



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0093249
(43) 공개일자 2020년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E01D 19/00 (2006.01) E01C 9/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
E01D 19/00 (2013.01)
E01C 9/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0010478
(22) 출원일자 2019년01월28일
심사청구일자 2019년01월28일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이중재
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 710호 (군자동)
김세훈
서울특별시 광진구 능동로 209, 충무관 710A호 (군자동)
(74) 대리인
유병욱, 한승범

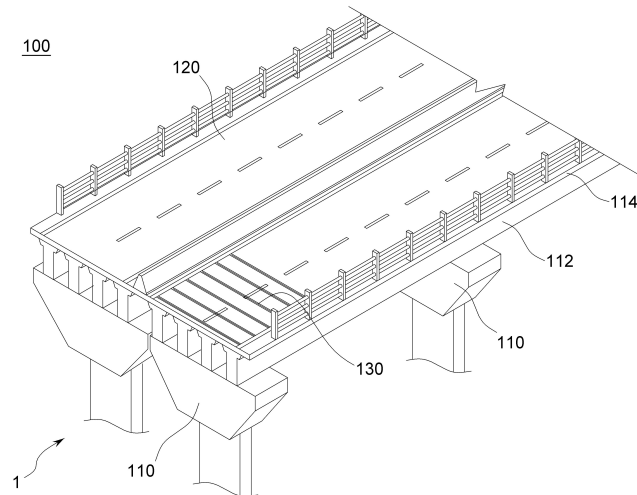
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 교량 진동 제어 시스템

(57) 요약

본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템은, 교량의 교량 노면에 형성되어, 상기 교량 노면을 주행하는 차량에 의해 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지하는 진동제어수단을 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615010067

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술지역특성화사업

연구과제명 호남지역 중소형 교량 통합 관리를 위한 멀티스케일 모니터링 시스템 기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 전남대학교산학협력단

연구기간 2016.06.27 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

교량의 교량 노면에 형성되어, 상기 교량 노면을 주행하는 차량에 의해 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지하는 진동제어수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 진동제어수단은 상기 차량의 바퀴에 충격되어 상기 차량의 고유모드 또는 고유진동수를 변화시킴으로써 교량의 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지하는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 진동제어수단은 상기 교량 노면에 형성된 복수개의 요철을 포함하는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수개의 요철은 상기 교량 노면에 인입되는 음각 형태 또는 상기 교량 노면에서 돌출되는 양각 형태로 형성되는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 복수개의 요철은 상기 차량의 진행 방향에서 볼 때 상기 교량의 진입부에 형성되거나, 상기 교량의 진입부에서부터 중앙부까지 형성되거나, 상기 교량의 진입부 및 중앙부에 형성되는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 6

제3항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수개의 요철 사이의 간격과 상기 복수개의 요철을 지나는 상기 차량의 속도에 의해서 상기 차량에 의해 상기 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 상기 교량의 공진을 방지하는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 7

제3항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수개의 요철 사이의 간격은 하기 수학식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

[수학식]

$$L_r = \frac{v_b}{f_t}$$

(단, L_r 은 복수개의 요철 사이의 간격, v_b 는 교량 노면을 주행하는 차량의 속도, f_t 는 교량의 공진을 피하기 위한 목표 고유진동수)

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 목표 고유진동수는,

상기 교량 노면을 주행하는 차량의 고유진동수, 상기 교량의 1차 휨 모드의 고유진동수 및 상기 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 중에서 가장 큰 값보다 큰 값을 가지는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 목표 고유진동수는,

상기 교량 노면을 주행하는 차량의 고유진동수, 상기 교량의 1차 휨 모드의 고유진동수 및 상기 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 각각의 배수는 아닌 값으로 선택되는 것을 특징으로 하는 교량 진동 제어 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 교량 진동 제어 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 운전자 주의 환기가 주목적인 노면요철 포장을 이용하여 차량 주행시 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 공진의 발생을 방지할 수 있는 교량 진동 제어 시스템교량 진동 제어 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 교량은 도로 위에 시공되는 고가도로 또는 하천을 가로질러 시공되는 다리 등과 같은 토목 구조물로 인식되어 있다. 교량은 차량이나 보행자가 하천, 도로 등을 횡단할 수 있도록 설치되는 도로 구조물로서 지상과 일정 높이를 띄우고 설치된다.

[0003] 이러한 교량은 교대와 교각, 그리고 이들의 상부에 걸쳐져서 설치되는 거더와 상판으로서 이루어지는 상부 구조물로 구성된다. 상부구조물은 교각 및 교대 상부측에 설치되는 교좌장치로 지지되게 함으로써, 시공 후 상부구조물에 작용되는 신축응력에 따라 팽창 또는 수축 작용이 가능하도록 설치시공 된다.

[0004] 상술한 바와 같이, 교량은 지상과 일정 높이를 띄우고 설치되기 때문에 차량의 주행 시 진동이 발생되는데, 그 진동에 취약한 특성이 있다.

[0005] 더욱이, 감쇠비가 낮은 교량 혹은 통행 차량의 고유진동수와 유사한 고유진동수를 지닌 교량은 공진 발생의 위험이 높으며, 공진 발생에 의하여 교량의 안정성 및 사용성에 부정적인 영향을 미치게 된다.

[0006] 교량의 1차 고유진동수와 유사한 고유진동수를 가진 차량이 교량을 통과하는 경우 공진효과가 발생할 수 있다. 교량에 공진효과가 발생하면 차량의 하중에 비해 큰 처짐과 차량 통과 후 큰 진동이 발생하게 된다.

[0007] 도 1은 3축 트럭의 고유진동수 및 모드형상을 예시한 도면이다. 즉, 차축이 3개인 3축 트럭의 고유진동수 및 모드형상을 나타내는 도면이다. 도 1의 (a) 내지 (e)는 3축 트럭의 1차 모드형상 내지 5차 모드형상을 예시한 도

면이다.

- [0008] 1차 고유진동수가 2Hz인 교량을 도 1과 같이 고유모드(특히, 2~4차 모드)가 교량의 1차 고유진동수 2Hz와 유사한 차량(3축 트럭)이 통과하게 되면, 도 1의 (b), (c), (d)에서와 같이, 차량의 고유모드가 교량의 1차 고유진동수와 유사할 경우 공진이 발생하는 것을 알 수 있다. 여기서, 차량의 고유모드는 일정한 진동수 즉, 고유진동수로 차량의 전축과 후축이 서로 동일하게 또는 교차하며 움직이는 형상(고유형상)을 말한다.
- [0009] 이에, 교량에서 발생하는 진동을 감쇠시키기 위한 진동감쇠장치가 많이 개발되고 있다.
- [0010] 일례로, 교량의 연직방향 진동을 저감시키기 위하여 교량에 부가적인 제진 장치인 TMD(Tuned Mass Damper), TLD(Tuned Liquid Damper), TLCD(Tuned Liquid Column Damper), AMD(Active Mass Damper) 등의 질량형 감쇠기를 추가적으로 설치할 수 있다.
- [0011] 여기서, TMD는 질량형 감쇠기의 수동형 타입으로 구조물의 고유진동수와 동조하여 진동을 저감시키는 것이다. 이러한 TMD는 능동형에 비하여 진동저감 효과는 다소 떨어지지만 강재를 이용하여 부피가 작은 질량체를 대신할 수 있고, 대상구조물과 같이 구조물의 감쇠기가 매우 작은 경우에는 능동형 타입의 질량형 감쇠기와 대응한 진동저감 효과를 가지는 장점이 있다. 반면, 교량에서 발생하는 연직 방향 진동은 한 가지 이상의 모드가 중첩되어 나타나기 때문에, 한 모드만 동조시키는 TMD는 큰 진동 제어 효과를 기대하기에는 어렵다.
- [0012] 상기와 같은 어려움을 해결하기 위해서, 여러 모드를 각각 동조시키는 MTMD(Multiple Tuned Mass Damper)가 필요하지만 이는 제작비용을 증가시키는 문제점이 있다. 더욱이 MTMD는 교량에서 지배적으로 나타나는 저주파의 진동에 동조하도록 설계하기 위해서는 중력에 의한 초기 처짐이 과도하게 발생하고 하중을 지지하는 내하성능이 저하되기 때문에 제작이 불가능한 문제점이 있다.
- [0013] 또한, TLCD와 TLD는 액체의 흐름을 이용하여 진동을 저감시키는 것이다. TLCD와 TLD는 설치 시공이 용이하며 경제성이 우수한 장점이 있다. 그러나, TLCD와 TLD는 액체의 단위밀도가 콘크리트나 강재를 사용하는 질량형 감쇠기에 비해 매우 작으므로 요구되는 질량비를 만족시키기 위해서는 부피가 커지게 되므로, 장치의 적용성이 떨어지는 문제점이 있다.
- [0014] 또한, AMD는 외부 동력을 이용하여 감쇠기의 질량관성을 이용하여 인위적인 제어력을 생성하는 것이다. 이러한 AMD는 진동제어 효과가 다른 질량형 감쇠기에 비해 매우 크고, 다양한 모드가 조합된 응답에 대해서도 제어효과가 탁월하다는 장점이 있다. 그러나, AMD는 동력원으로 사용할 전원이 필요하며, 능동 진동시스템을 구축해야 하는 번거로운 문제점이 있다.
- [0015] 한편, 국내특허등록공보 제463294호(발명의 명칭: 동조질량감쇠장치를 구비한 교량난간)에는 기재되어 있다.
- [0016] 상기와 같은 동조질량감쇠장치를 구비한 교량은 교량의 연직방향 상하 진동을 저감시키는 데에는 효과를 나타낼 수 있으나, 교량의 수평방향에 대한 진동 및 비틀림 진동에 대해서는 감쇠효과가 없는 문제점이 있다.
- [0017] 이에, 제작비용이 저렴하며 적용성이 향상되고 추가적인 하중 발생에 의한 내하성능 및 안정성을 향상시킬 수 있으며 교량의 연직 방향의 진동을 제어 할 수 있는 교량의 개발이 요구되는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0018] 본 발명의 목적은 차량의 통행으로 인해 교량에 발생하는 연직 방향의 큰 진동을 제어할 수 있는 교량 진동 제어 시스템을 제공하는 것이다.
- [0019] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0020] 상기의 목적은, 본 발명에 따라, 교량의 교량 노면에 형성되어, 상기 교량 노면을 주행하는 차량에 의해 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지하는 진동제어수단을 포함하는, 교량 진동 제어 시스템에 의해 달성될 수 있다.
- [0021] 상기 진동제어수단은 상기 차량의 바퀴에 충격되어 상기 차량의 고유모드 또는 고유진동수를 변화시킴으로써 교

량의 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지할 수 있다.

[0022] 상기 진동제어수단은 상기 교량 노면에 형성된 복수개의 요철을 포함할 수 있다.

[0023] 상기 복수개의 요철은 상기 교량 노면에 인입되는 음각 형태 또는 상기 교량 노면에서 돌출되는 양각 형태로 형성될 수 있다.

[0024] 상기 복수개의 요철은 상기 차량의 진행 방향에서 볼 때 상기 교량의 진입부에 형성되거나, 상기 교량의 진입부에서부터 중앙부까지 형성되거나, 상기 교량의 진입부 및 중앙부에 형성될 수 있다.

[0025] 상기 복수개의 요철 사이의 간격과 상기 복수개의 요철을 지나는 상기 차량의 속도에 의해서 상기 차량에 의해 상기 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 상기 교량의 공진을 방지할 수 있다.

[0026] 상기 복수개의 요철 사이의 간격은 하기 수학식에 의해 산출될 수 있다. [수학식]

$$L_r = \frac{v_b}{f_t}$$

[0027]

[0028] (단, L_r 은 복수개의 요철 사이의 간격, v_b 는 교량 노면을 주행하는 차량의 속도, f_t 는 교량의 공진을 피하기 위한 목표 고유진동수)

[0029] 상기 목표 고유진동수는, 상기 교량 노면을 주행하는 차량의 고유진동수, 상기 교량의 1차 휨 모드의 고유진동수 및 상기 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 중에서 가장 큰 값보다 큰 값을 가질 수 있다.

[0030] 상기 목표 고유진동수는, 상기 교량 노면을 주행하는 차량의 고유진동수, 상기 교량의 1차 휨 모드의 고유진동수 및 상기 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 각각의 배수는 아닌 값으로 선택될 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 교량 진동 제어 시스템은, 교량 노면에 복수개의 요철을 형성하여 교량의 고유모드와 유사한 차량의 고유모드가 발생하지 않도록 함으로써 교량을 주행하는 차량에 의해 교량에 발생하는 진동을 저감하거나 공진을 방지할 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명의 교량 진동 제어 시스템은, 교량 노면에 형성된 복수개의 요철에 의해 교량 노면을 주행하는 차량의 바퀴에 충격되어 차량의 고유모드 또는 고유진동수를 변화시켜서 교량에 발생하는 진동에 의한 공진을 방지할 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명의 교량 진동 제어 시스템은, 교량 노면에 복수개의 요철을 형성하기만 하면 되기 때문에 별도의 TMD 등을 설치할 필요가 없고 시공비 또는 유지 보수비를 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 3축 트럭의 고유진동수 및 모드형상을 예시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 사시도이다.

도 3은 도 2에 도시한 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 교량 노면을 나타내는 평면도이다.

도 4는 도 3에 도시한 교량 진동 제어 시스템의 진동제어수단을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 TMD가 설치된 종래의 교량의 진동제어의 효율성을 검증하기 위한 수치해석 시뮬레이션 모델의 개념도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 진동제어의 효율성을 검증하기 위한 수치해석 시뮬레이션 모델의 개념도이다.

도 7은 도 5에 따른 수치 해석에 따른 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

도 8은 도 6에 따른 수치 해석에 따른 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0036] 도면들은 개략적이고 축적에 맞게 도시되지 않았다는 것을 일러둔다. 도면에 있는 부분들의 상대적인 치수 및 비율은 도면에서의 명확성 및 편의를 위해 그 크기에 있어 과장되거나 감소되어 도시되었으며 임의의 치수는 단지 예시적인 것이지 한정적인 것은 아니다. 그리고 둘 이상의 도면에 나타나는 동일한 구조물, 요소 또는 부품에는 동일한 참조 부호가 유사한 특징을 나타내기 위해 사용된다.
- [0037] 본 발명의 실시예는 본 발명의 이상적인 실시예들을 구체적으로 나타낸다. 그 결과, 도면의 다양한 변형이 예상된다. 따라서 실시예는 도시한 영역의 특정 형태에 국한되지 않으며, 예를 들면 제조에 의한 형태의 변형도 포함한다.
- [0038] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)을 설명한다.
- [0039] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 사시도, 도 3은 도 2에 도시한 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 교량 노면을 나타내는 평면도, 도 4는 도 3에 도시한 교량 진동 제어 시스템의 진동제어수단을 설명하기 위한 도면이다.
- [0040] 도 2 내지 도 4에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)은 교량(1)의 교량 노면(120)에 형성되어, 교량 노면(120)을 주행하는 차량에 의해 교량(1)에 발생하는 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지하는 진동제어수단을 포함할 수 있다.
- [0041] 교량(1)은 교각(110)을 포함하는 교량 지지부, 교각(110)을 포함하는 교량 지지부에 의해 지지되는 교량 노면(120)을 포함할 수 있다.
- [0042] 도 2를 참조하면, 교량(1)은 거더(112) 및 슬래브(114)로 이루어지는 상부 구조와, 기초 슬래브(미도시) 및 교각(110)을 포함하는 교량 지지부로 이루어지는 하부 구조로 이루어질 수 있다. 다만, 도 2에 도시된 슬래브교 형태의 교량은 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용되는 교량을 설명하기 위한 하나의 예시에 불과하며, 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템은 다른 형태의 교량에도 적용될 수 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템은 라멘교, 거더교, 사장교, 현수교, 트러스교, 아치교, 엑스트라 도즈교 등 모든 형태에 교량에 적용될 수 있다.
- [0043] 한편, 교량(1)의 상단 위에는 차량(10, 도 4 참조)이 주행하는 교량 노면(120)이 형성될 수 있다. 교량 노면(120)은 아스팔트 포장의 형태로서 차량(10)이 주행하기 좋도록 평평하게 형성된 노면이다.
- [0044] 한편, 교량(1)의 1차 고유진동수와 동일한 고유모드 또는 고유진동수를 가지는 차량(10)이 교량 노면(120)을 주행할 경우, 교량(1)에 진동이 발생될 수 있다.
- [0045] 이때, 교량 노면(120)에는 진동제어수단이 형성될 수 있다. 진동제어수단은 교량 노면(120)을 주행하는 차량에 의해 교량(1)에 발생하는 진동을 저감하거나 교량(1)의 공진을 방지하기 위한 수단이다. 다시 말해서, 진동제어수단은 교량 노면(120)을 주행하는 차량(10)의 바퀴(12)에 충격되어 차량(10)의 고유모드 또는 고유진동수를 변화시켜서 교량(1)의 진동을 저감하거나 교량의 공진을 방지할 수 있다.
- [0046] 이러한 진동제어수단은 교량 노면(120)에 형성된 복수개의 요철(130)을 포함하거나 복수개의 요철(130)의 형태로 마련될 수 있다.
- [0047] 차량(10)의 전축과 후축이 교량 노면(120)에 형성된 진동제어수단 즉, 복수개의 요철(130)을 통과하게 되면, 주기적으로 움직이던 차량(10)의 전축과 후축이 불규칙하게 움직이기 때문에 차량(10)의 고유모드가 변하게 되고, 그 결과 교량(1)과 공진을 발생시키는 고유진동수와 달라져서 공진을 피할 수 있으며, 교량(1)에 발생하는 진동을 효과적으로 제어할 수 있다.
- [0048] 여기서, 도 2 내지 도 4에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 진동제어수단은 교량 노면(120)에 형성된 복수개의 요철(130)의 형태로 형성되지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 교량(1)으로 진입하는 차량(10)의 고유모드 또는 고유진동수를 변화시킬 수 있는 형태로 변형될 수도 있다.
- [0049] 한편, 복수개의 요철(130)은 교량 노면(120)에 대해 안쪽으로 인입 형성되는 음각 형태로 형성될 수 있다. 교량 노면(120)에 소정의 깊이로 인입 형성되되, 일정 간격을 두고 복수개 형성될 수 있다. 교량 노면(120)을 포장할 때 복수개의 요철(130)을 형성하는 경우에는 음각으로 인입된 형태로 복수개의 요철(130)을 형성하는 것이 바람

직하다. 반면에, 평평한 형태로 이미 포장되어 있는 교량 노면(120)에 복수개의 요철(130)을 형성하는 경우에는 임시 노면 요철(temporary rumble strip) 등과 같이 양각으로 돌출된 형태의 요철을 형성하는 것도 가능하다. 따라서, 본 발명에 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)은 교량 노면(120)에 인입되는 음각 형태 또는 교량 노면(120)에서 돌출되는 양각 형태로 마련되는 복수개의 요철(130)을 설치하여 교량의 진동을 저감하거나 공진을 방지할 수 있다.

[0050] 이러한 복수개의 요철(130)은 교량(1)의 초입부, 즉 교량(1)으로 차량(10)이 진입하는 진입부에 위치하는 교량 노면(120)에 형성될 수 있다. 다시 말해서, 복수개의 요철(130)은 교량 노면(120)의 양단 중 교량(1)으로 차량(10)이 진입하는 부분에 형성될 수 있다. 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)은 교량을 주행하는 차량(10)의 고유모드 또는 고유진동수를 변하게 하기만 하면 되기 때문에 교량(1)의 진입부에만 복수개의 요철(130)을 설치하더라도 충분히 차량의 고유모드 또는 고유진동수를 변하게 하거나 조절할 수 있다.

[0051] 다만, 교량(1)의 교량 노면(120) 중에서도 교량(1)의 진입부에 해당하는 교량 노면(120)에 복수개의 요철(130)을 형성하는 것이 바람직하지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 교량(1)의 진입부에만 설치한 복수개의 요철(130)만으로는 차량의 진동수 제어가 어려운 경우에는 교량(1)의 진입부에서부터 중앙부까지 복수개의 요철(130)을 설치할 수 있다. 또한, 교량(1)의 길이가 긴 경우에는 차량의 진동수를 제어하기 위해서 교량(1)의 진입부에 복수개의 요철(130)을 형성하고 중앙부에도 복수개의 요철(130)을 더 형성할 수도 있다.

[0052] 이와 같이, 본 발명에 따른 교량 진동 제어 수단의 복수개의 요철(130)은 교량의 길이, 차량의 진동수 제어 여부를 고려하여 교량의 진입부에 설치하거나, 진입부에서부터 중앙부까지 설치하거나, 진입부와 중앙부에 각각 설치할 수 있다.

[0053] 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)의 교량 노면(120)에 형성된 진동제어수단 즉, 복수개의 요철(130)은 간격, 폭 또는 높이에 따라 요철(130)을 통과하는 차량의 고유모드 또는 고유진동수를 조정할 수 있으므로, 본 발명을 적용하고자 하는 교량의 고유모드에 따라서 요철(130)의 간격, 폭 또는 높이 등을 적합하게 설계하여 교량의 진동을 효과적으로 제어할 수 있다.

[0054] 특히, 복수개의 요철(130)의 사이 간격(L_r)과 복수개의 요철을 지나는 차량(10)의 속도(v_b)에 의해 차량(10)에 의해서 교량(1)에 발생하는 진동을 저감하거나 교량(1)의 공진을 방지할 수 있다.

[0055] 이에 따라, 교량 노면(120)에 형성된 복수개의 요철(130) 사이의 간격(L_r)이 매우 중요한 설계 인자가 될 수 있다. 다시 말해서, 복수개의 요철(130)은 형성되는 위치, 복수개의 요철(130)의 간격(L_r) 및 복수개의 요철(130)의 깊이를 적합하게 설계하는 것이 중요하며, 이는 교량(1)의 동적 특성에 따라서 조정될 수 있다.

[0056] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)에 있어서 복수개의 요철(130) 사이의 간격(L_r)은 하기의 [수학식 1]에 의해서 산출되고, 산출한 결과를 이용하여 교량 노면(120)에 형성할 수 있다.

[0057] [수학식 1]

$$L_r = \frac{v_b}{f_t}$$

[0058]

[0059] [수학식 1]에서 L_r 은 복수개의 요철(130) 사이의 간격이고, v_b 는 교량 노면(120)을 주행하는 차량(10)의 속도이며, f_t 는 교량(1)의 공진을 피하기 위한 목표 고유진동수를 의미한다.

[0060] 복수개의 요철(130) 사이의 간격(L_r)은 이웃하는 요철 사이의 간격을 의미하고, 목표 고유진동수(f_t)는 교량 노면(120)을 주행하는 차량(10)의 바퀴(12)가 요철(130)을 충격할 때 발생하는 소리의 진동수라고 생각할 수 있다.

[0061] 여기서, 교량(1)의 공진을 피하기 위한 목표 고유진동수(f_t , 이하 '목표 고유진동수'라 함)는 교량 노면(120)을 주행하는 차량(10)의 고유진동수, 교량(1)의 1차 휨 모드의 고유진동수 및 교량(1)의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 중에서 가장 큰 값보다 큰 값을 가지도록 설정하는 것이 바람직하다. 이와 같은 목표 고유진동수 값은 다음과 같은 3가지 조건으로부터 얻을 수 있다.

[0062] 첫째, 교량(1)의 공진 발생의 확률은 교량(1)을 통행하는 차량(10)의 하중이 일정 이상인 경우, 예컨대 주로 트

력, 특수차량 등 하중이 큰 중차량에서 발생할 확률이 높을 수 있다. 참고로, 일반적인 트럭의 고유진동수는 1Hz 후반 ~ 2 Hz 초반이다.

[0063] 둘째, 교량(1)의 공진은 교량(1)의 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수와 교량(1)을 통행하는 차량(10)의 bouncing mode, pitching mode의 고유진동수가 유사할 때 발생할 수 있다. 참고로, 일반적인 교량의 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수는 5Hz 미만일 수 있다.

[0064] 셋째, 특수한 경우에는 교량(1)의 1차 비틀림 모드에서도 공진이 발생할 수 있다. 참고로, 일반적인 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수는 10Hz 미만일 수 있다.

[0065] 여기서, 목표 고유진동수(f_t)는 상기 첫째 내지 셋째 조건 중 가장 높은 고유진동수 이상인 값으로 설정되는 것이 바람직하다.

[0066] 또한, 목표 고유진동수(f_t)는 상기 첫째 내지 셋째 조건의 배수가 아닌 값으로 설정되는 것이 바람직하다. 다시 말하면, 목표 고유진동수(f_t)는 교량 노면(120)을 주행하는 차량(10)의 고유진동수, 교량(1)의 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수 및 교량의 1차 비틀림 모드의 고유진동수의 각각의 배수는 아닌 값으로 선택될 수 있다.

[0067] 예를 들어, 교량(1)의 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수가 2Hz이고, 교량(1)의 1차 비틀림 모드의 고유진동수가 5Hz인 교량의 교량 노면(120)을 통행하는 차량(10)의 속도(v_b)가 60km/hr 인 경우에, 이 교량의 공진을 피하기 위한 목표 고유진동수(f_t)는 차량(10)의 고유진동수 2Hz, 교량(1)의 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수 5Hz 및 교량(1)의 1차 비틀림 모드의 고유진동수 10Hz의 배수가 아니면서 동시에 2Hz, 5Hz, 10Hz 보다 큰 값인 11Hz로 설정하는 것이 바람직하다.

[0068] [수학식 2]

[0069]
$$L_r = \frac{v_b}{f_t} = \frac{60000\text{m}/3600\text{sec}}{11/1\text{sec}} = 1.52\text{m}$$

[0070] 상술한 값 즉, $f_t=11\text{Hz}$, $v_b=60\text{km/hr}$ 을 [수학식 1]에 대입하여 계산해보면, 상기의 [수학식 2]와 같이 복수개의 요철 사이의 간격(L_r)이 1.52m 가 산출되는 것을 알 수 있다. 즉, 1차 연직방향 휨 모드의 고유진동수가 2Hz이고 1차 비틀림 모드의 고유진동수가 5Hz인 교량(1)의 교량 노면(120)을 60km/hr의 속도로 차량이 주행하는 경우에, 교량 노면(120)에 1.52m의 간격으로 복수개의 요철(130)을 설치하면 교량의 공진을 방지하거나 진동을 제어할 수 있게 된다.

[0071] 이하, 도 5 내지 도 8을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)에 따른 진동제어수단, 즉 복수개의 요철(130)이 교량 노면(120)에 형성된 교량(1)의 진동제어의 효율성을 검증하기 위한 수치해석 실험의 결과에 대해서 설명한다.

[0072] 도 5는 TMD가 설치된 종래의 교량의 진동제어의 효율성을 검증하기 위한 수치해석 시뮬레이션 모델의 개념도, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템이 적용된 교량의 진동제어의 효율성을 검증하기 위한 수치해석 시뮬레이션 모델의 개념도, 도 7은 도 5에 따른 수치 해석에 따른 실험 결과를 나타낸 그래프, 도 8은 도 6에 따른 수치 해석에 따른 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

[0073] 도 5 및 도 6에 도시한 바와 같이, 실험은 교량(1,1')을 2차원 빔요소로 모델링하되 연장 40m의 단순보로 모델링하고, 교량(1,1')을 주행하는 차량(10)은 교량의 1차 고유진동수와 동일한 고유진동수를 갖는 단순화된 1축 시스템으로 모델링하여, 차량(10)이 교량(1,1')을 통과할 때 공진이 발생되도록 모델링하였다. 이때, 차량(10)이 교량(1,1')을 통과할 때의 변위와 차량(10)이 교량(1,1')을 통과한 후에 약 10초 동안 감쇠자유진동 상태에서 발생하는 변위를 계산하였다.

[0074] 여기서, 실험은 두 가지 경우로 구분하여 교량의 처짐을 비교 및 분석하였다. 구체적으로, 도 5에 도시된 바와 같이, 교량(1')의 경간 중간에 TMD(동조질량감쇠기)를 모델링하고 TMD의 설치 전과 설치 후의 변위, 즉 교량(1')의 최대 처짐과 교량(1')의 진폭RMS의 RMS(Root Mean Square) 값 변화를 비교 분석하였다.

[0075] 또한, 도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 교량 진동 제어 시스템(100)의 복수개의 요철(130)이 교량 노면(120)에 형성된 교량(1)을 모델링하여 복수개의 요철(130)의 형성 전과 형성 후의 변위, 즉 교량(1)의 최대 처짐과 교량(1)의 진폭RMS의 RMS 값 변화를 비교 분석하였다.

[0076] 참고로, 교량(1)의 길이는 40m로 설정하였으며, 차량(10)에는 바퀴(12)에 연결된 현가장치를 스프링(13)과 댐퍼(14)로 모델링 하였다.

[0077] 또한, 교량(1)의 교량 노면(120)에 복수개의 요철(130)이 설치되는 경우에, 교량 노면(120)에 대한 요철(130)의 깊이는 0.01m로 설정하였으며, 복수개의 요철(130) 사이의 간격(L_r)은 1.60m로 설정하였다.

[0078] 하기 [표 1]은 도 5에 도시된 바와 같이 교량(1')에 TMD를 설치한 경우(b)와, 도 6에 도시된 바와 같이 교량(1)의 교량 노면(120)에 복수개의 요철(130)을 설치한 경우(c)에 있어서, 교량(1,1')의 최대 처짐과 교량(1,1')의 진폭의 RMS 값 변화를 TMD 및 복수개의 요철이 형성되지 않은 교량(a)과 비교한 결과를 나타낸 표이다.

[0079] [표 1]

모델	진폭의 크기 (RMS 값)	최대 처짐		감쇠비
		차량통행 시	감쇠자유진동	
일반 (a)	0.0015 mm	9.95 mm	5.51 mm	1.87%
TMD 설치(b) (상대오차 a:b)	0.0009 mm (-57 %)	9.35 mm (-6 %)	2.62 mm (-52 %)	4.54% (143 %)
노면요철 포장 설치 (c) (상대오차 a:c)	0.0004 mm (-73 %)	7.75 mm (-22 %)	1.42 mm (-74 %)	1.87 % (0 %)

[0080]

[0081] 도 7은 도 5에 도시된 바와 같은 TMD를 설치하기 전과 설치한 후 교량의 변위가 시간이 경과함에 따라 변하는 것을 보여주는 그래프이고, 도 8은 도 6에 도시된 바와 같은 복수개의 요철을 설치하기 전과 설치한 후 교량의 변위가 시간이 경과함에 따라 변하는 것을 보여주는 그래프이다.

[0082] 우선, [표 1]을 참조하면, 교량의 진동제어를 위해 교량에 TMD 및 복수개의 요철을 설치하지 않은 경우에는 차량 통행시 교량의 최대 처짐이 9.95mm 발생하였고 교량의 감쇠자유진동 상태에서는 5.51mm의 최대 처짐이 발생하였다. 또한, 감쇠자유진동 상태에서의 진폭 RMS 값은 0.0015 mm 이고 감쇠비는 1.87% 였다.

[0083] 한편, [표 1] 및 도 7을 참조하면, 교량(1')에 TMD를 설치한 경우에는 차량 통행시 교량(1')의 최대 처짐이 9.35mm 발생하였는데, 아무것도 설치되지 않은 교량([표 1]의 (a) 참고)의 최대 처짐 9.95mm 보다 최대 처짐이 6% 감소했음을 확인할 수 있다. 또한, 감쇠자유진동 상태에서는 2.62mm의 최대 처짐이 발생하였는데, 아무것도 설치되지 않은 교량([표 1]의 (a) 참고)의 최대 처짐 5.51mm 보다 최대 처짐이 52% 감소했음을 확인할 수 있다.

[0084] 반면에, [표 1] 및 도 8을 참조하면, 교량(1)의 교량 노면(120)에 복수개의 요철(130)을 설치한 경우에는 차량 통행시 교량(1)의 최대 처짐이 7.75mm 발생하였는데, 아무것도 설치되지 않은 교량([표 1]의 (a) 참고)의 최대 처짐 9.95mm 보다 최대 처짐이 22% 감소했음을 확인할 수 있다. 또한, 감쇠자유진동 상태에서는 1.42mm의 최대 처짐이 발생하였는데, 아무것도 설치되지 않은 교량([표 1]의 (a) 참고)의 최대 처짐 5.51mm 보다 최대 처짐이 74% 감소했음을 확인할 수 있다.

[0085] 이와 같이, 교량에 복수개의 요철을 설치한 경우가 TMD를 설치한 경우 보다 공진 효과가 감소되어 교량의 처짐이 크게 감소된다는 것을 알 수 있다.

[0086] 또한, [표 1], 도 7 및 도 8을 참조하여 교량 진폭의 RMS 값을 비교해 보면, TMD를 설치한 경우는 아무것도 설치하지 않은 경우 보다 진폭의 RMS 값이 57% 감소한 반면에 복수개의 요철을 설치한 경우는 아무것도 설치하지 않은 경우 보다 진폭의 RMS 값이 73% 감소하였음을 확인할 수 있다. 즉, 교량의 교량 노면에 복수개의 요철을 설치한 경우에 진동의 크기가 크게 감소된다는 것을 알 수 있다.

[0087] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 교량 진동 제어 시스템은 공용 중인 교량에 지배적으로 발생하는 연직 방향의 큰 진동을 제어하기 위하여 운전자 주의 환기가 주목적인 노면요철 포장을 진동제어 목적으로 활용할 수 있다는 장점이 있다.

[0088] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시

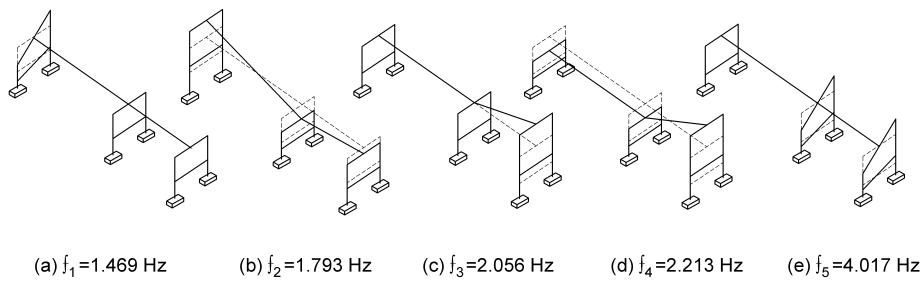
예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

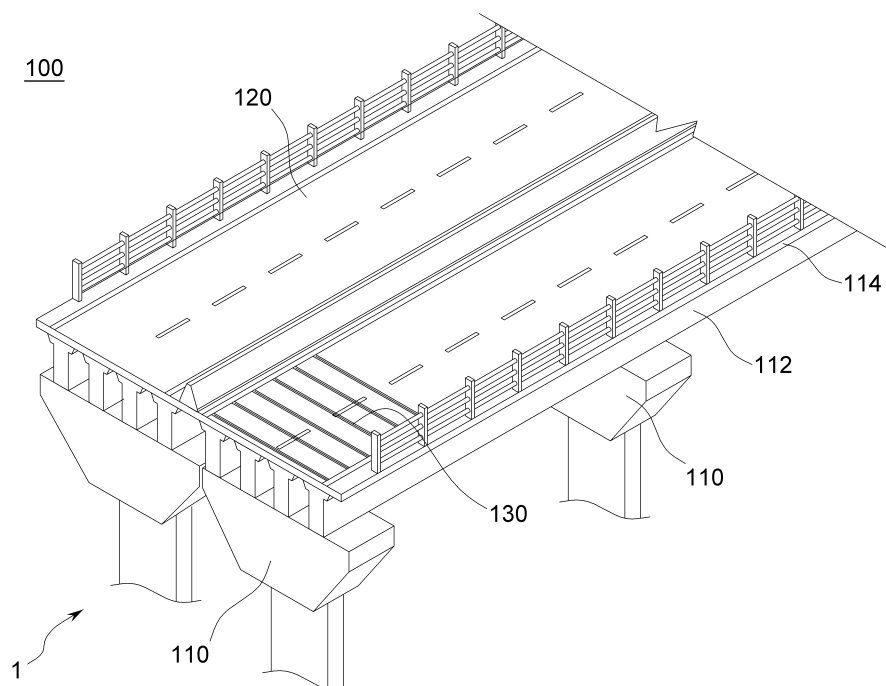
- [0089]
- 1: 교량
 - 10: 차량
 - 12: 바퀴
 - 100: 교량 진동 제어 시스템
 - 110: 교각
 - 120: 교각 노면
 - 130: 복수개의 요철

도면

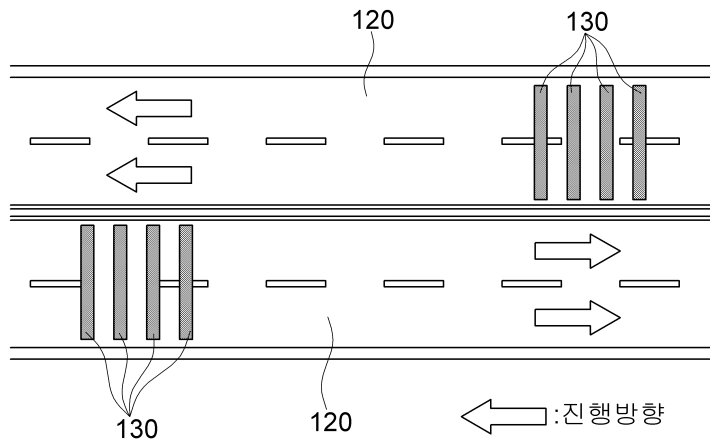
도면1



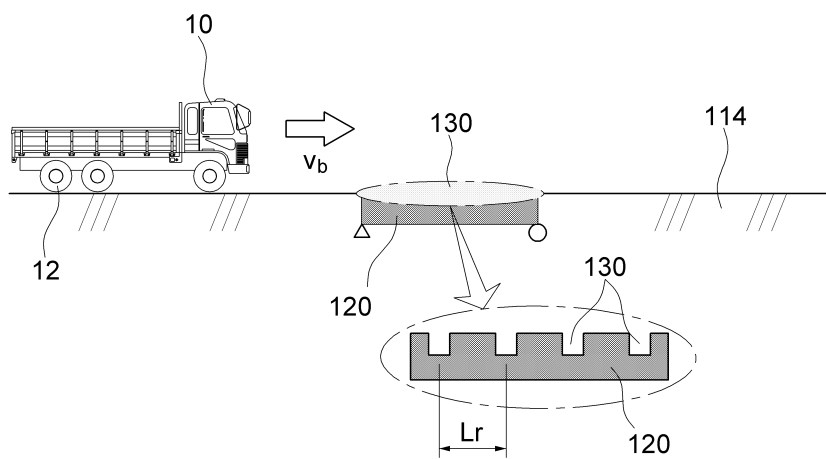
도면2



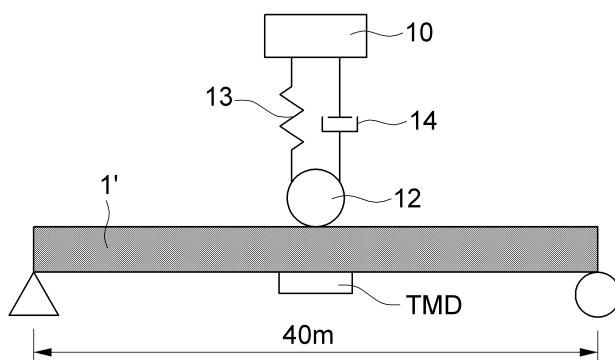
도면3



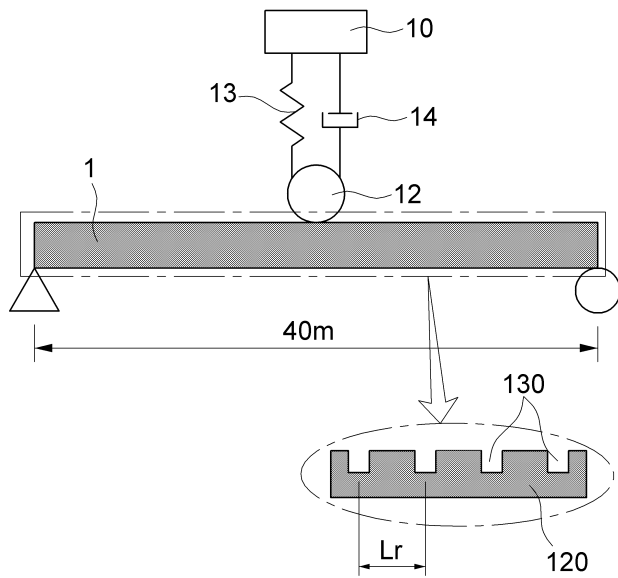
도면4



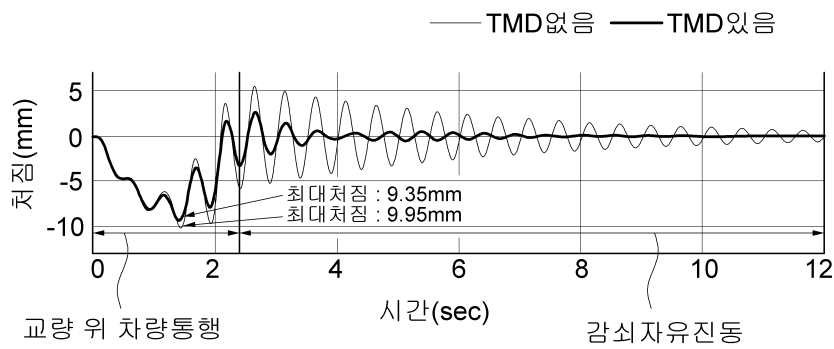
도면5



도면6



도면7



도면8

