

기상청 동네예보의 영농활용도 증진을 위한 방안: V. 하늘상태 기반 기온감률 추정기법의 실용성 평가

김수옥^{1*} · 윤진일²

¹국가농림기상센터, ²경희대학교

(2016년 9월 6일 접수; 2016년 9월 27일 수정; 2016년 9월 28일 수락)

Improving the Usage of the Korea Meteorological Administration's Digital Forecasts in Agriculture: V. Field Validation of the Sky-condition based Lapse Rate Estimation Scheme

Soo-ock Kim^{1*} and Jin I. Yun²

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

(Received September 6, 2016; Revised September 27, 2016; Accepted September 28, 2016)

ABSTRACT

The aim of this study was to confirm the improvement of efficiency for temperature estimation at 0600 and 1500 LST by using a simple method for estimating temperature lapse rate modulated by the amount of clouds in comparison with the case adopting the existing single temperature lapse rate ($-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ or $-9^{\circ}\text{C}/\text{km}$). A catchment of the 'Hadong Watermark2,' which includes Hadong, Gurye, and Gwangyang was selected as the area for evaluating the practicality of the temperature lapse rate estimation method. The weather data of 0600 and 1500 LST at 12 weather observation sites within the catchment were collected during the entire year of 2015. Also, the 'sky condition' of digital forecast products of KMA in 2015 ($5 \times 5\text{km}$ lattice resolution) were overlapped with the catchment of the 'Hadong Watermark2,' to calculate the spatial average value within the catchment, which were used to simulate the 0600 and 1500 LST temperature lapse rate of the catchment. The estimation errors of the temperatures at 0600 LST were ME -0.39°C and RMSE 1.45°C in 2015, when applying the existing temperature lapse rate. Using the estimated temperature lapse rate, they were improved to ME -0.19°C and RMSE 1.32°C . At 1500 LST, the effect of the improvements found from the comparison between the existing temperature lapse rate and the estimated temperature lapse rate were minute, because the estimated lapse rate of clear days is not very different from the existing lapse rate. However, the estimation errors of the temperatures at 1500 LST during cloudy days were improved from ME -0.69°C , RMSE 1.54°C to ME -0.51°C , RMSE 1.19°C .

Key words: Lapse rate, Temperature estimation, Complex terrain, Sky condition



* Corresponding Author : Soo-ock Kim
(sookim@ncam.kr)

I. 서 언

국내에서 개별 농지에 재배되고 있는 작물에 대해 기상위험지수를 판단, 농민에게 일대일로 제공하는 ‘농가 맞춤형 기상위험관리’ 서비스가 시범적으로 구현되고 있는데(Yun *et al.*, 2013; Yun, 2015), 안정적인 서비스를 위해서는 해당 지점의 기상조건을 실제에 가깝게 모의하는 것이 관건이다. 특히 산간지와 그 주변에서 작은 규모로 과수·농작물을 경작하는 국내 영농 특징에 맞게 복잡지형의 기온변이를 모의하기 위한 기온 상세화 기법이 사용된다.

최저기온추정모형을 적용하는 0600 기온 모의 기법과 최고기온에 해당하는 1500 기온 모의 기법은 오랜 기간 기술개선이 계속되어 현재 기상청의 5km 격자해상도의 동네예보 기온을 과원 단위로 적용 가능한 수준으로 변환하는데 활용되고 있다(Kim *et al.*, 2013; Kim and Yun, 2014). 다만, 0600과 1500 기온 추정과정에서 공통적으로 해발고도편차 보정이 적용되는데, 이때 이용되는 기온감률은 0600의 경우 표준대기온감률 $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 1500의 경우 $-9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 의 단일 값이다(Kim *et al.*, 2013; Kim and Yun, 2014). 기상청의 동네예보를 배경기온으로 두고, 대상지역의 실제지형을 표현하는 30m 격자해상도의 DEM (digital elevation model)과 배경기온에 대한 가상지형 간의 해발고도 차이만큼 기온의 변이를 기온감률로 모의하는데, 실제 환경기온감률 (environmental lapse rate)은 지표복사에너지와 지형의 영향, 공기의 수평 또는 연직방향의 이동 등 다양한 요인으로 인해 변동되므로(Geiger *et al.*, 2009; Lutgens and Tarbuck, 2007), 고정된 단일 기온감률로는 추정기온의 신뢰도가 떨어질 수 있다. 그 대안으로써 환경기온감률의 변이를 추정, 동네예보 상세화 과정의 기존 기온감률을 대체한다면 복잡지형의 기온 분포를 보다 높은 신뢰 수준으로 예측할 수 있을 것이다.

환경기온감률의 월변동 또는 계절변동에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으며(Kirchner *et al.*, 2013; Minder *et al.*, 2010; Yun *et al.*, 2001), 최근 Kim and Yun(2016)은 시간대별 운량 조건(0~10)에 따라 매시 기온감률을 추정하는 기법을 제시하였다. 기상청 동네예보의 기상요소 중 운량을 대체할 수 있는 정보인 하늘 상태를 이용한다면, Kim and Yun(2016)의 방법으로 임의 지역의 기온감률을 모의, 기온 예보에 적용하는 것도 가능하다. 본 연구에서는 Kim and Yun(2016)이 제안한 운량 기반 기온감률 추정모형을 이용하여 0600, 1500

기온감률을 계산, 기온을 추정한 후 기존 방법의 경우와 비교하여 0600과 1500 기온 추정오차의 개선 효과를 검증하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기온감률 추정

Kim and Yun(2016)이 제시한 기온감률 추정식은 기온감률의 주야간 주기성을 최저치 Γ_{min} , 최고치 Γ_{max} 기온감률 및 기울기 k 를 통해 매시 기온감률 변동곡선으로 나타낸다(식 1, Fig. 1). 임의시각 t 의 기온감률 Γ_t 일중 변동은 기온의 경시변동과 유사하며, 일출 이후부터 최고기온 발생시점까지 기온감률이 증가($k=0.95$)되는 1구간이 있고, 이후 2100까지 2구간($k=-0.95$)과 2100부터 일출 직전까지 3구간($k=-0.45$)에서는 기온감률이 감소된다. t_m 은 1, 3구간에서는 각구간의 중앙 시각에 해당하며 2구간에서는 일몰시점이 된다. 식 1의 Γ_{min} 와 Γ_{max} 에는 각 1~3구간별 기온감률 최소·최대값이 할당되는데, 1구간의 경우, 일출 시간대 기온감률이 Γ_{min} , 최고기온 발생시점의 기온감률이 Γ_{max} 가 되고, 2구간에서는 2100의 기온감률이 Γ_{min} 를 대체하며, 반면 3구간에서는 2100에 기온감률 최대치 Γ_{max} 를, 일출 시간대에 기온감률 최소치 Γ_{min} 를 배정한다(Fig. 1).

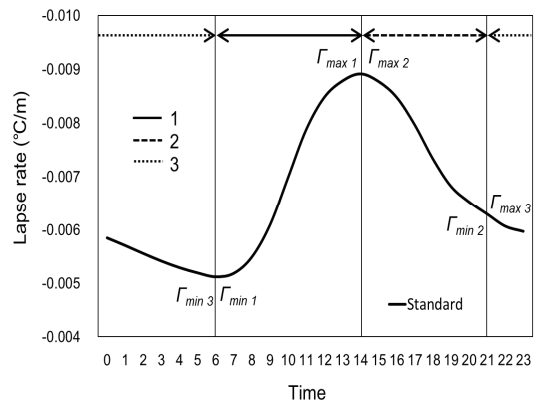


Fig. 1. The diurnal change in temperature lapse rate on an equinox and the minimum value Γ_{min} , the maximum value Γ_{max} of the temperature lapse rate in each interval (1, 2, 3). ‘Standard’ represents the average weather condition (Adopted from Kim and Yun, 2016).

$$\Gamma_t = \Gamma_{min} + \frac{\Gamma_{max} - \Gamma_{min}}{1 + \exp\{-k(t - t_m)\}} \quad (1)$$

연중, 모든 날씨의 평균 조건에 대한 기온감률 변동곡선을 ‘표준곡선’으로 간주, 이때의 Γ_{min} 과 Γ_{max} 를 Γ_s 로 통칭하면, 날씨조건에 따라 일중 Γ_s 가 증가 또는 감소하는 것을 운량값으로 표현할 수 있는데, 운량(Cl)이 0이면 표준곡선 상 Γ_s 의 진폭이 최대로 증가되고 반면 운량 10이 되면 일중 기온감률이 일정하게 된다. 식 2는 운량 당 기온감률 변화량 V 값에 따라 Γ_s 가 변화되는 것을 나타내며, V 는 최고기온 발생시점에 적용되는 $V_{max}(=0.00060^\circ\text{C/m})$ 와 일출시점에 적용되는 $V_{min}(=-0.000295^\circ\text{C/m})$ 로 나뉜다. Cl_m 은 기온감률 표준곡선의 운량으로서, 5.5이다.

$$\Gamma_{\min,\max} = \Gamma_s + V(Cl - Cl_m) \quad (2)$$

기온감률의 연차변이는 Yun *et al.*(2001)이 제시한 365일 주기의 함수식이 이용된다(식 3). d 는 1~365까지의 DOY (day of year) 날짜, d_x 는 205이며, 식 3의 Γ 는 연차변이 적용 전의 Γ_s 으로, Γ_{min} 과 Γ_{max} 각각 -0.005°C/m 와 -0.009°C/m 이다. 또한 운량의 영향을 받지 않는 Γ_2 역시 식 3을 통해 기온감률 연차변이가 반영된다.

$$\Gamma_s = -\left[|\Gamma| + 0.0015 \cos\{0.0172(d - d_x)\}\right] \quad (3)$$

2.2. 적용

기온의 연직분포는 강원도 평창군 대관령면의 고령 지농업연구소 옥상에 초단파 온도 프로파일러(Model MTP5H, Kipp and Zonen)를 설치하여 2007년 5월부터 2008년 3월까지 한시간 간격으로 수집하였다. 결측일을 제외한 172일에 대해, 지면으로부터 높이 600m까지 50m 간격의 기온 중 500m에서 600m 간의 기온감률을 계산하였는데, 이는 기온감률에서 기온역전의 영향을 최대한 배제하여 최저기온 추정 과정에서 온난대 및 냉기집적효과 모형과 무리없이 결합하기 위함이다. 또한 같은 기간에 대해 대관령 기상대에서 0600와 1500에 관측된 운량을 수집하고 10분법 운량값(0~10)에 따라 날씨를 분류하였다. 각 운량 별로, 해당하는 날짜가 3일이 하인 경우를 제외하고 0600, 1500의 500-600m 기온감률과 추정된 기온감률을 운량별로 평균하여 비교하였다.

경남 하동과 전남 구례, 광양을 아우르는 산간집수역인 ‘하동2수위표’ 표준유역을 새로운 추정 기법에 의한 기온감률과 기존 고정식 기온감률을 이용한 기온 추정 결과의 비교 평가 지역으로 선정하였다(Fig. 2). 2015년의 기상청 하늘상태 초단기예보(5×5km 격자해상도)를 수집하고, Kim and Yun(2015)의 방법에 따라 하늘상태 격자값 1~4를 10분법 운량(0~10)으로 변환한 후, 0600와 1500의 운량 5km 격자자료를 ‘하동2수위표’ 집



Fig. 2. The weather station locations in a watershed ‘Hadong Watermark2’ on complex terrain and a place of Daegwallyeong Korea Meteorological Administration (KMA) stations in South Korea.

수역과 중첩하여 집수역 내 공간평균값을 계산하였다. 공간평균된 운량은 해당 집수역의 2015년 0600, 1500 기온감률을 계산하는데 활용하였다.

2.3. 검증

‘하동2수위표’ 집수역의 운량 공간평균값으로 추정된 기온감률을 이용, 고도별 0600, 1500 기온 분포를 모의하였다. 배경기온은 하동, 구례, 광양의 기상청 AWS 위치의 초단기예보 격자값을 이용하여 거리자승역산가중법(inverse distance squared weighting, IDSW)으로 공간내삽하였으며, 가상지형 역시 기상청 AWS 지점 해발고도값(DEM 기반)을 배경기온과 같은 방식으로 내삽하여 제작하였다. 배경기온에는 30 × 30m 격자해상도의 DEM과 가상지형 간의 해발고도 편차값에 기존의 단일 기온감률, 또는 운량 기반으로 추정된 기온감률을 적용, 고도편차에 따른 기온변이를 반영하였다. 단, 0600에는 야간의 지표복사로 인해 기온역전층이 형성되는 경우가 많으므로, Chung *et al.*(2006)과 Kim and Yun(2011)이 제시한 온난대 효과와 냉기집적효과를 반영하였다.

두 종류의 기온감률에 대한 기온추정 성능을 정량적으로 평가하기 위해, ‘하동2수위표’ 집수역 내에 위치한 기상관측지점 12곳의 0600, 1500 기온을 2015년 1월부터 12월까지 수집하였다(Fig. 2). 검증 지점은 최저 해발고도 20m부터 최대 1,100m까지 9번 집수역 사면에 분포하고 있는데, 6번과 8번은 각각 해발고도 20m, 50m

지점, 1번과 4번, 7번은 약 100m 전후, 10~12번은 약 200m 전후, 2번과 3번, 5번은 고도가 300m 전후에 해당한다(Fig. 2). 12곳의 검증 지점에 대해 2015년간 추정된 0600, 1500기온을 실측값과 비교하고, 운량 기반의 기온감률 추정기법을 적용하였을 때 기존에 비해 기온의 추정오차를 개선시킬 수 있는지를 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 추정 기온감률의 신뢰도

대관령의 172일에 대해 운량과 기온감률 간의 관계를 보면, 0600의 경우 운량이 줄어들수록 Kim and Yun (2016)의 방법으로 추정된 기온감률이 직선에 가깝게 감소되는 경향을 보였지만 500-600m 층위의 실측 기온감률은 운량에 따른 차이가 상대적으로 적었다(Fig. 3, Left). 기온감률의 운량에 따른 변화는 식 2의 V 에 의해 모의되고, V 값은 대기안정도와 연계하여 날씨조건에 따른 지표 부근 기온의 일중 변동으로부터 도출되었는데(Kim and Yun, 2016), 실제 맑은 날과 흐린 날의 야간 기온감률 변동 양상이 기온의 그것과는 차이가 있다면, V_{min} 값은 날씨조건에 의한 기온감률의 변동을 현실에 가깝게 표현하지 못할 것이다. 대기안정도가 높아지는 야간에는 기온역전이 형성되는데 기온감률 추정식으로도 출되는 값은 기온역전층 위쪽의 기온감률을 의미하므로, 실제 역전층 상층 기온감률과 추정식의 모수 도출에 대한 후속 연구가 필요하다.

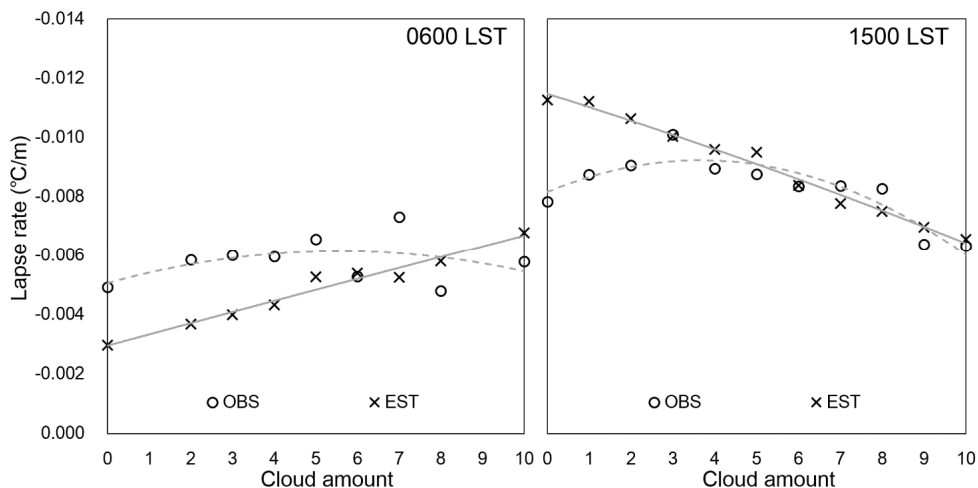


Fig. 3. Comparison of the temperature lapse rate for elevation 500-600m measured (circle) by MTP5H in Daegwallyeong, at 0600 and 1500 LST for 172 days and the estimated temperature lapse rate (x) with the amount of clouds.

Table 1. The error statistics for 0600 temperature estimated by existing single temperature lapse rate (old) and the method for estimating temperature lapse rate using the sky-condition (new) in 2015

		Weather stations												Average	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ME	All	Old	-0.91	-1.12	-0.57	-0.03	-0.26	0.69	-0.18	0.24	-2.31	-0.06	-0.75	0.62	-0.39
		New	-0.77	-0.28	-0.11	-0.40	-0.11	-0.02	-0.68	-0.40	0.55	-0.01	-0.27	0.26	-0.19
	Clear	Old	-0.96	-1.92	-0.85	0.08	-0.85	0.92	-0.78	0.29	-4.00	-0.71	-1.44	0.00	-0.85
		New	-0.76	-0.73	-0.19	-0.44	-0.64	-0.09	-1.50	-0.61	0.02	-0.64	-0.77	-0.50	-0.57
	Cloudy	Old	-0.91	-0.72	-0.53	0.04	-0.07	0.64	0.30	0.31	-2.04	0.29	-0.40	1.08	-0.17
		New	-0.84	-0.27	-0.29	-0.16	0.01	0.26	0.03	-0.03	-0.53	0.32	-0.15	0.89	-0.06
RMSE	All	Old	1.30	1.69	1.30	0.95	1.19	1.37	1.12	1.12	3.38	1.17	1.48	1.34	1.45
		New	1.21	1.25	1.17	1.03	1.16	1.19	1.36	1.19	2.55	1.16	1.27	1.26	1.32
	Clear	Old	1.31	2.35	1.44	0.94	1.50	1.37	1.30	1.08	4.71	1.40	2.02	1.20	1.72
		New	1.18	1.53	1.17	1.04	1.39	1.03	1.84	1.21	2.42	1.36	1.60	1.31	1.42
	Cloudy	Old	1.13	1.12	1.20	0.73	0.85	1.08	0.85	0.86	2.71	0.95	1.08	1.33	1.16
		New	1.07	0.89	1.11	0.74	0.85	0.90	0.79	0.80	1.82	0.96	1.01	1.18	1.01

Table 2. The error statistics for 1500 temperature estimated by existing single temperature lapse rate (old) and the method for estimating temperature lapse rate using the sky-condition (new) in 2015

		Weather stations												Average	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ME	All	Old	-2.48	-2.76	-1.69	-1.02	-0.97	-0.24	-1.02	-0.55	-1.72	-1.45	-2.58	0.74	-1.31
		New	-2.46	-2.61	-1.60	-1.09	-0.94	-0.36	-1.12	-0.66	-1.23	-1.44	-2.54	0.68	-1.28
	Clear	Old	-3.03	-3.88	-2.10	-1.92	-1.22	-0.85	-1.75	-1.11	-1.55	-2.28	-3.12	0.58	-1.85
		New	-3.05	-3.95	-2.14	-1.89	-1.23	-0.78	-1.73	-1.05	-1.82	-2.29	-3.17	0.61	-1.87
	Cloudy	Old	-1.31	-1.68	-1.45	0.17	-0.60	0.98	0.25	0.48	-3.64	-0.66	-1.64	0.84	-0.69
		New	-1.19	-0.93	-1.04	-0.16	-0.47	0.34	-0.20	-0.09	-1.08	-0.60	-1.25	0.53	-0.51
RMSE	All	Old	2.81	3.11	2.05	1.73	1.33	1.25	1.76	1.28	2.34	1.99	2.95	1.12	1.98
		New	2.81	3.08	2.01	1.72	1.32	1.11	1.71	1.23	2.10	1.99	2.96	1.06	1.93
	Clear	Old	3.21	4.06	2.42	2.22	1.44	1.24	2.14	1.36	1.89	2.66	3.33	0.95	2.24
		New	3.23	4.13	2.44	2.19	1.44	1.15	2.09	1.28	2.18	2.66	3.38	0.96	2.26
	Cloudy	Old	1.61	1.88	1.64	0.93	0.92	1.41	1.04	1.17	4.08	0.89	1.86	1.09	1.54
		New	1.52	1.24	1.25	0.94	0.84	1.01	1.03	1.06	2.11	0.85	1.51	0.88	1.19

1500의 경우, 운량 3이상에서 운량과 기온감률의 관계는 500-600m 층위 기온감률과 추정값이 유사하였으나, 맑은 경우에는 추정치와 실측 기온감률 간에 차이가 나타났다. Kim and Yun(2016)에 의한 추정 기온감률은 운량이 0이 될 때까지 직선적으로 증가되는 경향을 보임과 달리, 실제 500-600m 층위 기온감률은 운량 4~7의 경우와 유사한 수준으로 유지되었다(Fig. 3, Right). 대기안정도는 단순히 지표 부근 공기의 가열과 냉각뿐만 아니라 수평 또는 연직방향의 공기 이동에 의한 기온의

변화에 따라 달라진다. 대표적인 맑은 날 조건으로 고기압 영향권에서 하강류가 발생할 경우 공기의 상층은 압축으로 인해 지표면 부근의 하층보다 더 많이 가열되며 이로 인해 대기는 안정해지는 반면 구름은 증발된다(Lutgens and Tarbuck, 2007). 반면 하층에서 더 높은 수분을 포함한 불안정한 공기가 상승하면 구름이 발생할 수 있다. 따라서 대기의 불안정도가 구름의 양과 반비례 관계를 이룬다고 볼 수 없다. 때문에 1500의 실측 운량과 기온감률의 관계에 근거하여 운량 0~3의 경우에도 그

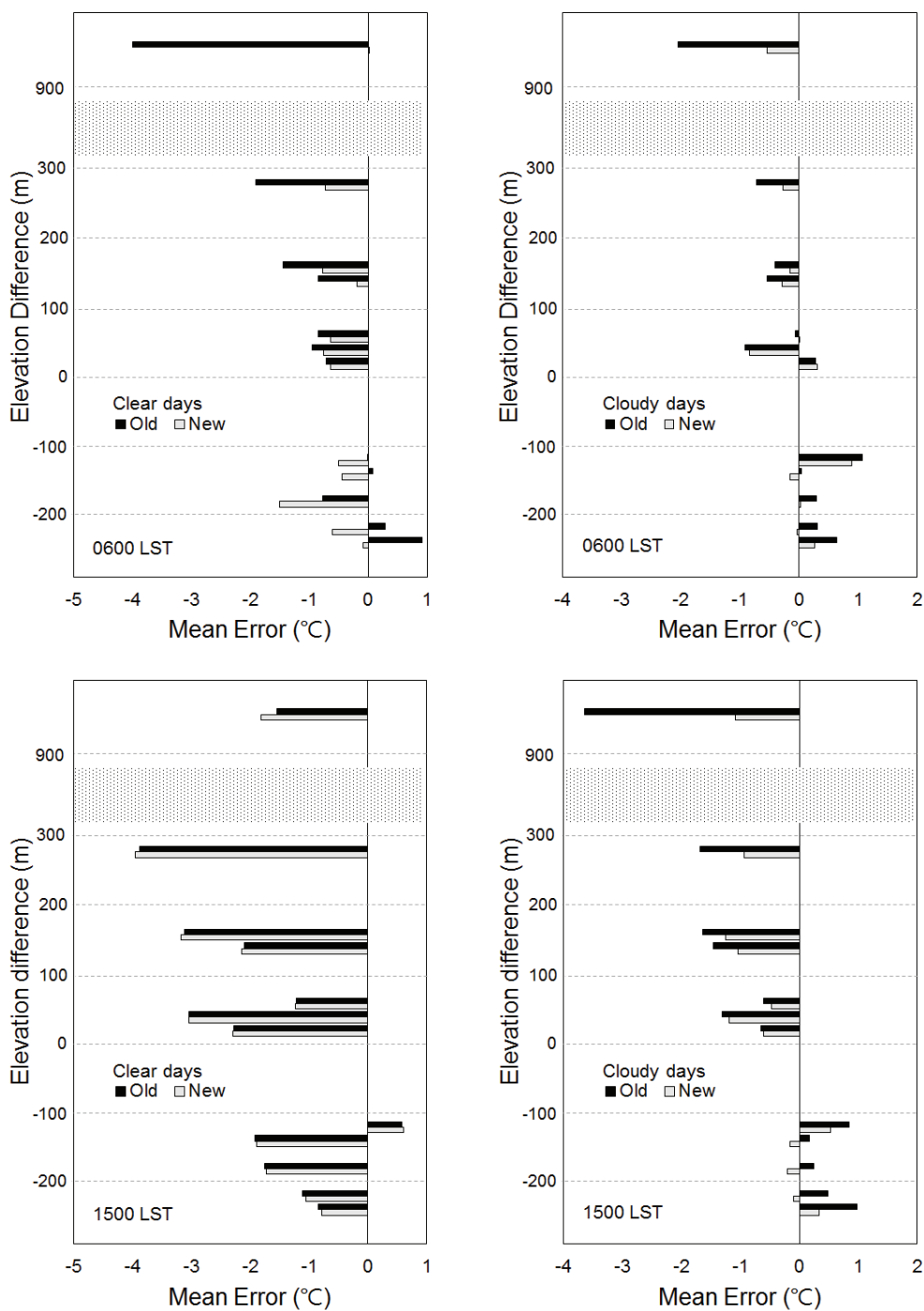


Fig. 4. Comparison of estimation error (ME) between 0600 LST (above), and 1500 LST (below), regarding the single value of existing temperature lapse rate and cloud cover-based estimated temperature lapse rate. The left refers to the ME of clear days, while the right refers to the ME of cloudy days.

이상의 운량조건과 동일한 것으로 간주, 기상청의 하늘 상태=1 '맑음'이 운량 0으로, 하늘상태=2 '구름 조금'을 운량 4로 변환하는 것에 착안하여(Kim and Yun, 2015), 운량 4이하의 경우에는 모두 운량 4로 전환한 후 기온감률을 추정하는 것이 운량 본연의 값을 이용하는 것보다 실용적일 것으로 판단된다.

3.2. 기온 추정 신뢰도

‘하동2수위표’ 집수역 내 12지점의 0600 기온 추정 오차는 기존 기온감률을 적용한 경우 2015년 동안 평균 ME -0.39°C , RMSE 1.45°C 이었으나, Kim and Yun (2016)의 방법에 근거한 신규 기온감률로 변경한 결과 ME -0.19°C , RMSE 1.32°C 로 다소 개선되었다. 결측치를 제외하고 대상구역의 운량이 0인 맑은 날 71일에 대해 기온감률 변경 전후 0600 기온 추정오차를 비교해보면, 평균 ME는 -0.85°C 에서 -0.57°C 로, RMSE는 1.72°C 에서 1.42°C 로 감소되었다. 또한 운량 10인 흐린 날 45일에 대해서도, 평균 ME -0.17°C 가 -0.06°C 으로, RMSE 1.16°C 에서 1.01°C 로 개선되었다(Table 1).

1500 기온의 경우, 맑은 날에는 기존의 단일 기온감률과 추정 기온감률 간의 추정오차가 유사하였다(Table 2). 이는 Kim and Yun(2016)의 방법을 적용할 때, 운량 4 미만의 경우 모두 4로 간주하여 기온감률을 추정함으로써 구름이 적은 날은 추정 기온감률이 기존의 기온감률 값과 거의 차이가 없기 때문이다. 반면, 흐린 날 49일의 기온 추정오차를 보면 기존 방법의 경우 ME -0.69°C , RMSE 1.54°C 이었으나, 기온감률을 변경함에 따라 ME가 -0.51°C , RMSE가 1.19°C 로 개선되는 효과를 보였다(Table 2).

Fig. 4는 검증지점별 맑은 날과 흐린 날의 0600 및 1500 기온 추정오차(ME)를 해당 지점의 실제지형과 가상지형 간 고도 편차와 함께 나타낸 것이다. 맑은 날 0600의 경우, 가상지형에 비해 실제 해발고도가 더 높을수록 신규 기온감률을 적용했을 때 기존 방법의 기온 추정오차를 대폭 감소시킬 수 있었다. 특히 고도편차가 900m가 넘는 지점에는 기존의 강한 과소추정오차 경향이 거의 사라졌다. 반면 해발고도가 가상지형에 비해 낮은 곳은 과소추정되는 경향이 증가하였는데, 이는 0600의 저지대 기온 모의과정에서 활용된 냉기집적효과가 기존 기온감률($-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$)에 맞추어 정량화되어 있어, $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 보다 더 작은 기울기로 추정된 맑은 날 신규 기온감률을 적용하면 가상지형보다 더 낮은 지역은 0600 기온을 더 낮게 추정하게 된다. 흐린 날의 0600 기

온 추정오차는 전반적으로 추정오차가 감소되었으며 고도편차가 클수록 ME 감소폭도 더 커지는 경향을 보인다.

1500 기온 ME의 경우, 맑은 날의 추정오차 개선효과는 나타나지 않았고 전반적으로 큰 과소추정 경향을 보이는데, 이것은 최고기온 추정기법을 통해 보정해야 할 부분으로써 한낱 일사량에 의한 가온효과가 반영되어야 할 것이다. 그러나 일사의 영향이 거의 적용되지 않는 흐린 날에는 운량 기반으로 추정된 기온감률이 1500 기온의 추정오차를 개선하는데 효과적인 적으로 나타났으며, 특히 해발고도 편차가 큰 지점에서 기온감률의 오차가 크게 줄어든 것으로 확인되었다(Fig. 4).

IV. 결 론

운량을 기반으로 하는 Kim and Yun(2016)의 기온감률 추정기법을 0600과 1500 기온 모의 과정에 적용하고, 기존의 단일 기온감률에 비해 추정오차를 개선시킬 수 있는지 확인하고자, 먼저 대관령의 연직 기온프로파일에서 500-600m 층위의 기온감률과, Kim and Yun (2016) 기법으로 추정한 기온감률을 운량과 비교하였고, 추정 기온감률의 실용성을 높이기 위해 입력자료인 운량을 4이하부터는 값 4로 변환하는 것으로 결론지었다. 이 기온감률 추정기법을 적용하여 ‘하동2 수위표’ 집수역 내 12곳 기상관측지점에 대해 기상청의 초단기예보 기온과 하늘상태 5km 격자자료를 기반으로 2015년 1년동안 0600과 1500 기온감률을 계산, 기온을 추정한 후 기존의 단일 기온감률을 이용한 경우와 비교한 결과, 새로운 기온감률로 0600, 1500 기온의 추정오차를 감소시킬 수 있었다. 또한 기온 모의 과정에서 실제 해발고도와 가상지형 간의 고도편차가 큰, 즉 기온감률의 영향을 많이 받는 지점일수록, 기온의 오차 개선효과가 증대됨을 확인하였다. 다만 새로운 기온감률을 복잡지형 내 기온 모의 과정에 성공적으로 적용하기 위해서는, 0600과 1500 기온의 해발고도편차 보정 후 반영되는 냉기집적 효과 및 일사효과 등의 각종 정량적인 지형 영향을 신규 기온감률에 맞게 재검토할 필요가 있다.

적 요

운량 기반 기온감률 추정모형을 이용하여 0600과 1500의 기온감률을 모의하고, 최저 및 최고기온 추정과정에 활용되었던 기존의 단일 기온감률($-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$,

-9°C/km)에 비해 추정 기온감률이 0600, 1500 기온의 추정오차를 개선할 수 있는지 확인하였다. 경남 하동과 전남 구례, 광양 지역의 ‘하동 2 수위표’ 집수역을 기온감률 추정기법의 실용성 평가 지역으로 선정하고, 이 집수역 내 기상관측지점 12곳의 0600, 1500 기온자료를 2015년 한 해에 대해 수집하였다. 또한 2015년의 기상청 하늘상태 초단기예보 5km 격자자료를 이용, 대상 집수역의 0600, 1500 운량(0~10) 공간평균값을 계산하여 기온감률을 추정하였다. 검증지점의 0600 기온 추정오차는 기존 기온감률을 적용한 경우 평균 ME -0.39°C, RMSE 1.45°C 였으나, 새로운 기온감률로 변경한 결과 ME -0.19°C, RMSE 1.32°C로 개선되었으며, 맑은 날은 ME -0.8°C에서 -0.57°C로, RMSE는 1.72°C에서 1.42°C로 감소되었고 흐린 날은 ME -0.17°C에서 -0.06°C, RMSE 1.16°C에서 1.01°C로 줄어들었다. 또한 1500 기온에서 기존의 단일 기온감률과 추정 기온감률의 적용 결과를 비교하면 맑은 날은 기온 추정오차에 거의 차이가 없었지만, 흐린 날은 기존 ME -0.69°C, RMSE 1.54°C에서 ME -0.51°C, RMSE 1.19°C로 개선되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ010007)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**(1-2), 15-24.
- Geiger, R., R. H. Aron, P. Todhunter, 2009: *The climate near the ground* (7th ed.). Rowman & Littlefield Publishers, 642pp.
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2011: A quantification method for the cold pool effect on nocturnal temperature in a closed catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**(4), 176-184. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2011.13.4.176
- Kim S. O., and D. J. Kim, J. H. Kim, and J. I. Yun, 2013: Improving usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: I. Correction for local temperature under the inversion condition. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(2), 76-84. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2013.15.2.076
- Kim S. O., and J. I. Yun, 2014: Improving usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: III. Correction for advection effect on determination of daily maximum temperature over sloped surfaces. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 297-303. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2014.16.4.297
- Kim S. O., and J. I. Yun, 2015: Improving the usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: IV. Estimation of daily sunshine duration and solar radiation based on 'Sky Condition' product. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 281-289. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.281
- Kim S. O., and J. I. Yun, 2016: Feasibility of the lapse rate prediction at an hourly time interval. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(1), 55-63. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2016.18.1.55
- Kirchner, M., T. Faus-Kessler, G. Jakobi, M. Leuchner, L. Ries, H. E. Scheel, and P. Suppan, 2013: Altitudinal temperature lapse rates in an Alpine valley: trends and the influence of season and weather patterns. *International Journal of Climatology* **33**(3), 539-555. doi: 10.1002/joc.3444
- Lutgens, F. K., and E. J. Tarbuck, 2007: *The atmosphere* (tenth ed.). Pearson Education, Inc., 520pp.
- Minder, J. R., P. W. Mote, and J. D. Lundquist, 2010: Surface temperature lapse rates over complex terrain: Lessons from the Cascade Mountains. *Journal of Geophysical Research* **115**(D14122), 1-13. doi: 10.1029/2009JD013493
- Yun, J. I., J. Y. Choi, and J. H. Ahn, 2001: Seasonal trend of elevation effect on daily air temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(2), 96-104. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., S. O. Kim, J. H. Kim, and D. J. Kim, 2013: User-specific agrometeorological service to local farming community: A case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 320-331. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2013.15.4.320
- Yun, J. I., 2015: A feasibility study of a field-specific weather service for small-scale farms in a topographically complex watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 317-325. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.317