

## 다중화 Fabry-Perot 간섭형 광섬유 센서 시스템

나도성 · 예윤해

경희대학교 전자정보학부, 레이저공학연구소

이동영 · 박광순

한국해양연구소 연안공학연구센터

(1999년 3월 17일 받음, 1999년 6월 30일 수정본 받음)

광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 센서로 하는 TDM 다중화 광섬유 압력/온도 센서시스템을 개발하고, 이 시스템을 이용하여 수위와 온도 측정실험을 행하였다. 측정시스템의 측정속도는 측정데이터를 저장하지 않는 경우 최대 초당 4500회이며, 센서의 응답속도는  $\sim 1$  ms로 추정된다. 압력센서와 온도센서의 특성은 이론적 추정치와 비교하여 각각 +13.7%, -18%의 차이를 보였으며, 반복실험을 통하여 선형화한 후의 선형화 오차는 1%이내, 온도의 변화가  $0.1^{\circ}\text{C}$ 이내 일 때 수위측정의 오차는  $\pm 0.3$  cm이며, 수위측정에 대한 시스템 잡음은 측정하지 않았다. 온도센서의 시스템 잡음은  $0.1^{\circ}\text{C}$ 이내였으며, 이 시스템을 이용하여 수위 및 온도 변화량에 대한 고속 측정실험을 수행할 결과 예상된 결과를 얻을 수 있었다.

### I. 서 론

간섭형 광섬유 센서는 측정량의 변화가 간섭계를 이루는 기준압과 센싱압간의 위상차의 변화로 나타나며, 측정량의 차이는 scale factor의 차이로만 나타나므로 측정변수가 다른 경우에도 동일한 신호처리를 사용할 수 있다. 따라서 간섭형 광섬유 센서시스템을 다중화 시스템으로 구성할 경우 이 시스템은 여러 종류의 측정량을 여러 지점에서 동시에 측정할 수 있는 다중 다중 센서 시스템으로 구성될 수 있다. 따라서 광섬유 간섭형 센서시스템을 고가의 광원과 광검출기를 포함하는 광학 시스템을 여러 개의 센서가 공유하는 형태로 구성하여 기존의 전기적 센서와 경쟁하는 것도 가능하다.<sup>[1-3]</sup>

다중화 센서시스템에서 센서배열로부터의 출력신호는 각 센서 신호가 시간축 또는 스펙트럼 상에서 분리되어 서로 섞여 있는 상태이며, 따라서 특정 센서의 신호를 분리해 내기 위해 Time Division Multiplexing (TDM), Wavelength Division Multiplexing (WDM) 등과 같은 다중화 방식을 사용한다. 다중화 센서 시스템의 구성에서 Fabry-Perot(FP) 간섭계를 센서로 채택할 경우 한 가닥의 광섬유로 신호처리장치와 센서배열을 연결할 수 있고, 간섭계에서의 반사광만으로 신호처리가 가능하여 필요한 광부품의 수를 최소화 할 수 있으며, 광효율 또한 뛰어나다.<sup>[4]</sup> FP 센서배열의 경우에는 TDM 다중화 방식이 주로 사용되나 이 경우 광원 측에 가까운 센서의 반사율이 변하면 후단 센서에 대한 입사광의 세기가 변하게 되어 센서간의 혼신을 피할 수 없으며, 이 문제는 FP형 다중화 센서가 다른 구조에 비해 갖는 단점이다. 그러나 센서간의 혼신이 문제가 될 경우 센서의 연결을 병렬식으로 채택하는 방법을 이용할 수 있다.

다중화 간섭형 센서에서 주로 사용되는 Mach-Zehnder(MZ) 간섭계의 경우 신호처리를 목적으로 위상 변조기를 사용할 수

있기 때문에 passive homodyne,<sup>[1]</sup> synthetic heterodyne<sup>[5]</sup> 등과 같은 일반적인 신호처리 기법을 사용하여 비교적 쉽게 신호처리가 가능하다. 그러나 FP 간섭계의 경우 일반적으로 간섭계의 길이 제한 때문에 위상변조기를 사용하는 것이 불가능하며, 사용 가능한 신호처리 기술 또한 제한되어 있다.

본 논문에서는 간섭형 광섬유 센서의 다중화 능력을 경제적으로 실현할 수 있는 디지털 신호처리를 갖춘 TDM 다중화 FP형 센서시스템의 구현에 관한 연구결과를 기술하였다. 이 연구는 발표된 데이터에 근거하여 감지원리 및 방식을 결정하고, 멀리 떨어져 위치해 있는 센서 배열로부터의 출력을 측정 변수로 바꾸기 위한 신호처리를 구성함과 동시에 실험적으로 검증하는 과정을 포함하며, 광섬유 압력센서와 온도센서를 대상으로 수행되었다.

### II. 광섬유의 광학 효과와 감지방식의 선정

거울 내장형 FP 광섬유 간섭계에서<sup>[6]</sup> 간섭계를 이루는 두 거울사이의 간격이  $L$ 일 경우 두 거울에서 반사된 반사파간의 위상차,  $\phi$ 는 광섬유 코어의 굴절률이  $n$ , 광 주파수가  $\nu$ , 그리고 진공 중에서 빛의 속도가  $c$ 일 때  $\phi = 4\pi nL\nu/c$ 로 계산된다. 광원의 간섭길이(coherence length)가  $2nL$  보다 훨씬 크고, 거울의 반사율이 각각  $R_1$  및  $R_2$  ( $R_1, R_2 \ll 1$ )인 경우 간섭계의 반사율  $R$ 은

$$R \sim R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \phi \quad (1)$$

로 근사된다.

광섬유의 굴절률과 길이가 변하게 하는 물리적 효과로는 광탄성 효과, 열광학 효과 및 열팽창, 그리고 스트레인 광학효과가 있으며, 간섭계를 특정 변수에 대한 센서로 사용하고자 할 경우 측정변수에 대해 감도가 높은 광학효과를 이용하고, 측

정변수가 아닌 요소들에 대해서는 영향을 받지 않도록 구성하여야 한다.

파장 1.3 μm의 광원을 채용한 광섬유 센서 시스템이 L=1.5 cm인 광섬유 FP 간섭계를 센서로 채택한 경우 높이 l [cm]의 물에 의한 수압, ΔT [°C]의 온도변화 및 ε [S]의 스트레인이 동시에 센서에 가해질 때 간섭계가 경험하는 위상차의 변화량 Δφ는 발표된 데이터로부터 아래와 같이 계산된다.<sup>14)</sup>

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \Delta\phi_p + \Delta\phi_T + \Delta\phi_\epsilon \\ &= 1.332 \times 10^{-4} l + 1.543 \Delta T + 1.74 \times 10^5 \epsilon \text{ [rad]} \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)에서 첫 번째 항은 광탄성효과, 두 번째 항은 열효과, 그리고 마지막 항은 스트레인 광학효과에 의한 위상차의 변화량이며, 이로부터 1°C의 온도변화에 의한 열광학 효과는 100 m이상의 수압변화에 의한 광탄성 효과의 크기에 상응하여 광탄성 효과를 이용한 압력측정은 곤란하다는 결론을 얻을 수 있다.

### III. FP 간섭형 센서의 신호처리

간섭계의 광경로차는 측정량뿐만 아니라 주변환경의 변화에도 영향을 받으며, 따라서 광섬유 간섭형 센서가 가질 수 있는 오차요인으로 센서부에서의 환경요인의 변화, 광섬유 내 유도광의 편광상태 변화, 광섬유에 가해지는 비틀림이나 구부림, 진동 등에 의한 광로 및 광세기의 변화, 광원의 세기 및 광주파수의 변화 등을 들 수 있다.

FP형 간섭계 센서의 경우 간섭계를 이루는 두 거울의 반사율이 편광과 무관한 경우 센서와 광학시스템과의 연결선 주변환경의 변화는 두 간섭계에 공통으로 작용하여 서로 상쇄된다. 따라서 측정점과 계측점이 멀리 격리되어있는 원격센서로 구성된 경우에도 FP형 간섭계 센서의 출력은 광원의 특성, 센서의 환경변화, 그리고 연결선의 손실변화의 영향만을 받는다.

FP 간섭형 센서의 신호처리를 설명하기 위해 간섭계에서의 광위상차, φ를 상수항, φ<sub>0</sub>와 광원의 주파수 변화에 의한 위상항, Δφ<sub>v</sub>를 포함시켜 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.<sup>17)</sup>

$$\phi = \phi_0 + \Delta\phi_T + \Delta\phi_p + \Delta\phi_\epsilon + \Delta\phi_v \quad (3)$$

여기서 Δφ<sub>T</sub>, Δφ<sub>p</sub>, Δφ<sub>ε</sub>는 각각 온도변화, 압력변화, 스트레인의 변화에 의한 위상항으로서 이를 측정신호 ε의 변화에 의한 Δφ<sub>ε</sub>와 그 외 일치 않는 물리량 즉, 온도 및 압력 등의 변화에 의한 잡음항 Δφ<sub>N</sub>, 그리고 광원의 광주파수 ν의 변화에 의한 Δφ<sub>v</sub>의 합으로 나누어 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \Delta\phi_\epsilon + \Delta\phi_N + \Delta\phi_v \quad (4a)$$

$$\Delta\phi_v \equiv \frac{4\pi nL}{c} \Delta\nu \quad (4b)$$

상수항과 위상잡음의 합을 φ<sub>0</sub> + Δφ<sub>N</sub> = δ로 정의할 때 Δν를 Δφ<sub>v</sub> = π/2의 조건을 만족하도록 광원의 구동전류를 이용하여 chirping의 광을 조절한 후 해당전류를 ON했을 때의 위상차는 φ<sub>ON</sub> = δ + Δφ<sub>ε</sub> + π/2가 되고, OFF일 때에는 φ<sub>OFF</sub> = δ + Δφ<sub>ε</sub>이

된다. 따라서 간섭계를 이루는 두 거울의 반사율이 같고 1보다 충분히 작을 때 간섭계로부터의 반사출력 I<sub>D</sub>(t)는

$$I_D(t) \propto \begin{cases} 1 + \cos(\delta + \Delta\phi_\epsilon) & \text{(OFF시)} \\ 1 - \sin(\delta + \Delta\phi_\epsilon) & \text{(ON시)} \end{cases} \quad (5)$$

와 같이 되어 서로 위상차가 π/2가 되는 두 특성곡선을 얻을 수 있으며, 이 2개의 특성 곡선을 이용하여 위상변화량을 계산할 수 있다.

### IV. 센서 시스템의 제작

#### 4.1. 센서시스템의 구성

그림 1에 보인 센서 시스템의 블록 구성에서 광원으로 사용된 LD (AT&T사, type 246)는 LD 구동부에 의해 동작온도가 제어되고, 직류 바이어스와 함께 펄스가 인가되어 펄스 변조된다. 변조된 광출력은 광섬유 결합기(DC1, 50:50)를 지난 후 또 다른 광섬유 결합기(DC2, 50:50)와 감쇄기를 거쳐 FP 간섭계로 전송되며, 간섭계에 도달한 빛은 간섭계의 반사율에 비례한 광만큼 반사된 후 다시 DC1과 DC2를 거쳐 광검출기에서 전기신호로 변환된다. 시분할 다중화(TDM)를 실현하기 위해 각 센서의 연결선상에 일정길이의 광섬유 지연선로를 사용하였으며, 압력센서가 연결된 광섬유에는 감쇄기를 추가하여 각 FP간섭계에서 반사된 빛이 광검출기에 비슷한 세기로 입력되도록 조절하였다. 발진파장 1.3 μm이고, 문턱전류가 12 mA인 LD는 바이어스 전류 2.7 mA에 반복률이 312.5 kHz이고, 폭이 50 ns인 11 mA의 전류펄스로 구동하였으며, LD의 동작온도는 열전 냉각기(thermoelectric cooler-TEC)를 이용하여 22°C (오차범위 0.05°C)로 고정하였다.

#### 4.2. 광섬유 센서의 제작 및 특성

센서로 사용된 FP 간섭계는 광섬유 단면에 TiO<sub>2</sub>를 코팅한 광섬유를 코팅하지 않은 광섬유와 용융접착(fusion splicing)한 후 접착부위에서 1.5 cm 떨어진 지점에서 광섬유를 자르고, 여기에 다시 TiO<sub>2</sub>를 코팅한 광섬유를 용융 접착하여 만들었으며, 거울의 반사율은 용융 접착시 3.5%가 되게 조절하였다.

스트레인 광학효과를 압력측정에 이용하기 위해 다이아프램식 압력셀을 제작하였으며, 다이아프램으로는 두께 0.4 mm의

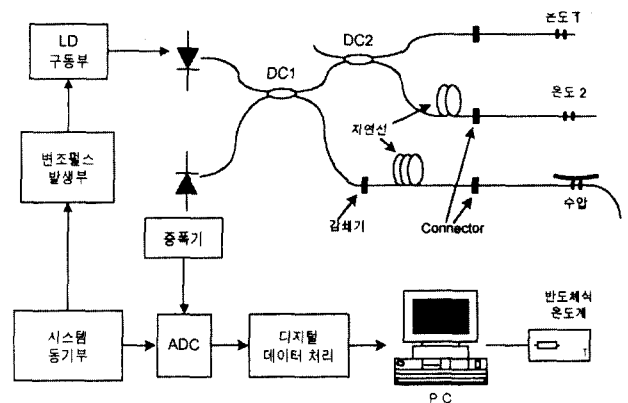


그림 1. 센서시스템의 블록 구성도.

스테인레스 원판을 사용하였으며, 원판의 반경은 4.3 cm이다. 압력셀의 몸체는 두께를 1 cm로 설계하여 수압에 의한 스트레인이 원판 다이아프램에만 가해지도록 설계하였으며, 측정 압력에 의해 다이아프램에 인가된 스트레인을 센서인 광섬유 간섭계에 전달시키기 위해 코팅을 제거한 광섬유 FP 간섭계를 접착제(cyanoacrylate)를 사용하여 원판의 중심부에 부착하였다. 코팅이 제거된 광섬유가 미끄럼 없이 다이아프램에 단단히 접착되고 화학반응이 발생하지 않았다고 가정할 경우 광섬유가 받는 스트레인은 다이아프램이 받는 스트레인과 동일하며, 다이아프램 표면에 접착된 광섬유 내를 진행하는 광파의 광로차 변화량은 광섬유의 길이 방향으로 가해지는 스트레인 성분만의 함수이다.<sup>18)</sup> 가장자리가 강체에 고정된 다이아프램식 압력셀을 깊이가 1 cm인 20°C의 물속에 두었을 때 다이아프램이 받게되는 인장응력은 원판의 중심부근에서

$$G = 2.47 \times 10^{-10} \left(\frac{r}{l}\right)^2 l \quad (6)$$

로 주어진다. 여기서 r과 l은 각각 다이아프램의 반경과 두께, G는 원판 중심부에 가해지는 스트레인으로 다이아프램에 부착된 광섬유에 그대로 가해질 때 광섬유가 받게될 스트레인, 즉 식(2)에서의  $\epsilon$ 이 된다.

따라서 압력셀에 부착된 간섭계에서 위상차의 총 변화량은 광탄성 효과를 무시할 때 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta\phi = \Delta\phi_T = \Delta\phi_P = 1.543\Delta T + 0.4968 l [\text{rad}] \quad (7)$$

광섬유 압력센서의 온도변화가 0.1°C인 경우 열광학효과에 의한 오차는 수위 0.3 cm에 해당하며, 따라서 온도의 변화가 0.1°C이내인 경우 열광학 효과는 측정 오차  $\pm 0.3$  cm범위 내에서 무시할 수 있다. 또한 광섬유 압력센서가 부착된 압력셀의 heat capacity가 충분히 크므로 온도의 빠른 변화는 압력측정의 결과에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

그림 1의 온도1, 온도2 광섬유 온도센서는 광섬유 압력센서와 같이 FP 간섭계로 만들어졌으며, FP간섭계 공극의 길이는 3 cm로 제작되었다. 그림 1의 반도체식 온도센서는 절대온도 측정과 광섬유 온도센서와의 비교를 목적으로 추가되었으며, LM35형 반도체 온도센서가 사용되었으며, 제작된 광섬유 온도센서의 특성은 다음과 같다.

$$\Delta\phi_T = 3.087\Delta T [\text{rad}] \quad (8)$$

### 4.3. 센서시스템의 동작

그림 1의 블록도에서 LD 구동부는 레이저 직류전류원, chirp 스위칭 전류원, 그리고 TEC 제어기로 구성되어 있으며, 변조 펄스발생기는 LD를 펄스구동하기 위한 변조펄스의 발생장치이다. 광검출기의 출력신호는 증폭된 후 A/D변환기에서 디지털 신호로 변환되고, 변환된 디지털 데이터는 디지털 데이터 처리부에서 가공된 후 컴퓨터에 공급되어 신호처리를 거친 다음 온도와 압력정보로 변환된다.

신호처리와 관련된 하드웨어는 범용성을 강조하여 개인용 컴퓨터(PC)를 기본 시스템으로 구성되었으며, 측정신호의 변화

방향과 함께 측정신호의 변화에 의한 위상변화량을 계산하도록 설계되어 있다.<sup>19)</sup> 이를 위해 신호처리 관련 하드웨어는 시스템 동기부의 신호에 동기되어 동작하며, 제어프로그램을 통하여 LD 변조 및 스위칭의 제어, 센서배열을 따라 위치별 센서 신호의 수집과 디스플레이, 그리고 인터럽트 제어 등의 기능을 수행한다.

식(5)에서와 같이  $\pi/2$ 의 위상차를 가진 두 간섭출력을 얻기 위해  $\Delta\phi_v = \pi/2$ 를 만족하는 크기의 chirping을 유도할 수 있도록 스위칭 전류의 양을 조절하고, 구동 프로그램을 이용하여 LD 구동부의 구동전류 스위칭회로를 ON/OFF하였다.

전체시스템의 동작특성을 확인하기 위하여 다이아프램식 압력센서와 광섬유 FP 간섭계 온도센서를 연결하였다. 센서시스템의 측정속도는 측정된 데이터를 저장하지 않을 경우 최대 초당 4500회에 이르며, 3개의 센서에서 측정된 데이터를 동시에 저장하는 경우 최대측정속도는 센서시스템을 구성하는 PC의 하드웨어(특히 하드디스크의 access 속도)에 따라 변하며, 현재 사용중인 120 MHz 펜티엄 PC의 경우 초당 1100회로 떨어짐을 확인하였다.

구성된 센서시스템의 동작을 확인하기 위해 압력센서를 직경 25 cm, 높이 2 m의 아크릴 수조의 바닥에 두고 수위를 190 cm로 조절한 다음 50 cm까지 배수시키면서 센서시스템의 광학신호의 변화와 이로부터 계산된 수위변화를 측정하였다.

그림 2는 수위가 변하는 동안 레이저 다이오드의 chirping 상태를 ON, OFF하면서 측정된 두 개의 광학신호(규준화된 상태)와 그로부터 계산된 광섬유 센서의 출력변화를 보인 것으로 센서시스템이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

## V. 특성평가 및 측정 실험

그림 2의 측정에서 센서의 특성을 선형화하기 위한 특성관계식은 고려되지 않았다. 특성관계식을 추출하기 위해 제작된 수위센서를 약 2 m 깊이에 두었다가 천천히 배수시키면서 매 5 cm마다 신호처리기의 판독값과 수위를 비교하는 과정을 반복하였으며, 이 결과를 그림 3에 보였다. 그림 3으로부터 압력센서의 특성식은 식(9)과 같다.

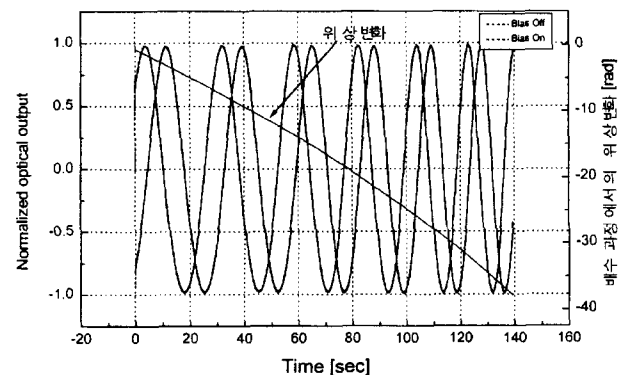


그림 2. 수위변화에 따른 센서 시스템의 출력변화 및 계산된 위상변화량(열은 선 : chirping ON때의 출력, 짙은 선 : chirping OFF때 출력).

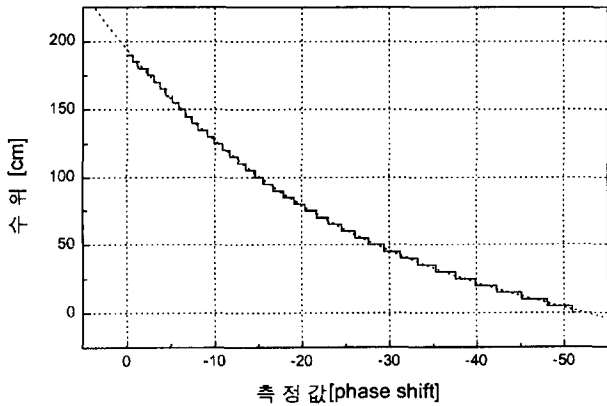


그림 3. 수위센서의 특성식을 구하기 위한 실험 데이터.

$$\text{수위} = 191.6 + 7.6819 \cdot x + 0.1039 \cdot x^2 + 2.7273 \cdot x^3 \quad (9)$$

식 (9)로부터 계산된 광섬유 간섭계의 수위 특성식은 수위 0 cm에서 식 (10)과 같으며, 이론적인 추정치에 비해 13.7% 큰 결과를 보였다. 이 결과는 사용된 다이아프램의 재질 데이터와 기타 데이터의 부정확성에 의한 것으로 추정된다.

$$\Delta\phi_p = 0.5758 \text{ l [rad]} \quad (10)$$

그림 4는 식(9)를 이용하여 광섬유 수위센서를 선형화한 다음 광섬유 수위센서를 이용하여 수위를 측정하는 것으로 선형화 오차 1%의 범위 내에서 정확히 측정함을 보이고 있다.

그림 5는 LM35 반도체 센서와 광섬유 온도센서를 수조에 두고 수조의 온도를 변화시키면서 반도체센서의 온도출력과 광섬유 온도센서에서 측정된 위상변화량을 읽어 비교한 것으로 광섬유 온도계로 사용된 간섭계에 대한 교정이 완전한 경우 두 측정값간의 관계는 그림 5에서 파선으로 표시된 직선관계를 가져야한다. 그림 5의 파선으로부터 구한 광섬유 FP간섭계의 온도특성식은

$$\Delta\phi_T = 2.524 \Delta T \text{ [rad]} \quad (11)$$

으로 계산되었으며, 따라서 파장 632.8 nm에서의 결과와 약 -18%의 오차를 가지는 것으로 나타났다. 그림 5에서 변동이

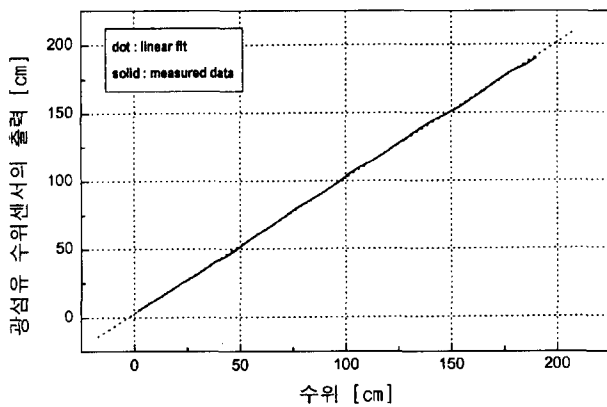


그림 4. 교정된 수위센서의 선형성 시험결과.

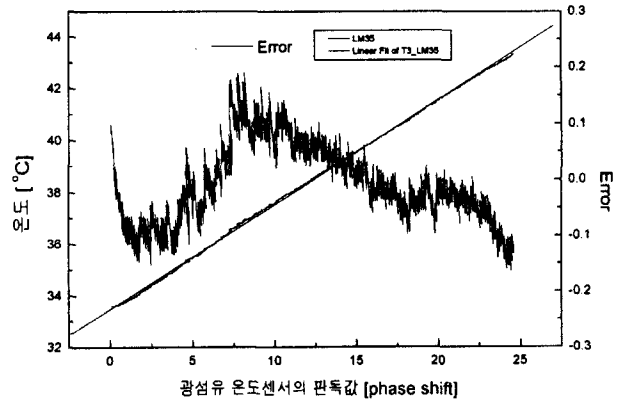


그림 5. 광섬유 온도센서의 특성.

심한 곡선은 식(11)의 특성관계식을 이용하였을때의 광섬유 온도계와 LM35온도센서의 출력의 차로써 광섬유 온도계의 오차이다.

식(10)과 식(11)로부터 수위센서의 온도 변화가 0.1°C인 경우 열광학효과에 의한 오차는 수위 0.27 cm에 해당하며, 따라서 수온의 변화가 0.1°C이내인 경우 열광학 효과는 측정 오차 ±0.27 cm범위 내에서 무시할 수 있음을 결론지을 수 있다.

그림 6은 수위 190 cm에서 수조의 바닥에 위치한 호스를 통하여 127 cm 까지 배수시킨 다음 수조의 상부에서 수조 수위로 환산하여 약 15 cm의 물을 약 6초 동안에 퍼부어 다시 수위를 142 cm가 되게 한 후 처음과 같이 배수시키면서 측정 한 수위의 변화를 보인 것이며, 그림7는 물을 퍼붓는 과정을 확대해 보인 것으로 급격한 수위변화를 자세히 관찰할 수 있도록 한 것이다. 이들 실험 데이터를 통하여 수위센서가 설계된 대로 정상적인 동작을 하며, 동시에 고속 측정이 가능함을 알 수 있다.

그림 8은 convection oven내에 3개의 광섬유 온도센서와 반도체식 온도센서인 LM35를 위치시킨 다음 각 지점에서 광섬유 센서의 측정값과 반도체형 온도센서의 편도값을 비교하여 그린 것이다. 이 측정에서는 온도센서의 동작상태의 확인과 반도체 센서와의 비교를 위하여 광섬유 온도센서를 구리 튜브 속에 삽입하여 광섬유 온도센서의 감응속도를 반도체 센서와

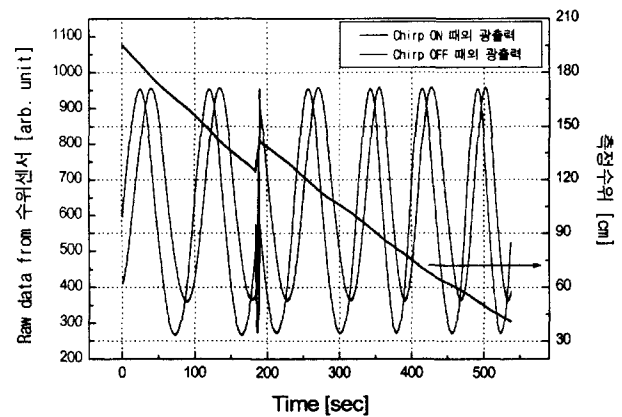


그림 6. 광섬유 압력센서를 이용한 수위변화의 측정.

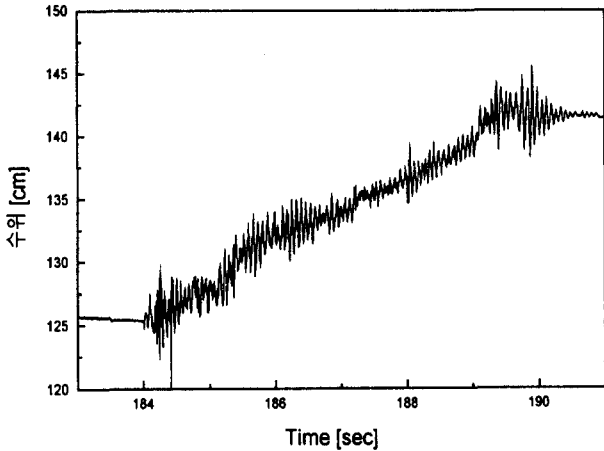


그림 7. 그림 6의 확대도

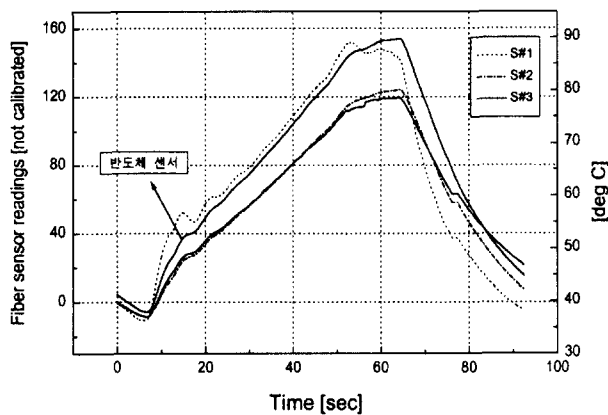


그림 8. 광섬유 온도센서를 이용한 온도변화 측정실험.

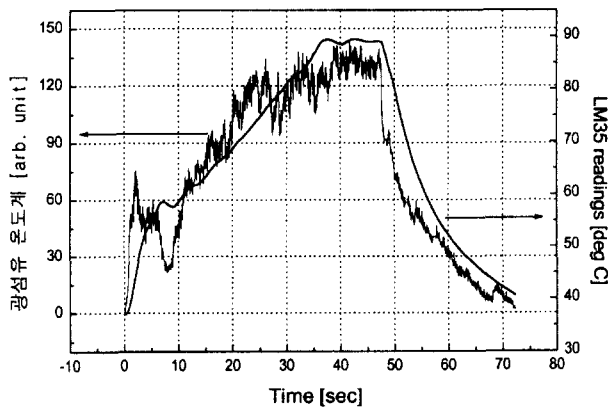


그림 9. 광섬유 온도계의 동적 특성.

비슷한 값으로 유지하였다.

그림 9는 광섬유 온도센서의 측정속도를 가시화하기 위하여 그림 8의 실험에서 광섬유 온도센서를 감싼 구리 튜브를 제거한 다음 광섬유 온도센서와 LM35형 온도센서를 동일하게 convection oven에 유입되는 열풍의 영향에 노출시킨 상태에서 oven 내의 온도를 측정된 데이터로서 광섬유 온도센서의

감응속도가 빨라 미세한 온도변화까지 측정되는 것을 직접 확인할 수 있었다.

그리고 완성된 광섬유 센서시스템을 이용하여 온도와 압력에 대한 동시 측정시험을 통하여 각 센서의 특성이 별도 측정의 경우와 동일함을 확인하였으며, 본 시스템의 구성으로부터 센서간의 crosstalk는 무시할 수 있었다. 그러나 동일 측정점에서 온도와 압력이 동시에 변하는 경우 한 개의 센서로써 특정 측정변수만 측정하는 것은 불가능하며, 이 경우에는 압력 및 온도센서를 1개조로 하여 두 센서의 측정치를 이용하여 계산하는 방식을 취할 수 있다. 예를 들어 온도가 변하는 지점에서의 압력변화를 측정하고자하는 경우 압력변화의 영향을 받지 않는 압력셀의 몸체에 온도센서를 부착하여 측정점에서의 온도변화량만을 측정하고, 이 결과를 압력센서의 측정치에 보상하는 방식을 취할 수 있다.

## VI. 결 론

고속 측정이 가능한 간섭형 광섬유 센서를 이용하여 다수의 물리량을 동시에 측정할 수 있는 고속 다중화 광섬유 센서 시스템을 구현하고, 광섬유 온도센서 2개, 광섬유 압력센서 1개, 그리고 반도체식 온도센서 1개를 부착하였다. 센서 시스템의 신호처리는 간단한 광학 구성으로 고속/다중화 측정이 가능한 광섬유 Fabry-Perot (FP) 간섭형 센서배열을 가정하여 피측정량의 변화에 의한 위상변화량을 계산하는 디지털 신호처리로 구성되었다. 광섬유 센서로는 압력측정을 위해서는 광섬유의 스트레인 광학효과를 이용하는 공극길이 1.5 cm의 FP 간섭계가 이용되었으며, 온도측정을 위해서는 광섬유의 열광학 효과를 이용하는 공극길이 3 cm의 광섬유 FP 간섭계가 채택되었다. 센서의 응답속도는 1 ms 이내이며, 신호처리장치는 120 MHz 펜티엄 컴퓨터를 기준으로 초당 최대 4500회 이상 측정값을 출력할 수 있도록 설계되어 센서에서의 감응속도 범위 내에서 고속 물리량 측정이 가능하도록 구성되었다. 실험실 환경에서 수위측정 및 온도 측정을 통하여 광섬유 센서시스템이 선형화 오차 1%이내에서 고속측정이 가능함을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] T. G. Giallorenzi, J. A. Bucaro, A. Dandridge, G. H. Siegel, Jr., J. H. Cole, S. C. Rashleigh, and R. G. Priest, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-18**, 626 (1982).
- [2] A. D. Kersey and A. Dandridge, *J. IERE*, **58**, S99 (1988).
- [3] B. E. Jones, *J. Phys. E:Sci. Instrum.*, **18**, 770 (1985).
- [4] 예윤해, 정환수, 나도성, *센서학회지*, **6**, 172 (1997).
- [5] J. H. Cole, B. A. Danver, and J. A. Bucaro, *IEEE J. Quantum. Electron.*, **18**, 694 (1982).
- [6] C. E. Lee and H. F. Taylor, *Electron Lett.*, **24**, 193 (1988).
- [7] 예윤해, *한국광학회지*, **6**, 62 (1995).
- [8] J. S. Sirkis and H. W. Haslach, Jr., *J. Lightwave Technol.*, **8**, 1497 (1990).
- [9] 예윤해, *한국광학회지*, **6**, 365 (1995).

### **Multiplexed fabry-perot interferometric sensor system**

Doh Sung Lah and YunHae Yeh

*School of Electronic and Information, Institute for Laser Engineering Kyung Hee University, YongIn 449-701, Korea*

Dong-Young Lee and Kwang-Soon Park

*Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan 425-600, Korea*

(Received March 17, Revised manuscript received June 30, 1999)

A TDM-multiplexed fiber optic pressure/temperature sensor system utilizing fiber optic Fabry-Perot interferometers as sensing devices was developed and applied to measure water level variations and temperature variations. The maximum measurement speed of the system without saving measurement data is 4500 times per second and the response time of the sensors is thought to be ~ms. The difference between the theoretical value and the measured value for the scale factor of water level sensor and temperature sensor was +13.7%, -18% respectively. The nonlinearity of the sensors after calibration was less than 1%. The sensor system was applied to verify the capability of measuring the temperature variations and water level variations at a high speed.