

제 6장 시설물의 사용성능 평가

6.1 개 요

6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

6.3 사용성능 평가 결과

6.1 개요

교량의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적에 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능은 주행성과 기능성으로 구분되며, 주행성은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

각 성능별로 세부지표의 평가 결과를 가중치를 반영하여 최종 평가 등급으로 결정한다.

6.2 사용성능 평가 항목 및 기준

6.2.1 일반

교량의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 주행성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다.

교량에서는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

6.2.2 세부지표의 평가범위

가. 도로교량

도로교량의 사용성능은 주행성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표로 포장상태, 교량조명, 진동사용성능, 점검시설, 교통량으로 도출하고 a~e로 적용한다.

【표 6.1】 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성능	주행성	포장상태	a, b, c, d, e
		교량조명	a, b, c, d, e
		진동사용성능	a, b, c, d, e
기능성	유지관리성	점검시설	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	교통량	a, b, c, d, e

도로교량의 사용성능은 포장상태, 교량조명 등 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 책임기술자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

6.2.3 사용성능 평가 지표 및 기준

가. 주행성

1) 포장상태

① 고속도로(HPCI)

【표 6.2】 고속도로 포장상태 성능평가 기준

등급	등급기준	
	HPCI 범위	설명
a	4.0 초과	매우양호
b	3.5 ~ 4.0	양호
c	3.0 ~ 3.5	보통
d	2.0 ~ 3.0	불량
e	2.0 이하	매우불량

<해 설>

- 본 성능평가기준은 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속도로의 포장상태지수 관리기준은 다음과 같고 아스팔트포장과 콘크리트 포장을 구분하여 적용한다.
- HPCI 산정식

아스팔트 포장 : $HPCI_{10m} = 5 - 0.54 \times IRI^{0.8} - 0.75 \times RD^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times SD)$

콘크리트 포장 : $HPCI_{10m} = 5 - 0.8 \times IRI^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5SD)$

$$\text{여기서, } HPCI_{100m} = \sum_n^{n+10} (HPCI_{10m})$$

IRI(international roughness index) = 국제 평탄성 지수(m/km)

RD(RUT depth) = 차바퀴 패임량(cm)

SD(Surface distress) = 노면 손상 환산 면적(m²)

SD = $\sum$ 각 손상 균열길이 $\times$ 0.15 + $\sum$ 각 면상균열면적

■ HPCI 등급기준

【표 6.3】 콘크리트 포장의 HPCI 등급기준

구분	HPCI	IRI	SD(m ²)	SD(%)	상태	대응책
1등급	4.0 이상	1.5이하	0m ²	0%	매우우수	do nothing
2등급	4.0~3.5	1.5~2.0	1.0m ² 이하	0.3%	우수	예방적보수
3등급	3.5~3.25	2.0~2.5	1.0~18m ²	0.5~5%	다소우수	필요시 수선유지
4등급	3.25~3.0	2.5~3.0	18~36m ²	5~10%	보통	수선유지
5등급	3.0~2.5	3.0~3.5	36~52m ²	10~15%	다소불량	필요시 개량
6등급	2.5~2.0	3.5~4.0	52~72m ²	15~20%	불량	개량
7등급	2.0이하	4.0이상	72m ² 이상	20%이상	매우불량	우선 개량

【표 6.4】 아스팔트포장의 HPCI 등급기준

구분	HPCI	IRI	RD	SD(m ²)	상태	대응책
1등급	4.0 이상	1.5이하	4mm이하	0m ²	매우우수	do nothing
2등급	4.0~3.5	1.5~2.0	4~7mm	1.0m ² 이하	우수	예방적보수
3등급	3.5~3.25	2.0~2.5	7~10mm	1.0~18m ²	다소우수	필요시 수선유지
4등급	3.25~3.0	2.5~3.0	10~13mm	18~36m ²	보통	수선유지
5등급	3.0~2.5	3.0~3.5	13~16mm	36~52m ²	다소불량	필요시 개량
6등급	2.5~2.0	3.5~4.0	16~20mm	52~72m ²	불량	개량
7등급	2.0이하	4.0이상	20mm이상	72m ² 이상	매우불량	우선 개량

- 상기표의 7등급 단계에서 3,4등급을 평가등급의 C등급으로 5,6등급을 D등급으로 환산하여 평가 등급을 산정한다.
- IRI (국제평탄성지수) : 주행중 운전자가 느끼는 노면의 요철에 의한 진동을 표현할 수 있는 지수로 도로공사에서는 전문조사차량을 이용하여 노면 요철을 측정하여 프로그램으로 산출하고 그에 따른 DB를 구축하고 있다.
- RD (소성변형량): 광학적 라인을 비추어 라인의 굴곡을 이미지로 획득하여 이미지 처리를 거쳐 노면의 굴곡을 측정하는 방식이다.
- SD(표면손상) : 조사차량을 이용하여 10m간격으로 노면영상을 촬영하고 손상면적을 산정한다.

2) 교량조명

【표 6.5】 교량 조명의 성능평가 기준

등급	등급기준	
	작동유무	설치상태
a	조명이 신설되었으며, 모든 조명 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급보다 높은 상태
b	모든 조명의 90% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 90% 이상
c	모든 조명의 80% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 80% 이상
d	모든 조명의 70% 이상 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 70% 이상
e	모든 조명의 70% 미만 사용가능	평균 노면 휘도가 해당 도로 등급의 조명등급의 70% 미만

<해 설>

- 평가기준은 도로안전시설 설치 및 관리지침의 도로 및 교통의 종류에 따른 도로조명등급을 기준으로 적용한다. 따라서 해당 도로가 아래표의 도로 조명 등급에서 해당하는 등급을 먼저 산정하고 그 기준을 제대로 충족하는지를 기준으로 성능평가를 판단한다.
- 단, 교량 조명이 설치되어 있지 않을 경우 이 지표를 제외하고 나머지 지표로 도로(교량)에 대한 사용성능 평가를 수행한다.

【표 6.6】 운전자에 대한 도로조명의 휘도 기준

도로 조명 등급	평균 노면 휘도(최소허용치) [cd/m ²]
M1	2.00
M2	1.50
M3	1.00
M4	0.75
M5	0.50

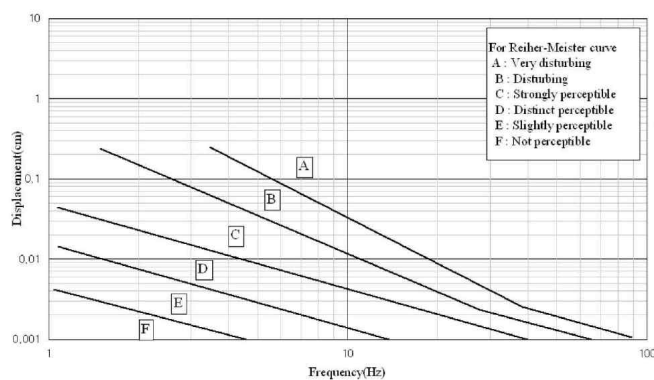
- 교량 조명의 경우 차량주행 중 운전자가 느끼는 시인성에 집중하여 차선에 대한 노면 휘도를 평가한다.

3) 진동사용성능

【표 6.7】 진동사용성능의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	E, F 구간 : 인지 할 수 없거나 거의 인지 할 수 없는 상태
b	D 구간 : 약간 인지 할 수 있는 상태
c	C 구간 : 강하게 인지 할 수 있는 상태
d	B 구간 : 불안감 이 조성되는 상태
e	A 구간 : 매우 불안감이 조성되는 상태

- 본 성능평가의 기준은 진동으로 인하여 사람들이 느끼는 감각정도를 평가하는 Reiher-Meister(1931)의 허용곡선을 이용하여 적용한다. 진동사용성능 측정 시 가장 통행량이 많은 시준을 기준으로 24시간을 측정하여 평가한다.



【그림 6.1】 Reiher-Meister(1931)의 허용곡선

- 위 그림에서 a등급은 EF구간, b등급은 D구간, c등급은 C구간, d등급은 B구간, e등급은 A구간을 기준으로 적용한다.
- 도로 이용자가 교량 통과시 진동으로 인하여 느끼는 감각정도를 평가하기 위한 시험으로써 교량 이용차량 통과시 교량 거더의 진동수(Frequency, Hz)와 변위(Displacement, mm)를 측정한다.

나. 유지관리성

1) 점검시설

【표 6.8】 일반교량의 점검시설 성능평가 기준

등급	등급기준	
	설치 유무	설치상태
a	점검로가 교각마다 모두 설치되어 있을 때	점검로가 신설되어 모두 양호한 상태
b	점검로가 교각의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로가 모두 양호한 상태
c	점검로가 교각의 60% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요할 때
d	점검로가 교각의 40% 이상 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요할 때
e	점검로가 교각의 40% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 점검로의 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요한 상태

- 도로(일반교량)의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로의 설치유무 및 설치된 점검로의 상태를 평가한다. 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가하며 여기서 점검로는 교각의 점검로를 의미한다.
- 단, 교량의 구조형식에 따라 점검로 설치가 불가능한 경우는 해당 지표를 제외하고 등급을 평가한다.

다. 수요 및 용량

1) 교통량

【표 6.9】 교통량의 성능평가 기준

등급	등급기준
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상일 때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100 미만일 때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90 미만일 때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80 미만일 때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이하일 때

- 도로 이용자의 이용 편의를 고려하여, 수요실제값 대비 수요예측값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 단위는 대/일을 사용한다.

6.2.4 사용성능 평가 결과 산정 방법

가. 세부지표별 가중치

도로교량의 세부지표는 다음과 같다.

【표 6.10】 도로교량의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	포장상태	교량조명	진동사용성능	점검시설	교통량
가중치	0.247	0.150	0.202	0.206	0.195

- 구조형식 및 책임기술자 판단에 따라 평가가 이루어지지 않은 지표는 해당지표의 가중치를 제외하고 평가한다.

나. 사용성능 평가 결과 산정

최종 사용성능 평가 결과 산정 절차는 다음과 같다.

$$\text{사용성평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w= 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c= 각 세부지표별 평가 결과

다. 최종평가결과

교량 성능평가를 적용할 때, 사용성능 결과를 결함도 지수로 환산한다. 사용성능 평가결과는 아래의 표와 같이 결함도 지수를 활용하여 종합성능평가에 적용한다.

【표 6.11】 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 6.12】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

6.3 사용성능 평가 결과

6.3.1 성능지표 평가

가. 인천방향

1) 포장상태 평가

① 고속도로 포장상태 지수(HPCI) 산정

과업대상의 포장상태는 “2018년 고속도로 포장상태 조사 및 분석 보고서”를 활용하여 분석하였다.

[표 6.13] 포장상태 평가결과

평가항목	노선명	조사연장(m)	HPCI	평가등급
포장상태	횡계~강릉JCT	6,800	3.83	b등급
평가결과	포장상태 조사 및 분석 보고서를 참고하여 HPCI를 분석한 결과, 3.83이상으로 산정되어 양호한 b등급으로 평가되었다.			

IC 구간	전체	1등급		2등급		3등급		4등급		5등급		6등급		7등급		불량구간		HPCI	
	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	결과	
횡계IC~강릉JCT	6.8	35.29	2.4	52.94	3.6	8.82	0.6	2.94	0.2	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	3.83	이상

2) 교량조명

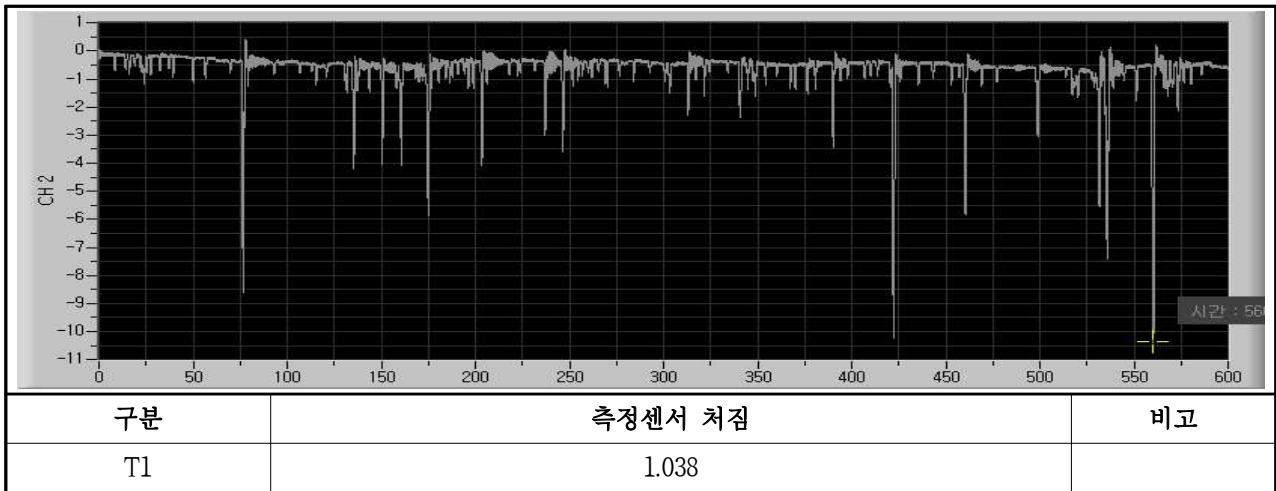
- 백옥포교(인천)의 경우 교량조명이 없는 상태로써, 휘도측정은 평가에서 제외하였다.

3) 진동사용성

① 측정

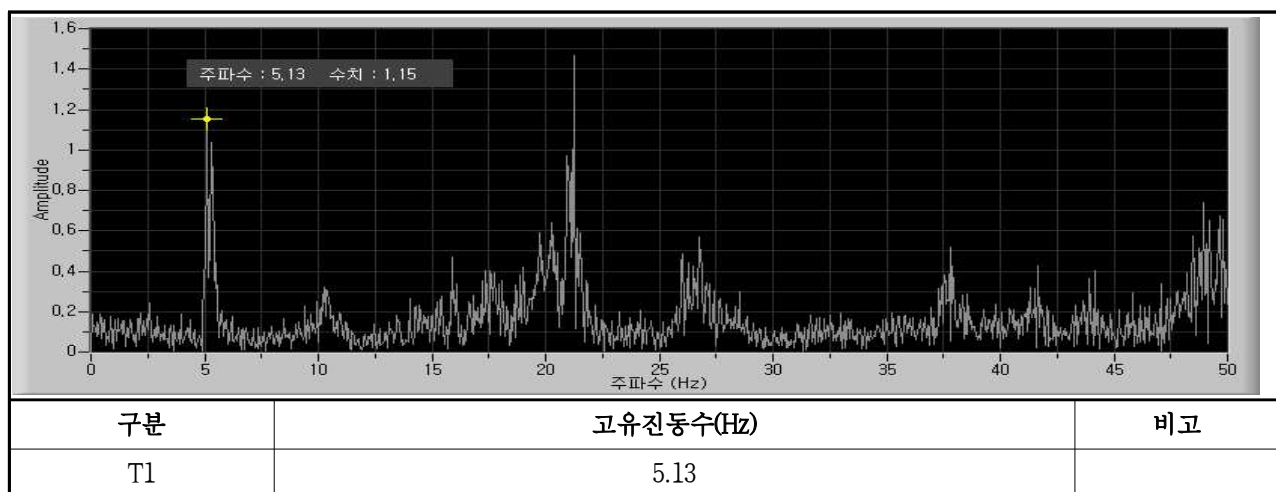
- 해당 교량의 기존 재하시험 데이터가 존재하지 않아 진동사용성 평가를 위하여 교량의 최대 처짐과 고유진동수를 측정하였다.

② 처짐



【그림 6.2】 교량의 처짐 측정 DATA

③ 고유진동수



【그림 6.3】 교량의 고유진동수 측정 DATA

- 진동사용성평가는 진동으로 인하여 통행자의 감각정도를 평가하는 것이므로 측정값 중 최댓값을 적용한다.(한국시설안전공단 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2018)』)

④ 분석결과

- 재하시험을 통해 처짐과 고유진동수를 측정한 결과, 최대 처짐은 1.038mm, 고유진동수는 5.13Hz로 나타났으며, 이는 Reiher-Meister의 허용곡선 상에서 A구간에 해당되어 e 등급으로 평가된다.

4) 점검시설

백옥포교(인천)의 교각에 설치된 점검로를 점검한 결과, 교각(P1~P3) 3개 모두 점검로가 설치되어 a등급으로 평가되었으며, 설치 상태는 a등급으로 평가되었고 따라서 해당 세부지표는 두 평가 결과 중 낮은 등급인 a등급으로 평가되었다.



【사진 6.1】 점검시설 전경

5) 교통량

① 교통량 통계 자료

대상 시설물의 2018년 수요예측 및 소요실제 교통량 조사 결과, 수요예측 교통량은 31,281/일이며, 소요실제 교통량은 30,896/일로 수요예측/수요실제의 비율이 100%이상으로 산정되어 a등급으로 평가되었다.

【표 6.14】 교통량 비교

구 분	수요예측(대/일) a	소요실제(대/일) b	대비(%) $a/b \times 100$	평가등급	비고
백옥포교(인천)	31,281	30,896	101.2	a등급	2018년 교통량

나. 강릉방향

1) 포장상태 평가

① 고속도로 포장상태 지수(HPCI) 산정

과업대상의 포장상태는 “2018년 고속도로 포장상태 조사 및 분석 보고서”를 활용하여 분석하였다.

[표 6.15] 포장상태 평가결과

평가항목	노선명		조사연장(m)				HPCI				평가등급								
포장상태	횡계~강릉JCT		6,800				3.83				b등급								
평가결과	포장상태 조사 및 분석 보고서를 참고하여 HPCI를 분석한 결과, 3.83이상으로 산정되어 양호한 b등급 으로 평가되었다.																		
IC 구간	전체 연장	1등급		2등급		3등급		4등급		5등급		6등급		7등급		불량구간		HPCI 결과	
		비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장	비율	연장		
	횡계IC~강릉JCT	6.8	35.29	2.4	52.94	3.6	8.82	0.6	2.94	0.2	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	3.83

2) 교량조명

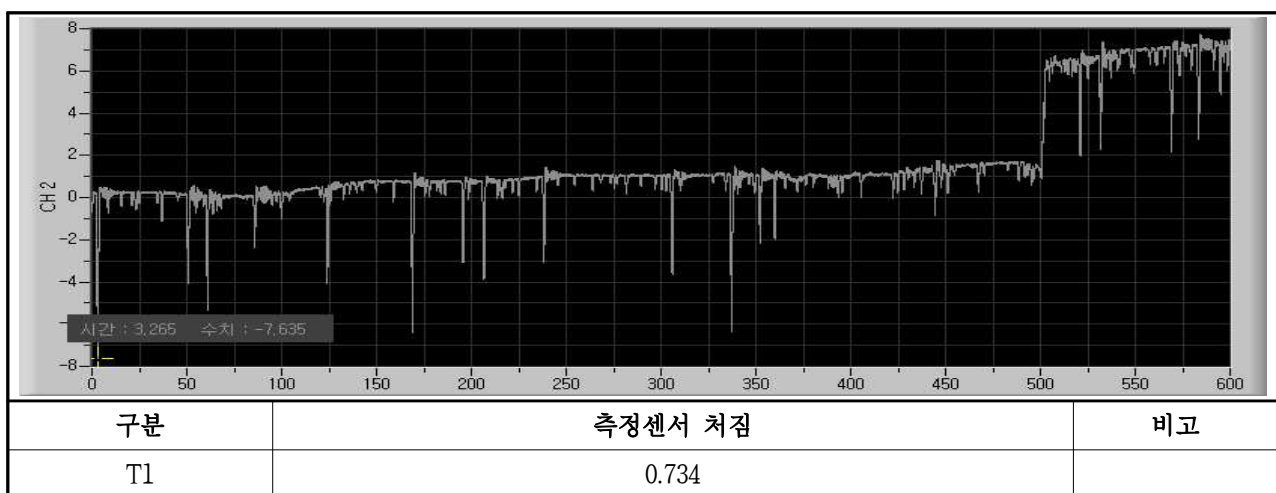
- 백옥포교(강릉)의 경우 교량조명이 없는 상태로써, 휘도측정은 평가에서 제외하였다.

3) 진동사용성

① 측정

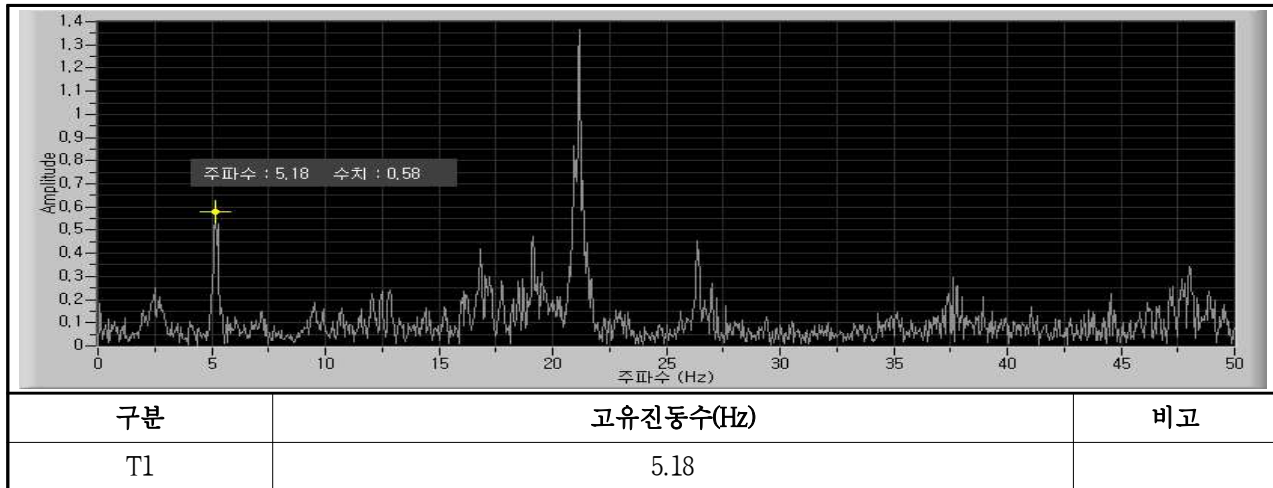
- 해당 교량의 기존 재하시험 데이터가 존재하지 않아 진동사용성 평가를 위하여 교량의 최대 처짐과 고유진동수를 측정하였다.

② 처짐



【그림 6.4】 교량의 처짐 측정 DATA

③ 고유진동수



【그림 6.5】 교량의 고유진동수 측정 DATA

- 진동사용성평가는 진동으로 인하여 통행자의 감각정도를 평가하는 것이므로 측정값 중 최댓값을 적용한다.(한국시설안전공단 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2018)』)

④ 분석결과

- 재하시험을 통해 처짐과 고유진동수를 측정한 결과, 최대 처짐은 0.734mm, 고유진동수는 5.18Hz로 나타났으며, 이는 Reiher-Meister의 허용곡선 상에서 B구간에 해당되어 d 등급으로 평가된다.

4) 점검시설

백옥포교(강릉)의 교각에 설치된 점검로를 점검한 결과, 교각(P1~P3) 3개 모두 점검로가 설치되어 a등급으로 평가되었으며, 설치 상태는 a등급으로 평가되었고 따라서 해당 세부지표는 두 평가 결과 중 낮은 등급인 a등급으로 평가되었다.



【사진 6.2】 점검시설 전경

5) 교통량

① 교통량 통계 자료

대상 시설물의 2018년 수요예측 및 소요실제 교통량 조사 결과, 수요예측 교통량은 31,281/일이며, 소요실제 교통량은 30,896/일로 수요예측/수요실제의 비율이 100%이상으로 산정되어 a등급으로 평가되었다.

【표 6.16】 교통량 비교

구 분	수요예측(대/일) a	소요실제(대/일) b	대비(%) $a/b \times 100$	평가등급	비고
백옥포교(강릉)	31,281	30,896	101.2	a등급	2018년 교통량

6.3.2 세부지표별 가중치에 따른 시설물의 서비스 등급 산정

가. 인천방향

【표 6.17】 사용성능 평가

구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	사용성	포장상태	0.322	b	0.2
		교량조명	-	-	-
		진동사용성	0.277	e	1.0
기능성	유지관리성	점검시설의 유무	0.206	a	0.1
	수요 및 용량	교통량	0.195	a	0.1
				결합도점수	0.382
				등급	C

- 교량조명이 설치되어 있지 않아 평가에서 제외하였으며, 가중치를 사용성 포장상태와 진동사용성에 분배하여 평가하였다.

나. 강릉방향

【표 6.18】 사용성능 평가

구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	사용성	포장상태	0.322	b	0.2
		교량조명	-	-	-
		진동사용성	0.277	d	0.7
기능성	유지관리성	점검시설의 유무	0.206	a	0.1
	수요 및 용량	교통량	0.195	a	0.1
				결합도점수	0.298
				등급	C

- 교량조명이 설치되어 있지 않아 평가에서 제외하였으며, 가중치를 사용성 포장상태와 진동사용성에 분배하여 평가하였다.