

# 철도교량 홍수위감시 및 세굴검지 시스템 적용성 고찰

## A study on the applicability of system for monitoring the flood level and the scour at railroad bridge

박영곤\* · 이진욱\*\* · 윤희택\*\*\* · 김선종\*\*\*\*

Park, Young Kon-Lee, Jin Wook-Yoon, Hee Taek-Kim, Seon Jong

---

### Abstract

To monitor the flood level under heavy rainfall and the scour at railroad bridge, the system, which can effectively collect, store and transmit the data, is developed and applied to the field. The results in this study are as follows. 1) Monitoring for water level and scour depth is well done in view of the recording velocity and the accuracy of data which are measured. 2) This system is based on the web, internet and it is able to collect the realtime data and to analyze the risk. 3) When water level exceeds the limit of danger level of a river on which railroad bridge is located, or when scour depth and angle of inclination of pier is increased, the scenario for early warning signal which sends to managers at central traffic control and drivers of trains is automatically made. It is judged that this system secures the safety of railroad and protects lives of train passengers as the warning signal sends to running train in advance at risky situation of railroad bridge under heavy rainfall.

---

### 1. 서론

하천에 설치된 철도교량의 교각, 교대 주변이나 하천에 연한 노반구조물은 매년 집중호우 등에 의해 토사가 세굴되거나 구조물이 침식되어 교량 또는 노반구조물의 안전에 큰 영향을 미치고 있다. 또한 근래 우리나라 강우의 형태가 불규칙한 집중호우의 형태로 변해 국부적으로 하천의 유량과 유속을 급속히 증가시켜 설계 홍수량을 초과하는 경우가 자주 발생하고 있어 이러한 교량 홍수위를 상시 감시하는 문제, 교각 또는 교대부분의 세굴로 인해 해당부위를 보수하는 문제, 그리고 이와 같은 구조물의 안전확보 및 열차의 탈선방지를 위해 사전에 위험도를 검지하는 문제에 대한 기술의 중요성이 대두되고 있다.

이에 본 연구에서는 향후 철도교량 홍수위감시 및 세굴검지를 위한 시스템 구축을 위해 수위 증감 및 교각 세굴에 대한 계측데이터를 효율적으로 수집, 저장 및 전송할 수 있는 시스템을 개발하고, 이를 철도교량 현장에 적용함으로써 그 적용성을 검토하고자 한다.

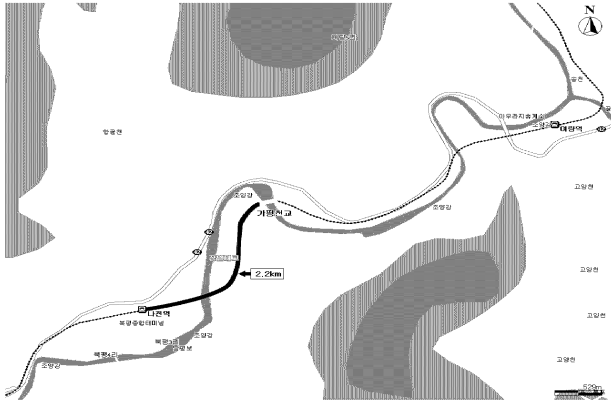
### 2. 시스템 적용성 고찰

---

\* 한국철도기술연구원·선임연구원·정회원·E-mail : ykpark@krri.re.kr  
\*\* 한국철도기술연구원·선임연구원·정회원·E-mail : jinugi@krri.re.kr  
\*\*\* 한국철도기술연구원·선임연구원·정회원·E-mail : htyoon@krri.re.kr  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원·연구원·비회원·E-mail : jskim74@krri.re.kr

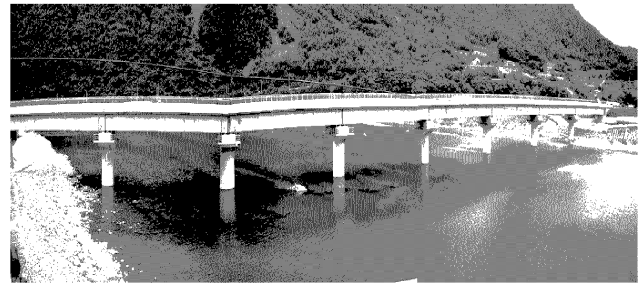
## 2.1 시범운영 장소

시스템 적용성을 고찰하기 위해 시범운영 장소로 강원도 정선선의 가평천교를 선정하였다. 선정된 가평천교의 위치와 주변 환경은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 현장 지도 및 주변 환경

그림에서 가평천교는 정선선 나전~아우라지 사이에 위치하고 있으며 교량높이는 11.34~16.5m, 교량너비는 6.6m, 교량길이는 222.54m, 인접역사는 나전역으로 약 2,200m 떨어져 있다. 교량의 하류쪽 약 100미터 지점에 수중보가 설치되어 있어 유속이 매우 느리며, 교각에는 점검로가 설치되어 있어 데이터로거 등 센서 및 데이터 전송장치의 설치가 용이하다. <그림 2>와 <그림 3>은 가평천교의 상류와 하류에서 본 각각의 전경이다.



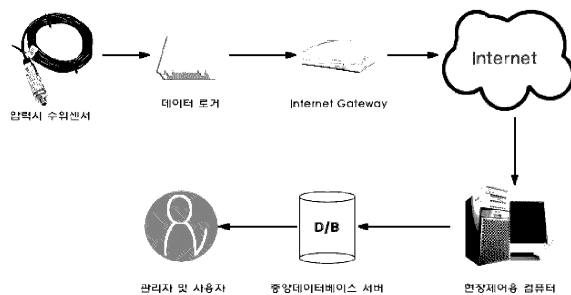
<그림 2> 가평천교 전경(좌 : 하류측, 우 : 상류측)

## 2.2 시스템 설치

### (1) 센서 및 데이터로거

철도교량 홍수위감지 및 세굴검지를 위해 압력식 수위센서, 초음파세굴센서, 유속계, 경사계를 데이터 로거와 함께 설치하였다.

압력식 수위센서는 수중에서 하천 부유물에 의해 손상되지 않도록 하기 위하여 돌망태를 만들고 그 안에 압력식 수위센서를 넣어 제작하였다. 그리고 물의 흐름이나 외부압력의 영향을 받아 원래의 위치에서 이동함으로써 생길 수 있는 오차를 막기 위해 교각 바닥에 움직이지 않게 고정시켰다. 압력식 수위센서는 수압이 측정 가능범위가 0~10m인 것으로 0m일 때 0mmHg, 10m일 때 760mmHg의 압력이 발생한다. 이때 발생하는 압력은 4~20mA의 전류 값으로 데이터 로거에 전달된다. 세굴검지에는 초음파식 세굴센서를 사용하였고 설치위치는 세굴심이 가장 크게 일어나는 하류쪽 교각 뒤편에 초음파의 발진각을 고려하여 약 20cm가량 공간을 두고 설치하였다. 초음파식 세굴센서는 세굴심의 측정 가능범위가 50cm~200cm인 것이며, 압력식 수위센서와 마찬가지로 4~20mA의



<그림 3> 각 센서의 데이터흐름도

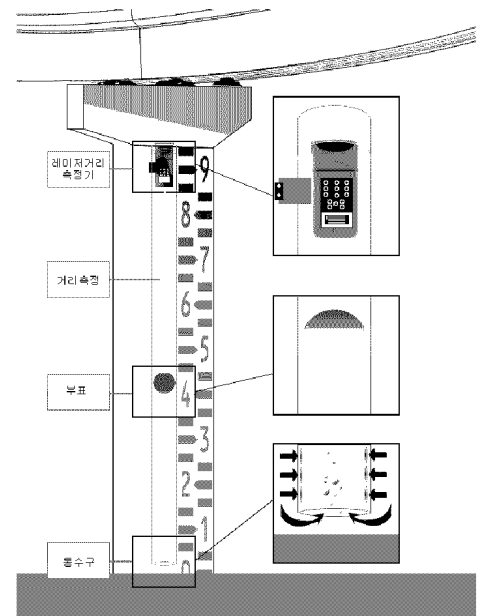
전류값으로 데이터 로거에 전달된다. 유속계는 교각에 설치하되 유속을 정확하게 측정할 수 있는 위치인 교각의 측면에 설치하였다. 유속계의 측정 가능범위는 0~200cm/sec이며, 전술한 두가지 센서와는 달리 0~2V의 전압값이 데이터 로거에 전달된다. 마지막으로, 경사계는 교각의 상단부에 설치하였다. 두 개를 이용하여 남북방향과 동서방향의 4방향의 경사각을 측정할 수 있게 하였으며, 교각에 고정시키는 방법으로는 에폭시를 사용하였다. 경사계는 브릿지 타입의 센서로 ppm 즉, 백만분의 1V 단위의 전압값이 데이터 로거에 전달되며, 전달된 전압은 -5°에서 +5°의 기울기로 변환시킬 수 있다.

전술한 센서들은 교각 상단에 설치된 데이터로거에 연결되며, 데이터로거는 실시간으로 센서들의 값을 읽어 서버에 전달 할 수 있게 된다. <그림 3>은 전술한 네 가지 센서의 데이터 흐름을 나타낸 것이다.

### (2) 레이저 거리측정기를 이용한 수위계측시스템의 설치

레이저 거리측정기는 레이저 광선을 물체에 발진시켜 되돌아오기까지의 시간을 측정함으로써 거리를 측정할 수 있는 기기이다. 물은 빛이 통과하는 성질을 가지고 있어 수면에 직접 레이저 광선을 발진시키는 방법으로는 수면까지의 거리를 측정하기가 곤란하다. 이에 수면에 항상 뜰 수 있는 부표를 제작하여 부표까지의 거리를 측정함으로써 수위의 계측에 이용하였다. 흐르는 물에서도 부표가 항상 같은 자리에서 수위에 따라 이동할 수 있도록 파이프를 수면에 수직으로 설치, 스티로폼이 수직으로 자유롭게 이동할 수 있게 하였다. <그림 4>는 레이저 거리측정기를 이용한 수위계측시스템 모식도이다.

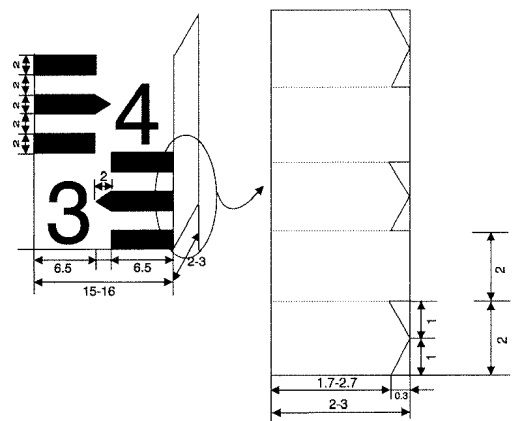
레이저 거리측정기를 이용한 수위계측시스템을 구축하기 위해서 파이프를 교각에 고정하였다. 파이프의 길이는 약 8미터로 하였으며 파이프의 상단에는 레이저 거리측정기를 고정할 수 있는 보호함을 제작하였다. 보호함에는 레이저 거리측정기의 방향을 조절할 수 있는 나사형태의 조절 손잡이를 설치하였다.



<그림 4> 레이저 거리측정기를 이용한 수위계측시스템 모식도

### (3) CCTV 시스템의 설치

우리나라에서 가장 일반적으로 사용하는 보통 수위관측 장비는 보통수위표(목자판)이다. 우량과 마찬가지로 수위관측소들 모두가 현재 자동화되어 있지만, 육안에 의한 보통관측을 병행하여 수행하고 있다. 즉, 보통수위표를 직접 읽어 수위를 측정하는 일은 수위관측에 있어서 매우 기본적이고 중요하다. 수위관측소에서 보통수위표는 자동 계측 장비의 수위 값을 설정하기 위한 기준이 되므로 없어서는 안될 중요한 요소이다. 현재 수위관측소 현장에서 가장 많이 사용하는 보통수위표의 모습과 그 규격은 <그림 5>와 같다. 그림에서 하나의 눈금은 2cm 간격으로 비교적 먼 거리에서도 쉽게 판독할 수 있다. 우리나라에서 사용하는 목자판 표기 형식은 매우 오래 전부터 사용해온 방식으로 현재까지 유지하고 있으나 관측소에 따라서는

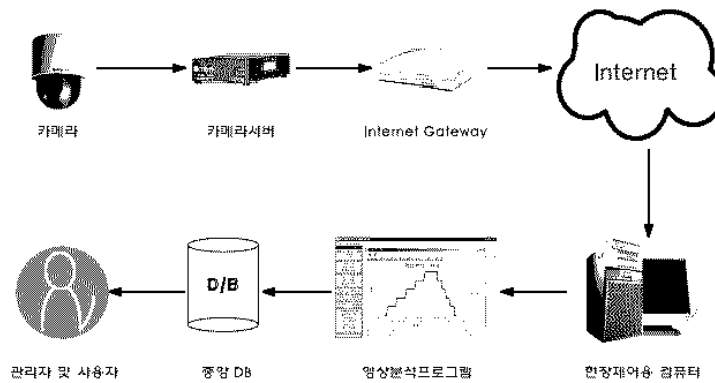


<그림 5> 보통수위표(목자판)의 규격

1cm단위의 눈금을 표시한 목자판을 사용하는 곳도 있다(표기 방법은 ISO에서 권장하는 국제 표준 방법과는 다름). 이와 같은 보통수위표를 교각의 높이를 감안하여 6m 높이로 제작하였으며, 영상분석을 용이하게 하기 위해 눈금 표기 등을 일부 수정하였다.

CCTV시스템은 교량 전체를 한눈에 볼 수 있으면서 보통수위표(목자판)의 눈금인식이 가능한 바로 옆 교각에 설치하였다. 이는 보통수위표(목자판)의 눈금을 자세히 촬영할 수 있으며, 동시에 주변에 대한 촬영이 가능한 지점이다. 카메라는 전원공급과 함께 카메라 서버에 영상정보를 전달한다.

현장제어용 컴퓨터는 카메라 서버로부터 영상정보를 인터넷을 통하여 저장하며, 영상 분석프로그램에 전달, 중앙데이터베이스 및 관리자와 사용자에게 수위정보를 전달할 수 있게 된다. <그림 6>은 영상데이터의 흐름을 보여준다.



<그림 6> 영상 데이터 흐름도

### 2.3 현장제어 프로그램(ELSYS V2.0)을 이용한 실시간 계측

계측치의 실시간 계측을 위해서는 계측센서를 먼저 설정해야 하고, 데이터베이스의 설정이 우선적으로 요구된다. 즉, 구축된 데이터베이스에서 센서에 대한 설정내용 즉, 센서번호, 센서종류, 센서의 설치위치 등이 설정되어야 하며 그 내용은 데이터베이스의 각각 필요한 테이블에 저장되어진다.

<그림 7>은 센서설정의 메인화면으로 데이터로거의 먹서 번호, 채널번호, 호출시간(계측스케줄), 보정값(calibration), 그리고 CodeID의 설정 예를 보여준다.

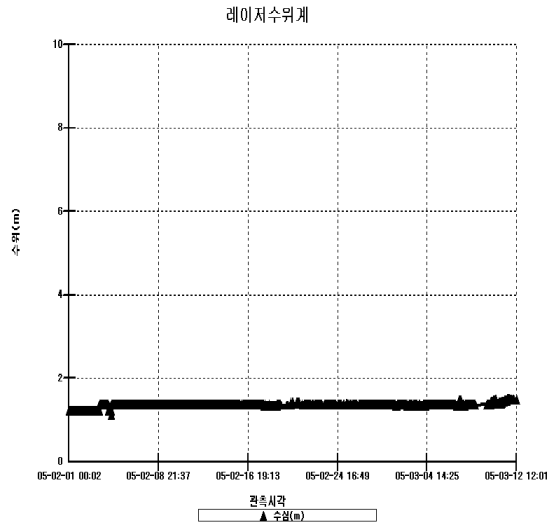
센서	설정									
	먹스	채널	호출시간	Cal	출정	Code ID	성형	비고	남은시간	상태
1	0	0	설정	1	...	15601	설정	레이저=		ON
2	0	1	설정	2	...	15602	설정	압력식=		ON
3	0	2	설정	3	...	15600	설정	화상분		ON

<그림 7> 센서의 설정

<그림 8>과 <그림 9>는 실시간으로 계측된 초음파 세굴센서의 계측데이터와 레이저 수위계의 그래프를 보여준다. 그림에서 계측기간 동안 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

측정일자	강	유량	온도	역스빈호	채널번호	지장높자	ID	
1542	2005-03-08 00:30	0.5982	29.96	15	0	4	2005-03-08 00:38:00	25307
1543	2005-03-08 00:30	0.5988	29.34	15	0	4	2005-03-08 00:37:00	25306
1544	2005-03-08 00:30	0.621	31.05	15	0	4	2005-03-08 00:34:00	25305
1545	2005-03-08 00:30	0.5892	23.46	15	0	4	2005-03-08 00:31:00	25304
1546	2005-03-08 00:20	0.5874	29.37	15	0	4	2005-03-08 00:28:00	25303
1547	2005-03-08 00:20	0.5872	29.36	15	0	4	2005-03-08 00:26:00	25302
1548	2005-03-08 00:20	0.5872	29.36	15	0	4	2005-03-08 00:23:00	25301
1549	2005-03-08 00:20	0.5868	29.34	15	0	4	2005-03-08 00:20:00	25300
1550	2005-03-08 00:10	0.5864	29.32	15	0	4	2005-03-08 00:18:00	25299
1551	2005-03-08 00:10	0.5868	29.34	15	0	4	2005-03-08 00:15:00	25298
1552	2005-03-08 00:10	0.5868	29.34	15	0	4	2005-03-08 00:12:00	25297
1553	2005-03-08 00:00	0.587	29.35	15	0	4	2005-03-08 00:10:00	25296
1554	2005-03-08 00:00	0.5872	29.36	15	0	4	2005-03-08 00:07:00	25295
1555	2005-03-08 00:00	0.5866	29.33	15	0	4	2005-03-08 00:05:00	25294
1556	2005-03-08 00:00	0.587	29.35	15	0	4	2005-03-08 00:02:00	25293
1557	2005-03-07 23:50	0.5072	29.36	15	0	4	2005-03-07 23:55:00	25292
1558	2005-03-07 23:50	0.5866	29.33	15	0	4	2005-03-07 23:52:00	25291
1559	2005-03-07 23:40	0.61	30.5	15	0	4	2005-03-07 23:50:00	25290
1560	2005-03-07 23:40	0.587	29.35	15	0	4	2005-03-07 23:47:00	25289
1561	2005-03-07 23:40	0.5872	29.36	15	0	4	2005-03-07 23:40:00	25288
1562	2005-03-07 23:30	0.5932	29.68	15	0	4	2005-03-07 23:38:00	25287
1563	2005-03-07 23:30	0.5866	29.33	15	0	4	2005-03-07 23:35:00	25286
1564	2005-03-07 23:30	0.5884	29.42	15	0	4	2005-03-07 23:32:00	25285
1565	2005-03-07 23:20	0.617	30.85	15	0	4	2005-03-07 23:28:00	25284
1566	2005-03-07 23:20	0.6144	30.72	15	0	4	2005-03-07 23:26:00	25283
1567	2005-03-07 23:20	0.5848	29.24	15	0	4	2005-03-07 23:24:00	25282
1568	2005-03-07 23:20	0.5872	29.36	15	0	4	2005-03-07 23:21:00	25281

<그림 8> 초음파 세굴센서의 계측데이터



<그림 9> 레이저 수위계의 그래프

## 2.4 계측데이터의 분석과 조기경보시스템

계측데이터는 중앙제어프로그램에서 분석하게 되는데, 분석은 직관적인 계측 데이터와 데이터베이스를 활용하여 중앙제어프로그램에서 분석한 분석 데이터로 대별된다.

직관적인 계측 데이터는 데이터베이스에 설정된 위험수치, 경고수치 등의 수치와 비교하여 현재 상태를 조기경보시스템에 반영할 수 있도록 설계되었다. 중앙제어프로그램에서는 계측시마다 수집된 데이터를 바탕으로 데이터의 추이를 판단하여 조기경보 시스템의 운영에 반영한다. 중앙제어 프로그램에서는 1~5단계의 경고사항을 두고, 데이터베이스에는 사용자가 직접 수치를 입력하여 설정할 수 있게 하였다. 사용자는 1~5단계에 원하는 조치사항을 입력하여 조기경보 시스템의 운영에 적용할 수 있게 하였다. 조기경보시스템에서 수위는 경계수위 이하(주의수위), 경계수위, 서행수위, 붕괴 및 위험수위(또는, 피신수위)로 나누었고, 수위상승속도와 현재수위를 비교하여 SMS를 통해 운영할 수 있도록 하였다. <그림 10>은 1단계와 5단계의 수위분석을 통한 조기경보 상황을 보여준다.

1단계 데이터베이스 저장

5단계 데이터베이스 저장

<수위상승속도 초과(1단계)>

<교량 피신수위 단계(5단계)>

<그림 10> 계측수위 분석 및 조기경보 발령

### 3. 요약 및 결론

홍수시 철도교량 하천수위의 증감 및 교각 세굴에 대한 계측데이터를 효율적으로 수집, 저장 및 전송할 수 있는 철도교량 홍수위감시 및 세굴검지 시스템을 개발하였고, 이를 현장에 설치하여 그 적용성을 살펴보았다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 레이저 수위계를 이용한 수위 계측, 그리고 초음파 세굴센서를 이용한 세굴심 계측 등은 계측 속도나 정확도 면에서 성공적으로 이루어졌다.
- (2) 철도교량 홍수위감시 및 세굴검지 시스템은 현장에서 수집된 정보의 실시간 저장 및 분석이 가능하도록 설계하였고, 신속하고 안정적이며 경제적인 데이터 송수신이 가능하도록 초고속 인터넷망의 사용을 기본으로 하였다.
- (3) 강우에 의하여 철도교량 지역에서의 수위상승이 일어날 경우, 또는 세굴심이 증가하고 교각경사가 커질 경우, 수집된 자료의 종합적인 분석내용을 중앙통제소, 현장관리자 및 열차 운전자 등에게 신속하게 통보함으로써 재해위험을 최소화 할 수 있는 조기경보시스템을 개발하였고 시스템의 시험운영을 통하여 현장 적용성을 확보하였다.

이상과 같이, 철도교량에 홍수위감시 및 세굴검지 시스템을 도입함으로써 유사시 운행 중인 열차에 조기경보를 발생시켜 열차를 서행, 중지하도록 함으로써 승객의 생명과 재산을 안전하게 보호할 수 있을 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부(2004), “첨단 철도기상재해 감시 및 운행제어장치 개발”, 국가교통핵심기술개발사업 제1차년도 연구보고서.
2. 건설교통부(2005), “첨단 철도기상재해 감시 및 운행제어장치 개발”, 국가교통핵심기술개발사업 제2차년도 연구보고서(안).
3. 철도청(1996), “종합 안전진단기법 및 방재시스템에 관한 연구”, 한국철도기술연구원 연구보고서.
4. 철도청(2004), “철도강우방재시스템 구축방안과 강우자동경보시스템 구축”, 한국철도기술연구원 연구보고서.