관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2026.11.04

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(1969A)

출 원 번 호 10-2026-0218117 (접수번호 1-1-2026-1380464-08)
(DAS접근코드2C54)

출원인 명칭 (주)유디엔에스(1-2016-065064-1)

대리인 성명 특허법인 주원(9-2008-100161-7)

발명자 성명 김종우 조윤범 박준영

발명의 명칭 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법

지 식 재 산 처 장

<< 안내 >>

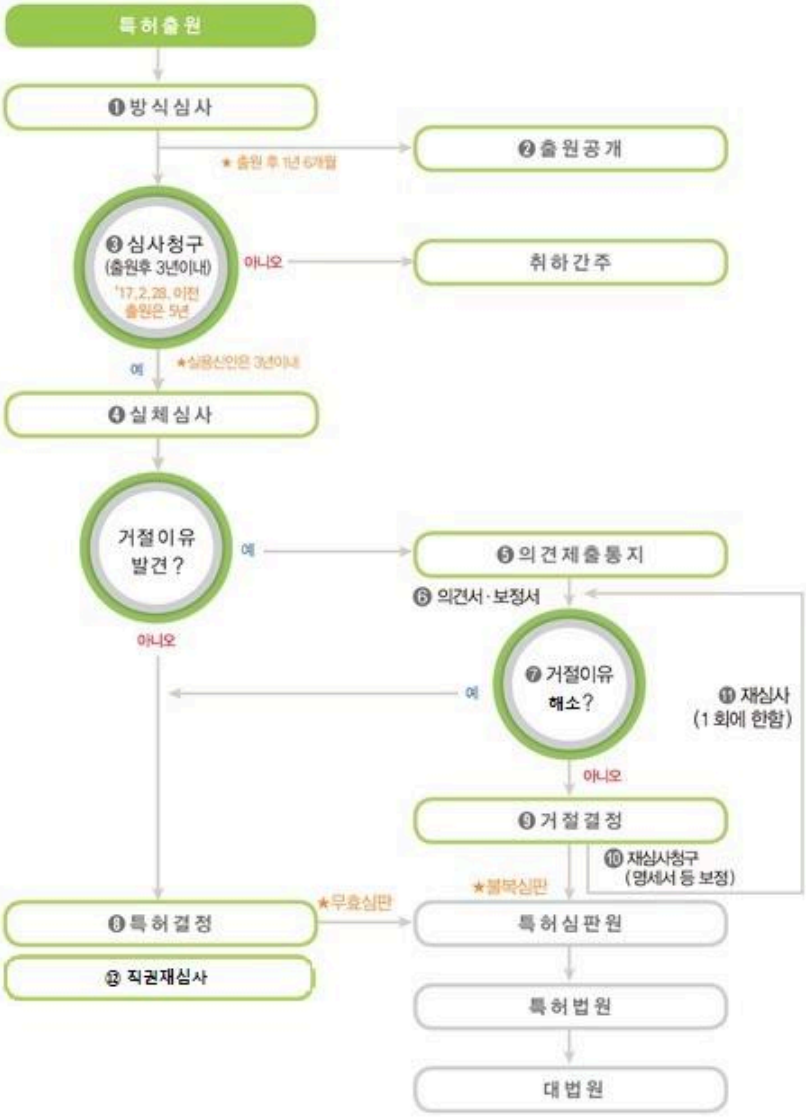
1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 지식재산처 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : https://www.moip.go.kr-지식재산제도

<< 초고속심사 안내 >>

1. 지식재산처는 2025년 10월 15일부터 초고속심사 제도를 운영하고 있습니다.
2. 초고속심사를 신청하면 1달 내 1차 심사 결과를 받아볼 수 있습니다.
3. 초고속심사 대상은 ①수출촉진과 관련되거나, ②첨단기술 우선심사 대상에 해당하면서 조약우선권기초출원에 해당하는 경우, 또는 창업기업 등의 출원이 ③첨단기술 우선심사 중 AI 분야에 해당하거나, ④바이오 분야에 해당하면 신청할 수 있습니다.
4. 자세한 내용은 지식재산처 홈페이지(http://moip.go.kr) - 고시·공시를 참조해 주시기 바랍니다.
5. 신속한 특허권 확보가 필요한 출원인의 많은 이용 바랍니다.

[초고속심사 유형]

구분	초고속심사 대상	규모제한	시행
해외진출	• 수출촉진 관련 출원	연간 2,000건	'25.10.15.
	• 첨단기술(AI, 바이오,반도체 등) + 조약우선권시초출원	연간 2,000건	
창업	• 첨단기술 AI + 창업기업, 벤처기업, 이노비즈기업	연간 2,000건	'26.2.23.
	• 첨단기술 바이오 + 창업기업, 벤처기업, 이노비즈기업	연간 2,000건	


특허출원
❶ 방식심사
★ 출원 후 1년 6개월
❷ 출원공개
❸ 심사청구
(출원후 3년이내)
'17.2.28. 이전
출원은 5년
아니오
취하간주
예
★실용신안은 3년이내
❹ 실체심사
거절이유
발견?
예
❺ 의견제출통지
❻ 의견서·보정서
아니오
❼ 거절이유
해소?
예
❶❶ 재심사
(1회에 한함)
아니오
❾ 거절결정
❿ 재심사청구
(명세서 등 보정)
★불복심판
★무효심판
❽ 특허결정
특허심판원
⑫ 직권재심사
특허법원
대법원

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【참조번호】 1969A

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 (주)유디엔에스

【특허고객번호】 1-2016-065064-1

【대리인】

【명칭】 특허법인 주원

【대리인번호】 9-2008-100161-7

【지정된변리사】 이재광, 길용준

【포괄위임등록번호】 2016-079006-0

【발명의 국문명칭】 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법

【발명의 영문명칭】 SYSTEM AND METHOD FOR CONTINUOUS EVALUATION OF BRIDGE LOAD-CARRYING CAPACITY

【발명자】

【성명】 김종우

【성명의 영문표기】 KIM, Jong Woo

【국적】 KR

【주민등록번호】 690410-1XXXXXX

【우편번호】 16871

【주소】 경기도 용인시 수지구 대지로15번길 60 (죽전동) 죽전현대 홈타운 3차 2단지 아파트 502동 401호

【거주국】 KR

【공보의 주소공개】 부분공개

【발명자】

【성명】 조윤범

【성명의 영문표기】 JHO, Youn Beom

【국적】 KR

【주민등록번호】 741008-1XXXXXX

【우편번호】 13629

【주소】 경기도 성남시 분당구 구미동 까치마을 1단지 110동 205호

【거주국】 KR

【공보의 주소공개】 부분공개

【발명자】

【성명】 박준영

【성명의 영문표기】 PARK, Jun Young

【국적】 KR

【주민등록번호】 981216-1XXXXXX

【우편번호】 06912

【주소】 서울특별시 동작구 매봉로4길 7 407호

【거주국】 KR

【공보의 주소공개】 부분공개

【출원언어】 국어

【우선권 주장】

【출원국명】 KR

【출원번호】 10-2025-0174354

【출원일자】 2025.11.18

【증명서류】 미첨부

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 2610000383

【과제번호】 RS-2022-00142239

【부처명】 국토교통부

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 AI 데이터 중심의 화물차 운송 안전 향상기술 개발

【연구과제명】 AI 데이터 중심의 화물차 운송 안전 향상기술 개발

【과제수행기관명】 (주)유디엔에스

【연구기간】 2022.04.01 ~ 2026.12.31

【취지】 위와 같이 지식재산처장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 주원 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 55 면 0 원

【우선권주장료】 1 건 18,000 원

【심사청구료】 18 항 1,084,000 원

【합계】 1,148,000원

【감면사유】 중기업(70%감면)[1]

【감면후 수수료】 357,000 원

【수수료 자동납부번호】 551-021656-04-011

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법{SYSTEM AND METHOD FOR CONTINUOUS EVALUATION OF BRIDGE LOAD-CARRYING CAPACITY}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 고속축중기(WIM, Weigh-In-Motion)를 이용한 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 공용 중인 교량은 통행하는 차량하중에 대하여 구조적으로 안전하게 저항할 수 있는 능력, 즉 내하력(Load-Carrying Capacity)을 유지하여야 한다. 내하력 평가는 교량에 작용한 하중과 그 하중으로 발생한 구조 응답(처짐, 변형률, 응력 등)을 함께 비교하여, 설계·평가 기준 대비 교량에 남아 있는 여유를 정량적으로 판단하는 절차이다.

【0003】 대한민국의 내하력 평가 실무에서는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」과 교량 내하력 평가 매뉴얼에 따라 기본내하력과 공용내하력을 산정하며, 기본내하력은 일반적으로 아래의 수학식 1과 같이 내하율(RF, Rating Factor)과 평가활하중의 곱으로 나타낸다.

【0004】 **【수학식 1】**

$$P_n = \mathrm{RF} \times P_r$$

【0005】 여기서, P_n은 기본내하력, RF는 내하율, P_r은 평가활하중이다. 예를 들어, 내하율이 RF = 1.25인 교량을 평가활하중 DB-24(총중량 43.2 t)로 평가하면 기본내하력은 P_n = 1.25 X 43.2 = 54.0 t이다. 기본내하력은 교량의 설계 사양에 따라서 정해질 수 있다.

【0006】 재하시험 등으로 실측 응답을 확보하면, 해석으로 계산한 응답과 실측 응답의 비로 처짐 기준 보정계수를 구하여 공용내하력에 반영하며, 처짐 기준 보정계수의 일반적인 형태는 아래의 수학식 2와 같다.

【0007】 **【수학식 2】**

$$K_\delta = \frac{\delta_{\mathrm{calc}}}{\delta_{\mathrm{meas}}} \times \frac{1 + i_{\mathrm{calc}}}{1 + i_{\mathrm{meas}}}$$

【0008】 여기서, δ_{calc}와 δ_{meas}는 각각 해석 처짐과 실측 정적 처짐이고, i_{calc}와 i_{meas}는 각각 설계 충격계수와 실측 충격계수이다. 공용내하력은 기본내하력에 처짐 보정 계수를 곱하여 구하며, 실무에서는 노면·교통 상태 보정계수를 함께 곱하기도 한다. 예를 들어, K_δ = 1.31이면 공용내하력은 54.0 X 1.31 ≈ 70.7 t이다.

【0009】즉, 내하력 평가에는 ① 교량에 작용한 하중의 크기·분포와 ② 그 하중에 대응하는 교량 응답이 모두 필요하며, 둘 중 하나라도 없으면 응답 변화가 하중 증가 때문인지 구조 성능 저하 때문인지 구분할 수 없다.

【0010】그런데 종래의 재하시험·정밀안전진단은 특정 시점에 정해진 시험 차량으로 수행되므로, 평상시 교통하중 아래에서 내하력이 어떻게 변하고 열화가 어떤 추세로 진행되는지를 연속적으로 파악하기 어렵다. 또한, 시험 때마다 교량 통제와 인력·장비 투입이 필요하여 비용과 시간 부담이 크다.

【0011】이러한 문제점을 해결하기 위해서 현재 진행되고 있는 상시계측(SHM, Structural Health Monitoring)은 가속도, 변형률 등의 응답을 장기간 수집할 수 있으나, 대부분 응답만 측정하므로 같은 크기의 처짐이 발생하더라도 그것이 과적 차량 때문인지 교량 강성 저하 때문인지 판별하기 어렵다.

【0012】또한, Bridge-WIM(B-WIM)은 교량 응답으로부터 차량하중을 역으로 추정하는 방식으로, 교량 모델·동특성·주행속도 등에 대한 가정에 의존하기 때문에 추정 하중의 불확실성이 커서, 유지관리용 상시 내하력 평가의 입력하중으로 쓰기에는 한계가 있다.

【0013】따라서, 이러한 종래 기술들의 문제점을 해결할 수 있도록 내하력을 상시 산출하는 기술이 요구된다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0014】본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 교통 통제 없이, 평상시 교통하중 조건에서 교량 내하력의 변화와 열화 추세를 연속적으로 파악할 수 있는 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

【0015】본 발명의 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

【과제의 해결 수단】

【0016】상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템은, 교량 진입로에 설치되는 하중 측정 센서 및 진입로 카메라를 포함하고, 상기 하중 측정 센서의 신호로부터 산출된 통과 차량의 축하중과, 상기 진입로 카메라의 영상으로부터 인식된 차량 식별 정보를 결합하여 차량별 하중 패킷을 생성하는 진입로 계측부; 교량 본선에 설치되는 본선 카메라를 포함하고, 상기 본선 카메라의 영상에서 관심 거더를 통과하는 차량의 번호를 인식하여 차량 식별 정보를 추출하고, 해당 차량이 관심 거더 구간을 지나는 통과 시간 구간을 산출하는 본선 인식부; 상기 관심 거더에 설치되는 응답 센서를 포함하고, 상기 응답 센서에서 측정된 응답을 시간 정보와 함께 연속적으로 측정하는 응답 계측부; 및 상기 응답 계측부로부터 수신한 응답 중 상기 통과 시간 구간에 대응하는 응답 조각을 획득하고, 차량 식별 정보를 기준으로 상기 하중 패킷과 상기 응답 조각을 매칭하여 하중-응답 쌍을 구성하며, 상기 하중-응답 쌍에 기초하여 내하력 지표를 산정하고 상시 내하력을 갱신하는 분석 평가부를 포함한다.

【0017】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 진입로 카메라는 번호판 인식 모듈을 내장하여 상기 차량 식별 정보로서 차량 번호를 인식하고, 상기 진입로 계측부는, 상기 하중 측정 센서의 신호로부터 상기 축하중을 산출하고, 상기 진입로 카메라로부터 수신한 상기 차량 번호와 결합하여 상기 하중 패킷을 생성한 뒤, 통신망을 통하여 상기 분석 평가부로 전송하는 진입로 제어기를 더 포함할 수 있다.

【0018】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 본선 인식부는, 상기 본선 카메라의 영상에서 차량 번호판 인식과 차량 추적을 통하여 상기 통과 시간 구간을 산출하고, 통신망을 통하여 상기 분석 평가부로 전송하는 본선 영상처리기를 더 포함할 수 있다.

【0019】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 본선 인식부는, 상기 본선 카메라의 영상의 각 프레임에서 차량의 위치를 추적하고, 상기 차량이 상기 관심 거더의 시작점을 처음 지난 프레임의 시각부터 상기 관심 거더의 끝점을 마지막으로 지난 프레임의 시각까지를 상기 통과 시간 구간으로 산출할 수 있다.

【0020】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 응답 조각은 상기 응답 센서의 신호로부터 산출된 처짐 응답의 조각이고, 상기 분석 평가부는, 상기 응답 조각에 저역통과 필터를 적용하여 정적 성분을 분리하고, 상기 응답 조각에서 상기 정적 성분을 빼서 동적 성분을 구하며, 상기 통과 시간 구간 내 상기 정적 성분의 최대값을 실측 처짐으로 산출하고, 상기 통과 시간 구간 내 상기 응답 조각의 최대값과 상기 실측 처짐의 비를 동적증폭계수로 산출할 수 있다.

【0021】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 분석 평가부는, 상기 하중 패킷의 축하중을 관심 지점의 영향선에 적용한 축하중의 선형 합으로 계산 처짐을 산정하고, 상기 계산 처짐과 상기 실측 처짐의 비, 및 설계 충격계수와 상기 동적증폭계수로부터 구한 실측 충격계수에 기초하여 처짐 보정계수를 산정할 수 있다.

【0022】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 내하력 지표는, 처짐 보정계수, 내하율(RF)과 상기 처짐 보정계수를 반영한 공용내하력 추정값, 및 계산 처짐 대비 실측 처짐의 비로 나타낸 강성 지표 중 어느 하나일 수 있다.

【0023】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 분석 평가부는, 매칭된 차량의 상기 내하력 지표가 입력될 때마다 지수이동평균으로 상기 상시 내하력을 갱신할 수 있다.

【0024】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 분석 평가부는, 상기 상시 내하력을 초기값으로 나눈 신뢰도가 임계값 아래로 내려가면 관리기관 단말로 경보를 전송할 수 있다.

【0025】한편, 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 방법은 진입로 계측부, 본선 인식부, 응답 계측부 및 분석 평가부를 포함하는 교량 상시 내하력 평가 시스템에 의해 수행되는 교량 상시 내하력 평가 방법에 있어서, (a) 상기 진입로 계측부가, 교량 진입로에 설치되는 하중 측정 센서의 신호로부터 통과 차량의 축하중을 산출하고, 상기 교량 진입로에 설치되는 진입로 카메라의 영상으로부터 인식된 차량 식별 정보를 상기 축

하중과 결합하여 차량별 하중 패킷을 생성하는 단계; (b) 상기 본선 인식부가, 교량 본선에 설치되는 본선 카메라의 영상에서 관심 거더를 통과하는 차량의 번호를 인식하여 차량 식별 정보를 추출하고, 해당 차량이 상기 관심 거더 구간을 지나는 통과 시간 구간을 산출하는 단계; (c) 상기 분석 평가부가, 상기 관심 거더에 설치되는 응답 센서에서 시간 정보와 함께 연속적으로 측정된 응답을 상기 응답 계측부로부터 수신하는 단계; (d) 상기 분석 평가부가, 상기 응답 계측부로부터 수신한 상기 응답 중 상기 통과 시간 구간에 대응하는 응답 조각을 획득하는 단계; (e) 상기 분석 평가부가, 상기 (a) 단계의 차량 식별 정보와 상기 (b) 단계의 차량 식별 정보를 기준으로 상기 하중 패킷과 상기 응답 조각을 매칭하여 하중-응답 쌍을 구성하는 단계; 및 (f) 상기 분석 평가부가, 상기 하중-응답 쌍에 기초하여 내하력 지표를 산정하고 상시 내하력을 갱신하는 단계를 포함한다.

【0026】 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 진입로 카메라는 번호판 인식 모듈을 내장하여 상기 (a) 단계의 차량 식별 정보로서 차량 번호를 인식하고, 상기 (a) 단계는, 상기 진입로 계측부의 진입로 제어기가, 상기 하중 측정 센서의 신호로부터 상기 축하중을 산출하는 단계; 상기 진입로 제어기가, 상기 진입로 카메라로부터 수신한 상기 차량 번호를 상기 축하중과 결합하여 상기 하중 패킷을 생성하는 단계; 및 상기 진입로 제어기가, 통신망을 통하여 상기 하중 패킷을 상기 분석 평가부로 전송하는 단계를 포함할 수 있다.

【0027】 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계는, 상기 본선 인식부의 본선 영상처리기가, 상기 본선 카메라의 영상에서 차량 번호판 인식

과 차량 추적을 통하여 상기 통과 시간 구간을 산출하는 단계; 및 상기 본선 영상 처리기가, 통신망을 통하여 상기 통과 시간 구간을 상기 분석 평가부로 전송하는 단계를 포함할 수 있다.

【0028】 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계는, 상기 본선 카메라의 영상의 각 프레임에서 차량의 위치를 추적하는 단계; 및 상기 차량이 상기 관심 거더의 시작점을 처음 지난 프레임의 시간부터 상기 관심 거더의 끝점을 마지막으로 지난 프레임의 시간까지를 상기 통과 시간 구간으로 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

【0029】 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 응답 조각은 상기 응답 센서의 신호로부터 산출된 처짐 응답의 조각이고, 상기 (f) 단계 전에, 상기 분석 평가부가, 상기 응답 조각에 저역통과 필터를 적용하여 정적 성분을 분리하고, 상기 응답 조각에서 상기 정적 성분을 빼서 동적 성분을 구하는 단계; 및 상기 분석 평가부가, 상기 통과 시간 구간 내 상기 정적 성분의 최대값을 실측 처짐으로 산출하고, 상기 통과 시간 구간 내 상기 응답 조각의 최대값과 상기 실측 처짐의 비를 동적증폭계수로 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.

【0030】 또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 (f) 단계는, 상기 분석 평가부가, 상기 하중 패킷의 축하중을 관심 지점의 영향선에 적용한 축하중의 선형 합으로 계산 처짐을 산정하는 단계; 및 상기 분석 평가부가, 상기 계산 처짐과 상기 실측 처짐의 비, 및 설계 충격계수와 상기 동적증폭계수로부터 구한 실측 충격계수에 기초하여 처짐 보정계수를 산정하는 단계를 포함할 수 있다.

【0031】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 내하력 지표는, 처짐 보정계수, 내하율(RF)과 상기 처짐 보정계수를 반영한 공용내하력 추정값, 및 계산 처짐 대비 실측 처짐의 비로 나타낸 강성 지표 중 어느 하나일 수 있다.

【0032】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, 상기 (f) 단계에서, 상기 상시 내하력은 매칭된 차량의 상기 내하력 지표가 입력될 때마다 지수이동평균으로 갱신될 수 있다.

【0033】또한, 본 발명의 다른 일 실시예에 따르면, (g) 상기 분석 평가부가, 상기 상시 내하력을 초기값으로 나눈 신뢰도가 임계값 아래로 내려가면 관리기관 단말로 경보를 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

【발명의 효과】

【0034】본 발명에 따르면, 교량에 작용한 실제 하중의 크기를 측정하고, 측정된 실제 하중의 크기와 교량의 처짐 응답을 서로 매칭하여 분석을 수행하므로, 응답만으로는 구분할 수 없었던 하중 증가와 구조 강성 저하로 인한 내하력의 영향을 확인할 수 있다.

【0035】또한, 본 발명은 응답으로부터 하중을 추정하지 않으므로 B-WIM의 하중 추정 오차를 피할 수 있고, 차량 단위 매칭을 통해 여러 차량이 통행하는 상황에서도 차량별 응답을 분리할 수 있다.

【0036】또한, 본 발명은 기존 내하율·보정계수 체계를 그대로 활용하므로 현장 적용성이 높고, 평상시 교통하중으로 내하력을 상시 갱신하여 열화 추세 파악

과 조기 경보가 가능하다.

【0037】 또한, 본 발명은 별도의 교통 통제나 시험차량 투입 없이 평상시 통행 차량을 활용하므로, 재하시험에 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있다.

【0038】 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

【도면의 간단한 설명】

【0039】 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템의 설치 환경으로서, 계측 장비 및 제어기의 교량 설치 배치를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템의 세부 구성을 도시하는 블록도이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 방법의 전체 흐름도이다.

도 4a는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 진입로 계측부의 하중 패킷 생성 단계의 세부 흐름을 설명하는 도면이고, 도 4b는 WIM 센서에서 측정되는 축하중과 축간 거리를 나타내는 도면이다.

도 5은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 통과 시간 구간에 따른 차량별 응답 절취를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 정적·동적 성분 분리 필터의 주파수 응답과, 그 필터에 의하여 분리된 정적 성분 및 동적 성분을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 내하력 지표 산정 및 상시 내하력 갱신·경보의 세부 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 처짐 응답 취득 과정을 설명하는 일 예로서 가속도-변형률 융합 처짐 산출 구성을 나타낸 도면이다.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0040】이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

【0041】본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 "~부"라는 용어는 소프트웨어 또는 하드웨어 구성요소를 의미하며, "~부"는 어떤 역할들을 수행한다. 본 실시예에서 "~부"는 메모리에 저장된 프로그램을 프로세서가 실행함으로써 구현되는 기능 단위

를 의미할 수 있다.

【0042】 본 발명의 특징은 ① 진입로에서 실측한 하중과 본선에서 계측한 응답을 차량 식별자 기준으로 차량 단위로 매칭하는 구성과, ② 매칭 결과를 이용하여 상시 내하력을 산출·갱신하는 절차에 있다. 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법에 대해서 설명한다.

【0043】 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템의 설치 환경으로서, 계측 장비 및 제어기의 교량 설치 배치를 나타낸 도면이다.

【0044】 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템은 교량 진입로 구간과 교량 본선 구간에 걸쳐 설치된다.

【0045】 진입로 구간에는 WIM 센서(110)와 루프 센서(115)가 노면에 매설되고, 진입로 카메라(120)가 진입로 구간의 차량을 촬영하도록 설치된다. 진입로 제어기(130)는 진입로 노변의 제어함 등에 설치될 수 있다.

【0046】 교량 본선 구간에는 본선 카메라(210)와 본선 영상처리기(230)가 설치되고, 응답 센서(310, 320)가 관심 거더의 하부, 예를 들어 경간 중앙의 센서 위치(x^{*})에 설치되며, 데이터 수집장치(360)는 교량 하부에 설치된다.

【0047】 본선 카메라(210)의 촬영 범위는 응답 센서(310, 320)가 설치된 거더 구간의 바로 위 차로를 포함하도록 설정되어, 차량이 센서 위를 지나는 시각과 응답이 최대가 되는 시각을 서로 대응시킬 수 있도록 한다. 도 1에서 x_s와 x_e는 각

각 응답 센서(310, 320)가 설치된 관심 거더의 시작점과 끝점을 나타낸다.

【0048】 진입로 제어기(130), 본선 영상처리기(230) 및 데이터 수집장치(360)는 통신망을 통하여 중앙 서버(400)에 연결된다. 통신망은 유선 통신망, 무선 통신망 또는 이들의 조합일 수 있다.

【0049】 진입로 제어기(130), 본선 영상처리기(230) 및 데이터 수집장치(360)의 시각은 GNSS 또는 NTP 등으로 동기화된 공통 시계를 기준으로 기록된다.

【0051】 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템의 세부 구성을 도시하는 블록도이다.

【0052】 도 2를 참조하면, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템은 진입로 계측부(100), 본선 인식부(200), 응답 계측부(300) 및 분석 평가부(400)를 포함할 수 있고, 이들 각각은 물리적으로 분리되어 별도의 제어기를 갖는다. 즉, 진입로 계측부(100)는 진입로 제어기(130)를, 본선 인식부(200)는 본선 영상처리기(230)를, 응답 계측부(300)는 데이터 수집장치(360)를 각각 구비하며, 분석 평가부(400)는 이들과 통신망으로 연결된 중앙 서버이다.

【0053】 진입로 계측부(100)는 WIM 센서(110), 루프 센서(115), AVI/CCTV 카메라(이하, '진입로 카메라'라 칭함)(120) 및 진입로 제어기(130)를 포함할 수 있다. 루프 센서(115)는 차로별로 설치되어 차량의 진입을 감지하고 트리거 신호를 발생시키고, WIM 센서(110)는 교량 진입로 각 차로에 설치되어 차량 통과에 따른 하중 신호를 출력한다. 진입로 카메라(120)에는 번호판 인식 모듈(121)이

내장되어, 진입로 카메라(120)가 촬영한 영상으로부터 통과 차량의 번호를 직접 인식하여 차량 번호를 차량 식별 정보로서 출력한다.

【0054】 진입로 제어기(130)는 WIM 센서(110)의 하중 신호로부터 축하중과 축간거리를 산출한 뒤, 진입로 카메라(120)로부터 받은 차량 번호와 결합하여 하중 패킷을 생성하고 이를 분석 평가부(400)로 전송한다.

【0055】 진입로 제어기(130)는 프로세서(131), 메모리(132) 및 통신부(133)를 포함할 수 있다. 메모리(132)는 진입로 제어기(130)의 동작을 위한 프로그램을 저장하고, 통신부(133)는 분석 평가부(400)와 데이터를 송수신한다. 프로세서(131)는 메모리(132)에 저장된 프로그램을 실행하여, WIM 센서(110)의 신호로부터 축하중과 축간거리를 산출하는 하중 산출부(134)와, 산출된 축하중·축간거리와 차량 번호를 결합하여 하중 패킷을 생성하는 하중 패킷 생성부(135)의 기능을 수행한다.

【0056】 본선 인식부(200)는 교량 본선의 AVI/CCTV 카메라(이하, '본선 카메라'라 칭함)(210) 및 본선 영상처리기(230)를 포함할 수 있다. 본선 영상처리기(230)는 본선 카메라(210)의 영상에서 번호판 재인식과 차량 추적을 통하여 진입로에서 등록된 차량을 다시 식별하고, 그 차량이 관심 거더 구간을 지나는 통과 구간을 산출하여 분석 평가부(400)로 전송한다.

【0057】 본선 영상처리기(230)는 프로세서(231), 메모리(232) 및 통신부(233)를 포함할 수 있다. 프로세서(231)는 메모리(232)에 저장된 프로그램을 실행하여, 번호판 인식부(234), 차량 추적부(235) 및 통과 구간 산출부(236)의 기능을 수행한다.

【0058】응답 계측부(300)는 관심 거더 하부에 설치된 변형률 센서(310)와 가속도 센서(320), 및 데이터 수집장치(360)를 포함할 수 있다. 이하에서, 변형률 센서(310)와 가속도 센서(320)를 통칭하여 응답 센서라 할 수 있다. 응답 센서는 처짐을 직접 계측하는 변위계를 더 포함하거나, 변형률 센서(310)와 가속도 센서(320)를 대신하여 변위계를 포함할 수도 있다.

【0059】데이터 수집장치(360)는 응답 센서의 신호를 샘플링하고 샘플링 시간을 부여하여 연속적으로 기록·저장하였다가, 분석 평가부(400)가 특정 통과 구간을 요청하면 그 구간의 응답을 응답 조각으로서 회신한다.

【0060】데이터 수집장치(360)는 프로세서(361), 메모리(362), 저장부(363) 및 통신부(364)를 포함할 수 있다. 저장부(363)는 시간이 부여된 응답 데이터를 일정 기간 저장하는 버퍼이다. 프로세서(361)는 메모리(362)에 저장된 프로그램을 실행하여, 응답 센서의 신호를 샘플링하고 샘플링 시간을 부여하는 수집부(365), 및 응답 센서의 신호로부터 관심 지점의 처짐 응답 u(t)를 산출하는 처짐 산출부(366)의 기능을 수행한다.

【0061】다른 실시예로서, 데이터 수집장치(360)는 응답 센서의 원신호를 기록·회신하고, 처짐 응답 u(t)의 산출은 분석 평가부(400)에서 수행할 수도 있다.

【0062】분석 평가부(400)는 중앙 서버로서, 프로세서(401), 메모리(402), 저장부(403) 및 통신부(404)를 포함할 수 있다. 프로세서(401)는 메모리(402)에 저장된 프로그램을 실행하여, 동일 차량 식별매칭부(410), 차량별 응답 절취부(420), 하중-응답 매칭부(430) 및 상시 내하력 산출부(440)의 기능을 수행한다. 저장부

(403)는 하중 패킷, 하중-응답 쌍, 차량별 내하력 지표, 상시 내하력 이력, 관심 지점의 영향선 및 해석 모델 정보 등을 저장하는 데이터베이스일 수 있다. 저장부(403)는 플래시메모리, SSD(Solid State Drive), 하드디스크 드라이브 등으로 구현될 수 있다. 분석 평가부(400)는 산출된 상시 내하력에 기초하여 경보를 관리기관 단말(500)로 전송한다.

【0064】 도 3은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 방법의 전체 흐름도이다.

【0065】 도 3을 더 참조하여, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 교량 상시 내하력 평가 시스템의 기능과, 교량 상시 내하력 평가 방법을 설명한다.

【0066】 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 내하력 평가 방법은, 진입로 계측부(100)가 차량 i의 하중 패킷 $L_i = (id_i, W_i, S_i)$를 생성하여 분석 평가부(400)로 전송하는 하중 패킷 생성·전송 단계(S10), 본선 인식부(200)가 관심 거더를 통과하는 차량을 인식하여 통과 구간 T_i(및 선택적으로 대표 시각 t_i^*와 속도 v_i)를 산출하여 분석 평가부(400)로 전송하는 본선 인식 및 통과 구간 산출 단계(S20), 분석 평가부(400)의 동일 차량 식별·매칭부(410)가 진입로에서 수신한 하중 패킷과 본선에서 수신한 통과 구간 정보를 차량 식별자 id_i를 기준으로 서로 대응시키는 동일 차량 식별·매칭 단계(S30)를 포함한다.

【0067】 다음으로, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 내하력 평가 방법은, 분석 평가부(400)가 응답 계측부(300)로부터 지속적으로 계측 응답을 수신하는 상

태에서, 분석 평가부(400)의 차량별 응답 절취부(420)가 차량 i의 관심 거더 통과 구간 T_i에 대응하는 계측 응답 조각 R_i 에서, 정적·동적 성분을 분리하는 응답 조각 획득 및 정적·동적 성분 분리 단계(S40), 하중-응답 매칭부(430)가 식별자 id_i를 기준으로 하중-응답 쌍 P_i를 구성하는 하중-응답 쌍 구성 단계(S50), 상시 내하력 산출부(440)가 L_i로부터 계산 처짐 $\delta_{calc,i}$를 구하고 R_i로부터 구한 실측 처짐 $\delta_{meas,i}$와 비교하여 내하력 지표 C_i를 산정하는 내하력 지표 산정 단계(S60)를 더 포함한다.

【0068】 다음으로, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 내하력 평가 방법은, 상시 내하력 C_k를 갱신하는 상시 내하력 갱신 단계(S70), 신뢰도가 임계값 아래로 내려가는지 확인하는 임계값 비교 단계(S80), 신뢰도가 임계값 아래로 내려간 경우 관리 기관 단말(500)로 경보를 발령하는 경보 발령 단계(S90)를 포함한다. 제 S80 단계에서, 신뢰도가 임계값 이상인 경우에는 다음 차량에 대하여 상기 단계들을 반복한다.

【0070】 이하, 각 단계들에 대해서 보다 상세하게 설명한다.

【0071】 도 4a는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 진입로 계측부의 하중 패킷 생성 단계의 세부 흐름을 설명하는 도면이고, 도 4b는 WIM 센서에서 측정되는 축하중과 축간 거리를 나타내는 도면이다.

【0072】 도 4a를 참조하면, 하중 패킷 생성·전송 단계(S10)는 진입로 제어기(130)가 수행하며, 트리거 수신 단계(S11), 축하중·축간거리 산출 단계(S12),

차량 번호 수신 단계(S13), 및 하중 패킷 생성·전송 단계(S14)를 포함할 수 있다.

【0073】 차량 i가 진입로의 WIM 센서(110) 앞에 설치된 루프 센서(115)를 통과하면, 진입로 제어기(130)는 루프 센서(115)의 트리거 신호를 수신하고(S11), WIM 센서(110)와 진입로 카메라(120)를 함께 동작시킨다. WIM 센서(110)는 하중 신호만을 출력하며, 진입로 제어기(130)의 하중 산출부(134)가 이 신호로부터 차량 i의 축하중과 축간거리를 산출한다(S12). 진입로 카메라(120)는 내장된 번호판 인식 모듈(121)로 차량 번호를 인식하여 진입로 제어기(130)로 제공한다(S13).

【0074】 진입로 제어기(130)의 하중 패킷 생성부(135)는 이때 얻은 차량 식별자, 축하중, 축간거리를 하나로 묶어 아래의 수학식 3과 같은 하중 패킷을 생성하고, 이를 분석 평가부(400)로 전송한다(S14).

【0075】 **【수학식 3】**

$$L_i = (\mathrm{id}_i,\ W_i,\ S_i)$$

【0076】 여기서, id_i는 차량 식별자(차량 번호 등)로서 본선 재인식과 매칭의 공통 기준값이며, W_i는 축하중 벡터, S_i는 인접 축간거리 벡터로서 각각 아래의 수학식 4 및 수학식 5와 같다.

【0077】【수학식 4】

$$W_i = \{ w_{i,1},\ w_{i,2},\ \ldots,\ w_{i,n_i} \}$$

【0078】【수학식 5】

$$S_i = \{ s_{i,1},\ s_{i,2},\ \ldots,\ s_{i,n_i-1} \}$$

【0079】여기서, n_i는 차량 i의 축 개수이다. 하중 패킷에는 진입로 통과 시간 및 차로 정보가 함께 포함될 수 있고, 총중량이 더 포함될 수도 있다. 도 4b는 4축 차량에 대하여 축하중 $W_{i,1}$ 내지 $W_{i,4}$와 축간거리 $S_{i,1}$ 내지 $S_{i,3}$의 관계를 나타낸다.

【0080】총중량이 필요한 경우에는 아래의 수학식 6과 같이 축하중의 합으로 구하며, 총중량은 평가활하중과 비교하거나 응답을 정규화하는 데 활용할 수 있다.

【0081】【수학식 6】

$$W_i^{\mathrm{tot}} = \sum_{k=1}^{n_i} w_{i,k}$$

【0082】예를 들어, 4축 화물차가 진입로를 통과하여 차량 번호 "12가3456", 축하중 4.52 t · 8.15 t · 5.48 t · 5.87 t, 축간거리 3.30 m · 7.90 m · 1.30 m가 계측되었다면, 하중 패킷은 L_i = ("12가3456", {4.52, 8.15, 5.48, 5.87} t, {3.30,

7.90, 1.30} m)이고, 총중량은 W_i^{tot} = 4.52 + 8.15 + 5.48 + 5.87 = 24.02 t이다. WIM 센서(110)의 형식(2열 플레이트형, 다열 스트립형 등)은 계측 정밀도를 높이기 위한 선택 사항이며, 본 발명이 특정 형식에 한정되는 것은 아니다.

【0083】 진입로 제어기(130)는 진입로를 통과하는 모든 차량에 대해서 하중 패킷을 지속적으로 생성하여 분석 평가부(400)로 전송한다.

【0085】 제 S10 단계에서 생성된 하중 패킷만으로는 해당 차량이 교량 본선의 센서 위를 언제 지났는지 알 수 없으므로, 제 S20 단계에서, 본선 인식부(200)는 교량 본선을 통과하는 모든 차량에 대해서 차량을 식별하여 차량 식별 정보를 생성하고, 해당 차량이 관심 거더를 통과하는 통과 시간을 산출한다.

【0086】 구체적으로, 본선 카메라(210)는 관심 거더를 통과하는 모든 차량의 이미지를 촬영하여 본선 영상처리기(230)로 출력하고, 본선 영상처리기(230)의 번호판 인식부(234)는 본선 카메라(210)의 영상에서 차량 번호를 차량 식별 정보로서 추출한다. 차량 추적부(235)는 영상의 각 프레임에서 차량 중심의 위치를 도로면 좌표로 변환하여 추적한다.

【0087】 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 통과 시간 구간에 따른 차량별 응답 절취를 나타낸 도 5을 더 참조하면, 통과 구간 산출부(236)는 관심 거더를 통과하는 모든 차량에 대해서, 차량 i의 중심이 관심 거더 시작점 x_s를 처음 지난 프레임의 시각을 t_i^{in}, 관심 거더 끝점 x_e를 마지막으로 지난 프레임의 시각을 t_i^{out}으로 하여, 차량 i가 관심 거더 위에 있는 통과 시간 구간을 아래의 수학식 7과 같

이 산출한다.

【0088】 **【수학식 7】**

$$T_i = [\, t_i^{\text{in}},\ t_i^{\text{out}} \,]$$

【0089】 선택적으로, 차량 중심이 센서 설치 위치 x^*의 바로 위를 지나는 시각을 대표 시각 t_i^*로 정의할 수 있으며, 이 시각은 교량 처짐이 최대가 되는 시각을 찾는 기준으로 활용된다.

【0090】 차량 속도는 필수 요소는 아니나, 인접한 두 프레임 사이의 이동거리와 시간 차이로부터 아래의 수학식 8과 같이 근사할 수 있다.

【0091】 **【수학식 8】**

$$v_i \approx \frac{x_{i,\,m+1} - x_{i,\,m}}{t_{i,\,m+1} - t_{i,\,m}}$$

【0092】 여기서, $x_{i,m}$와 $t_{i,m}$는 각각 m번째 프레임에서 차량 i의 위치와 시각이다.

【0093】 속도와 축간거리를 알면, 첫 번째 축이 센서 위를 지나는 시각을 기준으로 k번째 축이 센서 위를 지나는 시각을 아래의 수학식 9와 같이 구할 수 있다.

【0094】【수학식 9】

$$t^{*}_{i,k} = t^{*}_{i,1} + \frac{1}{v_i}\sum_{j=1}^{k-1} s_{i,j} \qquad (k = 2,\ \ldots,\ n_i)$$

【0095】이 값은 축별 하중이 교량에 작용하는 시각을 세분하여, 하중과 응답의 시간 정렬을 더 정밀하게 하는 데 활용할 수 있다. 수학식 9의 계산은 축간거리 S_i를 보유한 분석 평가부(400)에서 수행할 수 있다.

【0096】예를 들어, 앞의 차량이 경간 30 m인 거더(센서는 경간 중앙)를 80 km/h로 통과하는 경우, 30 fps 카메라에서 한 프레임(약 0.033 s) 동안 차량 중심이 0.74 m 이동하므로 속도는 $v_i \approx 0.74 / 0.033 \approx 22.2$ m/s이다. 통과 구간은 t_i^{in} = 10:15:20.00, t_i^{*} = 10:15:20.68, t_i^{out} = 10:15:21.35로서, 차량이 거더 위에 머무는 시간은 약 1.35 s(= 30 m / 22.2 m/s)이다. 축별 통과 시각은 첫 번째 축을 기준으로 두 번째 축 +0.15 s(= 3.30 / 22.2), 세 번째 축 +0.50 s(= 11.20 / 22.2), 네 번째 축 +0.56 s(= 12.50 / 22.2)이다.

【0097】본선 카메라(210)와 응답 센서(310, 320)의 시각은 GNSS 또는 NTP 등으로 동기화된 공통 시계를 기준으로 기록된다. 샘플링 주기가 서로 다르더라도(예: 카메라 30 fps, 센서 100 Hz) 통과 구간의 시작·끝 시각만 공유하면, 해당 구간에 속하는 센서 샘플(위 예에서 약 135개)을 그대로 골라낼 수 있다.

【0098】본선 영상처리기(230)는 관심 거더를 통과하는 모든 차량에 대해서,

산출한 차량 식별 정보 id_i, T_i, 및 선택적으로 t_i^*, v_i를 통과 구간 정보로서 분석 평가부(400)로 전송한다.

【0099】 그 후, 제 S30 단계에서, 분석 평가부(400)의 동일 차량 식별매칭부(410)는 진입로 계측부(100)로부터 수신한 하중 패킷 L_i와, 본선 인식부(200)로부터 수신한 통과 구간 정보(id_i, T_i, t_i^*, v_i)를 차량 식별자 id_i를 기준으로 대응시킨다.

【0100】 이때, 동일 차량 식별매칭부(410)는 하중 패킷에 포함된 진입로 통과 시각과 본선 통과 시각의 차이가 진입로와 관심 거더 사이의 거리 및 통상의 주행 속도로부터 정해지는 허용 범위 안에 있는 경우에만 대응시켜, 번호판 오인식에 의한 잘못된 매칭을 줄일 수 있다. 또한, 하중 패킷에 포함된 차로 정보와 본선에서 추적된 차로를 함께 비교할 수 있다.

【0101】 본선 인식부(200)에서 인식되지 않은 하중 패킷이나, 진입로에서 등록되지 않은 차량의 통과 구간 정보는 이후 단계에서 제외될 수 있다.

【0102】 한편, 응답 계측부(300)는 변형률 센서(310) 및 가속도 센서(320)를 이용하여 관심 지점에서 처짐에 해당하는 응답 u(t)를 연속적으로 취득(이 때, u(t)는 변위계 직접 계측, 변형률 기반 환산, 가속도 적분, 가속도-변형률 융합(도 8 참조) 중 어느 하나의 방법으로 얻을 수 있음)하여 저장부(363)에 저장하는 한편 분석 평가부(400)로 전송하며, 분석 평가부(400)의 차량별 응답 절취부(420)는 본선 영상처리기(230)에서 확정한 통과 구간 T_i로 응답을 잘라 차량 i에 해당하는 응답 조각 R_i를 아래의 수학식 10과 같이 만든다.

【0104】도 5과 같이 응답 u(t)에는 여러 차량의 영향이 차례로, 또는 일부 겹쳐서 나타나므로, 분석 평가부(400)의 차량별 응답 절취부(420)는 차량 i 의 하중으로 인한 영향을 확인하기 위해서 차량 i 의 관심 거더 통과 구간 T_i로 응답을 잘라 분석을 수행한다.

【0105】**【수학식 10】**

$$R_i = \{\, u(t) \mid t \in T_i \,\}$$

【0106】도 5은 이해를 돕기 위해 진동(동적) 성분을 생략하고 차량 통과에 따른 처짐 형상만 나타낸 것이며, 도 5에는 통과 구간 T_i 이후에 후속 차량 j의 응답이 나타나는 모습이 함께 도시되어 있다. 실제 계측 응답에는 다음과 같이 정적 성분과 동적 성분이 함께 포함된다.

【0107】응답 계측부(300)에서 계측된 처짐 응답 u(t)는 ① 차량이 교량 위를 지나가는 동안 천천히 커졌다가 돌아오는 정적(준정적) 성분 $u_{stat}(t)$와, ② 그 과정에서 교량이 고유진동수로 떨리며 생기는 동적 성분 $u_{dyn}(t)$가 아래의 수학식 11과 같이 더해진 신호이다.

【0108】**【수학식 11】**

$$u(t) = u_{\mathrm{stat}}(t) + u_{\mathrm{dyn}}(t)$$

【0109】두 성분은 시간 파형에서는 서로 겹쳐 있어 그대로 구분하기 어렵지

만, 변하는 빠르기(주파수)가 뚜렷하게 다르다. 정적 성분은 위 예에서 차량이 약 1.35 s 동안 한 번 처짐을 만들고 지나가므로 주파수 성분이 대략 1 Hz 이하에 모여 있고, 동적 성분은 교량의 1차 고유진동수(예: f_1 = 3.2 Hz) 부근에 모여 있다.

【0110】 따라서, 차량별 응답 절취부(420)는 두 성분을 나누는 기준을 주파수로 정하며, 이를 차단주파수 f_d라 한다(예: f_d = 1 Hz). 저역통과 필터는 f_d보다 낮은 주파수 성분은 그대로 통과시키고 높은 주파수 성분은 제거하는 연산이며, 그 특성은 주파수 응답 $H_L(f)$(통과 대역에서 1, 차단 대역에서 0에 가까운 이득)로 정의된다. 도 6의 (a)는 이러한 저역통과 필터의 주파수 응답과 차단주파수 f_d 및 1차 고유진동수 f_1의 관계를 나타낸다.

【0111】 즉, 필터의 특성은 주파수 영역에서 정의되지만, 그 필터를 실제 계측 신호에 적용하는 계산은 시간 영역에서 수행할 수 있다. 두 표현은 아래의 수학식 12 및 수학식 13과 같이 수학적으로 같은 연산이다(합성곱 정리).

【0112】 **【수학식 12】**

$$U_{\mathrm{stat}}(f) = H_L(f)\, U(f)$$

【0113】 **【수학식 13】**

$$u_{\mathrm{stat}}(t) = (h_L * u)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h_L(\tau)\, u(t-\tau)\, d\tau$$

【0114】 여기서, U(f)와 $U_{stat}(f)$는 각각 u(t)와 $u_{stat}(t)$의 푸리에 변환이고, $h_L(t)$는 $H_L(f)$를 시간 영역으로 바꾼 필터의 임펄스 응답(필터 가중치)이며, *는 합성곱이다. 주파수 영역에서 필터 특성을 곱하는 것(수학식 12)과 시간 영역에서 임펄스 응답으로 가중합하는 것(수학식 13)은 같은 결과를 준다.

【0115】 디지털로 샘플링된 신호에서는 수학식 13의 적분이 아래의 수학식 14와 같이 최근 샘플들의 가중합이 된다.

【0116】 **【수학식 14】**

$$u_{\mathrm{stat}}[n] = \sum_{m=0}^{M-1} h_L[m]\, u[n-m]$$

【0117】 여기서, n은 샘플 번호, $h_L[m]$은 필터 가중치, M은 필터 길이이다. 예를 들어, 센서 샘플링 100 Hz에서 f_d = 1 Hz인 저역통과 필터를 쓰면, 새 샘플이 들어올 때마다 직전 M개 샘플들의 가중합만으로 정적 성분을 바로 계산할 수 있다.

【0118】 시간 영역에서 계산하는 이유는, 응답이 상시·실시간으로 들어오므로 일정 구간을 모아 주파수 변환할 필요 없이 샘플 단위로 즉시 처리할 수 있기 때문이다. 구간 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)한 뒤 $H_L(f)$를 곱하고 역변환하는 방식으로 구현해도 결과는 같으며, 본 발명은 어느 구현 방식에도 한정되지 않는다.

【0119】 동적 성분은 아래의 수학식 15와 같이 원래 응답에서 정적 성분을

빼서 구한다. 이는 주파수 응답이 $H_H(f) = 1 - H_L(f)$인 고역통과 필터를 적용한 것과 같으며, 이렇게 구하면 수학식 11이 항상 정확히 성립한다.

【0120】 **【수학식 15】**

$$u_{\mathrm{dyn}}(t) = u(t) - u_{\mathrm{stat}}(t)$$

【0121】 필터링으로 최대값 시각이 뒤로 밀리는 것(위상 지연)을 피하려면, 통과 구간 앞뒤에 여유 구간을 붙여 정방향·역방향으로 한 번씩 필터링하는 영위상 필터를 사용할 수 있다.

【0122】 도 6의 (b) 및 (c)를 참조하면, 보정계수 산정에 쓰는 실측 처짐은 통과 구간 안에서 정적 성분의 최대값(도 5의 최대 처짐)으로 하고, 동적증폭계수는 전체 응답의 최대값과 정적 성분 최대값의 비로 아래의 수학식 16 및 수학식 17과 같이 구한다.

【0123】 **【수학식 16】**

$$\delta_{\mathrm{meas},\,i} = \max_{t \in T_i} u_{\mathrm{stat}}(t)$$

【0124】【수학식 17】

$$\mathrm{DAF}_i = \frac{\max_{t \in T_i} u(t)}{\delta_{\mathrm{meas},\,i}} = 1 + i_{\mathrm{meas},\,i}$$

【0125】여기서, $i_{meas,i}$는 차량 i의 실측 충격계수이다. 예를 들어, 통과 구간 안에서 전체 응답의 최대값이 4.62 mm, 정적 성분의 최대값이 4.20 mm이면, $\delta_{meas,i}$ = 4.20 mm, DAF_i = 4.62 / 4.20 = 1.10, $i_{meas,i}$ = 0.10이다.

【0126】동적 성분이 작아 분리가 필요 없는 경우에는 u(t)의 최대값을 그대로 $\delta_{meas,i}$로 사용할 수 있다.

【0127】그 후, 제 S50 단계에서, 하중-응답 매칭부(430)는 진입로에서 생성한 하중 패킷 L_i와 본선 통과 구간으로 절취한 응답 조각 R_i를 공통의 차량 식별자 id_i를 기준으로 일대일 대응시키며, 이를 아래의 수학식 18과 같이 하중-응답 쌍으로 정의한다.

【0128】【수학식 18】

$$P_i = (L_i,\ R_i)$$

【0129】앞의 예에서는 "12가3456" 차량의 하중 패킷과 10:15:20.00 ~ 10:15:21.35 구간의 응답 조각이 하나의 쌍이 된다.

【0130】이 매칭을 통해 얼마의 실측 하중이 작용했을 때 얼마의 실측 응답

이 발생했는지를 차량 단위로 확보할 수 있으며, B-WIM처럼 응답으로부터 하중을 역으로 추정할 필요가 없다.

【0131】통과 구간 안에 다른 차량이 함께 있는 경우에는, 차로별 응답 분리, 통과 구간을 대표 시각 전후로 축소, 및 해당 하중-응답 쌍의 가중치를 낮추어 상시값 산정에 반영하는 것 중 하나 이상을 적용할 수 있으며, 관심 거더에 해당 차량이 단독으로 운행하는 경우의 응답만을 이용할 수도 있다. 다른 차량의 존재 여부는 본선 인식부(200)의 차량 추적 결과에서 동일한 시간 구간에 관심 거더 위에 위치한 차량의 수로 판단할 수 있다.

【0133】그 후, 제 S60 단계에서, 상시 내하력 산출부(440)는 내하력 지표를 생성한다.

【0134】제 S60 단계에서 내하력 지표 생성에 이용되는 내하력 산정식 자체는 기존 평가 체계(수학식 1, 수학식 2)를 따르며, 본 발명은 그 산정식에 이용될 실측 하중과 실측 응답을 차량 단위로 상시 확보하는 데 특징이 있다.

【0135】도 7을 참조하면, 상시 내하력 산출부(440)는 하중-응답 매칭부(430)에서 생성한 하중-응답 쌍 P_i를 이용하여, 계산 처짐 산정 단계(S61), 실측 응답 추출 단계(S62), 및 보정계수·내하력 지표 산정 단계(S63)를 순서대로 수행한다.

【0136】계산 처짐 산정 단계(S61)에서, 상시 내하력 산출부(440)는 하중 패킷에 포함되었던 실측 축하중을 해석 모델에 적용하여 계산 처짐($\delta_{calc,i}$)을 구하

고, 관심 지점의 영향선을 이용하면 아래의 수학식 19와 같이 축하중의 선형 합으로 근사할 수 있다.

【0137】 **【수학식 19】**

$$\delta_{\mathrm{calc},\,i} = \max_{\xi} \sum_{k=1}^{n_i} w_{i,\,k}\ \eta(\xi - d_{i,\,k})$$

【0138】 여기서, η(x)는 위치 x에 단위하중이 놓였을 때 관심 지점에서 발생하는 처짐(영향선(influence line))이고, ξ는 첫 번째 축의 위치, $d_{i,k}$는 첫 번째 축부터 k번째 축까지의 누적 축간거리($d_{i,1} = 0$, $d_{i,k} = s_{i,1} + \cdots + s_{i,k-1}$)로서, ξ − $d_{i,k}$는 k번째 축의 위치이다. max ξ는 차량이 교량을 통과하는 동안 ξ를 변화시키며 구한 최대값을 의미하며, 이는 통과 구간 내 최대값으로 정의된 실측 처짐 $\delta_{\mathrm{meas},i}$(수학식 16)와 같은 기준으로 계산 처짐을 비교하기 위한 것이다. 영향선 대신 이동하중 해석이나 유한요소 해석으로 계산 처짐을 구할 수도 있으며, 어느 경우든 입력 하중은 실측값 L_i이다. 영향선 η(x) 및 해석 모델 정보는 저장부(403)에 미리 저장될 수 있다.

【0139】 예를 들어, 앞의 차량(총중량 24.02 t)의 축하중과 축 위치를 영향선에 적용한 결과 계산 처짐이 $\delta_{\mathrm{calc},i} = 5.00$ ㎜로 산정될 수 있다. 계산에 실측 하중을 그대로 쓰므로, 차량마다 무게가 달라도 계산 처짐과 실측 처짐은 항상 같은 하중 조건에서 비교된다.

【0140】실측 응답 추출 단계(S62)에서는 응답 조각 R_i로부터 수학식 16과 수학식 17에 따라 실측 처짐 $\delta_{meas,i}$와 동적증폭계수 DAF_i를 구한다.

【0141】보정계수·내하력 지표 산정 단계(S63)에서는 계산 처짐과 실측 처짐을 수학식 2에 대입하여 아래의 수학식 20과 같이 차량별 처짐 보정계수를 구한다.

【0142】**【수학식 20】**

$$K_{\delta,i} = \frac{\delta_{\mathrm{calc},i}}{\delta_{\mathrm{meas},i}} \times \frac{1 + i_{\mathrm{calc}}}{1 + i_{\mathrm{meas},i}}$$

【0143】예를 들어, $\delta_{calc,i}$ = 5.00 mm, $\delta_{meas,i}$ = 4.20 mm, $i_{meas,i}$ = 0.10이고, 설계 충격계수가 i_{calc} = 15/(40+30) ≈ 0.214(경간 30 m)이면, $K_{\delta,i}$ = (5.00 / 4.20) X (1.214 / 1.10) ≈ 1.31이다. 이 값이 1보다 크면 실제 교량이 해석 모델보다 덜 처지는, 즉 해석 가정보다 강성이 큰 상태임을 의미한다.

【0144】차량 i의 내하력 지표 C_i는 실시 형태에 따라 처짐 보정계수 $K_{\delta,i}$ 자체, 내하율(RF)과 $K_{\delta,i}$를 반영한 공용내하력 추정값, 또는 아래의 수학식 21과 같이 계산 처짐 대비 실측 처짐의 비로 나타낸 강성 지표 중 하나로 정의할 수 있으며, 어느 경우든 입력은 하중-응답 쌍 P_i이다.

【0145】【수학식 21】

$$k_i = \frac{\delta_{\mathrm{calc},\,i}}{\delta_{\mathrm{meas},\,i}}$$

【0146】이하에서는 내하력 지표 $C_i = K_{\delta,i}$(처짐 보정계수 자체)로 정의한 경우를 예로 들어 설명한다.

【0147】상술한 바와 같이, 차량 한 대로 구한 내하력 지표에는 차량 특성, 주행 속도, 노면 상태 등에 따른 변동이 포함되므로, 교량의 상시 내하력은 여러 차량의 지표를 시간 순서대로 평활하여 추정한다.

【0148】일 예로, 상시 내하력 산출부(440)는 k번째로 매칭된 차량의 지표 C_k가 들어올 때마다 아래의 수학식 22와 같이 지수이동평균으로 상시 내하력을 갱신한다(S70).

【0149】【수학식 22】

$$\bar{C}_k = \alpha\, C_k + (1-\alpha)\,\bar{C}_{k-1} \qquad (0 < \alpha \leq 1)$$

【0150】여기서, α는 평활 계수로서, 값이 클수록 최근 값에, 작을수록 장기 추세에 민감하게 반응한다. 초기값 $\bar{C}_0$는 재하시험·정밀안전진단 결과 또는 운영 초기 안정 구간의 평균값으로 정할 수 있다.

【0151】 예를 들어, α = 0.05로 설정하면 평균적으로 최근 약 20대(= 1/α) 차량의 영향이 주로 반영된다. 직전 상시값이 $\overline{C}_{k-1}=1.300$ 일 때 새 차량의 지표 C_k = 1.250이 들어오면, $\overline{C}_k$ = 0.05 X 1.250 + 0.95 X 1.300 = 1.2975로 갱신된다.

【0152】 상시 내하력 산출부(440)는 아래의 수학식 23과 같이 상시 내하력을 초기값으로 나눈 비율을 내하력 신뢰도(r_k)로 산출하고(S81), 신뢰도 r_k를 임계값(예: Caution(주의) 0.95, Warning(경고) 0.90)과 비교한다(S83).

【0153】 **【수학식 23】**

$$r_k = \frac{\bar{C}_k}{\bar{C}_0}$$

【0154】 상시 내하력 산출부(440)는 신뢰도가 임계값 아래로 내려가면 내하력 저하로 판단하고 관리기관 단말(500)로 경보를 발령하여 정밀안전진단, 통행관리 등 후속 조치를 요청한다(S90).

【0155】 예를 들어, 초기값이 $\overline{C}_0=1.320$ 이면 위의 갱신값에서 r_k = 1.2975 / 1.320 ≈ 0.983으로 정상 범위이며, 상시값이 1.254(= 0.95 X 1.320) 아래로 내려가면 Caution, 1.188(= 0.90 X 1.320) 아래로 내려가면 Warning 단계가 된다.

【0156】 임계값은 교량의 설계기준, 하중 이력, 구조 형식에 따라 조정할 수 있다.

【0157】 또한, 상시 내하력 산출부(440)는 갱신된 상시 내하력 $\overline{C_k}$ 및 신뢰도 r_k를 갱신 시각과 함께 저장부(403)에 이력으로 저장할 수 있으며, 이 이력은 열화 추세 분석과 정밀안전진단의 기초 자료로 활용될 수 있다.

【0159】 한편, 데이터 수집장치(360)의 프로세서(361)은 변위계를 설치하기 어렵거나 기준점을 확보하기 어려운 경우, 변형률 센서(310)로 구한 처짐 $u_\varepsilon(t)$와 가속도 센서(320)를 이중 적분하여 구한 처짐 $u_a(t)$를 결합하여 처짐 응답 $u(t)$를 구할 수 있다.

【0160】 변형률 기반 처짐은 저주파(정적) 성분은 정확하지만 진동 성분을 충분히 담지 못하고, 가속도 기반 처짐은 진동 성분은 정확하지만 이중 적분 과정에서 저주파 오차(드리프트)가 누적된다. 따라서 각 처짐에서 정확한 주파수 대역만 골라 합친다.

【0161】 도 8은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 처짐 응답 취득 과정을 설명하는 일 예로서 가속도-변형률 융합 처짐 산출 구성을 나타낸 도면이다.

【0162】 도 8을 더 참조하여, 데이터 수집장치(360)의 프로세서(361)가 변형률 센서(310) 및 가속도 센서(320)를 이용하여 관심 지점에서 처짐에 해당하는 응답 $u(t)$를 연속적으로 취득하는 과정을 설명하면, 프로세서(361)는 변형률 기반 처짐 환산(368)과 이중 적분(369)을 통하여 각각 $u_\varepsilon(t)$와 $u_a(t)$를 구하고, 이를 저역통과 필터(330)와 고역통과 필터(340)에 각각 통과시킨 뒤 합산기(350)에서 아래의

수학식 24와 같이 더한다.

【0163】 **【수학식 24】**

$$u(t) = (g_L * u_\varepsilon)(t) + (g_H * u_a)(t)$$

【0164】 여기서, g_L과 g_H는 융합용 저역·고역통과 필터의 임펄스 응답이고, *는 합성곱이다. 앞의 정적·동적 분리와 마찬가지로, 필터의 특성은 주파수 영역에서 교차 주파수 f_c(예: 0.5 Hz, 교량의 1차 고유진동수보다 충분히 낮게 설정)로 정하고, 계산은 시간 영역의 합성곱으로 수행한다.

【0165】 두 필터는 주파수 영역에서 아래의 수학식 25를 만족하도록 설계한다(도 8의 우측 그래프 참조).

【0166】 **【수학식 25】**

$$G_L(f) + G_H(f) = 1$$

【0167】 고역통과 출력을 아래의 수학식 26과 같이 구하면 수학식 25의 조건이 자동으로 성립하며, 수학식 24는 아래의 수학식 27과 같이 정리된다.

【0168】 **【수학식 26】**

$$(g_H * u_a)(t) = u_a(t) - (g_L * u_a)(t)$$

【0169】【수학식 27】

$$u(t) = u_a(t) + (g_L * (u_\varepsilon - u_a))(t)$$

【0170】즉, 가속도 기반 처짐을 기본으로 하고, 두 처짐의 차이 중 저주파 부분만 변형률 기반 값으로 바로잡는 것과 같다. 융합용 필터(g_L, 교차 주파수 f_c)와 앞의 정적·동적 분리용 필터(h_L, 차단주파수 f_d)는 목적이 다른 별개의 필터이다.

【0171】본 융합 기법 자체는 공지기술로서 본 발명의 필수 구성은 아니며, 다른 방법으로 얻은 처짐 응답에도 본 발명을 동일하게 적용할 수 있다.

【0172】이상에서 설명한 본 발명의 실시예에 따른 각 제어기 및 처리장치의 기능은 프로세서에서 실행되기 위한 프로그램으로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장될 수 있다. 상기 기록매체는 ROM, RAM, 플래시 메모리, 하드디스크, SSD, 광 기록 매체 등을 포함할 수 있다.

【0173】이상, 첨부된 도면을 참조로 하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로, 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며, 제한적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

【부호의 설명】

【0174】100: 진입로 계측부 110: WIM 센서

115: 루프 센서 120: 진입로 카메라(AVI/CCTV)

121: 번호판 인식 모듈 130: 진입로 제어기

131: 프로세서 132: 메모리

133: 통신부 134: 하중 산출부

135: 하중 패킷 생성부 200: 본선 인식부

210: 본선 카메라(AVI/CCTV) 230: 본선 영상처리기

231: 프로세서 232: 메모리

233: 통신부 234: 번호판 인식부

235: 차량 추적부 236: 통과 구간 산출부

300: 응답 계측부 310: 변형률 센서

320: 가속도 센서 330: 저역통과 필터

340: 고역통과 필터 350: 합산기

360: 데이터 수집장치 361: 프로세서

362: 메모리 363: 저장부

364: 통신부 365: 수집부

366: 처짐 산출부

400: 분석 평가부(중앙 서버) 401: 프로세서

402: 메모리 403: 저장부

404: 통신부

410: 동일 차량 식별·매칭부

420: 차량별 응답 절취부

430: 하중-응답 매칭부

440: 상시 내하력 산출부

500: 관리기관 단말

【청구범위】

【청구항 1】

교량 상시 내하력 평가 시스템에 있어서,

교량 진입로에 설치되는 하중 측정 센서 및 진입로 카메라를 포함하고, 상기 하중 측정 센서의 신호로부터 산출된 통과 차량의 축하중과, 상기 진입로 카메라의 영상으로부터 인식된 차량 식별 정보를 결합하여 차량별 하중 패킷을 생성하는 진입로 계측부;

교량 본선에 설치되는 본선 카메라를 포함하고, 상기 본선 카메라의 영상에서 관심 거더를 통과하는 차량의 번호를 인식하여 차량 식별 정보를 추출하고, 해당 차량이 관심 거더 구간을 지나는 통과 시간 구간을 산출하는 본선 인식부;

상기 관심 거더에 설치되는 응답 센서를 포함하고, 상기 응답 센서에서 측정된 응답을 시간 정보와 함께 연속적으로 측정하는 응답 계측부; 및

상기 응답 계측부로부터 수신한 응답 중 상기 통과 시간 구간에 대응하는 응답 조각을 획득하고, 차량 식별 정보를 기준으로 상기 하중 패킷과 상기 응답 조각을 매칭하여 하중-응답 쌍을 구성하며, 상기 하중-응답 쌍에 기초하여 내하력 지표를 산정하고 상시 내하력을 갱신하는 분석 평가부를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 진입로 카메라는 번호판 인식 모듈을 내장하여 상기 차량 식별 정보로서 차량 번호를 인식하고,

상기 진입로 계측부는,

상기 하중 측정 센서의 신호로부터 상기 축하중을 산출하고, 상기 진입로 카메라로부터 수신한 상기 차량 번호와 결합하여 상기 하중 패킷을 생성한 뒤, 통신망을 통하여 상기 분석 평가부로 전송하는 진입로 제어기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 본선 인식부는,

상기 본선 카메라의 영상에서 차량 번호판 인식과 차량 추적을 통하여 상기 통과 시간 구간을 산출하고, 통신망을 통하여 상기 분석 평가부로 전송하는 본선 영상처리기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 4】

제1항에 있어서,

상기 본선 인식부는,

상기 본선 카메라의 영상의 각 프레임에서 차량의 위치를 추적하고, 상기 차량이 상기 관심 거더의 시작점을 처음 지난 프레임의 시각부터 상기 관심 거더의 끝점을 마지막으로 지난 프레임의 시각까지를 상기 통과 시간 구간으로 산출하는

것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 5】

제1항에 있어서,

상기 응답 조각은 상기 응답 센서의 신호로부터 산출된 처짐 응답의 조각이고,

상기 분석 평가부는,

상기 응답 조각에 저역통과 필터를 적용하여 정적 성분을 분리하고, 상기 응답 조각에서 상기 정적 성분을 빼서 동적 성분을 구하며,

상기 통과 시간 구간 내 상기 정적 성분의 최대값을 실측 처짐으로 산출하고, 상기 통과 시간 구간 내 상기 응답 조각의 최대값과 상기 실측 처짐의 비를 동적증폭계수로 산출하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 6】

제5항에 있어서,

상기 분석 평가부는,

상기 하중 패킷의 축하중을 관심 지점의 영향선에 적용한 축하중의 선형 합으로 계산 처짐을 산정하고,

상기 계산 처짐과 상기 실측 처짐의 비, 및 설계 충격계수와 상기 동적증폭계수로부터 구한 실측 충격계수에 기초하여 처짐 보정계수를 산정하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 7】

제1항에 있어서,

상기 내하력 지표는,

처짐 보정계수, 내하율(RF)과 상기 처짐 보정계수를 반영한 공용내하력 추정값, 및 계산 처짐 대비 실측 처짐의 비로 나타낸 강성 지표 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 8】

제1항에 있어서,

상기 분석 평가부는,

매칭된 차량의 상기 내하력 지표가 입력될 때마다 지수이동평균으로 상기 상시 내하력을 갱신하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 9】

제8항에 있어서,

상기 분석 평가부는,

상기 상시 내하력을 초기값으로 나눈 신뢰도가 임계값 아래로 내려가면 관리기관 단말로 경보를 전송하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 시스템.

【청구항 10】

진입로 계측부, 본선 인식부, 응답 계측부 및 분석 평가부를 포함하는 교량

상시 내하력 평가 시스템에 의해 수행되는 교량 상시 내하력 평가 방법에 있어서,

(a) 상기 진입로 계측부가, 교량 진입로에 설치되는 하중 측정 센서의 신호로부터 통과 차량의 축하중을 산출하고, 상기 교량 진입로에 설치되는 진입로 카메라의 영상으로부터 인식된 차량 식별 정보를 상기 축하중과 결합하여 차량별 하중 패킷을 생성하는 단계;

(b) 상기 본선 인식부가, 교량 본선에 설치되는 본선 카메라의 영상에서 관심 거더를 통과하는 차량의 번호를 인식하여 차량 식별 정보를 추출하고, 해당 차량이 상기 관심 거더 구간을 지나는 통과 시간 구간을 산출하는 단계;

(c) 상기 분석 평가부가, 상기 관심 거더에 설치되는 응답 센서에서 시간 정보와 함께 연속적으로 측정된 응답을 상기 응답 계측부로부터 수신하는 단계;

(d) 상기 분석 평가부가, 상기 응답 계측부로부터 수신한 상기 응답 중 상기 통과 시간 구간에 대응하는 응답 조각을 획득하는 단계;

(e) 상기 분석 평가부가, 상기 (a) 단계의 차량 식별 정보와 상기 (b) 단계의 차량 식별 정보를 기준으로 상기 하중 패킷과 상기 응답 조각을 매칭하여 하중-응답 쌍을 구성하는 단계; 및

(f) 상기 분석 평가부가, 상기 하중-응답 쌍에 기초하여 내하력 지표를 산정하고 상시 내하력을 갱신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 11】

제10항에 있어서,

상기 진입로 카메라는 번호판 인식 모듈을 내장하여 상기 (a) 단계의 차량 식별 정보로서 차량 번호를 인식하고,

상기 (a) 단계는,

상기 진입로 계측부의 진입로 제어기가, 상기 하중 측정 센서의 신호로부터 상기 축하중을 산출하는 단계;

상기 진입로 제어기가, 상기 진입로 카메라로부터 수신한 상기 차량 번호를 상기 축하중과 결합하여 상기 하중 패킷을 생성하는 단계; 및

상기 진입로 제어기가, 통신망을 통하여 상기 하중 패킷을 상기 분석 평가부로 전송하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 12】

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 본선 인식부의 본선 영상처리기가, 상기 본선 카메라의 영상에서 차량 번호판 인식과 차량 추적을 통하여 상기 통과 시간 구간을 산출하는 단계; 및

상기 본선 영상처리기가, 통신망을 통하여 상기 통과 시간 구간을 상기 분석 평가부로 전송하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 13】

제10항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 본선 카메라의 영상의 각 프레임에서 차량의 위치를 추적하는 단계; 및

상기 차량이 상기 관심 거더의 시작점을 처음 지난 프레임의 시간부터 상기 관심 거더의 끝점을 마지막으로 지난 프레임의 시간까지를 상기 통과 시간 구간으로 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 14】

제10항에 있어서,

상기 응답 조각은 상기 응답 센서의 신호로부터 산출된 처짐 응답의 조각이고, 상기 (f) 단계 전에,

상기 분석 평가부가, 상기 응답 조각에 저역통과 필터를 적용하여 정적 성분을 분리하고, 상기 응답 조각에서 상기 정적 성분을 빼서 동적 성분을 구하는 단계; 및

상기 분석 평가부가, 상기 통과 시간 구간 내 상기 정적 성분의 최대값을 실측 처짐으로 산출하고, 상기 통과 시간 구간 내 상기 응답 조각의 최대값과 상기 실측 처짐의 비를 동적증폭계수로 산출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 15】

제14항에 있어서,

상기 (f) 단계는,

상기 분석 평가부가, 상기 하중 패킷의 축하중을 관심 지점의 영향선에 적용한 축하중의 선형 합으로 계산 처짐을 산정하는 단계; 및

상기 분석 평가부가, 상기 계산 처짐과 상기 실측 처짐의 비, 및 설계 충격계수와 상기 동적증폭계수로부터 구한 실측 충격계수에 기초하여 처짐 보정계수를 산정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 16】

제10항에 있어서,

상기 내하력 지표는, 처짐 보정계수, 내하율(RF)과 상기 처짐 보정계수를 반영한 공용내하력 추정값, 및 계산 처짐 대비 실측 처짐의 비로 나타낸 강성 지표 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 17】

제10항에 있어서,

상기 (f) 단계에서, 상기 상시 내하력은 매칭된 차량의 상기 내하력 지표가 입력될 때마다 지수이동평균으로 갱신되는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【청구항 18】

제17항에 있어서,

(g) 상기 분석 평가부가, 상기 상시 내하력을 초기값으로 나눈 신뢰도가 임계값 아래로 내려가면 관리기관 단말로 경보를 전송하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 상시 내하력 평가 방법.

【요약서】

【요약】

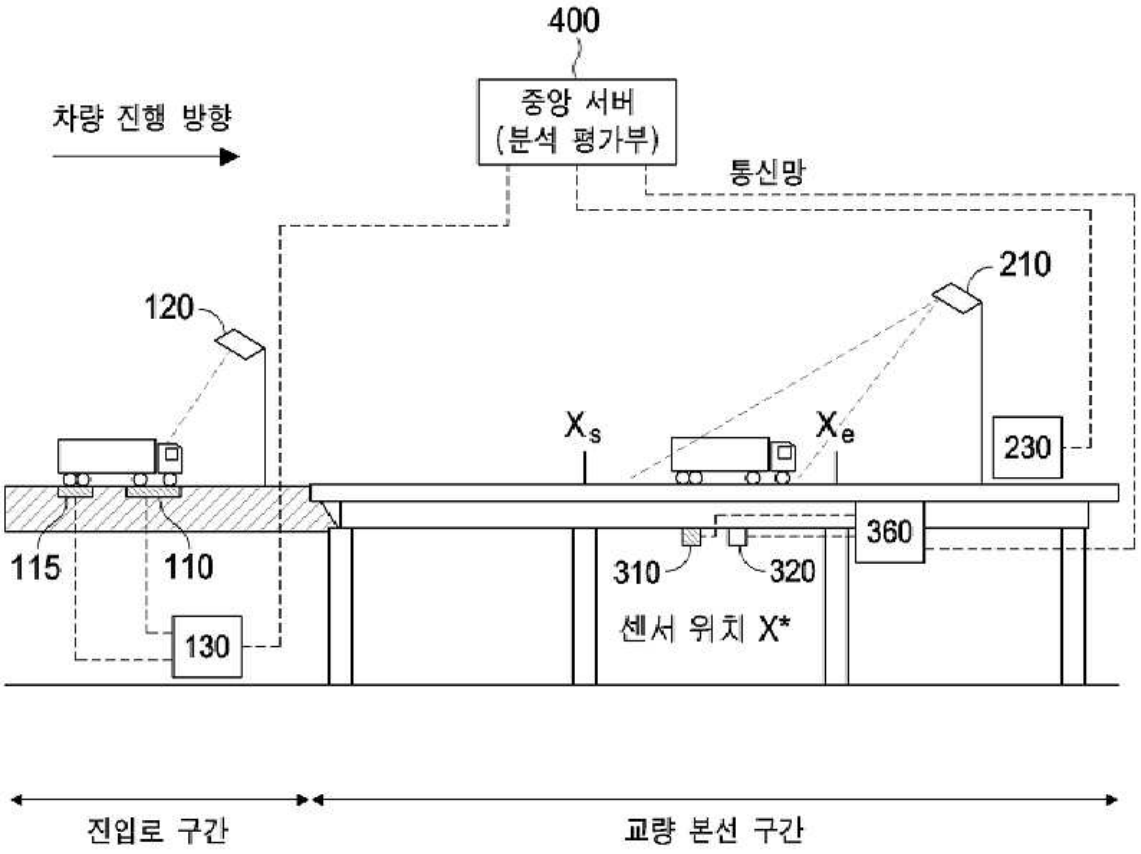
본 발명은 교량 상시 내하력 평가 시스템 및 방법을 공개한다. 본 발명에 따르면, 교량에 작용한 실제 하중의 크기를 측정하고, 측정된 실제 하중의 크기와 교량의 처짐 응답을 서로 매칭하여 분석을 수행하므로, 응답만으로는 구분할 수 없었던 하중 증가와 구조 강성 저하로 인한 내하력의 영향을 확인할 수 있다. 또한, 본 발명은 응답으로부터 하중을 추정하지 않으므로 B-WIM의 하중 추정 오차를 피할 수 있고, 차량 단위 매칭을 통해 여러 차량이 통행하는 상황에서도 차량별 응답을 분리할 수 있다. 또한, 본 발명은 기존 내하율·보정계수 체계를 그대로 활용하므로 현장 적용성이 높고, 평상시 교통하중으로 내하력을 상시 갱신하여 열화 추세 파악과 조기 경보가 가능하다. 또한, 본 발명은 별도의 교통 통제나 시험차량 투입 없이 평상시 통행 차량을 활용하므로, 재하시험에 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있다.

【대표도】

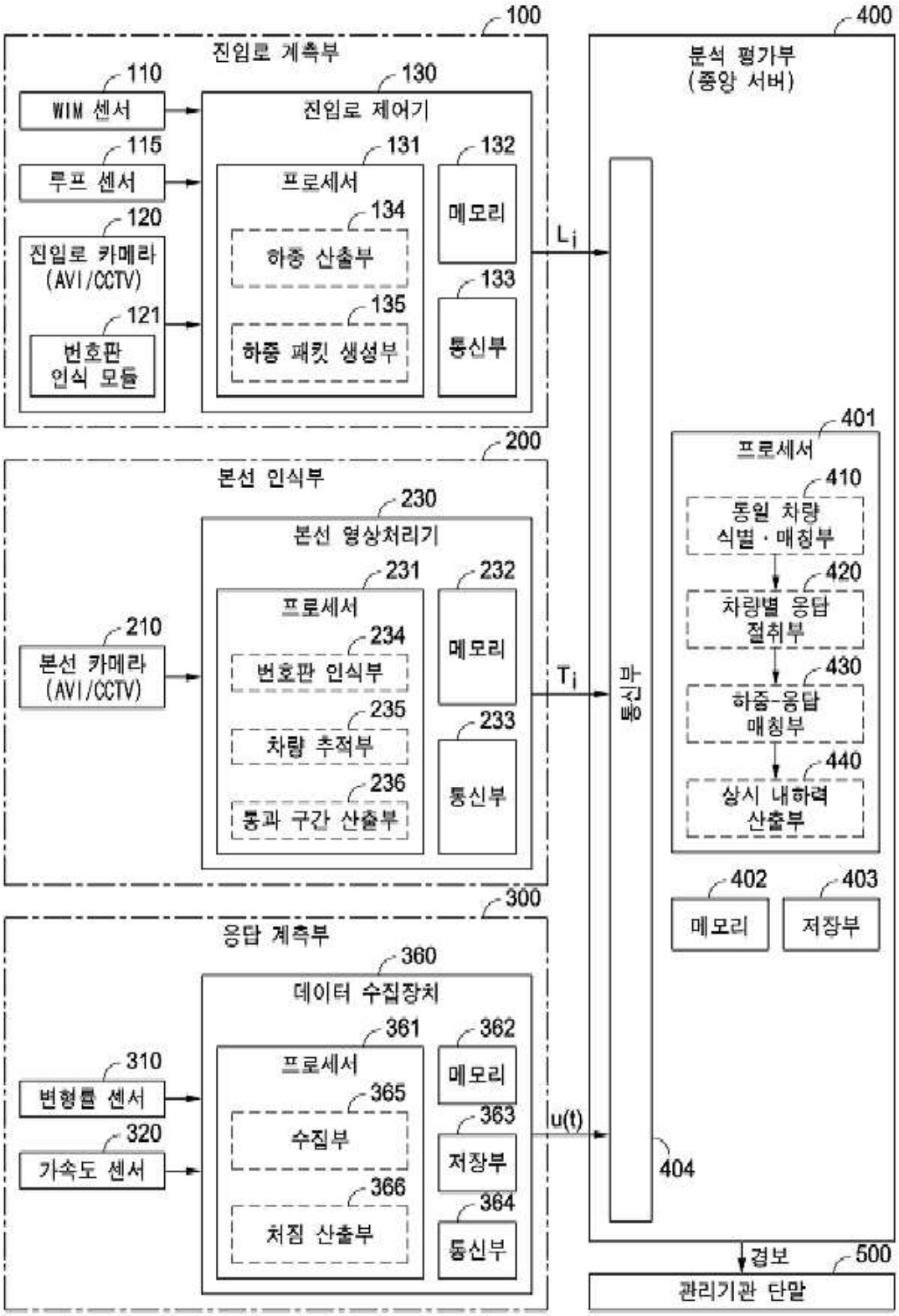
도 2

【도면】

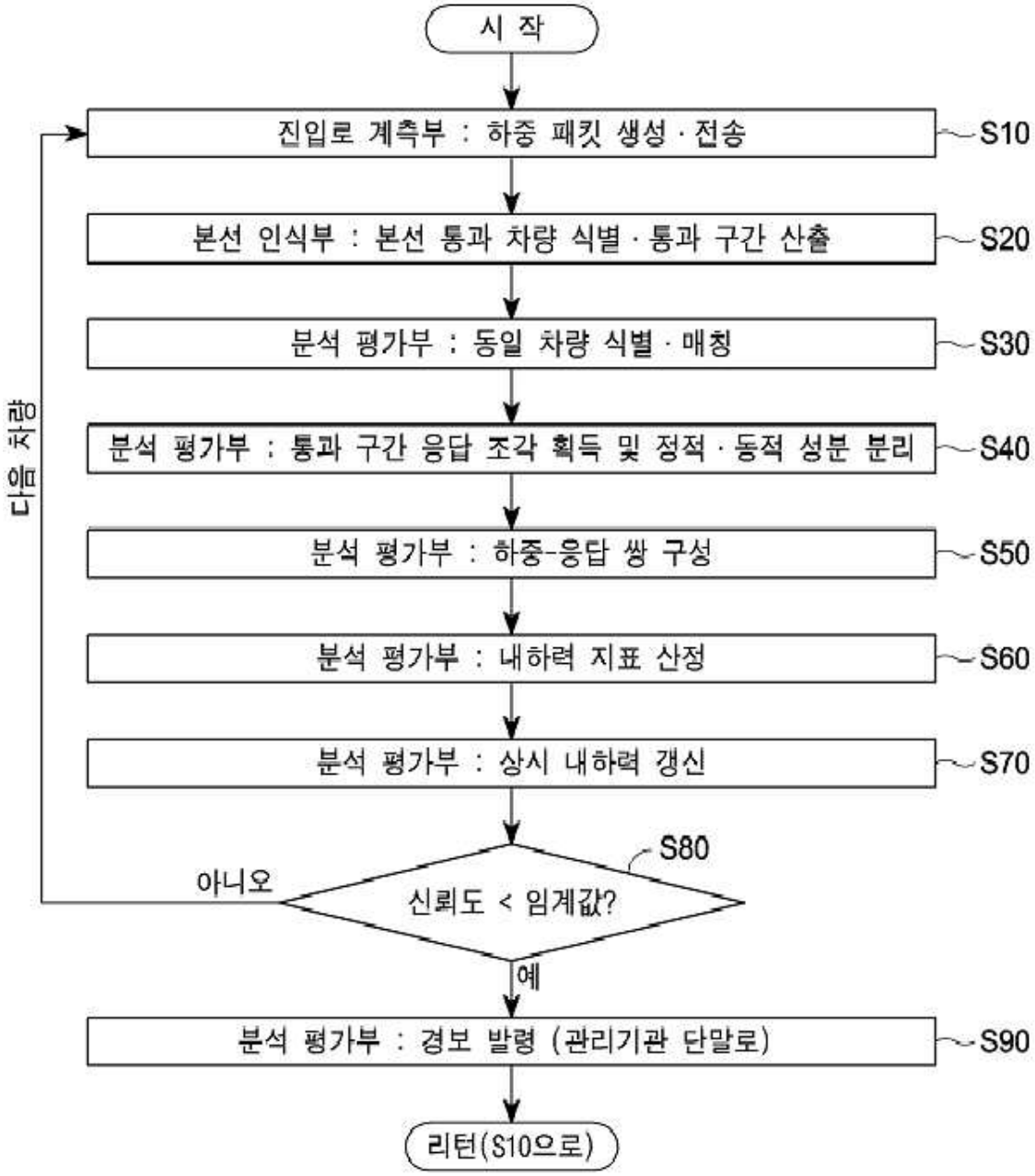
【도 1】


400
중앙 서버
(분석 평가부)
차량 진행 방향
통신망
120
210
X_s
X_e
230
360
115
110
310
320
130
센서 위치 X*
진입로 구간
교량 본선 구간

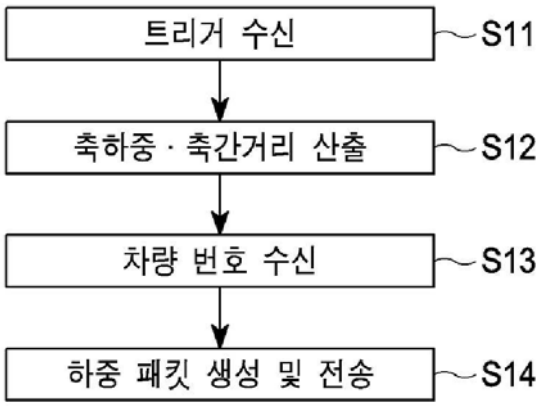
【도 2】


100
진입로 계측부
110
WIM 센서
115
루프 센서
120
진입로 카메라
(AVI/CCTV)
121
번호판
인식 모듈
130
진입로 제어기
131
프로세서
132
메모리
134
하중 산출부
133
통신부
135
하중 패킷 생성부
L_i
400
분석 평가부
(중앙 서버)
200
본선 인식부
230
본선 영상처리기
231
프로세서
232
메모리
210
본선 카메라
(AVI/CCTV)
234
번호판 인식부
235
차량 추적부
233
통신부
236
통과 구간 산출부
T_i
300
응답 계측부
360
데이터 수집장치
361
프로세서
362
메모리
310
변형률 센서
365
수집부
363
저장부
320
가속도 센서
366
처짐 산출부
364
통신부
u(t)
404
401
프로세서
410
동일 차량
식별·매칭부
420
차량별 응답
절취부
430
하중-응답
매칭부
440
상시 내하력
산출부
402
메모리
403
저장부
경보
500
관리기관 단말

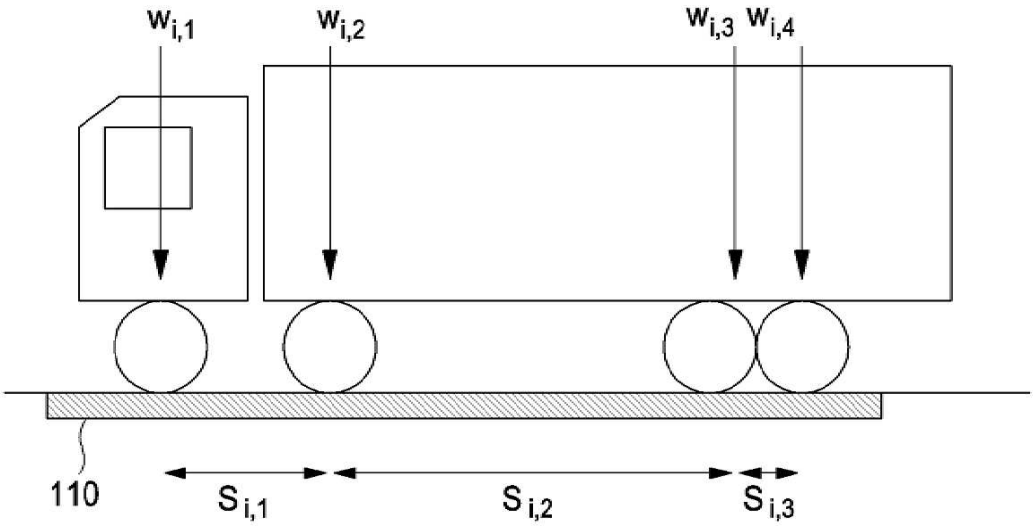
【도 3】


시 작
진입로 계측부 : 하중 패킷 생성 · 전송
S10
본선 인식부 : 본선 통과 차량 식별 · 통과 구간 산출
S20
분석 평가부 : 동일 차량 식별 · 매칭
S30
분석 평가부 : 통과 구간 응답 조각 획득 및 정적 · 동적 성분 분리
S40
분석 평가부 : 하중-응답 쌍 구성
S50
분석 평가부 : 내하력 지표 산정
S60
분석 평가부 : 상시 내하력 갱신
S70
S80
신뢰도 < 임계값?
아니오
다음 차량
예
분석 평가부 : 경보 발령 (관리기관 단말로)
S90
리턴(S10으로)

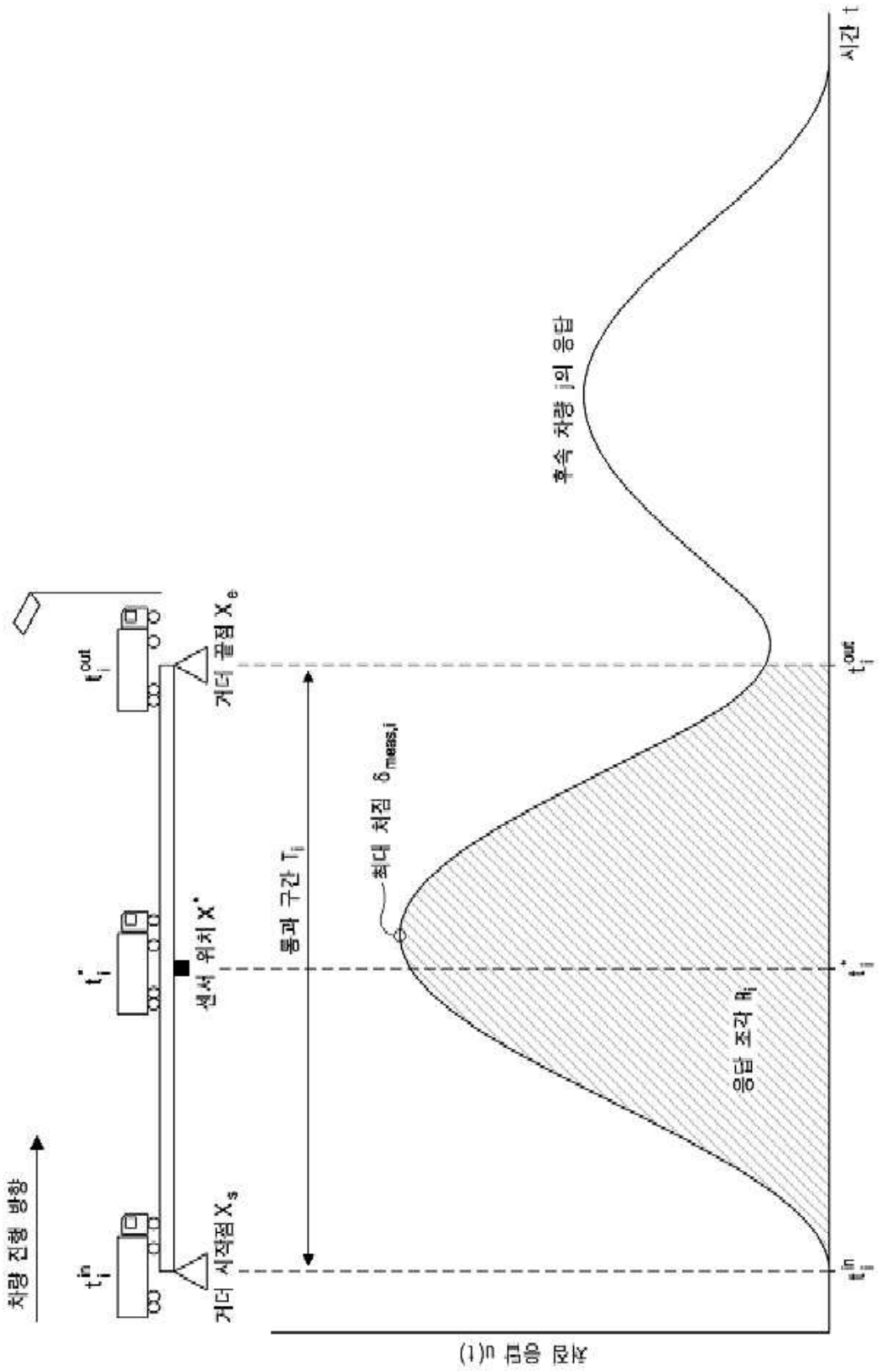
【도 4a】


트리거 수신
S11
축하중 · 축간거리 산출
S12
차량 번호 수신
S13
하중 패킷 생성 및 전송
S14

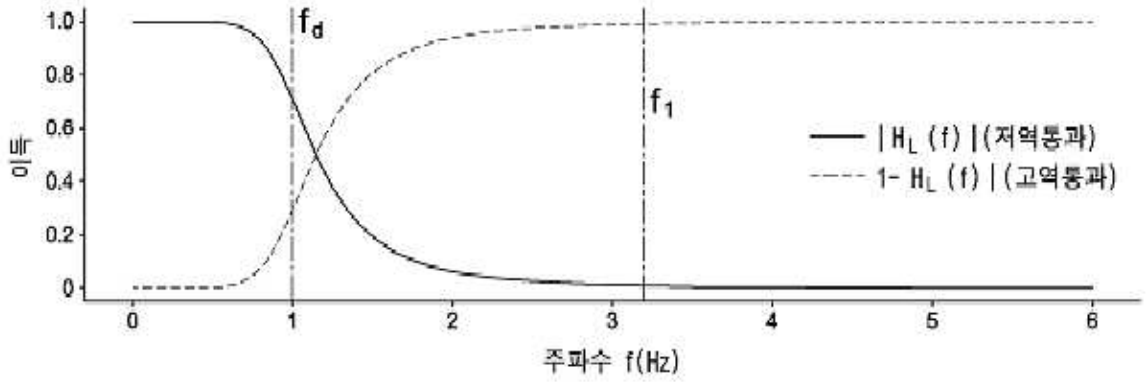
【도 4b】


$w_{i,1}$
$w_{i,2}$
$w_{i,3}$
$w_{i,4}$
110
$S_{i,1}$
$S_{i,2}$
$S_{i,3}$

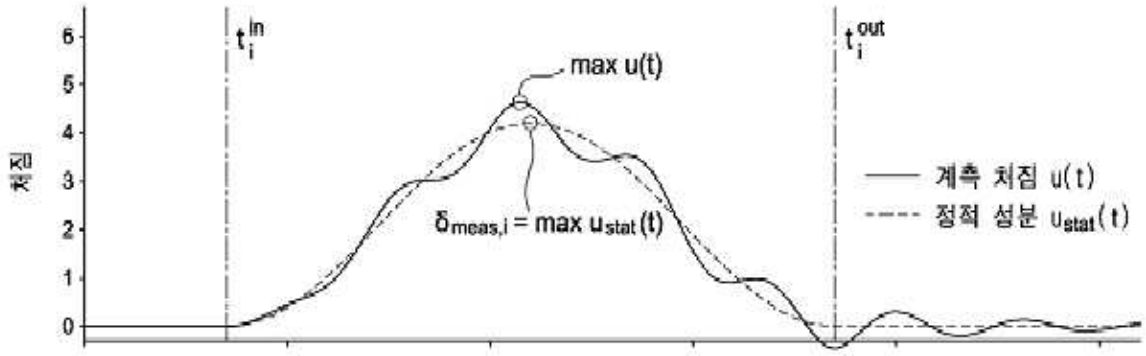
【도 5】


차량 진행 방향
t_i^{in}
t_i^*
t_i^{out}
게더 시작점 X_s
센서 위치 X^*
게더 끝점 X_e
통과 구간 T_i
최대 처짐 $\delta_{meas,i}$
후속 차량 j의 응답
응답 조각 R_i
시간 t
처짐 영향 u(t)

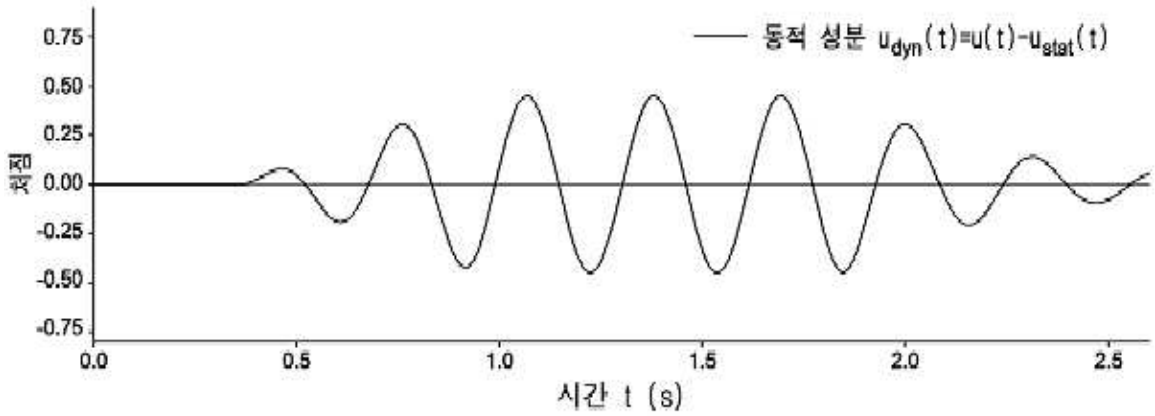
【도 6】



(a) 정적 · 동적 분리 필터의 주파수 응답

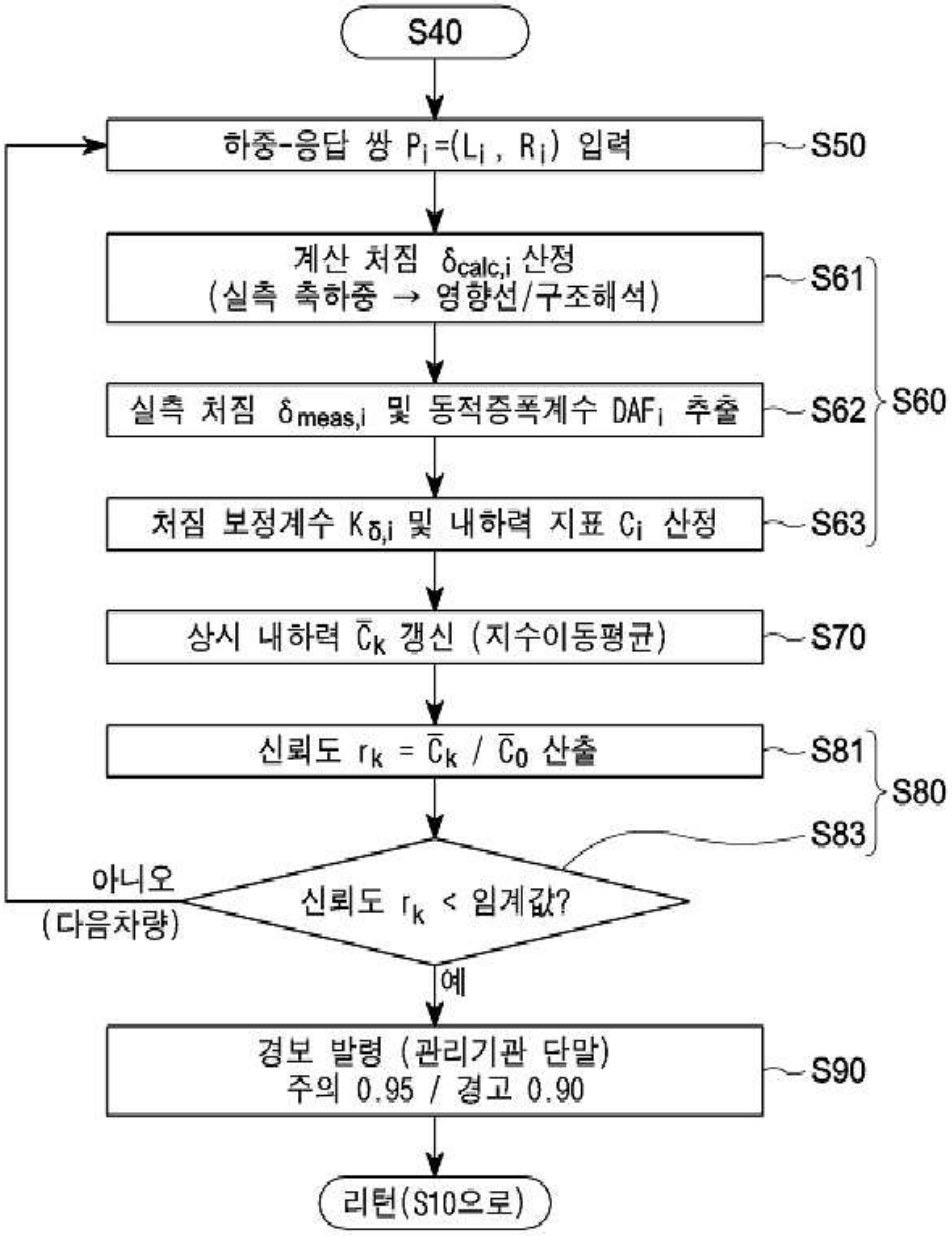


(b) 계측 처짐과 정적 성분

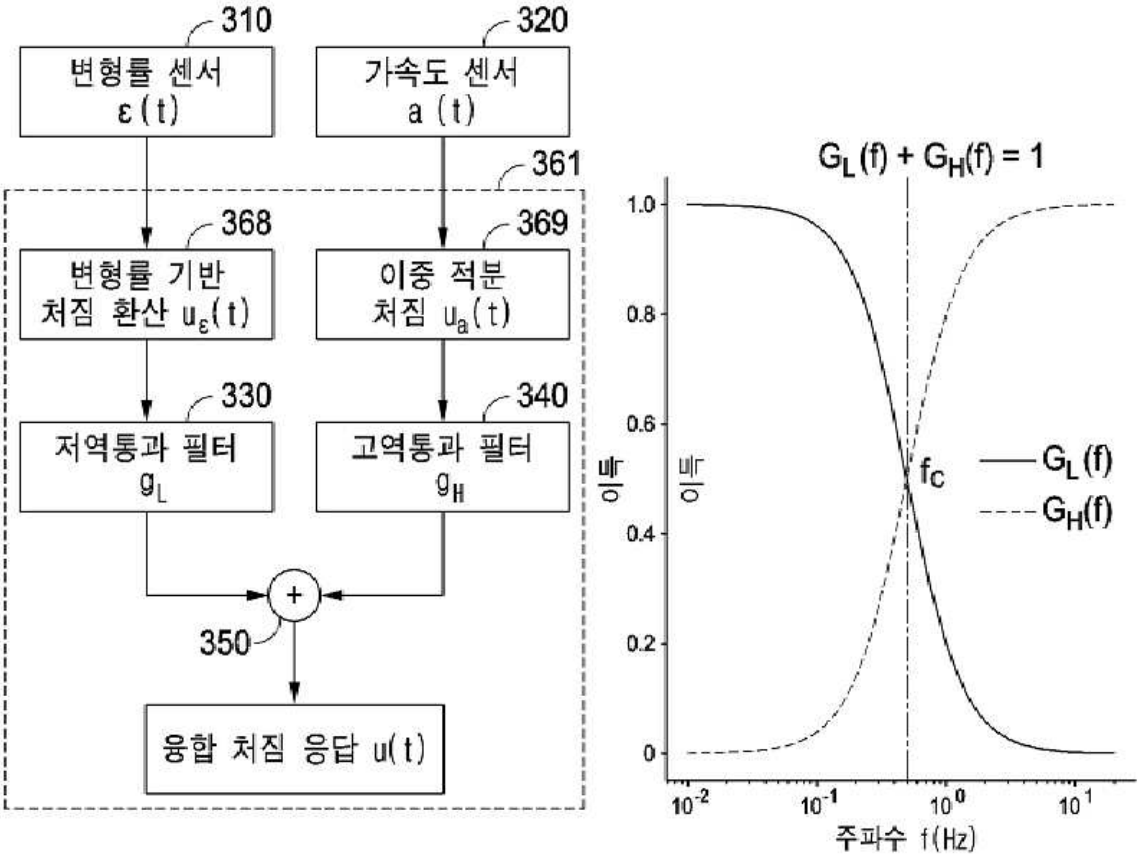


(c) 동적 성분

【도 7】


S40
하중-응답 쌍 $P_i=(L_i, R_i)$ 입력
S50
계산 처짐 $\delta_{calc,i}$ 산정
(실측 축하중 → 영향선/구조해석)
S61
실측 처짐 $\delta_{meas,i}$ 및 동적증폭계수 DAF_i 추출
S62
S60
처짐 보정계수 $K_{\delta,i}$ 및 내하력 지표 C_i 산정
S63
상시 내하력 $\bar{C}_k$ 갱신 (지수이동평균)
S70
신뢰도 $r_k = \bar{C}_k / \bar{C}_0$ 산출
S81
S80
S83
신뢰도 r_k < 임계값?
아니오
(다음차량)
예
경보 발령 (관리기관 단말)
주의 0.95 / 경고 0.90
S90
리턴(S10으로)

【도 8】


310
변형률 센서
ε(t)
320
가속도 센서
a (t)
361
368
변형률 기반
처짐 환산 $u_\varepsilon(t)$
369
이중 적분
처짐 $u_a(t)$
330
저역통과 필터
g_L
340
고역통과 필터
g_H
+
350
융합 처짐 응답 u(t)
$G_L(f) + G_H(f) = 1$
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
이득
f_C
$G_L(f)$
$G_H(f)$
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
주파수 f(Hz)