Journal of Korean Society of Remote Sensing, Vol. 3, No. 1, 1987

극궤도 기상위성 NOAA-9호의 AVHRR CH4 data로부터 해수면온도 산출과정에 관한 연구

이희훈 · 서애숙
기상연구소 위성기상연구실
(1987년 2월 10일 받음 ; 1987년 2월 15일 수리)

A Study on the Estimation of the Sea Surface Temperature from AVHRR CH4 data of NOAA-9

Hee Hoon Lee and Ae Sook Suh
Meteorological Research Institute
(Received February 10, 1987; Accepted February 15, 1987)

Abstract

Accurate determination of Sea Surface Temperature (SST) is essential for ocean and climate studies.

This paper estimated SST in the sea region around the Korea from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) channel 4 data on board NOAA-9 satellite.

The processing procedure used to derive SSTs utilizes: 1) Ascending node prediction of satellite orbit 2) Geometric correction 3) Radiometric calibration and radiance to temperature conversion look up table 4) Removing cloudy area. SST product results are displayed as colored video and hardcopy.

In this processing, geometric correction is derived from equator crossing time, ascending time and subpoint coordinate information. Also, normalized response function of infrared 10.5-11.5μm wavelength is used for temperature conversion.

The SST derived from this processing is relatively similar to the measurements made by ship data, but because of water vapor attenuation SST from satellite are in general 2°-4°C lower than the ship data.

요 약

극궤도 기상위성 NOAA-9호의 AVHRR Channel 4 영상 data로부터 해수면온도(SST)를 산출하는 과정을 기상연구소의 위성수신 시스템에 맞도록 개발하였다.

위성의 Ascending node를 기준으로 영상좌표와 SST용 Mercator 지도 좌표변환용 Table을 만들고 10 km × 10 km의 Sample로 SST용 영상을 제작하였다.

또, 위성측기의 복사보정(Radiometric Calibration)과정과 적외선 CH 4인 10.5 ~ 11.5 μm의 복사를 온도로 변환(Radiance-To-Temperature Conversion)하는 LUT(Look Up Table)의 작성 및 SST 출력과정을 제작하였다.

1. 서 론

광범위한 해역 전역을 단시간에 관측할 수 있다는 것은 바로 위성관측의 이점 중 하나이다.

특히 극궤도 기상위성 NOAA는 우리나라 주변 해역을 빈번히 통과하므로 구름이 없는 해역의 온도분포를 파악하기에 매우 적합하다.[1),2),3)]

기상연구소에 설치된 기상위성수신 시스템에서 수신된 위성영상들은 주로 구름을 분석하는 데 사용되었고 정지기상위성 위주로 수신하여 왔다. 그러나 선진각국에서는 기상위성으로부터 구름분석뿐만 아니라 해상의 표층수온 탐지에 심혈을 기울여 0.5°K 정도 높은 정확도의 SST자료를 생산하고 있다.[2)]

따라서 본 연구에서는 기상연구소의 위성수신시스템에 수신된 NOAA-9호의 AVHRR Channel 4 data로부터 SST를 산출하는 처리과정을 설계·작성하였다.

2. Process 설계 및 S/W 작성

AVHRR 영상으로부터 SST를 산출하기까지 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

가. 위성 orbit에 대한 기준

나. 영상의 기하보정(Geometric Correction)

다. 위성측기관측값의 Calibration 및 온도변환 Table 작성

라. 구름역의 판별 및 제거방법

마. Radiance의 대기감쇄 및 보정방법

본 연구에서는 가.~ 라. 까지의 처리과정을 설계하여 SST를 산출하고 산출된 값과 실측치와

Table 1. 7 Day Ascending Node Prediction of NOAA-9 Satellite

EOUATOR CROSSING	TIME	ORBIT NO.	EOUATOR GONGI.	ELEVATION
86. 12. 9.(TUE.)	1:45:20	245.	26.47	WEST
86. 12. 9.(TUE.)	3:27:25	246.	51.99	WEST
86. 12. 9.(TUE.)	13:39:53	252.	154.90	EAST
86. 12. 9.(TUE.)	15:21:58	253.	129.38	EAST
86. 12. 10.(WED.)	3:18:31	260.	49.26	WEST
86. 12. 10.(WED.)	13:28:59	266.	157.62	EAST
86. 12. 10.(WED.)	15:11: 4	267.	132.10	EAST
86. 12. 11.(THU.)	3: 5:37	274.	46.53	WEST
86. 12. 11.(THU.)	13:18: 5	280.	160.35	EAST
86. 12. 11.(THU.)	15: 0:10	281.	134.83	EAST
86. 12. 12.(FRI.)	2:54:43	288.	43.81	WEST
86. 12. 12.(FRI.)	4:36:47	289.	69.88	WEST
86. 12. 12.(FRI.)	14:49:16	295.	137.56	EAST
86. 12. 12.(FRI.)	16:31:20	296.	112.04	EAST
86. 12. 13.(SAT.)	2:43:49	302.	41.08	WEST
86. 12. 13.(SAT.)	4:25:53	303.	66.60	WEST
86. 12. 13.(SAT.)	14:38:21	309.	140.28	EAST
86. 12. 13.(SAT.)	16:20:26	310.	114.76	EAST
86. 12. 14.(SUN.)	2:32:54	316.	38.35	WEST
86. 12. 14.(SUN.)	4:14:59	317.	83.87	WEST
86. 12. 14.(SUN.)	14:27:27	323.	143.01	EAST
86. 12. 14.(SUN.)	16: 9:32	324.	117.49	EAST
86. 12. 15.(MON.)	2:22: 0	330.	35.63	WEST
86. 12. 15.(MON.)	4: 4: 5	331.	61.15	WEST
86. 12. 15.(MON.)	14:16:33	337.	145.74	EAST
86. 12. 15.(MON.)	15:58:38	338.	120.22	EAST
86. 12. 16.(TUE.)	2:11: 6	344.	32.90	WEST
86. 12. 16.(TUE.)	3:53:11	345.	58.42	WEST
86. 12. 16.(TUE.)	14: 5:39	351.	148.46	EAST
86. 12. 16.(TUE.)	15:47:44	352.	122.94	EAST
86. 12. 17.(WED.)	2: 0:12	358.	30.17	WEST
86. 12. 17.(WED.)	3:42:17	259.	55.69	WEST
86. 12. 17.(WED.)	13:54:45	365.	151.19	EAST
86. 12. 17.(WED.)	15:38:50	366.	125.67	EAST
86. 12. 18.(THU.)	1:49:18	372.	27.45	WEST
86. 12. 18.(THU.)	3:31:22	373.	52.97	WEST
86. 12. 18.(THU.)	13:43:51	379.	153.92	EAST
86. 12. 18.(THU.)	15:25:55	380.	128.40	EAST
86. 12. 19.(FRI.)	3:20:28	387.	50.24	WEST
86. 12. 19.(FRI.)	13:32:56	393.	156.64	EAST

비교분석하여 마.의 과정을 설계하고자 한다.

SST 산출범위는 북위 33° ~ 39°, 동경 123° ~ 132° 로 공간분해능을 1°×1° mesh로 data를 Sample하여 60 × 90 data memory array를 구성하였다.

가. 위성 Orbit의 Ascending node의 예측계산

AVHRR 영상의 좌표를 계산하기 위하여 먼저 위성 Orbit의 Ascending node가 계산되어져야 이를 기준으로 위성비행에 따른 직하점 좌표와 임의영상 Pixel(Picture Element의 준말)의 지상좌표를 계산할 수 있다.

Ascending node의 예측은 미국립해양기상청(NOAA)으로부터 보내오는 TBUS 전문(APT 전문이라고도 함)을 근거로 한다. 여기에는 기준점과 4궤도 후, 8궤도 후, 12궤도 후의 각각의 Orbit 궤도번호, Ascending 시각 및 Ascending 경도 등이 들어있으며 이들 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$T = \sum_{m=0}^{M} a_m R^m$$

$$L = \sum_{m=0}^{M} b_m R^m$$

여기서

T : Ascending Time

L : Ascending Longitude

R : Orbit Number

a_m, b_m : Coefficient

Table 1은 일주일간의 Ascending node 예측을 계산한 결과의 예이다. TBUS 전문의 Part I 부분과 일주일간에 우리 나라 주변해역을 지나는 Orbit의 Ascending 시각, Orbit 번호, Ascending Longitude 및 Remark 등이 출력되어 있다.

나. AVHRR 영상의 기하보정

AVHRR 영상은 위성고도 약 850 km에서 주사폭 ±55.4°로 주사하면서 2,048개의 pixel로 이루어진 영상으로 영상의 중심부분은 거의 왜곡(distortion) 현상이 없으나 양 가장자리로 갈수록 왜곡현상이 심하게 나타남을 볼 수 있다(Fig. 1).

Fig. 1. AVHRR CH_4 Infrared Imagery received from NOAA-9 Satellte on 11 Dec. 1986.

이 때 위성고도 H, 주사각 α 및 지심각 f 간의 상호관계는 Fig. 2에서 보는 바와 같으며 다음과 같은 수식이 성립된다.

$$\tan \alpha = \frac{\sin f}{\frac{R+H}{R} - \cos f} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\sin(\alpha+f) = \frac{(R+H)\sin\alpha}{R} \quad \cdots\cdots (2)$$

또, AVHRR 영상의 좌표를 Line 번호 및 Pixel 번호(i, j)로 표현하고 지상의 좌표 경도, 위도를 (θ, ϕ)로 표현하여 $(i, j) \rightleftarrows (\theta, \phi)$의 변환관계가 성립하여야 위성영상의 기하보정계산이 가능하다.

본 연구에서는 AVHRR 영상좌표(i, j)는 다시 위성의 Ascending node로부터 경과한 시간 t와 주사각 α와 직접적인 관계가 있으므로 $(i, j) \rightleftarrows (t, \alpha)$의 관계가 성립하고 다시 시각 t로부터는 위성궤도를 결정짓는 파라메타인 궤도경사각, 운동각속도 등으로부터 위성직하점좌표(θ_s, ϕ_s)를 구하고 여기에 다시 주사각 α를 부여하여 지상좌표(θ, ϕ)를 결정한다. 이들 관계를 Fig. 3에 나타내었다.

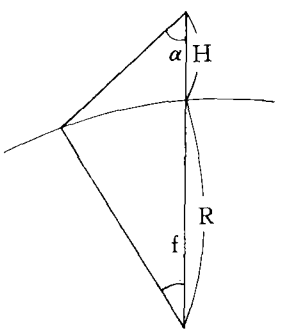

Fig. 2. Diagram for Computing area Viewed by Satellite.

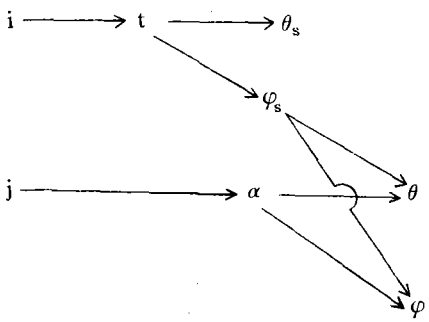

Fig. 3. Geometric Correction Process: Image (i.j) → Map.

따라서, $(i, j) \rightleftarrows (\theta, \phi)$ 변화과정을 subroutine화하였다.

다. 위성측기 관측값의 Calibration 및 온도변환 Table 작성

위성내부의 온도변화와 AVHRR 센서의 경년변화 등에 의해 AVHRR의 휘도가 변하므로 AVHRR 영상휘도의 품질을 일정하게 유지하기 위해 매 Orbit마다 Calibration과정이 필요하다. 위성에서 전송된 raw data C와 복사에너지 N과의 사이에는

$$N = GC + I \quad \cdots\cdots (3)$$

의 관계식이 성립된다. 여기서 G, I는 Calibration계수이며 이 계수를 결정하는데 필요로 하는 정보는 다음과 같다.

- 우주공간을 관측한 data
- 위성내부 ICT(Internal Calibration Target)를 관측한 data
- ICT를 측정하는 4개 PRT(Platinum Register Thermometer)의 온도 data

이들 자료는 모두 HRPT(High Resolution Picture Transmission)의 매 minor frame 마다 포함되어 있으므로 HRPT data format을 참조하여 추출해 낼 수 있다.

따라서 구하고자 하는 계수 G, I는 다음과 같다.

$$G = \frac{N_{sp} - N_{\bar{T}}}{\bar{G}_{sp} - \bar{C}_T} \quad \cdots\cdots (4)$$

$$I = N_{sp} - G\bar{C}_{sp} \quad \cdots\cdots (5)$$

여기서

N_{sp} = 우주공간의 복사에너지
$N_{\bar{T}}$ = ICT의 복사에너지
$\bar{C}_{sp}$ = 우주공간을 관측한 data의 평균치
$\bar{C}_T$ = ICT를 관측한 data의 평균치

이와 같이 구한 Calibration 계수 G 및 I를 이용하여 (3)식에 의해 Calibration 행한 결과를 Table 2에 나타내었다. 복사를 온도로 변환한(Radiance – To – Temperature Conversion) Table 작성은 미 국립환경위성서비스 NESS에서 공포된 NOAA-9호 AVHRR CH4의 주파수별 정규응답함수계수(Normalized Response Function Coefficient)를 사용하여 온도 T를 200°K에서부터 300°K까지 증가시키며 복사에너지 N을 계산하였다.

$$N(T) = \sum_{i=1}^{n} \beta(\nu_i, T)\, \hat{\phi}(\nu_i)\, \triangle\nu \quad \cdots\cdots (6)$$

$$\hat{\phi}(\nu_i) = \frac{\phi(\nu_i)}{\sum_{j=1}^{n} \phi(\nu_i)\, \triangle\nu}$$

여기서

$\beta(\nu, T)$: Planck 함수
$\phi(\nu)$: 정규화된 응답함수
$\triangle\nu$: Wave number $(\nu_{i+1} - \nu_i)$
n : 1 ~ 60

Table 2. Radiometric Calibration Table

***** COUNT – TEMPERATURE – RADIANCE TABLE *****

RAW – COUNT	TEMP.	RADI.
130.179	2.0	74.697
129.183	2.5	75.363
128.181	3.0	76.032
127.175	3.5	76.705
126.162	4.0	77.381
125.145	4.5	78.061
124.122	5.0	78.745
123.094	5.5	79.432
122.061	6.0	80.123
121.022	6.5	80.817
119.978	7.0	81.515
118.929	7.5	82.216
117.874	8.0	82.921
116.814	8.5	83.630
115.749	9.0	84.342
114.678	9.5	85.057
113.602	10.0	85.778
112.521	10.5	86.499
111.434	11.0	87.225
110.342	11.5	87.955
109.245	12.0	88.689
108.142	12.5	89.426
107.034	13.0	90.166
105.921	13.5	90.911
104.802	14.0	91.658
103.878	14.5	92.410
102.548	15.0	93.165
101.418	15.5	93.923
100.278	16.0	94.685
99.127	16.5	95.451
97.978	17.0	96.221
96.820	17.5	96.993
95.658	18.0	97.770
94.491	18.5	98.550
93.319	19.0	99.334
92.141	19.5	100.121
90.958	20.0	100.912

Table 3은 위성에서 관측된 Radiance를 나타낸 Look up Table의 예이다.

라. 구름역의 제거와 SST의 출력

해상에 있어서 구름역의 자동제거방법은 가시광선 채널의 알베도(Albedo)를 이용하거나 적외선 채널의 영하기온을 적용시키는 방법이 있으나[4] 본 연구에서는 우리 나라 주변해역에서 해수면온도가 영하로 내려가는 경우가 없으리라 보고 후자의 방법을 채택하였다.

Table 3. Raw Count to Temperature Conversion Look up Table

TEMP	RAW COUNT			TEMP	RAW COUNT		
	Ch 3	Ch 4	Ch 5		Ch 3	Ch 4	Ch 5
0.0	185	99	106	14.5	119	57	69
0.5	183	97	104	15.0	116	54	67
1.0	181	96	103	15.5	113	53	66
1.5	180	95	102	16.0	110	51	65
2.0	178	93	100	16.5	107	49	63
2.5	176	92	99	17.0	104	48	62
3.0	174	91	98	17.5	100	46	61
3.5	172	89	97	18.0	97	45	59
4.0	170	88	96	18.5	93	43	58
4.5	168	87	95	19.0	90	42	57
5.0	166	85	94	19.5	86	40	55
5.5	164	84	93	20.0	83	39	54
6.0	162	83	91	20.5	79	37	53
6.5	160	81	90	21.0	75	35	51
7.0	158	80	89	21.5	71	34	50
7.5	156	79	88	22.0	67	32	48
8.0	153	77	86	22.5	63	31	47
8.5	151	76	85	23.0	59	29	46
9.0	149	74	84	23.5	55	27	44
9.5	146	73	83	24.0	51	26	43
10.0	144	72	81	24.5	46	24	41
10.5	141	70	79	25.0	42	23	40
11.0	139	69	78	25.5	38	21	39
11.5	136	67	76	26.0	33	19	38
12.0	133	66	75	26.5	28	18	36
12.5	131	64	74	27.0	24	16	34
13.0	128	63	73	27.5	19	15	33
13.5	125	61	71	28.0	14	14	32
14.0	122	60	70				

SST출력은 Video display 방법과 Line printing 방법을 사용하였다.

Video display는 256 × 256 Monitor를 이용하여 처리된 결과를 쉽게 확인할 수 있다는 이점이 있고 Line printing은 출력하고자 하는 임의의 온도대를 7개 gray level로 구분하여 반복 출력할 수 있도록 하였다.

Fig. 4는 Video 출력 예이고 Fig. 5는 Line printing한 예이다.

'86년 2월 11일 위성에서 수신된 AVHRR CH4의 영상과 이로부터 정량적으로 산출된 SST 분포도와 국립수산진흥원의 선박 실측관측치를 살펴보면 Fig. 6, 7, 8과 같다.

Fig. 6은 수신된 AVHRR 영상을 한반도를 중심으로 확대 처리한 영상으로 한반도 영역이 비교적 맑은 날씨를 보이고 있고 위성궤도도 한반도를 지나고 있어 SST산출에 좋은 조건이었다.

Fig. 7의 SST 산출 결과를 살펴보면, 남해안에서는 10° ~ 13°의 전선대가 동서로 길게 위치하고 있는 것이 보이고 동해안에서는 울릉도 부근까지 난기류가 북상한 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 국립수산진흥원에서 선박관측한 data[5]로서 패턴은 Fig. 7과 거의 유사하나 약 2 ~ 4℃의 낮은 온도차를 보이고 있다. 이는 본 연구에서 대기의 수증기량에 의한 감쇄 효과를 고려하지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

차후 관측횟수를 증가시켜 계속 얻어진 자료로부터 보완하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

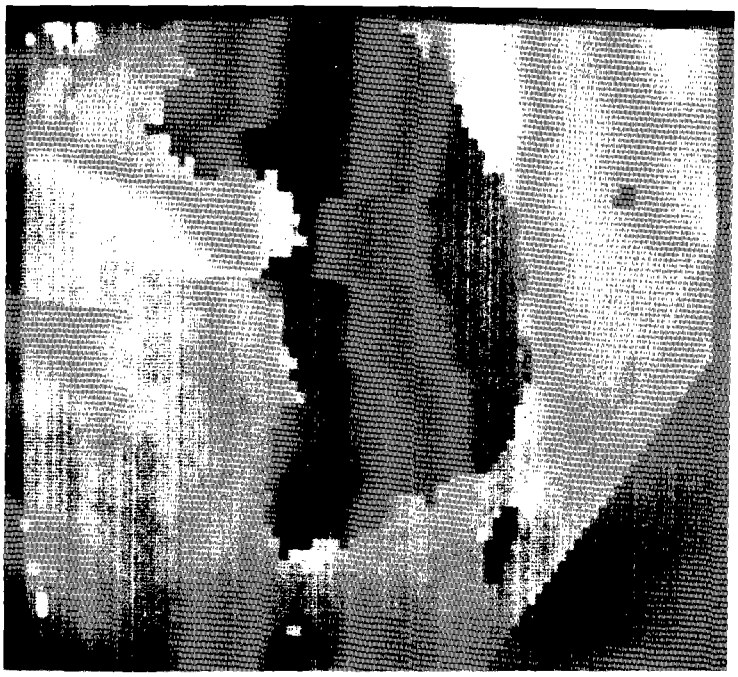

Fig. 4. Geometric Corrected Image on TV Monitor.

CLASS NUMBER	GRAY LEVEL	LOWER BOUND	UPPER BOUND
1	.	16.00	14.00
2	+	14.00	12.00
3	=	12.00	10.00
4	X	10.00	8.00
5	#	8.00	6.00
6	@	6.00	4.00
7	M	4.00	2.00

Fig. 5. SST Line Printing.

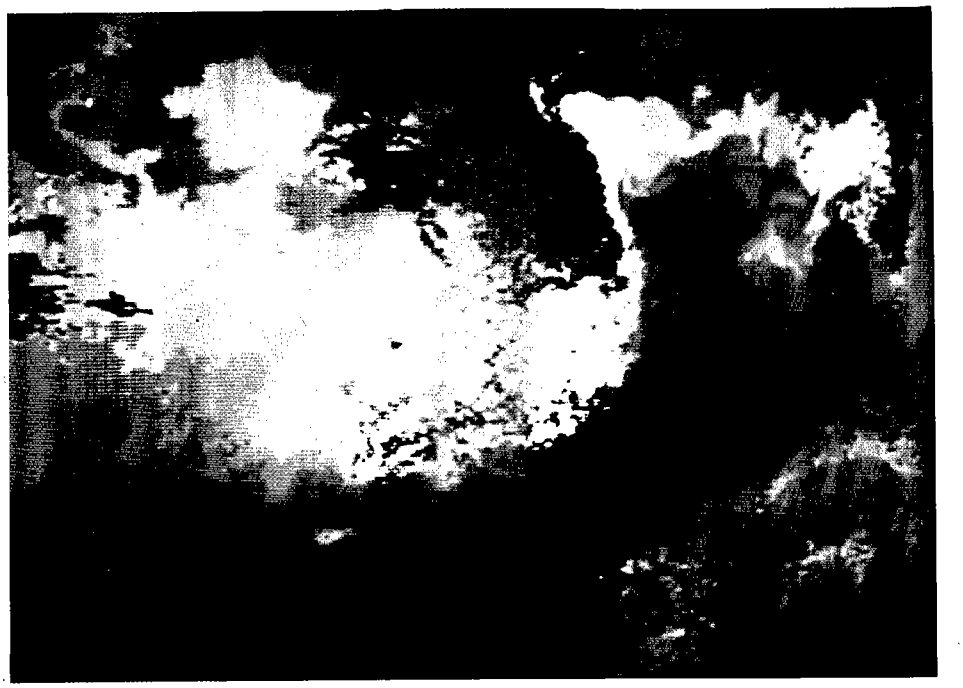

Fig. 6. Enlarged NOAA-9 AVHRR CH_4 Imagery on 11 Dec. 1986.

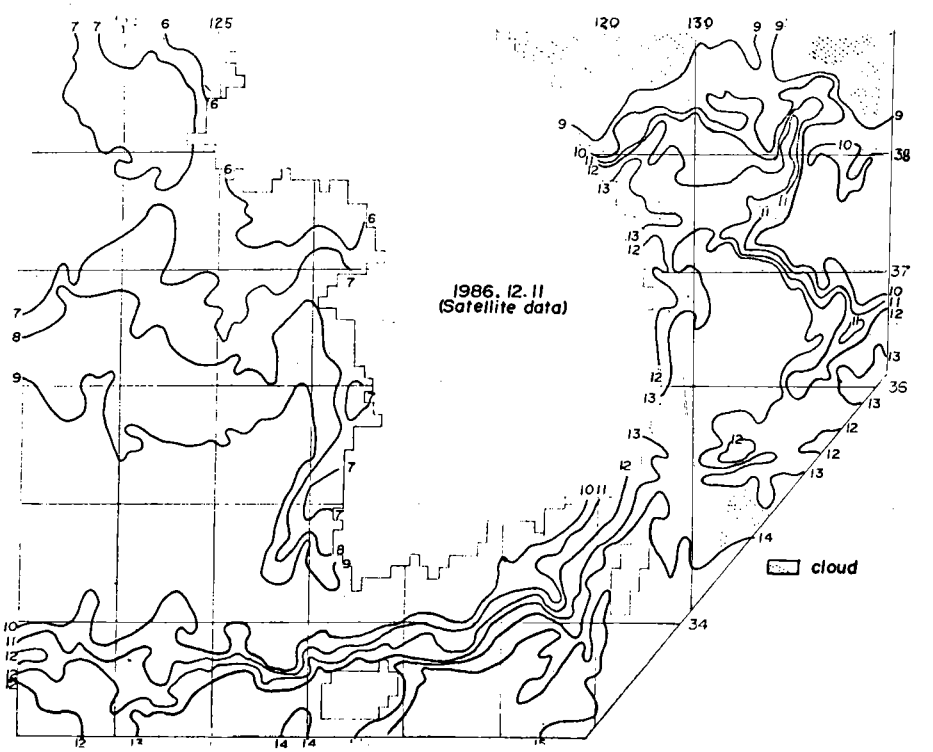

Fig. 7. SST Observed from Satellite.

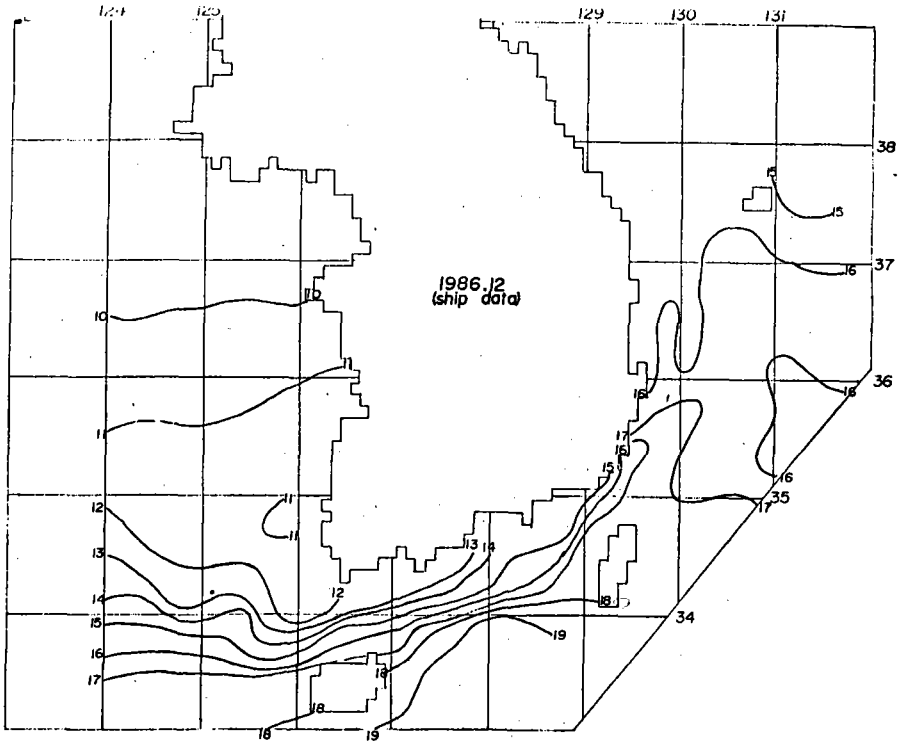

Fig. 8. SST Observed from Ship (5).

3. 결 론

기상연구소의 기상위성수신 장비를 이용하여 극궤도위성 NOAA－9호의 CH4 영상으로부터 SST를 산출하는 소프트웨어(S/W)를 설계 개발하였다.

여기에 사용된 주요 처리과정은 다음과 같다.

가. 위성 Orbit의 Ascending node 예측

나. SST 산출영역의 육지지형 Mark

다. 기하보정(Geometric Correction)

라. 복사보정과 온도변환 Look up Table

마. SST의 출력화

위 처리과정을 거쳐 산출한 SST와 선박관측자료와 비교 검토해보면 분포 패턴은 거의 흡사하고 온도가 다소 낮게 나타남을 알 수 있다.

따라서 위성에 의한 SST 산출이 즉시적이고도 또 번번히 취득할 수 있는 이점이 있으며 또

그 분포패턴을 파악하는 데 매우 유용함을 알 수 있다. 차후 대기의 수증기 등에 의한 감쇄현상을 보완하는 알고리즘이 개발되어야 할 것이다.

References

1) NESS 107, 1979, Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers, *NOAA Technical Memorandum,* p. 58.

2) G. Dalu, 1974, Estimation of Sea Surface Temperature from Remote Sensing in the 11 to 13 μm Window Region, *Journal of Geophysical Research,* pp. 5039-5044.

3) 氣象衛星セータ技術報告, 1983, Tovs データ處理システムの解説, p.156.

4) 高大 幹雄, 1983, 學術情報としての衛星データの直接取得とその高次利用じ關すろ研究, 東京大學 生産技術研究所, p.124.

5) 國立水産振興院 提供資料.