Journal of the Korean Institute of Navigation
Pusan Korea, Vol. 25. No. 4., pp. 335~345, 2001

Loran-C 한국체인(9930)에의 EUROFIX 시스템 構築

김 민 정* · 김 경 태**

The Construction of EUROFIX system into the Korean Loran-C Chain(9930)

*Min-Jung Kim** · *Kyung-Tae Kim***

〈목 차〉

Abstract
1. 서 론
2. EUROFIX 시스템의 개요
3. EUROFIX 도입을 위한 시스템 구성과 실천계획
4. NDGPS를 위한 해상 · 내륙 비교 측정결과
5. 결 론
참고문헌

Abstract

While recognizing that Loran-C is very important as a back-up for satellite systems, the introduction of EUROFIX, that it uses Loran-C system, was proposed and admitted at 9th FERNS(Far East Radio Navigation System) Meeting.

But, the FERNS countries should consider whether the cost-effectiveness of the system could be improved by making use of its communication facilities to integrate more closely with satellite systems.

And, the members were requested to give this proposal consideration before the 10th session of the Council. For this matter, Korea planned to demonstrate transmitting EUROFIX signals from Pohang Loran-C station (Master of 9930 Chain) during the 10th FERNS Meetings.

Therefore, this thesis describes the analysis of EUROFIX datalink and progress of EUROFIX construction work.

This thesis is the report with regard to the sequence of this demonstration of EUROFIX in Korea.

* 한국해양대학교 제어계측공학과 박사수료
** 한국해양대학교 해사수송과학부 석사과정

제1장 서 론

Loran-C가 위성시스템의 비상수단으로서 매우 중요하다고 인식되어지는 가운데, 제9차 FERNS 회의에서 EUROFIX의 도입계획이 제안되어졌으며 공인되어졌다. 그러나 위성시스템에 좀 더 밀접하게 통합된 통신시설을 사용함으로써, 시스템의 비용 효율성이 향상되어질 수 있는가에 대해서도 신중히 고려해야만 했다. 각 국의 멤버들은 이 제안을 제10차 협의회 이전의 고려사항으로 요청했다.

이 문제에 관해서, 본 논문에서는 FERNS 회의기간 동안에 포항국(9930 체인의 주국)으로부터 EUROFIX 신호들을 전송하는 모의 실험을 하기로 계획하였다.

이 논문은 EUROFIX의 데이터링크상의 변조과정 및 에러 정정에 관한 연구와 이 계획을 주도한 필자의 진행과정과 문제점 해결방안, 비용 대 투자효과 및 실험결과에 관한 보고서이다.

제2장 EUROFIX 시스템의 개요

2.1 EUROFIX의 정의

EUROFIX는 DGNSS와 Loran-C를 기초로 하는 통합위치결정 시스템이다. 즉, EUROFIX는 DGNSS 정보를 Loran-C 펄스열로 변환한 후, 이 펄스열들을 위치 변조하여 전송하는 Loran-C 전송을 통해서 데이터 통신을 하는 시스템이다. EUROFIX는 DGNSS 정보 외에 완전한 LF 무선 항해 시스템을 제공하는데 이 시스템은 Loran-C의 고유업무인 쌍곡선 위치결정 서비스에 지장을 초래하지 않고 부가적인 서비스를 첨가하는 것이다. 그림 1은 그 구성도를 보여주고 있다.

EUROFIX를 이용해서 전송되는 메시지들은 주국과 종국간의 Loran-C/Chayka 동기신호, DGNSS 데이터, Loran-C/Chayka의 부가적인 공간파 요소(ASF), 조난상황에서의 긴급상황을 나타내는 메시지 등이며, 이들은 시간-변조를 통해 전송된다.

2.2 개발과정

1989년 10월 영국에서 열린 왕립항해 연구소 회의에서 그 기본개념이 제시된 이후 Megapulse사와 그 외 여러 기관의 후원으로 Delft 대학의 D. Van Willigen 교수 등에 의해서 연구가 시작되었으며, EUROFIX 개념을 실제의 운용시스템으로 개발하였다[1],[2]. 그 이후, 1994년 미국에 있는 Wildwood Loran-C 국에서 Megapulse사에 의해 실험이 수행되었다[3],[4].

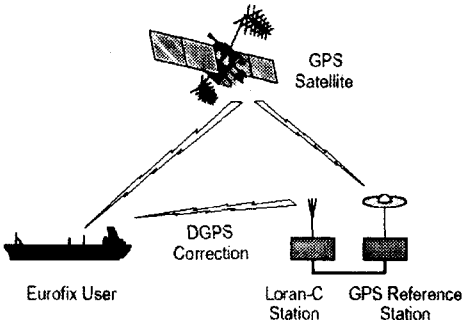

그림 1. EUROFIX 개념의 구성도
Fig. 1. The Concept of EUROFIX DGNSS

1996년 Delft 대학에서 시뮬레이션 실험을 수행하였고, 1997년 독일의 Sylt국에서 실험이 실행되었다. 1998년 Wildwood에서 한번 더 실험이 진행되었다.

현재, NELS(North Europe Loran-C System)의 관리 하에 있는 4개의 Loran-C 국이 EUROFIX 서비스를 운영 중에 있다[5].

2.3 EUROFIX 시스템의 장점 및 단점

(1) EUROFIX의 장점

현재 존재하고 있는 Loran-C의 기본적인 설비들을 그대로 이용할 수 있으므로, 적은 비용으로 시스템을 구성할 수 있다.

또한 1개의 단일국이 서비스하는 경우 광범위한 지역을 커버할 수 있다. 대략 1000km 정도의 커버 범위를 가진다. 이점은 특히, 한국의 경우 북한을 포함하여 하나의 송신국이 한반도 전체지형을 커버할 수 있다는 것을 의미하며, 우리나라에 도입하려는 중요한 이유 중 하나이기도 하다.

그리고 시스템의 특성상 장파를 사용하기 때문에, 빌딩 숲이나 산악지형에도 신호의 파가 쉽게

침투할 수 있으므로 위치 정보 등을 원하는 사용자에게 더욱 잘 전달할 수 있다.

(2) EUROFIX의 단점

전송속도가 19~47bps 정도이기 때문에, 선택적 이용성(SA, Selective Availability)이 존재하는 상황에서는 GNSS의 응용 데이터의 전송 속도가 너무 느린 단점이 있다. 그러나, 2000년 5월 미국이 GPS 신호에서 SA를 0.0으로 설정한다고 발표하였으므로, 조합된 시스템에서 DGPS와 DGLONASS의 정확성이 더욱 증가할 것이다. 이 경우 나머지 위치 에러는 주로 공간-공간 비상관성 때문에 발생한다. 그러나 주목할 만한 점은 GLONASS 신호 상에는 SA가 존재하지 않는 것이다. 이것은 GLONASS 보정 데이터가 GPS 보다는 수정치의 시간변화에 덜 민감하다는 것을 의미한다. 즉, GLONASS의 correction 데이터의 update 속도는 GPS의 약 1/10 정도만 소요된다[5].

2.4 EUROFIX 시스템의 데이터 변조과정

EUROFIX 데이터링크의 목적은 Loran-C국에서부터 사용자에게까지 정보를 전송하는 것이다. 다음의 그림 2에서 EUROFIX의 일반적인 데이터링크 모델을 보여준다.

먼저, 송신부에서는 정보가 CRC와 RS 코딩의 이중 순방향 에러 정정 과정을 통해 인코드되어 변조된다.

전송되는 동안에 신호들은 연속파 간섭(Continuous wave Interference)이나 교차율 간섭(Cross-rate Interference)등의 노이즈에 의해 변형될 수 있다. 수신부에서는, 신호들이 다시 복조되고 디코드되어, 원래의 정보로 복원된 후 사용자에게 제공된다[6].

(1) EUROFIX의 패턴 변조 조합과정

실제 신호를 이용해서 EUROFIX 데이터 링크를 시험하려면 원자 주파수 표준을 이용해서 우리의 원형 변조기를 송신기 신호와 동기시켜야 한다. 로컬 타이밍 장치가 각 펄스의 수신기가 수신되기 직전에 트리거(trigger) 펄스를 내보낸다.

Loran-C는 8개의 펄스를 가지며, 그 중에서 처음 2개의 펄스는 블링킹의 용도로써, 고장신호용이다. 즉, Loran-C 주국과 종국간의 신호전송 과정 중에 고장이 발생했을 경우, 이것을 알려주는 신호의 용도로서 사용된다[7].

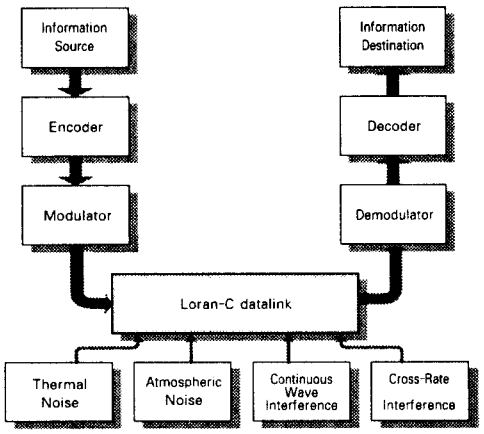

그림 2. Loran-C 데이터링크 모델
Fig. 2. The Loran-C datalink model

Loran-C 채널에서 데이터 전송을 하기 위한 변조 방식에는 일반적으로 3가지 방식이 있다. 첫째, 1μs 시간변이된 delay 및 advanced 펄스를 가지는 2-레벨 변조 방식이다. delay 펄스는 '-', advanced 펄스는 '+'로 표현된다. 둘째, 3-레벨 변조 방식으로서, 1μs의 delay, prompt 및 advanced된 펄스를 가진다. 이들 펄스는 delay 펄스가 '-', prompt 펄스가 '0', advanced 펄스가 '+'로 표현된다. 마지막으로, 5-레벨 변조방식이다. 이 변조방식은 3-레벨 변조방식에서 확장된 형태로, delay 펄스가 1μs과 2μs의 두 가지 펄스형태를 가지며, advanced 펄스도 1μs과 2μs의 두 개의 펄스형태로 나타난다. 여기에prompt 펄스가 추가되어 5가지 변조펄스를 이용하여 정보를 구성한다. 2μs의 delay 펄스는 '-2', 1μs의 delay 펄스는 '-1', prompt 펄스는 '0', 1μs의 advanced 펄스는 '+1', 2μs의 advanced 펄스는 '+2'로 표현된다.

본 논문에서는, 앞에서 설명한 3가지 변조 방식 중에서, 3-레벨 변조방식을 선택하여 EUROFIX의 변조과정과 변조패턴을 분석하였다. 아래 그림 3에 3-레벨 변조방식을 나타내었다.

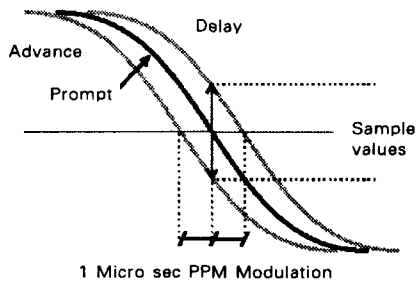

그림 3. 3-레벨 변조방식의 예
Fig. 3. 3-level Pulse Position Modulation

그 이유는 5-레벨 변조방식의 경우 패턴방식이 복잡할 뿐만 아니라, EUROFIX의 정보를 전송하는 데에는 5개의 펄스로 표현해야 할 필요가 없으리라는 판단에서였다. 2-레벨 변조방식보다는 대략 2가지 정도의 장점을 가지는데, 첫째, $\log_2 3=1.58$의 요인을 가지는 원시 데이터 율을 증가시키며, 둘 째, Loran-C 수신기에 수신되는 신호 손실이 적다는 것이다. 따라서 2-레벨 변조방식이나 5-레벨 변조방식은 ITU-R의 권고치를 만족시키지 못할 가능성이 크다고 판단되어졌다, 따라서, 3-레벨 변조방식을 이용하여 변조과정을 분석하였다.

나머지 6개의 펄스들은 3가지 레벨상태로 위치 변조된다. 즉. 각 트리거 펄스들은 +1, 0, -1 마이크로 초의 3가지 상태의 시간 전이를 가지며, 시간 전이로 변조된다. 펄스가 발생할 때마다 한 대의 400kHz 클록을 다시 시작하게 한다. 이 클록을 이용해서 Loran-C 신호를 샘플 채취하면 이 신호들이 시간적으로 전이된 것처럼 보이게 할 수 있다[8].

+1 마이크로 초의 시간전이를 갖는 Loran-C 펄스를 조기 펄스, 영의 시간 전이를 갖는 펄스를 prompt 펄스, 그리고 -1 마이크로초의 시간전이를 갖는 펄스를 지연 펄스라 한다.

각각의 트리거 펄스에 대한 시간 전이가 PC에 의해서 제어되므로 조기 펄스, prompt 펄스 그리고 지연 펄스는 메시지를 구성하기 위해서 송신된다.

6자리 디지털의 3가지 레벨상태는 729개(3^6) 데이터를 표현할 수 있다. 그 가운데 균형을 이루는 141개의 패턴들만을 사용한다. 여기에서, 패턴이 균형을 이룬다는 것은 +와 -펄스의 수가 동일하여, 6자리 펄스의 시간전이를 모두 합산하였을 때 0이 되는 것 , 즉 시간 전이가 어느 한 쪽으로만 치우쳐서 발생되지 않는 것을 의미한다. 만일 수신신호에 전체 시간전이가 0이 아니면, 어느 한 펄스가 잡음으로 여분의 천이가 일어났다는 것을 의미하며, 즉 패리티 에러가 발생한 것이 되므로 패리티 체크가 가능하여 진다.

이와 같이 729개중 균형을 이루는 패턴만을 추출하는 계산과정이 아래의 표 1에 나타나 있다. 이 과정을 통해서 141개의 균형화 된 패턴을 찾아낼 수 있다.

그러나, 위의 141개 패턴들 중 128개의 패턴만이 사용되어진다. 그 이유는 7비트의 이진 데이터를 표현하는 데에는 2^7인 128개의 패턴만 있으면 충분하기 때문이다.

7비트 심벌을 펄스 위치 변조 신호로 변경하는 예를 아래 표 2에 나타내었다.

표 1. EUROFIX의 3-레벨 변조패턴 계산과정
Table 1. Total number of balanced patterns in EUROFIX 3-level modulation

Modulation Pattern Combination	Example '0' is prompt pulse '+' is delayed pulse '-' is advanced pulse	Number of Combinations $number = \binom{6}{zero}\binom{6-zero}{plus}\binom{6-zero-plus}{minus}$
6 : *zero* 0 : *plus* 0 : *minus*	0 0 0 0 0 0	$\binom{6}{6}\binom{0}{0}\binom{0}{0}=1$
4 : *zero* 1 : *plus* 1 : *minus*	0 0 0 0 + -	$\binom{6}{4}\binom{2}{1}\binom{1}{1}=30$
2 : *zero* 2 : *plus* 2 : *minus*	0 0 + + - -	$\binom{6}{2}\binom{4}{2}\binom{2}{2}=90$
0 : *zero* 3 : *plus* 3 : *minus*	+ + + - - -	$\binom{6}{0}\binom{6}{3}\binom{3}{3}=20$
		total = 141

표 2. 7비트 이진데이터의 표현 예
Table 2. Representation of 7bit binary data

Modulation Pattern	Bit Representation
− − 0 0 + +	1 0 0 0 0 0 0
− − 0 + 0 +	0 1 0 0 0 0 0
− − 0 + + 0	0 0 1 0 0 0 0
− − + 0 0 +	0 0 0 1 0 0 0
: :	: :

이러한 변조 타입은 신호손실이 0.79dB 정도뿐이며, 수신기에서 신호의 손실 없이 쉽게 복원될 수 있다.

변조조합의 과정 후에는, 잘못된 신호를 선언하거나 삭제하기 위한 순방향 에러 보정 코드(Foward Error Corrections)나 7비트 순환임의체크(Cyclic Redundancy Check)를 통해서 63비트가 Reed-Solomon 부호기에 의해 디코드화 되어진다. 표 3은 변조패턴에 대해서 나타낸 것이다.

(2) 순방향 에러 정정[9]

Loran-C 송신기 채널은 모든 종류의 간섭의 영향을 받으며 그중 가장 큰 간섭은 Cross-Rate 간섭, 연속파 간섭 그리고 대기 소음이다. 따라서 위에서 언급한 원인에 의해서 초래된 에러를 보정하기 위해서 순방향 에러 보정 코드에 의해서 50비트 DGNSS 메시지를 복원해야 한다.

2가지 연속된 방식으로 EUROFIX 메시지에 대한 암호화가 이루어진다.

표 3. 변조패턴

Table 3. Modulation patterns

Decimal	Hexa-decimal	Pattern	Decimal	Hexa-decimal	Pattern	Decimal	Hexa-decimal	Pattern
0	0	--00++	43	2B	00-+-+	86	56	++-00-
1	1	--0+0+	44	2C	00-++-	87	57	++0--0
2	2	--0++0	45	2D	00+--+	88	58	++0-0-
3	3	--+00+	46	2E	00+-+-	89	59	++00--
4	4	--+0+0	47	2F	00++--	90	5A	-0000+
5	5	--++00	48	30	0+--0+	91	5B	-000+0
6	6	-0-0++	49	31	0+--+0	92	5C	-00+00
7	7	-0-+0+	50	32	0+-0-+	93	5D	-0+000
8	8	-0-++0	51	33	0+-0+-	94	5E	-+0000
9	9	-00-++	52	34	0+-+-0	95	5F	0-000+
10	A	-00+-+	53	35	0+-+0-	96	60	0-00+0
11	B	-00++-	54	36	0+0--+	97	61	0-0+00
12	C	-0+-0+	55	37	0+0-+-	98	62	0-+000
13	D	-0+-+0	56	38	0+0+--	99	63	00-00+
14	E	-0+0-+	57	39	0++--0	100	64	00-0+0
15	F	-0+0+-	58	3A	0++-0-	101	65	00-+00
16	10	-0++-0	59	3B	0++0--	102	66	000-0+
17	11	-0++0-	60	3C	+--00+	103	67	000-+0
18	12	-+-00+	61	3D	+--0+0	104	68	0000-+
19	13	-+-0+0	62	3E	+--+00	105	69	0000+-
20	14	-+-+00	63	3F	+-0-0+	106	6A	000+-0
21	15	-+0-0+	64	40	+-0-+0	107	6B	000+0-
22	16	-+0-+0	65	41	+-00-+	108	6C	00+-00
23	17	-+00-+	66	42	+-00+-	109	6D	00+0-0
24	18	-+00+-	67	43	+-0+-0	110	6E	00+00-
25	19	-+0+-0	68	44	+-0+0-	111	6F	0+-000
26	1A	-+0+0-	69	45	+-+-00	112	70	0+0-00
27	1B	-++-00	70	46	+-+0-0	113	71	0+00-0
28	1C	-++0-0	71	47	+-+00-	114	72	0+000-
29	1D	-++00-	72	48	+0--0+	115	73	+-0000
30	1E	0--0++	73	49	+0--+0	116	74	+0-000
31	1F	0--+0+	74	4A	+0-0-+	117	75	+00-00
32	20	0--++0	75	4B	+0-0+-	118	76	+000-0
33	21	0-0-++	76	4C	+0-+-0	119	77	+-+-+-
34	22	0-0+-+	77	4D	+0-+0-	120	78	-+-+-+
35	23	0-0++-	78	4E	+00--+	121	79	+-+--+
36	24	0-+-0+	79	4F	+00-+-	122	7A	-+-++-
37	25	0-+-+0	80	50	+00+--	123	7B	+--+-+
38	26	0-+0-+	81	51	+0+--0	124	7C	-++-+-
39	27	0-+0+-	82	52	+0+-0-	125	7D	+--++-
40	28	0-++-0	83	53	+0+0--	126	7E	-++--+
41	29	0-++0-	84	54	++--00	127	7F	+0000-
42	2A	00--++	85	55	++-0-0			

첫째, 내부 코드는 하나의 에러를 탐지할 수 있는 하나의 단순한 패리티 체크를 할 수 있는 패턴으로 이루어진 암호코드이다. Loran-C 펄스의 변조는 균형화된 패턴으로 바뀐 후, 패리티 체크를 수행한다.

둘째, 외부 코드는 에러 집단을 보정할 수 있는 Reed-Solomon 코드이다. 대용량의 데이터 에러를 처리하는 단계로서, 7비트를 한 개의 심벌로 하여 집단 에러를 보정한다. 패리티의 양은 데이터 링크의 필요한 성능에 의존하며 아직도 연구의 대상이다[10].

그림 4는 EUROFIX 데이터 링크 상에서의 정보의 부호화 및 변조과정을 나타낸 것이다.

a) 각 Loran-C의 처음 2개의 펄스들을 제외시킨다.
b) GRI당 수신된 데이터를 유효화 시키기 위하여 패리티 체크를 한다.
c) 잘못 변조된 펄스들을 정정하기 위하여 Reed-Solomon 코드를 수행한다.

(3) CRC

CRC 처리는 입력 데이터를 시프트한 후, 이를 다시 Exclusive-OR 처리한다. 이 Exclusive-OR 출력은 다시 시프트되어 더 이상 입력이 없을 때까지 궤환되는 형태로 수행된다. 따라서 CRC에서 가장 중요한 성질은 데이터의 계산이 궤환 구조로 구성되어 있으므로, 현재 CRC값의 상태는 과거의 상태에 강하게 의존하므로 신뢰도가 높다고 볼 수 있

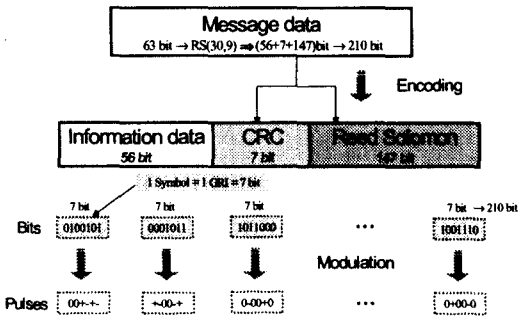

그림 4. Loran-C 채널의 인코딩 및 변조

Fig. 4. Encoding and Modulation for the Loran-C data channel

다. CRC 계산 알고리즘을 다음과 같이 요약할 수 있다[11].

각각의 CRC 생성다항식을 $P(X)$라 하고, 데이터 다항식을 $G(X)$라 하면,

a) 데이터 $G(X)$에 Xn-kf를 곱한다.
여기서, $n-k$는 잉여비트의 개수이다.

b) 승산결과 $Xn-k[G(X)]$를 생성 다항식 $P(X)$로 둔다.

c) 몫은 무시하고 나머지 $C(X)$를 데이터 다항식 $G(X)$가 0이 될 때까지 a)의 결과에 가산하여 생성다항식 $F(X)$를 계산한다.
여기서, Exclusive-OR는 캐리(Carry)를 고려하지 않는 Modulo-2 Exclusive-OR의 연산 방법을 사용하였다[12].

본 논문에서는 EUROFIX 데이터링크 상에서 내부적으로 발생하는 에러를 정정하기 위해서 7비트의 잉여비트를 추가하는 다음 다항식을 이용하였다.

$$G(x) = x^{14}+x^{13}+x^{7}+x^{5}+x^{4}+x^{1}$$

Modulo-2 Exclusive-OR의 연산 방법은 다음과 같다.

T = 전송될 (k+n) 비트
M = k 비트 메시지, T의 첫 k 개 비트
F = n 비트 FCS, T의 마지막 n 개 비트
P = $(n+1)$ 비트의 패턴, 즉, 위에서 말한 미리 정해진 젯수(divisor)

위와 같이 변수를 정한 다음, T/P가 나머지를 가지지 않게 하려고 한다.

$$T = 2^{n}M + F$$

즉, M에 2n을 곱함으로써 M을 n 비트 왼쪽으로 시프트하고 0을 채워 넣는다. F를 더하는 것은 M과 F를 접합(concaternation)시키는 것이 된다. 이제 T가 P로 나누어 떨어지도록 한다. $2^{n}M$을 P로 나누면 다음과 같다.

$$\frac{2^{n}M}{P} = Q+\frac{R}{P} \quad \cdots\cdots (1)$$

몫과 나머지가 있으며, 2진 나눗셈이므로 나머지는 젯수보다 언제나 한 비트 적다. 이 나머지를 FCS로 사용하면, 다음과 같다.

$$T = 2^{n}M + R$$

질문 : 이 R이 우리의 조건을 만족하는가? 이것을 알아보기 위해, 다음 식

$$\frac{T}{P} = \frac{2^{n}M+R}{P}$$

에 식(1)을 치환하면, 다음을 얻는다.

$$\frac{T}{P} = Q+\frac{R}{P}+\frac{R}{P}$$

어떤 2진수도 2배했을 때 모듈로 2는 0이 된다. 따라서,

$$\frac{T}{P} = Q+\frac{R+R}{P} = Q$$

이 된다. 나머지는 없고, 따라서 T는 P로 나누어 떨어진다. 이처럼 FCS는 쉽게 생성될 수 있다. 단순히 P로 $2^{n}M$을 나누고, 그 나머지를 FCS로 사용한다. 수신시 수신기는 T를 P로 나누었을 때 나머지가 없으면 에러가 없다. 그림 4에 다항식 $P(X)=\sum_{i=0}^{n} a_i X^i$에 대한 CRC의 시프트레지스터 구현의 일반적인 구조를 보인다. 여기서 $a_0=a_n=1$이고 다른 a_i는 0이거나 1이다.

(4) Reed-Solomon 코드의 인코딩 및 디코딩

Reed-Solomon 부호는 CD(Compact Disk), digital VCR, DAT(Digital Audio Tape) 및 HDB등의 시스템에서 오류 정정 부호로 사용되고 있다. 이 부호는 특수한 조건을 만족하는 비2진(nonbinry)BCH 부호이다.

즉, BCH 부호와 마찬가지로 길이가 $q^{m}-1$인 q^{m}-ary 부호어이다.

따라서 $GF(q^{m})$에서 정의된다는 점등은 BCH

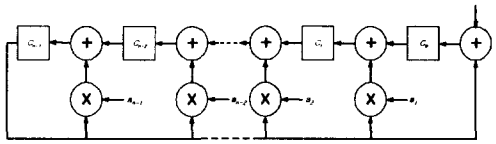

그림 5. CRC 알고리즘
Fig 5. CRC Algorithm

부호의 특성을 그대로 보여주고 있다.

● RS 코드의 인코딩

Field $GF(p)$에서의 (n, k) RS-Code는 n개의 심벌(symbol)들을 원소로 갖고 있다. 여기서는 $p=2^m$인 경우만은 고려한다. $GF(2^m)$의 각 원소는 m개의 비트로 이루어져 있으며 다음과 같은 변수들로 구성되어진다.

첫째, 부호장 n은 2^m-1 심벌들로 구성되어 있고 이것을 비트(bit)로 바꾸면 $m(2^m-1)$ 비트들로 이루어진다.

둘째, 정보장 k는 $n-2t$ 심벌들로 구성되며 즉, $m(n-2t)$ 비트들로 이루어진다.

셋째, 검사장 $n-k$는 $2t$ 심벌들로 되어있고 이것은 $m2t$ 비트들로 되어있다.

넷째, 최소거리 $d_{\min}$은 $2t+1$이다.

RS 부호의 생성 다항식은 다음식과 같다.

$$g(x)=\prod_{i=1}^{2^m-1-k}(x+\alpha^{b+i})=\sum_{i=0}^{2t}g_i x^i \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 α는 $GF(2^m)$의 primitive element이고 b는 양의 정수이다[13].

본 논문에서는 EUROFIX에서 사용되는 $GF(2^7)$의 (14 ,9) 2중 오류 정정 RS 부호기의 구성을 위해서 생성 다항식을 결정하기 위해 다음의 원시 다항식을 사용하였다.

$$p(\alpha)=1+\alpha^3+\alpha^7=0 \quad \cdots\cdots (3)$$

식 (3.9)로부터 생성다항식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} g(x)&=(x+\alpha)(x+\alpha^2)(x+\alpha^3)(x+\alpha^4)\\ &=\alpha^{10}+\alpha^{99}x+\alpha^{41}x^2+\alpha^{94}x^3+x^4 \quad \cdots\cdots (4)\end{aligned}$$

또한, 단일 입력 심벌은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A(\alpha)&=a_0+a_1\alpha+a_2\alpha^2+a_3\alpha^3+a_4\alpha^4+a_5\alpha^5+a_6\alpha^6\\ a_i&\in GF(2) \quad \cdots\cdots (5)\end{aligned}$$

식(4)와 식(5)의 각 계수와의 곱은 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \alpha^{10}A(\alpha)=&(a_1+a_4+a_5)+(a_2+a_5+a_6)\alpha+(a_3+a_6)\alpha^2\\ &+(a_0+a_1+a_5)\alpha^3+(a_1+a_2+a_6)\alpha^4\\ &+(a_2+a_3)\alpha^5+(a_0+a_3+a_4)\alpha^6 \quad \cdots\cdots (6)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha^{99}A(\alpha)=&(a_0+a_1+a_2+a_3+a_4)\\ &+(a_0+a_1+a_2+a_3+a_4+a_5)\alpha\\ &+(a_0+a_5+a_6)\alpha^3+(a_0+a_1+a_6)\alpha^4\\ &+(a_0+a_1+a_2+a_3+a_4+a_5+a_6)\alpha^2\\ &+(a_0+a_1+a_2)\alpha^5+(a_0+a_1+a_2+a_3)\alpha^6 \quad \cdots\cdots (7)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha^{41}A(\alpha)=&(a_0+a_1+a_3+a_5)+(a_1+a_2+a_4+a_6)\alpha\\ &+(a_2+a_3+a_5)\alpha^2+(a_1+a_4+a_5+a_6)\alpha^3\\ &+(a_0+a_2+a_5+a_6)\alpha^4+(a_1+a_3+a_6)\alpha^5\\ &+(a_0+a_2+a_4)\alpha^6 \quad \cdots\cdots (8)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha^{94}A(\alpha)=&(a_3+a_4+a_5+a_6)+(a_0+a_4+a_5+a_6)\alpha^2\\ &+(a_0+a_1+a_2+a_3+a_4+a_5)\alpha^3\\ &+(a_0+a_1+a_2+a_3+a_4+a_5+a_6)\alpha^4\\ &+(a_1+a_2+a_3+a_4+a_5+a_6)\alpha^5\\ &+(a_2+a_3+a_4+a_5+a_6)\alpha^6 \quad \cdots\cdots (9)\end{aligned}$$

● RS 코드의 디코딩

수신벡터는 전송로 상에서 잡음의 간섭여하에 따라 원래의 부호 벡터와 같을 수도 있고 다를 수도 있다.

전송한 부호다항식 $c(x)$, 수신된 부호다항식을 $r(x)$라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$r(x)=g(x)q(x)+s(x) \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서, $q(x)$는 몫 다항식이고, $s(x)$는 나머지 잉여다항식이다.

식(10)에서 $s(x)$를 오증(syndrom)이라 하며, $n-k-1$ 차 이하가 된다. 오증 $s(x)$가 영(zero)일때는 $r(x)$가 $g(x)$의 배수이므로 $r(x)=c(x)$가 되어 전송벡터와 일치하게 된다. 그러나, $s(x)\neq 0$일 때는 전송로의 불량으로 인해 원래의 부호다항식이 변형

된 상태인 $r(x) \neq c(x)$이므로 오류 정정을 시행해야 한다.

일반적으로 RS 부호의 복호 순서를 정리하면 다음과 같다[14].

첫째, 수신 벡터 $r(x)$로부터 오증 $s=(s_0, s_1, \cdots, s_{2t})$, 를 계산한다. (syndrome computation)

둘째, 알고리즘을 이용하여 오증 요소 s_i, $(1 \leq i \leq 2t)$로부터 오류위치다항식을 구한다. (error location polynomial)

셋째, 오류위치 다항식의 근을 구함으로써 오류위치 (error location) 및 오류치 (error value)를 계산한다.

넷째, 오류형태 $e(x)$를 결정하고 $c(x)=r(x)+e(x)$에 의해 오류를 정정한다. (error correction)

그림 6은 일반적인 RS 코드의 디코딩 과정을 나타낸 것이다.

(5) DGPS 보정코드 발생기

보정 신호는 RTCM SC-104 타입 9 메시지 형식으로 형성된다. EUROFIX 메시지를 널리 이용하려면 해독된 메시지를 표준 RTCM SC-104 타입 9에 맞추어, 표 4. 와 같이 EUROFIX 메시지 포맷(변형 타입 9 메시지)으로 형식을 재구성해야 한다.

2.5 EUROFIX 도입시의 비용 효율성

NELS에서는 EUROFIX를 서비스하기 위해 4개의 Loran-C국에서 소요된 총 비용이 750,000 US 달러가 들었다고 발표하였다. 자세히 설명하면, DGNSS 참조국의 설비를 위한 자금을 포함해서 단일국 당 18,8000 US 달러보다 훨씬 적은 비용이 들었음을 의미한다. 이것은 운영 중에도 마찬가지로 적용되는 것으로서 비용이 거의 들지 않을 것으로 예상되는 점이다.

예를 들어, 1000km×1000km×3.14 평방의 지역을 커버하는 경우, Loran-C국을 이용하는 EUROFIX의 경우 1개의 Loran-C 단일국이 필요하나, 200km의 커버 범위를 가진 라디오 비컨 타입의 경우에는 DGPS 국이 25개가 필요다. 두 시스템을 비용측면에서 살펴보았을 때, 거의 비교 할 수가 없다고 보여진다.

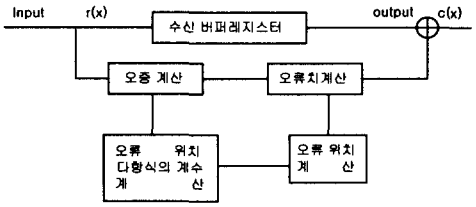

그림 6. 일반적인 RS 코드의 디코더
Fig. 6. Decoder of general RS code

표 4. EUROFIX 메시지 포맷
Table 4. EUROFIX Message Format (based on RTCM type-9 message)

Function	Number of bits	Resolution	Range
Message type	3		8types of message
Modified Z-count	13	0.6seconds	0-359904
Scale factor	1		
UDRE	2		4states
Satellite ID	5		32satellites
Peseudo-Range Correction	16	0.02 or 0.32m	±655.34 or 10485.44m
Range Rate Correction	8	0.002 or 0.032m	±0.254 or 4.064m/s
Issue of Data	8		
CRC	7		Data integrity
Total	63		

제3장 EUROFIX 도입을 위한 시스템 구성과 실천 계획

한국에 EUROFIX를 도입하기 위한 설치계획은 다음과 같다.

첫 단계는 2001년 8월 20일 한국통신과의 계약 통신 선로에 의한 장기곶 DGPS국과 포항의 Loran-C 국간의 통신라인 연결할 계획이다.

두번째 단계는 2001년 9월 1일부터 5일까지 변형된 타입 9 형식의 메시지와 Loran-C 전송의 변조 데이타를 타입 9 형식의 메시지로 전환하는 작업을 할 예정이다.

세번째 단계는 2001년 9월 5일부터 10일까지 EUROFIX 복조기를 이용한 통합 수신기의 시스템

테스트 실시하려고 한다.

네번째 단계는 2001년 9월 10일에 EUROFIX 전송실험의 모의실험에 착수하려고 한다.

마지막으로, 2001년 9월 17일부터 21일까지 EUROFIX를 소개하고, FERNS 멤버들에게 추천하기 위해서 제10차 FERNS협의회에 각 국의 멤버들을 초청하여 시연회를 할 계획이다.

EUROFIX 모의실험을 위한 시스템구성에 따른 예상비용은 표 5와 같다.

표 5. 테스트 비용
Table 5. Cost for Test

Item	Maker	Price
New Timer Kit for Eurofix	Megapulse Inc.	Abt. 6,000.-USD
Eurofix Operation System with short term license(just 60 days S/W License for Testing)	Reelectronika	Abt. 5,000.-USD
Permanent or Long term license of S/W	Reelectronika	Megotiate with Reelectronika
Communication Line Charge	Korea Telecom.	Abt. 50.-USD per Month.
Trip Cost, etc...		Abt. 1,000.-USD
		Abt. 57,050. -USD+ α

제4장 NDGPS를 위한 해상·내륙 비교 측정결과

4.1 내륙에서의 DGPS의 필드측정 결과

현재 우리나라에서는 해상의 DGPS국을 이용하여 내륙도 커버하려는 NDGPS(Nationwide DGPS) 계획을 구상 중에 있다. 따라서 해상 DGPS국이 해상과는 달리 내륙에서는 어떤 영향을 미치는 지 측정해 보았다.

해상 DGPS국은, 해상에서는 45m 타워형 안테나의 경우, 송신기 출력이300w, 안테나 효율 10%, 해상경로의 경우 이용범위가 100NM(180km)이다.

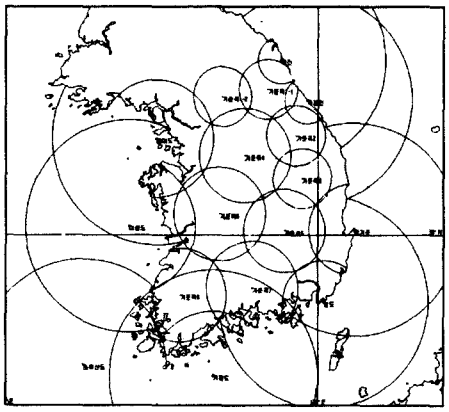

그림 7. 내륙에서의 DGPS 필드측정 결과
Fig. 7. Measurement result of DGPS field strength in land

하지만, 위 그림 7에서 보는 바와 같이 해상 DGPS국을 내륙에서 필드측정 해 본 결과, 이것이 내륙전파일 경우에는 산악지형의 경우 50km, 평평한 지면의 경우 80km정도로 이용범위가 줄어들었다.

따라서, 측정결과에 의하여 분석해 본 결과, 한국전체의 내륙지형을 커버하기 위해서는 9개의 부지가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 이것은 비용 면에서 효율적이지 못하다는 결론이 나왔다.

4.2 NDGPS의 최종계획을 위한 제안

앞 절에서 살펴본 바와 같이, 이용범위나 비용면에서 비효율적인 것을 그림 8과 같이, 6개의 요소로 된 우산형의 90m 모노폴 형의 안테나로 수정의 안테나는 우산살이 3개인 안테나였다. 이렇게하는 것을 제안하고자 한다. 앞에서 수정되기 전 할 경우, 안테나의 효율이 10%에서 74%로 높아진 것을 알 수 있었다. 비용 또한 1개의 부지 당 1,500,000 US 달러의 비용이 들것으로 예상된다.

-Distinguished parameters :
C_e=2140 pf
f_r=435.3kHz
R_r=5.76*
h_e=61m
R_g=2.1*(Earth radial 100m 30 radials)
Estimated efficiency=74%

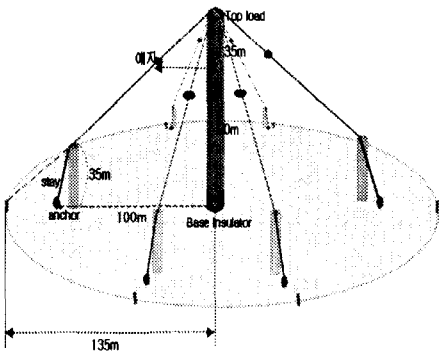

그림 8. 우산형 탑-로드의 90m 모노폴 형의 안테나
Fig. 8. Antenna of 90M monopole with 6-element umbrella top-load

300W 송신기를 이용한 한국의 NDGPS 계획에서 90m 안테나를 사용할 경우, 최종적인 제안은 DGPS국의 부지수를 5개에서 9개로 축소할 수 있었다. 그러나 그림 9에서 보는 바와 같이, DGPS 국만으로는 이용지역 중복화가 불가능하다. 이것이 의미하는 것은 어느 한 개의 국(station)이 고장 시 가까운 다른 국들이 고장난 지역의 신호범위를 커버하여 서비스의 이용율을 계속 유지하도록 할 수 있느냐는 것이다. 즉, 해상 DGPS국의 서비스를 내륙에서 이용하기 위해 부지(site) 수는 축소할 수 있으나 서비스의 이용지역 중복화는 불가능하다는 것이다. 따라서, 앞에서의 연구결과에 따라 이용범위의 중복화를 극대화하기 위해서는 EUROFIX를 도입하는 것이 효율적일 것이라고 판단된다.

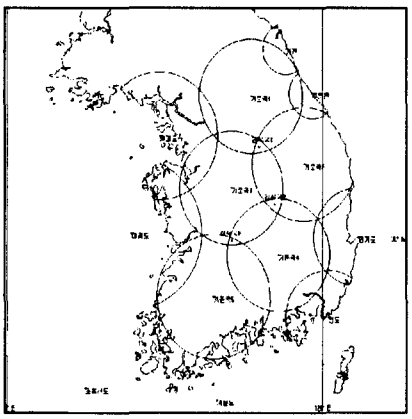

그림 9. NDGPS 경우의 측정결과
Fig. 9. Measurement result of NDGPS

제5장 결 론

본 논문은 한국에 EUROFIX의 도입을 위한 사전 단계로써, EUROFIX의 데이터링크상의 송신 및 수신 과정에서의 변조 및 에러 정정에 관한 특성을 연구하고, EUROFIX 시스템의 도입을 주도한 필자의 진행과정과 비용 대 투자효과에 대해서 분석하였다.

그 결과 DGNSS 데이터를 Loran-C 채널로 전송하는 서비스가 가능하다고 판단되었으며, 기본적인 Loran-C 시설을 그대로 활용할 수 있어 비용 측면에서도 매우 효율적이라고 판단되었다. 또한, 1000km 정도의 광범위한 신호의 서비스 커버범위를 가지므로 북한을 포함하여 한반도 전체지역을 커버할 수도 있다고 예측되었다.

한편, 해상의 DGPS국을 이용하여 내륙도 커버하려는 한국의 NDGPS 계획에서, 비용효율성의 측면을 강조하여 안테나를 수정함으로써, DGPS국의 부지수를 5개에서 9개로 축소할 수 있었다. 그러나 이와 같은 수의 DGPS 국만으로는 서비스의 이용지역 중복화는 힘들것으로 보인다. 따라서, DGNSS 서비스의 이용범위 중복화를 최대화하기 위해서는 EUROFIX를 도입하는 것이 효율적일 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

1) Willigen, D. van, "EUROFIX", The journal of Navigation, Vol. 42, No. 3, September 1989.
2) Beekhuis, L, J and D. and Willigen, "EUROFIX", GPS Conference of the ION, Proceedings of ION GPS-93, Salt Lake City, September 22-24, 1993.
3) Willigen, D. van, "EUROFIX : Differential Hybridized Integrated Navigation", Proceedings of the 18th Annual Technical Meeting of the Wild

Goose Association, Hyannis, MA, October 29-November 1, 1989.

4) Willigen, D. van, "EUROFIX : A Synergism of Navstar/GPS and Loran-C", Kinematic Systems in Geodesy, Surveying, and Remote Sensing, 1991 Springer Verlag, New York, Inc.

5) Willigen, D. van, "Integrated EUROFIX and IALA's DGPS : Improved Integrity and Availability", Proceeding of the NAV-91 Satellite Navigation Symposium of the Royal Institute of Navigation Conference, Paper No. 43, 6-8 November 1991, London, UK.

6) Beekhuis, L. J and H. J. Andersen, "EUROFIX and the Effect of Cross-Rate Interference", Proceedings of the 22nd Annual technical Meeting of the Wild Goose Association, Santa Barbara, CA, October 18-21, 1993.

7) Willigen, D. van, G.W.A. Offermans, E.J. Breeuwer, J.H. Weber and J.H. Andersen, "EUROFIX : GNSS Augmented Loran-C & Loran-C Augmented GNSS", Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Nation, Anaheim, CA, January 18-20, 1995.

8) Andersen, J.H. and C.M. Sweet, "A Prototype Loran Augmented GPS", Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation, Anaheim, CA, January 18-20, 1995.

9) Willigen, D. van, E.J Breeuwer, G.W.A Offermans, J. Sierenveld and J. de Zwart, *"EUROFIX Information Paper"*, TVS Memorandum,, No, REP9606A , June, 1996.

10) Offermans, G.W.A., D. van Willigen, E.J. Breeuwer and J.H. Weber, "Error-Correction Strategies for the EUROFIX Navigation System", Proceedings of the 16th Symposium on Information Theory in the Benelux, Ma 18-19, 1995, Nieuwerkerk a/d IJssel, ISBN 90-71048-11-X.

11) 안요찬, "순환잉여도 검사 방법을 이용한 데이터 보호 시스템 설계", Journal of the Institute of Industrial Technology (Taejon Univ.), J.of IIT No. 8 : 153~166, 1994

12) William Stallings, 김종상 역, "Data and Computer Communications", Macmillian, 선중당, Fourth Edition, pp 144~151, 1995

13) 임구미 외 1인, "유한체 Fourier 변환을 이용한 RS 부호에 관한 연구" 서울 산업대한 논문집 제 34집, pp117~124, 1991

14) M. Y. RHEE, "Error Correcting Coding Theory", McGraw-Hill, New York, 1989