

BSPE 97627-00-1078-2

태안반도 西側海域의 潮汐前線 및
海水特性에 관한 研究

A Study on the Tidal Front
off the Taean Peninsula

1997. 12.

韓國海洋研究所

提 出 文

韓國海洋研究所長 貴下

본 보고서를 “태안반도 西側海域의 潮汐前線 및 海水特性
에 관한 研究”사업의 최종보고서로 제출합니다.

1997년 12월 일

연구책임자 : 소 재귀(연안환경공학연구실)

연 구 원 : 정 경태(연안환경공학연구실)

: 강 석구(연안개발연구실)

: 이 호진(연안개발연구실)

要 約 文

I. 제목

태안반도 서측해역의 조석전선 및 해수특성에 관한 연구

II. 연구의 필요성과 목적

1. 필요성

조석전선의 존재는 조석혼합(그리고 바람혼합)의 급격한 공간적 변화를 의미하며 황해 내 연안역과 외해역간의 물질혼합과 직접 연관된다. 즉, 연안역에서 배출되는 오염물질의 이동 확산, 그리고 플랑크톤, 영양염 등의 이동, 재배치 등을 예측하기 위해서는 조석전선의 시, 공간적인 구조 변동, 형성 기작에 대한 이해가 요구된다. 태안 해역의 조석전선 구조 및 형성에 대한 규명은 황해전체를 대상으로 하는 순환모델 개발의 검증자료를 제공해 준다.

2. 목표

태안반도 서측 해역의 수온분포, 유속구조 등에 대한 현장관측을 통한 조석전선의 특성 파악.

Ⅲ. 연구개발의 전체적 범위

본 1차년도 연구에서는 태안반도 외측 $125^{\circ} 30' E \sim 126^{\circ} 20' E$, $36^{\circ} 37' N \sim 37^{\circ} 00' N$ 해역 내에서 일련의 관측을 실시하여 본격적인 수치모델링에 앞서 이 지역 조석전선의 시, 공간적 구조, 위치 변화 등을 개략적으로 파악하는 것을 연구범위로 설정하였다. 구체적으로 CTD 이동 관측, TR7을 이용한 2개 지점 수온연직분포 계류관측, ADCP를 이용한 1개 지점 유속연직분포 계류관측을 계획하였다.

Ⅳ. 연구개발의 결과

- . CTD 관측 결과 $125^{\circ} 33' E$, $36^{\circ} 43' N$ (St. C14)에서 가장 발달된 수온약층이 발견되었으며 $125^{\circ} 40' E$ 부근에서 등수온선의 상하분지가 나타나고 있다. 본 연구에서는 계류관측에 주안점을 두었으나 불행히도 가장 중요한 지점에서의 수온계류관측 자료를 기기 망실로 획득치 못하였으며 가용 기기의 제한으로 나머지 1개 지점에서도 표층 10 m까지만의 자료를 얻을 수 있었다. 계류관측에서 일, 반일주기의 수온변화가 표층관측에서 뚜렷이 나타나고 있으나 때로 바람혼합이 조석혼합보다 크게 작용한다는 사실이 확인되었다.

- . 이류(convection)향을 기지의 driving force로 가정하여 조석전선에

대한 이론모형을 수립하였으며 고유함수 전개(eigenfunction expansion)와 Laplace 변환을 사용하여 해를 구하였다. 해수표면에서 복사열이 경계조건으로 정의되며 이류속은 왕복성으로 가정되었다. 이론해로부터 초기 수온연직분포가 어느 time scale까지 영향을 주는가와 난류확산계수의 역할이 확인되었다. 즉, $t > t_m = h^2/(K_v \pi^2)$ 의 경우 초기 수온분포의 영향이 거의 나타나지 않게 되며 driving force로 작용하는 항들을 수평방향의 함수로 어떻게 정의하느냐, 그리고 연직, 수평 난류확산 계수를 어떻게 정의하느냐에 따라 조석전선의 구조 및 시간변동이 결정된다.

V. 결론 및 제언

- 원래 구상된 조석전선 주변 수온구조의 시간적 변동에 대한 계류관측의 야심에 찬 계획은 가장 중요한 TR7(50 m)의 망실로 인해 이루어지지 못하였으며 단지 외해측 표층 10 m내의 시간변동 수온구조와 울도 부근 유속연직분포만이 확인되었다. 관측기간이 조석전선이 점차 약해지는 시기로 나타났고 조석혼합 효과와 바람효과가 중첩되어 나타난다는 정성적인 결론만을 얻을 수 있었다. 사실상 양질의 자료획득보다는 추후 저가의 기기를 자체 제작하는 방안이나 계류시 기기 자체보다 계류안전장치에 보다 많은 투자를 해야 할 것이라는 교훈을 얻게 되었다.

- 조석전선의 본격적인 규명을 위해서는 $125^{\circ} 40' E$ 를 중심으로 집중적인 관측이 실시되어야 할 것이며 계류관측도 3개 지점 이상에서의 TR7 관측과 기준이 되는 정점에서의 해상, 기상관측이 필요할 것으로 판단된다. 2차년도에 계획하고 있는 CMB를 이용한 관측이 현실적으로 매우 어려울 것이라는 결론에 이르고 있다. 따라서 보다 저렴한 방법으로 주변 도서에 육상용 기상관측기를 설치하고 뜰개를 자체 제작하여 해상풍을 관측함으로써 분실에 따른 문제점을 완화시키는 방안에 대한 검토가 필요하리라 생각된다.

- 추후의 연구에 포함되어야 할 사항은 3차원 경압모델 적용 및 검증으로써 연직확산계수의 정의를 위한 실용적 난류마감기법(Turbulence closure scheme) 도입과 더불어 조석혼합 및 바람혼합 공존시의 적용 타당성이 논의되어야 할 것이다.

SUMMARY

I . Title

A study on the tidal front off the Taeon Peninsula

II. Necessity and objective of the study

1. Necessity

The presence of tidal front indicates the rapid variation of tidal mixing (and wind mixing) in the horizontal direction, influencing the exchange of materials between shallow and deep coastal waters. Understanding of tidal front structure is crucial to the prediction of movement and redistribution of plankton, nutrients and pollutants mainly originated from the coast. Furthermore, investigation on tidal front structure in sea regions off Taeon Peninsula may be helpful in developing and verifying three-dimensional baroclinic numerical model.

2. Objective

Understanding of tidal front structure off Taeon Peninsula through

measurements of temperature and current profiles.

III. Scope of the study

The present investigation as the first year study includes a set of measurements in coastal sea regions off Taean Peninsula covering $125^{\circ} 30' E \sim 126^{\circ} 20' E$ in longitude, $36^{\circ} 37' N \sim 37^{\circ} 00' N$ in latitude to have a perspective on the time and space variability of temperature and the location of tidal front. The measurements are: CTD survey, time series measurements of temperature profiles at 2 positions using thermistor chains, and a time series measurement of current profiles using ADCP.

IV. Result of the study

-. CTD survey shows the formation of a well developed thermocline near $125^{\circ} 33' E$ in longitude, $36^{\circ} 43' N$ in latitude (St. C14) and gives some evidence of tidal front near $125^{\circ} 40' E$ with upward and downward branching of isotherms. Much of efforts of the present study has been directed to measurements of time variability by mooring a set of self-recording instruments.

Unfortunately, the thermistor chain placed at the depth of 50 *m* was lost and only the temperature profiles within the depth of upper 10 *m* were obtained. The data displays the presence of diurnal and semi-diurnal variations in temperature and supports the fact that both wind and tide-induced mixing are important in this region.

- . A theoretical heat diffusion model in which the convective term acts as a driving force has been solved using the expansion of eigenfunctions and Laplace transform. Solar radiation is defined at the sea surface boundary and the advective horizontal velocity is assumed to be oscillatory. The model elucidates how the influence of initial condition decays in time and the value of the vertical eddy viscosity determines the temperature structure. It is noted that the initial condition becomes negligible after $t > t_m = h^2/(K_v \pi^2)$ and the change in the magnitude of the convective forcing and the variation in both the magnitude and profile of eddy viscosity give time and space variability of temperature field near the front.

V. Suggestions

- . Despite the efforts directed to measurements of time variability of temperature profiles by mooring a set of self-recording instruments, loss of the thermistor chain placed at the depth of 50 *m* produces very limited information. The data with a 10 *m* cable gives some qualitative results: the tidal front structure is weakening in September and both tide and wind mixing have comparable effects. Emphasis is here given on the urgent need of devising the safety system of the moored instruments.

- . Results of the present study indicate that to get a better understanding of the tidal front off Taean peninsula measurements need to be focused on sea regions near 125° 40' E. At least 3 thermistors have to be installed with one meteorological system. At the moment we are almost giving up the plan to install CMB in second year study to measure the meteorological parameters such as solar radiation, humidity, waves and wind conditions. It may be important to devise on our own way a buoy system of measuring sea level wind speed and direction at a low cost, while measuring the other meteorological parameters by installing an on land measuring system at nearby islands.

- . Finally, with the development of a three dimensional baroclinic

model, investigation is needed in verifying the applicability of turbulence closure schemes especially in the presence of both tide and wind mixing.

목 차

표목차	x v
그림목차	x vii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 현장관측 및 분석	5
2.1 개요	5
2.2 정선 수온관측	8
2.3 정점 수온변화 관측	14
2.4 정점 유속변화 관측	28
제 3 장 이론해 모형	37
3.1 개요	37
3.2 기본방정식	37
3.3 Galerkin 전개 및 Laplace 변환해	38
제 4 장 결론 및 제언	51
참고문헌	53
부 록: 정점별 수온연직분포도	55

표 목 차

표 2.1 CTD관측내용	7
표 2.2 정점계류관측 내용	8

그림 목 차

그림 2.1	관측정점 위치도	6
그림 2.2	Line A에서 관측된 수온연직분포	10
그림 2.3	Line B에서 관측된 수온연직분포	11
그림 2.4	Line C에서 관측된 수온연직분포	12
그림 2.5	Line D에서 관측된 수온연직분포	13
그림 2.6	TR7(10 <i>m</i>)로 관측된 수온연직분포 시계열자료	16
그림 2.7	ADCP로 관측된 유속연직분포 시계열자료	30

제 1 장 서 론

태안반도 부근 해역에는 연직으로 균일한 수온을 갖는 수괴와 성층 수괴가 접하고 있는 조석 열전선이 존재한다. 위성영상자료 분석(정, 1990)에 의하면 이 조석전선은 5월부터 형성되어 10, 11월경에 소멸된다. 태안반도 외에 진도 흑산도 해역에 조석전선이 뚜렷이 존재하며(해양연구소, 1986), 중국학자들(예로 Bi et al., 1993)에 의해 황해 서안에도 존재하는 것으로 보고되고 있다.

조석전선의 형성은 Simpson & Hunter(1974)에 의해 도입된 성층인자에서 알 수 있듯이 고율의 에너지 소산이 일어나는 지역 부근에서 이루어진다. 일반적으로 조석에너지의 소산은 조류와 해저면 사이에 작용하는 마찰력 외에 조석파가 경사지형에서 반사되면서 등밀도선을 교란시키거나 대진폭의 내부파를 발생, 종내는 쇠파되면서 발생할 수 있다. 또한 조석혼합은 복사열(및 유출된 담수)을 하층으로 내려보내게 되면서 수온약층의 깊이 및 형태를 변화시키게 되며 나아가서는 대기-해양간의 flux를 변화시킨다.

태안반도 부근 해역, 특히 장안퇴 부근은 황해역에서도 조류의 흐름이 가장 강한 지역의 하나로 해저마찰력에 의한 M2조석 에너지 소산율이 약 $500\sim 5000 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$, 평균운동에너지(K.E.)는 $50\sim 200 \text{ joule/cm}^2$, 평균위치에너지(P.E.)는 $1\sim 2 \text{ joule/cm}^2$ 가량에 이른다(Choi, 1982). 따라서 황해

연안역의 경우 조석혼합은 바람혼합만큼이나(또는 그 이상의) 중요한 역할을 담당한다. Pingree et al.(1978)은 유럽대륙붕 해역에서는 조류세기가 0.5 m/s 이상인 경우 조석혼합에 의한 에너지소산이 바람세기가 13 m/s 인 경우의 바람혼합에 의한 에너지소산과 동등하다고 보고하고 있다.

황해순환과 관련하여 조석, 조류 외에 취송류(특히 황해중부 역풍류), 황해난류 등의 존재 유무가 관심이 되고 있다. 이를 규명하기 위한 복합3차원 경압모델링의 성공여부는 조석혼합을 얼마나 정확히 재현하느냐에 달려 있다고 해도 결코 지나치지 않다. 이 점에 있어 태안해역의 조석전선 구조 및 형성에 대한 규명은 황해전체를 대상으로 한 모델의 개발에 앞서 연구할 필요가 있는 매력적인 과제이다. 특히 조석전선의 형성이 난류혼합과정과 해저면 마찰력과 직결되어 있으므로 이의 Formulation 및 검증에 큰 의미가 있다.

과거 조석전선에 대한 연구는 수산진흥원 정선관측자료, CTD 관측자료를 중심으로 실시되었다. 본 1차년도 연구에서는 태안반도 외측 $125^{\circ} 30' \sim 126^{\circ} 20' \text{ E}$, $36^{\circ} 37' \sim 37^{\circ} 00' \text{ N}$ 해역 내 조석전선의 구조 파악을 위해 수온연직분포 관측은 물론 유속관측을 계획하였다. 구체적으로 선박을 이용하여 이동하면서 실시한 CTD 관측 외에 ADCP를 이용한 1개 지점 유속 계류관측, 그리고 2개 지점에서의 수온계류 관측을 시도하였다. 그러나 불행히도 가장 중요한 지점에서의 수온계류관측 자료를 기기 망실로 획득치 못하였으며 가용 기기의 제한으로 나머지 1개 지점에서도 표층 10 m 까

지만의 자료를 얻을 수 있었다. 따라서 계류관측을 통한 시간적 변동 규명이라는 당초 계획을 포기하고 대상해역 내 수온 연직구조에 대한 개괄적 이해를 차선의 목표로 설정케 되었다.

현장관측 방법 및 내용, 그리고 자료분석 외에 본보고서에서 비중있게 다루어지는 내용은 조석전선에 대한 이론모형으로 이류(convection)항이 기지의 값으로 가정되어 driving force로 작용하며 연직확산항과 해수표면에서의 복사열이 정의된다. 왕복성 이류속이 가정되며 고유함수 전개(eigenfunction expansion)와 Laplace 변환이 사용된다. 이론해로부터 초기 수온연직분포가 어느 time scale까지 영향을 주는가와 난류확산계수의 역할이 명시된다.

제 2 장 현장관측 및 분석

2.1 개요

태안반도 서측해역에 나타나는 조석전선에 대한 보다 정확한 이해를 위해 본 연구의 기획 단계에서는 대상해역에 대한 체계적이며, 보다 광범위하고 주기적인 관측계획을 수립하였다. 수산진흥원 정선 정점에 포함되지 않은 보다 연안쪽의 해역에 대한 주기적인 CTD관측, 태안반도 서측의 조류 주수로에서 ADCP를 이용한 장기적인 유속관측, 혼합역과 성층역의 각 1개소에 TR7을 장기간 계류하는 연직수온 관측, 혼합역에서 CMB(Coastal Monitoring Buoy)를 이용한 바람 및 복사열 관측 등을 계획하였다.

그러나, 현실적인 제약으로 인해 CTD관측은 여름철 1회 관측에 그쳤으며, 주수로에 대한 ADCP, TR7관측은 기기의 망실을 우려하여 주수로를 벗어난 곳으로 계류위치를 변경하였다. 성층역에 대한 TR7 계류도 적절한 기기를 확보할 수 없어 표층 10 m에 대한 관측에 그쳤으며, 복사열과 바람 등을 관측하기 위한 CMB계류는 기기 고장으로 계류 자체가 불가능하게 되었다. 또한 관측 도중 울도 부근의 혼합역에 계류한 TR7은 기기 자체가 망실되어 자료를 확보할 수 없게 되었으며, ADCP도 관측도중 기기가 전복되어 일부의 자료만을 확보할 수 있었다.

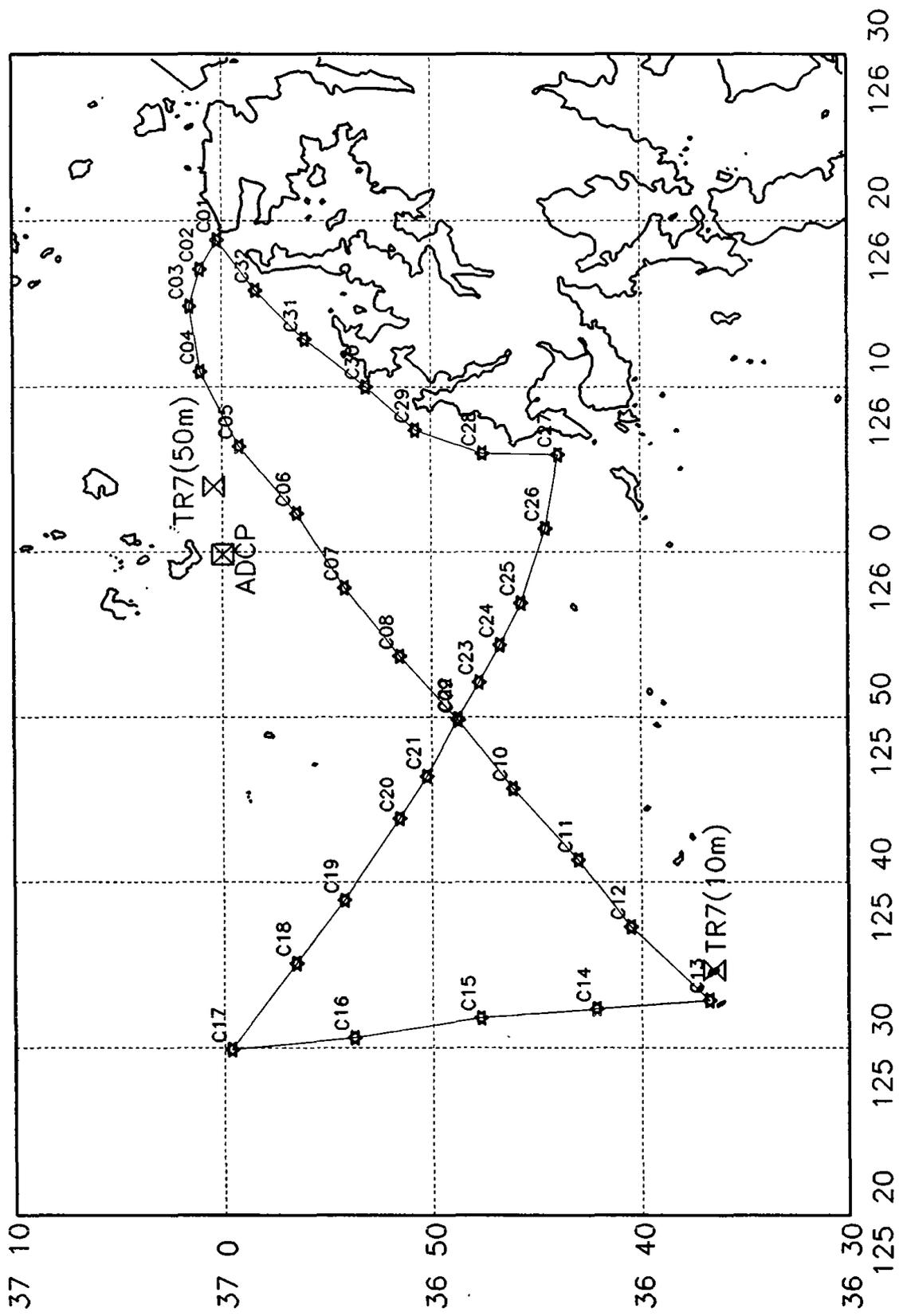


그림 2.1 관측정점 위치도.

표 2.1 CTD관측 내용.

정점번호	일시	위치		수심(m)
		경도	위도	
1	1997. 8. 27 09:24	126° 18.962'	37° 00.572'	41.0
2	09:55	126° 17.196'	37° 01.400'	12.0
3	10:25	126° 14.970'	37° 01.902'	45.6
4	10:55	126° 11.022'	37° 01.397'	46.1
5	11:28	126° 06.527'	36° 59.535'	53.2
6	12:02	126° 02.469'	36° 56.820'	70.8
7	12:39	125° 57.931'	36° 54.527'	37.7
8	13:17	125° 53.789'	36° 51.911'	28.8
9	13:49	125° 49.936'	36° 49.090'	36.0
10	14:32	125° 45.769'	36° 46.503'	34.6
11	15:05	125° 41.474'	36° 43.384'	33.1
12	15:36	125° 37.401'	36° 40.884'	30.1
13	16:11	125° 32.985'	36° 37.107'	30.0
14	1997. 8. 28 07:30	125° 32.475'	36° 42.527'	37.9
15	08:11	125° 31.922'	36° 48.067'	50.0
16	09:14	125° 30.723'	36° 54.148'	56.9
17	09:53	125° 30.022'	37° 00.023'	42.0
18	10:30	125° 35.221'	36° 56.903'	42.2
19	10:57	125° 39.009'	36° 54.608'	31.4
20	11:29	125° 43.947'	36° 51.931'	26.4
21	11:48	125° 46.516'	36° 50.635'	21.6
22	12:12	125° 50.006'	36° 49.123'	35.9
23	12:29	125° 52.217'	36° 48.111'	27.0
24	12:40	125° 54.482'	36° 47.124'	23.0
25	13:04	125° 57.025'	36° 46.103'	73.2
26	13:34	126° 01.552'	36° 44.934'	48.5
27	13:58	126° 06.012'	36° 44.300'	27.0
28	14:23	126° 06.102'	36° 47.919'	33.2
29	14:46	126° 07.500'	36° 51.126'	45.8
30	15:29	126° 10.110'	36° 53.496'	43.0
31	15:44	126° 12.995'	36° 56.403'	34.0
32	16:04	126° 15.940'	36° 58.741'	34.4

표 2.2 정점 계류 관측 내용.

기기명	위치		수심 (<i>m</i>)	계류기간	시간 간격 (분)	관측 내용	기기 및 자료상태
	경도(E)	위도(N)					
TR7 (10m)	125° 34.797'	36° 36.878'	21.0	1997. 8. 27 - 1997. 9. 30	10	연직 수온	양호
TR7 (50m)	126° 04.087'	37° 00.768'	50.0	1997. 8. 29 -	10	연직 수온	기기분실
ADCP (1200kHz)	125° 59.973'	37° 00.320'	20.1	1997. 8. 29 - 1997. 9. 30	20	유속	전반부 양호

결과적으로 본 연구에서 확보한 현장관측 자료는 대상해역 32개 정점에 대한 1회의 CTD 자료, 울도 부근 정점에서의 ADCP 자료 약 17일분, 격렬비열도 부근 정점에서의 표층 10 *m*에 대한 TR7자료 약 1개월 분이다. 관측 정점위치 및 관측일시는 표 2.1, 표 2.2 및 그림 2.1에 제시된 바와 같다.

2.2 정선 수온관측

정선 수온관측에 사용한 CTD는 G. O. Environmental, Inc.의 Idronaut Ocean Seven 316 Probe이다. 관측범위는 -3~50℃, 정확도는 0.003℃, 분해능은 0.0005℃이다. CTD를 이용한 정선 수온관측은 32개 정점, 4개 관측 line으로 구성된다. 관측 정점의 위치는 표 2.1 및 그림 2.1에 표시되어 있다. 그림에서 Line A는 C01~C13, Line B는 C13~C17, Line C는 C17~

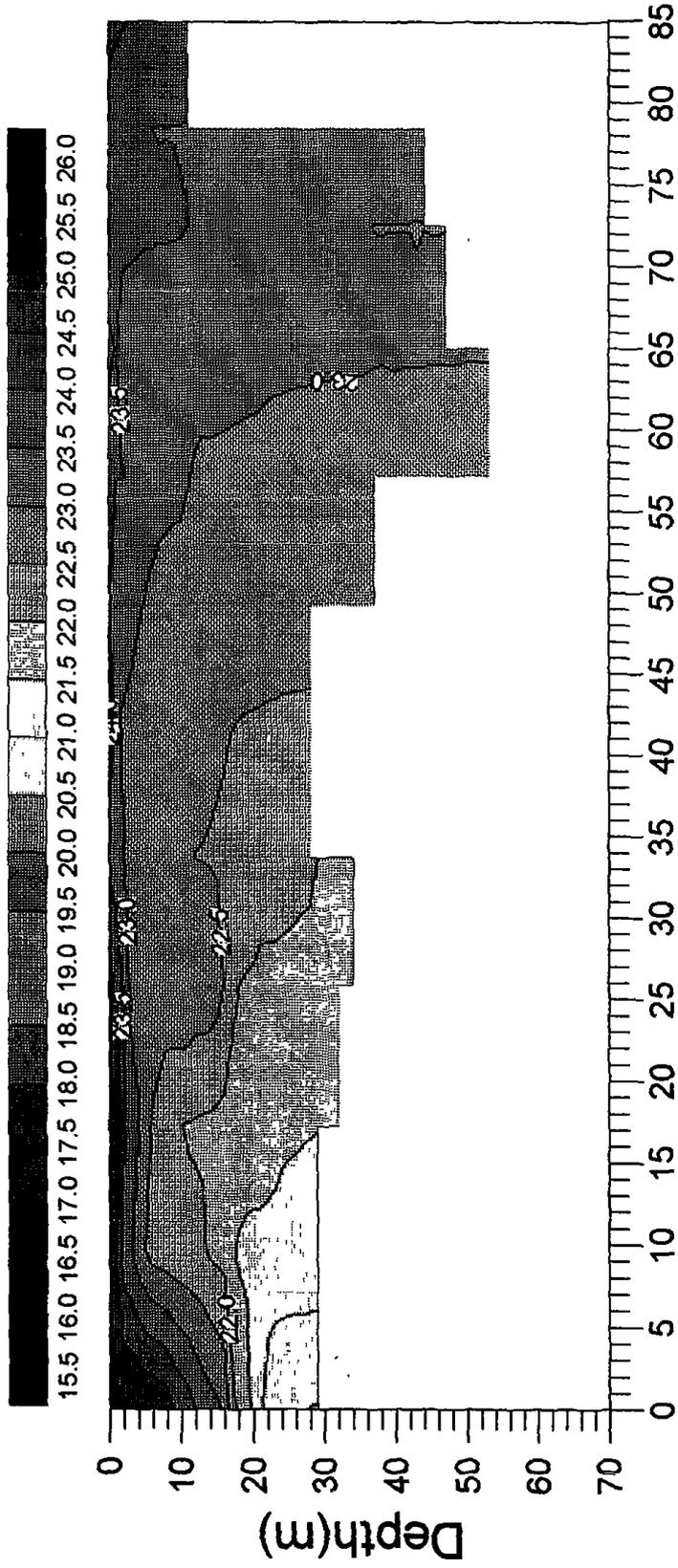
C27, Line D는 C27~C01이다. 각 정점에서의 수온 연직분포도는 부록에 제시하였다.

표 2.1에서 보는 바와 같이 1997년 8월 27일 09시 24분 C01에서 관측을 시작하여 16시 11분 C13에서 관측을 종료하였으며, 다음 날인 8월 28일 07시 30분 C14에서 관측을 시작하여 09시 53분에 C17, 13시 58분에 C27, 16시 04분에 C32의 관측을 마쳤다. 조석표에 의하면 관측 당시의 조석은 안흥에서 8월 27일 05:06에 저조, 10:49에 고조, 17:18에 저조가 있었으며, 8월 28일에는 06:45에 저조, 12:20에 고조, 18:45에 저조가 있었다. 월령으로는 8월 25일이 하현이어서 관측당시는 소조기에 해당된다. 정선의 거리에 따른 수온연직분포를 그림 2.2 ~ 2.5에 제시하였다.

Line A의 수온연직분포는 그림 2.2와 같다. C01~C08 구간은 표층, 저층간의 수온차가 0.5℃ 정도로서 수직혼합이 활발하게 일어나고 있는 지역이다. C09 이후 성층 정도가 점차 뚜렷해지며 C11, C12 부근에서 16 m 이내의 등수온선은 표층으로 향하고 그 이하 수심의 등수온선은 해저로 향하는 분기형태의 수온구조를 보인다. 즉, 조석전선의 특성을 보이나 연안측 표층수온이 외해측보다 낮은 온도를 보이고 있다.

Line B의 연직수온분포는 그림 2.3과 같다. Line B는 가장 외해측에 위치하며 Line 방향이 대략 경도와 나란하게 남북으로 설정되어 있다. 예상대로 관측 Line중 성층구조가 가장 뚜렷하게 나타나고 있다. C14의 경우

Temperature(deg.C)



Distance along the line A from C13 to C01(km)

그림 2.2 Line A에서 관측된 수온연직분포도.

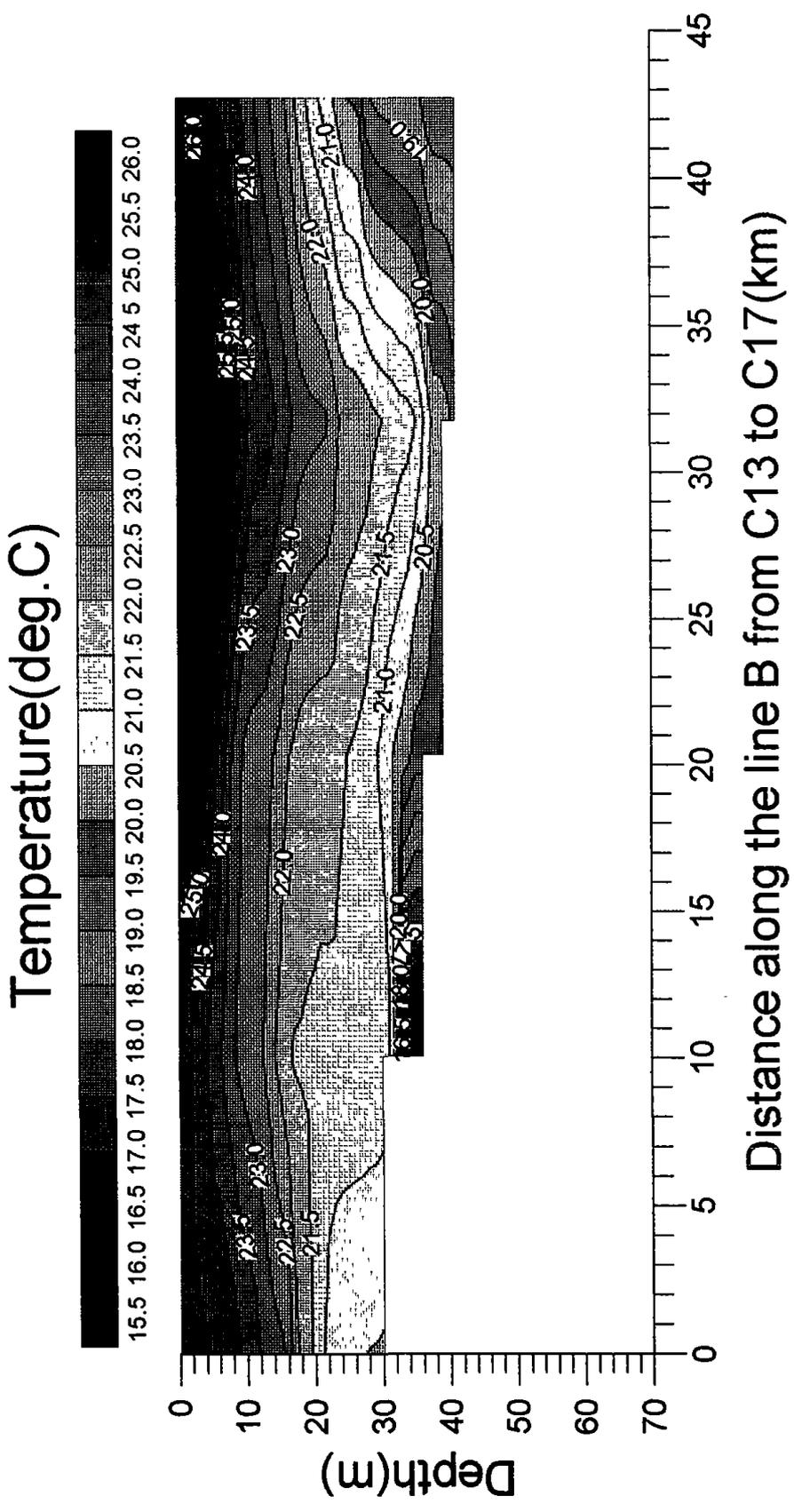


그림 2.3 Line B에서 관측된 수온연직분포.

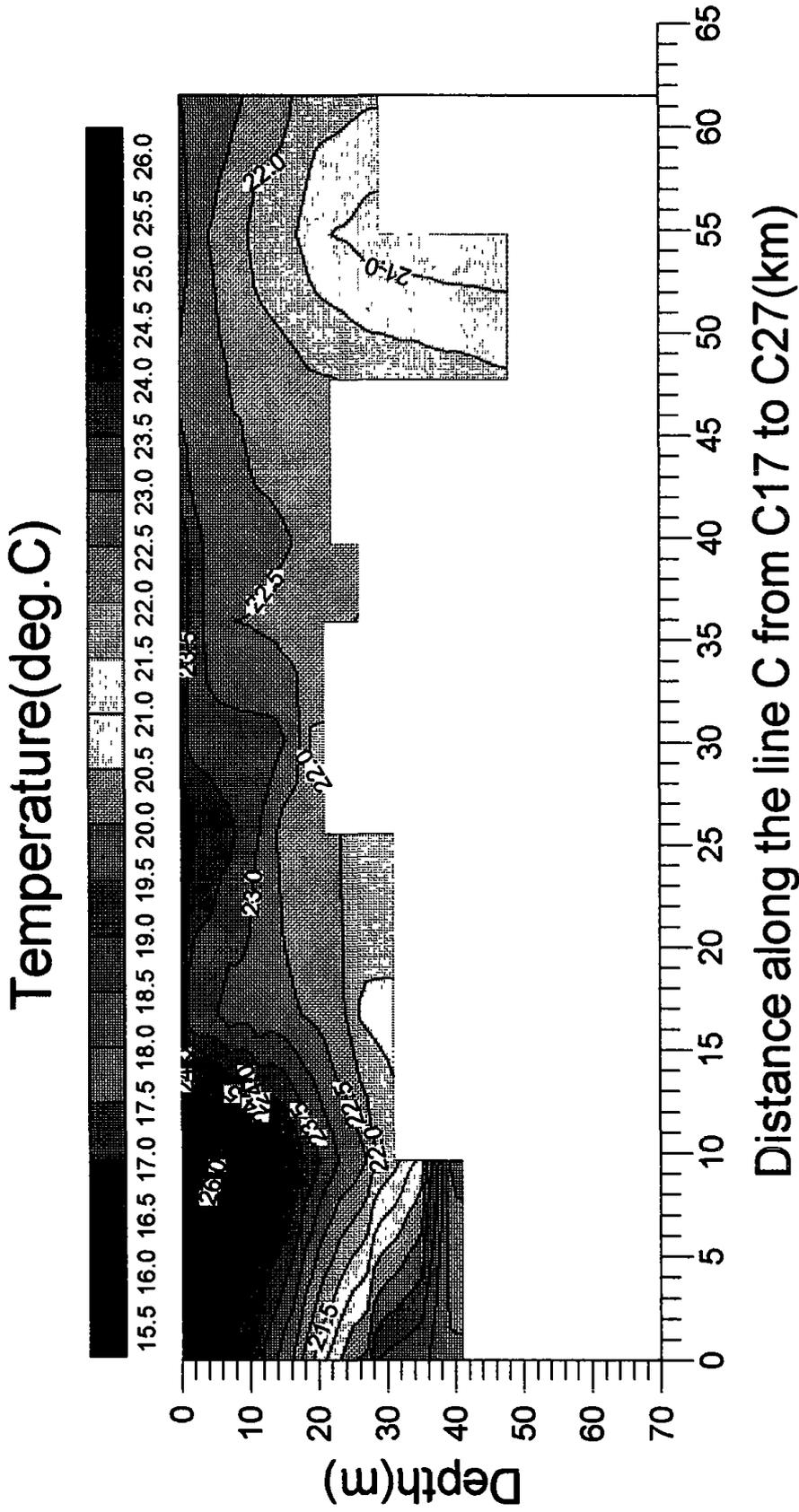


그림 2.4 Line C에서 관측된 수온연직분포.

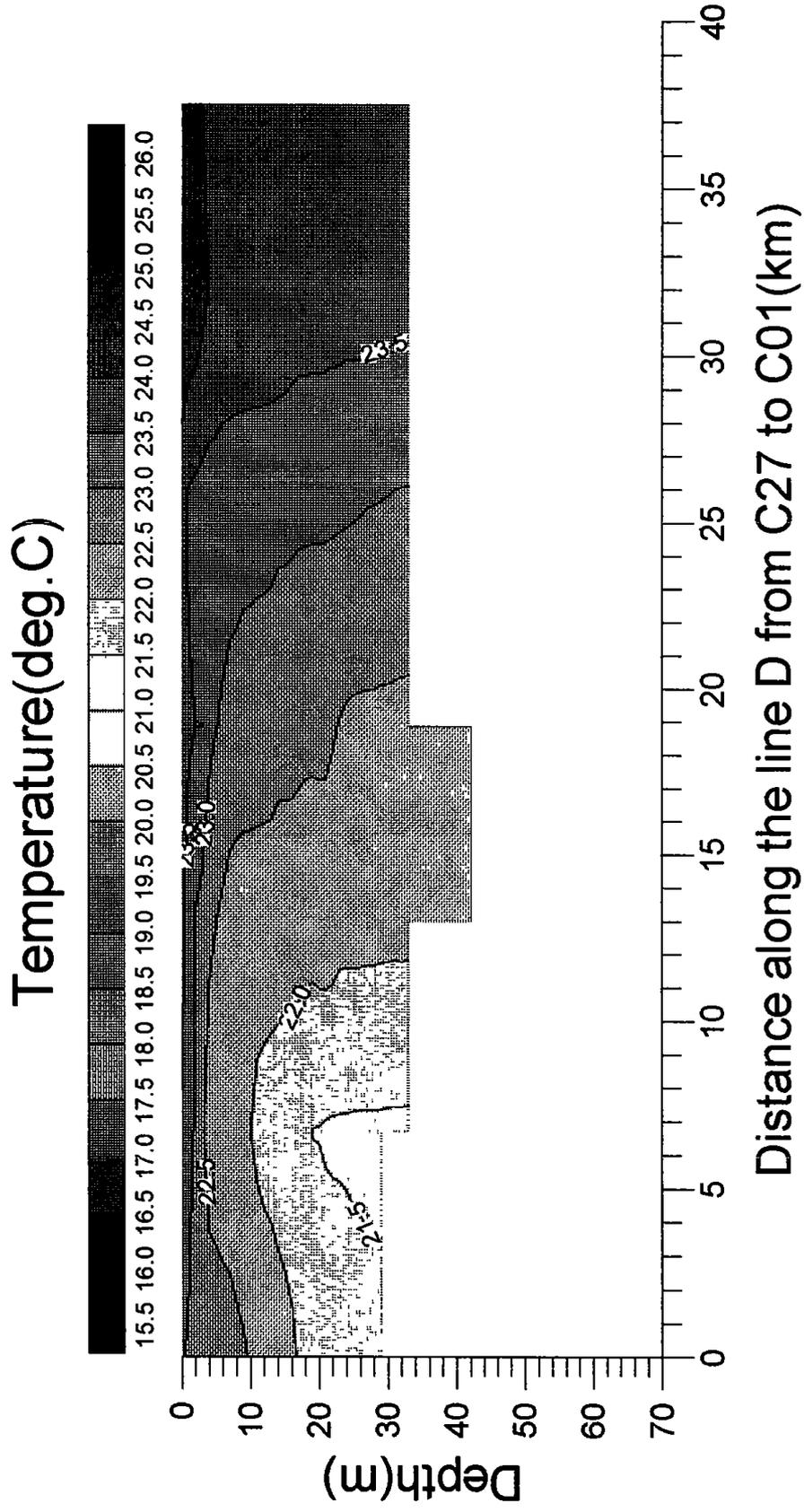


그림 2.5 Line D에서 관측된 수온연직분포.

수온약층이 약 33 m 수심에 뚜렷이 형성되어 있으며 그밖에 C16 약 44 m 수심, C18 약 47 m 등에서 일부 약화된 수온약층이 확인되고 있다.

Line C의 연직수온분포는 그림 2.4와 같다. C23~C32에서는 매우 완만한 수온 연직변화를 보이고 있다. C26의 경우 수심이 거의 70 m에 이르고 있음에도 거의 연직으로 균일한 구조를 갖고 있다.

Line D의 수온연직분포는 그림 2.5와 같다. Line D는 태안반도 안선을 따라 약 30 m 등수심선 관측으로 설정되었다. 대체로 연직으로 거의 균일한 분포를 보이고 있으며 수온약층의 형성은 보이지 않고 표층, 저층간에 1~2°C 정도의 수온차를 보인다.

2.3 정점 수온변화 관측

그림 2.1 및 표 2.2에 제시한 바와 같이 수온연직분포의 장기적인 변화를 파악하기 위하여 혼합역으로 추정되는 울도 부근의 1개 정점에 Aanderaa TR7(50 m) 1대를 장기간 계류하였으며, 성층역으로 추정되는 격렬비열도 부근의 1개 정점에도 Aanderaa TR7(10 m) 1대를 장기간 계류하였다. 그러나, 울도 부근에 계류한 기기는 불행히도 망실되어 자료를 전혀 확보할 수 없었으며, 격렬비열도 부근에는 수심이 최소 20 m 이상인 해역인데도 불구하고 적절한 기기의 확보가 여의치 않아 길이 10 m인 센서스 트링을 계류할 수밖에 없었다. 자료의 저장시간 간격은 10분이었고 센서스

트링에 부착된 10개의 센서로부터 표층 10개 층의 수온을 1997년 8월 27일부터 9월 30일까지 약 한 달간 저장하였다.

시간에 따른 수온연직분포의 변화를 그림 2.6에 제시하였다. 관측기간 중 9월 2일이 그믐, 9월 17일이 보름이었다. 약 한 달에 걸친 관측에서 24.5℃(표층) ~ 21.5℃(10 m층)로 시작한 수온이 9월 5일경 최고 27℃ 정도까지 상승했다가 급강하하여 21℃(표층) ~ 19℃(10 m층) 정도로 낮아지는 시간변동 패턴이 우선적으로 확인된다. 8월말부터 9월 4일경(대조기)까지 1일 주기의 변동이 두드러지며 9월 7일 ~ 10일경(중, 소조기)에는 1일 주기에 더하여 반일주조의 변동이 크게 나타나고 있다. 이는 난류확산계수의 비선형성과 관련이 있는 것으로 추측된다.

TR7 기록에서 나타나는 시간변동 패턴 중의 하나는 미약하나마 10 m층으로 갈수록 짧은 주기의 변동이 출현한다는 것으로 아마도 바람에 의한 등수온선의 교란에 기인하는 것으로 사료된다. 소조기인 9월 11일부터 약 3, 4일간은 조석혼합이 가장 약한 시기로써 반일, 일조석주기의 수온변동이 미약하게 일어나고 있다. 그러나 약 12시간 이상에 걸쳐 상층 전체가 균일한 수온을 갖게 되는 것은 바람혼합에 의한 것으로 추정된다.

기존 연구에 근거하여 볼 때 현 계류지점은 여름철 성층해역에 속한다. 정(1990)에 의하면 이 때 혼합역과 성층역 간의 수평 수온차는 약 5℃ 이상이며 혼합역의 표층수온에 비해 표층수온이 높다.

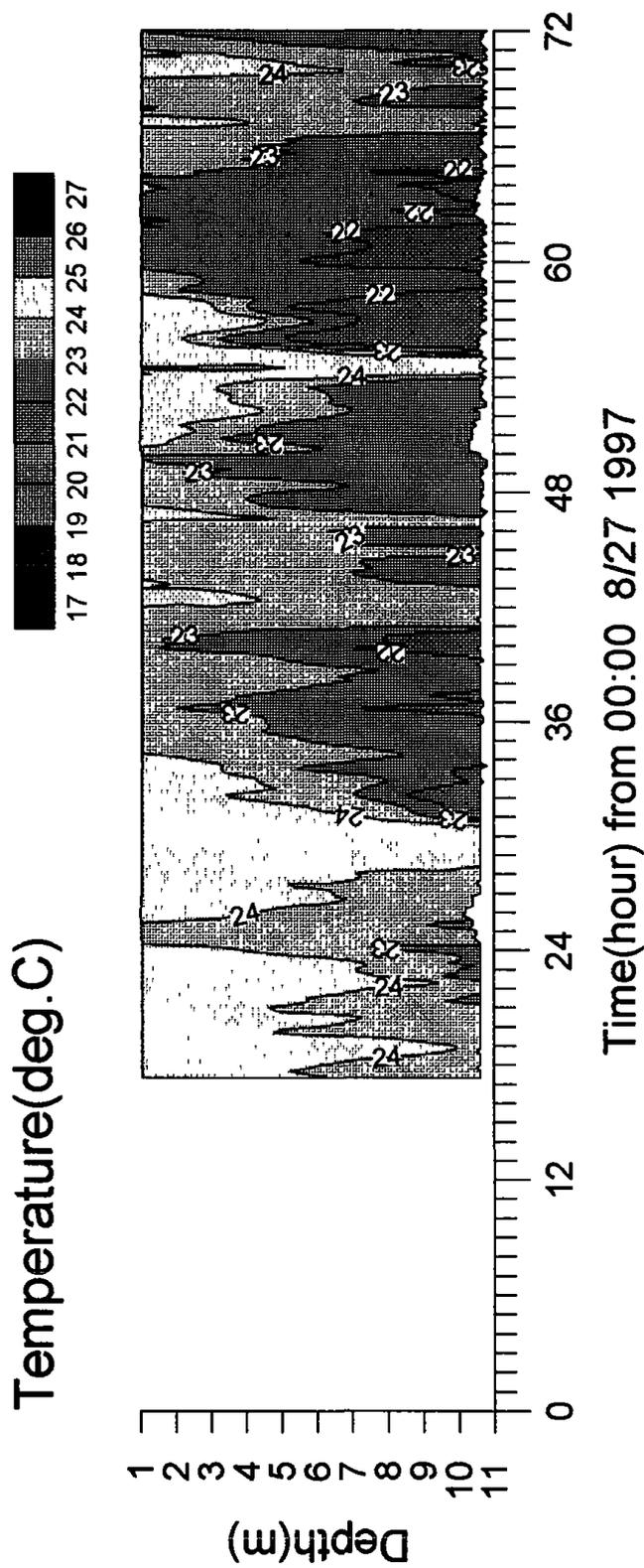


그림 2.6 TR7 (10m) 로 관측된 수온연직분포 시계열자료.

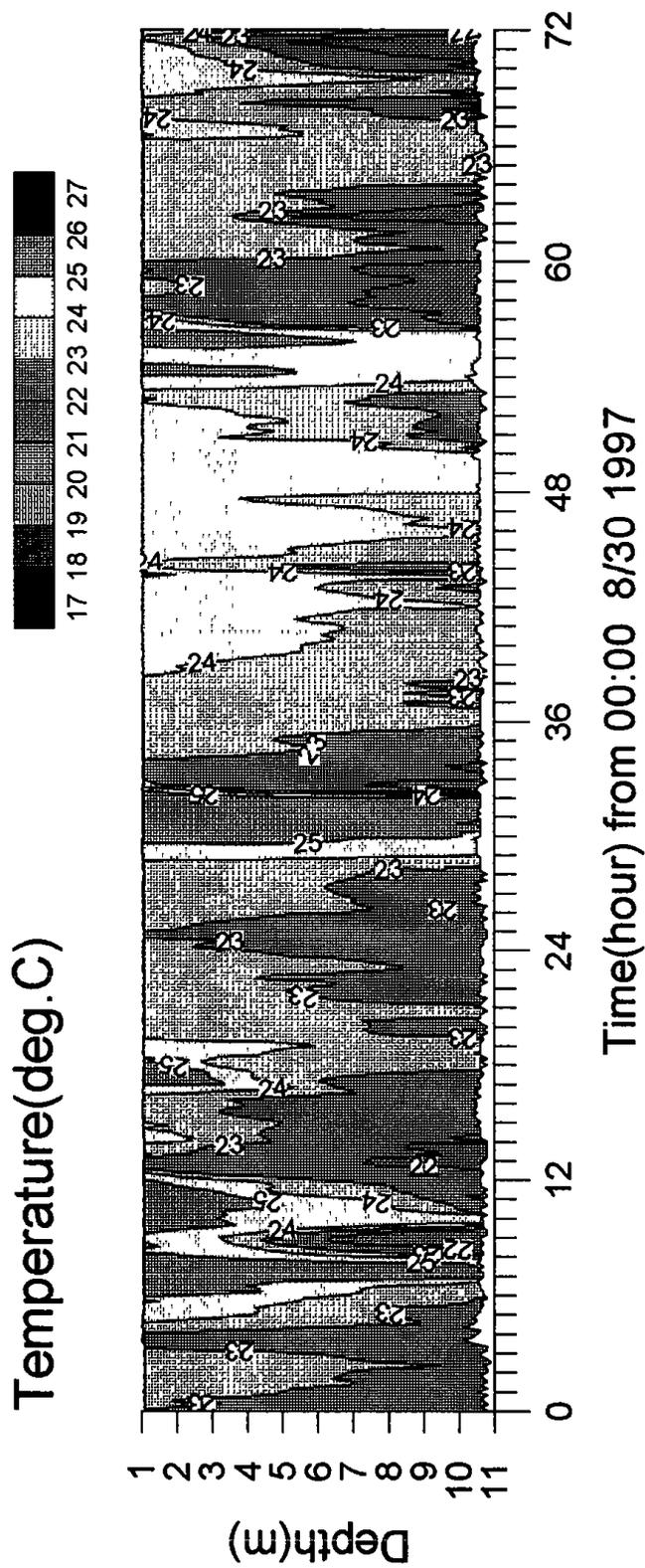


그림 2.6 (계속).

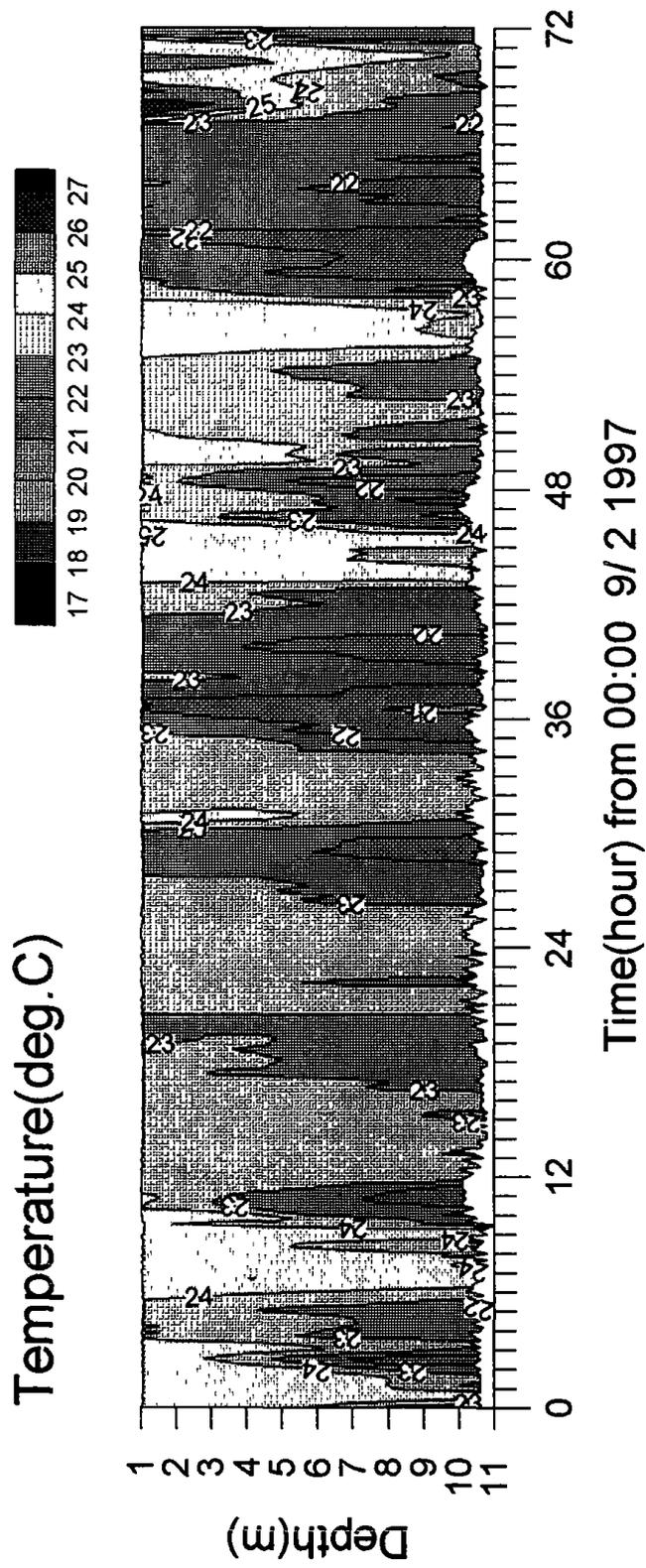


그림 2.6 (계속).

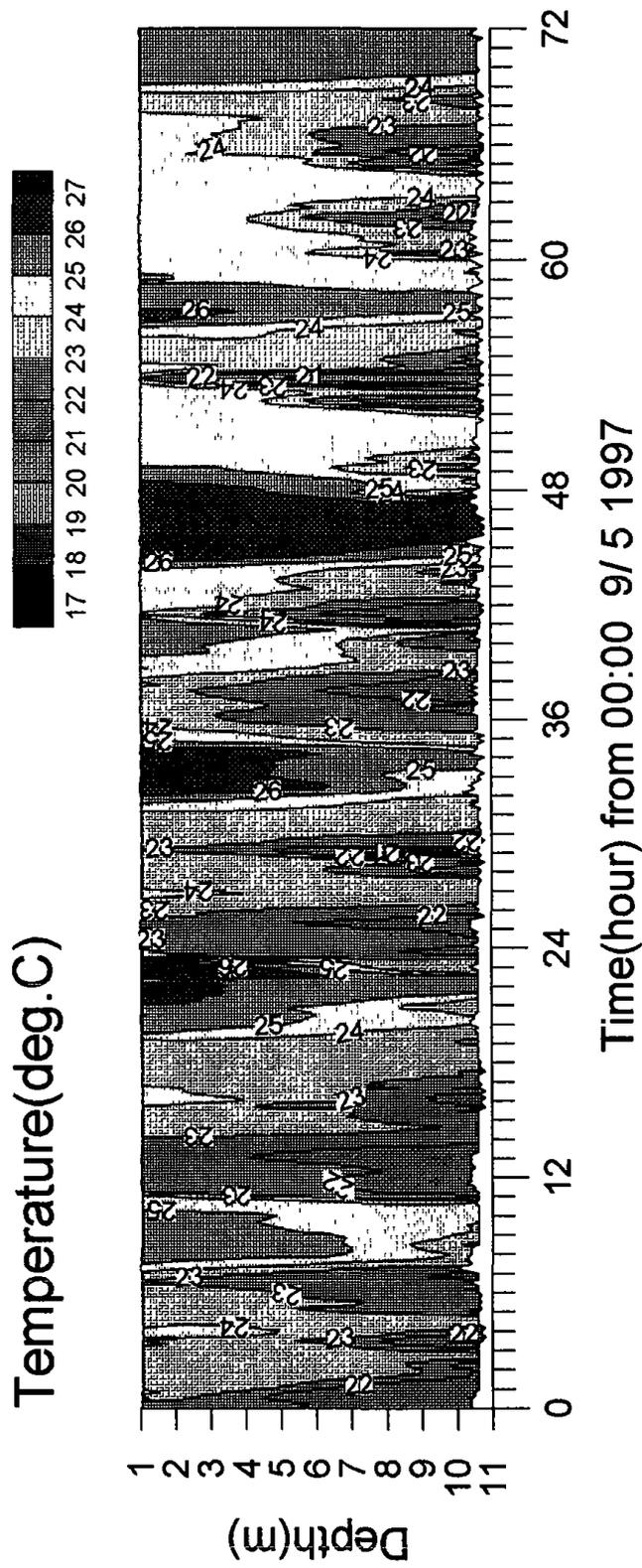


그림 2.6 (계속).

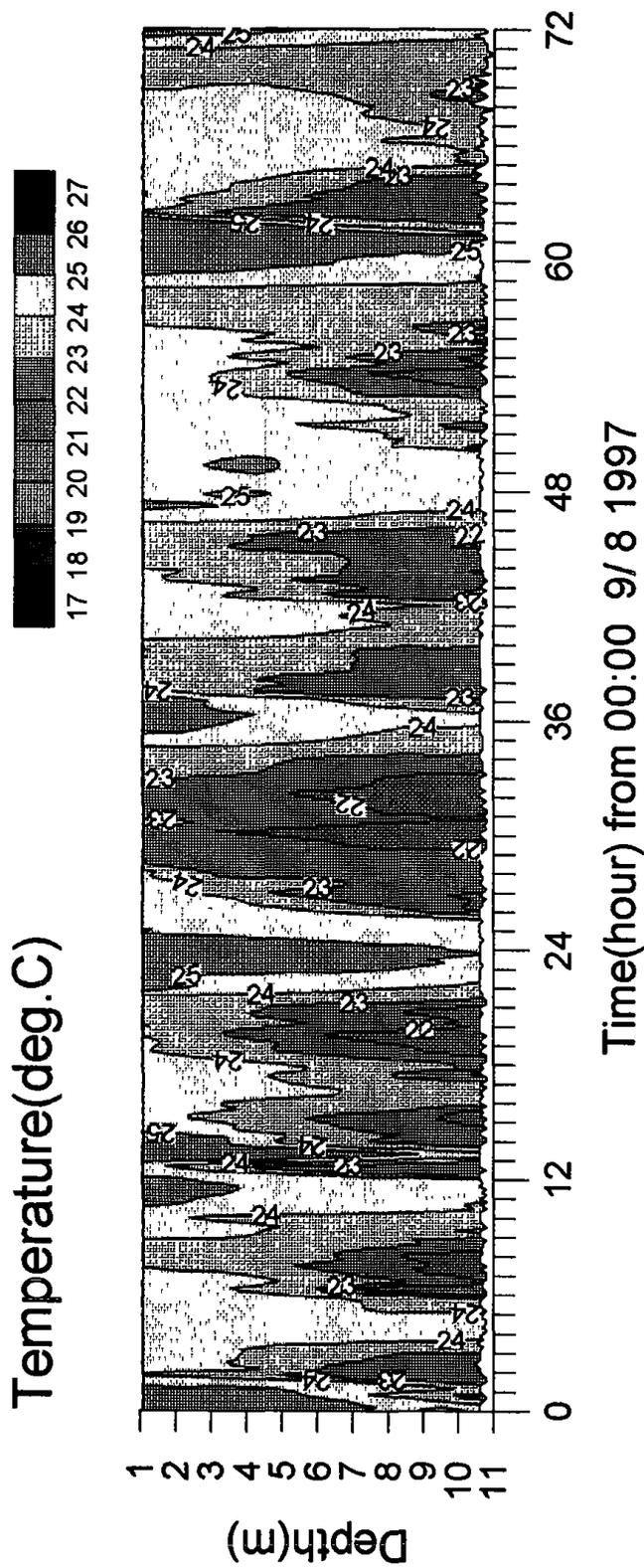


그림 2.6 (계속).

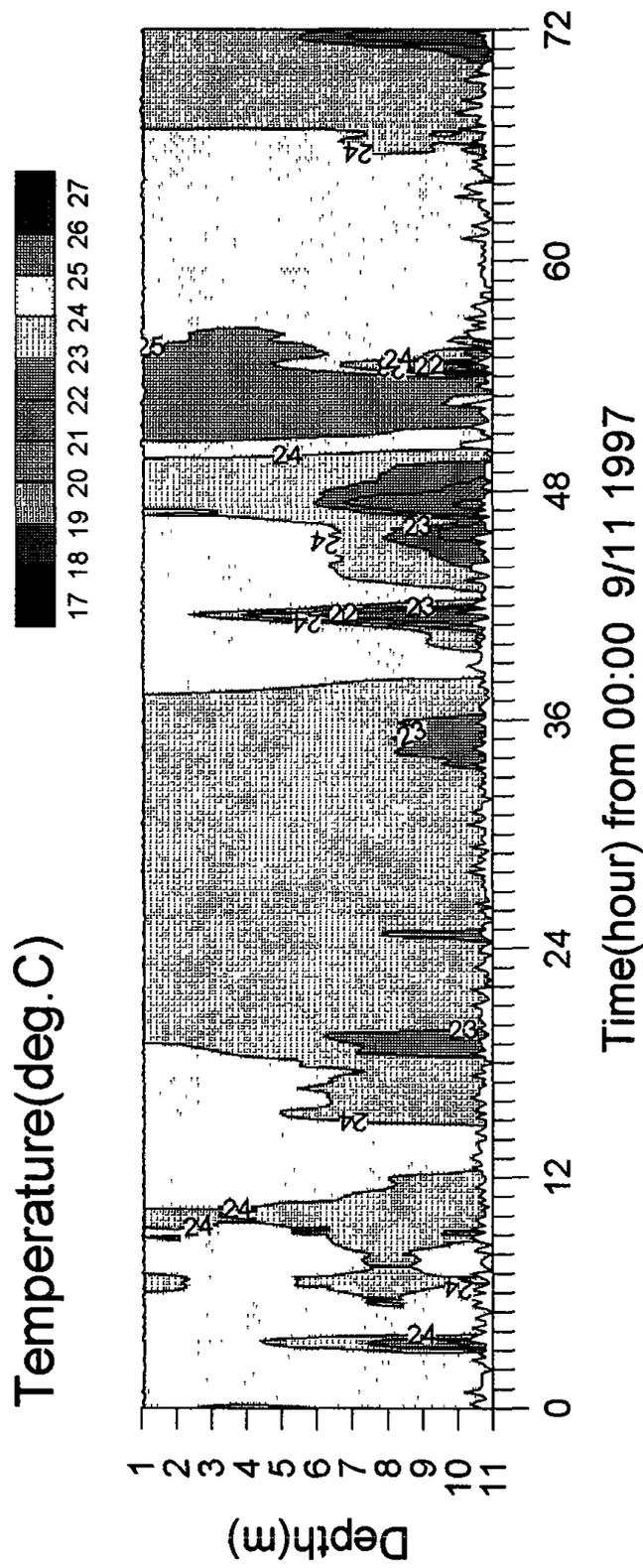


그림 2.6 (계속).

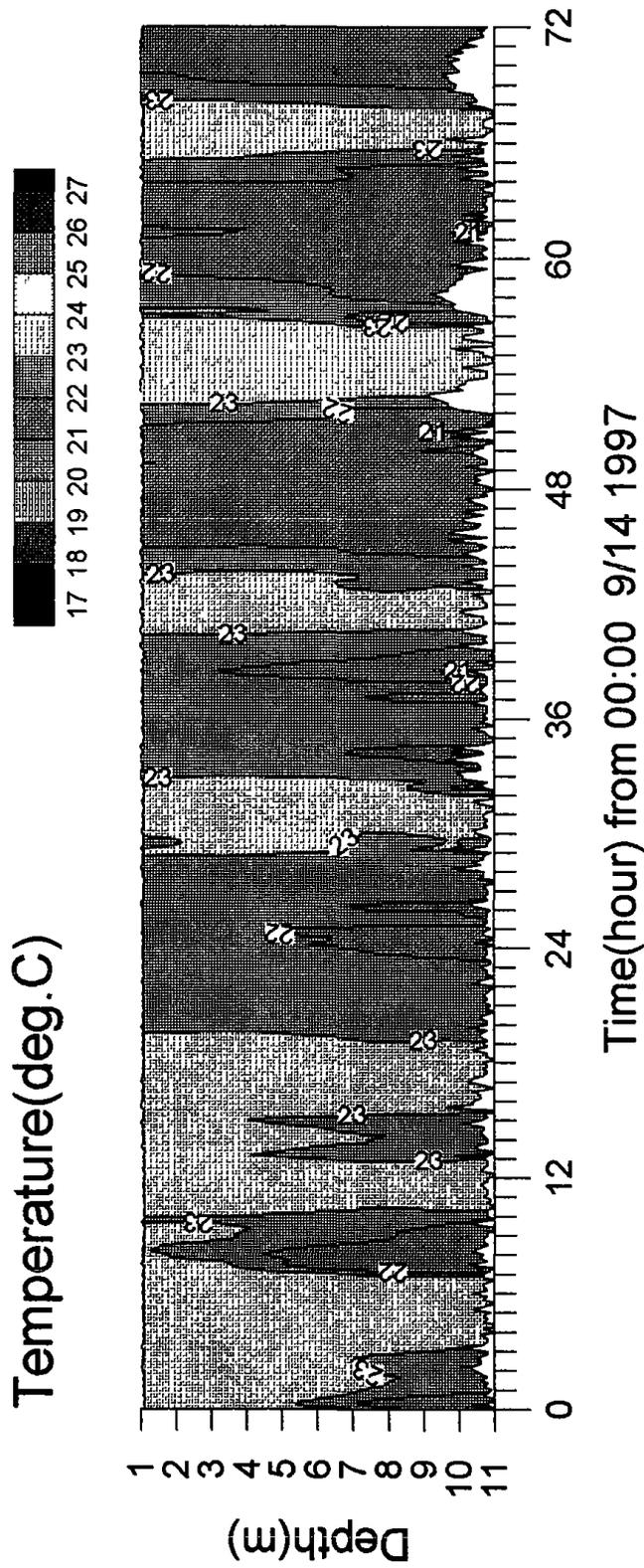


그림 2.6 (계속).

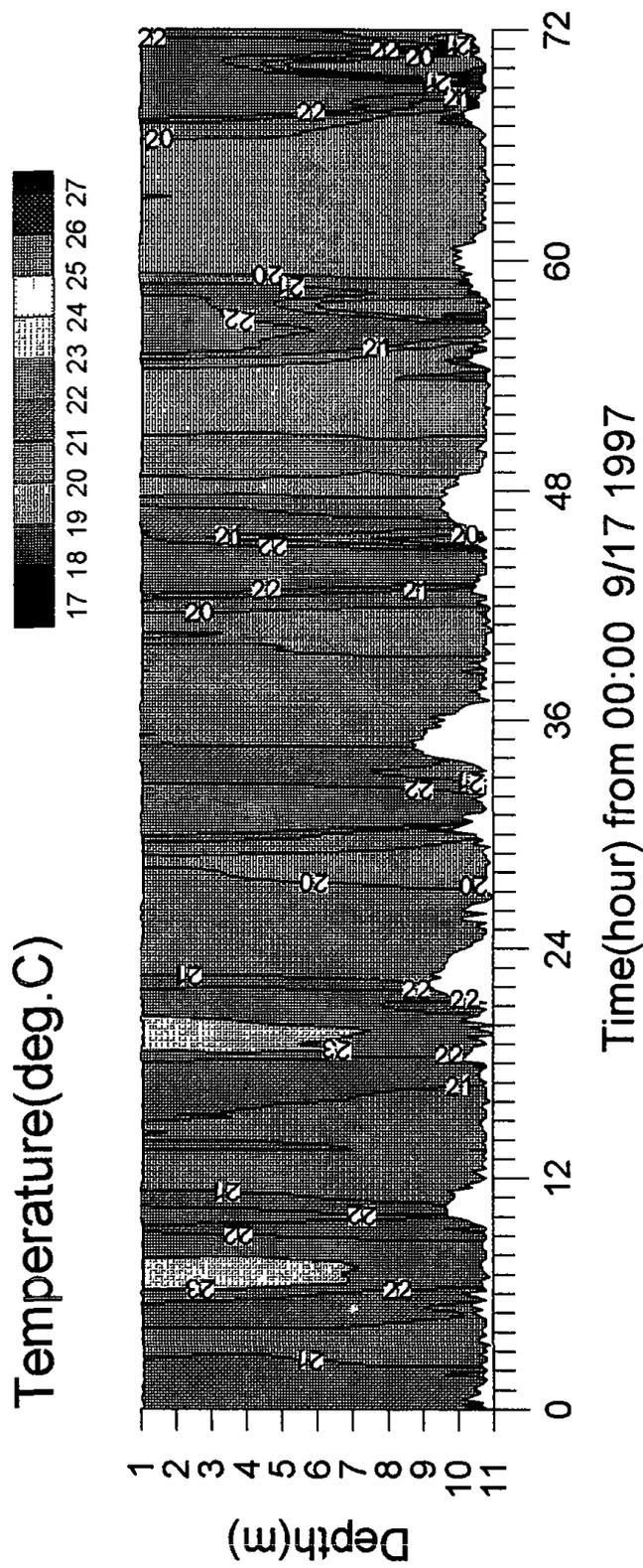


그림 2.6 (계속).

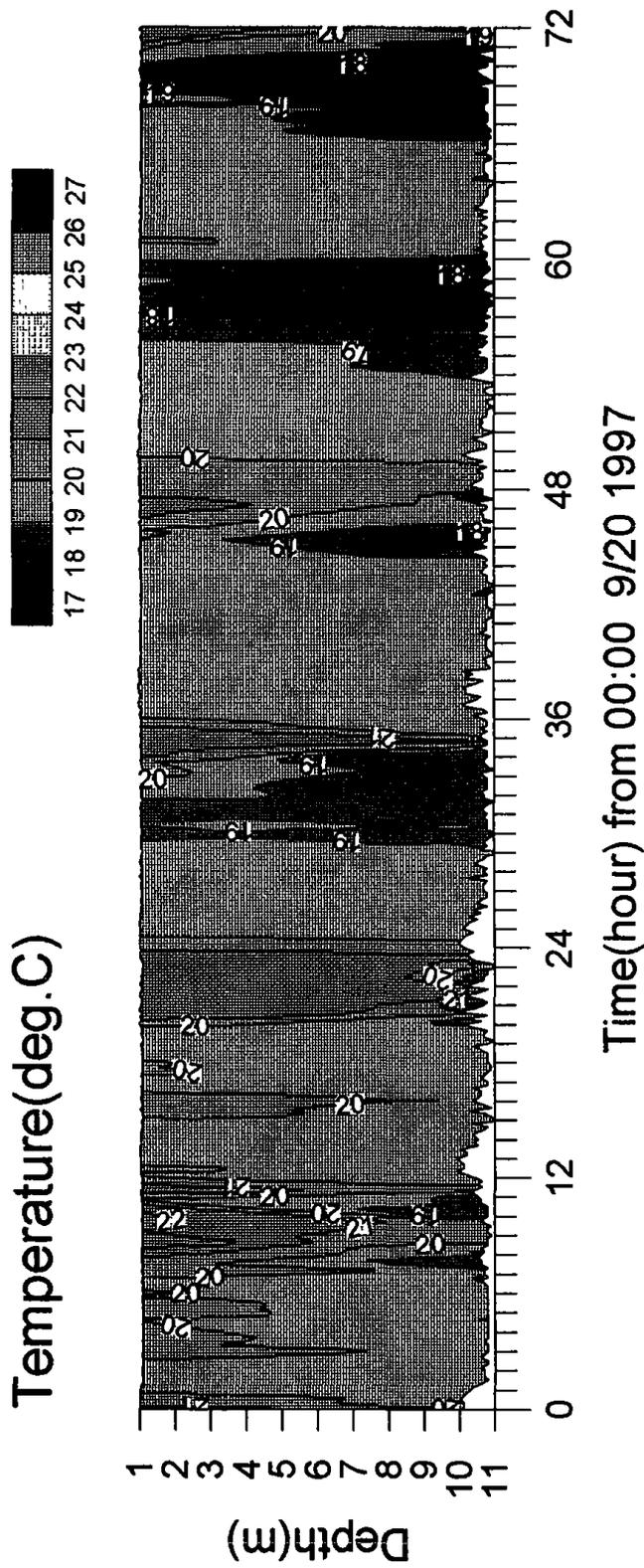


그림 2.6 (계속).

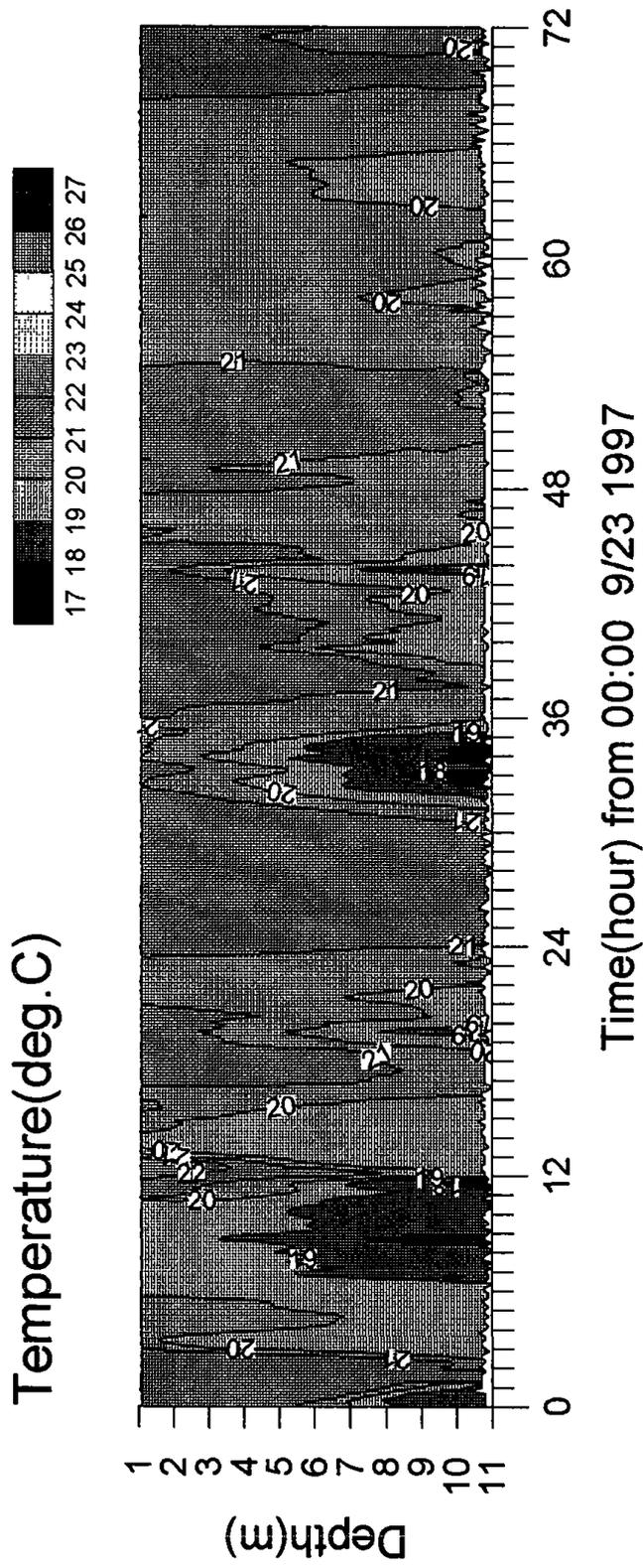


그림 2.6 (계속).

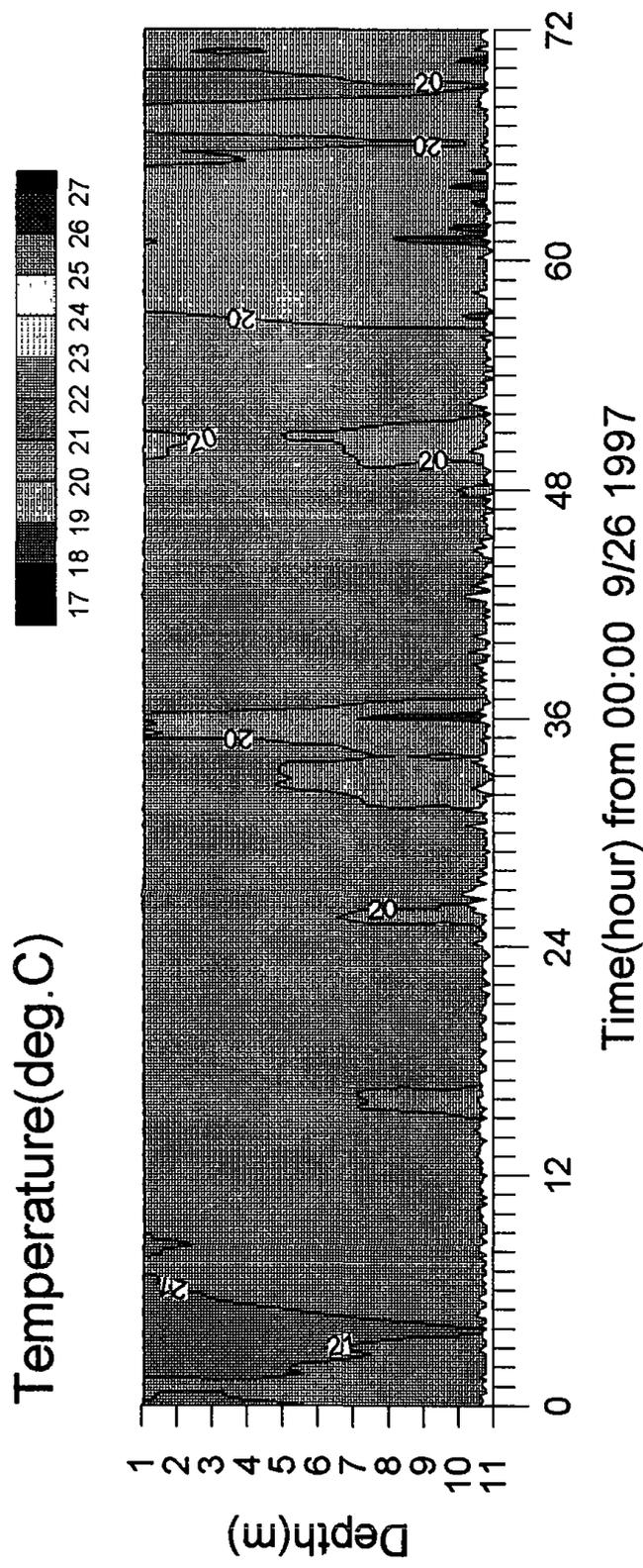


그림 2.6 (계속).

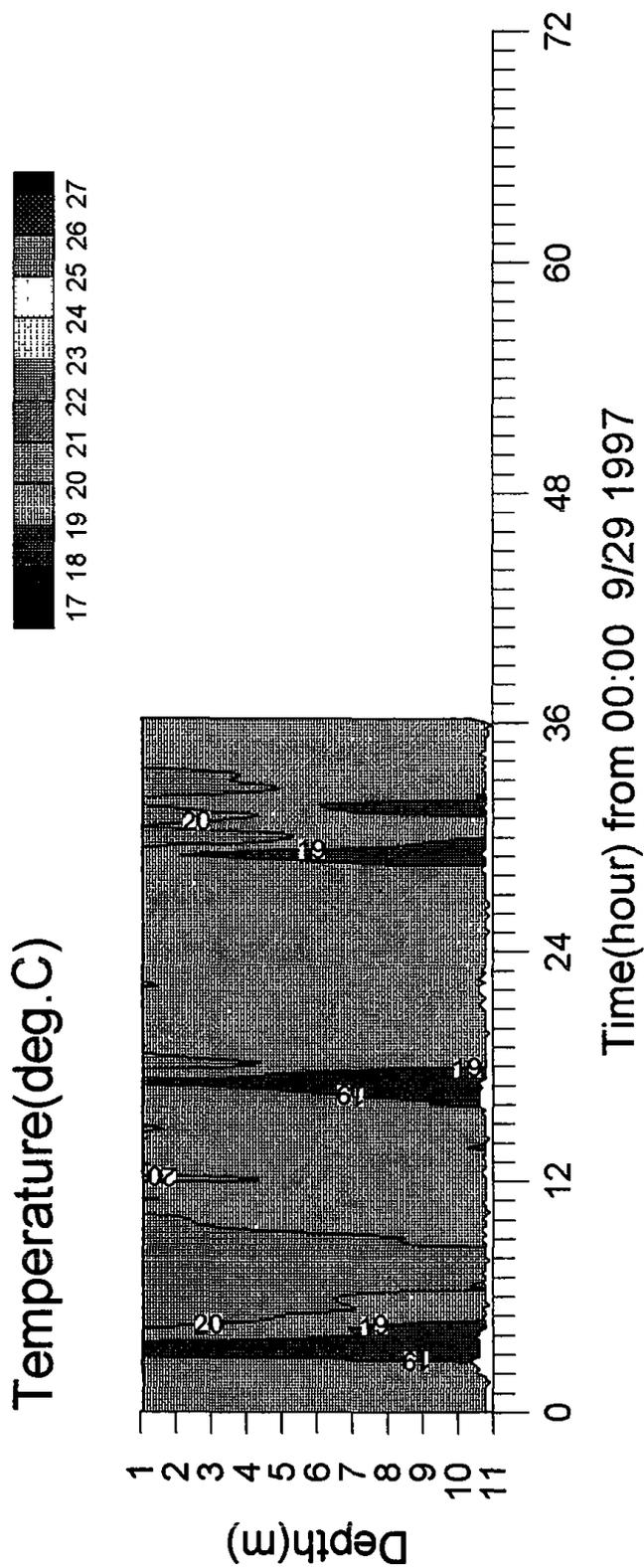


그림 2.6 (계속).

2.4 정점 유속변화 관측

그림 2.1 및 표 2.2에 제시한 바와 같이 유속연직분포의 장기적인 변화를 파악하기 위하여 조류의 주수로 부근인 추정되는 울도 부근의 1개 정점에 RDI ADCP(1200 kHz) 1대를 1997년 8월 29일부터 9월 30일까지 약 한 달간 계류하였다. 원래 조석에너지의 소산이 가장 클 것으로 예상되는 수로의 중심부에 계류하여 유속의 크기 및 연직분포 등을 관측할 예정이었으나, 기기의 망실을 우려하여 수로를 벗어난 울도 부근 수심 약 20 m 지점을 선정하여 해저면에 상향 계류하였다. 연직 bin수는 20개로 설정하여 1 m 간격으로 20개 층의 유속 및 유향을 20분 간격으로 저장하였다. 관측은 약 1개월간 실시되었지만 도중에 어로활동으로 추측되는 원인으로 인해 기기가 전복되어 9월 17일경부터는 자료가 제대로 저장되지 못하였다.

확보된 유속자료는 8월 29일부터 9월 17일까지 약 20일간의 자료이다. 평균적으로 창조류의 방향은 N35.5° E로 북동향, 낙조류의 방향은 S19.6° W로 남남서향이다. 따라서, 흐름의 주축을 N27.6° E로 정하고 이를 기준으로 흐름의 장축성분을 구하여 그림 2.7에서 이를 시간에 따른 변화로 도시하였다. 관측기간중 9월 2일이 그믐, 9월 17일이 보름이었다. 최대 장축유속은 160 cm/s 이상으로 강하게 나타나며, 유속의 시간변화는 대체로 반일주기를 나타낸다. 최강유속이 나타날 때에는 상층부에 유속의 core가 보이는

경우가 있는데 이는 바람에 의한 표층유속 감소를 나타내는 것으로 보인다

표층, 저층간의 유속차이는 대략 20~50%로 나타나고 있다.

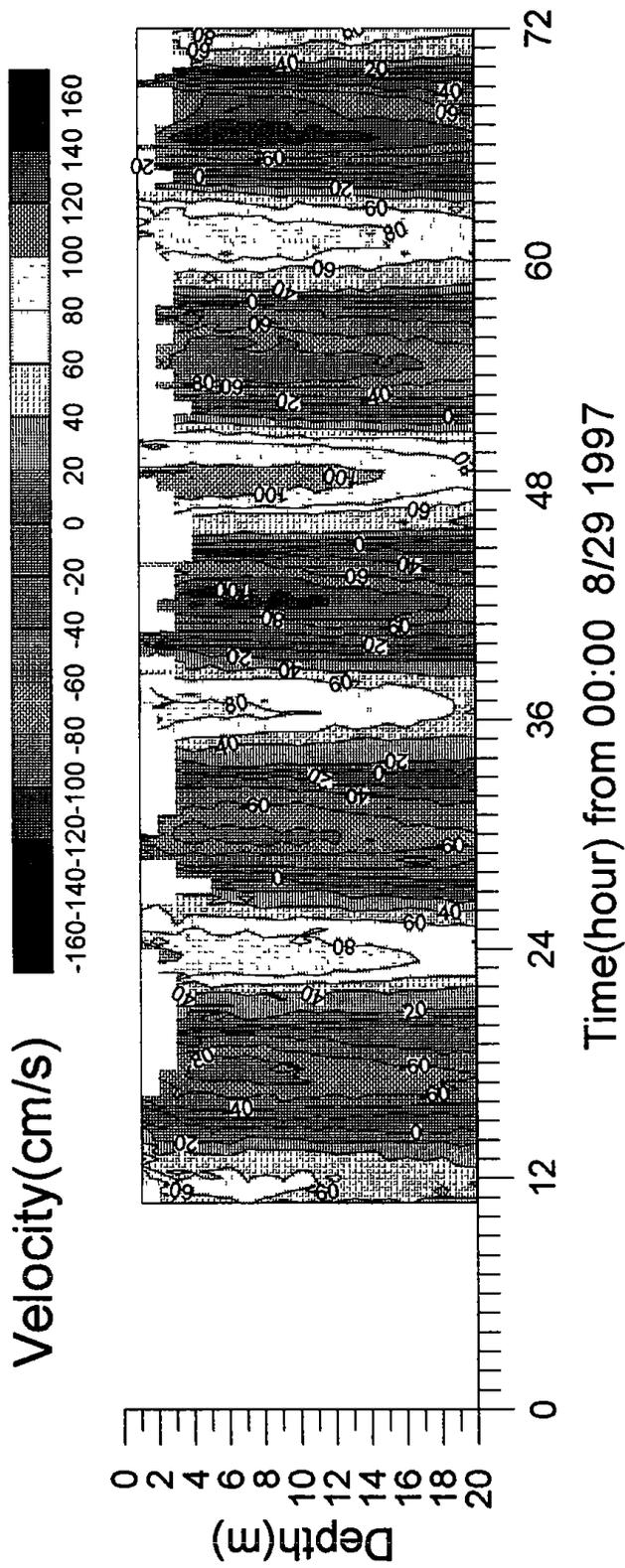


그림 2.7 ADCP로 관측된 유속연직분포 시계열자료.

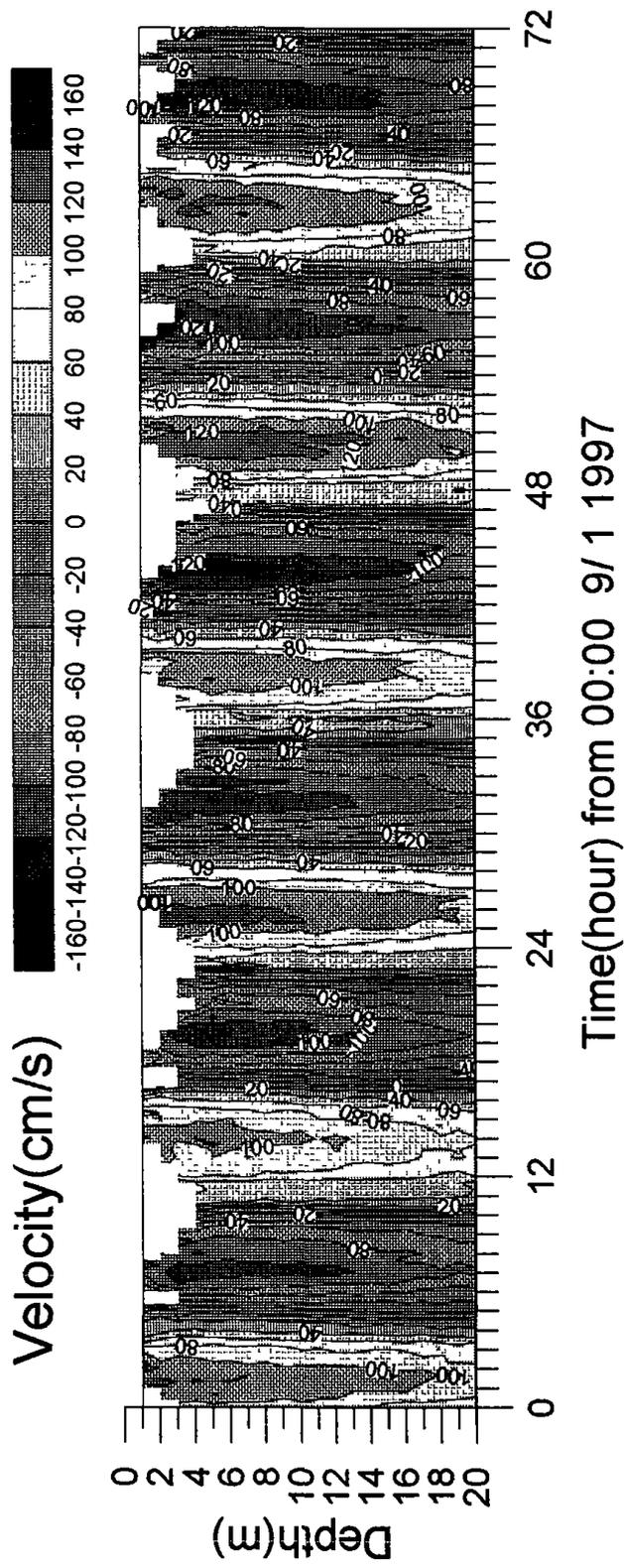


그림 2.7 (계속).

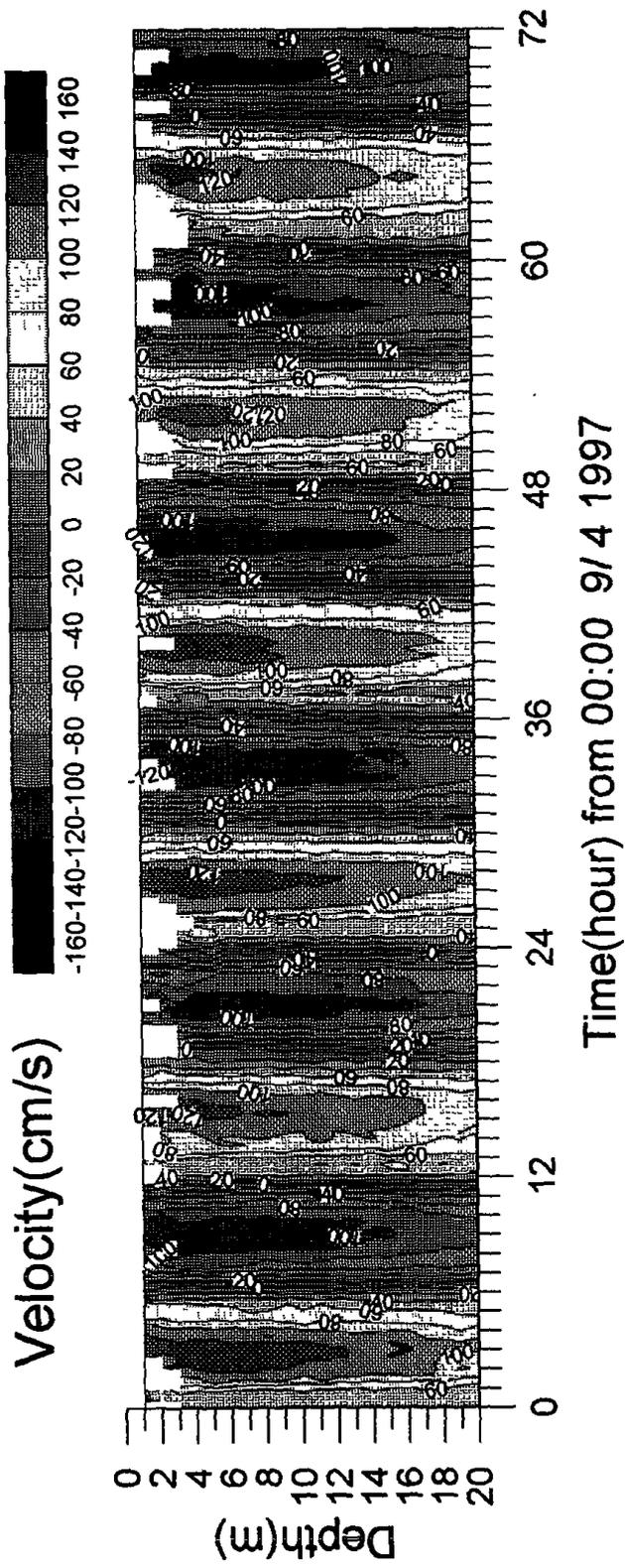


그림 2.7 (계속).

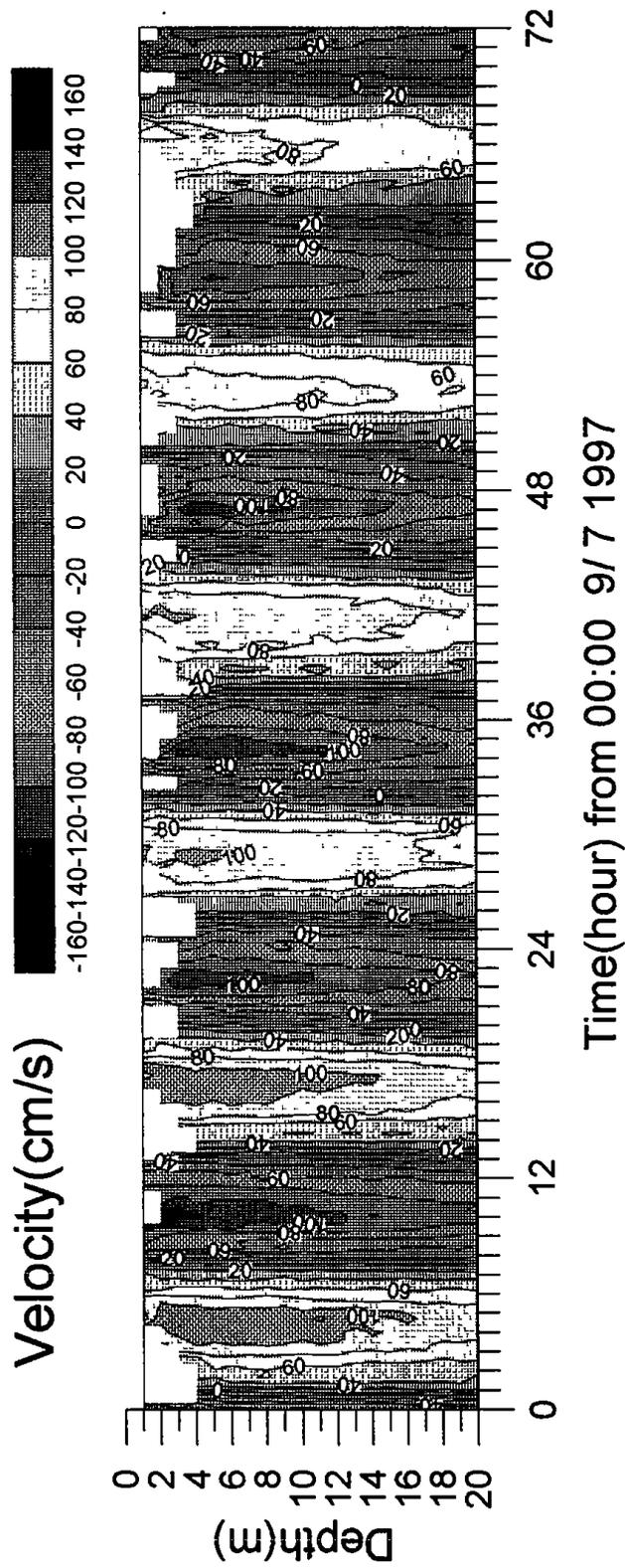


그림 2.7 (계속).

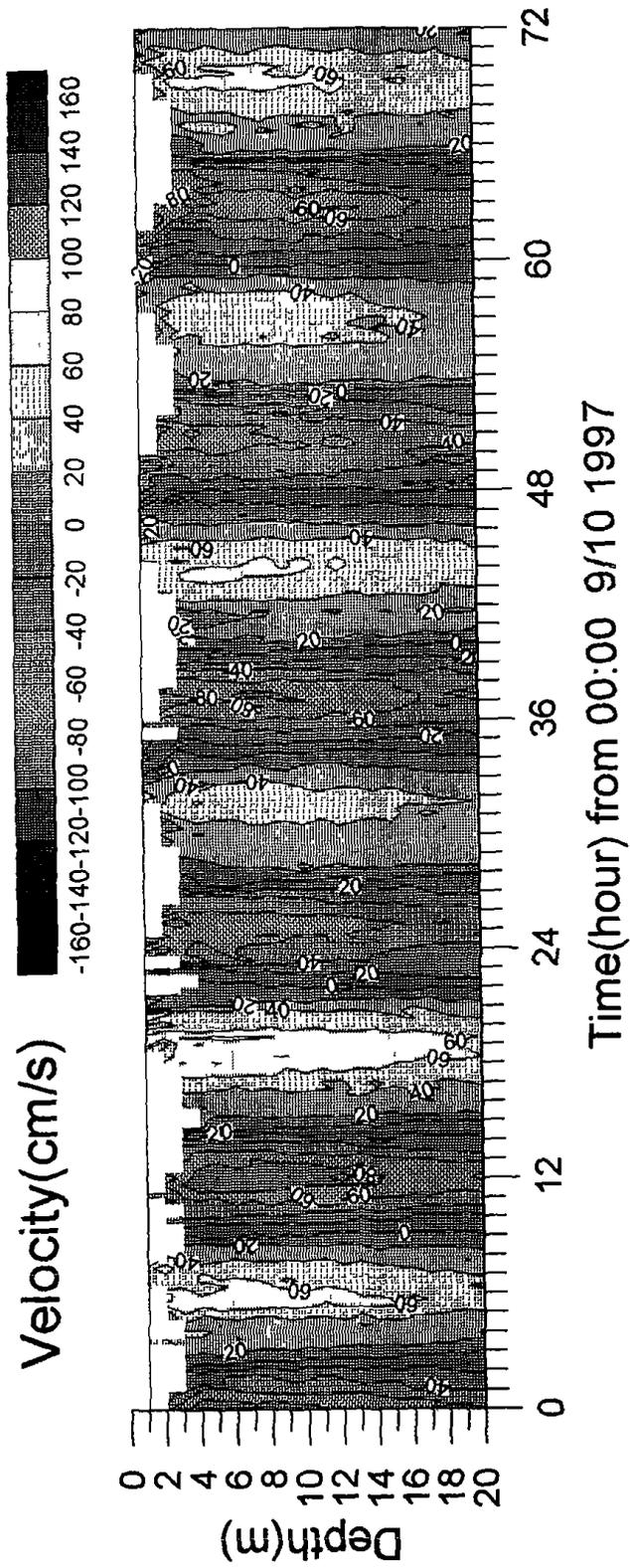


그림 2.7 (계속).

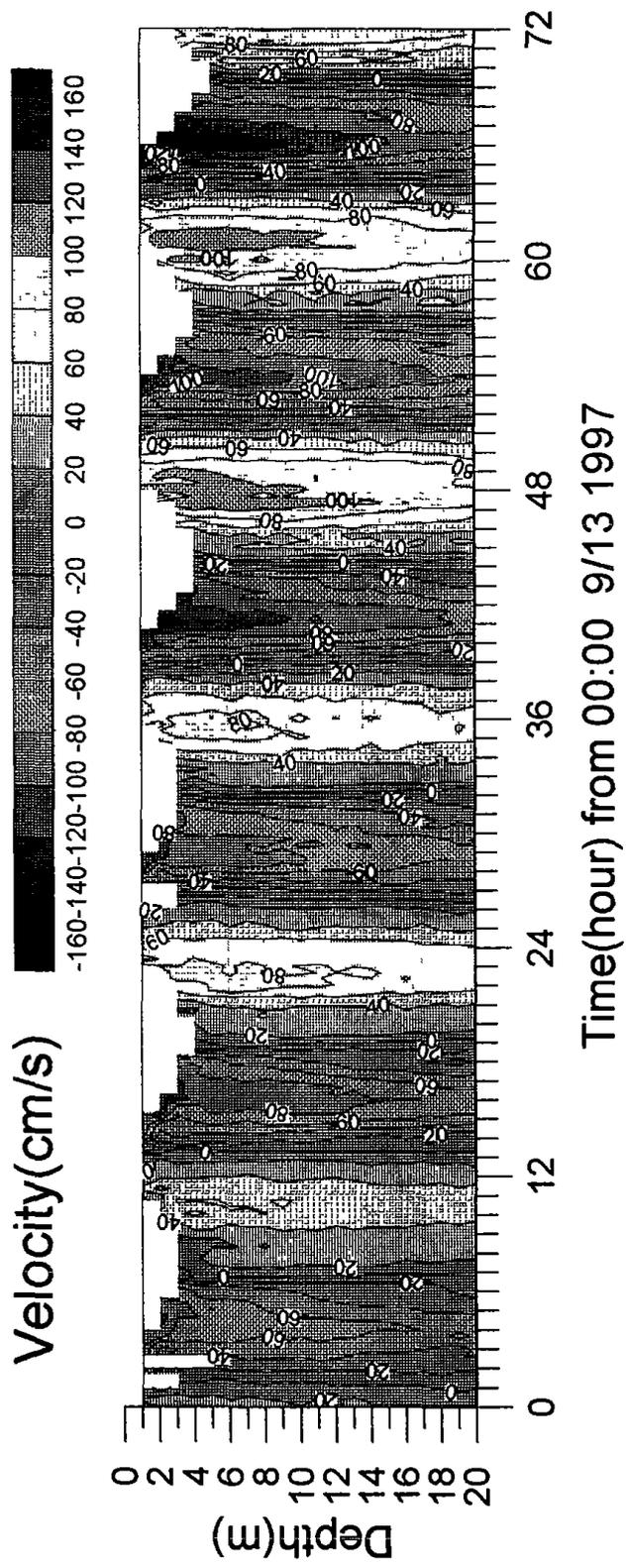


그림 2.7 (계속).

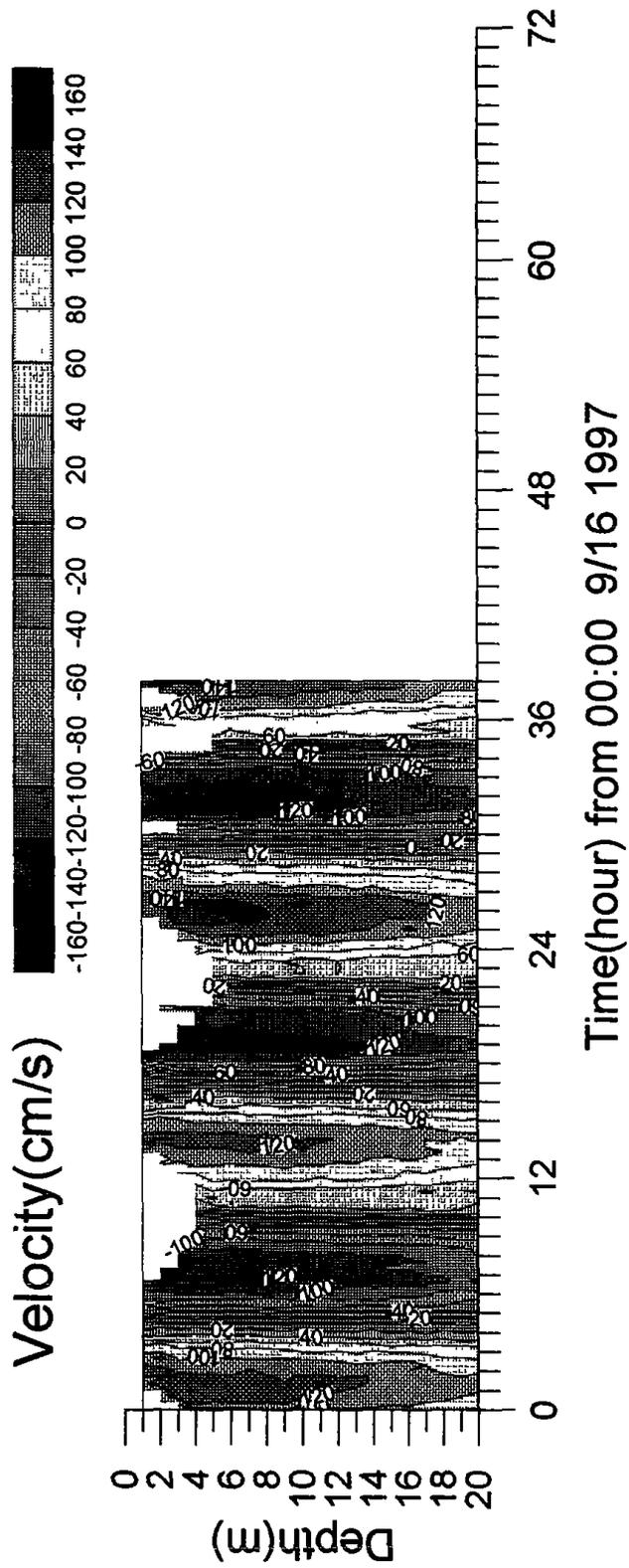


그림 2.7 (계속).

제 3 장 이론해 모형

3.1 개요

본 장에서는 왕복성 조류 존재하에 해수표면에서 태양복사열이 주어지는 경우 초기조건으로부터 어떠한 과정으로 열확산 연직분포가 결정되는지를 보여주는 이론모형이 제시된다. 열이류방정식에서 열수평구배와 이류속의 곱으로 나타나는 비선형항은 기지의 값으로 가정되어 driving force로 작용한다.

3.2 기본방정식

기본좌표계 Oxz (O 는 원점, Ox 는 동향을 +로 하는 동서방향 좌표축, Oz 는 상방향을 +로 하는 연직좌표축)상에서의 고려되는 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

여기서, x 와 z 는 직교좌표계, t 는 시간, U 는 x -방향의 유속, K_v 는 연직열확산계수이다. $\partial \bar{T} / \partial x$ 는 기지값으로 x -방향의 수온분포이다.

상기식과 관련하여 주어지는 경계조건은 다음과 같다.

$$\rho C_p \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right)_0 = Q_0 \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{-h} = 0 \quad (3)$$

여기서, ρ 는 해수밀도, C_p 는 비열, Q_0 는 태양복사열이다. 아래첨자는 편미분 값이 정의되는 연직좌표상 위치이다.

3.3 Galerkin 전개 및 Laplace 변환해

상기 식의 해를 다음과 같이 가정한다.

$$T(x, z, t) \cong \sum_{r=0}^n A_r(x, t) f_r(z) \quad (4)$$

여기서, f_r 은 수심에 따른 변화를 결정해 주는 기저함수(basis function)이며 A_r 은 Galerkin 전개 및 초기조건으로부터 결정될 미지수로 총 $n+1$ 개가 사용된다.

전개함수 f_k 를 취하여 수심구간에 대해 Inner product를 적용한다. 즉,

$$\int_{-h}^0 \left(\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right) \cdot f_k(z) dz = 0 \quad (5)$$

(4)식을 이용, (5)식을 각 항별로 정리하면 다음과 같다.

첫째 항:

$$I_1 = \int_{-h}^0 \frac{\partial T}{\partial t} \cdot f_k dz = \sum_{r=0}^n \frac{\partial A_r}{\partial t} \int_{-h}^0 f_r f_k dz \quad (6)$$

둘째 항:

$$I_2 = \int_{-h}^0 U \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \cdot f_k dz = \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \int_{-h}^0 U(z) f_k dz \quad (7)$$

셋째 항: 마지막 항에 대해서는 부분적분을 적용한다. 즉,

$$\begin{aligned} I_3 &= - \int_{-h}^0 \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) \cdot f_k dz \\ &= - \left[K_v \frac{\partial T}{\partial z} \cdot f_k \right]_{-h}^0 + \int_{-h}^0 K_v \frac{\partial T}{\partial z} \frac{df_k}{dz} dz \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 해수표면 및 해저면에서의 경계조건 (2), (3)식을 대입한다. 따라서,

$$I_3 = -\frac{Q_o}{\rho_o C_p} f_k(0) + \int_{-h}^0 K_v \frac{\partial T}{\partial z} \frac{df_k}{dz} dz \quad (9)$$

(9)식의 두 번째 항에 (4)식을 적용하면,

$$I_3 = -\frac{Q_o}{\rho_o C_p} f_k(0) + \int_{-h}^0 K_v \sum_{r=0}^n A_r \frac{df_r}{dz} \frac{df_k}{dz} dz \quad (10)$$

식 (10)의 두 번째 항은 FEM에서 Diffusion matrix를 구성한다. 다시 한번 부분적분을 취하면 다음 식이 구해진다.

$$I_3 = -\frac{Q_o}{\rho_o C_p} f_k(0) - \sum_{r=0}^n A_r \int_{-h}^0 f_r \frac{d}{dz} \left(K_v \frac{df_k}{dz} \right) dz \\ + \left[\sum_{r=0}^n A_r f_r K_v \frac{df_k}{dz} \right]_{-h}^0 \quad (11)$$

편의상 K_v 를 상수로 가정하면,

$$I_3 = -\frac{Q_o}{\rho_o C_p} f_k(0) - \sum_{r=0}^n A_r K_v \int_{-h}^0 f_r \frac{d^2 f_k}{dz^2} dz \\ + \left[\sum_{r=0}^n A_r f_r K_v \frac{df_k}{dz} \right]_{-h}^0 \quad (12)$$

여기서 전개함수 f_k 를 다음과 같은 Sturm-Liouville(SL) system의 해로 취한다.

$$\frac{d^2 f_k}{dz^2} = -\lambda_k f_k \quad (13)$$

$$f_k(0) = 1, \quad \left. \frac{df_k}{dz} \right|_0 = \left. \frac{df_k}{dz} \right|_{-h} = 0 \quad (14)$$

상기식에서 λ_k 는 고유상수로서 실수 값을 갖는다. (14)식에 의거,

$$I_3 = -\frac{Q_o}{\rho_o C_p} - \sum_{r=0}^n A_r K_v \lambda_k \int_{-h}^0 f_r f_k dz \quad (15)$$

SL system 해의 orthogonality 조건, 즉,

$$\int_{-h}^0 f_r f_k dz = 0 \text{ if } r \neq k \quad (16)$$

을 이용하여 $I = I_1 + I_2 + I_3 = 0$ 을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_r}{\partial t} + \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \int_{-h}^0 U(z) f_k dz \cdot \Phi_k - \frac{Q_o}{\rho_o C_p} \cdot \Phi_k \\ - A_r K_v \lambda_k = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

여기서

$$\Phi_k = 1 / \int_{-h}^0 f_k^2 dz \quad (18)$$

식 (17)에 Laplace Transform을 적용하며, 그 결과를 편의상 다시 항별로 정리한다.

첫째 항:

$$L_1 = \int_0^\infty \frac{dA_k}{dt} e^{-st} dt = S \tilde{A}_k(s) - A_k(0) \quad (19)$$

여기서

$$\tilde{A}_k(s) = \int_0^\infty A_k(t) e^{-st} dt \quad (20)$$

둘째 항: 이류속을 다음과 같이 잔차류항과 왕복성분으로 구분, 정리한다.

$$U = \bar{U} + U_T \sin \omega t \quad (21)$$

따라서,

$$\begin{aligned}
 L_2 &= \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \cdot \Phi_k \cdot \int_0^\infty \int_{-h}^0 (\bar{U} + U_T \sin \omega t) f_k dz e^{-st} dt \\
 &= \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \cdot \Phi_k \cdot \left(\int_{-h}^0 U f_k dz \frac{1}{s} + \int_{-h}^0 U_T f_k dz \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \right) \quad (22)
 \end{aligned}$$

셋째 항: 이류속과 마찬가지로 평균값과 시간변화항으로 구분한다. 즉,

$$Q_o = \bar{Q}_o + Q_o \sin \omega_q t \quad (23)$$

따라서,

$$\begin{aligned}
 L_3 &= -\frac{1}{\rho c_p} \Phi_k \int_0^\infty (\bar{Q}_o + Q_o \sin \omega_q t) e^{-st} dt \\
 &= -\frac{1}{\rho c_p} \Phi_k \left(\frac{\bar{Q}_o}{s} + \frac{Q_o \omega_q}{s^2 + \omega_q^2} \right) \quad (24)
 \end{aligned}$$

넷째 항:

$$L_4 = -\int_0^\infty \lambda_k K_v \tilde{A}_k e^{-st} dt = -\lambda_k K_v \tilde{A}_k(s) \quad (25)$$

이상을 종합하면,

$$\begin{aligned}
S \tilde{A}_k + \frac{a_k}{s} + \frac{b_k \omega}{s^2 + \omega^2} + \frac{c_k}{s} + \frac{d_k \omega_q}{s^2 + \omega^2} - \lambda_k K_v \tilde{A}_k \\
= A_k(x, 0)
\end{aligned} \tag{26}$$

여기서,

$$a_k = \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \Phi_k \int_0^{-h} \bar{U} f_k dz \tag{27}$$

$$b_k = \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \Phi_k \int_0^{-h} U_T f_k dz \tag{28}$$

$$c_k = -\frac{1}{\rho C_p} \Phi_k \bar{Q}_0 \tag{29}$$

$$d_k = -\frac{1}{\rho C_p} \Phi_k Q_T \tag{30}$$

다시 정리하면,

$$\begin{aligned}
\tilde{A}_k(s) = \frac{A_k(x, 0)}{s + \lambda_k K_v} + \frac{(a_k + c_k)}{s(s + \lambda_k K_v)} + \frac{b_k \omega}{(s^2 + \omega^2)(s + \lambda_k K_v)} \\
+ \frac{d_k \omega_q}{(s^2 + \omega_q^2)(s + \lambda_k K_v)}
\end{aligned} \tag{31}$$

상기식을 partial friction형으로 바꾸면 다음과 같이 정리된다.

$$S_1 = \frac{A_k(0)}{s + \lambda_k K_v} \quad (32)$$

$$S_2 = \frac{a_k + c_k}{\lambda_k K_v} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \lambda_k K_v} \right) \quad (33)$$

$$S_3 = \frac{b_k \omega}{(\lambda_k K_v)^2 + \omega^2} \frac{1}{s + \lambda_k K_v} - \frac{b_k \omega}{2i\omega(\lambda_k K_v - i\omega)} \frac{1}{s + i\omega} \\ + \frac{b_k \omega}{2i\omega(\lambda_k K_v + i\omega)} \frac{1}{s - i\omega} \quad (34)$$

$$S_4 = \frac{d_k \omega_q}{(\lambda_k K_v)^2 + \omega^2} \frac{1}{s + \lambda_k K_v} - \frac{d_k \omega_q}{2i\omega(\lambda_k K_v - i\omega)} \frac{1}{s + i\omega} \\ + \frac{d_k \omega_q}{2i\omega(\lambda_k K_v + i\omega)} \frac{1}{s - i\omega} \quad (35)$$

Inverse transform을 취하면,

$$A_k(x, t) = A_k(x, 0) e^{-\lambda_k K_v t} + \frac{a_k + c_k}{\lambda_k K_v} (1 - e^{-\lambda_k K_v t}) \\ + \frac{b_k \omega e^{-\lambda_k K_v t}}{(\lambda_k K_v)^2 + \omega^2} - \frac{(b_k/2i) e^{-i\omega t}}{(\lambda_k K_v - i\omega)} - \frac{(b_k/2i) e^{-i\omega t}}{(\lambda_k K_v + i\omega)} \\ + \frac{b_k \omega_q e^{-\lambda_k K_v t}}{(\lambda_k K_v)^2 + \omega_q^2} - \frac{(b_k/2i) e^{-i\omega_q t}}{(\lambda_k K_v - i\omega_q)} - \frac{(b_k/2i) e^{-i\omega_q t}}{(\lambda_k K_v + i\omega_q)} \quad (36)$$

끝으로 고려해야 할 것은 초기조건이다. 편의상 초기조건을 다음과 같이 정의한다.

$$T(x, z, 0) = T_i \quad (36)$$

같은 방법으로

$$\int_{-h}^0 \left(T_i - \sum_{r=0}^n A_r(x, 0) f_r(z) \right) \cdot f_k(z) dz = 0 \quad (37)$$

따라서

$$A_k(x, 0) = \Phi_k \int_{-h}^0 T_i(x, z) f_k(z) dz \quad (38)$$

난류 확산 계수가 상수인 경우 고유함수는 cosine 함수로 주어진다. 따라서

$$\begin{aligned} \int_{-h}^0 T_i(x, z) \cos \frac{k\pi}{h} z dz &= A_k(x, 0) \int_{-h}^0 \left(\cos \frac{k\pi}{h} z \right)^2 dz \\ &= A_k(x, 0) \int_{-h}^0 \frac{1}{2} \left(1 + \cos 2 \frac{k\pi}{h} z \right) dz \end{aligned} \quad (39)$$

따라서

$$A_k(x, 0) = \frac{2}{h} \int_{-h}^0 T_i(x, z) \cos \frac{k\pi}{h} z dz \quad (40)$$

고유함수 전체에 대해 summation하면,

$$\begin{aligned}
T(x, z, t) &= \sum_{r=0}^n A_r(x, t) \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&= \sum_{r=0}^n \left(\int_{-h}^0 T_i \cos \frac{r\pi}{h} dz \right) \cdot e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&+ \sum_{r=0}^n \frac{(a_r + c_r) h^2}{r^2 \pi^2 K_v} \cdot \left(1 - e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \right) \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&+ \sum_{r=0}^n \frac{b_r \omega h^4}{r^4 \pi^4 K_v^2 + \omega^2 h^4} \cdot e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&- \sum_{r=0}^n \frac{b_r \omega h^2}{2i\omega(r^2 \pi^2 K_v - i\omega h^2)} \cdot e^{-i\omega t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&+ \sum_{r=0}^n \frac{b_r \omega h^2}{2i\omega(r^2 \pi^2 K_v + i\omega h^2)} \cdot e^{i\omega t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&+ (\omega_q \text{ terms})
\end{aligned} \tag{41}$$

exp함수를 cosine, sine함수로 대치하면,

$$\begin{aligned}
T(x, z, t) &= \sum_{r=0}^n \left(\int_{-h}^0 T_i \cos \frac{r\pi}{h} dz \right) \cdot e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
&+ \sum_{r=0}^n \frac{(a_r + c_r) h^2}{r^2 \pi^2 K_v} \cdot \left(1 - e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \right) \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{r=0}^n \frac{b_r \omega h^4}{r^4 \pi^4 K_v^2 + \omega^2 h^4} \cdot e^{-\frac{r^2 \pi^2 K_v}{h^2} t} \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
& - \sum_{r=0}^n \frac{b_r h^2}{(r^4 \pi^4 K_v^2 + \omega^2 h^4)} \cdot (r^2 \pi^2 K_v \sin \omega t + \omega h^2 \cos \omega t) \cdot \cos \frac{r\pi}{h} z \\
& + (\omega_q \text{ terms}) \tag{42}
\end{aligned}$$

결국 결과식은 초기조건과 관련한 시간변화항, 이류효과와 관련한 시간변화항, 복사열과 관련한 시간변화항으로 구성된다. 이상의 결과식에서 확인할 수 있는 것은 $t > t_m = h^2/(K_v \pi^2)$ 의 경우 exp항이 무시할 정도로 작아지므로 이후 초기 수은분포의 영향이 거의 나타나지 않게 된다. 시간변화항 중 왕복성 조류(및 복사열)와 관련된 항은 시간에 따라 감소하는 항과 주기적 변화항을 포함한다. 반면 잔차류(평균복사량)에 의한 효과는 시간에 따라 감소하는 항과 상수값으로 표시된다.

상기해에서 수평방향으로의 변화는 driving force로 작용하는 항들을 공간의 함수로 어떻게 정의하느냐에 따라 주어진다. 나아가 난류확산 계수 정의에도 공간적 변화를 포함시킬 수 있다. 상기 이론해에서 연직확산계수의 수심에 따른 변화구조가 일정한 한 적용 가능하며 이 때 고유함수는 SL system으로부터 이론적 방법으로 또는 수치적으로 구하게 된다.

그러나 상기 이론해는 선형조건을 가정하므로 modulation현상 등을 설명할 수 없다. 조석혼합 과정에는 많은 비선형 역학과정이 포함되어 있으나

modulation을 위한 가장 단순한 parameterization은 난류확산계수가 유속의 함수로 다음과 같이 주어지는 경우이다. 즉,

$$K_v \propto U^2 \quad (43)$$

상기식이 암시하는 바는 다음과 같다: 유속이 커지면 수직혼합의 강도가 증가하고 이에 따라 저층수가 표층 고온수에 혼합되면서 SST를 낮추게 된다; 조석주기에 따른 변화에서 대조기에는 창조 및 낙조류의 유속이 강하므로 혼합을 높이게 되며 반대로 소조기에는 창조 및 낙조류의 유속이 약하므로 혼합이 저해된다; 유속의 제곱은 비선형작용을 야기시키게 되어 만일 M2 및 S2 분조를 고려하는 경우 대략 일주기 변화와 보름주기의 변화 등이 나타나게 된다.

이론해 적용을 위해서는 수온구배와 유속이 필요하며 가장 중요한 요소로서 연직확산계수의 적절한 정의가 필요하다. 참고로 Bi & Zhao(1992)가 황해서안 조석전선 수치모델링에서 사용한 난류확산계수 값은 다음과 같다.

$$K_z = K_0(x) \left(1 + \frac{m\sigma}{m-1} R_i \right)^{-(m-1)} \quad (45)$$

$$K_0 = \begin{cases} 3.2 \times 10^{-3} & 0 \leq x \leq 80 \text{ km} \\ 3.2 \times 10^{-3} (2.17 - 0.013x) & 80 < x \leq 130 \text{ km} \\ 0.54 \times 10^{-3} & 130 < x \leq 220 \text{ km} \end{cases} \quad (46)$$

여기서 K_0 는 비성층조건 하의 연직확산계수, R_i 는 Richardson Number, m 은 상수이다.

제 4 장 결론 및 제언

CTD 관측 결과 $125^{\circ} 33' E$, $36^{\circ} 43' N$ (St. C14)에서 가장 발달된 수온약층이 발견되었으며 $125^{\circ} 40' E$ 부근에서 등수온선의 상하분지가 나타나고 있다. 계류관측에서 일, 반일주기의 수온변화가 표층관측에서 뚜렷이 나타나고 있으나 때로 바람혼합이 조석혼합보다 크게 작용한다는 사실이 확인되었다.

본 연구 계획단계에서 구상된 연구 내용은 조석전선에 대한 최초의 체계적인 계류관측으로 대조기-중조기-소조기로의 modulation 등을 파악하려는 매우 야심에 찬 관측 계획을 수립한 바 있다. 그러나, 결과적으로 역시 계류 관측이 얼마나 어려운 문제인가를 다시 한번 일깨워 주었다. 50 m sensor cable길이의 TR7을 망실하여 목표로 하였던 연직구조의 시간변화를 확인할 수 없었다. 단지 외해측 표층 10 m 내의 구조만이 확인되었고 ADCP도 가까스로 회수되어 사실상 양질의 자료획득보다는 추후 저가의 기기를 자체 제작하는 방안이나 계류시 기기 자체보다 계류안전장치에 보다 많은 투자를 해야 할 것이라는 교훈을 얻게 되었다.

이류(convection)항을 기지의 driving force로 가정하여 조석전선에 대한 이론모형을 수립하였으며 고유함수 전개(eigenfunction expansion)와 Laplace 변환을 사용하여 해를 구하였다. 해수표면에서 복사열이 경계조건으로 정의되며 이류속은 왕복성으로 가정되었다. 이론해로부터 초기 수온연

직분포가 어느 time scale까지 영향을 주는가와 난류확산계수의 역할이 확인되었다. 즉, $t > t_m = h^2/(K_v \pi^2)$ 의 경우 초기 수온분포의 영향이 거의 나타나지 않게 되며 driving force로 작용하는 항들을 수평방향의 함수로 어떻게 정의하느냐, 그리고 연직, 수평 난류확산 계수를 어떻게 정의하느냐에 따라 조석전선의 구조 및 시간변동이 결정된다.

추후의 3차원 모델개발 및 검증에서 중점적으로 다루어야 할 내용은 연직확산계수의 정의를 위한 난류마감(Turbulence closure)으로써 특히 조석혼합 및 바람혼합 공존시의 적용 타당성이 논의되어야 할 것이다. 필요시 비정수압 모형의 개발도 고려되어야 할 것이다. 그러나 무엇보다도 중요한 것은 CMB 등의 장비를 이용한 대상지점의 복사열, 해상풍, 습도, 표층수온 및 파고 등이다. 본래 본 연구의 계획단계에서는 3차원 경압모형의 수립 및 검증까지 포함되었으나 검증을 위한 관측자료의 부족과 난류마감 모형의 타당성 실험 등이 지연되어 2차년도 연구과제로 미루게 되었다.

참고문헌 (References)

- Awaji, T. and Kunishi, H., 1983. A dispersion equation and dispersion coefficient for material transport in the inland seas. J. Oceanogr. Soc. of Japan, vol. 39, pp.1-8.
- Bi, Y. and Zhao, B., 1992. Numerical study on the tidal front in the western Yellow Sea. Contribution No. 2224, Institute of Oceanology, Academia Sinica, vol. 11, pp.305-313.
- Choi, B.H., 1981. Effect on the M2 tide of tidal barriers in the west coast of Korea, KORDI report No., 81-01, Korea Ocean Research & Development Institute, pp.37.
- Ffield, A. and Gordon, A.L., 1996. Tidal mixing signatures in the Indonesian Seas. J. Phys. Oceanogr., vol. 26, pp.1924-1937.
- Pingree, R.D., Holligan, P.M. and Mardell, G.T., 1978. The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the northwest European shelf. Deep-Sea Res., vol. 25, pp.1011-1028.

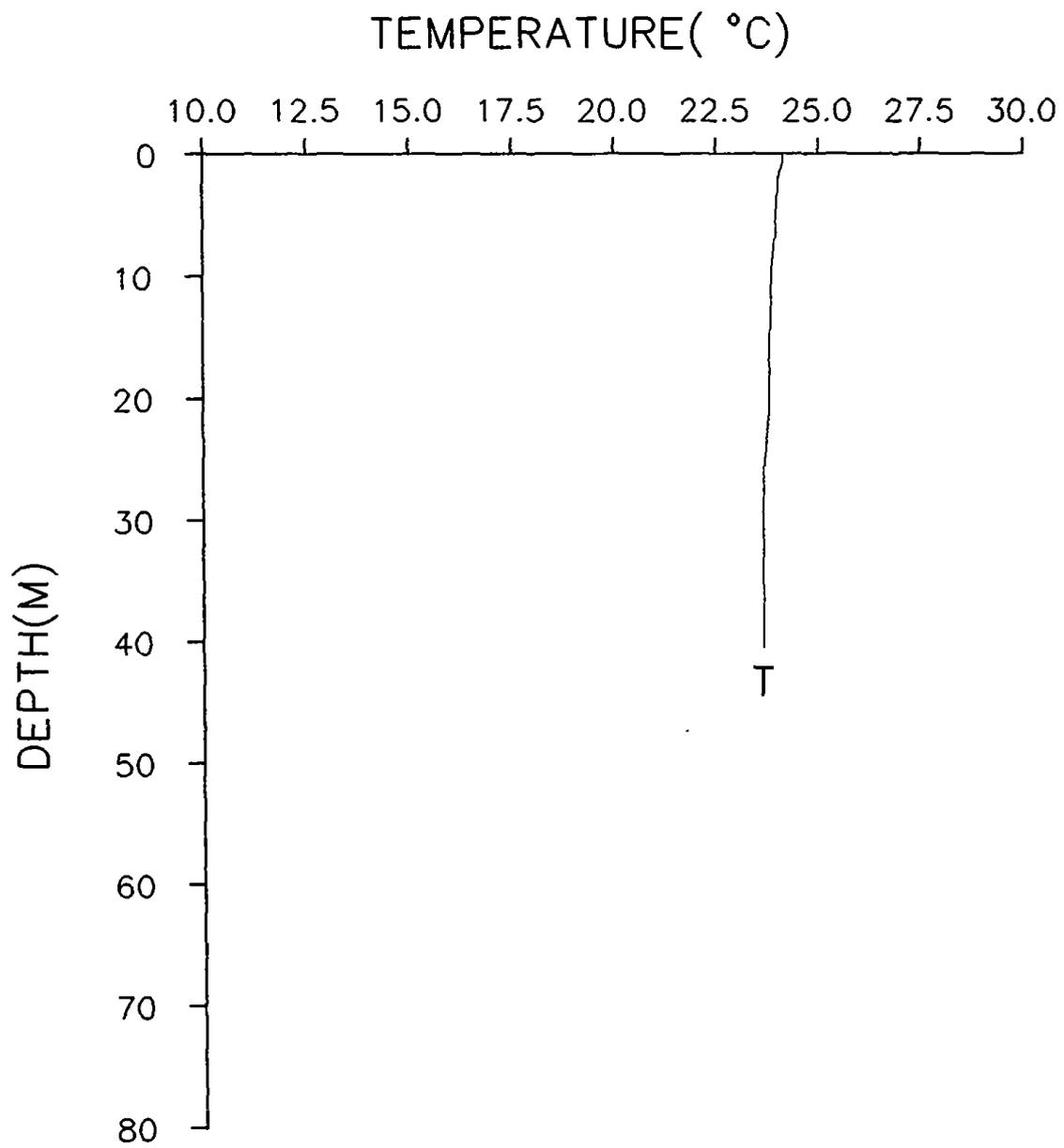
Pugh, D.T., 1987. Tides, surges, and mean sea-level, a Handbook for engineers and scientists. Wily and Sons, pp.472

Simpson, J.H. and Hunter, J.R., 1974. Fronts in the Irish Sea. Nature, 250, pp.404-406.

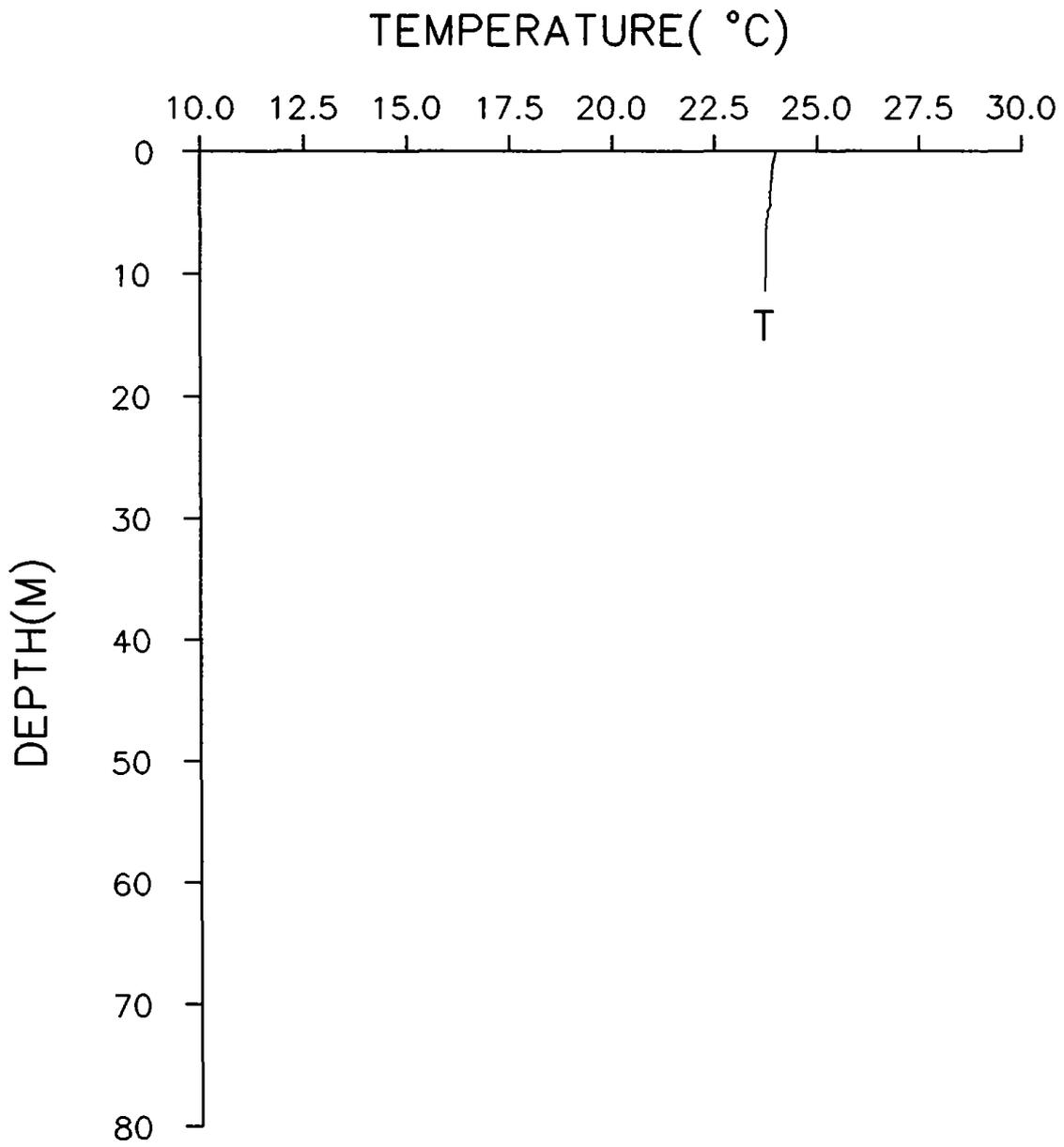
정 정호, 1990. 서해 중부 조석전선 부근에서 수온 염분의 시, 공간적 변화. 인하대학교 해양학과 이학석사논문, pp.48.

한국해양연구소, 1986. 한국 서남해역에서 조석전선. BSPE 00058-93-1, 한국해양연구소 보고서, pp.106.

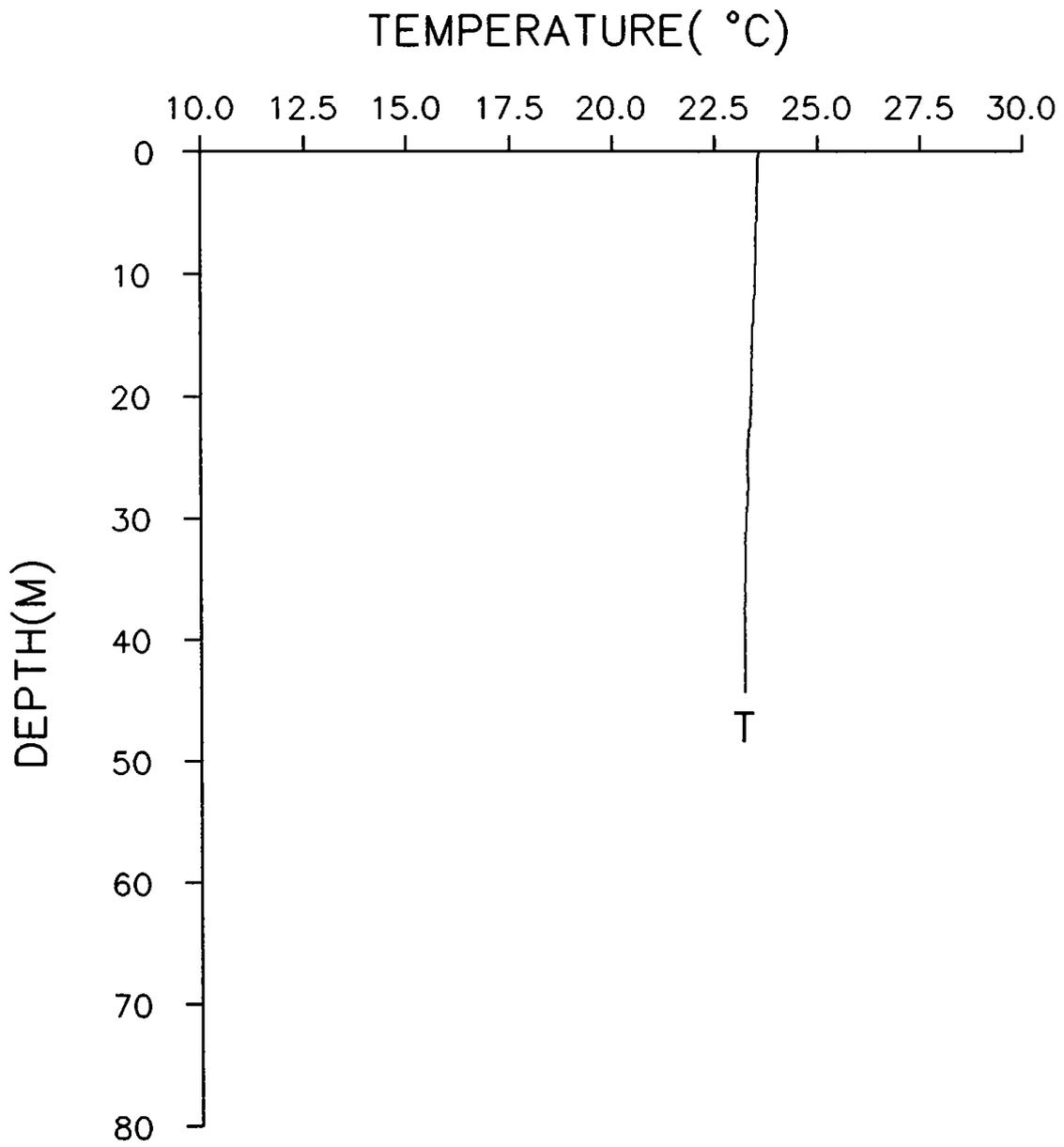
부록: 정점별 수온연직분포도
(Appendix: Temperature profiles
measured by CTD)

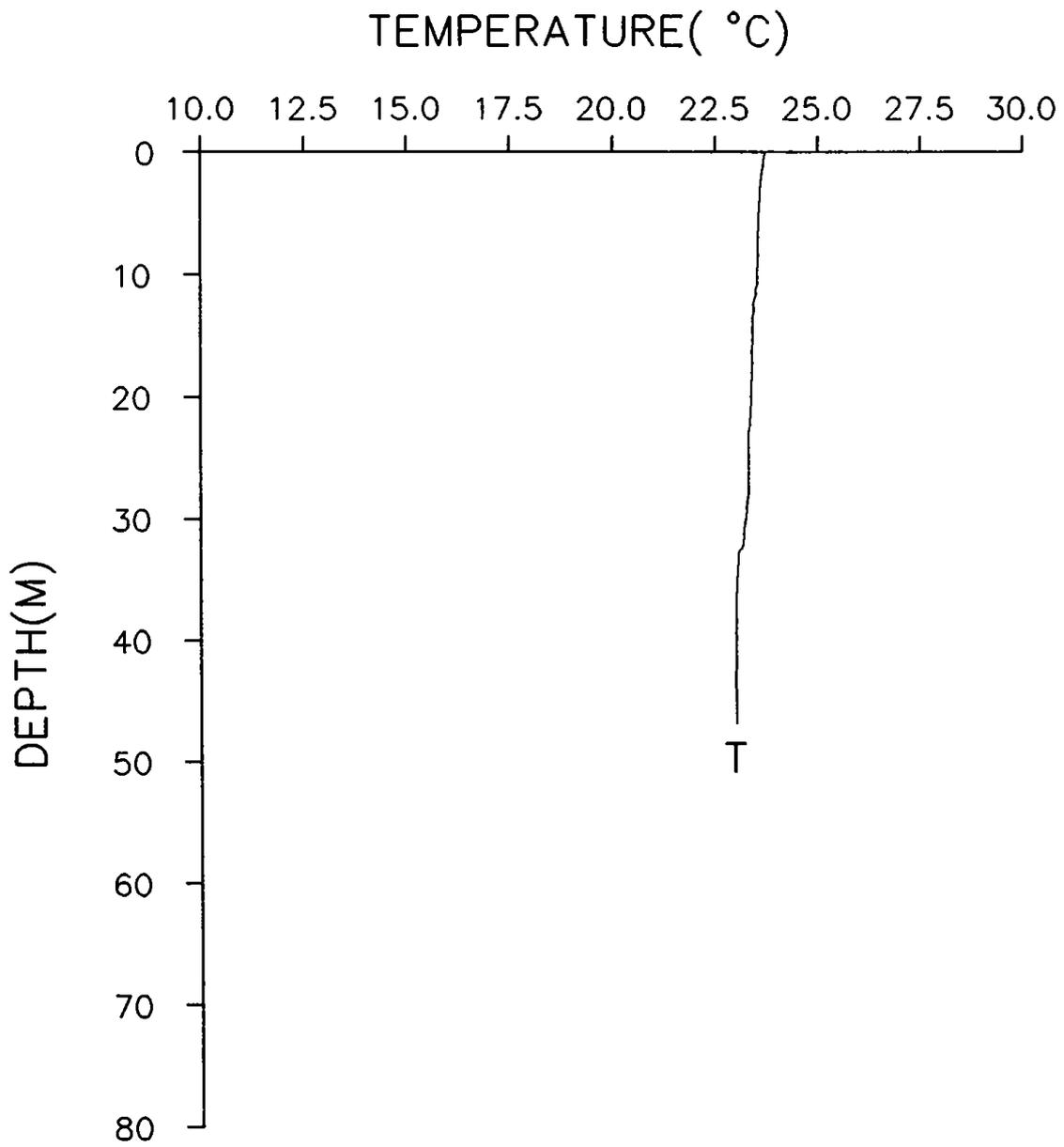


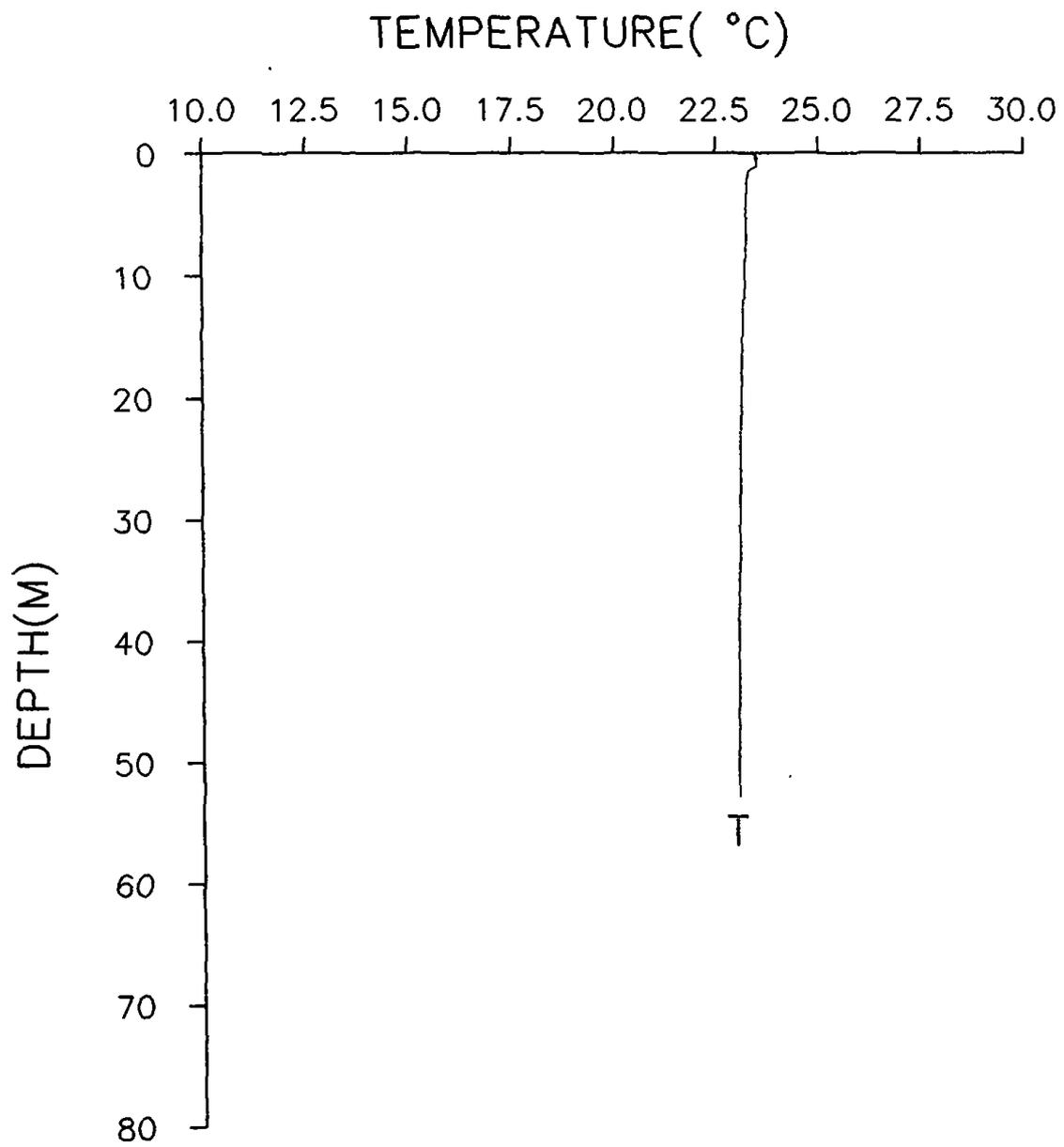
St.C01



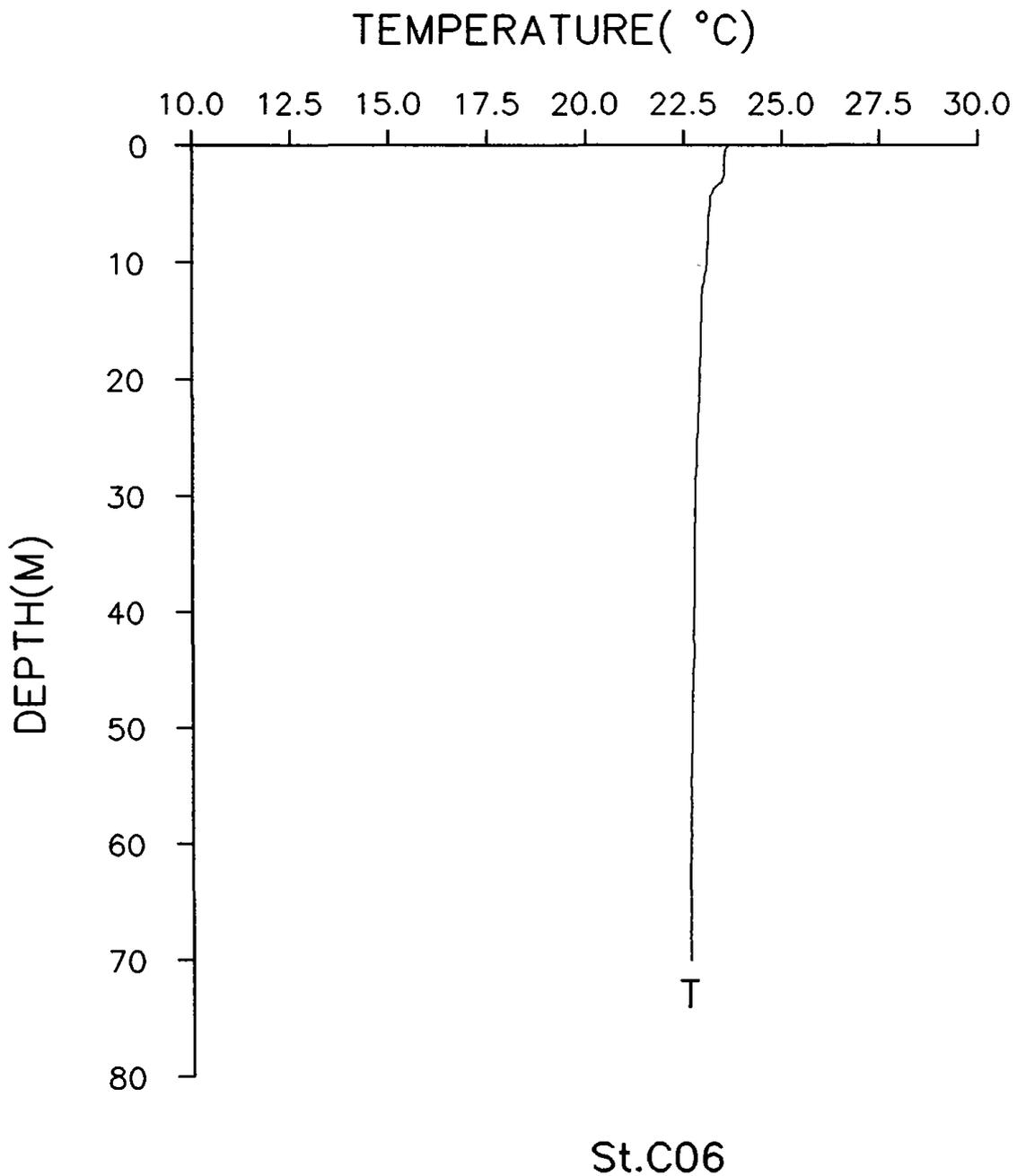
St.C02

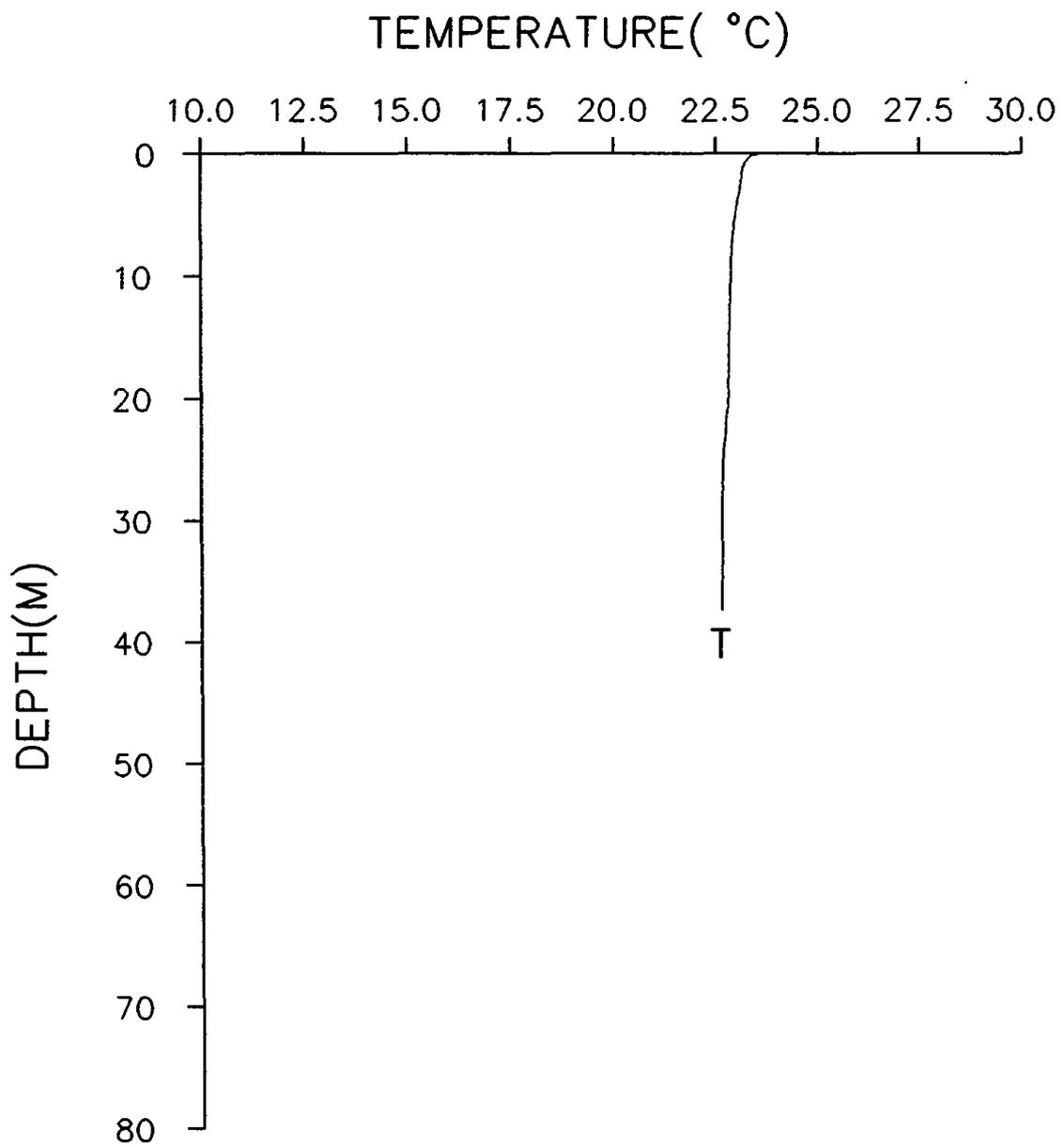




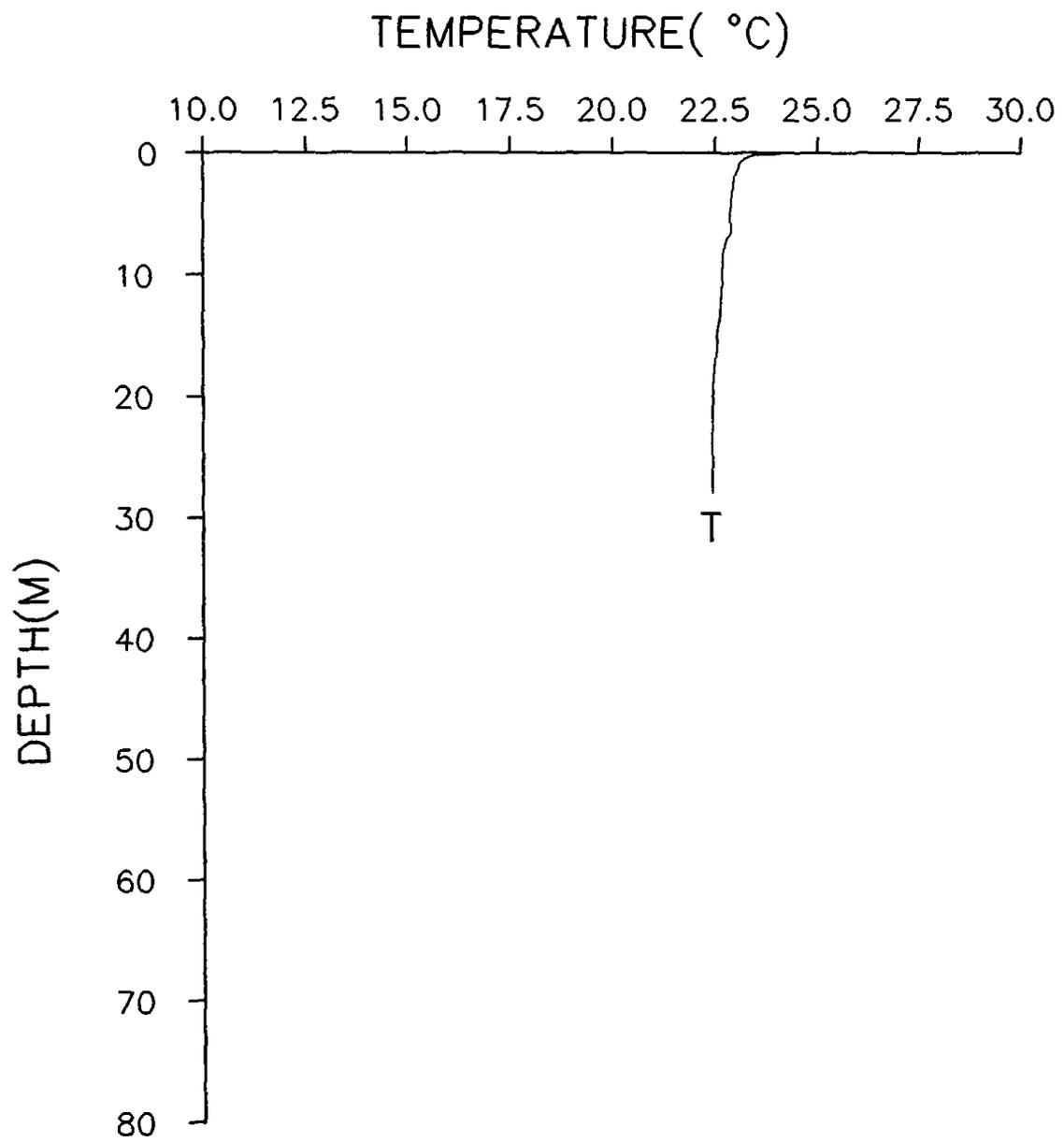


St.C05

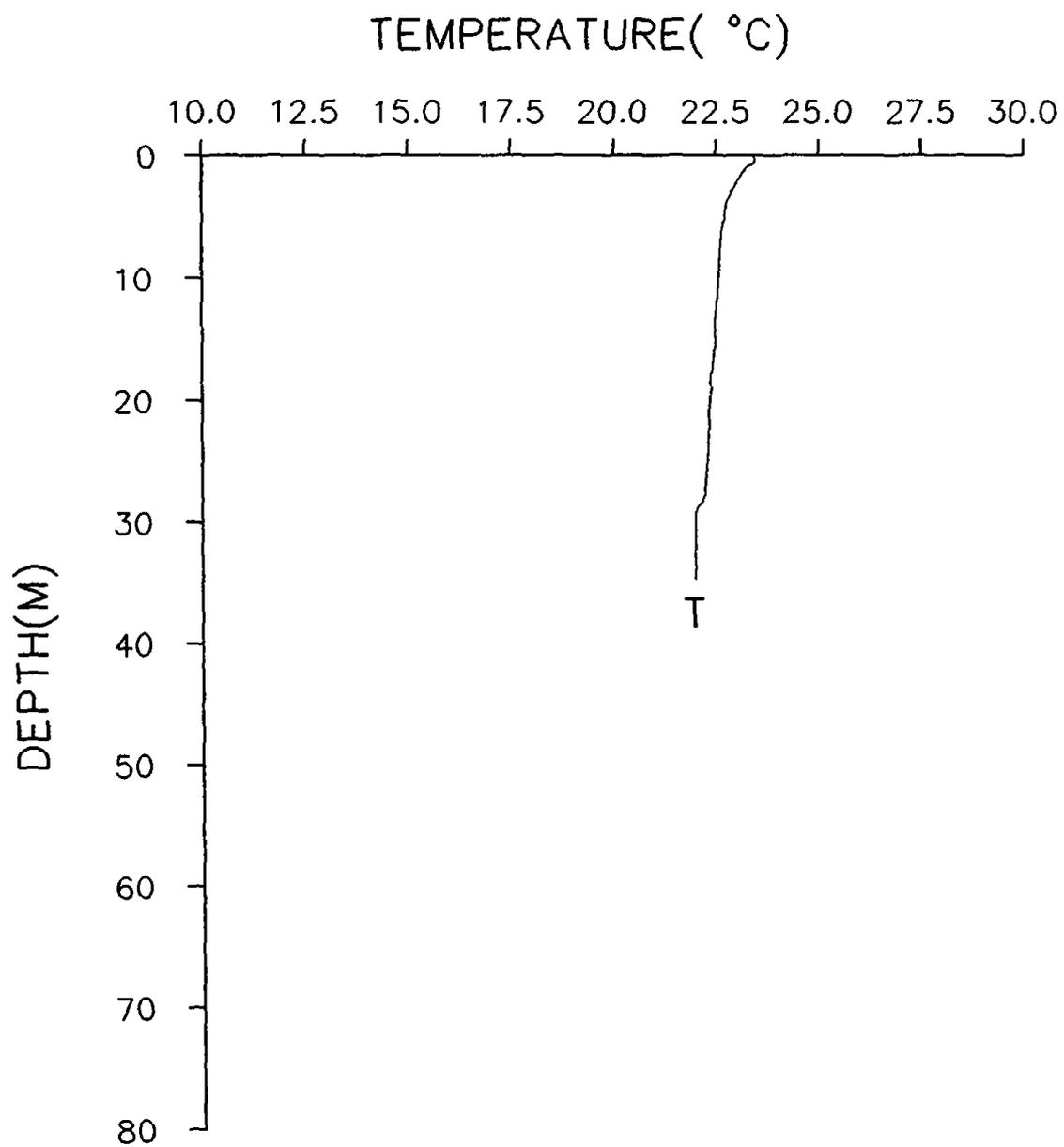




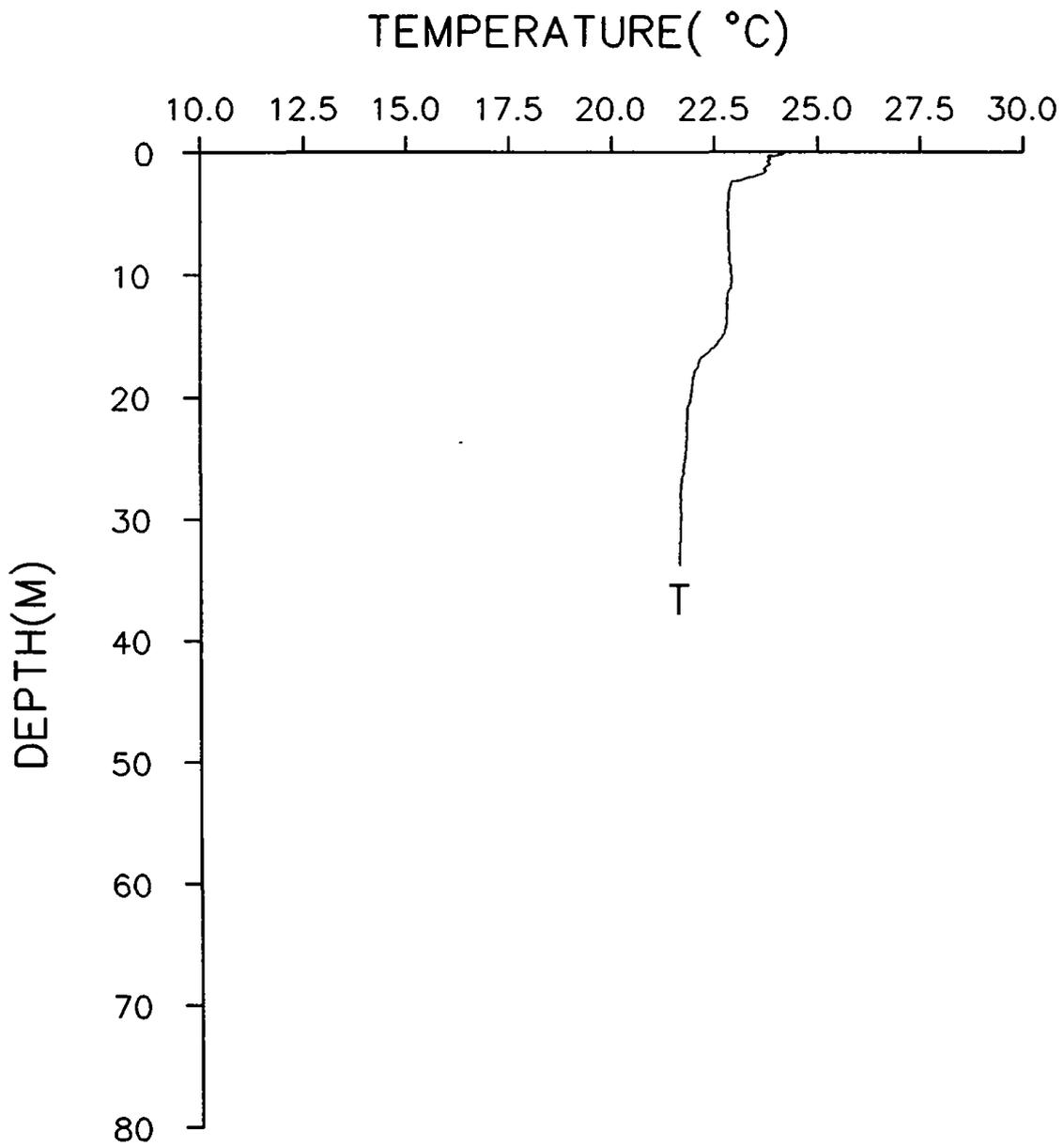
St.C07



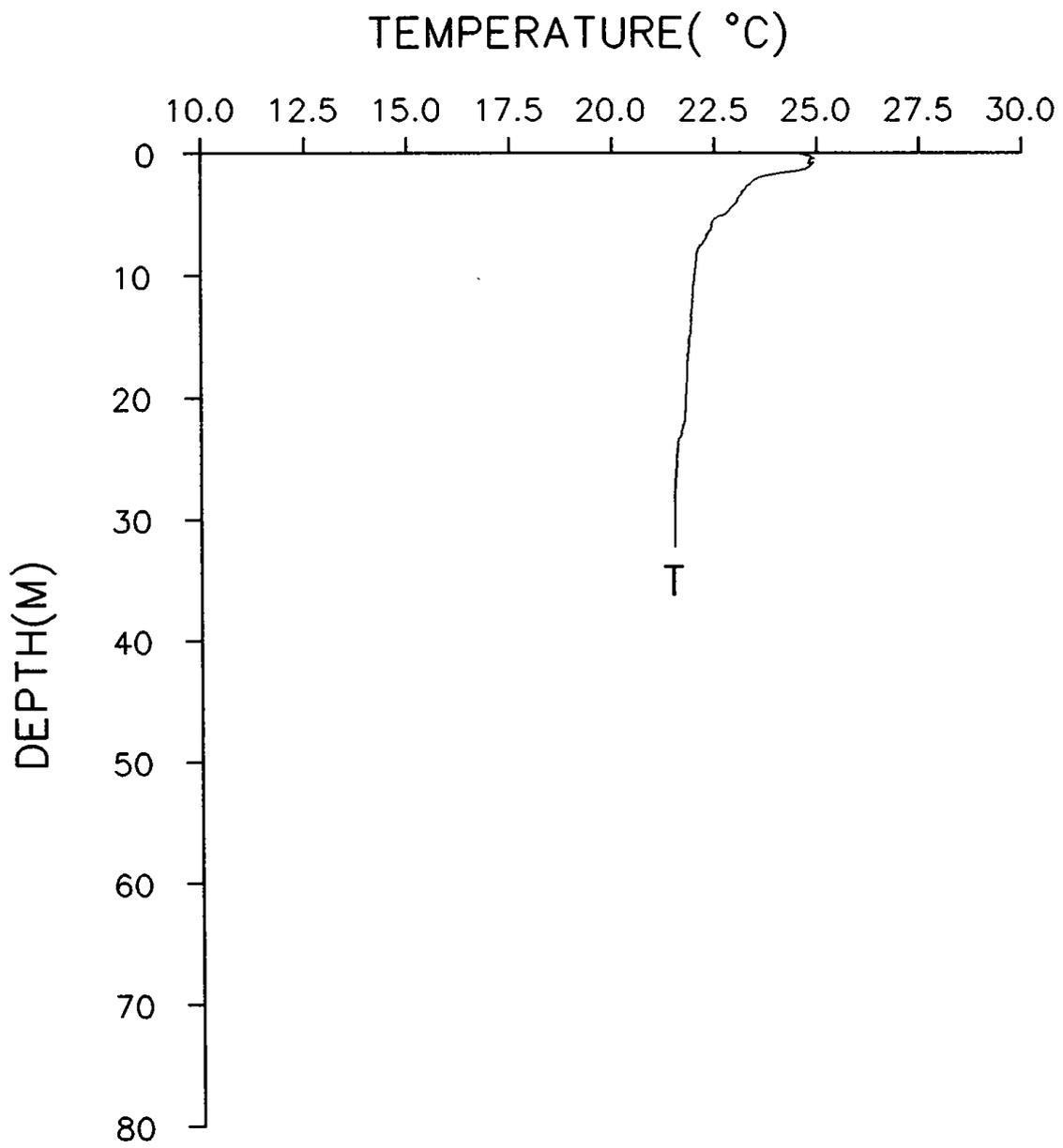
St.C08



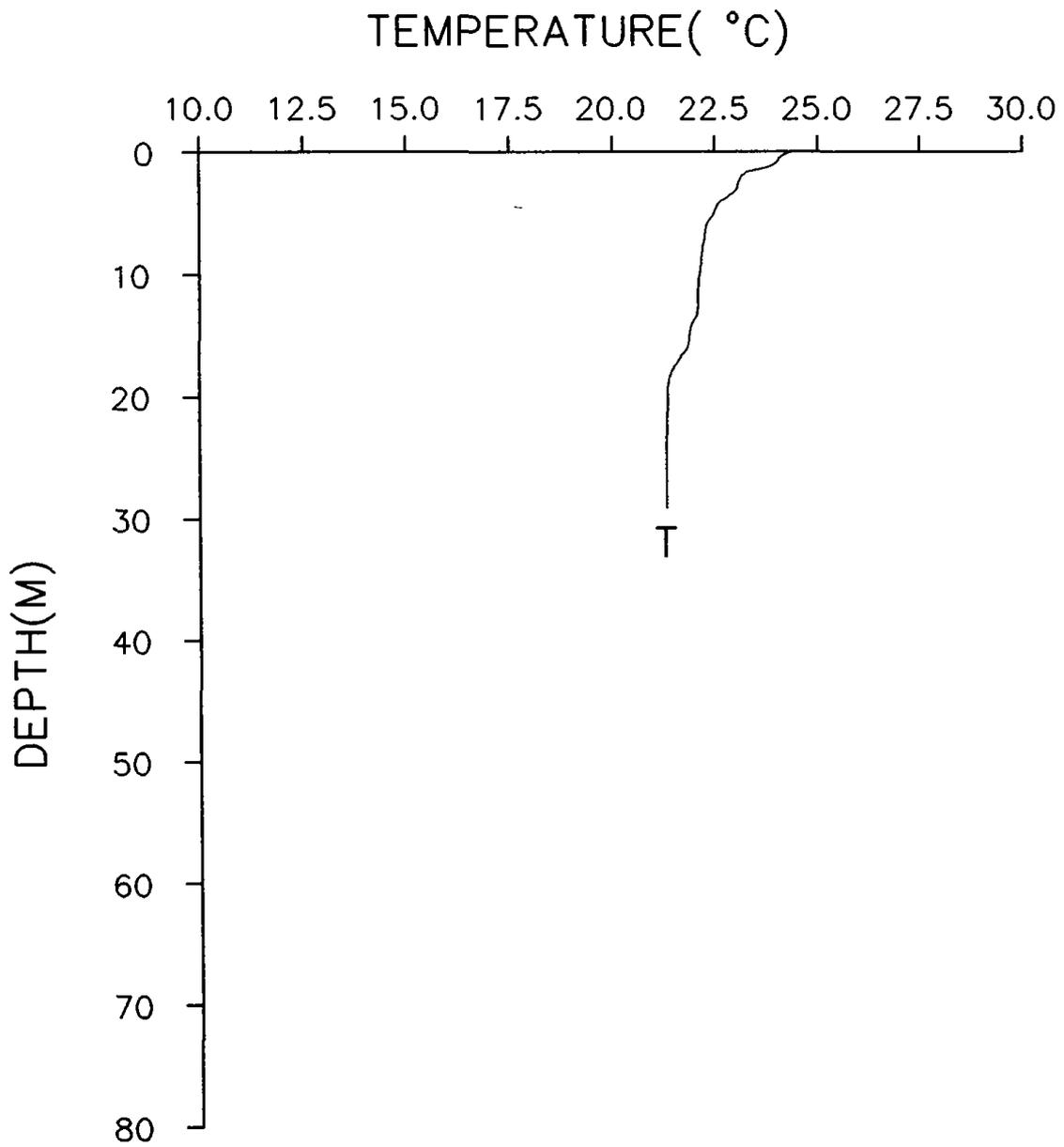
St.C09



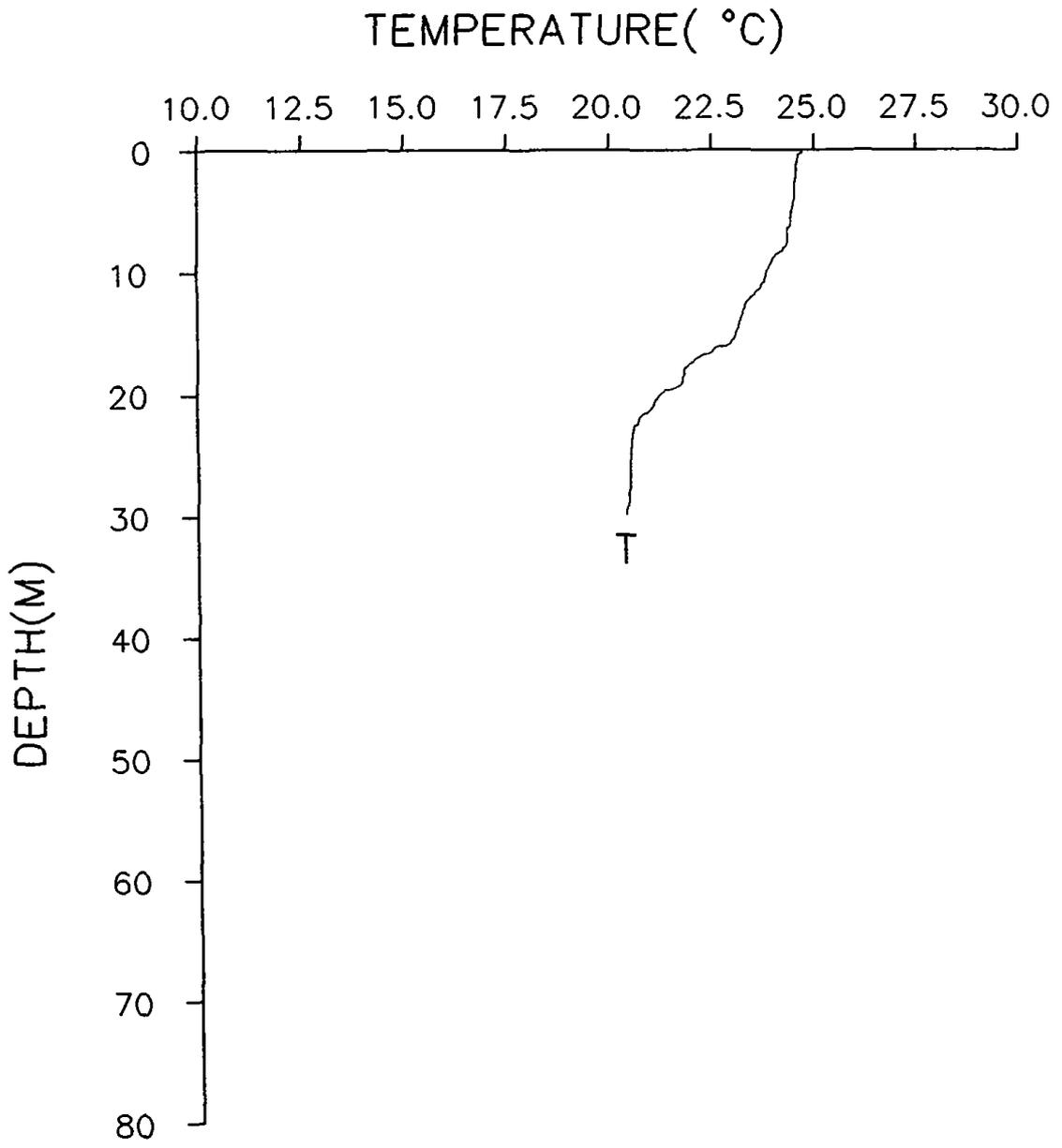
St.C10



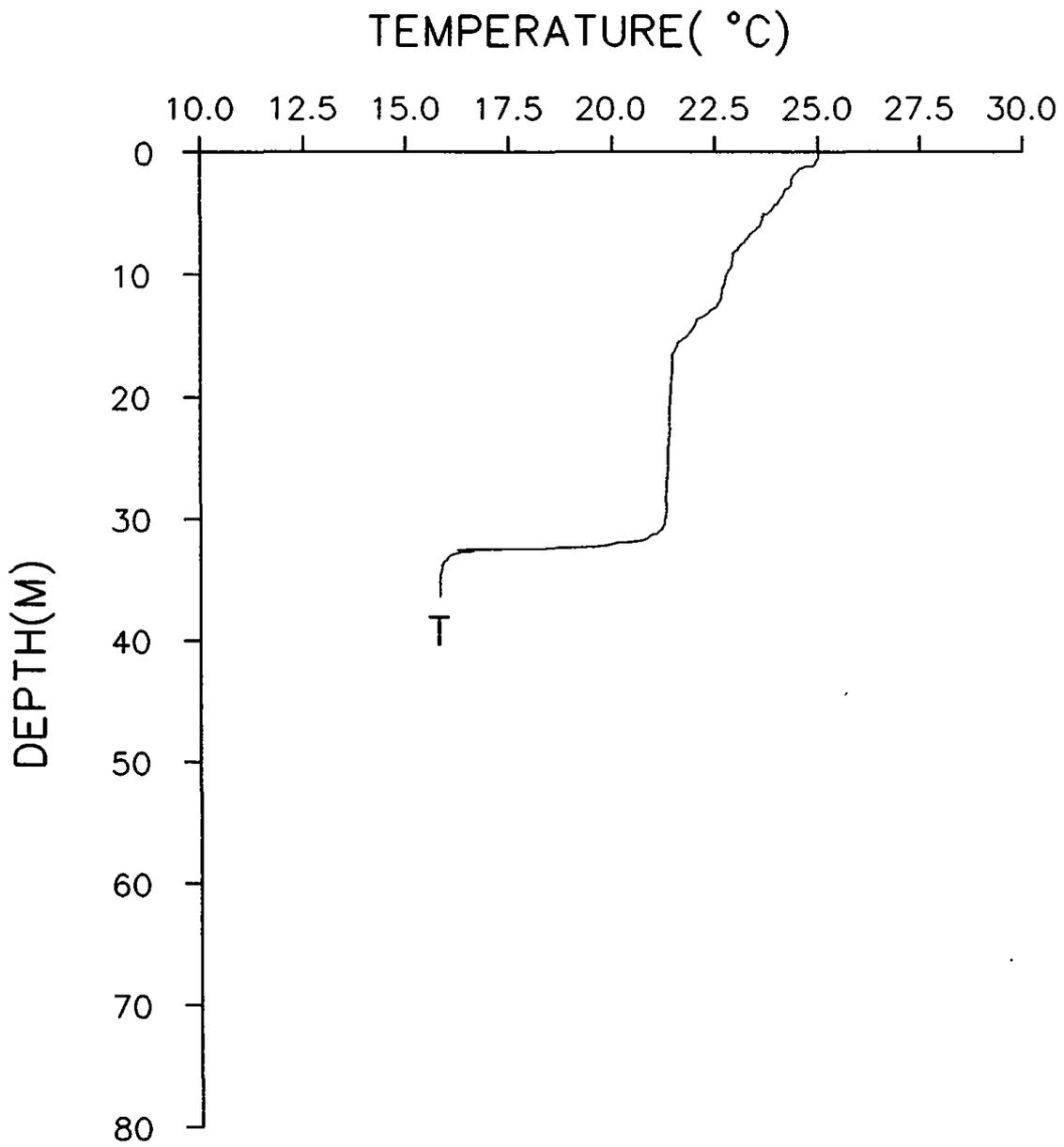
St.C11



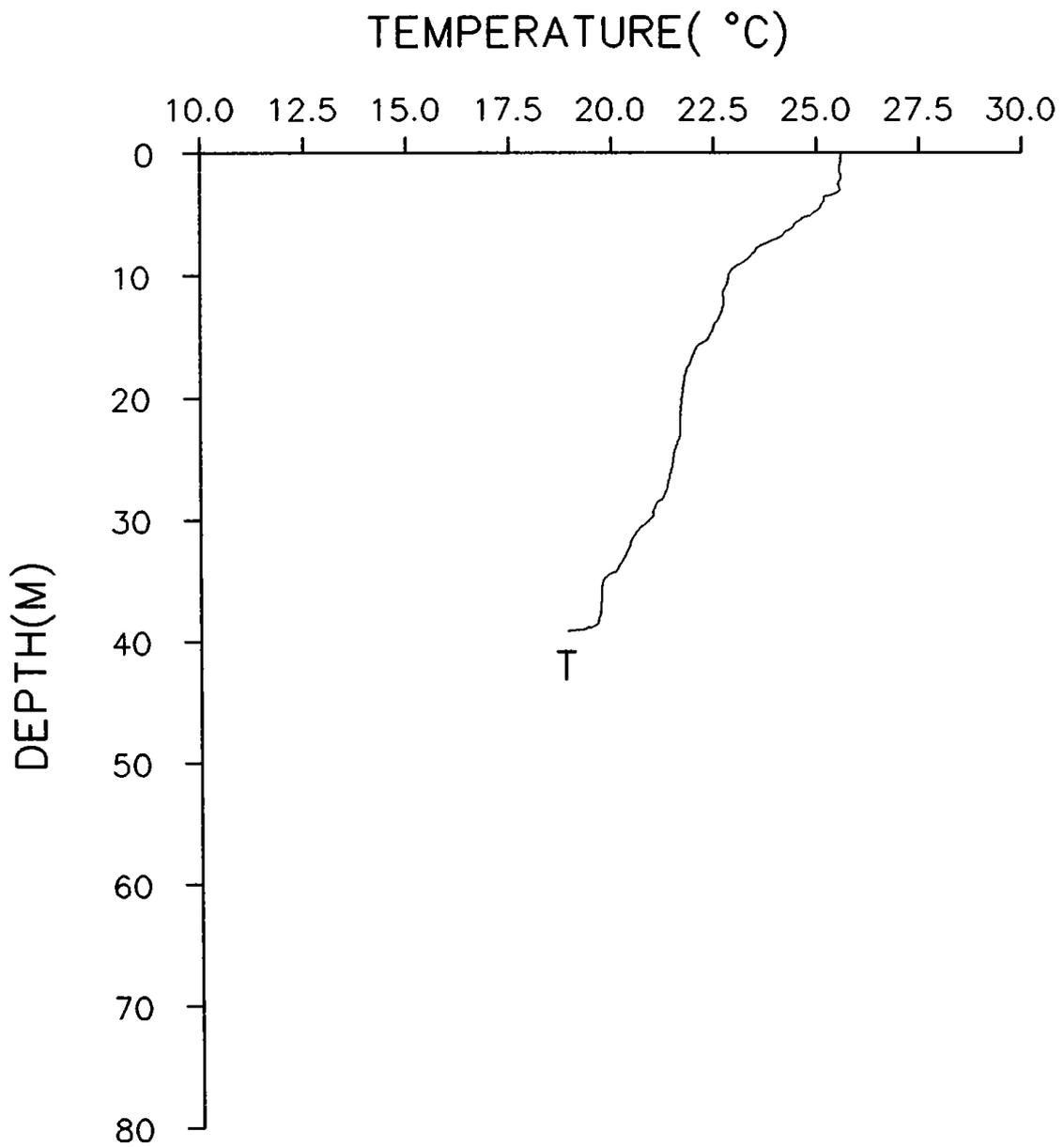
St.C12



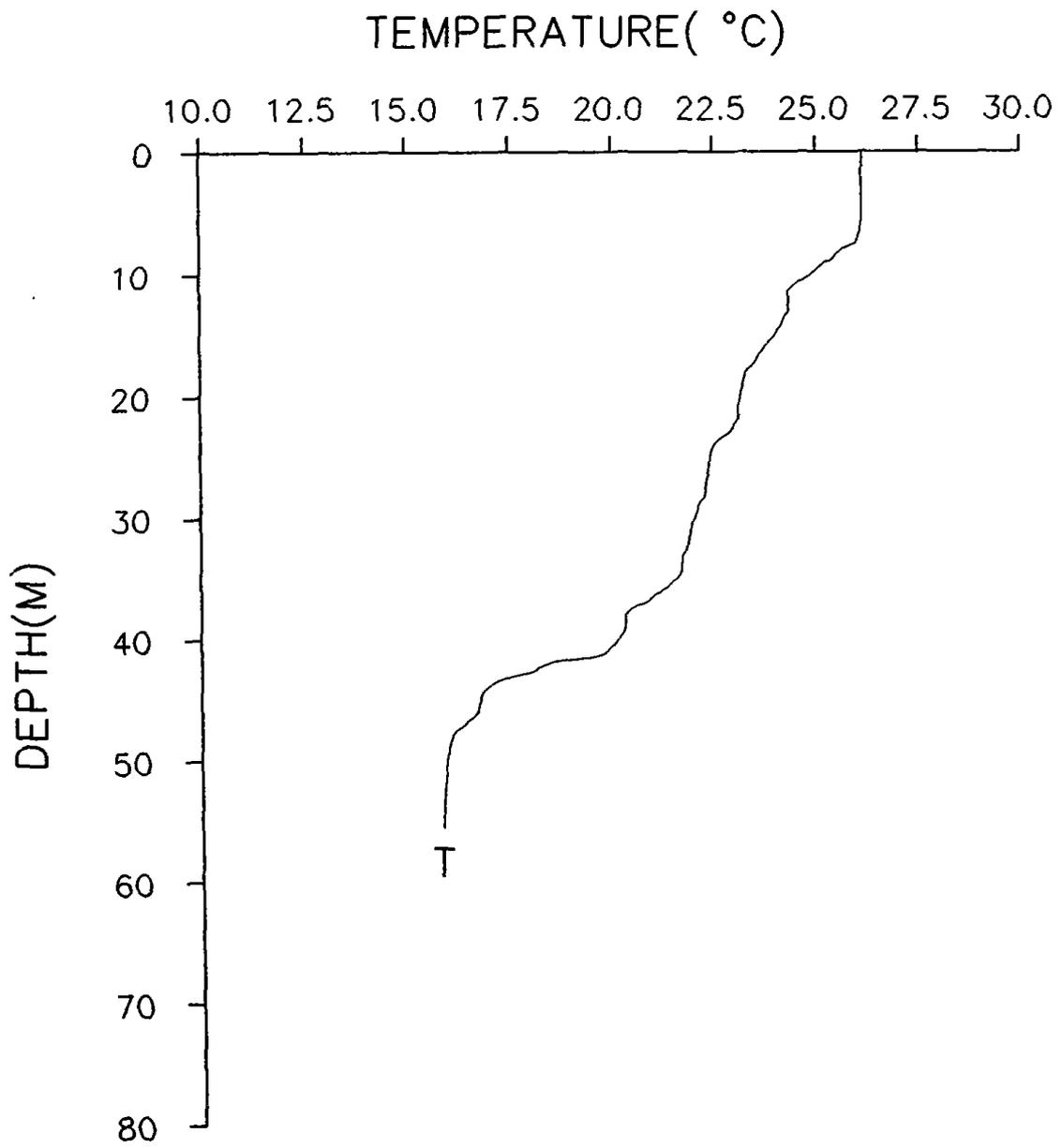
St.C13



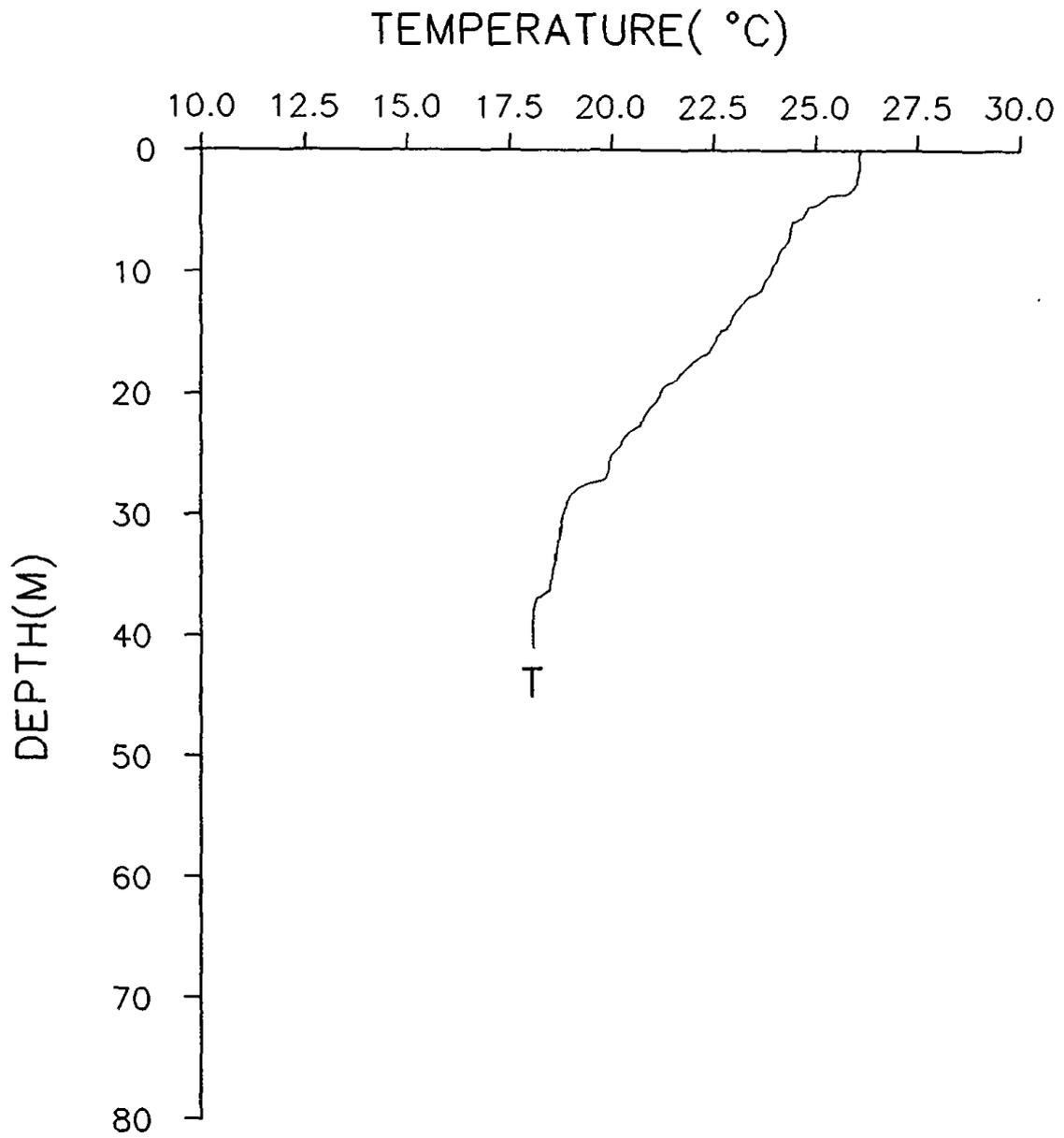
St.C14



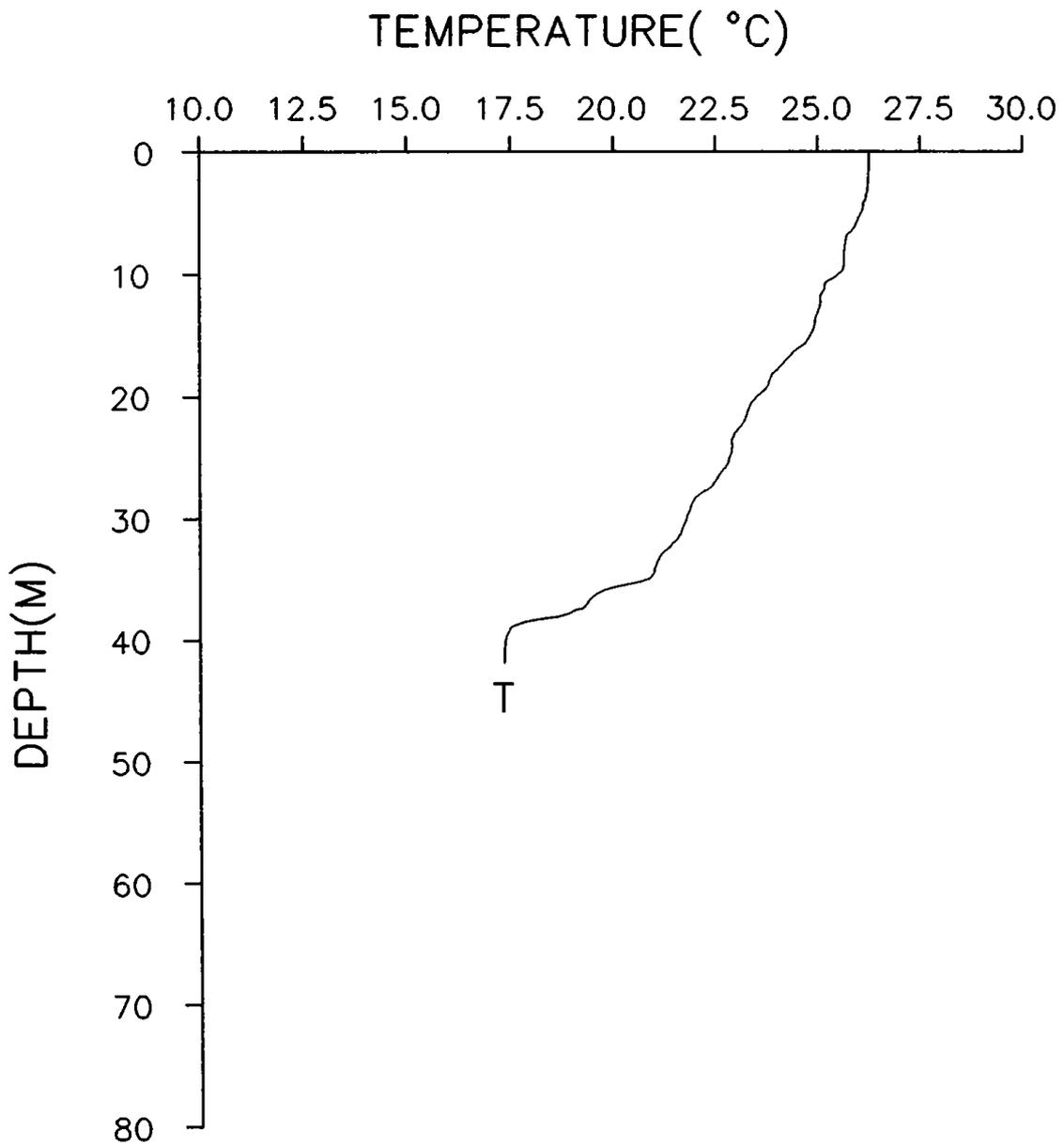
St.C15



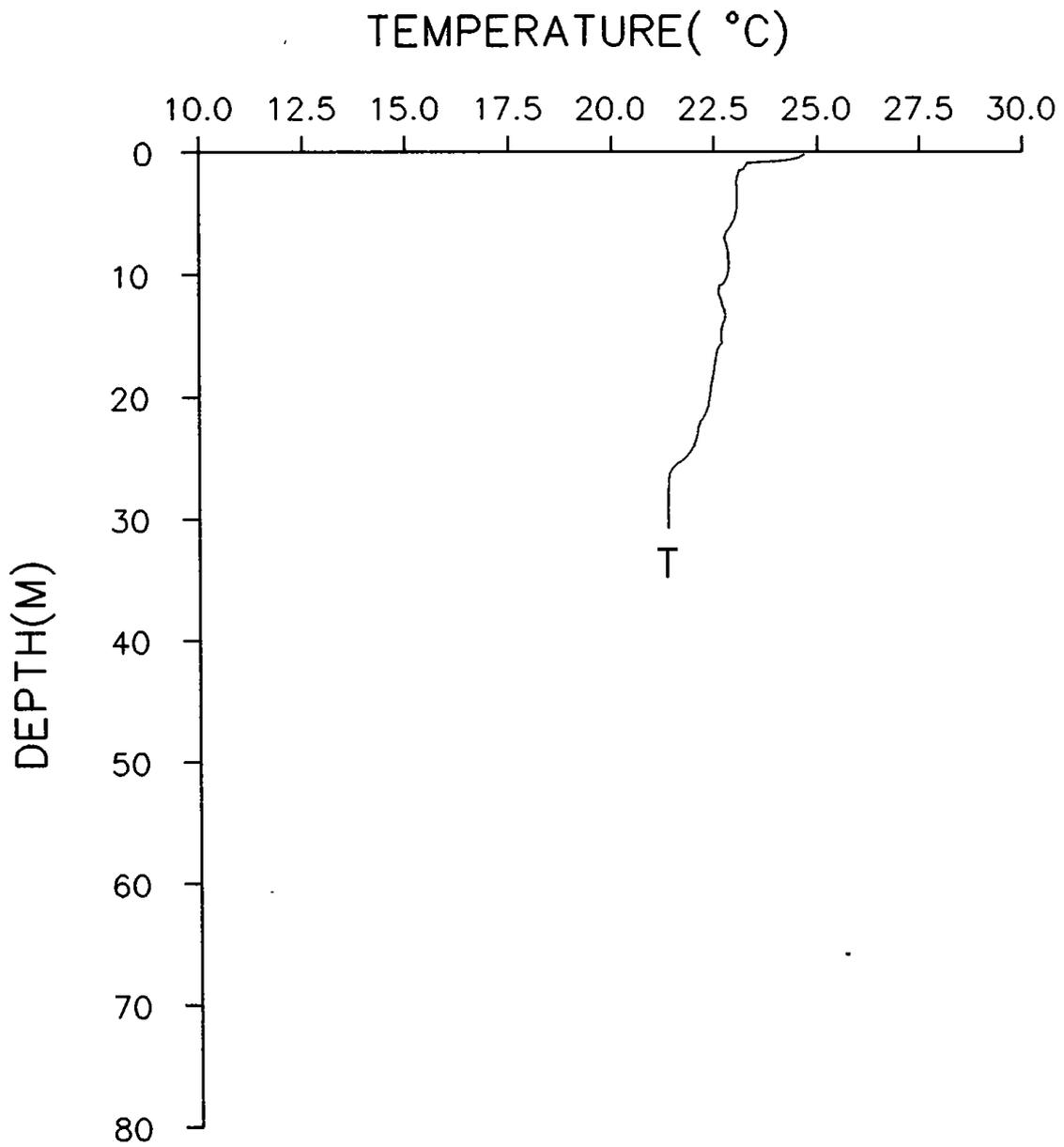
St.C16



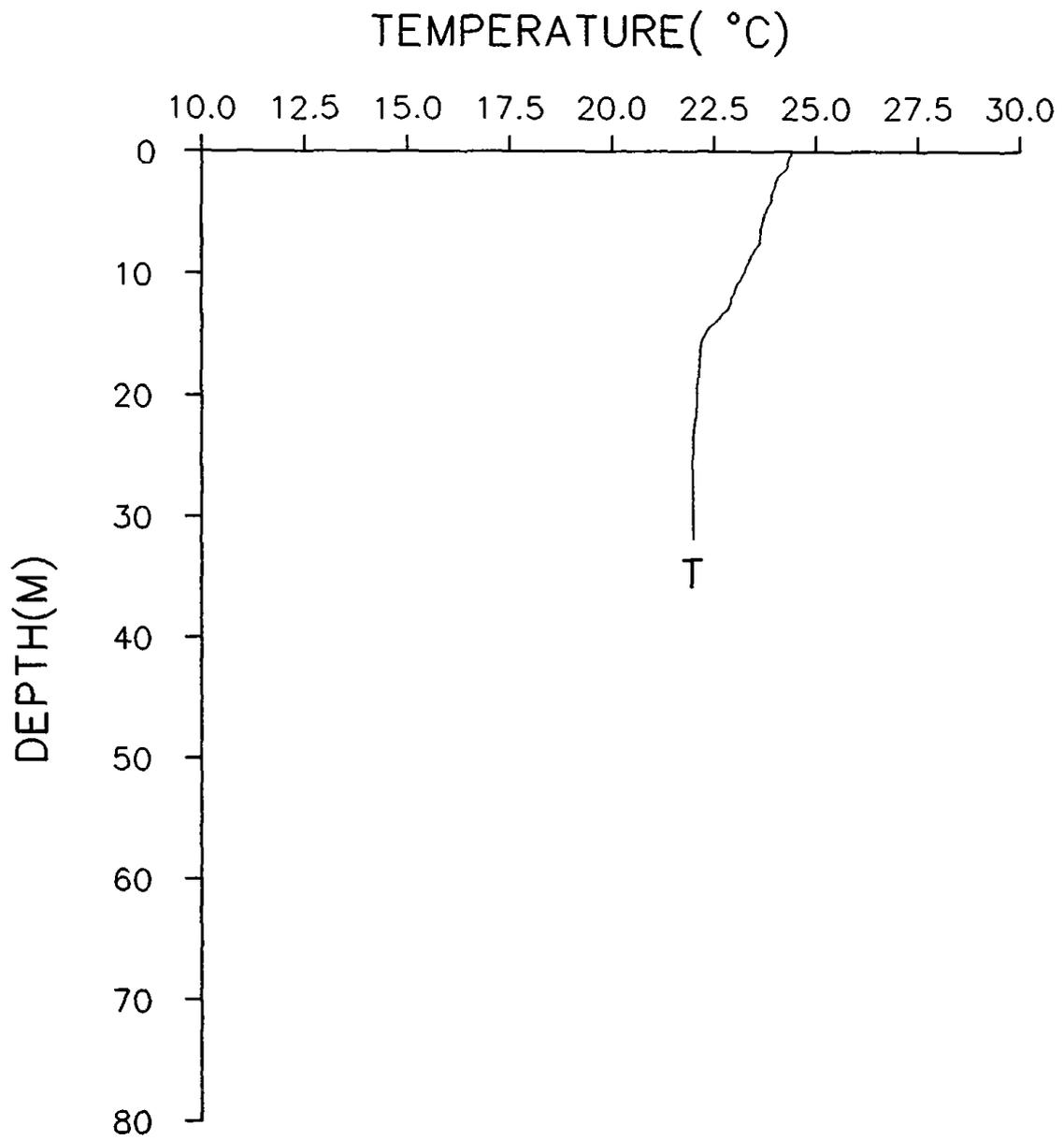
St.C17



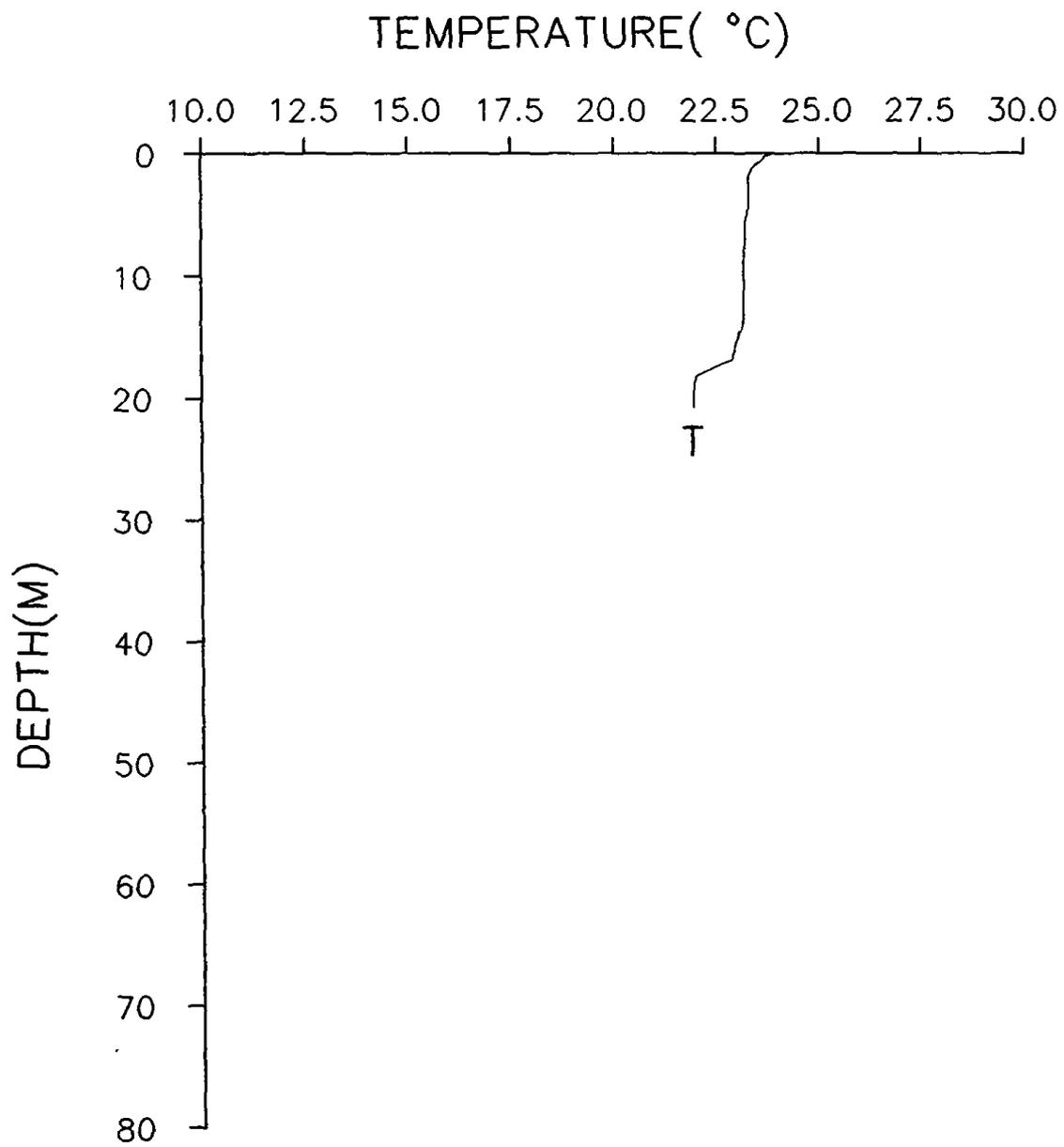
St.C18

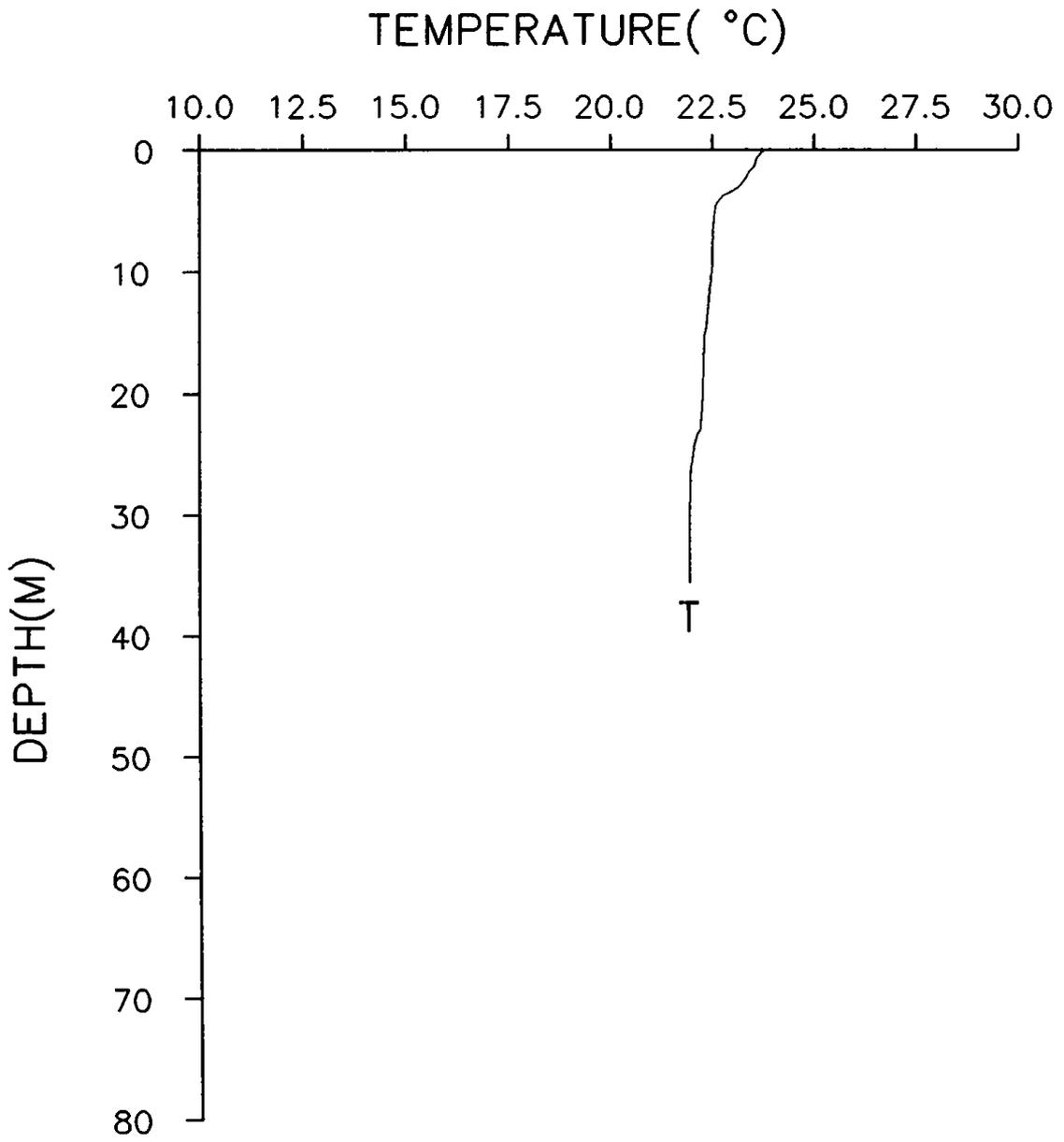


St.C19

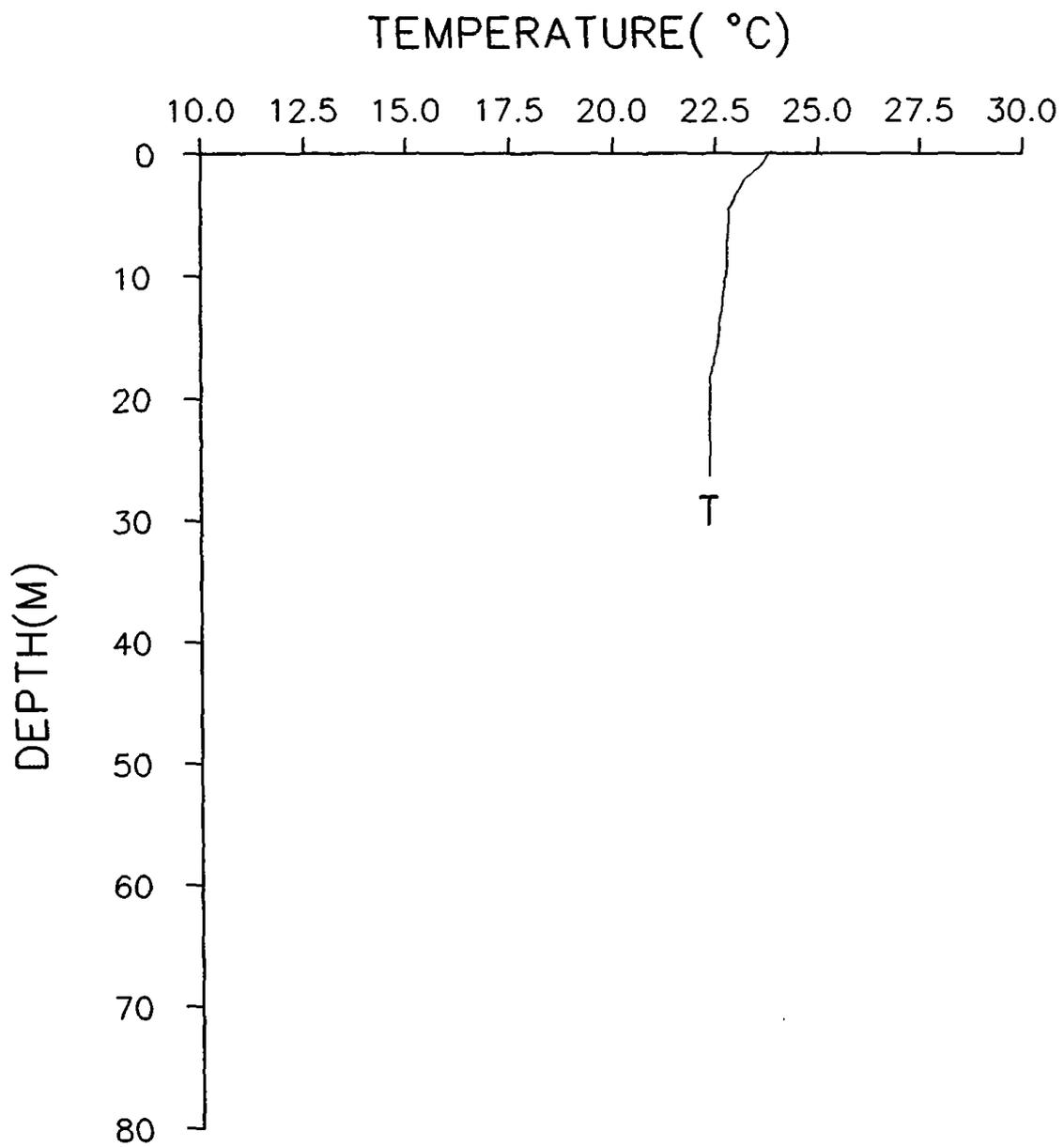


St.C20

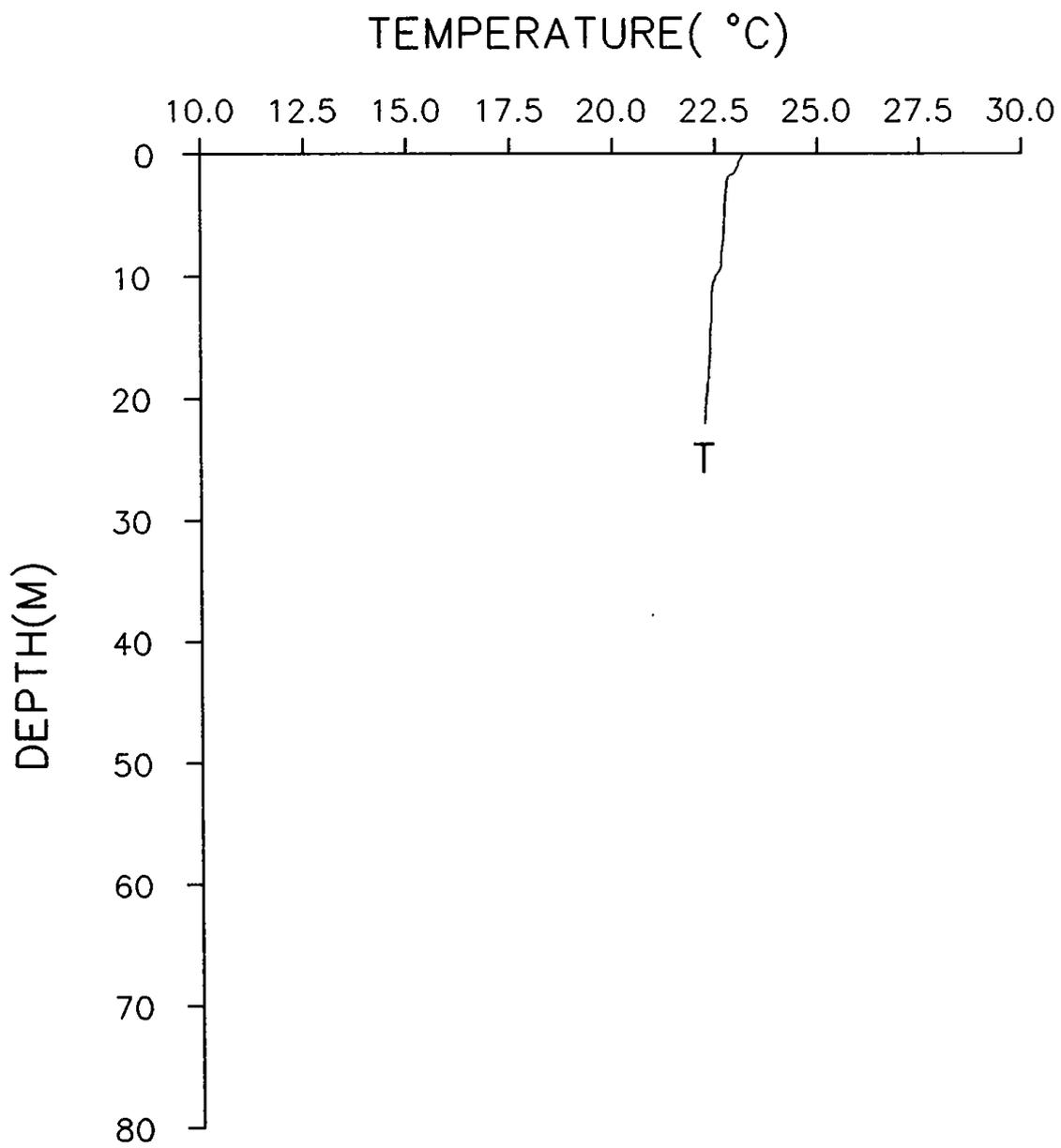




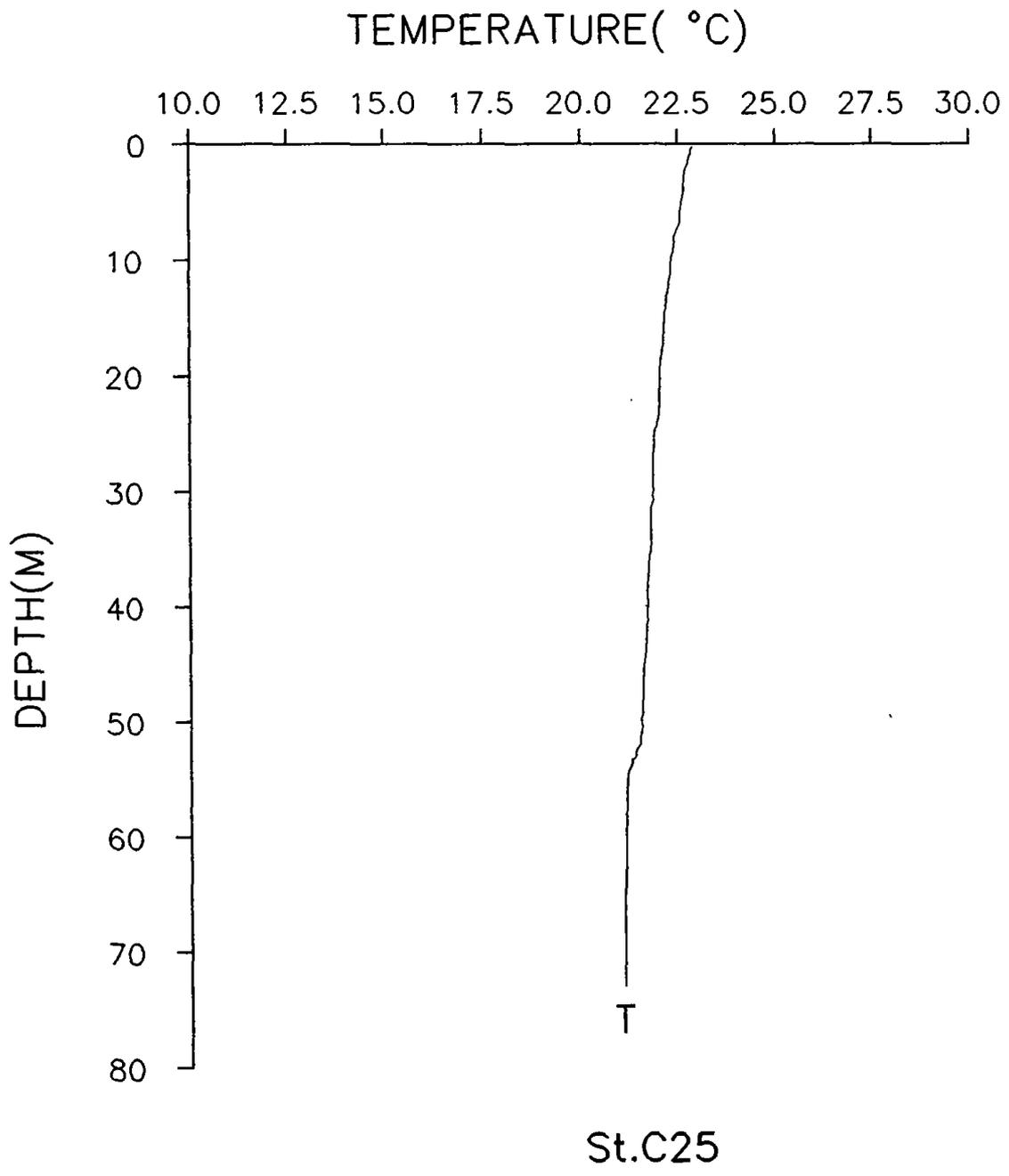
St.C22

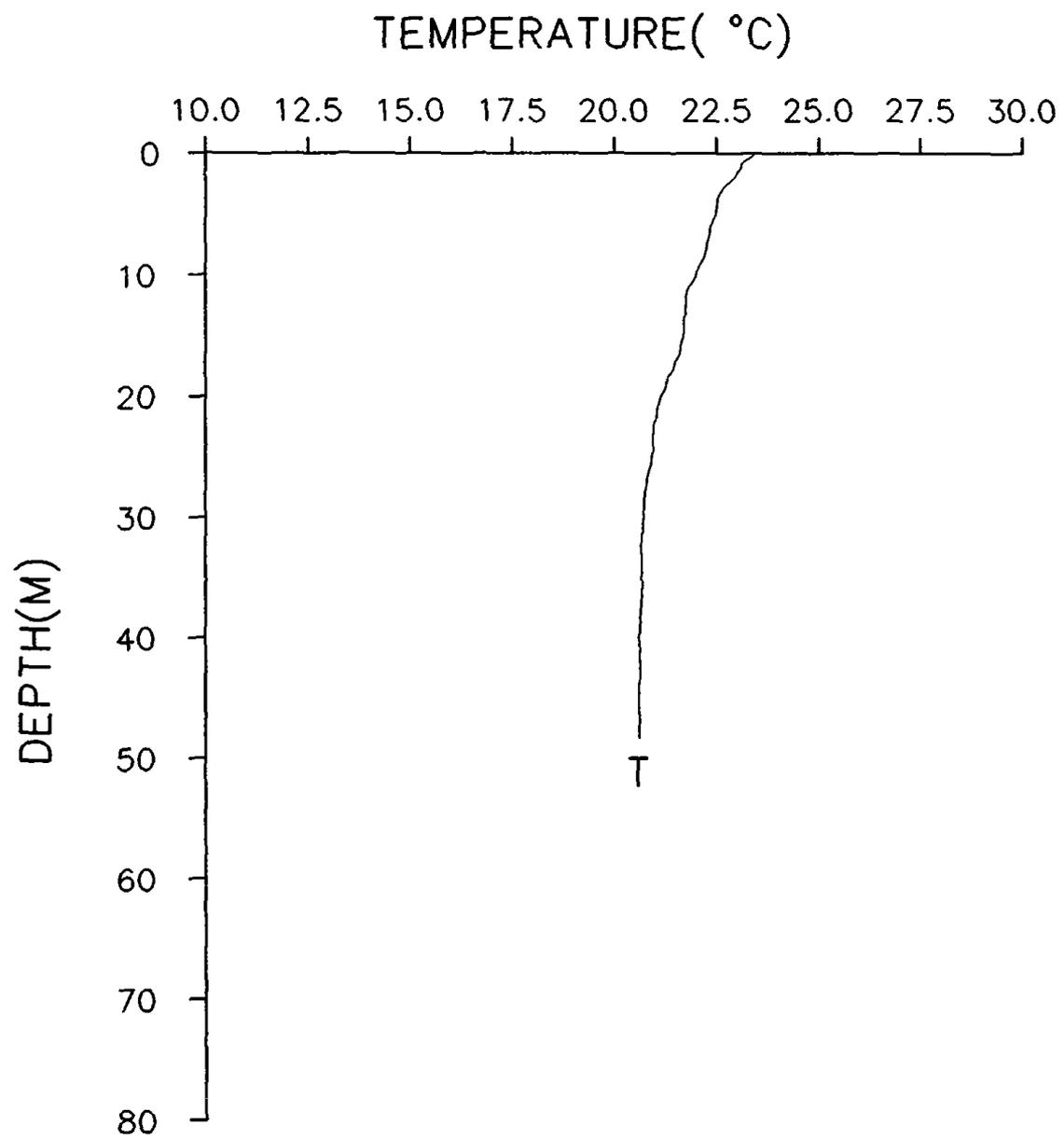


St.C23

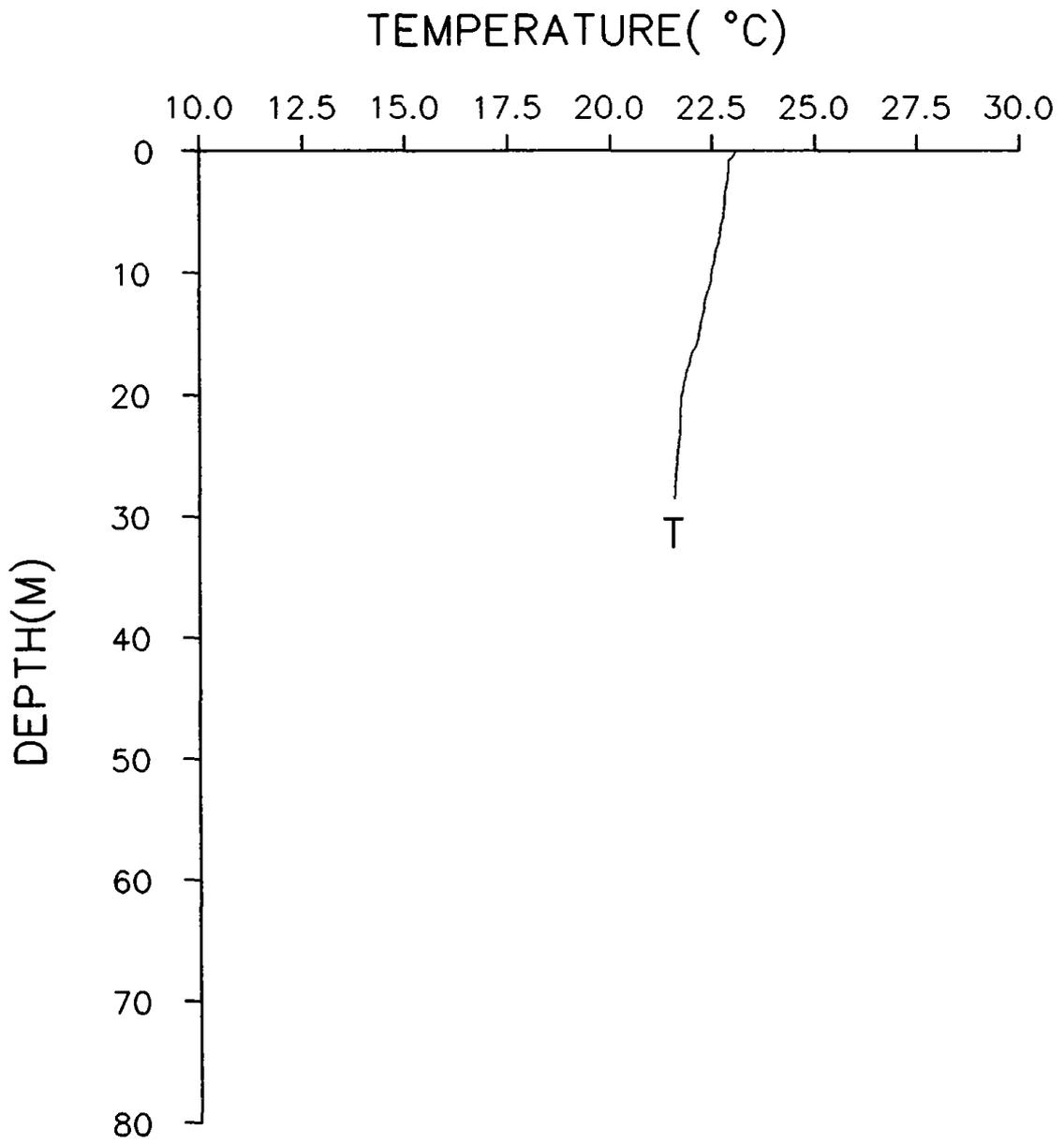


St.C24

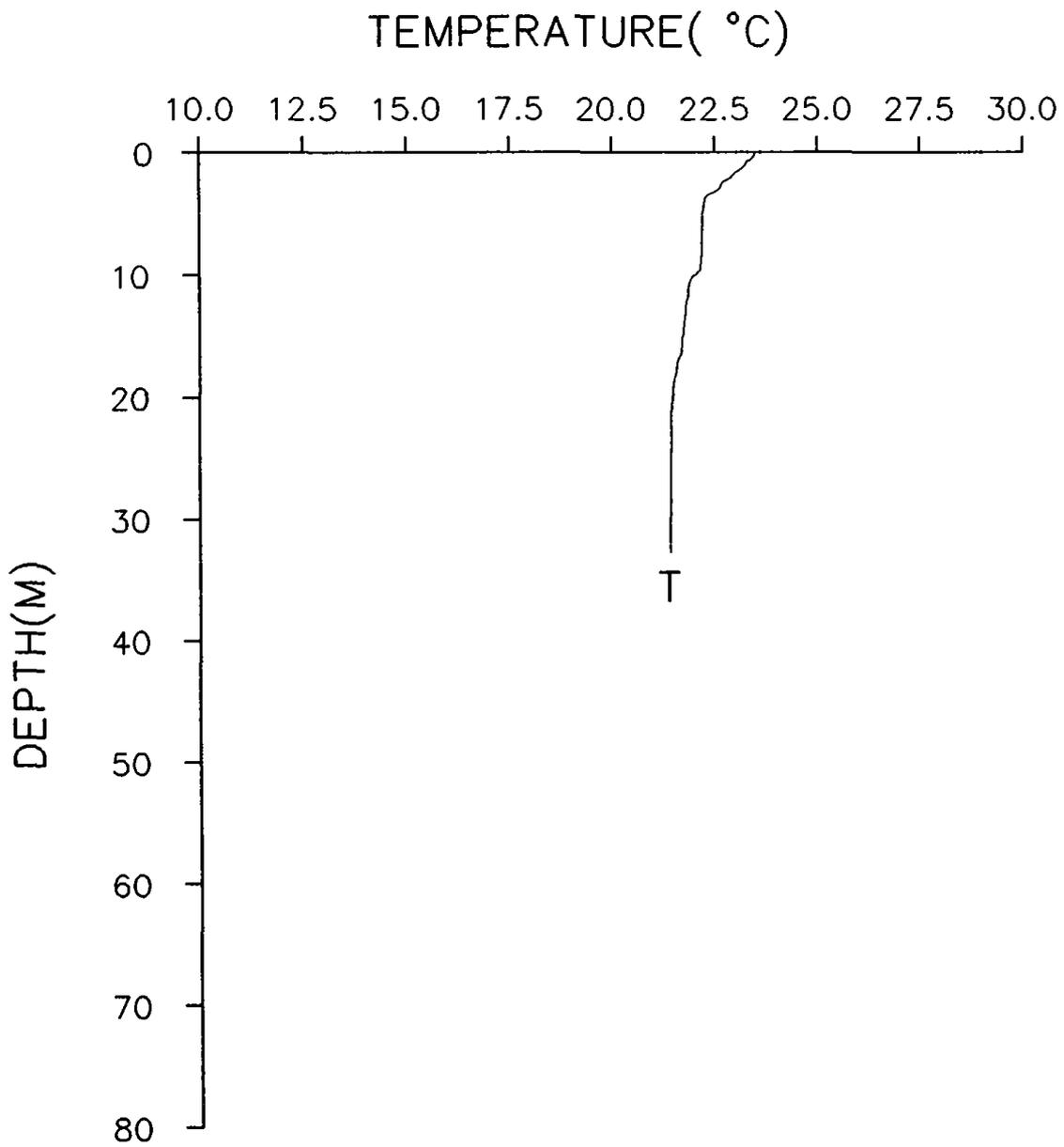




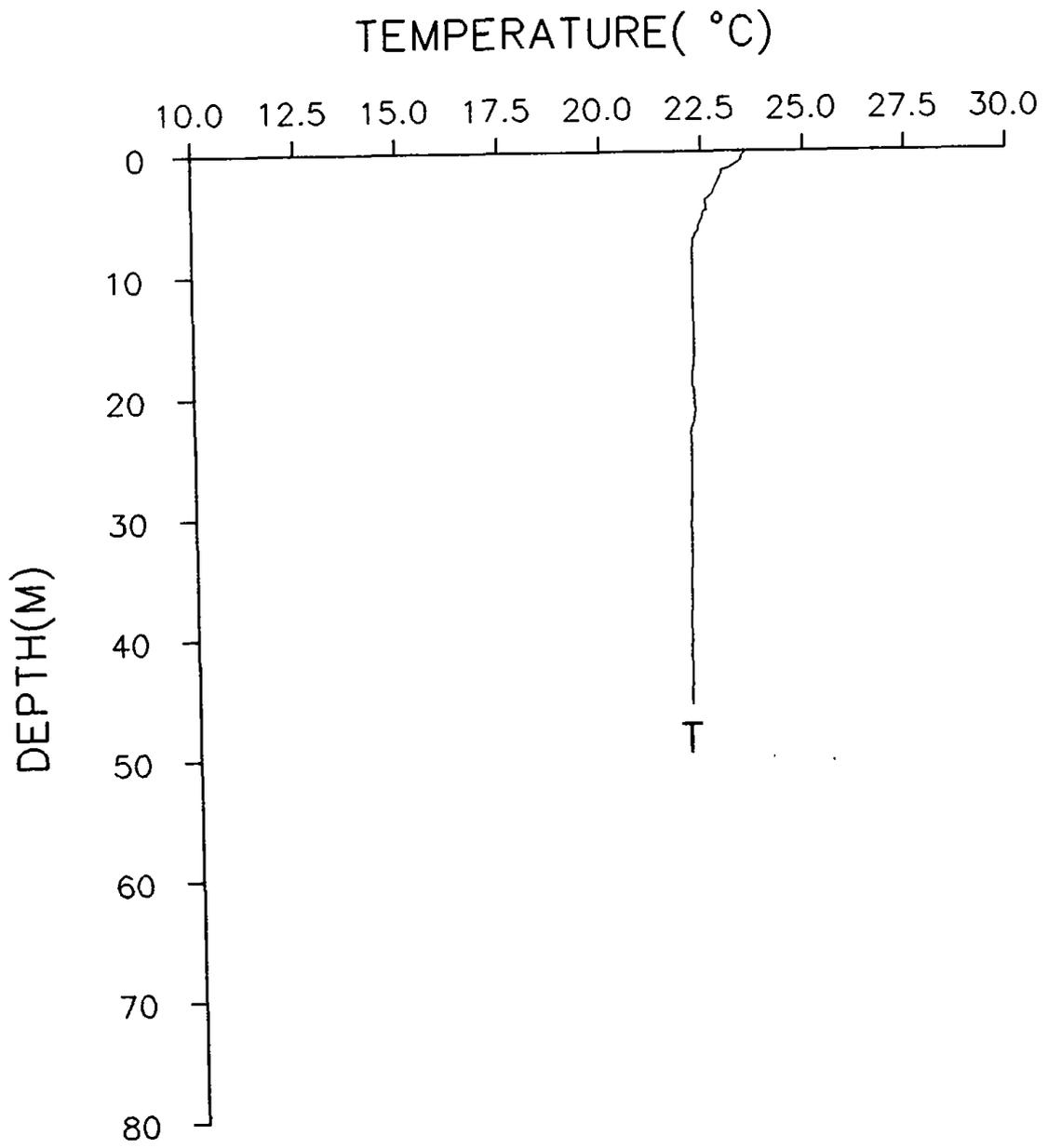
St.C26



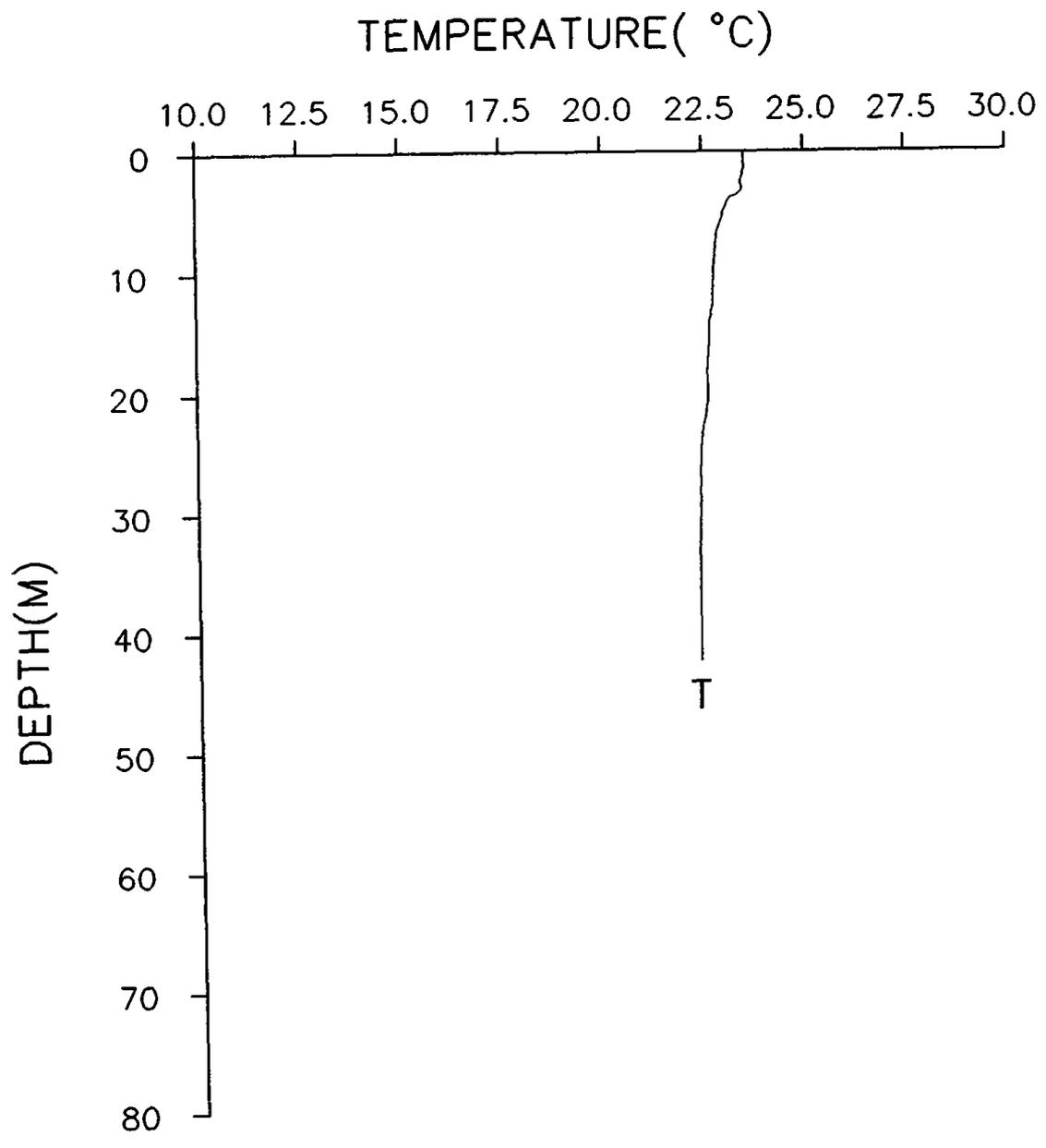
St.C27



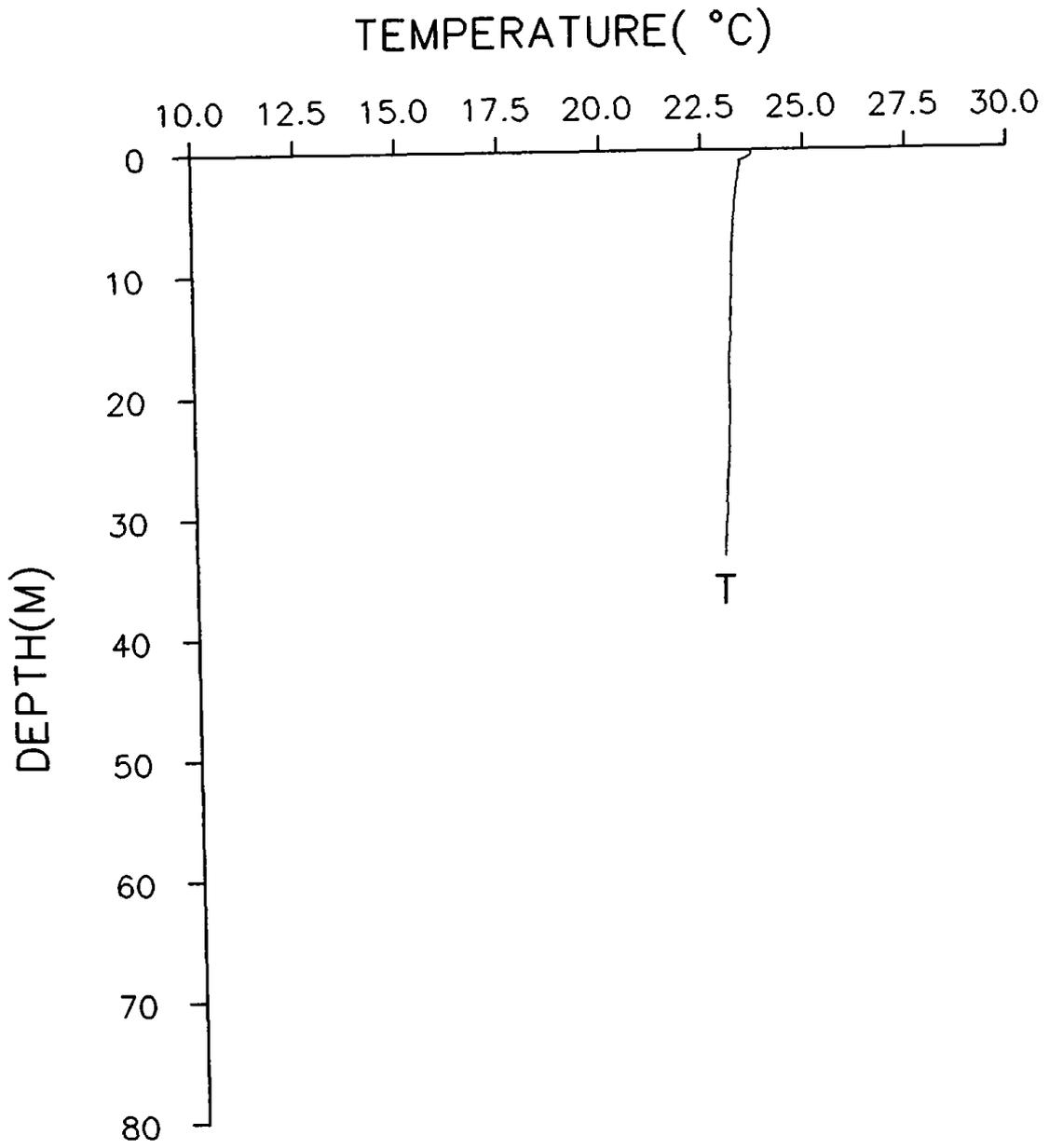
St.C28



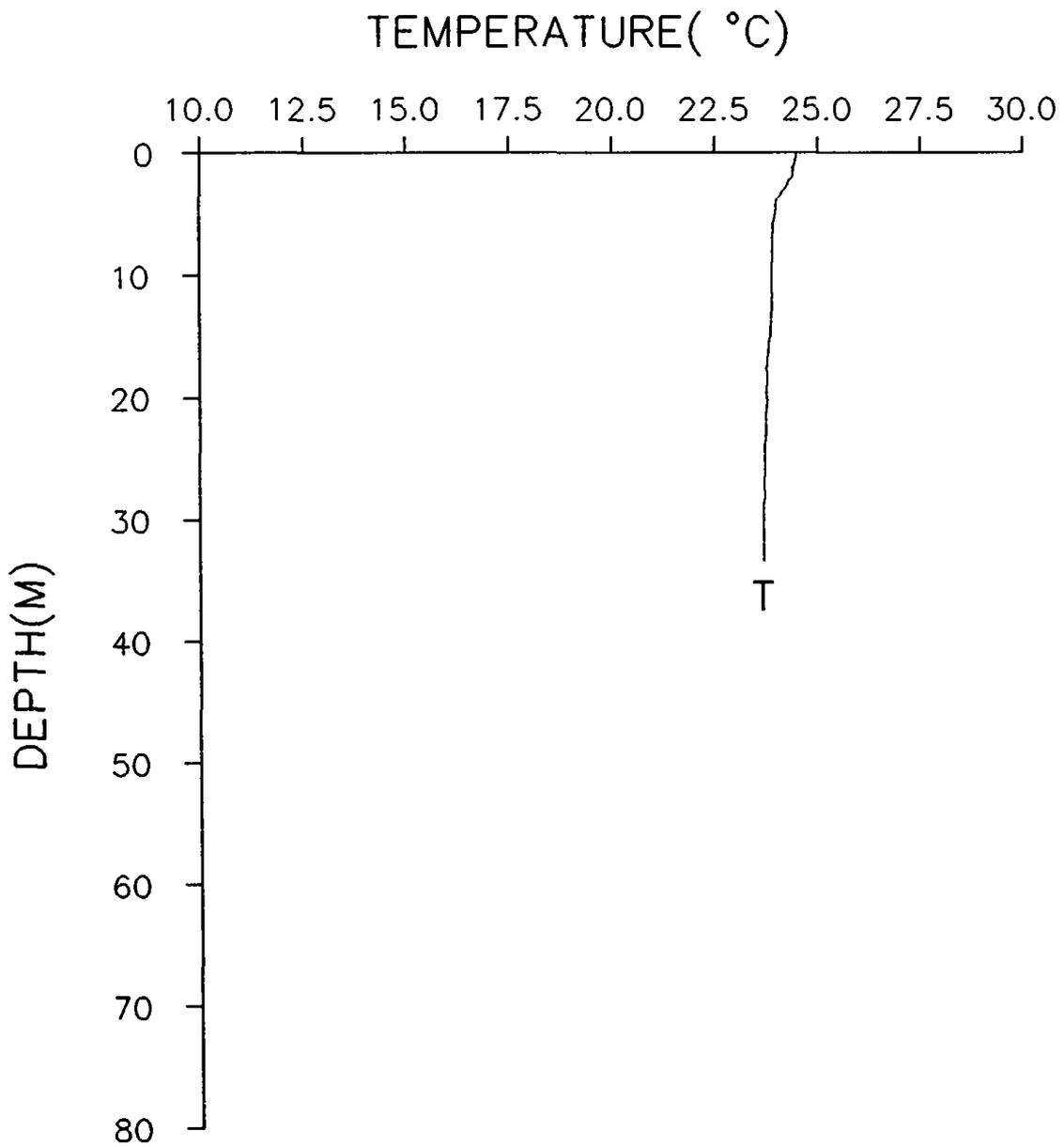
St.C29



St.C30



St.C31



St.C32