

ENGINEERING

## Performance evaluation of a 400 W precise window motor for glass houses

Soon-Joong Hong<sup>1</sup>, Soo-Bok Park<sup>2</sup>, Na-Rae Kang<sup>3</sup>, Yong-Joo Kim<sup>3</sup>, Sun-Ok Chung<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Rural Human Resource Development Center, Rural Development Administration, Jeonju 54874, Korea

<sup>2</sup>Chung-Oh Engineering Co., Ltd, Daejeon 34364, Korea

<sup>3</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

\*Corresponding author: [sochung@cnu.ac.kr](mailto:sochung@cnu.ac.kr)

### Abstract

Crop growth and production cost are greatly influenced by management of environmental factors such as ambient temperature, humidity, and CO<sub>2</sub>, especially in protected horticulture. Opening and closing of greenhouses is the most important operation for control of these ambient environmental factors, and precise and stable operation requires high performance window motors. In this study, a 400 W precise window motor was constructed, and its performance was evaluated for plastic and glass greenhouses. First, the motor was designed and fabricated by benchmarking of an advanced foreign product. Then, the performance was evaluated through vibration, PCB (Process Control Block), and load tests. Vibration tests resulted in averaged vibration displacement and velocity of the developed motor of 0.002 mm and 0.2267m/s, which were statistically significantly different from those of the target motor. Average vibration acceleration (0.26 m/s<sup>2</sup>) of the developed motor was also significantly different from that (0.51 m/s<sup>2</sup>) of the target motor. PCB tests showed 2 - 4 mm deviation from the target values, and confirmed the operating status and precision of the control. Load tests with a 300 kg load also showed acceptable operating status and durability. Current values were 1.31 ± 0.06 A and RPMs were in the range of 2.9 - 3.0. Considering the above results, the developed window motor would be competitive to the target foreign product.

**Keywords:** protected horticulture, glasshouse, window motor, precision control, performance

### Introduction

우리나라 농지의 총 면적은 2010년 1,715,301 ha이며, 이 중 시설원에 재배 면적은 90,468 ha로 2014년 기준 농업에서 시설원예농업의 비중은 약 13.2%를 차지한다(Kim and Chae, 2016). 또한 이러한 시설원에 면적은 최근 농수산물 시장개방에 대한 대응방안으로 부가가치가 높은 작물생산지 규모화, 단지화된 시설원예단지 조성에 대한 관심이 높아지면서 더욱 증가할 것으로 판단된다(Teitel, 2007; Suh et al., 2009; Yun et al., 2013). 시설원예 산업의 경쟁력 제고는 생산비 절감과 생산물 품질 향상을 통해 달성할 수 있다. 이를 위해 후방 산업인 시설원예 생산자



 OPEN ACCESS

**Citation:** Hong SJ, Park SB, Kang NR, Kim YJ, Chung SO. 2017. Performance evaluation of a 400 W precise window motor for glass houses. Korean Journal of Agricultural Science 44:595-603.

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170067>

**Editor:** Kyeong Hwan Lee, Chonnam National University, Korea

**Received:** August 17, 2017

**Revised:** November 20, 2017

**Accepted:** November 29, 2017

**Copyright:** © 2017 Korean Journal of Agricultural Science.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

재 산업의 역할이 매우 중요하다(Lee, 2004; Ahonen et al., 2008; Teitel et al., 2008). 그러나 국내 농자재 산업체는 국외 선진 산업체 규모에 비해 영세하며, 주로 국외 제품을 수입하여 판매하고 있기 때문에 자체 국내 기술의 개발 및 산업화가 시급한 실정이다(Seo and Kang, 2015). 그 중 유리온실 창 개폐는 온실 내부의 온도, 상대습도, 가시광 복사와 직접적인 연관이 있고, 이는 난방비와도 연관이 있기 때문에 센서를 활용하고 원하는 입력값에 따라 창 개폐 위치의 정밀제어가 가능하다면 해외 제품들과의 경쟁력에서 뒤쳐지지 않을 것으로 예상된다(Muñoz et al., 1999; Miguel and Silva, 2000; Candido et al., 2007).

하지만 국내 유리온실 창개폐모터는 내구성, 안정성, 정밀도 가격 등 전반적인 면에서 성능이 떨어진다. 현재 국내 정밀도 수준은 1 cm이고, 안전성에서는 1단 리미트, 내구성은 약 4 - 5년 수준으로 개선이 필요하다. 특히 동력 전달계의 최적 설계를 통하여 제품 신뢰성 향상과 과잉 설계로 인한 경제적 손실 최소화가 요구되고 있다(Lee et al., 2016). 반면에 해외 온실 창 개폐모터는 네덜란드 RIDDER사, DE GIER사, 독일 LOCK사 제품들이 시장을 장악하고 있으며 정밀도가 1 mm, 회전수 3 rpm, 소비전력 400 W, 내구성은 10년 수준으로 우수하다. 이러한 선진사의 경우 위치센서를 창 개폐모터의 내부 출력축에 부착 후 출력축 회전수와 각도를 측정하여 사용자가 원하는 천창의 개폐위치에서 정지할 수 있도록 정밀도를 향상시켰다. 이러한 기술력을 벤치마킹 하면, 국내 생산되는 제품의 정밀도 향상과 안전성을 확보하여 기술경쟁력으로 수출 산업화에 기여할 수 있을 것이다(Nandi et al., 2005; Chinmaya and Mohanty, 2006).

본 연구는 RIDDER사의 제품을 벤치마킹하여 기존 유리온실 창 개폐모터 및 제어부를 정밀도 향상, 작업 안정성 확보, 내구성 향상을 위해 개선한 후진동실험, PCB (Process Control Block) 실험, 무부하 및 부하 실험을 통해 성능을 평가하였다.

## Materials and Methods

### 400 W 창 개폐모터 설계 및 제작

본 연구에서는 선진사 제품인 RIDDER사 RW243 모델(Harderwijk, Netherlands)과 유사한 성능을 목표로 개발하고자 해당제품을 벤치마킹 하였으며, CAD 프로그램을 이용하여 설계 및 제작하였다. RIDDER사 제품을 분석한 결과 모터기어, 1축 기어, 2축 기어, 3축 기어(웍기어), 베어링, 스프로킷으로 구성되어 있었다(Table 1).

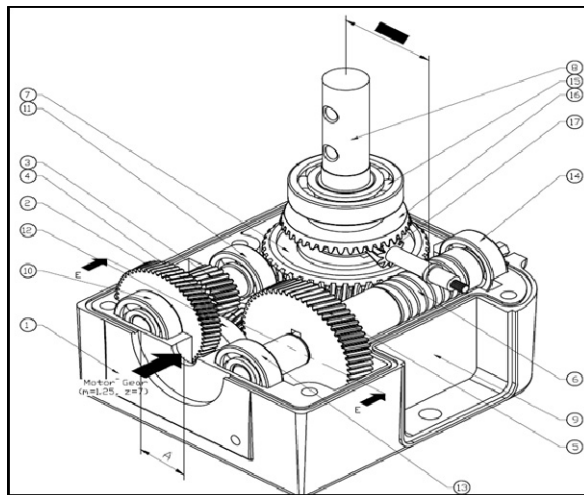
**Table 1.** Specifications of the advanced target model (RW243, RIDDER, Netherlands).

Item	Specifications
Use	Ceiling opening/closing
Operation temperature (°C)	80
Turning effect (Nm)	240
RPM	3
Power consumption (kW)	0.29
Voltage (V)	3 phase 208 - 480
Weight (kg)	30
Angle control resolution (degree)	0.35°

모터기어의 제원은 모듈 1, 잇수 37, 중심거리 10 mm이고, 1축과의 중심거리는 62.956 mm 이었다. 구동기어와 피동기어의 접촉 응력과 굽힘응력은 치폭이 줄어들수록 감소한다(Jang et al., 2016). 이에 따라 기존 양산품의 1축, 2축, 3축 기어 잇수와 모듈을 변경하였고, 스프로킷을 제외하고 케이스와 베벨기어를 추가하였다. 이로 인해 기어

의 효율과 교차율을 증가시켰고, 소음과 백래쉬를 감소시켰다. 선진사 제품을 분석하여 모터기어의 제원을 모듈은 1.5, 잇수는 9, 중심거리를 20 mm로 변경하여 설계하였다. 설계된 치수에 따라 모터 하부에 전달기어와 1축, 2축 기어를 조립하였고, 이 때 1축과 2축 기어 잇수는 69개 그리고 24개로 제작하였다. 모터 상부에는 베벨기어, 워름, 3축기어를 조립하였으며, 하부에 감속 기어부를 조립한 후 상부와 하부를 체결하였다. 또한 디지털 제어부와 센싱부, 각도 센싱 반도체를 결합하여 400 W 정밀 창개폐 모터를 제작하였다(Table 2).

**Table 2.** Specifications of the window motor developed in the study.



NO.	Name	Specifications	Center distance (mm)	Remark
1	Motor gear	$m = 1.25, z = 7, B = 20$	A	Between motor gear and 1st shaft
2	1 <sup>st</sup> shaft gear	$m = 1.25, z = 57, B = 15$		
3	1 <sup>st</sup> shaft	$m = 1.5, z = 24, B = 15$		
4	2 <sup>nd</sup> shaft gear	$m = 1.5, z = 24, B = 15$		Between 1 <sup>st</sup> gear and transmission shaft
5	2 <sup>nd</sup> shaft (worm)	$m = 1.5, z = 60, B = 15$	B	
6	3 <sup>rd</sup> shaft (worm)	$m = 2.25, z = 1$		
7	3 <sup>rd</sup> shaft (output)	$m = 2.25, z = 43$		
8	Case	-		
9	Bearing	-	C	Between transmission shaft and 2 <sup>nd</sup> shaft
10	Bearing	6303		
11	Bearing	6303		
12	Bearing	6202		Between 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> shafts
13	Bearing	6303	D	
14	Bearing	6303		
15	Bearing	6207		
16	Bevel gear (big)	$m = 2, z = 40$		
17	Bevel gear (small)	$m = 2, z = 10$		

## 컨트롤러 설계 및 제작

개폐모터 컨트롤러 회전각 정밀도는  $360^\circ/1024$  (약  $0.35^\circ$ )의 분해능을 가지며 장거리 전송용 전류 오차를 1% 이내로 설계하기 위해 회전체의 중심부에 네오디뮴(neodymium) 자석을 부착하였다. 또한 네오디뮴 자석과 1 mm 정도 떨어진 위치에 회전각 센서를 배치하여 회전체가 회전하면 회전각센서에서 검출된 신호 전압을 증폭한 후 다시

장거리 전송하도록 설계하였다. 낙뢰 및 서지가 전류 전송라인으로 유입될 경우 회로를 보호할 부품을 부착하였고, 모든 부품을 영하 20°C에서 영상 105°C에서 작동할 수 있도록 설계하였다.

컨트롤러는 네오디뮴 마그네트를 사용하여 위치센서의 입력을 받아 변환회로를 거쳐 마이크로 프로세서에서 현재 위치를 연산하였다. 고장 판별 및 모터 긴급 정지를 판단하기 위해 2단 리미트 센서의 입력을 받아 논리 변환 회로를 거쳐 마이크로 프로세서에서 로직 입력으로 데이터 값을 전송하여 판별하도록 하였다. 또한 전자식 전류센서의 전류 측정값 증폭기를 거쳐 마이크로 프로세서의 아날로그 입력포트로 전달하고 설정치와 비교하여 모터의 정상동작, 과부하 및 이상여부를 판별하였다. 또한 LCD를 사용하여 대기 시 낮은 소비전력 사용을 지향하고, 위치센서의 현재 위치와 모터 소비 전류, 과부하전류 설정, 열림 위치 및 닫힘 위치 설정, 축 지름 설정을 표시하여 각종 정보를 확인할 수 있도록 설계하였다(Fig. 1). 그리고 전원부와 제어부의 낙뢰 및 노이즈, 임펄스 유입 방지 회로를 삽입하여 안전성을 향상하였다.



Fig. 1. Display screen of the window motor.

## 진동실험

모터에서 발생하는 진동은 전기적으로 발생하는 자기진동과 회전체의 불균형에 의한 진동이 있다. 전기적으로 발생하는 자기진동은 고정자에 권선된 코일에서 발생하는 자속의 불균형에 의해서 발생되며, 3상 모터의 경우 특수한 목적의 모터를 제외하고 거의 발생하지 않는다. 3상 모터는 축이 회전할 때 회전체인 로터의 불균형에 의해 진동이 발생된다(Xu and Marangoni, 1994; Park et al., 2000). 진동실험을 통하여 개발한 400 W 급 창 개폐모터와 RIDDER사의 모터의 불균형(Unbalance) 측정 값을 확인하였다. 하이트 게이지(ABS Digimatic Height Gage HDS, Mitutoyo, Japan)에 진동계(B0-63B, BLUEBIRD, China)를 고정하여 창 개폐모터(3상 AC 380 V)의 상단, 중단, 하단(A, B, C) 3 Points (Fig. 2)를 5반복 측정하여 평균을 계산하였으며, RIDDER사의 RW243 (Motor: YSJ7114-9QT, RIDDER, Netherlands) 제품도 동일하게 측정하였다.



Fig. 2. Locations of the vibration measurement on the motor.

## PCB 실험

창 개폐모터에 부착하는 PCB 작동여부 및 신호처리를 확인하기 위하여 테스트를 진행하였다. 실험을 통하여 개폐거리(시작점, 끝점), PIPE 지름, 과전류 설정 값과 측정 값을 비교하였으며, 모터의 동작여부(정방향, 역방향, 정지) 및 제어기 화면에 정방향과 역방향, 정지, 과전류가 발생하였을 때 적색램프와 경보음 발생 여부를 확인하였다(Fig. 3).

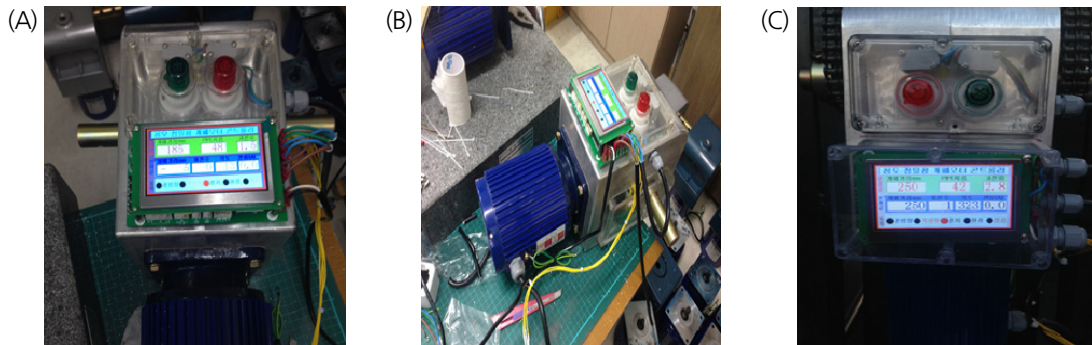


Fig. 3. (A) Photos of the motor operation tests, (B) red lamp and alarm sound tests, (C) overcurrent setting value and measured value comparison.

## 부하 실험

창 개폐모터 내구성을 검사하기 위해 부하테스트를 실시하였다. 창 개폐모터에 걸리는 창 부하가 최대 300 kg 이므로, PCB에 개폐거리 700 mm, 파이프 지름 108.5 mm, 과전류 1.8 A를 설정하고, 부하 300 kg 조건에서 실험을 진행하였다. 개발 창 개폐모터와 RIDDER사의 기어박스 조립 후 모터의 RPM 및 전류를 5반복 측정하였다(Fig. 4).

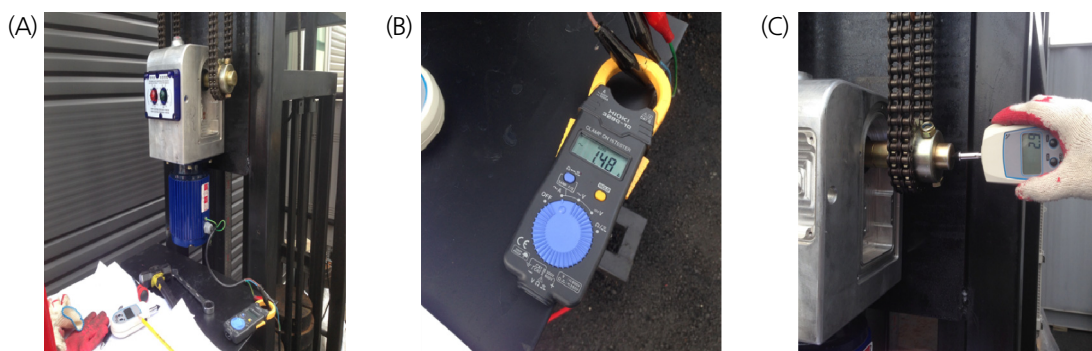


Fig. 4. (A) Photos of the load tests, (B) current measurement, (C) RPM measurement.

## Results and Discussion

### 진동실험

RIDDER사의 모터와 모터축 기어잇수 및 모듈을 변경한 개발 모터를 비교하여 진동변위 평균, 진동속도 평균, 진동가속도 평균 세 가지의 결과를 확인할 수 있었으며 A, B, C Points 진동 평균을 산출하여 신뢰도 수준 95% t-test 를 통해 유의성을 확인하였다. 진동 테스트 결과, 진동 변위 평균은 RIDDER사 모터 0.006 mm, 개발 모터는 0.002 mm로 나타났으며 A, B, C Points의 진동 평균을 산출하여 t-test결과 개발 모터와 RIDDER 사 모터는 통계적으로



유의한 차이를 보였다. 진동속도 평균은 RIDDER사 모터는 0.2667 mm/s, 개발 모터는 0.2267 mm/s로 유의한 차이가 없었으며, 진동가속도 평균은 RIDDER사 모터는 0.51 m/s<sup>2</sup>, 개발 모터는 0.26 m/s<sup>2</sup>로 나타나, 통계적으로 유의한 진동우수성을 보였다(Fig. 5, Table 3).

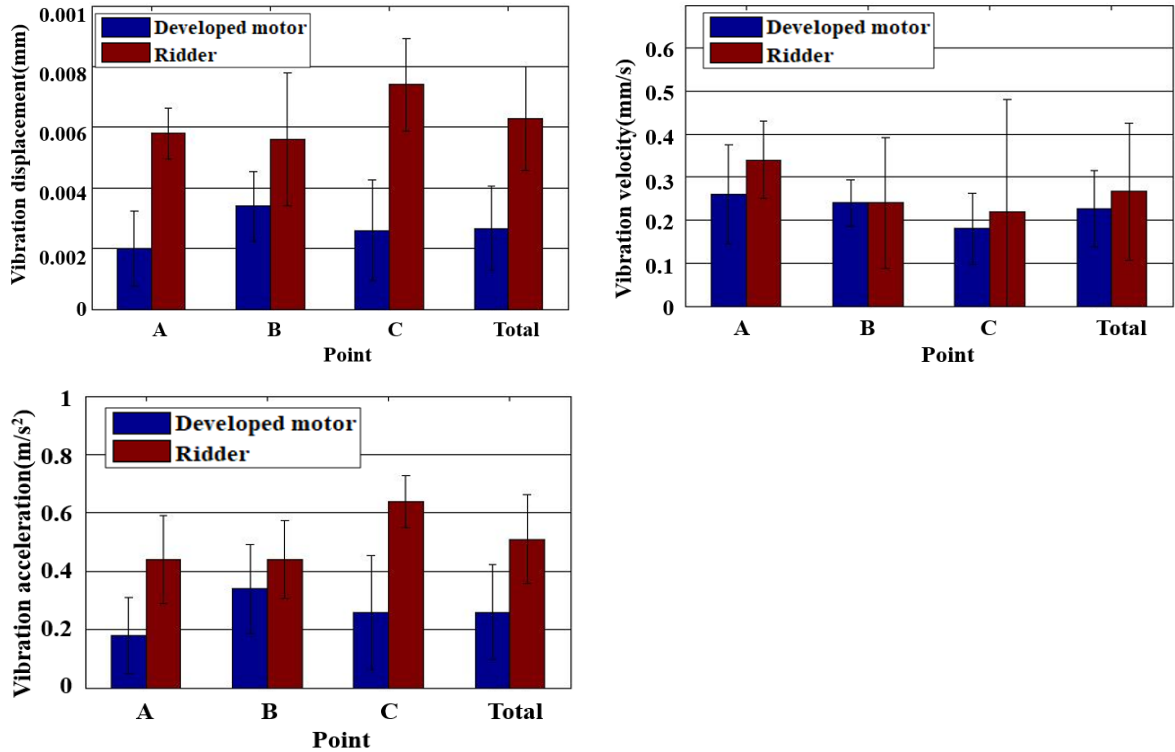


Fig. 5. Results of the vibration test.

Table 3. Results of t-test for the motor vibration.

Item	Motor	Point	Mean	Standard deviation	p-value
Vibration displacement (mm)	Developed motor / RIDDER	A	0.0020 / 0.0058	0.001220 / 0.000840	0.000*
		B	0.0034 / 0.0056	0.001140 / 0.002191	0.082
		C	0.0026 / 0.0074	0.001673 / 0.001517	0.001*
		Total	0.00267 / 0.001397	0.000361 / 0.000441	0.000*
Vibration velocity (mm/s)	Developed motor / RIDDER	A	0.260 / 0.340	0.1140 / 0.0894	0.252
		B	0.240 / 0.240	0.548 / 0.1517	1.000
		C	0.180 / 0.220	0.0837 / 0.2168	0.710
		Total	0.227 / 0.267	0.0884 / 0.1589	0.401
Vibration acceleration (mm/s <sup>2</sup> )	Developed motor / RIDDER	A	0.180 / 0.440	0.1304 / 0.1517	0.020*
		B	0.340 / 0.440	0.1517 / 0.1342	0.302
		C	0.260 / 0.640	0.1949 / 0.0894	0.004*
		Total	0.260 / 0.507	0.1639 / 0.1534	0.000*

\*p < 0.05.

## p < PCB 실험

개발한 창 개폐모터에 부착하는 PCB 작동여부 및 신호처리를 확인하기 위해 테스트를 진행한 결과 개폐거리, PIPE 지름, 과전류 설정 값 및 현재 값을 확인할 수 있었으며 동작여부 확인도 가능하였다. 설정값은 개폐거리 시작점과 끝점을 0 mm, 700 mm, 파이프 지름을 108.5 mm, 과전류를 1.8 A로 설정하였고, 5번 측정된 결과값은 아래 표와 같다(Table 4). 무부하 상태에서 모터 동작상태는 정방향, 역방향, 정지 모두 이상 없이 표시되었고, 전류는 1.2 A와 1.3 A로 측정되었다. 또한 회전 관성에 의하여 개폐거리 시작점과 끝점이 설정값 대비 약 2 - 4 mm 차이가 발생한다. 부하가 300 kg 이상이 되면 설정된 값에서 정확하게 정지할 것으로 판단된다.

**Table 4.** Results of the PCB tests (no load).

LCD	No	Starting point (mm)	Ending point (mm)	Pipe diameter (mm)	Over current (A)	Current (A)
Set value	1	0	700	108.5	1.8	
Measured value	1	-2	703			1.2
	2	-2	703			1.2
	3	-3	704			1.3
	4	-2	703			1.3
	5	-3	704			1.2

## 부하 실험

무부하와 부하상태일 때 RIDDER사 모터와 개발 모터 실험을 수행하였다. 무부하 상태일 때 각각의 모터 전류를 5 반복 측정하여 평균값을 산출하였으며, RIDDER사와 개발 모터 전류 측정 결과값은 아래 표와 같다(Table 5).

부하 실험은 창 개폐모터의 내구성 검사를 위해 수행하였다. 내구성 검사는 PCB에 개폐거리, 파이프 지름 및 과전류를 설정하고, 300 kg 부하 조건으로 실험을 진행하였다. RIDDER사 모터, 개발 모터의 기어박스 조립 후 부하 테스트를 진행한 결과는 아래 표와 같으며, 모터의 사양은 400 W 4 P, 380 V, 1.6 Am, 3 phase, 효율 64%이었다 (Table 6). RIDDER사 모터와 개발 모터의 부하 전류는 1.01 A, 1.31 A이며, RPM은 2.9 - 3.0으로 동일하게 산출되었다. 또한 동작테스트 결과 측정전류는 1.2 - 1.4 A로 측정되었고, 모터 동작상태는 정방향, 역방향, 정지 모두 이상 없이 표시되었다(Table 7).

**Table 5.** Results of the no - load tests.

Motor	Current (A)
RIDDER	0.82 ± 0.03
Developed	1.28 ± 0.04

**Table 6.** Results of the load (300 kg) and RPM tests.

Motor	Current(A)	RPM
RIDDER	1.01 ± 0.05	2.9 - 3.0
Developed	1.31 ± 0.06	2.9 - 3.0

**Table 7.** Results of the load control tests.

LCD	No	Starting point (mm)	Ending point (mm)	Pipe diameter (mm)	Over current (A)	Current (A)
Set value	1	0	700	108.5	1.8	
	1	0	700			1.2
	2	0	700			1.3
Measured value	3	0	700			1.4
	4	0	700			1.4
	5	0	700			1.3

## Conclusion

본 연구에서는 400 W급 유리온실 정밀 창 개폐모터를 개발하기 위하여 기존 양산품의 1축, 2축, 3축 기어 잇수와 모듈을 변경하였고, 스프로킷을 제외하고 케이스와 베벨기어를 추가하여 설계 제작하였다. 컨트롤러 회전각 정밀도는 약 0.35°의 분해능을 나타내었고, 장거리 전송용 전류오차를 1% 이내로 설계 제작하였다. 네오뎀 마그네트를 사용하여 위치센서의 데이터를 받아 변환회로를 거쳐 마이크로 프로세서에서 위치를 연산하였다. 또한 네오뎀 마그네트를 사용하여 위치센서의 입력을 받아 논리 변환회로를 거쳐 마이크로 프로세서에서 데이터 값 입력을 통해 위치센서 고장 판별 및 모터 긴급 정지 상황을 판단하도록 설계 제작하였다. 창 개폐모터 선진사인 RIDDER사 모터와 개발 모터를 비교하기 위해 진동실험, PCB 실험, 부하 실험을 진행하였다. 진동실험을 통해 진동 평균 변위, 속도, 가속도를 측정하였다. 진동실험 결과 기존 RIDDER사의 모터 회전체의 불균형으로 인한 진동을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 불균형을 줄이기 위해 케이스를 일반 스틸에서 알루미늄으로 변경하여 진동을 2.3  $\mu\text{m}$  정도에서 0  $\mu\text{m}$ 까지 줄여 평균진동속도 0.023 mm/s, 진동가속도 평균 0.256 m/s<sup>2</sup>로 감소시켰다. 개발 모터의 개폐거리, PIPE지름, 과전류 설정값 및 현재 값 측정을 통하여 창 개폐모터에 부착하는 PCB 작동 여부 및 신호처리, 동작여부를 확인하였다. 동작상태는 정방향, 역방향, 정지 모두 이상 없이 표시 되었고, 전류는 1.2 A, 1.3 A로 측정되었다. 회전관성에 의하여 개폐거리 시작점과 끝점이 설정값 대비 약 2 - 4 mm 차이가 발생하였다. 부하 실험에서 모터의 내구성을 측정하였다. 그 결과 기어의 형상과 모양을 변경하여 기존 양산 제품의 안전율을 0.8 - 0.9에서 1.3 - 1.4로 내구성을 향상시켰다. 본 연구에서 우리나라 유리 온실에 활용 가능한 모터를 선진사 모델을 벤치마킹하여 제작 및 성능시험을 실시하였으며, 향후 이론 해석에 의한 최적화, 내구성 및 과부하 실험을 수행하여 모터의 성능 개선이 요구된다.

## Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업지원으로 수행되었음(과제번호: 115059-2).

## References

- Ahonen T, Virrankoski R, Elmusrati M. 2008. Greenhouse monitoring with wireless sensor network. In Proceeding of the 4th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA) pp. 403-408.
- Candido A, Cicirelli F, Furfaro A, Nigro L. 2007. Embedded real-time system for climate control in a complex greenhouse. International Agrophysics 21:17-27.



- Chinmaya K, Mohanty AR. 2006. Multistage gearbox condition monitoring using motor current signature analysis and Kolmogorov-Smirnov test. *Journal of Sound and Vibration* 290:337-368.
- Jang JH, Chung SO, Choi CH, Park YJ, Chun WK, Kim SI, Kwon OW, Kim CW, Hong SJ, Kim YJ. 2016. Effects of PTO gear face width on safety factors. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:650-655.
- Kim BR, Chae SH. 2016. Policy Directions for Controlled Horticulture Industry. pp. 26. Publishing KREI (Korea Rural Economic Institute). Republic of Korea. [in Korean]
- Lee PU, Chung SO, Chou CH, Park YJ, Kim YJ. 2016. Analysis of the effects of operating point of tractor engine on fatigue life of PTO gear using simulation. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:441-449.
- Lee KC. 2004. Forecasting Future Technology, Drawing Road Maps, and Developing Effective Investment Techniques in Agriculture. pp. 58. Publishing MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). Republic of Korea. [in Korean]
- Miguel AF, Silva AM. 2000. Porous materials to control climate behaviour of enclosures: an application to the study of screened greenhouses. *Energy and Buildings* 31:195-209.
- Muñoz P, Montero JI, Antón A, Guiffrida F. 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73:171-178.
- Nandi S, Toliyat HA, Li X, Nigro L. 2005. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors—A Review. *Transactions on Energy Conversion* 20:719-729.
- Park NG, Kim TJ, Hwang SM. 2000. Analysis of vibration for permanent magnet motors considering mechanical and magnetic coupling effects. *Transactions on Magnetics* 36:1346-1350.
- Seo DS, Kang CY. 2015. Development Strategies for Material Industries of Greenhouses in Korea. pp. 2-3. Publishing Korea Rural Economic Institute. Republic of Korea.
- Suh WM, Bae YH, Heo HJ, Kwak CS, Lee SG, L JW, Yoon YC. 2009. Analyses of heating and cooling load in greenhouse of protected horticulture complex in Taeon. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51:45-52. [in Korean]
- Teitel M. 2007. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology* 143:159-175.
- Teitel M, Ziskind G, Liran O, Dubovsky V, Letan R. 2008. Effect of wind direction on greenhouse ventilation rate, airflow patterns and temperature distributions. *Biosystems Engineering* 101:351-369.
- Xu M, Marangoni RD. 1994. Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance, part I: theoretical model and analysis. *Journal of Sound and Vibration* 176:663-679.
- Yun SW, Choi MK, Shin YS, Yu C, Yoon YC. 2013. Estimation of design load for analyzing behavior of greenhouse foundation in Korea. *Proceedings of the KSAM & KSBEC 2013 Spring Conference* 18:263-364. [in Korean]