

고분자광섬유용 광통신 및 센서 모듈

박병욱 · 윤도영[†] · 김동식*

광운대학교 화학공학과
139-701 서울시 노원구 월계동 447-1
*톨리도대학교 화학환경공학과
2801 W, Bancroft, Toledo, OH 43606-3390
(2009년 6월 25일 접수, 2009년 8월 3일 채택)

Optical Communication and Sensing Modules for Plastic Optical Fibers

Byung-Wook Park, Do-Young Yoon[†] and Dong-Shik Kim*

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, 447-1 Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

*Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Toledo, 2801 W, Bancroft, Toledo, OH 43606-3390, USA
(Received 25 June 2009; accepted 3 August 2009)

요 약

고분자 광섬유(POF)는 유리광섬유에 비하여 경량성, 저가 그리고 다루기 쉬운 장점을 가지고 있다. 그러나 상대적으로 높은 전송손실과 낮은 대역특성으로 인하여 랜과 같은 단거리 네트워킹에 대한 사용이 적합하다. 전송손실을 낮게 하기 위한 고분자물질의 합성공정과 유연한 고분자광섬유의 활용을 보다 넓히기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 저잡음의 POF 모듈들이 개발되었으며, 이를 위하여 저잡음 증폭기와 저가의 650 nm의 발광다이오드(LED: Light Emitting Diode)가 최적화되었다. 광통신과 센서용 POF 모듈의 동적특성을 나타내기 위하여, 화상전송모듈, 광전송 속도측정모듈, RS-232용 광전송기와 음성전송모듈을 제작하여 그들의 신호특성을 평가하였다. 광전송 속도의 측정에 있어서는 빠르고 간단한 측정으로서 모듈이 바로 사용될 수 있는 것으로 보여진다. 또한, 아날로그 증폭기, LED와 포토다이오드(PD: Photo Diode) 등을 활용하여, 소리와 화상의 전송은 POF를 통하여 최대 60 m까지 가능한 것으로 확인되었다. 또한 비례적분미분제어에서 확인한 실시간 데이터 전송효과는 산업용 공장의 설계와 제어에 있어서 매우 가치가 있을 것으로 고려된다.

Abstract – POF(Polymer optical fiber) offers advantages of lighter, inexpensive, and easier to use over GOF(glass optical fiber). Its higher transmission loss and low bandwidth, however, make it suitable only for short distance networking such as LAN. The polymer materials and its synthesis technology of low transmission loss and the broader application for flexible POF are the two of many critical areas to be investigated more. In the current study, low-noise POF modules are developed and optimized with a low noise amplifier and low cost LED of 650 nm. In order to demonstrate the dynamic characteristics of the POF module for optical communication and sensing, we have built an image transfer module, optical transmission speed measurement module, optical transceiver for RS-232, and sound-transfer module, and the signal characteristics of them are evaluated. It is found that the module can be readily used for a quick and simple measurement of optical transfer speed. With help of analog amplifier, LED, and PD, sound and image transfers through a maximum 60 m optical waveguide have been confirmed. Real-time data transfer was also demonstrated in PID control, which is thought to be valuable to industrial plant design and control.

Key words: Polymer Optical Fiber, POF Module for Optical Communication and Sensing, Real-time Data Transfer

1. 서 론

초고속 멀티미디어가 수 년 내에 보편화될 것으로 전망됨에 따라 홈 네트워크 등에서 초고속 LAN의 필요성이 요구되고 있다. 홈 네트워크 등 단거리 전송에서 총 설치 비용이 멀티모드의 65% 수준에 불과한 POF는 연결처리방법도 간단해서 가입자들의 선택을 받

을 확률이 매우 크다고 볼 수 있다[1]. 일본의 SHARP, NEC, SONY, National 등 관련 전자회사들은 POF 링크를 이용하는 시스템 연구 개발하고 있으며 일부는 시제품을 홈 네트워크에 적용하고 있다[2]. 향후 실시간 동영상 전송이 일반화되면 현재의 기타 프로토콜은 홈 네트워크로 향하는 중간다리 역할을 하게 될 것으로 보이며 만일 IEEE 1394에 플라스틱 광섬유가 적용된다면 그 수요는 현재의 기준으로는 예상이 불가능할 정도이다.

최근 지역네트워크(LAN: local area network) 및 광역네트워크

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: yoondy@kw.ac.kr

(MAN: metropolitan area network) 상으로 전송하는 정보전송량은 인터넷(internet) 및 인트라넷(intranet) 등의 급격한 보급과 함께 크게 증가하고 있다. 이에 따라 초고속 통신망에 사용되는 광섬유에 대한 중요성이 더욱 증가되고 있는데 현재 정보전송용 광섬유는 실리카 재질의 GOF(glass optical fiber)로서 전송손실이 매우 낮을 뿐 아니라 광학적 특성 등의 장점을 두루 갖추면서 기존의 전선매체가 가지는 한계 전송속도를 쉽게 극복할 수 있는 장거리 전송매체로서 초고속 정보통신을 가능하게 하였다[3]. 그러나 인터넷을 이용한 기술의 비약적인 발전으로 인하여 음성매체뿐만 아니라, 동화상 전송 등 방대한 정보를 고속으로 전달함에 있어서 사용자들의 욕구가 더욱 높아지게 되어 원거리 영역뿐만 아니라 도시영역(10~100 km)의 중, 근거리 통신 네트워크에 있어서도 광 전송화가 불가피하게 되었다. 최근에는 근접네트워크(2~10 km) 등의 단거리 정보 전송량도 폭발적으로 증가함에 따라 FTTH(Fiber To The Home) 등 초고속 홈네트워크도 점차 가시화되고 있다. 또한, 향후 수년 내에 일반화될 것으로 보이는 HDTV 등을 포함한 멀티미디어 시스템이 완벽히 구현되기 위해서는 10 Gbps 이상의 전송속도가 필요하기 때문에 단거리 전송분야에 있어서도 설치비용이 높고 전문적인 지식을 필요로 하는 표준미디어파일(SMF: Standard Midi File)이나 최대용량이 수백 Mbps에 불과한 현재의 동케이블을 보완할 단거리 정보전송용 광섬유가 반드시 필요하다. POF는 GOF와 구리전선의 중간적 특성을 확보할 수 있기 때문에 꾸준히 연구 개발되어 왔는데, 최근 초고속 정보통신망 구축이 가시화됨에 따라 구배형 고분자광섬유(GI POF: Graded-Index POF)에 대한 관심이 최근 크게 높아지고 있다. 기가비트급 대역특성을 가지는 정보통신용도의 POF를 제조하기 위해서는 여러 핵심기술이 필요하지만 그 중에서도 최적의 구배형 굴절률 분포를 갖는 프리폼 제조기술과 고분자 재료자체를 전송손실이 적도록 설계하는 기술이 가장 중요하다.

POF는 광학적 특성이 우수한 고분자를 이용하여 모재를 제조한 뒤 열연신공정을 통하여 제조하거나, 연속인발공법 등을 이용하여 광섬유화한 것으로 GOF와 마찬가지로 코어부와 클래드부로 구성되어 있다. POF는 싱글모드 형태 있을 수 있으나 장거리 전송용도가 아니기 때문에 통상적으로 POF는 멀티모드 형이며, 광섬유 코어의 굴절률이 균일한 SI POF(step-index POF)와 코어내부의 굴절률이 포물선 형 분포를 가지는 GI POF로 구분할 수 있다. POF는 코어직경이 50~200 μm 정도이며 최대 1000 μm 까지 가능하다는 점에서 SMF 및 미디어관리파일(MMF: Media Manager File)과는 크게 다르다. 멀티모드 광섬유의 가장 큰 특징은 코어경과 개구수(NA: Numerical Aperture)가 싱글모드 광섬유에 비하여 크므로 고가의 레이저다이오드(LD: Laser Diode) 대신 저렴한 LED 또는 수직공진형표면발광레이저(VCSSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) 광원과 쉽게 연결할 수 있고 정렬 허용값(alignment tolerance)도 상대적으로 크므로 접속손실이 작아 접속 작업이 많은 LAN 등 단거리망에 적합하다[4].

POF는 재료자체의 특성상 전송손실이 GOF에 비하여 높으므로(>20 dB/km) 장거리 전송용으로 적합하지 않으나 단거리 전송용도에서는 대역특성을 확보한다면 재료자체의 유연성과 설치비용의 저가화 측면을 충분히 살릴 수 있는 이상적인 재료가 될 수 있다. 그 이유는 광섬유용 고분자 재료는 GOF의 고순도 실리카보다는 매우 저렴하므로 코어직경을 크게 하더라도 원가가 크게 올라가지 않을 뿐 아니라 고분자 재료자체가 친화력을 갖고 있기 때문이다. 코어직경

의 크기는 접속 시 미세정밀도와 직접적으로 관련이 있기 때문에 사용자가 직접 접속해야 하는 단거리 전송과 같은 분야에서는 코어직경이 크면 클수록 접속이 용이하고, 접속 시 사용되는 커넥터는 POF의 구경에 따라 정밀도를 1/20 수준까지 완화할 수 있으므로 초보자도 쉽게 사용할 수 있는 저가의 플라스틱 커넥터를 이용할 수 있다. POF의 경우는 코어직경이 크기 때문에 고가의 LD 대신 저렴한 LED 및 VCSEL 광원 등을 사용하여 저가의 패키징화 모듈을 제작할 수 있을 뿐 아니라, 재료자체의 무게도 가벼워 광섬유 포설 및 케이블 작업도 용이하여 설치비도 줄일 수 있으므로 사용편리성과 저가가격화를 동시에 만족시킬 수 있다[5-7].

POF용 통신 모듈은 IEEE 1394에서 지정한 표준방법을 채택함으로써 가까운 장래에 상용화되고, 일반인들의 폭넓은 사용이 가능함으로써 급속도로 증가하는 정보량 전송의 실현과 실시간 통신이 가능할 것이다. 특히 화학공정에서는 공장자동화에 따른 입출력 변수들의 전송시간을 실시간으로 구현함으로써 공정상에서의 오차를 줄이는데 있어, 유연하며 또한 가공성이 뛰어난 POF의 활용이 기대된다. 이와같은 배경하에, 본 연구에서는 저 잡음의 최적화된 POF 모듈의 구현을 위해 저잡음 증폭기(low noise amplifier)를 사용하고, 비교적 저렴한 제작비용이 가능한 650 nm용 LED와 수동 및 능동 소자를 사용하여 제작하였다. 적외부 영역의 파장대역을 사용함으로써, 간접적인 각종 접속 및 분할이 더욱 간편해질 수 있으므로, 본 연구의 결과들은 POF의 상용화 및 홈네트워크에서 활용되는 제반 모듈의 개발에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 고분자광섬유

2-1. 광통신용 고분자광섬유

광섬유는 일반적으로 빛이 유도되는 코어부와 진행하는 빛을 지속적으로 코어부로 유도하는 클래드부로 구성되어 있으며, 광섬유의 종류로는 실리카가 주성분이 GOF와 고분자 재질의 POF로 크게 분류할 수 있다. GOF는 1966년에 저손실 광섬유의 개념을 도입함으로써 개발되기 시작하였고, POF 역시 비슷한 시기에 개념이 도입되었으나 상대적으로 전송특성이 우수한 GOF에 비하여 큰 주목을 받지 못하였다[8].

GOF는 실리카를 주성분으로 하여 MCVD(Modified Chemical Vapor Deposition), OVD(Outside Vapor Deposition) 등의 공법으로 모재를 제조한 뒤 이를 광섬유 상으로 인선하여 만들어 진다. GOF는 광학적으로 특성이 뛰어나고 전송손실이 0.2~0.3 dB/km 수준에 불과한 우수한 전송 매체로서, 현재 장거리 전송에 사용되고 있는 싱글모드 광섬유(SMF 또는 SM GOF: Single Mode GOF)와 광역 전송망에 적용되고 있는 중거리 용도의 멀티모드 광섬유(MMF 또는 MM GOF: Multi Mode GOF)로 나뉘어 질 수 있다. 여기서 모드(mode)라는 것은 광섬유 내에서 진행하는 빛의 특정한 분포(통상적으로 경로라고 부름)를 말하는 것으로 광섬유의 기하구조와 사용하는 파장영역에 따라 하나 또는 여러 개 일 수 있으며, 하나의 경로만 존재할 때 SM형, 여러 개의 경로가 존재할 때를 MM형이라 한다. SMF의 경우 주된 사용파장 영역인 1,550 nm 부근에서 1개의 모드만이 존재하도록 도파로 구조가 설계되어 있고, MMF는 사용파장 영역인 850 nm 부근에서 500~1,000여 개의 모드가 존재하며 코어내부의 굴절률이 중심은 높고 주변부는 낮은 포물선형 분포를 가지도록 제조되고 있다. 이와 관련된 광도파 현상들이 다음의 Fig. 1

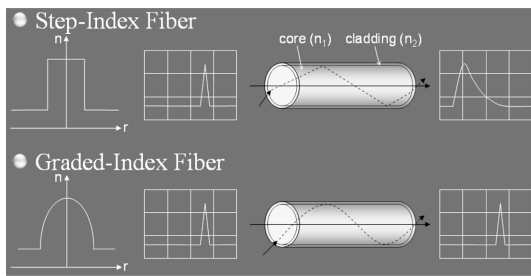


Fig. 1. Schematic diagram of index profile of plastic optical fibers.

에 도시되어 있다.

통신용 고분자재료로서 가장 크게 요구되는 특성은 투명성으로서 이러한 측면에서 주로 사용되는 고분자 재료로는 PMMA(poly methyl methacrylate)를 들 수 있는데 PMMA는 광투과율이 92~93%로서 88~90% 수준의 PS(poly styrene) 또는 87~89% 수준의 PC(poly carbonate)보다 우수할 뿐 아니라, 복굴절이 일어나기 어려운 전형적인 등방성 물질로 성형성도 양호하고 기계적 강도도 밸런스가 잡힌 대표적 광학재료로 POF의 재료로서 많이 사용된다. 그러나 일반적으로 고분자 고아섬유는 전송 시 전송손실이 크게 발생하는데 전송손실을 광섬유 제조 시에 발생하는 결함에 의한 비교로 구분할 수 있다. 비교유성 손실로는 천이금속이나 유기계 불순물로 인한 흡수손실과 먼지, 기포와 코어클래드 결함 그리고 광섬유로 인선 시 발생하는 배향 복굴절에 의한 산란손실이 있고, 고유성 손실은 재료자체의 특성에 기인하는 것으로 중합시 발생하는 고분자 밀도 불균일에 의한 Rayleigh 산란손실과 자외영역의 전자전이에 의한 흡수손실 및 적외영역에서 진동흡수손실이 있다. Rayleigh 산란은 고분자의 밀도변동에 의한 것으로 산란손실은 굴절률의 8승에 비례하고 굴절률이 낮은 고분자를 사용하는 것이 유리하다. 최근의 연구 결과에 의하면 완전불소치환 GI-POF의 경우 완전불소치환 고분자의 재료특성으로 인해서 굴절률 분포의 민감도를 실리콘 광섬유보다 완화할 수 있고 결과적으로 넓은 파장범위에 걸쳐 대역특성을 향상시킬 수 있음이 알려지고 있다[9,10].

2-2. 고분자광섬유의 대역 특성

대역특성(bandwidth)이란 매질의 정보전송능력을 의미한다. Fig. 1에 도시되어 있듯이, 현재 상용화되어 있는 POF는 모두 코어중심의 굴절률이 균일한 SI POF로서 값이 싸고 사용하기는 편리하지만 PMMA를 기본으로 하기 때문에 재료자체의 전송손실도 크고 대역특성이 수십 Mbps에 불과해서 정보 전송용으로는 한계가 있다. SI POF는 Snell의 법칙에 의해 코어와 클래드 간의 계면 전반사(total internal reflection)에 의하여 광신호가 전송되는 것으로 광섬유의 중앙부로 직진하는 모드와 지그재그형으로 전파하는 모드간의 전파속도 차이인 분산이 생기므로 대역특성이 우수하지 못하여 조명용으로 사용하거나 단거리 정보전송용으로 사용한다. 대역특성은 전송 채널에서 정의된 손실 또는 정의된 신호 왜곡값을 가지는 최대 주파수 채널을 의미하는 것으로 실제적으로 펄스의 퍼짐을 측정하여 주파수 영역에서 광학적 손실에 대한 선평을 구한 뒤 이를 광섬유의 길이로 정규화하여 Hz·km로 표현하며 이를 주파수-거리 결과(frequency-distance product)라고 한다[11]. 대역특성이 크다고 하는 것은 주어진 변조(modulation) 주파수로 더 멀리 갈 수 있음을 의미하거나, 같은 거리를 보다 빠른 주파수를 이용하여 보낼 수 있음을

의미하는 것이다. 예를 들어 대역특성이 200 MHz·km라는 것은 200 MHz 주파수를 이용하여 1 km를 전송하거나 100 MHz 신호를 이용하여 2 km를 전송할 수 있다는 것으로 빠른 변조주파수를 이용하면 보다 많은 정보를 단위시간에 전송할 수 있다. 대역특성은 Gbps(giga bit per second) 또는 Mbps로 표현하기도 하는데, 단위 거리 당 신호간섭(inter-symbol interference) 없는 최대 비트율(bit rate)로 정의하고, 한가닥의 광섬유가 전송할 수 있는 정보량을 의미할 경우 사용한다. 고아섬유에서 데이터의 비트는 광신호의 펄스로 표현되며 각각의 펄스는 광섬유 내부를 진행하는 동안 퍼짐현상이 발생한다. 이러한 펄스의 퍼짐이 중첩되면 신호간섭이 일어나게 되며 수신단에서 신호의 분리가 불가능해진다. 신호간섭이 적으면 적을수록 광섬유의 전송능력은 우수하다고 볼 수 있으며 결국 광섬유의 대역특성은 펄스의 퍼짐, 분산에 의하여 결정된다고 볼 수 있다[12].

광섬유의 분산은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 내부모드분산(intramodal dispersion)으로서 색분산(chromatic dispersion)이라는 표현으로 더 많이 사용되는 것으로서 실제 광원은 미세한 파장의 분포(spectral width)를 가지고 있고 각각의 파장에 대해 매질의 전파속도가 다르기 때문에 발생하는 것이다. 주로 LD보다 LED에서 많이 발생하는데 LED의 파장분포가 보다 넓기 때문이다. 색분산은 구조(waveguide)분산과 재료(material)분산으로 다시 나뉜다. 구조분산은 광섬유 도파로 내부의 굴절률 분포차이에 의하여 유효 굴절률이 생기고 이에 따라 전파속도가 결정되어 생기는 것이고, 재료분산은 광섬유의 매질이 유전특성을 가지고 있고 파장에 따른 유전특성이 달라지기 때문에 생기는 것이다. 두 번째는 내부모드분산(intermodal dispersion)으로 멀티모드 광섬유에만 있는 현상이다. 이는 전송한 바와 같이 멀티모드 광섬유의 경우는 NA가 커서 다양한 모드의 빛이 입사하기 때문에 발생하는데 서로 다른 모드로 진행한 신호는 모드 간 속도차에 의하여 빠른 모드와 느린 모드로 시간차가 생기고 느린 모드는 뒤따라오는 신호와 중첩하여 종단에서 신호분리가 불가능하게 되는 현상을 말하는 것이다. 따라서 멀티모드 광섬유의 전송능력인 대역특성을 향상시키려면 내부모드분산을 최소화 하도록 광섬유 내부에 굴절률 분포를 부여해야 한다.

2-3. 구배성 고분자광섬유

진행 경로가 짧은 코어 중심부분의 굴절률을 높게 하고 진행경로가 긴 클래딩 부분의 굴절률을 낮게 하면 진행경로 차이에 의한 전송 시간차가 상쇄되어 모드분산을 최소화할 수 있다. 구배성 고분자광섬유(GI POF)의 경우는 코어 내 굴절률 분포를 부여한 POF를 말하는데, 정확한 표현은 아니지만, 다음과 같은 설명으로 쉽게 이해될 수 있다. 즉, 광섬유 내부에 굴절률 분포가 있는 GI POF의 경우 입사한 모든 모드는 Snell의 법칙에 의하여 사인파형을 그리며 전파하여 굴절률이 높은 쪽으로 진행하려는 특성이 있으므로 광축에 모든 입사광이 교차하면서 진행하게 되고 굴절률과 역비례 관계가 있는 빛의 진행속도로 인하여 굴절률이 높고 경로가 짧은 코어 중심부의 모드와 굴절률이 낮고 경로가 긴 가장자리로 지나가는 모드는 경로에 따른 모드 간 군속도의 차이가 없이 진행하게 되며 결과적으로 모드 간 신호간섭이 없어 초고속 통신이 가능하게 된다[11].

GI 분포(Graded-Index Profile)의 근사화시킨 식을 멍급수분포(power-law index profile)라 한다. 즉 코어 중심부 굴절률과 클래딩 굴절률이 결정되면 이상적 굴절률 분포형상을 결정할 수 있다. 굴

결률 분포형상을 결정하는 지수 a 를 굴절률 분포 파라미터(profile shape parameter)라고 하는데 $a=1$ 일 경우 삼각형 구조의 굴절률 분포가 되며 $a=8$ 일 경우 스텝형 굴절률, $a=1.5\sim 3$ 일 경우 포물선형 굴절률 분포가 된다[12,13]. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$n(r) = n_{core} \left[1 - \frac{(n_{core}^2 - n_{clad}^2) r}{2n_{core}^2 a} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 r 은 임의의 위치에서 코어의 반경, a 는 코어의 반경 그리고 α 는 굴절률 분포 파라미터를 각각 나타낸다. 제조하고자 하는 POF의 구경에 따라 최적의 $(n_{core}^2 - n_{clad}^2)/2n_{core}^2$ 및 α 값이 선정되고 α 값에 따라 대역특성이 크게 좌우되기 때문에 먹급수분포에서 최적의 α 값을 설계함으로써 모드분산이 최소화되고 대역특성이 최대가 되는 굴절률 프로파일을 도출할 수 있다. 사용과장에 따라 최적의 α 값이 다르며 최적의 α 값을 전후해서 대역특성이 급격하게 변화하므로 설계된 α 값을 그대로 실현시키고 프로파일을 유지할 수 있는 공법을 개발하는 것이 무엇보다 중요하다. 실제로 프로파일 파라미터 α 값의 차이는 약 10% 정도이지만 그에 따른 대역특성의 차이는 약 200%에 달하므로 설계 시 정확한 α 값의 결정과 공정에서의 구현이 필수적으로 요구된다[14].

2-4. 고분자광섬유의 미분모드 지연

POF의 광원으로는 통상적으로 사용되는 저가의 LED뿐만 아니라 VCSEL 광원이 크게 고려되고 있는데, 이는 LED 광원의 bit rate가 낮기 때문에 최대 전송속도가 622 Mbps급으로 한계가 있을 뿐 아니라 주된 사용과장 대역인 850 nm 근처에서 색분산 현상이 발생하기 때문이다. 기가비트급 정보전송용 광원은 VCSEL, Fabry-Perot Laser, CD Laser 등이 있으며 특히 VCSEL은 LD와 함께 기가비트급 변조율(modulation rate)을 가지면서도 생산가격이 저렴하여 대역특성 향상 효율이 높다. VCSEL은 LED보다 광 초점 크기가 매우 작아서 멀티모드 광섬유인 POF에 입사되는 빛의 분포가 LED와 다르며 광섬유 단면의 일부분에만 광 신호가 분포하게 된다. 멀티모드 광섬유의 대역특성은 빛의 분포에 따라 결정되는 모드특성과 관련이 깊으므로 두 광원을 사용한 경우 각각의 대역특성은 차이가 있다. VCSEL의 경우는 상대적으로 작은 광 초점 크기로 인하여 고차, 저차모드 중 일부분을 여기시킬 가능성이 LED에 비하여 훨씬 크므로 입사조건(launch condition)을 신중히 고려해 주어야 하며 대역특성 감소의 주원인으로서 미분모드 지연(DMD: Differential Modal Delay)을 최소화시키는 방안이 연구되고 있다. DMD에 의한 대역특성은 멀티모드 광섬유에서 여러 모드로 나뉘어 진행되는 빛의 전파상수의 차이로 인하여 수신부에 도달하는 시간차가 발생하여 위상변화(jitter)를 일으키기 때문이다. 이는 여러 모드에 의한 전파상수차에 의한 것으로 단일한 모드만 전파하는 SMF에서는 발생하지 않는 현상이다. 분산으로 인해 신호 간 위상변화가 생긴다는 점에서 DMD와 분산을 동일 시 하기 쉬우나 분산은 스펙트럴 폭(spectral width)을 갖는 광원을 사용할 경우 파장의 매질진행속도 차에 의하여 발생하는 현상인데 반하여 DMD는 코어조성을 따라 빛이 분리되는 현상 때문에 발생하는 것으로 서로 다른 것이다. 기존의 LED보다 VCSEL로 사용경향이 바뀌에 따라 기존의 대역특성으로 전송 거리를 보충할 수 없음이 밝혀지게 되었고, 이에 따라 최근에는 DMD를 측정하여 전송거리를 예측하는 추세이다[15].

3. 광통신 및 센서모듈 제작

3-1. 화상전송 모듈

본 연구에서는 음성 신호뿐만 아니라, 메가(mega) 혹은 기가(giga) 단위 이상의 전기적 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환할 수 있는 POF용 고화질 영상전송 모듈을 제작하였다. 또한, 제작된 영상 모듈을 평가하기 위하여 전하결합소자(CCD: Charge-Coupled Device) 카메라를 통해 얻어진 대용량의 고화질 영상신호를 전송하기 위한 리시버를 제작하였다. 이는 기존의 리시버에 비해 주파수 대역폭이 넓고 저잡음 특성을 갖기 위한 회로로서, POF용 트랜시버 및 리시버를 선택하는데 중점을 두었다. 이렇게 얻어진 영상들을 화면상에 디스플레이함에 따른 기존 원본 영상과 대조 영상과의 비교가 필요하며, 이를 위해 객관적 이미지 평가방법을 기초로 한 Visual C++ 및 Basic을 자체 코딩한 프로그램을 적용하였다. 영상을 전달하고자 하는 구성을 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에서는 영상신호를 전송하기 위한 광리시버(optical receiver)를 제작하였고, CATV에서 발생하는 기존의 아날로그 신호를 전송하기 위해 바이어스티(bias tee)와 송신기(transmitter)를 제작하여 사용하였다. 노이즈 특성에 강한 리시버를 구성하기 위해 300 MHz대의 증폭기와 1 GHz용 브로드밴드 증폭기(broadband amplifier)를 사용하였으며, LED는 155 MHz까지 펄스 발생이 가능한 650 nm용을 사용하였고, 광검출부(optical photo detector) 부분은 둘러싸여 있는 SFH-250을 사용하였다. 특히 광검출부의 경우에는 최대 광민감도가 850 nm이지만, 650 nm의 경우도 80% 이상의 높은 감도를 가지므로 사용하였다. PCB기판의 경우에는 직접 제작한 패턴을 참고하여 잡음 특성을 최소화하기 위한 기판 디자인을 하였다.

Fig. 3(a)는 실제 제작된 광리시버 패턴회로기판의 사진이다. 이 회로에서는 NTSC(National Television System Committee)방식의 케이블TV용 주파수를 가용할 수 있도록 설계되었다. 또한 Fig. 3(b)는 만능기판위에 꾸며진 실제 모듈의 모습이다. 이 회로에 대한 결과그래프는 Fig. 3(c)에 나타내었다. 이 결과에 대한 실험은 길이 60 m 다중인덱스(multi index) POF를 사용했으며, 접속손실은 무시하였다. 또한 입력부는 트랜시버를 제작하기에 앞서, 바이어스티(bias tee)를 신호증폭기에 연결하여 구형파를 발생시켰다. 앞서 LED의 구동전압은 2~5 V를 사용하였다. 그림에 나타난 그래프를 보면, 입력신호와 출력신호의 딜레이 현상은 관찰되지 않았지만 상당 부분이 손실된 것을 확인할 수 있다. 이는 POF 자체의 내부 고유 손실에 의한 부분을 제외한다면 회로 자체 특성에서 나타난 손실 값이라고 판단되어 진다. 이러한 손실 값은 회로에 사용된 소자들의 배열과 PCB 기판의 영향이 크며, 외부적으로는 전송하고자 하는 신호의 대역폭에 최적화를 해야 한다는 결과를 도출할 수 있었다.

3-2. 광전송속도 측정모듈

광도파로인 POF를 통과하는 광전송속도는, 진공상태의 빛의 속도인 3×10^8 m/s의 값을 활용하여, POF의 굴절률, 길이, 시간을 측

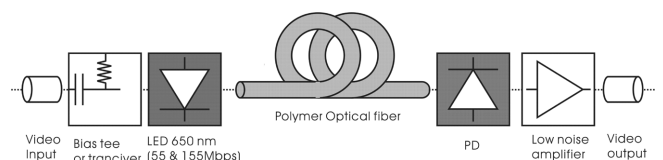


Fig. 2. Schematics of optical transmission for image processing.

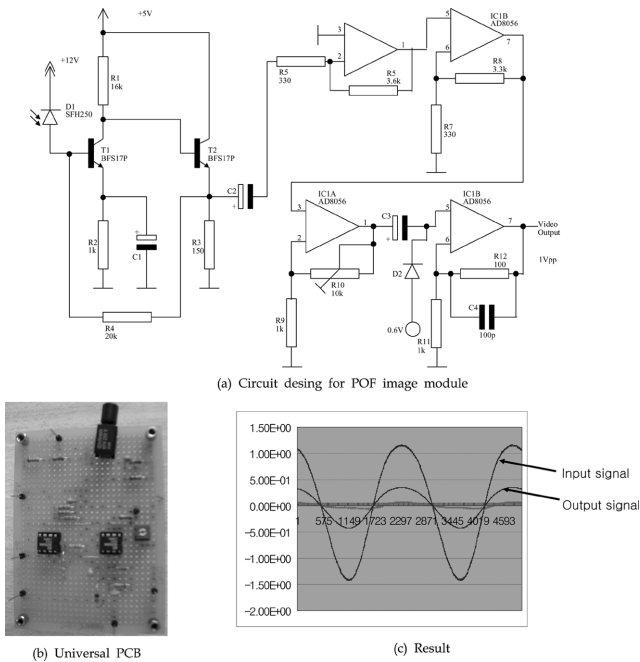


Fig. 3. Optical transmission for image processing.

정하여 다음과 같은 광도파로를 통한 광전송속도를 계산할 수 있다.

$$c = \frac{n \times l}{t} \quad (2)$$

여기서, c 는 빛의 속도, n 은 POF의 굴절율, l 은 POF의 길이, t 는 POF를 통한 광신호의 걸린시간을 각각 나타낸다. 식 (2)는 광도파로를 통한 광속도를 측정하기 위한 기준이 된다. 자체 개발한 광전송속도 측정회로를 이용하여 POF를 통한 광전송신호의 속도를 측정하였다. 이 회로에 사용된 기본 부품들은 크게 펄스발진기, PD, LED, 회로 구성 게이트 IC로 구성되어 있다. 이 회로의 간략한 원리는 먼저 FET(Field Effect Transistor) 구동 방식을 갖는 펄스발진기에서 펄스를 작동시키는 트랜지스터를 통해 광신호가 방출되며, 이는 고분자 광도파로(POF)를 통과하여 회로구성의 아랫단에 해당하는 리시버에서 검출된다. 방출된 광신호는 광도파로를 통과함에 따라 각각의 도파로 특성에 따라 속도가 다르게 나타나므로, POF의 굴절률 분포에 따른 광전송속도를 측정할 수 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 제작된 광전송속도 측정 장치를 보여주고 있다. 이 회로의 구성은 회로의 전면부에 LED와 후면부에 위치한 PD에 POF를 연결하고 측정하며, 사진에 보이는 가변저항은 보정시 사용되는 저항이다. 이 회로의 큰 특징은 트랜지스터를 고주파수 광대역폭을 갖는 소자를 사용하여 신호 간에 발생하는 잡음특성을 제거하고자 하였다. 또한 PCB기판을 제작하여 만들지 않은 이유는 회로 구성상 공간 및 기타 자체 회로에서의 오류와 관계없을 것으로 판단하여 만능 기판을 이용하여 제작하였다. Fig. 4(a)에 회로의 구성에서 장치의 구성 모듈을 살펴보면, 트랜지스터는 스위칭과 와이드 밴드를 사용하였고, 가장 중요한 부품이라 할 수 있는 펄스 발진을 위한 타이머의 경우에는 TLC555CP CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)타입의 타이머를 사용하였다. 이 장치를 사용하기 위해서는 가장 먼저 캘리브레이션 과정을 거쳐야 한다. 15 cm의 POF를 이용하여 가변저항의 저항값을 변환하여 듀얼형태의 단안정

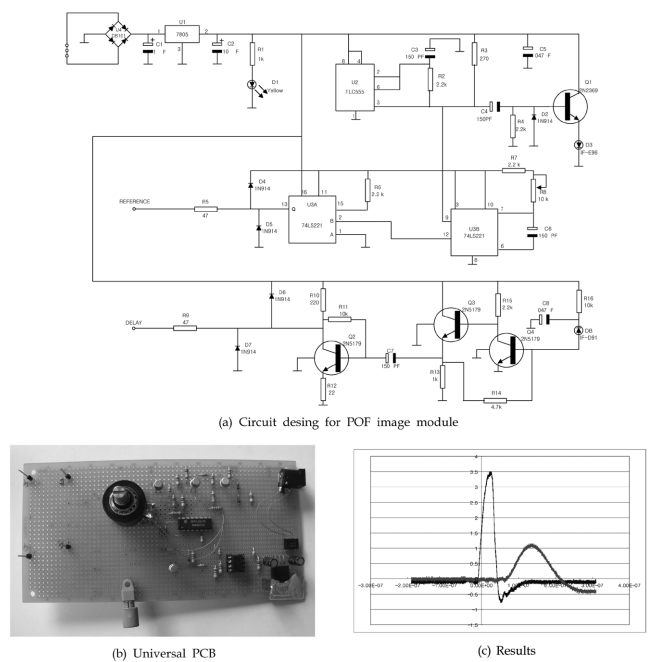


Fig. 4. Optical transmission for measurement of light transmission.

74LS221 TTL(Transistor Transistor Logic)에서 신호 출력부와 입력부 사이에서의 시간적 딜레이를 제거하였다. 이는 15 cm POF에서 발생하는 1 ns보다 작은 시간적 딜레이가 존재할 수밖에 없다는 회로적 한계를 나타낸다. 좀 더 정확하고 수 나노초보다 작은 시간적 오차를 줄이려면 좀 더 정확한 펄스 발진회로가 구성되어야 할 것이다.

Fig. 4(b)에서 상단에 위치한 TLC555는 펄스 발진기로 이 회로에서 자체신호를 발생시켜 D3(LED)부분으로 신호가 출력되게 되며, 이때 발생하는 신호의 최대공초치(maximum resonance)는 100 ns로 설정하였다. Fig. 4(c)는 다중인덱스 POF 100 m를 측정하여 얻어진 결과 그래프이다. 그래프에서 보면, 이 광섬유의 광속도 특성은 100 m 통과하는데 13 μ s 만큼 지연되었다. POF의 길이를 50 m로 줄였을 경우, 딜레이 신호가 5 μ s 측정되었으며, 이를 통해 길이와 광속도 간의 관계를 알 수 있었다. 결국, 같은 물성의 POF의 경우 거리가 짧아질수록 시간적 지체가 줄어들음을 확인할 수 있었고, 단일인덱스(Single-Index Profile)를 갖는 POF보다는 다중인덱스 분포(Multi-Index Profile)를 갖는 POF의 시간적 지체가 적음을 확인하였다. 이 장치를 이용하여 POF의 제작공정에서 POF의 물리적 특성을 객관적으로 측정할 수 있는 장비로 활용할 수 있을 것이다.

3-3. RS-232 통신용 광센서모듈

고분자광섬유를 이용한 RS-232 시리얼통신을 확인하기 위하여, LabVIEW를 이용하여 상업용 건조기의 데이터 전송 부분에 광 트랜지스터를 이용하여 데이터를 주고받는 광통신 실험을 수행하였다. 실험 장치에 대한 개략도와 세팅 되어진 실제 사진이 Fig. 5에 나타내었다. 실험 장치의 구성은 입력부는 3개의 온도채널과 1개의 RS-232 시리얼 데이터 통신 채널이 있으며, 출력부는 PID 제어를 위한 아날로그(-5 V to +5 V) 단자로 구성되어 있다. 각 채널의 데이터를 획득하여, 장치를 제어하기 위하여 NI(National Instrument, Co.)사의 LabVIEW 7.0, NI PCI-6014E Data Acquisition Board와 SC-

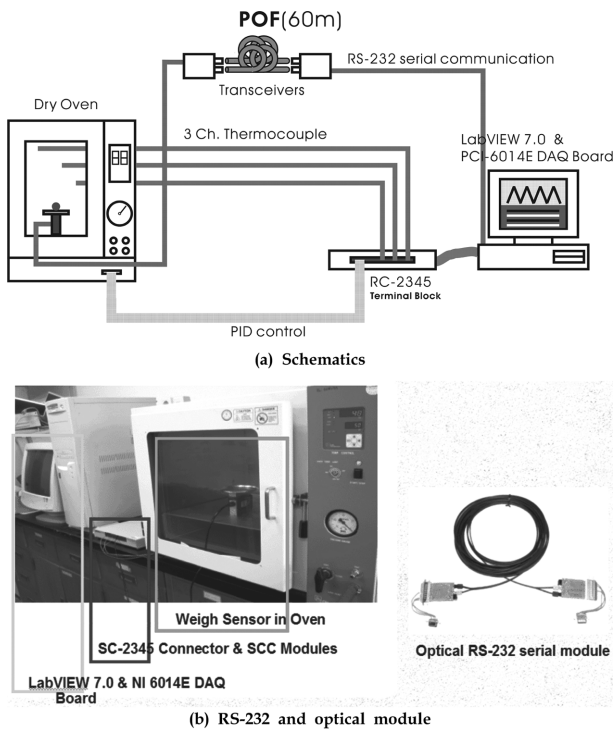


Fig. 5. Optical modules for RS-232 serial communication.

2345시그널 컨디셔닝 모듈을 구축하였다. 실험결과 시리얼 통신의 경우, 광트랜시버 모듈을 사용함으로써 데이터의 빠른 전송을 가능케 하였다. 그러나 트랜시버간의 신호 전송이 빨라지는 것은 확인할 수 있었으나, 원래 시리얼 통신의 전송속도가 느림을 감안한다면 좋은 성능을 발휘하지는 못할 것으로 고려된다. 컴퓨터의 시리얼 통신 속도와 NI사의 데이터 획득 보드(data acquisition board)를 통해 들어오는 신호와의 데이터 지연(delay)을 줄일 수 있다면 광트랜시버로 이용된 모듈을 보다 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 공정의 PID 제어에서 신호 제어를 할 때의 실시간 제어를 가능케 할 것이다. 즉, 어떠한 공정 시스템의 공정제어를 공장이 아닌 장거리의 원격지점에서 시간적 지체를 갖지 않는 실시간 제어를 할 수 있을 것이다.

3-4. 소리 및 영상 전송용 광센서모듈

최근에 가장 각광을 받고 있는 홈네트워킹을 위한 모듈은 고화질 영상 및 데이터 전송을 위한 모듈이다. 본 실험에서는 소리와 영상 전송을 위한 모듈을 고안하였으며, 이를 Fig. 6에 나타내었다. 음성 신호 전송을 위한 광트랜시버의 구성회로는 아날로그 신호를 LM386 파워오디오 증폭기(Power Audio Amplifier)를 통해 증폭하였다. 이때 입력 임피던스는 $0.047 \mu\text{F}$ 콘덴서와 합쳐지며 3 dB를 갖는 하이패스 점이 70 Hz인 음성 신호를 나타낼 수 있도록 하였다. 사운드 링크 모듈은 660 nm 파장을 갖는 광원의 경우 최고 10 m POF를 사용하여 소리를 주고받을 수 있는 모듈로 설계하였다. 이 모듈을 활용하면 사무실간과 같은 근거리 음성 데이터 통신이 가능하다. 영상전송을 위한 모듈의 구성은 Industrial Fiber Optics사의 반도체 레이저와 레이저 NTSC 비디오 리시버로 구성하였고, CCD 카메라를 통해 얻어진 영상을 반도체 레이저로 약 630~640 nm의 파장을 갖는 광원으로 리시버 부분에 노출시켰다. 광원으로 사용되



(a) POF for sound communication



(b) laser image transmission

Fig. 6. POF networks for real-time processing.

어진 레이저는 광파워가 2.8~3.2 mW의 출력을 갖는 CLASS IIIa 레벨을 갖는 아날로그 및 디지털 모듈레이션이 가능한 레이저를 사용하였다. 리시버는 500~1050 nm의 파장영역의 검출할 수 있는 NTSC 영상 표준 방식을 갖는 장치이며, 레이저와 리시버 사이에는 PMMA 번들을 위치시켜, 번들의 상태에 따른 영상 신호 전송 상태를 육안으로 확인할 수 있도록 하였다. 이를 기초로 하여 고분자 광섬유를 열연신전의 로드(rod)의 광학적 특성을 파악할 수 있는 테스트 장비로 사용될 수 있었다. 이 장치를 통해, 기존 동선을 이용한 영상전송 보다 광섬유를 통한 영상 전송이 구성 회로들간의 시간적 지체 구간을 제외한다면 전송시간이 확연히 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 이와같은 모듈의 실험으로부터 광통신을 통해 이를 수 있는 실시간(real-time) 데이터 전송이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 유연하면서도 경제적으로 강점이 있는 고분자광섬유(POF)용 광통신 및 센서모듈의 동적특성을 확인하기 위하여, 화상전송 모듈, 광전송속도 측정 모듈, RS-232 시리얼 통신을 위한 광트랜시버, 사운드 전송을 위한 모듈을 각각 제작하여 평가하였다. POF용 통신 및 센서 모듈로서 제작된, 광전송속도 측정장치는 간단하게 POF 제작현장에서도 활용이 가능하며, National Instrument사의 LabVIEW와 데이터 수집보드와 연동한 PID제어에서는 실시간 데이터 전송을 확인할 수 있었다. 실시간 제어는 산업 플랜트 설계 및 제어부분에서 매우 중요한 요소임을 감안한다면 매우 유익할 것으로 기대된다. 또한 간단한 아날로그 증폭기와 LED와 PD를 사용하여 최대 60 m의 광도파로 길이에서의 소리전달을 성공적으로 전송시킬 수 있었으며, Industrial Fiber Optics사의 반도체 레이저와

레이저 NTSC 비디오 리시버로 구성하여 비디오 영상 전송특성을 확인할 수 있었다. 이와 같은 모듈의 동특성으로부터, 기존 동선을 이용한 영상전송보다 POF를 통한 영상 전송이 구성 회로들간의 시간적 지체 구간을 제외한다면 전송시간이 확연히 빨라지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 광통신을 통해 이를 수 있는 실시간(real-time) 데이터 전송을 가능케할 것으로 보인다. 본 연구에서 제작된 회로는 POF용 리시버를 제작함으로써 다가오는 근거리 네트워킹 시스템을 구축하는데 일조를 했다고 판단된다. 그러나 이를 이용한 시제품 개발은 아직 시기가 아니므로, 가까운 미래에 구축되어질 홈 네트워킹과 같은 고용량 고화질 영상전송을 위한 제반 기술인 광통신 모듈의 개발은 계속되어야 할 것이다.

감 사

본 연구는 한국과학재단의 산학협력연구(101-2001-000-00045-0)와 서울시 기반사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Kim, E. H., Lee, K. S. and Chung, H. J., "Development Trend for the Home-Network Service of Communication Providers," *The Magazine of IEEK*, **29**, 660-665(2002).
- Hwang, J. T., Choi, J. S. and Cho, H. S., "Recent Trends for Development of Plastic Optical Fiber for Short Distance High Speed Communication and Standardization of IEEE 1394," *Polym. Sci. Technol.*, **13**, 168-179(2002).
- Ishigure, T., Nihei, E. and Koike, Y., "Graded-Index Polymer Optical Fiber for High-Speed Data Communication," *Applied Optics*, **33**, 4261-4266(1994).
- Boom, H. P. A., Bennekomp, W., Monroy, I. and Khoe, G., "High-Capacity Transmission Over Polymer Optical Fiber," *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, **7**, 461-470(2001).
- Koike, Y., Ishigure, T. and Nihei, E., "High-Bandwidth Graded-Index Polymer Optical Fiber," *J. Lightwave Technol.*, **13**, 1475-1489(1995).
- Sunaga, Y., Takahashi, R., Tokoro, T. and Kobayashi, M., "2 Gbit/s Small Form Factor fiber-Optic Transceiver for Single Mode Optical Fiber," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, **23**, 176-181(2000).
- Park, S., Toumazou, C. and Papavassiliou, C., "A High-Speed Four-Channel Integrated Optical Receiver Array Using SiGe HBT Technology," *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 433-436(2000).
- Hecht, J., "Understanding Fiber Optics," Prentice Hall, Columbus(1999).
- Onishi, T., "Low loss Perfluorinated GI-POF," *Proc. 10th Int. Plastic Optical Fibers Conf.(Amsterdam, Sept. 27-30, 2001)*, pp.337-340.
- Park, B.-W., Yoon, D.-Y. and Park, S., "Influence of Processing Temperature on the Image Transfer Characteristics on an Image Guide made of Polymer Optical Fibers," *Korean J. Chem. Eng.*, **25**, 185-189(2008).
- Bastida, E., Corso, V., Finardi, C., Fischer, R. P., "Monolithic Transimpedance Amplifiers for Low-Cost Wideband Optical Links," *Electron. Lett.*, **33**, 513-515(1997).
- Ishigure, T., "Accurate Refractive Index Profiling in a Graded-Index Plastic Optical Fiber Exceeding Gigabit Transmission Rates," *J. Lightwave Technol.*, **20**, (2002).
- Bluoss, E., Zocher, E. and Ziemann, O., "Video Transmission over PMMA Step Index POF," *Proc. POF 2001 Conference*, 243-246(2001).
- Kaino, T., Jingui, K. and Nara, S., "Low-Loss Poly(methyl methacrylate-d8) Core Optical Fibers," *Appl. Phys. Lett.*, **42**, 567-569(1983).
- Chun, H. I. and Shin, Y. S., "Home Networking Technology and Standard," *The Magazine of IEEK*, **29**, 638-659(2002).