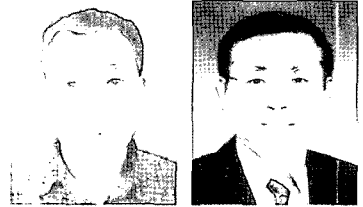


차량방호 안전시설의 개발 방향



고 만 기 | 정회원 · 공주대학교 토목환경공학과 교수

노 관 섭 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원

1. 서론

노변안전 설계(roadside safety design)는 차로를 이탈한 차량의 부상 가능성, 부상 정도를 최소화하기 위한 노변 구조물의 설계 혹은 처리방법을 말한다. 노변안전 설계 개념이 국내에 본격적으로 도입 된지 15년 동안 많은 발전이 있었다. 현재 도로 안전시설로 인한 피해 감소에 대한 국내 통계는 조사된 바 없으나, 1992년도부터 2003년까지의 승용차 백만 km 주행거리 당 단독차량 사고로 인한 부상자 및 사망자는 표 1과 같이 약 42%의 감소를 보이고 있다¹⁾.

이와 관련하여 미국의 경우에서도 볼 수 있다. 그림 1과 같이 미국의 통계는 1960년대 중반으로부터

1990년 사이에 백만 주행 km당 사상자 비율이 50%이상 감소했음을 알 수 있는데 차량의 설계에 안전관련 기술이 반영되기도 하였고, 교차로의 기하구조, 편경사(super-elevation) 등의 도로구조 개선의 영향이 컸지만 노변을 안전 측면에서 개선시킨 것이 결정적이었다.²⁾

국내의 차량단독 사고로 인한 부상자나 사망자 수의 급격한 감소도 1990년도 초반부터 시작된 각종 노변안전 설계 관련지침 및 제도의 정비, 충돌실험의 실시로 대표되는 안전시설물 설계에 대한 투자와 안전구조물의 확충에 기인한 것으로 보인다. 그러나 2003년 현재의 승용차 100만km 주행거리 차당 사망자 수 6.7명은 미국의 90년대 통계 치인 1.3에 비하여 훨씬 높고 그만큼 개선의 여지가 많이 남아있

표 1. 승용차 백만km 주행거리 당 단독차량 사고로 인한 부상자 및 사망자

| 년 도 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 차량 주행 km/10 ³ (a) | 115,925 | 112,802 | 131,375 | 164,303 | 202,363 | 215,006 | 185,392 | 190,709 | 190,048 | 203,000 | 213,421 | 212,397 |
| 사망자(b) | 1,321 | 1,159 | 1,194 | 1,378 | 2,160 | 2,134 | 1,949 | 1,855 | 2,135 | 1,590 | 1,181 | 1,416 |
| 부상자(c) | 14,213 | 15,133 | 16,196 | 15,786 | 15,479 | 14,348 | 14,306 | 15,380 | 14,446 | - | 10,398 | 12,788 |
| b/a | 11.4 | 10.3 | 9.1 | 8.4 | 10.7 | 9.9 | 10.5 | 9.7 | 11.2 | 7.8 | 5.5 | 6.7 |
| c/a | 122.6 | 134.2 | 123.3 | 96.1 | 76.5 | 66.7 | 77.2 | 80.6 | 76.0 | - | 48.7 | 60.2 |

자료) 국가교통 데이터베이스

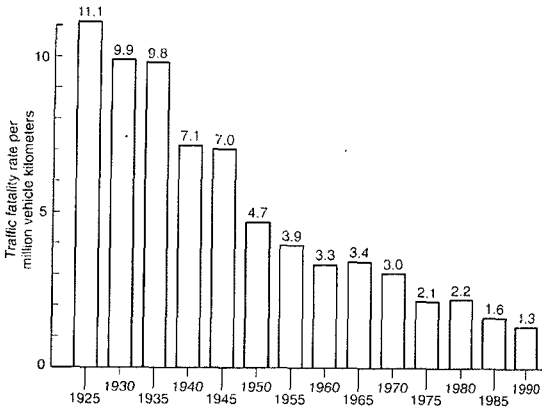


그림 1. 승용차 100만 주행 km당 단독차량 사고로 인한 사망자수

자료) Roadside Design Guide, AASHTO, 1996

다 하겠다.

본 논문은 우리가 짧은 기간에 도입한 각종 제도, 기술 및 많은 안전시설의 설치에도 불구하고, 도로 안전시설의 설계 및 개발과 관련하여 어떤 면을 개선 발전시킬 수 있는가를 생각해보기 위한 것이다.

2. 노변안전 설계 개념

차량의 이동과 속도의 증가에 비례해서 차로를 이탈하는 차량이 많아지기 때문에 노변안전을 중요하게 고려해야 한다. 차로를 이탈하는 원인으로는, 운전자의 피로와 집중력 감소, 과속, 음주운전, 충돌회피 등 운전자의 요인과 결빙, 눈, 비 등으로 인한 포장면 상태와 시계불량의 도로환경적 요인, 그리고 차량의 기계적인 고장 등의 원인이 있을 수 있다. 일단 차로를 이탈한 차량의 운전자의 위험을 줄이기 위하여 도로변의 비탈면 기울기가 완만해야 하고, 나무, 전신주, 암거나 배수로, 연석(curb)이나 벽구조, 표지판 및 가로등의 지주, 교량의 교각이나 교대 등과 같이 노변 치사사고에 중요한 원인을 제공하는 구조물이나 구조물 부위의 위해요인을 제거해야 한다.

노변안전을 확보하기 위한 도로변 환경을 개선하는 방법으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 도로변의 위험물체나 시설을 완전히 제거한다.
- (2) 완전제거가 곤란한 위험물체나 시설은 차로를 벗어난 차량이 충돌 시 보호 될 수 있게 안전시설 뒤쪽이나 충돌되지 않을 거리 밖으로 이동 시킨다
- (3) 차로를 이탈한 차량이 위험물체를 안전하게 지나갈 수 있도록 위험물체의 구조를 특별하게 설계한다.
- (4) 지주분리 장치를 활용한다.
- (5) 위험물체를 방호울타리나 충격흡수구조로 감싼다.
- (6) 위험물체의 식별을 용이하게 한다.

이러한 도로변 환경을 개선하기 위한 시설물들을 통 털어 차량방호 도로안전시설이라고 하는데, 중앙 분리대나 가드레일, 교량난간 처럼 규모가 비교적 큰 구조물로부터 충격흡수시설과 같은 중간 규모의 시설도 있고, 지주분리장치(breakaway feature)와 같은 조그만 기계장치도 있다.

널리 사용되는 도로안전시설로는 방호울타리(barrier), 단부처리(terminal treatment), 충격흡수시설(crash cushion), 전신주나 각종 표지판을 지지하는 지주용 분리장치, 작업차량보호 충격흡수시설(truck mounted attenuators), 공사구간 교통 관제시설 등이 있다.

3. 차량방호 안전시설의 발전 현황

국내의 차량방호 도로안전시설 관련 연구는 건설교통부와 한국건설기술연구원을 중심으로 1980년에 건설교통부(당시 건설부)에서 발간한 '방호책 설치요령'의 개정 작업을 수행한 1996년부터 괄목할 만한 발전을 거듭하였다. 도로 안전시설 관련 중요한 전기가 된 연구 및 개발 사례들로는 다음을 들 수 있다.

3.1 각종 설계지침의 개발

(1) 방호책 설치요령 : 방호울타리와 관련해서는 1980년에 건설부에서 발간한 최초의 도로안전 시설 관련 책자이나, 이후 관련 내용이 지침으로 작성 발간되어 현재 본 책자는 사용되지 않고 있다.

(2) 도로안전시설 설치편람 : 다양한 도로교통 안전시설과 안전과 관련된 부속시설에 관한 설치 기준이 총망라된 것으로, 정부에서 처음으로 발간한 도로안전시설 설치에 관한 종합 책자이다. 1989년 8월에 건설부에서 발간하였다. 이 편람은 도로법과 도로교통법에 규정된 도로안전표지, 신호기, 노면표시, 방호울타리, 조명시설 그리고 그 외 도로안전 부속시설 등, 각 분야별로 분산 기재되어 있는 도로안전시설에 관한 설치 및 관리의 현행 기준을 일괄집대성 기재하여 도로교통 관련 실무자들이 편리하게 도로시설물의 설치 및 관리에 관한 사항을 협의하고 사업을 시행할 수 있도록 한 것이다.

(3) 도로안전시설 설치 및 관리지침 : 1989년에 작성된 '도로안전시설 설치편람' 작성의 후속 작업으로 1995년 11월에 도로안전시설 장기 연구계획을 수립하고 이와 함께 각 시설별 세부적 연구를 수행하여 '도로안전시설 설치 및 관리 지침-시선유도 시설 편(1995. 12)'을 발간했으며, 방호울타리 편(1997. 2), 과속방지턱 및 미끄럼방지포장 편(1997. 8), 중앙분리대 및 충격흡수시설 편(1998. 10), 교량용 방호울타리 및 조명시설 편(1999. 9), 도로전광표지 편(1999. 11), 장애인 안전시설 편(2000. 11)과 낙석방지시설 및 도로반사경 편(2000. 11)을 발간 운용하고 있다.

(4) 도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편 : 방호울타리, 중앙분리대, 충격흡수시설 및 교량용 방호울타리 등 4종의 차량방호 안전시설에 대해 기존의 지침은 시설물의 규격 위주로 제시되었으나, 실물충돌시험을 통한 시설물 성능검증을 주요 기준으로 하는 통합본 지침으로 2001년 7월에 발간되었다. 따라서 현재 차량방호 안전시설과 관련

한 지침으로는 본 지침서를 적용하고 있으며, 기존에 발간된 각 시설별 지침서는 단지 참고자료로 적용할 수 있겠다. 본 지침서 발간과 함께 시설의 성능에 대해 실물충돌시험을 할 수 있도록 실물충돌시험 업무편람이 발간되었다.

(5) 도로설계편람(안전시설 편) : 대부분의 발행된 책자들이 각 요소 기준인데 반하여 도로계획 및 설계와 관련된 제규정 및 기준을 체계적이고 일관되게 정리하여 실무자들이 참고할 수 있도록 한 것으로 1999년 12월에 발간되었다. 도로시설 요소와 관련한 여러 편 중에 안전시설편이 별도로 마련되었고, 여기에서는 안전시설의 종합적 설계예시도 등이 제시되어 있다.

3.2 실물 충돌시험장의 설치 운영

'도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전시설 편(2001)'에 의거하여 차량방호 안전시설의 성능을 평가하기 위한 충돌시험장이 교통안전공단 자동차성능시험연구소와 한국도로공사 도로교통기술원에 설치되어 운영되고 있다. 이들 기관은 건설교통부로부터 차량방호 안전시설 성능시험기관으로 지정을 받았으며, 업무는 건설교통부의 '차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람(2001. 7)'에 따라 수행하고 있다.

3.3 차량방호 안전시설 관련 신기술 개발 및 적용

차량방호 안전시설 지침(2001)에 따라 새로운 시설물 및 기술들이 개발 적용되고 있으며, 현재 건설교통부로부터 신기술로 지정받은 기술은 아래와 같다.

- (1) 저속도구간용 고밀도 폴리에틸렌 중앙분리대 설치공법
- (2) 충격흡수형 고규격 thrie-beam 가아드레일 시스템개발
- (3) 회전마찰을 이용한 우레탄 롤링 베리어 차량

방호 울타리 제작공법

(4) 3단 철재 빔을 이용한 충격완화형 교량 방호 울타리의 제작 및 설치공법

(5) 충격흡수판 및 적층 타이어를 이용한 차량 충격흡수시설 설치공법

(6) 상하로 다른 단면강성을 갖는 보를 이용한 차량방호 울타리(SB4급 중앙분리대) 설치기술

4. 차량방호 안전시설 설계의 발전 방향

앞에서 언급한 최근의 도로안전시설에 대한 증대된 관심과 발전에도 불구하고, 아직 국내에 도입되지 않았지만 효과가 기대되는 시스템이나, 설계 및 설치시 고려할 개념, 지침의 발간 및 적용과정이나 신기술의 승인 및 현장적용에서 나타난 문제점 등을 따져보고 차량방호 안전시설의 개선 방향을 제시하였다. 본 장에서 제시된 사례들은 주로 미국의 경험을 토대로 하고 있다.

4.1 slip base

노변안전 설계와 관련하여 서구에서는 이미 일반화 되어 효과가 입증된 시스템이나 국내에서는 현재 설계지침이나 시방서에 제시되어 있지 않고 적용되지 않은 개념들이 있는데, 대표적인 것이 slip base이다. 도로변에는 각종 표지판, 가로등, 고속도로의 비상전화 부스, 전신주, 신호등을 지지하고 있는 지주들이 있는데 이들은 차로를 벗어난 차량에게는 큰 위험요인이다. 이들 지주들은 차량의 충돌 시 피해를 최소화 할 수 있게 위치를 차로로부터 떼어 놓거나 가드레일로 보호하거나 혹은 캔틸레버 형이나 문형 구조물을 사용하고 충격흡수시설을 사용할 수도 있으나 yielding 혹은 breakaway sign post를 사용하는 것이 효과적이어서 북미에서는 일반적으로 사용되고 있

는 개념이다.

base-bending support는 충돌시 분리되지 않고, 그림 2와 같이 지표면에서 휨으로써 차량이 그 위를 안전하게 지날 수 있게 설계하는 것으로, 작은 단면의 표지판에 사용된다. base-bending support의 성능은 지주의 단면 및 기계적 성질, 충격에 대한 에너지 흡수능력, 매입형태, 매입지반의 성질과 밀접한 관계가 있는데 저속의 충돌에서 뽑히지 않아야 한다. 뽑혀서 포장면에 나뉘는 표지판 자체가 위험요소가 되기 때문이다.

breakaway support는 그림 3과 같이 충격시 지주가 두 부분으로 분리되게 만든 것으로, 중대형의 표지판, 전신주, 가로등의 지주에 사용되며 slip plane, plastic hinge, fracture element 등의 조합으로 구성된다.

두 가지 모두 풍하중에 대한 지지를 확보하면서 충돌시 bending 혹은 breakaway 기능을 발휘해야 한다. breakaway support에 대한 개념을 만들고 널리 사용중인 북미의 설계기준은 AASHTO

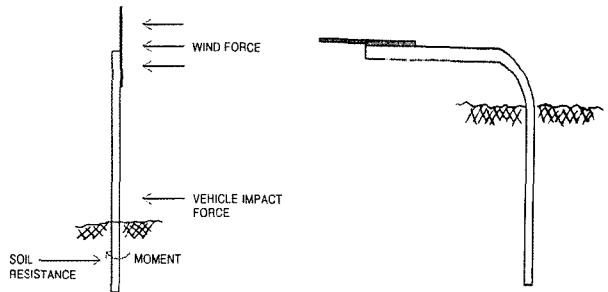


그림 2. base bending (yielding support)

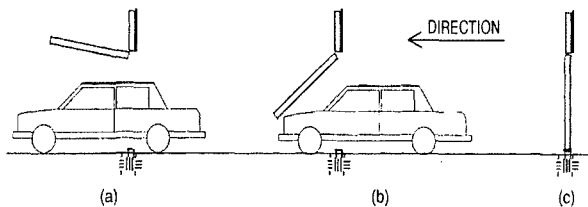


그림 3. hinged breakaway support

standard specifications for structural supports for highway signs, luminaires, and traffic signals³⁾에 자세히 언급되어 있다. 주요한 내용은 820kg의 차량이 35km/h와 100km/h로 충돌할 때 지주가 예측가능하게 분리되어야 하고 occupant impact velocity가 5m/sec 이하로 되어야 하는 것과 충돌 후 차량 하부와의 snagging을 방지하기 위하여 분리 후 기초 앵커 잔존 부위의 최대 허용높이를 100mm로 제한하고 있다. 성능실험은 실물충돌 실험, bogie 차량을 이용한 실험 혹은 펜들럼 실험을 이용한다. breakaway system의 효과는 이미 폭넓게 입증되고 광범위하게 사용되고 있는 만큼 조속한 도입이 필요하다.

4.2 안전구조물 설계에 있어서 비용편익분석

한정된 예산으로 최대의 효과를 거두기 위한 작업은 어느 분야에서나 필요하다. 노변안전 분야에서 도로변의 안전을 도모하기 위한 여러 가지 방법, 시설의 대안들 중 어떠한 것을 선택할 것인가에 대한 체계적인 결정방법이 필요하다. 비용편익분석(cost-benefit analysis)은 예산 배분 결정자나 이를 집행하는 책임자가 여러 대안들을 비교할 수 있는 자료를 제시하여 줌으로써 채택 방법의 우선순위를 결정하게 도와주는 것이다. 미국은 1988년과 1999년 roadside design guide(AASHTO)에서 traffic barrier와 roadside feature의 설치에 관한 일반원칙을 제시하였으나 이것이 cost-effectiveness를 담보하지 못함으로 비용-효과를 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램 ROADSIDE를 개발하여 Roadside design guide에 첨부하였다. 그러나 그 결과의 신뢰성에 문제가 제기되어 널리 사용되지 못하다가 2002년 NCHRP를 통하여 개선된 해석프로그램인 Roadside Safety Analysis Program(RSAP)을 개발하여 사용하고 있다.

합리적인 방법에 의한 노변 안전책의 선정을 위한 RSAP 프로그램 개념의 도입으로 예산집행의 효과

를 극대화할 수 있을 것이다.

4.3 안전구조물과 미관

최근 토목구조물의 설계에서 미관(aesthetics)을 중시하는 경향이 나타나고 있으나, 이는 대형 교량의 경우이고 안전시설과 도로 미관은 전혀 관계없는 것으로 치부되고 있다. 그러나 그 구조물의 크기나 상대적인 중요성을 떠나서, 도로 안전시설은 교량과는 비교할 수 없을 정도로 광범위하게 펼쳐져 있어서 훨씬 많은 사람이 보고 느끼는 구조물로 도로뿐만 아니라 도시의 미관, 시각적 정돈 상태를 좌우하는 매우 중요한 시설물이다. 교량 위를 지나거나 일반 도로구간을 지나면서 보이는 것이 무엇인가? 도로포장, 차선, 그리고 도로변의 교량난간이나 중앙분리대 등의 방호울타리 및 각종 표지판들이다. 지역특색을 나타내기 위하여 충돌에 대한 안전성 보다는 갖가지 모양으로 장식된 화려한 교량난간, 교통섬 근처에 우뚝 솟아 있는 충격흡수시설들, 중복 설치된 각종 표지판, 강도는 생각하지 않고 설치되어 사소한 충격에 흉하게 파손되어 도로변을 어지럽히는 도심의 보차도 경계용 난간, 도심 고가교 교각을 감싸고 있는 연속성 없는 가드레일 등은 구조물의 원래 목적인 안전시설로서의 기능상의 문제는 차치하고 도심의 미관을 해치고 도로를 어수선하게 만드는 주범이다.

도로안전 구조물도 교량구조 이상으로, 도로 이용자뿐만 아니라 일반인의 눈에 띄어 도로나 도심의 인상을 결정짓는 구조물이기 때문에 공공의 눈에 거슬리지 않게 미관을 항상 고려해야 하는 것이다. 이것은 어떠한 토목시설물을 설치하기 전에 반드시 고려해야 할 문제이다. 북미와 같이 땅이 넓고 도로 주변 공간이 충분히 확보된 곳과 달리 우리는 도로 주변이 협소하고 주거지나 상가가 도로변에 밀집되어 있기 때문에 더욱 관심을 가져야 할 문제이다. 불행히도 교량의 미관 설계에 대한 일반의 관심이 크고 관련 자료도 많이 있으나 도로안전시설 설계에서의

미관에 대한 인식이나 자료는 거의 없는 실정이다. 그러나 근본적으로 아름다움, 정돈된 느낌에 대한 인간이 갖는 공통된 감정을 이해한다면, 교량 설계에 적용되는 미관에 대한 기본개념을 도로안전 시설물에도 그대로 적용할 수 있다. 공공재에 대한 미관 설계는 어떤 한사람의 미적 취향을 따르는 것이 아니고 인간이 느낄 수 있는 가장 보편적인 미적요소를 적용하는 것이기 때문이다.

미관설계에 대한 Ohio DOT(교통부)의 Bridge design manual의 다음 내용을 고려해볼 수 있겠다.

- (1) 가능한 여러 형태의 구조를 혼합하지 않는다 (예를 들어, wall type pier와 column pier를 혼합해서 설계하는 것과 같이).
- (2) 다경간 교량의 경우 상부구조의 연속성을 고려한다.
- (3) 단면의 급격한 변화를 피한다.
- (4) 구조물의 선형에 급작스런 변화를 주지 않고 단순하게 유지한다.
- (5) 모든 구조물이 주변과 조화를 이루도록 한다.

위의 내용을 일반화 시키면 도로 구조물의 아름다움을 가장 공통적으로 느끼게 하는 요소는 종방향 연속성(longitudinal continuity)과 단순함(simplicity)일 것이다. 이것은 안전구조물, 특히 종방향 차량방호울타리에 그대로 적용할 수 있는 원칙이 될 수 있다.

독창성을 강조하기 위해서 만든 복잡한 형태의 단면과 각종 부속품으로 만들어진 교량난간과 같은 도로안전시설이 설치 후 도로나 도시 경관에 어떤 영향을 미칠 것인가를 도입전에 반드시 숙고하여야 하겠다.

4.4 Multi-performance level concept

NCHRP report 230 제정 이후 performance level을 다양화 해서 시설관리자로 하여금 현장 조건에 맞는 성능의 안전시설을 설치할 수 있게 하여야

한다는 요구에 맞춰서 NCHRP 350에서부터 나타난 개념이 multiple performance level concept of roadside safety features 이다. 이 개념에 따라 NCHRP 350은 종방향 차량방호울타리의 경우 test level을 6개로 제시하고 있다. 물론 level 3을 basic level로 하여 그 이하 level은 하위의 도로에 설치하면 좋다고 제안을 하는 정도이지 강제하고 있지는 않다. 이 개념은 국내 상황에 유용하게 적용될 수 있다. level 3이 요구되는 도로라 하더라도 경우에 따라서 level 3의 설치가 불가능한 경우가 있을 수 있는데 level 3을 설치할 수 없다고 방치하는 것 보다는 현장여건이 허용하는 차선의 시설물을 설치하는 편이 낫기 때문이다.

이러한 개념을 잘 설명한 것이 최근 국내에서 개발된 형태가 일정치 않은 구조물에 이용할 수 있는 EPS(Expanded Polystyrene) 모듈 적층식 resistive type 충격흡수시설의⁴⁾ 설계 예이다. 그림 4는 충격속도별 충돌 모듈 개수(=crush dist.)에 따른 차량(0.9ton 좌측, 1.3ton 우측)속도 변화를 나타낸 것이다. 에너지 밸런스를 이용한 해석결과, 충돌에너지가 완전히 흡수되는 상황에서 OIV 및 RA와 같은 안전지수는 문제가 되지 않기 때문에, 이 그래프를 통하여 주어진 공간에 적용 가능한 EPDM을 이용한 충격흡수시설의 최대 성능(performance)을 알 수 있으며 이는 design chart의 요약이라고 볼 수 있다.

13개의 모듈 적층이 가능한 공간이 허용되었다고 하자. 13개의 모듈이 적층된 충격흡수시설 시스템(총길이 5.2m)은 0.9ton-80km/h의 충돌에너지를 완전히 흡수하고 안전지수 요구조건을 충족시킨다. 그러나 1.3ton 차량에 대한 design chart에 의하면 60km/h의 충돌조건을 만족시킬 수 있을 뿐이다. 만일 crash cushion의 설치 기준이 공간의 제약을 고려하지 않고, 가정해서, 1.3ton-80km/h의 충돌조건을 충족시켜야만 설치될 수 있다고 한다면, design chart에서 보여주는 19개 모듈의 적층(총길이 8.55m)이 불가능한 공간의 위험구간은 방치되는

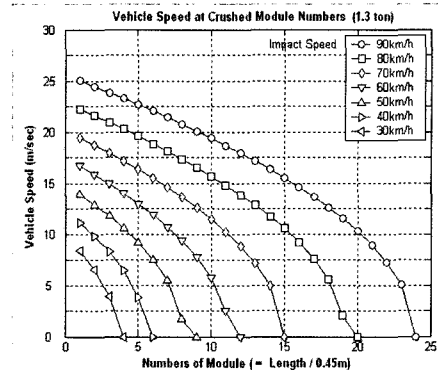
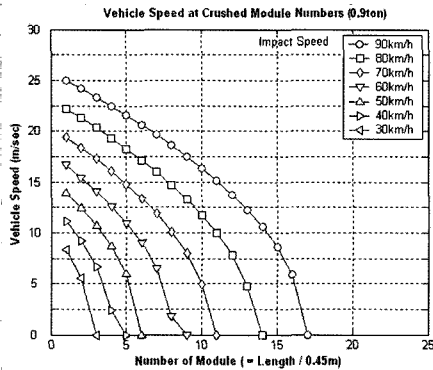


그림 4. 충격속도별 충돌 모듈 개수(=crush dist.)에 따른 차량속도 (0.9ton, 1.3ton)

것이다. 그러나 허용된 공간에(여기서 공간 개념은 물리적인 공간 뿐 아니라, 그만큼 크기의 시설을 설치할 때의 공간 환경 변화, 미관 등을 고려하여야 함) 13개 모듈을 적층시켜 놓을 경우 최대 1.3ton-60km/h, 0.9ton-80km/h의 충돌에 대한 대응력을 활용할 수 있는 것이다.

이것이 multi performance level의 개념이다.

4.5. 안전시설물 설계 상세의 문제

현재 국내의 각종 도로설계에 활용되고 있는 안전 시설물로는 건설교통부 관련 지침이 나오기 전에 활용되던 타입을 제외하고 대부분 신기술을 통하여 알려지게 되었다. 크게 보아 교량간과 철재 중앙분리대 및 철재 가드레일, 충격흡수시설이 예가 될 것이다. 관련업체의 연구 개발에 대한 투자의욕을 고취하고 새로운 기술을 적극 도입하겠다는 취지에서 시작되어 안전시설에 관한 연구에 바람을 몰고 온 제도임에 틀림없지만 신기술 인정이 해당 시스템 전체의 완벽한 성능을 보장하는 것과 같은 성능인증서 구실을 하고 있는 것은 개선되어야 할 면이다. 여기서 특히 문제가 되는 것은 어떤 안전시설물에 여러 가지 관련부분에 대한 상세(detail)들이 있어야 함에도 신기술 하나도 시스템 전체에 대한 성능평가가 끝난 것으로 인정하기 시작했기 때문이다. 예를 들어, 차량방호 안전시설의 주종을 차지하고 있는 노

측용 가드레일이나 중앙분리대 가드레일의 경우 성능 검증 요구조건을 만족시킨 것은 본구조물 (Length of Need; LON)에 관한 실험뿐이다. 그러나 종방향 차량방호울타리 시스템이 갖는 중요한 구조는 본구조물(LON) 부분과 단부(terminal) 부분이라고 할 수 있다. 현재 단부는 flattened end section으로 마무리된 게 고작이고 중앙분리대에 철재 방호울타리를 활용하는 경우 단부에 end section terminal을 붙이고 추가로 고규격의 충격흡수시설을 설치하거나 비규격의 플라스틱 드럼을 설치하기도 하며, 고속도로에서는 빔을 비틀어서 지반에 고정시키는 방법을 사용하고 있다.

방호울타리의 단부는 방호울타리 설치시 나타나는 부득이한 위험구간이다. 콘크리트 방호울타리의 경우에는 단부 충돌이 발생하면 rigid wall에 정면충돌하는 것 이상의 위험을 야기하기 때문에 단부에 대한 특별한 관리가 필수적이다. 철재 방호울타리의 경우 단부에 날카로운 빔 단면을 처리했다고 볼 수 있지만 고속 정면충돌의 경우 빔이 마지막 지주로부터 이탈하면서 차량의 사시를 관통할 위험이 매우 크기 때문에 노변안전 관련 설계를 주도한 연구자들 사이에 단부처리는 특별한 관심의 대상이었다. 또한 단부는 충돌지점으로부터 양방향으로 지지되는 LON 구간에 비하여 한 방향으로만 지지되어 횡방향 지지가 약화될 수밖에 없는 구조이기 때문에 횡방향 지지에 대한 특별한 고려가 필요하다. 연구자

들은 초기에, Twist and Turndown Type(TTT)으로부터, BCT, ET2000과 같은 처리장치를 고안해냈다. 초기의 TTT는 소형차의 전도위험 때문에 더 이상 사용되지 않고 있고, 점차 시설개량(retrofit) 과정을 통하여 새로운 시스템(주로 ET2000)으로 교체되고 있는 중이다. 이런 사정임에도, 국내는 단부처리에 대한 인식이 부족하여 확실한 단부처리 시스템의 등장이 지연되고 있다. 이것은 신기술을 기반으로 한 가드레일 생산 혹은 시공업체의 제출 도면에 전적으로 의존하는 설계 관행과 신기술의 적용 범위가 명쾌하게 제시되지 않아서 생기는 일종의 사각지대(blind spot)이다. 또한 철재 방호울타리의 서로 다른 단면의 연속 - 예를 들면, 콘크리트 중분대와 철재 중분대의 연결지점, 가드레일과 교량난간의 연결지점, 서로 다른 철재 단면의 연속점(three beam + W beam) - 에서의 강성의 transition 및 연결방법에 관한 상세 등이 없이 진행되는 것도 해결하여야 할 문제이다.

우선, 가드레일이 LON과 단부 그리고 다른 방호울타리와의 연결로 이루어진다는 사실을 인식한다면, LON에 대한 충돌실험 결과가 설치지침을 만족하였기 때문에 전 시스템이 완성되었다는 오류에서 벗어날 수 있다. 만일 어떤 방호울타리 시스템의 설계가 한 업체의 설계로 적용되기 위해서는 해당 설계에 대한 세 가지 상세, 즉, 연결부, 단부, LON에 대한 설계가 완성되어야 하는 것이다. 한편, 세 가지 상세가 어느 한 업체나 연구소에서 완성되어야 할 필요는 없을 것 같다. 그러나 이런 경우에는 각 부분의 상세 도면이 서로 호환성이 있어야 함은 물론이다. 현재 상태에서 이러한 문제를 해결하는 데는 설계 지침 등의 정부 문서에 언급되지 않은 새로운 개념의 다른 안전시설의 경우와 마찬가지로, 단부처리와 연결부에 대한 성능기준이 없다는 문제가 있다. 이러한 문제는 전문가의 연구를 통하여 우선 방호울타리 LON에 대한 충돌 및 성능기준에 외국의 설계 방법을 참고로 임시지침을 만들고 개발과정에서 지침의 문제점을 해결해가는 일종의 fast track 전략

을 써야 하겠다. 지침이 없어서 방치되는 것도 문제이고, 지침을 만드는데 많은 시간을 투입하기에는 위험 부담이 너무 크기 때문이다.

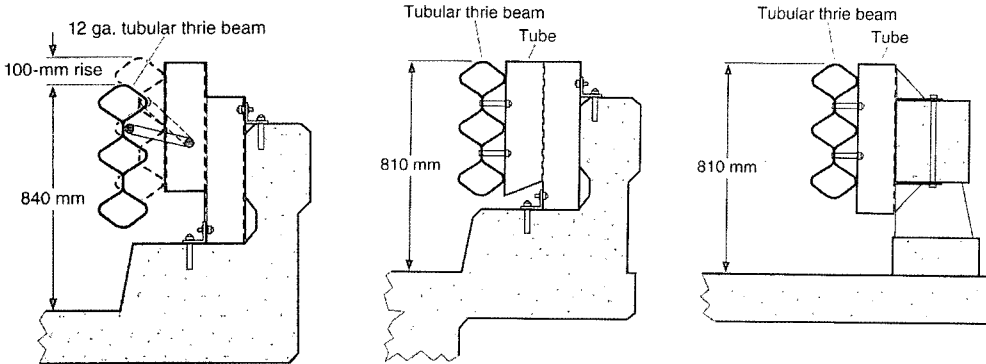
가드레일을 예로 들어 안전시설 설계의 상세에 대한 문제를 제기하였는데, 다른 시설물에서도 사정은 마찬가지이다. 철재 중앙분리대나 콘크리트 방호울타리의 단부에 설치되는 충격흡수시설의 방호울타리에의 연결이 고려되고 있지 않다. 철재 방호울타리의 단부에 설치하는 경우 방호울타리 단부에 맞는 고정장치의 설치가 필수적이고 콘크리트 방호울타리의 경우도 충격흡수시설을 완전하게 연결시킬 필요가 있다. 교량난간의 경우도 연결되는 가드레일과의 연결 장치 개발이 필요하다. beam 단부가 위험하게 노출되어 있는 경우가 일반적이다. 교량난간에서 팽창이음(expansion joint)에 대한 설계 상세가 강화되어야 할 부분이다.

4.6 안전시설물의 시설개량

새로운 시스템의 도입 및 설치에 못지않게 중요한 것은 각종 설계지침이 정비되기 이전에 설치된 안전시설물의 방호성능을 평가하고 부족한 성능을 보완하기 위한 대책을 수립하는 일이다.

기존시설의 평가를 위하여 선행되어야 할 것이 평가를 위한 실험방법과 실험결과를 토대로 한 시뮬레이션의 완성이다. 평가가 완성되면 부족한 방호성능을 보완할 방법으로 (1) 새로운 시스템 신설 (2) 다양한 방법의 시설개량(retrofit)을 생각할 수 있다. 시설개량은 기존시설물을 최대한 이용하여 성능을 보완하는 방법으로 비용 - 효과 측면에서 아주 매력적인 방법이다. 주어진 충돌실험을 통과한 최근의 안전시설물 이외의 시설물에 대한 정확한 성능평가와 이를 기반으로 하는 보강기술의 개발도 새로운 시스템 개발 못지않게 중요한 것이다.

그림 5는 안전기준이 확립되기 전에 설치된 교량난간을 현재 기준에 맞게 개량시킨 예이다. 부족한 콘크리트 파라펫의 높이, 연석면과 파라펫면의 불일



자료) Roadside Design Guide, AASHTO, 1996 3)

그림 5. 방호울타리 시설개량의 예(Self-Restoring Bridge Rail & Tubular Thrie-Beam Retrofit)

치, 강도 문제를 tubular thrie beam과 steel tube 를 blockout으로 사용하여 해결한 것이다.

4.7 사고현장의 신속한 처리 및 완전복구 이전의 임시대책의 중요성

사고현장에 대한 신속한 복구는 2차 사고를 막기 위한 필수 사항이다. 그림 6은 사고현장의 신속한 복구의 중요성을 보여주는 사고 사례이다.

사고 교량은 1차 충돌사고로 그림 6과 같은 파괴가 일어난 후 현장에 테이프를 설치해 놓은 상태에서 다시 추락사고가 발생하여 차량의 파손은 물론이고 탑승자의 두부 충격으로 수 일간 의식불명 상태에 이를 정도로 충격이 컸던 사고 현장이다. 두 번째 사고 이후 그림과 같은 웬스를 설치해 놓은 것이다.

사고 초기에 적절한 조치를 취했다더라면 2차 추락 사고는 막을 수 있었을 것으로 생각된다. 사고 즉시 난간이 원상태로 복구되지 못하기 때문에 난간 파손 후 2차사고를 방지하기 위한 충분한 임시 방호시설을 설치하는 요령을 지침화 해서 국가 및 지자체 도로 관리담당자들이 숙지할 수 있게 하여야 하겠다.

본 사고 현장을 조사한 바에 따르면, 사고 이전의 난간도 기존 안전시설들이 갖고 있는 문제점을 고스란히 안고 있는 것으로 나타났다.

그림 7의 좌(상)는 지주가 데크(deck)에 고정되어 있지 않고, 포장 덧씌우기로 인하여 지주난간 높이가 원 상태를 유지하지 못하고 있음을 보여 주고 있다. 만일 그림에 보인 지주 근처의 빔에 차량이 충돌한다면 난간의 지지력이 어떠한 것인가는 충분히 짐작할 수 있을 것이다.

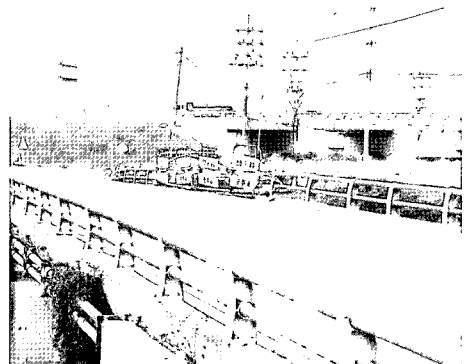
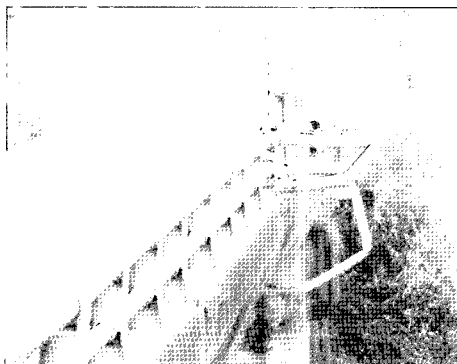


그림 6. 교량난간 사고 후 후속사고 현장(1)

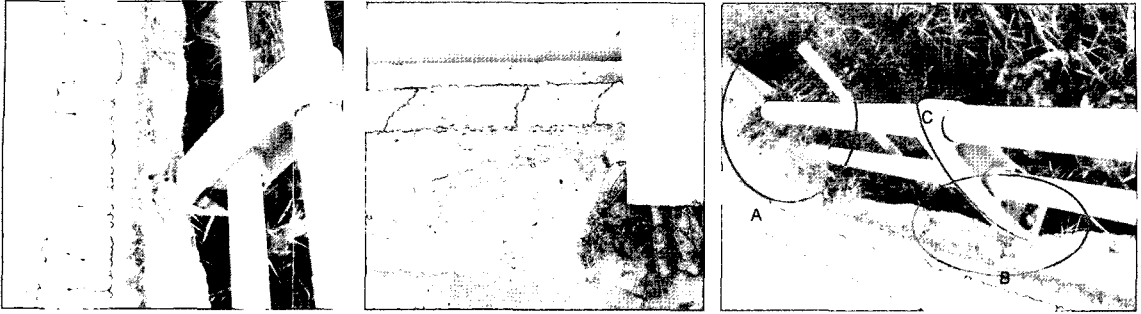


그림 7. 교량난간 사고 후 후속사고 현장(2)

그림 7의 좌(하)는 난간의 첫 번째 스패인데 데크 콘크리트의 전단파손으로 지주가 고정되어 있지 못하였음을 알 수 있다. 특히 빔의 단부가 가드레일(본 교량에서는 교명주)에 연결되지 않은 채로 있기 때문에 안 쪽 스패를 충돌할 시 빔 단부가 차로 진행방향으로 돌출되어 큰 위험을 야기할 수 있다.

그림 7의 우측도 같은 문제들을 종합적으로 갖고 있는 지점이다. 끝 지점에는 지주가 아예 없고(그림의 'A'), 첫 번째 지주(그림의 'C')는 데크 콘크리트의 전단 파손으로 데크로부터 분리(그림 'B')되어 있다. 빔의 단부는 연속되지 못하고 교명주 근처에 멈춰있어서 첫 번째 지주 이전의 upstream 충돌 시 단부가 도로 쪽으로 돌출되어 대향차로의 통행차량에 큰 위해요인이 될 수 있다. 더구나 지주가 안쪽으로 볼록하게 설치됨으로써(그림 'C') 의도했던 강도 및 지주와 충돌 차량의 간섭을 줄이기 위한 기능을 전혀 발휘할 수 없게 설치되어 있다.

이러한 문제는 2차로 교량 옆에 2차로 교량이 추가되어 교량난간이 중앙분리대 구실을 하게 되는 국도 확장구간에서 특히 심각하다. 충돌실험이 실시되기 이전에 설치되었던 대부분의 교량난간이 그림 7과 같은 형태인데 특히 심각한 문제는 빔을 구성하는 파이프가 지주의 홀에 소켓 형식으로 연결된 후 볼트로 고정하여 외관상 연속성이 있어 보이나 사소한 충돌에도 쉽게 밖으로 빠져나와 날카로운 단부가 차로 쪽을 향하게 된다는 것이다. 심지어는 지주의 단절 부가 지주와 지주 사이에 아무런 연결장치 없

이 위치해 있는 위험한 난간도 허다하다. 여기서 교량난간 뿐만 아니라 기 설치된 일반 안전시설물의 현장평가와 시설개량의 중요성을 이해할 수 있을 것이다.

4.8 현장평가 및 피드백

일반적으로 도로 안전시설물의 설계방법은 그림 8과 같은 포맷으로 발전되어 왔다. 우선 예비설계(preliminary design)단계에서 하드웨어를 설계하고 FEM을 포함한 다양한 해석방법으로 설계를 분석한다. 설계에 대한 확신이 생기면 실물 충돌실험을 실시한다. 충돌실험이 통과되면 발주처의 재량에 따라 시스템을 선택하는데 건설교통부 신기술을 획득한 시스템이 우선적으로 채택된다. 미국의 경우 충돌실험 결과를 가지고 정부지원으로 시행되는 모든 프로젝트에 설치되는 안전시설물은 연방도로청(FHWA)의 엄격한 승인을 받게 된다. 현재 실험시설의 공인제도는 없고 각 연구소에서 신뢰할 만한 충돌실험 데이터를 제시하면 FHWA는 데이터의 신뢰도에서부터 세세한 평가를 하고 필요에 따라서는 여러 보완조치를 요구한다. 충돌실험으로 모든 검증이 끝나는 우리와는 사정이 다르다. 시스템이 현장에 설치되면 실제 현장에서의 성능을 모니터링 하여 원래 의도한 성능이 발휘되고 있는지를 체크하게 된다. 현장평가는 다음과 같은 질문에 대한 답을 구하는 과정이라고 볼 수 있다.⁶⁾

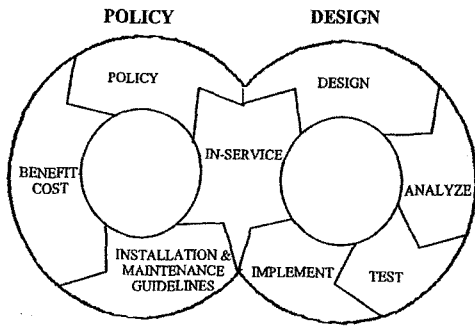


그림 8. 도로 안전시설물의 합리적 설계절차

- (1) 안전시설물이 대표적인 충돌조건 (=충돌실험 조건) 하에서 예상한 대로 작동하는가?
- (2) 도로안전시설이 정확하게 설치되었는지, 제대로 설치되지 않아서 생기는 성능상 특별한 문제는 무엇인가?
- (3) 도로안전시설의 품질이나 성능이 날씨, 기후 등 환경요인으로 저하되고 있지는 않은가?
- (4) 설치 및 유지보수에 드는 비용은 어느 정도 인가?

현장평가에서 문제가 인지되면 디자인을 개선하는 과정이 필요하다. 이 과정을 통하여 안전시설물은 계속 개선되는 진화과정을 밟게 된다.

국내에서는 그림 8의 설계과정이 현장에서 제대로 시행되지 못하고 있다. 특히 현장 모니터링이 실시되지 못함으로써 도로 안전시설물의 실제 상황에서의 성능에 관한 귀중한 데이터를 잃고 있는 상황이다.

현장평가는 도로 안전시설물의 설계과정에만 필요한 것이 아니다. 그림 8에 나와 있는 현장평가 자료는 설치, 유지보수 관련 정책을 결정하기 위한 생생한 자료가 되고 관련 정책의 타당성 여부에 대한 자료가 되기도 한다. 또한 정책을 수정함으로써 생기는 경제효과에 대한 답이 되기도 한다. 현장평가의 결과가 그림 8과 같이 설계와 정책에 동시에 반영될 때 의미가 있는 것이다.

안전시설 관련 연구가 시작된 지 15년이 지났고 많은 시설물들이 개발되어 현장에 설치되었다. 이

제, 설치된 시스템이 현장에서 어떻게 작동하고 있고 문제점은 무엇인가, 현장의 데이터는 어떤 절차를 통하여 효과적으로 획득하고 이들 문제점을 정책 및 설계에는 어떻게 반영할 것인가에 대한 모색이 필요한 시점이다.

5. 설계 관행의 개선점 및 정책 제언

(1) 도로안전시설은 부대시설로 인식되어 전문 인력이 양성되어 있지 못하다. 때문에 도로설계기술자나 공무원들이 기술적으로 관여하기 곤란한 면이 있어서, 새로 설계를 한다기보다 표준도(typical drawing)나 제작업체의 제공 도면에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 설계업체의 제작도면이나 표준도 자체가 상세가 부족하고 제작업체로부터 제공된 설계를 충분히 검증할 기회가 없다. 설계심의가 있다고 하지만, 안전시설물은 상대적으로 작은 문제로 인식되고 설계심의자의 전문성도 기대할 수 없기 때문에 문제점은 그대로 남는다. 어느 한 사업의 설계 심의에서 안전시설물 관련 지적이 나왔다 하더라도 이것이 안전시설물 설계의 문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 것인가? 안전시설물은 쉽게 눈에 띄는 시설물이라, 누구나 관심이 있고 검증되지 않은 의견을 말할 수 있는 분야이기도 하다. 반면에 지적사항이 합리적이기만 하다면 설계단계에서 지적된 내용은 쉽게 현장에 적용될 수 있는 분야이기도 하다. 예를 들어, 교량설계가 거의 마무리 된 상태에서 설계심의를 개최하면 설계의 근본을 바꿔야할 지적이 나오기도 어렵거나 그러한 지적이 수용되기도 쉽지 않다. 그러나 도로안전시설물의 설계에 대한 지적은 아무리 근본적인 지적이라고 하더라도 설계를 바꾸는데 소요되는 시간이나 작업의 양으로 봐서 반영될 수 없을 정도는 아니다. 문제는 합리적인 지적을 할 수 있는 전문가의 양성과 전문가에 의한 심의이다. 이를 위하여 공무원, 연구원, 생산 및 시공업체의 전문화를 유도하고, 연구회를 활성화하여 교

육활동을 강화하며 신설도로설계 심의과정 및 도로 관리 주체의 안전시설물 설치사업에 대한 전문가 심의를 강화하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다.

(2) 도로안전시설물의 설계 상세의 부족 문제는 신기술 범위를 명확히 하고, 한 가지 시스템에 어떤 상세가 필요한지를 정확히 인식하여 해당 상세가 없는 경우 이를 시공하는 업체가 책임질 수 있도록 감독을 강화하는 방법이 있겠다. 그러나 신기술 심의 과정이나 감독기관의 전문성 문제와 일반적으로 한 가지 사례가 쉽게 전파되지 못하고 일회성으로 끝나는 관행으로 볼 때, 상기 시도와 병행하여 도로관리를 전담하는 정부 기관에서 상세에 관한 도면을 제공하는 방법과 신규도로 혹은 유지관리 과정에서 실시하는 안전시설물 설치사업은 전문가로 구성된 위원회를 만들어서 설계를 검토해 나가고 이 과정에서 나타난 문제점을 지침의 개정에 활용하는 방법 등을 생각해 볼 수 있다.

(3) 신기술 혹은 다른 종류의 품질인증을 획득한 설계라도 안전시설물에 대한 미국 FHWA의 검증절차와 유사한 전문가의 엄밀한 검토를 거친 후 정부의 설계도로 활용할 수 있게 한다. 현재 국내의 설계도서에는 외국에서 사용되는 시스템의 설계 예가 대부분이고, 정작 국내에 폭넓게 적용되고 있는 시스템의 설계방법이나 도면은 찾기가 힘들다. 검증된 설계를 정부 발행 관련 도서에 신속히 반영하여야 한다. 이를 위하여 설계검토의 전문성이 필수적이다.

(4) 신기술 제도가 연구개발에 대한 인센티브를 업체에 주는 것이 목적이라면, 실험의 종류 평가를 보다 엄격히 하고, 정비되지 않았거나 도입되지 않은 안전시설물 성능기준, 실험방법을 신속히, 구체적으로 제시하여야 하며 그것이 여의치 않은 상황에서는 꼭 필요한 시스템이나 설계 상세를 정부 주도로 연구해 가면서 동시에 지침을 개발해 나가면 된다.

(5) 도로완공시점에 설치되는 도로안전시설물의 관리규정이 필요하다. 신규도로 혹은 기존도로의 확장·포장 공사 현장에서 안전시설물 특히 철재 중앙분리대나 가드레일 설치작업은 도로 통행이 허용된 상

태에서 이루어지는 경우가 있고 마무리가 덜 된 상태에서 개통되는 경우가 대부분이다. 설치작업 중 혹은 일부 구간만 설치된 경우는 철재 빔의 단부가 그대로 돌출된 경우가 많이 있어서 특히 위험하다. 철재방호울타리 단부처리의 필요성이 특별히 드러나는 시기이다. 문제는 단부 노출지점이 작업기간 중에 있는 임시 위험지점이라는 점이다. 이러한 지점에서 단부처리의 중요성을 그대로 드러낸 빔 단부의 차량 관통사고가 있었으나, 사고 피해자가 시공현장의 인부였기 때문에 문제가 드러나지 않은 경우가 실제로 있었다. 이러한 지점은 영구적인 단부 시설을 설치할 수도 없고 방치할 수도 없는 곳으로 특별한 관리방법을 담은 매뉴얼을 개발하여 시공업체나 감독기관이 활용할 수 있게 하여야 하겠다. 이 매뉴얼에는 도로작업구간의 임시방호시설 설치방법, 차로 유도시설 배치방법 등 전반적인 안전관리 방법과 4.7절에서 언급한 안전시설물 관련 충돌사고 후 단계별 현장수습 방법 등을 포함시키면 좋은 공사구간 교통관제 매뉴얼이 될 수 있을 것이다.

6. 결론

노변안전설계 개념이 국내에 본격적으로 도입된 지 15년이 흘렀고 그 사이 많은 발전이 있었다. 각종 설계지침이 개발되었고, 충돌실험장이 설치 운영되고 대부분의 차량방호 안전시설에 대한 충돌기준이 확립되었으며 신기술을 획득한 안전시설물이 광범위하게 설치되어 단독차량사고 사망자 수를 줄이는데 큰 기여를 하게 되었다. 이러한 직접적인 효과 외에도, 안전시설물의 개발, 평가, 설치의 과정을 경험하면서 여러 가지 개선점을 확인할 수 있게 된 것도 중요한 자산이다. 본 논문은 현재까지의 경험을 토대로 도로안전시설물 관련 설계와 설치, 정책에 관한 개선방향을 정립해 본 것이다. 아직 도입되지 않은 slip base, 비용편익분석, 미관 설계, multi performance level concept, 시설개량, 현장 평가

및 피드백에 대하여 기술하였다. 설계관행의 개선점 및 정책제언은 주로 “설계기준이 없는 시설물의 설치는 불가능한 것인가? 안전시설의 설치에 있어서 정부가 제시한 충돌시험에 통과되지 않은 어떤 시설물도 설치될 수 없는 것인가?”라는 질문에 대한 답이다. 충돌시험 자체가 모든 실제 충돌상황을 대표한다기보다는 가정된 최악의 상황에 대한 대처능력을 상정하고 있을 뿐이다. 충돌시험에서의 충돌조건과 다른 위험한 충돌이 얼마든지 발생할 수 있는 것이며 이러한 충돌시 피해를 최소화하기 위한 다양한 합리적인 시설물의 설치 가능성을 충돌시험이 가로막아서는 안 된다. 또한 충돌조건을 지나치게 엄격하게 적용해서 어느 도로에 어떤 충돌조건 시설의 설치가 불가능하다는 식의 해석도 바람직하지 않다. 어디까지나 충돌시험의 결과는 이러한 충돌조건에도 안전시설물의 성능을 만족시키고 있다는 것으로 만족하면 되고 선택은 현장여건을 고려해서 신중하게 고려해야 하며, 안전시설물의 개발 및 적용에 있어서 다음과 같은 인식의 전환이 필요하다.

(1) 충돌조건 다양성을 인정하여 현장조건, 예산, 기능, 주변 환경과의 조화를 고려한 최선의 시설을 설치한다. 일반적인 도로에서 사용되는 충돌조건보다 하위의 충돌조건을 갖는 시설물도 현장여건에 따라서는 최선의 방호 대책이 될 수 있기 때문이다.

(2) 설계조건 혹은 충돌조건이 확정되지 않은 상황이라도 노변안전을 개선시킬 수 있는 시스템이 있고 그 성능에 대한 개발 및 설치와 설계지침이 병행될 수 있어야 한다. 설계지침이 완성되는 것은 개발 및 설치경험이 바탕이 되거나 해외 유사사례를 도입하여 사용하는 과정에서 탄생되는 것이지만 모든 개발 가능한 시스템을 예측해서 대비할 수 있는 것은 아니기 때문이다.

(3) 정해진 충돌조건 및 검증절차가 없는 상황에서 여러 종류의 안전시설이 있다고 할 때 기술적인 면에서 선택의 우선권을 어떻게 정할 것인가? 충돌시험에 통과된 것) 시뮬레이션 해석을 한 것) 부재

실험과 공학적인 해석을 한 것) 해석만 한 것) 부재에 대한 실험만 한 것) 등의 우선순위를 두고 결정한다면 기준이 없기 때문에 설치할 수 없으며 따라서 위험지수를 낮출 수 있는 수단이 있음에도 위험구간이 방치되는 일은 없을 것이다.

(4) 상시 가동되는 전문가 그룹에 의한 평가와 평가결과를 정책적으로 반영하여 제도화하는 노력이 필요하다.

(5) 설치후의 현장평가 및 이를 설계 및 정책에 피드백 하는 절차가 반드시 필요하다. 설계편람이나 지침의 오류 혹은 개선사항이 발견되면 개정사항(amendment)을 즉시 발행하여야 한다. 발행된 개정사항을 관리자나 설계기술자, 시공회사, 제작회사에 즉시 배포하고 축적된 개정사항은 설계도서나 지침 개정 반영한다.

참고문헌

1. KTDB, '국가교통데이터베이스', <http://www.kidb.go.kr>
2. R. L. Brockenbrough, K. J. Boedecker, Jr., *Highway Engineering Manual*, McGraw-Hill, New York, NY, 1996
3. AASHTO, *Roadside Design Guide*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1996.
4. 한국건설기술연구원, 토목섬유를 이용한 저비용 충격 흡수시설 개발 연구 최종보고서, 2005
5. AASHTO, *Roadside Design Guide*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1996.
6. M. H. Ray, J. Weir, and J. Hopp, "In-Service Performance of Traffic Barriers," NCHRP Report 490, TRB, Washington, DC, 2003.