

IFS 국가 정책 제안 메탄 탈루 MMRV를 통한 국가 에너지 부문 탄소감축 전략

서울대 기후테크센터 장동영 부센터장
서울대 환경대학원 정수종 교수



1 메탄과 기후변화

메탄(methane, CH₄)의 기후학적 중요성과 국제 감축·모니터링 체계 강화

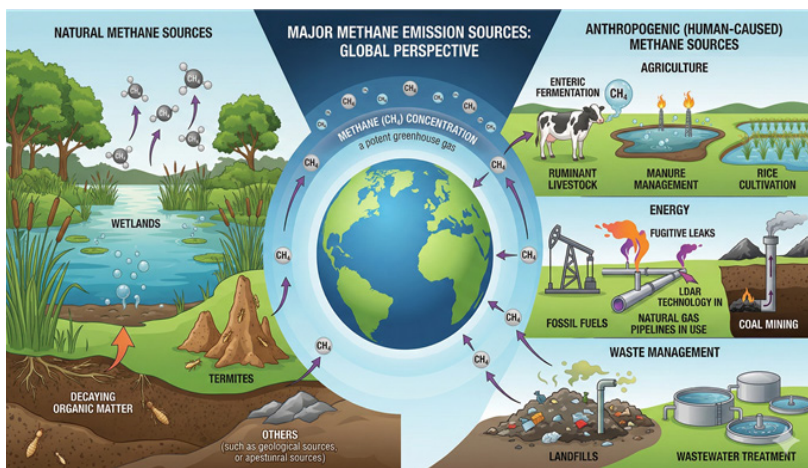
- 메탄은 주요 온실가스 중 하나로, 대기 체류시간이 약 12년으로 이산화탄소에 비해 상대적으로 짧으나, 열을 가두는 능력(지구 온난화지수, GWP)은 20년 기준 이산화탄소의 약 84~86배에 달하는 강력한 단기 체류 기후변화 유발 물질(SLCP, Short-Lived Climate Pollutant)임
- 따라서, 메탄 배출량 감축은 단기간에 온난화 속도를 제어할 수 있는 효율적인 기후변화 완화 수단으로 부상하고 있음. 현재 국제사회는 '글로벌 메탄서약(Global Methane Pledge)'을 통해 실질적이고 객관적인 메탄 배출량 감축 전략을 수립하고 있음
- 또한 최근 국제사회는 메탄 감축의 실효성을 높이기 위해 위성·항공·지상관측을 연계한 관측 기반(top-down) 메탄 모니터링 체계를 강화하고 있으며, UNEP의 IMEO(International

Methane Emissions Observatory), OGMP 2.0(Oil and Gas Methane Partnership), IEA Methane Tracker 등 국제 협력 체계를 중심으로 객관적·검증 가능한 메탄 배출량 산정 및 관리 체계를 확대하고 있음

주요 배출원 특성 및 에너지 부문 집중 관리의 필요성

- 전 세계 메탄은 습지, 흰개미, 영구동토층 등의 자연 배출원(전체의 약 40%)과 인간 활동에 의한 인위적 배출원(약 60%)으로 나뉘며, 이 중 인위적 배출은 주로 농업(40%), 화석 연료(35%), 폐기물(20%) 부문에서 발생함.¹⁾ 이렇듯, 일반적으로 농축산 분야 및 자연 생태계(습지 등)와 같은 자연 배출원이 차지하는 비중이 크기에 많은 국가들이 다양한 기술개발을 통해 감축 전략을 수립하고 있음

[그림 1] 메탄의 주요 배출원



- 최근 들어 기존 자연 배출원 외에 인위적 배출원, 특히 에너지 부문에 대한 감축 필요성이 강하게 대두되고 있음. 이는 메탄이 주요 에너지원인 천연가스의 주성분으로서 석유·가스(O&G) 생산, 수송 및 정제 및 활용 등 화석 연료 인프라 전반에서 배출되기 때문임

- 뿐만 아니라 에너지 부문의 탈루는 배출원이 명확히 특정되는 점오염원의 성격을 가져, 배출 지점의 탐지 및 특정이 용이하고 감축의 기술적 실효성과 비용 효율성 높으므로, 에너지 부문 탈루에 대한 집중적 관리가 매우 효율적이라고 평가됨²⁾

1) UNEP. 2021. *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. United Nations Environment Programme.
 2) IEA. 2020. *Methane Tracker 2020*. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2020>

2 메탄 탈루 감축을 위한 국제사회의 동향(글로벌 규제 패러다임)

글로벌 규제 패러다임 전환: MMRV 제도화 및 LDAR 강화

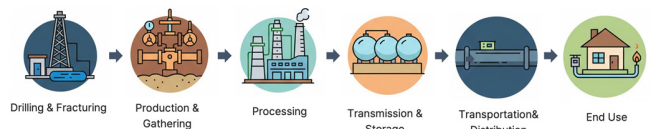
- 에너지 부문의 메탄 탈루는 생산·저장·수송·배분·사용 과정 전반에서 발생하는 ‘보이지 않는 에너지 손실(invisible energy loss)’로, 전 세계 인위적 메탄 배출량의 약 35~40%를 차지하는 주요 배출원으로 평가됨.³⁾ 특히 천연가스(LNG) 공급망 확대와 도시가스 사용 증가에 따라 사용과정에서 발생하는 다운스트림(downstream) 에너지 인프라에서의 탈루 관리 중요성이 급격히 증가하고 있음
- 따라서 에너지 부문의 메탄 탈루 관리는 가장 비용 효율적이고 단기간 내 효과를 기대할 수 있는 기후변화 대응 수단으로 평가되며, 비의도적 누출(Leaks)뿐 아니라 의도적 방출(Venting) 및 연소 배출(Flaring)까지 포함한 통합 관리 체계 구축이 필수적임
- 유엔환경계획(UNEP)과 국제에너지기구(IEA)는 에너지 부문 탈루 감축의 실효성을 확보하기 위해 메탄 탈루의 투명한 관리와 관측 기반 검증 체계 구축을 강조하고 있음. 특히 대기 중 메탄의 감시·측정·보고·검증(MMRV; Monitoring-Measurement-Reporting-Verification) 체계의 제도화와 탈루 탐지 시 즉각적으로 보수하는 LDAR(Leak Detection and Repair)의 강화를 기후변화 대응의 핵심 전제 조건으로 제시하고 있음
- 최근에는 위성·항공·지상관측을 연계한 관측기반의 하향식(top-down) 기반 메탄 감시체계가 신속하게 확대되고 있으며, 특히 에너지 부문의 탈루 배출에 대한 실시간 탐지와 LDAR 기반 관리의 중요성이 커지면서 국가 인벤토리와 실제 대기 관측 간 차이를 줄이기 위한 MRV/MMRV 체계 고도화가 글로벌 메탄 감축 전략의 핵심 요소로 부상하고 있음

-특히 미국과 유럽연합(EU) 등 주요국은 메탄 탈루 관리를 단순 권고 수준이 아닌 강력한 법적 규제와 국제 공급망 기준으로 격상하고 있음. 이는 향후 에너지·철강·석유화학 등 탄소집약 산업뿐 아니라 LNG 수입·수출 과정에서도 새로운 비관세 무역장벽(non-tariff barrier)으로 작용할 가능성을 시사함

주요국(EU & 미국) 메탄 관리 규제 및 페널티 동향

- EU는 사업장 내 실측 기반의 메탄 인벤토리 고도화와 전 시설 LDAR 적용을 의무화하였으며, 이를 역내 생산시설뿐 아니라 수입 에너지 공급망에도 동일하게 적용하고 있음. 특히 EU Methane Regulation을 통해 사업자에게 정기적인 누출 조사 및 검증 의무를 부여하고, 기준 초과 시 벌금 및 시장 접근 제한 조치를 적용하고 있음
- 미국 또한 인플레이션 감축법(IRA)과 환경보호청(EPA) 규제를 통해 대규모 배출원(100kg CH₄/h 이상)에 대한 원격탐지 및 연속 모니터링을 의무화하고 있으며, 보고 기준을 대폭 강화하여 소규모 누출까지 조기 탐지하도록 규제 체계를 확대하고 있음. 또한 초과 배출 사업장에 대한 메탄 수수료(methane fee) 및 선제적 페널티 부과를 통해 사업자의 자발적 감축과 실시간 관리 체계 구축을 유도하고 있음

[그림 2] 메탄 탈루는 에너지 생산과정부터 배분 및 사용과정 전반에 발생 가능



3) Saunio, M., et al. 2025. "The Global Methane Budget 2000–2020." *Earth System Science Data* 17(5): 1873-1958.

3 국내 메탄 탈루 현황 : LNG 발전 사례

국내 메탄 탈루 실측 및 정량화 연구의 필요성

- 국내 메탄 탈루 현황을 이해하기 위해서는 현장 측정 기반 정량화 연구가 필수적이나, 현재 관련 실증 데이터는 매우 부족한 실정임
- 최근 서울대학교 연구팀이 고정식 및 이동식 온실가스 대기 관측 장비(그림 3)를 활용하여 현장 측정을 통한 메탄 탈루의 정량화와 특성 이해를 위해 메탄 농도 변동의 지속적 관측을 기반한 메탄 탈루 연구를 진행함

대기 관측 기반 국내 LNG 발전 부문 탈루 정량화 실증 사례

- 국내의 LNG 발전소 3곳을 약 1년간 집중 관측한 결과, 실제 관측된 탈루량(0.3~3.2t/h)이 기존 배출계수 기반으로 보고된

탈루량(0.08~0.35t/h)보다 최대 약 9배 높은 수준임이 밝혀짐.⁴⁾ 이는 현행 추정 방식이 실제 탈루 규모를 과소모의 가능성을 시사함

- 서울의 한 특정 LNG 발전소를 기준으로, 관측 기반 메탄 누출률(2.57%)은 보고된 누출률(0.43%)의 약 5.9배에 달함
- 시간당 80톤의 LNG를 사용하는 발전소를 가정할 때, 탈루되는 메탄(2,053kg/h)과 불완전 연소로 발생하는 메탄(1.6kg)을 합산하면 시간당 총 2.07톤의 LNG가 낭비되는 동시에 약 5.78tCO₂eq의 온실가스가 대기 중으로 배출될 것으로 추정됨
- 위의 수치는 승용차가 50km/h 주행속도로 운행 시 배출하는 평균 배출량(251g CO₂/km) 기준 시, 4,600대가 1시간 내내 주행하는 동안 배출되는 양과 유사할 것으로 추정됨

※ 더 자세한 사항은 Chang and Jeong(2025) 논문에서 확인 가능합니다.

[그림 3] 온실가스 이동 관측 플랫폼



4) Chang, D. Y., and S. J. Jeong. 2025. "Climate and Economic Benefits of Reducing Fugitive Methane Emissions through Atmospheric Monitoring." *Atmosphere* 35(4): 541-548.

4 국내 메탄 감축을 위한 정책 및 기술 제언

국내 실정에 맞는 MMRV 제도화 및 LDAR 의무화와 같은 '선한 규제' 도입이 필요함

- 세계 3위 LNG 수입국인 한국은 글로벌 메탄 규제 리스크를 방어하고 에너지 효율을 극대화하기 위해, 국내 실정에 맞는 정교한 MMRV 제도화 및 LDAR 의무화와 같은 '선한 규제'의 도입이 시급함
- 실측을 통한 탈루의 조기 발견(MMRV)과 신속한 보수(LDAR), 그리고 그 감축 성과를 다시 정량적으로 검증하는 선순환 체계는 메탄 감축의 효율성을 극대화하는 핵심 전략임
- 이는 환경 규제를 넘어 산업 경쟁력 확보와 국제 규제 대응을 위한 전략으로 추진 필요함

[그림 4] MMRV와 LDAR의 공동편익



발전 부문 LDAR 도입의 경제적·환경적 편익 (직접 비용 및 사회적 비용 절감 효과)

- 앞선 실증 사례의 누출률을 국내 LNG 발전 부문 전체에 적용할 경우, 연간 약 62만 톤의 LNG 손실이 발생하는 것으로 추정됨
- LDAR의 전면 도입만으로도 연간 약 5,300억 원 규모의 직접적인 연료 비용 절감이 가능하며, 기후변화 완화에 따른 사회적 비용 절감액까지 포함할 경우 직접 손실의 약 9.3배⁵⁾인 5조 원 규모의 경제적 이익이 창출될 것으로 기대됨

성공적 이행을 위한 산업계·정부·학계의 협력 거버넌스 필요

- 메탄 탈루 감축은 산업계·정부·학계(및 국제기구) 간의 지속적 협력이 가능한 메탄 감축 위원회(Methane Reduction Committee)와 같은 거버넌스가 필수적임
- 주요 이해관계자가 모여 국내외 동향을 공유하고, 부문별 감축 전략, 데이터 기반 MMRV 체계 구축 방안을 중심으로 실질적 대응 방안을 논의하는 '메탄 감축 담화(Methane Reduction Dialogue, MRD)'가 요청됨
- 나아가 MRC를 통한 지속적인 소통과 이행 점검의 수행은 국가·지역·산업·환경 간 협력을 강화시켜 효과적 메탄 감축이 기대됨

5) Sherwin, E. D., et al. 2024. "US oil and gas system emissions from nearly one million aerial site measurements." *Nature*, 627(8003): 328-334.