

# 먼지센서에 의한 진공청소기의 흡입력 제어에 관한 연구

## A Study on the Suction Power Control of Vacuum Cleaner

### with a Dust Sensor

백승면\*, 김성진(LG 전자), 이만형(부산대 공대)

Seung-Myun Baek, Sung-Jin Kim (LG Elec.), Man H Lee(Pusan Univ)

#### ABSTRACT

In this paper, an optical sensing system has been developed to detect the dust in vacuum cleaner. The system works well through self-tuning mechanism, even though there are systemic variance and characteristic change which is caused by the pollution on the surface of the optical elements. Using the developed sensing system, a novel suction power control system has been proposed, which is able to be used for a long time.

**Key Words :** dust sensor(먼지센서) , suction power control(흡입력 제어), vacuum cleaner(진공청소기), dust ratio(먼지비), self-tuning(자동보상)

#### 1. 서론

최근 생활 수준이 율택해짐에 따라 에너지 소비는 급격히 증가하고 있으며 이로 인하여 질소산화물에 의한 대기오염과 천연 자원의 무분별한 사용에 의한 지구 온난화등 지구환경 문제에 직면하고 있다.

또한 가정에서 사용되는 전기기기들이 대형화되어 에너지 소비를 증가 시키고 있으며, 이들 기기들에 의한 전자기 노이즈 및 소음 공해에 의해 심적인 불편감을 유발할 뿐만 아니라 인체에 해를 줄 수 있기 때문에 기기의 에너지 효율 향상 과 저소음화 방법들이 지속적으로 제시되고 있다.

이들 가운데 가정용 진공청소기는 수요가 급격히 증가하여 지금은 진공청소기가 중요한 가전 제품의 하나로 인식되어 가고 있다. 가전 업계에서는 보다 강한 흡입력을 가진 진공청소기 개발에 힘을 기울여, 지금은 흡입력이 최대 550W이상의 대전력(입력전력 1200W이상) 제품이 출시되고 있다.

실제로 가정에서 진공청소기를 사용하여 바닥에 있는 먼지를 청소하는데 필요한 진공 청소기의 흡입력은 250W~300W 정도이다. 이보다 큰 300W 이상의 흡입력은 창틀이나 틈새부분에 있는 먼지를 빨아들이는데 적합하며, 또한 카페트 내부 깊숙이 박혀있는 먼지를 깨끗이 청소하는데 필요하다.

그러나 가정에서 사용되어 지고 있는 진공청소기의 대부분은 사용자가 직접 흡입력을 조절하여 사용할 수 있게된 것으로 무의식적으로 진공청소기의 흡

입력을 최대 흡입력 상태에서 작동 시키고있어, 실제로 실내의 먼지들을 흡입하는데 필요한 흡입력(250W~300W) 보다 큰 흡입력을 사용하고 있어 불필요한 에너지 낭비와 소음을 발생시키고 있다. 한국과 같이 바닥장식재가 고유의 민속장판 이거나 PVC 류의 바닥장식재로 되어있는 주거문화에서는 먼지 청소에 필요한 흡입력 이상의 강한 흡입력은 바닥장식재가 진공청소기의 먼지 흡입노즐에 달라붙게하여 바닥장식재를 손상시키고, 마찰력에 의해 먼지 흡입노즐의 주행성을 나쁘게한다. 또한, 공기마찰 소음을 발생 시키는 문제점을 안고 있다.

따라서 바닥의 먼지량과 먼지의 이탈형태 등을 검출 할 수 있는 먼지센서를 설계하고, 이를 구성하고있는 회로 부품들 간의 편차 및 사용조건에 따른 경시 변화에도 일정한 먼지검출 감도상태를 유지하는 자동이득보상 방법을 제시한다. 또한 진공청소기의 흡입력을 설계된 먼지센서를 이용하여 청소대상물(바닥)의 먼지형태에 적합토록 자동조절 되게 하는 진공청소기의 자동운전방법을 제시한다.

#### 2. 먼지센서의 설계

실내 오염물질은 신발이나 의복 등에 묻거나 바람으로 인해 외부로부터 유입되는 흙먼지, 모래먼지와 주거생활에서 발생하는 이불이나 의복등의 섬유상 먼지, 사람의 피부 각질, 비듬, 머리카락등의 성분이 주류를 이룬다. 따라서 진공청소기용 먼지센서는

먼지흡입관 내로 유입되는 미세한 실내오염물질을 검출할수 있어야 된다. 이를 위해 진공청소기의 먼지흡입관 내부에 적외 LED와 포토트랜지스터를 서로 마주보게 설치, 광로를 형성시키고 먼지통과로 인한 광로의 광량변화가 검출되게 그림 1과 같이 투과형 구조로 설계 한다. 진공청소기 내부로 유입되는 먼지입자의 감지영역은 서로 대향되게 설치한 적외 LED의 방사각 지향 특성과 포토트랜지스터의 상대 방향 지향 특성에 따라 결정된다

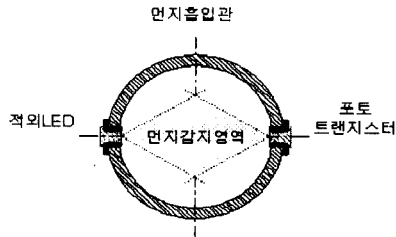


그림. 1 먼지검출 장치 구성

그림 2는 진공청소기의 먼지검출회로를 나타내고 있다. 먼지검출회로는 먼지통과에 의해 광량변화가 발생되면 포토트랜지스터의 출력전압이 그림 3 (a)와 같이 나타나고, OP-AMP로 구성된 미분기의 출력은 그림 3(b)와 같이 광량의 변화를 큰신호의 변화로 변환되어 식 1과 같이 된다.

$$V_2 = R_2 R_5 C_1 h_{fe} \frac{dI_L}{dt} \quad 1$$

이신호는 저항  $R_7, R_6$ 과 콘덴서  $C_2$ 로 구성된 시간 지연 회로에 의해 그림 3(d)와 같이 디지털 신호로 변환된다. 시간 지연회로는 먼지신호에 즉시 응답하면서 시간지연특성이 나타나게 콘덴서  $C_2$ 의 방전 시정수  $\tau_1 = R_6 C_2$ 와 충전 시정수  $\tau_2 = R_7 C_2$ 를 다이오드  $D_1$ 로 분리시켜 두 시정수의 관계를  $\tau_1 \ll \tau_2$ 로 되게

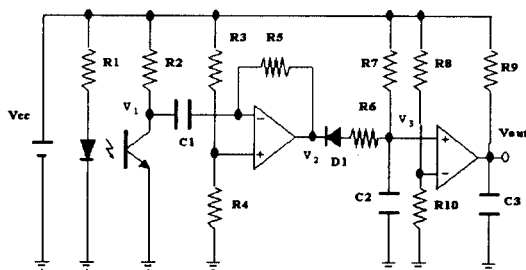


그림. 2 먼지센서회로

하였다. 이렇게 함으로써 최종의 펄스신호는 진공청소기로 유입되는 먼지량과 유입형태 및 크기의 정보를 가지는 먼지센서가 된다.

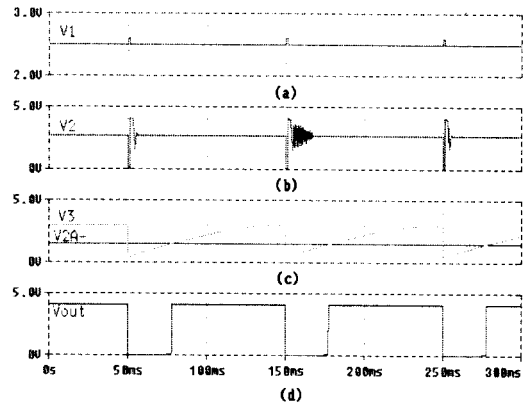


그림.3 Simulation 결과

## 2. 먼지센서의 신뢰성 확보

광원으로 사용되는 적외 LED의 방사강도는 순방향 전류에 직선적으로 비례하는 특징을 가지고 있어 순방향 전류를 증가시키면 강사강도가 선형적으로 증가한다. 그러나 시료 사이의 편차는 동일한 순방향 전류(10mA)를 흘렸을때 본 연구에서 사용한 TLN109의 경우 최소 0.5mW/sr, 최대 2.0mW/sr로 수배에 이르는 것이 일반적이다. 또한 광량의 변화량을 측정하는 포토 트랜지스터 역시 동일한 입사 광량에 대해서 3-5 배 정도의 광전류 편차를 보인다. 이와 같이 적외 LED와 포토트랜지스터로 구성된 회로의 특성을 종합적으로 표시하는 단위로 전류전달비 (Current Transfer Ratio)가 사용되며  $CTR = I_c / I_f \times 100(\%)$ 로 정의된다. 이는 동일한  $I_f$  전류에 대해 CTR의 편차로 나타나 포토트랜지스터 출력전압 ( $V_1 = I_f \cdot CTR \cdot R_1$ )이 기본 설계전압을 수 배 변화시켜 출력 전압을 포화 상태(0V or Vcc)로 되게한다.

또한 진공청소기와 같이 실내의 오염 물질을 빨아들이는 제품에서는 사용에 따른 포면 오염이 발생하여 위와 같은 동일한 문제점에 도달한다. 이는 제품의 신뢰성 보장에 치명적인 요인으로 대두된다. 따라서 환경조건 변화에 항상 일정한 특성의 센서감도가 유지되게 하기위해 포토트랜지스터의 출력 전압을 감시하여 적외 LED의 순방향 전류  $I_f$ 를 조절하는 셀프튜닝(Self Tuning)회로를 그림 4와 같이 설계한다. 단전원 회로로 구성된 미분기회로에서 미분기가 안정적으로 동작되기위해서는 포토트랜지스터의 출력전압  $V_0$ 가 전원전압의 1/2 ( $V_0 = V_{cc}/2$ )이되

계 설계하는 것이 적당하다. 따라서 이전압을 기준 전압  $V_r$  로하고, 현재의 포토트랜지스터의 출력 전압  $V_o$  를 피드백시켜 A/D 변환기로 변환된값과 기준 값  $V_r$  의 차이값  $V_e (=V_r - V_o)$  에 의해 D/A 변환기의 출력 전압  $V_s$  를 조절하여, 포토트랜지스터의 출력 전압이 항상 일정한 기준전압  $V_r$  이 되게 한다.

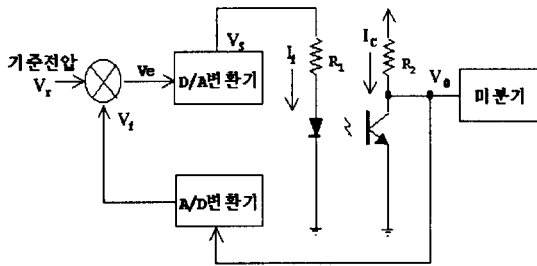


그림.4 Self Tuning

이효과는 먼지에 의해 광로가 오염되거나 광로를 형성하고 있는 부품의 시료별 편차에 의해 전류전달비(CTR)가 변화되어 미분기의 먼지 검출능력이 저하되는 것을 막고 항상 일정한 먼지검출 감도로 유지시키게 된다. 이와같은 셀프튜닝 작업은 진공청소기 처럼 사용시에 전원을 투입하는 제품의 경우는 전원 투입 초기에만 실행하여도, 먼지센서의 동작이 안정된다.

### 3. 먼지비의 연산

먼지센서의 출력 신호는 유입되는 먼지의 크기 의해 펄스폭의 길이가 결정되며 먼지의 크기와 펄스폭과는 비례관계를 갖는다. 먼지센서를 진공청소기에 장착하여 시험해 보면 그림 5 와 같이 PVC 류의 바닥장식재와 한지로 된 장판에서는 먼지가 바닥표면에 쌓여있어 물리적 힘에 의해 쉽게 이탈되고, 한꺼번에 빨려 들어온다. 카페트의 경우는 표면에 있던 먼지가 사람의 활동에 의해 카페트 속 깊숙이 막히기도 하고 자체의 섬유질들이 손상되어 일반 바닥보다는 먼지량이 많고, 지속성이 있다

이를 다시 정리하면

- ① PVC 류의 바닥장식재는 먼지가 한꺼번에 쉽게 이탈된다.
- ② 카페트와 같이 털이 있는 것은 먼지 이탈이 지속성을 가지며, 먼지량도 많다.

이와 같은 특징은 먼지센서에 의해 그림 6 과 같이 나타난다. 진공청소기와 같이 응답특성이 느린 시스템에서 먼지센서 신호를 이용하기 위하여 먼지의 특

성이 내포되어 있는 산술값 즉 먼지비(Dr)를 정의한다. 먼지비의 계산은 소정의 시간을 T(sec), 이 시간 내에 발생하는 먼지신호 펄스의 길이를  $t_1, t_2, t_3(sec)...$  라하면 식 2 와 같이 표현 된다.

$$D_r = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n} t_i \quad 2$$

먼지비는 진공청소기로 유입되는 먼지량, 먼지입자의 크기, 먼지유입의 지속성에 비례하며 이 값은 청소대상물의 특성에 따라 달라진다.

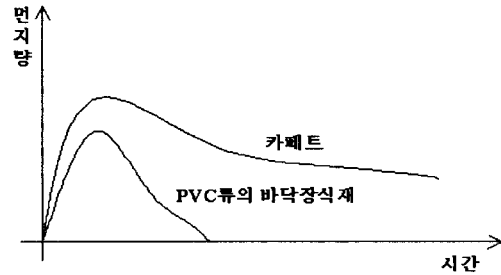


그림. 5 먼지유입 특성

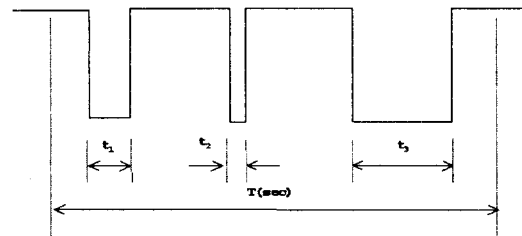


그림. 6 먼지비의 연산

### 4. 먼지비에 의한 흡입력 제어

최근의 진공청소기는 입력전력이 1.2KW 로, 이때 모터의 회전속도는 약 36,000rpm 으로 고속 회전한다. 흡입력은 공기흡입 팬이 달려있는 모터의 속도에 의해 결정되며, 진공청소기의 효율은 현재 약 42%정도로 최대흡입력은 500W 정도이다. 흡입력을 조절하는 방법으로는 모터에 인가되는 전원전압의 점호각을 제어하는 방법을 이용하였다. 진공청소기는 다른 가전제품과 달리 소음이 커서 속도제어 시간을 빠르게 하면 속도 변화에 의한 소음변화가 귀에 거슬리고, 너무 천천히 하면 바닥 위를 움직이면서 사용되는 제품 특성으로 인하여 바닥 상태에 직접적으로 대응하지 못하는 단점이 있다. 본 연구에서는 이런점을 고려하여 샘플링 시간을 0.5초로 하여 먼지지수의

값이 0.5초를 주기로 갱신 되게 하였다. 흡입력 제어 방법은 그림 7,8 과 같다.

먼저 진공청소기가 먼지를 흡입할 수 있는 최소의 흡입력으로 모터를 운전 시키고, 샘플링 시간 동안의 먼지비를 산출한다. 이후 먼지비에 대응되는 흡입력으로 점호각을 조절하여 모터의 속도를 변경 시킨다. 모터의 속도 변경 주기는 먼지비수의 샘플링 시간과 동일하게 하면 이전의 모터 속도에서 바닥의 정보가 수집되고, 이 값으로 모터의 속도가 변경된다. 청소대상물이 말끔히 청소되면 먼지비수는 0에 가깝게 나타난다. 이때는 다시 먼지를 흡입할 수 있는 최소의 흡입력으로 모터를 운전 시킨다. 이렇게 하여 청소 대상물의 종류에 적합한 진공청소기의 흡입력을 자동 조절되게 하였다.

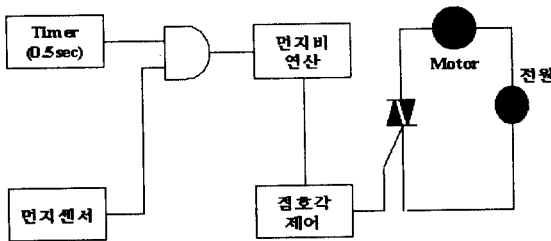


그림.7 흡입력 제어 방법

흡입력이 사용환경에 맞게 정확히 조절되게 하기 위해 실제의 주거환경의 먼지상태를 조사한 결과 먼지비는 PVC 류의 바닥장식재는 10~18, 카페트 경우는 25~40 정도로 그림 8(b)와 같은 특성을 보인다. 본 연구에서는 진공청소기의 경시변화를 고려하여 그림 8(a)를 이용하였다.

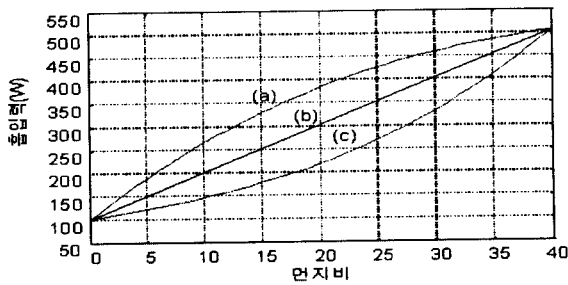
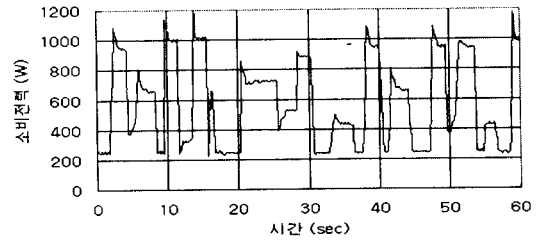


그림. 8 먼지비 vs 흡입력

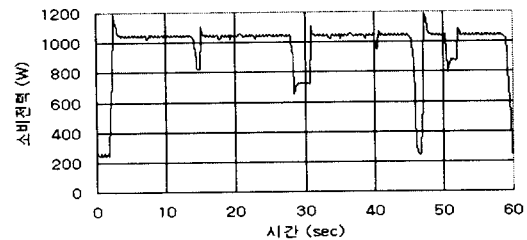
## 5. 실험결과

흡입력 제어 상태를 관찰하기 위해, 진공청소기를 전력계에 연결하고 바닥종류를 다르게하여 실제로 청소를 해본결과 그림 9와 같은 결과를 얻었다. 모

노름 바닥에서는 평균 약 640W (흡입력:270W), 카페트 바닥의 경우 약 970W(흡입력:410W)로 소비전력(흡입력)이 바닥의 상태에 따라 자동 조절됨을 보여준다.



(a)



(b)

그림. 9 청소대상물의 소비전력 변화

## 6. 결론

바닥의 먼지상태를 먼지센서를 이용하여 검출하고 이 값을 진공청소기 제어에 적합한 먼지비로 환산, 흡입력을 조절함으로써 바닥의 상태에 따라 흡입력이 자동 조절되게 하였다. 이 결과 바닥을 깨끗이 청소하면서 진공청소기의 소비전력과 소음을 줄일수 있었고, 또한 불필요한 높은 흡입력에 의해 PVC 류의 바닥장식재가 흡입구에 흡착되는 것을 방지하여, 바닥장식재의 손상을 막고, 먼지흡입구의 주행성을 향상 시켰다.

## 참고문헌

1. 이승래, "광소자 응용기술", 연학사, 1993
2. 이성화, "저온 플라즈마를 이용한 공기정화에 관한 연구", 경남대학교 공학 박사학위 논문, 1997
3. Toshiba, "Photo sensors Data book, 1886
4. LG 전자, "진공청소기의 최적 흡입력제어 개발보고서", 1996