

압전진동자를 이용한 초음파형 풍향풍속계

이선길^{1,3} · 문영순¹ · 최시영^{2,+}

The Ultrasonic Type Wind Sensor with Piezoelectric Actuator

Seon-Gil Lee^{1,3}, Young-Soon Moon¹, and Sie-Young Choi^{2,+}

Abstract

The ultrasonic wind sensor that pass through the air, beating the delivery of ultrasonic wind speed increases or decreases by the physical characteristics of the wind speed and the direction of the sensor, the transmission and reception of ultrasonic time difference measured by a two-axis vector wind and wind speed measured by calculating a device that converts the digital signal is Anemometer and wind direction meteorological facilities management, management of the ship sail used for various purposes, including, but used the existing 3-cup (mechanical) anemometer wind rotor caused by mechanical wear parts replacement due to the short-term, the reliability of the product is low, parts replacement, and according to the characteristics caused the car, there is a problem in high maintenance costs. In addition, because the bearings use of the marine environment and the cryogenic environment was constrained.

In this study, the excellent long-term reliability, using ultrasonic-type environment that is not constrained to produce wind anemometer located 90° conformal road using four piezoelectric sensors were fabricated structures, the piezoelectric oscillator circuit produces a rash and receiving transmit and receive speeds the car through the two-axis vector calculation to measure wind velocity processor firmware programming, and its characteristics were tested.

Keywords : Ultrasonic, Anemometer, Wind sensor, Velocity, Direction, Piezoelectric

1. 서론

초음파형 풍향풍속계(ultrasonic type wind sensor)는 공기매질을 통해 전달되는 초음파의 전달속도가 바람에 의해 증가하거나 감소하는 물리적인 성질을 이용하여 바람의 속도와 방향을 측정하는 센서로, 초음파의 송수신 시간차를 2축으로 측정하여 벡터계산을 통해 풍향과 풍속을 측정하여 디지털 신호로 변환하는 장치이다.

풍향풍속계는 기상관측 및 시설관리, 선박의 항해관리 등 다양한 용도로 사용되고 있지만, 기존에 사용되고 있는 풍배형 (기계식)

풍향풍속계는 회전체의 기계적인 마모에 의해 발생하는 짧은 주기의 부품교체로 인해, 제품의 신뢰성이 낮고, 부품교체에 따른 특성차가 발생하며, 유지보수 비용이 높다는 문제점이 있었다. 뿐만 아니라, 베어링을 사용하기 때문에 해양환경 및 극저온 환경 등 사용상의 제약이 많았다.

본 연구에서는 장기신뢰성이 우수하고, 사용환경에 제약을 받지 않는 초음파형 풍향풍속계를 제작하기 위하여 90° 등각도로 위치한 4개의 압전진동자를 사용하여 센서 구조물을 제작하였으며, 압전진동자 발진 및 송수신 회로를 제작하고, 송수신 속도차를 이용하여 2축 벡터계산을 통해 풍향풍속을 측정할 수 있도록 프로세서에 펌웨어를 프로그래밍하여 그 특성을 실험하였다.

2. 실험 방법

2.1 센서 구조물 설계 및 제작

공기 매질을 통해 초음파를 송수신하는 경로에 바람이 지나가도록 구성 함으로써, 바람의 세기와 방향으로 인해 초음파 송수신 신호의 전달시간이 증가 또는 감소하는 현상이 발생하며, 그 증감되는 양을

¹경북대학교 센서 및 디스플레이공학과(Department of Sensor and Display Engineering Kyungpook National University)
1370 Sankyuk-dong, Buk-gu Daegu 702-701, Korea

²경북대학교 IT대학 전자공학부(School of Electronics Engineering Kyungpook National University)
1370 Sankyuk-dong, Buk-gu Daegu 702-701, Korea)

³주대양계기(Daeyang Instrument Co., LTD.)
612-3 Songjeong-dong, Gangseo-gu Busan 618-270, Korea

*Corresponding author: sychoi@ee.knu.ac.kr

(Received : Jul. 1, 2013, Accepted : Jul. 21, 2013)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

벡터계산을 통해 풍속과 풍향으로 환산하는 원리를 이용하였다.

초음파는 음파와 동일한 물리적인 특징을 가지고 있고, 초음파 속도는 매질의 온도(T)에 따라 결정되며, 공기중의 초음파 전달속도(V)는 식(1)과 같다.

$$V = 331.5 + 0.6T \quad (1)$$

일정한 거리(D)로 마주보고 있는 압전진동자 사이에서의 초음파 속도(Vu) 및 수신시간(t)는 식(2)와 같다.

$$V = \frac{D}{t} \quad (2)$$

이때, 바람이 발생하면 바람의 방향과 같은 방향으로 송수신하는 초음파 속도는 풍속(Vw)에 해당하는 속도만큼 증가하여, 수신시간(t)은 짧아지며(식(3)), 바람과 반대방향으로 송수신 하는 초음파 속도는 풍속에 해당하는 속도만큼 감소하여, 수신시간(t_r)은 길어진다.(식(4))

$$Vu + Vw = \frac{D}{t_i} \quad (3)$$

$$Vu - Vw = \frac{D}{t_r} \quad (4)$$

식(3)에서 식(4)를 감산하여 정리하면 풍속(Vw)는 식(5)와 같다.

$$Vw = \frac{D}{2} \left(\frac{1}{t_i} - \frac{1}{t_r} \right) \quad (5)$$

Fig. 1과 같이 90° 등간격·등각도로 위치한 4개의 압전진동자(S1, S2, S3, S4)가 서로 마주 보는 진동자와 ①→②→③→④의 순서로 송수신을 하도록 설계 하였다.

두 쌍의 압전진동자가 서로 송수신하여 측정된 X축방향의 풍속(Vx) 및 Y축방향의 풍속(Vy)을 이용하여 벡터계산을 통해 식(6), 식(7)과 같이 풍향(θ)과 풍속(Vw)을 계산할 수 있다[1, 2].

$$\theta = \arctan\left(\frac{Vx}{Vy}\right) \quad (6)$$

$$Vw = \sqrt{Vx^2 + Vy^2} \quad (7)$$

Table 1은 본 실험을 위해 사용한 압전진동자의 사양으로, 200 kHz 대역의 압전진동자를 사용하였으며, 송신각도가 10° 내외로 좁고 송신출력이 100 dB로 특성이 우수하였다.

Fig. 2는 압전진동자 분석을 위해 HP4194A Impedance analyzer를 이용하여 임피던스 파형을 측정된 데이터로, 195 kHz

의 1차 공진점을 가진 것을 확인하였다[3].

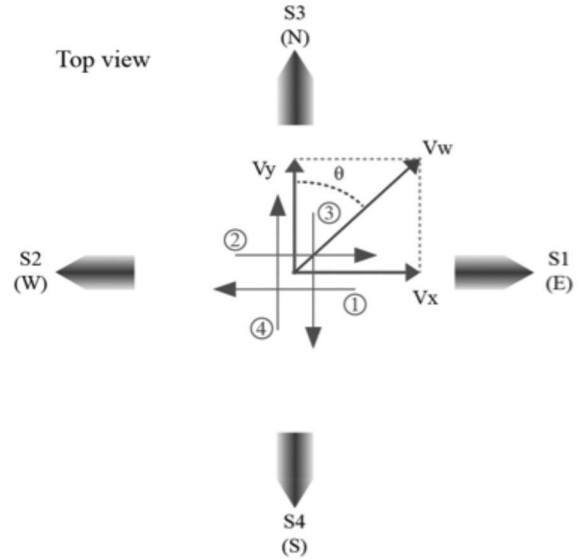


Fig. 1. Measurement principle of wind velocity and direction.

Table 1. Specification of piezoelectric actuator

Operating frequency	Capacitance	Transmit sensitivity	Receive sensitivity
200±10 kHz	300±45pF	100dB (1uPa/V)	-180dB (1V/uPa)

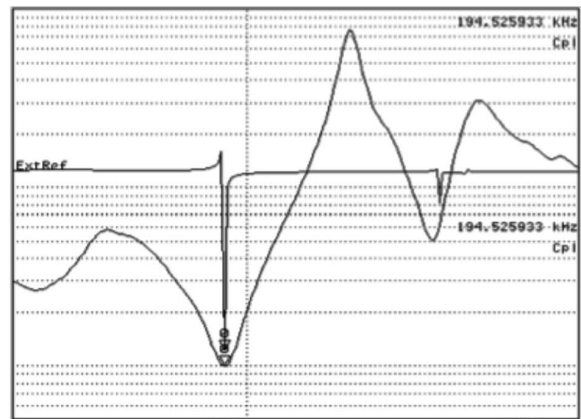


Fig. 2. Resonance analysis.

실외에 사용되는 제품의 특성상, SUS304재질을 사용하여 시제품을 제작하였고, 센서간 각도 및 거리를 일정하게 유지하기 위해 지그를 사용하여 조립하였으며, 필름히터를 사용하여 압전진동자에 결빙을 방지할 수 있도록 제작하였다(Fig. 3).



Fig. 3. Trial manufactured wind sensor.

2.2 풍향 · 풍속 측정을 위한 회로 및 펌웨어 설계

풍향 및 풍속을 측정하기 위하여, 압전진동자 및 초음파 송신부, 초음파 수신부, 신호처리부, 히터제어부, 외부 입출력부, 전원공급부 등, Fig. 4와 같이 구성하였다.

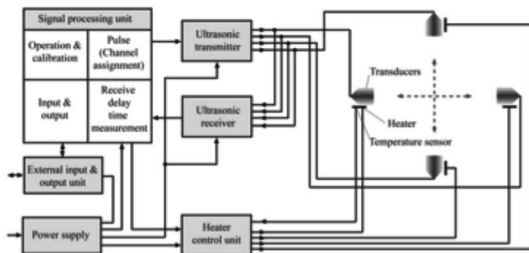


Fig. 4. Block diagram of ultrasonic wind sensor.

75 m/s 고품속에서도 측정이 가능하도록 초음파 송신 파워증폭기 및 임피던스 매칭 회로 및 수신신호 2단 증폭기 회로를 설계하였으며, 초음파 수신신호 레벨 검출 회로를 통해 정도(accuracy)를 향상시켰다[4-6].

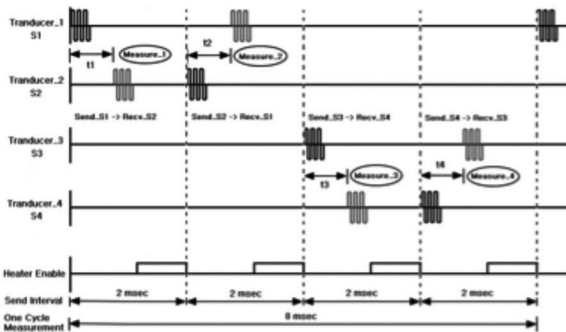


Fig. 5. Transmit/receive timing chart.

Fig. 5는 풍향 및 풍속을 측정하기 위한 송수신 시퀀스로, 콘트롤러에 내장된 타이머를 이용하여, 2 msec마다 초음파 펄스출력 신호를 발생하고, 4개의 압전진동자가 8 msec동안 X, Y 2축의 풍속값을 측정하였다.

또한, 압전진동자에 밀착된 구조의 히터는 압전진동자면의 결빙을 방지할 목적으로 NTC온도센서에 의해 5°C이하의 온도에서 동작한다.

Fig. 6에서 히터전원은 DC 24 V, 4 A로 4개의 압전진동자에 각각 설치되어 온도센서에 의해 제어된다.

NTC온도센서의 사양은 10 KΩ(25°C) 을 사용하며 L1과 C83,C84 부품에 의해 low pass filter로 노이즈를 감소시키고, R116 = 11 KΩ, R118=10 KΩ, Volt = 15 V 로 설정된 전압 7 V 를 비교전압으로 NTC의 출력전압을 비교하여 FET스위치로 히터 가열동작을 제어하였다.

Fig. 7은 압전진동자 4개의 송수신 파형을 나타낸 것으로, 노란색 파형은 첫번째 트랜듀서의 송신선택 신호파형 이고, 하늘색 파형은 수신파형을 오실로스코프로 측정한 파형으로, 모두 정상적으로 송수신 하는 것을 볼 수 있다[7, 8].

최대풍속 70 m/s까지 발생시킬 수 있는 풍동계를 사용하여, 22.5° 각도로 16방위 풍향 시험 및 10 m/s간격으로 70 m/s 까지 풍속 시험을 실시하였다(Fig. 8).

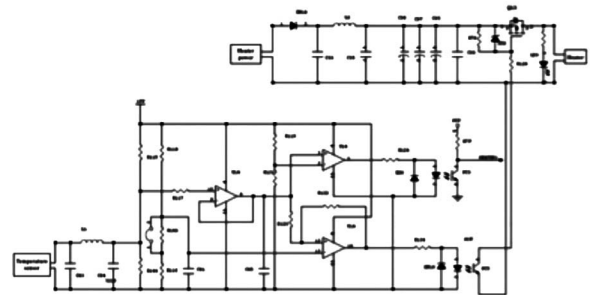


Fig. 6. Heater control schematic design.

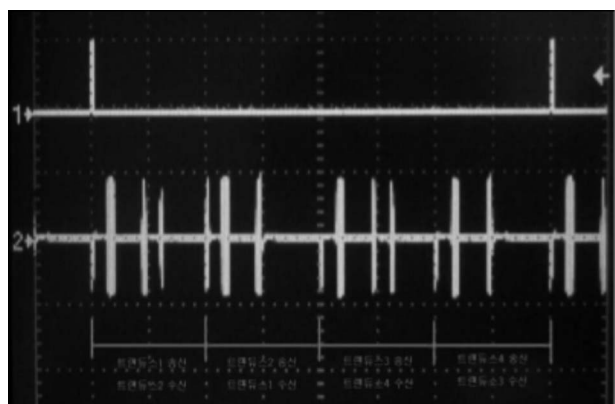


Fig. 7. Transmit/receive oscilloscope wave form.

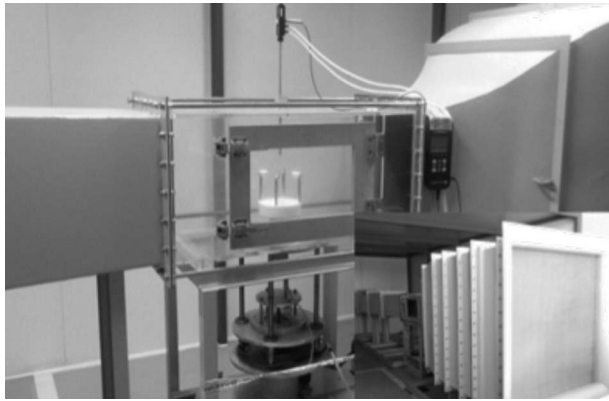


Fig. 8. Wind direction and velocity test.

3. 결과 및 고찰

3.1 초음파형 풍향풍속계의 실내(풍동계) 시험

정밀 제어용 턴테이블이 설치된 풍동계를 이용하여 22.5° 각도로 16방위 풍향 시험을 하였다. Fig. 9는 풍향 시험 결과 그래프로 0.01% 풍향 오차를 갖는 매우 우수한 특성을 나타내었다.

정밀 제어용 인버터가 설치된 풍동계를 이용하여 3 m/s 및 5 m/s 그리고 10 m/s 간격으로 70 m/s 까지 풍속 시험을 하였다. Fig. 10은 풍속 시험 결과 그래프로 1.19%의 풍속 오차를 갖는 매우 우수한 특성을 나타내었다.

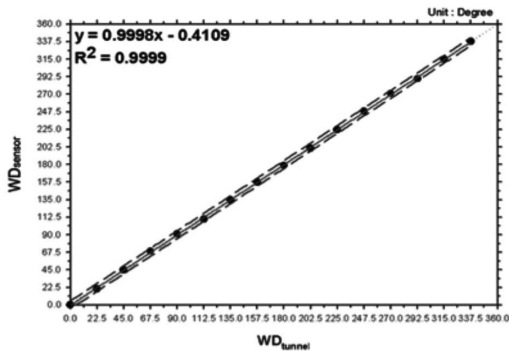


Fig. 9. Output data of wind direction test.

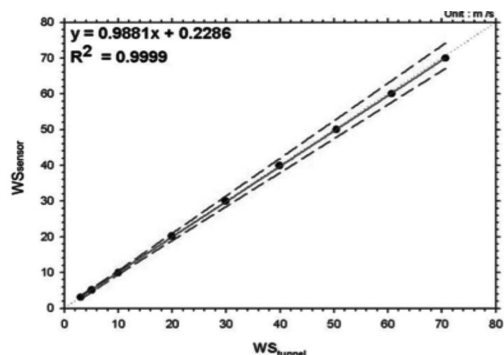


Fig. 10. Output data of wind velocity test.

3.2 초음파형 풍향풍속계의 실외(비교관측) 시험

실외에서 사용하는 센서의 특성을 감안하여 기준센서와 함께 고차표준기상관측소에 설치하여 실외(비교 관측) 시험을 실시하였다 (Fig. 11).

비교 관측 시험에 사용된 기준센서는 Vaisala WS425 로 이 제품의 풍속 측정 범위는 0~65 m/s, 풍속 정확도는 3%, 풍향 정확도는 ±2° 이다[9]. 실외 시험을 통해 측정된 기준센서인 Vaisala WS425 센서와의 비교 관측 시험에서 5.8%의 범위 내에서, 신뢰성이 우수한 안정된 결과를 나타내었다.(Fig. 12)



Fig. 11. Outside comparison test.

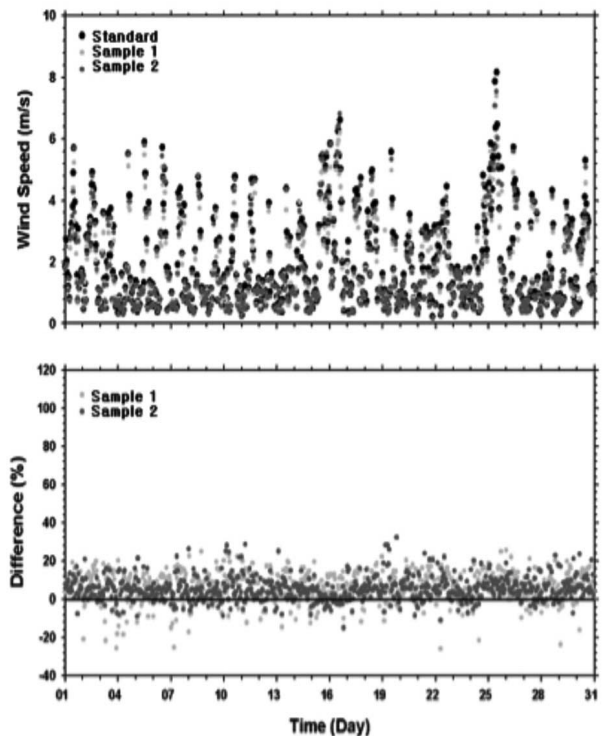


Fig. 12. Output data of outside comparison test.

4. 결론

기존에 사용되고 있는 풍배식(기계식) 풍향풍속계는 회전체의 기계적인 마모에 의해 발생하는 짧은 주기의 부품교체로 인해, 제품의 신뢰성이 낮고, 부품교체에 따른 특성차가 발생하며, 유지보수 비용이 높다는 문제점이 있었다. 뿐만 아니라, 베어링을 사용하기 때문에 해양환경 및 극저온 환경 등 사용상의 제약이 많았다.

본 연구에서는 공기 매질을 통해 초음파를 송수신하는 경로에 바람이 지나가도록 구성 함으로써, 바람의 세기와 방향으로 인해 초음파 송수신 신호의 전달시간의 증감을 벡터계산을 통해 풍속과 풍향으로 환산하는 원리를 이용하여 장기신뢰성이 우수하고, 사용환경에 제약을 받지 않는 초음파형 풍향풍속계를 제작하였으며, 압전진동자 발진 및 송수신 회로를 제작하고, 송수신 속도차를 이용하여 2축 벡터계산을 통해 풍향풍속을 측정할 수 있도록 프로세서에 펌웨어를 프로그래밍하여 그 특성을 실험하였다.

실내 풍향 시험 결과 0.01% 풍향 오차를 갖는 매우 우수한 특성을 나타내었으며, 풍속 시험에서도 70 m/s 까지 측정된 결과 1.19%의 풍속 오차를 갖는 것을 확인하였으며, 초음파를 이용한 Vaisala WS425센서에 비해 매우 우수한 특성을 나타내었다. 또한, 실외 시험을 통한 비교 관측 시험에서도 신뢰성이 우수한 안정된 결과를 나타내었다.

본 연구를 통해 기계식 풍향풍속계의 단점을 보완한 초음파형 풍향풍속계의 보급이 확산될 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 중소기업청과 기상청의 지원을 받아 수행된 연구임(S2045113).

REFERENCES

- [1] A. A. Quaranta, G. C. Aprilesi, G. D. Cicco, and A. Taroni, "A microprocessor-based, three axes, ultrasonic anemometer", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol. 18, No. 4, pp. 384-387, 1985.
- [2] A. Grelle and A. Lindroth, "Flow distortion by a solent sonic anemometer: wind tunnel calibration and its assessment for flux measurements over forest and field" *J. Atmos. Ocean. Technol.*, Vol. 11, pp. 1529-1542, 1994.
- [3] L. Svilainis and V. Dumbrava, "Measurement of complex impedance of ultrasonic transducers", *Ultragarsas*, Vol. 1, No. 62, pp. 26-29, 2007.
- [4] V. Domarkas and R. Kazys, "Piezoelectric transducers for measuring devices", *Mintis, Vilnius*, p. 255, 1975.
- [5] C. Kauczor, and N. Fröhleke, "Inverter topologies for ultrasonic piezoelectric transducers with high mechanical Q-factor", *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, Vol. 4, pp. 2736-2741, 2004
- [6] L. Capineri, L. Masotti, M. Rinieri, and S. Rocchi, "Ultrasonic transducer as a black-box: Equivalent circuit synthesis and matching network design" *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, Vol. 40, No. 6, pp. 694-703, 1993.
- [7] L. Svilainis, and G. Motiejūnas, "Power amplifier for ultrasonic transducer excitation" *Ultragarsas*, Vol. 1, No. 58, pp.30-36, 2006.
- [8] J. A. Brown and G. R. Lockwood, "A low-cost, high performance pulse generator for ultrasound imaging" *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, Vol. 49, No. 6, pp. 848-851, 2002
- [9] *WS425 Ultrasonic wind sensor for critical wind measurement applications*, Vaisala instruments catalog, pp. 120-121, 2005.

[1] A. A. Quaranta, G. C. Aprilesi, G. D. Cicco, and A.