

HETS 차량의 교량 통과 가능성에 관한 연구

Feasibility Study on Road Bridge Passed by Heavy Equipment Transporter

강 영 철*

Young Chul Kang

이 필 재*

Pil Jae Lee

Abstract

In Korea, the driving system restriction criteria is strictly applied(gross weight 400kN, axial load 100kN). Especially after the Seoungsu Bridge accident, safety factor has been strictly applied. The Safety factor is applied to the cumulative results for each steps like design, construction, maintenance of the Bridge. Because of it, the bridge is undervalued compared to its capacity.

So, this generates loss for both private and military sector(eg. logistical delays, structural damage, etc.). But analyzing data from many existing researches we have confirmed that the military heavy vehicle may pass through the first class bridges. In consequence, this study have focused on determining whether HETS vehicles can pass over the first class bridge, without safety issues, using MIDAS structural analysis program. The results have confirmed that the military heavy vehicle may pass over the bridge.

Keywords : Heavy Equipment Transporter(HETS), Military Heavy Vehicle(군용 중장비), The First Class Bridge(1등교), MIDAS Structural Analysis Program(MIDAS 프로그램), Passage Possibility(통과 가능성)

1. 서론

가. 연구의 배경과 목적

HETS(Heavy Equipment Transporter) 차량이란 전차, 장갑차, 자주포 등의 군용 중장비들을 운반, 배치, 철수시키는 운반용 트레일러로써, 군용 중장비들이 자체적으로 이동하였을 경우 발생할 수 있는 각종 마모나 고장을 방지하도록 유도하는 역할을 수행한다. 때문에 원활한 군 작전 수행을 위해서 반드시 필요한 장비이

며, 이는 이라크전을 통해서도 입증된바 있다.

하지만 현재 정부는 성수대교 붕괴 이후 모든 교량의 노후화에 따른 안전 대책의 일환으로 중량 차량에 대한 교통 통제를 실시하고 있으며, 더욱이 차량 통과 하중을 설계시의 교량 등급에 해당하는 총중량을 기준으로 설정하여 교량의 실제 내하력과는 무관하게 규제하고 있다. 때문에 이로 인한 물류 유통상의 수송 비용 증가는 더 말할 나위 없으며, HETS 차량을 비롯한 각종 군사 작전을 위한 장비 이동에도 많은 어려움을 겪고 있다.

특히, HETS 소대 창설이후 전차수송 횟수의 증가('07년도 HETS+전차 수송현황 : 3,700회)로 이동시 마다 지방 자치단체와 마찰을 빚고 있으며, '07년 12월

† 2009년 1월 19일 접수~2009년 3월 20일 게재승인

* 육군사관학교(Korea Military Academy)

책임저자 : 강영철(yckang@kma.ac.kr)

31일에 발표된 지침서에 따르면 HETS 차량의 교량 통과시 도로관리청의 ‘제한차량운송허가서’를 발급 받아 교량안전성 검토 후 운행하도록 유도하고 있으나, 운행허가절차가 너무 복잡하고, 구조물 통과하중계산시 소요되는 시간(약 30일)과 비용(2천만원)이 과다하여 이러한 지침을 만족시키기엔 어려운 상황이다.

따라서 본 연구는 기존의 연구 사례를 종합적으로 분석함으로써 군용 중장비들의 교량 통과 가능성에 대해 살펴보고자 한다. 또한 미 2사단이 실시한 HETS 차량 이동시 교량하중 측정실험을 분석해보고, MIDAS 프로그램을 통해 전차를 탑재한 HETS 차량이 실제 1등교 교량을 통과할 수 있는지 여부에 대해 판단하고자 한다.

나. 연구의 중점과 범위

본 연구는 일반 교량에 대한 HETS 차량의 통과 여부를 합리적으로 판단하는 것에 중점을 두고자 한다. 이를 위해 먼저, 국내 차량 운행제한 기준을 따를 경우 발생하는 군 측면에서의 문제점을 살펴보고, 군용 중장비가 실제로 교량을 통과할 수 있는지에 대해 법적 측면과 기존의 민간·군 차원에서 연구를 통해 판단해보고자 한다. 그 결과 통과 가능성이 충분하다는 결론이 얻어지면, HETS 차량에 대한 교량 통과가능 여부를 기존 연구 분석과 MIDAS 프로그램을 통해 판단하는 내용으로 마무리하고자 한다. 이때 적용 대상 차량으로는 MIAI 전차를 탑재한 Korean HETS 차량과 US HETS 차량을 선정했다.

2. 국내 운행제한 기준의 한계

가. 국내 운행제한기준 현황

현재 차량의 운행제한과 관련된 국내 법령은 Table 1에 나타난 바와 같이 도로법, 도로교통법 및 동법 시행령이 있으며, 각 법령에는 공통적으로 차량의 중량(축하중, 총중량) 및 제원(차량 폭, 길이, 높이)에 대한 운행제한규정을 두고 있다.

이 중 도로법에서는 제54조 1항을 통해 「관리청은 도로의 구조를 보전하고 운행의 위험을 방지하기 위하여 필요하다고 인정하는 때에는 대통령령이 정하는 바에 의하여 차량(자동차 및 건설기계)의 운행을 제한할 수 있다」라고 규정하고 있다. 또한 운행이 제한되는 차량중량 및 제원을 도로법 시행령 제28조 3항을

Table 1. 우리나라의 운행제한 관련 법령

관련법		내용
도로법	제54조 제1항	차량의 운행제한
	제28조의3 제2, 3항	차량의 운행제한
도로교통법	제13조 제3항	차로의 설치 등
	제35조 제1항	승차 또는 적재의 방법과 제한

통해 「축하중 100kN을 초과하거나 총중량이 400kN을 초과하는 차량¹⁾», 「차량의 폭이 2.5m, 높이가 4.0m, (또는 4.2m), 길이가 16.7m를 초과하는 차량」으로 규정하고 있다. 도로교통법에서는 제35조를 통해 「모든 차의 운전자는 승차인원, 적재중량 및 적재용량에 관하여 대통령령이 정하는 운행상의 안전기준을 넘어서 승차시키거나 적재하고, 운전하여서는 아니된다」라고 규정하고 있다. 또한 동시행령 제17조를 통해 모든 차량을 대상으로 「축하중과 상관없이 총중량에 대해서만 승차정원 또는 적재중량의 11할 이내」로 규정하고 있으며, 화물차량의 제원에 대하여 「길이는 자동차 1/10의 길이를 더한 길이, 너비는 자동차의 후사경으로 후방을 확인할 수 있는 범위」로 도로법과 다소 상이한 제한 규정을 두고 있다.

나. 군사적 측면에서의 차량 운행제한기준의 문제점

앞서 언급한 바와 같이 현행 법규상 국내의 모든 교량은 도로의 일부분으로써 도로의 기능을 만족시켜야 하는 선행조건이 존재하므로 평시에는 도로와 관련된 법규인 도로법에 의하여 축하중 100kN, 총중량 400kN을 초과하는 차량 및 장비는 도로 및 교량상의 운행을 제한받도록 규정되어 있다. 군 입장에서 이는 대단히 큰 문제이다. 왜냐하면 군에서 사용하는 대부분의 중장비들은 이를 초과하기 때문이다. 제한규정을 따를 경우 총중량이 510kN에 이르는 K-1전차를 비롯한 작전시 반드시 운행되어야 할 각종 중장비들이 DB-24(총

1) 우리나라 최초의 운행제한기준은 1972년 한국도로공사의 “고속도로 제한차량 운행규정(축하중 80kN, 총중량 600 kN)”에 나타난다. 이 운행규정은 1979년 단축 100kN, 텐덤축 160kN 및 총중량 400kN으로 개정되었고, 다시 1982년 텐덤축 160kN이 삭제되어 축하중 100kN, 총중량 400kN만이 운행제한기준으로 남아있다. 김연복, 김영국, 윤여환, 「과적차량 통제 및 관리방안에 관한 조사」 한국건설기술연구원, 1990.

중량 432kN)로 설계되고 도로법을 근거로 유지·관리되고 있는 1등급로를 포함한 국내의 모든 교량에서 이론적·법적으로 통행이 일체 불가하게 되는 것이다.

하지만 전차를 포함한 군이 보유한 중장비들은 군사작전 및 훈련을 함에 있어 필수불가결한 장비임은 재론의 여지가 없으며, 평시 실전과 같은 훈련을 통해 유지시에 대비해야 하는 군의 임무를 고려할 때, 도로법상 명시된 이러한 운행제한 조항은 훈련에 지장을 초래하는 심각한 문제가 아닐 수 없다.

3. 중차량의 교량 통과 가능성에 대한 연구·분석

가. 법적 측면에서의 통과 가능성 판단

앞서 살펴본 바와 같이 현재 국내에서 적용하고 있는 차량의 운행제한 기준을 적용할 경우 우리 군이 보유한 중장비들의 사용 자체에 큰 지장을 주게 된다.

따라서 법 내용을 구체적으로 살펴봄으로써 군용 중장비의 경우 차량의 운행제한 기준을 적용받지 않을 수 있는 가능성을 찾아보고, 이를 입증하고자 한다.

1) 법적용 제외 대상으로서의 군용 중차량

현재 시행중인 도로법 내용을 살펴보면, 군용 중차량의 경우 도로법으로부터 일정부분 자유로울 수 있다는 내용이 명시되어 있다. 도로법 제59조를 살펴보면, 적재화물이나 차량의 구조가 특수성을 띠고 있을 경우 관리청은 이에 대한 허가를 내줄 수 있다고 명시되어 있으며, 자동차관리법 제2조(정의)에서는 일반적으로 통용되고 있는 자동차의 정의에 대해 설명되어 있는데, 이 중 대통령령이 정하는 것은 예외로 한다고 명시되어 있다. 또한, 자동차관리법 제2조(적용이 제외되는 자동차)에서도 마찬가지로 군수품관리법에 의한 차량은 통행제한운행 기준에 일정부분 자유롭다고 명시되어 있다.

즉, 군용 중차량이 축하중 100kN, 총중량 400kN이라는 현행 법규상의 운행제한 기준을 초과하더라도 교량의 안전상 문제가 없음이 입증된다면, 일정 제한 조건 하에서 얼마든지 통과가 가능하다는 것을 알 수 있다.

2) 재난 및 안전관리 기본법으로 본 책임문제

특정 기관의 요청에 의해 군용 중장비가 지원 작전에 활용될 경우, 지원 작전간 소요되는 경비문제는 요

청한 기관에서 부담하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이는 재난 및 안전관리기본법 제62조, 제63조에서 규정하고 있으며, 특히 제66조에서는 이러한 경비 문제를 국가 차원에서 지원하도록 명시하고 있다.

예를 들어, 공병장비가 출동하여 대민 지원하는 과정에서 발생한 피해 문제의 경우, 즉 공병이 보유한 무거운 장비 등이 교량 통과시 발생하는 문제에 대해서는 도로교통법과 도로법 보다는 재난 및 안전관리 기본법이 우선 적용되어야 한다. 여기서, 기관장, 경찰서장 등이 지원을 요청한다는 것은 제43조와 제44조에 의거 교량의 통과를 허용한다는 의미이고, 통과로 인하여 발생한 피해 등에 대하여는 제39조에 의거, 제64조의 손실보상규정에 의하여 손실보상으로 해결할 수 있음을 의미한다. 결국 특정 기관으로부터의 지원 요청이 발생하면, 교량에 대한 군용 중장비의 통과가 법적으로 어떠한 구속을 받지 않음을 의미하며, 이에 대해 발생한 각종 문제에 대해 군에서는 어떠한 책임도 지지 않음을 알 수 있다.

나. 중차량의 교량 통과에 관한 연구 사례 분석

1) 민간 차원 연구 사례

가) 중차량 통과에 대한 미국 교통국의 보고서

지난 90년대 미국 교통국에서는 2차로 이상을 사용하여 통과할 경우 활하중의 횡분배 계수가 감소하고, 교량의 형식 및 통과 차량의 횡방향 차륜간격에 따라 25~45%의 추가 내하력을 부여할 수 있다는 연구결과를 제시한 바 있다.²⁾ 다시 말해서, 도로법상 차량의 운행제한 조항은 차로당 통과하는 차량의 총중량과 축하중을 제한하는 것으로서 2차선 이상을 사용하여 1대씩 통과할 경우 총중량 400kN, 축하중 100kN을 초과하는 차량도 교량통과가 가능하다는 것이다.

이는 축하중 100kN, 총중량 400kN인 우리나라의 운행제한 조항은 법이 제정된 1980년대 상황에는 부합된 규정일 수 있으나, 그 후 국내 도로 및 교량의 여건이 많이 달라졌고 차량도 중량화 되었으므로 경제적 합리성을 기초로 재해석되어야 함을 뒷받침하는 자료라고 할 수 있다.

나) 대한통운(주)의 용역의뢰 구조물통과하중계산서 대한통운(주)에서 (주)해송엔지니어링과 (주)연엔지

2) 강영철, “교량 통과 하중 결정 방법의 개선에 관한 연구”, p. 39. 육군사관학교 화랑대 연구소, 1995.

니어링에 용역 의뢰한 “적현 BOX 구조물의 통과하중에 대한 안전성 검토보고서(2003.9)” 및 “신촌 BOX의 1개 구조물의 통과하중에 대한 안전성 검토 보고서(2003.5)”에 의하면, DB-18(324kN)로 설계된 BOX형 압거식 교량인 적현교와 신촌교에 대해 3,160kN과 3,070kN의 총중량을 갖는 트레일러가 통과 가능한 것으로 분석되었으며, 대한통운(주)은 이를 근거로 마산 시로부터 운행허가를 받았다. 이는 총중량 3,000kN 이상의 대형 트레일러가 DB-18(총중량 324kN)의 설계하중을 갖는 2등교 교량을 통과하는데 구조적으로 이상이 없음을 입증한다.

다) 중차량 운행노선 지정 운용

2000년 이후 대형 건설기계를 취급하는 사람들이 단체를 구성하여 축하중 100kN, 총중량 400kN 법률 조항에 대해 개정을 건의한 바가 있고, 이에 대해 서울특별시에서는 관할지역 내 교량을 대상으로 자체적인 정밀 내하력 평가를 실시한 후 대형 건설기계의 통과가 가능한 중차량 운행노선 24개소를 지정 운용하고 있다. 또한 인천광역시, 경기도, 부천시 등에서도 중차량 운행을 위한 임시운행노선을 지정하는 등 도로법상의 무분별한 운행제한 조항에 대한 검토 및 추가적인 대책 마련이 전국적으로 확산되고 있는 추세이다.3)

2) 군 차원 연구 사례

가) 경기 북부지역 시설물에 대한 특수차량 통과 안전성 평가 및 통과지침서 연구

‘경기 북부지역 시설물에 대한 특수차량 통과 안전성 평가 및 통과지침서 연구’는 경기 북부지역 주요 국도상의 84개 교량을 대상으로 전차를 포함한 군용 중차량의 통과 가능성 판단을 목적으로 실시한 내하력 평가결과로, DB하중(집중하중)과 케도하중(등분포하중) 모두를 고려한 보다 실질적인 연구이다. 이 연구에 따르면, 설계하중 432kN인 DB-24의 1등교 60개소 중 57개소(95%), DB-18(324kN)의 2등교 16개소 중 15개소(93.8%), DB-13.5(243kN)의 3등교의 경우 전 교량(100%)에서 전차의 통과가 가능한 것으로 판단되었다. 통과가 불가할 것으로 판단된 4개소의 교량 중 2개소는 1975년에 준공되어 공용연수가 30년 이상 경

과한 교량으로써 콘크리트 탈락, 철근 노출 등 노후화가 심하고, 나머지 2개소는 1992년에 준공되었으나 교각두부에 휨 및 전단균열이 심하게 발생되어 교각에 대한 보강공사를 추가로 필요로 하는 교량이었다. 결과적으로 총중량 510kN인 전차의 교량통과 여부는 설계하중의 종류, 다시 말해서 교량의 등급만을 고려해서는 상관관계를 찾을 수 없으며, 이보다는 설계 및 시공의 신뢰도와 평시 교량에 대한 유지·관리에 보다 직접적인 관계가 있음을 알 수 있다.

Table 2. 경기북부 주요 교량에 대한 내하력 평가 결과

구분	관련청	대상 교량	평가결과(개소)		
			통과가능	보강후 통과가중	통과불가
국도	건설교통부	84개소	75	5	4
			설계하중	DB-24 : 54 DB-18 : 2 DB-13.5 : 8	DB-24 : 3 DB-18 : 2 DB-13.5 : 없음

나) Foster Creek 교량 재하 시험

이 시험은 미 육군 중차량의 통과로 인해 교량에 피해가 생겼다는 미 해군의 주장으로부터 시작되었다. 미 해군은 설계하중 720kN인 교량을 연간 7~8회 통행하는 115US tons 중량의 미 육군 중장비 차량이 교량에 피해를 입혔다고 주장하며, 육군에 교량 보수를 위한 자금을 요청하였고, 이에 미 육군은 이를 반박하기 위한 수단으로 교량 검사를 실시하게 되었다.

교량 검사 결과 미 육군은 다음과 같은 이유로 교량을 교체할 필요가 없다고 발표했다.

- ① 육군 중장비 차량(115US tons)으로 인한 최대 변형도는 3개의 차축을 가진 덤프트럭(33.5US tons)에 의한 변형도보다 오히려 작은 값을 나타냄
- ② 교량은 탄성한도 내에서 거동함
- ③ 교량 테스트를 통해 실측한 중립축은 이론적으로 계산한 중립축과 거의 동일한 값을 보여줌

결국 미 육군 중장비 차량(115US tons)은 사용성과 교량의 내하력에 대해서 전혀 문제를 야기하지 않는다는 것이 입증된 것이다. 특히, 유한요소해석 결과는 거의 모든 측정센서에서 실측된 변형도 보다 작았으

3) 서울시장방침(03. 12. 1), 인천광역시 고시 2004-111호, 건설교통부지시 도로환경과 제 1279호.

며, 유한요소해석의 결과에 따라 Table 3과 같이 교량 등급을 상향 조정할 것을 권장하게 되었다.

Table 3. Foster Creek 실험 참조사항

차량	실제중량 (US tons)	추천등급 (US tons)	교량에 보다 큰 영향을 미치는 내력
HET/M1	115	181	전단력
HS20	36	44	모멘트

4. 실제 교량에 대한 HETS 차량의 통과 가능성 판단

가. HETS 차량의 캠프케이시 S-1801 교량 재하 실험

이 실험의 목적은 교량 S-1801에 대하여 (a) MIA1 전차 재하시, (b) HETS 차량 재하시, (c) MIA1 전차를 탑재한 미국형 HETS 차량 재하시, (d) K1 전차를 탑재한 한국형 HETS 차량 재하시 교량 S-1801의 활하중에 대한 응답을 측정하고 비교하기 위해서이다. 실험을 위해 대상 교량의 주요 구조 부재에 60개의 변형률 측정용 변환기(Transducer)를 설치하였다.

계측된 데이터 값에 의하면, 위 4가지 재하 방법 가운데 MIA1 전차가 단독으로 교량 S-1801을 통과할 때 활하중에 의한 응력이 최고 값(39.6MPa)을 기록하였다. 총중량 660kN의 MIA1 전차가 단독으로 통과할 때 활하중에 의한 응력은 MIA1 전차를 탑재한 미국형 HETS 차량 보다 총중량이 430kN이나 가벼웠음에도 불구하고 오히려 111% 크게 발생하였으며, 한국형 K1 전차를 탑재한 한국형 HETS 차량이 교량을 통과할 때보다는 121% 큰 응력을 나타내었다. 이는 한국형과 미국형 HETS 차량을 이용하여 전차를 수송하는 것이 전차 단독으로 이동하는 것보다 교량에 구조적으로 적은 영향을 미친다는 것을 의미하며, 타이어가 장착된 HETS 차량이 전차와 같은 궤도차량에 비하여 교량 포장면을 적게 마모시킨다는 점 또한 이를 뒷받침하고 있다.

나. MIDAS 프로그램을 활용한 HETS 차량 통과 구조해석

위의 실험을 통해 제시된 측정 결과는 실험 대상 교

량에 한정된 것으로 HETS 차량의 최원 축간 거리보다 짧은 교량을 그 대상으로 했음을 한계로 지적할 수 있다. 따라서 이번 절에서는 MIDAS 프로그램을 활용하여 경간 길이가 HETS 차량의 최원 축간 거리보다 긴 DB-24 교량을 대상으로 HETS 차량을 통과시키고, 그에 대한 구조해석을 실시하도록 한다.

1) 대상 교량

교량은 구조 형식 및 재료에 따라 그 종류가 다양하다. 본 연구는 국내 시공된 교량 중 가장 많이 존재하는 교량을 각 재료별로 대표하여 선정하였으며, 특히, 현재 대부분의 교량은 편도 2차로, 상하행 분리형 형식의 교량임을 고려하였다(Fig. 1, 2, 3).

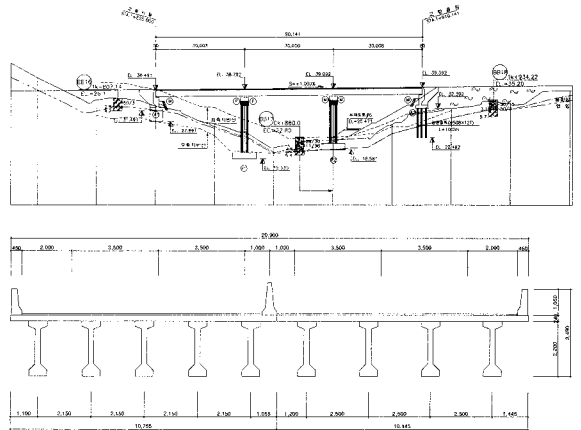


Fig. 1. PC Beam교의 종단 및 횡단구성

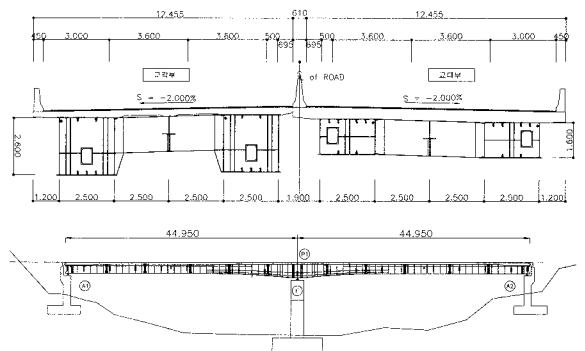


Fig. 2. 강합성 박스교의 종단 및 횡단구성

2) 해석 모델 및 하중

가) 해석 모델

PC Beam교, 강합성 박스교 및 플레이트 거더교의

모델은 뼈대 요소를 이용한 3차원 해석 모델을 이용하였으며 각각을 Fig. 4~6에 나타내었다. 해석 프로그램으로는 MIDAS-CIVIL을 사용하였다.

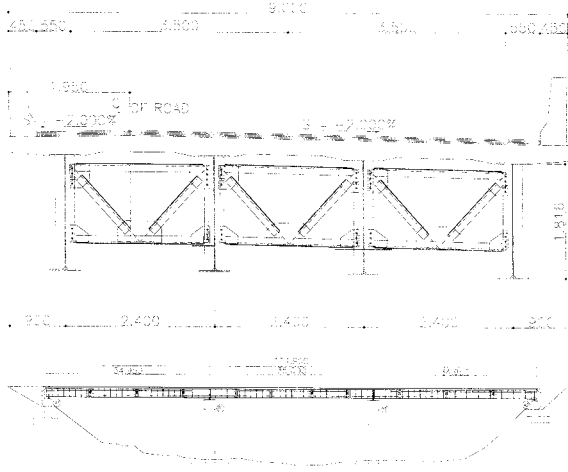


Fig. 3. 플레이트 거더교의 종단 및 횡단구성

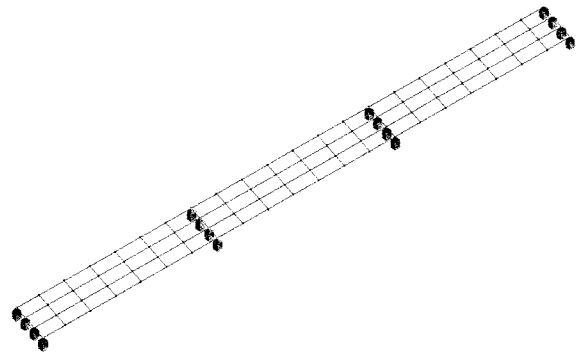


Fig. 6. 플레이트 거더교 뼈대 모델(연속교)

전차하중의 통과조건은 전차 수송용 트레일러(HETS) 통과시의 값을 산출하되, 미군용 HETS와 한국군이 사용하는 HETS를 각각 고려하여 검토하였다.

(1) 활하중

도로교 설계기준에 의한 활하중은 Fig. 7과 같다.

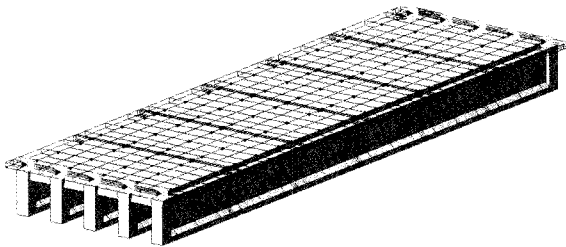


Fig. 4. PC Beam교 뼈대 모델(단순교)

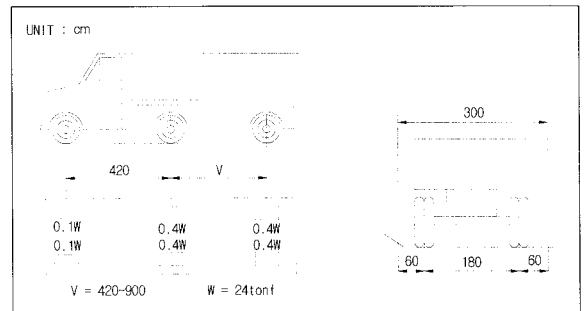


Fig. 7. DB 하중

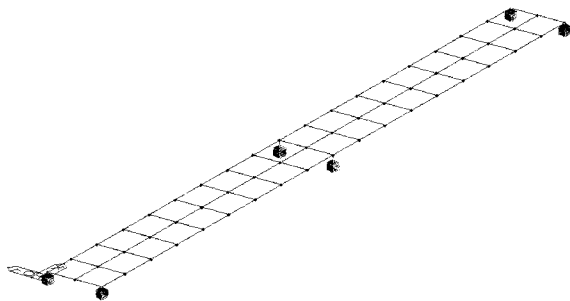


Fig. 5. 강합성 박스교 뼈대 모델(연속교)

(2) 전차하중

나) 하중

전차하중이 통과할 경우 활하중을 제외한 기타하중은 동일하므로 이에 대한 기술은 생략하며 활하중과 고정하중+활하중 하중조합의 결과 값을 비교한다.

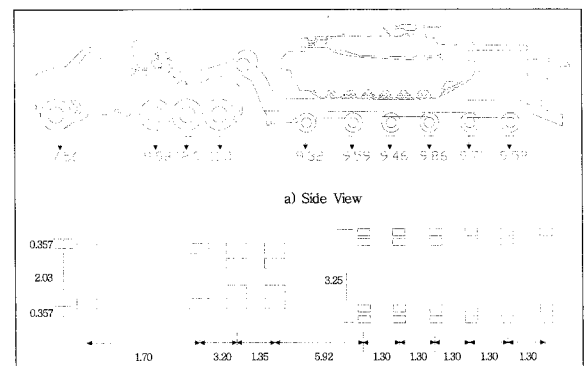


Fig. 8. 탱크 트레일러 하중(Korean HETS+M1A1 Tank)

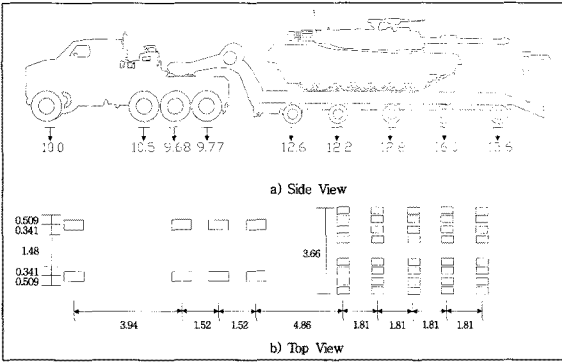


Fig. 9. 탱크 트레일러 하중(US HETS+M1A1 Tank)

검토대상의 활하중별 차륜하중은 Table 4와 같이 적용한다. 도로교 설계기준의 활하중 재하 규정에 따르면, 현재 공용중인 대부분의 편도 2차로 교량은 설계 차로수가 3차로로 정의되고, 3차로 동시재하의 경우는 동시 재하 빈도를 감안하여 3개 차로의 결과 값의 90%를 적용하도록 하고 있다.

따라서, 산술적인 DB-24 활하중의 전체 크기는 3차로 재하의 경우에 $1,166.4\text{kN}(432 \times 3 \times 0.9 = 1,166.4\text{kN})$ 로써

Table 4. 활하중별 차륜하중 비교표(단위 : kN)

차륜번호	DB24 (도로교 활하중)	US-HETS (M1A1)	Korean HETS (M1A1)
P1	48	100	75.6
P2	192	105	99.8
P3	192	96.8	120
P4		97.7	113
P5		126	93.2
P6		122	95.9
P7		128	94.6
P8		160	98.6
P9		156	97.1
P10			95.2
합 계	432	1,091.5	983
2차로 재하시	864	1,091.5	983
3차로 재하시	1,166.4	1,091.5	983

가장 큰 값을 가지며, 활하중 재하시의 부재력 값도 차륜하중의 이격 거리에 영향을 배제하면 검토 대상의 세 가지 하중 중에서 가장 큰 값을 나타내리라는 것을 예상할 수 있다.

(3) 활하중의 재하

활하중의 재하는 도로교 설계기준에 정의한 바에 따라 1등교 하중을 설계 차로수 별로 영향선 재하를 하였고, 전차하중의 경우는 일반차량을 통제하는 것을 전제로, 최대 편측 재하 경우 및 중앙부 재하를 고려하여 해석을 수행한 후 그 결과값을 비교 하였다. 이에 대한 재하도를 Fig. 10에 나타내었다.4)

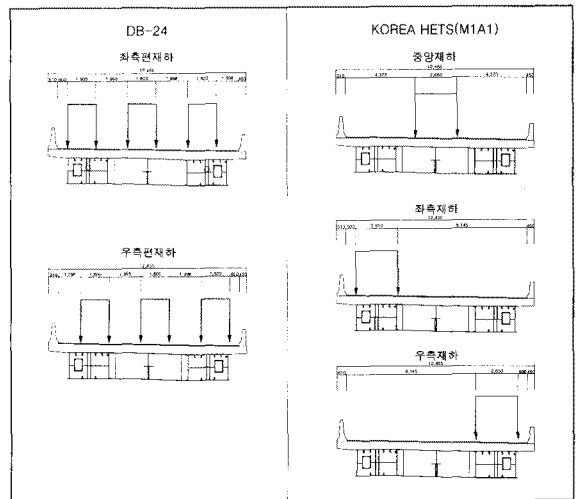


Fig. 10. 강함성 박교에서 활하중 재하 개요도

다) 해석 결과

교량형식별 해석결과를 다음과 같이 정리하였다.

먼저, 활하중만의 부재력 결과 값을 교량형식에 따라 Table 5, Table 7, Table 9에 정리하였다. 또한, (고정하중+도로교 활하중) 값과 (고정하중+전차트레일러 하중-미군, 한국군)에 대해 Table 6, Table 8, Table 10에 정리하였다.

종합해보면, 교량의 좌, 우측으로 통행시 휨모멘트 및 전단력의 결과가 교량 외측거더에서 도로교 설계하

4) 구조해석간 각 교량의 거더를 크게 좌측거더와 우측거더로 구분하였다. 이는 각 거더의 위치를 교량의 중앙분리대를 기준으로 구분한 것이며, 또한 더욱 세밀한 해석을 위해 좌·우측 거더 내에 세부적으로 내측거더와 외측거더를 설정하여 구조해석을 실시하였다.

Table 5. PC Beam교의 활하중에 의한 부재력 비교

	DB-24 (L)		Korean HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과	US-HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과
	내측거더	2,133	좌측재하	1,981			좌측재하	2,211		
M_{max} (kN · m)	내측거더	2,133	좌측재하	1,981	0.929	O.K	좌측재하	2,211	1.036	N.G
			중앙재하	1,533	0.719	O.K	중앙재하	1,710	0.802	O.K
	외측거더	2,429	좌측재하	2,707	1.114	N.G	좌측재하	2,932	1.207	N.G
			중앙재하	1,370	0.564	O.K	중앙재하	1,490	0.613	O.K
V_{max} (kN)	내측거더	377	좌측재하	238	0.631	O.K	좌측재하	262	0.696	O.K
			중앙재하	361	0.957	O.K	중앙재하	423	1.122	N.G
	외측거더	427	좌측재하	513	1.202	N.G	좌측재하	577	1.353	N.G
			중앙재하	135	0.316	O.K	중앙재하	145	0.339	O.K

Table 6. PC Beam교 해석 결과

	DB-24 (D+L)		Korean HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과	US-HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과
	내측거더	9,425	좌측재하	9,226			좌측재하	9,456		
M_{max} (kN · m)	내측거더	9,425	좌측재하	9,226	0.979	O.K	좌측재하	9,456	1.003	N.G
			중앙재하	8,725	0.926	O.K	중앙재하	8,905	0.945	O.K
	외측거더	9,689	좌측재하	9,829	1.014	N.G	좌측재하	10,082	1.041	N.G
			중앙재하	8,675	0.895	O.K	중앙재하	8,879	0.916	O.K
V_{max} (kN)	내측거더	1,225	좌측재하	1,080	0.882	O.K	좌측재하	1,104	0.901	O.K
			중앙재하	1,209	0.987	O.K	중앙재하	1,271	1.037	N.G
	외측거더	1,289	좌측재하	1,352	1.049	N.G	좌측재하	1,417	1.099	N.G
			중앙재하	996	0.773	O.K	중앙재하	1,018	0.790	O.K

Table 7. 강박스교의 활하중에 의한 부재력 비교

	DB-24 (L)		Korean HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과	US-HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과
	좌측거더	5,853	좌측재하	4,997			좌측재하	5,579		
M_{max} (kN · m)	좌측거더	5,853	좌측재하	4,997	0.854	O.K	좌측재하	5,579	0.953	O.K
			중앙재하	3,865	0.660	O.K	중앙재하	4,362	0.745	O.K
			우측재하	2,838	0.485	O.K	우측재하	3,218	0.550	O.K
	우측거더	5,907	좌측재하	2,864	0.485	O.K	좌측재하	3,247	0.550	O.K
			중앙재하	3,912	0.662	O.K	중앙재하	4,414	0.747	O.K
			우측재하	5,024	0.851	O.K	우측재하	5,608	0.949	O.K
M_{min} (kN · m)	좌측거더	4,568	좌측재하	5,076	1.111	N.G	좌측재하	5,569	1.219	N.G
			중앙재하	3,246	0.711	O.K	중앙재하	3,619	0.792	O.K
			우측재하	2,136	0.468	O.K	우측재하	2,400	0.526	O.K
	우측거더	4,631	좌측재하	2,149	0.464	O.K	좌측재하	2,415	0.522	O.K
			중앙재하	3,313	0.715	O.K	중앙재하	3,693	0.797	O.K
			우측재하	5,119	1.105	N.G	우측재하	5,618	1.213	N.G
V_{max} (kN)	좌측거더	806	좌측재하	882	1.093	N.G	좌측재하	982	1.218	N.G
			중앙재하	509	0.631	O.K	중앙재하	567	0.704	O.K
			우측재하	246	0.305	O.K	우측재하	284	0.353	O.K
	우측거더	818	좌측재하	251	0.306	O.K	좌측재하	290	0.354	O.K
			중앙재하	522	0.638	O.K	중앙재하	583	0.712	O.K
			우측재하	887	1.084	N.G	우측재하	989	1.208	N.G

중의 결과 값에 대하여 한국군 전차하중의 경우 1.4~4.9%정도 초과하는 반면, 미군 전차하중의 경우 4.1~9.9%정도 초과하였다. 또한, 미군 전차하중의 경우는 좌측 재하인 경우 내측거더의 휨모멘트도 0.3%정도 초과하며, 전단력의 경우는 중앙재하인 경우도 3.7% 초과하는 것으로 나타났다. 즉, HETS 차량이 편측통과할 경우 부모멘트가 발생하는 연속보의 지점에서는 부모멘트에 대해 불안정한 것으로 나왔으며, 전단력 결과도 역시 불안정한 것으로 나타났다.

하지만 교량의 중앙을 통과할 경우, 1등교로 설계된 교량을 통과할 경우 일부 구간을 제외하고는 대체로 휨모멘트 및 전단력의 부재력 결과상으로 이상이 없는 것으로 나타났다. MADAS 프로그램을 이용해 MIA1을 탑재한 HETS 차량을 통과시킨 해석 결과는 다음과 같다.

(1) PC Beam교

왕복 2차로, 상하행 분리형, 경간장 30m의 PC Beam 교가 1등교로 설계된 경우 DB-24의 활하중 재하효과는 HETS 차량의 활하중 재하효과 보다 작으므로 HETS 차량의 통행은 교량의 중앙으로 통과하는 경우

구조해석상 대체로 안전한 것으로 밝혀졌다. 그러나 교량의 좌, 우측으로 통행시(편측 재하의 경우), 휨모멘트 및 전단력의 결과가 교량 외측거더에서 도로교 설계하중의 결과 값에 대하여 일정 구간 초과하였으며, 특히 미군 HETS 차량의 경우 전단력에 있어서 중앙재하 조건 하에서도 일부 초과하는 것으로 나타났다. 즉, 외측 거더에서 HETS 차량에 의한 활하중 모멘트의 크기는 도로교 설계하중의 결과 값 보다 크므로 HETS 차량의 이동을 제한하여 통과시켜야 할 필요가 있다고 판단된다.(Table 5, 6)

(2) 강합성 박스교

HETS 차량이 교량의 중앙을 통과할 경우, 1등교로 설계된 강합성 박스교를 통과하는 데에는 휨모멘트 및 전단력의 부재력 결과상 이상이 없다. 그러나, 편측통과의 경우 부모멘트가 발생하는 연속보의 지점에서는 부모멘트에 대해 불안정한 것으로 나타났으며, 전단력 결과도 역시 불안정한 것으로 나타났다. 즉, 왕복 2차로, 상하행 분리형, 경간장 50m의 강합성 박스교가 1등교로 설계된 경우, 단면력은 전차하중의 경우 작으므로 충분한 내하력을 가지고 있다고 판단되지만, 교

Table 8. 강박스교 해석 결과

	DB-24 (D+L)		Korean HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과	US HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과
	좌측거더	우측거더	좌측재하	우측재하			좌측재하	우측재하		
M _{max} (kN · m)	좌측거더	15,016	좌측재하	14,186	0.945	O.K	좌측재하	14,755	0.983	O.K
			중앙재하	13,118	0.874	O.K	중앙재하	13,588	0.905	O.K
			우측재하	11,960	0.796	O.K	우측재하	12,322	0.821	O.K
	우측거더	15,286	좌측재하	12,204	0.798	O.K	좌측재하	12,569	0.822	O.K
			중앙재하	13,383	0.875	O.K	중앙재하	13,860	0.907	O.K
			우측재하	14,429	0.944	O.K	우측재하	15,004	0.982	O.K
M _{min} (kN · m)	좌측거더	31,290	좌측재하	31,782	1.016	N.G	좌측재하	32,275	1.031	N.G
			중앙재하	29,970	0.958	O.K	중앙재하	30,344	0.970	O.K
			우측재하	28,336	0.906	O.K	우측재하	28,602	0.914	O.K
	우측거더	32,282	좌측재하	29,308	0.908	O.K	좌측재하	29,579	0.916	O.K
			중앙재하	30,969	0.959	O.K	중앙재하	31,350	0.971	O.K
			우측재하	32,757	1.015	N.G	우측재하	33,256	1.030	N.G
V _{max} (kN)	좌측거더	3,312	좌측재하	3,387	1.023	N.G	좌측재하	3,488	1.053	N.G
			중앙재하	3,015	0.910	O.K	중앙재하	3,073	0.928	O.K
			우측재하	2,752	0.831	O.K	우측재하	2,790	0.842	O.K
	우측거더	3,431	좌측재하	2,863	0.835	O.K	좌측재하	2,902	0.846	O.K
			중앙재하	3,135	0.914	O.K	중앙재하	3,195	0.931	O.K
			우측재하	3,499	1.020	N.G	우측재하	3,601	1.050	N.G

Table 9. 플레이트 거더교의 활하중에 의한 부재력 비교

	DB-24 (L)		Korean HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과	US HETS(M1A1) (L)		Tank/DB Ratio	결과
	M_{max} (kN · m)	내측거더	1,834	좌측재하	1,979	1.079	N.G	좌측재하	2,276	1.241
중앙재하				1,781	0.971	O.K	중앙재하	2,017	1.100	N.G
우측재하				1,980	1.079	N.G	우측재하	2,278	1.242	N.G
외측거더		1,897	좌측재하	2,465	1.299	N.G	좌측재하	2,610	1.376	N.G
			중앙재하	1,003	0.529	O.K	중앙재하	1,109	0.584	O.K
			우측재하	2,464	1.299	N.G	우측재하	2,610	1.376	N.G
M_{min} (kN · m)	내측거더	1,287	좌측재하	1,608	1.250	N.G	좌측재하	1,869	1.452	N.G
			중앙재하	1,564	1.215	N.G	중앙재하	1,752	1.361	N.G
			우측재하	1,609	1.250	N.G	우측재하	1,870	1.453	N.G
	외측거더	1,245	좌측재하	1,822	1.463	N.G	좌측재하	1,874	1.505	N.G
			중앙재하	644	0.517	O.K	중앙재하	724	0.582	O.K
			우측재하	1,822	1.463	N.G	우측재하	1,874	1.505	N.G
V_{max} (kN)	내측거더	390	좌측재하	383	0.983	O.K	좌측재하	462	1.184	N.G
			중앙재하	481	1.235	N.G	중앙재하	546	1.400	N.G
			우측재하	383	0.983	O.K	우측재하	462	1.185	N.G
	외측거더	339	좌측재하	443	1.306	N.G	좌측재하	461	1.360	N.G
			중앙재하	210	0.619	O.K	중앙재하	236	0.695	O.K
			우측재하	443	1.307	N.G	우측재하	461	1.360	N.G

Table 10. 플레이트 거더교 해석 결과

	DB-24 (D+L)		Korean HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과	US HETS(M1A1) (D+L)		Tank/DB Ratio	결과
	M_{max} (kN · m)	내측거더	4,423	좌측재하	4,568	1.033	N.G	좌측재하	4,866	1.100
중앙재하				4,325	0.978	O.K	중앙재하	4,553	1.029	N.G
우측재하				4,565	1.032	N.G	우측재하	4,863	1.100	N.G
외측거더		4,525	좌측재하	5,092	1.125	N.G	좌측재하	5,238	1.158	N.G
			중앙재하	3,646	0.806	O.K	중앙재하	3,750	0.829	O.K
			우측재하	5,083	1.123	N.G	우측재하	5,228	1.155	N.G
M_{min} (kN · m)	내측거더	5,005	좌측재하	5,327	1.064	N.G	좌측재하	5,588	1.116	N.G
			중앙재하	5,283	1.055	N.G	중앙재하	5,471	1.093	N.G
			우측재하	5,320	1.063	N.G	우측재하	5,582	1.115	N.G
	외측거더	5,339	좌측재하	5,916	1.108	N.G	좌측재하	5,968	1.118	N.G
			중앙재하	4,737	0.887	O.K	중앙재하	4,817	0.902	O.K
			우측재하	5,900	1.105	N.G	우측재하	5,952	1.115	N.G
V_{max} (kN)	내측거더	976	좌측재하	969	0.993	O.K	좌측재하	1,048	1.074	N.G
			중앙재하	1,067	1.094	N.G	중앙재하	1,131	1.160	N.G
			우측재하	968	0.992	O.K	우측재하	1,046	1.072	N.G
	외측거더	1,009	좌측재하	1,113	1.103	N.G	좌측재하	1,131	1.121	N.G
			중앙재하	800	0.792	O.K	중앙재하	816	0.808	O.K
			우측재하	1,111	1.101	N.G	우측재하	1,129	1.119	N.G

각 지점부의 해석결과에 따르면, 전차하중의 편측재하에 대해서는 도로교 설계 차량하중의 결과 값에 비해서 더 큰 값이 발생하므로, 각 사례별 구체적인 검토가 필요할 것으로 판단된다(Table 7, 8).

(3) 플레이트 거더교

검토대상의 플레이트 거더교의 경우에 대해서는 한국군 전차하중의 경우에도 몇 가지의 경우에 대하여 설계 활하중에 의한 단면력보다 크게 발생한다. 특히, 검토대상 교량의 폭원은 9.0m로써, 양측의 방호벽을 제외한 순수 차량 점유폭은 8.1m이다. 따라서, 도로교 설계기준상의 설계차로수가 2차로로 적용되며, 결과적으로 도로교 설계기준의 활하중 결과 값이 전차트레일러의 하중보다 작은 값으로 나타났다.

앞서의 PC Beam교와 강함성 박스교의 경우, 공용차로수는 2차로라 하더라도, 설계차로수는 3차로가 적용되어, 3차로 동시재하에 따른 하중의 경감을 감안하더라도 전차트레일러 하중보다 설계 활하중이 큰 값이 되나, 검토대상의 플레이트 거더교와 같이 설계 차로수가 2차로가 되는 경우, 도로교 활하중의 값이 전차트레일러의 하중보다 작은 것으로 나타났다(Table 9, 10).

이상의 해석을 통하여 HETS 차량이 중앙부에 재하되도록 유도할 경우 대체로 부재력이 도로교 설계기준의 설계활하중 결과 값보다 작은 값으로 구하여진다는 사실이 밝혀짐에 따라 HETS 차량을 적절한 방식(재하위치, 형태, 속도 등)으로 통과시킬 경우 교량을 안전하게 통과할 수 있음을 알 수 있게 되었다.

하지만 플레이트 거더교의 예와 같이, 그 제원에 따라 전차하중의 결과 값이 대체로 큰 값으로 나타나기도 하므로, 각각의 사례에 따라 상세한 구조 검토를 통하여 구조 안전성을 확인하고, 이에 대한 대책을 수립하는 것이 적절하다고 판단된다.

5. 결론

현재 우리나라는 총중량 400kN, 축하중 100kN이라는 제한 기준을 엄격하게 적용하고 있다. 이는 지난 산풍백화점 및 성수대교 붕괴사고 이후 더욱 강력해진 안전율을 적용하고 있기 때문으로, 교량의 설계·시공·유지관리의 각 단계마다 안전율이 누적 적용되어 결과적으로는 교량이 보유한 능력에 비해 과소평

가되고 있는 비효율적 결과를 초래하였다. 과도한 안전율의 적용으로 인해 비경제적인 통행제한 기준이 지켜지게 되었고, 이는 SOC 시설물의 효율적 이용이란 측면에서 매우 불합리한 결과를 낳았다. 또한 국가의 운명을 결정짓는 중대한 역할을 수행하는 군용 중장비의 경우에도 작전상 많은 차질을 빚고 있다.

이와 같은 문제의식에 의거하여 현재의 차량운행제한 기준의 문제점을 분석하고, 군용 중장비의 실제 교량 통과 가능성을 기존 연구 자료와 MIDAS 프로그램을 통해 판단해본 결과 군용 중차량의 교량 통과 가능성은 충분히 존재하고 있음을 알 수 있었다. 교량의 종류에 따라 다소 차이는 있지만 대체로 측면이 아닌 중앙재하방식을 통해 HETS 차량을 통과시킬 경우 구조상 대체로 이상이 없다는 해석 결과가 나왔다. 물론 플레이트 거더교의 경우 중앙재하방식으로 HETS 차량을 통과시켜도 일부 구간에서는 DB하중에 의한 부재력을 초과하는 결과(N.G)가 나타나기도 하였으나, 그 차이가 크지 않고, 직접적으로 교량의 붕괴를 발생시키는 정도의 부재력도 아니다. 결국, 이러한 결과는 현재 적용하고 있는 차량의 운행제한 조항은 과적 차량의 교량 통과를 제한하기 위해 과도하게 안전율이 적용되었으며, 실제 1등교의 공용 내하력은 일부를 제외하고는 설계하중 이상의 하중에도 충분히 견딜 수 있도록 설계되어 있음을 의미한다.

그러나 현존하는 교량들의 준공연도가 많은 차이를 보이기 때문에 교량의 노후도 문제와 관련하여 작전 지역 내의 개개 교량에 대해 실질적인 내하력 검토가 반드시 수행되어야 할 필요가 있다. 다시 말해, 교량에 대한 면밀한 분석을 통해 현재 상태를 감안한 내하력 평가가 이루어져야 하며, 이를 기준으로 군용 중장비에 대한 통과 여부가 판단되어야 할 것이다. 또한 국가 시설물에 대한 보호 차원에서 차량의 하중조건, 통과시 속도, 제동하중, 재하위치 등이 교량의 동적거동에 미치는 영향에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 통과방법 측면에도 속히 합리적인 규정이 마련되기를 기대해 본다.

Reference

[1] 강영철, “교량 통과 하중 결정 방법의 개선에 관한 연구”, 육군사관학교, 1995.
 [2] 건설교통부, “중차량 통과방안에 관한 조사 연구”,

- 한국건설기술연구원, 1996.
- [3] 건설교통부, “도로교표준시방서”, 대한토목학회, 1996.
- [4] 김병하, 박홍봉, 임재수, 임재곤, “도로교의 중차량 통과하중 평가”, 한국 구조물 진단학회 제10권 제 1호, 2006.
- [5] 김상효, 양남석, 김종학, 진귀현, “단순 거더교의 중차량 통과 허용하중 설정에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 제 4권 제 4호, 2000.
- [6] 문성호, 임덕기, “K-1 전차는 과연 교량을 통과할 수 있나?”, 육군본부 군사연구 122집, 2005.
- [7] 박병희, 송재호, 장일영, “군용 중차량의 도로교 통과 타당성에 관한 연구”, 한국 방재 학회 논문집, 2006.
- [8] 박주현, “차량하중특성에 따른 교량의 동적거동”, 공주대학교 석사학위논문, 2003.
- [9] 서울특별시, “서울시 운행제한차량 허가제도개선 및 운영체제 구축방안”, 서울특별시, 2000.
- [10] 양남석, “도로교의 중차량 통과허용하중 설정에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 1999.
- [11] 임재수, “중차량 재하시험을 통한 강박스거더교의 내하력 평가”, 경원대학교 석사 학위 논문, 2008.
- [12] 한국건설기술연구원, “운행제한차량 운행허가 활성화 방안 연구”, 한국건설기술연구원, 2006.
- [13] 정철권, “교량의 통과하중 설정에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 1988.
- [14] AASHTO, “AASHTO LRFR Bridge Design Specification, SI units, 3rd Ed.”, AASHTO, 2004.
- [15] BDI, “Preliminary Load Test Results Korea S-1801 Camp Casey, Korea”, BRIDGE DIAGNOSTICS, INC, 2005.