Jour. Korean Earth Science Society, v. 26, no. 5, p. 395–403, June 2005

제주연안에 강설을 수반하는 대륙성 한기단 확장 시 대기와 해양 간의 열교환 특성 사례 연구

김경보[1,*] · 방익찬[2] · 김길엽[1] · 김동호[1] · 이지미[2]

[1]제주지방기상청, 690-801 제주시 건입동 1123-13
[2]제주대학교 해양학과, 690-756 제주시 제주대학로 66

Case Study on Characteristics of Heat Flux Exchange between Atmosphere and Ocean in the case of cP Expansion accompanying Snowfall over the Adjacent Sea of Jeju Island

Kyoung-Bo Kim[1], Ig-Chan Pang[2], Kil-Yap Kim[1], Dong-Ho Kim[1], and Jimi Lee[2]

[1]Jeju Regional Meteorological Office, Jeju 690-801, Korea
[2]Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

Abstract: This study is focused on the relationship between snowfall and the Bowen's Ratio (sensible heat flux/latent heat flux) through calculation of heat exchange between air and sea for snowfall events in Jeju Island from 1993 to 2003. The four weather stations for this study are located at Jeju, Seoguipo, Seongsanpo and Gosan in Jeju Island. In order to improve the reliability of snowfall forecast, the Bowen's Ratio for snowfall, which includes influences from the atmosphere such as wind, is compared with the temperature difference between air and sea for snowfall. As a results, in the case for fresh snowfall, the minimum temperature differences between air and sea were 10, 12.3, 11.5, and 14.3℃ at Jeju, Seoguipo, Seongsanpo and Gosan, respectively. The probabilities of fresh snowfall were 26, 29, 13, and 23%, respectively, when the temperature differences were higher than the previous values. On the other hand, the minimum Bowen ratios were 0.59, 0.60, 0.65 and 0.65 at Jeju, Seoguipo, Seongsanpo and Gosan, respectively. The probabilities of fresh snowfall were 33, 70, 31 and 58%, respectively, when the Bowen ratio is higher than those. The reason for this is because the probability of fresh snowfall with the Bowen ratio was higher than the probabiliby with temperature difference between air and sea. This result occurred because heat exchange by wind increased the probability of snowfall, along with the temperature difference between air and sea, and the Bowen ratio. Therefore, snowfall forecast of Jeju Island is significantly influenced by the sea, whereas forecast with Bowen ratio seems to have higher reliability than that with the temperature difference between air and sea. The data analysis for the ten-year period (1993~2002) showed that when each fresh snowfall was within 0.0 to 0.9 cm, the average Bowen's ratio was 0.63 to 0.67, and when each fresh snowfall was 1.0 to 4.9 cm, the average Bowen's ratio was over 0.72. Therefore, fresh snowfall shows a proportional relationship with the Bowen's ratio during snowfall.

Keywords: latent heat flux, sensible heat flux, fresh snow cover, bowen's ratio

요 약: 본 연구는 1993년부터 2003년 동안 겨울철 제주도 지방에 눈이 내린 경우를 대상으로 대기가 해양으로부터 얻은 열교환량을 계산하여 보웬비(현열속/잠열속)와 강설간의 관계를 분석한 것이다. 대상지역은 제주도 4개 관측지점인 제주, 서귀포, 성산포, 고산이다. 적설 예측의 신뢰도를 높일 수 있는 방법을 찾기 위하여 바람과 같은 기상의 영향이 가미된 보웬비와 적설과의 관계를 해기차와 적설과의 관계와 비교해 보았다. 그 결과 신적설 시, 지역별 최저 해기차는 제주시, 서귀포, 성산포, 고산에서 각각 10.9, 12.3, 11.5, 14.3℃였고, 그 이상의 해기차에서 신적설 확률은 각각 26, 29, 13, 23%인데 비해, 신적설시 지역별 최저 보웬비는 각각 0.59, 0.60, 0.65, 0.65였고, 그 이상의 보웬비에서 신적설

*Corresponding author: kbkim1988@paran.com
Tel: 82-64-752-0365
Fax: 82-64-753-1401

확률은 33, 70, 31, 58%로 나타나 보웬비가 해기차보다 높은 확률을 보였다. 보웬비에 의한 확률이 해기차에 의한 확률보다 높게 나타나는 이유는 해기차에 의해 형성된 강설의 조건에 따라서 열교환이 강설의 조건을 강화시킨 것이 보웬비에 나타났기 때문으로 생각된다. 10년('93-'02)간 자료를 분석한 결과 각 지역별 신적설이 0.0-0.9 cm 일 때 평균 보웬비는 0.63-0.67이고 신적설이 1.0-4.9 cm 일때 평균 보웬비는 0.72 이상으로 조사되어 강설시 적설량과 보웬비는 비례관계가 있음을 알 수 있었다.

주요어: 잠열속, 현열속, 신적설, 보웬비

서 론

해양의 열수지는 장소와 계절에 따라서 다르게 나타난다. 그 예로서 적도 부근의 열대해역은 순복사량, 잠열속, 현열속의 계절 변화가 대단히 작다(Oort and Vonder Haar, 1976; Hoflich, 1984). 그러나 중위도 해역은 수온 및 기온의 연교차가 매우 크기 때문에 각종 열속의 계절 변화도 커지게 된다. 겨울에는 시베리아 한기류의 유출과 기단 변질이 현저하기 때문에 우리나라 주변의 동해, 황해 및 동지나해를 포함하는 혜쇄해역에서는 한·난류에 의한 해양 순반열의 계절변화가 열수지 균형에 큰 역할을 하는 것으로 보고되고 있다(Kato and Asai, 1983; Ishi and Kondo, 1987; 1993).

제주도를 중심으로 한 한국 연안해역의 해수 순환과정 및 해수유동에 대한 연구를 수행함에 있어서는 해양-대기의 열교환 과정에 대한 해명이 중요한 과제가 되는데, 이를 연구하기 위해서는 반드시 해양-대기의 상호작용 효과가 고려되어야 한다. 따라서 우리나라 해양의 길목인 제주도 주변해역에서 나타나는 해양학적 및 해양기상학적인 변동기구를 규명하기 위해서는 이 두 분야를 동시에 연구해야 하며, 또 다년간에 걸친 각 변동특성 및 해수순환과 열수지 관계도 고려되어야 한다.

해양과 대기간의 열교환에 대한 이론적인 연구는 Jacobs(1942), Haney(1971) 등에 의해 시도 되었다. 국내에서는 한(1972), 민(1974), 방(1976), 한과 상(1978), 김(1991) 등이 우리나라 주변해역에서 해양의 열수지를 계산하였고 이후 김과 강(1995)은 해면상 바람의 응력과 열속을 모델링하였으며, 안 등(1997)은 해면온도와 강수량의 상관관계 연구에 해양-대기의 열교환을 이용하였다. 강 등(1991)과 임과 박(1991), 최와 이(1991) 등이 호우 또는 여름철 장마시 열 및 수증기와 수분의 수송과 수지에 대한 연구를 수행하였으며 박과 정(1984)은 겨울철 시베리아 기단이 한파 내습시 황해상을 통과하면서 현열과 잠열의 공급으로 기단이 변질되어 폭설을 초래한다는 연구가 이루어져 있다.

서와 전(1991)에 의해 대설은 큰 해기차, 해상에서의 충분한 수증기 공급 및 기단의 변질, 산악효과, 바람장에 의한 수렴효과가 큰 곳 등에서 자주 발생한다고 하였으며 서해안 및 영동지방의 대설에 대해서 통계 및 종관분석과 수치 시뮬레이션을 통한 많은 연구(정 등, 1999; 전, 1994)가 수행되었다. 그러나 대기와 해양사이의 열수지(heat budget)를 이용한 적설에 관한 연구는 미흡한 실정이며 특히 제주도 연안지역에 나타나는 적설의 열수지 경향에 관한 연구는 미흡한 상태이다. 이 연구에서는 제주연안에 강설을 수반하는 시베리아 한기단 남출시의 대기와 해양간의 열교환특성 사례를 연구하여 겨울철 제주연안 해역에서 일어나는 국지적인 기상특성인 강설을 해양-대기의 열수지로 분석해 보았다. 제주도 북부해역의 지형은 제주시 해안을 중심으로 북쪽으로 10 km 지점 부근이 수심 125 m, 제주도 북부앞바다 경계부근이 수심 110 m로 경사가 급한 편이며, 북쪽으로 갈수록 수심이 깊어지다가 점점 낮아지며 북서쪽으로는 수심 100 m보다 깊은 지역이 거의 없어 경사가 완만한 편이다. 제주도 남부해역의 지형은 서귀포 해안에서 남쪽으로 10 km 지점 부근이 수심 108 m, 제주도 남부앞바다 경계부근이 수심 103 m이며 남서쪽으로 22 km 이내 까지는 수심 100 m 내외로 제주도 북서쪽 해역과 같이 경사가 완만한 편이다. 이와 같은 제주도 주변해역의 지형속에서 제주연안의 현열속(sensible heat flux), 잠열속(latent heat flux), 단파복사량(solar radition), 장파복사량(long-wave radition)을 알아보았으며 현열속과 잠열속은 해면상의 해양기상변수들을 사용하여 경험식을 사용하였고(Haney, 1971) 장파복사량을 계산하는데 Kraus and Rooth(1961)의 경험식을 사용하였다.

자료 및 분석방법

제주지방기상청 및 고산기상대, 서귀포기상대의 ASOS(Automatic Synoptic Observation System)와 성산포관측소에서는 AWS(Automatic Weather System)을 이용하여 매시간 연속적으로 기상자료를 관측하고 있으며 본 조사에서는 풍속, 풍향, 기온, 상대습도, 해면기압, 순복사량을 이용하였으며, 수온자료는 국립해양조사원(NORI)과 국립수산과학원(NFRDI)의 해수면온도를 이용하였다. 조사기간은 1993년부터 2003년까지 11년간이며 이 자료를 조사하여 분석하였다. 해수면에서의 현열(Q_h) 및 잠열(Q_e) 속은 벌크법을 이용하여 계산하였다(Bunker, 1976).

$$\text{잠열속 } Q_e = (0.622/P)L\rho_a D_e W(E_w - E_a) \quad (1)$$
$$\text{현열속 } Q_h = \rho_a C_p C_h W(T_w - T_a)$$

여기서 P는 대기압(hPa), L은 단위 질량당 증발잠열(589 K/kg), ρ_a는 공기의 밀도(1.225 kg/m^3), D_e는 증발의 무차원상수로서 Dalton수(1.5×10^{-3}, Gill, 1982), W는 풍속(m/s)으로서 제주도 지역별 기상대 자료를 사용하였다. 바람의 세기는 증발의 속도에 큰 영향을 미친다(Smith, 1980). E_w는 수온 T_w에서의 포화 수증기압(hPa)으로서 $\log_{10}E_w = (0.7589 + 0.03477\,T_w)/(1 + 0.00412\,T_w)$에 의해 계산하였다(Gill, 1982).

C_p는 공기의 비열, C_h는 열전도의 무차원 상수로서 Stanton수(1.10×10^{-3}, Smith, 1980), T_a는 기온이다.

현열과 잠열의 비를 보웬비

$$B = \frac{Q_h}{Q_e} = 0.5\frac{T_w - T_a}{e_w - e_a} \quad (2)$$

여기서 T_w, T_a, e_w, e_a는 해수의 온도, 연안기상대에서의 기온, 해면온도에서의 공기 증기압, 기온의 공기증기압을 의미한다.

결 과

열수지 분석

Fig. 1을 보면 제주연안 해역에서 일사량의 계절변화는, 겨울철(12~1월)에 60~120 W/m^{2}의 범위를 보여 계절에 따라 해수면이 받는 일사량은 크게 차이가 나고 있다. Fig. 2에서 평균운량의 계절변화는 겨울철에 서귀포와 성산포지역에서는 0.5~0.6(1/10)이고 제주시와 고산지역에서는 0.6~0.7(1/10)정도로 제주도 북부와 서부지역에서 구름의 양이 많은 분포를 보여

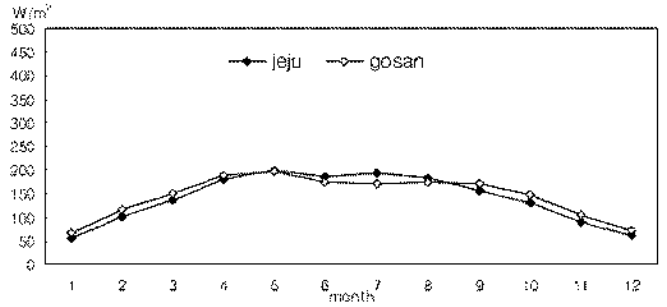

Fig. 1. Monthly means of short wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002).

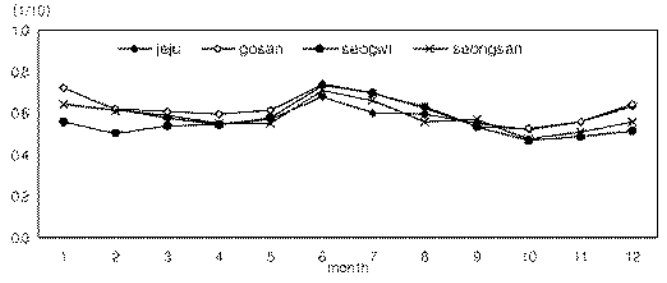

Fig. 2. Monthly means of cloud by region in Jeju Island (1993~2002).

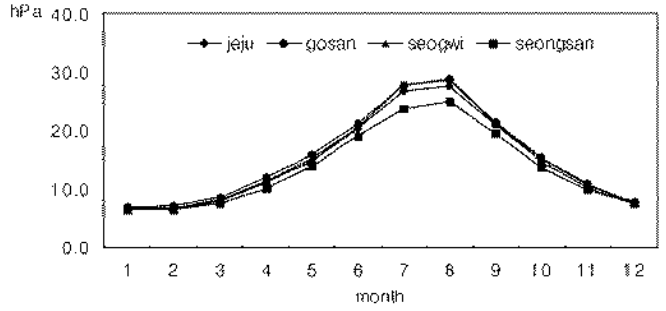

Fig. 3. Monthly means of vapour pressure by region in Jeju Island (1993~2002).

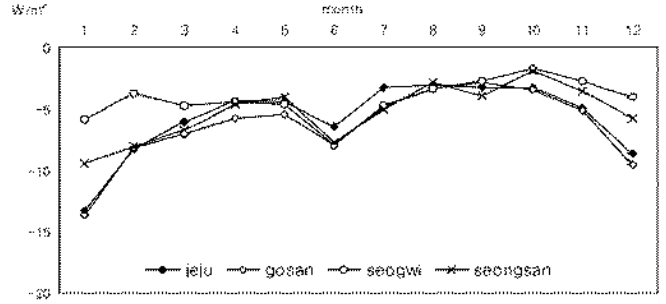

Fig. 4. Monthly means of long wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002).

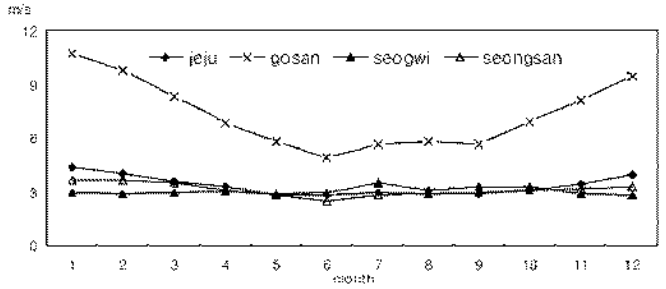

Fig. 5. Monthly means of wind speed by region in Jeju Island (1993~2002).

주고 있다. Fig. 3에서 지역별 평균 수증기압의 계절 변화는 겨울철에 잔 지점에서 6.5~7.5 hPa로 거의 일정한 수증기압을 유지하고 있다. 지역별 해면의 장파 복사량은 Fig. 4와 같이 겨울철(1, 2, 12월)에 서귀포와 성산포지역에서 −4~−9 W/m^2, 제주시와 고산지역에서는 −8~−14 W/m^{2}이다. 이와 같이 1월에 가장 큰 값이 나타나는 이유는 해수면 온도와 기온의 차이가 다른 계절에 비하여 크기 때문이다. 지역별 평균풍속의 계절변화를 Fig. 5에서 보면 겨울철 제주시 지역 4.1 m/s, 서귀포 지역 2.9 m/s, 성산포 지역 3.6 m/s, 고산 지역 10.0 m/s로 제주도의 지형적인 영향과 겨울철 북서계절풍이 주원인으로 고산지역풍속이 타 지역보다 약 2~3배 강하게 나타났다. Fig. 6에 나타난 지역별 평균잠열속(Qe)의 분포는 겨울철에 제주시 85 W/m^2, 서귀포 73 W/m^2, 성산포 97 W/m^2, 고산 291 W/m^{2}로 고산지역이 가장 높게 나타났다. 특히, 잠열속의 Fig. 6의 흐름과 Fig. 5의 평균풍속 그래프는 비슷한 패턴을 보이고 있어 풍속이 중요한 요소임을 알 수 있다.

현열속(Q_h)분포는 풍속, 수온과 기온의 차에 의해 결정된다. Fig. 7의 지역별 평균해기차를 살펴보면 겨울철에 수온이 기온보다 높게 나타나고 그 차는 4

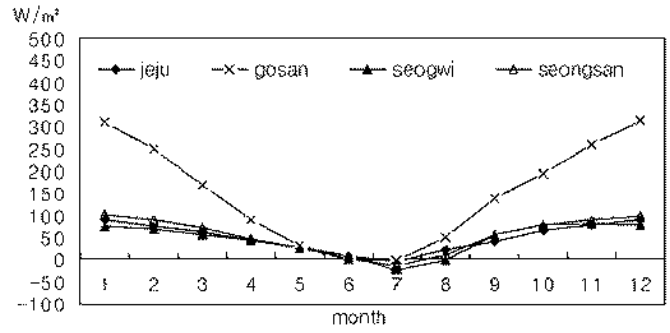

Fig. 6. Monthly means of latent heat flux by region in Jeju Island (1993~2002).

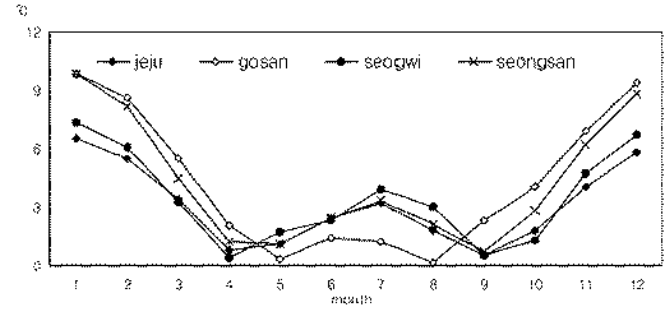

Fig. 7. Monthly means of the temperature difference between air and sea by region in Jeju Island (1993~2002).

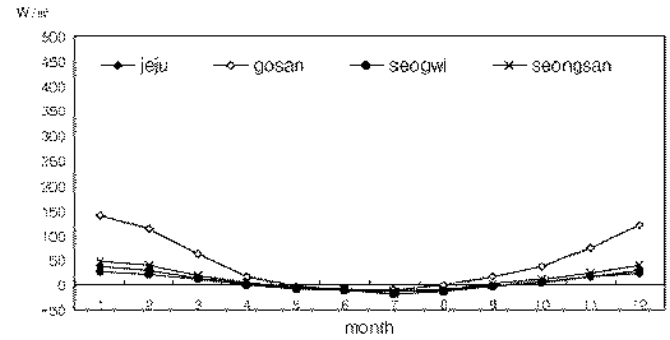

Fig. 8. Monthly means of sensible heat flux by region in Jeju Island (1993~2002).

개 관지역이 1월에 가장 큰 차이를 보인다. Fig. 8의 현열속(Qh)분포는 고산지역을 제외한 3개 지역에서 비슷한 흐름이 나타났다. 고산지역에서 겨울철에 현열속 115~143 W/m^{2}로 잠열속 250~320 W/m^{2}보다 적게 방출하고 있다. 나머지 3개 지역도 겨울철 평균 현열속이 30~50 W/m^{2}로 평균 잠열속이 67~100 W/m^{2}보다 50% 낮게 나타났다. 또한 평균 해기차도 성산포와 고산지역이 4.3℃, 제주시 3.1℃, 서귀포 3.4℃로 고산을 제외한 3개 지역 중 성산포지역에서 해기차로 인한 현열속이 크게 나타나고 있다. Fig. 9의 지난 10년간 년평균 현열속과 잠열속의 합은 51~198 W/m^{2}로 고산지역이 타 지역보다 가장 높게 나타났다. 그 이유는 Fig. 5에 나타난 결과와 마찬가지로 풍속이 타 지역보다 2~3배 높게 나타나기 때문이다. Fig. 10에서 겨울철 월평균 현열속과 잠열속의 합은 106~129 W/m^{2}로 많은 양이 해양에서 대기로 열을 방출하고 있다. 전체적으로 잠열속 분포가 현열속보다 비교적 크게 나타난 것으로 조사되었다. 양(+)의 흐름은 해양에서 대기로의 열속의 이동을 의미한다. 겨울철은 현열속과 잠열속 분포값이 비슷하게 나타나

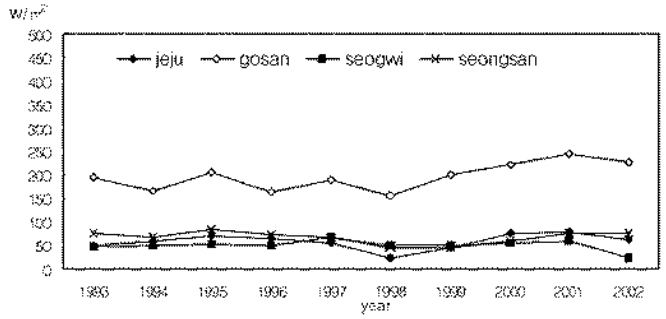

Fig. 9. Annual mean of heat flux (Q_E+Q_S) by region in Jeju Island (1993-2002).

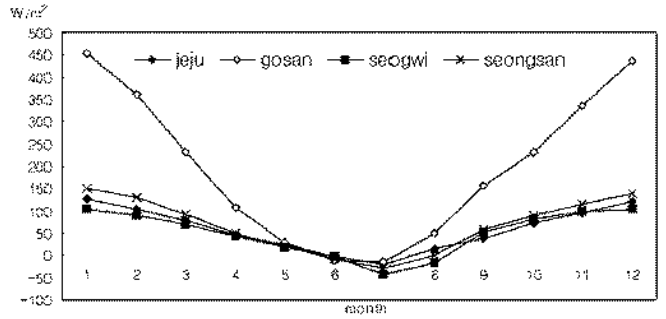

Fig 10. Monthly means of heat flux by region in Jeju Island (1993-2002).

며 열교환이 활발하게 이루어진다. 10년간 서귀포지역의 겨울철 평균 현열속과 잠열속의 합은 91~105 W/m²로 제주시 지역보다 20W/m² 정도 작게 열교환하는 것으로 조사되었다.

제주연안의 강설 현상시 해수면 열수지 특성

1993년 1월부터 2002년 12월까지 10년간 eP 확장시 제주시지역의 신적설시 해면 열수지에 미치는 기상요소값을 Table 1에 나타냈다. 제주시의 신적설 형태는 통계자료에서 확인되는 바와 같이 해면기압의 변화는 2001년 1월 13일에 1,019.1 hPa로 최저값, 1997년 1월 7일에 1,033.7 hPa로 최고값, 평균 해면기압은 1,026.3 hPa로 나타나서 지난 10년간 겨울철의 평균 해면기압 1,024.4 hPa보다 1.9 hPa정도 기압이 높을 때 적설이 나타났다.

해기차를 보면 2001년 1월 13일에 5.2℃로 최저차를 보이고 1997년 1월 6일경에 12.7℃로 최고 차를 나타낸다. 한라산을 중심으로 제주 북부지역보다 동남지역에 강설량이 많이 나타나고 있다.

Table 1에서 제주시 지역의 지난 10년간 최심 신적설값을 살펴보면 0.1~1.0 cm 적설시 현열과 잠열의 합은 평균 264 W/m², 925 hPa 기온은 −4.7℃이고 850 hPa 기온은 −9.6℃로 나타났으며 1.1~5.0 cm 적설시 현열과 잠열의 합은 평균 253 W/m², 925 hPa 기온은 −5.6℃이고 850 hPa 기온은 −10.6℃이다. 5.0 cm 이상 적설시 현열과 잠열의 합은 평균 218 W/m², 925 hPa 기온은 −6.6℃이고 850 hPa 기온은 −11.8℃이다. 이와 같이 적설시 평균 해면 현열과 잠열의 합은 261 W/m²로 나타나며 보웬비(현열속/잠열속) 평균 0.6 이상이고 상층의 기온은 925 hPa에서 −5.2℃이고 850 hPa 기온은 −10.3℃로 나타났다.

신적설과 보웬비(현열속/잠열속)의 상관관계를 지난 10년간 통계자료를 분석하여 Fig. 11와 같이 나타냈다.

특이한 사례는 지역별 신적설이 0.0~0.9 cm일 때 평균보웬비는 0.63~0.67이고 신적설이 1.0~4.9 cm일 때 0.67~0.72이며 신적설이 5.0 cm 이상 일 때 0.72 이상으로 나타났다. 신적설이 점차 증가할 때 보웬비가 0.63에서 0.80까지 증가하는 등 신적설과 보웬비는 비례관계가 있는 것으로 조사되었다.

Table 2은 지난 10년간(1993~2002년) 지역별 강설

Table 1. Influence of weather element on heat flux for snowfall days (Jeju city)

Date	Sea level pressure (P)	Wind (W)	Air-sea temp. (℃)	Fresh snow cover (cm)	Sebsible heat flux (w/m^2)	Latent heat flux (w/m^2)
1993.01.16	1,023.5	7.8	8.0	0.6	85	161
1993.01.19	1,026.0	5.6	7.0	2.0	53	88
1993.01.27	1,022.5	10.2	7.4	4.0	102	212
1993.01.28	1,027.3	8.	7.2	1.5	78	132
1993.02.23	1,017.2	10.7	7.6	0.8	110	239
1993.02.24	1,024.3	10.5	9.2	0.3	131	217
1993.03.01	1,025.8	10.3	7.8	0.6	109	227
1994.01.20	1,024.5	4.3	7.8	0.2	45	80
1994.01.21	1,020.0	6.7	9.7	5.1	88	112
1995.02.05	1,026.4	4.7	9.1	2.0	58	92
1996.01.09	1,027.1	7.3	8.9	0.3	88	145
1996.01.17	1,025.9	1.7	9.0	0.2	21	38
1996.01.18	1,025.7	4.0	8.4	1.0	46	86
1996.02.01	1,027.2	9.3	10.5	0.5	132	230
1996.02.02	1,029.8	7.7	9.5	0.5	99	150
1996.02.05	1,024.2	8.3	9.4	0.2	106	202
1996.02.06	1,031.7	5.8	7.3	0.1	57	108
1996.02.09	1,026.4	8.0	7.9	1.6	86	186
1996.02.10	1,029.1	7.5	11.8	4.3	120	167
1997.01.06	1,032.5	8.3	12.7	0.6	143	213
1997.01.07	1,033.7	6.0	9.3	0.5	76	127
1998.01.19	1,026.6	7.5	10.5	1.2	107	156
1998.01.23	1,021.8	6.7	7.1	0.2	64	143
1998.01.24	1,027.6	8.3	9.9	1.8	111	155
1998.01.25	1,029.0	4.7	8.5	0.4	54	86
1999.01.08	1,020.4	7.0	9.3	1.2	88	125
1999.01.09	1,026.3	9.3	8.9	0.9	112	205
1999.02.12	1,026.2	11.3	7.4	0.9	113	248
1999.12.19	1,027.9	5.0	10.4	0.3	70	109
1999.12.20	1,029.1	8.7	10.9	3.0	128	252
1999.12.21	1,028.2	5.7	10.8	2.0	83	125
2000.01.20	1,032.9	9.8	10.6	0.3	141	232
2000.01.26	1,030.4	7.9	9.7	0.3	104	173
2000.01.27	1,031.7	8.8	11.7	2.6	139	212
2000.02.08	1,019.9	14.1	8.8	0.3	168	388
2000.02.15	1,021.2	9.3	11.4	1.8	144	244
2001.01.13	1,019.1	6.6	5.2	0.1	46	139
2001.02.14	1,024.7	5.1	12.3	5.4	85	104
2001.01.15	1,028.7	7.0	11.8	7.5	112	153
2001.01.16	1,030.7	8.1	9.4	1.4	103	185
2001.03.09	1,024.1	5.5	9.6	2.0	72	159

현상 있을 때 보웬비를 비교한 것이다. 그 결과 강설현상이 있을시에 제주시와 고산지역이 평균보웬비(0.65)가 비슷하였으며 서귀포(0.61)가 가장 낮았고 성산포(0.69)지역이 가장 높게 나타났다. 신적설이 있을 시에는 최소 보웬비가 성산포 지역을 제외한 3개 지역이 0.52~0.56으로 성산포 지역 0.65보다 낮게 나타났다. 이는 국지적 강설현상시 보웬비가 높게 나타난 지역이 한라산을 중심으로 제주 북부지역보다는 제주 동남지역에 강설량이 많이 나타나는 결과이기도 하다.

Table 3은 최근 5년 1월(1999~2003년) 강설현상에서 해기차에 의한 신적설 확률과 보웬비에 의한 신적설 확률을 비교한 것이다. 그 결과 신적설시 지역별 최저 해기차는 제주시, 고산, 서귀포, 성산포에서

Table 2. Bowen's ratios for snowfall days in four stations of Jeju Island (1993~2002)

	No Snowfall	Snowfall		Fresh snow cover	
		min.	mean	min.	mean
Jeju	≤0.46	0.46	0.65	0.56	0.71
Gosan	≤0.53	0.53	0.65	0.54	0.71
Seogwipo	≤0.45	0.45	0.61	0.52	0.66
Seongsanpo	≤0.51	0.51	0.69	0.65	0.75

Table 3. Comparison of the rate of fresh snow in four stations of Jeju Island with Bowen's ratio and the temperature difference between air and sea (1999~2003)

	Temperature difference between air and sea (℃)	Rate of fresh snow (%)	Bowen's ratio	Rate of fresh snow (%)
Jeju	10.9	26	0.59	33
Gosan	14.3	23	0.65	58
Seogwipo	12.3	29	0.6	70
Seongsanpo	11.5	13	0.65	31

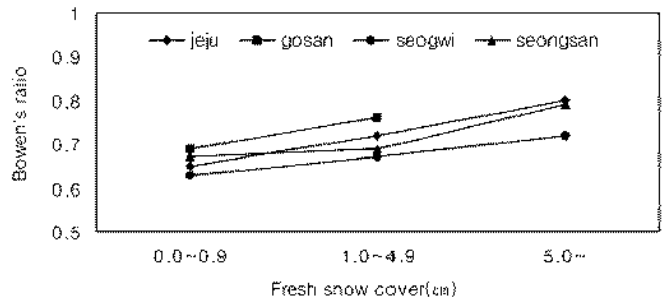

Fig. 11. Relationship between fresh snow cover and Bowen's ratio by region in Jeju Island (1993~2002).

각각 10.9, 14.3, 12.3, 11.5℃이었으며 그 이상의 해기차에서 신적설 확률은 각각 26, 23, 29, 13%이었다. 그러나 신적설시 지역별 최저보웬비는 각각 0.59, 0.65, 0.60, 0.65로 조사되었고 그 이상의 보웬비에서 신적설 확률은 33, 58, 70, 31%으로 나타나 해기차보다 전반적으로 높게 나타났다. 보웬비가 해기차보다 적설 예측율이 높게 나타나는 이유는 바람에 의한 열교환이 강설에 영향을 미치며 보웬비를 높여주기 때문이다. 이 결과에서 나타나듯이 제주연안의 강설현상은 해기차에 의한 확률보다 보웬비에 의한 확률이 높게 나타난 것으로 조사되었다.

Fig. 11과 Table 3의 결과에서 열교환량지수인 보웬비(현열속/잠열속)가 0.6 이상일때 강설현상이 높게 나타났고 보웬비가 증가할수록 신적설도 점차 증가하여 해수면에서 대기로 현열 및 잠열 방출량이 제주지방 강설현상에 미치는 영향이 큰 것으로 조사되었다.

결론과 토의

1993년부터 2003년까지 제주지방기상청, 국립해양조사원, 국립수산과학원 자료를 이용하여 제주연안에 강설을 수반하는 시베리아 한기단 장출시의 대기와 해양간의 열교환특성 사례를 연구하여 강설과 보웬비의 상관성을 찾고자 하였다.

제주연안 강설현상시 대기와 해양간의 열교환에 의한 일차적 요인인 해기차와 바람과 같은 다른 기상의 영향이 가미된 보웬비(현열속/잠열속)를 사용하여 적설과의 관계를 계산하여 비교하였다. 그 결과 신적설시 지역별 최저 해기차는 제주시, 고산, 서귀포, 성산포에서 각각 10.9, 14.3, 12.3, 11.5℃이었으며 그 이상의 해기차에서 신적설 확률은 각각 26, 23, 29, 13%이었다. 그러나 Table 3에 나타난 신적설시 지역별 최저보웬비는 각각 0.59, 0.65, 0.60, 0.65로 조사되었고 그 이상의 보웬비에서 신적설 확률은 33, 58, 70,

31%으로 나타나 해기차보다 전반적으로 높게 나타났다. 보웬비가 해기차보다 적설 예측율이 높게 나타나는 이유는 바람에 의한 열교환이 강설에 영향을 미치며 보웬비를 높여주기 때문이다. 이 결과에서 나타나듯이 제주연안의 강설현상은 해기차에 의한 확률보다 보웬비에 의한 확률이 높게 나타난 것으로 조사되었다. 보웬비가 해기차보다 강설확률이 높게 나타나는 이유는 현열이 강설에 기여한 것이 아니라 현열이 많을 때 수증기의 증발도 많이 발생하기 때문이다.

지난 10년간 지역별 신적설이 0.0~0.9 cm일 때 평균 보웬비는 0.63~0.67이고 신적설이 1.0~4.9 cm일 때 0.67~0.72이며 신적설이 5.0 cm 이상 일 때 0.72 이상으로 나타났다. 신적설이 점차 증가할 때 보웬비가 0.63에서 0.80까지 증가하는 등 신적설과 보웬비는 비례함을 보여주었다.

이 연구에서는 제주연안에 강설을 수반하는 시베리아 한기단 상출시의 대기와 해양간의 열교환특성 사례에서 보웬비가 증가할수록 강설량이 많고 강설확률이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

사 사

이 연구는 기상연구소 "해양기상관측 및 조사" 사업 및 기상연구소/제주지방기상청 현장연구과제 "제주연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성연구"의 지원에 의해 수행되었으며, 제주대학교 해양과학대학 누리한국21사업 중 RA지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

강인식, 이동원, 민경덕, 1991. ECMWF 자료를 사용하여 구한 동아시아 지역의 이류현 강수와 수증기 수송의 계절변화. 한국기상학회지, 27, 241-255.

김명기, 강인식, 1995. 한반도 주변 해상에서의 바람의 응력, 현열속, 잠열속에 대한 진단적 모델링. 한국기상학회지, 1, 1995.

김영의, 1991. 동해 해수 순환의 수치실험연구. 서울대학교 박사학위논문, 210p

민경덕, 1974. 동계황해상의 열 및 수증기 수치해석과 이들의 시베리아기단의 변질에 미치는 영향. 한국기상학회지, 10.

박순웅, 정창희, 1984. 동계한파 내습시 황해상에서의 공기의 변질에 관하여. 한국기상학회, 20 (2), 35-50

봉종현, 1976. 한국연안의 표면해수와 대기간의 열교환. 한국해양학회지, 11, 43-50.

서은경, 신종갑, 1991. 1990년 1월 29-2월1일 한반도에서 발생한 대설에 관한 연구, 한국기상학회지, 27 (2), 227-234.

안중배, 류정희, 조이현, 박주영, 류상범, 1997. 한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해면 온도와의 상호관계에 관한 연구. 한국기상학회지, 33, 1-10.

임정선, 박순웅, 1991. 1988년 장마기간에 한반도를 중심으로한 수증기 수송과 수지. 한국기상학회지, 27, 221-240.

신종갑, 이동규, 이현이, 1994. 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구, 한국기상학회지, 30 (1), 97-117.

정관영, 정영선, 황병준, 1999. 주성분 분석을 이용한 한반도 강설 지역 구분, 한국기상학회지, 35 (3), 466-473.

최종남, 이동규, 1991. 1984년 9월 1-3일 한반도에서 발생한 호우의 열과 수분수지 한국기상학회지, 27, 267-280.

한영호, 1972. 1월의 동해 남서해역에서의 열수지와 대한해협의 냉수괴. 한국해양학회지, 7, 19-23.

한영호, 장선덕, 1978. 동해의 열수지와 황해냉수의의 관계. 한국 이일기술학회지, 14, 2-14.

Bunker, A.F., 1976. Computations of surface energy flux and annual air-sea interaction cycles of the North Atlantic Ocean. Monthly Weather Review, 104, 1122-1140.

Gill, A.E., 1982. Atmosphere-ocean dynamics, Academic Press, 30 p.

Haney, R.L., 1971. Surface thermal boundary condition for ocean circulation model. J. Phys. Oceanogr., 1, 241-248.

Hoflich, O., 1984. Climate of the South Atlantic Ocean, in "Climate of the Oceans" (ed. H. Van Loon), Elsevier, 1-191.

Ishi, T and Kondo, 1987. Seasonal variation of heat balance in the East China Sea. Tenki, 34, 29-38 (in Japanese)

Ishi and Kondo, 1993. Seasonal Variation of Heat balance in the East China Sea and its Vicinity. -Ocean heat transport and Ocean storage of heat. Tenki, 40, 309-324 (in Japanese)

Jacobs, W.C., 1942. On the energy exchange between sea an atomosphere. J. Marine Researeh, 1, 37-66.

Kato, K., and T. Asai, 1983. Seasonal variations of the heat budget in both the atmosphere and the sea in the Japan Sea Area, J. Meteor. Soc. Japan., 61, 222-238.

Kraus, E.B. and C. Rooth, 1961. Temperature and steady state vertical heat flux in the ocean surface layers. Tellus, 13, 231-238.

Oort, A. H. and T. H. Vonder Haar, 1976. On the observed annual cycle in the ocean-atmoshpere heat balance over the northern hemisphere. J. Phys. Oceanogr., 6, 781-800.

Smith, S.D., 1980. Wind stress and Heat flux over the ocean in the gale force winds. J. Phys. Oceanogr., 10, 709-726.

2005년 3월 9일 원고 접수
2005년 3월 28일 수정원고 접수
2005년 3월 29일 원고 채택