

공학석사 학위논문

NOAA/AVHRR 영상을 이용한
동북아시아 해역의 해수면온도와
수온 전선의 시·공간 분석

2006년 2월

부경대학교 대학원

위성정보학과

변혜경

공학석사 학위논문

NOAA/AVHRR 영상을 이용한
동북아시아 해역의 해수면온도와
수온 전선의 시·공간 분석

지도교수 윤 홍 주

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2006년 2월

부경대학교 대학원

위 성 정 보 과 학 과

변 혜 경

변혜경의 공학석사 학위논문을 인준함.

2005년 12월 22일

주 심 공학박사 한 경 수 ①인

부 심 공학박사 최 철 웅 ①인

위 원 공학박사 윤 홍 주 ①인

목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 연구방법 및 자료	3
2.1 자료 및 연구해역	3
2.2 연구방법 및 이론	7
가. 조화분해	7
나. Sobel Edge Detection Method	8
다. 경험직교함수	9
제 3 장 결과 및 고찰	10
3.1 해수면온도의 시·공간 분석	10
가. 조화분해에 의한 수온의 시·공간 분석	10
나. 경험직교함수(EOF)에 의한 해수면온도의 시·공간 분석	16
3.2 수온 전선의 분포 및 분석	20
가. Sobel Edge Detection Method에 의한 수온 전선의 분포	20
나. EOF에 의한 수온 전선의 분포	23
다. 수온 전선의 발생 위치 분석	29
제 4 장 결 론	31
참 고 문 헌	33

List of Figures

Fig. 1. Study Area (●: serial oceanographic data station).	4
Fig. 2. Validation between Serial Oceanographic Data(SOD) and Satellite MCSST.	6
Fig. 3. Distributions of mean SST(°C) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).	13
Fig. 4. Distributions of annual amplitude(°C) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).	13
Fig. 5. Distributions of annual phase(°) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).	14
Fig. 6. Distributions of semi-annual amplitude(°C) by harmonic analysis. ·	14
Fig. 7. First EOF of SST.	17
Fig. 8. Second EOF of SST.	17
Fig. 9. First Time Coefficient of SST.	18
Fig. 10. Second Time Coefficient of SST.	18
Fig. 11. First Time Coefficient PSD of SST.	19
Fig. 12. Second Time Coefficient PSD of SST.	19
Fig. 13. Distributions of SST gradient value (°C) and Thermal Fronts (red dotted line).	22
Fig. 14. Classification of ocean fronts (Yanagi, 1987).	22
Fig. 15. First EOF of SST gradient.	24
Fig. 16. First Time Coefficient of SST gradient.	24
Fig. 17. Second EOF of SST gradient.	25
Fig. 18. Second Time Coefficient of SST gradient.	25

Fig. 19. Third EOF of SST gradient.	26
Fig. 20. Third Time Coefficient of SST gradient.	26
Fig. 21. First Time Coefficient PSD of SST gradient.	27
Fig. 22. Second Time Coefficient PSD of SST gradient.	27
Fig. 23. Third Time Coefficient PSD of SST gradient.	28
Fig. 24. Distributions of submarine topography and Thermal Fronts (red dotted line) in SST gradient image.	30

List of Tables

Table 1. Locations and correlations of validation data in Serial Oceanographic Data (SOD) and Satellite MCSST	5
Table 2. Comparison between annual amplitude and phase	15

Temporal and spatial analysis of SST and thermal fronts in the North East Asia Seas using NOAA/AVHRR data

Hye Kyung Byun

Department of Satellite Information Sciences, Graduate School.

Pukyong National University

Abstract

NOAA/AVHRR data were used to analyze sea surface temperatures (SSTs) and thermal fronts (TFs) in the North East Asia Seas. Temporal and spatial analyses were based on data from 1993 to 2000. Harmonic analysis revealed mean SST distributions of 10~25°C. Annual amplitudes and phases were 4~11°C and 210~240°C, respectively. Inverse distributions of annual amplitudes and phases were found for the study seas, with the exception of the East China Sea, which is affected by the Kuroshio Current. Areas with high amplitudes (large variations in SSTs) showed "low phases" (early maximum SST); areas with low amplitudes (small variations in SSTs) had "high phases" (late maximum SST). Empirical orthogonal function (EOF) analyses of SSTs revealed a first-mode variance of 97.6%. Annually, greater SST variations occurred closer to the continent. Temporal components of the second mode showed higher values in 1993, 1994, and 1995. These phenomena seemed to the effect of El Niño. The Sobel edge detection method (SEDM) delineated four fronts: the Subpolar Front (SPF) separating the northern and southern parts of the East Sea; the Kuroshio Front (KF) in the East China Sea, the South Sea Coastal Front (SSCF) in the South Sea, and a tidal front (TDF) in the West Sea. Thermal fronts generally occurred over steep bathymetric slopes. Annual amplitudes and phases were bounded within these frontal areas. EOF

analysis of SST gradient values revealed the temporal and spatial variations in the TFs. The SPF and SSCF were most intense in March and October; the KF was most significant in March and May.

제1장 서론

해수면 온도 변화에 대한 연구는 기본적인 해양환경을 모니터링 할 뿐만 아니라 특수한 해양 특성과 현상들을 분석하기 위한 필수적인 연구이다. 인공 위성 관측 기술이 해를 거듭하여 발전하면서 전 지구 규모의 해양환경 감시 뿐만 아니라 지역 규모의 해양 현상 감시 및 분석도 가능하게 되었다. 즉, 1000~2000km의 공간 범위에서 한 달부터 1년 이상의 변화를 보이는 해수면 온도의 년·계절 변화, 엘리뇨, 열대 몬순 기후, 해류, 해양 전선, 다양한 파 등에 대한 감시 및 분석, 10~1000km의 공간 범위의 1주에서 한 달 이상의 변화를 보이는 중규모의 해류, 와동류, 사행성 흐름, 용승 해역 등에 대한 연구, 그리고 공간 범위가 0.1~10km에서 시간 스케일이 1시간에서 1주 이상인 산호초 백화 현상, 소규모의 믹싱과 순환, 강어귀의 열 구조와 열오염 현상 등에 대한 관측과 분석이 가능하다(Robinson, 1994). 이렇듯 해수면온도 즉, 해양의 온도 변화에 관한 연구는 해양의 어떠한 현상을 연구하든지 기본적으로 수행되어야만 하고 전 지구적으로 그리고 국지적 규모로 해수면 온도에 관한 실시간 모니터링은 필수적이다. 인공위성 영상을 이용한 해수면 온도 자료는 실측 자료보다 시·공간적 제약을 덜 받아 실시간 감시와 연구해역에 대한 분석이 더욱 용이하다. 국외뿐만 아니라 국내에서도 인공위성 자료를 통해 얻어진 해수면 온도 변화에 대한 다양한 연구가 있어왔다(Everson *et. al.*, 1997; 박성주, 1998; Gould and Arnone, 2004). 본 연구에서는 중규모 해양 현상의 하나인 해양 전선을 추출하고 그 변화를 분석하였는데 해양 전선은 서로 다른 두 수괴가 만나는 해역으로써 어장, 와동류, 대기경계전선 등과 관련되어 있는 다양한 해양 운동이 발생하는 해역이다(Berkin, 2002). 국외의 해양 전선에 대한 연구는 주로 전선을 추출하는 알고리즘에 관한 논문과(Simpson, 1990; Cayula and Conillon, 1995; Shaw and Vennel, 2000) 해양 전선의 변화와 특성을 분

석한 연구가 있다(Deacon, 1982; Mavor and Bisagni, 2001; Wang *et. al.*, 2001; Belkin and Cornillon, 2003; Miller, 2004). 한반도 주변 해역의 해양 전선에 대한 연구는 동해, 남해, 서해에 대하여 세부적으로 연구한 선례는 있으나 이 연구들은 실측자료로 연구한 사례가 대부분이었다(Choi *et. al.*, 1993; 김대현, 1998; 박철 외, 1998; 양영진 외, 1998; 이충일 외, 2003).

본 연구에서는 NOAA/AVHRR 영상을 이용하여 동북아시아 해역의 해수면 온도 자료를 구축하고 다양한 분석법을 적용하여 해수면 온도의 장기간 변화를 연구하고자 하였다. 특히, 영상처리기법을 사용하여 동북아시아 해역의 해양 전선을 추출·분류하고 해양 전선의 시·공간 변동 특성 분석에 그 목적이 있다.

제2장 연구 방법 및 자료

2.1 자료 및 연구해역

해수면온도 자료는 NOAA 제트추진연구소 PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 NOAA/AVHRR(National Oceanic and Atmospheric Administration / Advanced Very High Resolution Radiometer) MCSST(Multi-Channel Sea Surface Temperature) 자료를 사용하였다. 자료의 시간 범위는 1993~2000년 이고 각 자료는 8일 평균 자료이다. 본 자료는 McClain(1985) 식을 이용하여 산출된 1.1km×1.1km 해상력을 가진 MCSST 영상을 19km×19km로 보간한 전 세계 해양 MCSST 자료이다. 또한 자료가 관측되지 못한 해역이나 해빙, 육지는 모두 마스킹 되었다(NASA/NOAA, 1998). MCSST보다 최신의 해수면 온도 자료인 PFSST (Pathfinder Sea Surface Temperature)를 사용하지 않고 MCSST를 사용한 이유는 장기간의 해수면 온도 변화를 분석하는데 본 연구의 목적이 있었기 때문이고 더욱 완벽하고 지속적인 시·공간 커버리지를 제공하고 하였고기 때문이다. 연구 해역은 북위 25~45°, 동경 117~142°로 세부 해역간의 비교·분석을 위하여 Fig. 1과 같이 해역을 세분화 하였다. MCSST 자료는 국립수산과학원의 정선관측자료와 비교하여 검증하였다(Fig. 2). 동, 서, 남해의 정선관측 세 지점의 실측 수온 값과 가장 근접한 화소의 MCSST 값을 비교하였는데 상관계수는 0.8 이상으로 높게 나타났다(Table 1).

서해해역, Area1 : 32°N~40°N, 117°E~127°E
 동중국해해역, Area2 : 25°N~32°N, 117°E~127°E
 남해해역, Area3 : 32°N~36°N, 124°E~131°E
 동해남부해역, Area4 : 34°N~40°N, 127°E~140°E
 동해북부해역, Area5 : 40°N~45°N, 127°E~140°E

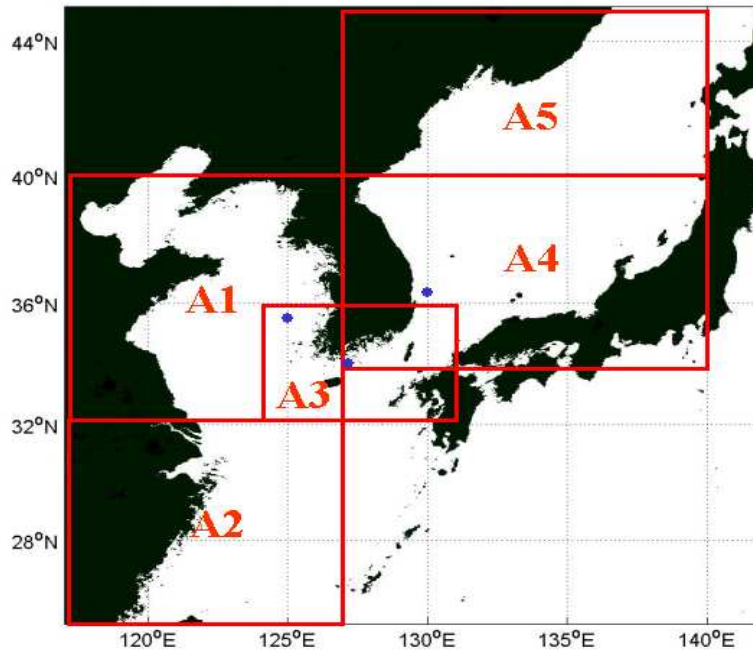


Fig. 1. Study Area (●: serial oceanographic data station).

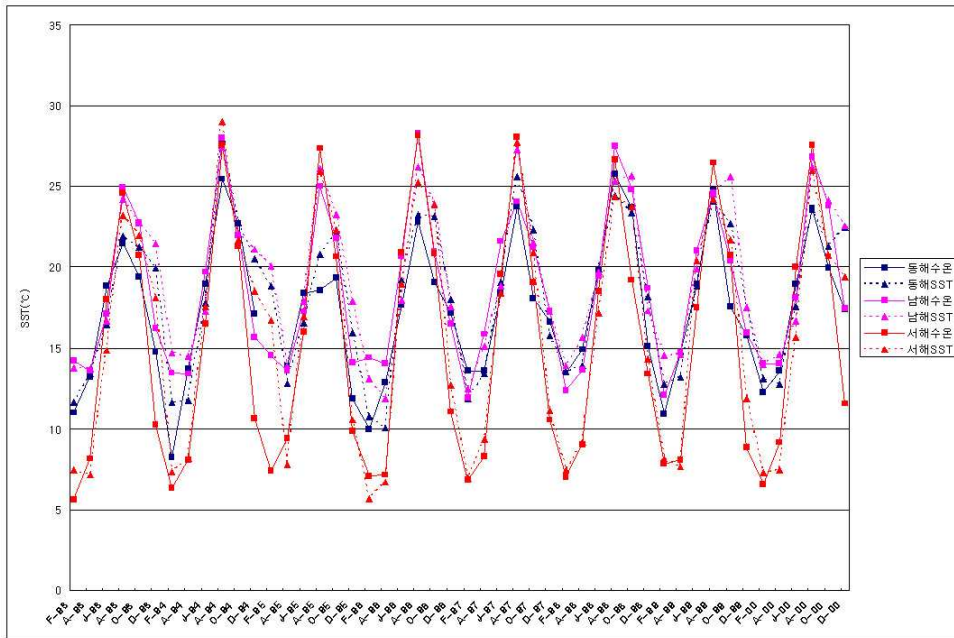


Fig. 2. Validation between Serial Oceanographic Data(SOD) and Satellite MCSST.

Table 1. Locations and correlations of validation data in Serial Oceanographic Data (SOD) and Satellite MCSST

		동 해	서 해	남 해
정 선	위 치	St. 103-7 36.30°N 130.00°E	St. 309-7 35.51°N 125.00°E	St. 205-3 34.05°N 127.56°E
	평 균 수 온	17.26℃	15.31℃	18.61℃
위 성	위 치	36.29°N 129.99°E	35.59°N 125.06°E	34.01°N 127.52°E
	평 균 수 온	18.61℃	16.03℃	19.25℃
상 관 계 수		0.89	0.92	0.89

2.2 연구방법 및 이론

가. 조화분해

해수면온도의 공간 분포 상황과 계절 변화를 살펴보고 시·공간 복합 분석을 수행하기 위하여 8년간의 자료를 조화분해 하였다. 조화분해의 식은 다음과 같다(Kang and jin, 1984; 최용규 외, 2000).

$$\hat{T}(t) = \bar{T} + A_1 \cos(\omega_1 t - p_1) + A_2 \cos(\omega_2 t - p_2) \quad (1)$$

(1)식에서 $\bar{T}$ 는 평균 SST, A_1 는 연진폭값, A_2 는 반년진폭값, ω_1, ω_2 는 각속도값으로써 $\omega_1 = (2\pi)/(365/7)$, $\omega_2 = 2\omega_1$ 로 주어진다. p_1, p_2 는 각각 연위상, 반년위상 값이다. 식 (1)은 (2)식으로 다시 쓰여질 수 있다.

$$T(t) = x_1 + x_2 \sin \omega_1 t + x_3 \cos \omega_1 t + x_4 \sin \omega_2 t + x_5 \cos \omega_2 t \quad (2)$$

여기서 $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (\bar{T}, A_1 \sin p_1, A_1 \cos p_1, A_2 \sin p_2, A_2 \cos p_2)$ 이다. 벡터 X 는 오차함수 E 를 최소화함으로써 얻어질 수 있다.

$$E = \sum [T(t) - \hat{T}(t)]^2 \quad (3)$$

최소화 조건 $\partial E / \partial x_i$ ($i=1 \sim 5$)는 5개의 기지수 x_i ($i=1 \sim 5$)에 대한 선형 방정식을 만든다. 이 5개의 식을 행렬식으로 쓰면, (4)식과 같다.

$$AX = B \quad (4)$$

행렬 A 와 행렬 B 의 원소는 각각 다음과 같고,

$$A_{ij} = \sum f_i(t) f_j(t), \quad B_i = \sum T(t) f_i(t)$$

여기서 $(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5) = (1, \sin \omega_1 t, \cos \omega_1 t, \sin \omega_2 t, \cos \omega_2 t)$ 이다. X 에서

평균, 진폭, 위상은 각각 $\bar{T} = x_1$, $A_1 = \sqrt{x_2^2 + x_3^2}$, $p_1 = \tan^{-1}(x_2/x_3)$, $A_2 = \sqrt{x_4^2 + x_5^2}$, $p_2 = \tan^{-1}(x_4/x_5)$ 로 나타난다.

나. Sobel Edge Detection Method

해양 전선은 서로 다른 속성을 가진 두 수괴가 만나 혼합이 이루어지는 해역을 지칭하는데, 이러한 전선이 형성되는 과정, 형태, 위치 등은 매우 다양하지만, 두 수괴의 온도 차가 급격하게 변하는 부분이 전선이 형성되는 해역이므로 위성에서 관측한 해수면온도가 상대적으로 큰 차를 보이는 해역을 해양 전선 또는 열전선, 수온 전선으로 명칭할 수 있다. 수온 전선은 등온선의 분포가 다른 해역에 비해 조밀한 해역이고, 이는 해수면온도 화소간의 경사가 급하다고 볼 수 있으므로, 수온 경사 값을 통해 일정 경계치 이상인 값을 전선으로 결정하고 추출하였다. 경계치 추출 연산자는 여러 가지가 있는데 그 중 Sobel 연산자는 필터의 가중치가 크기 때문에 화상 자료의 흐린 부분에 대해서도 좋은 결과를 얻을 수 있고, 자료의 오류가 적어 이를 적용하였다(김응과 노영재, 2000). Sobel Edge detection Method는 1차 미분법을 이용한 방법으로,

$$\nabla f(x,y) = i(\partial f / \partial x) + j(\partial f / \partial y) \quad (5)$$

$$G_x \quad G_y$$

$$\text{Gradient magnitude} : [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

$$\text{Gradient Orientation Angle} : \tan^{-1}(G_x/G_y)$$

-1	0	1	-1	-2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

x direction
y direction

Sobel Mask를 화소에 적용시켜 경사 값의 크기와 방향을 구하고 그 크기 값이 임계치를 초과하는 화소 값이 전선이 된다. 임계치는 선행 연구에서의 전선의 위치와 비교하였을 때 0.3℃가 가장 적합하였다(Budgell, 2003).

다. 경험직교함수 (EOF, Empirical Orthogonal Function)

해수면온도와 해양 전선의 시·공간 변화를 분석하기 위하여 EOF 분석법을 사용하였다. EOF 분석 방법은 시·공간 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 대표적인 방법 중 하나이다. EOF의 각 고유벡터가 갖는 물리적 의미를 정확히 규명할 수는 없어도 단지 몇 개의 고유 함수만으로 관측치를 재현할 수 있다는 것은 EOF 분석의 큰 장점이다(나정열 외, 1997). EOF는 아래의 식으로 표현할 수 있고, i 는 모드, $e_i(x)$ 는 EOF 함수로 공간 변화, $c_i(t)$ 는 시간 계수 값으로써 시간 변화를 나타낸다. EOF 분석을 위해 고유치분리(SVD, Single Value Decomposition)방법을 사용하였다.

$$F(x, t) = \sum_{i=1}^n e_i(x) c_i(t) \quad (6)$$

제3장 결과 및 고찰

3.1 해수면온도의 시·공간 분석

가. 조화분해에 의한 수온의 시·공간 분석

해수면온도를 조화분해한 결과, 8년의 평균 해수면온도는 연구 해역 전역에 걸쳐 10~25℃의 분포를 보였고, 서해 해역은 13~16℃, 동해 해역은 17~19℃로 같은 위도에 위치함에도 동해가 서해보다 2℃ 정도 높게 나타났고 남해 해역은 20~23℃로 남해, 동해, 서해의 순서로 높은 온도를 보였다(Fig. 2).

연진폭은 4~11℃의 전체적인 분포를 보이고 서해해역이 9~11℃로 가장 높게 나타났으며, 동해북부해역(8~9℃), 동해남부해역(6~8℃), 남해해역(6~7℃), 동중국해해역(4~7℃)의 분포를 보였다(Fig. 3). 쿠로시오 해류가 지나가는 동중국해해역은 가장 낮은 진폭 값을 보였고 쿠로시오 해류의 지류인 쓰시마 난류의 영향을 받아 남해해역과 동해남부해역 또한 낮은 진폭 값을 보였다. 서해해역과 동해북부해역의 연진폭은 대륙에 근접할수록 값이 높게 나타났는데, 이는 대륙이 해양에 비하여 열 교환이 급하게 일어남에 따라 대륙에 근접한 연안역의 해수면온도도 함께 변화하는 것으로 보였다(Yoon, 2001). 서해와 동해가 같은 위도 상에 위치함에도 불구하고, 평균 해수면온도는 동해가 서해보다 2℃ 정도 높게 나타나는 반면, 연진폭은 서해가 동해에 비해 3℃ 정도 높게 나타나는 데, 이는 쓰시마 난류에 의해 동해로 유입되는 열 수송과 동, 서해 간의 수심 차에 의한 열용량차를 원인으로 볼 수 있다. 한(1998)에 의하면 동해남부해역과 동해북부해역에서의 해수면을 통해 공급되는 열과 해류에 의해 공급되는 열을 비교해 보았을 때, 동해남부해역은 해류에 의한 열 공급이 6

0~70%를 차지하고, 동해북부해역은 해류에 의한 열 공급이 10% 미만을 차지하는 것으로 알려져 있다. 즉, 여름철에는 동해남·북부해역이 전반적으로 비슷한 크기로 가열되나 겨울에는 동해북부해역에 해류에 의한 열공급이 약해져 동해남부해역에 비해 상대적으로 낮은 해수면온도가 나타나고 동해남부해역은 쓰시마 난류에 의한 지속적인 열공급으로 인해 상대적으로 높은 해수면온도가 나타나므로 이로 인하여 동해남·북부해역에 연진폭 차가 생김을 알 수 있었다.

한편, 연위상은 $210\sim 240^{\circ}$ (8월)의 분포를 보였으며, 동중국해해역이 쿠로시오 해류의 영향을 받아 $210\sim 235^{\circ}$ 로 최고 수온을 보이는 시기가 8월 1일(210°)로 가장 빠르게 나타났으며 이 해역내에서도 북동쪽으로 가면서 8월 25일(235°)까지 시기가 늦어짐을 알 수 있었다. 서해해역이 $220\sim 230^{\circ}$ 로 8월10일~8월20일, 동해남·북부해역은 울릉도를 기점으로 북동쪽으로 가면서 북쪽 해역은 위상 값의 범위가 $225\sim 235^{\circ}$ (8월15일~8월25일), 남쪽 해역은 $235\sim 240^{\circ}$ (8월25일~8월30일)로 구분되어 나타났다(Fig. 4). 동해남·북부해역에서 연위상이 구분되는 위치는 연진폭이 구분되는 위치와도 흡사하였으며, 이 위치는 북위 40° , 동경 $130\sim 140^{\circ}$ 에서 발생하는 아극전선대의 위치와 일치하였다. 이러한 연위상차는 이 해역에서 발생하는 연진폭차의 원인과도 관련이 있으며 또한, 아극전선대를 중심으로 북쪽 해역은 수괴의 연직 성층과 혼합층 깊이가 남쪽 해역에 비해서 얕아 해수면온도의 감소가 빠르게 일어나(Park, 2003), 이 두 해역에서 최고 수온을 보이는 시기가 약 7, 8일 정도의 차이를 나타내는 것으로 보인다. 남해해역의 위상 값은 $238\sim 242^{\circ}$ (8월 27일~9월2일)로 가장 느리게 나타났다. 연진폭과 연위상의 분포는 Table 2와 같이 쿠로시오 해류가 지나는 동중국해해역을 제외한 다른 해역에서는 전부 반대의 순서를 보였는데 즉, 수온 변화가 큰 해역(연진폭 높음)은 최고 수온을 보이는 시기가 빨랐고(연위상 낮음), 수온 변화가 작은 해역(연진폭 낮음)은 최고 수온을 보이는 시기가 느렸다(연위상 높음). 반면에 쿠로시오 해류가 지나는 동중

국해해역은 연진폭 값은 낮으나 최고수온을 보이는 시기가 가장 빨랐다. 이는 쿠로시오해류가 적도로부터 고온을 운반하는 해류로써 겨울의 찬 기단의 영향이나 북쪽의 한류역의 영향을 적게 받고, 그 외의 해역은 계절에 따른 기후 변화의 영향을 많이 받는 것으로 생각되어졌다. 반년진폭 값은 전체적으로 0~1.8℃의 작은 값을 보여 연구 해역에 반년 주기의 영향력은 미약하다고 분석되었다(Fig. 5).

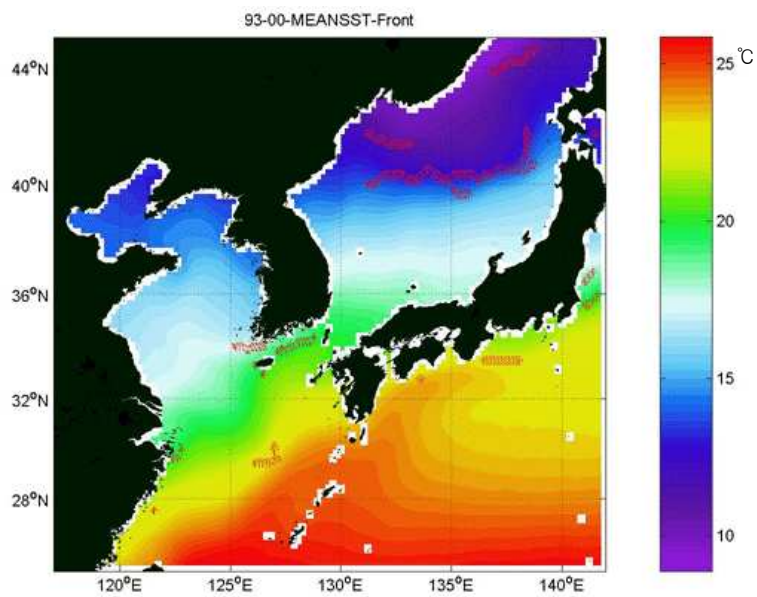


Fig. 3. Distributions of mean SST($^{\circ}$ C) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).

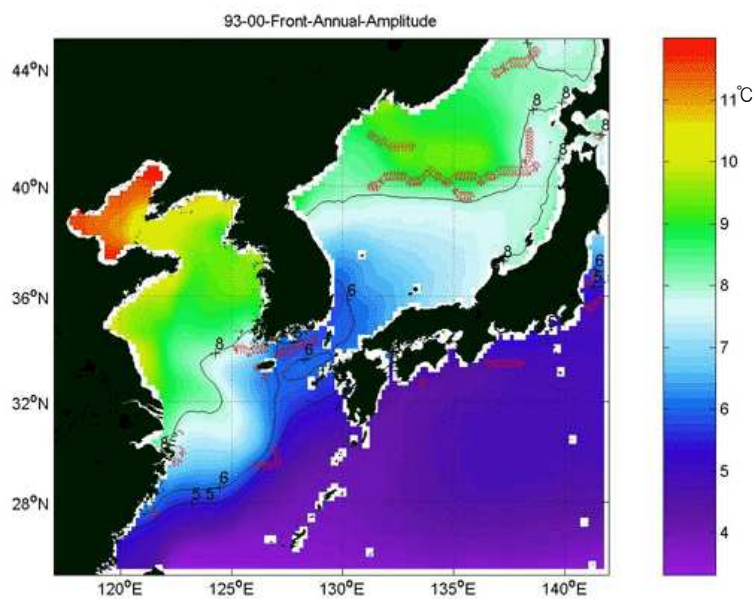


Fig. 4. Distributions of annual amplitude($^{\circ}$ C) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).

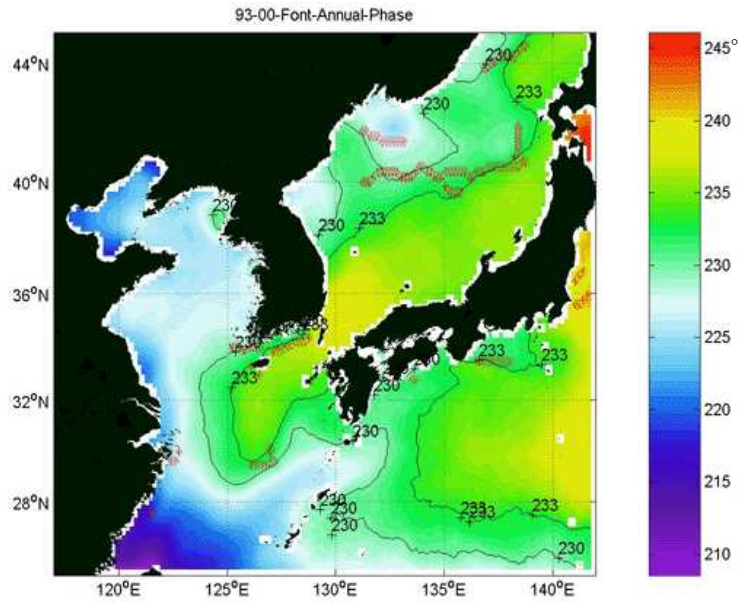


Fig. 5. Distributions of annual phase($^{\circ}$) by harmonic analysis and Thermal Fronts (red dotted line).

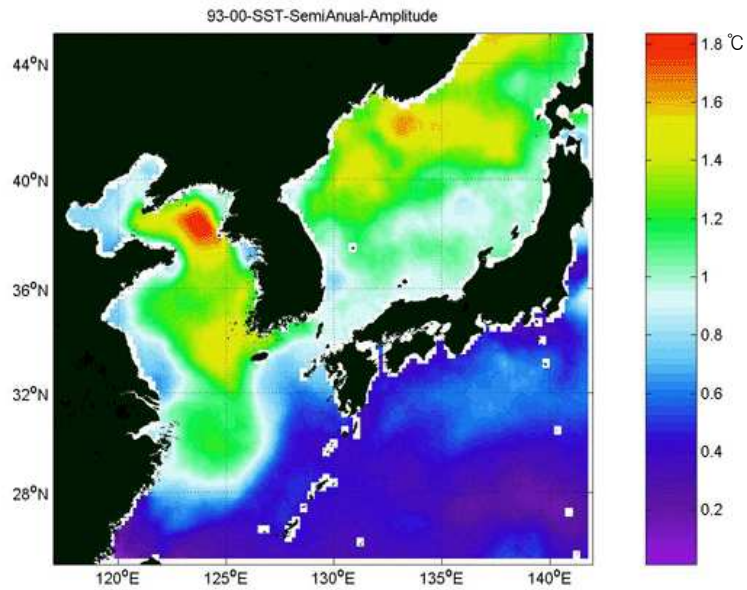


Fig. 6. Distributions of semi-annual amplitude ($^{\circ}\text{C}$) by harmonic analysis.

Table 2. Comparison between annual amplitude and phase

연진폭	서해해역	동해북부해역	동해남부해역	남해해역	동중국해해역
	9~11℃	8~9℃	6~8℃	6~7℃	4~7℃
연위상	남해해역	동해남부해역	동해북부해역	서해해역	동중국해해역
	238~242°	225~235°	235~240°	220~230°	210~235°

* 동중국해 해역을 제외한 해역의 연진폭과 연위상 값의 크기 순서가 반대임을 보인다. 즉, 연진폭이 높은 해역은 연위상이 낮게 나타나고 연진폭이 낮은 해역은 연위상이 높게 나타난다.

나. 경험직교함수(EOF)에 의한 해수면온도의 시·공간 분석

8년간의 해수면온도 자료의 EOF 분석 결과, EOF 첫번째 모드는 97.46%의 분산 값을 가짐으로써 연구 해역의 시·공간 변화를 설명하기에 충분하였고, 두번째 모드는 1.54%, 그 이외의 모드는 더욱 작은 분산 값을 가졌다. 첫번째 모드의 공간 분포는 대륙에 가까워질수록 수온 변화가 커지는 양상을 보였으며, 조화분해의 연진폭과 비슷한 분포를 나타내었다(Fig. 6). 시간 계수는 일정한 연 변화를 보여주며 여름에 ‘+’, 겨울에 ‘-’의 최고점을 보였다(Fig. 8). 두번째 모드의 공간 분포는 동해남·북부해역은 ‘+’ 값을 그 외의 해역은 ‘-’ 값을 보이며 대한해협을 중심으로 대조적인 분포를 나타내었고(Fig. 7), 시간 계수는 일정한 변화를 나타내지는 않았지만 93, 94, 95년에 걸쳐 눈에 띄게 강한 값을 나타내었는데(Fig. 9), 이 시기는 엘리뇨 기간과 맞물림으로써 비록 두번째 모드의 분산값의 크기가 1.54%로 작아 그 영향력은 미약하지만 엘리뇨가 동북아시아 해역에 미치는 영향에 대한 간접적이나 객관적인 결과로 제시할 수 있겠다. 또한 시간 계수의 PSD (Power Spectrum Density) 분석을 한 결과, 첫번째 모드는 1년 주기가 강하게 나타났고, 두번째 모드는 1년 주기뿐만 아니라 6개월, 3년 주기도 강하게 나타났고 여기서 3년 주기는 엘리뇨의 영향을 나타내 주는 것으로 생각되었다(Fig. 10 and 11).

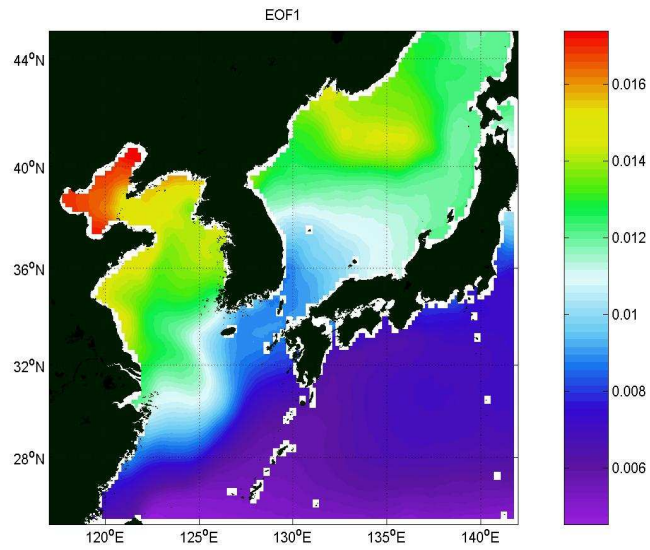


Fig. 7. First EOF of SST.

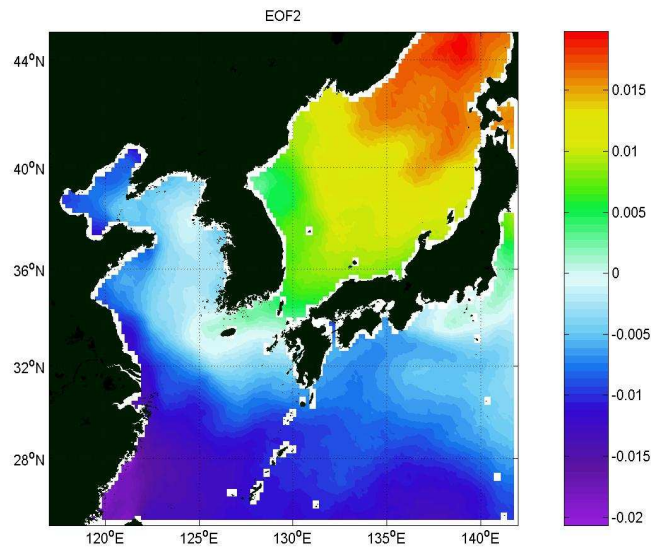


Fig. 8. Second EOF of SST.

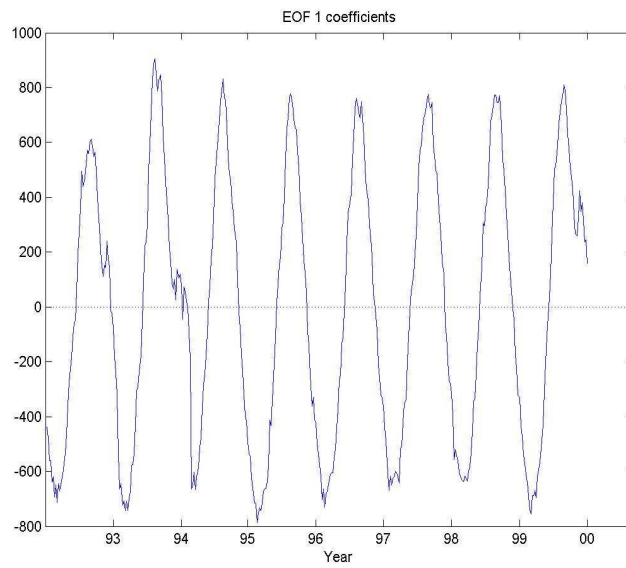


Fig. 9. First Time Coefficient of SST.

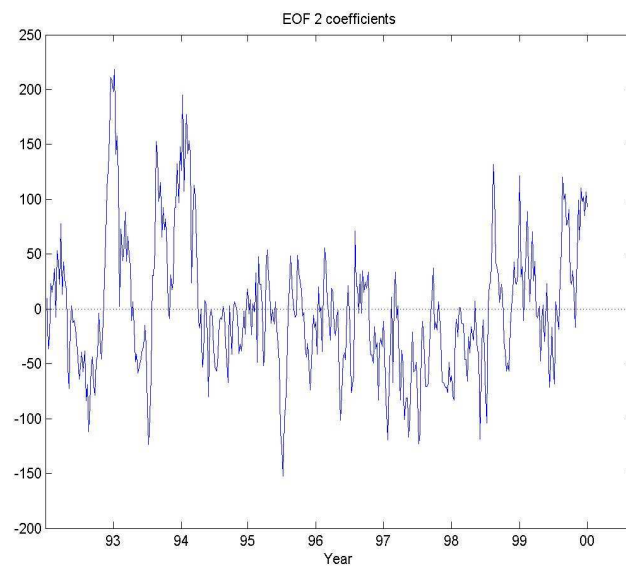


Fig. 10. Second Time Coefficient of SST.

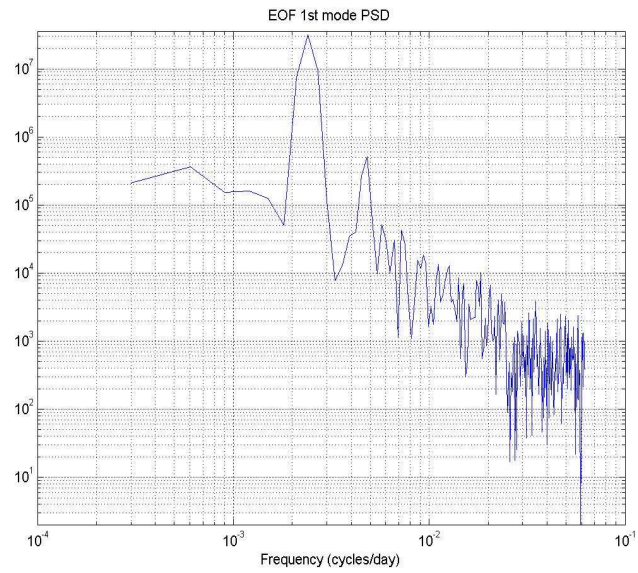


Fig. 11. First Time Coefficient PSD of SST.

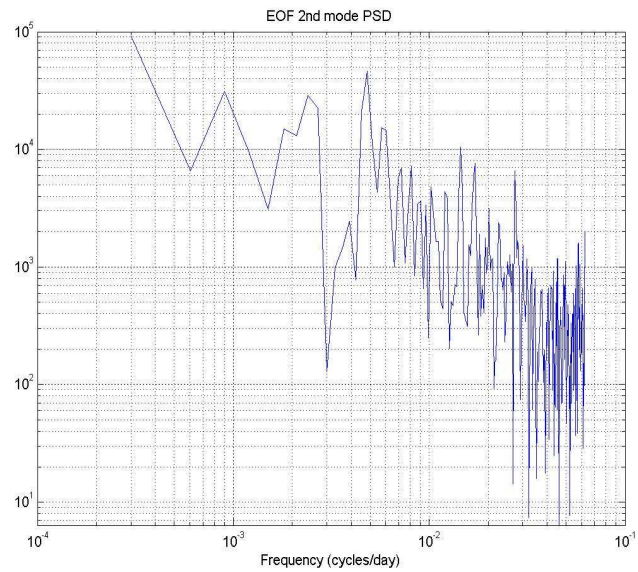


Fig. 12. Second Time Coefficient PSD of SST.

3.2 수온 전선의 분포 및 분석

가. Sobel Edge Detection Method에 의한 수온 전선의 분포

Sobel Edge Detection Method를 해수면온도 자료에 적용하여 임계치 0.3℃ 이상의 경사 값을 가지는 영역만을 전선으로 판단하였다(Fig. 12). 연구 해역을 한반도 연안 해역에 국한하지 않고 더욱 확장하였으므로 확연히 들어나는 수온 전선을 추출하고자 하였고 선행 연구에서의 수온 전선들의 위치와 비교하였을 때 임계치 0.3℃가 가장 적합하였다. 연구 해역에서 나타나는 수온 전선은 크게 네 가지의 수온 전선이 나타났는데 네 가지의 수온 전선이 각기 다른 종류의 해양 전선의 분류에 해당하였다(Fig. 13). 첫째, 동해남·북부해역을 구분하며 북위 39~40°에서 동경 130~140°에 걸친 아극전선대(Subpolar Front), 둘째, 동중국해해역에 위치하고 동경 124~126°에서 북위 28~32°에 걸쳐 형성되는 쿠로시오 전선(Kuroshio Front), 셋째, 남해해역 북위 34°, 동경 125~129°에 위치하는 소규모의 남해연안전선(South Sea Coastal Front), 마지막으로 비록 두드러지게 나타나지는 않지만 서해해역 인천 앞바다의 강한 조차에 기인하는 조석전선(Tidal Front)이 나타났다. 쿠로시오 전선이라 하면 동경 150°까지 확장되어져 일본 남부 해역에 형성되는 쿠로시오 전선이 일반적이나, 동중국해해역에 위치하는 쿠로시오전선 또한 쿠로시오 해류와 동중국해의 얕은 수괴에 의해 대륙 경사면 위에 형성되어지는 전선으로써 이전에 수행된 연구들을 고려한 결과(Qui *et. al.*, 1990; Akio *et. al.*, 1993; Yanagi *et. al.*, 1998), 동중국해에서의 쿠로시오전선이라 할 수 있다. 아극전선대는 동해 북부해역으로 흘러들어오는 북한 한류 및 중·저층의 동해고유냉수에 따른 한류역(저온, 저염의 아극대수 : Subarctic water)과 남쪽의 쓰시마난류와 관련하는 난류역(고온, 고염의 아열대수 : Subtropical water)에 의해 발생한다. 남해

연안전선은 남해연안수(cold water)와 대마난류수괴(warm water)에 의해 형성되어 나타났다. Yanagi (1987)가 구분한 해양 전선의 분류로 볼 때 아극전선대는 외양전선(Open Sea Front)의 한 형태이고, 쿠로시오 전선은 대륙붕전선(Continental Shelf Front)중에서도 Coastal boundary current Front에 해당하며, 남해연안전선과 서해조석전선은 연안전선(Coastal Front)중에서도 Thermohaline Front와 Tidal Front에 각각 해당함을 알 수 있었다.

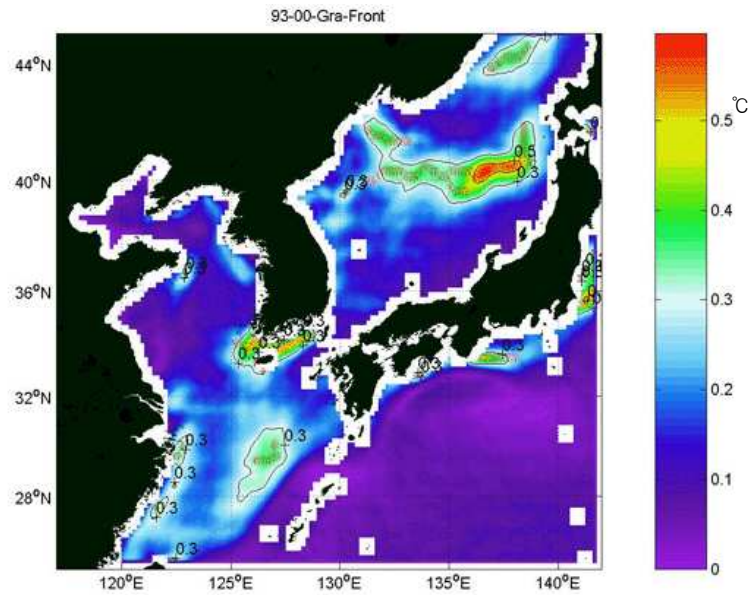


Fig. 13. Distributions of SST gradient value ($^{\circ}\text{C}$) and Thermal Fronts (red dotted line).

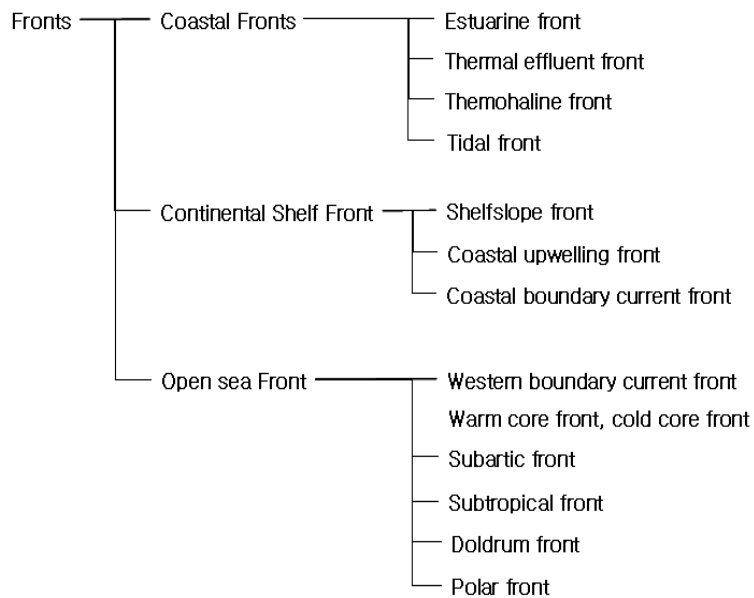


Fig. 14. Classification of ocean fronts (Yanagi, 1987)

나. EOF에 의한 수온 전선의 분포

수온 전선의 시·공간 분포를 분석하기 위하여 Sobel Edge Detection Method에 의한 경사 크기값을 EOF 분석하였다. EOF 분석의 분산 값은 첫째 모드가 64.55%, 둘째 모드는 22.86%, 그리고 셋째 모드는 12.58%였다. 세 모드의 합이 99.99%로써 이 세 모드로 수온 전선의 분포를 설명할 수 있었다. 첫째 모드의 공간 분포에서는 아극전선대, 쿠로시오 전선, 남해연안전선은 모두 강한 ‘-’ 값을 보였다(Fig. 14). 시간 계수 값은 연 변화가 두드러지게 나타나며 ‘-’ 값이 3월(이른 봄)에 강하게 나타났다(Fig. 15). 둘째 모드의 공간 분포는 아극전선대와 남해연안전선은 ‘-’ 값이 강하게 나타난 반면, 쿠로시오전선은 ‘+’ 값이 강하게 나타났고, 시간 계수 값은 일정한 연 변화를 보이며 ‘+’ 값은 5월(늦은 봄)에, ‘-’ 값은 10월(가을)에 강하게 나타났다(Fig.16 and 17). 셋째 모드에서는 아극전선대만이 ‘+’ 값이 강하게 나타났고 시간 계수 값은 일년에 두 번의 최고점을 가지며 계절변화를 뚜렷하게 보여주고 있고, 3월과 10월에 ‘+’ 값의 최고점을 나타냈고 이는 첫째와 둘째 모드의 결과를 반영하고 있었다. ‘-’ 최고점은 1월(겨울), 8월(여름)에 나타났다(Fig. 18 and 19). 또한 시간 계수의 PSD 분석에서 첫째와 둘째 모드는 1년 주기가 강하게 나타났고 셋째 모드는 6개월 주기가 가장 강하게 나타났으며 3, 4개월 주기도 약하게 나타났다(Fig. 20~22). EOF분석을 통하여 아극전선대와 남해연안전선은 3월과 10월에, 쿠로시오 전선은 3월과 5월에 강하게 발생함을 알 수 있었고, 서해 조석전선은 뚜렷한 주기를 찾을 수 없었다.

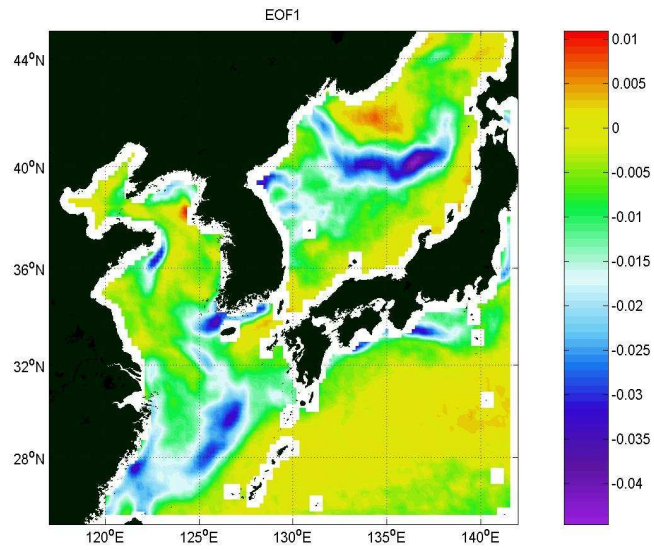


Fig. 15. First EOF of SST gradient.

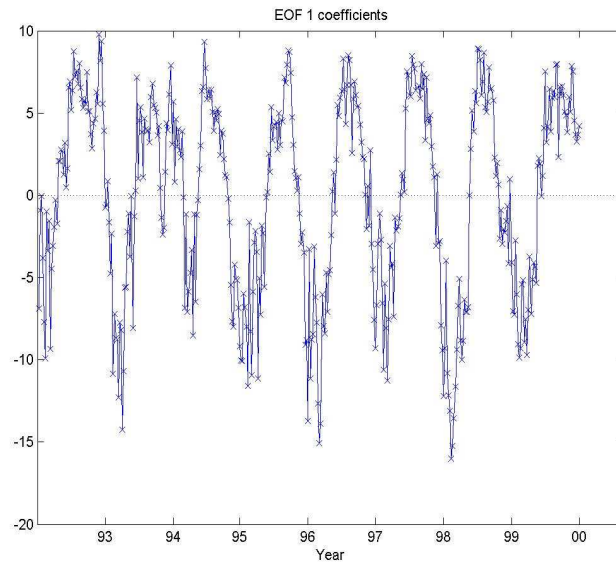


Fig. 16. First Time Coefficient of SST gradient.

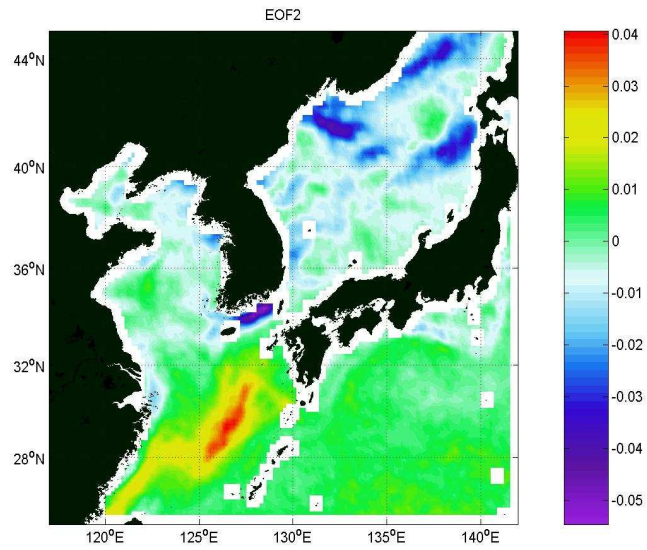


Fig. 17. Second EOF of SST gradient.

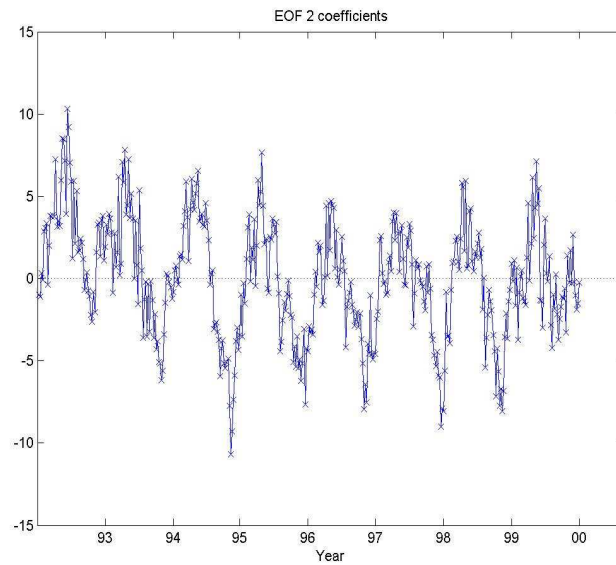


Fig. 18. Second Time Coefficient of SST gradient.

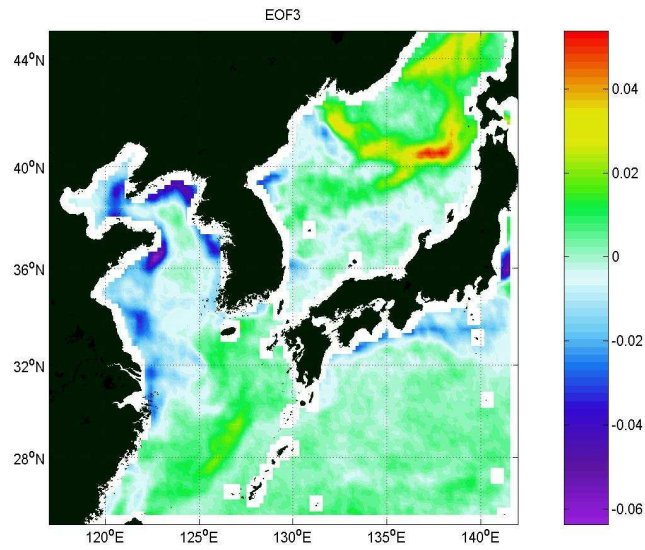


Fig. 19. Third EOF of SST gradient.

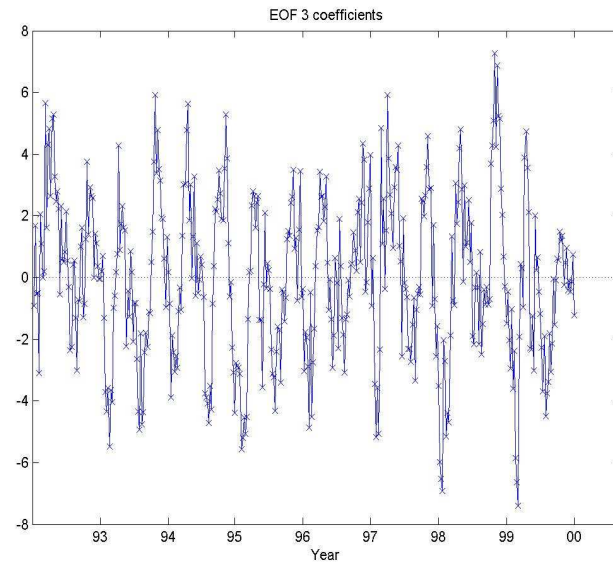


Fig. 20. Third Time Coefficient of SST gradient.

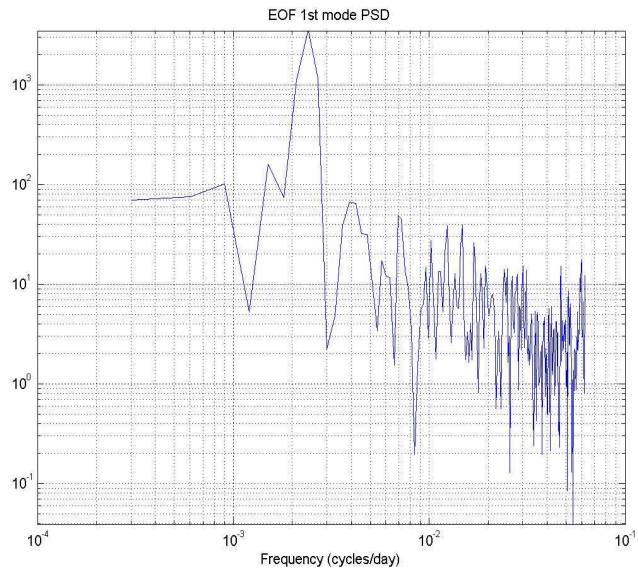


Fig. 21. First Time Coefficient PSD of SST gradient.

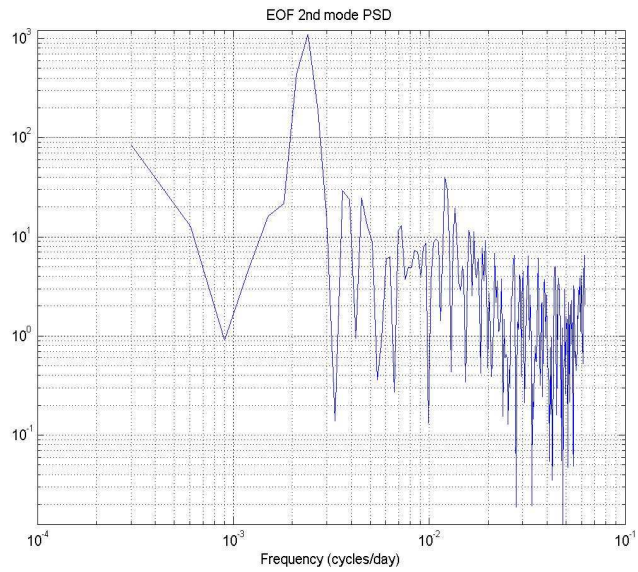


Fig. 22. Second Time Coefficient PSD of SST gradient.

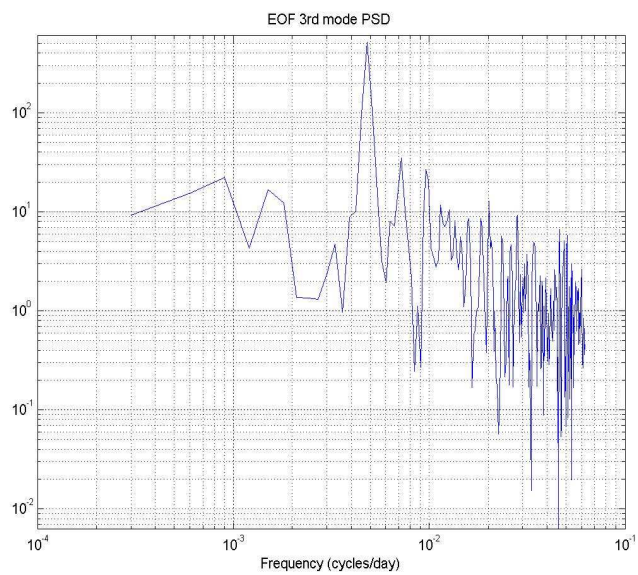


Fig. 23. Third Time Coefficient PSD of SST gradient.

다. 수온 전선의 발생 위치 분석

연구 해역에 나타나는 수온 전선들은 조화분해의 연진폭과 연위상이 급하게 변하는 해역 즉, 연진폭과 연위상 각각의 경계 영역에서 발생하였다. 아극 전선대는 동해남·북부해역의 경계 해역에 발생하였으며, 쿠로시오 전선과 남해연안전선은 동중국해해역과 남해해역의 연진폭, 위상이 구분되는 경계 해역에 위치하였다. 뿐만 아니라 수온 전선들은 해저 지형의 경사가 급한 지역에서 발생하였다. 아극전선대는 수심 3000m 대륙붕에서 남쪽으로 수심 1000~2000m로 급하게 변하는 경사면에서 발생하였고, 쿠로시오전선은 수심 100m 대륙붕에서 동쪽의 수심 500~1000m의 경사면에서, 남해연안전선은 20m에서 100m로 내려가는 급한 경사면에서 발생했다(Fig. 22). 국외의 다른 선행 연구 결과에서도 대부분의 수온 전선이 수심이 급한 경사면에서 발생함을 알 수 있었다(Chiswell, 1994, Ullman and Cornillon, 2001).

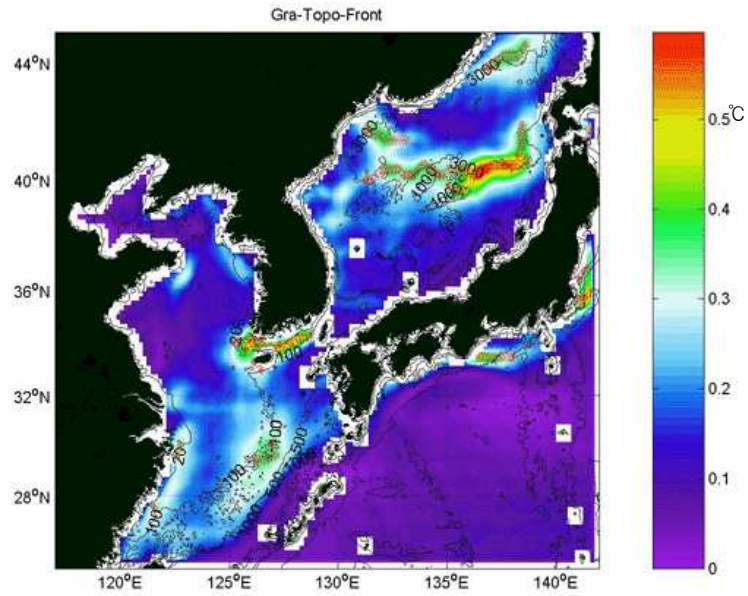


Fig. 24. Distributions of submarine topography and Thermal Fronts (red dotted line) in SST gradient image.

제 4 장 결 론

조화분해에 의한 8년간의 평균 해수면온도는 10~25℃의 분포를 보였고, 연진폭은 4~11℃의 전체적인 경향을 보였으며, 연위상은 210~240° (8월)의 분포를 보였다. 연진폭은 서해해역(9~11℃), 동해북부해역(8~9℃), 동해남부해역(6~8℃), 남해해역(6~7℃), 동중국해해역(4~7℃)의 분포를 보였고 연위상은 동중국해해역(210~235°, 8월1일~25일), 서해해역(220~230°, 8월10일~20일), 동해북부해역(225~235°, 8월15일~25일), 동해남부해역(235~240°, 8월25일~30일)로 나타났다. 연진폭과 연위상은 쿠로시오 해류가 지나는 동중국해해역을 제외한 다른 해역에서는 전부 반대의 순서를 보였다. 즉, 수온 변화가 큰 해역 (연진폭 높음)은 최고 수온을 보이는 시기가 빨랐고 (연위상 낮음), 수온 변화가 작은 해역(연진폭 낮음)은 최고 수온을 보이는 시기가 느렸다(연위상 높음). 이와는 다르게 동중국해 해역은 최고수온을 보이는 시기는 빨랐지만 수온 변화는 가장 작게 나타났다. 이는 동중국해 해역을 제외한 네 해역들이 대륙 기후의 영향을 받는 것에 비하여 동중국해 해역은 쿠로시오 해류에 의해서 해양 기후의 영향을 더욱 받음을 보여주는 결과라고 생각된다.

EOF 분석에서 첫째 모드가 분산값이 97.6%으로 연구해역의 변화를 설명하기에 충분하였고, 일정한 연변화를 보이면서 공간적으로는 조화분해의 연진폭의 분포와 비슷하게 대륙에 가까울수록 해수면 변화가 커지는 분포를 보여주었다. 둘째모드는 그 영향력은 미약하였지만 한국 주변 해역의 엘니뇨 영향을 설명할 수 있는 간접적인 결과를 산출하였다. 연구 해역에서 네종류의 수온 전선, 아극전선대, 쿠로시오전선, 남해연안전선, 서해조석전선을 추출할 수 있었고, EOF 분석을 통하여 아극전선대와 남해연안전선은 3월과 10월에 강하게 발생하고, 쿠로시오 전선은 3월과 5월에 강하게 나타남을 발견 할 수 있었다. 수온 전선이 발생하는 해역은 수심의 변화가 큰 경사면과 해수면온도의 연진폭과 연위상의 변화가 일어나는 경계와 흡사한 것으로 나타났다.

8년간의 동북아시아 해역에 대한 위성영상을 이용하여 해수면온도 자료를 구축하고 조화분해와 EOF 분석하여 해수면 온도자료의 시·공간 변화를 연구하였다. 또한 Sobel edge detection method를 이용하여 해양 전선을 추출하고 이를 EOF 분석하여 해양 전선의 변동사항을 정량적으로 제시하였다. 본 연구는 위성영상을 통한 동북아시아 해역의 해양 전선 연구에 대한 응용 가능성을 제시하였고 더욱 나아가 실 관측 어장 자료와 SeaWiFs, MODIS, Topex/Poseidon 등과 같이 다른 특성을 지닌 위성센서로 관측된 클로로필, 부유물질, 해수면높이 자료를 통해 해양 전선에서의 물리·화학적 특성과 변동을 분석하고 구체적인 어장 위치 추출을 통해 수산업에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 장 참고문헌

- 김대현, 1998. 동해 극전선 해역의 수괴 및 해류. 부경대학교 석사학위 논문.
- 김응, 노영재, 2000. 연속 위성화상자료상의 향상된 형태 추적법을 이용한 유속추정기법. *대한원격탐사학회지*, **16**(3): 199~209.
- 나정열, 한상규, 서장원, 노의근, 강인식, 1997. 한국 동해에서의 해면 기압, 해수면온도와 해상풍 경험적 직교함수 분석. *한국수산학회지*, **30**(2): 188~202.
- 박성주, 1998. NOAA 원격탐사자료에 의한 한반도 주변해역의 표면수온 변동. 부경대학교 석사학위 논문.
- 박철, 이창래, 김정창, 1998. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집 : 2. 수온과 분포의 관계. *한국수산학회지*, **31**(5):749~755.
- 이충일, 조규대, 최용규, 2003. 동해에서 쓰시마 난류 변동과 관련한 극전선의 공간적 변화. *한국환경과학회지*, **12**(9):943~948.
- 양영진, 김상현, 노홍길, 1998. 한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선. *한국수산학회지*, **31**(5):695~706.
- 최용규, 신문섭, 이병길, 2000. 인천 연안역의 수온 및 염분의 계절 변화. *한국환경과학회지*, **9**(2):131~136.
- 한인성, 1998. 쓰시마난류에 의한 동해 열수송. 부경대학교 석사학위 논문
- Akio, M., Toru, Y. and Masahito, S., 1993. Fluctuation in Volume Transport Distribution Accompanied by the Kuroshio Front Migration in the Tokara Strait. *J. of Oceanography*, **49**:231~245.
- Berkin, I., 2002. New challenge : ocean fronts. *Journal of marine systems*, **37**:1~2.
- Berkin, I. and Cornillon, P., 2003. SST fronts of the pacific coastal and

- marginal seas. *J. of Physical Oceanography*, **1**(2):90~113.
- Budgell, W. P., 2003. Data Fusion Approaches for Merging Marine Remote Sensing Data. *LIFECO Deliverables*, **7-8**.
- Cayula, J. F. and Cornillon, P., 1995. Multi-Image edge detection for SST images. *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, **12**:821~829.
- Chiswell, S. M., 1994. Variability in sea surface temperature around New Zealand from AVHRR images. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **28**(2):179~192.
- Choi, Y. K., S. K. Yang, K. D. Cho, J. C. Lee, and C. H. Hong, 1993. Possible formation area of the Japan Sea proper water. *Journal of Korean Envi. Sci. Soc.*, **2**(1): 27-42.
- Deacon, G. E. R., 1982. Physical and biological zonation in the Southern Ocean. *Deep-Sea Research*, **29**(1A): 1~15.
- Everson, R., Cornillon, P., Sirovich, L., and Webber. A., 1997. An empirical eigenfunction analysis of sea surface temperatures in the Western North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, **27**(3):468~479.
- Gould, W. R. and Arnone, A. R., 2004. Temporal and spatial variability of satellite sea surface temperature and ocean colour in the Japan/East Sea. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(7-8):1377~1382.
- Kang, Y. Q. and Jin M. S., 1984. Seasonal Variation of Surface Temperatures in the neighboring Seas of Korea. *Journal of Oceanol. Soc. Korea*, **19**(1):31~35.
- McClain, E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, 1985. Comparative

- Performance of AVHRR-Based Multichannel Sea Surface Temperatures, *Journal of Geophysical Research*, **90**:11587–11601.
- Mavor, T. P. and Bisagni, J. J., 2001. Seasonal variability of sea-surface temperature fronts on Georges Bank. *Deep-Sea Research*, **48**:215~243.
- Millier, P., 2004. Multi-spectral front maps for automatic detection of ocean colour features from SeaWiFS. *INT. J. of Remote Sensing*, **25**(7-8):1437~1442.
- NASA/NOAA, 1998, AVHRR Weekly Global Gridded MCSST (data set documentation), PO.DAAC MCSST Data Team. ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea_surface_temperature/avhrr/mcsst/doc/
- Park, K. A. 2003, Seasonal Cycle of Sea Surface Temperature in the East Sea and its Dependence on Wind and Sea Ice, *proceedings of ACRS 2003 ISRS*, **2**:1074~1076.
- Qui, B., T. Toda and N. Imasato, 1990. On Kuroshio front Fluctuations in the East China Sea using satellite and in-situ observational data, *Journal of Geophys. Res.*, **95**: 18191~18204.
- Robinson, I. S., 1994. Satellite oceanography: an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists, *Chichester: Wiley-Praxis*.
- Shaw, A. G. P. and Vennell, R., 2000, A Front-Following Algorithm for AVHRR SST Imagery. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, **71**:317~327.
- Simpson, J. J., 1990. On the accurate detection and enhancement of oceanic features observed in satellite data. *REMOTE SENS. ENVIRON.*, **33**:17~33.
- Ullman, D. S. and P. C. Cornillon, 2001. Continental shelf surface

- thermal fronts in winter off the northeast US coast, *Cont. Shelf Res.*, **21**:1139-1156.
- Wang, D., Liu, Y., Qi, Y., Shi, P., Seasonal variability of thermal fronts in the Northern South China Sea from satellite data. *Geophysical Research Letters*, **28**(20):3963~3966.
- Yanagi, T., 1987. Classification of 'siome' streaks and fronts, *Journal of Oceanogr. Soc., Japan*, **43**:149~158.
- Yanagi, T., Shimizu, T., Lie, H. J., 1998. Detailed structure of the Kuroshio frontal eddy along the shelf edge of the East China Sea. *Continental Shelf Research*, **18**:1039~1056.
- Yoon, H. J., 2001. On Climatic Characteristics in the East Asian Seas by satellite data(NOAA, Topex/Poseidon), *Journal of the Korean Environ. Sci. Soc.*, **10**(6): 423~429.

감사의 글

먼저 부족한 저를 넓은 마음으로 이끌어 주시고 가르쳐 주신 윤홍주 교수님께 감사드립니다. 4년 동안 교수님의 큰 가르침을 통해 전공에 대한 식견을 쌓았고 또 많이 성장하였습니다. 항상 어려울 때 힘이 되어주시고 길을 제시해주신 점 깊이 감사드립니다. 더욱 열심히 하여 부끄럽지 않은 제자가 되겠습니다.

항상 따뜻하게 지켜봐주시면서 학문적으로도 냉철한 분석과 조언을 아끼지 않으신 최철웅, 한경수 교수님과 대학 생활에 있어서 아낌없는 격려와 가르침을 주신 김영섭, 배상훈, 서용철 교수님께 감사드립니다.

바쁘신 와중에도 아낌없는 조언을 해주신 서영상, 김상우 박사님께 감사드리고 부족한 저를 받아주시고 도움을 주신 이승호, 조현국 박사님께도 감사드립니다.

부족한 후배에게 따뜻한 관심과 격려를 해주신 박경원, 김대현 선배님을 비롯한 다른 많은 선배님들에게도 감사드리고 항상 일정을 챙겨주시고 여러 조언을 해주신 경혜미, 김호용 조교선생님께도 이 자리를 빌려 감사드립니다.

연구실 초반에 기틀을 잡고 뼈대를 구성하기 위해 많은 난항 속에 같이 고생한 승철선배, 한근선배, 화정, 누리, 성필, 선희와 부족한 선배를 따라 주는 귀여운 후배들 범수, 경연, 수경, 봉식, 성규, 영덕 그리고 대학원 생활동안 같은 어려움을 나누었던 회진선배, 남춘선배, 현정, 양지, 소영언니, 동진오빠, 또한 함께 연구실 생활을 하며 정이 든 종민선배, 준철, 윤영, 지희와 다른 많은 학과 친구, 후배들에게도 고마움을 전합니다.

대학교 생활동안 끈끈한 우정을 쌓은 자취파 친구들과 연주, 민아, 경심, 수명, 태경 그리고 항상 반송에서 나를 응원하는 오랜 친구들 혜미, 미경과 이름을 모두 나열할 순 없지만 나를 지탱해주는 친구들, 또 다른 아이들에게도 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로 어렵고 굳은 일도 마다 하지 않으시며 부족한 자식을 끝까지 믿고 응원해주신 부모님께 진심으로 감사드립니다. 항상 아껴주시고 이뻐해 주시는 할머니, 이모, 이모부, 고모, 고모부 그리고 현명하게 자기 일을 잘 해내가고 있는 이쁜 내 동생 미령이에게 사랑하는 마음을 전합니다.

S. W. A. K.