

BSPE 00510-859-1

동한난류의 월별 변동에 관한 연구

A Study on the monthly variation of the East Korean Warm Current

1995. 11

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “동한난류의 월별 변동에 관한 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

1995년 11월 10일

한국해양연구소 해양물리연구부

연구책임자 : 김 철 수

요 약 문

I 제 목

동한난류의 월별 변동에 관한 연구

II 연구개발의 중요성 및 목적

동해는 남쪽의 난류와 북쪽의 한류가 교차하여 복잡한 해황을 보이고 있는 북서태평양의 연해로서 한반도 자연환경 및 기상에 많은 영향을 주고 있다. 특히 쿠로시오에서 대한해협을 통해 동해로 유입되는 쓰시마 난류와 동한난류는 동해의 해황변동에 중요한 역할을 하고 있으며 동해 전체의 해황, 역학구조, 순환양상 등을 결정하는 요인이 되고 있다.

이 중에서 특히 한반도 동해안을 따라 흐르는 동한난류의 구조 및 월별 변동성을 파악하는 것은 이 해역의 해양물리학적 연구 뿐만이 아니고 모든 해양학 분야에서 기초자료로 활용할 수 있다.

III 연구개발의 내용 및 범위

1. 현장관측에 의한 해류자료수집 - CTD, ADCP
2. 수집된 해류자료의 처리 및 분석
3. 동한난류의 월별 변동성 분석

IV 연구개발에 대한 건의

본 조사해역에 대한 세밀한 월별 해류구조의 파악 및 조사연구가 필요하며, 종합적 분석이 요망됨.

SUMMARY

I Title

A Study on the monthly variation of the East Korean Warm Current

II Objectives and significance of the study

East Sea affects the meteorological and environmental aspects of the Korean Peninsula. Especially, Tsushima Warm Current, East Korean Warm Current and East Korean Cold Current have major roles on the oceanographic variation of the East sea. Wintertime coastal current in the southwestern part of the East Sea was analyzed by the field observation using ADCP. Also the purpose of this study is making some contributions to the various research for ocean characteristic survey in the study area.

III Contents

1. Field observation of ocean characteristics and current data by CTD, ADCP
2. Analysis of observation data
3. Qualitative analysis for the monthly variation of the East Korean Warm Current

IV Suggestion

To analyze the coastal current as a whole, it is required to observe and study for the detailed coastal current pattern in study area.

목 차

요약문(국문)	(iii)
요약문(영문)	(v)
그림목차	(xi)
제 1 장 서론	1
제 2 장 자료 및 방법	5
제 3 장 토의	9
제 1 절 일별 관측	9
제 2 절 종합 고찰	31
제 4 장 결론	39
참고문헌	43

CONTENTS

Summary(Korean)	(iii)
Summary(English)	(v)
List of Figures	(xi)
Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Data & Method	5
Chapter 3. Discussion	9
Section 1. Monthly observation results	9
Section 2. Analysis	31
Chapter 4. Conclusion	39
References	43

그림 목 차

그림 1.1.	동해의 해저지형도	2
그림 2.1	조사해역 및 관측정점 위치도	6
그림 3.1.1	1992년 3월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	10
그림 3.1.2	1992년 5월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	12
그림 3.1.3	1992년 6월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	14
그림 3.1.4	1992년 8월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	16
그림 3.1.5	1992년 10월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	18
그림 3.1.6	1992년 12월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	19
그림 3.1.7	1993년 1월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	21
그림 3.1.8	1993년 2월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	23
그림 3.1.9	1993년 4월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	24

그림 3.1.10	1993년 7월에 관측된 유속의 수평분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	26
그림 3.1.11	1993년 9월에 관측된 유속의 수평분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	28
그림 3.1.12	1993년 11월에 관측된 유속의 수평분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	30
그림 3.2.1	평균해류의 유속의 수평분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	32
그림 3.2.2	평균해류의 표준편차 분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	34
그림 3.2.3	최대유속의 수평분포	
	(a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m	37

제 1 장 서론

東海는 北西太平洋의 緣海(marginal sea)로서 한국, 러시아(구 소련) 그리고 일본 등의 국가로 둘러 싸여 있다. 동해는 남쪽의 大韓海峽을 통하여 동중국해 및 황해와 연결되어 있고, 동쪽으로는 쓰가루해협을 통하여 태평양과 연결되며, 북쪽으로는 소야, 타타르해협을 통하여 오츠크해와 연결되어 있다. 동해의 전체면적은 약 100만 km²이고 평균수심은 약 1,361 m이다(그림 1.1). 또한 동해는 대략적으로 타원형의 모습을 보이고 있으며 長軸의 방향은 남서에서 북동방향을 나타내고 있다. 동해는 한반도의 기상과 일반 자연환경에 많은 영향을 주고 있으며 대한해협을 통해 유입되는 쿠로시오의 지류인 대마난류, 東韓暖流 및 북한해안을 따라 흐르는 北韓寒流가 동해의 海況變動에 중요한 요인으로 작용하고 있다.

東海 南西海域은 대한해협 西水道를 거쳐 북위 38° 부근과 울릉도 주위에 이르는 해역을 지칭한다. 이해역의 해황은 연안수와 외해수의 분포에 따라 크게 좌우되고 있다. 대한해협 서수도 북단에서 포항에 이르는 해역은 수심이 완만하게 깊어지나 포항 외해역과 북부해역에서는 동서로 발달된 대륙사면으로 인하여 수심이 남북방향으로 급격히 변하여 2,000 m 이상이 된다. 대한해협은 황해, 동중국해 및 남해의 여러 해수가 혼합되어 동해로 유입되는 통로이며 4 개(황해 냉수, 한국연안 및 중국대륙 연안수, 대마난류수, 장강의 담수 등) 이상의 주요 水塊가 존재하는 것으로 알려져 있으며 시·공간적으로 복잡한 변동을 보이고 있다(Lie 1984; Byun and Chang 1988). 이러한 다양한 수괴가 대한해협을 통과하여 동해로 유입되어 수괴 상호간에 혼합이 일어나며 海洋前線이 형성되어 해류의 형태에도 상당한 변화를 가져오고 있다. 특히 동해 중부해역인 북위 39° 부근은 난류와 한류가 교차하여 極前線이 형성되고 이 극전선 주위에 많은 소용돌이(eddy)가 존재하고 있다.

동해 남서해역은 몬순기후의 영향으로 해수의 물리특성인 수온과 염분이 계절에 따라 심하게 바뀐다. 해면수온은 여름에 최고 27℃까지 상승하나 동계에는 11℃까지 하강하여 15℃ 이상의 연교차를 보인다. 일반적으로 여름철에는 집중된 강수로 표층

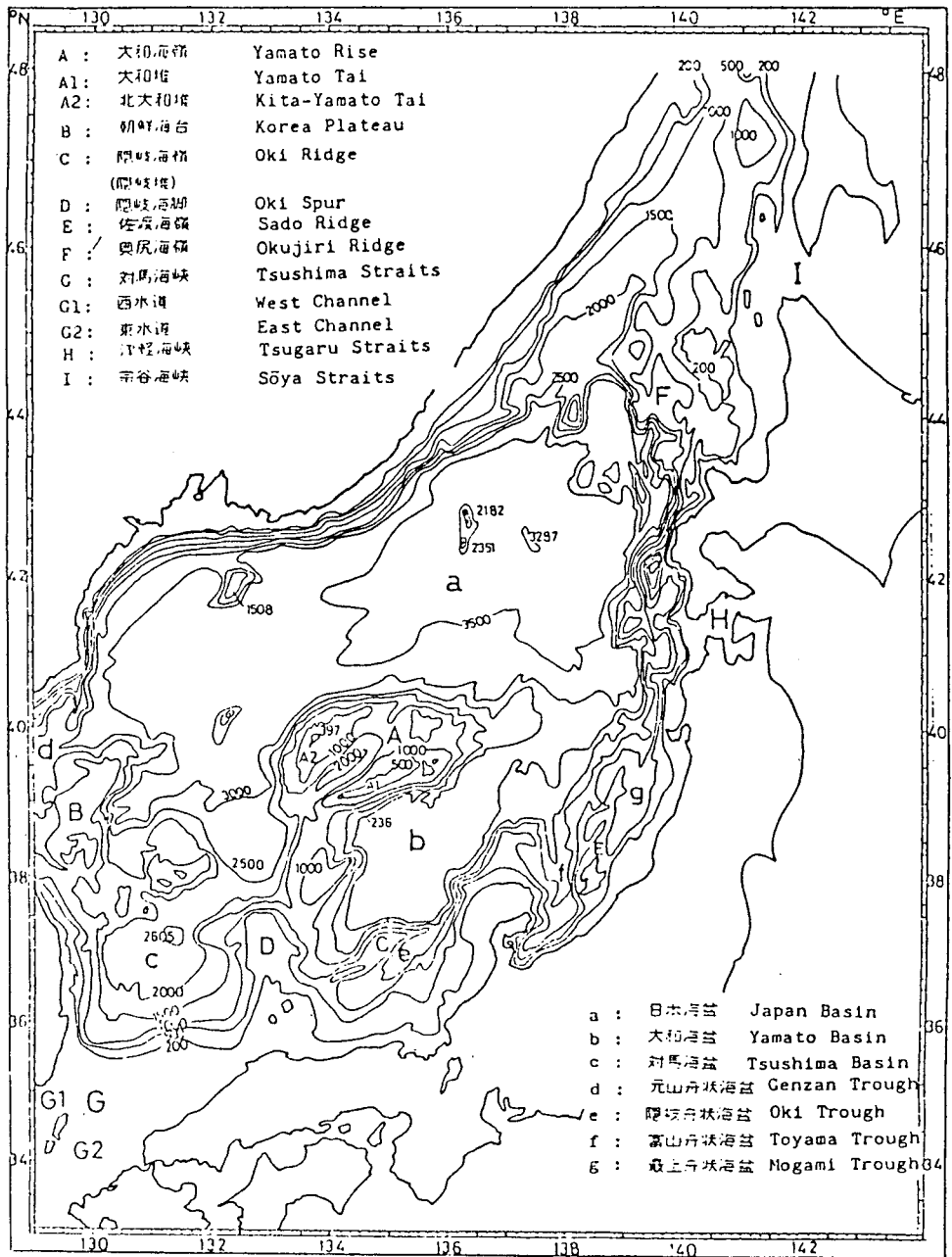


그림 1.1. 동해의 해저지형도

염분이 최소가 되나(32.0 psu), 갈수기인 겨울철에는 최대가 된다(34.5 psu). 또한 수온과 염분은 수심에 따라 변화하는 데 여름철에는 강한 태양복사열 때문에 표층수온이 가장 높고 저층으로 갈수록 낮아진다. 따라서 해수의 밀도가 수심에 따라 증가하는 成層構造를 갖는다. 반면에 겨울철에는 한랭한 북서계절풍으로 표층해수가 열을 빼앗겨 온도가 하강하고 세찬 바람이 물을 뒤섞는 역할을 하여 상층과 하층의 온도차가 작게 되는 수직적으로 균질한 혼합층구조를 갖는다.

동해 남서해역에는 크게 두 가지의 해류가 있다. 즉, 동중국해에서 형성되어 대한해협을 통하여 동해로 유입하는 對馬暖流와 겨울-초봄에 동해북부에서 형성되어 주로 동해연안을 따라 남하하는 北韓寒流가 이에 해당된다. 이 두 해류는 형성된 해역이 서로 달라 해류들이 수반하는 해수의 물리특성이 매우 다르다. 대마난류는 고온·고염의 해수를, 북한난류는 저온·저염이면서 산소가 많이 용해된 해수를 수송한다. 대마난류가 대한해협 서수도를 통과한 후에는 일반적으로 東韓暖流라 부르며 이 해류는 동해안을 따라 북상하다가 묵호-주문진해역에서 울릉도쪽으로 방향을 바꾼다. 가을과 겨울 사이에 때로는 원산만까지 동한난류가 북상하기도 한다. 동해 남서해역에서 북한난류의 세력은 동한난류에 비해 매우 약하나 중층과 저층에 미치는 영향이 결코 작지 않다. 일례로 한여름에 대한해협 해저골에 10℃ 이하의 냉수가 빈번히 나타나는 데 이는 북한난류에 의해 남으로 수송된 해수가 주위의 해수와 혼합되어 나타나는 것으로 밝혀지고 있다. 봄과 여름에 울산-감포 연안해역에서는 표층수온이 외해수보다 낮은 湧昇현상이 빈번히 발생하고 용승이 일어나는 가장자리에는 水溫前線이 형성되고 전선을 따라 대단히 강한 해류가 발생한다.

인공위성에서 관측한 표층 수온자료에 의하면 동해 남서해역은 많은 수의 난수성 또는 냉수성 소용돌이가 존재하고 있으며 주로 39° N 부근에 형성되는 극전선 주위와 울릉도 남쪽 해역에서 이러한 소용돌이의 존재를 확인할 수 있다. 소용돌이는 해류의 해석 및 분석을 어렵게 만드는 동시에 해양기상, 수산자원 및 해양방위 등의 여러 분야에 많은 영향을 미치므로 동해 남서해역의 해류의 구조를 파악하기 위해서는 이러한 소용돌이에 대한 고려도 필수적이다.

동해 남서해역에서 밀물(창조류)은 서쪽으로, 썰물(낙조류)은 동쪽으로 흐른다. 일반적으로 동해의 潮差는 매우 적어 0.3 m 내외에 불과하고 하루 한번 高潮와 低潮가 일어나는 때가 많으며 남해로 가면서 조차는 점차 커져 부산에서 1.2 m에 달하고 규칙적으로 고조와 저조가 하루 2회씩 나타난다. 부산근해에서는 고조후 2-4 시경 북동쪽으로 썰물이 최대 약 50 - 100 cm/s로 흐르고 저조경에 방향이 바뀌어 저조후 2-4 시경에 남서쪽으로 밀물이 최대 50 - 75 cm/s로 흐른다. 따라서 실제의 유속은 해류와 조류가 합해지므로 고조 후 3 시 전후에 북동류가 표층에서 약 150 cm/s에 달하기도 한다. 반대로 저조 후 약 3 시 전후에는 매우 느린 남서류가 흐른다. 조석의 중심이 대한해협 북쪽에 위치하기 때문에 만조가 되는 시간은 북쪽에서 남쪽보다 빠르게 나타난다. 이번의 연구에서는 조사해역을 포함 북쪽의 해역을 대상으로 하였기 때문에 조류에 의한 영향은 별로 크지 않을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 동한난류의 월별 변동과 해류 구조를 파악하기 위하여 1992년과 1993년에 동해 남서해역에서 실시한 현장조사 자료를 분석하고 토의하였다. 이 연구 결과의 적용분야는 해수교환의 과정, 물질의 확산과 이동, 소용돌이의 구조와 변동성 그리고 퇴적물 분포 등의 연구에 널리 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

제 2 장 자료 및 방법

1992년과 1993년에 CTD(Conductivity Temperature Depth)에 의한 수온, 염분 관측과 超音波式 流速計(ADCP: Acoustic Doppler Current Profilers, RD-SC0150)를 이용하여 유속관측이 실시되었다. 그림 2.1은 5 개 정선 70 개 정점의 관측위치를 보여주고 있다. ADCP 유속계는 초음파를 이용하여 정점에서 각 층별 유속을 동시에 원격 관측하는 유속계이며, 이 장비는 종래의 로타식 유속계와는 달리 150 kHz의 음원을 電氣·音響 變換機(electro-acoustic transducer)를 통해 수중으로 발사하면 수중의 미생물이나 미립자의 이동에 의한 周波數 變移(frequency shift)가 생기게 되며, 이것을 이용하여 해류의 유속을 간접적으로 추정할 수 있다. 이러한 원리를 전 수심에 걸쳐 적용하면 표층에서 저층까지 동시에 해류를 관측할 수 있으며 해류의 각 층별 자료 뿐만 아니라 수직구조 파악과 공간적인 분포 형태를 나타낼 수 있다. 관측기기는 氣泡(bubbles)가 거의 없는 수심 약 10 m 층에 투하하고 1 초 간격으로 音源을 수중으로 발사시켜 30 초동안 유속자료를 평균하여 1 개의 수직 해류자료(ensemble)를 얻고, 10 분동안 관측을 실시하여 각 정점에서 약 20 개 이상의 자료를 얻었다.

조사 해역의 수심이 연안 가까이의 천해에서부터 2,000 m 이상이기 때문에 유속 관측은 150 kHz 음원이 도달할 수 있는 350 m 이내의 수심과 음원이 미치지 못하는 그 이상의 수심으로 구분하여 2가지 방법으로 자료를 수집하였다. 350 m 이하의 수심에서는 조사선의 항해속도 만큼 해저가 이동된 것으로 가정한, Bottom Tracking 방법으로 측정하고 350 m 이상의 수심에서는 원칙적으로 항해장치(navigation system)로부터 선속을 구하여 절대유속으로 환산하는 방법을 이용하여야 하나, 실제로는 정점에서 조사선을 정지시켜 관측하였기 때문에 관측시 항해 위치장치(Loran-C)에 나타난 위치가 계기 오차범위로 측정되어 조사선의 표류속도를 계산하여 이용하기에는 거의 불가능 하였다. 이로 인하여 船速과 海流가 합쳐진 상대유속을 관측하고 절대유속을 구하기 위해서 대양에서의 地衡流 계산에 이용하는 無流面(해류의 유속이 0인 수심) 개념을 도입하여 수심 250 m에서 300 m까지의 해류를 평균하여 간접적인 방법으로 선박의 표류속도를 구한 후, 절대유속으로 환산하였다. 자료의 정확도를 높이기 위해

STATION MAP

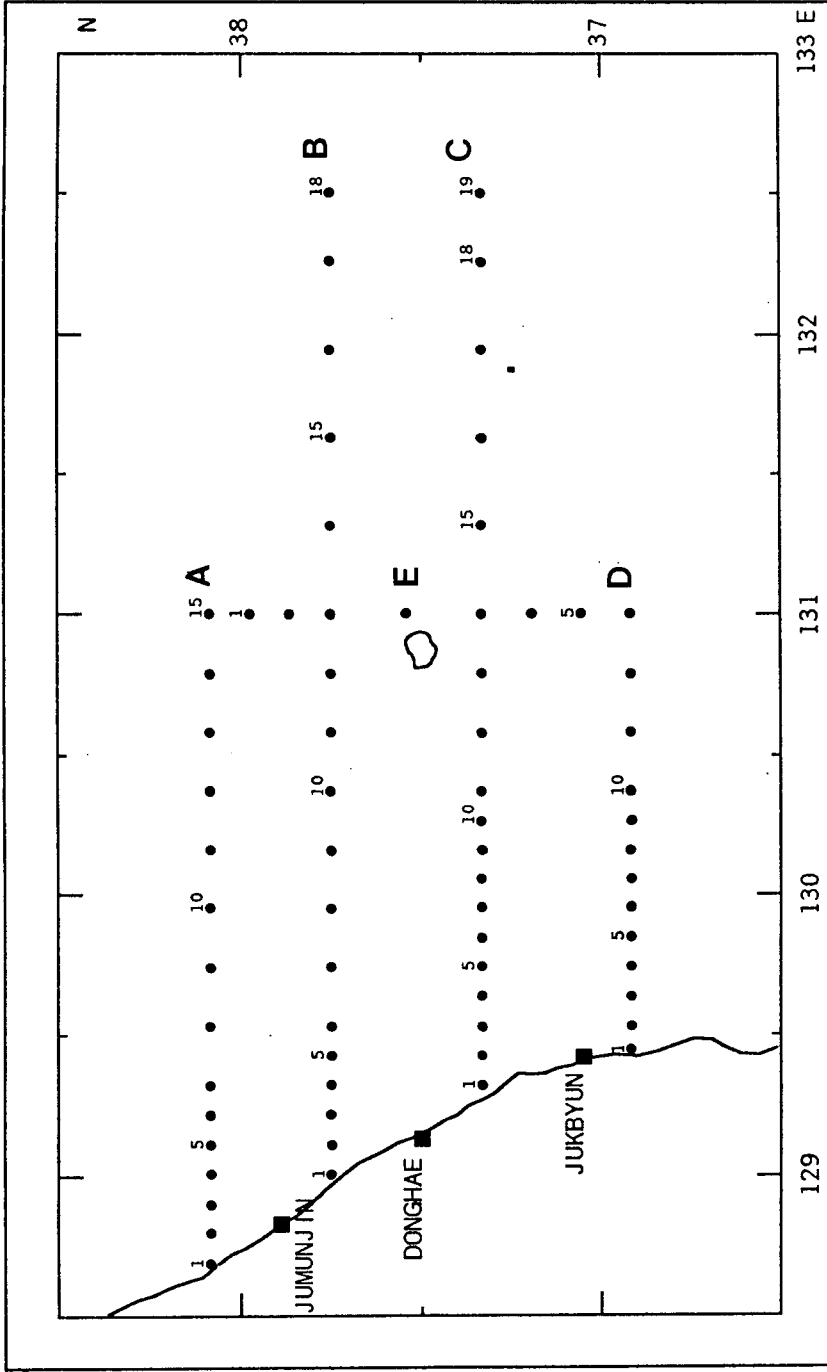


그림 2.1 조사해역 및 관측정점 위치도

해저 부근에서 관측된 자료는 해저의 반사음에 의한 영향으로 자료의 질이 저하되어 해저에서부터 약 20-30 m 부근의 자료는 제외시켰다.

관측 자료의 수직구조는 ADCP를 10 m 수심에 투하한 후 8 m 간격으로 Bottom Tracking 방법이 가능한 천해역에서는 거의 해저까지, 그 이상의 심해역에서는 약 350 m까지의 자료가 수집되었다. 자료 처리는 앞에서 설명한 바와 같이 10 분 동안에 20개의 자료(ensemble)를 관측한 다음 각 자료에서 신뢰도가 60% 이상인 자료만을 취합하고, 동일 수심의 자료를 移動 平均(running mean)하여 오차를 최소화하고 다시 평균값을 취하여 이 수심의 대표 유속으로 하였다.

본 연구의 조사해역은 위도가 37° N의 이남에서 38° N을 약간 상회하고, 위도는 연안에서 132° 30" E에 이르는 울릉도 및 독도를 포함하는 넓은 해역을 대상으로 하였으며, 해류의 크기와 방향에 관한 조사와 연안과 외해는 어떠한 해류 형태를 갖는지를 파악하는 것도 중요한 목표중의 하나였다.

제 3 장 토 의

제 1 절 월별관측

1. 1992년 3월 관측

1992년 3월에 A 정선부터 E 정선까지의 조사해역에서 총 70개 정점에서 ADCP에 의한 유속관측이 실시되었고, 수심 10 m, 50 m, 100 m의 유속수평분포를 그림 3.1.1에 나타내었다. 일반적으로 유속의 관측순서는 정선의 길이가 긴 C 정선부터 시작하여 B 정선 그리고 정선의 길이가 상대적으로 짧은 A 정선, E 정선, D 정선의 순으로 관측을 실시하였다. 각 정선별로 해류의 형태를 살펴보면, 주문진 북쪽의 A 정선에서 연안 가까이의 해류는 10-15 cm/s의 비교적 약한 유속을 보이며 대체적으로 북서 방향으로 흐르나 정점 A3에서 A8까지는 강한 북동류를 보이고 있다. 연안으로부터 80 km 이상 떨어진 정점 A9에서 A14까지는 강한 남서류를 보이며 180 km 이상 떨어진 외해역에서는 다시 약한 북동류가 나타났다. 정점 A5의 수심 50 m 부근에서 70 cm/s의 강한 북동류가 관측되었고 정점 A11과 A12의 표층부터 수심 100 m 층에서 50 cm/s의 남서류가 관측되었다. 수심 250 m 이상의 깊은 곳에서는 10 cm/s 이하의 약한 해류를 보였다. 주문진과 동해사이의 B 정선에서는 연안으로부터 60 km 떨어진 정점 B7까지는 비교적 강한 북서류를 보이다가 B7부터 정점 B10(연안에서 120 km 거리)까지는 남서류를 보였다. 외해역에서는 10 cm/s의 약한 북동류를 나타내었고 이 정선도 A 정선과 마찬가지로 수심 200 m보다 깊은 곳은 모든 정점에서 10 cm/s 이하의 약한 흐름을 나타내었다. 특히 정점 B15의 경우에는 전층에서 약한 해류만을 보였다. 동해와 죽변사이의 C 정선은 연안역에서는 40 cm/s의 강한 북서류를 보이고 있으나 외해로 갈수록 미약한 남향류를 보이며 울릉도 남쪽에서는 미약한 북향류를 그리고 독도를 지난 외해에서는 다시 남서류를 보였다. 이 정선은 수심 150 m 이상의 깊은 곳은 유속이 전반적으로 10 cm/s 이하로 나타났다. 죽변 남쪽의 D 정선은 해안 가까이에서 남서류를 보이나 전반적으로 연안역에서 북동류를 보이며 연안으로부터 50 km 정도 떨어진 정점 D7부터 D9까지는 남동류를 보였다. 정점 D10에서 D13사이의 동향

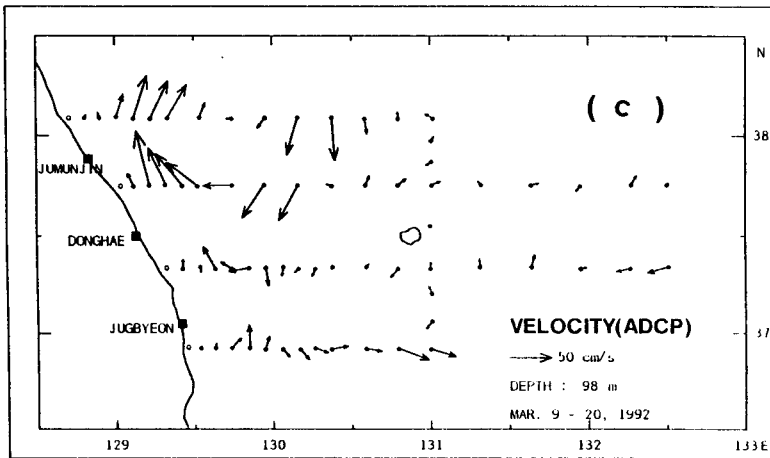
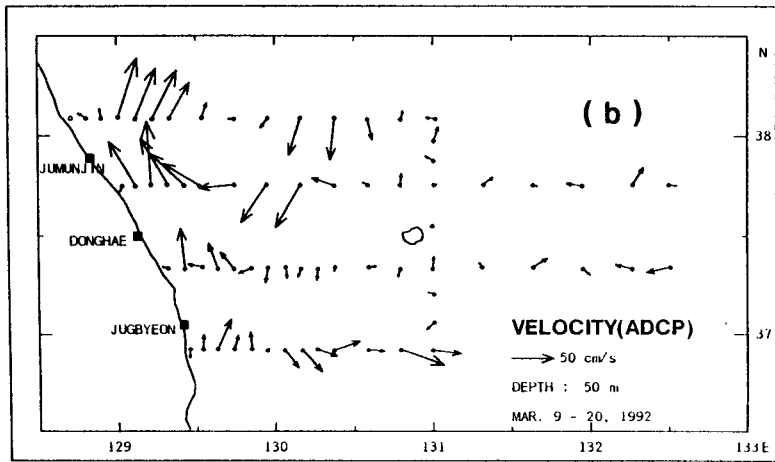
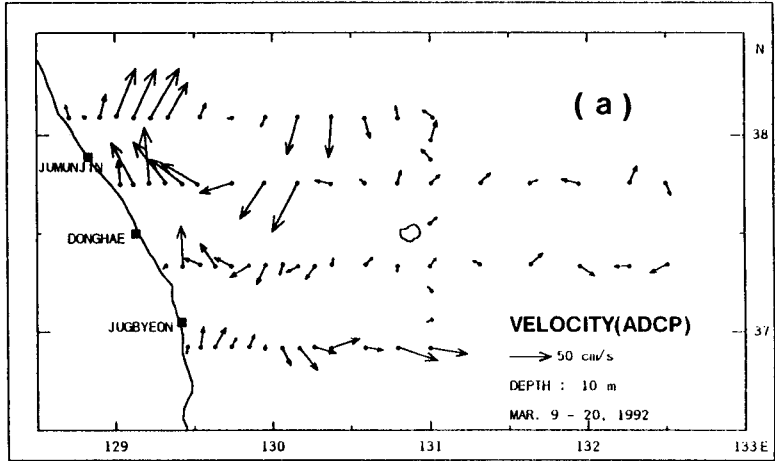


그림 3.1.1 1992년 3월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

류가 우세한 양상을 보였으며 이 정선에서도 수심 150 m 이상의 깊은 곳에서는 10 cm/s의 약한 유속만 나타났다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선의 수심 100 m 이상의 깊은 곳은 거의 유속이 없는 것으로 나타났다.

수심 10 m 층의 전체적인 수평 유속분포를 살펴보면, C와 D 정선의 연안역에서는 주로 북향류가 우세하나 B 정선에서는 북서류 그리고 A 정선에서는 북동류가 우세하였다(그림 3.1.1a). 울릉도 북서쪽 약 100 km 해역에 渦流의 중심이 존재하는 것으로 판단되며 이 와류는 시계방향의 회전을 가지는 난수성 와류로 나타났다. 또한 이 와류는 수심 200 m까지 동일한 유향을 유지하고 있음이 관측되었다. 측면 남쪽의 외해역에서는 해류의 주방향이 동향이었으며 울릉도 주변해역은 대체로 유속이 약한 경향을 나타내고 있다. 수심이 250 m보다 깊은 곳의 유속은 전해역에서 매우 약한 사실은 유속, 유향의 수평 분포에서도 보여주고 있다. 3월과 같이 5월의 관측시에도 최강유속은 표층 50 m 이내에서 나타나고 있었다.

2. 1992년 5월 관측

1992년 5월에 관측된 정선별 해류 형태를 보면 A 정선의 해안선 가까이의 10 cm/s 이하의 남동류를 제외하면 연안 부근에서는 북향류를 보이고 있다. 정점 A9와 A14사이에는 남서류의 형태를 보여주고 있으며 외해쪽에서는 북서류를 보였다. 수심 250 m 부근에서는 유속이 없었다. 주문진과 동해사이의 B 정선에서는 연안역에서 강한 북향류 또는 북서류를 나타내고 정점 B7에서 울릉도 북동쪽의 B14까지는 남동류 또는 남서류를 보인다. 외해쪽으로는 10 cm/s 정도의 북향류와 남향류가 혼합되어 나타났다. 5월 관측에서도 3월과 마찬가지로 와류에 의한 순환 양상을 보이나 이 와류의 축이 좀더 북쪽으로 이동한 형태를 보이고 있다. 이 정선에서도 수심 200 m 이상의 깊은 곳은 유속이 매우 약하여 10 cm/s 이하를 보였다. 동해와 측면 사이의 C 정선의 유속 및 유향분포는 연안역에서는 10 cm/s 이하의 약한 유속을 보이다가 연안으로부터 60 km 정도 떨어진 정점 C7부터 강한 북향류를 보이며 다시 정점 C10에서 외해로 가면서 동향류를 보였다. 울릉도 외해에서는 표층에서 북동류와 남동류가 혼합되어 나타나는데 이는 동해로 진입한 대마난류의 蛇行현상으로 판단된다(그림 3.1.2a). 측면 남쪽의 D 정선은 연안역에서 강한 북동류를 보이는데 이는 대마난류

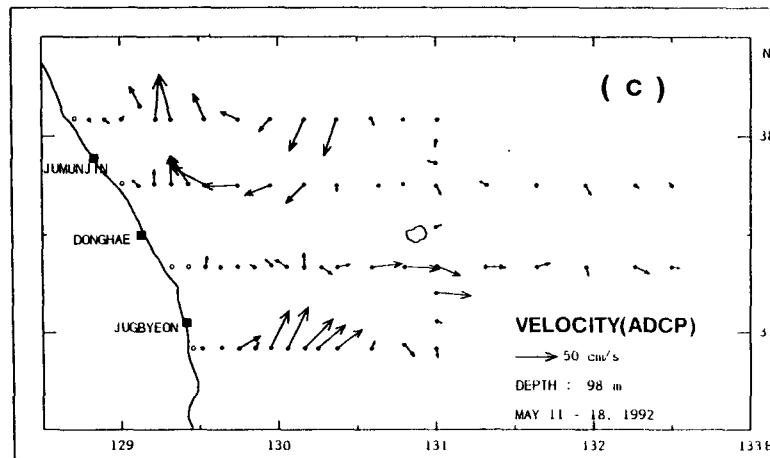
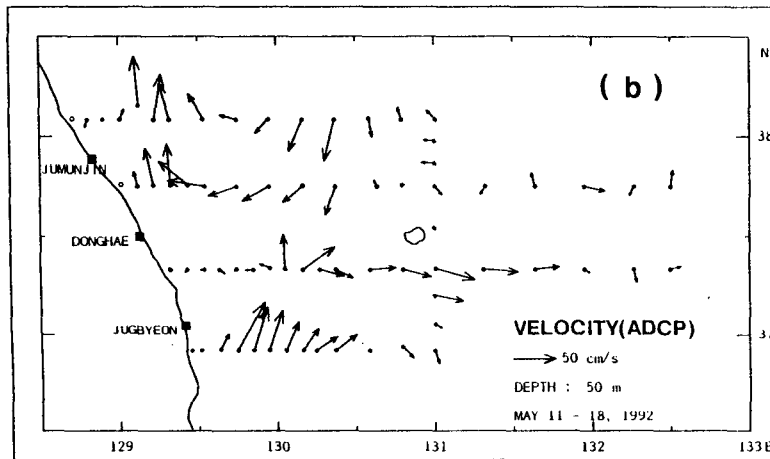
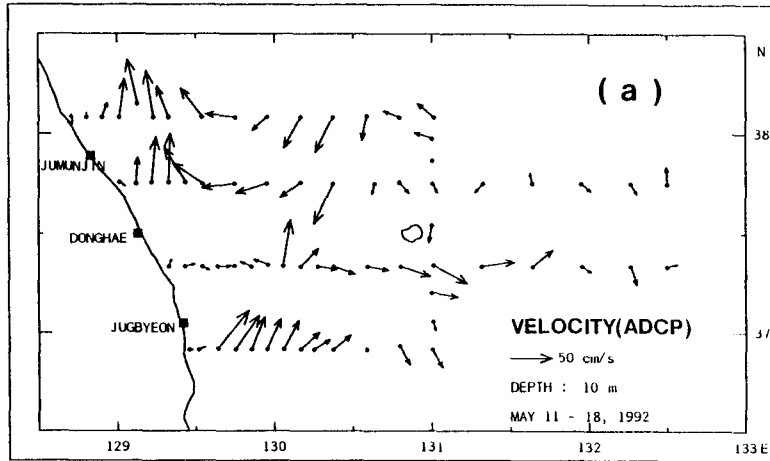


그림 3.1.2 1992년 5월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

수의 軸에 의한 것으로 판단된다. 외해로 갈수록 유향이 동쪽으로 바뀌며 유속도 감소하다가 정점 D11부터는 남동류로 유향이 바뀌면서 유속이 증가하는 양상을 보였다. E 정선은 울릉도 북쪽해역은 북서류, 그리고 남쪽해역은 대체로 남동류가 우세하였으며 울릉도 남쪽의 정점 C14 부근을 제외하면 전반적으로 미약한 유속분포를 보이고 있으며 수심 200 m 이상의 깊은 곳에서는 미약한 유속을 보였다.

3. 1992년 6월 관측

관측이 C 정선부터 실시되어 B, A, E 그리고 D 정선의 순서로 비교적 짧은 기간에 완료되었기 때문에 해류의 공간적인 해석에 도움이 될 것으로 생각된다(그림 3.1.3). 주문진 북쪽의 A 정선은 연안 가까이의 정점 A2에서 강한 남향류를 보이나 곧 정점 A4부터는 강한 북향류를 보이다가 정점 A9에서 A12까지는 남서류를 보이며 A13에서 외해쪽으로는 다시 북향류를 나타내었다. 수심 250 m 이상의 깊은 곳은 해류의 움직임이 거의 없는 미약한 유속을 보이고 있다. B 정선은 A 정선과 마찬가지로 연안 가까운 정점 B1, B2에서 남동류를 보이나 B3부터는 강한 북서류를 보이다가 외해로 갈수록 유속이 약해지고 주로 동향류가 우세하게 나타났다. 전체적으로 수심 200 m 이상의 깊은 곳은 거의 유속이 없는 것으로 나타났다. 동해와 죽변사이의 C 정선도 A, B 정선과 마찬가지로 연안 가까이에서 강한 남향류를 보이다가 정점 C4에서 C7까지 강한 북동류를 나타내며 외해로 가면서 동향류가 증가되고 울릉도를 지나면서 남향류가 되었다가 외해쪽(정점 C17에서 C19까지)은 북향류를 보였다. 이 정선은 전체적으로 수심 150 m 보다 깊은 곳은 유속이 거의 없는 것으로 나타났다. D 정선은 다른 정선들과 마찬가지로 연안 가까이에서 남향류를 보이며 정점 D5에서 강한 북동류가 나타나고 외해로 갈수록 유속이 감소하다가 울릉도 남쪽 정점 D12부터 북동류가 증가하는 양상을 보였다. 연안역을 제외하면 수심 150 m 이상의 깊은 곳은 거의 유속이 없는 것으로 나타났다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선은 북쪽에서 10 cm/s 정도의 약한 북향류와 남향류를 보이다가 울릉도 남쪽해역에서는 강한 동향류 및 북동류를 보였다. 울릉도 남쪽의 정점 E4와 E5를 제외하고는 수심 150 m 이상에서는 유속이 거의 없는 것으로 나타났다.

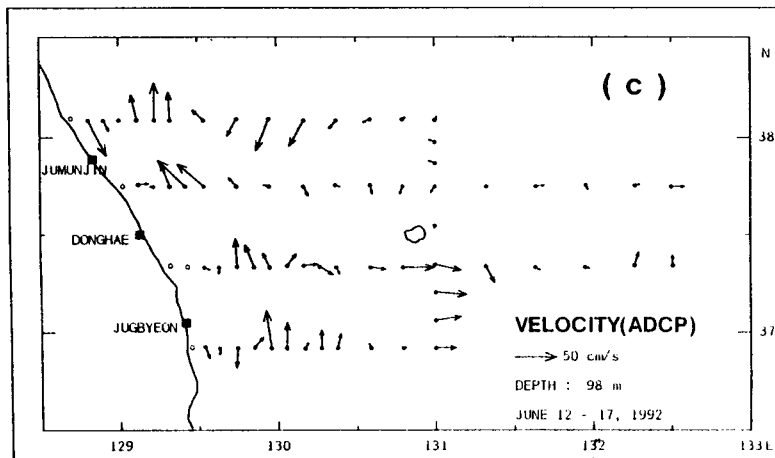
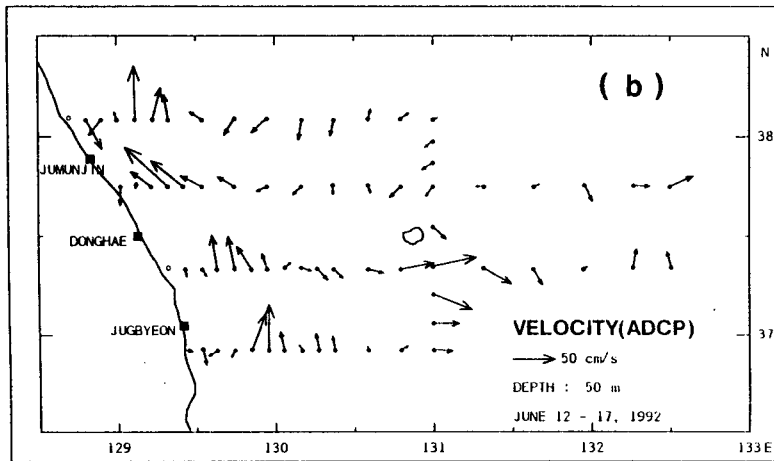
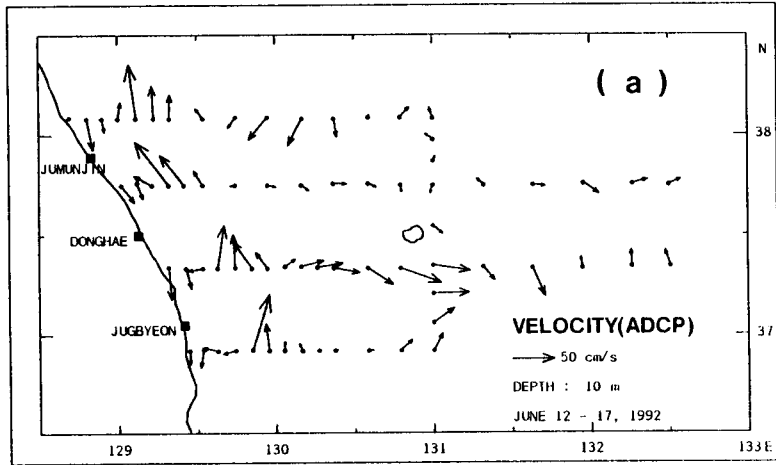


그림 3.1.3 1992년 6월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

4. 1992년 8월 관측

관측이 비교적 짧은 기간내에 수행되었으나, 정선 E는 기상악화로 인하여 원래의 위치보다 연안쪽으로 10 마일 정도 이동하여 울릉도 서측을 남북으로 가로지르는 해류관측을 실시하였다. A 정선에서 해류의 형태는 연안역에서 15 cm/s 정도의 남향류를 보이며 외해로 갈수록 동향류를 보이다가 정점 A8부터 A11까지는 북향류 또는 북동류를 나타내었다. 이는 동해로 유입된 대마난류수의 축이 연안에서 8월에는 봄철과는 다르게 100 km 정도 떨어진 것을 알 수 있다(그림 3.1.4). 수심 200 m 이상의 깊은 곳은 유속이 거의 없는 것으로 나타났다. 주문진과 동해 사이의 B 정선에서는 A 정선과 마찬가지로 연안역에서는 남동류를 나타내고 있으며 정점 B5부터는 50 cm/s 이상의 강한 북향류가 B8까지 관측되었다. 정점 B9부터는 40 cm/s 정도의 남서류가 나타나고 울릉도를 지나 외해로 갈수록 유속이 감소하며 유향도 불규칙하게 나타났다. 이 정선도 수심 200 m 이상의 깊은 곳에서는 유속이 거의 없는 것으로 나타났다. C 정선의 해류의 형태는 연안 가까이에서 북향류 그리고 정점 C2는 남향류가 나타났고 정점 C3부터 C9까지는 북향류가 주로 우세하였다. 울릉도 남쪽 정점들은 강한 남동류 또는 동향류를 보였다. 독도 바깥쪽의 외해에서는 유속이 약한 것으로 나타났다. 측면 남쪽의 D 정선에서는 연안 가까이에서 남향류를 보이며 정점 D5에서 D12까지는 북서류 또는 북향류를 보였다. 최대유속은 정점 D6의 수심 20 m에서 60 cm/s 정도로 관측되었다. 또한 수심 150 m 이상의 곳은 유속이 거의 없는 것으로 나타났다. 앞에서 설명한 바와 같이 연안쪽으로 약 10 마일 이동하여 관측을 실시한 E 정선은 북쪽에서 50 cm/s의 강한 남서류가 나타났으며 울릉도 바로 북쪽은 북동류, 남쪽은 남동류를 보였는데 이는 지형조건에 의한 것으로 판단된다. 이 정선은 동서성분의 해류가 남북성분보다 우세하게 나타났고 수심 200 m 이상되는 층에서는 거의 해류가 없는 것으로 나타났다.

5. 1992년 10월 관측

관측 기간이 비교적 긴 시간에 걸쳐 관측되었기 때문에 공간적인 해류의 해석에는 어려움이 따를 것으로 생각된다. 각 정선별로 살펴보면 A 정선은 연안역에서 30 cm/s 이상의 북향류가 우세하고 외해로 가면서 정점 A9까지 남서류가 우세하게 나타났다. 외해쪽은 유속이 감소하고 유향도 다소 복잡하게 나타나는 특징을 보였다.

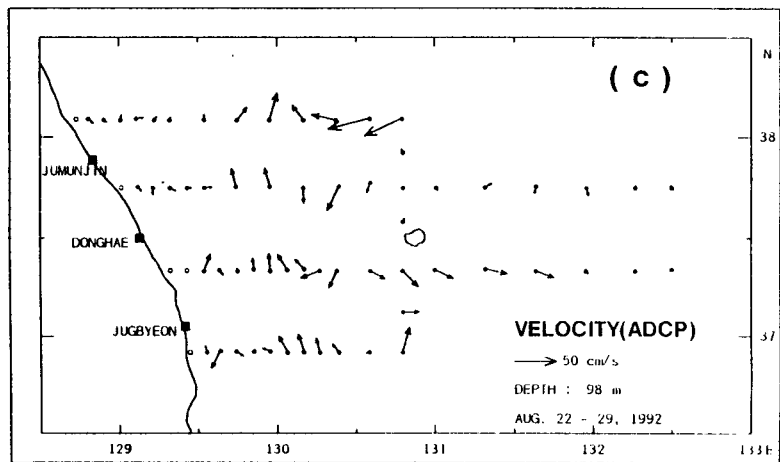
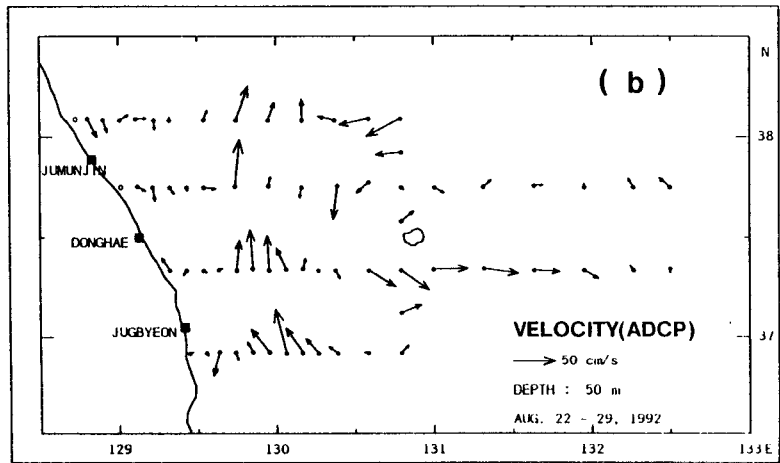
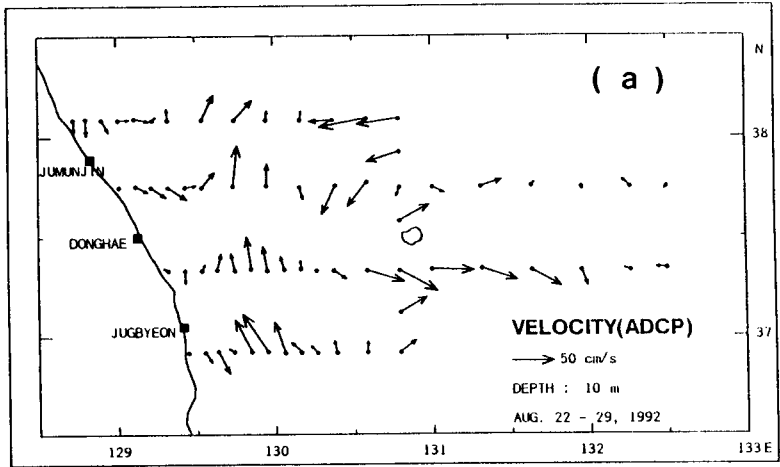


그림 3.1.4 1992년 8월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

수심 150 m 이상의 곳은 거의 흐름이 존재하지 않았다. B 정선은 연안 가까이에서 30 cm/s 이상의 북향류가 나타나고 외해로 가면서 서향류가 점차 북향류로 바뀌었다가, 다시 울릉도를 지난 외해쪽에서는 남서류의 해류형태를 보였다. 최대유속은 울릉도 북서쪽의 정점 B10에서 수심 20 m 층의 60 cm/s 로 관측되었다. 울릉도를 지난 외해역에서도 비슷한 크기의 강한 남서류가 수심 100 m 층까지 관측되었다(그림 3.1.5b). 동해와 죽변 사이의 C 정선은 연안 가까이는 해안선을 따라 평행하게 흐르는 북서류가 나타나고 울릉도쪽으로 가면서 서향류 또는 남서류를 보였다. 울릉도 남서쪽에서 강한 북향류를 보이거나 울릉도를 지나서는 유속이 전반적으로 감소하는 형태의 해류를 보였다. 최대해류는 울릉도 남서해역에서 40 cm/s 정도의 북향류가 관측되었다. D 정선은 연안역의 남향류를 제외하면 대체적으로 강한 북동류 또는 북향류를 나타냈으며 최대해류는 정점 D7에서 약 70 cm/s 정도로 나타났다. 이 정선에서도 수심 150 m 이상의 층은 유속이 약한 것으로 나타났다. 울릉도 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선은 북향류가 우세하였으나 울릉도 북쪽의 일부 정점은 남향류를 보이는데 유속은 비교적 약한 10-15 cm/s를 보였다. 수심 150 m 이상에서는 유속이 매우 약하게 나타났다. 10월 관측결과 전반적으로 연안 가까이에서 북향류가 관측되며 외해로 가면서 반류에 해당되는 남서류 또는 남향류가 나타났고 죽변 남쪽의 D 정선에서는 정점 D5에서 외해로 가면서 강한 북동류 또는 북향류가 나타났다. 이는 대마난류수의 주축이 한반도 연안보다는 외해쪽으로 D 정선을 통과하여 울릉도 서측을 지나는 것으로 판단된다(그림 3.1.5).

6. 1992년 12월 관측

각 정선별로 해류의 형태를 살펴보면, 주문진 북쪽의 A 정선은 연안 가까이 A1에서 A3 정점 사이에서는 20 cm/s 이하의 북향류를 보이거나 A3 정점부터 연안에서 60 km 떨어진 A7 정점까지는 서향류를 보이며, A8 정점의 외해쪽에서는 강한 북동류를 보인다. 이 정선에서의 최대유속은 울릉도 북쪽의 A13 정점에서 60 cm/s 이상의 북향류를 나타내고 있는데 이는 동한난류의 주축이 연안으로부터 170 km 정도 떨어진 곳을 통과하고 있음을 보여준다(그림 3.1.6). 주문진과 동해 사이의 B 정선은 연안 가까이 B1과 B2정점에서 10 cm/s 정도의 약한 북향류를 보이다가 B3부터 B6 정점까지는 남서류를 보이고 있다. 그러나 B6 정점을 지나면서 강한 북향류를 보이다가 외

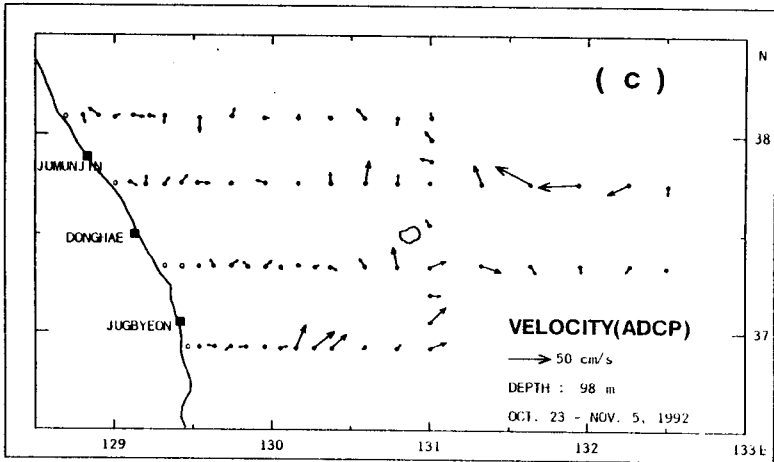
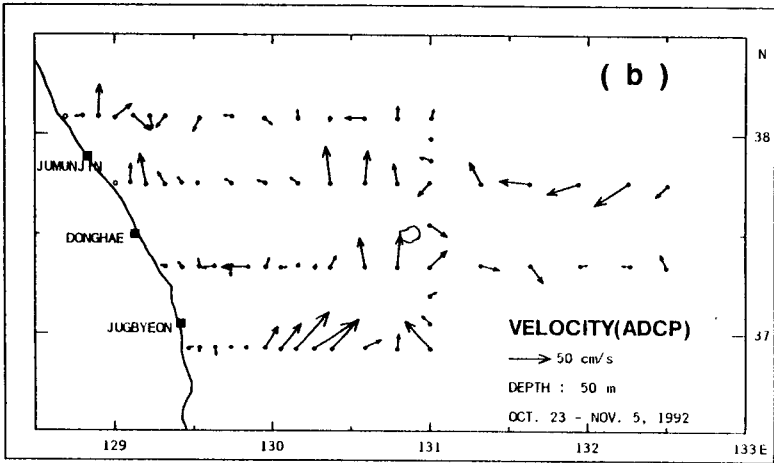
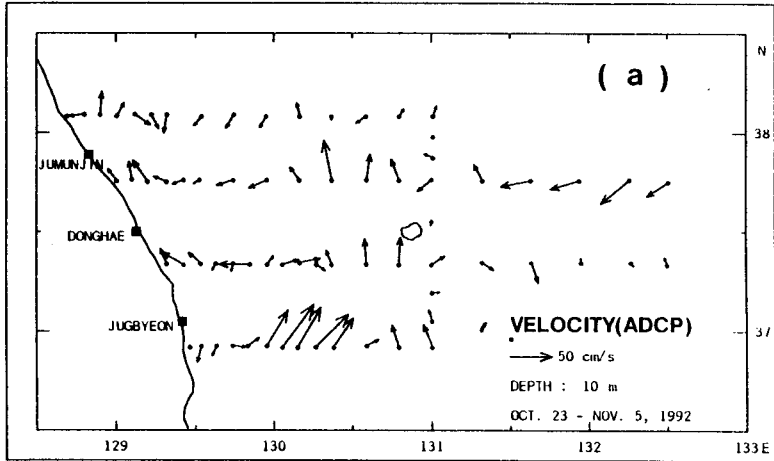


그림 3.1.5 1992년 10월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

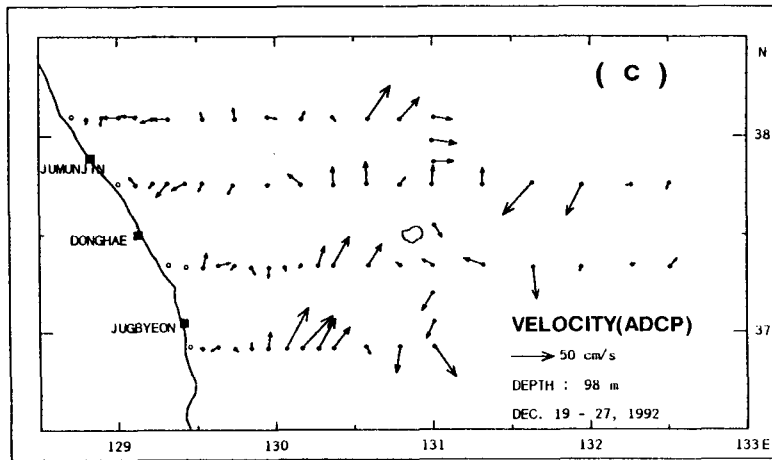
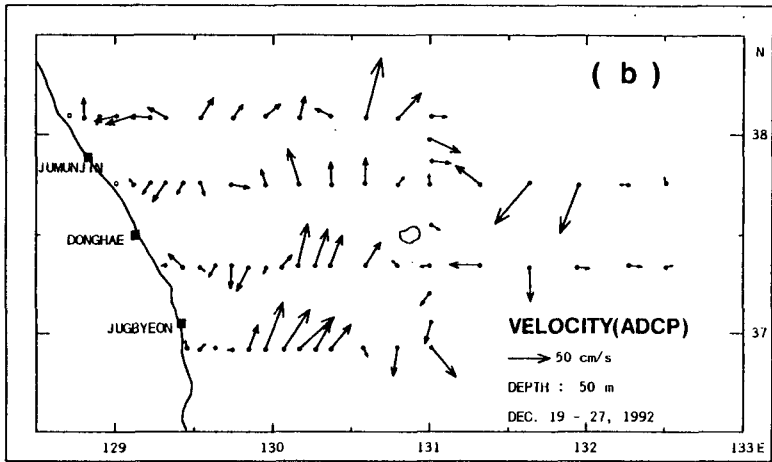
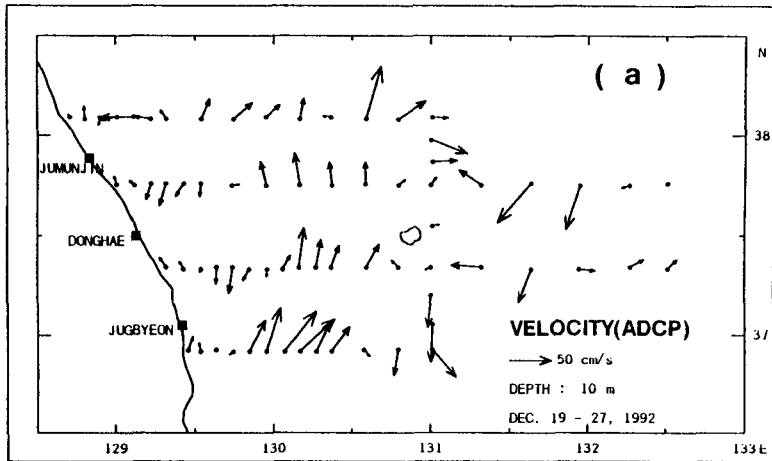


그림 3.1.6 1992년 12월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

해로 가면서 유속이 약해지고 다시 울릉도 외해쪽인 B15 정점에서 최대유속 65 cm/s 이상의 강한 남서류를 보이고 있다. 132° E의 동쪽에서는 다시 해류의 흐름이 미약해지는 복잡한 분포를 나타내고 있다. 동해와 죽변 사이의 C 정선은 연안 가까이의 두 정점에서는 약한 북서류를 보이나 C4부터 C7 정점까지는 20 cm/s 이하의 남향류를 나타내다가 C8 정점에서부터 울릉도 남쪽의 C13 정점까지는 비교적 강한 북향류를 보이는데 이는 동한난류의 축에 해당된다. 울릉도 외해쪽의 분포는 C15와 C16 정점에서 서향류와 남향류를 각각 보이고 있으며 C17 정점에서 외해쪽으로는 동향류를 보이고 있다. 죽변 남쪽의 D 정선에서는 D1에서 D4까지는 미약하나마 남향류를 보이며 D5부터 D10 정점까지는 강한 북향류 또는 북동류가 나타나고 최대유속은 D6와 D7 정점 사이의 수심 50 m 층 이내에서 65 cm/s의 비교적 강한 남동류와 남향류를 나타내고 있다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선은 울릉도 이북의 정점에서 대체로 동향류를 보이며 울릉도 주변의 E3 정점은 비교적 약한 흐름을 나타내나 울릉도 이남의 E4와 E5 정점에서는 40 cm/s 이상의 강한 남향류가 표층 50 m 이내에서 주로 관측되었다(그림 3.1.6). 모든 정선에서 수심 250 m보다 깊은 곳의 해류는 유속이 10 cm/s 이하로 나타났다.

7. 1993년 1월 관측

1월의 관측은 동해 중부해역의 기상악천후로 인하여 일부 정선과 정점에서만 관측이 실시되었다. 관측이 실시된 정선의 해류 분포를 살펴보면, 주문진과 동해 사이의 정선 B에서는 연안의 B1에서 B3 정점까지는 북한한류에 의한 영향으로 20 cm/s 내외의 남동류가 나타나고 B4 정점의 외해쪽에서는 전반적으로 서향류가 15 cm/s 정도의 크기를 보였다. 죽변 남쪽의 정선 D에서는 관측이 연안쪽에서만 실시되어 정선 전체의 분포를 분석하기에 어려움이 있으나 연안 가까이는 B 정선과 마찬가지로 남향류가 D1 정점에서 나타나고 D2 정점부터는 북향류가 나타나는데 특히 D4 정점은 50 cm/s 이상의 강한 북동류가 관측되어 동한난류에 의한 영향임을 알 수 있다(그림 3.1.7). 이 관측에서 수심 150 m 이하의 층은 유속이 10 cm/s 이하로 나타났다.

8. 1993년 2월 관측

정선별로 해류의 관측결과는, 속초와 주문진 사이의 A 정선에서는 A1, A2 두 연

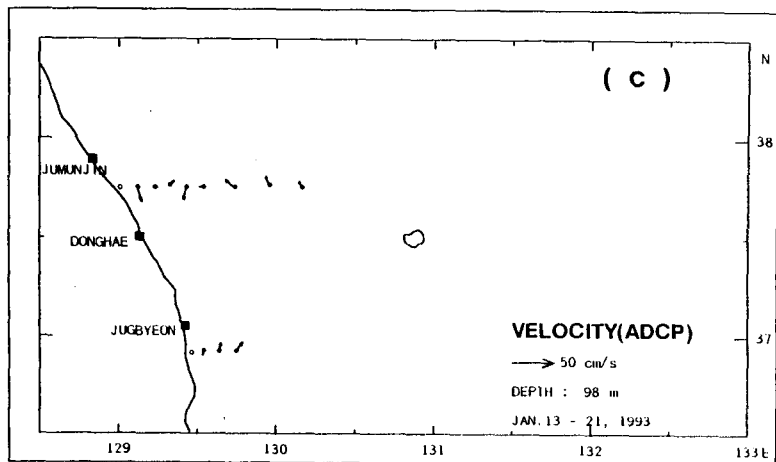
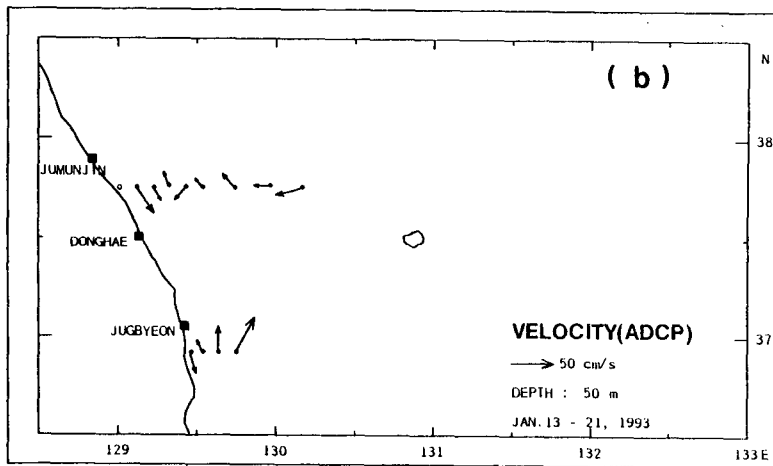
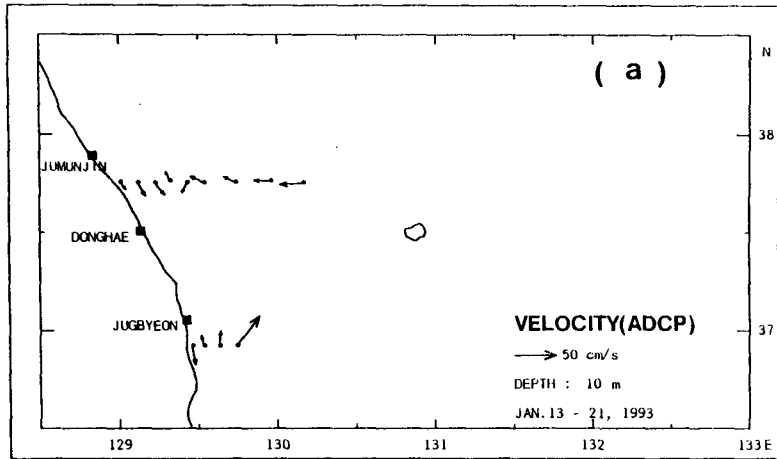


그림 3.1.7 1993년 1월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m



안 정점은 북한한류에 의한 남향류를 보이며 A3에서 A9 정점까지는 서향류가 강하게 나타나고 A10 정점에서 외해로 가면서 대체로 동향류를 보이고 있다. 최대유속은 A7 정점의 표층 50 m 이내에서 76 cm/s 정도의 강한 남서류를 보였다(그림 3.1.8). 주문진과 동해 사이의 B 정선은 B1에서 B5 사이의 연안 가까운 곳에서는 매우 불규칙하고 10 cm/s 이하의 약한 유속을 보이거나 연안에서 50 km 떨어진 B6 정점부터 울릉도 북쪽의 B12 정점까지는 북향류가 우세하였다. 울릉도 외해쪽인 B14 정점부터는 남향류가 강하게 나타나고 있다. 이 정선에서의 최대유속은 B17 정점의 수심 50 m 층에서 42 cm/s의 남동류로 나타났다. 동해와 죽변 사이의 C 정선은 연안의 C4 정점까지는 10 cm/s 이하의 약한 북향류의 흐름을 보이거나 C5 정점에서 북동류가 강하게 나타나는데 이는 동한난류의 주축과 이 지역에 자주 출현하는 난수성 소용돌이에 의한 것으로 보인다. 울릉도 남쪽의 C13 정점에서는 60 cm/s 이상의 강한 남동류가 수심 50 m 이내의 층에서 관측되었다(그림 3.1.8b). 울릉도 외해쪽인 C15 정점부터는 유향이 불규칙하고 유속은 15 cm/s 이하의 미약한 흐름이 나타난다. 죽변 남쪽의 D 정선은 연안의 D1 정점에서만 10 cm/s 정도의 남향류를 보이고 D2 정점부터 D10 정점까지 동한난류에 의한 강한 해류의 분포를 보인다. D5 정점의 수심 50 m 이내에서 최대 55 cm/s 정도의 유속이 관측되었고 이 해류는 동한난류의 축에 해당되는 것으로 보인다. D11 정점에서 외해로 가면서 C 정선과 마찬가지로 동한난류의 사행에 의한 남동류가 나타나고 최대 25 cm/s 정도의 유속을 보이고 있다. 이 D 정선은 수심 250 m까지도 10 cm/s의 흐름이 관측되었다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선의 경우에는 울릉도 북쪽의 정점에서는 주로 동향류가 우세하였으며 남쪽의 정점에서는 남향류가 우세하였다. 이는 C와 D 정선에서 나타난 것과 같은 동한난류의 사행 때문에 남쪽에서 남향류가 나타난 것으로 보인다. 수심 150 m 층 이하의 깊은 곳은 E5, D13 정점을 제외하고는 10 cm/s 이하의 약한 유속을 보이고 있다.

9. 1993년 4월 관측

해류의 관측결과는, 주문진 북쪽의 A 정선은 A10 정점을 기준으로 하여 연안쪽에서는 북향류 또는 북서류를 나타내고 있고 외해쪽은 대체로 동향류가 우세하였으나 그 흐름의 크기는 15 cm/s 내외이고 최대유속은 A4 정점의 수심 50 m 층 부근에서 20 cm/s 정도로 나타났다(그림 3.1.9). 주문진과 동해 사이의 B 정선의 경우는 B10 정

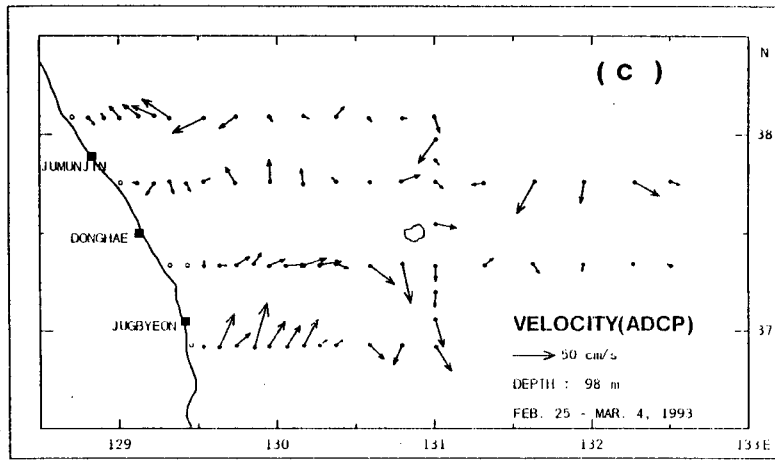
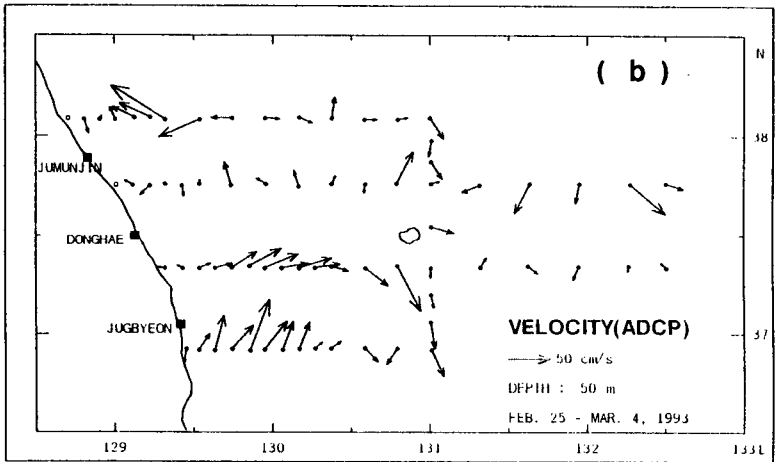
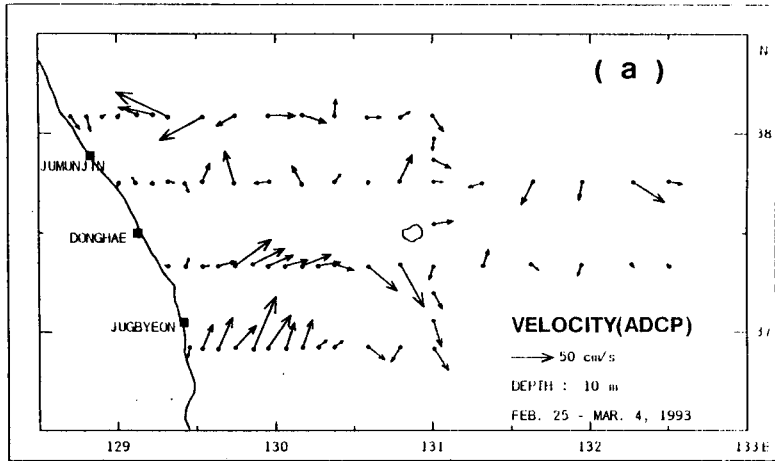


그림 3.1.8 1993년 2월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

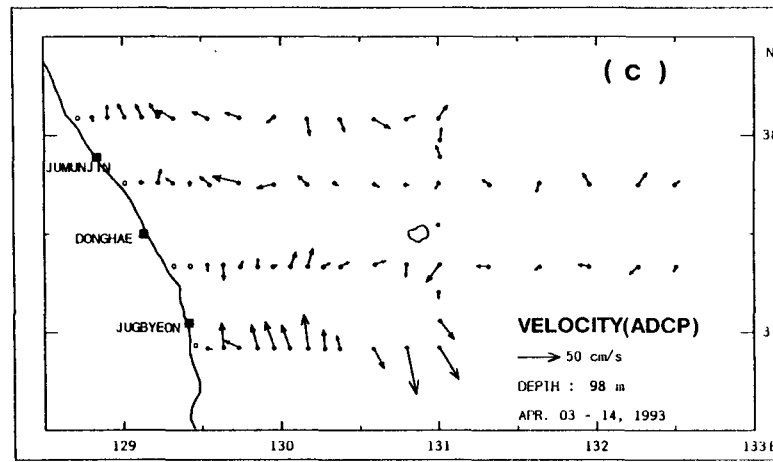
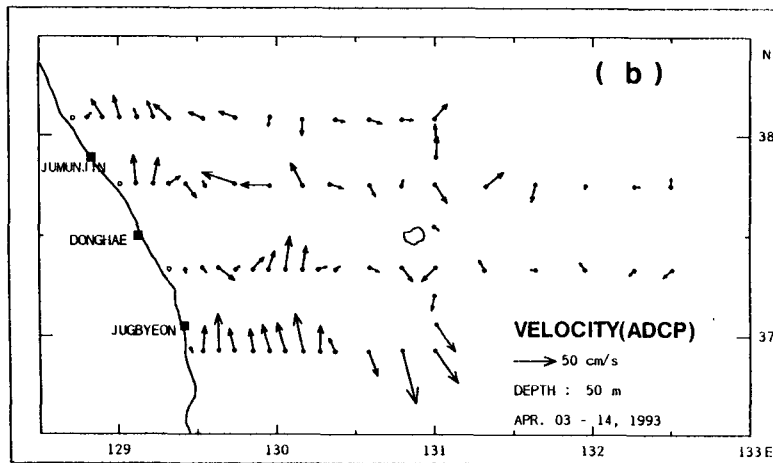
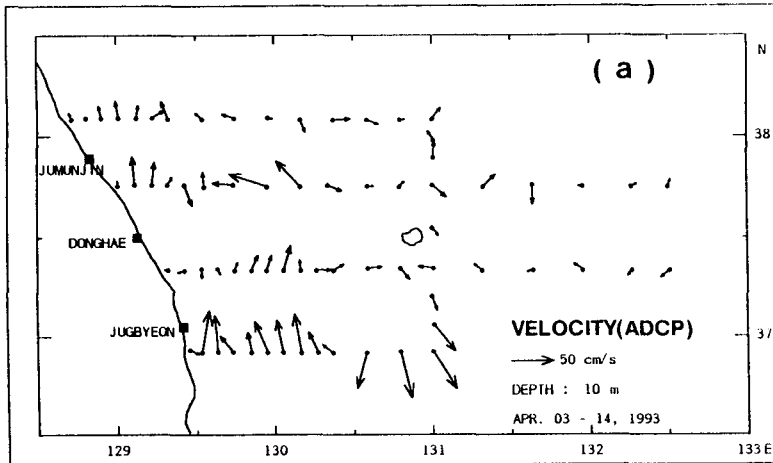


그림 3.1.9 1993년 4월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

점을 기준으로 하여 연안쪽에서는 비교적 강한 20 - 40 cm/s의 북향류 또는 북서류의 흐름이 관측되었으나 외해쪽은 대체로 20 cm/s 이내의 약한 동향류가 나타난다. 수심 150 m 이하에서는 해류가 거의 존재하지 않는다. C 정선은 C4 정점까지는 10 cm/s 이하의 서향류 또는 남향류를 보이고 있고 C5 에서 C9 정점까지는 동한난류에 해당되는 비교적 강한 북동류를 보이며 최대치는 C8 정점의 수심 50 m 층 부근에서 30 cm/s 이상을 보였다. C10 정점 외해쪽은 대체로 서향류를 보이거나 일부 정점은 남동류 또는 남서류를 보이기도 하는데 대체로 10 cm/s 이하의 유속을 보이고 있다. B 정선과 마찬가지로 수심 150 m 이하의 깊은 곳은 유속이 아주 미약하게 나타났다. D 정선은 동한난류가 가장 강하게 나타나는데 D2와 D3 정점에서 50 cm/s 이상의 북향류가 수심 50 m 층 이내에서 나타났고 D10 정점까지 동한난류가 관측되고 있다. D11 정점부터 외해쪽으로는 강한 남향류 또는 남서류가 나타나고 있는데 이는 동한난류의 사행에 의한 것으로 추정된다. 최대유속은 D12 정점의 수심 50 m 층에서 60 cm/s 이상의 남향류가 관측되었다. E 정선은 울릉도 이북의 정점은 대체로 동향류 성분과 북향류가 우세하고 이남의 정점은 남향류 또는 동향류가 우세하였다. 전체적으로 보면 4월의 관측에서는 동한난류의 축이 D 정선의 연안과 C 정선의 해안선과 울릉도 사이를 거쳐 A, B 정선의 연안 가까이를 지나고 있음이 관측되었다.

10. 1993년 7월 관측

A 정선의 A1에서 A4까지는 표층에서 거의 유속이 없으나 수심 50 m 층에서는 북한한류의 영향으로 약한 남향류 또는 남서류를 보이고 있으며 A5 정점부터는 대체로 서향류를 보이거나 외해쪽의 A12와 A13 정점에서 동한난류에 의한 영향으로 22 cm/s 이상의 북향류가 나타나는 외에는 전반적으로 흐름이 약한 형태를 보인다(그림 3.1.10). 주문진과 동해 사이의 B 정선의 경우는 연안에서 110 km 떨어진 B9 정점까지는 대체적으로 10 cm/s 이하의 남향류를 보이며 B10, B11 정점에서는 최대 30 cm/s 정도의 유속이 수심 50 m 층 부근에서 관측되었다. 울릉도 북쪽 B12 정점의 외해쪽으로는 유향이 불규칙하고 유속이 15 cm/s 이하인 해류의 분포를 보인다. C 정선은 연안에서 85 km 떨어진 C10 정점까지 대체로 북한한류에 의한 남향류를 보이고 C11 정점부터 동한난류에 의한 북향류를 보이는데 C14 정점은 동한난류의 사행에 의한 동향류를 보이며 울릉도 외해쪽은 남향류가 C15와 C16 정점에서, 북향류가 C17 정점의

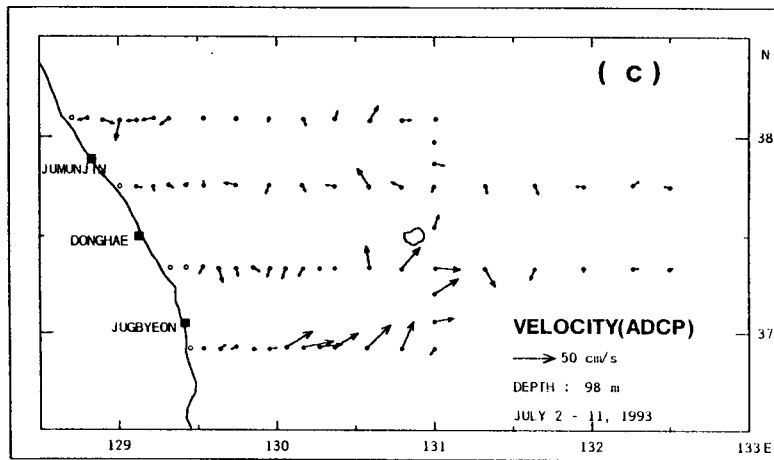
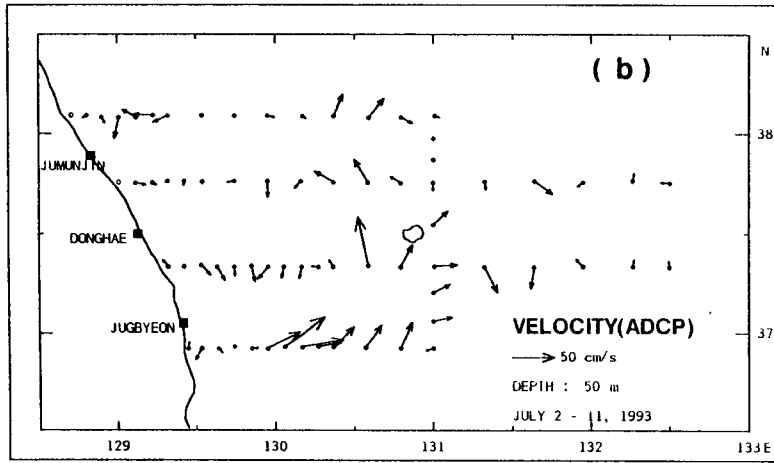
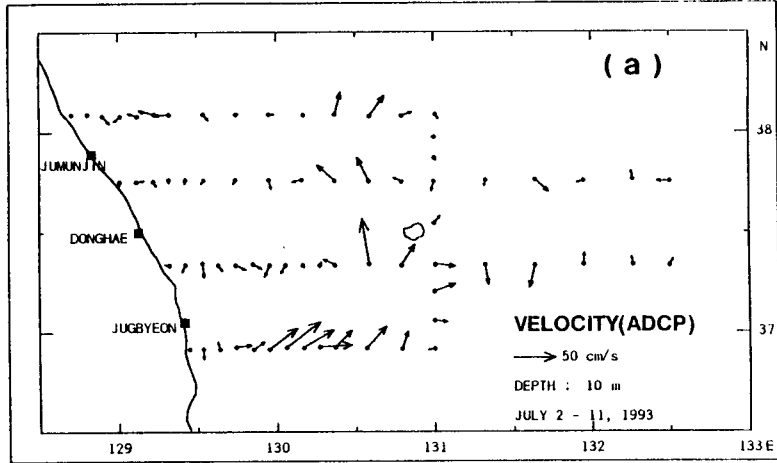


그림 3.1.10 1993년 7월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

외해쪽에서 불규칙하게 나타난다. C 정선의 최대유속은 C12 정점의 수심 50 m 층 부근에서 70 cm/s 정도의 강한 유속이 관측되었다. 측면 남쪽의 D 정선은 연안에서는 미약한 흐름을 보이거나 D4 정점부터는 동한난류에 의한 강한 북동류를 보이고 있으며 이 동한난류는 울릉도쪽을 향하는 북동류가 특징적이다. 이 동한난류의 폭은 C 정선에서의 폭에 비하여 넓게 나타난다. 최대유속은 D7 정점의 수심 50 m 층 부근에서 50 cm/s 이상의 유속이 관측되었다. 이 정선에서는 수심 250 m까지 비교적 강한 해류가 관측되고 있다. 울릉도 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선은 울릉도 이북의 정점에서는 대체로 남향류를 보이고 그 흐름은 미약하고 울릉도 이남에서는 동향류가 우세하다. 정선 C와 D 사이의 E4 정점의 수심 150 m 층에서 30 cm/s 이상의 유속이 관측되었다.

11. 1993년 9월 관측

정선별 해류의 분포는 주문진 북쪽의 A 정선은 연안으로부터 A10 정점까지 대체로 서향류를 보이고 A11 정점부터 외해로 가면서 북향류가 우세하며 A14, A15 정점에서는 남서류를 보이고 있다. 최대유속은 A5 정점의 수심 50 m 층에서 30 cm/s 이상으로 관측되었다(그림 3.1.11). B 정선은 B1에서 B9 정점까지 연안 가까이에서 북한한류의 확장에 따른 강한 남동류를 보이는데 연안에서 유속이 강한 특징을 보이고 있다. 최대유속은 B2 정점의 수심 50 m 이내에서 65 cm/s의 남동류로 관측되었다. B14 정점의 외해쪽에서는 북향류가 우세하게 나타나고 15 cm/s 이하의 유속을 보였다. 동해와 측면 사이의 C 정선은 연안 가까이의 C1, C2 정점은 남동류를 보이고 C3 정점부터 울릉도쪽으로 가면서 유향이 북향에서 동향으로 바뀌고 있다. 울릉도 외해쪽은 비교적 유속이 약하며 10 cm/s 정도의 동향류를 보이고 있다. 이 정선에서 최대유속은 C11 정점의 수심 50 m 부근에서 30 cm/s 이상의 동향류가 나타났다. D 정선은 D10 정점을 기준으로 하여 연안쪽에서는 대체적으로 북향류 또는 북동류를 보이고 외해쪽에서는 남향류를 보이고 있으며 최대유속은 D5 정점의 수심 50 - 100 m 사이에서 40 cm/s 이상의 비교적 강한 흐름이 관측되었다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로지르는 E 정선은 울릉도 이북의 정점에서는 서향류 또는 남서류가 우세하고 이남의 정점은 남향류 또는 남동류가 우세하게 나타나는데 유속은 20 cm/s 정도로 수심 100 m까지 비교적 강하게 나타났다.

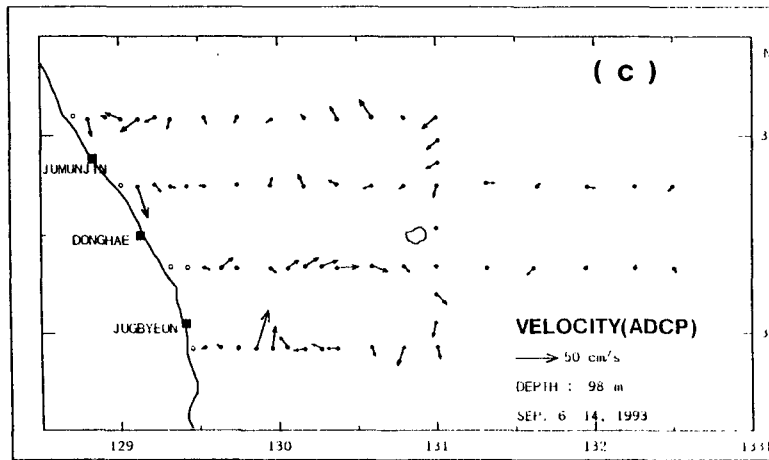
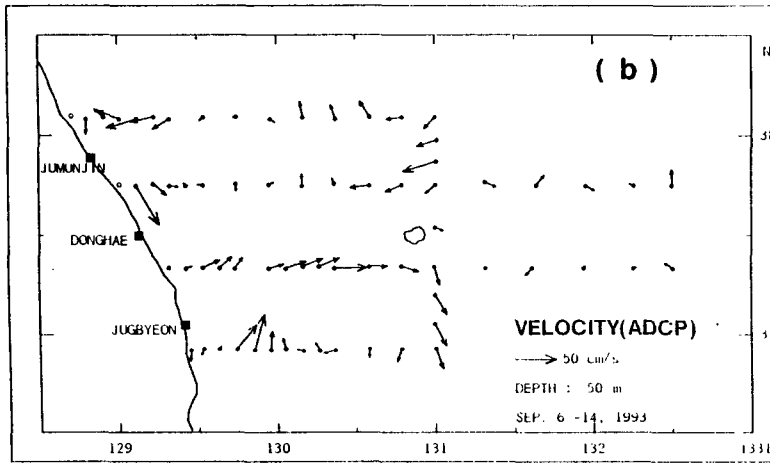
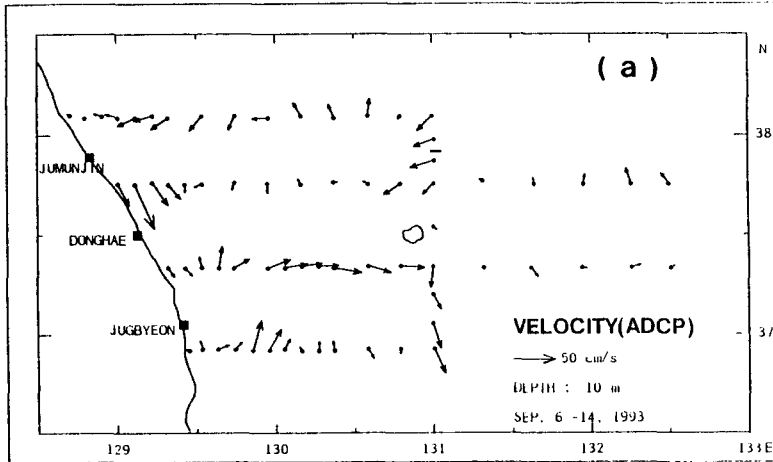


그림 3.1.11 1993년 9월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

12. 1993년 11월 관측

관측결과 전체적으로 동한난류가 연안쪽에서 강하게 나타났으며 주축이 연안에서 50 km 정도 떨어진 곳을 흐르는 것으로 나타나고 있다(그림 3.1.12). 정선별 해류의 분포는 A 정선은 연안의 A1, A2 정점은 약한 남향류, A3에서 A11 정점까지는 동한난류에 의한 강한 북향류가 나타나는데 주축은 A8 정점 부근을 지나는 것으로 생각된다. A12 정점에서 외해쪽으로는 남향류가 나타나고 다시 유속이 약해지는 경향을 보인다. 주문진과 동해 사이의 B 정선은 연안의 B1, B2 그리고 B3 정점은 남동류, B4 정점부터 B7 정점까지는 강한 북서류가 나타나는데 이 동한난류에 의한 폭이 A 정선과 비교하여 상대적으로 좁은 특징이 나타나고 있다. B8 정점의 외해쪽은 남향류와 북동류가 나타나 불규칙한 모습을 보인다. 최대유속은 B6 정점 부근에서 35 cm/s 이상의 북서류가 관측되었다. C 정선은 연안에서 C8 정점까지 북향류가 나타나고 있으며 최대유속은 C4 정점의 수심 50 m 층 이내에서 60 cm/s 이상을 보인다. C9 정점에서 C12 정점 사이에서는 연안의 동한난류에 대한 반류에 해당되는 남동류가 20 cm/s 이상으로 나타나고 울릉도 남쪽의 C13 정점부터 외해로 가면서 북동류가 우세하게 나타난다. 죽변 남쪽의 D 정선은 D8과 D9 정점 사이를 기준으로 하여 연안쪽은 북서류, 외해쪽은 남동류가 나타나 서로 대칭되는 형태를 보이고 있다. 연안쪽의 북서류가 남동류에 비하여 상대적으로 유속이 강하게 나타났고 D5 정점 부근에서 45 cm/s 이상의 해류가 최대유속으로 관측되었다. E 정선은 해류의 유향 및 유속이 매우 불규칙하게 나타났으며 울릉도 동쪽의 E3 정점에서 최대유속이 나타나고 35 cm/s 이상의 값을 보였다.

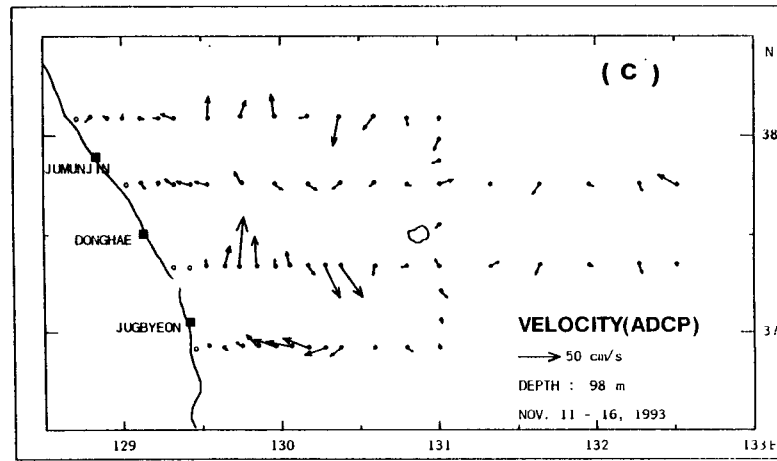
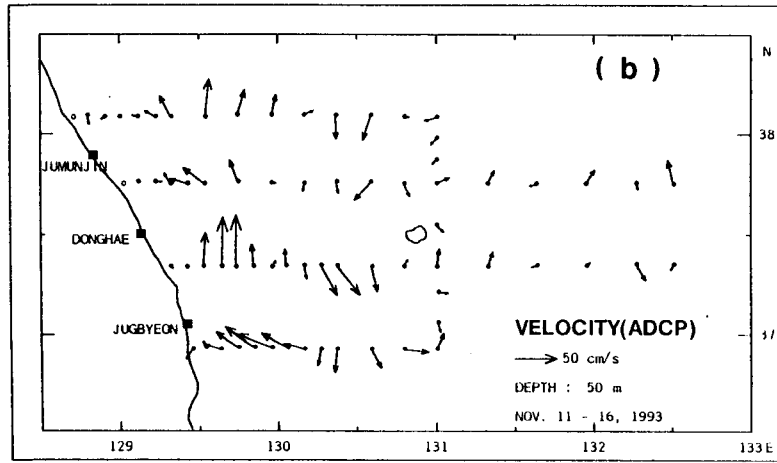
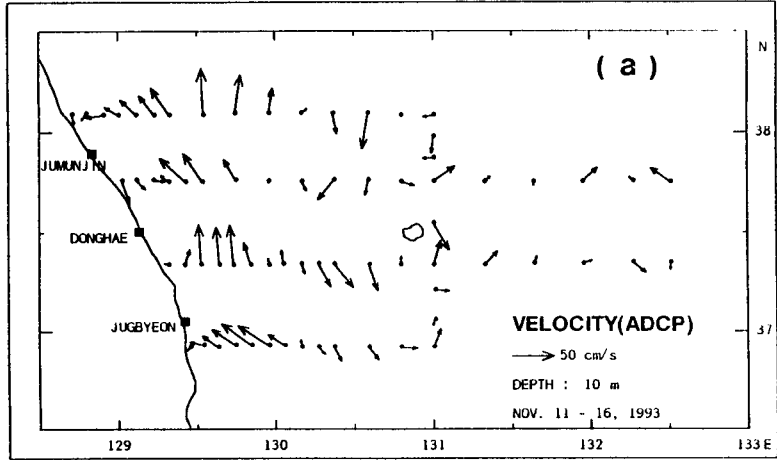


그림 3.1.12 1993년 11월에 관측된 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

제 2 절 종합 고찰

동해중부해역에서 1992년 3월부터 1993년 12월까지 2 개년에 걸쳐 해류관측을 실시하였으며 월별 분석을 통하여 이 해역에서의 해류의 특성을 분석하였고, 종합하여 해류의 개황을 고찰하기 위해 평균, 표준편차, 최대치를 수심 10 m, 50 m, 100 m 의 3 개 층에 대한 유속의 수평분포도를 작성하여 그림 3.2.1에서 그림 3.2.3까지 나타내었다.

1992년과 1993년의 12 회에 걸친 관측 결과 동해중부해역은 전체적으로 38° N 부근과 울릉도 남서해역에 출현하는 난수성 소용돌이의 영향을 크게 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 대한해협을 통과한 대마난류로부터 생성된 동한난류의 축이 월별로 이동되고 있음을 분석하였고 난수성 소용돌이와의 상호작용 및 동한난류의 사행 등이 주요 특징으로 나타났다.

1. 해류의 평균

平均海流는 1992년과 1993년에 걸친 12 회의 관측 자료를 벡터 평균한 것으로 전체적으로는 동한난류의 주축의 위치와 사행 그리고 소용돌이 등에 의한 유속의 크기를 나타내고 있다. 수심 10 m의 표층보다는 30 m 부근에서 가장 강한 해류가 관측되었고 수심 50 m까지는 큰 차이가 없었다(그림 3.2.1).

표층 10 m의 평균해류를 보면, 동한난류의 주축과 사행에 의한 두 가지의 흐름을 보여준다. 측면 남쪽의 D 정선에서 동한난류의 주축은 D5, D6 정점을 지나 B와 A 정선의 해안에서 40 km 정도 떨어진 곳을 통과하는 경우와 C 정선에서 울릉도 남쪽으로 선회하는 시계방향의 흐름을 보여주고 있는데 이것은 이 해역에 존재하는 소용돌이에 의한 영향 때문이다. 한편 울릉도와 독도의 외해쪽은 해류의 방향이 불규칙하고 유속 또한 비교적 약한 10 cm/s 이하를 나타내고 있다. 표층 10 m 층에서 평균해류의 최대치는 D5 정점에서 33 cm/s의 유속을 보였다(그림 3.2.1a). 수심 50 m 층의

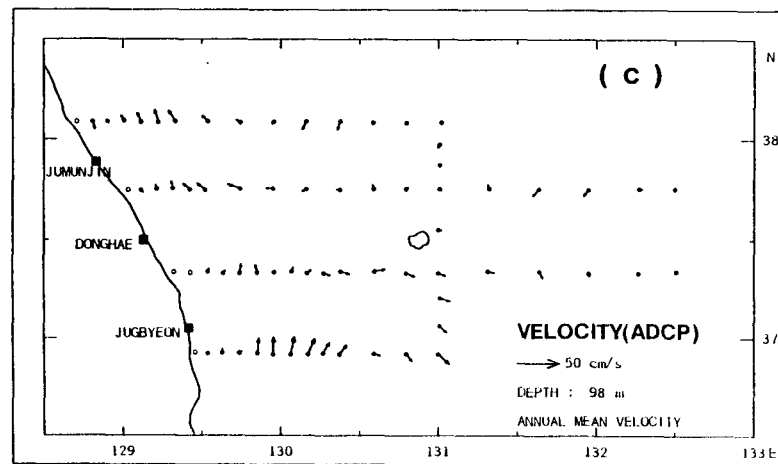
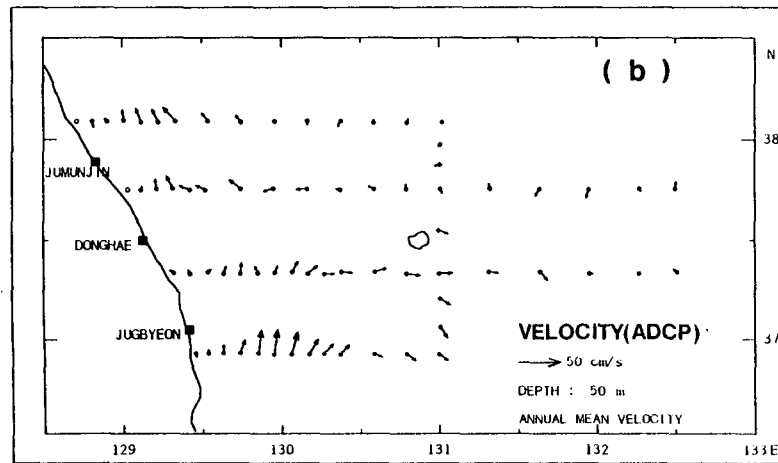
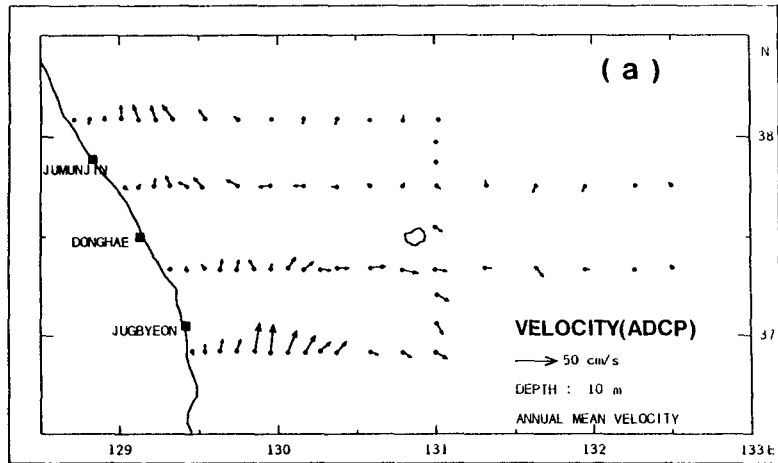


그림 3.2.1 평균해류의 유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

평균해류는 표층 10 m의 경우와 비슷한 해류분포를 보이고 있어 표층에서 50 m 층까지 커다란 변화가 없는 것으로 나타났다(그림 3.2.1b). 수심 100 m 층에서는 표층 10 m 층이나 50 m 층과 유향은 거의 비슷하나 유속은 대부분의 정점에서 감소하였으며(그림 3.2.1c), 수심 150 m 층은 동한난류의 주축과 사행에 의한 영향만을 보이고 있다. 수심 200 m의 층에서는 대부분의 정점에서 유속이 5 cm/s 이하로 나타나고 전체적으로 미약한 흐름만이 나타나며 수심 250 m 층은 모든 정점에서 해류가 거의 나타나지 않는다.

2. 해류의 표준편차

해류의 표준편차는 일반적으로 해류 연변화량의 크기를 알 수 있는 통계치이고, 동해 중부해역의 경우 동한난류축의 이동과 사행 및 소용돌이에 의한 변화폭이 큰 것으로 나타난다. 연안 가까이의 정점과 독도 외해역에서는 상대적으로 표준편차가 작게 나타나는 특징을 보이고 있다(그림 3.2.2).

표층 10 m 층에서 편차의 동서성분 최대치는 D6 정점에서 24 cm/s, 남북성분의 최대치는 B3 정점에서 30 cm/s로 나타나 이 정점이 가장 큰 연변화를 보이고 있음을 알 수 있다(그림 3.2.2a). 두 성분을 합한 해류의 최대편차는 A13 정점에서 36 cm/s 이었고 최소편차는 A1 정점의 10 cm/s로 나타났다. 수심 50 m 층에서는 표층 10 m 층과 비슷한 분포를 보였으며 동서성분만의 최대치는 D8 정점에서 26 cm/s이고 남북 성분만의 최대치는 A5 정점에서 30 cm/s로 나타났다(그림 3.2.2b). 두 성분이 합성된 해류 전체의 최대편차는 A5 정점에서 36 cm/s이고 최소편차는 C1 정점에서 7 cm/s 를 보인다.

수심 100 m 층의 경우는 동서성분이 D8 정점에서 최대치 22 cm/s, 남북성분의 최대치는 D12 정점에서 26 cm/s로 나타났고 두 성분을 합한 해류의 최대편차는 D12 정점의 28 cm/s이었다(그림 3.2.2c). 수심 100 m 층의 최소편차는 D2정점에서 6 cm/s로 나타났다. 수심 150 m 층에서는 동서성분의 최대치가 A13 정점의 17 cm/s, 남북성분은 D12 정점의 23 cm/s로 나타났다. 두 성분을 합한 해류의 최대편차는 D12 정점에서 25 cm/s, 최소편차는 A3 정점에서 7cm/s이었다. 수심 200 m 층은 D10 정점에서 동서성분의 최대치 10 cm/s, D12 정점에서 남북성분의 최대치 14 cm/s가 나타났

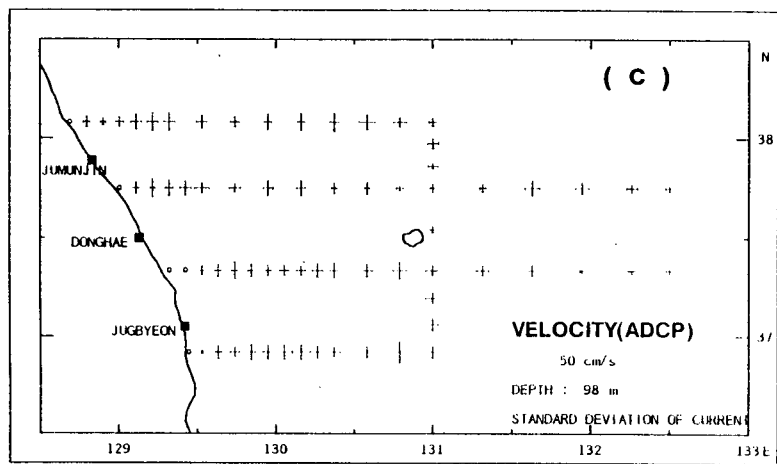
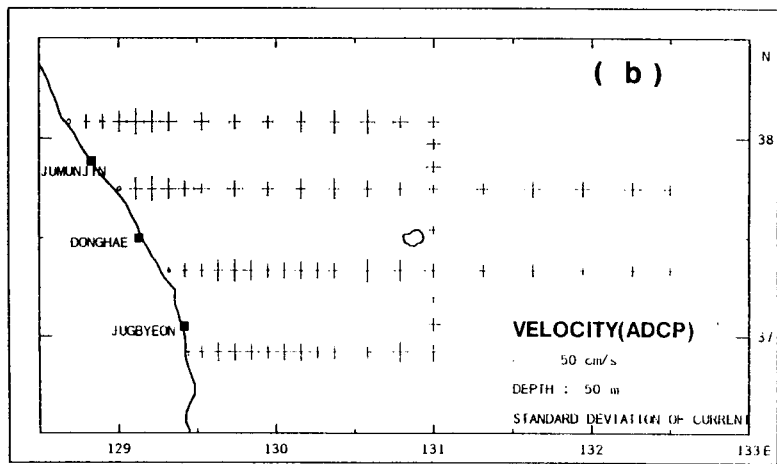
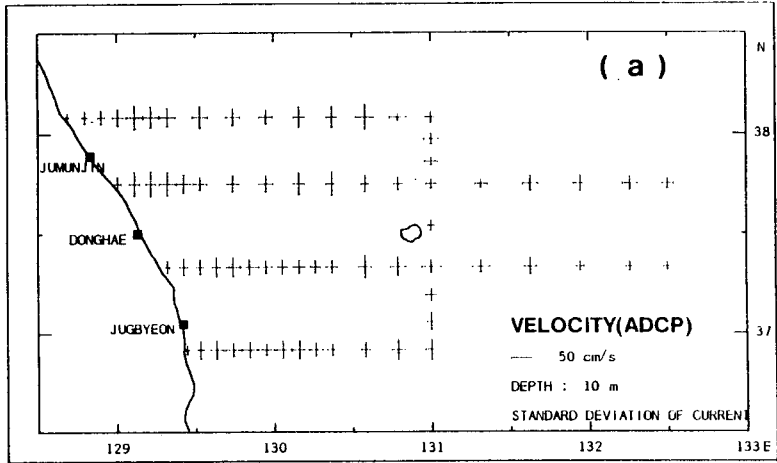


그림 3.2.2 평균해류의 표준편차 분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

고 두 성분을 합한 해류의 최대치는 D12 정점에서 16 cm/s, 최소편차는 C7 정점에서 4 cm/s이다.

해류의 標準偏差를 정선별로 살펴보면 속초와 주문진 사이의 A 정선에서는 표층부터 수심 50 m 층까지 동서성분의 유속이 A5에서 A7 정점 사이와 A13에서 A14 정점 사이에서 20 cm/s 이상을 보였으며, 남북성분은 A5 정점에서 30 cm/s 이상을 A12와 A13 정점에서 25 cm/s 이상을 수심 50 m 층 부근에서 나타내고 있다. A 정선의 경우 수심 200 m보다 깊은 곳은 편차가 5 cm/s 이하로 나타나 연간 해류의 변화가 매우 작음을 보여주고 있다. 주문진과 동해 사이의 B 정선에서는 동서성분이 연안쪽의 B4에서 B8 정점 사이와 외해쪽의 B14에서 B18 정점 사이의 표층부터 수심 100 m까지 15 cm/s의 편차를 보인다. 남북성분은 주로 연안에서 B11 정점 사이의 수심 100 m 이내의 상층에서 20 cm/s 이상의 큰 값을 보여주고 있다. 이러한 이유는 동한난류축의 이동에 따른 변화에 기인한다.

동해와 죽변 사이의 C 정선에서는 C3에서 C5 정점 사이와 C13에서 C15 정점 사이에서 동서·남북성분 모두 20 cm/s 이상의 편차를 보이며 수심 200 m보다 깊은 곳은 5 cm/s 이하의 편차만을 보여 변화가 매우 작음을 나타낸다. 죽변 남쪽의 D 정선은 동서성분은 D5에서 D7 정점의 사이에서 20 cm/s 이상을 표층에서 수심 100 m 층까지 보이고 있으며, 남북성분의 경우는 대부분의 수심 50 m 이내의 표층과 D11 정점의 수심 150 m 층 이내에서 20에서 25 cm/s의 편차를 보였다. 이 정선의 경우 대부분 수심 250 m보다 깊은 곳에서 5 cm/s 이하의 편차를 보인다. 울릉도의 동측을 남북으로 가로 지르는 E 정선의 경우 울릉도 남쪽의 E3와 E4 정점 사이의 표층부터 수심 50 m 층 사이에서 동서성분 20 cm/s 이상의 편차와, 남북성분은 E5 정점의 수심 50 m 층 이내에서 20 cm/s 이상의 편차를 보이고 있다.

3. 해류의 최대값에 대한 분석

1992년과 1993년의 2 개년에 걸친 12 회의 해류관측에서 나타난 최대유속의 분포를 살펴보면, 표층 10 m의 경우 연안 가까이의 북한한류에 의한 남향류와 동한난류축이 나타나는 해역의 북향류 또는 북동·북서류가 우세하였고 울릉도 남서쪽과 A, B 정선의 130° 15' E 부근 해역에서 남서류가 우세하며 울릉도 남쪽은 주로 동향류가

우세하게 나타난다(그림 3.2.3a). 이 수심에서의 최대유속은 D5 정점에서 68 cm/s의 북서류였다. 수심 50 m 층은 전체적으로 표층 10 m 층의 최대유속과 비슷한 분포를 보이고 있으며 이 층에서의 최대유속은 B3 정점에서 76 cm/s의 북향류를 보여 표층 10 m의 D5 정점보다 강한 유속을 갖는 것으로 나타났다(그림 3.2.3b).

수심 100 m 층에서는 연안의 비교적 강한 남향류와 울릉도 남쪽의 동향류와 남향류가 특징적이고 최대유속은 B3 정점의 66 cm/s의 북향류로 나타났다(그림 3.2.3c). 수심 150 m 층의 최대유속 분포는 전체적으로 유속이 약해지고 있으나 D5 정점의 최대유속은 수심 100 m 층의 최대유속과 거의 같은 67 cm/s의 북향류를 보였다. 수심 200 m 층의 경우는 유속이 현저히 약해진 분포를 보이고 있으나 동한난류, 소용돌이 및 사행 등에 의한 영향은 여전히 나타난다. 최대유속은 D10 정점에서 42 cm/s의 북동류로 나타났다.

4. 해류의 변동성 분석

동해의 해황변동에 중요한 역할을 하는 동한난류의 변동성을 분석하는 것은 해류의 구조파악에 중요한 일이다. 1992년 3월부터 1993년 11월까지 12 회에 걸친 해류관측을 분석하여 변동성을 파악하고자 하였다. 동한난류는 계절변동과 연간 변화 때문에 시·공간적으로 다양하게 변하는 특성과 복잡한 구조를 가지며 여러 가지 변화요인이 존재한다.

3월의 해류관측결과 동한난류는 주로 연안을 따라 흐르고 있으며 A, B 정선에서 소용돌이에 의한 시계방향의 회전 형태를 보였다. 동한난류는 4월과 5월의 관측에 의하면 죽변 남쪽 D 정선의 연안을 통과한 후 울릉도 남서쪽 해역(C10 정점 부근)에서 북쪽의 B 정선의 연안쪽으로 향하는 흐름과 울릉도 남쪽으로 동향하는 해류로 분리된다. B 정선으로 북상한 해류는 A 정선의 연안을 따라 북상하고 38° N 부근에서 다시 소용돌이에 의한 시계방향의 회전 형태를 보인다. 6월의 동한난류는 대체로 5월과 비슷한 형태를 보이며 소용돌이에 의한 회전이 38° N 부근에 존재하였고 울릉도 남쪽으로 사행하는 흐름도 비교적 강하게 나타난다. 동한난류는 7월의 경우는 죽변 남쪽의 연안(D6 정점)에서 울릉도에 가까이 이동하고 C12 정점 부근에서 북향류와 동

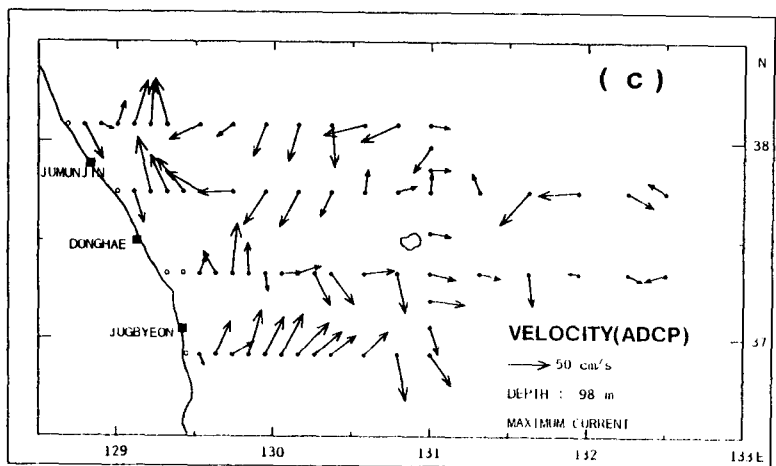
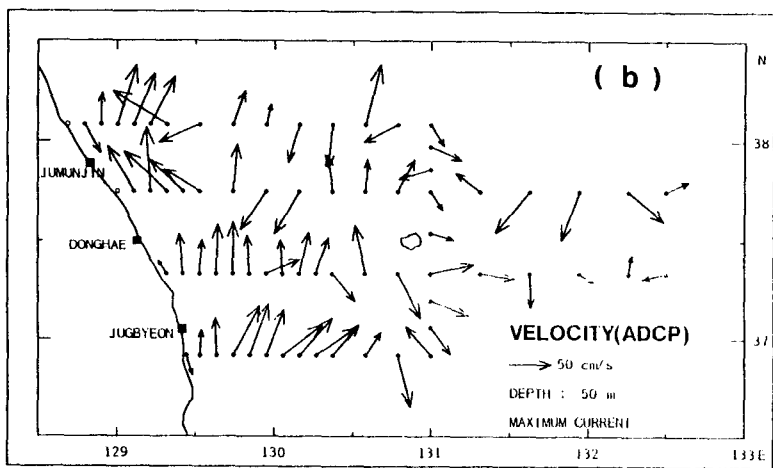
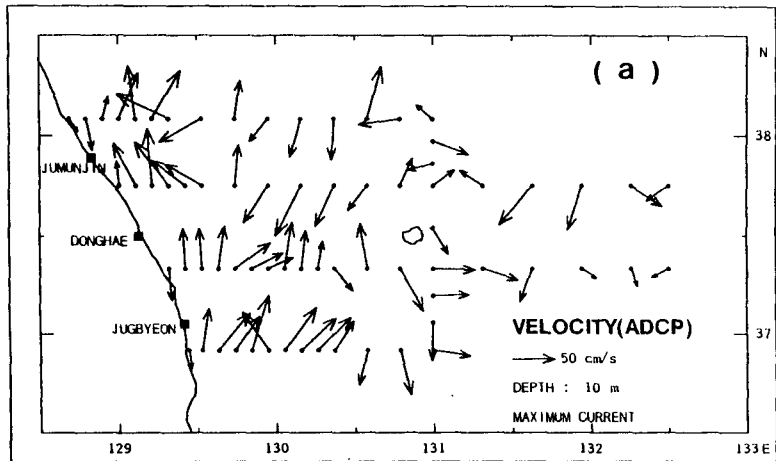


그림 3.2.3 최대유속의 수평분포 (a) 수심 10 m (b) 50 m (c) 98 m

향류로 분리되었다. 8월에는 동한난류가 130° E를 따라 북상하는 형태를 보여 7월과는 변동이 큰 것으로 나타났다. 또한 38° N 부근의 A 정선 연안에서 반시계방향의 회전 형태가 나타나는데 이는 북향류에 대한 반류로 생각된다. 9월에는 동한난류의 일부가 울릉도 남쪽으로 사행하고 일부는 동해와 죽변 사이의 C4 정점에서 북동쪽으로 진행하고 있다. 연안 가까이에서는 북한한류가 확장되어 비교적 강한 남동류가 나타났다. 10월에는 동한난류가 D8 정점을 통과한 후 울릉도쪽으로 진행하다가 울릉도 서쪽에서 북서쪽으로 진행하는 단순한 형태를 보이는데 이는 9월과 비교하면 동한난류의 축이 외해쪽으로 이동하였음을 보여 준다. 유속은 상대적으로 약하지만 D 정선을 통과한 동한난류의 일부는 서쪽의 연안으로 이동하여 북상하는 형태를 보이기도 한다. 11월에는 동한난류의 축이 $129^{\circ} 30'$ E을 따라 북상하는 단순한 형태이고 $130^{\circ} 30'$ E을 따라 반류 형태의 남향류가 존재하는 특징을 보였다. 이는 10월에 비하여 동한난류의 축이 연안 가까이로 이동되었음을 보여 주는데 변동폭이 상당히 크게 나타남을 알 수 있다.

제 4 장 결 론

1992년 3월부터 1993년 11월까지 5 개 정선의 70 개 정점에서 12 회 실시한 동해 남서해역의 유속관측 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1992년과 1993년의 12 회에 걸친 관측 결과 동해 남서해역은 전체적으로 38° N 부근과 울릉도 남서해역에 출현하는 난수성 소용돌이의 영향을 크게 받고 있는 것으로 나타났다. 또한 대한해협을 통과한 대마난류로부터 생성된 東韓暖流의 軸이 월별로 이동되고 있음을 분석하였고 소용돌이와의 상호작용 및 동한난류의 蛇行 등이 주요 특징으로 나타났다.
- 平均海流는 1992년과 1993년에 걸친 12 회의 관측 자료를 벡터 평균한 것으로 전체적으로는 동한난류의 主軸의 위치와 사행 그리고 소용돌이 등에 의한 流速의 크기를 나타내고 있다. 수심 10 m의 표층보다는 30 m 부근에서 가장 강한 해류가 관측되었고 수심 50 m까지 큰 차이가 없었다. 수심 100 m 층에서는 10 m 층이나 50 m 층과 流向은 거의 비슷하나 유속은 대부분의 정점에서 감소하였고 100 m 층보다 깊은 곳은 동한난류의 주축과 사행에 의한 영향만을 보이고 있다.
- 해류의 標準偏差는 동해 중부해역의 경우 동한난류축의 이동과 사행 및 소용돌이에 의한 變化幅이 큰 것으로 나타났다. 연안의 정점과 독도 외해역은 상대적으로 표준편차가 작게 나타났다. 표층 10 m 층에서 편차의 동서성분 최대치는 D6 정점, 남북성분의 최대치는 B3 정점에서 나타나 이 정점이 가장 큰 연변화를 보였다. 두 성분을 합한 해류의 최대편차는 A13, 최소편차는 A1 정점으로 나타났다. 수심 50 m 층은 10 m 층과 비슷한 분포를 보였으며 동서성분의 최대치는 D8 정점, 남북성분의 최대치는 A5 정점으로 나타났다. 두 성분이 합성된 해류 전체의 최대편차는 A5, 최소편차는 C1 정점에서 나타났다. 수심 100 m 층의 경우는 동서성분이 D8 정점에서 최대치, 남북성분의 최대치는 D12 정점에서 나타났고 두 성분을 합한 해류의 최대편차는 D12 정점이었다. 100 m 층의 최소편차

는 D2정점으로 나타났다.

- 1992년과 1993년의 2 개년에 걸친 12 회의 해류관측에서 나타난 最大流速은, 표층 10 m의 경우 연안 가까이의 北韓寒流에 의한 남향류와 동한난류축이 나타나는 해역의 북향류 또는 북동·북서류가 우세하였고 울릉도 남서쪽과 A, B 정선의 130° 15' E 부근 해역에서 남서류가 우세하며 울릉도 남쪽은 주로 동향류가 우세하였다. 최대유속은 D5 정점에서 68 cm/s의 북서류였다. 수심 50 m 층은 전체적으로 10 m 층의 최대유속과 비슷한 분포를 보이며 최대유속은 B3 정점에서 76 cm/s의 북향류를 보여 10 m 층의 D5 정점보다 강한 유속을 갖는다. 수심 100 m 층은 연안의 비교적 강한 남향류와 울릉도 남쪽의 동향류와 남향류가 특징적이고 최대유속은 B3 정점의 66 cm/s의 북향류였다. 수심 200 m 층의 경우는 유속이 현저히 약해진 분포를 보이고 있으나 동한난류, 소용돌이 및 사행 등에 의한 영향은 여전히 나타난다. 최대유속은 D10 정점에서 42 cm/s의 북동류로 나타났다.
- 동한난류는 계절변동과 연간 변화 때문에 시·공간적으로 다양하게 변하는 특성과 복잡한 구조를 가지며 여러 가지 변화 요인이 존재한다. 3월의 관측결과 동한난류는 주로 연안을 따라 흐르고 있으며 A, B 정선에서 소용돌이에 의한 시계방향의 회전 형태를 보였다. 동한난류는 4월과 5월의 관측에 의하면 죽변 남쪽 D 정선의 연안을 통과한 후 울릉도 남서쪽 해역에서 북쪽의 B 정선의 연안쪽으로 향하는 흐름과 울릉도 남쪽으로 동향하는 해류로 분리된다. B 정선으로 북상한 해류는 A 정선의 연안을 따라 북상하고 38° N 부근에서 다시 소용돌이에 의한 시계방향의 회전 형태를 보인다. 6월의 동한난류는 대체로 5월과 비슷한 형태를 보이며 소용돌이에 의한 회전이 38° N 부근에 존재하였고 울릉도 남쪽으로 사행하는 흐름도 비교적 강하게 나타났다. 동한난류는 7월의 경우는 죽변 남쪽의 연안 D6 정점에서 울릉도 가까이 이동하고 C12 정점 부근에서 북향류와 동향류로 분리되었다. 8월에는 동한난류가 130° E를 따라 북상하는 형태를 보여 7월과는 변동이 큰 것으로 나타났다. 또한 38° N 부근의 A 정선 연안에서 반시계방향의 回轉 形態가 나타나는데 이는 북향류에 대한 反流로 생각된다. 9월

에는 동한난류의 일부가 울릉도 남쪽으로 사행하고 일부는 동해와 죽변 사이의 C4 정점에서 북동쪽으로 진행하고 있다. 연안 가까이는 북한한류가 확장되어 비교적 강한 남동류가 나타났다. 10월에는 동한난류가 D8 정점을 통과한 후 울릉도쪽으로 진행하다가 울릉도 서쪽에서 북서쪽으로 진행하는 단순한 형태를 보이는데 이는 9월과 비교하면 동한난류의 축이 외해쪽으로 이동하였다. 유속은 상대적으로 약하지만 D 정선을 통과한 동한난류의 일부는 서쪽의 연안으로 이동하여 북상하는 형태를 보이기도 한다. 11월에는 동한난류의 축이 $129^{\circ} 30' E$ 을 따라 북상하는 단순한 형태이고 $130^{\circ} 30' E$ 을 따라 反流 형태의 남향류가 존재하는 특징을 보였다. 이는 10월에 비하여 동한난류의 축이 연안 가까이로 이동되었음을 보여 주고 변동폭이 상당히 크게 나타났다.

- 본 조사해역의 해류의 특성 및 구조 파악과 소용돌이 등의 구조와 변동성을 밝히기 위한 계절별 조사 및 연구가 지속적으로 필요하며 이러한 연구결과는 해양기상, 수산자원, 기후변화 및 해양방위 등의 여러 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Byun, S.-K., and K. I. Chang, 1988. Tsushima Current water at the entrance of the Korea Strait in Autumn, *Prog. Oceanogr.*, 21, 295-306.
- Lie, H.-J., 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae), *J. Oceanol. Soc. Korea* 19, 187-194.