DBpia

論 文

MCVD법을 이용한 광섬유 모재의 제작

正會員 李 基 完* 正會員 洪 鳳 植**

Fabrication Of Optical Fiber Preform by MCVD Method

Kee Oan LEE* Bong Sik HONG** *Regular Members*

要 約 본 논문은 모재 제작을 위한 Modified Chemical Vapor Deposition(MCVD) 장치의 새로운 설계를 제안하였다. MCVD공정의 기본 장치로는 선반장치와 원료가스공급 장치가 포함되고, 언덕형 굴절율 광섬유 설계, 공정의 특성 및 MCVD모재의 굴정율 형태를 측정하는 실험장치를 각기 실현하였다. 연구결과, 중심부 딥(dip)이나 범프(bump)가 보이지 않는 이상적 언덕형 굴절율 광섬유 모재를 얻었다.

ABSTRACT This paper presents new design of the Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) system for optical fiber preform fabrication. It contains a glass working lathe, raw material supplier and exhaust gas treatment apparatus as fundamental instruments for MCVD process, graded index fiber design, characteristics of process and the experimental arrangement to measure the refractive index profile of MCVD preforms, respectively. From the investigation results, it is shown that an ideal graded index fiber preform does not exhibit a center dip or bump

I. 서 론

1966년 영국의 Kao와 Hockman에 의하여 저손실 석영계 유리가 근 적외선 주파수 영역에서 전송 매체로 사용될 수 있다는 것이 처음 제시된 이래, 광도파 장치를 제작하는 공정기술의 개발에 있어서 많은 발전을 가져왔다.[1] 한편, 이보다 앞서 1964년 일본의 니시자와와 사사끼는 광섬유에 가스 렌즈처럼 중심부에서 높은 굴절율 분포를 나타내는 광전송 선로를 제안하여 언덕형 굴정율 광섬유(graded index fiber)의 이론적 연구에 대한 선구자가 되었다.[2]

광섬유를 제조하는 기술에는 OVD(Outside Vapor Deposition)[3], MCVD(Modified Chemical Vapor Deposition),[4] VAD(Vaporphase Axial Deposition),[5] PCVD(Plasma Chemical Vapor

* 大田機械廠
Daejeon Machine Depot
** 忠南大學校 工科大學 電子工學科
Dept. of Electronics, ChungNam University.
論文番號 : 89-29(接受1988. 11. 11)

www.dbpia.co.kr

Deposition)[6], 이중도가니 기술등이 있다. 이들중 MCVD는 완전한 폐쇄식(Closed system)으로 구성되어 있어서 불순물의 혼입방지및 흡수손실의 개선이 가능하다. MCVD법은 증기성장 증착법을 이용하기 때문에 기포의 발생이 적은광섬유의 제조방법이 되며, 최근에는 파장 1.55μm에서 0.2dB / km[8]의 저손실화가 보고되고 있다.

광섬유의 구조는 중심부에서 굴절율이 높은 코아(core)라고 불리는 부분과 코아를 둘어싸고 있는 굴절율이 낮은 크래딩(cladding)이라고 불리는 층으로 구성된다. 코아의 크기와 굴절율 분포상태에 따라 다중모드 계단형 광섬유, 단일모드 계단형 광섬유, 언덕형 굴절율 광섬유로 대별된다. 계단형 광섬유는 한개의 신호에 대응하는 것만을 전송할 수 있으며 파형왜곡을 일으킨다. 언덕형 굴절율 광섬유는 영상 전송이 가능한 렌즈집광작용에 의해 방사손실 및 파형왜곡을 작게 할 수있다. 또한 굴절율이 중심축에서 크고 반경방향 외측으로 향할 수록 서서히 감소하므로 광의 진행로를 서로 보완하게 된다. 여기서는 군속도와 주파수와의 관계는 없게되며 파형왜곡을 영(zero)으로 할 수 있기 때문에 전송선로 단면내의 굴절율 분포는 포물선 형태를 나타낸다. 언덕형 굴절율, 광섬유는 크래드부분까지 포함하여도 100~200μm정도로 매우 가늘어서 통신용 전송선로 뿐만 아니라 인체내 관찰등 의학분야의 응용에도 널리 이용되고 있다.

본 논문에서는 이와같은 여러가지 특징을 가진 언덕형 굴절율 광섬유 모재를 MCVD(Modified Chemical Vapor Deposition)법으로 제작하기 위한 선반장치 및 원료가스 공급장치의 설계 제작을 제안하였으며, 언덕형 굴절율 광섬유의 설계, 공정의 특성 및 MCVD모재를 제작하여 굴절율 형태를 측정 고찰한 것이다.

Ⅱ. MCVD 장치 제작.

MCVD장치는 기본적으로 외부의 산수소 버너에 의해 고온 가열되고 있는 회전 석영관 내부에 $SiCl_4$및 다른 금속할로겐 화합물을산소와 반응시켜 고순도 산화물을 형성시키는 것이다. 여기에는 석영관의 양단을 고정하여 회전시킬 수 있는 선반장치와 원료가스를 공급하는 가스 공급장치로 구성되며, 그림1은 장치의 전체 모양을 보인 사진이다.

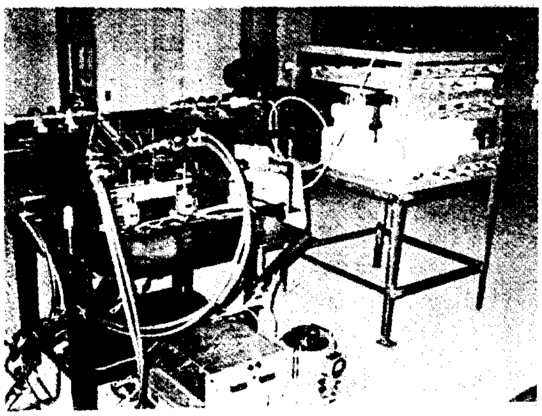


그림 1. MCVD 장치의 사진
Photograph of the MCVD apparatus

1. 선반장치

선반장치는 광섬유의 기본재료인 석영관을 장착할 때 1500℃ 이상의 고온에서도 접촉부분의 가스 누출및 분말등의 혼입이 없도록 공정이 수행되어야 하며, 석영관의 분해 및 조립이 용이하여야 한다. 그림2는 선반장치의 정면도를 보인 것이다.

하단의 직류 모우터는 최대 입력전압이 24V이며, 브이-벨트를 통하여 체인기어의 구동축과 연결돼 드릴 처크에 장착된 석영관을 20~100 rpm으로 회전시킨다. 직류 모우터의 최대 속도는 600rpm이고, 구동력은 0.4마력이다. 석영관을 고정시킬 수있는 드릴 쳐크의 최대 외경은 13mm이다.

버너 스캔(Burner scan) 장치는 버너 스캔 베이스위에 놓이게 되고, 왕복운동으로 구동시키기 위하여 리드 스쿠루(lead screw)와 피니언(pinion)을 버너 스캔하단에 설치하였다.

버너 스캔 리드 스쿠루는 웜 기어(worm gear)

www.dbpia.co.kr

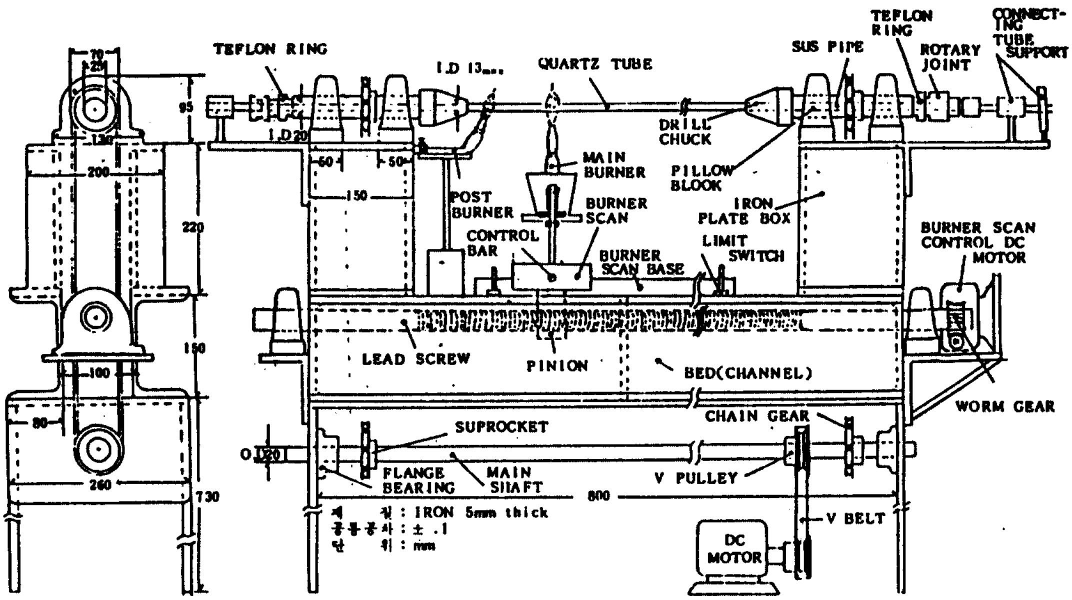


그림 2. 선반장치
Glass working lathe

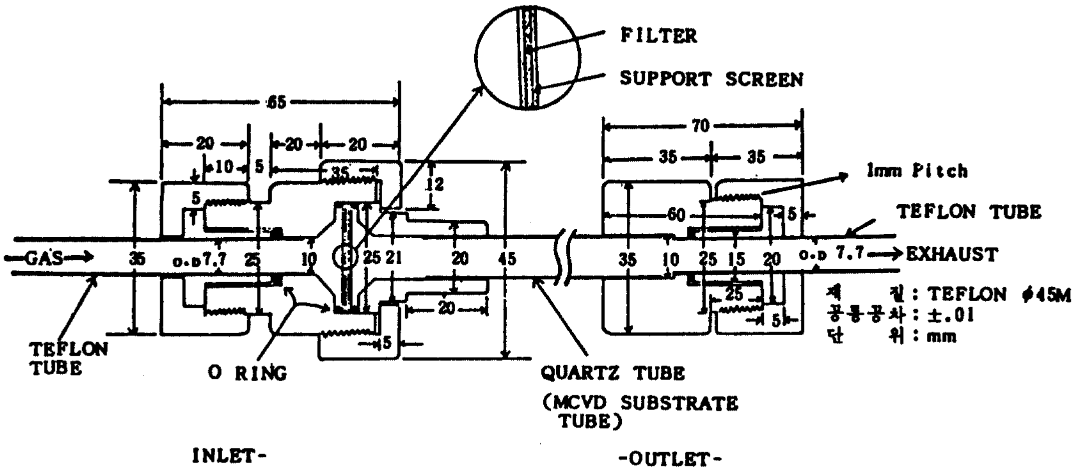


그림 3. 회전 접속기
Rotary joint

와 연결된 직류 모우터에 의해 회전과 역회전을 하게된다. 버너 스캔 베이스 양단에는 제어용 막대와 접촉되는 리미트 스위치가 부착되어있다. 이때, 리미트 스위치의 거리는 유효 성장폭인 300mm가 되도록 조정한다.

채널(Channel)위에 설치된 버너 스캔장치는 메인 버너(main burner)와 포스트 버너(post burner)로 나누어진다. 석영관의 출구측에 위치

www.dbpia.co.kr

한 포스트 버너는 성장 가스가 석영관 내부의 온도 강하로 발생하는 섬유 유리화 현상을 방지하기 위한 것이다. 포스트 버너는 석영관 연화점 (700℃) 정도의 온도로 가열한다. 메인 버너는 Gas Oxygen Bench Burner (VWR Scientific 사, model 18321-004)를, 포스트 버너는 (VWR, model 18360-006)을 이용하였다. 버너 스캔장치는 유효 성장 거리에서 석영관과의 수직 거리가 일정하도록 하여 온도 구배를 고르게 하여야 한다. 주축의 드릴 처크에 고정된 석영관은 서스파이프(suspipe)외측에서 성장관의 굴곡을 방지하기 위해 테프론 링(teflon ring)으로 고정시켜준다. 제작된 선반장치의 최대 구동 진동 편차는 다이얼 지시기(dial indicator)로 측정한 결과, 고정된 주축의 진동이 10μm이고, 주축간의 진동이 50μm이며, 이때 석영관의 진동 편차는 80 μm이내였다. 원료 가스 공급 장치와의 회전 접속은 석영관과의 접속이 용이하고, 가스 누출이 없도록 그림3의 것을 제작하였다.

회전 접속기 내부에는 석영관으로 흐르는 원료 가스를 최종적으로 정화시키기 위한 0.22μm 포아 사이즈(pore size)의 가스 여과기가 삽입된다. 양측의 회전접속기 외측에는 연결용 튜브를 지지시켜주는 지지대가 설치되어있다.

2. 버너 스캔 전원 제어장치

버너 스캔 전원 제어장치는 버너 스캔 리드 스쿠루를 구동시켜주는 장치이다. 그림4는 이 장치의 회로도이다.

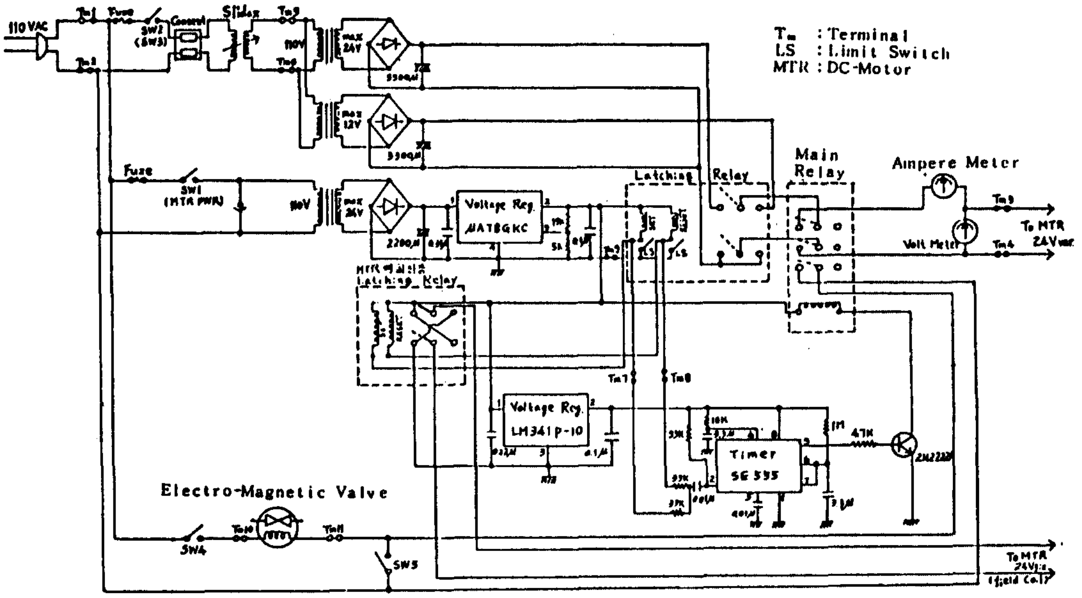


그림 4. MCVD 버너 스캔 전원 제어회로
MCVD burner scan power control circuit

직류 모우터는 회전자 코일에 인가되는 최대 공급 전압 24V에서 버너 스캔 속도가 30cm / min 이다. 설치된 직류 모우터의 최대 속도는 3450rpm이고, 구동력은 0.2마력이다. 버너 스캔의 왕복 속도비는 1:2가 되도록 직류 모우터의 전원 변압기를 최대 12V(15A)와 24V(15A)로 나누어

www.dbpia.co.kr

제작하였다. 이것은 전송 가스의 역방향 스캔에서는 증착없이 빠른 속도로 되돌아 오도록 하기 위한 것이다. 버너 스캔의 왕복운동은 양측에 설치된 리미트 스위치의 동작이 래칭 릴레이(latching relay)에 전달되면 이루어진다. 또한 리미트 스위치의 동작은 직류 모우터의 역회전용 계자 코일에도 인가되어 전압의 극성을 바꾸게 한다. 이때 직류 모우터 구동의 역회전시 급격한 과다 부하를 방지하기 위한 약4.5sec의 정지 시간 간격을 가지는 타이머를 내부 회로에 첨가하였다. 전송 가스의 역방향 스캔에서는 증착이 일어나지 않도록 산소 가스 파이프중에 전자 밸브(CKD Co. (Japan) S/N: 9J)를 연결하여 메인 릴레이 단자에 접속한다.

전자 밸브는 스위치 SW_4와 SW_5를 동시 작동시켜 ON-OFF하여준다.전자 밸브가 OFF되면 산소 가스가 완전 차단된다. 이때, 산 : 수소 불꽃이 꺼지는 것을 방지하기 위한 측로(By pass)용 산소 가스 밸브를 전자 밸브와 병렬로 부착하여 불꽃 온도를 조절하여 준다. 선반장치와 버너 스캔 전원 제어장치를 최종 조립한 상태의 구동 특성은 표1과 같다.

표 1. 선반장치 및 버너 스캔장치의 특성
Characterization of glass working lathe and burner scan system

측 정 구 분	특 성 치
양 고정 주축의 진동	10㎛
주축간의 진동	50㎛
주축 중심선과 Bed와의 평행도	50㎛
주축 회전속도	20~100rpm
속도 변동률	5 %
유효 성장폭	300mm
Burner scan speed	0 ~30cm/min
Burner scan 속도 변동률	0.5%
Burner scan 왕복 속도비	1 : 2

3. 원료 가스 공급장치

원료 가스 공급장치는 선반장치에 장착된 석영관에 원료 가스를 공급해 주는 장치이다. 그림5는 원료 가스 공급장치의 흐름도를 나타낸다.

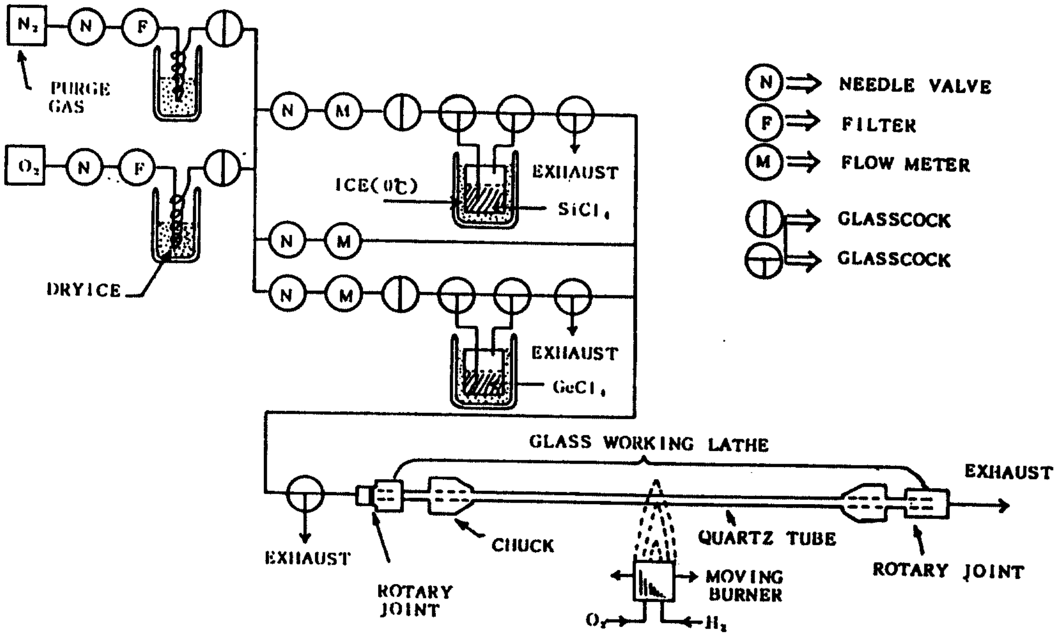


그림 5. MCVD 장치의 흐름도.
Schematic diagram of the MCVD apparatus

www.dbpia.co.kr

반응물의 출발 원료로는 성장 온도가 빠르고, 고온 성장인 $SiCl_4$를 사용한다. $SiCl_4$는 얇은 크래딩층으로 침전되며, 광학적 감쇄를 가져오는 OH이온과 같은 불순물의 확산에 대하여 장벽 역할을 해준다.[9]

굴절율 제어용 반응물로는 착색화 현상[10]이나 연화점 강하[11]가 없는 $GeCl_4$를 사용한다. $SiCl_4$는 OH이온의 원인이 되는 트리크로로 사이레인 ($SiHCl_3$)의 함유량이 적은 증류한 순도 6nine의 것이고, $GeCl_4$도 순도 6nine의 것을 이용하였다. 이들 원료 가스는 미세하게 유량이 조절되는 니들 밸브 및 포아 크기 0.22μm의 여과기와 코울드 트랩을 통한 산소가스에 의하여 버브링(bubbling)된다.

코울드 트랩의 역할은 산소 가스내에 존재하는 수분이 석영관에 주입되면 큰 감쇄의 원인이 되기 때문에, 이들 수분을 트랩내의 아랫부분에 모이게한다. 버브링된 원료가스는 산소 가스와 함께 분자 상태로 용해된 증기가 되어 회전 접속내의 여과기(pore size: 0.22μm)를 통하여 석영관에 주입된다. 회전 접속은 회전시 가스 누출이 없어야 하고, 회전마찰에 의한 테프론 분말등의 불순물이 석영관에 유입되지 않아야 한다.

$SiCl_4$와 $GeCl_4$의 염화물은 일정한 증기압력 상태를 유지시키기 위하여 0℃가 되도록 얼음과 물이 공존하는 듀어 포트(dewar pot)내에 위치시킨다. 각 원료가스의 수송량은 전송 가스(산소)의 유량을 제어하여 이루어진다. 가스 제어장치의 구성은 조작이 용이하도록 그림6과 같이 제작하였다.

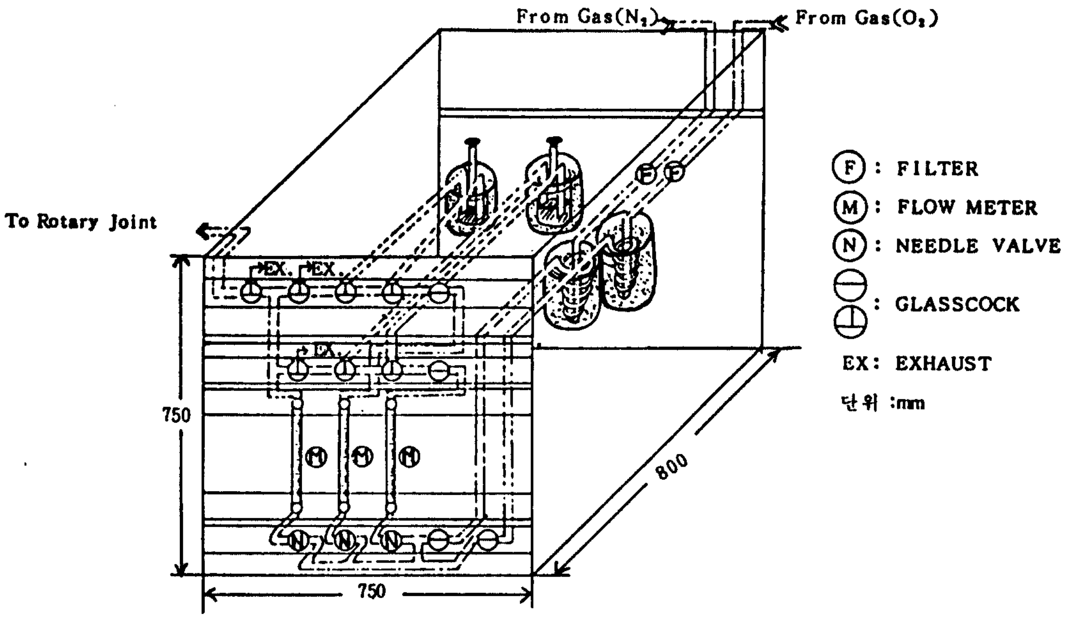


그림 6. MCVD 가스 제어장치
MCVD Gas control apparatus

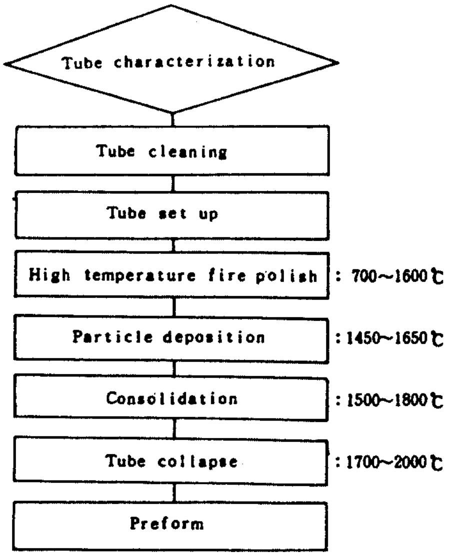
Ⅲ. 시료 제작

언덕형 굴절율 광섬유의 모재제작은 제Ⅱ장에서 제작한 MCVD장치로 행한다. 모재 제작을

www.dbpia.co.kr

위한 공정단계를 표2[12]에서 보인다.

표 2. MCVD 기법으로 모재제작을 위한 공정단계
Process steps for preform by the MCVD technique



1. 세정 및 연마

가) 석영관 특성

광섬유 제작용 석영관은 저 손실화를 이루기 위하여 내면의 요철이 적고, 불순물 함유량이 적은 것을 선정하여야 하며, 코랩스(collapse) 때 생기는 굴절율의 딥(dip)이나 범프(bump)를 없애기 위하여 두께가 얇은 것을 선택하여야 한다. 본 연구에서 선정된 석영관은 Heralux사 제품($10.0\pm0.5^{(OD)}\times8.6^{(ID)}$mm)이다.

위 제품의 금속이나 수분의 함유량은 ppm 단위로 표시하면, Cu(0.07), Fe(0.8), Cd($<$0.1), Mg(0.2), Mn(0.01), OH(130), H_2O(65)등으로 알려졌다.

나) 석영관 세정

석영관은 장착하기에 앞서 HF와 HNO_3를 각각 25%씩 섞은 용액속에 약 15분간 표면을 식각시킨 후, 증류수로 이 용액을 충분히 씻고나서 이소-프로필 알콜(Iso-prophyl alchol)로 물을 탈수시킨다. 이 과정에서는 기포나 불순물의 근원인 부스러기나 오물도 제거시킨다.

다). 석영관 장착

세정 과정이 끝난 석영관은 주축 중심선과 베드(bed)와의 평행도가 정확히 조정된(50μm 이내) 선반장치의 드릴 처크에 장착하고, 고순도 산소를 흘려 남은 이소-프로필 알콜들을 증발시킨다. MCVD성장시 고온 처리를 할때 석영관이 휘는 것을 방지하는 테프론 링을 석영관 양단에 고정 설치한다.

석영관의 최종단에서는 테프론으로 만든 회전 접속기가 설치되어 가스 공급장치와 연결되고, 모든 접속은 불순물 혼입 방지 및 가스 누출이 없어야 한다.

본 연구에서의 진공도 측정은 Leak Detector (Veeco (USA), model: MS17)를 이용하여 전송 가스배관 연결 부분에 헬륨(He) 가스를 분사시켜 측정한 결과, 회전시 8×10^{-5}Torr의 값이 측정되었다.

석영관의 출구는 유독성 염소 가스와 SiO_2 산화물(shoot)을 용이하게 배출시킬 수 있는 보조 석영관과 연결되어 배기 가스 후드(hood)로 배출시킨다. 산화물 제거는 보조 석영관 내에 배기봉을 설치하여 투명관에 모아지도록 하였다.

라) 고온 연마

선반 장치에 장착된 석영관에 고순도(5nine) 산소를 공급하면서, 버너를 700~1600℃까지 천천히 온도를 증가시키면서 2~3회 불꽃 연마를 행한다. 이 과정은 석영관 내부에 존재하는 기포를 없애고, 불규칙한 표면을 제거하기 위한 것이다. 여기서의 온도가변은 산·수소 불꽃용 가스의 보조 유량 밸브를 수동조절하여 행하고, Optical Pyrometer (WAHL Ins. Inc (USA). model: 2883)에 의해 측정하였다.

www.dbpia.co.kr

2. 모재 코아의 성장

가) 코아 증착

MCVD법은 산·수소 불꽃을 1500℃ 부근의 온도에서 행한다. 모재 코아의 증착은 MCVD 장치에 장착된 석영관을 일정한 속도(20~100 rpm)로 회전시키고, 석영관의 입구로부터 증착의 주 원료인 $SiCl_4$(전송 가스: 산소)와 굴절율을 제어하는 $GeCl_4$(전송 가스: 산소)를 흘려주면서 행한다. 석영관에 주입된 $SiCl_4$와 $GeCl_4$는 1500℃온도에서 다음의 산화 평형상태 반응을 일으킨다.[12]

$$SiCl_4 + O_2 \rightarrow SiO_2 + 2Cl_2 \qquad (1)$$

$$GeCl_4 + O_2 \rightarrow GeO_2 + 2Cl_2 \qquad (2)$$

이상의 산화 반응에 의하여 $SiO_2 - GeO_2$ 계유리의 증착이 성장되고 염소 가스가 배출된다. 성장 가스의 흐름 방향으로 코아를 성장시킬 때와 그 역방향으로 성장시킬 때에는 증착이 상이하게 되므로 성장가스의 흐름 방향으로만 코아 성장을 행하고, 역방향으로는 증착을 행하지 않는다. 따라서 역방향일 때에는 버너의 산소를 최소한으로 줄여 성장을 중지시키고, 빠른 속도(흐름 방향의 2배의 속도)로 원 위치에 되돌아오게 한다.

MCVD모재 코아의 성장 조건 및 특성은 제Ⅳ장 1절에서 자세히 언급한다.

나) 경 화

경화는 증착된 석영관을 굳히는 과정이며, 적정한 온도(1500~1800℃)로 서서히 프리-그래스(free-glass)층을 형성시켜주는 것이다. 불규칙한 경화는 석영관에 기포를 형성하게 되므로 시간과 온도의 적정화가 요구된다. 이때 사용되는 전송 가스로는 고 순도(5nine)의 질소 가스를 이용하고, 이것은 OH이온의 확산을 방지하는 효과도 가져온다.[13]

3. 석영관 코랩스 (collapse)

코랩스 공정에서는 산·수소 불꽃의 온도를 1700~2000℃의 고온으로 코아 부분을 가열하여 연화시킨다. 석영관은 고온에서 점성계수(η)가 작아지고 (155℃ 때 $\eta=10^{8.3}$poise, 1850℃때 $\eta=10^{6.3}$ poise), 표면장력에 따라 점점 내경이 축소되는 현상을 이용하여 중심의 공통 부분이 없어지도록 석영봉을 만드는 것이다. 최종 코랩스때는 성장관의 오염을 막기 위해 석영관의 가스 출구를 봉하고, 증착 방향에 대해 역방향으로 가열하면서 코랩스를 행한다.

한편, Both-Lewis[14]와 Kirchoff[15]에 의하면 코랩스율(R)은 다음 식(3)과 같이 표시된다.

$$R \propto \frac{P_O - P_I + (\sigma / R_{ID}) + (\sigma / R_{OD})}{\eta\ (T,C,t)} \qquad (3)$$

코랩스율(R)은 코아와 크래딩 물질의 점성도(η), 석영관의 내·외벽까지의 반경(R_{ID},R_{OD}), 석영관의 표면장력 (σ, 코랩스관의 내·외간의 압력차 ($\Delta P = P_O - P_I$)에 관계됨을 알 수있다. 여기서 P_I는 석영관의 내부압력, P_0는 버너에 의한 석영관의 외부 압력, η(T,C,t)는 온도 T, 합성물, C, 시간t에 따른 점성도를 표시한다.

코랩스 단계에서의 고온 효과는 GeO_2와 같은 휘발성 성분이 기화하면서 석영관 중심에서 굴절율 경사가 급격히 변화하는 형태로 증착된다.

$$GeO_2 \rightarrow GeO\ (\uparrow) + \frac{1}{2}\ O_2 \qquad (4)$$

그 결과, 증착된 물질의 성분 변화를 일으켜, 반응물 증발과 함께 중심부 딥을 유발시킨다. 이러한 현상을 보상하기 위한 해결책이 Akamatsu [16]등에 의해 제안되어 코랩스동안 $GeCl_4$의 유량을 조절하여 준다. 본 연구에서는 $GeCl_4$전송가스를 13cc/min로 흘렸더니 중심부 딥이 발생하지 않았다. 또한 코랩스때의 가스 선속은 코아 타원화를 방지하기 위해서는 큰것이 좋지만, 너무 커도 코랩스중에 석영관의 팽창이 발생하게 된다. 코아의 타원화가 작고 팽창이 생기지 않는 가스 선속은 실험 결과 20~80cm/sec 임을

www.dbpia.co.kr

알았다. 코랩스의 횟수별 조건은 제Ⅳ장 2절에서 시료 3종류의 형태로 분류 설명한다.

Ⅳ. 시료의 측정 및 고찰

1. 모재 코아의 성장 특성 측정

원료 가스의 수송량은 전송 가스(산소)의 유량을 조절하여 이루어진다.

언덕형 굴절율 분포를 형성하기 위한 전송 가스 유량은 1회의 버너 스캔에 의해 증착되는 양을 표시하며, 전체의 증착량은 버너 스캔 횟수와 같게된다. 굴절율이 반응물량과 비례한다고 가정할 때 굴절율 분포[16]는 아래식

$$n=n_o\ [1-\Delta(\frac{r}{a})^{\alpha}] \qquad (5)$$

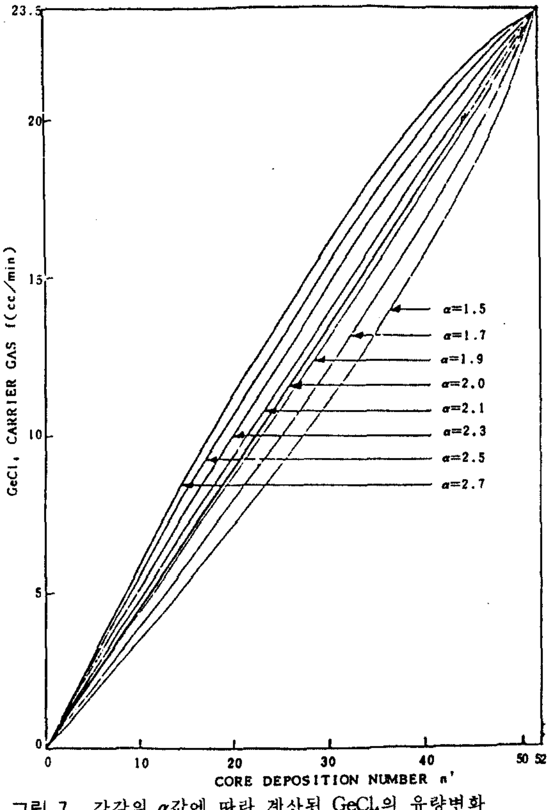


그림 7. 각각의 α값에 따라 계산된 $GeCl_4$의 유량변화
Flow variations of calculated the $GeCl_4$ according to several α values

이 되며,

$$f=f_o\ [1-(\frac{n_t-n'}{n_t})^{\alpha/2}] \qquad (6)$$

이 얻어진다. 여기서 n_o: 중심축의 굴절율, Δ: 코아의 중심과 크래드 간의 비굴절율차, a: 코아의 반경, r: 코아 중심으로부터의 거리, α: 분포 형상을 나타내는 굴절율 분포계수, f: $GeCl_4$ 전송 가스의 유량, f_o: 전송가스의 최대 유량, n_t: 버너 스캔 횟수, n': 코아의 증착 횟수이다. 그림7은 식(6)에 의거 f_o가 23.5cc/min이고 n_t가 52일때, α=1.5~2.7까지 8단계의 각각의 계산결과를 보인 것이며, 본 연구의 성장 조건으로 채택한 것이다.

그림8은 Optical Pyrometer를 이용하여 1회의 버너 스캔중, 석영관의 축방향에 따라 측정된 온도 변화를 표시한 것이다.

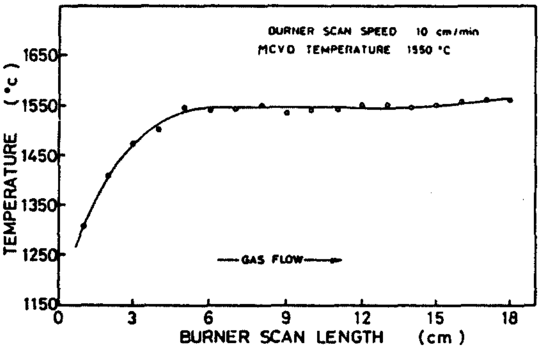
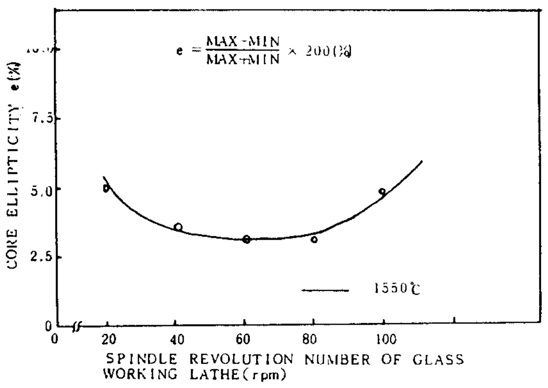


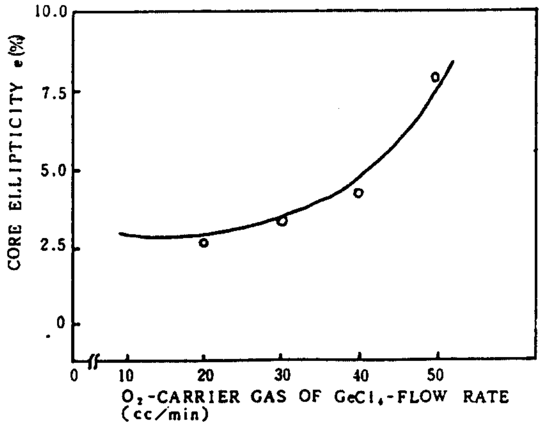
그림 8. MCVD장치의 온도변화
The temperature varaiations of the MCVD apparatus

유효 성장폭에 대한 온도 변화 범위는 10℃이하였다.

www.dbpia.co.kr



(A) CORE ELLIPTICITY VS SPINDLE REVOLUTION NUMBER



(B) CORE ELLIPTICITY VS GeO_2 CONCENTRATION

그림 9. 모재의 코아 타원율
Core ellipticity of preform

그림9(A)는 선반장치의 주축 회전수와 모재 코아의 타원율과의 관계를 표시한 것이다. 회전수가 낮을 때의 타원율 증가는 원주 방향에 대한 불균일한 온도 분포에 따른 중력 영향으로, 회전수가 높을때의 타원율 증가는 회전에 의한 원심력이 원인이라고 사료된다.

본 연구에서는 버너 스캔 속도와의 관계를 고려하여 60rpm으로 하였다.

그림9(B)는 $GeCl_4$의 전송 가스량(산소)과 모재 코아 타원율과의 관계를 표시한 것이다. 반응물 량이 증가함에 따라 타원율도 증가된다. 이것은 석영관과 MCVD성장층으로 형성된 SiO_2 + GeO_2의 열 팽창계수의 차이로 알려졌다.[18] 따라서 $GeCl_4$의 최대 전송 가스 유량은 요구되는 비굴절율차(Δ)에만 관계되는 것이 아니고, 코아 타원의 관계도 고려하여 본 연구에서는 23.5 cc / min 으로 하였다. 한편 굴절율 분포 제어시 온도에 대한 반응 효율을 조사해 본 결과 그림10과 그림11을 구하였다.

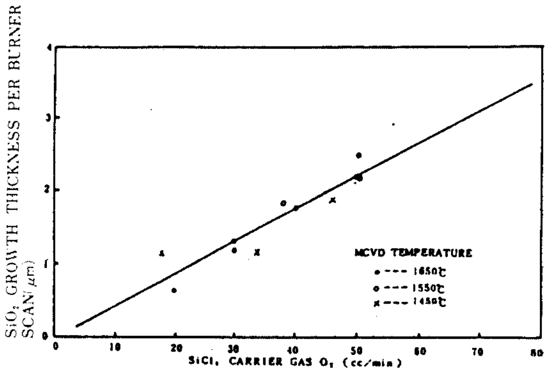


그림 10. $SiCl_4$의 전송가스 유량의 작용에 의한 SiO_2의 성장 두께
Growth thickness of SiO_2 as a function of carrier gas flow rate of $SiCl_4$

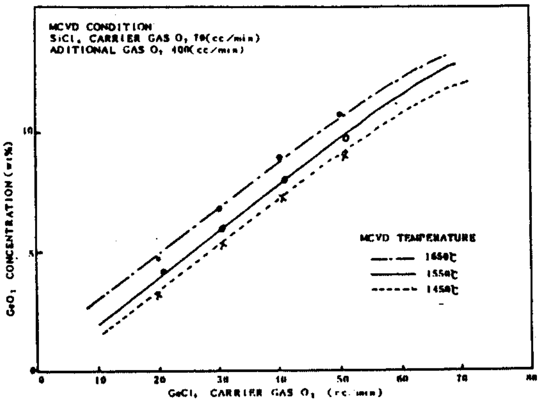


그림 11. $GeCl_4$의 전송가스 유량의 작용에 의한 GeO_2의 농도
Concentration of GeO_2 as a function of carrier gas flow rate of $GeCl_4$

그림10은 $SiCl_4$를 이용한 SiO_2의 온도에 대한 반응 효율이며, MCVD온도 (1450~1650℃)에서 비례상수 1 / 25정도로 일정한 반응 효율을 보인

www.dbpia.co.kr

다. 그림11은 $GeCl_4$를 이용한 GeO_2의 온도에 대한 반응 효율이며, 그림10의 반응효율과는 달리 MCVD성장 온도에 관계됨을 볼 수 있다. 따라서 얻고자하는 굴절율 분포를 위해서는 $GeCl_4$ 의 전송 가스 유량을 제어하고, 성장 온도를 정밀하게(10℃ 이내) 유지하여야 한다.

2. 굴절율 분포측정 및 코랩스 특성 측정

내부 굴절율 분포의 측정은 광섬유의 평가에서 중요한 과정이다.

굴절율 분포는 전송대역, 손실, 광원과의 결합 효율등과 관계된다. 그 측정법으로는 간섭 현미경법[19] 산란 패턴법[20] 반사법[21]등 각종 방법이 개발되어있다. 본 연구에서는 렌즈 작용을 응용한 모재 상태에서의 간이형 비파괴 측정법을 이용하여 굴절율 분포를 측정하였다. 언덕형 굴절율 광섬유의 모재는 렌즈 작용을 가지고 있기 때문에 모재의 축에 대하여 수직으로 들어간 빛은 그림12와 같이 휘면서 진행된다.

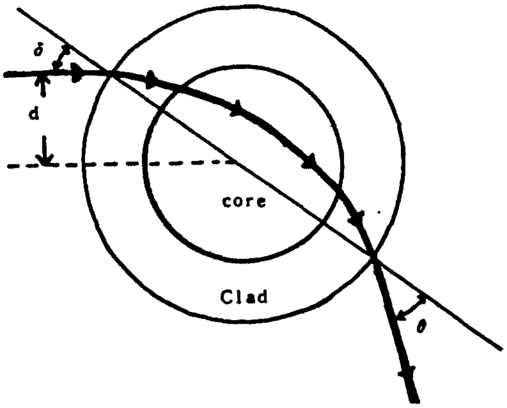


그림 12. 모재봉 내부에서의 빛의 굴절
Refraction of the light inside preform-rod.

따라서 δ와 θ의 관계는 코아 부분의 굴절율 분포와 관계된다. d의 값을 변화시키면 θ로부터 코아 부분의 굴절율에 관한 내용을 얻을 수있게 된다. d를 변화시키는 방법으로 그림13 우측 상단의 보기와 같이, 유리판 위에 인쇄된 미세한 선(100μm 두께)을 이용하였다.

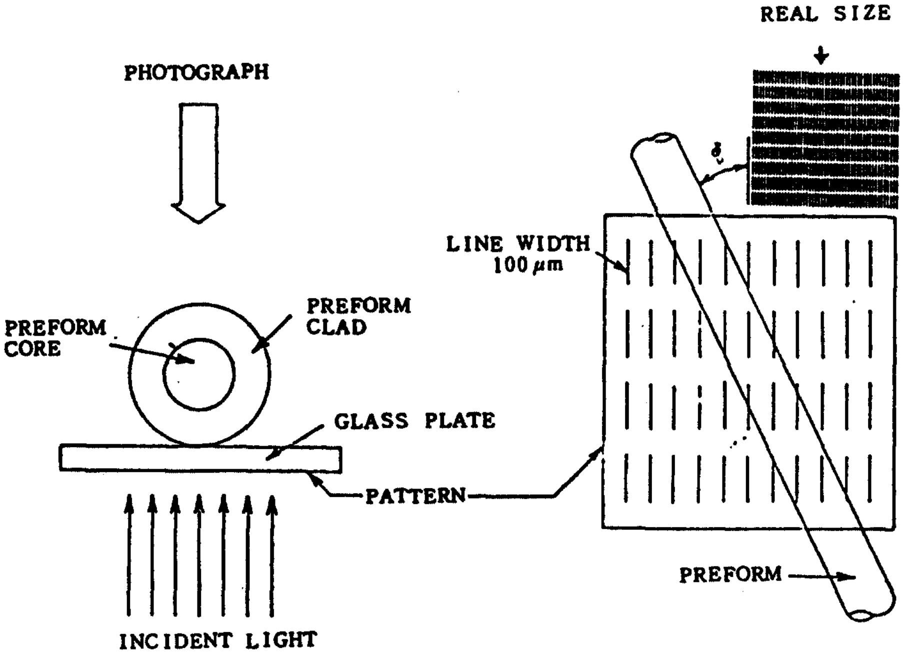


그림 13. MCVD 모재봉의 굴절율 형태를 측정하기 위한 실험장치의 개략도
Schematic diagram of the experimental arrangement to measure the index of refraction profile of MCVD preform-rod

www.dbpia.co.kr

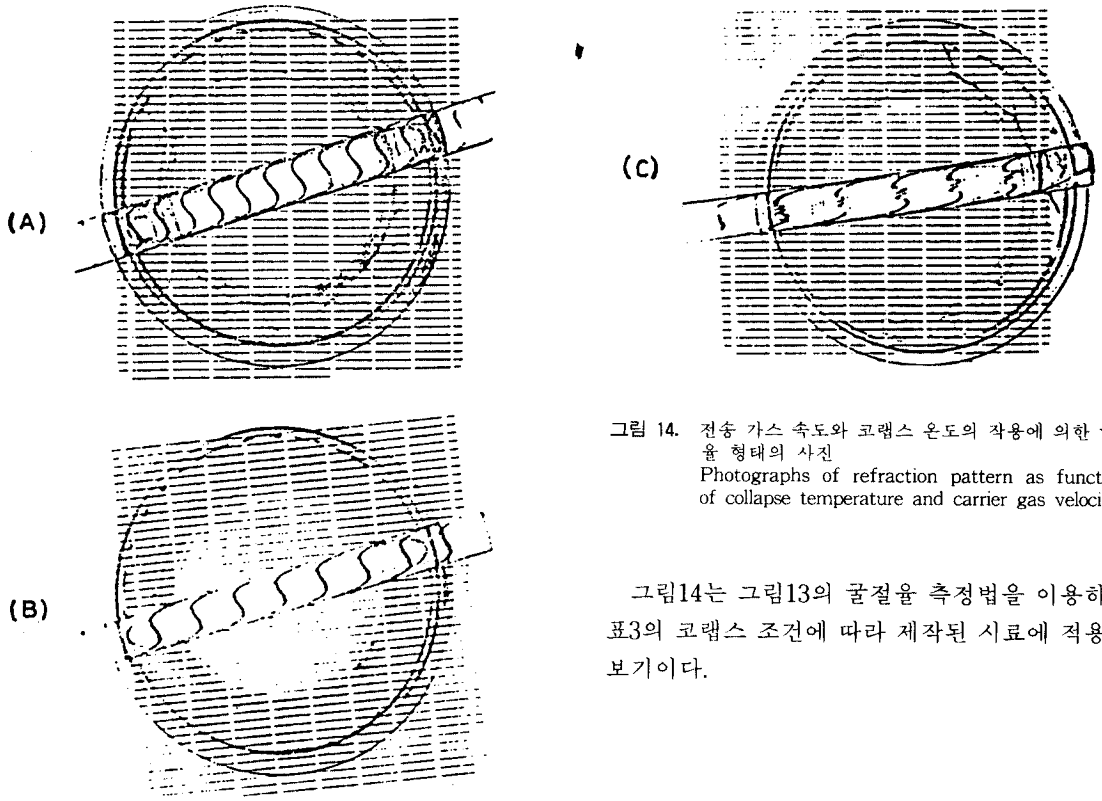


그림 14. 전송 가스 속도와 코랩스 온도의 작용에 의한 굴절율 형태의 사진
Photographs of refraction pattern as functions of collapse temperature and carrier gas velocity.

그림14는 그림13의 굴절율 측정법을 이용하여 표3의 코랩스 조건에 따라 제작된 시료에 적용한 보기이다.

표3. 시료별 코랩스 조건
Collapse condition; for several preforms

Collapse 횟수	$GeCl_4$ Carrier gas (cc/min)			O_2 ad. gas (cc/min)			선속(cm/sec)			Burner scan speed(cm/min.)			Burner온도 (℃)		
	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
1	13	13	13	400	400	400	38	31	54	8	8	8	1800	1800	1850
2	13	13	13	400	400	400	70	53	60	6	7	7	1850	1850	1850
3	13	13	13	200	200	200	61	47	58	6	7	7	1850	1900	1850
4	13	13	13	200	200	200	67	82	60	6	7	7	1850	1900	1950
5	13	13	13	100	100	100	56	51	70	6	6	7	1850	1950	1950
6	13	–	13	100	–	100	60	–	61	5	4	6	1850	2000	1950
7	–	–	13	–	–	100	–	–	69	4	–	6	2000	–	2000
8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4	–	–	2000

그림14(A)는 표3의 시료(A)에 대한 굴절율 측정결과이다. 균일한 굴절율에서 형성되는 포물선 형태의 모재이며, 가장 최적의 코랩스 조건이 된다. 시료(A)는 최종 코랩스 이외의 온도를 1850℃ 이하로하고, 1850℃때에는 가스 선속을 50cm / sec이상으로 하여 코랩스하였다.

그림14(B)는 표3의 시료(B)에 대한 굴절율 측정 결과이다. 시료(A)와 비교하면 굴절율이

www.dbpia.co.kr

계단형으로 변화하는 모양을 확인할 수 있다. 이 현상은 코랩스때의 가스 선속이 너무 크게되어(80cm / sec 이상) 코랩스중에 석영관의 팽창에 의해 발생된 계단형으로 사료된다.

그림14(C)는 표3의 시료(C)에 대한 굴절율 측정 결과이다. 언덕형 굴절율 형태를 보이지만, 코아 중심부에서 큰 굴절율 딥을 가진 시료이다. 시료(C)의 현상은 코랩스 과정중 코랩스 온도가 너무 높아 (1900℃ 이상) 가스 선속(20~80cm / sec)에 관계없이 코아 중심부에서 큰 굴절율 딥을 발생시킨 것으로 사료된다.

굴절율 분포 측정을 고찰해본 결과, 코랩스 온도와 코랩스중의 석영관내의 선속에 의하여 굴절율 특성이 판이하게 달라지는 현상을 알 수 있었다. 최적의 코랩스 조건은 최종 코랩스를 제외하고는 코랩스 방향이 가스 흐르는 방향과 같아야하고, 최종 코랩스 이외의 온도는 1850℃이하가 되도록 하며, 1850℃때의 선속은 50 cm / sec이상으로 코랩스할 때에 비로소 중심부 딥이나 범프가 보이지 않는 이상적 언덕형 굴절율 모재를 보였다.

이상과 같이 렌즈작용을 응용한 간이형 비파괴 측정법은 모재 상태의 굴절율분포 측정에 이용될 수 있음을 알았다.

그러나 감쇄정수의 측정은 광섬유로 드로잉(drawing)한후 실시되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

MCVD법을 이용한 언덕형 굴절율 광섬유의 모재를 제작하기위한 장치제작과 모재 제작 및 그 측정에 관하여 연구해본 결과, 모재의 제작은 근본적인 제작장치에 의하여 그 특성이 절대적으로 좌우됨을 알 수 있었다. 선반장치는 각 부위의 진동과 평형도의 편차를 최소화시켜 석영관의 진동이 80μm이하가 되도록 조절하였다. 석영관의 제작온도 분포특성을 균일하게 유지되도록 버너 스캔 속도 변동율을 0.5%, 중심축과 베드와의 평행도를 50μm이내가 되도록 제작하였다. 그러나 각 부위의 부품을 고 정밀도 부품으로 선택하여 제작하면 장치의 특성 정밀도를 더욱 개선할 수 있다고 판단된다. 가스 공급장치는 설치작업 과정과 실험장치의 관점에서 부품간 연결을 연성 튜브로 하였으나, 차후 석영관 접속으로 고정시키는 것이 진공도 유지를 위해 개선해야 할 것으로 사료된다.

모재의 제작에 있어서, 버너 스캔 횟수를 늘리고 성장폭을 길게 행하면, 보다 긴 길이의 고 분해능력을 가진 광섬유 제작이 가능할 것으로 판단된다. 아울러 최종 광섬유 제작 과정인 드로잉(drawing)장치제작과 드로잉공정에 대하여 앞으로 더 연구하고자 한다.

參 考 文 獻

1. K.C. Kao and G.A. Hockman, "Dielectric-fiber surface waveguides for optical frequencies," Proc. IEEE, vol. 113, pp.1151~1158, July. 1966.
2. J.Nishizawa and I.Sasaki, "Application for Japanese Patent," 39064040. Nov. 12, 1964.
3. D.B. Keck, P.C. Schultz and F. Zimar,"Method of forming optical waveguide fibers," U.S. Patent 3 737 292, filed Jan.3, 1972.
4. J.B. Mac Chesney, P.B. O'Connor and H.M.Presley, "A new technique for the preparation of low-loss and graded-index optical fibers," Proc. IEEE, vol. 62, pp 1280, sept. 1974.
5. T. Izawa and N.Inagaki, "Materials and processes for fiber preform fabrication-Vapor-Phase axial deposition," Proc. IEEE, vol.68, pp. 1184-1187, Oct. 1980.
6. D.Kuppers, H.Lydtin and L.Rehder, "Method of producing internally coated glass tubes for the drawing of fiber-optic light conductors," U.S. Patent 4 145 456, filed Nov. 16, 1977.
7. G.R.Newns, K.J. Beales and C.R.Day, in Dig, 2nd. Int. Conf., Int. Opt., Fiber Commun., Tokyo, Japan, 1977.
8. Donald P.Jablonowski, "Fiber Manufacture at AT&T with the MCVD proces," J. of Lightwave Technology. vol. LT-4, No.8. pp. 1016-1019, 1986.
9. J.B. Mac Chesney, P.B. O'Connor and H.M.Preshy,

www.dbpia.co.kr

"A new technique for preparation of low-loss and graded index optical fibers," Proc. IEEE, vol.62. pp. 1278-1279, sept. 1974.

10. D.S Carson, et al, J.of Non. Cryst. Solid, 11. pp. 3 68,1973.
11. 横田弘, et al, 電子通信學會 總合 全國大會 講演 論文集, pp.898, Mar. 1979.
12. S.R. Nagel, J.B. Mac Chesney and K.L. Walker, "An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and performance, " IEEE, J.Quantum Electron. QE-18, No 4, pp.459-476, Apr. 1982.
13. H.Murata and N.Inagaki "Low-loss single-mode fiber development and splicing research in Japan," IEEE, J.Quantam Electron, QE-17, No6, Jun. 1981.
14. J.A. Lewis, "The collapse of a viscous tube," J.Fluid Mech. vol.81, No.1, pp. 129-135, 1977.
15. J. Kirchoff, "A hydrodynamic theory of the collapsing process for the preparation of optical waveguide preforms," Phy. Status Solidi, vol.60, pp. 127-131, 1980.
16. T.Akamatsu, K. Okamura and Y.Ueda, "Fabication of graded-index fibers without an index dip by chemical vapor depposituon method," Appl. phys. Lett, vol.31, No8, pp. 515-517, 1977.
17. S. Kawakami and J.Nishizawa, IEEE Trans. M.T.T., MTT-16, No.10, pp. 814, Oct,m 1968.
18. 野田健一編著: 光 Fiber 傳送, 100, 電子通信學會編, 1987.
19. W.E. Martin, "Refractive Index Profile Measurements of Diffused Optical Waveguides," Apple. Opt. vol. 13, No.19. pp. 2112, 1974.
20. T. Okoshi and K.Hotate, "Refractive-index profile of an optical fiber: its measurement by the scattering pattern method," Appl. Opt., vol.15, No.11, pp. 2756, 1976.
21. M. Ikeda, M. Tateda and H.Yoshikiyo, "Refractvie Index profile of a Graded Index Fiber Measurement by a Reflection Method," Appl. Opt. vol.14, No.4. pp. 814, 1975.

李 基 完(Kee Oan LEE) 正會員
1950年10月28日生
1974年 2 月：光云大學校無線通信工學科 卒業(工學士)
1983年 8 月：忠南大學校大學院電子工學科 卒業(工學碩士)
1986年 2 月～現在：忠南大學校 大學院 電子工學科 博士課程
1977年 2 月～現在：大田機械廠 先任研究員

洪 鳳 植(Bong Sik HONG) 正會員
1929年 3 月13日生
1958年：서울大學校 工科大學 電氣通信工學科 卒業(工學士)
1975年：忠南大學校 大學院(工學博士)
1962年～現在：忠南大學校 工科大學 電子工學科 教授

www.dbpia.co.kr