# 수치예보 시스템의 검증 보고서 (2000)

# KMA/NWPD Technical Report 2001-2

기상청 예보국 수치예보과

Korea Meteorological Administration/Numerical Weather Prediction Division 460-18, Shindaebang-Dong Tongjak-Gu, Seoul, 156-720, Republic of Korea

# 전지구 예보시스템의 검증 보고서(2000)

전지구와 태풍 및 파랑 예보 시스템 담당자

총괄 : 이우진 (기상서기관) 자료동화 : 김남욱 (기상주사) 신현철 (기상연구사) 역학과정 : 박 훈 (기상주사) 물리과정 : 조천호 (기상연구관) 박병권 (기상주사보) 태풍모델 : 추교명 (기상주사) 파고모델 : 박상욱 (기상연구사)

부록 : 태풍예보 시스템의 검증(2000) 파랑수치모델의 검증(2000)

Korea Meteorological Administration/Numerical Weather Prediction Division 460-18, Shindaebang-Dong Tongjak-Gu, Seoul, 156-720, Republic of Korea

제 목 차 례

제 목 차 례
그 림 차 례
표 차 례 v
1. 서 론
2. 전지구 예보 시스템(GDAPS) 검증2
2.1 개요2
2.2 검증 방법
2.2.1 분석 검증
2.2.2 관측 검증
2.3 검 중
2.3.1 분석 검증
2.3.2 관측 검증
2.3.3 1999년과의 비교
3. 강수검증
3.1 개요
3.2 검증방법
3.3 검 중
4. 태풍 예보 시스템
4.1 개요
4.2 태풍 진로예보 검증64
5. 파랑수치예보 검증
5.1 브이 관측자료 검증68
5.2 위성 관측자료 검증
참 고 문 헌

그림차례

Fig.	2.1	MSLP 연평균 (anal)10
Fig.	2.2	MSLP의 지역 평균 (anal)
Fig.	2.3	MSLP의 지역별 월평균 (anal)11
Fig.	2.4	MSLP의 예보시간별 월평균 (anal)
Fig.	2.5	MSLP의 월평균 이상상관 (anal) ~~~~13
Fig.	2.6	500hPa GPH 연평균 (anal)15
Fig.	2.7	500hPa GPH의 지역 평균 (anal)15
Fig.	2.8	500hPa GPH의 지역별 월평균 (anal)16
Fig.	2.9	500hPa GPH의 예보시간별 월평균 (anal)17
Fig.	2.10	MSLP의 월평균 이상상관 (anal)
Fig.	2.11	250hPa Wind Speed 연평균 (anal)
Fig.	2.12	250hPa Wind Speed의 지역 평균 (anal)
Fig.	2.13	250hPa wind Speed의 지역별 월평균 (anal)
Fig.	2.14	250hPa Wind Speed의 예보시간별 월평균 (anal)
Fig.	2.15	850hPa 온도 연평균 (obs)27
Fig.	2.16	850hPa 온도의 지역 평균 (obs)27
Fig.	2.17	850hPa 온도의 지역별 월평균 (obs)
Fig.	2.18	850hPa 온도의 예보시간별 월평균 (obs)31
Fig.	2.19	500hPa GPH 연평균 (obs)34
Fig.	2.20	500hPa GPH의 지역 평균 (obs)34
Fig.	2.21	500hPa GPH의 지역별 월평균 (obs)37
Fig.	2.22	500hPa GPH의 예보시간별 월평균 (obs)
Fig.	2.23	250hPa Wind Speed 연평균 (obs)41
Fig.	2.24	250hPa Wind Speed의 지역 평균 (obs)41
Fig.	2.25	250hPa Wind Speed의 지역별 월평균 (obs)45
Fig.	2.26	250hPa Wind Speed의 예보시간별 월평균 (obs)46
Fig.	3.1	연평균 강수검증

Fig.	3.2	월평균 Threat Score
Fig.	3.3	월평균 Bias Score
Fig.	4.1	월별 누적 태풍 발생 빈도61
Fig.	4.2	월별 태풍 발생 빈도62
Fig.	4.3	2000년 발생 태풍의 트랙63
Fig.	4.4	태풍모델의 예보 시간별 진로오차의 평균64
Fig.	4.5	태풍모델의 예보 시간별 진로오차의 평균65
Fig.	4.6	BATS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차66
Fig.	4.7	RDAPS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차66
Fig.	4.8	GDAPS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차67
Fig.	4.9	GFDK 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차67
Fig.	5.1	Buoy location for (a)GoWAM,
		and (b)ReWAM model verification74
Fig.	5.2	(a)-(f) GoWAM significant wave height bias from January
		to June 200075
Fig.	5.2	(g)-(l) GoWAM significant wave height bias from July
		to December 200076
Fig.	5.3	(a)-(f) GoWAM significant wave height rmse from January
		to June 200077
Fig.	5.3	(g)-(l) GoWAM significant wave height rmse from July
		to December 200078
Fig.	5.4	(a)-(f) GDAPS sea surface wind bias from January
		to June 200079
Fig.	5.4	(g)-(1) GDAPS sea surface wind bias from July
		to December 200080
Fig.	5.5	(a)-(f) GDAPS sea surface wind rmse from January
		to June 200081
Fig.	5.5	(g)-(1) GDAPS sea surface wind rmse from July
		to December 200082

Fig.	5.6 (a)-(f)	ReWAM	significant	wave height	bias	&	rmse	
	from ]	[anuarv to	Iune 2000.	•••••		•••••		3

- Fig. 5.8 (a)-(f) ReWAM significant wave height 12 hour forecast time series against buoy 22001 data from January to June 2000. .......85

- Fig. 5.11 (a)-(f) Scatter plot of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from January to June 2000. .........91
- Fig. 5.11 (g)-(1) Scatter plot of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from July to December 2000. ..... 92

# 표 차 례

Table 2.1	분석 검증의 1999년과 2000년 평균오차와 RMSE 비교48
Table 2.2	관측 검증의 1999년과 2000년 평균오차와 RMSE 비교49
Table 3.1	강수 검증 테이블의 예
Table 3.1	연평균 Threat Score
Table 3.2	연평균 Bias Score
Table 4.1	2000년 발생 태풍60
Table 5.1	Buoy identification number and their location used in
GoV	VAM verification72
Table 5.2	GoWAM monthly +24 hour wind(m) and
sign	nificant wave height(m/s) bias and rmse against buoy data. $\cdot\cdot73$
Table 5.3	GoWAM monthly +12 hour skewness, correlation,
and	the selected points mean of significant wave height(m)
for	TOPEX and GoWAM73
Table 5.4	ReWAM monthly +3 hour skewness, correlation,
and	the selected points mean of significant wave height(m)
for	TOPEX and ReWAM73

# 1. 서 론

기상청 수치예보과에서는 전지구 예보 시스템을 1997년 2월 1일부터 현업 운영 해오고 있다. 이 예보시스템은 중기(10일)예측과 태풍 예측 자료를 산출한다. 그리 고 지역예보시스템, 태풍예보시스템, 파고 모델와 황사 추적 모델의 초기추정값과 측면 경계조건을 제공한다. 즉, 전지구예보시스템의 운영은 전 세계를 예보 영역으 로 확보하며, 외국 전구 자료에 의존하지 않는 독자적인 예보 체제를 갖춘다는 것 을 의미한다.

2000년도에 자료해독의 개선을 위해 고층 자료 (PPBB, PPDD) 해독이 이루어 졌고 전 세계 종관관측 지점 정보가 갱신되었다. 중국 기상청과 수치예보 기술협력 추진 의 하나로 2000년 7월부터 6개월 동안 중국 기상청 품질관리 전문가를 초청하여 기 상청의 품질관리 체제를 공동으로 개선하였다. 그리고 2000년 2월 14일부터는 위성 자료를 이용하기 위한 1차원 변분자료동화가 현업화되었고 비선형 정상 모드 초기화 과 정에서 기존의 전체 모드 절단에서 5 모드 절단으로 개선되었다. 후처리 과정의 개선을 위해 지면 기압의 일주기 효과를 제거하였고 강수 검증 체제가 추가되었다. 전지구 예 측 시스템의 예측자료의 활용도를 높이기 위해, 국내 주요 도시 시계열 예보도와 아시아 영역의 1일 누적 강수량 그림(1일 4회)을 생산하고 인터넷과 인트라넷에 전구 예보장을 칼라 그래픽과 에니메이션으로 표출하기 시작했다.

이 보고서에서는 2000년도 전지구 예보시스템 예측의 분석장과 관측값에 대한 전지구 영역 검증과 우리나라 영역에 대한 강수 검증 결과에 대해 논하였다. 이 검증 결과는 예보부서에서 예보시 모델의 특징을 파악하여 예보 능력을 향상시키는 데 도움을 줄 수 있으며, 전지구예보시스템의 문제점을 파악하여 모델의 개선 작업 의 방향을 제시할 수 있다.

# 2. 전지구 예보 시스템(GDAPS) 검증

# 2.1 개요

전지구 예보시스템은 00UTC와 12UTC에 모델 결과에 대해서 각각 분석 자료와 관측 자료와의 검증을 실시하고 있다. 먼저 분석 검증은 00과 12UTC에 84시간 예 보결과를 이용하여 수행하는 검증과 10일 예보 결과를 이용하여 12UTC에만 수행 되는 검증이 있다. 그리고, 관측 자료와의 검증은 하루에 한번 10일 예보 결과를 이 용하여 12UTC에 이루어지고 있다.

분석 자료와의 검증은 북반구·남반구·적도 지역으로 나누어, 지상·850·500· 250 hPa 등의 고도에 대해서 지위고도(GPH, Geopotential Height)·Wind Speed· U·V·T 값에 대한 Mean Error·RMSE·S1 score·Anomaly Correlation 등을 산출하고 있다. 단, 84시간 예보에 대한 검증의 경우 여기에 한반도 지역이 추가된 다. 북반구는 위도 20°N~90°N이고, 남반구는 20°S~90°S이며, 적도는 20° N~20°S 사이의 지역이다. 한반도 지역의 검증 범위는 30°N~45°N, 120°E~ 135°E 이다.

관측자료와의 검증은 북아메리카·유럽/북아프리카·호주/뉴질랜드·아시아·북 반구·남반구 지역의 850·500·250 hPa 고도에 대해 GPH·T·T-Td·V 등의 예 보 변수에 대한 Mean Error·RMSE·Trends Correlation·Number 등을 산출한다.

이렇게 매일 산출되는 검증지수들을 매월 평균하여 이 보고서의 자료로 사용하였다. 이들 중 자주 사용되는 요소와 검증지수들에 대해서만 기술할 것이다.

# 2.2 검증 방법

# 2.2.1 분석 검증

검증기간은 2000년 1월부터 12월까지 12개월간이다. 분석시간부터 84시간까지는 84시간 예보자료와 10일 예보자료의 평균치를 사용했고, 84시간 이후의 검증 값은 10일 예보의 자료만을 이용했다.

사용한 요소는 MSLP와 500 hPa 지위고도(GPH), 250 hPa Wind Speed 이다. 비 교를 위한 검증지수로 평균오차와 RMSE, 그리고 이상상관(Anomaly Correlation)의 값을 이용했다. 각각의 검증 지수는 다음과 같은 의미가 있다.

# (1) 평균오차(Mean Error)

$$M_{f,v} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_f - x_v)_i \cos \phi_i}{\sum_{i=1}^{n} \cos \phi_i}$$
(2.1)  
 $x_f =$ 에보값  
 $x_v = 분석값$   
 $\phi_i = i \text{ grid point의 위도 값}$ 

검증 영역의 모든 격자에 대해 예보값과 분석값의 차이를 평균한 값으로서, 분석 상태와 다르게 나타나는 평균적 차이를 의미한다. 평균오차가 양수이면 대체적으로 분석값보다 크게 예보가 되고 있음을 나타낸다. cos φ<sub>i</sub>는 위도에 따른 면적을 고려 하기 위하여 계산되는 요소이다. (2) **RMSE** 

RMSE = 
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - x_v)_i^2 \cos \phi_i}{\sum_{i=1}^{n} \cos \phi_i}}$$
 (2.2)  
 $x_f = 예보값$   
 $x_v = 분석값$   
 $\phi_i = i \text{ grid-point의 위도 값$ 

검증 영역의 모든 격자점에 대해 예보값과 분석값의 차이를 제곱하여 평균을 구 한 후 제곱근을 취한 값으로서, 분석값과의 차이에 대한 크기를 나타낸다. 즉, 예보 값은 분석값을 기준으로 ±RMSE의 범위에서 변화함을 알 수 있다.

# (3) Anomaly Correlation

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{f} - x_{c} - M_{f,c})_{i} (x_{a} - x_{c} - M_{a,c})_{i} \cos \phi_{i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_{f} - x_{c} - M_{f,c})_{i}^{2} \cos \phi_{i} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_{a} - x_{c} - M_{a,c})_{i}^{2} \cos \phi_{i}}} \qquad (2.3)$$
$$M_{f,a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_{f} - x_{a})_{i}$$

 $x_f$ = 예보값 ,  $x_v$ = 분석값 ,  $x_c$ = 기후값  $M_{f,c}$ = 예보 Climate Anormalies의 평균값  $M_{a,c}$ = 분석 Climate Anormalies의 평균값

이상상관은 예보값과 분석값의 기후 평균값에 대한 이탈량의 상관으로, 예보기간 이 길수록 기후 평균값에 수렴하게 된다. 즉, 각 격자점의 값에서 기후 평균값을 뺀 후, 그 값들의 상관을 구하는 것이다. 예를 들어, 예보값과 분석값이 모두 기후 평 균값보다 크거나 혹은 모두 작을 경우는 양의 이상상관 값을 갖는다. 그러나, 두 값 중 하나는 기후평균값보다 크고, 다른 하나는 작을 경우 음의 상관 값을 갖게 된다. 보통 0.6 이상의 상관이 있을 때, 신뢰할 수 있다고 본다.

# 2.2.2 관측 검증

관측자료와의 검증 기간은 2000년 1월부터 12월까지 12개월간이다. 사용된 자료 는 슈퍼컴에서 매일 12UTC에 산출된 자료들이다. 사용한 요소는 850 hPa 온도와 500 hPa 지위고도(GPH), 250 hPa 풍속(Wind Speed) 이다. 비교를 위한 검증지수로 는 분석검증과 마찬가지로 평균오차와 RMSE의 값을 이용했다. 각각의 검증 지수 는 다음과 같은 의미가 있다.

## (1) 평균 오차

$$M_{f,v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_f - x_v)_i$$

$$x_f = 예 보 값$$

$$x_v = 관측 값$$
(2.4)

검증 영역 내의 모든 관측지점에 대해 예보값과 관측값의 차이를 평균한 값으로 서, 관측 자료와 다르게 나타나는 평균적 차이를 나타낸다. 관측지점에 해당하는 예 보값은 관측지점 주변의 Grid 수치들에 가중치를 주어 구한 값이다. 평균오차가 양 수이면 대체적으로 관측치보다 크게 예보가 되고 있음을 나타내고, 음수이면 관측 치보다 작은 값으로 예보가 되고 있음을 나타낸다.

# (2) RMSE

RMSE = 
$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_f - x_v)_i^2}$$
 (2.5)  
 $x_f = 예 보 값$   
 $x_v = 관측 값$ 

검증 영역 내의 모든 관측지점에 대해 예보값과 관측값의 차이를 제곱하여 평균 을 구한 후 제곱근을 취한 값으로서, 관측 값과의 차이에 대한 크기를 나타낸다.

# 2.3 검 증

검증 결과는 각각의 요소별로 기술한다.

각각의 요소에 대해서는 우선, 각 지역별로 예보시간의 변화에 따른 연평균의 비 교를 통해서, 그 지역의 연간 예보정확도를 살펴보았다.

다음으로 240 시간의 예보 중 24시간과 72시간, 120시간의 월평균 값들을 모든 지역에 대해서 평균하여 그 값의 월별 변화도를 살펴보았다.

지역 평균한 값들을 좀 더 자세히 살펴보기 위해서, 24시간, 72시간, 120시간의 월평균 값들을 각각의 지역별로 나누어 비교하였다.

마지막으로, 월평균 값들을 예보시간별로 나누어 각 지역들의 월별 변화도를 살 펴보았다.

그리고, MSLP와 500 hPa GPH의 경우 북반구에 한해서 월평균 이상상관을 비교 하였다.

# 2.3.1 분석 검증

# (1) MSLP(Mean Sea Level Pressure)

#### A. 연평균 (Fig. 2.1)

각 지역별로 12개월의 값을 평균한 1년 평균값이다. 0~240시간까지 24시간 간격 으로 예보시간에 따른 연평균 값을 나타내었다.

평균오차는 분석시간에는 모두 0부근의 값을 갖고 있으나, 예보시간의 증가에 따 라 남반구는 양의 방향으로, 북반구와 적도는 음의 방향으로 일정한 기울기를 가지 고 커지는 모습을 보여주고 있다. 각 지역 평균오차의 연평균 범위는 북반구가 -0. 5~0.2 hPa, 적도가 -0.8~0 hPa, 남반구가 0~1.6 hPa 정도이다.

RMSE는 모두 예보시간이 증가할수록 커지는 모습이다. 적도와 북반구는 비교적

일정한 기울기로 RMSE가 증가하는 모습을 보여주고 있으나, 남반구는 초반 96시 간 정도까지 RMSE가 급격하게 커지다가 그 이후에는 작은 증가율로 커지고 있다. 적도는 대략 1~3hPa, 북반구는 1~11hPa, 남반구는 1~12hPa 정도의 범위 안에 서 증가하는 변화를 보여준다.

#### B. 지역 평균 (Fig. 2.2)

Fig. 2.2는 각각의 월평균 값을 전체 지역(북반구, 적도, 남반구)에 대해 평균하여 +24hr, +72hr, +120hr의 월별 변화도를 나타낸 그림이다.

평균오차는 예보시간과 상관없이 거의 비슷한 패턴을 보여주고 있다. 1월부터 10 월까지 양의 방향으로 계속 커지는 경향을 나타내다가 그 이후에 감소하는 모습을 보여주고 있다. 값의 범위는 +24 hr, +72 hr, +120 hr이 각각 -0.06 hPa~0.12 hPa, -0.1 hPa~0.14 hPa, -0.1 hPa~0.2 hPa 이다.

RMSE는 비슷한 패턴을 보이고 있으나, 예보시간이 길어질수록 변화가 조금씩 커지고 있다. +24 hr, +72 hr, +120 hr 각각 3 hPa, 5~6 hPa, 6~7 hPa 정도의 값을 갖는다.

#### C. 월평균

월평균 값의 비교를 쉽게 하기 위해서, 지역을 기준으로(Fig. 2.3) 그리고 예보시 간을 기준으로(Fig. 2.4)하여 나타내었다.

#### C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.3)

① 북반구

북반구의 평균오차와 RMSE 모두 U자형의 패턴을 보여주고 있다. 즉, 여름철이

다른 계절보다 작은 RMSE를, 그리고 음의 방향으로 큰 평균오차를 갖는다. 평균오 차의 경우 +24 hr은 -0.1~0.4 hPa로 대부분 양의 평균오차를 갖고, +72 hr과 +120 hr 은 각각 -0.8~0.4 hPa, -1~0.6 hPa의 범위로 음의 평균오차를 갖는다. RMSE는 +24, +72, +120 hr이 각각 2~3 hPa, 4~7 hPa, 5~9 hPa 범위 안에 분포한다.

② 적도

대부분 음의 평균오차를 보인다. 불규칙적인 패턴을 보이고 있으며, 값의 범위는 +24 hr이 -1~0.05 hPa, +72 hr이 -0.35~0.1 hPa, +120 hr이 -0.5~0 hPa 이다. RMSE 는 여름과 겨울에 약간 커지는 모습을 보인다. 값의 범위는 +24, +72, +120 hr이 각 각 1.4~1.6 hPa, 1.8~2.3 hPa, 2~2.4 hPa 이다.

③ 남반구

남반구는 북반구와 반대로 ∩형 패턴을 갖는다. 즉, 여름철에 보다 큰 RMSE와 양의 방향으로 큰 평균오차를 갖는다. 평균오차의 경우 대부분 양의 값을 갖고 있 으나 2, 3월에 다른 달에 비해 작은 수치를 나타내며 음의 값을 갖는다. 평균오차는 +24, +72, +120 hr이 각각 -0.2~0.4 hPa, -0.2~1.1 hPa, -0.2~1.6 hPa의 값을 갖고, RMSE는 4~6 hPa, 7~11 hPa, 8~13 hPa의 범위를 갖는다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.4)

RMSE는 적도, 북반구, 남반구의 순서대로 점점 큰 값을 나타내고 있다. 적도는 매월 비슷한 값을 보이며 월에 따른 변화가 적다. 남반구와 북반구가 겨울철에 비 슷한 값을 보이고 있으며, 겨울철의 값을 기준으로 남반구는 커지고, 북반구는 작아 지는 대칭적인 모습을 보이고 있다. 즉, 북반구와 남반구는 여름철에 최대의 RMSE 차이를 보이고 있다.

평균오차도 역시 적도는 대부분 음의 값을 보이며 큰 변화를 보이지 않고 있으 나, 남반구와 북반구는 0을 기준으로 각각 양의 값과 음의 값을 갖는 대칭적인 모 습을 보여주고 있다.



Fig. 2.1 MSLP 연평균 (anal)



Fig. 2.2 MSLP의 지역 평균 (anal)







- 72

- <del>-</del> 72



Fig. 2.3 MSLP의 지역별 월평균 (anal)



Fig. 2.4 MSLP의 예보시간별 월평균 (anal)

# D. 이상상관 (Fig. 2.5)

1일, 3일, 5일, 10일 예보에 대한 이상상관의 월별변화를 비교한다.

뚜렷한 월별 변화는 거의 없다. 다만, 예보시간이 길어질수록 4월과 9월에 다소 감소하는 모습을 보인다. 24시간 예보인 경우 0.9~0.95 정도의 값을 가지며 거의 일정하고, +72 hr은 0.75~0.85, +120 hr은 0.55~0.7, +240 hr은 0.1~0.3 사이에서 변 화하고 있다.



MSLP 북반구 Anormaly Correlation

Fig. 2.5 MSLP의 월평균 이상상관 (anal)

# (2) 500 hPa Geopotential Height(GPH)

## A. 연평균 (Fig. 2.6)

북반구의 평균오차는 예보시간의 증가에 따라 매우 작은 비율로 양의 방향으로 커지는 형태를 보이고 있다. 값의 범위는 0~4hPa로 양의 값을 갖는다. 남반구와 적도는 모두 음의 값을 나타내고 있으며, 일정한 기울기로 예보시간의 증가에 따라 음의 방향으로 증가하고 있다. 적도는 -15~0hPa, 남반구는 -20~0hPa 사이의 값 을 갖는다.

RMSE도 역시 일정한 기울기로 증가하고 있으나, 남반구의 경우 초기에 급격히 커지는 기울기를 갖는다. 적도는 10~25 hPa로 작은 변화를 나타내고 있으나, 남반 구와 북반구는 모두 10~120 hPa의 변화를 보이고 있다.

### B. 지역평균 (Fig. 2.7)

+24 hr의 경우 -1~1 hPa 사이에 평균오차들이 분포하고 있으나, 예보시간의 증 가에 따라 음의 평균오차들을 나타내고 있다. +72 hr은 -4~0 hPa, +120 hr은 -7.5~ -1.5 hPa 사이에 평균오차들이 분포한다.

RMSE는 1년 내내 일정한 값을 유지하고 있으나, 예보시간이 증가할수록 월변화 에 따른 약간의 굴곡들이 생기고 있다. +24, +72, +120 hr이 각각 20 hPa, 40~50 hPa, 60~70 hPa 정도의 값들을 갖는다.

# C. 월평균

# C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.8)











Fig. 2.7 500 hPa GPH의 지역 평균 (anal)



500hPa GPH 북반구 Mean error

-12

-14

-16

-18

24

- 72

6 7 8

month

5

9 10 11 12

**---**▲---120

2 3 4

1

500hPa GPH 북반구 RMSE

- 24

. - 72

8 9 10 11 12

- 16 -

Fig. 2.8 500 hPa GPH의 지역별 월평균 (anal)

40

20

0

1 2 3

4 5

6 7

month



Fig. 2.9 500 hPa GPH의 예보시간별 월평균 (anal)

① 북반구

대체로 양의 평균오차를 갖는다. 전체적으로 12월로 갈수록 양의 방향으로 커지 는 패턴을 보이고 있으나, 매월의 변화가 큰 편이다. +24 hr부터 0~4 m, -4~4 m, -2~8 m의 범위를 갖는다.

RMSE는 겨울철에는 다소 큰 값을 나타내는 U자형 모습이다. 값의 범위는 +24 hr부터 각각 20~30 m, 35~60 m, 55~90 m이다.

② 적도

평균오차는 3, 4개월 간격으로 커지고 작아지는 지그재그 패턴을 보인다. +24 hr 은 0 m를 중심으로 분포하고 있고, +72 hr과 +120 hr은 -4 ~-1 m, -9 ~ -4 m 사이 에 분포하고 있다.

RMSE는 일정한 값을 유지하고 있다. +24 hr부터 각각 8~10 m, 14~16 m, 16~ 19 m 사이의 값을 갖는다.

③ 남반구

모두 음의 평균오차를 나타내고 있으며, 특히 11월과 12월의 평균오차 차이가 크 게 나타나고 있다. 값의 범위는 +24 hr부터 -4~0 m, -8 ~ -2 m, -16 ~ -5 m이다.

남반구의 RMSE는 여름철의 값이 크게 나타나고 있다. 5월의 값이 증가 추세에 서 약간 주춤하는 모습을 보인다. +24 hr부터 각각 25~40 m, 60~90 m, 70~120 m 사이의 RMSE를 나타내고 있다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.9)

같은 예보시간에 대하여 평균오차를 보면 북반구, 적도, 남반구의 순서로 그 값 이 음의 방향으로 커지고 있다. 대체로 북반구는 양의 평균오차를, 남반구와 적도는 음의 평균오차를 보인다.

RMSE는 적도, 북반구, 남반구의 순서로 그 값이 커지고 있다. MSLP와 마찬가 지로 적도는 일정한 값을 유지하고 있고, 북반구와 남반구가 겨울철에는 서로 비슷 한 값을 보이다가 여름철에 그 차이가 벌어지는 대칭적인 모습을 보이고 있다.

## D. 이상상관 (Fig. 2.10)

1일, 3일, 5일, 10일 예보에 대한 이상상관의 월별변화를 비교한다.

4월과 9월 사이에 거의 일정한 값으로 다른 달보다 작은 이상상관을 갖는다. 예 보시간이 길어질수록 그 특징이 뚜렷해진다. 24시간 예보인 경우 0.95~0.98, +72 hr 은 0.6~0.9, +120 hr은 0.55~0.75, +240 hr은 0.1~0.35 사이에서 변화하고 있다.

500 GPH 북반구 Anormaly Correlation



Fig. 2.10 MSLP의 월평균 이상상관 (anal)

# (3) 250 hPa Wind Speed

#### A. 연평균 (Fig. 2.11)

북반구와 적도는 음의 평균오차를, 남반구는 양의 평균오차를 보이고 있다. 그러 나 남반구와 북반구는 예보시간의 증가에 따라 양의 방향으로 커지는 모습을 보이 고, 적도는 음의 방향으로 절대값이 커지는 모습을 나타낸다. 각각 북반구는 -0.4~ 0 m/s, 적도는 -1.5~-0.4 m/s, 남반구는 -0.4~2 m/s 사이에 분포한다.

RMSE는 예보시간이 증가할수록 값이 커지고 있으며, 예보초기의 변화정도가 큰 편이다. 적도는 3~15 m/s, 북반구는 2~27 m/s, 남반구는 5~25 m/s의 값을 갖는다.



Fig. 2.11 250 hPa Wind Speed 연평균 (anal)

### B. 지역평균 (Fig. 2.12)

평균오차는 월의 변화에 따라 불규칙적인 변화를 나타내고 있으나, 전체적으로 음의 기울기를 가지고 변화하는 모습이다. 값의 범위는 +24 hr이 -0.2~0.1 m/s, +72 hr이 -0.4~0.1 m/s, +120 hr이 -0.6~0.3 m/s 정도이다.

RMSE의 월별 변화정도는 2~3 m/s 정도로 약한 편이다. +24 hr이 10 m/s를 중 심으로 한 RMSE를 갖고, +72 hr과 +120 hr이 각각 15 m/s와 18 m/s를 중심으로 분 포되어 있다.



Fig. 2.12 250 hPa Wind Speed의 지역 평균 (anal)

## C. 월평균

#### C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.13)



Fig. 2.13 250 hPa wind Speed의 지역별 월평균 (anal)



Fig. 2.14 250 hPa Wind Speed의 예보시간별 월평균 (anal)

① 북반구

전체적으로 음의 평균오차를 보이고 있으며, 여름철이 다른 계절보다 더 작은 값 을 나타낸다. 평균오차 분포 범위는 +24 hr이 -0.4~0 m/s, +72 hr은 -0.6~0 m/s, +120 hr은 -0.7~0.5 m/s 이다.

RMSE는 겨울이 여름보다 약간 큰 값을 갖는다. 연간 월평균의 변화를 보면 +24 hr은 8~10 m/s, +72 hr이 약 15 m/s 부근, +120 hr이 17~22 m/s 부근에 분포되어 있다.

② 적도

평균오차는 모두 음의 값을 갖고 있으며, 월변화에 따라 지그재그로 불규칙적인 변화를 보인다. +24 hr의 경우 -0.4~-0.2 m/s, +72 hr은 -1.1~-0.6 m/s, +120 hr은 -1.7~-0.8 m/s 사이에서 변화하고 있다.

RMSE는 각 예보시간마다의 패턴이 여름철이 다른 계절보다 큰 RMSE를 갖는 매우 유사한 형태를 보인다. 값의 범위는 +24 hr부터 각각 7~9 m/s, 10~12 m/s, 1 1~13 m/s 이다.

③ 남반구

양의 평균오차를 나타내고 있다. 예보시간이 커질수록 평균오차가 양의 방향으로 커지고 있다. +24 hr이 -0.1~0.7 m/s, +72 hr이 0.4~1.4 m/s, +120 hr이 0.3~1.6 m/s 범위에서 변화하고 있다.

남반구의 RMSE도 역시 모든 예보시간에 대해서 비슷한 패턴을 보여주고 있다. 적도와 마찬가지로 여름철이 겨울철보다 약간 증가하는 RMSE를 나타내고 있다. RMSE 값은 전체적으로 10~25 m/s 안에서 변화하고 있다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.14)

+24 hr과 +72 hr, +120 hr의 예보시간 모두 북반구와 적도의 평균오차는 대체적으 로 음의 값을 나타내고, 남반구의 평균오차는 모두 양의 값을 나타내고 있다.

- 24 -

MSLP와 500 hPa GPH의 경우와 마찬가지로 RMSE는 적도, 북반구, 남반구의 순서로 점점 큰 값을 보여주고 있다. 적도와 남반구는 여름철이 다소 큰 U자형 패 턴이고 북반구는 그 반대 패턴이다. 다른 요소와 마찬가지로 북반구와 남반구는 겨 울철의 RMSE를 기준으로 대칭적인 관계로 변화하고 있다.

# 2.3.2 관측 검증

관측 자료와의 검증은 북반구, 적도, 남반구에 한 지역을 더 추가하여 아시아 지역에 대한 검증도 함께 한다. 검증요소로는 850 hPa 온도와 500 hPa 지위고도, 250 hPa 풍속을 사용한다.

검증 방법 역시 연평균 값을 예보시간에 따른 변화로 보고, 월평균을 이용하여 모든 지역에 대한 평균을 구하여 비교하고, 지역별 예보시간에 대한 비교와 예보시 간별 지역에 대한 비교를 같이 수행하도록 한다.

검증 수행기간은 2000년 1월~12월까지 12개월간이다.

### (1) 850 hPa Temperature

#### A. 연평균 (Fig. 2.15)

예보시간의 증가에 따라 북반구와 아시아의 평균오차는 양의 기울기를 가지고 변화하는 추세를 보이고, 남반구와 적도는 음의 기울기를 가지고 변화하는 모습을 보여준다. 그러나 남반구의 경우 예보초기에는 양의 기울기로 번화하다가 음의 기 울기를 변화하였다. 북반구와 적도는 음의 평균오차를 보이고 있고, 아시아와 남반 구는 양의 평균오차를 보이고 있다. 각 지역별 평균오차 변화 정도는 아시아가 -0. 3~0.3 ℃, 북반구가 -0.2~0 ℃, 적도는 -1.2~-0.5 ℃, 남반구는 0.2~0.9 ℃ 사이이다.

RMSE는 비교적 일정한 기울기로 예보시간의 증가함에 따라 조금씩 증가하는 모습이다. 적도가 1.5~2.5℃로 가장 작은 RMSE 분포를 보여주고 있고, 아시아와 북반구가 각각 2~5.5℃, 2.5~6℃로 비슷한 값을 보여주고 있으며, 남반구가 3~5 ℃의 분포를 나타내고 있다.

#### B. 지역평균 (Fig. 2.16)



Fig. 2.15 850hPa 온도 연평균 (obs)



Fig. 2.16 850hPa 온도의 지역 평균 (obs)

매월의 월평균을 4지역(아시아, 북반구, 적도, 남반구)에 대해 평균한 평균오차들 이다. +24 hr, +72 hr, +120 hr 모두 비슷한 형태를 보이고 있다. +24 hr의 값은 -0. 4~0.1 ℃, +72 hr과 +120 hr은 각각 -0.1~0.4 ℃, -0.1~0.6 ℃ 사이의 값을 갖는다.

RMSE는 1, 2월의 경우 약간 큰 값을 갖고 나머지는 거의 일정하게 유지되고 있 다. 각각의 값은 +24 hr이 2.2~2.6 ℃, +72 hr이 3~3.8 ℃, +120 hr이 3.5~4.5 ℃ 사이 에 분포하고 있다.

#### C. 월평균

#### C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.17)

① 아시아

평균오차는 6, 7, 8월에 약간 커지는 경향을 보여준다. -24 hr의 변화 폭은 -0. 8~0.3 ℃ 사이이고, +72 hr은 -0.6~1.2 ℃, +120 hr은 -0.5~2 ℃ 이다. +72 hr과 +120 hr의 6월달이 특히 큰 평균오차를 보이고 있다.

RMSE는 전체적으로 월 변화에 따라 감소하다가 9월에 최소를 보이고 이후에 증가하는 변화를 보인다. 그 변화정도는 +24 hr부터 각각 2~3℃, 3~4℃, 3,5~5℃ 정도이다.

② 북반구

북반구의 평균오차는 아시아의 평균오차 분포와 매우 유사하다. 그러나 전체적인 평균오차 변화 폭은 아시아보다 작다. +24 hr이 -0.4~0.1 ℃, +72 hr이 -0.4~0.4 ℃, +120 hr은 -0.5~0.7 ℃ 사이에 그 값들이 분포되어 있다.

북반구의 RMSE도 평균오차와 마찬가지로 아시아와 비슷한 경향을 보이고 있다. 각각의 값은 +24 hr이 2~2.8 ℃, +72 hr이 3~4.2 ℃ 사이, +120hr이 3.5~5.5 ℃ 사이 에 분포되어 있다.



#### 850hPa Temp. 아시아 Mean error

850hPa Temp. 아시아 RMSE

Fig. 2.17 850 hPa 온도의 지역별 월평균 (obs) \_ continued.


Fig. 2.17 850 hPa 온도의 지역별 월평균 (obs)





Mean error

--적도

- 아시아

Fig. 2.18 850 hPa 온도의 예보시간별 월평균 (obs)

③ 적도

적도는 아시아나 북반구와 다른 패턴을 갖는다.

평균오차는 전체적으로 W자 형태를 보이고 있다. 모두 음의 평균오차이며, +24 hr은 -0.8~-0.4 ℃ 사이에, +72 hr은 -1.1~-0.3 ℃ 사이에, +120 hr은 -1.2~-0.3 ℃ 사이에 분포하고 있다.

RMSE는 평균오차가 클 때 다른 달보다 큰 RMSE를 보이고 있다. 그 값의 폭은 +24 hr, +72 hr, +120 hr이 각각 1.6~1.9℃, 1.9~2.2℃, 2~2.4℃ 이다.

④ 남반구

남반구의 평균오차는 적도와 비슷한 모습을 보이고 있지만, 그 패턴이 적도보다 뚜렷하지 못하고, 값들은 모두 양수이다. 각각의 변화 폭은 +24 hr이 0.1~0.8℃, +72 hr이 0.5~1.2℃, +120 hr이 0.1~1.4℃ 이다.

RMSE는 각 예보시간이 모두 비슷한 패턴을 보이고 있으며, 다른 지역들보다 비 교적 큰 RMSE를 보여주고 있다. +24 hr이 3~3.5 ℃ 사이의 값을 가지고 있고, +72 hr은 4~5 ℃, +120 hr은 4.3~5.2 ℃ 사이의 값을 가지고 있다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.18)

평균오차와 RMSE 모두 북반구와 아시아가 유사한 모양과 값을 가지고 변화하 고 있음을 보여준다. 남반구와 적도의 평균오차와 RMSE도 비슷한 패턴으로 변화 하고 있으나, 평균오차는 0℃ 선을 기준으로 남반구는 양의 영역, 적도는 음의 영 역에서 변화하고 있고, RMSE도 일정한 값의 차이를 두고 남반구가 적도보다 큰 RMSE를 나타내고 있다. RMSE의 경우, 분석검증에서와 마찬가지로 북반구와 남반 구가 겨울철의 RMSE를 중심으로 대칭적인 관계를 보여주고 있다.

## (2) 500 hPa GPH(Geopotential height)

#### A. 연평균 (Fig. 2.19)

남반구와 적도는 음의 기울기로 예보시간이 증가할수록 평균오차가 음의 방향으 로 커지는 모습을 보여준다. 북반구와 아시아는 비슷한 패턴이나 아시아의 값들이 큰 폭으로 변하는 모습을 보여주고 있다. 각각의 값의 범위는 북반구가 -4~1 m, 아 시아가 -12~7 m, 남반구가 1~9 m, 적도가 -20~-5 m 이다.

RMSE는 적도, 아시아, 북반구, 남반구의 순서로 점점 커지는 모습이고 예보시간 이 증가할수록 역시 RMSE 값이 커지고 있다. 특히, 북반구가 예보시간에 따라 RMSE가 큰 폭으로 증가하고 있다. 적도가 20~30 m, 아시아가 25~80 m, 북반구가 25~110 m, 남반구가 60~110 m 사이에 RMSE 값들이 분포되어 있다.

#### B. 지역평균 (Fig. 2.20)

평균오차는 대체로 음의 값을 가지고 있고, 월별 변화가 크긴 하나, 전체적으로 U자형 패턴을 보이고 있다. +24 hr은 -10~1 m, +72 hr이 -15~4 m, +120 hr은 -2 3~4 m 사이의 값을 가지고 있다.

RMSE는 매월 일정한 값을 가지고 있지만, 2월과 4월경에 약간 큰 값을 보인다. +24 hr은 30~40 m, +72 hr은 50~60 m, +120 hr은 60~75 m 정도의 RMSE 값을 갖 는다.

#### C. 월평균

C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.21)

① 아시아



Fig. 2.19 500 hPa GPH 연평균 (obs)



Fig. 2.20 500 hPa GPH의 지역 평균 (obs)

평균오차 대부분이 음의 값을 가지고 있으며 지역평균과 같은 U자형 패턴을 보 인다. 각각의 값들은 +24 hr부터 -4~3 m, +72 hr이 -9~3 m, +120 hr이 -6~9 m 사 이에 분포하고 있다.

RMSE도 역시 여름철이 더 낮은 U자형 모습이다. +24 hr의 경우는 월별 변화가 약하다. +24 hr은 20~30 m, +72 hr은 35~50 m, +120 hr은 40~70 m 사이의 RMSE 를 갖는다.

② 북반구

평균오차와 RMSE 모두 아시아와 매우 유사하다. 평균오차의 경우 +120 hr은 많 이 벗어나 있긴 하지만 대부분 음의 평균오차를 가지고 있으며, 여름철의 값이 다 른 때보다 낮은 값을 갖는다. +24 hr이 -4~3 m 사이, +72 hr이 -9~3 m, +120 hr이 -6~9 m 사이에 분포되어 있다.

RMSE도 역시 여름철이 다른 계절보다 낮은 U자형 모습이다. 2월에 약간 큰 RMSE는 갖는다. 각각 +24 hr은 20~30 m 사이에 값들이 분포하고 있고, +72 hr은 40~70 m 사이에, +120 hr은 50~100 m 사이에 분포하고 있다.

③ 적도

적도는 모두 음의 평균오차를 갖는다. 4, 5월에 다른 달보다 더 작은 평균오차 값을 갖는다. 전체적인 패턴은 모든 예보시간이 비슷하다. +24 hr이 -8~-2 m, +72 hr이 -11~-4 m, +120 hr이 -13~-5 m 사이에 분포되어 있다.

RMSE는 전반적으로 월변화에 상관없이 일정한 값을 가지고 있으나, 2월과 8월 에 약간 큰 값을 갖는다. 다른 지역들에 비해 RMSE가 작은 편이다. +24 hr이 20 m 부근을 중심으로 17~20 m 사이에 분포되어 있고, +72 hr은 20~27 m, +120 hr은 2 2~30 m 사이에 분포되어 있다.

④ 남반구

다른 지역과 달리 대부분 양의 표준편차를 가지고 있다. 월변화에 따른 평균오차 의 변화 역시 크게 나타나고 있다. 값의 범위는 +24 hr부터 2~10 m, 2~15 m, -3~ 14 m이다.

#### 500hPa GPH 아시아 RMSE





80 24 70 72 120 60 50 RMSE 40 30 20 10 0 1 2 3 4 5 6 8 9 10 11 12 7 month

500hPa GPH 북반구 Mean error





0

-2

-4

-8 -10

-12

-14

Å 72

- 120 • 🛦 -

> 2 3 4 5 67 8

1

**.** 

month

Mean error -6



500hPa GPH 북반구 RMSE



Fig. 2.21 500 hPa GPH의 지역별 월평균 (obs) \_ continued.

9 10 11 12



Fig. 2.21 500 hPa GPH의 지역별 월평균 (obs)

#### 500hPa GPH Mean error (24 hr)

500hPa GPH RMSE (24 hr)



500hPa GPH Mean error (72 hr)









500hPa GPH RMSE (72 hr)





500hPa GPH RMSE (120 hr)

Fig. 2.22 500 hPa GPH의 예보시간별 월평균 (obs)

RMSE도 다른 지역과 달리 여름철의 RMSE가 큰 ∩형 패턴이고, 보다 큰 값들 을 보이고 있다. +24 hr이 50~70 m, +72 hr이 70~100 m, +120 hr이 75~110 m 사이 의 값들을 갖고 있다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.22)

평균오차와 RMSE 모두 남반구의 패턴이 다른 지역에 비해 도드라진다.

남반구는 대부분 양의 평균오차를 가지고 있고, 적도는 음의 평균오차를 가지고 있으며, 북반구와 아시아는 음의 평균오차에서 예보시간이 길어짐에 따라 양의 평 균오차로 그 분포가 변하고 있는 양상이다. 특히, +120 hr의 경우 아시아의 평균오 차 변화가 무척 심하게 나타나고 있다.

RMSE가 가장 큰 값을 나타내는 것도 남반구이다. 초반 예보에서는 남반구와 다 른 지역간의 RMSE 차가 크게 나타나고 있으나, 예보시간이 증가함에 따라 북반구 의 RMSE와 비슷해져가고 있으며, 특히 겨울철의 경우는 남반구와 북반구의 RMSE가 거의 같게 나타나고 있다.

#### (3) 250 hPa Wind Speed

#### A. 연평균 (Fig. 2.23)

모든 지역의 평균오차가 음의 값을 보이고 있다. 북반구는 가장 0에 근접하여 있으면서 예보시간에 따른 변화도 작게 보이고 있다. 적도와 아시아는 매우 비슷한 값을 가지고 있으며, 일정한 음의 기울기를 가지고 변화하고 있다. 남반구는 예보초 기에 평균오차가 감소하다가 이후 다시 커지는 모습을 보이고 있고, 가장 큰 음의 평균오차를 나타내고 있다. 각각의 값의 범위는 북반구가 -1~-0.5 m/s, 적도가 -1. 8~-0.4 m/s, 아시아가 -2.2~-0.8 m/s, 남반구가 -3~-2.2 m/s 이다.

예보 초기에는 남반구의 RMSE가 다른 지역과 구별되어 큰 값을 나타내고, 다른 지역들은 비슷한 작은 값을 보이지만, 시간이 증가할수록 각 지역들의 RMSE가 각 각의 비율로 증가하여 서로 다른 값을 갖는 양상을 보인다. 예보시간 240 hr 부근에 서는 북반구의 RMSE가 남반구의 RMSE보다 더 커지고 있다. RMSE의 크기는 적 도가 가장 작고, 아시아, 북반구, 남반구의 순서이다. 그 값들은 적도가 8~13 m/s, 아시아가 9~23 m/s, 북반구가 9~27 m/s, 남반구가 16~26 m/s 사이에 분포한다.

#### B. 지역평균 (Fig. 2.24)

지역평균의 평균오차도 모두 음의 값을 나타낸다. 각각의 평균오차는 +24 hr이 -1.3~-0.7 m/s, +72 hr이 -2~-1 m/s, +120 hr은 -2.5~-1.1 m/s 사이에 존재한다.

RMSE는 매월 거의 일정한 값을 유지하고 있다. +24 hr이 11 m/s 부근에, +72 hr 이 15 m/s 근처에, +120 hr이 18 m/s 부근에 분포하고 있다.

#### C. 월평균

#### C.1 지역별 월평균 (Fig. 2.25)



Fig. 2.23 250 hPa Wind Speed 연평균 (obs)



Fig. 2.24 250 hPa Wind Speed의 지역 평균 (obs)

① 아시아

모두 음의 평균오차를 보이고 있다. +24 hr은 -1.3~0.4 m/s 사이에, +72 hr은 -2~-0.4 m/s 사이에, +120 hr은 -2.7~-0.4 m/s 에 걸쳐 분포되어 있다.

RMSE는 +24 hr과 +72 hr, +120 hr이 각각 8~11 m/s, 12~16 m/s, 15~20 m/s 사이에 분포되어 있으며, 월의 변화에 따른 그 변화정도는 작다. 평균오차가 큰 봄철에 역시 큰 RMSE를 보인다.

② 북반구

북반구도 음의 평균오차를 갖는다. +24 hr은 월별 변화가 작은 편이나, 나머지는 크게 나 타나고 있다. 각각의 예보시간에 대해서 +24 hr은 -0.6~-0.2 m/s, +72 hr은 -1.2~-0.6 m/s, +120 hr은 -1.4~0.2 m/s 사이의 값을 갖는다.

월에 따른 RMSE의 변화 정도는 약하다. +24 hr은 10 m/s 부근의 값을 갖고, +72 hr은 13~17 m/s 사이에 분포하고 있으며, +120 hr은 17~22 m/s 사이의 값을 나타내고 있다.

③ 적도

적도 역시 음의 평균오차이다. +24 hr의 경우가 다른 예보시간의 경우와 다른 특 징들을 보이고 있다. +72 hr과 +120 hr의 여름철 RMSE가 0에 근접하여 나타나고 있다. 각각의 값은 +24 hr이 -1~-0.3 m/s 사이이고, +72 hr은 -1.8~-0.4 m/s 사이, +120 hr은 -2.2~-0.2 m/s 사이에 분포되어 있다.

RMSE는 변화가 거의 없으나, 전체적으로 12월로 갈수록 작은 음의 기울기를 가 지고 변화하고 있다. +24 hr은 8~10 m/s 사이, +72 hr은 10~12 m/s, +120 hr은 10~ 13 m/s 사이의 RMSE를 갖는다.

④ 남반구

남반구 역시 모두 음의 평균오차를 가지고 있다. 세 예보시간 모두 별 차이가 보 이지 않는 비슷한 값을 가지고 있다. 12월로 갈수록 전체적으로 음의 기울기를 가 지고 변화하고 있지만, 가을철의 월별 변화가 크게 나타나고 있다. -4~-1.5 m/s 사 이에서 변화하고 있다. RMSE는 여름철에 약간 증가하는 모습을 보여준다. +24 hr, +72 hr, +120 hr 각각 이 15~18 m/s, 19~24 m/s, 20~26 m/s의 범위 안에 있다.

#### C.2 예보시간별 월평균 (Fig. 2.26)

모든 지역이 음의 평균오차를 나타내고 있다. 특히, 남반구의 평균오차가 가장 큰 음의 값을 갖는다. 북반구가 가장 0에 근접한 평균오차를 보인다. 적도와 아시 아는 비슷한 패턴의 평균오차를 가지고 있다.

RMSE는 남반구의 값이 다른 지역들과 구별되는 큰 값을 가지고 있다. 예보 초 기에는 남반구의 값이 다른 지역들의 값보다 크게 나타나고 있으나, 예보시간이 길 어짐에 따라 남반구와 다른 지역과의 값의 차가 줄어들고 있다. 특히 겨울철의 북 반구와 남반구의 값은 거의 일치하고 있다. +24 hr의 경우 아시아, 북반구, 남반구의 RMSE는 거의 차이를 보이지 않는다. 역시 다른 요소와 마찬가지로 적도의 값이 가장 작게 나타나고 아시아, 북반구, 적도의 순서로 큰 RMSE를 나타낸다.



250hPa Winds 아시아 RMSE

21

- 72

-▲---120

10 11 12

24 - 72

-▲---120

250hPa Winds 아시아 Mean error



Fig. 2.25 250 hPa Wind Speed의 지역별 월평균 (obs) \_ continued



Fig. 2.25 250 hPa Wind Speed의 지역별 월평균 (obs)



250hPa Winds RMSE (24 hr)

---적도

9 10 11 12

남반구 - - - 아시아

북반구

8

6 7

month

20 18

16

14 12

10

8 6

4

2

0

2 3 4 5

1

RMSE



250hPa Winds Mean error (72 hr)







Fig. 2.26 250 hPa Wind Speed의 예보시간별 월평균 (obs)





7 8

남반구 - - - 아시아

9 10 11 12

#### 2.3.3 1999년과의 비교

1999년과 2000년의 연평균 자료 중 두 해에 걸쳐 공통적으로 검증된 요소와 지 역, 예보시간에 대해서 비교해 보았다. 괄호 안의 숫자는 최대값과 최소값 차의 절 대값이다.

#### (1) 분석 검증 (Table 2.1)

북반구와 남반구, 적도의 분석시간 0시부터 120시간까지의 자료를 이용하였다. 괄호 안의 숫자는 120시간 사이의 값 중 최대값과 최소값의 차이다.

#### A. MSLP

평균오차의 변화폭은 1999년보다 커졌다. 남반구와 적도의 경우는 전년도보다 약 두배 정도 증가했다. 북반구는 0을 중심으로 한 분포를 보이고 있고, 남반구와 적도 는 전년과 마찬가지로 각각 양수와 음수의 평균오차를 갖는다. RMSE는 1999년과 비교하여 별 변화가 없다. 다만 1999년보다 좀더 0에 근접한 범위의 RMSE를 갖는 다고 볼 수 있다.

#### B. 500 hPa Geopotential Height

평균오차의 변화폭은 작아져서 1999년보다 좋은 결과를 보인다. 그 범위도 보다 0에 근접한 범위이다. 북반구는 양의 평균오차를, 남반구와 적도는 음의 평균오차를 갖는다. RMSE는 변화가 없다.

#### C. 250 hPa Wind Speed

평균오차와 RMSE 모두 뚜렷한 변화가 없이 1999년과 비슷한 값을 갖는다.

	Mean	Error	RMSE						
	1999	2000	1999	2000					
MSLP									
북반구	-0.3 ~0.08 (0.38)	$-0.2 \sim 0.2 \ (0.4)$	$1.5 \sim 8$ (6.5)	$1 \sim 7 (6)$					
남반구	-0.02~0.35 (0.37)	0 ~0.6 (0.6)	2 ~10.5 (8.5)	1.5~10 (8.5)					
적 도	$-0.12 \sim 0.02 \ (0.14)$	$-0.3 \sim 0$ (0.3)	$1.5 \sim 2.5 (1)$	1 ~ 2 (1 )					
500 hPa (	500 hPa Geopetential Height								
북반구	-2.5~ 1 ( 3.5)	0~3 (3)	10~ 80 (70)	10~ 80 (70)					
남반구	-15.0~-1 (14 )	-10~0 (10)	10~100 (90)	10~100 (90)					
적 도	-10 ~-1 ( 9 )	-7~0 (7)	10~ 20 (10)	10~ 20 (10)					
250 hPa Wind speed									
북반구	$-0.4 \sim -0.1  (0.3)$	$-0.4 \sim -0.1(0.3)$	3~21 (18)	2~20 (18)					
남반구	$0 \sim 1.1 (1.1)$	$-0.4 \sim 1$ (1.4)	4~22 (18)	5~22 (17)					
적 도	$-1.1 \sim 0$ (1.1)	$-1.3 \sim -0.3(1)$	4~12 ( 8)	3~12 ( 9)					

Table 2.1 분석 검증의 1999년과 2000년 평균오차와 RMSE 비교 (Ohr~120hr)

## (2) 관측 검증 (Table 2.2)

아시아와 북반구, 남반구, 그리고 적도 지역의 24시간부터 240시간까지의 자료를 이용했다. 괄호 안의 숫자는 24시간부터 240시간 사이의 값 중 최대값과 최소값의 차이이다.

#### A. 850 hPa Temperature

아시아와 북반구는 평균오차와 RMSE의 변화폭은 모두 '99년보다 증가했다. 반 면 남반구와 적도는 평균오차, RMSE 모두 변화정도가 전년보다 약간 줄어들었다.

#### B. 500 hPa Geopotential Height

아시아 지역의 평균오차 변화정도가 크게 증가했다. 남반구와 적도는 10 hPa 정 도의 평균오차 폭이 줄어들었고, 북반구도 조금 작아졌다. RMSE는 북반구와 아시 아가 조금씩 증가했으며, 남반구와 적도의 RMSE는 감소했다.

# C. 250 hPa Wind Speed

적도의 평균오차 변화정도가 두배 정도 증가했다. 다른 지역의 평균오차와 모든 지역의 RMSE는 거의 변화가 없다.

Table 2.2 관측 검증의 1999년과 2000년 평균오차와 RMSE 비교 (24hr~240hr)

	Mean	Error	RMSE						
	1999	2000	1999	2000					
850hPa Temperature									
아시아	$-0.4 \sim 0.2 \ (0.6)$	$-0.3 \sim 0.3 \ (0.6)$	2.3~5.0 (2.7)	$2.4 \sim 5.6 (3.2)$					
북반구	$-0.4 \sim -0.2  (0.2)$	$-0.2 \sim 0.1 \ (0.3)$	2 ~5.7 (3.7)	2.3~6 (3.8)					
남반구	$-0.6 \sim 0.5 (1.1)$	$0.3 \sim 0.9 \ (0.6)$	3.5~6.2 (2.7)	3.3~5.2 (1.9)					
적 도	$-1.6 \sim -0.5 (1.1)$	$-1.2 \sim -0.5 \ (0.7)$	1.8~3 (1.2)	1.8~2.5 (0.7)					
500hPa Geo	500hPa Geopetential Height								
아시아	$-10 \sim -2 \ (8)$	-12~ 7 (19)	25~ 70 (45)	$25 \sim 75$ (50)					
북반구	-9~-2 (7)	-4~ 1 (5)	25~110 (85)	25~115 (90)					
남반구	-15~ 3 (18)	2~ 10 ( 8)	65~130 (65)	60~110 (50)					
적 도	-28~-5 (23)	-18~ -5 (13)	20~ 40 (20)	20~ 35 (15)					
250hPa Wind Speed									
아시아	$-2.3 \sim -1.0 \ (1.3)$	$-2.2 \sim -0.8 (1.4)$	9~22 (13)	10~23 (13)					
북반구	$-1 \sim -0.6 (0.4)$	$-0.9 \sim -0.5 \ (0.4)$	9~26 (17)	10~27 (17)					
남반구	-3 ~-2 (1 )	$-3 \sim -2.2 \ (0.8)$	17~26 ( 9)	16~26 (10)					
적 도	$-0.7 \sim -0.1  (0.6)$	$-1.8 \sim -0.5 (1.3)$	8~13 ( 5)	9~14 ( 5)					

# 3. 강수검증

## 3.1 개요

장수검증은 12시간 누적강수량에 대한 검증이다. 관측자료는 00UTC와 12UTC의 12시간 누적 강수를 이용한다. 관측지점으로는 서울, 부산, 광주, 대전, 강릉, 제주 6 개 지역을 선택했다.

예보자료는 12UTC에 생산되는 10일 예보 자료를 이용했으며, 관측지점에 대한 예보자료는 관측지점을 둘러싸고 있는 격자에 거리 가중치를 주어 구했다.

강수단계는 다음과 같이 구분하였다.

No Doin	관측자료의 경우 0mm/12hr 미만일 때,				
NO Rain	예보자료는 0.1 mm/12 hr 미만일 때.				
R< 1	Pight Doin				
$1 \leq R \leq 5$	Mgin Kalli				
$5 \le R \le 15$	Moderate Rain				
$15 \le R \le 25$	Heavy Rain				
$25 \le R \le 50$	Store Rain				
$50 \le R$	Torrential Rain				

#### 단위 : mm/12hr

검증은 한달에 한번 수행한다. 때문에 예보자료의 경우 해당 월의 자료와 이전 달의 마지막 10일 자료가 필요하다.

검증은 매월 12시간 간격으로 240시간까지 총 20개의 테이블로 이루어져 있다. 강수단계에 따라 예보자료와 관측자료의 강수를 테이블에 표시하였다. 각 테이블의 모든 경우의 수는 [당월 일수 × 관측지점 수(6)] 이다.(Table 3.1)

```
4. OBS. VS. FORECAST (48)
               OBSERVATION
      NO RAIN - R(1 1(=R(5 5(=R(15 15(=R(25 25(=R(50 50(=R -
            4
                0
NO RAIN
       39
                      0
                          0 0
                                     0
- R<1
            25
                 8
                                 0
       62
                       0
                            0
                                      0
           14 8
1<=R<5
       15
                       1
                            1
                                0
                                      0
      0
            2
                 4
                      3
                           0 0
0 0
                           0
5<=R<15
                                      0
               4
0
       0
            0
                      0
15<=R<25
                                      0
            0
       0
                           0
                                0
25<=R<50
                 0
                      0
                                      0
                               0
                0
                     0
                           0
50<=R -
       0
            0
                                     0
       ** RAIN OR NOT
          THREAT SCORE = 0.4490
           BIAS SCORE =
                    2.0429
       ** RAIN OVER 1 mm
          THREAT SCORE =
                    0.3036
           BIAS SCORE =
                    1.9200
       ** RAIN OVER 5 mm
          THREAT SCORE =
                    0.2727
           BIAS SCORE =
                    1.8000
       ** RAIN OVER 15 mm
          THREAT SCORE =
                   0.0000
           BIAS SCORE =
                    0.0000
       ** RAIN OVER 25 mm
          THREAT SCORE = -999.0000
           BIAS SCORE = -999.0000
       ** RAIN OVER 50 mm
          THREAT SCORE = -999.0000
           BIAS SCORE = -999.0000
         _____
```

# 3.2 검증방법

검증지수로는 Threat score와 Bias Score를 사용했고, 각 강수단계와 예보시간에 대해서 두 검증지수의 수치를 구해 놓았다.

각각의 검증지수는 다음과 같은 방법으로 구한다.

관측(Observation) 예보(Forecast)	강수 'No'	강수 'Yes'		
강수 'No'	FNON	FNOY 🗲		
강수 'Yes'	FYON 🛉	FYOY 🛉		
F : 임계곱 C : 강수 R : 임계곱	* 이상의 강수를 예. 예보와 관측이 일치 * * 이상의 강수가 관	보한 경우의 수 한 경우의 수 측된 경우의 수		

## (1) Threat Score (TS)

$$TS = \frac{FYOY}{FNOY + FYON + FYOY} = \frac{C}{F + R - C}$$

사건의 발생률이 무발생률에 비해 상대적으로 작을 때, 즉 강수현상이 드물게 발 생할 때 예보 적중률 검증에 유효하다. Threat Score는 무강수 관측을 예보했을 때 를 제외한 경우의 예보정확도로 1이 가장 좋은 값이고, 0이 최악의 지수이다.

(2) Bias Score (BS)

$$B = \frac{FYOY + FYON}{FYOY + FNOY} = \frac{F}{R}$$

Bias Score는 예보값과 관측값 간의 불일치성을 나타낸다. 즉, 예보된 양이 관측 된 양보다 항상 많거나 적다면 정확도에 관계없이 Bias가 존재한다. 예보된 경우 를 관측된 경우로 나눈 것으로 1보다 크면 예보가 관측보다 많은 과대예보를 한 경 우이고, 1보다 작으면 과소 예보를 한 경우가 된다.

## 3.3 검 증

먼저 예보시간에 따른 연평균 값을 몇 개의 강수단계에 대해서 비교하였다. 다음으로 매월의 Threat Score와 Bias Score를 강수단계에 따라 몇 개의 예보시간 에 대해서 비교하였다.

단, 여기서 각 예보시간에 대한 검증 값들은 12시간 이전부터의 누적강수량에 대 한 검증 수치들이다. 예를 들어 예보시간이 24 hr인 경우, 12 hr~24 hr까지의 누적강 수량에 대한 검증지수이다.

#### (1) 연평균 (Fig. 3.1)

Threat Score는 예보시간이 길어짐에 따라 점점 작아지는 패턴을 보인다. 강수 의 유무를 기준으로 한 경우와 1 mm와 5 mm를 기준으로 한 경우의 패턴이 유사한 모양을 나타내고 있다. Rain or Not인 경우의 Threat Score는 0,22~0.43 사이의 값 을 갖고, 1 mm 이상인 경우는 0.09~0.35, 5 mm 이상인 경우는 0.05~0.32 사이의 값을 갖는다.

Bias Score의 연평균 값들은 1보다 크게 나타나고 있다. 실제 관측된 강수보다 더 자주 강수를 예보하고 있음을 나타낸다. Rain or Not인 경우는 2~2.5 정도의 Bias를 가지고 있고, 1 mm 이상인 경우는 1.8~3.3 정도이며, 5 mm 이상인 경우는 0.8~3.4로 Bias의 변화가 크게 나타나고 있다.



연평균 Threat Score

연평균 Bias Score



Fig. 3.1 연평균 강수검증

	rain or not	over 1mm	over 5mm	over 15mm over 25n		over 50mm
12	0.4254	0.3505	0.3076	0.1351	0.0648	0.0000
24	0.4309	0.3444	0.3186	0.1114	0.0583	0.0208
36	0.4236	0.3020	0.2431	0.1605	0.1044	0.0000
48	0.4080	0.2981	0.2066	0.1737	0.0697	0.0000
60	0.3768	0.2686	0.2276	0.0928	0.0222	0.0000
72	0.3637	0.2295	0.1682	0.1750	0.0958	0.0000
84	0.3178	0.1890	0.1369	0.1574	0.0204	0.0000
96	0.3233	0.1813	0.1195	0.0523	0.0868	0.0000
108	0.2959	0.1452	0.0617	0.0238	0.0132	0.0000
120	0.3270	0.1529	0.0518	0.0124	0.0219	0.0167
132	0.2847	0.1300	0.0630	0.0303	0.0000	0.0000
144	0.3080	0.1304	0.0469	0.0083	0.0000	0.0000
156	0.2779	0.1387	0.0514	0.0194	0.0000	0.0000
168	0.2865	0.1503	0.0668	0.0258	0.0111	0.0000
180	0.2242	0.1099	0.0385	0.0036	0.0000	0.0000
192	0.2737	0.1272	0.0542	0.0047	0.0000	0.0000
204	0.2225	0.0858	0.0437	0.0093	0.0000	0.0000
216	0.2730	0.1251	0.0386	0.0085	0.0128	0.0000
228	0.2357	0.1035	0.0490	0.0242	0.0000	0.0000
240	0.2851	0.1521	0.0520	0.0153	0.0055	0.0000

Table 3.1 연평균 Threat Score

## Table 3.2 연평균 Bias Score

	rain or not	over 1mm	over 5mm	over 15mm	over 25mm	over 50mm
12	2.0461	2.3071	1.4949	0.5259	0.2696	0.0000
24	2.1842	2.5213	1.3940	0.5515	0.2223	0.1111
36	2.1496	2.2509	1.0608	0.6596	0.4197	0.0833
48	2.0280	1.8654	0.9724	0.3908	0.3389	0.3611
60	2.0799	2.0168	0.8575	0.5172	0.3088	0.0000
72	2.0412	2.0840	1.5145	0.7981	0.3889	0.0556
84	2.2522	2.5138	1.7249	1.5727	0.5490	0.0833
96	2.2462	2.6696	2.0767	0.8655	0.8700	0.1111
108	2.4368	3.2541	2.0057	1.1803	0.8303	0.1667
120	2.2213	2.9704	2.8532	0.9680	0.6472	0.1945
132	2.4604	3.1508	2.6435	1.5549	0.3931	0.3333
144	2.2576	2.8263	2.0583	1.1401	0.2597	0.0000
156	2.4639	3.0859	1.6325	1.6853	0.4940	0.0000
168	2.2478	2.6552	2.1884	1.6382	1.2162	0.2778
180	2.4885	2.9978	2.1287	1.5992	0.2739	0.3333
192	2.3088	2.8421	2.5855	2.1472	0.8934	0.1250
204	2.4820	2.8555	1.9541	1.4096	0.0423	0.0000
216	2.3494	3.0850	3.3317	0.7778	0.2347	0.1250
228	2.4988	3.1882	2.0873	1.0407	0.2773	0.0000
240	2.3150	2.8111	1.8394	0.6456	0.4236	0.1250

## (2) 월별 강수검증 지수 비교

#### A. Threat Score (Fig. 3.2)

Rain Or Not : 예보시간의 증가에 따라 조금씩 작은 값을 갖는 것을 볼 수 있으나, 큰 변화는 없다. 여름철에 보다 큰 Threat Score를 갖고, 2월과 10월에 약간 작은 값을 나타낸다. 전체적으로 0.2~0.6 사이의 값을 갖는다.

1 mm 이상 : Rain Or Not의 경우보다 Threat Score의 변화 폭이 크다. 여름철 의 Threat Score가 크게 나타나고 있고, 2월과 10월에 작아진다. 전체적인 Threat Score는 0.02~0.6 사이의 값을 갖는다.

**5 mm 이상** : 5 mm 이상도 12 hr의 경우를 제외하고 2월과 10월에 작은 Threat Score를 갖는다. 전체적으로 Threat Score가 커지다가 9, 10월을 기점으로 작아지는 패턴을 보인다.

#### B. Bias Score (Fig. 3.3)

Rain or Not : 전체적으로 1~3의 값을 갖는다. 겨울, 초봄, 늦가을에 큰 Bias를 갖고, Threat Score가 크게 나타난 여름철을 중심으로 1.5~2 정도의 Bias를 나타낸다.

**1 mm 이상** : 120 hr의 2, 3월에 큰 bias를 나타내고 있고, 12월의 Bias가 다른 달보다 증가하는 모습을 보인다. 그 이외에는 약 1~3 사이의 Bias를 갖는다.

**5 mm 이상** : 역시 12월의 Bias가 다른 달보다 큰 값을 보이고 있으며, Threat Score가 크게 나타나고 있는 여름에서 가을에 걸쳐 약 1의 Bias를 나타내고 있다.

Threat Score of Rain or Not



Threat Score of 1mm Above







Fig. 3.2 월평균 Threat Score

Bias Score of Rain or Not



Bias Score of 1mm Above - 12 **\_ \_0** \_ 24 •--- 72 **-- - -** 120 sa 4 month

## Bias Score of 5mm above



Fig. 3.3 월평균 Bias Score

# 4. 태풍 예보 시스템

## 4.1 개요

기상청 수치예보과는 지난해와 마찬가지로 다음 네 개의 수치예보 모델을 태풍 예보를 위해 현업으로 운영하였다.

1. 순압 적응격자 태풍모델

(Barotropic Adaptive-grid Typhoon Simulation model, BATS)

2. 지구물리 유체역학 태풍모델

(Geophysical Fluid Dynamics Korea model, GFDK)

3. 전지구 예보 시스템

(Global Data Assimilation and Prediction System, GDAPS)

4. 지역 예보 시스템

(Regional Data Assimilation and Prediction System, RDAPS)

1999년부터 태풍예보에 사용된 지역 예보 시스템은 2000년 7월에 모델의 역학 계가 비정수계로 변경되었고 태풍 예보시간도 48시간에서 72시간으로 연장되었다.

태풍이 북위 20도 북쪽 그리고 동경 140도 서쪽의 해상에 위치하고 그 등급이 TS 이상인 경우 위의 태풍예보 모델들이 태풍 수치예보를 수행한다. GDAPS와 RDAPS는 00, 12 UTC에, GFDK 모델은 06, 18 UTC에 각각 72시간 예보를 생산했 으며, BATS 모델은 00, 06, 12, 18UTC에 60시간 예보를 생산했다.

2000년에는 총 23개의 태풍이 발생하였으며(Table 4.1), 이는 1951년부터 1998년 사이의 평균 발생 빈도인 27.3회에 비하면 태풍이 적게 발생한 해였다.

Table 4.1 2000년 발생 태풍

태풍	이르	투구		기간				최저기압	최대풍속	
번호	-18	он			(TS 등급	이상	•)		(hPa)	(kt)
0001	DAMREY	ΤY	5월	07일	00UTC -	5월	12일	06UTC	930	90
0002	LONGWANG	TS	5월	19일	00UTC -	5월 :	20일	00UTC	990	45
0003	KIROGI	ΤY	7월	03일	06UTC -	7월 (	08일	18UTC	940	85
0004*	KAI-TAK	ΤY	7월	05일	18UTC -	7월 :	10일	18UTC	960	75
0005*	TEMBIN	TS	7월	19일	00UTC -	7월 :	21일	12UTC	992	40
0006*	BOLAVEN	STS	7월	25일	18UTC -	7월 :	30일	21UTC	980	50
0007	CHANCHU	TS	7월	28일	18UTC -	7월 :	29일	12UTC	996	35
*8000	JELAWAT	ΤY	8월	01일	12UTC -	8월	10일	18UTC	940	85
0009*	EWINIAR	ΤY	8월	09일	18UTC -	8월	19일	12UTC	905	70
0010*	BILIS	ΤY	8월	19일	06UTC -	8월 :	23일	12UTC	915	110
0011	KAEMI	TS	8월	21일	12UTC -	8월 :	22일	06UTC	985	45
0012*	PRAPIROON	ΤY	8월	26일	18UTC -	9월 (	01일	12UTC	965	70
0013	MARIA	TS	8월	28일	12UTC -	9월 (	01일	06UTC	985	40
0014*	SAOMAI	ΤY	9월	02일	12UTC -	9월	16일	00UTC	925	95
0015*	BOPHA	TS	9월	06일	18UTC -	9월	11일	06UTC	990	45
0016	WUKONG	ΤY	9월	06일	00UTC -	9월 :	10일	06UTC	955	75
0017	SONAMU	STS	9월	15일	03UTC -	9월	18일	00UTC	980	55
0018	SHANSHAN	ΤY	9월	18일	12UTC -	9월 :	24일	12UTC	925	95
0019*	YAGI	ΤY	10월	22일	00UTC -	10월 :	26일	18UTC	965	70
0020*	XANGSANE	ΤY	10월	26일	06UTC -	11월 (	01일	06UTC	960	75
0021*	BEBINCA	STS	11월	01일	00UTC -	11월 (	06일	18UTC	980	60
0022	RUMBIA	STS	11월	28일	00UTC -	12월 (	01일	06UTC	985	50
0023	SOULIK	TS	12월	30일	00UTC -	1월 (	05일	00UTC	945	80

주) 태풍번호에 \*Table한 것은 모델 검증에 사용된 태풍들임

Fig. 4.1의 누적 발생빈도에서 보는 것처럼 초반기의 약한 태풍 활동이 중반기의 왕성한 태풍 발생으로 예년치에 상당히 근접하였으나 후반기에 태풍 발생이 적어 총 발생 횟수에 있어 약 4개의 차이가 생겼다.



**Fig. 4.1 월별 누적 태풍 발생 빈도.** 과거 평균값은 1950 - 1998년 발생 태풍의 통계값.

Fig. 4.2에 2000년의 월별 태풍 발생횟수를 예년 평균치와 비교하여 나타내었다. 5월 7일에 첫 태풍인 0001 DAMREY가 발생하였는데 이는 예년과 비교하여 약 1달 반 가량 늦은 것이다. 2호 태풍이 5월 20일 소멸된 후 3호 태풍 KIROGI가 7월 3일 발생할 때까지 약 한달 반 동안 북서 태평양에서의 태풍의 발생이 억제되었고, 특 히 6월에는 태풍이 하나도 발생하지 않았다. 5월과 7월에는 평균 발생 빈도보다 많 은 2개, 5개의 태풍이 각각 발생하였고, 8월과 9월에는 6개와 5개가 발생하여 예년 과 비슷한 발생 빈도를 나타냈다. 10월 이후에는 평년보다 감소된 태풍 활동을 보 였고 특히 10월에는 2개밖에 발생하지 않았다.





Fig. 4.3은 각 태풍의 Best Track을 보여준다. 2000년에는 4개의 태풍이 한반도 에 영향을 미쳤다. 4호 KAI-TAK은 황해를 통과하면서 약화되었고, 6호 BOLAVEN은 부산 동쪽을 통과하여 동해에서 소멸되었다. 12호 PRAPIROON과 14호 SAOMAI는 한반도 북쪽과 남쪽에 각각 상륙하였다. 발생 위치로 보면 총 23 개의 태풍 중에서 9개의 태풍(39%)이 북위 20도 이상의 위도에서 발생하였다. 평 년의 태풍 주 발생위치가 북위 10-20도 사이와 동경 110-150도 사이이므로 평년과 비교하여 평균적으로 고위도에서 태풍이 발생했음을 알 수 있다.



Fig. 4.3 2000년 발생 태풍의 트랙.

날짜변경선 근처에서 발생한 0007 CHANCHU와 0018 SHANSHAN, 그 리고 0022 RUMBIA, 0023 SOULIK의 트랙은 그려져 있지 않음.

## 4.2 태풍 진로예보 검증

비정수계 지역 예보 시스템이 태풍 예보에 사용되기 시작한 이후 발생한 태풍 중에서 12개의 태풍(Table 4.1에서 태풍번호에 별(\*)Table된 태풍)을 대상으로 4개 의 태풍 예보모델을 검증하였다. Fig. 4.4는 태풍 모델의 예보 시간별 평균 진로오 차를 보여준다. 48시간 예보까지는 순압 적응격자 태풍모델(BATS)이 가장 우수하 였고 나머지 모델들은 비슷한 성능을 보였다. 60시간과 72시간 예보에서는 상대적 으로 GFDK와 GDAPS의 예보가 우수한 것으로 나타났으며, 예보시간이 2000년에 48시간에서 72시간으로 연장된 RDAPS는 48시간 이후 오차가 빠르게 증가하는 것 을 알 수 있다.



Fig. 4.4 태풍모델의 예보 시간별 진로오차의 평균

2000년에 발생한 태풍 중에서 한반도에 직접적인 영향을 미친 4개의 태풍에 대 해 태풍모델의 예보성능을 조사한 결과가 Fig. 4.5에 나타나 있다. 태풍이 북위 33 도(제주도 남단 근처)를 통과하는 시점의 72시간 전부터 24시간 전까지의 기간에 대해 태풍 모델의 진로오차를 계산하였다. 태풍이 한반도에 접근하는 경우 BATS 모델은 12시간 단기예보에서 가장 우수한 것으로 나타났으며, 24, 36, 48시간 예보 는 RDAPS가, 60, 72시간 예보는 GDAPS가 가장 우수한 것으로 나타났다. 한편 GFDK는 예보시간에 관계없이 예보정확도가 가장 낮았다. Fig. 4.5(한반도 접근 태 풍 경우)와 Fig. 4.4(모든 태풍 경우)를 비교하면 저위도에서 중위도로 태풍이 이동 하며 한반도로 접근하는 경우 RDAPS와 GDAPS의 예보 정확도는 높아지는데 비해 BATS와 GFDK는 예보 성능이 저하되는 것을 알 수 있다.



Fig. 4.5 태풍모델의 예보 시간별 진로오차의 평균

한반도에 직접적인 영향을 미친 4개 태풍을 대상으로 북위 33도 통과 시점의 72시간 전부터 24시간 전까지의 기간 중 모델이 예보한 예보 시간별 태풍 진로의 오차

BATS 모델, GFDK 모델, 그리고 GDAPS의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로 오차를 Fig. 4.6 - 4.9에 나타내었다. BATS 모델은 지난 3년과 비교할 때 24시간 이내의 예보는 그 정확도가 높아졌으나, 48, 60시간예보에서는 예보 정확도가 낮아 진 것을 알 수 있다(Fig. 4.6). RDAPS와 GDAPS는 지난 3년간의 평균치와 비교할 때 24시간 이내의 단기 예보에서는 진로오차가 줄었지만 36시간 이상의 예보에서는 오차가 증가하였다(Fig. 4.7, 4.8). GFDK는 12시간 예보를 제외하면 2000년의 예보 오차가 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 4.9).


Fig. 4.6 BATS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차



Fig. 4.7 RDAPS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차



Fig. 4.8 GDAPS 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차



Fig. 4.9 GFDK 모델의 연도별 예보시간에 따른 평균 진로오차

### 5. 파랑수치예보 검증

### 5.1 브이 관측자료 검증

GTS 망을 통하여 분배되는 전세계 해상 상태 자료는 크게 선박에 의한 관측 전 문, 계류 브이 전문(moored buoy), 표류 브이 전문(drifting buoy)으로 나누어진다. 이 가운데 검증에 사용된 자료는 심해에 위치한 계류 브이로서 안정적으로 자료를 송출하는 18개 브이이다. 이러한 브이는 모두 북반구 대륙에 위치한 것들이어서 남 반구 및 적도 해상에 대한 검증은 제외되고 있다. 북반구 해양은 크게 4개 지역 (북 동 태평양, 북서 태평양, 북서 대서양, 북동 대서양)으로 분류하고 (Fig. 5.1-(a)), 각 지역 해양의 해상풍 및 유의파고의 월 평균편차(BIAS: [Model Forecast] - [Buoy Observation]) 및 평방제곱근오차(RMSE) 자료를 산출하였다. Table 5.1은 검증에 사용된 브이들의 인식 번호 및 위경도 좌표를 정리한 것이다. 브이 위치와 수치 모 텔 격자는 일치하지 않으므로 브이 위치를 포함하는 주위 4개 격자점 자료를 취한 후 (격자점의 일부가 육지에 해당될 때는 제외시킴), 거리에 반비례하는 가중치를 적용, 브이 위치에서의 수치 모델 자료를 계산 저장한다. 검증 기간은 1월부터 12월 까지 이다.

브이자료와 비교한 전구예보모델(GDAPS)의 바람자료는 모든 달에 음(-)의 평균 편차를 보이며, 평방제곱근오차는 평균 3.81 m/s 이다 (Table 5.2, Fig. 5.4, Fig. 5.5). 북반구 겨울철이 여름철에 비하여 높게 나타나고 있다. 이러한 경향은 유의파 고자료에 대한 검증에서도 나타난다. 12개월 모두 음의 편차가 나타나며, 여름철에 그 정도가 겨울철에 비하여 낮다. 검증 예보시간이 길어짐에 따라 음의편차 경향은 줄어든다. 4개 지역에 대한 평균 평방제곱근오차는 1.50 m 이다.

동북아 해역에 설치된 브이로서 원해에 설치되어 종관 규모의 파랑 예보모델의 검증으로 사용될 수 있는 브이는 일본 기상청에서 운영하고 있는 브이 21002, 21004, 22001 이다 (21002: 134°E, 38°N, 동해상, 21004: 135°E, 29°N, 일본 남쪽 해 상, 22001: 126°E, 28°N, 동중국해상; Fig. 5.1-(b)). 검증 기간은 2000년 1월부터 6 월까지 6개월이다. 브이 21002는 6월, 브이 21004는 7월, 브이 22001은 10월에 각각 운영을 중단하게되어 6월 이후의 브이 검증은 이루어지지 않았다. 브이로부터 입수 되는 정보는 풍향, 풍속, 해면기압, 기온, 수온, 유의파고, 파주기 이다. 이 중 풍속, 유의파고 자료가 검증에 사용된다. 브이 자료는 매 6시간 단위로 입수되며, 측정 단 위는 0.5 m 이다. 00UTC 와 12UTC 시각의 자료가 수치모델 결과와의 검증 자료로 사용된다. 수치모델 자료는 12, 24, 36, 48 시간의 예보 자료가 사용된다.

브이자료와 비교한 지역예보모델(RDAPS)의 바람자료는 검증 예보시간(12H -> 48H)이 늘어남에 따라 음의편차에서 양의편차로 변화하는 경향을 보이며 평방제곱 근오차는 2.5 m/s 에서 3.5 m/s 범위에 있다 (Fig. 5.7). 지역파랑모델의 유의파고 평 균편차의 변화 경향은 바람자료와 유사하게 음의 편차에서 양의 편차로 바뀌는 경향이 있으며 겨울철에는 모델예측값이 관측값보다 낮게, 여름철에는 높게 나타나는 경향도 보인다 (Fig. 5.6). 유의파고 평균 평방제곱근오차는 12시간에서 48시간 예보 까지 0.5 m에서 0.8 m 정도로 나타난다. 9월까지 자료가 입수된 동중국해에 위치한 브이 22001 자료에 대하여 12시간 유의파고 예보에 대한 관측자료와 모델자료를 시 계열로 표시하여 폭풍 및 태풍이 통과하는 시기에 파랑모델의 성능을 가늠할 수 있도록 하였다(Fig. 5.8). 절대값의 차이는 존재하나, 모델 예측값이 관측값의 추이를 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 8월 및 9월 중순에 한반도에 영향을 미쳤던 몇 차 례의 태풍이 동중국해를 지나갈 때 유의파고가 7-9 m를 상회하였는데 이에 대하여 모델이 근접하게 모사하고 있음을 알 수 있다.

### 5.2 위성 관측자료 검증

1992년 8월에 극궤도 위성으로 지구궤도에 올려진 TOPEX/POSEIDON(T/P)은 미항공우주국 (NASA)과 프랑스의 Centre National d'Etudes Spatiales(CNES) 두 기관에서 전지구 해양순환 연구를 목적으로 해면고도 관측센서(altimetry)를 탑재하 여 운영되고 있는 지구관측 위성이다. 해면고도를 정확히 관측함으로서 해수면에서 의 유속성분, 조석, 파랑정보를 생산할 수 있다. 관측 정밀도는 일반적 해상상태에 대하여 ±2 cm 범위에 있으며, 표준편차는 ±14 cm 이다. 트랙이 한번 반복되는 주 기는 10일이다. 미국 젯트추진연구소(IPL) 해양물리자료센터(PODAAC)를 통하여 1 일 1회 자동으로 자료를 수집하여 00. 12UTC 2개의 시간대로 구분하여 자료를 저 장하여 놓는다. 자료의 내용은 관측점 위경도좌표, 해면고도(mm), 유의파고(0.1 m), 해면고도 아노말리(mm), 해상 19.5 m에서의 풍속(m/s), 수증기량(g/cm<sup>2</sup>) 등이다. 이 웃하는 관측자료 사이의 간격은 약 10km 정도로 조밀하지만 다른 위성 관측과 같 은 스캔(scan) 형식이 아니고 궤도(path)를 따라 포인트 형태로 관측되므로 모델 격 자점에서 관측되는 자료의 갯수(모델분해능의 1/2°거리 범위에서 가장 가까운 관 측자료를 선택)는 1개월 검증기간을 모두 더하여 전구파랑예보모델(70°S - 70°N. 2° X 2° 분해능)의 경우 약 6000개에서 9000개 사이이며, 지역파랑예보모델(115°E - 150°E, 20°N - 50°N, 0.25° X 0.25° 분해능)의 경우 약 1500개에서 3000개 정도 가 분포한다.

T/P의 유의파고자료가 두가지 방식의 검증에 사용되었다. 하나는 모델자료와 관 측자료의 흩어짐(scatteredness) 정도를 산출하는 것(scatter plot & statistics)이고, 다른 하나는 브이관측자료를 이용한 검증방식과 같이, 평균편차와 평방제곱근오차 를 계산하는 것이다. 이 때 샘플 검증시각에 각 격자점(관측자료가 있는)에서의 통 계량은 모델 영역에 대하여 모두 더하여져 평균된 값이 사용된다. 따라서 브이 검 증과 같은 한 관측지점에서의 검증을 확장하여, 위성관측궤도에 따른 영역에 대한 검증인 셈이다. T/P 관측시간의 차이에서 생기는 시간상 오차는 무시하고, 00UTC 와 12UTC를 전후로 각 6시간이내에 들어온 자료를 각각 00UTC 와 12UTC의 자 료로 가정하여 사용하였다. Fig.5.9와 Fig.5.11은 전구와 지역파랑모델의 12시간과 3시간예측 유의파고 자료 와 T/P 유의파고 자료의 1월부터 12월까지 스캐터 그림과 통계자료이다. 통계자료 로는 상관지수, 선형회귀선 기울기, 모델과 T/P의 유의파고 평균치이다. 전구파랑모 델의 상관지수는 북반구 겨울철에 높고, 북반구 여름철에 낮게 나타나며 평균적으 로 0.61의 수치를 나타낸다. 지역파랑모델의 상관지수는 계절에 따른 변화경향은 약 하며, 평균적으로 0.71로 나타나 전구파랑모델의 경우보다 높은 상관관계를 보인다. 선형회귀선 기울기로부터는 관측값과 비교하여 모델의 편차 정도를 가늠할 수 있는 데, 전구파랑모델의 경우 기울기 평균값이 0.33 정도로 모델의 음(-)의 편차가 뚜렷 이 보이며, 이러한 경향은 브이 관측자료와의 전구예보모델(GDAPS)의 바람장 검증 에서도 나타나듯이, 예보바람장의 음의 편차 경향이 유의파고의 예측에도 나타난 것으로 보인다. 지역파랑모델의 경우도 음의 편차 경향이 있으나 그 정도는 약하며 (평균 0.71), 오히려 양의 편차를 보인 달(9월)도 있었다.

Fig.5.10과 Fig.5.12는 전구와 지역파랑모델의 12시간과 3시간예측 유의파고 자료와 T/P 유의파고 자료를 사용하여 위에서 언급한 방법으로 계산된 1월부터 12월 의 평균편차와 평방제곱근오차이다.

Fig. 5.10에서 나타나는 것과 같이 12시간 간격으로 수치가 규칙적으로 커지고 작 아지는 경향은 00UTC와 12UTC에 관측되는 T/P의 자료 갯수가 위성의 궤도 구간 (북반구를 지날 때와 남반구를 지날 때)이 달라지는 것에 따른 관측값 갯수의 차이 에 의한 것으로 생각된다.

- 71 -

GROUP	Serial #	BUOY ID	(Longitude	, Latit	ude) Locations
Northeast	1	21004	(1 <b>34</b> .9E	28.9N)	Japan South-East Coast
Pacific	2	22001	(126. <b>3</b> E	28.1N)	East China Sea shelf break
Northeast	3	41001	( <b>72.6</b> W	<b>34.7</b> N)	US East Coast
Atlantic	4	41002	( <b>75.2</b> W	<b>32.3</b> N)	US South-East Coast
	5	42001	( <b>89.7</b> W	25.9N)	Gulf of Mexico
Northwest	6	46001	(148.2W	56.3N)	Gulf of Alaska
Pacific	7	46003	(155.9W	51.8N)	Aleutian Peninsula
	8	46005	( <b>131.0</b> W	<b>46.1</b> N)	US North-West Coast
	9	46036	(133.9\)	48.4N)	US North-West Coast
	10	46059	(130.0W	<b>38.0</b> N)	US West Coast
	11	46184	(138.9₩	53.9N)	Canada West Coast
Northwest	12	62029	( 12.4₩	<b>48.7</b> N)	UK Celtic Sea shelf break
Atlantic	13	62081	(13.3₩	51.0N)	UK East Atlantic
	14	62106	( 9.9W	57.0N)	UK North-East Atlantic
	15	62108	( <b>19.5</b> W	53.5N)	UK East Atlantic
	16	62163	( <b>8.5</b> W	<b>47.5</b> N)	UK Celtic Sea shelf break
	17	63111	( 1.5E	59.5N)	North Sea shelf break
	18	64045	( 11.7\)	59.2N)	UK North-East Atlantic

#### Table 5.1 Buoy identification number and their location used in GoWAM verification

Table 5.2 GoWAM monthly +24 hour wind(m) and significant wave height(m/s) bias and rmse against buoy data.

Month (2000)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	0ct	Nov	Dec	Mean
Wind	-0.66	-0.61	-0.70	-0.23	-0.44	-0.55	-0.62	-0.39	-0.62	-0.59	-0.91	-0.63	-0.58
Bias													
Wind	3 76	4 06	4 26	3 37	2 77	3 68	3 73	2 76	3 11	4 25	5 65	4 37	3 81
Rmse	0.10	1.00		0.01	2	0.00	0.10	2.10		1.20	0.00	1.01	0.01
₩ave	-1 32	-1 60	-1 29	-0 92	-0.73	-0.73	-0.51	-0.61	-0 76	_1 10	_1 55	-1 56	-1 06
Bias	1.52	1.00	1.25	0.52	0.75	0.75	0.01	0.01	0.70	1.15	1.00	1.00	1.00
Wave	1 74	0 10	1 70	1 50	1 01	1 00	0.70	1 45	1 10	1 00	1 04	0.15	1 50
Rmse	1.74	2.10	1.70	1,50	1.01	1.00	0.70	1.45	1.10	1.03	1.04	2.15	1.50

Table 5.3 GoWAM monthly +12 hour skewness, correlation, and the selected points mean of significant wave height(m) for TOPEX and GoWAM.

Month(2000)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Ju1	Aug	Sep	0ct	Nov	Dec	Mean
Skewness	0.33	0.34	0.32	0.23	0.29	0.28	0.26	0.30	0.38	0.39	0.41	0.40	0.33
Correlation	0.62	0.67	0.59	0.47	0.60	0.61	0.56	0.59	0.62	0.64	0.66	0.64	0.61
TOPEX Mean	2.49	2.98	2.76	2.58	2.61	2.40	2.15	2.32	2.44	2.66	2.58	2.61	2.55
GoWAM Mean	1.27	1.38	1.32	1.25	1.28	1.18	1.13	1.18	1.30	1.38	1.35	1.38	1.28

Table 5.4 ReWAM monthly +3 hour skewness, correlation, and the selected points mean of significant wave height(m) for TOPEX and ReWAM.

Month(2000)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	0ct	Nov	Dec	Mean
Skewness	0.71	0.70	0.62	0.21	0.75	0.79	0.93	0.86	1.03	0.66	0.56	0.72	0.71
Correlation	0.71	0.74	0.72	0.42	0.71	0.66	0.87	0.74	0.76	0.66	0.63	0.79	0.70
TOPEX Mean	2.48	2.49	2.32	1.88	1.51	1.22	1.71	1.76	1.81	1.66	2.28	2.58	1.98
ReWAM Mean	1.86	2.05	1.91	1.32	1.35	1.22	0.87	0.74	0.76	0.66	0.63	0.79	0.70



Fig. 5.1 Buoy location for (a)GoWAM, and (b)ReWAM model verification.



Fig. 5.2 (a)-(f) GoWAM significant wave height bias from January to June 2000.



Fig. 5.2 (g)-(1) GoWAM significant wave height bias from July to December 2000.



Fig. 5.3 (a)-(f) GoWAM significant wave height rmse from January to June 2000.



Fig. 5.3 (g)-(1) GoWAM significant wave height rmse from July to December 2000.



Fig. 5.4 (a)-(f) GDAPS sea surface wind bias from January to June 2000.



Fig. 5.4 (g)-(1) GDAPS sea surface wind bias from July to December 2000.



Fig. 5.5 (a)-(f) GDAPS sea surface wind rmse from January to June 2000.



Fig. 5.5 (g)-(1) GDAPS sea surface wind rmse from July to December 2000.



Fig. 5.6 (a)-(f) ReWAM significant wave height bias & rmse from January to June 2000.



Fig. 5.7 (a)-(f) RDAPS sea surface wind bias & rmse from January to June 2000.



Fig. 5.8 (a)-(f) ReWAM significant wave height 12 hour forecast time series against buoy 22001 data from January to June 2000.



Fig. 5.8 (g)-(i) ReWAM significant wave height 12 hour forecast time series against buoy 22001 data from January to June 2000.



Fig. 5.9 (a)-(f) Scatter plot of GoWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from January to June 2000.



Fig. 5.9 (g)-(1) Scatter plot of GoWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from July to December 2000.



Fig. 5.10 (a)-(f) Bias and rmse of GoWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from January to June 2000.



Fig. 5.10 (g)-(1) Bias and rmse of GoWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from July to December 2000.



Fig. 5.11 (a)-(f) Scatter plot of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from January to June 2000.



Fig. 5.11 (g)-(1) Scatter plot of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from July to December 2000.



Fig. 5.12 (a)-(f) Bias and rmse of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from January to June 2000.



Fig. 5.12 (g)-(1) Bias and rmse of ReWAM significant wave height against Topex/Poseidon altimeter data from July to December 2000.

### 참 고 문 헌

수치예보과, 1994 : 극동아시아모델과 PPM 최고/최저기온 예보검증.

수치예보과 기술보고서 94-1, 기상청, 29 - 36.

----- , 1995 : '94년 기상청 운영 수치모델의 예보검증.

KMA/NWPD Technical Report 95-1, 기상청, 40 - 45.

- ----- , 1998 : '97 수치 예보 모델 검증 결과보고서.
  - KMA/NWPD Technical Report 98-3, 기상청, 4 17.
  - ----- , 1999 : '98 수치 예보 모델 검증 결과보고서.

KMA/NWPD Technical Report 99-1, 기상청, 1 - 17.

- K.Mulder and T.Hart, 2000 : Numerical prediction model performance summary October to December 1999, Aust. Met. Mag., vol.49 2000, 149-157.
- Peter Hurley, 2000 : Verification of TAPM meteorological prediction in the Melbourne region for a winter and summer month, Aust. Met. Mag., vol.49 2000, 97-107.

# 지역 예보 모델 검증 보고서(2000)

## 기상청 예보국 수치예보과

Korea Meteorological Administration/Numerical Weather Prediction Division 460-18, Shindaebang-Dong Tongjak-Gu, Seoul, 156-720, Republic of Korea

차

례

그림차례v
표차례x
1. 서론1
2. 종판 패턴 검증
2.1. 영역2
2.2. 방법2
(1) 평균오차3
(2) RMSE
(3) SI Score
2.3. 월평균4
(1) 고도장6
1) RMSE6
2) BIAS6
3) SI Score11
(2) 온도장
1) RMSE
2) BIAS11
2.4. 시계열
3. 강수 검증 방법과 결과
3.1. 방법
3.2. 검증결과
(1) $30 \text{km} \text{ MM5/KMA}$ 23
(2) 10 km MM5/KMA 31
(2)  form MM5/KMA 37
(3) 5KIII MINO/INMA
4. 러고/러시 기급 에도 쉽정
심고군인42

### 그림차례

- Fig. 2.1 Forecast Area and Verification Area of MM5-30KM/KMA
- Fig. 2.2 Monthly mean BIAS of (a) Geo-potential Height and (b) Temperature for Dec. 2000
- Fig. 2.3 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 300hPa Height
- Fig. 2.4 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 500hPa Height
- Fig. 2.5 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 8500hPa Height
- Fig. 2.6 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of Sea Level Pressure
- Fig. 2.7 Monthly mean S1 Score of (a) 300hPa (b) 500hPa (c) 850 hPa Height and (d) Sea Level Pressure
- Fig. 2.8 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 300hPa Temperature
- Fig. 2.9 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 500hPa Temperature
- Fig. 2.10 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 8500hPa Temperature
- Fig. 2.11 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of Surface Temperature
- Fig. 2.12 Time series RMSE of (a) Geo-potential Height and (b) Temperature for Dec. 2000
- Fig. 3.1 Distribution of MM5 25 grid points used for the verification of +3hr and +12hr rain forecast.
- Fig. 3.2 Monthly threat score of +3hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1mm above and 5mm above in MM5/30km.
- Fig. 3.3 Monthly threat score of +12hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1mm above and 5mm above in MM5/30km.
- Fig. 3.4 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/30km +12h,+24h,+36h, +48h forecast period from Jal. 2000 to Dec. 2000.
- Fig. 3.5 Monthly threat score of +3 hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1mm above and 5mm above in MM5/10km.
- Fig. 3.6 Same as Fig. 3.5 except for +12hr precipitation
- Fig. 3.7 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/10km +12h,+24h,+36h, +48h forecast period from Jul. 2000 to Dec. 2000.

- Fig. 3.8 Monthly threat score of +3hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1mm above and 5mm above in MM5/5km.
- Fig. 3.9 Same as Fig. 3.8 except for +12hr precipitation
- Fig. 3.10 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/5km +12h,+24h,+36h, +48h forecast period from Jul. 2000 to Dec. 2000.
- Fig. 4.1 The comparison of Kalman filter method with PPM method for maximum temperature RMSE and BIAS (a) and minimum temperature RMSE and BIAS (b)

### 표차례

- Table 3.1 Regions of verifications
- Table 3.2 Indexs of verifications (Contingency frequencies)
- Table 3.3 Indexs of verification (Categorical statistics)
- Table 3.4 Indexs of verification (Skill scores)
- Table 3.5 Indexs of verification (Continuous statistics)
- Table 3.6 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/ 30 km in Jan. 2000 ~ Dec. 2000.
- Table 3.7 Same as Table 3.6 except for +12hr precipitation
- Table 3.8 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/ 10 km in Jul. 2000 ~ Dec. 2000
- Table 3.9 Same as Table 3.8 except for +12hr precipitation
- Table 3.10 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/  $5\,\rm km$  in Jul. 2000  $\sim$  Dec. 2000
- Table 3.11 Same as Table 3.10 except for +12hr precipitation
- Table 4.1 Verification results for maximum and minimum temperature by Kalman filter method in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean (AM) and priestly score (P).
- Table 4.2 Verification results for maximum temperature in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean(AM), Priestly score(P) and correlation coefficient(R)
- Table 4.3 Verification results for minimum temperature in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean(AM), Priestly score(P) and correlation coefficient(R).
- Table 4.4 Total and seasonal mean of RMSE and BIAS for maximum and minimum temperature forecast by PPM temperature forecast equations over 31 stations of Korea during the period of 2000.

### 1. 서 론

1999년 6월부터 새로이 가동된 지역 예보 모델 시스템은 수평 규모 30 km의 정 수계 역학 과정을 사용하며 연직 좌표계는 지형을 고려하는 시그마 좌표계를 사용 한다. 정수계 역학 과정을 사용한 이 시스템은 지위고도와 온도 모두 한랭편차가 존재하였으며(NWPD TR 00-4), MM5의 역학 체계를 비정수계로 변환함으로써 그 한랭편차를 어느정도 줄일 수 있음을 알게 되었다.

그로인해 2000년 6월 15일부터 현업 MM5의 역학 체제가 비정수계로 변환되 어 운영되었으며, 이와 동시에 수평규모 10, 5 km의 MM5 악기상 예보를 함께 현업 운영되었다.

2장에서는 1995년부터 생산된 검증 보고서와 비교할 수 있는 온도, 고도, 습기, 바람 예보 장의 고도별, 예보 시간 별 검증 결과를 편차와 평균 제곱근 오차, 숙련 도 등을 중심으로 비교하였다. 또한 3장에서는 지역모델의 강수 검증 결과를 보이 는 데, 1995년부터 1999년까지의 수치예보 기술보고서에서 보인 treat score를 산출 함으로써 검증의 연속성을 이어나갔다. 7월부터 12월까지의 수평규모 10, 5km에 대 한 강수 검증 결과도 함께 제공하였다.
# 2. 종관 패턴 검증

# 2.1 영역

검증은 2000년 10월 변경된 그림 2.1에서 보이는 사각형 영역안에 대하여 동일 하게 실시하였다.



Fig. 2.1 Forecast Area and Verification Area of MM5-30KM/KMA

# 2.2 방법

해면기압과 850 hPa, 500 hPa 및 300 hPa층의 고도와 기온에 대해 초기장을 분 석장으로 하여 12, 24, 36, 48 시간 예보 결과에 대해 다음의 검증 방법에 따라 검 증을 실시하였다.

## (1) 평균 오차(BIAS)

검증영역안의 모든 격자점에 대하여 다음식과 같이 예보값( $X_f$ )과 분석값 ( $X_a$ )의 차이를 평균하여 평균오차를 구한다. 여기서 N은 검증 영역내의 총 격자점 수이다. 이 변수의 의미는 검증영역안에서 예보값과 분석값의 대소를 판단하는 것 이다.

$$M_{f,a} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_{f} - x_{a})_{i}}{N}$$

# (2) RMSE

검증 영역안에서 예보값( $X_f$ )과 분석값( $X_a$ )의 차이를 제곱하여 평방근을 취 한 과이다.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_f - x_a)_i^2}{N}}$$

# (3) S1 Score

해면기압이나 지위고도같은 수평 경도를 예상하는 정도를 재는 척도로 쓰이며 다음식에 의해 구해진다.

$$sl = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{n} (e_g)_i}{\sum_{i=1}^{n} (G_L)_i}$$

여기서  $e_g$ 는 예보된 값의 차이에 대한 에러를 나타내며 다음식에 의해 구한다.

$$e_{g} = \left\{ \left| \frac{\partial (x_{f} - x_{a})}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial (x_{f} - x_{a})}{\partial y} \right| \right\}$$

G<sub>L</sub>은 다음식에 의해 구하며 두격자점 사이의 분석된 값 또는 예보된 값의 차 이중 최대값을 의미한다.  $G_{L} = \max\left(\left|\frac{\partial X_{f}}{\partial X}\right|, \left|\frac{\partial X_{a}}{\partial X}\right|\right) + \max\left(\left|\frac{\partial X_{f}}{\partial y}\right|, \left|\frac{\partial X_{a}}{\partial y}\right|\right)$ 

S1 Score는 예보와 분석장에 나타나는 현상의 규모는 물론 검증되는 격자점들 사이의 간격에 예민하다. 그러므로 S1 Score의 유효한 상호 비교는 검증점들의 동 등한 간격과 일관된 방식으로 예보와 분석장에 있어서 필터링(filtering)이 요구된다. 보통 이 값의 범위는 실제적으로 거의 완벽하다고 볼 수 있는 30에서부터 의미없는 값이라고 생각할 수 있는 80까지이다. 이 값은 해면기압에 대하여 24시간 예보의 경우 40에서 50의 정도값을 갖는다.

## 2.3 월평균

다음은 고도장(해면기압 포함)과 온도장에 대한 현업 지역 예보 모델인 MM5-30KM/KMA의 2000년 1월부터 12월까지 월별 12, 24, 36, 48시간 예보에 대 한 BIAS, RMSE, S1 SCORE(고도장만)이다. 6월 15일 현업 지역 예보 모델의 역 학 체제가 정수계에서 비정수계로 변경되었기 때문에 1월에서 6월은 정수계역학 과 정을 사용하는 지역 예보 모델의 결과이며 7월부터 12월까지는 비정수계 결과이다.

현재 수치예보과 인트라넷에 월평균 검증값과 시계열값이 제공되고 있으며, 그 주소는 '190.1.5.135/MM5/vrfy.html'이다. 그림 2.2는 인트라넷에 제공되고 있는 BIAS 의 예로써 윗그림은 2000년 12월의 해면기압과 지위고도에 대한 결과값이 며, 아래 그림은 온도장에 대한 값이다. MSLP의 경우 48시간 예보 결과 약 2 hPa 의 bias가 존재하며 850, 500, 300 hPa의 상층으로 갈수록 그 값이 40, 60 120 gpm BIAS 가 증가하는 것을 알 수 있으며, 또한 예보 시간이 길어질수록 BIAS가 증가 하는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 일반적인 다른 모델에서도 나타나는 특징이 다. 온도의 경우 850, 500 hPa에서 -2의 BIAS가 나타나 다른 층에 비해 그 값이 크게 나타나며, 예보 시간에 따라 그 값이 증가하는 것은 고도값과 비슷하다.



Fig. 2.2 Monthly mean BIAS of (a) Geo-potential Height and (b) Temperature for Dec. 2000

## (1) 고도장

#### 1) RMSE

그림 2.3-6 (a)는 각각 300, 500, 850 hPa 그리고 해면기압의 월별 평균 RMSE 를 그린 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 예보 시간이 12, 24, 36, 48시간 점차 길어 질수록 RMSE가 커지는 것은 당연하다. 그리고 대체적으로 모든 층과 모든 예보 시간에 대해 여름철 6, 7, 8월에 가장 적은 값을 가지며 겨울로 가는 9, 10, 11, 12 월에 가장 큰 RMSE가 나타나 전반적으로 여름보다는 겨울에 큰 값이 나타난다. 또한 상층으로 가면서 고도 (또는 해면기압) 경도의 절대값이 증가하기 때문에 RMSE 또한 상층으로 갈수록 그 수치가 증가한다.

#### 2) BIAS

그림 2.3-6(b)는 각각 300, 500, 850 hPa 그리고 해면기압의 월별 평균 BIAS 를 그린 것이다. 계절적, 시간적, 공간적인 BIAS의 특징은 RMSE와 거의 동일하 다. 그림들에서 알 수 있듯이 우리 현업 모델은 뚜렷한 음(negative)의 BIAS를 전 예보시간과 전 층에 대하여 가지고 있다. 이는 하층보다도 상층에서 큰값을 가지 며 예보시간이 진행됨에 따라 값이 뚜렷이 증가되고 있다. 또한 2000년 9월에 들 면서 BIAS의 값이 급격히 증가되면서 1999년 겨울철에 비해 그 값이 전반적으로 30%이상 증가되는 경향을 보였다. 혹 7월부터 비정수계 역학 체제로 변경되면서 여름철의 경우 BIAS를 약화시켰지만, 겨울철은 비정수계를 채택함으로써 BIAS가 심화되지 않았나하는 의구심이 생길 것 같아 7월 이후 백업으로 돌아간 정수계 결 과와 현업 결과를 비교한 결과 모든 달에 대해 정수계의 BIAS 결과가 비정수계보 다 그 수치가 훨씬 크게 나타났다(그림 생략). 그러므로 1999년보다 30%이상의 큰 BIAS가 나타난 2000년 겨울의 경우 역학 체제에 대한 문제보다는 다른 곳에서 음의 BIAS의 원인을 찾아야 할 것이다.



Fig. 2.3 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 300 hPa Height



Fig. 2.4 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 500 hPa Height



Fig. 2.5 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 850 hPa Height



Fig. 2.6 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of Sea Level Pressure

### 3) S1 Score

앞에서 설명했듯시 S1 스코어는 고도(해면기압)의 경향에 대한 평가이다. 그 림 2.7에서 볼 수 있듯이 겨울로 가면서 이 값이 좋아지는 것은 여름보다는 겨울이 그 경향이 단조롭기 때문이다. 여름의 경우 지역적인 중규모 현상의 빈번한 발생 또는 이와 관련된 현상으로 경향이 상당히 복잡한 상태를 보이므로 이에 따라 일반 적으로 겨울이 여름보다는 좋은 값을 가진다. 이는 상층과 하층간의 값을 비교해 보면 더욱 잘 이해할 수 있다. 하층보다는 상층의 기압경향구조가 간단하므로 상 층으로 갈수록 값이 좋은 것이 현저히 나타난다. 동일한 MM5결과인 1999년값과 비교할 때 BIAS나 RMSE등은 2000년이 훨씬 크게 나타났지만, 경향성에 대한 평 가인 S1 값은 거의 유사하게 나타났다.

## (2) 온도장

#### 1) RMSE

그림 2.8- 11(a)는 각각 300, 500, 850 hPa 그리고 지상 온도의 월별 평균 RMSE를 그린 것이다. 역시 예보시간이 길어질수록 값이 커진다. 또한 모든 층과 모든 예보시간에 대하여 여름에서 겨울로 가면서 값이 증가하고 있다. 이도 고도장 과 마찬가지로 역시 대부분의 모델 검증 결과에서 볼 수 있는 현상이다.

#### 2) BIAS

그림 2.8- 11(b)는 각각 300, 500, 850 hPa 그리고 지상 온도의 월별 평균BIAS 를 그린 것이다. 이 역시 고도와 마찬가지로 전 층에 대하여 음의 BIAS를 가지고 있다. 그리고 1999년 결과와 마찬가지로 850 hPa에서 제일 큰 BIAS를 가진다.



Fig. 2.7 Monthly mean S1 Score of (a) 300 hPa (b) 500 hPa (c) 850 hPa Height and (d) Sea Level Pressure





Fig. 2.7 (Continued)



Fig. 2.8 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 300 hPa Temperature



Fig. 2.9 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 500 hPa Temperature



Fig. 2.10 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of 850 hPa Temperature



Fig. 2.11 Monthly mean (a)RMSE and (b)BIAS of Surface Temperature

# 2.4 시계열

월평균에서 언급했듯시 시계열값과 월평균값은 수치예보과 인트라넷에 그 결과 를 게시하고 있다. 그림 2.12은 인트라넷을 통해 제공되는 2000년 12월의 지위고 도와 온도에 시계열값이다.

2000년 12월 20일 부근 11월 23일 12UTC는 500 hPa에서 48시간 예보에 대하여 120 m의 RMSE값을, -110 m의 음의 BIAS를 가지며 이 보고서의 검증기간 중 최악 의 결과를 보였다. 이러한 결과는 해면기압에 대해서도 8.5 hPa의 BIAS와 11.5 hPa 의 RMSE를 보이며 마찬가지 결과를 보여주고 있다. 이는 모델 시스템에 의한 결 과라 하여도 그때의 지배적인 기상패턴에 따라 모델의 성능에 심한 차이를 보임을 보여주는 좋은 예로서 앞으로 지속적인 검증과 이러한 경우에 대한 사례연구를 통 하여 우리모델 시스템이 안고있는 약점을 보완하거나 적어도 이를 체계적으로 정리 하여 홍보할 계획이다.



Fig. 2.12 Time series RMSE of (a) Geo-potential Height and (b) Temperature for Dec. 2000

# 3. 강수 검증 방법과 결과

# 3.1 방법

2000년 1월부터 12월의 지역 예보 모델고나 고분해능 모델의 강수 예상 결과를 AWS와 비교 검증하였다. 모델의 강수는 종관 변수의 검증과 마찬가지로 1월부터 6월까지는 정수계 역학과정의 모델 결과이며, 7월부터 12월은 비정수계 역학 과정 의 모델 결과이다. 그리고 6월 15일부터 수평격자 10 km, 5 km의 비정수계 MM5/KMA가 정식 현업 운영되었으므로 10 km, 5 km MM5/KMA의 결과는 7월부 터 12월까지 검증하였다. 강수 검증 영역과 방법 등은 아래의 표에 나와있다.

격자점 기준			관측점 기준		시계열 영역	
	30km	480	전체 관측점	458	서욱	419
한반도 주변	10km	5658	서울 경기	80	16	110
	5km	19600	강원도	65	부산	159
한반도 남쪽	30km	149	경상북도	68	과즈	156
	10km	1157	경상남도	63	37	150
육지	5km	3706	전라북도	34	대전	133
		0100	전라남도	70		
	30km	25	충청북도	26	강릉	105
റിറി നിലി	1	05				
임의 신택	0km	25	중정남도	36	제주	184
	5km	25	제주도	16		

Table 3.2 Indexs of verifications (Contingency frequencies)

구 분	설명
Total Number (N)	The number of total data.
Hits Number (H)	The number of "hits", which indicate occurrences of rain that were correctly predicted.
Fail Number (F)	The number of "false alarm", which denote predictions of rain for which no rain was observed.
Miss Number (M)	The number of "misses", which indicate occurrences of rain that were incorrectly predicted.
Zero Number (Z)	The number of "zero", which denote correct forecasts of "no rain".

구 분	설 명	공 식	특 징	영 역
A.C.C. (forecast accuracy)	The ratio of correct forecasts to the total number of forecasts.	(correct forecasts) / (total forecasts) = (Z+H) / (N)	A.C.C. is strongly influenced by the predominant number of correct "no rain" forests, Z, especially in dry regions.	From 0.0 to 1.0, perfect score 1.0.
BIAS (bias score)	The relative frequency of predicted and observed rainfall, without regard to forecast accuracy.	(rain forecasts) / (rain observations) = (F+H) / (M+H)	If BIAS equals unity, then the predicted rainfall frequency is the same as was observed, but it may or may not be located in the same time.	From 0.0 to oo (Infinitely great), perfect score 1.0.
P.O.D. ( T h e probability of detection)	The success of the forecast in correctly predicting the occurrence rain.	(correct rain forecasts) / (rain observations) = (H) / (M+H)	It is possible to score well on the P.O.D. by overforecasting the occurrence of rain.	From 0.0 to 1.0, perfect score 1.0.
F.A.R. (The false alarm ratio)	The fraction of rain predictions which were actually non-raining.	(false alarms) / (rain forecasts) = (F) / (F+H)	It is used to check for the error that P.O.D. scores well by overforecasting the occurrence of rain.	From 0.0 to 1.0, perfect score 0.0.
C.S.I. (The critical success index, known as the "threat score")	C.S.I takes into account both false alarms and missed events.	(correct rain forecasts) / (rain forecasts + observations) = (H) / (F+M+H)	C.S.I has the advantage of not being dominated by the no-rain events(Z). C.S.I is biased toward data sets with higher rain frequencies, making it a misleading statistic to use when comparing forecast skill score different regimes.	From 0.0 to 1.0, perfect score 1.0.

Table 3.4 Indexs of verification (Skill scores)

구 분	설 명	공 식	영 역
E.T.S. (The equitable threat score)	E.T.S. is a modification to the C.S.I. that takes into account the number of correct forecasts of events(H) that would be expected purely due to chance.	<pre>(correct rain forecasts - random hits) / (rain forecasts + observations - random hits) = (H-R) / (F+M+H-R) = (Z*H-F*M) / ((F+M)*N+(Z*H-F*M)) *. random hits (R) = ((M+H)*(F+H)) / (N)</pre>	From -1./3. to 1.0, perfect score 1.0.
H.S.S. (Heidke skill score)	H.S.S. accounts for all correct forecasts (events(H) and non-events(Z)) that would be made due to chance.	<pre>(correct forecasts - (correct forecasts)_random) / (N - (correct forecasts)_random) = (H+Z-C) / (N-C) = ((Z*H)-(F*M)) / (((Z+M)*(M+H)+(Z+F)*(F+H))/2.) *. (correct forecasts)_random (C) = ((Z+F)*(Z+M)+(M+H)*(F+H)) / (N)</pre>	From -oo (Negative infinitely great) to 1.0, perfect score 1.0.
H.K. (Hanssen and Kuipers score, known as the "true skill score")	This is very similar to the H.S.S. except that it uses an unbiased random forecast in the denominator.	<pre>(correct forecasts - (correct forecasts)_random) / (N - (correct forecasts)_random,unbiased) = (H+Z-C) / (N-U) = ((Z*H)-(F*M)) / ((Z+F)*(M+H)) *. (correct forecasts)_random,unbiased (U) = ((Z+F)*(Z+F)+(M+H)*(M+H)) / (N)</pre>	From -1.0 to 1.0, perfect score 1.0.

Table 3.5 Indexs of verification (Continuous statistics)

구 분	설명
Mean of diff.	The mean error of difference ( forecasts - observations )
ABSE of diff.	The mean absolute error of difference ( forecasts - observations )
RMSE of diff.	The RMS error of difference ( forecasts - observations )

현업에서는 3 종류의 격자점 기준 검증과 10 종류의 관측점 기준 검증을 수행 하며 1, 3, 6, 12시간 누적 강수량에 대하여, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 50.0, 100.0 mm 의 강수 임계치에 대하여 매일 2회(00/12 UTC) 검증을 수행한 후, 월 평균 처리시에 12시간 누적의 0.01, 5.0, 10.0 mm의 강 수 유무에 대한 25 격자점 검증값과 시계열 그림을 출력한다(http://190.1.5.135/ MM5/vrfy.html에 제공). 격자점 또는 관측점으로 자료를 내삽할 때 영향 반경은 30, 10, 5 km MM5/KMA 모두 42 km 이다. 검증 지점 위치는 Fig 3.1에서 제공한 다.



Fig. 3.1 Distribution of MM5 25 grid points used for the verification of +3hr and +12 hr rain forecast.

# 3.2 검증 결과

## (1) 30 km MM5/KMA

1) 3시간 누적 강수량

Fig. 3.2은 3시간 누적 강수량을 12시간 간격으로 모아서, 강수 유무, 1 mm이 상 그리고 5 mm이상에 대하여 산출한 월별 Threat score이다. 그리고 이를 12개월 동안 평균한 값이 Table 3.6이다. 이 결과를 보면 99년도 보다 조금 낮게 나타나 그 결과값이 여전히 낮은 편이며 특히 5 mm 이상의 강수 예보의 경우 매우 낮게 나타나고 있다.

Table 3.6 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/30 km in Jan. 2000 ~ Dec. 2000.

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall	+24hr to +36hr rainfall	+36hr to +48hr rainfall
Rain or not	0.23	0.22	0.19	0.16
1mm above	0.15	0.13	0.11	0.08
5mm above	0.08	0.07	0.05	0.04

2) 12시간 누적 강수량

Fig. 3.3는 12시간 누적 강수량에 대하여 Fig. 3.2과 동일한 방법으로 검증한 월 별 Threat score이다. 그리고 이를 12개월 평균 한 값이 Table 3.7이다. Table 3.6 의 +3시간 누적 강수량보다 전체적으로 Threat score가 높게 나타나고 있다.

Table 3.7 Same as Table 3.6 except for +12 hr precipitation.

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall	+24hr to +36hr rainfall	+36hr to +48hr rainfall
Rain or not	0.31	0.31	0.30	$0.27 \\ 0.16 \\ 0.09$
1mm above	0.23	0.23	0.20	
5mm above	0.16	0.16	0.15	

Table 3.7 Same as Table 3.6 except for +12 hr precipitation.



Threat Score of Rain or Not

Fig. 3.2 Monthly threat score of +3 hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1 mm above and 5 mm above in MM5/30 km.



Fig. 3.3 Monthly threat score of +12 hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1 mm above and 5 mm above in MM5/30 km.

Fig. 3.4은 1월부터 12월까지의 threashold의 변화에 따른 그 CSI값의 변화이다. 대부분의 모델에서 CSI의 강수 검증 결과값은 기준 강수량 값이 증가할수록 강수 일수가 즐어들기 때문에 그 값이 떨어지며, 그리고 예보 시간이 길어질수록 모델 오차의 증가로 그 결과값이 낮게 나타난다.

2000년 우리 지역 예보 모델의 강수 검증 결과값도 다른 모델과 거의 동일한 결과가 나타난다. 하지만 그림에서 알 수 있듯이 2000년도 지역 예보 모델은 봄 철(3, 4, 5월) 강수 예보에 있어서 12시간 전의 예보보다는 24시간 전의 강수 예보 결과가 더 높은 값을 가지는 특징이 나타났다. 또한 3월, 10월, 11월의 경우 기준 강수량이 증가함에도 불구하고 1-10 mm사이의 강수 검증 결과값은 거의 유사하였 다. 즉 3월, 10월, 11월은 강수 현상이 존재할 때마다 거의 10 mm 부근의 강수가 내렸음을 알 수 있다.

계절적으로 비교하였을 때 여름철에 강수가 집중되는 우리나라 강수 특징에 따 라 강수빈도와 양이 많은 여름철이 겨울철보다 강수 검증결과값이 높게 나타났으 며, 10월, 11월에도 검증 결과값이 높이 나타나 다른 해와 달리 2000년 10월과 11월 은 강수 현상이 잦았음을 알 수 있다.



Fig. 3.4 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/30km +12h,+24h,+36h, +48h forecast period from Jal. 2000 to Dec. 2000.



Fig. 3.4 continued



Fig. 3.4 continued



Fig. 3.4 continued

## (2) 10 km MM5/KMA

1) 3시간 누적 강수량

Fig. 3.5은 3시간 누적 강수량을 12시간 간격으로 모아서, 강수 유무, 1 mm이상 그리고 5 mm이상에 대하여 산출한 월별 Threat score이다. 그리고 이를 2000년 7 월부터 12월까지 6개월 평균한 값이 Table 3.6이다. 이 결과를 보면 30 km보다 조 금 낮게 나타나며 특히 5 mm 이상의 강수 예보의 경우 매우 낮게 나타나고 있다.

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall
Rain or not	0.18	0.17
1mm above	0.10	0.10
5mm above	0.06	0.07

Table 3.8 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/10 km in Jul. 2000 ~ Dec. 2000

2) 12시간 누적 강수량

Fig. 3.6는 12시간 누적 강수량에 대하여 Fig. 3.5과 동일한 방법으로 검증한 월 별 Threat score이다. 그리고 이를 6개월 평균 한 값이 Table 3.9이다. Table 3.8의 +3시간 누적 강수량보다 전체적으로 Threat score가 높게 나타나고 있다.

Table 3.9 Same as Table 3.8 except for +12 hr precipitation

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall
Rain or not	0.30	0.29
1mm above	0.20	0.19
5mm above	0.07	0.08



Fig. 3.5 Monthly threat score of +3 hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1mm above and 5mm above in MM5/10 km.



Fig. 3.6 Same as in Fig. 3.6 except for +12 hr rainfall forecast

Fig. 3.7은 7월부터 12월까지의 threashold의 변화에 따른 그 CSI값의 변화이다. 6개월 평균 결과에서 30 km의 결과보다 검증 결과값이 조금 낮았듯이 월별 기준 강 수량에 따른 검증 결과값 또한 모든달이 다 낮게 나타났다. 그리고 10 km 분해능의 경우 12시간전 예보와 24시간 전 예보에 있어 12시간전 강수 예보 결과가 조금 더 높은 값이 나타났지만 거의 값 사이의 차이는 거의 없으 며, 9월, 10월은 오히려 24시간 전의 결과값이 조금 더 높게 나타났다.

하지만 7월부터 12월 모두 기준 장수량에 따른 강수 검증 결과값은 기준 강수 량이 커질수록 낮아지는 경향이 나타났으며, 10월, 11월은 30 km의 결과값과 비슷하 게 기준값에 따른 변화가 적게 나타났다.



Fig. 3.7 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/10km +12h,+24h,+36h, +48h forecast period from Jul. 2000 to Dec. 2000.



Fig. 3.7 continued.

## (2) 5 km MM5/KMA

1) 3시간 누적 강수량

Fig. 3.8는 3시간 누적 강수량을 12시간 간격으로 모아서, 강수 유무, 1 mm이상 그리고 5 mm이상에 대하여 산출한 월별 Threat score이다. 그리고 이를 6개월 동 안 평균한 값이 Table 3.8이다. 이 결과를 보면 30 km보다 조금 낮게 나타났으며, 10 km와는 그 값에 있어 거의 차이가 없이 여전히 낮은 편이며 특히 5 mm 이상의 강수 예보의 경우 매우 낮게 나타나고 있다.

Table 3.10 Monthly mean of Threat score for the +3hr rainfall forecast of MM5/5km in Jul. 2000  $\sim$  Dec. 2000

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall
Rain or not	0.17	0.16
1mm above	0.10	0.09
5mm above	0.06	0.05

2) 12시간 누적 강수량

Fig. 3.9는 12시간 누적 강수량에 대하여 Fig. 3.8과 동일한 방법으로 검증한 월 별 Threat score이다. 그리고 이를 6개월 평균 한 값이 Table 3.11이다. Table 3.10의 +3시간 누적 강수량보다 전체적으로 Threat score가 높게 나타나고 있다.

Table 3.11 Same as Table 3.10 except for +12 hr precipitation

Forecast time Rainfall category	+1hr to +12hr rainfall	+12hr to +24hr rainfall
Rain or not 1mm above 5mm above	$0.27 \\ 0.18 \\ 0.11$	0.26 0.18 0.13


Fig. 3.8 Monthly threat score of +3 hr rainfall forecast for 3 category such as rain or not, 1 mm above and 5 mm above in MM5/5 km.



Fig. 3.9 Same as in Fig. 3.8 except for +12 hr rainfall forecast.

Fig. 3.10은 7월부터 12월까지의 threashold의 변화에 따른 그 CSI값의 변화이 다. 6개월 평균 결과와 마찬가지로 30 km보다 검증 결과값이 낮게 나타나며, 10 km와는 거의 결과에 차이가 나타나지 않는다.

10 km와 5 km의 강수 예보 결과값은 거의 동일한 패턴이 나타나고 있는데, 예 보 시간에 따른 결과에서 10 km와 마찬가지로 12시간 전 예보와 24시간 전 예보에 그 값의 차이가 없으며, 오히려 9월, 10월은 24시간 전의 결과값이 조금 더 높게 나 타났다.

또 7월부터 12월 모두 기준 강수량에 따른 강수 검증 결과값도 10 km와 동일한 패턴이 나타나 기준 강수량이 커질수록 낮아지는 경향이 나타났으며, 10월, 11월은 30 km, 10 km의 결과와 유사하게 기준값에 따른 변화가 적게 나타났다.



Fig. 3.10 Threat score vs precipitation threshold calculated for the MM5/5km +12h,+24h, +36h, +48h forecast period from Jun.1999 to Dec. 1999.



Fig. 3.10 Continued.

# 4. 최고/최저 기온 예보 검증(VERIFICATION)

현재 기상청에서는 최고/최저 기온 예보를 위해 1993년부터 PPM 방법을 이 용한 통계 모델을 운영하고 있고, 1999년부터는 칼만 필터 방법을 이용한 최고/ 최저 기온예보를 추가하였다. 본 보고서에서는 우리 나라 31개 지점에 대하여 계절별로 +12시간과 +24시간의 예보 자료와 이에 대응되는 관측값을 사용하여 아래의 5가지 검정지수를 사용하여 최고/최저 기온에 대하여 예보 능력 평가를 실시하였다.

## 4.1. 검정지수

(1) Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_{obs} - Y_{fcs})^2}{N}}$$

(2) Bias

$$BIAS = \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{fcst})}{N}$$

(3) Absolute Mean (AM)

$$AM = \frac{\sum |Y_{obs} - Y_{fcs}|}{N}$$

(4) Priestly skill score (P)

$$P = 1 - \frac{MSE}{SD^2}$$

여기서 P=1 이면 완벽한 예보이고, P≦0 이면 잘못된 예보이다. 또한, MSE(Mean Standard Error)와 SD(Standard Deviation)는 다음과 같이 정의된다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (X_{obs} - X_{fcst})^2$$
$$SD = \left[\frac{1}{N-1} \sum (X_{obs} - \overline{X_{obs}})^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

(5) 상관 계수(Correlation coefficient;R)

$$R = \frac{SD^2 + SD_f^2 + BIAS^2 - MSE}{2 \cdot SD \cdot SD_f}$$

### 4.2. 검증결과

최고/최저 기온 예보 검증 결과, 칼만 필터 방법을 이용한 경우의 RMSE는 최고, 최저 기온에 대하여 각각 2.34와 2.07 이고 PPM 방법의 경우에는 각각 2.84와 2.49 값을 나타냈다 (Fig. 1.1). 두 방법 모두 최고 기온보다는 최저 기온 의 예보 성능이 더 좋게 나타났고, 평균적으로 PPM 방법보다는 칼만 필터 방법 이 더 좋은 예보 결과를 생산하고 있음을 보여주었다. 이들 각각에 대한 보다 자세한 결과는 다시 설명하였다.



Fig. 4.1. The comparison of Kalman filter method with PPM method for maximum temperature RMSE and BIAS (a) and minimum temperature RMSE and BIAS (b).

#### 4.2.1. 칼만 필터 최고/최저 기온예보 검증

칼만 필터 방법을 이용한 최고/최저 기온 예보는 00 UTC에는 +1일의 최저/ 최고, +2일의 최저 기온 예보, 12 UTC에는 +1일의 최고, +2일의 최저/최고 기온 예보를 생산하고 있으며 이들 각각에 대한 예보 검증 결과는 표 1.1과 같다.

Table 4.1 Verification results for maximum and minimum temperature by Kalman filter method in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean (AM) and priestly score (P).

Forecast element	Forecast time	RMSE	BIAS	AM	Р
		( ℃)	(℃)	(°C)	
Maximum Temperature	1day 12UTC	2.34	-0.01	1.80	0.68
	1day 00UTC	2.75	-0.09	2.14	0.54
	2day 12UTC	2.94	0.00	2.33	0.49
Minimum Temperature	1day 00UTC	2.07	0.02	1.64	0.75
	2day 12UTC	2.21	0.03	1.81	0.70
	2day 00UTC	3.00	-0.02	2.03	0.38

#### 4.2.2. PPM 최고/최저 기온예보 검증

(1) 최고 기온 예보

PPM 최고 기온 예보는 00UTC에는 24시간 예보를, 12UTC에는 12시간 예 보를 각각 생산한다. 예보된 최고기온에 대해 5가지 방법으로 수행한 사계절 검 증 결과를 Table 1.2로 나타내었다. 검증 결과, 겨울철의 예보 결과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

Table 4.2 Verification results for maximum temperature in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean(AM), Priestly score(P) and correlation coefficient(R).

Forecast time	Season	RMSE	BIAS	АМ	Р	R	
		(°C)	(°C)	(°C)			
00 UTC Forecast +24 hr	Spring	3, 33	1.48	2.92	0.72	1.19	
	Summer	3.87	0.23	2.85	-0.37	1.59	
	Autumn	2.66	-0.40	1.96	0.50	1.31	
	Winter	2.30	-0.23	1.80	0.72	1.18	
12 UTC Forecast +12 hr	Spring	2.95	0.67	2.52	0.78	1.12	
	Summer	3.03	0.30	2.28	0.18	1.41	
	Autumn	2.47	-0.39	1.77	0.57	1.26	
	Winter	2.09	-0.23	1.60	0.77	1.14	

(2) 최저 기온 예보

Table 1.2의 최고 기온 예보와 마찬가지 방법으로 검증을 실시한 결과 (Table 1.3), 12시간 예보(00UTC 생산 예보)가 24시간 예보(12UTC 생산 예보)보 다 다소 양호하다고는 할 수 있지만 대체적으로 비슷한 예보 정도를 보인다.

Table 4.3 Verification results for minimum temperature in 2000 for 31 stations of Korea. They are RMSE, BIAS, Absolute Mean(AM), Priestly score(P) and correlation coefficient(R).

Forecast time	Season	RMSE	BIAS	AM	Р	R
		(°C)	(°C)	(°C)		
00 UTC Forecast +12 hr	Spring	2.59	0.44	2.27	0.83	1.11
	Summer	2.51	0.49	1.86	0.04	1.51
	Autumn	2.25	-0.34	1.66	0.67	1.18
	Winter	2.13	-0.18	1.67	0.80	1.12
12 UTC Forecast +24 hr	Spring	2.83	1.02	2.52	0.81	1.13
	Summer	3.00	0.58	2.19	-0.36	1.67
	Autumn	2.31	-0.20	1.79	0.67	1.19
	Winter	2.28	-0.07	1.81	0.77	1.14

(3) 평균값

Table 4.4는 Table 4.2와 Table 4.3의 12시간과 24시간 예보 결과를 평균한 RMSE와 BIAS 값을 나타내고 있다. 이 값들은 PPM 방법을 이용한 예보 결과 를 사용할 때는 반드시 고려해야 할 예보 특성이다.

Table 4.4 Total and seasonal mean of RMSE and BIAS for maximum and minimum temperature forecast by PPM temperature forecast equations over 31 stations of Korea during the period of 2000.

Season						
Forecast		Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
elements						
Maximum	RMSE(℃)	3.14	3.45	2.56	2.19	2.84
temperature	BIAS (°C)	1.08	0.26	-0.39	-0.23	0.18
Minimum	RMSE (°C)	2.71	2.75	2.28	2.20	2.49
temperature	BIAS (°C)	0.73	0.53	-0.27	-0.13	0.22

#### 참 고 문 헌

- 수치예보과 , 2000: 1999년 지역 예보 모델의 검증과 민감도 연구. KMA/NWPD Technical Report 2000-4, 기상청.
- -----, 2000: 1999년 고분해능 모델의 성능과 평가. KMA/NWPD Technical Report 2000-5, 기상청
- Ashok Kumar, Parvinder Maini, and S.V.Singh, 1999: An operational Model for Forecasting Probability of Precipitation and Yes/No Forecast. Weather and Forecasting, 14, 38–48.
- Charles A. Doswell III et al. 1990: On Summary Measures of Skill in Rare Event Forecasting Based on Contingency Tables. Weather and Forecasting, 5, 576–585.
- Colle et al. 1999: Evaluation of MM5 and Eta-10 Precipitation Forecasts over the Pacific Northwes during the Cool Season. *Weather and Forecasting*, **14**, 138-154.
- Elizabeth E. Ebert and John L. McBride, 1997: Methods ofr Verifying Quantitative Precipitation Forecasts: Application to The BMRC LAPS Model 24-Hour Precipitation Forecasts. BMRC Techniques Development Report No. 2.
- Joseph T. Schaefer, 1990: The Critical Success Index as an Indicator of Warning Skill. *Weather and Forecasting*, **5**, 570–575.
- Thomas W. Bettge and Richard A. Anthes, 1987: Vefify The MM4 Verification Processor. NCAR *Technical Note*, NCAR/TN-281+IA.
- White et al. 1999: Short-Term Forecast Validation of Six Models. *Weather and Forecasting*, **14**, 84–108.