

시설하우스 중하중용 동력개폐장치 개발

Development of the thermal curtain opening and closing device under heavy load

김승희* 이공인* 김진영* 최덕규*

정회원 정회원 정회원 정회원

S. H. KIM G. I. LEE J. Y. KIM D. K. CH

1. 서 론

'92년부터 추진한 농업구조개선으로 시설원에 농업은 현대화 대형화되어 환기를 위한 천측창 개폐장치와 보온을 위한 커튼개폐장치의 자동화로 시설원예농업의 편의성을 증대시켰다.

천측창 동력개폐장치에 있어서는 설치개소가 많고 빈번한 작동으로 일찍이 동력개폐기 문제점이 지적되었고, 그에 따른 많은 개선이 이루어졌다. 초기의 동력개폐기는 2단 워기어 감속방식을 사용하여 동력전달효율이 낮아지고 워기어의 마모로 고장이 잦고 수명이 짧아지는 문제가 있어 감속방식을 유성기어로 전환하여 실용화되면서 많은 발전을 이루어 왔다. 그러나, 시설하우스내 보온용피복재 개폐에 이용되는 동력개폐장치에 있어서는 천측창동력개폐기와는 달리 넓은 면적의 보온 피복재를 예인하기 위한 큰 하중과 예인줄, 롤러 등 보온 피복재 개폐시설의 안전성을 고려하여 고비율의 감속비와 감속기구의 단순화를 위하여 워기어 방식을 사용하고 있으나 내구성의 문제가 제기되고 있다.

따라서 기존에 사용되고 있는 감속기의 워기어 감속방식을 유성기어 감속방식으로 전환하여 중하중에 대한 감속기어의 내구성을 향상시키고 보온커튼 개폐의 안정성을 위하여 시설하우스 중하중용 개폐기를 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 보온커튼 개폐 소요토크 측정시험

중하중용 동력개폐기를 설계하는데 기본 자료로 이용하기 위하여 기존에 보급되고 있는 농가보급형 자동화하우스(1-2W형, 600평)의 수평커튼 개폐회전축 소요토크를 측정하였다.

표 1. 토크 측정장치

토크디텍터	토크메타	기록장치
100kgf·m kyowa SS-102	디지털방식 ONO SOKKI TS-200	- IBM호환 산업용컴퓨터 - 12 bit A/D convertor

나. 중하중용 동력개폐기 설계

(1) 감속기어 재료

중하중용 동력개폐기 감속기의 기어재료로 표 2와 같이 기계적 성질이 우수하고 열처리

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

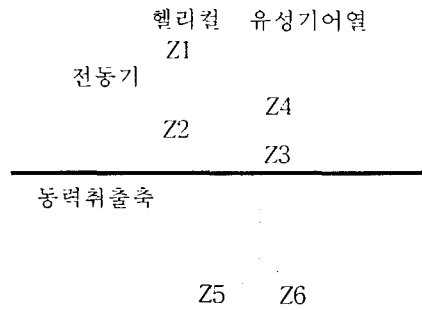
에 의해 성질을 개선시켜 사용하는 구조용 탄소강인 SCM415와 SCM440를 선정하였다.

표 2. 기어재료의 기계적 성질

기어재료	인장강도(kg/mm ²)	신장 %	경도(HB)	열처리
크롬몰리브덴강(SCM415)	85이상	16이상	235~321	침탄
크롬몰리브덴강(SCM440)	100이상	12이상	285~321	질화

(2) 동력개폐기 감속기어 설계

중하중용 동력개폐기 감속기어는 동력취출축을 양쪽으로 취출하기 위하여 유성기어열의 썸기어와 헬리컬기어 중심부를 통과하도록 설계하였다. 동력전달은 전동기에서 헬리컬기어(Z1, Z2)을 거쳐 유성기어열(Z3, Z4, Z5, Z6)로 이어지도록 설계하였다.



중하중용 동력개폐기의 하중설계에 있어서 감속기는 2rpm 정도로 저속으로 회전하며 큰 토크를 전달해야 하므로 기어강도에 대한 설계를 굽힘강도, 면압강도, 고정링기어와 회전링기어의 유성기어 치형에 작용하는 전단력을 고려하여 허용전달하중을 산출하였다.

그림 1. 중하중용 동력개폐기 개략도

(가) 굽힘강도

굽힘하중을 고려한 강도계산에 Lewis식을 이용하여 기어를 설계하였다.

$$P = f_v f_w \sigma_B b m y \tag{1}$$

f_v : 속도계수, f_w : 하중계수, σ_B : 굽힘응력,
 b : 치폭, m : 모듈, y : 치형계수

(나) 면압강도

치면의 접촉응력이 재료에 따라 정해진 어느 한도 이내의 값이 되도록 면압강도 계산에 널리 사용되는 Hertz식을 이용하여 기어를 설계하였다.

$$P = f_v k m b \frac{2z_1 z_2}{z_1 + z_2}, \quad k = \frac{\sigma_d^2 \sin 2\alpha}{2.8} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \tag{2}$$

f_v : 속도계수, k : 접촉면응력계수, z_1, z_2 : 기어 잇수
 σ_d : 최대접촉응력, α : 압력각, E_1, E_2 : 탄성계수

(다) 전단력

유성기어열을 이용한 감속기 설계시 유성기어 치면에 고정링기어와 회전링기어의 하중작용에 의해 상시 전단력이 발생하여 치차가 소손되므로 이에 대한 전단력을 고려하다.

$$P = \tau h t \tag{3}$$

τ : 전단응력(kgf/mm²) h : 치높이(mm) t : 이두께(mm)

다. 개폐기 내구성 시험

(1) 시험장치 구성

설계 제작한 중하중용 동력개폐기의 내구성 시험을 위하여 그림 2와 같은 장치를 제작하였다. 시험장치는 무게추로 토크를 부가하도록 드럼을 한 축에 3개씩 양 측에 장착하고 중하중용 동력개폐기의 동력전달축 좌우측에 직결하도록 하였다. 무게추는 각각 20kg으로 드럼 한 조에 5개까지 장착할 수 있도록 하였다. 또한 연속 개폐동작이 이루어지도록 상하한점에 광센서를 설치하여 개폐기가 정역회전 하도록 전원컨트롤 장치를 제작하고, 동작회수를 측정할 수 있는 카운터 기능을 갖도록 프로그램 하였다.

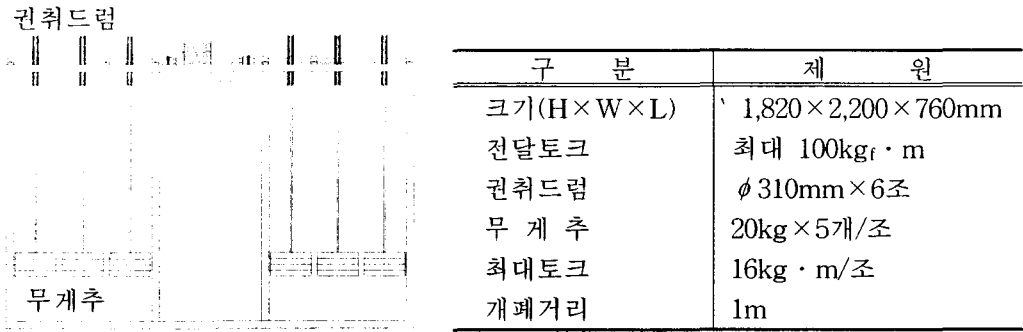


그림 2. 개폐기 내구성 시험장치 구조 및 제원

(2) 시험방법

설계제작한 중하중용 동력개폐기는 실제 하우스의 수평커튼을 개폐하는데 소요되는 60kgf·m의 토크가 부가되도록 무게추를 장착하고, 개폐회수 3,000회 이상 연속시험하였다. 내구성시험 후 기어치형 외관검사와 그림 4와 같이 기어 이끝점(0)부터 이뿌리(2m)까지 4곳에 대하여 유성기어면의 변형도를 측정도 1/100mm 다이얼게이지로 측정하였다.

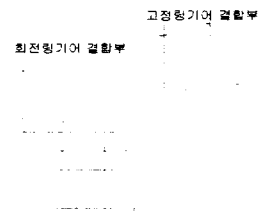


그림 3. 유성기어 변형도 측정점 (주 m : 모듈 표기)

3. 결과 및 고찰

가. 보온커튼 개폐 소요토크 측정

그림 4는 수평커튼 개폐시 소요토크를 나타낸 것으로 개폐부하의 변동이 심한 것으로 나타났으며, 40~50kgf·m 수준의 토크가 미치는 것으로 나타나 감속기의 허용전달하중을 산출하기 위한 기준으로 소요토크를 60kgf·m로 하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

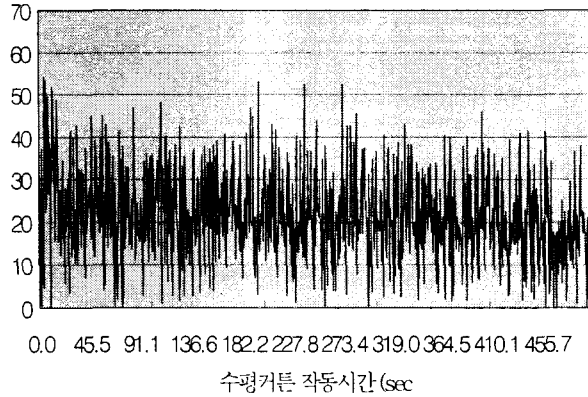


그림 4. 수평커튼 개폐시 개폐축 토크

나. 중하중용 동력개폐기 설계 및 제작

(1) SCM415소재 감속기어 설계제작

(가) 감속기어 설계

SCM415소재의 감속기어는 유성기어열에 있어 모듈을 2.5mm로 설계하였으며, 개폐축 토크 60kgf·m일 때 종단기어(Z6) 치면에 작용하는 하중은 232kgf으로 나타나 설계전달 하중을 작용하중에 비하여 33% 더 높게 한 309kgf으로 설정하였다. 기어의 허용전달하중 계산한 결과 유성기어(Z4)에서 굽힘강도 321kgf로 가장 낮은 것으로 설계전달하중보다 큰 값으로 안전한 것으로 판단하였다. 유성기어 치형에 작용하는 전단강도는 설계전달하중의 수평분력이 작용하는 것으로 설계전달하중은 290kgf으로 나타났으며 기어소재의 전단강도는 300kgf으로 설계전달하중보다 큰 것으로 나타나 안전한 것으로 판단되어 동력개폐장치를 제작하고 시험하였다.

표 3. SCM415소재 감속기어

기어잇수	치직각 모듈(mm)	감속비	비틀림 각(°)	압력각 (°)	치폭 (mm)	설계전달 하중(kgf)	굽힘강도 하중(kgf)	면압강도 하중(kgf)
Z1 = 18 Z2 = 144	1.25	1 : 8	22.5	20	10	11	76	91
Z3 = 21 Z4 = 24 Z5 = 69 Z6 = 72	2.5	1:102.8	0	20	35 35 10 20	309	321	376

(나) 내구성 시험 후 감속기어 변형도 측정

중하중용 동력개폐기에 하중을 부가하여 내구성 시험 후 측정된 기어의 변형도는 고정

링기어와 회전링기어가 서로 마주하는 지점인 유성기어에서 심하게 나타났으며 3개의 유성기어 모두 동일하게 변형을 일으킨 것으로 나타났다. 기어 치형의 변형량은 고정링기어 하중측 0.15mm와 회전링기어측 -0.11mm 발생한 것으로 나타났으며, 치 높이별로는 이뿌리부분(2m)에는 변형이 전혀 없었고 원주피치지점(m)에서부터 이끝부분(0)으로 갈수록 변형이 심한 것으로 나타났다. 이는 고정링기어와 회전링기어가 접하는 유성기어에 서로 방향이 반대이고 하중이 변형된 치면에 집중된 편하중이 전달되어 전단력을 발생한 것으로 판단된다. 따라서 이와 같이 기어의 변형에 따른 문제점으로 인하여 감속기의 보완설계제작 하였다.

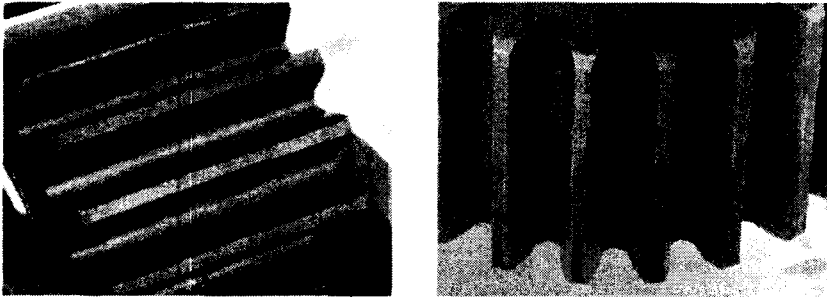


그림 5. 유성기어 변형

(2) SCM440소재 감속기어 설계제작

(가) 감속기어 설계

SCM415소재 감속기어의 변형문제를 해결하고자 SCM415보다 신장(%)이 적은 SCM440소재를 사용하고 유성기어열 감속기어 모듈은 이끝지점의 이두께를 높이기 위하여 3mm로 설계하였으며, 설계전달 하중은 SCM415소재의 기어에서와 같은 방법으로 산정하여 296kgf으로 설정하였다. 허용전달하중 계산 결과 쉐니기어(Z3)에서 굽힘강도 302kgf으로 나타나 이는 설계전달하중보다 큰 값으로 안전한 것으로 판단하였다. 유성기어 치형에 작용하는 설계전달하중은 278kgf으로 나타났으며 기어소재의 전단강도는 508kgf으로 설계전달하중보다 큰 것으로 나타나 안전한 것으로 판단하였다.

표 5. SCM440소재 감속기어

기어잇수	치직각 모듈(mm)	감속비	비틀림 각(°)	압력각 (°)	치폭 (mm)	설계전달 하중(kgf)	굽힘강도 하중(kgf)	면압강도 하중(kgf)
Z1 = 16 Z2 = 146	1.25	1 : 9.1	22.5	20	10	9	46	39
Z3 = 18 Z4 = 21 Z5 = 60 Z6 = 63	3.0	1 : 91.0	0	20	40 40 15 20	296	302	325

(나) 내구성 시험 후 감속기어 변형도 측정

중하중용 동력개폐기에 하중을 부가하여 내구성 시험 후 측정된 기어의 변형도는 고정링기어와 회전링기어가 서로 마주하는 지점인 유성기어 이끝부분에서만 나타났으며 3개의 유성기어 모두 동일하였다. 기어 치형의 변형량은 고정링기어 하중측 0.03mm와 회전링기어측 -0.02mm 발생한 것으로 나타났다.

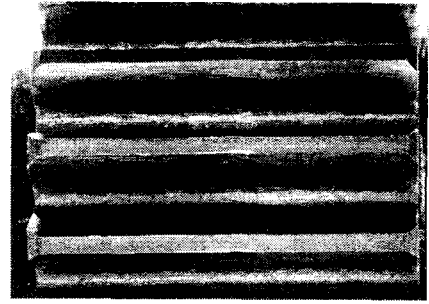


그림 6. 시험 후 유성기어

4. 요약 및 결론

- 가. 시설하우스 중하중용 동력개폐기의 동력전달은 헬리컬기어열에서 1차 감속과 유성기어열에서 2차 고감속 시켜 동력전달축 회전수를 2rpm이 되도록 하였으며, 동력전달축을 양쪽으로 취출하는 구조로 감속기를 설계하고 시작기를 제작하였다.
- 나. 중하중용 동력개폐기의 감속기는 기어에 작용하는 굽힘강도, 면압강도, 진단강도를 고려하여 감속기를 설계하고 제작하였다.
- 다. SCM415소재를 이용하고 유성기어열 모듈을 2.5mm로 제작한 동력개폐기를 연속 시험한 결과 고정링기어와 회전링기어가 접하는 유성기어에 피치원 부근에서부터 이끝원까지 변형이 생겼으며, 치형이 가장 얇아지는 이끝부분에서 변형이 0.15~-0.09mm로 가장 심한 것으로 나타났다.
- 라. SCM415소재 기어의 변형을 해결하고자 기어재료를 SCM440로 바꾸고 유성기어열 모듈을 3mm로 동력개폐기를 제작하여 연속 시험한 결과 이끝부분에서만 0.03~-0.03mm로 변형이 생긴 것으로 나타나 시설하우스에 활용 가능한 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

- 가. 박규식 등, 1997, 차동 링기어 방식의 고비율 유성기어 감속기 개발, 한국농업기계학회지 22(4)
- 나. 박영조, 1984, 기계설계, 보성문화사
- 다. 이기명 등, 1995, 파이프 비닐온실용 권취식 창개폐기의 개발, 생물생산시설환경학회지 4(2)
- 라. 정선모, 1989, 표준기계설계학, 동명사