다. 그러나 그 관성으로 인한 변형량이 미미하기 때문에 이 변형으로 표지판이 차량 전면부 유리를 파고 들 가능성은 많지 않다. 충돌 직후 지점에서, 0.03초경에는 범퍼 주변의 노드에서 힌지가 발생하고 충돌지점의 힌지는 표지판 아래쪽으로 이동해 가는데 지주가 차량 아래에 깔

리는 상황임을 의미한다. 0.19초에는 11번 부재의 대부분이 범퍼의 충돌지점 밑으로 들어가 있음을 볼 수 있고 이때의 수평방향 최대변형이 1.2m에 이르렀다. 범퍼 밑으로 들어간 부재에서 큰 축방향 변형이 일어나고 있음을 볼 수 있다.

충돌속도는 0.12초까지 13km/hr로 급감하다가 이후 서서히 감소하여 0.35초 후 차량이 완전히 멈춤으로써 운동이 종료되었다. 따라서 직경 60mm인 소형표지판용 원형지주는 지지 점으로부터 범퍼의 접촉점까지 점진적인 소성과괴를 거치는 동안 60km/h로 충돌하는 차량을 정지시키게 된다는 것을 알 수 있다. 최대 감속도가 충돌 후 0.05초에 17g로 비교적 크게 나타났다.

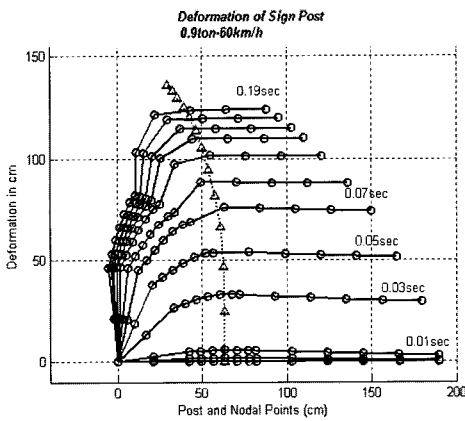


그림 6. 지주의 변형 (0.9ton-60km/h)

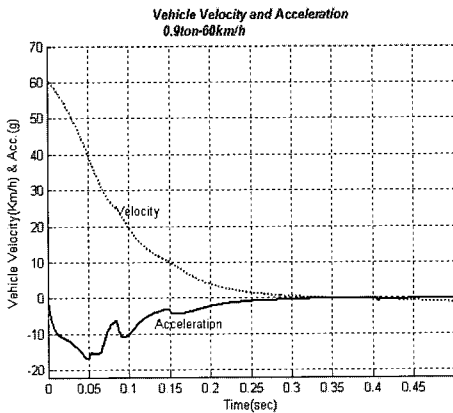


그림 7. 충돌차량의 속도 및 가속도 (0.9ton-60km/h)

### 4.3 OF0.9/70

직경 60mm인 원형지주에 0.9ton 소형차가 70km/h의 속도로 충돌하는 것을 시뮬레이션 한 것이다. 충돌초기 충돌지점으로부터 상단부가 그래프의 하단으로 휘어지는 것을 볼 수 있는데 표지판 및 충돌지점 상단지주의 무게로 인한 관성 때문이며, 관성으로 인한 변형이 충돌속도 30km/h 및 60km/h에 비하여 상당히 크게 나타났다. 범퍼 밑으로 들어간 부위와 범퍼 하단과의 간섭으로 인하여 0.025sec 이후 수치 해석상의 불안정 문제가 나타났다. 따라서, 속도, 가속도, 지주의 변형은 0.025초까지만 나타내었다. 0.025초까지의 변형 형상은 관성의 영향이 크게 나

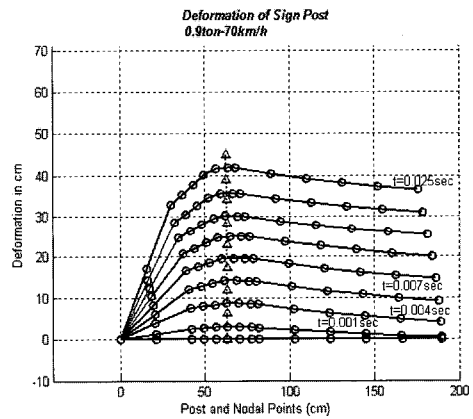


그림 8. 지주의 변형 (0.9ton-70km/h)

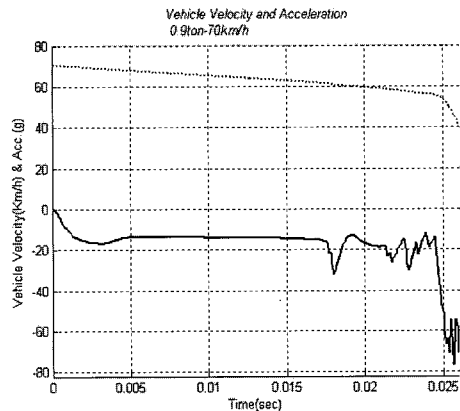


그림 9. 충돌차량의 속도 및 가속도 (0.9ton-70km/h)





타나고 이로 인하여 충격점 근처의 곡률이 크게 나타난 것을 제외하고는 60km/h 충돌의 경우와 비슷한 것으로 나타났다.

0.025sec 이전의 변형을 관찰하면 충돌속도가 증가함에 따라 관성의 영향이 크게 나타나고 평균 감가속도도 15g 이상임을 관찰 할 수 있다.

#### 4.4 OF0.9/110

직경 60mm인 원형지주에 0.9ton 소형차가 110km/h의 고속으로 충돌하는 것을 시뮬레이션 한 것이다. 충돌 초기 충돌지점을 중심으로 상 하단부가 크게 휘어지는 것을 볼 수 있는데 표지판 및 지주의 무게로 인한 관성력을 극적으로 볼 수 있다. 지주와 범퍼 상하단의 간섭으로 인하여 0.004sec 이후 수치해석상의 불안정 문제가 나타났다. 0.004초까지의 변형 형상은

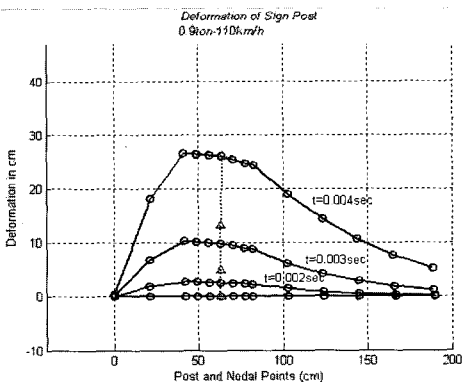


그림 10. 지주의 변형 (0.9ton-110km/h)

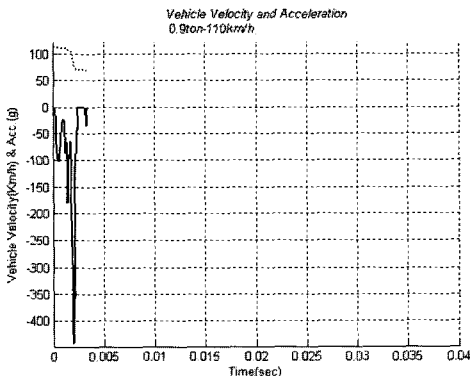


그림 11. 충돌차량의 속도 및 가속도 (0.9ton-110km/h)

관성의 영향이 크게 나타나고 지점과 충격 점에 발생한 힌지를 중심으로 상단부의 관성의 영향이 급격히 증가하여 표지판이 차량으로 돌진하고 있음을 짐작할 수 있다. 차량속도는 0.0025초에서 24km/h로 짧은 시간동안 크게 감소함을 볼 수 있고, 이 사이에 평균 80g 정도의 큰 감가속도가 있음을 알 수 있다. 이 시뮬레이션 결과는 소형지주에 고속충돌 할 때의 급격한 속도변화나 큰 가속도 외에도 과도한 변형으로 인하여 표지판이 차량 전면부 유리창과 충돌함으로써 생길 수 있는 위험을 보여주고 있다.

#### 4.5 HF0.9/110

0.9ton 소형차가 H형강(150×75×5×8mm)으로 구성된 문형표지판의 한쪽 지주에 고속충돌하는 경우를 시뮬레이션 한 것이다. 충돌지점에 약간의 변형

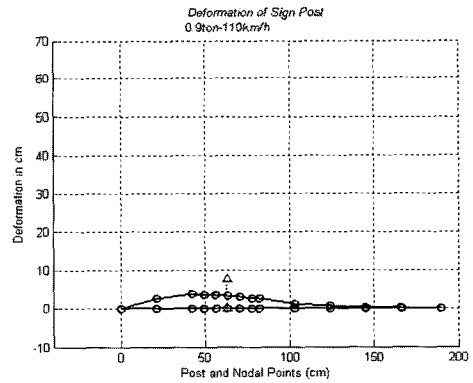


그림 12. 지주(H형강)의 변형 (0.9ton-110km/h)

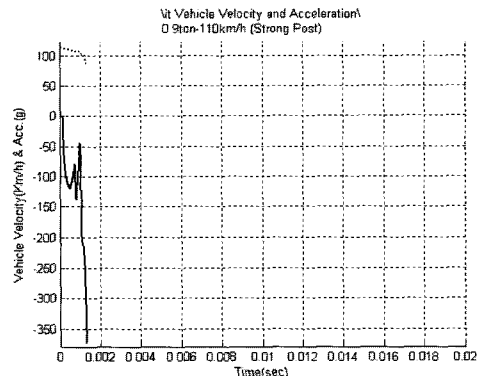


그림 13. 충돌차량의 속도 및 가속도 (H형강, 0.9ton-110km/h)

만 있을 뿐이고 충돌차량에 120g 이상의 큰 감가속도가 발생함을 볼 수 있다. 0.0017초 후, 수치해석상의 불안정이 있으나 짧은 시간의 시물레이션으로도 강성이 큰 지주는 자체변형이 거의 없이 충돌차량에 대변위와 탑승자에 과다한 충격을 유발시킬 수 있음을 추측할 수 있다.

110km/h의 충돌 속도로부터 0.0025초에서 77km/h로 0.9ton 차량에 비하여 훨씬 완만한 속도 변화를 나타내었다. 1.35ton 차량의 평균 감속도가 0.9ton 차량 보다 작은 것도 예상할 수 있는 특징이다.

#### 4.6 OF1.35/110

충돌에서 차량중량의 영향을 살펴보기 위하여 직경 60mm인 원형단면의 소형지주에 1.35ton 차량을 110km/h의 고속으로 충돌시킨 경우를 보인 것이다. 두 경우 모두 대변위 및 지주와 범퍼의 간섭으로 인한 수치해석상의 불안전성이 있으나, 0.004sec의 충돌지점의 변형은 0.9ton의 경우 27cm, 1.35ton의 경우 29cm으로 나타났다. 차량의 속도는

#### 4.7 OS0.9/110

본 해석은 OF0.9/110의 경우와 충돌조건은 동일하나 지주를 강결 대신 Breakaway형태로 한 것이다. 이는 첫 번째 노드의 기초와의 연결을 최대한 느슨하게 함으로써 가능하다. 지주를 나타내는 각 범요소 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14 node에 Barrier VII의 지주요소로 지점을 표시하였다. 0.01초까지의 해석결과는 지주단부의 이탈(slip base) 효과를 극적으로 보여주고 있다. 충돌지점 상단지주

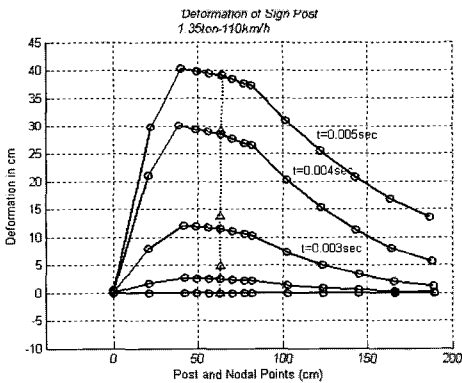


그림 14. 지주의 변형 (1.3ton-110km/h)

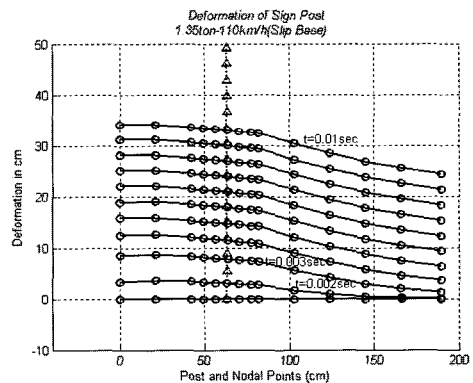


그림 14. 지주의 변형 (1.3ton-110km/h)

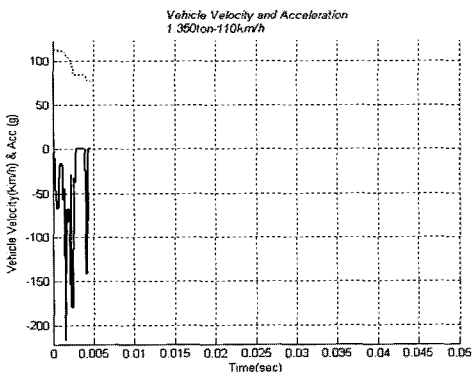


그림 15. 충돌차량의 속도 및 가속도 (1.3ton-110km/h)

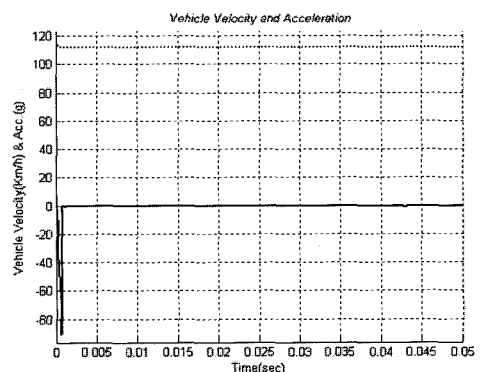


그림 15. 충돌차량의 속도 및 가속도 (1.3ton-110km/h)



부의 변형으로 부터 관성력을 관찰할 수 있고, 지주 단부 이탈 영향으로 지주가 강체운동을 하고 있음을 명확히 볼 수 있다. 0.001초 미만에서 약간의 속도 변화가 있을 뿐이고 비교적 큰 감가속도는 극히 짧은 시간동안 작용하기 때문에 탑승자에 위험요소가 될 수 없다. 지주가 기초로부터 분리된 다음의 운동은 추가로 강체운동에 대한 해석을 실시하여 공간에서의 회전이나 차량 및 지표면과의 충돌을 고려해 봐야 한다. 이는 Barrier VII 프로그램이 기초로부터 분리된 다음의 지주거동을 완전히 모사하기에는 한계가 있음을 말한다. 그러나 소형지주의 충돌에 대한 대변위 거동, slip base의 효과는 잘 보여줄 수 있고 강체운동부분이 개선되면 breakaway support의 설계에 편리하게 이용될 수 있음을 알 수 있다.

총 7가지 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 표 2와 같다.

표 2. 소형표지판 지주와 차량충돌 시뮬레이션 결과

Case	차량 무게 (ton)	충돌 속도 (km/h)	지주형상		기초연결		시뮬레이션 결과	
			O형강 (O)	H형강 (H)	고정식 (F)	분리식 (Slip) (S)	변형량 (cm)	충돌차량 속도 및 가속도
1	0.9	30	O		F		70	6.5
2	0.9	60	O		F		120	17
3	0.9	70	O		F		45	70
4	0.9	110	O		F		25	500
5	0.9	110		H	F		5	400
6	1.35	110	O		F		40	300
7	0.9	110	O			S	35	90

## 5. 결론

지름 60mm인 원형 혹은 H형단면(150×75×5×8mm)의 표지판 지주에 소형차가 충돌할 때 차량 및 지주의 거동을 확인하기 위하여 Barrier VII 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 0.9ton 소형차가 기초와 강결된 직경 60mm인 원형의 소형지주

에 30km/h, 60km/h, 70km/h, 110km/h의 속도로 충돌하는 경우, 0.9ton 소형차와 1.35ton 중형차가 기초에 강결된 H형강 지주에 110km/h의 속도로 충돌하는 경우, 그리고 0.9ton 소형차가 Breakaway 형태로 기초에 연결된 파이프형태의 소형지주에 110km/h의 속도로 충돌하는 경우 등 총 7가지 경우에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 통하여 다음 사항을 확인할 수 있다.

- Barrier VII 프로그램은 연성 방호시설에 충돌하는 차량의 운동과 방호시설의 변위를 해석하는 프로그램이나, 지주를 수평 빔 요소로 하고 각 노드에 강성을 조절한 지주를 연결함으로써 소형표지판용 지주와 차량의 충돌해석이 가능함을 보였다.
- 원형지주에 대한 30km/h, 60km/h 충돌의 경우 원형지주는 지지점으로부터 범퍼의 접촉점까지 점진적인 소성과피를 거치는 동안 충돌차량을 정지시키게 된다는 것을 보여주었으나, 고속충돌에서는 수치해석상의 불안정 문제로 70km/h 충돌의 경우 초기 0.025초 및 0.004초 동안의 해석만 가능하였다. 그러나 고속충돌 초기에 표지판 및 지주의 무게로 인한 관성력으로 표지판이 차량 전면부 유리창과 충돌할 가능성이 있음과, 관성력 및 지주 처짐이 충돌속도에 비례해서 커짐을 알 수 있었다.
- 0.9ton 소형차가 H형강(150×75×5×8mm)으로 구성된 지주에 고속 충돌하는 경우 지주는 충돌지점에 약간의 변형만 있을 뿐이나 충돌 차량에 120g 이상의 큰 감가속도를 유발시킴을 보여주었다. 짧은 시간의 시뮬레이션으로도 강성이 큰 지주는 자체변형이 거의 없이 충돌차량에 큰 변형과 탑승자에 과다한 충격을 유발시킬 수 있음을 알 수 있다.
- Breakaway 장치로 고정된 지주에 110km/h의 속도로 고속충돌한 경우 지주의 분리가 일어나고 지주는 큰 변형 없이 강체운동 모드에 돌입하여 충돌차량에 대한 위험요소가 크게 줄어드는 것을

보여주었다. 그러나 지주가 기초로부터 분리된 다  
음의 운동은 추가로 강제운동에 대한 해석을 실시  
하여 공간에서의 회전이나 차량 및 지표면과의 충  
돌을 고려할 수 있어야 한다.

5. 현상대로도 Barrier VII 프로그램은 차량과 소형  
지주의 충돌 시 지주 및 차량의 거동을 사실적으  
로 모사할 수 있으나 충격력이 큰 경우 해석상의  
안정성 문제와 지주가 기초와 분리된 후의 강제  
운동부분을 개선하면 Barrier VII 프로그램은  
Breakaway support의 설계에 편리하게 이용될  
수 있다.

상기 결과는 시뮬레이션을 통하여 도출된 결론으  
로 향후 충돌실험을 통하여 충돌실험결과와 시뮬레  
이션 결과를 비교할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가핵심교통연구개발사업의 연구  
비지원(06교통핵심 C01)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

건설교통부(2006), 도로표지 관련 규정집  
도로교통 안전관리공단(2005), 교통사고 통계 분석  
AASHTO(1975), "Standard Specification for  
Structural Supports for Highway Signs,  
Luminaires, and Traffic Signals," *American  
Association of State Highway and Transportation  
Officials*, Washington,D.C.

G.H.Powell(1973) Barrier VII : A Computer  
Program for Evaluation of Automobile Barrier  
Systems, *U.C. Berkely, California*  
J.E.Martinez, D.E.Hairston(1972), "An Evaluation  
of the Impact Response of Various Motorist-Aid  
Call Systems," *TRB Report 386, Transportation  
Research Board*, Washington,D.C.  
J.E.Martinez, R.M.Olson, E.R.Post(1971),  
"Impact Response of Overhead Sign Bridges  
Mounted on Breakaway Supports," *Highway  
Research Record 346*  
7.J. E. Martinez et al. (1971), "Effect of Vehicle  
Collision with Aluminum Roadside Sign  
Structures Mounted on Frangible Bases,"  
*Highway Research Record 306*  
8. J. D. Reid, G. W. Paulsen(1998), "Design and  
Simulation of Large Breakaway Signs," *Journal  
of Transportation Engineering*, Vol.124, No.1,  
ASCE  
9.Neilson J. Rowan, et.al.(1965), "Impact  
Behavior of Sign Supports-II," *Research Report  
68-2, Texas Transportation Institute*  
10.T.C. Edward, J.E.Martinez, et al.(1969),  
"Development of Design Criteria for Safer  
Luminair Supports," *NCHRP Report 77*

접 수 일: 2007. 4. 23  
심 사 일: 2007. 4. 27  
심사완료일: 2007. 7. 30