



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월01일

(11) 등록번호 10-1532949

(24) 등록일자 2015년06월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 10/00 (2006.01) G01M 11/00 (2006.01)
G02B 6/028 (2006.01) H04B 10/2581 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2012-7000438

(22) 출원일자(국제) 2010년06월10일
심사청구일자 2015년06월09일

(85) 번역문제출일자 2012년01월06일

(65) 공개번호 10-2012-0037452

(43) 공개일자 2012년04월19일

(86) 국제출원번호 PCT/US2010/038166

(87) 국제공개번호 WO 2010/147841

국제공개일자 2010년12월23일

(30) 우선권주장

12/797,328 2010년06월09일 미국(US)

61/187,137 2009년06월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US6400450 B1

US4339174 A

(73) 특허권자

팬듀트 코포레이션

미국 일리노이주 60487 틴리 파크 팬듀트 드라이브 18900

(72) 발명자

핍퍼넬라 리차드 제이.

미국 일리노이 60423 프랭크포트 코웰레 드라이브 11864

투드리 개스톤 이.

미국 일리노이 60441 로크포트 길버트 드라이브, 17573

(74) 대리인

송봉식, 정삼영

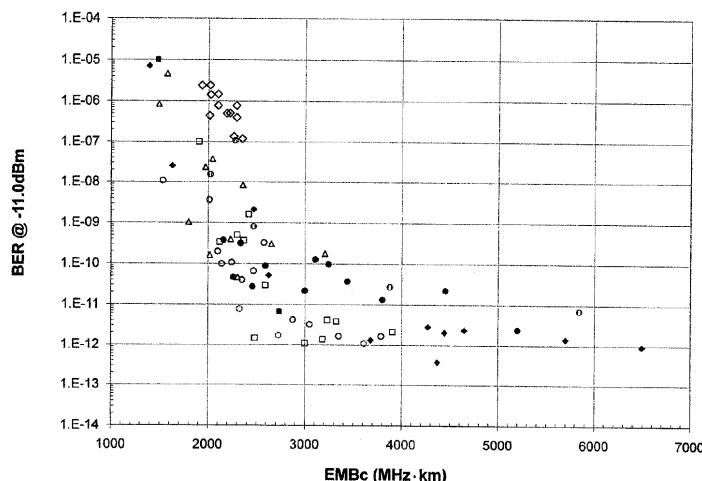
전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 장진환

(54) 발명의 명칭 향상된 성능을 위한 멀티모드 파이버 선택 및 설계를 위한 설계 방법 및 계량

(57) 요 약

멀티모드 파이버(MMF)의 특성 및 설계에 적용가능한 새로운 계량이 기술된다. 이러한 계량은 차동 모드 딜레이(DMD)로부터 유도되고, 유효 모드 대역폭(EMB) 및 DMD와 같은 산업-표준 계량과 함께 사용될 때, 비트 에러율(BER) 테스팅에 의해 측정되는 바와 같은 MMF 채널링크 성능을 보다 정확하게 예측할 수 있다. 이러한 계량은 또한 향상된 대역폭 성능을 위해 MMF의 설계에 사용될 수 있다. 생산에서 테스트 알고리즘으로서 구현될 때, 이러한 계량은 파이버 성능을 선택하거나 소팅하거나 검증하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 프로세스에 의해 주어진 길이에 대한 보다 큰 성능 마진 및/또는 주어진 성능 마진에 대한 보다 큰 길이를 갖는 멀티모드 파이버 설계를 얻을 수 있다.

대 표 도

명세서

청구범위

청구항 1

통신망에서 사용되는 멀티모드 광섬유를 선택하기 위한 방법으로서,
다수의 멀티모드 광섬유의 상이한 반경을 통해 이동하는 펄스에 대한 피크 딜레이를 측정하는 단계;
각 멀티모드 광섬유의 제1 반경에서의 피크 딜레이를 각 멀티모드 광섬유의 보다 큰 제2 반경에서의 피크 딜레이로부터 감산하는 단계;
제2 반경에서의 피크 딜레이로부터 제1 직경에서의 피크 딜레이를 감산한 결과가 음수인 광섬유를 통신망에 사용하기 위해 선택하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 반경은 $5\mu\text{m}$ 이고 상기 제2 반경은 $19\mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 반경은 $5\mu\text{m}$ 이고 상기 제2 반경은 $20\mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 반경 및 상기 제2 반경은 14 내지 $15\mu\text{m}$ 이격된 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 5

통신망에서 사용되는 멀티모드 광섬유를 선택하기 위한 방법으로서,
다수의 멀티모드 광섬유의 상이한 반경을 통해 이동하는 펄스에 대한 펄스 딜레이를 측정하는 단계;
각 멀티모드 광섬유의 제1 반경에서의 펄스 딜레이를 각 멀티모드 광섬유의 보다 큰 제2 반경에서의 펄스 딜레이로부터 감산하는 단계;
제2 반경에서의 펄스 딜레이로부터 제1 직경에서의 펄스 딜레이를 감산한 결과가 음수인 광섬유를 통신망에 사용하기 위해 선택하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제1 반경은 $5\mu\text{m}$ 이고 상기 제2 반경은 $19\mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 제1 반경은 $5\mu\text{m}$ 이고 상기 제2 반경은 $20\mu\text{m}$ 인 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

청구항 8

제5항에 있어서, 상기 제1 반경 및 상기 제2 반경은 14 내지 $15\mu\text{m}$ 이격된 것을 특징으로 하는 멀티모드 광섬유 선택 방법.

발명의 설명

배경기술

[0001]

멀티모드 파이버(MMF)의 성능은 멀티모드 파이버를 통해 펄스가 전파함에 따라 펄스가 겹게되는 분산량에 의해 크게 좌우된다. 분산은 매체를 통해 비트가 전파함에 따른 이산 데이터 비트 또는 "심볼"의 넓어짐이다. 분산은 비트가 논리 0 또는 1로서 해석될 불확실성의 증가를 유발하는 인접 데이터 비트 사이의 오버랩으로 이어진다. 이러한 논리 상태에서의 불확실성은 비트 에러율(BER)로 수량화될 수 있는데, BER은 주어진 시간에 전송되는 비트의 전체 수에 의해 나누어지는 비트 에러의 수로서 정의된다. 고속 이더넷에 대해, BER은 모든 전송된 1 조 비트에 대해 1 에러 비트를 초과할 수 없다($BER < 10^{-12}$). 모드 분산은 광섬유를 가로지르는 다양한 모드 사이의 전파 속도의 차이로부터 발생한다. 이러한 광 파워가 이산 모드의 합에 의해 전달되기 때문에, 이러한 모드가 시간적으로 스프레드함에 따라, 펄스의 광 파워는 분산된다. 모드 분산은 차동 모드 딜레이(DMD)로서 표현되는데, 이것은 파이버를 가로지르는 최고속과 최저속 모드 사이의 펄스 딜레이의 차이의 측정값(ps/m)이다.

[0002]

재료의 굴절률은 전공내의 광속도와 비교하여, 광속도가 재료내에서 감소되는 양을 나타낸다. 재료의 굴절률, 보통 약자로 "n"은 파장에 의존하기 때문에(즉, 굴절률은 " $n(\lambda)$ "으로 기록될 수 있는 파장의 함수이기 때문에), 재료의 광속도는 또한 파장에 의존하고, 파장의 함수로서 속도는 다음과 같이, 굴절률의 파장 종속성과 관련되어 있다.

$$v(\lambda) = \frac{c}{n(\lambda)}$$

[0003]

여기에서, c는 진공에서의 광속도이다(299,792,458 미터/초).

[0004]

그래서, 유한 스펙트럼 폭을 갖는 광 펄스는 또한 재료를 전파할 때 파장 분산을 겪게 될 것이다. 이것은 색 분산으로 불린다. 멀티모드 파이버에서, 모드 분산은 보통 색분산 보다 훨씬 더 크지만, 고대역폭 MMF(>8000MHz · km)에서 색분산은 우위가 되기 시작한다. MMF에서의 분산을 감소시킴으로써 멀티모드 파이버의 성능은 증가할 것이다.

[0005]

BER 테스트 벤치를 사용할 때, 현 산업-표준 파이버 성능 측정이 정확히 파이버의 시스템 성능을 정확하게 예측하지 않는 것이 발견되었다. 도 1에서, BER 채널성능은 81 300m 고대역폭 MMF에 대한 계산된 유효 모드 대역폭 (EMBc)의 함수로서 도시되어 있다. 비트 에러율을 비교하기 위해, -11.0dBm의 기준 광 파워 레벨에서 BER를 측정한다. 이러한 테스트에서 채용된 BER 테스트 벤치는 10GBASE-SR 이더넷 링크에 대한 최악 경유의 조건을 시뮬레이팅한다는 것에 주목하는 것이 중요하다. 계산된 유효 모드 대역폭(EMBc) 값은 DMD 측정값으로부터 결정되었고 1.13의 팩터에 의해 유효 모드 대역폭(EMB)과 관련되어 있다(즉, $EMB=1.13\times EMBc$).

[0006]

이러한 데이터는 EMBc (또는 EMB)와 BER 사이의 불량한 상관관계를 보여준다. 2000 MHz · km의 공칭 EMBc에 대해, MMF의 BER 성능이 4보다 많은 위수의 크기만큼 가변될 수 있음이 발견되었다. 기준 광 파워 레벨에서, 2E-08 보다 큰 BER은 채널 고장으로 여겨진다. 이러한 데이터는 많은 파이버가 300m의 특정 최대 채널 길이에 10Gb/s 이더넷 전송을 지원하지 않을 것이라는 것을 보여준다. 데이터 센터내의 대부분의 채널 링크가 최대 도달 리미트에 도달하기 않기 때문에, 시스템 고장이 널리 관찰되지는 않았다. 그러나, 다수의 파이버 관련 채널 고장이 보고되었다.

발명의 내용

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008]

본 발명의 설명

[0009]

새로운 계량 "DMD 시프트"는 DMD 측정값으로부터 유도된다. 이러한 DMD 시프트는 멀티모드 파이버의 비트 에러율(BER) 채널 링크 성능의 보다 정확한 예측값을 산출하도록 산업-표준 EMB 및 DMD 계측에 대한 환산 계수로서 사용될 수 있다. 이러한 계량은 MMF에서의 굴절률 프로파일에 관련될 수 있어서, 항상된 성능을 달성하기 위해 MMF의 설계를 최적화하도록 사용될 수 있다. 이것은 생산에서 테스트 알고리즘으로서 구현될 때, 파이버를 선택하거나, 파이버를 소팅하거나 파이버 성능을 입증하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 새로운 계량에 따르면 MMF는 주어진 케이블 길이에 대해 보다 높은 BER 시스템 성능을 나타내거나 주어진 BER 시스템 성능에 대한 보다 큰 케이블 길이를 허용할 것이다.

[0010] 광학 시스템에서 파이버 분산은 보통 링크의 인터-심볼 간섭(ISI) 폐널티의 컴포넌트로서 포함되어 있다. 따라서, 모드 분산 폐널티에서의 감소는 ISI 폐널티의 감소를 유발한다. 적합한 DMD 시프트 계량을 가진 파이버를 선택함으로써, ISI에서의 감소는 실현될 수 있고 향상된 링크 마진이 달성될 수 있다. 이러한 마진에서의 증가는 모두 설계 유통성을 제공하는, 증가된 신뢰도를 제공하는 추가 동작 거리, 추가 접속도 또는 단순한 추가 마진을 가지고 링크내에 전개될 수 있다. 이러한 DMD 시프트 계량은 또한 파이버의 굴절률 프로파일과 관련될 수 있어서, MMF의 설계를 최적화하는데 사용될 수 있다.

[0011] 도 2에, TIA-455-220A에서 명시된 산업 표준 테스트 방법을 사용하는 2개의 OM3 MMF에 대한 DMD 파형이 도시되어 있다. 이러한 방법에서, 싱글-모드 롤치 파이버의 단부로부터 방출된 광 레퍼런스 펄스는 피시험 MMF의 코어를 가로질러 스텝핑된다. 이러한 코어를 가로지르는 각 측방향 오프셋(0 내지 24 미크론)에 대해, 최종 출력 펄스의 전파 딜레이가 기록된다. 각 출력 펄스는 주어진 입력 방사형 포지션에서 여기된 모드만을 포함한다. 이러한 방사형 오프셋의 각각에 대한 출력 파형은 수직축을 따라 도시되어 있고 1 미크론 증분만큼 변위되어 있다. 각 파형에 대한 상대 펄스 딜레이는 미터당 피코초(ps/m)의 단위로 수평축을 따라 도시되어 있다. 이러한 DMD는 최고속 펄스의 리딩 에지 및 최저속 펄스의 트레일링 에지를 사용하여 펄스 딜레이에서의 차이를 먼저 측정함으로써 결정된다. 이러한 차이로부터 파이버의 모드 분산을 산출하는 롤치 펄스의 시간폭을 얻을 수 있다. 표 1에 TIA-455-220A, 5-18 미크론(내부 마스크) 및 0-23 미크론(외부 마스크)에서 정의된 코어내의 2개의 명시된 구역에 대한 DMD 측정값이 나타나 있다. 시간 도멘에서의 입출력 시간 파형을 알면, 주파수 도메인에서의 MHz·km의 단위로 파이버의 유효 모드 대역폭(EMBc)을 계산할 수 있다.

[0012] 수평축을 따른 보다 작은 값(ps/m)은 보다 높은 속도에 상응한다. 따라서, 좌측으로 전이하는 파형 피크는 보다 높은 모드 속도에 상응한다. 고차 모드가 보다 고속으로 이동하기 위해, 굴절률은 (모든 파형이 시강상 정렬된) 이전에 가정된 이상적인 인덱스 프로파일로부터 벗어나야 한다.

[0013] "블루" 및 "브라운"으로 식별된 이러한 2개의 샘플 파이버는 동일한 광 케이블에서 그리고 표준 테스트 방법을 따라 운반되고, 실질상 동일한 DMD 및 EMB 값을 갖는다. 표 1에 2개의 파이버가 가상으로 동일한 것을 보여주는, 테스트 결과가 나타나 있다. 브라운 파이버가 보다 낮은 모드 분산을 갖는다는 것을 나타내는 최대 차이가 외부 마스크 DMD에서 발견된다.

표 1

파이버	내부 마스크 DMD (5 내지 8 미크론)	외부 마스크 DMD (0 내지 23 미크론)	EMB (EMB = 1.13xE MBc)
블루	0.122 ps/m	0.145 ps/m	4540 MHz·km
브라운	0.124 ps/m	0.132 ps/m	4540 MHz·km

[0014]

[0015] 이러한 DMD 및 EMB 측정값에 기초하여, 이러한 2개의 파이버는 동일하게 양호하게 기능해야 한다. 도 3에 블루 및 브라운 파이버에 대한 BER 시스템 테스트 결과가 도시되어 있다. 이렇게 측정된 성능 데이터는 -9.9dBm의 수신된 광 파워(10Gb/s 이더넷에 대한 최소 수신된 광 파워)에 대하여, 브라운 파이버의 BER은 블루 파이버보다 더 나쁜 2개 위수의 크기보다 더 크다.

[0016] 이러한 2개의 파이버에 대한 아이다이어그램이 도 4에 도시되어 있다. 아이다이어그램은 의사 랜덤 이진 시퀀스내의 로직 0 및 1의 다양한 조합의 수퍼포지션을 나타내고 오실로스코프를 사용하여 포착된다. 이러한 아이의 개구는 상술된 신호의 시그널/노이즈 비의 측정값이다. 브라운 파이버는 블루 파이버 보다 상당히 보다 큰 아이 클로저를 도시하고, 이것은 브라운 파이버가 보다 높은 BER로 전환되는 보다 낮은 시그널/노이즈 비를 갖는 것을 나타낸다. 이러한 2개의 파이버의 대역폭이 동일하다는 사실에도 불구하고 보다 큰 ISI 폐널티를 도입한다고 결론지을 수 있다.

[0017] 이러한 차이는 "Multimode Fiber Having Improved Index Profile"의 표제의 미국 특허 출원 12/627,752에 기술된 바와 같이 굴절률 프로파일에서의 시프트에 기인할 수 있다. 이러한 굴절률 프로파일에서의 시프트는 도 2의 블루 및 브라운 프로파일에 대한 2개의 DMD 플롯의 방사형 DMD 측정에 나타나 있다. DMD 플롯 및 BER 시스템 테스트 결과의 확장 분석은 DMD 플롯과 BER 성능에서의 파형 시프트 사이의 양호한 상호관계를 보여준다.

그러나, 계량은 이러한 시프트를 수량화하기 위해 필요하다.

[0018] 많은 DMD 플롯의 복잡성으로 인해, 정확하고 신뢰있는 DMD 시프트 계량은 식별이 어려울 수 있다. 그러나, 19 미크론과 5 미크론 측방향 오프셋 과형의 최대 피크 펄스 딜레이 사이의 차이를 취하면 충분하다. 이러한 오프셋은 계량의 부호는 DMD 플롯내의 시프트의 방향에 상응하도록 선택되었다(좌측으로 음이고 우측으로 양이다). 이러한 2개의 포인트 역시 수직 캐비티 이미팅 레이저(VCSEL)의 광 파워 분포, 즉, 광원의 환상 플러스와 관련되어 있다. 이러한 시프트를 동일하게 예측할 수 있는 다른 유사한 계량이 식별될 수 있는 것이 명백하지만, 다음의 단순한 계량이 놀랍게도 양호하게 사용된다.

DMD Shift=(19 μm 에서의 피크 딜레이) - (5 μm 에서의 피크 딜레이)

[0020] 파이버 성능을 예측하는 이러한 계량의 능력을 증명하기 위해, 표 2에 다수의 나열된 고성능 MMF가 고려된다. OM4로서 적합하기 위한 파이버에 대한 최소 EMB는 4700 MHz · km이라는 것에 주목된다. 그런 파이버를 제외한, 이러한 파이버는 OM4라는 것이 결정되었다. 따라서, 이들은 (5년 동안 취득된 통계 데이터에 기초하여) -11.0dBm의 수신된 광 파워에서 550m에 이르는 낮은 에러율 트랜스미션(<2E-08)을 지원해야 한다.

표 2

파이버 컬러	EMB (MHz * km)	DMD 시프트 (ps/m)
바이올렛	6554	0.033
레드	5731	0.008
브라운	5241	0.065
블랙	4831	0.068
옐로우	7013	0.008
아쿠아	5981	0.042
화이트	5539	-0.039
슬레이트	5061	-0.021
로즈	5669	-0.034
오렌지	5361	-0.061
그린	4286	-0.074
블루	5059	-0.021

[0021]

[0022] 12개의 파이버 각각에 대한 DMD 시프트 계량은 도 5에 그래프로 도시되어 있다.

[0023] 양의 DMD 시프트 계량을 갖는 모든 파이버는 DMD 플롯에서 우측으로 시프트하는 펄스 지연 과형에 상응한다. 양의 DMD 시프트의 관찰된 경우에, 예측된 BER 성능보다 낮게 측정되고, 많은 경우에, 이러한 파이버는 이들의 EMB 및 DMD 계량이 이들이 통과해야 한다는 것을 나타냄에도 불구하고 시스템 성능 레벨을 충족하는데 실패한다. 측정된 EMB 및 우리의 제안된 DMD 시프트 계량을 사용하여 우리는 다음을 예측할 수 있다: 도 6 및 도 7 참조.

[0024] 1. 블랙 파이버는 4831 MHz · km의 측정된 EMB를 갖고 있어서 OM4로서 인증된다. 그러나, EMB가 단지 마진에서 4700 MHz · km 보다 높기 때문에, 양의 DMD 시프트는 BER 성능을 열화시키고 이러한 파이버는 시스템 레벨 테스트에 실패한다. 단일 레드 채워진 데이터 포인트가 이더넷 트래픽 아날라이저를 사용하여 취득되었고 시스템 고장을 확인한다.

[0025] 2. 그린 파이버는 4286 MHz · km의 EMB를 갖고 있고 그래서, OM3로서 분류된다. 그러나, 그것이 큰 음의 DMD 시프트를 나타내기 때문에 이러한 파이버는 BER 시스템 테스트를 통과한다.

[0026] 3. 레드 및 로즈 파이버 모두는 OM4이고 유사한 EMB 값을 갖지만, 레드 파이버는 양의 DMD 시프트를 갖고 있는 반면에, 로즈 파이버는 음의 DMD 시프트를 갖고 있다. 결과적으로, 레드 파이버는 BER 시스템 테스트에 실패하고 로즈 파이버는 통과한다.

[0027] 이러한 타입의 분석은 양 및 음의 DMD 시프트를 가진 41개의 파이버에 실행되었다. 결과적으로, 파이버 시스템 성능은 충분한 정확도를 가지고 예측될 수 있다.

[0028] 도 8에서, 표 2에 나열된 12개의 파이버에 대한 BER 성능이 -11.0dBm의 기준 광 파워 레벨에 대해 도시되어 있다. 그린으로 채워진 데이터 심볼은 음의 DMD 시프트 계량을 갖고 있는 파이버를 나타낸다. 레드 채워진 데이터 심볼은 양의 DMD 시프트 계량을 갖고 있는 파이버를 나타낸다. 음의 DMD 시프트 파이버는 보다 낮은 BER을 나타내고 양의 DMD 시프트 파이버를 상당히 능가한다.

[0029] 도 9에서, 이러한 분석은 2개의 파이버 제조로부터 36개의 OM4 파이버로 확장되고 점선은 데이터 포인트의 피트(fit)이다. DMD 시프트를 측정함으로써 이러한 파이버를 도 10에 도시된 바와 같이 2개의 그룹으로 소팅할 수 있다(다수의 상이한 파이버가 도 10에 포함되어 있다). 음의 DMD 시프트 파이버는 양의 DMD 시프트 파이버에 대해 향상된 성능을 보여주는 것이 명백하다.

[0030] 도 9의 파이버의 각각에 대한 BER을 피팅된 파인으로 스케일링함으로써, 파이버 성능에서의 향상 또는 열화의 1차 추정치를 얻을 수 있다. 각 파이버에 대해, 측정된 BER를 피팅된 라인으로 스케일링하기 위해 필요한 계수가 결정된다. 데이터의 스프레드는 측정 불확실성, 추가 파이버 결합, 및 모드 노이즈, 모드 파티션 노이즈 및 가능한 폴라리제이션 노이즈와 같은 2차 효과의 결과이다. 도 11은 시프트된 BER 데이터 포인트를 도시하고, 도 12는 DMD 시프트 계량의 함수로서 파이버의 각각에 대한 BER 계수를 도시한다.

[0031] 음의 DMD 시프트된 파이버(DMD는 좌측으로 시프트한다)는 비트 에러율이 작고 확대될 필요가 있다는 것을 의미하는 큰 환산 계수를 갖고 있고, 양의 DMD 시프트된 파이버(DMD는 우측으로 시프트한다)는 이들이 축소될 필요가 있는 큰 BER를 갖는다는 것을 의미하는 분수 환산 계수를 갖고 있다. 이러한 플롯의 상세한 조사에 의해 제로 시프트에 대한 단일 환산 계수가 발견되었다. 이러한 결과는 이상적인 굴절률 프로파일을 암시하고, 앞서 이해된 바와 같이, 최상의 시스템 성능을 산출하지 않을 수도 있다. 대부분의 파이버는 예측이 부족하고 따라서, DMD 프로파일에서의 좌측 또는 우측 시프트 어느 하나를 나타낸다는 것에 주목하는 것이 중요하다. 이러한 결과는 음의 (좌측 시프트) DMD 계량이 현 예측을 넘어 성능을 향상시킬 수도 있다는 것을 보여준다. 이러한 점은 4700 MHz · km보다 작은 EMB 값을 가진 음의 DMD 시프트된 OM3 파이버가 대단히 높은 BER 성능을 나타낸다는 사실에 의해 지지된다.

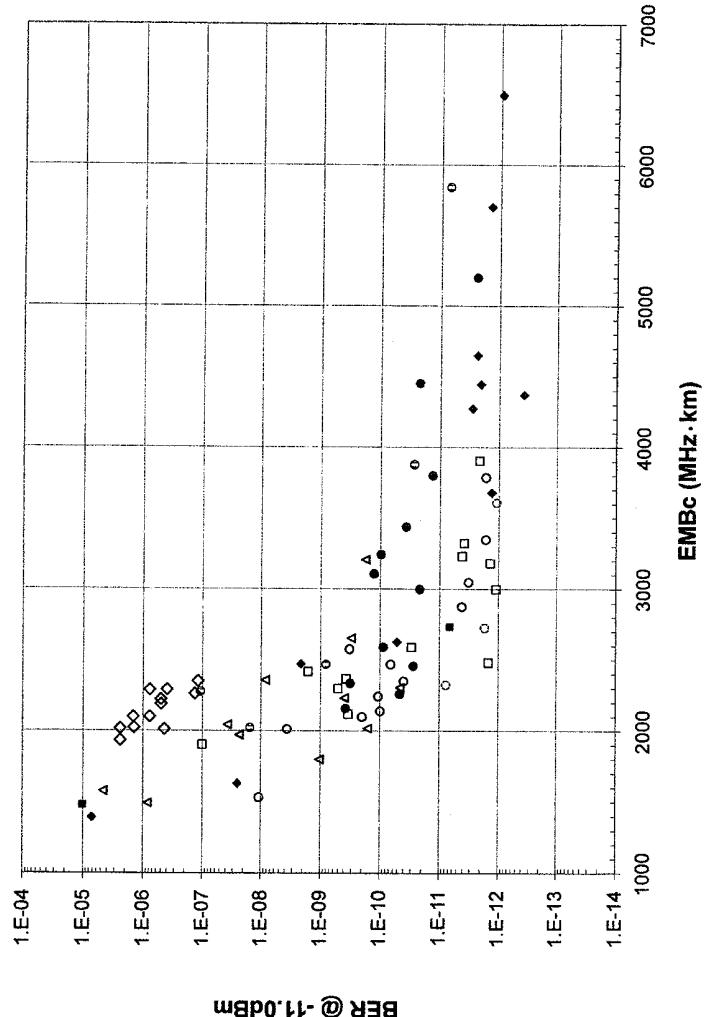
[0032] 우리는 또한 BER 환산 계수가 DMD 시프트 계량에 비례하여 보다 큰 시프트가 파이버에 대해 보다 큰 영향을 준다는 것을 발견하였다.

[0033] 이러한 데이터에 기초하여, 향상된 채널 링크 성능의 추정치가 유도되고, 이것은 40G 및 100G 이더넷 애플리케이션에 대한 OM4 파이버의 도달을 확장하는데 사용될 수 있다. 이러한 새로운 DMD 시프트 계량은 매우 높은 성능의 MMF의 수단을 제공한다.

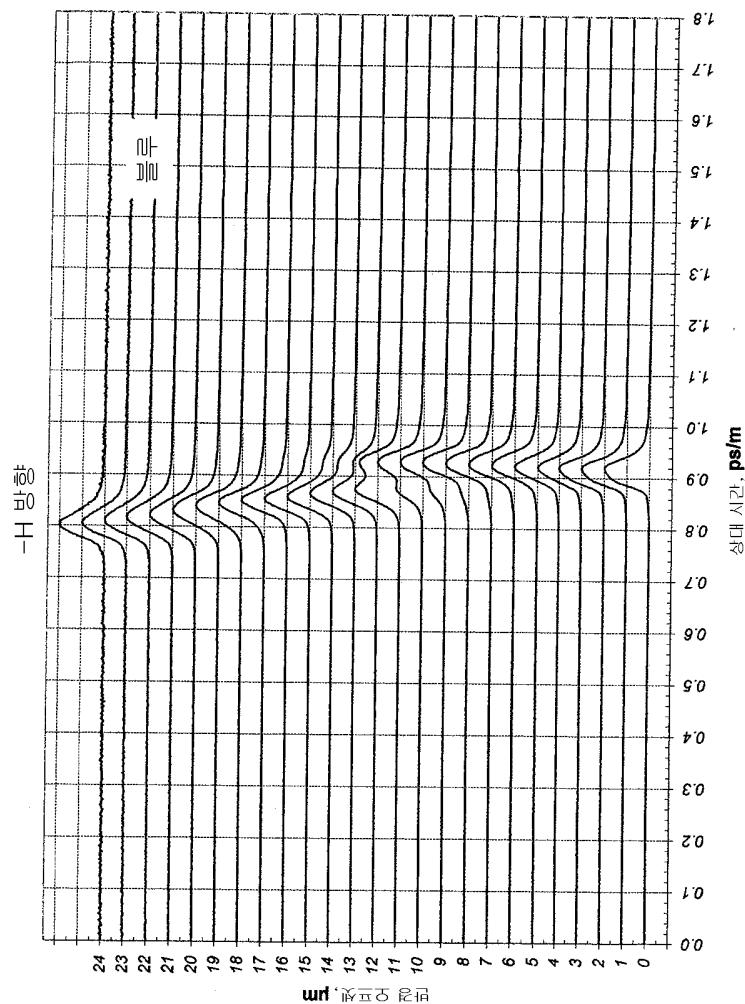
[0034] DMD 시프트에 대한 하나의 계량이 위에서 설명되었지만, 다른 계량이 사용될 수 있다. 예를 들어, (14 또는 15 μm 의 서퍼레이션과 같이) 다양한 다른 시프트가 유사한 인터벌 만큼 분리될 수 있기 때문에, 20 μm 에서의 피크 딜레이 마이너스 5 μm 에서의 피크 딜레이는 DMD 시프트에 대해 유용한 계량을 제공할 수 있다. 다른 실시예에서, 임의의 방사형 포인트에서의 음의 시프트는 케이블을 설계하거나 선택하기 위한 방법에서의 계량으로서 사용될 수 있다. 클래딩내의 파이버 광 코어의 굴절률 프로파일은 차동 모드 딜레이 측정에 대한 (음의) 펄스 시프트(즉, 음으로 향하는 DMD 시프트)에 기초하여 선택될 수 있다.

도면

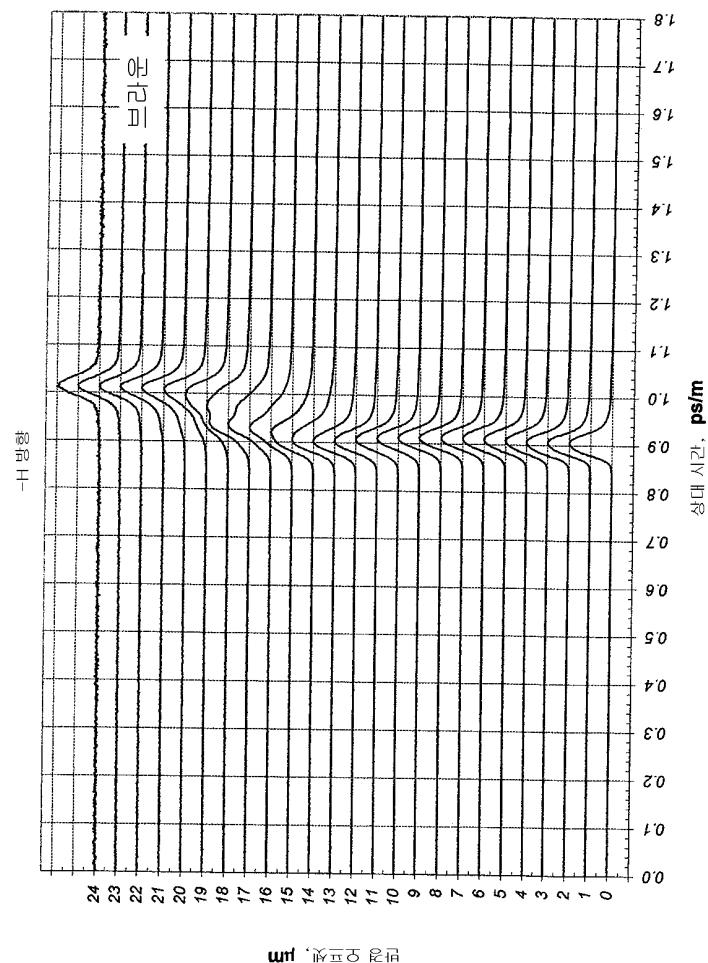
도면1



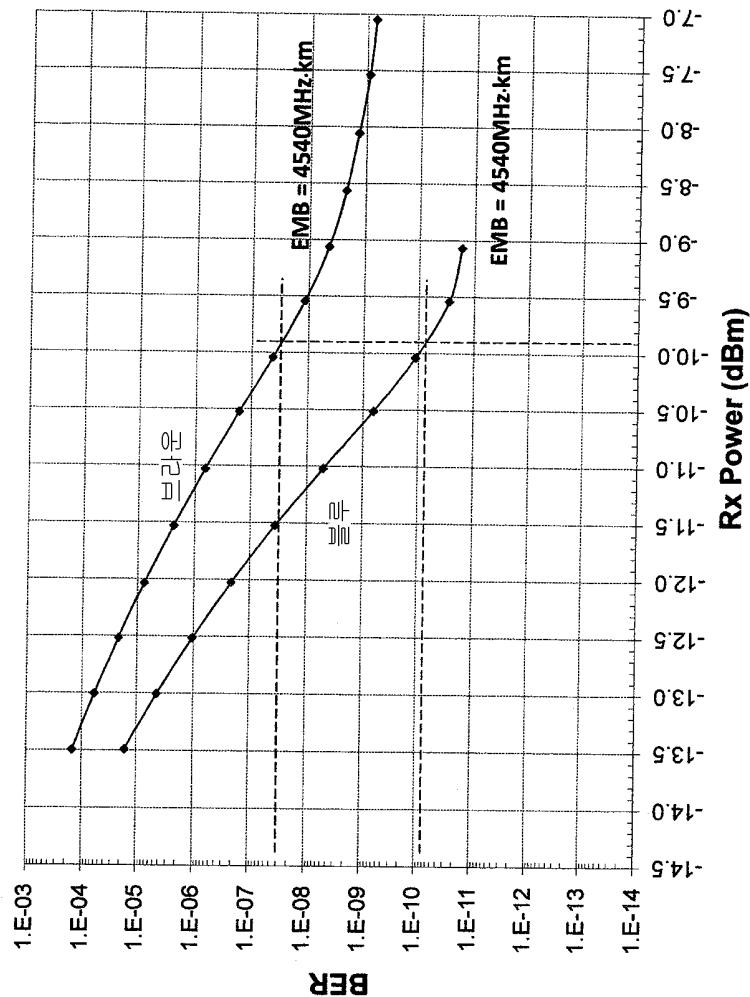
도면2a



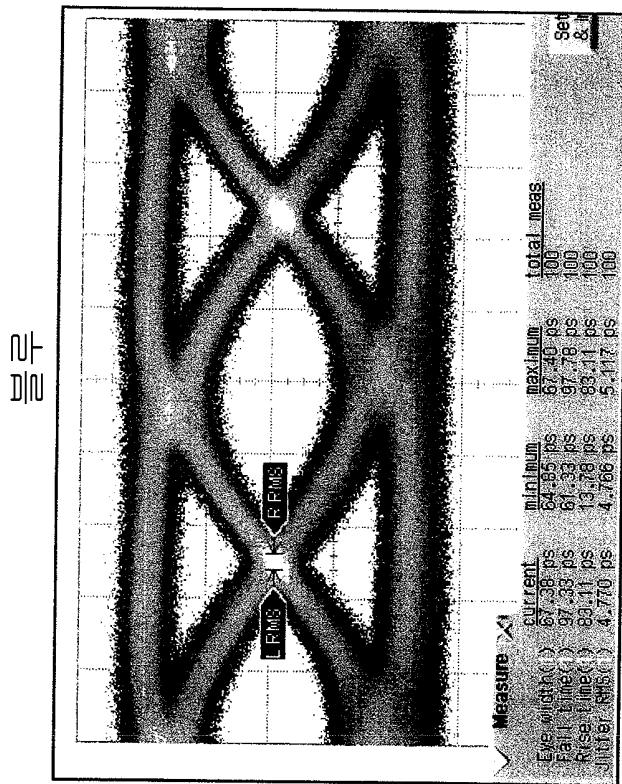
도면2b



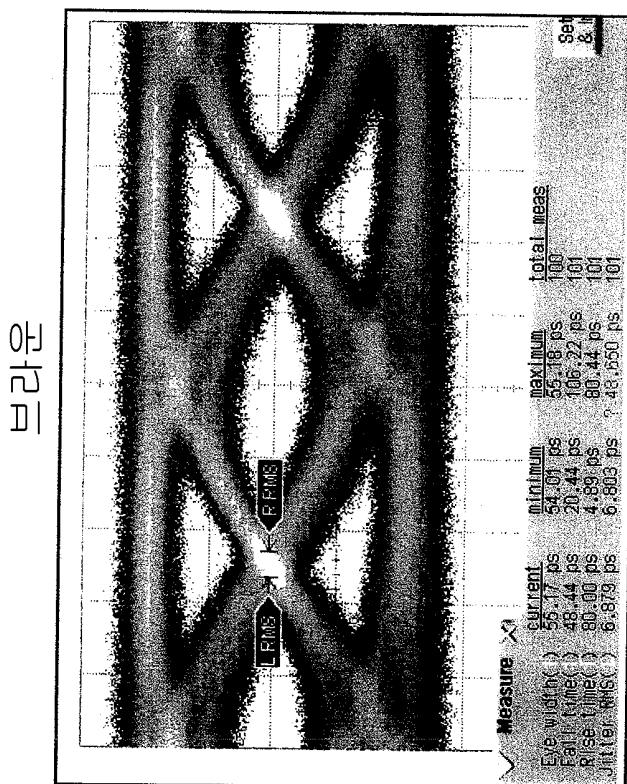
도면3



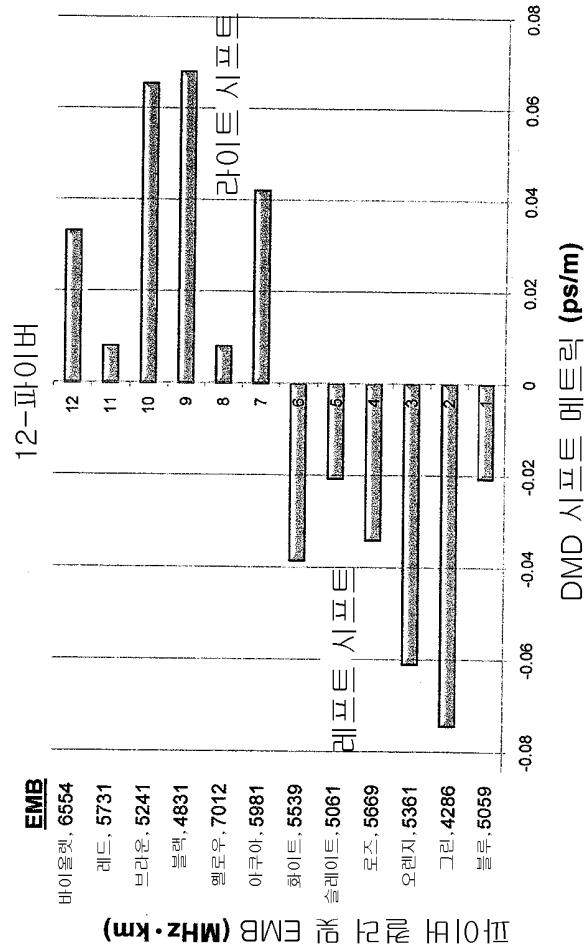
도면4a



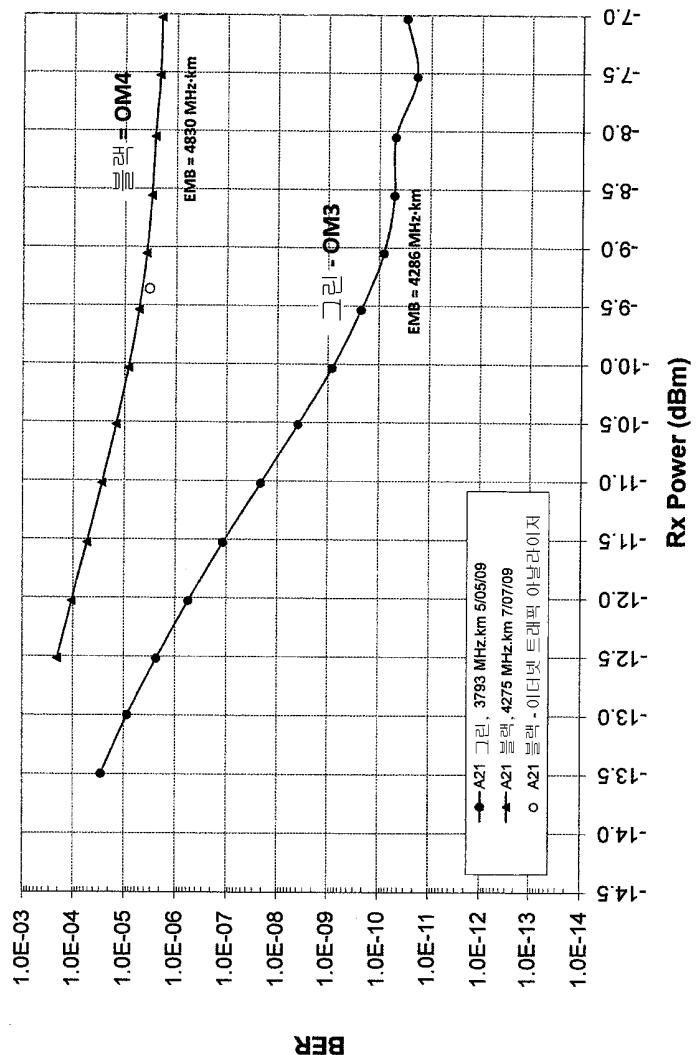
도면4b



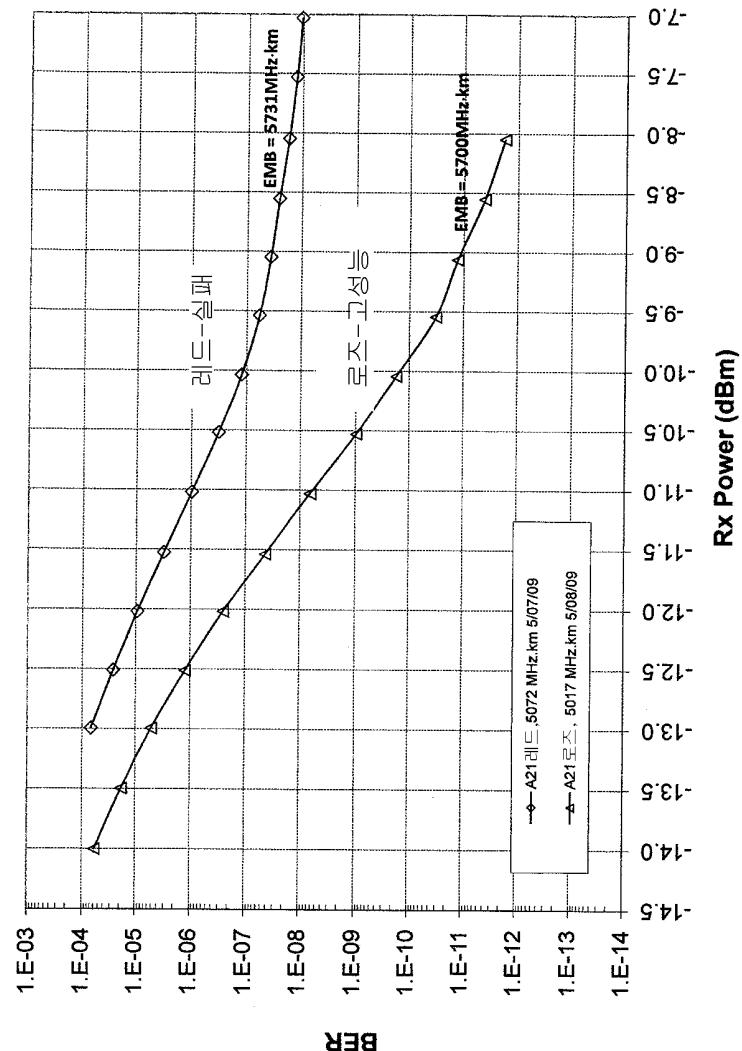
도면5



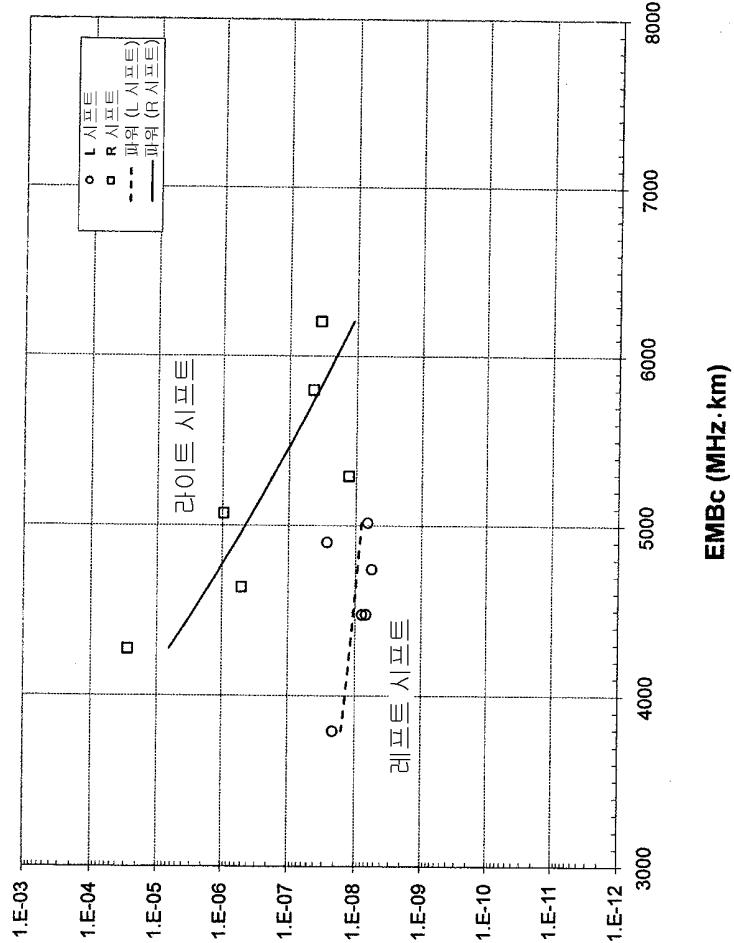
도면6



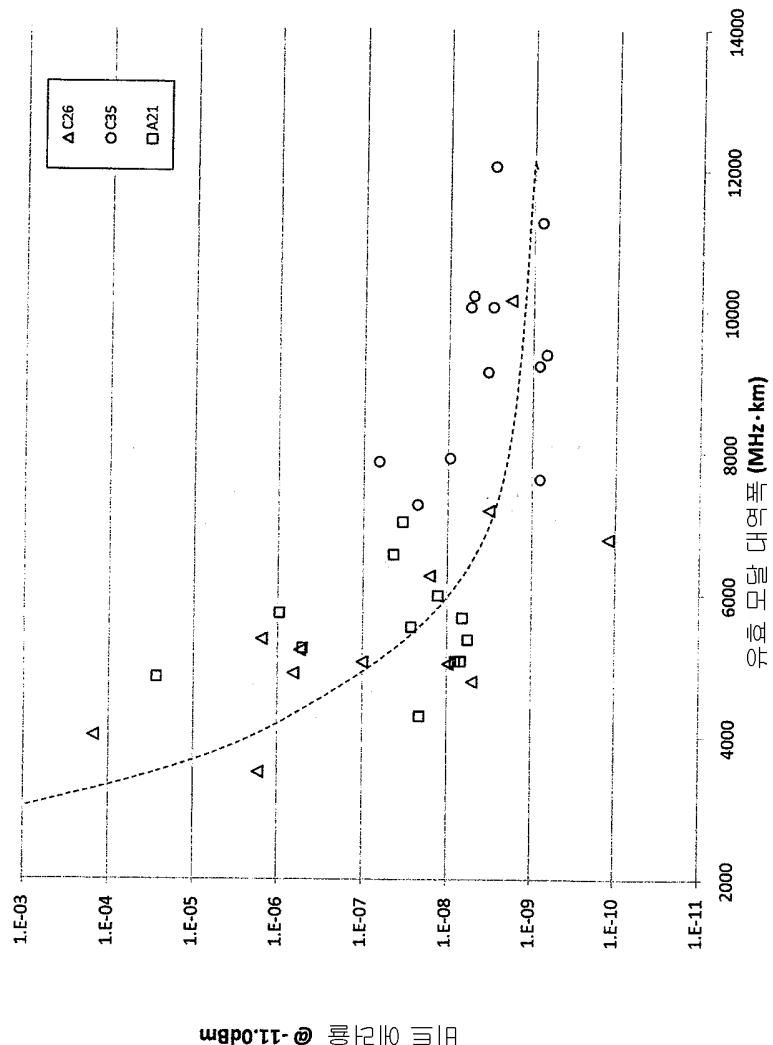
도면7



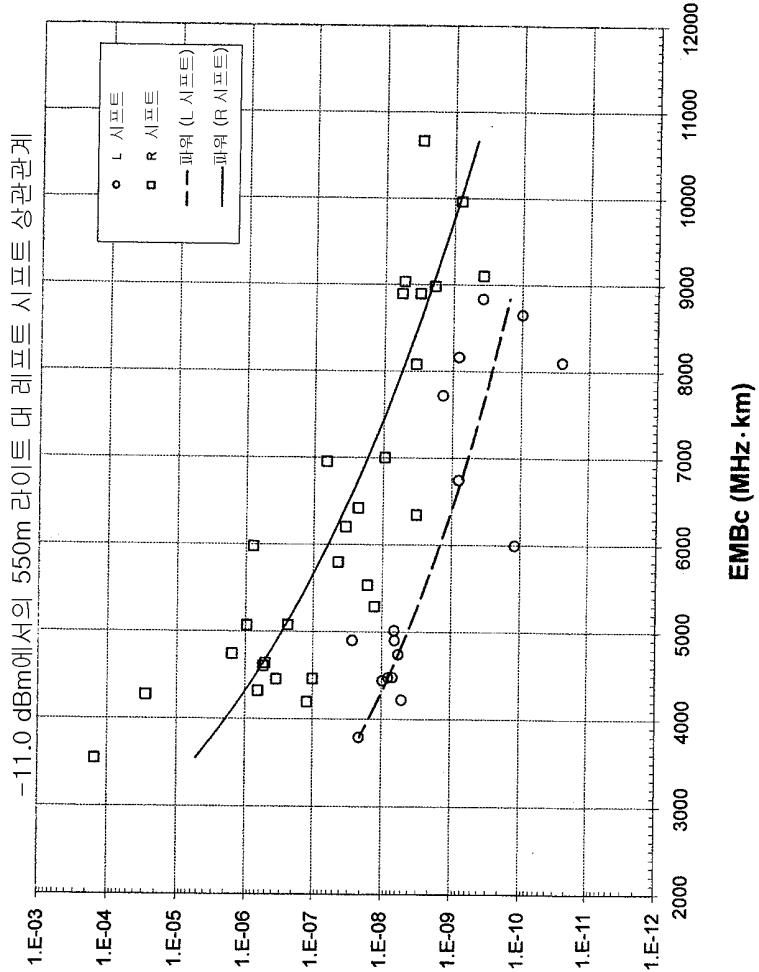
도면8



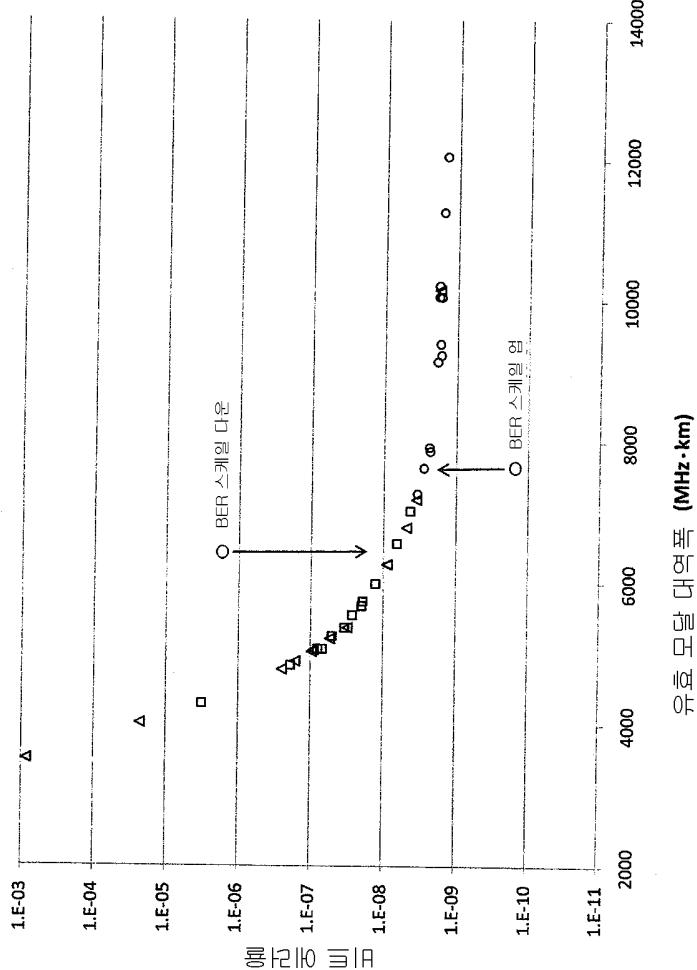
도면9



도면10



도면11



도면12

