

## 濟州島 주변 海流에 관한 研究의 現在와 未來\*

金 坵\*\*

### I. 서 론

제주도 주변 해역은 해양학적 조건을 달리하는 황해와 동지나해가 접하는 곳으로, 공간적으로 뿐만 아니라 시간적으로 매우 복잡한 현상들이 이 해역에서 예상된다. 황해와 동지나해를 대상으로 하는 폭 넓은 연구는 일찌기 수행되었으나, 제주도 인접 해역에 대한 집중적인 연구가 수행되기 시작한 것은 극히 최근이다. 대부분의 연구 결과는 일시적으로 수집된 자료를 이용한 까닭에 계절 변화 등 장기적 변화와 수 주 내의 단기적 변화들에 관하여 알려진 바가 드물다.

우리나라의 경우는 아니지만, 예를 들어 본 논문의 목적을 소개하고자 한다. 남미의 페루 앞바다는 세계적인 어장으로 알려져 있다. 그러나, 때때로 크리스마스틀 전후하여 이 해역의 수온이 예년에 비하여 올라가고 어장이 매우 황폐하는 변화가 일어나며, 현지 페루인들은 이 현상을 엘니노(El Nino)라고 불러 왔다. 미국 서부 해안, 특히 워싱턴주와 오레곤주의 앞바다도 좋은 어장이며 이곳도 때때로 어획고가 떨어지는 큰 변화가 있어 왔다. 비슷한 현상은 서아프리카 연안에서도 일어난다. 처음에는 단순히 국지적 현상인 줄 알았으나, 이 어장들은 공통적으로 소위 용승현상에 의하여 영양염이 풍부한 냉수가 수심 100~200m에서 올라와 형성됨이 알려졌다

\* 본 논문은 1987년 11월 14일 제주도 연구회 제 3 차 전국 학술대회에서 발표한 것을 보완한 것이다.

\*\* 서울대학교 海洋學科

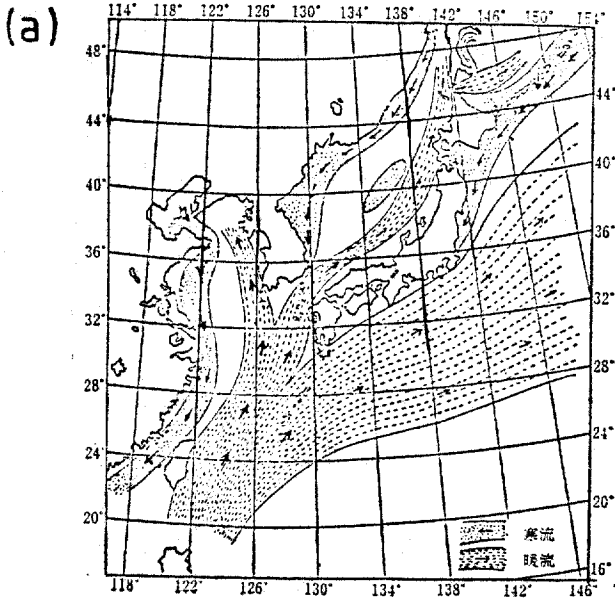
(Smith, 1968). 용승현상은 때때로 일어나지 않으며, 이에 따라 어장은 황폐할 수 밖에 없음이 부분적으로 밝혀졌다. 이러한 어장의 변화상 및 원인을 종합적으로 규명하기 위하여 1970년대에 약 10년에 걸쳐 세계 여러 나라가 CUEA(Coastal Upwelling Ecosystem Analysis)라는 국제 공동 연구를 수행하였다. 근본적으로 이 연구의 내용은 해류와 해황의 변화를 이해하려는 것이었으며, 이러한 변화를 예측하는 것이 궁극적 목적이었다. 방대한 자료를 분석한 결과, 엘니뇨는 페루 앞바다 뿐만 아니라, 적도 해역을 중심으로 태평양과 대서양의 전 해역에서 일어나며, 막대한 기후의 변화가 수반됨이 발견되었다(Wooster and Fluharty, 1985). 이와 같은 연구는 넓은 해역을 대상으로 하는 까닭에 조직적 자료 수집이 필수적이며, 또한 수 년에 걸친 변화를 파악하기 위하여는 장기적으로 지속적인 수행이 요구됨이 특징되어야 한다. 또한 엘니뇨의 예를 통하여 국지적인 변화와 전 대양에 걸친 변화가 서로 밀접한 관계를 갖는 해양 현상의 특징을 볼 수 있다. 이러한 관점에서 제주도 주변의 해류 및 해황에 관하여 우리는 과연 얼마나 알고 있는가 시대를 나누어 고찰하고자 한다.

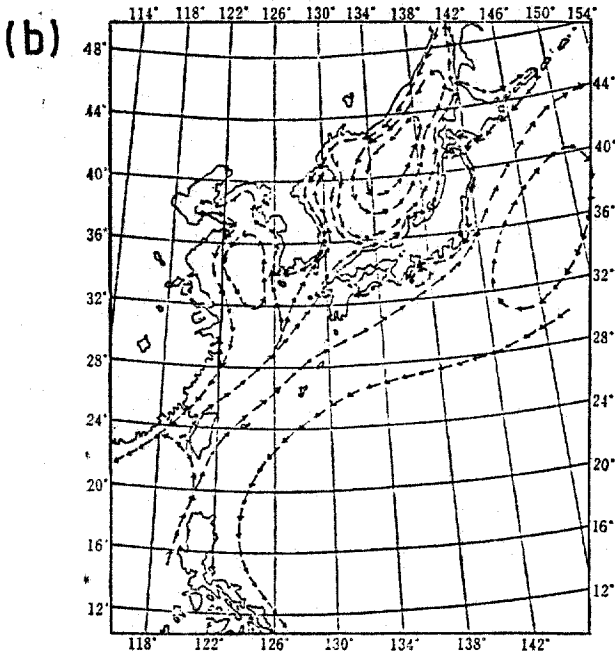
## II. 1980년 이전의 연구

문헌에 의하면 지금부터 약 1세기 전에 러시아인 Schrenck(1873)가 동지나해와 황해의 해류도를 최초로 발표하였다(그림 1(a)). 해류 모식도로 보아야 적당한 Schrenck의 그림에 의하면 북태평양의 주된 해류인 흑조(Kuroshio)가 대만 동쪽 해역에서 일본 남쪽 해역으로 폭 넓게 흐르고 그 일부가 대한해협을 통하여 동해로, 그리고 제주도 서쪽을 북상하여 황해로 유입하는 것으로 보인다. 그 후 전자를 흔히 대마난류, 후자를 황해난류라 부르게 되었다. 해류명 실험 결과를 토대로 연구한 Wada(1894, 1895)는 1916년에 이를 종합한 해류도(그림 1(b))를 구성하였는데(일본수산학회, 1974) Schrenck의 해류도와 크게 다른 바가 없다. 이상 두 개의 해류도는 단편적인 자료와 뱃사람들의 경험에 근거하였으므로 개략적임에 반하여, Uda(1934)가 발표

한 해류도(그림 2)는 실로 획기적이다. 1932년 5, 6월과 1933년 10, 11월 2회에 걸쳐 각각 60여척의 조사선을 동원하여 일본, 한국, 대만의 근해, 즉 동지나해, 황해, 동해(일본해)의 전 해역에서 당시로서는 가장 최신의 관측기기를 이용, 해류를 직접, 간접의 방법으로 표층과 심층에서 측정하여 작성된 해류도는 해류의 경로를 이전의 해류도에 비하여 자세히 보여 주며, 유속의 크기도 나타내고 있다. 그러나 Kuroshio, 대마난류, 황해난류의 개략적 분포에 있어서는 Schrenck 및 Wada의 해류도와 비슷하다. Uda의 조사는 그 유래를 찾기 힘든 대규모의 조사이었고, 오늘날까지 이에 비교될 만한 조사가 같은 해역에서 없었으므로, 별다른 수정 없이 지금도 정설로 통용되는 형편이다.

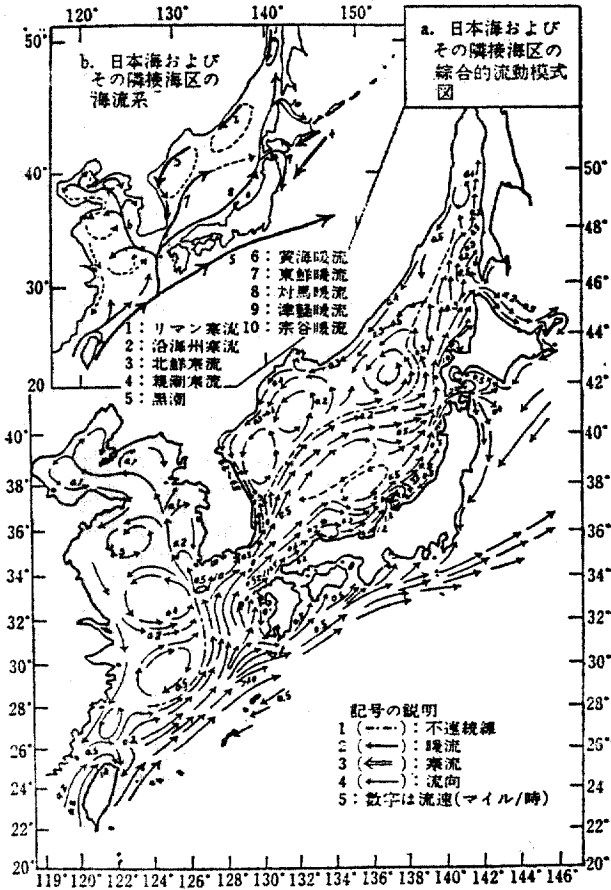
1944년까지 일본인들에 의해 우리 나라 주변에서 매달 정기적으로 지속되어 오던 해양조사는 제 2차 세계대전으로 중단되었으며, 해방 후 1960년까지는 해양에 대한 관심이 침체되었다가 1961년 국립수산진흥원이 해양 조사정선을 14개로 확장하면서 해양조사는 다시 본격화되었다. 이 후 해류의 관





〈그림 1〉 (a) Schrenck(1873)의 해류도. (b) Wada(1916)의 해류도

린된 연구는 Yi(1968)의 대한해협 용적 수송량 계산이 있으나, 제주도 주변 해류에 관한 연구는 없었다. 1965~1972년에 실시된 Kuroshio 공동 조사(Cooperative Study of the Kuroshio)의 기간 동안 수산진흥원과 수로국은 통상적인 사업을 확대하여 많은 좋은 자료를 수집하였으나, 대마난류수의 형성에 관한 임 두병(1971)의 논문 외에 새롭게 알려진 연구 결과는 없다. 1977년 Uda의 지도 하에 Nakao(1977)는 1932년 이후 수집된 모든 역사적 자료를 종합적으로 분석하여 황해 냉수, 황해 저층 냉수의 구분을 분명히 하는 등 비교적 새로운 각도에서 황해와 동지나해의 해류와 해황을 분석하는 진전을 보였으나, 넓은 해역의 현상을 개술하였으므로 제주도 인접 해역의 해류 형성과 그 변화에 대한 설명으로는 매우 부족하다.



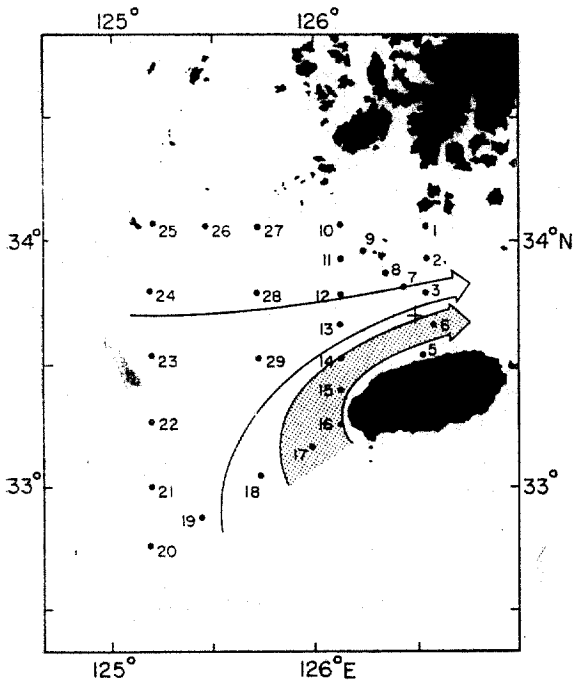
<그림 2> Uda(1934)의 해류도(1932년 6월 상순)

### Ⅲ. 1980년 이후의 연구

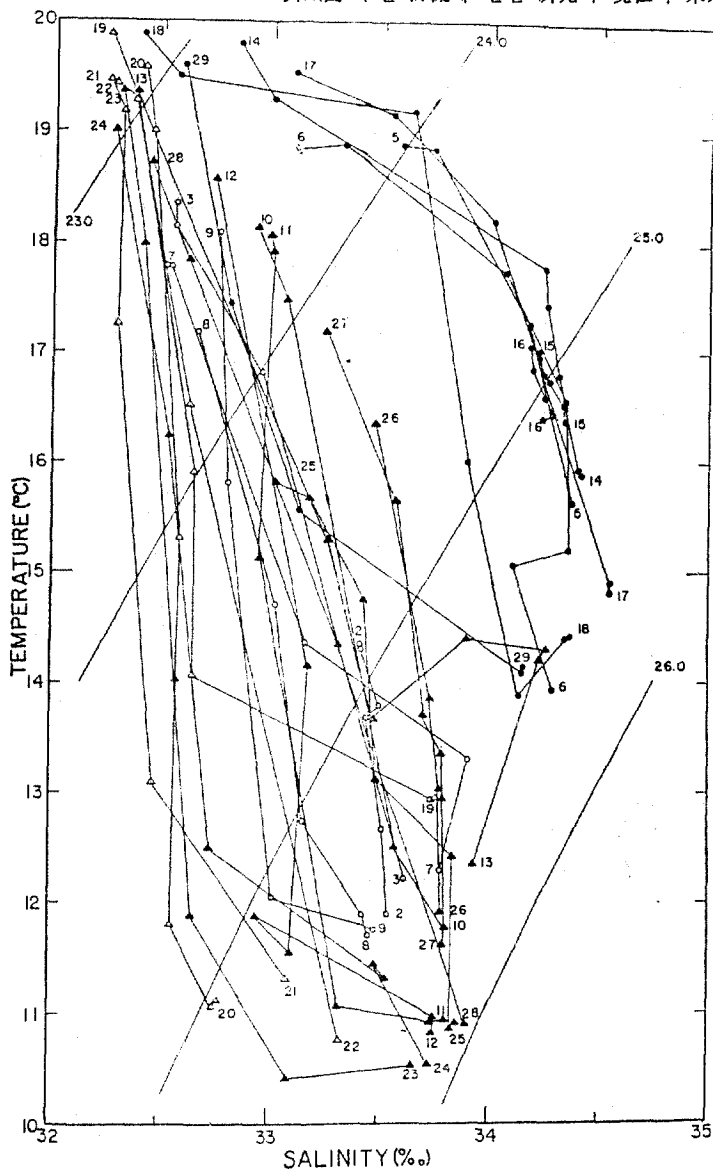
1970년대 이후 선진국의 해양학, 특히 물리해양학 분야에서 큰 발전이 있었으며 그 핵심은 해류와 해황이 시간과 공간적으로 크게 변한다는 사실이다. 1960년대에 이르기까지 해류는 공간적으로 완만하며 시간에 따라 변하

지 않는 것으로 추측되었으나(이러한 추측은 자료의 부족과 현상에 대한 이해의 부족에 기인한 것임), 새로운 조사 방법, 관측 기기의 개발을 통하여 바다의 실체가 점차 드러났으며 우리의 막연한 추측이 얼마나 잘못 되었나를 알게 되었다. 1970년대 후반 이후 국내의 여러 대학에 해양학과가 설치되고 연구 인력이 확보되면서 새로운 학설들이 국내에도 영향을 미치기 시작하였고, 소규모이긴 하나 통상적인 실습이나 조사가 아닌 현상의 규명을 목적으로 하는 연구 항해가 시작되었다.

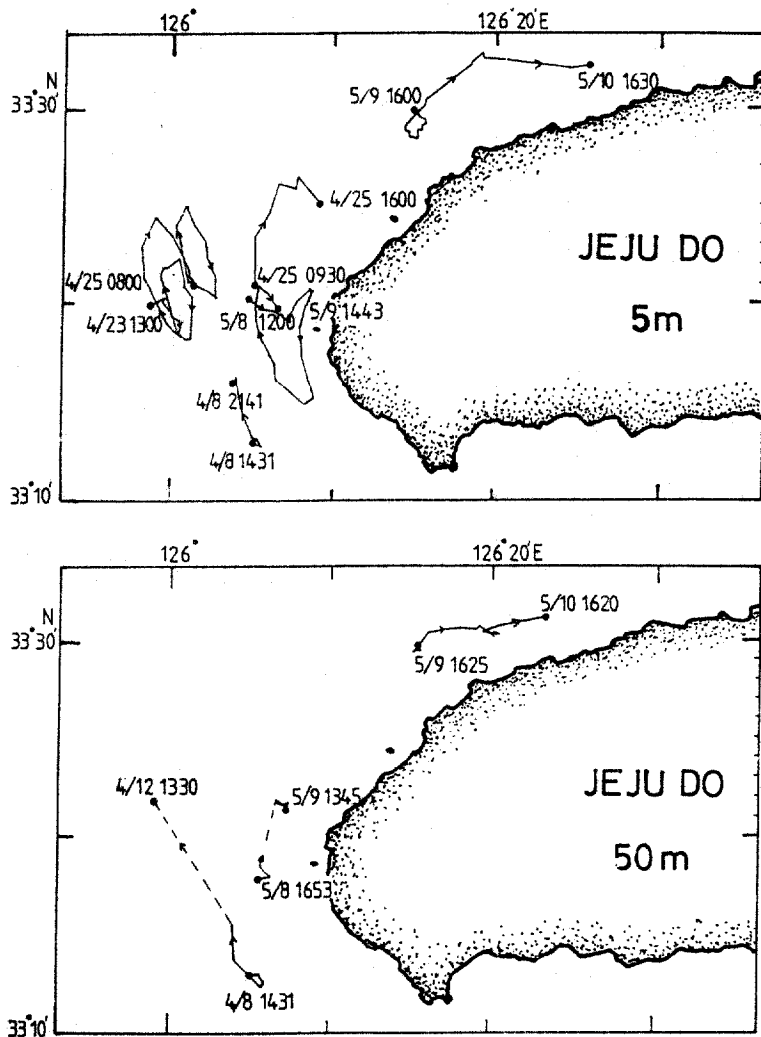
이와 같은 새로운 연구의 효시는 1980년 6월 제주도 서쪽 해역과 제주해협에서 김 구와 노 홍길(김 구, 1980)에 의하여 실시된 한국과학재단의 연



〈그림 3〉 1980년 6월 해양 관측점 위치(·표) 및 1983년 4월의 20일간 해류 관측 위치(+표). 화살표는 양자강에서 유출되는 담수의 영향이 뚜렷이 나타나는 표층 저염분수의 이동경로이고, 점을 친 화살표는 흑조(Kuroshio)의 영향이 나타나는 고온 고염수의 이동경로이다.



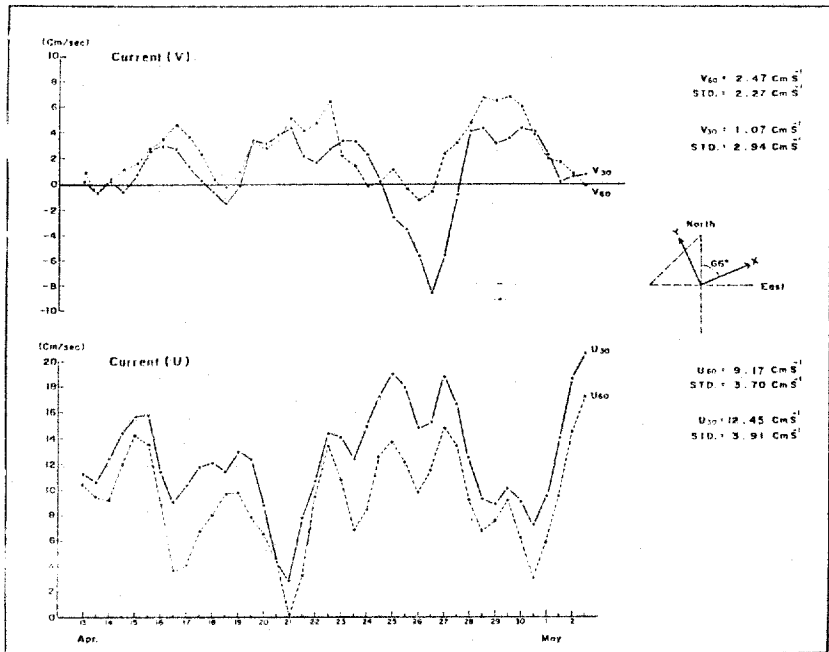
〈그림 4〉 1980년 6월 관측된 온도-염분 관계도. 숫자는 그림 3의 관측위치를 나타냄. 관측점 5, 6, 14, 15, 16, 17에서 고온 고염의 뚜렷한 특성이 발견되며, 흑조(Kuroshio)의 영향권에 이 관측점들이 속함을 보인다.



〈그림 5〉 (a) 1983년 4월과 5월에 관측된 5m 층과 50m 층 부표의 이동 경로도(추적 시작 시간과 끝 시간이 표시되었음). 왕복성의 조류 이동에 제주도를 끼고 시계 방향으로 흐르는 항류 성분이 있다.



구 과제라 보겠다(그림 3). 당시 조사 방법의 특징은 시간에 따른 변화의 영향을 최소화하기 위하여 항해를 계속하며 자료를 수집하였고, 또한 비교적 좁은 해역에 조사 정점을 많이 설정하고 관측 수심의 간격을 작게 잡아 3차원적 구조를 파악하려고 노력한 점이다. 또한, 이전의 관측선(line)이 조사선의 운항 편의를 위하여 동서 방향으로 설정된 데 반하여, 수온과 염분의 분포를 파악하기에 적절하도록 주로 남북 방향으로 관측이 실시되었다. 이 조사에서 특성치가 주변의 해수와 확연히 구분되는 고온 고염의 Kuroshio 계통 해수가 제주도 서안을 끼고 폭 10해리 정도의 좁은 띠의 모양으로 분포함이 발견되었다(그림 4, 관측점 5, 6, 14, 15, 16). 이러한 분포는 지형류(geostrophic current) 이론에 의하면 시계 방향의 해류가 존재함을 의미하며

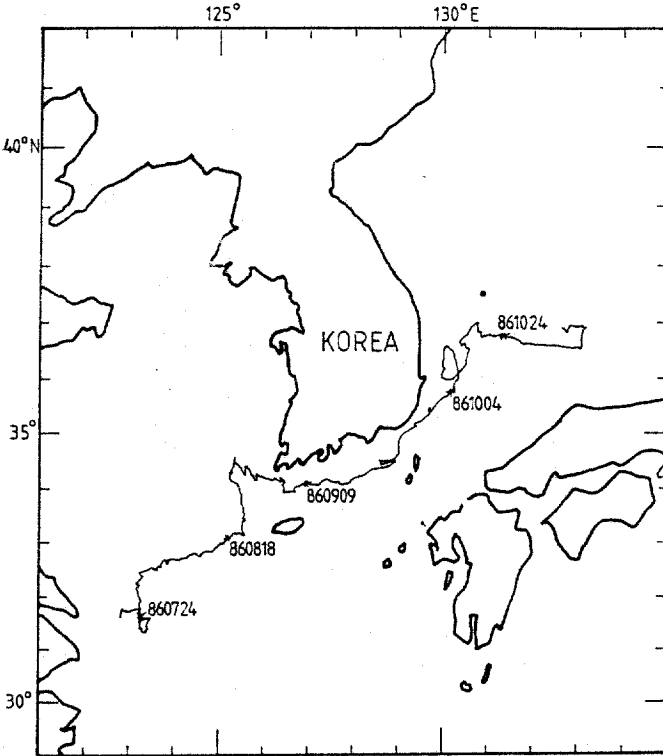


<그림 5> (b) 제주해협에서(그림 3의 +표) 정선 관측된 30m와 60m 깊이에서의 해류변화. 우측의 숫자는 각 속도성분의 평균과 표준 편차이다. 크기는 변하고 있으나, 평균적으로 약 10cm/sec의 해류가 동쪽으로 흐른다.

이 해류의 크기는 초속 10cm 정도이다(Lee, 1982). 이에 이어 1983년 4월에 제주해협 내에서의 물성 변화와 해류의 구조를 파악하기 위하여 종합적인 관측이 이루어졌다(장경일, 1983). 제주도 서쪽과 제주 해협에서 해류관을 수심 5m와 50m에 띄워 수 일간 추적한 결과, 왕복성의 조류 이외에 제주도를 끼고 흐르는 해류가 확인되었으며(그림 5(a)), 제주해협(위치 : 그림 3의 +표)에 계류한 유속계도 조류 외에 평균적으로 초속 10cm 정도의 동류를 보이나, 시간적으로 매우 크게 변함을 알 수 있었다(그림 5(b)).

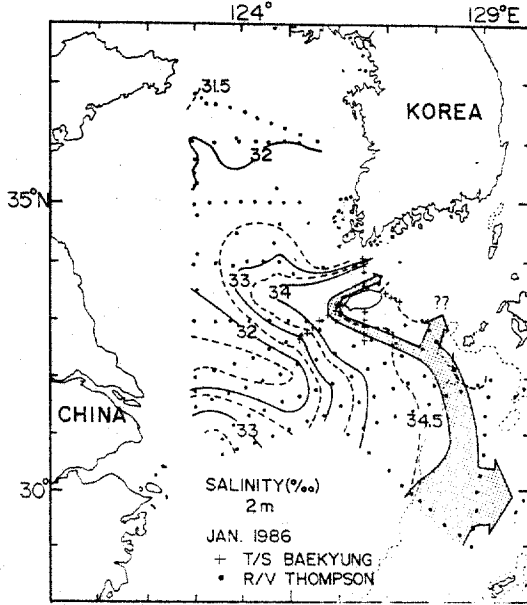
1980년의 자료는, 또한 표층에 10m 두께의 매우 낮은 염분의 층이 형성되어 제주해협으로 유입되는 것을 보이며(김 구, 1980), 같은 시기에 양자강 입구와 인접 동지나해에서 실시된 미국—중공 공동 조사의 결과에 의하면, 양자강 유출수의 일부가 북동 방향으로 확장되고 있어(Beardsley, et al., 1985), 이 저염의 해수는 양자강에서 근원할 가능성이 매우 높다(그림 3 참조). 이러한 가능성은 제주해협을 중심으로 수집된 모든 자료를 분석하면서 더욱 높아졌고(노홍길, 1985), 김인욱(1986)은 이 저염수의 분포와 시간적 변화를 연구하였다. 또한, 1986년 여름 인공위성을 이용하여 추적한 10m층 부표(그림 6)가 양자강 입구 근처에서 출발하여 북동으로 이동한 후 제주해협을 통과하여 한국 남해안에 거의 평행하게 움직여 대한해협을 통하여 동해로 유입함으로써 이 해류의 존재는 거의 확실하게 되었다. 특히 이 부표는 8월 18일 이후 제주도 서쪽 해역에서 북쪽으로 움직여 황해로 향하는 듯 하였으나 방향을 거의 180° 바꾸어 제주해협으로 빠져나와, 단순한 수온 또는 염분의 분포에서는 전혀 추측할 수 없는 해수의 흐름을 제시하였다.

이상의 최근에 밝혀진 중요한 사실들은 Uda의 해류도와와는 크게 대치된다. 첫째, 북상하는 황해난류와 양자강 유출수의 영향을 받은 저염수가 동진하여 제주도 서쪽에서 서로 교차하는 것은 불가능하며, 제주도 서안을 끼고 시계 방향으로 흐르는 고염 고온의 난류는 동진하는 해류와 공히 존재할 수 있다. 둘째, Uda는 대한해협 서수도로 유입하는 해류가 Kuroshio에서 나뉘어 규슈(Kyushu) 옆을 북상한 대마난류로 보았으나, 실제로는 제주해협을 등



〈그림 6〉 Satellite tracking drifter가 1986년 7월 24일에서 10월 24일까지 해수와 함께 이동할 제적.

류한 해류도 상당한 부분(약 30%)을 차지하리라 추측된다(조양기, 1988). 정설로 받아들여졌던 Uda의 해류도는 새로운 체계적 조사의 대상이 되어야 함은 위의 단편적 사실들이 말하고 있다. 그러나, 이 사실들은 대상 해역이 제한되어 있고, 한두번의 관측 결과에 불과함에 유의하여야 한다. 그림 5(b)에서 알 수 있는 바와 같이 해류와 해황은 시시각각으로 변함으로 장기적인 관측 계획이 수립되어야 하며 그 대상 해역은 황해에서 오끼나와(Okinawa) 열도까지 이르는 해역을 포함하여야 한다. 이의 좋은 예로서, 1986년 1월



〈그림 7〉 1986년 1월 황해 및 동지나해 CTD관측점(●표)과 2m층 염분 분포. ●표는 워싱턴대학 해양연구선 THOMPSON호에 의해 관측되었고, +표는 제주대학 해양실습선 배경호에 의해 관측되었다. 점선 화살표는 온도-염분 분석에 의해 추정된 모식적 해류분포이다. 흑조(Kuroshio)의 일부가 큐슈 서쪽해역에서 북으로 흐르며, 고염의 축이 제주도 서단을 돌아 제주해협으로 흐르는 해류를 제시한다. 남해에서는 자료가 수집되지 않았으므로 많은 학자들이 주장하는 대한해협으로 직접 들어오는 해류를 유추할 수 없다.

실시된 CTD관측(수심에 따라 연속적으로 수온과 염분을 측정함)을 들 수 있다(그림 7). 동경 123°의 동쪽 해역의 139개 정점에서 수집된 CTD 자료를 분석한 결과, Kuroshio의 대양수계와 대륙붕 상의 수계는 전혀 다른 특성을 갖고 있음이 분명하고, Kuroshio 지류의 형성도 고염의 축을 따라 추정할 수 있었다(최병호 등, 1987). 특히, 이 고염의 축은 1980년 김 구와 노홍길에 의하여 제안되었던 제주도 인접의 고온 고염의 해류와 자연스럽게 연결될 수 있음은 중요한 발견이다. 이 결과는 또한 노홍길과 김 구(1983)가

제주해협에서 정기선을 이용하여 수집한 수온의 분포에서 겨울철 고온의 축이 제주도 가까이 분포하는 것보다 일치한다. 제주도 주변에서 백경호를 이용하여 수집된 자료(그림 7, 관측점 +)를 해석함에 있어 광범위한 해역에서 수집된 자료가 필수적이었음은 앞으로 예상되는 조사의 좋은 본보기라 할 수 있다.

#### IV. 앞으로의 과제

1980년 이후 제주도 주변 해류 연구의 결과를 바탕으로 그 동안의 경험에 비추어 우리가 나아가야 할 방향을 몇 가지 정리해 볼 수 있다.

첫째, 심해와는 달리 대륙붕 상에서는 수온이나 염분의 분포 만으로는 해류를 추정하기가 매우 어려우며, 부표 추적이나 유속계 등을 사용하여 장기적으로 유속을 직접 관측하여야 한다. 제주도에 인접한 해역의 경우 제주도 서쪽과 제주해협 내에서 20일 미만의 단기간에 걸친 유속 관측이 있었으나 계절에 따른 변화를 모르고 있으며, 제주도 남쪽과 동쪽 해역에 대한 조사는 전무한 형편이다.

둘째, 통상적인 조사를 탈피하고 황해와 동지나해를 대상으로 구체적인 목적을 설정하여 종합적이고 체계적인 연구를 수행하여야 한다. 해양 현상은 광범위한 영역에서 서로 밀접한 관계를 갖고 일어나기 때문에 대상 해역의 광역화는 필수적이다. 앞으로 연구되어야 할 구체적 내용으로는 제주해협 내의 해황 및 해류 변화, 황해난류의 존재 확인과 형성 기작 및 대마난류와의 연관, 황해 저층냉수의 확장, 그리고 동지나해의 해수유동 등을 꼽을 수 있겠다. 이러한 연구는 물리, 화학, 생물, 지질학적 연구의 총체화와 수산, 환경, 국방 등 관련 분야와의 유기적 관계 파악으로 종합적으로 수행되어야 하며, 장기적인 안목에서 연구 계획을 수립하고 관계 기관(대학, 연구소, 산업계)의 협력 체계 확립과 관측망의 형성으로 체계적인 연구가 되어야 한다.

셋째, 이러한 연구를 위하여는 필수적으로 자료의 질을 높여야 한다. 이를 위하여 지난 10여년간 새로이 개발된 연구 기기를 국내에 도입하여, 조

사 및 연구 기기의 획기적 개선을 이루어야 하고, 자료의 수집 과정이 국제적으로 인정된 방법에 준하여야 된다. 국내에서 수집된 자료의 정확·정밀도에 대한 의문이 외국의 학술 논문에 공공연히 지적되고 있음을 간과할 수 없다. 유속계 장기 계류장치, Bottom Drogue 혹은 전자 장비나 인공위성을 이용하여 추적하는 Drogue 등 해류 측정 장치의 사용과, 광역에서 동시에 해면 수온, Biomass, 파고 등을 조사할 수 있는 원격 조사(Remote Sensing) 방법의 도입을 추천한다.

네째, 삼면이 바다인 우리나라 여건에서는 연구의 효율을 높이고 정보와 인력의 합리적 관리를 위하여 해역 별로 연구의 중심지를 형성하여야 한다. 제주도가 황해, 동지나해 및 태평양을 대상으로 하는 연구의 중심지로 형성되기에 최적의 위치에 있으며, 제주대학교 해양연구소가 이러한 연구에 크게 기여할 수 있다.

다섯째, 현재 일본, 중공, 대만은 태평양을 대상으로 정기적인 조사를, 그리고 필요에 따라 특별 관측을 실시하고 있다. 국력의 신장을 위하여 인류 공동의 문제인 환경 변화에 대처하기 위하여 우리도 안목을 태평양까지 넓혀야 한다. 1,000톤 급의 해양조사선이 국내에 처음으로 도입되는 1990년초를 기대하며 이에 준비하여야겠다.

**감사의 글:** 본 논문에 수록된 연구의 결과들이 가능하도록 지원해 준 한국과학재단에 깊은 감사를 드린다. 이인규 교수께서 제주도 연구회 전국학술대회의 참여를 격려해 주셨으며, 문화의 전파 등 해류의 분포가 여러 분야에 미치는 영향에 관하여 장주근 교수께서 일깨워 주셨다. 서울대학교 박사 과정을 수료한 이상호의 도움을 받아 본 논문을 최종 정리하였다.

## 참 고 문 헌

- 김 구, 1980. 한국 남서해의 해류에 관한 연구. 한국과학재단 연구 보고서. pp. 68.  
 김인옥, 1986. 제주도 주변 해역에 출현하는 중국 대륙 연안수에 관한 연구. 석

- 사학위 논문, 제주대학교, pp. 46.
- 노홍길. 1985. 제주도 주변 해역의 어장 해양 환경에 관한 연구, 박사학위논문, 동경대학교, pp. 215.
- 노홍길, 김 구, 1983. 제주와 목포, 제주와 완도 간의 표면수온 변화, 한국해양학회지, 18:64-72.
- 일본수산학회. 1974. 대마 난류, 항성사 후생각, 일본. 1-26.
- 장경일. 1984. 제주해협내 해류의 구조와 역학. 석사 학위 논문, 서울대학교, pp. 62.
- 조양기. 1988. 남해의 저층수와 유량에 관한 연구. 석사 학위 논문, 서울대학교, pp. 55.
- 최병호, 이홍재, 박용향, 노홍길, 이상호, 이경택, 김 구. 1987. 황해와 동지나 해의 1986년 1월 해황. 한국해양학회 1987년 추계 연구 발표회 요약집, p.11.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, H. Yu and G.A. Cannon. 1985. Discharge of the Changjiang(Yangtze River) into the East China Sea. *Continental Shelf Res.* 4:57-76.
- Lee, S.H. 1982. On the Cold Surface Water west of the Jeju Island. MS. Thesis. Seoul Nat. Univ., pp.43.
- Lim, D.B. 1971. On the origin of the Tsushima Current Water. *Jr. Oceanol. Soc. Korea*, 6:85-91.
- Nakao, T. 1977. Oceanic Variability in relation to Fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *Jr. Fac. Mar. Sci. Tech., Tokai Univ. sp. No.*, 199-367.
- Schrenck, L. 1873. Stromungsverhältnisse im Ochotskischen und Japanischen Meere und in den zunächst angrenzenden Gewässern. *Memoires de l'Acad. Imp. d. Sc. Petersbourg.* 7(according to Wust, 1936)
- Smith, R.L. 1968. Upwelling. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 6:11-46.
- Uda. M. 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *Jr. Imp. Fish. Exp. St.*, 5:57-190.
- Wada, Y. 1894. A study on the Japan current. *Tokyo Butsiri Gakko Zasshi*, 3(33):241-243.
- \_\_\_\_\_ 1894~1895. Investigation on the Ocean Currents in the east of Japan. Part 1, *SCHH*, 2:1-28, Part 2, *SCHH*, 3:1-34.
- Wooster, W.S. and D.L. Fluharty. 1985. El Nino. ed. *Washington Sea Grant Prog. Univ. Washington*
- Yi, S.U. 1966. Seasonal and secular variations of the water volum transport across the Korea Strait. *Jr. Oceanol. Soc. Korea*, 1:7-13.