

석사학위논문

우리나라 주변해역의 양자강 저염수에
대한 연구



제주대학교 대학원

해양학과

방성준

2008년 2월

우리나라 주변해역의 양자강 저염수에 대한 연구

지도교수 방 익 찬
방 성 준

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

2008년 2월

방 성 준의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 윤 정 수 (인)

위 원 이 준 백 (인)

위 원 방 익 찬 (인)

제주대학교 대학원

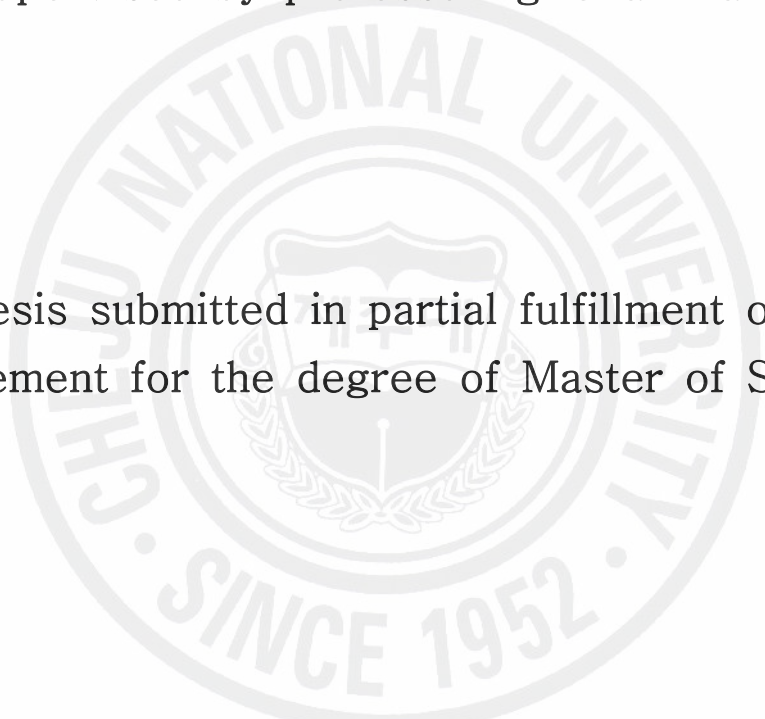
2008년 2월

Study on the Changjiang Diluted Water around
the Korean Peninsula

Sung-Jun Pang

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Science

A large, faint watermark of the Cheju National University logo is centered on the page. The logo is circular with a shield in the center, surrounded by the text 'CHEJU NATIONAL UNIVERSITY' and 'SINCE 1952'.

Department of Oceanography
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

February, 2008

목 차 (List)

그림 목차 (List of Figures)	ii
Summary	iv
I. 서론	1
II. 양자강유출량과 우리나라 주변해역의 염분	4
II-1 양자강유출량 변화	4
II-2 제주도 서쪽 해역의 염분 변화	4
II-3 우리나라 주변해역의 표층 염분분포	8
III. 2005-2007년 우리나라 주변해역의 염분 재현	10
III-1 모델 설정	10
III-1-1 북서태평양 모델	10
III-1-2 지역 모델	11
III-2 조석 효과	15
III-3 염분 재현 (2005, 2006, 2007년)	16
III-3-1 2006년	16
III-3-2 2005년과 2007년	22
IV. 산사댐 물막이로 인한 향후 해양환경의 변화 예측	25
V. 결론	28
참고문헌	30
요 약	32
감사의 글	34

그림 목차 (List of Figures)

Fig. 1. Monthly Average Discharge from the Changjiang River during 1990 to 2007. The red line is the beginning of 2003. The average discharge from 1995 to 2002 is 30108 m³/sec while from 2003 to 2007 is 26744 m³/sec. 6

Fig. 2. Observation Stations of KODC. Average surface salinities are calculated in the lines 312-317 (rectangular box) from 1995 to 2006. 6

Fig. 3. (A) Total discharges in June, July and August from 1995 to 2006, (B) Average sea surface salinities of the lines 312-317 in Fig. 2 from 1995 to 2006, and (C) the same as (B) except 1996. Without 1996, the trend is reversed. 7

Fig. 4. Horizontal Distributions of sea surface salinity in August from 1995 to 2007 (from the KODC). 9

Fig. 5. Model domain and bathymetry of the (A) Northwest Pacific Model and the (B) Nesting Model. The square of (A) is the model domain of the Nesting Model. 12

Fig. 6. Horizontal Distributions of temperature and salinity with current at sea surface in (A) February and (B) August, which are calculated in the North-West Pacific Model. 13

Fig. 7. Horizontal Distributions of temperature and salinity with current at sea surface in (A) February and (B) August, which are calculated in the Nesting Model. 14

Fig. 8. Seasonal variations of (A) Changjiang River discharge and (B) wind stress, which are used in the model experiment for tidal effect with the North-West Pacific Model. 18

Fig. 9. Comparison between without and with tide in (A) horizontal distributions and (B) vertical profiles in August. 19

- Fig. 10. Horizontal salinity distributions in August, 2006 obtained from (A) observed data (from KODC), (B) model calculation by using diagnostic method, and (C) model calculation by using prognostic method. 20
- Fig. 11. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2006. CDW moves northward in the Yellow Sea by wind without tide, but such movement is weakened with tide. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. The difference suggests that the CDW moves northward by wind in (E) July and (F) August, which is strongly weakened in model calculation. 21
- Fig. 12. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2005. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. Wind Stresses in (E) July and (F) August, 2005. 23
- Fig. 13. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2007. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. Wind Stresses in (E) July and (F) August, 2007. 24
- Fig. 14. Seasonal variations of (A) wind stress, Changjiang River discharge of (B) 10000~50000m³/sec, (C) 10000~40000m³/sec which is used in the Three Gorge Dam experiment with the Nesting Model. 26
- Fig. 15. Salinity anomaly from the experiment with Changjiang River discharge between 10000~50000m³/sec & 10000~40000m³/sec for (A) 1 year and (B) 5 years respectively. 27

Summary

The purpose of this thesis is to understand the distribution of Changjiang Diluted Water (hereafter CDW) around Korean Peninsula by analyzing the KODC(Korea Oceanographic Data Center) data during 1995 to 2007 for CDW distribution and calculating the numerical model with ROMS for the analysis of tidal effect to CDW movement and the reproduction of CDW distribution. The long-term effect of the Three Gorge Dam is also calculated.

During 1995–2007, sea surface salinity off the west coast of Jeju Island has been increasing while the amount of Changjiang River discharge has been decreasing. However, CDW distributes very diversely around the Korea Peninsula. It tells us that the process of CDW movement is not simple. The main directions of CDW movement are to the Korea strait (2005), to the north along the west coast (2006), and to the south of Jeju Island (2007). It seems to be critically influenced by wind. The salinity distributions of 2005 to 2007 are reproduced for these 3 directions.

The tidal effects on CDW movement and distribution are two ways. One is to diffuse CDW vertically and horizontally so that CDW distribution expands vertically and horizontally. The horizontal expansion of CDW distribution occurs near the coast. However, the total area of horizontal CDW distribution reduces because of strong vertical diffusion. The other is to increase the barotropic component of current so that the current closely aligns with the isobath. By this effect, the CDW distributes basically to the southeast off the river mouth along the isobath of bank.

Including climatological temperature and salinity, daily wind, Changjiang

River discharge and tide, the model reproduces well the salinity distributions in 2005–2007. In 2005, CDW moves to the Korea strait as usual. In 2006, CDW moves toward the Yellow Sea and also the south coast of Korea. According to the model calculation, the former is driven by wind and the latter is driven by tide, of which effect pushes CDW to the southeast. In 2007, CDW moves toward the south of Jeju Island by wind. The model reproduction represents the influences of current, wind, tide, and river discharge well.

The effect of the Three Gorge Dam is not recognized in observed salinity around the Korea. The model calculation shows that the reduced river discharge by the Three Gorge Dam results in the increments of 3 psu near the Changjiang River mouth and 0.2 psu near Jeju Island in a short period. However, the salinity increment may be accumulated in a long period.

Key Words : Changjiang Diluted Water, Tide effect, Reproduction, Three Gorge Dam construction.

I. 서론

해마다 여름철이 되면 양자강 저염수가 제주 주변해역에 출현하여 제주도 주변해역의 염분 농도를 낮춰 많은 생물들을 폐사시키면서 생물들의 서식환경에 막대한 영향을 끼친다. 이러한 양자강 저염수의 심각성은 1996년과 1998년에 제주도 해역에서 막대한 피해를 입은 후에 많은 사람들의 관심 대상이 되었다. 관심 대상이 되기 이전부터 여러 관측값 분석을 통해 양자강 저염수의 원인을 밝힌 여러 연구가 있었다. 우선 주변해역의 염분분포 분석을 통해 양자강의 흐름 방향을 연구했으며 (Mao et al., 1963), 여름철 제주도 주변해역의 저염수의 근원이 양자강으로부터 왔다는 주장도 있었다 (Lie, 1986). 또한, 양자강 저염수가 북동쪽으로 확장하여 제주해협에 다다른다는 보고도 있었다 (Kim et al., 1991). 하지만 관측값만으로는 원인을 밝혀내는데 한계가 있고 피해를 줄이는 것도 힘들기 때문에 보다 정확한 원인과 피해 정도를 알기 위해서는 좀 더 정확한 예보시스템이 필요하다. 더욱이 2003년부터 산사댐이 건설되면서 물막이가 시작되어 (2009년에 채워질 예정) 양자강 주변해역에 또 다른 새로운 환경이 조성될 것으로 예상되기 때문에 그 영향을 미리 알 수 있는 예보시스템이 필요하다.

양자강저염수의 분포를 모델로 연구하기 전에는 양자강저염수가 제주도 주변해역까지 도달하는 원인이 여름철에 많아지는 양자강유출수의 양이 주요 원인이며 또한 쿠로시오해류와 대만난류 등의 해류가 여름철에 강해지기 때문이라고 알려져 왔으나 모델연구를 통해 계절풍이 그 주요 원인이라는 것이 알려졌다 (Moon et al., 2004 ; Jang et al., 2004). 그동안의 이러한 연구들에 힘입어 이제는 양자강저염수의 예보가 어느 정도 가능해진 상태다. 그러나 정확한 예측을 위해서는 아직도 개선하고 연구해야 할 과제들이 많다.

우선 기존의 모델들은 해역이 거의 황해와 동중국해였다. 이런 모델해역에서는 경계에 가깝기 때문에 대만난류나 쿠로시오를 재현하는 데 문제가 생긴다. 정확한 예보를 위해서는 우선 경계조건을 개선해야 한다. 또한 정확한 예측을 위해서는 실제 관측값들을 이용해야 한다. 양자강저염수를 포함한 해수순환은 바람뿐만 아니라

수온과 염분의 분포나 대기와의 열교환과 담수교환 등과 같은 요인에 의해 영향을 받기 때문이다. 양자강저염수의 흐름은 양자강유출량 등에 의해 영향을 많이 받는다. 그러므로 이들 관측값들을 가능한 실제와 가깝게 고려해야 한다. 모델개선과 아울러 모델로 연구해야 할 과제들이 있으며 그 중 하나가 조석의 효과다. 조석은 양자강저염수가 겨울철에 중국연안을 따라 남쪽으로 이동하고 여름에 동쪽으로 이동하는 계절변화에 영향을 줄 수는 없기 때문에 대부분의 연구에 포함되지 않았다. 그러나 조석이 양자강저염수의 이동에 영향을 줄 수 있다는 연구결과(Oh et al., 2003)가 있었듯이 조석의 효과가 양자강저염수의 이동과 염분에 미치는 영향을 분석하고 고려해야 보다 정확한 예측을 할 수 있을 것이다. 이러한 과제들과 함께 새롭게 고려해야 할 중요한 과제에는 산샤댐 물막이의 영향에 대한 연구다. 기존의 연구들은 대부분 산샤댐이 건설되어 물막이가 시작되기 전의 연구이며 2003년부터 물막이가 시작되었기 때문에 그 영향을 연구할 필요가 있다. 마지막으로 양자강저염수의 이동은 황해와 동중국해의 해수순환과 밀접한 연관이 있기 때문에 황해와 동중국해의 해수순환도 연관되어 연구되어야 한다.

이러한 연구배경을 근거로 이 연구에서는 경계문제를 해결을 위해 북서태평양 광역모델을 먼저 수행하고 그 결과를 바탕으로 한 황해와 동중국해의 해역을 모델해역으로 한 작은 모델(nesting)을 사용하여 쿠로시오와 대마난류를 보다 정확하게 재현하였다. 관측값 사용은 우선 평균적인 해양상태를 재현하기 위해 COADS05에서 제공하는 30년 평균 수온, 염분, 바람, 열교환, 담수교환 자료를 사용하였으며 양자강유출수량은 1990년대의 관측값으로부터 대표값을 얻어 사용하였다. 조석의 영향은 재현된 평균 해양상태에서 단순화시킨 바람을 사용하여 조석을 포함하지 않았을 때와 포함했을 때를 비교하여 분석되었으며, 2005, 2006, 2007년의 양자강저염수의 분포를 재현할 때는 각 해의 관측 바람, 열 교환량, 담수교환, 양자강유출량을 사용하였다. 그리고 2003년부터 달라진 양자강유출량의 변화가 황해와 동중국해의 염분에 어떤 영향을 미치는지도 연구하기 위해 물막이가 시작되기 전과 시작된 후의 양자강유출량을 사용하여 장기간 모델계산을 수행하여 그 차이를 파악함으로써 알아보았다. 물막이의 영향을 알기 위해 장기간 모델을 수행한 이유는 양자강유출수량의 차이가 그 해에 동중국해의 염분에 미치는 영향은 관측으로 파악할 수

있을 만큼 크지 않으며 그 효과는 장기간에 걸쳐 나타날 수 있기 때문이다. 제2장에서는 1995년부터 2007년까지의 양자강 유출량의 변화와 우리나라 주변해역에서의 표층 염분변화에 대해 관측 자료를 분석하였고 이를 통해 양자강의 각기 다른 이동방향을 분석하였다. 제 3장에서는 모델이 양자강저염수의 분포를 예측하기 위한 모델이 구축된 방법과 내용을 설명하였으며 모델실험을 통해 조석의 영향을 분석한 내용을 설명하였고 이를 이용하여 2005-2007의 양자강저염수의 분포를 재현한 결과를 설명하였다. 마지막으로 제4장에서는 산샤댐 물막이의 영향이 앞으로 동중국해에 어떻게 나타날지를 계산한 결과를 설명하였다.



II. 양자강유출량과 우리나라 주변해역의 염분

II-1 양자강유출량 변화

중국은 수력발전에 의한 전력공급 및 홍수방지를 목적으로 산사댐을 건설하고 있다. 산사댐은 1993년에 착공을 시작하여 2003년에 물막이가 시작되었으며 2009년에 완공될 예정이다. 2003년에 물막이가 시작된 이후 양자강유출량은 줄어들었다 (Fig. 1.). 1990년부터 2002년까지의 평균 양자강유출량은 $30108\text{m}^3/\text{sec}$ 인데 비해 2003년부터 2007년 10월까지의 평균 양자강유출량은 $26744\text{m}^3/\text{sec}$ 로 약 $3364\text{m}^3/\text{sec}$ 정도 줄어들었음을 알 수 있다. 그러나 겨울철의 유출량은 거의 변화가 없기 때문에 대부분의 유출량은 여름철에 줄어드는 것으로 보인다.

국립수산과학원에서는 산사댐이 완공되기 전(1996년~2003년)과 완공된 후(2004년~2006년)의 해양 환경을 비교해본 결과 수온은 27.5°C (완공 전)에서 28.6°C (완공 후)로 약 1.1°C 상승했으며 염분 농도도 29.903% (완공 전)에서 30.287% (완공 후)로 약 0.384% 상승했다고 보고하였다.

현재는 물막이가 시작되어 산사댐에 물을 채우기 때문에 연평균 유출량이 줄어들었으나 2009년에 댐에 물을 채우면 여름철에 줄어드는 유출량은 겨울철에 방류될 것으로 예상할 수 있다. 따라서 그 때는 연평균 유출량은 그대로 유지되며 여름철의 유출량이 줄어들고 겨울철에 유출량이 증가할 것이다.

II-2 제주도 서쪽 해역의 염분 변화

양자강유출량의 영향을 가장 많이 받는 해역은 제주도 서쪽 해역이다. 이 해역의 염분이 양자강유출량에 의해 어떤 영향을 받고 있는지 확인하기 위해 국립수산과학원 정선관측 중 312-317선(Fig. 2.)의 8월 표층염분의 평균값과 6-8월의 양자강유출량을 1995-2006년까지 구해 보았다 (Fig. 3.). 2003년 이전에 비해 2003년 이

후의 양자강유출량이 줄어들었지만 1995-2006년 12년 동안 여름철의 양자강유출량은 점차 줄어들고 있음을 알 수 있다 (Fig. 3A). 이에 따라 제주도 남서해역의 표층염분은 높아지고 있다 (Fig. 3B). 또한 1995-1999년의 양자강유출량의 변화와 제주도 남서해역의 표층염분의 변화는 반대로 나타나 양자강유출량에 의해 표층염분이 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

그러나 그 둘의 상관관계(R^2)는 0.02로 매우 낮다. 특별히 염분이 낮았던 1996년의 염분값을 제거한 후의 염분변화는 오히려 감소하고 있으며 (Fig. 3. C) 1995-1999년의 양자강유출량의 변화와 제주도 남서해역의 표층염분의 변화도 위상의 변화는 관계가 있지만 진폭은 그다지 관계가 없는 것으로 보인다. 이러한 결과는 양자강유출수가 우리나라 해역에 도달할 때까지 바람이나 해류 등에 의해 많은 영향을 받고 있다는 것을 말해주며 자료분석만으로는 양자강유출수의 영향을 파악할 수 없다는 것을 의미한다.



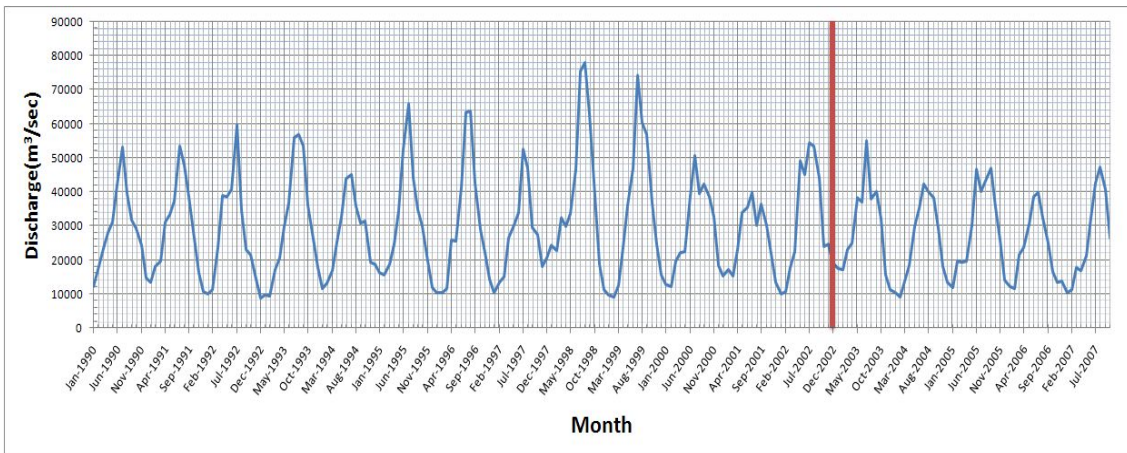


Fig. 1. Monthly Average Discharge from the Changjiang River during 1990 to 2007. The red line is the beginning of 2003. The average discharge from 1995 to 2002 is $30108 \text{ m}^3/\text{sec}$ while from 2003 to 2007 is $26744 \text{ m}^3/\text{sec}$.

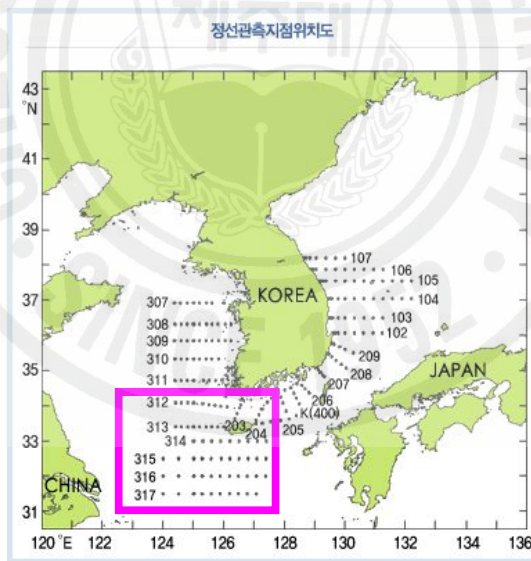


Fig. 2. Observation Stations of KODC. Average surface salinities are calculated in the lines 312–317 (rectangular box) from 1995 to 2006.

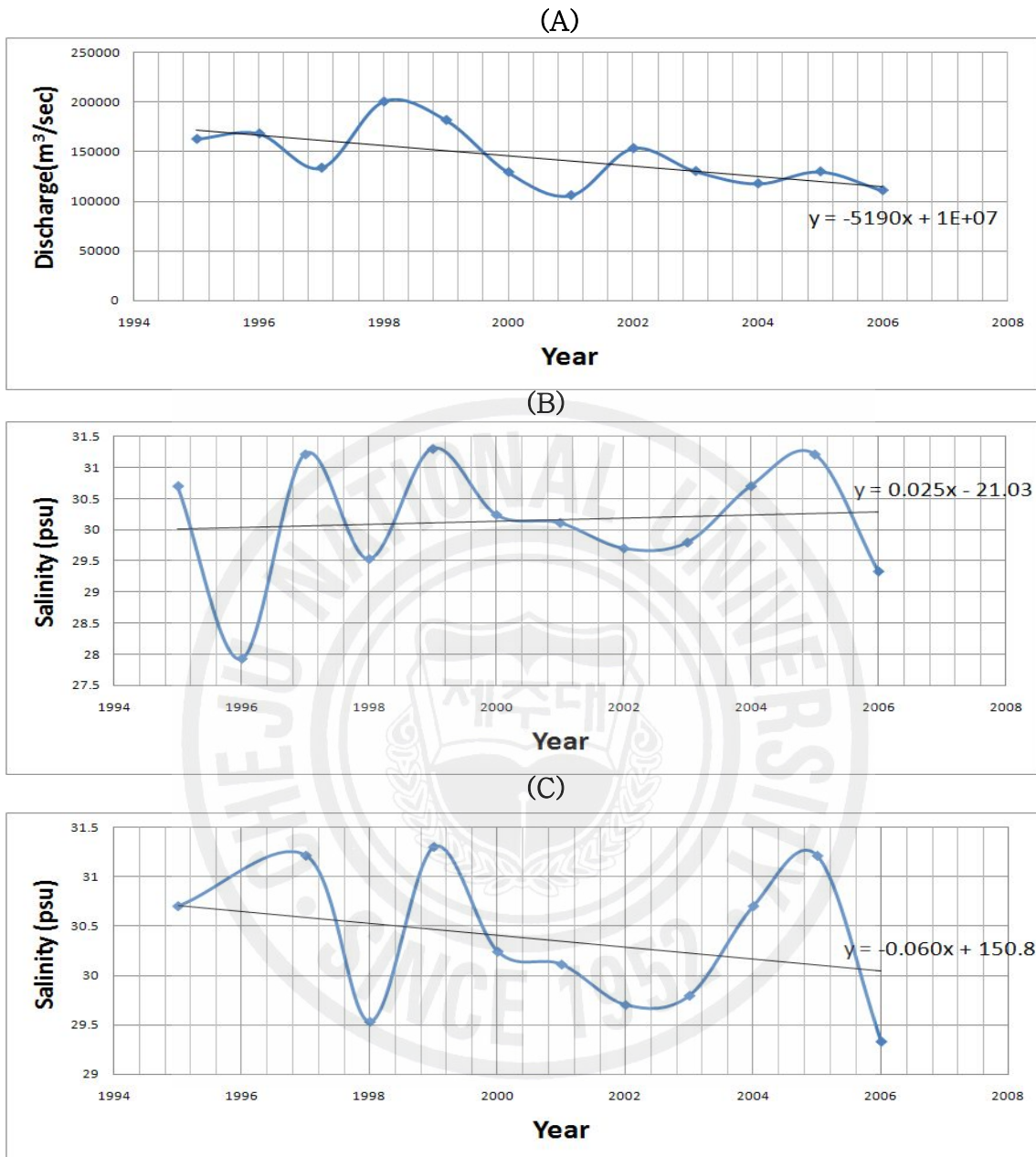


Fig. 3. (A) Total discharges in June, July and August from 1995 to 2006, (B) Average sea surface salinities of the lines 312-317 in Fig. 2 from 1995 to 2006, and (C) the same as (B) except 1996. Without 1996, the trend is reversed.

II-3 우리나라 주변해역의 표층 염분분포

우리나라 주변해역의 염분이 양자강유출량에 단순하게 반비례하지 않는 것은 1995년부터 2007년까지 우리나라 주변해역의 표층염분 분포에서도 알 수 있으며 (Fig. 4.) 오히려 바람이나 해류에 의해 영향을 많이 받고 있다는 것을 보여준다. 즉, 양자강유출수가 제주해협으로 유입된 후 남해를 지나 동해로 유출될 때는 우리나라 주변해역의 염분은 가장 영향을 많이 받으나 제주도 남쪽 해역으로 유입되거나 황해 해역으로 유입될 때는 상대적으로 적은 영향을 받는다. 따라서 양자강유출수의 영향은 유출량과 함께 유출수의 흐름의 방향에 의해서도 영향을 받는다.

따라서 양자강유출수의 유입경로를 크게 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 양자강 저염수가 동쪽으로 흘러 제주도 남쪽 해역을 지나가는 유형은 1995, 1998, 2007년에 나타난다. 양자강 저염수가 제주해협을 지나 동해로 유출되는 유형은 1996, 1997, 2001, 2003, 2004, 2005년에 나타나 가장 일반적인 유형임을 알 수 있다. 마지막으로 양자강 저염수가 황해쪽으로 북상하는 유형은 1999, 2002, 2006년에 나타난다.

지금까지의 자료분석 결과 양자강유출량의 변화는 바람과 해류에 의해 주변해역에 복잡한 영향을 주는 것을 알 수 있으며 단순히 자료분석만으로는 그 영향을 파악하기 힘들다. 따라서 이 연구에서는 모델로 양자강유출수의 영향을 파악해 보려한다. 더구나 2003년 물막이의 영향이 앞으로 어떻게 나타나는지를 연구하기 위해서는 모델연구가 더욱 필요하다. 모델연구는 양자강유출수의 흐름이 다른 2005, 2006, 2007년을 중심으로 3 해의 염분을 재현하는 것으로 수행하였다.

마지막으로 산사댐 물막이로 인한 양자강 유출량의 변화 및 주변해역의 변화 그리고 그로 인한 피해는 단기적으로는 그리 크지 않을지 모르지만 시간이 흐를수록 그 피해 규모는 커질 것으로 예상되며 그렇기 때문에 이를 사전에 분석하고 예방할 필요가 있다. 따라서 우리나라가 받는 이러한 피해를 줄이고 보다 근본적인 원인과 해결 방안을 찾기 위해서는 향후 몇 년에 걸친 장기적인 연구가 필요하다.

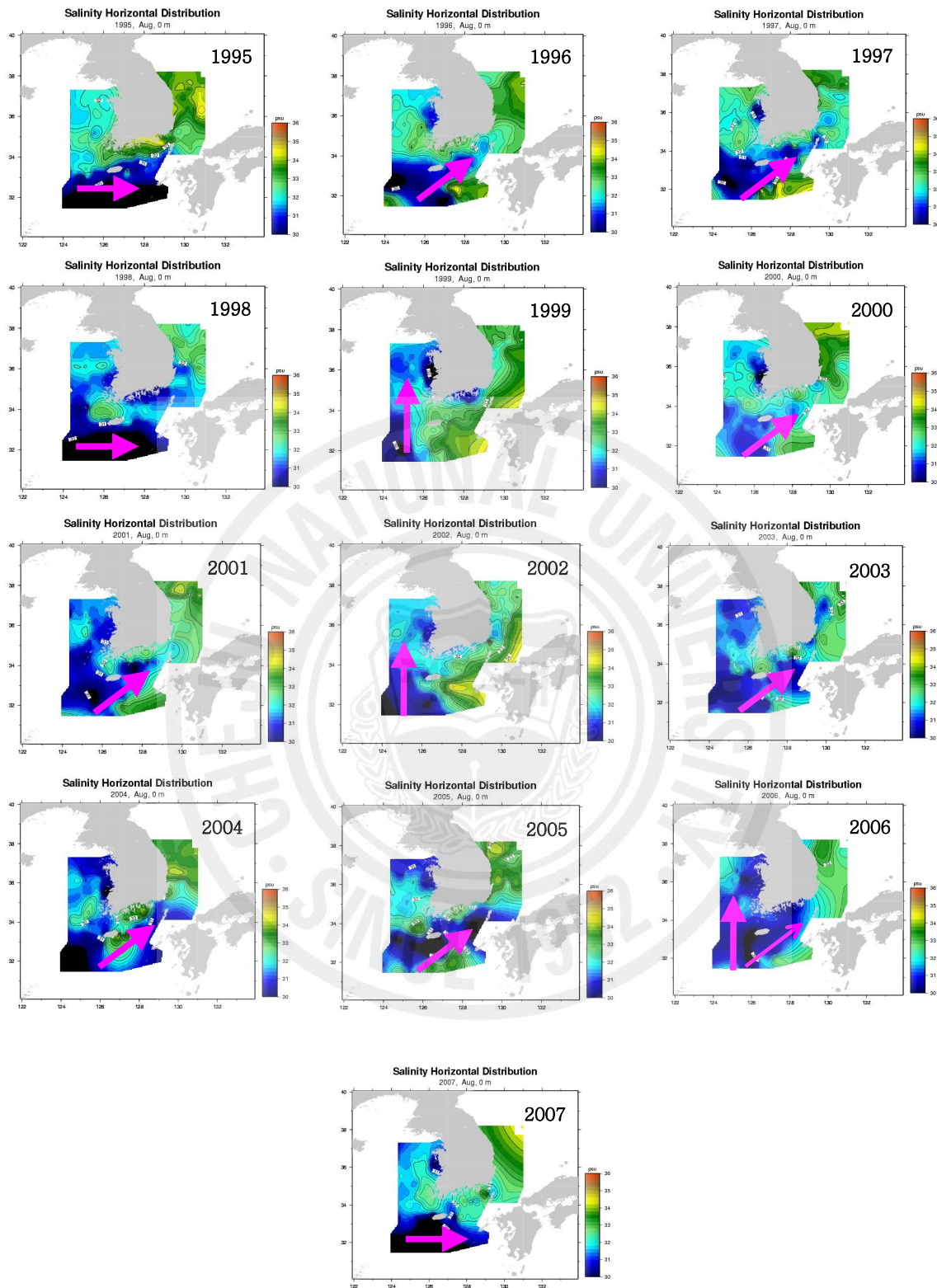


Fig. 4. Horizontal Distributions of sea surface salinity in August from 1995 to 2007 (from the KODC).

Ⅲ. 2005-2007년 우리나라 주변해역의 염분 재현

Ⅲ-1 모델 설정

양자강저염수는 황해와 동중국해에 퍼져 나가기 때문에 양자강저염수를 연구할 때 주로 황해와 동중국해를 모델해역으로 정한다. 그러나 이러한 모델에서는 대만해협과 대만해협, 대한해협, 토가라해협의 경계조건들에 의해 동중국해의 해류들이 영향을 받으며 쿠로시오해역의 경계에 의해 쿠로시오해류가 자연스럽게 않은 문제들이 있었다. 이 연구에서는 그러한 경계의 문제를 해결하기 위하여 해역이 큰 북서태평양모델을 먼저 수행하였고 이를 바탕으로 황해와 동중국해역을 모델해역으로 하는 지역모델(nesting)을 수행하였다. 사용한 모델은 ROMS (Regional Ocean Modeling System)이다.

Ⅲ-1-1 북서태평양 모델

북서태평양모델 실험에 사용된 모델해역은 경도 110°E에서 143°E, 위도 15°N에서 50°N의 영역이고 수평 해상도는 1/8°, 수직적으로는 30개의 level로 구성되어 있다 (Fig. 5A). 수심은 ETOPO 자료를 사용하였으며 초기조건(Initial Condition)의 해양 관측값(Climatology Condition)은 WOA2001(World Ocean Atlas, 2001)의 30년 평균 수온과 염분자료를 사용하였다. 바람을 포함한 열속(Heat Flux), 표층에서의 열속 민감도 (Heat Flux Sensitivity to Sea Surface Temperature), 담수속 (Fresh Water Flux) 등의 기후학적인 표층외력은 COADS05(Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)의 40년 평균자료를 사용하였다. 개방경계(open boundary)에서의 유입류(inflow)와 유출류(outflow)는 WOA2001의 수온과 염분값에 의해 계산된 지형류가 사용되었으며 양자강 유출수도 포함되었다.

북서태평양 모델로는 황해와 동중국해 모델을 위한 기본 해양상태를 계산하였고 조석 효과를 알아보는 모델실험을 하였다. 지역모델(Nesting Model)에 사용된 기본 해양상태는 17년 동안 계산한 북서태평양 모델 결과이며 그 후 1년을 더 계산한 18년

짜의 결과를 보면 수온, 염분, 해류 등이 잘 재현되고 있음을 볼 수 있다 (Fig. 6.).

III-1-2 지역 모델

지역모델의 해역은 경도 122°E에서 134°E, 위도 30°N에서 40°N의 영역이고 수평 해상도는 1/8°, 수직적으로는 30개 level로 구성되어 있다 (Fig. 5B). 수심은 역시 ETOPO자료를 사용하였으며 해양 초기조건(Initial Condition)은 북서태평양모델 결과를 사용하였다. Diagnostic method으로 계산할 때 사용한 관측값(Climatology Condition)은 WOA2001의 30년 평균 수온과 염분자료이며 열속(Heat Flux), 표층에서의 열속 민감도(Heat Flux Sensitivity to SST), 담수속(Fresh Water Flux) 등의 기후학적인 표층외력은 북서태평양 모델과 같이 COADS05(Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)의 40년 평균자료를 사용하였다. 바람자료는 CERSAT에서 제공되는 MWF-QuikSCAT의 각 연도별 일평균 바람자료(Daily Mean Wind Field)중에서 Zonal Wind Stress와 Meridional Wind Stress 자료를 이용하였으며 양자강유출량은 일자료를 월 평균하여 사용하였다. 경계부분이 개선되면서 이 해역의 수온, 염분, 해류도 잘 재현되고 있다 (Fig. 7.).

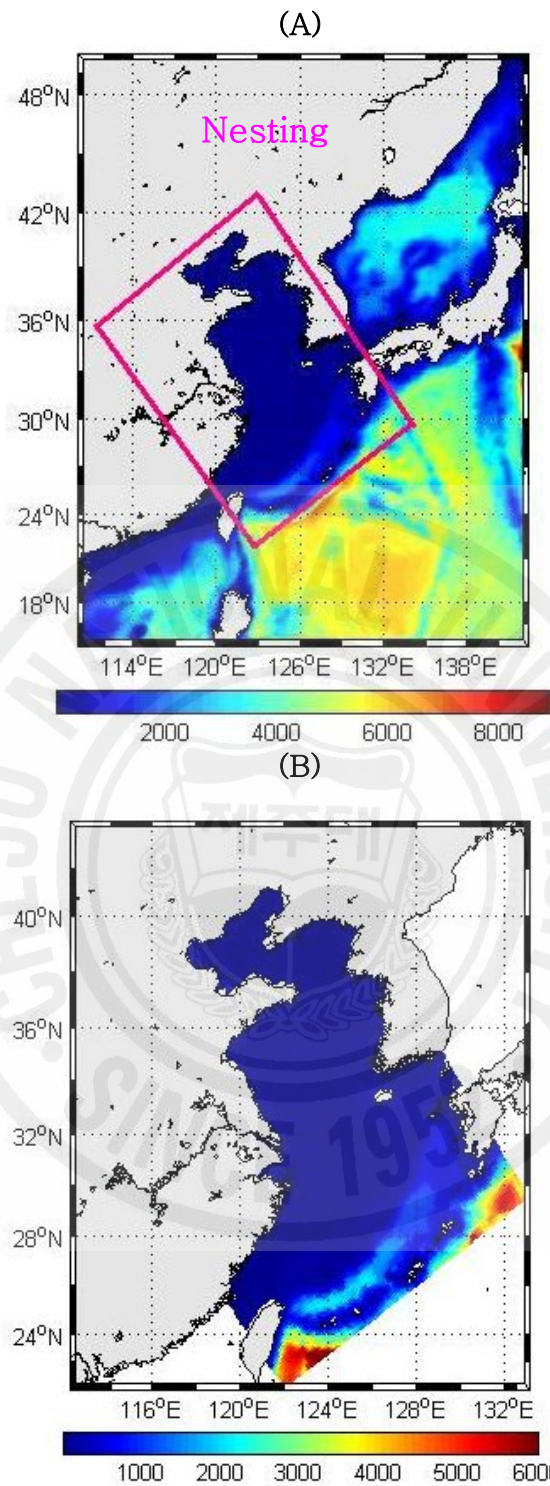


Fig. 5. Model domain and bathymetry of the (A) Northwest Pacific Model and the (B) Nesting Model. The square of (A) is the model domain of the Nesting Model.

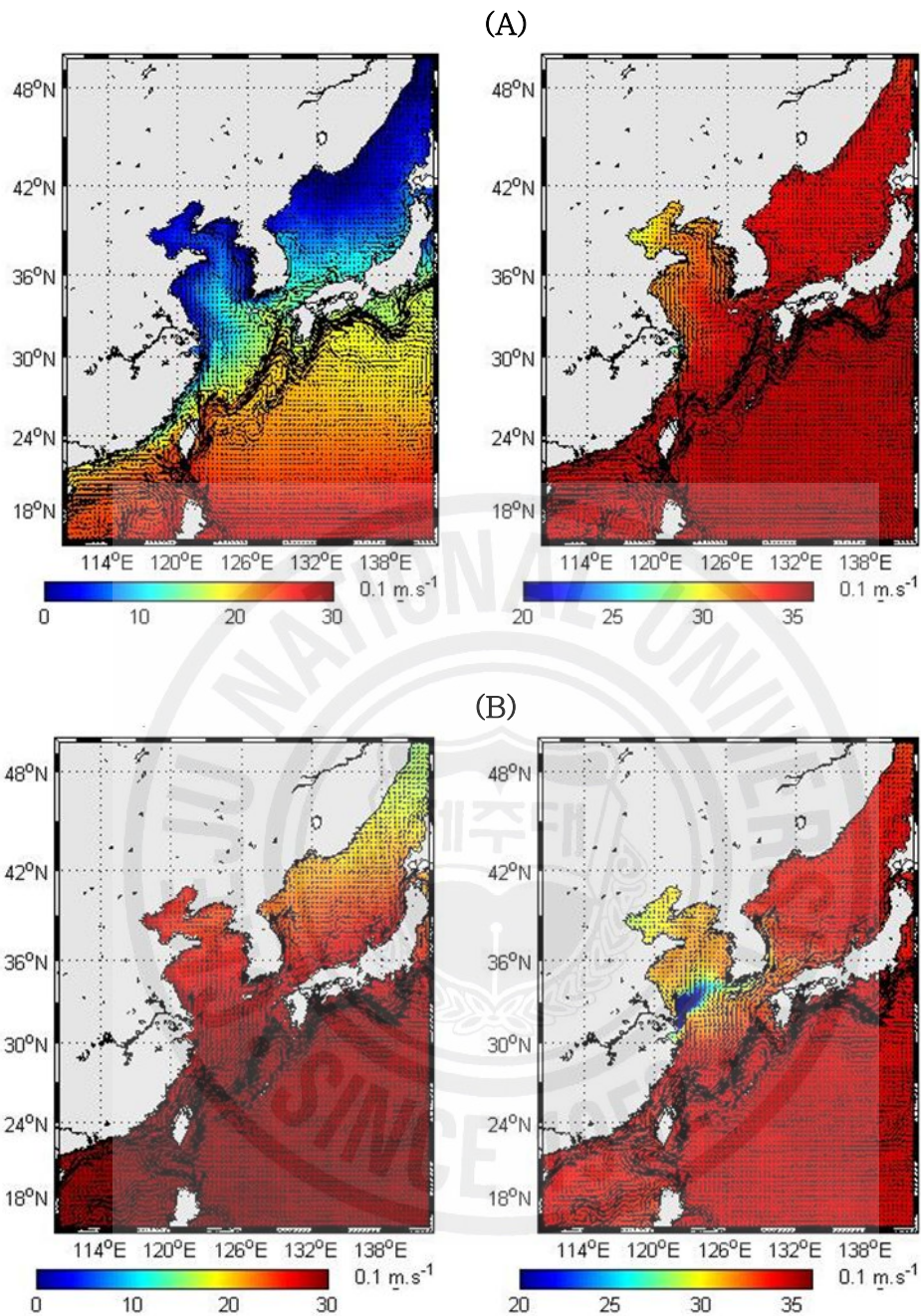


Fig. 6. Horizontal Distributions of temperature and salinity with current at sea surface in (A) February and (B) August, which are calculated in the North-West Pacific Model.

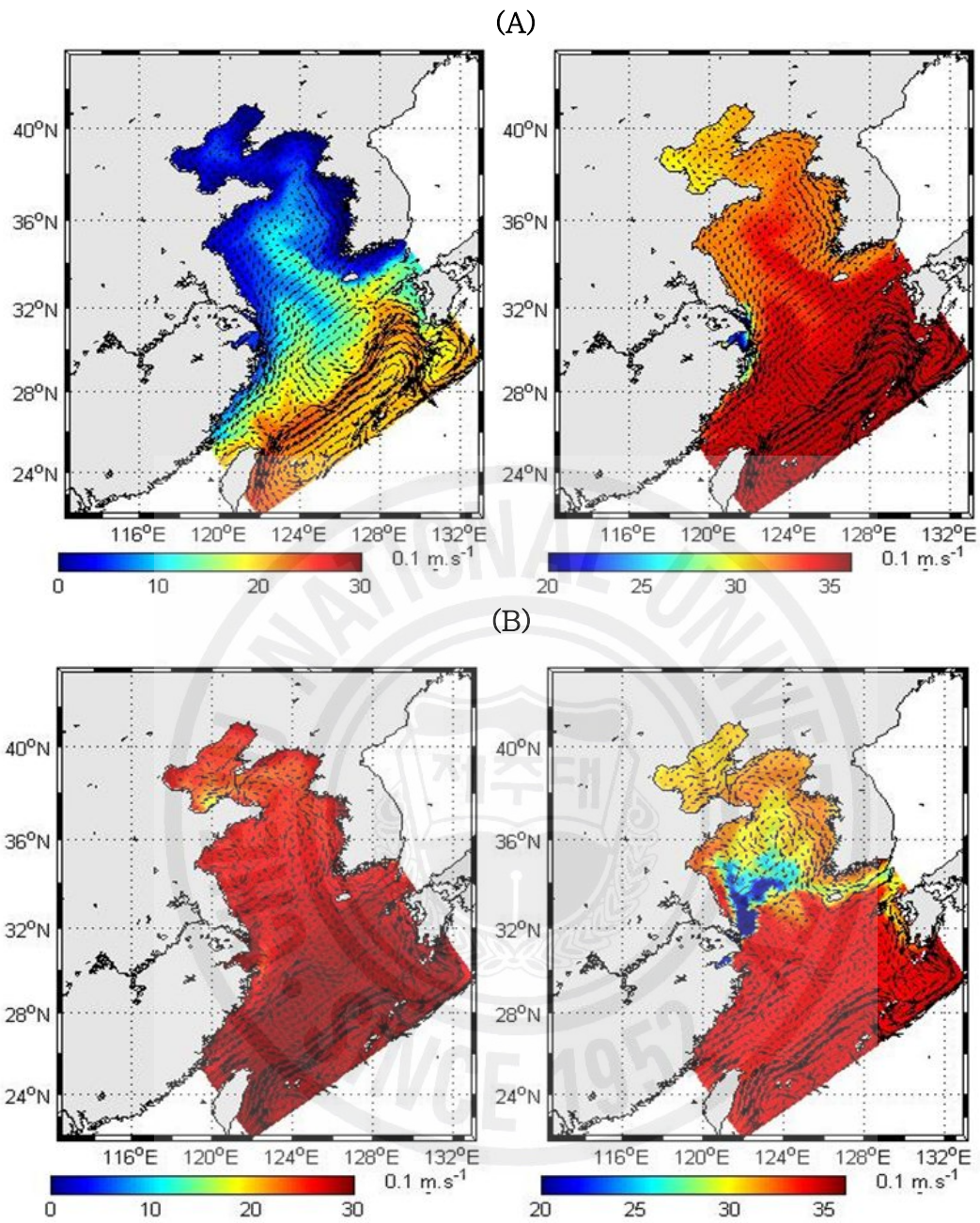


Fig. 7. Horizontal Distributions of temperature and salinity with current at sea surface in (A) February and (B) August, which are calculated in the Nesting Model.

III-2 조석 효과

지금까지 양자강저염수의 이동에 가장 중요한 요인을 찾기 위한 대부분의 연구에서는 조석의 효과는 제외되어 왔다. 양자강저염수가 겨울철에 중국대륙을 따라 남쪽으로 이동하고 여름철에는 동쪽으로 이동하는 이유를 조석이 설명해 주지 못하기 때문이다. 그러나 양자강저염수가 계절적으로 달리 이동하는 것을 조석이 설명해 주지는 못하지만 양자강저염수의 이동에 영향을 줄 수 있고 (Oh et al., 2003), 또한 양자강저염수의 염분에도 영향을 줄 수 있기 때문에 이 연구에서는 조석을 포함시켰다. 조석의 효과를 알아보기 위해 북서태평양 모델을 사용하였으며 해류를 복잡하게 만드는 실제 바람이나 양자강유출량보다 계절풍을 단순화시킨 남북바람과 양자강유출량을 사용하였다. 바람은 남북방향으로 0.03 N/m^2 에서 0.05 S/m^2 로 설정하였고 양자강유출수량은 1월 15일에 최소량 $10000 \text{ m}^3/\text{sec}$, 7월 15일에 최대 유출량 $60000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 설정하였다 (Fig. 8.). 조석효과를 알아보는 모델실험에서는 주기적으로 평균해양관측값을 넣어서 계산하는 Diagnostic method를 이용하였다. 조석은 TPX06의 반일주조(M2)를 사용하였다.

겨울철에는 양자강저염수가 중국대륙연안을 따라 남쪽으로 이동하기 때문에 조석의 효과가 잘 나타나지 않는다. 조석의 효과는 양자강저염수가 해안을 떠나 동쪽으로 이동하는 여름철에 잘 나타난다 (Fig. 9.). 조석의 효과는 크게 두 가지로 나타난다고 볼 수 있다. 하나는 양자강저염수를 확산시키는 효과인데 이 효과는 수평과 수직 모두에 해당되며 이 효과는 주로 해안에서 발생한다. Fig. 9A의 수평분포에서 조석을 포함시켰을 때 양자강저염수가 해안을 따라 넓게 퍼져 나간 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 동쪽으로 이동하는 양자강저염수의 양은 줄어들었다. 그러나 양자강저염수의 범위는 조석이 포함되지 않은 경우에 비해 줄어들었으며 이것은 수평적인 효과 이외에 수직적인 효과가 있음을 말해 준다. 즉, 표층의 양자강저염수가 수직적으로 확산되기 때문에 수평범위가 줄어든 것이다. 조석에 의한 수직혼합 효과는 Fig. 9B에서 볼 수 있다. 조석에 의해 해저부터 약 30m는 수직혼합에 의해 등염분선이 수직이다. 그러므로 수심이 30m 보다 얕은 해안에서는 양자강저염수가 전 층으로 확산된다. 다른 하나는 해류의 순압효과를 강화시켜 해류가 등수심선을

따라 움직이게 하는 영향을 미치는 것으로 나타났다. 양자강저염수는 표층에 분포하고 여름철에는 수온약층이 강하게 형성되기 때문에 바람에 의해 이동하는 양자강저염수는 해저지형에 영향을 받지 않는다 (Fig. 9A). 그러나 조석에 의해 순압이 강화된 해류는 해저지형을 따라가게 되며 특히 양자강 입구에서 동쪽으로 뻗어 있는 양자강퇴를 향해 양자강저염수는 이동하게 된다 (Fig. 9A). 이러한 효과는 결국 양자강저염수의 이동과 염분에 영향을 준다.

III-3 염분 재현 (2005, 2006, 2007년)

이 장에서는 자료분석에서 보았던 양자강저염수가 우리나라 주변해역으로 이동하는 3가지 유형으로 2005-2007의 양자강저염수를 재현하여 보았다. 바람자료는 이미 설명한대로 CERSAT에서 제공되는 MWF-QuikSCAT의 각 연도별 일평균 바람자료(Daily Mean Wind Field)중에서 Zonal Wind Stress와 Meridional Wind Stress 자료를 이용하여 forcing하였으며 양자강유출량은 일자료를 월 평균하여 사용하였고 조석은 반일주조(M2)를 사용하였다.

III-3-1 2006년

양자강저염수의 재현을 위한 여러 가지 시도는 관측값이 많은 2006년을 중심으로 수행되었고 2005년과 2007년에는 2006년의 방법과 같은 방법으로 계산되었다.

1) Diagnostic method와 Prognostic method의 비교

2006년 8월의 염분분포를 보면 관측(Fig. 10A)에서는 제주도 서쪽해역에 염분이 27psu까지 낮으나 Diagnostic 방법에 의한 결과에서는 30psu 정도로 상당히 높다 (Fig. 10B). 이는 climatology 값이 실제 관측 값을 30년 평균한 값이기 때문에 해마다 달라지는 실제 염분값을 제대로 반영하지 못한 결과로 해석된다. 덧붙인다면 과거 30년 평균자료는 산사댐 건설 이후에 달라진 양자강 주변해역의 수온과

염분 값이 반영되지 못한 점도 중요한 이유일 것이다. 이와 달리 모델 계산과정에서 climatology 값으로 자료동화를 하지 않는 Prognostic 방법으로 계산한 결과에서는 보다 실제에 가까운 염분값을 얻었다 (Fig. 10. C).

Prognostic method를 이용하여 나온 결과가 양자강저염수의 염분값을 가깝게 재현했지만 우리나라 서쪽 연안과 남쪽 연안에서는 염분값이 여전히 높는데 이는 한강, 압록강, 낙동강 등 우리나라에서 흘러나오는 유출수를 모델에서는 포함시키지 않았기 때문이다. 또한 제주도 서쪽해안 부근에 분포한 28%의 염분값이 실제자료보다 위쪽에 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 바람이 실제 바람과 차이가 나기 때문일 것이다. 이러한 차이는 모델이 일정한 영역(model grid)을 하나의 수치로 나타내는 한계 때문이며 이 모델 계산은 양자강저염수를 재현에 초점을 맞추었다.

2) 조석(Tide) 효과

위의 계산에 조석(반일주조)을 포함시킨 결과 양자강저염수가 제주해협으로 많이 이동했음을 알 수 있다. 이것은 조석효과에 의해 양자강저염수가 양자강퇴의 영향을 받아 북쪽으로 덜 이동했으며 수평확산이 많이 발생한 결과로 해석된다. 조석의 영향이 없는 경우에는 양자강 저염수가 남동풍의 영향으로 동쪽으로 멀리 퍼져나가지 못하고 황해 위쪽으로 넓게 퍼짐을 알 수 있다.

3) 2006년 염분 재현

앞서 자료 분석에서 살펴본 3가지 유형에서 2006년은 양자강 저염수가 황해 북쪽으로 이동하는 유형에 포함되었으나 그와 함께 남해를 지나 대한해협으로 확장되는 분포를 보이고 있는데 모델결과는 이 형태를 비교적 잘 재현하였다. 양자강저염수의 수직적인 분포는 해수표면에서 약 20m 정도이다. 모델결과를 보면 바람에 의해서는 양자강저염수가 황해 북쪽으로 이동하며 조석에 의해서는 그 경향이 줄어들고 남해로 유입되는 형태가 나타남을 알 수 있으며 모델이 염분분포의 재현과 함께 그러한 분포의 원인을 알려줄 수 있다는 것을 보여준다 (Fig. 11.).

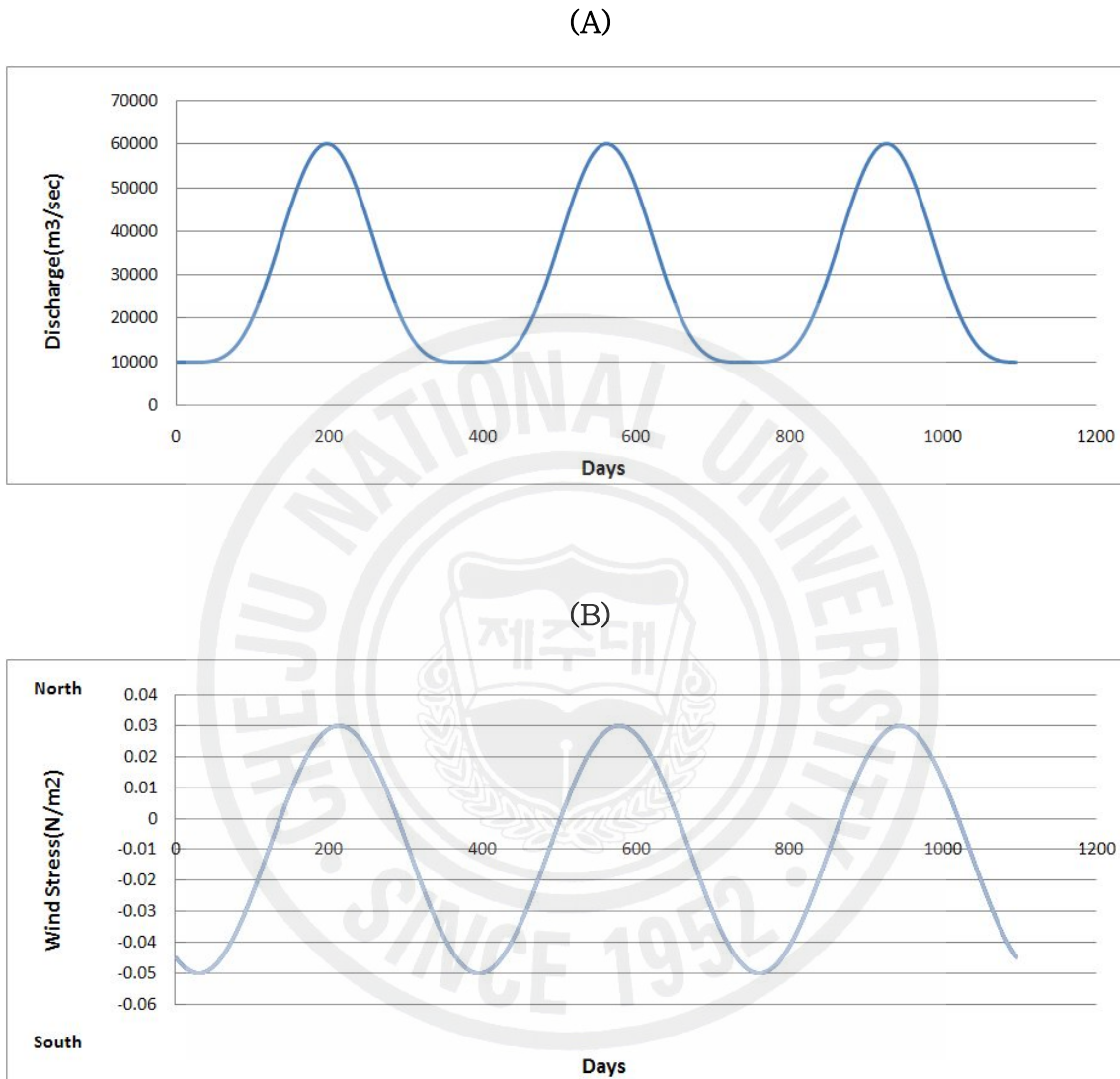
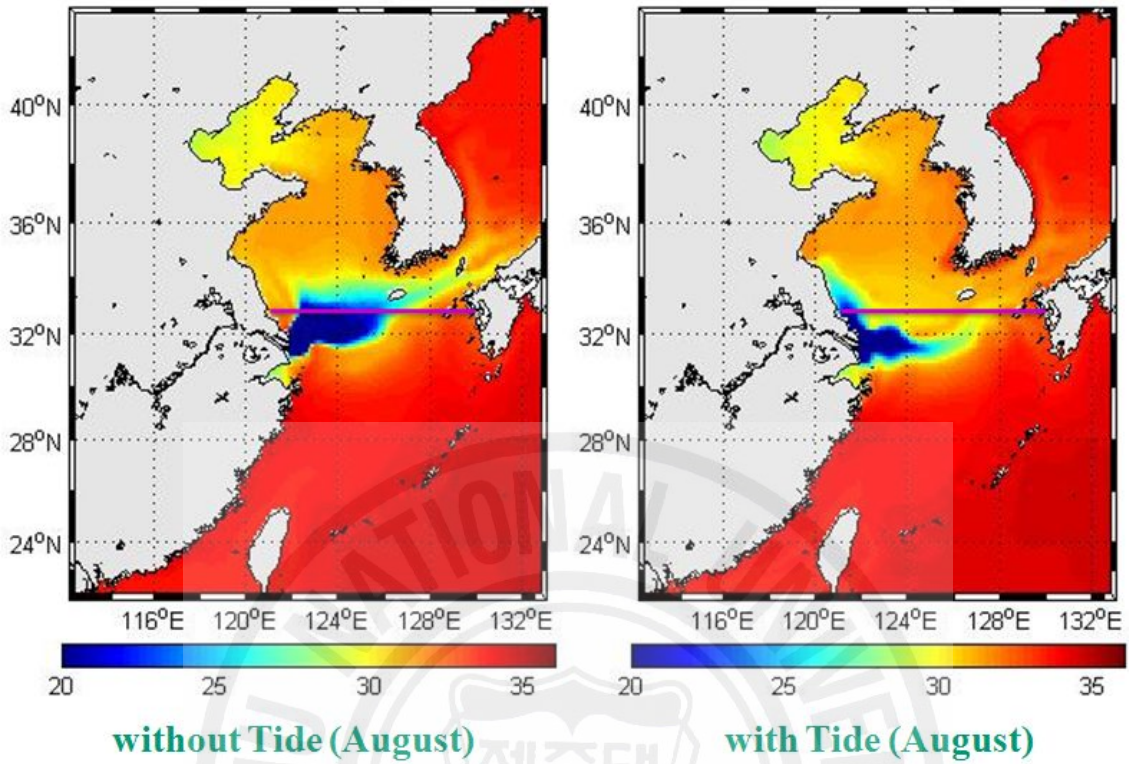


Fig. 8. Seasonal variations of (A) Changjiang River discharge and (B) wind stress, which are used in the model experiment for tidal effect with the North-West Pacific Model.

(A)



(B)

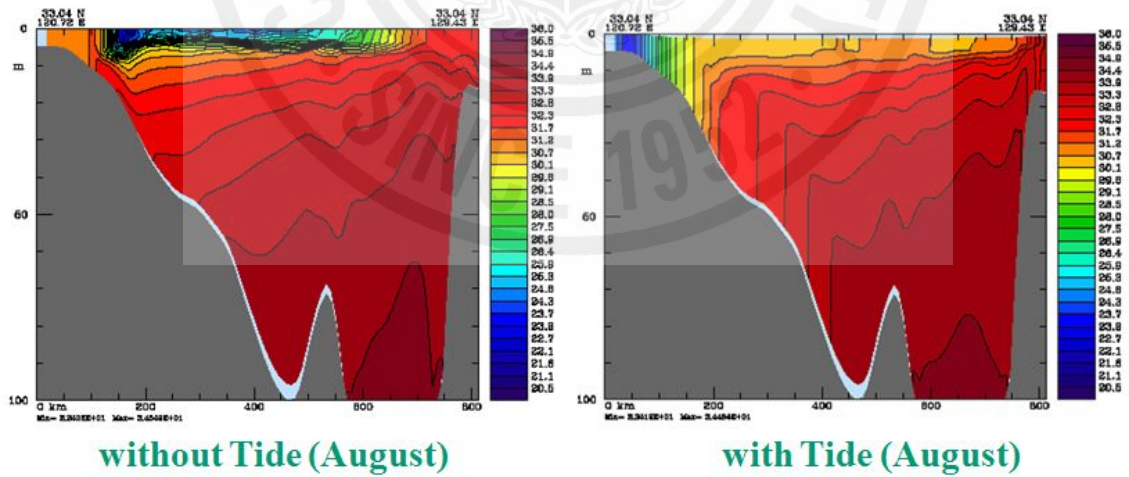


Fig. 9. Comparison between without and with tide in (A) horizontal distributions and (B) vertical profiles in August.

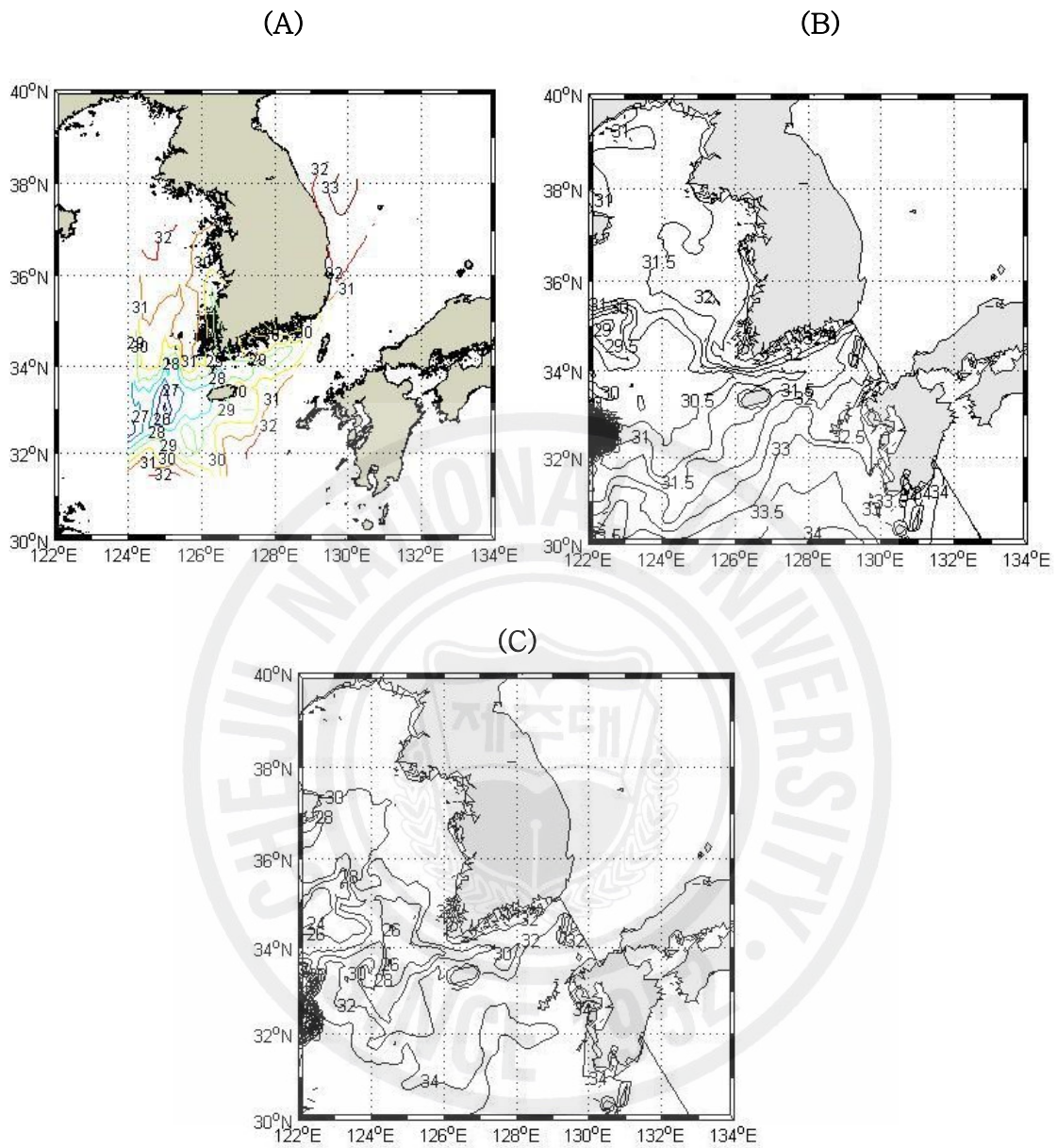


Fig. 10. Horizontal salinity distributions in August, 2006 obtained from (A) observed data (from KODC), (B) model calculation by using diagnostic method, and (C) model calculation by using prognostic method.

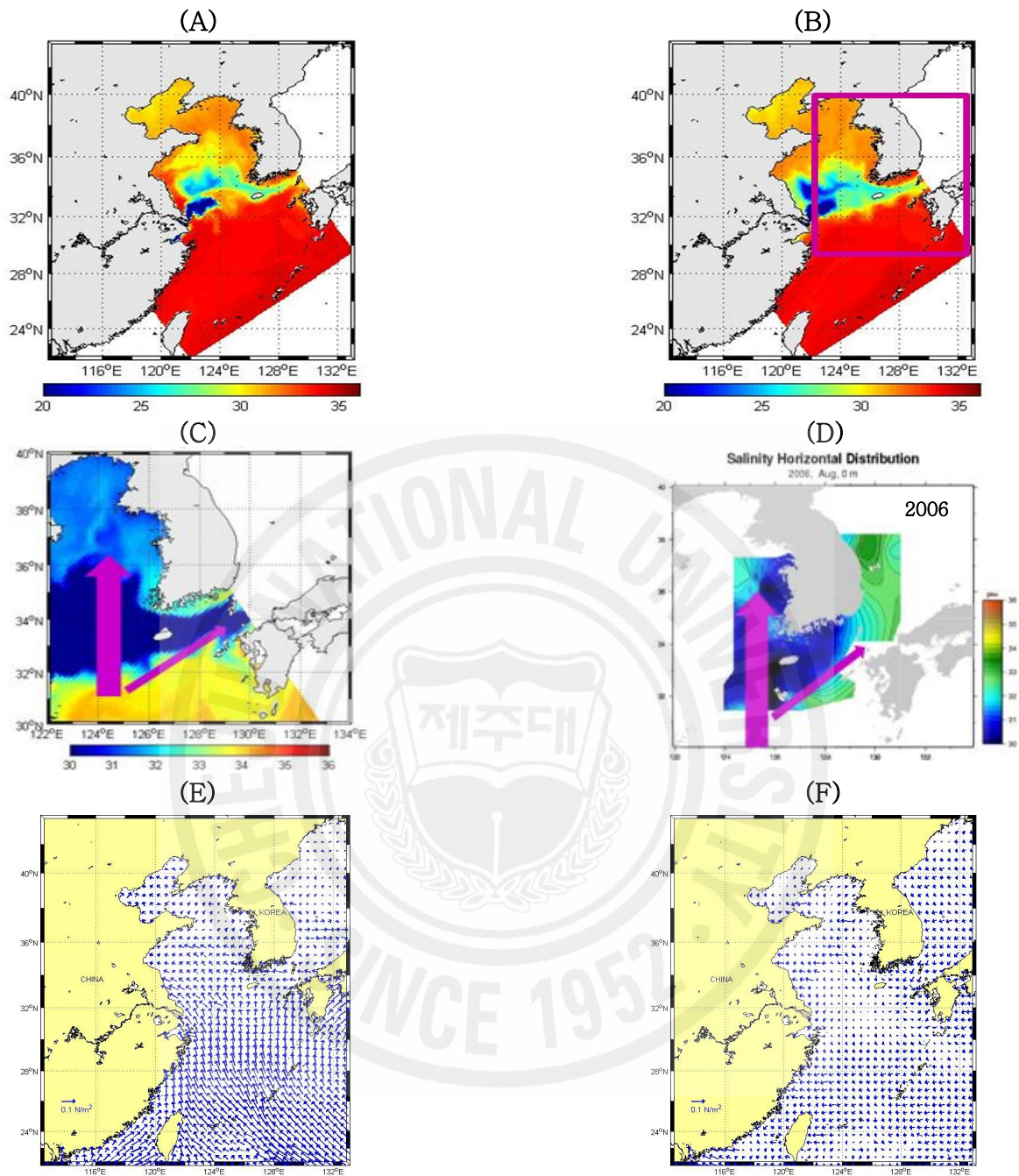


Fig. 11. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2006. CDW moves northward in the Yellow Sea by wind without tide, but such movement is weakened with tide. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. The difference suggests that the CDW moves northward by wind in (E) July and (F) August, which is strongly weakened in model calculation.

Ⅲ-3-2 2005년과 2007년

2005년에는 양자강유출수의 최소유량이 1월에 약 $12000\text{m}^3/\text{sec}$ 이고 최대유량이 9월에 약 $48000\text{m}^3/\text{sec}$ 이다. 2007년에는 양자강유출수의 최소유량이 1월에 약 $10000\text{m}^3/\text{sec}$ 이고 최대유량이 8월에 약 $47000\text{m}^3/\text{sec}$ 이다. 이 둘 모두 조석을 포함하였으며 관측값을 거의 비슷하게 재현하였다.

자료 분석에서 2005년은 양자강 저염수가 대한해협을 따라 동해로 빠져나가는 현상이 나타난다는 것을 알았다. 모델 재현 실험 결과에서 이러한 현상은 뚜렷하게 나타나며 남풍의 바람과 조석의 영향으로 동쪽으로 이동하여 동해로 이동하였음을 알 수 있다. 2006년과 비교해보면 2006년의 모델 결과에서 황해 부근의 염분값은 약 30~31‰인데 반해 2005년의 모델 결과에서는 같은 부근의 염분값이 약 31~32‰을 나타낸다. 이것은 양자강 저염수가 2005년에는 2006년보다 황해 북쪽으로 진행되는 양이 적다는 것을 가리키며 다시 말해 양자강 저염수는 황해 북쪽보다는 동해로 더 많이 전진했음을 나타낸다. 즉, 양자강 저염수의 3가지 유형에서 2005년에 동해쪽으로 흘러감을 Fig. 12.와 같이 모델로서 재현했다고 볼 수 있다.

2007년 또한 자료 분석에서는 양자강 저염수가 제주도 남쪽으로 확장되는 유형으로 나타났으며 모델로 재현 실험한 결과도 제주도 남쪽으로 확장되는 형태를 보여준다 (Fig. 13.). 2007년도에 양자강저염수의 분포가 제주도 남쪽으로 확장한 이유는 역시 남풍의 바람과 조석의 효과인 것을 알 수 있다.

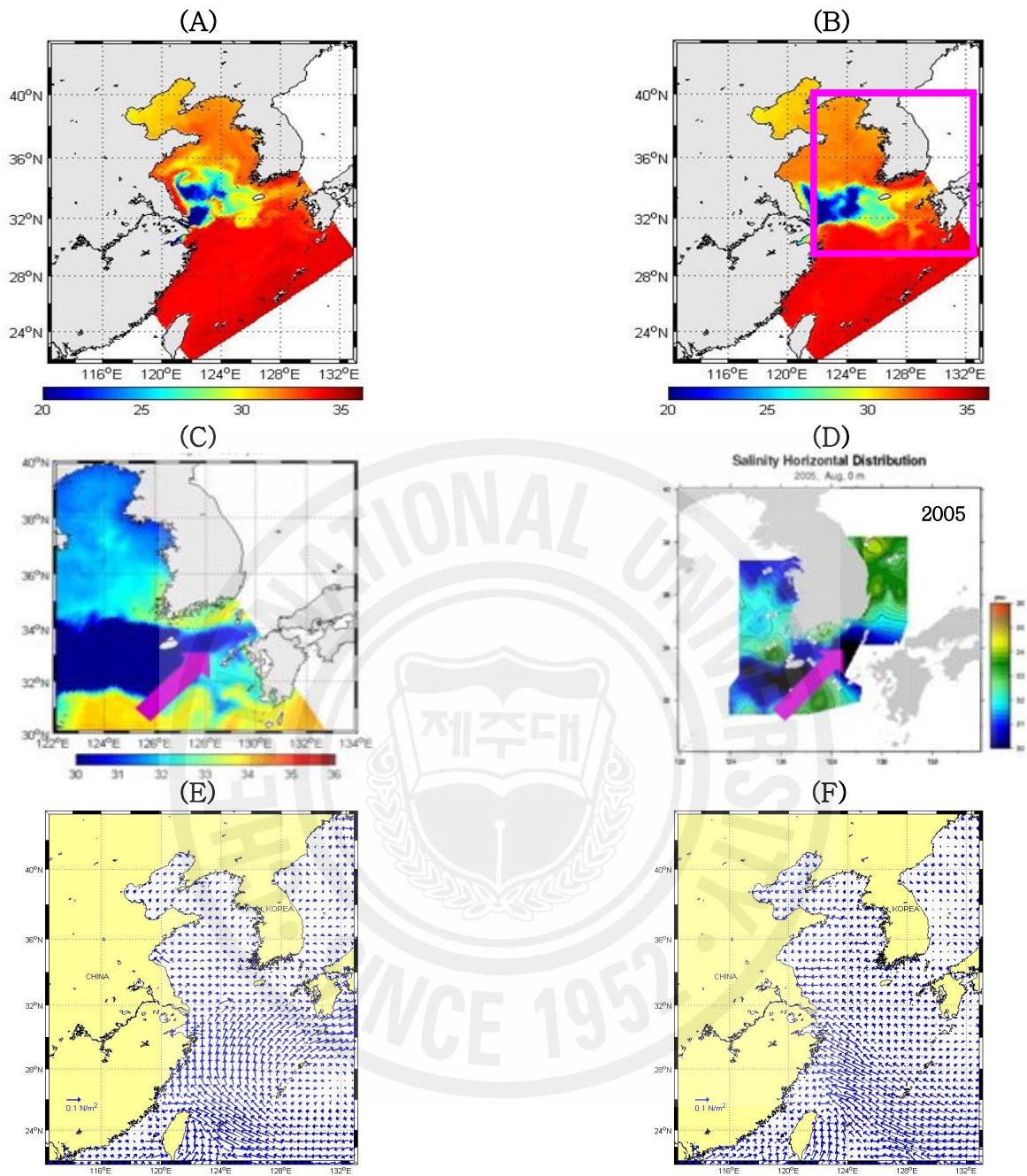


Fig. 12. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2005. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. Wind Stresses in (E) July and (F) August, 2005.

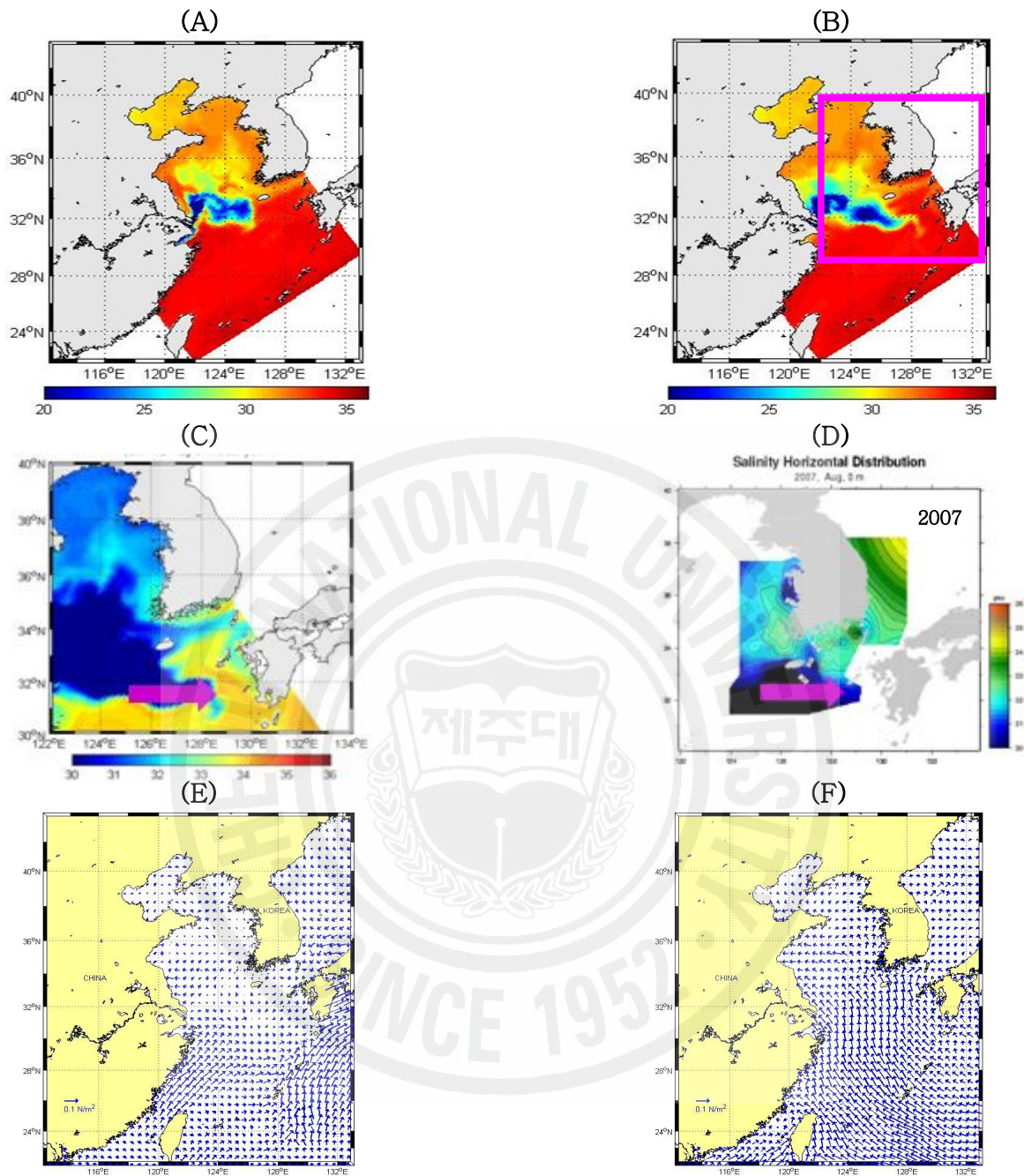


Fig. 13. Simulated horizontal salinity distributions (A) without tide and (B) with tide in August, 2007. Comparison between (C) simulation with tide in the rectangular box in (B) and (D) observation. Wind Stresses in (E) July and (F) August, 2007.

IV. 산사댐 물막이로 인한 향후 해양환경의 변화 예측

앞서 설명한 바와 같이 산사댐 물막이로 인한 제주도 주변 해역의 환경 변화는 단기적으로는 그 차이가 크지 않아 장기적인 연구가 필요하다. 그래서 이번 모델 실험에서는 2003년에 산사댐이 완공되기 전과 완공된 후의 해양 환경을 각각 5년 동안 모델로 돌려 실험을 하고 그 결과를 분석해 보았다. 모델 해역은 재현실험에 쓰인 모델은 지역모델이고 평균 관측값(Climatology Condition)을 사용한 Diagnostic 계산방법을 이용하고 조석이 포함되었다.

산사댐 물막이 전의 양자강유출량은 2월 1일에 최소량 $10000 \text{ m}^3/\text{sec}$, 8월 1일에 최대 유출량 $50000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 설정하였고 산사댐 물막이 후의 양자강유출량은 2월 1일에 최소량 $10000 \text{ m}^3/\text{sec}$, 8월 1일에 최대 유출량 $40000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 설정하였다. 바람은 남북방향으로 0.03 N/m^2 에서 0.05 S/m^2 로 설정하였다 (Fig. 14.).

모델 결과인 Fig. 15.을 보면 1년 후 양자강 입구에서의 염분변화는 약 3psu 정도까지 높아지지만 제주도 주변해역에서는 매우 작다. 그러나 이러한 변화는 시간이 지남에 따라 누적되며 5년 후에는 황해, 제주도 주변해역, 대만난류수 해역의 염분이 높아졌다. 양자강유출수량의 변화가 단시간에 평형상태에 도달하지 않고 시간이 지남에 따라 누적되는 결과는 5년 후까지 염분의 변화가 크지 않더라도 이러한 효과가 장기간 누적될 경우 상당한 염분변화가 나타날 가능성을 보여준다. 따라서 장기간의 변화를 알려면 보다 긴 시간의 염분변화를 계산해 볼 필요가 있다.

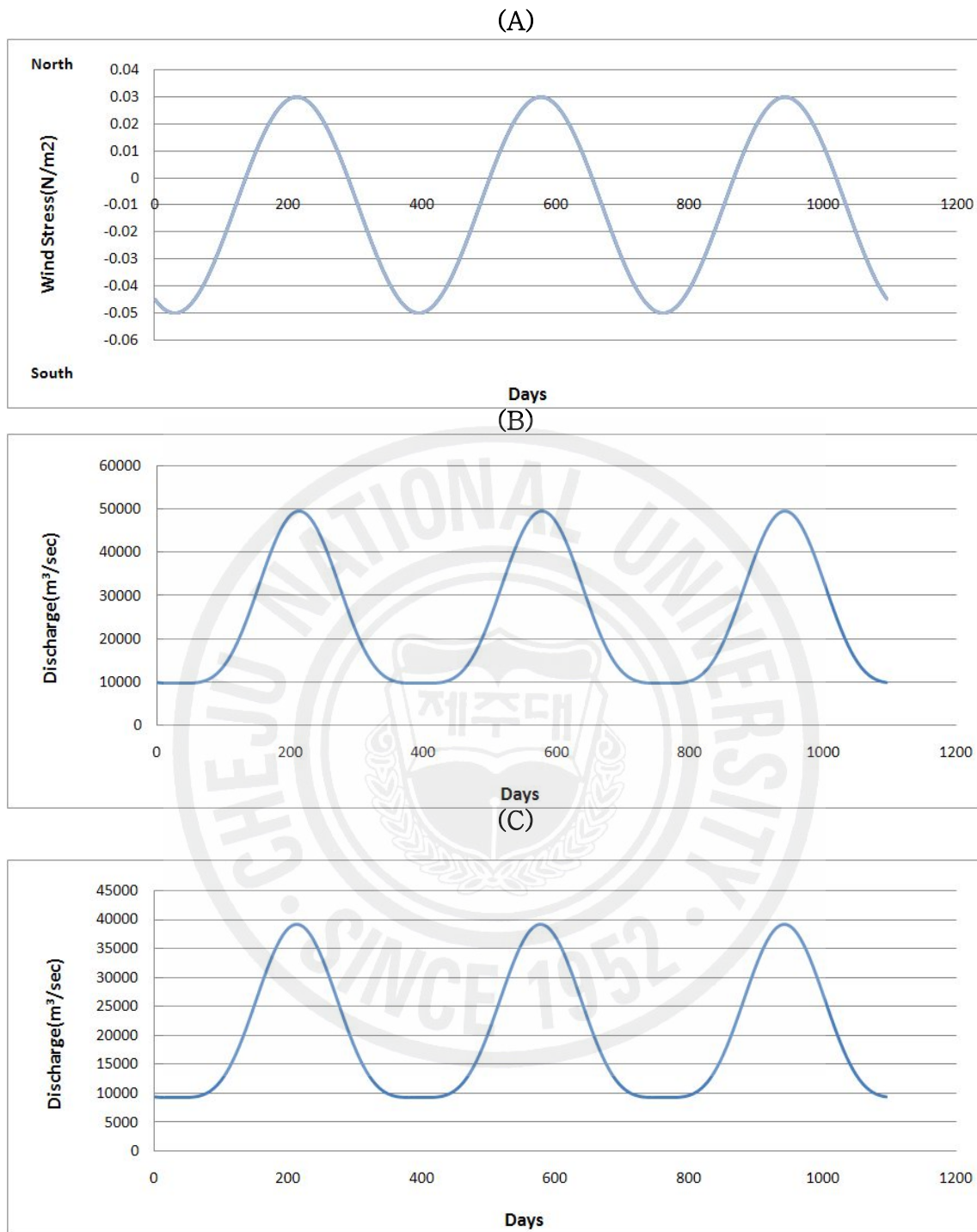


Fig. 14. Seasonal variations of (A) wind stress, Changjiang River discharge of (B) $10000\sim 50000\text{m}^3/\text{sec}$, (C) $10000\sim 40000\text{m}^3/\text{sec}$ which is used in the Three Gorge Dam experiment with the Nesting Model.

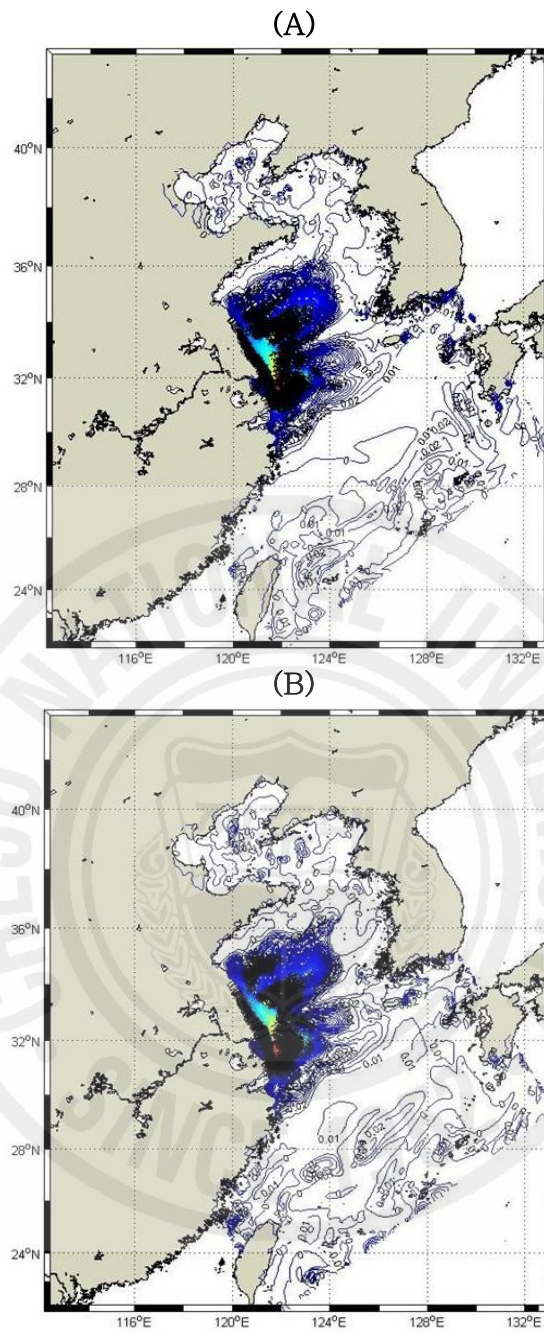


Fig. 15. Salinity anomaly from the experiment with Changjiang River discharge between 10000~50000m³/sec & 10000~40000m³/sec for (A) 1 year and (B) 5 years respectively.

V. 결론

1995-2006년 동안 양자강유출량과 우리나라 주변해역의 염분을 비교해 보면 양자강유출량은 감소하는 추세를 보이며 제주도 서쪽해역의 표층염분은 증가하는 추세를 보여 제주도 서쪽해역의 염분은 기본적으로 양자강유출수의 영향을 받고 있다. 또한 1995년부터 1999년 사이의 양자강유출량과 표층염분의 변화 위상은 반대로 나타나 양자강유출량의 영향이 나타나 있다. 그러나 이점을 제외하면 표층 염분값과 양자강유출량과의 상관관계는 매우 낮는데 이것은 양자강 유출수량만으로는 우리나라 주변해역의 염분을 설명할 수 없으며 여러 다른 요인에 의해 염분이 영향을 받는다는 것을 말해 준다. 1995-2007까지의 우리나라 주변해역의 표층염분 분포를 보면 양자강저염수가 분포하는 형태가 일정하지 않으며 해마다 다른 분포를 보인다. 다양하게 나타나는 양자강저염수의 이동방향은 크게 3 방향으로 구분할 수 있는데 그들은 제주해협을 지나 동해로 유출되는 방향, 황해로 유입되는 방향, 그리고 제주도 남쪽 해역을 지나가는 방향이다. 이 연구에서는 3 방향을 대표하는 해로 2005 - 2007년을 택하였으며 양자강유출수의 이동과 분포를 모델로 재현해 보았다.

염분을 재현하는 모델은 ROMS를 사용하여 북서태평양 광역모델을 먼저 계산한 후에 동중국해모델을 nesting하여 지역모델을 만들어 수행하였다. 북서태평양 광역모델을 사용한 결과 쿠로시오해류와 대마해류, 대만해협과 대한해협의 흐름 등이 잘 재현되었으며 모델해역이 작을 때 발생하는 경계조건의 영향을 개선할 수 있었다. 북풍과 남풍으로 단순화 시킨 계절풍을 사용하여 조석의 효과를 계산한 결과 조석은 양자강유출수의 분포에 두 가지 영향을 미친다. 첫째는 수평과 수직적으로 양자강유출수를 확산시켜 연안에서 양자강유출수의 분포범위를 수평과 수직적으로 증가시킨다. 수직 확산에 의해 양자강유출수의 수평범위는 전체적으로 줄어들며 수평 확산에 의해 조석의 영향이 큰 연안해역의 분포범위가 커지기 때문에 외해로 확장되는 분포범위가 줄어든다. 둘째는 해류의 순압효과를 강화시켜 해류가 등수심선을 따라 움직이게 하는 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 따라 양자강저염수의 분포는 양자강퇴를 향해 약간 남동쪽으로 향하는 기본적인 형태를 가진다.

관측자료가 많은 2006년의 염분을 지역모델로 재현할 때 30년 평균의 염분값으로 자료동화하는 diagnostic 방법보다는 prognostic 방법이 관측에 보다 가까운 결과를 재현하였다. 이것은 지난 30년 평균 염분값이 해마다 달라지는 최근 동중국해의 실제 염분값을 제대로 반영하지 못한 결과로 해석된다. 양자강유출량의 관측값을 사용하고 조석을 포함시킨 결과 2006년에 관측된 염분분포를 재현할 수 있었다. 2006년에는 양자강유출수가 황해북부로 이동함과 함께 남해안으로 확장되었는데 모델재현 결과 황해북부의 이동은 바람에 의한 것이고 남해로 확장된 것은 양자강유출수를 양자강퇴로 향하게 하는 조석의 효과에 의한 것으로 분석된다. 2006년과 같은 방법으로 2005년과 2007년을 재현했을 때 2005년에 대한해협으로 유출되고 2007년에 제주도 남쪽으로 확장된 형태가 잘 재현되었다. 이 결과는 양자강유출수의 이동이 바람과 조석에 의해 영향을 받고 있으며 우리나라 주변해역의 염분분포가 양자강유출수량에 의해 단순하게 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다.

2003년 물막이가 시작된 후의 양자강유출수량의 변화는 우리나라 주변해역에서 관측으로 알 수 있을 만큼 변하지는 않은 것으로 보인다. 모델 결과를 보면 양자강 입구에서의 염분변화는 약 3psu 정도까지 높아지지만 제주도 주변해역에서는 매우 작기 때문이다. 이러한 차이는 양자강 유출량의 변화 때문에 생겨난 차이이며 같은 유출량에서 모델을 5년동안 돌린 결과의 차이는 아주 미미하다. 즉, 산사댐 물막이로 인한 염분농도의 변화는 5년 이내의 시간동안에는 변화가 크지 않으며 이 때문에 이러한 변화는 실제 관측값으로 측정하기 쉽지 않다.

참고문헌

- Bang, I.-K. and H.-J. Lie, 1999. A Numerical Experiment on the Dispersion of the Changjiang River Plume. *J. Korean Soc. Oceanog.*,34,4: 185-199.
- Chang, P.-H. and Atsuhiko Isobe, 2004. Interannual Variation of Freshwater in the Yellow and East China Seas: Roles of the Changjiang Discharge and Wind Forcing.
- CHANG S. Kim., HAK SOO. LIM., JONG JOO. YOON. and PETER C. CHU., 2004. Numerical simulation of Hydrodynamics and water properties in the Yellow Sea. I. Climatological inter-annual variability.
- Heung-Jae Lie., Cheol-Ho Cho., Jae-Hak Lee., and Seok Lee., 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea.
- Kim I.-O. and H.-K. Rho, 1994. A Study on China Coastal Water appeared in the Neighbouring Seas of Cheju Island. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 27(5), 515-528.
- Lee, J.-H., H.-J. Lie and C.-H. Cho, 2003. Upper low salinity water in the Yellow Sea. *Int. Sym. for PEACE*, Seoul, Korea, 161-172.
- Limeburner R., R. C. Beardsley and J. Zhao, 1983. Water masses and circulation in the East China Sea. *Proc. Int. Sym. on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Ref. to the East China Sea*, Hangzhou, 261-291.
- Matsuno, T., M. Shimizu, A. Isobe, J. Ishijaka, I.-C. Pang, S.-H. Kim and J. Zhu, 2003. Behavior of Changjiang diluted water observed by drifting buoys with salinity sensor. *Int. Sym. for PEACE*, Seoul, KOREA, 14-16.
- Moon, J.-H., 2004. Extension of Changjiang Diluted Water(CDW) in Summer and its Cause.
- Oh, I.-S. and Park,T.-W., 2003. A Numerical study on the dispersion of the

- Yangtze River water in the Yellow and East China Seas.
- Pang, I.-C. and K.-H. Hyun, 1998. Seasonal Variation of Water Mass Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. *J. Korean Soc. Oceanog.*,33,3:41-52.
- Pang, I.-C., H.-K. Rho and H.-J. Lie, 1996. Water Mass Distribution and Seasonal Circulation Northwest of Cheju Island in 1994. *Bull. Kor. Fish. Soc.*,29,6: 862-875.
- Pang, I.-C., K.-H. Hyun and H.-K. Rho, 1999. Preliminary Study on Abnormally Low Salinity Saters around Cheju Island in Summer. *Proc. 2nd Internat. Workshop on Oceanography and Fisheries in the East China Sea. Nagasaki, 25-26 Nov. 1999.*
- Song, Y.T and Haidvogel, D.B., 1994, A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinates. *J. Comput. Phys.* 115, 228-244.
- Song, Y.T and Tao Tang., 2002. Eddy-Resolving Simulations for the Asian Marginal Seas and Kuroshio Using Nonlinear Terrain-Following Coordinate Model. *J. Korean Soc. Oceanog.*,37, 3: 160-177.
- Wang W., 1988. Yangtze Brackish Water Plume-Circulation and Diffusion. *Prog. Oceanog.* 21, 373-385.
- WILLIAM E. JOHNS., THOMAS N. LEE., DONGXIAO ZHANG., and RAINER ZANTOPP., 2001. The Kuroshio East of Taiwan: Moored Tranport Observations from the WOCE PCM-1 Array.
- Y. TONY. SONG. and TAO TANG., 2002. Eddy-Resolving Simulations for the Asian Marginal Seas and Kuroshio Using Nonlinear Terrain-Following Coordinate Model
- Zhu Jianrong, P. Ding, S. Hu. and L. Yang, 2001. Observation of the Changjiang Diluted Water, Plume Front and Upwelling off the Changjiang Mouth during August in 2000. *Proceedings of 11th PAMS/JECSS Workshop.* 79-83.

요 약

이 논문에서는 우리나라 주변해역에 분포하는 양자강저염수를 이해하려는 것이며 연구는 1995년부터 2007년까지의 KODC(한국해양자료센터) 자료를 사용하여 우리나라 주변해역의 양자강저염수의 분포를 분석하고 ROMS 모델을 사용하여 양자강저염수의 흐름에 대한 조석의 효과를 알아보고 양자강저염수의 분포를 재현하는 것으로 수행되었다. 그리고 장기간에 나타날 수 있는 삼협댐의 효과를 계산해 보았다.

1995-2007년 동안 양자강유출량은 감소한데 비해 제주도 서쪽해역의 표층염분은 증가하였다. 그러나 양자강저염수의 분포는 우리나라 주변해역에서 매우 다양하게 나타났다. 이것은 양자강유출수가 우리나라 주변해역으로 이동하는 과정이 단순하지 않다는 것을 말해준다. 염분분포를 보면 양자강유출수의 이동방향은 크게 3 방향으로 나눌 수 있는데 주로 제주해협을 지나 동해로 유출되는 방향(2005년), 주로 황해로 유입되는 방향 (2006년), 그리고 주로 제주도 남쪽 해역을 지나가는 방향(2007년)이다. 이 3 방향을 대표하여 2005-2007년의 양자강유출수의 이동과 분포를 모델로 재현하였다.

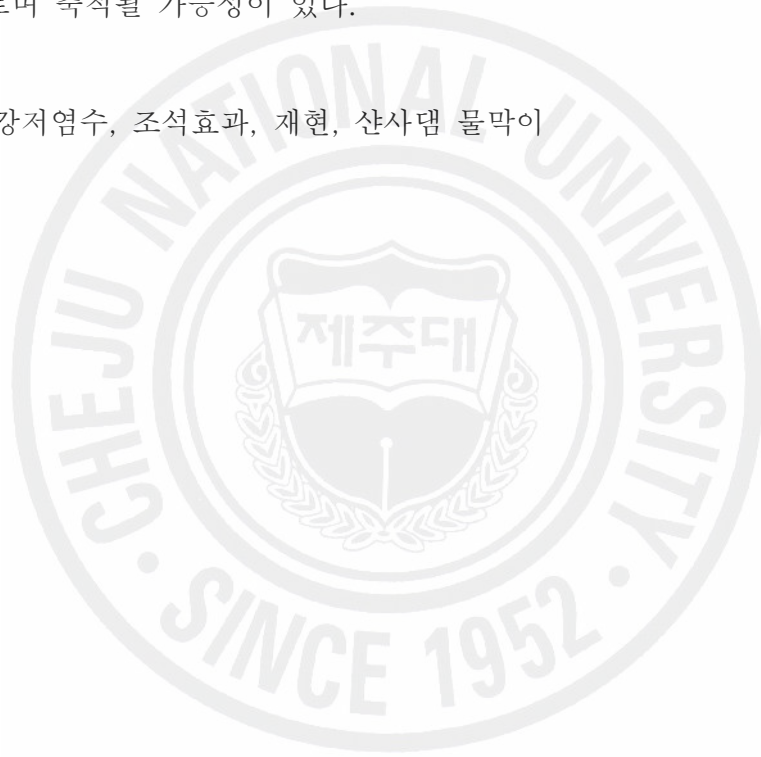
조석의 효과를 계산한 결과 조석은 양자강유출수의 분포에 두 가지 영향을 미친다. 첫째는 수평과 수직적으로 양자강유출수를 확산시켜 양자강유출수의 분포범위를 수평과 수직적으로 증가시키는 것이다. 수평 확산은 연안에서 발생하며 수직 확산에 의해 양자강유출수의 수평범위는 전체적으로 줄어든다. 둘째는 해류의 순압성분을 강화시켜 해류가 등수심선을 따라 움직이게 하는 것이다. 이에 따라 양자강저염수의 분포는 양자강퇴를 향해 약간 남동쪽으로 향하는 기본적인 형태를 가진다.

수온과 염분, 일평균바람, 양자강유출량, 조석을 포함시킨 결과 2005-2007년의 염분분포가 잘 재현되었다. 2005년에는 보통의 경우와 같이 양자강저염수가 대한해협을 향해 이동하였다. 2006년에는 양자강유출수가 황해북부로 이동함과 함께 남해안으로 확장되었는데 모델재현 결과 황해북부로의 이동은 바람에 의한 것이고 남해

로 확장된 것은 양자강유출수를 양자강퇴로 향하게 하는 조석의 효과인 것으로 나타났다. 2007년에도 바람에 의해 양자강저염수는 제주도 남쪽으로 확장되었다. 이 결과는 양자강저염수에 대한 해류, 바람, 조석, 양자강유출량의 영향을 잘 보여주었다.

2003년 물막이가 시작된 후의 양자강유출수량의 변화는 우리나라 주변해역에서 관측으로 알 수 있을 만큼 변하지는 않은 것으로 보인다. 모델 결과를 보면 양자강 유출량의 감소에 의한 단기간의 염분 증가는 양자강 입구에서는 약 3psu 정도까지 높아지며 제주도 주변해역에서는 매우 작게 증가한다. 그러나 이러한 염분 증가는 긴 시간이 흐르며 축적될 가능성이 있다.

주요어 : 양자강저염수, 조석효과, 재현, 산사댐 물막이



감사의 글

그 동안의 짧은 기간 동안 이 논문을 마칠 수 있도록 지속적이고 열정적으로 관심을 가져주시고 가르쳐주신 방익찬 교수님께 먼저 진심으로 감사드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 저의 부족한 구두발표 및 논문에 대해 성심성의껏 심사해주시고 조언해 주신 윤정수 교수님과 이준백 교수님, 그리고 끝까지 관심을 가져주신 고유봉 교수님, 최영찬 교수님, 윤석훈 교수님께도 감사의 말씀 올립니다.

저를 도와주신 선배님들 중에서는 멀리 일본에 계시고 일하시느라 바쁘신 와중에도 항상 제가 질문하는 것에 대해 잘 대답해주시고 도와주신 재홍이 형한테 가장 먼저 감사의 말을 전하고 싶습니다. 또한, 제가 학부생 이었을 때부터 해양연구원에서 공부할 때 항상 옆에서 챙겨주고 웃으면서 도와주신 경희누나와 차근차근 설명을 잘해주시면서 도와주신 창수 형, 그리고 연구실에서 힘을 북돋아주신 회종이 형한테도 감사드리고 싶습니다. 제 동기 친구들 중에서는 항상 일이 많아 힘들어하면서도 저를 항상 챙겨주고 저와 관련된 행정 업무를 항상 잘 처리해주며 옆에서 힘이 되어준 태정이, 그리고 뒤늦게 연구실에 들어와 학과 공부하면서 연구도 같이 하느라 고생이 많지만 항상 저를 챙겨주고 도와준 준호한테도 감사하다고 전하고 싶습니다. 후배님들 중에서는 연구실에 혼자서 많은 고생을 하고서 뒤늦게 연구를 시작한 저를 옆에서 하나씩 차근차근 불만 없이 도와준 지미, 언제나 밝게 웃어주는 혜영이, 논문 쓰느라 같이 고생한 수형이에게 고마움을 전합니다.

지난 2년동안 서울에서 저와 같이 동고동락했던 많은 형, 누나, 친구들, 그리고 동생들이 제가 논문 준비를 하느라 제주도로 내려와 공부하는 동안 몸이 멀리 떨어져 있음에도 불구하고 마음으로 항상 같이 해준 것에 진심으로 고마움을 표합니다.

마지막으로 학교에서 끝까지 챙겨주시는 아버지, 밤마다 과일을 항상 챙겨주시면서 뒷바라지 해주시는 어머니, 그리고 멀리 미국에서 고생하면서도 관심을 가져주는 하나뿐인 소중한 동생, 서울에서 항상 관심을 가져주시고 챙겨주시는 친척 분들, 그리고 지금은 하늘나라에서 지켜봐주시고 응원해주시는 할머니, 할아버지께 이 작은 결실을 바치고 싶습니다.