2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

이상유동의 국소 파라메터 측정을 위한 축전성 탐침의 개발

Development of Capacitive Probe for Local Flow Parameter of Two Phase Flow

박명철, 이재영
한동대학교
경북 포항시 북구 흥해읍

요 약

두 유체 (two fluid) 모델에서 경계 전달 항의 모델링을 위해서 제안된 경계 면적 전달 방정식의 정확도를 높이기 위해서는 국소 흐름 파라메터(Local flow parameter)들의 정확한 자료 집단이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 축전성 탐침(capacitive probe)을 이용하여서 국소 흐름 파라메터들을 측정하는 방법을 개발하였다. 전자장 해석을 통하여 축전형 탐침의 전자장과 축전성을 모델하고 실험을 통해서 모델링값과 실제 측정 값이 일치함을 증명하였다. 탐침으로부터 넘어온 유전율 정보로부터 캐패시턴스를 측정하기 위해서 충전/방전 원리를 기본으로 한 캐패시턴스 측정회로를 개발사용하였다 이를 바탕으로 축전성 탐침을 이용한 이상유동의 국소 흐름 파라메터의 측정의 방법을 구성하였다.

ABSTRACT

It is necessary to collect data sets of local flow parameter for improving accuracy of interfacial area transfer equation that was proposed for interfacial transfer terms at the two fluid model. In this research, a measurement method using capacitive probe is proposed to measure local flow parameter. The electic field calculation was performed to quantify the capacitance between probes. The calculated value was well in agreement with the experimental data. For the capacitance measurement, a charge/discharge circuit was employed to measure up to Femto-Farad level. Though the work, the present capacitance local probe can be applicable for the microgravity two-phase flow, which is important to nuclear power for the space program.

1. 서 론

지난 30 년간 이상유동의 분석을 위한 많은 연구들이 이루어져 왔다. 현재로써는 두 유체 모델(two fluid)이 이상유동현상을 가장 정확히 나타낼 수 있다고 알려져 왔는데 이는 두 유체 모델이 경계면에서의 상(phase)끼리의 상호작용을 다룰 수 있기 때문이다. 두 유체 모델에서 경계 전달 항은 경계 면적 전달 방정식(interfacial area transfer equation)으로 표현되는데 이 방정식의 정확성에 따라서 두 유체 모델의 정확성이 크게 좌우된다. 하지만 현재까지는 경계 면적 전달 방정식을 정확히 묘사하기 위한 경계 면적 농도(interfacial area concentration), 국소 기공률(local void fraction), 사우터 지름(sauter diameter)등과 같은 국소 흐름 파라메터(local flow parameter)들의 자료 집단이 절대적으로 부족한 상황이다.

그간 임피던스(impedance)를 사용한 탐침형 센서들이 주로 사용되어 왔으나, 최근들어 NASA 를 비롯하여 추진되는 우주 개발 프로그램에서, 원자력을 이용한 우주 추진 방식이 크게 부곽되면서 이에 대한 실증실험에 다양한 부력감쇄물질의 사용이 요구되면서 임피던스 센서 사용에 한계가 있음이 지적되고 있다. 따라서 본 연구는 매질의 전기전도도와 무관한 측정이 가능한 축전형 국지센서를 개발하는 것을 목표로 하여 수행되었다.

국소 흐름 파라메터들을 측정하기 위해서는 기포의 개수, 기포의 크기, 기포의 속도들에 대한 정확한 관측이 이루어져야 한다. 하지만 기포 움직임이 불규칙적으로 변하고 또 기포의 형상이 경계면에 따라서 다양하기 때문에 기포의 국소 흐름 파라메터를 측정시 기술적인 어려움이 있다.

표 1 에서 볼 수 있듯이 근래에 국소 흐름 파라메터들을 측정하기 위해서 여러 방법들이 연구 되어 왔다. 이 중에서 순간적인 측정이 가능한 방법으로는 광섬유를 이용한 방법과 저항성 탐침을 이용한 방법들이 있다. 하지만 광섬유를 이용하는 방법은 비용이 많이 들고 측정시 쉽게 깨지는 단점을 가지고 있다. 또한 저항성 탐침을 이용하는 방법은 실제로 많이 사용되고 있으나 비전도 유체 사이에서의 측정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 축전성 탐침을 사용하여서 이상유동의 경계면적을 측정하는 방법을 제시하였다. 이 방식은 각 유체사이의 유전율 차이를 이용하기 때문에 비전도 유체사이에서의 국소 흐름 파라메터들의 측정이 가능하며 또 비용이 저렴하고 제작이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 이 방법은 두 유체의 유전율 차이가 작을 경우 신호의 크기가 작아지기 때문에 이를 위한 별도의 저준위 캐패시턴스 측정회로가 필요하다.

현재 널리 사용되고 있는 저준위 캐패시턴스 측정 회로로는 공진주파수 (oscillation frequency)를 측정하는 LC 공진 (LC oscillation) 회로와, 전하 전달 원리(charge transfer principle)을 이용한 충전/방전(charge/discharge)와 교류 브릿지 (AC Bridge) 회로들이 있다. LC 공진을 이용한 방법은 Green 와 Cunliffe(1983)에 의해서 제안되었으며 높은 주파수 영역에서 작동할 수 있으나 일반적으로 장기간 사용할 경우에

안정성이 감소해 장기간 연속적인 자료 측정을 위한 용도로는 사용되기 힘들다. 교류 브릿지를 사용하는 방법은 Hague 와 Foord (1971)에 의해 제안된 방법으로 여러 방법 중 가장 높은 정확도를 가지고 있으나 100kHz 이상의 주파수에서는 동작시키기 위해서는 회로가 복잡해지고 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 충전/방전 회로를 이용한 방법은 UMIST 의 Xie et al (1992) 에 의해 제안되었고 비교적 높은 주파수 범위에서 동작이 가능하며 (100kHz-5MHz) 장기간 사용시에도 높은 안정성을 가지고 있다.

본 연구에서는 축전성 탐침을 이용해서 국소 흐름 파라메터 측정를 측정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 2 절에서는 축전성 탐침의 모델을 제안한 후 이에 대한 모델링을 하고 이를 검증하였다. 3 절에서는 축전성 탐침에서 나온 신호처리를 위해 충전/방전 회로를 기본으로 한 캐패시턴스 측정회로를 구현하였고 4 절에서는 축전성 탐침을 이용하여서 국소 흐름 파라메터 측정을 수행하였다.

표 1 국소 흐름 파라메터 측정을 위한 기존 연구 방법 비교

측정방법	순간측정여부	비용	적용 대상 유체	견고성
사진촬영	불가능	높음	모든 유체	높음
감마선	불가능	높음	모든 유체	높음
초음파	불가능	중간	모든 유체	높음
광섬유	가능	높음	모든 유체	낮음
저항성 탐침	가능	낮음	전도성 유체	중간

2. 축전성 탐침 설계

축전성 탐침은 1 개의 송신 전극과 2 개의 수신전극으로 이루어져 있으며 가운데 송신 전극을 중심으로 두개의 수신 전극이 2 개의 캐패시터를 역할을 하고 있다. 각각은 이상유체에 담궈져서 전극사이를 지나가는 물체의 유전율에 따라 탐침의 캐패시턴스 값이 달라지게 된다.

2.1 축전성 탐침의 모델링

두 전극사이 거리에 비해서 전극의 길이가 길기 때문에 전극의 모서리에서 생기는 정전장의 변형은 무시한다는 가정하에서 축전성 탐침의 모델링을 수행하도록 한다. 모서리에서의 정전장 효과를 무시하게 되면 길이방향 (Z 축)의 정전장은 상쇄되므로 반지름 방향 만의 정전장을 고려하여 모델링을 수행할 수 있다.

먼저 탐침을 둘러싸고 있는 절연물질이 없을 때의 수행하겠다. 송수신 전극의 표면은 등 전압조건을 만족시켜야 하므로 이를 모델링하기 위해서 가상 이미지 방법 (image method) 를 사용하였다. 가상 이미지 방법은 경계면이 복잡한 형상의 문제를 풀 때 유용한 방법으로 실제 경계면 대신 경계면과 동일한 역할을 하는 가상 이미지 전하를 두어서 문제를 해결하는 것이다.

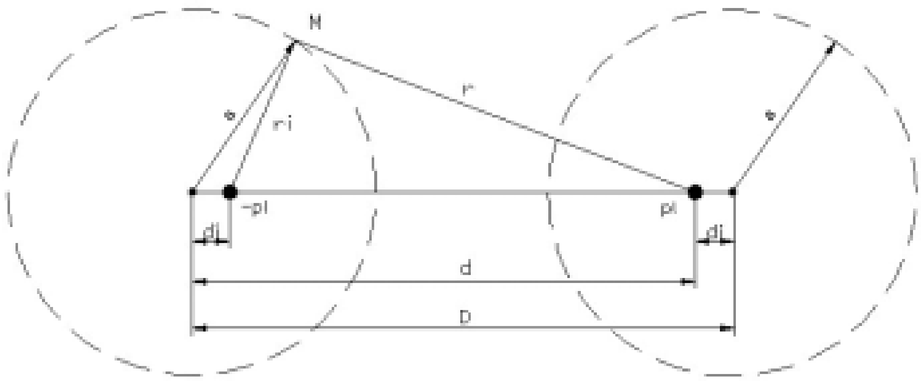

그림 1. 축전성 탐침 모델

그림 1 은 축전성 탐침의 모델링에 가상 이미지 방법을 적용한 것으로 점선으로 표시된 두개의 탐침 대신 $\rho_l, -\rho_l$ 의 선전하를 두어서 두개의 탐침을 표현한 것이다. a 는 탐침의 반지름을 나타내고 di 는 탐침의 중심과 선전하사이의 거리, D 는 두 탐침사이의 거리, r 은 등전압평면과 선전하사이의 거리를 나타낸다. 선전하에 의한 정전장 분포는 가우스 이론(Gauss’s theorem)에 의해서 다음과 같이 나타난다.

$$E_r = a_r \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon r} \qquad (1)$$

위에서 a_r 은 반지름 방향의 단위벡터, ρ_l 은 선전하밀도, ε 은 측정물질의 유전율을 의미한다. 이 때 식(1) 을 적분하면 ρ_l 에서부터 r 만큼 떨어진 곳의 전압을 얻을 수 있다.

$$V = -\int_{r_o}^{r} E_r dr = -\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\int_{r_o}^{r}\frac{1}{r}dr = -\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_o}{r} \qquad (2)$$

이 때 .r_o 는 전압이 0 이 되는 지점이다. 식(2)를 이용하여서 ρ_l 쪽의 금속 표면 위의 임의의 점 전압 V_1 와 - ρ_l 쪽 금속 표면 위의 임의의 점 전압 V_M 를 구하면 다음과 같다.

$$V_M = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_o}{r} - \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_o}{r_i} = -\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{r_i}{r} \qquad (3)$$

전극 표면에서의 등 전압조건을 만족시키기 위해서는 다음과 같은 관계식이 만족되어야 한다.

$$\frac{r_i}{r} = \frac{d_i}{a} = \frac{a}{d} = Const \qquad (4)$$

식(4)을 식(3)에 대입하면 V_1, V_2에 대해 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V_1 = -\frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{a}{d} \qquad V_2 = \frac{\rho_l}{2\pi\varepsilon}\ln\frac{a}{d} \qquad (5)$$

단위 길이당 캐패시턴스는 다음과 같다.

$$C = \frac{\rho_l}{V_1 - V_2} = \frac{\pi\varepsilon}{\ln(d/a)} \qquad (6)$$

d 는 식(4) 을 사용하여서 아래와 같이 구해질 수 있다.

$$d = D - d_i = D - \frac{a^2}{d} \qquad (7)$$

식(7) 을 정리하면 d 에 관한 다음식을 얻을 수 있다.

$$d = \frac{1}{2}(D + \sqrt{D^2 - 4a^2}) \qquad (8)$$

위의 d 에 관한 식을 식(6) 에 대입하면 다음과 같은 단위길이당 캐패시턴스 값을 얻을 수 있다.

$$C_0 = \frac{\pi\varepsilon}{\ln[(D/2a) + \sqrt{(D/2a)^2 - 1}]} \quad (F/m) \qquad (9)$$

식(9)는 탐침을 둘러싸고 있는 절연물질이 없다는 가정하에서 유도된 식이다. 하지만 실제로는 전도성 유체에서도 캐패시턴스 값을 측정하기 위해서 그림 2 와 같이 탐침에 절연 물질을 사용하게 된다.

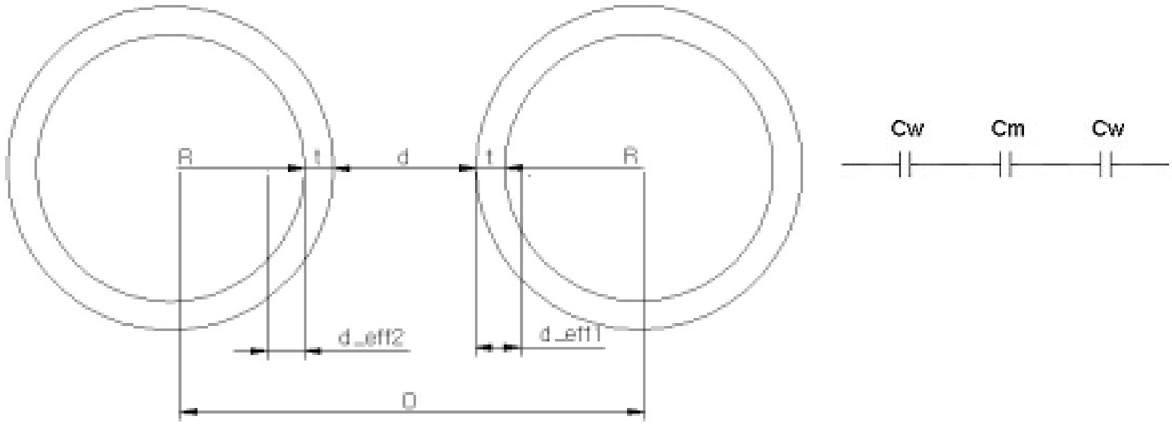

그림 2. 절연물질 사용시 축전성 탐침 모델 (a) 실제 도면 (b) 등가캐패시턴스

절연물질에 대한 식의 효과를 추가하기 위해서 다음과 같은 식(9)를 다음과 같이 수정하였다

$$C = C_0 \xi \tag{10}$$

여기서 ξ 는 비례상수로 코팅물질을 고려하였을 때의 캐패시턴스 값과 코팅물질을 고려하지 않았을 때의 캐패시턴스 값의 비율을 나타낸다.

ξ 를 구하기 위해 먼저 코팅물질을 사용하였을 경우의 캐패시턴스 값을 구하도록 하겠다. 코팅물질을 사용하였을 때는 측정 매질에 대한 캐패시턴스인 C_m 과 코팅물질에 의한 캐패시턴스인 C_w 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_m = \frac{\varepsilon_m A}{d_{m1}} = \frac{\varepsilon_m A}{d + d_{eff1}} \tag{11}$$

$$C_w = \frac{\varepsilon_w A}{d_w} \tag{12}$$

d_{eff1} 는 원통 모양을 고려한 실제 거리로 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$d_{eff1} = \frac{\int_{-(R+t)}^{(R+t)} (-\sqrt{(R+t)^2 - x^2} + R + t)\, dx}{\int_{-(R+t)}^{(R+t)} x\, dx} \tag{13}$$

따라서 코팅물질이 고려된 캐패시턴스 C_t 는 C_{t1} 은 C_m 와 C_w 의 직렬연결로 이므로 다음과 같이 계산되어 진다.

$$C_t = \frac{C_m C_w}{2C_m + C_w} \tag{14}$$

코팅물질을 사용하지 않았을 경우의 캐패시턴스 C_{t0} 는 아래 식과 같이 나타내어진다.

$$C_{t0} = \frac{\varepsilon_{water} A}{d_{m2}} = \frac{\varepsilon_{water} A}{d + 2t + d_{eff\,2}} \tag{15}$$

여기서 $d_{eff\,2}$ 는 원통 모양을 고려한 실제 거리로 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$d_{eff\,2} = \frac{\int_{-R}^{R} (-\sqrt{R^2 - x^2} + R)\, dx}{\int_{-R}^{R} x\, dx} \tag{16}$$

그러므로 코팅물질을 사용했을 경우와 그렇지 않을 경우의 비인 ξ 는 다음과 같이 구할수 있다.

$$\xi = \frac{C_t}{C_{t0}} \tag{17}$$

위 모델링의 정확성을 검증하기 위해서 모델링과 임피던스 분석기(Impedance analyzer)를 가지고 캐패시턴스를 측정한 값을 비교해 보았다. 이 때 임피던스 분석기는 Hewlett Packard 사에 제조한 HP4192A 를 사용하였고 코팅물질로는 상대유전율이 5.1 인 아나멜을 사용하였다. 기름, 물(증류수)의 모델링 값과 측정 값은 표 2 와 같다.

표 2. 각 유체의 종류에 따른 캐패시턴스

물질	유전율(ε_r)	측정값	모델링값	오차(%)
기름	2.3	1.401pF	1.356pF	3.2%
물(증류수)	80	14.22pF	13.69pF	3.7%

실제로 코팅물질을 고려한 모델링 값과 실제 측정 캐패시턴스 값이 기름에서 3.2%, 물에서 3.7%의 오차를 보이고 있다. 물과 기름의 경우 모두에서 모델링 값과 실제 측정값이 거의 일치하고 있는 것으로 위의 모델링이 타당하다고 할 수 있다.

2.2 축전성 탐침 설계

축전성 탐침은 유전율 변화에 대한 민감성과 선형성을 가지고 있어야 하며 또 기포의 속도를 측정할 수 있도록 설계되어야 한다. 이 때 탐침으로 인한 기포의 변형이나 붕괴는 최소화 되어야 한다. 이 본 연구에서 설계한 축전성 탐침의 설계 도면은 그림 3 과 같다.

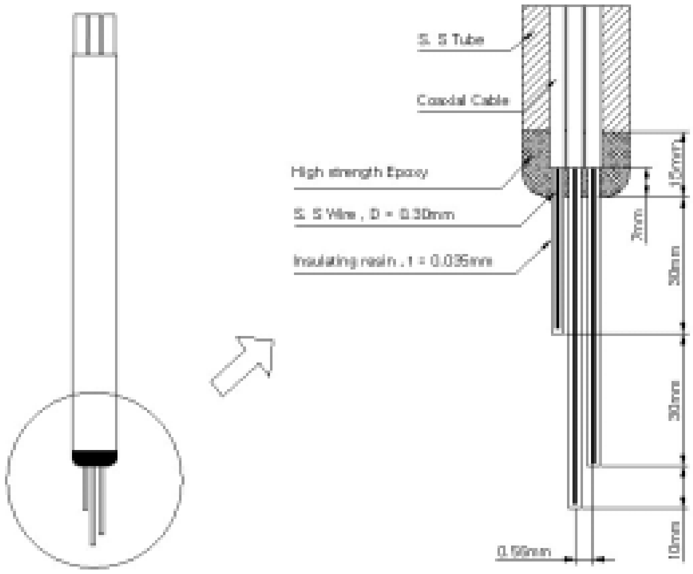

그림 3. 축전성 탐침

탐침의 직경은 기포의 변형이나 붕괴를 막기 위해서 최소화 되어야 한다. 본 연구에서는 직경 0.30mm 의 강철침을 사용하였다. 또 송신 전극과 수신 전극에 기포가 동시에 닿았을 때에는 기포의 변형이 크게 일어날 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 송신 전극을 수신 전극보다 1mm 길게 설계하였다. 또 송신전극과 수신전극의 길이차로 인한 정전장의 왜곡을 최소화 하기 위해서 송신전극과 수신전극간의 거리를 최소화(0.56mm)하여서 대부분의 정전장이 전극사이에 걸리도록 하였다. 기포의 시간간격에 따른 자료를 얻기 위해서 두 수신 전극의 길이에 3mm 차이를 두었다. 이는 기포가 첫번째 탐침을 지날 때와 두번째 탐침을 지날 때의 얻어진 시간 간격을 이용해 기포의 상승 속도의 측정을 위함이다. 세 개의 탐침을 제외한 나머지 부분은 전기적으로 절연되어 있다. 또 그림 4 와 같이 탐침의 차이로 얻어진 신호는 동축케이블을 통해서 캐패시턴스 측정 회로와 연결되어 있다.

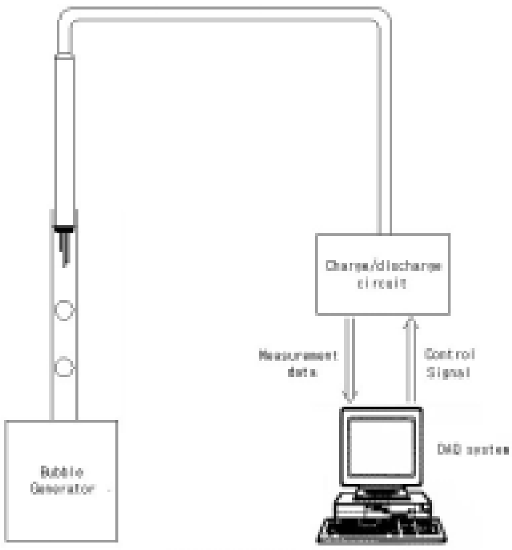

그림 4. 시스템 구조도

3. 캐패시턴스 측정 회로

3.1 충전/방전 회로

저항성 탐침으로부터 나온 신호를 처리하기 위해서 충전/방전 회로를 기반으로 캐패시턴스 측정회로를 구성하였다. 본 연구에서 쓰인 충전/방전 회로는 그림 5 처럼 나타낼 수 있다.

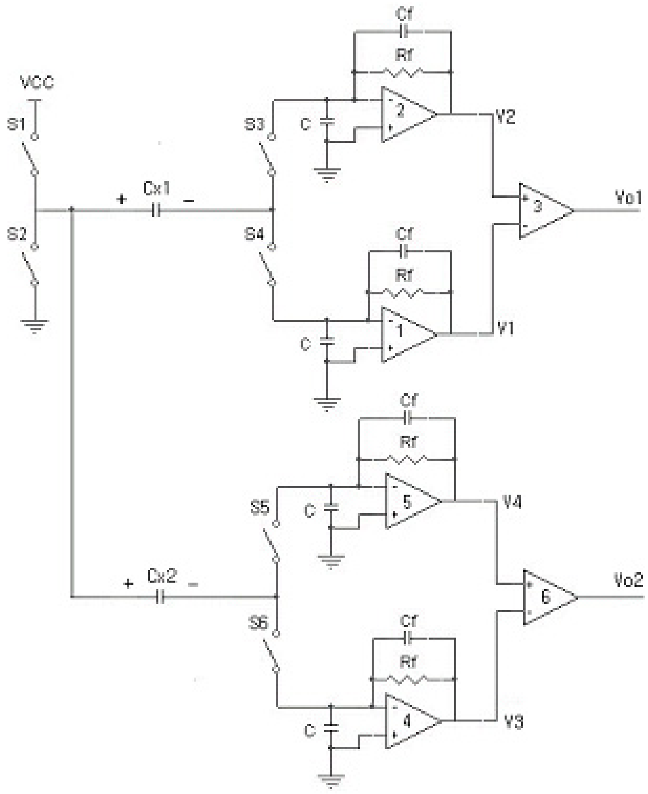

그림 5. 충전/방전 회로

여기서 V_{CC} 는 회로의 전원전압, C_x 는 측정 캐패시터, S1, S2, S3, S4 는 CMOS 스위치, R_f 는 피드백 저항, C_f 는 피드백 캐패시터, C 는 안정화 캐패시터를 의미한다.

위의 회로는 하나의 송신부 (S1,S2 스위치로 이루어 지는 부분)와 두개의 수신부(S3, S4, S5, S6)로 이루어져 있어서 송신부는 가운데 탐침에 수신부는 양끝 탐침에 연결되게 된다. 두개의 수신부의 동작은 동일하므로 S3,S4 로 이루어지는 하나의 수신부에 대해서만 설명하도록 하겠다.

회로의 동작은 충전기와 방전기로 나누어 지며 먼저 충전기에서는 S1 스위치와 S4 스위치가 닫히게 된다. (동시에 S2, S3 스위치는 열리게 된다) V_{CC} 로부터 흘려들어온 전하가 C_x 를 충전하게 되고 C_x 에 저장된 양과 동일한 양의 전하가 OP 앰프로 흘러 들어가 저항(R_f)를 거치면서 음의 전압을 발생시킨다. 또 방전시에는 반대로 S2 스위치와 S3 스위치가 닫히게 되고 (동시에 S1, S4 스위치는 열리게 된다) C_x 를

충전하게 되어 있던 전하가 S2 스위치 쪽 그라운드(GND)로 빠져나가면서 C_x 에 저장된 양과 동일한 양의 전하가 OP 앰프로 흘러 들어와 저항(R_f)를 거치면서 양의 전압을 발생시킨다. 따라서 출력전압 V_o 는 다음과 같이 두 신호의 차로 주어진다.

$$V_O = V_{discharge} - V_{charge} = 2fV_{CC}R_fC_x \tag{9}$$

따라서 C_x 는 다음과 같이 주어진다.

$$C_x = \frac{V_O}{2fV_{CC}R_f} \tag{10}$$

여기서 회로의 스케일링 요소 (scaling factor)는 f, R_f, V_{CC} 이다.

3.2 이격전압(offset voltage) 제거 회로

작은 기포가 축전성 탐침을 지나갈 경우에 충전/방전 회로에서 측정되는 전압은 기포가 없을 때의 측정 전압에서 미세한 변동만이 있을 뿐이다. 이 변동을 측정하기 위해서는 측정시 기포가 없을 때의 전압을 상쇄시킨 다음 전압차를 증폭하는 과정이 필요하다. 그림 6 은 충전/방전 회로로부터 나온 신호에 전압을 제거하는 과정을 나타내고 있다.

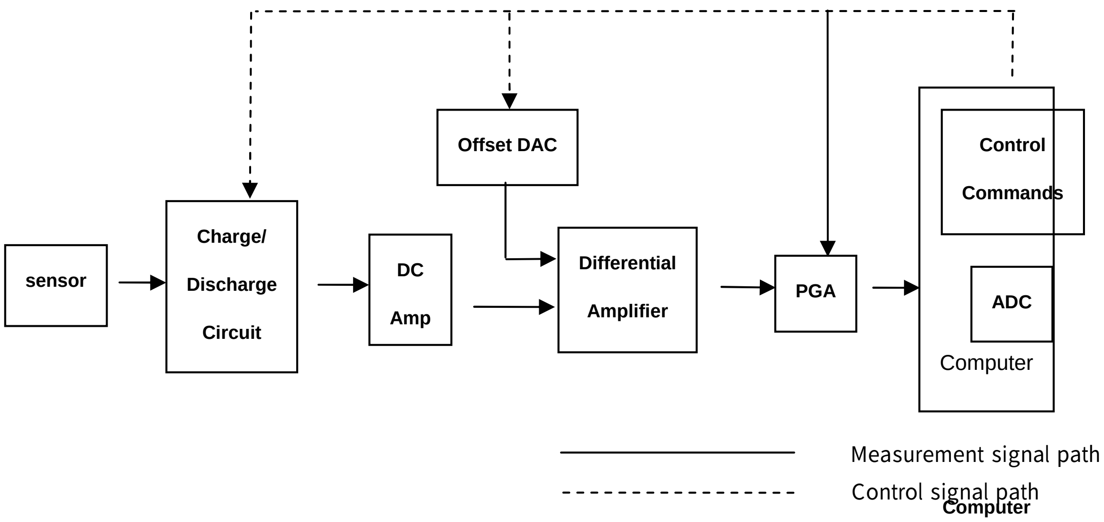

그림 6. 이격 전압 제거 과정

충전/방전회로로부터 나온 먼저 증폭기(AD620B)에 의해서 증폭된다. 그 다음 이격(offset)전압을 상쇄시키기 위해서 실험에 의해서 미리 저장된 이격전압값을 16 트 디지털-아날로그 변환기(NI6036E)와 차동 증폭기(INA105)를 사용하여 거쳐서 원래의 전압신호에서서 상쇄시키게 된다. 다음은 가변 이득 증폭기 (PGA202)로 들어가서

아날로그-디지털 변환기(analog-digital converter)의 측정영역에 알맞게 증폭되고 증폭된 신호는 아날로그-디지털 변환기의 의해서 수치로 변환되어 저장되게 된다.

3.3 캐패시턴스 측정회로 성능 검증

센서 구동 회로에서의 성능의 평가를 위한 다양한 기준들이 있으나 이상유체의 국소파라메터를 측정시 요구되는 기준들은 넓은 캐패시턴스 영역에서의 정확성, 캐패시턴스 해상도, 기포가 지나갈 때의 응답속도등으로 나눌수 있다.

캐패시턴스 측정 회로의 정확성의 검증을 위해서 캐패시턴스 측정 회로에 의해 측정된 캐패시턴스 값을 임피던스 분석기에 의해 측정된 캐패시턴스 값을 비교하여 보았다. 그림 7 은 30fF 부터 100pF 까지 캐패시턴스 범위에서 캐패시턴스 측정 회로의 측정결과와 임피던스 분석기의 측정결과를 비교한 그림이다.

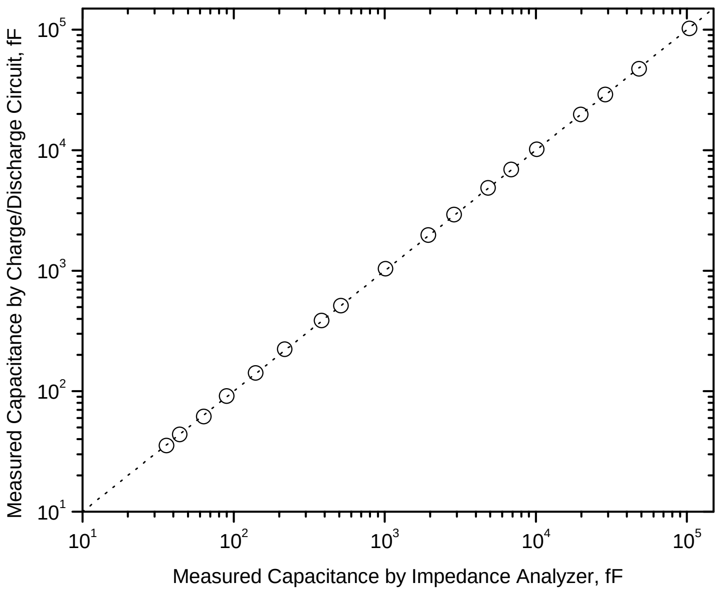

그림 7 . 임피던스 분석기와 캐패시턴스 측정 회로와의 캐패시턴스 값 비교

비교 결과 30fF 에서부터 100pF 까지 전 비교 영역에 걸쳐서 캐패시턴스 측정 회로와 임피던스 분석기와의 최대 오차가 단지 2.94%밖에 되지 않았다. 이는 본 연구에서 사용한 캐패시턴스 측정 회로가 pF 단위의 캐패시턴스뿐 아니라 fF 단위의 저준위 레벨의 캐패시턴스도 정확히 측정하고 있음을 알 수 있다.

또 노이즈 분포와 단위 캐패시턴스 당 최대 출력 전압을 비교해 볼 때 본 회로의 캐패시턴스 해상도는 약 0.3fF 로 캐패시턴스의 해상도는 기포의 움직임을 분별해 내기에 충분한 값이다.

캐패시턴스 측정 회로의 응답속도는 충전/방전 회로의 RC 필터 시정수(τ)에 따라서 달라진다. 본 연구에서는 충전/방전 회로에 R_f 는 1M Ω 을 C_f = 100 ㄴ pF 을 사용하였기 때문에 회로의 시정수(time constant)는 다음과 같다.

$$\tau = R_f C_f = 0.1ms \tag{11}$$

정상상태 값에 98%에 도달하기 정착시간(Settling time)은 4 τ 이므로 0.4ms 가 된다.

한편 기포의 속도는 20 cm/s 를 초과하기 힘들기 때문에 기포의 속도를 최대 20 cm/s 라 둘 때 이 기포가 충전/방전 회로의 정착 시간인 0.4ms 동안에 가는 거리는 다음과 같다.

$$D_{bubble} = v_{\max} * t_{settling} = 20cm/s * 0.4ms = 0.8mm \tag{12}$$

이것은 실제 탐침의 거리인 3mm 보다 작은 것으로 이는 회로의 응답속도 지연으로 인한 측정자료의 손실이 생기지 않음을 의미한다.

4. 결과 및 토의

4.1 축전성 탐침의 성능 검토

축전성 탐침의 성능을 알아보기 위해서 전자장 해석을 수행하였다. 먼저 송신전극과 수신전극의 길이차 때문에 생기는 정전장의 왜곡의 효과를 살펴보기 위해서 기름과 물에 경우에 대해서 모의 실험을 수행하였다. 그림 8 에서 나타난 바와 같이 기름과 물에서 기포가 지나가지 않을 경우에 대한 축전성 탐침의 정전장의 분포이다. 송신전극과 수신전극사이의 간격이 좁기 때문에 물과 기름의 경우 모두에서 송수신 전극사이의 정전장이 주변보다 훨씬 강하게 형성되며 각 전극의 끝에서의 정전장의 왜곡은 미세한 값을 가짐을 알 수 있었다. 여기서 기름과 물의 정전장 분포의 차이는 각물질의 유전율과 코팅물질의 유전율의 차이에 기인한다.

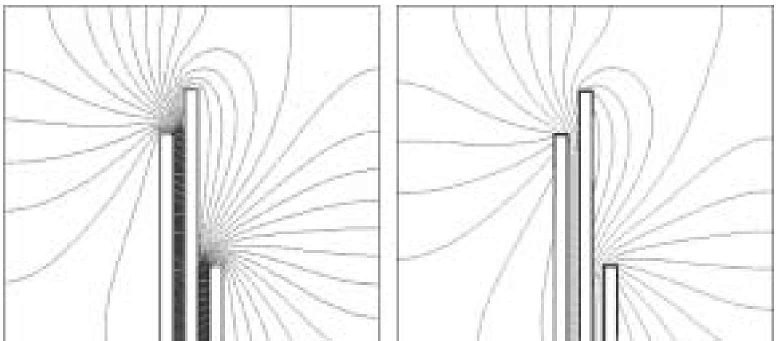

그림 8. 기름과 물에서의 정전장의 분포 (a) 기름; (b) 물

기포가 지나갈 때의 정전장의 분포를 보기위해 그림 9 에 나타난 바와 같이 기포가 탐침사이를 지나갈 때 기포의 위치에 따라서 정전장의 변형이 생기는 것을 관측하였다. 특히 그림 9.(b)나 (c) 같이 기포가 송신전극과 수신전극을 동시에 지나는 경우에는 송수신 전극간의 조밀한 정전장이 기포의 영향을 받으므로 측정 캐패시턴스 값이 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

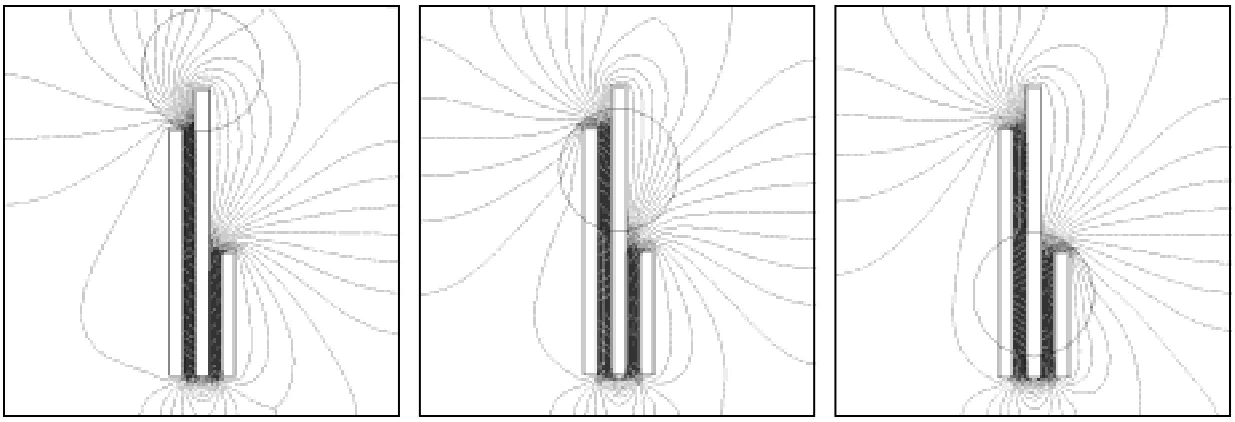

그림 9. 기름 사이로 기포가 지나갈 때의 정전장의 분포
(a) 기포가 상단에 있을 때; (b) 기포가 중간에 있을 때; (c) 기포가 하단에 있을 때

실제로 축전성 탐침의 선형성을 조사하기 위해서 축전성 탐침에 끝부분부터 물과 기름을 채워가면서 캐패시턴스 값을 측정하였다. 그림 10 은 유체를 채운 거리에 따른 캐패시턴스 값을 나타낸 실험결과로 기름과 물에서 모두 선형성을 보이고 있다. 그리고 송수신 전극이 모두 닿지 않았을 경우에는 (10mm 지점까지) 캐패시턴스의 큰 변화가 없음을 확인할 수 있었다. 이로써 본 연구에서 제안한 축전성 탐침이 기포에 크기에 따라서 신호의 크기가 선형적으로 변하고 있음을 알 수 있다.

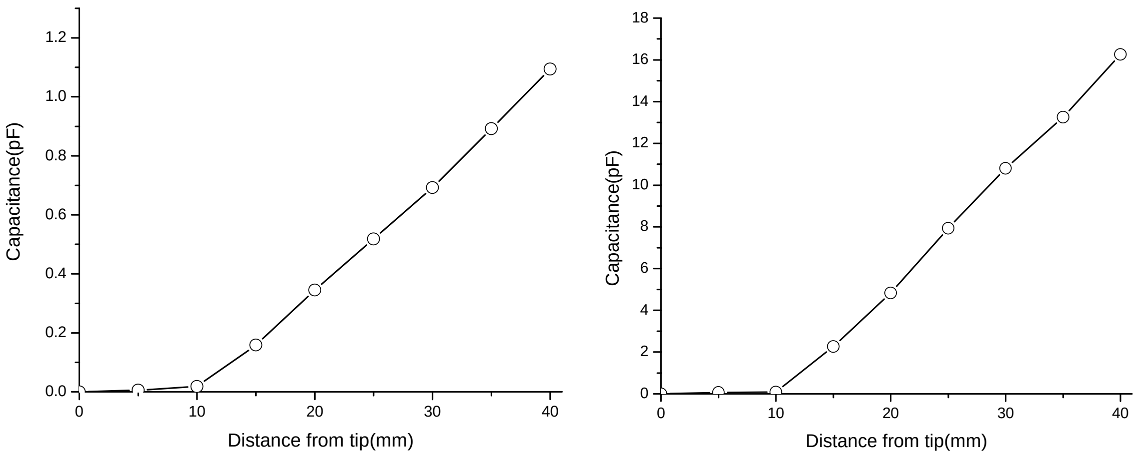

그림 10. 축전성 탐침의 끝에서부터 유체를 채워갈때의 캐패시턴스의 변화량 (a) 기름; (b)물

4.2 기포 측정 실험

본 연구에서 설계된 축전성 탐침과 캐패시턴스 측정회로를 사용하여서 기포를 측정하였다. 실험은 기름에서 $0.5cm/s$ 의 속도로 진행하는 기포를 축전성 탐침에 통과시키는 것으로 수행되었다. 그림 11 에서 보는 것과 같이 두 수신 전극에사이의 길이차에 의한 0.3 초의 신호의 지연이 있었다. 또 두 수신 전극사이의 전압의 변화값으로부터 식(10)에 의해서 5mm 기포의 크기를 추정할 수 있다.

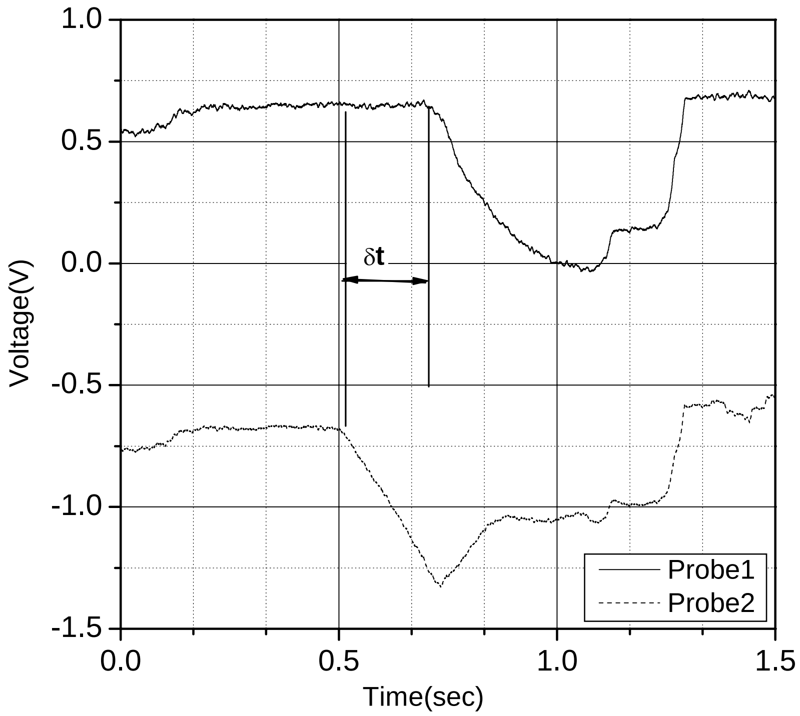

그림 11. 회로의 응답속도

4. 결 론

본 연구에서는 이상유체의 국소 흐름 파라메터를 측정하기 위한 축전성 탐침의 설계를 수행하였다. 이를 위해서 축전성 탐침의 모델을 개발하고 이에 대한 모델링을 수행하였으며 실험을 통해서 이를 검증하였다. 탐침으로부터 넘어온 유전율 정보로부터 캐패시턴스를 측정하기 위해서 충전/방전 원리를 기본으로 한 캐패시턴스 측정회로를 사용하였다. 이를 바탕으로 축전성 탐침을 이용한 이상유동의 국소 흐름 파라메터의 측정의 방법을 구성하였다

참고문헌

David K., Cheng The fundamentals of Engineering Electromagnetics, *Addison Wesley*
G.F. Hewitt, 1978. Measurement of the Two Phase Flow Parameters, Academic Press, London
Huang S M, Xie C G, Thorn R, Snowden D and Beck M S, 1992. Design of sensor electronics for electrical capacitance tomography. IEE proc. G, 139 83-8
K.Sanaullah, S.H.Zaidi, J.H.Hills, 2001. A study of bubble flow using resistivity probes in a novel configuration. Chemical Engineering Journal. 45-53
S. Hogsett, M. Ishii, 1997. Local two-phase flow measurements using sensor techniques Nuclear Engineering and Design. 175, 15-24
S. M. Huang, C. G. Xie, R Thorn, D. Snowden, M.S Beck, 1992. Design of sensor electrinics for electrical tomography. IEE prog. G Vol 139.
S M Huang, J Fielden,R G Green and M S Beck, 1988. A new capacitance transducer for industrial application. J. Phys. E: Sci.Instrum. 21, 251-256.
Takashi Hibiki, Mamoru Ishii, Zheng Xiao, 2001. Axial interfacial area transport of vertical bubbly flows. International Journal of Heat and Mass Transfer 44, 1869-1888.
Xie C G, Huang S M, Hoyle B S and Beck M S, 1992Transputer-based electrical capacitance tomography for real time imaging of oilfield flow pipelines. Proc. European Co ncerted Action on Press Tomography, Manchester, pp 281-94