

ORIGINAL ARTICLE

## 2050 탄소중립 시나리오를 적용한 창원시 에너지부문 온실가스 배출산정 및 시나리오 분석

김하늘 · 정재형\*

창원시정연구원 도시공간연구실

### An Estimation of Greenhouse Gases (GHGs) Emissions from Energy Sector in Changwon City and Scenario Analysis Based on the Application of Carbon Neutral by 2050 in Korea

Ha-Neul Kim, Jae-Hyung Jung\*

Urban Research Office, Changwon Research Institute, Changwon city, Changwon 51500, Korea

#### Abstract

This study estimates the greenhouse gases (GHGs) emissions from energy sector of Changwon city from 2012 to 2020 and scenario analysis of GHGs reductions pathways in the context of the goal of 2030 NDC and 2050 carbon neutral scenario in Korea. As a result, the GHG emissions as a reference year of carbon neutral in 2018 were estimated as 8,872,641 tonCO<sub>2eq</sub> accounting for 3,851,786 tonCO<sub>2eq</sub> (43.6%) of direct source (scope 1) and 4,975,855 tonCO<sub>2eq</sub> (56.4%) of indirect source (scope 2). Especially, among indirect sources as purchased electricity, manufacturing sector emitted the largest GHG accounting for 33.0%(2,915 thousands tonCO<sub>2eq</sub>) of the total emissions from all energy sectors, scenario analysis of GHG reductions potential from the energy was analyzed 8,473,614 tonCO<sub>2eq</sub> and the residual emissions were 354,027 tonCO<sub>2eq</sub>. Purchased electricity and industry sector reduced the largest GHG accounting for 58.7%(4,976 thousands tonCO<sub>2eq</sub>) and 42.1%(3,565 thousands tonCO<sub>2eq</sub>) of the total emissions from all energy sectors, respectively.

**Key words** : Carbon neutral, Energy, Emission, GHGs (greenhouse gases), Reduction, Scenario

#### 1. 서 론

지구온난화는 우리나라를 포함한 국제적인 흐름으로 기후변화로 인한 다양한 자연재해 등 지속가능한 사회를 위협하면서 전 세계적으로 확대되고 있다(Yoon et al., 2017). 특히, 기후변화 영향에 대응하여 온실가스 배출이 중단되더라도 기후변화 양상은 수백 년 동안 지속될 것으로 보고되고 있어, 기후변화 적응은 기후변

화 영향에 대한 피해를 최소화하기 위한 대응능력으로 강조되고 있다(Kang et al., 2016). 2018년 IPCC 1.5℃ 특별보고서는 2100년까지 1.5℃ 지구 온도 상승을 제한하기 위해 2030년까지 2010년 대비 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량을 최소 45% 감축하는 것이 필요하고, 현재 속도로 지구온난화가 지속되면 2030~2052년 사이 1.5℃를 초과할 것으로 전망하고 있다(Intergovernmental Panel on Climate Change,

Received 21 March, 2023; Revised 23 April, 2023;

Accepted 10 May, 2023

\*Corresponding author : Jea-Hyung Jung, Urban Research Office, Changwon Research Institute, Changwon 51500, Korea  
Phone : +82-55-213-9014  
E-mail : asap11@chari.re.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2018). 2022년 IPCC 제6차 보고서에서도 2021~2040년 안에 산업화 이전과 비교해 1.5°C 높아질 가능성이 매우 크며, 온실가스 감축을 위한 강력하고 꾸준한 노력이 필요하다고 보고하고 있다(IPCC, 2022). 전 세계 온실가스 배출의 핵심은 에너지 소모량으로, 에너지 부문 온실가스 감축이 핵심이다. 특히, 신재생에너지와 같은 친환경에너지의 공급 확대와 화석연료의 사용을 줄이는 것이 온실가스를 줄이는 가장 효과적인 방법이다(Lee et al., 2022).

2019년 우리나라의 전체 온실가스 배출량은 연간 701.4백만 tonCO<sub>2eq</sub>으로 2018년 대비 3.5% 감소하였고 (International Energy Agency, 2021), 2019년 우리나라의 에너지부문 온실가스 배출량은 611.5백만 tonCO<sub>2eq</sub>으로 국가 전체 온실가스 배출량의 87.2%를 차지하고 있다(Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2021a). 특히, 에너지부문 온실가스 배출량의 99.3%인 607.3백만 tonCO<sub>2eq</sub>가 연료연소에서 배출되고 있다(GIR, 2021a). 2021년 우리나라의 에너지 소비량은 세계 9위이며 2011~2018년까지 연평균 1.9%의 지속적인 증가세를 보이다가, 2018년을 기점으로 연평균 -2.3%의 감소율을 보이고있다 (Korea Energy Economics Institute, 2021). 2019년 코로나 이후 에너지 소비량이 감소하였지만, 최근 재반등하는 현상을 보이고, 2030년 까지 1차 에너지 수요와 전력수요가 증가할 것으로 예상 하고있다(KEEI, 2021). 우리나라는 2020년 연간 222,563천 toe의 최종에너지 소비량을 보였으며, 에너지원별로는 석유 49.1%, 천연가스 12.0%, 전력 19.7%, 열에너지 1.2%, 신재생에너지 4.3%로 나타났다. 우리나라의 최종에너지 소비원은 화석연료(석탄, 석유, 천연가스)가 74.8%로 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다(KEEI, 2021). 2020년 기준 창원시는 연간 2,263천 toe의 최종에너지 소비량을 보였으며, 에너지원별로는 석유 37.4%(847천 toe), 도시가스 23.6%(535천 toe), 전력 38.6%(871천 toe), 신재생에너지 0.4%(9.97천 toe)로 나타났다. 창원시는 전력을 가장 많이 소비하고 있으며, 화석연료(석유, 도시가스)는 전체 소비량의 61.0%를 차지하고 있는 것으로 나타났다 (Changwon city, 2021).

2015년 12월 파리협정 채택으로 모든 국가는 2030년까지 온실가스 감축의무가 주어지는 신기후체제(post-2020)가 출범하였다. 2015년 6월 우리나라는

2030년 온실가스 배출전망(Business as usual, BAU) 대비 37% 자발적 감축목표(INDC)를 제출하였다. UN은 2019년 9월 121개 국가가 기후목표 상향동맹에 가입하고, 탄소중립(Carbon neutral)을 글로벌 의제화하여 공식화하는 등 전 세계적으로 기후변화에 대응한 탄소중립을 선언하고 있다. 우리나라 정부는 2020년 10월 28일 2050 탄소중립 선언, 2050 탄소중립 추진 전략 (2020.12.7.)과 2050 탄소중립 시나리오 초안 (2021.8.4.) 작성 및 탄소중립기본법 (2021.8.31.) 국회 통과 및 시행(2022.3.25.)하고 있다. 2021년 7월 81개 광역·기초 지자체가 2050 탄소중립 공동선언을 하였으며, 2021년 9월 제정된 탄소중립기본법(2022년 3월 25일 시행)에서는 탄소중립과 관련된 지자체의 책임과 역할 강조하고 있다. 국가 온실가스 감축목표(NDC, 2018년 대비 40% 감축) 달성을 위해서는 지자체별 적절한 온실가스 감축 목표 설정과 이행 노력이 필수적이다. 탄소중립의 글로벌 의제화와 우리나라의 대응, 그리고 실질적인 온실가스 감축을 위한 지방정부의 역할론이 강조되고 있다. 특히, 국가 온실가스 감축목표와 일관성이 유지되면서 지역의 온실가스 감축 여건을 고려한 차별화된 전략이 반드시 필요하다(Koh and Ye, 2022). 국가의 2030 NDC 및 2050 탄소중립을 달성하기 위해 지역 특성에 맞는 온실가스 배출량 정보를 확인하고, 지방정부의 적극적인 온실가스 감축 노력을 위해서는 정확한 온실가스 인벤토리를 활용한 계획수립이 필요하다 (GIR, 2021a). 국가와 지방정부의 정확한 온실가스 관리를 위해 정확도 높은 온실가스 배출량 산정 및 지자체 단위의 온실가스 배출량과 국가 온실가스 간의 연계성 연구가 요구된다(Joo et al., 2022).

본 연구는 창원시를 대상으로 에너지부문(전환, 산업, 건물, 수송, 농축수산, 탈루) 온실가스 배출량을 산정하고, 이를 바탕으로 국가 2030 NDC 및 2050 탄소중립 시나리오를 적용한 창원시 2030 NDC 및 2050 탄소중립 감축경로를 분석하였다. 연구의 세부 목적으로는 첫째, 창원시 에너지부문 에너지 사용량을 바탕으로 온실가스 활동자료와 인벤토리 시스템을 구축한다. 둘째, 에너지 활동자료를 기반으로 창원시 에너지부문 온실가스 배출량을 산정한다. 셋째, 산정된 에너지부문 온실가스 배출량에 2030 NDC(국가 탄소중립·녹색성장 기본계획) 및 2050 탄소중립 시나리오를 적용하고, 에너지 부문별 감축 비율할당 및 창원시 온실가스 감축 경로와 잔여 배출량을 산출한다.

**Table 1.** Urban characteristics of Changwon city from 2012 to 2020

Sector	Unit	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Avg.
Gross area	km <sup>2</sup>	745.32	747.12	747.27	747.67	747.67	747.82	747.92	748.03	748.06	747.43
Population	Person	1,106,081	1,098,752	1,091,513	1,086,852	1,080,133	1,072,657	1,068,955	1,059,813	1,050,207	1,079,440
Households	House	408,227	409,981	412,256	415,872	417,762	420,517	425,771	431,382	442,097	420,429

**Table 2.** Energy activity data of Changwon city from 2012 to 2020

		Unit: 1,000 toe									
Sectors		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Avg.
Total		2,417	2,457	2,461	2,406	2,402	2,417	2,350	2,299	2,263	2,386
Energy source	Petroleum	892	928	966	926	915	942	859	871	847	905
	Gas (LNG, LPG)	564	576	558	548	553	543	554	523	535	550
	Electricity	960	952	932	926	928	925	930	897	871	925
	New & renewables	0.80	1.27	4.73	5.86	6.39	6.75	7.13	8.09	9.97	5.67
Energy sector	Industry	1,015	972	949	920	913	900	883	850	836	915
	Transport	663	690	673	699	685	683	678	687	634	677
	Residential & commercial	451	491	475	414	429	441	470	452	393	447
	Public & other	288	304	364	373	375	393	319	310	400	347

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 경상남도 창원시 지역을 대상으로 하였다. 창원시는 총면적 748.06 km<sup>2</sup>, 인구 약 105만 명, 세대 수 약 44만 세대가 거주하는 대도시이다(Table 1)(Changwon city, 2012~2020). 시간적 범위는 창원시 온실가스 배출현황 분석과 미래 온실가스 감축량 분석으로 구분하였다. 창원시 온실가스 배출현황 분석은 상세 데이터 확보 및 획득 가능 자료에 따라 2012~2020년(9개년)으로 하였다. 창원시 미래 온실가스 감축량 분석은 2018년을 기준연도로 하여, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획에서 제시한 2030년과 2050 탄소중립 시나리오의 2050년 감축목표 기준연도를 적용하였다(Relevant ministries, 2021; Changwon city, 2022; Relevant ministries, 2023). 내용적 범위는 창원시 에너지부문 활동자료 및 온실가스 인벤토리 시스템 구축을 통해 온실가스 배출량을 산정하고, 2030년과 2050년 창원시 에너지부문 온실가스 감축경로 시나리오 및 잔여 배출량을 분석한다. 이를 통해 국가의 창원시 온실가스 할당과 감축 실현성을 산출한다.

### 2.2. 자료수집 및 구축방법

에너지 활동자료는 창원시 최종에너지 소비량을 기준으로 하였다. 도시지역 전력, 열 소비로 인한 배출량 중복 산정 및 지자체 간 배출 책임 등을 고려하기 위함이다(Jin and Hwang, 2012; Park et al., 2017). 활동자료는 국가 통계자료 기반 IPCC 온실가스 산정지침 카테고리에서 근거해 구축하였다(IPCC, 2006; Korea Statistical Information Service, 2012~2022; KEEI, 2022; Petronet, 2012~2022; Changwon city, 2012~2022; Korea Environment Corporation, 2017; IPCC, 2019). 국가 에너지 통계에 따라 연료는 석유, 가스(LNG, LPG), 전력, 신재생에너지로, 부문은 산업, 수송, 가정·상업, 공공·기타로 구분하였다 (Korean Energy Statistical Information System, 2022). 창원시 가스(LNG, LPG) 및 신재생에너지 일부 활동자료는 국가 에너지 통계 및 부문별 상세 데이터 확보의 어려움으로 창원시 내부 자료 및 지역 에너지 관련 기관의 자료를 활용하였다. Table 2에 2012~2020년 창원시 에너지원 및 부문별 에너지 활동자료를 제시하였다. 2012~2020년 평균 창원시 전체 에너지 활동자료(최종에너지 소비량)는 2,386천 toe로 분석되었다. 상세 에너지원별로는 석유 905천 toe (37.9%), 가스(LNG, LPG) 550천

toe (23.1%), 전력 925천 toe (38.8%), 신재생에너지 5.67천 toe (0.2%) 이다. 창원시 에너지소비는 전력이 약 39%로 가장 많고 신재생에너지는 타 에너지 대비 상당히 낮은 비율로 나타났으나, 신재생에너지원의 최종에너지 소비량은 연평균 약 51.5%의 증가추세를 보인다. 상세 에너지 부문별로는 산업 915천 toe (38.4%), 수송 677천 toe (28.4%), 가정·상업 447천 toe (18.7%), 공공·기타 347천 toe (14.5%)로, 산업부문에서 가장 높은 에너지소비를 보이지만 연평균 약 2.4%로 감소하는 경향을 나타낸다.

### 2.3. 배출량 산정방법

창원시 에너지부문 온실가스 배출목록은 2006 IPCC G/L과 2019 IPCC G/L 분류체계를 기준으로 하였다(IPCC, 2006; IPCC, 2019). 배출형태에 따라 지자체 행정구역 내에서 연료연소 등 온실가스를 직접적으로 배출하는 직접배출(scope 1)과 지자체 행정구역 내에서 직접적인 온실가스 배출은 없으나, 전력 사용 등을 수반하는 인간의 활동인 간접배출 (scope 2)로 구

분하였다(K-eco, 2017). 특히, 에너지산업 등 창원시 온실가스 배출 및 흡수 카테고리가 존재하지 않는 부문을 중심으로 배출목록을 구성하였다. IPCC 산정지침은 배출량 산정에 필요한 산정원칙, 활동자료 수집 절차, 배출 및 흡수계수를 포함하고 있으며, 국제 표준화 과정을 통해 결정된 공인 방법론을 제시하고 있다(IPCC, 2006; IPCC, 2019). 2006 IPCC G/L에 따르면 에너지부문 직접배출 (scope 1)은 에너지산업, 제조업 및 건설업, 수송, 기타부문, 미분류, 탈루성배출, 이산화탄소 수송과 저장, 간접배출(scope 2)은 전력과 열에너지로 분류하고 있다. Table 3에 창원시 에너지부문 온실가스 배출량 산정식을 제시하였다. 에너지 연료연소, 연료연소에 기인한 탈루성 배출, 전력 사용으로 산정식을 분류하였다. 배출목록 부문 및 연료별 활동자료와 배출계수, 순 발열량을 곱한 후 해당 온실가스별 지구온난화지수(Global warming potential over 100 years, GWP-100)를 고려하여 산정하였으며, 국제 산정절차에 준하는 방법론을 적용하였다(IPCC, 2006; K-eco, 2017; IPCC, 2019). 산정 대상 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 3개 온실가스 물질로 선정하였다. 2006 IPCC

**Table 3.** Equation and level of GHGs emissions from energy sector

Sector	Equation	Level
Energy	$E_{i,j} = \sum_i (A_i \times EF_i \times EC_{i,j} \times F_{eq,j})$	Tier 1
	$E_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) combustion by GHG ( <i>j</i> ) emissions (CO <sub>2eq</sub> ton)	
	$A_i$ : Fuel ( <i>i</i> ) consumption (kl)	or
	$EF_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) by GHG ( <i>j</i> ) emission factor (kg GHG/TJ)	Tier 2
	$EC_i$ : Fuel ( <i>i</i> ) by calorific value (net calorific value of fuel, MJ/m <sup>3</sup> )	
	$F_{eq,j}$ : GHG ( <i>j</i> ) by CO <sub>2</sub> equivalent factor (CO <sub>2</sub> =1, CH <sub>4</sub> =29.8, N <sub>2</sub> O=273)	
Energy	$E_{i,j} = \sum_i (A_i \times EF_{i,j} \times F_{eq,j})$	Tier 1
	$E_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) combustion by GHG ( <i>j</i> ) emissions (CO <sub>2eq</sub> ton)	
	$A_i$ : Fuel ( <i>i</i> ) consumption (kl)	or
	$EF_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) by GHG ( <i>j</i> ) emission factor (kg GHG/TJ)	Tier 2
	$F_{eq,j}$ : GHG ( <i>j</i> ) by CO <sub>2</sub> equivalent factor (CO <sub>2</sub> =1, CH <sub>4</sub> =29.8, N <sub>2</sub> O=273)	
Electricity	$E_{i,j} = \sum_i (A_i \times EF_{i,j} \times F_{eq,j})$	Tier 2
	$E_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) combustion by GHG ( <i>j</i> ) emissions (CO <sub>2eq</sub> ton)	
	$A_i$ : Fuel ( <i>i</i> ) consumption (MWh)	
	$EF_{i,j}$ : Fuel ( <i>i</i> ) by GHG ( <i>j</i> ) emission factor (kg GHG/TJ)	
	$F_{eq,j}$ : GHG ( <i>j</i> ) by CO <sub>2</sub> equivalent factor (CO <sub>2</sub> =1, CH <sub>4</sub> =29.8, N <sub>2</sub> O=273)	

G/L의 산정 정확성, 효율성, 자료의 활용 가능성 등을 고려하여, 산업공정을 제외한 연료연소 활동으로부터 일반적으로 발생하는 온실가스 물질로 하였다(IPCC, 2006; IPCC, 2019; Ministry of Environment, 2020). 에너지 배출계수는 2006 IPCC G/L, 2019 IPCC G/L 및 GIR 지자체 온실가스 배출량 산정지침 등 기본값(Tier 1, Default value)과 국가값(Tier 2, Domestic value)을 기준으로 배출계수를 수집 및 구축하였다(IPCC, 2006; K-eco, 2017; IPCC, 2019; GIR, 2021b). 에너지 순 발열량은 에너지법 시행규칙 에너지열량 환산기준을 적용하였으며, 지구온난화지수(GWP)는 IPCC 제6차 평가보고서(Assessment report 6, AR6)를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다(IPCC, 2022; Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022).

### 3. 결 과

#### 3.1. 창원시 에너지부문 온실가스 배출량 산정결과

Fig. 1에 2012~2020년 창원시 에너지부문 온실가

스 배출량 산정결과를 제시하였다. 연도별 온실가스 배출량을 직접배출, 간접배출로 구분하여 나타내었다. 탄소중립 기준연도인 2018년 창원시 에너지부문 온실가스 배출총량은 8,827,641 tonCO<sub>2eq</sub>로, 직접배출(scope 1)이 3,851,786 tonCO<sub>2eq</sub> (43.6%), 간접배출(scope 2)이 4,975,855 tonCO<sub>2eq</sub> (56.4%)를 차지하였다. 2012~2020년 연도별 배출량은 2017년까지 증감을 반복하며 둔화하는 추세를 보인다. 2017년 이후 연평균 약 2.1%로 감소하는 경향을 나타내며, 직접배출 대비 간접배출에서 상대적으로 감소 비율이 높게 나타났다. 2018년 창원시 에너지부문 온실가스 배출량은 경상남도 에너지부문 온실가스 배출량의 약 14.5%를 차지하고 있다(GIR, 2020). 창원시 에너지부문 온실가스 배출량 산정결과 검증을 위해 한국환경공단 지자체 온실가스 감축 자가진단 프로그램, 한국환경공단 지자체 온실가스 관리툴, GIR 2022년 지역 온실가스 배출량 시범산정 결과를 활용하여 산정방법별 온실가스 배출량을 비교하였다(K-eco, 2014; K-eco, 2019; GIR, 2022). 2017년 기준 창원시 에너지부문 배출량은 한국환경공단 지자체 온실가스 감축 자가진단 프

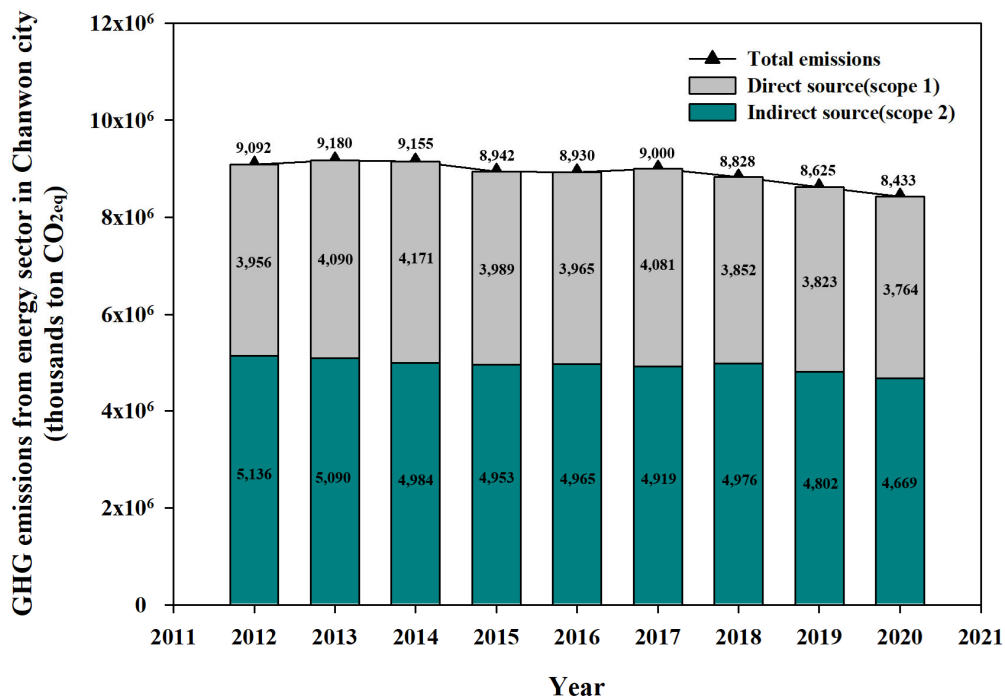


Fig. 1. Annual GHGs emissions from energy sector in Changwon city from 2012 to 2020.

**Table 4.** GHGs emissions of the specific categories from energy sector in Changwon city from 2012 to 2020

Sectors		Unit: ton CO <sub>2eq</sub>										
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Total		9,091,849	9,180,281	9,155,260	8,941,881	8,930,413	8,999,938	8,827,641	8,624,688	8,432,733		
Sub total		3,955,485	4,090,075	4,171,450	3,988,888	3,965,077	4,080,711	3,851,786	3,822,875	3,763,989		
Direct source (scope 1)	Energy	Sub total	980,364	875,892	867,745	816,533	818,003	818,663	805,608	799,810	755,994	
		Iron and steel	17,997	18,424	20,433	18,821	3,028	1,213	1,207	4,489	10,480	
		Non-ferrous metals	13,291	284	185	152	164	308	306	193	199	
		Chemicals	3,146	1,051	36	-	24,907	75,379	101,963	131,491	134,422	
		Pulp, paper and print	1,900	1,175	1,044	1,956	955	707	391	439	374	
		Food processing, beverages and tobacco	514	1,582	634	505	754	746	531	230	351	
		Manufacturing industries and construction	1,993	2,843	2,396	2,914	3,461	3,719	2,727	3,352	7,626	
		Transport equipment	8,695	7,694	8,358	5,592	5,165	6,002	4,049	7,856	9,478	
		Machinery	138,115	56,202	43,533	22,946	23,663	18,329	18,646	18,802	39,837	
		Mining (excluding fuels) and quarrying	707	8	-	-	11	-	1,997	1,719	1,203	
		Wood and wood products	460	682	464	12	12	-	-	76	293	
		Construction	48,100	36,270	55,569	57,710	50,860	48,009	43,357	43,670	35,323	
		Textile and leather	18	-	-	-	215	394	-	39	-	
		Non-specified industry	745,428	749,677	735,093	705,925	704,808	663,857	630,434	587,454	516,408	
		Sub total	1,862,364	1,925,966	1,867,734	1,947,921	1,906,556	1,939,787	1,927,268	1,946,856	1,842,052	
		Transport	Road transportation	1,783,726	1,888,316	1,832,149	1,892,883	1,892,327	1,904,130	1,905,506	1,908,978	1,805,154
			Railways	9,604	471	-	-	-	-	-	-	-
			Water-born navigation	69,034	37,179	35,585	55,038	14,229	35,657	21,762	37,878	36,898
		Sub total	1,093,737	1,268,775	1,417,170	1,205,995	1,221,895	1,303,953	1,100,225	1,058,557	1,149,213	
Non-energy industry	Residential	637,782	812,713	775,456	554,928	565,217	586,266	634,274	606,291	616,123		
	Public	146,179	190,697	408,090	423,266	414,862	467,993	210,136	203,123	247,031		
	Commercial	233,761	212,340	218,025	216,448	229,569	237,177	240,671	233,238	221,550		
	Agriculture / forestry / fishing / fish farms	76,015	53,025	15,599	11,353	12,247	12,517	15,144	15,905	64,509		
Fugitive	Oil and natural gas	19,020	19,442	18,801	18,439	18,623	18,308	18,685	17,652	16,730		
Sub total	5,136,364	5,090,206	4,983,810	4,952,993	4,965,336	4,919,227	4,975,855	4,801,813	4,668,744			
Indirect source (scope 2)	Electricity	Residential	614,185	611,000	585,966	586,737	609,266	610,198	642,630	646,098	679,256	
		Sub total	1,297,360	1,311,709	1,262,244	1,282,858	1,308,806	1,319,587	1,342,528	1,304,439	1,275,070	
		Public service	Public	190,761	213,726	216,725	217,624	222,946	225,366	231,169	231,182	221,473
			Service	1,106,599	1,097,983	1,045,519	1,065,234	1,085,860	1,094,221	1,111,359	1,073,257	1,053,597
		Sub total	3,224,819	3,167,497	3,135,600	3,083,398	3,047,264	2,989,442	2,990,697	2,851,276	2,714,418	
		Production sector	Agri-fishery	44,979	53,553	60,658	64,588	67,953	71,917	73,508	72,305	73,315
			Mining	1,427	1,901	1,862	1,828	2,391	2,389	2,053	1,801	1,374
Manufacturing	3,178,413		3,112,043	3,073,080	3,016,982	2,976,920	2,915,136	2,915,136	2,777,170	2,639,729		

그램 8,758천 tonCO<sub>2eq</sub>, 한국환경공단 지자체 온실가스 관리틀 9,191천 tonCO<sub>2eq</sub>, 2022년 지역 온실가스 배출량 시범산정 결과 9,318천 tonCO<sub>2eq</sub>, 온실가스 인벤토리 개발틀 9,000천 tonCO<sub>2eq</sub>으로 나타났다(K-eco, 2013; K-eco, 2019; GIR, 2022). 산정방법별 온실가스 배출량 산정결과는 산정절차와 산정수준 즉, 에너지 활동자료(Energy activity), 배출계수(Emission factor), 순 발열량(NCV), 지구온난화지수(GWP) 등 2.7~6.2% 범위의 차이를 보였다.

Table 4에 2012~2020년 창원시 에너지부문 온실가스 상세 배출량 산정결과를 제시하였다. 배출목록은 연료연소의 제조업 및 건설업, 수송, 비 에너지 산업, 탈루성 배출, 전력사용의 공공·서비스, 생산부문으로 분류하였다. 2018년 기준 창원시 온실가스 주요 배출요인(상위 3개 부문)은 제조업부문 전력 2,915,136 tonCO<sub>2eq</sub> (33.0%), 수송부문 석유 1,674,042 tonCO<sub>2eq</sub> (19.0%), 서비스부문 전력 1,111,359 tonCO<sub>2eq</sub> (12.6%)로 분석되었다. 에너지원별 배출량 산정결과는 석유 2,183,017 tonCO<sub>2eq</sub> (24.7%), 가스(LNG, LPG) 1,668,769 tonCO<sub>2eq</sub> (18.9%), 전력 4,975,855 tonCO<sub>2eq</sub> (56.4%)로 산정되었다. 에너지 부문별 배출량 산정결과는 직접배출의 제조업 및 건설업 805,608 tonCO<sub>2eq</sub> (20.9%), 수송 1,927,268 tonCO<sub>2eq</sub> (50.0%), 가정·공공·상업 1,085,081 tonCO<sub>2eq</sub> (28.2%), 농림어업 15,144 tonCO<sub>2eq</sub> (0.4%), 탈루 18,685 tonCO<sub>2eq</sub> (0.5%)를 차지하였다. 수송부문에서 배출 비율이 가장 높게 나타났으며, 수송 부문 중 도로수송이 배출량의 98.9%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 간접배출은 가정 642,630 tonCO<sub>2eq</sub> (12.9%), 공공·서비스 1,342,528 tonCO<sub>2eq</sub> (27.0%), 농림어업 73,508 tonCO<sub>2eq</sub> (1.5%), 광업·제조업 2,917,189 tonCO<sub>2eq</sub> (58.6%)를 차지하였다. 광업·제조업 부문이 배출 비율의 절반 이상으로 높게 나타났으며, 광업·제조업 부문 중 제조업이 99.9%로 대부분을 차지하고 있다. 도로수송, 제조업 부문의 온실가스 고배출 요인은 창원시 내 배출 비중이 높은 국가산업단지 위치 등 제조업 중심의 도시 특성이 요인인 것으로 분석되었다(Changwon city, 2022). 특히, 2018년 창원시의 최종에너지 소비량은 경상남도의 25.1% 수준이며, 산업 23.1%, 수송 23.7%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다(KEEI, 2022; KOSIS, 2022).

### 3.2. 창원시 2030 NDC 및 2050 탄소중립 온실가스 감축 경로 시나리오

#### 3.2.1. 시나리오 구성

Table 5에 창원시 2030 NDC 및 2050 탄소중립을 위한 감축 시나리오를 구성하였다. 창원시 에너지부문 온실가스 감축 시나리오 구성은 국가 2030 NDC(국가 탄소중립·녹색성장 기본계획) 및 2050 탄소중립 시나리오 감축 비율을 적용하여 할당하였다(Relevant ministries, 2021; Relevant ministries, 2023). 2030 NDC와 2050 탄소중립 시나리오의 에너지 영역은 전환, 산업, 건물, 수송, 농축수산, 탈루 6개 부문으로 구분된다. 2030 NDC는 2018년 대비 2030년까지 40% 감축을 목표로 하고(Relevant ministries, 2023), 2050 탄소중립 시나리오는 2050년 순 배출량 0을 목표로 화력발전을 전면 중단하는 시나리오 A와 LNG 등 일부 화력발전이 잔존 하는 시나리오 B로 분류된다(Relevant ministries, 2021). 2030 NDC 감축 비율은 전환 45.9%, 산업 11.4%, 건물 32.8%, 수송 37.8%, 농축수산 27.1%, 탈루 30.4%이다. 2050 탄소중립 시나리오 A의 감축 비율은 전환 100%, 산업 80.4%, 건물 88.1%, 수송 97.1%, 농축수산 37.7%, 탈루 91.1%이며, 시나리오 B는 전환 92.3%, 산업 80.4%, 건물 88.1%, 수송 90.6%, 농축수산 37.7%, 탈루 76.8%이다. 본 연구에서는 2030 NDC 중간목표와 2050 탄소중립 시나리오 A를 적용하여 창원시 에너지부문 온실가스 감축경로와 잔여 배출량을 산정하였다.

#### 3.2.2. 시나리오 분석결과

Table 6에 창원시 2030 NDC 및 2050 탄소중립을 위한 부문 및 에너지원별 온실가스 감축량을 제시하였다. 감축량 비교를 위해 온실가스 감축 기준연도인 2018년 창원시 에너지부문 온실가스 배출량을 제시한 후, 2030년과 2050년 에너지부문 온실가스 감축량을 배출형태(직접배출과 간접배출), 배출부문(산업, 건물, 수송, 농축수산, 탈루), 배출에너지원(석유, 가스, 전력)에 따라 분류하였다. 2030년 창원시 에너지부문 온실가스 총 감축량은 3,469,955 tonCO<sub>2eq</sub>로, 2030년까지 연간 약 434천 tonCO<sub>2eq</sub> 이상 감축이 필요한 것으로 분석되었다. 직접배출과 간접배출의 감축 비율은 각각 34.1%, 65.9%로 간접배출에서 높은 감축 비중을 보인다. 부문 및 에너지원별 상세 감축량은 직접배출에서

**Table 5.** Comparison of GHG reduction rates by 40% in 2030 NDC and carbon neutral in 2050 target year compared to 2018 level

Emission sector		GHGs reduction rate compared to 2018				
		Changwon city	Korea	2030 NDC	2050 carbon neutral scenario	
						A
Electricity	Residential	Conversion	45.9%	100.0%	92.3%	
	Public/service					
Fuel combustion	Manufacturing industries and construction	Industry	11.4%	80.4%	80.4%	
	Non-energy industry	Residential/public/commercial	Buildings	32.8%	88.1%	88.1%
		Transport	Transport	37.8%	97.1%	90.6%
	Non-energy industry	Agriculture/forestry/fishing/fish farms	Agriculture	27.1%	37.7%	37.7%
		Fugitive	Fugitive	30.4%	91.1%	76.8%

**Table 6.** GHGs reduction pathways and residual emissions in Changwon city for 2030 and 2050 target year

Sector		Unit: ton CO <sub>2eq</sub> , %						
		Emission		Reduction				
Total		2018(Baseline year)		2030 NDC		2050 carbon neutral		
Total		8,827,641	100%	3,469,955	100%	8,473,614	100%	
Industry	Petroleum	188,412	2.1%	21,479	0.6%	151,483	1.8%	
	Gas	617,196	7.0%	70,360	2.0%	496,225	5.8%	
Buildings	Petroleum	305,420	3.5%	100,178	2.9%	269,075	3.2%	
	Gas	779,661	8.8%	255,729	7.4%	686,882	8.1%	
Transport	Petroleum	1,674,042	19.0%	632,788	18.2%	1,625,495	19.2%	
	Gas	253,226	2.9%	95,720	2.8%	245,883	2.9%	
Agriculture	Petroleum	15,144	0.2%	4,104	0.1%	5,694	0.1%	
	Gas	0.47	0.0%	0.13	0.0%	0.18	0.0%	
Fugitive	Gas	18,685	0.2%	5,680	0.1%	17,022	0.2%	
Direct source (scope 2)	Industry	Electricity	2,917,188	33.0%	1,338,989	38.6%	2,917,188	34.4%
	Buildings	Electricity	1,985,159	22.5%	911,188	26.3%	1,985,159	23.4%
	Agriculture	Electricity	73,508	0.8%	33,740	1.0%	73,508	0.9%

는 수송부문 석유에너지(직접배출의 53.4%), 간접배출에서는 산업부문 전기에너지(간접배출의 58.6%)가 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 2050년 창원시 에너지부문 온실가스 전체 감축량은 8,473,614 tonCO<sub>2eq</sub>로 분석되어, 2050년 창원시 탄소중립을 위해 연간 약 302천 tonCO<sub>2eq</sub> 이상의 감축이 요구된다. 직접배출과 간접배출의 감축 비율은 각각 41.3%, 58.7%이며, 부문 및 에너지원별 상세 감축량은 직접배출에서는 수송부

문 석유에너지(직접배출의 46.5%), 간접배출에서는 산업부문 전기에너지(간접배출의 58.6%)가 주요 감축 분야로 2030년과 유사한 감축 패턴을 보였다. 2030년과 2050년 창원시 에너지부문 온실가스 감축량은 직접배출 대비 간접배출에서 감축 비율이 높은 것으로 분석되었다. 상세 부문 및 에너지원별 감축 비율은 2030년과 2050년 각각 산업부문 전력이 38.6%, 34.4%로 가장 높은 비중을 차지하고, 그 다음으로 건물부문 전력이



26.3%, 23.4%, 수송부문 석유가 18.2%, 19.2%, 순으로 분석되었다. 특히, 산업부문의 전력, 건물부문의 전력, 수송부문의 석유의 온실가스 감축량은 2030년 83.1%, 2050년 77.0%로 창원시 에너지부문 온실가스 전체 감축량의 대부분을 차지하고 있다. 2018년 창원시 에너지부문 온실가스 배출량 대비 창원시 2030 NDC 및 2050 시나리오 분석을 통한 온실가스 감축 비율은 39.3%, 96.0% 수준이다. 국가 온실가스 감축 비율인 2030년 40%, 2050년 100% 대비 창원시 에너지부문 온실가스 감축 미달성률은 약 0.7~4.0%로 61~354천 tonCO<sub>2eq</sub>의 잔여 배출량이 발생하는 것으로 분석되었다.

#### 4. 결론

본 연구는 2012~2020년 창원시 에너지부문 온실가스 배출량을 산정하고, 2030 NDC 및 2050 국가 탄소중립 시나리오를 적용하여 2050 창원시 에너지부문 온실가스 감축경로 분석 결과로 다음과 같은 결론을 도출하였다. 우리나라 탄소중립 기준연도인 2018년 창원시 에너지소비로 인해 발생하는 온실가스 전체 배출량은 8,828천 tonCO<sub>2eq</sub>로 나타났으며, 직접배출은 3,852천 tonCO<sub>2eq</sub> (43.6%), 간접배출은 4,976천 tonCO<sub>2eq</sub> (56.4%)로 나타났다. 특히, 창원시는 간접배출 중 광업·제조업 부문에서 온실가스 배출이 2,917천 tonCO<sub>2eq</sub> (33.0%)로 가장 높게 나타났다. 국가 온실가스 감축 비율을 할당하여 창원시 2030 NDC 및 2050 탄소중립 기준 시나리오를 분석한 결과, 2018년 대비 2030년 창원시 에너지부문 온실가스 감축량은 3,470천 tonCO<sub>2eq</sub> (39.3%)로 나타났다. 전체 감축량 중 산업부문 전기에너지 감축량 비율이 38.6%로 가장 크게 나타났으며, 2030년 온실가스 감축 목표 달성을 위해 연간 약 434천 tonCO<sub>2eq</sub> 이상 감축이 필요한 것으로 분석되었다. 2050 기준 온실가스 감축량은 8,474천 tonCO<sub>2eq</sub> (96.0%), 잔여 배출량은 354천 tonCO<sub>2eq</sub> (4.0%)로 나타났다. 상세 에너지원별로는 전기에너지가 4,976천 tonCO<sub>2eq</sub> (58.7%)로 가장 많은 감축량을 보이고, 석유류 2,052천 tonCO<sub>2eq</sub> (24.2%), 가스류 1,446천 tonCO<sub>2eq</sub> (17.1%) 순으로 연간 약 302천 tonCO<sub>2eq</sub> 이상의 감축이 필요한 것으로 분석되었다. 2018년 대비 2050년 부문별 온실가스 감축 추정량은 산업부문 3,565천 tonCO<sub>2eq</sub> (95.8%), 건물부문

2,941천 tonCO<sub>2eq</sub> (95.8%), 수송부문 1,871천 tonCO<sub>2eq</sub> (97.1%), 농축산부문 79천 tonCO<sub>2eq</sub> (89.3%), 탈루부문 17천 tonCO<sub>2eq</sub> (91.1%)로 2050년 창원시 온실가스 감축 비율은 89.3%~97.1%의 범위를 보였다.

본 연구는 창원시 상세 에너지 데이터 부재, 추가 온실가스 배출요인(흡수 및 제거, 도시개발 사업 등) 미적용 등 상세 온실가스 인벤토리 구축의 한계점이 있다. 따라서 본 연구를 바탕으로 지역의 실질적인 탄소중립 목표를 달성하기 위해 지역단위의 상세 온실가스 인벤토리 구축과 지역 특성을 반영한 온실가스 감축목표 및 감축경로 설정 등 고도화된 온실가스 인벤토리 구축과 온실가스 감축 잠재량과 잔여 배출량 등 온실가스 감축의 실효성을 담보할 수 있는 고도화 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### REFERENCES

- Changwon city big data portal, 2012~2022, <https://bigdata.changwon.go.kr/portal/statUse/stat/cwStatMain.do>.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center), 2021a, 2020 National greenhouse gas inventory report of Korea, Cheongju-si, Korea.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center), 2021b, Approved national greenhouse gas emissions and absorption factors for 2021, Cheongju-si, Korea.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center), 2022, Results of pilot calculation of regional greenhouse gas emissions in 2022 (2015-2020), Cheongju-si, Korea.
- IEA (International Energy Agency), 2021, World energy outlook 2021.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2006, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Methodology report.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2018, Global warming of 1.5°C, Special report.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2022, Climate change 2021 the physical science basis, evaluation report.
- Jin, S. H., Hwang, I. C., 2012, GHG emissions projections for local governments: an application of the disaggregation method, Seoul Studies, 13, 47-63.

- Joo, S. W., Lee, H. Y., Hong, J. K., Kwon, D. Y., Shim, C. S., Oh, Y. S., Li, S. L., Takele Kenea, S., Lee, S. J., Kim, J. E., Boo, K. O., 2022, Consideration of top-down greenhouse gas estimation approaches to prepare carbon neutral policy, *J. Korean Soc. Atmos.*, 38, 933-947.
- Kang, Y. E., Shin, J. Y., Park, C. S., 2016, Assessing climate change risk and adaptation policy improvements through text-mining, *J. Urban des. Inst. Korea*, 17, 69-84.
- KEEI (Korea Energy Economics Institute), 2021~2022, Yearbook of regional energy statistics, Ulsan, Korea.
- KESIS (Korea Energy Statistical Information System), 2022, <http://www.kesis.net/main/main.jsp>.
- Koh, J. K., Ye, M. J., 2022, Decoupling analysis of economic growth and greenhouse gas emissions of regional local governments in Korea, Korea research institute for local administration, Wonju-si, Korea.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service), 2012~2022, <https://kosis.kr/index/index.do>.
- K-eco (Korea environment corporation), 2014, Local government GHG reduction self-diagnosis program.
- K-eco (Korea environment corporation), 2017, Guidelines for local government greenhouse gas inventories (ver.4.1), Incheon, Korea.
- K-eco (Korea environment corporation), 2019, Local government greenhouse gas management tool.
- Ministry of Environment, 2020, Guidelines for operation of greenhouse gas and energy target management, etc.
- Ministry of trade, Industry and energy, 2022, Energy act.
- Park, J. H., Kim, H. S., Song, K. B., Yi, S. J., 2017, A study on greenhouse gas emissions characteristics of local government for the achievement of the national reduction goal, *J. Climate Change Res.*, 8, 247-255.
- Petronet, 2012~2022, <https://www.petronet.co.kr/v3/index.jsp>.
- Relevant ministries, 2021, 2050 Carbon neutral scenario, Korea.
- Relevant ministries, 2023, Korea's National Carbon Neutral·Green Growth Strategy and the Master Plan, Korea.
- Yoon, J. W., Yoon, Y. S., Kim, B. M., 2017, An exploratory test of evaluation model for climate change adaptation policy: evaluation of regional climate change adaption plans focused on delivering adaptation actions, *J. Soc. Sci.*, 43, 23-50.

- 
- Researcher. Ha-Neul Kim  
Urban Research Office, Changwon Research Institute  
khn0226@chari.re.kr
  - Research fellow. Jae-Hyung Jung  
Urban Research Office, Changwon Research Institute  
asap11@chari.re.kr