

Research Paper

환경영향평가에서의 대기질 확산모델 적용방법 개선 연구(I) - AERMOD 기상 전처리를 중심으로 -

김수향* · 박선환* · 탁종석* · 하종식** · 주현수** · 이내현***

(주)선일이앤씨*, 한국환경연구원**, 한국교육환경보호원***

A Study on Improvement of Air Quality Dispersion Model Application Method in Environmental Impact Assessment (I)

- Focusing on AERMOD Meteorological Preprocessor -

Suhyang Kim* · Sunhwan Park* · Jongseok Tak* ·
Jongsik Ha** · Hyunsoo Joo** · Naehyun Lee***

Sunil Engineering&Consultant, Co., Ltd.*

Korea Environment Institute**

Korea Educational Environment Protection Agency***

요약: 본 연구에서는 AERMOD 기상 전처리 프로그램인 AERMET에 대표적 지표기상 형식인 CD-144와 ISHD를 적용하여 처리 결과를 비교하고, 환경부 토지피복도를 고려하여 대기확산 정도를 분석하였다. 연구결과, knot 단위를 사용하는 CD-144 형식의 경우 단위 변환 오차로 인해 실제 풍속을 고려하지 못하였으나 ISHD 형식은 그대로 반영하는 것으로 나타났다. 점오염원 1시간 최대 농도값은 ISHD가 CD-144에 비해 높았으며, 그 외에는 동일하거나 낮아지는 것으로 나타났다. 환경부 토지피복도를 반영한 농도값은 토지피복도를 고려하지 않은 경우보다 최대 387% 증가하였으며, 등농도곡선 형태(곡선의 방향 및 길이)에도 차이가 있는 것으로 나타났다. 환경영향평가 및 통합환경허가에서의 모델 사용은 동일한 조건에서의 통일된 판단을 요구하므로 AERMET 사용시 ISHD 형식의 사용과 함께 모델링 지역의 토지피복을 고려할 필요가 있다.

주요어: 환경영향평가, AERMOD, AERMET, 지표기상 입력형식, 토지피복

Abstract: The AERMET, the AERMOD meteorological preprocessing program, mainly used for environmental impact assessment and Integrated Environmental Permit System (IEPS) in Korea, has not considered the land covers characteristics, and used only the past meteorological data format

First Author: Suhyang Kim, Tel: +82-31-382-8385, E-mail: shzwei@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3162-2796

Corresponding Author: Sunhwan Park, Tel: +82-31-382-8385, E-mail: pbs827@nate.com, ORCID: 0000-0003-0889-8161

Co-Authors: Jongseok Tak, Tel: +82-31-382-8385, E-mail: upupt@hanmail.net, ORCID: 0000-0002-9312-9932

Jongsik Ha, Tel: +82-44-415-7754, E-mail: jsha@kei.re.kr, ORCID: 0000-0001-9473-5603

Hyunsoo Joo, Tel: +82-44-415-7675, E-mail: hsjoo@kei.re.kr, ORCID: 0000-0002-1293-4754

Naehyun Lee, Tel: +82-43-710-4011, E-mail: kuknhlee@schoolkeepa.or.kr, ORCID: 0000-0002-0790-8682

Received: 29 May, 2022. Revised: 22 August, 2022. Accepted: 16 September, 2022.

CD-144. In this study, two results of AERMET application considering CD-144 format and ISHD format, being used internationally, were compared. Also, the atmospheric dispersion characteristics were analyzed with consideration of land cover. In the case of considered the CD-144 format, the actual wind speed was not taken into account in the weak wind (0.6~0.9m/s) and other wind speed due to the unit conversion problem.

The predicted concentration considering land cover data was up to 387% larger depending on the topographic and emission conditions than without consideration of land cover. In conclusion, when using meteorological preprocessing program in AERMOD modelling, AERMET, with ISHD format, land cover characteristics in the area should be considered.

Keywords: Environmental Impact Assessment, AERMOD, AERMET, Land Cover, CD-144, ISHD

I. 서론

대기확산모델은 환경영향평가 대기질, 악취 및 위생·공중보건의 건강영향평가 항목에서 사용하며 최근 환경오염시설의 통합관리에 관한 법률에서 시행하는 통합허가에서도 사용되는 등 범위가 확대되고 있다. 환경영향평가 및 통합허가에서 사용하는 모델은 대부분 미국 EPA (Environmental Protection Agency) SCRAM (Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling) 홈페이지에 공개되고 있는 모델을 사용한다. 미국 EPA의 모델은 대기모델 가이드라인(EPA, 2017)에 따라 사용하기 쉬운 프로그래밍 언어로 작성되어 있고, 소스코드와 실행파일, 데이터 세트, 사용자 지침서가 함께 제공되기 때문에 초보자도 쉽게 접근이 가능하기 때문이다. 환경영향평가에서 사용하는 대기확산모델은 2000년 전까지 미국 EPA의 TCM2(Texas Climatological Model 2)와 TEM8 (Texas Episodic Model 8) 모델이 62.2%와 45.1%로 가장 많이 사용되었으며, 2000년 중반까지는 ISC3 모델이 52.7%로 대부분을 차지하였다(Ministry of Environment 2007). 2009년 환경부의 환경영향예측모델 사용안내서 발표이후 AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model)가 대부분의 평가에 적용되고 있다. 또한 통합허가를 지원하는 통합환경허가시스템에서도 AERMOD 모델을 기반으로 대기 배출영향분석 프로그램과 함께 AERMET 기상자료를 제공하고 있다.

AERMOD 모델은 단순지형에서 ISC3 (Industrial Source Complex) 모델의 단점과 복잡지형에서

CTDMPLUS 모형의 복잡성을 보완하기 위해 미국 기상학회와 미국환경보호청(AERMIC; American Meteorological Society/EPA Regulatory Model Improvement Committee)이 공동으로 개발한 대기 확산모델로서 미국 EPA에서 2005년부터 선호/권장 모델로 사용하도록 권고하고 있으며, 현재 15번째 버전업이 이루어져 21112버전이 배포되고 있다(EPA 2021c).

ISC3 모델의 기상 전처리 프로그램인 PCRAMMET은 모델에서 정온(Calm) 또는 약풍(1.0 m/s 이하) 조건에서의 과대예측을 방지하기 위하여 1.0 m/s 이하의 풍속을 1.0 m/s로 경하여 사용되었다(EPA 2017). 하지만 AERMOD 모델은 약풍을 모두 고려하기 때문에 2005년 권장모델로 지정된 이후 과대평가 문제가 꾸준히 제기되었으며 이에 대한 해결방안으로 풍속을 ISC3의 PCRAMMET 방법과 동일하게 1.0 m/s 이하의 풍속을 1.0 m/s로 조정하여 사용하였다(Ontario 2009; Alberta Environment 2002; Victoria & British Columbia 2006; San Joaquin Valley Air Pollution Control District 2006).

미국 EPA의 OAQPS (Office of Air Quality Planning and Standards)에서는 약풍 조건에서의 과대 평가 문제를 보완하고자 ASOS (Automated Synoptic Observing System) 데이터를 이용한 AERMOD 모델링 평가를 통해 최소풍속을 0.5 m/s로 결정하고 2011년 AERMET을 수정하였으며, 2017년 미국 EPA 40 CFR Part 51 대기모델 가이드라인에 반영하였다(OAQPS 2013; EPA 2017; TECQ 2020). 하지만 우

리나라 환경영향평가 및 통합허가에서 사용하고 있는 AERMET 지표기상의 풍속 처리는 현재의 기상처리 기준을 따르지 않고 0.5~1.0 m/s 풍속은 1.0 m/s로 처리하고 있다.

일반적으로 표면 거칠기길이(roughness length)는 바람의 흐름을 방해하는 장애물의 높이와 관련이 있고, 표면 전단 응력에 영향을 미치며 기계적 난류의 크기와 경계층의 안정성을 결정하는 중요한 요소이다. 알베도(albedo)와 보웬비(Bowen ratio)는 행성 경계층의 매개변수를 결정하는데 사용된다(EPA 2015). AERMET 기상프로세서를 사용할 때 사용자는 거칠기 길이, 알베도, 보웬비를 지표 특성에 맞는 적절한 값을 사용하여야 하며, 미국 EPA는 USGS (United States Geological Survey)의 NLCD (National Land Cover Database) 토지이용 특성을 고려하는 AERSURFACE 프로그램을 배포하고 있다(EPA 2015). AERSURFACE 프로그램은 2013년 13016 버전이 배포된 후 2020년 20060 버전이 배포되고 있으나, 제공되는 토지피복 자료가 미국에 한정되어 우리나라에서는 AERMET 처리시 Ministry of Environment (2009)에서 제시한 도시지역에 해당되는 토지피복 계수값을 입력하여 처리하고 있다.

본 연구에서는 지표기상 형식별로 기상 전처리를 수행한 후 AERMOD 모델에 적용하여 대기확산에 미치는 영향을 비교하였다. 또한 환경부 세분류 토지피복도를 이용하여 우리나라에 맞는 AERSURFACE 프로그램을 개발하여 토지피복 고려 여부에 따라 주변지역에 미치는 대기질 영향정도를 예측함으로써 AERMET 기상 전처리의 적정성을 검토하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 지역 선정

AERMET 처리결과에 따라 주변지역에 미치는 영향을 검토하고자, 동일 기상자료를 사용하고, 군산지역을 대상으로 단순지형과 복잡지형으로 구분하여 점오염원과 면오염원을 입력하여 비교하였다. 점오염원은 ○○군 생활폐기물 소각시설(40톤/일)의 연돌제원을 이용하였으며, 면오염원은 250,000m² (500m × 500m)를 가정하였다. 예측대상 오염물질은 환경영향평가 시 빈번히 환경기준을 초과하고 있는 이산화질소(NO₂)를 선정하였고, 배출량은 1.0g/s로 입력하였다. Government of Alberta (2021)에서는 점오염원을 대상으로 풍속 1.0m/s, 대기안정도 F등급에서 유효연돌고를 산정한 후, 주변 지형 높이가 유효연돌고의 2/3 이하이면 단순지형으로, 유효연돌고의 2/3 이상이면 복잡지형으로 구분한다. 이에 해당 점오염원의 유효연돌고는 72.4m로 산정되었으며, 유효연돌고 높이의 2/3인 48.3m를 기준으로 단순지형 및 복잡지형 지역을 선정하였다.

2. 지표기상 형식별 비교

AERMET 처리과정 중 Stage 1은 지표 및 고층기상 자료를 추출하고 품질을 보증(Quality Assurance)하는 단계, Stage 2는 지표 및 고층기상 자료를 24시간 블록별로 병합하는 단계, Stage 3은 AERSURFACE로 결과를 고려하여 PBL 매개변수가 있는 지표면 파일과 프로파일 파일을 생성하는 단계로 구분된다(Figure 2). AERMET에 입력되는 기상은 크게 고층

Table 1. Model input conditions

Item	Point Source	Area Source
Area (m ²)	-	250,000
Stack height (m)	35	-
Stack diameter (m)	0.8	-
Exit velocity (m/s)	14.0	-
Exit temperature (K)	423.15	-
Emission rate (g/s)	1.0	1.0 (4.0E-06g/m ² ·s)
Effective stack height (m)	72.4	
Maximum terrain height (m)	48.3	

기상 관측자료와 지표기상 관측자료이며, 지원되는 형식은 고층기상의 경우 TD-6201와 FSL (Forecast Systems Laboratory) 이다. TD-6201 형식은 1946년~1990년까지 사용하였으며, 현재는 NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL) Radiosonde 데이터베이스에서 공개되는 FSL (Forecast Systems Laboratory) 형식을 대부분 이용하고 있다(EPA 2021b). 지표기상은 CD-144 (Card Deck-144), SAMSON (Solar And Meteorological Surface Observation Network), HUSWO (Hourly Surface Weather Observations), ISHD, ISH, ISD, DSI-3505로 불리는 Integrated Surface Hourly Database 형식을 지원한다. CD-144는 NCDC (National Climatic Data Center)에서 1984년~1992년까지 지표기상 자료를 압축 형태로 배포하는 형식이며, SAMSON은

1961년~1990년까지 지표 및 태양 데이터를 포함하여 배포하는 형식이다. HUSWO 형식은 1990년~1995년까지 미국 기상청의 시간별 지표기상 관측자료 배포 형식이며, ISHD, ISH, ISD, DSI-3505는 NOAA에서 과거 1901년부터 현재까지 시간별 지표기상을 배포하는 형식이다(EPA SCRAM Homepage; NOAA ISD Homepage). 최근 EPA (2021b)에서는 현재 모델링 응용 프로그램의 일반적인 형식은 ISHD 형식인 점을 밝히고 있다.

본 연구에서는 지표기상 형식별로 풍속 처리에 따라 주변지역에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 군산 기상대 2020년 기상관측 자료를 CD-144와 ISHD 형식으로 AERMET을 처리한 후 AERMOD 모델의 예측 결과를 비교하였다.

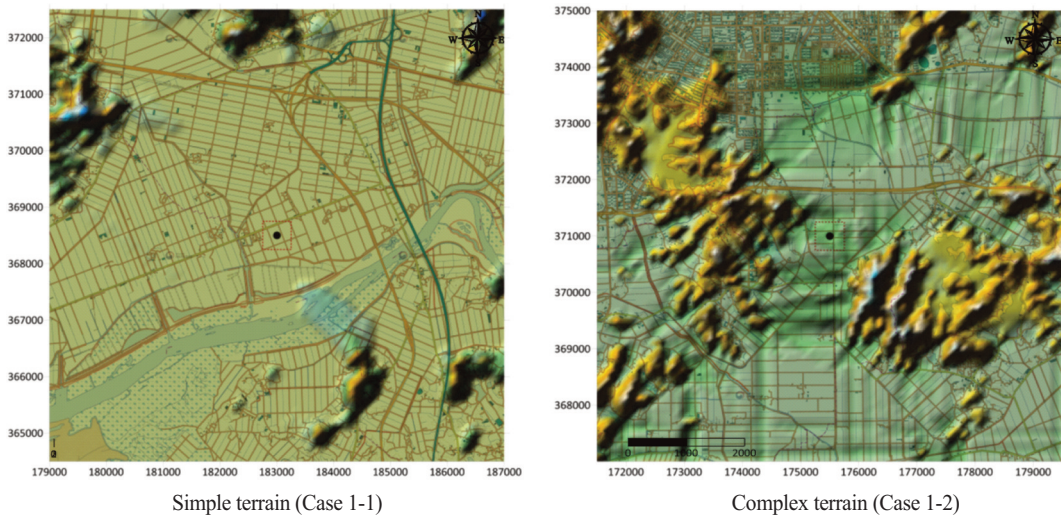


Figure 1. Locations of the study area (Gunsan).

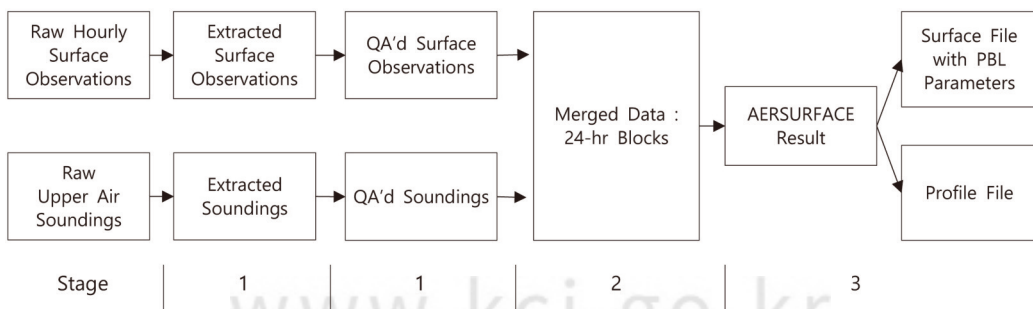


Figure 2. Steps of AERMET Processing (U.S. EPA, 2021a).

3. 토지피복도를 이용한 거칠기길이, 알베도, 보웬비 산정방법

환경부의 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/main.do>)에서 제공하고 있는 우리나라 토지피복도는 2020년부터 전국 세분류 토지피복도가 제공되고 있다. 우리나라에 맞는 AERMET용 AERSURFACE 프로그램을 개발하기 위하여 QGIS 프로그램을 이용하여 Table 2와 같이 2020년 중분류 토지피복도 코드를 미국 NLCD2016 토지피복도 코드로 변경하였다. 본 연구에서는 우리나라 전국을 20m 단위로 분할(X축 27,798개, Y축 30,908개)하여 D/B를 구축한 후, 중부원점과 동부원점을 기준으로 중심좌표를 입력할 시 최대 12개 방향으로 거칠기길이, 알베도, 보웬비를 산정하도록 하였다.

표면 거칠기길이 계산은 EPA (2020)에 의해 권장되는 기본 반경거리 1 km에 대하여 중심점으로부터 역거리 가중치(weighted based on the inverse distance)

를 부여하여 산정되며, 이는 중심점과의 거리가 멀어질수록 그리드 셀이 더 많이 포함되기 때문이다. 역거리 가중 기하평균 거칠기($\bar{Z}_0$)는 식(1)과 같다.

$$\bar{Z}_0 = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} * \ln(z_{0i}) \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \right\} \quad (1)$$

여기서, n 은 기하 평균이 계산되는 그리드 셀의 총 수, i 는 n 그리드 셀 중 하나, d 는 그리드 셀 중심과 계산되는 중심점 사이의 거리, p 는 1, Z_0 은 개별 격자 셀 i 의 표면 거칠기 길이이다.

보웬비($\bar{B}$)는 개별 그리드 셀의 보웬비 값의 단순 기하평균으로 계산되며, 식(2)와 같이 계산된다.

$$\bar{B} = \exp \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \ln(B_i)}{n} \right\} \quad (2)$$

여기서, n 은 기하 평균이 계산되는 그리드 셀의 총 수,

Table 2. Comparison of land cover classification by Ministry of Environment and NLCD2016

Ministry of Environment Land cover classification		NLCD2016 Land cover classification	
Residential Area	110	Developed, Medium Intensity	23
Industrial	120	Developed High Intensity	24
Commercial	130	Developed High Intensity	24
Entertainment	140	Developed, Open Space	21
Transportation	150	Developed, Medium Intensity	24
Public facilities	160	Developed, Low Intensity	22
Rice pad	210	Cultivated Crops	82
Field	220	Cultivated Crops	82
Vinyl greenhouse	230	Cultivated Crops	82
Orchard	240	Cultivated Crops	82
Other arable land	250	Cultivated Crops	82
Broad leaf tree forest	310	Deciduous Forest	41
Needle leaf tree forest	320	Evergreen Forest	42
Mixed stand forest	330	Mixed Forest	43
Natural pasture	410	Pasture/Hay	81
Artificial pasture	420	Pasture/Hay	81
Inland swamp	510	Pasture/Hay	81
Coastal swamp	520	EmergentHerbaceous Wetlands	95
Natural barren land	610	Woody Wetlands	90
Other barren land	620	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	31
Inland water	710	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	31
Sea water	720	Open Water	11

i 는 n 그리드 셀 중 하나, B_i 는 개별 그리드 셀 i 에 대한 보편비이다.

알베도($\bar{\alpha}$)는 단순 산술 평균으로 계산되며, 식(3)과 같이 계산된다.

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n} \quad (3)$$

여기서, n 은 기하 평균이 계산되는 그리드 셀의 총 수, i 는 n 그리드 셀 중 하나, α_i 는 개별 그리드 셀 i 에 대한 알베도이다.

III. 연구결과 및 고찰

1. AERMET 지표기상 입력 형식별 풍속처리 결과 비교

대표적 지표기상 입력형식인 CD-144와 그외 SAMSON, HUSWO, ISHD, TD-3280을 비교하기 위하여 풍속조건을 0.0 m/s에서 10.0 m/s까지 0.1 m/s 단위로 입력하여 최종 생성된 AERMET 풍속과 비교하였다. 지표기상 입력형식을 비교한 결과, Figure 3과 같이 CD-144와 SAMSON, TD-3280가 동일하였으며, HUSWO와 ISHD 형식이 같았다. HUSWO와 ISHD 형식은 입력풍속과 처리풍속이 동일하게 처리되었지만, CD-144와 SAMSON 형식은 처리풍속의 변화가 계단식으로 변화되었다. 이는 CD-144 형식의 경우 knot 단위를 사용하므로 관측 풍속인 소숫점 1자리의 m/s 단위를 knot 단위로 변

환하면서 소숫점을 절삭한 후, AERMET 처리시 다시 소숫점 1자리의 m/s 단위로 변환하는 과정 때문으로 분석되었다. SAMSON 형식의 경우 풍속단위가 소숫점 1자리의 m/s임에도 불구하고 AERMET 프로그램에서 과거 ISC 형식과의 동일성을 보장하기 위하여 CD-144와 동일한 과정을 거치도록 프로그램되었기 때문에 분석되었다.

연구 대상지역인 군산기상대의 2020년 1년간의 시간별 관측풍속을 이용하여 CD-144 형식과 ISHD 형식의 AERMET 처리풍속을 비교한 결과, 정온(Calms) 상태인 0.4 m/s 이하까지는 두 형식 모두 동일하게 처리되는 것으로 나타났다. 풍속 0.5~0.9 m/s 관측풍속은 9.7%이나, CD-144 형식은 5.2%로 줄어 들고,

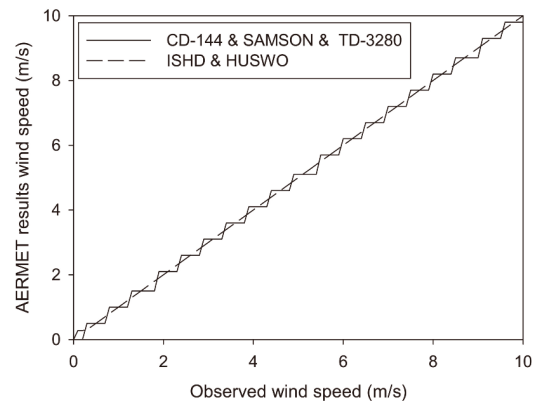


Figure 3. Comparison of AERMET result wind speed with surface weather formats.

Table 3. Comparison of wind speed with Gunsan ASOS and AERMET results in 2020

Wind speed Categoris (m/s)	Observed		CD-144		ISHD	
	hr	%	hr	%	hr	%
missing	54	0.6	54	0.6	54	0.6
≤ 0.4	2,029	23.1	2,029	23.1	2,029	23.1
0.5~0.9	855	9.7	461	5.2	855	9.7
1.0~1.5	1,246	14.2	2,200	25.0	1,246	14.2
1.6~2.0	933	10.6	0	0.0	933	10.6
2.1~3.0	1,384	15.8	1,518	17.3	1,384	15.8
3.1~4.0	995	11.3	1,062	12.1	995	11.3
4.1~6.0	948	10.8	1,094	12.5	948	10.8
> 6.1	340	3.9	366	4.2	340	3.9
Total	8,784	100.0	8,784	100.0	8,784	100.0

1.0~1.5 m/s에서는 관측풍속 비율이 14.2%이나 CD-144 형식은 25.0%로 증가하며, 1.6~2.0 m/s에서는 관측풍속 10.6%, CD-144형식은 0.0%로 없었으며, 풍속 2.1 m/s 이상에서는 CD-144 형식이 관측치에 비해 약간 높은 비율을 보였다. 반면, ISHD 형식은 전 풍속에서 관측치와 동일하였다. 특히, 관측풍속 1.6~2.0 m/s에서 knot 단위를 사용하는 CD-144 형식에서 AERMET 처리풍속이 0.0%로 나타난 것은 knot로의 단위 변환시 소숫점이 절삭되어 관측풍속 1.6~1.8 m/s는 1.5 m/s로 처리되고, 관측풍속 1.9~2.0 m/s는 2.1 m/s로 처리되기 때문이다.

2. 지표기상 입력 형식별 AERMOD 예측결과 비교

CD-144와 ISHD를 이용하여 AERMET을 처리하였으며, 토지피복도는 Ministry of Environment (2009)와 EPA (2021b)에서 제시한 도시지역 토지피복의 계절별 거칠기길이, 보웬비, 알베도를 적용하였다. 특히, 통합허가 및 대부분의 환경영향평가 AERMET 처리시 0.6~1.0 m/s의 관측풍속을 1.0 m/s로 처리하고 있으나 EPA (2017)에 준하여 처리하였다. AERMET, AERMOD 모두 21112버전을 사용하였으며 단순지형과 복합지형의 점, 면오염원에 대

한 NO₂ 영향을 각각 예측하여 상위 100순위의 1시간 예측값과 24시간 최대 평균값을 비교하였다.

CD-144와 ISHD 형식에 따른 NO₂ 예측결과를 비교하면 Table 4와 Figure 4와 같이 점오염원의 1시간은 단순지형과 복합지형 모두 상위 7~9순위까지 ISHD 형식을 적용한 예측값이 CD-144 형식에 비해 높았으나, 하위 순위로 갈수록 낮아졌으며, 그에 비해 24시간 평균 최고치의 경우 상위 순위에서 낮고, 하위 순위로 갈수록 거의 유사한 값을 나타내었다. 면오염원의 경우 단순지형과 복합지형, 점오염원과 면오염원에서 1시간 최고값 또는 24시간 평균 최고값이 ISHD형식을 적용한 예측치가 CD-144 형식을 이용한 예측치보다 낮아지는 경향을 보였다. Figure 5와 같이 두 형식간의 등농도 곡선을 비교한 결과 확산 형태는 유사하나, 저농도에 있어 CD-144 형식이 ISHD 형식에 비해 확산 범위가 늘어나는 경향을 보였다. 이는 CD-144 형식이 풍속 2.1 m/s 이상에서는 전반적으로 관측풍속에 비해 약간 증가하는 것에 기인된 것으로 보이며, 현재 통합허가에서의 풍속 처리와 같이 0.5~1.0 m/s 풍속을 1.0 m/s로 처리할 경우 예측농도 차이가 더 발생할 것으로 사료된다.

Table 4. Summary of Predicted Concentrations by CD-144 and ISHD (100 rank highest)

Case				Max. (ppb)	Avg. (ppb)	Median (ppb)	Standard Deviation
Point Source	1hr	Case 1-1	CD-144	5.13	4.36	4.62	0.19
			ISHD	5.28	4.33	4.61	0.22
		Case 1-2	CD-144	32.95	15.56	18.53	4.51
			ISHD	34.27	14.46	17.02	4.75
	24hr	Case 1-1	CD-144	2.76	1.47	1.72	0.28
			ISHD	2.69	1.47	1.71	0.27
		Case 1-2	CD-144	2.70	1.52	1.73	0.24
			ISHD	2.63	1.52	1.72	0.23
Area Source	1hr	Case 1-1	CD-144	80.85	76.07	77.11	0.99
			ISHD	78.81	74.36	75.33	1.14
		Case 1-2	CD-144	69.70	61.30	62.67	2.01
			ISHD	69.70	59.59	60.76	2.19
	24hr	Case 1-1	CD-144	21.12	16.24	17.25	1.25
			ISHD	19.97	15.53	16.64	1.13
		Case 1-2	CD-144	18.96	13.49	14.58	1.17
			ISHD	16.66	12.73	13.75	0.98

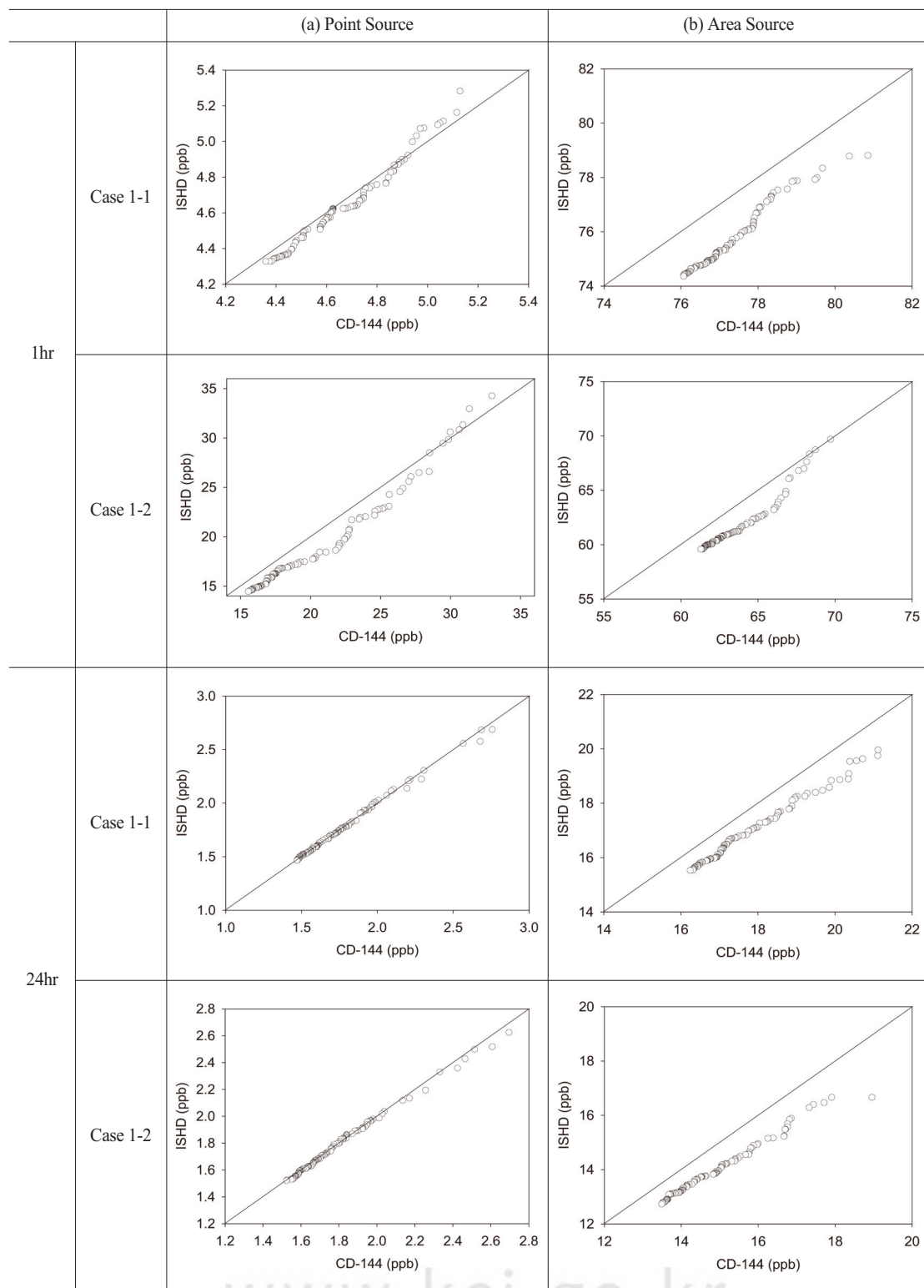


Figure 4. Comparison of predicted concentrations by CD-144 and ISHD

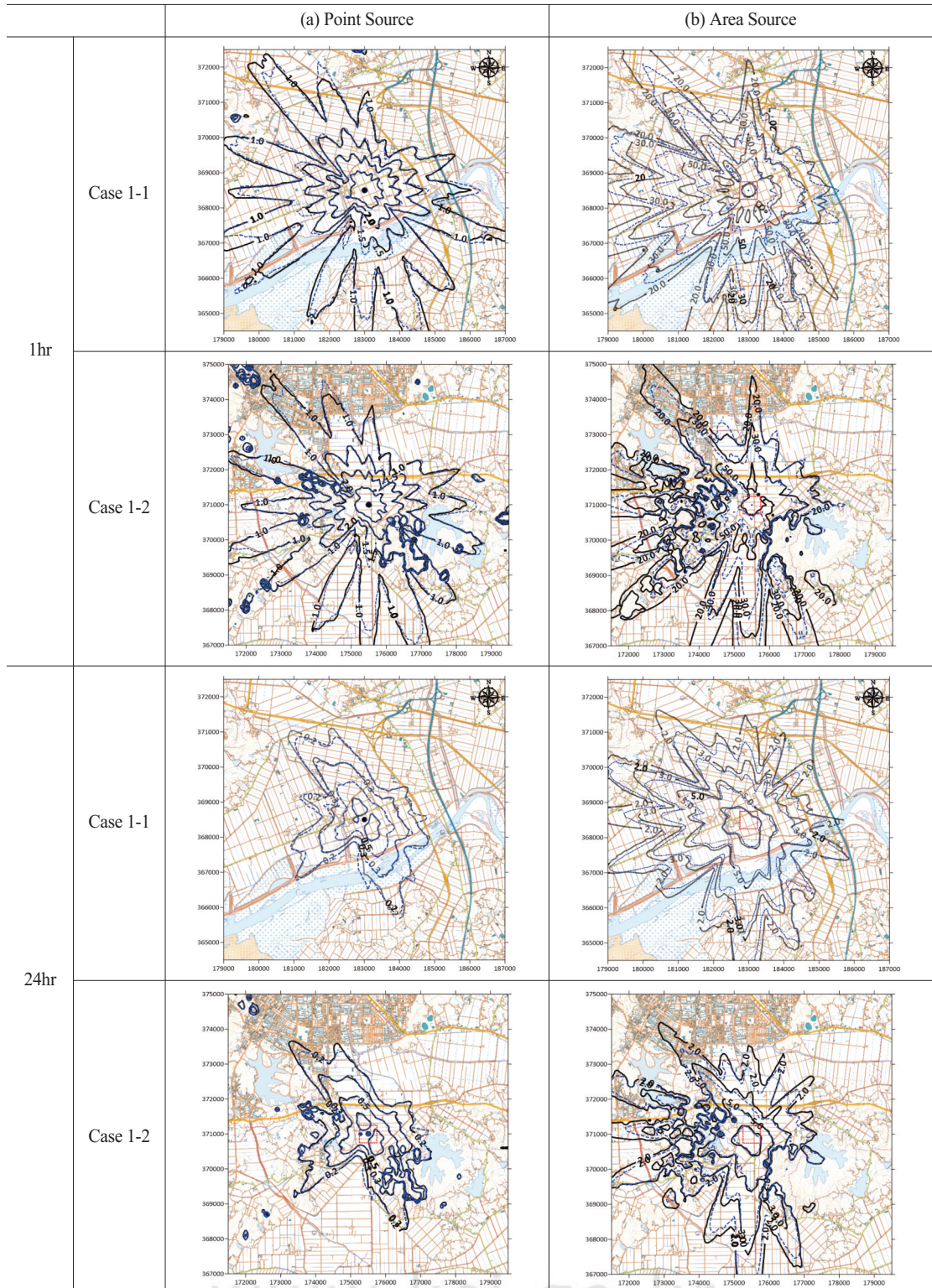


Figure 5. Comparison of predicted isolines by CD-144 and ISHD (solid line : CD-144, dotted line : ISHD).

3. 토지피복도 고려여부에 따른 비교

1) AERSURFACE 추출결과 분석

환경부 200년 세분류 토지피복도를 이용한 12 방향의 토지피복도는 Figure 6과 같으며, AERSURFACE 프로그램을 이용한 계절별 거칠기길이, 보웬비, 알베도를 Table 5~6과 같이 산정하였다.

2) 토지피복도 고려여부에 따른 예측 농도 비교

토지피복도 고려 여부에 따른 대기확산 정도를 분석하기 위하여 Ministry of Environment (2009)의 도시지역 거칠기길이, 보웬비, 알베도와 본 연구에서 개발한 12방향 거칠기길이, 보웬비, 알베도 산정결과를 AERMET으로 처리하였다. 대기확산 영향은 AERMOD 21112 버전을 이용하여 단순지형과 복합지형의 점, 면오염원에 대한 NO₂ 영향을 각각 예측하

Table 5. Roughness length, Bowen ratio, Albedo for Case 1-1 (with land cover)

Sector	Winter			Spring			Summer			Autumn		
	R	B	A	R	B	A	R	B	A	R	B	A
1	0.0195	1.62	0.52	0.0534	0.40	0.16	0.2273	0.67	0.22	0.0684	0.84	0.18
2	0.0123	1.57	0.55	0.0397	0.33	0.14	0.2324	0.57	0.22	0.0558	0.74	0.17
3	0.0071	1.57	0.55	0.0266	0.28	0.12	0.1974	0.49	0.20	0.0392	0.65	0.15
4	0.0201	1.53	0.55	0.0584	0.36	0.15	0.2795	0.53	0.22	0.0774	0.74	0.17
5	0.0258	1.59	0.51	0.0827	0.40	0.14	0.3066	0.51	0.19	0.0921	0.77	0.16
6	0.0103	1.63	0.51	0.0383	0.31	0.13	0.2104	0.50	0.19	0.0498	0.67	0.15
7	0.0128	1.56	0.57	0.0405	0.35	0.15	0.2317	0.59	0.23	0.0561	0.77	0.18
8	0.0123	1.61	0.55	0.0434	0.36	0.15	0.2391	0.62	0.22	0.0563	0.81	0.17
9	0.0058	1.61	0.53	0.036	0.30	0.13	0.1865	0.51	0.19	0.0344	0.68	0.15
10	0.0204	1.70	0.53	0.0773	0.46	0.16	0.2745	0.68	0.22	0.077	0.95	0.18
11	0.0155	1.71	0.53	0.0619	0.42	0.15	0.2544	0.67	0.21	0.0656	0.91	0.17
12	0.005	1.86	0.47	0.0197	0.32	0.12	0.1152	0.57	0.17	0.0245	0.91	0.13

Remark : R : Roughness length, B : Bowen ratio, A : Albedo

Table 6. Roughness length, Bowen ratio, Albedo for Case 1-2 (with land cover)

Sector	Winter			Spring			Summer			Autumn		
	R	B	A	R	B	A	R	B	A	R	B	A
1	0.0149	1.50	0.56	0.0468	0.35	0.15	0.2474	0.61	0.23	0.0617	0.78	0.18
2	0.0134	1.56	0.54	0.0439	0.35	0.14	0.2313	0.61	0.21	0.0571	0.78	0.17
3	0.0089	1.64	0.55	0.0315	0.32	0.13	0.2200	0.57	0.20	0.0460	0.77	0.15
4	0.0153	1.56	0.57	0.0470	0.36	0.15	0.2627	0.62	0.23	0.0656	0.80	0.18
5	0.0171	1.93	0.54	0.0534	0.47	0.16	0.2539	0.77	0.23	0.0708	1.06	0.18
6	0.0219	2.82	0.50	0.0679	0.74	0.17	0.2420	1.15	0.23	0.0839	1.73	0.18
7	0.0374	2.81	0.51	0.1018	0.89	0.21	0.2757	1.30	0.26	0.1170	1.91	0.22
8	0.0096	1.85	0.50	0.0305	0.40	0.15	0.1331	0.64	0.21	0.0365	0.83	0.18
9	0.0096	1.66	0.47	0.0301	0.34	0.13	0.1459	0.59	0.19	0.0373	0.75	0.15
10	0.0107	1.53	0.52	0.0318	0.33	0.15	0.1525	0.56	0.22	0.0399	0.69	0.18
11	0.0093	1.53	0.55	0.0312	0.31	0.14	0.1960	0.54	0.21	0.0435	0.69	0.17
12	0.0034	1.62	0.47	0.0124	0.24	0.11	0.0915	0.43	0.17	0.0173	0.67	0.13

Remark : R : Roughness length, B : Bowen ratio, A : Albedo

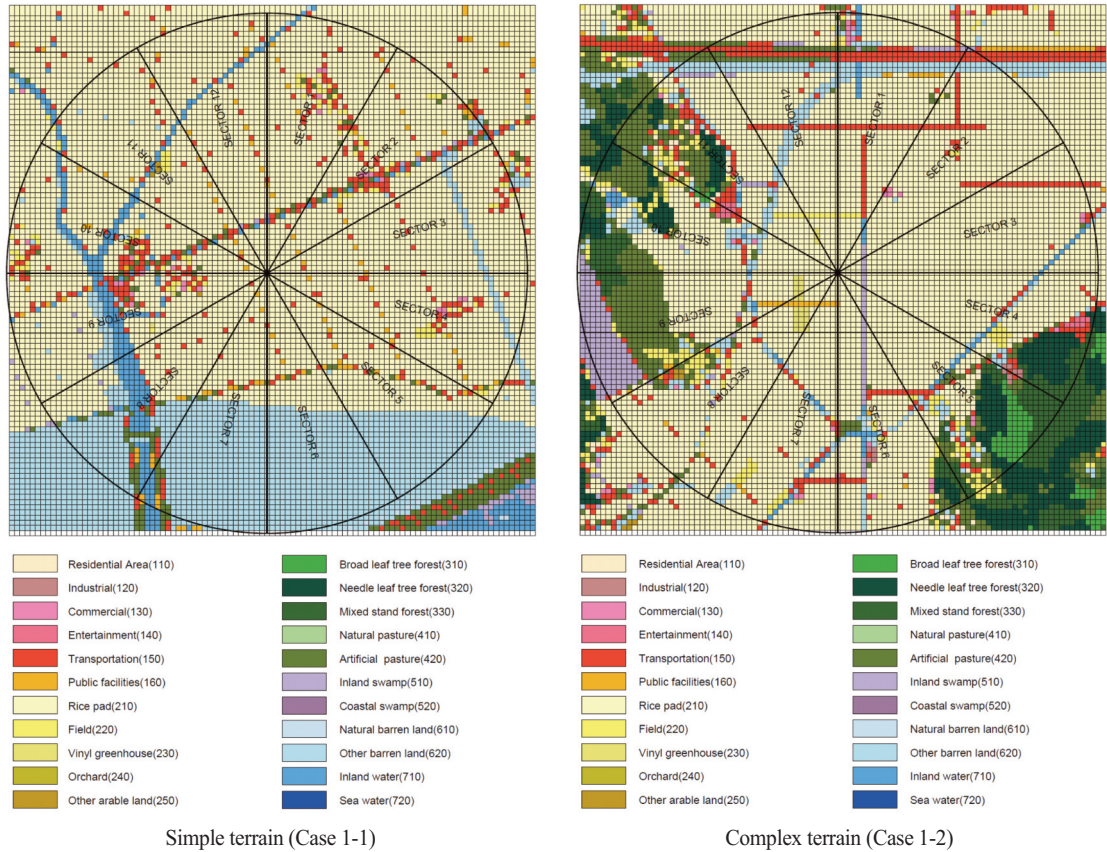


Figure 6. Locations of the study area land cover category.

Table 7. Summary of Predicted Concentrations by with or without land cover (100 rank highest)

Cases				Max. (ppb)	Avg. (ppb)	Median (ppb)	Standard Deviation
Point Source	1hr	Case 1-1	without	5.28	4.33	4.61	0.22
			with	9.04	4.54	5.58	1.16
		Case 1-2	without	34.27	14.46	17.02	4.75
			with	74.82	44.65	49.22	5.78
	24hr	Case 1-1	without	2.69	1.47	1.71	0.27
			with	1.59	0.97	1.05	0.12
		Case 1-2	without	2.63	1.52	1.72	0.23
			with	9.83	3.42	4.25	1.50
Area Source	1hr	Case 1-1	without	78.81	74.36	75.33	1.14
			with	67.61	50.99	16.64	3.58
		Case 1-2	without	69.70	59.59	60.76	2.19
			with	105.67	84.23	88.48	4.93
	24hr	Case 1-1	without	19.97	15.53	16.64	1.13
			with	14.97	10.81	11.47	0.88
		Case 1-2	without	16.66	12.73	13.75	0.98
			with	18.26	13.02	13.83	1.18

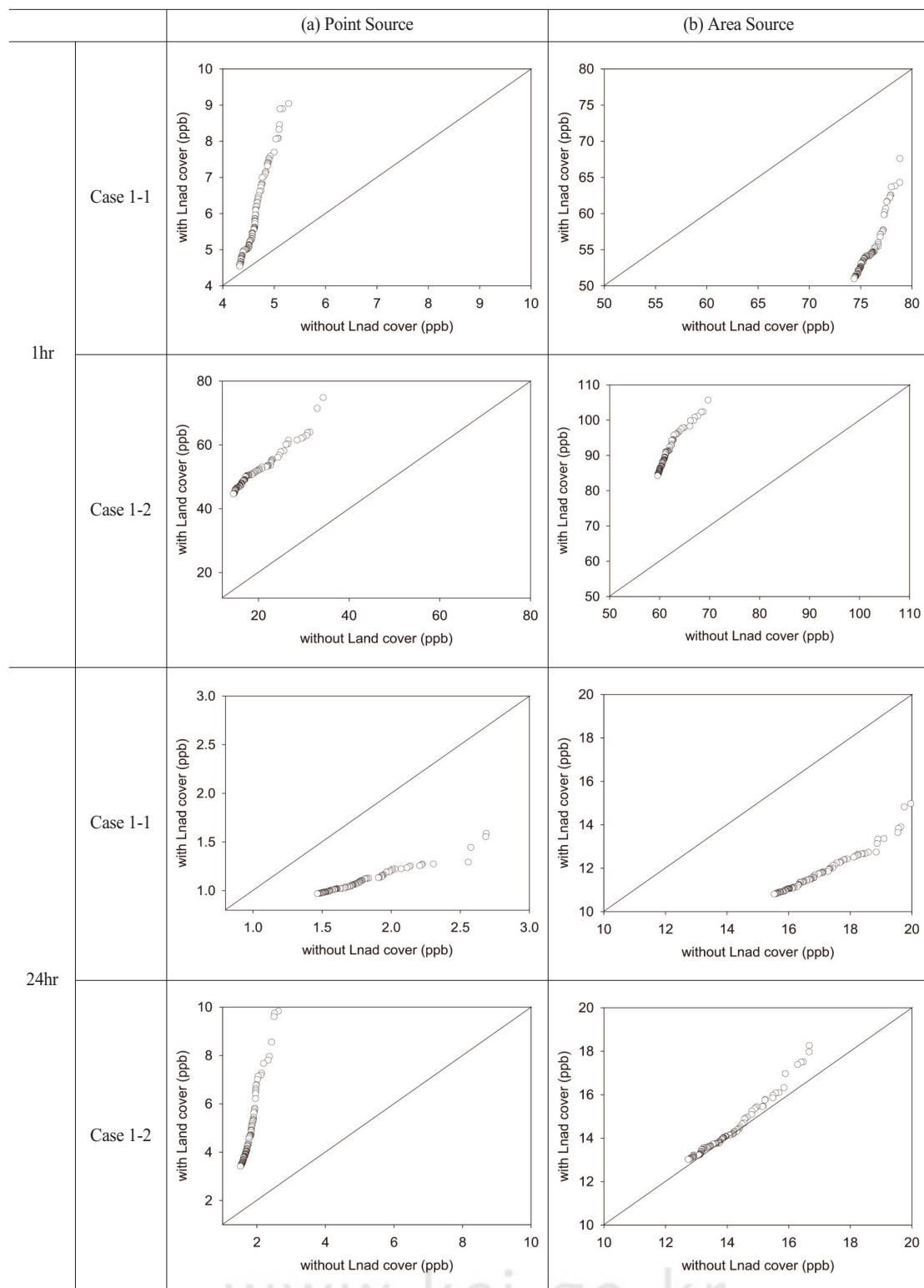


Figure 7. Comparison of predicted concentrations with or without land cover.

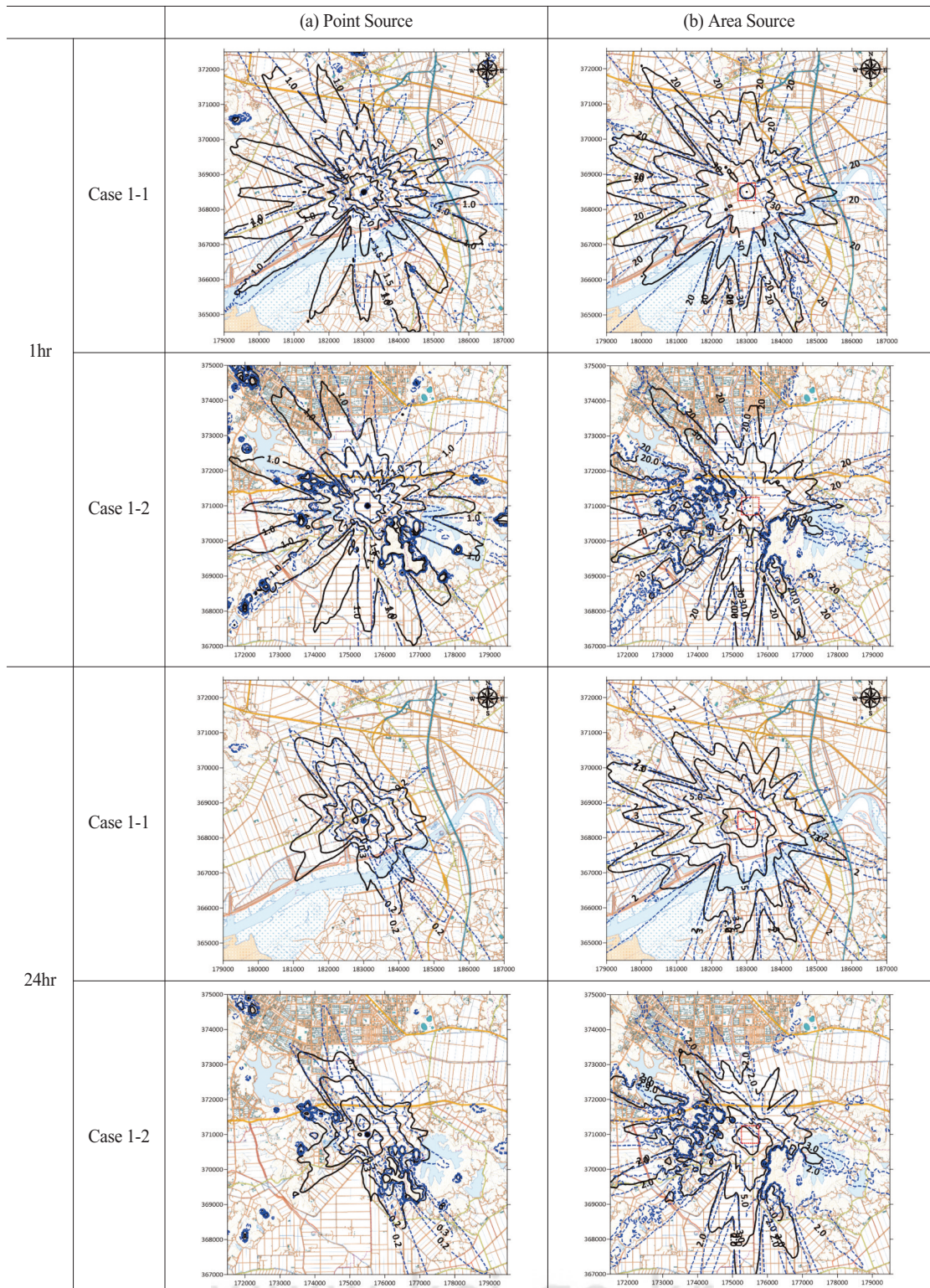


Figure 8. Comparison of predicted isolines with or without land cover (solid line : without, dotted line : with).

여 상위 100순위의 1시간 최대값과 24시간 평균 최대값을 비교하여 Figure 7에 제시하였다.

예측결과, 단순지형의 점오염원의 경우 토지피복도를 고려할때 고려하지 않은 경우보다 1시간 최대값이 104.94~173.9 5% (평균 127.49%) 높아지며, 24시간 평균 최대값은 50.56~66.14% (평균 61.99%) 작아지는 것으로 나타났다. 복합지형에서는 1시간 최대값이 204.15~308.75% (평균 275.85%), 24시간 평균 최대값은 224.07~387.17% (평균 264.46%) 높아져 단순지형 보다 복합지형에서의 토지피복도 고려여부가 예측농도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 단순지형의 면오염원의 경우 토지피복도를 고려할 때 고려하지 않은 경우보다 1시간 최대값이 68.56~85.78% (평균 72.12%) 낮아지며, 24시간 평균 최대값은 67.64~75.04% (평균 69.29%) 작아지는 것으로 나타났다. 복합지형에서는 1시간 최대값이 141.35~152.33% (평균 146.19%), 24시간 평균 최대값은 99.91~109.59% (평균 101.85%) 높아져 단순지형보다 복합지형에서의 면오염원이 토지피복도 고려여부가 예측농도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. Figure 8과 같이 대기질 확산분포에서도 토지피복도를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 원거리까지 더 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 해당 지역 전체를 도시지역으로 가정한 것에 비해 12 방향별 토지피복도를 고려한 거칠기길이, 보웬비, 알베도를 고려하였기 때문에 AERMET 기상처리 결과에 따른 확산 패턴이 바뀐 것에 기인된 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 지표기상 형식인 CD-144와 ISHD에 따른 AERMET 처리 결과를 비교하고, 토지피복도 고려 여부에 따른 대기확산 정도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. knot 단위를 사용하는 CD-144 형식 등은 단위 변환에서 나타나는 오차로 약풍(0.6~0.9 m/s) 및 기타 풍속에서 실제 풍속을 고려하지 못하는데 비해 현재 국제적으로 사용하고 있는 ISHD 형식은 실제 풍속을 반영하는 것으로 나타났다.

2. CD-144와 ISHD 형식에 따른 기상처리 결과를 AERMET에 입력하여 대기질 영향을 분석한 결과, 점오염원의 1시간 최고값의 경우 단순지형과 복합지형 모두 상위 7~9순위 까지 ISHD 형식을 적용한 예측값이 CD-144 형식에 비해 높았으나, 그 외에는 CD-144 형식을 이용한 예측치보다 동일하거나 낮아지는 경향을 보였다.

3. 예측 등농도 곡선 비교결과, ISHD 형식 적용결과에 비해 CD-144 형식 적용한 결과가 저농도에서 확산범위가 증가하였으며, 이는 CD-144 형식이 단위 환산 과정에서 나타나는 오차로 약풍에서 풍속을 상향시키기 때문으로 나타났다.

4. 환경부 세분류 토지피복도를 고려한 AERSURFACE 결과를 반영한 결과 도시지역으로 가정한 경우보다 지형조건, 오염원 배출조건에 따라 다르지만 최대 387% 농도가 증가하고, 확산 방향과 길이가 변하는 것으로 나타났다.

5. 기상처리 조건에 따라 예측 결과가 달라질 수 있다면, 환경영향평가 및 통합인허가 협의 과정에서 판단의 오류를 일으킬 수 있으므로 AERMET 모델의 지표기상 형식의 통일과 아울러 모델링 대상지역의 토지피복을 고려한 기상처리가 요구된다.

이들 기상처리 방법의 개선 또한 모델이 가지고 있는 한계로 인해 예측결과의 개선이 필요하며, 앞으로 국내 실정에 맞는 토지피복 계수의 연구 등이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 한국보건디지털 조사기반 구축기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2021003330003).

References

- Alberta Environment. 2002. Preparation of Alberta environment regional AERMET screening meteorology data sets.
- British columbia. 2006. British columbia air quality

- dispersion modelling guideline.
- Government of Alberta. 2021. Air Quality Model Guideline.
- Environmental Protection Agency. 2005. 40 CFR Appendix W to Part 51 – Revision to the Guideline on Air Quality Models.
- Environmental Protection Agency. 2013. Use of ASOS meteorological data in AERMOD dispersion modeling.
- Environmental Protection Agency. 2017. 40 CFR Appendix W to Part 51 – Revisions to the Guideline on Air Quality Models.
- Environmental Protection Agency. 2020. User's Guide for AERSURFACE Tool.
- Environmental Protection Agency. 2021a. AERMOD Implementation Guide.
- Environmental Protection Agency. 2021b. User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET).
- Environmental Protection Agency. 2021c. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD).
- Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling [Internet]. Environmental Protection Agency; [cited 2021 Dec 13]. Available form: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-modeling-surface-and-upper-air-databases>, <https://registry.opendata.aws/noaa-isd/>
- Ministry of Environment. 2007. A study to prepare guidelines for the use of environmental impact prediction models. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2009. Environmental Impact Prediction Model User Guide. [Korean Literature]
- Ontario. 2009. Air dispersion modelling guideline for Ontario.
- San Joaquin Valley Air Pollution Control District. 2006. Guidance for Air Dispersion Modeling.
- Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM). [Internet]
- TECQ. 2020. Air Dispersion Modeling Team Initiative to Update Meteorological Data.