

철도교량 홍수시 열차운전규제기준에 대한 연구

A study on the train passage control at railroad bridge under heavy rainfall

박영곤¹⁾ · 이진욱²⁾ · 윤희택³⁾ · 목재권⁴⁾ · 김선종⁵⁾

Park, Young Kon · Lee, Jin Wook · Yoon, Hee Taek · Mok, Jai Kyun · Kim, Seon Jong

Abstract

Railroad disasters are frequently occurred by man-made causes or natural causes. In general, man-made causes are illegal construction practices, deterioration with the lapse of time and railroad crossing accidents, and natural causes are rainfall, snow, wind, earthquake, etc. Of cause, railroad disasters by man-made causes are prevented from keeping the safety principle, constructing multi-level crossing, securing enough men of ability and financial resources and making a thorough check using equipments with high capacity. And railroad disasters by natural causes are also minimized by construction of disaster prevention facilities, introduction and operation of general disaster prevention system and reasonable train passage control. Therefore, to setup the criterion of train passage control for train safety at railroad bridge under heavy rainfall, risky factors, national and oversea criteria under such circumstances are reviewed and a scheme to setup the criterion is suggested.

1. 서 론

철도에서 안전사고 발생은 인위적인 요인과 자연적인 요인에 의한 것으로 대별할 수 있다. 인위적인 요인으로는 시공 부실, 시간 경과에 의한 열화, 노후화 및 건널목사고 등이 있으며, 자연적인 요인에는 강우, 강설, 태풍, 지진 등 천재지변에 의한 재해를 들 수 있다. 전자는 안전수칙의 준수, 건널목 입체화, 유능한 인적자원과 예산의 확보, 그리고 고성능 장비를 이용한 철저한 점검을 통해 충분히 대처할 수 있는 반면, 후자는 인간의 한계를 초월하는 가공할 자연의 힘에 의해 불가항력적으로 피해를 입는 경우라 할 수 있다. 그러나 후자의 경우라 할지라도 자연재해에 대비한 방제 설비의 시공, 종합적인 방제시스템의 도입 및 운영, 적절하고 신속한 재해경비 및 운전규제 등의 조치를 취함으로써 피해를 최소화시킬 수 있다.

이에 본 연구에서는 급변하는 기상변화에 따른 열차의 교량통과 안전성 확보를 위한 열차운전규제 기준 설정을 위하여 홍수위에 대한 철도교량 위험요인의 도출, 분석시 고려해야할 사항, 그리고 홍수시 열차의 교량통과에 대한 국내·외 기준을 살펴보고, 최종적으로 그 방안을 제시하고자 하였다.

1 한국철도기술연구원 · 선임연구원 · 정희원 · E-mail : ykpark@krii.re.kr

2 한국철도기술연구원 · 선임연구원 · 정희원 · E-mail : jinugi@krii.re.kr

3 한국철도기술연구원 · 선임연구원 · 정희원 · E-mail : htyoon@krii.re.kr

4 한국철도기술연구원 · 선임연구원 · 정희원 · E-mail : jlmok@krii.re.kr

5 한국철도기술연구원 · 연구원 · 비희원 · E-mail : jskim74@krii.re.kr

2. 철도교량의 홍수시 검토사항

하천을 횡단하는 교량에 있어서 교량의 안전에 가장 많은 영향을 미치는 사항들 중의 하나가 교량의 여유고이다. 교량의 여유고란 교량이 설치된 하천에 홍수 등으로 인해 수위가 상승할 경우 하천의 수위보다 높은 곳에 교량의 상판이 설치되도록 하여 교량의 안전을 확보하고 동행에 지장을 주지 않도록 하기 위한 여유 높이를 말한다.

대부분의 경우 교량의 상부구조물의 높이고 제방의 높이가 같은 경우가 많으며, 이때 제방의 여유고를 교량의 여유고로 적용하게 된다. 홍수시 하천 유역으로부터 유입된 많은 부유잡목 등이 교각에 걸리게 되어 발생하는 수위상승도 이러한 여유고와 관련된 문제로서 붕수단면을 부족하게 하는 요인이다. 홍수로 인한 교량피해유형에서 하상세굴을 제외한다면 교량의 높이가 불충분한 이유가 가장 큰 비율을 차지하고 있다(국립방재연구소, 2001).

가. 내적요인

홍수로 인한 교량의 피해원인은 여러 인자의 복합작용으로 발생한다. 이와 같은 교량의 피해원인은 교각의 근입깊이 부족만이 아니고, 교량구조, 교량의 하천횡단위치, 교량 교각의 형상 및 그 위치, 홍수통수능, 균열 등이 크게 영향을 미친다.

교량의 홍수피해 발생원인은 홍수라고 하는 피해 유발인자에 대해 “하부공과 하상의 관계”에 관한 사실으로, 이러한 관계는 하천특성과 교량구조의 관계가 크게 관여하기 때문에 하천 특성을 고려하지 않고 있는 교량 구조는 수위상승이나 하상침식이 발생하기 쉽고, 하부공과 하상의 관계로 과압되며, 홍수에도 반영되어 상판의 침수, 교각세굴, 상향의 침투압 등이 발생을 하게 된다고 보고된 바가 있다(岡田, 1995).

나. 외적요인

교량의 위험도에 영향을 미치는 인자는 교량자체의 구조적인 것도 있지만, 그 교량이 위치하고 있는 주위환경의 영향도 큰 비중을 차지한다. 즉, 교량이 위치하고 있는 주위환경에 대한 영향을 평가하고, 안정성을 추정하기 위한 연구가 수행되어야 한다. 대부분의 철도교량은 하천을 횡단하도록 설계되어져 있고, 이러한 하천과 관계되기 때문에 교량의 안전에 영향을 미칠 수 있는 하천 인자에 대한 조사가 이루어져야 한다.

3. 국내·외 제해경비 및 열차운전규제

가. 국내의 제해경비 및 운전규제

철도청은 철도법 제9조 2의 규정에 의거, 철도제해우려 및 약천후사의 열차안전운행은 도모하기 위하여 기상상황 보고체계에 의해 기상청의 기상특보, 지방국토관리청 및 홍수통제소의 「홍수」 발표 내용에 따라 철도주의보 및 철도경보를 발령하여 제해에 대비하고 있으며 제해우려지역은 15km/h 이하의 속도로 운행하도록 되어 있다. 또한 홍수주의보 또는 홍수 경보 발령시 발표지역 전 교량에 감시원 배치, 교량의 수위를 감시도록 규정하고 있고, 열차운행 가능여부의 판단 등 홍수시 열차통과의 기준이 되는 ‘정상 운행가능 홍수위’와 ‘10km/h 운행가능 홍수위’는 시설관리소장이 측정하여 표기할 수 있도록 노력하여야 한다고 임의 사항으로 규정하고 있다.

나. 일본의 제해경비 및 운전규제

운전규제는 강우 등의 외력에 대하여 규제구간, 기준치, 우량 등에 따라 기준치를 초과하는 경우 “경계”, “속도규제”, “운전중지” 등의 조치를 취하고 있다. 운전규제에는 외력으로 작용하는 여러 가지 원인(지진, 강풍, 강우, 강설 등)에 대해 작성되어 있다. 강우에 대한 일본의 열차운전규제 기준의 예를 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 강우에 대한 운전규제(일본)

구분	종류	시간 강우량	연속 강우량	연속 강우량 및 시간 강우량
제한신	유전속도도 30km/h이하로 제한	30mm이상	200mm이상	100mm이상 +20mm 이상
	운전을 일시중지	50mm이상	300mm이상	100mm이상 +40mm이상
신간선	유전속도도 160km/h이하로 제한	40mm이상 3시간 강우량 70mm이상	160mm 이상	-
	운전을 일시중지	50mm이상 3시간 강우량 80mm이상	-	150mm이상 +40mm이상

4. 홍수시 교량통과에 대한 열차운전규제(안)

가. 기본적인 고려사항

운전규제구간에 호안 취약개소가 존재할 경우에는 원칙으로 가장 위험성이 높은 개소를 “집중경비개소”로 지정하고, 이 개소의 수위가 규제수위 상한치에 도달하면 운전중지 또는 속도규제를 실시한다. 또한, 하천단장이 긴 경우 강우량과 하천수위의 피크(peak)는 시간적인 차가 생길 수 있기 때문에 그러한 경우에는 센서 설치 등을 검토하여야 한다.

나. 하천증수에 대해 운전규제가 필요한 교량의 판별

교량은 가설하는 목적과 구조에 의해 하천교량, 가도교, 성토제 하부의 암거, 호소에 가설하는 교량 등으로 구분되지만, 하천증수에 대해 운전규제가 필요한 교량을 판별할 때의 검토대상교량은 가도교를 제외한 모든 교량이다.

하천증수에 대한 운전규제는 강우로 인한 홍수 때문에 교량 피해를 예상하여 실시되고 있으며, 물의 흐름이 생기는 모든 교량에 운전규제가 이루어지는 것이 기본이다. 그러나 물의 흐름이 있다 해도 하천증수에 의한 재해발생 우려가 없는 경우에는 하천증수에 대한 운전규제는 실시하지 않는다. 따라서 하천증수에 대해 재해의 발생우려가 지극히 낮다고 판단되는 교량은 하천증수에 대한 운전규제 몇 단계에서 제외한다.

다. 강우에 의한 운전규제 적용방안

하천의 경우 일반적으로 유역면적이 작아 강우량의 증가와 하천유량의 증가의 시간차가 작은 경우가 많다. 이와 같은 하천의 경우는 강우에 의한 운전규제로 해당교량의 안전성을 확보하는 것이 가능하며, 강우에 의한 운전규제의 활용이 가능하다.

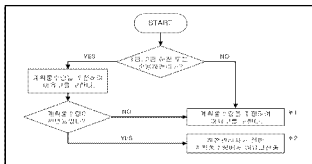
(1) 규제수위 상한치(H_{max})의 설정

가) 여유고 구하는 방법

여유고는 <그림 1>과 같은 흐름도에 따라 구한다. 여기서 구한 여유고는, “규제수위의 상한치(H_{max})”를 정하는 데에 활용된다.

① 계획홍수량을 추정하여 여유고를 구하는 방법(※1)

하천관리자가 계획홍수량을 정해놓지 않아 계획홍수량이 불분명할 경우 다음에 의해 산출한다.



<그림 1> 여유고 산출 흐름도

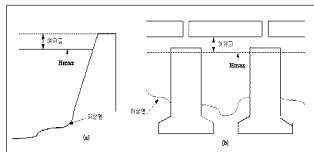
㉔ 해당 하천의 단면과 거더 하단의 높이로부터 최대유량을 구한다.

㉕ 그 유량을 계획홍수량 추정치로 하여 여유고를 구한다.

㉖ 하천관리자가 정한 계획홍수량으로부터 여유고를 구하는 방법(※2)

1급, 2급, 준용하천의 경우는 계획홍수량을 하천관리자에게 문의하고 계획홍수량과 여유고의 대응관계에 따라 여유고를 구한다.

나) 규제수위 상한치(H_{max})를 구하는 방법



<그림 2> H_{max} 설정에 대한 기본개념

규제수위 상한치(H_{max})는 유하물의 교량 거더에의 충돌 또는 침적에 의한 거더 유실 및 변형, 그리고 제방의 절괴 또는 월류에 의한 홍수에 의해 교량 배후의 성토체 유실을 고려하여 결정한다(<그림 2>).

- ① 제방절괴 또는 월류된 홍수에 의해 교량 배후의 성토체 유출이 우려되는 경우
- ② 유하물의 거더 충돌 또는 침적 우려가 있는 경우

구체적으로는 <표 3>에 기초하여 정한다. 다만, 교량배후의 성토체 유출을 고려하는 경우에는 교량지점의 제방뿐만 아니라 상·하류 방향의 제방높이도 고려한다.

<표 3> 규제수위 상한치(H_{max}) 설정방법

유하물의 거더충돌에 의한 안전성 위협여부	교대안 성토체가 유출될 가능성 여부	규제수위의 상한치
있음	있음	제방절단 또는 거더 하부면 양자 중 낮은 쪽에서 여유고를 뺀 표고치를 H_{max} 로 한다.
있음	없음	거더 하부면에서 여유고를 뺀 표고치를 H_{max} 로 한다.
없음	있음	제방절단에서 여유고를 뺀 표고치를 H_{max} 로 한다.
없음	없음	원칙적으로 거더 최하단과 제방고 가운데서 낮은쪽의 표고치를 H_{max} 로 한다.

① 교량 거더의 유실 및 변형의 우려

다음과 같은 경우에는 교량 거더의 유실 및 변형 우려가 없다고 판단해도 좋다.

㉔ 홍수위에 대해 교량 거더가 충분히 높은 교량

㉕ 하천, 호수, 댐 등에서 유속이 작은 수역에 설치된 교량

㉖ 도시하천 등에서 유하물의 우려가 전혀 없는 하천에 설치된 교량

㉗ 유하물 등을 고려해도 충분히 안전하다는 것을 확인한 교량

여기서, ㉗항의 유하물에 의한 위협성은 i) 충돌에 의한 파괴, ii) 유하물 침적에 의한 수위 상승, iii) 유하물 침적에 의한 작용면적 증대에 따른 유수압의 증가 등이다. 유하물의 충격력에 의해 교량 자체의 파손뿐만이 아니라 교각 또는 교량거더에 유하물이 침적되어 유수의 소통이 현저히 저해되고, 상류측 수위 상승에 따른 제방의 월류파손, 홍수압 증대에 따른 교각·교량파손 또는 유실을 일으킨다.

② 교대안의 성토체 유출에 대한 우려

교대에 접한 호안이 세굴에 의해 전도 또는 무너질 우려가 없고, 교대안측 성토체가 다음과 같은 경우에는 유출에 대한 우려가 없다고 판단해도 좋다.

- ㉔ 성토가 콘크리트 블록 등에 의해 방호되고 있는 경우
- ㉕ 원류류 하어도 유속이 느려 침식의 염려가 없는 것을 확인한 경우

③ 교량 거더 및 교대 안 성토체의 유출우려가 없는 경우

①, ②항의 검토를 수행하고, 교량거더 및 교대 안 성토체의 유출우려가 없는 경우에는 원칙으로 거더 최하단과 제방높이 중 낮은 측을 H_{max} 로 한다. 다만, 현지 상황을 충분히 조사하여 안전이 확인된 경우에는 H_{max} 를 더 높게 하여도 좋다.

④ 운전규제수위의 상한치(H_{max})를 정할 필요가 없는 경우

운전규제수위의 상한치(H_{max})는 유하물의 교량거더에의 충돌 또는 집적, 제방 결괴 또는 원류류 홍수에 의한 교대 배후의 성토체 유출을 고려하여 정한다. 유하물이 교량거더에 충돌할 우려가 없는 교량 또는 충돌할 우려는 있어도 유속이 상당히 작아 교량거더와 교각의 피해가 전혀 없다고 판단되는 교량에 대해서는 상한치를 정할 필요가 없다.

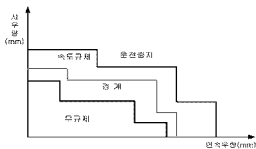
(2) 강우에 의한 운전규제방안

알차게 운전규제하여 서행 또는 정지한 후 그것의 재개여부에 대해 과거의 경우 운전제개의 판단착오로 인해 재해사고 예가 많았기 때문에 충분히 주의할 필요가 있다. 이와 같은 기술적인 판단은 지극히 어려운 일이지만 평상시의 강우 방재대책 마련, 운전규제시 현상 및 기상 상황 등을 정확히 파악하도록 노력하여야 하고 동시에 신중한 판단이 이루어져야 한다.

장대하천의 경우, 강우에 의한 유수가 교량부위에 도달하는 때에는 지형, 유역면적의 넓이 등에 의해 차이가 난다. 강우상황, 하천의 유수상황을 보아 이제 더 이상 위험한 상태가 아닐 경우 선로의 안전을 확인하고 운전제개 판단을 내린다. 이에 중요한 것은 평소부터 지형, 지질 등의 상황으로부터 방제상의 주의개소를 파악해 두고, 이상시 순회 주의 포인트로 해 놓을 경우 효율적이고 정확한 기술적인 판단이 도출될 수 있도록 한다.

가) 운전규제의 발령기준치

과거의 강우신적과 재해사례의 기록을 기초로 하여 통계적 자료를 통해 '경계', '속도규제', '운전중지'의 운전규제발령기준치를 설정한다. <그림 4>는 일본의 재해선의 우량지표 조합에 의한 운전규제 예를 도시하였다



<그림 4> 우량지표의 조합에 의한 연속운전규제(JR 동일본)

나) 하천중수시 운전규제 방안

하천중수에 대한 운전규제 등은 선로주변의 강우량 증가와 하천수위의 증가와 반드시 비례하지 않기 때문에 강우에 대한 운전규제와 완전히 분리하여 교량거더 하루 수위로 운전규제 발령 기준을 정하는 것이 바람직하다.

하천 중수가 원인인 재해가 발생할 우려가 있는 교량은 하천교량의 안전성을 검토하고 규제치를 정하여 <표 4>에 기초한 발령 및 해제를 수행할 수 있도록 그 안을 제시하였다.

<표 4> 하천 증수시의 운전규제 발령·해제(안)

발령	○양수표에 의한 경우		
	구분	운전규제	경비
	경계	-	기준치에 이르면 컷비원을 소집하고 고정경비를 수행한다.
	속도규제	기준치에 이르면 열차속도를 정해진 값으로 제한한다.	고정경비를 수행한다.
	운전중지	기준치에 이르면 열차의 운전을 중지한다.	기준치에 도달하면 3~4시간 주기로 보도 등에 의해 경비를 수행한다.
	○수위에 의한 경우		
	구분	운전규제	경비
	속도규제	기준치에 이르면 열차속도를 정해진 값으로 제한한다.	기준치에 이르면 3~4시간 주기로 보도 등에 의해 경비를 수행한다.
운전중지	기준치에 이르면 열차의 운전을 중지한다.	-	
해제	구분	해제기준	
	경계	기준치를 하회한 경우	
	속도규제	기준치를 하회하고, 변상이 없다는 것을 확인한 경우	
	운전중지	기준치를 하회하고, 변상이 없다는 것을 확인한 경우	
	※ 운전중지를 해제한 경우는 속도규제, 속도규제를 해제한 경우는 경계의 처치를 수행한다. 그러나 운전중지 해제 후 열차의 통과가 없고, 속도규제의 해제기준이 만족스러운 경우는 최초의 열차의 속도 규제한다.		

5. 결 론

본 연구에서는 홍수시 교량통과에 대한 열차운전규제기준 설정에 대한 분석 및 정리, 그리고 최종적으로 그 방안을 마련하였다. 홍수시 열차운전규제 방안으로 제시한 것은 다음과 같다.

- (1) 기본적인 고려사항과 집중경비개소 선정기준 제시
- (2) 하천증수에 대해 운전규제가 필요한 교량의 판별
- (3) 강우에 의한 운전규제 적용방안으로 여유고와 규제수위 상한치의 설정방법 제시
- (4) 강우에 의한 운전규제방안 제시

향후 강우에 의한 상당적인 운전규제기준치는 각 개별교량에 대한 현장조사들 통해 “철도교량에 대한 하천수위에 대한 위험도 평가결과”와 “열차운전규제 수위상한치”결과를 비교·검토함으로써 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립방재연구소(2000), “중소하천 교량의 홍수시 구조안전에 관한 설계 및 유지관리지침 작성연구”
2. 국립방재연구소(2001), “중북부지역 시설물 피해 현장조사 보고서”
3. 박병철, 오금호(2003), “하천침단교량의 홍수위약도 평가 및 피해특성 분석”, 국립방재연구소 방재연구, 제5권 4호, pp.105-114.
4. 岡田(1995), “降雨に對する地盤と土木構造物の防災診斷”, pp.160-162.