뉴로-퍼지 알고리즘을 적용한 광파이버 유도 브릴루앙 산란 센서의 신뢰도 향상에 관한 연구

論 文
57-1-16

Implementation of Stimulated Brillouin Scattering in Optical Fiber Sensor for Improved Stability by Using Neuro-Fuzzy Theory

黃 梗 準† · 廉 景 太* · 金 鎔 甲**
(Kyoung-Jun Hwang · Keong-Tae Yeom · Yong-Kab Kim)

Abstract - This is a research to apply 1310nm single-mode optical fiber to a temperature sensor. The existing study of optical fiber sensor is complicated because it was made with various equipment. To vary scattering, the variation of optical frequency is measured by using Bragg(lattice) or pulse generator and also bulk system is created by YAG laser but there were some difficulties creating experimental environment and it was a problem that the stability of measured data was low. The temperature sensor system using the suggested sBs(stimulated Brillouin scattering:sBs) from this research is much more simplified straight-line system. To improve the trust and accuracy of noises from optical frequency and unclear results, it was analysed by using Neuro-Fuzzy algorithm. we tried to get more correct data than existing system. sBs measure that optical frequency changed due to the variation of temperature. The analyzed change rate of outcome by Fuzzy theory is 1.1 MHz.

Key Words : Scattering, stimulated Brillouin, Fiber optics sensors, Optical data processing

1. 서 론

광섬유에 유도되는 비선형 광학 현상들 중 하나인 유도 브릴루앙 산란(stimulated Brillouin scattering; SBS)은 고체, 액체, 기체, 그리고 플라즈마 상태에서 광범위하게 관찰된다. 특히, 1990년대에 들어서면서 광섬유에서 나타나는 SBS가 주목을 받기 시작하면서 많은 연구가 이루어졌다[1,2]. sBs 현상은 매질의 phonon과 빛의 상호작용에 의해 입사광이 산란되는 현상으로, 산란광, 신호광, phonon의 위상정합조건에 의해서 신호광이 진행하는 방향과 반대 방향으로 산란이 가장 잘 일어난다. 일단 입사되는 빔의 출력이 SBS가 일어나기 위한 문턱 값을 넘을 때 지수적으로 증가하고, SBS는 고출력으로 갈수록 상당한 손실을 초래하게 된다[3,4]. 만약 SBS로 인한 손실을 효과적으로 제어할 수만 있다면, 광섬유에서 시스템이 간단한 광센서로 활용 할 수 있을 것이다. 기존광섬유센서의 연구는 복잡한 여러 가지 기기를 이용하여 구성된 시스템이었다. 그리고 산란 변화를 주기 위하여 Bragg격자나 Pulse generator를 이용하여 광주파수의 변화를 측정하거나, YAG 레이저를 이용 벌크형 시스템을 택하여 구성하였는데 실험 환경을 구성하는 어려움과 측정된 데이터의 정확도에 대한 문제점이 있었다[5,6]. 브릴루앙 산란은 이러한 특성으로 인하여 광섬유를 이용하는 광통신과 광센서의 여러 응용분야에서 연구의 대상으로 주목 받고 있다. 특히 광섬유의 위치에 따라 달라지는 온도, 압력, 스트레인 등을 실시간으로 측정할 수 있는 연구가 점진적으로 진행되고 있다[7,8,9].

광섬유 내의 브릴루앙 산란을 이용하여 광섬유의 길이에 따른 물리적 정보를 측정하는 광섬유 센서 기술로는 OTDR(Optical time domain reflectometry)[10]과 OTDA(Optical time domain analysis)[8]등이 보편적으로 사용되는데, 이들 방식에서는 유도 브릴루앙 산란을 이용하여 광섬유의 길이에 따른 온도, 압력, 스트레인 변화 등의 물리적 정보를 측정할 수 있다. 이는 장거리에 걸쳐 측정이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 이러한 시스템에서 측정된 데이터를 뉴로-퍼지를 이용하여 분석하면 보다 정확성을 높일 수 있어 센서로써의 안정된 데이터를 검출 할 수 있을 것이다. 간소화된 시스템을 제안하여 sBs 빛의 산란 특성 광주파수가 온도에 변화에 대해 각각의 온도 변화당 천이가 이루어졌음을 측정하는데, 광파이버 센서시스템을 구축하여 신뢰도와 정확성을 높이는데 연구의 중점을 두었으며, 본 연구에서 제안한 sBs광을 이용한 온도센서 시스템은 기존의 측정방식 보다 간소화된 직렬방식의 시스템이다. 광주파수에서 발생하는 노이즈와 애매한 결과에 대해서 신뢰성과 정확도를 확보하기 위하여 지능형인 뉴로-퍼지 알고리즘을 이용하여 분석함으로써 기존 시스템 보다 정확한 데이터를 얻고자 하였다.

2. 본 론

본 연구에서 구축한 OF 센서 시스템으로 온도에 변화에 대한 테스트를 할 것이다. 실험에 대해 설명하면 다음과 같다. 측정 분석 실험환경은 외부온도변화에 대한 영향을 줄

† 교신저자, 學生會員 : 圓光大 工大 電子材料工學科 博士課程
E-mail : junidotcom@hotmail.com
* 學生會員 : 圓光大 工大 電子材料工學科 博士課程
** 正 會 員 : 圓光大 工大 電氣電子 및 情報工學部 敎授 · 工博
接受日字 : 2007年 10月 22日
最終完了 : 2007年 11月 26日

이고 데이터의 정확성을 기하기 위하여 실내온도 상온 20℃인 실험실에서 실험하였다. 광원은 연속광 레이저 중 장파장의 중거리 레이저소스(1310nm)를 사용 하였고, 실험재료는 LiteSpec G Zeanq2 40km의 일반 광 측정용으로 쓰이고 있는 단일모드(SM: single mode) 광파이버를 사용하였다. 또한 실험 중 환경변화를 감안하여 항온/항습 챔버를 이용하여 일정한 시간적인 간격과 일정한 주기를 주어 정확성을 높였다. 온도는 25℃~ 69℃의 변화를 주고 시간에 대한 환경변화를 고려 1℃ 당 30분의 간격을 주었다. 그 이유는 온도변화에 따른 온도 변화차를 고려하여 시간의 간격을 충분히 유지 하였다. 그 결과 온도변화에 대한 실험 결과치의 오차변화 분은 무시하기로 했다.

실측된 유도 브릴루앙 산란이 측정되어 온도의 의해 변화가 되는 표 1은 실험데이터 밑에 각 구간별 변화율로 도표화 하였다.

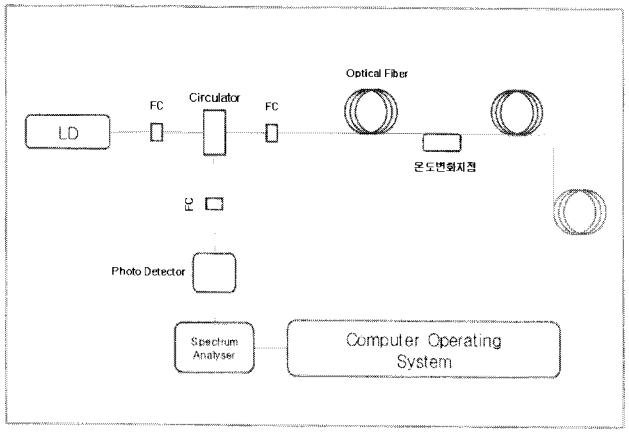

그림 1 광섬유 온도센서 시스템
Fig. 1 Optical Fiber Temperature System

그림 1은 실험을 구성하기 위하여 나온 시스템 도이다. 광섬유 온도센서 시스템에서 루프 광센서방식이 아닌 직선형 광센서방식을 이용하였다.

2.1 유도 브릴루앙 산란

본 실험에서 직선형 광센서 방식을 설명하면 다음과 같다. 직선형 광센서 방식.

$$G_B P_0^{cr} L_{eff}/A_{eff} \approx 21 \quad (1)$$

이 방정식은 입사된 Stokes 신호가 SBS 결과로 발생하는 브릴루앙 증폭 때문에 후방 방향에서 어떻게 자라는지를 보여준다. 실제로 어떤 신호도 일반적으로 생기지 않고(광섬유가 브릴루앙 증폭기로 사용되지 않는다면) Stokes 파는 광섬유를 통해 발생하는 임의의 브릴루앙 산란이나 잡음이 생기게 한다. 이것은 이득이 광섬유 손실과 정확히 일치하는 거리에서 모드 당 가공 포논을 주입함으로써 동일해 진다. 브릴루앙 임계값은 다음 관계에 의해 얻어진 중요한 펌프 강도 P_0^{cr}에서 발생된다. 여기서 G_B는 브릴루앙 이득, A_{eff}는 코어의 유효 단면적이고, L_{eff}은 유효 상호 길이로 주어진다. 이 방정식의 21이라는 수는 브릴루앙 이득 선폭의 정확한 값에 의존해서만 존재한다. 이는 또한 펌프와 Stokes 파가 광섬유를 따라 편극을 유지하든지 그렇지 않든 간에 의존하여 1과 2 사이의 인자에 의해 증가할 수 있고, Brillouin 임계값에서 1.5배 증가에 의해 편극이 완전히 제거될 때 발생한다. 그럼에도 불구하고 위의 방정식은 브릴루앙 임계값 측정에 매우 중요하다. 식은 중요한 펌프 강도 $P_0^{cr} \simeq 1mW$ 이다. 매우 낮은 브릴루앙 이득이 광섬유에서 SBS를 우세한 비선형 과정으로 만들 수 있다.

측정에 있어서 가장 중요한 것은 센서의 장점을 위한 좁은 선폭, 잡음제로, 그리고 컴퓨터 논리인 "0"와 "1" 값처럼 정확하게 실측하였다. 아래의 식은 광파이버센서의 구성 장치도에 따라 측정 오차가 다름을 보여주는 수식과 실제 실험 셋업 장치이다. 실험방법에 따라 변화가 큰 것을 알 수 있는데 본 실험은 광센서 직선형센서 방식에 따라 테스트하였다.[10]

브릴루앙 천이는 $\Omega_B = 4\pi\bar{n}(v_A/\lambda_p) = 2\pi v_B$ (2)

주파수와 파동벡터는 에너지와 운동량 보존법칙을 만족하며, 여기서 브릴루앙 주파수 천이를 이용하여 sBs 비선형 방정식을 풀기 위하여 브릴루앙 천이 피크 Ω_B는 $\Omega_B = \omega_p - \omega_s$로 ω_p와ω_s는 각각 펌프와 stokes 펄스의 중앙에 위치한 주파수이다. 브릴루앙 Shift 식 $V_B = \Omega_B/2\pi = 2nv_A/\lambda_p$를 이용하여 풀이하면 다음과 같은 브릴루앙 주파수 천이 방정식을 구할 수 있다. $\Omega_B = 4\pi\bar{n}(v_A/\lambda_p) = 2\pi v_B$ 여기서 v_A광섬유 내에서 음파의 속도이고, λ_p단일펌프 펄스파장, $\bar{n}$은 1.45 유리의 투과율 갖는다. sBs는 다음 4가지의 비선형 식에 영향을 주게 된다.

$$\frac{\partial E_p}{\partial_z} + \frac{1}{v_q}\frac{\partial E_p}{\partial_t} = -q_B E_S^- Q + i\Gamma(|E_p|^2 + 2|E_s^+|^2 + 2|E_s^-|^2)E_p \quad (3)$$

$$-\frac{\partial E_s^-}{\partial z} + \frac{1}{v_q}\frac{\partial E_s}{\partial t} = q_B^e E_p Q^* + i\delta E_s^- + ik^* E_s^+ + i\Gamma(|E_s^-|^2 + 2|E_p|^2 + 2|E_s^+|^2)E_s^- \quad (4)$$

$$-\frac{\partial E_s^+}{\partial z} + \frac{1}{v_q}\frac{\partial E_s^+}{\partial t} = i\delta E_s^+ + ikE_s^- + i\Gamma(|E_s^+|^2 + 2|E_p|^2 + 2|E_s^-|^2)E_s^+ \quad (5)$$

$$\tau_A\frac{\partial Q}{\partial t} + Q = E_p E_s^{-*} + Q_0, \quad (6)$$

여기서 $V_q = c/\bar{n}$는 군속도이고, 결합계수 k, 비선형 파라미터 Γ, 그리고 디터닝 파라미터 δ는 다음과 같이 정의된다.

$$k(z) = \frac{\pi n_1}{\lambda},\ \Gamma = \frac{2\pi}{\lambda}n_2,\ \delta = k_s - k_B, \quad (7)$$

광자-음자(phonon)결합$q_B^e = \tau_A q_1 q_2$계수에 의해 지배되며, 여기서 n_0는 코어 굴절률, ρ_0평균 밀도, $P_{12} = 0.286$은 실리카 광섬유의 탄성-광학계수, τ_A는 음자 수명, $Q = \rho/(iq_2\tau_A)$는 음파의 정규화 된 진폭, 그리고 $Q_0 = f(z,t)/(iq2)$는 sBs를 이끄는 열 변동을 표시한다.[11-13]

2.2 뉴로-퍼지

다음과 같이 sBs가 측정될 수 있도록 정의하여 실험구성을 하였다. 실험에서 얻어진 결과는 표 1로 표현하였다. 측정데이터의 신뢰도와 정확도를 높이기 위해서 뉴로-퍼지 시스템을 적용하였다. 비선형 시스템에 대해서 언어적으로 규칙을 서술할 수 있고, 그에 따른 퍼지수가 정의된다면 그 언

어적인 규칙에 근거해 비선형 시스템도 모델링이 가능한 것이다. 이렇게 구해진 퍼지 모델을 통해서 어떠한 입력이라도 넣어주면 결과를 얻을 수 있다. 이 과정이 추론(reasoning 또는 inference)이다. 퍼지 추론은 크게 직접법과 간접법으로 구별할 수 있다. 직접법에서는 애매함을 퍼지관계로 나타내는 것에 기초를 두고, 간접법에서는 진리치 공간을 매개로 하여 추론을 정식화하고 있다. 따라서 본 논문에서는 비선형 시스템 모델 및 제어에 유용한 직접법을 이용하였다. 직접 추론법에는 직접법, 간략추론법, 선형추론법, 변형된 선형 추론법이 있는데, 각각 다음과 같은 규칙 형태를 갖는다.

직접법(Direction Reasoning method)

If x is A and y is B, Then z is C

(A, B, C는 멤버쉽 함수(퍼지수), x, y는 전반부 변수, z는 후반부 변수.)

간략추론법(Simplified Reasoning method)

If x is A and y is B, Then x is C

(A, B는 멤버쉽 함수, C는 실수(상수), x, y는 전반부 변수, x는 후반부 변수.)

선형추론법(Linear(Mixed) Reasoning method)

If x is A and y is B, Then z is ax+by+c

(A, B는 멤버쉽 함수, x, y는 전반부 변수, x는 후반부 변수, a, b, c는 후반부 선형식의 계수(혹은 파라미터))

변형된 선형추론법(Modified Linear Reasoning method)

If x is A and y is B, Then z is aW+b

(A, B는 멤버쉽 함수, x, y는 전반부 변수, x는 후반부 변수, W는 전반부 적합도, a, b는 후반부 선형식의 계수.)

여기서 적합도란 입력 값과 멤버쉽 함수와의 계수이다. 예를 들어 '뜨겁다' 를 나타내는 멤버쉽 함수를 기준으로 '따뜻하다'가 여기에 0.7정도 소속된다고 한다면 여기에서의 적합도는 0.7이 된다. 수치 표현의 예를 보면 그림 3에서 6.2라는 값이 입력되었을 때의 적합도는 0.6이다[14,17].

이러한 퍼지관계를 보다 지능적으로 처리 할 수 있게 인간의 뇌신경과도 같은 뉴런에 접목하여 뉴로-퍼지 알고리즘으로 적용을 시켰다.

$$y = f(\sum_{k=1}^{n} x_k w_k + b) \tag{7}$$

여기서 x_k는 입력 벡터이고 w_k는 뉴런들에 입력을 연결하는 가중치이고, b는 임계값을 나타낸다. 보통 이러한 함수는 연속성을 가지며, 단조 증가하는 형태를 가진다. 곱의 결과인 $d_k = x_k w_k$는 뉴런에 대한 나뭇가지 모양의 입력이라 할 수 있다. 퍼지 뉴런의 경우에 이러한 나뭇가지 모양의 입력은 입력과 가중값의 함수가 된다. 이러한 확률적 합과 같은 S-노옴 또는 적(product)과 같은 T-노옴이 될 수 있다. 함수의 선택은 사용될 퍼지 뉴런의 형태 종속된다[15].

S-노옴 : (1) 확률적합 : $d_k = x_k S w_k = x_k + w_k - x_k w_k$ (8)

(2) OR : $d_k = x_k S w_k = x_k \vee w_k = \max(x_k, w_k)$ (9)

T-노옴 : (1) 적 : $d_k = x_k T w_k = x_k * w_k$ (10)

(2) AND : $d_k = x_k T w_k = x_k \wedge w_k = \min(x_k, w_k)$ (11)

나뭇가지 형태의 입력은 어떤 선택된 연산자를 사용하여 통합되어진다. 가장 간단한 형태로서 이러한 연산자는 가산 연산자이지만, min과 max와 같은 다른 연산자들도 공통적으로 사용된다.

가산 통합 연산자: $I_j = \sum_{n=1}^{n} d_k$ (12)

min 통합 연산자: $I_j = \bigwedge_{k=1}^{n} = \min(d_k)$ (13)

max 통합 연산자: $I_j = \bigvee_{k=1}^{n} = \max(d_k)$ (14)

퍼지 뉴런 출력 y_i 는 내부 활동 I_j 와 뉴런의 임계 수준의 함수이다. 이러한 함수는 수치적인 것일 수도 있고, T-노옴 또는 S-노옴 일 수 도 있다.

$$y_i = \Phi(I_j, T_j) \tag{15}$$

퍼지 뉴런에서 상이한 연산자들의 사용은 뉴런이 여러 가지 기능들을 가질 수 있도록 한다. 예컨대 하나의 퍼지 뉴런의 출력이 "작음" 또는 "빠름"과 같은 입력 벡터의 언어적인 표현이 될 수 도 있다. 이러한 언어적인 표현은 퍼지 뉴런들의 다음 층에 의해 처리되어서 특정 관계를 모형으로 나타낼 수 있도록 한다[15,16].

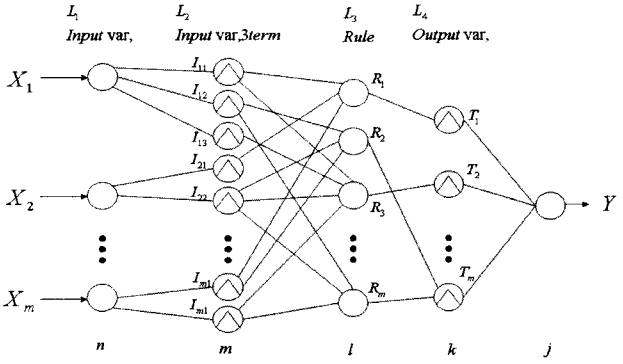

그림 2 뉴로-퍼지 레이어

Fig. 2 Neuro-Fuzzy Layer.

시냅스 입력(X)는 일반적으로 퍼지집합에 대한 귀속 정도를 나타내고, 0과 1사이의 범위 값을 가진다. 나뭇가지 모양의 입력(d) 또한 범위 [0,1]에서 정상적인 한계를 가지게 되며, 퍼지집합에 대한 귀속정도를 나타내게 된다. 그림 4에서 나뭇가지 형태의 입력은 흥분 및 억제 신호를 생성할 수 있도록 수정되어진다. 이것은 1에서 빼는 것과 같은 연산을 통해 얻어질 수 있다. 임계값은 가중치 값을 1또는 0으로 놓는 방식으로 T-노옴과 S-노옴 연산을 사용하여 수행될 수 있다. 표준형의 인공 뉴런에서 임계값은 입력이 1인 더미 노드에 대응된다. 유사하게 퍼지 뉴런에서 임계값은 하나의 더미 입력값 에 대응되는 가중치가 된다. 예컨대 하나의 T-노옴에 관한 임계값은 그것에 관한 더미 입력으로 1을 가질 수 있다. 반면에 S-노옴을 사용하는 경우에 그것에 관한 더미 입력은 0이 된다. 이를 기초로 하여 임계값은 내부 활동에 전파되고, 활동함수 연산자에 따라서 뉴런 출력에 영향을 미치게 된다. 활동함수 또는 전달함수는 내부 활동으로부터 뉴런 출력으로서의 사영 연산자라 할 수 있다. 이러한 사영은 하나의 언어적 변형자에 대응된다. 예컨대 입력이 수행 등급으로 가중되는 경우에 언어적인 변형자 more-or-less는 통합된 값을 보다 강하게 한다. S-노옴과

T-노옴이 보통 사용된다. 하나의 S-노옴 통합과 하나의 T-노옴 전달함수를 수행한다. 가장 보편적으로 사용되는 퍼지 뉴런은 AND 와 OR 뉴런이다. AND 뉴런은 나뭇가지 모양의 입력과 가중치 상에서 S-노옴 연산의 적용 결과에 관해 T-노옴 연산들이 수행될 수 있지만, 보통 max와 min 연산자들이 사용된다. 훈련루틴이 수행되는 경우에 예외적으로 미분 가능한 함수가 사용될 수 있다.

AND 뉴런 표현은 다음 식과 같다.

$$z_k = T_{i=1}^{n}(x_i Sw_{ki}) \tag{16}$$

OR 뉴런은 나뭇가지 모양의 입력과 가중치 상에서 T-노옴 연산을 수행하고 나서 T-노옴 연산의 출력 결과에 S- 노옴 연산을 수행한다. 즉

$$z_k = S_{i=1}^{n}(x_i Tw_{ki}) \tag{17}$$

AND 와 OR 뉴런들은 층들에 배열될 수 있고, 이러한 층들은 다층 퍼지 신경망 의 형성을 위한 네트워크로 배열될 수 있다. 뉴로-퍼지 시스템에서 분석한 결과는 표 2와 같이 출력되었다.

2.3 실험결과

실험 환경과 시스템을 이용하여 실험한 결과를 이용하여 뉴로-퍼지 시스템으로 분석하여 얻은 결과에 대해 설명하면 다음과 같다.

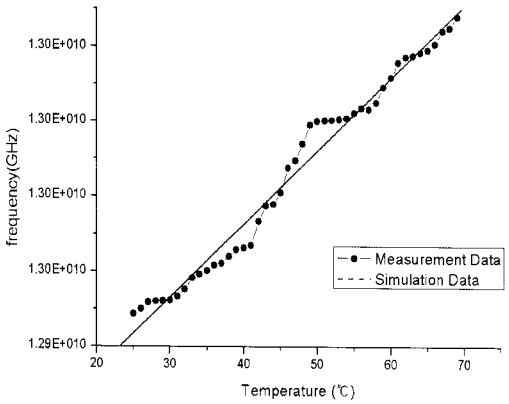

그림 3 시스템에서 측정된 결과 그래프.

Fig. 3 The result graph in the system.

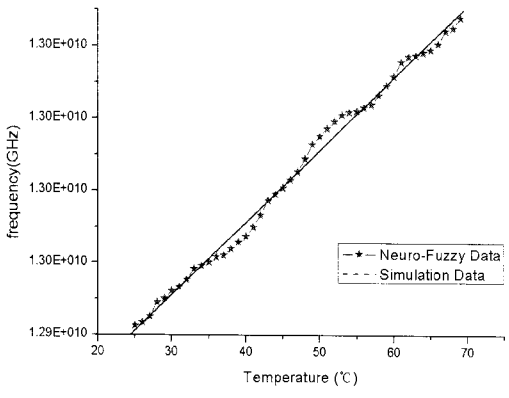

그림 4 뉴로-퍼지 알고리즘을 이용하여 분석된 온도변화당 주파수천이현상과 시뮬레이션그래프

Fig. 4 The result graph by improvement of resolution.

그림 3은 표 1의 데이터를 활용하여 각각의 온도변화에 따른 변화를 그래프로 분석하였다. 제안된 시스템에서 측정한 데이터와 측정프로그램에서 출력된 주파수의 천이가 일어남을 알 수 있다.

표 1 광섬유센서 시스템에서 측정된 데이터

Table 1 Measurement data in optical fiber sensor system.

온도	주파수	온도	주파수
25	12942600000.00	48	12989000000.00
26	12943500000.00	49	12993000000.00
27	12945200000.00	50	12995200000.00
28	12949070000.00	51	12997310000.00
29	12950100000.00	52	12999330000.00
30	12952330000.00	53	13001100000.00
31	12953330000.00	54	13001830000.00
32	12955330000.00	55	13002170000.00
33	12958330000.00	56	13003170000.00
34	12959170000.00	57	13004000000.00
35	12960170000.00	58	13006500000.00
36	12961670000.00	59	13009170000.00
37	12962170000.00	60	13011670000.00
38	12964000000.00	61	13015670000.00
39	12965830000.00	62	13017170000.00
40	12967430000.00	63	13017500000.00
41	12970000000.00	64	13018330000.00
42	12973330000.00	65	13019000000.00
43	12977400000.00	66	13020670000.00
44	12979160000.00	67	13024170000.00
45	12980930000.00	68	13025000000.00
46	12983100000.00	69	13027830000.00
47	12985400000.00	70	

표 2 뉴로-퍼지 알고리즘으로 분석시켜서 얻은 데이터

Table 2 Analyzed Neuro-Fuzzy data.

온도	주파수	온도	주파수
25	12947330000.00	48	12995000000.00
26	12950030000.00	49	12998000000.00
27	12951830000.00	50	13000100000.00
28	12952070000.00	51	13000370000.00
29	12952100000.00	52	13000440000.00
30	12953330000.00	53	13000600000.00
31	12954330000.00	54	13000730000.00
32	12956330000.00	55	13001170000.00
33	12957330000.00	56	13004500000.00
34	12959160000.00	57	13005170000.00
35	12960170000.00	58	13006000000.00
36	12961670000.00	59	13007170000.00
37	12962170000.00	60	13011470000.00
38	12963000000.00	61	13015470000.00
39	12964830000.00	62	13015170000.00
40	12966330000.00	63	13016500000.00
41	12969000000.00	64	13019930000.00
42	12974330000.00	65	13020000000.00
43	12979500000.00	66	13021670000.00
44	12984930000.00	67	13023570000.00
45	12987030000.00	68	13026000000.00
46	12987500000.00	69	13027830000.00
47	12989500000.00	70	

sBs 측정프로그램으로 온도변화에 대한 주파수가 천이가 발생한 그래프를 출력한 것이다. 이러한 그래프에서 나타난 주파수를 정량적으로 표 1에서와 같이 나타내었다. 이러한 데이터를 얻기 위하여 수차례 반복적으로 실험을 하여 데이터에 대한 정확도와 신뢰도를 높였다. 오차범위에 대한 신뢰도를 향상하는데 온도 간격을 30분으로 진행하였고, 고분해능을 얻기 위하여 똑같은 온도에서 컴퓨터 연산처리를 거쳐 범위 변화에 대한 오차를 1.1MHz까지 축소 할 수 있었다 [18]. 표 2의 데이터를 활용하여 각각의 온도변화에 따른 변화범위를 그래프로 분석하였으며, 측정시스템에서 얻어진 결과를 뉴로-퍼지로 분석하여 얻어진 결과가 표 1과 그림 5에

서 나타내었다. 이는 연결하는 프로그램에서 연산처리를 거친 데이터 결과로써 분석이 향상되었음을 증명하였다.

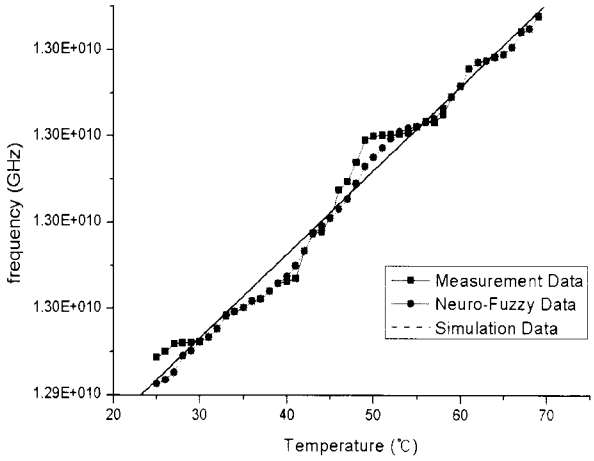

그림 5 실측데이터와 뉴로-퍼지 분석된 온도변화당 주파수 천이현상과 시뮬레이션그래프.

Fig. 5 Real-measured data and changing temperature graph analyzed by Neuro-Fuzzy.

그림 5는 제안된 시스템에서 실측된 데이터와 뉴로-퍼지를 이용하여 분석하여 얻은 결과를 같이 보여주고 있다. 알고리즘으로 연산하여 실측된 데이터의 정교함을 높이고 신뢰도를 향상시키기 위하여 그래프에 나타낸 것이다.

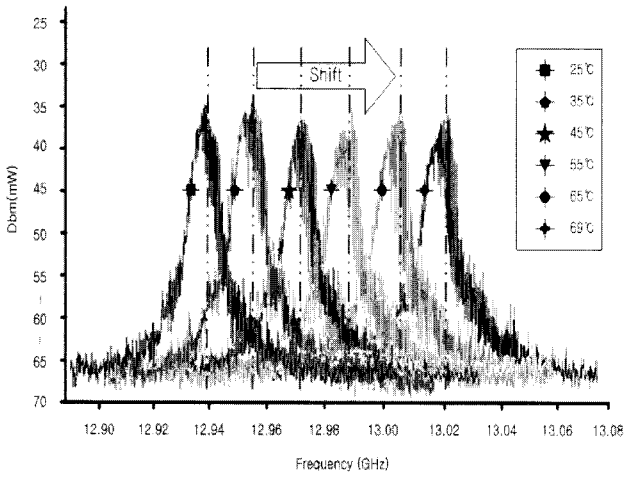

그림 6 제작한 프로그램으로 온도 변화에 대해 주파수가 천이 현상 측정.

Fig. 6 Frequency shift per temperature using developed program.

그림 6과 같이 주파수 천이가 일어나고, 온도가 낮아질수록 원점으로 돌아온다는 사실을 알 수 있었다. 이는 길이 40Km에서 12.94867000Hz~13.2783000Hz의 주파수 범위를 갖는 온도변화에 대한 주파수 천이이다.

3. 결 론

제안된 시스템에서 측정된 데이터를 뉴로-퍼지 알고리즘을 이용하여 분석한 결과 온도범위에 대하여 온도가 올라갈수록 주파수 천이가 되어 Shifte가 일어나고, 온도가 낮아질수록 원점으로 돌아온다는 사실을 알 수 있었다. 길이 40Km에서 12.94867000Hz~13.2783000Hz의 주파수 범위를 갖는 온도변화에 대한 주파수 천이가 일어났다.

이러한 결과를 판단하면, 광섬유센서의 강점인 비전자기파 기술 및 기존기술대비 시스템안정성확보, 고감도, 고분해능 및 정밀분석도가 향상 되었으며, 연구개발한 시스템을 이용한 실험에서 데이터를 분석한 결과 온도 변화에 대한 범위를 주었을 때 브릴루앙 산란 천이가 정확하게 일어난다는 사실을 알 수 있었다. 그리하여 유도 브릴루앙 산란파를 이용하여 광섬유센서로써 활용이 가능하다는 사실을 얻을 수 있었다.

실험결과 데이터만으로도 온도 당 주파수 천이 변화율은 1.1MHz로 온도에 대한 정확한 진단이 가능함을 알 수 있었으며, 특히 진단을 위해서 지능형 뉴로-퍼지 알고리즘을 적용하여 분석을 하여 보다 정확도 높고 신뢰성이 있는 진단을 얻을 수 있었다. 계속적인 실험을 위하여 기존 입력파워보다 고출력의 레이저를 사용하면 더 안정된 시스템으로 자리를 잡을 것으로 판단된다. 그리고 본 논문에서 제시한 시스템을 이용하면 기존 직선형 방식보다 시스템을 간소화하고, 컴퓨터 프로그램으로 진단이 가능하여 비 전문가도 사용이 가능하기 때문에 보편하게 사용 할 수 있을 것이다.

결과를 이용하여 모의실험 환경을 측정하기 위해 외부 온도를 +20℃로 설정하고 온도변화에 대해 약 2초 간격으로 2시간 동안 측정을 하였다. 외부의 물리적 변화가 없을 시 약10℃에서 주파수인 12952330000.00Hz (외부온도+측정온도) 정지하였는데 약 2~3℃의 변화만 관측되었다. 이러한 실험의 결과를 도출 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

[1] R. G. Harrison, J. S. Uppal, A. Johnstone, and J. V. Moloney,"Evidence of chaotic stimulated Brillouin scattering in optical fibers", Phys. Rev. Lett. 65, 167, 1990.

[2] C. C. Chow and A. Bers,"Dynamical analysis of Brillouin fiber lasers: An experimental approach", Phys. Rev. A 47, 5144, 1993.

[3] G. P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, 3rd ed. Wiley-Interscience, New York, 2002.

[4] 김향균, 이창희, 한정희, "광섬유에 유도되는 stimulated Brillouin scattering 현상이 광전송 시스템에 미치는 영

향 측정 및 제거", The Journal of Optical Society of Korea, Vol 7,Number 1, March. 1996.
[5] 이현욱, 송민호, 이준호, "광섬유격자 온도센서의 정밀도 개선", 한국광학회, Vol 17, Num 3. June. 2006.
[6] 윤승철, 서민성, 박희갑, "공간 선택적 브릴루앙 산란을 이용한 분포형 광섬유 센서의 시뮬레이션" 한국광학회, Vol17, Num 2, April. 2006.
[7] D. Culverhouse, F. Farahi, C.N. Pannell, D.A. Jackson, "Potential of stimulated Brillouin scattering as sensing mechanism of distributed temperature sensor", Electron. Lett. 25, p.913, 1989.
[8] X. Bao, D.J. Webb, D.A. Jackson, "22-km distributed temperature sensor using Brillouin gain in an optical fiber", Opt. Lett. 18,p.552, 1993.
[9] V. Lecoeuche, D.J. Webb, C.N. Pannell, D.A. Jackson, "A simple and efficient technique for an offset frequency shifter for Brillouin based distributed fiber sensing", Proceedings of OFS, p. 332, 1997.
[10] T.horiguchi, T. Kurachima, and M.Tateda, " Tensile strain dependence of Brillouin Frequency shift in silica optical fibers, "IEEE Phonon. Technol. Less., vol. 1, no. 5, pp. 107-108, 1989.
[11] A. HÖÖk and A. Bolle, Transient dynamics of stimulatedBrillouin scattering in optical communication systems , J.Lightwave Technol., vol. 10, pp. 493-502, 1992.
[12] 이호준, "샘플링 광섬유 Bragg 격자를 이용한 광섬유 내의 유도 Brillouin산란억제" Hankook Kwanghak Hoeji, Volume 16, Number 6, pp. 485-489, December 2005.
[13] Seungho Go*, Hojwn Lee*, Kisoo Kim* "ILFE Sensor using Laser Chirp and Arc-tangent Algorithm" P1.4, CLEO, Pacific Rim'99, pp. 328-329, 1999.
[14] C.C.Lee, "Fuzzy logic in control systems : Fuzzy logic controller-part I." IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.20(2), pp.404-418,1990.
[15] T. Tokagi, "Introduction of fuzzy systems, neural networks, and genetic algorithms," Intelligent Algorithms: Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms, D. Ruan(eds.), Kluwer Academic Publish-ers, 1997.
[16] A.S. Basu, S.K. Majumdar, K.L, "Robust classification of multispectral data using multiple neural networks and fuzzy integral", Kumar, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on On Volume: 35, Issue: 3, pp. 787-790, 1997.
[17] Yong K. Kim, et. al, "Transient Control of SBS Chaotic Instability in Optical Fiber Communication Systems", Orlando Florida USA, SCI-2004 Pro. Vol. 6, pp.366-369, 2004.
[18] 황경준, 이현룡, 염경태, 김관규, 박종현, 김용갑 " 광섬유 내의 유도 브릴루앙 산란광을 이용한 실시간 온도 모니터링에 관한 연구" COOC2007(광전자 및 광통신 학술회의), TP-7, pp94-95, May, 2007.

저 자 소 개

황 경 준 (黃 梗 準)

1976년 9월 5일생. 2004년 원광대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2006년~현재 동대학 전자재료공학과 대학원 석사과정.
Tel : 063 - 850 - 6695
Fax : 063 - 850 - 6074
E-mail : junidotcom@hotmail.com

염 경 태 (廉 景 太)

1982년 2월 15일생. 2007년 원광대학교 전기전자 및 정보 공학부 졸업. 2007년 현재 동대학 전자재료공학과 대학원 석사과정.
Tel : 063 - 850 - 6695
Fax : 063 - 850 - 6074
E-mail : yorko1578@nate.com

김 용 갑 (金 鎔 甲)

1988년 아주대학교 전자공학과 공학사.
1993년 알라바마 주립대학교 공학석사.
2000년 노스캐롤라이나 주립대 공학박사.
2003년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수.
2006년~현재 원광대학교 Post-BK21 사업단(팀)장.
Tel : 063 - 850 - 6695
Fax : 063 - 850 - 6074
E-mail : ykim@wonkwang.ac.kr