

겨울철 제주연안 열수지 특성

- 강설현상 -

김 경 보 · 장 승 민 · 김 태 희* · 우 종 규 · 윤 용 훈*

제주지방기상청, *기상연구소

Character of Heat Budget of the around sea of Jeju Island in Winter

- snowfall -

Kyoung-Bo Kim, Seung-Min Jang, Tea-Hee Kim*, Jong-Kyu Woo and Yong-Hoon Youn*

Jeju Regional Meteorological Office

*Marine Meteorology and Earthquake Research Laboratory, Meteorological Research Institute

In order to know the characteristics of the air-sea heat flux at on the coastal of Jeju Island, when there was a snowfall in winter. It is used as the basic data are Automatic Synoptic Observation System(ASOS) compiled by Jeju Regional Meteorological Office(JRMO) from 1993 to 2002, and SST data derived from National Oceanographic Research Institute(NORI) and National Fisheries Research & Development Institute(NFRDI) observations. the heat flux of the coastal of Jeju Island shows its maximum in January(latent heat flux : 35Wm^{-2} , sensible heat flux : 85Wm^{-2}), and shows its minimum in July(latent heat flux : -13Wm^{-2} , sensible heat flux : -5Wm^{-2}) the more the temperature gap between the air and SST is large and the stronger a wind is, the more it supplies the heat from the sea to the air. it shows that the north-western areas is about three times higher than other areas in Jeju Island. when fresh snow cover is 0.0~0.9 cm, the mean bowen's ratio(for 1993~2002) is 0.63~0.67, when it is 1.0~4.9 cm, the mean bowen's ratio(for 1993~2002) is over 0.72 or more. when bowen's ratio increased upto 0.63~0.80, fresh snow cover is increased gradually, therefore, it is researched the there is proportion between the fresh snow cover and the bowen's ratio.

Key words : latents heat flux, sensible heat flux, fresh snow cover, bowen's ratio

서론

해양의 열수지는 장소와 계절에 따라서 다르게 나타난다. 그 예로서 적도 부근의 열대해역은 순복사량, 잠열속, 현열속의 계절 변화가 대단히 적다(Oort and Vonder Haar, 1976; Hoflich, 1984). 그러나 중위도 해역은 수온 및 기온의 연교차가 매우 크기 때문에 각종 열속의 계절 변화도 커지게 된다. 겨울에는 시베리

아 한기류의 유출과 기단 변질이 현저하기 때문에 우리나라 주변의 동해, 황해 및 동지나해를 포함하는 폐쇄해역에서는 한·난류에 의한 해양 운발열의 계절변화가 열수지 균형에 큰 역할을 하는 것으로 보고되고 있다(Kato and Asai, 1983; Ishi and Kondo, 1987, 1993).

제주도를 중심으로 한 한국 연안해역의 해수 순환 과정 및 해수유동에 대한 연구를 수행함에 있어서는 해양-대기의 열교환 과정에 대한 해명이 중요한 과제가 되는데, 이를 연구하기 위해서는 반드시 해양-기

상의 상호작용 효과가 고려되어야 한다. 따라서 우리나라 해양의 길목인 제주도 주변해역에서 나타나는 해양학적 및 해양기상학적인 변동기구를 규명하기 위해서는 이들 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), 봉(1976), 한과 장(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 한과 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. 따라서 겨울철 제주연안 해역에서 일어나는 국지적인 기상특성인 강설을 해양-대기의 열수지를 이용하여 조사하기 위해서 제주도 주변해역의 현열속(sensible heat flux), 잠열속(latent heat flux), 단파복사량(solar radiation), 장파복사량(long-wave radiation)을 알아보았으며 현열속과 잠열속은 해면상의 해양기상변수들을 사용하여 경험식을 사용하였고(Haney, 1971) 장파복사량을 계산하는데 Kraus and Rooth(1961)의 경험식을 사용하였다.

본 연구에서는 제주지방기상청을 비롯한 3개관서의 매시간 기상관측자료와 국립해양조사원과 국립수산과학원의 수온자료를 이용하여 해수면에서 대기로의 현열 및 잠열 flux를 계산하였으며 겨울철 강설현상시

제주도 연안해역의 대기와 해양간의 열수지 특징을 분석하였고 이를 이용하여 열수지와 강설의 상관관계를 조사하였다.

자료 및 분석방법

제주지방기상청 및 고산기상대, 서귀포기상대의 ASOS(Automatic Synoptic Observation System)와 성산포 관측소에서는 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 2002년까지 10년간이며 이를 자료를 조사하여 분석하였다. 해수면에서의 현열(Q_h) 및 잠열(Q_e) Flux는 Bulk 공식을 이용하여 계산하였다(Bunker, 1976).

$$\text{잠열속 } Q_e = (0.622/P)L \rho_a D_e W (E_w - E_a)$$

$$\text{현열속 } Q_h = \rho_a C_a C_h W (T_w - T_a)$$

여기서 P 는 대기압(hPa), L 은 단위 질량당 증발잠열(589 K/kg), ρ_a 는 공기의 밀도(1.225 kg/m³), D_e 는 증발의 무차원상수로서 Dalton number (1.5×10^{-3} , Gill, 1982), W 는 풍속(%)으로서 제주도 지역별 기상대 자료를 사용하였다. 바람의 세기는 증발의 속도에 큰 영향을 미친다(Smith, 1980). E_w 는 수온 T_w 에서의 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_a 는 공기의 Specific heat, C_h 는 Heat conduction의 무차원 상수로서 Stanton number (1.10×10^{-3} , Smith, 1980), T_a 는 기온이다.

현열과 잠열의 비를 Bowen's ratio

$$B = \frac{Q_h}{Q_e} = 0.5 \frac{T_w - T_a}{e_w - e_a}$$

여기서 T_w , T_a , E_w , E_a 는 해수의 온도, 연안기상대에서의 기온, 해면온도에서의 공기의 증기압, 기온의 공기증기압을 의미한다.

결 과

열수지 분석

제주도 북부해역인 제주시 해안선을 중심으로 북쪽으로 10 km지점 부근이 수심 125 m, 제주도 북부앞바다 경계부근이 수심 110 m로 경사가 급한 편이며, 북쪽으로 갈수록 수심이 깊어지다가 점점 낮아진다. 북서쪽으로는 수심 100 m보다 깊은 지역이 거의 없어 경사가 완만한 편이다.

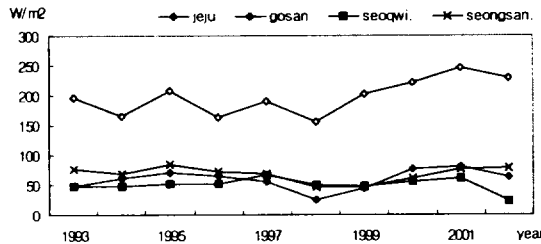


Fig. 1. Annual mean of heat flux ($Q_h + Q_e$) by regional in Jeju Island (1993~2002).

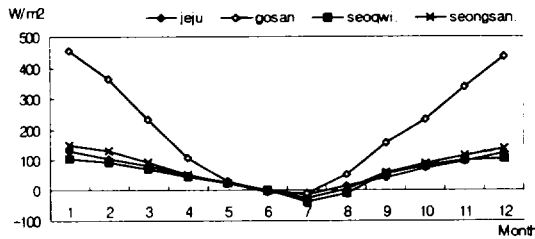


Fig. 2. Monthly means of heat flux by regional in Jeju Island (1993~2002).

Fig. 1과 2를 살펴보면 겨울철 열수지는 106 ~ 129 W/m²로 많은 양이 해양에서 대기로 열을 방출하고 있으나 여름철은 7월에 최소 -18 W/m²로 아주 적은 양이 대기에서 해양으로 유입되고 있다. 전체적으로 잠열속 분포가 현열속보다 비교적 크게 나타난 것으로 조사되었다. 양(+)의 흐름은 해양에서 대기로의 열속의 이동을 의미한다. 겨울철은 현열속과 잠열속 분포값이 비슷하게 나타나며 열교환이 활발하게 이루어진다.

제주도 남부해역은 서귀포 해안에서 남쪽으로 10 km지점 부근이 수심 108 m, 제주도 남부앞바다 경계

부근이 수심 103 m이며 남서쪽으로 22 km 이내까지는 수심 100 m 내외로 제주도 북서쪽 해역과 같이 경사가 완만한 편이다. 10년간 서귀포지역의 겨울철 열수지 평균값은 91~105 W/m²로 제주시 지역보다 20 W/m²정도 적은 양의 열교환 하는 것으로 조사되었다. 여름철(7~8월) 평균값은 -15 ~ -41 W/m²로 대기에서 해양으로 유입하는 것으로 나타났다.

강설현상 일수(눈일수; Frequency of snow)

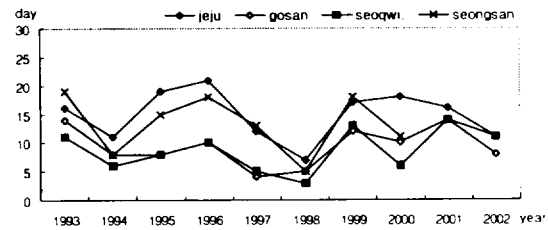


Fig. 3. Frequency of snow by regional in Jeju Island (1993~2002).

최근 10년('93 ~ '02)간 겨울철 평균 눈일수는 Fig. 3에서 제주시 15일, 성산포 12일, 고산 12일, 서귀포 9일로 나타나고 있으며, 10년 평균 적설일수는 각각 4.6, 2.4일로 나타나 강설현상 일수에 비해 적설일수가 눈에 띄게 적음을 볼 수 있다. Table 3에서 제주도 성산포 지역 적설일수 및 적설량에 있어서는 다른 지역보다 많음을 알 수 있으며 특히 1994년도에는 최심적설량이 뚜렷하게 가장 많이 나타난다. 하지만 지형적으로 한반도 남동지역과 제주도 지역은 강설에 관해 주목할 만한 특징이 없는 소강설 지역으로 분류하고 있다. 이는 해안가를 중심으로 한 관측지점이며 해발 600 m 이상에서는 현저하게 적설이 쌓이고 있으나 관측지점이 없어 추정치에 의존하고 있는 실정이다.

Table 1. Amount of monthly mean of fresh snow cover(cm) by regional in Jeju Island (1993~2002)

Month \ Station	1	2	3	11	12
Jeju	23.8	10.1	2.6	0	3.0
Gosan	3.2	1.8	0.1	0	1.7
Seoqwipo	18.0	4.7	0.8	2.0	9.4
Seongsanpo	59.3	17.2	1.4	3.4	25.1

Table 2. Monthly mean of heat flux ($Q_h + Q_e$: W/m^2) by regional in Jeju Island (1993~2002)

Month	1	2	3	11	12
Jeju	129	106	80	97	121
Gosan	456	365	233	338	438
Seoqwipo	104	91	70	100	105
Seongsanpo	151	132	92	116	140

Table 3. Maximum depth(cm) of snow cover by regional in Jeju Island (1993~2002)

Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Jeju	4.0	5.1	2.0	4.3	0.6	1.8	3.0	2.6	7.5	0
Gosan	0.5	0	0.9	0.4	0.3	0.6	1.7	0.3	1.3	0
Seoqwipo	5.1	4.8	0.2	4.4	1.2	2.7	2.5	1.0	1.5	0
Seongsanpo	2.8	16.6	3.9	8.5	5.9	9.8	13.5	6.2	12.5	0.5

지역별 겨울철에 나타난 신적설 월합계를 Table 1에서 보면 성산포지역이 다른 지역보다 적설량이 많이 나타났으며 제주도 전지역에서 월별 적설합계를 보면 1월에 가장 많이 나타나고 2월, 3월, 11월, 12월에 최소한의 적설량이 나타나며 서귀포와 성산포는 11월에도 신적설이 있음을 보여준다. 지난 10년간 지역별 해수면 열수지 월평균을 Table 2에서 보면 제주시와 서귀포지역은 비슷한 분포를 보이고 있다.

10년간 지역별 신적설 월합계와 해수면 열수지 월평균과 관계를 살펴보면 전지역에서 겨울철(1, 2, 12월) 신적설량과 열수지의 관계가 비슷한 추이변화를 보이고 있다.

참고로 고산지역 열수지는 평균풍속이 타지역보다 2~3배 강하게 나타났기 때문에 열수지가 높게 나타났다.

강설 현상시 해수면 열수지 특성

1993년 1월부터 2002년 12월까지 10년간 cP 확장시 제주시지역의 최심 신적설시 해면 열수지에 미치는 기상요소값을 Table 4에 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 최저 차를 보이고 1997년 1월 6일경에 12.7℃로 최고 차를 나타낸다. 한라산을 중심으로 제주 북부지역보다 동남지역에 강설량이 많이 나타나고 있다. 최근 3년간('99~'02)의 적설시 열수지 및 기상요소 사례를 분석하여 보았다.

Table 4에서 제주시 지역의 지난 10년간 적설값을 살펴보면 0.1 ~ 1.0 cm 적설시 열수지량은 평균 264 W/m^2 , 925 hPa 기온은 -4.7℃이고 850 hPa 기온은 -9.6℃로 나타났으며 1.1 ~ 5.0 cm 적설시 열수지량은 평균 253 W/m^2 , 925 hPa기온은 -5.6℃이고 850 hPa 기온은 -10.6℃이다.

5.0 cm이상 적설시 열수지량은 평균 218 W/m^2 , 925 hPa 기온은 -6.6℃이고 850 hPa 기온은 -11.8℃이다.

이와 같이 적설시 평균 해면 열수지량은 261 W/m^2 로 나타나며 보웬비 평균 0.6 이상이고 상층의 기온은 925 hPa에서 -5.2℃이고 850 hPa 기온은 -10.3℃로 나타났다.

Table. 5를 근거로 최대풍속으로 보면 제주인 경우 8.7~16.3%로 최대풍속 평균 12.0%인 반면에 성산포인 경우 5.3~9.4%, 평균 7.6%로 최대바람이 10%를 넘지 못하고 북서류일때 제주 동남쪽지역의 북쪽지역 오름 및 한라산에 의한 지형효과로 바람에 의한 차이가 나는 것을 추정 할 수 있다. 국지적인 대기와 해양간의 열수지 값을 비교해도 제주시 지역은 평균 119 W/m^2 , 성산포 지역은 141 W/m^2 로 성산포 지역이 해양에서 대기로 열교환량이 22 W/m^2 정도 높게 나타난다.

평균 5 cm이상 적설시 850 hPa 기온은 -9.7 ~ -14.1℃로 나타나고 있으며 이는 제주도 강설특성 조사(송, 2002)에서 -12℃이하, 국지적인 대설과 종관적인 대설특성(최, 2001)에서 -12℃이하임을 밝힌 것과 비슷하게 나타나고 있다.

강설현상(신적설)과 보웬비(Bowen's ratio)의 상관관계

보웬비(Bowen's ratio)의 통계적 특성조사

신적설과 보웬비의 상관관계를 지난 10년간 통계적 자료를 분석하여 Fig. 4 와 같이 나타났다.

겨울철 제주연안 열수지 특성

Table 4. Influence of wether element to heat flux on snowfall days (Jeju city)

date	sea level pressure (P)	wind (W)	air-sea temp.($^{\circ}$ C)	fresh snow cover (cm)	sebsible heat flux (w/m^2)	latent heat flux (w/m^2)
1993.01.16	1023.5	7.8	8.0	0.6	85	161
1993.01.19	1026.0	5.6	7.0	2.0	53	88
1993.01.27	1022.5	10.2	7.4	4.0	102	212
1993.01.28	1027.3	8.	7.2	1.5	78	132
1993.02.22	1017.2	10.7	7.6	0.8	110	239
1993.02.23	1024.3	10.5	9.2	0.3	131	217
1993.03.01	1025.8	10.3	7.8	0.6	109	227
1994.01.20	1024.5	4.3	7.8	0.2	45	80
1994.01.21	1020.0	6.7	9.7	5.1	88	112
1995.02.05	1026.4	4.7	9.1	2.0	58	92
1996.01.09	1027.1	7.3	8.9	0.3	88	145
1996.01.17	1025.9	1.7	9.0	0.2	21	38
1996.01.18	1025.7	4.0	8.4	1.0	46	86
1996.02.01	1027.2	9.3	10.5	0.5	132	230
1996.02.02	1029.8	7.7	9.5	0.5	99	150
1996.02.05	1024.2	8.3	9.4	0.2	106	202
1996.02.06	1031.7	5.8	7.3	0.1	57	108
1996.02.09	1026.4	8.0	7.9	1.6	86	186
1996.02.10	1029.1	7.5	11.8	4.3	120	167
1997.01.06	1032.5	8.3	12.7	0.6	143	213
1997.01.07	1033.7	6.0	9.3	0.5	76	127
1998.01.19	1026.6	7.5	10.5	1.2	107	156
1998.01.23	1021.8	6.7	7.1	0.2	64	143
1998.01.24	1027.6	8.3	9.9	1.8	111	155
1998.01.25	1029.0	4.7	8.5	0.4	54	86
1999.01.08	1020.4	7.0	9.3	1.2	88	125
1999.01.09	1026.3	9.3	8.9	0.9	112	205
1999.02.12	1026.2	11.3	7.4	0.9	113	248
1999.12.19	1027.9	5.0	10.4	0.3	70	109
1999.12.20	1029.1	8.7	10.9	3.0	128	252
1999.12.21	1028.2	5.7	10.8	2.0	83	125
2000.01.20	1032.9	9.8	10.6	0.3	141	232
2000.01.26	1030.4	7.9	9.7	0.3	104	173
2000.01.27	1031.7	8.8	11.7	2.6	139	212
2000.02.08	1019.9	14.1	8.8	0.3	168	388
2000.02.15	1021.2	9.3	11.4	1.8	144	244
2001.01.13	1019.1	6.6	5.2	0.1	46	139
2001.02.14	1024.7	5.1	12.3	5.4	85	104
2001.01.15	1028.7	7.0	11.8	7.5	112	153
2001.01.16	1030.7	8.1	9.4	1.4	103	185
2001.03.09	1024.1	5.5	9.6	2.0	72	159

특이한 사례는 지역별 신적설이 0.0~0.9 cm일 때 평균보웬비는 0.63~0.67이고 신적설이 1.0~4.9 cm일 때 평균보웬비는 0.67~0.72이며 신적설이 5.0 cm 이상 일

때 평균보웬비는 0.72 이상으로 나타났다. 신적설이 점차 증가할 때 보웬비가 0.63에서 0.80까지 증가하는 등 신적설과 보웬비는 비례관계가 있는 것으로 조사되었다.

Table 5. Value of snow cover for 3 years by regional in Jeju Island (1993~2002 : 850hPa temp., heat flux, max. wind)

date	snow cover		850hPa temp.		Heat flux($Q_h + Q_e$)		Max. wind(%s)	
	jeju	seongsan	00UTC	12UTC	jeju	seongsan	jeju	seongsan
1999. 1. 7	-	0.8	-7.1	-9.3	159	257	12.3	9.4
1999. 1. 8	1.2	7.3	-10.3	-10.7	135	236	12.3	9.1
1999. 1. 9	0.9	3.8	-10.1	-9.7	156	222	12.0	7.1
1999. 2. 3	1.2	1.1	-11.3	-10.3	192	286	10.2	9.2
1999. 2.12	0.9	1.4	-10.3	-9.9	148	242	8.9	8.7
1999.12.19	0.3	10.8	-	-10.3	94	130	12.7	5.3
1999.12.20	3.0	2.4	-11.1	-11.7	146	152	12.7	5.6
1999.12.21	2.0	13.5	-10.9	-9.7	141	176	10.0	6.3
2000. 1.20	0.3	6.2	-11.3	-12.3	178	202	12.9	7.1
2000. 1.26	0.3	0.2	-12.1	-11.3	121	220	13.9	7.8
2000. 1.27	2.6	0.2	-12.5	-7.3	174	201	13.6	8.9
2000. 2. 8	0.3	-	-10.5	-13.1	188	268	16.3	8.5
2000. 2.15	1.8	0.9	-11.9	-11.5	190	242	14.4	8.5
2001. 1.14	5.4	10.0	-12.9	-14.1	91	178	11.9	8.5
2001. 1.15	7.5	12.5	-13.5	-12.3	123	142	9.2	5.5
2001. 1.16	1.4	11.2	-11.5	-11.5	115	101	8.7	5.7

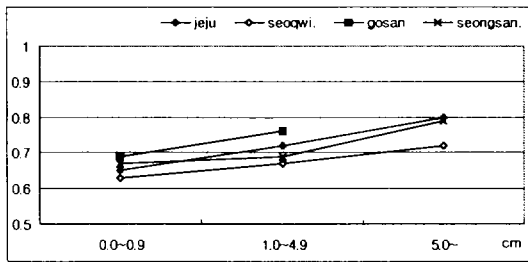


Fig. 4. Relationship between fresh snow cover and Bowen's ratio by regional in Jeju Island (1993~2002).

Table 6. A value of Bowen's ratio on snowfall days by regional in Jeju Island (1993~2002)

	snowfallless	snowfall		fresh snow cover	
		min.	mean	min.	mean
Jeju	≤ 0.46	0.46	0.65	0.56	0.71
Gosan	≤ 0.45	0.45	0.61	0.52	0.66
Seoqwipo	≤ 0.51	0.51	0.69	0.65	0.75
Seongsanpo	≤ 0.53	0.53	0.65	0.54	0.71

지역별 강설현상 있을 때 보웬비로 통계적으로 분석한 결과를 Table 6에 나타냈다.

제주시와 서귀포지역이 강설현상 있을 시 보웬비가 비슷한 패턴을 보이고 있고 고산과 성산포지역이 강

설현상 있을 시 보웬비가 비슷하게 나타났다. 신적설이 있을 시에는 최소 보웬비가 성산포 지역을 제외한 3개 지역이 0.52~0.56으로 성산포 지역 0.65보다 낮게 나타나고 있다.

강설현상이 있을 때 평균 보웬비는 신적설도 포함시켜서 다소 높게 나타나는 편이며 제주시와 고산지역이 0.65로 일치하며 서귀포 0.61 성산포 0.69로 0.08 정도의 차가 있으며 이는 지역적인 강설현상 보웬비가 성산포지역이 제일 높게 나타나며 적설현상도 가장 많이 나타나는 결과이기도 하다.

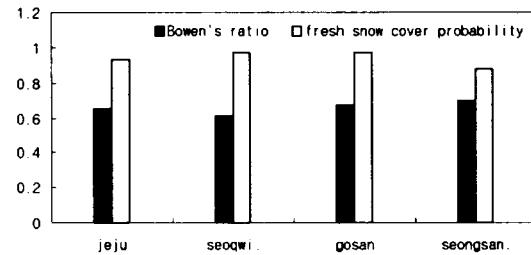


Fig. 5. A standard line of fresh snow cover and Bowen's ratio by regional in Jeju Island.

Fig. 5 에서 신적설이 0.0 cm 이상 을 때 보웬비의 기준을 지역별로 계산해 본 결과 서귀포 보웬비 0.61 와 고산지역 보웬비 0.67 기준으로 적설이 97%로 높

게 나타났고 제주지역은 보웬비 0.65로 93% 성산포 지역이 보웬비가 0.70으로 가장 높으면서 적설확률이 88%로 가장 낮게 나타났다.

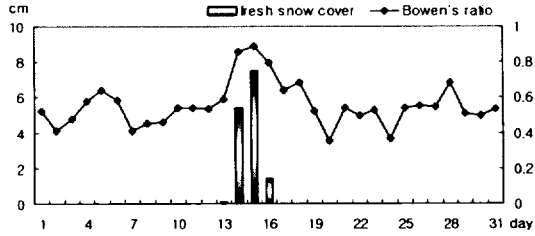


Fig. 6. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju City (January, 2001).

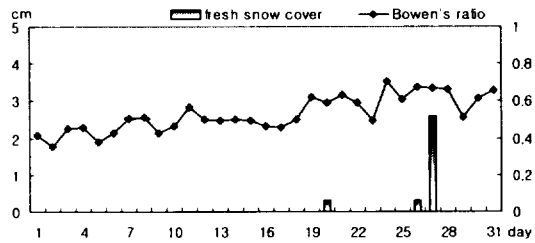


Fig. 7. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju City (January, 2000).

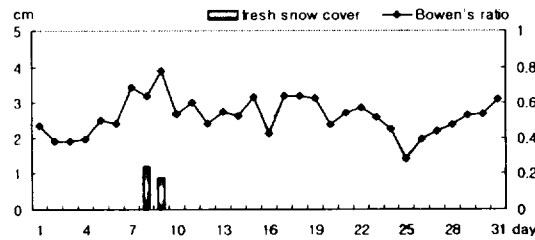


Fig. 8. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju City (January, 1999).

신적설과 보웬비(1999~2001. 1)

제주시 지역의 보웬비 (Q_h / Q_e)로 최근 3년간 최소 0.6이상의 비율로 나타나며 해기차가 9℃이상, 850 hPa 기온이 -10℃이상의 값으로 조사되며 이러한 조건에 해당되는 날은 눈이 왔는데 최심 신적설이 없는 경우가 있었다(Fig. 9~11).

고산 지역은 2001년도 신적설시 0.6이상의 비율로 조사되었으나 해기차는 15℃ 이상으로 다른 지역보다

큰 차이를 나타냈고 850 hPa 기온이 -11℃이상으로 조사되었다. 1999년 1월에는 신적설이 없었으며 2000년 1월에 나타난 0.3 cm 신적설은 보웬비가 가장 높게 나타났을 때 있었다(Fig. 14~16).

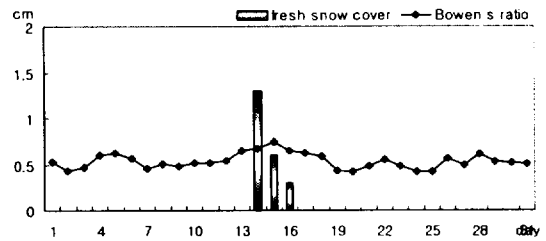


Fig. 9. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January, 2001).

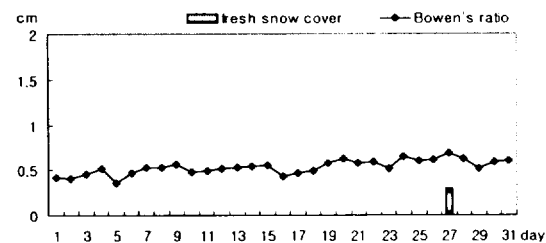


Fig. 10. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January, 2000).

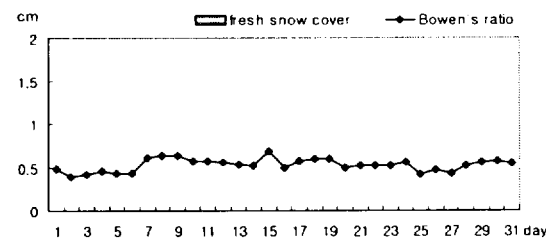


Fig. 11. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January, 1999).

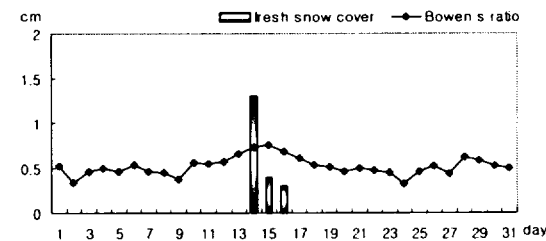


Fig. 12. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January, 2001).

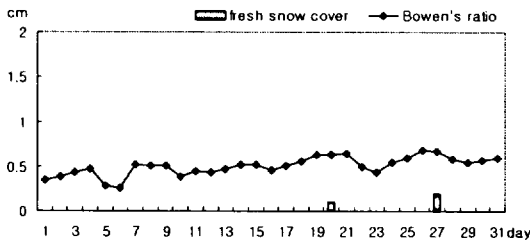


Fig. 13. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwiipo (January, 2000).

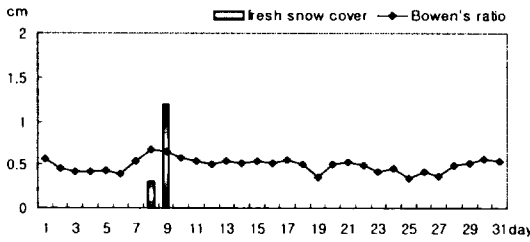


Fig. 14. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwiipo (January, 1999).

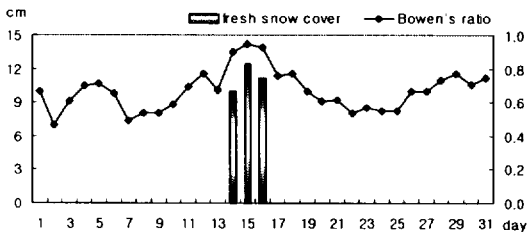


Fig. 15. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January, 2001).

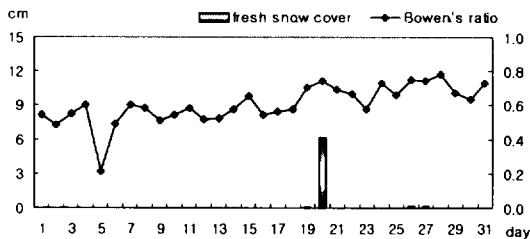


Fig. 16. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January, 2000).

서귀포 지역은 3년간 최소 0.56이상의 비율로 나타
나며 해기차가 12.5℃이상, 850 hPa 기온이 -10℃이상
의 값으로 조사되었다(Fig. 12~14).

성산포 지역은 3년간 최소 0.65이상의 비율로 나타

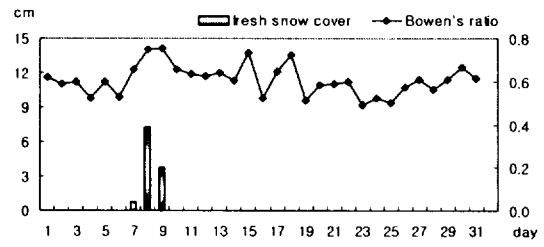


Fig. 17. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January, 2001).

나며 해기차가 12℃이상, 850 hPa 기온이 -11℃이상
의 값으로 조사되었다(Fig. 15~17).

제주도 4개 지역에서 최심 신적설시 대설조건외의 3
년간 자료를 조사해본 결과 지역적으로 해기차 및
850 hPa 기온이 차이가 있으나 보웬비는 대부분 0.6
이상의 비율로 나타났다.

강설현상시 1월 신적설과 보웬비

Fig. 18~20까지 강설과 보웬비의 관계를 최근 3
년간(1999~2001) 조사해본 결과 Table 7에서처럼 지
역별 신적설일과 나머지는 강설일로 나타났다.

신적설일 중에서 대설인 5 cm 이상을 기록한 지역을
보웬비와 함께 조사해 보았다. 제주지역이 2001년 1월

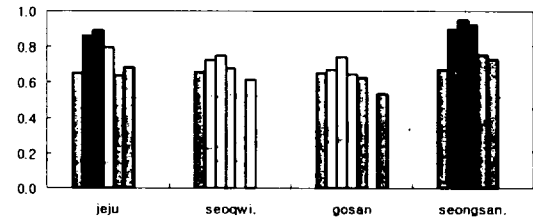


Fig. 18. A value of Bowen's ratio on snow cover days (January, 2001: ▨ 5 cm, ■ 5 cm, ▩ snowfall).

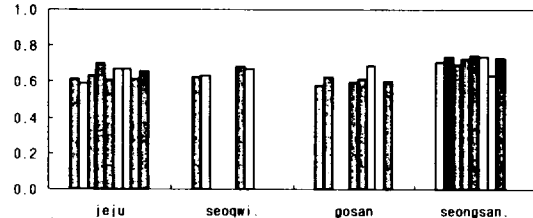


Fig. 19. A value of Bowen's ratio on snow cover days (January, 2000: ▨ 5 cm, ■ 5 cm, ▩ snowfall).

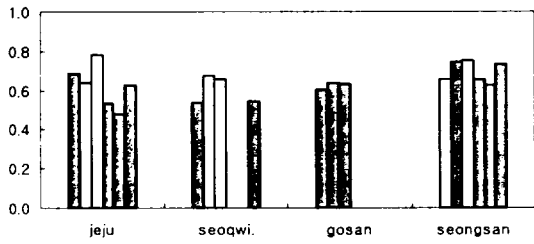


Fig. 20. A value of Bowen's ratio on snow cover days (January, 1999: □ 5 cm<, ■ 5 cm), ▨ snowfall).

Table 7. Frequency of fresh snow cover(a day) in Jeju Island (1999~2001)

Station date	Jeju-City	Seoqwipo	Gosan	Seongsanpo
Jan. 2001	13, 14, 15, 16	14, 15, 16, 28	14, 15, 16	14, 15, 16
Jan. 2001	20, 26, 27	20, 27	27	19, 20, 26, 27
Jan. 2001	8, 9	8, 9	-	7, 8, 9

14일 5.4 cm, 15일 7.5 cm로 이때 보웬비는 14일 0.86 15일 0.89로 높게 나타났다.

서귀포, 고산지역은 최근 3년간 5 cm 이상을 나타낸 기록이 없으며 성산포지역은 2001년 1월 14일 5.4 cm, 15일 7.5 cm, 16일 7.5 cm로 보웬비는 14일 0.90 15일 0.95 16일 0.93이며 2000년 1월 20일 6.2 cm 보웬비 0.74로 1999년 1월 8일 7.3 cm 보웬비는 0.75로 조사되었다.

요약 및 결론

겨울철 강설현상시 제주연안의 열수지 특성을 알아보기 위해 1993년부터 2002년까지 자료를 분석하였다. 제주지방기상청 및 고산기상대, 서귀포기상대 그리고 성산포관측소에서는 종합기상관측장비(Automatic Weather System)을 이용하여 매시간 연속적으로 기상자료를 관측하고 있으며 본 조사에서는 풍속, 풍향, 기온, 상대습도, 해면기압, 순복사량을 이용하였으며, 수온자료는 국립해양조사원과 국립수산과학원의 해수면온도를 이용하였다.

해수면에서의 현열과 잠열속은 Bulk 공식을 이용하여 계산하였다. 제주도 연안지역의 열수지는 1월에 잠열속이 85 W/m², 현열속이 35 W/m²으로 최대를 나타냈고, 하계인 7월에 각각 -5 W/m²과 -13 W/m²으로

최소를 보였다. 해수면의 열수지는 해기차가 클수록 풍속이 강할수록 해양에서 대기로 많은 열량이 공급되며 제주도 북부에서 서부지역이 다른 지역보다 3배 정도 높게 나타났다.

우선 최근 10년('93 ~ '02)간 겨울철 평균 눈일수는 제주시 15일, 성산포 12일, 고산 12일, 서귀포 9일로 나타나고 있으며 평균 적설 일수는 각각 4, 6, 2, 4일로 조사되었다. 강설현상시 해수면 열수지 특성은 평균 해면 열수지는 261 W/m²이며 보웬비 평균 0.6 이상 이었다.

그리고 제주도의 4개 지점인 제주시, 서귀포시, 고산, 성산포의 최근 3년간 최심신적설시 열수지 자료를 조사해 본 결과 보웬비는 대부분 0.6 이상을 보였다. 10년('93 ~ '02)간 자료를 분석해보면 각 지역별 신적설이 0.0 ~ 0.9 cm일 때 평균 보웬비는 0.63 ~ 0.67이고 신적설이 1.0 ~ 4.9 cm일 때 평균 보웬비는 0.72 이상으로 나타났다.

신적설이 0.0 cm 이상 일 때 보웬비를 기준으로 적설여부를 조사해 본 결과 서귀포 지역의 보웬비가 0.61과 고산지역의 보웬비가 0.67일 때 적설이 97%로 높았고 제주지역은 보웬비가 0.65일 때 93%, 성산포 지역은 0.70일 때 적설 확률은 88%로 가장 낮았다.

1999년부터 2001년까지 각 1월의 보웬비를 조사한 결과 보웬비가 0.6 이상 일 때 제주시, 고산, 서귀포, 성산포, 고산의 각 해기차는 6℃, 15℃, 12.5℃, 12℃로 많이 차이가 나고 있으며 따라서 열수지가 높아지고 보웬비도 0.63~0.80까지 상승시켰다. 따라서 보웬비가 증가하면 신적설도 점차 증가하는 것으로 나타났으며 신적설과 보웬비는 비례관계가 있는 것으로 조사되었다.

사 사

이 연구는 기상연구소 "해양기상관측 및 조사" 사업 및 기상연구소/제주지방기상청 현장연구과제 "제주연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성연구"의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

강인식 · 이동일 · 민경덕, 1991. ECMWF 자료를 사용하여 구한 동아시아 지역의 여름철 강수와 수증기

- 수송의 계절변화. 한국기상학회지, 27: 241-255.
- 김행기·강인식. 1995. 한반도 주변 해상에서의 바람의 응력. 현열속, 잠열속에 대한 진단적 모델링. 한국기상학회지, 1.
- 김영의. 1991. 동해 해수 순환의 수치실험연구. 서울대학교 박사학위논문, 210pp.
- 민경덕. 1974. 동계황해상의 열 및 수증기 수치해석과 이들의 시베리아기단의 변질에 미치는 영향. 한국기상학회지, 10.
- 박순용·정창희. 1984. 동계한파 내습시 황해상에서의 공기의 변질에 관하여. 한국기상학회, 20(2): 35-50
- 봉종현. 1976. 한국연안의 표면해수와 대기간의 열교환. 한국해양학회지, 11: 43-50.
- 서은경·전종갑. 1991. 1990년 1월 29-2월1일 한반도에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지, 27(2): 227-234.
- 송문호. 2002. cP 확장시 제주도 남동부지방의 강설특성. 제주기상특성집, 5: 45-72.
- 송병현. 1993. 우리나라 동해안 지역과 서해안 지역의 강설 특성 비교연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 30pp.
- 안중배·류정희·조익현·박주영·류상범. 1997. 한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해면 온도와와의 상호관계에 관한 연구. 한국기상학회지, 33: 1-10.
- 이창균·허택산. 1998. 제주도 강설특성조사. 제주기상특성집, 1: 189-197.
- 임정선·박순용. 1991. 1988년 장마기간에 한반도를 중심으로한 수증기 수송과 수지. 한국기상학회지, 27: 221-240.
- 전종갑·이동규·이현아. 1994. 우리나라에서 발생한 대설에 관한 연구. 한국기상학회지, 30(1): 97-117.
- 정관영·정영선·황병준. 1999. 주성분 분석을 이용한 한반도 강성 지역 구분. 한국기상학회지, 35(3): 466-473.
- 최만규. 2001. 국지적인 대설고 종관적인 대설특성.
- 최종민·이동규. 1991. 1984년 9월 1~3일 한반도에서 발생한 오후의 열과 수분수지. 한국기상학회지, 27: 267-280.
- 한영호. 1972. 1월의 동해 남서해역에서의 열수지와 대한해협의 냉수괴. 한국해양학회지, 7: 19-23.
- 한영호·장선덕. 1978. 동해의 열수지와 황해냉수와의 관계. 한국어업기술학회지, 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, 30pp.
- Haney, R.I. 1971. Surface thermal boundary condition for ocean circulation model. J. Phys. Oceanogr., 1: 241-248.
- Haney, R.I. 1974. A numerical study of the response of an idealized ocean to large scale heat and momentum flux. J. Phys. Oceanogr., 4: 145-167.
- 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 and atmosphere. J. Marine Research, 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-atmosphere 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.