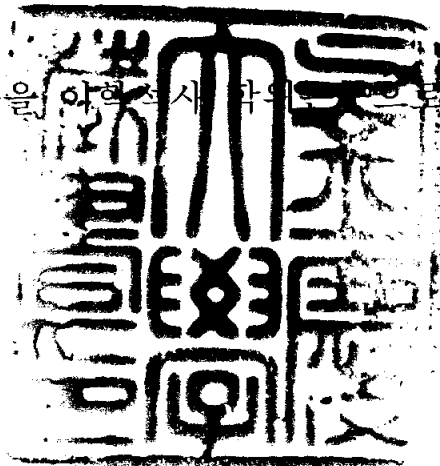


이학석사 학위 논문

동아시아지역에서 발생하는 Blocking의 특성

지도교수 변 희 룡

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함



2003년 2월

부경대학교 대학원

환경대기과학과

허 혜 숙

허혜숙의 이학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월 26일

주 심 이 학 박 사 권 병 혁 (인)

위 원 이 학 박 사 변 희 룡 (인)

위 원 이 학 박 사 정 형 빈 (인)

목 차

그림 목차	ii
표 목차	vi
Abstract	1
1. 서론	3
2. 자료 및 분석방법	7
3. 블로킹의 발생특성	8
3. 1. 블로킹의 정의	8
3. 2. 형태 별 분류	11
3. 3. 지역 분포	13
3. 3. 1. 경도 별 분포	13
3. 3. 2. 위도 별 분포	15
3. 4. 지속기간 별 분포	17
3. 5. 연 변동	18
4. 블로킹 발생 시 평균적 특성	22
4. 1. 고도장과 바람장 특성	22
4. 2. Snowcover와 온도장 분포	29
5. 1986년 7/4~7/22 블로킹의 사례 분석	37
6. 요약 및 결론	48
참고문헌	51

그림 목차

Fig. 1. Idealized sketch of the typical blocking system at the 500hPa geopotential height fields: A is Rex Type and B is Omega Type.	12
Fig. 2. Zonal distribution of frequencies of the blocking occurrences over 100-180° E and 50-70° N in (a) summer and (b) winter	14
Fig. 3. As in Fig. 2 but for the meridional	16
Fig. 4. The region of the maximum blocking occurrence that is 60-65° N, 120-130° E in summer and 60-65° N, 170-180° E in winter. Shaded areas indicate that is higher than 1000m.	16
Fig. 5. As in Fig. 2 but for duration	17
Fig. 6. As in Fig. 2 but for time series of blocking occurrences	19
Fig. 7. Differences between the composite mean of geopotential height for the period 1986/1987-2000/2001 and for the period of 1971/1972- 1985/1986 at 300hPa, 500hPa, 700hPa and 1000hPa, respectively (left) and one between the temperature (right). The contour intervals are 10gpm for the geopotential height fields, negative contours are dashed.	20
Fig. 8. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b)	

geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal
wind(ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 3.
The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b)
and 5 ms^{-1} for (c). The negative contours are dashed.
Area exceeding 40gpm for geopotential height fields and
30 ms^{-1} for wind speeds are shaded.25

Fig. 9. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b)
geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal
wind(ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 4.
The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b)
and 5 ms^{-1} for (c). The negative contours are dashed.
Area exceeding 40gpm for geopotential height fields and 30
 ms^{-1} for wind speeds are shaded.27

Fig. 10. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b)
geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal
wind(ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 5.
The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b)
and 5 ms^{-1} for (c). The negative regions are dashed. Area
exceeding 40gpm for geopotential height fields and 30
 ms^{-1} for wind speeds are shaded.28

Fig. 11. (a) The monthly snowcover in June, (b) snowcover in
Table. 3 and (c) snowcover anomaly.31

Fig. 12. The composite mean of (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c)

700hPa and (d) 500hPa temperature anomaly in June in the blocking cases years. The contour intervals are 0.3° C, negative contours are dashed.	32
Fig. 13. (a) The monthly snowcover in July, (b) snowcover in Table. 4 and (c) snowcover anomaly.	33
Fig. 14. Temperature anomaly at (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa, (e) 300hPa and (f) 200hPa on blocking cases in July. The contour intervals are 0.5° C at 1000hPa, 850hPa and 200hPa but 0.3° C at 700hPa, 500hPa and 300hPa, negative contours are dashed.	34
Fig. 15. (a) The monthly snowcover in August, (b) snowcover in Table. 5 and (c) snowcover anomaly.	35
Fig. 16. Temperature anomaly at (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa, (e) 300hPa and (f) 200hPa on blocking cases in August. The contour intervals are 0.5° C for temperature anomalies. The negative contours are dashed.	36
Fig. 17. Plot of 500hPa maximum or central height values(gpm) for the 500hPa short-wave ridge or blocking anticyclones versus time. Important periods of time within the blocking's lifecycle are separated by the vertical dashed lines.	38
Fig. 18. Plot of 500hPa minimum or central height values(gpm) for the 500hPa short-wave trough or lows versus time. Important periods of time within the blocking's lifecycle	

are separated by the vertical dashed lines.	38
Fig. 19. Regional 500hPa geopotential height(gpm) and 200hPa wind speed(ms^{-1}) maps for (a) and (b) 00UTC 01 July, (c) and (d) 00UTC 02 July, (e) and (f) 00UTC 03 July, (g) and (h) 00UTC 04 July, (i) and (j) 12UTC 05 July, (k) and (l) 00UTC 06 July, (m) and (n) 12UTC 07 July, (o) and (p) 12UTC 08 July, (q) and (r) 12UTC 11 July, (s) and (t) 12UTC 13 July, (u) and (v) 12UTC 14 July, (w) and (x) 12UTC 17 July, (y) and (z) 12UTC 22 July, 1986. The contour intervals are 60gpm for the height fields and $5 ms^{-1}$ for the wind speeds. The shaded regions are wind speeds exceeding $20 ms^{-1}$	42
Fig. 20. Regional 1000hPa height maps for (a) 00UTC 01 July, (b) 00UTC 02 July, (c) 12UTC 02 July, (d) 00UTC 04 July, (e) 12UTC 05 July, (f) 00UTC 07 July, (g) 00UTC 10 July, (h) 00UTC 13 July, (i) 12UTC 14 July, (j) 00UTC 16 July, (k) 12UTC 17 July, (l) 00UTC 19 July, (m) 12UTC 20 July, (n) 00UTC 22 July, 1986. The contour intervals are 2hPa.	46

표 목차

Table. 1. The characteristics of blocking occurrences	12
Table. 2. The characteristics of the blocking occurrence in summer.	24
Table. 3. Blocking cases over 55-60° N, 120-140° E in June	24
Table. 4. Blocking cases over 55-60° N, 110-130° E in July	26
Table. 5. Blocking cases over 55-60° N, 120-140° E in August	26

On the Characteristics of Blocking occurred over East Asia

Hye-Sook Hu

Department of Environmental Atmospheric Sciences,
Graduate school
Pukyong National University

Abstract

We have analyzed the characteristics of the blocking occurrence in the northern hemisphere over 100-180° E during 27 years (1974-2000).

The blocking phenomena mostly appear over 60-65° N, 120-140° E in summer and 60-65° N, 170-180° E in winter. The duration of the blocking is various from three days to nineteen days.

The total occurrence days of the Omega Type is about two times more than the Rex Type. The occurrence frequency increases in summer and decreases in winter. The duration of

Omega Type is about half of the Rex Type in winter. But in summer the two is almost same.

When the blocking occurs in summer, which generally is Omega Type, positive anomalies of geopotential height and easterlies appear in the blocking anticyclones with two westerlies branches. Also we suggest the possibilities of the decrease of the snowcover with the increase of temperature, when the blocking occurs.

One case of blocking that persisted during 19-days from 4 July 1986 through 22 July 1986 was investigated. It is found there are six stages. They are developing, onset, intensification, maturity and maintenance, decline and decay. It is also found that blocking anticyclone was accompanied with explosive cyclone.

1. 서론

대기의 블로킹이란 중위도 서풍대에 있어서 상층의 장파와 이에 수반되는 지상의 이동성 고·저기압의 이동이 느리거나 정체하는 현상을 말한다. 이러한 블로킹은 편서풍의 흐름이 비정상적으로 나타나 남북류를 강화시키고 동서류를 약화시켜 폭설, 한파, 지속적 강수, 지속적 무더위와 같은 기상이변을 낳기도 한다.

1904년도에 Garriott(1904)에 의해 처음으로 기록되었으며 계속적으로 연구되고 있으나, 아직까지 예측하기란 힘든 실정이다.

이전 연구자들(Berggren et al., 1949; Elliott and Smith, 1949; Rex, 1950a, b)은 블로킹의 종관적 특성이나 기후학적 특성을 설립하였다. Rex(1950b)는 블로킹이 대서양과 태평양의 북동지역에서 가장 자주 일어나고, 일반적으로 12-16일 동안 지속되고, 그리고 그 위치에서 상대적으로 안정하다고 하였다. 또한 블로킹의 기후학적 평균 위치는 주요한 중위도 제트류의 정상위치로부터 풍하측이며, 원시의 서풍 제트류는 중앙의 동풍류를 사이에 두고 남북으로 두 개의 서풍류 가지로 나뉘어진다고 하였다. 그리고 남쪽의 온도하강과 함께 블록된 지역의 북쪽에서 온도증가가 일어나며, 블록된 지역을 가로질러 평균 남북의 온도 경도는 크게 감소되거나 또는 심지어 역진된다고 하였다.

Rex(1950a)는 블로킹 고기압의 형성은 충분히 강한 저기압성 요란에 의해 제공되는 “finite external impulse”에 의해 초기화된다는 것을 관찰하였다. 그리고 저기압규모의 파동들은 Berggren et al. (1949)에 의해 연구된 대서양 블로킹을 발달시키는데 명백히 중요한

역할을 한다고 하였다.

Ratcliffe and Murray(1970)은 Newfoundland의 남부의 넓은 지역에서 차가운 해수면 온도(SST) 아노말리가 북유럽과 서유럽에서 블록된 날씨 패턴과 관련 있다는 것을 발견했다. Namias(1964)는 이와 유사한 관찰을 했고, Newfoundland 근처에서 차가운 SST 아노말리는 북유럽에서 블록 발달을 이끌고 증가하는 서대서양 저기압 발달의 원인이 된다고 하였다.

이후 블로킹의 발생 메커니즘에 대한 연구가 많이 행해졌다. 크게 두 가지의 연구로 나눌 수 있다. 첫 번째는 높은 산맥과 같은 지형에 의해 강제적으로 폭발성 저기압이 발달하여 블로킹이 수반되는 경우(Charney and Devore(1979), Frederikson(1982), Dole(1986), Shutts(1983, 1986), Sperenza(1986), Colucci(1987), Mullen(1987), Konrad and Colucci(1988), Tsou and Smith(1990), Tracton(1990), Alberta et al. (1991))이고, 두 번째는 장파 경압 과정(Hansen and Chen(1982), Shutts(1983), Mullen(1987), Nakamura and Wallace (1993))에 의한 경우이다. Shutts(1983)는 이전에 존재하는 분리된 제트의 강한 변형장의 영향 아래에서, 풍상측으로부터 일어나기 쉬운 저기압규모 eddies는 동-서 방향에서 압축되고, 남-북 방향에서 길어지며, 그리고 분리된 제트의 각 가닥에서 휘는 환경을 가진다는 것을 증명하기 위해서 순압 모델을 사용하였다. 이것은 운동량 플럭스를 이끌어 블록된 흐름의 에너지는 유지되고, 심지어 마찰소산과 이류에도 불구하고 강해진다고 하였다. 대기 블로킹과 관련하여 관찰된 eddy fluxes는 이것이 중요한 과정이라는 것을 나타낸다(Illari and Mashall, 1983).

부가적으로 고기압 와도 이류, 온도 이류가 간접적인 역할

(Alberta et al. (1991), Tsou and Smith(1990), Tracton, 1990)을 한다는 연구도 있었다. Alberta et al. (1991), Tsou and Smith(1990)는 블록 형성에서 온도 이류의 중요성을 언급했다. 반면, Tracton(1990)은 이러한 메커니즘이 좀 더 간접적인 역할을 했다는 것을 발견했다. Alberta et al. (1991)은 순압 forcing 과정들이 블로킹 유지기간을 지배했다는 이론을 설립하였다. Alberta et al. (1991) and Tsou and Smith(1990)는 또한 빠르게 발달하는 지표 저기압 이후 블로킹이 형성되는 것을 발견했다. 부가적으로, Tsou and Smith(1990)은 관련된 jet streak의 중요성을 언급했다. 빠른 지표 저기압 발달의 기간 후와 블록 형성 이전의 jet streak의 중요성을 언급했다. 뒤를 이어 Lupo and Smith(1995)는 Tsou and Smith(1990)의 블록 형성 메커니즘을 좀 더 심도 있게 연구하였다.

이러한 연구들은 블로킹의 다발지역의 대서양과 태평양과 유럽을 중심으로 했기 때문에, 아시아를 중심으로 한 연구는 부족한 실정이다. 아시아에서의 블로킹 관련 연구로는 Wang(1992), 김백조와 문승의(1997)의 연구를 들 수 있다. Wang(1992)은 블로킹 고기압은 Meiyu기간과 Meiyu rainfall의 지속일수와 양의 관계를 가진다고 하였다. 김백조와 문승의(1997)는 장마기간 강수량은 동북아시아 블로킹 고기압의 발생빈도 및 지속일수와 음의 상관관계를 가진다고 하였다. 하지만, 동아시아의 블로킹의 특성을 초점으로 하여 세밀하게 연구하지는 않았다. 그리하여 본 연구는 한반도를 중심으로 하여 동아시아에서 발생하는 블로킹의 특성을 살펴보고자 한다.

2장에서 사용된 자료와 분석방법을 설명하며, 3장에서 블로킹의 일반적인 특성을, 4장에서 여름철 블로킹 발생 시 평균적인 종관적 특성과 snowcover와의 관계를 살펴보고, 5장에서는 지속기간이 가

장 건 사례를 들어 발생에서부터 소멸까지의 전 과정을 살펴본다.
그리고 6장에서 요약하고 결론을 내린다.

2. 자료 및 분석방법

2. 1. 자료

NOAA/CDC(Climatic Diagnostics Center)에서 제작한 자료 중 고도, 바람, 온도자료의 월 평균 자료와 일 평균자료 그리고 00, 12UTC 자료를 이용하였다. 자료의 수평 분해능은 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 이며, 기간은 1974년부터 2000년까지 여름(6-8월)과 겨울(12-2월)동안이다. 월 평균 자료는 1948년 1월부터 2002년 7월까지 약 55년간의 자료이다. Snowcover는 1971년 1월부터 1995년 9월까지 약 2년간의 북반구 EASE-Grid Snowcover and Sea ice Extent 월 평균 자료이며, 수평 분해능은 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 이다.

2. 2. 분석방법

블로킹은 Wang(1992)의 Blocking 정의를 사용하였으며, 분석영역 $100^{\circ}\text{--}180^{\circ}\text{ E}$, $50^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{ N}$ 지역에서 블로킹 고기압의 중심이 나타날 때로 한정하였다. 블로킹의 일반적 특성은 여름과 겨울을 비교하여 분석하였다. 그리고 여름 동안 블로킹의 종관적 특성은 고도장과 바람장과 온도장 그리고 snowcover을 블로킹 해당지역에서 블로킹 발생시의 평균과 아노말리를 구하여 분석하였다.

1986년 7/4~7/22 블로킹의 사례 분석 시에는 00UTC와 12UTC의 고도장과 람장을 사용하였으며, 블로킹의 시작과 소멸의 결정은 Wang(1992)의 정의를 기준으로 결정하였다.

3. 블로킹의 발생특성

3. 1. 블로킹의 정의

본 연구를 위하여 선행되어야 할 것이 블로킹을 정의하는 것이다. 블로킹의 정의는 다양하며, 일반적으로 받아들여지고 있는 정의는 없는 실정이다. 연구자들마다 서로 다른 정의를 사용하고 있으며, 크게 비수치적 정의와 수치적 정의로 두 가지로 나눌 수 있다. 직접 일기도를 관측하여 블로킹을 조사하는 비수치적 정의방법은 초기 연구자인 Rex(1950)에 의해 도입되었으며 다음과 같다.

- 1) 기본적 중위도 서풍류는 두 가지로 분리되어야 한다.
- 2) 분리된 서풍류의 각 가지(jet)는 뚜렷한 질량을 수송해야만 한다.
- 3) 서풍류는 적어도 45° 정도 이상 확장되어야 한다.
- 4) 동서류에서 남북류로의 변화는 분리된 서풍류의 지역을 가로질러 일어나야만 한다.
- 5) 1)에서 4)까지의 이러한 패턴은 적어도 10일 이상 지속되어야 한다.

White and Clark(1975)과 Treidl et al(1975)도 Rex(1950)의 정의를 이용하였다. 이후 Wang(1992)은 Rex의 방법을 아시아 지역에 맞게 수정하여 사용하였다.

컴퓨터를 이용하여 계산이 용이한 수치적 정의는 Elliot and Smith(1949)에 의해 도입되었으며, 이후 블로킹 연구가들의 대다수에 의해 사용되고 있다. 비수치적 정의는 3가지로 크게 나눌 수 있

는데 아노말리를 이용한 경우, 남북 고도 차를 이용한 경우 그리고 기타 방법이 있다. 첫째, 아노말리를 이용한 경우는 500hPa의 아노말리를 이용한 경우와 그 외의 고도를 사용한 경우로 나눌 수 있다. 먼저 500hPa 아노말리를 이용한 경우이다. Hartman(1980)은 태평양에서 375gpm, 대서양에서 370-500gpm의 아노말리가 각각 6일, 5일 이상 지속될 때로 블로킹을 정의하였으며, Dole and Gordon(1983)은 ≥ 100 gpm이 10일 이상 지속될 때로 정의하였다. Mullen(1986; 1987)은 PACS와 WNAS에서 200gpm, ATLS에서 150gpm이 7일 이상 지속될 때로 정의하였다. Miyakoda(1990)는 120gpm이 8일 이상 지속될 때로 정의하였다. 다음으로 500hPa 외의 아노말리를 이용한 경우이다. Elliot and Smith(1949)는 지표기압의 아노말리가 어떤 임계치를 3일 이상 지속적으로 초과시, Trenberth(1985)는 1000hPa 지오폠펜셜 고도 아노말리가 50gpm 이상 지속적으로 초과시, Werner(1986)는 유선함수 아노말리가 $15 \times 10^6 m^2 s^{-1}$ 이 5일 이상 지속적으로 초과시, Lejenas(1995)는 해수면기압 아노말리가 5일 이상 임계치를 넘을 때로 정의하였다. 수치적 정의방법 중 두 번째 방법은 선정된 두 위도에서 남북의 500hPa 지오폠펜셜 고도 차를 이용한 경우로 Lejenas and Okland(1983)는 $Z_{40^\circ N-60^\circ N}^1$ 의 값이 음의 값을 가질 때로, Kung and Baker(1989)는 $Z_{66^\circ N-46^\circ N}$ 의 값이 경도선을 따라 50gpm이상일 때로, Lejenas(1999)는 $Z_{35N-50^\circ N}$ 의 값이 음의 값을 가질 때로 정의하였다. 기타방법으로 Baur(1958)는 지오폠펜셜 고도 최대값이 $50^\circ N$ 이상에서 존재하며 어떤 임계치를 초과시로 정의하

1) $Z_{40^\circ N-60^\circ N}$: $40^\circ N$ 에서의 500hPa 지오폠펜셜 고도값에서 $60^\circ N$ 에서의 500hPa 지오폠펜셜 고도값을 뺀 값

였고, Anthony(1986)은 파수가 2-4인 경우의 필터링한 자료에서 7-30일의 주기성분만을 추출하였으며, Renwick(1999)는 500hPa 지오폠텐셜 고도 진폭이 5일 평균해서 표준편차가 0.5를 초과할 때로 정의하였다.

비수치적 방법은 일기도에서 즉각 분석이 가능하여 예보에 즉시 활용할 수 있다는 장점을 가진 반면, 방대한 자료를 사용할 때는 많은 시간이 걸린다는 단점이 있다. 수치적 정의방법의 경우 컴퓨터를 사용하여 계산이 용이하다는 장점에 있는 반면에, 모든 경우의 블로킹을 감지할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 블로킹 정의들의 대부분이 아메리카와 유럽과 태평양을 중심으로 한 것들이다. 그리하여 본 연구에서는 블로킹 사건을 찾기 위하여 아시아에 맞게 Rex의 정의를 수정한 Wang(1992)의 정의를 사용하였으며, 다음과 같다.

(i) 500mb 고도에서 닫힌 등치선을 가진 고기압 중심은 $50-70^{\circ}$ N에서 중위도와 고위도에 존재한다.

(ii) 고기압 지역은 적어도 3일 동안 지속적이며, 고기압 중심의 위상속도는 7° longitude/days보다 적다.

(iii) 이 기간 동안, 경도 40° 보다 더 넓게 분리된 가지는 적어도 2일 동안 지속되어야 한다.

위 조건에 맞는 블로킹은 Rex형과 Omega형으로 분류된다.

3. 2. 형태 별 분류

블로킹은 상층패턴에 따라 Rex형과 Omega형으로 분류된다. Rex형은 Fig. 1. A와 같이 블로킹 고기압과 남쪽의 저기압이 남북으로 한 쌍을 이룰 때이고, Omega형은 Fig. 1. B와 같이 남쪽의 저기압 없이 블로킹 고기압만 있을 때이다. Rex형은 기준을 정하기가 어려워 남북 고·저기압의 중심경도의 차이가 10° 이내일 때로 제한하였다.

Table. 1은 블로킹의 발생 수와 평균지속기간을 나타낸 것이다. 발생 수는 여름과 겨울 모두 Omega형이 Rex형보다 거의 두 배 정도로 많이 나타났다. 하지만 평균지속기간은 Rex형이 더 길게 나타났다. 여름은 두 형태간 평균지속기간은 차이가 작았으나, 겨울은 Rex형이 6.11일로 여름철 3.17일에 비해 약 2배 가량 길게 나타나 여름철과는 큰 차이를 보였다.

그리고 블로킹 기간 중 모양이 변하는 경우가 있었다. 이 중 80%가 Omega형에서 Rex형으로 바뀌었다.

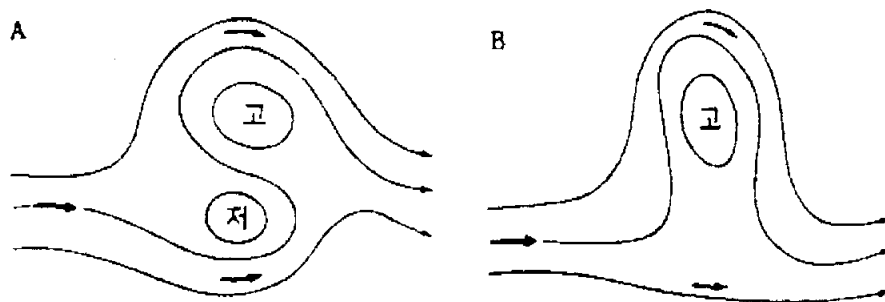


Fig. 1. Idealized sketch of the typical blocking system at the 500hPa geopotential height fields: A is Rex Type and B is Omega Type.

Table. 1. The characteristics of blocking occurrences

		Omega Type	Rex Type	Total
Frequency	Summer	82	51	133
	Winter	35	19	54
Average	Summer	3.68	3.71	3.69
Duration	Winter	3.17	6.11	4.09

3. 3. 지역 분포

3. 3. 1 경도 별 분포

Rex(1950)의 통계에 따르면, 블로킹의 다발지역은 고위도($60-70^{\circ}$ N)의 태평양 및 대서양 동부(40° W- 0° , 120° W- 0°)지역이다. 본 연구는 분석영역이 $100-180^{\circ}$ E로 국한되어 있어 Rex의 다발지역과 비교하기는 어렵다. Fig. 2는 1974-2000년의 27년간 여름과 겨울 동안 $50-70^{\circ}$ N, $100-180^{\circ}$ E,에서 경도 10° 간격으로 블로킹의 발생일수를 나타낸 것이다. 여름에는 블로킹이 $120-140^{\circ}$ E에서 가장 높은 빈도를 보였고(Fig. 2. (a)), 겨울에는 $170-180^{\circ}$ E의 지역에 집중적으로 분포하고 있다(Fig. 2. (b)). 겨울철 최대 발생지역은 Rex의 다발지역 중 한 곳과 일치하고 있다. 하지만 여름철은 다른 양상을 보이고 있다.

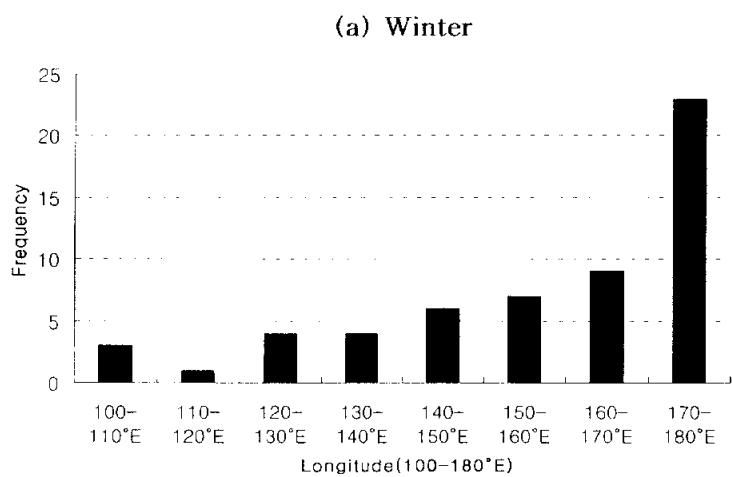
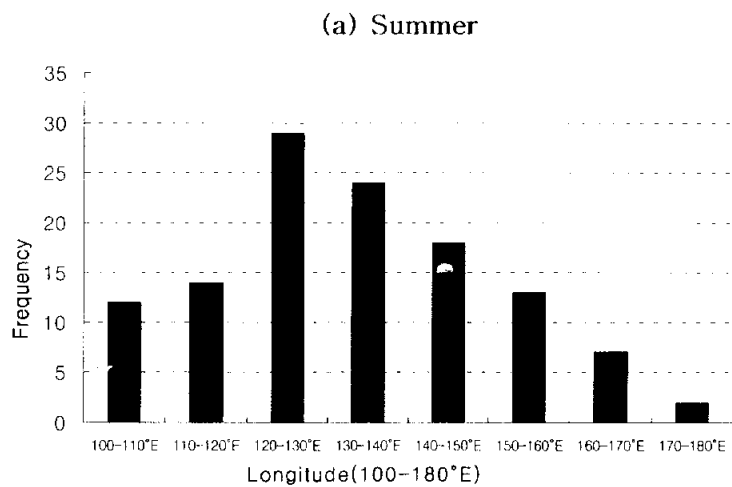


Fig. 2. Zonal distribution of frequencies of the blocking occurrences over 100-180° E and 50-70° N in (a) summer and (b) winter

3. 3. 2. 위도 별 분포

Fig. 3은 블로킹의 위도 별 분포를 나타낸다. 여름철과 겨울철 모두 60-65° N에서 가장 높은 빈도를 나타낸다. 여름철은 위도 별로 고르게 분포하는 반면에 겨울철에는 55-70° N의 고위도에 집중되어 있다.

분석 영역 중 블로킹의 다발지역은 Fig. 4에서 표시되었으며, 진하게 칠해진 부분은 1000m이상의 높은 고도의 지역이다. Fig. 4의 왼쪽 영역은 여름철 다발지역(60-65° N, 120-140° E)으로, 동쪽에는 베르호얀스크 산맥이 위치하며, 남쪽에는 스타노보이산맥이 위치한다. 이러한 지형은 블로킹 고기압이 지형에 의한 폭발성 저기압에 의해 수반된다는 많은 연구들((Charney and Devore(1979), Frederikson(1982), Dole(1986), Shutts(1983, 1986), Sperenza(1986), Colucci (1987), Mullen(1987), Konrad and Colucci(1988), Tsou and Smith (1990), Tracton(1990), Alberta et al. (1991))과 같은 결과를 가져온다. Fig. 4의 오른쪽 영역은 겨울철 다발지역(60-65° N, 170-180° E)으로 베링해 연안으로, 여름철 다발지역과 같은 높은 산맥으로 둘러싸인 지형은 아니다. 그러므로, 겨울철과 여름철의 블로킹 발생 메커니즘은 다른 것으로 보인다.

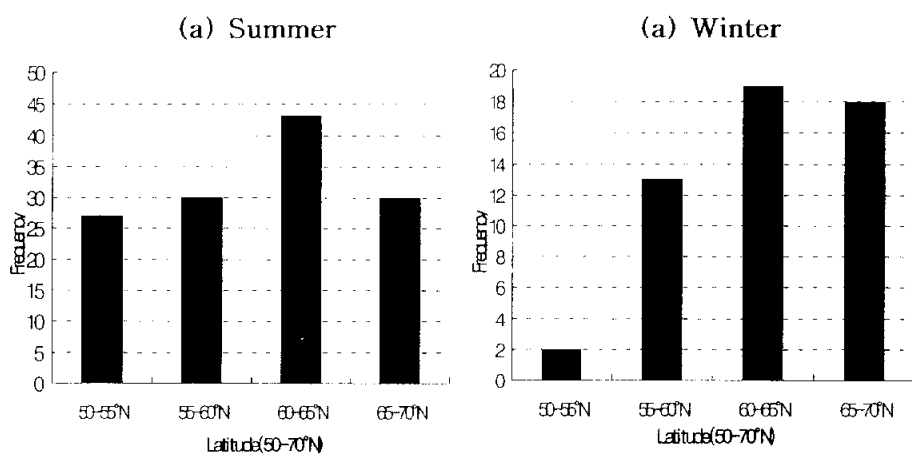


Fig. 3. As in Fig. 2 but for the meridional

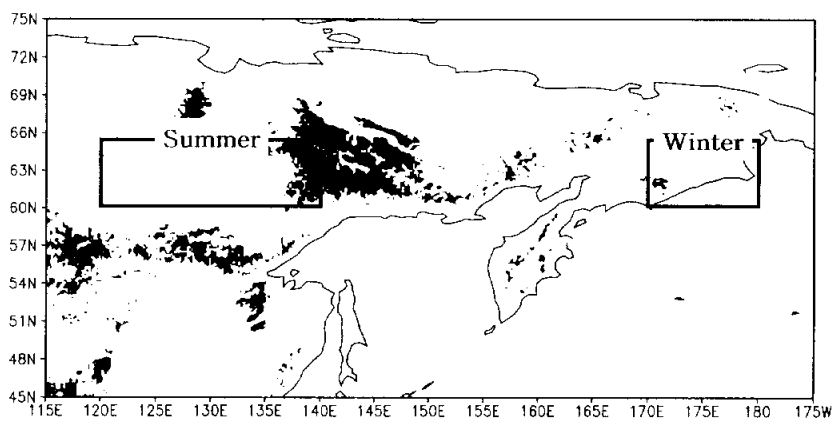


Fig. 4. The region of the maximum blocking occurrence that is 60-65° N, 120-130° E in summer and 60-65° N, 170-180° E in winter. Shaded areas indicate that is higher than 1000m.

3. 4. 지속기간 별 분포

Fig. 5는 블로킹 지속기간 별 발생수를 나타낸다. 지속기간은 최소 3일에서 최대 19일까지 다양하며, 빈도수와 반비례하였다. 이러한 양상은 여름철과 겨울철 둘 다 비슷하게 나타났다.

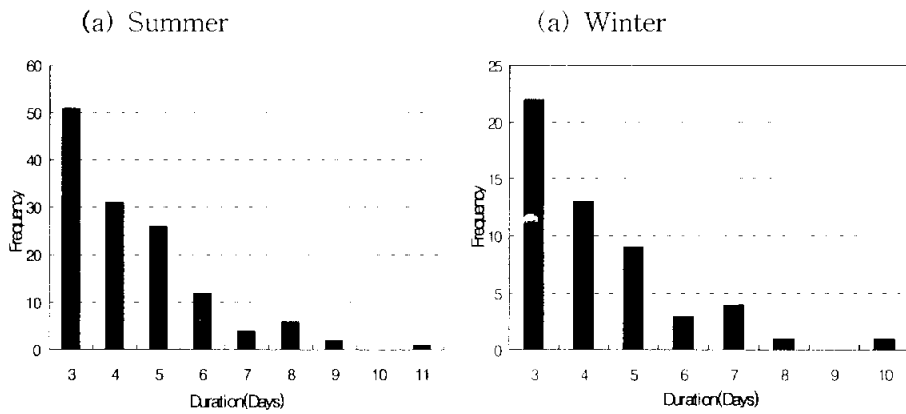


Fig. 5. As in Fig. 2 but for duration

3. 5. 연 변동

Fig. 6은 블로킹 발생수의 연 변동을 나타낸다. 여름은 1998년도에 최대치를 보였고, 겨울은 1995년에 첫 번째 최대치, 1983년에 두 번째 최대치를 보였다. Renwick(1998)는 오스트레일리아 봄과 여름 동안 남동태평양에서 특히 ENSO cycle의 warm phase동안 블로킹 발생일이 평균보다 증가함을 발견한 바 있다. 실제 엘니뇨는 1982-1983년도에 최대치를 보였고, 1987-1998년도 엘니뇨 발생해임을 감안할 때 블로킹 발생과 엘니뇨가 관련이 있는 것으로 보인다. 그리고 연별 변동성을 분석해 본 결과 여름과 겨울 둘 다 불규칙적으로 2-5년의 주기성을 가지고 블로킹이 발생하였다.

여름철에는 블로킹 발생수가 약간 증가하는 경향을 보였으며, 겨울철에는 반대로 감소하는 경향을 보였다. Fig. 7은 겨울 동안 최근 15년과 과거 15년의 지오폠텐셜 고도 차이와 온도의 차이를 구한 그림으로, 블로킹의 3대 발생지역인 중앙아시아, 알래스카, 북대서양에서 상층 지오폠텐셜 고도 변화의 음의 중심이 나타난다. 그러므로, 고도의 감소는 파동의 진폭을 약화시켜 블로킹의 발생을 약화시킴을 알 수 있다.

여름철과 겨울철의 블로킹 발생수의 상관계수는 -0.25로 거의 상관이 없는 것으로 나타났다.

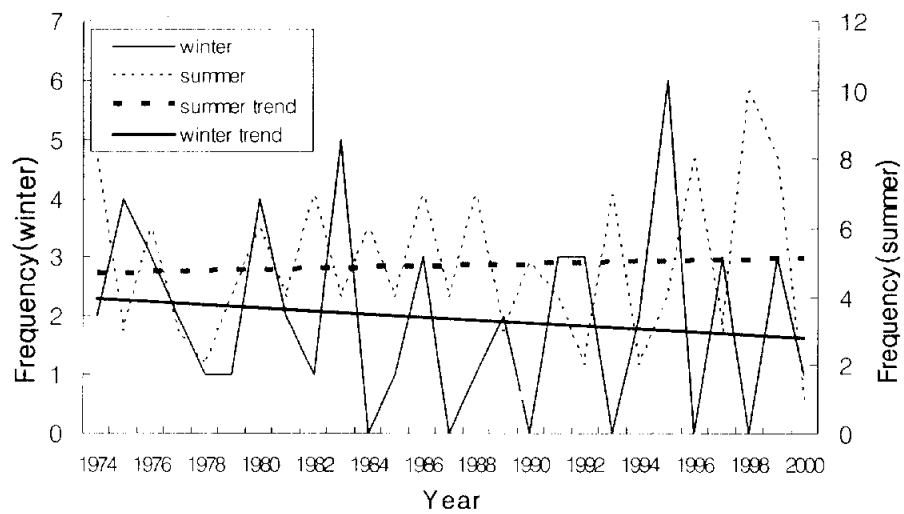


Fig. 6. As in Fig. 2 but for time series of blocking occurrences

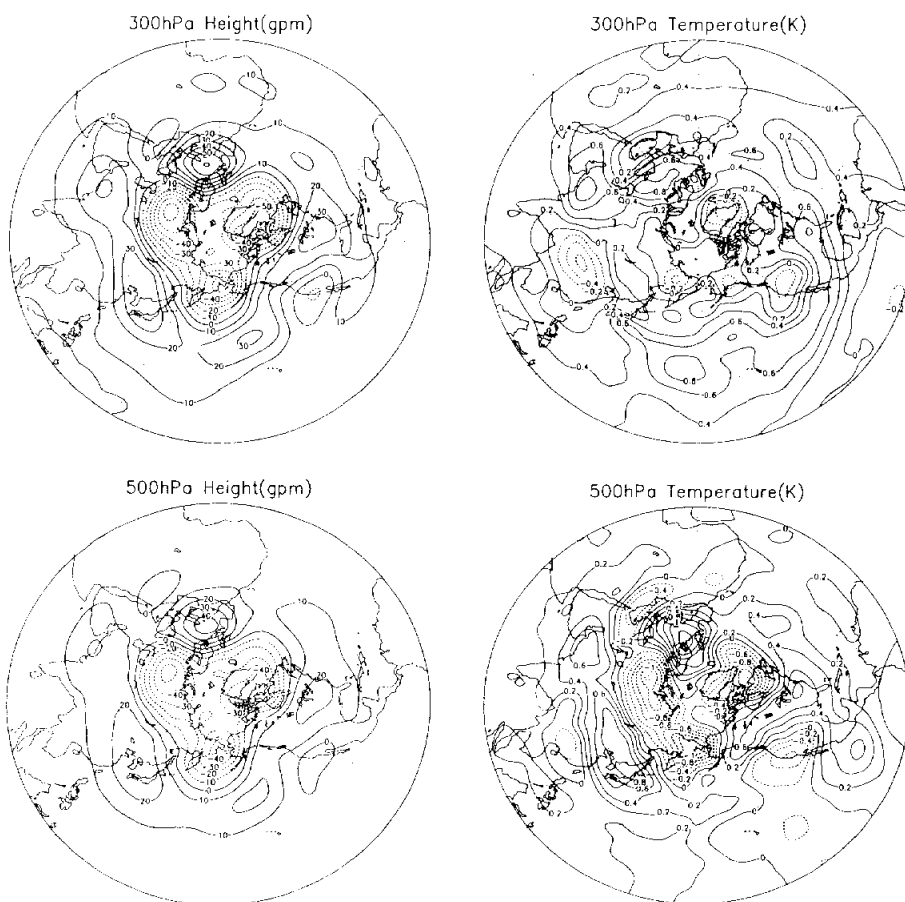


Fig. 7. Differences between the composite mean of geopotential height for the period 1986/1987–2000/2001 and for the period of 1971/1972–1985/1986 at 300hPa, 500hPa, 700hPa and 1000hPa, respectively (left) and one between the temperature (right). The contour intervals are 10gpm for the geopotential height fields, negative contours are dashed.

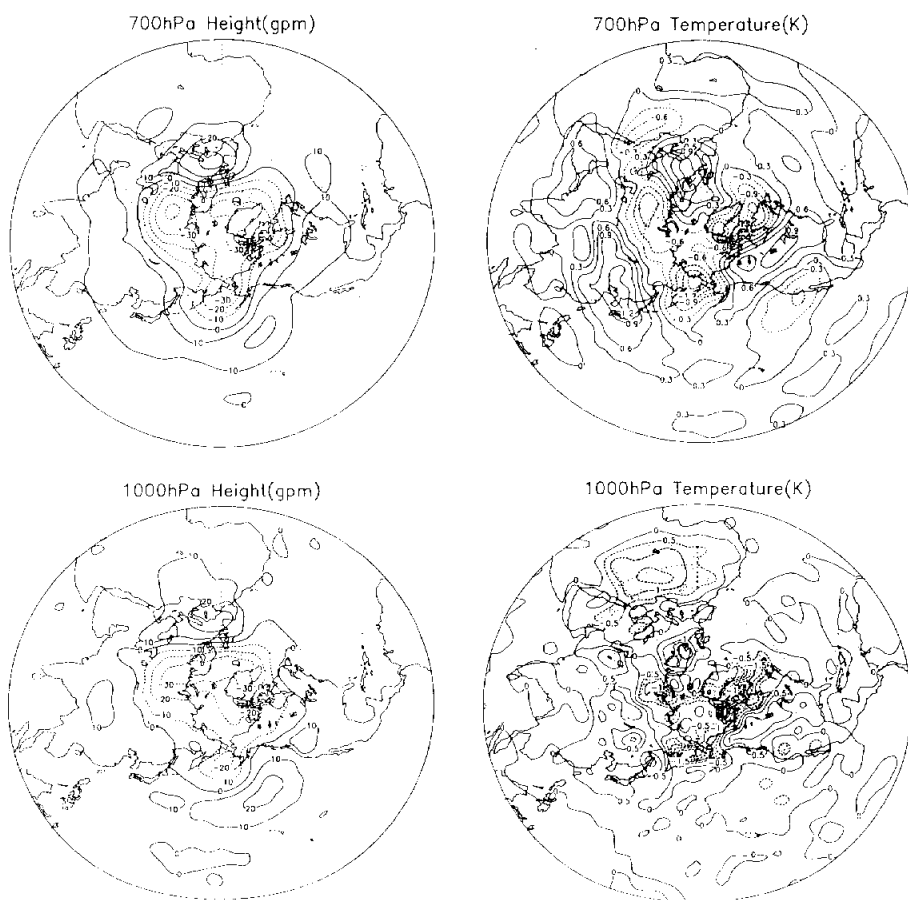


Fig. 7. (continued)

4. 블로킹 발생 시 평균적 특성

4. 1. 고도장과 바람장 특성

Table. 2는 분석기간 중 여름에 블로킹 발생 시 10일 간격으로 조사한 발생 수, 최대 발생지역, 많이 나타나는 형태, 지속기간과 최대 지속기간을 나타낸다.

여름철 블로킹은 6월에 가장 많이 발생하였으며, 형태별로는 Omega형이 많이 나타났고, 가장 오래 지속된 블로킹은 1986년 7월 4일부터 1986년 7월 22일까지 19일간 지속된 경우이다(Table. 2).

Table. 3은 6월에 블로킹 빈도수가 가장 높은 55-60° N, 120-130° E 지역에서의 블로킹 사례이고, Fig. 8. (a)는 이에 대한 500hPa 지오폠펅셜 고도 합성도로 Omega형 블로킹이 나타나고, 중심고도는 5720gpm으로 57° N, 130° E에 위치한다. 같은 지역에서 양의 고도 아노말리가 나타나고, 북유럽과 미국 서해안에서도 뚜렷이 나타난다(Fig. 8. (b)). 그리고 200hPa 바람장 분석 시, 블로킹 고기압 중심에서 동풍류가 나타나며(Fig. 8. (c)), 동풍류의 남북으로 서풍류가 나타난다. 블로킹 지역의 남쪽에서 30 ms^{-1} 을 넘는 강한 서풍이 띠의 형태로 길게 나타난다. Omega형 블로킹 고기압, 양의 아노말리, 두 가지로 갈라진 서풍류와 고기압 중심에서의 동풍류는 Omega형 블로킹의 일반적인 특성으로 유럽에서 나타나는 Omega형 블로킹과 비슷한 형태를 보인다.

7월은 55-60° N, 110-130° E 지역에서 블로킹이 가장 많이 발생했다(Table. 4). Fig. 9. (a)는 이에 대한 500hPa 지오폠펅셜 합성도

로, 56° N, 114° E에서 6월과 같은 중심시도를 가진 Omega형 블로킹 고기압이 나타난다. 그리고 고기압의 중심 지역과 알류산 열도에 서 40gpm 이상의 양의 고도 아노말리가 나타난다(Fig. 9. (b)). 6월과 달리 7월은 200hPa 바람장에서 블로킹 고기압지역에서 동풍류가 나타나지 않는다(Fig. 9. (c)).

8월은 $55-60^{\circ}$ N, $120-140^{\circ}$ E지역에서 블로킹이 가장 많이 발생했다(Table. 5). Fig. 10. (a)는 이에 대한 500hPa 지오포텐셜 합성도로, 6, 7월과 마찬가지로 Omega형 블로킹 고기압이 나타나며, 중심은 58° N, 129° E에서 나타난다. 하지만 200hPa 바람장은 7월과 마찬가지로 블로킹 지역에서 동풍류가 나타나지 않는다(Fig. 9. (c)).

Table. 2. The characteristics of the blocking occurrence in summer.

Date	Frequency	Maximum Region	Type	Duration (Days)	Max Duration
6.1-6.10	16	120-130° E	Rex	4.75	8
6.11-6.20	24	30-40° E	Omega	4.17	8
6.21-6.30	20	40-60° E	Omega	4.9	8
7.1-7.10	21	110-130° E	Omega	4.71	19
7.11-7.20	15	140-150° E	Omega	4.8	11
7.21-7.31	13	70-80° E	Omega	3.85	9
8.1-8.10	7	20-30° E	Omega	4.14	8
8.11-8.20	10	20-30° E	Omega	4.1	6
8.21-8.31	5	120-130° E	Omega	3.8	5

Table. 3. Blocking cases over 55-60° N, 120-140° E in June

Year	Date	Latitude(° N)	Longitude(° E)	Duration(Days)
1977	6.13-6.20	59	131	8
1980	6.24-6.26	56	129	3
1988	6.14-6.16	58	139	3
1995	6.18-6.23	56	125	6
1998	6.16-6.19	58	139	4

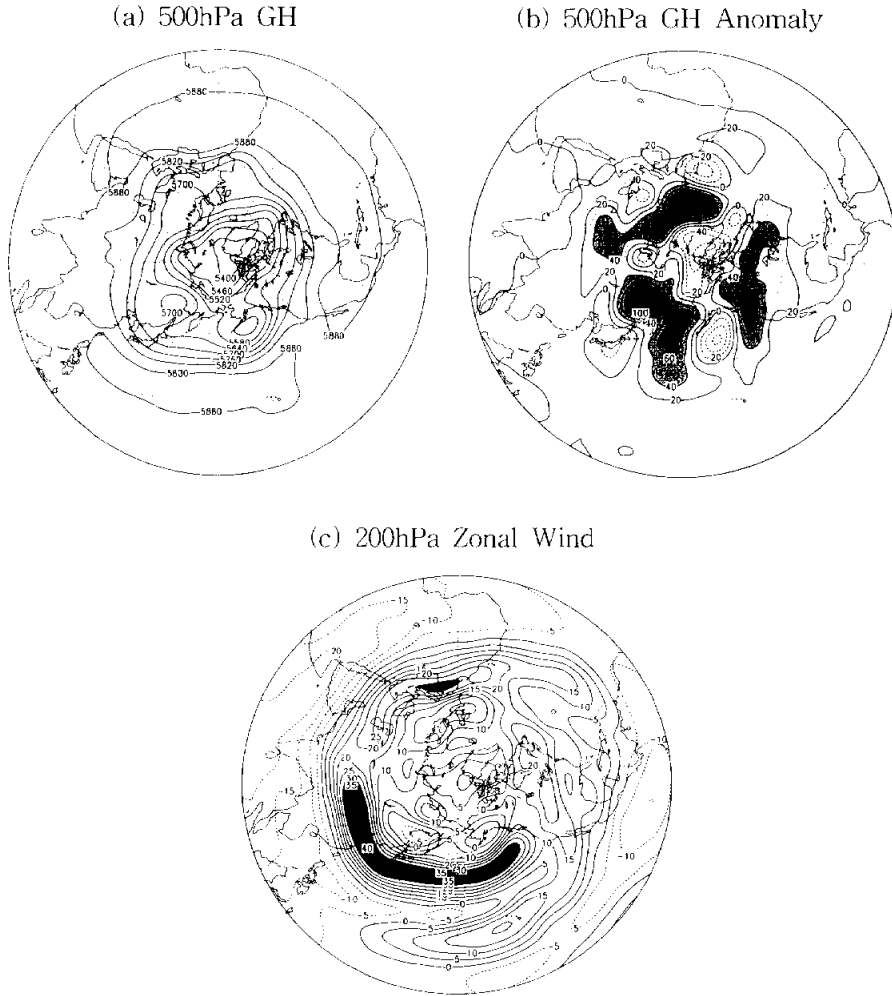


Fig. 8. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b) geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal wind (ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 3. The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b) and $5 ms^{-1}$ for (c). The negative contours are dashed. Area exceeding 40gpm for geopotential height fields and $30 ms^{-1}$ for wind speeds are shaded.

Table. 4. Blocking cases over 55-60° N, 110-130° E in July

Year	Date	Latitude(°N)	Longitude(°E)	Duration(Days)
1980	7.24-7.26	56	129	3
1985	6.30-7.02	58	119	3
1986	7.03-7.18	59	119	17
1992	7.09-7.11	55	117	3

Table. 5. Blocking cases over 55-60° N, 120-140° E in August

Year	Date	Latitude(° N)	Longitude(° E)	Duration(Days)
1976	7.04-7.06	61	135	3
1996	8.11-8.15	55	125	5
1997	8.12-8.14	55	129	3
1995	8.24-8.28	61	127	5

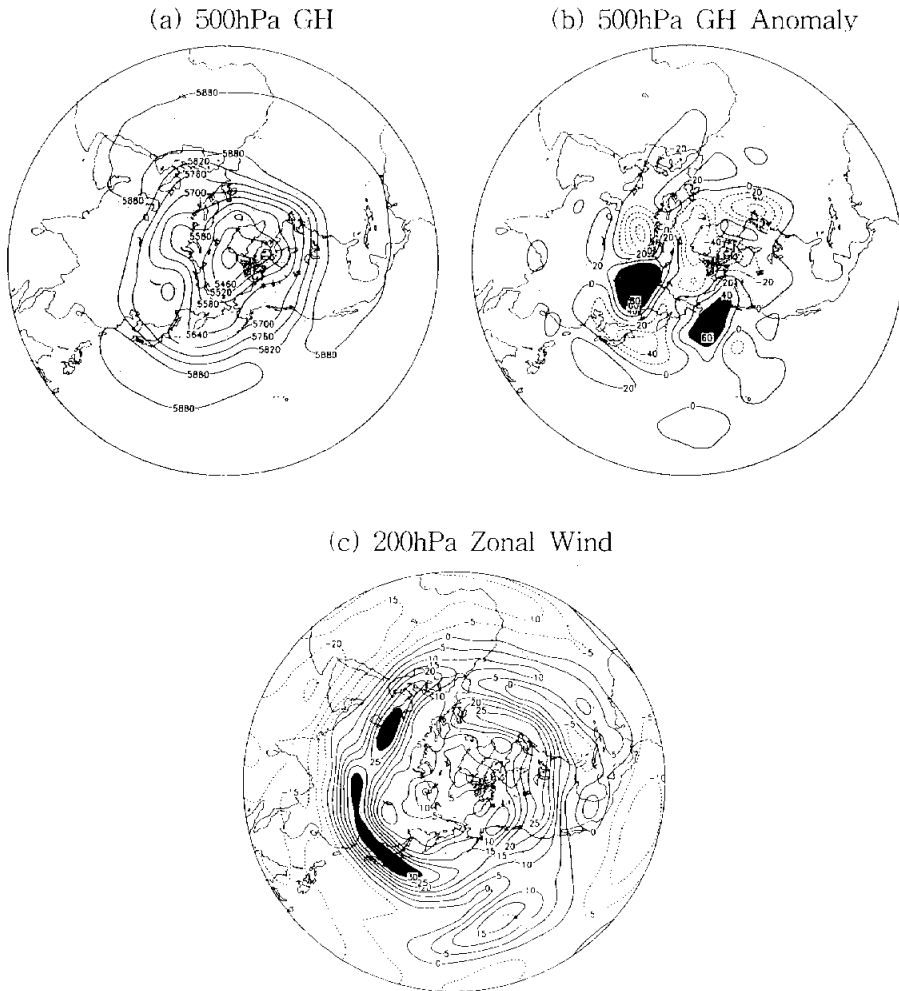


Fig. 9. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b) geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal wind (ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 4. The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b) and 5 ms^{-1} for (c). The negative contours are dashed. Area exceeding 40gpm for geopotential height fields and 30 ms^{-1} for wind speeds are shaded.

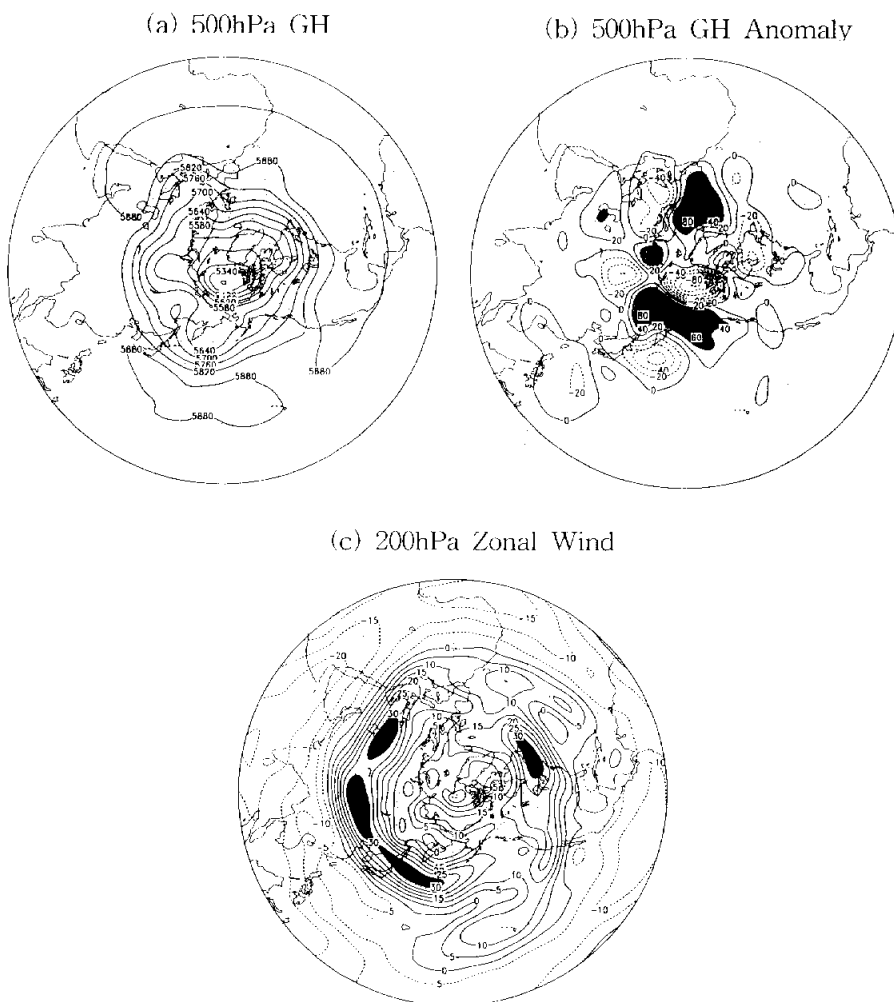


Fig. 10. The composite mean of (a) geopotential height(gpm), (b) geopotential height anomaly(gpm) at 500hPa and (c) zonal wind (ms^{-1}) at 200hPa on blocking cases of the Table. 5. The contour intervals are 60gpm for (a), 20gpm for (b) and $5 ms^{-1}$ for (c). The negative regions are dashed. Area exceeding 40gpm for geopotential height fields and $30 ms^{-1}$ for wind speeds are shaded.

4. 2. Snowcover와 온도장 분포

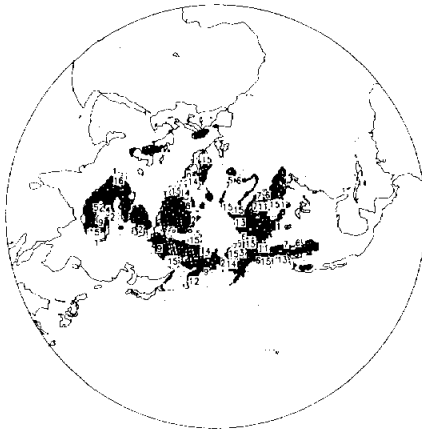
Fig. 11은 각각 6월 snowcover 분포와 6월 중 블로킹 발생수가 가장 많았던 55-60° N, 110-130° E 지역에서 블로킹이 있었던 해의 6월 snowcover 분포와 둘의 차이를 나타낸다. 북반구의 대부분의 지역에서 음의 아노말리를 나타낸다. 6월에 블로킹이 발생 시 snowcover가 평년에 비해 적게 나타나므로, 이 때 기온이 6월 평균보다 높았음을 유추할 수 있다.

Fig. 12는 (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa의 온도 아노말리를 나타낸다. 지표로부터 700hPa까지 블로킹 지역 이북에서 양의 아노말리가 나타나며, 이남에는 음의 아노말리가 나타난다. 그러므로 700hPa보다 하층에서 대기의 온도가 증가하여 snowcover가 감소하고 온난 고기압인 블로킹 고기압이 발생하였음을 유추할 수 있다.

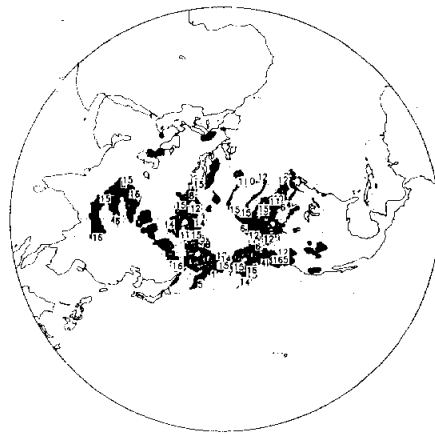
Fig. 13은 각각 7월 평균 snowcover 분포와 7월 중 블로킹 발생수가 가장 많았던 55-60° N, 110-130° E 지역에서 블로킹이 있었던 해의 7월 snowcover 분포, 그리고 둘의 차이를 나타낸다. 6월과 유사하게 북반구의 대부분의 지역에서 음의 아노말리를 나타낸다. 그러므로 7월도 6월과 마찬가지로 블로킹 발생 시 평균기온이 더 높았음을 유추할 수 있다. Fig. 14는 7월 달 블로킹 발생 시 (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa의 온도 아노말리를 나타낸다. 지표로부터 700hPa까지 블로킹 지역 이북에는 양의 아노말리가 나타나며, 이남에는 음의 아노말리가 나타난다. 그러므로 6월과 마찬가지로 하층에서는 온도 증가와 snowcover 감소, 블로킹 고기압의 발생을 유추할 수 있다.

Fig. 15는 각각 8월 평균 snowcover 분포와 8월 중 블로킹 발생 수가 가장 많았던 55-60° N, 110-130° E 지역에서 블로킹이 있었던 해의 8월 snowcover 분포, 그리고 둘의 차이를 나타낸다(Fig. 15). 8월은 북반구 snowcover가 극지방에 분포하며, snowcover anomaly도 6, 7월에 비해 아주 작은 값을 보인다. Fig. 16은 8월 블로킹 발생 시 온도 아노말로 6, 7월과 달리 블로킹 고기압의 중심에 양의 온도 아노말리의 중심이 나타나지 않는다.

(a) Snowcover in June



(b) Snowcover in Table. 3



(c) (b)-(a)

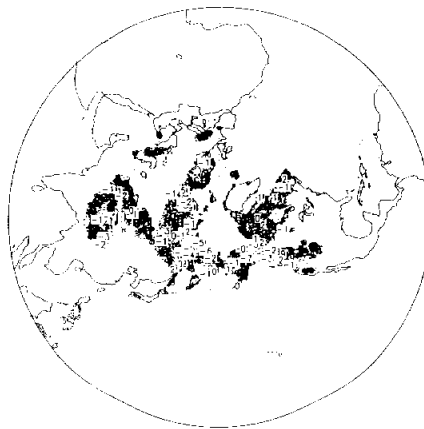


Fig. 11. (a) The monthly snowcover in June, (b) snowcover in Table. 3 and (c) snowcover anomaly.

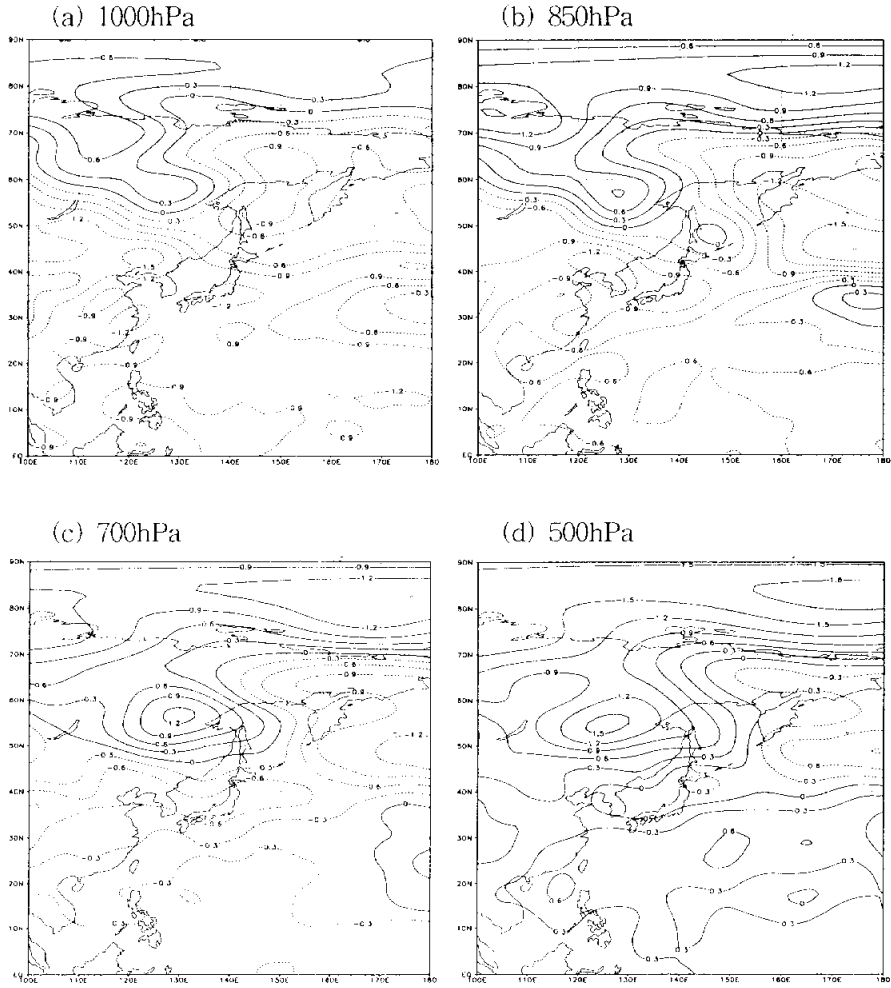
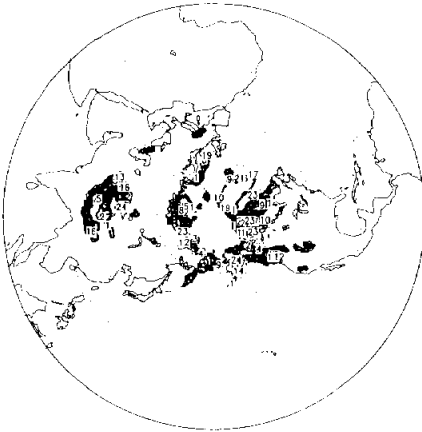
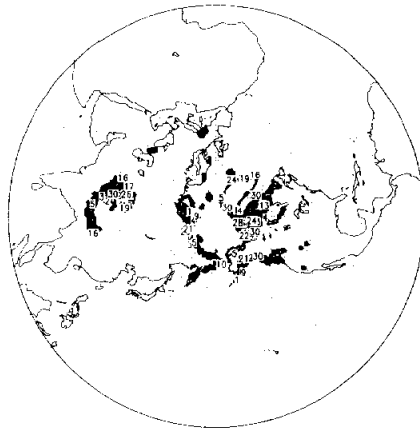


Fig. 12. The composite mean of (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa and (d) 500hPa temperature anomaly in June in the blocking cases years. The contour intervals are 0.3° C, negative contours are dashed.

(a) Snowcover in July



(b) Snowcover in Table. 4



(c) (b)-(a)

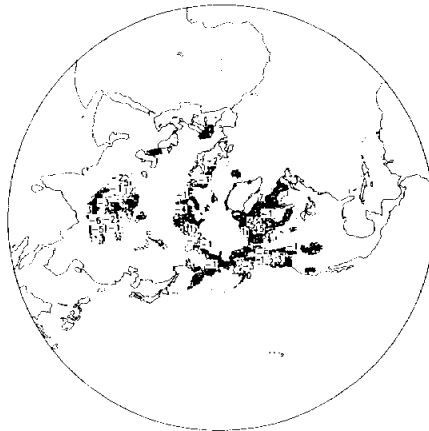


Fig. 13. (a) The monthly snowcover in July, (b) snowcover in Table. 4 and (c) snowcover anomaly.

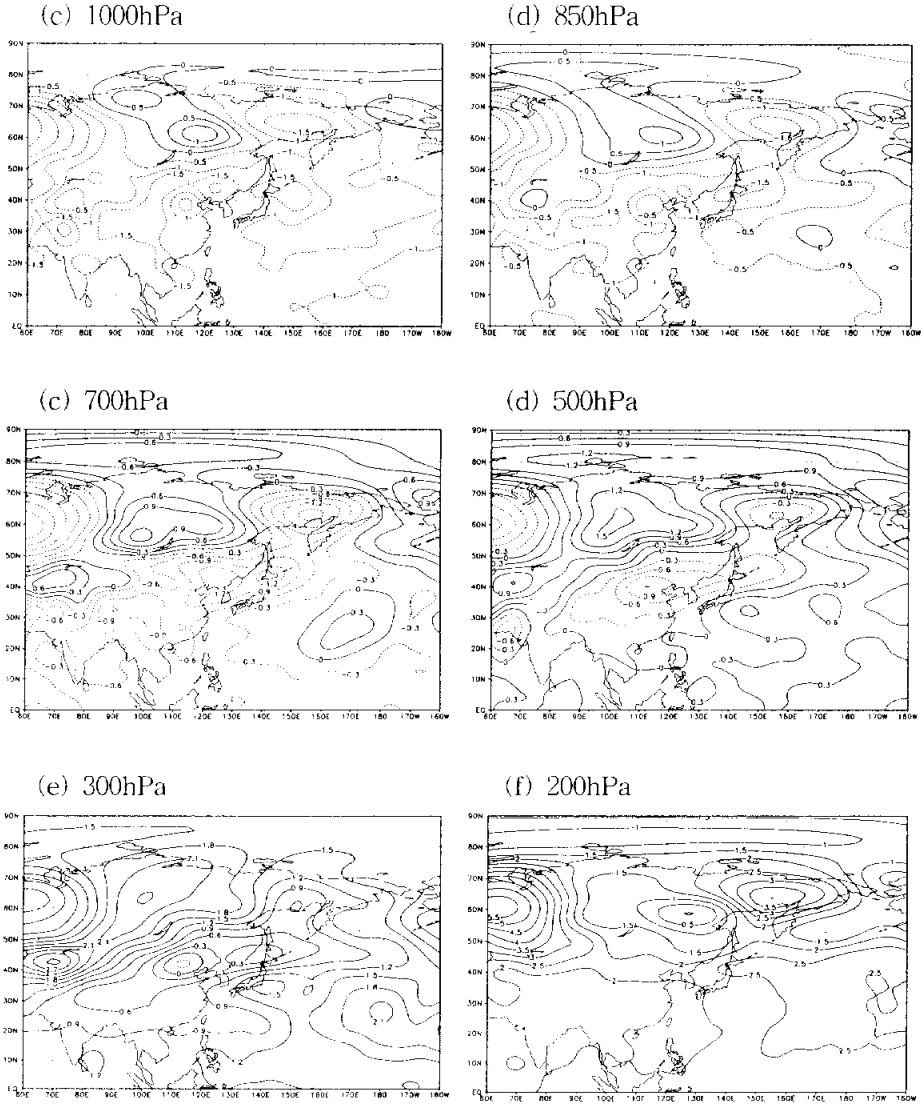
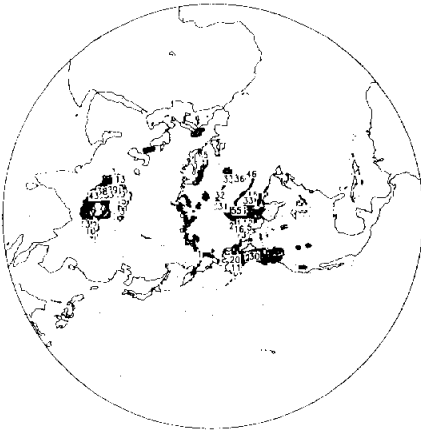
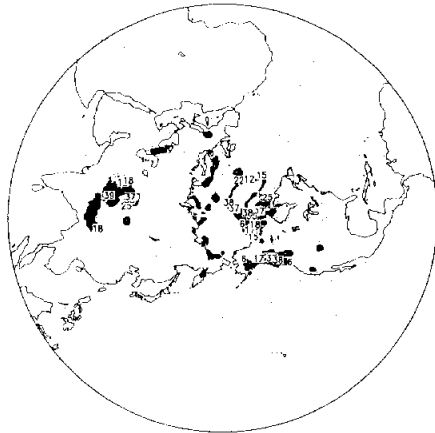


Fig. 14. Temperature anomaly at (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa, (e) 300hPa and (f) 200hPa on blocking cases in July. The contour intervals are 0.5°C at 1000hPa, 850hPa and 200hPa but 0.3°C at 700hPa, 500hPa and 300hPa, negative contours are dashed.

(a) Snowcover in August



(b) Snowcover in Table. 5



(c) (b) - (a)

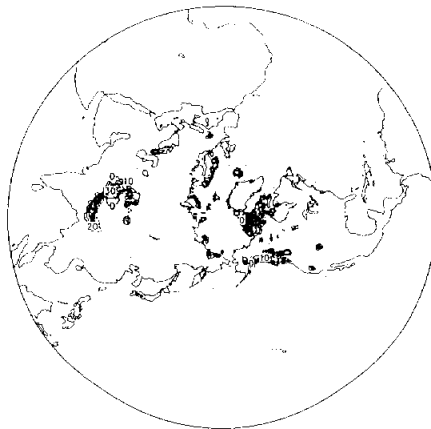


Fig. 15. (a) The monthly snowcover in August, (b) snowcover in Table. 5 and (c) snowcover anomaly.

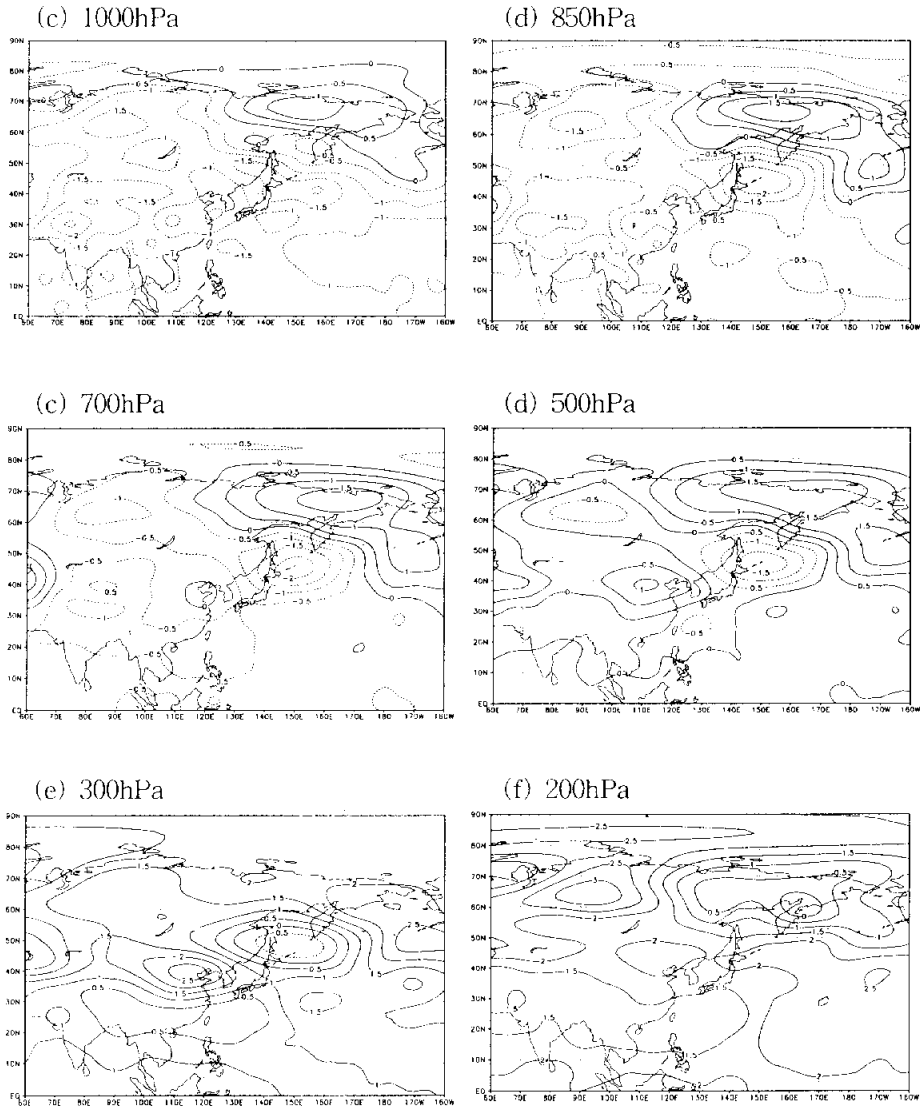


Fig. 16. Temperature anomaly at (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa, (d) 500hPa, (e) 300hPa and (f) 200hPa on blocking cases in August. The contour intervals are 0.5° C for temperature anomalies. The negative contours are dashed.

5. 1986년 7/4~7/22 블로킹의 사례 분석

분석기간 중 가장 지속기간이 길었던 1986년 7월 4일부터 1986년 7월 22일까지 19일간 지속된 블로킹의 시작에서 소멸까지의 특성을 알아보았다.

Fig. 17은 블로킹이 발생하기 전후의 500hPa 기압능의 고도 값과 블로킹 고기압의 500hPa 고도 값의 최대치를 나타내는 그래프이다. 블로킹 고기압의 일생 동안 중요한 날짜와 시기는 그림에서 x축에 표시되어있거나 또는 정의되어 있다. Fig. 17에서 보다시피, 블로킹은 발달, 시작, 강화, 성숙과 유지, 약화 그리고 소멸의 총 6단계로 나누어 종관적 분석을 시행하였다.

1) 발달 (86/7/1/00UTC ~ 86/7/3/12UTC)

블로킹의 시작 이전의 500hPa 동아시아 환경은 1986년 7월 1일 00UTC(Fig. 19a)에서 보여진다. 500hPa 고도에서 5640gpm의 중심 기압을 가지며 동해(42° N, 136° E)에 위치한 닫힌 저기압, 55° N, 112° E에 위치하며 5700gpm의 중심고도를 가진 약한 저기압, 그리고 60° N, 95° E에서 위치한 약한 기압능 등을 볼 수 있다. 지상에서는 37° N, 145° E에 1001hPa의 중심기압을 가진 저기압이 위치하며, 바이칼호 부근에서 1018hPa의 중심기압을 가진 고기압이 위치한다(Fig. 20a). 500hPa에서 나타난 약한 저기압은 지상에서 나타나지 않는다. 200hPa의 제트류는 남북으로 둘로 나뉘어지며, 남쪽의 제트류는 동해의 기압꼴을 에워싸고 있다(Fig. 19b). 그리고 두 가지의 제트류 사이에 5 ms^{-1} 의 약한 동풍류가 나타난다.

The Intensity of 500hPa Ridge or Highs

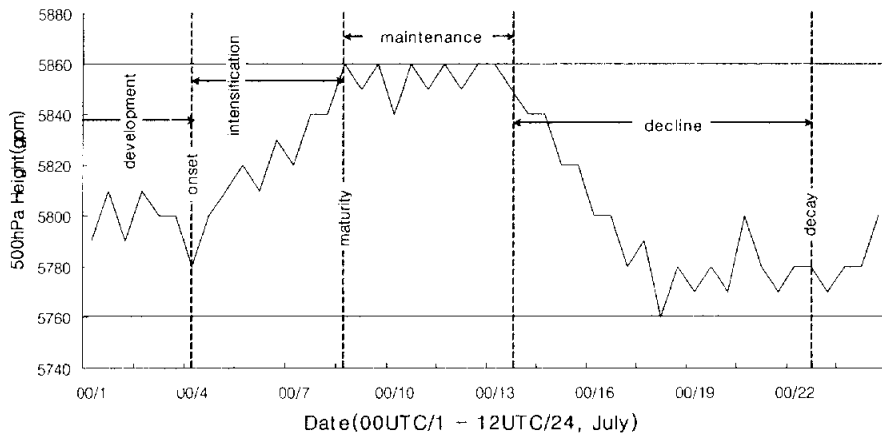


Fig. 17. Plot of 500hPa maximum or central height values(gpm) for the 500hPa short-wave ridge or blocking anticyclones versus time. Important periods of time within the blocking's lifecycle are separated by the vertical dashed lines.

The Intensity of 500hPa Trough or Low

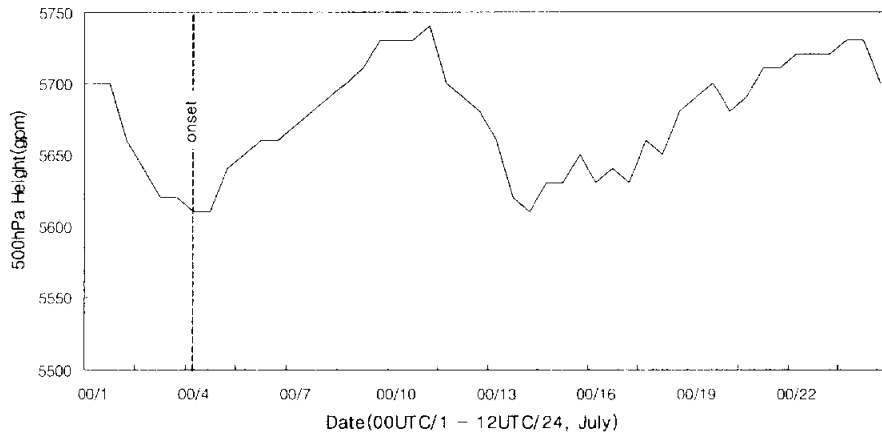


Fig. 18. Plot of 500hPa minimum or central height values(gpm) for the 500hPa short-wave trough or lows versus time. Important periods of time within the blocking's lifecycle are separated by the vertical dashed lines.

7월 2일 00UTC(Fig. 19c)에 500hPa의 약한 기압능은 강화되었으며, 200hPa 동풍류의 최대풍속은 10 ms^{-1} 로 증가하였다.

7월 3일 00UTC(Fig. 19e)에 바이칼호 근처에 있던 저기압(Fig. 19a)은 48시간 동안 위도 7도 정도 남하하여 몽골고원에 위치하며, 5630gpm의 최저고도에 도달했다. 저기압의 발달과 함께 강화된 단파 기압능은 서쪽으로 약 1700km 확장하였다. 북동에서 남서로 기우는 축은 북동쪽으로 약간 이동했지만, 거의 준-정체적이다. 변화가 거의 없는 중심 기압을 가진 지표고기압은 약간 남동쪽으로 이동했다. 그리고 500hPa에서 나타난 저기압과 비슷한 위치에서 중심 기압 1004hPa를 가진 닫힌 저기압이 발달했다(not shown).

2) 시작 (86/7/4/00UTC)

7월 4일 00UTC(Fig. 19g)에 500hPa 단파 기압능은 강화되었고, 57° N , 115° E 에서 나타나는 닫힌 고기압 중심은 블로킹 시작의 지표로서 중심고도는 5780gpm이며, 형태는 Rex형을 보인다. 지표에서(Fig. 20d)도 약 1011hPa의 중심 기압을 가진 닫힌 고기압이 같은 장소에서 나타났다. Fig. 18에서와 보다시피, 남쪽의 저기압(45° N , 113° E)은 중심고도가 5610gpm으로 72시간만에 90gpm이나 감소하였으며, 위치는 위도 10도 남하하였다. 이전 연구에서 블로킹의 발생 메커니즘 중 하나가 폭발성 저기압의 발달과 함께 블로킹이 수반되는 경우(Charney and Devore(1979), Frederikson(1982), Dole(1986), Shutts(1983, 1986), Sperenza(1986), Colucci(1987), Mullen(1987), Konrad and Colucci (1988), Tsou and Smith(1990), Tracton(1990), Alberta et al.(1991))인데, 이 사례에서도 남쪽의 저기압의 최대로 발달할 때 블로킹이 발생하였다는 점에서 같은 결과

를 보인다.

3) 강화 (~ 86/7/8/12UTC)

7월 5일 12UTC(Fig. 19i)에 500hPa의 저기압은 남동쪽으로 이동하였으며, 강도는 약해졌다. 이와 달리 블로킹은 시작 이후 96시간 동안 거의 정체하면서, 강도는 계속 증가하였다. 그리고 200hPa의 동풍류는 15 ms^{-1} 에 달하였다. 지표 저기압은 가장 빠르게 발달한 기간을 통해 중심기압이 1000hPa까지 내려갔다. 다음 12시간 동안 더 감소하여 7월 5일 12UTC에는 995hPa의 가장 낮은 중심 기압을 보였다.

7월 6일 00UTC(Fig. 19k)에 500hPa의 저기압은 결국 소멸하였으며, 지표 저기압도 이와 함께 약화되었다. 이로 인해 Rex형 블로킹이 Omega형으로 전환되었다.

그 후 블로킹 고기압은 계속 발달하여 7월 8일 12UTC(Fig. 19o)에는 중심고도가 5860gpm으로 시작일에 비해 80gpm이나 강화되었다.

4) 성숙과 유지 (~ 86/7/13/12UTC)

이후부터 7월 13일 12UTC(Fig. 19s)까지 블로킹 고기압의 중심고도는 거의 일정하게 유지되었으며, 200hPa의 제트류(Fig. 19t)도 대략 50 ms^{-1} 의 최대 풍속을 가지고 일정한 형태를 보였다. 블로킹과 관련한 지표고기압은 7월 10일 00UTC까지 느리게 중심기압이 1015hPa에 도달하였고 또한 강화되었다. 이 때 500hPa에서 블로킹 고기압의 남쪽에 닫힌 저기압이 생성되어 7월 19일 00UTC까지

Rex형 블로킹을 보였다.

7월 11일 12UTC(Fig. 19q)에, 블로킹 고기압의 남쪽에 기압골이 발달하는 것을 볼 수 있다. 200hPa에서 동풍류는 30 ms^{-1} 로 블로킹 발달기간 동안 최대값을 보였다(Fig. 19r).

블로킹의 유지기간이라고 해서 중심고도가 계속 같은 값은 가지는 것은 아니다. 이 기간에도 블로킹 고기압의 중심고도는 최저 5840gpm에서 최고 5860gpm까지 20gpm까지 변동하였다.

5) 약화 (~ 86/7/22/00UTC)

블로킹 고기압의 중심고도는 7월 13일 12UTC(Fig. 19s)부터 약 10일 동안 서서히 감소하여 소멸직전까지 120gpm 감소하였다. 이와 더불어 200hPa의 제트류의 최대풍속도 서서히 약해졌으며, 제트류의 북상이 나타났다(Fig. 19t). 이러한 결과는 제트류의 북상이 블로킹의 지속을 가중시킨다는 Chen(2001)의 연구와는 일치하지 않는다.

6) 소멸 (~ 86/7/22/12UTC)

블로킹 고기압은 서서히 남진 후 7월 22일 12UTC(Fig. 19y)에 500hPa의 닫힌 고기압은 사라지게 되고, 이로써 블로킹의 일생을 마감하였다.

블로킹의 전 과정을 살펴본 결과 이전 연구 결과와 같이 폭발성 저기압의 발달과 함께 블로킹이 수반된다는 점이 주목할 만하다. 하지만 200hPa의 제트류는 블로킹 발달과 관련하여 큰 변화가 없었다.

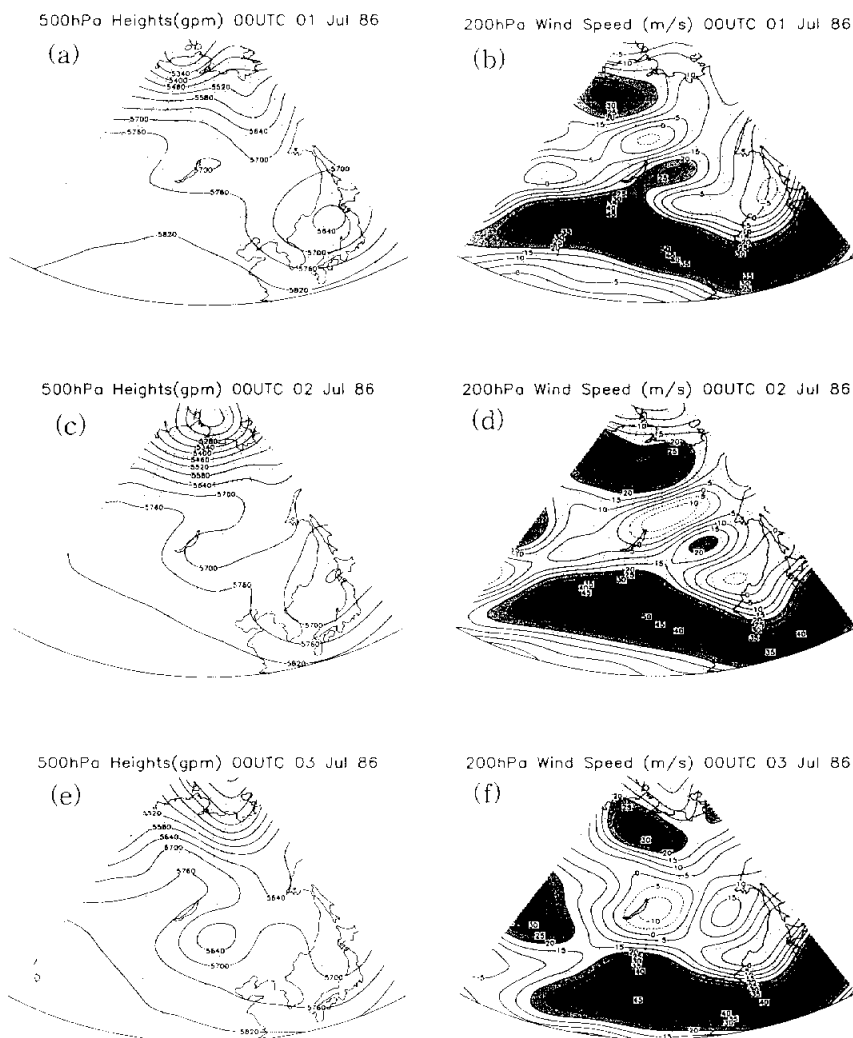


Fig. 19. Regional 500hPa geopotential height(gpm) and 200hPa wind speed (ms^{-1}) maps for (a) and (b) 00UTC 01 July, (c) and (d) 00UTC 02 July, (e) and (f) 00UTC 03 July, (g) and (h) 00UTC 04 July, (i) and (j) 12UTC 05 July, (k) and (l) 00UTC 06 July, (m) and (n) 12UTC 07 July, (o) and (p) 12UTC 08 July, (q) and (r) 12UTC 11 July, (s) and (t) 12UTC 13 July, (u) and (v) 12UTC 14 July, (w) and (x) 12UTC 17 July, (y) and (z) 12UTC 22 July, 1986. The contour intervals are 60gpm for the height fields and $5 ms^{-1}$ for the wind speeds. The shaded regions are wind speeds exceeding $20 ms^{-1}$.

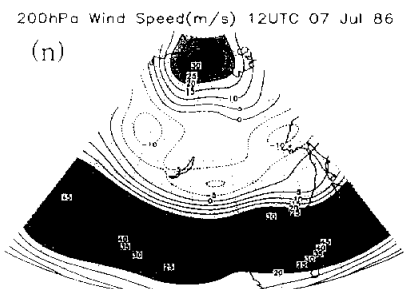
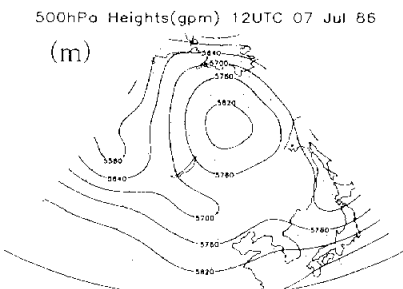
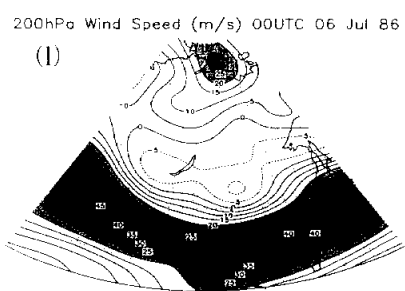
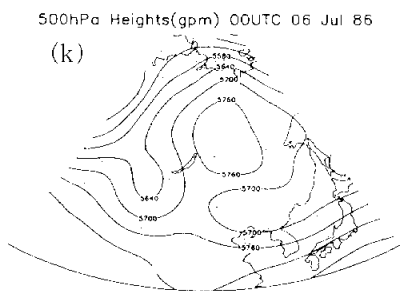
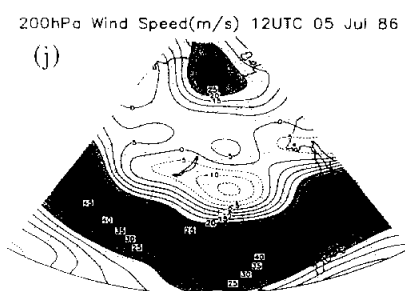
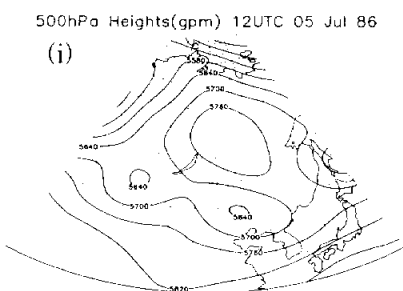
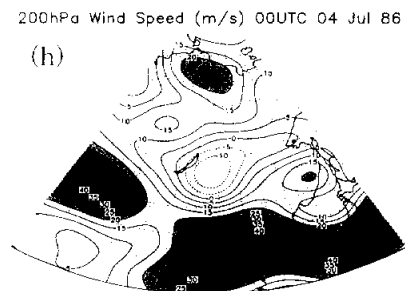
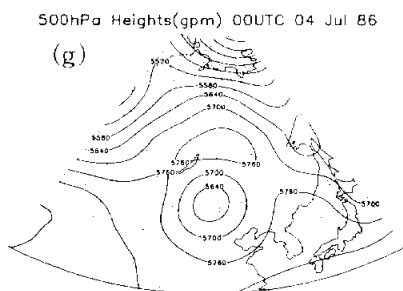


Fig. 19. (continued)

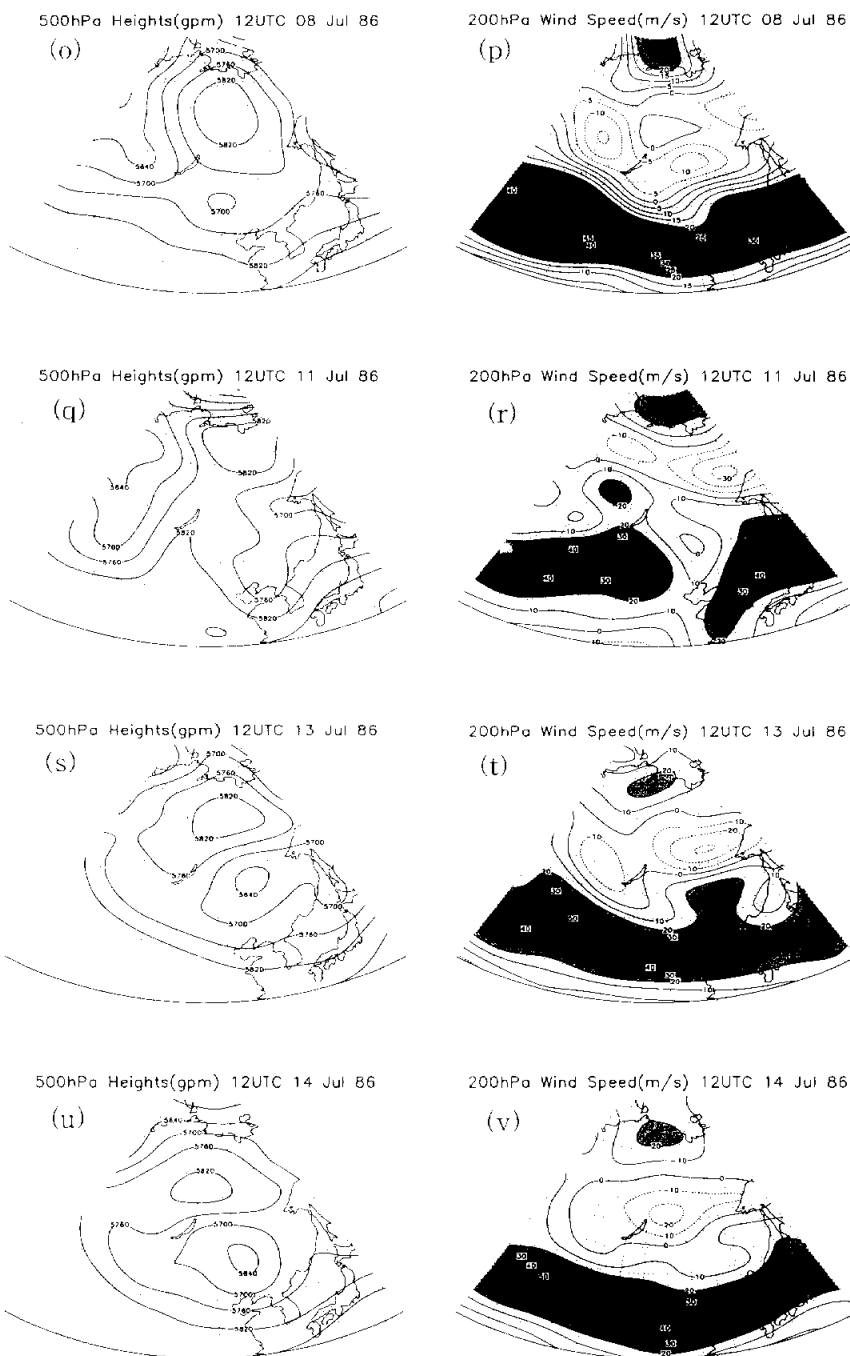


Fig. 19. (continued)

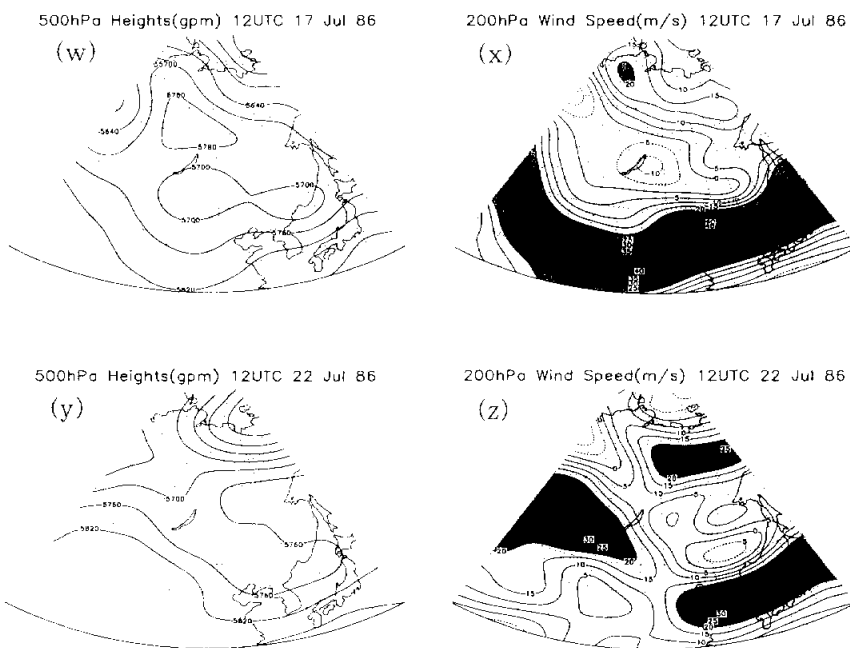


Fig. 19. (continued)

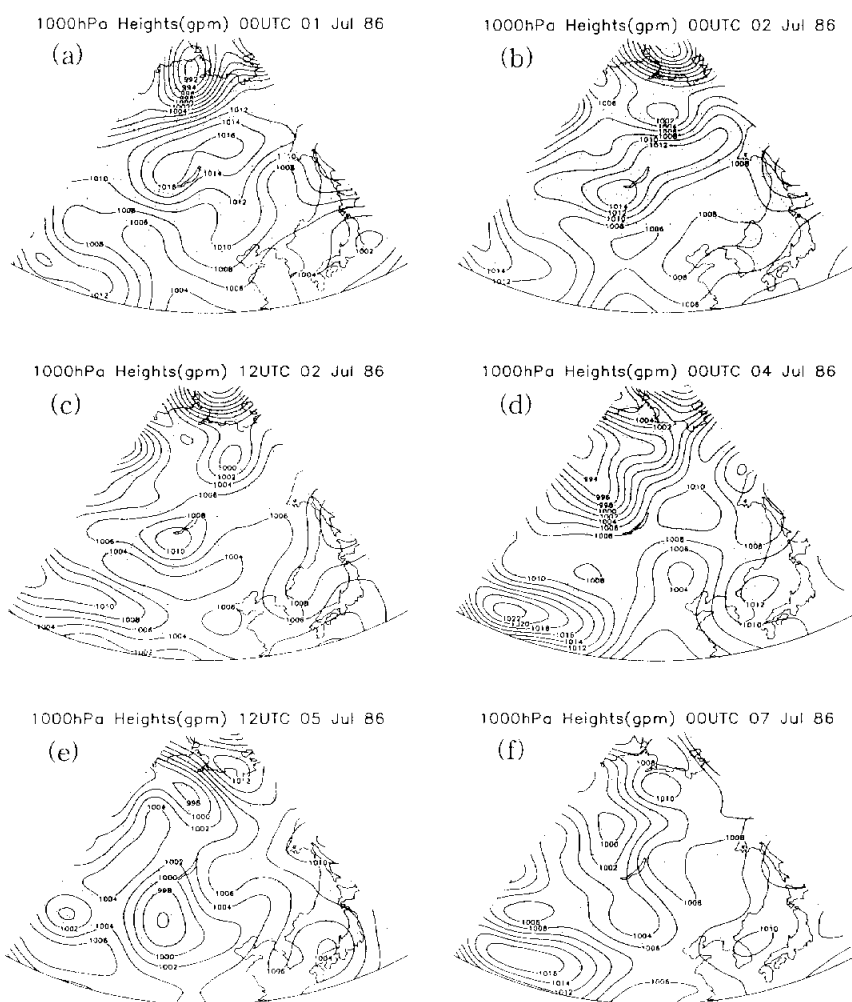


Fig. 20. Regional 1000hPa height maps for (a) 00UTC 01 July, (b) 00UTC 02 July, (c) 12UTC 02 July, (d) 00UTC 04 July, (e) 12UTC 05 July, (f) 00UTC 07 July, (g) 00UTC 10 July, (h) 00UTC 13 July, (i) 12UTC 14 July, (j) 00UTC 16 July, (k) 12UTC 17 July, (l) 00UTC 19 July, (m) 12UTC 20 July, (n) 00UTC 22 July, 1986. The contour intervals are 2hPa.

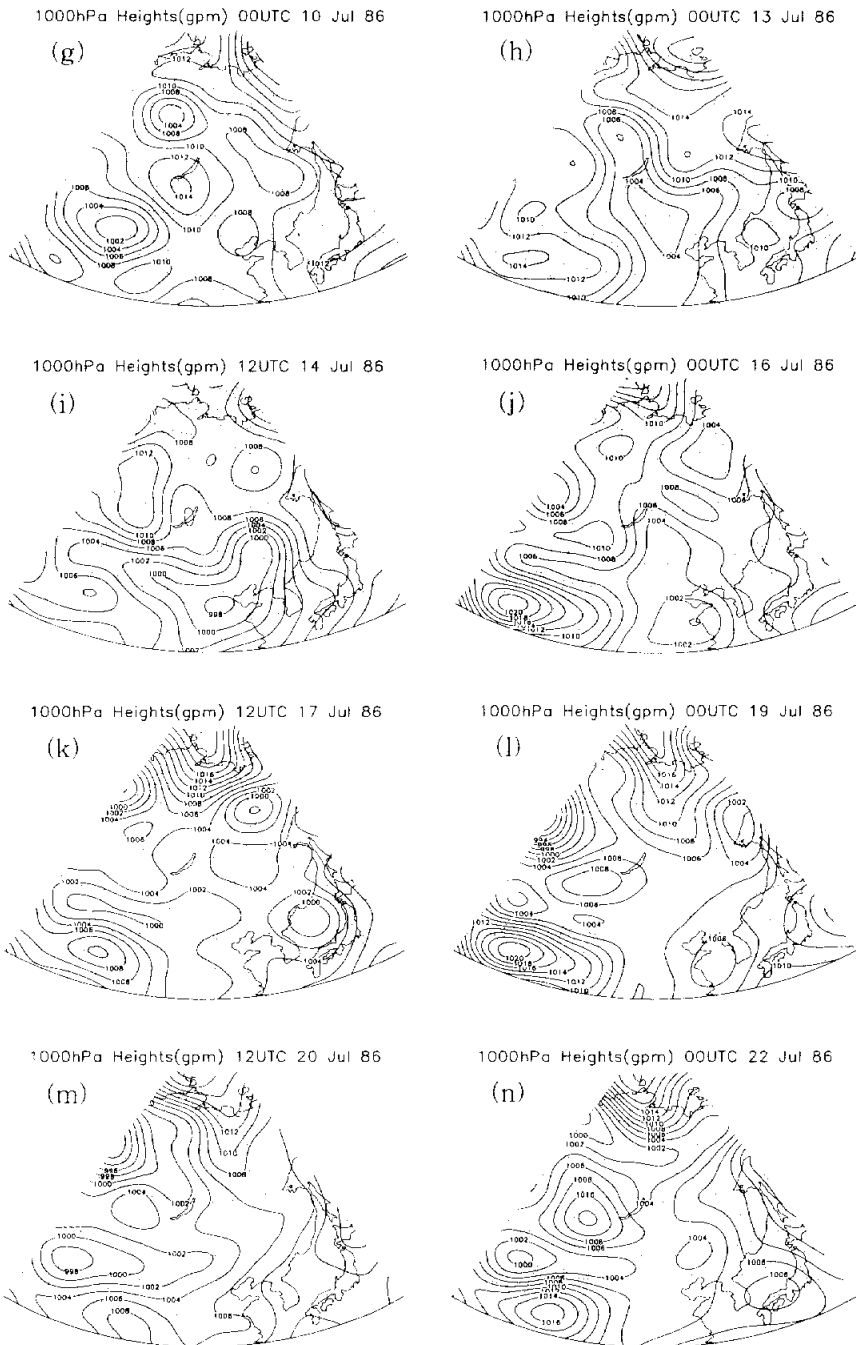


Fig. 20. (continued)

6. 요약 및 결론

동아시아에서 나타나는 블로킹의 특성을 여름과 겨울 동안 100-180° E의 지역에 한정하여 분석하였다.

블로킹의 여름철 다발지역은 60-65° N, 120-140° E이며, Fig. 5에서와 같이 동쪽과 남쪽에 1000m를 넘는 높은 산맥이 위치한다. 그러므로, 이전 연구와 같이, 여름철 다발지역은 지형에 의한 블로킹 발생이 유리한 곳이다. 그리고 겨울철의 다발지역은 겨울철은 60-65° N, 170-180° E로, 주변에 여름철과 같은 높은 지형은 나타나지 않아 겨울철의 블로킹 발생 메커니즘이 여름철과는 다른 것으로 추정된다.

블로킹의 지속기간은 여름철과 겨울철 모두 3일에서 19일까지 다양하게 나타났고, 발생 수와는 반비례하였다. 형태에 따라 블로킹을 분류 시 Omega형이 Rex형에 비해 약 2배정도 많았으며, 지속기간은 Rex형이 오히려 길게 나타났다. 여름철과 겨울철은 평균지속기간이 비슷하게 나타난 반면, 겨울철은 Rex형의 지속기간이 Omega형에 비해 약 2배 정도로 길게 나타났다. 블로킹의 연 변동을 분석 결과 여름철은 증가하는 추세를, 겨울철은 감소하는 추세를 보였으며, 2-5년의 주기성을 보였다.

여름철 블로킹은 대체적으로 Omega형이 나타나며, 고기압 지역에서 지오폠펜셜 고도의 양의 아노말리와 동풍류가 나타났으며, 남북으로 두 개의 갈라진 서풍류를 볼 수 있다.

그리고 블로킹 발생 시 snowcover는 평년에 비해 적은 양을 보였고, 온도장도 양의 아노말리를 보였다. 그러므로, 온도의 증가,

snowcover 감소, 블로킹 고기압 발생이라는 관계를 성립할 수 있
나.

그리고 블로킹 사례 중 지속기간이 19일로 가장 길었던 1986년 7
월 4일~7월 22일까지의 블로킹을 전체 일생 동안 종관적으로 분석
하였다. Fig. 17에서와 같이, 총 6개의 단계로 구분하여 발생 특성과
형태를 알아보았으며 다음과 같다.

- 1) 발달 (86/7/1/00UTC ~ 86/7/3/12UTC)
: 500hPa 남쪽 저기압의 강화와 기압능 발달
- 2) 시작 (86/7/4/00UTC)
: 500hPa 남쪽 저기압 최대 발달과 함께 수반된 북쪽 닫힌 고기압
나타남으로써 블로킹 시작, 지상 고기압 발달, Rex형 블로킹
- 3) 강화 (~ 86/7/8/12UTC)
: 블로킹 고기압과 지상고기압의 중심고도 증가, 200hPa 동풍류의
풍속 증가, Rex형 블로킹 → Omega형 블로킹
- 4) 성숙과 유지 (~ 86/7/13/12UTC) : 블로킹 고기압의 중심위
치·형태·고도 거의 일정, 중심고도 약 20gpm만큼 약하게 진동,
Omega형 블로킹 → Rex형 블로킹
- 5) 약화 (~ 86/7/22/00UTC) : 블로킹 고기압의 중심 고도와 지상
고기압의 중심기압 감소, 200hPa 제트류와 동풍류 약화, Rex형 블로
킹 → Omega형 블로킹
- 6) 소멸 (~ 86/7/22/12UTC) : 블로킹 고기압의 닫힌 등치선 사라
짐으로써 블로킹 고기압의 일생 마감

블로킹의 전 과정을 분석 결과 블로킹이 폭발성 저기압의 발달에

수반된다는 점은 주목할 만하다. 이는 이전 연구에서 보여준 블로킹 발생 메커니즘 중의 하나로 동일한 결과를 보인다. 그리고 본 사례에서는 블로킹의 발생특성과 200hPa의 제트류는 관련이 거의 없었으며, 블로킹의 발생형태 또한 연관성을 찾아보기 힘들었다.

본 연구에서는 동아시아 블로킹의 역학적 배경이 부족하여, 앞으로 역학적인 부분의 심도 있는 연구가 더 많이 이루어져야 하겠다.

참고문헌

- 김백조, 문승의, 1997: Influence of the SST anomalies in the Equatorial Pacific on the summertime atmospheric circulation over East Asia and summer rainfall in Korea. *한국기상학회지*, 33(4), 797-805.
- Alberta, T. L., Colucci, S. J. and Davenport, J. C., 1991: Rapid 500mb cyclogenesis and anticyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.* **119**, 1186-1204.
- Anthony, R. H., 1986: Observational Characteristics of Atmospheric planetary waves with bimodal amplitude Distributions, *Advances in Geophysics*, 29, 101-133.
- Baur, F. 1958: Die jahreszeitliche und geographische Verteilung der blockierenden Hochdruckgebiete auf der Nordhalbkugel nördlich des 50. Breitengrads ImZeitraum 1949-1957. *Idojaras* **62**, 73-81.
- Berggren, R., B. Bolin and Rossby, C. G., 1949: An aerological study of zonal motion, its perturbation and breakdown. *Tellus*, **1**, 14-37.
- Charney, J. G., and Devore, J. G. 1979: Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking. *J. Atmos. Sci.*, 36, 1205-1216.
- Chen, W. Y. and Dool, van den, 1997: Asymmetric impact of tropical SST anomalies on atmospheric internal variability

- over the North Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 725-740.
- Colucci, S. J., 1987: Comparative diagnosis of blocking versus nonblocking planetary-scale circulation changes during synoptic-scale cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 124-139.
- Dole, R. M., 1986a: Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation : Structure, *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 178-207.
- _____, 1986b: The life cycles of persistent anomalies and blocking over the North Pacific. *Adv. Geophys.* **29**, 31-69.
- _____, and Gordon, N. D. 1983: Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation : geographical distribution and regional persistence characteristics, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1567-1586.
- Elliott, R. D. and Smith, T. B., 1949: A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the Northern Hemisphere westerlies. *J. Meteorol.*, **6**, 7-85.
- Frederiksen, J. S., 1982a: A unified three-dimensional instability theory of the onset of blocking and cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 969-987.
- _____, 1982b: Instability of the three-dimensional distorted stratospheric polar vortex at the onset of the sudden warming. *J. Atmos. Sci.*, **39**, 2313-2329.
- Hansen, A. P. and Chen, T. C., 1982: A spectral energetics study of atmospheric blocking. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1146-1165.
- Hartmann, Dennis L. and Ghan, S. J., 1980: A Statistical study of

- the dynamics of blocking. *Mon. Wea. Rev.* **108**, 8, 1144-1159.
- Konrad, C. E., II, and Colucci, S. J., 1988: Synoptic climatology of large-scale circulation changes during explosive cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1431-1443.
- Kung, E. C. and Baker, W. E., 1989: Energetics examination of winter blocking simulations in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* **118**, 5, 1065-1081.
- Lejenäs, H. and Økland, H., 1983: Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data, *Tellus*, **35A**, 350-362.
- _____, H., and Madden R. A., 1992: Traveling planetary-scale waves and blocking, *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 2821-2829.
- _____, H., 1995: Long term variations of atmospheric blocking in the Northern Hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 1, 79-89.
- Lupo, A. R. and Smith, P. J., 1995: Planetary and synoptic-scale interactions during the life cycle of a mid-latitude blocking anticyclone over the North Atlantic, *Tellus(1995)*, **47A**, 575-596.
- Marques, R. F. C. And Rao, V. B., 1999: A diagnosis of a long blocking event over the Southeast Pacific Ocean, *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 1761-1776.
- _____ and Rao, V. B., 2001: A comparison of atmospheric blocking over the Southeast and Southwest Pacific Ocean, *J.*

- Meteor. Soc. Japan*, **79**, 4, 863-874.
- Mullen, S. L., 1986: The local balances of vorticity and heat for blocking anticyclones in a Spectral General Circulation Model, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 13, 1406-1441.
- _____, 1987: Transient eddy forcing of blocking flows, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1, 3-22.
- Nakamura, H. and Wallace, J. M., 1993: Synoptic behaviors of baroclinic eddies during blocking onset. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1892-1903.
- Namias, J., 1964: Seasonal persistence and recurrence of European blocking during 1958-1960. *Tellus*, **16**, 394-407.
- Renwick, J. A., 1998: ENSO-related variability in the frequency of South Pacific blocking. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 3117-3123.
- _____, and Revell, M. J., 1999: Blocking over the South Pacific and Rossby wave propagation. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2233-2247.
- Rex, D. F., 1950a: Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. I. An aerological study of blocking action, *Tellus*, **2**, 196-211.
- _____, 1950b: Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. II. The climatology of blocking action, *Tellus*, **2**, 275-301.
- Sausen, R., Konig, W., and Sielmann, F., 1995: Analysis of blocking events from observations and ECHAM model simulations, *Tellus*, **47A**, 421-438.

- Shutts, G. J., 1983: The propagation of eddies in diffluent jet streams : eddy vorticity forcing of 'blocking' flow fields. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **109**, 737-361
- , 1986: A case study of eddy forcing during an Atlantic blocking episode. *Anomalous Atmospheric Flows and Blocking, Advances in Geophysics*, Vol. 29, R. Benzi, B. Saltzman, and A. C. Wiin-Nielsen, Eds., Academic Press, 135-162.
- Sperenza, A., 1986: Deterministic and statistical properties of Northern Hemisphere middle latitude circulation. *Adv. Geophys.* **29**, 199-226.
- Tibaldi, S. and Molteni, F., 1990: On the operational predictability of blocking, *Tellus*, **42A**, 343-365.
- Tracton, M. S., 1990: Predictability and its relationship to scale interaction processes in blocking. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1666-1695.
- Treidl, R. A., Birch, E. C. and Sajeki, P., 1981: Blocking action in the Northern Hemisphere :A climatological study. *Atmosphere-Ocean* **19**, 1-23.
- Trenberth, K. F., and Mo. K. C., 1985: Blocking in the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* **113**, 1, 3-21.
- Tsou, C. -H. and Smith, P. J., 1990: The role of synoptic/planetary-scale interactions during the development of a blocking anticyclone. *Tellus*, **42**, 174-193.
- Wang, Y., 1992: Effects of blocking anticyclones in Eurasia in the

- rainy season(Meiyu/Baiu Season), *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 5, 929-950.
- Metz, W., 1986: Transient Cyclone-Scale Vorticity Forcing of Blocking Highs, *J. Atmos. Sci.*, **43**, 14, 1467-1483.
- Miyakoda, K. and Sirutis, J. 1990: Subgrid scale physics in 1-month forecasts. Part II: Systematic error and blocking forecasts. *Mon. Wea. Rev.* **118**, 1065-1081.
- White and Clark, 1975: On the development of blocking ridge activity over the central North Pacific, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 3, 489-502.

감사의 글

타지에서 유학 와서 힘든 과정 속에서도 석사 졸업이라는 관문을 무사히 통과할 수 있게 된 것은 주위에서 저를 도와주신 많은 분들이 있었기 때문에 가능한 일인 것 같습니다.

먼저 학문에 대한 끊임없는 열정을 가지고, 제자를 자식처럼 아끼고 동시에 따끔한 채찍질을 해주신 변희룡 교수님께 고개 숙여 깊이 감사 드립니다. 변희룡 교수님을 만난 것은 제 인생에 있어서 저의 부모님을 만난 것 다음으로 큰 행운이었습니다. 교수님을 통해 학문의 즐거움을 알게 되었고, 인생의 많은 교훈을 얻었습니다. 그리고 제가 학부생활과 대학원 생활을 무사히 마칠 수 있도록 학문적으로나 인간적으로나 따뜻하게 품어주신 한영호 교수님, 이동인 교수님, 김영섭 교수님, 옥 곤 교수님, 오재호 교수님, 권병혁 교수님께도 감사의 마음 전합니다. 특히, 바쁜 와중에서도 논문을 꼼꼼하게 봐주신 주심이신 권병혁 교수님께 깊은 감사 드립니다.

방재기상 연구실에 입실한지 어느덧 3년이란 시간이 흘렀습니다. 오래도록 함께 하고 싶은 좋은 선배님들과 후배들 덕분에 이곳에서의 생활이 포근했던 것 같습니다. 실험실의 장남 병환 선배, 언제나 자상한 장호 선배, 일하면서 힘들게 공부하는 정희 언니, 그리고 겉으로는 잔잔해 보이지만 속은 부드러운 자상한 경아 언니, 아무리 바빠도 자상하게 대답해 주는 실험실 보배 기훈이 선배, 멀리 있어도 마음은 항상 실험실에 와 있는 수경이 언니, 기상장교로 대학 공부와 실무를 접합시켜 전공의 기초를 쌓게 도와 준 상은 선배와 환근 선배, 같이 논문 쓰느라 고생하는 와중에도 미소로 여유를 가지게 해 주었던 기선 선배, 옆자리에 앉았다는 이유만으로 많은

것을 도와준 동일 선배, 그리고 짧은 시간이지만 제 논문을 봐주신 경희 언니에게 감사 드립니다. 현재는 실험실에 혼자 남았지만 실험실 입실 동기인 경옥 언니, 민아, 유미, 민선, 혜란이에게 자주 만났으면 좋겠고, 앞으로 좋은 일 많이 생기길 바랍니다. 그리고 석사 1년 차인 상민 오빠와 유원이는 한 학기 동안 고생 많았지만 조금만 더 고생해서 좋은 논문 쓰길 바랍니다. 실험실의 귀엽고 착하고 성실한 후배들 태희, 민혁이, 정훈이, 유경이, 도우, 수정이, 선영이, 영임이, 지성이도 싫은 일 시켜도 내색 안 하고 잘 따라와 줘서 고맙다는 말과 함께 많이 챙겨주지 못해서 미안한 마음 전합니다.

멀리 있어서 자주 만나지는 못하지만 이 길을 걷는 데 있어 힘들 때마다 격려와 다시 일어설 수 있게 힘을 실어준 사랑하는 친구들 제미연, 김미연, 연희, 정경이, 그리고 나이는 나보다 어리지만 오히려 선배처럼 나의 하소연을 다 들어주고 잘 챙겨준 수진이, 성기, 윤환이에게도 너무 감사하다는 말 전합니다.

편안한 집처럼 마음의 안정을 취하게 도와주신 기숙사 모든 분들에게도 감사 드립니다. 기숙사 사감이셨던 이명숙 교수님, 엄판섭 실장님, 이정호 선생님, 이순희 영양사 선생님, 그리고 식당 이모들께 감사 드립니다.

그리고 누구보다도 저를 걱정해주시고 아껴주시는 부모님이 있었기에 제가 이 자리에 설 수 있게 되었습니다. 그리고 큰 언니, 형부, 조카 예은이, 작은 언니, 힘들게 군복무하고 있는 동생 태호에게도 지금까지 지켜봐 주고 많이 걱정해주어 감사하다는 말 전합니다.

끝으로 환경대기과학과의 모든 분들에게도 감사 드리며 이 작은 결실을 바칩니다.