

논문 2002-11-4-03

광섬유 ROTDR 센서를 이용한 침입 탐지기법의 개발

백세종*, 권일범**, 정철***, 유재왕****

Development of intrusion detection technique using fiber optic ROTDR sensor

Se-Jong Baik*, Il-Bum Kwon**, Chul Chung***, Jae-Wang Yu****

요 약

광섬유 ROTDR (Rayleigh Optical Time Domain Reflectometry)을 이용하여 침입자를 높은 감도와 넓은 영역에서 탐지할 수 있는 매설형 광섬유 센서의 개발에 관한 실험을 수행하였다. 단위 길이당 넓은 면적을 감지 할 수 있는 매설형 광섬유 감지부를 설계 제작하고, 인가된 침입물체의 하중에 따른 신호특성을 고찰하였다. 일반 광통신용인 직경1.5mm와 3.5mm인 광섬유를 길이 각각 4km를 사용하여 광섬유 굽힘손실을 발생시키는 침입감지 장치를 설계 제작하고, 상용 ROTDR의 조건설정은 파장 1.55 μ m, 거리범위 5km, 펄스폭 20 ns, S/N비가 5.7인 시스템으로 실험하였으며, 광섬유 RODTR 센서시스템의 측정신호로부터 침입자 신호를 찾아내기 위한 측정신호처리 시스템을 구성하였다. 광섬유 센서의 인가하중과 광손실값과의 관계는 거의 선형적으로 변함을 보였으며, 공간분해능은 2m로 측정되었고, 침입감지면적은 단위길이당 1.3m²이고, 감도는 0.17dB/kg으로 외부 침입물체등을 감지하기에 충분히 높은 감도와 감지영역을 가짐을 알 수 있다.

Abstract

The developing of buried fiber optic sensor with high sensitivity and broad-area detecting intruders is carried out using fiber optic ROTDR(Rayleigh Optical Time Domain Reflectometry). The sensing part was designed to be able to broad-area detect intrusion effect per optical fiber length under ground. The bending light losses in optical fibers are investigated by commercial mini ROTDR with wavelength 1.55 μ m, distance range 5km, pulse width 20ns, SNR=5.7. The sensing fibers are selected as the common telecommunication fibers are the 1.5mm, 3.5 mm outer diameter, 4km each length fiber products. Experiments were investigate the characteristics of signal sensitivity according to applied intrusion weight. The relation between the applied weight and the bending loss was almost linear, and broad-area detect intrusion effects are the 2m resolution and 1.3m² per optical fiber length respectively. The light loss by the applied weight on fiber was 0.17 dB/kg. that the sensitivity of the optical fiber sensor was sufficient to detect intruders passing over the buried optical fiber.

1. 서 론

* (주)세기엔지니어링 (Segi Engineering Co.)

** 한국표준과학연구원 산업측정표준부
(Korea Research Institute of Standard & Science, Division of Industrial Metrology)

*** 호서대학교 정보통신공학과 (Hoseo University, Department of Information and Telecommunication Engineering)

**** 광주과학기술원 정보통신공학부(Gwangju Institute of Science & Technology, Department of Information & Communication)

<접수일자 : 2001년 5월 12일>

광섬유와 레이저 광원을 이용하는 광섬유센서는 기존의 전자소자대신에 빛을 이용하여 측정하고 측정정보 전달도 빛으로 하므로 고압전류, 번개 등에 의한 전자기 잡음이 발생하지 않는 장점이 있다. 또한 광섬유 한가닥 선으로 광역의 물리량을 측정할 수 있는 장점을 갖는다^[11].

광섬유의 내부를 진행하는 빛은 광섬유의 밀

도변화에 따라 미소한 광산란이 발생하는데 이러한 광산란을 레일리(Rayleigh) 광산란이라고 한다.

여기서, ROTDR(Rayleigh Optical Time Domain Reflectometry) 센서는 펄스광을 광섬유에 입사한 후 되돌아오는 레일리 산란광을 측정한다. 만약 침입감시를 위하여 땅속에 매설하여 놓은 광섬유의 임의의 위치에서 되돌아오는 빛의 광손실이 발생하였다면 그 위치에서 침입자가 있음을 알 수 있게되는 것이다^[12].

광섬유 OTDR 센서에 관련한 연구는 1976년 Barnoski와 Jensen이 광섬유의 후방 레일리 산란을 시간영역에서 해석함으로써 비파괴적으로 광섬유의 손실을 측정할 수 있는 방법을 발명하였다^[3]. Bush 등은 편광이 제거된 Sagnac 광섬유 간섭계를 이용하여 매질에 삽입된 침입자 감시 센서를 개발하였다^[4, 5].

Makarov 등은 빛의 급격한 변화를 이미지로 검출함에 의하여 침입자를 감지하도록 하였다^[6]. Park 등은 단일모드 광섬유에서 레일리 후방 산란되는 광의 가간섭성을 이용하여 OTDR로 광섬유 침입 센서를 구성하였으며, 변조 펄스의 폭은 4 μ s, 공간분해능은 400 m이고, S/N 비는 3.3, 대역폭은 30.5 Hz였다^[17]. 또한 Park 등은 고감도 삽입형 광섬유침입자센서의 생산가능성을 타진하면서, Michelson 간섭계를 사용하여 모래에 삽입하여 실험을 수행하였다. 42 inch 검출부를 8 inch 깊이의 모래에 삽입하였으며, 출력 간섭무늬가 반파가 이동되는데 22 pound가 필요하며 감지도는 10 $^{\circ}$ /pound.로 인가된 하중과 위상변화는 선형적임을 보였다. 실험 결과 광섬유 센서의 감지도는 인간이나 차량을 검출하기에 충분하다고 하였다^[18]. Guttinger H. 등은 광섬유 센서를 사용한 침입자감시에 대하여 전반적인 내용을 다루고 있다^[12].

본 연구에서는 상용 ROTDR 을 이용하여 침입자를 높은 감도와 넓은 영역에서 탐지할 수 있는 매설형 광섬유 센서의 개발에 관한 실험을 수행하였다. 단위 길이당 넓은 면적을 감지 할 수 있는 매설형 광섬유 감지부를 설계 제작하고, 인가된 침입물체의 하중에 따른 신호특성을 고찰하였다. 광섬유의 굽힘광 손실 측정은 일반 통신용인 직경 3.5mm와 1.6mm 광섬유를 사용하였다. 광섬유 굽힘손실 응답특성을 조사하기 위하여 광섬유 굽힘 직경을 변화시켰을 때, 직경변화

에 따른 굽힘 광손실이 처음 발생하는 광섬유 최대 직경을 측정하였으며, 또한 단위 길이당 넓은 면적을 감지 할 수 있는 매설형 광섬유 침입감시부 실험은 침입자의 위치와 하중에 따른 광출력 신호의 차이를 측정하였다. 그리고, 측정신호로부터 침입자 신호를 찾아내기 위하여 측정신호처리 시스템을 구성하였다.

2. 센서의 측정원리

1. 광섬유 굽힘 광손실

임의의 굴절률 분포를 가지는 굽힘이 없는 광섬유에서, 광섬유 단면 모든 지점에서의 모드 전계는 같은 위상속도를 가지고 광섬유 축에 평행하게 진행한다^[10]. 따라서 일정한 위상면은 광섬유 축에 직교하게 된다. 하지만, 광섬유가 그림 1과 같이 일정한 반경을 가지고 굽어진다면, 전계와 위상면은 일정한 각속도를 가지고 굽힘곡률 중심에 대하여 회전하게 된다. 그 결과로, 광섬유 축에 평행한 위상속도는 곡률 중심 C로부터의 거리와 함께 선형적으로 증가하여야 한다. 광섬유는 균일한 클래딩으로 이루어졌고 위상속도는 빛의 속도보다 클 수 없기 때문에 위상속도가 일정하게 유지될 수 없는 굽힘면에서의 어떤 반경, R_{rad} 가 존재하게 된다.

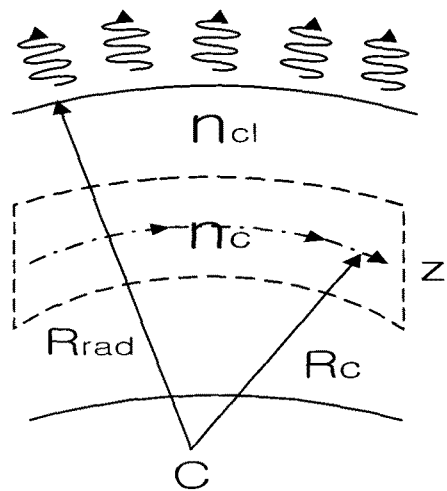


그림 1. 광섬유 굽힘 손실 발생 메커니즘.
Fig. 1. The mechanism of bending light loss in optical fiber.

그리고 이 영역에서의 전계는 그림 1에서처럼 방사되어야 한다. 코어 내에 근처에서는 전계는 모드로서 정확하게 표현된다. 광섬유내의 파워는 광섬유 굽힘에 의하여 광섬유 외부로 방사되기 때문에, z축을 진행하면서 감소하게 된다.

2. ROTDR 센서

후방 산란된 Rayleigh 신호는 다음과 같은 수식으로 표현이 가능하다. 광섬유를 따라 진행하는 빛은 거리가 멀어짐에 따라 감쇄 효과로 인하여 그림 1과 같이 지수함수적으로 파워가 줄어들게 된다. 거리에 따른 입사광과 투과광 사이의 파워 전송 관계는 다음과 같다⁽¹¹⁾.

$$P(z) = P_0 \cdot e^{-\alpha z} \quad (1)$$

여기서, P_0 는 입사광의 파워, P_z 는 투과광의 파워, z 는 거리, α 는 감쇄계수(km^{-1})이다. 시스템 손실은 대개 dB단위로 계산하기 때문에 감쇄계수 역시 dB로 환산하는 것이 편리하다.

$$P(z) = P_0 \cdot 10^{-\frac{\alpha_{dB}}{10} z} \quad \text{단} \quad (2)$$

$$\alpha_{dB} = \frac{10}{\ln 10} \cdot \alpha \approx 4.34\alpha \quad (3)$$

문제를 간단히 하기 위하여, 통상적으로 흡수계수 α_a 와 산란계수 α_s 가 조합된 전체 감쇄계수 α 를 사용한다.

$$\alpha = \alpha_a + \alpha_s \quad (4)$$

감쇄계수는 다음과 같은 제약을 갖는다.

$$0 \leq \alpha_a \ll \alpha_s$$

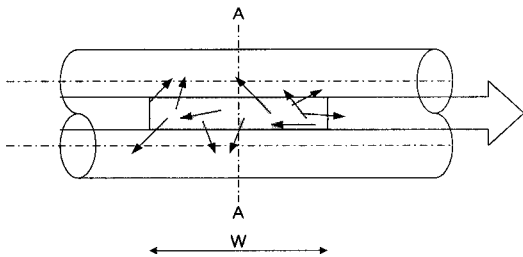


그림 2. 광섬유 폭W내에서의 산란 현상.
Fig 2. Scattering within a fiber element of width W.

이제 산란에 중점을 두고 시간 주기 τ 를 갖는 광섬유 내의 레이저 펄스에 대해 고려해보자. 펄스가 진행하면서 광은 광섬유 길이 W를

진행하는 동안 산란하게 된다.

$$W = \tau \cdot v_{gr} = \tau \frac{c}{n_{gr}} \quad (5)$$

여기서 v_{gr} 는 군속도, c 는 진공에서의 빛의 속도, n_{gr} 는 유리에서의 굴절률이다. 미소구간 dz 내에서 위치 z 에서의 산란파워 dp_s 는 펄스 파워 $P(z)$ 에 비례한다.

$$dp_s = k \cdot P(z)dz \quad (6)$$

여기서, $k = S \cdot \alpha_s$ 이다.

$$\alpha_s = \text{scattering coefficient} \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad (7)$$

위에서 S는 광섬유 내에서 모든 방향으로 산란된 빛 중 광섬유 코어로 계속 진행하는 것 중 후방으로 전파되는 부분으로

$$S = \left(\frac{NA}{n_0} \right)^2 \frac{1}{m} \quad (8)$$

와 같이 표시할 수 있다. 여기서 NA는 광섬유의 계구수, n_0 는 광섬유 코어의 굴절률, m 은 굴절률 분포에 따른 값 (일반적인 단일모드 광섬유의 m 값 : 4.55)이다. 후방산란 응답은 구형 펄스에 의하여 설명된다. 펄스의 리딩 에지가 위치 $L = T \cdot v_{gr}$ 에 존재한다고 가정하자. 정확히 이 거리에서 후방 산란된 빛은 OTDR 단자에 $t = 2T$ (왕복 전파하기 때문)에 도달하게 될 것이다. $t = T + \tau/2$ 시간에 trailing 에지는 거리 $L - W/2$ 점을 지나게 된다. 이 위치에서 산란된 빛은 시작점으로 되돌아가기 위해서는 $t = T - \tau/2$ 의 시간을 필요로 한다. 이 빛이 진행한 시간은 $t = 2T$ 이 된다. 짧은 간격 ΔW 에 대해서 고려해보자. 이것은 $t = T + \Delta t$ 에서 펄스의 리딩 에지의 $2\Delta z$ 후방에 해당한다. 이 부분으로부터 후방으로 진행하는 빛은 $t = T - \Delta t$ 시간 후에 즉 전체 경과시간 $t = 2T$ 가 되면 OTDR 단자에 도달하게 된다. 위 내용을 종합하면 시간 $t = 2T$ 에 OTDR에 도착한 빛은 위치 $z = L - W/2$ 에서 $z = L$ 사이에서 후방 산란된 빛이 합한 형태라는 것이다.

전체 펄스 중에서 미세 구간 dz 로부터 후방 산란된 광을 합하고 여기에 감쇄 계수를 부여하면 다음 식과 같이 된다.

$$P_s(L) = \int_0^W S \cdot \alpha_s \cdot P_0 \exp\left(-2\alpha\left(L + \frac{z}{2}\right)\right) dz$$

$$= S \cdot \frac{\alpha_s}{\alpha} \cdot P_0 e^{-2\alpha L} (1 - e^{-\alpha W}) \quad L \geq \frac{W}{2} \quad (9)$$

3. 센서 제작 및 실험

1. 굽힘 광손실의 측정

광섬유 굽힘손실 응답특성을 조사하기 위하여 그림 3.과 같이 광섬유 굽힘 직경을 변화시켰을 때, 직경변화에 따른 굽힘 손실값을 측정하였다.

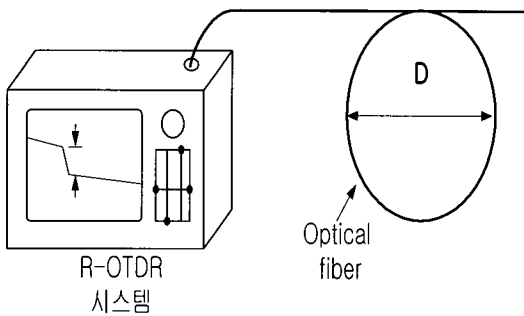


그림 3. 광섬유 굽힘 광손실 측정실험장치.
Fig. 3. System for measuring fiber bending light loss.

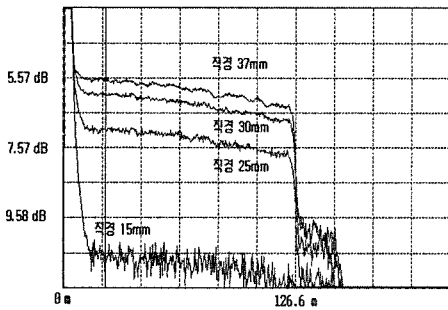


그림 4. 광섬유 굽힘 직경변화에 따른 굽힘 손실출력 특성.
Fig. 4. Output characteristics of fiber bending light loss according to the diameter change.

본 실험에서는 광섬유를 직경크기를 단계별로 제작된 원통형 실린더에 1회전 감음으로써 광섬유에 굽힘을 주었다. 그리고 굽힘직경에 의한 광손실을 측정하기 위하여 ANDO사 제품의 AQ 7220B mini-OTDR 장비를 사용하여 굽힘을 받는 위치에서의 광손실을 측정하였다. 광섬유

굽힘 직경 변화에 따른 광손실 측정 결과를 그림 4.와 그림 6.에 나타내었다. 사용한 광섬유는 그림 5.와 같이 코어, 크래딩과 기초코팅에 케블라 파이버 보강층에 PVC자켓을 입혀진 직경 3.5 mm의 삼성전자 제품과 기초코팅위에 PVC자켓만 입혀진 3M사 제품을 사용하였다.

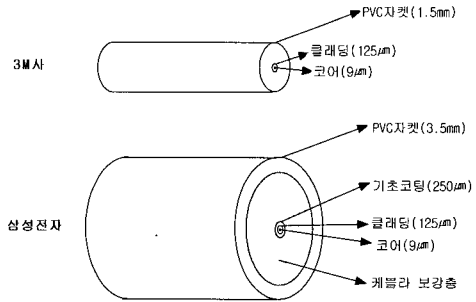


그림 5. 제품별 광섬유의 단면구조.
Fig. 5. Cross section structures of optical fiber products.

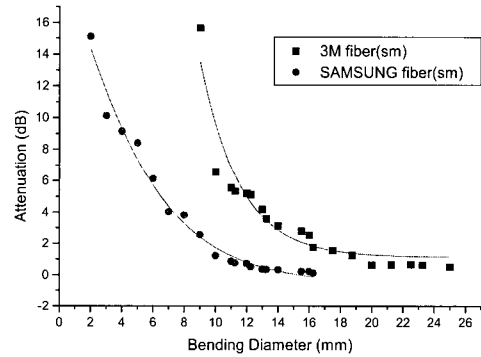


그림 6. 제품별 광섬유 굽힘 직경에 따른 광손실의 변화 특성.
Fig. 6. Variation characteristics of light loss according to bending diameter for optical fiber products.

제품별로 굽힘이 없는 상태에서 1.0dB 이상의 광손실이 발생하는 굽힘직경 측정치는 3M사 제품에서는 약19mm영역에서 나타났으며, 삼성 전자 제품은 굽힘직경 약10mm로 나타나 케블라 보강층을 갖는 삼성전자 광섬유 제품이 굽힘 민감도 특성이 3M제품보다 약 2배정도 낮게 나타났다. 그리고, 굽힘직경 감소에 따른 광손실의 증가경향을 살펴보면 삼성전자 제품의 보다 선형적이고 안정적인 변화 양상을 보이며, 3M사 제품은 굽힘직경 16mm이하의 변화에서는 광손실

이 급속하게 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 삼성전자 제품이 3M사 제품보다 굽힘에 민감도가 낮은 이유는 그림 3. 굽힘광손실 측정장치에서 보인바와 같이 굽힘직경 측정을 광섬유 PVC자켓 외곽의 안쪽을 굽힘직경으로 측정하므로 케블러 보강층의 두께 2mm만큼 차이에 의해서 발생한 것임을 알 수 있다. 이러한 삼성의 광섬유를 갖고 OTDR로 측정된 광 감쇄 특성과 이론 식 (9)로부터 계산한 결과 그림 7을 얻었다. 이 실험에서는 입력광원은 펄스폭 30 ns, 광파워는 약 800 mW를 사용하였다. 또한 평균화는 2000번을 수행하여 얻어진 데이터를 계산 결과와 비교한 것이다.

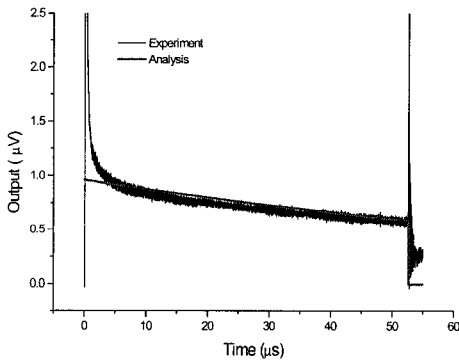


그림 7. 광산란 신호 특성의 실험 및 해석과의 비교.

Fig. 7. Comparison of experimental data with analytic data of scattering light of an optical fiber.

광산란 신호가 발생할 때 광섬유의 입사 끝단에서 프레넬 반사가 있어서 급격한 광출력이 발생하고 그에 따라 광검출기가 포화되었다가 약간의 지연시간을 가지므로 이론적인 해석값과 차이를 보이고 있다. 그 후에는 전반적으로 이론적인 값과 잘 일치하고 있음을 볼 수 있으며 광섬유의 끝단 후반부에서 다시 프레넬 반사가 발생하여 광검출기 포화가 발생함을 볼 수 있다. 그러나 대체적으로 실험값과 이론 해석값이 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 현재 얻어진 광산란 신호는 2000회 평균화 처리하여 얻어진 데이터로 기존의 상용 OTDR은 약 4096번 이상의 평균화 처리를 하여 데이터를 얻는데 비하여 훨씬 적은 평균화만으로도 유효한 신호를 얻고 있음을 알 수 있다.

2. 침입자 감지부 제작 및 실험

굽힘 광손실 민감도 특성을 측정된 광섬유를 이용하여 단위 길이당 넓은 면적을 감지 할 수 있는 광섬유 감지부를 설계제작하고, 이에 대한 인가된 침입물체의 하중에 따른 신호특성을 고찰 하였다. 광섬유를 가로 1300 mm, 세로 450 mm, 두께 15 mm 크기의 판자 2개를 사용하여 제작하였다.

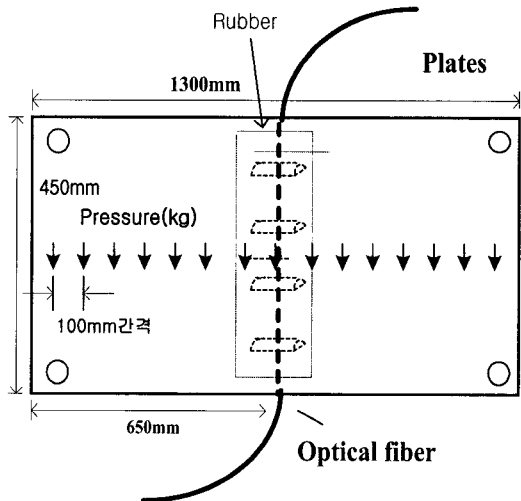
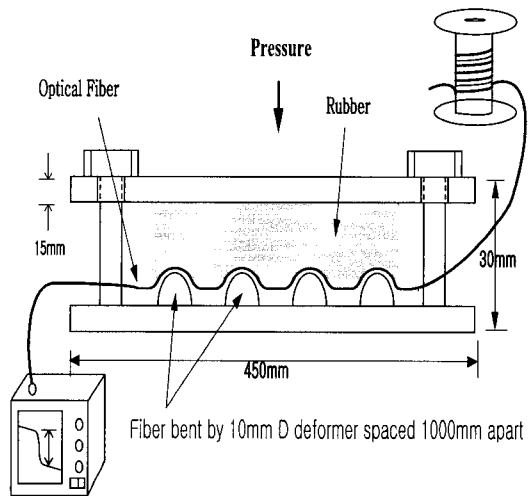


그림 8. 광섬유굽힘손실을 발생시키는 침입감지 장치측면/정면도.

Fig. 8. The side/top view of broad-area intrusion detector for causing bending loss of an optical fiber.

판자사이에 직경10mm인 타원형 변형치구를

1000mm 간격으로 판자중양부분인 위치 650mm에 설치하여 광섬유를 놓은 다음 고무판을 그 위에 설치하였다. 상하면의 판자사이의 고정 방법은 침입물체의 하중이 판자 한쪽끝 단에 가해질 때 지렛대 원리에 의해 반대편 끝단이 치켜 올라가지 않도록하는 반고정장치를 설치하였다. 그림 8.은 광섬유 굽힘손실을 발생시키는 침입감지장치 측면도와 정면도를 나타내었다.

본 실험을 위하여 상용ROTDR의 조건설정을 파장 1.55 μ m, 거리범위 5km, 펄스폭 20ns, S/N비는 5.7로 하여 측정 실험하였다. 광섬유는 3.5mm케블러 보강층을 갖는 삼성전자 제품과 1.5mm인 3M사 제품을 각각 4km 길이를 사용하였다.

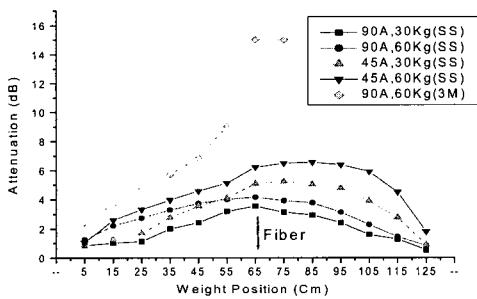


그림 9. 침입감지장치에서의 광섬유 종류별 광손실 변화 특성.

Fig. 9. Variation characteristics of light loss according to intrusion detector for optical fiber products.

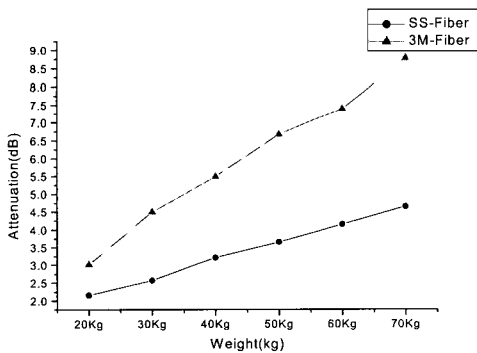


그림 10. 광섬유별 인가하중에 따른 광손실변화 특성

Fig. 10. Variation characteristics of light loss according to applied weights for optical fibers.

침입감지장치에 광섬유 배치는 광섬유 단위길이당 최대 감지면적을 갖는 최적배치방법을 고안하기 위한 실험으로 침입진행방향과 90° 방향(그림 8. 정면도)과 45° 사선으로 배치하는 방법을 사용하여 측정하였다. 인가 하중을 가하는 방법은 실제로 침입자(성인 60Kg기준)가 분포 매설된 광섬유감지부를 한쪽 발만 밟아 하중을 인가하였을 때인 30Kg하중을 가했을때와 두발을 모두 밟았을 경우인 60Kg하중에 대하여 측정하였으며, 하중인가 위치별 실험은 침입자가 폭1300mm 침입감지장치판의 한쪽가장자리부터 100mm간격으로 각위치에서의 인가하중에 따른 굽힘광손실량을 측정하였다. 그림 9.에 광섬유 종류(삼성전자, 3M사), 광섬유 배치각도(90°, 45°), 인가하중(30Kg, 60Kg)에 대한 인가하중위치에 따른 굽힘광손실값의 변화 특성을 나타내었다. 여기서 광섬유 배치를 침입자 진입방향과 90° 방향으로 배치했을 경우는 1.5mm 3M사 제품에서 위치 50mm, 인가하중 60Kg일 때 2.426 dB 광손실로 나타났으며, 케블러 보강층이 있는 3.5mm 삼성전자 광섬유는 동일조건에서 0.846 dB광손실값이 측정되었다. 그러나, 1.5mm 케블러가 없는 3M제품은 실험 도중 광섬유가 절단 파손되는 현상이 발생되었는데 인가하중이 과다한 집중하중에 내구성이 약함을 알 수 있었다. 광섬유 종류별 하중인가의 감지도인 하중인가에 따른 굽힘 손실값이 3M사 광섬유는 0.5 dB/kg이며, 삼성전자 광섬유는 0.17 dB/kg이었다. 본 침입감지 장치에 적용할 광섬유는 케블러 보강층을 갖는 3.5mm 광섬유가 적용환경조건에 부합됨을 알 수 있었다. 이들 광섬유 배치 방법에 대한 광섬유 단위길이당 감지면적을 측정한 결과 침입자 진입방향과 45° 경사로 배치하였을 때는단위길이당 0.9m²이었으며, 90° 방향으로 배치했을 경우는 1.3m²영역을 나타내었다. 그림 10.의 광섬유별 인가하중에 따른 광손실 변화 특성은 거의 선형적으로 변화함을 알 수 있었다.

3. ROTDR 시스템의 침입감시 신호처리

광섬유 RODTR 센서시스템의 측정신호로부터 침입자 신호를 찾아내기 위하여 측정신호처리 시스템을 구성하였다. 측정신호는 잡음감소를 위

하여 평균화처리를 하였고 침입자신호를 보다 명확히 구별해 내기 위하여 필터 처리를 하였다. 신호처리 평균화 횟수를 20회를 실시하여 1~2 초이내로 신호 신호처리가 진행되도록 하였다. 침입감시용 광섬유 ROTDR 센서시스템의 신호처리 flow chart는 그림 11과 같다.

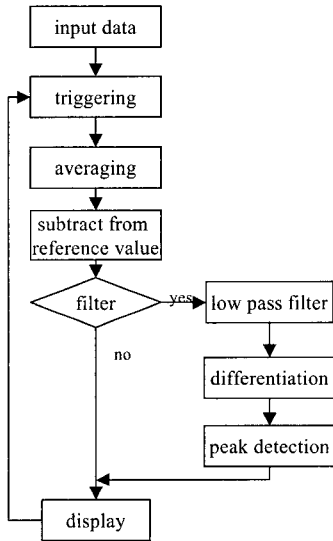


그림 11. 침입감시용 광섬유 ROTDR 센서 시스템의 flow chart.

Fig. 11. Flow chart of optical fiber ROTDR sensor system for intrusion detector.

그림 12에 Labview를 이용하여 구성한 신호처리 프로그램의 diagram을 나타내었다. 필터부를 통하여 처리한 입력신호의 파형을 그림 12(a)에 나타내었다. 측정신호는 평균화처리를 하여 잡음을 감소시켰고 초기에 측정한 기준값과의 차를 구하여 필터부의 입력파형으로 사용하였다. 그림 12(a)의 입력파형은 평균화처리를 하여서 잡음을 많이 감소시켰지만 여전히 많은 잡음을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 12(b)는 Butterworth 필터를 통해 low-pass를 처리한 파형을 나타내었다. 그림 12(a)에 비하여 잡음이 현저하게 감소한 것을 볼 수 있고 중앙부의 침입자에 의해 신호레벨의 변화가 있는 것을 선명하게 볼 수 있다. 그림 12(c)는 신호레벨의 변화를 보다 선명하게 보기 위하여 미분처리를 하였다. 그림 12(b)에서 신호레벨이 변하는 위치에서 peak 값이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 12(d)는 peak의 위치와 값을 구하기 위하

여 peak detector를 사용한 최종 신호처리 파형을 나타내었다. 여기서 peak detector level을 침입자를 유형별로 3단계로 구분하여 신호처리 조건 설정하였다.

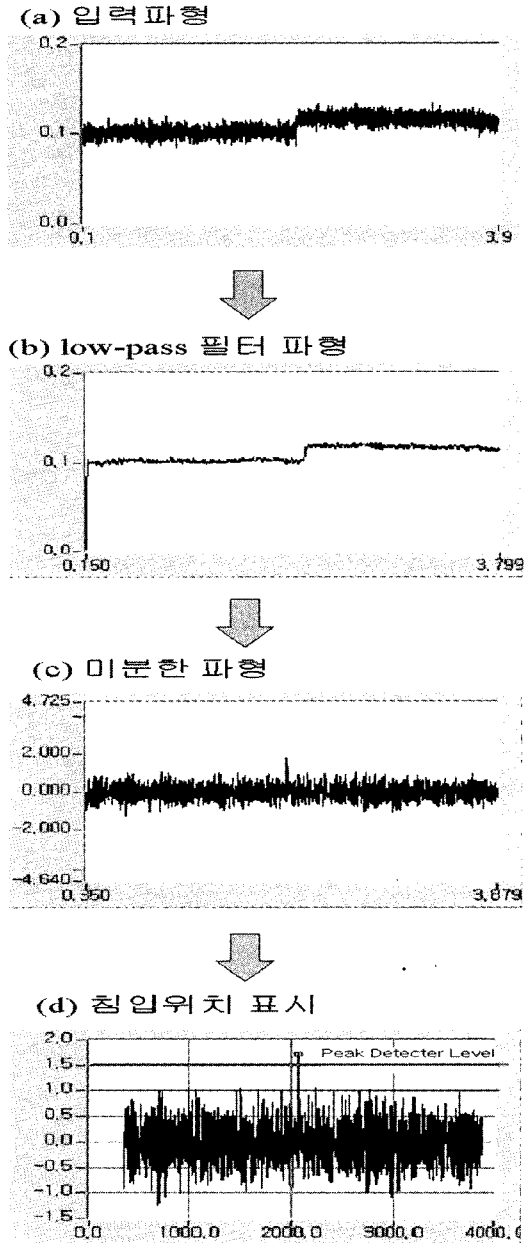


그림 12. Labview를 이용한 신호처리 프로그램 diagram.

Fig. 12. Diagram of signal control program using Labview.

4. 결 론

본 실험에서는 외부 침입자를 높은 감도와 넓은 영역에서 탐지할 수 있는 매설형 광섬유 센서의 개발에 관한 실험을 하기 위해 분포형 광섬유 센서를 일반 광통신용인 각각 직경 1.5mm와 3.5mm짜리 광섬유 길이는 각각 4km를 사용하여, 광섬유 굽힘손실을 발생시키는 침입감지 장치를 설계 제작하고, 외부에서 인가된 하중에 대한 광섬유 응답특성을 조사하였다. 상용 ROTDR의 조건설정은 파장 1.55 μ m, 거리범위 5km, 펄스폭 20 ns, S/N비는 5.7로 하였다. 광섬유 RODTR 센서시스템의 측정신호로부터 침입자 신호를 찾아내기 위해 측정신호처리 시스템을 구성하였다. 신호처리 평균화 횟수를 20회를 실시하여 2초이내로 신호 신호처리가 진행되도록 하였다. 광섬유 센서의 인가하중과 광손실값과의 관계는 거의 선형적 이었으며, 공간분해능은 2m였으며, 감지면적은 단위길이당 1.3m²이고, 감도는 0.17dB/kg으로 외부 침입물체 등을 감지하기에 충분히 높은 감도와 감지영역을 가짐을 알 수 있다. 본 광섬유 센서시스템은 고압전류, 번개 등에 의한 전자기 잡음의 영향을 받지 않으며, 광섬유 한가닥의 선으로 광역의 물리량을 측정할 수 있고, 또한 비금속 재질로 제작되어 있으므로 이를 땅속에 매설하거나 위장하는 경우 전자기적인 탐지가 불가능하기 때문에 군사적 목적의 경비 보안 정보 분야의 목적으로 만들 경우 장점이 있다.

본 실험의 향후 연구는 광섬유의 하중인가 굽힘 손실에 매우 민감한 특수 광섬유의 개발, 굽힘 손실 발생을 민감하게 해주는 다양한 매설방법의 고안과 침입감시용 신호처리응용 프로그램 개발에 중점을 둘 것이다. 또한 본 실험 결과를 토대로 현재 개발추진중인 침입 감시용 ROTDR의 응용시스템으로 사용할 수 있도록 할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 민군겸용기술개발사업의 "침입/구조안전 감시용 광섬유 산란형 센서시스템 개발"과제 연구로 수행되었음을 밝히며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 홍창선, 권일범, "광섬유를 이용한 스마트 구조물의 안전진단기술" 대한기계학회지, Vol. 37, No. 6, pp. 42-46, 1997.
- [2] Fang Yuwen, Qian Jin, Wang Minming, Li Xuesong, and Li Tianchu, Distance scale calibration of optical fiber OTDR, Proc. SPIE, Vol. 3552, pp. 108-113, Aug., 1998.
- [3] Duwayne R. Anderson, Florian G. Bell, 'Optical Time-Domain Reflectometry,' Tektronix Inc. pp. 1-10.
- [4] Bush I. J., Davis Carol A., Davis Pepe G., Cekorich Allen, and McNair Fred P., "Buried fiber intrusion detection sensor with minimal false alarm rates," Proc. SPIE, Vol. 3489, pp. 30-40, Sep. 1998.
- [5] Erlend Ronnekleiv and Kjell Blotekjar, "Distributed fiber sensor for location of disturbances," 9th Optical Fiber Sensors Conference.
- [6] Makarov Aleksej, Vesin Jean-Marc, and Reymond Florian, "Intrusion detection robust to slow and abrupt lighting changes, Proc. SPIE, Vol. 2661, pp. 44-54, Mar., 1996.
- [7] Park Jaehee, Lee Wanku, and Taylor Henry F., "Fiber optic intrusion sensor with the configuration of an optical time-domain reflectometer using coherent interference of Rayleigh backscattering," Proc. SPIE, Vol. 3555, pp. 49-56, Aug., 1998.
- [8] 박재희, 김명규, 손병기, "매설형 광섬유침입자 센서," 센서학회지, 제5권, 제6호, 1996.
- [9] Guttinger H., Pfister G. "Fiber optic sensors and technology in security systems," 1st International Conf. On Optical Fiber Sensors.

[10] Allan W. Snyder and John D. Love, Optical Wave guide Theory, Chapman and Hall, pp. 474-486, 1983.

[11] Dennis Derickson, Fiber optic test and measurement, Hewlett-Packard Professional books, pp. 449-453, 1998.

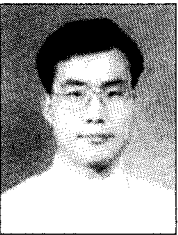
著 者 紹 介



백 세 중

1957년 1월 3일생.
1981년 전남대학교 자연과학 대학 물리학과 졸업(이학사).
1983년 전남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사).
2002년 전남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사).

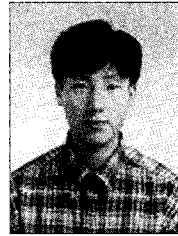
1986년~1998년 금호타이어 기술연구소.
1999~현재 (주)세기엔지니어링 기술연구소 수석연구원.
주관심 분야 : 레이저 광학, 광섬유 계측시스템 개발 및 응용, 광센서 기술개발



권 일 범

1963년 5월 12일생.
1987년 한국항공대학교 항공 기계공학과 졸업(공학사).
1989년 한국과학기술원 기계 공학과 졸업(공학석사).
1997년 한국과학기술원 항공 우주공학과 졸업(공학박사).

1989년~1992년 포항산업과학연구원 강재연구부.
1997~현재 한국표준과학연구원 산업측정표준부 시설안전계측연구센터 선임연구원.
주관심 분야 : 광섬유 센서 개발 및 응용, 구조 안전 감시기술, 인공지능 응용



정 철

1974년 1월 4일생.
1996년 호서대학교 정보통신 공학부 졸업(공학사).
1998년 호서대학교 정보통신 공학과 졸업(공학석사).
1999년~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정 재학중.

주관심 분야: 광섬유 센서 시스템, 장주기 격자 소자, 광통신

유 재 왕

1975년 1월 23일생.
1996년 전북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사).
1998년 전북대학원 전기공학과 졸업(공학석사).
1998년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정 재학중.

주관심 분야: 특수광섬유 제작 및 광섬유 소자 제작