

초음파 모터를 이용한 롤-스크린 시스템 설계

(Design of Roll-Screen System Using Ultrasonic Motor)

김정도* · 정우석 · 함유경 · 김동진 · 홍철호

(Jeong-Do Kim · Woo-Suk Jung · Yu-Kyung Ham · Dong-Jin Kim · Chul-Ho Hong)

요 약

롤-스크린의 조용한 동작을 위해 압전 초음파 모터를 사용하여 롤-스크린이 설계되었다. 롤-스크린에 사용된 초음파 모터를 구동하기 위하여, 디지털로 제어되는 구동회로가 PLD를 사용하여 설계되었다. 또한 롤-스크린의 위치와 속도를 측정하기 위하여 1회전 당 36펄스의 엔코더가 사용되었다. 이러한 저급 엔코더를 사용함에도 불구하고, 초음파 모터의 정밀한 속도제어를 위하여 새로운 제어 방법이 제안되었다. 제안된 방법은 가변 샘플링시간을 사용하고 있으며, 초음파모터가 가지는 초기 비선형 특성 문제를 보상하도록 하였다.

Abstract

For silent operation, Roll-Screen has been designed by using piezoelectric ultrasonic motor. To drive the ultrasonic motor, a digitally controlled drive system has been designed by using PLD. And, to measure the position and velocity of Roll-Screen, encoder with 36 pulse/revolution is used. This paper proposed a new method for a precise velocity control of ultrasonic motor, in spite of using low-level encoder. The proposed method use a non-fixed sampling time and compensate the initial nonlinear characteristics of ultrasonic motors.

Key Words : Roll-Screen, Piezoelectric ultrasonic motor

1. 서 론

전동 롤-스크린(Roll-Screen)은 유비쿼터스 시대를 맞아 점점 사용이 증가되고 있다. 특히, 지능형 빌딩이 늘어남에 따라 세계 전동 롤-스크린 시장은 수천억대에 이르고 있다. 전동 롤-스크린은 구성과 제어적인 측면에서 간단해 보이지만, 그 내면은 생각

보다 복잡한 기능을 필요로 한다.

롤-스크린에서 필요한 기능을 정리하면 다음과 같다.

- 동작 시 소음이 적어야 한다.
- 여러 개의 롤-스크린이 동시에 구동될 경우에, 각각의 롤-스크린의 위치가 같아야 하기 때문에 정밀한 속도제어와 위치제어가 필요하다.
- 롤-스크린에 일정이상의 부하가 걸릴 경우, 안전을 위해 모터가 정지해야 한다.
- 위 조건을 만족하면서도 저가격으로 설계되어야 한다.

위의 조건 때문에 실제 롤-스크린에 사용되는 전

* 주저자 : 호서대학교 전기전자공학과 조교수

Tel : 041-540-5666, Fax : 041-534-6778

E-mail : jdkim@office.hoseo.ac.kr

접수일자 : 2005년 10월 17일

1차심사 : 2005년 10월 19일, 2차심사 : 2005년 11월 7일

심사완료 : 2005년 11월 14일

동 시스템은 세계적으로 몇 개 회사의 제품만이 상용화되어 있으며 세계적으로 프랑스의 SOMFY가 세계시장의 약 70[%]를 차지하고 있다[1].

SOMFY의 롤-스크린용 모터 시스템은 비동기 모터를 사용하고 있으며, 상당한 위치 정밀성을 보이고 있어 롤-스크린용 모터 시장에서 상대적으로 강한 비교 우위를 점하고 있다. 하지만 이 SOMFY의 롤-스크린용 모터는 75[W] 이상의 전력을 소모하고 있으며, 여러 번의 반복 구동 시 모터에서 발생하는 열 때문에 센서에 의해 중간에 강제 정지되는 단점을 가지고 있다. 또한 비록 SOMFY의 모터가 다른 모터보다 저소음이기는 하지만 상당한 소음을 가지고 있어 동시에 여러 개의 롤-스크린이 구동될 경우에는 무시하지 못할 정도의 소음이 발생하고 있다.

본 연구에서는 기존의 롤-스크린용 모터에서의 고 전력 문제와 소음 문제를 해결하기 위해 압전 초음파 모터(Piezo-electric ultrasonic motor)를 사용하고자 한다. 압전 초음파 모터를 사용할 경우, 약 15[W] 정도의 소비전력으로도 폭 2400[mm], 높이 2400[mm]의 롤-스크린을 구동 할 수 있으며, 전혀 소음이 없다고 느낄 정도의 조용한 구동이 가능하다.

하지만 압전 초음파 모터를 사용할 경우, 정밀한 속도와 위치 제어를 위해서 반드시 고 분해능의 엔코더가 사용되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 이는 가격 상승의 요인이 되어 사용불가하다. 또한 초음파모터의 비선형성 때문에 항상 같은 속도를 유지한다는 것은 어렵고 이러한 이유로 초음파 모터를 사용한 롤-스크린은 나와 있지 않은 상태이다.

그래서 본 연구에서는 롤-스크린용 압전 초음파 모터에 단지 1회전 당 36펄스의 저가 엔코더를 사용하면서도, 고 분해능의 엔코더를 사용했을 때의 속도 및 위치 정밀도를 얻기 위해 압전 초음파 모터의 비선형성을 반영한 제어방법을 제시한다.

제안된 방법을 실제 롤-스크린에 적용한 결과 100회의 동작에서도 약 0.02초 내의 속도 오차를 보이고 있으며, 동시에 여러 개의 롤-스크린을 구동했을 경우에도 1[mm] 이내의 오차를 보이고 있어, 기존의 롤-스크린용 모터보다 제어 성능에 있어서도 우수함을 알 수 있었다.

2. ■-스크린용 초음파 모터 시스템

2.1 ■스크린의 구성

롤-스크린이나 블라인드의 경우, AC 유도 모터를 사용하는 경우가 대부분이다. 이러한 AC 유도 모터는 필연적으로 소음을 발생시키게 된다.

이러한 소음의 문제를 없애기 위해서는 압전 초음파 모터가 가장 적합하다고 할 수 있다. 그림 1은 초음파 모터를 이용한 롤 스크린 시스템을 구성을 보여주고 있다.

보통 롤-스크린의 경우, 스크린의 무게 때문에 모터와 브레이크를 같이 사용하여야 한다. 하지만 초음파 모터의 경우 홀딩 토크가 상당히 크기 때문에 별도의 브레이크를 사용하지 않아도 된다는 장점을 가지고 있다. 사용된 초음파 모터의 홀딩 토크가 약 6[kg] · [cm]이고 6.6 : 1의 헬리컬 기어를 사용하였기 때문에 약 36[kg] · [cm] 정도의 홀딩 토크를 가지게 된다. 보통 스크린의 무게가 2400x2400[mm] 정도가 약 0.5[kg]이기 때문에 초음파 모터의 홀딩 토크는 충분한 브레이크의 역할을 하게 된다.

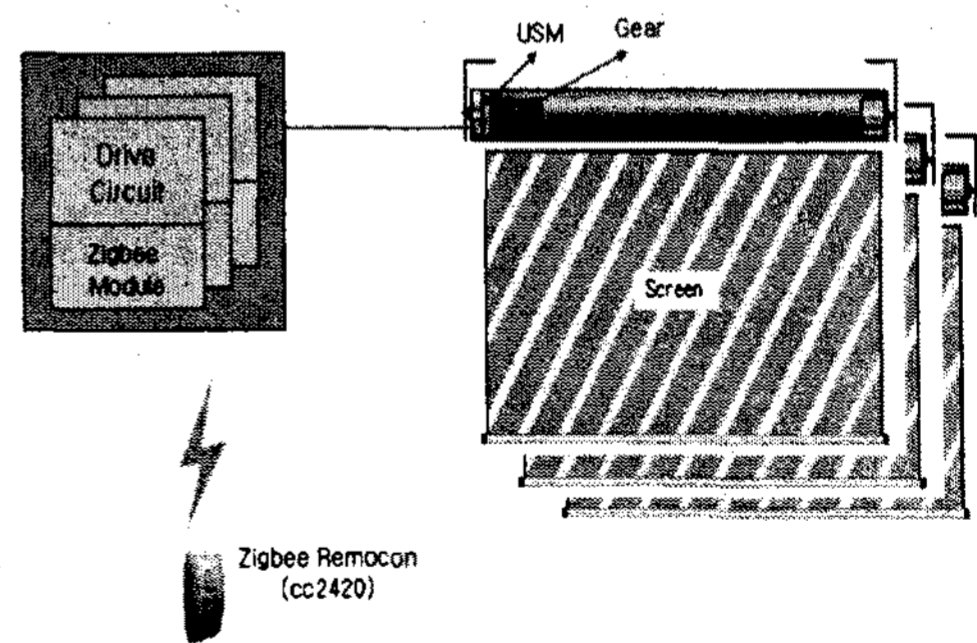


그림 1. 초음파 모터를 이용한 롤-스크린 시스템
Fig. 1. Roll-Screen system using ultrasonic system

그림 2는 롤-스크린용 초음파 모터의 구성을 보여주고 있다. 초음파 모터의 위치 및 속도제어와 스크린의 상·하 리미트를 위해 36pulse/rev 펄스판과 포토 인터럽터를 사용하고 있다. 또한 초음파 모터의 힘을 증가시키기 위해 6.6 : 1의 헬리컬 기어를 사용하고 있다. 헬리컬 기어감속기를 사용한다 하더라

초음파 모터를 이용한 롤-스크린 시스템 설계

도 소음이 거의 발생하지 않는다. 왜냐하면 초음파 모터는 약 100~150[rpm]의 저속 고 토크로 회전하기 때문에 6.6 : 1의 헬리컬 기어에서는 크게 소음을 증가되지 않는다. 이는 실험을 통해 입증하게 된다.

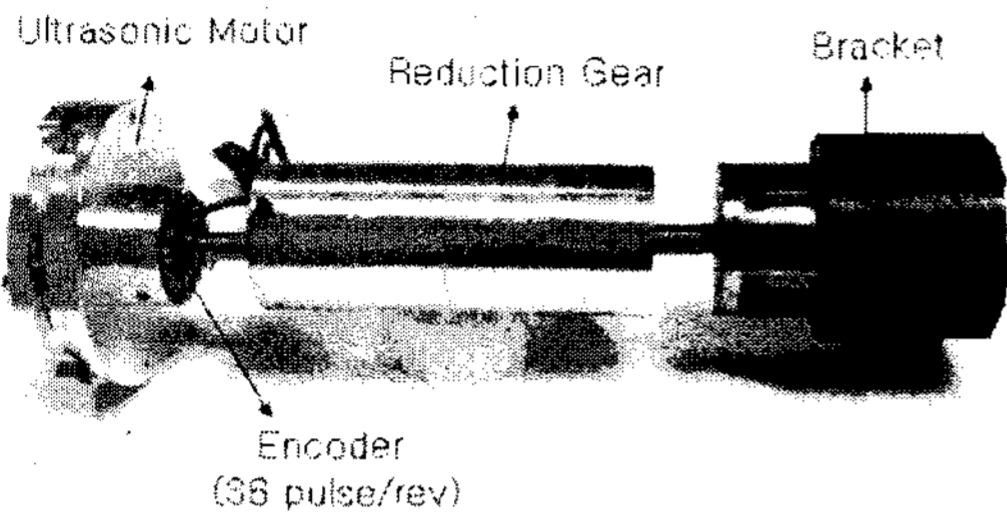


그림 2. 롤-스크린을 위한 모터부
Fig. 2. Motor system for Roll-Screen

표 1은 초음파 모터의 제원을 나타내고 있다. 최대 토크와 홀딩-토크가 약 40[kg] · [cm]로 롤-스크린에서 사용가능하며, 전력소비가 약 15[W]로 보통 60[W] 이상을 사용하는 다른 롤-스크린용 모터에 비해 전력 소비면에서 매우 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 1. 롤-스크린용 초음파 모터의 제원
Table 1. Specification of ultrasonic motor for roll-screen

Specifications	Ultrasonic motor	Ultrasonic motor (including Gear)
Related Torque([kg] · [cm])	5	30
Maximum Torque([kg] · [cm])	6.5	40
Related Speed([rpm])	120	18.2
Maximum Speed([rpm])	150	23
Holding Torque([kg] · [cm])	6.5	40
Driving Frequency([kHz])	43~46	
Encoder	36pulse/rev	
Ceramic	6 ∅	
Power Consumption	15[W](24[V], 650mA)	

2.2 초음파 모터의 동작 특성

롤-스크린용 초음파 모터 시스템은 그림 3과 같은 구조를 가진다. 고정자(stator)에 부착된 세라믹에 초음파 영역의 주파수를 가진 사인파와 코사인파

를 인가하면 세라믹이 진동하게 되고 이를 이동자(rotor)에 전달한 후, 그 진동을 스프링에 의해 증폭시켜 회전력을 얻는 모터이다. 세라믹의 진동에 의해 회전력을 얻으며, 동작 주파수가 초음파 영역이기 때문에 소음이 전혀 없는 모터이다.

그림 4는 기본적인 초음파 모터의 동작과정을 보여주고 있다. 세라믹에는 두 상의 입력이 인가되는데, 하나는 약 300[Vp-p]의 사인파이며, 다른 하나는 이 사인파와 다른 위상차를 가지는 파형이다[2,3].

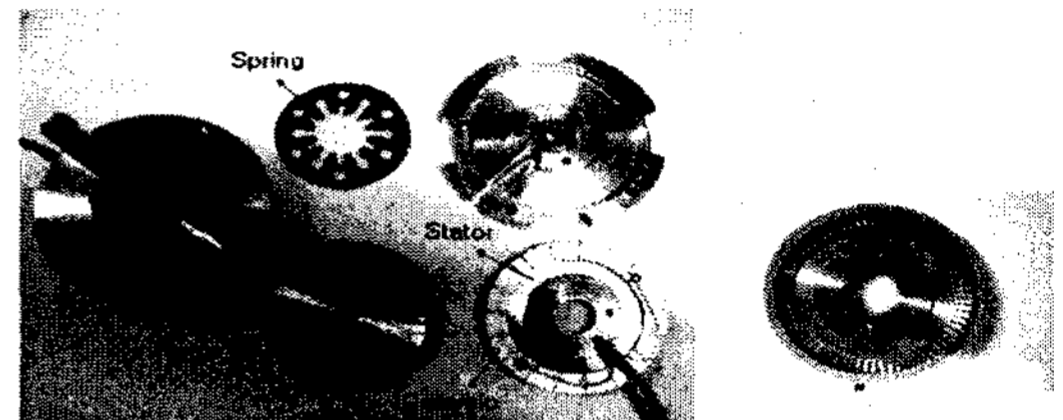


그림 3. 초음파 모터의 내부 구조
Fig. 3. Internal structure of ultrasonic motor

두 개의 파형은 90[°]의 위상차를 가질 경우에 가장 빠른 속도를 낼 수 있으며, 위상차가 줄어들 경우에는 속도도 줄어들게 된다. 보통 주파수 제어 구동 방식에서는 두 개의 위상차를 90[°]로 인가한 후, 주파수에 의해 속도 제어를 하게 된다. 위상차 구동 방식에서는 주파수를 고정시켜 놓고, 위상차를 조절하여 속도를 제어하게 된다.

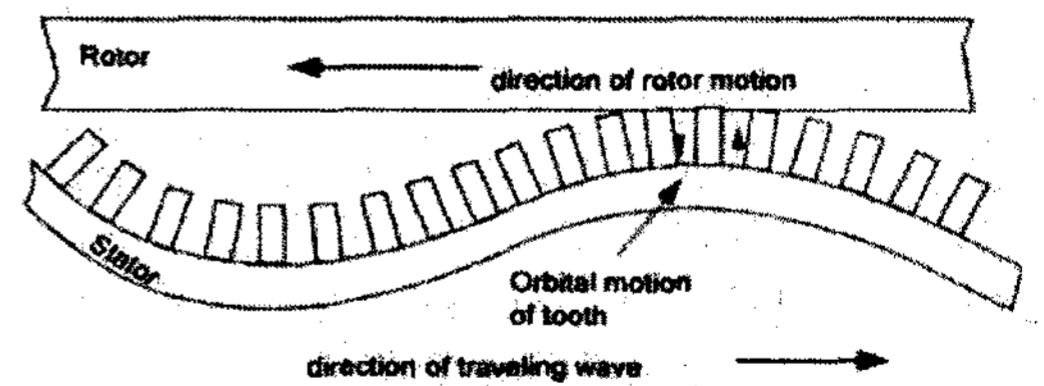
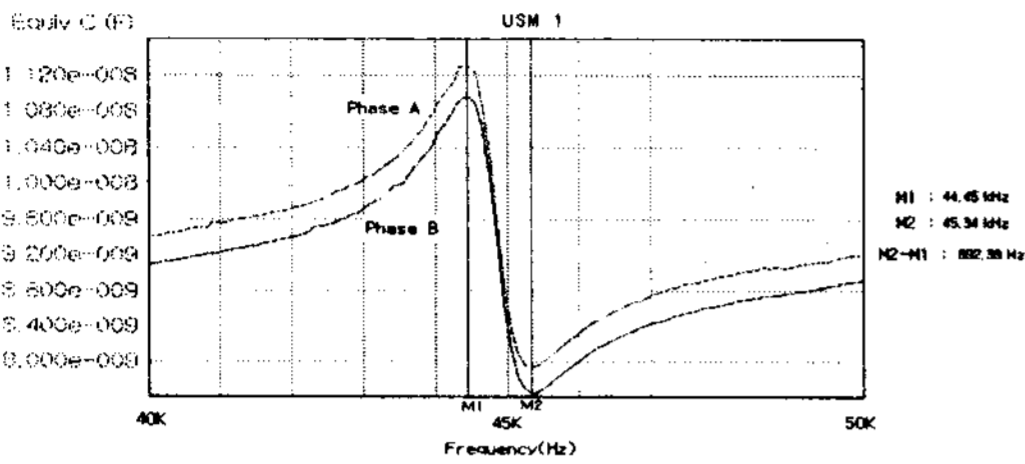


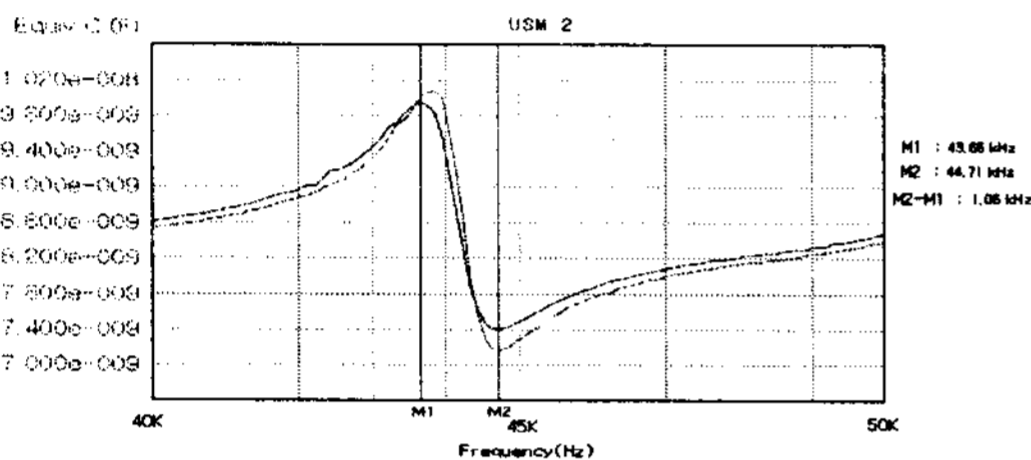
그림 4. 초음파 모터의 동작원리
Fig. 4. The driving principle of ultrasonic motor

주파수 제어 구동 방식의 경우에도, 초음파 모터는 상당히 복잡한 주파수 특성을 가지게 되는데, 그림 5는 초음파 모터의 주파수에 대한 세라믹의 특성을 보여주고 있다. M1이 가장 빠른 속도를 가지는 주파수이며, M2가 정지영역의 주파수이다. 그림에서는 두 개의 모터에 대한 동작 주파수 영역이 나타

나 있는데, (a)와 (b)가 서로 다른 동작 주파수 영역을 가짐을 알 수 있다.



(a) 세라믹 1(모터 1)의 특성



(b) 세라믹 2(모터 2)의 특성

그림 5. 초음파 모터의 주파수 특성
Fig. 5. Frequency characteristic of ultrasonic motors

2.3 초음파 모터의 주파수 제어 구동회로

초음파 모터를 위한 주파수 제어용 구동회로는 90°의 위상차를 가진 두 개의 사인파를 인가해야 하며, 동작 주파수영역에서 속도의 변화를 위해 주파수를 조절할 수 있어야 한다. 주파수의 조절을 위해 보통 VCO를 사용하며, VCO에 8비트 D/A 변환기를 통해 변환된 아날로그 값을 입력하여 동작 주파수를 얻게 된다[4-6].

그림 6은 초음파 모터를 위한 일반적인 주파수 구동회로를 보여주고 있다. 그러나 이러한 구동회로는 온도변화에 따라 주파수가 변동한다는 문제점이 존재한다. 주파수가 많이 변동할 경우에는 D/A변환기의 디지털 값 0과 최고값에서 M1과 M2 주파수를 넘어서게 된다. 이는 초음파 모터가 소음이 발생하게 되거나, 반대방향으로 회전하는 현상을 초래할 수 있다. 이러한 온도변화는 주로 VCO에서 발생하게 된다. 대부분의 VCO는 30이상의 온도변화에서 최대 100[Hz] 정도의 주파수 변동을 보이는 것이 보통이다.

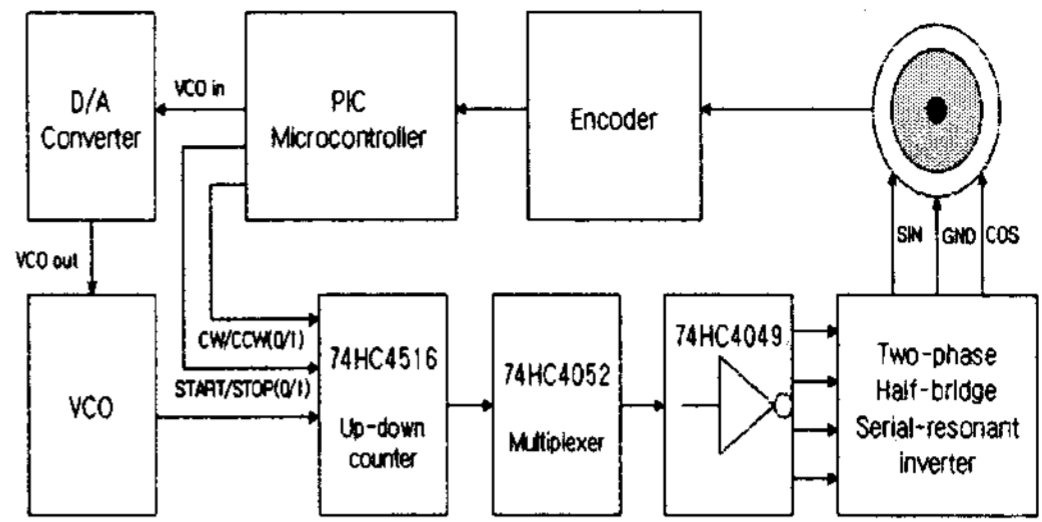


그림 6. 일반적인 주파수 구동회로
Fig. 6. General Frequency driving circuit

특히 롤-스크린의 경우는 설치 장소가 대부분 창 근처이기 때문에 여름 낮과 겨울 밤의 온도차이가 최대 30[°]이상일 수가 있어, 상당한 주파수 변동을 일으킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 주파수 구동회로를 PLD를 이용하여 설계하였다. 그림 7은 PLD를 이용한 롤-스크린용 주파수 구동회로와 주변 회로를 나타내고 있다.

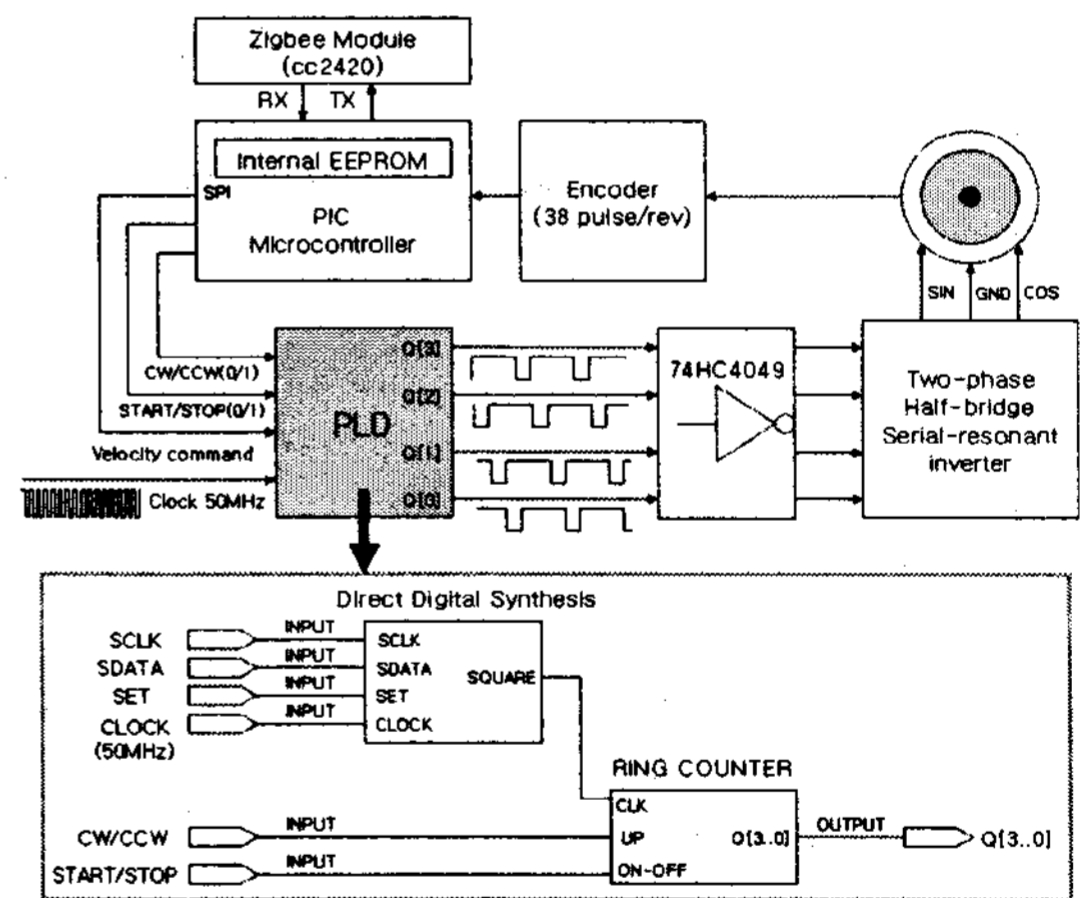


그림 7. PLD를 이용한 주파수 구동회로
Fig. 7. Frequency driving circuit using PLD

PLD는 50[MHz]의 클럭을 기준클럭으로 하여, SPI통신을 통해 주파수 발생을 위한 데이터 값을 PLD의 내부에 설계된 DDS(Direct Digital Synthesis)에 인가된다. DDS는 이 데이터 값에 의해 원하는 주파수를 출력한다. 이 주파수는 링카운터에 입력되어, 1/4의 주파수를 가진 4개의 출력이 만들어 지게 된다.

없으나, 초음파 모터는 정착시간(Settling time)이 거의 0.5[msec] 이하로 상당히 빠르기 때문에 샘플링시간이 길어지지 않는다.

가변 샘플링 시간을 이용하여 제어한다 하더라도, 속도제어를 통해 여러 개의 초음파 모터가 같은 위치를 가지게 하는 것은 쉬운 일이 아니다.

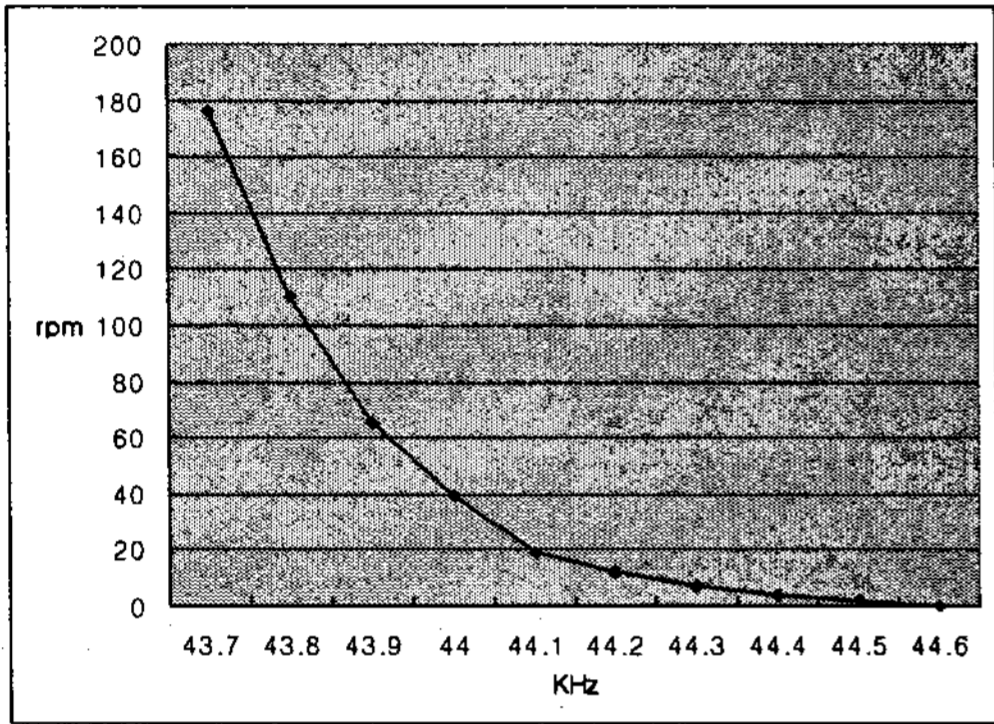


그림 10. 초음파 모터의 비선형 특성
Fig. 10. Non-linearity of ultrasonic motor

그림 10에서 보는바와 같이 초음파 모터는 동작주파수영역에서 상당한 비선형성을 가진다. 일반적인 PID 제어와 같은 선형제어 방법을 사용하여 제어할 수는 있으나 PID값을 정하는데 있어서 초음파 모터의 비선형성으로 인하여 약간의 오차가 생기면 예기치 못한 상황이 발생할 수 있고, 또한 정확하게 맞추었을 경우라도 구동 중간 주파수의 이동으로 그 정한 값들이 무의미해져 같은 상황을 초래할 수 있으므로 제어가 용이하지 못하기 때문에 적응제어 방법과 같은 가변이득을 사용하는 방법이 적용되어야 하는데, 이 방법은 고속의 프로세서를 필요로 하게 된다. 보통 롬-스크린에서 모터부가 차지하는 비용을 증가시키는 것은 산업적 측면에서의 적용을 어렵게 하기 때문에, 저가의 프로세서가 사용되어야 한다. 본 연구에서는 원칩 마이크로컨트롤러인 PIC18F252를 사용하고 있기 때문에 10[msec]이내에 복잡한 제어계산을 하는 것은 불가능하다.

그래서 본 연구에서는 초음파 모터의 비선형 특성을 반영한 제어방법을 사용하였다. 초음파 모터는 초기에 급격하게 구동하면 움직이지 않는 특성을 가지고 있어 초기에는 부드럽게 동작시켜야 한다. 그

러므로 초음파 모터의 초기 약 200[msec]동안은 그림 11에서 보여주는 비선형 특성을 반영하도록 동작시켜야 하며, 다음과 같은 상태로 초기에 프로그램되어야 한다.

```
for(i=0; i<MAX-10; i++) {
    data=i; //dir은 방향으로 0 or 1
    USM_Control(dir, data);
    delay_ms(1);
}
```

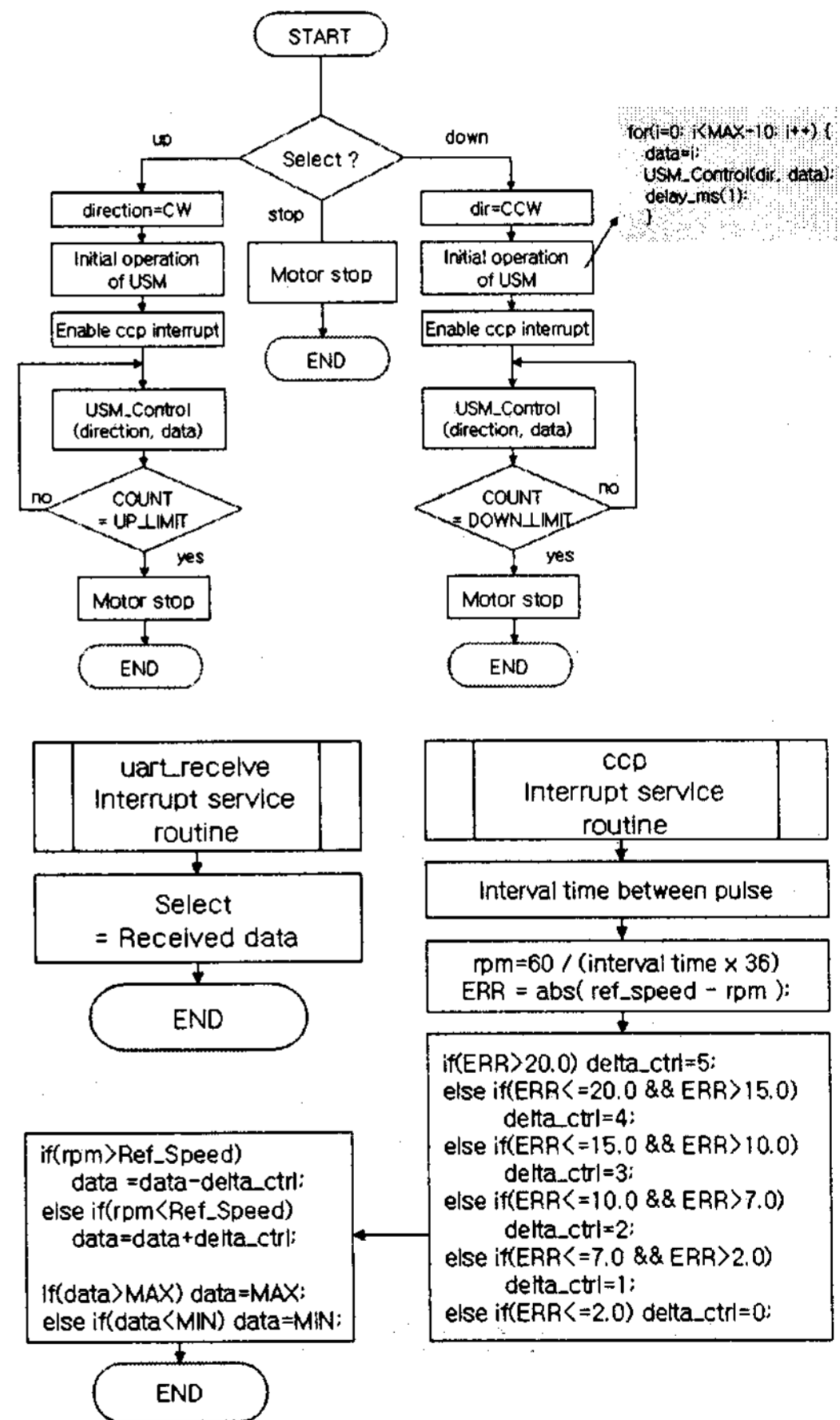


그림 11. 롬-스크린의 초음파 모터 제어 순서도
Fig. 11. Control flow-chart of ultrasonic motor

그림 11은 전체 제어 동작에 관한 순서도를 보여주고 있다. 전체 프로그램은 CCS-C가 사용되었으며, 모터를 제어하기 위해 입력되는 data는 8비트로서 0에서 255로 정규화 하였으며 0에서 최저속도,

초음파 모터를 이용한 롤-스크린 시스템 설계

255에서 최고속도를 가진다. MAX는 모터에서 소음이 발생하는 것을 방지하기 위해 255보다 작은 값을 설정하는 것이 보통이다. 초기에는 (MAX-10) [msec] 정도의 시간을 초음파모터의 특성을 반영한 동작시간으로 한다. 초기 구동시간이 지나면 CCP (Capture /Compare/PWM) 인터럽트를 인에이블시켜, 1회전 당 36펄스가 출력되는 포토 인터럽트에서 한 펄스가 입력될 때마다의 시간을 계산하여 정확한 회전속도([rpm])을 계산하였다. 바람직한 회전속도인 *ref_speed*를 110[rpm]으로 정하였는데, 이는 초음파 모터의 동작 최고 속도가 동작시간에 비례하여 줄어드는 특성을 가지기 때문에, 롤-스크린의 동작 시간에 크게 구애받지 않는 속도인 120[rpm](감속기를 포함 할 경우 18[rpm])을 바람직한 속도가 정하여 사용하였다. 속도 오차를 구한 후, 오차를 보상하기 위하여 속도 오차에 비례한 제어신호인 *data*를 계산하면 된다.

제어출력신호를 계산하기 위해서는 PID 방법 등과 같은 다양한 제어 방법이 사용될 수 있으나, 본 연구에서는 PID 제어 방법을 사용하지 않았다. PID 제어 방법을 사용하여도 정상상태 부근에서는 선형 동작을 보이기 때문에 크게 문제가 되지 않으나, 동작시간에 따라 동작 특성이 변동하며, 모터마다 약간씩 다른 특성을 가지는 초음파 모터에서는 구해진 PID 계수가 항상 적절하다고 할 수 없다. PID제어 대신에 적응제어방식이나 지능제어 방식을 사용하기 위해서는 고성능의 프로세서가 사용되어야 하기 때문에 적용이 불가능하다.

그래서 본 연구에서는 그림 11의 순서도에 나타낸 것처럼 속도오차에 따라 부드러운 제어를 하는 방식을 사용하였다.

3.2 롤-스크린의 리미트 설정

롤-스크린은 반드시 상·하 리미트가 정해져야 한다. 대부분의 롤-스크린은 기계적 시스템을 이용하여 상하 리미트를 설정하고 있으나, 본 시스템은 초음파 모터의 속도제어를 위해 1회전 36펄스가 출력되는 포토 인터럽트를 사용하고 있기 때문에 이 펄스 값을 카운트하여 적절한 누적 값을 리미트로

설정할 수 있다. 초음파 모터의 정지시간은 0.25[msec]로 현존하는 모터 중 가장 빠르기 때문에 어떤 경우에도 펄스 값이 리미트로 설정된 카운트 값을 넘어서서 오차가 누적되는 경우는 없다. 단 위로 올라갈 때와 내려갈 때에 펄스를 카운트하기 위한 에지(edge)값을 바꿔 주어야 한다. 즉 모터가 CW방향으로 돌아갈 때는 펄스를 상승에지에서 카운트하여야 하며, CCW방향으로 회전할 때는 하강 에지에서 카운트하여야 한다.

만약 동작 중에 사용자가 정지버튼을 누르면, 정지 직후에 현재의 누적 카운트 값을 원칩 마이크로컨트롤러 내부의 EEPROM에 저장하기 때문에, 전원이 커진 후 다시 동작시킨다 하더라도 리미트 값에서 정지시키는 것은 문제가 없다.

하지만 이 방법은 치명적인 단점을 가지고 있다. 만약 동작 중에 전원이 끊어지게 되면 EEPROM에 현재의 누적 카운트 값을 저장할 수 없기 때문에, 다음 동작에서 엉뚱한 위치에서 정지하거나, 롤-스크린이 다 감졌는데도 계속동작하게 되는 문제점을 가진다. 이 문제는 PIC 프로세서에서 간단히 해결될 수 있는데, 이 방법은 그림 12에 나타내었다.

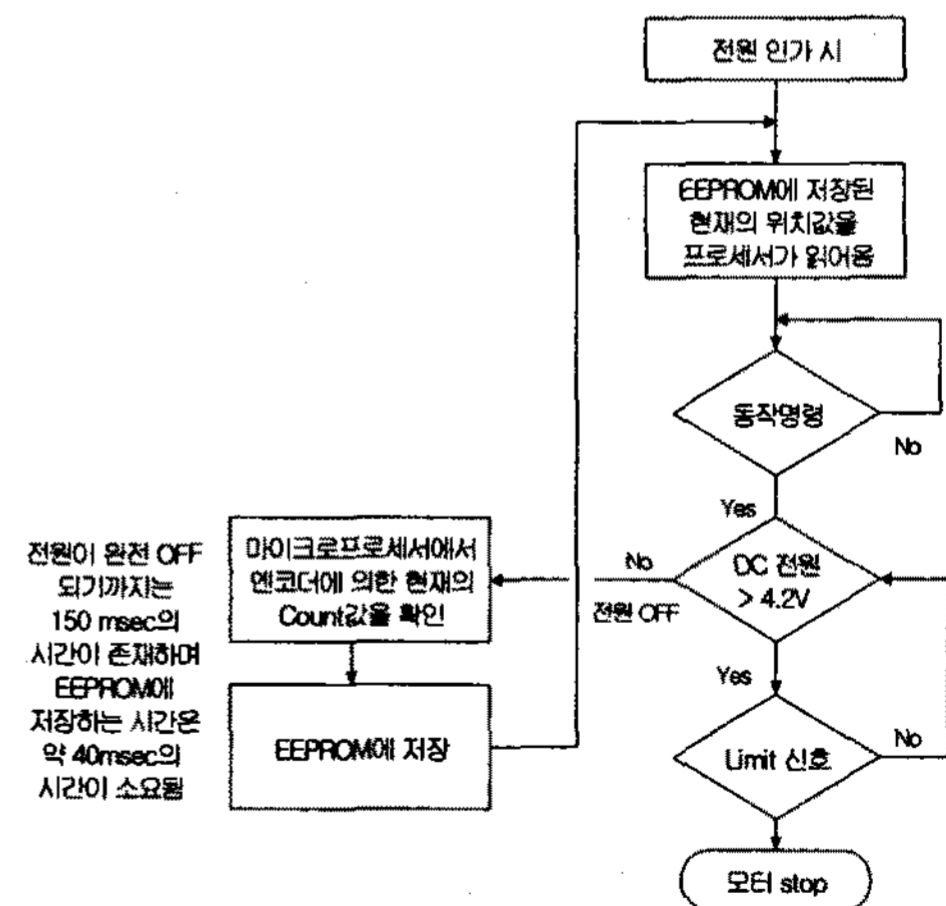


그림 12. 동작 중 전원 off시 위치 저장 방법
Fig. 12. Position saving method, when power is unexpectedly down

4. 실험결과

롤-스크린을 위한 초음파 모터의 적용을 위해, 특

성이 전혀 다른 초음파 모터 2개가 사용되었다. 이 두 개 모터의 특성은 그림 5에 나타난 바와 같으며, 두 개의 모터가 가지는 토크 특성도 5.5와 6.5[kg] · [cm]로 서로 다른 상태이다. 적용된 롤-스크린의 크기는 2400×2400[mm]이다.

그림 13은 PLD를 거쳐 롤-스크린을 구동하는 모터의 실제 입력파형을 나타내고 있고 이는 약 240[V_{pp}]의 높은 구동전압을 가지고 있다.

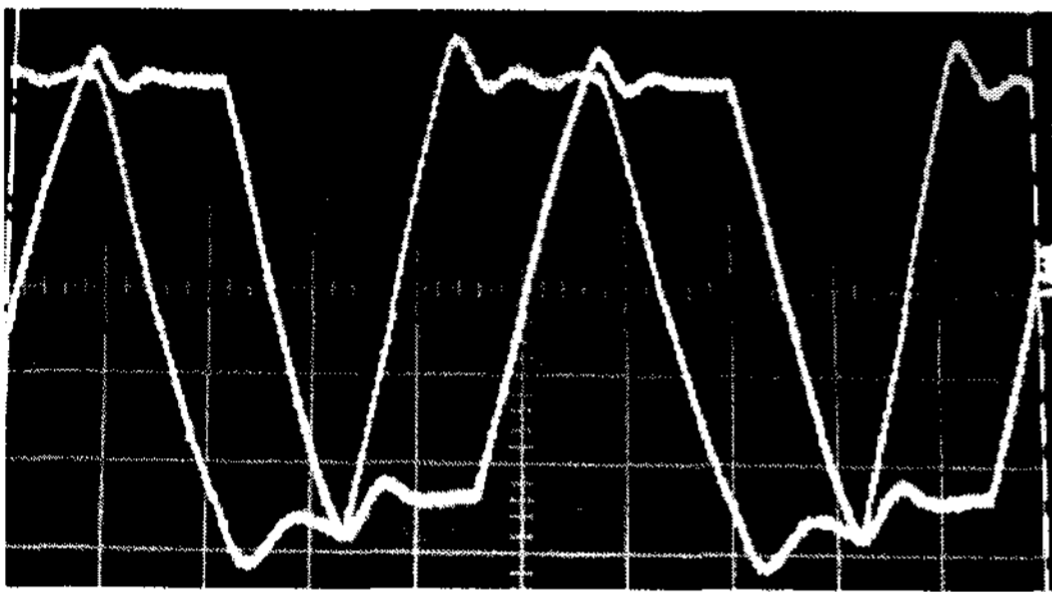


그림 13. 실제 모터 입력 파형
Fig. 13. Real Input of Motor

표 2는 두 개 모터의 전력 특성을 보여주고 있다. 롤-스크린에 적용시켜 상·하 동작을 계속 반복시켜 보았다. 두 모터 모두, 동작시간이 늘어나더라도 항상 일정한 전력소비를 보인다는 것을 알 수 있다. 또한 약 15[W] 이하의 전력소비를 보인다는 것을 알 수 있다. 롤-스크린에 적용되는 다른 모터들은 약 70[W]를 소비하기 때문에 전력면에서 상당히 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 3은 반복회수에 따른 롤-스크린의 속도변화를 보여주고 있다. 롤-스크린이 반복회수에 상관없이 항상 일정한 속도를 보인다는 것을 알 수 있다. 또한 서로 다른 특성을 가지면서 부하가 서로 다른 상태에서 두 개의 롤-스크린이 항상 같은 속도를 보이고 있다.

마지막으로 초음파 모터를 이용한 롤-스크린의 최대 장점은 소음이 없다는 것이다. 그래서 소음 측정을 실시하였는데, 그 결과를 표 4에 나타내었다. 측정은 소음계 TES-1350A 사용하였으며, 롤-스크린과 300[mm] 떨어진 곳에서 측정하였다. 이 측정 결과로 거의 소음이 없음을 알 수 있다. 동작 전과 동작 후가 약 1[dB]정도의 차이를 보이는 것은 롤-스크린

의 천이 감기는 소리일 것으로 예상하고 있다.

표 2. 반복회수에 따른 소비 전력
Table 2. Power consumption as iterative number

구동 횟수	모터 1			모터 2		
	전압	전류 ([A])	전력 ([W])	전압	전류	전력
1회	DC 24[V]	0.52	12.48	DC 24[V]	0.60	14.4
10회		0.54	12.96		0.60	14.4
20회		0.53	12.72		0.59	14.16
30회		0.53	12.72		0.60	14.4
평균		0.53	12.72		0.60	14.34

표 3. 반복회수에 따른 롤-스크린의 속도변화
(롤-스크린 2 : 1.5[kg]의 부하를 추가)
Table 3. Velocity of Roll-Screen as iterative number

반복 횟수	롤-스크린 1		롤-스크린 2	
	Down(초)	Up(초)	Down(초)	Up(초)
1	34.882	38.545	34.873	38.576
10	34.863	38.543	34.882	38.561
40	34.868	38.56	34.88	38.541
80	34.875	38.555	34.879	38.551
100	34.89	38.549	34.874	38.562

표 4. 소음계에 의한 측정
Table 4. The measurement using sound level meter

동작 전 소음 ([dB])	브라인드 1			브라인드 2			
	횟수	Up ([dB])	Down ([dB])	동작 전 소음 ([dB])	횟수	Up ([dB])	Down ([dB])
53	1	54	54	54	1	55	54
	5	53	54		5	54	55
	10	54	54		10	54	54

5. 결 론

본 논문은 롤-스크린 설계 시, 소비전력을 최소화 하고 소음이 없도록 하기 위해 초음파 모터를 이용하여 롤-스크린을 설계한 연구이다. 초음파 모터를 이용할 경우, 소음을 없앨 수는 있으나 초음파모터

초음파 모터를 이용한 롤-스크린 시스템 설계

는 상당한 비선형 특성을 가지고 있으며, 모터마다 서로 다른 특성을 보이기 때문에 실제-롤-스크린에 적용하기 위해서는 고가의 엔코더가 사용되어야 한다. 본 연구에서는 저가의 포터 인터럽트를 사용하여 1 회전 당 36펄스만이 출력되면서도 항상 일정한 속도와 위치가 보장되도록 하는 제어 방법을 적용하였다. 이 방법은 실제 롤-스크린에 적용되어 그 성능이 입증되었으며, 수원에 있는 실버타운(노블카운티)에 약 200여개가 적용될 예정이다.

References

- [1] www.somfy.com.
- [2] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura, "Ultrasonic motors theory and applications, Clarendon Press, Oxford, UK, 1993.
- [3] J. Zelenka, "Piezoelectric Resonators and Their Application, Elsevier, Amsterdam, 1986.
- [4] Jeong-Do Kim, etc, "Nano-Positioning System Using Linear Ultrasonic Motor with "shaking Beam", Vol 12. No. 3, Journal of Electroceramics, 2004.
- [5] Ales Richter, Martin Pustka, Pavel Rydlo and Milan Kolar, "Ultrasonic piezoceramic motor The computation of traveling-wave velocity on the stator surface and excitation by PWM modulation with higher harmonic suppression", Ceramics International 30, 1857-1861, 2004.
- [6] Cüngör Bal, Erdal Bekiroglu, "Servo speed control of travelling-wave ultrasonic motor using digital signal processor", Sensor & Actuator A, 109, 212-219, 2004.

◇ 저자소개 ◇

김정도 (金正道)

1962년 9월 26일생. 1987년 성균관대 전자공학과 졸업(학사). 1990년 성균관대학교 대학원 졸업(석사). 1995년 성균관대학교 대학원 졸업(박사). 1995~2004년 삼척대학교 컴퓨터 응용제어공학과 교수. 2004년~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수.

정우석 (鄭祐錫)

1979년 1월 24일생. 2003년 호서대학교 전기정보통신공학부 졸업(학사). 2005년 호서대학교 대학원 졸업(석사). 2005년~현재 호서대학교 대학원 박사과정.

함유경 (咸裕敬)

1976년 1월 13일생. 2001년 삼척대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 2003년 삼척대학교 대학원 졸업(석사). 2005년~현재 호서대학교 박사과정.

김동진 (金東鎭)

1971년 9월 26일생. 1998년 호서대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 호서대학교 대학원 졸업(석사). 2005년 호서대학교 대학원 박사수료. 제니스테크 기술연구소 선임연구원(2000.1~2004.6).

홍철호 (洪哲鎬)

1954년 4월 24일생. 1977년 성균관대 전자공학과 졸업(학사). 1981년 성균관대학교 대학원 졸업(석사). 1999년 성균관대학교 대학원 졸업(박사). 1983~1989년 인덕대 전자과 교수. 1989년~현재 호서대 전기정보통신공학부 교수.