生物生産施設環境(J. Bio. Fac. Env.) 4(2) : 232~239, 1995

파이프 비닐온실用 巻取式 窓開閉機의 開發

이기명 · 박규식 · 김유일* · 김태홍**
경북대학교 농업기계공학과, *(주)씨엔엘 엔지니어링, **경북도청 농정기획과

Development of roll-up ventilation system for pipe-constructed plastic film greenhouse

Lee, Ki Myung · Park, Kyu Sik · Kim, Yu Il*, Kim, Tae Hong**
Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kyungpook National University
* C&L Engineering, LTD.,
**Section Planning of Agricultural Policy, Kyungpook Province

Abstract

This study was carried out to get required torque data needed to design and develop a roll-up ventilation system in a pipe-constructed plastic film greenhouse.

The results obtained from this study are as follows:

1. The required torques of a roll-up ventilation system in greenhouse are the functions of its length. The torques should multiplied by the conversion coefficients (2.0 in ceiling vent, 1.8 in side vent) in case of application.

2. In constructing pipe-constructed plastic film greenhouse, a shaft pipe is the largest essential element in roll-up shaft weight constitution which have an effect on the required torques. Therefore, the pipe should be light using non-ferrous materials like aluminum alloy.

3. A planetary reduction ventilator of differential ring gear type is suitable for a roll-up ventilation system, because it can make high efficient reduction just using the first step shift.

키 워 드 :파이프비닐온실, 천창, 측창, 권취식 창개폐기, 토크, 개폐기 성능
Key words :pipe-constructed plastic film greenhouse, ceiling vent, side vent, roll-up ventilation system, torque, efficiency of ventilator

서 론

1991년부터 농업의 여건 변화와 개방화에 대비하여 정부 주도의 농업구조개선 및 시설현대화 사업이 추진되고 있으며, 1993년 현재 전국의 시설재배면적은 36,732ha로 일본의 49,689ha에 이어 세계에서 두번째이며, 국민 1인당 시설재배면적은 1990년을 기준으로 네덜란드의 5.97m^{2}보다 많은 5.99m^{2}으로 증가하

여, 세계에서 시설재배 종사자가 가장 많은 나라로 발전하였다.

농림수산부에서는 2004년까지 첨단 기술농업을 통한 고부가가치 농산물 생산기반을 구축하여 개방화에 능동적인 대응능력을 배양하는 기술집약형 수출농업을 지향하여 전국에 총 530여개의 집단화, 현대화, 자동화 된 시설을 지원사업으로 추진하고 있다. 5년차에 접어드는 시설원예현대화사업은 관계자들의 많은 노력으로 초기에 비하여 시설설비용 기자재의 국산화가 많이 이루어졌고, 자재생산업체 및 시공설비업체는 꾸준한 기술개발로 많은 성장을 하였다.

95년도의 지원사업규모는 50개 단지로 1개 단지에 유리 및 PC 온실이 3.0ha, 파이프비닐온실이 3.2ha로서 이 사업을 추진하는 데 있어서 창개폐용과 보온커텐개폐용으로 1개단지에 950여대, 전체적으로 47,700여대의 고비율 감속개폐기가 소요되고 있다.

지금까지 감속기술은 오랜 역사를 가지고 기계시스템과 함께 발달하여 왔으며, 동력전달효율의 극대화, 고비율화 등 첨단화 되어가고 있다. 기어열 구성에 의한 10단위의 감속은 평기어열의 다단감속, 웜기어감속 등 방법이 적용되지만, 100단위의 고비율 감속기술은 다단 웜기어, 튜블러모터로 알려진 다단 유성기어, 하모닉 드라이버(harmonic drive)등이 있다.

현재 우리나라 원예시설의 자동화에 사용되고 있는 저가의 웜기어 감속기는 큰 감속비를 얻기 위해 2단으로 만들어져 있는데, 일반적으로 1단에서도 전달효율이 낮은 워엄감속기를 2단으로 할 경우 동력전달효율은 대단히 낮아지게 된다. 웜기어의 재질이나 윤활방식 때문에 저가의 웜기어 감속기를 사용할 경우 웜기어의 마모가 심하여 고장이 잦고 수명이 짧은 등 문제가 많다. 그외 다단 유성기어 감속방식을 사용한 감속기로서 건축물등의 셔터 개폐용으로 제작된 것을 비닐온실의 창개폐용으로 사용하는 경우가 있는데, 이 개폐기는 고비율 감속을 위해 5단 이상의 감속을 하고 있어 기어수가 많아져 정도가 떨어져 온실 환기용의 권취식 개폐에 이용하기 위해서 방수처리등 추가적인 비용으로 웜기어 방식의 개폐기에 비해 2배이상의 가격대를 형성하고 있다. 이러한 감속개폐기는 열악한 사용조건과 사용시간이 적고 관리부족 등의 원인과 함께 거의 단명이거나 사후봉사의 확보가 어려워 폐기되는 경우가 많다.

지금까지 파이프비닐온실용 권취식 창개폐기에 관한 이론적인 분석이나 자료가 충분하지 못하여, 보다 효율적인 창개폐기의 개발에 필요한 기본적인 이론의 정립과 감속기의 개발이 요구된다.

이에 본 연구는 파이프비닐온실에 대하여 천창과 측창의 사용자재, 창의 종류에 따른 토크를 분석하여 창개폐기의 설계에 필요한 자료를 제시하고, 1단으로 고감속이 가능하고 동력전달효율이 좋아 에너지 절약형이며 평기어열 구성에 의해 기어의 마모나 고장의 염려가 적은 첨단의 차동링기어유성기어 감속기를 개발하였기에 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험대상온실

소요토크 시험대상온실은 정부보조사업으로 권장 보급되고 있는 농가보급형 비닐하우스(1-2W)로 하였다. 이것은 305평을 기준으로 1동의 폭이 7m, 3연동이고 길이가 48m이며, 비닐을 2중 피복하고, 내부에 두겹의 보온커텐을 설치하여 감속모터에 의하여 자동으로 개폐하도록 하고 있다.

외부피복의 비닐을 개폐하는 천창은 물받이 부분의 곡부에서 500~600mm 지점에서부터 최대 개폐폭 1200mm로 되어 있다. 수막보온 및 온실내에 낙수방지용의 2중비닐은 외부비닐과 300~400mm의 간격을 두고 설치되어 있으며, 온실 측면의 측창은 외부비닐의 환기용 개폐와 내부의 비닐을 보온커텐과 겹쳐서 동시 개폐하는 보온용 개폐의 두가지로 나누어지고, 외부비닐의 환기용 측창은 지면에서

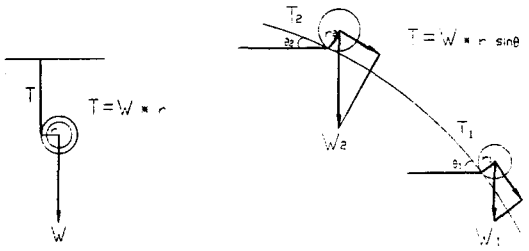
500~600mm 지점에서부터 최대 개폐폭 1600mm로 되어있다. 내부 보온용의 측창은 지면에서부터 수평커텐까지 비닐과 보온용 커텐을 겹쳐서 수직으로 개폐한다.

또한 온실의 길이에 따른 소요토크 변화를 구명하기 위하여 단면은 표준 파이프비닐온실(1-2W)형의 규격대로 시공한 것으로 길이가 다른 온실을 선발하여 토크를 실측하였다.

2. 소요토크 측정

가. 이론 소요토크

온실의 측창은 외부환기용과 내부보온용 모두 권취식으로 수직 개폐된다. 그림 1은 권취식 창에서 파이프 축이 감길 때 축이 직선을 유지하고 굴름저항이 없다고 보았을 때의 이론 토크 계산 모델로서, 그림 1(a)의 이론적으로 측창개폐시 토크는 하중 (W)와 권취축의 반경 (r)에 의하여 결정된다. 여기서 최대 토크는 하중 (W)와 반경(r)이 가장 커지는 경우로 창이 최대로 열린 위치에서 발생하며 이것이 측창에서의 이론 소요 최대 토크 값이 된다.



(a) side vent (b) ceiling vent

Fig. 1. Theoretical torque at roll up ventilation

아취식 파이프온실에서 천창의 소요 토크는 그림 1(b)와 같이 하중, 축반경 및 지붕의 경사도에 따라 달라진다. 측정용 온실에서 창이 열리기 시작하는 지점의 경사각은 45° 정도이고 최대로 열린 지점의 경사각은 30° 정도이다. 창이 열리기 시작하는 점의 하중과 축반경, 최대로 열린 점의 하중과 축반경의 값을 적용하여 본 결과, 천창곡부환기에서는 창이 열리기 시작하는 점에서의 토크가 가장 큰 값을 나타내게 되어 이점의 토크가 이론최대 소요토크 값이 된다.

측창 및 천창에서의 소요토크 계산 모델에서와 같이 권취식 창개폐기의 소요 토크에 영향을 주는 가장 큰 요인은 권취축 하중(W)이다. 실험용 온실의 권취축 파이프는 직경 22.2mm 또는 25.4mm의 아연도 농원용 파이프로 두께는 1.2mm 또는 1.5mm이고, 권취축의 연결은 대부분이 용접하지 않고 직결 피스를 사용하고 있다. 사용 비닐은 주로 0.08mm 또는 0.1mm의 온실 피복재용 연질필름이고, 측면의 보온용은 비닐과 장섬유 부직포, 트로피칼 등이나 보온력을 높이기 위하여 카시미론을 사용하는 경우도 있다. 실험용 온실에서의 이론 토크를 계산하기 위하여 권취축 하중의 구성요소를 조사분석하고, 계산모델에 의해 이론 토크를 구했다.

나. 실제 소요토크

권취식 창개폐기의 실제 소요토크를 측정하기 위하여 실험용 온실에서 핸들식 토크렌치(KANON 1400TMK)를 사용하였다. 고속 회전축에서의 토크 측정은 스트레인 게이지를 사용하여 측정하는 전달 동력계를 사용하지만 온실의 창개폐기에서와 같이 2~5rpm의 저속 회전축에서의 토크측정에서는 핸들식 토크렌치를 사용하는 것도 무방하다고 생각하였으며, 측정범위는 0~1400kg-cm이다. 측정지역으로는 경북 성주, 하빈, 왜관, 영천, 경남 산내 등에서 시공직후 또는 1~2년 사용한 온실에서 비닐을 권취할 때의 토크를 실측하였다.

3. 창개폐기 성능시험

창개폐기의 성능시험을 위하여 그림 2와 같은 장치를 제작하여 사용하였다. 본 장치는 Weight를 가감하여 부가하는 토크 성능시험과 상용토크에 해당하는 일정 Weight를 걸어 연

속 개폐동작 시험을 할 수 있도록 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 시험할 창개폐기를 직결한 드럼축에 와이어 로프를 걸어 상부 풀리를 통하여 Weight를 달아 토크를 부가하도록 하였다. 또한 축에 설치한 리미트 스위치와 절환 릴레이에 의하여 모터를 正·逆 회전시켜 연속 개폐동작과 같은 효과를 내도록 Weight를 연속 상하시키는 전원장치를 구성하고, 연속개폐동작 회수를 측정하기 위하여 카운터를 설치하였다.

여기서 연속시험시 開 또는 閉 동작후 5분간 정지시키고 다시 개폐동작이 반복되도록 하여 모터의 방열시간을 실제 상황과 부합하도록 하였다.

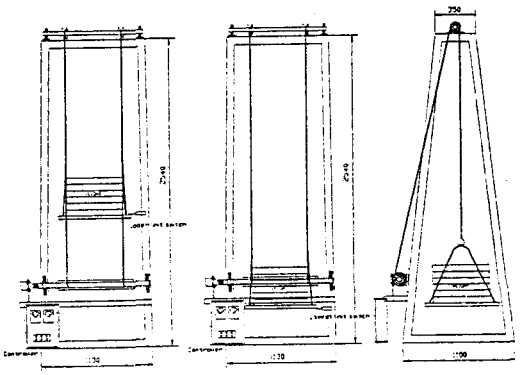


Fig. 2. Equipment of a capacity testing of a roll-up ventilation system.

결과 및 고찰

1. 권취하중 중량구성 요소

전술한 바와 같이 이론 소요토크는 권취축 하중(W)과 축 반경(r)의 곱으로 나타난다. 여기서 축 자재별 권취축의 중량 구성요소를 조사한 것은 표 1과 같다. 권취하중의 중량구성요소 중에서 현재 많이 사용하는 농원용 아연도 파이프는 그 구성비가 비닐만 개폐하는 천창에서는 91.5% ~ 93.0%이고, 비닐과 부직포를 겹쳐서 개폐하는 측창에서는 69.1% ~ 74.1%로 높다. 또한 권취축파이프에는 항상 2~3회의 비닐이 감겨져 있으므로, 직결 피스 연결부위 등 두께 1.2mm~1.5mm의 권취축 파이프는 부식이 빨리 진행이 되는 등의 문제가 있어서, 하중과 강도, 내구성면에서 알미늄과 같은 비철재료의 사용검토가 요망된다.

2. 소요토크

표 2는 파이프 비닐온실의 측창 및 천창에서 온실길이별 이론소요토크와 실제온실에서 측정한 실측소요토크를 나타낸 것이다.

온실 길이의 변화에 따른 소요토크를 그림으로 나타내면 천창은 그림 3과 같고, 측창은 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 실측토크는 천창에서는 이론토크의 2배, 측창에서는 1.8배로 나타났다. 이것은 이론소요토크 계산식에서 축이 직선을 유지하고 회전시 굴름저항이 없다고 가정하였으나 실제로는 이 값이 무시할 수 없을 정도로 크기 때문에 나타난 현상으로 판단된다. 따라서 축의 변형과 굴름저항에 대한 항을 도입한 이론식을 세우던지 이론식으로 계산한 값에 변형과 굴름저항 값을 고려한 값으로 환산하는 계수를 반영해야 할 것으로 판단된다.

3. 차동링기어 유성치차식 감속기 메카니즘 개발

차동링기어 유성치차식 감속기의 메카니즘은 그림 5에서 보는 바와같이 固定링기어와 差動링기어의 2개의 링기어를 가진 유성치차식 감속기이다. 차동링기어의 齒數(30T)가 고정링기어의 齒數(32T)보다 齒가 2개 작다. 따라서 모터의 구동으로 회전하는 선기어(8T)의 회전에 의하여 유성치차가 회전이 고정된 고정링기어 주위를 1회전(감속비 32/8=4:1) 선회하면 동일한 유성치차에 물려 있는 2개의 링기어는 동일 수의 齒가 물려 유성치차를 선회시키도록 되어 있지만 고정링기어에 비하여 2개의 齒數가 적은 차동링기어는 선기어와 역

Table 1. Weights of construction materials used in a roll-up ventilation system of a standard pipe-constructed plastic film greenhouse(21m×48m, 1,008m²).

materials	specification	unit	unit weight (gr)	amount used	weight (kg)	remark
shaft pipe	25.4mm×1.5t	m	635	48	30.48	
	22.2mm×1.2t					
coupling	25.4mm	EA	54.6	5	0.273	
	22.2mm	EA	44.7	5	0.223	
piece	4×13	EA	1.7	20	0.034	
plastic film	0.1t×100cm	m		48	5.0	EVA
	0.08t×100cm	m		48	4.0	
non woven geotextile	80gr/m²	m²	80	48	3.84	
cassimere	5 O_z	m²	141.7	48	6.8	
plastic film	25.4mm	EA	28.7	100	2.87	
clip	22.2mm	EA	25.6	100	2.56	
roll-up	1/4Hp×1/350	EA	9,000	1	9.0	
reduction	12V 24W	EA	5,500	1	5.5	
motor	24V 48W	EA	5,800	1	5.8	

Table 2. Theoretical and measured torques at side and ceiling vents.

shaft diameter (mm)	side vent length (m)	side vent theoretical torque (Kg-cm)	side vent measured torque (Kg-cm)	ceiling vent length (m)	ceiling vent theoretical torque (Kg-cm)	ceiling vent measured torque (Kg-cm)
22.2	47	57	125	47	37	80
	76	93	180	76	59	100
	90	110	217	85	74	125
25.4	32	65	100	44	57	85
	76	153	220	52	67	110
	90	181	260	95	123	230
	100	201	307			

방향으로 2개의 齒가 회전하도록 되어 있는 원리이다. 따라서 30개의 치를 가진 차동링기어가 1회전하는 데는 유성치차가 고정링기어 주위를 15회전하여야 한다. 그러나 正常齒인 고정링기어를 기준으로 회전하기 때문에 실제로는 차동링기어도 32개의 齒가 회전하여야만 차동링기어가 1회전하도록 되어 있어 감속비는 32/2=16:1로 된다.

따라서 차동링기어 유성치차식 감속기의 감속비는 선기어(8T)의 회전에 의하여 회전이 고정된 고정링기어 주위를 선회하는 감속비(4:1)와 차동링기어 회전의 감속비(16:1)로서

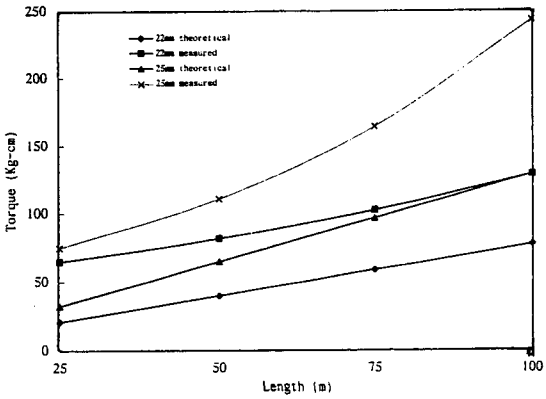


Fig. 3. Comparisons of theoretical and measured torques at ceiling vents using a curve-fitting technique.

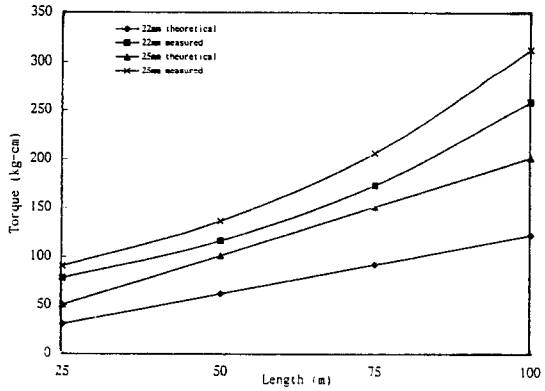


Fig. 4. Comparisons of theoretical and measured torques at side vents using a curve-fitting technique.

결정되어 전감속비(4x16=64:1)가 결정된다. 그러나 그림 5에서는 평기어 감속으로 1차 감속(4:1)하였기 때문에 총감속비는 256:1로 되는 것이다.

4. 파이프비닐온실용 창개폐기 실용화 개발

가. 장치 구성

그림 6은 파이프비닐온실용 창개폐기의 실용화 모델로서 개발한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 평기어의 1차감속 없이 차동링기어 유성치차식 감속기 1단만으로 300:1 이상의 감속비를 얻기 위하여 선기어의 齒數를 8T로 하고 고정링기어의 齒數를 74T, 차동링기어의 齒數를 72T로 링기어의 齒數를 크게하여 구성한 차동링기어 유성치차식 감속기를 이용한 창개폐기의 구조를 나타낸 것이다. 여기서 감속비는 선기어:링기어의 감속비(74/8 = 9.25:1)와 차동링기어 감속비 (74/2 =37:1)로서 전감속비 342:1을 얻을 수 있었다.

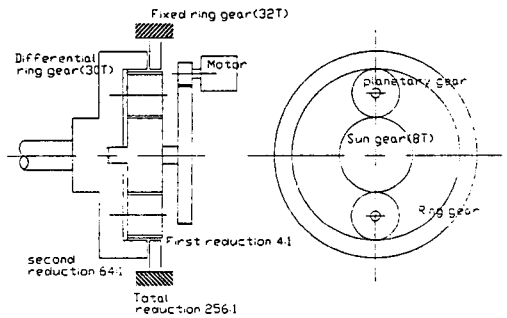


Fig. 5. A practical developed high efficiency roll-up ventilator.

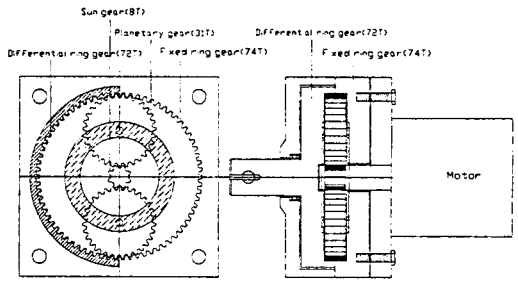


Fig. 6. A roll-up ventilator in a pipe-constructed plastic film greenhouse.

나. 성능시험 결과

전술한 그림의 성능시험 장치를 사용하여 실용화 개발한 창개폐기의 성능시험 결과는 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 감속비가 1단만으로 342:1이며, 최대출력 토크가 630kg−cm이며, 상용토크가 500kg−cm로서 앞의 그림 3, 4와 같이 파이프비닐온실 창개폐 소요토크에서 나타난 100m 온실의 창개폐 소요토크 315kg−cm보다 58%의 여유가 있다. 또한 연속개폐 동작을 2100회 이상 시행한 결과에서 감속기에 이상이 나타나지 않아 연속개폐동작시험을 중단하였다. 이것은 반영구적이라 할 수 있는 성능을 보인 것이다. 제품간의 동작오차도 1m개폐에 20mm로서 컴퓨터를 이용하여 동일한 스위치에 연결하는 시스템 구성하는 데도 적응성이 좋은 것으로 나타났다. 실제로 산내영농조합법인(밀양시 산내면) 25,000평의 파이프비닐온실에 1000대를 설치하여 컴퓨터 제어방식으로 구성한 시스템에서 아주 좋은 성능을 나타냈다.

Table. 3. Capacity of a practical developed roll−up ventilator.

	capacity	remark
reduction ratio	342:1	1st step reduction
maximum output torque	630kg−cm	4.35rpm
continuous roll−up motion	2100cycle up	168hr
common torque	500kg−cm	
maximum motion error	1/50(20mm/1m)	between ventilator

현재 국내에 보급 사용되고 있는 파이프비닐온실용 창개폐기는 2단 웜기어식이 대부분이다. 그런데 웜기어는 모터의 회전속도가 300rpm 이상일 경우는 윤활유로서 oil을 충진하여 사용해야 하는데 1300rpm 이상인 모터를 사용하는 현재 농가에 보급되고 있는 창개폐기의 감속기는 그리스로 윤활을 하고 있기 때문에 기어의 마모가 심하여 내구년한이 1~2년이하이고, 토크의 전달 효율이 아주 낮은 것이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다.

그런데 현재 100m 온실에 설치할 수 있도록 되어 있는 농업자재 검사품을 농가보급형 파이프비닐온실에 시공할 경우 시공 길이를 50m로 제한하고, 60m 이상으로 시공할 경우 2대의 개폐기를 설치하도록 지도하고 있다. 이것은 보급되고 있는 일부의 창개폐기가 검사와는 상관없이 실제 성능이 부족하기 때문이며, 시공정도에 따라서 100m이상의 온실에서도 권취가 가능한 경우가 있어서 검사기준과 현장설치 지도에 있어서 현실에 맞지 않는 경향이 있다고 할 수 있다.

창개폐기의 농업기계자재 검사기준은 현장의 온실에 창개폐기를 직접 설치하고 50회 연속 개폐동작 시험에 통과하면 그 온실의 길이를 성능으로 표시하도록 되어 있다. 그러나 실제 창개폐기의 년간 개폐회수는 겨울철 2개월은 개폐하지 않고 그외 10개월은 매일 1회 개폐한다고 보면 약 300회 정도이다. 따라서 내구년한을 2년으로 할 경우 600회의 연속 개폐동작 시험을 해야 한다고 보며, 실제 1일 2~3회 개폐동작을 하는 날도 있기 때문에 여유를 줄 경우 1,000회 이상 연속 개폐동작 시험을 검사기준으로 잡는 것이 안전하다고 본다.

경제성 면에서도 현재 농가보급형 파이프비닐온실의 길이를 50m이상으로 시공하는 경우 창개폐기를 2대 설치하도록 하고 있는데, 개발한 개폐기는 1대만 설치해도 되며, 100m로 설치했을 경우 내구년한이 현재 1~2년에서 3~5년으로 되어 창개폐기 비용면에서 1/5 이

하로 될 수 있다고 본다.

결 론

파이프비닐온실의 창개폐기의 설계 및 개발에 필요한 소요토크 자료를 구하고, 고비율 감속 창개폐기를 개발하기 위하여 이론 모델과 실측을 통한 분석연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온실용 권취식 개폐기의 소요토크는 길이별 소요토크 함수값을 적용이 검토되어야 하며, 이론 토크에 환산계수를 곱하여 적용할 경우, 본연구에서는 환산계수가 천창에서는 2.0, 측창에서는 1.8로 나타났다.

2. 현재 시공되고 있는 농가보급형 파이프비닐온실에서 소요토크에 영향을 주는 권취축 중량 구성요소 중 가장 큰 요소는 축파이프이며, 경량화를 위하여 알루미늄합금 등 비철재 파이프의 도입이 요구된다.

3. 1단만으로 고비율 감속이 가능한 차동링기어식 유성치차감속기가 창개폐기의 감속기로 적합하다고 판단된다.

인용문헌

1. 농산물유통국 채소과. 1994. 농림수산주요통계 :251.
2. 농산물유통국 과수화훼과. 1994. 농림수산주요통계 :267.
3. 이기명. 1991. 시설원예용 온실의 규격화 및 자동화 방향. 한국농업기계학회 '91세미나 발표문.
4. 이기명. 1992. 시설농업의 자동화 기술. SIEMSTA'92 학기술 심포지움 자료.
5. 이기명. 1995. 온실 창개폐 기술. 계간 기계화 농업 여름호:45-54
6. 이기명. 1995. 온실 창개폐 자동화 신기술. 월간원예3월호:58-62
7. 이기명, 장익주, 이석건. 1992. 시설원예에 있어서 구조의 표준화 및 환경제어·재배관리 자동화에 관한 연구. 과학기술처 특정개발연구 최종보고서.
8. 이기명,전재근,류관희. 1994. 원예작물 현대화시설 환경조절장치 및 제어기술 개발. 농촌진흥청 농업특정개발연구 제1차년도보고서
9. 이기명,전재근,류관희. 1995. 원예작물 현대화시설 환경조절장치 및 제어기술 개발. 농촌진흥청 농업특정개발연구 제2차년도보고서
10. Dooner, David B., and Seireg, Ali A., 1995. The kinematic geometry of gearing. John Willy & Sons, Inc.
11. Dudley, D. W. and Sprengers, J., and Schr der, D., and Yamashina, H. 1995. Gear motor handbook. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
12. Maitra, Gitin M., 1994. Handbook of gear design second edition. Tata McGraw - Hill Publishing Company Limitted.