



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0017092
(43) 공개일자 2015년02월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 6/04 (2006.01) G02B 6/036 (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0092938
(22) 출원일자 2013년08월06일
심사청구일자 2013년08월06일

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
(72) 발명자
정윤철
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동)
장준호
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동)
최혁규
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동)
(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 9 항

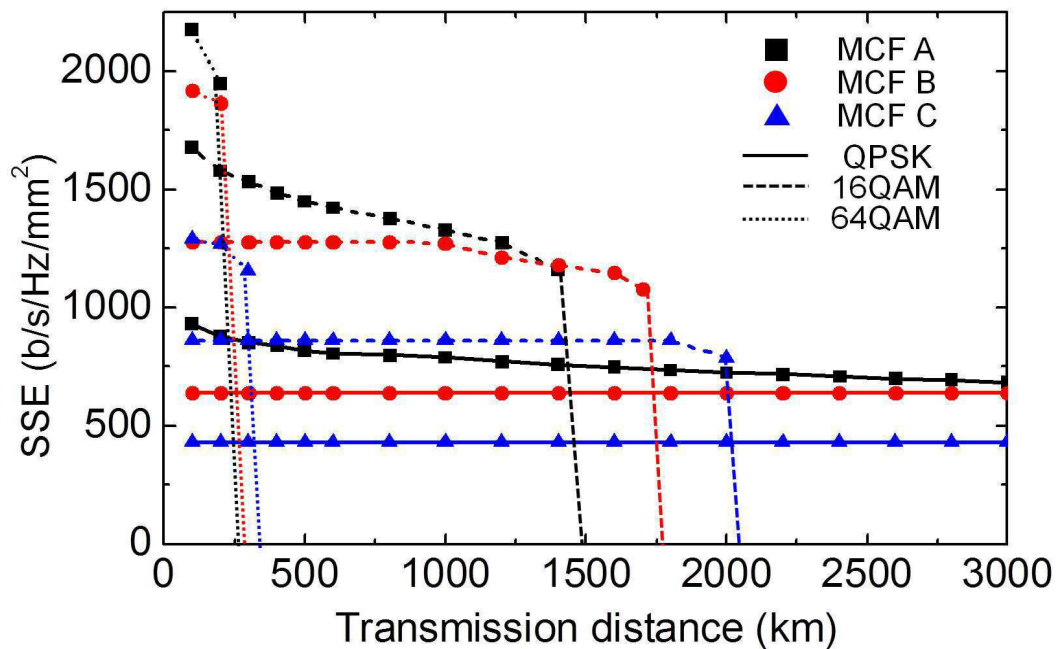
(54) 발명의 명칭 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법

(57) 요약

본 발명은 멀티레벨 변조방식 신호와 트렌치형 멀티코어 광섬유를 사용하는 광전송 시스템에서 단위 면적 당 전송용량을 증대하기 위한 광섬유의 구조에 대해 개시한다. 본 발명의 가장 큰 특징은 광섬유의 유효면적이 광전송 시스템의 전송용량과 전송거리를 균형 있게 증대시킬 수 있도록 설정된다. 또한, 동일한 유효면적과 손실을 가지

(뒷면에 계속)

대표도 - 도5



는 기존 단일모드 광섬유 시스템과 비교했을 때, 최대 전송거리가 10% 이내로 차이가 나도록 코어 간격을 설계하였으며, 그와 동시에 높은 전송용량을 구현할 수 있도록 트렌치의 폭을 최적화 하였다. 본 발명에 의하면, 단일모드 광섬유를 발명된 멀티코어 광섬유로 교체하면, 종래의 단일모드 광섬유 기반에서 사용하던 변조방식을 그대로 사용하면서도 단위 면적 당 전송용량 증대의 효과를 극대화할 수 있으며, 특히 동적인 광 네트워크에서 적용할 수 있는 대용량 광전송 시스템을 경제적으로 구현할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	10043383
부처명	지식경제부
연구관리전문기관	한국과학기술원
연구사업명	차세대통신네트워크 산업원천기술개발사업
연구과제명	멀티모드 기반의 10km급 공간 다중 광전송 원천기술 연구
기여율	1/1
주관기관	한국전자통신연구원
연구기간	2012.09.01 ~ 2013.08.31

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 설계조건 설정부를 이용하여, 광섬유 종류, 코어 개수 및 배치 구조를 설정하는 단계;
- (b) 유효면적 설정부를 이용하여, 광섬유 유효 면적을 설정하는 단계;
- (c) 최대누화 도출부를 이용하여, 사용 변조방식에 대해서 허용 가능한 최대 누화를 도출하는 단계;
- (d) 코어간격 조절부를 이용하여, 트렌치 폭을 증가시키면서 코어 간 간격을 조정하는 단계;
- (e) 전송용량 평가부를 이용하여, 광섬유의 전송용량을 평가하는 단계 및
- (f) 트렌치 폭 결정부를 이용하여, 광섬유의 트렌치 폭을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

일반적인 단일모드 광섬유 유효면적의 130% 이상으로 설정하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

누화가 없는 경우에 구현 가능한 최대 전송거리와 비교하여, 10% 이상의 전송거리 손실이 일어나지 않도록 누화의 값을 설정하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

상기 (c)에서 결정된 코어 누화 설정값을 만족하도록 트렌치 폭 및 코어 간격을 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (e) 단계는,

(e-1) 스펙트럼 효율과 공간 효율에 따른 제1평가단계 및

(e-2) 공간스펙트럼 효율과 전송거리 최대치에 따른 제2평가단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 공간스펙트럼 효율은 [수학식 1]로 산출되는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

[수학식 1]

$$SSE = \left(\frac{SE}{core} \right) \times \left(\frac{N}{A} \right)$$

여기서, SSE는 공간스펙트럼 효율, SE는 스펙트럼 효율, N은 코어의 개수, A는 멀티코어 광섬유의 단면적임

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 멀티코어 광섬유의 단면적은 [수학식 2]로 산출되는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

[수학식 2]

$$A = C \times N \times \left(\frac{\pi \Lambda^2}{3} \right)$$

여기서, Λ 는 코어 간격이며 C는 7-코어, 19-코어 광섬유일 때 각각 $(4/3)^2$, $(6/5)^2$ 의 값을 갖는 상수임

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 (f) 단계는,

(f-1) 최대 전송 거리에서 공간 스펙트럼 효율이 증가하도록 트렌치 폭 및 코어 간격을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 (f) 단계는,

(f-2) 상기 (f-1) 단계에서 결정된 상기 트렌치 폭에 관하여, 케이블 차단 파장이 시스템의 최단 사용 파장보다 짧은 범위인지 확인하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법.

명세서

기술분야

본 발명은 트렌치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량 증대 기술에 관한 것으로, 특히 멀티레벨 방식으로 변조된 신호를 전송하는 시스템의 전송용량 극대화에 적합한 광섬유 설계 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 최근 기존 단일모드 광섬유(single-mode fiber)의 전송용량 한계를 극복하기 위한 방안으로 공간다중화 기술이 주목받고 있다. 예를 들면, 대한민국 공개특허 공보 제10-2013-0074517호(2013. 07. 04)에 개시된 바와 같이, 한 가닥의 광섬유 내에 다수의 코어가 설치된 멀티코어 광섬유(multi-core fiber)를 사용하는 경우 코어 개수에 비례하여 광섬유 당 전송 용량을 증가시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 광섬유의 전송용량을 극대화하기 위해서는 가능한 많은 코어를 사용하는 것이 필요하다. 그러나 이를 위해서는 코어 간 간격을 줄여야 하며, 이는 코어 사이에서 발생하는 누화를 증가시킨다. 이와 같이 누화가 증가하는 경우 스펙트럼 효율이 우수하며 대용량 전송에 유리한 고차의 멀티레벨 변조방식을 사용할 수 없게 되는데, 이는 고차의 변조방식일수록 누화에 취약하기 때문이다. 따라서 단순히 코어 간 간격을 축소하여 코어 개수를 증가시키더라도 멀티코어 광섬유의 전송용량은 이와 비례하여 증가하지 않을 수 있다.
- [0003] 한편, 높은 차수의 멀티레벨 방식으로 변조된 신호는 낮은 차수의 방식으로 변조된 신호보다 광섬유의 비선형 현상에 더 취약하다는 사실은 널리 알려져 있다. 따라서 고차 멀티레벨 변조방식의 사용을 용이하게 하기 위해서는 누화뿐만 아니라 광섬유의 비선형 현상을 최대한 억제해야 한다. 이러한 비선형 현상을 억제하는 일반적인 방법은 코어의 유효면적을 증가시키는 것이다. 하지만 멀티코어 광섬유 내에 존재하는 각 코어의 유효면적이 증가하면 각 코어를 진행하는 빛의 모드 필드 직경(mode field diameter)이 증가하기 때문에 그 결과로 코어 간의 누화 역시 증가하게 된다. 따라서 멀티코어 광섬유를 사용할 때는 각 코어의 유효면적을 증가시키더라도 전송용량이 증가하지 않을 수 있다.
- [0004] 트렌치(trench)형 광섬유는 각 코어 주변에 굴절률이 클래딩보다 낮은 트렌치가 존재하는 광섬유를 말한다. 이 트렌치의 역할은 클래딩으로 진행하는 빛을 억제시키고 코어에 빛을 집중시켜 인접 코어들 사이의 누화를 감소시키는 역할을 한다. 하지만 트렌치의 폭이 지나치게 두꺼운 경우, 해당 코어를 통해 진행하는 빛뿐만 아니라 인접 코어들을 통해 진행하는 빛에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 이러한 영향을 고려하여 트렌치의 두께가 정해져야 한다.
- [0005] 위와 같은 이유로 인해 멀티레벨 변조방식과 멀티코어 광섬유를 사용하는 공간다중화 광전송 시스템에 적합한 광섬유 구조는 기존의 단일모드 광섬유를 사용한 광전송 시스템에 적합한 구조와 상이할 수 있다. 특히 코어 간격과 각 코어의 유효 면적은 전송용량에 크게 영향을 미치는 요소이므로 차세대 광전송 시스템의 구현에 있어 이들의 최적화는 필수적이라고 볼 수 있다. 또한, 공간 효율을 증가시키기 위해 사용되는 트렌치형 광섬유의 경우, 트렌치의 폭에 따라 사용가능한 변조방식 및 변조된 광신호의 전송 품질이 크게 바뀔 수 있기 때문에 광섬유의 설계에 있어서 반드시 고려되어야 한다.
- [0006] 종래의 멀티코어 광섬유의 설계에서 가장 중요하게 고려되었던 요소는 코어 간의 누화였다. 코어 간의 누화가 광신호의 전송품질에 미치는 영향이 무시할만할 정도로 작아지도록 코어 간의 간격을 충분히 넓히는 것이 종래의 멀티코어 광섬유의 설계 방법이었다. 하지만 코어 간의 간격을 충분히 넓히는 것에 대한 기준이 모호했을 뿐 아니라, 이러한 설계과정에 있어서 광신호의 변조방식 및 전송거리에 대해 요구되는 코어 간의 누화의 관계를 엄밀히 고려하여 코어 간격을 결정하지 않았기 때문에 멀티코어 광섬유에서 가장 중요한 장점 중의 하나인 '공간 효율'을 극대화할 수 없었다. 또한 각 코어의 유효면적이 코어 간의 누화에 큰 영향을 줘도 불구하고, 단위 면적 당 전송 용량을 증대하기 위한 최적의 유효면적에 대한 논의도 이루어지지 않았다.
- [0007] 따라서 대용량 전송에 적합한 멀티레벨 변조방식을 멀티코어 광섬유를 설계하기 위해서는 먼저 최적의 유효면적을 도출하는 것이 중요하며, 코어 간의 누화가 광신호의 전송품질에 미치는 영향을 최소화하면서 동시에 조밀한 코어의 배치를 가능케 하는 인덱스 프로파일 구조를 얻을 수 있는 방안이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 공보 10-2013-0074517A, 2013. 07. 04, 6쪽 내지 7쪽.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 본 발명에 따른 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법의 목적은, 동일한 유효면적을 가지는 단일코어 광섬유와 비교하여 광신호의 전송품질을 크게 저해하지 않으면서 단위 면적 당 전송 용량을 극대화 할 수 있는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 설계 방법을 제공하는데 있다.
- [0010] 다른 목적은, 트렌치형 멀티코어 광섬유 기반의 대용량, 장거리 광전송 시스템에 적합한 각 코어의 유효면적을 도출하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명에 따른 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법은 (a) 광섬유 종류, 코어 개수 및 배치 구조를 설정하는 단계; (b) 광섬유 유효 면적을 설정하는 단계; (c) 사용 변조방식에 대하여 허용 가능한 최대 누화를 도출하는 단계; (d) 트렌치 폭을 증가시키면서 코어 간 간격을 조정하는 단계; (e) 광섬유의 전송용량을 평가하는 단계; (f) 광섬유의 트렌치 폭을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (b) 광섬유 유효 면적을 설정하는 단계는 멀티코어 광섬유의 유효 면적을 일반적인 단일모드 광섬유 유효 면적의 130% 이상으로 설정하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (c) 사용 변조방식에 대하여 허용 가능한 최대 누화를 도출하는 단계는 누화가 없는 경우에 구현 가능한 최대 전송거리와 비교하여, 10% 이상의 전송 거리 손실이 일어나지 않도록 누화의 값을 설정하는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (d) 트렌치 폭을 증가시키면서 코어 간 간격을 조정하는 단계는 (c)에서 결정된 코어 누화 설정값을 만족하도록 트렌치 폭 및 코어 간격을 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (e) 광섬유의 전송용량을 평가하는 단계는 (e-1) 스펙트럼 효율과 공간 효율에 따른 제1평가단계 및 (e-2) 공간스펙트럼 효율과 전송거리 최대치에 따른 제2평가 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, 공간스펙트럼 효율은 [수학식 1]로 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0017] [수학식 1]

$$SSE = \left(\frac{SE}{core} \right) \times \left(\frac{N}{A} \right)$$

[0018] 여기서, SSE는 공간스펙트럼 효율, SE는 스펙트럼 효율, N은 코어의 개수, A는 멀티코어 광섬유의 단면적임.

[0020] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, 멀티코어 광섬유의 단면적은 [수학식 2]로 산출되는 것을 특징으로 한다.

[0021] [수학식 2]

$$A = C \times N \times \left(\frac{\pi \Lambda^2}{3} \right)$$

[0022] 여기서, Λ 는 코어 간격이며 C는 7-코어, 19-코어 광섬유일 때 각각 $(4/3)^2$, $(6/5)^2$ 의 값을 갖는 상수임.

[0024] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (f) 광섬유의 트렌치 폭을 결정하는 단계는, (f-1) 최대 전송 거리에서 공간 스펙트럼 효율이 증가하도록 트렌치 폭 및 코어 간격을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한, 본 발명에 따른 멀티코어 광섬유 설계 방법에 있어서, (f) 광섬유의 트렌치 폭을 결정하는 단계는, (f-

2) 상기 (f-1) 단계에서 결정된 상기 트렌치 폭에 관하여, 케이블 차단 파장이 시스템의 최단 사용 파장보다 짧은 범위인지 확인하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0026] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 설계 방법은 대용량 및 장거리 멀티레벨 광전송에 적합한 광섬유의 유효 면적을 사용하고 코어 간격과 트렌치 폭을 조절하여 광섬유의 단위 면적 당 전송용량을 극대화시킴으로써 효과적인 전송용량의 증대 방안을 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0027] 또한, 본 발명에 의한 광섬유의 설계 방법을 사용함으로써, 트렌치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량을 증대시키는 물론 경제적인 광전송 시스템을 구축할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 멀티코어 광섬유로 이루어진 링크에서의 성능 열화 현상을 분석하기 위한 사용된 모의실험의 구성도.
- 도 2는 본 발명에 따른 7-코어 트렌치형 멀티코어 광섬유의 구조를 설명하기 위한 구조도.
- 도 3은 서로 다른 3개의 멀티코어 광섬유에 대해 코어 간 간격을 변화시켜가면서 얻은 코어 간의 누화의 크기와 케이블 차단 파장을 나타낸 그래프.
- 도 4는 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호에 대해 코어 간 누화가 수신된 신호의 성능에 미치는 영향을 전송 거리에 따라 나타낸 그래프 및 각 변조방식 별 허용 가능한 최대 누화를 표시한 수직선.
- 도 5는 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호와 서로 다른 3개의 7-코어 광섬유의 사용에 대해 얻을 수 있는 최대 공간스펙트럼 효율을 전송 거리에 따라 나타낸 그래프.
- 도 6은 서로 다른 3개의 7-코어 광섬유에 대해 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호의 사용으로 얻을 수 있는 공간스펙트럼 효율과 전송거리의 곱의 최대값을 나타낸 그래프.
- 도 7은 16QAM 신호와 트렌치 폭이 서로 다른 2개의 7-코어 광섬유의 사용에 대해 얻을 수 있는 최대 공간스펙트럼 효율을 전송 거리에 따라 나타낸 그래프.
- 도 8은 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법을 실시하기 위한 시스템 구성도.
- 도 9는 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법의 전체 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 본 발명에 따른 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0030] 먼저 대용량 및 장거리 광전송에 적합한 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 조건을 다음과 같이 나열할 수 있다. 첫째, 광섬유의 유효 면적이 최적화가 되어야 한다. 일반적으로 광섬유의 유효 면적이 증가할수록 전송거리가 증가하게 된다. 따라서 단일코어 광섬유의 경우, 유효 면적 증가로 인한 전송 성능의 향상을 평가할 때에는 스펙트럼 효율과 최대전송거리의 곱으로 나타나는 용량-거리 곱(capacity-distance product)을 비교한다. 하지만 멀티코어 광섬유에서는 단위 면적 당 전송용량이 중요한 파라미터가 되므로 단위 면적 당 용량-거리 곱이 최대가 되도록 유효 면적을 설정해야 한다. 둘째, 동일한 유효 면적을 가지는 단일코어 광섬유의 최대 전송거리와 비교했을 때, 전송거리 손실이 10% 이하가 되어야 한다. 멀티코어 광섬유의 최대 전송거리는 코어 간의 누화로 인해 단일코어 광섬유의 최대 전송거리보다 짧아지는 것은 불가피하나, 전송거리가 과도하게 짧아지게 되면 장거리 전송에 적합하지 않게 되므로 이에 대한 고려가 필요하다.

[0031] 위의 조건을 만족하는 멀티코어 광섬유를 설계하기 위해서는 스펙트럼 효율, 공간 효율, 최대 전송거리 등을 정의하고 그것들의 실제적인 기능을 먼저 살펴볼 필요가 있다.

[0032] 도 1은 멀티코어 광섬유 광전송 링크에서 사용된 멀티레벨 신호가 코어 간 누화와 광섬유의 비선형성으로 인해

받는 영향을 분석하기 위하여 사용된 모의실험 구성도이다. 도 1을 참조하면, 트랜치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량을 계산함에 있어서 코어 간 누화 및 광섬유의 비선형성으로 인해 제한되는 신호의 전송품질을 분석하는 과정이 포함된다.

[0033] 모의실험 구성도에서 파장다중화 및 편광다중화(Polarization division multiplex)된 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호가 광전송기(10)에서 트랜치형 멀티코어 광섬유로 이루어진 광링크를 통해 전송되며, 멀티코어 광섬유 내에 존재하는 각 코어들의 인덱스 프로파일이 모두 동일하고, 코어들의 배치는 6각형 배열(hexagonal layout)로 되어 있는 것을 특징으로 한다. 또한, QPSK, 16QAM, 64QAM 신호의 전송 속도는 모두 112 Gbps로 (overhead 제외 시 100 Gbps) 동일하지만, 각 신호의 채널 간격은 변조방식 별로 각각 50, 25, 16.67 GHz라고 가정하였다. 스펙트럼 효율은 단위 대역폭 당 전송속도를 의미하므로, 각 신호의 스펙트럼 효율은 2, 4, 6 b/s/Hz가 된다. 더불어 멀티코어 광섬유의 비선형 현상은 일반적인 단일모드 광섬유에서의 비선형 현상과 동일하다고 가정하는 것을 특징으로 한다.

[0034] 도 1을 참조하면, 코어 간 누화로 인한 영향을 분석하기 위해 별도의 누화 소스(20)를 사용하여 분석하였다. 이와 같은 경우, 코어 간 누화의 크기는 WDM 신호와 추가된 별도의 신호의 출력을 조절하여 간단하게 표현될 수 있다. 그러나 멀티코어 광섬유의 경우처럼 여러 독립적인 소스로부터 발생하는 누화의 합은 그 크기가 가우시안 분포를 가지게 된다. 이런 특성을 한 개의 별도의 신호 소스를 사용하여 모사하기 위해 그 출력단에 인위적으로 색분산(30)을 가하여 이 역시 가우시안 분포를 갖도록 하였다.

[0035] 도 2는 트랜치형 멀티코어 광섬유의 구조를 설명하기 위한 구조도를 나타낸다. 본 발명의 실시예에 사용된 3가지 서로 다른 멀티코어 광섬유의 구조를 나타내는 각각의 수치는 다음과 같다. MCF A는 $d_1, d_2, d_3, \Delta_1, \Delta_2$ 는 각각 $8.2 \mu\text{m}, 18.3 \mu\text{m}, 26.5 \mu\text{m}, 0.38\%, -0.65\%$ 이며, MCF B는 각각 $10.3 \mu\text{m}, 22.2 \mu\text{m}, 32.0 \mu\text{m}, 0.26\%, -0.70\%$, MCF C는 각각 $12.8 \mu\text{m}, 21.2 \mu\text{m}, 26.0 \mu\text{m}, 0.26\%, -0.56\%$ 이다. MCF A, MCF B, MCF C 내에 존재하는 코어의 유효면적은 각각 $75 \mu\text{m}^2, 110 \mu\text{m}^2, 130 \mu\text{m}^2$ 이다. 또한 코어 간격은 Λ 로 정의한다.

[0036] 도 3은 상기 3가지 서로 다른 멀티코어 광섬유에 대해 코어 사이의 간격을 변화시켜가면서 얻은 코어 간의 누화의 크기와 케이블 차단 파장을 나타낸 그래프이다. 도 3을 참조하면, 코어 사이의 간격을 감소시킬수록 멀티코어 광섬유의 종류에 상관없이 코어 간의 누화가 증가함을 알 수 있다. 멀티코어 광섬유의 종류에 따라 동일한 수준의 코어 간의 누화를 발생시킬 수 있는 코어 사이의 간격이 상이하며, 코어의 유효면적이 넓을수록 더 높은 코어 간 간격이 요구됨을 알 수 있다.

[0037] 또한 도 3을 참조하면, 코어 간격을 감소시킬수록 케이블 차단 파장 역시 증가함을 확인할 수 있다. 케이블 차단 파장은 광신호가 단일모드의 빛을 통해 전달되는 최단 파장을 의미한다. 광섬유의 케이블 차단 파장이 시스템에 사용되는 최단 파장보다 길어지게 되면, 두 파장 사이에서는 광신호가 단일모드 빛에 실려 전달되지 않게 된다. 이는 모드 분산(modal dispersion) 등의 심각한 문제들을 야기한다. 즉, 케이블 차단 파장이 길어질수록 단일모드로 사용가능한 대역폭이 줄어들음을 의미한다. 가장 널리 사용되는 C-밴드를 사용하는 시스템의 경우 시스템의 최단 사용 파장은 1530 nm이다. 따라서 C-밴드 전송을 위해서 최소한으로 요구되는 1530nm 파장 대역에서 단일모드로 작동하기 위해서는 일정 이상의 코어 간 간격이 요구되었는데, 코어의 유효면적이 넓을수록 더 높은 코어 간 간격이 요구되었다. 한편, 시스템의 최단 사용 파장은 미리 설정되는 값이며 사용하려는 대역폭에 따라서 달라진다. 예를 들면, C-밴드를 사용하는 시스템의 경우는 1530nm, L-밴드만 사용하는 시스템의 경우는 1565nm 가 시스템의 최단 사용 파장이다.

[0038] 도 4는 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호에 대해 코어 간 누화가 수신된 신호의 성능에 미치는 영향을 전송 거리에 따라 나타낸 그래프이다.

[0039] 이 때, 수신된 신호의 성능은 순방향 오류정정(FEC) 한계, 즉 비트오율 3.8×10^{-3} 을 얻기 위해 필요한 최소한의 광신호 대 잡음비(OSNR)로 나타내었다. 변조방식에 관계없이 누화의 크기가 커질수록 더 높은 광신호 대 잡음비가 요구됨을 확인할 수 있다.

[0040] 반면, 누화의 크기가 어느 정도 이상 증가하게 되면 광신호 대 잡음비를 더욱 증가시키더라도 비선형성에 의한 한계로 인해 FEC 한계 이상의 비트오율을 얻을 수 없었다. 따라서 각 변조방식에 대해 허용 가능한 최대 누화를 얻을 수 있으며 도 4에 표시된 수직선이 그 값을 나타낸다. 이 결과와 도 3(a)로부터 도출된 코어 간격과 코어 간 발생하는 누화의 관계를 사용하면 구형 가능한 최대 코어 밀도를 구할 수 있다.

[0041] 물론, 이때 얻을 수 있는 최대 코어 밀도는 전체 C-밴드 파장 대역에서 단일모드로 작동하는 시스템을 보장하지

는 못한다. 따라서 실질적으로 구현 가능한 코어 밀도의 최대치는 도 3(b)로부터 도출된 케이블 차단 파장이 1530nm보다 낮은 수준으로 유지되도록 하는 코어 사이의 간격에 의해 한정된다. 이것은 다시 말하면, 전송거리가 짧아 코어 간의 누화가 거의 없는 광전송 시스템일지라도 코어 사이의 간격을 극단적으로 줄이는 것은 불가능하다는 것을 나타낸다.

[0042] 고차 변조방식 신호를 사용하면 심볼 당 할당된 비트 수가 많아지기 때문에 스펙트럼 효율을 증가시킬 수 있지만, 이를 위해서는 코어 간격이 넓어져야 하므로 공간 효율이 감소하게 된다. 따라서 구현 가능한 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량을 적절하게 평가하기 위해서는 스펙트럼 효율과 공간 효율을 동시에 고려해야 한다. 이를 위해서 공간스펙트럼 효율을 수학식 1과 같이 정의하였다.

수학식 1

$$SSE = \left(\frac{SE}{core} \right) \times \left(\frac{N}{A} \right)$$

[0043]

[0044] 여기서, SSE는 공간스펙트럼 효율, SE는 스펙트럼 효율, N은 코어의 개수, A는 멀티코어 광섬유의 단면적을 의미한다.

[0044]

[0045] SSE의 분석을 위하여 멀티코어 광섬유의 코어는 6각형 구조로 배치되었으며, 클래딩의 두께는 코어 간격과 동일하다고 가정하였다. 이 때, 멀티코어 광섬유의 단면적 A는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

[0045]

수학식 2

$$A = C \times N \times \left(\frac{\pi \Lambda^2}{3} \right)$$

[0046]

[0047] 여기서, Λ 는 코어 간격이며 C는 7-코어, 19-코어 광섬유일 때 각각 $(4/3)^2$, $(6/5)^2$ 의 값을 갖는 상수이다.

[0047]

[0048] 도 5는 위의 정의를 이용하여 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호와 서로 다른 3개의 7-코어 광섬유의 사용에 대해 얻을 수 있는 최대 공간스펙트럼 효율 (SSE)을 전송 거리에 따라 나타낸 그래프이다. 코어의 유효면적이 넓어질수록 코어 간 누화와 케이블 차단 파장이 증가하기 때문에 모든 변조방식에 대해 공간스펙트럼 효율을 감소하였다.

[0048]

[0049] 하지만, 유효면적을 증가시키면 광섬유의 비선형 현상이 억제되기 때문에 전송 거리는 어느 정도 증가시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다. 한 예로, MCF B대신 MCF C를 사용하면 16QAM 신호를 전송하는 경우 전송거리를 1600km에서 2000km까지 증가시킬 수 있었다.

[0049]

[0050] 하지만 2000km 전송의 경우, MCF C와 16QAM 신호를 사용할 때의 공간스펙트럼 효율은 MCF A와 QPSK 신호를 사용할 때의 공간스펙트럼 효율과 크게 차이가 있지 않음을 볼 수 있다. 이는 최대 공간스펙트럼 효율을 얻기 위해서는 광섬유의 유효면적이 거리와 사용되는 변조방식에 따라 적절하게 선택되어야 함을 의미한다. 따라서 앞에서 언급한 것처럼 광전송 시스템의 단위면적 당 용량-거리 곱, 즉, 공간스펙트럼 효율과 전송거리를 곱한 수치의 최대치를 광섬유의 성능지표로서 사용 및 비교하였다.

[0050]

[0051] 도 6은 서로 다른 3개의 7-코어 광섬유에 대해 QPSK, 16QAM, 64QAM 신호의 사용으로 얻을 수 있는 공간스펙트럼 효율과 전송거리의 곱의 최댓값을 나타낸 그래프이다. 모든 변조방식에 대해 유효면적이 넓은 멀티코어 광섬유의 사용으로 인한 공간스펙트럼 효율과 전송거리의 곱의 증가폭이 크지 않음을 확인할 수 있다. 오히려, 유효면적이 $130\mu\text{m}^2$ 인 MCF C의 경우는 이 값이 유효면적이 $110\mu\text{m}^2$ 인 MCF B의 경우보다 작았다.

[0051]

[0052] 따라서 유효면적을 과도하게 크게 하면 앞서 언급한 것과 같이 코어 간의 누화와 케이블 차단 파장의 증가로 인해 코어 간의 거리가 멀어져야 하므로 공간효율이 감소하며, 그 결과, 멀티코어 광전송 시스템의 전송용량이 감소하게 된다. 도 6의 결과로부터 유효면적이 약 $110\mu\text{m}^2$ 가 되도록 MCF 구조를 설계하는 것이 전송용량 증대에 가장 적합한 방향임을 예상할 수 있다.

[0052]

- [0053] 위의 결과를 종합하면, 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 설계를 할 때 각 코어의 유효 면적은 일반적인 단일모드 광섬유의 유효면적 ($75\sim 85\mu\text{m}^2$)의 130% 이상이 되도록 하되 사용되는 변조방식에 따라 코어 간의 누화에 대한 영향을 분석하여 최대한 코어 사이의 간격을 좁게 만들어야 함을 알 수 있다. 뿐만 아니라 케이ابل 차단 과정의 영향도 반드시 고려되어야 한다. 따라서 멀티레벨용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 설계방법은 도 8에 도시된 설계 시스템을 이용하여, 도 9에 도시된 흐름도로 수행을 할 수 있다.
- [0054] 먼저, 설계조건 설정부(51)를 이용하여, 설계하려는 광섬유의 종류, 코어 개수 및 배치 구조를 설정하는 과정(S10)이 요구된다. 본 실시예에서는 트렌치형 멀티코어 광섬유이며 7개 코어가 육각형 배열로 배치된 멀티레벨용 트렌치형 멀티코어 광섬유를 고려하였다. 단, 코어의 개수는 코어 사이의 간격과 광섬유의 단면적에 의해 제한이 되는데, 광섬유의 지름은 $250\mu\text{m}$ 이하로 유지되어야 한다. 이는 이 값보다 크게 되면 광섬유의 구부림 효과 등의 장점을 취할 수 없고 기계적 힘에 의해 쉽게 부서지기 때문이다. 따라서 설계하고자 하는 코어의 개수는 이 조건을 반드시 만족시켜야 하며, 이는 설계된 코어 간격으로부터 쉽게 확인할 수 있다.
- [0055] 다음으로, 유효면적 설정부(52)를 이용하여, 광섬유의 유효 면적을 설정하는 단계(S20)를 수행한다. 각 코어의 유효 면적이 $110\mu\text{m}^2$ 가 되도록 하기 위해서는 인덱스 프로파일을 조절하여야 한다. 유효면적은 코어 반경을 늘릴수록 코어와 클래딩의 인덱스 차이를 감소시킬수록 증가하게 된다. 본 실시예에서는 MCF B와 같이 코어 반경을 $10.3\mu\text{m}$, 코어와 클래딩의 인덱스 차이를 0.26%로 설정하였다.
- [0056] 다음으로, 최대누화 도출부(53)를 이용하여, 사용하고자 하는 변조방식에 대해서 허용 가능한 최대 누화를 도출하는 단계(S30)를 수행한다. 여기서 말하는 허용 가능한 최대 누화란 멀티코어 광섬유를 진행하는 광신호의 최대 전송거리가 누화가 없는 경우에 구현 가능한 최대 전송거리와 비교했을 때, 10% 이상의 전송거리 손실이 일어나지 않도록 하는 누화의 양이다. 멀티코어 광섬유에서는 누화의 양이 증가할수록 광신호의 전송거리가 감소하게 된다. 이는 공간효율을 높이기 위해서는 전송거리에 대한 손실을 감수해야 함을 의미한다. 본 발명에서는 위와 같은 조건을 설정해 줌으로써 전송거리 손실을 최소화시켰다. 도 5의 결과를 보면 MCF B를 통해 전송되는 16QAM 신호의 최대전송거리는 1700km 이다. 따라서 본 실시예에서는 전송 거리가 1600km 일 때의 16QAM 신호의 전송 성능을 고려하였으며, 도 4에서와 같은 방법으로 허용 가능한 최대 누화의 값을 도출하면 약 -23dB이다.
- [0057] 다음으로, 코어간격 조절부(54)를 이용하여, 도출한 허용 가능한 최대 누화의 설정값이 만족하도록 트렌치 폭 및 코어 간격을 조절을 하는 단계(S40)를 수행한다. 트렌치형 멀티코어 광섬유에서는 코어 간의 누화를 억제하기 위하여 트렌치의 폭을 조절할 수 있다. 트렌치의 폭이 넓으면 빛을 코어에 더 강하게 감히게 하므로 누화를 크게 억제시킬 수 있다. 단, 유효 면적의 변화를 피하기 위해서 코어 최외곽과 트렌치의 최내곽 사이의 거리가 일정하도록 해야 한다. 이와 같은 특성을 이용하면 트렌치의 폭을 증가시켜서 코어 사이의 간격을 줄일 수 있으므로 공간효율을 증가시키는데 효과적이다. 본 실시예에서는, 서로 다른 트렌치 폭을 가진 두 가지 멀티코어 광섬유를 정의하였다. MCF B는 위에서 정의한 트렌치의 폭은 $4.9\mu\text{m}$ 인 멀티코어 광섬유이다. MCF D는 MCF B와 동일한 구조를 가지되 트렌치의 폭이 $5.4\mu\text{m}$ 로 MCF B의 그것보다 다소 넓은 멀티코어 광섬유이다. MCF B의 경우 MCF D보다 코어 간의 누화가 크므로 앞 단계에서 도출한 최대 누화 설정값을 만족시키려면 코어 사이의 간격이 더 멀어야 한다. MCF B를 사용하였을 때는 -23dB의 누화를 유지하기 위해 요구되는 코어 간격은 약 $39\mu\text{m}$ 이지만 MCF D를 사용하면 약 $37.5\mu\text{m}$ 로 감소시킬 수 있다.
- [0058] 다음으로, 전송용량 평가부(55)를 이용하여, 광섬유의 전송용량을 평가하는 단계(S50)를 수행한다. 멀티코어 광섬유의 전송용량은 단위 면적 당 스펙트럼 효율, 곧, 스펙트럼 효율과 공간 효율의 곱으로 정의된다. 스펙트럼 효율은 단위 대역폭 당 전송비트 수로 정의되므로 사용되는 변조방식의 종류에 의존적이다. 또한 공간 효율은 광섬유의 단면적의 역수로 정의된다. 따라서 스펙트럼 효율과 공간 효율의 곱을 공간스펙트럼 효율이라 정의하고 이는 [수학식 1]에 나타나있다. 도 7은 16QAM 신호가 멀티코어 광섬유로 이루어진 광 링크로 전송될 때 얻을 수 있는 공간스펙트럼 효율을 거리에 따라 나타낸 것이다. 이러한 파라미터를 기반으로 광섬유의 전송용량을 쉽게 비교할 수 있다.
- [0059] 다음으로 트렌치 폭 결정부(56)를 이용하여, 광섬유의 트렌치 폭을 결정하는 단계(S60)를 수행하며, 상기 S60단계는 트렌치 폭과 코어 간격의 여러 조합 중 광섬유의 전송용량을 가장 증대시킬 수 있는 값을 찾는 단계를 말한다. 변조 방식이 정해지면 스펙트럼 효율도 역시 정해지므로 전송용량은 공간효율에 의해 결정이 된다. 따라서 코어 간격을 최소화할 수 있도록 트렌치 폭을 가능한 두껍게 하는 것이 유리하다. 도 7에서 참조하면, 위에서 설정한 멀티코어 광섬유의 최대 전송거리인 1600km 에서의 공간스펙트럼 효율이 트렌치 폭이 두꺼운 MCF D가

더 큰 값을 가짐을 확인할 수 있다. 하지만 코어 간의 누화뿐만 아니라 트렌치 폭에 의한 케이블 차단 파장의 증가를 고려해야 한다. 단순히 트렌치의 폭을 증가시키게 되면 케이블 차단 파장의 영향으로 인해 공간스펙트럼 효율이 오히려 감소하게 된다. 이는 도 7에 나타난 그래프들의 평평한 부분이 트렌치의 폭이 증가할수록 감소하는 것으로 확인할 수 있다. 따라서 MCF D의 경우보다 트렌치의 폭을 더 증가시키면 1600km에서의 공간스펙트럼 효율이 점점 더 감소하게 되고 결국 트렌치 폭의 증가로 인한 이득을 상실하게 된다. 본 실시예에 따라 설계된 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유의 구조는 MCF D로 나타났다.

[0060] 각 단계의 기능은 링크 상에 존재하는 광소자 및 송수신기의 성능을 고려한 광링크 마진을 추출하면 시뮬레이션 프로그램 상에서 간단히 수행할 수 있다.

[0061] 한편, 상술한 실시예 외에도 멀티레벨 변조방식을 이용한 트렌치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량의 극대화를 적용할 수 있는 신호의 변조 방식은 OOK (On-off keying), M-ary PSK (Phase shift keying), M-ary QAM (Quadrature amplitude modulation) 등으로 다르게 할 수 있다. 또한, 각 신호의 전송 속도나 파장 다중화 된 채널들 간의 간격 등을 다르게 할 수 있다.

[0062] 또한 본 발명에 따른 트렌치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량의 증대를 위한 광섬유 구조를 사용함에 있어서, 광 링크의 스펠 길이, 증폭기의 사용 유무, 파장 다중화 된 채널의 개수 등 광전송 링크의 특성도 다르게 할 수 있다. 이 때, 본 발명에 따른 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 당업자는 본 발명에 따른 멀티레벨 변조방식을 이용한 트렌치형 멀티코어 광섬유 시스템의 전송용량 증대를 위한 광섬유 구조를 이용하여 광신호의 변조 방식과 광전송망의 변화에 충분히 반영시켜 적용할 수 있다고 판단되므로 상세한 설명은 생략한다.

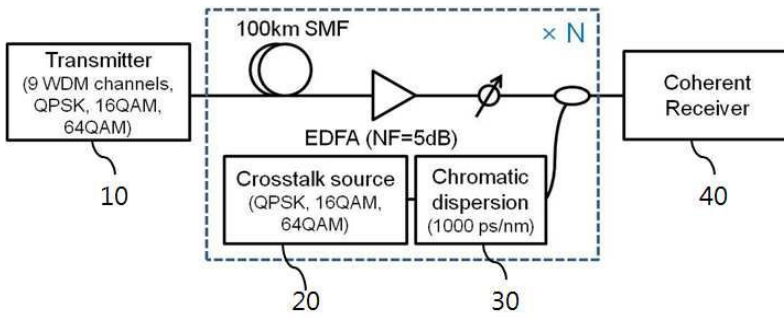
[0063] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 멀티레벨 변조방식용 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 방법으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

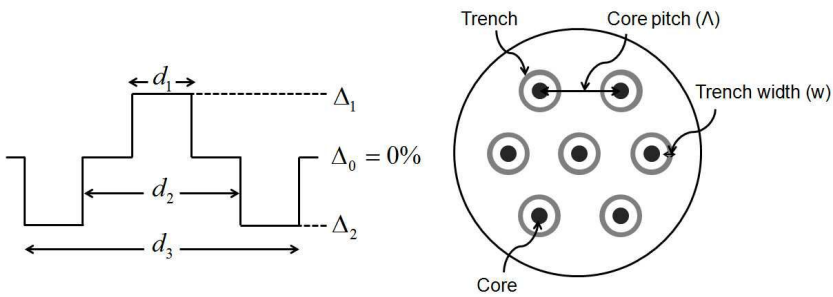
- [0064] 10 : 광송신기
- 20 : 누화 소스
- 30 : 색분산
- 40 : 코히런트 수신기
- 50 : 트렌치형 멀티코어 광섬유 설계 시스템
- 51 : 설계조건 설정부
- 52 : 유효면적 설정부
- 53 : 최대누화 도출부
- 54 : 코어간격 조절부
- 55 : 전송용량 평가부
- 56 : 트렌치 폭 결정부

도면

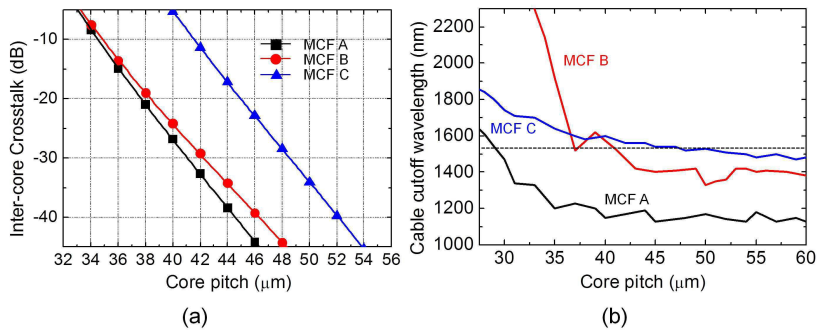
도면1



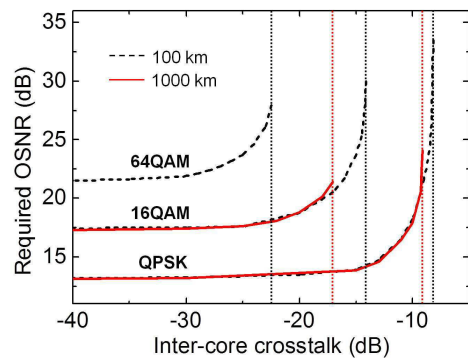
도면2



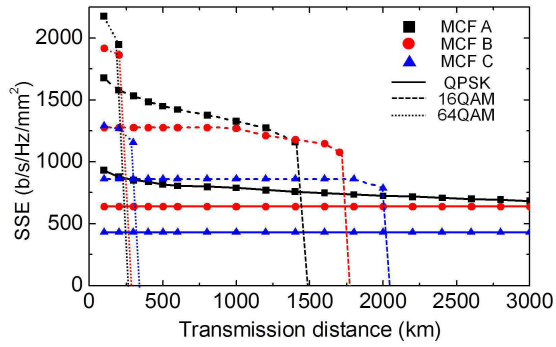
도면3



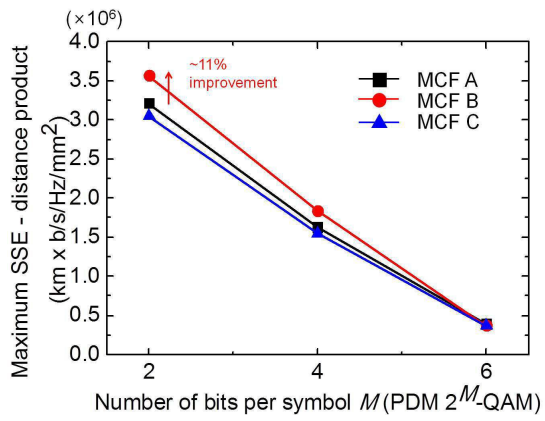
도면4



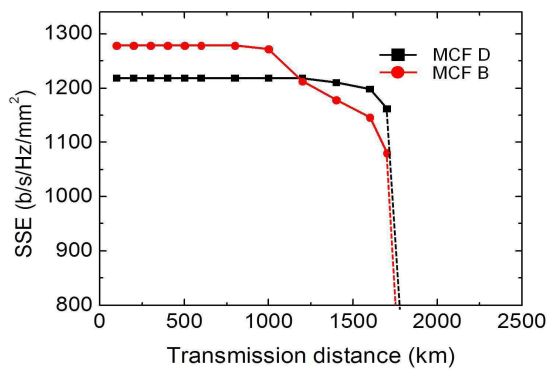
도면5



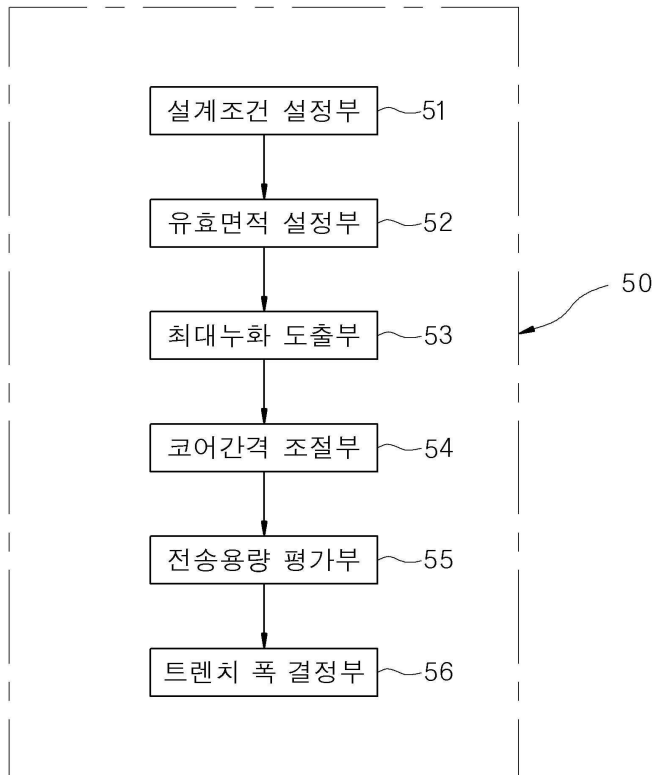
도면6



도면7



도면8



도면9

