

## 동계 서해의 해황과 적설 특성

고우진\* · 김상우 · 장이현 · 최용규 · 양준용

\*국립수산과학원 환경연구부

# Snowfall and Ocean Conditions Characteristic in the West Sea of Korea in Winter

Woo-Jin Go, Sang-Woo Kim, Lee-Hyun Jang, Yong-Kyu Choi, Joon-Yong Yang

Division of Ocean Research, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-705, Korea

**요 약 :** 동계 한반도의 기후에 큰 영향을 미치는 한랭 건조한 대륙성고기압이 서해를 거쳐 한반도로 확장해 올 때 서해 연안지역의 적설량과 서해의 해황이 어떻게 상호 영향을 미치는가를 알아보았다. 서해 연안지역의 적설량은 인천은 1월, 2월과 12월, 군산과 목포는 1월, 12월과 2월 순으로 적설량이 많다. 한랭 건조한 대륙기단의 중심이 서해를 통과하는 경우가, 서해를 통과하지 않는 경우보다 인천지역에서는 약 3.4배, 군산에서는 약 2.5배 정도를 해양으로부터 많은 열을 흡수한다. 또한, 서해 연안지역에서 1일 10 cm 이상의 대설이 발생한 기간에는 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 약 100 W/m<sup>2</sup> 이상이다. 대설이 발생한 시기의 기압배치는 중국 북부 지방이나 중부 지방에 고기압이 위치하고, 동해상이나 일본 열도상에 저기압이 존재하여 서해 또는 한반도에서 전선이 형성되는 서고동저형의 특징을 보인다. 한편, 대설이 발생한 기간동안 서해 연안지역의 풍향은 북풍 또는 북서풍이 우세하고, 풍속은 4~8 m/sec 정도이다.

**핵심용어 :** 해황, 적설량, 잠열, 현열

**ABSTRACT :** This study was conducted to find out the effects of relationship between ocean conditions and snowfall when cold and dry continental air mass passes through the West Sea of Korea. Route of continental high atmospheric pressure can cause effect on snowfall at the west regions (Inchoen, Gunsan, Mokpo) of the Korean Peninsula. The continental high atmospheric pressure extend from the southern China to western coastal region of the Korean Peninsula during the December, and it extend from the north side of China through Bohai Sea and Yodong Peninsula to central area of the Korean Peninsula during the February. Therefore, more snowfall recorded in Incheon is higher during Feb. than Dec., whereas Gunsan and Mokpo is the opposite. The heavy snowfall at the western coastal region of Korea was caused by loss of the heat from the ocean to air when it's higher than 100 W/m<sup>2</sup>. the heavy snowfall was also observed when the arrangement of continental high atmospheric pressure and low pressure was high at the West and low at the East, which formed a front in West and when the wind blow from the North or North West at the speed of 4~8m/sec. There were not much relation between salinity in the western sea and snowfall in the western coastal region of Korea.

**KEY WORDS :** Ocean Conditions, Snowfall, latent heat, sensible heat

### 1. 서론

동계 한반도의 기후에 가장 큰 영향을 미치는 한랭 건조한 대륙성고기압은 서해를 거쳐 한반도로 확장해 올 때 상대적으로 따뜻한 서해로부터 열과 수증기를 흡수함으로써 서해의 해황에 많은 영향을 미친다(민, 1974; 박, 1984; 송, 1993). 특히 서해는 수심이 얇고 중국대륙과 한반도에 의해 둘러싸여 있는 반폐쇄적인 해역으로 동해나 남해 보다 기상의 영향을 더 많이 받고 있다

최 등(1999)은 서해에서 열교환량의 연변화 진폭은 남부해역

이 중앙해역과 연안해역에 비해 매우 크다고 하였으며, 인천 연안역에서 순열속의 분포는 3월에서 10월까지 대기에서 해양으로 열전달이 있고, 11월에서 2월까지는 해양에서 대기로 열전달이 있음을 밝혔다.

서해에서 해양과 대기간의 상호작용에 대한 연구결과를 살펴보면, 한 등(1978)은 동계 황해에서의 열수지가 동중국해에서 황해 냉수세력과 상관관계가 높다고 하였고, Cho and Cho(1988)는 하계에 서해에서 기온과 수온 사이에 r=0.44의 상관관계가 있다고 하였다. 서해 연안지역은 해양과 대기의 상호작용에 의해 동계에 많은 적설량을 보이며, 이는 시베리아에서 발원한 한랭한 기단이 중국 대륙을 거쳐서 상대적으로 온난한 서해를 통과하여 한반도로 진출할 때 상호 영향을 미치기

\* wjgo@nfrdi.re.kr 051)720-2220

때문으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 동계 서해에서의 해황과 서해연안지역의 적설량이 어떻게 상호 영향을 미치는 가를 알아보았다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 해황자료

동계 서해의 해황과 적설의 관계를 알아보기 위하여 서해의 대표적 연안 지역인 인천, 군산, 목포에서 관측된 국립수산과학원 연안정지관측 수온자료를 이용하였다. 또한 국립수산과학원 서해수산연구소에서 42년간(1961~2002) 조사한 염분자료를 이용하였다(해양조사연보, 1962~2003). 연구대상 해역은 동경 124°E~127°E, 북위 34°N~37°N 으로서 6개정선(307, 308, 309, 310, 311, 312)의 51개 정점을 포함 한다(Fig. 1).

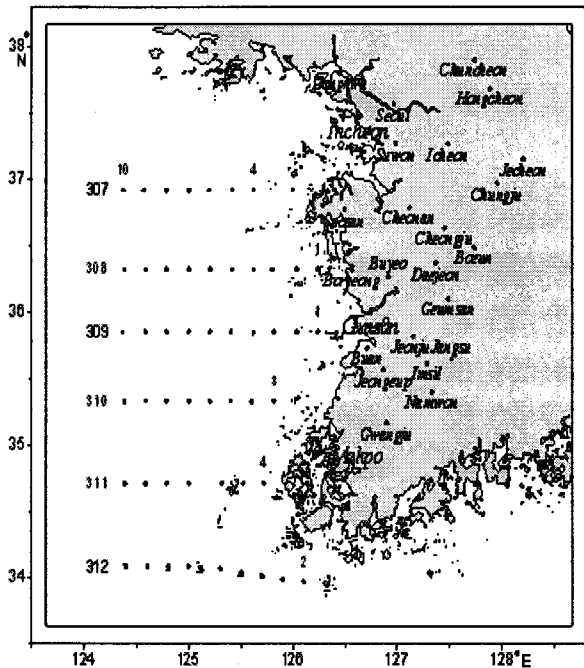


Fig. 1. Location of the oceanographic(NFRDI) and metrological(KMA) stations used for studies. (NFRDI is National Fisheries Research and Development Institute, KMA is Korea Meteorological Administration).

### 2.2 기상자료

서해 연안지역 기상요인의 변동 특성을 파악하기 위하여 기상청 3개 측후소(인천, 군산, 목포)에서 관측한 1992년부터 2002년까지 11년간의 일일 적설량, 바람 자료를 이용하였으나, 본 연구발표에서는 인천을 대상으로 한 결과만을 제시하였다.

또한, 한반도 서부지역 대설 발생 특성을 파악하기 위하여 기상청에서 매일 작성하는 1998년부터 2001년까지 4년간 동계인 12월, 1월, 2월의 기압배치도 분석하였다.

### 2.3 한반도 서부지역의 기상인자 분석

한반도 서부지역 적설 특성을 알아보기 위하여 서부지역 26개 측후소에서 1992년부터 2002년까지 11년간 관측한 최심신적설량 자료로 월평균 적설량을 파악하였다. 또한 서해연안

지역을 대표하는 지역으로 인천 지역을 선택하여 월평균 적설량을 분석하였다.

대설에 미치는 해양의 영향을 알아보기 위하여 대륙성고기압이 서해를 통과하여 한반도로 확장하는 경우와 서해를 통과하지 않고 확장하는 경우에 해양의 열수지를 각각 계산하였다. 또한 대륙성고기압의 확장 경로에 따른 대설현상을 파악하기 위하여 기상청에서 작성한 1998년부터 2001년까지 4년간 1월(1999년~2001년, 3년간), 2월, 12월의 지상일기도를 북-북북서→남-남남동, 북북서-북서→남남동-남동, 북서-서북서→남동-동남동, 서북서-서→동-동남동의 4개 방향으로 구분하여 고기압의 확장 경로를 파악 하였다. 그리고 서해 연안지역의 대설 원인을 찾아보기 위하여 국립수산과학원 서해수산연구소에서 관측한 인천 지역의 연안정지관측 수온자료와 측후소에서 관측한 인천의 기온, 풍속, 상대습도, 기압 자료를 이용하여 잠열속과 현열속을 구하였다. 본 논문에서 사용된 잠열속과 현열속의 값은 식 (2)와 (3)의 벌크(Bulk)식으로 계산하였다.

$$Q_h = \rho_a C_p C_a (T_s - T_a) W \quad (2)$$

$$Q_e = \rho_a C_e L_v (q_s - q_a) W \quad (3)$$

$T_s$ : 수면의

절대온도(°K),  $T_a$ : 기온의절대온도(°K)

$\rho_a$ : 공기의밀도(1.25kg/m<sup>3</sup>),  $C_p$ : 공기의비열(1004J/kg·K<sup>1</sup>)

$C_H$ : 스탠튼계수(1.1\*10<sup>-3</sup>),  $W$ : 풍속(ms<sup>-1</sup>)

$C_E$ : 달튼계수(1.1\*10<sup>-3</sup>),  $L_v$ : 물의 증발 잠열(2.5106J/kg)

$q_s$ : 수온에서 공기의 비습,  $q_a$ : 기온에서 공기의 비습

$$q_s = \frac{0.62 E_s}{P - 0.38 E_s}$$

$$q_a = \frac{0.62 E_a}{P - 0.38 E_a}$$

$$\ln \alpha_{H_2O} E_s = 0.7859 + 0.03477 T_s / (1 + 0.00412 T_s)$$

$$E_s = R H E_a$$

$E_s$ : 해면의포화증기압(hPa)

$P$ : 대기압(hPa)

$RH$ : 상대습도(%)

정(1993) 등은 대설의 기준을 대도시에서는 5~15 cm, 그 외 도시에서는 10~60 cm로 제시하였고, 일반적으로 기상청에서는 대도시는 5 cm, 그 외 도시는 10 cm로 제시하고 있어 본 논문에서는 대설의 기준을 10 cm로 설정하였다.

서해 연안지역에서 대설(10 cm 이상)이 나타난 시기와 잠열속과 현열속의 합, 기압배치, 바람벡터도와의 관계를 살펴보았다.

## 2. 결과

### 3.1 서해연안의 적설 특성

1992년부터 2002년까지 11개년 동안 한반도 서부지역 26개 측후소에서 관측된 월평균 적설량은 1월, 12월, 2월, 11월, 3월 순으로 많고, 동계(12월~2월)에 적설이 집중되었으며, 적설량이 가장 많은 1월에 표준편차도 크게 나타났다.

한반도 서해 연안지역인 인천, 군산, 목포 지역의 11년간(1992~2002) 동계(12월~2월) 연평균 평균 최심신적설량을 보면, 군산이 12.7 cm로 가장 많고, 다음은 목포로 9.0 cm, 인천이 7.8 cm로 가장 적었다.

이들 지역에 대한 월평균 적설량은 인천이 1월에 가장 많은 적설량을 보이고, 다음은 2월과 12월 순으로 나타나고 있다. 군산은 1월에 가장 많은 적설량을 보이고, 다음은 12월과 2월 순이며, 목포는 1월에 가장 많은 적설량을 보이고, 다음은 12월과 2월 순으로 적설량이 많다. 따라서 서해 연안지역의 적설량을 보면, 중부지역인 인천은 1월, 2월과 12월 순으로 적설량이 많았으나, 군산과 목포는 1월, 12월과 2월 순으로 적설량이 많아 지역적으로 차이를 보이고 있다.

**3.2. 대륙성고기압의 확장 방향과 해양의 열수지**

한랭 건조한 대륙기단의 확장 방향이 해양에 미치는 영향을 알아보기 위하여 대륙기단의 중심이 북쪽에서 남쪽으로 서해를 통과하지 않고 확장하는 경우(A)와 북서쪽에서 남동쪽으로 서해를 통과하여 확장하는 경우(B)의 기압배치도를 분석하였으며, 이 두 경우에 서해에서 열수지를 계산하였다.

먼저 한랭 건조한 대륙기단이 서해를 통과하지 않고 한반도로 확장하는 경우에 인천에서의 잠열은  $17.3 \text{ W/m}^2$ , 군산에서는  $25.1 \text{ W/m}^2$  이다. 그리고 대륙기단이 서해를 통과하여 한반도로 확장하는 경우에는 인천에서 잠열이  $58.9 \text{ W/m}^2$ , 군산에서는  $63.4 \text{ W/m}^2$  이다. 따라서 한랭 건조한 대륙기단이 서해를 통과하는 경우가 서해를 통과하지 않는 경우보다 인천지역에서는 약 3.4배, 군산에서는 약 2.5배 정도를 해양으로부터 많은 열을 흡수한다.

**3.3. 서해에서의 열수지와 적설량의 관계**

서해 연안지역의 적설에 대한 서해의 영향을 알아보고자 대표적 서해 연안지역인 인천, 군산, 목포 지역에서 10 cm 이상의 적설량을 보인 기간에 잠열속과 현열속에 의한 해양으로부터의 방출열량과 적설량을 분석하였다.

인천의 경우 1월 10 cm 이상의 대설이 발생한 기간은 1997년 2월 19일(20 cm), 1998년 2월 9일(14.4 cm), 2001년 1월 7일(16.3 cm), 2001년 2월 15일(17.6 cm) 이다. 적설일 1~2일전의 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 각각  $120 \text{ W/m}^2$ ,  $100 \text{ W/m}^2$ ,  $160 \text{ W/m}^2$ ,  $110 \text{ W/m}^2$  이다(Fig. 2).

군산에서의 대설기간은 1993년 1월 17~18일(17.3 cm), 1995년 12월 4~5일(18.2 cm), 1996년 12월 5~6일(16.0 cm) 이고, 적설일 1~2일전의 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 각각  $130 \text{ W/m}^2$ ,  $130 \text{ W/m}^2$ ,  $98 \text{ W/m}^2$  이다.

목포의 경우는 대설기간이 1999년 1월 8~9일(15.7 cm), 1999년 12월 19~20일(20.8 cm) 이며, 적설일 1~2일전의 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 각각  $260 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$  이다.

이와 같이 서해 연안지역에서 1일 10 cm 이상의 대설이 발생한 기간에는 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 약  $100 \text{ W/m}^2$  이상이었다. 그러나 잠열속과 현열속의 합이  $100 \text{ W/m}^2$  이상인 기간에도 대설이 발생하지 않은 경우가 있다.

따라서 잠열속과 현열속 이외의 대설원인을 찾아보기 위하여 기압배치도를 분석하였다.

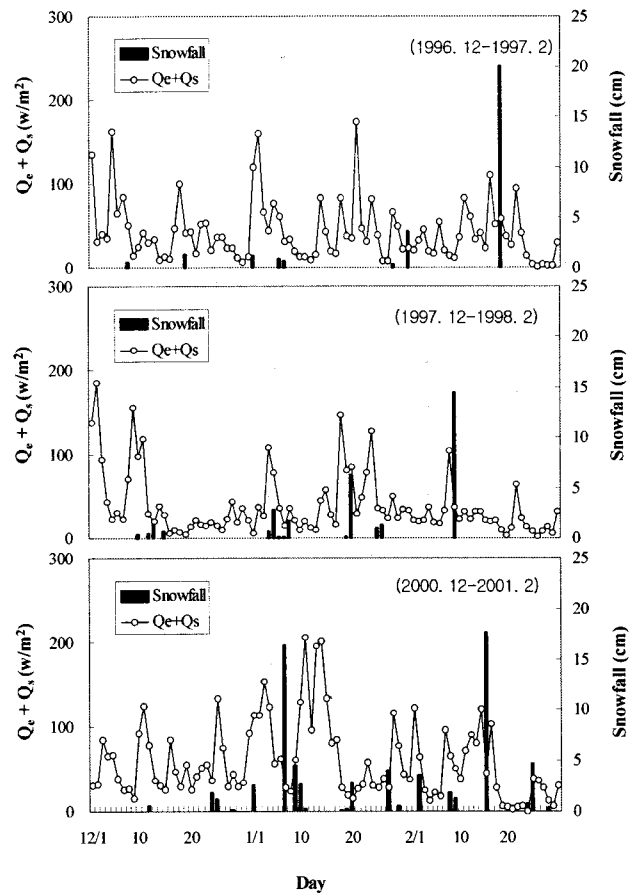


Fig. 2. Daily variation of snowfall and  $Q_e$  (latent heat)+ $Q_s$  (sensible heat) during winter season (Dec.~Feb) in Incheon.

**3.4. 대설현상과 기압분포**

대설현상에 미치는 기단의 영향을 조사하기 위해서 잠열속과 현열속에 의한 열손실이 많고 대설이 발생한 기간의 기압배치도와 잠열속과 현열속에 의한 열손실은 많으나 대설이 없었던 기간의 기압배치도를 분석하였다.

잠열속과 현열속에 의한 열손실이 많고 대설이 발생한 기간의 기압배치를 보면, 2001년 1월 7일의 경우, 중국 북부 지방에 1056 hpa의 고기압이 위치하고 일본열도의 남쪽에 1000 hpa의 저기압이 위치하여 한반도 상에서 전선을 형성하고 있다. 2001년 2월 15일의 기압배치는 중국 중부지방에 1040 hpa의 고기압이 위치하고 1018 hpa의 저기압이 동해상에 위치하여 서해상에서 전선을 형성하였다(Fig. 3).

잠열속과 현열속에 의한 방출열량은 많으나 대설 현상이 나타나지 않은 기간의 기압배치를 보면, 1998년 12월 5일의 경우, 중국 북부 지방에 1044 hpa의 고기압의 중심이 위치하고 있으나, 동해 및 일본열도상에 저기압이 존재하지 않고, 한반도 전체가 1024 hpa 이상의 고기압 영향권에 위치하였다. 1999년 2월 13일에는 한반도의 북쪽 지역과 중국 남부 지방에 걸쳐 중심기압 1028 hpa의 고기압이 광범위하게 위치하였으며, 한반도 및 일본열도 주변에 저기압은 형성되지 않았고, 한반도 및 서해 전체가 고기압권내에 포함되어 있다(Fig. 4).

이와 같이 대설이 발생한 시기의 기압배치는 중국 북부 지

방이나 중부 지방에 고기압이 위치하고, 동해상이나 일본열도 상에 저기압이 존재하여 서해 또는 한반도 상에서 전선이 형성되는 서고동저형의 특징을 보였다.

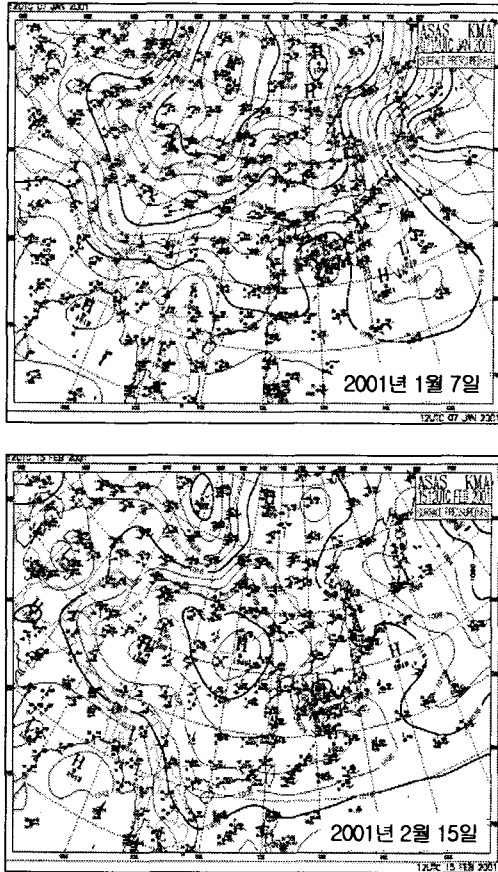


Fig. 3. Weather chart of high  $Q_e$  (latent heat) +  $Q_s$  (sensible heat) and heavy snowfall day in the western coastal region of Korea.

### 3.5. 대설현상과 바람

서해 연안지역인 인천, 군산, 목포 지방에 대설현상이 발생하였을 때 바람의 영향을 파악하기 위하여 대설이 발생한 기간의 바람 벡터도를 살펴보았다.

대설 발생기간 동안 인천, 군산 및 목포에서 동계(12월, 1월, 2월) 풍향과 풍속을 보면, 인천의 경우 1997년 2월 19일에 북서풍이 8 m/sec로 불었고, 1998년 2월 11일에는 북서풍이 5 m/sec로 불었으며, 2001년 1월 7일의 경우에는 북서풍이 6 m/sec로 불었다(Fig. 5).

군산에서는 대설을 보인 1992년 1월 18일에 북서풍이 4 m/sec로 불었고, 1995년 12월 5일에는 북서풍이 4 m/sec로 불었으며, 1996년 12월 4일에는 북동풍이 6 m/sec로 불었다.

목포에서는 대설을 보인 1998년 1월 8일에 북풍이 6 m/sec로 불었으며, 1999년 12월 19일에 북풍이 5 m/sec로 불었다.

따라서, 대설이 발생한 기간동안 서해 연안지역인 인천, 군산, 목포 지역에서의 풍향은 북풍 또는 북서풍이 우세하고, 풍속은 4~8 m/sec 정도이다.

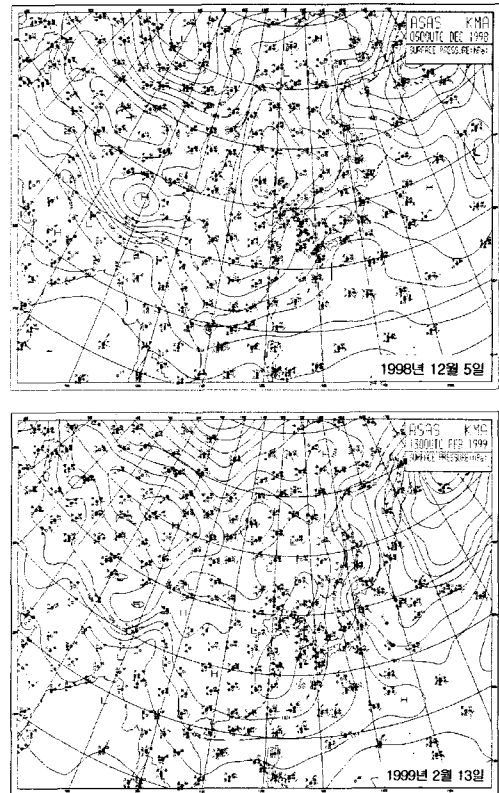


Fig. 4. Weather chart of high  $Q_e$  (latent heat) +  $Q_s$  (sensible heat) and non heavy snowfall day in the western coastal region of Korea.

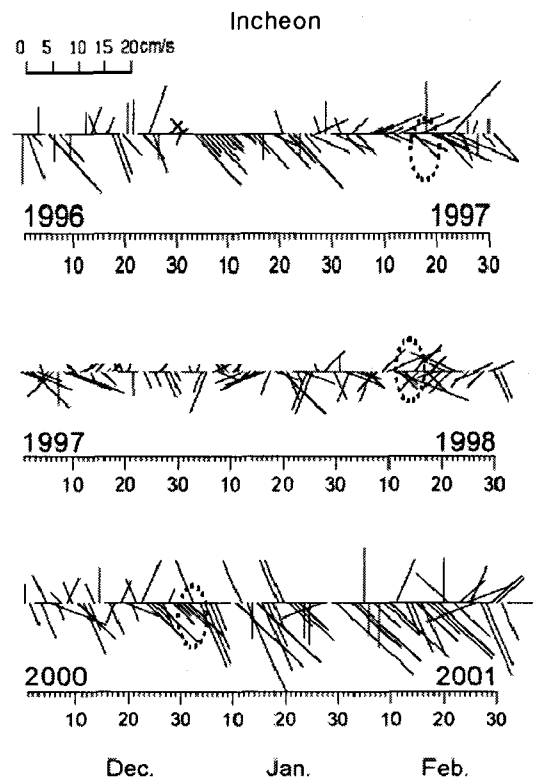


Fig. 5. Wind vector diagram of heavy snowfall period during winter season (Dec.~Feb.) in Incheon from 1996 to 2001.

3.6. 대륙성고기압의 확장 경로

우리나라의 동계 기상에 가장 크게 영향을 미치는 대륙성고기압의 확장 경로를 파악하기 위하여 1998년부터 2001년까지 12월, 1월, 2월 일일 지상일기도를 북-북북서→남-남남동, 북북서-북서→남남동-남동, 북서-서북서→남동-동남동, 서북서-서→동-동남동의 4개 방향을 구분하여 분석하였다.

1월에는 북북서-북서→남-남남동 방향이 총 93회 중 52회로 가장 많았고, 2월에는 총 113회 중 북서-서북서→남동-동남동 방향이 70회로 가장 많았으며, 12월에는 총 124회 중 서북서-서→동-동남동 방향이 64회로 가장 많았다.

이 결과를 모식도로 만들어 Fig. 6에 나타내었다. 모식도에 의한 대륙성고기압의 확장 방향을 보면 12월에는 대륙성고기압이 화남지방에 중심을 두고 산둥반도 및 서해를 통과하여 한반도의 서해연안으로 확장되고, 1월에는 한반도의 북쪽지방에 중심을 두고 한반도의 중부지방 및 영동지방으로 확장하며, 2월에는 화중지방에 중심을 두고 발해반과 요동반도 및 서해를 통과하여 한반도의 서해 중부지방으로 확장한다(Fig. 6).

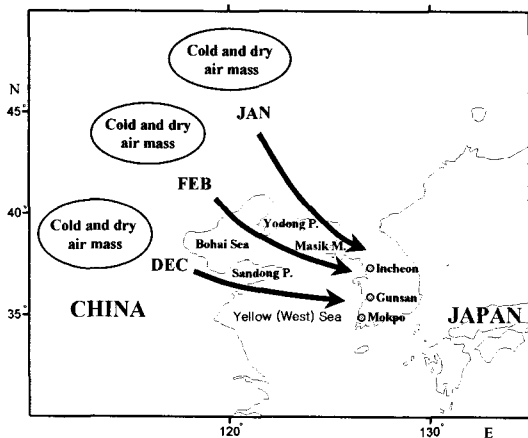


Fig. 6. Map of expansion route continental high atmospheric pressure in winter (Dec.~Feb.) from 1998 to 2001.

3.7. 적설량과 서해염분과의 관계

적설이 발생할 경우에는 강수와 같이 지면이나 해양으로부터 수증기의 공급을 받아 이루어지고 많은 적설이 발생하면 해양의 염분이 변할 것이다. 따라서 한국 서부지역의 적설량 변화에 따른 서해염분 변화를 조사하였다. 12월의 경우 적설량이 많았던 1997년에는 격월차염분 평균편차가 낮고, 적설량이 적었던 1999년과 2001년은 평균보다 높은 편차를 보이고 있다. 한편, 2월에는 적설량이 많았던 1994년과 2001년은 염분의 편차가 낮고, 적설량이 적었던 1995년과 2002년은 편차가 높다. 이 결과를 볼 때 한국 서부지역 적설량과 서해 염분의 관계는 12월에 총 10개년 중 6개년은 적설량이 많았을 때 염분도 높아지는 경향을 보이고, 4개년은 적설량이 많았을 때 염분이 낮아졌다. 그리고 2월에는 적설량이 많았던 2개년은 염분의 편차가 높고, 3개년은 염분이 평균보다 낮게 나타났으며, 적설량이 적었던 해는 대체적으로 염분이 낮게 나타나고 있다. 이상과 같은 결과를 종합해 보면, 한국 서부지역의 동계

(12월과 2월)의 적설량과 서해 염분의 관련성을 적은 것으로 나타났다.

5. 결론

서해 연안지역의 적설량은 인천은 1월, 2월과 12월, 군산과 목포는 1월, 12월과 2월 순으로 적설량이 많다.

한랭 건조한 대륙기단의 중심이 서해를 통과하는 경우가, 서해를 통과하지 않는 경우보다 인천지역에서 약 3.4배 해양으로부터 많은 열을 흡수한다. 또한, 서해 연안지역에서 1일 10cm 이상의 대설이 발생한 기간에는 잠열속과 현열속에 의한 방출열량이 약 100 W/m<sup>2</sup> 이상이다.

대설이 발생한 시기의 기압배치는 중국 북부 지방이나 중부 지방에 고기압이 위치하고, 동해상이나 일본 열도상에 저기압이 존재하여 서해 또는 한반도에서 전선이 형성되는 서고동저형의 특징을 보인다.

한편, 대설이 발생한 기간동안 서해 연안지역의 풍향은 북풍 또는 북서풍이 우세하고, 풍속은 4~8 m/sec 정도이다.

참고 문헌

- [1] 국립수산진흥원, 2001. 한국해양편람.
- [2] 국립수산과학원, 1992~2002. 해양조사연보.
- [3] 기상청, 1992~2002. 기상월보.
- [4] 권태순, 2004. cP 확장시 레이더 영상자료를 활용한 호남 지방의 대설 분석. 기상청 예보관과정 수료연구논문집, 135-162.
- [5] 정용승, 봉종환. 1993. 호우와 대설 주의보 및 경보의 새로운 기준치 선정. 한국기상학회지, 29(2), 171~180.
- [6] 최용규, 윤홍주, 1999. 1994년 인천 연안역의 열수지. 한국환경과학회지, 9(3), 293~297.
- [7] 최용규, 조영조, 최옥인, 양원석. 2003. 군산항의 평균 열속. 한국수산학회지 36(5), 535~540.