

ISSN 2733-9696(온라인)
ISSN 2733-9572(인쇄본)



2022
Vol.3 No.9

GTC BRIEF

파리협정 이행 지원을 위한
온실가스 관측 위성의 개발 동향 및 시사점

오지현

파리협정 이행 지원을 위한 온실가스 관측 위성의 개발 동향 및 시사점

오지현 / 기술총괄부 jhoh@gtkc.re.kr

하이라이트

- 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 각국의 온실가스 배출 저감 전략의 실효성을 판단하기 위해서는 온실가스 배출량을 정확하게 측정하는 것이 필수적으로 수반되어야 함
- 주요국들은 위성기술을 활용한 대기 중 온실가스 농도 직접관측을 통해 국가 온실가스 인벤토리의 품질을 향상시키고, 신속하고 상세한 온실가스 모니터링 시스템을 구축하여 실효성 있는 탄소 감축 전략을 수립 중
- 위성이 관측한 온실가스 정보는 파리협정 내 투명성(제13조)과 전지구적 이행점검(제14조)의 실행을 뒷받침하는데 직·간접적으로 활용되어 지구기온 상승을 산업화 이전 대비 1.5°C 이내로 제한하는 파리협정의 공동의 목표를 달성하는데 기여할 것으로 전망
- 지난 20년간 이산화탄소를 직접 관측하기 위한 위성이 일본, 미국, 유럽연합 등에서 꾸준히 개발되어 와 현재 전세계적으로 약 13개의 위성이 탄소모니터링을 위해 운영 중이며 앞으로 7개의 새로운 위성이 추가될 예정
- 우리나라는 다목적 실용위성과 정지궤도 복합위성 등의 개발로 높은 수준의 위성 개발 능력을 보유하고 있으나 CO₂, CH₄ 등과 같은 온실가스를 직접 관측하는 위성은 부재한 상태
- 최근 중·대형 위성에 비해 상대적으로 단기간·저비용으로 개발이 가능하고, 여러 대를 군집으로 운영하여 동일 지점을 더 자주, 상세하게 관측 가능한 중량 100kg 이하의 초소형 인공위성 기술이 부각됨에 따라 이를 국내 탄소배출량 모니터링에 활용 가능
- 온실가스 관측 독자 위성 보유로 시의성 있고 신뢰도 높은 탄소배출량 모니터링 시스템 구축이 가능해져 기후변화 대응 정책 수립의 실효성을 제고할 수 있으며, 온실가스 배출량에 대한 객관적이고 독립적인 정보 보유로 기후외교 대응 역량을 강화할 수 있음

키워드

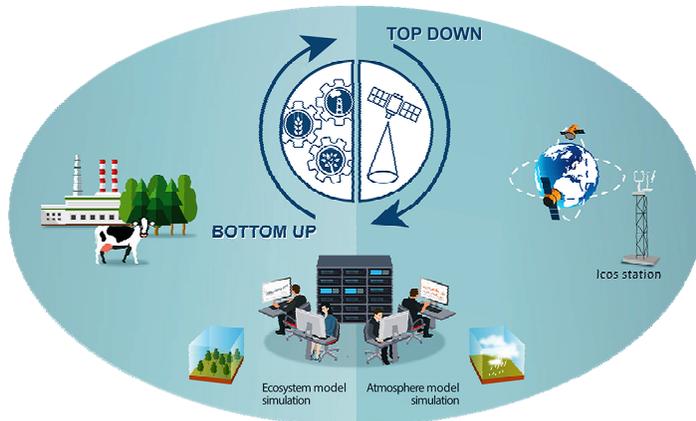
- 탄소중립(Carbon Neutral), 위성기술(Satellite technology), 온실가스 모니터링(GHG monitoring)

서론

- 전세계는 기후변화를 야기하는 온실가스 배출을 줄이기 위해 치열한 노력을 경주하고 있으며, 각국의 온실가스 배출 저감 전략의 실효성을 판단하기 위해서는 온실가스 배출량을 정확하게 측정하는 것이 필수적으로 수반되어야 함

- 온실가스 인벤토리 구축을 위한 배출량은 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제공하는 가이드라인에 따라 배출원 별 온실가스 배출에 직접 영향을 미치는 활동자료를 확보하고 각 분야에 해당하는 단위배출계수를 곱하여 배출량을 결정¹⁾
 - 취합된 활동자료에 기반하여 온실가스 배출량을 산정할 경우 정밀한 활동자료 수집에 많은 노력이 필요하고 이 과정에 오류 혹은 중복이 발생할 수 있으며, 선정된 배출계수에 따라 온실가스 배출량 산정치가 달라질 수 있음
 - 국가 인벤토리 보고서 작성에 약 2년 정도의 시간 차이가 남(N년도 배출량 산정이 N+2년에 보고)에 따라 각국의 온실가스 감축 목표 달성에 대한 즉각적인 판단이 어렵고, 개발도상국의 경우 국가 인벤토리 구축을 위한 데이터 수집, 보고, 품질 보증 등의 인프라를 구축하는 것에 현실적인 어려움이 따름²⁾
- 대기 중 온실가스 관측 정보와 온실가스 기원을 추적하는 역모델링 기술을 활용하여 활동자료 기반의 온실가스 인벤토리 구축의 한계를 극복할 수 있음
 - 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)는 상향식 인벤토리와 배출량의 차이를 비교·검증을 위해 대기 온실가스 농도 관측 기술과 역모델링 기술을 접목한 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템 (IG³IS, Integrated Global Greenhouse Gas Information System)을 개발하였으며, 영국, 스위스, 호주는 IG³IS 분석내용을 국가 배출량보고서에 활용
 - 유럽 집행위원회의 H2020 프로그램이 지원하는 VERIFY 프로젝트('18~'22)는 통계자료에 기반하여 산정되는 유럽연합의 온실가스 배출량을 위성과 지상관측장비가 측정한 배출량과 비교하여 국가 온실가스 인벤토리의 품질을 향상하고자 함

그림 1 VERIFY 프로젝트 소개 모식도



출처 : https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/verify_en

1) 김승도, 나승혁 (2008), 온실가스 배출량 산정방법, 전자공학회지, 35(11),73-82
 2) 국립기상과학원, WMO 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템 (IG³IS) 과학 실행계획서 요약

- WMO의 지구대기감시프로그램(GAW, Global Atmospheric Watch)을 통해 전세계 지상관측망으로부터 대기 중 온실가스 농도를 관측 중이나, 관측소에 해당하는 지점의 온실가스 농도만 제한적으로 측정하고 대규모 온실가스 직접 배출원에서 떨어진 장소에 관측소가 위치하는 한계를 지님³⁾

- 지상 관측소의 공간적 한계를 극복하고 관측소별 측정 편차를 줄이기 위해 미국, EU, 일본 등 주요국 뿐 아니라 민간기업, 환경단체들은 위성을 활용한 대기 중 온실가스 관측을 통해 온실가스 배출현황 및 변화 경향을 파악 중
- 본 브리프에서는 파리협정 이행을 위해 위성기술이 활용될 수 있는 분야를 살펴보고 해외 주요국이 운영하고 있는 온실가스 관측 위성 현황을 파악하여 이로부터 시사점을 도출

그림 2 전세계 온실가스 관측 위성 운영 현황 및 향후 계획

Satellite, instrument	Agency/Origin	CO ₂	CH ₄	Public	Private	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
GOSAT TANSO-FTS	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●												
OCO-2	NASA/USA	●		●											
GHGSat-D - Claire	GHGSat/Canada		●		●										
Sentinel 5P TROPOMI	ESA/Europe		●												
GaoFen-5 GMI	CHEOS/China	●	●	●											
GOSAT-2 TANSO-FTS-2	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●	●											
OCO-3	NASA/USA	●													
GHGSat CI/C2 - Iris, Hugo	GHGSat/Canada		●		●										
MetOp Sentinel-5 series	EC Copernicus/Europe		●	●											
MethaneSAT	EDF/USA		●		●										
MicroCarb	CNES/France	●		●											
Feng Yun 3G (CMA)	CMA-NMSC/China	●	●	●											
Carbon Mapper ¹	Carbon Mapper LLC/USA	●	●	●	●										
GeoCarb	NASA/USA	●	●	●											
GOSAT-GW	JAXA-NIES-MOE/Japan	●	●	●											
MERLIN	DLR/Germany-CNES/France	●	●	●											
CO2M	EC Copernicus/Europe	●	●	●											

■ CO₂+CH₄ ■ CO₂ Only ■ CH₄ Only
 Extended Mission Planned Phased Deployment

출처 : CEOS

파리협정 이행을 위한 위성의 활용

IPCC 국가 온실가스 인벤토리 작성

- 파리협정 제13조 '강화된 투명성 체계(Enhanced transparency framework)'에 따라 모든 당사국은 온실가스 배출원에 의한 인위적 배출과 흡수원에 의한 제거에 관한 국가별 온실가스 인벤토리 보고서(NIR, National Greenhouse gases Inventory Report)를 제출토록 함
- IPCC는 온실가스 인벤토리의 측정, 보고, 검증을 위한 객관적인 절차와 방법론을 규정*
 - * 1996 IPCC 지침, IPCC 우수실행지침 2000(IPCC Good Practice Guidance 2000), IPCC 우수실행지침 LULUCF(Land use, land-use change, and forestry), 2006 IPCC 지침, 2019 개정판 (2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 이하 2019 개정판) 등
- 2019년 5월 개최된 제 49차 IPCC 회의에서 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 2006 지침 2019 개정판 채택
 - 기존 2006 IPCC 지침에 새로운 방법론이나 데이터, 차이점 등을 보충 혹은 상세화

3) 이윤곤, 이한림, 이주희 (2019), 저궤도 온실가스 관측위성 도입 타당성 기획연구

- 2019 개정판은 크게 5권*으로 구분되어 있으며, 이 중 제1권 내 6장 품질보증/품질 관리 및 검증 (Quality Assurance/ Quality Control and Verification)에서 온실가스 배출 추정량을 위성 등의 관측자료와 비교하여 검증하는 내용에 대하여 기술하고 있음

* 1권: 일반 지침 및 보고, 2권: 에너지, 3권: 산업공정 및 제품 사용, 4권: 농업, 임업 및 토지이용, 5권: 폐기물

- 위성, 지상 관측 및 항공기 등을 활용한 온실가스 농도 관측과, 이로부터 대기수송모델을 이용하여 배출 플럭스를 계산하는 역모델링은 국가 온실가스 인벤토리 검증 시스템의 주요 요소임
- 우리나라 온실가스 인벤토리는 1996 IPCC 지침을 기반으로 산정되나, 일부는 IPCC 우수실행지침 2000, IPCC 우수실행지침 LULUCF 및 2006 IPCC 지침의 방법론을 적용⁴⁾
 - UNFCCC 하 부속서 I 에 포함된 국가는 2015년부터 2006 IPCC 지침을 의무적으로 적용하여 국가 온실가스 인벤토리를 구축
 - 파리협정의 강화된 투명성 체계에 따라 '24년부터 2006 IPCC 지침을 적용한 국가 온실가스 통계 산정 및 보고가 의무화되어 우리나라도 2006 IPCC 지침 적용을 위한 기반 마련 및 시범 산정 수행 중⁵⁾

전지구 이행점검(Global stocktake, GST)

- 파리협정 제14조에 따라 각 당사국의 기후변화 대응 노력에 대한 종합적인 점검 및 평가가 5년 주기로 실시됨
 - 2023년 첫 번째 전지구 이행점검(GST)이 시행될 예정이며, 감축, 적응, 이행수단 및 지원의 세 가지 주제 영역에 대한 첫 번째 GST의 결과물은 2024-25 NDCs(Nationally Determined Contributions) 상향안과 기후변화에 대한 적응 계획 수립, 개도국에 대한 재정·기술적 지원 방안 마련을 지원할 예정
 - (1단계)정보수집 및 준비 ('21.11월~'23.6월)→(2단계)기술 평가('22.6월~'23.6월)→(3단계)제1차 GST결과물 검토 및 최종 결정문 채택('23.11월)의 절차로 진행⁶⁾
 - 이행부속기구(SBI, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)와 과학기술자문부속기구(SBSTA, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)가 GST를 지원하며, 이용가능한 최선의 과학정보에 기반한 기술 대화를 통해 파리협정의 이행에 대한 논의를 진행
 - 사무국 및 전문가자문그룹 (CGE, Consultative Group of Experts), 최빈국 전문가그룹 (LEG, Least Developed Countries Expert Group), 재정상설위원회(SCF, Standing Committee on Finance) 등 구성기구는 종합보고서를 각각 작성하여 기술평가를 지원함

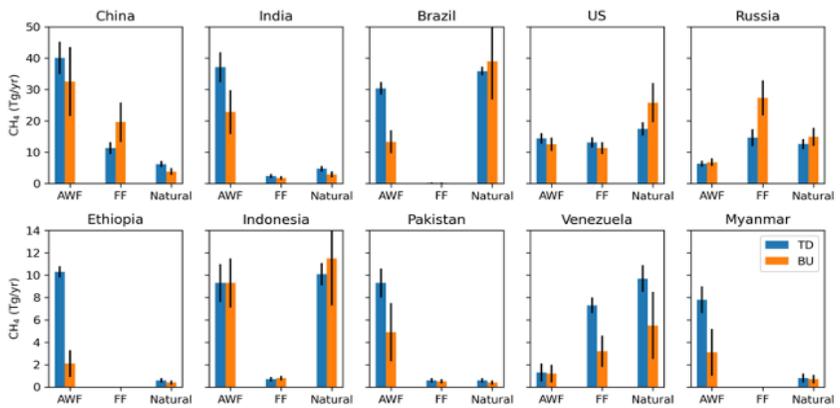
4) 제4차 대한민국 격년갱신보고서

5) 제2차 국가 온실가스 통계 총괄 관리계획(2020~2024), 2020.02

6) <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1531710&menuId=10525>(2022.10.19. 검색)

- (기술대화)당사국, 전문가, 비당사국 이해관계자 간의 대화창구로서, 파리협정 이행과 목표 달성을 위한 진전 등에 관한 가장 최신의 정보를 공유함
 - 첫 번째 전지구 이행점검을 위해 총 세 번의 기술대화(22년 6월 (SB56th), 11월 (SB57th), 23년 6월(SB58th))가 시행되며, 크게 감축, 적응, 이행 및 자원 수단의 세 분야에 대해 논의 됨
- 지구관측위성위원회 (CEOS, The Committee on Earth Observation Satellites)* 역추적 모델링 커뮤니티와 함께 시범적으로 국가단위 이산화탄소와 메탄 배출량을 하향식으로 산정하여 첫 번째 전지구이행점검을 지원하고 있음(그림3)
 - * NASA, ESA, JAXA 등 지구관측위성을 운용하는 기관으로 구성되어 있으며, 지구관측위성에 대한 국제협력을 도모하고, 기술과 정책에 대한 정보를 교환하는 중심점 역할 수행

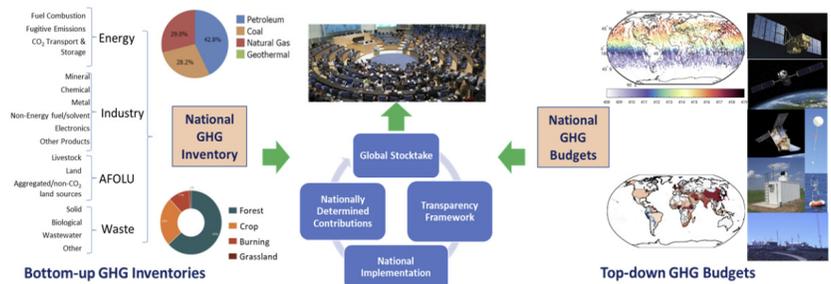
그림 3 메탄 배출량 상위 10개국의 분야별 하향식(Top-down, TD)과 상향식(Bottom-up, BU) 산정량 비교



약어설명 : AWF-Agriculture, Waste and Fires, FF: Fossil Fuels, Natural: Natural sources
출처 : CEOS

- 활동자료에 기반한 상향식 배출량 산정 방식과 지상·항공·위성 자료에 기반한 하향식 배출량 산정방식을 결합하여 보다 완전하고 투명한 온실가스 인벤토리 구축을 통해 미래의 전지구 이행점검에 활용코자 함

그림 4 상향식 온실가스 산정 방식과 하향식 온실가스 산정방식을 결합한 전지구 이행점검 과정



출처 : CEOS

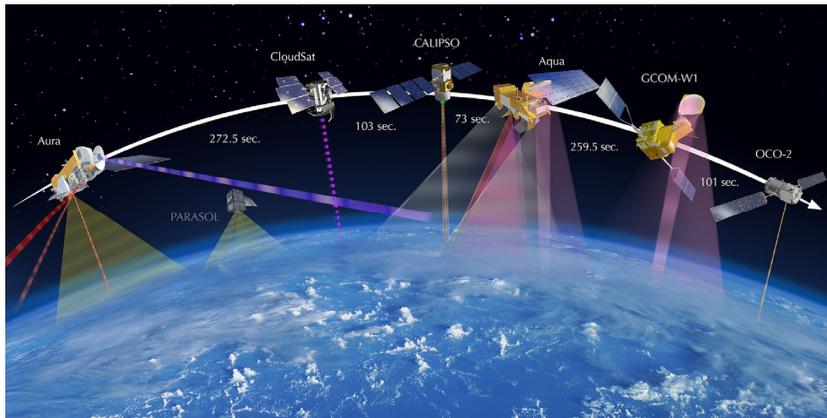
주요국 온실가스 관측위성 현황

- 주요국은 전지구적 이행점검을 대비하기 위해 위성을 활용한 온실가스 관측체계 구축 및 기술개발 추진⁷⁾

미국의 온실가스 관측위성

- (OCO-2, Orbiting Carbon Observatory-2) 미국 항공우주국 (NASA, National Aeronautics and Space Administration)의 대기 중 이산화탄소 농도 측정을 위한 지구관측위성으로 2014년 7월 2일 발사
 - 적도를 대략 정오께에 지나는 지구관측 위성들로 이루어진 A-train 군집(Aqua, CloudSat, CALIPSO, Glory, PARASOL, Aura, OCO-2)에 포함되어 다양한 위성 관측 정보의 통합적 활용성을 극대화⁸⁾

그림 5 NASA A-train Constellation



출처 : NASA Jet Propulsion Laboratory

- 근적외선 구간 (0.765, 1.61, 2.06 μ m)에서 방출되는 에너지를 관측하여 대기 중 이산화탄소를 탐지
- 온실가스 지상검증 네트워크 (TCCON, Total Carbon Observing Network)를 통해 위성 관측량 검증 수행

일본의 온실가스 관측위성

- (GOSAT & GOSAT-2, Greenhouse Gases Observing SATellite) 일본 우주항공연구개발 기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency), 환경부 (MOE, Ministry of the Environment), 국립환경연구소 (NIES, National Institute for Environmental Studies)가 공동으로 대기 중 이산화탄소를 관측하는 GOSAT 위성을 개발하여 2009년 1월 23일 발사⁹⁾ 하였으며, 후속 위성인 GOSAT-2를 2018년 10월 29일 발사하였음

7) 한용용, 전은진, 손영주 (2021) 탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향 KISTEP Issue Paper 통권 제319호

8) <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/o/oco-2>(2022.10.19. 검색)

9) https://data2.gosat.nies.go.jp/index_en.html(2022.10.19. 검색)

- 고분해 태양흡수분광간섭계 (TANSO-FTS, Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation Fourier-Transform Spectrometer)를 장착하여 대기과 지면에서 방출되는 적외선 (from near infrared region to thermal infrared region at approximately 18,500 channels) 이 온실가스에 의해 흡수되어 방출되는 양을 탐지하고 구름-에어로솔 센서 (TANSO-CAI, Cloud and Aerosol Imager)를 장착하여 온실가스 측정의 불확도를 감소시킴

EU의 온실가스 관측위성

- (Sentinel-5 Precursor) 유럽우주국 (ESA, European Space Agency), 유럽위원회 (European Commission), 네덜란드 우주청 (NSO, Netherlands Space Office)이 공동으로 개발한 지구관측위성으로 2017년 10월 13일 발사¹⁰⁾
 - ESA의 Envisat*과 NASA의 Aura**의 운용수명이 다해감에 따라 대기 중 오존, 포름알데히드, 이산화질소, 메탄, 일산화탄소 등의 점진적인 변화를 관측할 수 있는 TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument) 탑재하고 있음¹¹⁾
 - * 2002년 3월 1일 발사된 ESA의 지구관측 위성으로 2012년 4월 8일 운용종료 되었음
 - ** 2004년 7월 15일 발사된 NASA의 지구관측 위성으로 성층권 오존층의 감소를 막기 위해 몬트리올 협약이 발효된 이후 오존층의 상태 변화를 추적하기 위해 대기 중의 오존, 에어로솔, 일산화탄소, 질소 및 황산화물 등의 주요 가스 등을 관측하고 있음¹²⁾
 - NASA/NOAA Suomi-NPP (National Polar Partnership) 위성 궤도를 3.5분 차이를 두고 따라감으로써 VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 센서로부터 측정된 구름¹³⁾ 정보를 함께 활용할 수 있음

표1 주요국 온실가스 관측위성 현황 요약

	GOSAT-2 ¹⁴⁾	OCO-2 ¹⁵⁾	SENTINEL-5P ¹⁶⁾
	 credits:JAXA	 credits:NASA	 credits:ESA
발사일	October 29, 2018	July 2, 2014	October 13, 2017
중량	1,800 kg	454 kg	820 kg
궤도	태양동기궤도	태양동기궤도	태양동기궤도
고도	613 km	705 km	824 km
탑재체	TANSO-FTS, TANSO-CAI-2	High-resolution nadir-scanning SW spectrometer	TROPOMI
관측 온실가스	CO, CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , O ₂	O ₃ , CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
시·공간 해상도	10.5km, 3 days	1.29km×2.25m, 18 days	7km, 1 day
스펙트럼 범위	0.755~14.29μm, 0.333~1.675μm	0.765, 1.61, 2.06 μm	0.27~0.5, 0.675~0.775, 2.305~2.385 μm
데이터 제공처	GOSAT Data Archive Service (GDAS)	GES DISC	ESA Copernicus Open Access Hub

10) [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p\(2022.10.19. 검색\)](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p(2022.10.19. 검색))

11) [https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p\(2022.10.19. 검색\)](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p(2022.10.19. 검색))

12) [https://www.nasa.gov/mission_pages/aura/main/index.html\(2022.10.19. 검색\)](https://www.nasa.gov/mission_pages/aura/main/index.html(2022.10.19. 검색))

13) [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/orbit\(2022.10.19. 검색\)](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/orbit(2022.10.19. 검색))

- 주요국들은 위성기술을 활용한 대기 중 온실가스 농도 직접관측을 통해 국가 온실가스 인벤토리의 품질을 향상시키고, 신속하고 상세한 온실가스 모니터링 시스템을 구축하여 실효성 있는 탄소 감축 전략을 수립 중
 - 지난 20년간 이산화탄소를 직접 관측하기 위한 위성이 공공 뿐 아니라 민간기업에서도 꾸준히 개발되어 현재 전세계적으로 약 13개의 위성이 탄소모니터링을 위해 운영 중이며 앞으로 7개의 새로운 위성이 추가될 예정
 - 클라우드 컴퓨팅 플랫폼을 활용한 데이터 처리 용량 등의 증가는 빅데이터 처리 속도를 증가시켜 위성 관측정보를 활용한 복잡한 탄소 배출량 예측 모델링이 가능해짐
- 우리나라는 다목적 실용위성인 아리랑 1·2·3·3A·5호, 정지궤도 복합위성인 천리안 1·2A·2B 등의 개발로 높은 수준의 위성 개발 능력을 보유하고 있으나 CO₂, CH₄ 등과 같은 온실가스를 직접 관측하는 위성은 부재한 상태
 - 국내의 경우 배경 대기 관측을 목적으로 안면도, 제주 고산, 울릉도 등에 지상관측장비를 설치하여 지구대기감시관측망을 구축하였으나, 온실가스 관측 미션에 특화된 위성은 보유하고 있지 않음
- OCO, GOSAT 등의 온실가스 관측 위성 결과물을 공중에 개방하고 있으나, 이를 우리나라에 직접 활용하기에는 관측 빈도와 해상도 측면에서 한계 존재
- 최근 300~500 km 저궤도에 쏘아 올리는 중량 100kg 이하의 초소형 인공위성 기술이 부각됨에 따라 이를 국내 탄소배출량 모니터링에 활용 가능
 - 초소형 위성은 상대적으로 단기간·저비용으로 개발이 가능하고, 여러 대를 군집으로 운영하여 동일 지점을 더 자주, 보다 상세하게 관측 가능함
 - 탑재체의 소형화, 경량화 등을 통해 기술이 고도화되고 위성 군집운용을 접목한 준 실시간 전지구 관측정보가 생산가능해짐에 따라 상업용 지구관측 영상을 제공하는 국외 기업의 수도 증가 추세
 - 2021년 6월 과기정통부가 발표한 초소형위성 개발 이행안(로드맵)에 따르면 2031년까지 공공분야 초소형 위성 100기 이상을 산업체 주도로 개발하고, 특히 국가안보를 위한 감시체계 구축, 6G 위성통신망, 우주전파환경 관측, 미래선도기술 확보의 4분야의 공공수요 확대를 통한 시장을 조성하여 초소형위성 기업 성장을 적극 지원할 예정
- 온실가스 관측 독자 위성을 보유하게 되면 시의성 있고 신뢰도 높은 탄소배출량 모니터링 시스템 구축으로 실효성있는 탄소중립 정책 수립이 가능하며, 객관적이고 독립적인 온실가스 배출 정보 확보로 기후 외교 대응 역량을 강화할 수 있음
- 위성이 관측한 온실가스 데이터 획득, 저장 및 관리, 분석 및 시각화 등 데이터 전주기를 지원하는 플랫폼도 함께 개발되어 기후변화 대응 정책 수립에 온실가스 배출 정보가 실질적으로 폭넓게 활용될 수 있도록 지원 필요

14) <https://global.jaxa.jp/projects/sat/gosat2/>(2022.10.19. 검색)

15) <https://ocov2.jpl.nasa.gov/mission/>(2022.10.19. 검색)

16) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>(2022.10.19. 검색)

- 온실가스 관측 위성 기술의 이전을 통해 개도국의 제도 및 관련 전문가 부족으로 인한 국가 인벤토리 산정 및 검증역량 한계를 보완하여 각국의 실정에 맞는 국가 온실가스 감축 정책 추진에 기여
 - 교토의정서 체제 하에 온실가스 인벤토리 제출 및 검토의 의무를 수행해 온 부속서 I 국가와 파리협정이 타결될 때까지 해당 의무가 없었던 비부속서 I 국가간의 온실가스 산정 역량 차이가 존재하여 일부 개도국의 경우 국제기구의 지원을 받아 국가보고서를 작성·제출¹⁷⁾

17) 박덕영·유연철 외 (2020) 파리협정의 이해

Reference

- 1) 김승도, 나승혁 (2008), 온실가스 배출량 산정방법, 전자공학회지, 35(11),73-82
- 2) 국립기상과학원, WMO 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템 (IG3IS) 과학 실행계획서 요약
- 3) 이윤곤, 이한림, 이주희 (2019), 저궤도 온실가스 관측위성 도입 타당성 기획연구
- 4) 제4차 대한민국 격년갱신보고서
- 5) 제2차 국가 온실가스 통계 총괄 관리계획(2020~2024), 2020.02
- 6) <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1531710&menuId=10525> (2022.10.19. 검색)
- 7) 한웅용, 전은진, 손영주 (2021) 탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향 KISTEP Issue Paper 통권 제319호
- 8) <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/o/oco-2>(2022.10.19. 검색)
- 9) https://data2.gosat.nies.go.jp/index_en.html(2022.10.19. 검색)
- 10) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>(2022.10.19. 검색)
- 11) <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-5p> (2022.10.19. 검색)
- 12) https://www.nasa.gov/mission_pages/aura/main/index.html(2022.10.19. 검색)
- 13) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/orbit>(2022.10.19. 검색)
- 14) <https://global.jaxa.jp/projects/sat/gosat2/>(2022.10.19. 검색)
- 15) <https://ocov2.jpl.nasa.gov/mission/>(2022.10.19. 검색)
- 16) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>(2022.10.19. 검색)
- 17) 박덕영·유연철 외 (2020) 파리협정의 이해

본 내용은 녹색기술센터(GTC)의 수탁사업(에너지분야 고해상도 탄소배출량 모니터링을 위한 위성기반 관측시스템 연구 융합클러스터)으로 수행한 내용을 요약·정리한 것입니다.



04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층
Tel. 02.3393.3900
Fax. 02.3393.3919~20
www.gtck.re.kr

* 본 GTC BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.