

구배성 고분자광섬유의 광학특성 평가

박병욱, 윤도영, 윤진상
광운대학교 공과대학 화학공학과

Analysis of Optical Properties of Graded-Index Polymer Optical Fibers

B.-W. Park, D.-Y. Yoon, K.S. Yoon
Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University

서론

세계 각 나라는 21세기에 대용량 초고속 정보통신 사회로의 전환에 부응하기 위해 초고속 통신망 확보를 위한 연구에 많은 투자를 하고 있다. 정보화시대의 주를 이루는 각종 multimedia 및 data 전송에 관련된 유관산업의 발달로 정보전송 매체로서의 광섬유에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이러한 초고속 통신을 가능하게 하는 GI-POF의 개발 및 상품화는 가정, 사무실 등의 networking을 통한 사이버 사회 구현을 위해 중요한 요소이다. 또한 영상, 음반, 도서출판 문화 등의 디지털화에 따른 대용량의 정보를 고분자광섬유에 의한 home network 실현으로 가정 및 개인에게로의 고품질 문화 서비스를 제공할 수 있으며 재택근무, 사이버스쿨 등의 network 사회는 혼잡한 교통을 줄이고 기존의 문서, 서신교환 등을 신속하게 함과 동시에 인력절감의 효과를 가져올 수 있다. 이러한 제품의 국내 개발 및 상품화는 정보화시대의 여러 관련산업에 파급효과가 매우 크며, 고부가가치 상품의 수입대체 및 수출증대 효과 또한 매우 크다.

GI-고분자광섬유(GI-POF)는 단거리 고속통신용 매체로 digital TV, home network 및 automation 등에 필요한 품목으로 일본의 경우 이의 생산촉진과 조기 규격화를 위한 콘소티움이 미쓰비시레이온, 후지스, NEC, 스미토모 등을 포함한 45개의 회사에 의해 이미 수년 전에 형성되었으며, IEEE1394 등 광섬유 사용에 대한 규격 기준이 이미 마련되어 있다. 상품화되어 양산되고 있는 GI-POF는 아직 없으며 일본의 아사히글라스에서 “루씨나”라는 상품명으로 제품이 최근 시판되고 있다. 규격에 맞는 GI-POF가 상품화되면 그 수요는 2004년까지 약 45억불에 다다를 것으로 예상되며, 통신용 매체 이외에 내시경, 단층촬영분석기 등의 특수 의료기기 및 지문인식기, 야시경, X-ray 감식기 등 고 부가가치, 고가 품목 등에도 그 수요가 크게 증가 할 것으로 예상된다. 현재 GI-POF를 제조에 함에 있어서 가장 큰 문제점은 제조공정이 별로 알려져 있지 않다는 점으로 독창적인 원천기술만 있으면 소액의 설비 투자로 부가가치가 아주 높은 제품을 만들어 세계시장에 진출할 수 있는 기술 집합형 산업이다. 본 연구에서는 (주)옵티미디어의 원천기술로서 보유하고 있는 GI-POF제조공정으로부터 생산되는 PMMA 기반의 GI-POF의 광학특성의 평가기술을 소개하고자 한다.

GI-POF의 제조

본 연구에서 광학특성을 측정하고자하는 고분자광섬유는 (주)옵티미디어의 제품으로서, 옵티미디어의 GI-POF 제조공정은 ① monomer정제, ② preform 제작, ③ 광섬유 연신의 세 단계 과정을 이루어진다. 이를 간략히 소개하면, monomer정제는 일반적으로 많이 알려진 고 진공에서의 정제방법과 유사하며, preform 제작기술은 옵티미디어(주)에서 보유하고 있는 GI-POF제조 핵심 기술로서 특허출원된 공정이며, 광섬유연신은 thermal drawing 공법에 의해 이루어진다. 고분자광섬유로 제조될 시료는 MMA, BzMA, Initiator, CTA 등으로 구성되며, 이들은 고진공증류등과 같은 적절한 방법으로 정제되어진다. Preform 제작은 옵티미디어의 Know-How로서, 굴절률의 변화를 보이게 하기 위

한 고분자블렌드기술과 중합기술이 핵심을 이루고 있다. 중합된 Preform의 분자량은 GPC(Shimadzu)로서 측정되며, 투과율, 흡수율등과 같은 광학특성은 HP UV Spectrophotometer(Agilent 8453) 로 측정하였다.

MMA의 중합특성

고분자광섬유의 대부분은 MMA 에 기초한 공중합물질의 사용이 현재까지의 추세이다. MMA 의 중합은 개시제의 선택에 따라 온도제어 또는 UV조사량의 제어로서 중합이 이루어진다. UV조사량의 제어에 의한 PMMA 의 합성기술은 반응시간의 단축 또는 UV조사량의 균일성 유지가 가능하므로 공정에서 간편한 방법으로 적용될 수 있으나, 급격한 발열반응으로 인한 분자량의 제어 및 결절등의 생성을 제어하기 위한 반응기내의 온도분포의 해석이 필수적이다. 이를 위하여 본 연구에서는 우선적으로 UV 조사에 의한 MMA 의 중합특성을 조사하였다. MMA 단량체와 개시제인 HPK 는 Aldrich제품을 사용하였다. 또한 UV 램프는 독일산으로서 UV 램프의 UV 조사특성은 Radiometer(UVI Tec, RX-003)을 이용하여 자외선 강도를 측정하였다. 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 램프의 특성은 램프의 표면으로부터 1cm 떨어진 거리로부터, 최종 2m 떨어진 거리에 대하여 적당한 간격을 취하여 그 강도를 측정하였다. 그결과 1cm 거리에서는 13.04 mW/cm² 로 측정되었고, 2m 떨어진 곳에서는 0.012 mW/cm² 로 측정되었다. 본 연구에서 사용된 UV 램프의 자외선 발생특성은 비교적 균일하게 조사되고 있었으며, 자외선 램프의 조사특성은 조사강도가 램프와 반응기간의 거리의 제곱에 반비례하는 함수형태로 나타나고 있었다. 공정상에서의 램프와 반응기간의 거리는 최소 10cm에서 30cm정도의 거리이므로 이에 대한 반응기내의 온도분포를 조사할 필요가 있다. 이를 위하여, UV용 MMA 중합개시제(HPK)를 0.1에서 0.5wt 까지로하여 MMA에 투입하여 1시간 가량교반한후, UV를 조사하고 반응기내의 온도를 시간대별로 측정하였다. 시험용 반응기는 20cc 용 시험관으로서 여기에 10cc 의 반응물을 넣고, 반응물의 중간지역에 K-type 의 열전쌍을 자체제작하여 위치하도록 하였다. 특히, 램프와의 거리를 각각 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm 로하여 반응이 개시되는데 소요되는 시간 및 반응기내의 온도를 4초간격으로 측정하였다. HPK 의 조성이 0.3wt 인 경우에, 반응기내에서의 발열특성을 시간대별로하여 측정된 온도의 함수로서 Fig. 2에 나타내었다. 초기에 10cc 의 MMA 는 램프를 On 으로한 반응개시후 4시간 37분에 발열특성을 보여주었다. 그림에서 보면 x축은 시간의 변화를 y축은 온도의 변화를 각각 나타내고 있다. 그림에는 5개의 피크가 나타나 있는데, 이는 램프로부터의 거리가 각각 10, 15, 20, 25, 30cm 에 위치한 시험관 반응기를 각각 나타내고 있다. 15cm 이후의 램프에 대하여는 각각 5시간25분, 6시간 17분, 6시간 4분 그리고 7시간 50분에서 최대온도에 도달하는 시점이 나타나고 있었다. 즉, 램프에서 가까울수록 반응의 개시가 빠르게 나타나고 있으며, 발열량도 램프에서 멀어질수록 급격히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이는 그림1의 램프의 자외선 강도를 살펴볼 경우, 램프와 반응기간의 거리가 각각 10, 20, 30cm 인 경우에 자외선 강도는 2.5mW/m², 0.998mW/m², 와 0.489mW/m² 로 나타나고 있었으므로, 총 조사된 자외선 강도하에서 반응이 균질적으로 개시되며 개시후 전파되는 기간에는 주입되는 조사량에 의존해서 그 온도분포가 결정됨을 예상할 수 있었다. 좌측으로부터 나타나는 피크는 램프로부터의 거리로 나타나는데, 각각 반응기의 최대온도를 살펴보면 각각 54.3℃, 48.4℃, 43.3℃, 37.9℃ 와 34℃를 각각 보여주었다. 즉, 램프에서 거리가 멀어질수록 반응기 개시되어 최대온도에 도달하는 시점이 늦어질 뿐만 아니라 반응기내에서 도달할 수 있는 최대온도가 낮아지는 결과를 보여주었다. 이는 램프에서 조사된 자외선이 반응기내에 흡수되어 개시제를 활동하게하는 능력이 반응기내에 흡수된 자외선의 총량에 의존하여 어느 총량을 넘어설 경우에 반응이 개시되는 중합특성을 암시하고 있다. 자외선의 강도가 셀 경우, 반응이 개시된 이후 주입되는 자외선의 강도가 여전히 강하게 흡수되고 있으므로 중합반응은 더

육 거세게 진행되며 이에 따른 발열량이 증가하는 것으로 관측할 수 있다. 반면에 자외선의 양이 적게 조사되는 경우에는 반응이 개시될 수 있는 자외선의 총량이 구비되었을 지라도 계속해서 주입되는 자외선의 양이 낮게 흡수되고 있으므로 반응은 램프와 반응기 간의 거리가 가까운 경우보다 훨씬 약하게 반응이 진행될 것으로 예상할 수 있다. 이와 같이 반응후 도달하는 최대온도와 이에 소요되는 반응시간과 같은 MMA의 중합특성은 개시제의 조성이 변화되어도 같은 경향을 보여주었다.

고분자광섬유의 광학특성평가

고분자광섬유의 광학적 특성을 평가하기 위하여 구성된 광섬유의 평가장치의 개략도는 Fig. 3과 같다. 장치는 HP의 UV Spectrophotometer를 변형하여 200~1800nm 파장대의 광원, 측정용 POF 모듈, 감지부 및 GUI 용 프로그램으로 구성된다. 이때 POF의 화상체(Image block)의 가공에 따른 광섬유의 가늘어지는 각도(taper angle), 굴곡도(local curvature)등이 화상전달특성에 미치는 영향이 중요한 영향을 미치게 되며 이의 표준화 작업으로서의 Image Block의 제작이 필요하여 이는 본 연구를 통하여 측정용 모듈이 위치할 지점에 아크릴로서 적절한 장치를 자체제작하여 부착하였다. 이로부터 투과율, 흡수율등과 같은 광학특성이 측정되었으며, 측정된 자료는 PC를 이용하여 각 파장대별로 스펙트럼을 구현하였다. 5층구조의 preform에 대한 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에는 200nm에서 1800nm구간에 대하여 각 층에 대한 파장별 투과도(transmittance)를 보여주고 있다. 전체적으로 650nm 파장대에서 투과도가 증가되는 것으로 나타나고 있으며, 외층(cladding)과 내층(core)에서의 투과도는 각각 0.86과 6.04을 보여주고 있으므로 내층의 투과도가 외층에 비하여 10배정도 큰 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 기초적인 자료를 기본으로 옵티미디아에서 생산되고 있는 GI-POF는 근거리 고속 통신용매체로 PC Network, digital TV, home network 등에 응용될 제품으로 초기 제품은 피복을 제외한 외경, 빛이 전송되는 core 직경, 전송손실(attenuation), 과 전송속도(bandwidth)는 각각 0.5 mm, 0.35 mm, 250dB/km 이하, 500Mb/s-100m (650nm 광원)이다. 이 제품사양은 전송손실 및 전송속도에 있어서 일본 아시히글라스의 루씨나에는 못 미치는 수치들이나 미쓰비시의 multi-layer SI-POF에 비하면 특히 전송속도에 있어 훨씬 우수한 사양으로 현재 일본시장에서 정해진 사양을 만족시키는 수치들이다. 시제품의 생산 및 판매가 원활히 이루어짐에 따라 제품사양도 점차적으로 개선하여 전송손실 200dB 이하, 전송속도 1 Gb/s-100m이상의 제품을 개발 할 것이며 이와같은 제품사양은 음성, 영상 데이터등의 초고속 전송을 위한 비동기식전송방식(Asynchronous Transfer Mode)의 규격 및 IEEE 802.32의 ethernet standard에도 부합되는 수치이다. 유연성이 크고 경제적이며, 차세대 정보환경에 적합한 GI-POF를 활용하면, 영상, 음반, 도서출판 문화 등의 디지털화에 따른 대용량의 정보를 고분자광섬유에 의한 home network실현으로 가정 및 개인에게로의 고품질 문화 서비스를 제공할 수 있으며 재택근무, 사이버스쿨 등의 network사회는 혼잡한 교통을 줄이고 기존의 문서, 서신교환 등을 신속하게 함과 동시에 인력절감의 효과를 가져올 수 있을 것으로 전망된다.

결론

본 연구에서는 GI-POF의 제조공정을 개략적으로 설명하고, 옵티미디아(주)의 기술로서 제작되는 고분자광섬유의 중합특성을 실험적으로 조사하였다. 또한 제작된 고분자광섬유의 광학특성을 조사하였다. 차세대 광통신 기술의 개발과 아울러 평가기술의 확보와 관련된 본 연구는 기초적인 연구자료로서 널리 활용될 수 있을 것이다. 아울러 이러한 제품의 국내 개발 및 상품화는 정보화시대의 여러 관련산업에 파급효과가 매우 크며, 고부가가치 상품의 수입대체 및 수출증대 효과 또한 매우 클 것으로 기대된다.

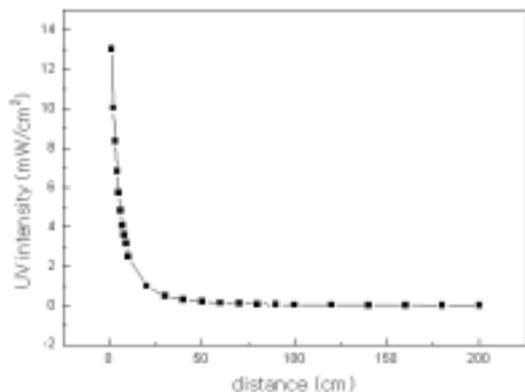


Fig. 1. Intensity distribution of UV lamp.

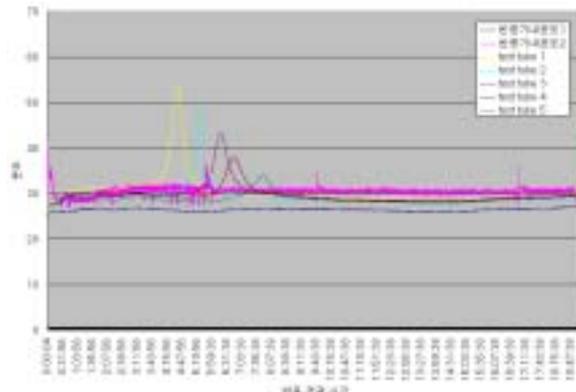


Fig. 2. Polymerization characteristics of PMMA

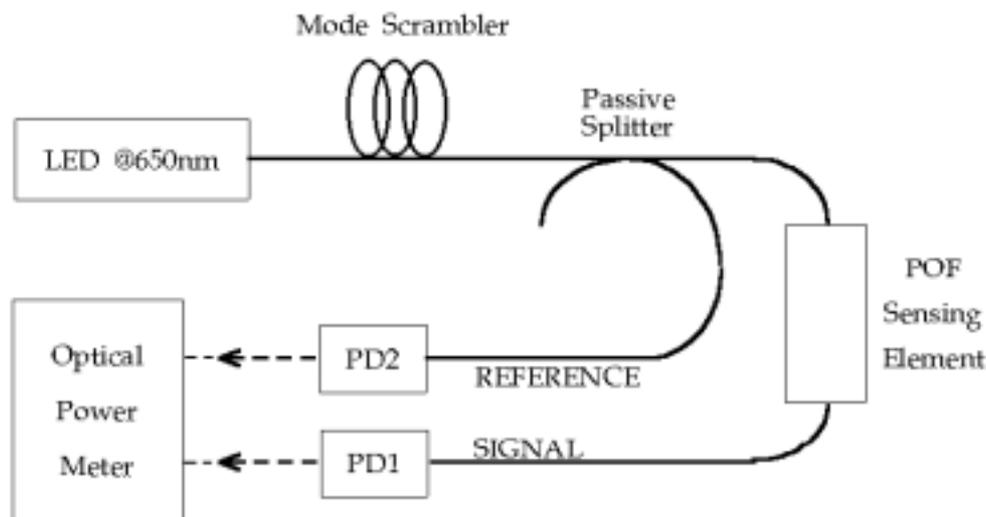


Fig. 3. Experimental setup of POF transmittance analysis.

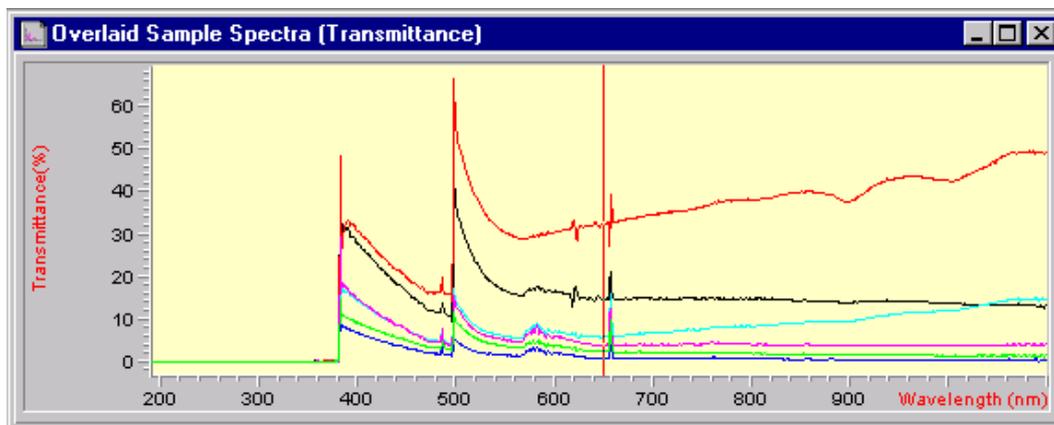


Fig. 4. Transmittance spectrum from 200nm to 1800nm by UV spectrophotometer.