

연구노트

산사면에서의 야간 기상요소의 특성에 관한 연구

전 병 일 · 박 재 림 · 박 현 철*
신라대학교 환경학과 · 밀양대학교 농학과
(1998년 12월 28일 접수)

On Study on Characteristics of Nocturnal Meteorological Parameter at Mountain Slope

Byung-II Jeon, Jae-Rim Bahk, and Hyeon-Cheal Park*

Dept. of Environmental Sciences, Silla University, Pusan, Korea

*Dept. of Agriculture, Miryang National University, Pusan, Korea

(Manuscript received 28 December, 1998)

A series of meteorological observation using automation weather station(AWS) carried out to investigate characteristics of nocturnal meteorological parameters for 16~17 June 1998 at Buljeongdong mountain slope, Kyungbuk. Dry temperature at valley was lower than mountain because of high lapse rate at valley, so the strong inversion layer occurred at mountain slope for nighttime. Contrary of dry temperature, relative humidity of valley was higher than mountain for nighttime. Wind speed at valley from sunset to next day morning was lower than mountain, but that of valley after sunrise was higher than mountain. Wind direction at valley for all observation time were southeasterlies(SE), that of mountain for nighttime were northeasterlies(NE) or northnorthwesterlies(NNW), and that of mountain after sunrise were irregular. Vapor pressure at valley for all observation time was higher mountain, particularly the difference was high for nighttime.

Key words : mountain slope, nocturnal meteorological parameters, automation weather station.

1. 서 론

산사면이 복잡한 산악지형은 그 지역의 기상과 기후에 미치는 영향이 매우 크다. 산악효과는 산악의 고도, 위도, 경사각, 경사면이 향하는 방향 그리고 육지의 어느 쪽에 자리잡고 있는가에 따라 지형적인 특성을 나타내고 있다. 특히 산악지역의 기후에 있어서 사면의 방향, 사면의 경사각 등이 중요한 인자로 작용하고 있으며, 더욱이 근처에 산이 있는가 없는가 그리고 주된 산등성이와 골짜기의 방향이 어느 쪽이냐에 따라 그 영향은 크게 달라진다.

산사면의 소기후의 특성에 대해서는 Yoshino¹⁾에 의해 많은 연구가 이루어졌으며, 산사면이 주위에 미치는 영향은 첫째, 산악의 구조에 따라 종관기상계의 변형이 생기게 하며 둘째, 열역학적으로 유입되는 풍계의 변화, 지형에 따른 강수구조의 차이 등과 같은 특이한 국지적 기상현상을 만들어 내며 셋째, 경사면의 방향과 경사각의 변화에 따라 지형적 기후를 형성하게 한다.²⁾ 따라서 산악효과에 따른 기상변화를 고려해 볼 때 산사면에서의 산악기상연구는 매우 중요한 것임에 틀림없다. 최근, 계절에 관계없이 산악등반을 하는 산악인들이 늘고 있는

상황에서 산악기상을 제대로 이해한다면 기상과 관계되는 제해를 미연에 방지할 수 있으며, 또한 산사면에 농작물을 경작하는 농민들에게도 산악기상특성의 이해는 필수적이라고 하겠다.

우리 나라의 산악기상에 대한 연구는 주로 기상연구소³⁻⁵⁾에 의해 수행된 바 있으며, 이들은 모두 산악지대에 대한 특정한 기상요소의 변화특성을 연구한 것이었다. 특히 전반적인 산악기상특성에 관한 연구로서는 기상연구소⁶⁻⁷⁾의 소백산 기상특성조사(I, II)로 지상관측과 상층관측을 병행하여 체계적인 조사를 한 바 있다. 그리고 김지영 등⁸⁾은 보현산 정상 바람의 특성을 통계적으로 분석한 바 있다. 한편 여러 연구자들에 의해 산사면에서의 기류에 대한 관측과 수치실험을 주로 야간을 대상으로 하여 이루어졌다.⁹⁻¹¹⁾ 그리고 저층대기에 대한 관측은 전병일 등,¹²⁾ 전병일과 김유근¹³⁾에 의해 부산 연안역에서 실시한 바 있고, 경남 김해에서는 박종길과 원경미¹⁴⁾에 의해 접지역전층이 관측되었고, 산곡내 접지역전층의 연직관측은 황수진,¹⁵⁾ 진병화와 황수진¹⁶⁾에 의해 수행된 바 있다. 그러나 산사면에서의 기상요소의 특성

은 기상연구소의 연구결과가 거의 전부를 차지하며, 특히 야간의 기상특성을 조사한 연구는 별로 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 경북 문경시 불정동의 산사면을 대상으로 자동기상관측장비(AWS)를 사용하여 평지가 아닌 산사면에서의 야간 기상특성을 조사하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 경북 문경시 불정동 계곡과 정상에서 1998년 6월 16일 19시 40분부터 6월 17일 10시 30분까지 약 15시간동안 자동기상관측장비(AWS : Automation Weather Station)를 이용하여 1분간격으로 관측한 자료를 사용하였다. 관측요소는 건구온도, 상대습도, 풍향, 풍속 그리고 수증기압이며, 불정동 계곡의 기상과 주변관측소의 기상특성을 비교하기 위해 관측지점과 약 1.8km정도 떨어진 기상청 소속의 문경관측소 자료를 이용하였다.

관측지점은 Fig. 1과 같이 경상북도 문경시 불정동 계곡이다. 계곡지점은 문경시에서 관리하는 불정산 자연휴양림이 위치하는 곳으로 해발고도가 180m이며 동서방향으로 누워있는 두 개의 능선으로 둘러싸여 있으며 주위가 평탄하여 계곡의 특성을 매우 잘 나타내고 있다. 정상지점은 해발고도 480m로 북동에서 서쪽을 따라 남동쪽으로 지나는 'c'자 형태의 능선에 위치하며 사방이 튀어 있고 불정 자연휴양림이 있는 북동쪽 계곡과 '안용지'라는 호수가 있는 남쪽방향의 계곡이 만나는 곳에 위치한다. 우리 나라에 전형적인 산사면에서의 산악기상을 나타내는 지역이 많겠으나, 본 관측은 '1998년도 신라대학교 환경학과의 낙동강 환경탐사' 중 실시되었기 때문에 약간의 산악지역특성의 한계가 있으나, 관측지점 주

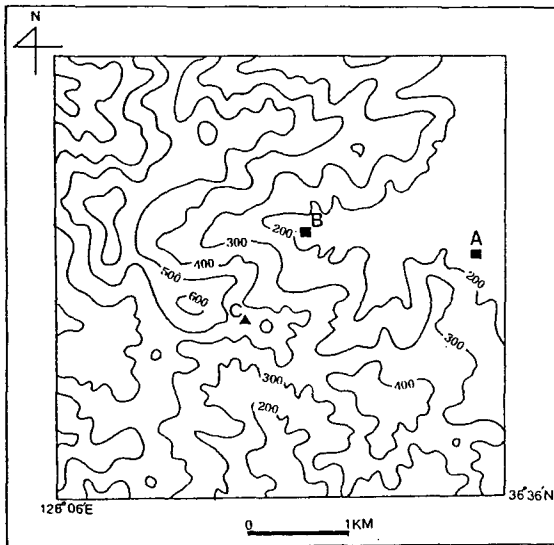


Fig. 1. Geographic map around the observation site.
 (A : Munhyung meteorological observatory
 B : Buljeongdong valley C : Buljeongdong mountain)

위에 깊은 계곡과 600m이상의 능선이 형성되어 있어 산사면에서의 야간 기상특성을 고찰하는데 매우 적당한 장소라고 할 수 있다. 기상관측은 계곡과 정상에 AWS를 동시에 설치하고 1분 간격으로 연속 관측하여 CR10X라는 data logger에 저장하고 PC208E라는 software에 의해 컴퓨터처리에 알맞도록 정리하였다.

3. 관측결과 및 토의

3.1. 관측일의 기상상태

본 연구의 관측일인 1998년 6월 16일과 17일의 기상상태는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 우리나라의 동해상에 1008hPa의 이동성 고기압이 위치하면서 전국에 걸쳐 대체로 맑은 날씨를 나타내고 있었다. 더 자세히 살펴보면, 오호츠크해 기단에서 분리된 동해상의 이동성고기압의 영향으로 남부 및 중부내륙지방은 기온의 일교차가 크고 매우 맑은 날씨를 나타내었으며, 동해안지방은 북동기류의 영향으로 구름이 조금 낀 흐린 날씨를 나타내었다. 그리고 한랭다습한 오호츠크해기단과 고온습윤한 북태평양기단이 만나서 형성되는 장마전선은 일본 남해상에 위치하고 있어 우리나라에 영향을 전혀 미치지 못하고 있었다. 본 관측일은 장마가 형성되기 전에 나타나는 오호츠크해 고기압의 영향권에 있으며, 또한 관측지

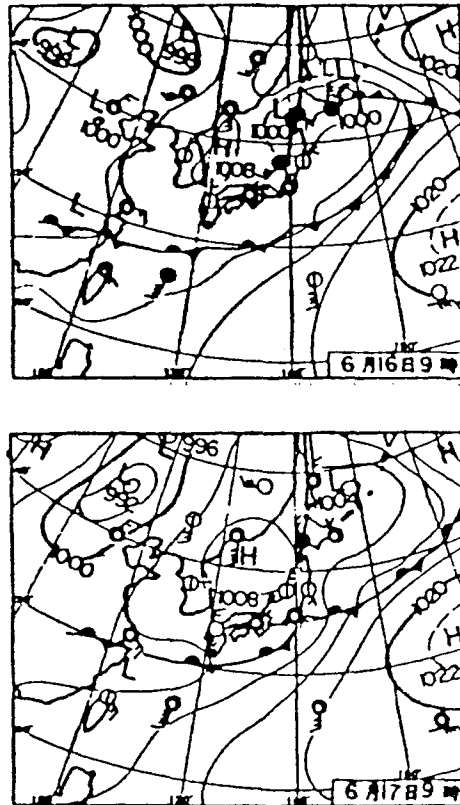


Fig. 2. Surface weather chart at 0000UTC June 16~17, 1998.

점이 기압차이에 의한 일반풍이 없는 내륙에 위치하기 때문에 산사면에 의한 야간 기상특성을 고찰하는 데 매우 적합한 기상조건이라고 할 수 있다.

3.2. 기온의 특성

기온은 고도가 증가함에 따라 내려가며, 건조공기의 단열감률이 0.976°C/100m 즉 100m올라감에 따라 약1°C씩 하강하게 된다. 실제의 산지에서는 지표면의 복잡한 지형과 고도에 따른 복사, 난류열전달의 차이, 식생의 영향 또한 작은 순환 등에 의해 공기가 복잡하게 혼합되기 때문에 이것과는 다른 값을 나타낸다. 또 공기 중에 수증기가 포함되어 있기 때문에 이런 경우에는 수증기가 응결하게 되는데, 수증기가 응결할 때는 잠열을 방출하고 그 열이 외압에 대해 일을 하기 때문에 기온의 하강은 건조단열보다 작게 된다. 실제 산지의 관측치에 의해 구해진 감률은 기온계감률 또는 기온감률이라고 부르고 지역과 계절에 따라 다른 값을 나타낸다. 또 한 지점에 대해서도 일변화를 하며 고도에 따라서도 기온 감률은 다르다.¹⁷⁾

Fig. 3(A)은 본 연구의 관측지점인 불정동 계곡과 불정동 산정상상의 기온 일변화를 나타낸 것이다. 관측시작 시각인 19시 40분에는 계곡이 산정상보다 높은 기온을 나타내었으나 20시 50분을 경계로 산정상이 계곡보다 높은 기온을 나타내기 시작하여 다음날 9시 30분까지 지속되었다. 그리고 기온차이가 가장 큰 시각은 새벽 5시 전후로서 최저기온이 나타날 때 발생하였다. 또한 산정상상의 경우 주위에 비슷한 고도의 산이 산재해 있는 관계로 바람이 약하게나마 불고 있어 기온하강을 방해하였기 때문에 계곡과 산정상사이의 기온차가 발생한 것으로 판단된다. 그 외에 계곡의 기온이 하강하는 또 하나의 이유는 야간의 산풍의 영향으로 산정상에서 계곡으로 내려오는 중력류형태의 찬 공기의 영향으로 볼 수 있겠으나, 그에 대한 것은 본 관측지역이 규모가 작은 계곡이기 때문인지 본 관측에서 발견할 수 없었다. 그리고 17일 9시 30분부터 다시 계곡의 기온이 산정상보다 높게 나타나며 계곡의 기온상승률은 산정상보다 크게 나타났다. 그림에는 나타내지 않았지만 불정동 계곡과 동일한 고도에 있는 문경관측소의 경우 전반적으로 불정동 계곡의 기온변화와 비슷한 양상을 나타내고 있었다. 기온 일교차의 경우 산악지역에서 작고 해발고도가 낮은 곳일수록 일교차가 크며 겨울이 여름보다 일교차가 큰 경향이 있다. 한정된 관측시간만을 통해서 불정동 계곡(180m)의 일교차를 보면, 6월 17일 10시 10분에 25.69°C로 최고기온이었고 같은 날 4시 50분에 16.07°C로 최저기온을 나타내 일교차가 9.62°C를 나타내었다. 불정동 산정상(480m)의 경우 6월 17일 9시 20분에 24.45°C로 최고기온이었고 5시 20분에 17.86°C로 최저기온을 나타내 일교차는 6.59°C를 나타내었고 계곡이 산정상보다 3.03°C나 크게 나타났다. 이는 지표면의 공기가 상층의 공기보다 더 빨리 냉각되고 가열되는 산악복합지형의 영향을 받기 때문으로 판단된다.

Fig. 3(B)은 계곡(180m)의 기온에서 산정(480m)의 기온을 뺀 것을 나타낸 그림으로 고도에 따른 기온차를 통

해 대기의 안정도를 고찰할 수 있다. 그림에서 보면 일몰(19시 56분) 1시간 후인 20시 50분부터 기온역전이 발생하기 시작하여 22~23시경에는 산정상이 계곡보다 1.8°C정도 높은 기온을 나타내었다. 또한 17일 0시 30분경에는 상하층의 기온차가 없는 중립에 가까운 상태를 나타내었는데, 이는 산정에서 24시경에 1.5m/s정도의 바람이 불어 일시적으로 기온을 하강시킨 것으로 판단된다(Fig. 5참조). 그 이후 계속해서 상하층간 기온역전이 형성되어 익일 아침까지 강한 안정층이 지속적으로 나타났으며, 특히 아침 7시경에는 2.8°C라는 아주 큰 기온차를 나타내어 강한 역전층을 형성되었다. 이것으로 보아 만약 계곡에 대기오염 발생원이 존재한다면 그 오염물질의 확산은 매우 어려울 것이라는 점을 매우 강하게 시사하고 있다. 그리고 일출에 의해 지표가 서서히 가열되면서 계곡과 산정의 기온차는 9시경부터 3°C정도(1°C/100m)로 대기가 점차 불안정하기 시작하였다. 따라서 계곡과 산정과의 기온차이에 의해 곡풍의 발생도 예상할 수 있으나, 본 연구에서는 한정된 관측시간으로 산곡풍의 존재를 확인하지 못한 점이 매우 아쉬웠다.

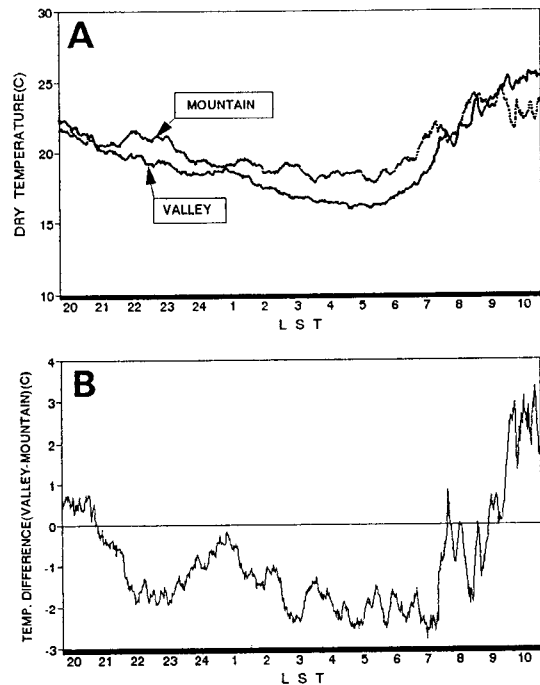


Fig. 3. Diurnal variation of dry temperature(A) and temperature difference(B) at valley and mountain of Buljeongdong.

3.3. 상대습도의 특성

습도는 기온과 수증기에 의해 결정되고 수증기량은 고도에 따라 급격히 내려간다. 이것은 기온이 급속히 체감하기 때문이고 기압과 비교하면 그 특징이 확실하다. 즉 기압이 해면값의 반이 되는 데는 약 5~5.5km이지만 자유대기 중에서 수증기량이 해면값의 반이 되는 것은

약 1.5km이다. 대체로 산악에서는 월평균 60~100%이다. 상대습도는 기온과 역의 관계에 있고 일중에는 낮고 야간에는 높게 된다. 그러나 실제로는 구름과 안개가 발생하는 고도와 지역에서는 높게 되고 계절적으로 보면 출현하는 기단의 특징에 따라 달라진다.¹⁷⁾

Fig. 4는 본 연구의 관측지점인 불정동 계곡과 불정동 산정상의 상대습도 일변화를 나타낸 것이다. 불정동 계곡과 산정상의 상대습도는 Fig. 3의 기온과 반비례하는 것을 명확하게 볼 수 있으며 계곡의 습도가 산정상보다 6월 17일 7시 30분까지 20%정도 높은 값을 나타내었다. 즉 야간의 경우 기온이 낮은 계곡에서 기온이 높은 산정보다 상대습도가 높게 나타났음을 알 수 있다. 그리고 일출후부터 기온역전이 파괴되면서 상하층의 습도차가 줄어들고 있다. 또한 계곡의 일변화는 완만한데 비해 산정상은 변화폭이 크게 나타났는데, 이는 Fig. 3의 기온의 변화와 일치하는 양상을 보이고 있다. 그리고 최대 상대습도는 최저기온이 나타나는 5시 10분경이었으며 일출 후(5시10분) 급격히 하강하는 추세를 나타내고 있다. 그럼에는 나타내지 않았지만 문경관측소의 경우 불정동 계곡과 산정상의 중간정도의 값을 나타내고 있는데, 이는 문경관측소가 계곡이 아닌 평탄한 지점에 위치한 지형적인 영향으로 판단된다.

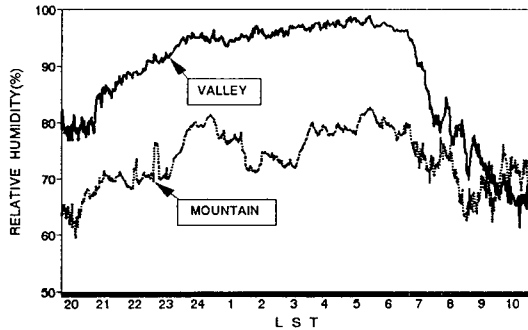


Fig. 4. Diurnal variation of relative humidity at valley and mountain of Buljeongdong.

3.4. 바람의 특성

산악에서는 일반적으로 풍속이 크다. 풍속은 산악의 해발고도가 높을수록 일반적으로 증가하지만 미지형의 영향이 크고 국지적으로 큰 변화가 있다. 높은 산의 산정부근의 바람의 일변화는 해발고도가 낮은 산과는 상당히 다르다. 낮은 곳에서의 풍속은 야간에 약하고 일중 강한 것에 비해 높은 곳에서는 야간에 강하고 일중에 약하다. 이 야간 풍속의 극대가 나타나는 일변화형은 자유대기 중에서는 지상 100~200m에서 출현하지만 산악의 경우는 산정의 고도가 충분히 높지 않으면 나타나지 않는다.¹⁷⁾

Fig. 5는 본 연구의 관측지점인 불정동 계곡과 불정동 산정상의 풍속 일변화를 나타낸 것이다. 불정동 계곡과 불정동 산정상을 비교할 때 일출 후(19시 55분) 약 2시간 정도는 계곡이 정상보다 높은 풍속을 나타내었으나 23시 이후부터 17일 2시경까지 약하긴 하지만 산정상이 계곡

보다 높게 나타났는데, 이는 능선으로 둘러싸인 계곡은 대기가 안정하고, 산정상 부근은 사방이 열려 있어 일중의 지형적인 요소에 의한 온도차이로 바람이 발생한 것으로 보인다. 이로 인해 Fig. 3에서와 같이 기온의 하강률이 계곡보다 약하게 나타나게 한 요인이라고 본다. 그러나 새벽 2시부터 다음날 7시 30분경까지는 0.5m/s 정도로 정온상태에 가까웠으며 7시 30분 이후부터는 계곡의 풍속이 산정상보다 강한 풍속을 나타내었다.

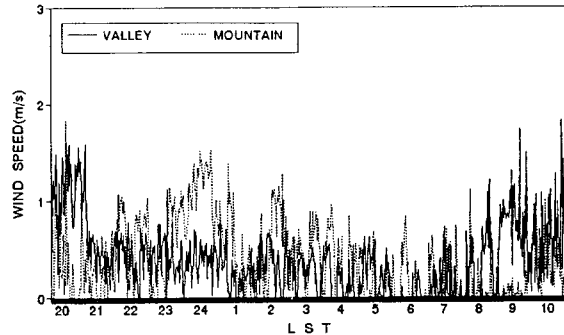


Fig. 5. Diurnal variation of wind speed at valley and mountain of Buljeongdong.

Fig. 6은 본 연구의 관측지점인 불정동 계곡과 불정동 산정상의 풍향 일변화를 나타낸 것이다. 불정동 계곡은 관측시각부터 남동풍계열의 바람이 익일 아침까지 계속 나타났으며, 익일 7시 이후부터는 불규칙한 풍향을 나타내었으며, 산정상은 북동풍 계열의 우세한 가운데 때때로 북북서풍계열의 바람이 나타났다. 이상의 풍향으로 보아 본 관측기간에 산악지형에 의한 산풍(야간)의 존재는 발견할 수 없었던 점이 아쉬웠다. 이것은 본 관측지역인 불정동 계곡이 주능선 사이에 위치하고 있는 것이 아니라 Fig. 1에서 보는 바와 같이 600m가 넘는 산악이 주위에 산재해 있고 계곡도 여러 개가 복합적으로 형성되어 있기 때문에 산악지형에서 발생하는 전형적인 산곡풍의 존재를 본 관측장소에서는 확인하기에 관측시간이 짧아 어려웠다. 따라서 전형적인 산곡풍의 존재를 관측하기 위해서는 산악지형 중에서 주능선과 주계곡에서 장기간 관측해야 한다고 판단된다.

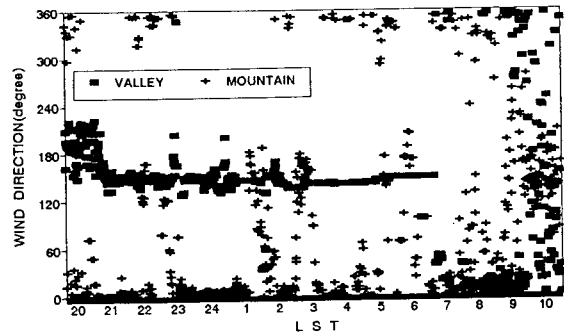


Fig. 6. Diurnal variation of wind direction at valley and mountain of Buljeongdong.

3.5. 수증기압의 특성

수증기압은 공기 중에 있는 수증기만에 의한 압력으로 수증기장력이라고 부르며, 그 단위로 기압과 마찬가지로 hPa를 사용한다. 공기 중의 절대 수증기의 양을 알 수 있는 척도라고 할 수 있다. 공기 중에 포함될 수 있는 수증기의 양은 기온에 따라 결정되는 데 어떤 기온에서 최대로 포함될 수 있는 수증기에 의한 압력을 포화수증기압이라고 하며, 공기 중의 수증기압과 포화수증기압의 비율로 상대습도를 구할 수 있다.¹⁸⁾

Fig. 7은 본 연구의 관측지점인 불정동 계곡과 산정상에서의 수증기압의 일변화를 나타낸 것이다. 계곡과 산정상 모두 일변화는 비슷한 양상을 보이고 있으며 계곡의 수증기압이 정상보다 전시간에 걸쳐 높은 값을 나타내고 있으며, 특히 일몰 후부터 익일 3시까지 큰 차이를 보이다가 새벽 4시 이후부터 그 차이가 작아지는 것을 알 수 있고, 아침 7시경에는 그 값이 가장 작게 나타났다. 이는 Fig. 3(B)에서 보는 바와 같이 이 시간대에 대기가 가장 안정한 것과 관련이 매우 큰 것으로 판단된다.

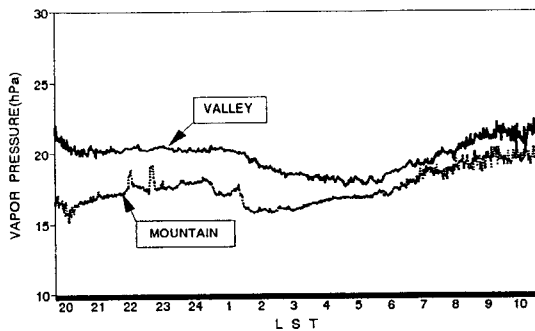


Fig. 7. Diurnal variation of vapor pressure at valley and mountain of Buljeongdong.

4. 결 론

1998년 6월 16일 오후부터 17일 오전까지 경북 문경시 불정동 계곡(해발고도 180m)과 불정동 산정상(해발고도 480m) 그리고 문경관측소의 기상자료를 이용해 산사면에서의 야간 기상특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

기온의 경우 일몰 후부터 익일 일출 후까지 기온하강률이 큰 계곡이 산정보다 기온이 낮은 기온역전현상이 발생하였으며, 상대습도는 기온과 반대로 산정이 계곡보다 더 낮은 값을 나타내었으며, 풍속의 경우 일몰 후 야간에는 산정이 계곡보다 높게 나타났으며, 일출 후 주간에는 반대로 계곡이 산정보다 높게 나타났다. 풍향의 경우 계곡에서는 관측기간동안 대체로 남동풍이 불었고, 산정에서는 야간에 북동풍과 북북서풍계열이 탁월하게 나타났고 일출 후에는 풍향이 일정하지 않았다. 수증기압의 경우 계곡이 산정보다 높게 나타났고 야간에 그 차이가 더 크게 나타났다.

감사의 글

본 관측에 있어 수고를 아끼지 않은 신라대학교 환경학과 김도연, 김정교, 모운정, 이유진 학생에게 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Yoshino, M., 1975, Climate in a small area, Univ. Tokyo Press, 549pp.
- 2) Barry, R. G., 1981, Mountain weather and climate, London Methun, 313pp.
- 3) 기상연구소, 1973, 경사면에 따르는 열수지에 관한 연구, 기상연구소, MR73-3, 134pp.
- 4) 기상연구소, 1978, 지리산 이남지역의 농업기후구분, 기상연구소, MR78-6, 199pp.
- 5) 기상연구소, 1985, 산악기상에 관한 연구, 기상연구소, MR85-5, 100pp.
- 6) 기상연구소, 1988, 소백산의 기상특성 조사(I), 기상연구소, MR88-4, 98pp.
- 7) 기상연구소, 1989, 소백산의 기상특성 조사(II), 기상연구소, MR89-4, 92pp.
- 8) 김지영, 민경덕, 김경익, 윤일희, 이광목, 1995, 보현산 정상에서의 바람 특성, 한국지구과학회지, 104~116.
- 9) Magono, C., C. Nakamura and Y. Yoshida, 1982, Nocturnal cooling of the Moshiri Basin, Hokkaido in midwinter, J. Meteor. Soc. Japan, 60, 1106-1116
- 10) Doran, J. C. and T. W. Horst, 1983, Observations and models of simple nocturnal slope flows, J. Atmos. Sci., 40, 708~717.
- 11) Mori, M. and T. Kobayashi, 1996, Dynamic interaction between observed nocturnal drainage winds and a cold air lake, J. Meteor. Soc. Japan, 74, 247~258.
- 12) 전병일, 김유근, 이화운, 황수진, 1996, 해풍효과에 의한 저층대기구조 변화의 측정, 한국환경과학회지, 5(4), 441~451.
- 13) 전병일, 김유근, 1998, 부산연안에서 관측된 저층대기의 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 7(2), 195~201.
- 14) 박종길, 원경미, 1994, 김해에서 관측한 접지역전층의 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(4), 305~315.
- 15) 황수진, 1989, 산곡내의 야간접지역전층의 생성·소멸에 관한 연구, 부산대학교 자연과학논문집, 48, 161~179.
- 16) 진병화, 황수진, 1998, 분지내의 야간 접지역전층 변화와 관련된 기상요소에 대한 연구, 한국환경과학회지, 7(3), 369~374.
- 17) 吉野正敏, 1986, 小氣候, 地人書館, 298pp.
- 18) 소선섭, 이천우, 1986, 기상관측법, 교문사, 377pp.