

무가온 비닐온실의 터널보온덮개 자동개폐장치 개발

Development of an automatic covering system of thermal tunnels in non-heating plastic film greenhouse

이기명 [*]	박규식 ^{**}	남상헌 [*]
정회원	정회원	정회원
K.M.Lee	K.S.Park	S.H.Nam

1. 서론

1998년말 현재 우리나라의 시설원예 면적은 48,612ha이며, 전체의 90.2%인 43,852ha가 단동 비닐온실을 비롯한 관행온실이고, 9.8%인 4,760ha만이 자동화 온실이다. 이동식 단동 비닐온실은 대부분 난방기를 사용하지 않고 태양광에 의존하는 무가온 재배를 하고 있으며, 2중 하우스로 하거나 야간의 보온을 위하여 내부에 터널을 설치하고 보온덮개를 개폐하여 재배하고 있다.

터널 보온덮개는 보온력의 증대를 위하여 대부분 부직포와 카시미론을 여러 겹 누빈 것을 사용하고 있으며, 12월경의 정식 시부터 4월까지 온실의 외기온이 생육적온보다 낮은 시기에 사용하고 있다. 주로 일출과 함께 광합성에 필요한 일사가 확보되면 걷고, 오후에는 야간의 보온을 위하여 일몰전 온실내 온도가 떨어지기 전에 보온덮개를 덮어준다. 참외, 수박 재배의 경우 1농가가 길이 100m인 단동온실 10동(약 1,500평) 정도를 경영하는 것이 일반적이는데, 이 10동의 온실에서 인력으로 보온덮개를 걷는데 15시간, 덮는데 2시간 정도의 시간이 소요되어 관리작업 중 가장 많은 노동력을 필요로 하고, 매일 아침, 저녁으로 정시에 개폐해야 하기 때문에 정신적 스트레스가 큰 작업이다. 또한 보온덮개의 개폐작업은 가족노동력으로 경영할 수 있는 온실의 면적을 제한하는 요인이 되고 있다.

따라서 본 연구는 인력에 의존하고 있는 보온덮개의 개폐작업을 기계적 시스템을 도입하여 자동으로 개폐하는 시스템을 개발한 연구로서 온실내 작업의 생력화가 가능하게 되었으며 농민의 보온덮개 개폐에 소요되는 여유시간에 다른 작업이 가능하게 되었다.

2. 실험재료 및 방법

1. 공시 단동온실 모델

우리나라 시설원예의 대부분을 차지하는 이동식 단동온실은 전국적으로 분포되어 있어 지역이나 재배하는 작물에 따라 규격이 다양하다. 따라서 본 연구에서는 이동식 단동온실로 농협을 통하여 용자 공급되고 있어 가장 많이 보급되어 있는 폭 5.0m 높이 3m 골조간격 0.8m(외경25.4mm 길이9m 두께1.5t 아연도금 파이프)를 공시 단동온실 모델로 선정하여 터널 보온덮개 개폐 시스템 개발의 모델로 하였다.

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 구미 1 대학 환경원예과학과

2. 시험방법

보온덮개의 기계적 개폐 방식으로 와이어 풀리 방식, 예인 지퍼 방식의 두가지 메카니즘을 개발하였으며, 그 중 예인 지퍼 방식에 대한 시작기를 설계 제작하여 보온덮개의 개폐 성능을 시험하였다.

예인 지퍼 방식은 온실의 길이 방향으로 주행하는 자주장치에 부착한 슬라이딩 탭 롤러로 보온덮개에 부착된 유인트랙을 들어올려 개폐하는 것이다. 본 연구에서는 3종의 유인트랙과 2종의 슬라이딩 탭 롤러를 개발하여 그들의 조합에 의해 보온덮개 개폐장치를 구성하여 시험하였다. 여기서 슬라이딩 탭 롤러의 견인저항을 측정하기 위하여 자주장치의 구동모터를 구동하지 않고 이에 부착된 개폐장치를 와이어로 연결하여 와이어를 $\phi 48.2\text{mm}$ 의 드럼에 감는 원치 방식으로 견인하도록 하였고 드럼을 핸들식 토크렌치로 회전시킬 때 토크를 측정하여 견인력으로 환산하는 방법으로 비교하였다.

3. 보온덮개 개폐장치의 메카니즘 개발 및 설계 제작

1. 보온덮개 개폐장치의 메카니즘 개발

1.1 와이어 풀리 방식

와이어 풀리 방식의 보온덮개 개폐 시스템은 그림 1(a)와 같이 단동온실의 보온덮개를 아취형으로 지지하는 터널골조와 같은 규격의 아취로 U형 단면 철재 형강으로 가이드 프레임임을 제작하여 이 프레임의 일단에 와이어를 물고 회전하는 구동 풀리, 다른 일단에 자유회전하는 종동풀리를 설치하고 와이어를 연결하여 벨트와 같은 원리로 보온덮개의 개폐를 구동하게 한 것이다.

가이드 프레임의 내부(그림 1(b))에는 가이드 롤러를 설치하여 개폐작동시 와이어와 가이드 프레임간의 마찰을 감소시켰으며 안내봉은 가이드 프레임 내의 와이어와 연결되어있다. 각 가이드 프레임의 구동 풀리를 $\phi 25.4\text{mm}$ 아연도금 파이프 축으로 온실길이 만큼 관통연결하여 구동하면 각 가이드 프레임의 안내봉에 설치된 길이 방향의 가이드 와이어에 고정된 보온덮개가 개폐되도록 구성한 시스템이다.

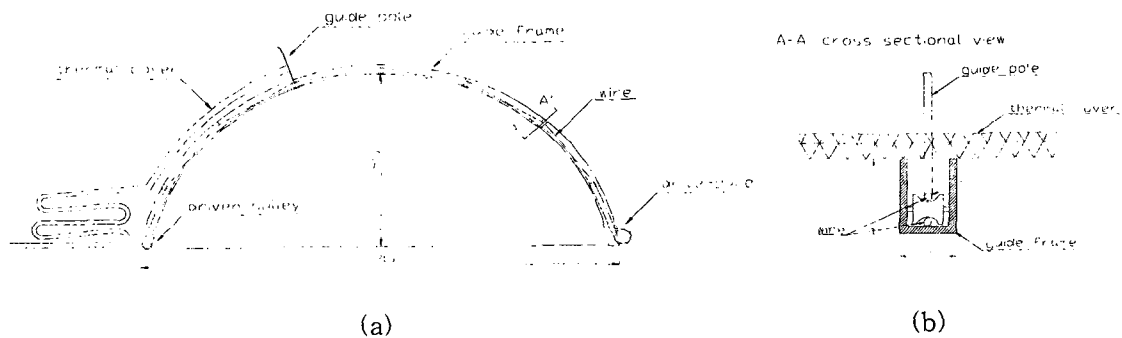


Fig. 1. Schematic diagram of wire-pulley system

1.2 예인 지퍼 방식

예인 지퍼 방식 개폐시스템의 개략도는 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 단동 온실의 골격파이프 상부에 온실의 길이방향으로 행거레일 시스템을 설치하고 이 레일을 주행하는 자주장치(moving head)에 부착한 지퍼형의 슬라이딩 탭(sliding tab)에 의하여 양쪽 터널보온덮개의 온실 중앙측 변(edge)에 부착한 유인트랙을 끌어당겨 개폐하는 방법으로 구성한 것이다. 양쪽의 슬라이딩 탭은 각각 온실내에 설치된 터널의 높이보다 높은 위치에서 양쪽의 보온덮개에 부착된 유인트랙을 동시에 위로 끌어당겨 중력에 의해 내려지도록 하는 원리로 개폐동작을 하도록 구성하였다.

자주장치에서의 롤러 조합 슬라이딩 탭은 자주장치의 진행방향에 직각인 바를 설치하고 바에 경사진 아암의 전후부에 2조씩 롤러를 설치하였으며 전방롤러는 온실의 중앙 통로부에, 후방롤러는 온실의 양 측부에 부착하였다.

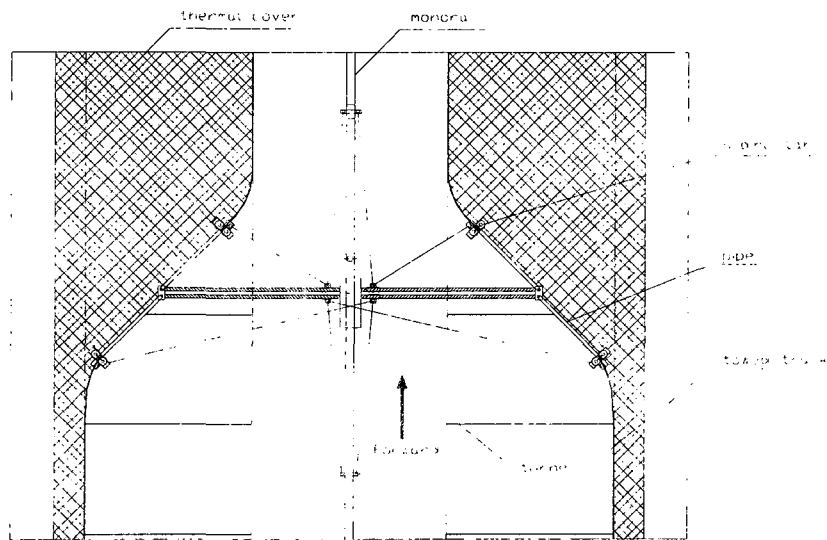


Fig. 2. Schematic diagram of towed zipper system

2. 예인 지퍼 방식 개폐장치의 시작기 제작

2.1 보온덮개 유인트랙

지퍼형의 슬라이딩 탭으로 보온덮개를 끌어당기기 위하여 지퍼의 치형 트랙(teeth track)과 같은 역할을 하는 고무나 로프 등을 이용한 유인트랙을 보온덮개의 중앙 통로측 변에 부착하였다.

유인트랙은 보온덮개와의 접합이 용이하고 보온덮개의 자중에 대한 강도가 필요하여 슬라이딩 탭에 의하여 원활한 개폐가 될 수 있는 재질과 형상이어야 한다.

따라서 본 연구에서는 T자형의 고무제품과 O형의 PE사 로프를 PE시트로 감싼 유인트랙을 개발하여 보온덮개와 부착 및 개폐실험을 시행하였으며 그림 3은 2종류의 T자형의 고무 유인트랙과 PE사 로프를 사용한 O형 유인트랙의 단면 형상이다.

유인트랙과 보온덮개의 연결은 세가지 유인트랙 모두 그림 3의 (C)부분에 보온덮개를

끼워서 재봉이나 스테플러 등으로 연결하도록 하였다.

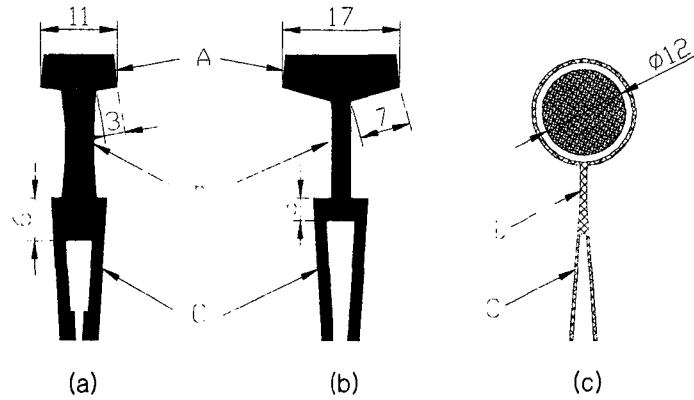


Fig. 3. Towed tracks of towed zipper system

2.2 슬라이딩 탭

슬라이딩 탭은 한쌍의 롤러를 이용하여 유인트랙의 형상에 적당한 간격을 유지할 필요가 있고 유인트랙과 보온덮개의 결합부의 두께가 롤러의 틈보다 두꺼운 경우 개폐 작동시 과도한 저항이 발생하여 개폐불능상태가 되는 원인이 된다.

따라서 유인트랙을 위로 끌어당기는 지퍼형 슬라이딩 탭이 중요한 개발요소가 된다. 본 시험에서는 전술한 3종류의 보온덮개 유인트랙과 $\phi 12\text{mm}$ 철재 슬라이딩 탭과 돌기부가 $\phi 65\text{mm}$ 인 나일론 슬라이딩 탭을 구성하여 개폐 성능시험을 통하여 비교하였다.

다음의 그림 4~6은 본 연구에서 개발한 유인트랙과 슬라이딩 탭의 조합으로 개폐장치를 구성한 개략도이다.

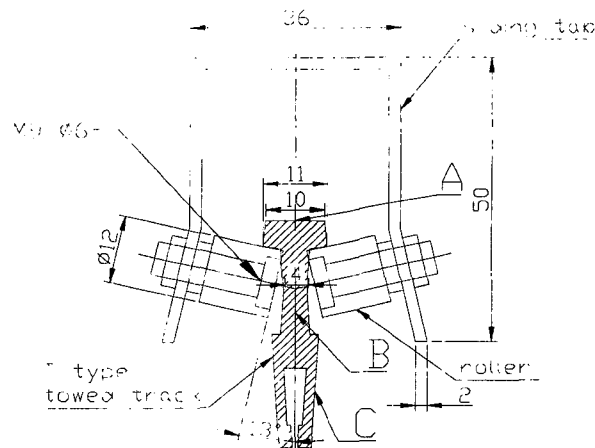


Fig. 4. Diagram of T-type towed track and sliding tab

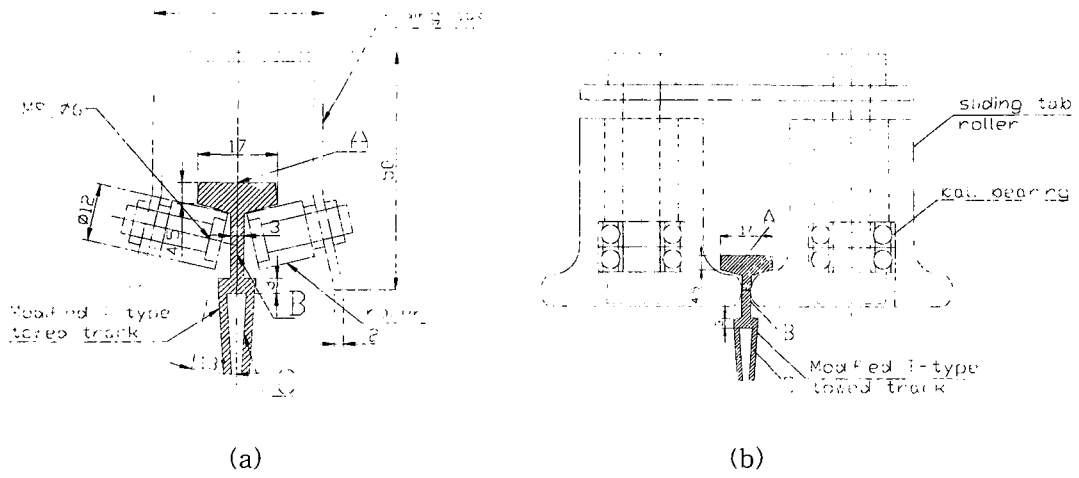


Fig. 5. Diagram of modified T-type towed track and sliding tab

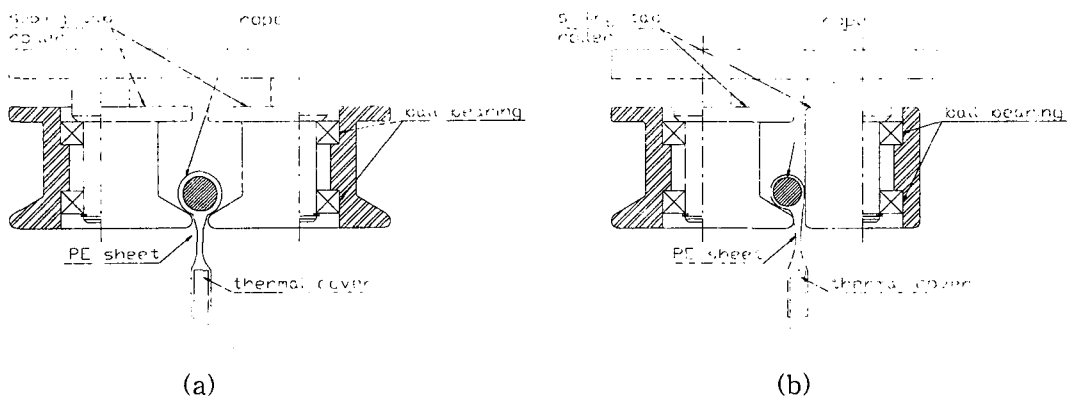


Fig. 6. Diagram of O-type towed track and sliding tab roller

그림 7은 예인 지퍼 방식 개폐시스템을 구성하여 보온덮개 개폐 시험을 하고 있는 광경이다. O형 유인트랙과 돌기부가 $\phi 65\text{mm}$ 인 나일론재 슬라이딩 탭을 비대칭 조합으로 구성하였다.

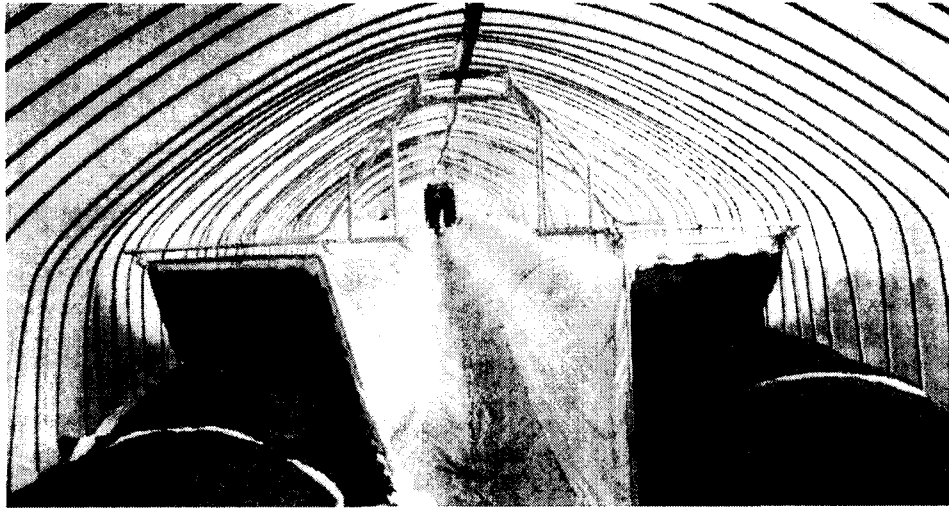


Fig. 7. Prototype of towed zipper system

2.3 행거레일 시스템

이동식 단동온실에 주로 사용되는 골격파이프는 $\phi 25.4\text{mm}$ 또는 $\phi 22.2\text{mm}$ 의 아연도금 파이프이며 설치간격은 0.6~1.0m 정도이다. 그리고 이동식 단동온실의 골격파이프는 설치 및 철거를 반복하며 재배토양에 바로 꽂기 때문에 관수를 반복하는 재배기간의 경과에 따라 부등침하에 의해 높낮이가 불균일하게 된다.

그림 8은 60×30의 C형강을 사용한 행거 모노레일 시스템의 개략도이다. 그림에서와 같이 높이가 일정하지 않은 골격 파이프에 적용할 수 있도록 나사를 이용하여 높이를 조정할 수 있는 행거를 사용하였고, 60cm 간격으로 행거를 조립할 수 있도록 공장에서 가공한 레일을 사용하였다.

모노레일은 그림 9(a)와 같이 레일 형강 내에 좁은 동판 선으로 +극 전원을 삽입하고 레일을 -극으로 하여 자주장치에 공급되는 전원 전선이 외부에 노출되지 않게 하여 다른 작업에 장애가 되지 않도록 하였다. 그리고 습기가 많은 온실내 환경을 감안하여 AC 220V의 전원을 DC 24V의 전원으로 정류 공급하여 감전의 염려가 없도록 구성하였다. 자주장치는 그림 9(b)와 같이 DC 24V 60W 감속모터를 사용하였고 정역구동이 가능하고 주행속도 범위는 0~20m/min로서 모노레일의 양단에 리미트 스위치를 사용하여 자동 정지되고, 출발과 정지신호를 원격제어하도록 하는 리모트 콘트롤러를 제작하여 사용하였다.

단동온실에서는 대체로 12월경 정식하여 4월경에 보온덮개의 사용이 끝나면 방제, 운반 등의 관리작업이 온실의 중앙 통로를 통행하면서 반복된다. 따라서 본 연구에서 개발한 행거 모노레일의 자주장치에 부착된 보온덮개 개폐 시스템을 간단하게 제거하고 방제나 수확물의 운반 등 다목적 장치로 활용할 수 있도록 구성하였다.

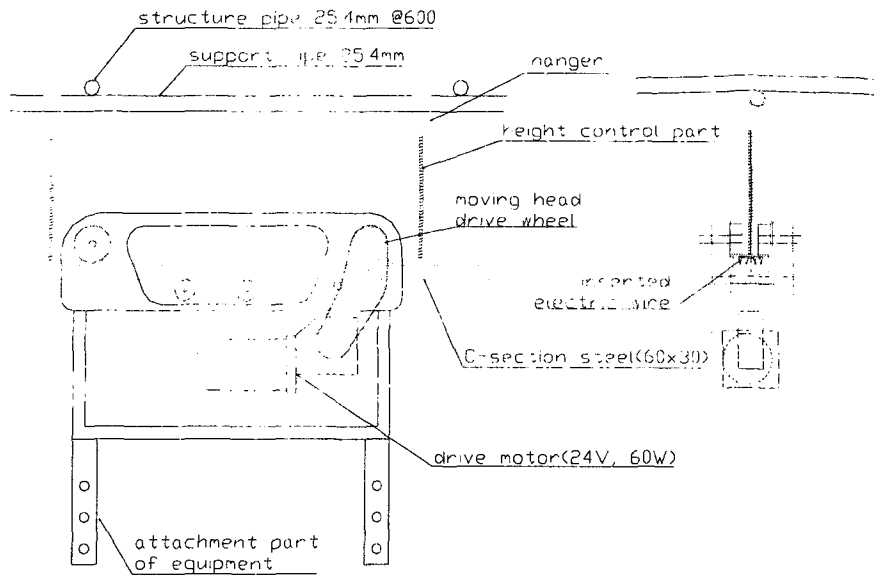


Fig. 8. Schematic diagram of hanger monorail system

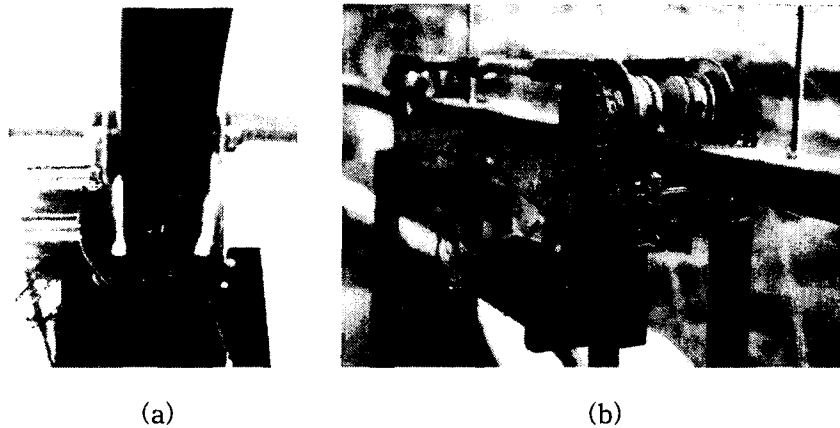


Fig. 9. Hanger monorail system

2.4 제어 시스템 구성

단동온실의 보온덮개는 일사를 기준으로 하여 광합성이 가능한 시간대 즉 온도보상점에 건어서 작물이 냉해를 입지 않도록 고려하여 개폐한다. 외기온이 영하인 한겨울은 보온덮개를 걷음으로써 광합성에 필요한 광은 확보되지만 온실내 온도가 바로 광합성이 가능한 온도 보상점 이상으로 상승하지 않기 때문에 온실내 온도가 온도 보상점 이상으로 상승하면 터널 내부 비닐을 피복한 상태에서 그 위에 보온덮개를 걷는 것이 일반적이다. 오전보다 광합성량이 적은 오후는 터널내 복사열의 저장을 위하여 일몰 전에 보온덮개를 덮어서 터널 내 온도 유지를 도모한다.

따라서 보온덮개 개폐의 자동제어 알고리즘은 그림 10과 같이 보온덮개 개폐의 1차적 기준인자를 일출, 일몰 시간으로하여 사용자가 입력하도록 하고, 2차적 기준인자는 보온덮개를 걷는 시점은 온실내 온도가 온도보상점 이상이 되는 시각으로하고, 보온덮개의 덮는 시점은 일몰전 00분의 단축시간으로 입력하여 온실내 복사열을 최대한 저장하도록 하는 알고리즘을 구성하였다.

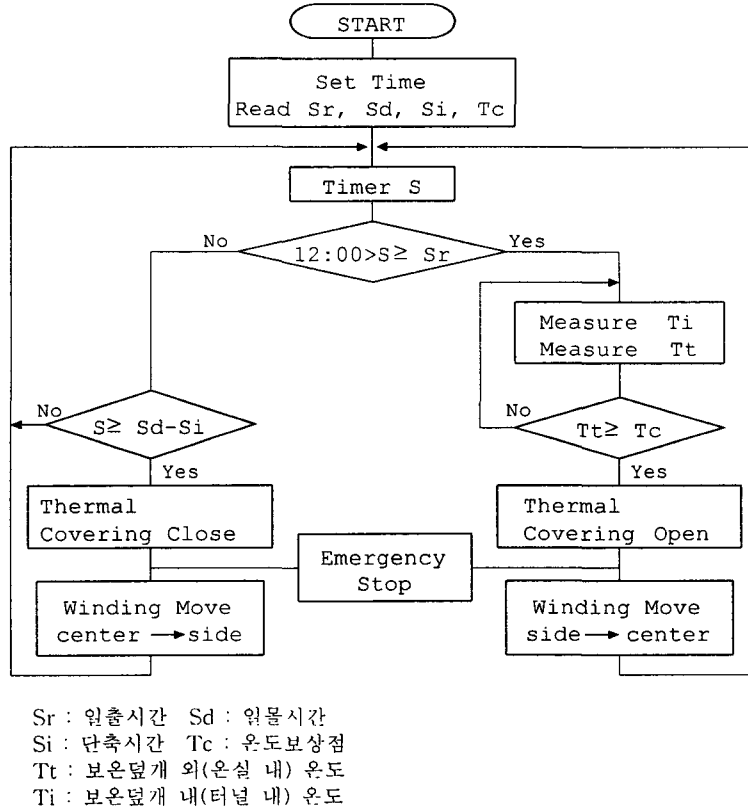


Fig. 10. Flowchart of covering Algorithm

4. 결과 및 고찰

예인 지퍼 방식 보온덮개 개폐장치의 시작기 제작에서 개발한 T자형, 개량 T자형, ○형 유인트랙 및 $\phi 12\text{mm}$ 의 철재 슬라이딩 탭과 돌기부가 $\phi 65\text{mm}$ 인 나일론 슬라이딩 탭의 특성을 비교하였으며, 그 유인트랙과 슬라이딩 탭과의 조합에 대하여 개폐성능 시험을 실시하였다.

1. 개폐 유인트랙 및 슬라이딩 탭의 특성

개폐 유인트랙의 특성을 표 1에 비교하여 나타내었으며 ○형 유인트랙이 무게, 강도, 가격, 보온덮개와 연결 및 고온에 대한 적응성에서 2종의 고무 유인트랙보다 우수함을 알 수 있다.

Table 1. Quality of towed tracks

Items	Towed track		
	T Type	Modified T Type	○ Type
Material of towed track	Rubber	Rubber	φ 12mm rope
Material of joint	Rubber	Rubber	PE sheet
Weight	A	B	C
Strength	B	B	A
Life span	A	A	B
Price	A	B	C
Fixation with thermal cover	C	C	A
Duration for high temperature (above 50℃)	C	B	A

remark. A(good, big), B(medial), C(bad, small)

슬라이딩 탭의 특성은 표 2에 유인트랙과 슬라이딩 탭의 조합에 의한 보온덮개 개폐성능으로 나타내었다.

고무 제품은 사용온도나 인장력 등의 조건에 따라 변형이 수반되기 때문에 고무 유인트랙은 슬라이딩 탭 롤러와의 접합부에서 저항이 크게 되거나 일정한 간격의 롤러 조합에서 이탈하기도 하는 등 실용화에는 문제점이 있다고 판단된다. 변형이 거의 없는 PE사 로프를 PE시트로 감싼 ○형 유인트랙은 돌기부가 φ65mm인 나일론재 슬라이딩 탭 롤러를 비대칭형으로 조합한 것과의 굴림저항이 적고 미끄럼이 양호하였다.

Table 2. Capacity of each equipment

Equipment Items	Towed track	T Type	Modified T Type		○ Type	
	Sliding tab roller	SM	SM	RM	RM	RN
Strength		B	B		A	
Life span		B	B		A	
Easy fabrication		C	C		A	
Economy		C	C		A	
Assembly with sliding tab and towed track		C	C	B	A	A
Roller resistance		A	B	B	B	C
Derailment from the towed track		C	B	C	B	A

remark. ① Sliding tab roller : S(φ 12mm steel roller), R(φ 65mm nylon roller), M(symmetry), N(asymmetry)

② A(good, big), B(medial), C(bad, small)

2. 개폐성능

예인 지퍼 방식에서는 개폐작동시 자주장치와 부착되어 온실의 길이방향으로 전후진하는 슬라이딩 탭과 보온덮개와 연결된 유인트랙 간에 발생하는 굴림저항이 자주장치의 구동

모터의 크기를 작우하게 된다.

따라서 본 연구에서 개발한 유인트랙과 슬라이딩 탭을

① T자형 고무 유인트랙, $\phi 12\text{mm}$ 철재 슬라이딩 탭 롤러

② 개량 T자형 고무 유인트랙, $\phi 12\text{mm}$ 철재 슬라이딩 탭 롤러

③ PE사 로프를 PE시트로 싼 \bigcirc 형 유인트랙, 돌기부가 $\phi 65\text{mm}$ 인 나일론 슬라이딩 탭 롤러(비대칭)의 3가지로 조합하여 성능시험을 실시하여 비교하였다.

그림 11은 자주장치 및 슬라이딩 탭을 와이어($\phi 3\text{mm}$)로 연결하여 윈치방식으로 견인할 때 윈치드럼($\phi 48.2\text{mm}$)의 구동토크와 윈치드럼반경과 와이어반경을 합한 회전반경으로 나누어서 구한 견인저항을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 자주장치만의 견인저항이 가장 작으며, ①,②,③의 순으로 견인저항이 작게 나타났다.

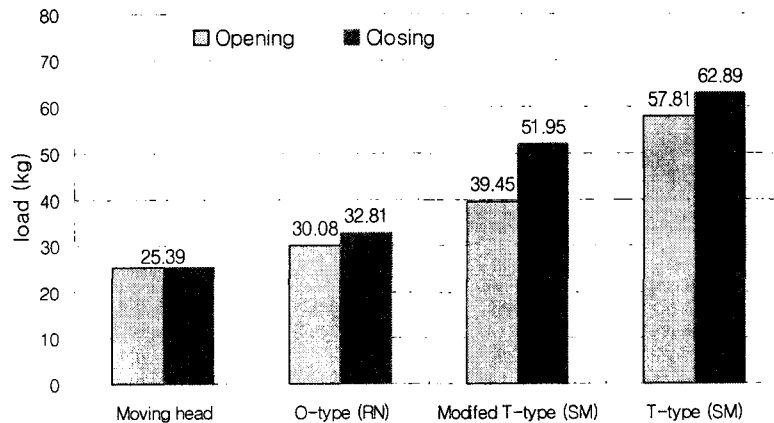


Fig. 11. Pulling resistance

remark. Sliding tab roller : S($\phi 12\text{mm}$ steel roller), R($\phi 65\text{mm}$ nylon roller), M(symmetry), N(asymmetry)

5. 요약 및 결론

이동식 단동온실에 있어서 보온덮개 개폐작업을 자동화하기 위하여 국내에 가장 많이 보급된 이동식 단동온실을 공시모델로 하여 행거형 모노레일에 부착하는 터널 보온덮개 자동 개폐장치를 개발한 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모노레일 시스템의 전·후진하는 자주장치에 부착한 슬라이딩 탭으로 보온덮개 변에 부착한 유인트랙을 온실상부로 끌어올렸다가 보온덮개의 자중에 의해 내려놓는 방식으로 개폐작업을 수행하는 예인 지퍼 방식의 터널 보온덮개 개폐시스템을 개발하였다.

2. 예인 지퍼 방식 보온덮개 개폐장치에서 슬라이딩 탭 롤러는 돌기부의 직경이 65mm인 롤러를 비대칭형으로 조합한 것으로 구성하고 이에 대하는 유인트랙은 PE사 로프를 PE시트로 감싼 \bigcirc 형으로 한 것이 보온덮개와 결합성이 좋고 슬라이딩 탭에 의한 개폐시 이탈이나 저항에 의한 개폐불능으로 되는 경우가 없어서 개폐성능이 가장 좋았다.

3. 보온덮개 개폐장치를 장착 구동하는 모노레일 시스템은 온실의 골격파이프에 쉽게 설치할 수 있도록 행거 모노레일로 하였다. 모노레일 시스템의 자주장치에 공급하는 전원은 AC 220V의 전원을 DC 24V의 전원으로 정류하여 C형강의 레일 내에 +극 동판전선을 격납하고 레일을 -극 전선으로 구성하여 감전위험과 전선노출로 인한 장애를 제거하였다.

4. 터널 보온덮개의 개폐제어를 위한 기초시험을 통하여 일출, 일몰시간에 근거한 입력시간을 보온덮개 개폐 제어의 1차적 기준으로 하고, 온실내 온도가 온도보상점을 넘을 때를 보온덮개를 걷는 2차적 기준으로하는 알고리즘을 개발하여 보온덮개 개폐를 제어하는 제어 시스템을 설계제작하였다. 또한 다수동의 온실을 경영하는 경우 각각에 설치된 보온덮개 개폐 시스템을 동시에 제어하도록 하였다.

5. 본 연구에서 개발한 행거 모노레일 시스템은 보온덮개 개폐작업 외에 자재 및 수확물의 운반, 방제 등 일반 관리작업에도 사용할 수 있도록 하여 단동온실내의 농작업 생력화 및 쾌적화를 기하고, 경영면적의 확대에 의한 농가소득의 증대도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 농림수산부. 1991. 농업기계화와 시설의 자동화 계획(안), pp.20-21, 41-45.
2. 농림수산부. 1995. 농림수산주요통계, pp.88-95,102-103.
3. 송현갑 외. 1994, 시설원예 자동화, 문운당.
4. 이기명. 1999. 무가온 비닐온실의 터널보온덮개 자동개폐장치 개발. 농림부 농림특정연구사업 최종보고서
5. 이기명. 1999. 우리나라 저비용 시설구조의 현황과 개선방향. 한국시설원예연구회 저비용과채류 생산기술 세미나 발표문.
6. 이기명 외 5인. 1999. 원예시설 환경제어 및 관리자동화. 일일사 pp.91~96, 172~175
7. 이기명 외 3인. 1995, 파이프 비닐온실용 권취식 창개폐기의 개발, 한국생물생산시설환경학회지 4-2, pp.232-239.
8. 이기명 외 2인. 1992, 시설원예에 있어서 구조의 표준화 및 환경제어·재배관리 자동화에 관한 연구, 과학기술처 특정개발연구 최종보고서.
9. 한국시설원예연구회. 1995. 국내외 원예시설의 특성과 시스템에 관한 심포지움 자료.
10. 中島尙正. 1995. 機械設計. 東京大學出版會. pp.19-24.
11. 日本施設園藝協會. 1991. 施設園藝關動向調査. pp.27-33.
12. 日本施設園藝協會. 1994. 施設園藝ハンドブック. pp.198-212.