

# 일 최고 및 최저 기온에 대한 UMOS (Updateable Model Output Statistics) 시스템 개발

홍기옥<sup>1</sup> · 서명석<sup>1,\*</sup> · 강전호<sup>1</sup> · 김찬수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 대기과학과

<sup>2</sup>공주대학교 응용수학과

(2010년 3월 15일 접수; 2010년 3월 31일 승인)

## Development of Updateable Model Output Statistics (UMOS) System for the Daily Maximum and Minimum Temperature

Ki-Ok Hong<sup>1</sup>, Myoung-Seok Suh<sup>1,\*</sup>, Jeon-Ho Kang<sup>1</sup> and Chansoo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Science, Kongju National University

<sup>2</sup>Department of Applied Mathematics, Kongju National University

(Manuscript received 15 March 2010; in final form 31 March 2010)

### Abstract

An updateable model output statistics (UMOS) system for daily maximum and minimum temperature ( $T_M$  and  $T_m$ ) over South Korea based on the Canadian UMOS system were developed and validated. RDAPS (regional data assimilation and prediction system) and KWRF (Korea WRF) which have quite different physics and dynamics were used for the development of UMOS system. The 20 most frequently selected potential predictors for each season, station, and forecast projection time from the 68 potential predictors of the MOS system, were used as potential predictors of the UMOS system. The UMOS equations were developed through the weighted blending of the new and old model data, with weights chosen to emphasize the new model data while including enough old model data to ensure stable equations and a smooth transition of dependency from the old model to the new model. The UMOS equations are being updated by every 7 days. The validation results of  $T_M$  and  $T_m$  showed that seasonal mean bias, RMSE, and correlation coefficients for the total forecast projection times are  $-0.41 \sim 0.17$  K,  $1.80 \sim 2.46$  K, and  $0.80 \sim 0.97$ , respectively. The performance is slightly better in autumn and winter than in spring and summer. Also the performance of UMOS system are clearly dependent on location, better at the coastal region than inland area. As in the MOS system, the performance of UMOS system is degraded as the forecast day increases.

**Key words:** UMOS, RDAPS, KWRF, daily maximum and minimum temperature

### 1. 서론

다양한 종류/규모의 수치예보모델은 일기예보 및 기후분야에서 가장 핵심적인 예보도구이다. 그러나 우리생활에 가장 필수 불가결한 기온(2 m), 일 최고/최

저 기온, 시정, 하늘상태 등을 직접 산출하지 못할 뿐만 아니라 강수현상과 같이 직접 산출할지라도 예측수준이 낮은 문제점을 갖고 있다. 이러한 이유로 대부분의 국가에서는 수치모델이 직접 산출하지 못하거나 산출수준이 낮은 기상요소들을 통계적 기법으로 산출하여 예보의 보조자료로 활용하고 있다.

현재 가장 널리 이용되는 통계적 방법으로는 MOS (Model Output Statistics), PPM (Perfect Prog Method), KF (Kalman Filter), 신경망 기법 등이 있다(이민영 등, 1999; 이우진, 2006; Glahn and Ruth, 2003; Zwiers and Von Storch, 2004; Caren *et al.*, 2007; William *et*

\*Corresponding Author: Myoung-Seok Suh, Meteorological Satellite Research Laboratory, Department of Atmospheric Science, College of Natural Science, Kongju National University, 182 Shinkwan-dong, Gongju, 314-701, Korea. Phone: +82-41-850-8533, Fax: +82-41-856-8527 E-mail: sms416@kongju.ac.kr

al., 2007). 기상청에서도 이러한 기법들을 이용하여 수치모델 자료의 문제점을 보완하고 있으며, 그 중에서도 MOS 기법은 2005년 6월부터 점차적으로 예보요소를 확대하여 기온뿐만 아니라 강수확률, 하늘상태와 같이 수치모델이 직접 제공하지 않는 예보요소를 디지털예보시스템의 초기예보자료로 제공하고 있다 (서영경 등, 2006).

이 중에서 MOS는 수치모델 자료 (예보인자)와 관측 기상요소 (피예보인자)와의 상관관계에 기초한 다중선형회귀식을 개발하여 예보에 활용하는 기법이다. 이것은 수치모델의 계통오차를 설명할 뿐만 아니라, 수치모델이 직접 생산하지 못하는 기상요소 (기온, 시정 등)와 생산하여도 산출수준이 낮은 예보요소 (강수)들을 격자점이 아닌 관측점에 대해 예측할 수 있다 (Glahn and Lowry, 1972; Jacks et al., 1990; Parvinder et al., 2003; Kenneth et al., 2004). 또한 예보 장소 및 시간대 마다 다른 예보인자를 선택하며, 최근에는 예보인자에 기후값을 활용함에 따라 예보시간이 증가하여도 표본의 평균에 가까운 예보를 생산하는 장점이 있다. 이러한 MOS에서 안정적인 예보식을 개발하기 위해서는 동일한 조건 (모델의 해상도, 초기조건, 경계조건, 물리과정, 등등)하에서 적어도 2~3년간의 수치모델 자료의 축적이 필요하다. 그러나 현재 지구상에서 운용중인 수치모델은 모두가 불완전하기 때문에 각국에서는 수치모델의 예측수준을 향상시키기 위하여 해상도 향상, 자료동화 및 물리과정 등을 지속적으로 개선하거나 새로운 모델로 교체하고 있다. 즉, 수치모델의 개선이나 교체가 발생할 경우 수치모델자료와 지상관측자료사이에 존재하던 상관관계에 변화가 생기기 때문에 새 모델에 대한 MOS시스템의 재개발은 불가피하다. 즉, 모델 환경에 변화가 있을 때 마다 MOS 개발을 위한 적어도 2~3년간의 수치모델 모의가 필요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 Ross (1987, 1989)는 UMOS (Updateable MOS) 시스템을 제안하였으며, 캐나다에서는 수치모델의 변경 및 개선 시 MOS시스템의 기능을 연속적으로 유지할 수 있는 UMOS 시스템을 개발 운영하고 있다 (Wilson and Vallee, 2002; 2003). UMOS 시스템은 새로운 모델 자료가 생산되었을 때, 두 모델자료를 혼합 (blending)하여 예보인자를 만들어냄으로써 새로운 모델을 2~3년간 추가로 모의할 필요가 없다. UMOS 시스템의 정확도는 새로운 모델의 샘플 수에 영향을 받기 때문에 새로운 모델의 샘

플 수가 많아지면 모델의 예측수준이 안정화 되고, 일 정기간 (예: 300일)이 지나면 새로운 모델에 대한 MOS가 완성된다. 현재 기상청은 RDAPS 등 수치예보 모델들을 UM (Unified Model)으로 교체하는 차세대 수치예보시스템 구축을 추진 중에 있다. 따라서 현재 예보보조도구로 활용중인 MOS에 대한 대안 마련이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 역학과정, 물리과정, 해상도 등 많은 점에서 차이가 있는 RDAPS와 KWRF 모델 자료를 이용하여 일 최고기온과 일 최저기온에 대해 캐나다에서 현업 운용중인 UMOS 시스템과 유사한 UMOS 시스템을 시험 개발하여 우리나라에서 MOS의 대안으로 UMOS가 타당성이 있는지를 분석하였다.

## 2. 자 료

MOS 및 UMOS 모델에 사용되는 예보인자는 예보요소, 관측지점, 예보시간에 따라 모두 다르다. 따라서 예보요소에 영향을 줄 것으로 예상되는 모든 예보인자들을 고려하는데 이 예보인자들을 잠재예보인자라고 한다. 잠재예보인자의 요건으로는 예보요소에 대한 대기현상을 과학적으로 설명하며, 수치예보자료로 계산이 가능한 예보인자여야 한다. 일반적으로 바람, 기온 등 기본적인 기상요소들도 있지만, 이들을 조합하여 계산해냄으로써 대기의 상태를 나타내는 가강수량, SSI (Showalter Stability Index) 등도 있다.

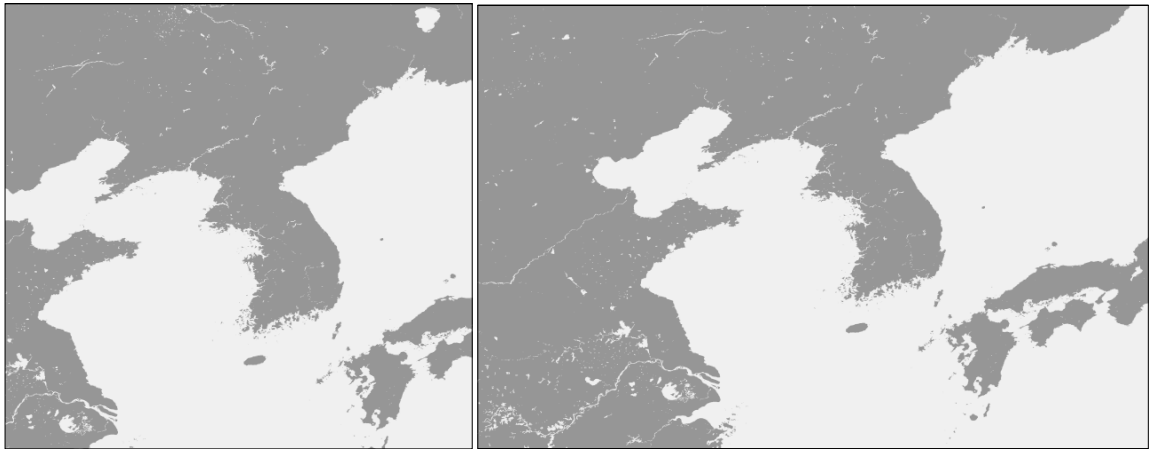
### 2.1 수치예보자료

MOS 시스템과 달리, UMOS 시스템의 개발 및 검증을 위해서는 두 개의 모델이 필요하다. 기상청 지역예보모델인 RDAPS (Regional Data Assimilation Prediction System)와 시험 운용중인 KWRF (KMA Weather Research and Forecast Model) 자료를 기상청으로부터 확보하였다. 수집한 자료의 기간은 RDAPS 자료가 약 3년 (2005년 3월~2008년 5월), KWRF 자료가 약 1년 (2007년 6월~2008년 4월)이다. 본 연구에 사용된 수치모델 자료의 구조는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 RDAPS와 KWRF의 예보영역을 나타낸 것이다. RDAPS의 예보는 하루에 2회 00 UTC와 12 UTC에 수행되며, 각 회당 +66시간까지 3시간 간격으로 총 23회의 예보자료를 생산한다.

**Table 1.** Description of the data produced by the two numerical weather prediction models, RDAPS and KWRP.

Contents		RDAPS	KWRP
Dimension	X	41	178
	Y	55	160
	Z	25	25
Resolution		30 × 30 km	10 × 10 km
Forecast_time		+66 hr (intv. 3 hr)	+60 hr (intv. 3 hr)
Operation period		2005. 4 ~ 2008. 5	2007. 6 ~ 2008. 4



**Fig. 1.** Forecast area of the RDAPS (left) and KWRP (right).

KWRP의 예보도 하루에 2회 00 UTC와 12 UTC에 수행되며, 각 회당 +60시간까지 3시간 간격으로 총 21회의 예보자료를 생산한다.

**2.2 관측자료**

MOS 및 UMOS 통계예보모델 구축을 위하여 수치모델 자료 외에 관측 자료와 기후자료도 통계예보모델의 잠재예보인자로 사용하였다. 수치모델 자료와 같이 2005년부터 2008년까지의 76개 기상관측소에서 관측된 일 최고/최저 기온 자료를 사용하였다. 기후자료는 1995년부터 2004년까지 10년 동안의 일 최고/최저 기온을 각 지점별, 날짜별로 평균하였다 (식 (1)).

$$T_{cmxmn}(s,d) = \frac{1}{10} \sum_{y=1}^{10} T_{mxmn}(s,y,d) \quad (1)$$

여기서  $T_{cmxmn}$ 과  $T_{mxmn}$ 은 각각 일 최고/최저 기온에 대한 기후값과 일 최고/최저 기온을 의미하고, s, y, 및 d는 각 지점 (76개), 년도 (1995~2004) 및 날짜 (365일)

를 의미한다.

일 최고/최저 기온에 대해 모델에서 생산된 65개의 예보인자, 전일 (또는 최근) 관측된 최고/최저 기온, 기후값 및 최근 관측 기온의 총 68개의 변수가 MOS 및 UMOS의 잠재예보인자로 사용된다. 부록 I에 본 연구에서 이용된 잠재예보인자의 목록을 나타내었다.

**2.3 모델자료 전처리 개발**

MOS 개발과정에서 가장 기본적인 전처리 과정에서는 1) 수치모델자료를 관측점 값으로 내삽하는 과정, 2) 수치모델에서 직접 예보하지 않는 2차 변수를 산출하는 과정이 있다. 2차 변수란 잠재예보인자로 선정된 65개의 예보요소들 중에서 수치예보 모델이 직접 예보하지 못하는 예보인자들을 말하는 것으로, 수치모델이 예보하는 요소들의 조합으로부터 계산할 수 있다.

관측지점의 분포는 공간적 균질성이 없기 때문에 일정한 간격의 격자점에서의 예보값을 나타내는 수치예보 자료를 이용하기 위해서는 수치예보자료를 관측지점으로 내삽이 필요하다. RDAPS 자료의 공간해상

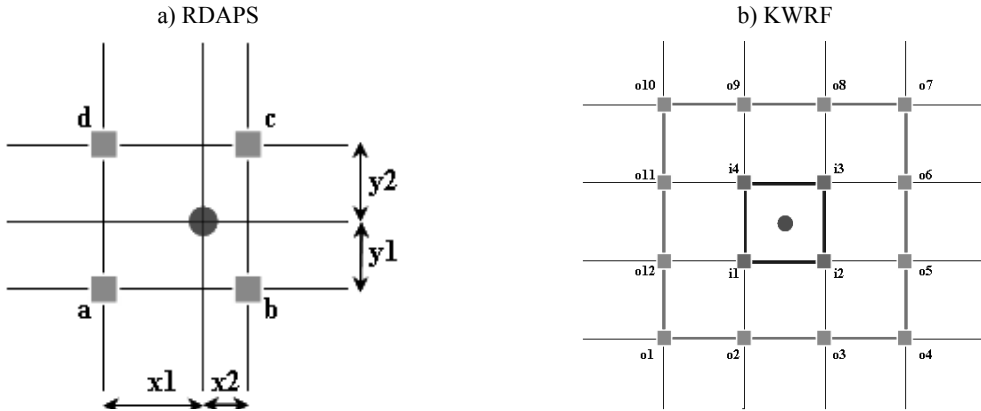


Fig. 2. Interpolation method of (a) RDAPS and (b) KWRP to the observation point (circle).

도가 30 km인 점을 고려하여 관측지점을 중심으로 하는 4개의 격자점에 대해 거리 대 면적의 반비례를 이용한 가중평균을 이용하였다 (Fig. 2(a)).

KWRP 수치예보 모델의 공간해상도는 10 km 이다. 일반적으로 모델이 고해상도로 갈수록 기상현상의 상세구조를 잘 모의하는 것은 사실이지만 예보수준은 그에 비례하지 않는다. 따라서 KWRP의 고해상도 자료를 직접 이용하지 않고 RDAPS의 공간해상도가 30 km 인 점을 고려하여 KWRP의 자료도 30 km 로 하였다. 즉, 관측점을 중심으로 30 km × 30 km 내에 위치한 16 개의 격자점 값을 이용하였다 (Fig. 2(b)).

$$V(P) = ((x2 \times y2) \times a) + ((x1 \times y2) \times b) + ((x1 \times y1) \times c) + ((x2 \times y1) \times d) \quad (2)$$

$$V(P) = ( ((i1+i2+i3+i4) \times 2) + ((o1+o2+\dots+o11+o12) \times 1) ) / 20 \quad (3)$$

### 3. 연구방법

#### 3.1 시스템구성

본 연구의 주목적은 수치예보모델의 개선 및 변경 시에도 자동으로 통계예측 모델 (MOS)을 갱신함으로써 안정적인 통계예보가 가능한 UMOS 시스템의 개발에 있다. UMOS 시스템은 MOS 시스템의 개발, UMOS 시스템의 개발, 그리고 UMOS 시스템을 검증하는 3 단계로 구성된다. MOS 시스템의 개발의 목적은 UMOS 시스템 개발에 필요한 기본 자료 축적과, UMOS 모델의 상대적 예측 수준 검증 시 비교 군으로

활용하는데 있다. 본 연구에서는 서영경 등 (2006)이 개발하여 현업 운용중인 MOS 시스템에 기초하여 MOS를 설계하였다.

MOS 및 UMOS 시스템에서 예보될 기상요소 (피예보인자, 예측량)는 일 최고 기온과 일 최저 기온이다. 일 최고/최저 기온은 특정 시간대의 기상요소가 아니고, 비선형적 특성을 갖기 때문에 통계적으로 예측하기가 어려운 기상요소 중 하나이다. 따라서 관측 일 최고/최저 기온과 수치모델 예측 자료와 대응 시간 설정 시 신중하게 하여야 한다. 피예보인자의 정의는 다음과 같다.

- 일 최고기온: 각 관측소에서 10-18시 사이에 발생한 최고 기온
- 일 최저기온: 각 관측소에서 03-09시 사이에 발생한 최저 기온

#### 3.2 MOS 설계 및 개발

특정 지점 (관측소)에서 기온의 시간 변동에 영향을 주는 요인들로는 태양 고도각, 구름, 온난/한랭 이류, 대류, 지면피복, 토양수분, 강수 등과 같은 자연적인 요인과 인공열 등과 같은 인위적인 요인이 있다. 본 연구에서는 기온의 시간적 변동에 영향을 주는 요인으로 자연적 요인만을 고려하였으며, 특히 MOS 예보식 개발에 사용되는 RDAPS에서 상대적으로 예측수준이 높은 기상요소들을 이용하였다. 기상청 수치예보과에서 개발한 PPM (Perfect Prog. Method: 조주영과 최준태, 1993)과 NWS (National Weather Service)에서 사용하는 MOS 잠재예보인자 (Glahn and Dallavale,

**Table 2.** Definition of season and sampling number of data used in each season.

		Spring	Summer	Autumn	Winter
RDAPS	Year / month	2005.4 ~ 6 2006.2 ~ 6	2005.5 ~ 9 2006.5 ~ 9	2005.8 ~ 12 2006.8 ~ 12	2005.11 ~ 2006.3 2006.11 ~ 2007.3
	Run days	241	306	306	302
KWRF	Year / month	2008.2.1 ~ 4.15	2007.6 ~ 9	2007.8 ~ 12	2007.11 ~ 12 2008.1 ~ 3
	Run days	75	122	153	151

**Table 3.** The number of prediction equations in MOS and UMOs.

Prediction times	Daily maximum T		Daily minimum T	
	00 UTC	12 UTC	00 UTC	12 UTC
Projection times	+0day, +1day, +2day	+1day, +2day	+1day, +2day	+1day, +2day, +3day
Season	4 seasons			
Station	76 stations			
Number of equations	1,520		1,520	

2000)들을 참고하여 구성한 목록 (서영경 외, 2006)을 이용하였다.

우리나라를 지배하는 기상시스템이 계절별로 상이함을 고려하여 MOS 예보식을 계절별로 개발하였다. 이러한 점은 이미 관측요소와 수치예보 요소사이의 상관관계 분석에서 예보인자가 예보요소를 설명하는 정도와 역할이 계절적 특성을 갖는다는 서영경 외 (2006) 연구에서 밝혀진 바 있다. 계절별 예보모델 개발을 위해 수치예보 자료와 관측자료를 월별로 구분하여 구축하였다. 일반적으로 우리나라에서 계절은 3개월 단위로 구분하지만 본 연구에서는 장기간의 수치모델 자료를 확보하지 못한 문제를 해결하기 위해 각 계절에서 전과 후 1개월을 각 계절에 포함하였다. 예를 들어, 여름의 경우 6, 7, 8월이 여름에 속하지만 여기서는 5, 6, 7, 8, 9월을 여름으로 정의하였다. 따라서 본 연구에서 산출된 예보결과는 각 계절별로 장기간의 안정적인 자료를 확보하여 개발한 결과보다는 산출수준이 낮을 수 있기 때문에 본 연구의 결과 해석 시 이점을 고려하여야 할 것이다. 각 계절별로 구분한 DB 구축현황을 Table 2에 나타내었다.

또한 지리적 위치 및 예보시간에 따라 수치모델의 예보수준이 다른 점을 고려하여 예보식을 각 지점별 (76개 지점)로 개발하였다. 또한 수치예보자료가 1일 2회 (00 UTC, 12 UTC) 제공되는 점을 고려하여 예보 자료별로 예보식을 개발하였다. 예보요소는 일 최고기

온과 일 최저기온이고 예보하는 시간은 예보요소 및 예보자료 별로 +2일 또는 +3일에 대해 예보한다 (Table 3 참고). 즉, 총 MOS 예보식은 각 예보요소(일 최고/최저 기온)에 대해 1,520개 (지점 (76) × 계절 (4) × 예보 자료별 (2, 00, 12 UTC) × 예보일 (5, 최고기온: 00 UTC-3일, 12 UTC-2일, 최저기온: 00 UTC-2일, 12 UTC-3일))이다.

예보식 개발과정에서 잠재예보인자로부터 예보인자를 선정하기 위해 단계적 예보인자 선택법 (Stepwise screening method)을 이용하였다. 이 방법은 중요한 변수를 하나씩 추가 선택하여 이미 선택된 변수들과의 유의성 검토를 통해 유의한 변수들을 최종 선택하는 방법으로 2006년에 개발된 기상청 MOS 예보모델의 개발 방법 (서영경 외, 2006)과 동일하다.

일 최고/최저 기온 예보모델에서는 각각 15 LST와 06 LST를 기준으로 3시간 전과 6시간 전의 예보인자들의 기중평균을 이용하였다. 이는 수치모델에서 예측한 특정 시간대와 관측 최고/최저 기온의 발생시간이 정확히 일치하지 않기 때문이다. 일 최고/최저 기온 예보모델의 구성은 다음과 같다.

$$\hat{Y}_t = F_t \left( \frac{\hat{X}_{09h} + 2\hat{X}_{12h} + 3\hat{X}_{15h}}{6} \right) + F_{obs} (T_{pmax}) + F_{climate} (T_{cmaxm}) + F_{obs} (T_{recent}) \quad (4)$$

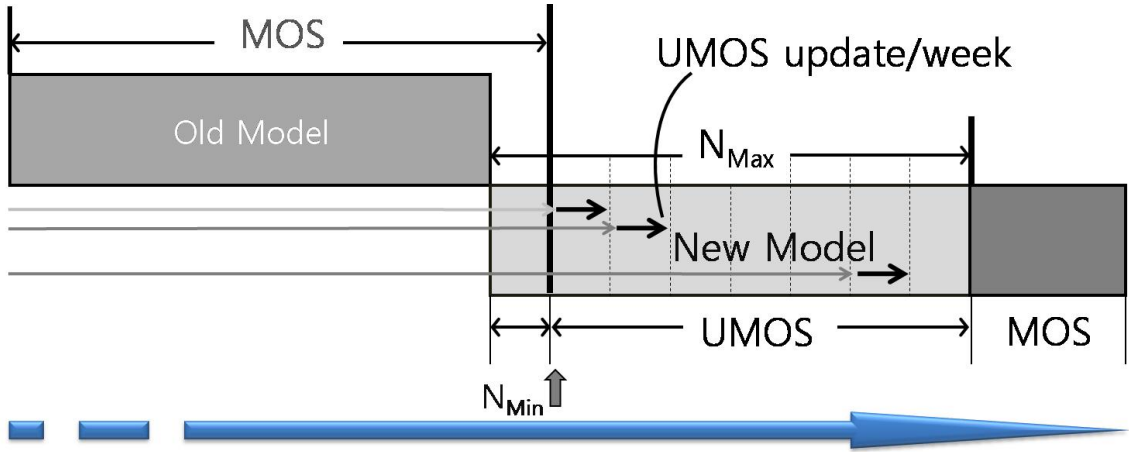


Fig. 3. Conceptual diagram of UMOS system.

$$\hat{Y}_t = F_t \left( \frac{\hat{X}_{00h} + 2\hat{X}_{03h} + 3\hat{X}_{06h}}{6} \right) + F_{obs}(T_{pmin}) + F_{climate}(T_{cmxmn}) + F_{obs}(T_{recent}) \quad (5)$$

위의 두 식에서  $\hat{Y}_t$ 는 t 예보시간에 대한 회귀 추정값,  $\hat{X}$ 는 수치 예보자료로부터 계산된 예보인자로 각각 해당일의 09 LST, 12 LST, 15 LST (식 (4)) 또는 00 LST, 03 LST, 06 LST (식 (5))에 계산된 값이다. 그리고  $T_{pmax}$ 와  $T_{pmin}$ 은 최근 관측된 최고/최저 기온이고,  $T_{recent}$ 는 최근의 관측기온,  $T_{cmxmn}$ 는 10년 동안 (1995~2004년) 평균된 최고/최저 기온 값이다.

### 3.3 UMOS 설계 및 개발

일 최고/최저 기온의 UMOS 시스템을 개발하기 위하여 현재 기상청에서 운용중인 MOS 시스템과 캐나다에서 운용중인 UMOS 시스템을 기본으로 하여 설계를 하였다 (서영경 외, 2006; Wilson and Vallee, 2002; 2003). UMOS란 Fig. 3에서 보는 바와 같이 현재 운용중인 수치모델의 개선 또는 교체로 인하여 새로운 모델의 운용이 시작될 경우 과거 모델자료와 새로운 모델 자료를 혼합하여 예보식을 개발하여 예보하는 방법이다. 이 때 새로운 모델의 운용 즉시 두 모델 자료의 혼합을 하는 것이 아니고 최소 30개 이상 표본수가 산출될 때 혼합을 시작한다. 또한 새로운 모델의 운용이 증가함에 따라 주기적으로 예보인자의 혼합을 수행하여 새로운 예보식을 산출한다. Fig. 3에서 검은 화살표는 UMOS 시스템의 갱신주기 (7일)를 나타낸

다. 이 때 실제 예보에서는 새로운 모델 자료를 이용하기 때문에 혼합과정에서 새로운 모델에 가중치를 크게 주어 예보식이 새로운 모델 자료에 보다 더 영향을 받도록 한다. 본 연구에서 사용한 과거 모델 자료는 RDAPS이고, 새로운 모델 자료는 KWRF이다. UMOS 시스템은 MOS 시스템과 마찬가지로 각 예보요소 (일 최고/최저 기온)에 대해 계절 (4), 관측소 (76), 예보일 (5) 및 예보 자료(2) 별로 예보식을 개발하였다.

#### 3.3.1 UMOS 잠재 예보인자 선정

UMOS 개발에 앞서, 일 최고/최저 기온에 대해 68개 (수치모델로부터의 잠재예보인자 (65) + 최근 (또는 전일) 관측된 일 최고/최저 기온 (1) + 기후값 (1) + 최근 관측 기온 값 (1))의 잠재 예보인자를 사용하여 MOS를 개발하였다. MOS 개발 과정에서 가장 많이 선택된 예보인자를 계절 및 예보시간별로 각각 20개씩 선택하여 UMOS의 잠재예보인자로 선정하였다. 여기서 잠재예보인자를 20개로 한정하는 것은 UMOS에서는 주기별로 잠재예보인자와 예보식을 갱신하여야 하는데 잠재예보인자가 MOS에서와 같이 68개로 할 경우 저장하여야 할 자료의 양이 급격히 증가할 뿐만 아니라 예보인자 선정시간도 많이 소요되기 때문에 향후 현업적 운용을 고려하여 20개로 한정하였다. UMOS의 잠재 예보인자는 계절별 (봄, 여름, 가을, 겨울), 예보 자료별 (00 UTC, 12 UTC), 예보 요소별 (일 최고/최저 기온)로 각각 선택하였다. 예보인자들 중에서 2 m 기온 (T2M), 기후값 (CLMT), 1000-850hpa 층후 (THCK10\_8), 10 m 풍속 (WS10M), 최근 관측 기온 값 (OBST),

**Table 4.** The seasonal top 20 predictors selected in the RDAPS MOS for maximum temperature (00 UTC).

Rank	Spring	Summer	Autumn	Winter
1	T2M	T2M	T2M	T2M
2	WS10M	ANAL	THCK10_8	THCK10_8
3	NW500	NW500	PCWT	CLMT
4	CLMT	WS10M	ANAL	WS10M
5	ANAL	CTOP	WS10M	QHDW
6	RHM10_7	CLMT	CLMT	RHM10_5
7	PBL	DWL	QDWL	ANAL
8	V5	POBS	SQ2M	NE10M
9	RHM10_5	PCWT	NW500	V5
10	THCK10_8	NW10M	V5	V10M
11	QDWL	WS500	QHDW	V7
12	TRAIN	THCK10_8	POBS	TRAIN
13	V10M	WS850	WS500	RHM10_7
14	SQ2M	TRAIN	LR7_5	NW700
15	PCWT	WD10M	T85	SQ2M
16	POBS	RHM10_5	RHM10_5	NW10M
17	DWL	V5	PBL	NW500
18	NE10M	QDWL	DWL	T85
19	NW10M	SQ2M	NE10M	PCWT
20	WD10M	V10M	RHM10_7	WD700

총 강수량 (TRAIN), 남북성분의 10 m 바람 (V10M) 은 두 예보 요소, 모든 계절, 00 UTC와 12 UTC에서 거의 대부분 상위 20위 이내에 선택되었다. Table 4는 일 최고 기온의 00 UTC에 계절별로 선택된 상위 20위의 잠재예보인자를 나타낸 것이다.

**3.3.2 예보인자 선정 및 SSCP update 모듈 개발**

Wilson and Vallee (2002, 2003)에 의하면 UMOS 란 서로 다른 두 개의 모델자료 (예: RDAPS, KWRF) 와 관측자료 사이의 선형통계모델 (다중선형모델 (multiple linear regressions) 또는 다중판별모델 (multiple discrimination analysis))로부터 MOS 예보식을 주기적 (예: 1주일, 10일)으로 수정하는 방법이다. 여기서 예보식을 주기적으로 수정하는 것은 계속해서 축적되는 새로운 모델자료를 주기적으로 예보식에 반영하여 예보식이 가능한 한 빨리 새로운 모델에 적합되도록 하기 위함이다. 이 때 두 종류의 선형통계모델 모두 모델 출력 결과를 직접 사용하기 보다는 잠재예보인자들에 대한 SSCP (sum-of-squares-and-cross-products) 매트릭스를 사용한다. 따라서 주기적으로 MOS 예보식을 수정한다는 것은 준 실시간으로 SSCP 매트릭스를 수정함으로써 필요한 계수들을 주기적으로 재계산함을 의미한다. 일반적으로 다중선형회귀식은 다음과 같다.

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_{1j} + \beta_2 x_{2j} + \dots + \beta_k x_{kj} + \varepsilon_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\varepsilon_j \sim N(0, \sigma^2), \quad Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \quad i \neq j$$

식 (6)을 매트릭스 형태로 다시 쓰면,

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

여기에서  $y$ 와  $x$ 는 각각 예보량 (predictand: 피예보인자, 피예측인자)과 예보인자 (predictor: 예측인자)를 나타내고,  $\beta$ 는 회귀계수를 나타내며  $k$ 와  $n$ 은 각각 예보인자 수와 샘플의 수를 나타낸다. 이 때  $\beta$ 에 대한 최소자승법에 의한 추정은

$$B = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} = (X'X)^{-1}(X'Y) \quad (8)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기에서 B는 회귀식의 회귀계수로써 [선택된 예보인자(n)+1]의 배열을 갖는다. X는 예보식 도출에 사용되는 잠재예보인자로 MOS 모델에서 가장 많이 선택이 된 예보인자 20개를 UMOS의 잠재예보인자로 사용하였다. X'는 X의 전치행렬 (transposed matrix)이고 X'X는 SSCP 매트릭스이다.

UMOS를 개발하는 첫 번째 단계는 기존의 모델 (RDAPS)에 대한  $SSCP_{old}$ 를 작성하는 것이다.  $SSCP_{old}$ 는 각 지점, 계절, 예보자료 (00 UTC, 12 UTC) 및 예보일에 대해 각각 작성되어지며 [21×21]의 배열을 갖는다.  $SSCP_{old}$ 는 한번 작성되면 UMOS개발 기간 동안 변하지 않는다. 따라서 UMOS 시스템에 있어서 잠재예보인자의 선택은 매우 중요하다. 기존의 모델에 대한  $SSCP_{old}$ 는 다음식과 같이 계산된다.

$$SSCP_{old} = X'_{old} X_{old} \quad (10)$$

다음 단계는 MOS 모델에서 최다 선정된 20개의 잠재예보인자를 바탕으로 기존의 모델과 새로운 모델자료로부터 새로운 모델에 대한 예보인자를 추출한다. 20개 중에서 n개의 예보인자를 추출하기 위해 단계별 선정방법 (stepwise selection method)을 적용하였다. 이 방법은 중요한 변수를 하나씩 추가 선택하여 나가면서 미리 들어간 변수가 새로운 변수가 들어가면서 중요성을 상실하여 밖으로 나오게 되는가를 매 단계별로 검토하는 방법이다.

단계별 선정방법에 의해 선택된 n개의 예보인자를 이용하여 새로운 모델에 대한 [(n+1)×(n+1)]의 배열을 가진  $SSCP_{new}$ 를 작성한다. 다음으로는  $SSCP_{old}$  [21×21] 중 선정된 n개의 예보인자에 대응하는 행렬을 추출하는 것으로  $SSCP'_{old}[(n+1)×(n+1)]$ 를 작성한다. 기존의 모델과 새로운 모델의 가중치를 적용하여 최종적으로 다음식과 같은 SSCP가 완성된다.

$$SSCP = \omega_1 SSCP_{new} + \omega_2 SSCP'_{old} \quad (11)$$

그리고 X'Y를 작성할 때에도, SSCP 작성 시와 마찬가지로 기존의 모델과 새로운 모델에 각각의 가중치를 부여하게 된다.

$$X'Y = \omega_1 X'Y_{new} + \omega_2 X'Y_{old} \quad (12)$$

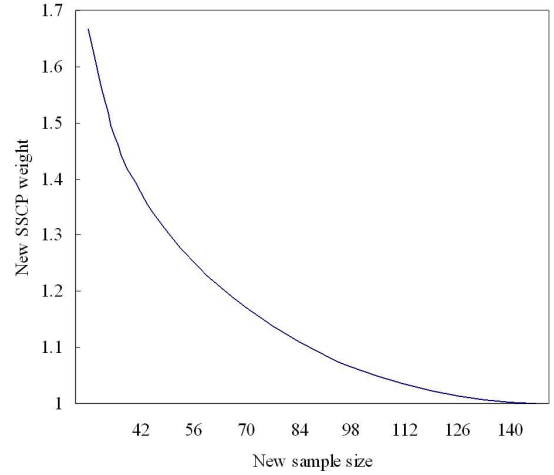


Fig. 4. Weighting value of a new model according to the sample size of new model when  $N_{max}=150$ ,  $\omega_{max}=1.667$ .

SSCP는 매 예보 시 마다 작성이 되며, 새로운 모델의 샘플 수가 증가 할 때마다 7일 주기로 업데이트된다.

가중치를 부여하는 방법은 Wilson and Vallée (2002)의 방법을 따랐다. 가중치를 부여하기 위한 기본 규칙으로는

- 1) 적어도 30일 이상의 자료가 축적되어야 새로운 모델 자료 활용이 가능하다.
- 2) 안정적인 수식을 위해 필요한 표본의 크기는 적어도 300일이다.
- 3) 새로운 모델의 표본의 크기가 300이 되면 과거 모델은 자동으로 제외된다.
- 4) 새로운 모델에 가중치를 크게 주어 방정식이 새로운 모델 특성에 빠르게 반응할 수 있게 한다.

새로운 모델 ( $\omega_1$ )과 기존 모델 ( $\omega_2$ )에 대한 가중치 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\omega_1 = \omega_{max} + (1 - \omega_{max}) \sqrt{1 - \frac{(N_1 - N_{max})^2}{(N_{min} - N_{max})^2}} \quad (13)$$

$$\omega_2 = \frac{N_{max} - \omega_1 N_1}{N_2}, \quad N_1 \leq N_{max}$$

$$\omega_1 = 1, \quad \omega_2 = 0, \quad N_1 > N_{max}$$

여기에서  $N_1$ 과  $N_2$ 는 새로운 모델과 기존 모델로부터 얻어진 표본의 크기이고,  $N_{min}$ 은 MOS 모델 갱신에 필요한 새로운 모델로부터의 최소 허용 표본 크기,  $N_{max}$ 는 기존 모델 자료와 새로운 모델 자료가 혼합되는 과



	MOS Development Period (Autumn)										Forecast and Validation (Fall)																												
											Aug. 2007				Sep. 2007				Oct. 2007				Nov. 2007				Dec. 2007												
	2005					2006					w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4									
	A	S	O	N	D	A	S	O	N	D																													
RDAPS	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					
KWRF	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					
Obs.	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o					
UMOS	RDAPS Output										KWRF Output				FV																								
															U	FV																							
	UMOS development using RDAPS and KWRF											U	FV																										
										~																													

A: August, S: September, O: October, N: November, December  
 o: Output or observation data exist, x: no output, F: Forecast, V: Validation,  
 FV: Forecast and Validation, U: Update of UMOS equation per every week

Fig. 5. Development and validation period of MOS and UMOS systems using RDAPS and KWRF (Sample for Autumn).

정에서 새로운 모델에서의 최대 표본 수이다.  $\omega_1, \omega_2$  는 각각 새로운 모델과 기존의 모델에 대한 가중치를 의미하여,  $\omega_{max}$ 는 새로운 모델 자료에 적용되는 가장 큰 가중치이다. 여기서는 Wilson and Vallee (2002, 2003)에서와 같이  $\omega_1 : 1.667 \sim 1.0, \omega_2 : 1.1 \sim 0.0$ 의 범위를 갖게 개발하였다.

앞의 설계에서 밝힌 바와 같이 정상적 계절 전후로 1개월씩을 추가하여 계절을 정의하였음에도 현재 이용 가능한 자료의 최대 수는 가을의 경우 기존의 모델(RDAPS)과 새로운 모델(KWRF)이 각각 306일과 153일이다. 특히 봄의 경우 기존의 모델과 새로운 모델의 표본 수는 각각 241일과 75일에 불과하다. 안정적인 수식을 위해 필요한 새로운 모델의 표본인 300일이 불가능하기 때문에 본 연구에서는  $N_{max}$ 를 150일로 조정하였다. 따라서 가중치를 산출 할 때,  $N_{max}=150, N_{min}=30, \omega_{max}=1.667$ 로 하여 계산하였다. 아래의 표는 새로운 모델의 표본 수에 따른  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 이다.  $N_{max}, N_{min}, \omega_{max}$  등은 캐나다에서 경험적으로 정의한 변수이기 때문에 우리나라에 최적의 값을 설정하기 위해서는 이들에 대한 민감도 연구가 필요하다. 새로운 모델의 표본 수에 따른 가중치의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

### 3.4 UMOS 시스템의 검증

UMOS 설계에서 밝힌 바와 같이 새로운 모델 운용시작에서 35일까지는 안정적인 예보를 위하여 MOS 식을 이용하고, 35일 이후부터 매 7일마다 UMOS 식을 개발하여 7일씩 예보하고 그에 대하여 검증한다 (Fig. 5).

UMOS의 예측수준을 정확성, 시공간 및 기상요소별 안정성 면에서 검증하기 위하여 기온 요소별, 계절별, 예보자료별, 예보시간별, 지리적 위치별로 다양하게 분석하였다. UMOS 모델 예보 검증에 사용된 평가측도는 상관계수, 편의, RMSE이다.

## 4. 연구결과

Fig. 6은 일 최고기온에 대한 00 UTC의 UMOS 예보식의 예이다. 두 번째 줄을 예로 들면, 지점 (47090), 새로운 모델의 샘플 수 (35), 예보 일 (+1일), 선택된 변수의 수 (2개), 절편, 선택된 예보인자의 회귀계수 순이다.

### 4.1 계절별 예측수준

일 최고/최저 기온에 대한 UMOS 시스템의 예측수

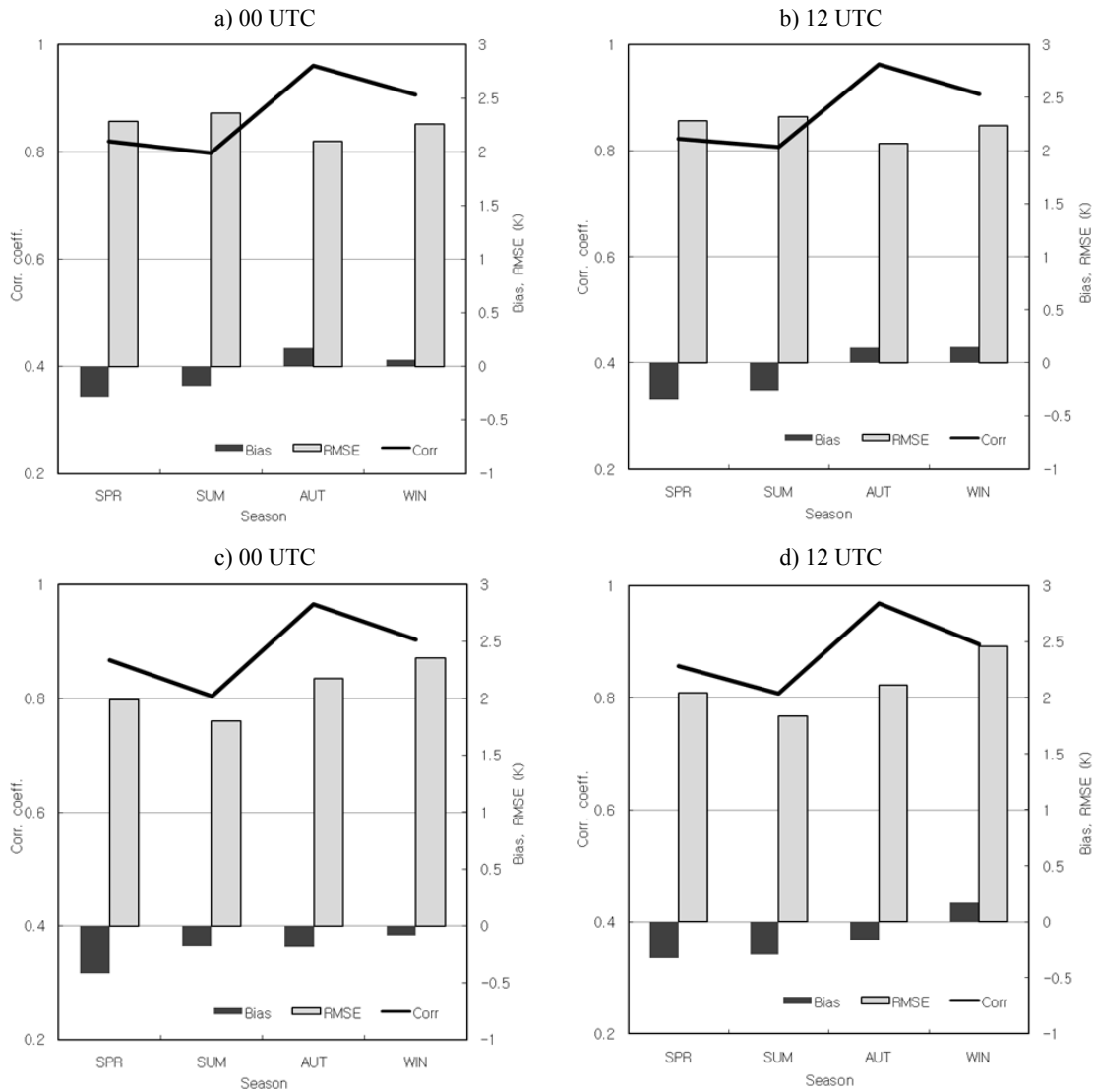
STN	Days	Fcday	N										
47090	35	1	4	INTERCEP	T2M	ANAL	V5	NW10M					
				24.750	0.255	0.667	-0.046	-0.362					
47090	35	2	4	INTERCEP	T2M	ANAL	V5	NW10M					
				31.206	0.727	0.172	-0.118	-0.412					
47090	35	3	3	INTERCEP	T2M	V5	NW10M						
				45.186	0.852	-0.115	-0.355						
47090	42	1	4	INTERCEP	T2M	ANAL	V5	NW10M					
				24.824	0.257	0.667	-0.046	-0.361					
47090	42	2	4	INTERCEP	T2M	ANAL	V5	NW10M					
				31.509	0.723	0.176	-0.117	-0.414					
47090	42	3	3	INTERCEP	T2M	V5	NW10M						
				45.781	0.850	-0.114	-0.359						
47090	49	1	5	INTERCEP	T2M	CLMT	ANAL	V5	NW10M				
				42.166	0.422	-0.195	0.637	-0.055	-0.312				
47090	49	2	4	INTERCEP	T2M	ANAL	V5	NW10M					
				33.046	0.718	0.175	-0.117	-0.394					
47090	49	3	3	INTERCEP	T2M	V5	NW10M						
				46.676	0.847	-0.115	-0.343						
47090	56	1	4	INTERCEP	ANAL	V5	THCK10_8	NW10M					
				31.560	0.678	-0.052	-0.047	-0.337					
47090	56	2	5	INTERCEP	T2M	CLMT	ANAL	V5	NW10M				
				54.108	0.900	-0.263	0.188	-0.132	-0.340				
47090	56	3	3	INTERCEP	T2M	V5	NW10M						
				46.214	0.849	-0.112	-0.315						
47090	63	1	4	INTERCEP	ANAL	V5	THCK10_8	NW10M					
				31.934	0.678	-0.056	-0.047	-0.324					
47090	63	2	5	INTERCEP	T2M	CLMT	ANAL	V5	NW10M				
				53.965	0.904	-0.265	0.188	-0.134	-0.340				
47090	63	3	3	INTERCEP	T2M	V5	NW10M						
				46.370	0.848	-0.115	-0.315						
47095	35	1	6	INTERCEP	T2M	WS10M	NW500	ANAL	RHM10_5	WD10M			
				49.874	0.726	-0.384	0.031	0.133	-0.069	-0.006			
47095	35	2	4	INTERCEP	T2M	NW500	RHM10_5	THCK10_8					
				28.750	0.461	0.054	-0.080	-0.102					
47095	35	3	4	INTERCEP	T2M	CLMT	RHM10_5	THCK10_8					
				12.969	0.385	0.223	-0.075	-0.080					
47095	42	1	6	INTERCEP	T2M	WS10M	V5	RHM10_5	THCK10_8	WD10M			
				37.326	0.630	-0.338	-0.055	-0.061	-0.057	-0.007			
47095	42	2	4	INTERCEP	NW500	CLMT	RHM10_5	THCK10_8					
				10.430	0.049	0.229	-0.073	-0.163					
47095	42	3	6	INTERCEP	T2M	NW500	ANAL	RHM10_5	THCK10_8	V10M			
				44.027	0.500	0.056	0.116	-0.070	-0.057	0.301			
47095	49	1	5	INTERCEP	T2M	WS10M	NW500	RHM10_5	WD10M				
				48.514	0.861	-0.339	0.024	-0.063	-0.007				
47095	49	2	4	INTERCEP	NW500	CLMT	RHM10_5	THCK10_8					
				10.875	0.049	0.222	-0.074	-0.164					
47095	49	3	6	INTERCEP	T2M	NW500	ANAL	RHM10_5	THCK10_8	V10M			
				43.830	0.483	0.055	0.113	-0.072	-0.062	0.291			
47095	56	1	6	INTERCEP	T2M	WS10M	V5	RHM10_5	THCK10_8	WD10M			
				36.407	0.624	-0.346	-0.054	-0.061	-0.061	-0.006			
47095	56	2	4	INTERCEP	NW500	CLMT	RHM10_5	THCK10_8					
				9.453	0.051	0.234	-0.077	-0.163					
47095	56	3	7	INTERCEP	T2M	NW500	ANAL	RHM10_5	THCK10_8	TRAIN	V10M		
				41.779	0.495	0.050	0.109	-0.069	-0.061	-2.137	0.288		
47095	63	1	6	INTERCEP	T2M	WS10M	NW500	RHM10_5	THCK10_8	WD10M			
				41.463	0.657	-0.273	0.031	-0.069	-0.050	-0.005			

Fig. 6. Sample of UMOS prediction equation. The meaning of numbers and variable names are as follows: station ID, number of new model, forecast projection day, number of predictors, and selected predictors, respectively.

준은 계절별로 차이가 나타났다(Fig. 7 과 Table 5). 일 최고 기온의 경우, 가을과 겨울에 상관계수가 0.9 이상 인 반면, 봄과 여름에는 약 0.8~0.82 정도에 불과하다. 편의와 RMSE는 각각 약 -0.34~0.17 K와 약 2.1~2.36 K 범위로 나타났으며 봄과 여름보다는 가을과 겨울에 예측 수준이 높게 나타났다. 봄과 여름에 상관계수가

겨울과 가을에 비해 낮게 나타난 것은 자료 일수의 부족으로 검증에 사용된 샘플의 수가 가을과 겨울에 비해 작기 때문이다 (Table 2 참고).

일 최저기온에 대한 예측수준은 최고기온과 큰 차이는 없지만 봄과 여름의 상관계수는 0.8~0.87로 일 최고기온 보다 더 높게, RMSE는 2 K 이내로 일 최고



**Fig. 7.** Validation results of UMOS system according to the season for the daily maximum(a,b)/minimum(c,d) temperature (left: 00UTC, right: 12 UTC).

기온보다 더 낮게 나타났다. 각 계절별 상관계수는 가을, 겨울, 봄, 여름 순으로 나타났지만 RMSE는 반대로 여름에 가장 작게 나타났다.

#### 4.2 예측수준의 공간분포

일 최고/최저 기온에 대한 각 관측소별 UMOS 시스템의 예측 수준은 계절 및 예보횟수에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. 일 최고 기온의 경우 전체적으로 봄

과 여름에는 RMSE가 2.5 K 이상인 관측소들이 경기와 강원지역을 중심으로 발생하고 있다. 상대적으로 예측수준이 높은 가을과 겨울에는 RMSE가 2 ~ 2.5 K로 균일하게 나타나고 있다.

일 최저 기온에 대해서는 예측수준이 가장 좋은 여름에는 예보횟수에 관계없이 RMSE가 전국적으로 2 K 이하로 나타나고 있으며, 최고기온에서 상대적으로 예측수준이 높았던 가을과 겨울에는 RMSE가 2.5 K 이상인 관측소들이 전국적으로 많이 발생하고 있다.

**Table 5.** Summary of validation results of UMOS system according to the season.

		Spring	Summer	Autumn	Winter
Daily maximum temperature					
00 UTC	Corr.	0.820	0.798	0.961	0.907
	Bias	-0.288	-0.180	0.170	0.060
	RMSE	2.280	2.357	2.096	2.259
12 UTC	Corr.	0.823	0.807	0.962	0.907
	Bias	-0.344	-0.254	0.148	0.153
	RMSE	2.281	2.318	2.071	2.239
Daily minimum temperature					
00 UTC	Corr.	0.868	0.804	0.966	0.904
	Bias	-0.414	-0.181	-0.187	-0.082
	RMSE	1.986	1.804	2.173	2.351
12 UTC	Corr.	0.856	0.807	0.968	0.895
	Bias	-0.325	-0.297	-0.166	0.171
	RMSE	2.045	1.839	2.111	2.462

특히 겨울에 경상북도와 강원 산악지역에서는 RMSE가 3 K 이상인 관측소도 상대적으로 많이 발생하고 있다. 일 최저기온의 경우 가을과 겨울에는 상관계수는 높으나 RMSE가 크게 나타난 것은 일부지역에서 RMSE가 크게 나타났기 때문이다. 봄과 여름, 특히 여름에는 최고 기온의 일 변동에 지리적 환경 또는 국지적 기상 현상의 영향을 많이 받는 것으로 보이며, 가을과 겨울에는 최저 기온의 일 변동에 지리적 요인들이 많이 작용하는 것으로 보인다.

### 4.3 예보 일 별 예측수준

일 최고/최저 기온에 대한 UMOS 시스템의 예보수준은 예보 일수가 증가할수록 계절에 관계없이 낮아지고 있다. 특히, 일 최고 기온의 봄과 여름에는 예보 일수가 증가할수록 예보수준이 급격히 낮아지고 있다. 가을과 겨울에 비해 봄과 여름의 예보수준이 예보시간에 따라 급격히 낮아지는 이유는 이 계절에 우리나라의 날씨패턴이 급격히 변하는 점과 함께 봄의 경우 앞에서 설명한 바와 같이 새로운 모델 자료의 부족에 의한 불안정한 예보식 도출에 의한 것으로 본다.

일 최저 기온의 상관계수의 경우 예보시간/예보횟수에 관계없이 높은 상관성을 보이는 가을을 제외하면 다른 계절에서는 예보시간이 증가할수록 낮아지고 있다. RMSE의 경우 상관계수와 달리 여름에 예보시간/예보횟수에 관계없이 거의 일정한 반면 다른 계절에는 예보시간이 증가할수록 RMSE도 커지고 있다. 특히

일 최고 기온과는 반대로 상관계수가 높은 가을과 겨울에 RMSE가 더 크게 나타났다.

## 5. 요약 및 결론

1980년대 이래로 수치모델의 예측수준을 향상시키기 위하여 해상도 향상, 자료동화 및 물리과정 등을 지속적으로 개선 또는 새로운 모델로 교체하고 있다. MOS에서 안정적인 예보식을 개발하기 위해서는 동일한 조건 (모델 해상도, 초기조건, 경계조건, 물리과정 등) 하에서 적어도 2~3년간의 수치모델 자료의 축적이 필요하다. 그러나 수치모델의 개선이나 교체가 발생할 경우 수치모델 자료와 지상관측자료사이에 존재하던 상관관계에 변화가 생기기 때문에 MOS는 수치모델의 예보 보완도구로서의 기능이 약화된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 수치모델의 변경 및 개선 시 MOS 시스템의 기능을 연속적으로 유지할 수 있는 UMOS 시스템이 제안되었다.

본 연구에서는 RDAPS와 KWRF 모델 자료를 이용하여 남한의 76개 관측소에 대해 MOS 및 UMOS 시스템을 개발하였고 각각의 예측수준을 분석하였다. 예보요소는 일 최고기온과 일 최저기온이고 예보 시간은 예보요소 및 예보자료 별로 +2일 또는 +3일이다. 총 MOS 및 UMOS 예보식은 각 예보요소(일 최고/최저 기온)에 대해 1,520개 (지점 (76) × 계절 (4) × 예보자료 별 (2, 00, 12 UTC) × 예보일(5, 최고기온: 00 UTC-3일, 12 UTC-2일, 최저기온: 00 UTC-2일, 12 UTC-3일)) 이다. MOS 개발 시 68개의 잠재예보인자를 사용하였지만, UMOS 개발과정에서는 MOS에서 각 기온요소별, 계절별, 예보 자료별로 가장 많이 선정되는 20개의 예보인자를 잠재예보인자로 사용하였다. UMOS 개발과정에서 중요한 두 모델사이의 가중치는 캐나다에서 개발한 방법을 일부 수정하여 이용하였다.

UMOS 시스템의 예측수준을 분석하기 위해, 계절별, 지점별, 예보 일 수 별로 분석을 해 보았다. 전반적으로 KWRF의 자료 수가 증가 할수록 예측 수준이 높아 질 뿐만 아니라 안정화 되는 경향을 보였다. UMOS의 예측수준은 계절별로 차이가 나타났는데, 일 최고/최저 기온 모두에서 봄과 여름에는 상관계수가 0.80~0.87 정도인 반면, 가을과 겨울에는 0.9~0.97로 높게 나타났다. 봄과 여름이 가을과 겨울에 비해 예측 수준이 낮게 나타난 것은 UMOS 시스템 개발에 사용된 자료 일 수의 부족으로 검증에 사용된 샘플 수 역시 작기

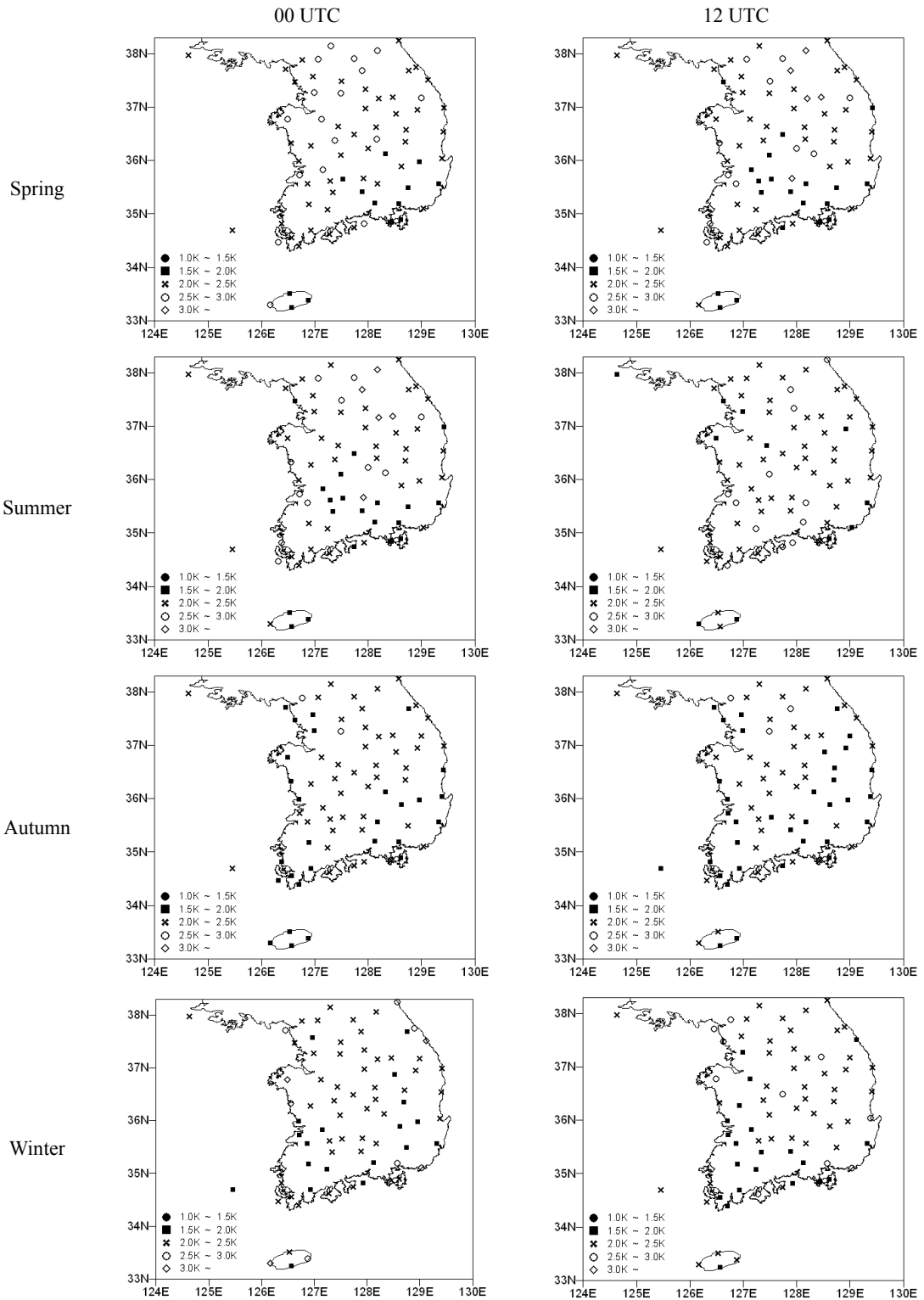


Fig. 8. Spatial distribution of seasonal mean RMSE of the daily maximum temperature forecasted by the UMOS system.

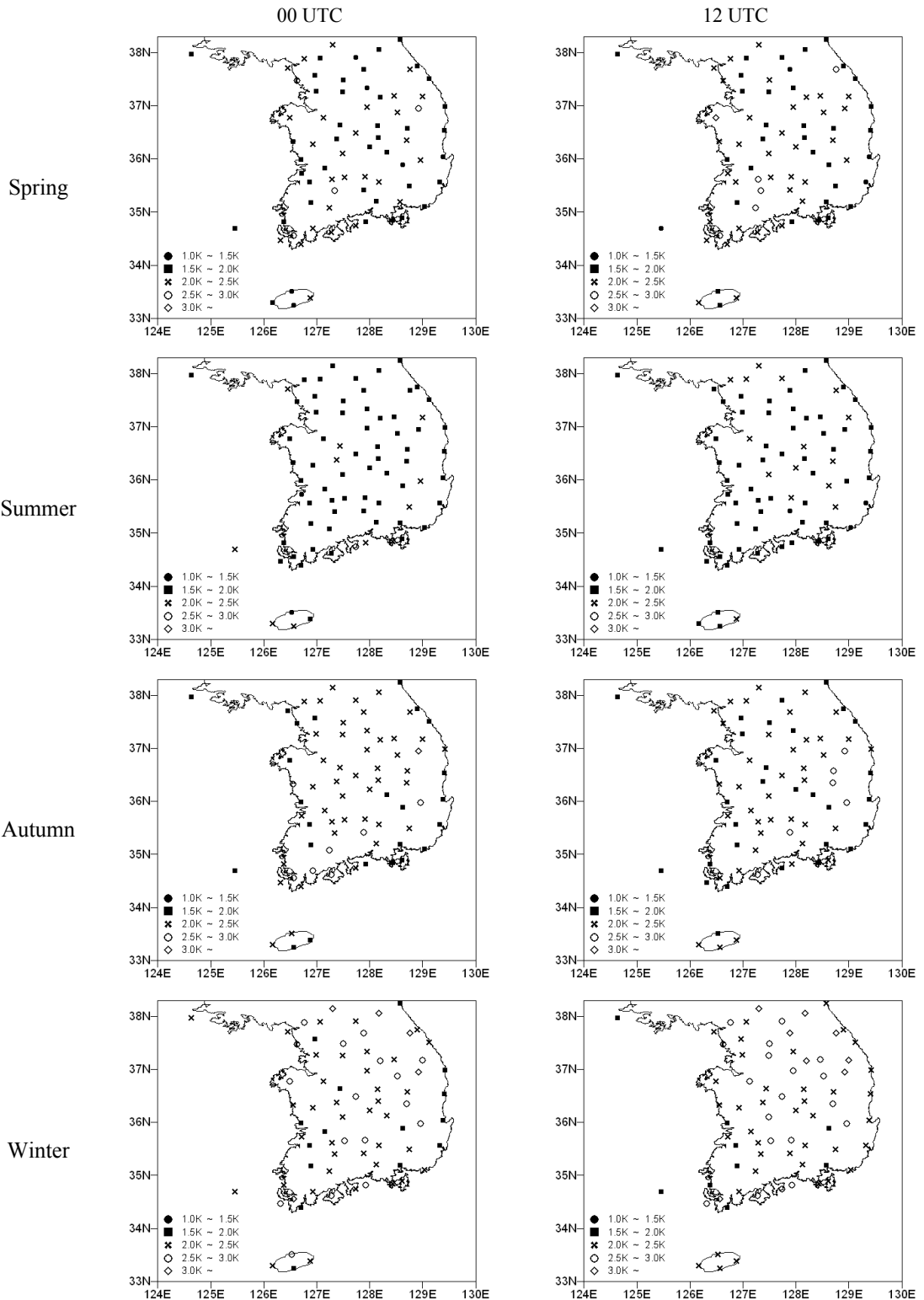
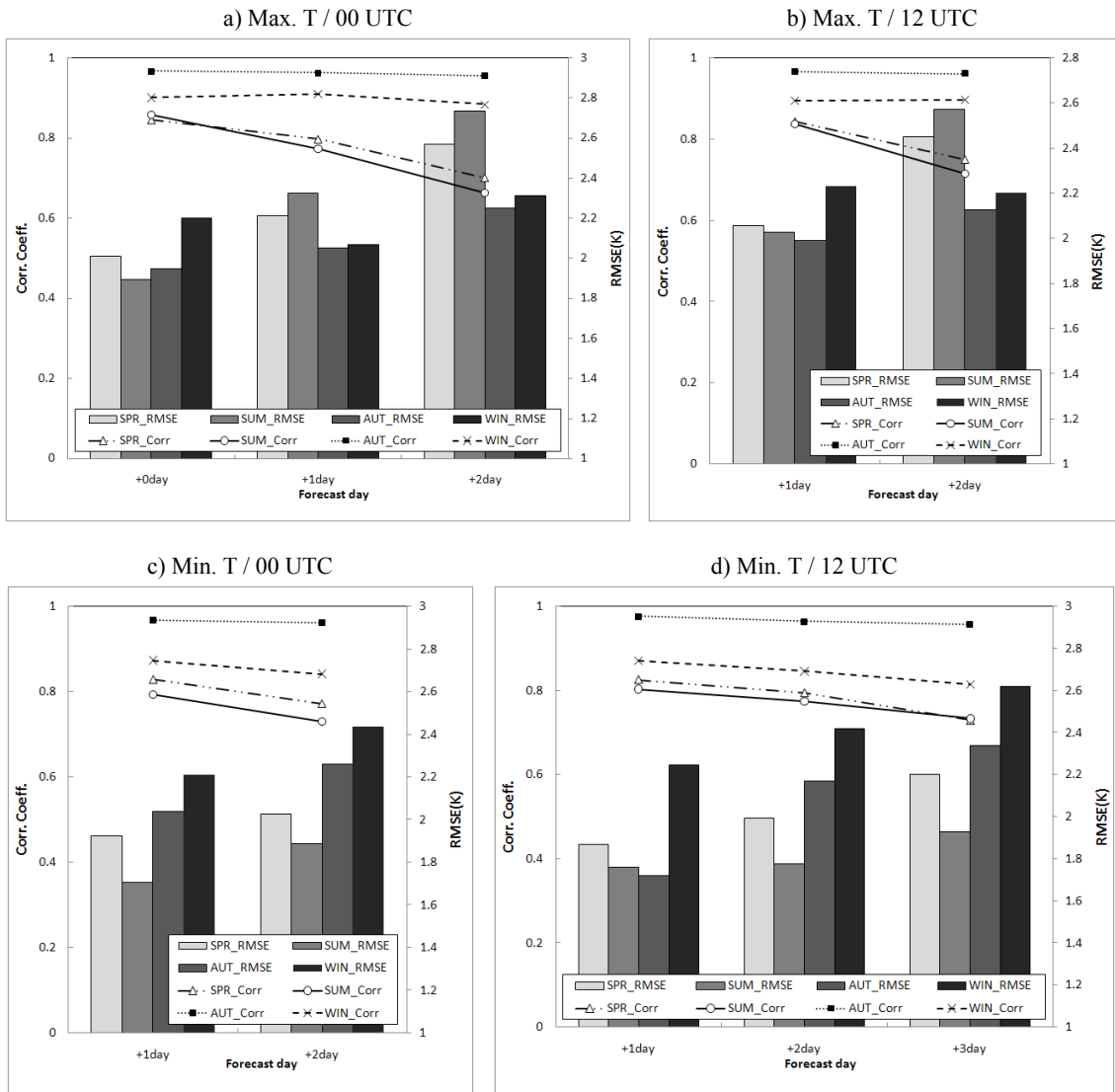


Fig. 9. Spatial distribution of seasonal mean RMSE of the daily minimum temperature forecasted by the UMOS system.



**Fig. 10.** Seasonal mean correlation coefficients and RMSE of the daily maximum(a,b) /minimum(c,d) temperature according to the forecast days (left: 00 UTC, right: 12 UTC).

때문이다. 예측수준의 공간 분포는 계절 및 예보 횟수에 따라 다르게 나타났는데, 일 최고기온의 경우 여름에 가장 지리적인 변동이 크고 겨울에 가장 작게 나타난 반면, 일 최저 기온의 공간변동은 겨울에 가장 크게 나타났다. 예보 일 수가 증가 할수록 예보 요소에 상관 없이 예측수준이 낮아지는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 MOS 및 UMOS를 개발하는 과정에서 모델자료의 표본 수가 부족한 문제점을 해결하기 위하여 각 계절에 전후 1개월씩을 추가하여 (예: 가을 - 9, 10, 11

월 ⇒ 8, 9, 10, 11, 12월) 통계모델 개발에 필요한 표본수를 확보하였다. 하지만 이처럼 동질성이 줄어든 자료를 이용하여 통계모델을 개발할 경우 회귀식의 적합도가 낮아질 수가 있으며 결과적으로 예측수준이 낮아질 수가 있다. 따라서 본 연구에서의 예측수준으로 보아 향후 좀 더 오랜 기간의 두 모델자료를 확보하여 UMOS를 개발한다면 보다 좋은 예측수준에 도달할 수가 있을 것이며, UMOS 시스템은 MOS의 대안으로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 "디지털예보 모델 개발 및 시스템 구축-MOS 시스템의 기능 확대: UMOS 시스템 개발-"의 일환으로 수행된 것입니다.

## 참고문헌

- 서영경, 최준태, 양진관, 2006: MOS 기온예보모델 개발 및 현업 운영체계. 기상청 디지털예보개발과, DFS-TN-2006-5, 189 pp.
- 이민영, 이동일, 이우진, 1999: 칼만필터를 이용한 최고/최저 기온 예보. *한국기상학회지*, **35(2)**, 283-289
- 이우진, 2006: 컴퓨터와 날씨예측, 광교이텍스, 284 pp.
- 조주영, 최준태, 1993: 통계적 방법을 이용한 최고/최저 기온 예보법. 기상청 예보국 수치예보과, TR93-1.
- Caren, M., Leyton, and B. Colman, 2007: Ceiling and visibility forecasts via neural networks. *Wea. Forecasting*, **22**, 466-479.
- Glahn, H. R., and D. A. Lowry, 1972: The use of model output statistics (MOS) in objective forecasting. *J. Appl. Meteorol.*, **11**, 1203-1211.
- \_\_\_\_\_, and J. P. Dallavalle, 2000: *MOS-2000*. TDL office note 00-1, NOAA/ Techniques Development Laboratory, 169 pp.
- \_\_\_\_\_, and D. P. Ruth, 2003: The new digital forecast database of the National Weather Service. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **84**, 195-201.
- Jacks, E., B. Bower, V. J. Dagostaro, J. P. Dallavalle, M. C. Erickson, and J. C. Su, 1990: New NGM-based MOS guidance for maximum/minimum temperature, probability of precipitation, cloud amount, and surface wind. *Wea. Forecasting*, **5**, 128-138.
- Kenneth A. H., W. J. Steenburgh, D. J. Onton, and A. J. Siffert, 2004: An evaluation of mesoscale-model-based model output statistics (MOS) during the 2002 Olympic and Paralympic winter games. *Wea. Forecasting*, **19**, 200-218.
- Parvinder, M., Kumar, S. Rathore, and S. V. Singh, 2003: Forecasting maximum and minimum temperatures by statistical interpretation of numerical weather prediction model output. *Wea. Forecasting*, **18**, 938-952.
- Ross, G. H., 1987: An updateable model output statistics scheme. *World Meteorological Organization, Programme on short- and medium range weather prediction*. PSMP Report Series No. **25**, 45-48.
- \_\_\_\_\_, 1989: Model output statistics - an updateable scheme. *Preprints of the 11th Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*, Boston, MA, Amer. Meteor. Soc., 93-97.
- William Y., Y. Cheng and W. J. Steenburgh, 2007: Strengths and weaknesses of MOS, running-mean bias removal, and Kalman filter techniques for improving model forecasts over the Western United States. *Wea. Forecasting*, **22**, 1304-1318.
- Wilson, A. J., and M. Vallee, 2002: The Canadian updateable model output statistics (UMOS) system: Design and development tests. *Wea. Forecasting*, **17**, 206-222.
- \_\_\_\_\_, and \_\_\_\_\_, 2003: The Canadian updateable model output statistics (UMOS) system: Validation against perfect prog. *Wea. Forecasting*, **18**, 288-302.
- Zwiers, F. W., and H. V. Storch, 2004: On the role of statistics in climate research. *Int. J. Climatol.*, **24**, 665-680.



**Appendix I .** List of the potential predictors for the MOS and UMOS system.

Code	Level	Potential Predictors	#
T	2 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Temperature	4
ETH	850hPa, 700hPa, 500hPa	Equivalent potential temperature	3
THCK	1000-850hPa, 1000-700hPa, 850-500hPa	Thickness	3
TDD	850hPa, 700hPa, 500hPa	Dew point depression	3
SQ	2 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Specific humidity	4
DQ	850hPa, 700hPa	Difference between specific humidity and saturated specific humidity at 500 hPa	2
RH	850hPa, 700hPa, 500hPa	Relative humidity	3
RHM	1000-700hPa, 1000-500hPa, 850-500hPa	Layer averaged RH	3
U	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Zonal wind	4
V	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Meridional Wind	4
NE	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	North-easterly wind	4
NW	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	North-westerly wind	4
WS	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Wind speed	4
WD	10 m, 850hPa, 700hPa, 500hPa	Wind direction	4
TRAIN	-	Total rain	1
PCWT	-	Precipitable water between 1000 and 400hPa	1
LR	850-700hPa, 850-500hPa	Lapse rate	2
SSI	-	Showalter Stability Index	1
KIDX	-	K-Index	1
LINDEX	-	Lifted Index	1
SWEATI	-	Severe Weather Threatening Index	1
CCL	-	CCL (hPa)	1
CTOP	-	Height of cloud top	1
CBASE	-	Height of cloud base	1
DWL	-	Thickness of wet layer	4
HDWL	-	Height of wet layer	
QDWL	-	Specific humidity of WL	
QHDW	-	Specific humidity of HWL	
PBL	-	PBL height	1
CLMT	-	Climatological Temperature	1
OBST	-	Recently observed T.	1
1)PMAX	-	Maximum temperature observed the previous day	1
2)PMIN	-	Minimum temperature observed the previous day	1

1)Potential Predictor used in development of maximum temperature MOS model

2)Potential Predictor used in development of minimum temperature MOS model