

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2020 년 5 월 22 일 (22.05.2020) **WIPO | PCT**



(10) 국제공개번호
WO 2020/101192 A1

(51) 국제특허분류:
G06Q 50/26 (2012.01) *G06N 20/00* (2019.01)
G06N 3/02 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2019/013638

(22) 국제출원일: 2019 년 10 월 17 일 (17.10.2019)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2018-0141240 2018 년 11 월 16 일 (16.11.2018) KR

(71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (**KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION**)
[KR/KR]: 02841 서울시 성북구 안암로 145, Seoul (KR).

(72) 발명자: 오윤영 (**OH, Yun Yeong**): 47711 부산시 동래구 중앙대로1473번길 14-12, 1527호, Busan (KR). 윤성

택 (**YUN, Seong Tack**); 02794 서울시 성북구 월곡로14길 26, 108동 1003호, Seoul (KR).

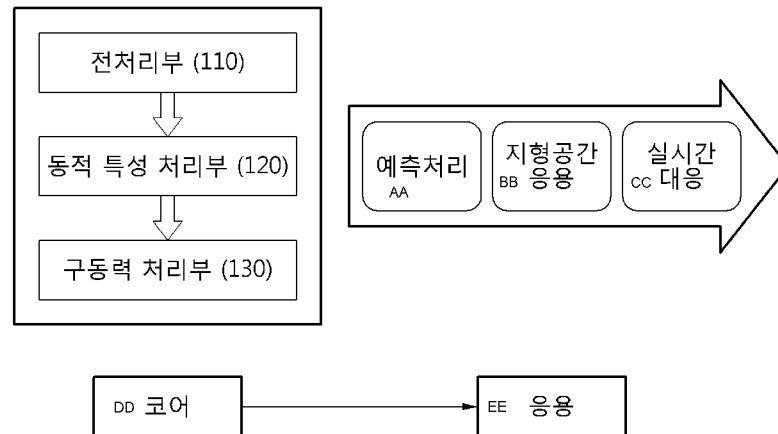
(74) 대리인: 김연권 (**KIM, Youn Gwon**); 05836 서울시 송파구 법원로 127 문정대명밸리온 15층 1501호 및 1502호, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING SOIL GAS AND PERFORMING RESPONSIVE PROCESSING ON BASIS OF RESULT OF MONITORING

(54) 발명의 명칭: 토양가스를 모니터링하고 모니터링 결과에 기반하여 대응 처리하는 시스템 및 방법

100



110 ... Preprocessing unit
120 ... Dynamic characteristic processing unit
130 ... Driving power processing unit
AA ... Prediction process
BB ... Geographic space application
CC ... Real-time response
DD ... Core
EE ... Application

(57) Abstract: The present invention relates to an integrated environment monitoring and environment management technique, comprising the steps of: configuring a base data set for soil gas and relevant environment observation data; identifying and extracting dynamic characteristics of the configured base data set; and, on the basis of the extracted dynamic characteristics, identifying and evaluating driving power with respect to the soil gas. Thus, the present invention relates to a technology for quantitatively identifying, evaluating, and predicting, by using a real-time environment monitoring data, a natural background variation of soil gas of a storage land and a candidate land, each for carbon dioxide capture and storage (CCS) and underground storage of a gas material associated

[다음 쪽 계속]

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

with the CCS, and environmental factors controlling the natural background variation.

(57) 요약서: 본 발명은 통합환경모니터링 및 환경관리기법에 관한 것으로서, 토양가스 및 유관 환경 관측자료에 대한 기반데이터셋을 구성하고, 상기 구성된 기반데이터셋에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하며, 상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 단계를 포함함으로써, 실시간 환경모니터링 자료를 이용하여 이산화탄소지중저장(CCS) 및 이와 연관된 가스상물질의 지하저장 저장부지 및 후보지의 토양가스의 자연배경변동과 이를 지배하는 환경요인을 정량적으로 식별, 평가 및 예측하는 기술에 관한 것이다.

명세서

발명의 명칭: 토양가스를 모니터링하고 모니터링 결과에 기반하여 대응 처리하는 시스템 및 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 통합환경모니터링 및 환경관리기법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 실시간 환경모니터링 자료를 이용하여 이산화탄소지중저장(CCS) 및 이와 연관된 가스상물질의 지하저장 부지 및 후보지의 토양가스(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn)의 자연배경변동과 이를 지배하는 환경요인을 정량적으로 식별, 평가 및 예측하고, 이를 기반으로 조기누출 탐지, 누출의 환경영향성 평가를 포함하는 통합환경관리 기술에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 2015년 11월에 진행된 파리기후협약 이후 대기중 방출되는 인위적인 이산화탄소(CO_2)의 부하량을 저감시키기 위해 세계 각국은 CO_2 감축대비 목표량을 설정했다. 뿐만 아니라, 설정된 목표량에 기초하는 적극적인 대응책의 일환으로 CO_2 의 포집 및 지중저장(CCS)에 관한 연구와 실증을 강화해 가고 있으며, 해외, 특히 노르웨이나 호주 등에서는 적극적인 상업저장 시설을 설치, 운영하거나 확장해 가고 있다.
- [3] 국내의 CCS 연구는 시험부지 규모의 주입시험시설에서의 주입시험 연구와 CCS저장에 의한 환경영향평가를 위한 연구로 수행되고 있고, 기 설정된 2030년 감축 목표치를 달성하기 위해 기술개발과 현장실증에 대한 연구가 더욱 적극적으로 수행되고 있다.
- [4] 지중에 저장된 CO_2 는 다양한 요인에 의해 자연적/인위적 방출과정을 거쳐 점점 지표로 상승하게 된다. 이러한 방출과정은 누출로 해석될 수도 있는데 이 과정에서 필연적으로 지중 및 지표의 물리적, 화학적, 생물학적 환경에 영향을 끼치게 된다. 따라서 누출에 대한 환경영향평가 및 예측관련 기술들은 주입시설의 설계와 동시에 이루어 져야만 한다.
- [5] 또한, 통합환경모니터링과 환경관리시스템은 저장소의 안전성을 지속적 감시하고 보장하기 위해 주입종료 후에도 장기적으로 운영 되어야 한다.
- [6] 일단 지중 저장소에서 누출된 CO_2 는 최종적으로 지표에서 기체상으로 관측되게 되므로 지표의 CO_2 농도와 플럭스는 CO_2 조기누출을 탐지하는 가장 직접적인 지표로 활용할 수 있다.
- [7] 하지만 CO_2 를 포함하는 지표의 다양한 토양가스 농도와 플럭스는 대기-토양-생물계의 복합 상호작용에 의해 누출과는 무관하게 시공간적인 변동성이 매우 크다. 이 때문에 CO_2 를 포함하는 토양가스들의 자연배경치(baseline) 변동에서 조기 누출의 신호를 분리해 내는 것은 매우 어려운 과제이다.

- [8] 더구나 기존의 토양가스 모니터링 관련 기술들은 실시간으로 관측 되는 토양가스들(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn) 및 주변환경변수(수문기상자료, 토양 물리화학특성, 식물의 영향 등)을 일반적인 독립분포기반의 통계처리를 통해 고정적인 배경값으로 제안함으로 인해 비정상성과 상호의존성을 기본으로 하는 토양가스와 관련된 다변량시계열의 변동성을 제대로 반영 할 수 없다.
- [9] 특히, 지표 토양가스의 농도와 플럭스는 온도변화에 따른 일주기, 계절주기성 변화와 지표대기유동에 의한 난류흐름에도 크게 영향 받으며, 그 발생원인이 되는 토양내의 물리, 화학, 생물학적 상호작용에 직접적인 규제를 받는다.
- [10] 따라서 토양가스 및 환경변수의 관측값만을 가지고 고정적인 범위의 임계값을 설정하는 기존의 기술들은 관측장비의 해상도가 비약적으로 높아진다고 해도 그 결과만을 해석하는 수준을 벗어나기 어렵기 때문에, 자연배경변동의 영향요인에 대한 정량적인 규명과 예측에 기반한 실시간 통합환경모니터링 기술과 이를 활용한 환경관리 시스템의 개발이 필수적이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [11] 본 발명은 다양한 토양가스들(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn) 및 이들과 함께 계측되는 환경시계열 계측자료들에 대해 시간에 따라 변화하는 다양한 환경요인들의 구조적 특성을 반영하는 것을 목적으로 한다.
- [12] 본 발명은 다해상도 시간-주파수의 영역의 해석방법을 사용하여 관측값 변화의 원인이 되는 핵심적인 환경구동력들(key environmental drivers)과 그 효과들을 보다 체계적으로 분리, 식별(identification)하는 것을 목적으로 한다.
- [13] 본 발명은 환경 구동력과 그에 따른 기여도를 정량적으로 평가(evaluation)하는 것을 목적으로 한다.
- [14] 본 발명은 관측값과 환경요인을 동시에 이용하는 심층신경망(deep learning neural network)을 구성 하는 것을 목적으로 한다.
- [15] 본 발명은 심층신경망을 구성함으로써 최적 학습을 위한 특성치와 예측의 인과성에 대한 정량적인 근거를 제시 하는 것을 목적으로 한다.
- [16] 본 발명은 대상 토양가스와 환경영향요인들의 핵심적인 시공간적 변화특성을 보다 집중적으로 학습 하는 것을 목적으로 한다.
- [17] 본 발명은 보다 정밀한 예측(prediction)을 효율적으로 수행 하는 것을 목적으로 한다.
- [18] 본 발명은 특정한 토양가스의 종류에 구속 받지 않고 농도, 플럭스, 동위원소비율 등 실시간으로 계측되는 다양한 가스상물질들의 관측자료에 대해 범용적으로 활용 하는 것을 목적으로 한다.
- [19] 본 발명은 자연배경변동과 인위적 누출을 효과적으로 분리-식별함으로써 누출 신호를 조기 탐지(early detection) 하는 것을 목적으로 한다.

- [20] 본 발명은 특정 환경요인에 대한 대상 부지 및 환경변수에 대한 취약성 및 위해성 평가(vulnerability/risk assessment)에 기여 하는 것을 목적으로 한다.
- 과제 해결 수단**
- [21] 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 단계, 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 단계, 및 상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 단계를 포함하고, 상기 식별 및 평가된 상기 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를 제공할 수 있다.
- [22] 일실시예에 따른 상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 단계는, 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터세트의 관측항목과 관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 상기 기반데이터세트로서 구성하고 정렬하는 단계, 상기 정렬된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 또는 시간관측 간격 별 계측자료를 보간 처리 하는 단계, 상기 보간 처리된 기반데이터세트의 자료를 노이즈 필터링하고, 상기 노이즈 필터링된 결과를 표준화 및 정규화 하는 단계를 포함할 수 있다.
- [23] 일실시예에 따른 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 단계는, 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 별로 상태공간모형화를 수행 하는 단계, 상기 구성된 기반데이터세트의 상기 시간영역 해상도에 따른 최적상태공간모형을 선정하는 단계, 상기 선정된 최적상태공간모형의 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정하는 단계, 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을 추출하는 단계, 및 상기 추출된 변동특성에 대해 웨이블렛 해석을 통한 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화하는 단계를 포함하고, 상기 변동특성은 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 동적 특성과 시변특성(dynamic feature and time varying characteristics) 및 공간적 변화특성(spatial characteristics)과 시공간 변화특성(spatiotemporal characteristics) 중에서 적어도 하나의 특성을 포함할 수 있다.
- [24] 일실시예에 따른 상기 최적상태공간모형을 선정하는 단계는, 모델진단지표(AIC/AICc/BIC) 및 설명력/loading)을 기반 최적 잠재구동력의 갯수와 잔차공분산행렬의 형태를 선정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [25] 일실시예에 따른 상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 단계는, 상기 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도에 따라 선정된 최적상태공간모형의 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성을 진단하되, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 시간지연 및 위상변화를 반영한 상관성진단을 수행하는 단계, 상기 수행된 상관성진단 결과에 기초하여, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 최고상관스케일을 선정하는 단계, 상기

- 잠재구동력과 상기 관측자료간 웨이블릿 에너지 비율과 상기 선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용한 구동력을 식별하는 단계, 및 상기 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모델의 설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가하는 단계를 포함할 수 있다.
- [26] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 상기 구동력에 대한 실시간 진단을 위한 심층학습신경망모델을 구축하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [27] 일실시에에 따른 상기 심층학습신경망모델을 구축하는 단계는, 상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 상기 식별 및 평가된 상기 구동력을 입력자료로 하는 딥러닝 모델을 심층신경망모델로서 구축하는 단계, 상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 상기 식별 및 평가된 상기 구동력의 다해상도 동적 특성을 기반의 훈련지표 선정하여 훈련지표를 정량화하는 단계, 상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료로부터 측정되는 관측값과 상기 심층신경망모델로부터 예측되는 예측값의 잔차검증 및 잔차의 다해상도해석에 기반하여 예측모델을 최적화하는 단계, 및 주요 환경구동력에 의해 최적화 처리하여 최적화 훈련 심층네트워크(tuned pre-trained network) 군(group)을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [28] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 상기 최적 대응 시나리오를 제공하기 위한 실시간 대응시스템을 구축하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [29] 일실시에에 따른 상기 실시간 대응시스템을 구축하는 단계는, 상기 생성된 최적화 훈련 심층네트워크군을 활용한 실시간 진단시스템을 구축하는 단계, 자연배경치변동의 임계치를 선정하여 자연배경변동의 허용범위를 산정하는 단계, 상기 임계치에 대한 이상값으로 판별되는 자료에 대해 구동력을 다시 식별하고, 다시 식별된 구동력을 기반으로 최적화훈련심층네트워크군을 재구성하는 단계, 상기 이상값의 예측결과에 따른 구동력을 식별하고, 상대적 기여도를 평가하며, 경보우선순위를 선정하는 단계, 상기 이상값의 원인 별 실시간 변화 및 대응 시나리오를 생성하는 단계, 및 상기 생성된 실시간 변화 및 대응 시나리오에 따른 경보신호 발생 및 최적 대응시나리오를 제공하는 단계를 포함할 수 있다.
- [30] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템은 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터셋을 구성하는 전처리부, 상기 구성된 기반데이터셋에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 동적 특성 처리부, 및 상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 구동력 처리부를 포함하고, 상기 식별 및 평가된 상기 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를 제공할 수 있다.
- [31] 일실시에에 따른 상기 전처리부는, 상기 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터셋의 관측항목과 관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 상기

기반데이터셋으로서 구성하고 정렬하며, 상기 정렬된 기반데이터셋에 대한 시간영역 해상도 또는 시간관측 간격 별 결측자료를 보간 처리 하고, 상기 보간 처리된 기반데이터셋을 노이즈필터링 하고 이들 자료를 표준화 및 정규화 할 수 있다.

- [32] 일실시에에 따른 상기 동적 특성 처리부는, 상기 구성된 기반데이터셋에 대한 시간영역 해상도 별로 상태공간모형화를 수행 하고, 상기 구성된 기반데이터셋의 상기 시간영역 해상도에 따른 최적상태공간모델을 선정하며, 상기 선정된 최적상태공간모델의 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정하고, 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을 추출하며, 상기 추출된 변동특성에 대해 웨이블렛 해석을 통한 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화할 수 있다.

- [33] 일실시에에 따른 상기 구동력 처리부는, 상기 구성된 기반데이터셋의 시간영역 해상도에 따라 선정된 최적상태공간모델의 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성을 진단하되, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 시간지연 및 위상변화를 반영한 다해상도 상관성진단을 수행하고, 상기 수행된 다해상도 상관성진단 결과에 기초하여, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 최고상관스케일을 선정하며, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 웨이블렛 에너지 비율과 상기 선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용한 구동력을 식별하고, 상기 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모델의 설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가할 수 있다.

발명의 효과

- [34] 일실시에에 따르면, 다양한 토양가스들(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn) 및 이들과 함께 계측되는 환경관측료들 (수문기상자료, 토양 물리/화학특성자료, 생물호흡자료)에 대해 시간에 따라 변화하는 다양한 환경요인들의 구조적 특성을 반영할 수 있다.
- [35] 일실시에에 따르면, 다해상도 시간-주파수의 영역의 해석방법을 사용하여 관측값 변화의 원인이 되는 핵심적인 환경구동력들(key environmental drivers)과 그 효과들을 보다 체계적으로 분리, 식별할 수 있다.
- [36] 일실시에에 따르면, 환경 구동력과 그에 따른 기여도를 정량적으로 평가할 수 있다.
- [37] 일실시에에 따르면, 관측값과 환경요인을 동시에 이용하는 심층신경망(deep learning neural network)을 구성할 수 있다.
- [38] 일실시에에 따르면, 심층신경망을 구성함으로써 최적 학습을 위한 특성치와 예측의 인과성에 대한 정량적인 근거를 제시할 수 있다.
- [39] 일실시에에 따르면, 대상 토양가스와 환경영향요인들의 핵심적인 시공간적 변화특성을 보다 집중적으로 학습시킬 수 있다.
- [40] 일실시에에 따르면, 보다 정밀한 예측을 효율적으로 수행할 수 있다.

- [41] 일실시에에 따르면, 특정한 토양가스의 종류에 구속 받지 않고 실시간으로 계측되는 다양한 가스상물질들에 범용적으로 활용할 수 있다.
- [42] 일실시에에 따르면, 자연배경변동과 인위적 누출을 효과적으로 분리-식별함으로써 누출 신호를 조기 탐지(early detection) 할 수 있다.
- [43] 일실시에에 따르면, 특정 환경요인에 대한 대상 부지 및 환경변수에 대한 취약성 및 위해성 평가(vulnerability/ risk assessment)에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [44] 도 1은 일실시에에 따른 전체 시스템을 설명하는 도면이다.
- [45] 도 2는 일실시에에 따른 전체 시스템의 동작 방법을 설명하는 도면이다.
- [46] 도 3은 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [47] 도 4는 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [48] 도 5는 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [49] 도 6은 심층학습신경망모델을 구축하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [50] 도 7은 실시간 대응시스템을 구축하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [51] 도 8은 CO₂의 방출에 대한 실험을 위한 테스트 사이트로서 테스트 사이트를 존들(zones)로 구분하여 CO₂의 방출을 관측하는 실시예를 설명하는 도면이다.
- [52] 도 9a는 웨이블릿 에너지 분포로서, 이산 웨이블릿 변환(DWT)에 의한 관찰 변수 원자료 및 웨이블릿 필터링 자료(WD, Wavelet de-noising)에 대한 주파수별 웨이블릿 에너지(Ew)의 분포를 나타낸다.
- [53] 도 9b는 주요 관측자료들의 원자료와 웨이블릿 필터링(WD) 자료를 나타내는 그래프들이다.
- [54] 도 10은 상태공간 모델링에 의해 추출된 잠재구동력후보군(Potential EDs; potential environmental drivers = potential driving force group)를 나타낸다.
- [55] 도 11a는 관측자료들의 이산웨이블릿 변환에 의한 세부성분들 중에서 어느 주파수가 핵심 주파수인지 여부를 확인하기 위한 다해상도 스케일 대비 상관도를 나타낸다.
- [56] 도 11b는 스케일 대비 상관도를 근사성분과 세부성분 모두에 대해 도시한다.
- [57] 도 12a는 관측자료 자체만을 활용한 딥러닝 예측 예시를 나타낸다.
- [58] 도 12b는 도 12a에서 관측값 뿐만 아니라 식별된 핵심특징을 이용하여 학습을 강화시킨 결과를 나타내는 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [59] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한

형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

- [60] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [61] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [62] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [63] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [64] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [65] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [66] 도 1은 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)을 설명하는 도면이다.

- [67] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 실시간 환경모니터링 자료를 이용하여 이산화탄소저장(CCS) 및 이와 연관된 가스상물질의 지하저장 저장부지 및 후보지의 토양가스(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn)의 자연배경변동과 이를 지배하는 환경요인을 정량적으로 식별, 평가 및 예측하는 동작을 수행한다.
- [68] 이를 위해, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 토양가스의 통합환경모니터링과 이를 기반으로 하는 관리를 제공하기 위한, 토양가스(CO_2 , NO_2 , CH_4 , CO , C_2H_6 , N_2O , SO_2 , Rn) 및 환경관측자료들 (수문기상, 토양 물리화학특성, 생물호흡)의 구조적 특성과 인과성의 근거를 동적요인분석을 통해 확보할 수 있다.
- [69] 참고로, 일반적인 요인 분석(Factor analysis)은 다변량데이터의 차원축소를 통한 주요요인의 정량화 기법에 해당한다. 또한, 동적요인분석(Dynamic factor analysis)은 시계열분석과 요인분석의 결합을 통한 관측자료에 내재하는 공통요인을 추출하고 분석할 수 있다. 참고로, 시계열 분석(Time series analysis)은 시간 순서로 연속적으로 관측되는 자료들에 대한 추계적인(stochastic) 분석 기법의 총칭으로, 광범위한 분야에 적용되는 보통명사로 해석될 수 있다.
- [70] 또한, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 웨이블렛 해석기반의 다해상도상관성 분석을 통해 동적요인과 관측자료의 시간-주파수영역의 유사성을 정량화함으로써 환경 구동력을 구체적으로 식별하고, 영향력을 정량적으로 평가(Evaluation) 할 수 있다.
- [71] 본 명세서에서 사용하는 웨이블렛 해석(Wavelet analysis)이라 함은, 시계열자료의 웨이블렛 변환(Wavelet Transform)을 이용한 시간-주파수영역의 다해상도 분석 기법으로 해석될 수 있다. 웨이블렛 해석은 관측자료를 다양한 시간-주파수 영역으로 분해하는데 특화되어 있다. 즉, 웨이블렛 해석은 시간 영역과 주파수 영역을 동시에 분석하는 방법의 하나로, 연속 신호와 이산 신호에 모두 적용할 수 있으며, 결합 진단에 널리 적용될 수 있는 기법이다.
- [72] FFT(fast fourier transform)는 측정 데이터 내에서 정보가 시간 평균이 되므로, 시간 구간에서의 정보를 잃어버리는 단점이 있다. 따라서 웨이블렛 변환은 특히 시간에 대한 결합 주파수가 변화하는 비정상 신호(non-stationary signal)나 과도 신호(transient signal)의 분석에 유용하다. 고전적인 단순 푸리에 변환(STFT: short-time Fourier transform) 이나 가보 변환(Gabor transform)이 단일주파수 대역내에서만 한정되는 문제를 대체할 새로운 크기의 고정된(fixed) 필터 창 함수(window)를 사용하는 반면, 웨이블렛 변환은 고주파 대역에서는 폭이 좁은 창 함수를, 그리고 저주파 대역에서는 폭이 넓은 창 함수를 가변적으로 사용한다. 따라서 웨이블렛 변환은 상대 대역폭 불변 해석(constant relative bandwidth analysis)이라고도 하며 주파수 대역의 변화 폭이 항상 주파수 값과 비례하는 특징을 갖는다.
- [73] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 웨이블렛 해석에

기반하여 토양가스를 구성하는 각 수치에 대해 시계열로 발생하는 변화를 고려하여 모니터링한다. 따라서, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 시간 영역과 주파수 영역을 동시에 분석이 가능하며, 연속 신호와 이산 신호를 모두 모니터링할 수 있다.

- [74] 또한, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 딥러닝을 통해 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 환경요인을 동시에 입력자료로 활용하여 토양가스(CO₂)의 핵심적인 시공간적 변화특성(spatiotemporal feature)을 보다 집중적으로 학습시킴으로써 관측치와 요인에 대한 예측력을 지속적으로 향상시킬 수 있다.
- [75] 즉, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 환경요인을 동시에 입력자료로 활용하는 심층신경망학습모델(Deep learning model)을 구축하여, 토양가스의 자연배경변동의 핵심적인 시공간적 변화특성을 집중적으로 학습시킴으로써(focused learning), 관측치와 요인에 대한 예측력을 지속적으로 향상시킬 수 있다.
- [76] 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)에 의한 시공간데이터마이닝(Spatiotemporal data mining)은 시간-공간 빅데이터 자료(spatiotemporal big data)의 주요 특성치(feature)를 추출 및 분석하는 자료기반(data-driven)의 빅데이터 해석기법에 해당한다.
- [77] 한편, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)이 토양가스를 분석하는데 필요한 딥러닝(Deep learning)은 심층신경망(deep neural network)을 이용한 기계학습(machine learning) 기법으로서, 관찰된 현상의 특성치 분석 및 예측이 가능하다.
- [78] 보다 구체적으로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)은 실시간 환경모니터링 자료를 활용하여 환경요인을 정량적으로 분석하기 위해 전처리부(110), 동적 특성 처리부(120), 및 구동력 처리부(130)를 포함할 수 있다.
- [79] 먼저, 일실시에에 따른 전처리부(110)는 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터셋을 구성할 수 있다.
- [80] 전처리부(110)는 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터셋의 관측항목과 관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 구성하여 정렬할 수 있다. 이렇게 정렬되는 데이터 매트릭스가 기반데이터셋으로 해석될 수 있다.
- [81] 또한, 전처리부(110)는 정렬된 기반데이터셋에 대한 시간영역 해상도 또는 시간관측 간격 별 결측자료를 보간 처리할 수 있다. 또한, 전처리부(110)는 보간 처리된 기반데이터셋의 자료를 사용목적에 맞게 노이즈 필터링 하고 또한 표준화 및 정규화 할 수 있다.
- [82] 결측자료는 레코드에 해당하는 데이터가 존재하지 않거나 레코드에 대해 자료가 없는 요소로 해석될 수 있다.
- [83] 다음으로, 일실시에에 따른 동적 특성 처리부(120)는 구성된 기반데이터셋에

- 대한 동적 특성을 식별하고 이를 추출할 수 있다.
- [84] 구체적으로, 동적 특성 처리부(120)는 웨이블렛 해석(Wavelet analysis)에 기초하여 구성된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 별로 상태공간모형을 생성함으로써, 상태공간모형화를 수행할 수 있다.
- [85] 상태공간모형화는 토양가스를 기반데이터로 하는 시계열자료에 대해 웨이블렛 변환(Wavelet Transform)을 수행하여 시간-주파수영역의 관점에서 측정할 수 있는 다해상도 분석을 위한 준비 과정으로 해석될 수 있다.
- [86] 다음으로, 동적 특성 처리부(120)는 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도에 따른 최적상태공간모형을 선정하며, 선정된 최적상태공간모형 중에서 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정할 수 있다.
- [87] 잠재구동력 후보군(potential driving force group)은 주 대상 관측변수의 변화를 유발하는 환경적 원인으로 해석될 수 있고, 본 발명에서는 토양가스의 농도/플럭스 및 이들의 시변특성/시공간특성의 변화를 유발하는 원인으로 해석될 수 있다.
- [88] 구체적인 상관성에 기반한 원인 분석이 이뤄지기 전에는 직접적인 원인을 파악하기가 어렵기 때문에, 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정할 수 있다.
- [89] 동적 특성 처리부(120)는 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을 추출하며, 추출된 변동특성에 대해 웨이블렛 해석을 통한 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성으로 정량화할 수 있다.
- [90] 다음으로, 일실시에에 따른 구동력 처리부(130)는 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가할 수 있다.
- [91] 구체적으로, 구동력 처리부(130)는 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도에 따라 선정된 최적상태공간모형의 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성을 진단할 수 있다. 특히, 구동력 처리부(130)는 잠재구동력과 관측자료간 시간지연 및 위상변화를 반영한 상관성을 진단할 수 있다.
- [92] 또한, 구동력 처리부(130)는 수행된 상관성 진단 결과에 기초하여, 잠재구동력과 관측자료간 관련도를 고려하여, 관련도가 가장 높은 스케일을 최고상관스케일로 선정할 수 있다.
- [93] 이후, 구동력 처리부(130)는 잠재구동력과 관측자료간 웨이블렛 에너지 비율과 선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용하여 구동력을 식별할 수 있다. 또한, 구동력 처리부(130)는 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모형의 설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가할 수 있다.
- [94] 이렇게 평가된 상대적 기여도는 어떤 요인에 의해서 기반데이터세트의 급격한 변화가 발생했는지를 판단하는데 사용될 수 있다. 또한, 식별 및 평가된 구동력에 기초하여 발생한 현상에 대한 최적 대응 시나리오를 제공하도록 지원할 수 있다.

- [95] 결국, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템(100)을 이용하면 다양한 토양가스들과 또한 함께 계측되는 환경시계열 계측자료들에 대해 시간에 따라 변화하는 다양한 환경요인들의 구조적 특성을 반영할 수 있다. 또한, 다해상도 시간-주파수의 영역의 해석방법을 사용하여 관측값 변화의 원인이 되는 핵심적인 환경구동력들(key environmental drivers)과 그 효과들을 보다 체계적으로 분리, 식별할 수 있다.
- [96] 본 발명에서는 토양가스를 모니터링하고 관측값 변화의 원인이 되는 핵심적인 환경구동력들을 식별하는 것으로 실시예를 설명하지만, 이에 국한되는 것은 아니다. 본 발명은 지진, 해일 등 실시간 환경 데이터를 분석하고 이를 기반으로 과거와 미래를 예측하는 등의 다양한 분석에 활용될 수 있다.
- [97] 보다 구체적으로, 대기오염, PM2.5, VOCs, 수자원, 수량/수질의 조사/평가/관리, 생태환경, 환경영향평가, 지중환경영향평가, 기후변화, 실시간 재해대응, 지진연구 등이 가능하다.
- [98] 본 발명을 이용하면 기반데이터세트의 전처리에서부터 구동력의 식별에 이르기까지의 과정을 코어 과정으로 하여, 예측, 지형공간 응용, 실시간 대응 등의 응용 처리가 가능하다. 예를 들면, 대기가스나 토양으로부터의 관측정보를 이용해서 앞으로의 기후변화를 예측(Forward Forecasting) 할 수 있고, 현재의 기후관측자료 및 관련된 proxy 자료들(동위원소, 화분자료, 나이테 등)과 관측정보들에 기초하여 과거 지질시대의 기후변화를 예측(Backward Forecasting)할 수도 있다.
- [99] 도 2는 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법을 설명하는 도면이다.
- [100] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성할 수 있다(단계 201).
- [101] 일실시에에 따른 기반데이터세트는 실시간으로 모니터링되는 각 수치를 시계열로 구분지어 모니터링 할 수 있다. 일례로, 토양에서 방출되는 이산화탄소(CO₂)에 발생하는 각 수치가 동일한 값을 갖더라도 시간에 따른 발생 순서가 다르면 서로 다른 값으로 해석할 수 있다.
- [102] 기반데이터세트를 구성하는 과정은 도 3을 통해 보다 구체적으로 설명될 수 있다.
- [103] 도 3은 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [104] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하기 위해, 전처리 및 기반데이터세트를 구축할 수 있다(단계 301).
- [105] 이를 위해, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터세트의 관측항목과 관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 기반데이터세트로서 구성하고 정렬할 수

- 있다.
- [106] 정렬된 기반데이터세트에는 관측자료가 빠짐없이 완벽하진 않다. 이를 위해, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 부족한 관측자료를 보완해야 한다.
- [107] 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 부족한 관측자료를 보완하기 위해, 정렬된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 또는 시간관측 간격 별 결측자료를 보간 처리할 수 있다(단계 302).
- [108] 다음으로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 보간 처리된 기반데이터세트를 분석목적에 맞게 노이즈 필터링 하고, 자료를 표준화 및 정규화할 수 있다.
- [109] 다시 도 2를 참조하면, 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출할 수 있다(단계 202).
- [110] 이를 위해 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화할 수 있는데, 이에 대한 구체적인 설명은 도 4를 통해 상세히 설명한다.
- [111] 도 4는 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [112] 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하기 위해, 먼저 기반데이터세트의 상태공간모형을 생성할 수 있다(단계 401).
- [113] 구체적으로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 구성된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 별로 상태공간모형화를 수행할 수 있다.
- [114] 예를 들어, 상태공간모형은 기반데이터세트를 구성하는 각각의 항목, 요소가 나타나는 시계열적 변화를 관측방정식과 상태방정식으로 구분하여 모형화 함으로서 시계열의 관측값에 내재된 계의 변화 상태를 적절하게 모형화 하는 것으로 해석될 수 있다.
- [115] 일례로, 본 발명에서는 토양가스의 변화 요인이 될 수 있는 다양한 가스, 주변 환경, 기후 환경 등을 항목으로 하는 상태공간모형을 생성할 수 있다.
- [116] 다음으로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도를 기반으로 하여 최적상태공간모형을 선정할 수 있다(단계 402).
- [117] 구체적으로, 모델진단지표(ACI/AICc/BIC) 및 설명력(loading)을 기반으로 최적 잠재구동력의 갯수와 잔차공분산행렬의 형태를 선정하고 이를 기반으로 최적상태공간모형을 선정할 수 있다.
- [118] 잔차공분산행렬은 관측값 또는 측정값 등에서 얻어진 가장 확실한 값과, 계산값 또는 이론값의 차인 잔차(residual)에 대해, 차를 계산하는 두 값의 관계를

나타내는 공분산(covariance)을 행렬의 형태로 표현한 정보로 해석될 수 있다.

- [119] 또한, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 선정된 최적상태공간모델의 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정하여 진단하고(단계 403), 잠재구동력의 동적변화를 추출할 수 있다(단계 404).
- [120] 일례로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을 추출하고, 추출된 변동특성에 대해 웨이블렛 해석을 통한 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화함으로써, 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출할 수 있다. 이때, 변동특성은 변동특성은 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 동적 특성(dynamic feature)/ 시변특성(time varying characteristics)/ 공간변화특성(spatial varying characteristics)/ 시공간변동특성(spatiotemporal characteristics)에서 적어도 하나의 특성을 포함하는 것으로 해석될 수 있다.
- [121] 다시 도 2를 참조하면, 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별하고 평가할 수 있다(단계 203). 이를 기반으로, 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 식별 및 평가된 상기 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를 제공할 수 있다.
- [122] 토양가스에 대한 구동력을 식별하고 평가하는 과정은 도 5를 통해 보다 구체적으로 설명한다.
- [123] 도 5는 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [124] 먼저, 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하기 위해, 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성 진단할 수 있다(단계 501). 이때, 잠재구동력과 관측자료간 시간지연 및 위상변화를 고려한 상관성을 진단할 수 있다(단계 502).
- [125] 본 명세서에서는 단계 501과 단계 502를 분리하여, 상관성을 진단하는 과정을 설명하고 있지만 단계 501과 단계 502 중에서 적어도 하나의 단계만이 수행될 수도 있다. 예를 들어, 다해상도 상관성을 진단하는데 있어 시간지연 및 위상변화만을 고려한다면 단계 502만이 수행될 수 있다. 또한, 다해상도 상관성을 진단하는데 있어 시간지연 및 위상변화가 아닌 다른 정보만을 고려한다면 단계 501만이 수행될 수 있다. 또한 다해상도 상관성을 진단하는데 있어 여러 과정의 마지막 스텝이 시간지연 및 위상변화만을 고려하는 것이라면, 단계 501과 단계 502만이 차례로 처리될 수 있다.
- [126] 다음으로, 일실시예에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 수행된 상관성 진단 결과에 기초하여, 잠재구동력과 관측자료간 최고상관스케일을 선정할 수 있다(단계 503).
- [127] 즉, 상관도를 평가하여 가장 상관도가 높은 잠재구동력 및 관측자료와 관련된 최고상관스케일을 선정할 수 있다.

- [128] 다음으로, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 잠재구동력과 관측자료간 웨이블릿 에너지 비율과 선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용한 구동력을 식별할 수 있다(단계 504).
- [129] 또한, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 최고상관스케일의 누적에너지 비율과 상태공간모델의 설명력 지표간의 선형결합을 통한 기여도 평가를 할 수 있다(단계 505). 예를 들면, 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모델의 설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가할 수 있다.
- [130] 일측에 따르면, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 웨이블릿 기반의 다중 해상도 상태공간모델 SSM(MRSSM) 접근법을 이용하여 환경 요인을 식별하고 평가할 수 있다.
- [131] 이하에서는, 일실시에에 따른 MRSSM 접근법에 대하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [132] 일실시에에 따른 MRSSM 접근법에서 SSM(state-space model) 부분은 하기 수학식1 내지 2로 정의될 수 있다.
- [133]
- [134] [수학식1]
- [135]

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^M \alpha_{i,j} F_j(t) + \mu_i(t) + \varepsilon_i(t)$$

- [136] [수학식2]
- [137]

$$F_j(t) = F_j(t-1) + \eta_j(t)$$

- [138] 여기서, t 는 관측 시간 간격(observation time interval)을 나타내고, M 은 잠재구동력후보군(PEDs)을 나타내며, $X_i(t)$, $\mu_i(t)$ 및 $\varepsilon_i(t)$ 는 각각 관측

시계열(observed time series), 상수 레벨 파라미터(constant level parameter) 및 i 번째(여기서, i 는 실수 값) 관찰 변수(observed variable)에 대한 특정 오차 (specific error)를 나타낸다.

- [139] 또한, $F_j(t)$ 는 j 번째(여기서, j 는 실수 값) 잠재구동력으로 계절적(seasonal)

또는 다른 주기적 경향(cyclic trends)을 포함하고, $\alpha_{i,j}$ 는 i 번째 관측변수에

대한 j번째 잠재구동력후보의 요인 부하량(factor loading)을 나타내며, $\varepsilon_i(t)$ 는

시간 t에서의 잔차항을 나타내고, $\varepsilon_i(t)$ 및 $\eta_j(t)$ 는 백색 잡음(white noise)로

가정되고 오차 공분산 행렬(error covariance matrices) R 및 Q를 통해 평가되는 값을 나타낸다.

- [140] 일측에 따르면, SSM 모델(예를 들어, M 및 R 등)과 수학식1 내지 2의 파라미터들(예를 들어, $\alpha_{i,j}$ 및 $\varepsilon_i(t)$)은 최우추정법(maximum likelihood

method), 칼만 필터/스무더(kalman filter/smoothen) 및 EM

알고리즘(expectation-maximization algorithm)을 결합하여 테스트될 수 있다.

- [141] 이때, 에러 공분산 행렬 R의 구조는 모든 시계열에 대한 동일한 오차 공분산을 가정하는 diagonal-and-equal과, 각 시계열에 대한 특정 오차 공분산을 가정하는 diagonal-and-unequal이 고려될 수 있으며, 잠재구동력후보군 M과 에러 공분산 행렬 R은 AICc(Akaike's Information Criterion corrected for small sample sizes)에 기초하여 선택될 수 있다.

- [142] 일측에 따르면, 일실시에에 따른 MRSSM 접근법에서 다해상도 분석(multiresolution analysis) 부분은 하기 수학식3 내지 5와 같이 웨이블릿 변환을 사용하여 표현될 수 있다.

[143]

[144] [수학식3]

[145]

$$f(t) = A_j(t) + \sum_{p=1}^M D_p$$

[146] [수학식4]

[147]

$$A_p = \sum_{q=0}^{N-1} c_{p,q} \phi_{p,q}(t)$$

[148] [수학식5]

[149]

$$D_p = \sum_{q=0}^{N-1} d_{p,q} \psi_{p,q}(t)$$

[150]

[151] 여기서, $f(t)$ 는 길이가 N인(여기서, N은 양의 정수 값) 시계열을 나타내고,

A_p 및 D_p 는 분해 레벨(decomposition level) p에서 $f(t)$ 성분의

근사치(approximation) 및 세부(detail) 값을 나타내며, $\phi_{p,q}(t)$ 및 $\psi_{p,q}(t)$ 는 각각

스케일 함수(scale function) 및 웨이블릿 모함수(wavelet mother function)를 나타내고, $c_{p,q}$ 및 $d_{p,q}$ 는 각각 분해 레벨 p와 시간 위치 q에서의 저주파

성분인 근사 계수(approximation coefficient) 및 $f(t)$ 의 고주파 성분인 상세

계수(detail coefficient)를 나타낸다.

[152] 또한, 최대 분해 레벨 J는 다음과 같은 수학적식6에 의해 결정될 수 있다.

[153] [수학적식6]

[154]

$$J = \left(\frac{\log(N/(2f_l-1))}{\log 2} \right)$$

[155] 여기서, f_l 는 웨이블릿 필터 길이(wavelet filter length)를 나타내고, 연속

웨이블릿 변환(CWT)에서 지속적으로 샘플링되는 동안 이산 웨이블릿 변환(DWT)에서 분해 레벨 p와 시간 위치 q는 최대 분해 레벨 J와 시계열 길이 N에 대해 2의 거듭 제곱으로 샘플링될 수 있다.

[156] 한편, 일실시에에 따른 MRSSM 접근법은 하기 수학적식7에 정의된 최대 상관 계수(maximum correlation coefficient) r_{max} 를 이용하여 시간 x와 y 사이의 최대

상관 시간-주파수 대역(maximal correlated time-frequency bands)을 검출할 수 있다.

[157]

[158] [수학적식 7]

[159]

$$r_{max} = \max [\{ |r_{xy}^d(p)| \}_{p=1 \text{ to } J}, |r_{xy}^c|]$$

[160] 여기서, r_{xy}^c 는 절대값의 연산자를 나타내고, r_{xy}^d 는 시간 x와 y에 대한

의 스케일-지역화 상관 계수(scale-localized correlation coefficient)를 나타내며, $r_{xy}^d(p)$ 는 분해 레벨 p에서 시간 x와 y에 대한 $d_{p,q}$ 의

스케일-지역화 상관 계수를 나타낸다. 예를 들면, 최대 분해 레벨 J의 값이 '5' 인 경우, 분해 레벨 p는 (1, 2, 3, 4, 5)로 표현될 수 있다.

[161] 또한, r_{xy}^c 및 $r_{xy}^d(p)$ 의 경우, 스케일-지역화 상관 계수(즉, r_{xy}^c 및 $r_{xy}^d(p)$)는 하기 수학식8로 정의될 수 있다.

[162]

[163] [수학식8]

[164]

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}(p)}{\sigma_x(p) \sigma_y(p)}$$

[165] 여기서, C_{xy} 는 시간 x와 y 사이의 공분산(covariance)을 나타내고, σ_x 및 σ_y 는 분해 레벨 p에서 각각 시간 x 및 y의 표준편차를 나타낸다.

[166] 상술한 수학식7 내지 8은 국부적상관분석(scale-localized correlation analysis)에 관한 것으로, 시간 x와 y 사이에서의 최대 상관 주파수 대역을 검출할 수 있으며, 상관도가 높은 시계열을 찾기 위해 적용될 수도 있다.

[167] 한편, 일실시에에 따른 MRSSM 접근법은 웨이블릿일관성 분석 (WTC, wavelet transformed coherency analysis)을 함께 사용하여 잠재 구동력(PED)과 관측 데이터 사이의 최대 상관 시간-주파수 대역을 보다 명확히할 수 있다.

[168] 여기서, WTC는 CWT를 이용한 입력 시계열 x와 출력 시계열 y 사이의 시간-주파수 영역 교차 상관(time-frequency domain cross-correlation)을 나타낼 수 있다.

[169] 이는 상술한 수학식8에서 시간 지연 τ 가 포함될 때(즉,

$r_{xy}(\tau) = \frac{c_{xy}(p,\tau)}{\sigma_x(p,\tau) \sigma_y(p,\tau)}$), 연속 웨이블릿 변환(CWT)을 사용하는 교차-상관(

c_{xy})의 절대값에 기반할 수 있다.

[170] 이 경우, 웨이블릿 일관성(wavelet coherence)(즉, time-frequency domain correlation)는 평활화 연산자(smoothing operator)와 함께 WSC(wavelet squared coherency) $r_{xy}^2(\tau)$ 를 이용하여 평가될 수 있다.

[171] 일측에 따르면, 일실시에에 따른 MRSSM 접근법은 동적 효율 D_{ef} 을 이용하여 각 잠재 구동력이 목표 시계열들(target time series)에 기여하는 정도를 평가할 수 있다.

[172] 여기서, 동적 효율 D_{ef} 은 주 시간-주파수 대역(스케일)에서의 누적 웨이블릿 에너지(E_w)와 총 웨이블릿 에너지 간의 비율 E_{ms} 와 요인

부하량(factor loading) α 를 연산하는 하기 수학식9로 정의될 수 있다.

[173] [수학식9]

[174]

$$D_{ef} = E_{ms} \times \alpha$$

[175] 여기서, α 는 관심이 있는 시계열에 대한 잠재 구동력의 요인 부하량을

나타내고, 잠재 구동력이 목표 시계열에 영향을 줄 때 E_{ms} 는 잠재 구동력의

웨이블릿 에너지를 이용하여 평가될 수 있다.

[176] 이상으로는 본 발명의 코어 기술인 토양가스 모니터링을 통해 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 기술에 대해서 설명 하였다.

[177] 이하에서는, 식별 및 평가된 구동력에 기초하여, 예측, 지형공간 응용, 실시간 대응 등의 응용 가능한 기술에 대해서 설명한다.

[178] 특히, 도 6 내지 도 8은 토양가스 모니터링 결과를 활용하는 대응 시스템의

기술에 대해서 구체적으로 설명한다.

- [179] 도 6은 심층학습신경망모델을 구축하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [180] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 환경요인을 동시에 입력자료로 활용하는 심층신경망학습모델(Deep learning model)을 구축할 수 있다.
- [181] 본 발명에서는, 구축한 심층신경망학습모델을 이용하여 토양가스(CO₂, NO₂, CH₄, CO, C₂H₆, N₂O, SO₂, Rn) 자연배경변동의 핵심적인 시공간적 변화특성(spatiotemporal feature)을 집중적으로 학습시킴으로써 관측치와 요인에 대한 예측력을 지속적으로 향상 시킬 수 있다. 또한, 이를 기반으로 하는 실시간 환경모니터링, 조기경보, 대응시스템(real time environmental monitoring/early warning/response system)을 구현할 수 있다.
- [182] 이를 위해, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 심층신경망모형을 구축할 수 있다(단계 601).
- [183] 구체적으로는, 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 식별 및 평가된 구동력을 입력자료로 하는 딥러닝 모델을 심층신경망모델로서 구축할 수 있다.
- [184] 다음으로, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 상기 식별 및 평가된 상기 구동력의 다해상도 동적특성을 기반의 훈련지표 선정하여 훈련지표를 정량화할 수 있다(단계 602). 또한, 토양가스 및 유관 환경관측 자료로부터 측정되는 관측값과 상기 심층신경망모델로부터 예측되는 예측값의 잔차검증 및 잔차의 다해상도해석에 기반하여 예측모델을 최적화할 수 있다(단계 603).
- [185] 이후, 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 주요 환경구동력에 의해 최적화 처리하여 최적화 훈련 심층네트워크(tuned pre-trained network) 군(group)을 생성함으로써, 실시간 환경모니터링, 조기경보, 대응시스템(real time environmental monitoring/early warning/response system)을 구축할 수 있다(단계 604).
- [186] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 구축된 시스템을 활용하여 실시간 대응시스템을 구축하여 식별 및 평가된 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를 제공할 수 있다.
- [187] 도 7은 실시간 대응시스템을 구축하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [188] 일실시에에 따른 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 실시간 대응시스템을 구축하기 위해, 최적화훈련 심층네트워크군을 활용한 실시간 진단시스템 구축할 수 있다(단계 701). 또한, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 자연배경치변동의 임계치를 선정하여 자연배경변동의 허용범위를 산정할 수 있다(단계 702).
- [189] 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 판별된 관측자료가 산정한 허용범위를 초과하는지 여부를 수시로 판단할 수 있다. 판단 결과, 이상값으로 판별된 자료에 대한 주요구동력 식별 및 최적화훈련심층네트워크군을 재구성할

수 있다(단계 703).

- [190] 다음으로, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 이상값의 예측결과에 따른 구동력을 식별하고, 상대적 기여도를 평가하며, 경보우선순위를 선정할 수 있다(단계 704). 또한, 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법은 이상값의 원인 별 실시간 변화 및 대응 시나리오를 생성하고(단계 705), 생성된 실시간 변화 및 대응 시나리오에 따른 경보신호 발생 및 최적 대응시나리오를 제공할 수 있다(단계 706).
- [191] 결국, 심층신경망을 구성함으로써 최적 학습을 위한 특성치와 예측의 인과성에 대한 정량적인 근거를 제시할 수 있고, 이를 다양하게 응용할 수 있다.
- [192] 특히, 본 발명은 대상 토양가스와 환경영향요인들의 핵심적인 시공간적 변화특성을 보다 집중적으로 학습할 수 있어, 보다 정밀한 예측을 효율적으로 수행 할 수 있다.
- [193] 또한, 특정한 토양가스의 종류에 구속 받지 않고 실시간으로 계측되는 다양한 가스상물질들에 범용적으로 활용할 수 있고, 자연배경변동과 인위적 누출을 효과적으로 분리-식별함으로써 누출 신호를 조기 탐지(early detection) 할 수 있다.
- [194] 뿐만 아니라, 본 발명은 특정 환경요인에 대한 대상 부지 및 환경변수에 대한 취약성 및 위해성 평가(vulnerability/risk assessment)에 기여할 수 있다.
- [195] 도 8은 CO₂의 방출에 대한 실험을 위한 테스트 사이트로서 테스트 사이트를 존들(zones)로 구분하여 CO₂의 방출을 관측하는 실시예를 설명하는 도면이다.
- [196] 도면부호 810은 테스트 사이트에 대한 위치와 지리적인 특징에 대해서 설명하는 사진데이터이고, 도면부호 820은 테스트 사이트에서 관측을 위해 구획한 존1(zone1) 내지 존5(zone5)를 나타낸다.
- [197] 구체적으로, 도면부호 810은 CO₂ 저장 환경 모니터링 연구 센터가 통합된 CO₂ 저장 환경 관리 계획을 수립하기 위해 운영하는 환경 영향 평가 시설(Environmental Impact Test Facility, EIT)이라는 인공 CO₂ 배출 시험장에 해당한다.
- [198] 도면부호 820에서 보는 바와 같이 존1(zone1)를 제외한 나머지 존2(zone2) 내지 존5(zone5)에서도 CO₂의 누출이 측정된다.
- [199] 특히, 존3(zone3)에서 표시한 동그라미에서는 이산화탄소 플럭스(FCO₂)를 검출하기 위한 관측점이 표시된다. 존3(zone3)는 토양표면의 CO₂에 대한 기준선을 특성화하기 위한 영지, 즉 영점 데이터로서 사용될 수 있다.
- [200] 테스트 사이트에서는 일정 기간 동안 실시간 데이터의 복수의 카테고리(본 실시예에서는 4 가지 카테고리)가 수집될 수 있다. 기상, 대기, 토양 특성 및 토양 호흡 변수를 토양가스 및 유관 환경관측 자료로서 수집하고 이를 기반으로 기반데이터세트를 구성할 수 있다.
- [201] 강우량(CR, mm) 등의 기상 변수(강수량)는 10 분 간격으로 현장 자동 기상 관측소에 의해 측정이 가능하다. 뿐만 아니라, 대기 온도, 일사량, 풍속, 상대

- 습도 및 대기압이 측정될 수 있다.
- [202] 토양 특성으로는 토양 온도, 토양 체적 수분 및 토양 전기 전도도가 심도별로 측정될 수 있고, 예를 들면 매 10 분마다 측정될 수 있다.
- [203] 한편, 토양 호흡 변수(R_s)는 폐쇄 형 자동 챔버를 사용하여 측정 한 지표의 수증기 함량, CO_2 농도 및 유량에 대해 측정될 수 있다. 일례로, 토양 호흡 변수는 30분마다 측정될 수 있다.
- [204] 도 9a는 웨이블릿 에너지 분포로서, 이산 웨이블릿 변환(DWT)에 의한 관찰 변수 및 웨이블릿 필터링자료 및 잠재적인 환경구동력 후보군(potential driving force group)의 주파수별 웨이블릿 에너지 분포를 나타낸다.
- [205] 도 9a에서는 9개의 주요 관찰 변수에 대한 웨이블릿 에너지 분포를 나타낸다.
- [206] 일례로, 본 실시예에는 토양가스 관측을 위한 9개의 변수로서, Rainfall(누적강우량), RH(상대습도), T(대기온도), P(대기압력), WS(풍속), CO_2 (CO_2 농도), FCO_2 (CO_2 플럭스), T_{soil} (토양온도), SWC(토양수분함량), EC(토양전기전도도)에 대한 이산웨이블릿 변환(DWT)에 의한 에너지 분포를 도시한다.
- [207] Rainfall는 관측지점에 대한 강우량 정보로 해석될 수 있다. 또한, RH는 온도와 관련있는 상대습도(Relative humidity), T는 Atmospheric temperature(대기 온도), P는 대기압력(pressure), WS는 풍속(Wind speed), CO_2 는 이산화탄소, FCO_2 는 토양 표면의 이산화탄소 플럭스(Soil surface CO_2 flux)를 의미한다.
- [208] 도 9a에서는 DWT(Discrete wavelet transform)와 웨이블릿 필터링(Wavelet de-noising) 결과를 나타내는데, 도면부호 911은 주요 관측변수의 원시 데이터에 대한 이산웨이블릿 기반의 주파수별 웨이블릿에너지 분포에 해당하고, 도면부호 912은 주요 관측변수의 웨이블릿 필터링 자료에 대한 웨이블릿 에너지 분포 정보를 나타낸다. 특히, D1 내지 D5와 A5는 이산웨이블릿 분석에 의한 웨이블릿 분해 단계로써, 관측자료의 길이에 따라 다양한 범위에 걸쳐서 웨이블릿 해석에 사용되는 각 성분의 시간-주파수 스케일을 나타낼 수 있다.
- [209] 웨이블릿 에너지 분포를 위한 환경 시계열에서 PDF(잠재구동력 후보군, Potential Driving Force group)는 DWT(Discrete wavelet transform)를 사용하여 최종 근사성분(A5)과 세부 성분(D1 ~ D5)으로 분해될 수 있다.
- [210] DWT(Discrete wavelet transform)의 수학적식을 구성하는 항목 중에서 분해 레벨을 위한 A_p 와 D_p 가 포함될 수 있는데, A_p 와 D_p 는 각 분해 레벨(p)에서 0.25 사이클 이하의 저주파 신호와 0.25 ~ 0.5 사이클의 고주파 신호를 적용할 수 있다. 관측자료의 길이에 따른 분해레벨을 고려할 때 일실시예에 따른 최대 분해 레벨 A5는 25*6 시간(즉, 8일)의 스케일에 해당하며, 이는 원자료의 관측간격과 길이에 따라 다양하게 선택될 수 있다.
- [211] 이후, 일실시예에 따른 분해 수준에 대한 모든 시간 주파수 척도는 1/2 일(D1), 1일(D2), 2일(D3), 4일(D4), 8일(D5)가 될 수 있다.
- [212] 일례로, D1에서 D3까지의 프로세스는 단기(2 일의 스케일)로 간주 될 수

있으며 D5와 A5의 프로세스는 장기(8 일의 스케일 또는 그 이상) 또는 계절성으로 간주 될 수 있다.

- [213] 도면부호 911 및 912에서 보는 바와 같이, 강우량(rainfall)은 D1 내지 D4까지 60% 이상의 분포를 보이는 반면, WS는 20%를 조금 넘는 분포를 보인다. 또한, CO₂는 단기간 규모의 주요 웨이블릿 에너지(Ew, Wavelet energy) 분포를 보인다 반면, FCO₂는 D5에서 A5까지 비교적 장기간에 주요 Ew 분포를 보인다.
- [214] 또한 Tsoils와 SWCs는 토양 깊이에 따라 Ew의 중간 정도의 변화를 보였으나 EC는 가장 심한 토양(EC3)에서 Ew의 급격한 변화를 보였다.
- [215] 도 9b는 주요 관측자료들과 이들의 노이즈 필터링 효과를 나타내는 그래프들(920)이다.
- [216] 먼저, 도면부호 921는 이산화탄소의 플러스(FCO₂)와, 풍속(WS, Wind speed)변화를 나타내는 그래프로서, Raw 데이터는 측정된 데이터를 나타내고 WD(Wavelet Denoise) 데이터는 Raw 데이터에서 노이즈를 제거한 신호를 나타낸다.
- [217] 또한, 도면부호 922는 Raw 데이터와 WD 데이터에 대한 잔차(residual) 데이터에 해당한다. 잔차(residual) 데이터는 빠르게 변화하는 관측자료의 해석에 대해 유용한데, 짧은 주파수 영역에 숨어있는 구동력을 식별-평가-예측 하는데 활용할 수 있다. 일례로, 잔차 데이터는 지진 데이터의 분석과 예측에 활용할 수 있다.
- [218] 이 밖에도, 도면부호 923과 924는 수집된 Raw 데이터에 대한 다양한 분석 값을 나타내며, 예를 들면 Raw 데이터 대한 히스토그램, 누적 히스토그램, 자기상관도, FFT 스펙트럼 등을 나타낼 수 있다.
- [219] 본 발명에 따르면, 도 9a 및 도 9b의 자료를 활용하여 다양한 환경에서 관측된 자료들을 반영할 수 있다.
- [220] 도 10은 상태공간모델링에 의해 추출된 잠재적인 환경구동력 후보군(Potential EDs)을 나타내는 도면이다.
- [221] 도 10은 원시 데이터를 기반으로 하는 동적요인(DyF, Dynamic factor) 및 웨이블릿 노이즈 필터링(WD, wavelet de-noising) 기반 동적 요인(DyF, Dynamic factor)를 나타내는 도면이다.
- [222] 이 중에서, 도면부호 1010은 원시 데이터에 대한 요소로드(Dynamic factor loading)를 나타내고, 도면부호 1020은 WD(wavelet de-noise) 데이터에 대한 요소로드를 나타낸다.
- [223] 예를 들어, 일실시예의 평가 대상 목적 변수인 Soil CO₂ flux(FCO₂)에 대해 주요 잠재구동력 후보군으로써 원자료 모델의 PED4 내지 웨이블릿 필터링 자료 모델의 WD_PED1를 선택하여 각 요소별로 요소로드 정도와 시간에 따른 변화를 확인할 수 있다.
- [224] 도면부호 1030은 시간에 따른 이산화탄소 플럭스와 주요환경 시계열 관측자료들의 원자료와 웨이블릿 필터링 된 자료들에 대비하는 주파수 영역별

웨이블렛 에너지 분포를 확인할 수 있다.

- [225] 예를 들어 비가올 때 토양가스 플럭스의 변화와 그 환경구동력의 영향성을 알고 싶은 경우, 원자료 및 원자료의 잠재 환경구동력에 해당하는 신호(PED4)에 대한 학습강도를 높임으로써 환경요소의 영향성에 의한 목적대상변수의 변화특성을 보다 심층적으로 분석/학습 할 수 있고, 비가오지 않을 때의 토양가스 플럭스의 변화와 그 환경구동력의 영향성을 알고 싶으면, 노이즈가 제거된 신호(WD_PED1)에 대한 분석과 학습을 심화 함으로써, 분석 대상과 시기 및 목적에 따라 적용성을 높일 수 있다.
- [226] 도 11a는 도면부호 1110에서와 같이, 관측자료들 중에서 어느 주파수가 핵심 주파수인지 여부를 확인하기 위해서는 스케일 대비 상관도를 고려할 수 있다.
- [227] 관측자료를 구성하는 각 요소들에 대해, 스케일에 대비하는 상관 계수(r)를 확인하여 어떤 주파수가 핵심 주파수인지 여부를 판단할 수 있다. 예를 들어, 각 이산웨이블렛 분해레벨당 상관계수(r)가 0.5 이상인 경우에 대하여 PED4와 FCO₂는 4-8일의 스케일에서 높은 상관 계수(maximal correlation coefficient)를 보인다. 또한, 노이즈가 제거된 PED1과 FCO₂는 1-2일의 스케일에서 높은 상관계수를 보인다.
- [228] 도 11b는 스케일 대비 상관도(1120)를 도시한다.
- [229] 일실시예의 경우 D4와 A5에서 상관성이 높은 결과가 관측된다. 이 중에서 어떠한 요소가 중요한 요소인지를 확인하기 위해서는 해당 스케일에서의 웨이블렛 에너지 분포(Ew)를 확인할 수 있다.
- [230] 상관도(1120)에서 보는 바와 같이 D4의 스케일에서 웨이블렛 에너지 분포가 3% 미만으로 측정되고, A5의 스케일에서 웨이블렛 에너지 분포가 80% 이상으로 측정된다. 이는 A5, 즉 8일 이후의 스케일에서 최대의 상관도가 나옴을 확인할 수 있다. 이러한 측정 결과를 통해 FCO₂에 대한 주요 환경 요인(Main environmental driving forces, MEDs)이 8 일 이상 지속되는 환경 프로세스와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있고, 이로써 해당 주요 환경구동력의 영향성이 가장 크게 나타나는 주파수 대역을 확인할 수 있다. 즉, 관측자료들 중에서 어떠한 요소가 토양가스의 변화에 대한 주요 구동력이 되는지 확인할 수 있다.
- [231] 만약 에너지 분포가 아닌 세부적인 요소에 대한 정보를 확인하고 싶으면, 목적하는 특정 주파수 대역의 신호를 시간영역으로 변환해서 확인 함으로써 세부 요소에 대한 분석이 가능하다.
- [232] 도 12a는 원 관측자료 만을 입력자료로 활용한 딥러닝 예측 예시를 나타낸다.
- [233] 도면부호 1210은 관측지점에서 CO₂ 농도를 실시간 관측하고 이를 기반으로 딥러닝을 수행한 결과를 나타낸다. 도면부호 1210에서 각 그래프에 도시된 점들이 예측값에 해당하고, 각 예측값들은 원자료와 함께 스케일에 대비한 상관성에 의해 표시된다.
- [234] 일례로, 시간에 대한 에어롤은 9월15일 이후에 급격히 증가하는 추세를 보인다. 이는 딥러닝 결과 잔차가 갑자기 증가하는 것을 나타낸다.

- [235] 이렇게 잔차에 대한 에러율이 증가하는 이유는 에러의 누적이 있거나, training에 사용한 학습데이터 세트가 예측기간의 변화된 특성을 제대로 반영하지 못하고 있음을 나타낸다.
- [236] 도 12a/ 12b의 실시예에서는 여름의 관측 자료들을 활용하여 딥러닝 학습을 수행한 결과로, 가을의 관측 자료들에 적합시 에러가 특정 시기부터 현저히 증가하는 것을 보여준다.
- [237] 즉, 9월15일 이후 CO₂의 농도와 플럭스(FCO₂)의 예측값에 대한 에러율이 눈에 띄게 증가하는 것은 여름의 변화특성을 반영한 훈련자료로 훈련된 심층신경망의 예측결과에 벗어나는 일련의 환경적 변화가 에러의 현격한 증가 시기부터 발생한 것임을 나타내고, 이로서 에러율 변화의 원인이 에러 누적에 의한 변화하기 보다는 계절에 따른 환경적 변화가 그 원인임을 알 수 있다.
- [238] 따라서 일실시예와 같이 누적오차의 증가에 대한 분석을 통해 환경요인의 구조적 변화시점을 탐지하는데도 활용할 수 있다.
- [239] 도 12b는 도 12a에 대비하여 FCO₂의 관측값 뿐만 아니라 기 파악된 환경구동력을 훈련자료로 사용하여 핵심특징에 대한 학습을 강화시킨 결과, 에러 대비 효율이 좋아짐을 확인할 수 있다. 즉, 목적 대상변수의 예측을 위해 관측자료와 환경구동력을 동시에 사용하여 파악된 핵심 환경구동력의 동적특성에 대한 학습을 강화한 딥러닝을 통해 에러 대비효율이 훨씬 좋아짐을 확인할 수 있다.
- [240] 또한, CO₂ 시험장(EIT)에서 토양 지표 CO₂ 플럭스(FCO₂) 자연배경변동(baseline)을 제어하는 주요 환경 구동력(key environmental driving forces)를 평가하고 예측한 실험 결과, 웨이블렛 필터링 방법(WD)은 상태 공간 모델(SSM)의 성능, 특히 연산 시간 및 요소 로딩을 향상시키는 데 효율적임을 확인할 수 있다.
- [241] 또한, 딥러닝은 복잡한 환경 프로세스를 예측하는 데 사용되는 것은 물론 실시간 CO₂ 누출 모니터링 시스템을 구축하는 데 사용될 수 있고, Core 부에 해당하는 웨이블렛 기반의 다중 해상도 SSM(MRSSM) 접근법은 비 정상적(nonstationary) 환경 관측자료에 대해서 조차도 시간과 공간 모두에서 복잡한 물리 화학적, 생물학적 및 생태 학적 프로세스의 배후에 있는 환경 요인을 식별하고 평가하는 데 유용할 것으로 기대된다.
- [242] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서

수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

- [243] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [244] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [245] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로

수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

- [246] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

청구범위

- [청구항 1] 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 단계;
 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 단계;
 및
 상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및 평가하는 단계
 를 포함하고,
 상기 식별 및 평가된 상기 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를 제공하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 토양가스 및 유관 환경 관측자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는 단계는,
 상기 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터세트의 관측항목과 관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 상기 기반데이터세트로서 구성하고 정렬하는 단계;
 상기 정렬된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 또는 시간관측 간격 별 결측자료를 보간 처리 하는 단계; 및
 상기 보간 처리된 기반데이터세트의 자료를 노이즈 필터링하고, 상기 노이즈 필터링된 결과를 표준화 및 정규화 하는 단계를 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 단계는,
 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 별로 상태공간모형화를 수행 하는 단계;
 상기 구성된 기반데이터세트의 상기 시간영역 해상도에 따른 최적상태공간모형을 선정하는 단계;
 상기 선정된 최적상태공간모형의 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을 선정하는 단계
 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을 추출하는 단계; 및
 상기 추출된 변동특성에 대해 웨이블릿 해석을 통한 주요 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화하는 단계
 를 포함하고, 상기 변동특성은 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 동적 특성과 시변특성(dynamic feature and time varying characteristics) 및 공간적 변화특성(spatial characteristics)과 시공간

변화특성(spatiotemporal characteristics) 중에서 적어도 하나의 특성을 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.

[청구항 4]

제3항에 있어서,
상기 최적상태공간모델을 선정하는 단계는,
모델진단지표(AIC, AICc, BIC) 및 설명력/loading)을 기반 최적
잠재구동력의 갯수와 잔차공분산행렬의 형태를 선정하는 단계를
포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.

[청구항 5]

제1항에 있어서,
상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및
평가하는 단계는,
상기 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도에 따라 선정된
최적상태공간모델의 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성을
진단하되, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 시간지연 및 위상변화를
반영한 상관성진단을 수행하는 단계;
상기 수행된 상관성진단 결과에 기초하여, 상기 잠재구동력과 상기
관측자료간 최고상관스케일을 선정하는 단계
상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 웨이블릿 에너지 비율과 상기
선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용한 구동력을 식별하는 단계;
및
상기 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모델의
설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가하는 단계
를 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.

[청구항 6]

제1항에 있어서,
상기 구동력에 대한 실시간 진단을 위한 심층학습신경망모델을 구축하는
단계
를 더 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.

[청구항 7]

제6항에 있어서,
상기 심층학습신경망모델을 구축하는 단계는,
상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 상기 식별 및 평가된 상기
구동력을 입력자료로 하는 딥러닝 모델을 심층신경망모델로서 구축하는
단계;
상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료와 상기 식별 및 평가된 상기
구동력의 다해상도 동적 특성을 기반의 훈련지표 선정하여 훈련지표를
정량화하는 단계;
상기 토양가스 및 유관 환경관측 자료로부터 측정되는 관측값과 상기
심층신경망모델로부터 예측되는 예측값의 잔차검증 및 잔차의
다해상도해석에 기반하여 예측모델을 최적화 하는 단계; 및
주요 환경구동력에 의해 최적화 처리하여 최적화 훈련 심층네트워크(well

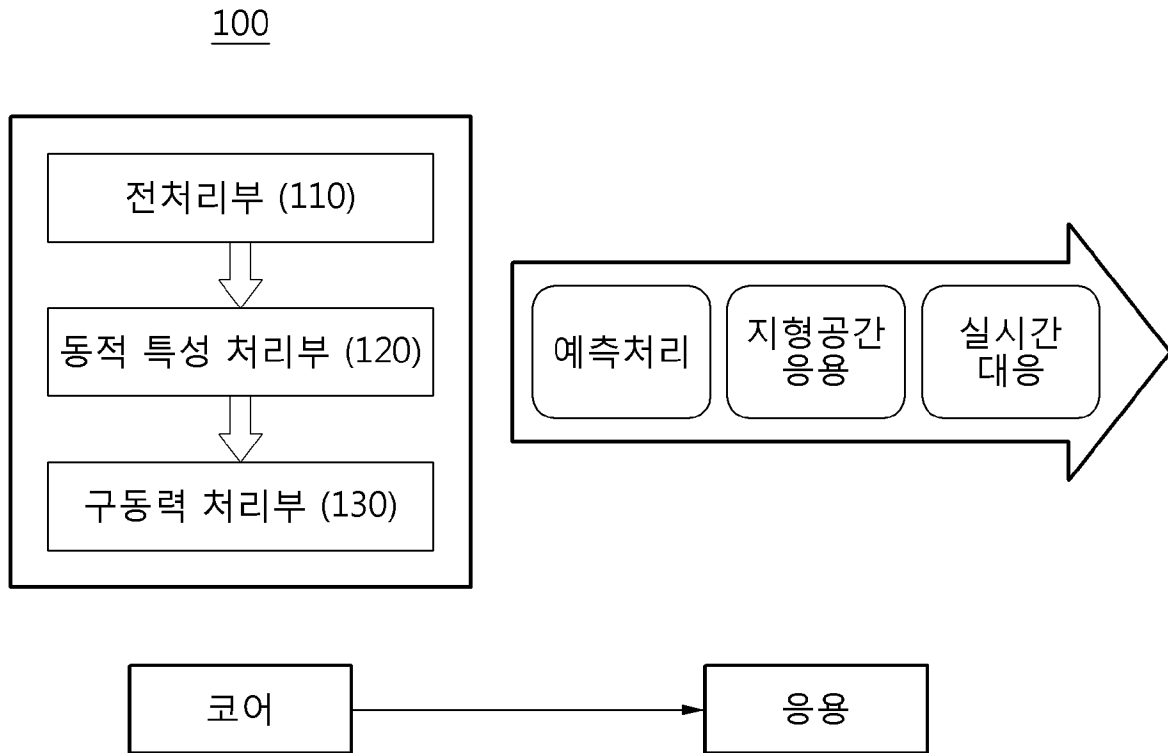
- tuned pre-trained network) 군(group)을 생성하는 단계
를 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.
- [청구항 8] 제6항에 있어서,
상기 최적 대응 시나리오를 제공하기 위한 실시간 대응시스템을
구축하는 단계
를 더 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.
- [청구항 9] 제8항에 있어서,
상기 실시간 대응시스템을 구축하는 단계는,
상기 생성된 최적화 훈련 심층네트워크군을 활용한 실시간 진단시스템을
구축하는 단계;
자연배경치변동의 임계치를 선정하여 자연배경변동의 허용범위를
산정하는 단계;
상기 임계치에 대한 이상값으로 판별되는 자료에 대해 구동력을 다시
식별하고, 다시 식별된 구동력을 기반으로 최적화훈련심층네트워크군을
다시 구성하는 단계;
상기 이상값의 예측결과에 따른 구동력을 식별하고, 상대적 기여도를
평가하며, 경보우선순위를 선정하는 단계;
상기 이상값의 원인 별 실시간 변화 및 대응 시나리오를 생성하는 단계;
및
상기 생성된 실시간 변화 및 대응 시나리오에 따른 경보신호 발생 및 최적
대응시나리오를 제공하는 단계
를 포함하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템의 동작 방법.
- [청구항 10] 토양가스 및 유관 환경관측 자료에 대한 기반데이터세트를 구성하는
전처리부;
상기 구성된 기반데이터세트에 대한 동적 특성을 식별 및 추출하는 동적
특성 처리부; 및
상기 추출된 동적 특성에 기초하여 토양가스에 대한 구동력을 식별 및
평가하는 구동력 처리부
를 포함하고,
상기 식별 및 평가된 상기 구동력에 기초하여 최적 대응 시나리오를
제공하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템.
- [청구항 11] 제10항에 있어서,
상기 전처리부는,
상기 토양가스를 포함한 복합환경계측자료 데이터세트의 관측항목과
관측시간 해상도에 따른 데이터 매트릭스를 상기 기반데이터세트로서
구성하고 정렬하며, 상기 정렬된 기반데이터세트에 대한 시간영역
해상도 또는 시간관측 간격 별 결측자료를 보간 처리 하고, 상기 보간
처리된 기반데이터세트의 자료를 노이즈 필터링하고, 상기 노이즈

필터링된 결과를 표준화 및 정규화 하는 토양가스 모니터링 및 대응 시스템.

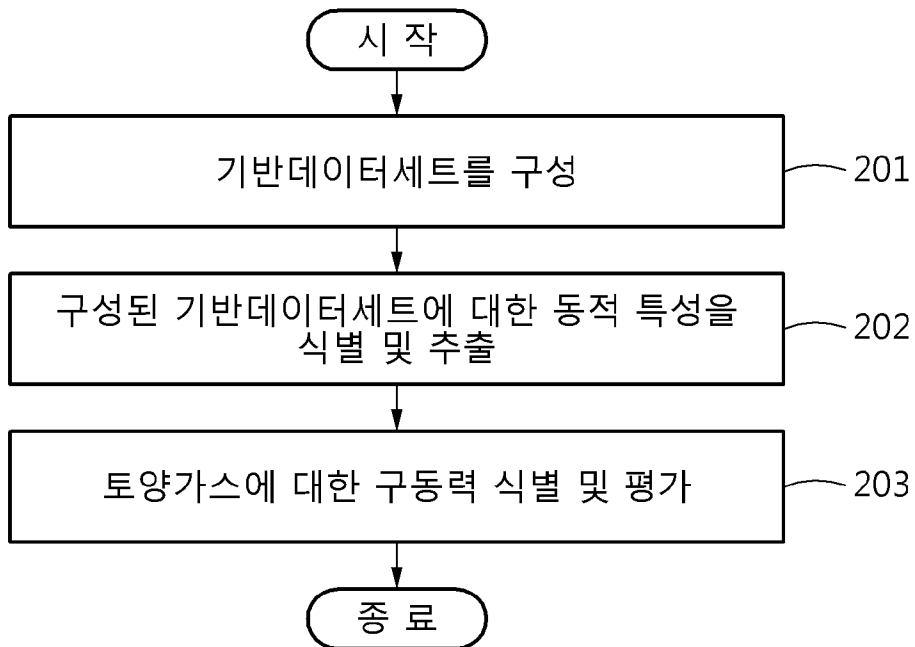
[청구항 12] 제10항에 있어서,
 상기 동적 특성 처리부는,
 상기 구성된 기반데이터세트에 대한 시간영역 해상도 별로
 상태공간모형화를 수행 하고, 상기 구성된 기반데이터세트의 상기
 시간영역 해상도에 따른 최적상태공간모형을 선정하며, 상기 선정된
 최적상태공간모형의 잠재구동력 후보군(potential driving force group)을
 선정하고, 상기 선정된 잠재구동력 후보군의 시간에 따른 변동특성을
 추출하며, 상기 추출된 변동특성에 대해 웨이블릿 해석을 통한 주요
 시간-주파수 영역의 동적 특성을 정량화하는 것을 특징으로 하는
 토양가스 모니터링 및 대응 시스템.

[청구항 13] 제10항에 있어서,
 상기 구동력 처리부는,
 상기 구성된 기반데이터세트의 시간영역 해상도에 따라 선정된
 최적상태공간모형의 잠재구동력과 관측자료간 다해상도 상관성을
 진단하되, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 시간지연 및 위상변화를
 반영한 상관성진단을 수행하고, 상기 수행된 상관성진단 결과에
 기초하여, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 최고상관스케일을
 선정하며, 상기 잠재구동력과 상기 관측자료간 웨이블릿 에너지 비율과
 상기 선정된 최고상관스케일의 상관관계를 이용한 구동력을 식별하고,
 상기 선정된 최고상관스케일의 누적에너지비율과 상태공간모형의
 설명력 지표간의 선형결합을 처리하여 상대적 기여도를 평가하는
 토양가스 모니터링 및 대응 시스템.

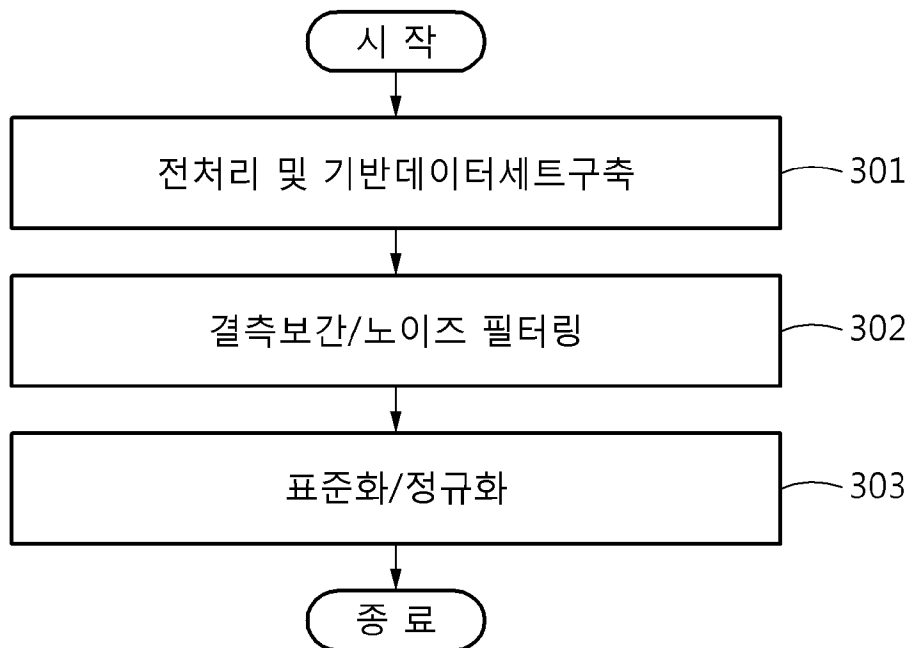
[도1]



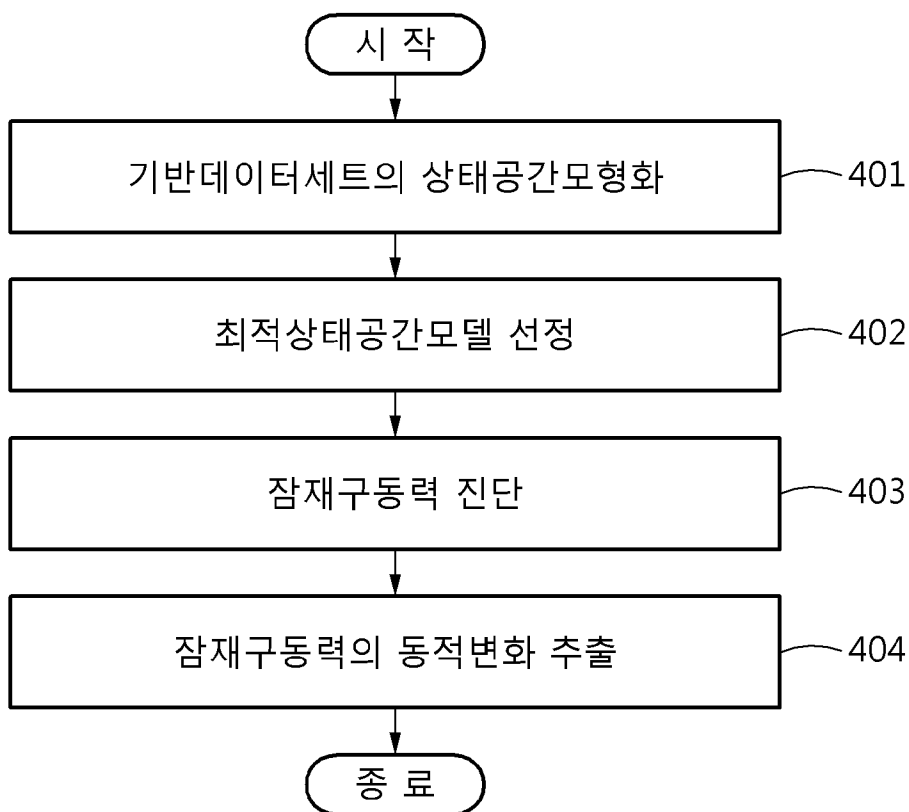
[도2]



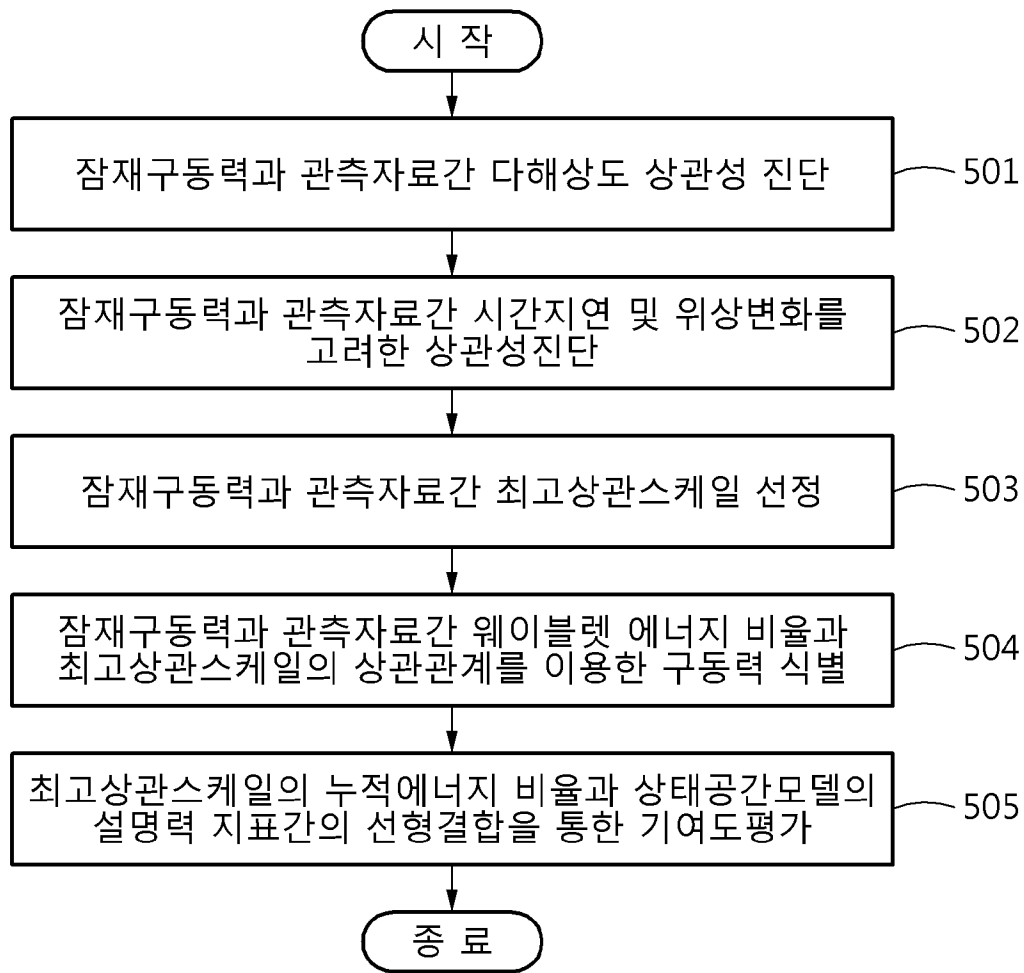
[도3]



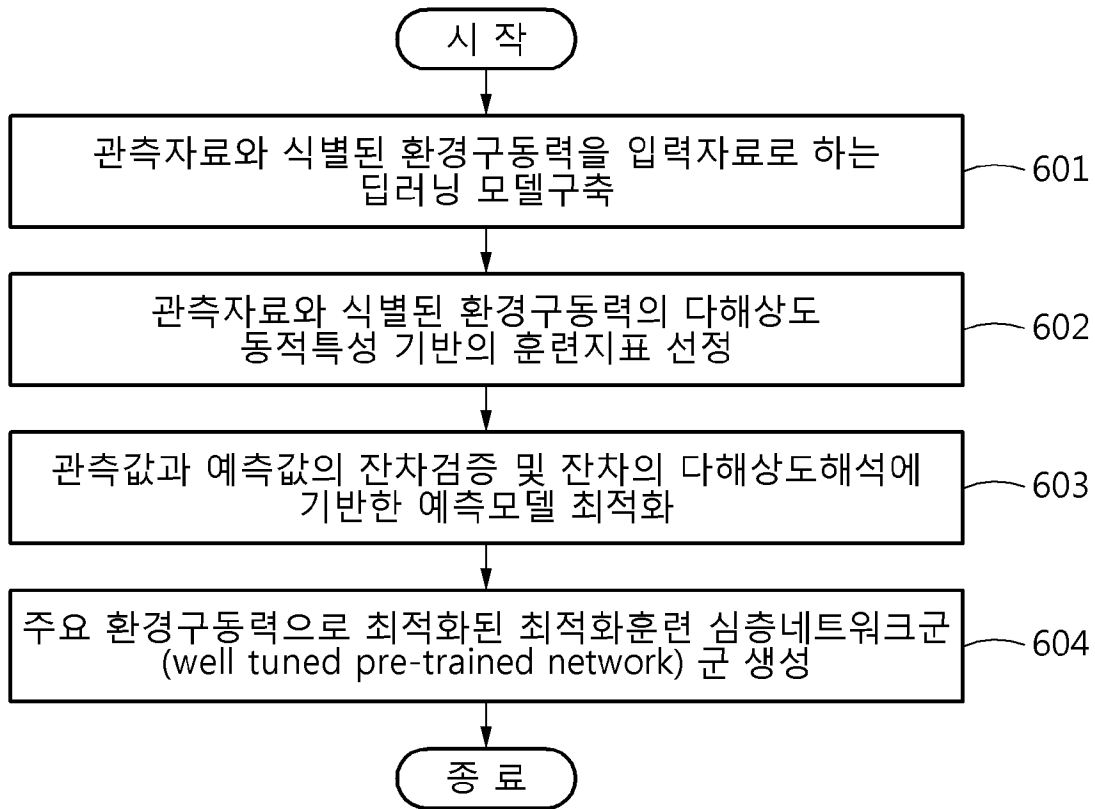
[도4]



[도5]



[도6]



[도7]

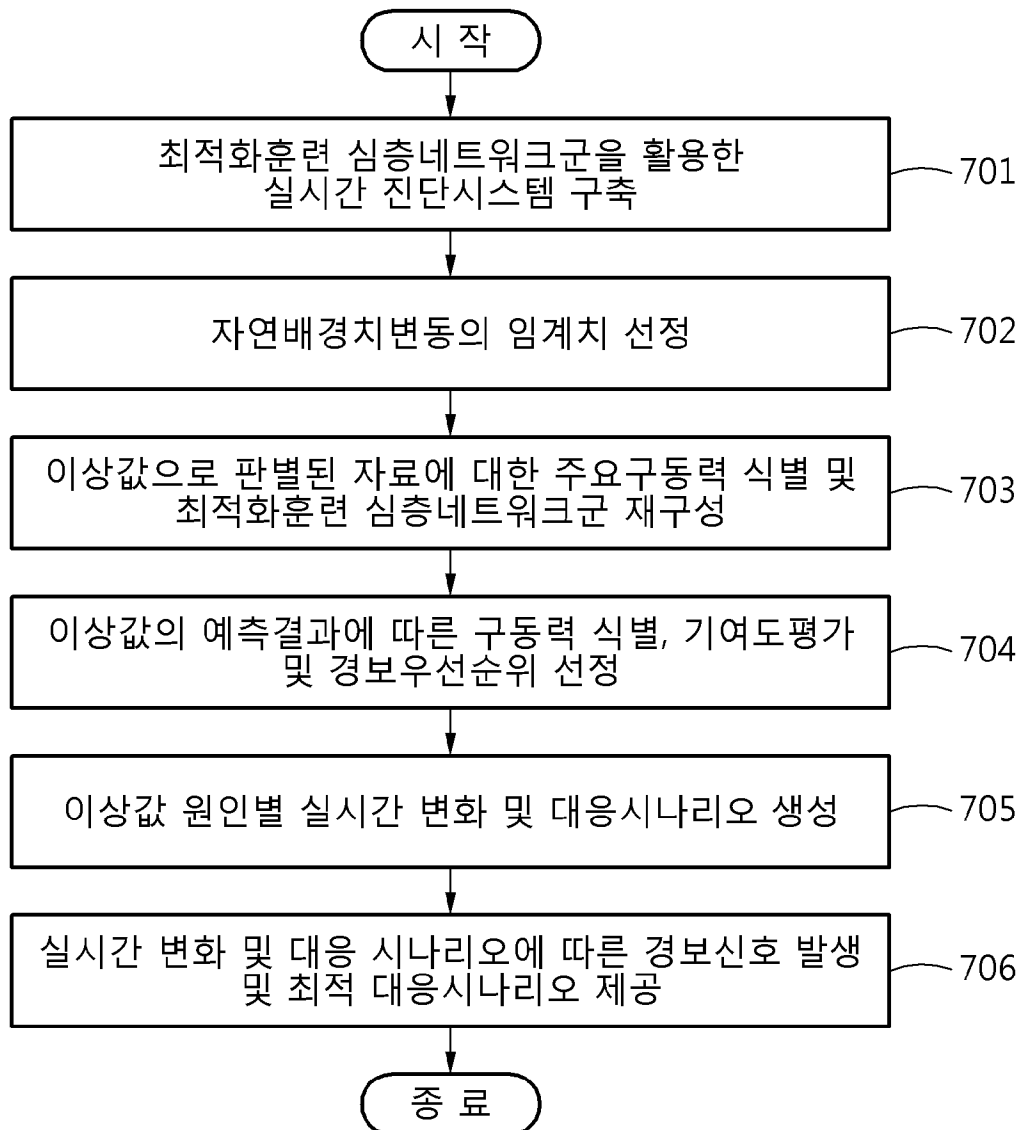
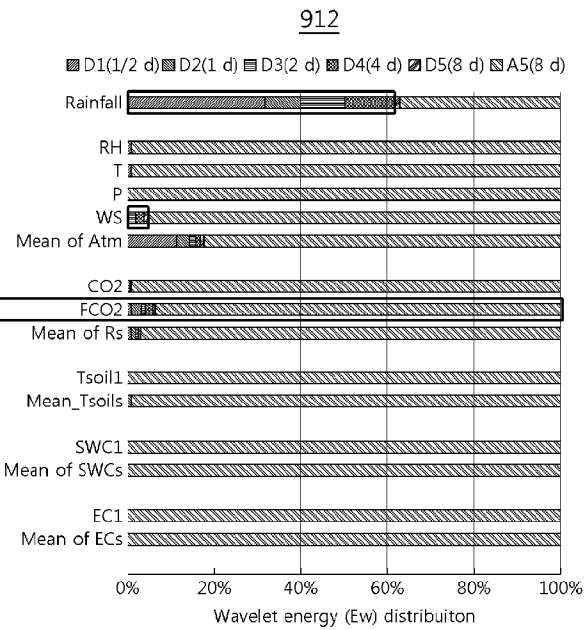
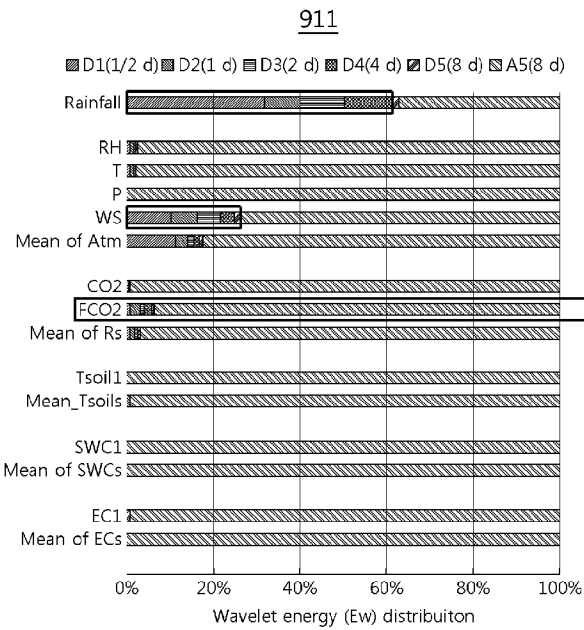


Figure 1: Schematic diagram of the experimental layout. The diagram shows a rectangular field divided into five zones (Zone 1 to Zone 5) along a SWW-NEE axis. Zone 1 (10.2m) contains seedlings and CO₂ leakage. Zone 2 (10.2m) contains crops and CO₂ leakage. Zone 3 (10.2m) contains crops and CO₂ leakage. Zone 4 (10.2m) contains crops and CO₂ leakage. Zone 5 (10.2m) contains control crops and no leakage. A central injection unit (81ea) is shown with a CO₂ concentration real-time monitoring system, including a lysimeter (2ea), TDR (4ea), and a meteorological equipment unit. A CO₂ concentration pipe (81ea) is also indicated. The total length of the field is 51m, and the width is 20m. An inset map shows the location of the field within a larger geographical context.

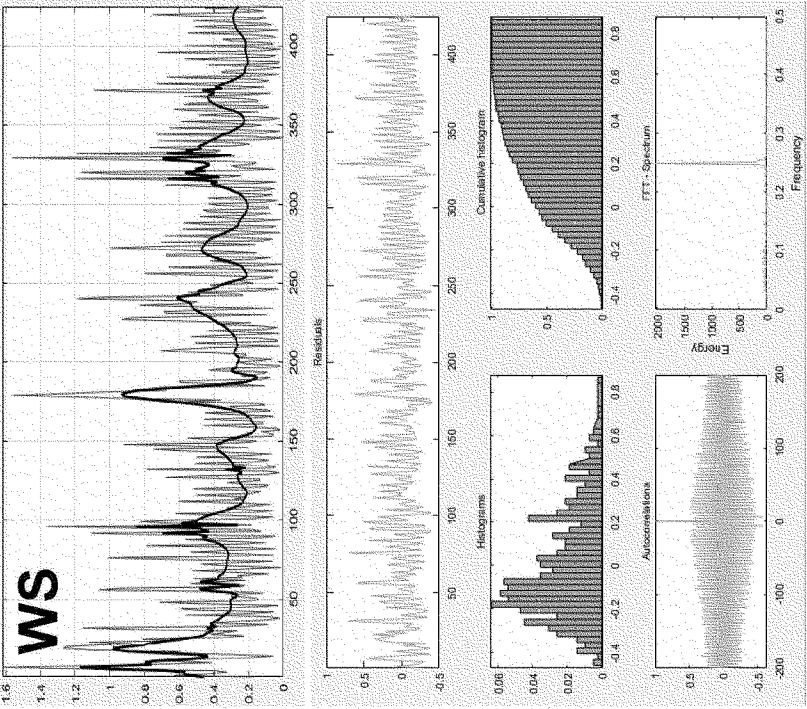
[도9a]

910

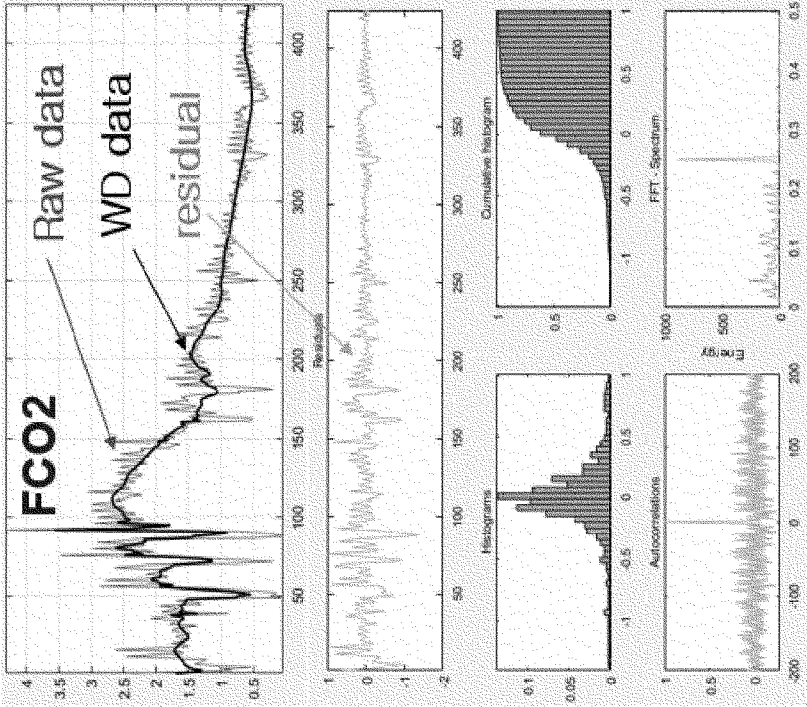


[도9b]

920



921

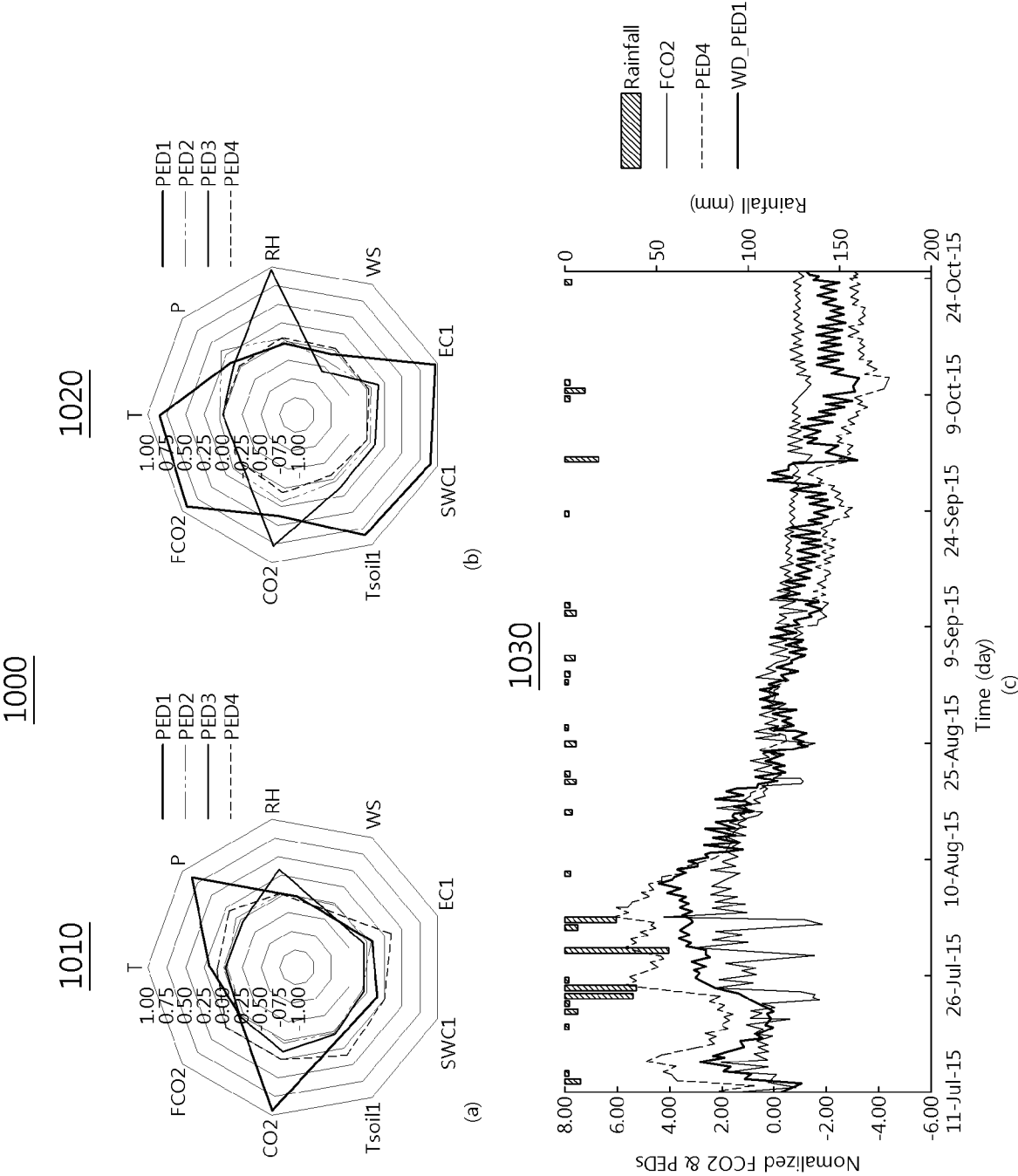


922

923

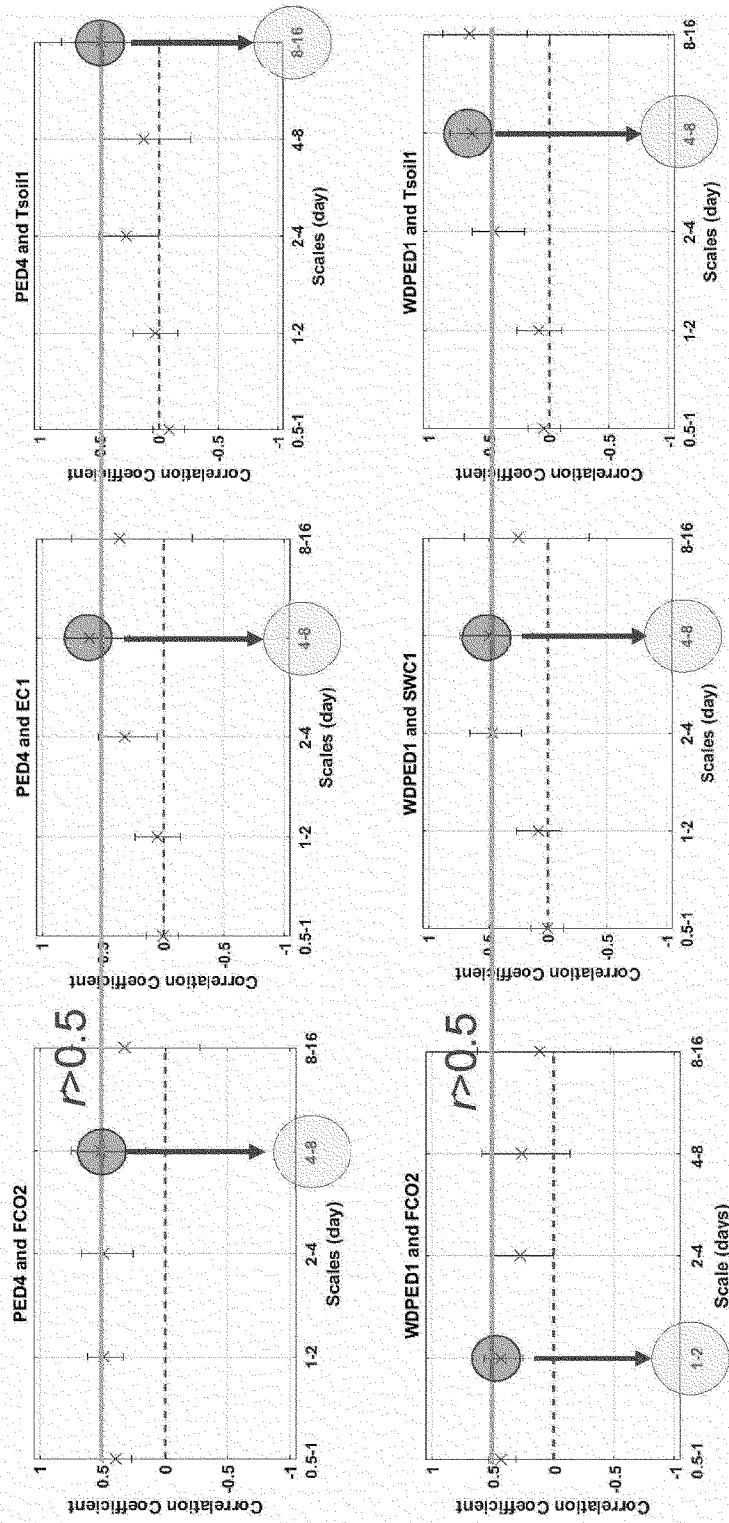
924

[도10]

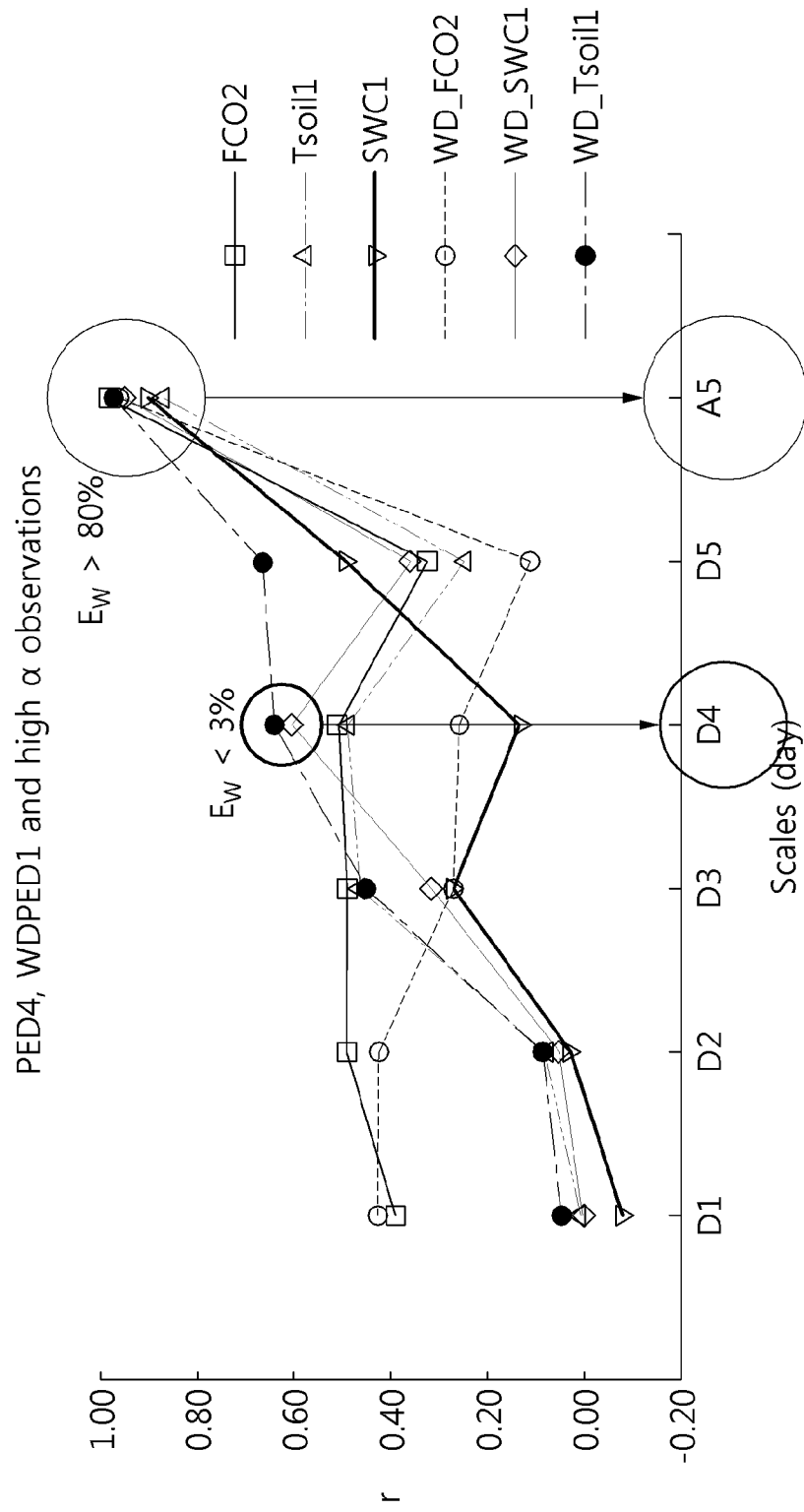


[511a]

1110

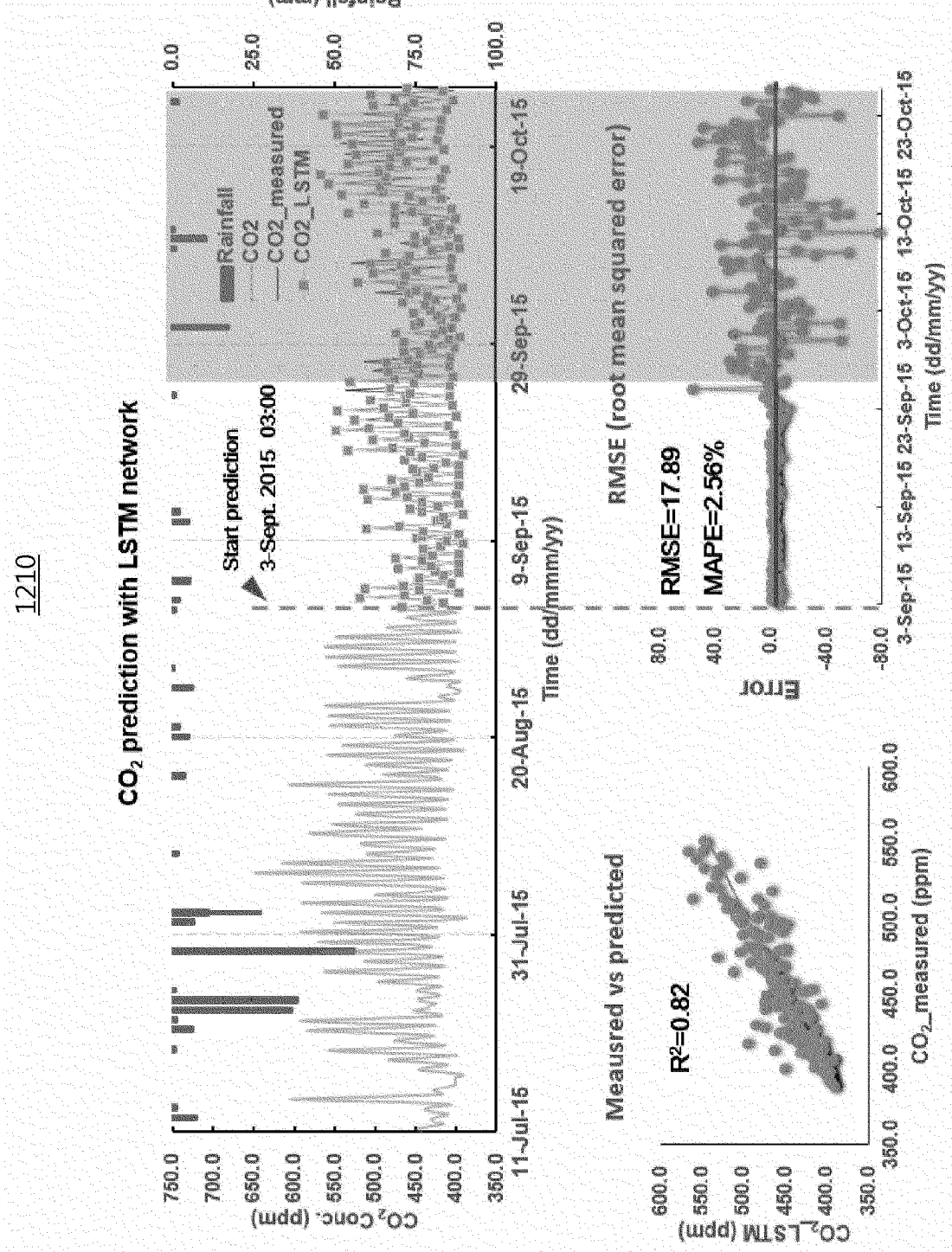


[도11b]

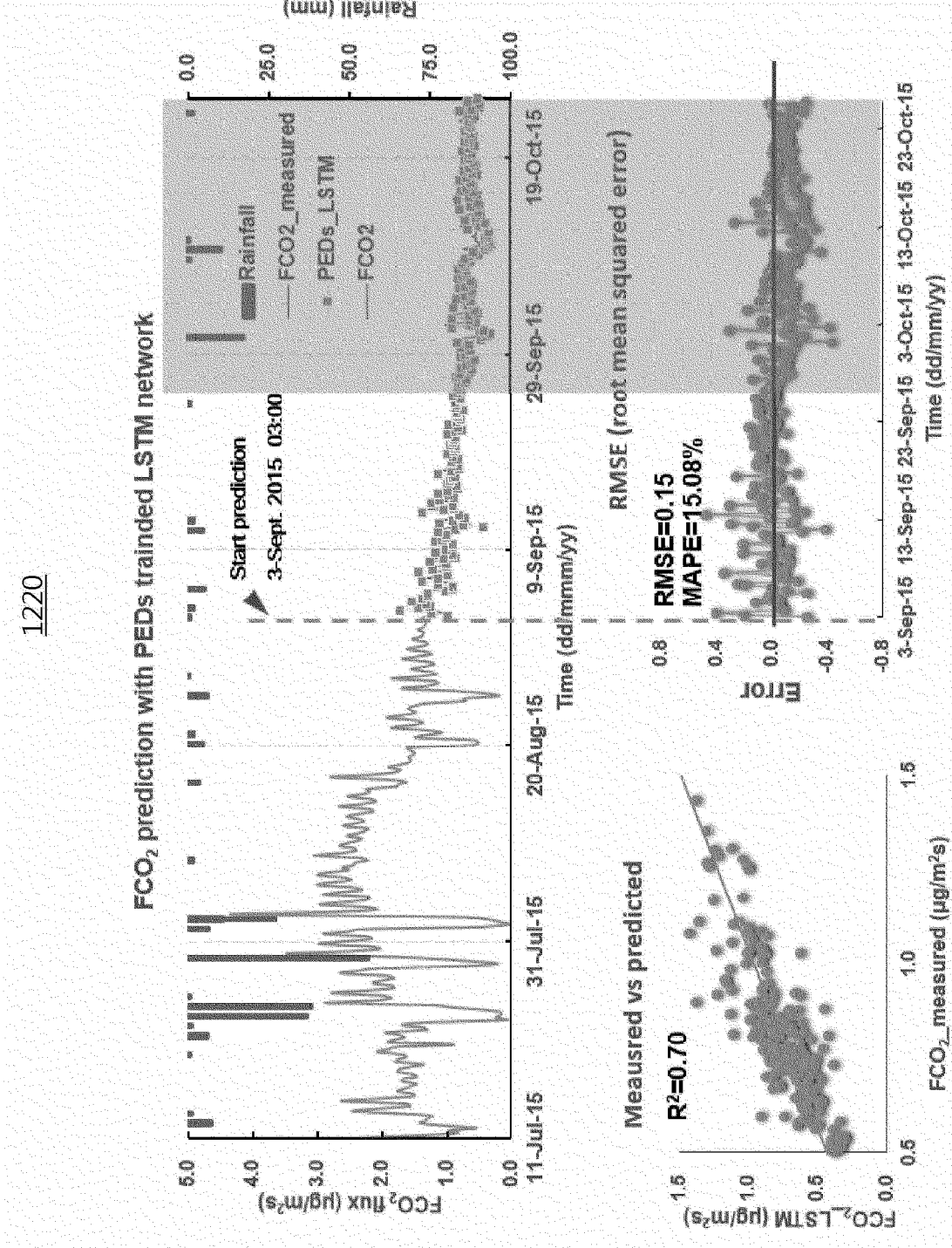


[도 12a]

1210



[도12b]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2019/013638

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q 50/26(2012.01)i, G06N 3/02(2006.01)i, G06N 20/00(2019.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q 50/26; B09C 1/10; G01M 3/20; G01N 33/24; G01T 7/02; G01V 5/04; G01V 9/00; G06N 3/02; G06N 20/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: soil, gas, carbon dioxide(CO₂), monitoring, time series, deep learning, prediction

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	오윤영 등, 토양 이산화탄소 거동 해석을 위한 다해상도-다변량 시계열 분석의 적용, 대한지질학회, 31 October 2017 (OH, Yun-yeong et al. Application of Multiresolution-multivariate Time Series Analysis to Characterize CO ₂ Dynamics in an Unsaturated Zone of the EIT Site, South Korea : Identifying and Quantitatively Evaluating Driving Forces. The Geological Society of Korea.) See page 2.	1-2,6-11
A		3-5, 12-13
Y	JP 2018-169959 A (JSOL CORP.) 01 November 2018 See paragraph [0021].	1-2,6-11
Y	JP 2014-066690 A (SASAKI, Hisao) 17 April 2014 See paragraphs [0003]-[0004].	1-2,6-11
A	JP 2006-275940 A (HITACHI PLANT TECHNOLOGIES LTD.) 12 October 2006 See claim 1.	1-13
A	KR 10-1040072 B1 (KOREA INSTITUTE OF GEOSCIENCE AND MINERAL RESOURCES(KIGAM)) 13 June 2011 See claims 1-3.	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 JANUARY 2020 (21.01.2020)

Date of mailing of the international search report

22 JANUARY 2020 (22.01.2020)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsu-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2019/013638

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 2018-169959 A	01/11/2018	JP 6458072 B2	23/01/2019
JP 2014-066690 A	17/04/2014	None	
JP 2006-275940 A	12/10/2006	None	
KR 10-1040072 B1	13/06/2011	None	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G06Q 50/26(2012.01)i, G06N 3/02(2006.01)i, G06N 20/00(2019.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G06Q 50/26; B09C 1/10; G01M 3/20; G01N 33/24; G01T 7/02; G01V 5/04; G01V 9/00; G06N 3/02; G06N 20/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 토양(soil), 가스(gas), 이산화탄소(CO2), 모니터링(monitring), 시계열(time series), 딥 러닝(deep learning), 예측(prediction)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	오윤영 등, '토양 이산화탄소 거동 해석을 위한 다해상도-다변량 시계열 분석의 적용', 대한지질학회, 2017.10.31 페이지 2 참조.	1-2,6-11
A		3-5,12-13
Y	JP 2018-169959 A (JSOL CORP.) 2018.11.01 단락 [0021] 참조.	1-2,6-11
Y	JP 2014-066690 A (SASAKI HISAO) 2014.04.17 단락 [0003]-[0004] 참조.	1-2,6-11
A	JP 2006-275940 A (HITACHI PLANT TECHNOLOGIES LTD.) 2006.10.12 청구항 1 참조.	1-13
A	KR 10-1040072 B1 (한국지질자원연구원) 2011.06.13 청구항 1-3 참조.	1-13

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 “X”에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일

2020년 01월 21일 (21.01.2020)

국제조사보고서 발송일

2020년 01월 22일 (22.01.2020)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

강민정

전화번호 +82-42-481-8131



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2018-169959 A	2018/11/01	JP 6458072 B2	2019/01/23
JP 2014-066690 A	2014/04/17	없음	
JP 2006-275940 A	2006/10/12	없음	
KR 10-1040072 B1	2011/06/13	없음	