

군사부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

송기봉* · 최상진** · 김 정*** · 장영기***

*FHPPM, 65th MED BDE/MEDDAC-K, **나인에코, ***수원대학교 환경에너지공학과

A Study on the Estimation of GHGs Emission by Military Sector

Song, Ki Pong*[†], Choi, Sang Jin **, Kim, Jeong *** and Jang, Young Kee ***

*FHPPM, 65th MED BDE/MEDDAC-K, **NINECO

***Dept. of Environment and Energy Engineering, The University of Suwon, Hwaseong, Korea

ABSTRACT

In this research, we have developed standardized procedures for preparing of emission inventories on military sector. The procedures are as follows; 1) Identify all relevant emission sources list of military sector in Republic of Korea. 2) Select methods to estimate GHGs emissions by source categories such as heating boilers, tactical vehicles, military vessels and military aviation from US EPA, IPCC, EEA/EMEP, and ROK Ministry of Environment. 3) Identify and select data sources for activities and parameters from Korea annual oil statistics and Korea Procurement system. 4) Compare with each GHGs emission used by each activities. The conclusive results utilized by emission source categories and associated factors are described as follows; In 2013, GHGs was estimated 2,656 kilotons CO₂-eq emitted by military sector. The diesel combustion contributed from a minimum of 43.8% to a maximum of 50.2% and JP-8 contributed from a minimum of 43.7% to a maximum of 52.8% to the 2001~2015 GHGs emission trend. In the result of comparing GHGs emissions with Korea Annual Oil Statistics (Tier 1) and supplied fuel through the Korea Procurement System (Tier 2) in 2015, the total GHGs emission was 2,867 kilotons CO₂-eq estimated by Tier 2 is similar to the emission estimated by Tier 1. However, this reveals that the GHGs emission separated by local areas were a lot of different from Tier 1 and 2. The cause of difference between Tier 1 and Tier 2 was that Korea annual oil statistics utilized data from a fuel supplier. The data does not reflect the reality of the location of end user.

Key words: Military Sector, GHG Emission, Emission Category, Aviation, Diesel Combustion

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

기후변화에 대응하여 정책을 수립하고 이행하기 위해서는 국내 온실가스 배출원 및 흡수원을 파악하고, 각 배출원과 흡수원에서의 배출량과 흡수량, 즉 국가 온실가스 인벤토리를 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하다(GIR, 2015). 이에 정부는 대기오염물질과 온실가스를 줄여 대기환경을 개선하기 위하여 대기오염물질 및 온실가스의 배출현황 및 전망과 이를 줄이기 위한 목표 설정, 분야별 · 단계별 대책을 포함한 대기환경개선 종합계획을 수립·시행하고 있으며(NEIR, 2004), 정부는 2010년 ‘저탄소녹색성장기본법’이 시행됨에 따라 온실

가스종합정보센터를 설치하여 국가 온실가스 통계의 체계적인 개발 및 검증을 수행하고 있으며, 매년 국가 온실가스 통계를 산정, 발표하고 있다(GIR, 2015).

한편, 우리나라는 북한의 핵무기 개발 및 비대칭 전력과 대량살상무기를 꾸준히 증강하고 있는 위협에 대비하고, 한반도 주변의 동북아 안보환경에 대비하기 위해 국방비를 2013년 기준 세계 9위의 규모인 305억 달러를 지출하고 있다(MND, 2014). 하지만, 국내의 경우, 군사부문은 위협성의 측면과 보안적 측면의 특수성으로 인해 관련연구가 부족한 실정이며, 특히 군사부문에서 사용되는 무기, 탄약, 기동장비가 미치는 환경적 영향에 대한 오염매체별, 기초자료 생산 및 DB화가 선행되어야 한다(Choi, 2006). 군사부문에 대한 기초자료 및

[†] Corresponding author: kipongsong@gmail.com

Received June 1, 2017 / Revised June 16, 2017 / Accepted June 27, 2017

연구실적은 대기오염물질뿐만 아니라, 온실가스 또한 여전히 미진한 실정이다.

미국 EPA에서는 군사부문이 포함한 국가 온실가스배출량을 IPCC의 온실가스 배출량 산정 가이드라인에 따라 자국 내 배출량과 해외파병에 따른 배출량을 구분하여 산정하고 있다(EPA, 2015). 또한 많은 UN 기후변화당사국 회원국에서는 군사부문 온실가스 배출량이 포함된 국가 온실가스배출량 보고서를 매년 산정/보고하고 있다(UNFCCC, 2014). 하지만, 현재 국내 온실가스배출량 산정방법에는 군사부문 배출원의 특성을 반영한 산정방법과 이를 위한 배출계수를 제공하지 못하고 있다(Song, 2016). 따라서 2013년 국가 온실가스 통계의 수송부문 1A3a의 배출목록에서 군 항공기의 배출량은 산정대상에서 제외되었으며, 항공유를 제외한 군사부문에 타 유종의 소비에 따른 온실가스 배출량은 연료연소/기타연소 부문 1A4a의 배출목록인 상업/공공 부문으로 별도 구분 없이 산정되고 있다.

이에, 군사부문 또한 다른 부문들과 마찬가지로 국가 감축 목표 수립 및 부문별 온실가스 및 대기오염물질 저감대책 수립에 필수적으로 배출량 조사가 이루어져야 하며, 이를 위해 군사 부문의 다양한 배출원을 고려할 수 있는 배출목록 체계에 대한 검토와 산정방법에 대한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내 군사부문의 온실가스 배출량을 추정하기 위하여, 1) 각 군의 편제와 기존 국내 온실가스 배출목록 산정체계를 고려하여 군사부문의 배출목록 체계를 제시하였고, 2) 군사부문 배출량 산정을 위한 국내·외 배출계수 중 배출원별 활동자료에 적용할 수 있는 배출계수를 선정하였다. 이들 자료를 기초로 하여, 3) 배출원 특성이 반영된 활동자료를 적용함에 있어 지속적인 산정이 가능한 방법으로 군사부문 온실가스 배출량을 산정하였다. 그리고 4) 실제 군사부문 연료소비특성을 반영한 국가통계 수준의 유종별, 용도별 연료수급량 활동자료를 활용하여 온실가스 배출량을 산출하였으며, 5) 본 연구의 산정방법에 의한 결과와 비교평가하였다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 군사부문의 온실가스 배출량 산정방법 및 배출계수의 조사를 위해 국내 배출량 산정방법 및 배출계수와 국외 EPA, 유럽 환경청(EMEP/EEA) 및 IPCC에서 제안된

산정방법론 및 배출계수를 수집하였다.

연구대상 온실가스는 CO₂(이산화탄소), CH₄(메탄), N₂O(아산화질소)를 대상으로 하였으며, 배출목록은 국방사무를 관장하는 국방부를 대상으로 군 체계에 따른 육군, 해군, 공군 및 해병대로 구분하고, 군사부문 배출원의 특성과 국가 배출목록 체계를 고려하여 고정배출원(난방 및 취사), 비도로 이동배출원(전투 및 비전투차량, 군함 및 항공기)의 세부분류로 구분하였다.

활동도 자료는 한국석유공사의 2001년부터 2015년까지 15년간의 석유류 수급통계에서 공공부문의 국내 소비량 자료에서 산업분류체계 소분류의 국방사무 및 주한미군을 대상으로 자료를 수집하였다. 또한, 국가조달 시스템을 통한 국방부의 2014년부터 2015년까지 유종별(휘발유, 경유, 등유)/용도별(난방, 취사, 장비 및 차량용, 선박용) 수급 자료를 수집/활용하였으며, 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법 제21조에 따라 계속비 사업에 해당하여, 국가조달 시스템을 활용하지 아니하는 3종 보급품(천연가스 및 전기) 및 기타 수의계약으로 조달·소비에 따른 온실가스 배출은 본 연구의 배출량 산정에서 제외하였다.¹⁾

공간적 해상도는 군사시설의 특수성(군사활동에 따른 자료의 보안사항 등) 및 활동도 자료를 기반으로 광역 지방자치단체로 하였으며, 기존 온실가스 산정방법론에 따른 군사부문 배출량과 본 연구의 군사부문의 용도별 연료소모량에 따른 배출량과의 차이를 비교하여, 개발된 배출량 산정방법과 배출계수의 검증 실시하였다.

2. 군사부문의 배출 특성

2.1 군사부문 배출원 현황

군사부문의 온실가스 배출은 난방 및 취사, 장비의 연료연소에 따른 직접배출과 기반시설 및 장비의 전력 소비(한국전력)에 따른 간접배출로 구분된다. 본 연구에서는 군사부문에서 직접배출 온실가스 배출량을 산정하였으며, 배출원 분류는 대분류로 석유류 유종을 적용하였고, 중분류로는 군 조직 체계를 반영하여 육군, 해군, 공군 및 해병대와 주한미군을 적용하였으며, 소분류에는 고정배출원의 외부연소인 보일러 연소(Heating boiler)와 취사용 연소(Cooking burner), 비도로이동배출

1) 본 연구는 2006 IPCC Guideline 및 EMEP/EEA Guidebook에 따라 국가 온실가스 배출목록에서 군사부문 배출목록인 1A5로 구분하기 위해 산정하였고, 배출목록 1A1a의 에너지산업/공공 전기 및 열 생산에 직접배출량이 산정되는 전기의 소비에 따른 간접배출량 산정은 제외하였다. 또한 전력 및 천연가스 소비량 자료는 ‘국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법’ 제21조에 따른 계속비 사업에 해당하여, 정부기관 정보공개에서 계속비 사업 총액만 제공되어, 본 연구에 반영하지 못하였다.

원의 내부연소 장비인 군 내연기관(Military tactical vehicle), 군함(Military vessels) 및 군항공기(Military aircraft landing and take off/cruise) 운용으로 구분하였다.

2.2 군사부문 시설 및 장비 현황

배출원 분류체계를 바탕으로 군사부문 온실가스 배출량 산정방법론을 적용하기 위해 국내·외 대외공개에 따른 수집 및 활용 가능한 자료를 활용하여 군사부문 세부 배출원의 현황을 다음과 같이 분류하였다.

2.2.1 병영시설 및 고정배출원

우리나라의 국가 배출목록체계는 배출시설의 효율적인 관리를 위해 사업장을 대기오염배출량에 따라 1~5종으로 구분하여 관리하고, 국립환경과학원의 ‘국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III)’은 국가 대기오염물질 배출량의 공간 배분 방법으로 점오염원은 1~3종 배출업소의 배출량에 적용하고,

또한 4~5종 배출업소의 배출량은 면오염원으로 구분하여 산정하여 관련 활동자료를 활용하여 배분하고 있다(NEIR, 2013). 향후 군사부문의 온실가스 배출원 분류체계와 대기오염물질 배출량 산정체계 간의 연계/확장을 고려하여 군사부문 고정 배출원 특성을 조사하였다.

병영시설의 고정배출원인 보일러는 국방부의 ‘국방·군사시설 기준(2014)’에 따라서 설계/시공되고 있으며, 중대, 대대 및 독립부대의 단위제대 건축면적에 따른 난방 및 온수용 보일러 용량은 Table 1과 같다. 단위면적이 가장 큰 대대 규모에 요구되는 보일러 용량은 최대 2,310 Mcal/hr 로, 보일러의 운전부하 및 가동시간에 따른 연료소비량에 따라 군사부문 고정배출원은 기존 대기배출사업장의 4~5종 규모와 비교될 수 있어, 국립환경과학원의 배출량 산정방법에 따라 배출계수를 적용한 배출량 산정을 적용하였다.

2.2.2 지상 기동장비 현황

육·해·공군 및 해병대의 지상기동장비 현황자료는 2016

Table 1. Boiler capacity of military barrack

Unit category	Designed population (person)	Gross floor area (m ²): A	Shower head (EA): B	Heating boiler capacity (kcal/h)*: C, C=A÷3.3×550	Capacity of hot-water boiler (kcal/h)**: D, D=B×20,000	Total boiler capacity (kcal/h): E, E=C+D
Company	151	1,881.69	10	313,615	200,000	513,615
Detachment	81	2,251.82	6	375,303	120,000	495,303
Battalion	601	9,057.37	40	1,509,562	800,000	2,309,562

Source: MND, Guidelines of Design for Defense and Military Facilities Chapter, 28, 2014.

* Boiler capacity was estimated to be 550 kcal/h per 3.3 m² of building floor area.

** Capacity of hot-water boiler was estimated to be 20,000 kcal/h per 1 shower head.

Table 2. Type of military tactical vehicle and weapon

Vehicle type	ROK MND designation	Type of engine	Max. engine power (hp)	No. of vehicle
Light utility	K110S, K130S	Gasoline	71~130	7,866
Heavy utility	K310S, K510S, K710S, K910S	Diesel	130~450	42,705
Tank	M48A3K, M48A5K, K1, K1A1/A2, K2, T-80U	Diesel	750~1,500	2,542
Infantry fighting vehicle	KM901, BMP-3, K200/A1, K200S, K21	Diesel	160~740	2,900
Artillery/MLRS	K9, K55/A1, 105 mm, 155 mm, MLRS	Diesel, towed howitzer	405~1,000	5,548

Source: 1. An and O, 2016, 2. <http://en.wikipedia.org>

년을 기준으로 Table 2와 같다. 소형 기동차량(7,866대), 대형 기동차량(42,705대), 탱크(2,542대), 장갑차(2,900대), 야포 및 다련장(견인포 포함 5,548문)으로 분류된다. 기동장비는 연료 형태별 장비 수 기준 Gasoline engine이 12.8%, Diesel engine이 87.2%이었으며, 엔진출력 기준으로 Gasoline engine이 4.1%, Diesel engine이 95.9%를 차지하고 있다. 기동장비 현황에 따른 연료소비량 자료를 기반으로 한 Tier 2 방법론의 내부연소(내연기관)로 구분하여 배출량을 산정하였다.

2.2.3 군함(선박) 현황

군함은 2016년 기준으로 Table 3과 같이 구축함 및 호위함 19척, 초계함 및 고속함(고속정 포함) 90척, 상륙함 및 상륙정 10척, 기뢰 및 소해함 11척, 군수지원함 6척, 잠수함 및 잠수정 18척이다. 군함의 동력원인 엔진의 구성은 디젤 엔진과 가스 터빈의 병렬/직렬 조합 또는 단독으로 구성하여 함선의 임무특성에 따라 항속거리와 가속/고속성능을 반영하여 적용되며, 엔진 종류별 총 출력은 Gas turbine이 74.31%인 1,837,722 kW이고, High-speed diesel engine이 25.69%인 635,178 kW 이었다.

2.2.4 군항공기 현황

군항공기는 Table 4와 같이 고정익 전투기 368대, 관측 및 초계기 48대, 화물 및 수송기 40대, 훈련기(해군기 포함) 171

대이고, 회전익 비행기(육·해·공군 및 해병대)가 647대이었다. 고정익 전투기는 대부분 Turbo-fan 엔진을 장착하고 있지만, 구형 KF-5 및 F-4E는 Turbo-jet 엔진을 장착하고 있다. 관측/초계/수송 및 훈련 등 임무 특성에 따라 일부 다른 경우도 있지만, 주로 Turbo-prop 엔진을 장착하고 있다. 그리고 회전익 비행기는 Turbo-shaft 엔진을 장착하고 있다. 한편, Turbo-prop 엔진을 장착한 군항공기는 항공 휘발유(Aviation Gasoline)를 사용하며, Turbo-jet, Turbo-fan 및 Turbo-shaft 엔진 등을 장착한 군항공기는 항공유(Jet Kerosene)를 사용한다.

2.3 군사부문 온실가스 배출량 산정

2.3.1 산정방법 및 배출계수

국내 군사부문 온실가스 배출량을 위한 산정방법 및 배출계수는 Table 5와 같이 적용하였다. Tier 1 및 Tier 2 산정방법을 각각 적용하여 산정하였다.

본 연구에서는 군사부문 온실가스 배출량을, 기존에는 국가 온실가스 인벤토리 보고서(GIR, 2015)의 배출량 산정방법에 따라 Tier 1 방법론이 적용되어 1A4a 상업 및 공공부문에 포함되어 산정되었던 것을, 별도로 구분하여 1A5 군사부문 배출량으로 산정하였다. 특히 기존의 수송부문 1A3a 배출량 산정에서 제외되었던 군용기 및 군항공기 배출량을 석유수급통계 연료소비량과 Tier 1 방법론을 활용하여 추가로 산정하였으며, 이를 군사부문 배출량에 추가하였다.

Table 3. Classification of military vessel

Vessel classification	Type of vessel	Power plant		No. of vessel
		System*	Power (hp)**	
Destroyer and frigate	DDG, DDH-I, DDH-II, FF	COGAG(DDG), CODOG	GT: 54,400~100,000 DE: 5,600~58,200	19
Patrol vessels	PCC, PKM, PKG	CODOG, diesel, CODAG	GT: 27,200 DE: 6,000~26,780	90
Amphibious warfare ship	LST, LSF, LCAC, LPH	CODAD, gas turbines	GT: 8,000 DE: 12,800~41,615	10
Mine warfare ship	MLS, MLS-II, MHC, MSH	CODAD	DE: 2,040~17,200	11
Auxiliary ship	Cheonghaejin Class ASR, ATS, AOE	CODAD	DE: 5,440~7,800	6
Submarines	209Class, 214Class, SSM	D-E	DE: 3,200~3,875	18

Source: 1. An and O, 2016, 2. <http://en.wikipedia.org>

Note: * COGAG: Combined gas turbine and gas turbine, CODOG: Combined diesel or gas turbine, CODAG : Combined diesel and gas turbine, CODAD: Combined diesel and diesel, D-E : Diesel-electric.

** GT: Gas turbine, DE : High-speed diesel engine.

Table 4. Type of military aircraft

Type of wing	Mission / force	Designation (engine principle)	No. of aircraft
Fixed wing	Fighter	KF-5E(2TJ), F-4E(2TJ), F-16C/D(1TF), KF-16(1TF), F-15K(2TF), FA-50(1TF)	368
	Observation patrol	RC-800(2TF), RF-16(1TF), KA-1(1TF), E-737(2TF), P-3C/CK(4TP)	48
	Cargo / tanker / transport	C-130(4TP), CN-235(2TP), B747-400(4TF), HS-748(2TP), VB737-300(2TF), VCN-235(2TP)	40
	Trainer	KT-1(1TP), T-50(1TF), TA-50(1TF), T-50B(1TF), CARV-2(2TP)	171
Rotary wing	Army	500MD(1TS), UH-1H(1TS), UH-60(2TS), AH-1S/F(1TS), Bo-105(2TS), CH-47D/LR(2TS)	552
	Navy	Anti-submarine(2TS), ALT-3(1TS), UH-1H(1TS), UH-60(2TS)	52
	Air force	AS-332(2TS), B-412(2TS), S-92(2TS), VH-60(2TS), HH-60(2TS), HH-47(2TS), CH-47D(2TS), HH-32(2TS)	43

Source: 1. An and O, 2016, 2. <http://en.wikipedia.org>

Note: * TJ=Turbojet, TF=Turbofan, TP=Turbo-prop, TS=Turboshaft, and 1, 2, or 4 equals the number of engines.

Table 5. Estimating methods of military sector

Tier 1					Tier 2				
SCC#1	SCC#2	SCC#3	Method	EF	SCC#1	SCC#2	SCC#3	Method	EF
EC			GIR	GIR	EC	Forces	Purpose	GIR	GIR
	IC		NA	NA	IC	Forces	Purpose	GIR	GIR
						Vessel		IPCC	IPCC
AV	LTO		IPCC	EPA/GIR	AV	LTO		IPCC	EPA/GIR
	Cruise		IPCC	GIR		Cruise		IPCC	GIR

Note: EC (External combustion), IC (Internal combustion), AV (Aviation), EF (Emission Factor).

Source: GIR, 2015, EPA (U.S. EPA, Air pollutant emission factors for military and civil aircraft), IPCC (2006 Guidelines for national greenhouse gas inventories).

$$\text{Emission}(\text{CO}_2)(\text{Gg CO}_2) = \sum[(TA_{ij} - NA_{ij} \times FCS_{ij}) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12]$$

- TA : 총 연료 사용량(천TOE)
- 41.868 : J-TOE 단위환산계수(TJ/천TOE)
- NA : 비연료사용량(천TOE)
- CF : 전환계수(순발열량/총발열량)
- FCS : 탄소몰입률
- EF : 배출계수(t C/TJ)
- OF : 산화계수
- i : 연료유형

j : 부문
44/12 : 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환(kg CO₂/kg C)

$$\text{Emission}(\text{CH}_4, \text{N}_2\text{O})(\text{Gg CH}_4)(\text{Gg N}_2\text{O}) = \sum[TA_{ijk} \times 41.868 \times CF_{ij} \times EF_{ij} \times 10^{-6}]$$

- TA : 총연료사용량(천TOE)
- 41.868 : J-TOE 단위환산계수(TJ/천TOE)
- EF : 배출계수(kg /TJ)
- CF : 전환계수(순발열량/총발열량)

i : 연료유형
j : 설비유형
k : 부문

(Source : GIR, 2015)

고정배출원, 지상기동장비, 군함 및 군항공기의 운영에 따른 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법은 다음과 같이 기존 온실가스 산정방법과 Table 6의 배출계수를 적용하였다.

하지만 국내 군항공기 기종별 이착륙 횟수나 출발/도착지에 관한 자료의 취득이 불가능하여, 불가피한 가정과 추정을 거쳐야 했다. 군항공기의 연료소비량 자료가 없는 군항공기의 모드별 연료소비량은 Table 7과 같이 현재 주력기종인 F-16의 전투기 제원 및 각 출력모드별 연료소비량을 활용하여 추

정하였다. 이 과정에서 1회 이착륙 및 비행에 최대연료 적재량의 80%를 소비하는 것으로 가정하여, 전체 항공유 소비량에서 총 LTO와 Cruise 모드별 연료소비량, LTO 횟수 등을 역산하였다. 여기에 Table 8의 배출계수를 적용하여 군항공기의 LTO 및 Cruise 모드별 배출량으로 산정하였다.

2.3.2 활동도 자료

군사부문 Tier 1 방법은 한국석유공사의 석유류 수급통계를 이용하여 2001~2015년까지 15년간의 수급통계를 활용하였다. 수급통계의 산업분류에 따라 대부분류 및 중분류의 ‘공공’분류 내에서 국방부문 및 주한미군의 유종별 소비량 자료를 적용하였다. 다만, 수급통계는 연료의 용도별 및 소비자에 대한 정보

Table 6. Emission factors of fuel combustion

Fuel type	CO ₂ (kg/net calorific TJ)			CH ₄ (kg/net calorific TJ)			N ₂ O (kg/net calorific TJ)		
	1990~2006	2007~2011	2012~2013	H&C*	MTV*	MV*	H&C*	MTV*	MV*
Gasoline	69,300	72,233	73,333	3	20				
Diesel	74,067	73,333	74,067	3	5	7			
Kerosene	71,867	71,500	71,867	3	-			0.6	2
B-C (0.3%)	76,267	76,267	75,533	3	-	-			
LPG	63,067	64,533	64,533	1	62	-	0.1	0.2	-

Source: GIR, 2015.

* Note : H&C (Heating and cooking), MTV (Military tactical vehicle), MV (Military vessels).

Table 7. Fuel rates and consumption in LTO mode by F-16

Mode	Power setting (percent thrust or hp)	Time in mode (min)	Fuel rate (kg/hr)	Fuel consumed (kg/LTO)
Taxi/idle	Idle	15.9	481	127.5
Takeoff	Military or afterburner	0.4	20,049	133.7
Climbout	Military	1.2	4,717	94.3
Approach	84~86%	5.1	1,361	115.7
Total		22.6		471.2

Source: EPA, Air Pollutant Emission Factors for Military and Civil Aircraft, Table 4~7 & 5~2.

Table 8. Emission factors of military aircraft

Fuel type	CO ₂ (kg/Net calorific TJ)			CH ₄ (kg/net calorific TJ)	N ₂ O (kg/net calorific TJ)
	1990~2006	2007~2011	2012~2013		
Jet kerosene	70,417	70,778	71,500	0.5	2.0

Source: GIR, 2015.

는 제공하지 못한다. 이러한 정보를 제공하기 위한 Tier 2 방법을 적용하기 위해서는 Tier 1 방법의 활동자료인 석유류 수급 통계를 대체할 활동자료가 요구된다. 본 연구에서는 국방부의 공공유류 구매계약 자료(유종별/용도별 세부 소비량)인 2014~2015년의 국가조달시스템 자료를 적용하였다. 그리고 정유사를 통해 직매 조달하는 항공유와 단위부대별 개별 수급으로 조달자료가 없는 LPG 등의 소비량은 Tier 1의 석유류수급 통계자료를 이용하였다.

한편, 주한미군의 연료소비량은 석유류 수급통계상에 수출량에 포함되는 해외원정 지원군 소비량²⁾과 국내 소비통계로 계상되는 주둔부대 상시 소비량은 IPCC Guideline에 따라 미국의 International bunker에 포함되므로 배출량 산정에서 제외하였다.

2.3.3 배출량의 지역할당

군사부문 배출량의 지역별 할당은 다음과 같은 원칙을 적용하였다. 첫째, 외부연소 및 지상 장비운영에 따른 내부연소 분류로 산정된 Tier 1과 Tier 2 배출량은 부대별 위수지역 방위 및 평시 지역주둔 활동 특성을 반영하였고, 지역별 연료소비 및 수급량을 기준으로 할당하였다. 둘째, 군함의 Tier 2 배출량을 국내 운항 배출량으로 산정하였고, 군함의 운항모드별 선박운전 자료 확보의 한계에 따라, 전체 배출량을 연료소비 및 수급지역을 기준으로 배출량을 할당하였다. 마지막으로, 항공기의 LTO cycle은 군 공항을 중심으로 배출량을 연료소비 및 수급지역 기준으로 배출량을 할당하였고, 항공기의 Cruise 배출량은 국토방위의 국방사무 특성을 반영하여 국토면적 대비 광역자치단체의 행정구역 면적의 비율로 지역별 할당을 하였다.

3. 군사부문의 온실가스 배출량

본 연구에서 Tier 1 방법에 따른 군사부문의 온실가스 배출량은 Table 9 및 Fig. 1과 같이 나타났다. 2015년 기준 2,867.0 kton CO₂ eq.로 산정되었으며, 유종별로는 경유연소가 전체 배출량의 50.7%인 1,253.5 kton CO₂ eq., 항공유에서 45.4%인 1,300.9 kton CO₂ eq.를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

Tier 2 방법에 따른 군사부문의 온실가스 배출량은 Table 10과 같이 2015년 기준 2,781.6 kton CO₂ eq.로 산정되었으며,

2) 미국 해외원정 군사활동에 온실가스 배출량 (EPA, 2015),
 - 2013년 총배출량 : 6.0 MMT CO₂ Eq
 - Aviation(항공기) : 2.9 MMT CO₂ Eq.
 - Marine (군선박) : 3.2 MMT CO₂ Eq.

Table 9. Tier 1 GHGs emissions by military sector
 (Unit : kilo-ton as CO₂ eq.)

Year	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total CO ₂ eq
2001	2,487.62	3.84	13.67	2,505.13
2002	2,545.57	3.84	14.24	2,563.66
2003	2,233.49	3.38	12.54	2,249.41
2004	2,233.49	3.38	12.54	2,249.41
2005	2,487.20	3.50	14.44	2,505.14
2006	2,471.63	3.62	14.06	2,489.31
2007	2,384.51	3.55	12.63	2,400.70
2008	2,151.17	3.25	11.92	2,166.35
2009	2,484.38	3.60	14.10	2,502.08
2010	2,519.41	3.73	14.09	2,537.24
2011	2,465.50	3.39	14.38	2,483.27
2012	2,542.84	3.69	14.20	2,560.73
2013	2,638.53	4.02	14.31	2,656.86
2014	2,592.79	3.87	14.29	2,610.95
2015	2,847.38	4.42	15.16	2,866.97

용도별로 군항공기의 Cruise 모드에서 전체 배출량의 37.8%인 1,052.0 kton CO₂ eq., 육군의 난방 및 취사에서 14.5%인 403.0 kton CO₂ eq., 해군의 군함 운영에서 14.2%인 395.2 kton CO₂ eq., 육군의 지상 기동장비 운영에서 13.6%인 378.9 kton CO₂ eq.을 배출하고 있는 것으로 나타났다.

4. 온실가스 산정 배출량 비교

4.1 Tier 1/2 산정 배출량 비교

본 연구에서 2015년 배출량을 Tier 1 및 2 방법을 각각 적용한 경우, Tier 2의 방법론이 Tier 1에 비해 2.98% 작게 산정되었다. 이는 조달청 입찰계약 이외에의 소량 수의계약을 통한 유류구매량의 미 계상이 발생되었기 때문인 것으로 추정되며, Tier 1 및 2의 배출량 차이는 ±3% 이내였다.

한편, Tier 1 및 2 방법론을 적용한 2015년 지역별 배출량



Fig. 1. Trend of GHGs emission by fuel type.

Table 10. Tier 2 GHGs emission by force and fuel purpose

Force	Fuel purpose	CO ₂ (ton)	CH ₄ (ton)	N ₂ O (ton)	CO ₂ eq. (ton)	Rate (%)
	Total	2,715,979	134	203	2,781,601	100.0
Army	Heating boiler	400,813	54	3	402,962	14.5
	Military vehicle	342,975	9	115	378,904	13.6
	Cooking burner	5,089	1	0	5,116	0.2
Navy	Heating boiler	21,615	3	0	21,730	0.8
	Military vessel	391,142	37	11	395,192	14.2
	Military vehicle	56,235	1	21	62,760	2.3
	Cooking burner	98	0	0	98	0.0
Air force	Heating boiler	83,991	11	1	84,440	3.0
	Military vehicle	20,939	1	7	23,126	0.8
	Cooking burner	3,123	0	0	3,140	0.1
	Aircraft LTO*	245,036	2	7	247,164	8.9
	Aircraft cruise*	1,042,949	7	29	1,052,015	37.8
Marine	Heating boiler	24,359	3	0	24,489	0.9
	Military vehicle	24,195	1	9	26,930	1.0
	Cooking burner	144	0	0	144	0.0
Common	LPG*	53,277	4	0	53,389	1.9

* Note: Emission of LTO/Cruise for aviation and LPG combustion was applied by Tier 1.

의 차이는 Fig. 2와 같다. Tier 1의 방법으로 동일하게 산정된 Aircraft LTO/Cruise 및 LPG 연소 배출항목을 제외한 각 산정 방법별 지역별 배출량 차이는 Tier 2 방법으로 산정된 경기도 및 강원도의 배출량이 Tier 1의 배출량에 비해 배출량이 크게 증가하고, 대전광역시 및 경상남도의 배출량은 감소하는 것으로 산정되었다. 이는 Tier 1 방법이 적용된 한국석유공사의 석유수급통계의 경우, 에너지 공급자의 자료를 기반으로 작성되어, 각 군 조직의 계약부서가 위치한 사령부의 지역 자료만이 반영되었고, 에너지 최종 소비자의 사용용도 및 실 소비지역에 대한 정보를 정확히 제공하지 못 하였기 때문이다.

4.2 수송부문 국가 배출량/군사부문 배출량 비교

본 연구에서 산정된 군사부문의 온실가스 배출량과 2015년 국가온실가스 배출량보고서에서 수송부문의 배출량은 Table 11과 같다. 2013년 배출량 기준 군사부문의 배출량은 2,656 kton CO₂ eq.가 배출되어, 국가 온실가스 배출량에 추가할 경우, 수송부문 전체 배출량(88,261 kton CO₂ eq.)의 3%, 비도로 수송 부문 배출량 (3,592 kton CO₂ eq.)의 74%를 증가시킬 것으로 추정된다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내 온실가스 배출목록체계에 군사부문의 온실가스 배출량을 추가하기 위해서 군사부문의 온실가스 배출원을 정의하고, 배출목록체계에 부합할 수 있는 분류방식과

Table 11. Comparison of GHGs emission within transport category, 2013

Category		GHGs (kiloton CO ₂ eq.)
On-road	1A3b, road transportation	84,670
	1A3a, civil aviation	1,314
	1A3c, railways	448
Transport (1A3)	Non-road 1A3d, water-borne navigation	1,407
	1A3e, other transportation	423
	Sum of non road	3,592
Sum of transport		88,261
This study (Tier 1)	Military sector	2,656

Source : GIR. 2015 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.

산정방법을 개발하고자 하였다. 또한 이를 위해 국가에너지수급 자료를 기반으로 한 통계지표와 기존의 국내·외 배출량 산정방법을 비교하여 국내 적용 가능한 방법론을 제안하고, 지속적으로 관리될 수 있는 배출원 분류체계를 고려하여 군사부문의 온실가스 배출량을 산정하였다. 이를 토대로 본 연

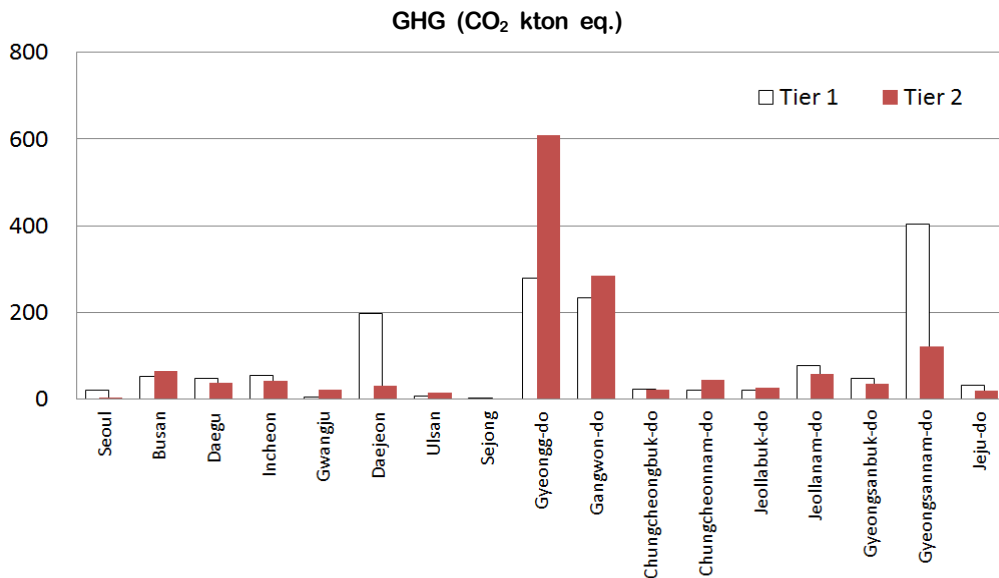


Fig. 2. Comparison of estimated local emissions with Tier 1/2 method.

구에서는 군사부문의 배출목록별 온실가스 배출량과 지역별 배출량 결과를 산정하였고, 세부적으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 국내 군사부문에서 사용되는 연소장치 및 지상, 해상, 공중 기동 장비목록을 온실가스 배출량 산정방법에 적용 가능하도록 구현하였고, 국내외 배출계수 및 정량화할 수 있는 자료를 활용하여 연도별 부문별 배출량을 산정하였다.
- 2) 군사부문에서 배출되는 온실가스 배출량은 2013년 Tier 1 방법론 기준으로 2,656 kton CO₂ eq.가 배출되고, 2001년~2015년의 유종별 연도별 온실가스 배출량 기여율은 경유 연소에서 43.8~50.2%이고, 항공유 연소에서 43.7~52.8%를 기여하는 것으로 산정되었다.
- 3) Tier 1 및 2의 산정결과는 2015년 배출량 기준 Tier 2가 Tier 1 배출량에 비해 2.98% 적게 산정되어 ±3% 이내였으나, 지역별 배출량은 많은 차이가 나타났다. 그 이유는 Tier 1 방법에 적용된 석유수급통계의 경우, 에너지 공급자(소재지)의 자료를 기반으로 작성되어, 에너지 소비자의 실 소비지역(사용지)에 대한 정보를 정확히 제공하지 못하고 있기 때문으로 판단된다.
- 4) 본 연구에서 산정된 군사부문 온실가스 배출량을 국가 온실가스 배출량과 비교하면 2013년 국가 온실가스 배출량 중 수송부문 배출량의 3%, 수송부문 중 비도로 부문 배출량의 74%를 증가시킬 것으로 예상되었다.

본 연구에서는 국가조달시스템에 공개되어 수집 가능한 2014~2015년 2개년 자료만 활용했기 때문에 Tier 2 배출량 산정을 위한 확장성의 한계를 가지고 있다. 그리고 국내 군사장비의 고유 배출계수와 활동자료가 없어 외국 배출계수와 활동자료를 적용했기 때문에 우리나라 군 고유특성을 반영하지 못했다. 특히, 군함 및 군항공기의 운항정보에 대한 접근이 불가하거나, 공개된 자료가 없었던 한계로, 군항공기 Cruise 모드 배출량을 지역면적에 따른 공간할당 방식을 적용하였고, 군함에서의 배출량을 유류 수급지(해군 항만기지)에의 배분할당을 적용하였다.

본 연구는 국가 온실가스 배출량 인벤토리에서 반영되지 못하고 있는 군사부문의 배출원을 파악하고, 배출목록 체계와 부합될 수 있도록 군사부문의 온실가스 배출량을 산정하였다. 또한 지역별 배출량을 산정하기 위해 Tier 2수준으로 적용될 수 있는 활동자료로서, 국방부의 공공유류 구매계약 자료(유종별/용도별 세부 소비량)를 적용하여 국내 군사부문 온실가스 배출량 산정방법론을 제시하였다. 향후 국가 온실가스 통계의 공공 및 상업 배출목록에 군사부문 온실가스 배출을 적절하게

포함하고, 공공 및 상업부문의 지역별 배출량을 지속적으로 보완하여 국가 및 지역 온실가스 감축잠재량 산정과 국가 온실가스 감축을 위한 중장기 전략 수립에 기여할 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- An SB, O DY. 2016. ROK military weapon systems 2016-2017. Defense Times.
- Choi JG, Kang JG. 2006. Improvement of environmental impact assessment for national defense and military facilities - Focused on military training sites. Korea Environment Institute.
- Choi SJ. 2010. Development of calculation system for greenhouse gases emission from water-borne navigation. Dissertation. University of Suwon.
- EIIP. 1997. Introduction to the emission inventory improvement program.
- EEA. 2013. EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook. European Environment Agency.
- EPA. 1978. Air pollutant emission factors for military and civil aircraft.
- EPA. 2006. Report on revisions to 5th edition AP-42.
- EPA. 2015. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks 1990-2013.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Vol. 2. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- GIR. 2015. 2015 national greenhouse gas inventory report of Korea. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea.
- NIER. 2004. CAPSS, Clean Air Policy Support System. National Institute of Environmental Research.
- MND. 2014. Defense white paper, ministry of national defense of Korea. Ministry of National Defense.
- MND. 2014. Guidelines of design for defense and military facilities - standard for barracks. Ministry of National Defense.
- Song KP. 2016. Development of emissions inventory for GHGs and air pollutants for military sector. University of Suwon.
- UNFCCC. 2014. Handbook on measurement, reporting and verification.