

## 부호분할다중화 전송방식의 대전자전 능력 분석

ECCM Performance of Code Division Multiplexing Transmission Method

**이성민\***                      **김환우\*\***  
Lee, Seong-Min                Kim, Whan-Woo

### ABSTRACT

In this paper, we have introduced a Code Division Multiplexing transmission method which is similar to OFDM and analyze ECCM performances. We have verified CDM transmission method has a good LPI performance and a feasible ECCM performance. This capability could be useful for reduction of RF interference which occurs when many equipments operate densely in small area. The equipment that uses CDM transmission method supports variable transmission rate and order-wire effectively and conveniently to user. This CDM method has similar ECCM performance comparing to serial DS method. CDM method has good multi-path signal processing capability and could be useful for mobile communication environment.

주요기술용어(주제어) : CDM(Code Division Multiplexing 부호 분할 다중화), LPI(Low Probability of Intercept 저 피탐지율), ECCM(Electro-Counter-Counter Measure 대전자전), Interference(간섭)

### 1. 머리말

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신방식은 다중경로 환경을 극복하고 수신기의 등화기 구조를 현저히 줄일 수 있어 근래에 이동통신용 기술로 널리 활용되는 기술이다. OFDM은 본래 전송할 데이터를 병렬화하여 낮은 데이터율로 바꾸고 각각의 데이터를 부반송파에 실어 OFDM 심벌로 바꿔 데이터를 다중화하여 전송한다<sup>[1~3]</sup>.

이와 유사하게 상용 이동통신시스템의 기지국에서

하향 링크 구조에서 코드 분할 다중화(CDM : Code Division Multiplexing) 방식을 사용하며, 사용자별로 직교 부호를 사용한 채널을 통해 다수의 사용자에게 데이터를 동시에 전송하는 방식을 사용한다<sup>[4]</sup>.

상용 이동통신 기지국의 하향링크 방식과 달리, 동일 목적지에 데이터를 병렬화하고 여러 개의 직교 코드로 구성된 채널을 사용하여 데이터를 동시에 전송하는 방식이 '90년대 후반부터 배치 운용중인 군전송통신체계의 RLI(Radio Link Interface) 장비에 적용된다. 적용된 기술은 가변 전송율을 제공하며 전송속도가 낮을 때와 전송속도가 높을 때 LPI(Low Probability of Intercept)능력과 간섭잡음에 대응하는 능력이 다르다. 본 논문은 먼저 OFDM 방식과 CDM 다중전송 방식을 소개하고, CDM 다중 전송방식의 대전자전 능력에 대해 분석한 후, CDM 방식과 직렬

\* 2008년 7월 18일 접수~2008년 10월 10일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

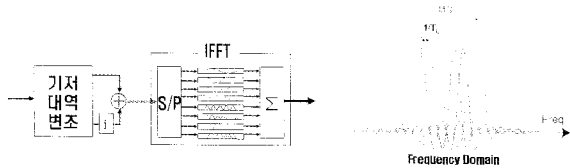
\*\* 충남대학교(Chung Nam Univ.)

주저자 이메일 : sunrise@add.re.kr

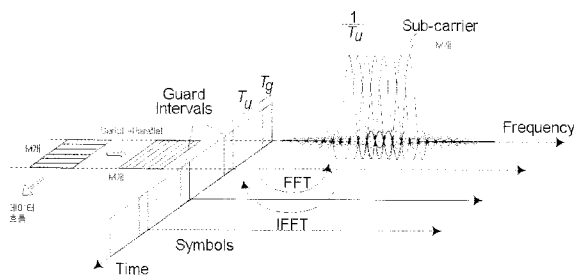
DS 방식의 특성을 비교해 본다.

## 2. OFDM과 CDM 전송방식

OFDM 전송방식은 데이터를 고속으로 전송할 때, 심벌주기가 짧아지고 다중 경로를 겪는 무선 환경에서 신호 왜곡이 심해지며 등화기 구조가 복잡해져 전송 품질을 향상하기 어려운 한계를 극복하는 기술로 사용된다. 그림 1에 OFDM 방식에서 신호를 전송하는 개념을 나타낸다. 입력 데이터는 직렬에서 병렬 데이터로 바뀌고, 여러 부반송파에 병렬 데이터를 곱한 후 합산하여 무선으로 전송한다. 병렬 데이터는 BPSK, QPSK, MPSK, QAM 등의 변조신호가 될 수 있으며, 부반송파 인덱스 별로 같은 변조신호가 사용될 수도 있고 다른 변조신호가 신호가 사용될 수도 있다. 그림 2는 OFDM 신호의 시간-주파수 변환관계를 개념적으로 나타낸다.



[그림 1] OFDM의 부반송파에 다중 전송개념과 주파수 스펙트럼



[그림 2] OFDM 신호의 시간-주파수 변환관계

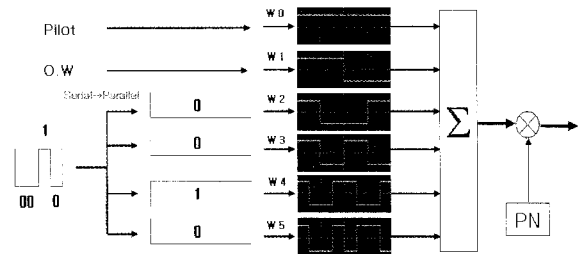
OFDM 방식이 다중 경로신호가 있을 때 그 영향을 줄이기 위해 보호구간(Guard Interval) 또는 순환확장(Cyclic Prefix)을 사용하여 심벌 간 간섭과 부반송파 간 간섭을 상쇄하는 방식을 사용한다. 그림 2에

시간축에서 심벌의 적분구간( $T_u$ )과 보호구간( $T_g$ )을 나타낸다.

CDM 전송방식을 사용하는 RLI 장비는 파일럿, 다합선, 데이터를 병렬로 동시에 전송하며 소규모 국부 간선 용도로 운용되며 높은 이득의 지향성 안테나를 사용한다. RLI 장비의 일반적인 제원은 표 1과 같다<sup>[3]</sup>. 그림 3에 간략화 한 RLI 장비의 CDM 전송방식을 개념적으로 나타낸다.

[표 1] RLI 장비의 제원

항 목	제 원
데이터 전송속도	256kbps ~ 1Mbps
운용 주파수	2025 ~ 2066MHz 2249 ~ 2290MHz
대역폭/Ch	4.1MHz
확산 칩율	4Mcps
다합선	32kbps CVSD
안테나 형태	그물형 반사판
안테나 이득	22dBi
안테나 3dB 빔폭	±6°
출력	1watt



[그림 3] CDM의 코드에 다중 전송 개념

입력 데이터 열은 저속의 병렬 데이터 열로 바뀌고 병렬의 데이터는 각각 다른 Walsh 부호를 곱하여 합산된 후 출력된다. 상용 이동통신 하향링크에서는 입력 데이터가 사용자 별로 독립적으로 입력되지만 RLI 장비의 입력 데이터는 하나의 출처로부터 출발하여 동일한 목적지로 전송되고 수신측은 모든 Walsh 채

널을 수신하여 병렬 데이터를 직렬 데이터로 바꾼다. 입력데이터 중 2개 채널은 파일럿 채널과 타합선 용도로 사용된다. 직렬을 병렬화 하는 장치는 입력 데이터는 속도에 관계없이 병렬화한 후 속도가 128kbps가 되도록 구성된다. 즉 입력 전송속도가 256kbps이면 2bit의 직렬 데이터를 병렬 데이터로 만들고, 1Mbps이면 8bit의 직렬 데이터를 병렬 데이터로 만든다. Walsh 부호율은 4Mcps 이다. 병렬화 데이터율은 128kbps이고 Walsh 부호의 칩율은 4Mcps이므로 병렬화 데이터는 32칩의 Walsh 코드에 의해 확산된다. Walsh 부호와 PN 부호의 칩율은 동일한 4Mcps이며, PN 부호는 대역확산을 위한 부호라기보다 Scramble을 위한 용도라고 할 수 있다. Walsh 부호의 사용 개수는 병렬화된 데이터와 파일럿, 타합선의 용도로 전송속도마다 달라진다. 전송속도별로 소요되는 Walsh 부호의 수는 표 2와 같다.

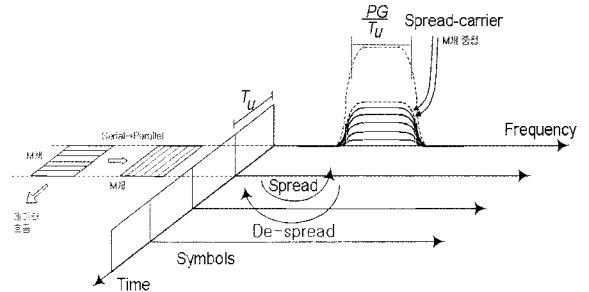
[표 2] 전송속도별 Walsh 사용 부호 수

전송속도	Walsh 부호	부호 수
256kbps	0 : Pilot	4
	1 : O.W	
	2~3 : Traffic	
512kbps	0 : Pilot	6
	1 : O.W	
	2~5 : Traffic	
1Mbps	0 : Pilot	10
	1 : O.W	
	2~9 : Traffic	

CDM 전송 구조의 시간 신호와 주파수 신호 사이의 변환 관계는 그림 4와 같다.

입력 데이터와 파일럿, 타합선 신호는  $M$ 개의 병렬 데이터로 바뀌며, 각각의 병렬화 데이터는 32의 확산 부호로 대역 확산되며, 동일 주파수 대역에 다른 병렬화 데이터와 파일럿과 타합선의 확산신호가 중첩된다. 각 가상의 Walsh 채널은 채널별로 전력 제어되며 합산된 출력은 최대 1watt 까지 증폭되어 무선으로 전송된다. 중첩된 스펙트럼은 최대 32개까지 중첩될 수

있으며, 이 경우 CDM 전송방식은 OFDM 방식과 동일한 데이터 전송 능력을 갖는다.



[그림 4] CDM 전송방식의 시간-주파수 영역 변환 관계

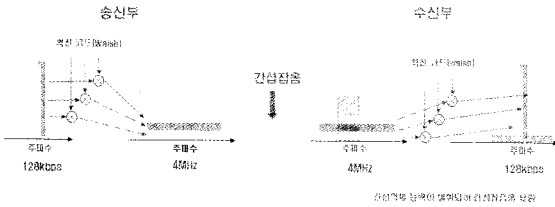
### 3. CDM 다중 전송방식의 대전자전 능력 분석

상용의 이동통신시스템에서 음성 활성화에 따른 가변 전송을 지원방법은 하향 링크에서는 데이터를 반복 전송하고 전력을 제어함으로써 실현하고, 상향 링크에서는 무선 송신의 ON/OFF duty 사이클을 조정함으로써 실현한다<sup>[4]</sup>. 이러한 가변 전송을 지원방법은 직관적으로 처리이득을 이해할 수 있게 해준다. 그러나 CDM 방식에 의한 처리이득과 대전자전 능력은 직관적으로 이해하기에 다소 어려움이 있다.

이제 전송 데이터를 병렬화하여 전송율을 일정하게 낮추고 다시 대역 확산하는 CDM 전송방식이 과연 어느 정도의 대전자전 능력이 있을지 알아본다. CDM 전송방식이 가변 전송율을 지원하지만 공통된 제한 사항은 어떤 전송속도로 데이터를 전송하더라도 최대 무선 출력이 1watt로 고정된다는 점이다. 다중 Walsh 코드로 다중 전송방식을 사용하면 각각의 가상 채널의 출력은 전체 무선출력 1watt를 균등히 나누어 송신하게 된다. 예를 들어 256kbps로 전송하는 경우 파일럿에 1/4, 타합선에 1/4, 2개의 Traffic에 1/4watt씩 무선 전력을 균등히 분배받아 전송된다. 데이터 채널이 역확산되면서 간섭을 억제하는 능력으로부터 역으로 처리이득을 유추하고자 한다.

CDM 전송방식이 DS-CDMA 방식과 유사한 대역 확산 능력이 있으므로, CDM 전송방식 역시 간섭을

억제하는 능력도 보유한다. CDM 전송방식이 대역 확산 및 역확산하고 간섭을 억제하는 원리는 다음 그림 5와 같다.



[그림 5] CDM 방식의 역확산에 의한 간섭억제 원리

128kHz의 협대역 병렬화 다중화 신호는 32의 처리이득을 갖는 확산 대역신호로 바뀌어 전송된다. 수신부에서는 4MHz의 확산 대역 신호를 역확산하여 다시 128kHz의 협대역 신호로 바꾸어 병렬 전송된 데이터를 추출한다. 이 과정에서 기저대역의 256kHz~1Mbps의 데이터가 4MHz 확산 대역에 에너지가 확산되므로, 산술적인 처리이득은 최소 6dB에서 최대 12dB가 된다는 것을 유추할 수 있다. 다만 파일럿과 타합선 신호를 병행하여 전송함으로써 처리이득이 다소 저하될 것을 감안하여야 한다.

RLI 장비가 DS 대역확산 기술을 사용함에 따라 주파수 전력밀도가 낮아진다. 256kbps의 전송속도를 지원하기 위해 4MHz 주파수를 사용하는 CDM 방식과 256kHz 주파수를 사용하는 BPSK 변조방식을 사용하는 경우를 비교하면 트래픽 데이터만을 고려하면 CDM 방식은 직렬 DS방식과 같이 BPSK 방식보다 16배 주파수 대역에 확산하므로 주파수 전력밀도가 12dB 낮아진다. CDM 방식이 파일럿과 타합선 전력을 추가로 사용할 경우까지 고려한다고 해도 CDM 방식이 BPSK 변조방식보다 주파수 전력밀도가 9dB 낮아진다. 즉 CDM 방식은 대역확산에 의한 LPI 능력이 있다. 단순하며 통상적인 스펙트럼 분석과 같은 기술만으로는 신호검출이 어려우며, 더 높은 이득을 갖는 안테나를 사용하여 수신 주파수 전력밀도를 높여야 할 것이다. 또한 RLI 장비는 높은 이득을 갖는 안테나를 사용하기 때문에 원치 않는 신호 검출 위협으로부터 거의 자유로울 것으로 예상되지만 약간의 재머 공격이나 동일 RLI 장비를 주변에서 운용함으

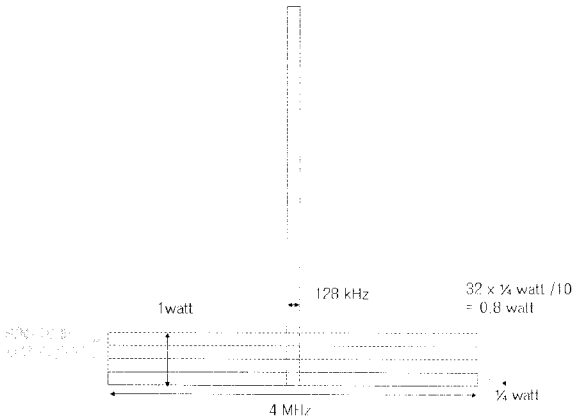
로써 의도하지 못한 간섭에 노출되는 것은 충분히 예상할 수 있다.

그림 5에서 보이는 것처럼 무선 경로에 유입된 확산 대역내의 간섭신호는 그 대역폭에 관계없이 간섭 전력을 역확산 과정을 통해 4MHz로 확산시킨다. 4MHz 대역에 확산 되었던 원하는 신호는 역확산 과정을 통해 128kHz 협대역 신호로 변환시킨다. 이 과정에서 각 Walsh 채널의 신호는 32의 처리이득으로 역확산된다. 전송속도가 256kbps인 경우, 각 Traffic 채널의 송신 전력을 1/4watt라고 하자. 또한 분석의 편의상 목적인 RLI장비와 간섭을 일으키는 장비가 거의 같은 거리에 떨어져 있어 무선 경로손실이 동일하다고 하고, RLI간 거리가 충분히 가까워 열잡음을 무시하고 송수신이 가능하다고 가정하며, 잡음지수는 0dB로 가정하여 분석을 최대한 단순화 한다. 이 경우 SNR 성능은 간섭 잡음에 좌우되게 된다. BER 품질  $10^{-6}$ , 역확산 후 SNR 10dB를 목표 성능으로 하자. 그림 4에 확산 및 역확산에 따른 허용 간섭 신호 전력의 관계를 나타내었다. 4MHz 대역에 1watt의 전력이 4개 채널에 각각 1/4watt씩 분배되어 확산대역에 스펙트럼을 점유하고 있으며, 역확산 후 1 채널은 128kHz 협대역에 1/4watt의 신호 전력으로 존재한다. 역확산 후 Traffic 1채널에 허용되는 협대역에 대한 간섭 잡음은 송신 전력 1/4watt의 1/10인 1/40 watt 이다. 역확산 후 간섭신호는 4MHz에 균등히 분포되므로, 4MHz에 포함되는 간섭신호는 128kHz에 분포된 1/40watt의 32배 즉, 0.8watt가 된다. 외형적으로 보면 1watt의 송신출력을 갖는 RLI 장비와 4MHz 대역 내에 0.8watt의 간섭 전력을 출력하는 무선장비의 두 신호를 동시에 수신했을 때 BER  $10^{-6}$ 의 원하는 품질로 통신 링크를 유지할 수 있다. 이것은 처음에 원했던 것처럼 대역 확산 기능을 이용한 간섭 억제 기능이 작동한 것이라 볼 수 있다. 한 채널의 신호 대 잡음의 관계에서 허용 간섭 잡음은 다음의 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$\frac{S}{N} = \frac{P \cdot G \cdot C_{1ch}}{I} \tag{1}$$

$$I_{Accept} = \frac{P \cdot G \cdot C_{1ch}}{[S/N]_{Req}}$$

여기서  $P.G$ 는 처리이득이고,  $C_{1ch}$ 은 Traffic 1 ch의 송신전력이고,  $I$ 는 간섭 전력이다. 이 식을 이용하여 다른 전송속도에 대해서도 분석해 보면 다음 표 3과 같다.



[그림 6] CDM 다중 전송방식의 역확산과 허용 잡음 밀도

표 3의 허용 간섭 잡음은 확산 대역에서 최소 입력 SNR을 허용하는 것으로 바꾸어 표 4로 표현할 수 있으며, 이 역시 역확산 후 목표 SNR 10dB를 만족할 수 있다. 표 4에서 분석한 것처럼 CDM 다중전송 방식의 입력 요구 SNR은 협대역 무선 장비에서 요구하는 것처럼 높지 않다. 256kbps의 전송속도에서 신호대 잡음비 0.9dB는 잡음 레벨에 매우 근접한 값으로, 스펙트럼 측정기를 사용해서는 신호 존재 여부를 식별하기가 곤란한 정도라고 할 수 있다. 따라서 RLI 장비가 신호 은닉 능력이 발휘된다는 것과 간섭을 억제하는 능력도 보유한다는 것을 확인할 수 있다. 야전의 RLI 장비 운용자들로부터 ‘일단 개통후 운용은 안정되게 할 수 있지만, 초기 RLI 안테나 정렬에 많은 시간이 소요된다. 그리고 방위각은 물론 고저각까지도 맞춰야만 비로소 안테나 정렬이 되어 링크가 개통된다’는 보고를 들은 적이 있다. 이런 현상은 CDM 방식에 의한 대역확산 기능과 고이득의 안테나 특성에서 비롯된 것으로 판단된다.

표 4의 최소 입력 SNR에 처리이득을 더하면 역확산 후의 요구 SNR인 10dB가 산출된다. 역으로, 역확산후의 목표 SNR 10dB에서 최소 입력 SNR을 빼

면 CDM 방식의 확산된 처리이득을 유도할 수 있다.

$$[S/N]_{Req} = [S/N]_{input} + P.G \tag{2}$$

$$P.G = [S/N]_{Req} - [S/N]_{input}$$

[표 3] CDM 방식의 전송속도에 따른 허용 간섭 잡음 전력

전송율	1watt에 대한 허용 간섭 잡음 전력
256kbps	0.8watt
512kbps	0.53watt
1Mbps	0.32watt

[표 4] CDM 방식의 최소 입력 SNR 과 처리이득

전송율	최소 입력 SNR	확산된 처리이득
256kbps	0.9dB	9.1dB
512kbps	2.7dB	7.3dB
1Mbps	4.9dB	5.1dB

표 4의 병렬전송 방식인 CDM 방식과 직렬전송방식인 직렬 DS 방식의 처리이득을 비교하면 표 5와 같다. 직렬 DS 방식의 처리이득은 대역폭 4MHz를 단순히 전송율로 나눈 대수값이다. 256kbps의 경우 직렬 DS 방식이 12dB이고 CDM 방식이 9.2dB로 나타나는데, CDM 방식이 직렬 DS 방식보다 2.8dB의 처리이득이 저하된 것으로 볼 수 있다.

처리이득의 저하는 파일럿과 타합선 신호가 전송신호에 포함되었기 때문에 저하된 것으로 볼 수 있다. 1Mbps의 전송율인 경우 처리이득의 차이가 0.9dB 이하로 매우 작은 값이 된다. 위 분석에서 파일럿 신호와 타합선 신호가 연속으로 존재하는 것으로 가정하고 분석하였다. 장비 운용중 타합선은 운용을 하지 않을 경우 타합선 채널 송신을 중단하여 Traffic 채널에 더 많은 전력이 분배되도록 한다. 그런 경우 허용 간섭 잡음 대응 능력은 약간 더 좋아질 수 있다.

CDM 방식과 직렬 DS 방식의 장단점을 비교하여 표 6으로 나타내었다. 절대이득은 표 5에서 보인 것

처럼 직렬 DS방식이 CDM방식보다 다소 높다고 볼 수 있지만 CDM 방식이 파일럿과 타합선을 동시 전송하기 때문에 처리이득은 거의 같다고 보는 것이 타당할 것이다.

[표 5] CDM 방식과 직렬 DS 방식의 처리이득 비교

전송율	CDM 방식	직렬 DS방식
256kbps	9.1dB	12dB
512kbps	7.3dB	9dB
1Mbps	5.1dB	6dB

[표 6] CDM 방식과 직렬 DS 방식의 장단점 비교

항목	CDM 방식	직렬 DS방식
절대이득	약간 낮음	약간 높음
가변이득	명확, 편리	불명확
PAPR	크다	작다
타합선	있음	없음
파일럿	있음	없음, 동기패턴 또는 차등변조등 필요
무선노출 억제능력	있음	있음
다중경로 신호처리	유리	불리

RLI 장비가 CDM 전송방식을 채택하여 유리한 점은 가변 전송속도를 지원하는 것이 유연하다는 것이다. 타합선 채널이 정상 운용되는 상태에서 전송속도를 증감하여 링크 상태에 적응하도록 하는 것은 운용의 면에서 편리함을 준다.

CDM 다중전송방식의 단점은 신호를 계속 누적 산술 합산함에 따라 PAPR(Peak to Average Power Ratio)가 크다는 것인데, RLI 장비의 RF 회로는 우수한 선형성이 요구되고 RF 증폭기 효율이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 가변속도를 제공하는 운용의 편리함, 타합선의 독립적 운용, 무선 노출 억제 능력,

간섭 신호 억제 능력 등의 장점은 RF 회로의 단점을 충분히 상쇄하고 남음이 있다.

CDM 다중전송방식은 입력 심벌을 병렬화하여 심벌 길이가 길어진다. 반면에 직렬 DS 방식은 입력 심벌을 그대로 전송에 사용하므로 심벌 길이가 CDM 방식보다 짧다. CDM 방식의 긴 심벌과 직렬 DS 방식의 짧은 심벌에 각각 동령 속도의 확산 코드를 곱하면, CDM 방식이 한 심벌 내에 더 많은 확산 코드를 포함하게 된다. 이동통신 환경에서는 전파가 지연 확산되는 현상이 발생할 수 있는데, 심벌이 짧으면 심벌간 간섭이 발생하는 것을 피할 수 없다. CDM 방식이 상용 이동통신환경처럼 다중경로 신호가 존재하는 환경에서 운용된다면 긴 심벌의 효과로 심벌 간 간섭을 줄일 수 있어, 다중경로 간섭을 극복하는 능력이 더욱 빛을 발휘할 것이다. 그러나 RLI 장비가 고이득의 지향성 안테나를 사용하여 다중경로 신호가 거의 없는 환경에서 운용되므로 현재로서는 그 능력이 활용되지 않는다. 그러나 다중경로 신호에 강한 능력은, 향후 이동통신과 유사한 환경 또는 섹터 안테나와 유사하게 넓은 범위를 사용하여 다중경로 신호 처리가 필요한 환경에서 운용될 준비를 하고 있는, 미래를 지향하는 기술이라고 할 수 있다.

#### 4. 맺음말

CDM 전송방식은 OFDM 방식과 유사하게 입력 데이터를 병렬화하고 Walsh 채널을 통해 독립적으로 확산하여 전송하는 방식이다. 본 논문에서는 CDM 전송방식을 사용하도록 개발된 RLI 장비의 제원을 참고하여, CDM 전송방식의 대전자전 능력을 분석하였다. 또한 RLI 장비가 고이득의 지향성 안테나를 사용하므로 RLI 전파는 포착되기 어려우며, 대역확산 능력으로 신호 노출을 한층 더 억제하는 LPI 능력이 있다. 유사 장비 근접운용 등의 상황을 고려할 때, RLI의 전송속도 256kbps에서 1watt 송신 전력에 대해 0.8watt의 간섭 전력은 충분히 억제하여 BER  $10^{-6}$  성능을 유지할 것으로 기대되었다. 구현된 CDM 전송방식은 데이터에 파일럿과 타합선 신호를 병행 전송하는 방식이므로, 일반적인 확산 대역폭과 데이

터 전송율의 비율에 의한 처리이득 보다는 작은 값이 된다.

직렬 DS방식과 비교할 때, CDM 전송방식이 PAPR 특성이 나빠 RF 회로의 효율이 떨어지는 단점이 있으나, 가변 전송율의 편리함, 타합선 운용, 파일럿 신호 병행 운용 등의 장점이 충분히 단점을 상쇄한다. CDM 전송방식은 OFDM과 유사하게 다중경로 환경에서 더욱 유리한 방식이다. 향후 다중 경로 신호를 처리해야 하는 환경에서 운용될 경우 CDM 다중전송 방식은 빛을 발휘할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Richard D. J. Van Nee and Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 2000. 1. 1.
- [2] 김진규, "직접확산대역 통신시스템의 정보 송수신 방법 및 회로", 국내특허 10-0097483, 국방과학연구소, 1996. 3.
- [3] 무선접속부 세트 GRC-650K, 기술교범 K11(5)-5820-930-34 및 P, 육군본부, 1998. 12.
- [4] 이상근, 방효창, "IMT-2000 CDMA 기술", 세화, 2004. 8.