

석사학위논문

겨울철 cP 확장시 대기과 해양간의
열교환에 따른 제주연안 강설특성



제주대학교 산업대학원
해양생산학과
해양학전공

김 경 보

2005년 6월

석사학위논문

겨울철 cP 확장시 대기과 해양간의
열교환에 따른 제주연안 강설특성



제주대학교 산업대학원

해양생산학과

김 경 보

2005년 6월

겨울철 cP 확장시 대기과 해양간의 열교환에 따른 제주연안 강설특성

지도교수 방 익 찬

김 경 보

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

2005년 6월
 제주대학교 중앙도서관
제주대학교 산업대학원

해양생산학과 해양학전공

김 경 보

김 경 보의 이학 석사학위 논문을 인준함.

2005년 6월

심사위원장 최 영 찬 ①

위 원 방 익 찬 ①

위 원 김 동 호 ①

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

Kyoung-Bo Kim

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE



DEPARTMENT OF MARINE PRODUCTION
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

JUNE, 2005

목 차

그림 목차 (List of Figures)	i
표 목차 (List of Tables)	iii
Summary	iv
I. 서 론	1
II. 자료 및 분석방법	3
III. 결과	4
1. 열수지 분석	4
2. 강설현상일수	11
3. 제주연안의 강설현상시 해수면 열수지 특성	13
4. 강설현상과 보웬비의 상관성	17
5. 지난 3년간(1999~2001) 제주지역별 보웬비의 1월 특성	19
6. 해기차와 보웬비를 이용한 사례분석	26
IV. 결 론	33
- 참고 문헌	34
- 요 약	37

그림목차 (List of Figures)

Fig. 1. Monthly means of short wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002). 6

Fig. 2. Monthly means of cloud by region in Jeju Island (1993~2002). 7

Fig. 3. Monthly means of vapour pressure by region in Jeju Island (1993~2002). 7

Fig. 4. Monthly means of long wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002). 7

Fig. 5. Monthly means of wind speed by region in Jeju Island (1993~2002). 8

Fig. 6. Monthly means of latent heat flux by region in Jeju Island (1993~2002). 8

Fig. 7. Monthly means of the temperature difference between air and sea by region in Jeju Island (1993~2002). 9

Fig. 8. Monthly means of sensible heat flux by region in Jeju Island (1993~2002). 9

Fig. 9. Annual mean of heat flux(Q_h+Q_e)by region in Jeju Island (1993~2002). 10

Fig.10. Monthly means of heat flux by region in Jeju Island (1993~2002). 11

Fig.11. Frequency of snow by regional in Jeju island(1993~2002) 11

Fig.12. Relationship between fresh snow cover and Bowen's ratio by regional in Jeju island (1993~2002). 17

Fig.13. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city(January 2001). 20

Fig.14. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city (January 2000). 20

Fig.15. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city (January 1999).	21
Fig.16. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 2001).	21
Fig.17. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 2000).	22
Fig.18. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 1999).	22
Fig.19. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 2001).	23
Fig.20. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 2000).	23
Fig.21. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 1999).	24
Fig.22. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 2001).	24
Fig.23. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 2000).	25
Fig.24. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 1999).	25
Fig.25. Analysis weather charts (Dec., 26th, 2003)	27
Fig.26. Analysis weather charts (Jan., 24th, 2004)	28
Fig.27. 925hPa Divergence, 850hPa Omega.	29
Fig.28. 850hPa Equiv Pot Temp(K), 700hPa Dewpoint Dep(°C).	30
Fig.29. 850hPa Temperature, Q Vectors.	31
Fig. 30. South and North vertical a section in Jeju island (Div Q, wind(kts)).	32

표 목차 (List of Tables)

Table 1. Amount of monthly mean of fresh snow cover(cm) by regional in Jeju island(1993~2002). 12

Table 2. Monthly mean of heat flux(Q_h+Q_e ; W/m^2) by regional in Jeju island (1993~2002). 12

Table 3. Maximum depth(cm) of snow cover by regional in Jeju island (1993~2002). 12

Table 4. Influence of wether element to heat flux on snowfall days(Jeju city). 15

Table 5. Value of snow cover for 3 years by regional in Jeju island (1993~2002 ; 850hPa temp., heat flux, max. wind). 16

Table 6. A value of Bowen's ratio on snowfall days by regional in Jeju island (1993~2002). 18

Table 7. Bowen's ratio and the temperature difference between air and sea by fresh snow cover rate in Jeju island (1999~2003) 18

Summary

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

This study is focused on the relationship between snowfall and the Bowen's Ratio (sensible heat flux/latent heat flux) through the calculation of heat exchange between air and sea for snowfall events from 1993 to 2003 in Jeju Island. 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 atmosphere such as wind, is compared with temperature difference between air and sea for snowfall. As the results, in the case of fresh snowfall, the minimum temperature differences between air and sea were 10.9°C, 12.3°C, 11.5°C and 14.3°C at Jeju, Seoguipo, Seongsanpo and Gosan, respectively, and the probabilities of fresh snowfall were 26%, 29%, 13% and 23%, respectively, when the temperature differences were higher than those. 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. That is, the probability of fresh snowfall with the Bowen ratio was higher than that with temperature difference between air and sea. This result might be because heat exchange by wind increases the probability

of snowfall in addition to the temperature difference between air and sea, and also the Bowen ratio. Therefore, snowfall forecast of Jeju Island is significantly influenced by the sea, the forecast with Bowen ratio seems to have higher reliability than that with the temperature difference between air and sea. The data analysis for 10 years(1993 ~ 2002) showed that when each fresh snowfall was 0.0 to 0.9 cm, average Bowen's ratio was 0.63 to 0.67, and when each fresh snowfall was 1.0 to 4.9 cm, average Bowen's ratio was over 0.72. Therefore, fresh snowfall increased with an increase of Bowen's ratio during snowfall.

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



I. 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 폐쇄해역에서는 한·난류에 의한 해양 운반열의 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-대기의 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 장(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, 바람장애 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 장출시의 대기와 해양간의 열교환특성 사례를 연구하여 겨울철 제주연안 해역에서 일어나는 국지적인 기상특성인 강설을 해양-대기의 열수지로 분석해 보았다. 제주도 주변해역의 지형은 북부해역인 제주시 해안을 중심으로 북쪽으로 10km지점 부근이 수심 125m, 제주도 북부앞바다 경계부근이 수심 110m로 경사가 급한 편이며, 북쪽으로 갈수록 수심이 깊어지다가 점점 낮아지며 북서쪽으로는 수심 100m보다 깊은 지역이 거의 없어 경사가 완만한 편이다. 제주도 남부해역은 서귀포 해안에서 남쪽으로 10km지점 부근이 수심 108m, 제주도 남부앞바다 경계부근이 수심 103m이며 남서쪽으로 22km 이내까지는 수심 100m 내외로 제주도 북서쪽 해역과 같이 경사가 완만한 편이다. 위와 같은 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.

II. 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, 수온 자료는 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).

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

여기서 P 는 대기압 (hPa), L 은 단위 질량당 증발잠열 ($589K/kg$), ρ_a 는 공기의 밀도 ($1.225kg/m^3$), D_e 는 증발의 무차원상수로서 Dalton수 (1.5×10^{-3} , Gill, 1982), W 는 풍속(m/s)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 비열, C_h 는 열전도의 무차원 상수로서 Stanton수 (1.10×10^{-3} , Smith, 1980), T_a 는 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_a 는 해수의 온도, 연안기상대에서의 기온, 해면온도에서의 공기의 증기압, 기온의 공기증기압을 의미한다.

III. 결 과

1. 열수지 분석

Fig. 1을 보면 제주연안 해역에서 일사량의 계절변화는, 겨울철(12~1월)에 $60 \sim 120 \text{ W/m}^2$ 의 범위를 보여 계절에 따라 해수면이 받는 일사량은 크게 차이가 나고 있다. Fig. 2에서 평균운량의 계절변화는 겨울철에 서귀포와 성산포지역에서는 $0.5 \sim 0.6(1/10)$ 이고 제주시와 고산지역에서는 $0.6 \sim 0.7(1/10)$ 정도로 제주도 북부와 서부지역에서 구름의 양이 많은 분포를 보여주고 있다. Fig. 3에서 지역별 평균 수증기압의 계절변화는 겨울철에 전 지점에서 $6.5 \sim 7.5 \text{ hPa}$ 로 거의 일정한 수증기압을 유지하고 있다. 지역별 해면의 장파복사량 Q_b 는 Fig. 4와 같이 겨울철(1, 2, 12월)에 서귀포 와 성산포지역에서 $-4 \sim -9 \text{ W/m}^2$, 제주시와 고산지역에서는 $-8 \sim -14 \text{ W/m}^2$ 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/s 로 제주도의 지형적인 영향과 겨울철 북서계절풍이 주원인으로 고산지역풍속이 타 지역보다 약 2~3배 강하게 나타났다. Fig. 6에 나타난 지역별 평균잠열속(Q_e)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 4개 전지역이 1월에 가장 큰 차이를 보인다. Fig. 8의 현열속(Q_h)분포는 고산지역을 제외한 3개 지역에서 비슷한 흐름이 나타났다. 고산지역에서 겨울철에 현열속 $115\sim 143\text{ W/m}^2$ 로 잠열속 $250\sim 320\text{ W/m}^2$ 보다 적게 방출하고 있다. 나머지 3개 지역도 겨울철 평균 현열속이 $30\sim 50\text{ W/m}^2$ 로 평균 잠열속이 $67\sim 100\text{ W/m}^2$ 보다 50% 낮게 나타났다. 또한 평균 해기차도 성산포와 고산지역이 4.3°C , 제주시 3.1°C , 서귀포 3.4°C 로 고산을 제외한 3개 지역 중 성산포 지역에서 해기차로 인한 현열속이 크게 나타나고 있다. Fig. 9의 지난 10년간 평균 현열속과 잠열속의 합은 $51\sim 198\text{ W/m}^2$ 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 평균 현열속과 잠열속의 합은 $106\sim 129\text{ W/m}^2$ 로 많은 양이 해양에서 대기로 열을 방출하고 있다. 전체적으로 잠열속 분포가 현열속보다 비교적 크게 나타난 것으로 조사되었다. 양(+)¹⁾의 흐름은 해양에서 대기로의 열속의 이동을 의미한다. 겨울철은 현열속과 잠열속 분포값이 비슷하게 나타나며 열교환이 활발하게 이루어진다. 10년간 서귀포지역의 겨울철 평균 현열속과 잠열속의 합은 $91\sim 105\text{ W/m}^2$ 로 제주시 지역보다 20 W/m^2 정도 작게 열교환 하는 것으로 조사되었다.

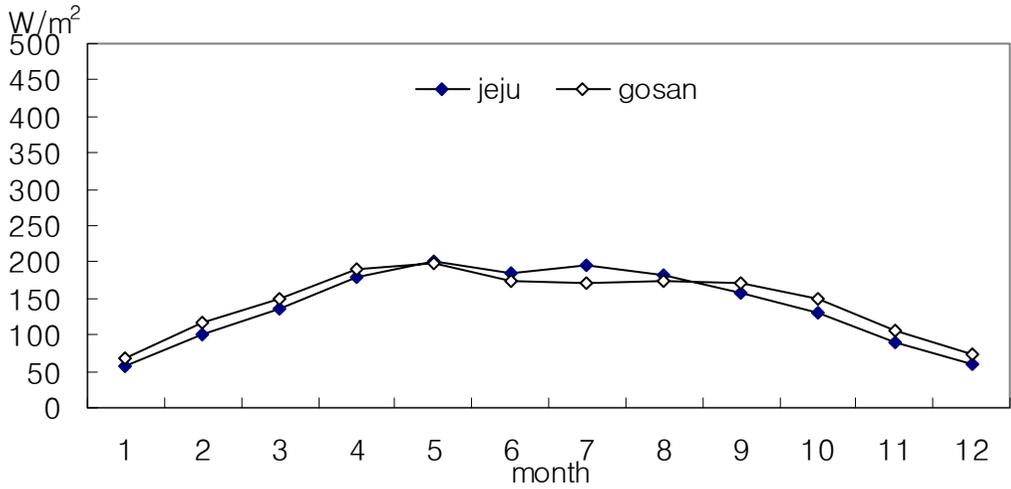


Fig. 1. Monthly means of short wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002).

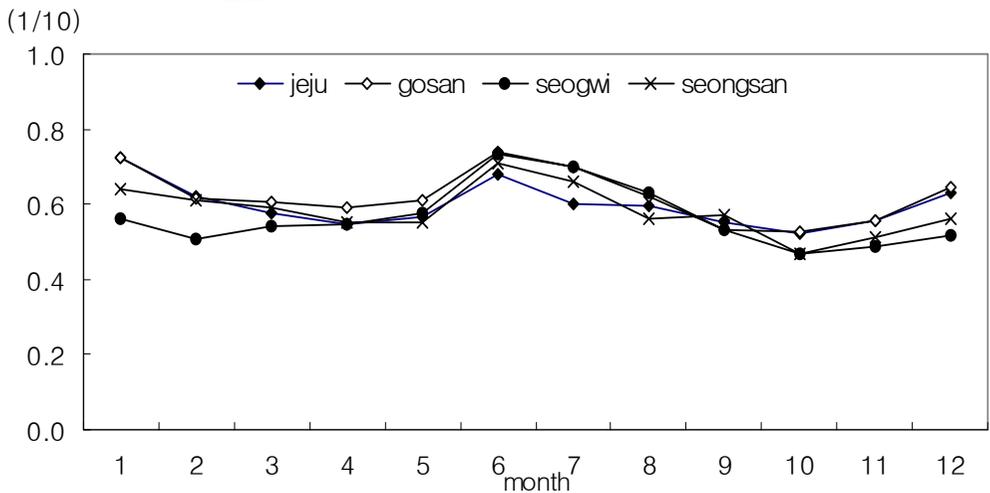


Fig. 2. Monthly means of cloud by region in Jeju Island(1993~2002).

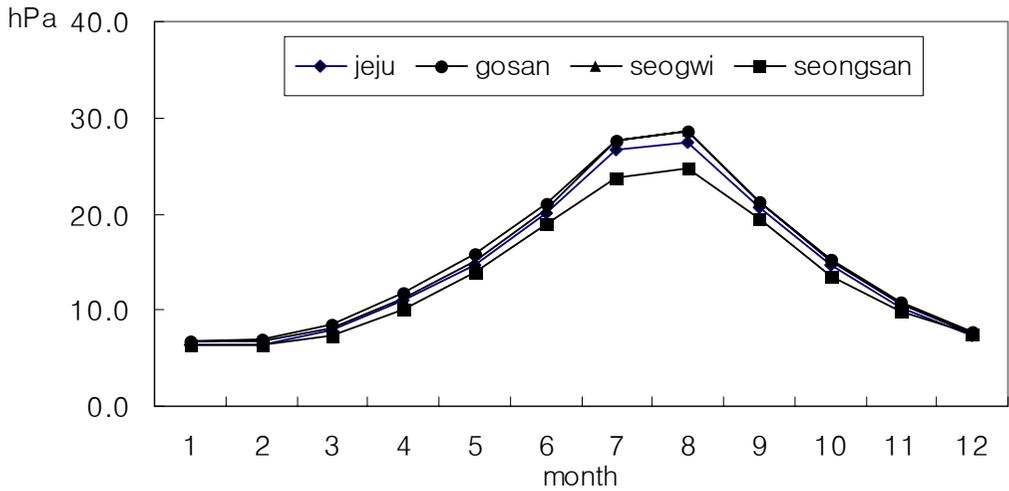


Fig. 3. Monthly means of vapour pressure by region in Jeju Island (1993~2002).

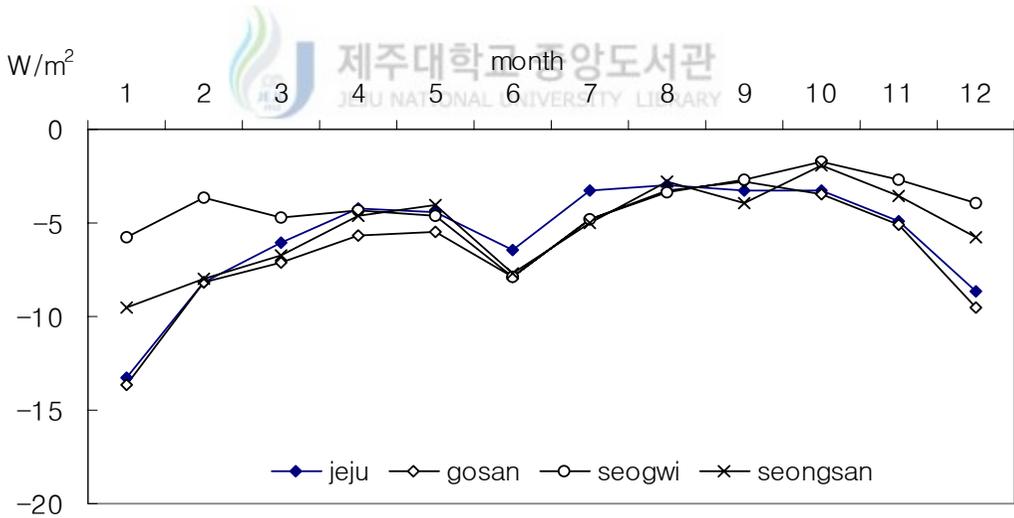


Fig. 4. Monthly means of long wave radiation by region in Jeju Island (1993~2002).

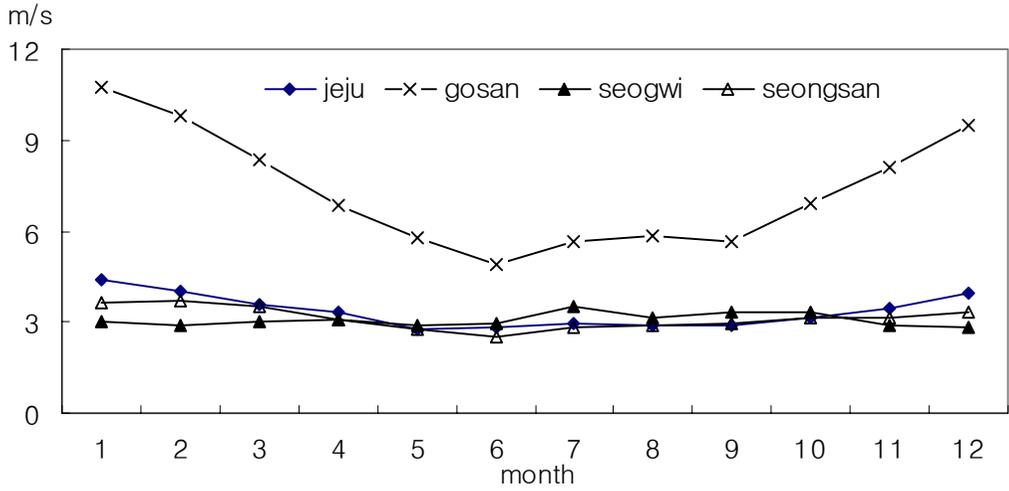


Fig. 5. Monthly means of wind speed by region in Jeju Island (1993~2002).

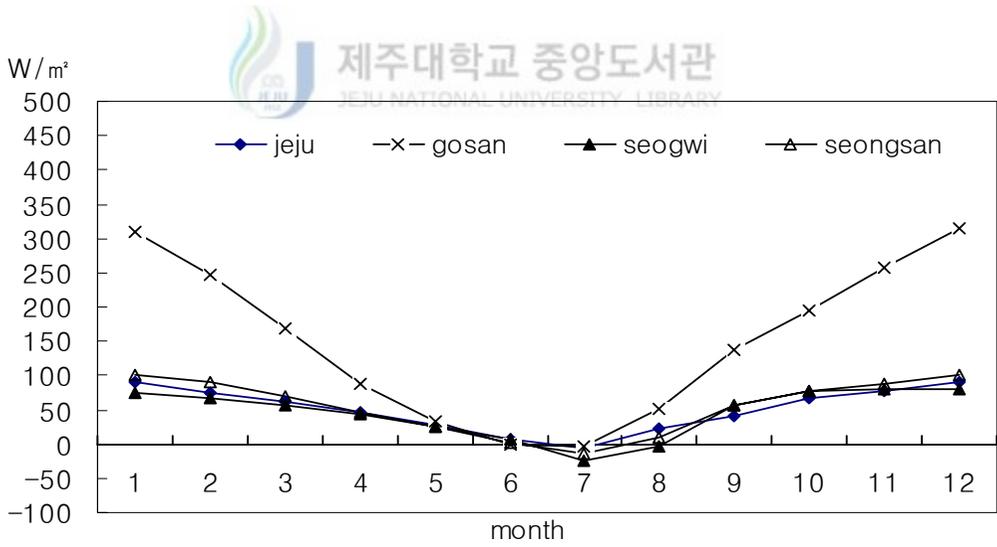


Fig. 6. Monthly means of latent heat flux by region in Jeju Island (1993~2002).

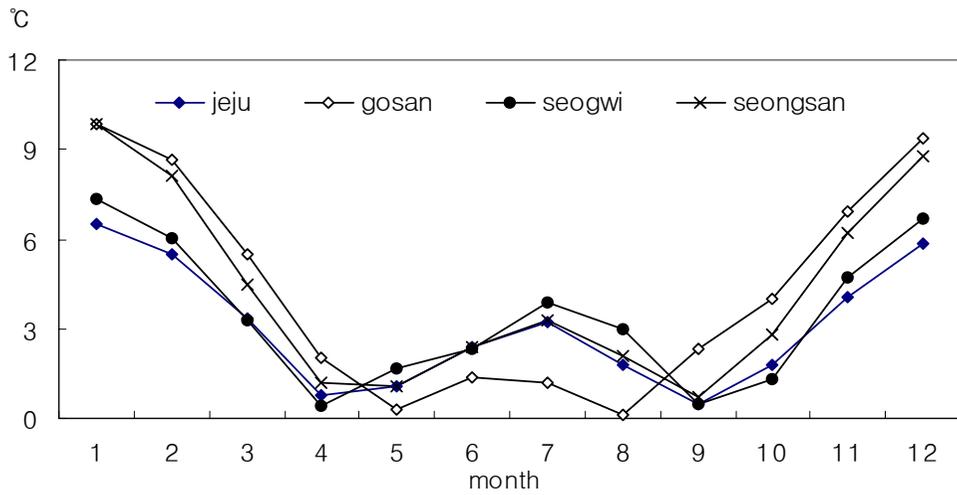


Fig. 7. Monthly means of the temperature difference between air and sea by region in Jeju Island (1993~2002).

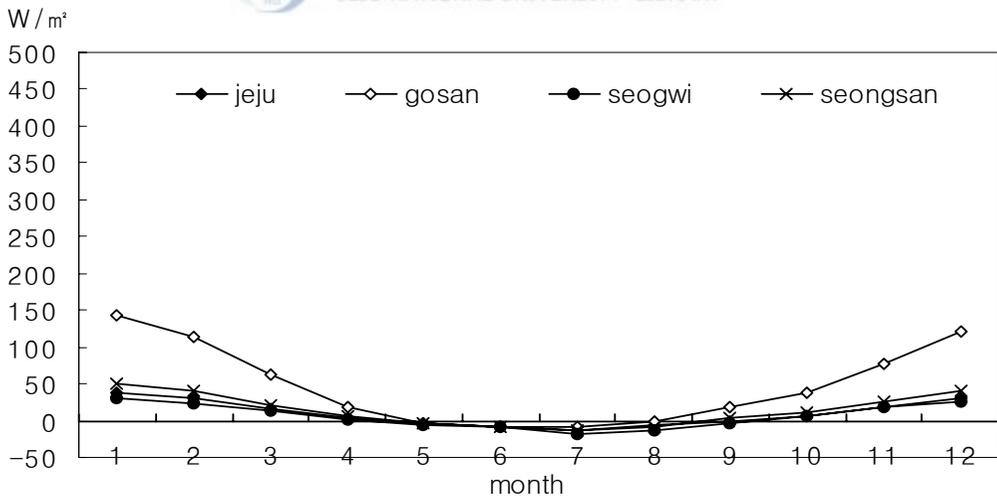


Fig. 8. Monthly means of sensible heat flux by region in Jeju Island (1993~2002).

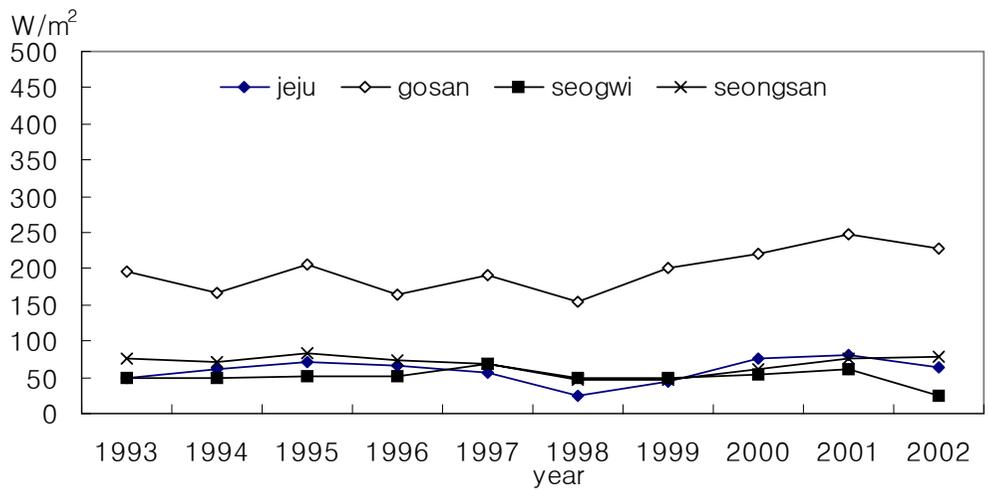


Fig. 9. Annual mean of heat flux($Qh+Qe$)by region in Jeju Island (1993~2002).

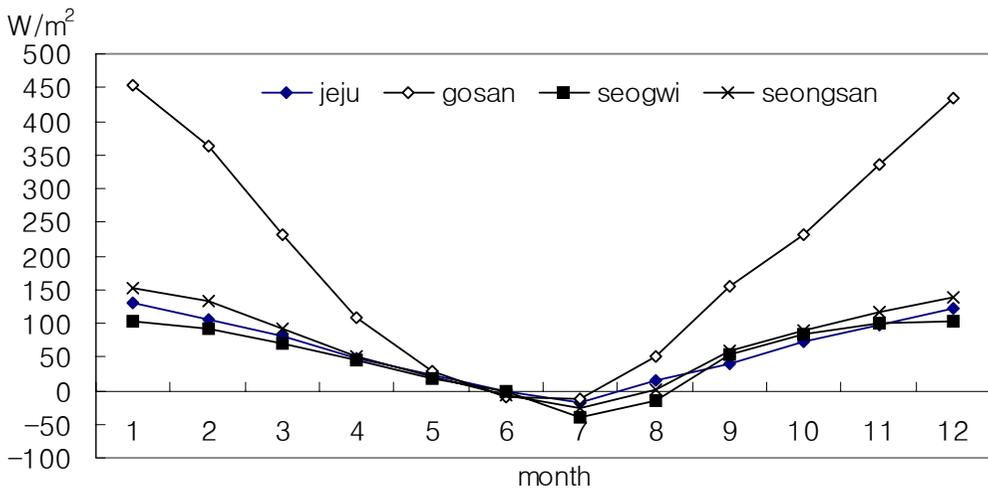


Fig 10. Monthly means of heat flux by region in Jeju Island (1993~2002).

2. 강설현상 일수(눈일수; Frequency of snow)

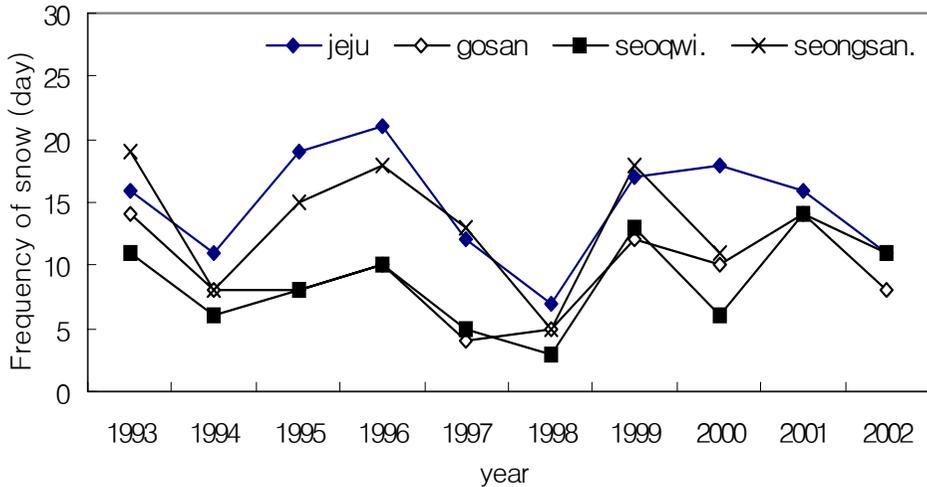


Fig. 11. Frequency of snow by regional in Jeju island(1993~2002)



최근 10년('93 ~'02)간 겨울철 평균 눈일수는 Fig. 11에서 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 지역 보다 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)

Station \ Month	1	2	3	11	12
<i>Jeju</i>	23.8	10.1	2.6	0	3.0
<i>Gosan</i>	3.2	1.8	0.1	0	1.7
<i>Seoqwipo</i>	18.0	4.7	0.8	2.0	9.4
<i>Seongsanpo</i>	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)

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

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

Station \ Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Jeju</i>	4.0	5.1	2.0	4.3	0.6	1.8	3.0	2.6	7.5	0
<i>Gosan</i>	0.5	0	0.9	0.4	0.3	0.6	1.7	0.3	1.3	0
<i>Seoqwipo</i>	5.1	4.8	0.2	4.4	1.2	2.7	2.5	1.0	1.5	0
<i>Seongsanpo</i>	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 월평균 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.

3. 제주연안의 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 °C로 최저 차를 보이고 1997년 1월 6일경에 12.7 °C로 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/m², 925 hPa 기온은 -4.7 °C이고 850 hPa 기온은 -9.6 °C로 나타났으며 1.1 ~ 5.0 cm 적설시 열수지량은 평균 253 W/m², 925 hPa기온은 -5.6°C이고 850 hPa 기온은 -10.6 °C이다.

5.0 cm이상 적설시 열수지량은 평균 218 W/m^2 , 925 hPa 기온은 $-6.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 이고 850 hPa 기온은 $-11.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다.

이와 같이 적설시 평균 해면 열수지량은 261 W/m^2 로 나타나며 보웬비 평균 0.6 이상이고 상층의 기온은 925 hPa 에서 $-5.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 이고 850 hPa 기온은 $-10.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 나타났다.



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

date	sea level pressure (P)	wind (W)	air-sea temp.(°C)	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
1993.02.22	1,017.2	10.7	7.6	0.8	110	239
1993.02.23	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

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(%)	
	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

Table. 5의 최대풍속을 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/m², 성산포 지역은 141 W/m²로 성산포 지역이 해양에서 대기로 열교환량이 22 W/m²정도 높게 나타난다.

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

4. 강설현상(신적설)과 보웬비(Bowen's ratio)의 상관성

신적설과 보웬비의 상관관계를 지난 10년간 통계적 자료를 분석하여 Fig. 12와 같이 나타냈다.

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.

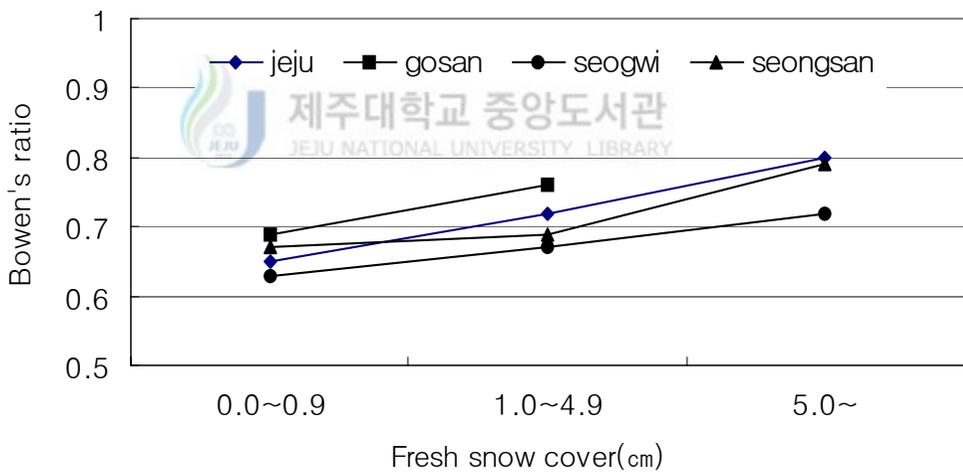


Fig. 12. Relationship between fresh snow cover and Bowen's ratio by regional in Jeju island (1993~2002)

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

	No Snowfall	snowfall		fresh snow cover	
		min.	mean	min.	mean
<i>Jeju</i>	≤ 0.46	0.46	0.65	0.56	0.71
<i>Gosan</i>	≤ 0.53	0.53	0.65	0.54	0.71
<i>Seogwipo</i>	≤ 0.45	0.45	0.61	0.52	0.66
<i>Seongsanpo</i>	≤ 0.51	0.51	0.69	0.65	0.75

Table 6은 지난 10년간(1993~2002년) 지역별 강설현상 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 북부 지역보다는 제주 동남지역에 강설량이 많이 나타나는 결과이기도 하다.

Table 7. Bowen's ratio and the temperature difference between air and sea by fresh snow cover rate in Jeju Island(1999~2003).

	Temperature difference between air and sea (°C)	fresh snow cover rate	Bowen's ratio	fresh snow cover rate
<i>Jeju</i>	10.9	26	0.59	33
<i>Gosan</i>	14.3	23	0.65	58
<i>Seogwipo</i>	12.3	29	0.60	70
<i>Seongsanpo</i>	11.5	13	0.65	31

Table 7은 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 각각 10.9℃, 14.3℃, 12.3℃, 11.5℃이었으며 그 이상의 해기차에서 신적설 확률은 각각 26%, 23%, 29%, 13%이었다. 그러나 Table 7에 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.

5. 지난 3년간(1999~2001. 1) 제주지역별 보웬비의 1월 특성

제주시 지역의 보웬비 (Q_h / Q_e)로 최근 3년간 최소 0.6 이상의 비율로 나타나며 해기차가 10.9℃이상, 850 hPa 기온이 -10℃이상의 값으로 조사되며 이러한 조건에 해당되는 날은 눈이 왔는데 최심 신적설이 없는 경우가 있었다(Fig. 13~15). 고산 지역은 2001년도 신적설시 0.6이상의 비율로 조사되었으나 해기차는 14.3℃ 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. 16~18). 서귀포 지역은 3년간 최소 0.56이상의 비율로 나타나며 해기차가 12.3℃이상, 850 hPa 기온이 -10℃이상의 값으로 조사되었다(Fig. 19~21). 성산포 지역은 3년간 최소 0.65이상의 비율로 나타나며 해기차가 11.5℃이상, 850 hPa 기온이 -11℃이상의 값으로 조사되었다(Fig. 22~24). 제주도 4개 지역에서 최심 신적설시 대설조건인 3년간 자료를 조사해본 결과 지역적으로 해기차 및 850 hPa 기온차가 있으나 보웬비는 대부분 0.6 이상으로 나타났다.

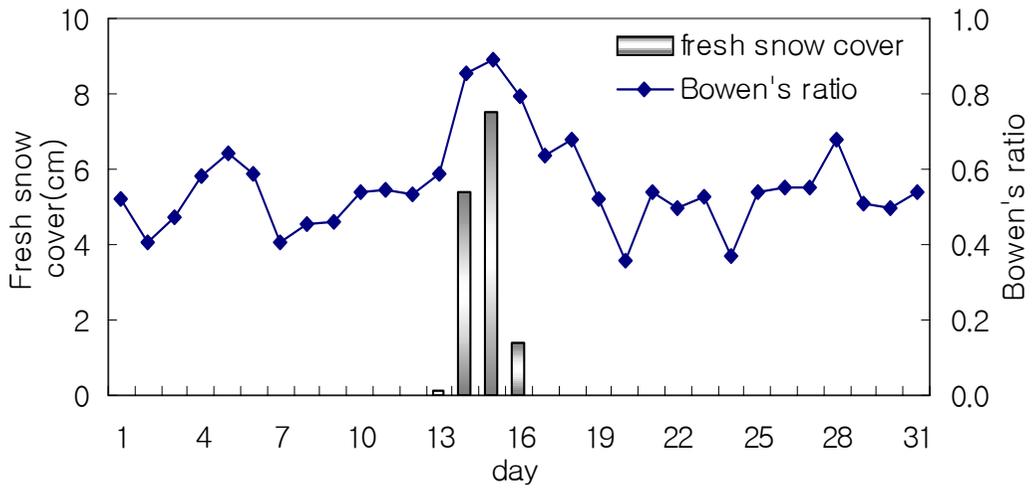


Fig. 13. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city(January 2001)



Fig. 14. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city(January 2000)

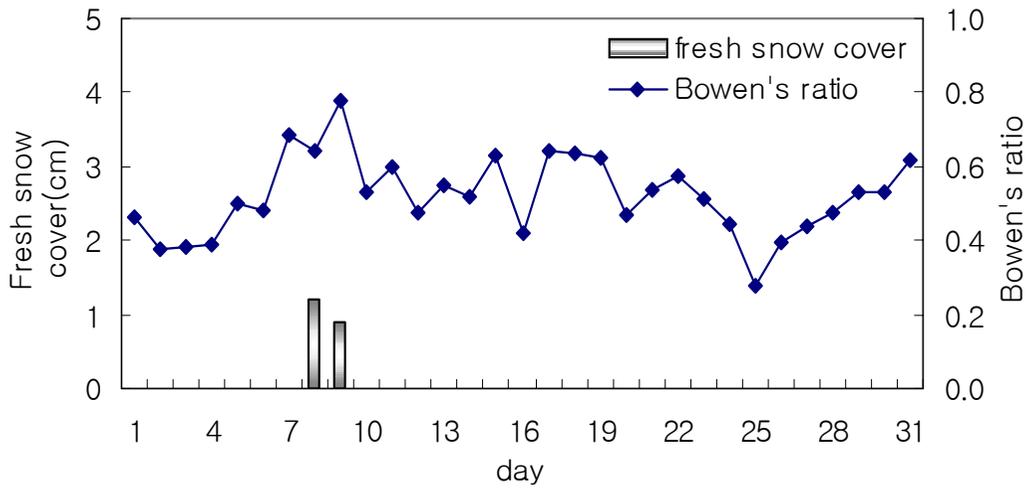


Fig. 15. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Jeju city(January 1999)

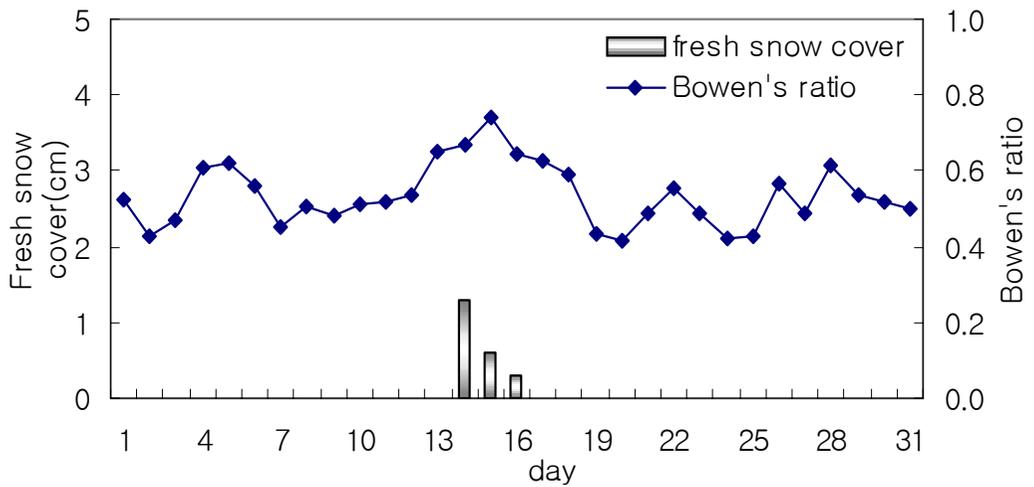


Fig. 16. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 2001)

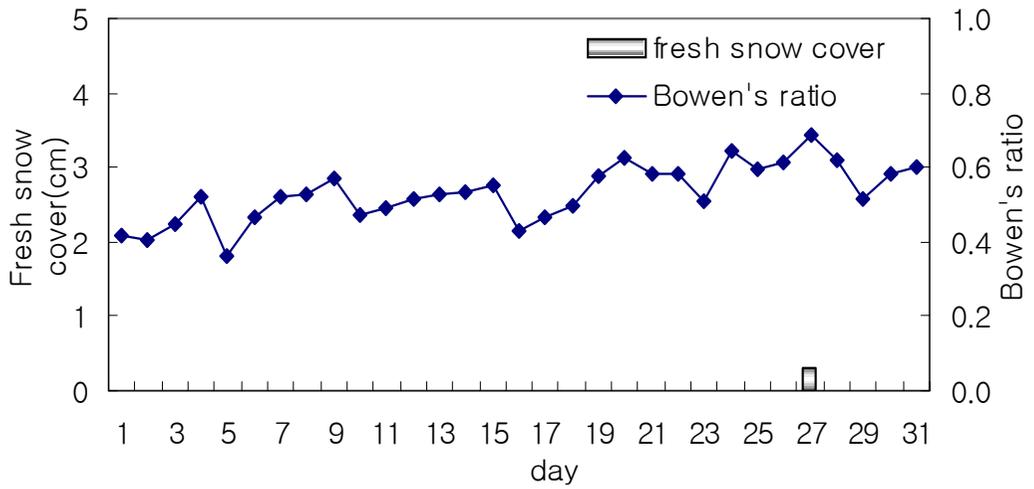


Fig. 17. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 2000)

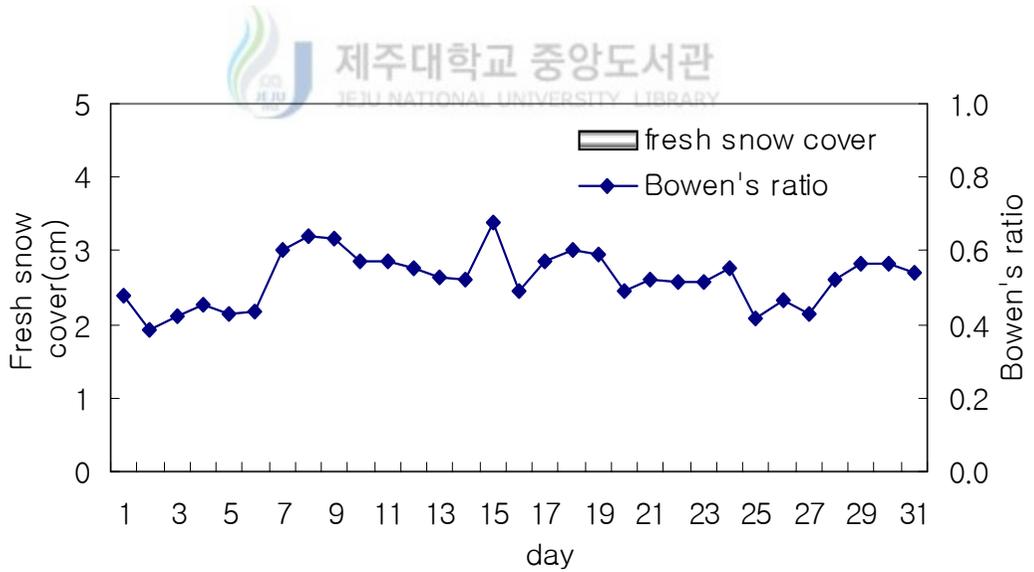


Fig. 18. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Gosan (January 1999)

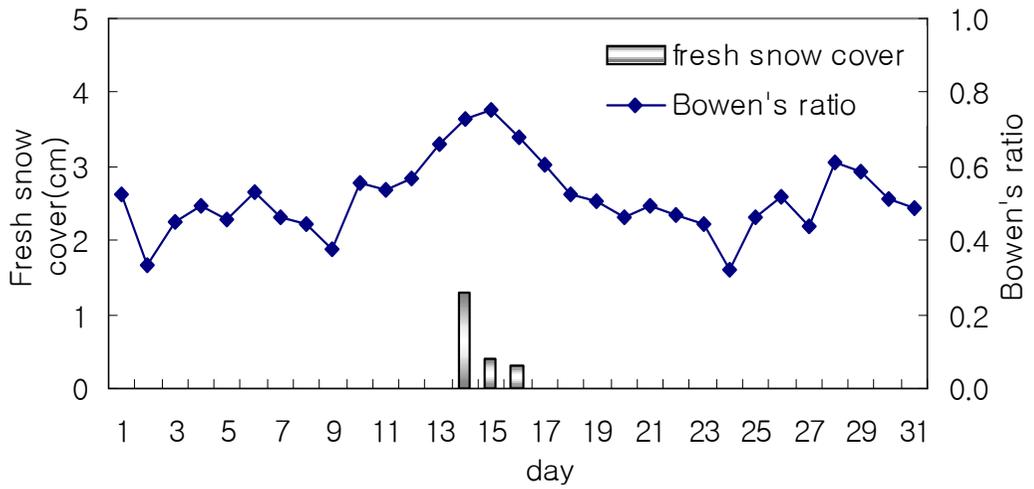


Fig. 19. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 2001)

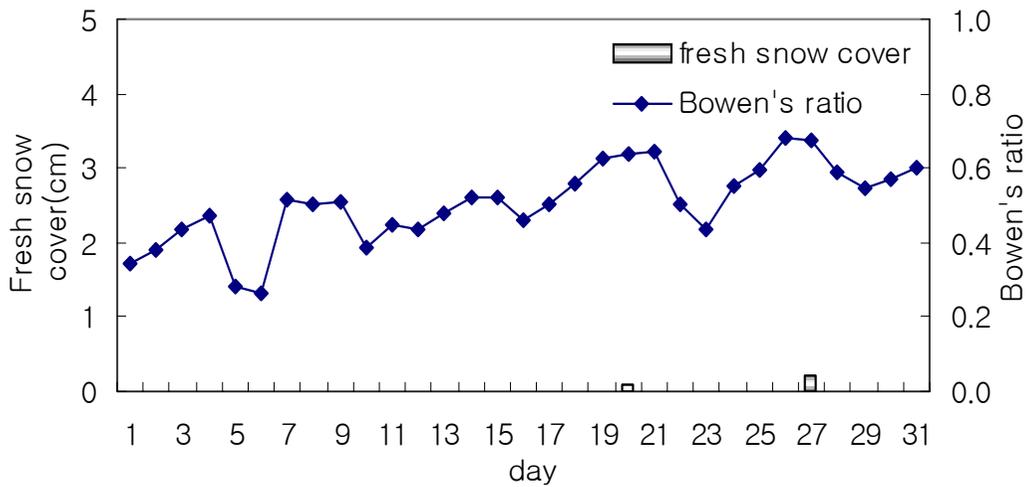


Fig. 20. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 2000)

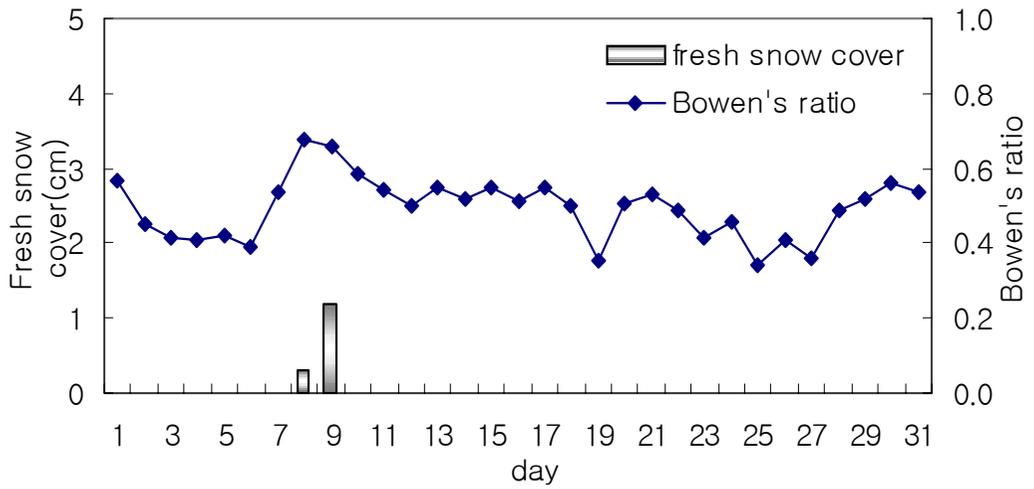


Fig. 21. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seoqwipo (January 1999)

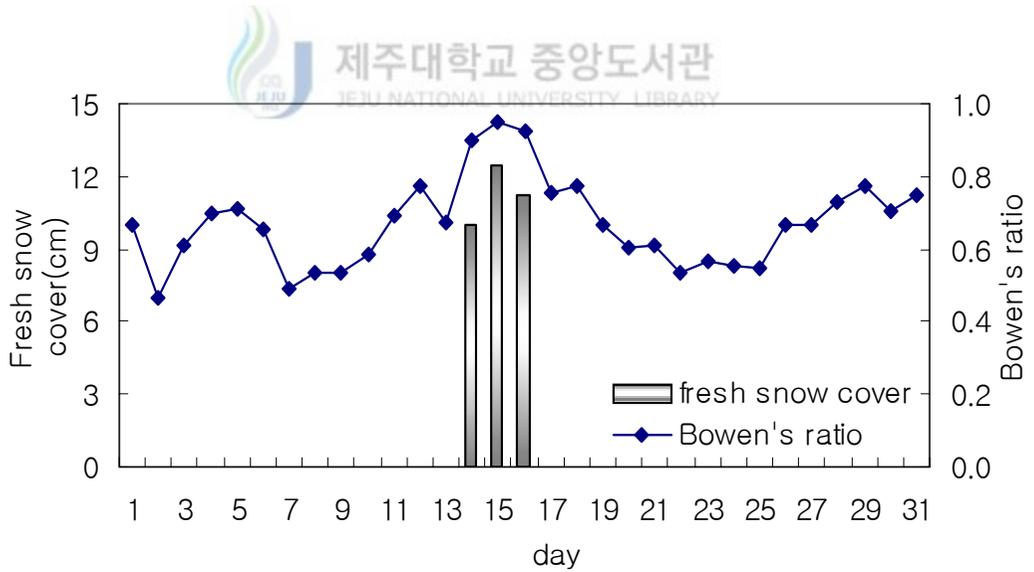


Fig. 22. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 2001)

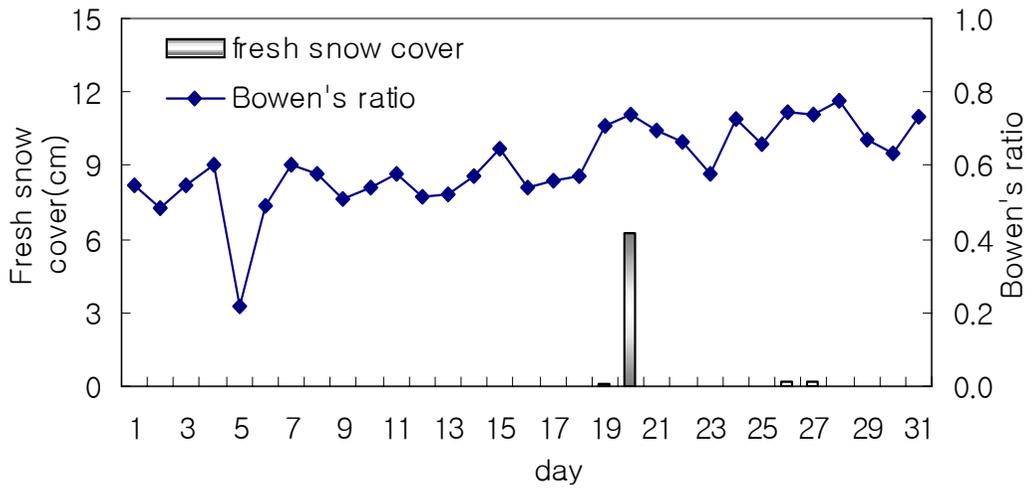


Fig. 23. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 2000)

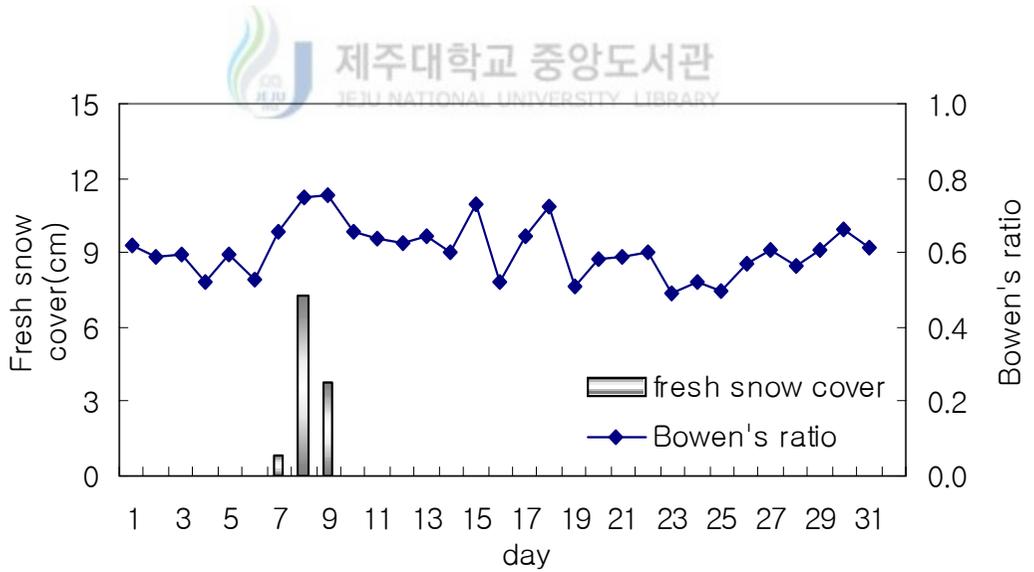


Fig. 24. Change of fresh snow cover and Bowen's ratio in Seongsanpo (January 1999)

6. 해기차와 보웬비를 이용한 사례분석

지난 10년간 통계자료를 분석한 결과를 가지고 최근에 나타난 강설현상으로 제주연안에 국지적 강설현상이 나타난 2003년 12월 26일과 제주연안 전지역에 강설현상이 나타난 2004년 1월 24일인 사례이다.

첫 번째 사례인 경우 최저해기차와 보웬비는 지역별 기준에 도달하지 못하였으나 강설현상이 나타난경우로 실황은 오전에 소낙성 비가 내리면서 오후들어 소낙성 눈으로 변질되었으며, 해기차는 10.1℃, 제주시 보웬비는 0.50으로 나타났다.

2003/12/26	☎0504-0525. ☎0743-☎0900-0910. ☎1115-☎1200-1330. ☎1430-☎1500-1540. ☎1610-☎1800-1955. ☎2202-2325
------------	---

두 번째 사례인 경우 제주대학교 중앙도서관 최저해기차와 보웬비는 지역별 기준에 도달하여 강설현상이 나타난경우로 실황은 오전부터 소낙성 눈이 왔고 오후에 천둥현상이 있었으며, 해기차는 11.5℃, 제주시 보웬비는 0.64로 나타났다.

2004/1/24	☎0225-☎0300-☎0600-0750. ☎1232-1243. ☎1337-☎1500-1624. ☎1715-☎1800-2015. T(NW)1608.
-----------	--

11) 일기도분석 【2003년 12월26일】

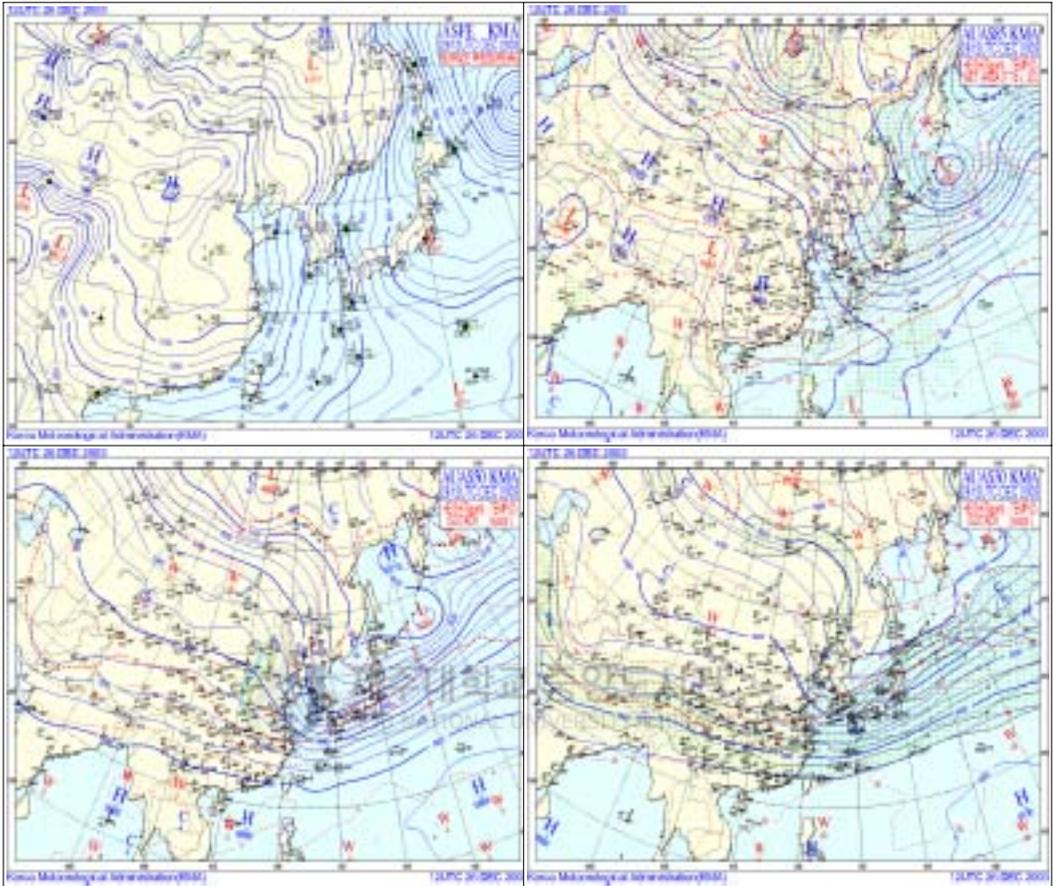


Fig. 25. Analysis weather charts(Dec., 26th, 2003).

몽골리아 지방에 중심을 두고 있는 차가운 대륙고기압과 일본 홋카이도 서쪽에 중심을 두고 있는 저기압의 사이에 위치한 우리나라는 강한 기압경도를 이루는 서고동저형의 기압배치를 이루고 있으며, 서해안에 위치한 온도골은 동해상으로 진행하고, 북한지방의 단파골(39N, 125E)은 와를 동반하여 남동진하며 sub-jet는 남해상을 지나고 있음.

2) 일기도분석 【2004년 1월24일】

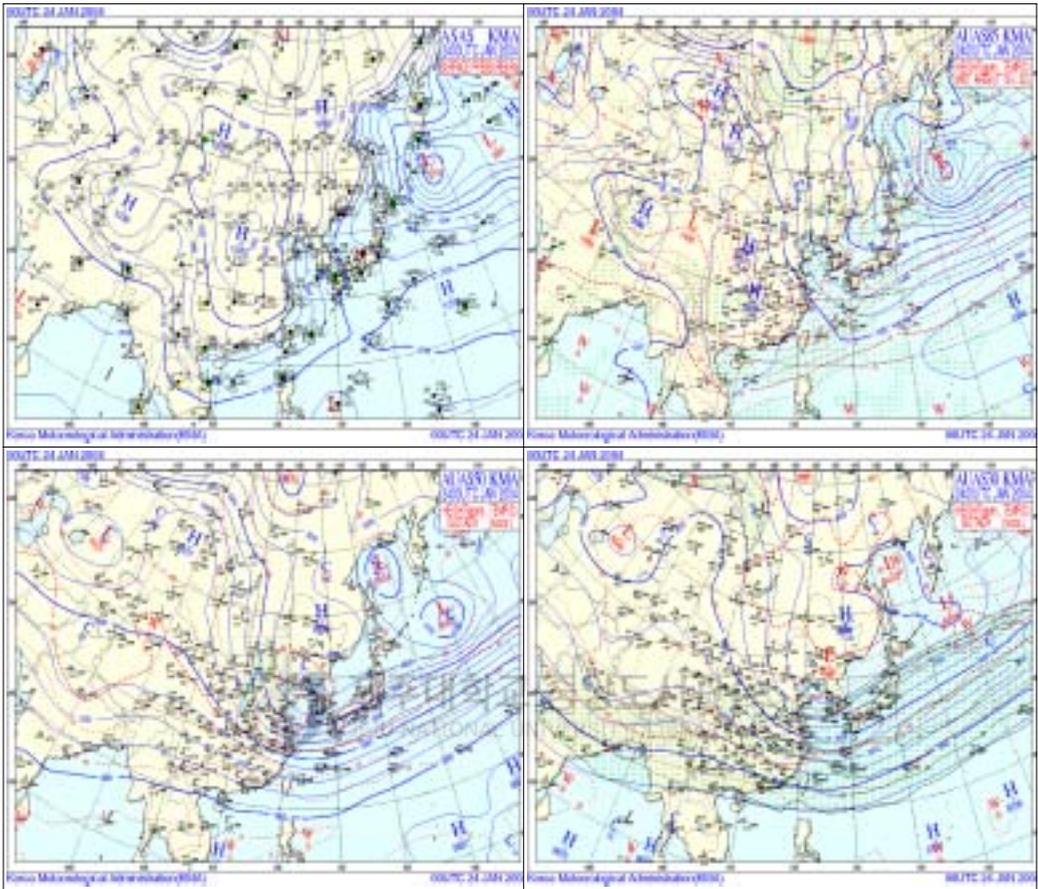


Fig. 26. Analysis weather charts(Jan., 24th, 2004)

몽고남부에 중심을 둔 찬 대륙고기압은 중국대륙으로 확장하며 우리나라 쪽으로 느리게 이동하고 있어 서해상의 약한 저기압성 Wave는 남하하며 소멸되고 있으며, 일본 동쪽의 저기압은 중심을 축으로 크게 회전하고 있어 동쪽으로 이동이 느려지고 있고, 장파골 서쪽연변에 들어 북서풍이 다소 강하게 유입되고 있으나 골 중심이 점차 동쪽으로 이동되어 우리나라부근에는 서풍류로 바뀌고 풍속도 점차 줄며, 우리나라는 장파골에 들어있으며 완만한 trough가 남부지방에서 상해부근으로 형성되어 동진하여 제주도 먼 남쪽해상으로 강우대가 지나고 있으며, jet축이 zonal 하게 남해상을 중심으로 지나고 있음.

3) 하층수렴역 및 연직상승류(925hPa Divergence, 850hPa Omega)

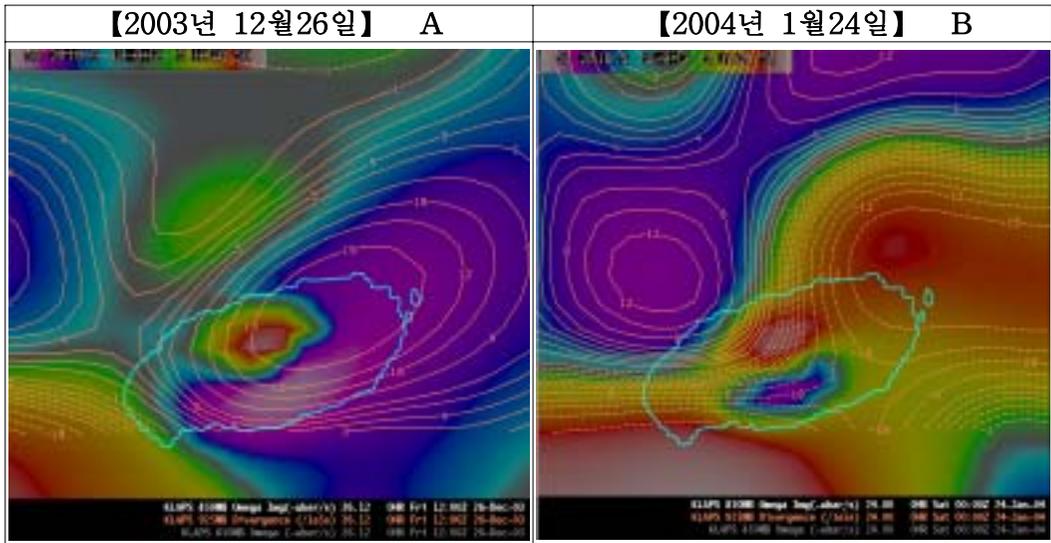


Fig. 27. 925hPa Divergence, 850hPa Omega

위 그림은 KLAPS자료로서 925hPa Divergence, 850hPa Omega를 분석한 것이다. 그림 A에서 925hPa Divergence는 제주서부연안에 수렴역이 존재하고 그 이외의 지역은 약하게 발산역이 위치하고 있다. 그러나 850hPa Omega에서 제주북부연안 과 제주서부연안을 제외한 지역에 강한 연직상승류가 생김으로서 한라산 이남지역에 대류가 불안정함을 볼 수 있다.

그림 B에서 925hPa Divergence는 제주북서부연안을 제외한 제주연안지역에 강한 수렴역이 존재하고 있다. 그러나 850hPa Omega에서 제주북서부연안과 한라산 이남지역에 약한 하강기류가 존재하고 있으나 그 이외의 전지역에서 강한 연직상승류가 생김으로서 제주전지역에 강설현상을 동반한 대류가 불안정함을 볼 수 있다.

4) 상당온위 및 포차(850hPa Equiv Pot Temp(K), 700hPa Dewpoint Dep(°C))

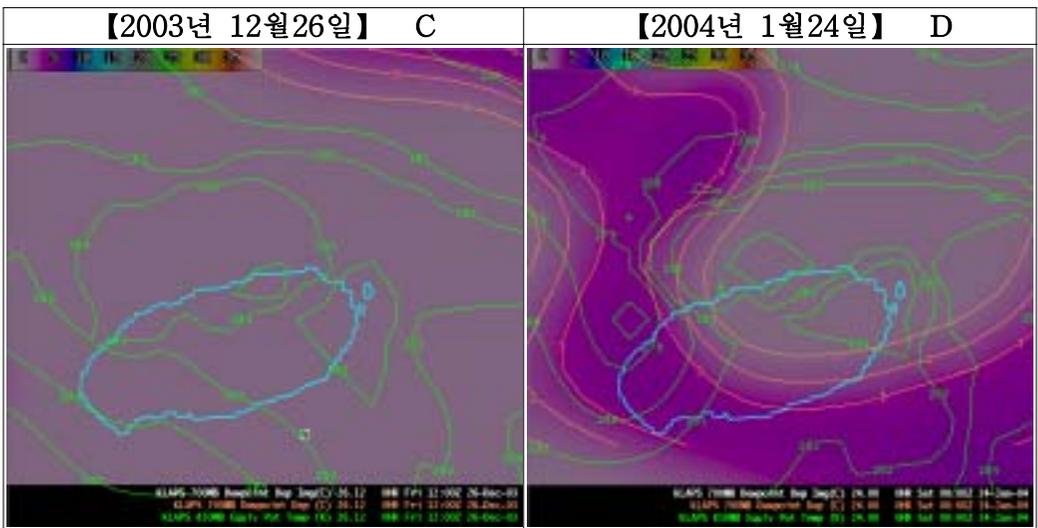


Fig. 28. 850hPa Equiv Pot Temp(K), 700hPa Dewpoint Dep(°C)

그림 C에서 700hPa Dewpoint Dep는 제주 연안 및 제주도 주변해역까지 습수가 1로서 강한 습윤역이 존재하고 있다. 850hPa Equiv Pot Temp(상당온위) 분포도는 제주북부와 남부연안에 283K, 제주서부연안에 285K, 제주동부연안에 282K로 나타났다. 이 분포도는 제주서부연안에 난기이류성 상승류가 나타나고 있으나 제주연안 주변에 상당온위의 조밀구역은 넓게 분포하고 있다. 반면에 그림 D에서는 850hPa Equiv Pot Temp 조밀구역이 제주북서부연안과 제주동부연안에 온도골이 형성되어 있어 강한 상승류가 있음을 알수있다. 700hPa Dewpoint Dep는 3이하로 나타났고 특히, 제주동부연안쪽에 강한 습윤역이 존재하고 있어 제주연안주변에 강설현상이 나타날 수 있는 조건이 충분하였다.

5) 등온선 및 Q벡터 (850hPa Temperature, Q Vectors)

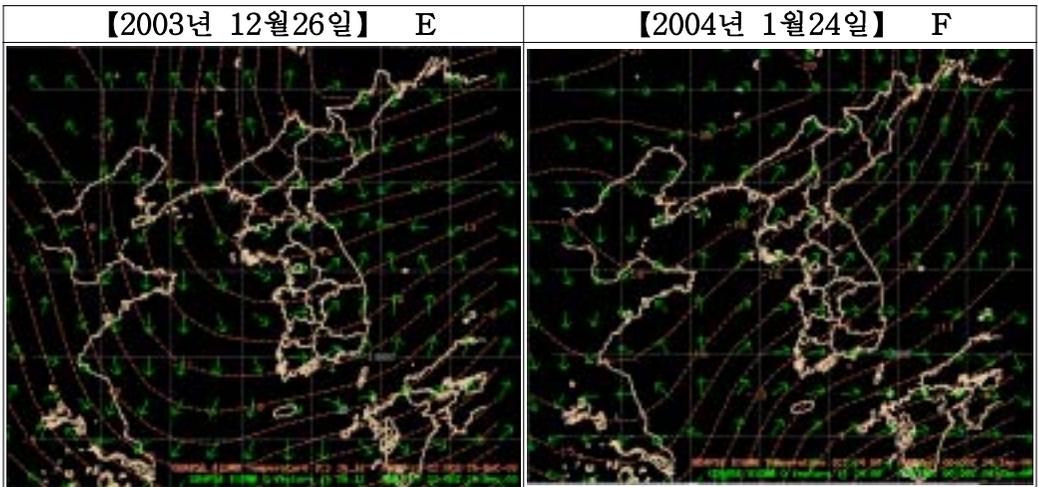


Fig. 29. 850hPa Temperature, Q Vectors

위 그림은 GDAPSE 수치예보자료이다. 그림 E에서는 우리나라 동해상에 강한 수렴역을 모의하고 있고 제주주변해역은 약한 온도골이 있으나 Q Vectors는 등온선과 수직방향으로 서해상으로부터 강한 상승류를 모의하고 있다. 그러나 그림 F에서는 제주도앞바다에 Q Vectors가 등온선과 나란히 남서쪽으로 평행하게 진행하면서 난기성이류가 계속해서 유입하는 것으로 모의하고 있다. 이는 제주연안에 북서쪽에서 내려오는 한기와 난기성이류가 만나 강한 대설을 예상할 수 있는 자료로 분석된다.

6. 남북연직단면(Div Q, wind(kts))

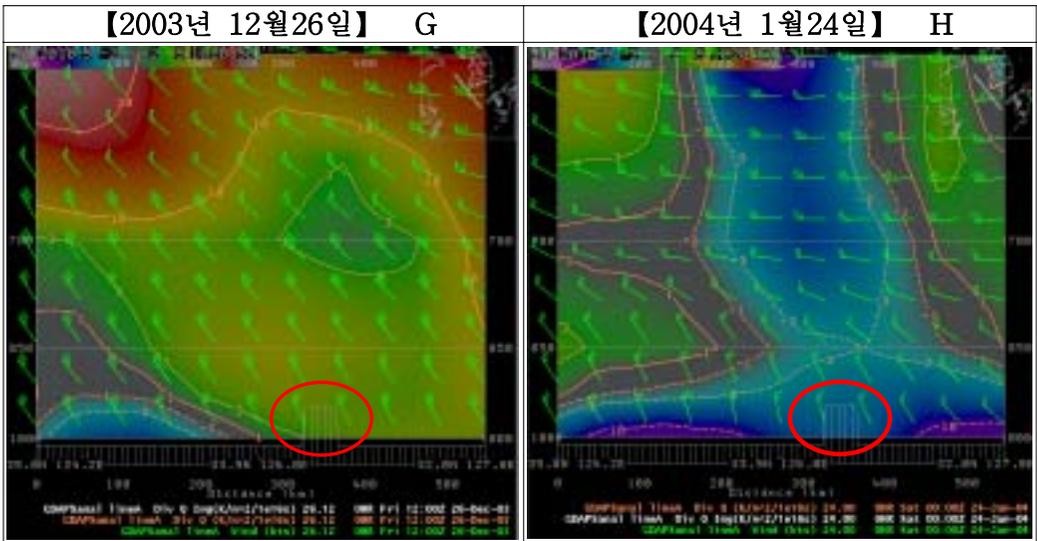


Fig. 30. South and North vertical a section in Jeju island (Div Q, wind(kts))

위 그림은 제주도지방을 중심으로 남북 연직단면을 분석한 자료이다. 그림 G는 하층에서 상층까지 북서풍계열이 바람이 강하게 불고 있으며 제주도 북부해역에 Div Q는 강한 수렴대를 형성하고있으나 그 이외의 제주도 주변해역은 약하게 발산역이 위치하였다. 그러나 그림 H는 하층에서는 북서풍이 불고 있으며 약한 바람이 존재하고 중층부터 상층까지는 서풍계열 바람이 불고 바람강도도 약하게 존재한다. Div Q는 제주도 주변해역을 중심으로 강한 수렴대가 형성하고 있어 대류가 불안정함을 분석하고 있다.

IV. 결 론

1993년부터 2003년까지 제주지방기상청, 국립해양조사원, 국립수산물과학원 자료를 이용하여 제주연안에 강설을 수반하는 cP확장시의 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 최저해기차는 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 7에 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 장출시의 대기와 해양간의 열교환특성 사례에서 보웬비가 증가할수록 강설량이 많고 강설확률이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 강인식 · 이동일 · 민경덕, 1991. ECMWF 자료를 사용하여 구한 동아시아 지역의 여름철 강수와 수증기 수송의 계절변화. 한국기상학회지, 27, 241-255.
- 김맹기 · 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.
- 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.
- 안중배 · 류정희 · 조익현 · 박주영 · 류상범, 1997. 한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해면 온도와와의 상호관계에 관한 연구. 한국기상학회지, 33, 1-10.
- 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 강설 지역 구분, 한국기상학회지, 35(3), 466-473.

- 최종민 · 이동규, 1991. 1984년 9월 1~3일 한반도에서 발생한 오후의 열과 수분수지 한국기상학회지, 27, 267-280.
- 한영호, 1972. 1월의 동해 남서해역에서의 열수지와 대한해협 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.
- 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.



겨울철 cP 확장시 제주연안에 강설을 수반하는 대기과 해양간의 열교환특성 사례연구

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 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 바람에 의한 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