

온실가스 인벤토리 관리 시스템(GIMS) 개발과 운용 10년

김성균 에너지경제연구원 연구위원(skkim@keei.re.kr)

임효상 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수(hyosang@yonsei.ac.kr)

손인성 에너지경제연구원 연구위원(isson@keei.re.kr)



1. 들어가며

온실가스 인벤토리는 한 국가의 영토 내에서 인간의 활동으로 인해 발생하는 모든 온실가스 배출량을 산정하고 취합한 통계로서 기후변화 대응 정책 수립을 위해 가장 중요한 기초 자료이다. 온실가스 인벤토리에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 에너지 부문으로 우리나라 온실가스 배출량의 85% 이상이 화석 에너지의 연소에서 발생한다. 국내에서 에너지 부문 온실가스 인벤토리는 산업통상자원부가 그 산정과 관리를 관장하고 있고, 에너지경제연구원은 산정기관으로서 산업부의 위탁을 받아 산정을 전담해오고 있다.

온실가스 배출량 산정은 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)가 발표하는 가이드라인에 따라 작성하는데 에너지 소비의 모든 항목을 개별 연소 특성에 따라 산정해야 하기 때문에 복잡도가 상당하다. 따라서 계산의 실수, 잘못된 계수의 기입 등과 같은 오류의 가능성이 상존한다. 예를 들어, 연료의 혼합비율에 따라 배출계수를 별도 산정하는 등 개별 연료와 연소 환경의 특성을 고려해야 하기 때문에 이를 위한 입력 자료가 방대하다.

산정과정의 오류를 줄이기 위해서 에너지경제연구원은 2011년부터 전산 시스템 개발에 착수하여 2012년에 온실가스 배출량 산정툴(Greenhouse gas Calculation Tool, GCT) 도입을 시작으로 고도화 작업을 거쳐 2016년에 현재의 온실가스 인벤토리 관리 시스템(Greenhouse gas Management Inventory System, GIMS)을 완성하였다. GIMS¹⁾는 온실가스 배출량의 산정과 분석 그리고 기후 변화에 관한 유엔 기본 협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에 제출하기 위한 데이터 포맷인 공통 보고양식(Common Reporting Format, CRF) 작성을 돕는 종합 전산 프로그램이다.

우리나라 뿐만 아니라 해외 여러 국가에서 온실가스 인벤토리 작성 시스템을 꾸준히 개발해오고 있으나 현재까지 그다지 성공적인 시스템이 없다. 소수의 전문적인 사용자를 위한 시스템이거나 범용이라 하더라도 여러 가지 이유로 인해 몇 해 사용하지 못하고 폐기되어 버리는 시스템이 많다. 이런 현실에서 소소한 개보수만 하면서 GIMS를 10년 넘게 사용해오고 있다는 사실은 그 시스템의 안정성과 효과를 입증하는 성과라고 하겠다. 일반적으로 공공이나 민간 기관에서 자체 개발한 전산 시스템을 이 정도 기간 동안 사용하는 사례도 드물다.

이러한 GIMS의 성취는 개발과 운용 과정에서 연세대학교 임효상 교수팀과 에너지경제연구원 온실가스 인벤토리 담당자들의 긴밀하고 효과적인 협업이 있었기에 가능한 일이었다. GIMS 도입 10주년을 맞아 GIMS의 개발 과정과 기술적 특징 그리고 현재의 활용 사례를 소개함으로써 GIMS와 유사한 전산 시스템의 개발을 계획하고 있는 다른 기관의 관계자들과 에너지경제연구원의 경험을 공유하고자 한다.

2. GIMS의 도입 의도와 개발 과정

우리나라 온실가스 인벤토리는 에너지 밸런스를 기초 자료로 한다. 에너지 소비량 활동자료에 배출계수, 산화계수, 열량 조정 계수 등을 곱하여 배출량을 산정한다. GIMS를 도입하기 이전에는 스프레드시트(Microsoft Excel 양식) 문서만을 가지고 산정 작업을 하였는데 산정 방법이나, 활동자료, 배출계수 등의 변동에 따

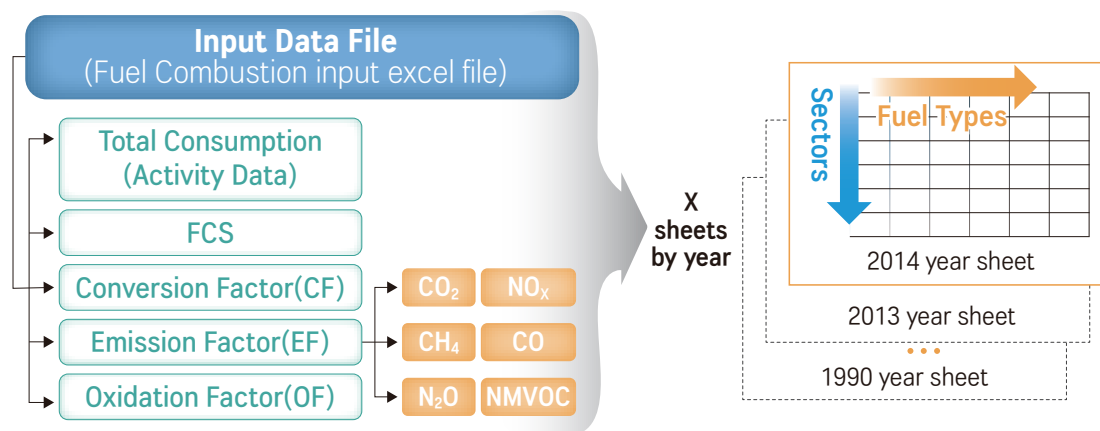
1) 다분히 의도를 가지고 GIMS라고 명명하였다. [김스]라고 읽는데 개발 과정에서 김씨 성을 가진 연구자들이 많이 참여했었던 사연도 있고, 외국 전문가들에게 소개할 때 (김씨가 많은) 한국에서 개발한 시스템이라는 인상을 주기 위함이었다.

라 그때 그때 임시 방편으로 연산식과 링크를 추가하고 또 추가하다 보니 마치 서울의 지하철 노선도가 매년 복잡해지는 것처럼 산정 파일 개수가 16개 이상이나 되었다. 이 때문에 오류의 발생 확률이 높았고, 오류 발생 시 원인을 찾고 수정하는데에 상당한 시간이 소요되어 결과적으로 매우 낮은 작업 효율로 귀결하였다. 뿐만 아니라 인벤토리 담당자가 변경되면 산정 파일의 연결 구조 파악에만 1달 이상이 소요 되는 등 업무 인수인계와 담당자간 긴밀한 협업에 큰 장애가 있었다. 그리고 산정 파일 파악에 모든 신경을 쏟다 보니 정작 통계의 품질 개선에 투자할 리소스가 항상 부족했다.

이러한 문제를 해결하기 위해 2011년 가을부터 산정 파일 구조를 단순화하고, 산정 과정을 전산화하는 방향으로 개선 사업을 추진하였다. 우선 연세대학교 임효상교수팀과 함께 온실가스 배출량 산정과 검증을 돕기 위한 온실가스 배출량 산정툴(Greenhous gas Calculation Tool, GCT) 개발에 착수하여, 지속적인 보완과 수정 끝에 2012년 5월에 완성하였다.

데이터베이스 전문가인 임효상교수팀과 본격적인 프로그램 개발에 앞서 에너지 부문 온실가스 배출량 산정 과정을 살펴 보며 데이터를 효과적으로 관리하는 방안을 집중적으로 논의하였다. 에너지 밸런스의 형태에 따라 모든 입력자료를 관리하는 것이 전산화와 데이터 관리에 유리하다고 결론을 내렸다. 에너지 밸런스의 형태로 시트를 만들어 모든 데이터를 관리하면 엑셀 파일에서 입력자료의 시트 개수가 늘어나기는 하지만 데이터를 직관적으로 살펴볼 수 있는 장점이 있어서 오류를 줄일수 있다. 또한 엑셀의 시트 일괄 관리 기능을 사용하여 오히려 수정이 수월해지는 장점이 있다. 데이터 배치의 예를 들자면 수송 부문 육상 운수의 휘발유 소비에서 발생하는 온실가스 배출량 산정을 위한 입력 자료는 모든 시트에서 L27 셀에 위치한다. 배출계수, 활동자료 모두 동일한 위치에 입력하는 방식이다.

그림 1 GIMS 입력 자료의 구조



주: FCS는 물입율로 Fraction Carbon Storage의 약자이다.

자료: 김성균, “Developing GHG inventory management system for Korean energy sector(WGIA16 발표자료)” 2018.7.11.

입력과 산출 자료 데이터베이스의 체계적 관리 방안은 지금 시점에서 보면 별것이 아닌 것으로 보일 수 있으나 에너지경제연구원 온실가스 인벤토리 데이터 관리의 효율성을 높인 가장 중요한 개선점이다. 데이터베이스를 체계화 함으로써 입력 자료 관리의 효율을 높일 수 있었다.

데이터베이스의 체계적 관리와 함께 산정 프로그램의 확장성과 유연성을 확보해야만 했다. 왜냐하면 현재 산정 방법으로 채택하고 있는 1996 IPCC 가이드라인을 언젠가는 업그레이드 된 2006 가이드라인으로 변경할 것이 예상되었기 때문이다. 사용자가 엑셀에서 작성한 입력 자료 표의 형태를 프로그램에 바로 입력할 수 있게 함으로써 확장성과 유연성을 확보할 수 있었다. 이를 통해 가이드라인이 바뀌더라도 사용자가 입력 자료와 산정 공식을 새로 작성하기만 하면 사용이 가능해졌다.

GCT의 개발 이후 그 성과를 활용하여 2012년에 바로 온실가스 배출량 분석툴(Greenhouse gas Analysis Tool, GAT) 개발에 착수하였다. GAT는 입력자료와 산정 결과를 다양한 그래프로 시각화해 보여주는데 온실가스 배출량 추이를 파악하기 위한 정보를 제공한다. GAT의 산출물은 인벤토리 국가 보고서(National Inventory Report, NIR)의 작성에 주로 활용한다. 2014년에는 세계 최초로 CRF작성툴(CRF-generator, C-gen)의 개발에 돌입하였다. CRF는 UNFCCC에 온실가스 인벤토리를 제출할 때 사용하는 공식 엑셀 파일로 연도마다 개별 파일이 있다. 입력 자료와 산정 결과를 모두 포함하고 있어서 데이터베이스가 체계적으로 관리되지 않으면 무척 까다롭고 오류가 많이 발생하는 작업이다.

당초 C-gen 개발은 불가능해 보였으나 임교수팀의 탁월함으로 2015년에 완성하여 그 해부터 C-gen이 자동 생성한 CRF를 제출할 수 있었다. C-gen 개발로 작성시 발생하는 오류를 획기적으로 줄이고 20개가 넘는 파일의 생성 시간을 15분 이내로 단축할 수 있었다. C-gen을 개발하기 전에는 연도별 파일을 하나씩 열어서 수십개가 넘는 링크를 수정하다 보니 반나절이 꼬박 걸리는 작업이었다.

2015년부터는 GCT, GAT, C-gen 세 프로그램을 통합 관리할 수 있는 시스템 개발에 착수하였다. 이 과정에서 필요로 했던 기능은 공동 작업 파일의 버전(version) 관리와 작업 내용의 자동 기록이었다. 여러 담당자가 복수의 파일을 가지고 작업을 하다 보니 누가 무엇을 어디에서 어떻게 작업 했는지를 꼼꼼히 기록할 필요가 있었다. 특히 온실가스 인벤토리는 수정 사항이 발생하면 과거 시계열도 모두 재수정하도록 규정하고 있다.

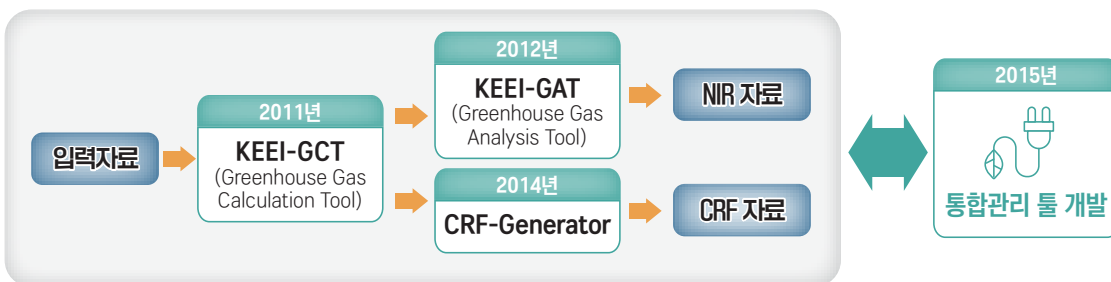


그리고 재산정 내용은 모두 NIR에 기록을 해야 한다. 산정 과정에서 이를 꼼꼼히 기록하지 않으면 보고 내용을 누락하게 된다. GIMS 이전에는 별도의 작업일지 파일에 일일이 작업 내용을 기록하는 방식으로 버전과 로 그를 관리했었다. 통합 시스템을 개발하면서 버전관리와 작업 내용 기록을 자동화 하였다. 몇 차례 베타 버전을 테스트한 후, 2017년 8월 GIMS를 완성하고 현재까지 사용해 오고 있다. GIMS의 최종 완성까지 장장 총 6년여에 걸친 개발 기간이었다.

GCT 개발에 착수하면서 프로그램의 기초 설계를 위한 회의만 4회 이상을 하였다. 기초 설계가 제대로 되지 않으면 전체 프로그램이 흔들린다는 개발자의 강변을 기꺼이 수용하였다. 그 과정에서 온실가스 인벤토리 산정 과정의 전산화 필요 기능을 정확히 파악하기 위해 수고를 아끼지 않았던 임교수팀에 감사를 드린다. 당시에는 시스템 개발에 무지하여 ‘일단 프로그램을 만들고 마치 레고블럭을 조립하듯 고쳐 나가면 되는게 아닌가’하고 쉽게 생각했었는데 신중한 설계 과정은 시스템 개발에서 가장 중요한 부분이었다. 개발자와 발주자간의 상호 이해를 확보하고 넓히는 과정이었다.

6년여에 걸친 개발 기간 동안 GIMS의 성과에 대해 연구원 내에서 의심의 눈초리를 받기도 했다. 그도 그럴 것이 단일 외부 위탁 대상자와 매년 상당한 금액의 위탁 용역 계약이 반복적으로 이뤄졌지만 정확해진 인벤토리 산정 결과 외에 눈에 띄는 결과는 없었기 때문이다. 통계 개선의 필요에 대해 무지한 일반의 시선도 한 몫을 했다. 원래 통계 작성 작업이 다 그렇지만 잘해야 본전이고, 조금이라도 실수가 있으면 큰 질책을 받기 마련이다. 정확도를 높이기 위한 노력은 꼭 필요하지만 빛이 나지는 않는다. 외부의 시선 때문에 어려움도 있었지만 탁월한 개발자를 믿고 최고의 결과를 도출할 수 있도록 묵묵히 시스템 개발을 추진한 것이 10년 운용의 성과를 거둘 수 있게 만든 동력이라 생각한다.

그림 2 GIMS의 개발 과정



자료: 김성균, 원내 발표자료, 2016.6.

GCT, GAT, C-gen 그리고 GIMS까지 단계적으로 시스템을 개발하였는데 연간 가용 예산의 제약이 가장 큰 원인이었으나 이를 통해서 인벤토리 산정 담당자의 필요를 정확히 파악할 수 있는 장점이 있었다. 시스템 개발을 계획한다면 ‘우리에게 어떤 기능이 필요한가?’를 확실히 파악하는 것이 가장 중요하다. 시스템 개발 용역 발주를 위한 입찰 평가 회의에 가보면 의외로 시스템 개발을 계획하면서 자신들에게 필요한 기능이 무엇인지, 해결 해야 할 구체적인 문제점이 무엇인지를 모르고 선불리 뛰어드는 경우가 왕왕 있다. 이런 과정 없이 프로그램 개발자가 모든 문제를 해결해줄 마술상자를 만들어줄 것이라 기대하고 일을 벌인다면 개발자도 발주자

도 중국에는 모두 지쳐서 떨어지고 실망스러운 결과만 남게 될 것이다. 사실은 이게 작금 한국에서 흔하게 볼 수 있는 소규모 시스템 개발의 장면이다.

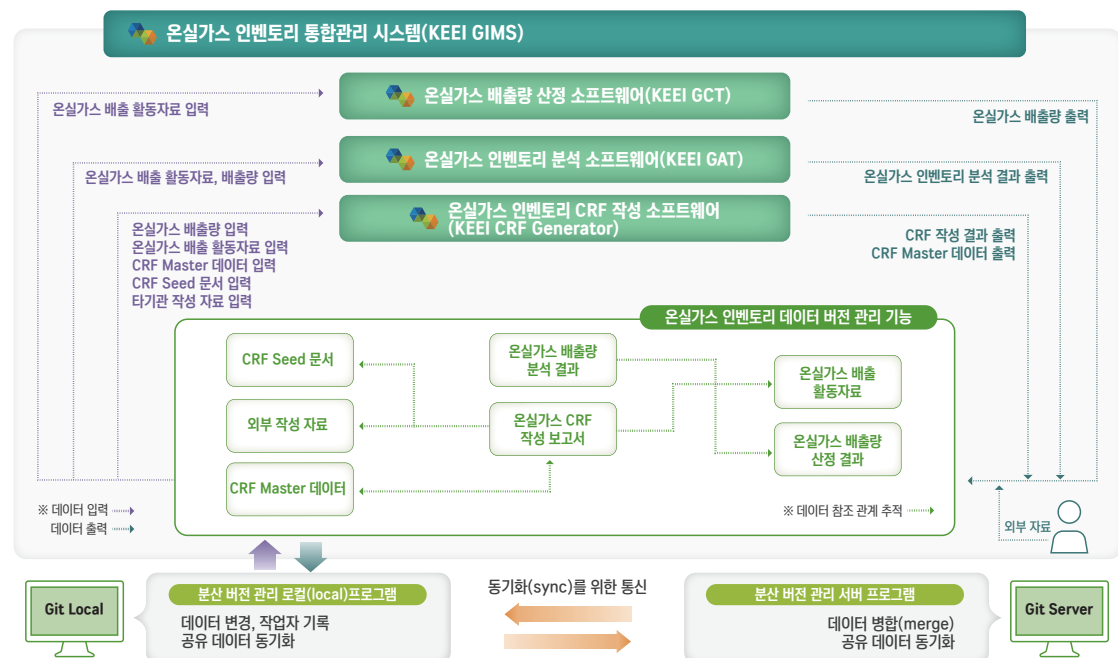
2023년부터 국가 공식 온실가스 인벤토리의 작성 지침이 기존 1996 IPCC 가이드라인에서 2006IPCC 가이드라인으로 변경된다. 온실가스 인벤토리에 큰 변화가 예상되는데 에너지경제연구원은 이미 GIMS 개발 당시부터 이 변경을 염두에 두고 유연하게 시스템을 만들었기 때문에 에너지 부문의 산정 인프라는 준비가 되어있는 상태이다.

3. GIMS의 기술적인 특성

3.1 KEEI GIMS의 구조

온실가스 인벤토리를 위한 데이터 통합관리 시스템(GIMS)은 에너지경제연구원의 온실가스 인벤토리 통계 자료의 품질 개선을 목적으로 개발된 소프트웨어들을 하나의 시스템으로 통합하고, 소프트웨어 간 입·출력 데이터의 흐름 및 기능의 연계를 관리한다. 에너지 부문 온실가스 배출량 산정과 인벤토리 분석, 공통 보고양식(CRF) 작성의 각 과정을 자동화하고, 데이터의 보존과 복구 기능을 제공함으로써 온실가스 인벤토리 작성과 관리 그리고 협업이 용이하도록 돕는다. 온실가스 인벤토리 통합관리 시스템은 [그림3]과 같이 온실가스 배출량 산정 소프트웨어(GCT), 인벤토리 분석 소프트웨어(GAT), 온실가스 인벤토리 공통 보고양식(CRF) 작성 소프트웨어(C-gen) 그리고 온실가스 인벤토리 데이터의 버전(version) 관리 기능으로 구성된다.

그림 3 온실가스 인벤토리 통합관리 시스템 구성



자료: 임효상, 본인작성

3.1.1 온실가스 배출량 산정 소프트웨어(GCT)

GCT는 에너지 부문 온실가스 배출 활동자료와 배출계수 등 온실가스 인벤토리 데이터와 온실가스 배출량 산정 수식을 입력으로 받아 배출량을 산정하고, 그 결과를 검증할 목적으로 개발된 소프트웨어이다. 에너지 부문 온실가스 배출 활동자료는 여러 계층으로 세분되는 배출 부문과 연료유형에 대해 특정 기간 축적된 시계열 데이터이며, 온실가스 배출계수와 배출량 산정 수식은 온실가스의 종류, 자료 수집 시점 등에 따라 다양한 값으로 정의된다. GCT는 온실가스 인벤토리 데이터의 카테고리(에너지 부문의 경우, 배출 부문과 연료유형)의 계층 속성과 상세 항목, 배출계수의 종류, 데이터 연도 범위, 온실가스 종류 및 산정 수식을 고정된 것으로 다루는 대신 입력으로서 동적 분석하여, 온실가스 배출량 연산에 적용한다. 온실가스 배출량은 산정과정을 연산의 각 단계로 세분하고, 단계마다 계산된 값을 확인하여 검증할 수 있다. 또한, 온실가스 인벤토리 입력 데이터와 산정 결과를 다양한 시점의 프로젝트션으로 가공하고 스프레드시트 문서(Microsoft Excel 양식)로 출력하여 관련된 분석이나 보고서 작성 등에 다양한 활용이 가능하다.

3.1.2 온실가스 인벤토리 분석 소프트웨어(GAT)

GAT는 GCT의 온실가스 배출량 산정 기능을 ‘분석’으로 확장한 소프트웨어로, 에너지 부문 온실가스 인벤토리로부터 주요 카테고리(key category)를 도출하는 기능과 온실가스 인벤토리 데이터를 분석하여 다양한 형태의 그래프와 데이터 테이블로 표출해주는 기능을 수행한다. GAT의 입력은 GCT를 통해 작성되는 스프레드시트 문서(Microsoft Excel)를 활용한다. [그림4]는 GAT가 GCT와 연동하는 방식을 보여준다. GAT 입력 데이터 역시 계층적인 카테고리나 다차원의 복잡한 속성을 가지며, 프로그램이 실행되는 동안 동적으로 분석된다. 사용자는 투영해 보고자 하는 온실가스 인벤토리를 여러 속성 및 차원으로 조합하거나 그래프 종류 선택을 통해, 입력 자료를 근거로 한 그래프와 데이터 테이블을 실시간으로 다양하게 작성해 볼 수 있다.

그림 4 온실가스 배출량 산정 기능의 확장과 인벤토리 분석 소프트웨어의 데이터 입·출력

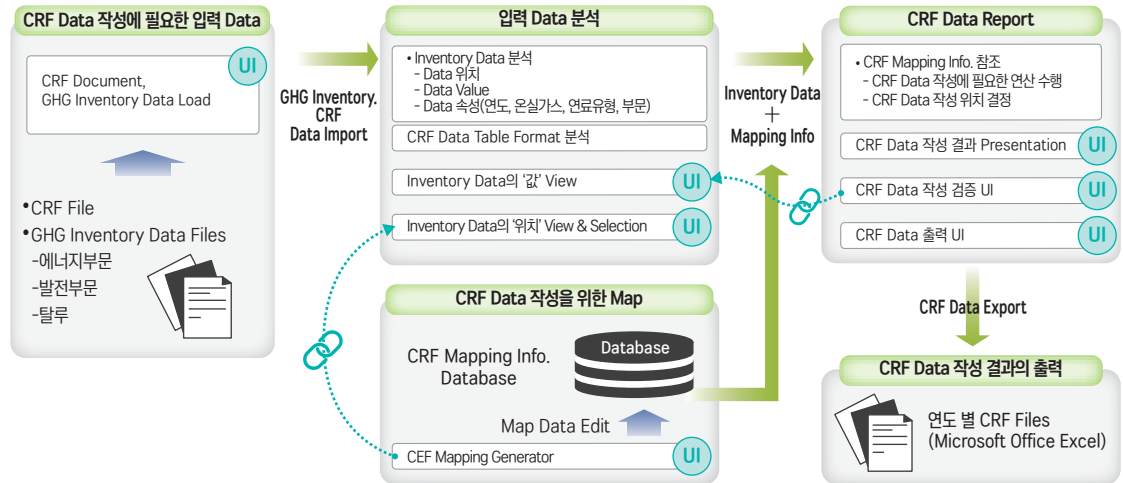


자료: 임효상, 본인작성

3.1.3 온실가스 인벤토리 공통 보고양식 작성 툴 소프트웨어(C-gen)

에너지 부문 온실가스 인벤토리 공통 보고양식(CRF) 문서를 작성하는 소프트웨어로, 온실가스 인벤토리 관련 데이터에 보고서 작성 규칙을 적용한 결과를 온실가스 인벤토리 CRF 문서로 출력하는 기능을 수행한다. [그림5]는 C-gen에서 제공하는 기능의 개요를 보여준다.

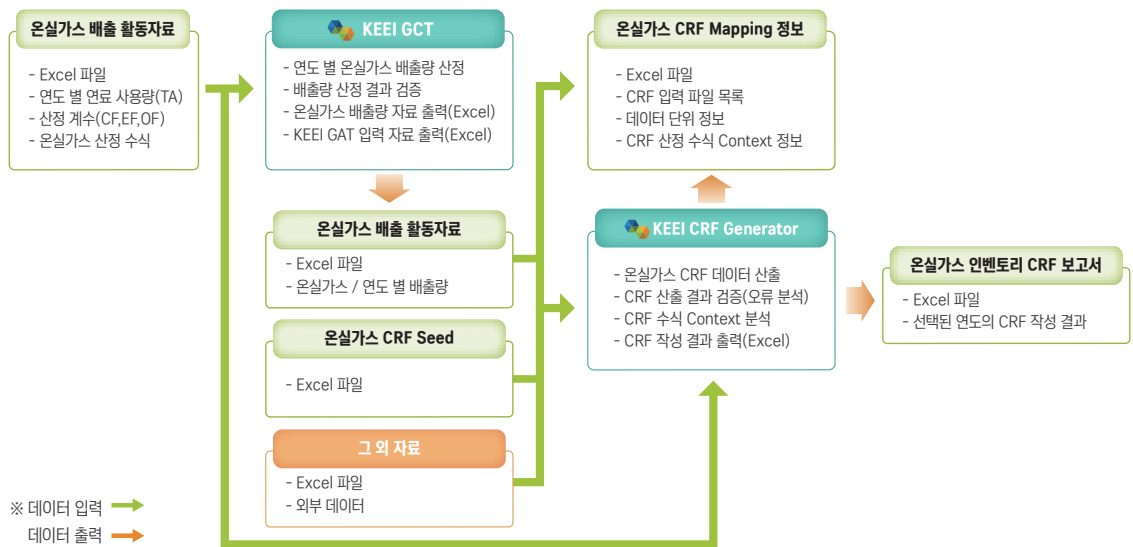
그림 5 온실가스 인벤토리 공통 보고양식(CRF) 작성 소프트웨어 구성 및 기능 개요



자료: 임효상, 본인작성

에너지 부문 CRF는 해당 부문의 온실가스 인벤토리와 온실가스 배출량 데이터를 입력으로 작성되며, 더러 외부에서 작성된 다른 부문의 온실가스 인벤토리 데이터를 참조하기도 한다. [그림6]은 C-gen의 데이터 입출력 관계도를 보여준다.

그림 6 온실가스 인벤토리 공통 보고양식(CRF) 작성 소프트웨어의 데이터 입·출력 흐름



자료: 임효상, 본인작성

온실가스 인벤토리 CRF는 작성에 참고하는 데이터의 수와 종류가 다양하고 작성 규칙을 적용할 항목이 많다. 작성 과정과 결과에 대한 검증에 드는 시간적·인적 비용도 따라서 커진다. 보고서 작성 규칙을 표현한 수식은 대체로 연관된 데이터의 위치 정보와 연산 수식으로 구성되는데, 이는 보고서 작성 규칙의 맥락을 파악하거나 오류 여부, 오류 내용이나 원인을 분석하는 것을 복잡하고 어렵게 한다. 데이터 작성 과정에 대한 검증이 어려워질수록 보고서 작성 결과에 대한 신뢰성 확보도 곤란해진다. C-gen은 CRF 작성 규칙에 따라 연산을 수행하고, 수식과 수식이 참조하는 데이터의 복합적인 속성을 컨텍스트(context)로 변환함으로써, 사용자로 하여금 CRF 작성 규칙의 문맥과 인수 데이터의 속성을 직관하도록 돕는다. [그림7]은 C-gen에서 컨텍스트 분석을 수행하는 예를 보여준다.

그림 7 CRF 작성과 컨텍스트(context) 분석 화면

CRF 보고서 작성 입력(Microsoft Excel 문서)

KEEI CRF Generator 실행 화면

CRF 데이터 컨텍스트 분석 표출 사용자 인터페이스 화면

CRF 작성 수식의 context 분석

((활동자표.TA 배출부문(수출) 연료유량(강 유) 1,000 toe) + [활동자표.TA 배출부문(수출) 연료유량(강 유) 1,000 toe]) * 1

구성인벤토리 데이터 목록

활동자표.TA 배출부문(수출) 연료유량(강 유) 1,000 toe

활동자표.TA 배출부문(수출) 연료유량(강 유) 1,000 toe

인벤토리 데이터 입력 값 : -4.951917 (1,000 toe)

CRF 작성 규칙의 인수 변환 값 : -4.951917 (1,000 toe)

연도 선택: 2008

CRF 작성결과 내보내기

CRF 엑셀 데이터 저장하기

CRF 데이터 오류 보기

☒ 수식의 오류 표시

☒ 데이터 계산 오류 표시

☒ CRF수식 편집모드 전환

Table of Contents	Table1s1	Table1s2	Table1.A(s)1	Table1.A(s)2	Table1.A(s)3	Table1.A(s)4
1	TABLE 1.A.0					
2	CO2 from Fu					
3	(Sheet 1 of 1)					
4	FUEL TYPES	Imports	Exports	International bunkers		Stat
5						
6						
7						
8	Liquid	864.87238				
9	Fossil					
10		NE				
11		NO				
12		0.22	3.93145			
13		34.77	8.05324	1.17016		
14		53.01	235.24			
15		NO				
16		53	19.54335	0.3819		
17		1.13204		3.56419		
18		6.50627		27.50		

자료: 임효상, 본인작성

3.1.4 GIMS의 버전(version) 관리 기능

- 소프트웨어 버전 관리의 응용

온실가스 인벤토리는 주기적이고 체계적으로 수집된 데이터를 일정 시간 동안 축적한 ‘기록’의 특징을 갖는다. 복수의 작성자들이 협업을 통하여 작업에 참여하여 내용을 공유하고 동기화하는 것도 중요하다. 또한, 문제가 발생하였을 때 복구가 어렵지 않으며 필요하다면, 특정 시점의 상태로 돌려놓을 수 있어야 한다. 이러한 온실가스 인벤토리 작성 업무의 특징은 ‘소프트웨어 개발 프로젝트’의 것과 유사한 점이 많다.

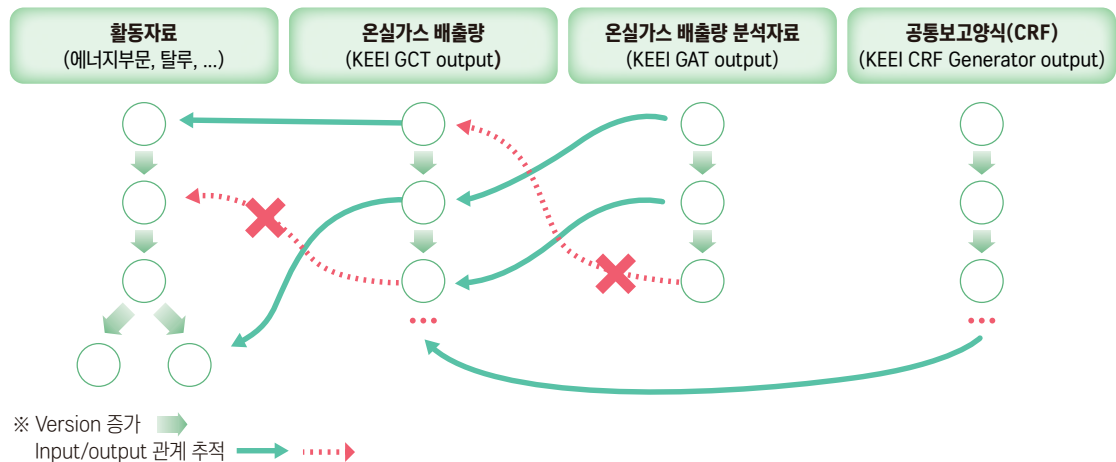
소프트웨어 공학에서는 프로그램 개발 상태의 변화를 추적하고 참여자 간의 작업 내용을 공유하기 위해 ‘버전(version) 관리 시스템’을 활용한다. ‘버전(version) 관리’란 소스 코드(source code)를 시간에 따라 기록하고 이후, 특정 시점의 작업 상태로 돌아가 소스 코드를 다시 꺼낼 수 있도록 하는 체계이다. 소프트웨어 개발 과정에서 특정 시점에 소스 코드를 보존(backup)하고 수정 내역과 수정자를 추적하거나 개발자 간 작

업 내용이 충돌하는 경우, 이를 안전하게 해결하는 방법으로서 버전 관리가 주요하게 사용된다. GIMS는 소프트웨어 개발에 사용되는 ‘버전 관리’의 개념을 도입하고 이를 에너지 부문 온실가스 인벤토리와 배출량 산정 데이터 및 CRF 보고서 작성 결과물의 보존과 복구 그리고 공유를 위한 통합관리 수단으로서 응용하였다. 버전 관리 프로그램으로는 빠른 속도와 분산형 저장소 지원이 특징인 ‘Git’이 사용된다.

- 온실가스 인벤토리 버전 관리의 특징

온실가스 배출량 산정 결과의 품질은 입력 데이터인 온실가스 인벤토리 자료의 신뢰성과 검증을 통해 관리된다. 온실가스 인벤토리 CRF 보고서의 품질은 보고서가 참조하는 온실가스 인벤토리와 배출량 산정 결과의 품질, 신뢰도, 연산 과정의 검증을 통해 확보될 수 있다. 따라서, 온실가스 인벤토리의 품질을 관리하기 위해서는 ‘자료 보존’과 동시에 ‘입·출력의 흐름’에 대한 관리도 중요해졌다. 특히, ‘산정’, ‘분석’, ‘보고서 작성’의 과정에서 적합하지 않은 버전의 자료를 교차 참조하지 않도록 주의가 필요하다. 이러한 점은 일반적인 소프트웨어 버전 관리와 다른 특징이다. [그림8]은 온실가스 인벤토리 산정 과정에서 각각의 데이터들이 업데이트 되면서 버전이 복잡하게 생성되는 예시를 보여준다.

그림 8 온실가스 인벤토리 산정과 분석, CRF 작성의 입·출력 데이터 관계 개념도



자료: 임효상, 본인작성

또 다른 특징은, 온실가스 인벤토리가 텍스트(text) 형식인 소스 코드와는 달리 스프레드시트(Microsoft Excel 양식) 형식으로 작성되는 바이너리(binary) 데이터라는 것이다. 이는 온실가스 인벤토리를 버전 관리 프로그램의 기본 기능을 통해 관리하는 것이 어려운 이유이기도 하다. GIMS는 버전 관리 프로그램(Git)이 온실가스 인벤토리의 관리를 위해서도 적합하게 운용되도록 모듈을 개발하고 추가하였다.

3.1.5 협업을 위한 기능

GIMS는 온실가스 인벤토리 문서가 버전 관리 시스템으로 기록될 때, 문서 작성자와 작성일, 시간, 문서 변경 명세가 함께 기록되도록 강제한다. 온실가스 인벤토리 작성에 참여 중인 사용자들은 변경 사항(change history)을 확인하고 자신의 작업 환경의 데이터와 서버 데이터를 동기화(synchronization)함으로써 현재

진행 중인 협업 상황을 공유할 수 있다. 만일, 작업 중이던 문서가 이미 다른 사람의 수정으로 버전 관리 시스템에 기록되었다면, GIMS는 수정 중인 문서와 버전 관리 시스템에 기록된 문서의 차이를 알려주고 사용자로 하여금 최신 버전 상태의 문서에서 작업을 마치도록 유도한다. 온실가스 인벤토리는 스프레드시트(Microsoft Excel 양식) 형식의 바이너리(binary) 데이터이므로 복수의 작성자가 동시에 작업하는 경우, 텍스트 문서에서의 작업보다 데이터를 병합(merge)하는 것이 까다롭다. 하나의 문서를 복수의 사용자가 동시에 작업하는 것을 최대한 회피하도록, GIMS는 문서가 어느 사용자에게 의해 편집 중인지 표시해줌으로써 좀 더 적극적인 방법으로 문서 작업 상태를 공유한다.

3.2 GIMS의 기술적 특징

• 3.2.1 온실가스 인벤토리 입력 데이터의 동적 분석

에너지 부문의 경우, 온실가스 인벤토리 데이터는 배출 부문과 연료유형 범주(category)를 차원으로 갖는다. 배출 부문과 연료유형의 구성은 다시 상·하위 계층 개념의 항목으로 세분되며, 각 항목이 가변적일 수 있다는 점을 고려하면, 에너지 부문 온실가스 인벤토리는 유동성(dynamic change)을 지닌 다차원 데이터(multi-dimensional data)와 계층 데이터(hierarchy data)의 속성을 모두 갖는 복잡한 형태가 된다. GIMS를 구성하는 산정, 분석, CRF 작성 프로그램은 온실가스 인벤토리 데이터 입력 속성의 대부분을 프로그램 실행 중 동적으로 분석한다. 산정과 분석 기능은 온실가스 인벤토리의 배출 부문과 연료유형 세부 항목, 온실가스 배출량을 산정할 연도의 범위, 가스의 종류 및 가스별 산정 수식을 입력 자료로부터 분석한다. CRF 작성 기능은 입력으로 활용할 문서의 개수와 위치도 동적으로 변경할 수 있다. 이러한 기술은 GIMS가 온실가스 인벤토리 작성 환경 변화에 대해 유연성(flexibility)과 확장성(extensibility)을 갖고 대응할 수 있도록 한다. 더 나아가, GIMS를 구성하는 각 기능은 입력 데이터의 형식이 해당 기능에 대응하는 소프트웨어의 입력 형식에 부합한다면, 에너지 외의 부문에 대해서도 온실가스 인벤토리 산정, 분석, CRF 보고서 작성 기능의 활용이 가능해진다.

• 3.2.2 온실가스 인벤토리의 산정과 분석의 실시간 확인

온실가스 인벤토리 산정과 분석의 기존 작업은 마이크로소프트 엑셀(Microsoft Excel)을 활용하는 방식으로 수행되었다. 엑셀 프로그램은 ‘표 계산’이나 그래프 그리기 등에, 범용으로 활용하기 좋은 훌륭한 소프트웨어이다. 그러나 연산식이 대부분 셀 단위로 작성되어 온실가스 인벤토리처럼 복잡한 구성의 데이터에 대해 수식을 변경할 경우, 이를 위한 작업 자체가 까다롭고 번거로우며 결과물에 대한 신뢰도도 떨어질 수 있다. 앞서 기술했듯, GIMS 구성 기능들은 입력 데이터의 속성을 프로그램이 동적으로 분석한다. 온실가스 인벤토리의 수식 변경은 입력문서의 수식 표현을 바꾸거나, 제공되는 사용자 인터페이스를 통해 편집하는 것으로 간단히 처리될 수 있으며 그 즉시, 결과를 확인할 수 있다. 분석의 경우에도, 대상으로 하고자 하는 인벤토리 데이터 구성이나 그래프 종류를 사용자 인터페이스를 통해 ‘옵션’ 선택으로, 표를 다시 그리는 수고 없이 실시간 표출이 가능하다.

• 3.2.3 온실가스 인벤토리 작성 결과에 대한 검증

온실가스 인벤토리에 대해 연산을 수행하는 소프트웨어는 ‘검증’ 기능을 제공하여 자료에 대한 신뢰성을 확인할 수 있도록 한다. 온실가스 배출량 산정의 경우, 연산 과정을 순차적 단계로 분해하여 보여준다. 변수나 계

수 값을 프로그램 내에서 변경하거나, 연산 단계를 건너뛰는 실험을 하면서 데이터 변화를 직접 살펴볼 수 있다. 이러한 기능은 산정의 오류나 문제점을 확인하고 해결하는 것을 돕는다. CRF 보고서 작성 소프트웨어는 작성 규칙이 참조하는 데이터와 수식을 콘텍스트로 변환하여 CRF 보고서 작성 규칙의 맥락 이해를 돕는다. 참조 데이터는 주소나 값 대신 데이터 속성으로 표현되며 상세정보 보기를 통해 대응되는 값과 주소 정보를 확인할 수 있다. 사용자가 원하는 경우, 참조 데이터가 위치한 문서로 연결하는 기능도 제공된다. 보고서 작성 중 오류가 발생하는 경우, 그 위치(셀)를 표시하고 분석된 오류의 내용과 원인을 함께 알려준다.

• 3.2.4 마이크로소프트 엑셀의 활용과 입·출력 자동화

GIMS의 모든 입력과 출력은 마이크로소프트 엑셀(Microsoft Excel)을 활용한다. 대부분의 온실가스 인벤토리 산정과 분석의 작업에는 통상 스프레드시트 소프트웨어 즉, 마이크로소프트 엑셀이 활용된다. 따라서, 엑셀 문서는 온실가스 인벤토리 데이터를 다루는 데에 있어 사용자에게 가장 익숙하고 편리한 작업 환경일 것이다. 또한, 온실가스 인벤토리가 긴 기간 축적된 자료인 만큼 그 양이 방대하여 만일, 데이터를 다루는 방식을 바꾸게 되면, 인적 요인에 의한 오류(human-error) 발생 확률이 높아질 것이다. 이러한 점들을 고려하여, 에너지 부문 온실가스 인벤토리 관리 소프트웨어의 입·출력 형식을 엑셀 문서로 단일화하였다. 기존의 문서 작성 방법 및 데이터 테이블 형태도 가능한 한 변경 없이 유지하여, 통합관리 시스템 사용에 드는 시간적·인적 비용을 줄이고자 하였다.

엑셀 문서를 활용하면 일괄되고 자동화된 데이터 입·출력 처리도 가능해진다. GCT, GAT, C-gen은 입·출력 자료를 통해 연동된다. GCT를 통해 산정된 온실가스 배출량 데이터는 GAT, C-gen의 입력으로 사용될 수 있다. 검증이 가능한 산정과정을 통해 생산된 데이터를 재가공 없이 분석과 보고서 작성에 활용함으로써 인적 요소의 개입을 최소화하고 작업 효율을 높일 수 있다.

4. GIMS의 현재와 미래

현재 우리나라의 공식 온실가스 배출량은 1996 IPCC 가이드라인을 기반으로 부문별 관장기관이 합의하여 만든 『국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침』에 따라 산정한다. 국가 인벤토리 산정 초기에는 모든 에너지 부문의 배출량을 에너지경제연구원에서 산정하였지만, 현재는 부문별 관장기관과 산정기관이 세분화되어 에너지경제연구원은 GIMS를 활용하여 수송과 어업을 제외한 에너지부문과 탈루부문의 배출량을 산정하고 있다. 수송과 어업을 제외한 에너지부문은 에너지산업, 제조업 및 건설업, 기타(상업/공공, 가정, 농림어업), 미분류로 구성되어 있고, 탈루부문은 고체연료와 석유 및 천연가스 부문으로 구성되어 있다. 에너지경제연구원이 담당하고 있는 부문의 총 배출량은 2019년 기준으로 국가 총 배출량의 72.4%를 차지하여, 에너지경제연구원의 산정 결과가 국가 온실가스 인벤토리의 정확성과 신뢰성에 미치는 영향이 크다.

GIMS의 편리한 로그 기록 및 공유 방식은 인벤토리 산정의 정확성을 제고하는데 있어서 많은 편리함을 제공하고 있다. 인벤토리 작성자들은 작업 후 수정노트에 어떤 파일에서 어떤 작업을 하였는지 등의 작업내용을 가능한 상세하게 기록한다. 다른 작성자들은 GIMS를 통해 현재까지의 작업내용을 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 구체적으로 어떤 파일의, 어떤 셀이 어떻게 변화했는지까지 추적할 수 있다([그림] 참조).. 상세한 작업기록의 공유는 인벤토리 품질관리(Quality Control, QC)에 있어서 중요한 역할을 한다. 또한, GIMS의 로그 기록

은 마치 사초와 같이 품질관리(QC)와 인벤토리 투명성(Transparency)²⁾에서 요구되는 문서화(Documentation)를 위한 기초자료로 활용되기도 한다.

그림 9 GIMS 로그 화면 및 상세기록 화면

인벤토리 통합관리 시스템

로그 관리 | 홈 | About

HG_Inventory_96GL (사용자 : SY, 서버 동기화 : 2022-07-08 오전 11:29:30)

서 가장운 문서 상태
 일자 : ISSON (isson@keel.re.kr)
 최초 올라온 시간 : 2022-07-03 오후 8:00:25

이전 버전 관리 | **이전 버전 기록** | **Comments** [0]

서버로 올라온 시간	작성자	작성 내역	상태
2022-07-03 오후 8:00:25	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Input.Com] - TA.2019 : 2019년 에너지발현수 수치 입력 시, 전력 및 열의 입력에 오류가 있음을 확인하여 수정함. 전력 및 열 소비량의 수정이기에 산정 결과에는 영향이 없음.	상세 문서
2022-07-03 오후 12:32:20	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Integration] - Output.Combustion 재생합 (1990-2020년 공급 화발유와 경유 CH4 배출계수 재조정, 2011-2019년 발전, 기타제조, 상업, 공공기타, 가정용 신재생(신한) 소비량 감소)	상세 문서
2022-07-03 오후 12:27:00	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Output.Combustion] - 1990-2020년 발전, 화발유, 경유와 CH4 배출계수가 재조정됨 (고정연소 배출계수용 (기존) 제조/건설업 2 -> (3.30) 에너지산업 3 -> (7.3) 제조/건설업 2로 재수정함) - 2011-2019년 발전, 기타제조, 상업, 공공기타, 가정용 신재생(신한) 소비량 감소 : 2021년 신재생에너지보급률에서 2010-2019년 기간 동안의 해당용 자가용 생산량이 감소된 것으로 2022년 2월 7일 통계청에서 받은 에너지발현수에 반영되어 있지 않음. 이에 신재생에너지보급률의 감소사항을 반영하여 에너지발현수의 수치를 조정함. 2022년 4월 6일 수정된 에너지발현수를 받아 이를 수정하고 변경사항을 확인하여 4월 11일 Input.Com에 오역함. 이 수정된 값이 Adj 파일로 연결되어 산업배기물과 무배출 재생에너지 소비량을 차감하는 조정작업을 가지고 다시 Input.Com으로 연결되었어야 함. 그런데 Adj 파일에서 연결 파일의 값이 다르므로 연결하지 않아서 4월 11일 입력한 수정된 에너지발현수가 반영되지 않음. 7월 3일 Adj, 파일의 연결 파일 값이 다르므로 연결하지 않아서 4월 11일 입력한 수정된 에너지발현수가 반영되지 않음.	상세 문서
2022-07-03 오후 12:09:18	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Input.Fugitives] - 연결 파일의 값이 다르므로 연결, 변경사항 있음.	상세 문서
2022-07-03 오후 12:07:31	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Input.Com] - 연결 파일의 값이 다르므로 연결, 변경사항 있음. - 7월 3일 11시, 30분 TA.2011-2019와 변경사항 있음 : 2021년 신재생에너지보급률에서 2010-2019년 기간 동안의 해당용 자가용 생산량이 감소된 것으로 2022년 2월 7일 통계청에서 받은 에너지발현수에 반영되어 있지 않음. 이에 신재생에너지보급률의 감소사항을 반영하여 에너지발현수의 수치를 조정함. 2022년 4월 6일 수정된 에너지발현수를 받아 이를 수정하고 변경사항을 확인함. 그리고 4월 11일 수정된 에너지발현수를 받아 이를 수정하고 변경사항을 확인함. - 이 값이 Adj 파일로 연결되어 Adj 파일 신재생 시트에서 산업배기물과 무배출 재생에너지 소비량을 차감하는 조정작업을 거친 후, TA시트로 연결되어야 하는데, Adj 파일에서 연결파일의 값이 다르므로 연결하지 않아서 4월 11일 입력한 수정된 에너지발현수가 반영되지 않음. 7월 3일 Adj, 파일의 연결 파일 값이 다르므로 연결하지 않아서 4월 11일 입력한 수정된 에너지발현수가 반영되지 않음.	상세 문서
2022-07-03 오전 11:59:04	ISSON (isson@keel.re.kr)	[Adj] - 연결 파일의 값이 다르므로 연결, 변경사항 있음. - 2022.7.3 Input.Com의 2010-2019년 TA 신재생 변경 사유 : 2021년 신재생에너지보급률에서 2010-2019년 기간 동안의 해당용 자가용 생산량이 감소된 것으로 2022년 2월 7일 통계청에서 받은 에너지발현수에 반영되어 있지 않음. 이에 신재생에너지보급률의 감소사항을 반영하여 에너지발현수의 수치를 조정함. 2022년 4월 6일 수정된 에너지발현수를 받아 이를 수정하고 변경사항을 확인함. 그리고 4월 11일 신재생에너지 보급률을 반영하여 활동자료를 수정하였는데, 이에 대한 반영이 이제서야 발생됨(4월 11일 작업일지 참조). 따라서 GMR에 제출해야 하는 활동자료에 대해서 재확인 필요함 있음.	상세 문서

● 버전 정보
 작성자 : ISSON (isson@keel.re.kr)
 작성 시간 : 2022-07-03 오후 7:58:00
 서버로 올라온 시간 : 2022-07-03 오후 8:00:25

● 수정 노트

[Input.Com]
- TA.2019 : 2019년 에너지발현수 수치 입력 시, 전력 및 열의 입력에 오류가 있음을 확인하여 수정함. 전력 및 열 소비량의 수정이기에 산정 결과에는 영향이 없음.

[버전관리 자동 작성 메시지]
 * 이전버전 문서와 비교 : 수정 전(-), 수정 후(+)
 Sheet : [TA.2019]
 - AL57 : 2646.5169679999999
 + AL57 : 44762.891444435991
 - AL58 : 1711.4263889120914
 + AL58 : 48421.466217956462
 - AL59 : 0
 - AL59 : 936.05553308790877
 - AL61 : -0.96495400000026166
 + AL61 : -3658.5747735204718
 - AL57 : 2646.5169679999999
 + AM57 : -8777.9253894927569
 - AM58 : 1711.4263889120914
 + AM58 : -8777.9253894927569
 - AM59 : 0

문서 비교

이전 버전과의 차이

두 문서의 셀(cell) 값이 일치하지 않는 부분이 있습니다.

이전 버전(-), 현재 버전(+)

Sheet : [TA.2019]
 - AL57 : 2646.5169679999999
 + AL57 : 44762.891444435991
 - AL58 : 1711.4263889120914
 + AL58 : 48421.466217956462
 - AL59 : 0
 - AL59 : 936.05553308790877

자료: 손인성, GIMS 화면 캡처

2) 통계 작성 시 인벤토리 작성자가 수행하는 데이터, 방법론, 산정, 문서화 등에 대한 일상적 점검 활동을 말함.



온실가스 인벤토리 워크숍

각국의 온실가스 인벤토리는 배출구조의 명확한 이해와 국가 간 비교가능성을 높이기 위해 CRF에 맞춰 UNFCCC에 제출된다. 따라서 산정단계에서부터 각 부문의 산정기관들은 자신들이 산정한 결과를 CRF에 맞춰 총괄기관에 제출하고 있다.

에너지경제연구원은 CRF의 많은 표 중 에너지 부문 보고표(Table 1. Sectoral report for Energy)와 부문별 접근법과 기준접근법에 따른 연료연소활동, 부문별 접근법과 기준접근법의 비교, 연료의 비에너지 사용, 고체연료 및 석유·가스 탈루배출에 대한 근거자료(Table 1.A(a)-(d) Sectoral background data for Energy, Table 1.B.1-2 Sectoral background data for Energy Fugitive Emissions)를 작성하고 있다.

국가 온실가스 인벤토리는 매년 산정 시 과거연도의 활동자료와 산정결과를 점검하여 변동사항이 발생하거나 오류가 발견된 경우에는 재산정하도록 하고 있다. 2022년 산정작업에서는 2020년 배출량을 새로이 산정할 뿐만 아니라 1990-2019년까지의 배출량 역시 점검 및 재산정한다. 따라서 CRF 또한 2020년에 대해서만 작성하는 것이 아니라 1990-2019년까지에 대해서도 검토 및 재작성해야 한다.

GIMS의 C-gen은 넓은 범위와 점차 늘어나는 산정 기간으로 인해 발생하는 CRF 작성의 부담을 대폭적으로 줄여주었다. C-gen을 통해 정형화된 산정결과로부터 CRF 양식을 채워주는 일반적 규칙(Mapping rule)을 설정하고, 이러한 규칙을 마스터파일에 저장한다. 하지만 매년 똑같은 패턴으로 에너지가 소비되고 온실가스가 배출되는 것이 아니기 때문에 연도별, 부문별, 에너지원별로 배출활동이 없었거나³⁾ 또는 다른 항목에 포함되어 산정되는⁴⁾ 등의 특수한 경우는 발생하기 마련이다. 이러한 특수한 경우들의 규칙을 마스터파일에 저

3) 식별기호(Notation Key)로 NO(Not Occurring)에 해당

4) 식별기호(Notation Key)로 IE(Included Elsewhere)에 해당

장함으로써 마스터파일은 CRF를 작성하는 일반규칙과 특수규칙을 모두 포함하게 되고, C-gen은 많은 양의 CRF를 마스터파일에 기반해 일괄적으로 생성하여 준다.

GIMS는 단순히 국가 온실가스 인벤토리의 산정에만 사용되는 것은 아니다. 국가 공식 온실가스 배출량 산정의 기반이 되는 에너지 통계가 확정 및 공표되는데 2년의 시차가 존재하기 때문에 국가 온실가스 인벤토리 역시 2년의 시차를 두고 산정되고 있다. 올해(2022년)에는 2020년의 배출량을 새로이 산정한다. 하지만 시의 적절한 온실가스 감축 정책 수립과 정책 이행의 즉각적인 평가를 위해서는 이 시차를 줄여야 한다는 필요성이 제기되고 있다. 이에 에너지경제연구원은 자체적으로 1년 전의 속보치를 산정하는 작업을 수행하고 있고, 이 작업 역시 GIMS를 통해 이루어지고 있다.

한편, 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축은 더 이상 국가적 차원의 문제만이 아니게 되었다. 기후변화 대응에 있어서 풀뿌리 즉, 지방의 역할은 더욱 중요해지고 있다. 이에 많은 지역에서 지역 기후변화대응계획을 수립하거나 지역 온실가스 감축 목표를 수립하고 있는데, 이러한 작업에서도 GIMS가 활용된 사례가 있다.

2015년 UN 기후변화협약 당사국들은 파리협정을 채택하였고, 2018년 에는 파리협정 이행규칙을 완성하였다. 이에 따르면 파리협정의 당사국들은 2024년부터 2006IPCC 가이드라인에 따라 매 2년마다 격년투명성보고서(Biennial Transparency Report, BTR)를 통해 또는 별도로 국가 온실가스 보고서(National Inventory Report, NIR)를 통해 국가 온실가스 배출량을 국제사회에 보고해야 한다. 이에 부응하기 위해 에너지경제연구원은 2006 IPCC 가이드라인에 따른 국가 온실가스 배출량 산정체계를 GIMS를 활용하여 구축하고 있는 중이고, 새로운 산정 체계는 국제적 기준에 부합하는 개정 에너지밸런스를 활용할 예정이다.

5. 맺음말

에너지경제연구원에서 10년 이상 국가 온실가스 인벤토리 작성에 활용하고 있는 온실가스 인벤토리 관리 시스템인 GIMS의 개발 과정, 기술적 특성, 현재의 활용에 관해 살펴 보았다. 소프트웨어 개발자와의 장기간에 걸친 긴밀한 협업과 상호 이해가 효과적이고 안정적인 시스템 개발에 기여하였다. 개발 과정에서 GIMS 용역을 발주한 인벤토리 연구자들의 필요에 대한 철저한 파악이 매우 중요했었다는 점을 다시금 강조하고 싶다. GIMS 개발 초기부터 유연성과 확장성을 확보하였기 때문에 1996에서 2006 IPCC 가이드라인으로의 전환은 시스템의 수정 없이 이뤄질 예정이다. 에너지경제연구원의 경험이 이와 유사한 자체 시스템 개발을 계획하는 온실가스 인벤토리 산정기관이나 다른 공공 또는 민간 기관에 참고가 되었으면 한다.

GIMS는 시한부 프로그램이다. 탄소중립 경제가 완성되면 더 이상 온실가스 인벤토리를 작성할 필요가 없어질 것이고, GIMS도 쓸모가 없어질 것이다. 기쁜 마음으로 GIMS를 폐기할 날이 어서 오길 빌어 본다.