

ORIGINAL ARTICLE

항공기 배출량 산정 방법에 따른 공항주변 대기오염 영향분석연구

한승재¹⁾ · 유정우¹⁾ · 임윤진²⁾ · 이순환³⁾ · 이화운^{1)*}

부산대학교 환경시스템협동과정, ¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부, ²⁾국립기상연구소 응용기상연구과,

³⁾부산대학교 지구과학교육과

Impact of Air Pollutant Emissions from Aircraft on the Air Pollution around Airport

Seung-Jae Han, Jung-Woo Yoo¹⁾, Yoon-Jin Lim²⁾, Soon-Hwan Lee³⁾, Hwa-Woon Lee^{1)*}

Department of Interdisciplinary Program of Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

¹⁾*Division of Earth Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

²⁾*Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research, KMA, Seogwipo-Si 697-100, Korea*

³⁾*Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

Abstract

Emissions from aircraft have impacts on the air pollution of airport and the surrounding area. There are methods of emissions calculated as Tier 1, Tier2, Tier 3A and Tier 3B. Thus, this study investigated emissions from aircraft at the Gimhae International Airport using EDMS(Emissions & Dispersion Modeling System) program. Results of estimation from aviation emissions, Tier 3B considering all parts which can occur at the airport has the largest amount emissions.

In order to understand the relation between aviation emissions and distribution of ozone concentration over airport area, numerical evaluation were carried out. Although the difference of surface ozone distribution between numerical assessment with and without aviation emissions was little, effects of air pollution at airport area from aviation emissions of NOx and VOCs.

Key words : Airport, Aircraft, Air pollutant, Aviation emission, EDMS

1. 서론

최근 미세먼지 및 대기질 예보가 시행됨에 따라 대기 오염물질에 대한 정확한 배출량 산정이 요구되지만 여전히 배출량 추정에 대한 불확실도가 높다. 특히 도로나 철도, 선박과 같은 육상수송에 의한 대기오염물질 배출이 대기와 기후변화에 영향을 미친다고 하였다(Uherek et

al., 2010). 이러한 도로 및 철도, 선박과 같은 물류수송에 의한 대기오염물질 배출이 상당하지만 정확한 배출량 산정은 어려운 실정에 있다. 2012년을 기준으로 국내 여객수송 수단 중 도로(road) 수송이 약 87%, 지하철 및 철도수송 약 12%, 항공 수송 약 0.07%, 해운수송 약 0.05%로 나타났으며, 국제 여객수송은 항공수송 약 94%, 해운수송 약 6%로 순으로 나타났다(MLTMA:

Received 28 October, 2014; **Revised** 2 December, 2014;

Accepted 9 December, 2014

***Corresponding author**: Hwa-woon Lee, Division of Earth Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone: +82-51-583-2651
E-mail: hwlee@pusan.ac.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.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2013). 항공수송의 경우 국제 여객수송에서 차지하는 비율이 절대적이며 꾸준한 증가추세를 보이고 있다. Yoon 과 Park(2013)에 따르면 항공여객을 통한 내·외국인 출입국 수가 SARS 시기를 제외하고 꾸준히 증가하고 있으며 2014년에는 전년 대비 7.1%의 증가하였을 것으로 추정되고 있다.

이와 같이 항공기 운항증가에 따른 오염물질 배출량 증가가 예상되고 항공기의 경우 육상수송과는 달리 이·착륙(LTO : Landing and Take-Off)과정에서 지표에서부터 대기상층 특히, 대기경계층 내에서 오염물질이 다량 배출되고 있지만, 국내 배출량자료인 대기정책지원시스템(CAPSS : Clean Air Policy Support System)에서는 항공기 운항에 대한 배출량 산정이 이루어지지 않고 있다.

대기환경보전법에서는 대기오염물질을 SO₂, CO, NO₂ 등의 가스상 물질과 미세먼지 등 입자상 물질을 포함한 총 61종으로 정하고 있으며, 이 중 CO₂, CH₄, N₂O, PM₁₀ 등과 같은 항공기 배출물질은 복사강제력에도 영향을 미친다고 하였다(Lee 등, 2009; Song 등, 2014). 하지만 기존의 항공기 배출량 조사는 대기환경기준물질에 대한 연구가 부족한 실정이다(Yoo, 2009).

최근 공항주변의 관측자료를 이용한 관측자료를 이용한 연구(Song 과 Shon, 2012) 등 국내 항공기 운항에 따른 대기오염물질의 배출량에 관한 연구가 진행되고 있지만, 기상 및 대기질 수치모의를 이용하여 공항 주변지역에 미치는 영향연구는 찾아보기 어렵다.

이러한 배경에서, 이 연구에서는 김해 국제공항을 연구지역으로 선정하여 배출가스 산정방법에 따른 항공기 배출량을 산정하고 항공기 배출량을 고려한 기상 및 대기질 수치모의를 통해 김해국제공항 및 인접한 부산 지역 대기질에 끼치는 영향을 살펴보았다.

2. 연구방법

2.1. 연구지역

본 연구의 대상지역은 부산광역시 강서구 대저동에 위치한 김해국제공항으로 부지 6,518,572 m²에 국내 및 국제선 여객터미널, 평균 길이 3,000 m의 비행 활주로 2개 등으로 이루어져 있다. 한국공항공사(KAC : Korea Airport Corporation)에 따르면 김해국제공항은 국내 14개 공항 중 이용객 수 기준으로 인천, 제주, 김포에 이은 4번째로 운항이 많으며 국제선 이용객 수는 인천국제공항에 이어 2번째로 많은 것으로 나타났다. 특히 최근 5년 동안에 운항된 국내선 및 국제선 항공 편수와 이용 승객이 꾸준히 증가하고 있으며, 전년대비 항공 편수는 평균 6.2%, 이용 승객은 9.1%로 빠른 성장률을 보이고 있다. 이와 같이 김해국제공항의 항공기 운항 증가는 공항 주변 지역 및 인접한 부산 지역의 대기질에 영향을 끼칠 것이다.

2.2. 항공기 배출량 산정

항공기 배출량을 산출하는 방법은 크게 Tier 1, Tier 2, Tier 3으로 나뉜다. Tier 1은 항공기 연료 소모량을 이용하는 방법이며, Tier 2는 항공기의 연료 소모량과 LTO 횟수를 고려하는 방법이며, Tier 3은 항공기의 기종 및 비행거리를 포함한 데이터를 세분화하는 방법이다. Tier 3은 출발지와 목적지의 실제 이동 데이터에 기초한 Tier 3A와 전체 비행 궤적 정보를 이용한 Tier 3B로 나뉜다.

Tier 1은 가장 산출하기 쉬워 널리 사용되는 방법으로 다른 공항과는 달리 김해공항은 국내 및 국제선의 운항 편수와 기종이 비슷하여 보잉사의 B737 모델의 연료 사용량을 적용하였으며 한국공항공사에서 제공하는 자료를 활용하여 다음과 같은 방법으로 배출량을 산정하였다.

$$E_{\text{pollutant}} = AR_{\text{fuel consumption}} \times EF_{\text{pollutant}} \quad (1)$$

Table 1. Number of flight and passenger from Gimhae International Airport during 2009-2013

Year	2009	2010	2011	2012	2013
Flight	61,171	62,225	66,525	71,713	77,665
Passenger	6,870,157	8,160,546	8,749,153	9,196,090	9,671,381

$$E_{pollutant} = \text{LTO 각 단계에 대한 오염물질의 연간 배출량}$$

$$AR_{fuel\ consumption} = \text{비행 단계 유형별 연료 소비 활동 비율}$$

$$EF_{pollutant} = \text{비행 단계와 유형에 대한 오염 물질 배출 요인}$$

Tier 2는 전체적인 산출 방법은 Tier 1과 큰 차이가 없지만, 항공기의 기종을 파악하여 각 기종별 LTO 횟수를 이용해 배출량을 산정하며, Kim과 Ahn(2008)에 의하면 Tier 2의 배출량이 Tier 1 보다 낮게 산출되며 하며 방법은 다음과 같다.

$$E_{pollutant} = \sum_{Aircraft\ types} AR_{fuel\ consumption, aircraft\ type} \times EF_{pollutant\ aircraft\ type} \quad (2)$$

$$AR_{fuel\ consumption, aircraft\ type} = \text{각 기종별 비행 단계에 대한 연료 소비 활동 비율}$$

$$EF_{pollutant\ aircraft\ type} = \text{각 기종별 비행단계에 대한 오염 물질 배출 계수}$$

Tier 3A는 항공기 기종뿐만 아니라 각 항공기별 엔진에 따른 활주로 출입, 시동, 접근, 이륙, 상승, 하강, 착륙 등의 모드별 배출 계수 데이터를 적용하여 배출량을 산정하는 방법이다. 이와 달리 Tier 3B는 항공기 배출뿐만 아니라 공항에서 발생할 수 있는 모든 부분의 배출량을 함께 산출하는 방법이다. 본 연구에서는 미연방항공국(Federal Aviation Administration) EDMS(Emissions & Dispersion Modeling System) v5.1.4.1을 이용하여 지상지원장비, 보조동력장치, 주차시설, 도로, 고정소스, 화재훈련을 적용하였으며 항공기 배출을 기본으로 모든 배출 결과를 합해 배출량을 산출하였다.

Fig. 1은 김해공항의 항공기 배출량 중 주요 대기환경 기준 물질을 비교하여 나타낸 그림이다. 대체적으로 Tier 3B 방식에서 높은 배출량을 보였는데 이는 항공기 배출뿐만 아니라 공항에서 발생하는 다른 요소를 고려한 결과이다. 물질별로 보면 NOx는 Tier 2에서 가장 많은 배출량을 보였으나 다른 물질에 비해 그 차이가 적었으며, CO의 경우 Tier 3A에서 가장 낮게 나타났지만 항공기

운항 외 공항의 자동차 통행량까지 고려한 Tier 3B에서 3.4배 이상 증가하며 산정방법 중 가장 높은 수치를 보였다. SOx와 VOCs 물질은 Tier 3 방식에서만 배출량이 산출되었고, PM은 배출량은 모든 산정방법에서 가장 적게 산출되었다. 산정방법에 따라서는 Tier 1과 Tier 2는 Tier 3A, 3B에 비해 차이가 적고 VOCs 등의 물질이 산정되지 않았으며, Tier 3B가 Tier 3A 보다 많은 배출량이 산정되었다. 따라서 본 연구에서는 Tier 1과 Tier 3B, 그리고 지속적으로 증가하는 항공기 운항을 고려하여 미래 예상 시나리오로써 추가적으로 Tier 3B 배출량에 2배에 해당하는 Tier 3B_2 배출량을 이용하여 대기질 수치 모의에 적용하였다.

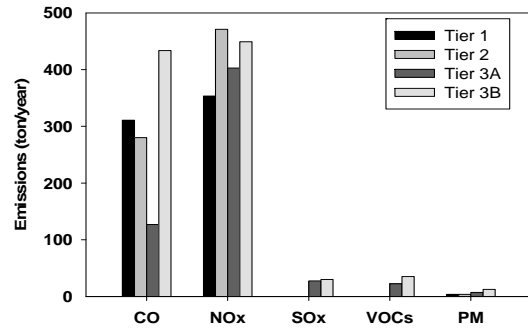


Fig. 1. Emissions of from aircraft at Gimhae international airport during 2013.

Fig. 2는 시나리오별 NOx 및 VOCs 배출량의 분포를 나타낸 그림이다. 본 연구에서 항공기 배출량을 고려하기 위해서 CAPSS 배출량만을 고려한 Base 시나리오와 항공기에서 배출되는 NOx와 VOCs, SOx, CO, PM 배출량을 김해공항 면적에 해당하는 1 km x 1 km 수평격자 4개에 배출량을 추가하였다.

우선 CAPSS 배출량의 분포를 김해공항을 중심으로 살펴보면 NOx 배출량은 충분히 분포하고 있지만 VOCs의 경우는 극히 적은 배출량을 확인할 수 있다. 한반도 중관풍인 편서풍을 고려하면 김해공항의 풍상측에 지역에서의 낮은 배출량 분포는 김해국제공항의 배출량 차이에 의한 주변 지역의 대기질 변화가 더욱 잘 나타날 것이다. Tier 1은 Base 시나리오에 비해 NOx 분포가 증가했음을 확인할 수 있다. 그러나 Tier 3B는 NOx 분포에서는 Tier 1과 큰 차이가 없지만 VOCs 분포가 확연히 증가하

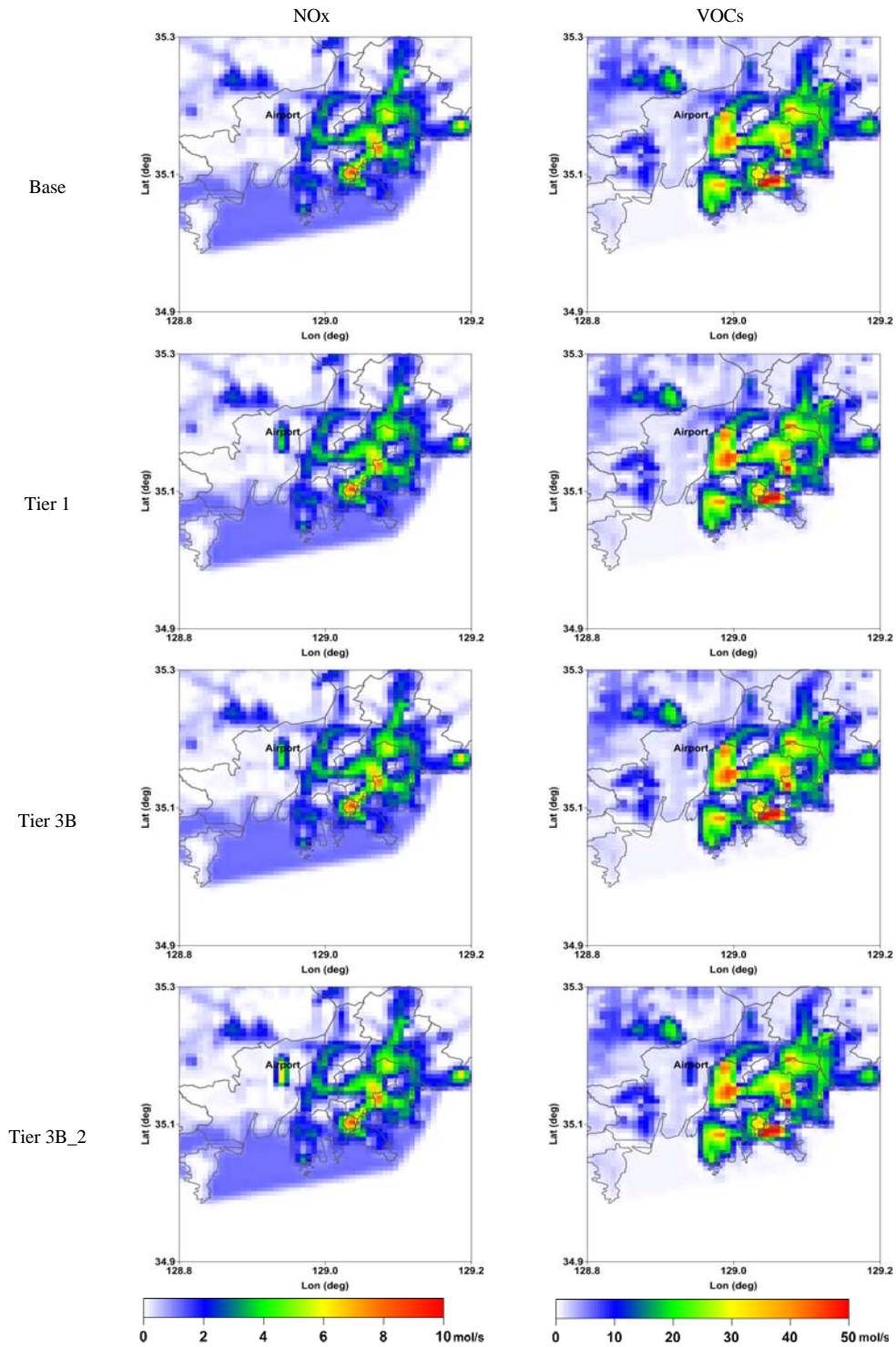


Fig. 2. Comparison of horizontal distribution of NOx and VOCs emissions.

였다. 이런 VOCs 분포 증가는 항공기 운항의 증가로 인한 미래 예상 시나리오인 Tier 3B_2에서 더욱 확연히 드러나며 NOx 분포 또한 큰 폭의 증가를 확인할 수 있다. 이러한 항공기 배출량 고려는 김해국제공항 및 주변 풍하측에 위치한 부산지역의 대기질 변화를 가져올 것이다.

2.3. 수치실험 설계

본 연구에서 사용된 기상 수치모델은 WRF로 수치모델의 영역은 Fig. 4와 같다. 한반도를 중심으로 최종 도메인 4는 김해 및 부산 지역을 포함하여 1km의 수평해상

도를 가지며, 연직층은 총 29개 층으로 구성된다.

연구에 적용된 물리 옵션은 Table 1에 제시하였다. 구름들에 대한 요소인 미물리는 WRF Single-Moment3-class scheme, 복사에너지에 대한 해석은 RRTM scheme, 지상 기상요소에 대한 해석은 Noah Land Surface Model, 대기 경계층 내 해석은 Mellor-Yamada-Janjic PBL scheme을 적용하였다.

모델의 초기자료 및 경계자료는 NCEP에서 6시간마다 제공되는 공간해상도 1°×1°의 FNL 자료를 사용하였으며, 경계조건에서 생기는 오차를 줄이기 위해 4개의 도

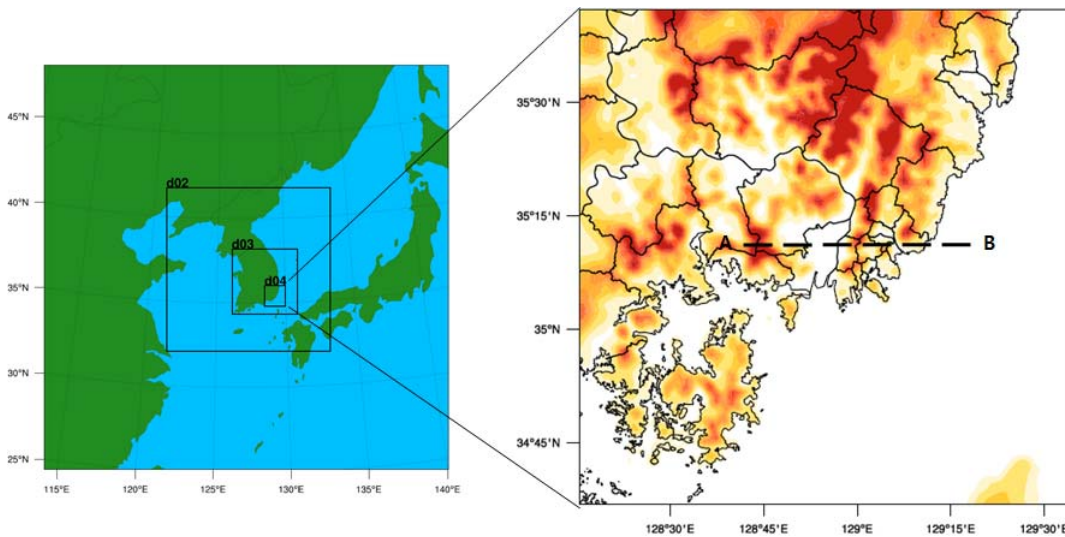


Fig. 3. Model domain for WRF simulations in this study.

Table 2. The configuration of WRF model

	D01	D02	D03	D04
Horizontal grid	100×100	121×121	136×136	121×121
Resolution	27km	9km	3km	1km
Vertical layers	29 Layers			
Physical process	WRF Single-Moment3-class scheme			
	RRTM scheme			
	Dudhia scheme			
	Noah Land Surface Model			
Initial data	Mellor-Yamada-Janjic scheme			
SST data	NCEP FNL Operational Global Analysis data			
Time period	OSTIA SST data			
	2013.08.06.12UTC ~ 2013.08.08.00UTC			

메인을 설정하여 nesting 방법을 사용하였다. 보다 정밀한 수치모의 결과를 얻기 위해서 지형자료는 고해상도 지형인 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 3 초 자료와 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도 3 초 자료를 사용하였으며, 영국 Met office에서 제공하는 0.05°×0.05° 공간해상도의 OSTIA 일평균 해수면 온도 자료를 사용하였다. 또 한반도 기상대 총 93지점에서 관측된 풍속 및 기온 자료를 Observation Nudging 방법을 통해 수치모의에 반영하여 기상장 수치모의 결과의 정확도를 높여 오염물질의 이류 및 화학반응에 있어 기상장에서 생기는 오차를 줄이고자 하였다.

대기질 수치모의의 3차원 광화학 모델 CMAQ을 수행하기 위한 기상입력자료는 WRF 결과에서 부산 및 김해를 포함한 Domain4 영역을 사용하였으며, 수평격자는 1 km 해상도로 격자는 118×118이다. 광화학 메커니즘은 CB-V(Carbon Bond V)이며, 에어로졸 메커니즘은 AERO5를 적용하였다.

2.4. 연구 사례일

본 연구는 항공기 배출량을 고려한 대기질 수치모의를 위해서 최근 김해국제공항에서 항공기 운항이 가장 많았던 날이 2013년 8월 7일을 사례일로 선정하였다. 사례일의 00UTC와 12UTC의 지상일기도를 Fig. 3에 나타내었다. 사례기간 동안 북태평양 고기압이 발달해 한반도에 길게 뻗어있으며 등압선 간격이 넓게 유지돼 약한 기압경도로 인해 종관풍의 영향을 적게 받았다. 부산

과 창원 기상대 관측값을 살펴보면 각각의 평균풍속이 3.4 m/s, 3.0 m/s, 운량 3.6, 1.8, 일조시간 11.7 hr, 10.8 hr으로 비교적 날씨가 맑았다. 이러한 맑은 날씨와 약한 종관풍의 영향으로 인해 지역적 배출량에 의한 대기질 변화를 분석하기에 용이하다.

3. 결과

3.1. 수치모의 검증

Fig. 4는 대기질 관측망에서 측정한 지표 오존농도값과 대기질 모델의 결과를 시계열로 비교해 나타낸 그림이다. 대기질 관측망 지점은 김해공항에서 배출된 오염물질이 바람에 의해 이류되어 영향을 미칠 수 있는 풍하측 지역으로 부산 덕천동(238181)과 부산 청룡동(221211) 관측망 자료를 이용하였다.

사례일 전날의 오존농도가 관측자료에 비해 10 ppb 이상 과대모의 하여 사례일인 8월 7일 새벽시간대에 큰 차이를 보인다. 또 출근시간인 8~9시 이후 급증하는 오존농도의 증가폭을 잘 모의하지 못하며 관측값의 최고농도에 미치지 못하며 덕천동 지점에서는 최고농도가 나타나는 시점 또한 일찍 나타났다. 청룡동 지점에서는 두 번째 피크를 잘 모의하지 못하며 관측자료 보다 일찍 농도가 감소하는 경향을 보였다. 결과적으로 대기질 모델의 오존농도 모의 결과는 야간의 과대모의 및 주간의 과소모의 하는 경향이 나타났지만 일변화 경향성은 비교적 잘 모의하였다.

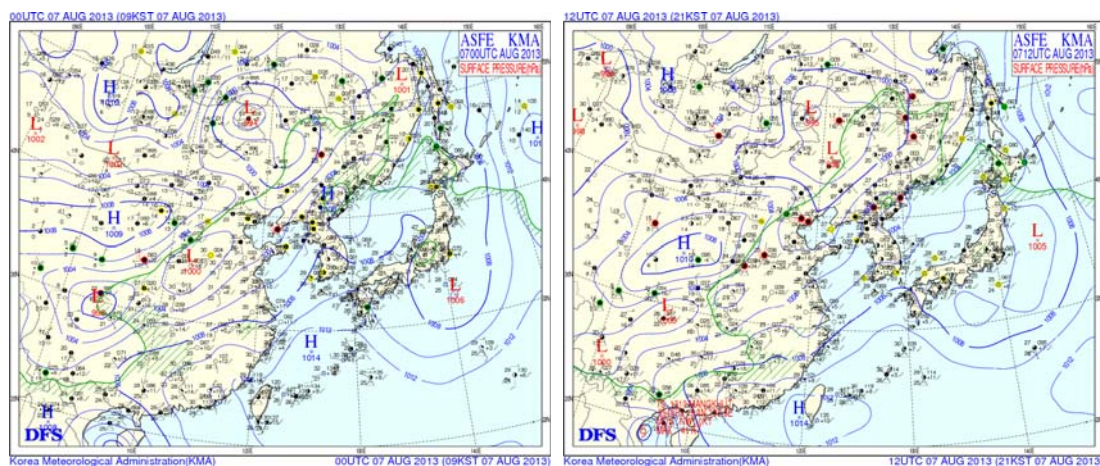


Fig. 4. Surface weather maps at 09LST and 21LST on 7 Aug. 2013.

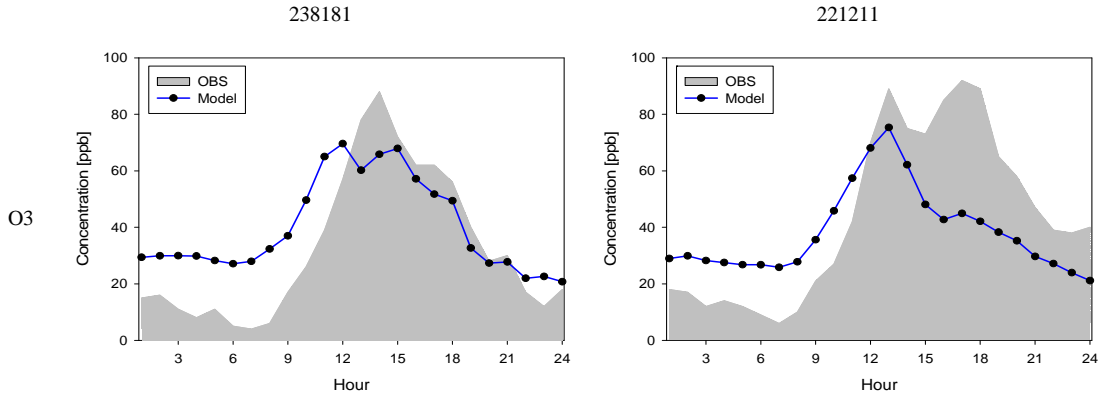


Fig. 5. Temporal variation of observed and estimated ozone concentration.

기상 및 대기질 수치모의 정확도를 정량적으로 판단하기 위하여 본 연구지역 주변의 기상관측 9개 지점, 대기질 측정망 20개 지점의 자료를 이용하여 통계적 분석을 실시하였다. 본 연구에 적용된 통계지수는 R, IOA (Index of Agreement)와 RMSE(Root Mean Square Error)이다. 각각은 시계열의 전체적인 일치 정도, 최대치의 이격, 그리고 예측치와 실측치의 편차를 의미한다. R과 IOA는 1에 가까울수록, RMSE는 0에 가까울수록 예측이 정확하다는 것을 의미한다.

Table 2에 나타난 것과 같이 기상장 수치모의의 통계 분석 결과 기온 및 풍속이 각각 RMSE가 1.34, 1.78로 수치모의 결과가 관측값에 비해 다소 과대모의 하는 결과를 보였다. 그러나 기온의 경우 R이 0.93, IOA가 0.93으로 나타나 온도의 일변화 등을 잘 모의하여 통계적으로 매우 유의한 결과를 보여주었다. 풍속의 경우 기온의 결과에는 미치지 못했지만 R이 0.57, IOA가 0.59로 통계적으로 충분히 유의한 수준임을 나타내었다.

대기질 모델의 오존농도 경우 RMSE가 19.16 ppb로 관측값에 비해 크게 과대모의 하는 경향이 나타났다. 이러한 관측값과 모델값의 큰 차이는 기상장 수치모의에서

생기는 오차와 배출량 자료에서 생기는 불확실성 때문이다. 하지만 R이 0.61, IOA가 0.66으로 농도의 평균적인 차이는 크지만 일변화 경향을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

3.2. 수평 및 연직 오존 분포

Fig. 6은 CAPSS 배출량을 이용해 수치모의 된 Base 시나리오의 결과를 사례일인 2011년 8월 7일의 지표 오존농도 분포를 03, 09, 12, 18LST에 대해 나타낸 그림이다. 야간 03LST에 내륙에서 전날 및 야간에 발생하는 NOx 배출로 인해 대부분의 오존이 소멸되어 30 ppb 이하의 낮은 농도분포가 나타난다. 일출 이후 09LST가 되면서 지표면 복사와 교통량 증가로 인해 증가하는 NOx 배출량의 영향으로 도심 지역인 창원 및 부산지역에서 고농도 오존이 발생하며 12LST가 되면서 창원에서 이루어져 풍하측 지역인 부산에서 80 ppb 이상의 고농도 오존이 여전히 존재한다. 18LST 이후 오존농도가 점점 감소하여 30 ppb 이하의 낮은 분포가 나타난다. 김해국제공항에서 배출되는 NOx는 해풍의 영향으로 내륙으로 진입하게 되며 창원에서부터 이루어져 오는 기류와 만나

Table 3. Statistics of estimated surface temperature, wind speed and O3 concentration for episode period

	R	RMSE	IOA
WRF_Temp.	0.93	1.34	0.93
WRF_WS	0.57	1.78	0.59
CMAQ_O ₃	0.61	19.16	0.66

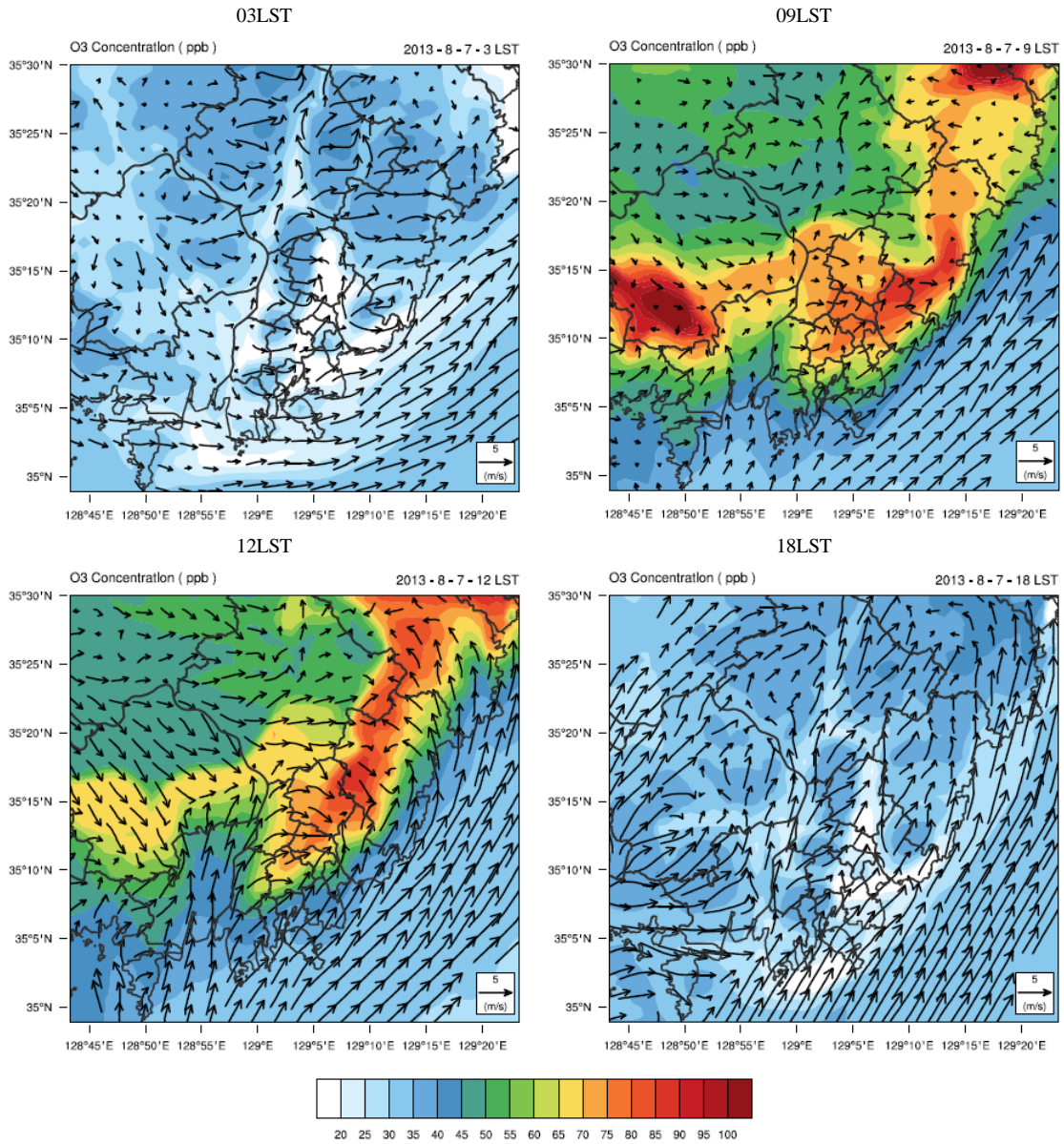


Fig. 6. Horizontal distribution of surface ozone concentration at 7 Aug. 2013.

오존을 생성시켜 부산 지역에 영향을 준다.

배출량 차이에 따른 오존농도의 수평 분포 차이를 알아보기 위해 Tier 3B_2와 Base 시나리오의 지표 오존농도 분포 차이를 시간별로 나타냈다(Fig. 7). Tier 1과 Tier 3B의 경우 오존농도 차이가 적게 나타나 다른 시나리오에 비해서 항공기 배출량이 가장 많아 가장 많은 차

이를 보이는 Tier 3B_2의 결과만을 나타내었다.

기존 CAPSS 배출량에 항공기 배출량 고려로 인한 NOx 증가는 야간 적정(titration) 반응에 의해 오존농도가 Base 시나리오에 비해 1 ppb 이하이지만 약하게 감소하는 경향이 나타난다. 09LST에 NOx 배출량의 급증으로 김해국제공항을 중심에서 1-2 ppb의 오존농도가 증

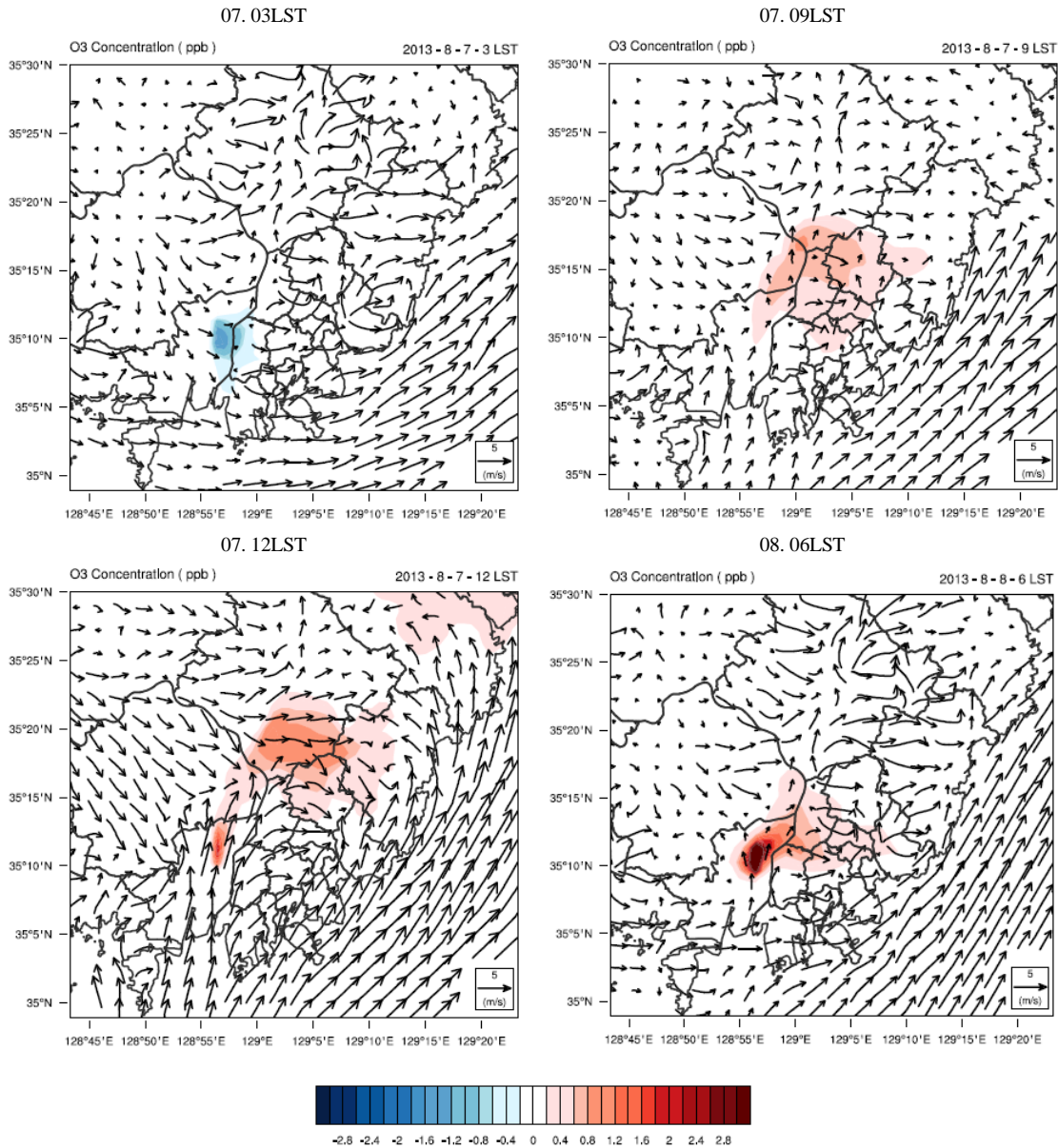


Fig. 7. Difference of surface ozone concentration

가하며 해풍 유입에 의해 NOx가 북동쪽으로 이루어지면서 12LST에 부산지역에 오존농도 증가를 발생시킨다. 이후 지표면 냉각에 의해서 오존생성은 더 이상 이루어지지 않고 다시 NOx의 적정반응에 오존농도 감소가 발생하는데 주간과 달리 약한 풍속 및 풍계의 변화로 공항

을 중심으로 이뤄지며 2 ppb 이상 나타났다. 또 사례일 다음날 06LST에 5 ppb 이상의 오존농도가 증가하였는데 이는 야간동안 잔류층에 머문 NOx가 다음날 주간에 영향을 준 결과로 판단된다. 이와 같이 항공기에서 배출되는 NOx 배출량이 지속적으로 고려된다면 주변 지역

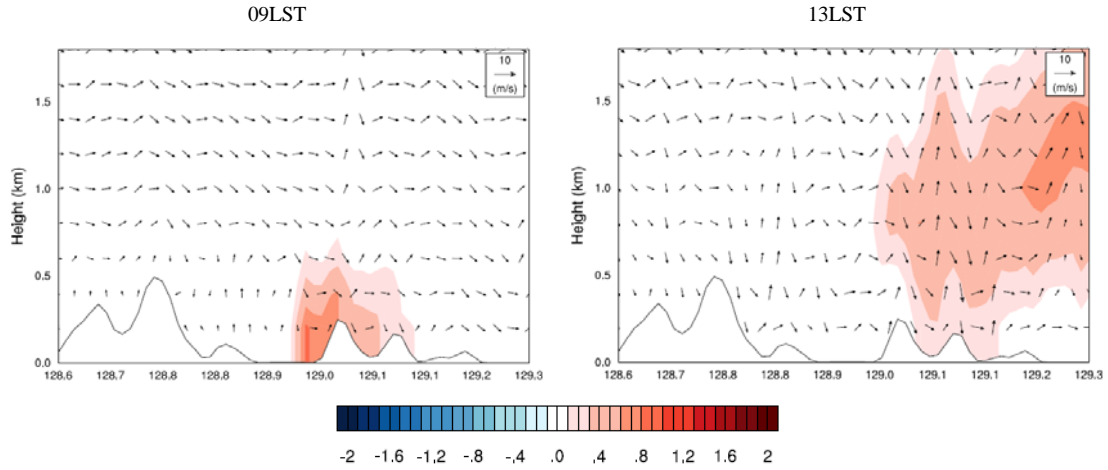


Fig. 8. The cross-section of difference in ozone concentration along line A-B in Fig. 1.

대기질에 큰 영향을 끼칠 것이다.

Fig. 8은 Tier 3B_2와 Base 시나리오의 오존농도 차이를 공항을 중심으로 동서방향 단면도를 나타낸 것이다. 앞선 수평장 분석과 마찬가지로 09LST에 NOx 배출의 급증으로 공항을 중심으로 오존농도가 증가하고 있다. 특히 13LST가 되면 NOx가 이루어지면서 고도 1 km 부근에서 오존을 생성하여 상층에서의 변화가 큰 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 항공기 배출량을 오직 지표 배출만을 고려하였기 때문에 이 · 착륙시에 발생할 수 있는 상층의 배출은 고려되지 않았다. 향후 항공기 이 ·

착륙에 따른 지표부터 상층까지의 배출을 고려한다면 더욱 정확한 영향을 살펴볼 수 있을 것이다.

3.3. 시계열 차이

김해국제공항의 항공기 배출량을 고려함으로써 공항 자체 대기질에 미치는 영향을 정량적으로 알아보기 위해 케이스별 차이를 시간별로 나타냈다(Fig. 9). CAPSS 배출량을 이용한 Base 시나리오의 경우 오전 7시 이후 오존농도가 꾸준히 증가하여 13시 60 ppb가 나타나며 이후 농도가 감소한다. 이러한 일변화 경향성은 각각의 시나리오에서 잘 나타났으나 확연한 차이를 보기 힘들어

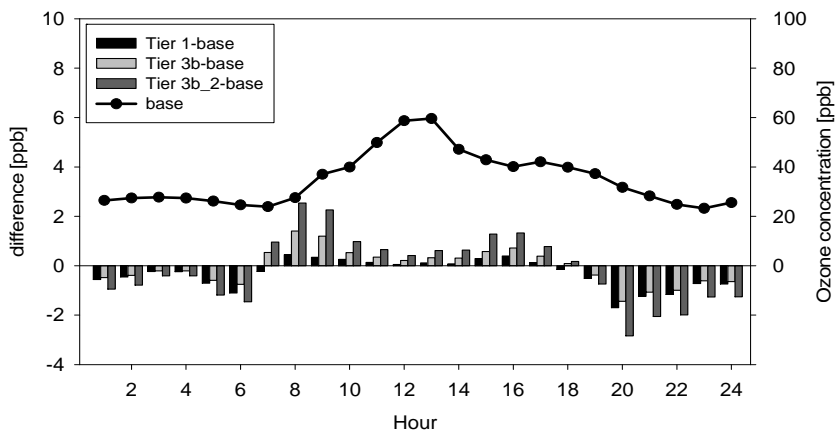


Fig. 9. Diurnal variation of surface ozone concentration at 7 Aug. 2013.

Base 시나리오와의 차이를 시간별로 나타냈다.

과거 항공기 배출량을 고려하는데 주로 쓰인 Tier 1의 경우 야간의 농도 감소와 주간 농도 증가가 나타났지만 양적으로 미비한 수준에 그쳤다. Tier 3B의 경우 시간에 따라서 농도가 증가해 오전 8시에 1.4 ppb 증가로 가장 크게 영향을 미쳤으며 야간 20시에 1.4 ppb로 가장 큰 감소를 보였다. Tier 3b_2의 경우는 Tier 3B 보다 거의 2배 가까운 증가 또는 감소폭을 보였다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 항공기 배출량을 고려함으로써 주·야간 김해국제공항의 오존농도의 증가 및 감소에 영향을 주었다. 그러나 Tier 1, Tier 2의 경우 농도의 변화폭이 적어 그 영향이 미비하게 나타났지만 향후 항공기 운항의 증가를 고려한 Tier 3B_2 시나리오의 경우 다른 산정 방법에 비해 그 변화폭이 크게 나타나 향후 항공기 배출량의 고려가 꼭 이루어져야 한다는 것을 의미한다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 항공기 배출가스 산정방법에 따른 항공기 배출량을 산정하고 이를 토대로 대기질 수치모의를 실시하였다. 배출량 산정방법은 항공기 연료 소모량을 이용하는 Tier 1, 항공기 연료 소모량과 LTO 횟수를 고려하는 Tier 2, 항공기 배출 뿐만 아니라 공항에서 발생할 수 있는 모든 부분을 함께 산출하는 Tier 3B로 나뉜다. 일반적으로 연료소 모량을 이용하는 Tier 1과 연료소모량 및 LTO 횟수를 고려하는 Tier 2 방식이 Tier 3 방식 보다 배출량이 적게 산출되었다. 오존 화학반응에 영향을 끼치는 NOx의 경우 Tier 2와 Tier 3B에서 가장 많았으며 VOCs의 경우 Tier 3B에서만 배출량이 산정되어 오존을 생성 및 소멸 시키는데 가장 큰 영향을 끼쳤다. 특히 매년 증가하는 항공기 운항을 고려한 Tier 3B_2의 경우 주간 공항을 중심으로 2 ppb의 오존 증가가 나타났으며 서풍 또는 남서풍 계열을 따라 이루어진 NOx가 부산 지역의 농도증가에 영향을 끼쳤다. 또 다음날 오전에는 5 ppb 이상의 큰 차이를 보여 항공기 배출량의 고려는 단기적인 영향에 그치지 않고 장기적으로 공항 및 주변 지역 대기질에 큰 영향을 끼칠 것으로 생각된다.

그러나 공항에서 관측되는 기상 및 대기질 측정망 자료가 부족하여 공항지역의 대기질을 분석하는데 있어 어려움이 있었으며, 특히 본 연구에서는 항공기 배출을

지표만을 고려하였기 때문에 향후 이·착륙시에 생기는 고도에 따른 배출량 변화를 고려한다면 더욱 정확한 대기질 수치모의 결과를 얻어 공항 및 주변 지역의 대기질 개선에 큰 영향을 끼칠 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국립기상연구소 주관의 “응용기상기술개발 연구”의 지원으로 이루어졌습니다.

References

Kim, M. J., Ahn, M. J., 2008, Estimates and management measures on greenhouse gases in aviation, Korea Transport Institute.

Korea Airports Corporation(KAC), 2013, <http://www.airport.co.kr>

Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Wit, R. C. N., Lim, L. L., Owen, B., Sausen, R., 2009, Aviation and global climate change in the 21st century, *Atmos. Environ.*, 43, 3520-3537.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2013, <http://www.mltn.go.kr/>

Song, S. K., Shon, J. H., Jeong, J. H., 2014, Influence of greenhouse gas emissions from commercial aircraft at Korean international airports on radiative forcing and temperature change, *J. KOSAE*, 30(3), 223-232.

Song, S. K., Shon, J. H., 2012, Emissions of air pollutants and greenhouse gases from aircraft activities at the Gimhae International Airport, *J. KOSAE*, 28(2), 190-202.

Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K., Schmid, S., 2010, Transport impacts on atmosphere and climate: land transport. *Atmospheric Environment*, 44, 4772-4816.

Yoo, H. M., 2009, Study on estimation of greenhouse gas emission from aviation and method for its reduction, Master dissertation, Inha University, 67.

Yoon, M. G., Park, K. S., 2013, 2014 international air transport market forecasts in Korea, *KADA leads Korea air transport industry*, 61, 33-51.