



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월23일  
(11) 등록번호 10-2159108  
(24) 등록일자 2020년09월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 15/02 (2006.01) G01N 21/93 (2006.01)  
G01N 21/94 (2006.01) G01W 1/02 (2006.01)  
G06Q 50/10 (2012.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 15/0205 (2013.01)  
G01N 21/93 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0084593  
(22) 출원일자 2019년07월12일  
심사청구일자 2019년07월12일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020160106908 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
김세용  
서울특별시 광진구 능동로 209(군자동)  
이동엽  
서울특별시 강북구 한천로109길 69, 103동 705호  
(번동, 한양아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
송인호, 최관락

전체 청구항 수 : 총 8 항

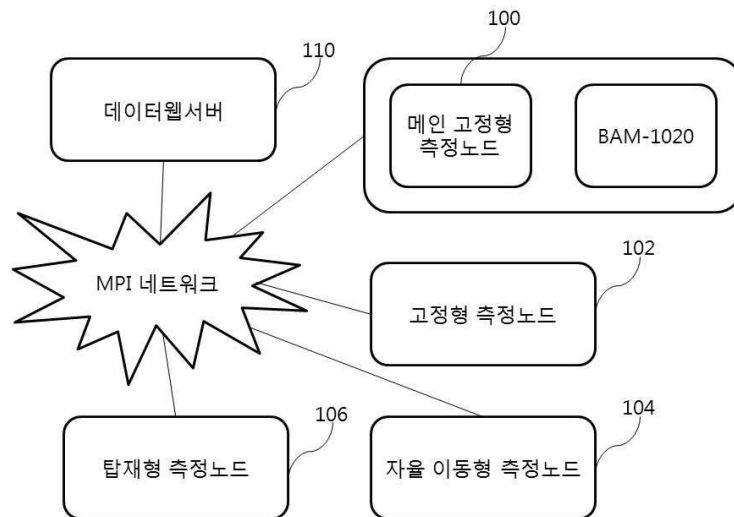
심사관 : 인치현

(54) 발명의 명칭 네트워크 교정이 가능한 분산형 3차원 미세먼지 측정 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 네트워크 교정이 가능한 분산형 3차원 미세먼지 측정 시스템 및 방법을 개시한다. 본 발명에 따르면, 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 지역에 고정형으로 설치되는 복수의 고정형 측정노드; 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 노선을 따라 이동하는 대중교통에 설치되는 복수의 탑재형 측정노드; 및 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 메인 고정형 측정노드와 연동하여 온도 및 습도의 영향에 따른 교정을 실시하고, 교정 완료 후 상기 복수의 고정형 측정노드 중 적어도 하나 및 상기 탑재형 측정노드 중 적어도 하나로 이동하여 교정을 수행하는 자율 이동형 측정노드를 포함하는 분산형 미세먼지 측정 시스템이 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*G01N 21/94* (2013.01)

*G01W 1/02* (2013.01)

*G06Q 50/10* (2013.01)

(72) 발명자

**김한성**

경기도 성남시 분당구 서판교로 147, 1012동 1001호(판교동, 판교원마을현대힐스테이트아파트)

**강다인**

서울특별시 송파구 송이로 27-1, 101동 708호(송파동, 송파KCC아파트)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020180041828 A\*

KR1020180062964 A

KR1020190041232 A

KR101878854 B1

KR101991059 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

분산형 미세먼지 측정 시스템으로서,

광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 지역에 고정형으로 설치되는 복수의 고정형 측정노드;

광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 노선을 따라 이동하는 대중교통에 설치되는 복수의 탑재형 측정노드; 및

광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 메인 고정형 측정노드에 접근하여 온도 및 습도의 영향에 따른 교정을 실시하고, 교정 완료 후 상기 복수의 고정형 측정노드 중 적어도 하나 및 상기 탑재형 측정노드 중 적어도 하나로 이동하여 교정을 수행하는 자율 이동형 측정노드를 포함하되,

상기 메인 고정형 측정노드는 미세먼지 질량농도를 측정하는 측정기에 인접 배치되어 최우선적으로 미리 설정된 임계치 이상의 교정 신뢰도를 유지하며,

상기 자율 이동형 측정 노드는 무인 항공기이며, 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 고정형 측정노드 또는 탑재형 측정노드로 이동하여 교정을 수행하는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 고정형 측정노드, 복수의 탑재형 측정노드 및 자율 이동형 측정노드는 MPI(Message Passing Interface) 네트워크를 구성하여 병렬 연산을 수행하는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수의 탑재형 측정노드 각각은 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인지 여부를 판단하고, 자신의 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 경우, 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이상인 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드가 인접하는 경우 상기 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드의 측정값을 기준 데이터로 하여 교정을 실시하는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 제1 탑재형 측정노드의 교정은 상기 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드와 온도 및 습도가 동일한 경우에 실시되는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 탑재형 측정노드에 인접한 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드의 수가 미리 설정된 임계치 이하이거나, 인접 시간이 미리 설정된 임계치 이하인 경우, 상기 제1 탑재형 측정노드는 상기 MPI 네트워크로부터 수신된 기준 데이터를 이용하여 다중 교정을 실시하는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 다중 교정이 불가능한 경우, 상기 자율 이동형 측정노드가 상기 제1 탑재형 측정노드로 이동하며, 상기 제1 탑재형 측정노드는 상기 자율 이동형 측정노드의 측정값을 기준 데이터로 하여 교정을 실시하는 분산형 미세먼지 측정 시스템.

**청구항 8**

분산형 미세먼지 측정 방법으로서,

미리 설정된 지역에 고정형으로 설치된 복수의 고정형 측정노드가 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하는 단계;

미리 설정된 노선을 따라 이동하는 대중교통에 설치되는 복수의 탑재형 측정노드가 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하는 단계;

자율 이동형 측정노드가 미리 설정된 메인 고정형 측정노드에 접근하여 온도 및 습도의 영향에 따른 교정을 실시하는 단계; 및

상기 자율 이동형 측정노드가 교정 완료 후 상기 복수의 고정형 측정노드 중 적어도 하나 및 상기 탑재형 측정노드 중 적어도 하나로 이동하여 교정을 수행하는 단계를 포함하되,

상기 메인 고정형 측정노드는 미세먼지 질량농도를 측정하는 측정기에 인접 배치되어 최우선적으로 미리 설정된 임계치 이상의 교정 신뢰도를 유지하며,

상기 자율 이동형 측정 노드는 무인 항공기이며, 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 고정형 측정노드 또는 탑재형 측정노드로 이동하여 교정을 수행하는 분산형 미세먼지 측정 방법.

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

제8항에 있어서,

상기 복수의 고정형 측정노드, 복수의 탑재형 측정노드 및 자율 이동형 측정노드는 MPI(Message Passing Interface) 네트워크를 구성하여 병렬 연산을 수행하는 분산형 미세먼지 측정 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 네트워크 교정이 가능한 분산형 3차원 미세먼지 측정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 현재 한국의 미세먼지 감시는 BAM(Beta Attenuation Monitoring)-1020 등의 측정장치를 통해 이루어지고 있다.

[0003] BAM-1020는 미세먼지에 전자선을 가하면 Beer-Lambert 법칙에 따라 전자선의 감소가 오로지 질량에만 관계된 함수로 주어진다는 원리를 이용하는 것이다.

[0004] 미국환경보호국(EPA; Environmental Protection Agency)의 FRM(Federal Reference Method) 평가(evaluation)에 따르면 BAM-1020의 정확도는 1시간 및 24시간 측정에서 각각 신뢰도가  $R^2 = 0.873$  그리고 0.986 으로 매우 우수한 성능을 보유하고 있다.

[0005] 그러나, BAM-1020은 다음과 같은 문제점이 있다.

[0006] 첫째, 높은 수준의 기술이 이용되기 때문에 고가이며 유지보수가 어려운 문제점이 있다. 이에, 한정된 장소에만 설치되어 있기 때문에 낮은 공간 해상도를 가져 측정 신뢰도 문제가 꾸준히 지적되고 있으며, 서울시에는

구(區)당 1개소 정도만이 운용되고 있다.

- [0007] 둘째, 측정 주기가 길다. 실질적으로 한번의 측정에 1시간 가량 소요되며, 미세먼지 농도가 태양광 조사량이나 바람 등의 환경 요인과 러시아워 등 인위적인 요인에 의해 오차가 발생할 소지가 크다.
- [0008] 셋째, 1마이크론 이하의 입자 측정이 불가능하며 질량 농도의 측정만 가능하다. 현재 한국은 대기 환경기준을 EPA에서 지정한 질량 농도 기준을 그대로 사용하고 있지만, 인체에 미치는 영향에는 개수 농도를 반영하는 것이 더 적합하다는 지적이 여러 연구를 통해 계속되고 있다. 또한 1마이크론 이하의 입자의 경우 호흡기 모세혈관은 물론 혈액뇌장벽(Blood-Brain barrier)까지 통과하여 뇌에 축적될 수 있다. 미세먼지의 주요 구성 성분이 질산염, 황산염, 중금속임을 고려한다면 체내에 축적되어 신경, 심혈관, 면역계 질환, 암 등을 초래 할 수 있는 심각한 위협원이기 때문에 1마이크론 이하의 입자 측정이 필수적이다.
- [0009] 이러한 문제들로 인하여 저가의 광학형 미세먼지 측정 장치가 대안으로 제시되어 왔다. 광학형 미세먼지 측정 장치는 일정하게 유입되는 대기 샘플에 IR-LED로 빛을 조사하여 미세먼지에 의해 산란되는 빛을 포토다이오드(Photodiode)를 통해 측정하고, Mie theory에 근거하여 짧은 시간 간격으로 연속적인 미세먼지 농도를 계산해 내는 장치이다.
- [0010] 그러나 측정 정확도의 문제, 측정 장치의 교정 문제로 인하여 아직까지 측정망 구축이 현실화되지 못하였다. 미세먼지 농도는 단위 시간 간격 동안 포토다이오드에 수신되는 산란광을 통해 계산되기 때문에, 측정값은 미세먼지 운동의 안정여부에 큰 영향을 받는다. 측정 장치의 정확도 자체는 근래 해외 업체들을 중심으로 계산 알고리즘의 개선, 설계형 대기 순환장치 탑재 등이 이루어지면서 상당부분 개선되었다. 하지만, 여전히 미세먼지의 운동이 측정 대기의 온도와 상대 습도에 큰 영향을 받기 때문에, 저가형 미세먼지 측정망 구축을 위해서는 이를 위한 교정 방법이 필요한 실정이다.

**선행기술문헌**

**비특허문헌**

- [0011] (비특허문헌 0001) Enabling Large-Scale Urban Air Quality Monitoring with Mobile Sensor Nodes, H. David, 2015, ETH

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0012] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 저가의 광학형 센서를 이용하더라도 측정 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있는 네트워크 교정이 가능한 분산형 3차원 미세먼지 측정 시스템 및 방법을 제안하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0013] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 분산형 미세먼지 측정 시스템으로서, 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 지역에 고정형으로 설치되는 복수의 고정형 측정노드; 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 노선을 따라 이동하는 대중교통에 설치되는 복수의 탑재형 측정노드; 및 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하며 미리 설정된 메인 고정형 측정노드와 연동하여 온도 및 습도의 영향에 따른 교정을 실시하고, 교정 완료 후 상기 복수의 고정형 측정노드 중 적어도 하나 및 상기 탑재형 측정노드 중 적어도 하나로 이동하여 교정을 수행하는 자율 이동형 측정노드를 포함하는 분산형 미세먼지 측정 시스템이 제공된다.
- [0014] 상기 메인 고정형 측정노드는 미세먼지 질량농도를 측정하는 측정기에 인접 배치되어 최우선적으로 미리 설정된 임계치 이상의 교정 신뢰도를 유지할 수 있다.
- [0015] 상기 복수의 고정형 측정노드, 복수의 탑재형 측정노드 및 자율 이동형 측정노드는 MPI(Message Passing Interface) 네트워크를 구성하여 병렬 연산을 수행할 수 있다.
- [0016] 상기 복수의 탑재형 측정노드 각각은 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인지 여부를 판단하고, 자신의 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 경우, 교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이상인 다른 탑재형 측정노드

또는 고정형 측정노드가 인접하는 경우 상기 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드의 측정값을 기준 데이터로 하여 교정을 실시할 수 있다.

- [0017] 고정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이하인 제1 탑재형 측정노드의 교정은 상기 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드와 온도 및 습도가 동일한 경우에 실시될 수 있다.
- [0018] 상기 제1 탑재형 측정노드에 인접한 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드의 수가 미리 설정된 임계치 이하이거나, 인접 시간이 미리 설정된 임계치 이하인 경우, 상기 제1 탑재형 측정노드는 상기 MPI 네트워크로부터 수신된 기준 데이터를 이용하여 다중 교정을 실시할 수 있다.
- [0019] 상기 다중 교정이 불가능한 경우, 상기 자율 이동형 측정노드가 상기 제1 탑재형 측정노드로 이동하며, 상기 제1 탑재형 측정노드는 상기 자율 이동형 측정노드의 측정값을 기준 데이터로 하여 교정을 실시할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 분산형 미세먼지 측정 방법으로서, 미리 설정된 지역에 고정형으로 설치된 복수의 고정형 측정노드가 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하는 단계; 미리 설정된 노선을 따라 이동하는 대중교통에 설치되는 복수의 탑재형 측정노드가 광학형 센서를 통해 미세먼지 농도를 측정하는 단계; 자율 이동형 측정노드가 미리 설정된 메인 고정형 측정노드와 연동하여 온도 및 습도의 영향에 따른 교정을 실시하는 단계; 및 상기 자율 이동형 측정노드가 교정 완료 후 상기 복수의 고정형 측정노드 중 적어도 하나 및 상기 탑재형 측정노드 중 적어도 하나로 이동하여 교정을 수행하는 단계를 포함하는 분산형 미세먼지 측정 방법이 제공될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0021] 본 실시예에 따르면, 첫째로 낮은 단가와 유지비용으로 대규모 센서 측정노드 네트워크의 운용이 가능하다. 이로 인하여 기존의 미세먼지 측정망 대비 해상도를 현저하게 향상 시킬 수 있다.
- [0022] 또한, 측정주기가 1초 이하로 짧아 연속적인 미세먼지 감시가 가능하다. 따라서 기존의 1시간 단위의 측정주기를 현저히 향상 시킬 수 있다.
- [0023] 나아가, 자율 이동형 측정노드를 이용하여 3차원 미세먼지 자료를 수집할 수 있고, 보다 정밀한 미세먼지 모형 연구가 가능해지는 장점이 있다.
- [0024] 다수의 측정노드가 대중교통 수단에 탑재된 형태로 운용된다. 따라서 대중교통의 밀도가 높은 도심지에서는 상기한 두 가지 효과가 배가되는 효과를 갖는다.
- [0025] 다음으로, 네트워크가 MPI를 통해 구축되기 때문에 측정노드 클러스터(cluster)가 데이터 공표를 위한 웹서버(web server) 운용이나 자체적인 연산처리, 모델(model) 계산이 가능해진다. 따라서 서버 운용에 필요한 비용을 절감할 수 있는 효과를 갖는다.
- [0026] 셋째로 광학형 센서의 이용으로 인체에 가장 치명적인 극 초미세먼지의 감시가 가능해진다. 광학형 미세먼지 측정 방식은 BAM(Beta Attenuation Monitor)방식과는 달리, 매우 작은 입자의 측정에도 유리하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0027] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템을 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 실시예에 따른 측정노드의 구성을 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템의 동작 과정을 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 습도와 온도의 기여도에 따른 교정 과정을 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 탑재형 측정노드의 교정 과정을 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 교정 신뢰도 부여 과정을 도시한 도면이다.
- 도 7은 본 실시예에 따른 우선 교정대상 측정노드의 교정 과정을 도시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0028] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

- [0029] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템을 도시한 도면이다.
- [0032] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템은 복수의 고정형 측정노드(100,102), 자율 이동형 측정노드(104) 및 탑재형 측정노드(106)를 포함할 수 있다.
- [0033] 복수의 고정형 측정노드 중 하나는 미세먼지 질량농도를 측정하는 측정기에 인접 배치되어 최우선적으로 미리 설정된 임계치 이상의 교정 신뢰도를 유지하며, 이를 메인 고정형 측정노드(100)라 정의한다.
- [0034] 메인 고정형 측정노드(100)는 기존 환경공단 소속 측정소에 배치되며, 환경공단 소속 측정소에 설치된 BAM-1020와 같은 높은 신뢰도로 미세먼지 질량농도를 측정하는 측정장치와 연동하여 최신의 교정 상태를 유지한다.
- [0035] 그밖에 지역에 설치된 고정형 측정노드(102)는 그밖에 인구유동과 교통량이 많은 관심지역, 교통노선의 교차점이 많은 지역에 배치된다.
- [0036] 관심지역에 배치된 고정형 측정노드(100,102)는 네트워크를 이루는 측정노드 전체에 교정이 전파되는 효율성과 측정망의 감시 능력을 향상시킨다.
- [0037] 자율 이동형 측정노드(104)는 드론과 같은 무인 항공기일 수 있고, 미리 설정된 임계치 이상의 교정 신뢰도를 유지하는 메인 고정형 측정노드(100)의 측정값을 기준 데이터로 하여 온도 또는 습도의 영향에 따른 교정을 실시하고 탑재형 측정노드(106)로 이동한다.
- [0038] 본 실시예에 따른 탑재형 측정노드(106)는 대중교통 수단에 설치될 수 있다.
- [0039] 자율 이동형 측정노드(104)는 탑재형 측정노드(106)가 밀집한 차고지 혹은 노선 교차점으로 이동하여 해당 탑재형 측정노드(106)들에 대해 2차적 교정을 실시한다. 또한 네트워크상에서 비정상적인 측정값 변화를 감시했을 때 이를 추가 감시하기 위해 직접 이동하는 역할을 갖는다.
- [0040] 탑재형 측정노드(106)는 고정형 측정노드(100,102)와 함께 미세먼지를 감시하는 측정망을 구성하며, 노선을 따라 움직이면서 인접하게 되는 다른 탑재형 측정노드(106)의 교정을 수행한다. 이를 통해 전역적으로 배치된 모든 탑재형 측정노드의 최종 교정이 수행될 수 있다.
- [0041] 탑재형 측정노드(106)는 대중교통에 탑재되기 시작한 데이터 핫스팟(Hotspot)을 통해 네트워크에 접속하여 다른 탑재형 측정노드(106)의 교정을 수행한다. 이를 위해 해당 장치에 대한 포트포워딩(PortForwarding)이 필요하다.
- [0042] 본 실시예에 따른 측정망 및 교정망은 MPI(Message Passing Interface) 기반으로 구성될 수 있다.
- [0043] 즉, 본 실시예에 따른, 복수의 고정형 측정노드(100,102), 자율 이동형 측정노드(104) 및 탑재형 측정노드(106)가 MPI 네트워크를 구성한다.
- [0044] MPI는 통상 표준화된 정보전달 체계로서 병렬컴퓨팅(Parallel Computing)에 이용되는 소프트웨어이다. CPU 코어(core)간의 정보 교환에 관여하며, 복수의 연산장치를 단일의 연산체계로 통합시킨다. 빠른 연산속도로 슈퍼컴퓨터에 사용되는 Data parallelism 뿐만 아니라, 기능의 효율적인 분리를 위해 사용되는 Task parallelism 에도 이용되고 있다.
- [0045] MPI는 일반적으로 높은 성능을 요구로 하는 작업에 이용되기 때문에, 주요 운영체제와 CPU 아키텍처(Architecture)에 최적화 되어있어 이를 운용할 수 있는 마이크로컨트롤러(Microcontroller)는 제한적이다. 이러한 이유로 본 실시예의 측정노드는 라즈베리파이(Raspberry Pi) 플랫폼을 기반으로 한다. 라즈베리파이는 ARM Architecture 코어로 가동된다. 다른 마이크로컨트롤러에 비해 디지털 신호 입출력 확장성이 뛰어나며, Debian OS를 기반으로 만들어진 기본 운영체제 Raspbian 뿐만 아니라, 다양한 운영체제의 운영이 가능하다. 따라서 라즈베리파이 단일 플랫폼으로 네트워크의 모든 요소를 유지하는 것이 가능하며 이러한 네트워크의 구조는 그 규모와 상관없이 매우 높은 안정성을 갖는다.
- [0046] 본 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템은 호스트(host)가 존재하지 않는 분산된 측정노드로 이루어져 있다. SSH(Secure Shell)를 통해 측정노드간의 접근이 이루어지며, 프로그램으로 이를 연결시켜주는 것이 바로 MPI이다.

- [0047] 각 측정노드는 MPI를 통해 교정용 프로그램(교정용 MPI)과 측정망 프로그램(측정용 MPI)을 동시에 운용한다. 측정된 데이터는 기본적으로 해당 측정노드가 직접 관리하게 되며, 주기적으로 분석된 데이터를 데이터 웹서버(110)에 업로드한다.
- [0048] 교정용 MPI는 교정상태를 확인하면서 교정과정에 직접적으로 관여하며, 측정망 MPI는 측정노드에 보정된 측정값을 분석하거나 데이터 웹서버(110)로 업로드 한다.
- [0049] 도 2는 본 실시예에 따른 측정노드의 구성을 도시한 도면이다.
- [0050] 도 2는 고정형, 자율 이동형 및 탑재형 측정노드가 공통적으로 구비하고 있는 구성을 도시한 것이다.
- [0051] 도 2에 도시된 바와 같이, 모든 측정노드는 센서부(200), 저장부(202), 통신부(204) 및 제어부(206)를 포함할 수 있다.
- [0052] 센서부(200)는 광학형 센서이며, 대기 샘플에 IR-LED로 빛을 조사하여 미세먼지에 의해 산란되는 빛을 포토다이오드(Photodiode)를 통해 측정한다.
- [0053] 저장부(202)는 상기와 같이 센서부(200)를 통해 얻 측정값, 다른 측정노드를 통해 교정된 측정값 두 가지의 데이터를 저장한다.
- [0054] 통신부(204)는 교정된 측정값을 데이터 웹서버(110)로 전송하거나, 다른 측정노드로 전송한다.
- [0055] 제어부(206)는 센서부(200), 저장부(202) 및 통신부(204)의 동작을 제어한다.
- [0056] 센서의 능력을 평가하는 방법에는 대표적으로 EPA의 FRM과, FEM이 있으며, 동일하게 센서를 교정하기 위해 사용할 수 있는 방법이다. FRM은 그 수치를 정확히 알고 있는 샘플을 측정하는 방법이며, FEM은 높은 신뢰도를 확인한 다른 센서와 함께 측정하는 방법이다.
- [0057] 본 실시예에 따른 교정은 FEM과 유사하다. 구체적으로는 신뢰도가 확보된 BAM-1020 또는 다른 검증된 측정노드와 OLS(Ordinary least squares) regression으로 1차 교정을 실시하고, 이후에는 교정된 측정노드를 이용하여 다른 측정노드를 전체적으로 교정해나가는 방법이다.
- [0058] 본 실시예에 따른 교정 방법은 동일한 측정 조건을 가지고 있는 상태에서 각 측정노드의 측정값을 비교하는 것을 전제로 한다. 따라서 교정을 위해서는 동일 시간에 동일한 장소에서 측정하는 것이 필요하다.
- [0059] BAM-1020은 높은 정확성을 가지고 있기 때문에 교정을 위한 표준 데이터로 사용하기에 적합하다. 그러나 측정주기가 1시간으로 매우 길기 때문에, OLS regression을 실시하기 위해서는 오랜 시간에 걸쳐 데이터를 축적하는 것이 필요하다. 이러한 이유로 환경공단 측정소에 메인 고정형 측정노드(100)를 배치하여 항상 최신의 교정상태를 유지시킨다.
- [0060] 1차 교정 이후, 다른 측정노드와 자율 이동형 측정노드 간의 교정은 단시간에 가능하다. 일반적으로 저가의 광학형 센서는 수 초 수준의 측정주기를 가지고 있기 때문에 짧은 시간 동안 충분한 데이터 축적이 가능하다.
- [0061] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 미세먼지 측정 시스템의 동작 과정을 도시한 도면이다.
- [0062] 도 3을 참조하면, 환경공단 측정소에 배치된 메인 고정형 측정노드(100)가 최신 교정값 유지한다(단계 300).
- [0063] 본 실시예에 따른 메인 고정형 측정노드(100)는 MPI 네트워크를 통해 환경공단 측정소의 데이터(BAM-1020)를 다운로드 하고, 환경공단 측정소의 데이터 교정을 실시하며, 24시간 이상의 주기로 교정을 실시한다.
- [0064] 다음으로, 자율 이동형 측정노드(104)는 메인 고정형 측정노드(100)에 접근하여 메인 고정형 측정노드(100)의 측정값을 기준 데이터로 하여 교정을 실시한다(단계 302).
- [0065] 교정이 완료된 자율 이동형 측정노드(104)는 대중교통 허브 또는 차고지로 이동하여 탑재형 측정노드(106)의 교정을 실시한다(단계 304).
- [0066] 또한, 본 실시예에 따른 탑재형 측정노드(106)는 다른 탑재형 측정노드(106) 또는 고정형 측정노드(102)에 인접할때마다 교정 신뢰도에 기반하여 교정을 수행하고, 교정 신뢰도를 갱신한다(단계 306).
- [0067] 교정이 완료된 측정노드는 데이터 웹서버(110)에 주기적으로 측정값을 업로드 한다(단계 308).
- [0068] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 습도와 온도의 기여도에 따른 교정 과정을 도시한 도면이다.



[0069] 도 4는 각 교정대상이 되는 측정노드에서 수행하는 과정을 도시한 것이다.

[0070] 도 4를 참조하면, 측정노드는 원 측정값을 저장하고(단계 400), 이후 상대 습도의 기여도가 큰지 여부를 판단한다(단계 402).

[0071] 단계 402는 기준 데이터, 즉 교정이 완료된 다른 측정노드로부터 획득한 측정값을 기준으로 판단할 수 있다.

[0072] 상대 습도 기여도가 큰 경우, 상대 습도에 따른 교정을 수행한다(단계 404).

[0073] 단계 404에서, 일반적으로 습도 교정의 경우, 아래의 수학식 1과 같은 Hanel 성장함수 또는 수학식 2와 같은 Soneja 성장함수가 사용될 수 있다.

**수학식 1**

$$\text{습도보정계수} = \frac{\text{원 측정값}}{\text{기준 측정값}} = \frac{a}{(1 - RH)^b}$$

[0074]

[0075] 여기서, a, b는 계수, RH는 상대습도이며, 원 측정값은 측정노드가 직접 측정한 값이고, 기준 측정값은 교정이 완료된 측정노드가 저장하고 있는 값이다.

**수학식 2**

$$\text{습도보정계수} = \frac{\text{원 측정값}}{\text{기준 측정값}} = a + b \times \frac{RH^2}{(1 - RH)}$$

[0076]

[0077] 수학식 1 내지 2를 통해 계산된 습도보정계수를 통해 아래와 같이 습도보정값을 산출한다.

**수학식 3**

$$\text{습도보정값} = \frac{\text{원 측정값}}{\text{습도보정계수}}$$

[0078]

[0079] 단계 402에서 상대 습도의 기여도가 크지 않거나, 또는 단계 404에서 상대 습도에 따른 교정이 완료된 이후, 온도 기여도가 큰지 여부를 판단한다(단계 406).

[0080] 또한, 온도 교정의 경우에는 아래의 수학식 4 또는 수학식 5가 사용된다.

**수학식 4**

$$\beta_0 + \beta_1 \text{기준 측정값} + \beta_2 T = \text{원(습도 보정) 측정값}$$

[0081]

**수학식 5**

$$\beta_0 + \beta_1 \text{기준 측정값} = \text{원(습도 보정) 측정값}$$

[0082]

[0083] 수학식 4 내지 5에서,  $\beta_0$ 은 절편에 해당하는 계수,  $\beta_1$ 는 기준 측정값에 대한 비례 계수,  $\beta_2$ 은 절대온도에 대한 비례 계수이다.

[0084] 아래의 수학적 식 6은 수학적 식 4를 통해 계산된  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ 를 원 측정값에 대입하여 최종된 보정값을 산출하는 식을 나타낸 것이다.

**수학적 식 6**

$$\text{온도보정값} = \frac{\text{원(습도보정)측정값} - \beta_0 - \beta_2 T}{\beta_1}$$

[0085]

[0086] 그리고, 다음 수학적 식 7은 온도 기여도가 낮아 해당 항을 제거한 결과를 나타낸 것이다.

**수학적 식 7**

$$\text{보정값} = \frac{\text{원(습도보정)측정값} - \beta_0}{\beta_1}$$

[0087]

[0088] 단계 406에서, 온도의 영향의 큰 경우에는 수학적 식 6의 온도 보정값에 따른 교정을 수행하고(단계 408), 온도의 영향이 크지 않은 경우에는 수학적 식 7의 온도 보정값 이용하여 교정을 수행한다(410).

[0089] 본 실시예에 따르면, 측정노드 간의 교정에서 트리거가 되는 요소는 두가지가 있다. 첫째는 물리적으로 근거리 에 있을 때, 기존 MPI 네트워크 상에서의 데이터 I/O 또는 LAN(Local Area Network)으로 MPI를 작동하여 p2p 교정을 실시하는 방법이다.

[0090] 다른 하나는 MPI 네트워크 상에서 같은 시간, 같은 위치에서 측정되는 모든 데이터를 종합하여 교정을 실시하는 방법이다.

[0091] 첫 번째 트리거는 높은 안정성을 가지며, 모든 형태의 교정에서 이용될 수 있다. 두 번째 트리거는 교정 기회를 높여주고 교정 신뢰도를 향상시키며 탑재형 측정노드간 교정에서 주로 이용할 수 있다.

[0092] 탑재형 측정노드 간의 또는 관심지역에 배치된 고정형 측정노드에 대한 교정은 교정 조건이 완벽한 수준을 만족 하지 못할 수 있다. 특히 물리적인 근거리 접근이 트리거인 경우이다. 그 예로는 두 측정노드간의 상대속도가 커서 교정이 유효한 근거리 내에서의 데이터 축적이 충분히 이루어지지 않는 경우이다. 따라서 교정을 실시할 때마다 해당 측정노드에 교정 신뢰도를 부여하여 측정값과 해당 노드를 통해 이루어지는 교정의 신뢰도를 평가 할 수 있어야 한다.

[0093] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 탑재형 측정노드의 교정 과정을 도시한 도면이다.

[0094] 도 5는 탑재형 측정노드가 인접한 다른 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드를 통해 교정을 진행하는 과정을 도시한 것이다.

[0095] 도 5를 참조하면, 탑재형 측정노드(106)는 원 측정값을 저장한다(단계 500).

[0096] 다음으로, 다른 측정노드의 위치가 임계치 이내인지 여부를 판단한다(단계 502).

[0097] 두 측정노드가 소정 거리 이내인 경우, 탑재형 측정노드(106)는 자신과 인접한 측정노드의 교정 신뢰도가 임계 치 이상인지 여부를 판단한다(단계 504).

[0098] 본 실시예에 따른 교정 신뢰도는 아래의 수식으로 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0099]

$$\text{통합 교정 신뢰도} \equiv \sqrt{\text{유효기간신뢰도} \times \text{표본수신뢰도} \times \text{선형성신뢰도}}$$

[0100]

$$\text{유효기간신뢰도} \equiv \exp(-k \times \text{소요 일수}), \quad k = \frac{\log(0.5)}{28}$$

[0101]

$$\text{표본수신뢰도} \equiv \sqrt{\frac{\text{표본수}}{60}}$$

[0102]

$$\text{선형성신뢰도} \equiv R^2$$

[0103]

유효기간신뢰도는 최후 교정일로부터 시간이 소요될수록 감소하며, 표본수 신뢰도는 교정 당시에 사용되는 측정 데이터의 수가 많을 수록 증가한다.

[0104]

교정 신뢰도가 미리 설정된 임계치 이상(예를 들어, 0.8 이상)인 경우, 탑재형 측정노드(106)는 인접한 측정노드와 온도 및 습도가 동일한지 여부를 판단한다(단계 506).

[0105]

온도 및 습도가 동일한 경우, 교정 신뢰도가 높은 측정노드를 기준으로 교정을 실시한다(단계 508).

[0106]

교정이 완료된 이후, 탑재형 측정노드(106)의 교정 신뢰도를 갱신하고, 교정된 측정값을 저장한다(단계 512).

[0107]

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 교정 신뢰도 부여 과정을 도시한 도면이다.

[0108]

도 6을 참조하면, 각 측정노드는 자신의 교정 신뢰도를 주기적으로 확인한다(단계 600).

[0109]

각 측정노드는 자신의 교정 신뢰도가 0.8 이상(제1 임계치)인지 여부를 판단한다(단계 602).

[0110]

교정 신뢰도는 상기한 수학식 8에 따라 결정될 수 있고, 교정 신뢰도가 0.8 이상인 경우에는 교정 표준 및 측정 노도로 사용된다(단계 604).

[0111]

한편, 교정 신뢰도가 0.8 이하인 경우에는 새로운 데이터 축적되거나, 또는 교정 신뢰도가 높은 측정노드가 인접하는 경우 자동으로 재교정을 실시한다(단계 606).

[0112]

또한, 각 측정노드는 교정 신뢰도가 0.7 이상(제2 임계치)인지 여부를 판단한다(단계 608).

[0113]

교정 신뢰도가 0.7 이상인 경우에는 교정 표준으로 사용되지는 않고 측정노드로만 사용된다(단계 610).

[0114]

반면, 교정 신뢰도가 0.7 이하인 경우에는 해당 측정노드는 우선 교정대상 측정노드로 분류된다(단계 612).

[0115]

단계 610에서, 우선 교정대상 측정노드로 결정되는 경우, MPI 네트워크에서 자율 이동형 측정노드(104)를 우선 교정대상 측정노드로 이동시키거나, 다른 측정노드가 인접하는 경우 또는 교정값 다운로드를 통해 해당 측정노드의 교정을 실시한다.

[0116]

도 7은 본 실시예에 따른 우선 교정대상 측정노드의 교정 과정을 도시한 도면이다.

[0117]

도 7은 우선 교정대상이 되는 측정노드에 인접한 탑재형 측정노드 또는 고정형 측정노드의 수가 미리 설정된 임계치 이하이거나, 인접 시간이 미리 설정된 임계치 이하인 경우에 수행되는 과정을 도시한 것이다.

[0118]

도 7을 참조하면, 우선 교정대상 측정노드가 다른 측정노드의 인접 위치, 인접 시간 및 측정값을 검색하고 다운로드 한다(단계 700).

[0119]

단계 700은 우선 교정대상 측정노드가 본 실시예에 따른 병렬 연산을 수행하는 MPI 네트워크와 연동하여 수행될 수 있다.

[0120]

우선 교정대상 측정노드는 MPI 네트워크로부터 다운로드 받은 다른 측정노드의 측정값으로 교정을 실시한다(단계 702).

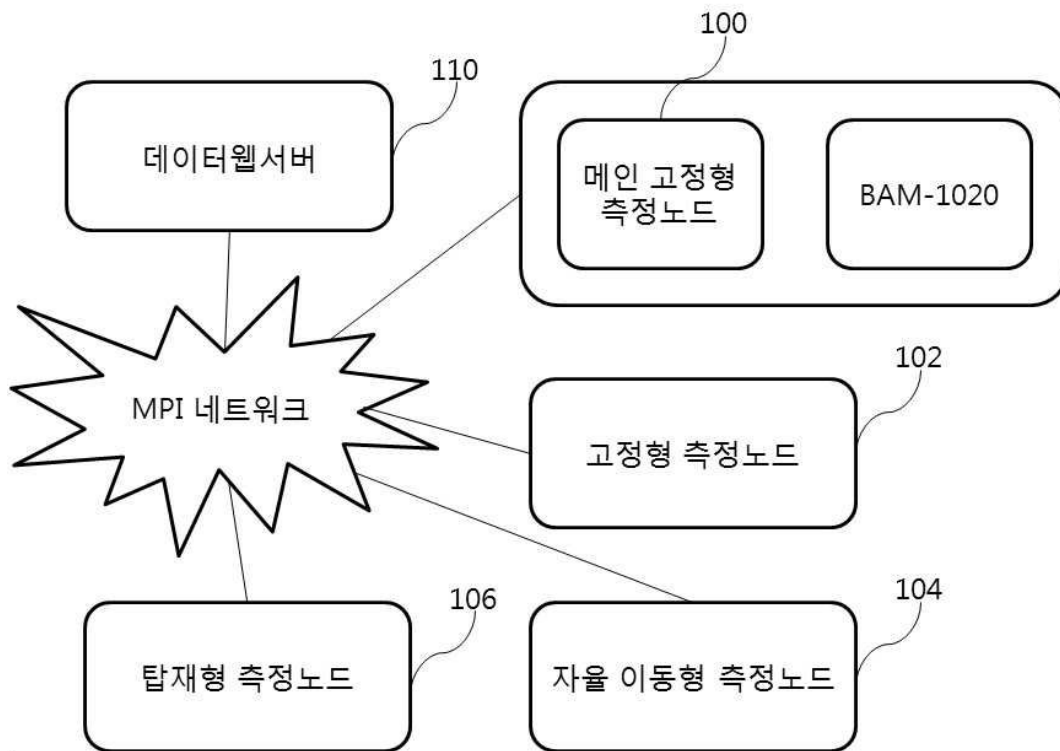
[0121]

또한, 교정 신뢰도가 0.8 이상이 될 때까지 데이터를 축적하고 주기적으로 교정을 실시한다(단계 704).

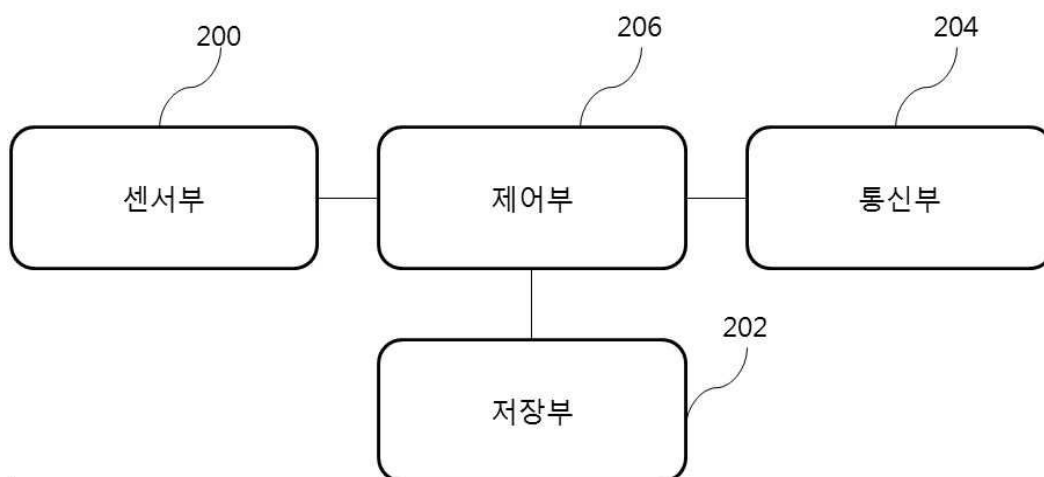
- [0122] 전술한 바와 같이, 단계 700 내지 704는 우선 교정대상이 되는 측정노드가 다른 측정노드와 인접하는 기회가 많지 않거나 교정이 자주 이루어지지 않는 경우에 수행되는 과정일 수 있다.
- [0123] 즉, 다른 측정노드와 충분한 인접 기회 및 시간을 갖지 못하는 경우, 우선 교정대상 측정노드는 MPI 네트워크로부터 측정값을 다운로드 하여 교정을 실시한다.
- [0124] 단계 700 내지 704는 다중 교정으로 정의될 수 있다.
- [0125] 상기한 과정을 통해서도 교정이 이루어지지 못하는 경우, 즉 다중 교정이 어려운 경우 우선 교정대상 측정노드로 자율 이동형 측정노드가 이동하여 직접 교정을 실시한다(단계 706).
- [0126] 자율 이동형 측정노드의 이동은 MPI 네트워크에서의 병렬 연산을 통해 이루어질 수 있다.
- [0127] 본 실시예에 따른 측정노드는 라즈베리파이에 MPI가 설치된 것일 수 있다.
- [0128] 라즈베리파이 마이크로컨트롤러는 ARM 아키텍처이며 Debian을 기반으로 만들어진 Rapsbian 운영체제를 기반으로 작동한다. 그러나 Rapsbian은 GNU 컴파일러가 해당 운영체제에서 작동시키도록 CPU를 32비트 기반 아키텍처인 armv7로 다운그레이드 하여 시스템이 운용되고 있다. 이러한 이유로 라즈베리파이에서는 대표적인 MPI implementation인 Mpich와 OpenMPI 모두, CPU 아키텍처를 혼동하여 Kernal 상에서 메모리 배리어의 충돌이 발생할 수 있다.
- [0129] 따라서, MPI가 라즈베리파이에서 정상적으로 구동될 수 있도록 설치 과정을 수정하여 CPU 아키텍처를 armv8 이상 버전으로 강제 할당에 주어야 한다. 본 실시예에서 아키텍처 강제 할당을 통해 Mpich와 OpenMPI에서 P2P 통신 및 Collective 통신의 정상적인 구동을 확인하였다.
- [0130] 또한, MPI는 SSH(Secure Shell) 프로토콜을 통해 통제하기 때문에 라즈베리파이간 SSH 접근이 이루어져야 하며 라즈베리파이는 기본 설정으로 이를 지원하고 있다. 본 실시예에서는 WiFi 모듈을 이용하여 인터넷에 접속하여 측정노드간 SSH 연결을 구현한다.
- [0131] SSH 접근 수단은 LAN과 원격 방식을 모두 고려할 수 있다. LAN의 경우 WiFi 규격의 통신을 이용하여 근접 트리거 방식의 교정에 주로 이용될 수 있다. 원격 방식은 인터넷을 통한 접근과 WAN을 통한 접근 또한 고려할 수 있다. WAN으로는 LoRa(Long Range)의 이용을 고려할 수 있다.
- [0132] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

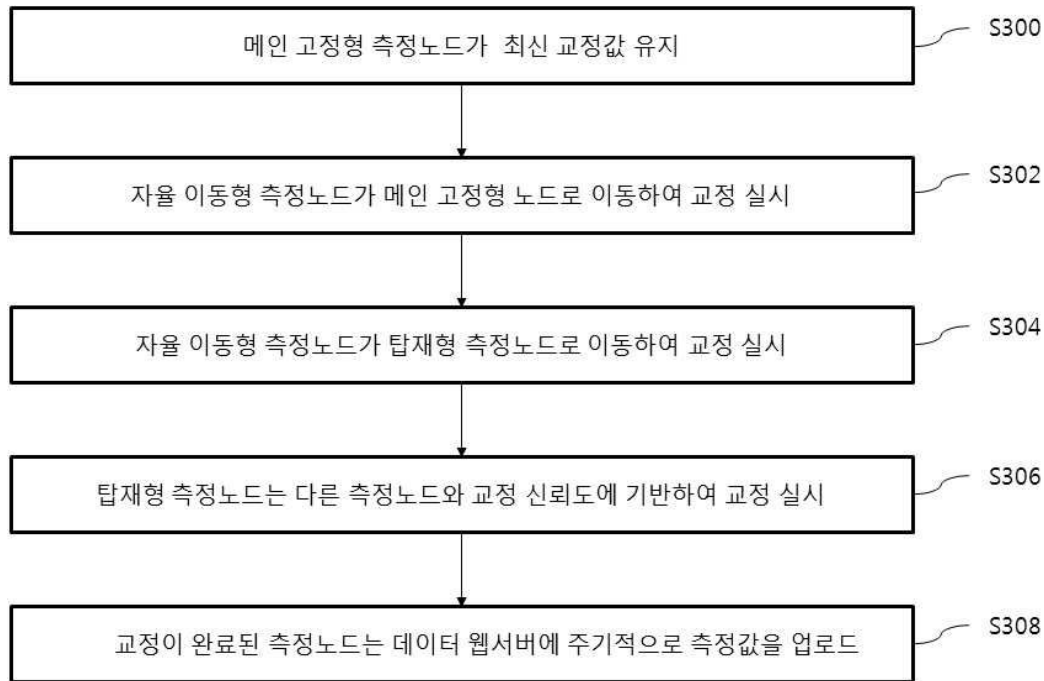
도면1



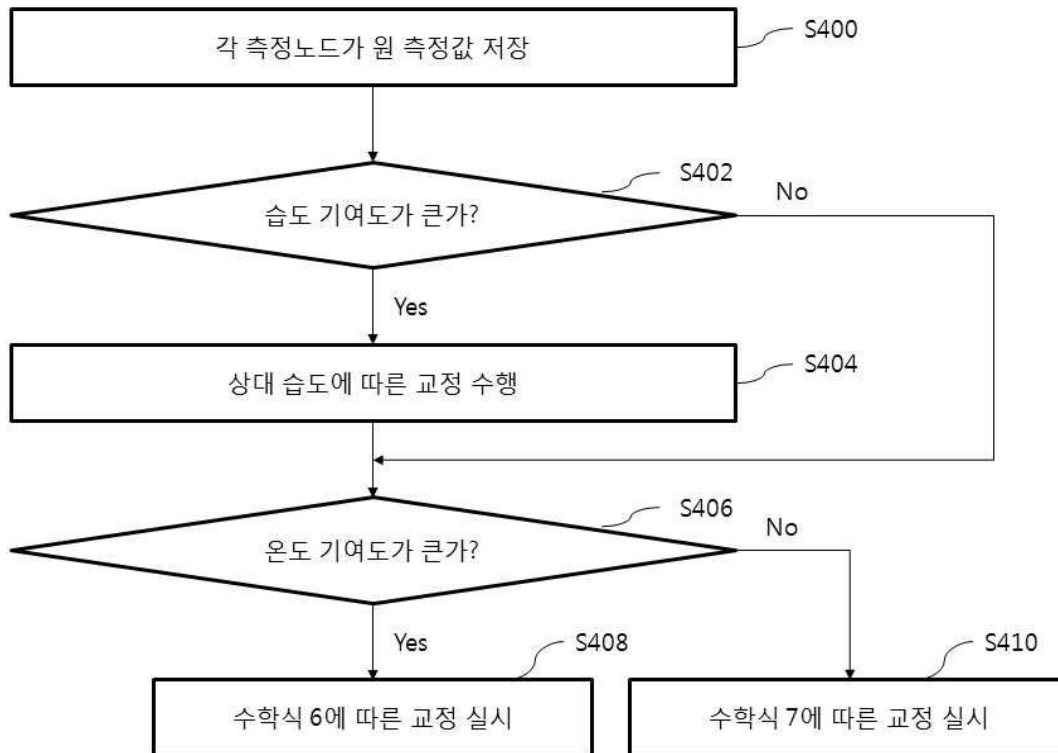
도면2



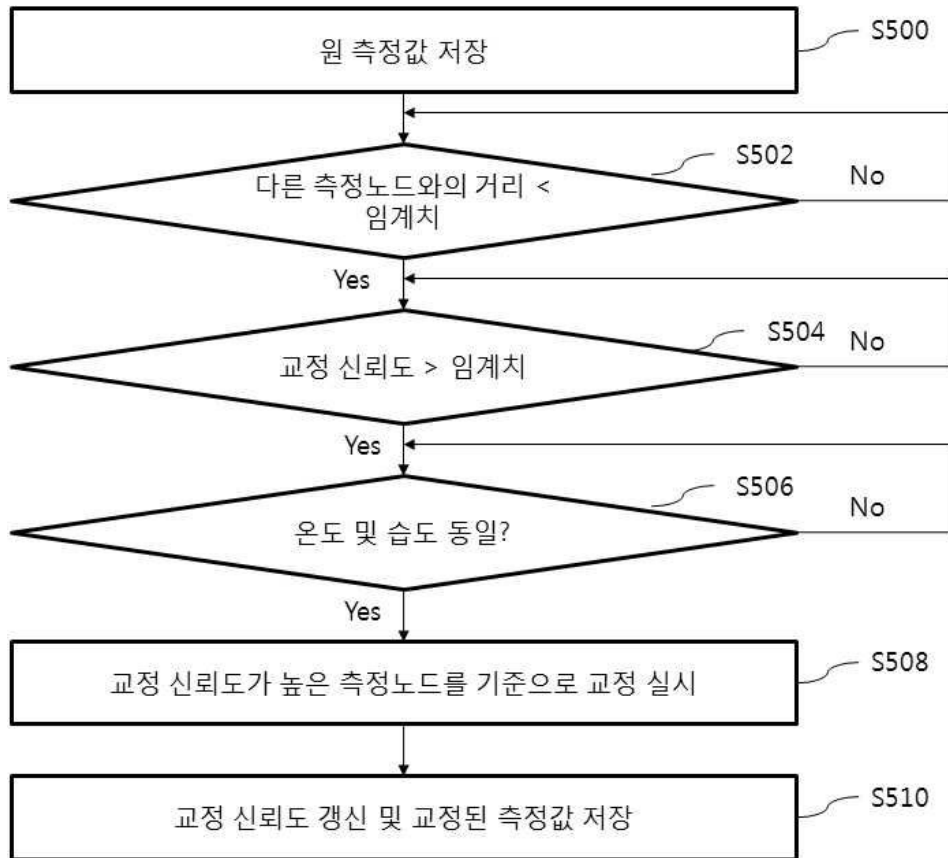
도면3



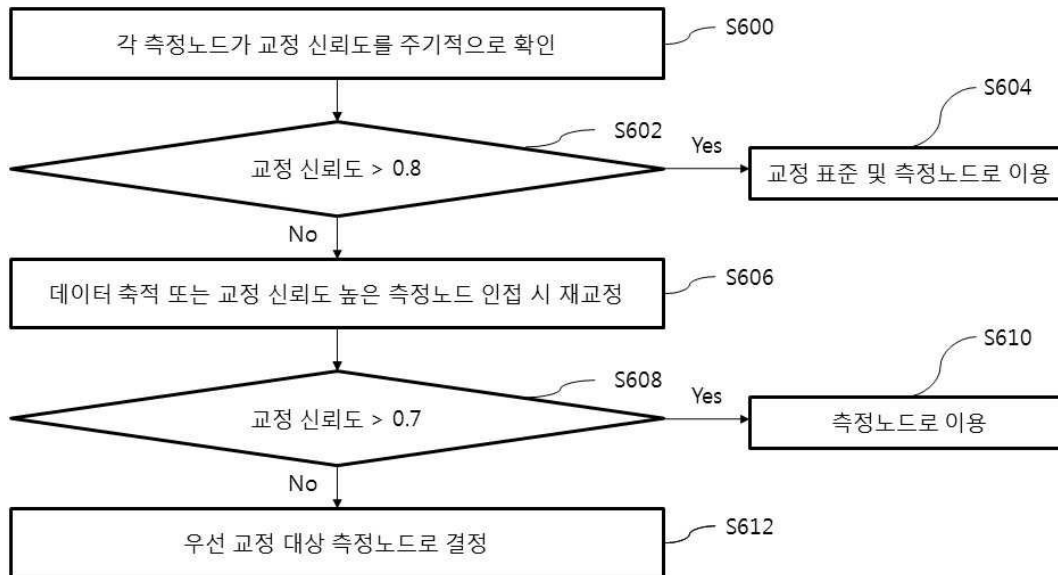
도면4



도면5



도면6



도면7

