

대구 앞산 달비골의 국지풍 특성에 관한 관측적 연구

구 현 속 · 권 병 혁 · 김 해 동
계명대학교 지구환경보전전공, *부경대학교 환경대기과학과
(2006년 7월 4일 접수; 2007년 1월 2일 채택)

Observational Study on the Local Wind of the Dalbi-Valley Located at Ap-Mountain in Daegu

Hyun-Suk Koo, Byung-Hyuk Kwon* and Hae-Dong Kim

Department of Environmental Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

*Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

(Manuscript received 4 July, 2006; accepted 2 January, 2007)

The purpose of this study is to clarify the effect of mountain-valley wind on heat island formed in urban area which is located around valley mouth. The meteorological observations were carried out over the Dalbi-valley under a clear summer pressure patterns, and some consideration were tried from the results. In order to make clear the climatological characteristics and air-mass modification process of the mountain-valley wind over the valley, the meteorological observations were done simultaneously at two points. The observational points were located at the breast and valley mouth parts, respectively. The results were as follows:

First, it was found that the valley wind was observed through the daytime, and it was replaced by a mountain wind after sunset.

Second, the heat budget is also investigated with observation data. The sensible heat flux over the breast of Dalbi-valley reached to about $200 W/m^2$ during daytime, which is a little more than one third of net radiation. On the other hand, the sensible heat flux represented negative values during nighttime. But the sensible heat flux over the valley mouth covered by asphalt showed plus value (about $20 \sim 30 W/m^2$) during the nighttime.

Key Words : Mountain-valley wind, Heat island, Sensible heat flux

1. 서 론

경사지의 사면이나 산중턱에서는 야간에 복사냉각을 받아 냉각된 기류가 사면을 따라서 하강하는 현상, 즉 냉기류가 발생한다¹⁾. 그리고 냉기류가 유출된 지역에는 상대적으로 기온이 높은 공기가 주위로부터 유입되는 형태로 대기 순환구조가 형성된다²⁾.

최근 온실기체의 증가에 따른 지구온난화의 대응책으로 적응대책(adaptation)에 대한 관심이 높아지고 있다. 도시지역의 적응대책으로는 도시열섬 완화대책 추진을 통한 도시의 환경쾌적성 창조가 중심

이 되고 있다³⁾. 열섬완화 대책 중의 하나로 도시계획을 수립함에 있어서 건물배치를 고려함으로써 바람의 환기기능을 확보하는 개선대책이 독일과 일본 등에서 활발하게 제기되고 있다⁴⁾. 대구와 같은 내륙 분지형 도시에서는 야간에 산지에서 지표면 복사냉각과정을 통해서 생성된 이런 냉기류를 도심으로 원활하게 유입시켜 도시열섬을 완화하고자 하는 시도가 주목을 받고 있다⁵⁾.

도시주변에서 형성된 청정한 냉기류를 도심으로 유입시켜 도심의 대기질을 개선하고 도시열섬을 완화하고자 하는 시도는 1990년대 초기에 독일에서 시작되었다. 이는 오늘날 우리나라와 일본에서 바람의 길 조성이라는 개념으로 잘 알려져 있다⁶⁾. 이것은 유럽 내륙에 위치하여 바람이 약하여 대기환기 기능이 약하면서도 자동차를 포함한 산업의 발달로

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Department of Environmental Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5947
E-mail: khd@kmu.ac.kr

대기오염의 피해가 심각하였던 슈투트가르트 지역에서 청정공기 계획(clean air plan)으로 시작되었다⁶⁾. 이 계획은 도시기후학의 평가에 근거하여 도시 내의 토지이용도와 구조물 배치를 조절함으로써 주변 야산에서 야간 복사냉각으로 생성된 청정한 냉기류를 도심으로 유입시켜 대기오염을 저감시키는 것을 주요 목적으로 하였다. 아울러 도시지역 내의 열적인 쾌적성을 향상시키는 것을 부가적인 목표로 설정하고 있다⁶⁾. 이 계획에 따르면 도시의 빌딩은 5층 이내로 제한되고 빌딩 간의 간격은 3m 이상을 유지하여야 한다. 또 국지순환풍의 냉기류가 지나가는 주요 통로(바람의 길)에는 폭 100m 이상의 공원길 혹은 소공원이 배치된다⁶⁾. 한편 일본에서는 최근에 후나바시와 나고야 등에서 도시계획에 바람의 길을 도입하기 시작하였고, 2005년에는 일본 동경의 니혼바시 일대의 도시개발에 바람의 길을 고려한 건물배치가 도입되기에 이르렀다⁷⁾. 그런데 바람의 길을 도시계획에 반영하기 시작한 이들 일본의 도시들은 연안지역에 위치하고 있기 때문에, 독일이 도시 주변에 위치한 야산에서 생성된 산풍을 이용하여 여름철 도심의 야간기온을 낮추려는 것과는 달리, 중간에 해풍을 도심으로 유입시켜 여름철 낮 기온을 낮추고 도시의 환기기능을 향상시켜 대기질을 개선하는 것을 목표로 하고 있다⁸⁾.

우리나라에서는 서울지역의 지형 및 토지이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구를 포함하여 관련 연구가 수차례 수행된 바 있다^{9,10)}. 대구에서는 수치모델을 이용하여 산곡풍의 바람통로를 파악하고, 주요 경로에 대해서 여름철 야간에 유출될 수 있는 냉기류(산풍)의 양을 정량적으로 평가하는 연구가 수행된 바 있다^{5,11)}. 그러나 이들 냉기류가 탁월한 지역을 대상으로 지상과 상층의 기상을 관측하여 냉기의 유출량을 정량적으로 평가하고 그곳의 기후특성을 조사한 연구는 밀양얼음골의 사례¹²⁾를 제외하고는 제대로 수행된 경우가 드문 실정이다.

대구에는 남쪽과 북쪽으로 앞산과 팔공산이 위치하고 동서로도 해발고도가 수백 m에 이르는 산으로 에워싸여 있는 우리나라의 대표적인 분지형 도시이다. 이러한 지리적 특성으로 인하여 연중 바람이 약하고 기온의 연교차가 크며 대기질이 낮아 다른 도시에 비하여 환경쾌적성이 낮은 것으로 알려져 있다¹³⁾. 그러나 큰 계곡에 인접하여 위치한 주거공간의 경우에는 산지와 주거단지 간에 산곡풍 순환구조가 형성되어 야간에는 산풍의 영향을 받아 쾌적한 기후환경 하에서 생활하고 있는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 대구에서 이러한 국지순환풍의 발원지로서의 기능을 갖는 대표적인 장소 중의 한곳이 앞산에 위

치하며 진천천의 발원지역할을 하고 있는 달비골이다. 달비골은 이곳에 인접한 상인동과 월성지역 일대와 국지풍 순환계를 형성하고 있는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 즉 주간에는 저지대인 이들 주거단지에서 생성된 고온의 오염된 공기가 달비골을 따라서 산정으로 유출되고, 야간에는 야간복사냉각으로 산정에서 생성된 청정한 냉기류가 이곳 계곡을 중심으로 흘러내려 저지대에 위치한 주거단지에 영향을 미쳐 여름철 야간기온을 낮추고 대기질을 개선하는 역할을 하고 있다.

달비골은 대덕산(해발 약 600m)과 청룡산(해발 약 800m) 사이에 존재하는 계곡인데 그 폭은 약 100m에 이른다. 계곡엔 연중 물이 흐르고 있으며 높은 수고의 삼림이 차지하는 면적비율이 높다. 달비골의 입구에서 서쪽으로 저지대를 따라서 대규모 아파트 주거단지가 발달해 있으며, 주거단지의 끝에는 대구 최대의 산업단지인 성서산업단지가 잇달아 위치하고 있다. 달비골로부터 유출되는 야간의 청정한 냉기류가 이 지역으로 유입되면 이 지역의 대기환경개선에 긍정적 기여를 할 것으로 기대된다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 달비골의 산곡풍 순환을 평가하고, 그 특유의 기후적 특성을 조사하기 위하여 특별기상관측을 수행하였다. 그 결과를 분석하여 소개하고자 하며, 이 연구의 결과는 달비골 인근지역을 대상으로 여름철 야간기온 저감과 대기질 개선을 위한 환경친화적 도시계획 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 관측 및 분석

2.1. 대상지역 및 관측

조사 대상지역인 달비골은 대구의 남쪽을 둘러싸고 있는 비슬산(이 산의 대구도심지역 부분을 앞산이라고 지칭하고 있음)의 남서쪽에 자리 잡고 있는 계곡이다(Fig. 1). 관측은 Fig. 1의 화살표로 표시된 지역에서 수행되었다. 관측이 수행된 두 곳은, 지점 A의 경우 해발 160m에 위치한 저수지(월곡지) 부근이며, 지점 B는 해발 120m인 계곡입구이다. 지점 B에는 자동기상관측장치를 설치하여 바람(풍향, 풍속)과 기온 및 상대습도가 관측하였고, 지점 A에서는 지상과 상층기상관측 뿐만 아니라 각종 열수지항이 관측되었다.

관측은 2005년 6월 20-21일에 걸쳐서 24시간 연속으로 이루어졌다. 대상일은 등압선 간격이 넓어 종관규모의 바람이 약하고, 평균 일조시간이 10시간이 넘어 국지순환풍의 생성에 유리한 조건이었다(Fig. 2).

토양과 대기간의 각종 열플럭스와 난류를 측정하

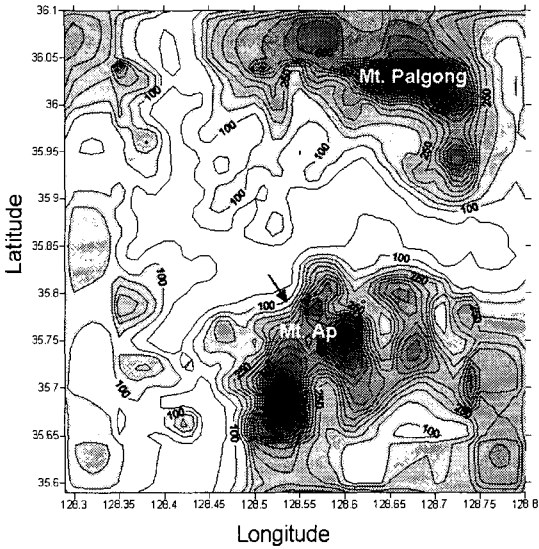


Fig. 1. A topographic map around Dalbi-valley of Ap-mountain. (An arrow indicates the observation point)

기 위하여 OEBMS(Optical Energy Scintillometer)를 사용하였다. 이것은 SLS(Surface Layer Scintillometer), 순복사측정기 그리고 토양열 플럭스 측정기로 구성되며, SLS는 출력부(transmitter)와 수감부(receiver)로 이루어진다. SLS로 측정하는 요소는 굴절을 변동에 의한 구조함수 $C_n^2 l$ ($10^{-12} \text{ m}^{-2/3}$)와 굴절을 변동의 내부 규모 l_0 (mm)이며, 이로부터 현열플럭스 H , 모닌-오브코프 길이 L , 마찰속도 u_* 를 산출할 수 있다. 온도 변동에 따른 구조함수 C_T^2 ($\text{K m}^{-2/3}$)는 C_n^2 의 함수이고 현열플럭스와 관련이 있다.

$$C_T^2 = \left(\frac{T^2}{aP}\right)^2 C_n^2 \quad (1)$$

$$C_T^2 = 2.68 \left(\frac{g}{T}\right)^{-2/3} \left(\frac{z}{H_0}\right)^{-4/3} \quad (2)$$

여기서, T =절대온도(K), P =기압(hPa), $a=7.89 \times 10^{-5}$ (K/hPa), 식 (1)은 수분에 의한 변동은 무시한 것이다. 내부 규모 l_0 과 난류 운동에너지의 소산율 ϵ 은 다음과 같은 관계가 있다.

$$\epsilon = \nu^3 \left(\frac{7.4}{l_0}\right)^4 \quad (3)$$

ν 는 기온의 함수인 공기의 동점성도(m^2/s)이다. 운동량플럭스 u_*^2 이 소산율의 함수이기 때문에 C_n^2 와 l_0 가 측정되면 모닌-오브코프의 상사이론에 따라 대기 난류의 현열플럭스와 운동량플럭스를 구할 수 있다(Thiermann and Grassl, 1992).

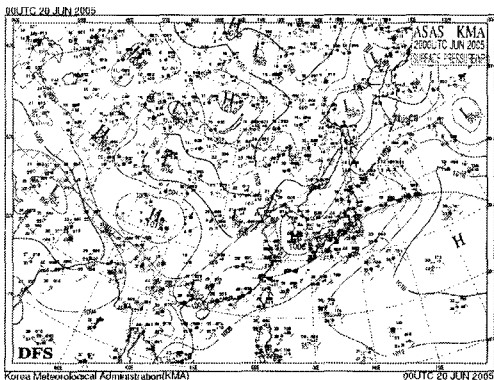
$$H = -\rho C_p u_* T_* \quad (4)$$

$$\tau = -\rho u_*^2 \quad (5)$$

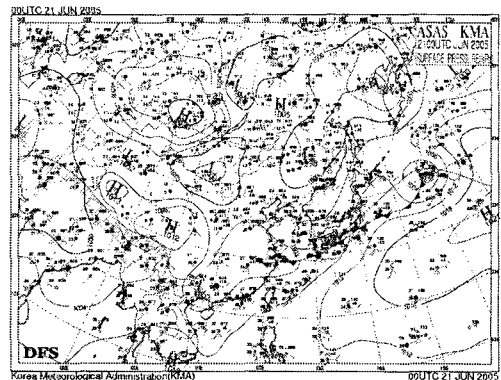
관측에서 사용된 상층기상관측 장비는 Meteorlabor사의 ARGUS37 GPS 존데이다. 비양식인 GPS Radiosonde를 이용하여 고도에 따른 기상자료를 수집한다. 존데를 풍선에 매달아 상승 시키면 매초 각 고도별 온도, 기압, 풍향 그리고 풍속의 정보를 지상의 수신기로 보낸다. 수신된 신호는 수신기와 연결된 PC로 보내져서 ARGUS-CONVERTER 소프트웨어에 의해 분석에 필요한 자료를 산출한다.

2.2. 열수지 분석방법

본 연구에서는 대구의 앞산에 위치한 대규모 계곡인 달비골에서 관측된 기상자료와 열적 자료를 기초로 이 지역의 열수지적 특성을 조사하고자 한



(a)



(b)

Fig. 2. Synoptic weather charts at 09LST on (a) 20 June and (b) 21 June, 2005.

다. 중규모- γ (수평규모, 2~20km) 이하인 국지규모에서는 수온, 지온 등의 지표면온도 차이가 기온변화에 반영되기에는 시간지연의 효과가 크기 때문에 기온의 비교만으로는 국지규모의 기후특성을 논의하기에는 부족한 것으로 알려져 있다¹⁴⁾. 그래서 본 연구에서는 기상관측뿐만 아니라 scintillometer를 이용하여 현열을 직접 측정하고, 지표와 지중온도, 순복사량과 일사량 등을 관측하여 열수지 각 항을 평가할 수 있는 자료를 얻었다. 이들 자료를 바탕으로 열수지 분석을 수행하였다. 달비골과 같이 식피로 덮여있고, 국지적 순환풍에 의한 에너지 수송효과가 큰 지역의 경우에는 열수지 관계를 다음과 같이 기술할 수 있다¹⁵⁾.

$$R_n = lE + H + B_s + F + B_p + \mu A \quad (6)$$

여기서 R_n , lE , H , B_s , B_p 및 μA 는 각각 순복사량, 잠열, 현열, 지중열, 바람에 의한 열운반량, 식물군락층으로의 열플럭스 및 식물군락의 호흡에 의한 에너지 플럭스이다. 그런데, 중위도 지역에서 여름에 관측한 결과에 의하면 식(6)의 우측 마지막 2개 항의 크기는 순복사량의 2% 이하로 알려져 있다¹⁵⁾. 그래서 온대지역의 식피층에서 열수지를 분석함에 있어서 이 2개 항을 무시하는 것이 일반적이다³⁾. 본 연구에서도 이 2개 항을 무시함으로써 다음과 같은 열수지 관계식을 수립하였다.

$$R_n = lE + H + B_s + F \quad (7)$$

식(7)에 나타난 열수지 각 항의 시간변화를 조사하여 분석하였다. 현열은 직접 관측하였고 잠열은 벌크(bulk)식을 이용하여 계산하였다. 순복사량은 관측된 일사량으로 구하였고, 하향장파복사량은 Kondo의 경험식을 이용하여 계산하였으며 상향장파복사량은 현장에서 관측된 지표면온도를 이용하여 계산하였다¹⁶⁾. 이들 각 항은 다음과 같이 기술된다.

$$R_n = (1-\text{ref}) S \downarrow - \epsilon(\sigma T_s^4 - L \downarrow) \quad (8)$$

여기서 ref 는 지표면의 알베도인데, Sugawara¹⁷⁾ 등을 따라서 0.12(아스팔트)로 상정하였다. ϵ 은 지표면의 적외복사에 대한 방출율(emissivity)로 1에 가까운 것으로 알려져 있기 때문에 여기에서는 1로 가정하였다. 그리고 T_s 는 지표면온도이고, σ 는 스테판-볼츠만 상수이다. $S \downarrow$ 와 $L \downarrow$ 은 각각 하향 단파와 장파복사량이다. 하향 단파복사량은 전천일제로 관측하였고, 하향 장파복사량은 다음과 같이 계산하였다.

$$L \downarrow = \sigma T_a^4 ((1-0.49-0.066 \times e^{0.5})(1-n \times C \times h)) \quad (9)$$

여기서 T_a 는 기온(K)이고 n 은 10분위로 나타낸

전운량이며, C 와 h 는 식(10)와 (11)으로 계산된다.

$$C = 0.75 - 0.05 \times e \quad (10)$$

$$h = \left[\frac{(n_1 + 0.85 \times n_2 + 0.5 \times n_3)}{n} + 0.1 \times N_r / N \right] \quad (11)$$

여기서 e 는 일평균 수증기압(hPa)이고, N_r / N 은 하루 중에서 강수가 지속된 시간, n, n_1, n_2, n_3 은 각각 전운량, 하층, 중층 및 상층운량이다. 구름 자료는 대구지방기상대에서 관측된 3시간 간격의 것을 이용하였다.

잠열플럭스는 Sugawara¹⁷⁾등과 같이 아래의 벌크(bulk)식을 이용하여 계산하였다.

$$lE = l\rho\beta C_H U (q_{sat}(T_s) - q_a) \quad (12)$$

여기서 l 은 물의 기화잠열(2.50×10^6 Joule/kg), $C_H U$ 는 현열의 수송속도, β 는 지표면의 증발효율, T_s 는 지상기온(K), q_a 는 대기 중의 비습 그리고 $q_{sat}(T_s)$ 는 지표면온도에 대한 포화비습이다.

그리고 지중열과 바람에 의한 열운반량은 식(7)의 잔차 항으로 계산하였다.

3. 결 과

3.1. 지상의 기상일변화

관측점 A와 B에서 관측된 기온과 이곳에서 북쪽으로 약 5km 떨어진 저층의 주거단지에 위치한 감삼중학교(해발고도 약 70m) 옥상(지상에서 약 12m)에서 관측된 기온자료를 Fig. 3에 나타내었다. 관측점 B(해발고도 약 120m)는 A지점(해발고도 약 160m)에서 서쪽으로 150m 정도 떨어진 계곡 입구에 위치하고 있다. 각 지점에서 관측된 기온을 비교해 보면 주간에는 감삼중학교에서 가장 높았고, 야

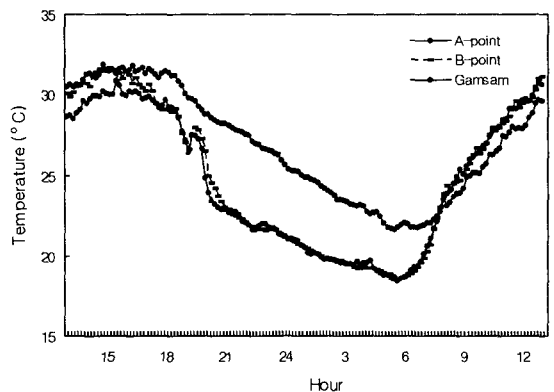


Fig. 3. Time variations of air-temperature at A, B points and Gamsam middle school.

간에 비하여 A지점과의 차이는 작았다. 이것은 고온의 바람이 계곡을 따라 산 정상으로 올라가는 도중에 계곡에 있는 삼림과 계곡수의 증발산 활동을 통해서 냉각되는 효과에 크게 기인하였을 것으로 추정된다. 반면에 야간에는 A와 B지점의 기온 간에는 거의 차이가 없었다. 그러나 주거공간이면서 야간에 산풍의 영향을 거의 받지 않는 감삼중학교 옥상에서 관측된 기온에 비하여 5°C 정도나 낮게 나타났다.

이러한 현상은 분지지형의 저지대와 계곡입구에서 비교 관측한 다른 연구결과들^{18,19)}과도 일치하는 것인데, 이것은 다음과 같은 과정으로 설명이 된다. 주간에는 부는 곡풍은 시가지에서 계곡으로 유입되는 과정동안에 지속적으로 지면가열을 받아 기온이 상승하고, 계곡을 따라서 산정으로 유출되는 과정 동안에는 지표면에 열을 빼앗기는 과정을 겪고 있다. Fig. 4에 나타난 토지이용도에 따른 지표면온도에 의하면 오후 2시에는 아스팔트와 계곡 간에는 약 20°C 정도의 온도차이가, 계곡입구에 위치한 밭의 표면(나대지)온도에도 약 8°C 정도의 차이가 있음을 확인할 수 있다. 반면에 야간에는 지점 A에서 B에서 관측된 기온이 거의 같았다. 이는 야간에 두 지점 사이의 지표면 온도가 거의 같았고(Fig. 4) 숲의 증발산효과가 주간보다 훨씬 작았을 것이며 두 지점간의 거리가 가깝고 풍속이 강하여 지표면이 기류를 냉각하는 효과가 작았기 때문이었을 것으로 판단된다. 주간에는 저지대에서 가열된 곡풍이 산정으로 유출되면서 빠르게 냉각되고, 야간에는 산풍이 저온의 성질을 유지한 채로 저지대로 유출되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2. 온위 및 바람의 연직분포

Fig. 5에 지점 A에서 관측된 온위의 연직분포를 나타내었다. 연직관측은 1일 중에 총 3회(6월 20일

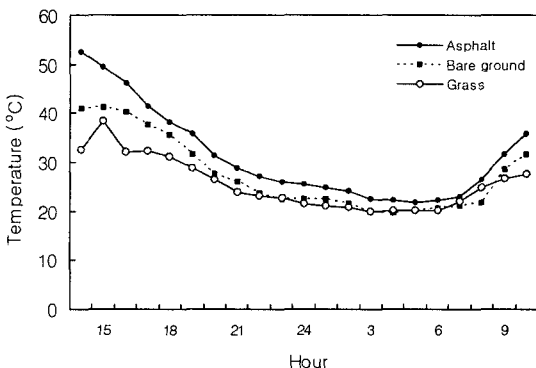


Fig. 4. Time variations of surface temperature at the asphalt, bare ground and grass in Valley.

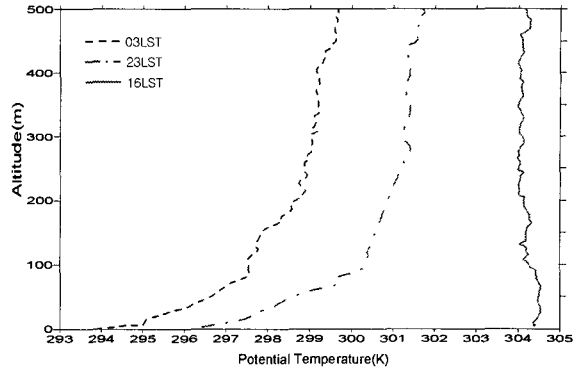


Fig. 5. Vertical distributions of potential temperature at 16(20 June), 23(20 June) and 03LST(21 June).

오후 4시와 11시 그리고 21일 새벽 3시) 수행되었다. 오후 4시에는 고도 800m 이상에 이르기까지 혼합층이 발달하였다. 야간에는 전체적으로 안정한 성층을 보이고, 지상에 가까운 하층(100m 이내)에는 강한 안정층이 발달하는 것을 확인할 수 있었다. 이 고도는 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 산풍의 연직규모와 대체로 일치한다. 특히 새벽 3시에는 지상 약 30m 이내에 강한 접지역전층이 관측되었다.

하루 중 기온변화는 하층에서 크고 상층으로 갈수록 작아지기 때문에 대기안정도가 낮과 밤에 서로 다르게 나타난다. 즉, 이번 관측에서 500m 상공에서는 오후 4시(304.2K), 밤 11시(301.6K) 그리고 새벽 3시(299.6K)에 걸쳐서 구간별로 기온감소가 약 3.6K와 2K로 나타났다. 반면에 지상 1.5m 상공에서는 오후 4시(304.5K), 밤 11시(296.4K) 그리고 새벽 3시(294.2K)에 걸쳐서 각각 기온이 약 8.1K와 2.2K 낮아졌다. 그 결과로 야간에 대기는 안정화 되었다.

Fig. 6에 기온과 동시에 관측된 바람의 연직분포를 나타내었다. 그림에서 방위는 일반지도와 같이 나타내었다. 즉 위쪽이 북쪽이고 아래쪽이 남쪽이며

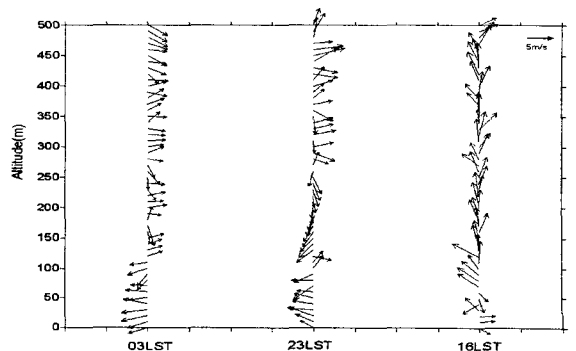


Fig. 6. Same as Fig. 6 but for wind vectors.

좌우측은 각각 동쪽과 서쪽이다. 달비골은 동서로 발달한 계곡인데 동쪽이 산정상 방향이고 서쪽이 계곡입구이다. 따라서 동풍은 산풍, 서풍은 곡풍을 가리킨다. 6월 20일 오후 4시에 관측된 바람의 연직 구조를 살펴보면, 지상 30m 이내에서 곡풍인 서풍이 2m/s 내외로 확인되지만 그보다 상공에서는 풍향의 변화가 컸다. 지상에서 약 60~100m 구간에서는 3~4m/s 정도의 동풍이 탁월하였고 100m 이상의 고도에서는 남풍이 관측되었다. 곡풍의 층이 두껍다는 점을 염두에 둔다면 관측이 이루어진 오후 4시에는 이미 상층에서부터 국지풍의 교대가 시작되고 있음을 추정할 수 있다.

야간에 관측된 자료에서는 지상에서 100m 이내에서 산풍이 관측되었다. 풍속은 20~50m 구간에서 가장 강하게 나타났고 그보다 높거나 낮은 고도에서는 풍속이 이보다 약하게 나타났다. 그리고 새벽 3시에 100m 이상의 고도에서는 전 층에 걸쳐서 지상풍의 풍향과 반대인 서풍이 관측되었다.

바람과 온위의 연직분포를 비교해서 살펴보면, 주간(오후 4시)에 곡풍이 불거나 그 영향이 잔존하고 있는 고도(100m 이내)에서는 다른 층에 비하여 온위가 높게 나타났으며 야간에 산풍이 부는 고도에서는 그보다 위의 층에 비하여 온위가 낮게 관측되었다. 이것으로부터 주간에 관측된 바람은 저지대에서 가열된 공기가 계곡을 따라서 산정으로 유출되는 곡풍이고, 야간에 관측된 바람은 산지에서 냉각된 공기가 사면하강류의 형태로 저지대로 유입되는 산풍이라는 것을 확인할 수 있다.

3.3. 열수지 항의 시간변화특성

아스팔트와 콘크리트구조물로 이루어진 도시에서는 증발산량이 작아 태양에너지에 의해 지표면 온도가 상승하고, 다량의 현열이 대기로 수송되어 기온 상승에 기여하는 반면, 삼림과 초지에서는 증발산량이 많아 지표면이 흡수한 복사량의 상당한 부분이 증발산으로 소비되기 때문에 지표면 온도의 상승이 억제된다. 이 절에서는 아스팔트로 이루어진 계곡입구에서의 열적 환경의 시간적 변화를 살펴보기 위해서 열수지 해석을 수행하였으며, 산중턱에서의 실제 관측된 열수지값과의 차를 알아보고자 한다. 그 결과는 Fig. 7에 나타내었다. R_n 은 지면흡수 일사에너지와 하향의 대기장파복사에너지의 합에서 지면방출의 지구장파복사에너지(σT_s^4 , (T_s 는 지표면 온도))를 뺀 값으로, 이는 지표면에서의 순복사량을 나타낸다. 그리고 양의 값은 대기에서 지면을 향하는 것이고, 음의 값은 지면에서 대기로 향함을 의미한다. 또 B_s 는 야간에 지중에서 대기로 전달되는 에너지로 음의 값을 가지면 지중에서 대기로의 에너

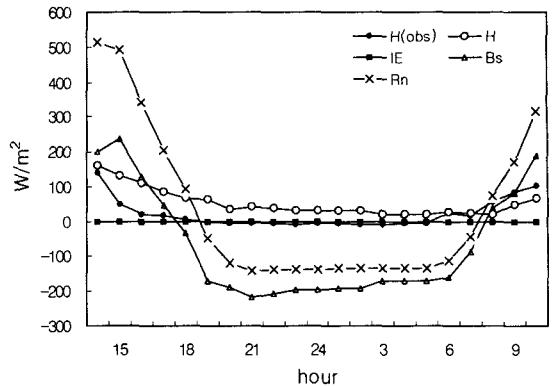


Fig. 7. Time variations of net radiation, latent heat flux, sensible heat flux and soil heat flux.

지 흐름을 말한다.

산 중턱에 위치한 지점 A에서의 실제 현열관측값(H(obs))과 계곡입구에 위치한 지점 B에서의 관측치를 바탕으로 계산한 현열(H)의 시간변화를 살펴 보았다. 지점 B에서는 순복사량의 1/3정도가 현열(H)의 형태로 소비되었고, 지표면이 아스팔트로 구성되어 있어서 잠열로 소비되는 열은 거의 없었다. 또 지점 A, B에서의 값을 비교해보면 모든 시간대에서 아스팔트로 이루어진 지점 B에서의 현열 값(H)이 A지점보다 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 야간의 경우에 지점 A에서는 현열이 음의 값(-)을 나타내어 지표면이 공기를 냉각시키고 있었다. 반면에 지점 B에서는 야간에도 여전히 양의 값(약 20~30 W/m^2)이 나타나서 산풍의 기온을 높이는 역할을 하는 것으로 확인되었다.

4. 요약 및 결론

대구의 앞산에 발달한 대표적인 대규모 계곡인 달비골을 대상으로 산곡풍의 발달 현황과 이곳의 지표면과 대기간의 열교환 과정을 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다.

첫째, 달비골에서는 낮과 밤 사이에 산곡풍이 잘 발달하는 것을 확인할 수 있었다. 관측일 야간에 산풍이 불 때 달비골 입구의 지상기온은 도심에 비하여 5°C 이상 기온이 낮게 나타났다. 산풍에 의해 형성된 청정한 냉기류가 달비골 부근 저지대에 위치한 주거단지로 이동하여 대기환경의 개선에 기여를 하고 있는 것으로 확인되었다.

둘째, 달비골에서는 야간에 하층 100m 이내에 강한 접지 역전층이 발달하는 것으로 확인되었다. 이는 지면냉각 과정뿐만 아니라, 달비골의 좌우로 발달해 있는 산지에서 불어내린 사면 하강류의 열적

특성을 나타내는 것으로 판단된다.

셋째, 낮동안의 곡풍은 달비골 계곡을 따라서 산정으로 유출되면서 냉각되어지고, 야간의 사면하강류(산풍)는 달비골 계곡을 따라서 저지대로 유입되기 직전까지 지면으로부터 가열받는 효과가 거의 없었다. 이는 달비골의 지표면이 저온을 유지하고 있어 산풍을 가열하지 않았기 때문이다. 달비골 입구에서 저지대에 위치한 주거단지에서 이르기까지 거리가로수 식재 등을 통해서 지표면온도를 저온으로 유지시키게 되면 주거단지 내의 환경쾌적성을 향상시킬 수 있을 것이다.

향후 미세규모 기상모델을 이용하여 야간에 달비골에서 유출된 공기가 주거단지로 이동하면서 나타나는 기단변질과정을 연구하고자 한다. 이를 통하여 산풍을 이용한 주거단지의 환경쾌적성 향상을 위한 보다 구체화된 연구 성과를 제시하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 (과제번호 R01-2006-000-10104-0)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 재정지원을 해주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) Simpson, J. E., 1994, Sea breeze and local wind, Cambridge University Press, pp.59-74.
- 2) Gudiksen, P. H., 1989, Categorization of nocturnal drainage flows within the Brush Creek valley and the variability of sigma theta in complex terrain, J. of Appl. Meteor., 28, 489-495.
- 3) Nishizawa, H. and S. Nishioka, 2003, Global warming and Japan - Assessment to nature and human, Kokon Press, pp.392-440.
- 4) Ichinose, T., 2002, Counteractions for urban heat island in regional autonomies: Activities in Councils of MoE. Japan, Journal of Atmospheric Environment, 37, A71-A83.
- 5) 구현숙, 김해동, 2004, 대구지역의 국지순환풍의 환기경로 및 대기오염수송에 관한 수치모의, 한국지구과학회지, 25, 418-427.
- 6) Ichinose, T., 1999, The climate analysis of Germany-Climate analysis for urban, Tenki, 46, 709-715.

- 7) Mikami, T., 2005, Abnormal climate in Tokyo, Yosensha Press, 95pp.
- 8) Ichinose, T., A. Urano, S. Shimanozo and K. Hanaki, 1998, Impacts analysis of three dimensional replacement of urban activity on urban thermal environment, -Klimaanalyse fuer die Stadtplanung. Report of RCUSS, Kobe University, 279-285.
- 9) 오성남, 임영권, 윤원태, 전영신, 2000, 서울지역의 지형 및 토지이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구, 한국기상학회지, 36, 229-244.
- 10) 서울특별시, 2000, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구, 275pp.
- 11) 구현숙, 김해동, 강성대, 2003, 대구지역의 국지적 대기순환풍의 환기경로에 관한 수치모의 실험, 한국환경과학회지, 13, 367-376.
- 12) 이순환, 황수진, 서광수, 2004, 산악지역 도로건설에 따른 국지 대기순환의 변화에 관한 연구, 한국지구과학회지, 25, 94-108.
- 13) 김해동, 2002, 대구의 장기적 도시기후 변동에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12, 697-704.
- 14) Hukuoka, Y., 1985, Climatological Studies on Yunagi(Evening Calm) in the Setouchi District, Journal of bio-meteorological Society of Japan, 22, 101-107.
- 15) Monteith, J. L. and M. H. Unsworth, 1990, Principles of environmental Physics, Edward Arnold, 291pp.
- 16) Kondo, J., T. Kuwagata and S. Haginoya, 1989, Heat budget analysis of nocturnal cooling and daytime heating in a basin, J. Atmos. Sci., 46, 2917-2933.
- 17) Sugawara, H. and J. Kondo, 1995, Sensitivity test of urban surface temperature, Tenki 42, 813-820.
- 18) Kanou, M., 2003, Local Climatological Study of Mountain Wind on the Heat Island in Urban Area Located at Valley Mouth, Thesis of Doctoral Degree, Tokyo Metropolitan University, 125pp.
- 19) Mori, M. and T. Kobayashi, 1996, Dynamic interaction between observed nocturnal drainage winds and a cold air lake, J. of Meteor. Soc. of Japan, 74, 247-258.