



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0120736
(43) 공개일자 2017년11월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06Q 50/10 (2012.01) G05B 23/02 (2006.01)

H04W 84/18 (2009.01)

(52) CPC특허분류

G06Q 50/10 (2015.01)

G05B 23/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0048748

(22) 출원일자 2016년04월21일

심사청구일자 2016년04월21일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

심성한

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

김은주

대전광역시 유성구 대학로 291, KAIST ITC빌딩
313호 (구성동)

박종용

NCEL, 205 N. MATHEWS AVE, URBANA, IL 61801,
USA

(74) 대리인

특허법인충현

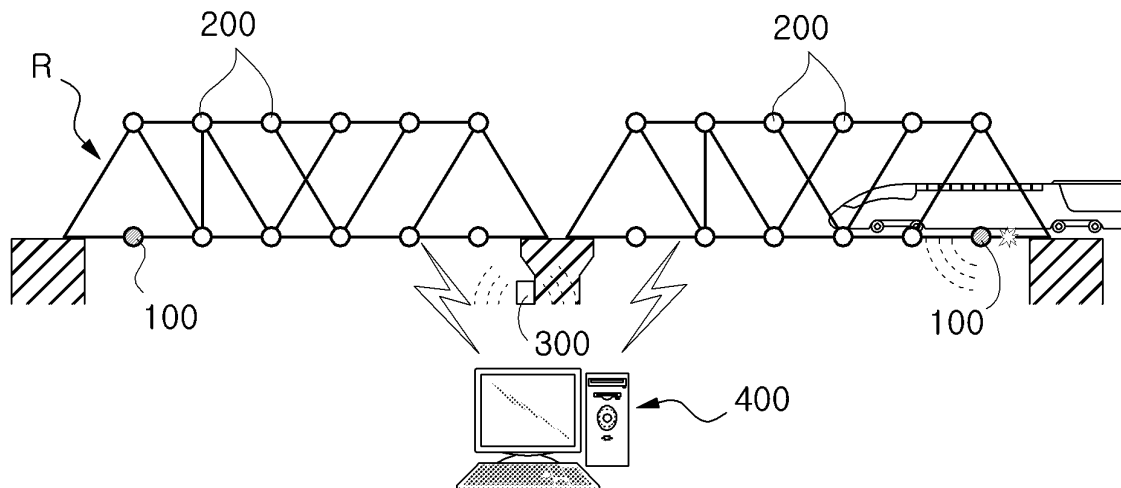
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템 및 모니터링 방법

(57) 요약

무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템 및 모니터링 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템은 교량에 설치되어 교량의 충격하중을 상시 측정하되, 교량에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격발생 신호를 생성하는 적어도 하나 이상의 제1 무선센서; 교량에 설치되되, 측정시작 신호를 수신하면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 교량의 충격하중을 측정하는 적어도 하나 이상의 제2 무선센서; 및 제1 무선센서로부터 충격발생 신호를 수신하여 제2 무선센서에 충격발생 신호에 대응하는 측정시작 신호를 송신하고, 제1 무선센서와 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하여 제1 무선센서와 제2 무선센서가 기준시간을 기초로 내부 시간을 시간 동기화하고 시간 동기화된 데이터를 기준시간을 기초로 배열하여 데이터 동기화하도록 하는 베이스 스테이션을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04W 84/18 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

교량에 설치되어 상기 교량의 충격하중을 상시 측정하되, 상기 교량에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격 발생 신호를 생성하는 적어도 하나 이상의 제1 무선센서;

상기 교량에 설치되되, 측정시작 신호를 수신하면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 상기 교량의 충격하중을 측정하는 적어도 하나 이상의 제2 무선센서; 및

상기 제1 무선센서로부터 상기 충격발생 신호를 수신하여 상기 제2 무선센서에 상기 충격발생 신호에 대응하는 상기 측정시작 신호를 송신하고, 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하여 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서가 상기 기준시간을 기초로 내부 시간을 시간 동기화하고 상기 시간 동기화된 데이터를 상기 기준시간을 기초로 배열하여 데이터 동기화하도록 하는 베이스 스테이션을 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 무선센서는

저전력 모드와 낮은 계측 주파수에서 상기 교량에 전달된 충격하중을 상시 측정하되, 상기 충격하중이 설정값 이상이면 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 상기 교량에 전달된 충격하중을 정밀 측정하도록 트리거되고 상기 충격발생 신호를 상기 베이스 스테이션에 전송하는 무선센서 네트워크를 이용한 구조물 모니터링 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 무선센서에서 상기 베이스 스테이션에 상기 충격발생 신호를 전송하고 상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제1 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})은 $\Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며,

상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제2 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})은 $(N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며,

상기 제1 무선센서는 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 상기 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템.

(여기서, Δt_1 은 상기 제1 무선센서에서 전송한 상기 충격발생 신호가 상기 베이스 스테이션에 도달하는데 소요되는 시간, N은 상기 베이스 스테이션에서 상기 제2 무선센서에 상기 측정시작 신호를 전송한 횟수, Δt_2 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 측정시작 신호가 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간, Δt_3 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 첫 번째 상기 기준시간이 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간)

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 베이스 스테이션은,

상기 제1 무선센서에서 전송된 상기 충격발생 신호를 수신하는 수신부; 및

상기 수신부에서 수신된 상기 충격발생 신호에 대응하는 상기 측정시작 신호를 상기 제2 무선센서에 전송하고, 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 상기 기준시간을 전송하는 송신부를 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

첫 번째 상기 기준시간과 마지막 상기 기준시간 사이의 충격발생 구간 동안 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에서 측정되고 시간 동기화 및 데이터 동기화된 데이터를 디스플레이하는 디스플레이부를 더 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템.

청구항 6

(a) 교량에 설치된 적어도 하나의 제1 무선센서가 상기 교량에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격발생 신호를 생성하는 단계;

(b) 베이스 스테이션이 상기 제1 무선센서로부터 상기 충격발생 신호를 수신하여 상기 교량에 설치되는 적어도 하나의 제2 무선센서에 측정시작 신호를 송신하고 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하는 단계; 및

(c) 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서의 내부 시간을 상기 기준시간을 기초로 시간 동기화하는 단계를 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 (a) 단계에서,

상기 제1 무선센서는 저전력 모드와 낮은 계측 주파수에서 상기 교량에 전달된 충격하중을 측정하되, 상기 충격하중이 설정값 이상이면 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 상기 교량에 전달된 충격하중을 측정하도록 트리거되고 상기 충격발생 신호를 상기 베이스 스테이션에 전송하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 (b) 단계에서,

상기 제2 무선센서는 상기 측정시작 신호가 수신되면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 상기 교량의 충격하중을 측정하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 (c) 단계에서,

상기 제1 무선센서에서 상기 베이스 스테이션에 상기 충격발생 신호를 전송하고 상기 베이스 스테이션으로부터

상기 제1 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})은 $\Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며,

상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제2 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})은 $(N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며,

상기 제1 무선센서는 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 상기 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법.

(여기서, Δt_1 은 상기 제1 무선센서에서 전송한 상기 충격발생 신호가 상기 베이스 스테이션에 도달하는데 소요되는 시간, N 은 상기 베이스 스테이션에서 상기 제2 무선센서에 상기 측정시작 신호를 전송한 횟수, Δt_2 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 측정시작 신호가 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간, Δt_3 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 첫 번째 상기 기준시간이 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간)

청구항 10

제6항에 있어서,

(d) 첫 번째 상기 기준시간과 마지막 상기 기준시간 사이의 충격발생 구간 동안 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에서 측정되고 시간 동기화된 데이터를 상기 기준시간을 기초로 배열하여 데이터를 동기화하는 단계를 더 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템 및 모니터링 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 교량구조물은 시공 직후부터 지진, 태풍, 선박 및 차량충돌 등 다양한 하중을 받게 된다. 예를들어, 고속 철도 교량은 교량의 자중, 철도차량의 하중 및 특히 철도차량의 속도에 의한 충격하중에 의한 영향을 크게 받는다.

[0003] 그러므로, 교량의 충격하중을 분석하는 것은 교량의 건전성에 매우 중요한 역할을 하나 이에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.

[0004] 최근에는 센서 기술의 발전으로 스마트 무선센서를 이용하여 교량의 건전성을 평가하는 연구들이 주목받고 있다. 무선센서는 기존의 유선센서와 비교하여 저비용으로 다수의 물리량 측정이 가능하다는 점과 무선통신으로 인해 설치가 용이한 장점이 있다.

[0005] 그러나, 열차의 통행 시 무선센서 네트워크를 이용하여 실제 교량에서 발생하는 충격 하중을 측정하고자 하는 경우, 교량에 가해지는 충격 하중의 지속시간이 10초 내외로 매우 짧아 무선센서 네트워크를 동기화시켜 교량의 동적 거동을 측정하는데 어려움이 있다. 이는 무선센서는 전력소비의 문제로 인해 상시 구동되지 않고 사용자의 명령에 의해 정해진 시간 동안 측정을 수행하기 때문이다.

[0006] 따라서, 교량 등의 구조물의 건전성을 평가하기 위해 무선센서 네트워크를 이용하여 교량의 충격하중을 효율적으로 측정할 수 있는 연구가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2012-0106038호(2012.09.26. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 상시로 교량의 충격하중을 측정하는 제1 무선센서들과 측정시작 신호를 수신하면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 교량의 충격하중을 측정하는 제2 무선센서들에 베이스 스테이션이 기준시간을 전송하여 제1 무선센서들과 제2 무선센서들이 기준시간을 기초로 내부시간을 시간 동기화하고 측정된 데이터를 동기화할 수 있도록 하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템 및 모니터링 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 측면에 따르면, 교량에 설치되어 상기 교량의 충격하중을 상시 측정하되, 상기 교량에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격발생 신호를 생성하는 적어도 하나 이상의 제1 무선센서; 상기 교량에 설치되어, 측정시작 신호를 수신하면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 상기 교량의 충격하중을 측정하는 적어도 하나 이상의 제2 무선센서; 및 상기 제1 무선센서로부터 상기 충격발생 신호를 수신하여 상기 제2 무선센서에 상기 충격발생 신호에 대응하는 상기 측정시작 신호를 송신하고, 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하여 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서가 상기 기준시간을 기초로 내부시간을 시간 동기화하고 상기 시간 동기화된 데이터를 상기 기준시간을 기초로 배열하여 데이터 동기화하도록 하는 베이스 스테이션을 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템이 제공될 수 있다.

[0010] 저전력 모드와 낮은 계측 주파수에서 상기 교량에 전달된 충격하중을 상시 측정하되, 상기 충격하중이 설정값 이상이면 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 상기 교량에 전달된 충격하중을 정밀 측정하도록 트리거되고 상기 충격발생 신호를 상기 베이스 스테이션에 전송할 수 있다.

[0011] 상기 제1 무선센서에서 상기 베이스 스테이션에 상기 충격발생 신호를 전송하고 상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제1 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})은 $\Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며, 상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제2 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})은 $(N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며, 상기 제1 무선센서는 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 상기 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정할 수 있다.

[0012] 여기서, Δt_1 은 상기 제1 무선센서에서 전송한 상기 충격발생 신호가 상기 베이스 스테이션에 도달하는데 소요되는 시간이고, N은 상기 베이스 스테이션에서 상기 제2 무선센서에 상기 측정시작 신호를 전송한 횟수이고, Δt_2 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 측정시작 신호가 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간이고, Δt_3 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 기준시간이 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간이다.

[0013] 상기 베이스 스테이션은 상기 제1 무선센서에서 전송된 상기 충격발생 신호를 수신하는 수신부; 및 상기 수신부에서 수신된 상기 충격발생 신호에 대응하는 상기 측정시작 신호를 상기 제2 무선센서에 전송하고, 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 상기 기준시간을 전송하는 송신부를 포함할 수 있다.

[0014] 첫 번째 상기 기준시간과 마지막 상기 기준시간 사이의 충격발생 구간 동안 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에서 측정되고 시간 동기화 및 데이터 동기화된 데이터를 디스플레이하는 디스플레이부를 더 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 측면에 따르면, (a) 교량에 설치된 적어도 하나의 제1 무선센서가 상기 교량에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격발생 신호를 생성하는 단계; (b) 베이스 스테이션이 상기 제1 무선센서로부터 상기 충격발생 신호를 수신하여 상기 교량에 설치되는 적어도 하나의 제2 무선센서에 측정시작 신호를 송신하고 상기

제1 무선센서와 상기 제2 무선센서 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하는 단계; 및 (c) 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서의 내부 시간을 상기 기준시간을 기초로 시간 동기화하는 단계를 포함하는 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법이 제공될 수 있다.

[0016] 상기 (a) 단계에서 상기 제1 무선센서는 저전력 모드와 낮은 계측 주파수에서 상기 교량에 전달된 충격하중을 측정하되, 상기 충격하중이 설정값 이상이면 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 상기 교량에 전달된 충격하중을 측정하도록 트리거되고 상기 충격발생 신호를 상기 베이스 스테이션에 전송할 수 있다.

[0017] 상기 (b) 단계에서 상기 제2 무선센서는 상기 측정시작 신호가 수신되면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 상기 교량의 충격하중을 측정할 수 있다.

[0018] 상기 (c) 단계에서 상기 제1 무선센서에서 상기 베이스 스테이션에 상기 충격발생 신호를 전송하고 상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제1 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})은 $\Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며, 상기 베이스 스테이션으로부터 상기 제2 무선센서에 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})은 $(N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$ 이며, 상기 제1 무선센서는 첫 번째 상기 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 상기 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정할 수 있다.

[0019] 여기서, Δt_1 은 상기 제1 무선센서에서 전송한 상기 충격발생 신호가 상기 베이스 스테이션에 도달하는데 소요되는 시간이고, N은 상기 베이스 스테이션에서 상기 제2 무선센서에 상기 측정시작 신호를 전송한 횟수이고, Δt_2 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 측정시작 신호가 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간이고, Δt_3 는 상기 베이스 스테이션에서 전송한 상기 기준시간이 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에 도달하는데 소요되는 시간이다.

[0020] (d) 첫 번째 상기 기준시간과 마지막 상기 기준시간 사이의 충격발생 구간 동안 상기 제1 무선센서와 상기 제2 무선센서에서 측정되고 시간 동기화된 데이터를 상기 기준시간을 기초로 배열하여 데이터를 동기화하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고, 사전적인 의미로 해석되어서는 아니 되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0022] 본 실시예는 교량의 충격하중을 상시 측정하는 적어도 하나의 제1 무선센서와, 측정시작 신호를 수신하면 활성상태로 전환되어 교량의 충격하중을 측정하는 적어도 하나의 제2 무선센서들을 구비함으로써, 전력소모를 효율적으로 줄일 수 있는 효과가 있다.

[0023] 또한, 본 실시예는 제1 무선센서들과 제2 무선센서들에 각각 기준시간을 제공하여 제1 무선센서들과 제2 무선센서들의 내부 시간을 기준시간을 기초로 시간 동기화하고 이를 기초로 제1 무선센서들과 제2 무선센서들에서 측정한 교량의 충격하중에 대한 동기화된 데이터를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0024]

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 구조물 모니터링 시스템을 나타내는 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 무선센서의 동작을 나타내는 신호흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 구조물 모니터링 시스템의 동작을 나타내는 신

호흐름도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 베이스 스테이션과 제1 무선센서와 제2 무선센서 사이의 메시지 전송시간 차이를 나타내는 신호흐름도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 무선센서와 제2 무선센서의 시간 동기화 전 시그널을 이용한 파워스펙트럼을 나타내는 그래프이다.

도 6은 도 5의 제1 무선센서와 제2 무선센서를 기준시간을 기초로 시간 동기화한 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템을 나타내는 개념도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 무선센서의 동작을 나타내는 신호흐름도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템의 동작을 나타내는 신호흐름도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 베이스 스테이션과 제1 무선센서와 제2 무선센서 사이의 메시지 전송시간 차이를 나타내는 신호흐름도이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 무선센서와 제2 무선센서의 시간 동기화 전 시그널을 이용한 파워스펙트럼을 나타내는 그래프이고, 도 6은 도 5의 제1 무선센서와 제2 무선센서를 기준시간을 기초로 시간 동기화한 결과를 나타내는 그래프이다.

[0029] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템은 교량(R)에 설치되어 교량(R)의 충격하중을 상시 측정하되 교량(R)에 전달된 충격하중에 의해 트리거되고 충격발생 신호를 생성하는 적어도 하나 이상의 제1 무선센서(100)와, 교량(R)에 설치되되 측정시작 신호를 수신하면 비활성상태에서 활성상태로 전환되어 교량(R)의 충격하중을 측정하는 적어도 하나 이상의 제2 무선센서(200)와, 제1 무선센서(100)로부터 충격발생 신호를 수신하여 제2 무선센서(200)에 충격발생 신호에 대응하는 측정시작 신호를 송신하고 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하여 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 내부 시간이 기준시간을 기초로 시간 동기화되도록 하는 베이스 스테이션(300)을 포함한다.

[0030] 또한, 도 2를 참조하면 제1 무선센서(100)에 의해 측정된 교량(R)에 가해지는 충격하중이 기 설정된 설정값(예를 들어, 충격하중이 100mg 이상) 이상이면 제1 무선센서(100)는 스스로 트리거된(triggered) 후 교량(R)의 충격하중을 측정하고 동시에 충격발생 신호를 베이스 스테이션(300)에 전송한다.

[0031] 제1 무선센서(100)는 저전력 상태에서 교량(R)에 가해지는 충격하중이 설정값 이하인 경우에 저전력 모드와 낮은 계측 주파수(구체적으로, 교량(R)의 충격하중을 측정하기 위한 샘플링 주파수)로 교량(R)의 충격하중을 상시 측정하는 상시 측정상태를 유지하고, 교량(R)에 설정값 이상의 큰 충격하중이 가해지는 경우에 스스로 트리거되고 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 교량(R)의 충격하중을 정밀하게 측정하는 정밀 측정상태로 전환된다.

[0032] 즉, 제1 무선센서(100)는 교량(R)에 설정값 이상의 큰 충격하중이 가해지는 경우에 교량(R)에 가해지는 충격하중을 정확하게 측정하기 위해 높은 계측 주파수로 교량(R)의 충격하중을 측정한다.

[0033] 본 실시예에서 제1 무선센서(100)는 상시 측정상태와 정밀 측정상태를 동시에 지원 가능한 아날로그 사의 ADXL362 센서를 사용하였으나, 본 발명의 권리범위가 이에 의해 한정되는 것은 아니다.

- [0034] 그리고, 제1 무선센서(100)는 설정값 이상의 충격하중이 도달하기 이전의 충격하중에 대한 데이터와 설정값 이상의 충격하중이 전달된 이후의 충격하중에 대한 데이터를 메모리에 저장할 수 있다.
- [0035] 한편, 제1 무선센서(100)는 교량(R) 등 구조물의 충격하중에 취약한 부분 예를 들어 교량(R) 어프로치, 캔트부, 연장 경간 등에 설치된다.
- [0036] 그리고, 제1 무선센서(100)는 저전력 가속도계 센서로 교량(R)의 충격하중을 상시 측정하며, 추가적인 전원공급 없이 저 전력모드에서 충격하중을 측정할 수 있는 상태를 유지할 수 있다. 또한, 제1 무선센서(100)는 충격하중 센서, 스트레인 센서 등의 센서가 사용될 수도 있다.
- [0037] 한편, 제1 무선센서(100)는 초기 설정값, 즉 교량(R)의 충격하중을 측정하기 위하여 계측 주파수, 교량(R)의 충격하중에 의해 트리거 되기 전에 저장할 데이터 수와 전력모드(저전력모드, 저잡음모드, 일반모드) 등을 설정가능하다.
- [0038] 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)로부터 충격발생 신호를 수신한 경우에 충격발생 신호에 대응되는 측정시작 신호를 제2 무선센서(200)에 송신하며, 제2 무선센서(200)는 베이스 스테이션(300)으로부터 측정시작 신호가 수신되면 교량(R)의 충격하중에 대한 측정을 시작한다.
- [0039] 즉, 제2 무선센서(200)는 정상 시에 교량(R)의 충격하중을 측정하지 않는 비활성상태를 유지하여 전력 소모를 줄일 수 있으며, 베이스 스테이션(300)으로부터 측정시작 신호를 반복적으로 수신하고 측정시작 신호에 의해 트리거되어 교량(R)의 충격하중을 측정하는 활성상태로 전환된다. 제2 무선센서(200)는 활성화된 상태에서 고전력 모드와 높은 계측 주파수로 교량(R)의 충격하중을 정밀하게 측정할 수 있다.
- [0040] 활성화된 제2 무선센서(200)는 이후의 측정시작 신호를 무시하며 이는 제2 무선센서(200)가 교량(R)에 가해지는 충격하중을 모두 측정하기 위함이다.
- [0041] 이처럼, 제2 무선센서(200)는 측정시작 신호를 수신하면 교량(R)의 충격하중을 측정하는 활성상태로 전환되고 반대로 측정시작 신호가 수신되지 않으면 대기 상태인 비활성상태를 유지한다.
- [0042] 그리고, 제2 무선센서(200)는 교량(R)의 충격하중에 대한 데이터를 메모리에 저장한다.
- [0043] 또한, 제2 무선센서(200)는 초기 설정값, 즉 교량(R)의 충격하중을 측정하기 위하여 계측 주파수, 교량(R)의 충격하중에 관한 데이터를 저장할 데이터 수와 전력모드 등을 설정가능하다.
- [0044] 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)로부터 충격발생 신호를 수신하며, 수신된 충격발생 신호에 대응하여 측정시작 신호를 제2 무선센서(200)에 반복하여 전송한다. 그리고, 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송한다.
- [0045] 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 교량(R)에 가해진 충격하중을 측정완료한 후 베이스 스테이션(300)에서 전송된 기준시간을 기초로 내부 시간을 상호 동기화하는 시간 동기화를 수행한다.
- [0046] 또한, 베이스 스테이션(300)에서 전송된 첫 번째 기준시간과 마지막 기준시간 사이를 충격발생 구간으로 정의되며, 충격발생 구간 동안 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 기준시간을 기초로 데이터를 시간 동기화 한 후, 시간 동기화된 데이터를 기준시간을 기초로 배열하여 측정된 데이터를 동기화하는 데이터 동기화를 더 수행한다.
- [0047] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템은 충격발생 구간 동안 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에서 측정되고 시간 동기화 및 데이터 동기화된 데이터를 디스플레이하는 디스플레이부(400)를 더 포함한다.
- [0048] 한편, 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)에서 전송된 충격발생 신호를 수신하는 수신부(미도시)와, 수신부에서 수신된 충격발생 신호에 대응하는 측정시작 신호를 제2 무선센서(200)에 전송하고 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 각각에 소정 시간간격으로 기준시간을 전송하는 송신부(미도시)를 포함한다.
- [0049] 전술한 바와 같이, 베이스 스테이션(300)은 기준시간을 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 소정 시간간

격으로 전송하며, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 기준시간을 기초로 내부 시간을 시간 동기화하고 측정된 충격하중을 동기화하는 데이터 동기화를 수행한다.

[0050] 수신부 및 송신부는 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)와 상호 무선으로 데이터를 주고 받는다. 이때 수신부는 제1 무선센서(100)로부터 충격발생 신호를 수신하고, 송신부는 제2 무선센서(200)로 측정시작 신호를 전송한다.

[0051] 그리고, 송신부는 측정시작 신호에 의해 제2 무선센서(200)가 트리거되면 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 각각에 시간 동기화를 위한 기준시간을 송신한다. 그리고, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 시간 동기화된 데이터를 다시 데이터 동기화한 후 디스플레이부(400)에 전송하여 사용자로 하여금 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에서 측정된 충격하중에 관한 데이터를 분석할 수 있도록 한다.

[0052] 도 4를 참조하면, 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)를 시간 동기화하기 위해 소정 시간간격으로 기준시간을 전송한다.

[0053] 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 베이스 스테이션(300)에서 전송된 기준시간을 기초로 내부 시간을 보정한다. 또한 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 측정이 완료된 후 시간 동기화된 데이터를 충격발생 구간영역에서 기준시간을 기초로 순차로 배열하여 데이터를 동기화한다.

[0054] 그리고, 디스플레이부(400)은 시간 동기화 및 데이터 동기화된 데이터를 사용자가 확인할 수 있도록 하며, 디스플레이부는 개인용 컴퓨터, 휴대용 단말기 및 스마트 무선통신 기기일 수 있다.

[0055] 한편, 도 4에서 도시한 바와 같이, 제1 무선센서(100)에서 베이스 스테이션(300)에 충격발생 신호를 전송하고 베이스 스테이션(300)에서 제1 무선센서(100)에 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})는 아래의 수학적식(1)과 같다.

[0056] 수학적식 (1) : $\Delta t_{\text{sentry}} = \Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$

[0057] 또한, 베이스 스테이션(300)에서 제2 무선센서(200)를 트리거하고 제2 무선센서(200)에 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})는 아래의 수학적식(2)과 같다.

[0058] 수학적식 (2) : $\Delta t_{\text{node}} = (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$

[0059] 여기서, Δt_1 은 제1 무선센서(100)에서 전송한 충격발생 신호가 베이스 스테이션(300)에 도달하는데 소요되는 시간이고, N은 베이스 스테이션(300)에서 제2 무선센서(200)에 측정시작 신호를 전송한 횟수이고, Δt_2 는 베이스 스테이션(300)에서 전송한 측정시작 신호가 제2 무선센서(200)에 도달하는데 소요되는 시간이고, Δt_3 는 베이스 스테이션(300)에서 전송한 첫 번째 기준시간이 제1 무선센서(100)와 상기 제2 무선센서(200)에 도달하는데 소요되는 시간이다.

[0060] 상기한 수학적식 (1)로부터 제1 무선센서(100)는 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정할 수 있다.

[0061] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 시스템을 이용하여 교량 모니터링을 하는 방법을 설명하기로 한다.

[0062] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선센서 네트워크를 이용한 교량 모니터링 방법은 교량(R)에 적어도 하나의 제1 무선센서(100)를 설치하고, 또한 교량(R)에 적어도 하나의 제2 무선센서(200)를 설치한다.

[0063] 초기에 제1 무선센서(100)는 저전력 상태에서 낮은 계측 주파수를 가지고 교량(R)의 충격하중을 상시 측정하는 상시 측정상태를 유지하고, 제2 무선센서(200)는 비활성상태를 유지한다.

[0064] 그리고 교량(R)에 설정값 이상의 큰 충격하중이 가해지는 경우에 제1 무선센서(100)는 스스로 트리거되고 베이스 스테이션(300)에 충격발생 신호를 전송한다. 이때 제1 무선센서(100)는 높은 계측 주파수를 가지고 교량(R)의 충격하중을 측정하는 정밀 측정상태로 전환된다. 또한, 제1 무선센서(100)는 정밀 측정상태에서 연속하여 교

량(R)의 충격하중을 측정한다.

- [0065] 한편, 베이스 스테이션(300)이 제1 무선센서(100)로부터 충격발생 신호를 수신한 경우에 제2 무선센서(200)에 측정시작 신호를 반복하여 송신한다. 제2 무선센서(200)는 베이스 스테이션(300)으로부터 수신된 측정시작 신호에 의해 비활성상태에서 활성상태로 전환 또는 트리거되어 교량(R)의 충격하중을 측정한다.
- [0066] 한편, 베이스 스테이션(300)은 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에서 측정된 데이터를 동기화하기 위해 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 소정 시간간격으로 연속적으로 기준시간을 전송한다.
- [0067] 그리고, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)이 충격하중을 측정완료한 경우, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 베이스 스테이션(300)에서 수신된 기준시간에 기초하여 측정된 데이터를 저장하고 저장된 데이터를 기준시간에 맞춰 시간 동기화한다.
- [0068] 구체적으로, 베이스 스테이션(300)에서 전송된 첫 번째 기준시간과 마지막 기준시간 사이로 정의된 충격발생 구간 동안 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 의해 측정되고 저장된 충격하중에 대한 데이터는 각각 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 저장되며, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 측정이 완료된 후 베이스 스테이션(300)에서 수신된 기준시간에 기초하여 측정된 데이터를 기준시간에 맞춰 시간 동기화하여 저장한다.
- [0069] 한편, 도 4에서 도시한 바와 같이, 제1 무선센서(100)에서 베이스 스테이션(300)에 충격발생 신호를 전송하고 베이스 스테이션(300)에서 제1 무선센서(100)에 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})는 아래의 수학적식(1)과 같다.
- [0070] 수학적식 (1) : $\Delta t_{sentry} = \Delta t_1 + (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$
- [0071] 또한, 베이스 스테이션(300)에서 제2 무선센서(200)를 트리거하고 제2 무선센서(200)에 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{node})는 아래의 수학적식(2)과 같다.
- [0072] 수학적식 (2) : $\Delta t_{node} = (N \times \Delta t_2) + \Delta t_3$
- [0073] 여기서, Δt_1 은 제1 무선센서(100)에서 전송한 충격발생 신호가 베이스 스테이션(300)에 도달하는데 소요되는 시간이고, N은 베이스 스테이션(300)에서 제2 무선센서(200)에 측정시작 신호를 전송한 횟수이고, Δt_2 는 베이스 스테이션(300)에서 전송한 측정시작 신호가 제2 무선센서(200)에 도달하는데 소요되는 시간이고, Δt_3 는 베이스 스테이션(300)에서 전송한 첫 번째 기준시간이 제1 무선센서(100)와 상기 제2 무선센서(200)에 도달하는데 소요되는 시간이다.
- [0074] 상기한 수학적식 (1)로부터 제1 무선센서(100)는 첫 번째 기준시간이 도달하는데 소요되는 시간(Δt_{sentry})을 기초로 첫 번째 기준시간이 도달하기 이전의 내부 시간을 보정할 수 있다.
- [0075] 그리고, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 의해 시간 동기화된 충격하중에 관한 데이터는 기준시간을 기초로 순차적으로 배열되어 데이터 동기화가 이뤄진다.
- [0076] 그리고, 충격하중에 대한 측정이 완료된 경우에 제1 무선센서(100)는 상시 측정상태로 전환되고, 제2 무선센서(200)는 비활성상태로 전환된다.
- [0077] 또한, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)는 측정된 시간 동기화 및 데이터 동기화되기 전의 데이터를 별도로 저장하여, 디스플레이부(400)는 동기화된 데이터와 동기화 전의 데이터를 비교 분석하여 데이터의 이상 유무를 확인할 수 있도록 한다.
- [0078] 한편, 도 5 및 도 6을 참조하면, 기준시간에 따른 데이터를 주파수를 이용하여 검증하면 다음과 같다.
- [0079] 우선, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 계측 주파수를 280 Hz로 설정하고, 시간오차를 구현하기 위해 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에 각각 +3.5 %와 -2 %의 시간 오차를 주었다.
- [0080] 즉, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 측정 시작시간을 달리하고, 베이스 스테이션(300)에서 전송되는 기준시간을 매 5초마다 발생하도록 설정하였다.
- [0081] 이때, 시그널의 통신지연은 0.2 ms로 설정하고, 베이스 스테이션(300)의 내부 시계속도를 13 MHz로 설정하였다.

제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 시간 동기화 전 시그널을 이용한 파워스펙트럼은 도 5에서 도시한 바와 같다.

실제 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 사이의 속도 오차는 추정이 불가능하기 때문에 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 설정된 계측 주파수를 이용하여 교량(R)의 진동수를 추정할 경우 최대 4.3 %의 추정 오차가 발생하는 것을 확인하였다(표 1 참조).

五 1

	계측 주파수	제1 무선센서 <error>	제2 무선센서 <error>
1	20 Hz	19.14 Hz <4.3%>	20.23 Hz <-1.15 %>
2	63 Hz	60.71 Hz <3.64%>	64.53 Hz <-2.43 %>
3	96 Hz	92.97 Hz <3.15 %>	97.89 Hz <-1.97 Hz

<표 1> 제1 무선센서와 제2 무선센서의 시간 동기화 기준시간이 적용되지 않은 경우 주파수 오차

그리고, 시간 오차를 표현하기 위하여 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)의 CPSD(Cross power spectrum density, 크로스 파워 스펙트럼 밀도) 함수를 구하고, 그 함수의 각 기울기의 정도를 수치적으로 표현하여 다음 식을 적용하였다.

$$error = \frac{\theta}{2\pi} \times 10^6 (\mu s)$$

여기서, θ 는 CPSD의 각도(angle)를 나타낸다. 도 6에서 나타난 바와 같이, 보정 전 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 간의 상관관계(correlation)는 측정 시작 시간의 오차, 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 내부 시계의 속도 오차에 의해 상당히 불규칙하게 나타난다.

그러나, 본 실시예에서와 같이 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)를 기준시간을 기초로 시간 동기화한 경우(제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 사이의 측정 시작 시간 오차와 내부 시계의 속도 오차를 보정) 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200) 사이의 측정 신호 사이의 오차는 측정범위 내에서 0°에 가까운 값을 나타낸다.

따라서, 본 실시예에 따른 기준시간을 기초로 제1 무선센서(100)와 제2 무선센서(200)에서 측정된 데이터를 시간 동기화하는 방법은 매우 정확함을 알 수 있다.

본 발명의 기술사상은 상기 바람직한 실시예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 전술한 실시예들은 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 다양한 실시가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

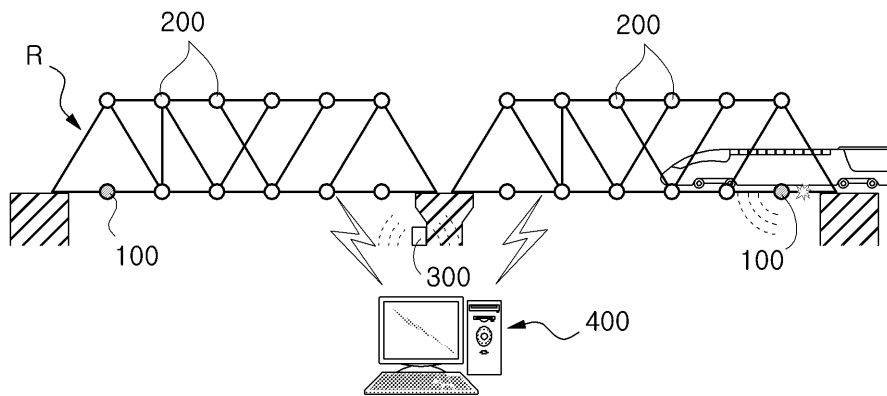
부호의 설명

100: 제1 무선센서 200: 제2 무선센서 300: 베이스 스테이션

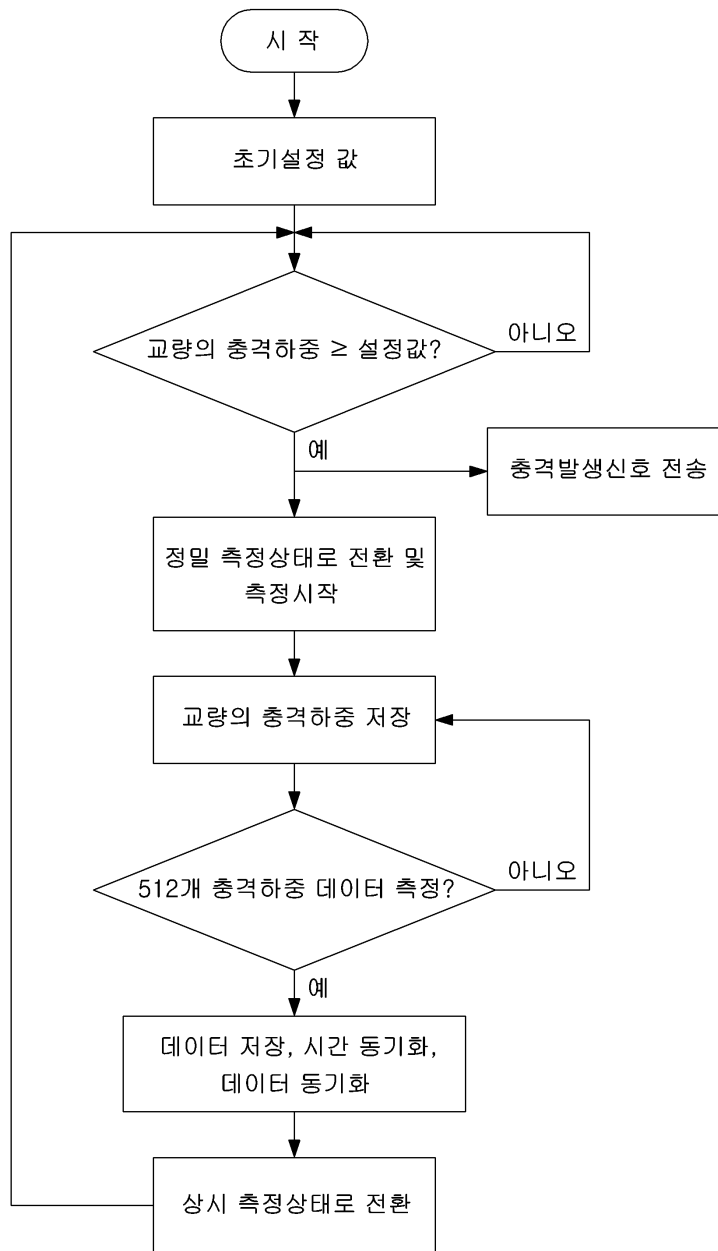
400: 디스플레이부

도면

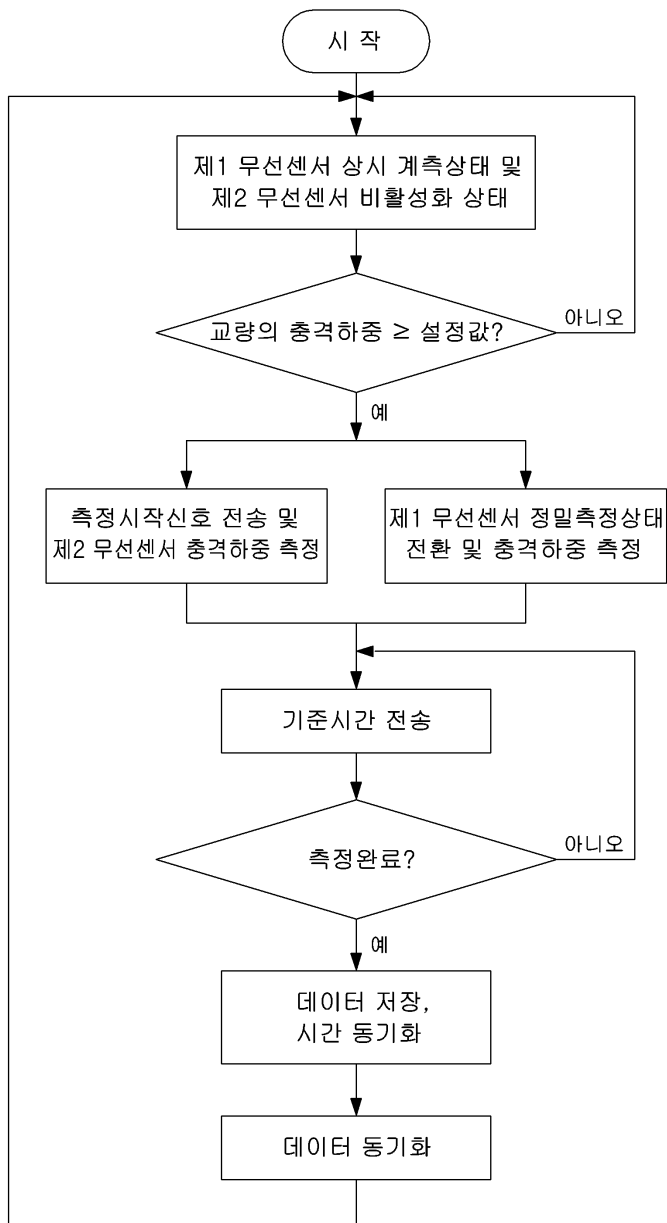
도면1



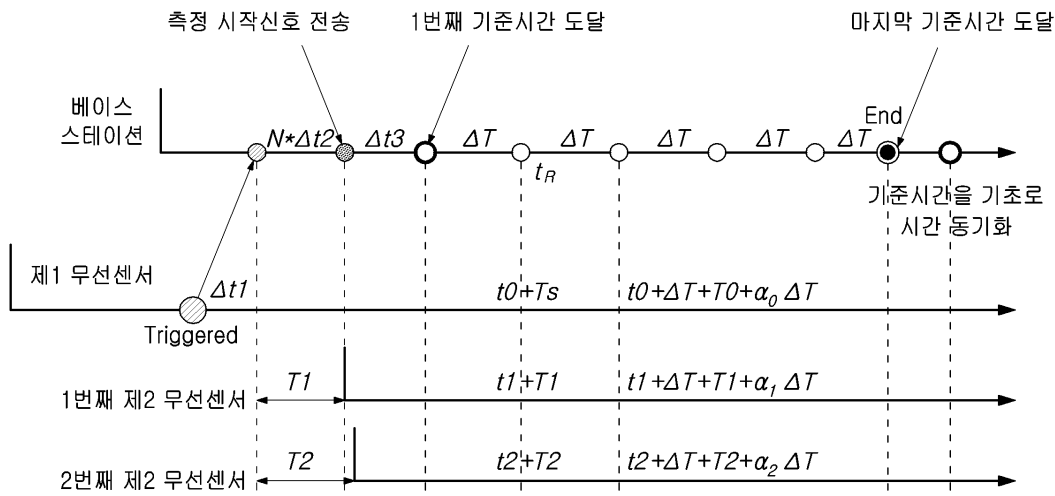
도면2



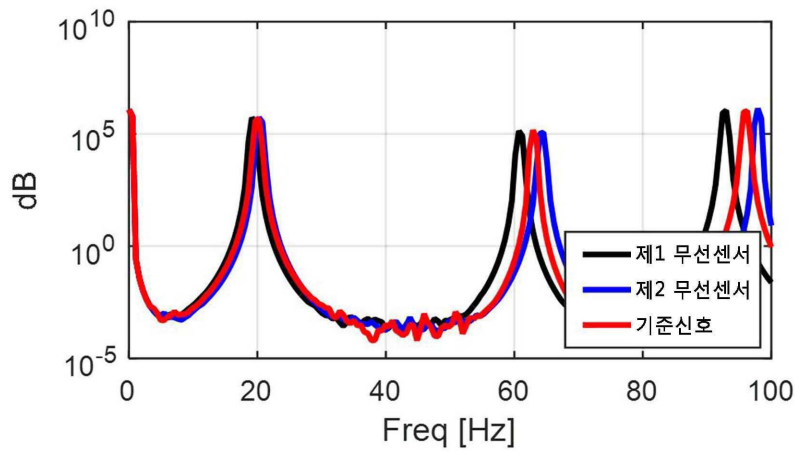
도면3



도면4



도면5



도면6

