

오호츠크해고기압의 출현일과 강도의 변동에 관한 연구 -한반도에 영향을 미친 날을 중심으로-

조리나* · 이승호**

A Study on the Frequency and Intensity Variations of Okhotsk High: Focused on the Korean Peninsula

Lina Cho* · Seungho Lee**

요약 : 본 연구에서는 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날과 강도의 변화를 규명하고자 하였다. 지상 일기도와 기상자료, 재분석자료 등을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 4월의 주변 육지기온이 높은 해일수록 오호츠크해고기압의 첫 출현일이 일러지는 경향이다. 최근 오호츠크해고기압의 출현일수는 감소하였으며, 그 강도는 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 클수록 강해지는 경향이다. 4·5월, 6월, 7월의 오호츠크해고기압 출현일수는 주변 육지기온이 상승할수록 증가하며, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 커질수록 강도가 강해진다. 오호츠크해고기압의 첫 출현일이 일러짐에 따라 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수는 증가하고 강도는 약해질 수 있다. 그러나 6월에는 반대의 경향이 나타날 수 있다.

주요어 : 오호츠크해고기압, 첫 출현일, 출현일수, 오호츠크해고기압의 강도

Abstract : This paper aims to investigate the frequency and intensity variations of Okhotsk high pressure system focused on the Korean Peninsula. Weather chart (00UTC), daily weather data and reanalysis data were used. The first occurrence date of Okhotsk high pressure system tends to be earlier in those years that surrounding land air temperature in April is high. The frequency of Okhotsk high has recently decreased, and its intensity tends to be stronger when the difference between sea surface temperature and surrounding land air temperature is big. The frequency of Okhotsk high in April, May, June and July increases when surrounding land air temperature is high, and its intensity grows when the difference between surrounding land air temperature and sea surface temperature is big. The frequency of Okhotsk high may increase and its intensity may increase when the first occurrence date comes earlier. In June, however, the reverse may apply.

Key Words : Okhotsk high pressure system, the first occurrence date, the occurrence day, the intensity of Okhotsk high

1. 서론

오호츠크해고기압은 주로 늦봄에서 초여름까지 발

달하며 동해안의 냉해와 영서지방의 고온건조한 상태를 초래할 수 있다. 오호츠크해고기압은 늦봄이 되면서 오호츠크해를 중심으로 발달하는 한랭역에 의한 하

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원강화사업(RACS 2009-4003)의 지원으로 수행되었습니다

* 건국대학교 지리학과 석사과정(Graduate student, Department of Geography, Konkuk University), gml2fl@naver.com

** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Konkuk University), leesh@konkuk.ac.kr

층대기의 냉각으로 형성된다(Lim and Byun, 2000). 오호츠크해는 면적의 40%가 수심 200m 이하로 대륙붕이 넓게 발달하였으며(Lapko and Radchenko, 2000) 한류가 흐르고 있어서 한랭기에 쉽게 바다얼음이 형성될 수 있다. 봄철에 기온과 수온이 상승하면서 이런 바다얼음이 녹기 시작하며, 이 무렵 동시베리아의 적설이 녹으면서 아무르강을 통하여 차가운 담수가 오호츠크해로 유입된다. 이와 같은 바다얼음의 용해와 담수의 유입으로 오호츠크해상에는 하층 대기의 한랭역이 형성된다(Inoue *et al.*, 2005; Sato and Takahashi, 2004). Ogi *et al.*(2001)은 아무르강에서 유입되는 담수와 오호츠크해의 바다얼음 면적 사이의 관계를 연구하여, 바다얼음의 면적은 아무르강에서 유입되는 담수 및 북극진동지수와 각각 음의 상관관계가 있음을 밝힌 바 있다.

오호츠크해에 한랭역이 형성되면서 오호츠크해고기압이 발달하여 그 세력이 확장되는 경우, 초여름 동아시아 지역에 이상저온과 과우장마를 유발할 수 있다(Kim *et al.*, 1997a; Kim *et al.*, 1997b; Lee *et al.*, 1997; Lim and Byun, 2000; Heo and Lee, 2006). 이와 같이 오호츠크해고기압은 우리나라에 영향을 미치는 기간은 비교적 짧지만 늦봄과 초여름의 기후에 미치는 영향이 클 수 있다. 이때는 우리나라 농업에서 큰 부분을 차지하고 있는 벼농사에 있어서 중요한 시기이다. 이 무렵은 벼의 모내기가 이루어지는 시기여서 오호츠크해고기압이 강하게 확장하면 냉해를 초래할 수 있고, 경우에 따라서 가뭄이 길어지면서 물 관리를 어렵게 할 수도 있다. 또한 여름철은 대부분 농작물의 등숙기간에 해당하여 이 시기에 오호츠크해고기압이 비정상적으로 확장되어 우리나라의 기후에 영향을 미칠 경우, 작물 생산에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 6~7월에 오호츠크해고기압이 비정상적으로 확장하면 태백산지에서 재배되는 고랭지 배추와 고랭지 무 등의 작물에 냉해를 입힐 수 있다. 그러므로 오호츠크해고기압의 장기적인 변화 경향을 파악하여 늦봄에서 초여름 사이의 우리나라 기후변화에 대한 영향을 이해하는 것이 의미 있는 일이다.

최근 전구적인 기온상승으로 해양에서도 수온상승이 관측되고 있으며 해양의 열팽창과 육지 빙하의 용

해로 인해 해수면이 상승하고 있다. 이러한 전구적인 기온상승은 한반도에 영향을 미치는 오호츠크해고기압의 특성을 변화시킬 수 있다. 최근 오호츠크해고기압과 기후변화에 관한 연구가 시도되었다. Wang *et al.*(2001)은 여름철 엘니뇨가 발생하고 동북아시아에 고기압 블로킹이 형성되면 북태평양 고기압은 서쪽으로 확장하는 경향이 있다고 하였다. 이런 경향은 97/98년에 발생한 엘니뇨 때에 현저하였음을 밝혔으며, 결국 이러한 과정 때문에 여름철 동아시아 몬순 패턴에 변화가 온다고 하였다. Ohshima *et al.* (2006)은 기후변동에 따라서 오호츠크해의 12월 바다얼음 면적의 연간변동이 크다고 하였다. 오호츠크해의 바다얼음 면적은 3월에 최대가 되고 그 후 녹기 시작하여 7~8월에 대부분 사라진다. 이러한 바다얼음의 형성과 소실이 오호츠크해고기압의 형성에 영향을 미친다. 최근의 기온상승 경향에 의해 오호츠크해 바다얼음의 해빙 시기와 용설수의 유입 시기가 변할 수 있으므로 오호츠크해고기압의 시기별 출현일수 변화에 대한 연구가 필요하다.

오호츠크해고기압이 우리나라의 기후에 미치는 영향에 관한 연구(Kim *et al.*, 1997a; Kim *et al.*, 1997b; Lee *et al.*, 1997; Lim and Byun, 2000; Heo and Lee, 2006)가 활발하게 이루어졌다. 최근 기온상승과 더불어 오호츠크해고기압의 강도와 관련된 연구(Lim and Byun, 2000; Heo and Lee, 2006; Wei *et al.*, 2007)도 있으나, 대부분 우리나라의 기온, 강수량 등 기후요소에 미치는 영향을 파악하였다. 즉, 오호츠크해고기압의 출현이나 강도 변화와 해수면온도, 주변 육지기온 등과의 관련성을 분석한 연구는 이루어지지 않았다. 최근 기온상승 경향에 따라 오호츠크해 바다얼음의 용해시기와 용설수의 유입시기가 변하고 있으며 이는 월별 오호츠크해고기압의 특성에 변화를 가져 올 수 있다. 그러므로 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날을 선정하여 출현일 및 강도를 분석하고 오호츠크해고기압의 변동 특성을 파악하는 것은 중요한 과제라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날을 선정하여 오호츠크해고기압의 출현일 및 강도의 변동을 규명하고자 하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구의 자료 분석기간은 최근 40년간(1971~2010년)이며, 분석 시기는 오크츠크해고기압이 발달하는 4~8월이다. 분석에 사용한 자료는 지상일기도, 기상 관측 자료, 오크츠크해의 해수면온도와 해면기압, 오크츠크해 주변의 육지기온 등이다.

오크츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날을 선정하기 위하여 기상청에서 제공하는 오전 9시의 지상일기도와 기상 관측 자료를 분석하였다. 이를 위한 분석지점은 Figure 1 왼편과 같이 영동지방의 강릉과 영서지방의 서울, 원주, 인제, 홍천 등 다섯 개의 기상 관측지점이다. 각 관측지점의 일 최고기온, 일평균 상대습도, 일 최소 상대습도, 일 최대풍향, 시간별 강수량 등의 기상 자료가 분석에 이용되었다.

오크츠크해의 해면기압과 주변의 육지기온 값은 NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)에서 제공하는 월평균 재분석 자료이며, 웹상에서(<http://www.esrl.noaa.gov>) 내려 받았다. 해면기압 분석구역은 Figure 1 오른편의 'a' 구역과 같이 오크츠크해고기압의 중심이 잘 발달 할 수 있는 구역

인 52.5°N-57.5°N, 145°E-155°E이고 오크츠크해 주변 육지기온 자료의 구역은 Figure 1 오른편의 'b' 구역인 60°N-62.5°N, 140°E-152.5°E이다. 본 연구에서 주변 육지 구역은 오크츠크해와 인접해 있고 오크츠크해의 바다얼음이 비교적 오래 유지되는 북위 60° 부근을 선택하되, 해양의 영향을 많이 받는 반도와 격자 내에 해양이 포함되는 부분을 제외하여 선정하였다.

오크츠크해의 해수면온도는 NCDC (National Climatic Data Center)에서 제공하는 ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)를 사용하였고, 역시 웹상에서(<http://www.ncdc.noaa.gov>) 내려 받았다. 그 분석구역은 오크츠크해고기압 중심구역으로 선정한 위도 52.5°N-57.5°N와 경도 145°E-155°E 사이를 포함하면서 주변 육지가 포함되지 않는 구역인, 위도 52°N-58°N와 경도 144°E-154°E의 구역이 월평균 해수면온도 분석구역이다 (Figure 1 오른편의 'c' 구역).

한반도가 오크츠크해고기압의 영향을 받는 날을 선정하기 위하여, 지상일기도를 분석하여 오크츠크해 방면에 고기압이 발달하였고 그 세력이 우리나라까지 확장하는 날을 선택하였다. Figure 2는 오크츠크해고기압이 발달하여 우리나라에 영향을 미치는 날의 사례를 보여준다. Lee(1994)에 의하여, 오크츠크해 방면에 고

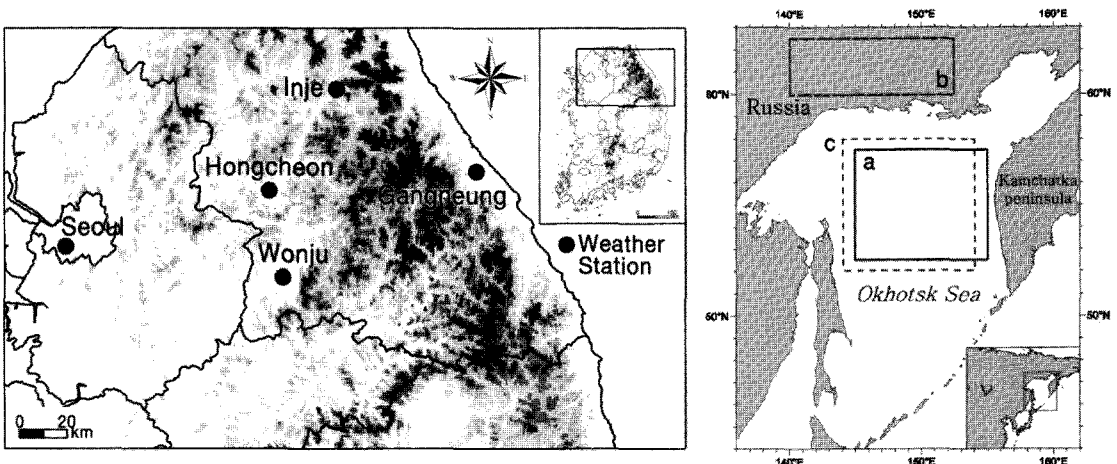


Figure 1. Analysed weather stations (left) and analyzed area of sea level pressure(a), surrounding land air temperature(b) and sea surface temperature(c) of Okhotsk sea (right) in this study. 본 연구에서 분석한 기상관측지점(왼편)과 오크츠크해의 해면기압(a), 주변 육지기온(b), 해수면온도(c)의 분석구역(오른편)

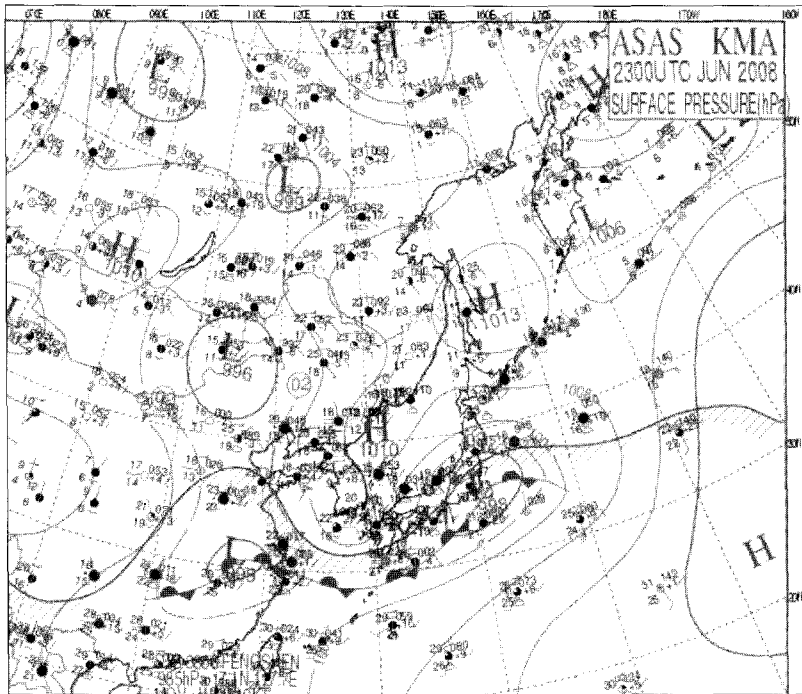


Figure 2. A weather chart of occurrence date of Okhotsk high(00UTC on the 23rd June 2008).
오호츠크해고기압 출현일의 일기도(2008년 6월 23일 09시)

기압이 발달한 날 중 우리나라에 편현상이 일어난 날¹⁾을 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날로 선정하였다. 이를 위하여 우선 지점별 일 최대풍향 자료를 분석하여 동풍계열 바람이 부는 날을 선택하였다. 풍향 조건을 만족한 날 중 풍상측인 강릉과 풍하측인 서울, 원주, 인제, 홍천의 일 최고기온 차이를 분석하여 풍하측 4개의 지점 중 어느 한 지점이라도 풍상측의 일 최고기온보다 5°C 이상 높은 날을 선택하였으며, 풍상측인 강릉보다 풍하측에서 일 최고기온이 낮은 날은 제외하였다. 이렇게 선택된 날 중에서 강릉의 일평균 상대습도가 약 80% 이상이면서 서울, 원주, 인제, 홍천의 일 최소 상대습도가 50% 이하로 낮아지는 경우를 오호츠크해고기압이 우리나라에 영향을 미치는 날로 판단하였다. 그러나 서울, 원주, 인제, 홍천의 시간별 강수량 자료를 이용하여 일 최고기온이 나타날 수 있는 시간대(오후 1-6시)에 강수가 관측된 경우는 최종 선정일에서 제외하였다.²⁾

오호츠크해고기압의 영향을 받는 날의 변동을 파악하기 위해 첫 출현일과 출현일수의 변동을 분석하였다. 이 논문에서는 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날을 오호츠크해고기압 출현일로 사용하였다. 또한 오호츠크해고기압이 그 해에 처음으로 한반도에 영향을 미친 날을 첫 출현일로 사용하였다. 출현일수는 오호츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치는 날을 연별, 월별 값으로 나타내었다. 첫 출현일과 출현일수의 변동은 각각 7년 이동평균하여 분석하였다.

오호츠크해고기압의 강도 변동을 분석하기 위하여 오호츠크해고기압의 중심구역을 선정하였다. 오호츠크해고기압 중심구역은 육지의 영향을 최소화하기 위해 육지 영역을 일부 포함하는 사할린스키(Sakhalinsky) 만과 셸리호바(Shelikhova) 만이 포함된 격자는 중심구역에서 제외하였다. 최종적으로 중심구역 안에는 NCEP/NCAR의 재분석 자료에서 2.5°×2.5°의 8개 격자가 포함되었다. 이 8개 격자의 월평균 해면기압을 평

균하여, 평균에 대한 편차를 구하고 그 값을 오희크해고기압 강도지수로 사용하였다. 그러므로 강도지수 값이 양(+)의 값이면서 클수록 강도가 강한 것을 의미하며, 음(-)의 값이면서 절대값이 클수록 강도가 약하였음을 의미한다. 연평균 강도지수는 오희크해고기압이 주로 발생하는 4~8월 평균 해면기압의 편차로 정의하였다. 이렇게 정의한 연도별, 시기별 강도의 변동 경향을 7년 이동 평균하여 분석하였다.

오희크해고기압은 해수면온도와 주변 육지기온, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이 등의 조건에 따라 발달할 수 있다. 그러므로 오희크해고기압의 출현일과 강도를 오희크해의 해수면온도, 주변 육지기온, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이 사이의 상관관계를 분석하였다. 오희크해고기압 출현일 및 강도는 연 변동이 크기 때문에 상관관계를 분석함에 있어서 7년 이동평균 한 값을 사용하였으며, 그 중 분석 결과가 유의하면서 상관관계가 높은 것을 대상으로 회귀분석을 시행하였다. 또한 시기별 오희크해고기압의 출현일과 강도 사이의 상관관계를 분석하였다. 그리고 첫 출현일 시기의 변동에 따른 시기별 출현일수와 강도의 변동을 알아보기 위하여 상관관계를 분석하였으며, 그 중 분석 결과가 유의하면서 상관관계가 높은 것을 대상으로 회귀분석을 시행하여 관계식을 구하였다.

3. 오희크해고기압 출현일의 변동

1) 오희크해고기압의 첫 출현일 시기 변동

전구적인 기온상승은 동시베리아로부터 오희크해로 용설수가 유입되는 시기를 변화시킬 수 있으며, 이와 더불어 오희크해 상의 바다얼음이 녹는 시기에도 영향을 미칠 수 있다. 이는 오희크해고기압이 한반도에 처음으로 영향을 미치는 시기의 변화에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. Figure 3은 한반도에 영향을 미친 오희크해고기압의 첫 출현일의 변동을 나타낸 것이다. 7년 이동평균을 보면, 1980년대까지는 첫 출현일이 늦춰지다가 2000년대 초반까지는 일러졌고, 2000년대 이후 다시 늦춰지는 경향이 있다. 첫 출

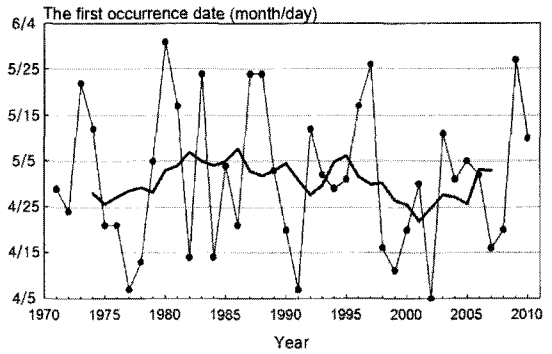


Figure 3. The first occurrence date of Okhotsk high. 오희크해고기압 첫 출현일

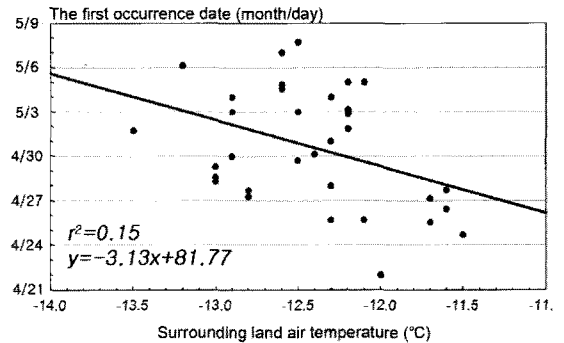


Figure 4. A scatter plot of the first occurrence date of Okhotsk high versus the surrounding land air temperature in April. 오희크해고기압 첫 출현일과 4월 육지기온과의 관계

현일이 가장 일렀던 해는 2002년(4월 5일)이고, 가장 늦었던 해는 1980년(5월 31일)으로 그 차이가 2달에 가깝다. 즉, 주변의 조건 변화에 따라서 오희크해고기압의 출현시기가 크게 달라질 수 있음을 시사한다. 오희크해고기압의 첫 출현일의 평균은 5월 1일이며, 그 표준편차는 15일로 비교적 변동이 크다는 것을 보여준다.

오희크해고기압의 첫 출현일은 오희크해의 해수면온도보다 그 주변의 4월 평균 육지기온과 비교적 상관관계가 높다(Figure 4). 오희크해고기압의 첫 출현일과 해수면온도 사이의 상관계수 $r=0.05$ 이고, 해수면온도와 주변 육지기온 차이 사이의 상관계수 $r=0.21$ 이다. 그러나 오희크해고기압의 첫 출현일과 4월 평

균 육지기온 사이에는 상관계수 $r=-0.39$ 의 음의 관계가 있다(유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 통계적으로 유의함). 즉, 오호츠크해 주변의 육지기온이 높을수록 발달 시기가 일러진다는 것을 의미한다. 두 변수(첫 출현일; y, 4월 평균 육지기온; x) 사이의 관계식은 $y=-3.13x+81.77$ 로 4월 평균 주변 육지기온이 1°C 상승하면 첫 출현일은 3일 정도 일러진다고 할 수 있다. 오호츠크해 주변의 4월에 육지기온이 상승하면 고기압 발달에 상대적으로 유리한 조건이 조성될 수 있다. 1998~2004년 이동평균값은 관계식에 비하여 크게 낮다. 이는 첫 출현일이 가장 일러진 2002년이 포함되었기 때문이며, 이해에는 오호츠크해 주변의 4월 육지기온이 3월에 비하여 급격하게 상승하여 3월과 4월의 주변 육지기온 차이는 11.6°C로 평년값(9.6°C)에 비하여 2°C 더 높다.

2) 오호츠크해고기압의 출현일수 변동

분석기간 동안 오호츠크해고기압이 한반도에 출현한 날 수는 1980년대 중반까지 소폭 증가하였고, 그 후 감소한 경향이 있다(Figure 5). 1980년대 중반 이후는 오호츠크해고기압의 출현일수가 감소할 뿐만 아니라 변동 폭도 커지고 있다. 오호츠크해고기압의 출현일은 연평균 16.6일이며 표준편차는 약 6.1일이다. 오호츠크해고기압 출현일이 가장 적었던 해는 1978년으로 3일이며, 가장 많았던 해는 1977년으로 32일이다. 연구기간 중 6월의 오호츠크해고기압 출현일수는 244일

(36.7%)이었으며, 7월에는 158일로 23.8%, 5월과 8월은 각각 116일, 108일이었다. 4월에 오호츠크해고기압이 영향을 미치는 날은 38일에 불과하였다(Figure 6).

앞에서 설명한 바와 같이 4월과 5월은 오호츠크해고기압이 처음 발달하는 시기로 평균적으로 오호츠크해 주변의 육지기온이 해수면온도보다 낮은 시기이다. 즉, 오호츠크해고기압의 형성과 관련지어 보면, 4월과 5월은 비슷한 조건이라 할 수 있다. 그러므로 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수를 합하여 분석을 하였다. 뿐만 아니라 4월 오호츠크해고기압 출현일수가 적어서 따로 구분하여 분석하는 것이 의미가 없을 수 있다.

분석기간 중 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수는 1990년대 후반까지 거의 변화가 없으며, 그 후 소폭 상승하였다(그림 생략). 그러나 2000년대 초반 이후 감소하는 경향이 나타나고 있어서 일관된 경향을 설명하기 어렵다. 분석기간 중 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수는 평균 4.0일이며 표준편차는 1.0일이고, 가장 많이 출현하였던 2003년에는 13일이었다.

4월과 5월 오호츠크해고기압의 출현일수는 오호츠크해 주변의 육지기온과 비교적 상관관계가 높다. 4월과 5월 오호츠크해고기압의 출현일수와 오호츠크해의 해수면온도 사이에는 유의한 관계가 없다. 4월 오호츠크해 주변의 육지기온과 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수 사이에는 상관계수 $r=0.55$ 로 양의 관계가 있으며, 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의하다(Figure 7). 즉 4

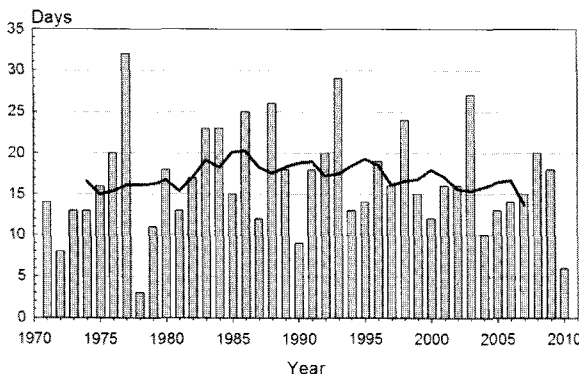


Figure 5. The annual occurrence days of Okhotsk high. 오호츠크해고기압 출현일수

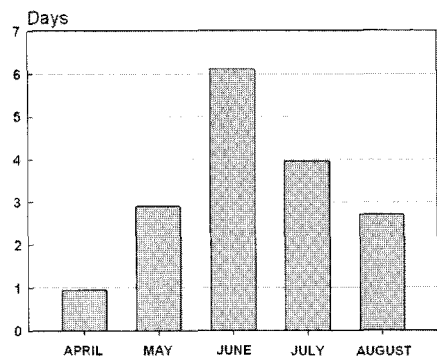


Figure 6. The monthly occurrence day of Okhotsk high. 월별 오호츠크해고기압의 출현일수

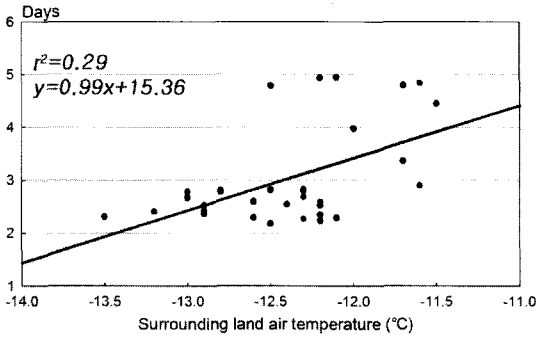


Figure 7. A scatter plot of the occurrence day of Okhotsk high in April and May versus the surrounding land air temperature in April. 4·5월 오크츠크해고기압 출현일수와 4월 주변 육지기온의 관계

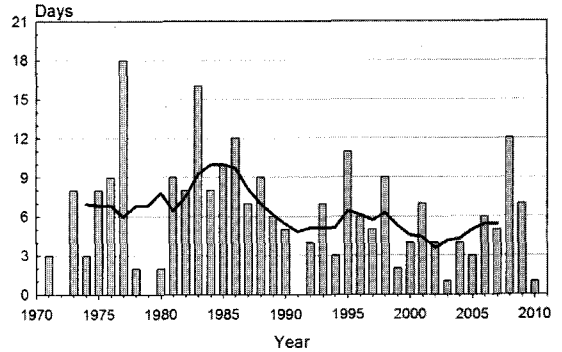


Figure 8. The occurrence days of Okhotsk high in June. 6월 오크츠크해고기압 출현일수

월 주변 육지기온이 상승할 경우, 4월과 5월 오크츠크해고기압의 출현일수가 증가하였음을 알 수 있다. 4월 육지기온(x)과 4월과 5월 오크츠크해고기압의 출현일수(y) 사이의 관계식은 $y=0.99x+15.36$ 으로, 4월에 오크츠크해 주변의 육지기온이 1°C 상승하면, 4월과 5월의 오크츠크해고기압 출현일수는 약 1일 증가할 수 있다. 그러나 2004~2010년 이동평균의 경우, 4월평균 육지기온이 -12.5°C일 때 4월과 5월의 오크츠크해고기압 출현일수는 5일로 이례적으로 많았다. 이때의 관계식에 대한 잔차가 2.93일에 이른다. 이는 오크츠크해고기압이 2005년에 이례적으로 많이 영향을 미쳐 2004~2010년 평균 출현일수 값이 커졌기 때문이다. 2005년의 4월 평균 해수면온도는 0.9°C로 평균(0.6°C)보다 높고 평균 육지기온은 -11.2°C로 평균(-12.5°C)보다 높으나, 해수면온도와 육지기온의 차이는 12.1°C로 평균(13.1°C)보다 작아 오크츠크해고기압이 발달하기에 유리하지 않은 조건이었다. 2005년의 오크츠크해고기압의 출현일수가 많았던 원인은 차후 밝혀져야 할 과제이다.

6월의 오크츠크해고기압 출현일수 변동은 Figure 8에 나타내었다. 6월의 오크츠크해고기압 출현일수는 1980년대 중반 이후 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 그러나 최근 증가하는 경향을 볼 수 있으며, 이에 대한 설명을 위해서는 보다 장기적인 관찰이 필요하다. 6월의 오크츠크해고기압의 평균 출현일수는 6일이며 가장

많이 출현한 해는 1977년(18일)이고, 1972년, 1979년, 1991년 6월에는 오크츠크해고기압이 한반도에 영향을 미치지 않았다.

6월 오크츠크해고기압 출현일수는 5월의 해수면온도와 상관계수 $r=-0.49$ 의 음의 관계가 있으며, 6월의 주변 육지기온과는 상관계수 $r=0.40$ 의 양의 관계가 있다. 이때의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이와는 상관계수 $r=0.30$ 의 관계이다. 즉, 5월에 해수면온도가 상승할수록 6월의 오크츠크해고기압 출현일수는 감소하고 주변 육지기온이 상승할수록 증가하는 경향이며, 6월 이후부터 점차 해수면온도의 영향이 오크츠크해고기압 발달에 더 크게 영향을 미치기 시작한다고 할 수 있다. 이는 6월에 오크츠크해 주변 육지기온이 상승하면서 만년설을 녹이기 때문에 차가운 담수가 많이 유입되어 오크츠크해고기압이 발달할 수 있는 조건이 조성되기 때문이라 생각된다.

6월의 오크츠크해고기압 출현일수(y)와 5월의 해수면온도(x) 사이의 관계식은 $y=-3.19x+12.39$ 로(Figure 9), 오크츠크해 주변의 육지기온이 1°C 상승하면 오크츠크해고기압의 출현일수가 약 3.2일 감소한다고 할 수 있다. 6월 오크츠크해고기압의 출현일수(y)와 주변의 육지기온(x) 사이의 관계식은 $y=0.68x+1.40$ 으로(그림 생략), 오크츠크해 주변의 육지기온이 1°C 상승하면 오크츠크해고기압의 출현일수가 약 0.7일 증가한다고 할 수 있다. 육지기온이 해수면온도보다 더 빠르

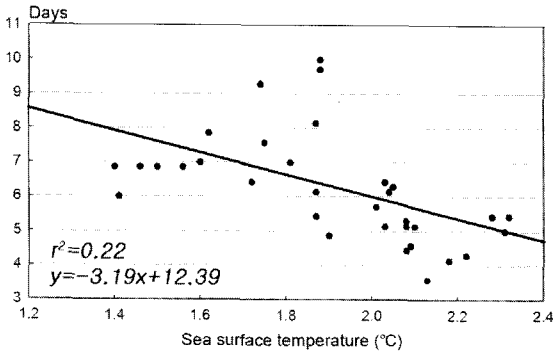


Figure 9. A scatter plot of the occurrence day of Okhotsk high in June versus the sea surface temperature in May. 6월 오호츠크해고기압 출현일수와 5월 해수면온도의 관계

게 변화한다고 볼 때, 이 시기부터는 오호츠크해고기압의 발달에 해수면온도의 영향이 더 크다는 것이 확인된다.

6월 오호츠크해고기압은 오호츠크해의 해수면온도가 낮게 유지되어 하층대기의 냉각이 이루어지고 주변 육지와 기압 차이가 커질수록 잘 발달할 수 있다. 그러므로 해수면온도의 상승은 오호츠크해의 한랭역 발달을 억제하여 오호츠크해고기압의 발달을 저지할 수 있다. 그러나 1981~1988년에는 5월 해수면온도가 약 1.9°C일 때 6월 오호츠크해고기압 출현일수가 약 10일로 이례적으로 많았다. 이 기간 중 1983년(16일)과 1986년(12일)의 출현일수가 두드러졌다. 두 해 모두 5월 해수면온도, 주변 육지기온은 평균과 비슷하거나 낮았으나, 6월의 경우 해수면온도는 평균과 비슷하고 주변 육지기온은 1983년에 8.9°C, 1986년 9.8°C로 평균(7.3°C)보다 높았다. 또한 5월에서 6월에 걸친 주변 육지기온의 상승 폭도 1983년(10.7°C)과 1986년(13.1°C)에 평균(9.3°C)보다 높게 나타나 6월 오호츠크해고기압 발달에 영향을 미친 것으로 생각된다.

7월 오호츠크해고기압의 출현일수는 1990년대 중반에 증가하고, 2000년대 이후 출현일수가 감소하는 경향이다. 오호츠크해고기압의 평균 출현일수는 4.0일이다. 오호츠크해고기압의 출현일수가 가장 많은 해는 1998년(13일) 이고, 1978년, 1985년, 1995년, 2008년에는 오호츠크해고기압이 출현하지 않았다. 7월 오호

츠크해고기압 출현일수는 주변의 육지기온, 해수면온도와 육지기온의 차이와 유의한 관계를 보이는 반면, 해수면온도와는 유의한 관계가 나타나지 않았다. 즉, 해수면온도의 변동보다 주변 육지기온과의 차이 등이 오호츠크해고기압 발달에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

7월의 오호츠크해고기압 출현일수는 주변 육지기온과의 사이에 상관계수 $r=0.46$ 으로 양의 관계를 보였다(유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의함). 즉, 7월의 주변 육지기온이 상승할수록 오호츠크해고기압 출현일수가 증가하는 것을 의미한다. 7월의 오호츠크해고기압 출현일수(y)와 주변 육지기온(x) 사이의 관계식은 $y=0.76x-4.54$ 이다(Figure 10). 즉, 7월의 주변 육지기온이 1°C 상승하면 오호츠크해고기압의 출현일수는 약 0.7일 증가한다고 할 수 있다. 이 때는 오호츠크해의 해수면온도가 급격하게 상승하는 시기로 한랭역의 형성이 어려우나 주변 육지기온의 상승으로 인한 상대적인 기온 차이에 의해 오호츠크해고기압이 형성될 수 있다. 7월 오호츠크해고기압이 가장 많이 출현한 기간은 1993~1999년이며 특히 1998년에는 총 13일 출현하여 분석 기간 중 가장 높은 빈도이다. 1998년의 7월 육지기온은 13.2°C로 평균(11.5°C)보다 높았으나 해수면온도도 10.7°C로 평균(9.5°C)보다 높아 해수면온도와 육지기온의 차이는 2.4°C로 평균(1.8°C)보다 컸다. 이와 같이 오호츠크해고기압이 발달하기에 유리한 조건이었으며 1998년은 강한 ENSO(El Niño/Southern

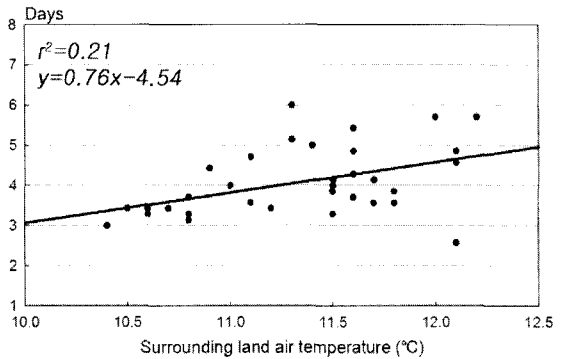


Figure 10. A scatter plot of the occurrence day of Okhotsk high in July versus the surrounding land air temperature in July. 7월 오호츠크해고기압 출현일수와 7월 주변 육지기온의 관계

Oscillation)가 발생한 해로 여름철 동북아시아에 고기압 블로킹이 형성되면서 북태평양고기압이 서쪽으로 확장하는 경향이 있다는 연구결과가 있다(Wang *et al.*, 2001). 즉, 이러한 대기순환과의 상호작용에 의해 1998년 7월 오희츠크해고기압이 이례적으로 많이 출현했다고 판단된다. 2004~2010년의 오희츠크해고기압 출현일수는 분석기간 중 가장 적었다. 2004년과 2010년의 출현일수는 1일이며 2008년에는 오희츠크해고기압 출현이 없었다. 2008년 6월에서 7월에 걸친 육지기온 상승 폭은 3.7℃로 평균(4.2℃)보다 낮아 오희츠크해고기압이 발달하기에 불리한 조건이었다.

8월은 한반도에 영향을 미치는 오희츠크해고기압의 출현일수가 총 108일로 비교적 적었고, 1980년대 말에서 1990년대 중반에 걸쳐 오희츠크해고기압의 출현일수가 비교적 많았다. 오희츠크해고기압의 평균 출현일수는 2.7일이며 가장 많이 출현한 해는 1992년(13일)이다. 8월 오희츠크해고기압의 출현일수는 해수면온도 및 주변 육지기온, 해수면온도와 주변 육지기온과의 차이와도 상관관계가 낮다. 분석기간 중 8월 오희츠크해고기압이 출현한 해는 총 27년으로 분석에서 유의한 결과를 얻기 어려웠다.

4. 오희츠크해고기압의 강도 변동

앞에서 분석된 바와 같이, 오희츠크해고기압의 출현은 해수면온도의 변동은 물론 주변의 육지기온 변동의 영향을 받고 있다. 더욱이 주변 육지와의 온도 차이가 적어지거나 해수면온도가 높아지면 해면기압 값이 낮아질 수 있다. 그러므로 전구적인 기온상승과 오희츠크해 해역의 해수면온도 상승은 오희츠크해고기압의 강도 변동에 영향을 미칠 수 있다. Figure 11은 오희츠크해고기압의 강도 변동을 나타낸 것이다. 1980년대 초반까지 오희츠크해고기압의 강도가 증가하였으나 그 이후 최근까지 감소하는 경향이다. 즉, 1980년대 이후 오희츠크해의 해면기압 값이 평년에 비하여 점차 낮아지고 있음을 보여준다. 오희츠크해고기압의 강도가 가장 강한 해는 1988년(2.31)이고 가장 약한 해는

1978년(-3.11)이다.

오희츠크해고기압의 강도와 이에 영향을 미칠 수 있는 요인과의 관계를 보면, 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이 사이에 상관관계가 가장 높다. 오희츠크해고기압의 강도는 해수면온도에 의한 한랭역이 잘 발달할수록 커진다. 또한 오희츠크해 해수면온도와 주변 육지기온과의 차이가 클수록 한랭역이 강하게 발달할 수 있다. 오희츠크해고기압의 강도는 6월 오희츠크해 해수면온도와 육지기온과의 차이 사이에 상관관계수 $r=0.74$ 로 높은 양의 관계가 있다(유의수준 $\alpha=0.01$ 에서 유의함). 6월은 오희츠크해고기압의 출현빈도가 가장 높은 시기로 6월 강도가 연도별 오희츠크해고기압 강도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 즉, 6월 해수면온도와 주

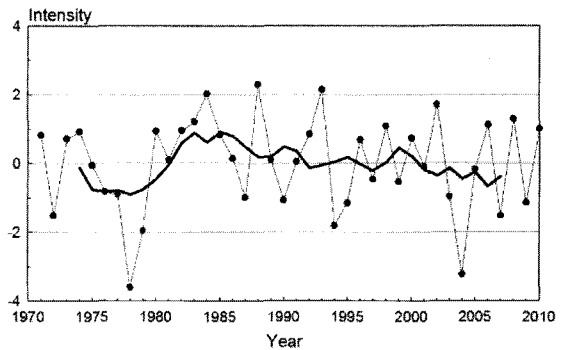


Figure 11. The annual intensity of Okhotsk high.
오희츠크해고기압의 강도

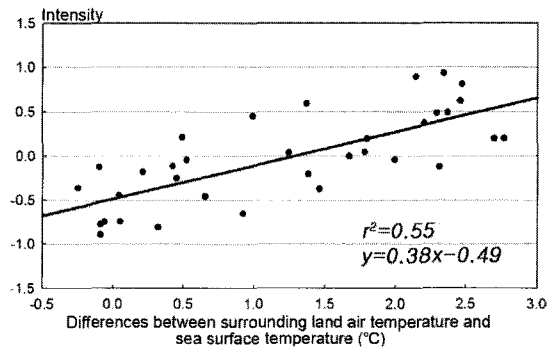


Figure 12. A scatter plot of annual intensity of Okhotsk high versus the difference between surrounding land air temperature and sea surface temperature in June. 오희츠크해고기압 강도와 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이의 관계

변 육지기온의 차이가 클수록 오호츠크해고기압의 강도가 강해진다. 연평균 오호츠크해고기압의 강도(y)와 6월 오호츠크해 해수면온도와 주변 육지기온과의 차이(x) 사이에는 $y=0.38x-0.49$ 의 관계가 있다(Figure 12). 즉, 6월 오호츠크해 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 1°C 커지면 오호츠크해고기압의 강도는 약 0.4씩 강해질 수 있다. 이 식의 결정계수(r^2)가 0.55로 6월 해수면온도와 육지기온의 차이가 오호츠크해고기압 강도 변동의 약 55%를 설명한다고 할 수 있다. 6월 주변 육지기온의 상승폭은 약 9.6°C로 전 월에 비하여 기온이 급격하게 상승하는데 비해 해수면온도의 상승폭은 약 4.2°C로 작아 한랭역이 형성되기 쉬운 조건이다.

또한 5월 오호츠크해 해수면온도와 육지기온의 차이와 오호츠크해고기압 강도 사이에도 상관계수 $r=0.54$ 로 비교적 높은 양의 관계가 있다. 5월 오호츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온 간의 차이가 크다는 것은 오호츠크해의 바다얼음이 아직 충분히 녹지 않아 주변 육지기온의 상승과 더불어 큰 차이를 보인다는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 5월에 바다얼음이 용해되지 않고 오호츠크해에 많이 남아있을수록 6월에도 낮은 해수면온도를 유지하여 오호츠크해고기압 강도를 강하게 할 수 있다.

이른 봄에 출현하는 오호츠크해고기압은 태양고도의 상승으로 주변 육지기온이 상승하면서 발달한다. 4월과 5월의 오호츠크해고기압 강도는 1980년대에 강하였으며 그 이후 평균보다 강도가 약하다. 4월과 5월 오호츠크해고기압의 강도는 5월의 주변 육지기온과 상관계수 $r=0.47$ 로 높은 양의 관계가 있으며, 5월 오호츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이 사이에도 상관계수 $r=0.59$ 의 높은 양의 관계가 있다. 즉, 4월과 5월 오호츠크해고기압의 강도는 주변 육지기온의 영향을 받으면서 해수면온도와 육지기온의 차이가 커질수록 강해지는 경향이다.

6월은 한반도에 영향을 미치는 오호츠크해고기압의 출현일이 가장 많은 시기로 이때의 강도가 연평균 강도에 보다 크게 영향을 미칠 수 있다. 6월의 오호츠크해고기압 강도는 1980년대부터 1990년대 말에 이르기까지 강하였으며 2000년대에 들어서는 평균보다 강도

가 약하였다(Figure 13). 2000년대 이후의 상승 경향은 보다 장기적인 관찰에 의하여 설명할 필요가 있다.

6월 오호츠크해고기압 강도는 6월 오호츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이와 양의 관계가 있다. 6월 오호츠크해고기압은 하층대기의 냉각으로 형성되지만 그 강도는 주변 육지기온과 해수면온도의 차이의 영향을 받는다고 할 수 있다. 6월 오호츠크해고기압 강도와 6월 오호츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이에 대해 상관계수 $r=0.85$ 로 높은 양의 관계가 있다. 즉, 6월의 오호츠크해고기압 강도는 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 클수록 강해질 수 있다.

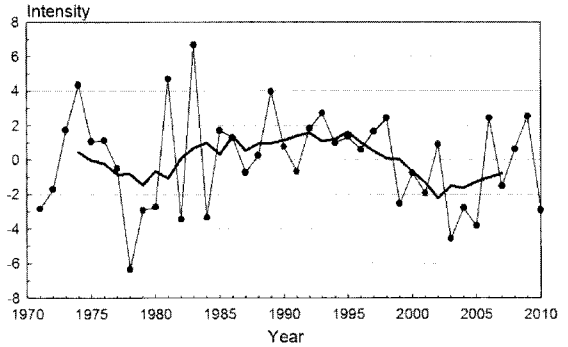


Figure 13. The intensity of Okhotsk high in June. 6월 오호츠크해고기압의 강도

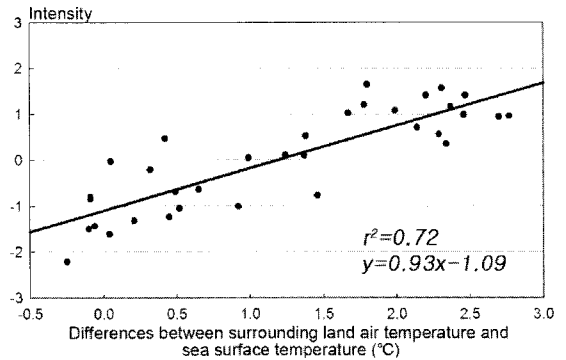


Figure 14. A scatter plot of intensity of Okhotsk high in June versus the difference of the surrounding land air temperature and the sea surface temperature in June. 6월 오호츠크해고기압 강도와 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이의 관계

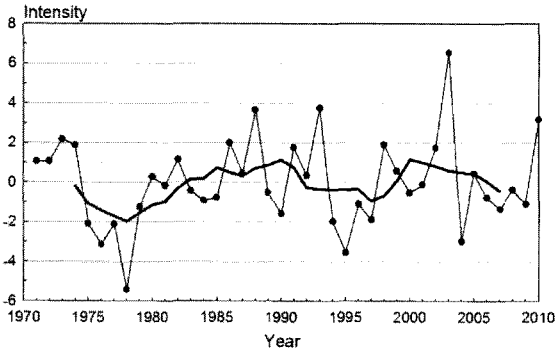


Figure 15. The intensity of Okhotsk high in July.
7월 오후츠크해고기압의 강도

6월의 오후츠크해고기압 강도(y)와 오후츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이(x) 사이의 관계식은 $y=0.93x-1.09$ 로 6월의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 1°C 커질수록 오후츠크해고기압 강도는 약 0.9씩 증가할 수 있다(Figure 14). 또한 결정계수(r^2)는 0.72로 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 6월 오후츠크해고기압 강도 변동의 약 72%를 설명하고 있다.

Figure 15는 7월 오후츠크해고기압 강도의 변동을 나타낸 것이다. 1980년대 중반에서 1990년대 초반에 걸쳐 강도가 강하였고, 그 후 1990년대 후반까지 강도가 약하였으며, 2000년대에 들어서 평균보다 강하지만 하강하는 경향이다. 따라서 최근의 경향 역시 장기적인 관찰로 연구해야 할 것이다. 표준편차는 2.08로 비교적 큰 편이며 강도가 가장 강한 해는 2003년(6.28)이며 가장 약한 해는 1978년(-4.31)이었다.

7월 오후츠크해고기압 강도는 해수면온도와 양의 관계가 있으며, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이도 양의 관계가 있다. 또한 7월의 오후츠크해고기압 강도는 7월의 오후츠크해 주변 육지기온과 상관계수 $r=0.68$ 로 높은 양의 관계가 있다. 이는 7월의 오후츠크해 주변 육지기온이 상승하여 해수면온도와와의 기온 차이가 커질수록 오후츠크해고기압의 강도가 강해질 수 있음을 의미한다. 즉, 7월 오후츠크해고기압 강도는 오후츠크해의 주변 육지기온이 큰 폭으로 상승하여 이미

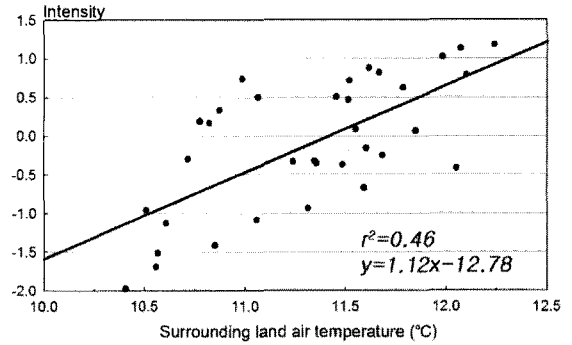


Figure 16. A scatter plot of the intensity of Okhotsk high in July versus the surrounding land air temperature in July. 7월 오후츠크해고기압 강도와 7월 주변 육지기온의 관계

충분히 가열되어 높아진 해수면온도와 차이가 커질수록 강도가 강해진다고 할 수 있다.

7월의 오후츠크해고기압 강도(y)와 7월 오후츠크해 주변 육지기온(x) 사이의 관계식은 $y=1.12x-12.78$ 로 7월 주변 육지기온이 1°C 상승할수록 7월 강도는 약 1.1씩 커진다고 할 수 있다(Figure 16). 여기서 결정계수(r^2)는 0.46으로 7월 주변 육지기온이 7월 오후츠크해고기압 강도 변동의 약 46%를 설명하고 있다.

5. 토의 및 고찰

시기별 오후츠크해고기압의 출현일수와 강도 사이의 상관계수는 Table 1에 나타내었다. 4월과 5월을 제외한 시기에서 모두 양의 관계를 보인다. 즉, 대부분의 시기에서 오후츠크해고기압의 출현일수가 많아질수록 강도도 강해지는 경향이다. 그러나 4월과 5월 오후츠크해고기압의 출현일수는 강도와 유의하진 않지만 음의 관계가 있다. 이는 상대적으로 낮은 주변 육지기온이 상승하면서 발달하는 이른 봄철 오후츠크해고기압 특성에 따른 것이라 생각 할 수 있다.

오후츠크해고기압은 봄철 바다얼음의 용해와 동시 베리아의 용설수로 인한 낮은 해수면온도에 의해 형성된다. 1951~2009년의 기간에 대해 오후츠크해 연평균

해수면온도의 관계식은 $y=0.02x-40.73$ 이다. 즉, 분석기간 중 오호츠크해의 해수면온도는 100년 동안에 약 2.0℃의 비율로 상승하였다. 그 값을 계절별로 보면, 분석기간 중(60년 동안) 봄철에 약 1.3℃ 상승하였고, 여름에는 약 0.5℃, 가을은 약 0.8℃, 겨울은 약 1.4℃ 상승하였다(Figure 17). 여기서 주목할 점은 봄철 해수면온도의 상승폭이 여름과 가을에 비하여 높다는 것이다. 최근의 이러한 봄철 해수면온도의 상승은 오호츠크해고기압의 첫 출현일을 일러지게 하며, 이는 연도별 및 월별 오호츠크해고기압의 출현일수와 강도에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 최근의 기온상승에 따라 일러지는 첫 출현일과 이것이 오호츠크해고기압의 출현일수 및 강도에 미치는 영향에 대한 논의가 필요하다.

오호츠크해고기압의 첫 출현일과 출현일수 및 강도

사이의 상관계수를 Table 2에 나타내었다. 오호츠크해고기압의 첫 출현일은 연도별 출현일수 및 6월의 출현일수와 양의 관계가 있으며, 연평균 오호츠크해고기압의 강도와 6월의 강도도 오호츠크해고기압 첫 출현일과 양의 관계가 있다. 즉, 오호츠크해고기압이 일찍 영향을 미치기 시작한 해에 그 강도가 약하였다. Figure 18은 오호츠크해고기압의 첫 출현일과 6월의 오호츠크해고기압의 강도를 나타낸 것이다. 두 변수 사이의 상관계수는 $r=0.56$ 으로 양의 관계가 있으며, 오호츠크해고기압의 첫 출현일이 일러질수록 6월의 강도는 약해진다는 것을 의미한다. 오호츠크해고기압의 첫 출현일(x)과 6월의 강도(y) 사이의 관계식은 $y=0.15x-18.47$ 이다. 즉, 오호츠크해고기압의 첫 출현일이 10일 일러질수록 6월의 강도는 약 1.5씩 감소한다고 할 수

Table 1. The pearson's correlation coefficient between the occurrence days and the intensity of Okhotsk high. 시기별 오호츠크해고기압의 출현일수와 강도 사이의 상관계수

	Correlation coefficient (r)
Annual	0.77**
April and May	-0.16
June	0.39*
July	0.47**
August	0.36*

* Significant at the 95% level, ** Significant at the 99% level

Table 2. The pearson's correlation coefficients between the first occurrence date with the occurrence day and the intensity of Okhotsk high in annual and June. 오호츠크해고기압의 첫 출현일과 연평균 및 6월의 출현일수 · 강도 사이의 상관계수

	Correlation coefficients (r)	
	Frequency	Intensity
Annual	0.54*	0.56*
June	0.61*	0.56*

*: Significant at the 99% level

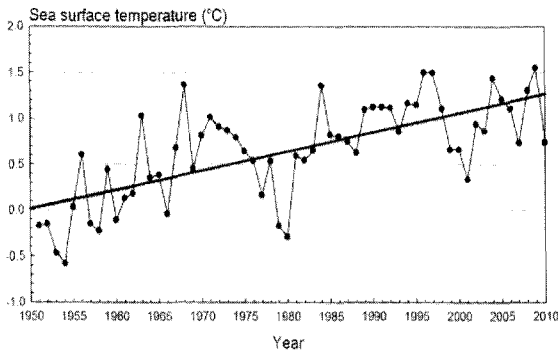


Figure 17. The change of the sea surface temperature of Okhotsk sea in spring(March to May). 오호츠크해의 봄철 해수면온도 변화

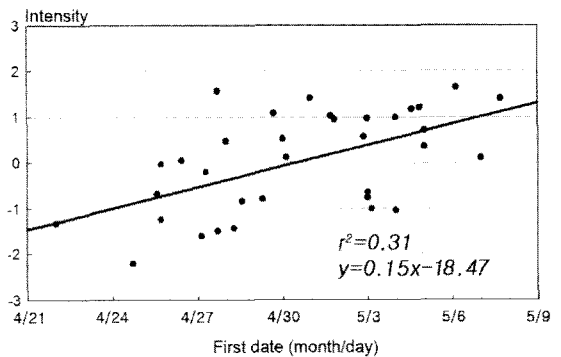


Figure 18. A scatter plot of the first occurrence date of Okhotsk high versus intensity of Okhotsk high in June. 오호츠크해고기압의 첫 출현일과 6월 오호츠크해고기압 강도의 관계

있다. 그러나 결정계수(r^2)는 0.31에 불과하여 오호츠크해고기압 강도 변동의 설명력은 낮다. 전구적인 기온상승은 오호츠크해 주변 육지기온 뿐 아니라 오호츠크해의 해수면온도에도 영향을 미친다. 4월 해수면온도의 상승은 6월 해수면온도의 상승으로 이어져, 결국 6월의 주변 육지기온과 해수면온도의 차이를 작게 하므로 6월의 오호츠크해고기압의 강도를 약하게 할 수 있다. 오호츠크해고기압의 첫 출현일은 육지기온의 상승과 관련 있으므로, 오호츠크해고기압이 일찍 출현하였을 때, 그 강도가 약하다는 것은 기온상승으로 오호츠크해고기압의 강도가 약화될 수 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

최근의 기온상승은 한반도에 영향을 미치는 오호츠크해고기압의 첫 출현일을 일러지게 할 수 있으며, 이는 오호츠크해고기압의 강도를 약하게 할 수 있다는 것이다. 첫 출현일이 일러짐과 함께 6월 해수면온도 또한 상승하므로 6월 오호츠크해고기압의 출현일수는 감소하며, 한랭역 형성이 어려워져 강도가 약해질 수 있다. 그러나 최근의 기온상승은 7월 오호츠크해 주변 육지기온을 상승시켜 오호츠크해고기압 출현일수를 증가시킬 수 있다. 같은 에너지를 공급받더라도 육지와 바다의 비열 차이에 의해 오호츠크해의 해수면온도의 상승폭은 주변 육지기온에 비해 작으므로 전구적으로 기온이 상승하면 7월 오호츠크해의 해수면온도와 주변 육지기온의 차이는 커질 수 있다. 즉, 7월 주변 육지기온의 상승은 7월 오호츠크해고기압의 출현일수를 증가시키고 강도는 강하게 할 수 있다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 한반도에 영향을 미치는 오호츠크해고기압의 출현일을 선정하고 출현일과 강도의 변동을 규명하고자 하였다. 오호츠크해고기압의 출현일과 강도의 변동을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

오호츠크해고기압의 첫 출현일은 4월 주변 육지기온의 영향을 받는다. 이 시기는 오호츠크해에 한랭역이 완전히 형성되지 않은 상태에서 태양고도의 상승으

로 인한 주변 육지기온 상승에 의해 오호츠크해고기압이 형성된다. 따라서 4월 육지기온이 상승할수록 오호츠크해고기압의 첫 출현일은 일러지는 경향이다.

오호츠크해고기압의 출현일수는 점차 감소하는 경향이며, 그 강도는 6월 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 클수록 강해진다. 오호츠크해고기압의 4월과 5월 출현일수는 오호츠크해의 주변 육지기온이 상승할수록 증가하며, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 커질수록 강도가 강해진다. 6월 오호츠크해고기압의 출현일수는 주변 육지기온이 상승할수록 증가하며, 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 클수록 강도가 강해진다. 오호츠크해 주변 육지기온이 상승할수록 7월 출현일수는 증가하며 해수면온도와 주변 육지기온의 차이가 커질수록 7월 오호츠크해고기압의 강도는 강해진다.

첫 출현일이 일러짐에 따라 4월과 5월의 오호츠크해고기압 출현일수는 증가하고 강도는 약해질 수 있다. 또한 6월 오호츠크해고기압 출현일수는 감소할 수 있으며 강도는 약해질 수 있다.

오호츠크해고기압은 동해안과 태백산지의 기후에 미치는 영향이 크며, 결과적으로 이 지역의 농업에도 영향을 미칠 수 있다. 그러나 본 연구의 결과와 같이 한반도에 영향을 미치는 오호츠크해고기압의 특성이 변화하고 있어 동해안, 태백산지의 농업에 미치는 영향도 바뀔 수 있으므로 추후 이에 관한 연구가 필요하다.

주

- 1) Lee(1994)는 영서지방의 썬 현상일을 선정하기 위해 동풍계의 바람이 불며, 풍하측인 영서지방의 기온이 풍상측인 동해안 지역보다 5℃ 높는데 반하여 습도는 낮은 날들을 즉, 고온건조한 동풍이 부는 날들을 썬현상일로 가정하였다.
- 2) Lee(1994)는 썬 현상이 발생할 때 풍하측의 강수현상의 원인을 규명할 수 없기 때문에 풍하측의 강수일을 썬 현상일에서 제외하였다.

참고문헌

- Heo, I. and Lee, S., 2006, Changes of unusual temperature events and their controlling factors in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(1), 94-105 (in Korean).
- Inoue, J., Kawashima, M., Fujiyoshi, Y., and Wakatsuchi, M., 2005, Aircraft observations of air-mass modification over the sea of Okhotsk during sea-ice growth, *Boundary-Layer Meteorology*, 117(1), 111-129.
- Kim, H.-G., Min, K.-D., Kim, K.-E., and Lee, K.-M., 1997a, Summer extraordinary low temperature in Korea and its relation to the characteristics of atmospheric circulations over Northern Hemisphere. Part I: Onset of the summer extraordinary low temperature and its synoptic aspects, *Journal of Korean Meteorological Society*, 33, 137-154 (in Korean).
- Kim, H.-G., Min, K.-D., Kim, K.-E., and Lee, K.-M., 1997b, Summer extraordinary low temperature in Korea and its relation to the characteristics of atmospheric circulations over Northern Hemisphere. Part II: Structures and characteristics of the atmospheric circulation, *Journal of Korean Meteorological Society*, 33, 155-177 (in Korean).
- Lapko, V. V. and Radchenko, V. I., 2000, Sea of Okhotsk, *Marine Pollution Bulletin*, 41(s 1-6), 179-187.
- Lee, E.-J., Kim, H.-G., and Min, K.-D., 1997, A case study on the summer extraordinary low temperature in the Korean Peninsula and the characteristics of atmospheric circulation over East Asia, *Journal of Korean Meteorological Society*, 33(4), 657-675 (in Korean).
- Lee, H.-Y., 1994, The Nopsae; A Foehn type wind over the Young Suh region of central Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 29(3), 266-280 (in Korean).
- Lim, J.-H. and Byun, H.-R., 2000, Characteristics of the development of the Okhotsk High and its relation to the atmospheric circulation over East Asia, *Journal of Korean Meteorological Society*, 36(4), 507-518 (in Korean).
- Ogi, M., Tachibana, Y., Nishio, F., and Danchenkov, M. A., 2001, Does the fresh water supply from the Amur river flowing into the Sea of Okhotsk affect sea ice formation?, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79(1), 123-129.
- Ohshima, K. I., Nihashi, S., Hashiya, E., and Watanabe, T., 2006, Interannual variability of sea ice area in the sea of Okhotsk: Importance of surface heat flux in fall, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84(5), 907-919.
- Sato, N. and Takahashi, M., 2004, Internal dynamics related to the occurrence of the Okhotsk High in midsummer, *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, 53, 189-196.
- Wang, Y., Wang, B., and Oh, J.-H., 2001, Impact of the preceding El Niño on the East Asian summer atmosphere circulation, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79(1B), 575-588.
- Wei, D., Wang, Y., and Dong, M., 2007, Effects of sea surface temperature anomalies off the east coast of Japan on development of the Okhotsk High, *Acta meteorologica sinica*, 21(2), 234-244.
- 교신: 이승호, 서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 이과대학 지리학과(이메일: leesh@konkuk.ac.kr, 전화: 02-450-3380)
Correspondence: Lee, Seungho, Department of Geography, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea (e-mail: leesh@konkuk.ac.kr, phone: +82-2-450-3380)
- 최초투고일 2011. 1. 28
수정일 2011. 2. 22
최종접수일 2011. 2. 23