제조공정 미활용 부생수소 활용에 관한 온실가스 감축사업 방법론 적용성 분석

조인경*, †

1. 서 론

수소가 탄소중립 달성과 저탄소 에너지 전환의 핵심 수단으로 주목받고 있다. 수소는 탄소를 포함하고 있지 않기 때문에 온실가스를 배출하지 않아 친환경 연료로 평가를 받고 있으며, 국가적으로도 수소 전주기 생태계 구축을 위한 대규모 R&D 투자가 적극적으로 이루어지는 추세이다. 그러나 청정수소의 대량 생산 및 공급 인프라를 단기간 내에 구축하는 것은 기술적·경제적 진입장벽으로 인해 현실적인 한계가 존재한다. 청정수소 생산·공급 기반이 충분히 구축되기 전까지 부생수소는 기존 산업기반을 활용할 수 있는 과도기적 수소자원으로 기능할 수 있다.

부생수소는 주로 정유, 석유화학, 가스유통 및 철강 산업 등 온실가스 다배출 공정에서 발생되고 있으며, 대부분 공정 원료나 수송용 연료로 투입되고 있으나 일부 수소 순도가 낮거나 가스 조성이 불균일한 잔여 부생수소의 경우 추가 정제의 경제성 및 기술적 한계로 인해 플레어스택에서 소각되거나 저부가가치 용도로 제한적으로 이용되고 있다. 이러한 이른바 '미활용 부생수소**'는 연소 제어 등 기술적 보완을 거친다면 화석연료를 대체할 수 있는 저탄소 산업용 열원으로 활용될 잠재력이 높다. 2024년 기준 국내 수소 수급 현황에 따르면, 전체 수소 생산량 268만 톤 중 부생수소가 약 55%를 차지하고 있다[1].

미활용 부생수소의 저탄소 열원으로서의 가치를 인정받기 위해서는 온실가스 감축 실적과의 연계가 필요하다. 최근 산업계에서는 배출권거래제에 따른 직접적인 규제비용을 줄이고, 제품 탄소집약도 관리와 글로벌 탄소규제에 대응하기 위해 저탄소 설비 및 연료로의 전환을 확대하고 있다. 이와 함께 감축사업 등록을 통해 인정받은 감축실적은 저탄소 설비 전환에 필요한 투자 경제성을 보완하는 수단으로 활용될 수 있다.

현행 온실가스 감축 제도 하에서 미활용 부생수소의 활용 가치를 공식적인 배출권 및 감축 실적으로 인정받기 위해서는 국내외 감축 체계와 방법론에 대한 검토가 선행되어야 한다. 현재 운영 중인 다양한 감축사업 방법론 가운데 부생수소 활용사업의 감축 메커니즘을 수용할 수 있는 방법론이 존재하는지, 또는 기존 방법론의 개정이나 새로운 방법론 개발이 필요한지를 살펴볼 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 미활용 부생수소 활용사업의 온실가스 감축사업 등록을 위한 사전 검토로서, 국내외 주요 감축사업 방법론의 적용 범위와 조건을 조사·비교하고 이를 통해 적용 가능성이 높은 방법론을 확인하였다.

* 한국생산기술연구원 지속가능기술연구소 지역산업혁신부문(배출저감) / 수석연구원(보) / ikcho98@kitech.re.kr / 교신저자

** 본 연구에서 미활용 부생수소 활용사업은 제조공정에서 발생하지만 충분히 이용되지 못하는 수소함유 부생가스를 보일러 또는 연소설비의 연료로 활용하여 기존 화석연료를 대체하는 사업을 의미한다. 온실가스 감축방법론의 적용 대상에 대해 '부생수소 활용사업'이라는 표현을 사용하였다.

2. 국내외 온실가스 감축사업 방법론 조사·분석

2.1. 감축사업의 유형과 조사 범위

온실가스 감축사업은 사업의 수행 지역에 따라 크게 '국내 감축사업'과 '국제 감축사업'으로 구분된다. 국내 감축사업[2]은 국내에서 수행된 감축활동의 성과를 국가 제도 안에서 인정받는 체계이며, 대표적으로 배출권거래제의 '외부사업'이 있다. 외부사업은 배출권거래제 할당대상업체의 조직경계 외부에서 발생한 온실가스 감축활동을 등록·승인하고, 검증된 감축량을 상쇄배출권으로 전환하여 거래 및 상쇄에 활용할 수 있도록 지원한다.

국제 감축사업[3]은 국가 간 협력 또는 국제기구의 기준에 따라 해외에서 감축실적을 창출하고 이를 국내외로 이전하는 사업이다. 과거 교토의정서 체제하의 청정개발체제(CDM)가 오랜 기간 중심축 역할을 해왔으나, 현재는 파리협정 제6.4조 메커니즘을 비롯한 신규 국제감축체계로의 전환이 진행되고 있다.

이러한 국내외 온실가스 감축사업을 공식 등록하고 감축량을 인정받기 위해서는 사업별 적용조건, 베이스라인 시나리오, 사업배출량 및 누출량 산정, 모니터링 방법 등을 규정한 승인 방법론을 적용해야 한다. 국내 배출권거래제 외부사업 체계에서는 국내에서 승인된 외부사업 방법론뿐만 아니라, 일정 요건을 충족하는 UN CDM 방법론도 연계하여 활용할 수 있도록 허용하고 있다. 따라서 국내에 직접 적용할 수 있는 방법론이 부재하더라도 국제 방법론을 준용하거나 국내 여건에 맞게 개정할 수 있는 제도적 기반이 존재한다***.

본 연구의 대상인 미활용 부생수소 활용사업은 수소의 활용, 연료전환 및 폐가스의 에너지 이용 등 복합적인 특성을 동시에 포함하고 있어 기존의 단일 분류체계에 대입하기에는 모호성이 존재한다. 이에 본 연구에서는 부생수소 활용사업의 다면적 특성을 고려하여 ① 수소 생산·활용, ② 연료전환, ③ 폐가스·폐에너지 활용 관련 방법론을 중심으로 적용 가능성을 검토하였다.

2.2. CDM 방법론의 적용 가능성

1) 수소 관련 방법론

수소와 관련된 CDM 방법론은 수소 가스를 생산하는 방법론과 수소를 직접 활용하는 방법론 등으로 구분할 수 있다. 수소 생산 방법론은 재생에너지 전력을 활용한 수전해 기술로 그린 수소를 생산하여 기존의 화석연료 기반의 그레이수소를 대체하는 방법론인 AM0124[4]과 바이오가스의 메탄을 정제하여 수소를 생산하는 방법론인 AMS-III.O[5] 등이 있다. 수소를 직접 활용하는 방법론으로는 재생에너지 또는 계통전기를 사용하여 수전해로 생산한 수소를 연료전지 차량에 활용하는 방법론인 AMS-III.BQ[6]이 유일하다. 그 외 천연가스를 원료로 한 연료전지를 이용하여 열과 전기를 생산하는 방법론인 AMS-III.AC[7]이 있다.

수소 관련 방법론들은 대부분 수소의 생산과정이나 수송용 연료로서의 활용에 초점을 두고 있다. 그러나

*** 교토의정서에 따른 CDM 체계는 2026년 말에 종료예정으로 신규 사업등록을 받고 있지 않은 상태이며, 파리협정에 따른 제6.4조 메커니즘은 정식 사업이 진행 전의 과도기적 상황인 점을 감안하여 CDM 방법론에 기반하여 분석을 수행하였다.

미활용 부생수소 활용사업은 제조공정에서 부산물로 발생한 수소함유 가스를 산업용 연료로 사용하여 증기 또는 공정열을 생산하고 기존 화석연료 사용량을 줄이는 사업이다. 따라서 기존 수소 생산·활용 방법론을 직접 적용하기에는 적합하지 않다.

2) 연료전환 방법론

연료전환 부문의 방법론은 베이스라인과 사업활동에서 사용하는 연료, 적용하는 감축기술, 사업활동이 수행되는 분야 및 설비 등에 따라 적용조건을 구분하고 있어 방법론의 종류가 다양하다(AM0049, AM0056, AM0091, ACM0002, ACM0023, AMS-II.D, AMS-II.E, AMS-II.F, AMS-III.B, AMS-III.AG, AMS-III.AM, AMS-III.AN). 이 가운데 제조공정에서의 미활용 부생수소 활용사업과 비교할 수 있는 주요 방법론은 AM0049, AMS-II.D, AMS-III.B 등이다.

AM0049는 산업시설에서 석탄 또는 석유를 천연가스나 메탄 함량이 높은 가스로 전환하여 전력·증기·열을 생산하는 사업에 적용된다[8]. 그러나 적용 연료를 천연가스 또는 메탄 풍부 가스(Methane rich gas, MRG)로 제한하고 있어 수소 함량이 높고 조성이 다양한 수소함유 부생가스에는 적용하기 어렵다. AMS-II.D는 산업시설 및 광산·광물 공정의 에너지변환 설비를 고효율화하는 사업에 적용되는 방법론이다[9]. 연료전환을 일부 포함할 수 있으나, 연료전환 자체가 사업의 주된 감축활동인 경우에는 적용하기 어렵다. 소규모 연료전환 방법론인 AMS-III.B는 초기 버전인 Version 1.0(2002년 10월 31일 적용)에서 폐가스를 활용한 연료전환을 허용하는 등 비교적 적용 범위가 넓었다[10]. 그러나 개정 과정에서 적용 범위가 축소되어 최신 버전인 Version 18.0(2015년 4월 16일 적용)에서는 폐가스 및 바이오매스 등을 활용한 연료 전환을 명시적으로 제외하고 있으며, 석탄이나 석유를 천연가스와 같은 저탄소 화석연료로 전환하는 경우에 한정적으로 적용할 수 있다. 따라서 미활용 부생수소 활용사업은 기존 화석연료를 대체한다는 점에서는 연료전환사업과 유사하지만, 사업활동에 사용되는 연료가 기존에 활용되지 않던 폐가스라는 점에서 일반적인 화석연료 간 연료전환 방법론과 차이가 있다.

3) 폐가스 및 폐에너지 활용 방법론

폐가스 및 폐에너지 활용 방법론은 폐열, 폐가스 또는 폐압을 회수하여 에너지나 원료로 활용함으로서 기존 화석연료 사용에 따른 온실가스 배출량을 감축하는 사업에 적용된다. 해당 방법론은 베이스라인과 사업활동에 사용하는 원료·연료, 사업이 수행되는 산업 및 설비 등에 따라 구분된다. 미활용 부생수소 활용사업과 가장 유사한 방법론은 폐에너지 회수 방법론인 대규모 방법론인 ACM0012[11]과 소규모 방법론인 AMS-III.Q[12]이다.

ACM0012는 기존 또는 신설 산업시설에서 발생하는 폐열, 폐가스 및 폐압을 회수하여 열, 전기 또는 기계적 에너지로 활용하는 사업에 적용된다. 부생수소를 보일러 또는 연소설비의 연료로 사용하여 증기나 공정열을 생산하고, 그만큼 기존 화석연료 사용을 줄이는 사업구조를 비교적 직접적으로 반영할 수 있다. 이 방법론은 사업 시행 후 생산량 증가 등에 따라 폐가스 발생량이 인위적으로 증가하는 것을 방지하기 위해 과거 생산량과

폐에너지 발생량을 기준으로 상한지수를 적용한다. 또한 폐가스가 소각되거나 방출되고 필요한 열 또는 전력이 화석연료 보일러나 외부 전력망에서 공급되는 상황을 조합하여 베이스라인 시나리오를 설정할 수 있다는 장점이 있다. 다만 적용 절차가 복잡하고, 대규모 사업에서는 경제적 추가성 입증과 과거 운전자료 확보가 중요하다. AMS-III.Q는 연간 감축량 6만 tCO_{2e} 이하의 폐에너지 회수사업에 적용되는 소규모 방법론으로, ACM0012의 일부 절차를 간소화한 방법론이다. 기존 또는 신설 산업시설에서 발생하는 폐에너지를 열, 전기 또는 기계적 에너지로 활용하는 사업에 적용할 수 있으며, 사업 시행 이전에 해당 폐가스 또는 폐에너지가 실제로 이용되지 않았다는 사실을 입증해야 한다. 다만 AMS-III.Q는 소규모 사업에만 적용할 수 있어 대규모 석유화학단지나 철강공정에서 발생하는 부생수소의 에너지 활용사업을 포괄하기에는 규모상 제약이 있다. 또한 조사 범위에서는 해당 방법론을 수소함유 부생가스의 연소사업에 적용하여 실제 감축실적으로 연결한 사례가 확인되지 않았다. 따라서 직접적인 준용보다는 신규 방법론의 적용조건과 산정구조를 검토하기 위한 참고 방법론으로 활용하는 것이 적절하다.

2.3. 국내 배출권거래제 외부사업 방법론의 적용 가능성

국내에서 개발된 외부사업 방법론은 100여 개에 이른다. 주로 재생에너지, 미활용 열에너지 이용 및 전력 생산, 연료전환, 전력 절감 설비, 고효율 설비 설치, 식생·조림 및 농업 분야의 방법론 등이 있다. 미활용 부생수소 활용사업과 비교할 수 있는 방법론으로는 「미활용 열에너지를 회수 및 이용하는 사업의 방법론」(03A-001)[13]과 「연료전환 사업의 방법론」(03A-002)[14]이 있다.

03A-001은 산업시설의 증기, 온수 및 배가스의 현열과 같은 물리적 열에너지를 회수하는 사업을 대상으로 하며, 폐가스·폐압 및 기계적 에너지를 활용하는 사업은 적용 대상에서 제외한다. 부생수소 활용사업은 이미 존재하는 열을 회수하는 사업이 아니라 가스가 보유한 화학적 에너지를 연소를 통해 열로 전환하는 사업이다. 따라서 이 방법론을 직접 적용하기 어렵다. 03A-002는 화석연료 간 전환, 예를 들어 B-C유를 LNG로 전환하는 사업을 다루는 방법론으로, 미활용에너지인 폐가스를 사용하는 사업은 적용 대상에서 제외한다. 또한 수소와 같은 무탄소 연료 또는 수소함유 혼합가스의 조성과 발열량을 반영한 배출량 산정기준이 구체적으로 제시되어 있지 않아 적용에 한계가 있다. 종합하면 국내 외부사업 방법론은 현열 회수 또는 화석연료 간 전환을 중심으로 구성되어 있어, 폐가스가 보유한 화학적 에너지를 이용하여 기존 화석연료를 대체하는 부생수소 활용사업을 직접적으로 포괄하기 어렵다.

표 1. 주요 방법론 조사·분석 결과 비교표

방법론		적용대상 감축활동	사용연료		배출량 산정기준		적용성
			Baseline	사업활동	Baseline	사업·누출량*	
UNFCCC CDM 사업 방법론							
AM 0049	Methodology for gas based energy generation in an industrial facility	자가용 에너지 (전기·열·증기)	석탄·석유	천연가스, MRG	과거 연료 사용량, 열병합 폐열 회수량	연료 사용량, LNG 가공/비산	적용연료 제한으로 직접 적용 곤란
AMS -II.D	Energy efficiency and fuel switching measures for industrial facilities	고효율 설비 (산업, 광산·광물)	-	-	과거 연료 사용량, 과거 에너지 원단위	연료 사용량, 에너지 원단위	연료전환이 주된 감축활동인 경우 적용 곤란
AMS -III.B	Switching fossil fuels	연료전환	화석연료	천연가스	과거 연료 사용량	연료 사용량	폐가스이용 연료전환은 적용대상에서 제외

방법론		적용대상 감축활동	사용연료		배출량 산정기준		적용성
			Baseline	사업활동	Baseline	사업·누출량*	
UNFCCC CDM 사업 방법론							
ACM0012	Waste energy recovery	폐에너지 회수 (폐열·가스·폐압)	화석연료, 미활용 폐에너지	폐에너지	폐에너지 회수량	보조연료	정합성 확인, 일부 조건 검토 필요
AMS -III.Q	Waste energy recovery	폐에너지 회수 (폐열·가스·폐압)	화석연료, 미활용 폐에너지	폐에너지	폐에너지 회수량	보조연료	소규모사업한정, 참고 방법론으로 활용 가능
국내 배출권거래제 외부사업 방법론							
03A -001	미활용 열에너지 회수 및 이용 사업의 방법론	미활용에너지 이용 (폐가스 이용 제외)	화석연료, 미활용 에너지	미활용 에너지	과거 에너지 사용량, 회수 열량 기준	연료 사용량	폐가스의 화학적 에너지 이용 제외로 적용 불가
03A -002	연료전환 사업의 방법론	연료전환 (미활용 에너지 제외)	화석연료	저탄소 화석연료	회수 열량 기준	연료 사용량	미활용에너지 제외로 직접 적용 불가

* 감축사업 실행 과정에서 직·간접적으로 발생하는 온실가스 배출량(사업배출량)과 사업 경계 외부에서 의도치 않게 온실가스 배출이 물리적으로 증가한 양(누출량)

3. 결 론

본 연구는 제조공정에서 발생하지만 충분히 활용되지 못하는 미활용 부생수소를 산업용 열원으로 이용하는 사업을 대상으로, 국내외 주요 온실가스 감축사업 방법론의 적용 가능성을 검토하였다.

미활용 부생수소를 활용하여 증기 또는 공정열을 생산하고 기존 화석연료를 대체하는 사업은 단순한 수소

생산이나 화석연료 간 전환보다는 폐가스가 보유한 화학적 에너지를 이용하는 폐에너지 회수사업에 가까운 것으로 분석되었다.

현행 국내 배출권거래제 외부사업 방법론은 폐가스의 화학적 에너지 이용 또는 미활용에너지의 연료전환을 적용 대상에서 제외하고 있어, 미활용 부생수소 활용사업에 직접 적용할 수 있는 방법론은 확인되지 않았다. 한편, 국제 CDM 방법론 중에서는 대규모 폐에너지 회수 방법론인 ACM0012가 해당 사업의 감축 메커니즘을 비교적 적절하게 반영할 수 있는 것으로 나타났다. 소규모 방법론인 AMS-III.Q도 적용구조상 검토할 수 있으나, 미활용 부생수소 활용사업에 적용되어 감축실적으로 연결된 사례가 확인되지 않고 대규모 산업공정에 적용하기에는 규모상 제약이 있으므로, 직접 적용하기보다는 참고 방법론으로 활용하는 것이 적절하다.

향후 석유화학단지와 철강공정 등에서 대량으로 발생하는 미활용 부생수소의 에너지화를 위해서는 ACM0012와 같이 폐가스의 화학적 에너지를 인정하는 국내 신규 방법론을 개발하거나 기존 방법론의 적용 범위를 확대하는 방안을 검토할 필요가 있다. 이 과정에서는 화석연료 대체 효과, 가스 조성에 따른 발열량 산정 및 부생가스 발생량의 인위적 증가를 방지하기 위한 상한기준 등이 주요하게 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] https://h2hub.or.kr/main/stat/stat_product_method.do

[2] 「외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침」, 환경부고시 제2025-165호, 2025.10.1. 일부개정

[3] 「국제감축사업 사전승인 및 국제감축실적의 취득 등에 관한 지침」, 국무조정실고시 제2024-99호, 2024.6.17. 일부개정

[4] UNFCCC, “AM0124: Producing hydrogen through electrolysis using renewable electricity,” Clean Development Mechanism, applicable version.

[5] UNFCCC, “AMS-III.O: Hydrogen production using methane extracted from biogas,” Clean Development Mechanism, applicable version.

[6] UNFCCC, “AMS-III.BQ: Hydrogen fuel cell vehicles,” Clean Development Mechanism, applicable version.

[7] UNFCCC, “AMS-III.AC: Electricity and/or heat generation using fuel cells,” Clean Development Mechanism, applicable version.

[8] UNFCCC, “AM0049: Methodology for gas based energy generation in an industrial facility,” Clean Development Mechanism, latest applicable version.

[9] UNFCCC, “AMS-II.D: Energy efficiency and fuel switching measures for industrial facilities,” Clean Development Mechanism, latest applicable version.

[10] UNFCCC, “AMS-III.B: Switching fossil fuels,” Version 18.0, valid from April 16, 2015.

[11] UNFCCC, “ACM0012: Waste energy recovery,” Version 6.0, valid from November 27, 2015.

[12] UNFCCC, “AMS-III.Q: Waste energy recovery (gas/heat/pressure) projects,” Version 6.1, Clean Development Mechanism.

[13] 온실가스종합정보센터, 「미활용 열에너지 회수 및 이용 사업의 방법론」, 03A-001-Ver01, 2016.2.5.

[14] 온실가스종합정보센터, 「연료 전환 사업의 방법론」, 03A-002-Ver03, 2024.6.4.