

# 광 CDMA를 위한 새로운 광복호기 설계와 성능분석

정회원 강태구\*, 운영설\*, 최영완\*

## Performance Analysis and the Novel Optical Decoder Scheme for Optical CDMA System

Tae-gu Kang\*, Young-seol Yun\*, Young-wan Choi\* *Regular Members*

### 요약

광코드분할 다중접속을 위한 새로운 광복호기를 연구했다. 기존의 광부호기와 복호기는 단순하다는 장점이거나 복호화 과정에서 발생하는 sidelobe 세기에 의해 접속할 수 있는 사용자 수가 제한된다. 따라서 기존의 연구에서는 sidelobe와 상호상관 신호들의 중첩을 최소화시키는 코드를 만들어 시스템 성능을 개선시키려고 했다. 그러나 지금까지는 획기적인 새로운 방법론이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 sidelobe나 상호상관 세기를 최소화하거나 소거시킬 수 있는 새로운 광부호기 또는 복호기 연구의 필요성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 1×2 또는 1×3커플러와 광 thyristor를 이용한 AND게이트 논리소자(AGLE)를 설계하였고, K(가중치)개의 AGLE로 구성된 새로운 광복호기를 창출하였다. 광 thyristor의 동작원리는 중첩된 광신호만 통과시키고, 중첩되지 않은 펄스들은 소거시킨다. 이러한 개념은 hard-limiter와 같은 동작을 행하는 것이다. 그러므로 이러한 구조를 가진 새로운 광복호기를 시스템에 적용하여 모의실험을 통해 결과를 분석하였다. 사용자 두 명에 대해, 기존의 제시된 결과에서 나타나는 sidelobe와 상호상관 세기가 완전히 소거시킬 수 있음을 보였다.

### ABSTRACT

We have investigated a novel optical decoder for a fiber-optic code division multiple access(CDMA) communication systems. The conventional optical encoder and decoder have the advantage of simple structure. However the number of users in the system is limited by the auto- and cross-correlation properties generated in decoding process. In previous studies, to improve the

system performance, although they used an optical code that minimize the sidelobe and cross-correlation, could not yet find a novel methods for performance improvement in fiber-optic CDMA system. Thus, it is necessary to investigate the novel optical decode in order to improve the performance of system. In this paper, we schematize the AND gate logic element(AGLE) composed with 1x2 or 1x3 coupler and the optical thyristor and propose the novel optical decoder using K(weight) AGLE. The optical thyristor only passes the overlapped signal and clips other signals. Such a novel concept means that the optical thyristor can operate as a hard-limiter. We analyze the fiber-optic CDMA system using the novel optical decoder with simulation and is found that the novel optical decoder using the AGLE and optical thyristor excludes the sidelobe and cross-correlation intensity between any two sequences.

### I. 서론

광코드분할 다중접속에 적용된 광부호기는 그림

1과 같이 광신호를 커플러들 사이에 접속된 광지연 선로의 길이 비율에 따라 각 사용자간의 상호상관을 최소화 되도록 부호화 하여 광채널을 통해 전송

\* 중앙대학교 전자공학과 광전자 및 광통신 연구실(tgpa@hanmail.net)

논문번호 : 98244-0608, 접수일자 : 1998년 6월 8일

※ 본 논문은 한국과학재단(95-0100-23-04-3)과 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

하고, 수신 단에서는 중첩된 여러 신호들 중에서 원하는 신호를 광지연선로의 증가 분이 같은 광복호기를 통해 검출해낸다. 광부호기와 복호기의 동작원리는 몇 개의 커플러를 직렬 또는 병렬로 접속시키고, 커플러 사이에 접속되어 있는 광지연선로를 조정하여 입력과 출력단자의 선택에 따라 광신호를 부호화 하는 광부호기 또는 이를 통해 부호화된 신호를 복호화 할 수 있는 정합필터로 사용할 수 있음을 기존의 연구에서 제시된 바 있다<sup>11-14)</sup>. 그리고 시스템을 평가할 때, 광지연선로의 길이에 의해 즉, 시간지연 비율에 따라 복호화 되는 광신호의 sidelobe와 상호상관 세기가 일정하게 되도록 설계되는데 그 크기가 1일 때( $\lambda = 1$ )와 2일 때( $\lambda = 2$ ), 시스템 성능과 광코드 수의 관계를 분석하였다<sup>15-18)</sup>. 그러나  $\lambda$  값의 증가는 광코드 수의 확장은 가능하였으나, 동시사용자 수는 같거나, 오히려 줄어드는 결과를 얻었다. 또한, 기존의 시스템은 단순하다는 장점은 가지나, 복호화 과정에서 발생하는 sidelobe 세기에 의해 접속할 수 있는 사용자 수가 제한된다. 따라서, sidelobe와 상호상관 세기를 최소화시키는 코드를 만들어 시스템 성능을 개선시키려고 했다. 즉, 성능개선을 위해, 고정된 가중치에 대해 코드 길이의 확장만으로 분석하였다<sup>14)</sup>. 이는 통신속도가 저하됨이 명백하고, 단순히 기존 광부호기와 복호기 특성을 분석한 결과이다. 또한, 단일채널로 전송되

는 다사용자의 광신호가 채널 상에서 중첩이 되어 수신 단에서 원신호를 검출할 때 오류를 발생시킨다. 이러한 오류는 시스템 성능을 열화 시키는 요인이 되기 때문에 시스템 성능향상을 위한 방법론이 제시되어야 된다. 그러나 지금까지는 획기적인 새로운 방법론이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 sidelobe와 상호상관 세기를 최소화하거나 소거시킬 수 있는 새로운 광부호기 또는 복호기 연구의 필요성이 요구되고 있다. 본 논문에서 제시한  $1 \times 2$  또는  $1 \times 3$ 커플러와 광 thyristor를 이용한 AND게이트 논리소자(AGLE)는 간섭신호들의 세기를 획기적으로 줄일 수 있으며 국내외에서도 아직 optical thyristor를 사용한 시스템 성능분석이 이론적, 실험적으로 검증된 보고가 없다.

본 논문에서는 그림 3에서와 같이  $1 \times M$ 커플러와 광 thyristor를 이용한 AGLLE를 가중치(K)와 같은 수로 구성된 새로운 광복호기를 창출하였다. 제안된 새로운 광복호기를 시스템에 적용하여 상관특성의 변화를 모의실험을 통해 분석하였다. 그 결과,  $\lambda = 1$  또는 2에 대해서 AGLLE를 구성하고 있는 커플러를 변화시켜 두 시스템의 장점만을 취할 수 있음을 확인하였으며  $\lambda$  값에 관계없이 사용자 두 명에 대해서는 기존연구에서 나타나는 sidelobe와 상호상관 세기를 완전히 소거시킬 수 있음을 본 논문에서 모의실험을 통하여 보였다. 본 논문의 구성은 서론에

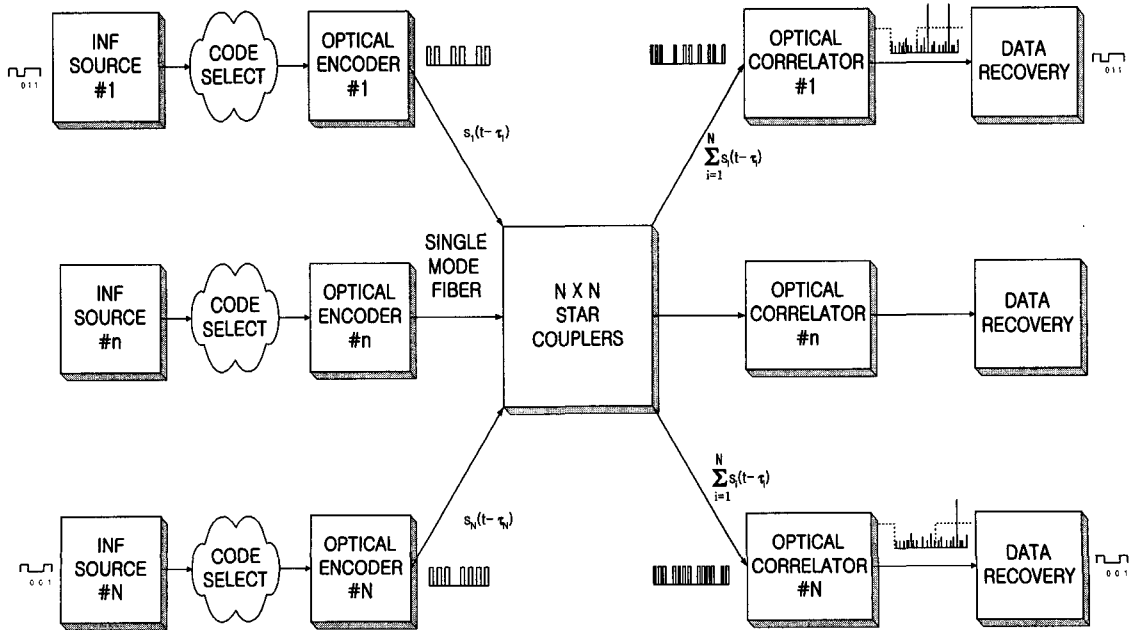


그림 1. 일반적인 광코드분할 다중접속 시스템 블록도

이러 II장에서는 hard-limiter로 동작하는 광 thyristor 특성에 대하여 기술하고, III장에서는 1×M 커플러와 광 thyristor를 이용한 새로운 광복호기 특성을 분석하고, IV장에서는 기존의 광복호기를 사용한 시스템과 새로운 광복호기를 사용한 시스템을 모의실험 결과에 의해 비교하여 분석 및 검토한 다음, V장에서 결론을 맺었다.

## II. hard-limiter로 동작하는 광 thyristor

그림 2에서 보는 바와 같이 PnpN의 이중 접합과 매우 얇은 기운데층을 갖는 광 thyristor는 매우 빠른 동작이 가능한 광스위칭 소자이다. OFF 상태의 광 thyristor에 빛이 가해지면, 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 빛의 세기에 따라서 전류-전압 특성 곡선이 C1에서 C2 또는 C3으로 변화하게 된다. 이때 C2로 변화시키는 빛에 의해서 광 thyristor는 OFF상태로 남아 있지만, C3으로 변화시키는 빛에 의해서는 광 thyristor는 turn-on 된다. 이때, 동작점이 S1에서 S2로 변하며, ON 상태의 광 thyristor는 일정한 세기의 빛으로 발광하게 된다<sup>[10-11]</sup>. 이러한 발광은 외부 전압(VD)과 저항에 의한 것으로 인가된 빛의 세기와는 무관하게 일정한 세기로 빛을 발광하므로 광 CDMA 시스템에서 사용될 수 있는 hard-limiter의 역할을 하게 된다. 이러한 광 thyristor 중에서 신 개념의 PnpN 광 thyristor는 기존의 광 thyristor에 비하여 향상된 광 반응성(optical sensitivity)과 보다 빠른 동작 속도를 갖는다.

따라서 PnpN 광 thyristor 광 논리 기능 소자가 hard-limiter로 사용할 수 있음을 평가하였다.

본 논문에서 제안한 광복호기를 이용한 광 CDMA시스템에서, 광 thyristor는 그림 3에서 보여지는 것과 같이 채널과 AND게이트논리소자(AGLE)를 구성하고 있는 1×M커플러 뒤에 접속된다. 채널에 접속된 광 thyristor를 이용한 hard-limiter는 λ=1 또는 2로 설계된 광코드를 시스템에 적용하였을 때 다중접속에 의해 채널에서 중첩되는 펄스에 대해서 동작한다. 즉, 채널에 접속된 광 thyristor를 이용한 hard-limiter는 여러 사용자에 의해 중첩된 광 신호에 대해 정해진 레벨과 같거나 더 큰 광세기를 일정한 크기로 만들어 광복호기로 재 전송한다. 그러나 입력된 광신호의 세기가 정해진 레벨보다 작은 경우, 광 thyristor를 이용한 hard-limiter는 OFF 동작을 하게 된다. 예를 들면, 채널에 접속된 광 thyristor를 이용한 hard-limiter가 없는 시스템에서,

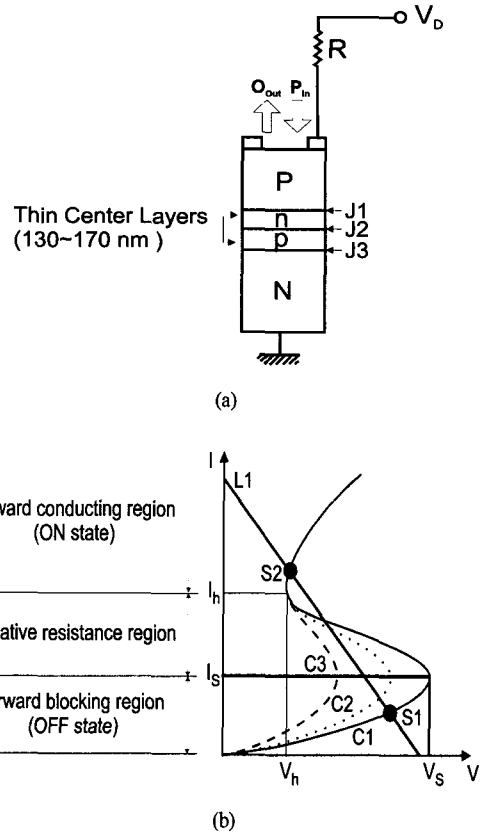


그림 2. (a) 광 thyristor의 대표적인 구조 (b) 광 thyristor의 대표적인 전류-전압 특성 곡선

수신되는 광신호 패턴이 [1004000100000]이고, 각각의 수신기 임계레벨이 “6”으로 고정되어 있다면, 채널에서 여러 사용자에 의해 중첩된 광신호 때문에 오류가 발생된다. 그러나 광 thyristor를 채널에 접속시키면, 광 thyristor는 광신호 패턴을 [1001000100000]으로 변화시켜 수신기로 재 전송하므로 오류를 발생시키지 않는다. 이러한 개념은 시스템 성능향상에 중요한 요소로 작용되는 것이다. 그러므로 hard-limiter로 작동하는 광 thyristor는 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$g(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 1 \\ 0, & 0 \leq x < 1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 x는 광 thyristor에 입력되는 광세기를 나타낸다. 그리고 광 thyristor의 출력, 즉 수신기로 재 전송되는 광신호들의 세기는 광부호기에 의해 부호화된 각각의 신호의 세기와 동일하게 된다. 또한, 그림 3에서와 같이 AGLE를 구성하고 있는 광

thyristor를 이용한 hard-limiter는 정해진 레벨과 같거나, 더 큰 광세기에 대해서 ON동작을 하고, 정해진 레벨보다 작은 광세기에 대해서 OFF동작을 행함으로써 간섭형태로 나타나는 신호들을 소거할 수가 있다. 그러나 각각의 AGLE를 구성하고 있는  $1 \times M$  커플러에 의해 광신호의 세기가 정해진 레벨보다 더 큰 신호가 하나 이상 발생된다면, 그 신호들은 결국 sidelobe 또는 상호상관 형태가 되어 시스템 성능을 열화 시키는 요인이 된다. 그러므로 각각의 AGLE를 구성하고 있는  $1 \times M$  커플러는 정해진 레벨을 만족하는 광신호가 하나만 존재하도록 광지연선로를 조정하여야 하고, K개의 AGLE에서 출력되는 모든 광신호들이 동일한 시간을 갖도록 모델링 되어야 한다. 그리고 AGLE를 구성하는 광thyristor는 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$g(x) = \begin{cases} 1, & x \geq Th \\ 0, & 0 \leq x < Th \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $Th$ 는 임계레벨을 의미하고, 제안된 AGLE이 다사용자에 의해 간섭형태로 나타나는 상호상관 세기를 최소화 또는 소거시킬 수 있음을 의미한다.

### III. 새로운 광복호기를 이용한 광 CDMA 시스템

기존의 시간적 광 CDMA 시스템은 최적의 선형

광직교코드를 구성하여 하나의 광채널로서 부호화된 신호를 다중화 시키는 방식으로써 부호화 방식은 단지 시간 영역에서 일차원으로 전송한다. 복호기에 의한 복호화 과정도 부호열의 시간 반전인 임펄스 응답을 갖기 때문에 간단한 구조를 가진다. 그러나 간단한 구조의 기존 복호기는 자기상관과 상호상관 세기를 일정한 범위( $\lambda = 1, 2$ )에서 허용하기 때문에 신호 대 잡음비의 향상을 크게 기대할 수가 없다. 따라서 기존의 광부호기와 복호기를 이용하여 초고속, 대용량의 시스템 구현은 불가능할 것이다. 또한, 사용자 수 증가에 의해 다중화된 광신호가 수신되기 전에 단일채널에서 중첩되어 오류를 발생시키는 요인으로 작용된다. 그러므로 복호화 하기 전에 중첩된 광신호의 세기를 줄여야만 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 중첩된 광신호가 수신기에 입력되기 전에 간섭신호세기 효과를 줄이는 방법으로 광thyristor를 사용함으로써 가능하다. 일정한 크기로 재 전송된 광신호들은 본 논문에서 제시된 새로운 구조의 광복호기에 의해 sidelobe와 상호상관 세기를 최소화하거나 소거된 상관특성을 나타내므로 시스템 성능을 향상시킬 수가 있다.

#### 3.1 AGLE를 이용한 새로운 광복호기

기존에 제시된 광부호기는 광지연선로의 길이에 의해 즉, 시간지연비율에 따라 부호화된 광신호들이 광복호기에 의해 원하는 신호를 검출할 때 sidelobe와 상호상관을 허용하게 된다. 이런 sidelobe와 상

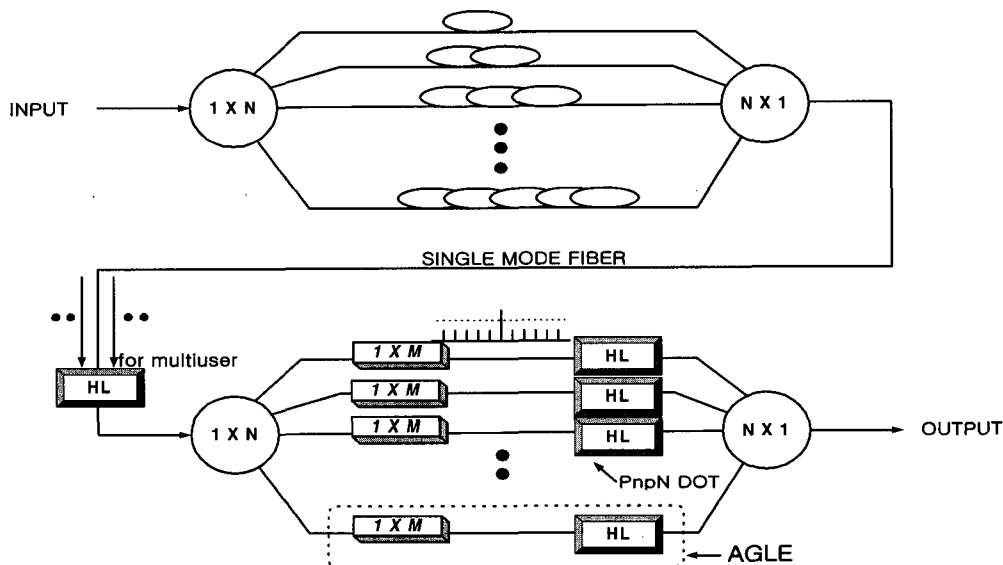


그림 3. 새로운 광복호기를 이용한 광 CDMA 시스템 블록도

호상관은 시스템 성능을 열화 시키는 요인이 되고, 원하는 신호의 검출을 어렵게 한다<sup>9,12)</sup>. 따라서 잡음형태로 나타나는 side-lobe와 상호상관을 최소화하거나 소거할 수 있다면, 시스템 성능을 개선할 수가 있다. 따라서 복호화 과정에서 발생하는 불필요한 신호들을 선택적으로 소거할 수 있는 새로운 구조가 필요하게 되는데, 본 논문에서 제시된 K개의 AGLE로 구성된 새로운 광복호기가 그 역할을 담당하게 된다. 하나의 AGLE는 1×M커플러와 광 thyristor를 이용하여 구성하였고, 1×M커플러들 사이에는 광지연선로를 접속시킨다. 광지연선로의 증가 분은 광부호기에서 결정된 길이를 선택적으로 이용하여 구성한다. 광지연선로의 길이를 조정하여 광 thyristor에서 정해진 레벨을 만족하는 펄스가 하나만 존재하도록 하여, 1×M커플러 뒤에 접속된 광 thyristor로 재 전송한다. 또한, AGLE를 구성하고 있는 1×M커플러는 선택적으로 1×2 또는 1×3 커플러로 구성된다. 그 이유는 기존연구에서 제시된  $\lambda = 1$ 과  $\lambda = 2$ 인 시스템에서 발생하는 sidelobe와 상호상관을 완전히 제거하기 위해서 커플러를 변화시켰다. 기존 연구결과를 살펴보면,  $\lambda = 1$ 인 시스템은  $\lambda = 2$ 인 시스템보다 향상된 BER, 즉 시스템의 성능 개선은 용이하나, 다중접속 사용자에게 할당되는 광 코드 수가 제한된다는 단점을 가진다. 그리고  $\lambda = 2$ 로 설계된 시스템은 많은 광코드를 만들 수 있으나, 시스템 성능이 열화되는 단점을 내포하고 있다. 따라서 두 시스템의 장점만을 취하기 위해서, 제안된 AGLE를 구성하고 있는 1×M커플러를 변화시켜 결과를 분석하였다.

그림 4는 입력되는 광신 호에 대해 새로운 구조인 AGLE의 동작원리를 보여주고 있다.  $\lambda = 1$ 인 시스템에서 발생하는 sidelobe와 상호상관을 소거하기 위하여, 1×2커플러로 구성된 AGLE는 일정한 크기로 중첩된 광신호가 하나만 존재하도록 동작함을 그림 4(a)에서 보여주고 있다. 광복호기를 구성하고 있는 M개의 AGLE에서 발생하는 모든 광신 호들은 모두 동일한 시간을 가져야만 한다. 이를 만족하기 위해서는 각각의 AGLE를 구성하는 1×M커플러들 사이에 접속된 광지연선로 (ODL)는 다음과 같은 알고리즘을 가져야한다.

- 첫 번째 AGLE가 가지는 ODL : {DL<sub>1</sub>, DL<sub>2</sub>}
- 두 번째 AGLE가 가지는 ODL : {DL<sub>2</sub>, DL<sub>3</sub>}

- n-1번째 AGLE가 가지는 ODL : {DL<sub>n-1</sub>, DL<sub>n</sub>}
- n 번째 AGLE가 가지는 ODL : {DL<sub>n</sub>, DL<sub>1</sub>}

여기서 DL은 광부호기에서 결정된 지연길이이다. 그림 4(b)는  $\lambda = 2$ 인 시스템의 성능개선을 위해 1×3커플러를 적용하였고, 중첩되는 광신호가 여러 개 존재함을 보여주고 있다. 그러나 정해진 레벨을 만족하는 광신호는 오직 한 개임을 알 수 있다. 이는 AGLE를 구성하고 있는 1×M커플러에 의해 나누어진 광신호들이 동일한 시간에 M개가 중첩되는 경우가 하나임을 의미한다. 따라서 1×M커플러 뒤에 접속된 광 thyristor의 임계레벨을 AGLE의 구조에 상관없이 항상 일정하게 결정할 수가 있음을 알 수 있다.

### 3.2 자기상관 및 상호상관 특성

일반적인 광통신(즉 코히어런트 광전송이 아닌 종래의 광전송)에서는 펄스신호가 광세기로 표현되므로 (+1,0)으로만 표시될 수 있어 곱과 합의 연산인 상관 결과가 0이 될 수 없고, 연산결과 값의 레벨에 의해서만 상관정도가 구분될 수 있을 뿐이다. 따라서 광통신에 사용되는 광코드는 광지연선로의 증가 분에 의해 코드간에 간섭이 최소화될 수 있는 특성을 가져야 한다<sup>4)</sup>. 즉, 광코드는 한 비트 내의 총 칩의 수와 +1인 칩의 수를 작게 하면서도 구분

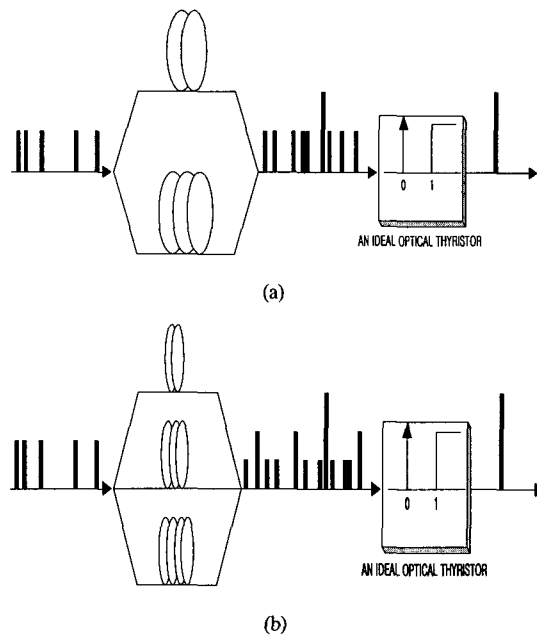


그림 4. 1×2커플러(a) 또는 1×3 커플러(b)를 이용한 AGLE의 동작원리

가능한 정도로 하여 자기상관 세기를 최대로 하고, 상호상관 세기를 최소로 하여야한다. 또한 광지연신로의 길이비율에 의해 하나의 비트를 최소한으로 나누고, 상관검출기에서 원하는 신호와 중첩된 다른 신호들의 출력차이가 최대화할 수 있는 새로운 광복호기를 설계해야만 된다. 일반적인 자기상관과 상호상관 특성을 다음과 같이 표현할 수가 있다.

i) 자기상관 특성

$$\sum_{n=0}^{F-1} x_n x_{n+l} = \begin{cases} K, & \text{for } l=0 \\ \leq \lambda_a, & \text{for } 0 \leq l \leq F-1 \end{cases} \quad (3)$$

ii) 상호상관 특성

$$\sum_{n=0}^{F-1} x_n y_{n+l} \leq \lambda_c \quad \text{for } 0 \leq l \leq F-1 \quad (4)$$

여기서 K,  $\lambda_a$ 와  $\lambda_c$ 는 상수이다.  $\lambda_a$ 는 자기상관에서 sidelobe세기를 의미하고,  $\lambda_c$ 는 다른 사용자 신호에 의한 상호상관 세기를 나타낸다. 기존의 연구에서는 상관함수의 인자인  $\lambda$  값 변화에 따라 시스템 평가를 하였다. 시스템을 평가하기 위해서  $\lambda = 1$  또는 2를 만족하는 광코드를 설계하였고, 주어진 코드길이(F)와 가중치(K)에 의해 만들 수 있는 광코드는 다음과 같다.

$$\phi(F, K, \lambda=1) \leq \frac{(F-1)}{K(K-1)} \quad (5)$$

$$\phi(F, K, \lambda=2) \leq \frac{(F-1)(F-2)}{K(K-1)(K-2)} \quad (6)$$

여기서  $\phi$ 는 정수이고, 식(6)은  $\lambda$  값이 커질수록 만들 수 있는 광코드 수가 많아짐을 의미한다. 그러나 sidelobe와 상호상관 세기를 '2'로 허용하였기 때문에 동일한 조건(BER= $10^{-9}$ )에서 동시사용자 수는  $\lambda = 1$ 인 시스템보다 오히려 줄어든다. 즉, sidelobe와 상호상관은 시스템 성능을 열화시키는 간섭형태로 나타나므로 최소화하거나, 소거시킬 필요성이 있음을 분명히 알 수가 있다. 따라서 AGLE를 이용한 새로운 광복호기를 사용하면 많은 광코드를 이용하면서도  $\lambda = 1$ 인 시스템 성능보다 향상시킬 수 있음을 제안했다. 제안된 시스템을 평가하기 위해서는 복호화된 신호의 특성을 분석하여야 한다. 그러므로 기존의 광복호기를 통과해서 검출된 신호들은 다음과 같이 표현할 수가 있다.

$$Z_1 = b_0^{(1)} K + I_1 = d_1 + \sum_{n=2}^N I_n^{(1)} \quad (7)$$

여기서  $b_0^{(1)}$ 는 두 개의 값(0, 1)을 취하는 첫 번째 사용자의 0번째 데이터이고, 식(7)의  $I_1$ 은 첫 번째 수신기의 출력에서 원하지 않는 신호(모든 간섭신호)이다. 그리고  $d_1$ 은 원하는 신호(자기상관)를 의미하고, 다음과 같이 다시 표현할 수가 있다.

$$\begin{aligned} d_1 &= \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N a_n a_m \delta(t-T+\tau_m-\tau_n) \\ &= \sum_{n=1}^N a_n^2 \delta(t-T) + \\ &\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N a_n a_m \delta(t-T+\tau_m-\tau_n) \quad (n \neq m) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $a_n$ 과  $a_m$ 은 복호화된 광신호의 세기이고,  $\tau_n$ 과  $\tau_m$ 은 각각 n번째와 m번째 커플러를 통과한 광신호의 지연시간을 의미한다. 그리고 이 식의 의미는  $n=m$ 일 때  $d_1$ 은 시간  $t=T$ 에서 N개의 신호가 중첩되어 mainlobe를 나타내고, 동시에 시간  $t=2T$  구간에서 ( $N^2-N$ )개의 신호가 sidelobe형태로 나타난다. 이러한 sidelobe는 다른 수신기에 잡음형태로 영향을 미친다. 이러한 상호상관 세기는 신호대 잡음비를 저하시키는 요인이 되고, 복호화된 신호에서 원하는 신호를 검출하기가 어려워진다. 따라서 새로운 광복호기를 이용하면 상호상관 세기를 최소화 또는 소거시킴으로써, peak to sidelobe ratio가 크게 되어 원하는 신호검출이 쉬워짐을 알 수 있다. 또한, 식(8)에서 두 번째 항은 간섭신호들을 표현한 항이다. 이러한 신호들에 의해 수신기는 오류를 발생시키고, 다중접속 할 수 있는 사용자 수를 제한시킨다. 다 사용자에 의해 간섭신호들이 중첩될 확률이 높아질수록 코드길이를 확장하거나, 주어진 코드길이에서 가중치(K)를 크게 해야 된다는 단점을 가지게 된다. 그러나 본 논문에서 제시된 새로운 광복호기를 사용한다면, sidelobe 또는 상호상관 세기를 최소화 또는 소거시킬 수가 있어 시스템 성능을 향상시킬 수 있고, 그 결과를 모의실험을 통해 분석하였다.

IV. 모의실험 및 고찰

기존연구들에서는  $\lambda$  값 증가에 의해 광코드 수는 확장되었으나 동시사용자 수 또는 시스템 성능은

오히려 열화 되었다. 그 이유는 간섭의 형태로 나타나는 sidelobe나 상호상관을 최소화하거나 소거하는 방법을 고려하지 않았기 때문에 얻어진 결과다. 본 논문에서는 기존연구 결과에 사용된 파라미터들을 이용하여 제시된 새로운 광복호기의 특성을 모의실험으로 분석하였다. 모의실험에 사용한 광코드는 표 1에 있는 코드길이 341, 기중치 5로 설계된 코드들 중에서 선택하였다<sup>2)</sup>.

표 1. F=341, K=5인 광코드

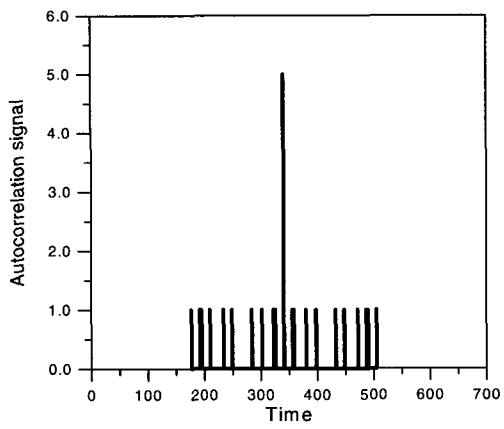
0	1	85	21	5
0	2	160	10	42
0	3	111	104	53
0	6	222	106	208
0	9	268	151	105
0	11	45	76	198
0	12	103	75	212
0	13	305	227	43
0	15	107	146	164
0	17	264	203	165
0	19	88	267	220
0	22	90	55	152
0	23	293	252	118
0	24	206	83	150
0	25	54	169	221
0	26	269	86	113
0	37	147	217	81

표 1에서 두 개의 광코드를 임의로 선택하여 기존의 광복호기를 이용한 시스템에 사용하였을 때 기존 시스템에서 나타나는 자기상관과 상호상관 특성을 그림 5에서 보여주고 있다. 그림 5(a)와 (b)는 자기상관 특성을 보여주고 있고, sidelobe 세기가 '1'을 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 5(c)는 코드 A → 코드 B 또는 코드 B → 코드 A로 전송되었을 때 상호상관 특성을 나타내고 있고, 상호상관 세기가 '1'임을 보여주고 있다. 이 결과들은 이미 기존연구에서 제시된 결과이며 sidelobe 또는 상호상관 세기는 시스템에 접속할 수 있는 사용자 수

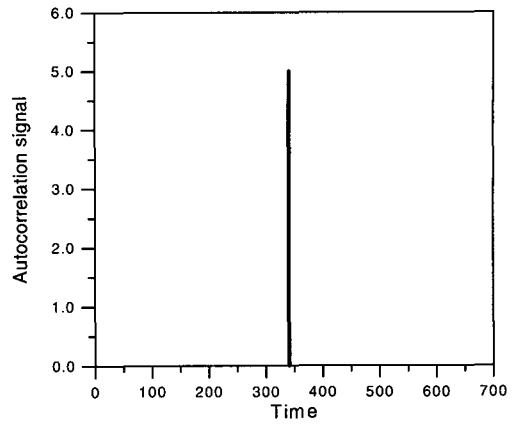
를 제한함을 알 수 있다<sup>3,4)</sup>. 그러므로 시스템성능향상을 위하여 sidelobe 또는 상호상관 세기를 최소화하거나 소거할 수 있는 새로운 시스템 창출이 요구되는데, AGLE를 광 thyristor와 1×2커플러로 구성하고  $\lambda = 1$ 을 만족하는 광코드를 사용하였을 때, M개의 AGLE를 이용한 새로운 광복호기에 의해 sidelobe와 상호상관이 소거될 수 있음을 그림 6에서 보여주고 있다.

그림 6은 그림 5에 사용한 동일한 파라미터들을 이용하였고, 그림 6(a)과 (b)를 그림 5(a)와 (b)와 비교해보면, 자기상관에서 나타나는 sidelobe들을 완전히 소거할 수 있음을 보여주고 있다. 이 결과는 peak to sidelobe ratio를 크게 하여 시스템 성능을 향상시킬 수 있음을 의미하고 있다. 또한, 그림 6(c)은 본 논문에서 제안한 광복호기를 사용하면, 상호상관 역시 완전히 제거될 수 있음을 보여주고 있다. 이 결과가 다사용자에 의해 발생하는 상호상관 세기까지 완전히 소거할 수 있다는 의미는 아니다. 그러나 제안된 광복호기는 수신기에 이미 정해진 코드와 다른 사용자코드가 같은 확률을 최소화하는 동작을 행하므로 써 보다 많은 사용자가 시스템에 접속할 수 있음이 명백하다. 또한, 기존 논문에서는 결정된 코드길이와 기중치에 의해 만들 수 있는 광코드 수는  $\lambda = 2$ 에 비해  $\lambda = 1$ 이 적지만 본 논문에서는  $\lambda = 2$ 로 설계된 코드를 시스템에 적용하면서도 시스템 성능은  $\lambda = 1$ 인 시스템보다 좋게 하는 것이 목표이기 때문에 따라서  $\lambda = 2$ 인 시스템에서 자기상관과 상호상관 특성을 살펴볼 필요성이 있다. 기존의 제시된 개념을 이용하여 제안된 광복호기가 없는 시스템(기존 시스템)에서의 상관특성을 그림 7에서 보여주고 있다. 그림 7(a)과 (b)는 sidelobe 세기가 '2'를 나타내므로  $\lambda_s = 2$ 를 만족하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 제안된 광복호기에 의해 상관특성들이 어떻게 변화하는지 살펴보기 위해 분석한 것이다.

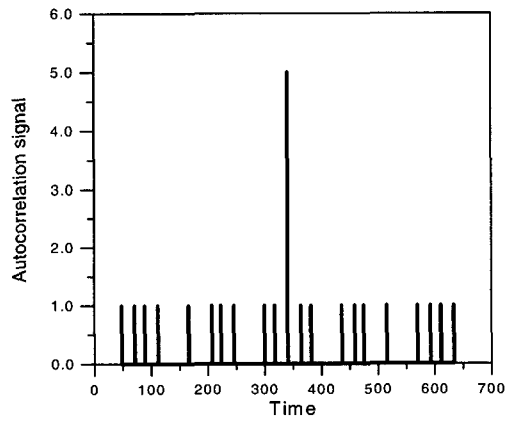
그림 7에서 보여지는 것과 같이 sidelobe 세기가 크게 나타나기 때문에 시스템 성능이  $\lambda = 1$ 보다 훨씬 열화 되는 것이다. 그러나 AGLE를 이용한 제안한 광복호기를 사용한다면, 기존 시스템의 단점을 해결할 수가 있다. 즉,  $\lambda = 2$ 인 광코드를 사용하고, 제안된 광복호기의 AGLE를 광 thyristor와 1×2커플러로 구성하였을 때 자기상관과 상호상관 특성은 그림 8에서 보여준다. 그림 8(a)과 (b)는 두 개의 코드가 가지는 자기상관 특성을 보여주고 있다. 그림 7(a)과 (b)에서와 같이 기존시스템의 sidelobe 세



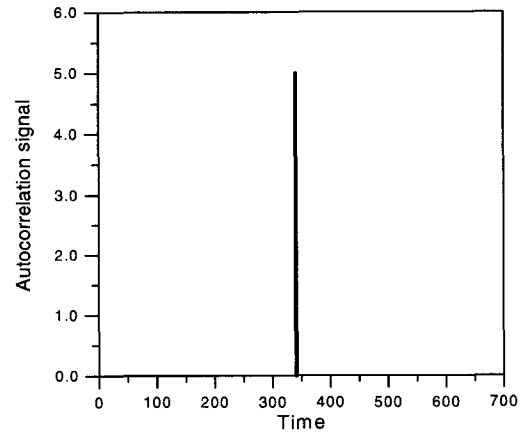
(a)



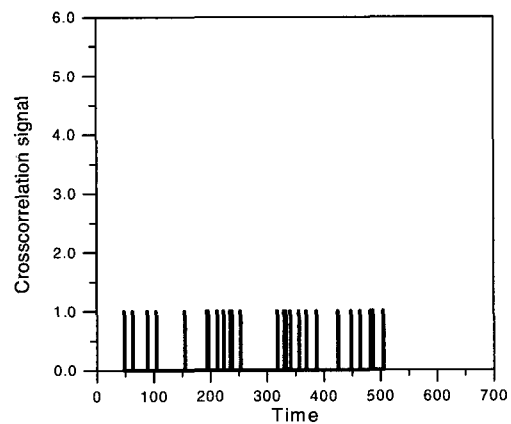
(a)



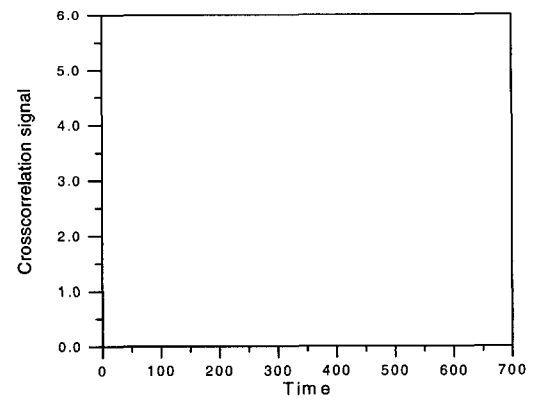
(b)



(b)



(c)

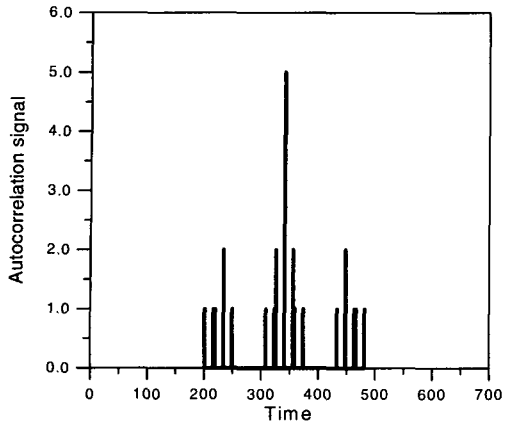


(c)

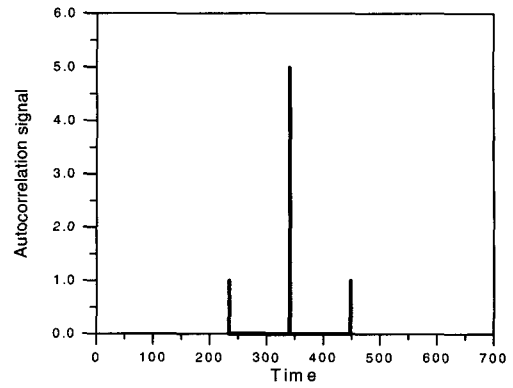
그림 5.  $\lambda = 1$ 일 때 기존 광복호기를 이용한 시스템에서 자기상관 및 상호상관 특성비교

그림 6.  $\lambda = 1$ 일 때 AGLE(1×2커플러)를 이용한 시스템에서 자기상관 및 상호상관 특성비교

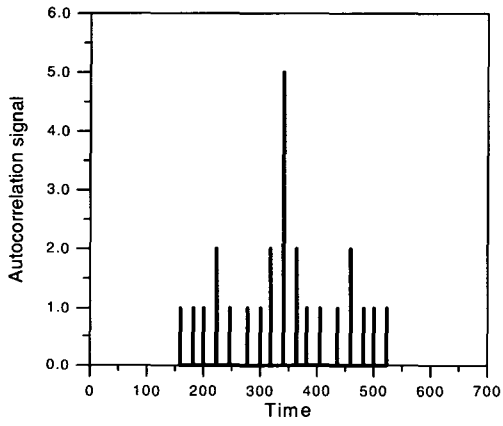




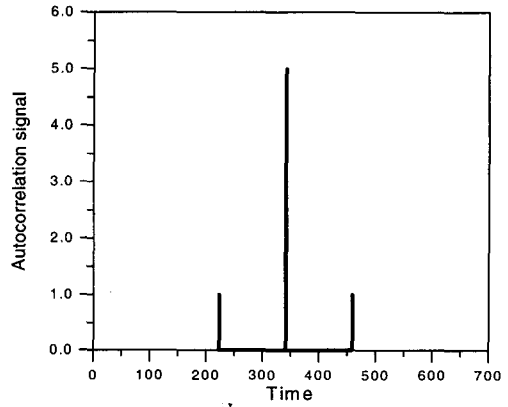
(a)



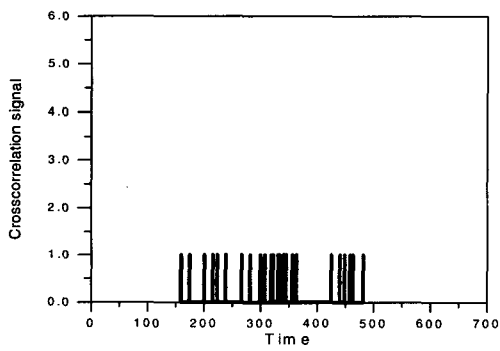
(a)



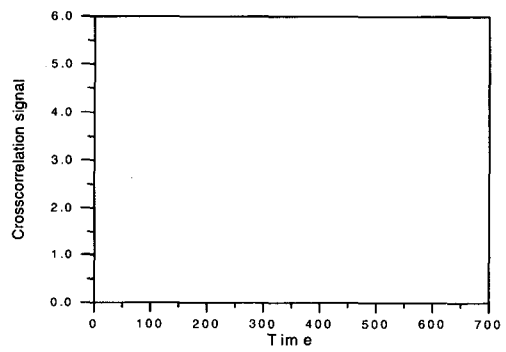
(b)



(b)



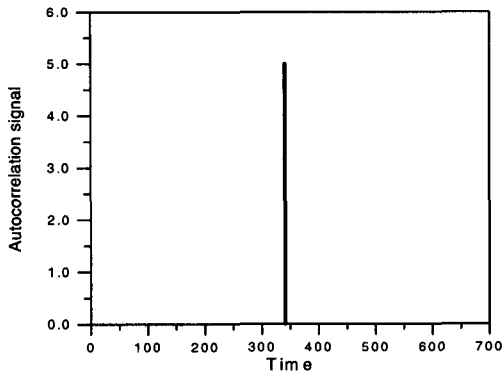
(c)



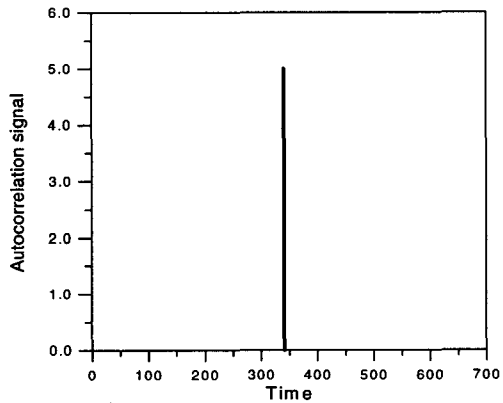
(c)

그림 7.  $\lambda = 2$ 일 때 기존 광복호기를 이용한 시스템에서 자기상관 및 상호상관 특성비교

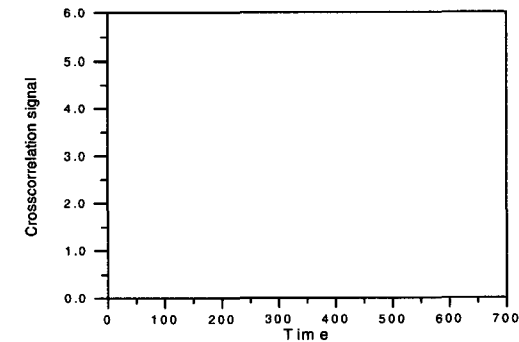
그림 8.  $\lambda = 2$ 일 때 AGLE(1x2커플러) 이용한 시스템에서 자기상관 및 상호상관 특성비교



(a)



(b)



(c)

그림 9.  $\lambda = 2$ 일 때 AGLE( $1 \times 3$ 커플러) 이용한 시스템에서 자기상관 및 상호상관 특성비교

기는 '2'로 나타나지만 제안한 광복호기를 사용하였을 때는 sidelobe 세기가 '1'로 낮아졌고, sidelobe가 대칭적으로 하나만 존재함을 알 수 있다. 이 결

과와 그림 7을 비교해보면 시스템 성능이 향상됨을 쉽게 알 수 있다. 그림 8(c)은  $\lambda = 2$ 인 광코드를 사용하였을 때 코드 A  $\rightarrow$  코드 B 또는 코드 B  $\rightarrow$  코드 A로 전송되었을 때 상호상관 특성을 나타내고 있다. 두 명의 사용자에 대해서는 AGLE를 광 thyristor와  $1 \times 2$ 커플러로 구성하여도 상호상관을 완전히 소거할 수 있음을 보여주고 있다. 그러나 자기상관에서는 sidelobe가 존재하므로 즉, 완전히 소거되지 않으므로 AGLE를 구성하고 있는 커플러를  $1 \times 3$ 커플러로 변화시켰고,  $\lambda = 2$ 인 광코드를 적용하였다. 그 결과, 제안한 광복호기를 구성하고 있는 AGLE를  $1 \times 3$  커플러로 변화시키면 그림 8의 자기상관 특성에서 보였던 sidelobe가 완전히 소거될 수 있음을 그림 9에서 보여주고 있다. 즉 많은 광코드 수를 가지면서도 sidelobe를 소거할 수가 있어, 동일한 조건( $BER \approx 10^{-9}$ )에서 보다 많은 사용자를 시스템에 접속할 수 있음을 의미한다. 또한, 다른 수신기에 간섭의 형태로 나타나는 상호상관 세기를 제안된 광복호기에 의해 소거할 수 있어 코드길이를 줄일 수 있음을 입증했다. 그러므로 초고속, 대용량 광CDMA 시스템을 달성하기 위해서는 반드시 본 논문에서 제안된 광복호기가 적용되어야 타당함을 제시하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 시스템 성능향상을 위한 방법으로 sidelobe와 상호상관 세기를 최소화 또는 소거할 수 있는 AGLE를 이용한 광복호기를 창출하였고, 제안한 광복호기를 이용하여 자기상관과 상호상관의 특성을 기존 시스템에서 제시된 결과 값과 비교하여 평가하였다.  $\lambda = 1$ 인 광코드를 적용한 시스템은  $\lambda = 2$ 인 광코드를 적용한 시스템보다 성능은 좋아지나, 만들 수 있는 광코드 수가 제한되는 단점을 가진다. 따라서  $\lambda = 2$ 인 광코드의 장점인 많은 수의 광코드를 수용하면서도 시스템 성능은  $\lambda = 1$ 로 설계된 시스템 보다 향상시킬 수 있는 방법은 제안한 광복호기를 구성하고 있는 AGLE의 커플러 구성방법을 달리하여 사용함으로써 달성할 수 있음을 모의실험을 통해 확인하였다. 그 결과, 제안한 광복호기를 구성하고 있는 AGLE를  $1 \times 2$  커플러로 구성하면,  $\lambda = 1$ 인 광코드를 적용한 기존 시스템에서 나타나는 sidelobe와 상호상관 세기를 완전히 제거할 수 있었다. 또한, AGLE를  $1 \times 2$  커플러로 구성하고,  $\lambda = 2$ 인 광코드를 적용하였을 때, 기존 시스템에서 나타

나는 sidelobe 세기는 '1'로 감소되고, 잡음의 형태인 sidelobe 신호들의 수가 현저히 감소되어 기존의  $\lambda = 1$ 인 광코드를 적용한 시스템보다도 성능이 좋아짐을 알 수 있었다. 그러나 sidelobe가 완전히 소거된 것은 아니다. 적은 수의 sidelobe지만 간섭형태로 시스템 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서  $\lambda = 2$ 인 광코드를 적용한 시스템에서는  $1 \times 3$  커플러로 AGLE를 구성한다면, sidelobe와 상호상관을 완전히 제거할 수 있음을 알 수 있었고, 모의실험을 통해 검증하였다. 이 연구결과는 초고속, 대용량, 광CDMA 시스템을 달성하기 위하여 이론적 근거로 사용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] J. A. Salehi, "Emerging Optical Code Division Multiple Access Communication System", IEEE Network, pp.31-39, March 1989.

[2] F. R. K. Chung, J. A. Salehi, and V. K. Wei, "Optical orthogonal codes: Design, analysis, and application", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.37, May 1989.

[3] J. A. Salehi, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks-Part I: Fundamental principles", IEEE Trans. Commun., vol.37, pp.824-833, Aug. 1989

[4] H. M. Kwon, "Optical Orthogonal Code Division Multiple Access System part II: Multibits/sequence Period OOCDMA", ICC.91, pp.618-621.

[5] Alex W. Lam and Awais M. Hussain, "Performance Analysis of Direct-detection Optical CDMA Communication System with Avalanche Photodiodes", IEEE Transactions on Communications, Vol.40, pp.810-819, April 1992.

[6] T. J. Healy, "Coding and decoding for Code Division Multiple user communication system" IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, pp.310-316, 1985.

[7] Wing C .Kwong, Philippe A. Perrier and Paul R. Prucnal, "Performance Comparison of Asynchronous and Synchronous Code-Division Multiple-Access Techniques for Fiber-Optic Local Area Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol.39, pp.1625-1634, Nov.

1991.

[8] Jawad A. Salehi, "Optical CDMA via Temporal Code", IEEE Trans. Commun., Vol.40, No.7, pp.1162-1170, July 1992.

[9] E. Marom, "Optical delay line matched filters", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-25, pp.360-364, June 1978.

[10] John E. Midwinter, "Photonics in Switching", Academic Press, Inc., 1993

강 태 구(Tae-gu Kang) 정회원  
 1995년 2월 : 청주대학교 전자공학과 석사  
 2000년 8월 : 중앙대학교 전자공학과 박사수료  
 <주관심 분야> 광전자 및 광통신, FO-CDMA 기술, 광코드 설계

윤 영 설(Young-seol Yun) 정회원  
 2000년 2월 : 중앙대학교 영상공학과 석사  
 2002년 6월 : 중앙대학교 전자공학과 박사과정  
 <주관심 분야> 광전자 및 광통신, Microwave-Photonics

최 영 완(Young-wan Choi) 정회원  
 1987년 2월 : 버팔로 뉴욕주립 전기 및 컴퓨터 공학과 碩士  
 1992년 2월 : 버팔로 뉴욕주립 전기 및 컴퓨터 공학과 박사  
 2002년 6월 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
 <주관심 분야> 광전자 및 광통신, 광스위칭 및 소자