

제주북부지역 적설량에 미치는 해양과 대기간 에너지수지 효과

한 경 훈 · 윤 용 훈* · 방 익 찬**

제주지방기상청, *기상연구소 해양지진연구실, **제주대학교 해양과학부

Influence of energy balance distribution between sea and atmosphere by Jeju Island north snowfall

Gyeong-Hun Han, Yong-Hun Yun* and Ik-Chan Bang**

Climate & Information Division, JRMO

**Marine Meteorology & Earthquake Research Laboratory, METRI/KMA*

***Faculty of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea*

This research analyzes heat flux in the sea near Jeju and in the air while snowing. It analyzes the relation between heat transfer and quantity of snow to help to forecast how much it would snow in Jeju Island.

The heat flux in the sea near Jeju Island showed maximum values of latent heat ($140\sim 230\text{ W/m}^2$) and sensible heat ($70\sim 110\text{ W/m}^2$) in December. The heat flux showed minimum values of latent heat ($0\sim 5\text{ W/m}^2$) and sensible heat (-10 W/m^2) in June. The important sea weather factors that influence the heat-flux are sst-air temperature and wind speed. When the values are higher, lots of heat energy and steam are supplied to the air from the ocean with the forms of latent heat and sensible heat. It results in unstable air and strong snowing system. The regular distribution of heat-flux during heavy snow showed 70~81% with sensible heat of $100\sim 150\text{ W/m}^2$, with latent of $150\sim 250\text{ W/m}^2$, turbulent flow of $300\sim 400\text{ W/m}^2$ and Bowen ratio 0.6~0.8. The regular distribution of heat flux during snow accumulation showed 72~86% with sensible heat of $150\sim 200\text{ W/m}^2$, with latent heat of $150\sim 250\text{ W/m}^2$, with turbulent flow of $350\sim 400\text{ W/m}^2$ and with Bowen ratio 0.8~1.0.

Through the examples analysis, it found that heavy snow forecast factors in Jeju Island were more than 300 W/m^2 (74%) for turbulent flow transfer and more than Bowen ratio 0.7 (81%). It indicates that the heavy snow forecast can refer to turbulent flow and Bowen ratio. The Bowen ratio relation between downtown Jeju city and mountainside of Jeju (Eorimok in Halla Mountain) was 0.8, when the snow accumulates 0.1~1.0 cm. The average Bowen ratio was 0.88 when the snow accumulates 1.1~5.0 cm. When it was more than 5.1 cm, the average Bowen ratio was 0.98. When the snow accumulates 0.1~10 cm in the mountainside of Jeju Island, the average Bowen ratio was 0.65. When it accumulates 11~20 cm, the average Bowen ratio was 0.71. When it is more than 20 cm, the average Bowen ratio was 0.94. So when it starts to snow at the coast of Jeju Island, it indicates that Eorimok in Halla Mountain has already 11~20 cm snow accumulated.

Key words : latent heat-flux, sensible heat-flux, net heat-flux, Bowen's ratio

서 론

대기는 해양과 접하고 있어서 해양 특성변화의 영향을 상당부분 받으며 대기의 온도, 습도, 기압변화 등 기단의 변화에 영향을 미친다. 해양-대기 상호작용에 의한 열수지는 복사성분과 난류성분으로 구성되는데, 특히 난류성분 중 현열과 잠열의 방출은 대기 하층에 열과 수증기를 공급하여 불안정한 상태를 유발하는 원인이 되고, 따라서 제주지방의 겨울철 강설 발생시스템에 적지 않은 영향을 미치는 원인으로 작용하게 된다. 해양과 대기 상호간 열 수송량은 주로 해기차와 풍속에 의해서 좌우되면서 수증기 형태로 이루어진다.

겨울철 제주지방의 강설은 차고 건조한 시베리아 고기압이 확장하면서 상대적으로 따뜻한 해상에서 하층운이 발달하여 나타나는 경우(93%)로 대표된다. 제주지방의 강설현상에 대한 연구는 주로 종관분석을 중심으로 한 일반적 조건에 관한 내용으로 이미 많은 사람들에 의하여 연구 보고 되었다. 「제주지방의 동계 강설조건(최, 2003)」, 「제주도 적설의 일반적 조건과 예외적 조건에 관한 연구(이 등, 2003)」, 「제주지방의 국지 강설특성(박, 2003)」 등이 그것이며, 해수면 열수지를 이용한 연구로는 「겨울철 해면 열수지에 의한 적설가능성 예측(문, 2000)」, 「제주도 연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성연구(기상연구소, 2003)」가 있는데, 이에 대한 연구는 지금까지 상당부분 미흡한 실정이다. 본 조사는 열수지에 의한 수증기 공급과 관련 있는 기상현상 중, 제주도 해안지역을 중심으로 나타나는 적설 발생 메카니즘과 그 특성을 해양-대기의 열수지와 그 수송량을 이용하여 살펴보고자 하였다.

자료 및 분석방법

본 연구에 사용된 자료는 제주도 부근 및 연안해역 열수지 분석을 위하여 국립수산과학원 정선관측 및 제주도연안해역 정점관측지점 10년(1995~2004년) 수온자료 월평균치(2, 4, 6, 8, 10월)를 이용하였고, 여기에 수반되는 기상변수(대기온도, 운량, 풍속, 수증기압, 해면기압)는 제주도와 인접한 기상청 기상관서(제주, 서귀, 고산, 성산포, 흑산도, 완도, 여수, 통영)

의 종관 기상관측자료와 자동기상관측(AWS) 자료를 이용하였다. 제주도 연안바다의 열수지는 Haney(1971)의 경험식을 이용하여 해수면으로 입사되는 태양복사량(Q_s), 해수면에서 방출되는 해수면장파복사량(Q_b), 현열수송량(Q_e), 잠열수송량(Q_h)을 각각 계산하여 순(net) 열속을 산출하였다. 여기에서 태양으로부터의 입사량은 Gill(1982), 해면장파복사량은 Kraus & rooth(1961), 현열과 잠열 수송량은 Bulk method 를 이용하였다.

사례분석은 기후자료관리시스템의 일기상통계표 및 기사란 10년 자료를 통계 분석하여 그 현황을 파악하였고, 여기에 열수지 특성 및 보웬비(Bowen ratio)를 적용하여 제주지방의 적설량을 정량적으로 예측하고자 하였다.

열수지방정식

대기로부터 해양으로의 총 열수지는 복사성분과 난류성분으로 구성되는데 해수면 열수지는 다음 식으로 표현된다.

$$Q_T = Q_s - (Q_b + Q_e + Q_h) \quad (1)$$

Q_T 는 해수면에서 잃거나 얻은 총 열수지로 순열속(Net heat flux), Q_s 는 태양복사량, Q_b 는 해수면장파복사량, Q_e 는 잠열속, Q_h 는 현열속을 나타낸다. 해수면에서 흡수되는 태양복사량은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Gill, 1982).

$$Q_s = (1 - 0.7N) * (1 - \alpha) Q_{s0} \quad (2)$$

여기서 N 은 운량(0~1)으로 구름으로 덮인 부분의 전체 하늘에 대한 외관상의 비율을 말하며, α 는 알베도(해수면에 입사된 일사에 대한 반사비율)로 본 연구에는 Payne(1972)이 제시한 0.06을 사용하였고, Q_{s0} 는 맑은날 대기상단에 입사되는 일평균 태양복사량이다.

$$Q_b = \xi \sigma T_s^4 (0.39 - 0.058 E_a^{1/2}) * (1 - 0.65N^2) \quad (3)$$

ξ 는 해수면발산율(=0.97), σ 는 Stephan-Boltzman 상수(=5.6705×10⁻⁸ W/m²K⁻⁴), T_s 는 해수면온도(°K), E_a 는 해수면위 대기의 수증기압(hPa), N 은 전운량(1/10)을 나타낸다.

$$Q_h = \rho_a C_{pa} C_h (T_s - T_a) W \quad (4)$$

$$Q_e = \frac{0.622}{P} L \rho_a D_e (E_w - E_a) W \quad (5)$$

식 (4), (5)에서, ρ_a 는 공기밀도(1.225 kg/m³), C_{pa} 는 공기의 정압비열(1.048×10³ J/kg°K), C_h 는 현열속에 대한 교환계수로 Stanton Number(=1.1×10⁻³)이며, W 는 풍속(m/s), T_s 와 T_a 는 해수면과 대기온도로 단위는 모두 절대온도(°K)이다. P 는 평균 대기압(1013.25hPa), L 은 단위질량당 수증기의 증발잠열(2.51×10⁶ J/kg), D_e 는 잠열에 대한 Bulk 수송계수(0.0015), E_w 는 해수온도(T_w)에서의 포화수증기압(hPa)이다.

$$\log_{10} E_w = [0.7589 + 0.03477 T_w] / [1 + 0.00412 T_w] \quad (6)$$

현열과 잠열의 비율 Bowen's Ratio(B)라 하며, 다음과 같이 표현된다.

$$B = Q_h / Q_e = 0.5 [(T_w - T_a) / (E_w - E_a)] \quad (7)$$

여기서 T_w , T_a , E_w , E_a 는 해수온도, 해면위 10m에서의 대기온도, 해수면온도에서의 공기의 증기압, 해면위 10m에서의 공기의 증기압을 의미한다.

제주도부근해상 월별 평균열수지

잠열속

잠열속은 수증기압의 차와 풍속의 크기에 따라 결정되는데, 최대치는 12월에 140~230 W/m², 최소치는

6월에 0~5 W/m²의 분포를 보였다. 잠열속의 공간적인 변화폭은 여름보다 겨울이 월등히 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 해양과 대기의 수증기압차가 여름에 비해 겨울이 크기 때문이다. 계절별 잠열속의 크기는 겨울(12월)-가을(10월)-봄(4월)-여름(6월, 8월)순으로 크게 나타난다. 이와 같이 난류속이 겨울철에 최대가 된 것은 찬공기가 따뜻한 해수면과 접촉하면서 해수면이 많은 열을 방출하기 때문이다. 잠열속은 2월~6월까지의 감소하고 8월~12월까지의 증가하다가 2월부터는 다시 감소한다. 잠열속의 값은 연중 양(+)의 값으로 해수면에서의 증기압이 대기에서의 증기압보다 항상 큼을 알 수 있다(Fig. 1).

현열속

현열 방출량은 풍속, 대기의 온도와 해수면의 온도 차에 의해서 결정된다. 상대적으로 다른 복사에너지에 비해 작은 값이지만 동계인 12월에 70~110 W/m²로 최대를 보이며, 하계인 6월에 -10 W/m²로 최소를 보이고 있어 연변화폭은 80~120 W/m² 정도이다. 현열속에 의해 대기로의 열 방출량은 겨울-가을-봄-여름 순으로 크게 나타나며, 시간적인 변화폭은 겨울철에 크고 여름철에는 상대적으로 작다(Fig. 2).

순 열교환량

제주도부근해상 해수면 순열교환량은 해양이 12월에 -150~-250 W/m²로 최대의 열량을 잃으며, 8월에 80~110 W/m²로 최대의 열량을 얻어서 연간 230~360 W/m²의 변화폭을 갖는다. 2월에는 모든 해역의 해수면에서 대기로 열을 방출하고 있으며, 4월에는 마라도 남서쪽해상에서 -15 W/m²의 열을 방출하고 나머지 해상에서는 대기로부터 열을 받아들이고 있다. 6월과 8월에는 전 해역에서 대기로부터 열을 받고 있으며, 10월부터는 전해역이 냉각되어 열량이 계속 방출된다. 제주도부근해상 열교환량의 연 평균값은 -23 W/m²으로 해수면에서 대기로 연중 열량을 방출한다. 조사 기간 동안 제주도부근해상에서 대기로 방출되는 열 손실량 항목의 크기는 잠열속(50%)-장파복사(32%)-현열속(18%)의 순으로 크게 나타나며, 해수면 열손실의 전체 크기는 161.3 W/m²로 해수면에 입사되는

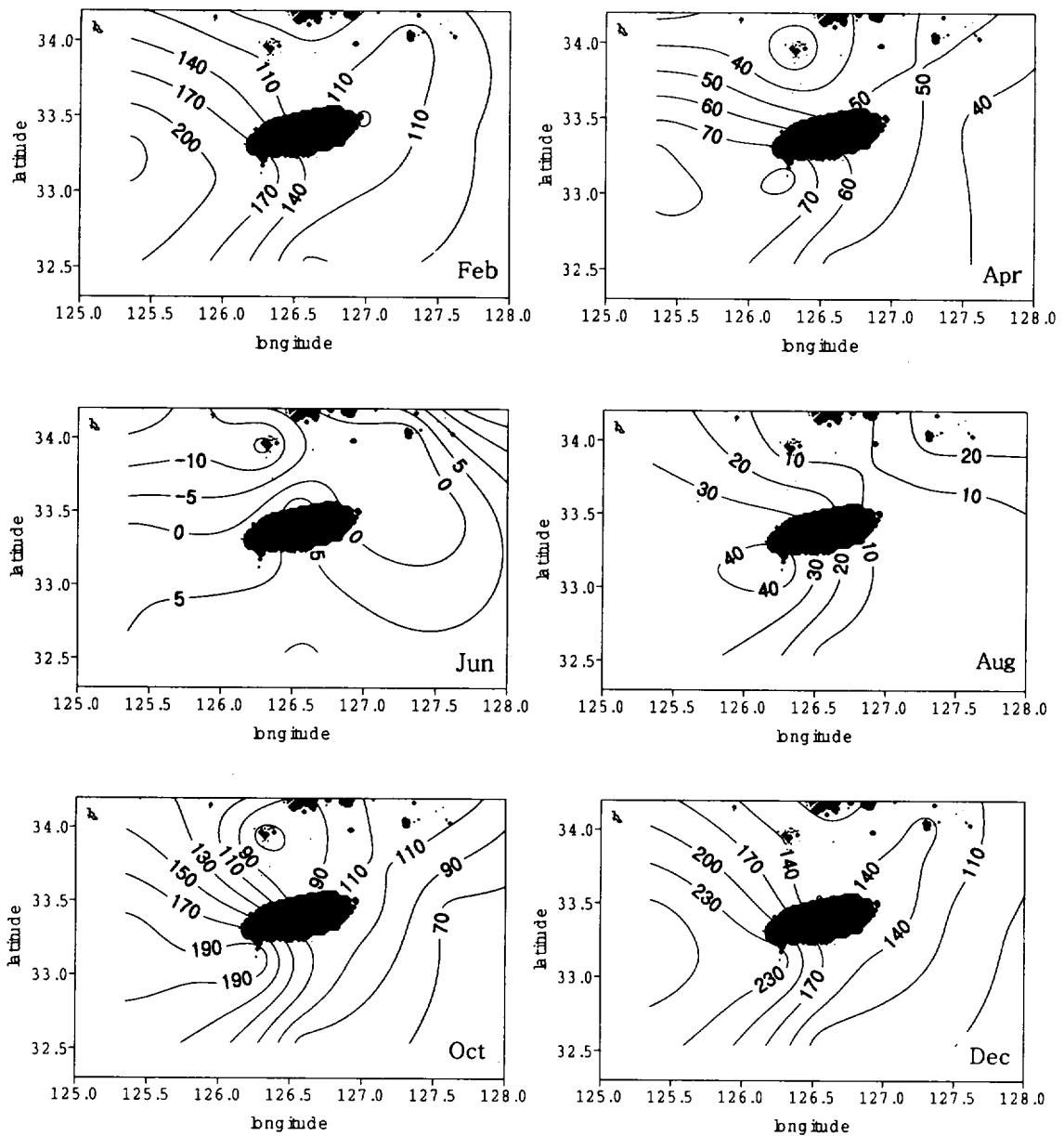


Fig. 1. Monthly latent heat-flux distribution in jeju Island neighborhood sea(W/m^2).

태양복사량($138.5 W/m^2$)의 1.2배를 보인다(Fig. 3).

열수지 평형

동일지역(제주도 부근해역)이라도 해양에서의 월별 태양복사량은 각각 다르다. 태양복사량은 1월 중순부터 점차 증가하기 시작하여 8월 중반까지 지속되고,

후반부터 1월 초순까지는 점차 감소하기 시작한다. 6월경에 잠시 입사량이 감소하는 원인은 제주지방의 우기(장마)와 연관되어 운량이 증가에 따른 태양복사열 차단효과로 분석된다. 반면에 해수면으로부터의 방출에너지는 7월 중순부터 12월까지 증가하고, 1월부터 7월 초순까지 감소한다. 따라서 제주지방은 3월 중순부터 10월 중순까지는 에너지 과잉상태에 있게

제주북부지역 적설량에 미치는 해양과 대기간 에너지수지 효과

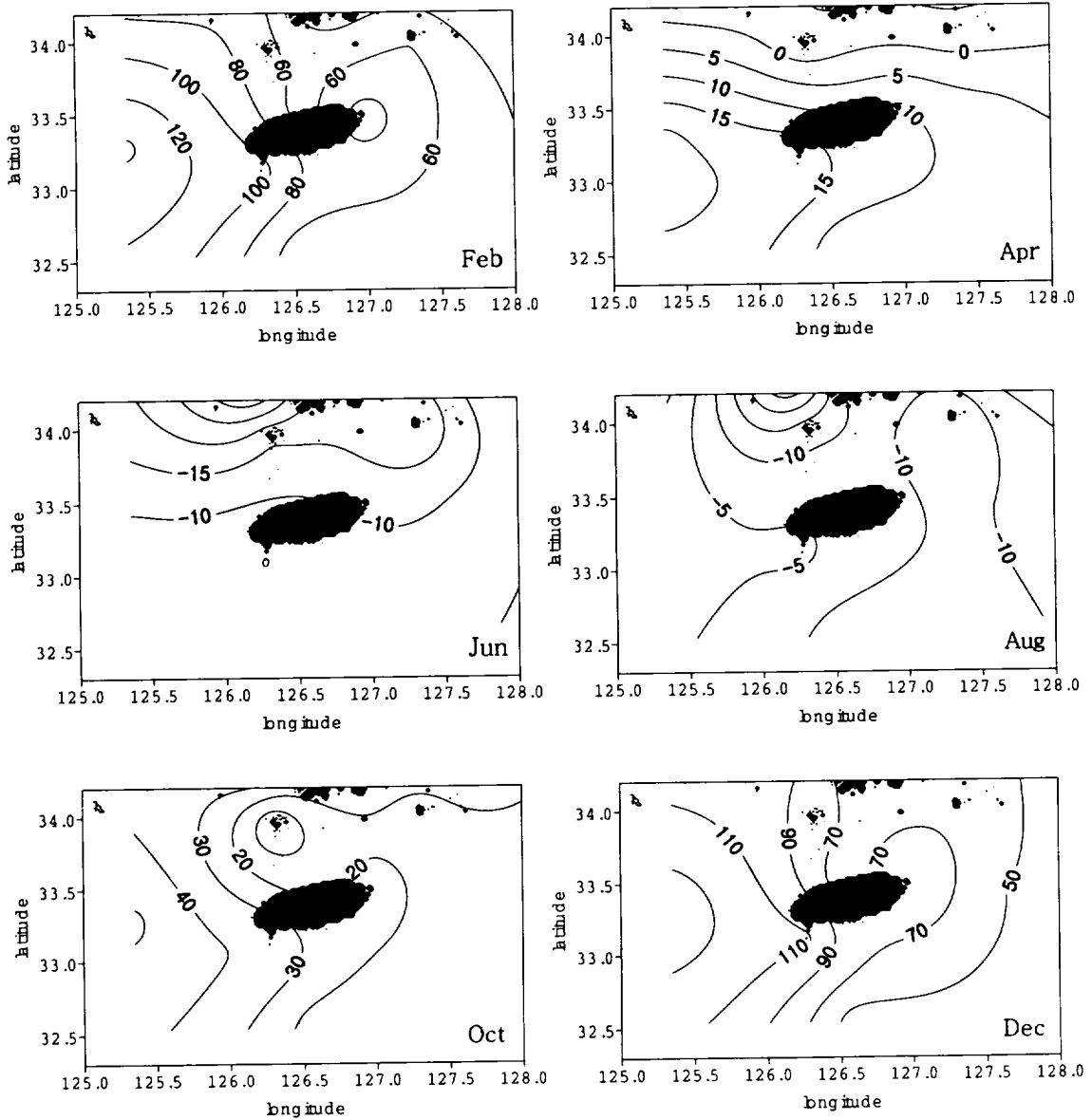


Fig. 2. Monthly sensible heat-flux distribution in jeju Island neighborhood sea(W/m²).

되고, 10월 하순부터 3월 초순까지는 에너지 부족상태에 놓이게 된다. 에너지 최대 열량은 7월에, 최소 열량은 12~1월 사이에 나타난다. 해양으로부터 대기로의 열전달(해수면 열손실)에 관여하는 주요 원인은 바다로부터 대기로의 역복사(back radiation), 대기로의 현열 방출, 해수의 증발에 의한 잠열 손실이다.

Fig. 4는 제주지방의 월별 열수지균형을 나타낸 그림이다. 태양복사량은 하루에도 시각별로 다르게 나타난

다. 낮에는 해양으로 입사하는 태양복사량이 해면에서 대기로 방출되는 복사량보다 많아 해수가 덩어지며 수온이 상승한다. 반면에 일몰 후, 즉 밤에는 해양으로 입사되는 태양복사량은 없고 단지 해면에서 대기로 방출되는 복사량만 존재하며, 그 양은 거의 일정하다.

해양으로부터 대기로의 열전달(해수면 열손실)에 관여하는 주요한 원인은 바다로부터 대기로의 역복사(Q(b), long-wave outgoing heat-flux), 대기로의 현열

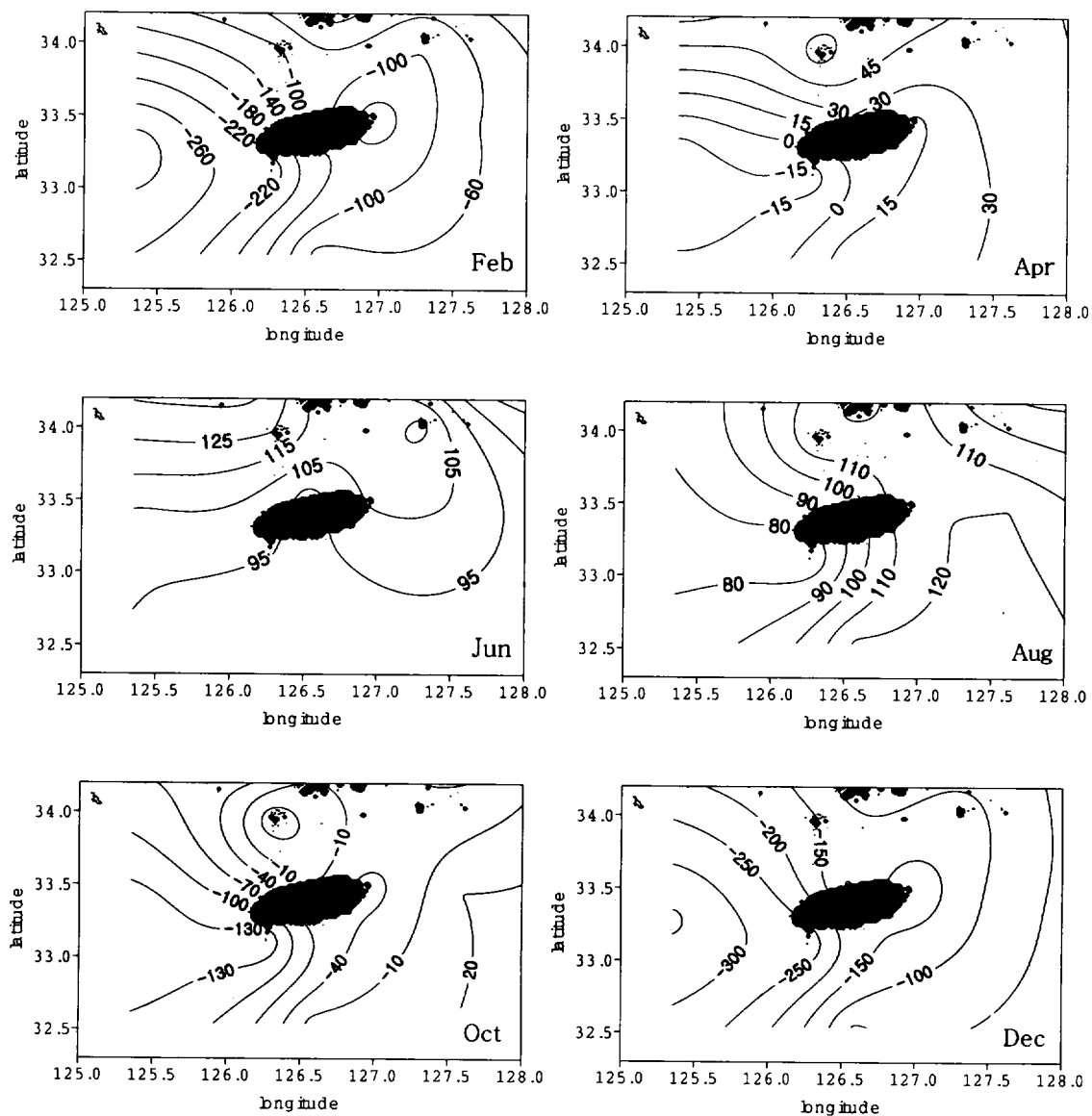


Fig. 3. Monthly net heat-flux distribution in jeju Island neighborhood sea(W/m^2).

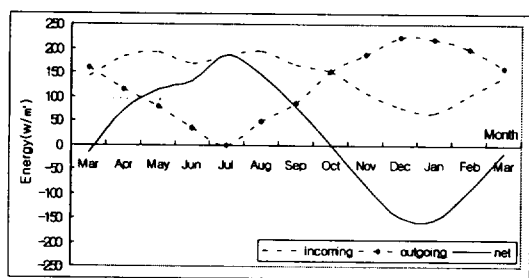


Fig. 4. Yearly heat-flux balance in Jeju(W/m^2).

방출($Q(h)$, sensible heat-flux), 해수의 증발에 의한 잠열손실($Q(e)$, latent heat flux)이다.

겨울철 평균열수지

강설 및 적설일수

최근 10년간 지역별 강설일수(적설)는 제주가 153회,

Table 1. Frequency of snow and snowfall during the latest 10 years(1995~2004)

station \ month	1	2	3	11	12	total	snowfall/snow (%)
Jeju	74(27)	36(11)	10(1)	1(0)	32(3)	153(42)	27.5
Gosan	46(15)	22(5)	7(1)	-	17(3)	92(24)	26.1
Seoqwipo	43(24)	22(11)	7(3)	1(1)	24(9)	97(48)	49.5

고산 92회, 서귀포 97회로 북부지역인 제주시가 제일 많게 나타난다. 연도별 강설일수는 제주가 12~20일 전후로 고산, 서귀포 지역보다 많았다. 월별 강설일수는 전 지역 모두 1월에 제일 많았고, 지역에 따라 12월과 1월 순이다. 제주지방은 12월보다는 2월에 강설일수가 많았고, 3월에도 7~10회, 그리고 11월에도 강설현상이 드물게 나타났다(Table 1). 강설현상 발생시 적설량이 기록된 횟수는 제주 153회중 42회(28%), 고산 92회중 24회(26%), 서귀포는 97회중 48회(50%)로 도내에서 제일 높게 나타났다.

겨울철 평균열수지

강설(적설)은 12월~2월에 주로 발생하였고, 따라서 그림은 겨울철 10년간의 강설·무강설 모두를 포함하여 해양과 대기의 열교환량을 나타내었다. 제주도부근해상의 연간 순열교환량(Net heat flux) 평균값은 -23 W/m^2 (=입사량 138.5 W/m^2 - 방출량 161.3 W/m^2)으로 연중 해수면에서 대기로 열을 방출하는데, 그 기여도는 잠열속(50%), 역복사량(32%), 현열속(18%) 순이다. 여기서는 강설(적설)을 유발하는 제주도 북서해상 눈구름 발달과 관련 있는 것으로 보이는 현열속, 잠열속, 그리고 입사량과 방출량을 모두 고려한 순 열교환량(Net heat flux)에 대해서 분석하였다.

현열속(sensible heat-flux)

현열 방출량은 풍속과, 해기차(해수온도와 대기의 온도차)에 의해서 결정된다. Fig. 5은 제주의 현열과 풍속, 현열과 해기차와의 상관도를 나타낸 것으로, 해양에서 대기로의 현열수송은 풍속과 해기차 모두 강한 양(+)의 상관성이 있음을 보여준다. 상관계수(R)는 제주의 경우 현열과 풍속 0.88, 현열과 해기차 0.76이다. 일반적으로 상관계수(R)가 0.6 이상이면

상관도가 높고, 0.8이상이면 상관도가 매우 높은 것으로 알려져 있다.

현열속의 연중 평균값은 상대적으로 다른 복사에너지에 비해 작은 값이지만 동계인 1월에 $80\sim120 \text{ W/m}^2$ 로 최대를 보이며, 하계인 6월에 -10 W/m^2 로 최소를 보이고 있어 연변화폭은 $90\sim130 \text{ W/m}^2$ 정도이다. 지역적인 변화폭은 12월 $70\sim110 \text{ W/m}^2$, 2월 $60\sim100 \text{ W/m}^2$ 이다. 현열속에 의해 대기로 방출되는 에너지 절대값의 크기는 겨울-가을-봄-여름 순이다(Fig. 6).

잠열속(latent heat-flux)

잠열속은 수증기압 차(해수면 수증기압과 대기의 온도에서의 수증기압) 및 풍속과 강한 양(+)이 상관을 갖는다(Fig. 7, Fig. 8). 상관계수(R)는 제주의 경우 잠열과 풍속 0.93, 잠열과 해기차 0.65이며, 흑산도는 현열과 풍속 0.60, 현열과 해기차 0.75이다. 특이한 점은 잠열과 풍속과의 추세는 선형 비례관계인데 비하여, 수증기압차와의 관계는 다소 log함수적으로 변화한다는 점이다.

해수면에서의 수증기 증발에 의한 잠열속 최대치는 12월에 $140\sim230 \text{ W/m}^2$, 최소치는 6월에 $0\sim5 \text{ W/m}^2$ 폭이다. 잠열속의 절대값은 겨울철을 포함하여 연중 양(+)의 값으로 해수면에서의 증기압이 대기의 특정온도에서의 증기압보다 항상 큼을 의미하며, 연중 해수면에서 대기로 에너지가 공급되고 있음을 알 수 있다. 월별 변화폭은 1월 $140\sim200 \text{ W/m}^2$, 2월 $110\sim170 \text{ W/m}^2$ 로, 제주지방의 겨울철 시공간적 변화폭은 $110\sim230 \text{ W/m}^2$ 이다.

순열속(net heat-flux)

제주부근해상 동계 해수면 순열교환량은 해양이 1월에 $-120\sim-280 \text{ W/m}^2$ 로 최대의 열량을 잃으며, 12월 $-150\sim-250 \text{ W/m}^2$, 2월 $-100\sim-220 \text{ W/m}^2$ 등이다(Fig. 9). 최대값은 8월 $80\sim110 \text{ W/m}^2$ 로 역으로 대기로 부터 열

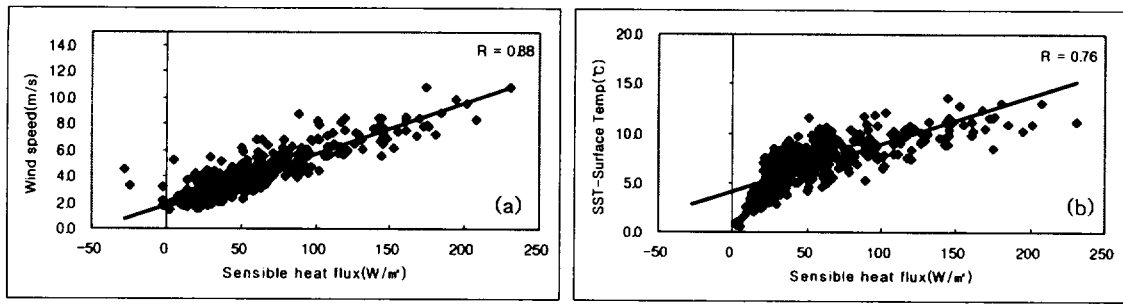


Fig. 5. Correlation coefficient between wind speed and sensible heat-flux(a) and between difference of 'SST-Temperature' and sensible heat-flux(b) in Jeju.

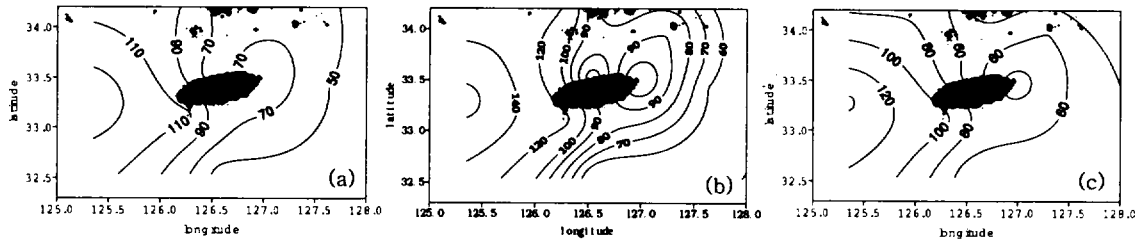


Fig. 6. Winter, Sensible heat-flux distribution in Jeju Island neighborhood sea(W/m²) December(a), January(b), February(c).

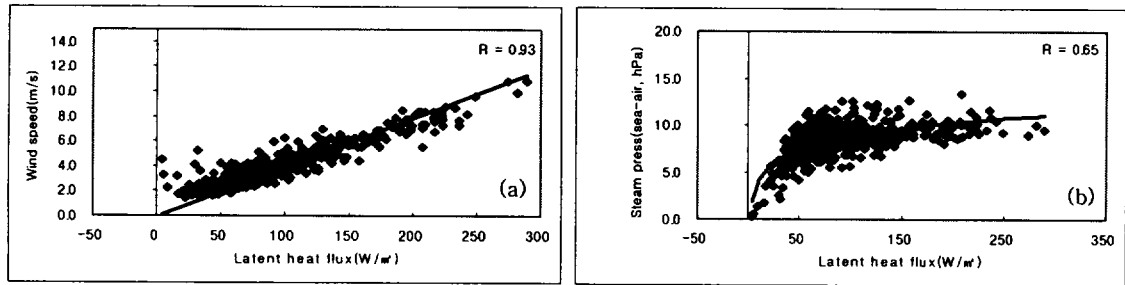


Fig. 7. Correlation coefficient between wind speed and latent heat-flux(a) and between difference of 'SST-Temperature' and latent heat-flux(b) in Jeju.

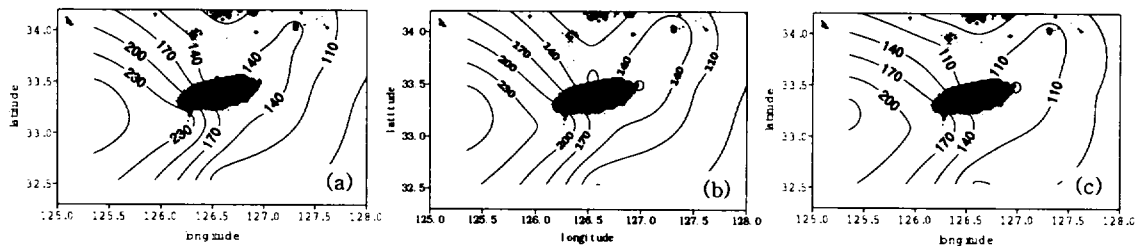


Fig. 8. Winter, latent heat-flux distribution in jeju Island neighborhood sea(W/m²) December(a), January(b), February(c).

제주북부지역 적설량에 미치는 해양과 대기간 에너지수지 효과

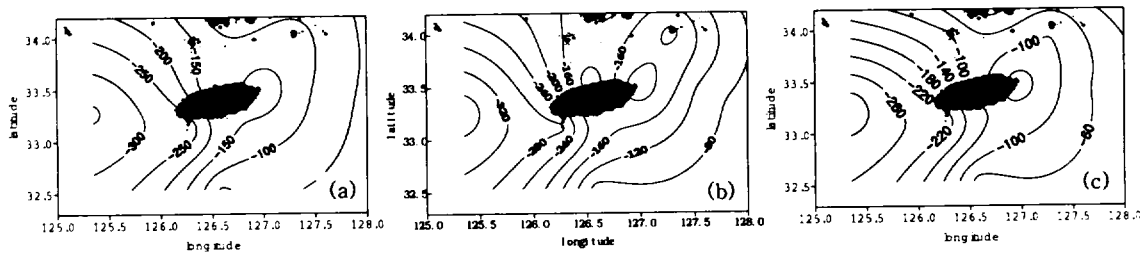


Fig. 9. Winter, net heat-flux distribution in Jeju Island neighborhood sea(W/m^2) December(a), January(b), February(c).

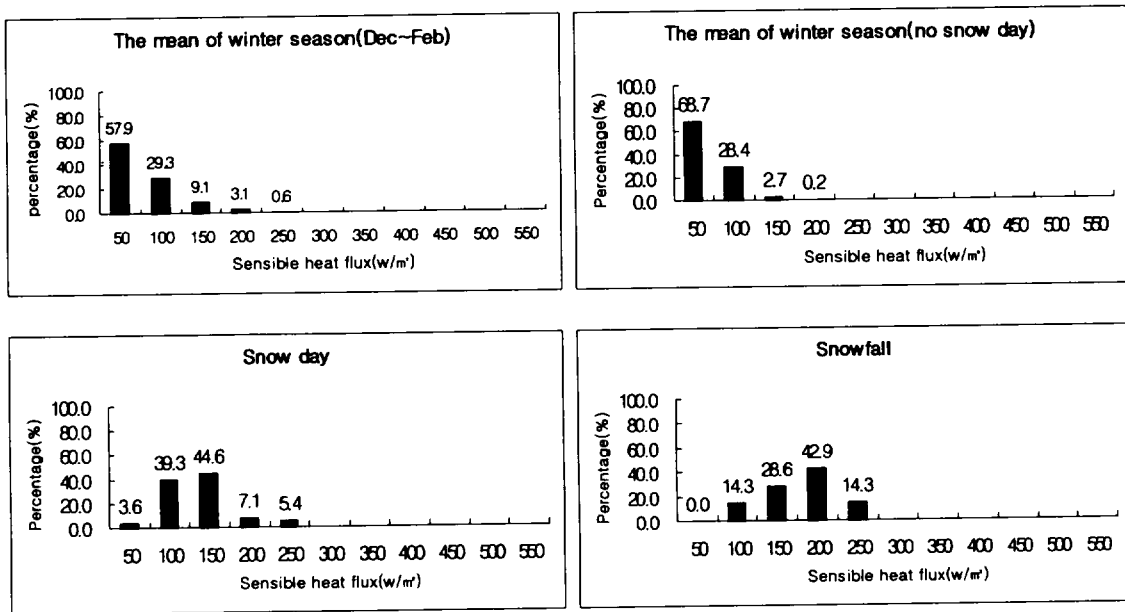


Fig. 10. Sensible heat-flux distribution by snow and snowfall in Jeju(JRMO).

량을 얻어서 연간 230~360 W/m^2 의 변화폭을 갖는다. 제주도부근해상 열교환량의 연 평균값은 $-23 W/m^2$ 으로 해수면에서 대기로 연중 열량을 방출한다. 조사 기간 동안 제주도부근해상에서 대기로 방출되는 열 손실량의 크기는 잠열속(50%)·장파복사(32%)·현열속(18%)의 순이다.

강설 및 적설시 열수지 정규분포

Fig. 10은 1999년 12월부터 2004년 2월까지 겨울철 5년 동안의 현열속 분포를 겨울철평균, 무강설시, 강설시, 적설시로 구분하여 조사한 결과이다. 겨울철평균은 0~100 W/m^2 (87.2%) 범위이나, 주(主)는 0~50

W/m^2 (57.9%) 이었고, 무강설시는 0~50 W/m^2 (68.7%), 50~100 W/m^2 (28.49%)로 전체적으로는 0~100 W/m^2 범위에 97.1%가 포함되어 대부분을 차지하였다. 그러나 강·적설시로 접어들면서 해양에서 대기로의 현열수송량은 현저히 높아지는데, 강설 발생시에는 83.9%가 50~150 W/m^2 범위에, 적설시점에서는 100~200 W/m^2 (71.5%) 범위까지 이르렀다. 결국, 겨울철 무강설시 0~100 W/m^2 정도에 머물러 있는 해양에서 대기로의 현열수송량은 강설시 50~150 W/m^2 , 적설시 100~200 W/m^2 로 50 W/m^2 만큼씩 증가하였다.

잠열수송량은 0~300 W/m^2 범위에 걸쳐서 비교적 광범위하게 분포하는 것으로 나타났으나(Fig. 11), 주(主) 범위는 0~150 W/m^2 에서 약 85%정도를 차지하

었다. 강설현상 발생시는 100~250 W/m²(83%)로 상승하였고, 적설과 강설시는 비슷하여 100~250 W/m² 범위에서 85%의 비율을 차지하였으나, 발생비율에 있어서 하한값은 감소하고 상한값은 다소 증가하였다.

보웬비(Bowen ratio)란 현열과 잠열의 비로서 최대값은 "1"이 아니며, 제주지역은 겨울철에 0.2~1.2까지 비교적 광범위하게 분포하는 것으로 나타났다. 무강설시 0.4~0.6(80.4%) 정도인 보웬비는 강설이 시작

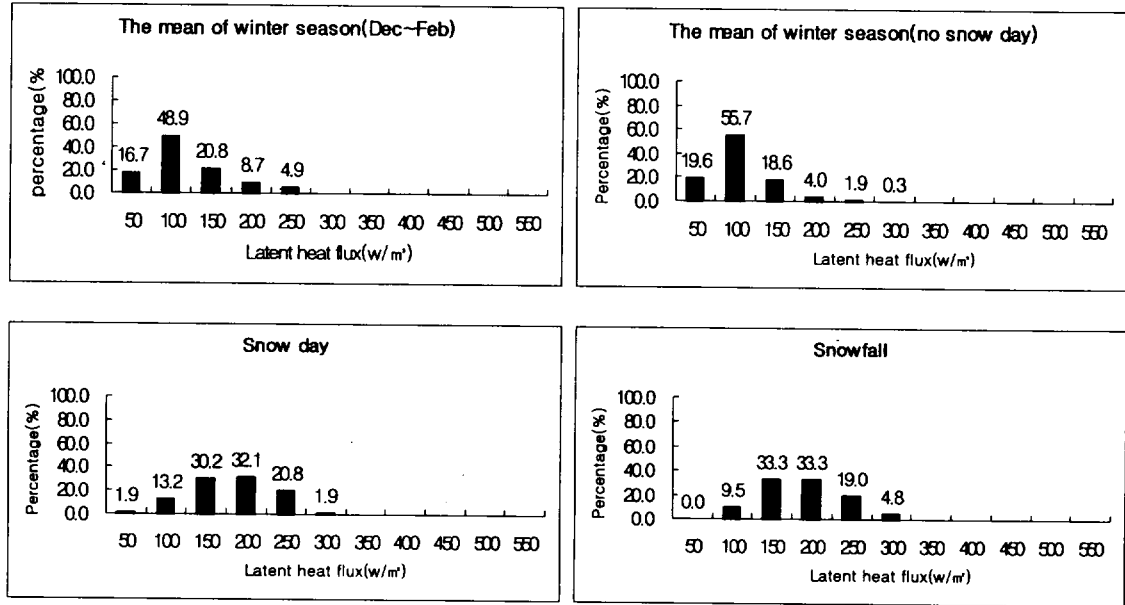


Fig. 11. Latent heat-flux distribution by snow and snowfall in Jeju(JRMO).

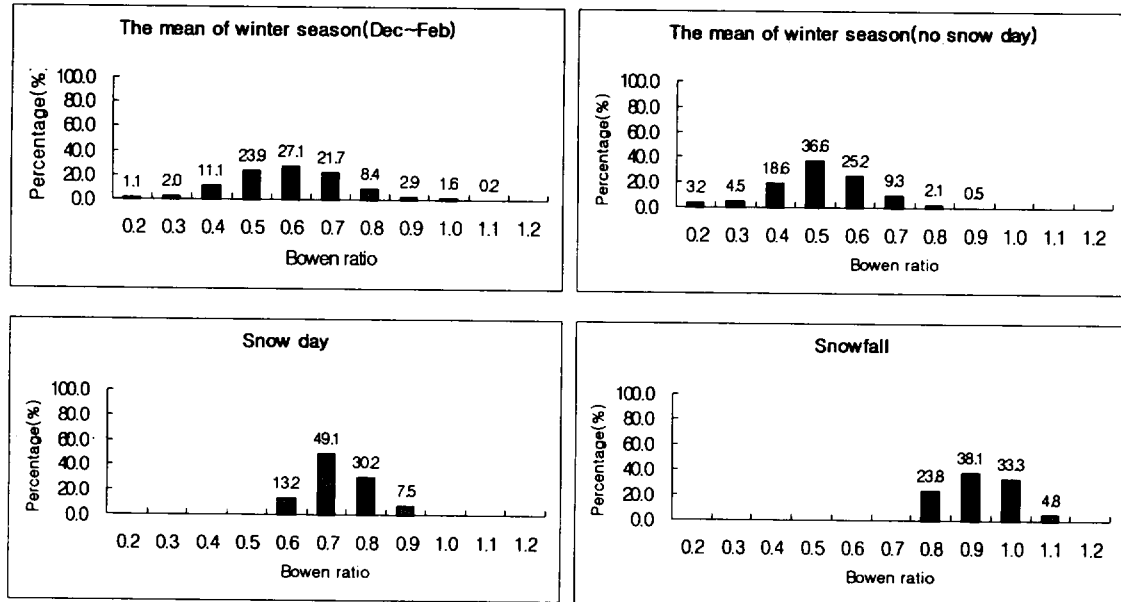


Fig. 12. Bowen's ratio by snow and snowfall in Jeju(JRMO).

되면서 0.6~0.8(92.5%), 적설로 기록되는 시점에서는 0.8~1.0(95%)까지 상승하였다. 평균값은 무강설시 0.5, 강설시 0.7, 적설시 0.9로 나타났다(Fig. 12).

보웬비와 적설량과의 상관관계

보웬비와 실황자료(1995~2004, 10년)를 근거로 하여 제주시의 겨울철 신적설량을 예측하고자 하였다. 제주지방기상청의 신적설량과 이때의 보웬비를 이용하여 상관관계를 분석한 결과, 1차함수적으로 선형 양(+)의 비례상관 관계가 있음이 나타났으며, 보웬비가 0.80일시 신적설량은 0.1~1.0 cm, 보웬비 0.88시에는 신적설량 1.1~5.0 cm, 보웬비 0.98일시는 신적설량이 5.1 cm 이상 나타나는 것으로 분석되었다(Fig. 13).

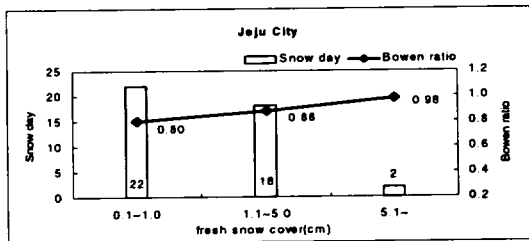


Fig. 13. Snow day and Bowen ratio according to fresh snow cover in Jeju city(JRMO).

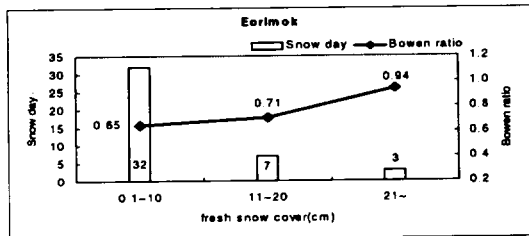


Fig. 14. Snow day and Bowen ratio according to fresh snow cover in Mt. Halla(Eorimok).

또한, 한라산을 중심으로 제주산간의 적설예보 및 특보운영을 위하여 한라산 어리목 자료(한라산연구소)를 근거로 하여 신적설량을 예측하고자 하였다. (Fig. 14)은 한라산국립공원관리사무소(한라산연구소)의 신적설량과 이때 제주도북부해상의 보웬비 상관관계를 분석한 그래프이다. 상관관계는 역시 제주시의

경우와 마찬가지로 1차함수적으로 선형 양(+)의 비례상관 관계에 있었다. 2002~2004년(2년)까지 어리목 실황자료를 근거로 보웬비에 따른 신적설량 발생 범위를 살펴보면, 보웬비 0.65시 신적설량 0.1~10 cm, 보웬비 0.71시 신적설량 11~20 cm, 보웬비 0.94일 경우는 신적설량 21 cm 이상 나타났다. 따라서 제주시를 중심으로 한 해안지역에서는 보웬비 0.7 이상 일때 강설이 시작되어 보웬비가 0.8 정도로 상승하면 눈이 쌓이기 시작하는데 반하여, 한라산 어리목을 중심으로 한 제주산간에는 보웬비 0.65일 때 이미 강설현상이 발생하고 제주시에 눈이 내리기 시작하는 보웬비 0.7 정도의 시점에는 11~20 cm 정도의 눈이 이미 쌓인다는 점을 알 수 있다.

결과 및 요약

제주도 연안바다 열수지는 12월에 잠열속(140~230 W/m²)과 현열속(70~110 W/m²)이 최대를 나타내고 6월에 잠열속(0~5 W/m²)과 현열속(-10 W/m²)이 최소를 나타났으며, 열수지에 영향을 주는 해양기상 요소는 해기차와 풍속이 가장 중요한 기상요인으로 나타났다.

강설 및 적설시 열수지 정규분포는 우선 강설시에 현열속 100~150 W/m², 잠열속 150~250 W/m², 난류속 300~400 W/m², 보웬비 0.6~0.8 범위에서 70~81% 분포 비율을 보였고, 적설시에는 현열속 150~200 W/m², 잠열속 150~250 W/m², 난류속 350~400 W/m², 보웬비 0.8~1.0 범위에서 72~86% 분포하였다.

제주시와 제주산간(한라산 어리목)이 신적설량과 보웬비 관계는 제주시가 0.1~1.0 cm 적설시 평균보웬비 0.8, 1.1~5.0 cm 적설시 평균보웬비 0.88, 5.1 cm 이상 적설시 평균보웬비 0.98로 나타났으며, 제주산간은 0.1~10 cm 적설시 평균보웬비 0.65, 11~20 cm 적설시 평균보웬비 0.71, 20 cm 이상 적설시 평균보웬비 0.94로 나타났다. 따라서 신적설과 보웬비의 상관관계는 선형 1차함수적으로 비례 상승하는 관계로, 제주도 연안바다의 열수지를 이용한 보웬비는 제주도지역의 겨울철 적설량 예측시 객관자료로서 충분한 가치가 있음을 알 수 있었다.

요 약

이 연구는 겨울철 적설시 제주연안바다와 대기간의 열수지 특성을 분석하고, 열수송량과 적설량과의 상관관계를 정량적으로 분석하여 제주도 지방의 겨울철 적설예보에 도움을 주고자 하는데 목적을 두었다. 제주도 연안바다의 열수지는 12월에 잠열속(140~230 W/m²)과 현열속(70~110 W/m²)이 최대값을 보이고, 6월에 잠열속(0~5 W/m²)과 현열속(-10 W/m²)이 최소값으로 나타났으며, 열수지에 영향을 주는 해양기상 요소는 해기차와 풍속이 가장 중요한 요인으로 나타났다. 이들 값이 높을수록 겨울철 해양에서 대기로 많은 열량이 에너지와 수증기가 현열과 잠열의 형태로 공급되어 대기불안정을 유발하고 적설시스템을 강화시키는 것으로 나타났다. 강설 및 적설시 열수지 정규분포는, 우선 강설시에 현열속 100~150 W/m², 잠열속 150~250 W/m², 난류속 300~400 W/m², 보웬비 0.6~0.8 범위에서 70~81% 분포 비율을 보였고, 적설시에는 현열속 150~200 W/m², 잠열속 150~250 W/m², 난류속 350~400 W/m², 보웬비 0.8~1.0 범위에서 72~86% 분포하였다. 사례분석을 통하여 얻어낸 제주 지방의 강설현상 예측인자는 난류수송량 300 W/m² 이상(74%), 보웬비는 0.7%(81%) 이상일 때가 대부분으로 제주도 해안지역의 동계 강설현상 예측에 난류속 및 보웬비의 적용 가능성을 보였다. 또한 제주시와 제주산간(한라산 어리목)이 신적설량과 보웬비 관계는 제주시가 0.1~1.0 cm 적설시 평균보웬비 0.8, 1.1~5.0 cm 적설시 평균보웬비 0.88, 5.1 cm 이상 적설시 평균보웬비 0.98로 나타났으며, 제주산간은 0.1~10 cm 적설시 평균보웬비 0.65, 11~20 cm 적설시 평균보웬비 0.71, 20 cm 이상 적설시 평균보웬비 0.94로 나타나, 제주해안 지역에 강설이 시작되면 이미 한라산 어리목에는 11~20 cm 정도의 눈이 쌓인 것으로 드러났다.

사 사

본 연구는 기상청 기상연구소 2004년도 주요사업 '전지구 해양변화 감시시스템 구축(ARGO)' 사업의 일환으로 제주지방기상청 현장연구과제로 채택되어 해양기상지진연구실의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

기상연구소. 2003. 제주연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성 연구. 현장연구과제보고서, pp. 19-34.
 문재인. 1993. 열수지로 본 겨울철 황해난류수의 북상. 제주대학교 석사논문, pp. 12-30.
 박종열. 2003. 제주지방의 국지 강설특성. 제주지방기상기술훈집, pp. 79-88.
 이인성. 2003. 제주도 적설의 일반적 조건과 예외적 조건에 관한 연구. 제주지방기상기술훈집, pp. 89-100.
 제주지방기상청. 2002. 제주도 남부지역 적설특성 조사. 제주기상특성집, 5: 27-35.
 제주지방기상청. 2002. 기상요소별 예보지침. 제주지방국지예보실무지침서, pp. 60-65.
 최병성. 2003. 제주도지방의 동계 강설조건. 제주지방기상기술훈집, 101-111.
 Gill, A.E. 1982. Atmosphere-ocean dynamics Academic Press, 30pp.
 Haney, R.I. 1971. Surface thermal boundary condition for ocean circulation model. J. Phys. Oceanogr., 1: 241~248
 Kraus, E.B. and C. Rooth. 1961. Temperature and steady state vertical heat flux in the ocean surface layers. Tellus, 13: 231-238
 Payne, R.E. 1972. Albedo of the sea surface. J. Ams.