

용문산 계곡의 온난대 및 냉기호 형성과정 고찰

이선용^{1*}, 김규량¹, 천지민¹, 강위수², 홍순성³, 김용삼⁴, 김기훈¹, 최영진¹
¹국립기상연구소 응용기상연구과, ²국가농림기상센터, ³경기도 농업기술원,
⁴양평군농업기술센터

Observation of the Thermal Belt and Cold Pool at the Valley of Yongmunsan

S.-Y. Lee^{1*}, K.-R. Kim¹, J.-M. Chun¹, W.-S. Kang², S.-S. Hong³, Y.-S. Kim⁴, K.-H. Kim¹,
Y.-J. Choi¹

¹Meteorological Application Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research,,
²Natioanal Center for Agro Meteorology, ³Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services,
⁴YangPyeong Agricultural Development & Technology Center

(Correspondence: lsy@korea.kr)

1. 서 언

맑은 날 산악의 계곡 중턱의 기온은 계곡의 기저부 및 정상 지역과 비교하여 상대적으로 냉각이 느리게 진행되어 자정 이후에 고온을 보인다(Yoshino, 1984; 윤진일, 2011). 이 지역을 온난대(thermal belt) 라고 부르며 농업에서는 과수원 적합 지역으로 알려져 있다(Ueda, 2003). 계곡의 기저부에서는 주변 고지대의 지면에서 냉각된 공기가 중력에 의해 흘러 내려와 축적되어 냉기호를 형성한다(윤진일, 2011). 이 냉기호의 영향으로 계곡의 기저부에 조성된 과수원에서는 동해 및 상해를 입는 경우가 자주 발생한다(황규홍 등, 2001). 송호열(2000)은 경기도 남양주시 조안면에서 운길산, 적갑산, 예봉산 등으로 둘러싸인 계곡을 대상으로 계곡의 기온분포에 영향을 미치는 인자를 고찰하였다.

국립기상연구소에서는 용문산 계곡 지역 배 과수원의 냉기호에 의한 동·상해를 방지를 위하여 국가농림기상센터와 공동으로 이 지역에 대한 과수원 동·상해 예측 시스템을 구축하여 관측을 수행하였다. 2012년에는 2월부터 5월까지 용문산 계곡에 대한 온난대와 냉기호의 형성과정을 관측하여 동·상해 예측시스템을 개선하였다.

본 연구에서는 용문산 연수리 계곡의 관측 자료를 분석하여, 이 지역의 온난대와 냉기호의 형성과정을 고찰하고자 한다.

2. 온난대 및 냉기호 관측망

온난대와 냉기호의 관측을 위하여 Fig. 1과 같이 두 종류의 관측망을 구성하였다. 온난대 관측을 위하여 경기도 양평군 용문면 연수리에 소재한 용문산의 계곡 중 백운봉(해발 900 m)에서 이르는 등산로를 따라 4개의 관측 지점(VL1~VL4)을 설치하고, 계곡의 기저부에 해당하는 용문면 연수리의 두 과수원에 각각 VL5와 VL6 지점을 설치하였다. 한편, 냉기호의 관측을 위하여 VL5 지점에서 계곡을 가로질러서 계곡의 상류를 바라보았을 때, 서쪽에는 VC1~VC3 지점을, 동쪽에는 VC4~VC6 지점을 설치하였다.

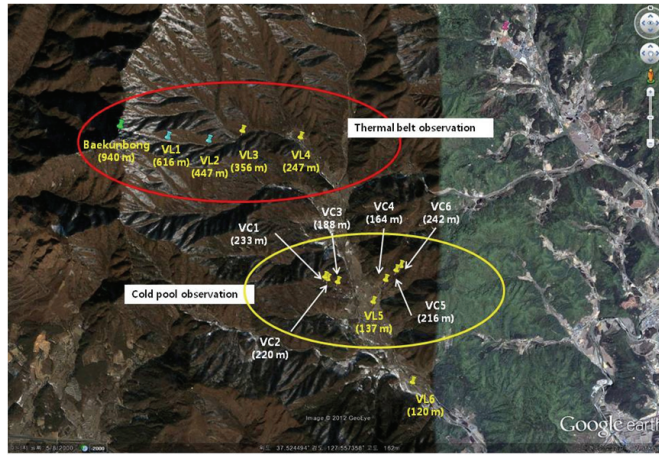


Fig. 1. The thermal belt and cold pool observation network at the valley of Yongmunsan.

온난대와 냉기호의 형성과 소산 과정의 관측에 필요한 기상요소 중 기온은 온습도계를 전체 관측 지점에 설치하여 관측하였으며, 바람은 VL1, VL2, VL4, VL6, VC2, VC5 등에는 2차원 초음파 풍속계를 설치하여 관측하였고, VL5 지점에서는 3차원 초음파 풍속계를 활용하여 관측하였다. 각 지점의 온습도계는 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 3.5 m를 기준으로 하여 관측지점별 여건에 따라 다소 변동을 주었다. 2차원 초음파 풍속계는 1.0 m와 3.5 m 고도에 설치하였으며, 3차원 초음파 풍속계는 1.5 m 높이에 설치하였다. 온습도 관측 자료와 3차원 초음파 풍속 자료는 매 10 분마다 기록 장치에 저장되며, 2차원 초음파 풍속계 관측 자료는 매 5분 간격으로 기록 장치에 저장되었다. 저장된 관측 자료는 2주마다 수동으로 수집하였다.

3. 관측 자료 분석 및 토론

온난대와 냉기호는 다양한 형태로 발달하고 소멸하였다. 특히 종관상태에 따라 온난대와 냉기호가 형성되지 않는 경우도 있었으며, 용문산 지역의 운량에 따라 그 변동양상이 다르게 나타나는 경우가 있었다. 본 연구에서는 관측 기간 중에 나타난 다양한 온난대와 냉기호의 발달 형태 중 대표적인 사례인 2012년 2월 18일 야간의 사례에 대하여 그 변동에 영향을 미치는 요소를 고찰하였다. 여기서 시간은 한국표준시를 기준으로 나타내었다. 2012년 2월 18일 야간의 종관상태는 한반도가 고기압의 전면에서 위치하고 등압선 간격이 비교적 넓은 안정된 분포를 보이고 있다. 이때 천리안 위성의 영상에서도 용문산 지역은 맑은 모습을 보여주고 있다.

Fig. 2는 2012년 2월 18일 15시부터 19일 08시까지 VL1~VL6 지점의 (a) 지상 0.5 m 고도 기온, (b) VL1 지점과 VL3 지점 및 VL4와 VL5 지점 사이의 기온 감률을, (c) VL1, VL2, VL4 지점의 3.5 m 고도 풍향과 풍속을 각각 나타낸다. 2012년 2월 18일 양평 지역의 일몰시각은 18:11시이고, 19일 일출시각은 07:15시이다. Fig. 2a에서 일몰 후 1 시간이 지난 18일 19시까지의 계곡 하단에 위치한 VL6의 기온이 가장 높은 모습을

보이고 있다. 일몰 3 시간 후인 18일 21시까지 지점별 기온 분포는 VL1과 VL2 지점의 기온이 그 이하 고도 지점의 기온 보다 급히 하강하고, 21시부터 VL5 지점의 기온이 VL3 지점의 기온 보다 급히 하강하였다. 18일 22시부터는 VL6 지점의 기온이 VL3~VL5 지점의 기온 보다 급격히 하강하여 계곡 중턱에 위치한 VL3와 VL4 지점에서 19일 02시까지 상대적인 고온이 나타나는 온난대가 형성되었다.

2012년 2월 19일 02시와 05시 사이에 VL2와 VL5 지점에서 기온의 상승이 발생한 후, VL3 지점에 약화된 상대적 고온이 나타나고 있다. 일사가 없는 이 기간 동안의 승온의 원인을 Fig. 2b의 기온감률(Γ) 결과를 근거로 분석하였다. Fig. 2b에서 표준대기의 기온감률(Γ_0)은 $-0.65^\circ\text{C}/100\text{m}$ 의 가로선으로 나타나고 있다. 청색 선으로 나타낸 계곡 상층의 VL1과 VL3 사이의 Γ 는 Γ_0 근처에서 변동하며, 적색 선으로 나타낸 계곡 하층의 VL4 지점과 VL5 지점 사이의 Γ 는 Γ_0 에서 상당히 벗어난 변동을 보이고 있다.

Fig. 2b에서 VL1과 VL3 지점 사이의 Γ 는 18일 21까지는 Γ_0 보다 강하게 나타나고 있어서 열적불안정에 남아 있는 것을 볼 수 있다. 이후 19일 3시까지 Γ_0 근처에서 약하게 변동하고 있다. 한편, VL4와 VL5 지점 사이의 Γ 는 2월 18일 19시 이후 23시까지 기온역전($-\Gamma$)이 심화되다가 19일 02시에 급격한 변화를 보인 후 02:30에서 04:40까지 Γ_0 보다 강화된 값을 보이고 있다. 이 기간 동안 계곡 하층인 VL4~VL6에서 승온이 발생하고 있다. 즉, 이 기간 동안 계곡 하층에서 열적불안정이 존재하며, 이 열적불안정에 의해 야기된 대류에 의해 온난대가 위치한 VL4 지점의 서풍에 의해 이루어진 상대적 고온의 공기가 VL5와 VL6 지점의 기온을 상승시켰음을 알 수 있다.

Fig. 3는 2012년 2월 18일 15시에서 19일 15시까지의 Fig. 1의 VC1~VL5~VC6 각 지점의 지상 0.5 m 기온과 VL5 지점의 1.5 m 고도의 10분간 평균 바람을 보여주고 있다. Fig. 3d에서 냉기호는 일몰 2시간 후인 18일 20시부터 VL5 지점에서 형성되고 있다. 냉기호의 형성과 함께 풍향은 북풍을 보이고 있으며, 풍속은 0.3 m s^{-1} 정도로 매우 약한 값을 보이고 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 VL5 지점의 북쪽에는 관측 장비가 설치된 백운봉 계곡을 비롯한 용문산 계곡이 위치하고 있다. 따라서 Fig. 3b에서 냉기호가 형성될 때 관측되는 북풍은 북쪽에 위치한 용문산 계곡에서 발원하여 VL5가 위치한 연수리 계곡에서 축적된 것으로 분석된다. Fig. 3c에서 19일 02시에서 05시 사이에 냉기호 형성의 지체는 Fig. 2a에서 나타난 VL4와 VL5 지점 사이의 대류에 의한 것으로 분석된다.

냉기호의 소산 과정은 Fig. 3c에 보인 바와 같이 2012년 2월 19일 일출시각인 07:15시에 계곡의 서쪽에 위치한 VC1 지점의 기온이 상승하기 시작하여 차례로 그 동쪽 지점의 기온이 상승하였으며 08:00시에는 제일 동쪽에 설치된 VC6 지점의 기온도 상승하였다. 이 40분의 시간동안 VL5 지점을 중심으로 형성되었던 냉기호가 소멸되었으며, 그 이후 19일 10시까지 풍향은 북풍-동풍-남풍으로 순전하여 골바람으로 전환되었다. 풍속은 08시부터 급격히 증가하여 골바람을 강화시켰다. 그 이후 15시 까지 동쪽 사면이 일사에 의해 가열됨에 따라 남풍이 서풍으로 변하였다.

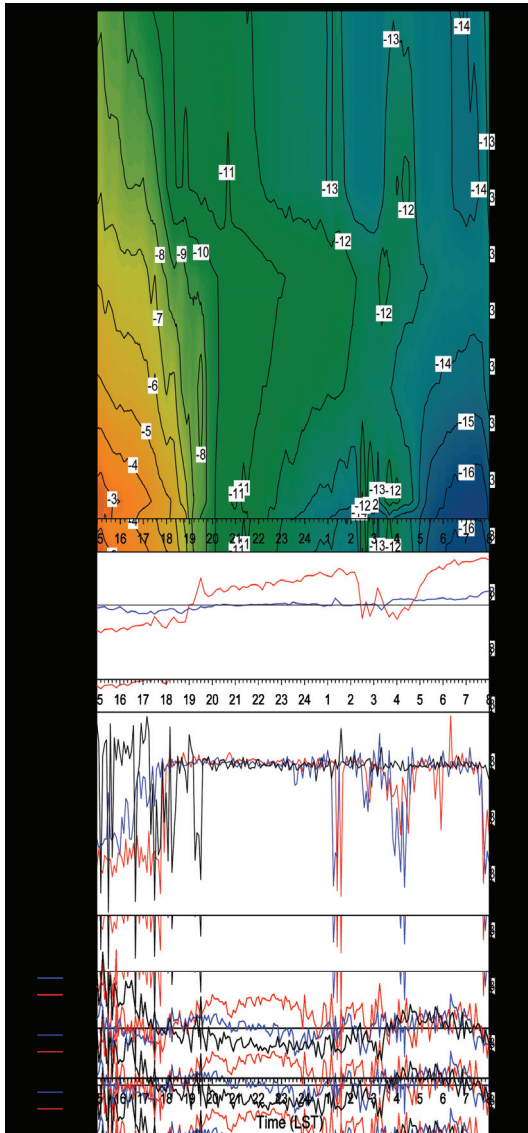


Fig. 2. The temperature and wind evolution at the valley (VL1~VL6) of Yongmunsan from 15 LST 18 to 08 LST 19 February 2012.

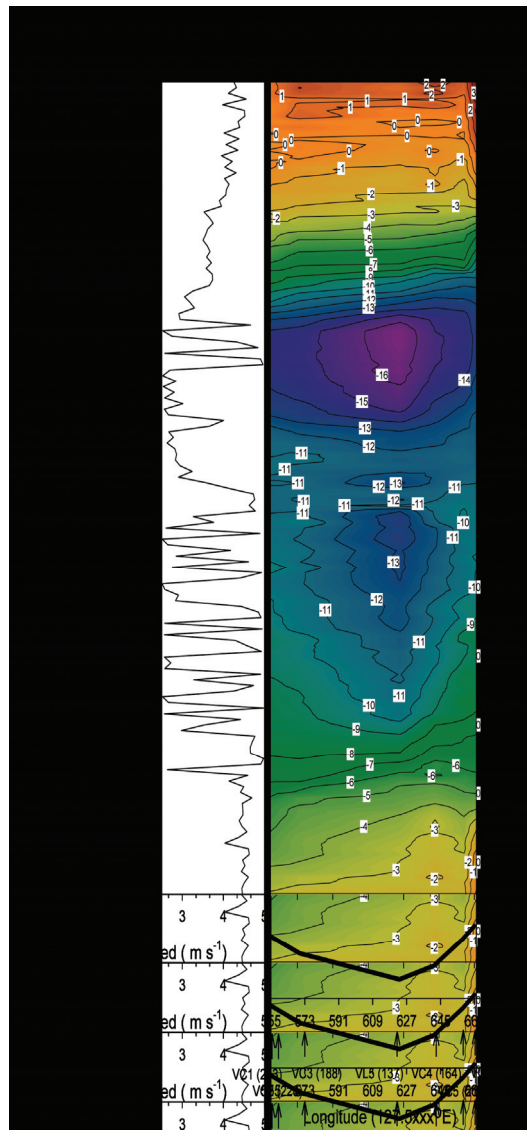


Fig. 3. The wind (VL5) and temperature evolution across the valley (VC1 ~ VL5 ~ VC6) from 15 LST 18 to 15 LST 19 February 2012.

사 사

본 연구는 국립기상연구소의 기본과제인 “생명·산업기상 기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

송호열, 2000: 산간곡지의 동계 기온 분포 특성, 한울, 서울, 147 pp.

윤진일, 2011: 적외선 영상 복사계를 이용한 산간집수역의 찬공기 배수와 온난대 형성. 한국농림기상학회지, **13**, 79-86.

황규홍, 이정택, 윤진일, 허승호, 심교문, 2001: 서리상습지 배 과수원에서의 야간 냉각 특성. 한국농림기상학회지, **3**, 206-214.

Ueda, H., M. E. Hori, and Nohara, 2003: Observational study of the thermal belt on the slope of Mt. Tsuba. *J. Meteor. Soc. Japan* **81**, 1283-1288.

Yoshino, 1984: Thermal belt and cold air of the mountain slope and cold air in the basin at quiet, clear night. *GeoJournal* **8**, 235-250.