

광 커넥터 접합면의 스크래치가 삽입손실에 미치는 영향

윤영민 · 윤정현 · 김부균[†]

승실대학교 정보통신전자공학부
☎ 156-743 서울시 동작구 상도5동 1-1

신영곤 · 송국현

산업자원부 기술표준원
☎ 427-716 경기도 과천시 중앙동 2번지

(2004년 2월 4일 받음, 2004년 5월 18일 수정본 받음)

광 커넥터 접합면의 스크래치가 삽입손실에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 광파의 투과계수가 스크래치의 깊이에 따라 선형적으로 변화한다고 가정하고 스크래치의 기하학적 파라미터들의 함수로 표현된 광 커넥터의 삽입손실을 계산하는 모델을 제시하였다. 3D Optical interferometry surface profiler를 이용하여 임의로 발생된 스크래치의 위치, 폭과 깊이와 같은 기하학적 파라미터들을 측정하였다. 측정된 삽입손실과 제안된 모델을 이용하여 계산한 삽입손실을 비교하여 스크래치의 깊이에 따라 선형적으로 변화하는 투과계수 식을 구하였다. 깊이에 따른 투과계수 식과 제시된 모델을 이용하여 스크래치로 인한 삽입손실을 스크래치의 위치, 폭과 깊이의 함수로 계산하였다. 스크래치가 코어 중심에서 코어 반경의 2배 정도를 벗어난 위치에 존재하면 삽입손실에 영향을 거의 주지 않음을 확인하였다.

주제어 : Optical Connector, Scratch, Insertion Loss, Transmission Coefficient.

I. 서 론

최근에 전 세계적으로 FTTH(Fiber to the Home) 서비스를 본격적으로 추진하고 있다. 이러한 FTTH 서비스로 대표되는 광통신 시스템의 가입자 망에로의 침투는 광통신 시스템에서 광 커넥터의 사용을 크게 증가시키고 있다. 따라서 광 커넥터의 성능이 광통신 시스템의 성능에 미치는 영향도 크게 증가하고 있다. 신뢰도가 높고, 적은 삽입손실, 높은 반사손실을 가지는 광 커넥터를 만들기 위해 현재 가장 많이 쓰이는 접합방법은 PC(Physical contact)방법으로 접합면에 결함이 없을 때 우수한 성능을 보인다.^[1] 그러나 이러한 PC방법은 광 커넥터 착탈시 경도가 동일한 광섬유 간의 접촉으로 인해 접합면에 스크래치와 pit 등과 같은 결함을 발생시킬 수 있다. 단일 모드 광섬유의 연결에 가장 널리 사용되고 있는 커넥터는 ferrule의 직경이 1.25 mm 인 SC형 커넥터로^[2,3] 접합면에 스크래치와 pit 등의 결함들이 발생하는 경우 삽입손실과 반사손실에 큰 영향을 주고 있지만^[4] 이에 대한 연구는 매우 미약한 실정이다.

본 논문에서는 광 커넥터 접합면에 발생하는 스크래치의 위치, 폭과 깊이에 따른 삽입손실을 예측할 수 있는 모델을 제시한다. 또한 이 모델을 이용한 전산 모의 결과와 실험 결과와의 비교 분석을 통해 광 커넥터 접합면에서 스크래치의 깊이에 따른 광파의 투과계수를 결정하는 식을 구하였다. 이

를 이용하여 스크래치가 발생하는 위치, 폭과 깊이에 따른 삽입손실을 구하였고 스크래치가 코어의 중심으로부터 코어 반경의 2배 정도의 거리 바깥에 위치하면 삽입손실에 거의 영향을 주지 않음을 볼 수 있었다. 또한 삽입손실이 0.05 dB를 초과하지 않는 범위에서 존재 가능한 스크래치의 위치, 폭과 깊이를 구하였다. 본 논문의 결과는 광 커넥터 제품의 품질 향상 및 표준화에 대한 기초 데이터를 제공하리라 예상되고 또한 현장에서 광 커넥터 사용시 발생하는 커넥터 접합면의 결함에 의하여 발생하는 삽입손실의 정도를 예측하는데 유용하게 사용되리라 예상된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스크래치의 모양에 따른 삽입손실을 계산하는 모델을 제시하고 스크래치에 의한 삽입손실 측정 구성도와 측정 결과를 보인다. 3장에서는 2장에서 제안한 모델을 이용하여 전산 모의한 결과와 실험 결과와의 비교 분석을 통해 광 커넥터 접합면에서 스크래치의 깊이에 따른 광파의 투과계수를 결정하는 식을 구하고, 이를 바탕으로 스크래치의 위치, 폭과 깊이가 광 커넥터의 삽입손실에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 스크래치로 인한 삽입손실

광 커넥터를 이용하여 두 광섬유를 연결할 때 광섬유 접합면에 스크래치가 있을 경우 이로 인하여 삽입손실이 발생하게 된다. 본 장에서는 단일 모드 광섬유를 따라 진행되는 광

[†]E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr

파의 필드 분포를 가우시안 필드 분포로 근사시켜 스크래치의 위치, 폭과 깊이에 따른 삽입 손실을 overlap 적분을 사용하여 계산한다. 2.1절에서는 스크래치의 모양에 따른 삽입 손실을 계산하기 위해 스크래치가 존재하는 영역의 투과 계수가 스크래치의 깊이에 따라 선형적으로 변화하는 모델을 제시한다. 2.2절에서는 스크래치로 인한 삽입 손실을 측정하는 실험 구성도와 실험 결과를 보인다.

2.1. 삽입손실 계산 모델

단일 모드 광섬유를 따라 전송되는 기본모드의 필드 분포는 가우시안 필드 분포로 잘 근사시킬 수 있다. 이렇게 근사하는 경우 계단형 굴절을 분포를 가지는 광섬유의 정규화된 가우시안 필드반경 w/a 는 정규화된 주파수 V 의 함수로 다음과 같이 표현할 수 있다.^[5]

$$\frac{w}{a} = 0.65 + 1.619 V^{-\frac{3}{2}} + 2.879 V^{-6} \quad (1)$$

여기서 a 는 광섬유 코어의 반경을 나타낸다.

광섬유를 따라 전송되는 광파의 필드 분포는 광섬유의 물리적인 형태가 원통형이기 때문에 보통 원통 좌표계를 이용하여 표현한다. 그러나 광섬유 접합면에서 발생하는 스크래치의 일반적인 형태는 광섬유 표면에서는 그림 1에 보인 것처럼 직사각형 모양을 하고 있으므로 스크래치에 의한 삽입 손실을 계산하기 위해서는 필드 분포를 직각 좌표계를 사용하여 표현하는 것이 편리하다. 따라서 코어의 중심을 원점으로 가지는 직각 좌표계를 사용하여, 가우시안 필드 분포로 근사된 광섬유를 따라 전송되는 광파의 필드 분포를 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_y &= \frac{2}{w} \left(\frac{Z_0}{\pi n_2} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right) \\ H_x &= -\frac{2}{w} \left(\frac{n_2}{Z_0 \pi} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 Z_0 는 공기의 특성 임피던스로서 $\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ 이고, n_2 는

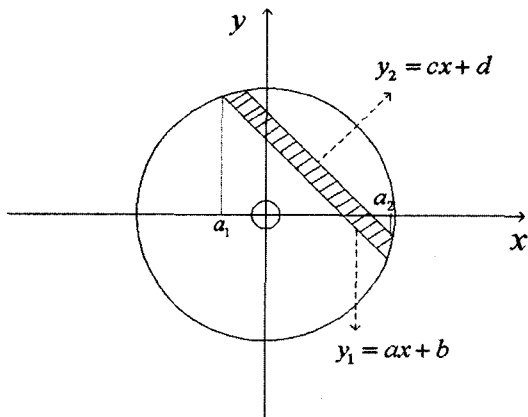


그림 1. 직각 좌표계를 이용하여 표현한 광섬유 표면에서의 스크래치.

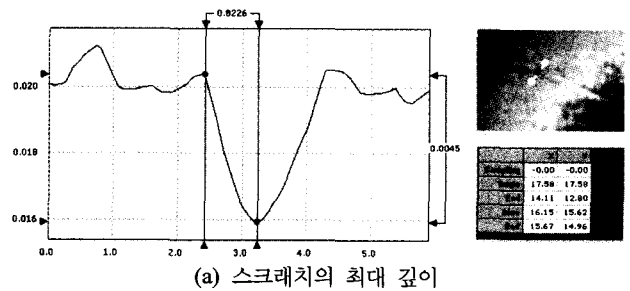
클래딩의 굴절률을 나타낸다.

광 커넥터 접합면에 발생하는 스크래치의 형태는 일반적으로 면상에서는 임의의 두께를 가지는 직사각형 형태이나 스크래치의 깊이에 따른 단면의 모양은 그림 2와 같이 역삼각형 형태를 가진다. 그림 2는 optical interferometry surface profiler를 사용하여 촬영한 스크래치의 모양으로서 그림 2(a)는 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 위치와 깊이를 보여주고 그림 2(b)는 스크래치의 폭을 보여준다.

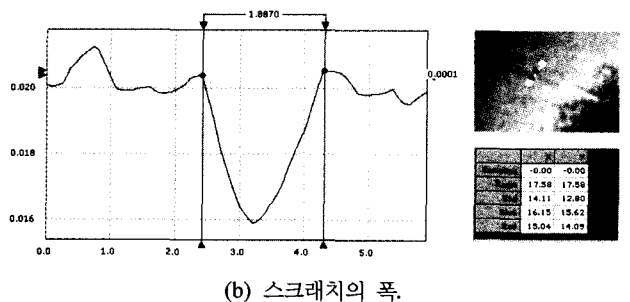
스크래치에 의한 삽입손실을 계산하는 모델을 제시하기 위하여 스크래치가 존재하는 영역의 투과계수 t (< 1)가 스크래치의 깊이에 따라 선형적으로 감소한다고 가정하였다. 스크래치의 깊이에 따라 투과계수가 선형적으로 변한다고 가정하고 스크래치의 최대 깊이가 발생된 곳의 투과계수를 t_0 라 하면 스크래치의 모양에 따른 투과계수는 그림 3과 같이 표현된다. 그림 3과 같은 모델을 이용하면 투과계수는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$t = \begin{cases} \frac{(t_0 - 1)}{W_1}(\rho - r_0) + t_0 & ; r_0 - W_1 \leq \rho \leq r_0 \\ \frac{(1 - t_0)}{W_2}(r_0 - \rho) + t_0 & ; r_0 \leq \rho \leq r_0 + W_2 \\ 1 & ; elsewhere \end{cases} \quad (3)$$

여기서 ρ 는 코어의 중심으로부터의 거리이며 r_0 는 광섬유 코어의 중심에서 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳까지의 거리이고 W_1 과 W_2 는 각각 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳에서 스크래치가 시작되는 지점까지의 거리와 스크래치가 끝나는 지점까지의 거리를 나타내며 더하면 스크래



(a) 스크래치의 최대 깊이



(b) 스크래치의 폭.

그림 2. Optical interferometry surface profiler를 사용하여 촬영한 스크래치의 모양.

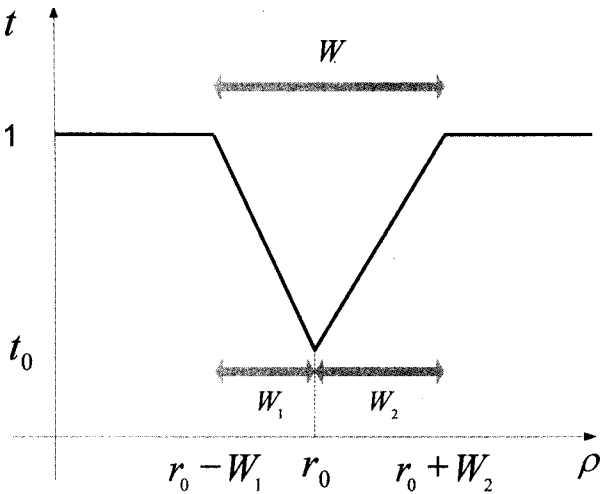


그림 3. 스크래치의 모양에 따른 삽입손실을 계산하기 위하여 제안된 모델.

치의 폭이 된다.

스크래치가 존재하는 영역의 투과계수가 결정되면 스크래치가 존재하는 광섬유 접합면을 통과한 후의 E-field는 다음과 같이 표현된다.

$$E_t = \begin{cases} t \cdot E_y & ; a_1 < x < a_2, y_1 < y < y_2 \\ E_y & ; elsewhere \end{cases} \quad (4)$$

여기서 a_1 과 a_2 는 각각 x 축에서 스크래치의 시작점과 끝점을 나타내고 y_1 과 y_2 는 각각 다음과 같은 직선-식을 나타낸다. $y_1 = ax + b$, $y_2 = cx + d$ 이고 여기서 a, b, c 와 d 는 스크래치 모양에 의해서 결정되는 상수이다.

스크래치가 존재하는 광섬유 접합면을 통과한 후의 파워 투과율은 스크래치가 존재하지 않는 광섬유 접합면에서의 H-field 표현 식, 식 (2)와 스크래치가 존재하는 광섬유 접합면을 통과한 후의 E-field 표현 식, 식 (4)의 overlap 적분식의 제곱으로 다음과 같이 표현된다.

$$T = \left(\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_t H_x dx dy \right)^2 \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 스크래치가 존재하는 광섬유 접합면을 통과한 광파의 파워 투과율, T 를 구하면 스크래치에 의한 삽입손실은 $-10 \log_{10} T$ (dB)로 표현된다.^[6]

2.2. 스크래치에 의한 삽입손실 측정 실험 결과

광 커넥터 접합면의 스크래치에 의한 삽입손실을 측정하기 위한 실험 구성도는 그림 4와 같다. 광원은 발진 파장이 $1.55 \mu\text{m}$ 인 레이저 다이오드 (Agilent 81654A)를 사용하였고, 광 검출기로는 Agilent 81624B를 사용하였다. 사용한 Jumper cord는 광원에 연결하는 부분의 커넥터는 FC/PC type이고 광 검출기에 연결하는 부분의 커넥터는 SC/PC type인 Seiko

Instrument사에서 제조한 SM-FC/PC-SC/PC-Jumper를 사용하였다. 측정 시료는 양 끝 부분이 모두 SC/PC type인 광 커넥터를 사용하여 중간에 SC adapter를 이용하여 Jumper cord에 연결하였다.

실험 과정은 다음과 같다. 그림 4(a)와 같이 먼저 접합면이 깨끗한 Reference 커넥터의 삽입손실을 측정하여, 측정하고자 하는 시료의 삽입손실에 대한 기준으로 삼았다. 그림 4(b)와 같이 스크래치가 존재하지 않는 깨끗한 접합면을 가지는 커넥터를 adapter를 이용하여 Reference 커넥터에 연결한 후 삽입손실을 측정하였다. 그리고 이 커넥터에 임의의 스크래치를 발생시킨 후 같은 실험 setup을 사용하여 삽입손실을 측정하였다. 스크래치가 존재하기 전과 후의 삽입손실의 차이를 스크래치에 의한 삽입손실로 결정하였다.

삽입손실 측정 후 3D Optical interferometry surface profiler를 이용하여 스크래치가 발생한 광 커넥터의 접합면을 관찰하였다. 그림 2와 같은 접합면상에 발생한 스크래치의 모습을 보여주는 2차원 사진으로부터 코어의 중심에서 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳까지의 거리, r_0 와 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳에서 각각 스크래치가 시작되는 지점까지의 거리와 스크래치가 끝나는 지점까지의 거리를 나타내

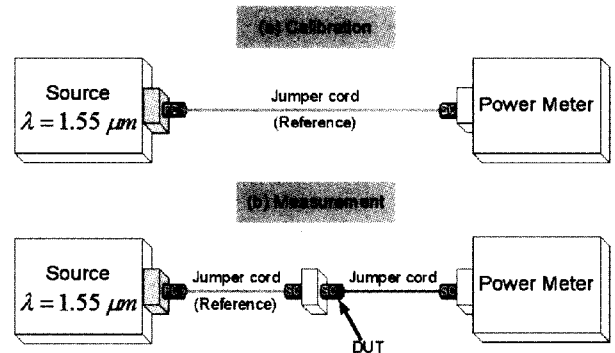


그림 4. 삽입손실 측정을 위한 실험 구성도.

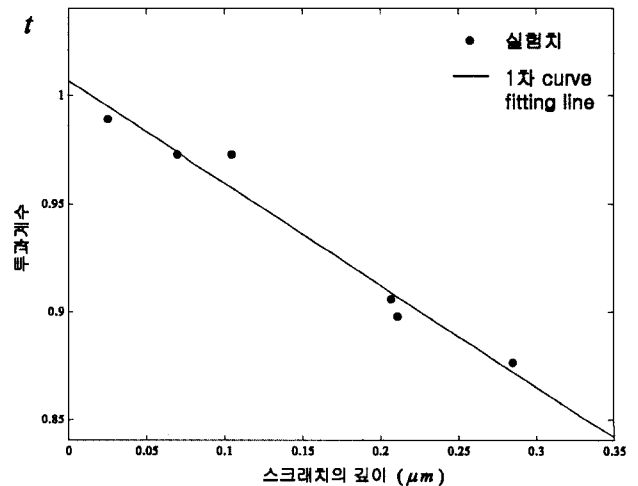


그림 5. 스크래치의 깊이에 따른 투과계수.

는 W_1 과 W_2 를 측정하며 또한 스크래치의 최대 깊이를 측정하였다.

표 1은 여러 가지 광 커넥터의 한쪽 접합면에 임의로 스크래치를 낸 후 측정한, 스크래치에 의하여 발생하는 삽입손실과 스크래치의 폭, 최대 깊이와 코어의 중심에서 최대 깊이가 발생하는 위치까지의 거리에 대한 실험 결과를 스크래치의 깊이가 커지는 순서로 정리한 표이다.

III. 스크래치의 깊이에 따른 투과계수 결정 및 삽입손실에 미치는 영향

3.1. 스크래치의 깊이에 따른 투과계수 결정

2장에서 제시한 모델을 이용하여 스크래치에 의한 삽입손실을 계산하는 경우 스크래치 모양의 기하학적 파라미터들(코어의 중심에서 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳까지의 거리, 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 곳에서 스크래치가 시작되는 지점까지의 거리와 스크래치가 끝나는 지점까지의 거리 및 스크래치의 최대 깊이)을 알고 있으면 필요한 파라미터는 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 지점의 투과계수 t_0 이다. 스크래치의 깊이에 따른 투과계수를 결정하는 과정은 다음과 같다. 표 1에 보인 측정된 스크래치의 기하학적 파라미터들을 2장에서 제시한 모델에 대입하여 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 지점의 투과계수 t_0 를 변화시켜 가며 계산한 삽입손실 값이 측정된 삽입손실 값과 같을 때의 t_0 를 그 깊이에서의 투과계수로 결정하였다. 그림 5의 검은 점은 이와 같이 결정된 6개의 스크래치의 깊이에 따른 투과계수 값을 보인다. 그림 5에 보이는 직선은 6개의 깊이에 따른 투과계

수 값을 가지고 Least square curve fitting 방법을 사용하여 1차식으로 근사하였을 경우 얻어지는 스크래치의 깊이 d 에 따른 투과계수의 식으로서 $t = -0.4715d + 1.0071$ 이다. 스크래치가 존재하지 않는 경우($d=0$) 투과계수는 1.0071로 1에 매우 근접함을 볼 수 있다.

표 2는 6개의 서로 다른 스크래치에 대하여 측정된 스크래치의 최대 깊이와 본 논문에서 제안한 모델을 사용하여 계산한 삽입손실이 측정된 삽입손실과 같아질 때 그 깊이에서의 투과계수를 보여준다. 또한 curve fitting 방법에 의하여 구한 1차식으로부터 계산한 각 스크래치의 투과계수와 두 투과계수의 오차율을 보여준다. 오차율은 최대 1.6%이며 평균 오차율은 0.71%로서 매우 작음을 볼 수 있다. 따라서 스크래치에 의한 삽입손실은 Least square curve fitting 방법을 사용하여 구한 스크래치의 깊이에 따른 투과계수를 구하는 1차식을 사용하여 투과계수를 결정하고 본 논문에서 제안한 모델을 사용하여 계산할 수 있다고 생각된다.

3.2. 스크래치가 삽입손실에 미치는 영향

본 논문에서 제안한 모델과 스크래치의 깊이에 따른 투과계수 식을 이용하여 스크래치 모양의 기하학적 파라미터들이 삽입손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음과 같은 전산 모의를 수행하였다. 전산 모의에 사용한 광섬유의 코어 반경은 $4 \mu m$, 정규화된 주파수 V 는 2.02라 가정하였다. 따라서 식 (1)을 사용하여 계산된 광섬유를 따라 전송되는 광파의 가우시안 필드의 반경 w 는 $5.02 \mu m$ 이다. 또한 전산 모의에 사용된 스크래치의 깊이에 따른 모양은 최대 깊이가 폭의 중심에서 발생하는 이등변 역삼각형 모양을 가진다고 가

표 1. 6개의 스크래치에 대하여 측정된 최대 깊이, 폭, 코어의 중심에서 최대깊이가 발생하는 위치까지의 거리와 삽입손실

Sample	최대 깊이 (μm)	폭 (μm)	W_1 (μm)	W_2 (μm)	최대 깊이가 발생하는 위치 (μm)	삽입손실 (dB)
#1	0.0253	2.0113±0.0002	0.7128	1.2985	0.0000±0.2776	+0.014
#2	0.0701	1.9640±0.0004	0.8729	1.0911	4.8009±0.2687	+0.006
#3	0.1050	2.5611±0.0003	1.6259	0.9352	3.5247±0.2890	+0.020
#4	0.2073	1.8769±0.0005	1.2348	0.6421	5.7751±0.1487	+0.110
#5	0.2113	3.3659±0.0003	2.1125	1.2534	3.7949±0.1596	+0.093
#6	0.2855	5.2688±0.0003	3.1213	2.1475	6.9161±0.3521	+0.023

표 2. 스크래치의 깊이에 따라 측정된 투과계수와 curve fitting한 투과계수 및 두 투과계수의 오차율

Data	Sample	#1	#2	#3	#4	#5	#6
	스크래치의 깊이 (μm)		0.0253	0.0701	0.1050	0.2073	0.2113
	투과계수	0.9890	0.9730	0.9730	0.9060	0.8980	0.8770
Fitting	투과계수	0.9951	0.9740	0.9576	0.9093	0.9074	0.8724
	오차율 (%)	0.6234	0.1077	1.5835	0.3706	1.0548	0.5146

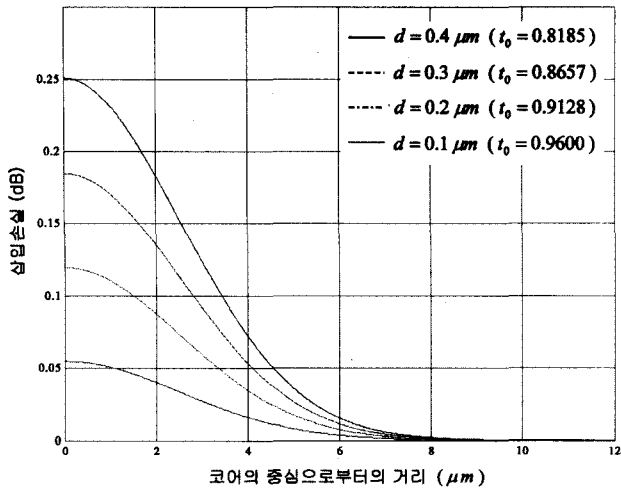


그림 6. 스크래치의 폭이 2 μm일 때 4가지 스크래치의 깊이에 대하여 스크래치의 위치를 코어의 중심으로부터 변화시켜 가며 계산한 삽입손실.

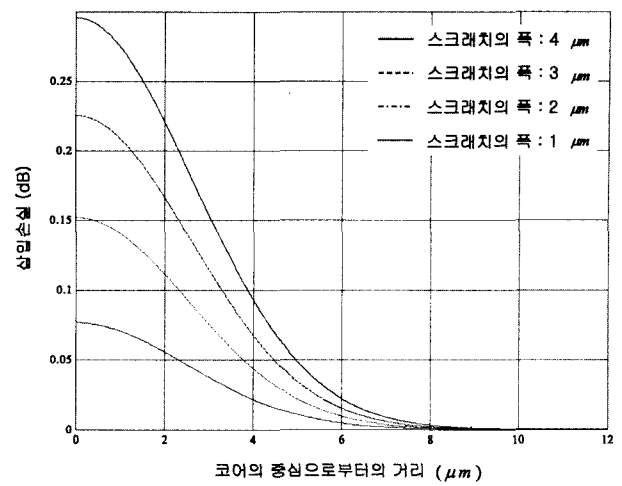


그림 7. 스크래치의 최대 깊이가 0.25 μm일 때 4가지 스크래치의 폭에 대하여 스크래치의 위치를 코어의 중심으로부터 변화시켜 가며 계산한 삽입손실.

정하였다. 또한 스크래치의 위치는 스크래치의 최대 깊이가 발생하는 위치를 의미한다.

그림 6은 스크래치의 폭이 2 μm일 때 4가지 스크래치의 깊이에 대하여 스크래치의 위치를 코어의 중심으로부터 이동시켜 가며 계산한 삽입손실을 나타낸다. 스크래치의 위치가 코어의 중심에서 멀어질수록 삽입손실이 줄어들며 그 줄어드는 형태는 가우시안 형태임을 볼 수 있다. 이는 광섬유 내 광 파워의 분포가 가우시안 형태이기 때문이라 생각된다. 또한 스크래치가 코어의 중심으로부터 코어 반경의 2배정도의 거리 바깥에 위치하면 삽입손실에 거의 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 스크래치의 깊이가 클수록 투과계수가 작기 때문에 삽입손실이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 스크래치의 깊이가 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 μm일 때 0.05 dB 보다 작은 삽입손실이 발생하는 스크래치의 위치는 각각 코어의 중심으로부터 1.10, 3.36, 4.11, 4.56 μm 떨어져야 함을 볼 수 있다.

그림 7은 스크래치의 최대 깊이가 0.25 μm일 때 4가지 스크래치의 폭에 대하여 스크래치의 위치를 코어의 중심으로부터 변화시켜 가며 계산한 삽입손실이다. 스크래치의 폭이 커질수록 삽입손실이 커짐을 확인할 수 있었다. 스크래치의 폭이 1, 2, 3, 4 μm일 때 0.05 dB 보다 작은 삽입손실이 발생하는 스크래치의 위치는 각각 코어의 중심으로부터 2.33, 3.80, 4.48, 4.97 μm 떨어져야 함을 볼 수 있다.

그림 8은 스크래치의 최대 깊이가 0.25 μm일 때 4가지 스크래치의 위치에 대하여 폭을 변화시키며 계산한 삽입손실을 나타낸다. 스크래치의 위치가 코어의 중심에 가까이 있을 때 폭의 증가에 따른 삽입손실의 증가가 코어의 중심에서 먼 곳에 있는 스크래치의 폭의 증가에 따른 삽입손실의 증가 보다 큼을 알 수 있다. 이는 광섬유 내 광 파워의 분포가 가우시안 형태이기 때문이라 생각된다. 스크래치의 위치가 코어의 중심으로부터 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 μm 떨어진 곳에 있을 때 0.05

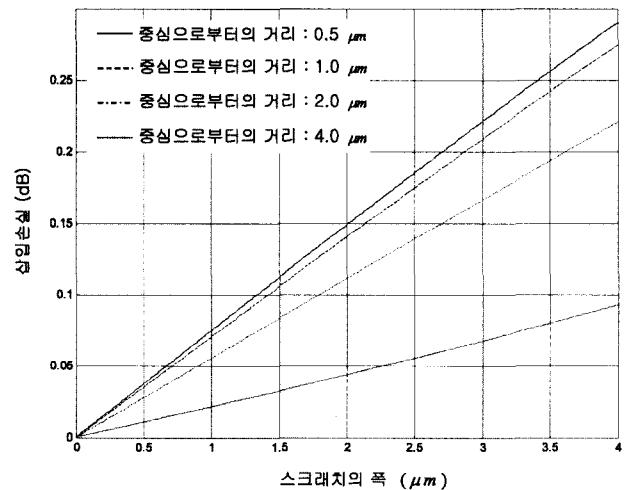


그림 8. 스크래치의 최대 깊이가 0.25 μm일 때 4가지 스크래치의 발생위치에 대하여 폭을 변화시키며 계산한 삽입손실.

dB 보다 작은 삽입손실이 발생하는 스크래치의 폭은 각각 0.654, 0.695, 0.883, 2.241 μm 보다 작아야 함을 볼 수 있다.

IV. 결 론

광섬유 접합면의 스크래치가 광 커넥터의 삽입손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 광파의 투과계수가 스크래치의 깊이에 따라 선형적으로 변화한다고 가정하고 스크래치의 기하학적 파라미터들의 함수로 표현된 광 커넥터의 삽입손실을 계산하는 모델을 제시하였다. 실험에 의하여 측정된 기하학적 파라미터 값들을 제시된 모델에 이용하여 계산된 삽입손실 값의 전산 모의 결과와 실험 결과와의 비교 분석을 통해 광 커넥터 접합면에서 스크래치의 깊이에 따라 광파의

투과계수가 선형적으로 변화하는 식을 구하였다.

본 논문에서 제안된 모델을 이용하여 스크래치의 깊이, 폭과 스크래치가 발생하는 위치에 따른 삽입손실을 계산하였다. 스크래치가 발생하는 위치가 코어의 중심에서 멀어질수록 삽입손실이 가우시안 형태로 감소하는 것을 볼 수 있었고 스크래치가 코어의 중심으로부터 코어 반경의 2배정도의 거리 바깥에 위치하면 삽입손실에 미치는 영향이 매우 작음을 볼 수 있었다. 또한 삽입손실이 0.05 dB를 초과하지 않는 범위에서 존재 가능한 스크래치의 위치와 폭과 깊이를 구하였다. 본 논문의 결과는 스크래치를 포함한 pit 등과 같은 광커넥터 접합면의 결함에 의하여 발생하는 삽입손실을 계산하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 예상된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 지원한 산업기반 표준화 과제인 광커넥터(패룰)의 내구성 예측 및 평가방법개발 연구와 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금과 정보통신부 기초기술연구지원사업과 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10231-0)의 지원금으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Ryo Nagase, "Recent Progress on Optical Fiber Connectors for Telecommunication Systems," *OECC 2003*, pp. 117-118, 2003.
- [2] E. Sugita, R. Nagase, K. Kanayama, T. Shintaku, "SC-type single-mode optical fiber connectors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 7, no. 11, pp. 1689-1696, 1989.
- [3] R. Nagase, E. Sugita, S. Iwano, K. Kanayama, Y. Ando, "Miniature optical connector with small zirconia ferrule," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, no. 11, pp. 1045-1047, 1991.
- [4] M. De Rosa, J. Carberry, V. Bhagavatula, K. Wagner, C. Saravanos, "High-power performance of single-mode fiber-optic connectors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, no. 5, pp. 879-885, 2002.
- [5] L. B. Jeunhomme, *Single-mode fiber optics*(New York, Dekker, 1990).
- [6] D. Marcuse, "Loss analysis of single-mode fiber splices," *J. Bell Sys. Technol.*, vol. 56, no. 5, pp. 703-718, 1977.

Effect of scratches on optical connector interface surface on the insertion loss

Young-Min Yoon, Jung-Hyun Yoon, and Boo-Gyoun Kim[†]

School of Electronic Engineering, Soongsil University 1-1 Sangdo 5-Dong Dongjak-Gu, Seoul 156-743, Korea

Young-Kon Shin and Kuk-Hyun Song

Korean Agency for Technology and Standards, MOCIE 2 Jungang-dong, Gwacheon, Gyeonggi-do, Korea

[†]E-mail: bskim@e.ssu.ac.kr

(Received February 4, 2004, Revised manuscript May 18, 2004)

This paper presents the effect of scratches on an optical connector interface surface on the insertion loss of optical connectors. We propose a model for calculating the insertion loss of optical connectors. The model is expressed in terms of geometrical parameters of scratches assuming that the transmission coefficient of a light wave on the scratch surfaces is linearly varied as a function of scratch depth. Geometrical parameters of scratches such as location, width, and depth of scratches are measured using 3D optical interferometry surface profiler. We obtain the equation of the transmission coefficient in terms of scratch depth comparing the experimental insertion loss data to the insertion loss data using the model presented in this paper. Using the model and the equation of the transmission coefficient presented in this paper, we present the results of the insertion loss of optical connectors for various geometrical parameters of scratches. Scratches which are located at longer than two times the core radius from the center of the core show negligible effect on the insertion loss of optical connectors.

OCIS Codes : 060.1810, 060.2300, 060.2330, 060.2340, 060.4510.