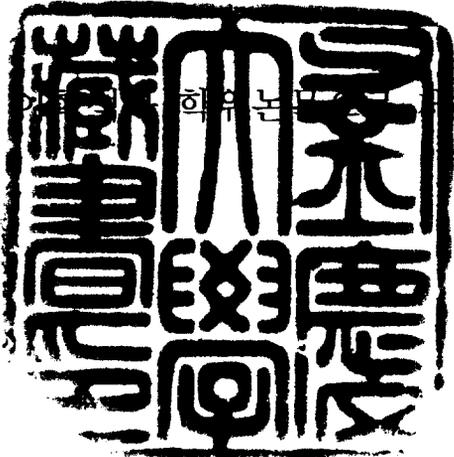
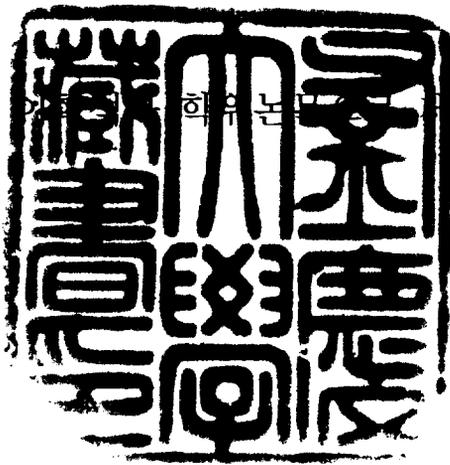


이학석사 학위논문

전지구 원격상관을 이용한 한반도
월강수량의 장기예측

지도교수 변 희 룡

이 논문을  학위논문 출함



2002년 2월

부경대학교 대학원

환경대기과학과

김 기 훈

김기훈의 이학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주 심 이학박사 오 재 호



위 원 이학박사 변 희 룡



위 원 이학박사 김 영 섭



목 차

| | |
|------------------------|----|
| 그림 목차 | ii |
| 표 목차 | vi |
| Abstract | 1 |
| 1. 서론 | 3 |
| 2. 자료 및 분석 방법 | 6 |
| 2. 1. 자료 | 6 |
| 2. 2. 분석 방법 | 7 |
| 3. 분석 결과 | 10 |
| 3. 1. 상관 분석 | 10 |
| 3. 2. 회귀모형 구축 | 11 |
| 3. 2. 1. 분석 영역 A | 16 |
| 3. 2. 2. 분석 영역 B | 29 |
| 3. 3. 검증 | 40 |
| 4. 요약 및 결론 | 42 |
| 참고 문헌 | 44 |
| 감사의 글 | 47 |

그림 목 차

- Fig. 1.** The 61 observational stations (small cross) with the daily rainfall data from 1974 to 2000 and the 24 observational stations (large cross) that used for verification with the data in Korea from 1971 to 1973. 8
- Fig. 2.** Flowchart that explains the calculating method of the correlation coefficients, covariance, and variances of monthly precipitation over South Korea from January to December. 9
- Fig. 3.** Distribution of the linear correlation coefficients between the monthly precipitation of South Korea on September and the geopotential fields at a) 200hPa b) 500hPa, and c) 850hPa on April. Contour interval is 0.1 and regions greater than 0.5 are shaded. 12
- Fig. 4.** As in **Fig. 3** but for a) January, b) February, and c) March. Regions smaller than 0 are shaded. 13
- Fig. 5.** As in **Fig. 3** but for temperature. 14
- Fig. 6.** As in **Fig. 4** but for temperature. 15
- Fig. 7.** Time series of the monthly precipitation over South Korea on April (dotted) and September (solid) for 27years. 21
- Fig. 8.** The composite geopotential height fields at 200hPa on April in a) positive years, b) negative years, on September in c) positive years, and d) negative years. 22

| | |
|--|----|
| Fig. 9. The composite zonal wind at 200hPa on September in positive years (left) and negative years (right). | 22 |
| Fig. 10. As in Fig. 8 but for 500hPa. | 23 |
| Fig. 11. As in Fig. 8 but for 500hPa temperature. | 23 |
| Fig. 12. As in Fig. 8 but for 850hPa. | 24 |
| Fig. 13. As in Fig. 8 but for 850hPa temperature. | 24 |
| Fig. 14. The propagation of the 12480gpm (a, b) and 5880gpm (c, d) contours from April to December in positive years (a, c) and negative years (b, d). | 25 |
| Fig. 15. Distribution of SST anomalies on a) April b) September in positive years (left) and negative years (right). Regions greater than 0 are shaded. | 26 |
| Fig. 16. Scatter diagram of the monthly precipitation on September over South Korea and the geopotential height at 200hPa on April over a) India and b) Okhotsk. | 27 |
| Fig. 17. a) Scatter diagram of the geopotential height which is averaged between India and the Okhotsk Sea by weighting function at 200hPa on April, and monthly precipitation on September over South Korea. b) Time series of the observed monthly precipitation (solid) on September and the estimated monthly precipitation (dotted) produced by the regression model. | 28 |
| Fig. 18. As in Fig. 8 but for 850hPa geopotential fields on January (a, b), February (c, d), March (e, f), and April (g, h). | 33 |

| | |
|--|----|
| Fig. 18. (continued) | 34 |
| Fig. 19. SST anomalies on a) January c) February e) March g) April in positive years and in negative years (b, d, f, h). | 35 |
| Fig. 19. (continued) | 36 |
| Fig. 20. Deviation map of Latitude-Height cross section of the vertical velocity[Pa/s] at 240W between positive years and negative years. Regions greater than 0 that mean upward movement are shaded. | 37 |
| Fig. 21. Scatter plot of a) 85hPa geopotential height over the west coast of Mexico on January and b) on March and monthly precipitation over South Korea on April. | 38 |
| Fig. 22. a) Scatter diagram of averaged 850hPa geopotential height on January and March 200hPa by weighting function and monthly precipitation over South Korea on April. b) Time series of observed monthly precipitation on April (solid) and estimated monthly precipitation produced by regression model (dotted). | 39 |
| Fig. 23. Time series of precipitation on a) September and b) April from 1971 to 1973. Solid line indicates the observed value and dotted line is the value produced by the regression model. | 41 |

표 목 차

- Table.** 1. The areas and the meteorological parameters that show the maximum correlation coefficients with the monthly precipitation of South Korea. 11
- Table.** 2. Correlation coefficients between monthly precipitation(PCN) over South Korea on September, the geopotential height at 200hPa over India, and that of the Okhotsk Sea on April and ADJ which averaged by weighting function explained in the text. 21
- Table.** 3. Correlation coefficients between monthly precipitation(PCN) over South Korea on April, the geopotential height at 850hPa over the western coast Mexico on January(T-1) and March(T-3), and ADJ which averaged by weighting function explained in the text. 32
- Table.** 4. The monthly precipitation produced by the linear regression model over area-A and area-B and the observed monthly precipitation over South Korea 40

Long-range Forecast of the Monthly Precipitation in Korea by the Global Teleconnection

Ki-Hoon Kim

Department of Environmental Atmospheric Sciences,
Graduate School
Pukyong National University

Abstract

In this study we present the distribution of the correlation coefficients between the global meteorological fields and the monthly precipitation over South Korea, and the predictability of the monthly precipitation by using the simple linear regression model.

Firstly, it is known that the 200hPa and 500hPa geopotential height fields over the northern part to India on April are strongly related to the monthly precipitation over South Korea on September. The higher sea surface temperature over the South-China Sea is the stronger subtropical high develop over Indian ocean and monsoon trough over India develop. This high moves northward and persists during Asian summer monsoon and causes to increase monthly precipitation over

South Korea on September.

Secondly, the 850hPa geopotential height over the west coast of Mexico on January and March are strongly related to the monthly precipitation over South Korea on April. The increase of the sea surface temperature over the Nino-3 and 4 causes the intensifying and westward movement of the subtropical high, and the increase of the SW wind on April in South Korea.

1. 서론

한반도의 강수량은 여름철 몬순 기간 내 장마기간 동안 집중적인 반면, 겨울철은 적은 강수량을 가지면서, 그 양이 지역에 따라 크게 다르게 나타난다. 또한 연도별로도 매년 큰 편차를 가지며, 6년 주기가 희미하게 보이기는 하지만(한상복, 1999) 뚜렷하지 않다. 그 결과 해마다 강수량의 다과로 인한 피해가 발생하고 있어 강수를 예측하기 위해 현재까지 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이전 연구들로서 오재호(1996)는 METRI/YONU GCM 모델을 이용하여 아시아 몬순과 인도 몬순 사이의 관계를 연구한 바 있으며, Lee(1989)는 여름철 강수량의 원인으로 동아시아의 몬순순환과 대기순환을 지적한 바 있다. 이들은 몬순순환에 의한 해상의 고기압 발달에 따른 고도장의 변동이 한반도 강수량을 예측 할 수 있는 예보인자가 될 수 있음을 지적한다.

이외에도 고도장을 이용한 한반도 여름철 강수량의 예측에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 임규호(1992)는 상층 200hPa의 12400gpm 등치선의 남북 방향의 이동과 한반도 장마전선 사이에 밀접한 관련이 있음을 밝혔고, 강인식(1992) 등은 500hPa 고도의 변동이 한반도 6, 7, 8월 강수와 연관됨을 밝혔으며, Tian과 Yasunari (1998)는 봄철 4월 화중 지방의 강수가 하층 850hPa의 고기압에 의한 영향임을 밝힌 바 있다.

그런데 이 연구들은 주로 한반도 영역 또는 남아시아 영역에만 국한되어 왔기 때문에 더 광범위한 원격상관에 대한 연구의 여지를 남기고 있다. 따라서 본 연구에서는 분석영역을 전지구 영역으로 확장하여 기상변수들과 한반도 강수와의 상관성을 분석하였다. 또한

고도장외에, 온도장, 바람장 그리고 주변 해면온도장과 한반도 강수량 사이의 연관성에 대해서도 살펴보았다. 이는 몬순 순환에 의한 고도장의 변동은 온도장과 바람장뿐 아니라 해수면 온도장 변동을 수반하게 되므로 강수의 예측 인자로서 고려 될 수 있기 때문이다.

이전 연구에서 고도의 변동은 주로 해양의 해면 온도(SST)의 변화에 의한 것임을 밝힌 바 있다. 안중배(1997) 등은 한반도 주변 해역의 SST 변동이 한반도 기후 변동에 영향을 미침을 밝혔고, 류상범(1997)은 한반도 강수량과 한반도 주변해역의 SST간의 상관관계에 대해 조사하였고, 강인식과 정영근(1996)은 서울 기온과 SST간에 상관관계가 있음을 증명하였다.

이러한 상호 변수들간의 연관성을 살펴보기 위하여 사용되는 분석 중의 하나인 상관분석은 이미 많은 연구자들에 의해 시행되어져 왔다. 대표적으로 Walker(1924)는 인도의 강수를 예측하기 위해 전지구 기압, 온도, 강수량들간의 상관을 구하여 상관이 높은 지점에 대한 회귀분석을 시행하고 회귀모형을 구축하였다. 하지만 한반도에서 강수량과 주변 기상장의 상관성에 대한 연구들은 주로 1990년 대 초반 분석자료가 충분히 정리되지 못한 시기에 이루어져 분석기간은 상관을 조사하기에 충분하지 못하였다.

본 연구는 한반도 내에서 월강수량의 장기예측 방법을 찾고자 한다. 즉 전지구 대기의 고도장, 온도장, 바람장, 그리고 해수면 온도장의 분포가 수개월후 한반도 강수량에 어떤 영향을 주는 가에 대해, 상관관계 조사를 통해 알아보하고자 하는 것이다. 상관분석은 Walker의 방법을 따랐고, NCEP/NCAR 재분석 자료를 이용하였다. 분석변수들 중 온도장과 바람장은 고도장과의 높은 상관성을 지니기 때문에 다중선형회귀모형은 적합하지 않다. 그러므로 본 연구에

서는 단순선형회귀모형을 구축하여 한반도 강수량 예측을 시도하였으며, 예측 강수량과 실측 강수량을 비교하여 모델의 신뢰성을 검증하였다.

2. 자료 및 분석방법

2. 1. 자료

1974년부터 2000년까지 27년 간의 한국 기상청 산하 61개 지점의 월별 강수량 자료를 사용하였다. 회귀 모형의 검증을 위해서는 1971년부터 1973년까지 3년 동안의 24지점의 월강수량 자료를 이용하였다. 관측 지점의 분포를 Fig. 1에서 나타내었다.

NCEP(National Centers for Environmental Predictions)/NCAR(National Centers for Atmospheric Research) 재분석 자료는 같은 기간의 월자료로 위·경도 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 간격이며 200, 500, 850hPa 고도, 온도, 수평 성분 바람, 남북 성분 바람이 사용되었다.

SST(Sea Surface Temperature) 자료는 CDC(Climatic Diagnostic Center)에서 제공하는 Reconstructed Reynolds Sea Surface Temperature¹⁾이며 1974년부터 1999년까지 26년 동안의 월자료로 위·경도 89N-89.5S, 1.0E-359.E로서 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 데이터이다.

1) Reconstructed Reynolds SST data provided by the NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, from their web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>

2. 2. 분석방법

개략적인 분석 방법을 Fig. 2에 나타내었고, 상관을 조사하기 위해 사용되어진 방정식은 다음과 같다.

$$r(var, lev, posi, lag) = \frac{S_{prcp-ncsp}(var, lev, posi, lag)}{\sqrt{S_{prcp}(var, lev, posi, lag) \times S_{ncsp}(var, lev, posi, lag)}}$$

여기서, var는 NCEP/NCAR 재분석 자료에서 분석에 사용된 변수들로 고도와 온도, 바람성분을 말하며, lev는 200hPa, 500hPa, 850hPa 고도를, posi는 NCEP/NCAR 재분석 자료의 각 격자점을 뜻한다. lag는 지연상관을 의미하며, lag(0,0)은 한반도 1월 강수량과 1월 재분석 자료, lag(8,3)은 한반도 9월 강수량과 4월 재분석자료와의 상관을 의미한다. 분석은 다음과 같이 시행하였다.

- 1) 1월부터 12월까지의 한반도 월강수량과 NCEP/NCAR 재분석 자료의 각 격자점의 고도, 온도 및 바람장과의 동시상관 및 지연상관을 최대 12개월까지 구하였다.
- 2) 지연상관이 높게 나타난 지역의 시계열을 그려 위상의 변동을 살펴보고 선형 회귀식을 구하였다. 동시상관은 종관적 특성을 조사하기 위해 사용되었다.
- 3) 지연상관이 높게 나타난 지점에 대해 시계열을 통한 과우해와 다우해를 선정, 종관적 차이에 대해 살펴보았다.
- 4) 높은 상관을 보인 지점들의 회귀식에 대한 결정계수(R^2)를 조사하여 결정계수값이 최대가 되도록 각 지점별로 가중평균을 두어 새로운 회귀식을 도출하였다.

5) 구해진 회귀식을 통하여 검증을 시행하였다.

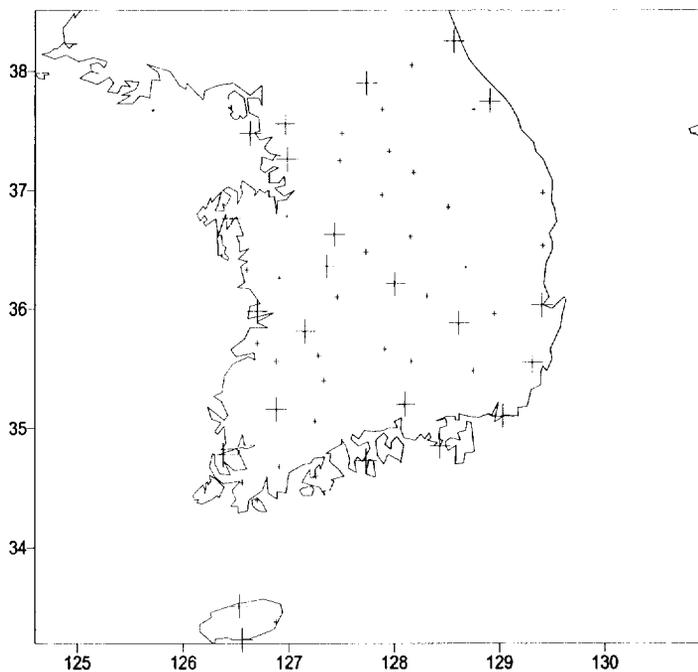
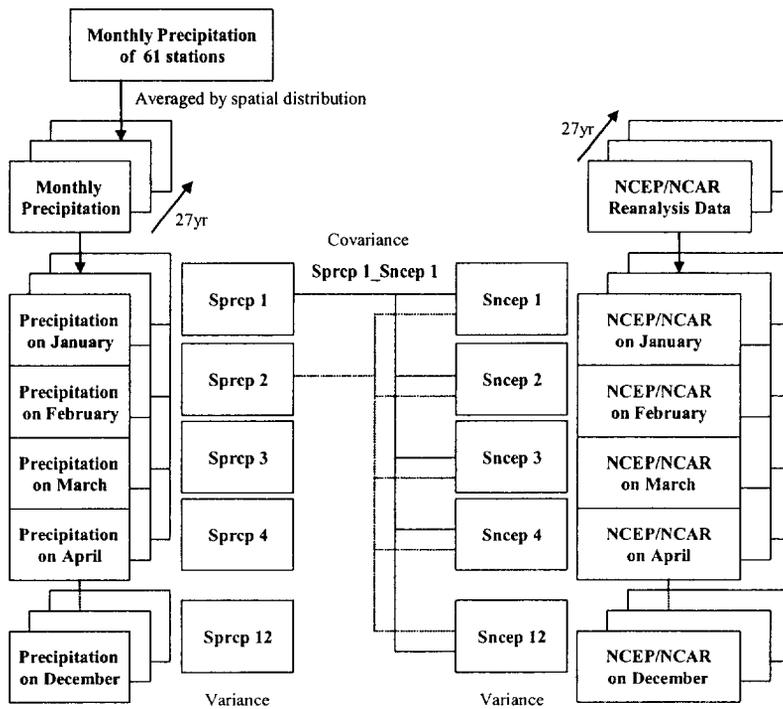


Fig. 1. 61 observational stations (small cross) with the daily rainfall data from 1974 to 2000 and 24 observational stations (large cross) that used for verification with the data in Korea from 1971 to 1973.



Sprep 1: The variance of the monthly precipitation on January.
Sscep 1: The variance of the NCEP/NCAR data on January.
Sprep 1_Sscep 1: Covariance on January.

Fig. 2. Flowchart that explains the calculating method of the correlation coefficients, covariance, and variances of monthly precipitation over South Korea from January to December.

3. 분석 결과

3. 1. 상관 분석

한반도 월강수량과 분석자료 중의 하나인 고도장과의 지연상관을 조사한 결과 가장 높은 상관은 4월 200hPa, 500hPa 고도장과 9월 한반도 월강수량 사이에 0.7 이상의 높은 양의 상관이 인도 내륙 북부 지역과 오호츠크해를 중심으로 나타났고(Fig. 3), 1월과 3월 850hPa 고도장과 4월 한반도 강수량 사이에 -0.7 이하의 높은 음의 상관이 멕시코 서해안을 중심으로 나타났다(Fig. 4). 이 외에 고도장과의 다소 높은 지연상관을 보인 경우도 있었지만 본 연구에서는 제외하였다.

동시상관의 경우는 2월 분석고도 전체에서 일본 동해안을 중심으로 높은 양의 상관이 나타났으며, 지연상관이 높게 나타난 4월 강수량과 9월 강수량의 경우 한반도 남해안을 중심으로 높은 양의 상관이 나타났다. 동시상관의 경우 상관값의 차이는 나지만 대부분 양의 상관을 보인 지역이 한반도 남해안을 중심으로 나타나 이 지역의 고도 증가(고기압의 발달)가 한반도 강수의 증가에 큰 영향을 미칠 수 있었다.

온도장의 경우 동시상관, 지연상관 모두 고도장과 유사한 영역에서 높은 상관을 보이지만 상관값은 고도장보다 낮은 값을 보였고(Fig. 5, 6), 바람장 또한 유사한 결과를 보였다.(그림생략) 이는 온도장과 바람장은 고도장과 선형관계가 있음을 의미하며, 독립변수들 간의 강한 선형관계는 다중공선성을 증가시켜 통계적인 유의미도를 감소시킬 수 있다. 따라서 온도장과 바람장에 대한 결과들은 종관적

특성을 조사한 이후 부가적인 설명을 하는 데에 사용하였다.

각 기상변수들에 대한 상관값을 Table. 1에 요약하여 나타내었다.

3. 2. 회귀모형 구축

4월 200hPa과 500hPa의 고도와 9월 한반도 강수량 사이에 높은 양의 상관관을 보인 인도 지역과 오호츠크해 영역을 분석영역 A로 정의하고, 1월과 3월 850hPa 고도와 4월 한반도 강수량간에 음의 상관관을 보인 멕시코 서해안 지역을 분석영역 B로 정의하여 각 영역별로 강수량을 장기예측 할 수 있는 회귀모형을 구축하였다.

Table. 1. The areas and the meteorological parameters that show the maximum correlation coefficients with the monthly precipitation of South Korea.

| Z-PCN on Feb (Japan) | Z on Apr - PCN on Sep (India Pen.) - Area A | Z on Mar - PCN on Apr - Area B |
|----------------------|---|--------------------------------|
| Z(200hPa, 500hPa) | Z(200hPa, 500hPa) | Z(850hPa,500hPa) - California |
| TMP(500hPa, 850hPa) | TMP(500hPa) | UGRD(500hPa) - Central Pacific |
| UGRD(200hPa,500hPa) | UGRD(200hPa,500hPa) | - |
| VGRD(850hPa) | - | - |

* Z indicates geopotential height, TMP is temperature, UGRD is zonal wind, VGRD is meridional wind and PCN is precipitation in South Korea.

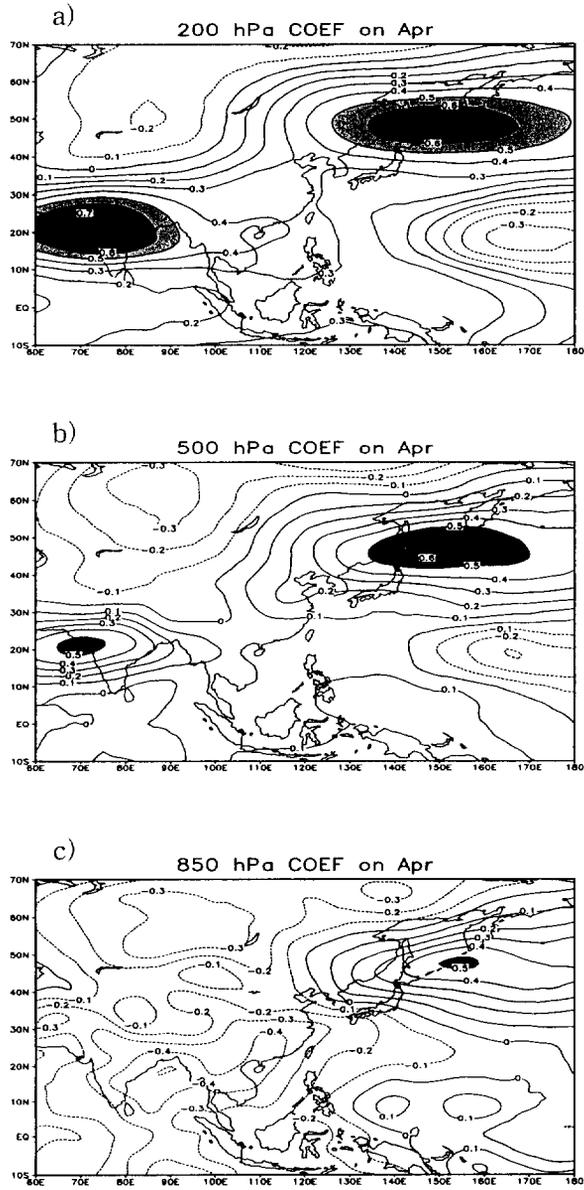


Fig. 3. Distribution of the linear correlation coefficients between the monthly precipitation of South Korea and the geopotential fields at a) 200hPa b) 500hPa, and c) 850hPa on April. Contour interval is 0.1 and regions greater than 0.5 are shaded.

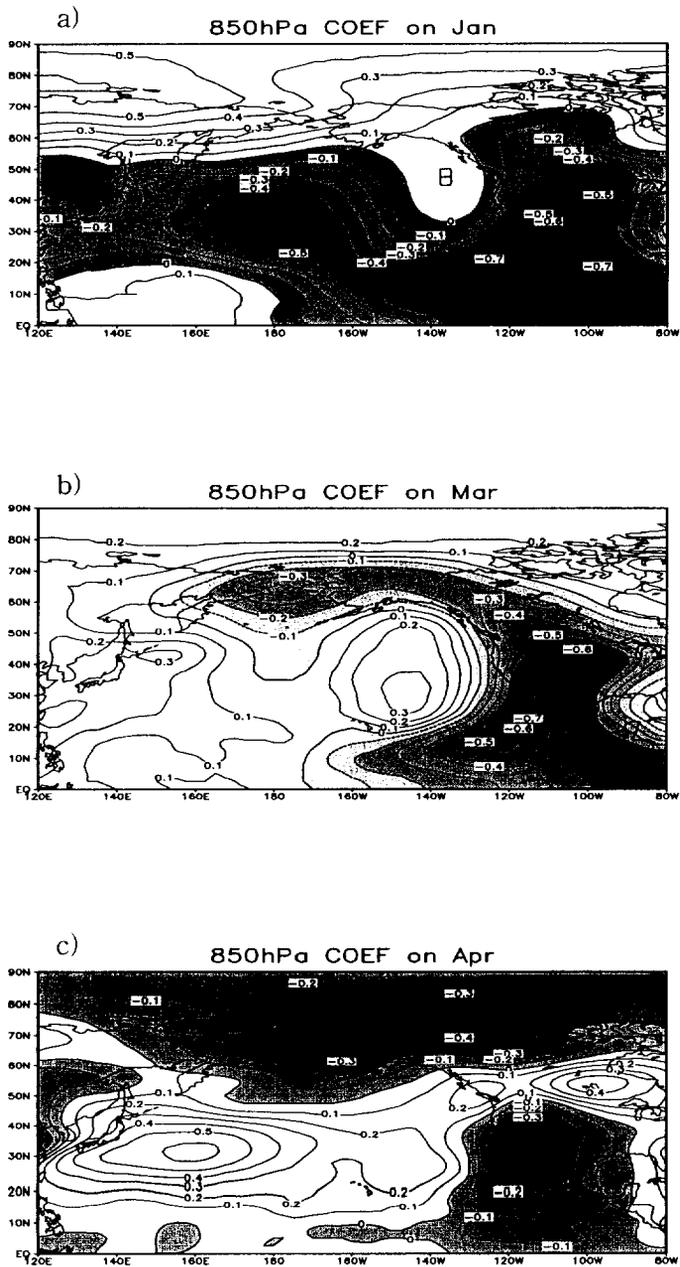


Fig. 4. As in Fig. 3 but for a) January, b) February, and c) March. Regions smaller than 0 are shaded.

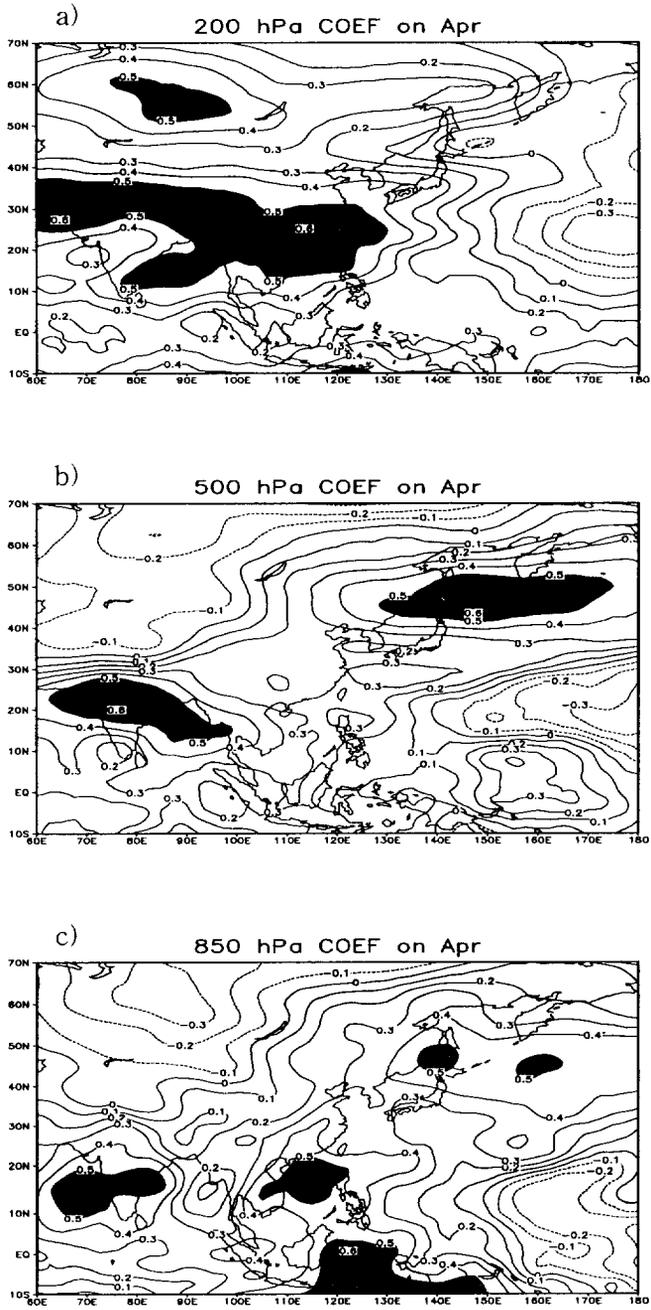


Fig. 5. As in Fig. 3 but for temperature.

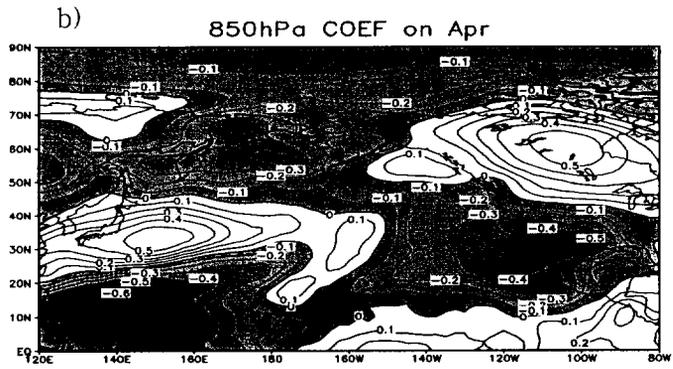
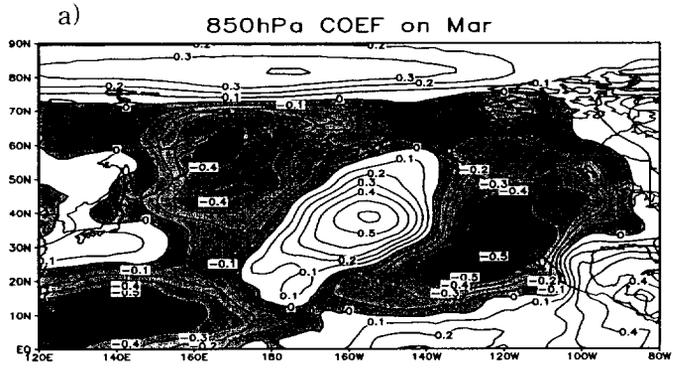


Fig. 6. As in Fig. 4 but for the temperature.

3. 2. 1. 분석영역 A

a. 종관 분석

상관 분석결과 200hPa 고도에서 인도 북부 지역에서 최대상관이 0.79인 높은 양의 상관을 보였고, 오호츠크해에서도 0.7 이상의 높은 양의 상관이 나타났다. 500hPa에서는 200hPa 상관 분포와 유사하며, 850hPa에서는 200hPa에서 양의 상관을 보인 인도 북부 지역에서 약한 음의 상관, 오호츠크해에서는 양의 상관을 보였다(Fig. 3).

고도별로 상층에서 하층으로 갈수록 상관이 낮아지는 패턴을 보여 상층 등압면 고도값의 변화가 한반도 9월 강수와 밀접한 연관이 있음을 알 수 있었다.

상관도는 고도장과 강수량의 시간 변화에 따른 상관을 나타내므로, 9월 강수의 많고 적음에 따른 월별 종관적 차이를 찾기가 힘들어 Fig. 7에서 9월 강수가 많은 해와 작은 해를 선정, 다우해와 과우해의 평균장에 대한 차이를 살펴보았다. 다우해는 한반도 9월 강수가 많은 해인 1981, 1990, 1999년, 과우해는 1982, 1994, 1996년으로 정의하고, 200hPa, 500hPa, 850hPa에서 다우해와 과우해의 평균장을 나타내었다.

분석 결과 4월 200hPa 고도장에서 다우해와 과우해에 대한 고도값(Fig. 8)의 큰 차이는 보이지 않지만, 높은 상관을 보인 인도 지역에서 다우해의 경우 과우해보다 고도값이 높은 것을 알 수 있고, 오호츠크해에서 다우해의 경우에 과우해보다 기압골의 세력이 약하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 9월에는 다우해 동안 북위 20°에서 30° 사이에 나타나는 고기압(티벳 고기압)의 세력이 과우해보다 세력이 강하였고, 과우해 동안 한반도 상공에 기압골이 나타나 뚜렷한

차이를 보였다. 즉 다우해 동안에는 4월 일찍 고도가 증가하면서 9월 고기압의 세력이 늦게까지 강하게 지속되고, 오호츠크해 영역의 기압골이 약하게 나타남을 알 수 있다.

시안과 정용승(1997)은 5월 인도차이나 반도에 중심을 둔 남아시아 고기압이 여름철에 접어들면서 북상함을 밝혔고, 임규호(1992)가 티베트 고기압에 의한 12400gpm의 남북 변화가 한반도 여름철 강수량과 연관됨을 밝힌 바 있다. 이와 연관되어 보면 4월부터 200hPa 고도의 증가로 인해 다우해 동안 5월 남아시아 고기압의 발달이 일찍 시작되고 이후 북상하다가 후퇴시기인 9월에 그 세력이 화남지역을 중심으로 과우해보다 강하게 위치하고, 고기압 북쪽을 지나는 제트류가 강화(하층 수렴 강화)되어(Fig. 9) 한반도 9월 강수가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 오호츠크해 200hPa에서 나타난 기압골은 과우해 동안 4월부터 9월까지 그 세력이 강화되어 티베트 고기압의 북상을 저지하는 역할을 하고, 이로 인해 한반도 9월 강수가 적어지는 역할을 함을 알 수 있다.

500hPa 고도장 분포에서는 다우해의 경우 4월 필리핀 동쪽 해상에서 5880gpm의 폐곡선을 가진 고기압이 발생하고(Fig. 10), 9월 과우해보다 고기압의 세력이 일본 남쪽 해상에서 강하게 존재하는 차이를 보인다. 온도장에서는 고도장에서 4월 다우해 동안에 고기압이 발달하는 지역에서 온도 증가가 나타나고, 9월 과우해 동안에 500hPa 기압골의 발달에 따른 한반도 부근으로 기온의 감소가 나타나는 차이를 보인다(Fig. 11).

이전 변희룡(1995)은 4월부터 발달하는 5880gpm의 폐곡선을 가진 고기압을 오까사와라 고기압이라 표현하였고, 9월 한반도 불안정과 연관됨을 밝힌 바 있어, 다우해인 경우 4월부터 필리핀 동쪽해상을

중심으로 오까사와라 고기압이 과우해보다 일찍 발달하고, 9월에 일본 남쪽 해상을 중심으로 세력이 강하게 유지됨으로서, 한반도로의 남서류 유입이 강화되어 한반도 9월 강수가 증가하는 것을 알 수 있다.

850hPa에서는 4월 다우해 동안 인도 부근에서 지표의 가열로 인한 기압골이 나타나고, 필리핀 동쪽 해상으로 고기압이 과우해보다 강하게 나타난다(Fig.12). 온도장에서 다우해 동안 지표 온도가 높은 것으로 보아(Fig. 13) 하층에서 나타나는 기압골은 대륙의 기온 증가로 의한 몬순 기압골임을 알 수 있다.

고도별 분석결과 다우해와 과우해의 차이는 4월 이후 발생하는 고기압 강도의 차이로 인한 것임을 알 수 있어, 200hPa과 500hPa에서 발생하는 고기압의 월별 이동경로를 살펴보았다(Fig. 14).

200hPa 고기압은 5월 인도차이나 반도에서 발생하기 시작하여 6월 북상하고, 7월에는 티벳 고원에 위치하면서 동서로 확장하는 모습을 보인다. 다우해와 과우해의 차이는 200hPa 티벳 고기압이 쇠퇴하는 시기인 9월 이후부터 큰 차이를 보인다. 다우해의 경우에는 9월까지 발달하고 이후 10월부터 세력이 약해지는 반면, 과우해의 경우에는 8월 이후부터 고기압이 쇠퇴한다. 또한 다우해동안 그 세력은 11월까지 지속되지만, 과우해의 경우 9월 이후 고기압 세력이 분석영역 내에서 나타나지 않는다.

500hPa에서 오까사와라 고기압은 다우해와 과우해 모두 200hPa에서의 티벳 고기압과 마찬가지로 북상하고 남하하는 모습을 보인다. 차이점은 고기압이 발생하는 시기인 4월에 다우해동안에 고기압이 발생하지만 과우해의 경우에는 5월에 발생하는 것과 후퇴하는 시기인 9월 그 세력이 강하게 유지되는 것이다.

평균장과 고기압의 이동경로의 조사결과를 토대로 다음과 같이 요약할 수 있다.

다우해의 경우 다음과 같다.

1) 4월 하층 850hPa 에서는 인도 몬순 기압골이 발달하고, 해상으로는 500hPa에서 아열대 고기압이 발달한다.

2) 5월 상층 200hPa에서 하층 수렴에 의해 남아시아 고기압이 발달한다.

3) 해상의 아열대 고기압(오까사와라 고기압)과 내륙으로는 남아시아 고기압이 북상한다. 하지만 다우해와 과우해에 고기압 세력의 큰 차이는 보이지 않는다. 이전 임규호(1992)는 200hPa 티벳 고기압의 편차는 여름철 동안 크지 않고, 5월과 9월에 편차가 가장 크게 나타남을 밝힌 바 있다.

4) 9월 200hPa과 500hPa 고기압 모두 세력이 약화되지만, 다우해 동안에 그 세력이 강하게 존재하고, 오호츠크해에서 발생하는 기압능이 과우해보다 발달하지 못하여 상층 고기압이 보다 북상하는 모습을 보인다.

5) 9월 남서류 유입과, 기온의 증가로 인해 강수가 증가한다.

결국 인도 몬순의 강약의 변화가 한반도 9월 강수량과 연관이 되므로, 다우해와 과우해의 고기압 발달이 차이를 보이는 원인에 대해 조사하기 위하여 해수면온도(SST)의 편차를 살펴보았다(Fig. 15). 4월 다우해의 경우 한반도로부터 남아시아까지 양의 편차, 동태평양에서는 음의 편차를 보이고, 과우해의 경우에는 동태평양에서 양의 편차 서태평양과 Nino3-4지역에서 음의 편차를 보인다. 이전 연구에서 Krishnamurthy(2000)는 인도몬순과 ENSO사이에 밀접한 연관이 있고, 임한철·전종갑(2000)은 인도양 SST의 상승은 인도 몬순이 강화됨을

밝힌 바 있어, 한반도 과우해의 경우 4월 인도양의 SST의 cooling으로 인해 해상에서 발달하는 아열대 고기압과 인도 몬순이 약화됨을 알 수 있다. 9월 SST 어노말리의 경우 과우해동안 오까사와라 고기압이 발생하는 영역을 중심으로 음의 편차가 나타나, 이로 인한 고기압의 발달이 저지됨을 알 수 있다.

b. 회귀 모형

강수의 예측을 위해 9월 한반도 강수량과 가장 높은 상관성을 보인 오흐츠크해(Okhotsk)와 인도 북부 지역(India) 200hPa 고도값과의 회귀식을 다음과 같이 구하였다(Fig. 16).

$$\text{India} : y = 2.7555x - 33960 \quad (R^2 = 0.6239)$$

$$\text{Okhotsk} : y = 0.9637x - 10928 \quad (R^2 = 0.4862)$$

결정계수값(R^2)은 India의 경우 Okhotsk보다 높게 나타났지만 한반도 9월 강수의 다과의 경우 두 지점의 고도가 상호 연관성을 가지고 한반도에 영향을 미치므로, 결정계수값이 최대가 되도록 두 지점의 고도값을 가중 평균하였다. 가중 평균한 값과 강수량과의 상관값은 0.83으로 India지점만의 상관보다 높은 값을 보였으며 결정계수값 또한 0.69로서 가중 평균하기 이전의 회귀식보다 높은 값을 보여 회귀모형에 대한 예측 정확도를 높였다. 이에 대한 산점도와 회귀식을 Fig. 17에 나타내었다.

$$y = 2.4498x - 29742 \quad (R^2 = 0.6909)$$

Table. 2. Correlation coefficients between monthly precipitation(PCN) over South Korea on September, the geopotential height at 200hPa over India, and that of the Okhotsk Sea on April and ADJ which averaged by weighting function explained in the text.

| | India | Okhotsk | ADJ | PCN |
|---------|-------|---------|----------|-----------------|
| India | 1 | 0.62677 | 0.943164 | 0.789864 |
| Okhotsk | | 1 | 0.850098 | 0.697282 |
| ADJ | | | 1 | 0.831217 |
| PCN | | | | 1 |

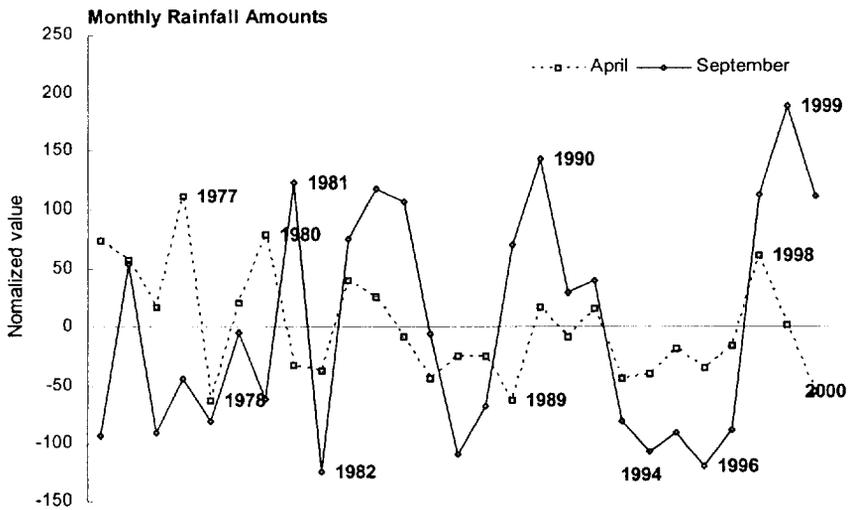
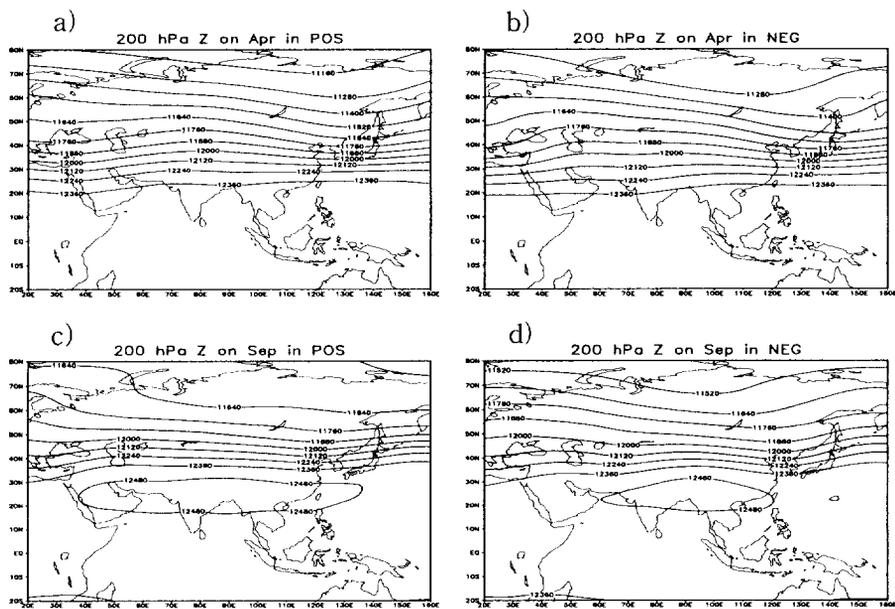


Fig. 7. Time series of the monthly precipitation over South Korea on April (dotted) and September (solid) for 27years.



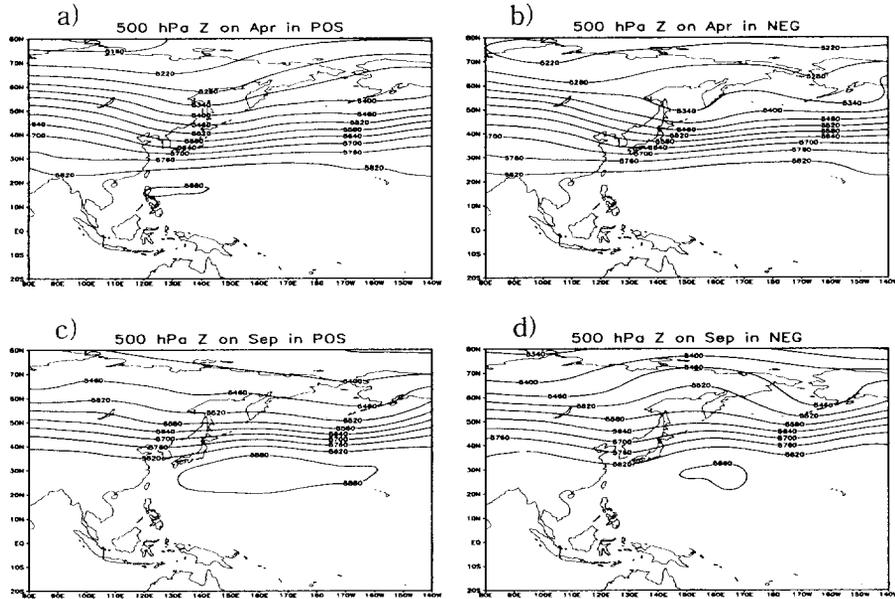


Fig. 10. As in Fig. 8 but for 500hPa.

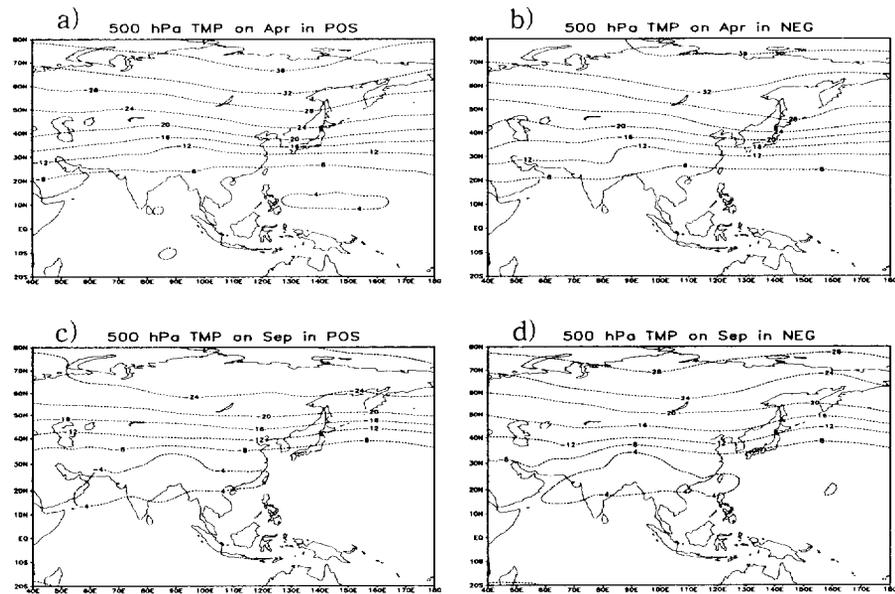


Fig. 11. As in Fig. 8 but for 500hPa temperature.

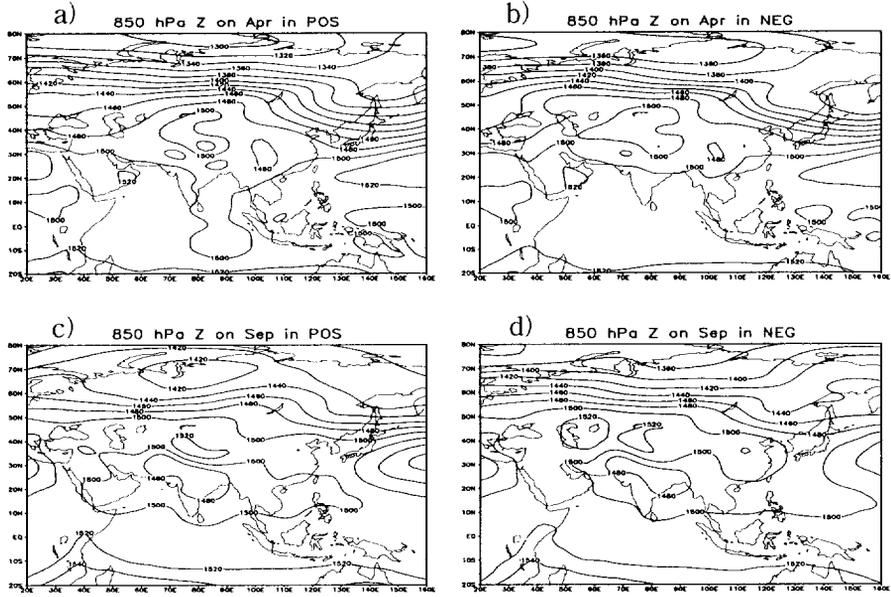


Fig. 12. As in Fig. 8 but for 850hPa.

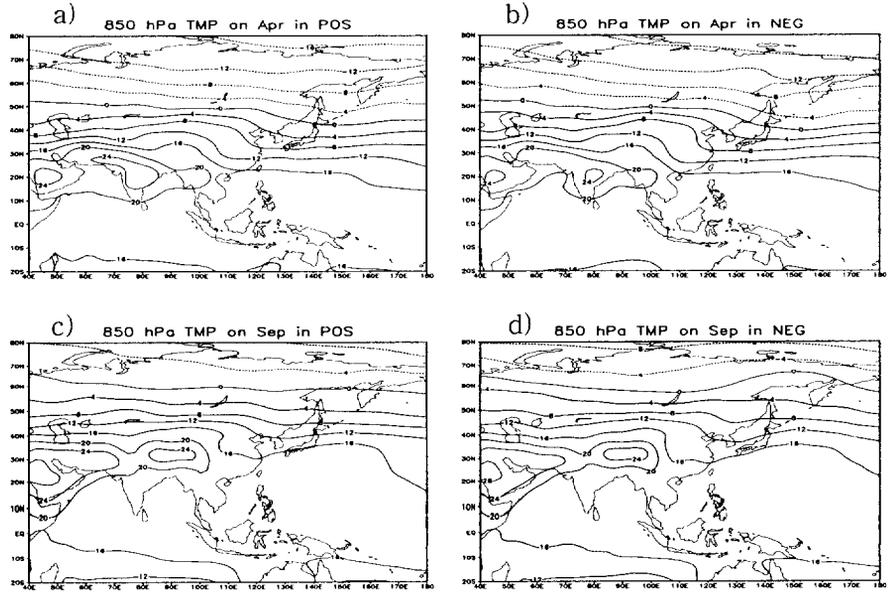


Fig. 13. As in Fig. 8 but for 850hPa temperature.

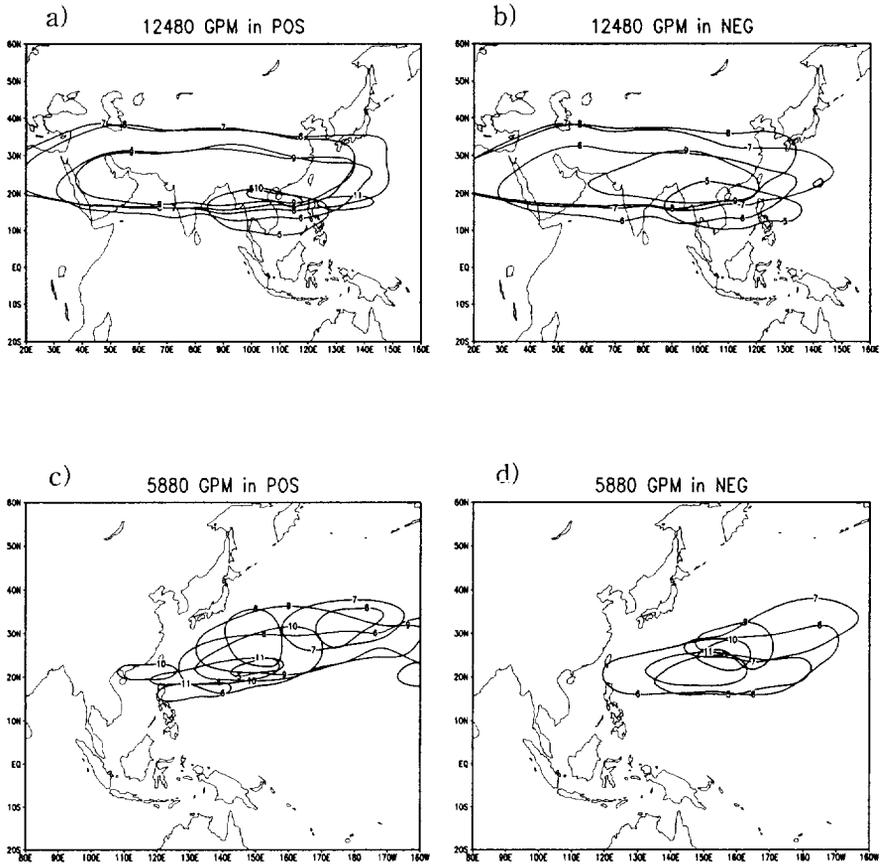


Fig. 14. The propagations of the 12480gpm(a, b) and 5880gpm(c, d) contours from April to December in positive years(a, c) and negative years(b, d).

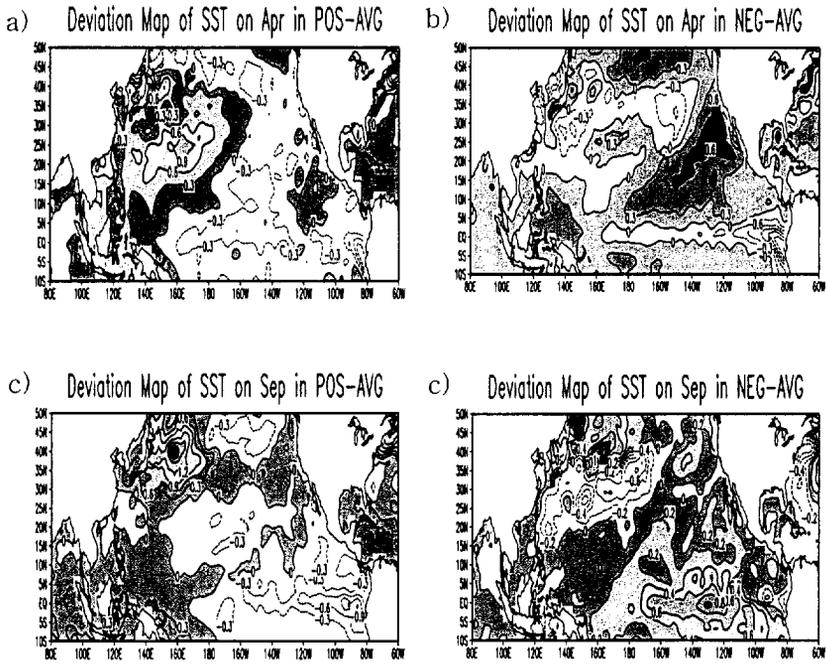


Fig. 15. Distribution of SST anomalies on a) April, b) September in positive years (left) and negative years (right). Regions greater than 0 are shaded.

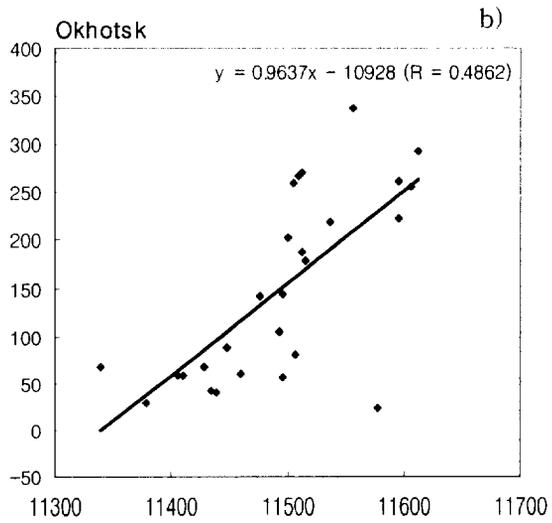
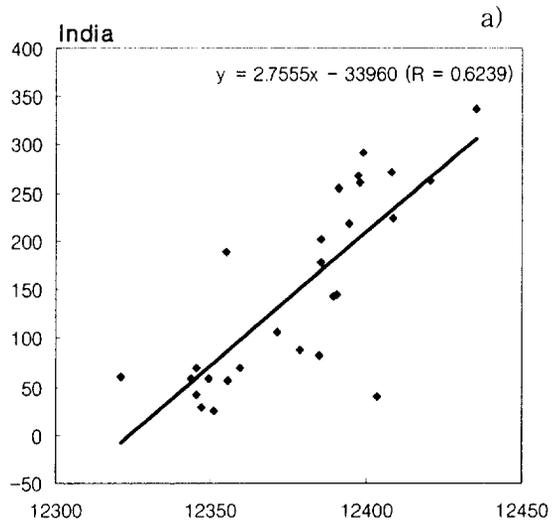


Fig. 16. Scatter diagram of the monthly precipitation on September over South Korea and the geopotential height at 200hPa on April over a) India and b) Okhotsk.

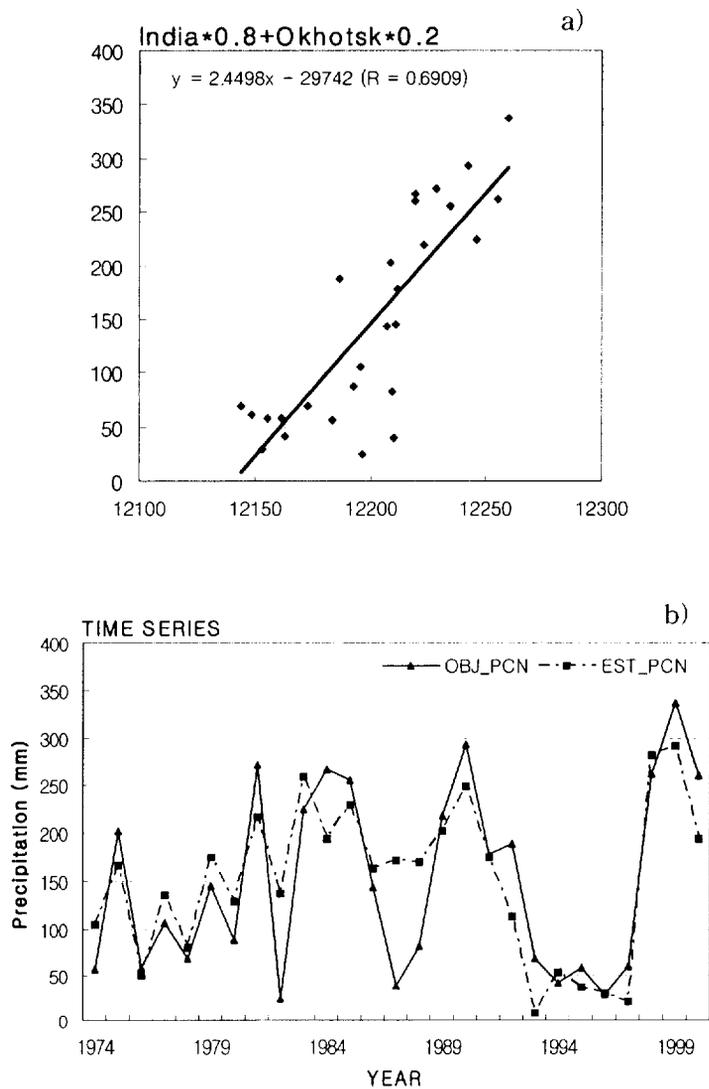


Fig. 17. a) Scatter diagram of the geopotential height which is averaged between India and the Okhotsk Sea by weighting function at 200hPa on April, and monthly precipitation on September over South Korea. b) Time series of observed monthly precipitation (solid) on September and the estimated monthly precipitation (dotted) produced by the regression model.

3. 2. 2. 분석영역 B

a. 종관 분석

850hPa 고도장에서 1월 최대 상관이 -0.72 인 높은 음의 상관이 멕시코 서해안을 중심으로 나타나고, 3월 같은 지역에서 -0.74 의 높은 음의 상관을 보였다(Fig. 4). 동시상관의 경우 서태평양을 중심으로 강한 양의 상관을 보이고 있어, 4월 서태평양에서의 고도의 증가가 4월 한반도 강수의 증가요인임을 알 수 있다. 고도별로는 분석영역 A의 경우와는 반대로, 하층에서 높은 상관을 보이고 상층으로 갈수록 상관의 감소하는 경향이 나타나, 1월과 3월 하층 등압면 고도값의 변화가 한반도 4월 강수량의 변동에 영향을 미침을 알 수 있다(그림 생략).

Fig. 6에서 3월과 4월 온도와 4월 한반도 강수와의 상관을 나타내었으며, 온도장의 경우 고도장과 같이 멕시코 서해안에서 음의 상관이 보이고 중앙태평양 부근에서 높은 양의 상관을 보이고 있어, 3월 멕시코 서해안에서 온도가 감소하고, 4월 한반도 남해안에서 중앙태평양까지 상대적으로 온도가 증가하는 경우, 한반도 4월 강수가 증가함을 알 수 있다.

종관적 차이를 살펴보기 위해 분석영역 A와 같은 방법으로 Fig. 7에서 시계열을 통하여 다우해는 1977, 1979, 1998년, 과우해는 1978, 1989, 2000년으로 정의하였고, Fig. 18에서 1월부터 4월까지 다우해와 과우해의 평균장을 나타내었다.

다우해의 경우 1월 알류산 저기압이 과우해보다 강하고 중심 축이 중앙태평양으로 뻗어 있어 남서태평양에서 발달하는 고기압이 중앙태평양까지 확장되어 나타나고, 반대로 과우해의 경우에는 중심 축

이 서태평양 부근으로 위치해 있어 동태평양에서 발달하는 고기압이 중앙태평양까지 발달해 있다.

2월에는 다우해의 경우 알류산 저기압의 강도가 급격히 약해지는 모습을 보이고 이에 따라 저기압 남쪽에 위치한 고기압이 과우해보다 강하게 나타난다. 반대로 과우해의 경우에는 알류산 저기압이 상대적으로 강하게 위치하면서 기압골의 세력이 다우해보다 남쪽으로 위치하고 고기압의 발달을 저지시킨다.

2월과 같은 경향이 3월부터 4월까지 지속되면서 알류산 저기압은 점차 북상하고, 다우해 동안에는 일본 남쪽 해상에 위치한 고기압이 한반도로 보다 많이 접근하는 것을 볼 수 있다. 이전 연구에서 Tian과 Yasunari(1998)가 4월 화중 지역의 봄우기의 존재 원인이 850hPa 해상에서 고기압 세력이 발달로 인한 남서류의 유입의 강화로 밝힌 바 있어 한반도 남쪽으로 위치한 고기압에 의한 남서류의 강화가 한반도 4월 강수의 증가 요인임을 알 수 있다.

즉 알류산 저기압의 후퇴시기가 남쪽에 위치한 아열대 고기압의 북상하고 세력을 강화하는 데에 주요 원인임을 알 수 있으며, 고기압의 북상에 따라서 한반도 4월 강수가 변동함을 알 수 있다. 알류산 저기압에 대해 Overland(1999)는 PNA(Pacific North America) pattern과 AO(Arctic Oscillation)과 연관됨을 밝힌바 있으며, 이전연구들에서 PNA 패턴은 엘니뇨와 라니냐에 의한 영향으로 알려져 있어 과우해와 다우해 동안의 해수면 온도 어노말리에 대해 살펴보았다 (Fig. 19).

분석결과 과우해와 다우해 모두 한반도 부근에서 양의 편차를 보인다. 그러나 다우해의 경우 1월부터 4월까지 적도에서 평균보다 높은 해수면 온도가 페루지역으로부터 서쪽으로 180E까지 나타나며

과우해에는 다우해와 위상이 반대로 나타났다. 이는 4월 강수가 많은 다우해의 경우 엘니뇨가 발생한 시기임을, 반대로 강수가 작은 과우해의 경우는 라니냐가 발생한 시기임을 뜻한다.

해수면 온도 차이에 의한 변화를 살펴보기 위해 하층 고기압의 편차가 크게 나타나는 경도 120W 상에서 다우해와 과우해의 연직속도 편차를 Fig. 20에 나타내었다. 적도 지역으로 강한 음의 편차를 보임을 알 수 있으며, 적도 지역에서 다우해동안 상승류가 강함을 알 수 있다. 이는 적도 지역의 해수면 온도 상승이 해들리 순환을 강화시켜 멕시코 서해안에서 고기압이 더욱 발달하게 되는 원인이 됨을 설명한다.

b. 회귀 모형

상관이 높게 나타난 멕시코 서해안의 1월 850hPa 고도값과(T-1) 3월 850hPa 고도값(T-3)의 산점도를 통한 회귀식을 다음과 같이 구하였다(Fig. 21).

$$T-1 : y = -3.5216x + 5440.1 \quad (R^2 = 0.5486)$$

$$T-3 : y = -4.3068x + 6582.1 \quad (R^2 = 0.5281)$$

결정계수값이 T-1의 경우가 보다 높게 나타났지만 결정계수(R^2)가 최대가 되도록 두 지점의 고도값을 가중 평균하였다. 가중 평균값과 강수량과의 상관값은 -0.79로 T-1 지점만의 상관보다 높은 값을 보였고, 결정계수값 또한 0.63으로 회귀모형에 대한 예측 정확도를 높였다. 이후 회귀식과 산포도를 Fig. 22에 나타내었다.

$$y = -4.556x + 6984 \quad (R^2 = 0.6342)$$

Table. 3. Correlation coefficients between monthly precipitation(PCN) over South Korea on April, the geopotential height at 850hPa over the western coast Mexico on January(T-1) and March(T-3), and ADJ which averaged by weighting function explained in the text.

| | T-3 | T-1 | ADJ | PCN |
|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| T-3 | 1 | 0.697454 | 0.902274 | -0.72668 |
| T-1 | | 1 | 0.938279 | -0.7407 |
| ADJ | | | 1 | -0.79637 |
| PCN | | | | 1 |

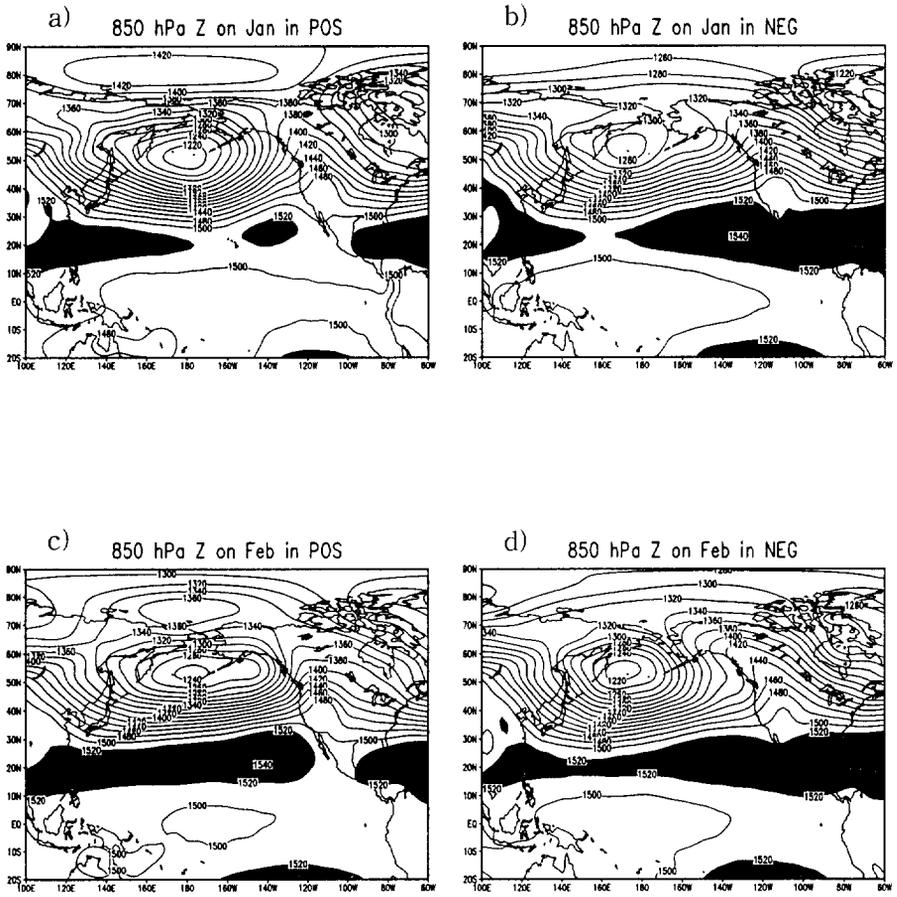


Fig. 18. As in **Fig. 8** but for 850hPa geopotential fields on January (a, b), February (c, d), March (e, f), and April (g, h).

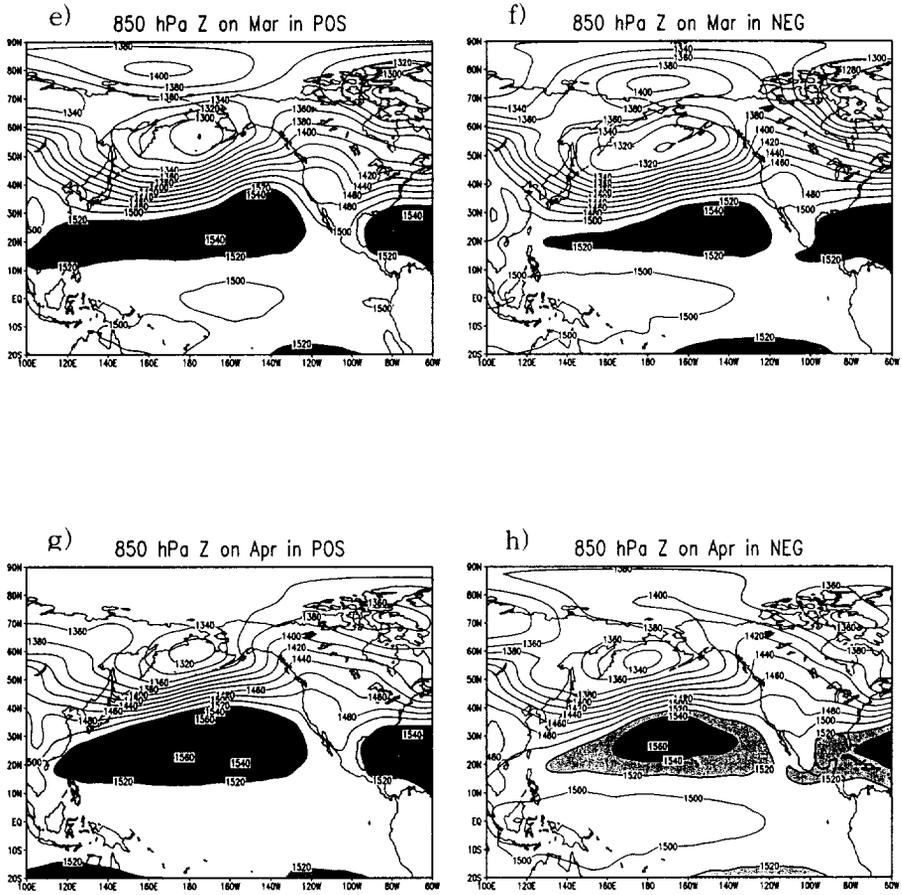


Fig. 18. (continued)

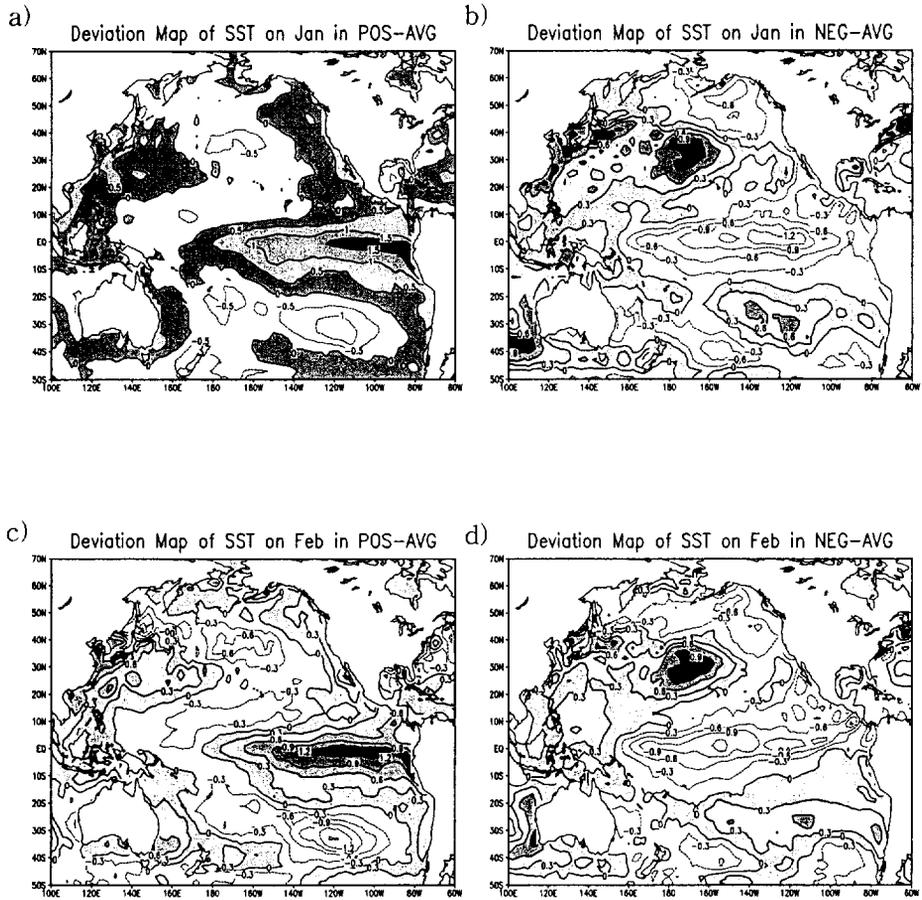


Fig. 19. SST anomalies on a) January c) February e) March g) April in positive years and in negative years (b, d, f, h).

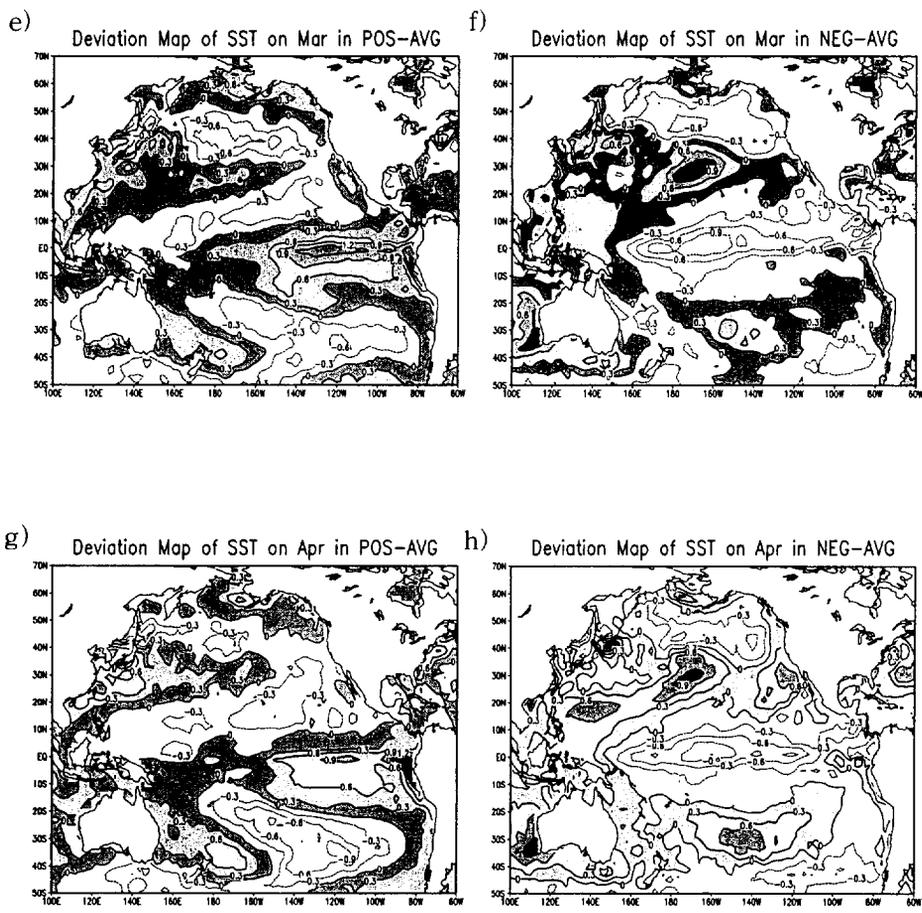


Fig. 19. (continued)

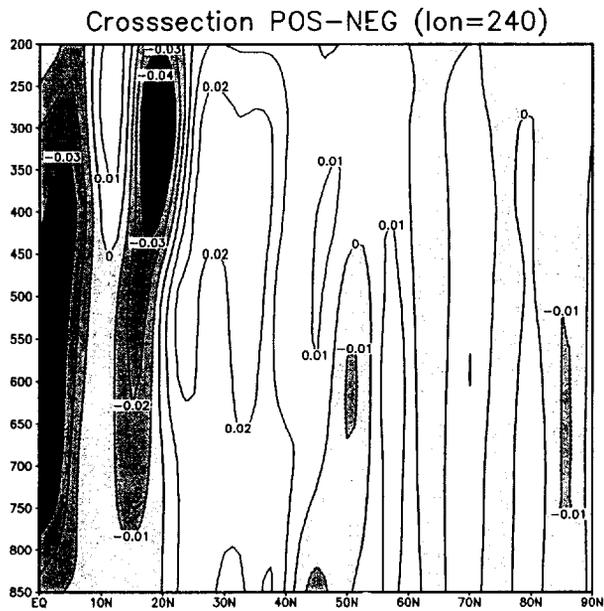


Fig. 20. Deviation map of Latitude-Height cross section of the vertical velocity[Pa/s] at 240W between positive years and negative years. Regions greater than 0 that mean upward movement are shaded.

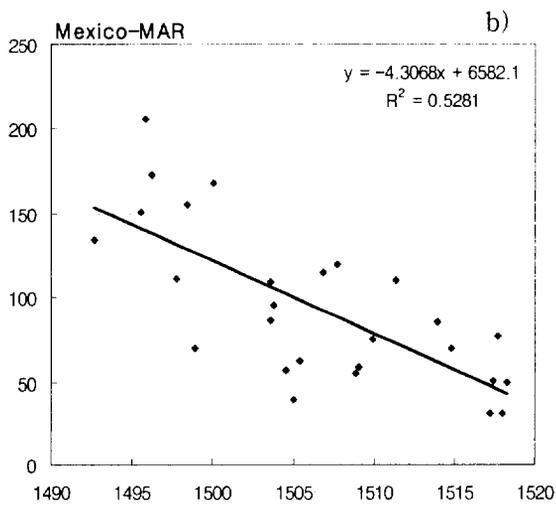
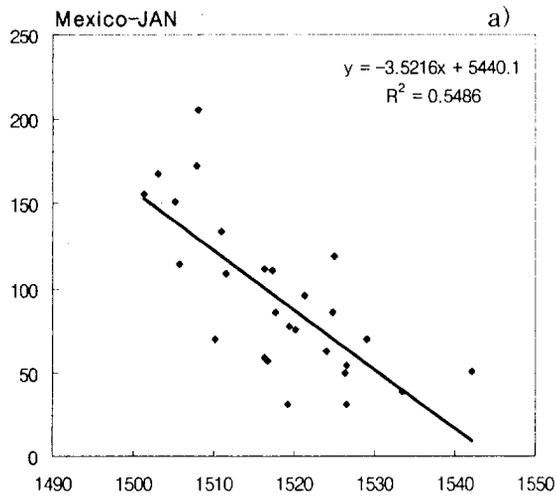


Fig. 21. Scatter plot of a) 85hPa geopotential height over the west coast of Mexico on January and b) on March and monthly precipitation over South Korea on April.

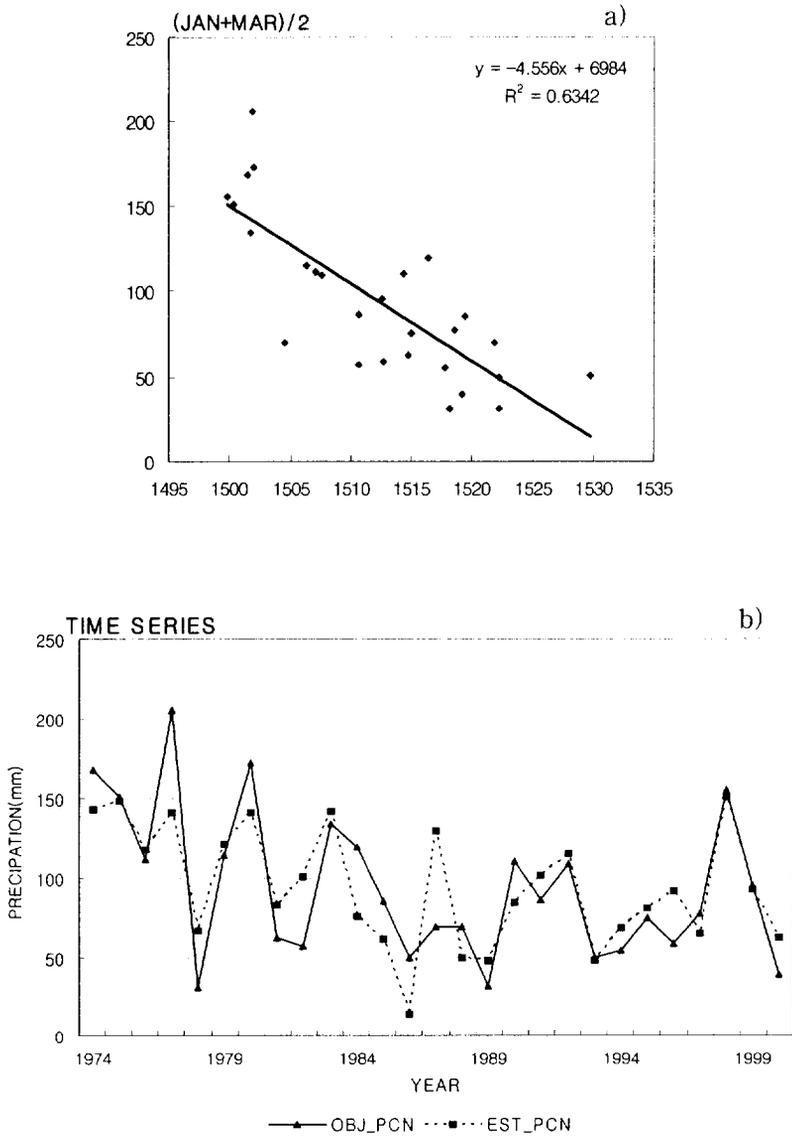


Fig. 22. a) Scatter diagram of averaged 850hPa geopotential height on January and March 200hPa by weighting function and monthly precipitation over South Korea on April. b) Time series of observed monthly precipitation on April (solid) and estimated monthly precipitation produced by regression model (dotted).

3. 3. 검증

앞에서 만들어진 회귀식을 통하여 1971년부터 1973년까지 3년 간 24지점의 공간평균된 강수량을 검증하였다(Fig. 23). 검증결과 9월 강수의 예측은 1972년 다소 오차를 보이지만 1971년과 1973년은 근사한 값을 얻었다. 4월 강수 예측의 경우에 다소 오차는 있지만 변동성을 잘 표현함을 알 수 있었다.

발생하는 오차는 회귀모델 자체의 에러도 있지만, 검증기간 동안 최대 관측소 지점이 24지점으로서 분석기간과 차이를 보여 발생하는 에러도 포함하고 있어, 앞으로의 강수 검증에서는 보다 좋은 예측 값을 얻을 수 있으리라 본다.

Table. 4. The monthly precipitation produced by the linear regression model over area-A and area-B and the observed monthly precipitation over South Korea

| | Z(ADJ) | PCN on Sept | Predict PCN |
|------|---------|-------------|-------------|
| 1971 | 12182.7 | 122.22 | 103.17846 |
| 1972 | 12167.7 | 150.03 | 66.43146 |
| 1973 | 12222.8 | 152.42 | 201.41544 |
| | Z(ADJ) | PCN on Apr | Predict PCN |
| 1971 | 1512 | 54.67 | 95.328 |
| 1972 | 1508.9 | 78.4 | 109.4516 |
| 1973 | 1499.1 | 127.8 | 154.1004 |

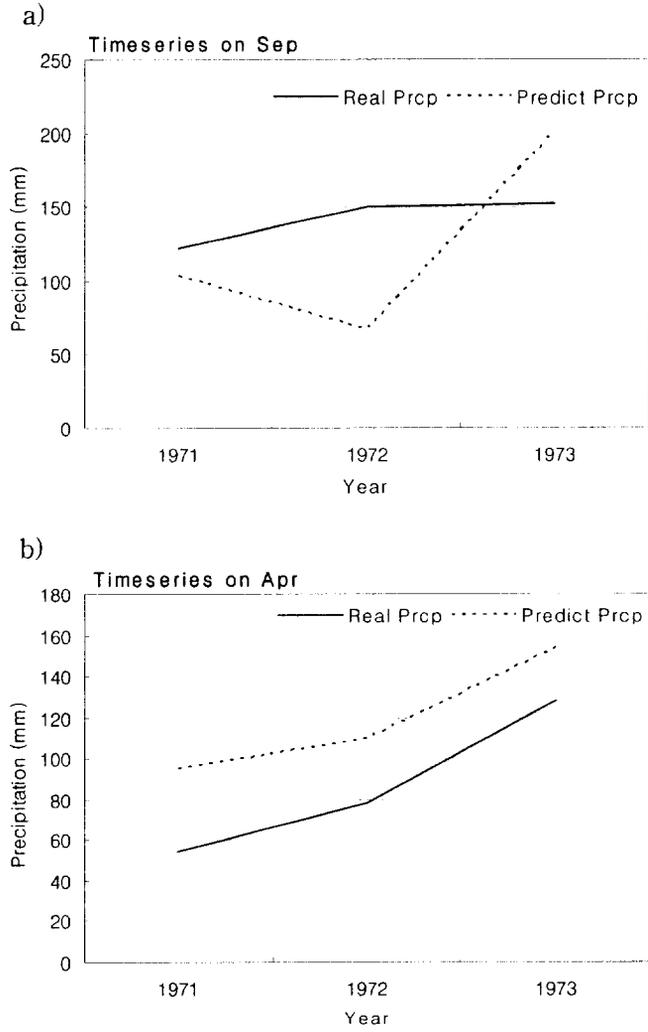


Fig. 23. Time series of precipitation on a) September and b) April from 1971 to 1973. Solid line indicates the observed value and dotted line is the value produced by the regression model.

4. 요약 및 결론

상관분석을 통해 크게 한반도 9월 강수와 상관이 높은 지역은 4월 인도 북부지역과 오호츠크해에서 나타났고, 4월 강수량과는 1월과 3월 멕시코 서해안에서 음의 상관이 높게 나타났다.

9월 강수가 많은 다우해에 대한 종관적 특성에 대해 다음과 같은 결론은 얻었다.

다우해의 경우 4월 남아시아 부근 해수면 온도 상승으로 인해 해사에서 아열대 고기압과 이에 따른 인도 몬순 기압골이 일찍 발달하였다. 이후 상층의 아열대 고기압은 여름철 북상하는 패턴을 보이고, 9월에는 그 세력이 약해지면서 점차 남하하는 패턴을 보였다. 하지만 다우해의 경우 오호츠크해 부근의 기압골의 약화와 고기압 주변 SST 온도 증가로 인해 고기압 세력의 약화가 둔화되고, 한반도 남쪽에 고기압이 위치함으로써 제트류가 강화(하층 수렴의 강화)되고, 남서류가 증가하였다.

4월 강수가 많은 다우해의 경우 종관적 특성은 다음과 같다.

페루 지역의 SST 온도의 상승으로 인해 해들리 순환이 강화되고 이에 따른 아열대 지역의 고기압이 발달하고, 알류산 저기압은 1월 이후부터 그 세력이 급격히 약화되어 점차 북상하는 패턴을 보였다. 아열대 고기압은 3월부터 확장하면서 4월 한반도 남해안에 위치 남서류를 강화시키고, 약화된 아열대 저기압이 보다 북쪽으로 이동하면서 한반도 부근의 기압골이 약화되어 고기압이 보다 북상할 수 있는 원인이 되었다.

이번 연구를 통하여 적도 SST온도의 변화가 어떻게 한반도에 영향을 미치는가에 대해 알 수 있었으며, 구해진 회귀모형을 토대로

장기예보에 대한 보다 정확한 확률예보를 구하였으며, 상관분석을 토대로 한반도 월강수량의 다과에 대한 종관 분포 특성을 살펴 볼 수 있었다.

하지만 한반도 강수의 특성은 지역별로 큰 편차를 보이고 있어 지역별 강수의 특성에 대한 조사가 필요하나 본 연구에서는 본 연구에서 월강수량을 공간평균하여 사용하였기에 지역별 강수의 다과에 대한 결과는 얻지 못하였다. 또한 회귀모형을 이용하여 정성적 강수 예측은 가능하였지만, 정량적인 강수예측에 대한 정확성은 앞으로 보다 더 많은 검증을 통한 회귀식의 보완이 필요하다. 그리고 종관장의 차이가 한반도 강수를 발생시키는 것에 대한 역학적 배경에 대해 깊이 있게 조사되지 못하여, 고기압의 변동과 한반도 강수량 사이의 역학적인 조사가 보다 더 많이 이루어져야 한다고 본다.

참고 문헌

- 강인식, 허창희, 민경덕, 1992: 한반도 여름철 강수량의 장기예측. 한국 기상 학회지, **28**, 283-292.
- 허창희, 강인식, 1988: 한국 지역 강수의 변동성에 관한 연구. **24**, 38-48.
- 임규호, 1992: 한반도 강수량과 북반구 여름철 대기순환의 계절변화. **28**, 269-282.
- 임규호, 1997: 여름철 한반도 월강수량과 동아시아 및 태평양상 등 압면 고도의 선형상관 관계. **33**, 63-74.
- 임규호, 서애숙, 이용섭, 1997: 한반도와 주변 해역 강수량 사이의 상호관계. **33**, 781-795.
- 류상범, 1997: 한반도 기온 및 강수량과 주변 해역 해면온도와의 상관관계에 관한 연구. 1997, **33**, 328-336.
- 안중배, 류정희, 조익현, 박주영, 류상범, 1997: 한반도 기온 및 강수량과 적도 태평양 해면 온도와의 상관관계에 관한 연구. 1997, **33**, 487-495.
- 변희룡, 1996: 한반도에 가뭄을 초래하는 대기순환. **32**, 455-469.
- 이동규, 김영아, 1992: 1980-1989년 동아시아 여름 몬순순환의 변동. **28**, 315-331.
- 변희룡, 이동규, 정삼연, 1995: 하층대기의 연직안정도와 연관된 850hPa 지오폠펜셜 고도장의 종관적 특성. **31**, 213-228
- 오재호, 1996: METRI / YONU GCM 을 이용한 1987년 엘니뇨와 1988년 라니냐 기간동안의 아시아 여름 몬순 연구. **32**,

111-129.

- Xie, A., Y.-S. Chung, X. Liu, Q. Ye, 1997: On the Interannual Variations of the Summer Monsoon Onset over the South China Sea. *J. of Korean Meteor. Soc.*, **3**, 553-567.
- Walker, G. T., 1924: Correlation in seasonal variation of weather. *India Met. Dept. Memoirs*, **XXIV**, 275-345.
- Krishnamurthy, V., B. N. Goswami, 2000: Indian Monsoon-ENSO Relationship on Interdecadal Timescale. *J. Climate*, **13**, 579-595.
- Tian, S. F., and T. Yasunari, 1998: Climatological Aspects and Mechanism of Spring Persistent Rains over Central China. *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 57-69
- Overland, J. E., 1999: Decadal Variability of the Aleutian Low and Its Relation to High-Latitude Circulation. *J. Climate*, **12**, 1542-1548.
- Ting, M., M. P. Hierling and T. Xu, A. Kumar, 1996: Northern Hemisphere Teleconnection Patterns during Extreme Phases of the Zonal-Mean Circulation. *J. Climate*, **9**, 2614-2633.
- Feldstein, S. B., 2000: The Timescale, Power Spectra, and Climate Noise Properties of Teleconnection Patterns. *J. Climate*, **13**, 4430-4440.
- Jin, F.-F., 1997: A Theory of Interdecadal Climate Variability of the North Pacific Ocean-Atmosphere System. *J. Climate*, **10**, 1821-1835.
- Latif, M., T. P. Barnett, 1996: Decadal Climate Variability over the North Pacific and North America: Dynamics and Predictability. *J. Climate*, **9**, 2407-2423.

- Higgins, R. W. and K. C. Mo, 1997: Persistent North Pacific Circulation Anomalies and the Tropical Intraseasonal Oscillation. *J. Climate*, **10**, 223-244.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Teleconnection: How Does ENSO Affect East Asian Climate?. *J. Climate*, **13**, 1517-1536.

감사의 글

먼저 태어나면서 지금까지 저를 항상 지켜주신 하느님께 감사를 드립니다. 지금까지 대학에 들어서서 제가 가야 할 길에 대해 늘 이끌어 주시고, 잘못된 길을 가고 있을 때에는 따끔한 훈계와 함께 용기를 주셨고, 가족과 떨어져 있는 절 항상 걱정해 주신 변희룡 교수님께 작지만 감사의 마음을 글로나마 전합니다. 앞으로도 교수님께서 제게 주신 은혜 잊지 않고 살아가겠습니다. 또한 저에게 전공에 대한 관심을 가지게 해주시고 저를 여기까지 설 수 있도록 도와주신 정형빈 교수님, 학부 과정동안 많은 가르침과 조언을 주신 한영호 교수님, 김영섭 교수님, 이동인 교수님, 옥곤 교수님께도 진심으로 감사 드립니다.

실험실 초년에 나에게 드러나지는 않지만 항상 나를 도와주시고 제가 가야할 길을 가르쳐 주신 임병환 선배님, 따끔한 충고와 함께 용기를 주신 임장호 선배님, 같이 오래 있지는 못했지만 진정한 사나이의 모습을 보여주신 양재열 선배님, 그리고 늘 웃음으로 맞이하며 논문에 대한 많은 지식을 전해 주신 류성용 선배님에게 고마운 마음을 전하고 싶습니다.

실험실에 유난히 우리 동기가 많아 불협화음도 많고, 그만큼 정도 많이 쌓였습니다. 그 중 논문을 쓰기 위해 많은 도움을 준 경아, 비록 많이 다투기도 했지만 정도 많이 들어 항상 고마운 마음 간직하고 있음을 전합니다. 힘들 때마다 내 곁에서 술 한잔과 웃음으로 위로해준 기선이, 동일이, 준혁이, 상은이, 환근이 그리고 지금은 멀리 떨어져 있는 수경이, 다른 동기들에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

니다. 부족한 점이 많은 나 때문에 힘든 실험실 생활이지만 힘든 내색 없이 잘 따라와준 혜숙이, 태희, 재훈이, 현하, 민혁이, 지현이, 지은이, 유경이, 유원이, 화정이, 정훈이 앞으로 모두 좋은 결실 맺기를 바라며 감사 드립니다.

잠시나마 내게 자료처리와 방법에 대해 가르쳐주신 나덕균 연구관님과 박효순 선배 그리고 기상청 수치예보과에 계시는 모든 분들께게도 감사의 마음 전하고 싶습니다.

어릴 때부터 같이 지내 온 인석이와 성주, 민수, 성진이, 종성이, 승광이, 원호 지금은 다들 각자의 길을 찾아가고 있어 자주 만나지는 못하지만 늘 마음은 곁에 있음을 전하고 싶습니다.

제가 가장 존경하는 부모님, 그 크신 은혜에 감사 드리고 지금은 비록 잠시나마 멀리 떨어져 있지만 마음은 항상 부모님과 함께 있음을 전합니다. 그리고 지금까지도 나 때문에 고생하시는 누님에게 말로 표현하지 못할 만큼 감사하고 있다고 전하고 싶습니다.

항상 내 옆에서 내가 기댈 수 있는 나무가 되고, 때로는 하늘이 되어 도와준 오정이에게 사랑과 감사하는 마음과 함께, 가까이서 늘 걱정해 주신 오정이 부모님에게도 감사의 마음을 전하며 끝으로 지금까지 저를 도와주신 모든 분들에게 이 작은 결실을 드립니다.