

# 기포검출을 위한 광섬유 센서 연구

강 덕 지\* · 고 영 주\*\* · 이 경 진\*\* · 김 신\*\*\*

## A study of Optical Fiber Sensor for the Bubble Detection

Deog-Ji Kang\* · Yung-Joo Ko\*\* · Kyung-Jin Lee\*\* · Sin Kim\*\*\*

### ABSTRACT

Bubble detection is one of the most important measurements in the two-phase flows. For the purpose of the bubble detection, an optical fiber is used based on the fact that. An intensity of attenuated light varies according to the surrounding medium at the exposed core. Experiments are conducted to investigate. (1) the effect of length and diameter of the exposed core, (2) the effect of the shape of the exposed core (3) the effect of the size of the bubble, on the detection capability. The possibility of bubble detection with optical fibers is present in some geometrical conditions of optical fibers.

**Key Words** : Optical Fiber, Sensor, Bubble

### 1. 서 론

2상유동이란 두 가지 상이 공존하는 유동을 말하며, 그 대표적인 2상유동으로는 액체 내에 기포(기체)가 혼합되어 있는 유동을 들 수 있다.

이 2상유동 현상은 원자력발전소를 비롯한 열교환기에서 일반적으로 보이는 현상으로 열수력학 시스템의 설계, 운용과 해석에 있어 중요한 요소 중의 하나이다[4]. 2상유동내의 기포의 분포는 열교환기 등의 열유체 유동장에서 열 전달의 특성을 크게 변화시키

는 요인으로 종래의 많은 연구가 되어져 왔으나, 현재까지 기포거동이나 분포에 대한 충분한 정보가 없어 유동 형태에 따라 한정된 서로 다른 경험식들을 사용하고 있다. 만일 기포 분포에 대한 정량적인 정보를 얻을 수 있다면 현재 사용되고 있는 여러 경험식의 갖는 불확실성이 크게 개선되어 2상유동에 대한 정확한 해석이 가능하리라 본다.

따라서 본 연구에서는 최근에 여러 분야에서 각광을 받고 있는 광섬유(optical fiber)를 이용, 광센서를 제작하여 2상유동장에서의 유동현상에 큰 변수로 작용하는 기포의 검출을 그 목적으로 한다.

### II. 실험장치 및 실험방법

#### 2.1. 실험장치

\* 제주대학교

Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

\*\*\* 제주대학교 에너지공학과

Dept. of Nuclear & Energy Eng., Cheju Nat'l Univ.

실험장치는 시험부인 팬텀, optoelectronic conversion circuits(광-전 변환회로), power supply, function generator, oscilloscope 등으로 구성된다. 전 시스템의 구성도를(Fig. 1)에 나타낸다.

시험부는 가시화를 위하여 외경100(10)mm, 높이 3200mm의 아크릴 파이프를 사용하여 기포가 수직상승하도록 제작했다. 기포의 생성은 주위에서 흔히 볼 수 있는 수족관의 공기공급장치를 이용하고 있다. 기포계측에 사용되는 센서는 가공이 용이한 플라스틱 광섬유(grade GH4001 코어직경 0.98mm)를 시작(試作)하여 사용했다.

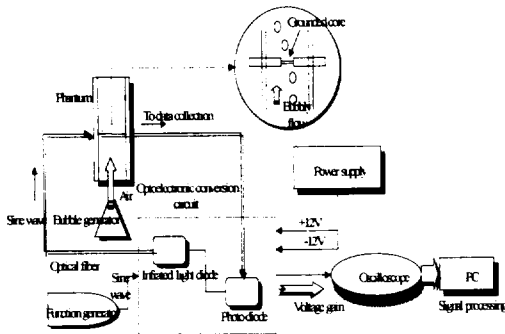


Fig. 1 Block diagram of system

Power supply는 +12V, -12V의 전압을 일정하게 유지하며 공급해 준다. function generator를 통하여 약 430Hz의 sine 파형을 발생시켜 사용하였다. 광-전 변환회로는 전기신호를 적외선 다이오드를 통해 광신호로 바꿔주고, 그 광신호를 다시 적외선용 수광 다이오드에서 전기신호로 바꾸는 역할을 한다. oscilloscope는 전기신호의 측정치를 2차원의 평면상(X축에 시간, Y축에 전압)에 그래프로 나타내 준다.

## 2.2. 실험방법

본 연구에서는 광섬유를 이용해 기포계측을 위한 최적의 조건을 찾고 더불어 센서를 제작하기 위한 준비 단계로 광섬유 코어의 직경과 길이에 따른 실험과 코어의 형상 그리고 기포크기에 따른 기본적인 실험을 했다.

### 2.2.1. 코어의 직경과 길이에 따른 실험

본 실험에서 사용하고 있는 플라스틱 광섬유는 자켓, 클래딩 그리고 코어의 3부분으로 구성되어 있다. 코어의 길이를, 광섬유의 자켓과 클래딩을 벗겨내어, 5·10mm로 한 후 팬텀에 연결하여 공기 중에서 전압값과 팬텀에 물을 부어 코어부분이 물 속에 완전히 잠기게 한 후의 전압값 그리고 기포가 지나갈 때의 각 전압값을 측정하였다.

같은 방법으로 코어의 직경에 대한 실험을 했다. 코어길이를 일정하게 유지하고 직경을 1·0.9·0.8·0.7·0.6·0.5mm 각각에 대하여 코어 주위가 공기, 물 그리고 기포일 때의 전압값을 측정하였다.

### 2.2.2. 코어형상에 따른 실험

코어형상에 대한 실험은 길이 10mm인 광섬유를 가지고 하나는 코어의 모양이 평평하게 갈아내었고 다른 하나는 오목한 모양이 되게 갈아내었다.(Fig. 2) 이 두 광섬유에 대해 [2-2-1]의 과정을 따라 실험을 하면서 전압값을 측정하였다.

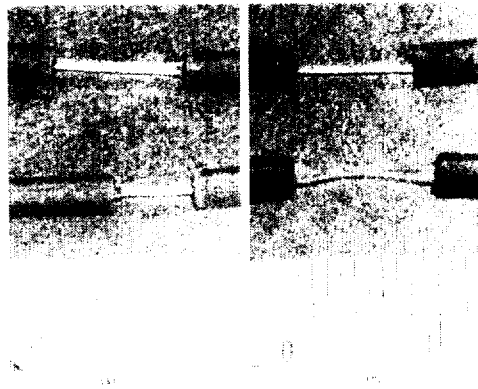


Fig. 2. (a) the length of core(5mm & 10mm) (b) the grinding shape of core(flat & concave)

### 2.2.3. 기포 크기에 따른 실험

기포 발생장치를 사용하여 공기 속도를 변화시켜 기포의 크기를 조절했다. (Fig. 3)에서처럼 작은 기포가 지나갈 때와 큰 기포가 지나갈 때의 각 전압값을 측정하여 비교하였다.

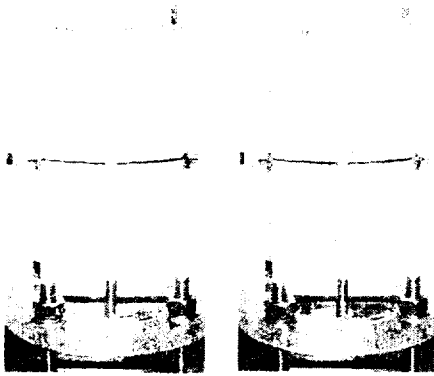


Fig. 3 Comparison of bubble size

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 실험결과

##### 3.1.1. 코어의 직경과 길이에 대한 실험결과

코어의 길이 5·10mm인 광섬유에 대해서 직경을 1mm부터 0.5mm까지 0.1mm씩 알아내면서 측정된 데이터를 (Table. 1)에 표시하였다.

	1mm	0.9mm	0.8mm	0.7mm	0.6mm	0.5mm
(a) in the air	7.586	7.564	7.534	7.224	6.9	5.414
in the water	7.594	7.594	7.552	7.25	7.03	6.27
in the bubble	7.604	7.604	7.576	7.258	7.034	6.09
(b) in the air	1mm	0.9mm	0.8mm	0.7mm	0.6mm	0.5mm
in the water	7.59	7.196	7.4	7.274	6.162	3.004
in the bubble	7.618	7.296	7.46	7.352	6.652	4.232

Table. 1. Measurement effective value(RMS)  
(a) 5mm in length (b) 10mm in length

이 측정값을 (Fig. 4)에 나타내었다.

(Table. 1)를 보면 코어 주위가 물과 공기로 둘러싸여 있을 경우 직경이 작아질수록 전압값이 미소하게 감소하다가 직경이 0.6mm에서 0.5mm로 작아졌을 때 전압값이 크게 줄어드는 것을 보이고 있다. 이런 감소는 코어부분을 기포가 지나갈 경우에도 같은 현상을 보이고 있다. 기포인 경우 이처럼 전압값이 큰 폭으로 떨어질 때를 코어가 기포에 둘러싸여 있다고 예측할 수 있다.

본 실험에서는 오실로스코프의 측정 시간을 20msec로 설정하고 있다. (Table. 2)는 기포에 의한 신호변화를 보인 직경 0.5mm 광섬유에 대해 200msec동안 측

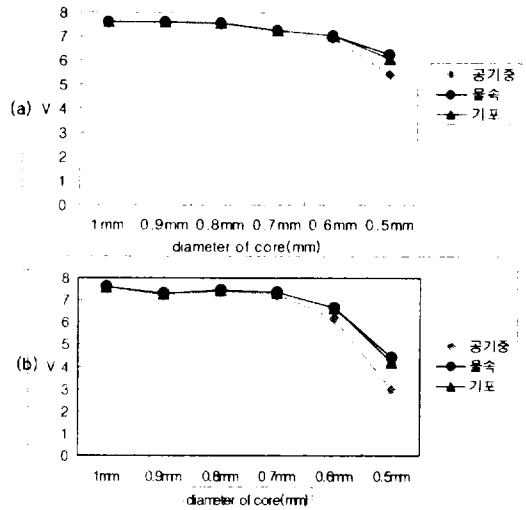


Fig. 4. Effective voltage value with the diameter of core (a) 5mm in length (b) 10mm in length

정 비교한 데이터이다. 데이터를 보면 기포가 광섬유를 둘러싸고 있을 때의 RMS값이 공기 중과 물 속에서의 값 사이에 존재한다는 것을 알 수 있다. (Fig. 5)를 보면 오목하게 들어간 두 부분이 기포가 지나간 부분인데 이때 감소된 정도가 물일 때와 기포가 지나갈 때의 실효값 차이가 된다. 여기에서 RMS(Root Mean Square, 실효값)는 교류의 크기를 교류와 동일한 크기의 일을 하는 직류의 크기로 바꾼 값이다. 실효값은 사인파 교류에서는 최대값의 약 0.707배이다.

length of core	5mm	10mm
in the air	5.414	3.004
in the water	6.27	4.406
in the bubble	6.09	4.232

Table. 2. Effective value comparison with surrounding medium at 0.5mm in diameter

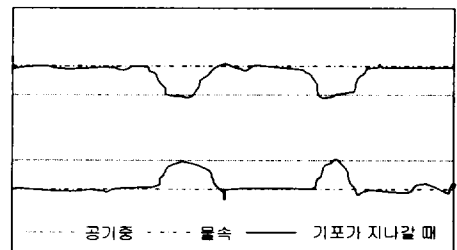


Fig. 5. Comparison of effective value with surrounding medium

(Fig. 6)은 광센서의 직경을 0.5mm로 일정하게 하고 코어의 길이를 5mm·10mm로 하여 실험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 코어의 길이가 5mm에서 10mm로 길어지면 전체 전압값이 17.8V에서 12.5V로 감소한다. 기포가 지나갈 때의 전압값 역시 코어의 길이가 5mm인 광섬유는 2.6V, 10mm인 광섬유는 0.9V로 줄어든 것을 확인할 수가 있다. 코어의 길이가 5mm인 광섬유가 10mm인 광섬유보다 기포가 지나갈 때의 전압감소치가 약 2배 더 크므로 기포의 유무를 확인하는데 있어 더 유리함을 알 수 있다.

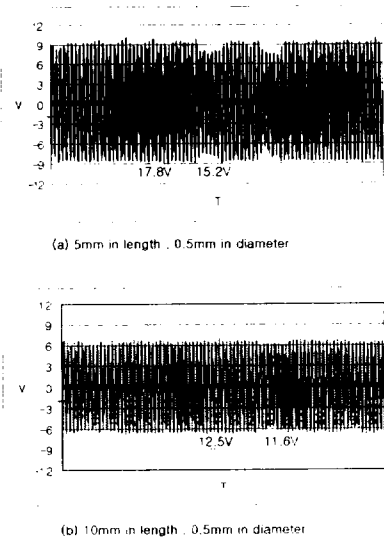


Fig. 6. Voltage with length and diameter

### 3.1.2. 코어형상에 대한 실험

코어형상에 대한 실험은 (Fig. 2-(b))처럼 길이를 10mm로 고정하고, 코어부분이 평평한 모양과 가운데를 오목하게 한 모양의 두 가지를 가지고 실험을 했다. 코어부분을 평평하게 했다. 코어부분을 평평하게 했을 경우의 실험치와 그래프를 (Table. 1-(b))와 (Fig. 6-(b))에 나타내고 있다. 그리고 오목한 모양이 코어에 대한 실험의 측정 데이터를 (Fig. 7)에 나타냈다. 두 그림을 비교해보면 코어가 평평한 광섬유의 경우에는 기포가 지나갈 때 신호의 변화가 보이거나 코어가 오목한 광섬유의 경우에는 기포가 지나갈 때에도 신호의 변화가 거의 보이지 않는다.

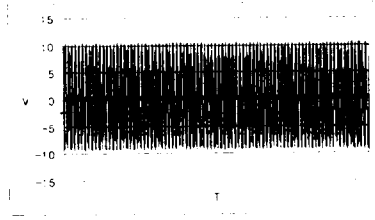


Fig. 7. When the shape of core is concave

### 3.1.3. 기포크기에 대한 실험결과

크기가 서로 다른 기포가 지나갈 때는 신호변화가 어떻게 나타나는지 알아보기 위하여 실험을 하였다. 공기공급장치의 공기의 양에 의해 기포의 크기를 조절하였다. (Fig. 8)에 기포크기에 따른 실험 데이터를 그래프로 나타냈다.

(Fig. 8)의 (a)와 (b)를 비교해 보면, (a)의 작은 기포가 지나갈 때에는 전압값이 감소하여 그 지속되는 시간이 11.74ms이고 (b)의 큰 기포가 지나갈 때에는 37.46ms이다. 이것은 기포가 코어에 머무르는 시간이 큰 기포인 경우 작은 기포보다 약 3배정도 긴 것을 나타내는 것으로, 만약 두 기포의 속도가 같다고 하면 기포의 크기가 약 3배정도 차이를 갖는다고 할 수 있을 것이다.

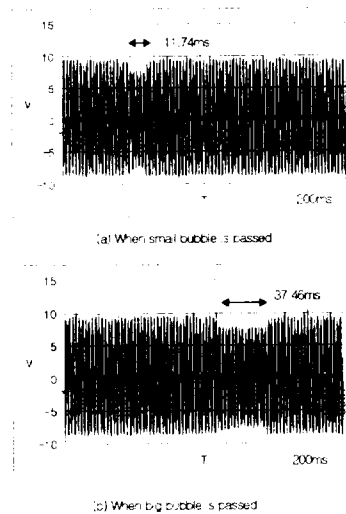


Fig. 8. Comparison of bubble size

### 3.2. 결과에 대한 고찰

(Fig. 9)는 (Fig. 6(a))의 그래프에서 각각의 파형의 첨두치(peak value) 데이터만을 뽑아내서 그래프화한 것이다. 보이는 바와 같이 총 2개의 기포가 지나갔다는 것을 알 수가 있다.

코어 주위 매질이 물일 때는 약 17.8V의 전압값을 갖다가 기포(c)가 지나갈 때를 보면 전압값이 14.2V로 약 20%의 전압감소를 보이고 있다.

그리고 기포(b)가 지나갈 때의 최소 전압값은 15.2V이고 기포(c)가 지나갈 때의 최소 전압값은 14.2V이다. 이렇게 기포가 지나갈 때의 전압 감소치를 보고 그 순간 코어가 기포에 의해 어느 정도 둘러싸여 있는지 알 수 있다. 즉, 기포(c)가 기포(b)보다 전압감소치가 크므로 코어의 더 많은 부분이 기포에 노출되면서 더 많은 빛의 감쇄가 이루어지고 결국 전압값도 감소하게 된 것이라고 볼 수 있다.

(Fig. 9)에 나타나 있는 전압감소의 지속시간은 기포가 코어에 머무른 시간을 나타내는 것으로 기포(b)가 기포(c)에 비해 4.76ms동안 오래 머무른 것을 알 수 있다. 만약 기포의 속도를 알고 있다면 기포의 코어를 지나는 기포의 크기 역시 계산 가능할 것이다.

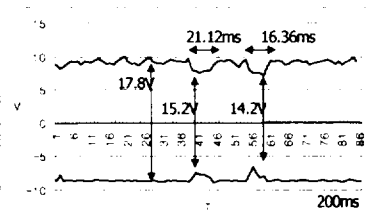


Fig. 9. When two bubbles are passed continuously

## IV. 결론

본 연구에서는 기체(기포)·액체가 혼합되어 있는 2상유동장의 해석에 중요한 변수인 기포계수를 측정하기 위한 방법으로 광섬유를 이용한 광센서를 제작(試作)하여 기포검출을 시도했다. 광섬유 코어의 길이와 직경, 코어의 모양에 따른 광센서를 제작 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

■ 코어의 길이가 5mm일 때가 10mm일 때보다 기

포에 의한 더 큰 신호변화를 보였다.

- 코어의 직경이 0.5mm가 되어야 비로소 기포의 존재를 확인할 수 있었다.
- 가운데 부분을 오목하게 갈아낸 광섬유에서는 기포에 의한 신호변화를 거의 보이지 않았다. 갈아낸 코어의 직경이 같아지게, 즉 평평하게 갈아내어야 신호변화를 일으키는 빛들이 존재하게 된다.
- 기포가 지나갈 때의 전압감소의 정도는 그 순간 코어가 기포에 의해 어느 정도 둘러 쌓여있는 지를 알 수 있게 하여준다.
- 기포가 코어에 머무는 시간은 기포의 크기를 비교 가능하게 하여주고, 만약 기포의 속도를 안다면 기포의 크기까지도 계산 가능하다.

## 참고문헌

1. S.L.Kiambi, A.M.Duquenne, 2001, Measurements of local interfacial area: application of bi-optical fibre technique, Chemical Engineering Science 56
2. Catherine Xuereb, 1995, A double optical-fiber probe to characterize gas-phase properties in gas-liquid contactors, Sensors and Actuators A 46-47
3. 김한도, 김은영, 구영석, 1991, 플라스틱 광섬유의 제조 및 특성, 한국섬유공학회지, 28, 9
4. 윤현식 외, 1998, 기포분포 측정법에 대한 연구와 EIT실험장치 제작 및 기초실험, 제주대 졸업논문집, p68-81
5. 박민, 김준경, 이무성, 2000, 플라스틱 광섬유 기술 현황과 활용, perspectives of industrial Chemistry, Volume3, No.5
6. Jurgen R. Meyer-Arendt, 1997, Introduction to Classical and Modern Optics, 도서출판 대웅
7. 이도테 후미오, 1998, 광 파이버 광학재료, 겐지사.
8. 조재철, 최상삼, 광섬유 센서 및 이를 이용한 광계측 시스템, 한국과학기술연구원
9. 홍상범, 2002, 광섬유를 이용한 방사선계측에 관한 연구, 제주대학교