

자동차용 냉각팬의 불량검출을 위한 팬 밸런서 시스템 개발

Development of Fan Balancer System for Detecting Unbalance of Automobile Cooling Fan

김성호* · 육의수*

Sung-Ho Kim* and Yui-Su Youk*

* 군산대학교 전자정보공학부

요 약

일반적으로 자동차용 냉각팬은 차량 냉각기의 온도를 낮추기 위해 사용되고 있다. 자동차용 냉각팬은 플라스틱 사출 공정에 의해 제작되며 사출시 사용되는 모재의 불균일성으로 인해 냉각팬 날개의 무게 중심이 중심에서 벗어나는 경우가 발생하게 된다. 이러한 불균형은 자동차 소음의 주된 원인이 되기 때문에 이에 대한 검사는 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 로드셀을 이용한 냉각팬 회전날개에서 발생하는 불균형의 위치 및 크기를 효율적으로 검출할 수 있는 팬 밸런서 시스템을 제안하고 제안된 시스템의 불평형 검출 성능 확인을 위해 실제 적용실험을 수행하였다.

키워드 : 차량용 냉각팬, 로드셀, 팬 밸런서

Abstract

Generally, automobile cooling fan is used to lower the temperature of radiator. The cooling fans are manufactured by plastic injection molding process. The center of gravity of cooling fan is often deviated from the center due to the use of deteriorated materials. As the unbalanced of the cooling fan can generate noise, it is required to measure the degree of deviation of center of gravity in the cooling fan. In this work, automatic fan balancer which can effectively detect the magnitude and position of the unbalanced cooling fan is proposed and several experiments are carried out to verify the feasibility of the proposed algorithm.

Key Words : Automobile cooling fan, load cell, fan balancer

1. 서 론

최근 세계 자동차 시장의 경쟁이 심화되는 가운데 완성차 업체의 글로벌 부품조달 전략과 함께 해외 직접 투자가 증가하면서 국내 부품산업을 둘러싼 산업환경은 급변하고 있다. 모듈별 부품조달이 확대됨에 따라 자동차 부품업체의 대형화가 이루어지고 있으며, 중국의 부상, FTA 추진, 자동차업체들의 글로벌 경쟁조달 및 부품업체에 대한 복수납품 허용 등으로 인해 부품산업이 보다 경쟁적이고 개방적으로 변화하고 있다. 한편, 하이브리드, 연료전지, 지능형 자동차 등 미래형 자동차 개발이 미래 자동차 경쟁력의 핵심으로 부각됨에 따라 여타 자동차 기술의 개발과 생산에서 부품업체의 역할이 강화되고 있는 실정이다. 이와 함께 외국계 완성차 업체의 수평 개방적 경쟁 납품 유도에 따라 자동차 부품 업체간 경쟁이 심화되고 있으며 국내 자동차 업체들의 해외진출이 활발하게 이루어짐에 따라 부품업체의 생산 및 판매구조에도 영향을 미치고 있다.

이와 같이 자동차 업체의 부품조달과 관련된 각종 환경이

급변하고 있어 국내 자동차 업체는 최적 부품조달을 위한 전략을 도출함으로써 국내 자동차부품 산업의 지속적인 발전 방향을 모색하고 있는 실정이다. 국내 자동차 부품산업의 기반이 견고하지 못하면, 국내 완성차 산업체의 경쟁력은 약화될 수밖에 없고, 중장기적으로 한국 자동차 산업의 존립을 위협할 것이다.

일반적으로 자동차에 사용되는 냉각팬은 플라스틱 사출공정에 의해 생산되며 사용되는 플라스틱 모재의 불균일성 및 사출시 사용되는 금형의 내부온도의 구배에 의해 냉각팬 내부에 밀도의 불평형이 발생된다. 이로 인해 냉각팬의 무게중심이 중심에서 벗어나게 되며 이는 회전시 소음 발생의 주요 원인이 되고 있다. 따라서 소비자의 욕구나 완성차 업체의 신뢰성을 확보하기 위해서는 생산된 냉각팬의 불평형을 정확히 감지할 수 있는 냉각팬 밸런서 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다[1-2].

현재 국내에서 사용되는 냉각팬의 불평형 검출을 위한 팬 밸런서 대부분은 일본에서 개발된 제품을 사용하기 때문에 상당히 고가이며 또한 장기간 사용시 발생하는 고장에 대한 A/S의 어려움이 있다. 또한 최근 완성차 생산업체에서는 자동차 내부의 다양한 부품들에 대한 구체적인 성능 스펙을 결정하고 그에 맞는 객관적인 데이터 및 성적서를 요구하고 있기 때문에 이러한 요구 스펙에 맞는 부품을 조달하기 위해서는 정밀 검사가 가능한 자동차용 냉각팬 밸런서 시스템의 개

접수일자 : 2008년 8월 1일

완료일자 : 2008년 10월 30일

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2008-000-20844-0) 지원으로 수행되었음.

발이 절실히 요구되고있다.

본 연구에서는 완성차 생산업체에서 요구하는 성능 스펙에 부합된 냉각팬의 불평형을 효과적으로 검출할 수 있는 자동 냉각팬 밸런서 장치를 개발하고자 한다. 현재 국내/외적으로 팬 밸런서에 대한 관련자료들의 검색이 어려우며, 오픈된 자료들이 없기 때문에 개발이 어렵다는 문제가 있다. 때문에 본 연구에서는 기존 일본 제품의 하드웨어를 참조하여 기구부를 제작하였으며, 자체 개발된 검출기법을 적용하여 성능검토를 해보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 설계·제작된 팬 밸런서 시스템의 구성요소 및 동작 메커니즘에 대해 기술하고, 3장에서는 냉각팬의 불량검출을 위한 다양한 형태의 불평형 검출 알고리즘에 대해 기술하며, 4장에서는 제안된 시스템 및 기법에 대한 유용성 검증에 대한 시뮬레이션 및 실제 실험 결과에 대해 기술하고, 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

2. 팬 밸런서 시스템

본 연구에서 제안된 자동차용 냉각팬 불평형 검출장치를 나타내면 그림 1과 같으며 각각의 구성요소에 대한 설명은 다음과 같다.

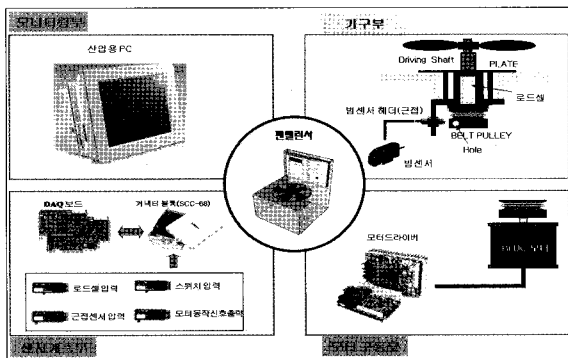


그림 1. 팬 밸런서 시스템의 구성

Fig. 1. Composition of the fan balancer system

2.1 팬 밸런서 시스템의 구성요소

팬 밸런서 시스템은 그림 1에서와 같이 기구부, 모터구동부, 센서계측부, 모니터링부로 나뉘어 진다.

● 기구부 : 기구부는 냉각팬의 정속 및 가변속 회전을 위한 샤프트축, 각도판, 로드셀, 광센서와 벨트 풀리 등으로 구성되며 각각의 기능은 다음과 같다.

- 샤프트축 : 냉각팬의 고정 및 모터에 의한 회전
- 각도판 : 불평형 각도 확인용
- 로드셀 : 냉각팬 불평형의 크기 측정
- 광센서 : 냉각팬의 회전 주기 및 모터의 RPM 측정
- 벨트 풀리 : BLDC 모터의 회전력을 샤프트축에 전달용

● 모터구동부 : 모터 구동부는 BLDC 모터와 모터 드라이버로 구성된다. BLDC 모터와 밸런서 기구부의 샤프트는 벨트 풀리로 연결된다. 밸런서 샤프트를 BLDC 모터와 직접할 경우, 모터의 진동이 샤프트축에 바로 영향을 주기 때문에

본 연구에서는 진동 영향의 최소화를 위해 벨트 풀리를 사용하였다.

● 센서계측부 : 팬 밸런서 시스템의 핵심부분으로 냉각팬의 불평형 측정을 위한 로드셀과 회전수(RPM) 측정 및 각도판의 0도 위치 초기화를 위한 광센서가 사용된다. 로드셀은 x축 방향으로의 진동을 측정하며 출력은 아날로그 형태를 가지고, 감도는 1.0620 mV/V 다. 또한 로드셀로부터의 출력신호의 크기가 매우 작기 때문에 A/D 변환전에 증폭기가 사용된다. 광센서는 샤프트의 회전에 따라 펄스 형태의 출력을 발생시키며 1회전시 한개의 펄스 출력을 발생시킨다. 따라서 이 펄스 신호를 이용한다면 효과적인 회전 원판의 영점 조정 및 RPM의 측정이 가능하게 된다. 본 연구에서는 상기 로드셀 및 광센서로부터의 출력을 계측하기 위해 NI사의 DAQ 보드를 사용하였다. DAQ 보드는 아날로그 입출력 기능 및 타이머/카운터 기능, GPIO 입출력 기능을 가지고 있어 센서의 계측 및 외부 장치제어가 가능하다. 또한 BLDC 모터드라이버의 제어를 위해 DAQ 보드의 GPIO 기능을 활용하였다.

● 모니터링부 : 팬 밸런서의 동작확인 및 제어를 위해 산업용 PC를 사용하였다. 산업용 PC에는 PCI 인터페이스의 NI사의 DAQ 보드가 연결되고, 외부장치의 제어 및 모니터링을 위해 제어프로그램이 동작된다. 제어프로그램은 DAQ 보드를 통해 입력되는 로드셀로부터의 신호를 회전각도에 따른 원형 형태로 디스플레이하고, 모터의 ON/OFF 동작 신호를 외부로 출력하게 된다.

2.2 시스템 동작 메커니즘

냉각팬의 불평형 검출은 로드셀과 광센서에 의해 이루어진다. 일정속도로 팬이 회전하게 되면 팬의 불평형은 기구부 하단에 설치된 로드셀에 수평진동 형태로 전달되며, 매 회전마다 로드셀로부터 주기적인 출력 파형을 얻게 된다. 광센서는 로드셀에 의해 불평형의 각도 판정 및 회전 주기의 측정에 사용된다. 팬의 기준점은 기구부 하단에 설치된 벨트풀리에 뚫은 홀의 위치가 되며, 각도판의 0도 또한 그 위치에 일치하도록 고정된다.

냉각팬 불평형의 위치 검출은 회전에 따라 발생하는 각도에 대한 크기 형식으로 출력된 파형을 관측함으로써 수행된다. 모니터링 프로그램상에서 불평형 검출을 위한 과정을 나타내면 다음과 같다.

초기 프로그램이 실행되면 사용자에게 의해 모드 설정이 이루어진다. 모드는 설정모드와 측정모드로 나뉘어지는데 설정모드는 팬을 테스트하기 전에 BLDC 모터의 RPM 설정 및 팬 밸런서의 초기 정보를 취득하기 위한 단계이다. 일반적으로 불평형이 없는 팬의 경우에도 기구부설계시 발생하는 기구학적 불평형으로 인해 측정 모드에서 측정되는 신호에 불평형이 나타나게 되고 따라서 불평형의 정확한 검출을 위해서 초기화 과정은 반드시 필요하다. 측정 모드에서는 사용자가 하여금 검사하고자하는 팬을 연결하도록 지시하고, 연결이 끝난 후에 동작 버튼을 이용하여 검사를 시작하도록 지시한다. 측정모드에서 얻어지는 출력파형은 설정모드에서 구해진 초기 불평형 정보를 뺀 나머지 정보를 위상도 형식의 파형으로 출력하여 사용자로 하여금 팬 전체에 대한 불평형의 위치 및 크기를 쉽게 알아볼 수 있도록 설계되었다.

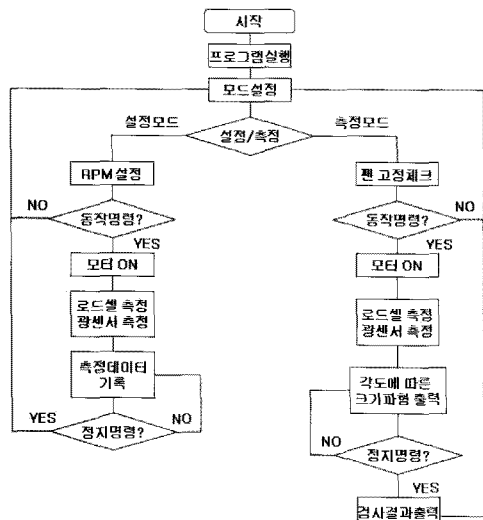


그림 2. 팬 밸런서의 모니터링 프로그램 동작도
Fig. 2. Flow chart of fan balancing monitoring program

3. 냉각팬의 불평형 검출 기법

일반적으로 냉각팬의 불평형에 의한 불량 기준의 크기는 $0.25g \pm 0.05g$ 이다. 따라서 팬 밸런서는 $0.2g$ 이하의 미세한 불평형에 대해서도 감지가 가능해야 하기 때문에 작은 용량의 로드셀이 사용된다. 저용량의 로드셀은 외부환경에 따라 매우 민감하게 동작되므로 출력 파형에 많은 노이즈 성분이 포함되며, 이를 처리하기 위한 별도의 신호처리 기법이 요구된다. 냉각팬이 회전기구부에 장착되어 BLDC 모터에 의해 회전할 경우, 한 회전당의 로드셀 출력 파형을 회전각도에 따라 표시하면 그림 3과 같은 파형을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 그림 3과 같은 로드셀로부터의 파형을 이용한 냉각팬의 불평형의 위치 및 크기를 판별할 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

3.1 원의 지름을 이용한 기법

원의 지름을 이용한 불평형 판별 기법은 회전시 냉각팬의 불평형 요인이 로드셀의 기본축(x축) 방향으로 가장 크게 나타난다는 점에 착안한 것으로 그림 3과 같이 측정된 로드셀의 각도에 따른 파형으로부터 원의 지름중 가장 긴 지름을 갖는 선분과 기준선과의 각을 계산하여 불평형의 위치 및 크기를 판별하는 기법이다. 즉 불평형의 위치가 회전시 로드셀의 기본축 방향에 위치하게 되면 로드셀에 전달되는 힘이 가장 크게 되며, 반대로 불평형의 위치가 로드셀의 기본축 방향과 반대 방향에 위치하게 되면 로드셀에 전달되는 힘은 작게 된다. 예를들어, 그림 3과 같이 로드셀 기본축 방향과 불평형 요인의 각도 차이가 45° 라고 가정하면, 불평형이 있는 지점이 로드셀 감지 방향과 일치하였을 경우에 가장 큰 값이 될 것이다. 또한 반대로 불평형이 로드셀의 감지 방향과 정반대 위치에 놓이게 되었을 경우(225° 지점)에 가장 작은 값이 감지될 것이다. 하지만 기준이 되는 원의 A지점에서 새로 측정된 원의 A'지점으로 이동한 거리보다 기준이 되는 원의 B지점에서 새로 측정된 원의 B'지점으로 이동한 거리가 더 크기 때문에 새롭게 계측된 원은 타원과 유사한 형태의 원으로 생각할 수 있으며, A'와 B'를 잇는 선분을 장축으로 볼 수 있다. 그러므로 기준이 되는 y축과 선분 A'와

B'를 잇는 선분의 각을 계산하여 불평형의 위치를 판별할 수 있다.

원의 가장 긴 지름은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$d = r_i - r_{i+180} \quad (i = 1^\circ, 2^\circ, \dots, 180^\circ) \quad (1)$$

원의 중심에서 원의 한 점에 대한 거리를 r 이라고 하고 그 점과 위상차가 180° 인 점의 거리를 r' 라고 하면, 두 거리의 차는 식 (1)의 d 와 같이 나타낼 수 있다. (단, 1° 마다 로드셀로부터의 출력을 측정한다고 가정함)

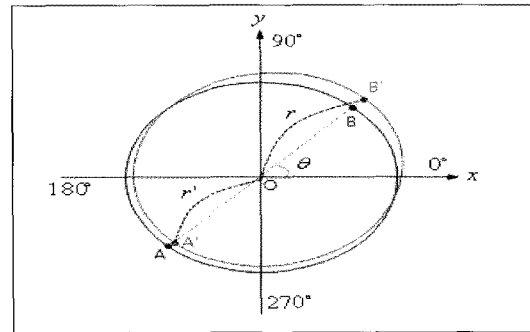


그림 3. 원의 지름을 이용한 불평형 위치 판별 기법
Fig. 3. Detection of unbalance using diameter of circle

냉각팬의 불평형 위치는 d 의 절대값 중 제일 큰 값에 해당하는 지름과 기본축(x축)이 이루는 각도 계산을 통해 결정될 수 있다.

표 1 불평형 위치의 검출

Table 1 Detection of unbalance location

| $ d $ 의 최대 값의 위치 | 부호 | 불평형위치 |
|---------------------------|----|-----------------------------------|
| $0^\circ \sim 90^\circ$ | + | 1사분면 |
| | - | 3사분면 ($ d $ 최대값위치+ 180°) |
| $91^\circ \sim 180^\circ$ | + | 2사분면 |
| | - | 4사분면 ($ d $ 최대값위치+ 180°) |

불평형 위치 판별은 불평형 위치에 대한 반지름의 크기를 이용하여 계산될 수 있다. 그림 4는 기준원과 불량률 $0.2g, 0.4g, 0.6g$ 에 대한 원을 위자드형태로 나타낸 것이다.

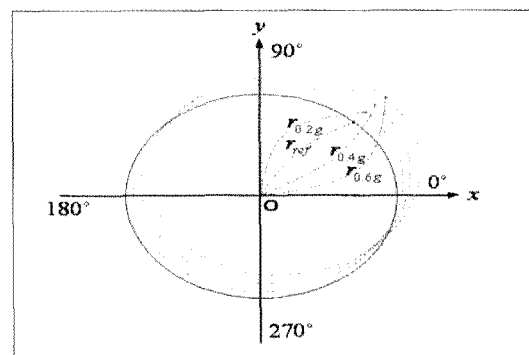


그림 4. DOC(Diameter of Circle)를 이용한 불평형 위치 검출

Fig. 4. Magnitude of unbalance using DOC

상기 그림에서와 같이 불평형의 크기에 따라 해당 원의 반지름의 크기가 변하는 것을 확인할 수 있다. 즉 최대원의 지름에 의한 불평형의 크기는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$f = \frac{A \times (r_{new} - r_{ref})}{(r_A - r_{ref})} \quad (2)$$

상기 식 (2)에서 A 는 냉각팬의 불평형의 크기를 계산하기 위해 표준으로 사용되는 불평형의 크기(0.2g, 0.4g, 0.6g 등)를 나타내며, r_{new} 는 측정하고자 하는 냉각팬의 불평형 위치에 대한 반지름의 크기 나타내고, r_{ref} 는 정상팬에 대한 반지름의 크기를 나타내며, r_A 는 표준으로 사용되는 불평형 존재하는 위치에 대한 반지름의 크기를 나타낸다.

3.2 무게중심을 이용한 기법

무게중심을 이용한 불평형의 위치 판별 기법은 기준이 되는 원의 무게중심과 새롭게 측정한 원의 무게 중심을 잇는 선분과 x축 선분이 이루는 각을 계산하여 불량팬의 위치를 판별하는 기법이다. 그림 5는 무게중심을 이용한 불평형 위치 판별의 원리를 나타낸다.

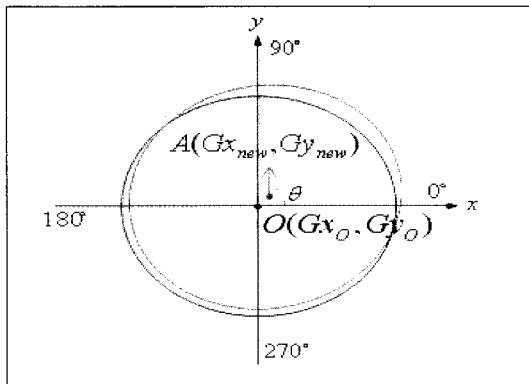


그림 5. 무게중심을 이용한 기법
Fig. 5. Method using a center of gravity

무게중심은 식 3에 의해 계산될 수 있다.(단, 제어장치는 1° 마다 로드셀의 크기를 측정한다고 가정.)

$$Gx = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1})(x_i + x_{i+1})}{6A} \quad (3)$$

$$Gy = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1})(y_i + y_{i+1})}{6A} \quad (4)$$

식 3과 식 4에서 A 는 다각형의 전체 면적을 나타낸다. 측정된 값을 상기 무게중심 계산 공식에 적용하기 위해서는 측정 포인트에 대한 좌표값 계산이 요구되며, 좌표값은 식 5에 의해 계산 될 수 있다.

$$x = \text{빗변} \times \cos \theta, \quad y = \text{빗변} \times \sin \theta \quad (5)$$

그림 6은 임의의 점에 대한 좌표값 계산 예를 나타낸 것이다.

정상팬을 이용하여 측정된 원의 무게중심은 거의 원점과 가깝기 때문에 x축과 두 무게중심을 잇는 선분이 이루는 각은 다음 식 6 ~ 식 9에 의해 계산될 수 있다.

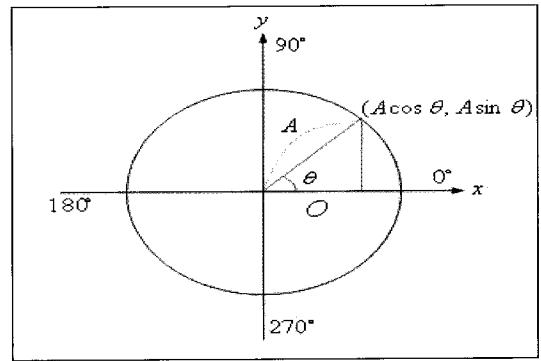


그림 6. 좌표값의 계산
Fig. 6. Calculation of coordinates

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Gy_{new}}{Gx_{new}} \right) \quad (1 \text{ 사분면}) \quad (6)$$

$$\theta = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{Gy_{new}}{Gx_{new}} \right) \quad (2 \text{ 사분면}) \quad (7)$$

$$\theta = 180^\circ + \tan^{-1} \left(\frac{Gy_{new}}{Gx_{new}} \right) \quad (3 \text{ 사분면}) \quad (8)$$

$$\theta = 360^\circ + \tan^{-1} \left(\frac{Gy_{new}}{Gx_{new}} \right) \quad (4 \text{ 사분면}) \quad (9)$$

COG 기법을 이용한 불평형의 크기는 3.1절에서의 DOC 기법을 이용한 불평형 크기 계산방법과 유사하게 계산되어질 수 있다. 그림 7은 200° ~ 220° 사이와 50° ~ 70° 사이에 0.2g, 0.4g, 0.6g의 스티커를 부착하여 측정된 원의 무게 중심을 나타낸 것이다.

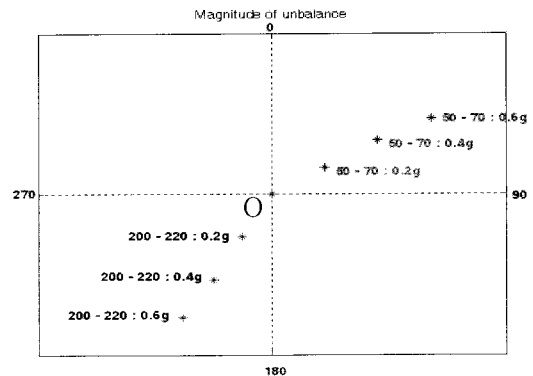


그림 7. 무게 중심을 이용한 불균형의 크기 및 위치 검출
Fig. 7. Detection method for calculating magnitude and position of unbalance using a center of gravity

그림 7에서 보는 것과 같이 각각의 불평형 위치에 대한 무게중심이 일정한 크기로 변화되는 것을 확인할 수 있다. 즉 무게중심에 의한 불평형의 크기는 식(10)을 이용하여 구할 수 있다.

$$f = \frac{A \times D_{new}}{D_A} \quad (10)$$

상기 식(10)에서 A 는 냉각팬의 불평형의 크기를 계산하기 위해 표준으로 사용되는 불평형의 크기(0.2g, 0.4g, 0.6g 등)를 나타내며, D_A 는 원점과 불평형 크기 A 를 갖는 원의

무게중심과의 거리를 나타내고, D_{new} 는 원점과 측정하고자 하는 냉각팬의 무게중심과의 거리를 나타낸다.

원점과 무게중심 (G_x, G_y)에 대한 거리는 식 (11)로부터 구할 수 있다.

$$D = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (11)$$

4. 실험 및 고찰

4.1 제작된 팬 밸런서 시스템

그림 8은 실제 제작된 팬 밸런서 시스템을 나타낸 것이다.

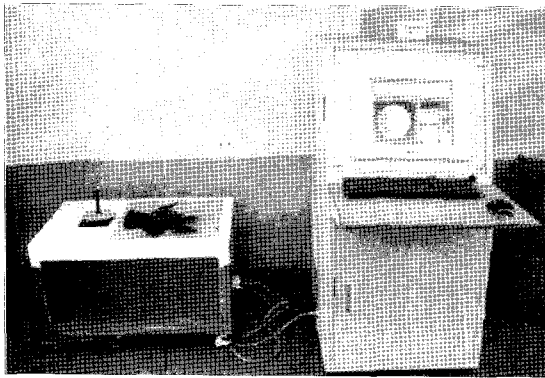


그림 8. 개발된 팬 밸런서 시스템
Fig. 8. The proposed fan balancer system

그림 8의 팬밸런서 시스템은 크게 제어장치(우)와 구동부(좌)로 나뉘어진다. 제어장치에는 모니터링부[산업용 PC(PPC-154T)]와 센서계측부[DAQ 보드(PCI-6070E)]가 포함되며, 구동부에는 모터구동부[BLDC모터(BX5120C -A)]와 기구부, 센서들[로드셀(1kg), 빔센서(RF3RX-P)]이 포함된다. 그림 9는 산업용 PC에서 동작되는 제어프로그램을 나타낸 것이며, MS사의 Visual Basic 으로 프로그램되었다.

그림 9의 제어프로그램은 센서의 출력신호를 그래프 형식과 워치드 형식으로 디스플레이는 기능(②,③)과, 전체 동작 ON/OFF 기능(⑦), 모터의 RPM 표시 및 조절기능(⑥,⑧)을 가지며, 측정이 완료된 후 측정결과를 출력해주는 기능(⑤)을 갖는다.

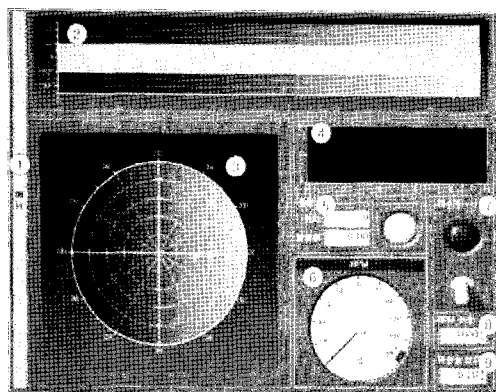


그림 9. 팬밸런서용 모니터링 및 제어 프로그램
Fig. 9. Monitoring and control program for fan balancer

4.2 로드셀에 포함된 노이즈 처리 기법

팬 밸런서에서 출력되는 신호성분에는 외부 기계장치에서 발생하는 노이즈나 외부환경에 의해 발생하는 노이즈 성분들이 포함된다. 이러한 노이즈 성분은 간혹 시스템성능에 문제를 야기시키기 때문에 노이즈성분에 대한 제거가 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 이러한 노이즈 성분을 제거하기 위해 다항식 보간법을 사용하였다. 그림 10은 다항식 보간법을 이용하여 필터링한 데이터와 필터링 되지 않은 데이터를 워치드 형식으로 나타낸 것이다.

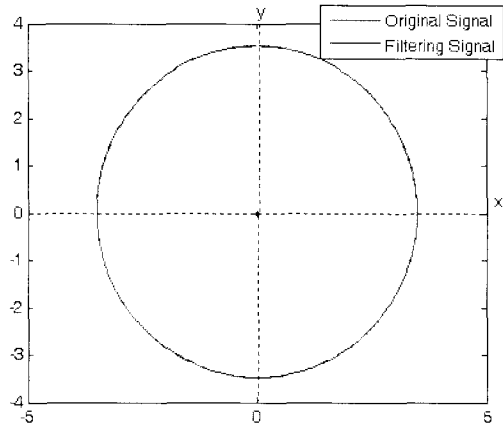


그림 10. 곡선점합을 이용한 측정 노이즈 제거
Fig. 10. Denosing scheme using curvefit

4.3 실험 결과

본 절에서는 제안된 2가지 기법에 대한 유용성 검증을 위해 팬밸런서에서 실제 측정된 데이터를 이용한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 위한 데이터는 표 2와 같이 정상팬의 임의의 위치에 0.2g, 0.4g, 0.6g의 불평형을 만들어 측정하였으며 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다.

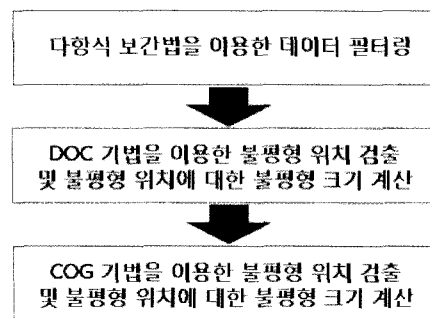


그림 11. 시뮬레이션 순서
Fig. 11. Simulation scenario

본 연구에서 제안된 두 가지 기법에 대한 불평형 위치 검출률은 표 3과 같다. 불평형 위치 검출률은 팬밸런서에서 실제 측정된 데이터를 통해 계산된 불평형 위치가 표 2에 조건으로 주어진 불평형의 위치 영역내에 포함되는 정도를 말한다. 표 3으로부터 알 수 있듯이 불평형 위치 검출률은 DOC 기법이 98%, COG기법이 98.52%이며, 이 결과를 토대로 COG기법이 0.52%에 비해 우수함을 알 수 있다.

표 2 실험 조건

Table 2 Experimental condition

| 조건 | 불평형의 위치 | 불평형의 크기 | 측정횟수 |
|----|------------|---------|------|
| 1 | 10° ~350° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 2 | 300° ~320° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 3 | 250° ~270° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 4 | 200° ~220° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 5 | 150° ~170° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 6 | 100° ~120° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |
| 7 | 50° ~70° | 0.2g | 200 |
| | | 0.4g | 200 |
| | | 0.6g | 200 |

표 3 불평형 위치 검출률

Table 3 Detection ratio for each methods

| 조건 | 불평형의 위치 | 불평형의 크기 | 검출률(%) | |
|----|------------|---------|--------|------|
| | | | COG | DOC |
| 1 | 10° ~350° | 0.2g | 97.5 | 97 |
| | | 0.4g | 97 | 96 |
| | | 0.6g | 98 | 97.5 |
| 2 | 300° ~320° | 0.2g | 98.5 | 97.5 |
| | | 0.4g | 97.5 | 98 |
| | | 0.6g | 99 | 98.5 |
| 3 | 250° ~270° | 0.2g | 99 | 98 |
| | | 0.4g | 100 | 99 |
| | | 0.6g | 99.5 | 98.5 |
| 4 | 200° ~220° | 0.2g | 98.5 | 97 |
| | | 0.4g | 98.5 | 98.5 |
| | | 0.6g | 99.5 | 99 |
| 5 | 150° ~170° | 0.2g | 98 | 97.5 |
| | | 0.4g | 98.5 | 97 |
| | | 0.6g | 98 | 98.5 |
| 6 | 100° ~120° | 0.2g | 99 | 98.5 |
| | | 0.4g | 98.5 | 98.5 |
| | | 0.6g | 100 | 99 |
| 7 | 50° ~70° | 0.2g | 99 | 98 |
| | | 0.4g | 97.5 | 98 |
| | | 0.6g | 98 | 98.5 |

본 연구에서 제안된 두 기법에 대한 불평형 크기에 대한 정확도를 나타낸 표 4와 같다. 불평형 크기에 대한 정확도는 계산된 불평형의 크기가 설정된 불평형의 크기 (0.2g, 0.4g

0.6g등)에 ±0.02오차 범위 내에 포함되는 정도를 나타낸 것이다.

표 4 불평형 크기에 대한 정확도

Table 4 Accuracy about Magnitude of unbalance

| 조건 | 불평형의 위치 | 불평형의 크기 | 정확도(%) | |
|----|------------|---------|--------|------|
| | | | COG | DOC |
| 1 | 10° ~350° | 0.2g | 94 | 93.5 |
| | | 0.4g | 92 | 92.5 |
| | | 0.6g | 92.5 | 93.5 |
| 2 | 300° ~320° | 0.2g | 92 | 91.5 |
| | | 0.4g | 91.5 | 92.5 |
| | | 0.6g | 93 | 91 |
| 3 | 250° ~270° | 0.2g | 93 | 90.5 |
| | | 0.4g | 92.5 | 92 |
| | | 0.6g | 92.5 | 91.5 |
| 4 | 200° ~220° | 0.2g | 95 | 93.5 |
| | | 0.4g | 94.5 | 92.5 |
| | | 0.6g | 92.5 | 94 |
| 5 | 150° ~170° | 0.2g | 93.5 | 94 |
| | | 0.4g | 93 | 92.5 |
| | | 0.6g | 93 | 93.5 |
| 6 | 100° ~120° | 0.2g | 95.5 | 93 |
| | | 0.4g | 93 | 93.5 |
| | | 0.6g | 94 | 94.5 |
| 7 | 50° ~70° | 0.2g | 93 | 92.5 |
| | | 0.4g | 93.5 | 93.5 |
| | | 0.6g | 92 | 93 |

상기 표 4에 대한 평균 불평형 크기에 대한 정확도는 DOC기법이 92.79%, COG 기법이 93.12%이며, 이 결과를 토대로 COG 기법이 0.33% 더 뛰어난 정확도 가진다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 과

본 연구에서는 자동차 소음의 주된 원인이 되는 자동차용 냉각팬의 불량 유/무를 효율적으로 검출할 수 있는 팬 벨런서 시스템과 팬 벨런서 시스템에서 불평형의 위치 및 불평형의 크기를 검출하기 위해 사용될 수 있는 2가지 불평형 검출 기법을 제안하였으며, 실제 제작된 팬벨런서 시스템에서 측정된 데이터를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 유용성을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 2가지 기법이 팬 벨런서를 위해 사용 가능함을 확인할 수 있었으며, 2가지 기법 중 DOC 기법보다는 COG 기법이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김병주, 강상규, 김규영, 이덕주, 이재영, 이덕호, 신동수, "자동차용 냉각팬의 설계와 시스템 개선을 통한 저소음화 연구", 한국소음진동공학회 2003 추계 학술대회논문집, pp.196~201.

[2] 이규상, 정석윤, 김경훈, 윤천한, 최희석, "자동차용 냉각팬의 성능 실험과 특성 해석," 2002년도 기계관련 산학연 연합심포지엄(한국자동차공학회).

[3] Dan Simon, "Data Smoothing and Interpolation Using Eighth Order Algebraic Splines", *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING*, VOL. 52, NO. 4, 4. 2004.

[4] <http://www.mathworks.com/moler/interp.pdf>

[6] GREGORIO LANDI, "PROPERTIES OF THE CENTER OF GRAVITY ALGORITHM", *Astroparticle, Particle and Space Physics, Detectors and Medical Physics Applications*, pp. 480 ~ 488

[5] <http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Polygoncentroidsandcentres.html>

저 자 소 개



김성호(Sung-Ho Kim)
 1984년: 고려대학교 공과대학 학사졸업
 1986년: 고려대학교 대학원 석사졸업
 1991년: 고려대학교 대학원 박사졸업
 1995~1996년: JAPAN HIROSHIMA UNIVERSITY, POST-DOC.
 1997~ 현재: 군산대학교 전자정보공학부 교수

관심분야 : 고장진단, 공장자동화, 임베디드 시스템 설계, 센서 네트워크
 E-mail : shkim@kunsan.ac.kr



육의수(Yui-Su Youk)
 2004년: 군산대학교 전자정보공학부 학사 졸업.
 2006년: 군산대학교 전자정보공학부 석사 졸업.
 2007년~ 현재: 군산대학교 전자정보공학부 박사과정

관심분야 : 고장진단, 공장자동화, 원칩마이크로프로세서 설계, 센서 네트워크
 E-mail : sixofnum@hanmail.net