

군산 지역에서 Loran C China North Sea Chain (GRI 7430)의 측위정도의 연구

이 원 우*

A Study on the Accuracy of the Loran C China North Sea Chain
(GRI 7430) Fix in Kunsan Area

*Won-Woo Lee**

<목 차>	
Abstract	3. 결과 및 고찰
1. 서 론	3.1 Loran C 시간차 오차
2. 관측 및 방법	3.2 Loran C 시간차 변동
2.1 관 측	3.3 Loran C 측위정도
2.2 송신국의 배치	4. 결 론
2.3 측지계 변환	5. 참고문헌
2.4 시간차 오차	

Abstract

Loran C is a low frequency, pulsed, hyperbolic radio aid to navigation system, which operates in the 90 to 110 kHz frequency band. The position accuracy is not excellent but the repeatable and relative accuracy is very good, and it is very useful for fishing vessel in coastal waters.

The operation of China north sea chain(GRI 7430) was begun on January, 1996. and in order to evaluate the accuracy of this chain, it was observed with Loran C receiver (LC-90, Furuno) in July 9 and December 30, 1997 at the fixed position of Kunsan national university.

The obtained results were as follows ;

The time difference error of M-X, M-Y pair were $0.5\mu s$, $4.4\mu s$ respectively and the mean time differences of M-X, M-Y pair were $15120.4\mu s$, $32085.4\mu s$ respectively. The Loran C signals were received steadily and the daily fluctuation of time difference was very small. The longitudinal position error was very much than latitudinal position error, and the mean position error was about 1091.8 m.

* 군산대학교 해양과학대학 해양생산학과

1. 서 론

우리 나라에서는 Loran C가 어선 등의 소형선에 거의 대부분 이용되어 왔는데 한국을 비롯하여 극동의 일부해역에서는 송신국의 기하학적 배치, 송신국으로부터의 긴 전파거리와의 관계에서 Loran C를 이용하는데 많은 제약이 있었다. 그래서 1990년 9월에 한국, 일본, 중국 및 러시아는 Loran C의 이용범위를 확대하기 위하여 극동 Loran C 기술회의(FELT : far east Loran C technical meeting)를 개최하였고, 각각의 나라에 속한 Loran C를 국제적 협력 하에 운용하기로 하여 Command lion chain(GRI 5970)을 East asia chain(GRI 9930)으로 변경하였고, North west pacific chain은 GRI 9970을 GRI 8930으로 하는 한편 송신국의 위치를 변경하여 운용하기로 하였으며, 중국은 China north sea chain(GRI 7430)과 China south sea chain(GRI 6780)의 운용을 시작하였다. 그동안 우리나라 서해안 지역에서는 송신국과의 거리가 멀고 기하학적인 관계도 좋지 못하였기 때문에 Loran C이용에 어려움이 많았지만 China north sea chain(GRI 7430)의 운용에 따라 서해에서 조업하는 어선이나 항행선박에 많은 편리함을 줄 것으로 기대된다.

한편, GPS는 1995년 4월부터 완전운용상태(FOC ; full operational capability)가 시작되어 높은 정확도로 24시간 연속측정이 가능하게 되었으며, 그 이용이 날로 증가되어 가는 추세에 있어 Loran C의 중요성이 다소 감소되었으나 Loran C 쌍곡선은 재귀정도가 대단히 좋기 때문에 아직도 소형어선에서 어로작업에 유용하게 많이 이용되고 있다. FRP(Federal Radionavigation Plan)에 의하면 미국 내에서 운용되는 Loran C는 2000년말에 운용을 정지할 예정으로 있으나 다른 나라에서는 Loran C의 운용정지에 대한 구체적인 계획을 볼 수 없으며, 미국이 군사목적으로 GPS를 다른 나라에서 이용하는 것을 제한할 경우에는 많은 혼란이 야기될 수 있다. 따라서 Loran C는 GPS와 함께 항해보조수단으로서 이용함이 바람직한 것으로 생각한다.

Loran C에 관한 연구로서는 **李 등^{1,2)}, 辛 등³⁾과 朴 등⁴⁾**의 정점위치에서의 측위정도에 대한 연구,

Goda 등^{5,6,7)}과 Kuno 등^{8,9)}의 GPS와 Loran C의 상대오차에 대한 연구, **Nishi¹⁰⁾**의 ECD의 변화에 대한 연구, **Sato 등¹¹⁾**의 Loran C전파의 위상변화에 대한 연구 등이 있다. 그러나 최근에 운용을 개시한 China north sea chain(GRI 7430)의 시스템 평가에 대한 연구는 아직 되어 있지 않는 실정이다.

본 논문은 군산 지역에서 China north sea chain(GRI 7430)의 측위정도를 알기 위하여 각 조국별 시간차 오차의 일변화 및 편위오차를 분석·검토하였다.

2. 관측 및 방법

2.1 관측

관측은 1997년 하절기인 7월 9일과 동절기인 12월 30일에 행하였으며, 군산대학교 해양과학대학내의 한 정점을 기준위치(35° 58.87' N, 126° 41.0 7' E)로 하여 China north sea chain(GRI 7430)의 M-X, M-Y 組局을 관측하였으며, Loran C와 GPS의 측위 정도를 비교하기 위하여 Loran C 관측과 동시에 GPS를 관측하였다. 관측에 사용한 Loran C 수신기(Furuno LC-90)와 GPS수신기(Trimble NavGraphic II)의 제원은 <Table 1>과 같다. Loran

<Table 1> Loran C and GPS receivers Specifications

Receiver	Item	Specifications
Loran C	Receiving frequency	100 kHz
	Receiver sensitivity	1 μ N/m
	Dynamic range	110 dB
	Tracking	Master + 5 secondaries
	Ttacking speed	80 kts
GPS	Display resolution	TD 0.1 μ s L/L 0.01 minutes
	Update rate	1 second
	Acquisition time	less than 4 minutes
Accuracy	Position	: 25 meter RMS
	Velocity	: 0.1 kts
	Altitude	: 35 meter RMS

C수신기는 변경된 체인을 수신할 수 있도록 수신기의 중앙처리장치중에서 ROM IC를 교체하였으며,

Loran C와 GPS정보가 컴퓨터에 연속적으로 입력할 수 있도록 RS-232C 드라이버를 제작하여 매 4초 간격으로 컴퓨터에 수록하였으며 수록된 자료 중 5분 간격으로 추출하여 분석하였다.

2.2 송신국의 배치

China north sea chain(GRI 7430)의 송신국의 배치와 관측지점은 Fig. 1과 같고, 각 송신국의 제원과

관측지점으로부터의 대원거리는 <Table 2>와 같다.

Fig.1에서 송신국의 주국(M)과 X종국으로부터 관측점까지의 전파의 傳播經路는 거의 해상전파 경로로 되어 있으나 Y종국으로부터는 상당부분이 육상전파경로로 되어 있음을 알 수 있으며, <Table 2>에서 각 송신국의 출력은 1200kW, 관측점으로부터의 대원거리는 약 400~800마일이 었다.

<Table 2> Specifications of the transmitting stations (WGS-84 coordinates)

GRI	Station	Latitude/ Longitude	Emission delay(μ s)	Coding delay(μ s)	Power (kW)	Distances from Kunsan(km)
7430	M Rongcheng	37° 03' 51.765" N 122° 19' 25.954" E	13,459.70	11,000.00	1,200	408.7
	X Xuancheng	32° 04' 07.937" N 118° 53' 09.625" E				906.1
	Y Helong	42° 43' 11.562" N 129° 06' 27.213" E				776.6

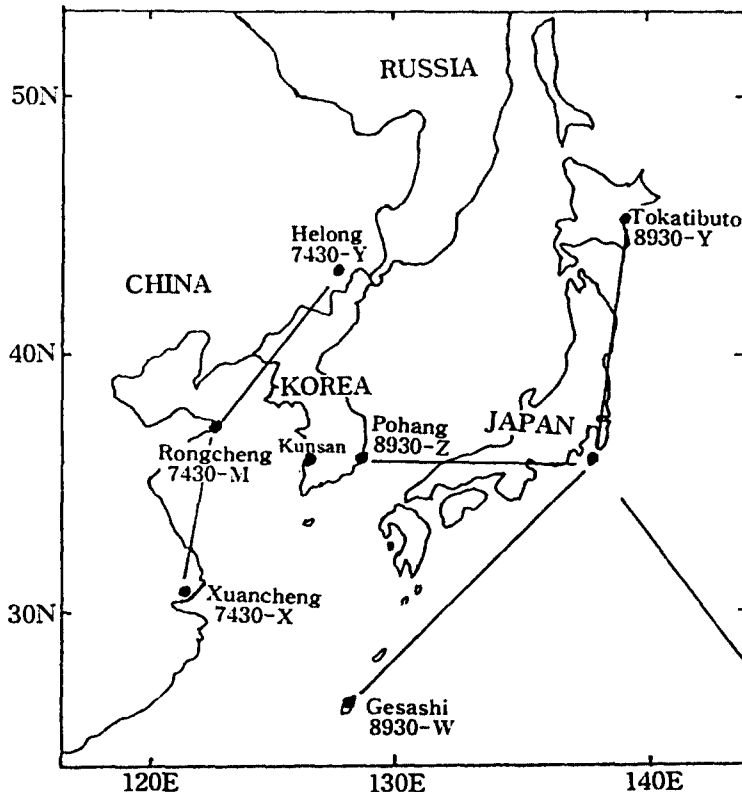


Fig. 1 Location of observation point and configuration of Loran C stations, 7430 chain

2.3 측지계 변환

Loran C에서 사용되는 측지계는 범세계적 측지계인 WGS-72, GPS는 WGS-84를 사용하고 있으므로, 관측에 사용된 해도의 측지계와 다르게 되면 위치오차의 원인이 되기 때문에 측지계를 일치시킬 필요가 있다. 우리나라의 해도에 사용된 Tokyo 측지계와 WGS-72 측지계와는 남북 약 350m, 동서 약 300m 정도의 차이가 있어 약 450m의 위치오차가 생기므로 Tokyo 측지계인 관측점의 위치를 WGS-72 측지계로 다음과 같이 변환하였다.

準據橢圓體에서 중심에 원점을 갖고, 단축방향을 Z축, 이것과 수직면내에서 경도 0°의 방향에 X축, 90°의 방향을 Y축으로 한 ECEF 직교좌표계를 생각하면, 어느 점에서 위도 φ, 경도 λ, 높이(타원체고) h일 때, 그 점의 직교좌표계의 값은

$$X = (N+h)\cos\varphi\cos\lambda$$

$$Y = (N+h)\cos\varphi\sin\lambda$$

$$Z = (n+h)\sin\varphi$$

$$\text{단, } N = a/(1-e^2\sin^2\varphi)^{1/2}$$

$$n = N(1-e^2)$$

$$e^2 = f(2-f)$$

$$a = \text{지구 타원체의 장반경}$$

$$f = \text{지구 타원체의 편평율}$$

로 나타낼 수 있다.

어느 점에서 각 측지계의 X, Y, Z의 값을 구하여 양자간의 차 ΔX, ΔY, ΔZ의 값을 구할 수 있다. Tokyo 측지계에서 WGS-72 측지계로의 3차좌표 보정값은 ΔX = -140m, ΔY = 516m, ΔZ = 673m 이므로 이를 사용하여 계산식에 의해 측지계 변환을 하였으며, WGS-84 측지계도 마찬가지로 방법으로 측지계 변환을 하였다.

2.4 時間差 誤差

Loran C전파는 100kHz의 LF파로서 대기굴절율(온도, 습도 및 기압)에 따라 전파속도가 변하며 또한 주파수, 대지의 임피던스 및 전파경로상의 지형에 의해서도 변하게 된다. 이와 같은 전파속도의 변화는 정확한 예측이 불가능하여 Loran C의 측위 오차 원인이 된다. Loran C 수신기에서 사용하는

전파의 해상전파속도를 사용하여 관측점에서 시간차를 계산한 계산시간차와 Loran C 수신기에서 관측한 관측시간차와의 차를 時間差 誤差로 하였으며, 계산시간차는 다음과 같이 구할 수 있다¹²⁾.

중국에서 관측점까지 Loran C전파의 전파시간을 T_M, 중국에서 관측점까지의 전파시간을 T_S라 하면 계산시간차 T는 다음과 같다.

$$T = T_S - T_M + \delta + \beta \dots\dots\dots(1)$$

여기서 δ는 Coding delay,

β는 기선의 길이

식 (1)에서 관측점과 중국 및 중국까지의 Loran C전파의 전파시간 T_M, T_S를 구하려면 식(2)를 이용한다.

$$\tau = d/v + \alpha/d + \beta + \gamma/d (\mu s) \dots\dots\dots(2)$$

단, d : 2 측지 위치 사이의 거리

v : 전파의 전파속도

α : 0.002155 μs · km

β : -0.4076 μs

γ : 38.67 μs · km

또한, 식 (2)에서 두 측지위치 (φ₁, λ₁), (φ₂, λ₂) 사이의 측지선의 거리 d는 식 (3)을 이용하여 구하면 된다.

$$d = ax' - A_0P - B_0Q \dots\dots\dots(3)$$

단, β : tan⁻¹(tan φ · b/a)

$$x : \cos^{-1}\{\sin\beta_1\sin\beta_2 + \cos\beta_1\cos\beta_2\cos(\lambda_1 - \lambda_2)\}$$

$$x' : x \cdot \pi/180$$

$$A_0 : (\sin\beta_1 - \sin\beta_2)^2$$

$$B_0 : (\sin\beta_1 + \sin\beta_2)^2$$

$$P : (a-b)(x' - \sin x)/(4(1 + \cos x))$$

$$Q : (a-b)(x' + \sin x)/(4(1 - \cos x))$$

a : 지구의 장반경

b : 지구의 단반경

3. 결과 및 고찰

3.1 Loran C 시간차 오차

관측점에서 관측 날짜별 China north sea chain 의 Loran C 시간차 오차는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> The TD error between observation TD and calculation TD in China north sea chain.

Date	Pair	Observation TD(μ s)		Calculation TD(μ s)	TD error(μ s)
		Mean	SD		
97.07.09	M-X	15120.40	0.09	15119.89	0.51
	M-Y	32085.44	0.16	32081.03	4.41
97.12.30	M-X	15120.45	0.06	15119.89	0.56
	M-Y	32085.41	0.08	32081.03	4.38

* TD : Time difference
SD : Standard deviation

<Table 3>에서 China north sea chain의 M-X 조국 시간차 오차는 1997년 7월 9일(이하 하절기라 함)에 0.51μ s, 동년 12월 30일(이하 동절기라 함)에 0.56μ s로서 동절기가 하절기보다 시간차오차가 약간 컸으나, M-Y 조국의 경우에는 하절기 4.41μ s, 동절기 4.38μ s로서 하절기의 시간차 오차가 컸으며, M-Y조국 시간차오차는 M-X조국보다 상당히 큰 값을 보였다. Loran C 시간차오차는 송신국으로부터의 전파의 전파거리, 전파의 전파경로상의 육상전파경로의 길이 및 대기의 상태 등에 따라 영향을 받는데 관측점에서 X종국까지의 대원거리는 Y종국까지의 대원거리보다 길었으나 시간차오차는 M-Y조국이 오히려 더 큰 값을 보였다. 이것은 X

송신국에서 관측점까지의 전파경로가 대부분 해상 전파경로인 반면 Y송신국에서 관측점까지의 전파경로는 한반도를 경유하는 긴 육상전파경로로 인한 전파 지연 때문으로 생각된다.

따라서 China north sea chain의 측위오차는 대부분 M-Y조국의 시간차 오차에 기인하는 것으로 추정할 수 있었다.

3.2 Loran C 시간차 변동

관측날짜별 조국별 관측시간차의 평균값과 표준편차는 <Table 3>과 같고 관측시간별 시간차 변동은 Fig. 2와 같다.

<Table 3>에서 China north sea chain의 M-X

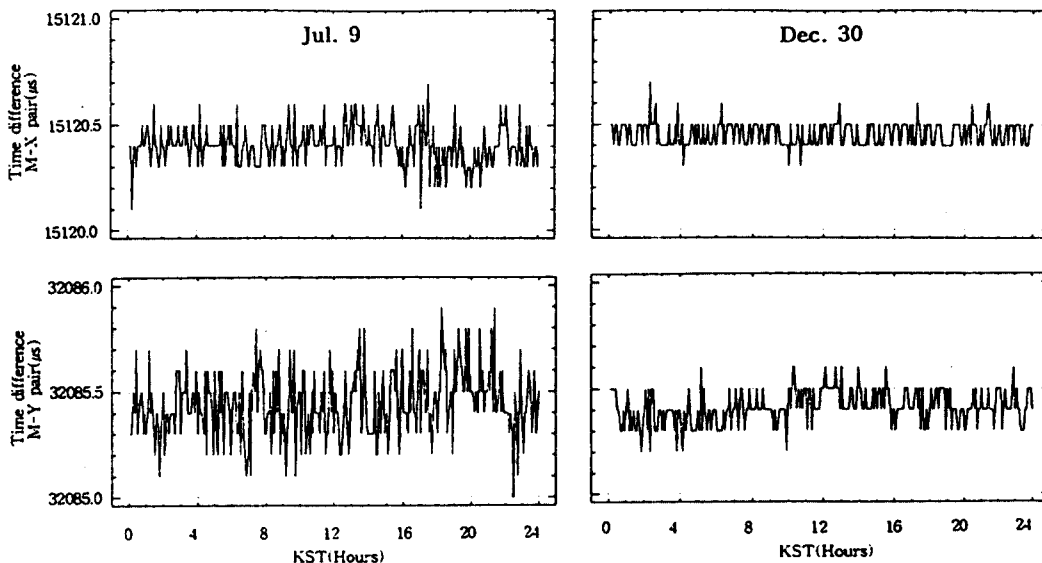


Fig. 2 The daily variation of time difference, M-X and M-Y pair of 7430 chain

조국의 시간차 표준편차는 하절기 $0.09\mu s$, 동절기 $0.06\mu s$, M-Y조국의 경우에는 하절기 $0.16\mu s$, 동절기 $0.08\mu s$ 로서 하절기보다 동절기에 비교적 안정된 것으로 나타났는데, 관측하는 동안 신호대 잡음비의 변동은 하절기의 경우 M송신국 85~90, X송신국 49~57, Y송신국 20~24였으며, 동절기에는 M송신국 97~99, X송신국 83~86, Y송신국 47~54로서 동절기에 신호대 잡음비가 비교적 양호하였기 때문에 추정되었다.

Fig. 2에서 China north sea chain의 시간대별 시간차 변동의 폭은 M-X조국보다 M-Y조국이, 동절기보다 하절기에 약간 큰 경향을 보였다. 시간차는 대개 일출몰시 대기상태의 불안정에 따라 일출몰시에 변동이 크게 나타나는 경향이 있는데 Fig. 2에서는 시간대별 시간차 변동이 거의 없이 매우 안정된 상태를 보였다. 이것은 관측점과 송신국 사이의 대권거리가 약 400~900km로서 Loran C 지표파의 수신신호 전계강도가 양호하였기 때문으로 추정된다.

3.3 Loran C 측위정도

쌍곡선항법은 송신국과 관측지점과의 기하학적 상대위치에 따라 측위정도가 달라지게 된다. 위치선의 간격과 위치선의 교각에 의한 측위정도의 열화를 나타내는 기하학적 계수를 GDOP (Geometric Dilution of Precision)라 하는데 최소의 GDOP값은 1.837이며 6.0이상이면 측위오차가 급격히 커지게 된다. 관측점에서 China north sea chain의 M-X, M-Y조국의 GDOP값을 계산하면 2.16으로서 관측점과 각 송신국간의 기하학적 상대위치 관계는 양호하였다.

China north sea chain의 X-Y조국의 관측날짜별 측위오차의 범위, 동서거 및 편위거리의 평균값과 표준편차는 <Table 4>와 같다.

<Table 4>에서 하절기에 기준위치에서 위도방향의 편위인 變緯 평균값은 $-3.4m$, 경도방향의 편위인 동서거의 평균값은 $-1092.5m$ 이었으며, 동절

기에는 범위 $12.9m$, 동서거 $-1091.6m$ 로서 위도방향의 편위보다 경도방향의 편위가 매우 컸다. 기준위치로부터의 편위거리 즉 측위오차의 평균값은 하절기에 $1092.5m$, 표준편차 $42.2m$, 동절기에 $1091.2m$, 표준편차 $21.9m$ 로서 비교적 큰 값을 보였으나 계절별로 큰 차이는 없었다.

<Table 4> The mean values and standard deviations of D.lat, Dep and distance in China north sea chain, X-Y pair (unit : meter)

Date	D. lat		Dep		Distance	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
97. 7. 9	-3.4	30.3	-1092.5	42.1	1092.5	42.2
97.12.30	12.9	18.8	-1091.6	22.0	1091.2	21.9

* D.lat : difference of latitude

Dep. : departure / Distance : position error

기준위치를 중심으로 하여 China north sea chain의 X-Y조국과 GPS측위오차의 분포를 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 China north sea chain의 X-Y조국의 측위위치는 서쪽으로 편위하였으며 어느 일정지점에 안정된 상태로 집중적으로 분포하는 경향을 보였고 절대정도는 좋지 않았으나 상대정도는 매우 좋았다. 한편 GPS의 경우는 편위오차의 평균값이 약 $44m$, 표준편차 약 $26m$ 로서 절대정도와 상대정도가 매우 좋은 것을 알 수 있었다.

따라서 China north sea chain의 측위 정도는 GPS에 비해 절대정도는 매우 좋지 않았으나 상대정도는 비교적 좋았으므로 측 위치의 재현성이 좋아 어선에서 조업에 유효하게 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

관측지점에서 Loran C와 GPS측위오차의 일변화는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 Loran C는 하절기의 측위오차 변동폭은 동절기보다 컸음을 알 수 있었으나 일변화에는 큰 변동이 없었으며, GPS의 경우에는 계절별, 일일별의 변동이 크게 나타나지 않았다.

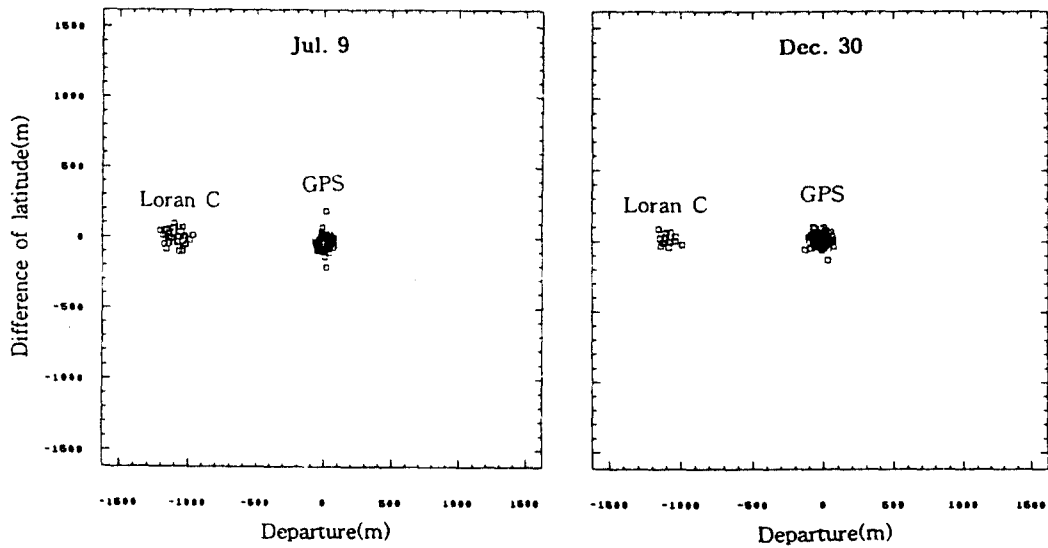


Fig. 3 The distribution of position error on Loran C, 7430 chain and GPS

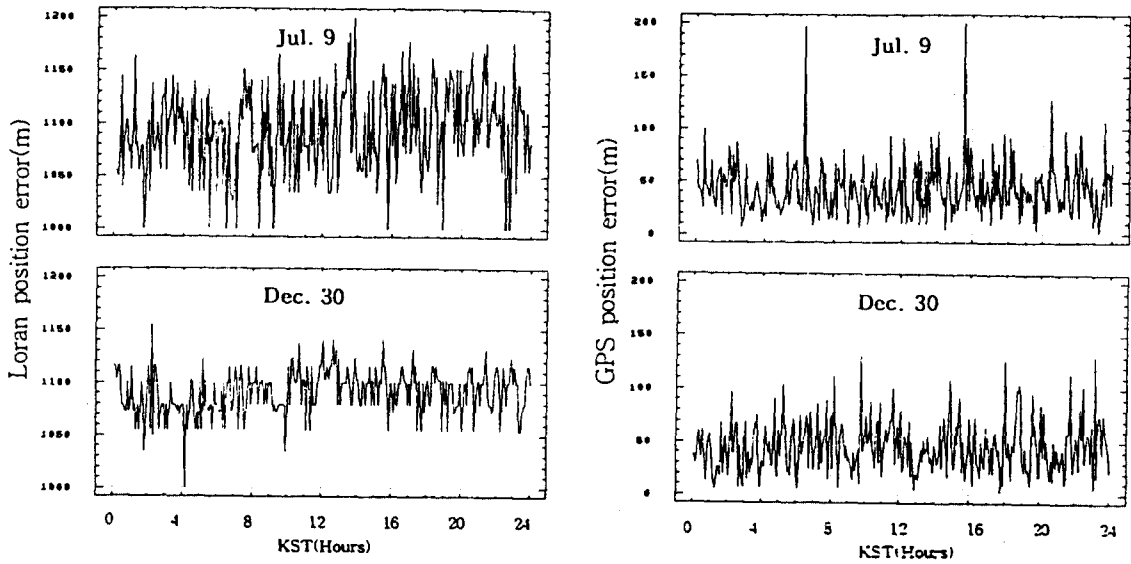


Fig. 4 The daily variation of position error on Loran C, 7430 chain and GPS

4. 결 론

China north sea chain(GRI 7430)에 대한 군산

지역에서의 측위정도를 알기 위하여 1997년 7월 9일과 12월 30일에 군산대학교 해양과학대학의 고정점에서 Loran C 수신기로써 관측하여 시간차 변

화와 편위오차를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. M-X, M-Y조국의 시간차 오차는 각각 약 0.5 μ s, 4.4 μ s로서 M-X조국보다 M-Y조국의 시간차오차가 매우 컸음을 알 수 있었다.
2. China north sea chain(GRI 7430)의 시간차 평균값은 M-X조국은 약 15120.4 μ s, M-Y조국은 약 32085.4 μ s였고, 시간대별 시간차 변동은 거의 없었으며 매우 안정된 상태로 신호를 수신할 수 있었다.
3. China north sea chain(GRI 7430)의 편위오차는 위도방향보다 경도방향으로 매우 컸으며, 측위위치의 편위오차 평균값은 약 1091.8m, 표준편차 평균값은 약 32 m였고, GPS의 측위위치의 편위오차 평균값은 약 44m, 표준편차 평균값은 26m이었다.

참고문헌

- 1) 이원우 · 신형일, "추측항법과 Loran-C항법을 결합한 Hybrid항법의 정도", 한국어업기술학회지, 20권 2호, pp. 105-111(1984)
- 2) 이원우 "한반도에서 각 해역의 Loran-C 시간차오차 특성", 군산수산전문대학 수산과학연구소 연구보고, 7호, pp. 31-37(1991).
- 3) 신형일 · 정세모 · 김진건 · 박주삼, "한국 동남 연안에서의 로란 C 한국체인의 측위정도에 관한 연구", 한국항해학회지, 20권 3호, pp.1-11(1996)
- 4) 박주삼 · 신형일 · 김진건 · 김기윤, "부산지역에서의 Loran-C 한국체인의 측위정도에 관한 연구", 한국어업기술학회지, 32(4), pp.372-380(1996)
- 5) Goda, M.,T. Kuno and S. Nakane, "Relative error between GPS and Loran C in the eastern area of the East China Sea", Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., No. 71, pp 177-185(1992)
- 6) Goda, M.,T. Kuno and S. Nakane, "Relative error between GPS and Loran C at a fixed station on the land", Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., No. 68, pp 53-60(1990)
- 7) Goda, M.,T. Kuno and S. Nakane, "Relative error between GPS and Loran C 9970 chain on the sea of Goto", Jap. Ins. Nav., No. 106, pp 1-8(1990)
- 8) Kuno, T., M. Goda and S. Nakane, "Relative error between GPS and Loran C 9970 chain in the western area of the North Pacific Ocean", Jap. Ins. Nav., No. 121, 31-35(1994)
- 9) Kuno, T., M. Goda and S. Nakane, "Relative error between GPS and Loran C in the western area of the North Pacific Ocean", Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., No. 74, pp 1-7(1993)
- 10) Nishi, T., K. Taguchi and K. Miyazaki, "Seasonal variation of ECD of Loran C over sea", Jour. Japan Ins. Nav. Vol. 91, pp. 177-184(1994)
- 11) Sato, N., D. Ennyu, T. Nishi and M. Yamashita, "An analysis by numerical calculation of phase disturbance of Loran-C signal near a coast line", Jour. Japan Ins. Nav. Vol. 91, pp. 63-70(1997)
- 12) Yukio TARUMI, "The Positional presentation on the ellipsoid of revolution", Jap. Ins. Nav., Vol. 54, pp. 1-5(1977)