

발간등록번호
11-1360000-001827-01



고해상도 지역예보모델(RDAPS-1km)의 검증 및 예측성능 평가

2023. 11.

정소연 · 이정순 · 이은희 · 김승범

수치자료응용과



수치모델링센터
Numerical Modeling Center

차 례

차례	i
그림 차례	ii
표 차례	ii
1. 서론	1
2. 한국형 지역수치예보모델 운영 현황	2
2.1 RDAPS-KIM	2
2.2 RDAPS-1km	2
3. 한국형 지역수치예보모델 성능 검증	5
3.1 검증 개요	5
3.1.1 고층 및 강수 검증	7
3.1.2 지상 검증	8
3.1.3 검증 지수	14
3.2 검증 결과	16
3.2.1 고층 검증	16
3.2.2 지상 검증	21
3.2.3 강수 검증	26
4. 요약	33

그림 차례

그림 1. 모델별 예측영역과 제주도 지형 정보	4
그림 2. 고층 및 지상 검증 지점	5
그림 3. 예측시간별 전체 기간 평균 고층 검증 결과	17
그림 4. 예측시간별 겨울철 평균 고층 검증 결과	18
그림 5. 예측시간별 여름철 평균 고층 검증 결과	19
그림 6. 예측시간별 전체 기간 평균 지상 검증 결과	22
그림 7. 예측시간별 겨울철 평균 지상 검증 결과	23
그림 8. 예측시간별 여름철 평균 지상 검증 결과	24
그림 9. 전체 기간 평균 약한 강수 예측 성능	26
그림 10. 전체 기간 평균 약한 강수 예측 성능	27
그림 11. 겨울철 3시간 누적강수의 BIAS(왼쪽)와 CSI(오른쪽)	31
그림 12. 여름철 3시간 누적강수의 BIAS(왼쪽)와 CSI(오른쪽)	32

표 차례

표 1. 한국형 지역수치예보모델 세부 내용	3
표 2. 고층 및 지상 검증 지점 목록	6
표 3. 강수 검증 분할표(Contingency Table)	14
표 4. 검증 내용 요약	15
표 5. 고층 검증 결과 요약	20
표 6. 지상 검증 결과 요약	25
표 7. 3시간 누적 강수(임계값 0.1mm)에 대한 예측정확도	28
표 8. 3시간 누적 강수(임계값 15.0mm)에 대한 예측정확도	29

1. 서론

기상청에서는 동아시아 영역의 단기 수치예보 지원을 위하여 기상청 현업 전지구모델인 한국형수치예보모델(KIM, Korean Intergrated Model) 기반의 고해상도 지역예보모델을 현업 운영 중이다. 한국형 지역수치예보모델(RDAPS-KIM, Regional Data Assimilation and Prediction System-KIM)은 동아시아 영역에 대해 수평 해상도 3km, 연직 40층으로 일 4회 72시간 예측자료를 생산한다. 슈퍼컴퓨터의 계산 능력 향상과 예보 상세화 지원 정책 및 고해상도 예측자료에 대한 기상 수요 대응을 위하여 한국형 모델을 기반으로 수평해상도가 1km인 고해상도 지역예보모델(RDAPS-1km)이 개발되었으며, 2022년 10월 28일부터 일 1회(12UTC)로 시험운영 중이다. 본문 설명에서는 전지구예보 모델은 KIM, 한국형 지역수치예보모델은 RDAPS-KIM, 고해상도 지역예보모델은 RDAPS-1km로 기술하였다

수치모델의 개발 및 운영에 있어 새로운 예측시스템의 성능을 진단하는 과정은 필수적이다. 모델의 예측성능을 진단하는 대표적인 방법으로 실제 관측 자료를 이용하여 모델의 예측자료와 비교하는 관측 검증이 있다. 본 기술노트에서는 시험운영 중인 RDAPS-1km 수치모델을 고층 및 지상 관측 자료를 이용하여 검증하고자 한다. 본 검증을 통하여 모델의 예측성을 진단하고 그를 통해 모델의 문제점을 확인하여 해결방안을 도출할 수 있을 것이며, 또한 다른 예측시스템과 상호비교를 통하여 각 시스템의 예측 특성을 파악하여 예보활용을 위한 가이드를 제시할 수 있을 것이다.

RDAPS-1km의 예측 경향을 진단하기 위하여 현업 운영 중인 KIM과 RDAPS-KIM의 예측 결과를 상호 비교하였다. 검증 기간은 모델이 시험운영을 시작하였던 2022년 10월부터 2023년 9월까지 12개월로, 일 1회 수행하였던 12UTC에 대해 모델 발표시각을 기준으로 검증을 수행하였다. 고층 및 지상 관측 자료를 활용하여 관측 검증을 수행하고 검증 결과에 대해 정량적으로 평가하였다. 검증 결과를 바탕으로, 해상도 증가에 따른 모델의 예측 경향을 살펴보고 모델 해상도 차이에 따른 장단점을 비교 분석하고자 한다. 또한, 모델별 비교 분석을 통해 고해상도 예측자료의 활용성을 높이는데 도움이 될 것으로 생각된다.

2. 한국형 지역수치예보모델 운영 현황

2.1 RDAPS-KIM

RDAPS-KIM은 2022년 5월 12일부터 현업 운영을 시작하였다. 동아시아 영역에 대해 일 4회(00, 06, 12, 18UTC) 72시간 예측을 수행하고 있으며, 수평해상도는 3km, 연직으로는 최상층 고도 50hPa까지 40개의 층으로 구성되어 있다. 초기장으로 KIM의 분석장을 활용하고, 경계장으로 KIM의 3시간 간격 예측장을 활용한다. 역학체계는 KIM과 유사한 압축성 오일러 비정역학과정 유한차분법이며, 독자 기술 방안을 적용한 물리과정 요소를 사용하고 있다. 복사는 아격자 수상체에 대한 규모를 고려한 RRTMG-K, 경계층은 소산 가열효과를 고려한 Shin-Hong PBL, 깊은 대류는 모델 격자 규모와 에어로졸을 고려한 KSAS, 미세물리과정은 우박상의 낙하속도를 개선하는 사항까지 반영하여 7개 수상체의 영향반경을 고려하는 WDM7 방법을 사용한다(표 1).

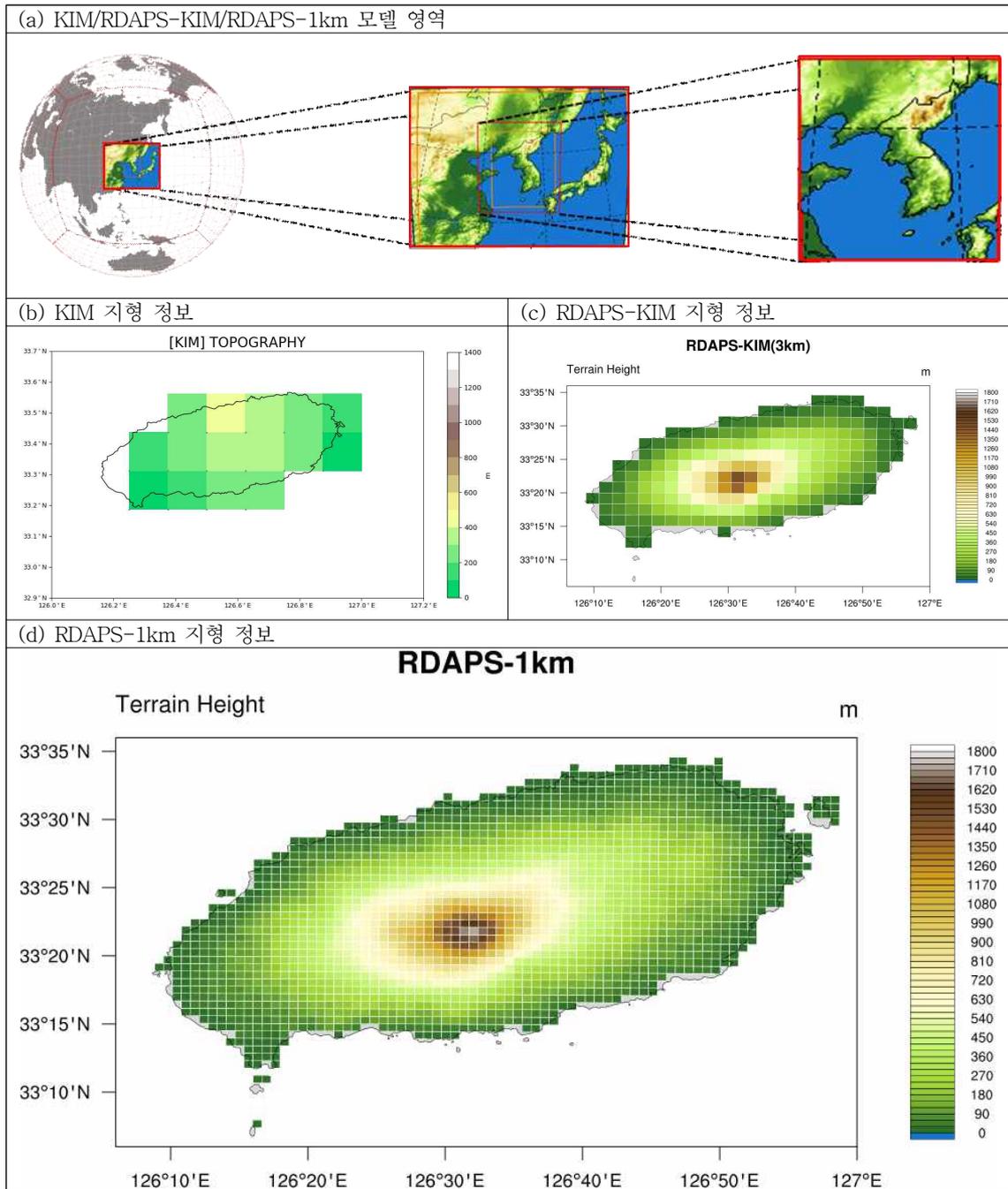
2.2 RDAPS-1km

RDAPS-1km는 2022년 10월 28일부터 시험운영을 시작하였다. 한반도 영역에 대해 일 1회(12UTC) 48시간 예측을 수행하고 있으며, 수평해상도는 1km, 연직으로는 40개의 층으로 구성되어 있다. RDAPS-1km 모델은 3km 해상도인 RDAPS-KIM에서 수평해상도를 높이는 한방향 등지격자체계로 운영 중이다. 역학 및 물리과정은 RDAPS-KIM 모델과 동일하게 설정하였으며, 깊은대류과정은 적용하지 않았다. 해상도 증가에 따른 지형정보 비교를 위하여 그림 1에 모델 영역과 제주도 지형정보를 표출하였다. 제주도 영역에 대하여 KIM은 15개의 격자로 표출되고, RDAPS-KIM의 경우 206개로 모의한다. 해상도를 1km로 증가시켰을 경우 1875개로 3km와 비교하여 약 9배 격자수가 증가하였으며 제주도 주변 섬 지역도 구분하여 모의하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 한국형 지역수치예보모델 세부 내용

		RDAPS-KIM	RDAPS-1km
수평 해상도		3km × 3km	1km × 1km
격자 개수	수평	1050(동서) × 840(남북)	1180(동서) × 1402(남북)
	연직	40층(상단: 50hPa)	
적분 간격		18초	6초
영역중심		38°N, 126°E	
지도투영법		Lambert 정형 원추도법 (실측거리 대응위도: 30°N, 60°N)	
지형정보		입력 지형 해상도: 약 1km (gmted2010_30s)	
		식생지수: 호수정보를 포함한 MODIS 식생지수 (modis_15s_lake)	
격자체계	수평	Arakawa C-grid staggering	
	연직	Hybrid sigma-pressure vertical coordinate	
방정식계		압축성 오일러 비정역 방정식계	
시간적분		3차 Runge-Kutta 시간분할적분	
습윤과정	깊은 대류	Scale-aware mass-flux deep/shallow convection (KIAPS SAS)	미적용
	미세 물리	WRF Double Moment 7-Class(WDM7)	
복사		Revised RRTMG(RRTMG-K)	
경계층		Scale-aware non-local PBL(Shin-Hong PBL)	
지표면		Thermal Diffusion Scheme	

그림 1. 모델별 예측영역과 제주도 지형 정보



3. 한국형 지역수치예보모델 성능 검증

3.1 검증 개요

RDAPS-1km의 예측성능 검증을 위하여 시험운영을 시작한 2022년 10월부터 2023년 9월까지 12개월 기간에 대해 검증을 수행하고 평가하였다. 평가 모델(RDAPS-1km)이 일 1회 12UTC 운영하였기 때문에, 비교 모델(KIM, RDAPS-KIM)도 12UTC에 발표된 자료를 사용하여 모델 발표시각을 기준으로 검증을 수행하였다. 검증에 사용된 자료는 고층존데 자료 및 지상 ASOS 관측 자료(그림 2, 표 2)며 관측 지점과 가장 가까운 모델의 격자 지점 자료를 비교하였다. 검증을 위해 사용된 변수는 고층의 경우 850hPa 기온, 500hPa 지위고도, 850hPa 풍속이며, 지상의 경우 2m 기온, 2m 상대습도, 10m 풍속, 강수량이다. 고층 및 지상 검증 지수는 평균오차(ME, Mean Error)와 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)이며, 강수 검증 지수는 치우침(BIAS), 성공임계지수(CSI, Critical Success Index), 공정임계지수(ETS, Equivalent Threat Score), 탐지확률(POD, Probability of Detection), 오보율(FAR, False Alarm Ratio) 등을 사용하여 평가하였다.

그림 2. 고층 및 지상 검증 지점

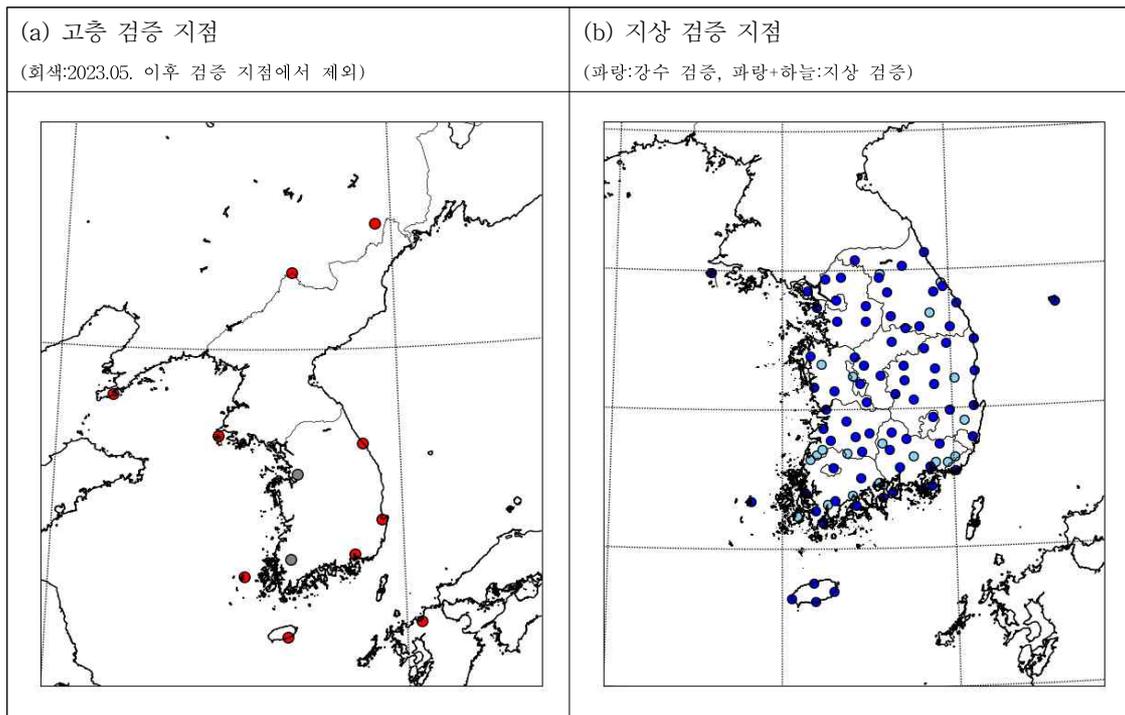


표 2. 고층 및 지상 검증 지점 목록

고층 존데 지점							
47102	백령도	47104	북강릉	47138	포항	47155	창원
47169	흑산도	47186	국가태풍센터	47807	후쿠오카	54292	엔지
54374	린지양	54662	다렌	47122	오산	47138	포항
지상 ASOS 지점							
90	속초	137	상주	203	이천	259	강진군
93	북춘천	138	포항	211	인제	260	장흥
95	철원	140	군산	212	홍천	261	해남
98	동두천	143	대구	216	태백	262	고흥
99	과주	146	전주	217	정선군	263	의령군
100	대관령	152	울산	221	제천	264	함양군
101	춘천	155	창원	226	보은	266	광양시
102	백령도	156	광주	232	천안	268	진도군
104	북강릉	159	부산	235	보령	271	봉화
105	강릉	162	통영	236	부여	272	영주
106	동해	165	목포	238	금산	273	문경
108	서울	168	여수	239	세종	276	청송군
112	인천	169	흑산도	243	부안	277	영덕
114	원주	170	완도	244	임실	278	의성
115	울릉도	172	고창	245	정읍	279	구미
119	수원	174	순천	247	남원	281	영천
121	영월	177	홍성	248	장수	283	경주시
127	충주	184	제주	251	고창군	284	거창
129	서산	185	고산	252	영광군	285	합천
130	울진	188	성산	253	김해시	288	밀양
131	청주	189	서귀포	254	순창군	289	산청
133	대전	192	진주	255	북창원	294	거제
135	추풍령	201	강화	257	양산시	295	남해
136	안동	202	양평	258	보성군		

3.1.1 고층 및 강수 검증

고층 및 강수 검증은 표준검증시스템과 동일한 방법으로 수행하였다. 고층 검증 지점은 표준검증시스템에서 사용 중인 한반도 영역 12개 지점으로, WMO에서 제시한 검증 지점을 중심으로 선정하였다. 2023년 5월부터 새롭게 갱신된 검증 지점 목록을 바탕으로 5월 이후 검증은 10개로 수정 반영하였다. 검증은 “기상청 수치예보모델 표준검증시스템 운영 매뉴얼(박소라 등, 2023.)”을 참고하여, 설정 파일을 RDAPS-1km 모델에 맞게 수정 후 수행하였다.

고층 검증 설정 변경 사항	
L파일명: ~/DABA/namelist_ob_rd01_00UTC(12UTC)	
&SET_INPUT in_prefix="~/fcst/MODL/RD01/NE36/DASV", in_postfix_date_format="YYYYMMDDHH", in_date_format="", in_file_prefix="rdps_lc01_pres_h0", in_file_suffix="nc", in_ob_prefix="관측자료 위치", in_ob_postfix_date_format="YYYYMM/DD/HH", in_ob_File="ERLY/Sonde/Sonde.list",	#입력자료 위치 수정 #입력자료 파일명 수정 #관측자료 위치 설정
&SET_OUTPUT centre="rksl", modelName="rd01", modelVer="oper", ref='ob', out_prefix="~/DAOU/report_daily", out_date_format="YYYYMM", out_file_prefix="rec2_ob_rd01.",	#모델명 수정 #출력파일명 수정
&SET_LIST stepList= 12,36,(24,48) levelist= 925, 850, 700, 500, 250, 100, varList= 'z', 't', 'r', 'u', 'v', 'w',	#예측시각 수정
&SET_MATRIX number_of_columns=1179, number_of_rows=1401, DX=0.0093, DY=0.0093,	#모델영역 수정

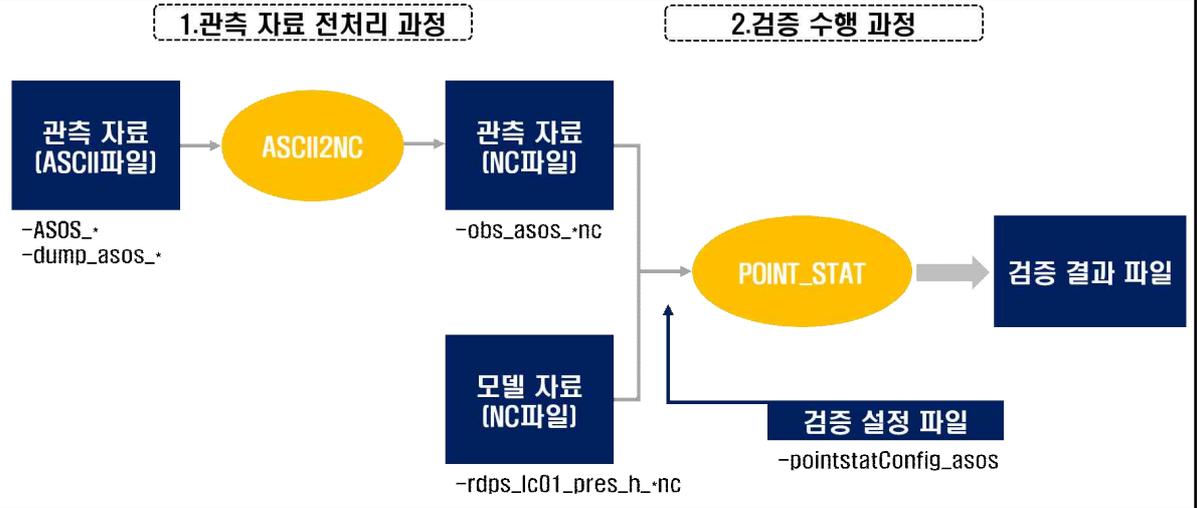
강수 검증 설정 변경 사항	
L파일명: ~/DABA/namelist_rain_rd01	
&SET_LIST	
stepList= 3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42,45,48,	#예측시각 수정
L파일명: ~/SHEL/rain_vrfy_stat_month.ksh	
export BASEON=2	#모델 발표시각 기준 검증으로 수정
export DINTVL=3	
export STIME=\${YYYYMM}0112	
export ETIME=\${YYYYMM}\${DD}12	
export FINTVL=24	#12UTC 자료만 검증 수행하도록 변경

3.1.2 지상 검증

지상 검증은 RDAPS-KIM 검증 모니터링을 위해 운영 중인 MET(Model Evaluation Tools) 검증 방법을 사용하였다. MET은 미국대기과학연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)에서 개발한 수치모델의 성능을 평가하기 위한 도구로, 모델 의존성이 없으며 GRIB이나 NetCDF 형식의 자료만 입력하면 수많은 검증 지수를 계산할 수 있도록 구성된 프로그램이다. 또한 모듈식으로 설계되어 전체 도구 세트를 실행하지 않아도 개별 모듈을 실행 및 적용 가능하다는 장점이 있다. MET 관련 코드와 문서는 DTC(Developmental Testbed Center)에서 관리하며, 모든 기관에서 무료로 사용 가능하다.

다음 장에 MET 지상 검증 과정을 요약하였다. 검증 도구의 사용 방법 및 구축 환경에 대한 자세한 정보는 “지역모델 검증시스템 구축(최승보 등, 2020.)”에 기술되어 있다. 검증에 사용하는 주요 도구는 POINT_STAT이며, 이 도구를 사용하기 전에 수집된 관측 자료를 정해진 형식의 입력 자료로 변환하는 작업이 요구된다. 이는 ASCII2NC 도구를 사용하여 수행되며, 수집한 자료(ASOS_*)를 ASCII2NC에 입력할 자료(dump_asos_*) 형식으로 재작성한 후 POINT_STAT에 입력 가능한 자료(obs_asos_*.nc)로 변환한다. 이후 검증 설정 파일(pointstatConfig_asos)에 입력된 설정을 바탕으로 변환된 NetCDF 형식의 관측 자료와 모델 자료를 POINT_STAT 도구를 사용하여 검증을 수행한다.

MET 지상 검증 수행 과정



└1. 관측 자료 전처리 과정

입력자료 변경 전 : ASOS_* 파일 (예시)

YYMMDDHHMM	STN	WD	WS	GST	GST	GST	PA	PS	PT	PR	TA	TD	HM	PV	RN	RN	...
KST	ID	16	m/s	WD	WS	-9	hPa	hPa	-	hPa	C	C	%	hPa	mm	DAY	...
202308070900	90	-9	-9.0	-9	-9.0	-9	1001.4	1003.4	2	1,3	23,3	22,2	94,0	26,8	0,4	67,0	...

입력자료 변경 후 : dump_asos_* 파일 (예시)

ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	2	1	-9999.0	NA	100340.0	#해면기압
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	11	1	-9999.0	NA	296.4	#기온
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	31	1	-9999.0	NA	0.0	#풍향
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	32	1	-9999.0	NA	-9.0	#풍속
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	33	1	-9999.0	NA	0.0	#u바람성분
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	34	1	-9999.0	NA	9.0	#v바람성분
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	52	1	-9999.0	NA	94.0	#습도
ADPSFC	90	20230807_000000	38.25085	128.56473	17.53	61	1	-9999.0	NA	0.4	#강수

ASCII2NC 도구 : POINT_STAT에 입력할 자료로 관측 자료 변환

ascii2nc.e ₩	#ASCII2NC 도구
dump_asos_\$(uYY)\$(uMM)\$(uDD)\$(uHH) ₩	#변환을 수행할 입력자료 파일명
obs_asos_\$(uYY)\$(uMM)\$(uDD)\$(uHH).nc	#변환 후 출력 파일명

└2. 검증 수행 과정

POINT_STAT 도구 : 관측 자료와 모델 자료를 설정 파일에 입력한 정보를 바탕으로 검증

point_stat.e ₩	#POINT_STAT 도구
rdps_lc01_pres_h\$(fhr)\$(ANLTIM).nc ₩	#모델 자료 입력
obs_asos_\$(uYY)\$(uMM)\$(uDD)\$(uHH).nc ₩	#관측 자료 입력
pointstatConfig_asos ₩	#검증 설정 파일 입력
-outdir ~/DAOU/\$(ANLTIM) ₩	#출력 경로 설정
-v 3	#디버깅 레벨 설정

MET으로 지상 풍속 검증 수행 시, 모델 자료 내에 동서·남북바람성분만 포함되어 있기 때문에 풍속으로 환산하여 재생산한 자료가 필요하다. 따라서 모델 자료로 풍속 자료를 재생산하여 검증을 수행하였다. 아래는 모델의 동서·남북바람성분에 대한 정보로 모델의 풍속을 산출하는 수행 프로그램이다. 프로그램은 함수를 사용하여 수행되며, 모델 자료들을 읽어들이는 함수(read_latlon, read_nc_uv10), 풍속을 계산하는 함수(calc_wind_speed_2d), 계산된 자료를 grib 자료로 재작성하는 함수(write_grib)들로 이루어져 있다. 프로그램 내에서 함수를 정의하고 이를 사용하여 풍속 자료를 생산한다.

프로그램명: ~/DABA/python/calc_wind_speed.py
#read_latlon : 위경도 격자의 첫 번째 자료 읽기
def read_latlon(ifile): data = Dataset(ifile) ilat = data.variables['XLAT'][0,0,0] ilon = data.variables['XLONG'][0,0,0] return ilat,ilon
#read_nc_uv10 : 동서·남북바람성분 자료 읽기
def read_nc_uv10(ifile): data = Dataset(ifile) u10 = data.variables['U10'][:] v10 = data.variables['V10'][:] return u10, v10
#calc_wind_speed_2d : 동서·남북바람성분으로 풍속 계산
def calc_wind_speed_2d(u, v): value = np.sqrt(np.power(u,2) + np.power(v,2)) value = xr.DataArray(value, dims=["Time","y","x"]) value.attrs["GRIB_discipline"] = 0 value.attrs["GRIB_parameterCategory"] = 2 value.attrs["GRIB_parameterNumber"] = 1 value.attrs["GRIB_typeOfFirstFixedSurface"] = 103 return value

#write_grib : grib 형식의 자료로 풍속 재작성

```
def write_grib(ofile, var):
    grib_key = { "edition": 2,
                 "centre": 40,
                 "subCentre": 11,
                 "gridType": "lambert",
                 "Nx": 1179,
                 "Ny": 1401,
                 "LoVInDegrees": 126.0351,
                 "LaDInDegrees": 37.94461,
                 "Latin1InDegrees": 30.,
                 "Latin2InDegrees": 60.,
                 "latitudeOfFirstGridPointInDegrees": float(ilat),
                 "jScansPositively": 1,
                 "longitudeOfFirstGridPointInDegrees": float(ilon),
                 "DxInMetres": 1000.,
                 "DyInMetres": 1000.,
                 "dataDate": int(anltim[0:8]),
                 "dataTime": int(anltim[8:10]+'00'),
                 "step": int(ftim+'00'),
                 "validityDate": int(fcstim[0:4]+fcstim[5:7]+fcstim[8:10]),
                 "validityTime": int(fcstim[11:13]+'00')
    }

    from cfrib.xarray_to_grib import to_grib
    to_grib(var, ofile, grib_keys=grib_key)
```

위의 함수들을 바탕으로 쉘 프로그램에서 입력 자료의 경로(indir), 출력 자료의 경로(outdir), 모델의 발표 시각(anltim), 목표 시각(fcstim), 예측시간(ftim)을 입력받아 주요 프로그램이 수행되며, 1시간 간격의 풍속 자료를 생산하고, 이 자료를 사용하여 풍속 검증을 수행한다.

프로그램명: ~/DABA/python/calc_wind_speed.py

#주요 수행 코드

```
if __name__ == "__main__":
    from optparse import OptionParser
    import sys

    parser = OptionParser()
    parser.add_option('-i', '--indir', dest='indir', help='input path')
    parser.add_option('-o', '--outdir', dest='outdir', help='output path')
    parser.add_option('-t', '--anltim', dest='anltim', help='analysis time')
    parser.add_option('-v', '--fcstim', dest='fcstim', help='forecast time')
    parser.add_option('-f', '--fcst', dest='ftim', help='forecast time')
    (options,args) = parser.parse_args()
    indir = options.indir ₩ outdir = options.outdir
    anltim = options.anltim ₩ fcstim = options.fcstim ₩ ftim = options.ftim

    inpath = indir
    infile = "rdps_lc01_pres_h"+ftim+"."+anltim+".nc"
    ncfile = inpath + '/' + infile

    u10, v10 = read_nc_uv10(ncfile)
    wspd10 = calc_wind_speed_2d(u10, v10)
    wspd10 = wspd10.rename("wspd10")
    wspd10.attrs["GRIB_level"] = 10
    wspd10.attrs['GRIB_stepRange'] = int(ftim)

    ilat, ilon = read_latlon(ncfile)

    dummy = {}
    dummy['wspd10'] = wspd10[0,::]
    dummy['wspd10'].attrs['GRIB_level'] = 10
    sdummy = xr.Dataset(data_vars=dummy).squeeze()

    wind_speed = xr.merge([sdummy])

    outpath = outdir
    outwind = "r030_v040_ne36_wind_h"+ftim+"."+anltim+".gb2"
    outfile = outpath + "/" + outwind

    write_grib(outfile, wind_speed)

    exit()
```

모델 풍속 자료 전처리 과정

프로그램명 : ~/SHEL/rd01_post_wspd.ksh

입력파일: ~/fcst/MODL/RD01/NE36/DAOU/rd01_pres_h\${fhr}.\${ANLTIM}.nc

출력파일: ~/DAIO/WIND/r030_v040_ne36_wind_h\${fhr}.\${ANLTIM}.gb2

```
ANLTIM=`cat ~/LOGO/anal.tim | cut -c1-10`
```

```
mkdir -p ~/LOGO/${ANLTIM}
```

SOURCE=calc_wind_speed

```
cp ~/DABA/python/${SOURCE}.py ~/LOGO/${ANLTIM}/
```

```
INDIR=~ /fcst/MODL/RD01/NE36/DAOU
```

```
ln -sf ${INDIR}/${ANLTIM}/rdps_lc01_pres_h*.${ANLTIM}.nc ~/LOGO/${ANLTIM}
```

```
cd ~/LOGO/${ANLTIM}
```

```
OUTDIR=~ /DAIO/WIND/${ANLTIM}
```

```
mkdir -p ${OUTDIR}
```

```
fhr=0
```

```
while [[ ${fhr} -le 48 ]] ; do
```

```
    fhr=$(printf "%03d" $fhr)
```

```
    FCSTIM=`$UTILXET/maketim ${ANLTIM} ${fhr}`
```

```
#=====
```

```
    python ${SOURCE}.py -i ~/LOGO/${ANLTIM} -o $OUTDIR -t $ANLTIM -v $FCSTIM -f $fhr &
```

```
#=====
```

```
    sleep 3
```

```
    (( fhr=fhr+1 ))
```

```
done
```

```
wait
```

```
#-----
```

```
SYSTEM=`$UTILXET/maketim $SYSTEM -h +${plust}`
```

```
done
```

풍속 검증 수행 과정

```
point_stat_e ₩
```

```
r030_v040_ne36_wind_h${fhr}.${ANLTIM}.gb2 ₩
```

```
obs_asos_${uYY}${uMM}${uDD}${uHH}.nc ₩
```

```
pointstatConfig_asos ₩
```

```
-outdir ~/DAIO/${ANLTIM} ₩
```

```
-v 3
```

```
#POINT_STAT 도구
```

```
#모델 자료 입력
```

```
#관측 자료 입력
```

```
#검증 설정 파일 입력
```

```
#출력 경로 설정
```

```
#디버깅 레벨 설정
```

3.1.3 검증 지수

고층 및 지상 검증 지수는 ME와 RMSE이다. 이 지수는 관측값을 참값으로 생각하여 관측(O)과 예보(M)의 차이를 측정하는 지수로, 그 값이 작을수록 예측값이 참에 가까움을 의미한다.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$$

강수 검증 지수는 실제 발생 여부와 모델의 강수 모의 여부를 종합적으로 고려하는 양분예보 검증을 수행하여 산출하였다. 예보의 발생 여부에 대한 “예”와 “아니오”의 빈도수로 나타내며, 예보와 관측에 대해 “예”와 “아니오”로 구성된 4개의 조합으로 구성된다(표3).

표 3. 강수 검증 분할표(Contingency Table)

		모델		맞힘(H)	사건이 발생할 것으로 예측, 실제로 발생
		Y	N	놓침(M)	사건이 발생하지 않을 것으로 예측, 실제로 발생
관측	Y	H	M	거짓 알림(F)	사건이 발생할 것으로 예측, 실제로 발생하지 않음
	H	F	C	부의 정확(C)	사건이 발생하지 않을 것으로 예측, 실제로 발생하지 않음

강수 검증 지수는 양분예보 검증을 수행하여 계산된 BIAS, CSI, POD, FAR이다.

BIAS는 사건을 예측한 총 수를 관측된 사건의 총 수로 나눈 값으로, 1보다 작은 값은 과소예보, 1보다 큰 값은 과대예보, 완벽한 예보의 경우 1의 값을 가진다.

$$BIAS = \frac{H + F}{H + M}$$

CSI는 정확히 예측하였던 사건 수를 예보 또는 관측에서 사건이 발생한 총 수를 합하여 나눈 값으로, 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 완벽한 예보를 의미한다.

$$CSI = \frac{H}{H + M + F}$$

ETS는 CSI에서 우연에 의한 맞힘을 고려하여 CSI 분모, 분자에 무작위 맞힘(a_r)을 뺀

값으로, $-1/3$ 과 1 사이의 값을 가지며 1 에 가까울수록 완벽한 예보를 의미한다.

$$ETS = \frac{H - a_r}{H + M + F - a_r} \quad (a_r = \frac{(H + M)(H + F)}{H + M + F + C})$$

POD는 정확히 예측하였던 사건 수를 관측에서 사건이 발생한 총 수를 합하여 나눈 값으로, 0 과 1 사이의 값을 가지며 1 에 가까울수록 성능이 좋음을 의미한다. 이 값은 비적중률을 고려하지 않으므로, 예보를 남발하였을 때에도 값이 낮아지지 않는 특성을 가진다.

$$POD = \frac{H}{H + M}$$

FAR은 사건을 예측하지 못한 수를 예보에서 사건이 발생한 총 수를 합하여 나눈 값으로, 0 과 1 사이의 값을 가지며 0 에 가까울수록 우수한 성능을 의미한다.

$$FAR = \frac{F}{H + F}$$

검증 지수는 “2022년 수치예보시스템 검증(박혜자 등, 2023.)”을 바탕으로 선정하였으며, 표 4에 검증 내용을 요약하였다.

표 4. 검증 내용 요약

검증 영역	검증 변수	검증 지수	정의		
지상	2m 기온	평균오차(ME)	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$		
	2m 상대습도				
고층	10m 풍속	평균제곱근오차(RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$		
	850hPa 기온				
	500hPa 지위고도				
강수	850hPa 풍속	치우침(BIAS)	$\frac{H + F}{H + M}$		
	3시간 누적 강수			성공임계지수(CSI)	$\frac{H}{H + M + F}$
				공정임계지수(ETS)	$\frac{H - a_r}{H + M + F - a_r}$
				탐지확률(POD)	$\frac{H}{H + M}$
				오보율(FAR)	$\frac{F}{H + F}$

3.2 검증 결과

3.2.1 고층 검증

그림 3은 12시간 간격의 예측시각별 고층 검증 결과에 대한 전체 기간(2022.10.~2023.09.) 평균 검증 결과이다. 850hPa 기온과 850hPa 풍속은 두 모델 모두 한랭편차로, RDAPS-1km에서 적은 평균오차(ME)가 나타났으며, 500hPa 지위고도는 RDAPS-KIM과 유사한 성능이 나타났다. RDAPS-KIM 대비 RDAPS-1km 모델에서 850hPa 기온, 850hPa 바람의 전체 기간 평균 RMSE가 1.56%, 1.24% 감소하여 예측성능이 우수하였으며 500hPa 지위고도는 중립적인 효과를 보였다.

그림 4~5는 12시간 간격의 예측시각별 고층 검증 결과에 대한 겨울철(2023.01.~2023.02.), 여름철(2023.07.~2023.08.) 평균 검증 결과이다. 겨울철은 예측 초기 시간(12H)을 제외하고 전 시간대에서 RDAPS-1km에서 평균 오차가 작게 나타났으며, RDAPS-KIM대비 RDAPS-1km의 겨울철 850hPa 기온과 500hPa 지위고도에 대한 RMSE가 3.57%, 1.03% 감소하였다. 여름철은 오차가 다소 증가하나 성능이 유사하며, 850hPa에서의 풍속 평균 오차의 크기는 RDAPS-1km에서 더욱 작게 나타났다.

그림 3. 예측시간별 전체 기간 평균 고층 검증 결과

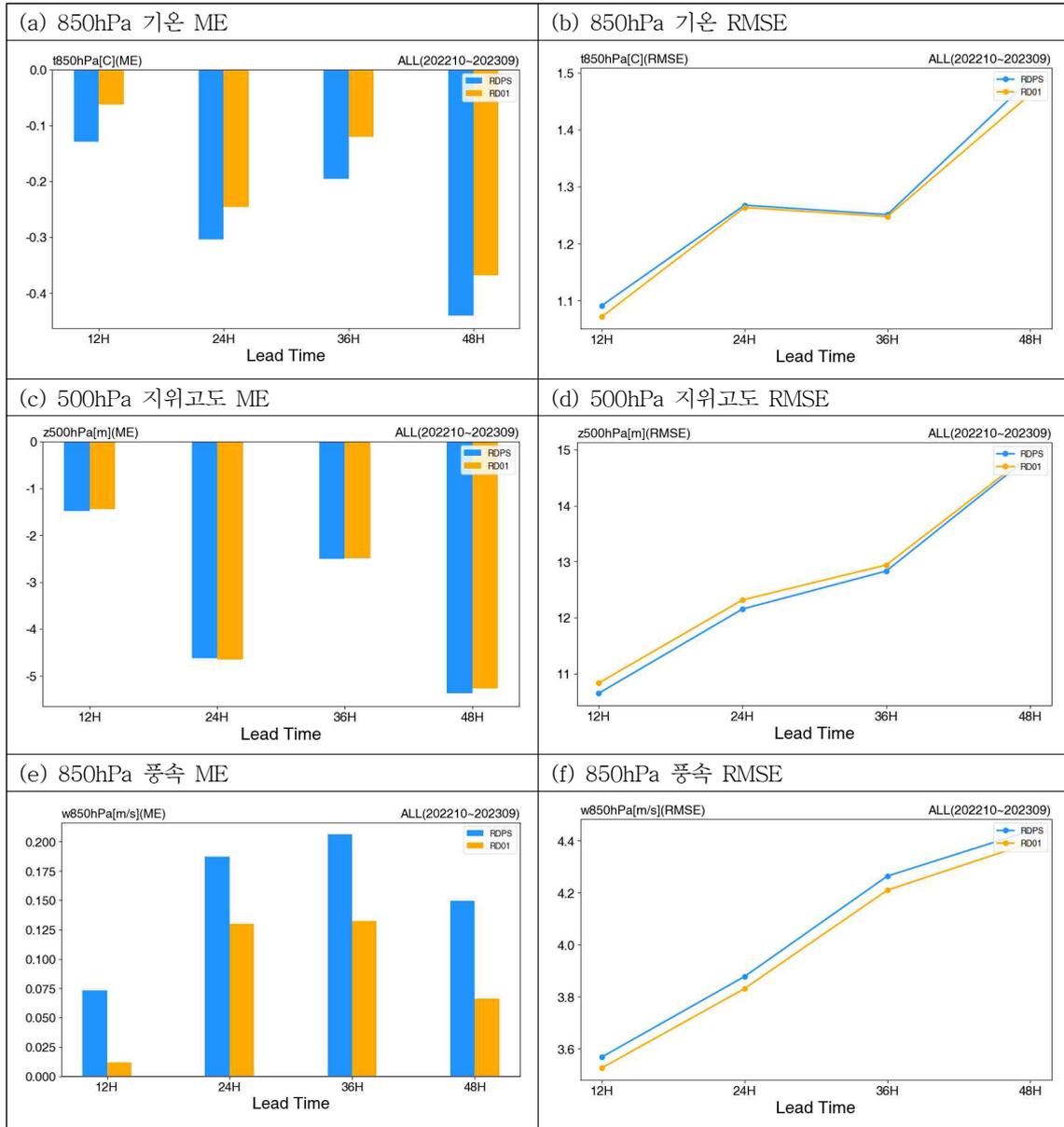


그림 4. 예측시간별 겨울철 평균 고층 검증 결과

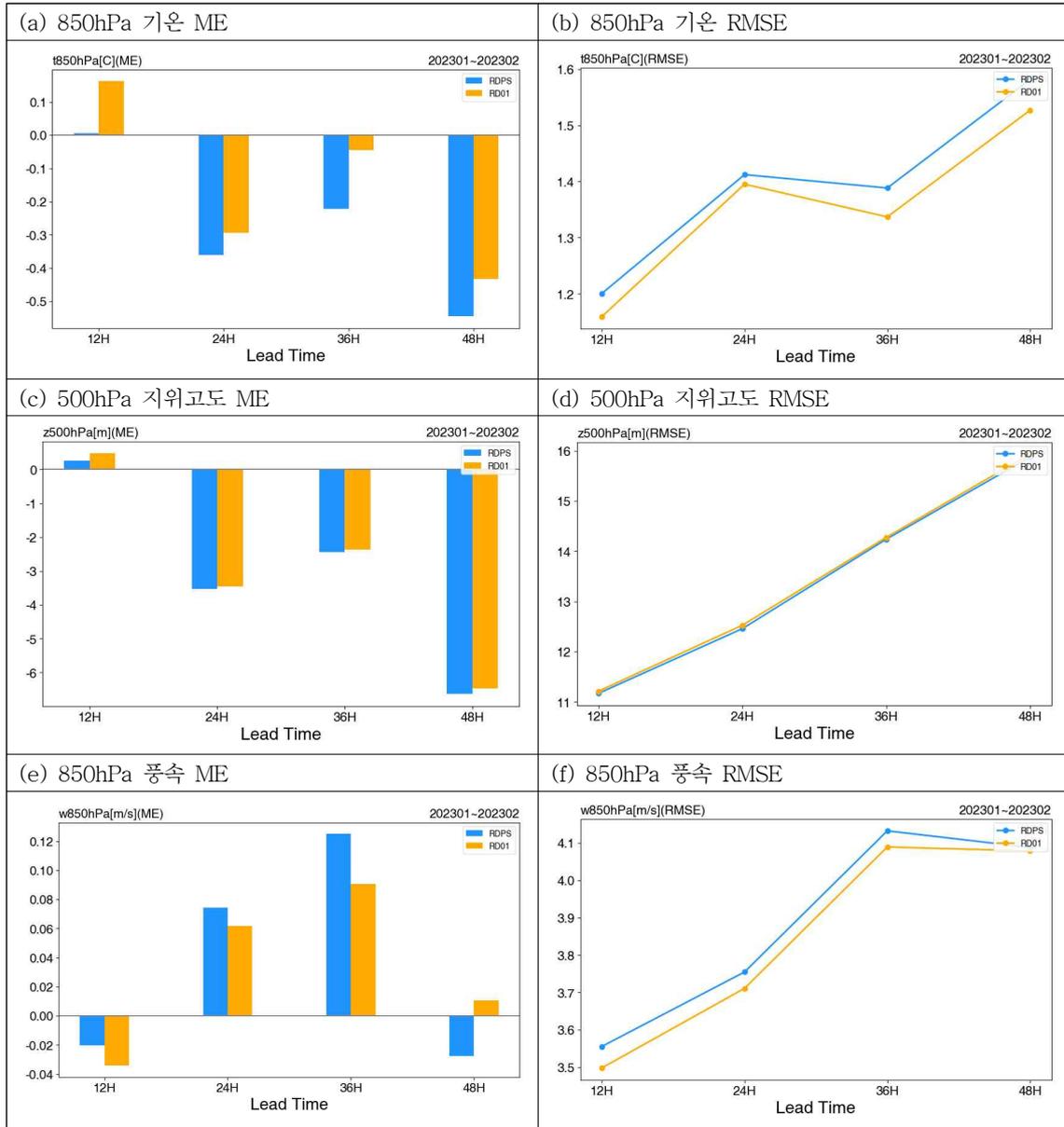


그림 5. 예측시간별 여름철 평균 고층 검증 결과

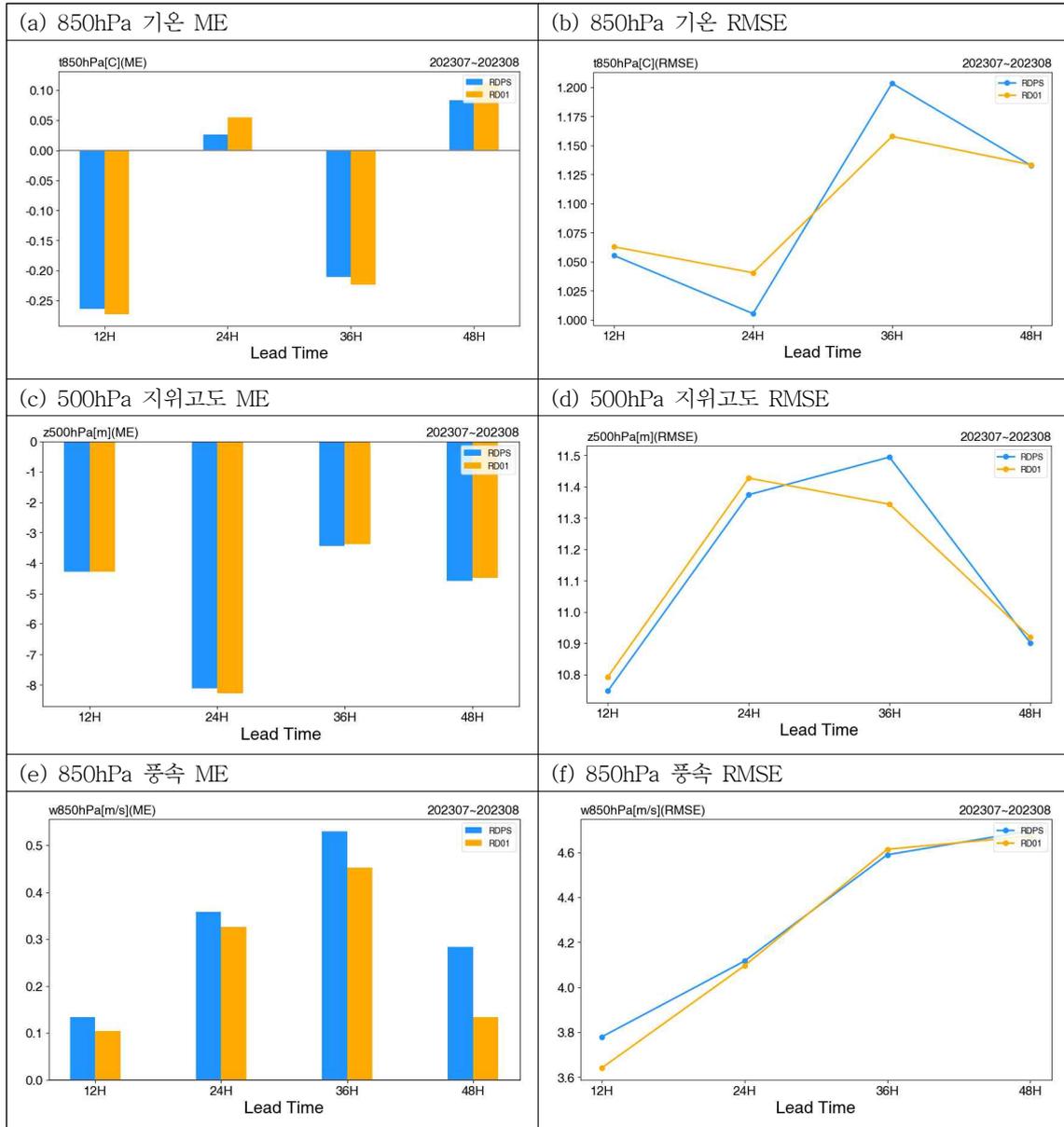


표 5에 전체 기간, 겨울철, 여름철에 대해 12시간 간격으로 48시간 예측을 수행하여 평균 검증 결과를 요약하였다. 고층 검증 결과를 종합적으로 해석하였을 때, 전체 기간 평균 850hPa 기온은 한랭편차가 나타났다. 계절별로 비교해보았을 때 여름철보다 겨울철에 850hPa 기온의 한랭편차가 크게 발생하였으며, 500hPa 지위고도는 두 모델 모두 음의 편차로 여름철에 편차가 더 크게 나타났다. 850hPa 풍속은 여름철 더욱 과대모의하였으며 그 크기는 RDAPS-1km에서 더 작게 나타나 예측 성능이 개선되었다.

표 5. 고층 검증 결과 요약

		RMSE			ME		
		T850	Z500	W850	T850	Z500	W850
전체 기간	RDPS	1.28	12.63	4.04	-0.27	-3.50	0.16
	RD01	1.26	12.75	3.99	-0.20	-3.47	0.09
겨울철	RDPS	1.40	13.44	3.88	-0.28	-3.09	0.04
	RD01	1.35	13.49	3.84	-0.15	-2.95	0.03
여름철	RDPS	1.10	11.13	4.30	-0.09	-5.11	0.33
	RD01	1.10	11.12	4.26	-0.08	-5.11	0.25

* RDPS:RDAPS-KIM / RD01:RDAPS-1km

3.2.2 지상 검증

그림 6은 1시간 간격의 예측시각별 지상 검증 결과에 대한 전체 기간(2022.10.~2023.09.) 평균 검증 결과이다. MET 검증은 RDAPS-KIM, RDAPS-1km 만 수행 중이기 때문에 두 모델에 대한 검증 결과를 기술하였다. 검증 결과 시간대별로 편차에 주기성이 발생하며 밤 시간대 모델에서 관측 대비 기온은 과소, 상대습도는 과대모의하며 관측보다 한랭하고 습윤하게 모의하는 특징이 나타났다. 낮 시간대는 이와 반대의 편차가 발생하였으며, 전체 시간대에서 RDAPS-KIM에 비해 RDAPS-1km에서 편차가 낮게 나타났다. 풍속은 전체 예측시간에서 과대모의하였으며, 낮에 오차가 증가하는 경향이 나타났다. 대부분의 예측시간에서 지상 기온, 상대습도, 풍속에 대한 RMSE는 RDAPS-1km 모델에서 가장 감소폭이 크게 나타났다. RDAPS-KIM와 비교하였을 때 기온, 상대습도, 풍속의 RMSE 감소율은 각각 2.87%, 2.85%, 4.81%로 풍속에 대한 예측오차 개선이 두드러졌으며, 특히 모델의 풍속 과대모의에 대한 오차를 줄이는 특징이 보였다.

그림 7~8은 1시간 간격의 예측시각별 지상 검증 결과에 대한 겨울철(2023.01.~2023.02.) 여름철(2023.07.~2023.08.) 평균 검증 결과이다. 전체 기간 검증 결과와 마찬가지로 여름철과 겨울철 모두 편차의 주기성이 나타났다. 여름철은 지상 기온, 상대습도 모두 뚜렷하게 시간대별로 양과 음의 편차가 나뉘어지며, 낮 시간대 오차가 증가하여 오후 3시에 가장 큰 오차가 발생하였던 반면, 겨울철은 주기성이 두드러지게 나타나지 않았다. 겨울철 상대습도는 전체 시간대에서 과대모의하며, 그 크기는 낮 시간대 작게 나타났다. RDAPS-KIM와 비교하였을 때 RDAPS-1km의 기온, 상대습도, 풍속의 RMSE 감소율은 겨울철 각각 5.99%, 5.88%, 5.36%로 오차가 감소하여 예측성능이 우수하였다. 여름철은 풍속에 대한 오차만 2.91%로 감소하였고, 기온, 상대습도는 유사한 성능을 나타냈다.

그림 6. 예측시간별 전체 기간 평균 지상 검증 결과

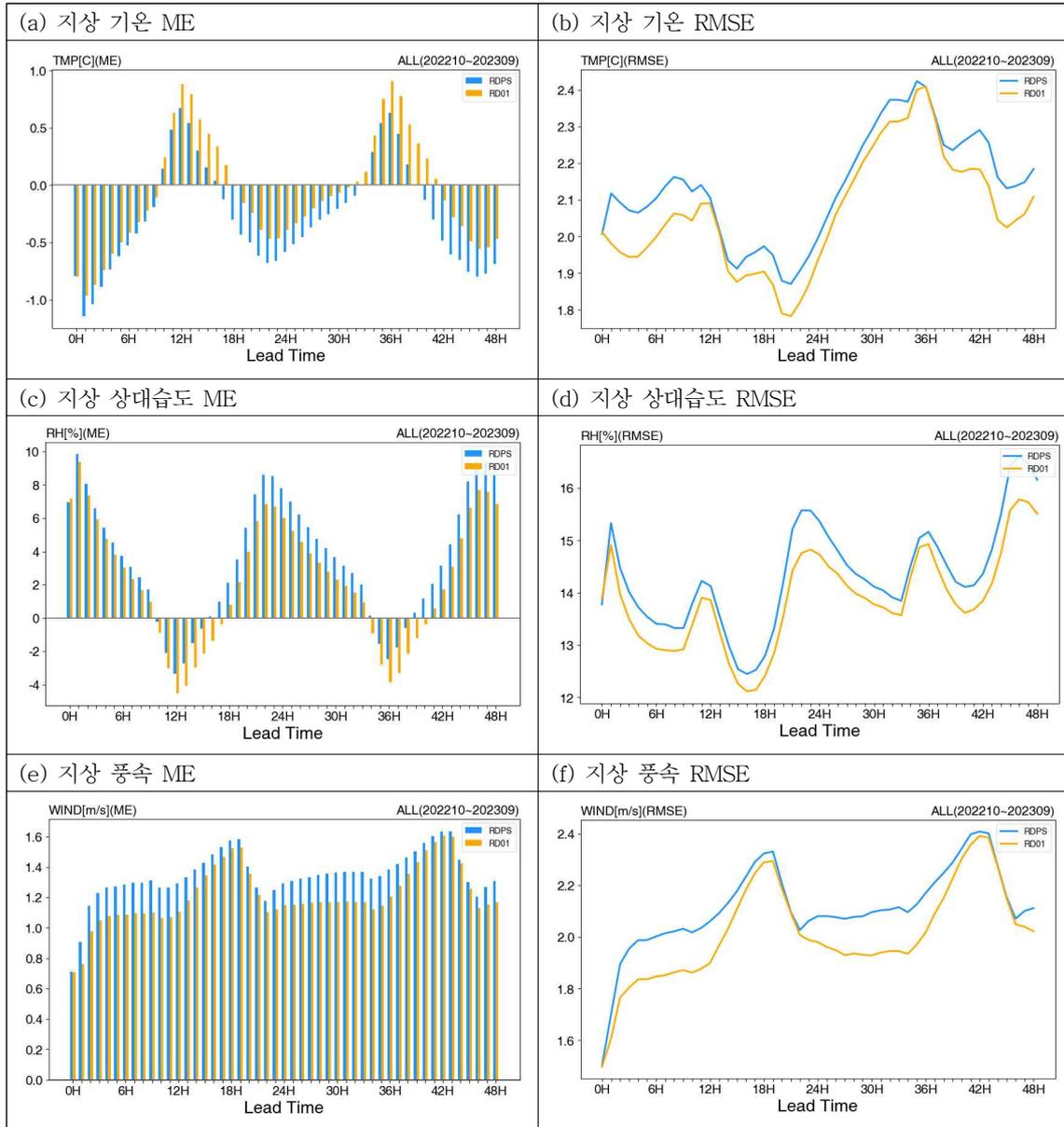


그림 7. 예측시간별 겨울철 평균 지상 검증 결과

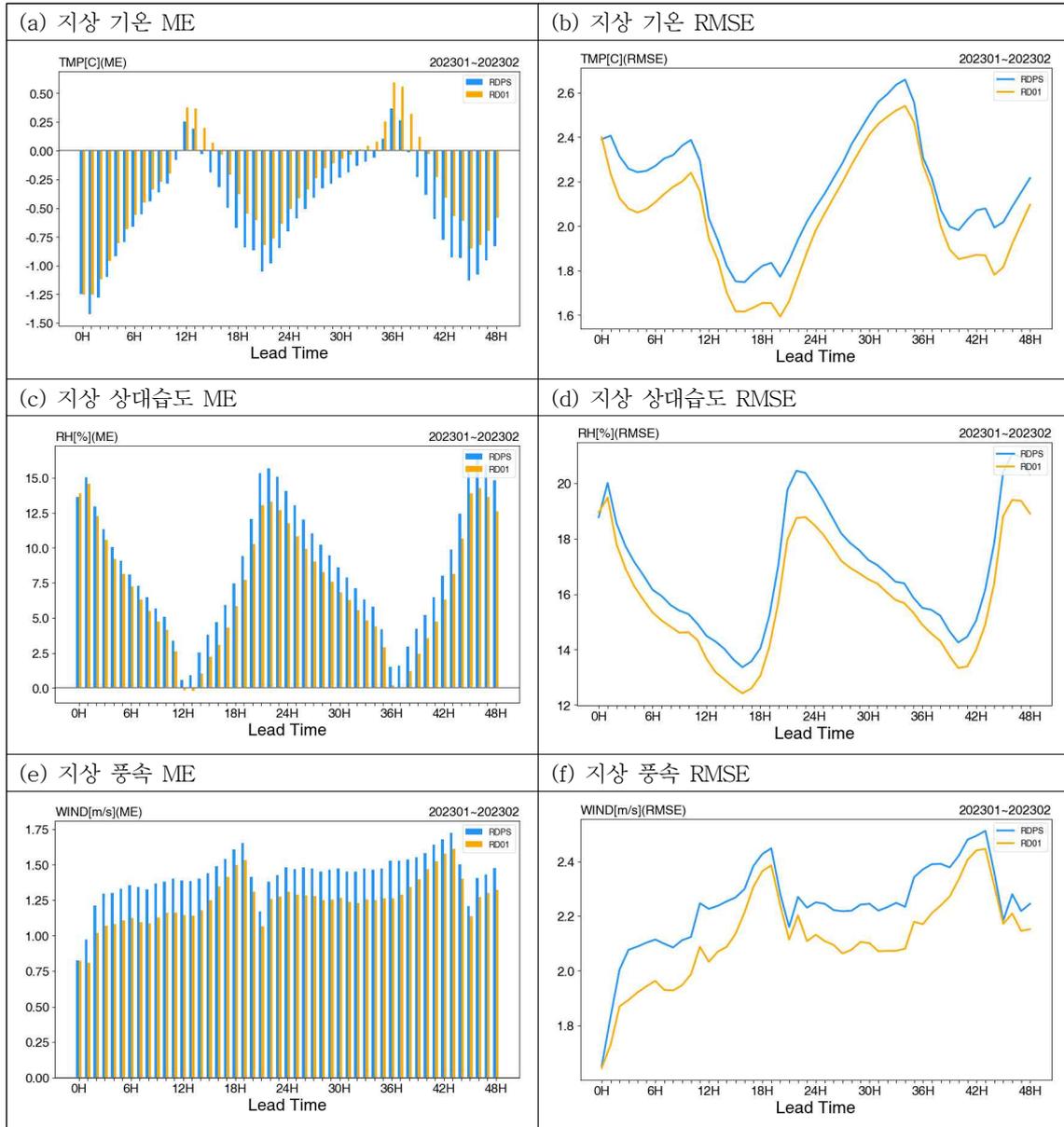


그림 8. 예측시간별 여름철 평균 지상 검증 결과

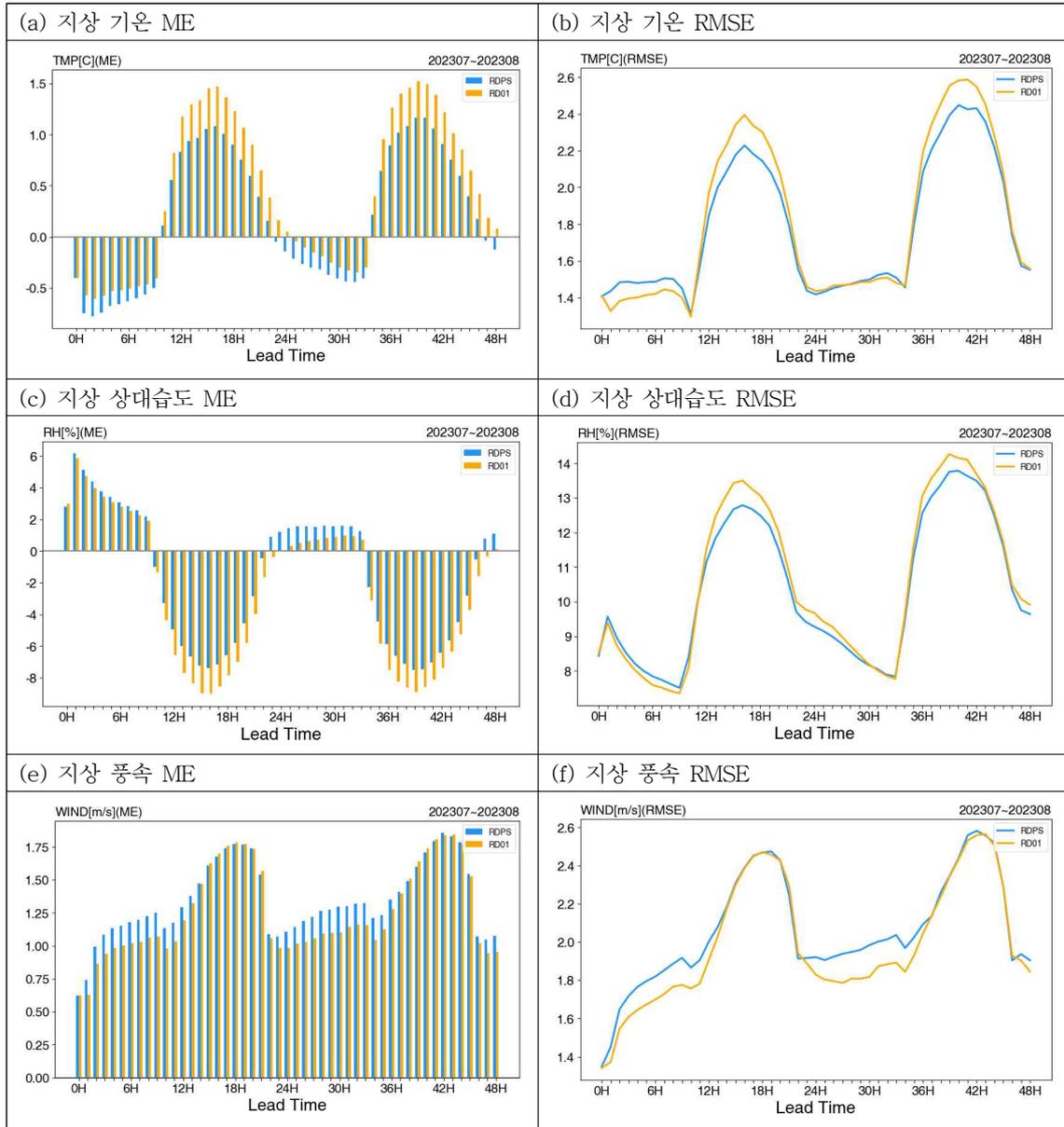


표 6에 전체 기간, 겨울철, 여름철에 대해 1시간 간격으로 48시간 예측을 수행하여 평균한 검증 결과를 요약하였다. RDAPS-1km의 지상 기온, 상대습도, 풍속에 대한 겨울철 오차는 RDAPS-KIM 보다 감소하여 성능이 우수하였으며, 여름철 오차는 유사하게 나타났다. 특히, 여름철 오차는 세 변수 모두 주기성이 나타났으며, 오후 2~3시경에 두 모델에서 가장 큰 오차가 발생하였다. 계절별로 비교하였을 때 오차의 크기는 여름철보다 겨울철이 더 크게 발생하여 두 모델 모두 겨울철보다 여름철 예측성능이 우수한 것으로 나타났다.

표 6. 지상 검증 결과 요약

		RMSE			ME		
		T2	RH2	WS10	T2	RH2	WS10
전체 기간	RDPS	2.09	14.05	2.08	-0.23	2.97	1.32
	RD01	2.03	13.65	1.98	-0.02	1.73	1.20
겨울철	RDPS	2.17	16.84	2.24	-0.52	7.19	1.42
	RD01	2.04	15.85	2.12	-0.32	6.58	1.25
여름철	RDPS	1.77	10.34	2.06	0.20	-1.59	1.34
	RD01	1.82	10.55	2.00	0.42	-2.54	1.25

* RDPS:RDAPS-KIM / RD01:RDAPS-1km

3.2.3 강수 검증

그림 9~10은 3시간 누적강수에 대한 예측시각별 전체 기간(2022.10.~2023.09.) 평균 강수 검증 결과이다. 임계값 15.0mm 이상의 강수는 발생 사례가 적어 통계에서 제외하였다. 약한 강수(0.1mm/3hr)는 RDAPS-1km에서 BIAS가 1에 가장 가까워 강수를 과대 혹은 과소모의하는 경향을 줄여주었으며, KIM 대비 RDAPS-KIM과 RDAPS-1km에서 전체 예측시간 평균 CSI가 각각 6.54%, 4.75% 증가하였다. 강한 강수(15.0mm/3hr)는 세 모델 모두 대부분 예측시간에서 과소모의하였으며, KIM 대비 RDAPS-KIM과 RDAPS-1km에서 전체 예측시간 평균 CSI가 각각 28.66%, 33.54% 증가하여 RDAPS-1km 모델의 예측성능이 가장 우수하였다.

그림 9. 전체 기간 평균 약한 강수 예측 성능

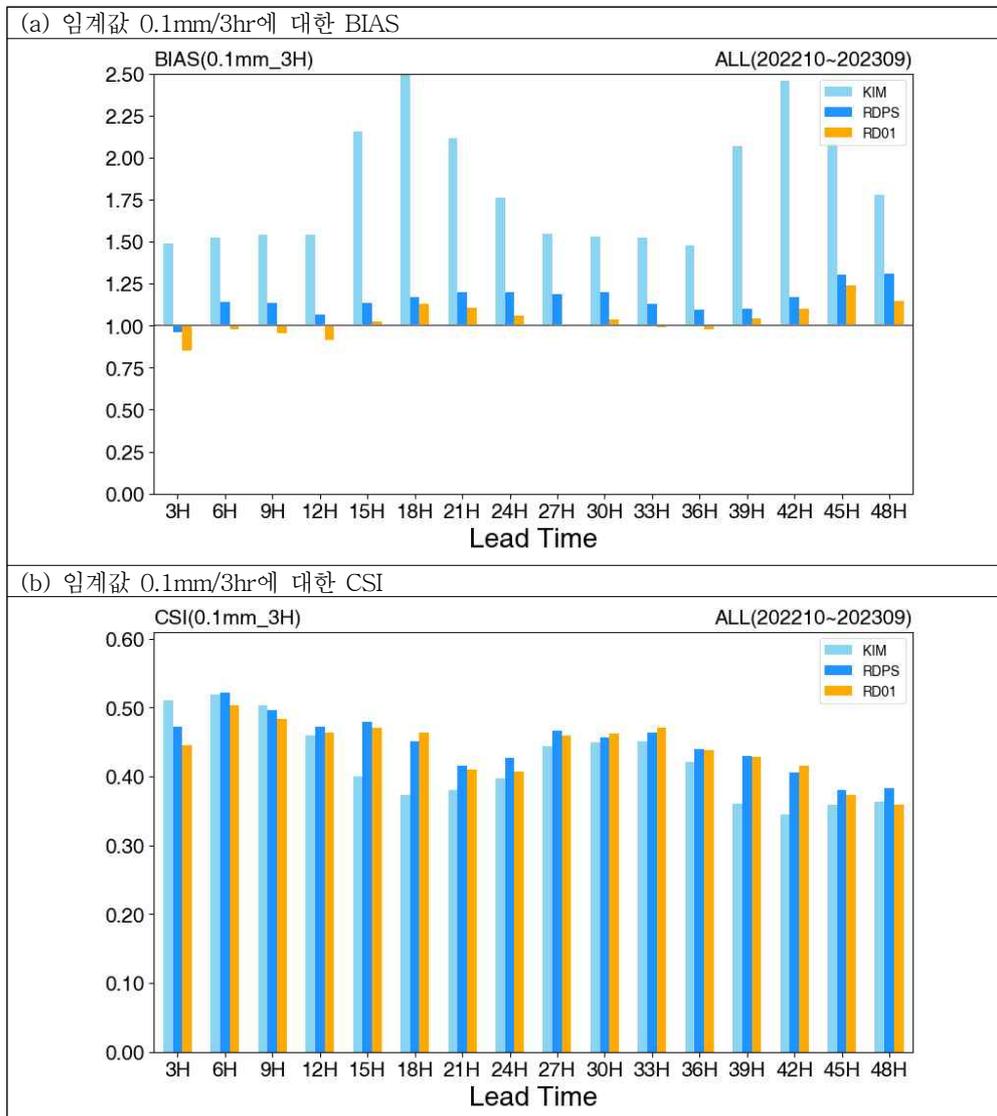
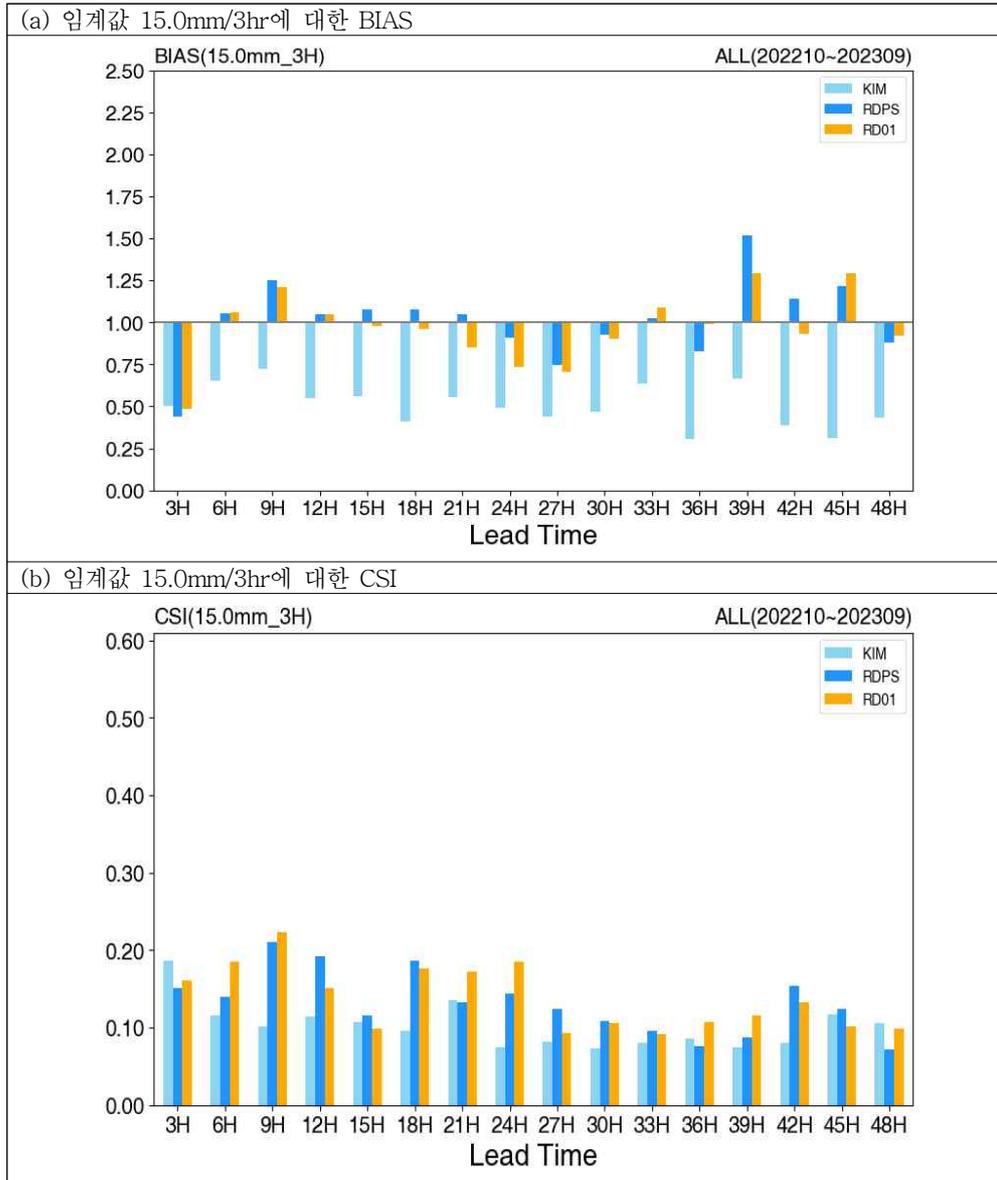


그림 10. 전체 기간 평균 약한 강수 예측 성능



+1일, +2일 강수 예측 정확도에 대한 월별 예측성능 검증 결과를 표 7~8에 수록하였다. 약한 강수 검증 결과, 세 모델 모두 평균 BIAS가 1 이상으로 약한 강수를 과대모의하였으며, RDAPS-1km 모델에서 1과 가장 가까운 값이 나타났다. KIM는 POD가 높아 약한 강수에 대한 탐지율은 우수하였으나, 동시에 FAR도 높은 값을 가진다. RDAPS-KIM과 RDAPS-1km는 KIM보다 POD가 낮으나, FAR도 낮은 값을 가져 약한 강수에 대한 탐지율은 낮으나 동시에 오보율도 낮다. CSI는 세 모델 모두 유사하게 나타났다.

표 7. 3시간 누적 강수(임계값 0.1mm)에 대한 예측정확도

+1일 예측												
	CSI			BIAS			POD			FAR		
	KIM	RDPS	RD01									
2210	0.46	0.56	0.54	1.58	1.05	0.90	0.81	0.73	0.67	0.49	0.30	0.26
2211	0.55	0.55	0.51	1.51	1.20	1.08	0.89	0.78	0.70	0.41	0.35	0.35
2212	0.41	0.43	0.46	1.79	1.48	1.45	0.82	0.75	0.77	0.54	0.50	0.47
2301	0.33	0.33	0.34	2.65	1.94	1.96	0.91	0.72	0.75	0.66	0.63	0.62
2302	0.27	0.31	0.29	2.60	2.00	1.74	0.77	0.71	0.62	0.70	0.65	0.64
2303	0.28	0.41	0.36	2.17	1.15	1.15	0.70	0.62	0.57	0.68	0.46	0.51
2304	0.35	0.37	0.33	1.35	0.79	0.63	0.61	0.49	0.40	0.55	0.39	0.36
2305	0.51	0.56	0.57	1.36	0.94	0.91	0.79	0.70	0.69	0.41	0.26	0.23
2306	0.37	0.37	0.35	1.58	1.02	0.84	0.69	0.55	0.48	0.56	0.46	0.43
2307	0.38	0.41	0.36	1.47	0.96	0.66	0.68	0.57	0.44	0.54	0.41	0.34
2308	0.39	0.40	0.39	1.67	0.99	0.72	0.75	0.57	0.49	0.55	0.42	0.33
2309	0.47	0.42	0.39	1.43	0.89	0.69	0.77	0.56	0.47	0.46	0.38	0.31
평균	0.40	0.43	0.41	1.76	1.20	1.06	0.77	0.65	0.59	0.55	0.43	0.40
+2일 예측												
	CSI			BIAS			POD			FAR		
	KIM	RDPS	RD01									
2210	0.39	0.46	0.43	1.62	1.13	0.97	0.74	0.67	0.59	0.55	0.41	0.39
2211	0.48	0.53	0.49	1.61	1.48	1.43	0.85	0.86	0.80	0.47	0.42	0.44
2212	0.43	0.46	0.46	1.74	1.52	1.48	0.82	0.79	0.78	0.53	0.48	0.47
2301	0.31	0.32	0.35	2.63	2.00	1.87	0.86	0.73	0.74	0.67	0.63	0.60
2302	0.27	0.27	0.26	2.15	1.78	1.66	0.67	0.59	0.56	0.69	0.67	0.66
2303	0.11	0.13	0.10	3.06	2.26	2.00	0.42	0.38	0.26	0.86	0.83	0.87
2304	0.38	0.44	0.42	1.70	1.01	0.89	0.74	0.61	0.56	0.56	0.39	0.37
2305	0.50	0.45	0.48	1.48	0.96	0.87	0.82	0.61	0.60	0.44	0.37	0.31
2306	0.34	0.36	0.26	1.15	0.72	0.58	0.55	0.45	0.32	0.52	0.37	0.45
2307	0.38	0.34	0.28	1.50	0.83	0.57	0.69	0.47	0.34	0.54	0.44	0.40
2308	0.37	0.41	0.39	1.52	1.09	0.82	0.68	0.61	0.52	0.55	0.45	0.37
2309	0.39	0.43	0.38	1.20	0.93	0.65	0.62	0.58	0.45	0.48	0.37	0.30
평균	0.36	0.38	0.36	1.78	1.31	1.15	0.70	0.61	0.54	0.57	0.49	0.47

* RDPS:RDAPS-KIM / RD01:RDAPS-1km

강한 강수 검증 결과, 세 모델 모두 평균 BIAS가 1 이하로 강수를 과소모의하였다. 특히 +1일 예측에서, RDAPS-1km 모델에서 가장 높은 POD, 낮은 FAR 값으로 강한 강수에 대한 탐지율이 높은 동시에 오보율도 낮았다. 또한 CSI가 가장 높은 값으로 강수 예측성능이 우수하였다.

표 8. 3시간 누적 강수(임계값 15.0mm)에 대한 예측정확도

+1일 예측												
	CSI			BIAS			POD			FAR		
	KIM	RDPS	RD01									
2210	0.00	0.18	0.14	1.71	0.86	0.14	0.00	0.29	0.14	1.00	0.67	0.00
2211	0.07	0.42	0.67	0.07	1.27	1.00	0.07	0.67	0.80	0.00	0.47	0.20
2212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2301	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2305	0.03	0.07	0.07	0.18	0.57	0.57	0.04	0.11	0.11	0.80	0.81	0.81
2306	0.14	0.07	0.05	0.61	1.00	0.81	0.19	0.14	0.08	0.68	0.86	0.90
2307	0.03	0.04	0.07	0.23	0.51	0.55	0.04	0.05	0.10	0.83	0.90	0.81
2308	0.03	0.04	0.04	0.32	1.02	0.85	0.04	0.09	0.06	0.87	0.92	0.92
2309	0.22	0.19	0.25	0.32	1.13	1.21	0.24	0.34	0.45	0.25	0.70	0.63
평균	0.07	0.14	0.18	0.49	0.91	0.73	0.09	0.24	0.25	0.63	0.76	0.61
+2일 예측												
	CSI			BIAS			POD			FAR		
	KIM	RDPS	RD01									
2210	0.00	0.00	0.18	0.71	0.57	0.86	0.00	0.00	0.29	1.00	1.00	0.67
2211	0.31	0.19	0.14	0.40	1.93	2.20	0.33	0.47	0.40	0.17	0.76	0.82
2212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2301	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2303	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2305	0.07	0.02	0.04	0.11	0.79	0.82	0.07	0.04	0.07	0.33	0.95	0.91
2306	0.09	0.11	0.07	0.31	0.42	0.25	0.11	0.14	0.08	0.64	0.67	0.67
2307	0.03	0.04	0.03	0.29	0.53	0.55	0.04	0.05	0.04	0.86	0.90	0.93
2308	0.01	0.06	0.07	0.49	1.19	1.00	0.02	0.13	0.13	0.96	0.89	0.87
2309	0.23	0.08	0.16	0.71	0.74	0.76	0.32	0.13	0.24	0.56	0.82	0.69
평균	0.11	0.07	0.10	0.43	0.88	0.92	0.13	0.14	0.18	0.65	0.86	0.79

* RDPS:RDAPS-KIM / RD01:RDAPS-1km

그림 11은 겨울철(2023.01.~2023.02.) 2개월 동안의 예측시간별 3시간 누적강수에 대한 BIAS와 CSI 결과이다. 세 모델 모두 임계값 1.0mm 이하의 강수에 대해 BIAS가 1 이상으로 과대모의하는 경향이 나타났으며, 강한 강수는 과소모의하거나 KIM에서는 예측하지 못하였다. 특히, 예측 중반(18H~33H) KIM에서 예측하지 못하는 강한 강수를 RDAPS-KIM과 RDAPS-1km은 강수를 예측하였다.

그림 12은 그림 11과 같은 형식의 여름철(2023.07.~2023.08.) 검증 결과이다. KIM는 임계값 1.0mm 이하의 강수에 대해 전체 예측시간에 과대모의하였으나, 두 지역모델은 과소모의하였으며 특히 RDAPS-1km에서 과소모의 경향이 컸다. RDAPS-KIM과 RDAPS-1km 모두 다른 예측시간과 비교하였을 때 예측 초기(3H)에 강수를 과소모의하는 경향이 크게 발생하였다. 전체 예측시간에서 RDAPS-KIM과 RDAPS-1km의 강한 강수에 대한 CSI는 KIM 대비 각각 17.73%, 21.18%로 증가하였으며 강수 예측성능이 우수하였으며, 특히 RDAPS-1km에서 RDAPS-KIM 대비 2.93% 증가하여 강한 강수 예측에서 RDAPS-1km의 예측시간 평균 CSI가 가장 높았다.

그림 11. 겨울철 3시간 누적강수의 BIAS(왼쪽)와 CSI(오른쪽)

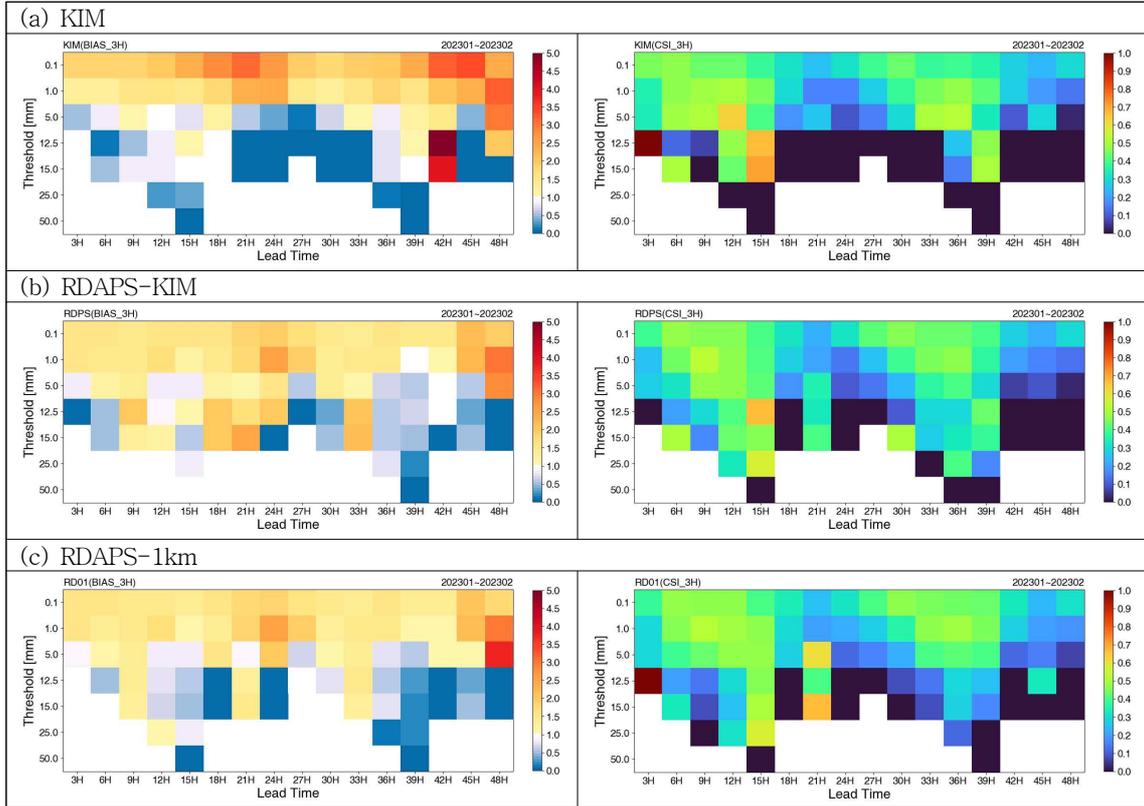
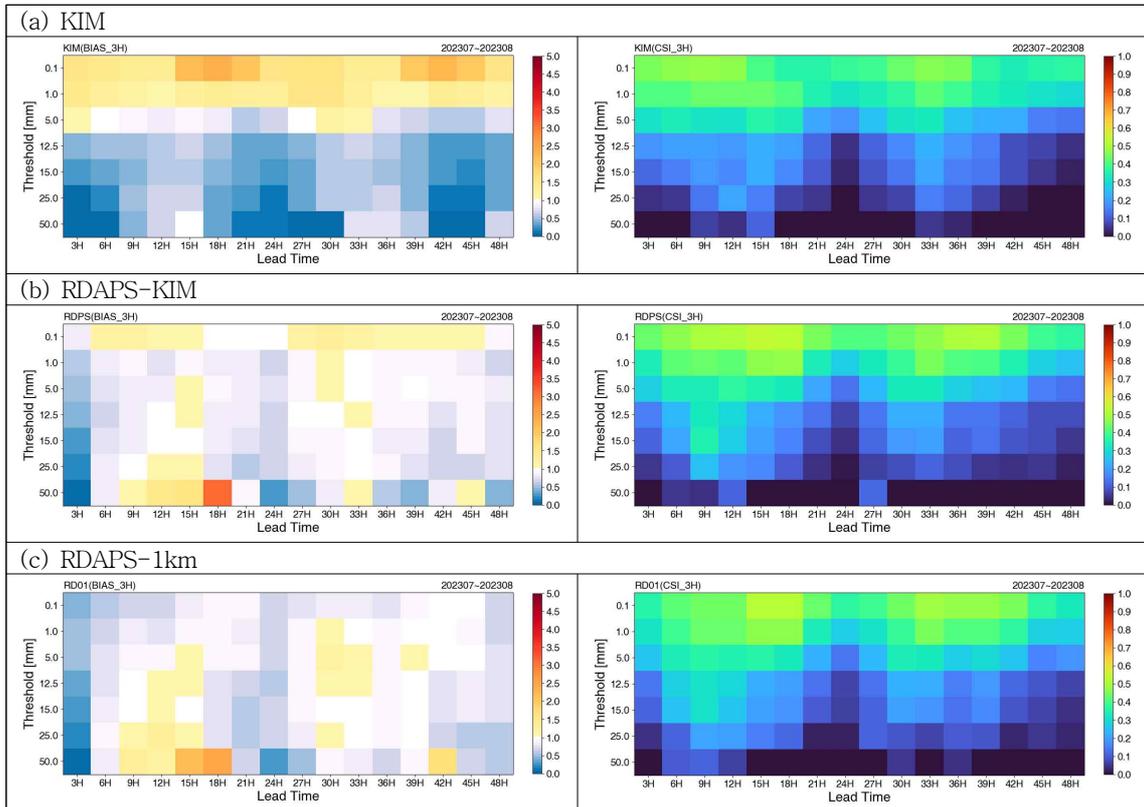


그림 12. 여름철 3시간 누적강수의 BIAS(왼쪽)와 CSI(오른쪽)



4. 요약

예보 상세화 지원 정책 및 고해상도 예측자료에 대한 기상 수요 대응을 위하여 고해상도 지역예보모델(RDAPS-1km)이 개발되었으며, 수치모델의 개발 및 운영에 있어 모델 결과를 진단하고 다른 모델과 비교를 통해 개발된 예측시스템의 장단점을 파악하는 것은 필수적이다. 따라서 시험운영 중인 RDAPS-1km 모델의 1년간 예측성능에 대해 기술하고 현업 모델인 KIM, RDAPS-KIM과 비교 평가하였다.

고층 및 지상 검증 결과, RDAPS-1km 모델에서 850hPa 기온은 음의 편차, 850hPa 바람은 양의 편차가 나타났으며, RDAPS-KIM과 비교하였을 때 전 기간 평균 RMSE가 감소하여 예측성능이 우수하였다. 500hPa 지위고도는 음의 편차가 나타났으며, RMSE 비교 결과 중립적인 효과를 보였다. 지상 기온, 상대습도, 풍속의 오차 고층과 마찬가지로 RDAPS-KIM보다 감소하였으며, 특히 풍속에서 가장 크게 오차가 감소하여 풍속 과대모의를 줄여주는 특징이 나타났다.

강수 검증 결과, KIM과 RDAPS-KIM보다 강수를 과대 혹은 과소모의하는 경향이 줄어들어 드는 것을 확인하였다. 또한, KIM에서 예측하지 못했던 여름철 강한 강수 강도에 대한 탐지율과 예측성능이 우수하였으며, KIM과 RDAPS-KIM 대비 각각 21.18%, 2.93% CSI가 증가하여 강한 강수에 대한 예측성능이 개선되었다. 하지만 해상도가 높아질수록 약한 강수를 과소모의하는 경향을 보였으며, 여름철 예측 초기시각에 강수를 약하게 모의하는 경향이 있다.

본 기술노트에서는 개발된 RDAPS-1km 모델의 성능 평가 및 예측 특성을 파악하기 위하여 검증을 수행하고 현업 모델들과 비교를 통한 정량적인 분석 결과를 기술하였다. 추후 강수 사례 분석 혹은 예측장 비교를 통한 정성적 분석을 수행하여 지속적으로 예측성능을 모니터링하는 것이 필요하다. 또한, 현재의 관측지점기반의 단순비교방식의 강수 검증 방법으로는 고해상도 수치모델이 저해상도 모델에 비해 정확도 부분에서 불이익을 가질 수밖에 없기 때문에 새로운 검증 방법을 도입하는 등의 고해상도 모델의 평가 방법에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 박소라 외, 2023: 기상청 수치예보모델 표준검증시스템 운영매뉴얼, 수치모델링센터. 11-1360709-000084-01
- 박혜자 외, 2023: 2022 수치예보시스템의 검증, 수치모델링센터. 11-1360709-000001-10
- 최승보 외, 2020: 지역모델 검증시스템 구축, 수치모델링센터. 11-1360709-000040-01

부록

부록 A. 국지예보모델(LDAPS) 영역 및 주요 특성

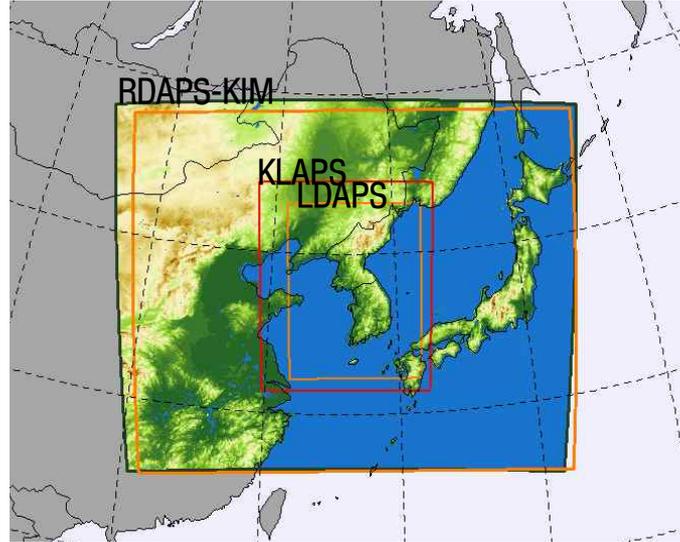


그림 A.1. 지역 규모 모델 영역 비교

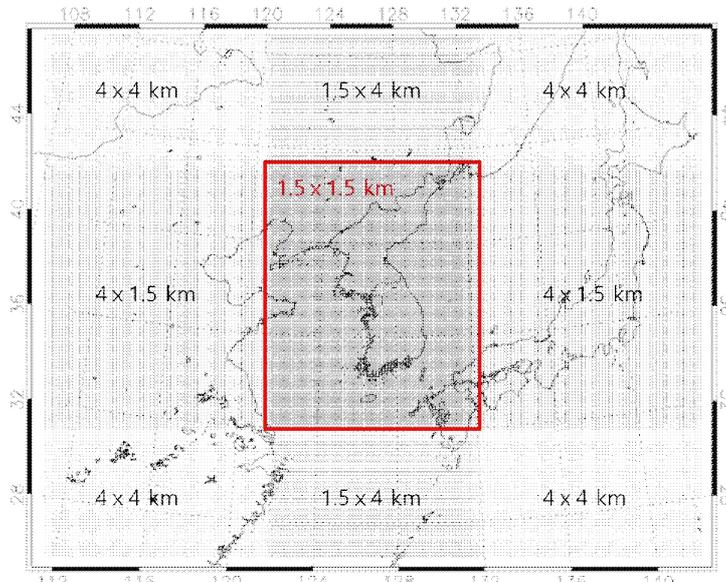


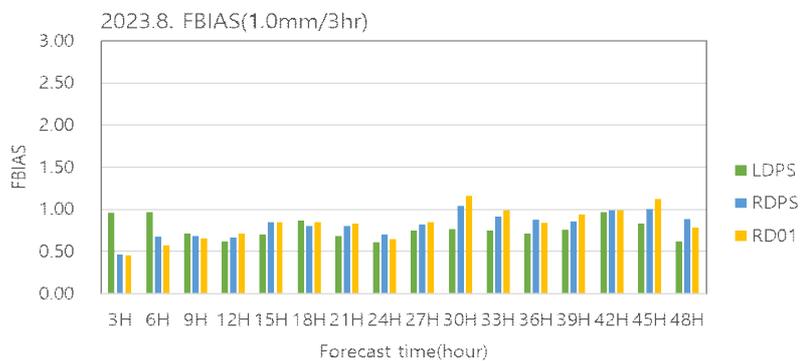
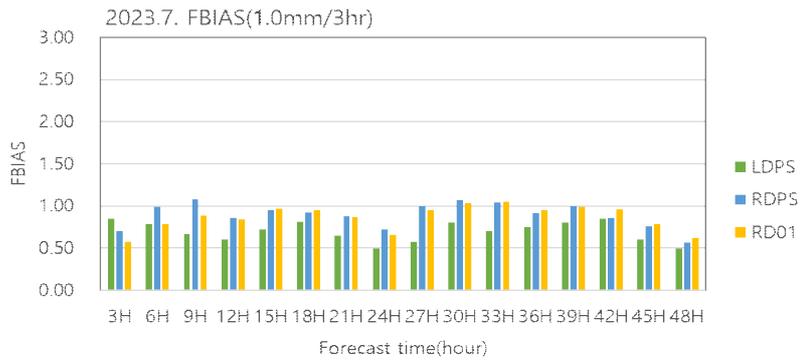
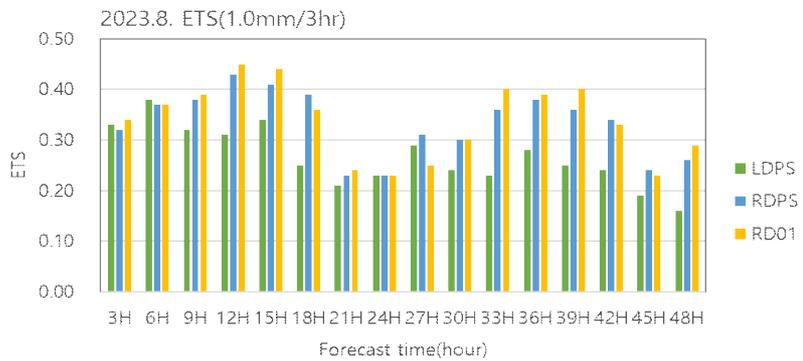
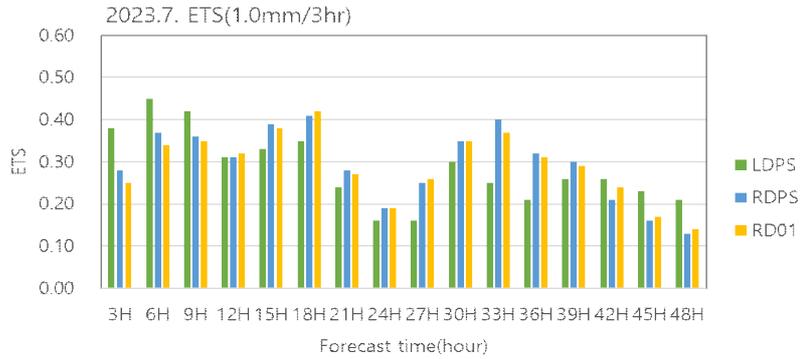
그림 A.2. 국지예보모델 영역

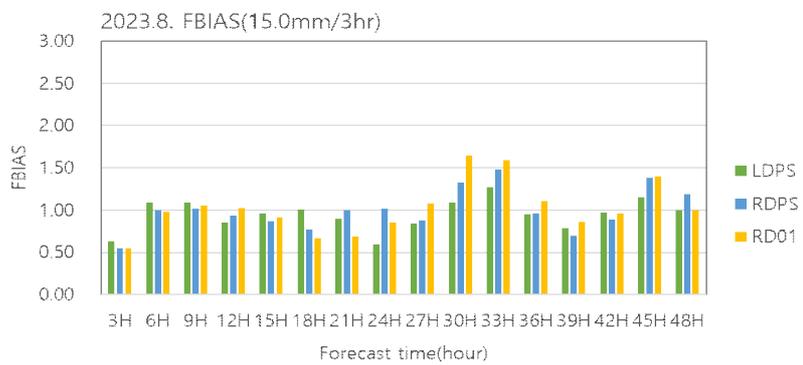
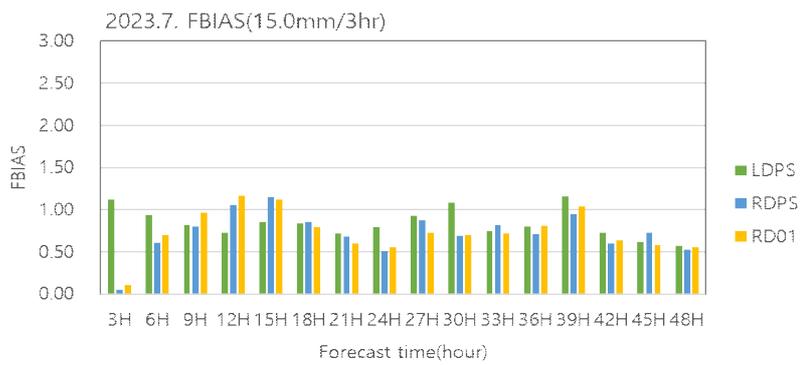
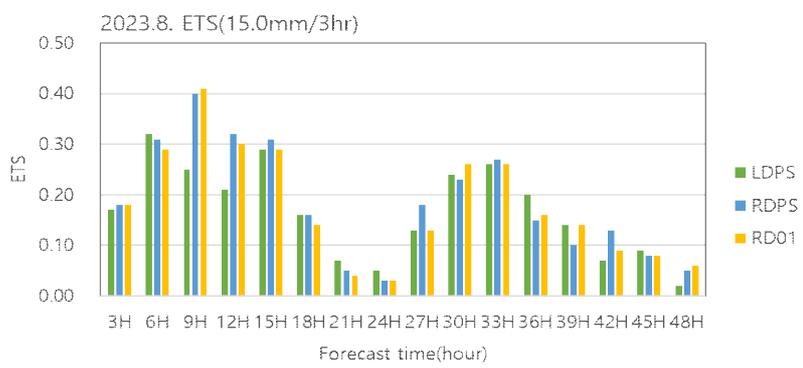
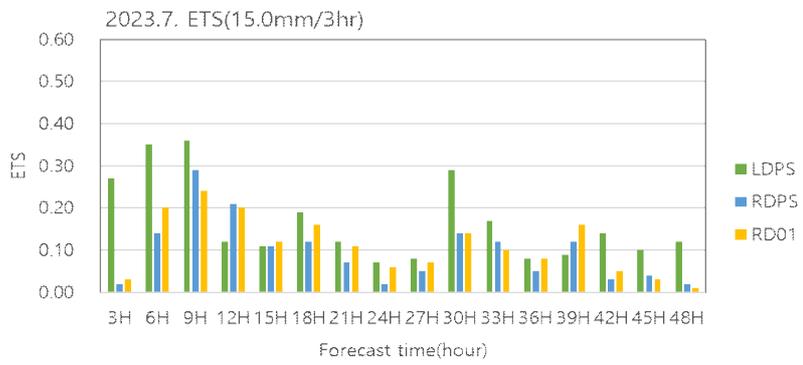
기상청은 위험기상 예측성 향상을 위하여 통합모델 기반의 고해상도(수평해상도 1.5km) 국지예보시스템(Local data assimilation and prediction system: LDAPS)을 2010년부터 현업 운영하고 있다. 자료동화 체계는 3차원 변분법을 사용하고 있으며, 3시간 간격으로 자료동화 과정이 수행된다. 모델 영역체계는 가변 격자 체계를 가지며 예측시간의 일 4회 48시간 예측을 수행하고 있다.

표 A.1. 국지예보시스템(LDAPS) 주요 특성

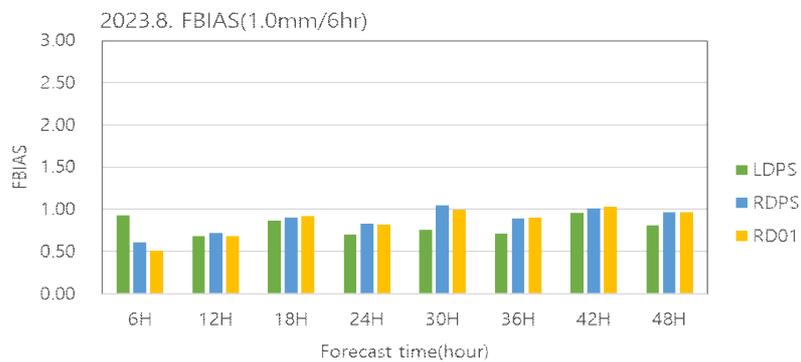
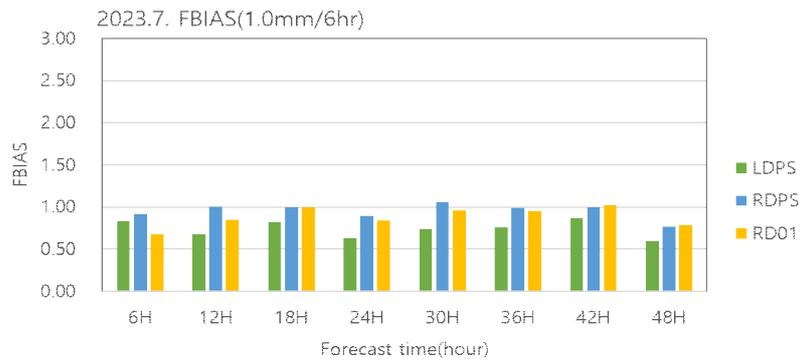
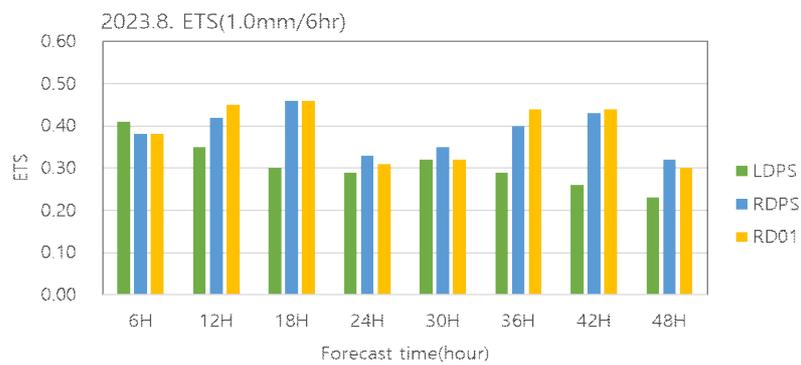
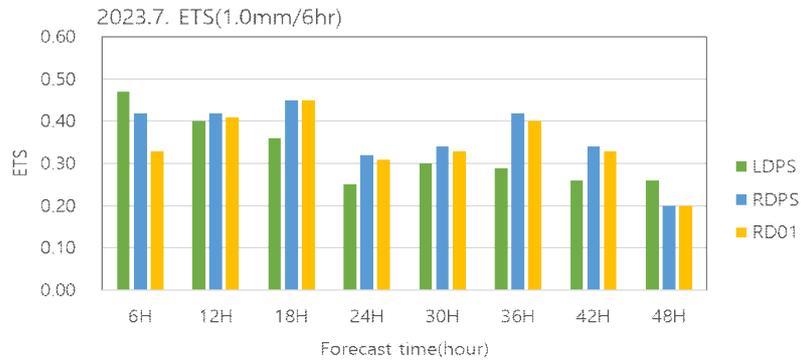
모델명	LDAPS (UM 1.5km L70)
기본모델	UM (Unified Model) vn 10.1
수평 해상도와 격자 개수	가변격자(전체): 1188×1148(동서×남북) 고정격자(내부): 622×810, 0.0135°(해상도)
연직층수/적분간격	70층(~40km) / 60초 (계산 불안정 발생시 30초)
시간적분	Semi-Implicit semi-Lagrangian scheme
자료동화	3차원 변분자료동화 (3DVAR)
초기화	분석 증분 갱신법 (IAU)/잠열넛징
습윤 과정	Mixed phase precipitation
복사	Edward-Slingo general 2-stream scheme
중력파저항	GWDO (G.W. drag due to orography)
PBL	Non-Local PBL
지표면	JULES (Joint UK Land Environment Simulator) land-surface module
지표상태	Surface analysis + climatology

부록 B. 2023년 7월과 8월에 대한 지역모델별 ETS와 BIAS 비교
 - 3시간당 1.0mm 이상 강수 결과

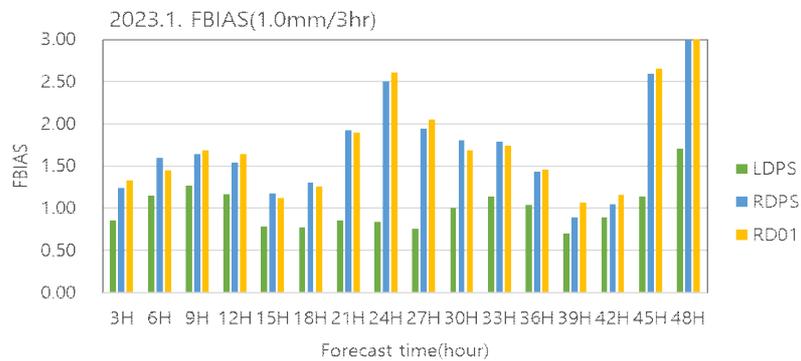
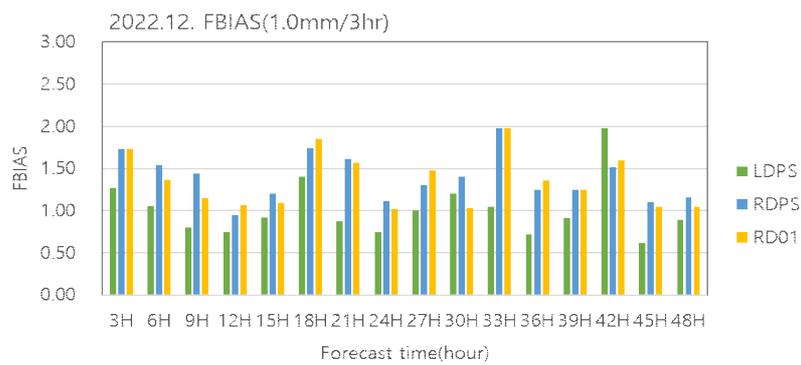
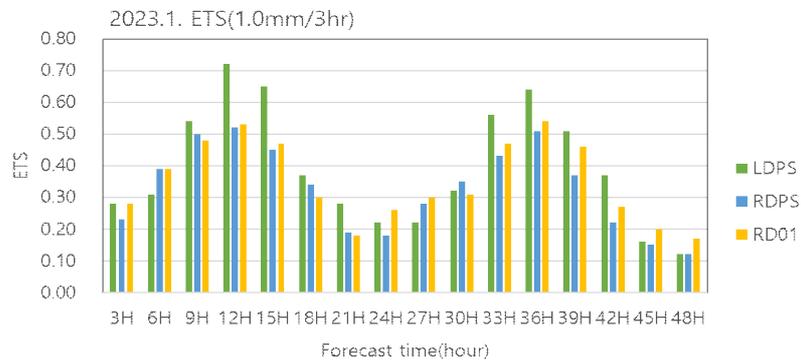
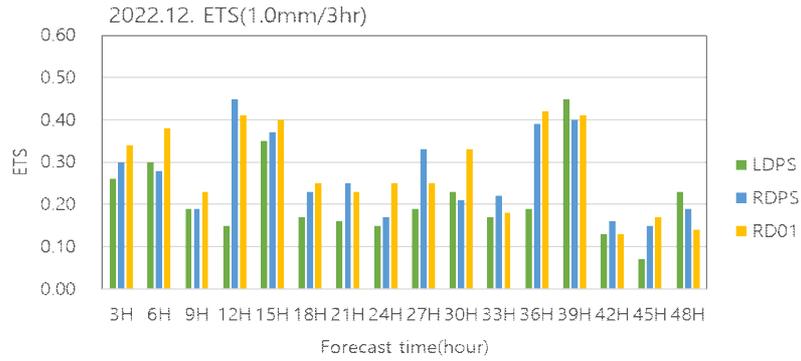




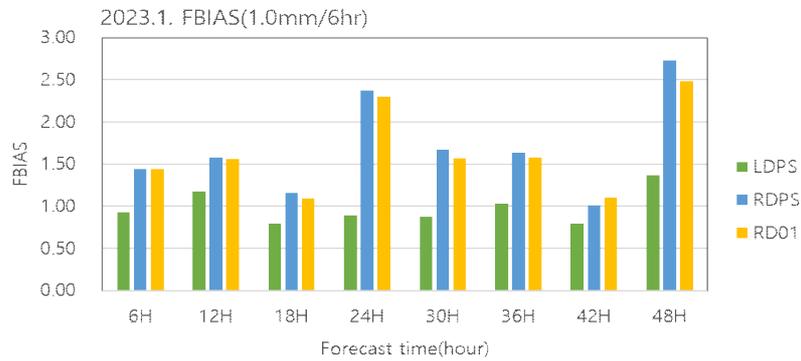
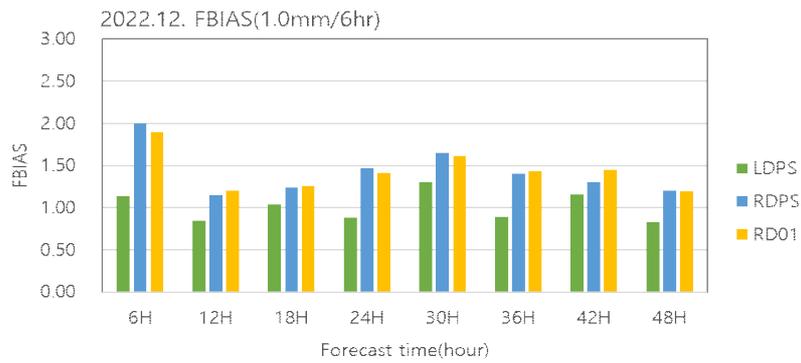
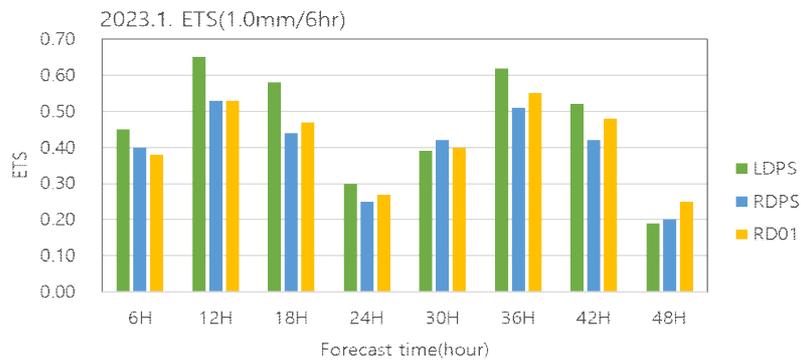
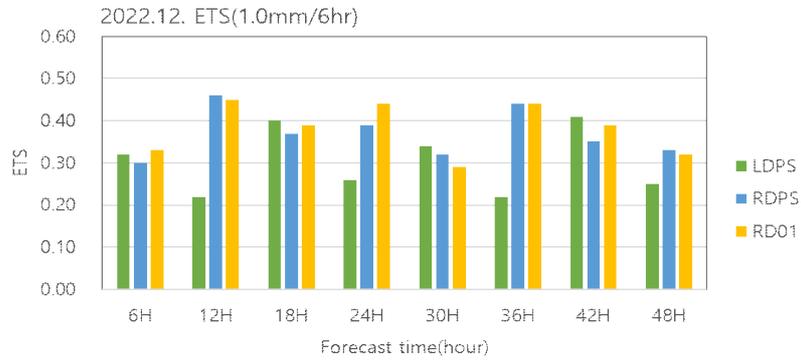
- 6시간당 1.0mm 이상 강수 결과



부록 C. 2022년 12월과 2023년 1월에 대한 지역모델별 ETS와 BIAS 비교
 - 3시간당 1.0mm 이상 강수 결과



- 6시간당 1.0mm 이상 강수 결과



제 목 고해상도 지역예보모델(RDAPS-1km)의 검증 및 예측성능 평가

발행인 정소연, 이정순, 이은희, 김승범

발행처 기상청 수치모델링센터 수치자료응용과

발행일 2023년 11월

주 소 35208 대전광역시 서구 청사로 189 정부대전청사 1동 11층

연락처 042-481-7559



Numerical Modeling Center

35208 대전광역시 서구 청사로 189 정부대전청사
기상청 수치모델링센터 수치자료응용과
(☎) 042-481-7559

본 기술노트의 저작권은 수치모델링센터에 있습니다.



ISBN 979-11-6988-999-5