

# 제주도북방 함덕해역에서의 기상과 해황의 관계\*\*\*\*\*

방익찬\*, 노홍길\*\*, 김유근\*\*\*, 김태희\*\*\*\*

Air-Sea Relations on Ham-Duck Area North of Cheju Island\*\*\*\*\*

Pang Ig-chan\*, Rho Hong-ki\*\*, Kim You-keun\*\*\*, Kim Tae-hee\*\*\*\*

## Summary

The air-sea relations in the northern sea of Cheju Island have been studied through the observations on Ham-Duck area. The oceanic circumstances are basically affected by the adjacent seas, specially the East China Sea. Seasonal temperature changes let us make sure that the Kuroshio waters are extended to the north-west direction in winter and shrunk to the south-east direction on summer. In addition, Ham-Duck area shows some air-sea relations, such as closely related air and sea surface temperatures, and effects of precipitations on surface salinities. The temperature and salinity distributions in the coastal areas also reveal probably upwellings by the east winds. However, the monthly observations of planktons and fishes make it hard to find any effects of these oceanic changes, which are primarily due to the atmospheric conditions, on the biological productions.

## 서론

제주도 연근해의 해황은 멀리 동지나해의 해황에 가장 큰 영향을 받으며(방과 김, 1989) 이외에도 양자강 연안의 해황 등에도 영향을 받는 것으로 보고되었다(노, 1985). 제주도 연근해의 해황은 이와 같은 대규모 해류흐름에 의한 영향뿐만 아니라 기상변화에도 영향을 받을 것이다. 그러므로 수온과 염분에 대한 이 두 영향을 분석하는 것은 이 해역

의 해황 연구에 매우 중요한 뿐만 아니라 더 나아가 주변해역의 해황을 분석하는 데도 도움이 될 것이다. 제주도 연근해에서의 이 두 영향의 분석은 아직 시도되지 않은 상태이며 본 논문에서는 함덕 연안을 중심으로 제주도 북방해역에서의 기상과 해황의 관계를 우선적으로 분석하였다.

본 논문에서 다룬 기상과 해황의 관계는 기온의 변화, 강수나 증발량의 변화, 바람의 변화 등의 기상의 변화에 의한 수온과 염분의 변화를 중심으로 분석되었다. 일반적으로 수온에 대한 기온의 영향은 약하며 표층염분에 대한 강수량과 증발량의 영

\* 제주대 해양학과 전임강사 \*\* 제주대 어업학과 교수 \*\*\* 부산대 대기학과 조교수

\*\*\*\* 제주대학교 대학원

\*\*\*\*\* 이 논문은 1989년도 문교부 지역개발 연구비에 의하여 연구되었음.

향은 크다고 인식되어 있는데 이러한 인식이 제주도 북방해역에서 과연 적용되는지의 관점에서 살펴 보았다. 이 이외에도 바람에 의한 해류의 영향과 해양생물에 대한 해황의 영향 등도 살펴보았다. 그러나 해류관측은 관측중 기기의 작동이상으로 충분한 양의 자료를 얻지 못했고 플랑크톤과 어획량자료는 월별로 관측되었기 때문에 관측자료들이 기상으로 인한 효과를 분석하기에는 미흡하였다.

사용된 기상자료는 제주측후소에서 관측된 1989년 3월 1일부터 1990년 1월 31일까지의 일일 기상자료이고 해양자료는 같은 기간동안 함덕해양연구소 해변에서 관측된 일일자료와 함덕만의 내만(内

灣)과 만외(灣外)에서 1989년 5월부터 1990년 2월 사이에 관측된 월별자료이다(순별관측을 시도하였으나 기상조건 등에 의해 대략 월별자료가 되었고 1989년 3월과 4월의 자료는 기기고장으로 관측자료가 폐기되었다). 해류자료는 1989년 6월 29일부터 관측하였으며 관측도중 해류계에 해초가 엉켜 관측값이 이상치를 보여 7월 25일까지 관측 후 중단되었다. 어획량자료는 1989년 5월 19일부터 계속 관측되었으나 본 논문에서는 9월 30일까지의 자료만을 사용하였다. 관측정점은 Fig.1에 나타나 있다. 정점 1부터 14까지의 내만(内灣) 관측정점과 관측정점 A부터 D까지의 외해관측정점에서 수온, 염분,

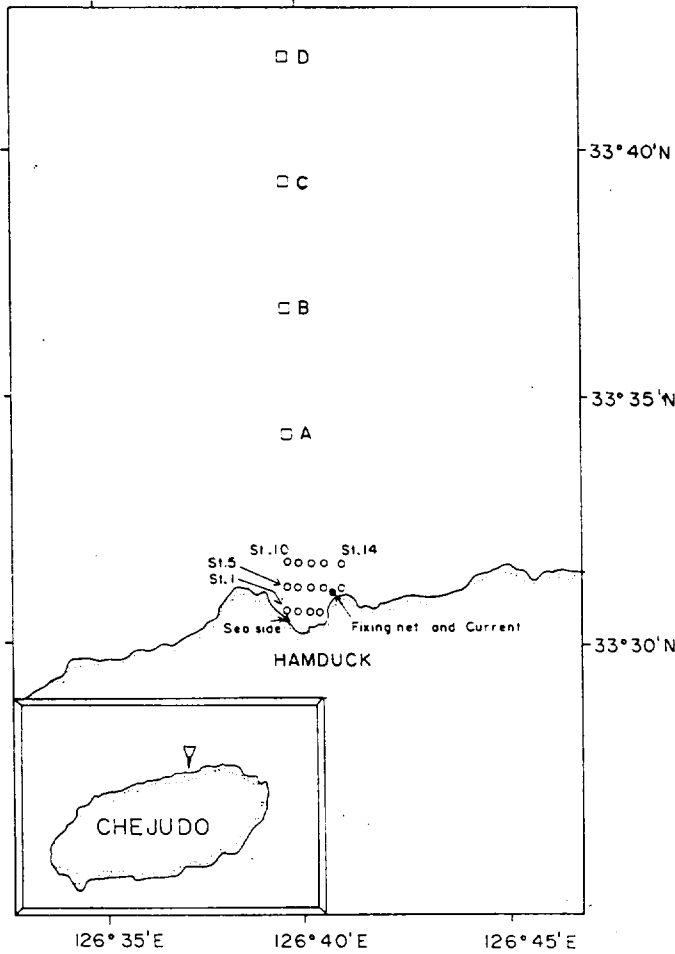


Fig. 1. Observational Stations around Ham-Duck Bay north of Cheju Island : Inner-Bay Stations 1-14, Outer-Bay Stations A-D, Sea-Side Station, and Fixing Net and Current Meter Station

플랑크톤 등을 월별로 관측하여 합덕만의 분포와 만과 외해의 관계를 알아볼 수 있도록 하였으며, 합덕해양연구소 앞의 해변정점(그림에서 Sea Side로 표시된 곳)에서는 매일 오전 10시에 표층해수의 수온과 염분율, 정치망과 해류정점(그림에서 Fixing net and Current라고 표시된 곳)에서는 해류와 어획량을 관측하였다. 관측자료를 분석할 때 일본기상청에서 발간된 1989년 순별수온자료와 수년간의 평균자료를 함께 사용하였다.

## 관측결과 및 분석

### 1. 표층수온의 계절변화

Fig.2는 관측기간 동안의 기온과 표층수온의 계절변화를 보여준다. (a)는 기온, (b)는 표층수온이며 (c)는 기온에서 표층수온을 제한 값을 나타내고 있다. 기온은 제주측후소에서 관측된 일평균자료이며 표층수온은 해변정점에서 관측된 자료이다. 기온이 해수에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 일평균자료가 보다 적당하기 때문에 측후소자료를 사용하였으나 해변 정점에서 오전 10시에 관측된 기온자료도 제주측후소의 일평균자료와 거의 비슷하게 나타나 오전 10시의 기온자료가 일평균 기온값으로 쓰여질 수 있음을 보여주었다. 일평균 기온과 표층수온의 계절변화를 보면 3월부터 8월중순까지의 증가와 그 이후부터의 감소가 같은 위상을 가지고 변한다. 그러나 일반적으로 기온은 7-8월에 최대가 되며 수온은 8-9월에 최대가 되어 기온과 수온변화 사이에 위상차가 있는 것으로 인식되어 있다. 실제로 일본기상청자료에 나타난 1989년도 50m층의 자료에는 해수수온이 9월-10월에 최대값을 나타낸다. Fig.2의 기온은 3월부터 8월 중순까지 표층수온보다 약간 높게 앞서가며 상승하고 그 이후에는 표층수온보다 낮게 앞서가며 감소하는데, 기온과 표층수온의 상관계수(R Squard)는 약 0.92로 매우 높다. 이것은 표층수온과 기온과의 사이에 밀접한 관계가 있음을 의미한다. 즉 표층 아래의 해수수온이 저위도 해역에서 가열된 해수의 유입으로 결정되는 것에 반하여 표층해수의 수온은 기온에 의해 더 크

게 결정될 수 있다는 것을 암시한다. 그러나 수온에 대한 기온의 영향은 약하다는 일반적인 인식 때문에(Pickard and Emery, 1984) 이와같이 높은 상관관계에도 불구하고 다른 가능성을 검토해 보아야 할 것이다. 예를들어 표층수온의 계절변화에 대한 기온의 영향은 그리 크지 않으나 두 온도를 결정하는 요인들이 공통되기 때문에, 두 온도사이의 직접적인 관계가 크지 않음에도 불구하고 높은 상관계수를 가질 수 있는 경우이다. 다음은 기온과 표층수온과의 직접적인 관계가 과연 어느 정도인가를 열의 유출입분석을 통하여 분석하였다. 이러한 열수지분석을 통해 Fig.2에 보이는 바와같이 기온과 표층수온과의 차이가 봄과 여름에는 작고 가을과 겨울에는 큰 의미가 무엇인지도 밝혀질 것이다.

제주도 북방해역에서도 전 층의 해수온도를 결정하는 주 열량유출입은 해수의 흐름에 의해 이루어질 것이다. 이것을 보기 위해 일본기상청자료에서부터 우리나라 주변해역의 표층과 100m층의 수온분포를 Fig.3에 나타내었다. Fig.3의 (A)와 (B)는 2월과 8월의 표층수온분포이며 (C)와 (D)는 2월과 8월의 100m층의 수온분포이다. Fig.3을 보면 우리나라 주변을 포함한 북서태평양 해역의 수온분포가 겨울철에는 표층과 100m층이 비슷한 분포를 나타내며, 저위도 해역에서 고온인 해수가 고위도 해역으로 흐르면서 저온화 되는 것을 보여준다. 여름철의 100m층 수온분포는 겨울철과 비슷한 분포를 나타내며 역시 해수의 흐름을 보여준다. 그러나 표층수온은 상승하며 100m층과는 다른 수온분포를 보이는데 표층수온의 분포는 해수의 흐름을 반영한다기 보다는 위도에 따른 기온의 분포를 반영하듯이 보인다. 만약 해수표면으로 부터의 열량공급이 없다면 여름철에도 표층수온 분포는 100m 층의 수온분포와 비슷한 분포를 보일 것이기 때문에 해수가 여름철에는 표면으로 부터 많은 열량을 공급받고 있다는 것을 알 수 있다. 그러므로 따뜻한 해수의 유입에 의한 열량공급이 해수표면으로 부터의 열량공급보다 그 양이 크고 표층이하의 수온분포를 결정할지 모르나 표층수온의 계절변화는 해수의 유입만으로 설명되기 힘들며, 해수표면을 통한 열교환과 함께 설명되어야 할 것이다. 수온분포에서 보이는 바와같이 100m 이하의 층에서는 해류에 의한 열량의 유출

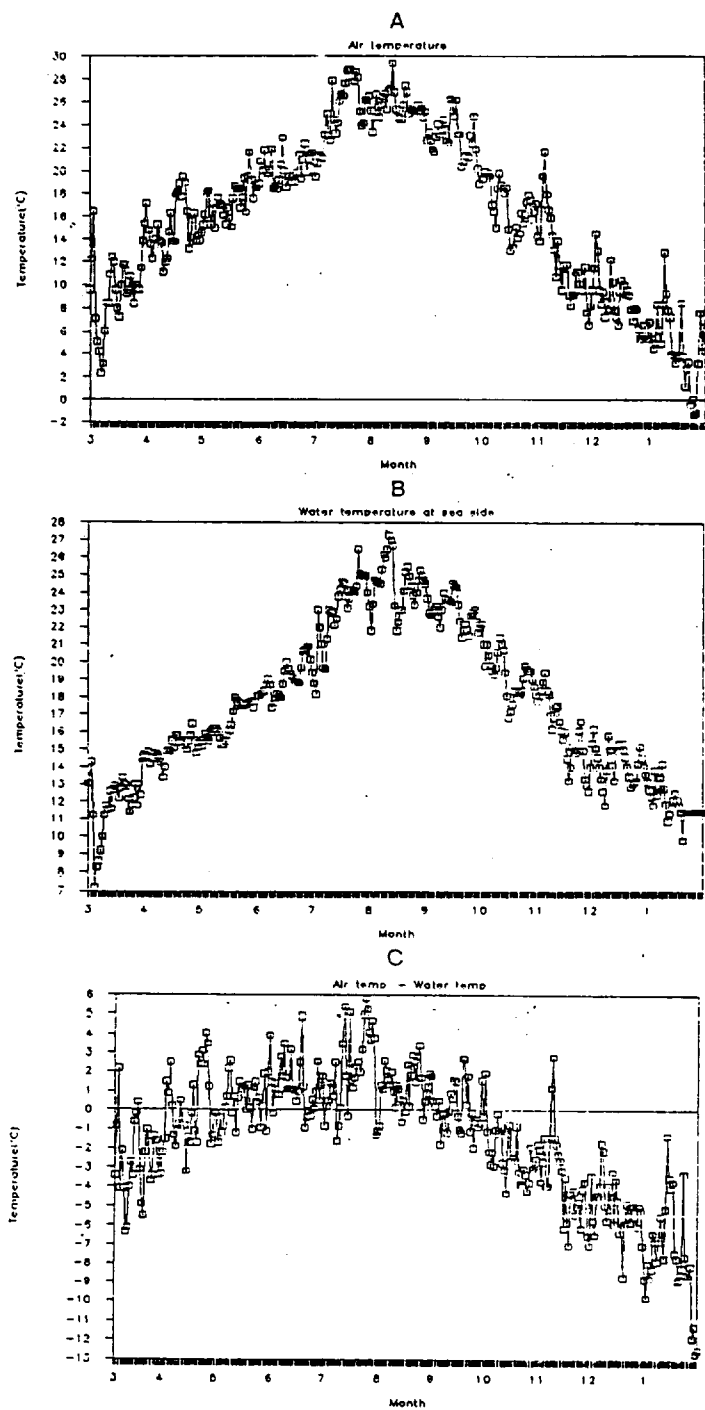


Fig. 2. (A) Air Temperatures from Cheju Weather Station, (B) Sea Surface Temperatures from Sea-Side Station, and (C) their Differences (Air Temperature-Sea Surface Temperature), from March 1st, 1989 to January 31st, 1990

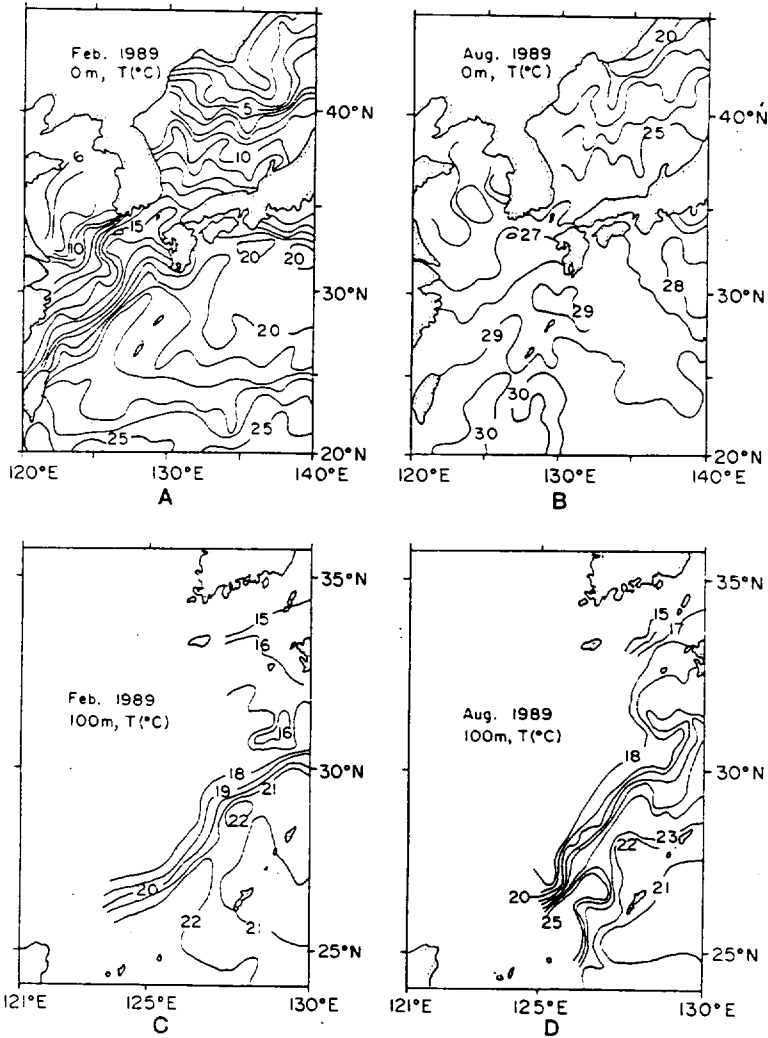


Fig. 3. Horizontal Temperature Distributions of Surface and 100m Layers in February and August, 1989, from Japan Meteorological Agency

입이 거의 년중 균형을 이루고 있고 그 이상의 층이 계절변화를 하고 있기 때문에 본 논문에서는 계절변화를 일으키는 부분만을 해수표면을 통한 열량 유출입으로 살펴보았다.

표층수온에 영향을 주는 요인은 태양으로 부터의 일사량(Qs), 해수표면으로 부터의 복사열(Qb), 대기와 해수 사이의 전도열(Qh), 증발에 의한 증발열(Qe), 해수의 유입에 의한 열(Qv) 등이 있다. Fig. 4는 1989년 3월부터 11월까지 기상관측자료로부터 구한 1일 일사열량에서 증발에 의해 손실되는

열량을 뺀 값(Qs-Qe)이며 단위는 cal/cm<sup>2</sup>·day이다. 그 값은 0-400cal/cm<sup>2</sup>·day로 매우 큰 일변화를 보이나 대부분 0보다 큰 값을 나타내 년중 해수표면에 열을 가하는 것을 알 수 있다. 표층수온이 증가하는 계절인 봄과 여름의 값이 표층수온이 감소하는 계절인 가을과 겨울의 값보다 높다(Fig. 2 참조). 봄부터 여름까지의 값은 다른 요인이 없다면 표층해수온도를 봄철의 10°C에서 여름철의 25°C로 가열하기에 충분하다. 그러나 가을부터 겨울까지의 열량도 그보다 작기는 하나 꾸준히 해수에 열을 가하

기 때문에 가을과 겨울의 표층수는 감소가 이 요인에 의한 것이 아님을 알 수 있다. 이것은 봄과 여름의 표층수온 증가도 이 요인에만 의한 것이 아닐 가능성이 있다는 것을 보여준다.

해수표층으로부터의 장파복사열(Qb)은 절대온도, 습도, 구름 등에 의해 결정되는데 봄에서 여름까지의 기간과 가을에서 겨울까지의 기간 사이에 이들이 뚜렷한 차이점을 보이지 않는다. 절대온도로 본다면 수온의 계절변화는 작은 것이며 오히려 온도 변화에 의한 습도의 변화가 장파복사열에 더 큰 영향을 주고 있다. 온도가 증가하면 복사열량이 커지나 온도증가에 따른 습도의 증가가 복사열량을 감소시키기 때문에 두 영향은 상쇄되어 계절에 따른 변화가 적어진다. 구름의 양도 달마다 변하나 계절에 따른 뚜렷한 차이를 발견하기 힘들다. 장파복사열은 이와같은 뚜렷한 계절변화를 보이지 않으며 해수표면으로부터 년중 열을 빼앗기 때문에 이 또한 표층수온의 계절변화를 설명할 수 있는 요인이 아니다.

그러므로 표층수온의 계절변화를 일으키게 하는 주요인은 대기와 해수간의 열전도라고 생각할 수 밖에 없으며 기온과 표층수온과의 상관관계가 매우 크게 나타난 것은 기온이 표층수온의 계절변화에 직접적인 영향을 주기 때문이라는 것을 알 수 있다. 겨울에서 여름까지의 기간에는 기온이 표층수온보다 높아 해수로의 열전도가 이루어지기 좋은 조건을 이루어 증발열량을 제한 태양열량의 유입(Qs-Qs>0)과 더불어 표층해수의 온도를 높일 것이다. 반면에 여름에서 겨울까지의 기간에는 기온이 표층수온보다 낮아 열전도가 해수로 부터 대기로 이루어지는 조건을 이루어 손실되는 증발열량보다 태양열

량이 کم에도 불구하고(Qs-Qe)0) 표층해수온도를 낮추는 것으로 보인다. 그러므로 수온이 하강하는 계절에는 표층해수로부터 대기로의 열전도가 수온이 상승하는 계절에 대기로 부터 표층해수로의 열전도보다 높아야한다. 이것은 Fig.2의 (C)에서 보이는 바와같이 기온과 표층수온의 차이가 봄과 여름보다 가을과 겨울이 더 큰 이유를 설명해 준다.

그러나 해수표면을 통한 열교환은 지역적이 아니라 해수가 오랜 시간동안 흐르는 대양규모에서 일어난다. 제주도 북방해역에 나타나는 쿠로시오해수라면 적도 부근에서 부터 제주해역으로 유입되는 긴 해역에서 가열되거나 감열될 것이다. Table 1은 1989년도 일반기상청 자료로서 적도, 북위 20°N, 제주도 주변해역에서 표층과 100m 층의 2월과 8월의 수온변화를 보여준다. 1989년도 자료에는 50m층이 없기 때문에 제주도 주변해역의 50m층 자료는 일반기상청자료 중 수년 평균값을 사용하였으나 그 자료에는 북위 20°N과 적도의 자료가 없다. 그러나 표층과 100m층에서 1989년 자료와 수년 평균자료는 거의 일치하고 있다. Table 1의 자료를 보면 해수가 적도 해역에서 고온이고 고위도해역으로 갈수록 낮아져 해수가 적도지방에서 북상하면서 주위의 찬해수와 접하며 많은 열량을 빼앗기는 것을 볼 수 있다. 이러한 열손실은 100m층에서 년중 평형을 이루고 있으며 표층으로부터의 열교환에 영향을 받지 않고 있다. 그러나 그보다 얇은 층은 표층으로부터의 열교환에 의해 변화를 하고 있으며 표층수온의 증가폭은 적도가 2°C 정도인 반면 북쪽으로 갈수록 커져 제주도 주변해역에서는 약 13°C로 고위도해역에서 더 많은 증가량을 보여 준다. 이는 여름철에 표층수온이 증가하는 주요이유가 적도해역에

Table 1. Water temperatures along the Kuroshio from Japan Meteorological Agency (in °C)

	Near Equator			20° N			North of Cheju Is.		
	Surf.	50m	100m	Surf.	50m	100m	Surf.	50m	100m
Feb	28	-	28	25	-	25	14	14	14
Aug	30	-	28	29	-	25	27	15	14

서 가열된 해수가 북상하기 때문이 아니라 해수가 북상하면서 가열되기 때문이라는 것을 보여준다. 제주도 주변해역에서의 해수수온 증가량에서 적도 해역에서의 해수수온 증가량을 빼면 해수가 적도해역에서부터 제주도 주변해역까지 흐르는 동안의(3500km를 1knot의 속도로 흐를 때에 80일 정도) 증가량을 알 수 있다. 수온의 변화가 없는 100m층에서부터 50m 층이 1°C, 표층이 13°C까지 가열되려면 단위면적당(1cm) 약 37,500cal가 필요하다. 적도해역에서 증가된 열량은 표면부터 100m까지 층이 평균 1°C 증가했으므로 단위면적당 약 10,000cal가 증가되었다. 그러므로 해수가 적도해역에서부터 제주도 주변해역 사이에서 얻은 열량은 두 값의 차이인 약 27,500cal이다. 이 기간 동안에 적도에서부터 제주도 주변 사이의 해역에서  $Q_s - Q_e$ 의 평균값은 약 200cal/cm<sup>2</sup>·day이며 장파복사열은 약 100cal/cm<sup>2</sup>·day이다 (Fig.4와 Pickard and Emery, 1984). 따라서 해수는 이들로 부터 약 16,000cal의 열량을 받는다. 나머지 약 10,000cal는 열전도에 의해 보충되는 것으로 보인다.

이 값을 열전도식( $dQ/dt = -r q dT/dn$ , Q: 열량, T: 온도, t: 시간, n: 해수의 법선방향, r: 열전도

상수(17.5°C 40‰의 해수에 대해  $1.337 \times 10^{-3}$ cal/cm<sup>2</sup>·sec·°C) q: 면적, Neumann and Pierson, 1966)에 넣으면 온도경사가 1°C/cm 정도를 이루어야 하며 이 크기의 경사는 Fig.2에 보이는 기온과 수온의 차이로 보아 가능한 것으로 보인다. 이 결과는 자료분석으로 얻은 것으로 앞으로 관측을 통해 확인해야 할 과제이다. 현재로는 해수표면의 얇은 층에서 이러한 기온차가 발생하는지를 관측하는 것은 거의 불가능하며 우선은 실험실에서 확인해야 할 것이다. 그러나 표면 가까이 있는 매우 얇은 층의 해수에서는 이 규모의 열전도를 가능하게 하는 수온기울기가 발생할 수 있을지 모르나 그 이하의 층에서는 열전도가 활발하게 이루어질 수 있는 수온 분포가 아니다. 표면 이하의 층에서는 표면으로 부터의 열전도에 의해 유입된 열이 바람에 의한 혼합으로 밑의 층으로 전달될 수 있을 것이다.

가을과 겨울철에는  $Q_s - Q_e$ 의 값이 봄과 여름철보다 작으며 기온이 표층수온보다 낮아 해수표면으로부터 열손실이 발생한다. 기온과 표층수온의 차이는 봄과 여름(기온이 높음)보다 가을과 겨울(기온이 낮음)이 더 크기 때문에 가을과 겨울에 열전도가 더 많이 일어난다. 이 때문에 가을과 겨울철에

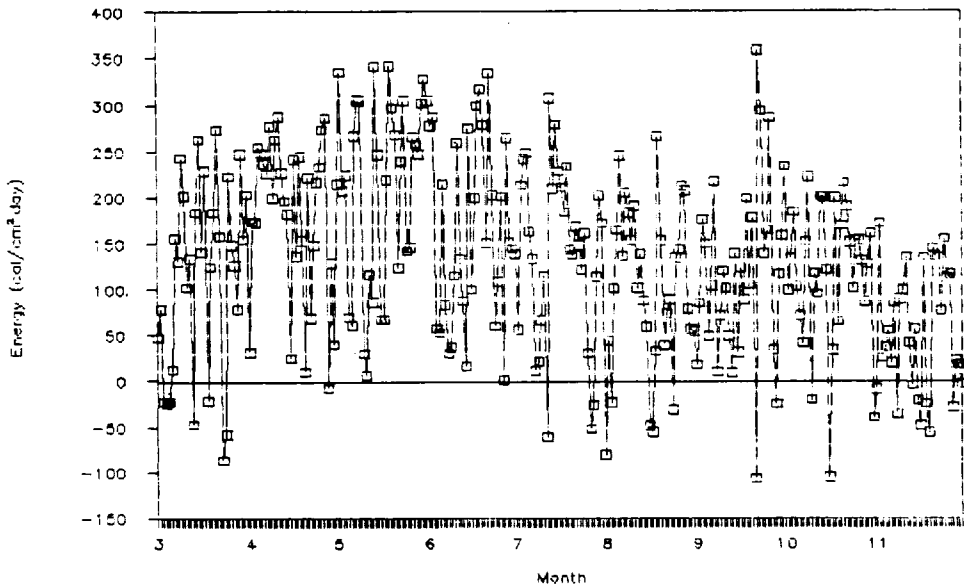


Fig.4. Incoming Solar Energies subtracted by Evaporation Heat Energies from March 1st to November 30th, 1989

Qs-Qe의 열이 해수로 유입됨에도 불구하고 해수표면으로부터 열이 손실될 수 있다. 보다 더 확실한 분석을 위해서는 보다 더 깊은 연구가 있어야하나 본 논문에서의 분석결과는 표면을 통한 열전도가 표층수온의 계절변화를 일으키는 중요한 요인이라는 것을 밝힌 것에 의미가 있을 것이다.

## 2. 수온의 변화로 본 쿠로시오세력의 변화

Table 2는 수년평균의 일본기상청 자료로부터 구한 쿠로시오해수의 영향이 매우 큰 해역과 쿠로시오해수의 영향이 거의 없거나 미약한 해역의 수온변화와 제주도 북방해역의 수온변화를 비교한 것이다. 수온변화는 표층과 50m층 수온의 2월과 8월 사이의 변화이다. 점 A에서 E까지는 쿠로시오해역으로 대만 동방해역에서 규수서방 해역을 지나 동해로 이어진다. 이중 점 C는 제주도 북방해역과 같은 위도의 대마해류 중심해역이다. 점 G는 황해의 한점으로 쿠로시오세력이 미약한 곳을 선택하였고 점 H는 동해의 북부해역으로 대마해수의 영향이 없는 곳을 선택하였다. Table 1과 Table 2 사이의 약간의 차이는 Table 1은 1989년도 자료인데 비해 Table 2는 수년간 평균자료이기 때문이다.

이 자료를 보면 쿠로시오 세력의 해역과 비세력의 해역은 자기 다른 수온변화의 특징을 가지고 있다. 쿠로시오 세력의 해역에서는 표층수온도 여름에 높아지나 50m층도 다른 해역에 비해 많이 높아지며 그 이유는 저위도에서부터 수온이 높아진 해수가 유입되기 때문이다. 저위도에서는 50m층이 약 4°C정도 높아지나 고위도 해역으로 갈수록 증가폭은 약간씩 커져 표면으로부터 가열되는 것을 보여준다. (앞절에서는 표면으로부터 가열된 열량만을 계산하였다.) 그러나 쿠로시오의 세력이 미치지 않는 해역에서는 50m층의 해수가 약 1°C 정도밖에 높아지지 않아 해수가 표면에 의해서만 가열된 것을 알 수 있다. 표층수온의 증가량은 쿠로시오 세력의 해역보다 오히려 비세력의 해역이 높게 나타나는데 이는 쿠로시오 해수가 미치지 않는 해역은 겨울에 표층수온이 매우 낮기 때문이다.

제주도 북방해역의 수온변화는 50m층에서 1.5°C

로 쿠로시오 비세력의 해역과 비슷하나 표층에서는 1.2°C로 낮아 쿠로시오 세력의 해역과 비슷해 전체적으로 볼 때 제주도 북방 해역의 수온변화는 쿠로시오 세력의 해역의 특성이나 비세력의 해역의 특성과 모두 다르다. 이와같은 제주도 북방해역의 수온변화의 특성은 쿠로시오 세력의 변화로써 만이 설명이 가능하다. 즉 겨울에는 쿠로시오 세력이 제주도를 포함한 제주도 북방해역에까지 확장되어 표층이나 50m 층의 수온이 모두 높으나 여름에는 후퇴하여 제주도 북방해역에 미치지 못하기(방과 김, 1989) 때문에 여름철에 저층수의 수온은 겨울철에 비해 많이 높아지지 못한다. 표층수는 다른 모든 해역과 마찬가지로 더워지나 겨울철에 상대적으로 더웠기 때문에 수온상승 폭이 적다. 그 결과 50m층의 수온변화는 쿠로시오 해수의 유입에도 불구하고 쿠로시오 해역에 비해 작으며 표층의 수온변화는 비슷한 위도의 다른 해역에 비해 작아진다.

이것은 쿠로시오 세력이 겨울철에 북서방향으로 확장되어 제주도 주변해역을 감싸고 여름철에 후퇴하여 제주도 동남방해역에 머무른다는 보고를(방과 김, 1989) 확인하는 결과이다. 그러나 본 논문의 결과로 비추어 지적하고 싶은 점은 그 원인으로서 이미 보고된 바람 이외에도 열전도에 의한 표층해수의 밀도분포를 고려해야할 것이라는 것이다.

## 3. 표층수온에 대한 바람의 효과

Fig.5는 일본기상청자료 중 제주도 북방해역의 순평균(旬平均)과 함덕해변에서 관측된 표층수온을 보여준다. 7월 중순까지는 해변의 표층수온이 외해의 표층수온에 비해 그다지 낮다고 볼 수 없으나 그 이후에는 해변의 표층수온이 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 표층수온은 해변에서 멀어질수록 외해와 비슷해진다. 관측된 외해단면의 수직분포에서는 관측정점의 수와 관측횟수가 적어 이러한 경향을 뚜렷하게 볼 수는 없으나 Fig.9의 10월 수직분포를 보면 해안에 가까워질수록 수온이 낮아지는 분포를 볼 수 있으며 염분값도 연안이 약간 낮아지며 수온과 비슷한 모양을 갖는다.

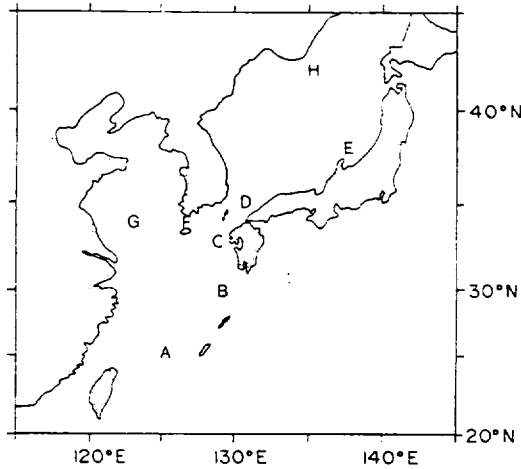
해변의 표층수온은 육지의 영향을 많이 받을 것이므로 해변과 외해의 표층수온 관계를 다음과 같



Table 2. Water Temperatures of Surface and 50m Layers in Febuary and August, and Differences of Temperature between August and Febuary, from Japan Meteorological Agency.

The latitude and longitude of each point is as follows :

- (A) 25°N, 125°W, (B) 30°N, 129°W, (C) 33°N, 129°W
- (D) 35°N, 131°W, (E) 38°N, 138°W, (F) Hamduck Area
- (G) 35°N, 123°W, (H) 42°N, 135°W



Area	Feb		Aug		Difference	
	Surface	50 Layer	Surface	50m Layer	Surface	50m Layer
(A)	23°C	23°C	29°C	27°C	6°C	4°C
(B)	20°C	20°C	28.5°C	25°C	8.5°C	5°C
(C)	14°C	14°C	28°C	20°C	14°C	6°C
(D)	13°C	13°C	26°C	18°C	13°C	5°C
(E)	9°C	9°C	25°C	15°C	16°C	6°C
(F)	14°C	13.5°C	26°C	15°C	12°C	1.5°C
(G)	8°C	8°C	27°C	9°C	19°C	1°C
(H)	1°C	1°C	21°C	2°C	20°C	1°C

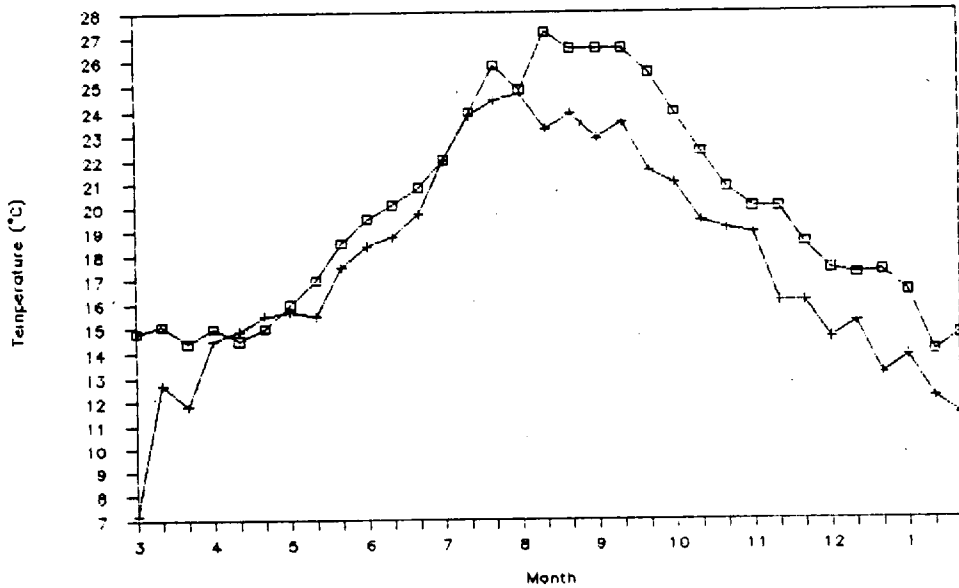


Fig. 5. Temperature Differences between Sea Surface Temperatures from Sea-Side Station and Sea Surface Temperatures outside Ham-duck Bay from Japan Meteorological Agency

이 추측할 수 있다. 즉 해변의 표층수온은 육지가 해수보다 찬 겨울철에는 외해의 표층수온보다 낮고 육지의 온도가 해수와 비슷한 봄과 가을에는 외해와 비슷하며 육지의 온도가 높은 여름철에는 외해보다 높을 것이다. 그러나 Fig. 5를 보면 여름과 가을의 경향은 이러한 추측과 다르게 나타나는데 이것은 바람에 의한 용승의 효과로 설명될 수 있을 것이다. 제주측후소에서 관측된 월평균 바람의 방향을 보면 1989년도에는 대략 6월에서 10월까지 동풍계열의 바람이 강하며 나머지는 서풍계열의 바람이 우세하다. 6월 정도에 풍향이 서풍에서 동풍으로 바뀐 후 약 한달 후에 해안의 표층수온이 외해보다 낮아지며 이 경향은 동풍이 지속되는 기간 동안 계속되어 여름과 가을의 분포가 나타났다고 볼 수 있다.

그러나 바람에 의한 용승효과를 확인하기 위해서는 더 많은 관측과 연구가 필요하다. 예를들어 제주도의 연안수가 제주도 연안을 따라 흐른다면 (Park and Kim, 1987) 회전 효과에 의해 이러한 분포가 나타날 가능성도 있기 때문이다 (Kim and Lee 1982).

#### 4. 표층염분과 강수량

Fig. 6은 (A)의 해변정점에서 관측된 표층염분값 (S)과 (B)의 제주측후소 관측자료중 증발량에서 강수량을 뺀 값 (E-P)의 변화를 보여준다. 이 그림으로부터 많은 강수량이 있었을 때 표층염분이 낮아지는 현상을 볼 수 있으나 E-P와 표층염분의 상관계수 (R Squard)는 매우 낮다. E-P와 그 당일의 표층염분자료의 상관계수는 약 0.04이며 익일 표층염분 값과의 상관계수는 약 0.08이다. 이것은 비가 많이 왔을 때 표층염분이 일시적으로 감소하는 현상이 나타나기는 하나 전반적으로 표층염분이 강수량이나 증발량에 의해 결정되지 않는다는 것을 의미한다. 염분변화의 가장 큰 부분은 계절변화인데 지역적인 증발과 강수는 이러한 염분의 계절변화를 설명하지 못할 것이다. 즉 Fig. 6에서 보이는 강수에 의한 일시적인 저염화는 지역적인 영향이나 제주도지역의 증발과 강수가 제주도 북방해역에서의 염분의 계절변화를 일으키는 직접적인 요인은 아니다. 표층염분에 대한 증발과 강수의 지역적인 영향

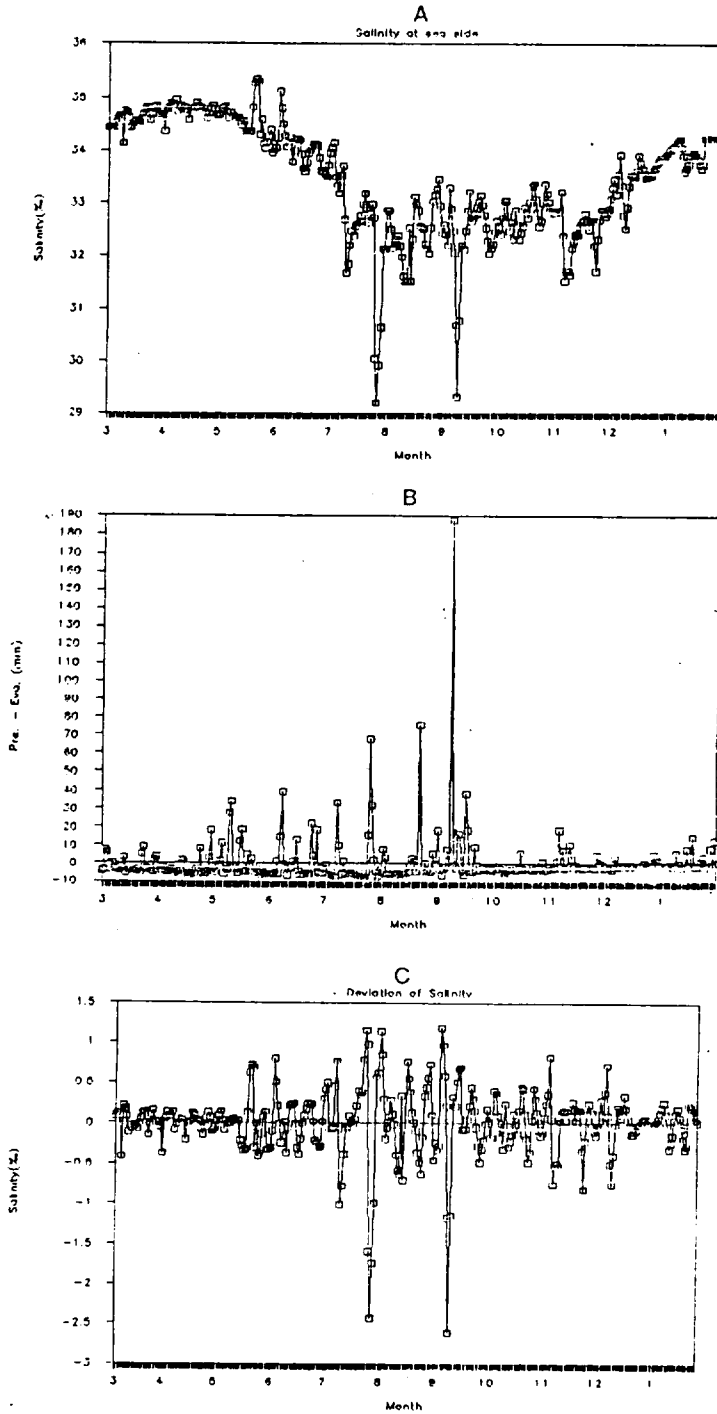


Fig. 6. (A) Sea Surface Salinities from Sea-Side Station, (B) Precipitations subtracted by Evaporations, and (C) Sea Surface Salinities (in A) subtracted by Mean Variations obtained by 11-days Moving Average Method, from March 1st, 1989 to January 31st, 1990

을 알아보기 위하여 염분의 계절변화를 뱀 염분 변화자료를 사용하였다. Fig. 6의 (C)는 표층염분값에서 계절변화(MA-11days moving average를 사용함)를 제한 값(S-MA)의 변화이다. 증발-강수(E-P)와 당일 표층염분(S-MA)의 상관관계는 약 0.07이며 익일 표층염분(S-MA)과의 상관관계는 약 0.26으로 많이 높아진다. 이상의 결과로 지역적인 증발과 강수는 염분의 계절변화에 거의 영향이 없으며 일시적인 염분변화에 영향을 주나 당일 보다는 익일에 효과가 나타나는 것을 알 수 있다.

E-P와 표층염분의 상관관계가 익일자료를 사용할 때 높아지는 것은 강수가 직접적으로 저염화를 일으키는 것보다는 비로 인한 육수의 유입에 의한 영향이 더욱 크다는 것을 말해준다. 또 전 기간동안 보다는 장마철에 E-P와 표층염분과의 상관관계가 더 높으며 일시적인 염분변화 또한 매우 크다. 강수량이 많았던 7월 8일(34.4mm), 7월 26일(69.1mm), 8월 22일(76.6mm), 9월 8일(188.5mm), 11월 6일(19.1mm) 등에는 저염화현상이 크게 나타난다. 저염화는 강수가 며칠 계속될 때가(7월 8일 전후, 7월 26일 전후, 11월 6일 전후) 하루만의 집중적인 강수보다 저염화 폭이 크다. 7월 8일 전후의 강수량(47.2mm)과 11월 6일 전후의 강수량(31.6mm)은 8월 22일의 강수량(76.6mm, 이날 전후에도 비가 왔으나 그양은 모두 3.2mm로 매우 작음)보다 적으나 염분감소량은 더 크게 나타나 강수 후 육지로부터 유입되는 육수가 염분변화에 매우 중요함을 확인할 수 있다. 또한 강수 후의 표층염분의 저염화가 해안선에서부터 약 1km 안쪽이 외해보다 크게 나타나는 것도 육수의 영향이 연안에서는 더 중요하다는 것을 보여준다(Fig. 9 참조).

## 5. 내만과 외해의 수온과 염분분포

Fig. 7는 함덕 내만의 정선관측에서 얻은 수온과 염분의 T-S Diagram이다. 2월에는 전반적으로 34‰ 이상의 고염수가 분포하나 점차 고온저염화되어 8월 중순정도에 년중 가장 고온저염을 나타낸 후에 다시 저온고염화되고 있다. 그러므로 함덕내만의 변화는, 여름까지는 고온저염화되고 여름 이후에는 저온고염화되는 제주도 주변해역의 변화를 반영한다. Fig. 8는 CTD를 이용한 외해역의 T-S

Diagram이다. 일반적으로 표층은 수온과 염분의 변화가 심하며 저층으로 갈수록 변화가 약하다. 5월에는 표층의 일부를 제외하고는 거의 균질화된 양상을 나타내는데 비해, 8월에는 아주 뚜렷한 성층화된 양상으로 분포하고, 10월부터는 성층의 강도가 점차 미약해 지는 것을 알 수가 있다. 이는 저층에서는 년중 표층염분의 변화가 미약한데 비해 표층으로 갈수록 변화가 심하기 때문이다. 8월에는 심층에 약 15°C, 34.2‰의 저온고염의 해수가 분포하고 표층에는 약 26°C, 32‰의 고온저염의 해수가 분포하나, 2월에는 전층에 약 14°C, 34.25‰의 해수가 분포한다.

내만과 외해를 비교해보면 전반적인 계절변화는 비슷하게 나타나나 계절에 따라 약간의 차이를 보인다. 내만은 외해에 비해 차이가 작으며 6월에는 고염저온, 8월에는 저염동온, 10월에는 고염저온, 12월과 2월에는 동염저온을 보인다. 내만과 외해에서의 관측방법이 다르고(내만은 봉상온도계와 Salinometer를 사용하였으며 외해는 CTD를 사용하였음) 아직까지 비교할 다른 자료가 없어 이러한 차이를 단정하기는 어려우나 위의 분포변화가 사실이라면 다음과 같이 해석할 수는 있다. 6월에서 10월까지는 동풍이 우세한 시기로 제주도 북방해역에서는 동풍에 의해 용승현상이 생길 수 있는 시기이며 용승으로 인해 내만이 외해보다 고염저온화될 것이다. 그러나 8월에는 이와 함께 육수의 영향과 해수 표면으로부터의 열이 용승으로 인한 고염저온을 상쇄시켜 실제와 같은 저염동온이 나타난다. 반면에 겨울에는 용승현상이 사라지며 동염을 이루는 차거운 육지의 영향으로 저온을 나타내는 것이다. 그러나 이상의 사실과 해석은 한 차례의 관측으로는 단정하기 어려우며 앞으로 계속 확인해 보아야할 과제이다.

Fig. 9는 수온염분의 수직단면분포를 나타낸 것이다. (A)와 (B)는 8월, (C)와 (D)는 10월, (E)와 (F)는 12월의 수온과 염분분포를 각각 나타낸다. 8월의 자료는 성층화를 보이고 10월의 자료는 용승의 가능성을 보여주고 있으며 12월의 자료는 용승 효과는 없으나 연안의 수온이 낮아진 것을 보인다. 8월에는 내만이 저염화되어 있으며 그 영향은 해안으로 부터 약 1-2km에 이르는 것을 보여준다. 이것은 제주도 연안수의 확장범위가 약 1km 정도라는

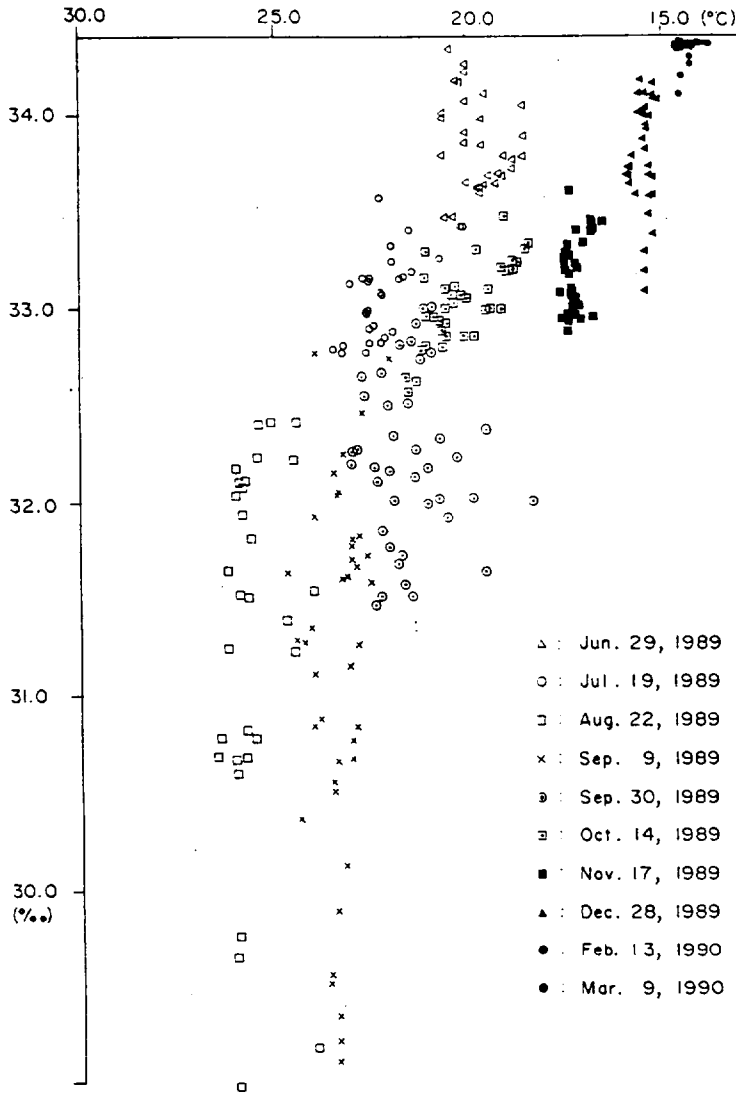


Fig.7. T-S Diagram of Observation Data from Inner-Bay Stations

지금까지의 보고(노와 정 1980, 양 1984, 최 등 1987 : 특히 서귀포는 천지면 폭포, 정방 폭포, 소정방 폭포 등 많은 량의 담수가 유출이 되는데도 외양역으로 멀리 확장되지 못함.)와 비슷한 결과이다. 또한 32‰ 이하의 저염수가 표층 5m의 층에만 분포하고 있어 8월에 강수량이 많은 것을 감안할 때 제주도에서 유입되는 담수는 가까운 연안해역의 표층에만 영향을 주는 것을 알 수 있다.

Fig.10은 해변정점에서의 수온과 염분의 T-S

Diagram이다. 이 분포는 Fig.7의 내만분포와 Fig.8의 외해분포와 전체적인 면에서 비슷한 양상을 보여 쿠로시오를 포함한 외해수가 해변에까지 큰 영향을 미치며 강수량이 많은 때를 제외하고는 외해, 내만, 해변 모두 기본적으로는 같은 계절변화를 하고 있음을 보여준다. 이는 제주도의 해안선이 매우 완만해 연안수해역이 장기적으로 특별히 형성되지 않고 있음을 보여준다. 그러나 강수일인 경우 매우 낮은 염분을 보여 이미 언급한 일시적인 육수의 영

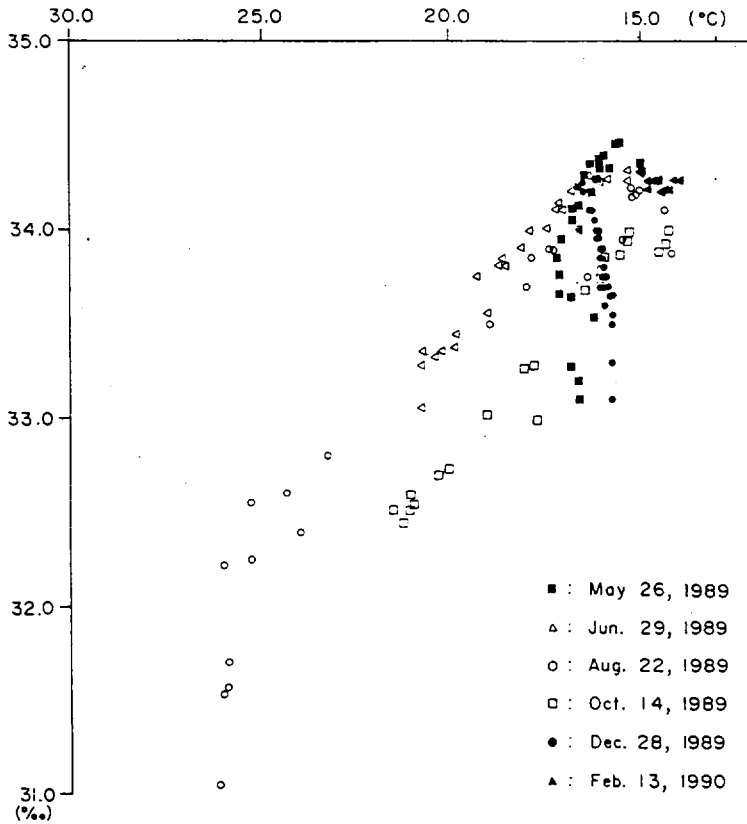


Fig. 8. T-S Diagram of Observation Data from Outer-Bay Stations

향을 볼 수 있으며 동풍이 우세한 계절에 용승으로 해석할 수 있는 특성분포가 나타난다. Fig. 11은 6월부터 12월까지 관측된 함덕만의 수평 표층염분분포의 변화를 보여준다. 8월 22일에는 강수량이 많았던 날로 연안가까이에 심한 저염화현상이 보이며 동풍이 강한 9월과 10월에 연안을 따라 용승에 의한 것으로 보이는 저염화 현상이 나타나 있다. 따라서 8-10월에는 등염분선이 해안선과 같은 방향으로 분포한다. 그러나 다른 계절에는 등염분선이 해안선과 수직한 방향으로 분포하여 함덕만의 표층염분이 연안이 효과보다는 외해에 의해 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다.

6. 해류, 플랑크톤, 어획량과 해황과의 관계

Fig. 12은 해류정점에서 관측된 해류자료들 유속과 유향별로 구분한 자료이다. 유향은 0°가 정북방향이며 90°가 정동방향이다. 자료의 많은 부분이 대략 90°와 250°에 분포되어 있어 조석류가 함덕해역에서는 주로 동서방향으로 흐르는 것을 보여준다. 이 중 동류가 서류보다 크게 나타나 제주도 해협에서는 항류가 동쪽으로 흐르는 것을 알 수 있다. 해류자료에는 대부분의 경우 동류가 우세하나 그 사이에 동류의 세력이 약화되는 시기가 나타나는데 동류가 약화되는 시기에 수온은 높아지고 염분은 낮아지는 변화를 보인다. Fig. 13은 해류자료와 함께 관측된 수온염분자료 중 해류가 변하는 시기인 1989년 7월 2일부터 7월 4일과 7월 7일부터 7월 9일 사이의 해류, 수온, 염분을 보여준다. (A)는 해류이며 윗쪽이 동쪽, 아랫쪽이 서쪽방향이고 (B)는 염분, (C)는 수온이다. 이러한 현상은 제주도 북부

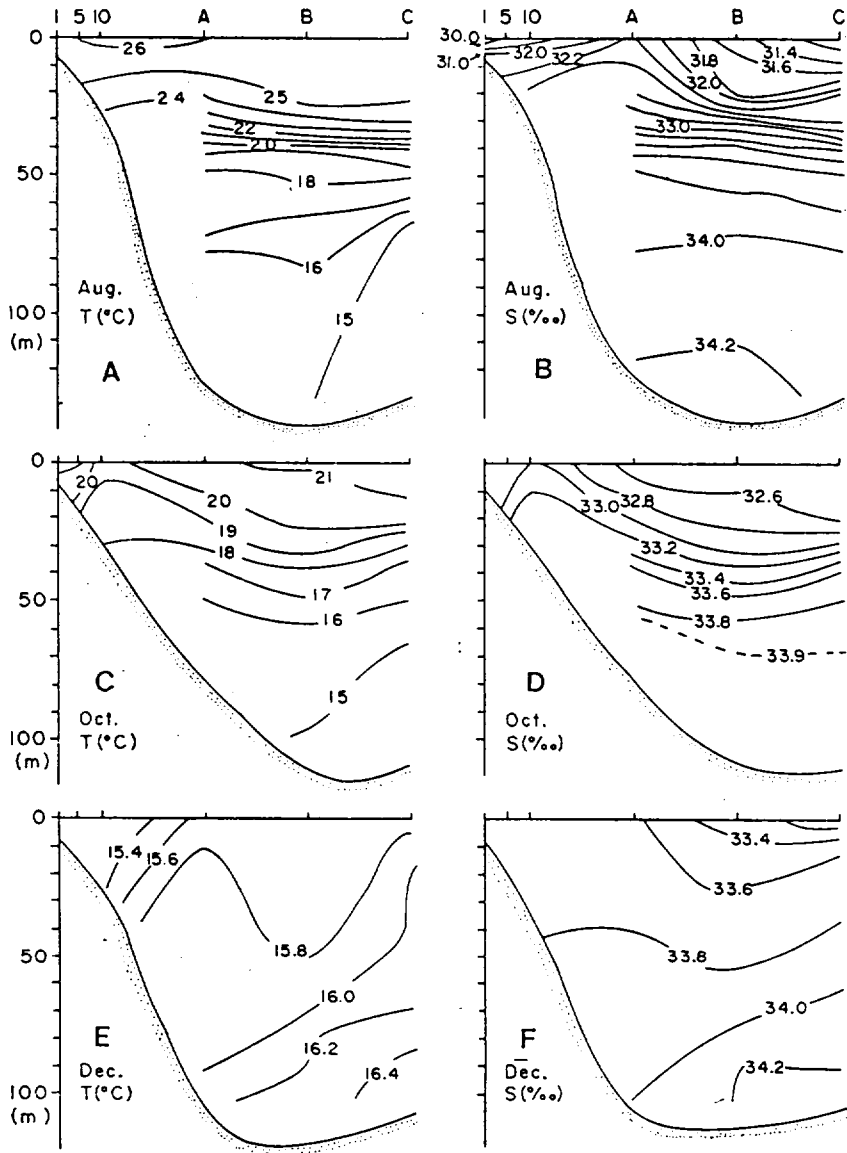


Fig. 9. Vertical Profiles of Temperatures and Salinities along Outer-Bay Stations in August, October, December, 1989

연안에서는 썰물때 강한 동류로 인한 해안으로부터 외해쪽으로 물이 유출되는 성분이 있으므로 연안쪽에서 저층수의 용승이 나타나 저온고염화되는 것 같고 동류가 약할 때는 이와같은 현상이 정지되므로 하계의 표층수인 고온 저염분수가 연안역의 해황에 크게 영향을 미치기 때문으로 보인다. 제주도 동쪽해역인 상산해역에는 여름철 연안 가까이에 저

염의 연안수가 관측되며 그 밖으로 고온고염의 쿠로시오 해수가 분포한다. 특히 7월 8일의 저염화 때는 많은 강우가 있었기 때문에 저염화가 더욱 큰 것으로 보인다. 따라서 이 해역에서 해류는 수온과 염분을 변화시키는 요인 중이 하나가 되고 있다.

Fig.14은 내만 관측정점의 관측선(관측정점 1-4선, 5-9선, 10-14선)에서 관측된 동물플랑크톤의

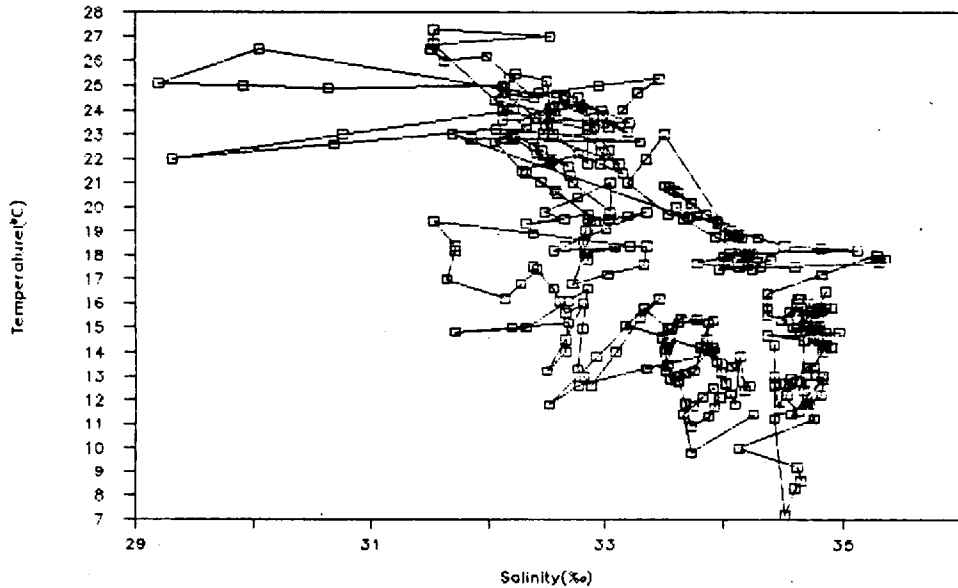


Fig. 10. T-S Diagram of Observation Data from Sea-Side Station

습증량을 보여준다. 습증량은 6,7,8월에 매우 낮게 나타나는데 이는 하계성층상태가 안정되는 것과 관련이 있는 것 같다. 습증량은 9월부터 다시 높아지는데 이는 육수유입의 영향과 성층상태의 불안정동이 복합적으로 작용하는 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 그러나 이 영향은 식물플랑크톤의 자료 및 먹이생물인 어류의 내유량 등에 관한 자료가 있어야 규명될 것이다.

Fig. 15는 함덕만에서 정치망으로 잡은 어획량을 나타낸 것이다. Fig. 16은 정치망과 유속계의 장치를 표시한 그림이다. 어획량의 변화는 일별, 계절별로 매우 크게 나타나고 있다. 이와같이 큰 변화는 매우 완만한 수온염분변화로는 설명하기 힘들며 좁은 해역에서의 유영생물들의 분포는 다른 요인에 의해 더 크게 좌우되는 것으로 보인다. 또한 플랑크톤의 변화와 어획량의 변화와는 일치하지 않으나 강우량이 많은 후에 어획량이 많아지는 경향이 있다.

### 결론 및 토의

(1) 지금까지 표층해수의 계절변화의 요인으로 대기와 해수간의 열전도는 별로 중요하지 않게 생각되어져 왔으나 본 연구를 통해 열전도가 중요한 요인임을 알게 되었다. 열전도가 중요한 요인으로 생각되어지지 않은 이유는 수온의 수직적인 경사가 일반적으로 매우 작아 많은 열을 전도할 수 없기 때문이다. 그러나 열전도가 해수표면의 얇은 층을 통해 이루어지고 그 후 혼합에 의해 밑으로 전달된다면 높은 열전도가 가능하다. 본 연구를 통해 표층해수의 계절변화가 가능하기 위해서는 열전도가 중요하게 이루어져야 한다는 것을 확인하였으나 과연 해수표면의 얇은 층에 높은 수온경사가 존재하는지는 앞으로 규명되어져야 할 것이다. 해수표면에 높은 수온경사가 있다 하더라도 바다에서 관측하는 것은 현재로는 불가능하기 때문에 우선 실험실에서부터 관측되어져야 할 것이다.

(2) 제주도북방해역의 수심에 따른 수온분포의 계절변화를 쿠로시오해역과 다른 해역의 수온분포와 비교하여 쿠로시오해수가 제주도 북방해역으로 겨울에는 유입되나 여름에는 유입되지 않는다는 것을 보였으며 이것은 쿠로시오의 세력이 겨울에는 북서쪽으로 확장되고 여름에는 후퇴한다는 보고(방



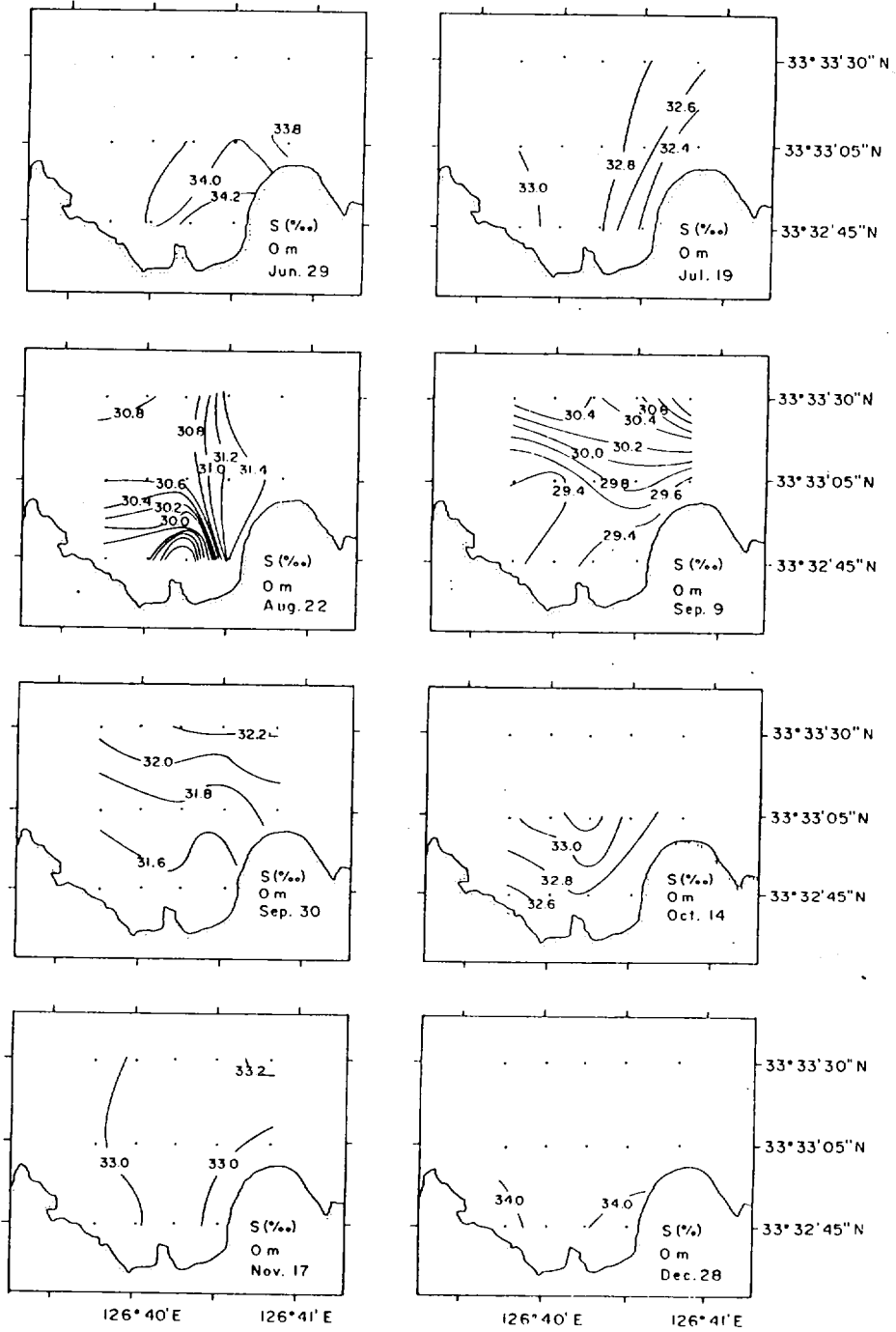


Fig. 11. Horizontal Distributions of Sea surface Salinities in Inner-Bay Stations from June to December, 1989

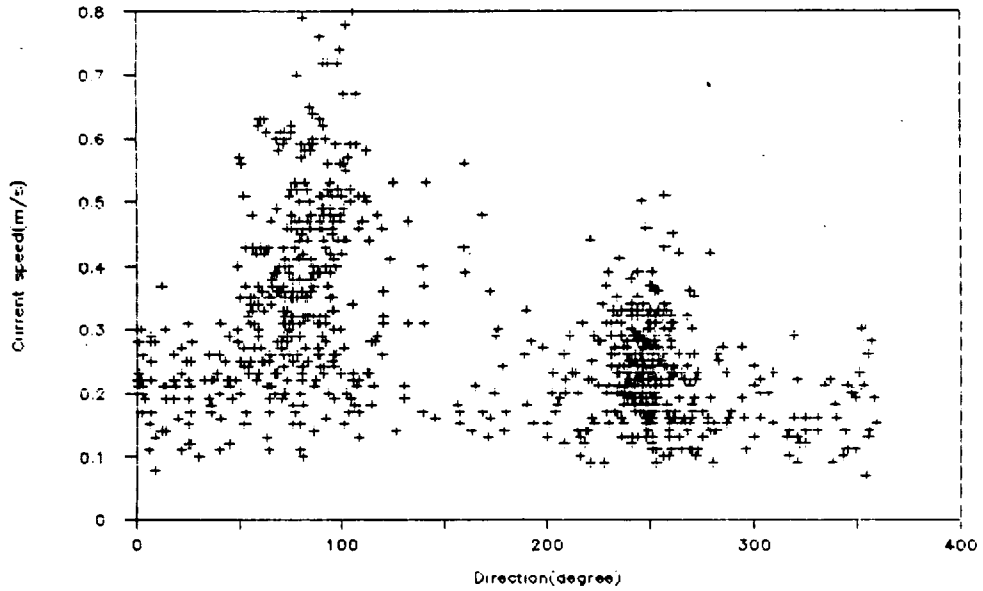


Fig. 12. Speeds and Directions of Current Data from Current Station from June 19th to July 16th, 1989 (speed : in m/sec, direction : in degree [0 degree-north, 90 degree-east])

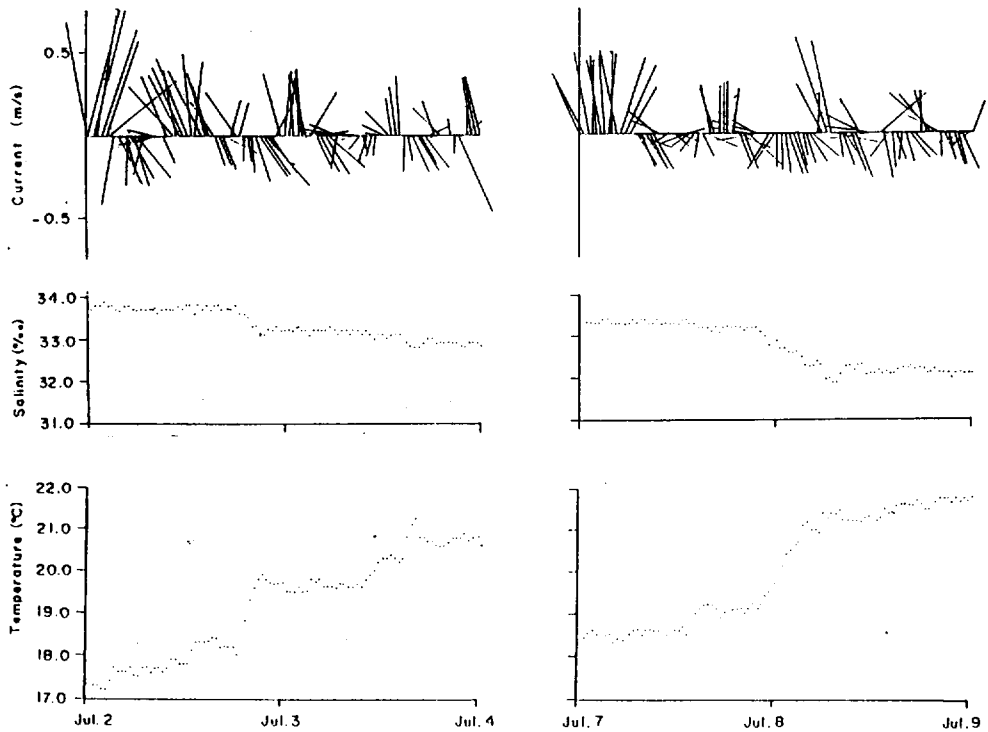


Fig. 13. Variations of Currents, Temperatures, and Salinities observed by Current Meter in July 2-4 and July 7-9, 1989

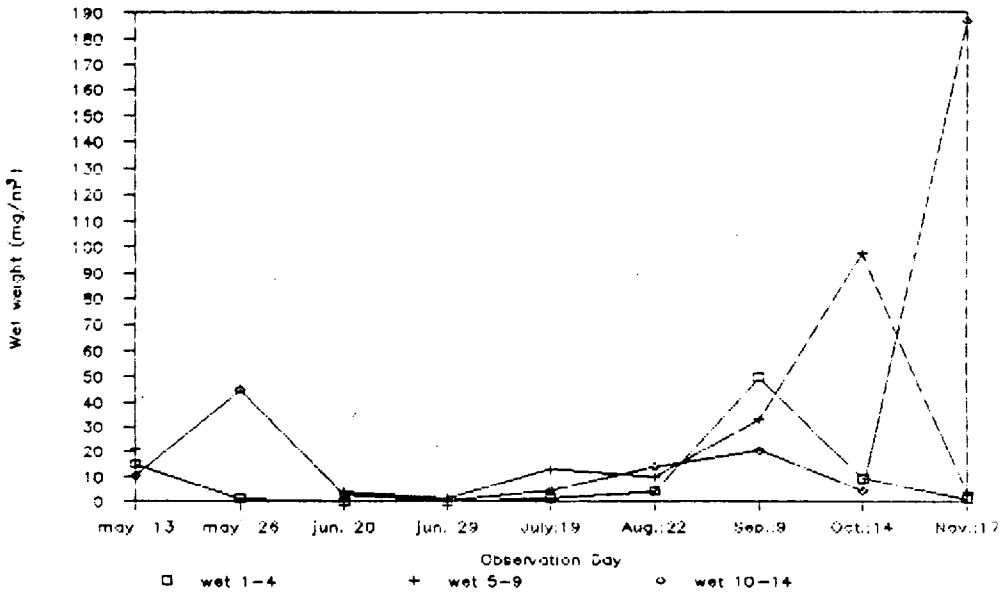


Fig. 14. Wet Weights of Zooplanktons along the lines of Stations 1-4, 5-9, and 10-14 from May to November, 1989 (in mg/m<sup>3</sup>)

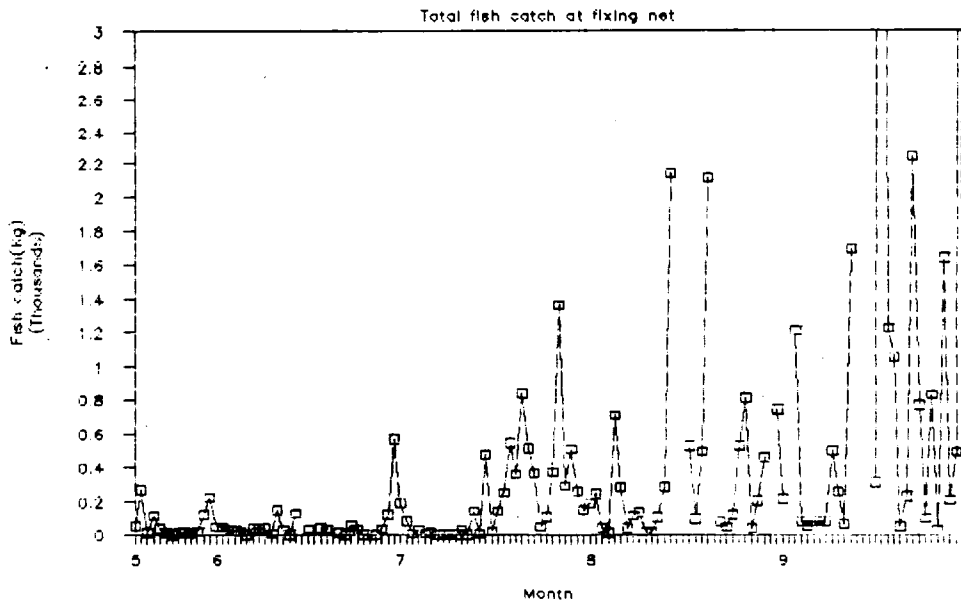


Fig. 15. Total Fish Catches gained by Fixing Net from May 19th to September 30th, 1989 (in kg)

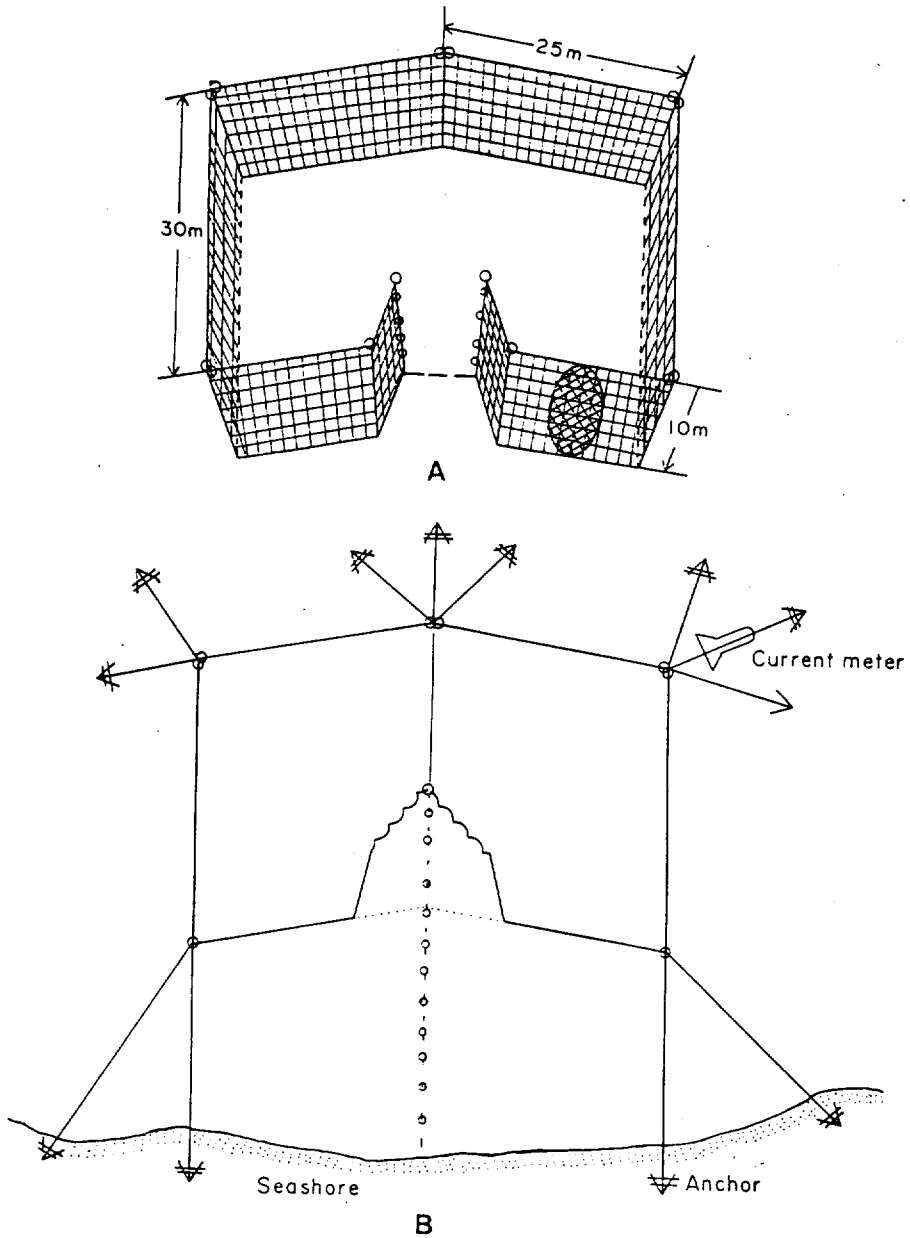


Fig. 16. Schematic Diagram of fixing Net and Current Meter

과 김 1989)를 열수지로 확인하였다.

(3) 우리나라는 계절풍지역에 위치해 풍향이 겨울에는 북서풍, 여름에는 남동풍으로 대표되며 1989년도에도 이와같은 경향을 보였다. 해안선이 동서로 뻗어있는 제주도 북방해역에서는 풍향의 동서성분에 의해 표층해수가 해안선과 수직한 방향으로 이동하며 여름철의 동풍에 의해서는 표층해수가 북쪽방향으로 이동하게 된다. 여름철의 수직단면의 수온염분분포와 해변과 외해의 수온차이는 바람에 의한 저층수용승의 가능성을 보여준다.

(4) 강우는 육수의 유입을 가져와 연안의 표층해수를 일시적으로 저염화 시킨다. 강우가 연안수의 표층염분을 직접 저염화시키는 효과보다 육수의 유입을 통해 간접적으로 저염화시키는 효과가 큰 것은 저염화된 연안수로 알 수 있다. 간접적인 효과도 매우 빠른 시간에 이루어지며 지속시간이 매우 짧는데 그 이유는 제주도의 땅이 물을 저장할 수 있는 능력이 매우 작아 육수가 빠른시간에 스며들어 깊은 지하수가 되거나 아니면 급속히 바다로 흘러들기 때문일 것이다.

(5) 함덕만의 수온과 염분은 기온, 강수, 바람 등의 기상요인과 육지의 영향을 받으나 전반적인 수온과 염분의 변화는 외해의 영향을 받고 있다.

(6) 함덕해역에서의 조류는 동서방향이며 항류는 동류이다. 플랑크톤은 여름에 매우 낮아지나 동풍

으로 인한 용승이 강한 9월부터는 증가하기 시작한다. 어획량은 단기적으로 매우 큰 변화를 보이며 완만하게 변하는 해황의 변화로는 그 변화를 설명하기 힘들다. 어획량은 강우와 같은 기상변화에 의해서 영향을 받을 가능성이 보이나 본 연구의 결과로는 확인하기 어렵고 계속되는 연구가 필요하다.

## 요 약

함덕해역의 관측을 기초로 제주도 북방해역에서의 기상과 해황의 관계를 연구하였다. 제주도 북방해역의 해황은 기본적으로는 제주도 주변해역 특히 동지나해의 영향을 받고 있다. 수온의 계절변화로부터 쿠로시오, 세력이 겨울철에 북서방향으로 확장되고 여름철에 남서방향으로 후퇴하는 것을 확인할 수 있었다. 주변해역으로 부터의 영향외에 함덕해역은 기온과 수온의 관계나 강수량과 염분의 관계와 같은 기상외의 영향을 보여준다. 또한 연안에 가까운 해역의 수온과 염분분포로 부터 동풍(東風)에 의한 용승의 가능성을 볼 수 있다. 그러나 기상외 조건에 의해 기인된 해황의 변화들이 해양생물에 미치는 영향은 플랑크톤이나 어획량을 월별로 관측했기 때문에 발견하기 힘들었다.

## 참 고 문 헌

- 최영찬, 고기원, 김상현, 1987. 제주도 동남방 신천연안역 해수의 이화학적 특성과 저질분포, 제주대학교 해양자원연구소 소보, 11, 53-71.
- Kim, K, and S. H. Lee, 1982. Vertical homogeneous water along the west coast of Jeju Island, *J. of Oceano. Society of Korea*, 17, 59-68.
- Neuman, G. and W. J. Pierson, Jr., 1966. *Principles of Physical Oceanography*. 1-545. Prentice-Hall,
- 노홍길, 1985. 제주도 주변해역의 어장 해양환경에 관한 연구. 박사학위논문, 동경대학교, 1-215.
- 노홍길, 1988. 제주해협의 해상과 기상. 고대 제주해로 태우조사 종합보고서, 120-145.
- 노홍길, 정공촌, 1980. 제주도 연안의 환경특성에 관한 기초적 연구 I. 제주대학교 해양자원연구소 소보, 4, 1-5.
- 방익찬, 김태희, 1989. 동지나해 해수분포의 계절 변화와 해수순환, 제주대학교 논문집, 28, 61-73.
- Park, Y. H, and S. I. Kim, 1987. A numerical model study on tide-induced residual currents

around Chejudo Island, *J. of Oceano. Society of Korea*, Vol. 22, No.1, 9-18.  
Pickard, G. L. and W. J. Emery, 1984. Descriptive Physical Oceanography, 1-248.

Pergamon Press.  
양성기, 1984. 제주도 삼양연안해역의 해양환경학적 연구. 제주대학교 해양자원연구소 소보, 8, 1-8.