

## 비닐하우스를 활용한 구조별 태양열 집열효율 비교연구

박 노현 · 신 휴년 · 이 동선 · 신 동화 · 서 기봉  
농어촌개발공사 식품연구소  
(1982년 2월 18일 수리)

### Comparison of the Solar Collection Efficiencies of Various Vinyl House

Know-Hyun Park, Hyu-Nyun Shin, Dong-Sun Lee,  
Dong-Hwa Shin and Kee-Bong Suh

Food Research Institute/AFDC, Kyonggi-do 170-31

(Received February 18, 1982)

#### Abstract

Three plastic film solar dryers covered with different film layer were constructed by modifying farm vinyl house and studied their performance.

The collection efficiency and temperature raising of type C which was covered with double layers of transparent PE and black PVC film was most efficient, followed after B covered with double layer of transparent PE film and type A covered with single layer transparent PE film. The inside temperature of type C was average 18°C higher than ambient temperature and its collection efficiency showed 31.5% with air flow rate of 3.8 m<sup>3</sup>/min. The solar energy collection efficiency of type C was increased in proportion to air flow rate up to 60.2% at 11.3 m<sup>3</sup>/min. In demonstration drying test of red pepper in type C, drying capacity per unit area was 2.5 times higher than that of conventional solar drying on straw mat and drying time shortened to about half.

#### 序 論

농산물의 乾燥方法을 大別하면 熱風乾燥 시스템과 太陽熱乾燥 시스템으로 나눌 수 있다. 前者는 석유, 천연가스 등의 化石燃料의 연소열과 기타 人工熱로 공기를 고온으로 가열하여 送風하는 건조방법이며 後者는 직접 노출시키는 노출 일광 건조 방법과 集熱된 태양열로 熱風을 만들어 건조에 利用하는 方法 등이 있는데 各種 農產物 乾燥에 이 集熱된 太陽熱이 利用되고 있다<sup>(1~3)</sup>.

태양열 집열장치로는 평판식 (flat-plate type), 집광식 (concentration type), 튜브식 (tubular type) 및 태양전지식으로 구분되나<sup>(4)</sup> 농산물 건조용 集熱器로는 經濟성과 製作上的 問題들이 宿題로 남아있다. 이와같

은 문제의 해결 방법으로 그린하우스 (green house)를 이용한 dome型的 건조장치에 대하여 Chang 등<sup>(5~7)</sup>에 의한 건조장치 基本構造와 集熱 및 乾燥速度에 대한 研究發表가 있다. 이들은 一般的으로 透明 fiberglass로 保溫하고 内部에 集熱板을 설치하여 그 사이의 공기를 air duct를 통해 송풍기로 流入하여 건조물에 붙여 넣는 장치이다. 이외에 태양열 집열기를 농산물 건조에 이용한 여러 형태의 太陽熱乾燥器가 있으나<sup>(8~11)</sup> 實用器의 面에서 問題가 되고 있는 것은 製作費에 비해 經濟성이 弱하다는 것이다<sup>(12)</sup>.

본 실험은 低廉한 素材로 쉽게 제작 설치할 수 있는 농가형 비닐하우스 (vinyl house)를 改良하여 多目的의 건조장치로 利用하고자 基本的인 構造를 提示하고 이에 따른 기초자료를 얻었으며 選定된 장치로 高추 건조시험을 實施하였기에 이를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

基本構造 및 設置

기본구조는 농가비닐하우스에 사용하는 鐵骨材로 기본골격을 만든 다음 여기에 0.05 mm 투명 PE(polyethylene) 필름과 0.08 mm 無光澤 흑색 PVC(polyvinyl chloride) 필름으로 1중 및 2중 비닐하우스를 만들었고 바닥은 70 mm 두께의 왕겨를 깔고 그위에 30 mm 의 스티로폴을 깔아 단열하였다. 내부는 角木을 사용하여 3단의 건조대를 설치하고 이에 10메쉬(mesh) 나일론 망을 쳤으며 적당한 통로를 두었다. 설치위치는 북위 37°인 경기도 화성군 반월면 당수리로 설치방향은 正

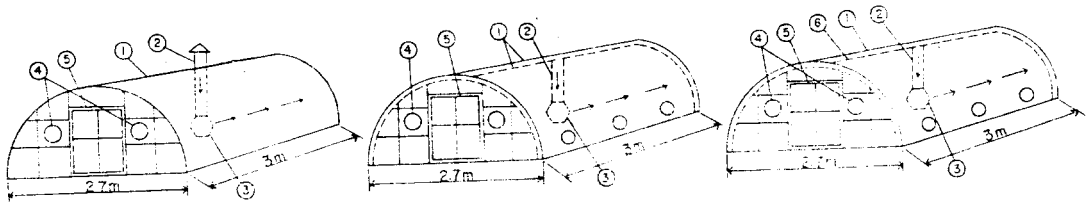
南向을 택하였다.

가. 투명 1중 비닐하우스형 건조장치

Fig. 1의 (a)와 같이 투명 1중형은 一般農家에서 栽培용으로 사용되는 透明필름을 이용한 비닐하우스로 크기는 폭 2.7 m×길이 3 m×높이 1.35 m였으며 內部 乾燥面積은 9.2 m<sup>2</sup>이었다. Fig. 1의 (a)에서 송풍팬을 이용하여 외부공기가 흡입관을 통해 강제 흡입토록 하였으며 흡입된 공기는 排氣口 2개를 통해 배기되도록 설치하였다.

나. 투명 2중 비닐하우스형 건조장치

이는 투명 1중형과 同一한 크기의 건조장치로 Fig. 1의 (b)와 같이 80 mm×50 mm×50 mm의 角木을 하우



(a) Type A covered with single layer of transparent PE film (b) Type B covered with double layer of transparent PE film (c) Type C covered with double layer of transparent PE and black PVC film

Fig. 1. Schematic diagram of various types of vinyl house

- (1) PE film (0.05 mm); (2) inflow pipe (150φ mm PVC pipe); (3) fan
- (4) ventilation holes (120φ mm); (5) door; (6) PVC film (0.08 mm)

스 골재 안쪽에 50 cm 간격을 유지하며 나사못으로 부착후 同質의 透明필름을 1겹 더 부착하였다. 비닐층 사이는 80 mm을 유지토록 하고 외부 공기는 吸入口 3개를 통해 비닐층을 거쳐 吸入管으로 강제 흡입시켜 排氣口를 통하여 배기되도록 하였다.

다. 흑색 2중 비닐하우스형 건조장치

투명 2중 비닐하우스와 外形은 同一하나 内部의 투명필름 대신 無光澤, 耐熱性의 흑색필름을 사용하였고 공기吸入 및 排氣는 透明 2중과 同一하게 하였다.

測定方法

가. 공기온도

공기의 出入口 및 하우스 内部의 上中下段에 乾습구 알코올 온도계를 각각 설치하여 每時間測定하였고 이를 평균하여 하우스內 온도도 표시하였다.

나. 풍량

서어모스태트 형식의 anemometer(ModelV-01-AO, So Go Denshi Co.LTD)를 사용하였다.

다. 일사량

위도상 위치가 當研究所와 같은 水原觀測所 日射量 測定결과를 인용하였다.

라. 집열면적 계산

집열면적은 37°N 지역에서 실험하여 高等<sup>(13)</sup>에 의한 방식으로 측정된 결과 10.7 m<sup>2</sup>이었다.

마. 집열장치의 열이용율

집열장치의 열이용율은 비닐하우스 집열면에 조사된 일사량과 순환공기의 배기된 열량과의 비로 정의되므로 집열효율( $\eta$ )은 다음 식<sup>(13)</sup>에 의하여 산출하였다.

$$\eta = (H_i / R_i) \times 100$$

$$H_i = M \cdot C_p \cdot (T_v - T_o) \cdot T$$

$$R_i = A \cdot R_o$$

식에서  $M$ =질량유량[kg/h],  $C_p$ =비열[kcal/°C·kg],  $T_o$ =일사시간[h],  $T_v$ =비닐하우스의 내부온도[°C],  $T_o$ =주위온도[°C],  $A$ =유효집열면적[m<sup>2</sup>],  $R_o$ =total daily insolation [kcal]이다.

바. 흡광도

Colour difference meter (Gardner XL-10A Tristimulus colorimeter)를 사용하였고 적색표준판(L=28.1, a=51.3, b=17.2)을 사용하여 hunter 방식인 a/b 값으로 표시하였다.

사. 수분

105°C 상법에 준하였으며 濕量基準으로 표시하였다.

고추 건조시험 市販 改良種으로 水分含量 81.1%의 생고추를 試料로 사용하고 투명 2중, 흑색 2중 비닐하우스 및 자연건조에 건조면적 坪當 건조물 10 kg씩을 고루 넣어 最終 水分含量 13%에 到達할 때까지를 乾燥日數로 표시 하였다.

**Table 1. Temperature and collection efficiency of the various type vinyl house with air flow rate of 3.8 m<sup>3</sup>/min (July 14, 1981)**

Time of day	Ambient temp. (°C)	Solar radiation (ly/h)	Interior temperature (°C)			Total insolation over vinyl house (kcal/10.7m <sup>2</sup> )	Total heat collected (kcal/10.7 m <sup>2</sup> )			Collection efficiency (%)		
			A	B	C		A	B	C	A	B	C
09 : 00	24.7	14	29.5	33.5	32.7	1498	318	573	521	21.2	38.3	34.8
10 : 00	26.5	26	33.9	40.5	40.5	2782	482	896	896	17.3	32.2	32.2
11 : 00	28.1	37	43.5	50.5	53.5	3959	969	1385	1557	24.5	35.0	39.3
12 : 00	28	36	41	49.9	49.9	3852	825	1354	1354	21.4	35.2	35.2
13 : 00	29	39	39	47.5	47	4173	640	1154	1123	15.3	27.7	26.9
14 : 00	29.2	51	42	48.3	48.6	5457	812	1191	1210	14.9	21.8	22.2
15 : 00	30.1	44	50	55.5	56.9	4708	1230	1543	1628	26.1	32.8	34.6
16 : 00	29	38	40	46	45	4066	704	1070	1007	17.3	26.3	24.8
17 : 00	29.7	34	41	47	48	3638	717	1079	1142	19.7	29.7	31.4
18 : 00	27.5	25	36.7	42.2	41.8	2675	594	933	908	22.2	34.9	33.9
Average	28.2	34.4	39.7	46.1	46.4	3681	729	1118	1135	20.0	31.4	31.5

A, B, C: see Fig. 1.

비닐하우스에서의 風量은 0.15 m<sup>3</sup>/min·kg으로 送風하였으며 자연건조는 가마니 위에서 대기 조건하에 건조하였고 건조후 부패 및 불량율은 건조된 고추의 총중량의 백분비로 나타내었다.

### 結果 및 考察

건조장치별 내부온도 및 집열효율 비교

Fig. 1의 3개의 건조장치에 3.8 m<sup>3</sup>/min의 공기를 送風하고 排氣시키면서 測定한 溫度 및 集熱效率은 Table 1과 같았다.

즉, 온도변화 및 집열효율은 기상의 변화에 따라 차이가 있었으나 日中 平均 28.2°C의 外氣에 비해 투명 1층은 약 11.5°C, 투명 2층은 17.9°C 그리고 흑색 2층은 18.2°C가 높았다. 여기서 2층 하우스가 1층하우스보다 평균 5~6°C 높음을 알 수 있었다. 또한 집열효율은 흑색 2층, 투명 2층 및 투명 1층이 각각 31.5%, 31.4%, 20.0%로 흑색 2층이 제일 좋았으며 흑색 2층의 경우 日中 日射量이 가장 많았던 13:00~14:00시에 集熱效率이 22.2%로 가장 낮았던 것은 일사량에 對한 공기의 가열량으로 계산되므로 기상

**Table 2. Comparison of the temperature and collection efficiency between double layer of PE film type and double layer of PE and PVC film type with air-flow rate of 5.6 m<sup>3</sup>/min (July 16, 1981)**

Time of day	Ambient temperature (°C)	Solar radiation (ly/h)	Interior temperature (°C)		Total insolation over vinyl house (kcal/10.7m <sup>2</sup> )	Total heat collected (kcal/10.7m <sup>2</sup> )		Collection efficiency (%)	
			B	C		B	C	B	C
09 : 00	26.3	17	34.5	35	1819	787	828	43.3	45.5
10 : 00	27.8	35	40	41	3745	1151	1235	30.7	33.0
11 : 00	29.8	42	41	42	4494	1048	1141	23.3	25.4
12 : 00	31	49	49.5	51.5	5243	1686	1868	32.2	35.6
13 : 00	30.8	50	45.5	47.5	5350	1363	1535	25.5	28.7
14 : 00	31	39	42	42.5	4173	1029	1076	24.7	25.8
15 : 00	30.8	25	45.5	46.5	2675	1363	1443	51	53.9
16 : 00	31	51	46	48.5	5457	1391	1609	25.5	29.5
17 : 00	30	40	41.8	42.9	4280	1104	1207	25.8	28.2
18 : 00	29.2	25	39	40	2675	925	1019	34.6	38.1
Average	29.8	37.3	42.5	43.7	3991	1185	1296	31.7	34.4

B, C: see Fig. 1.

**Table 3. Effect of air recirculation on the temperature and collection efficiency (recirculated air: 1.8 m<sup>3</sup>/min, fresh air: 3.8 m<sup>3</sup>/min) of double layer of PE film type and double layer of PE and PVC film type (July 15, 1981)**

Time of day	Ambient temperature (°C)	Solar radiation (ly/h)	Interior temperature (°C)		Total insolation over vinyl house (kcal/10.7m <sup>2</sup> )	Total heat collected (kcal/10.7m <sup>2</sup> )		Collection efficiency (%)	
			B	C		B	C	B	C
09 : 00	26.8	22	34.5	34.5	2354	739	739	31.4	31.4
10 : 00	28.5	34	42.5	43.5	3638	1310	1391	36.0	38.2
11 : 00	28.8	42	47.5	51.5	4494	1719	2068	38.3	46.0
12 : 00	28.5	50	45.5	48.5	5350	1577	1839	29.5	34.4
13 : 00	28.8	35	43.8	46	3745	1319	1595	37.1	42.6
14 : 00	29.1	24	45	47.8	2568	1475	1719	57.4	66.9
15 : 00	28.8	24	42	44.5	2568	1235	1456	48.1	56.7
16 : 00	28.5	25	41	43.5	2675	1169	1391	43.7	52
17 : 00	28.2	16	38	40.2	1712	933	1132	54.5	66.1
18 : 00	28	15	38	40	1605	952	1132	59.3	70.5
Average	28.4	28.7	41.8	44	3071	1250	1446	43.5	50.5

B, C : see Fig. 1.

에 큰 영향을 받는 것 같았다. 이에 대하여 金等<sup>(14)</sup>은 평판식 집열기에서 시간별 집열효율이 일사량에 비례하지 않음을 보였다. Whillier等<sup>(15)</sup>은 집열판에 적어도 1개 이상 cover를 해야 경제적으로 온도를 상승시킬 수 있다 하였으며 崔<sup>(4)</sup>는 튜브형 집열판에 cover를 투명 비닐 2겹과 1겹으로 하였을 경우 투명비닐 2겹의 경우가 0.7%의 열효율이 높다고 보고 하였다. 이는 cover를 2겹 사용함에 따른 광투과율의 감소가 열손실을 막는 보온효과와 상쇄됨을 뜻하므로 위의 실험결과에서와 같이 2중 비닐하우스의 건조장치가 1중 비닐하우스보다 높은 집열효과를 얻을 수 있었다.

투명 2중과 흑색 2중에서의 온도변화 및 집열효율비교 Fig. 1의 (b) 및 (c)에서 풍량을 5.6 m<sup>3</sup>/min로 증가시켜 온도변화 및 집열효율을 비교시험한 결과 Table 2와 같다.

즉, 풍량의 증가에 따른 온도변화는 Table 1의 하우스 내부온도 46°C에 비해 42~43°C로 3~4°C 낮았으나 집열효율은 투명 2중 31.7%, 흑색 2중 34.4%로 흑색 2중만 3% 정도 높게 나타났다. 실험결과에서 투명 2중에 비해 흑색 2중이 내부온도 1~2°C, 집열효율 3~4% 높게 보여 공기량을 증가시킴으로 투명 2중보다 흑색 2중의 우수함을 보였다. 이는 흑색 2중의 흑

**Table 4. Temperature and collection efficiency of double layer of PE and PVC film type at various air flow rate (December 29, 1981)**

Time of day	Ambient temperature (°C)	Solar radiation (ly/h)	Interior temperature(°C)		Total insolation over vinyl house (kcal/10.7m <sup>2</sup> )	Total heat collected(kcal/10.7m <sup>2</sup> )		Collection efficiency(%)	
			Air flow rate (m <sup>3</sup> /min)			Air flow rate (m <sup>3</sup> /min)		Air flow rate (m <sup>3</sup> /min)	
			5.6	11.2		5.6	11.2	5.6	11.2
10 : 00	-0.5	14	5	3	1498	585	751	39.1	50.1
11 : 00	-1.0	20.0	6	3.7	2140	739	1001	34.5	46.8
12 : 00	-0.5	37.0	11	7.3	3959	1196	1648	30.2	41.6
13 : 00	-1.0	42.0	17.5	11	4494	1880	2497	41.8	55.6
14 : 00	-0.5	37.0	21	13	3959	2150	2787	54.3	70.4
15 : 00	-1.0	26.0	18	10	2782	1930	2289	69.4	82.3
16 : 00	-0.5	12.0	8	4	1284	891	958	69.4	74.6
Average	-0.7	27	12.4	7.4	2874	1389	1704	48.4	60.2

색 비닐온도가 상승할수록 외부로의 열손실이 상대적으로 높아짐을 풍량의 증가로 공기 열교환이 향상되어 외부로의 열손실을 줄일 수 있기 때문으로 보인다.

내부공기 재순환에 따른 온도변화 및 집열효율비교

Table 2에서 풍량이 증가함에 따라 집열효율은 증가하나 배출되는 공기의 온도가 외기에 비하여 상당히 높으므로 이를 效率的으로 이용키 위하여 吸入管에 순환구를 두어 외부공기 3.8 m<sup>3</sup>/min만 吸入시키고 排氣되는 공기 1.8 m<sup>3</sup>/min를 재순환시켜 온도변화 및 집열효율을 測定한 결과는 Table 3과 같다. 즉, 외부공기 吸入量 3.8 m<sup>3</sup>/min와 같은 Table 1과 比較하여 볼 때 집열효율은 투명 2중 및 흑색 2중이 12~19% 높았으며 하우스内の 공기순환량 5.6 m<sup>3</sup>/min과 같은 Table 2에 비해 12~16% 높게 나타났다. 또한 내부온도는 흑색 2중이 외기에 비해 16°C 높았는데 이는 Chang<sup>(5)</sup>의 greenhouse 건조장치에서 외기와외 온도차 16~18°C와 비슷한 효과를 얻었다. 한편 흑색 2중과 투명 2중의 집열효율이 각각 50.5%, 43.5%로 흑색 2중이 7% 정도 높아 흑색 2중에서 내부공기를 재순환시키며 건조함이 좋은 효과를 기대할 수 있다.

풍량에 따른 온도변화 및 집열효율 비교

규격 및 형태에서 동일한 두개의 흑색 2중 비닐하우스에서 풍량에 따른 온도변화 및 집열효율을 비교하기 위하여 5.6 m<sup>3</sup>/min와 11.2 m<sup>3</sup>/min의 공기를 각각 흡입 송풍시켜 내부온도 및 집열효율을 측정 한 결과는 Table 4와 같다. 즉 11.2 m<sup>3</sup>/min와 5.6 m<sup>3</sup>/min의 풍량에서 내부온도는 각각 7.4°C, 12.4°C로 11.2 m<sup>3</sup>/min의 경우 약 5°C 낮았으나 집열효율은 12%가 높아 같은 기상조건에서 내부온도와 집열효율은 반비례 현상임을 알 수 있다. 이에 따라 피건조물의 건조특성에 적절한 온도 및 풍량을 조절하여 건조효율을 올릴 수 있을 것으로 사료된다.

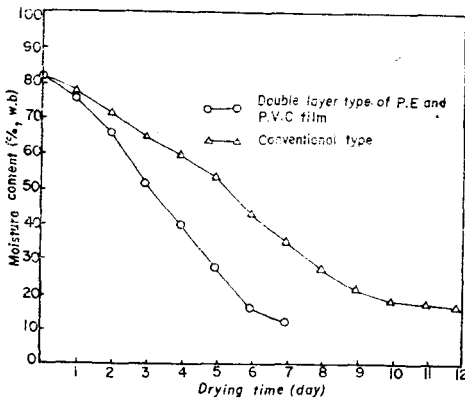


Fig. 2. Drying curves of the red pepper

Table 5. Comparison of the red pepper drying rate between conventional method and test models

Items	Conventional method	Type B	Type C	
Drying time (day)	12	8	7	
Final moisture content (% w.b)	16.8	13.3	11.9	
Quality of dried red pepper	Decayed and bad (%)	13.9	13	2
	Absorbance	0.55	0.42	0.63
Drying quantity in a pyong (kg)	10	25	25	

B, C: see Fig. 1.

Initial moisture content of red pepper: 81.1%(w.b.)

고추 건조시절

외기에 비하여 비교적 온도 및 집열효율이 높은 투명 2중 및 흑색 2중 비닐하우스에서 고추를 건조한 결과 Table 5와 같으며 흑색 2중과 재래식 건조속도를 Fig. 2에 나타내었다. 즉, 건조방법에 따라 건조기간이 투명 2중 8일, 흑색 2중 7일 그리고 자연건조는 12일이 소요되었다. 또 건조물량면에서 건조면적 평당 피건조물량은 투명 및 흑색 2중은 각각 25 kg, 자연건조는 10 kg으로 단위면적 및 건조시간당 피건조물의 건조 가능물량을 대비하던 자연건조 1에 대하여 투명 2중 3.8, 흑색 2중은 4.3배의 효과가 있다고 볼 수 있다. 한편 건조기간중 비닐하우스 내부온도는 건조초기에 흑색 2중보다 투명 2중이 1~1.5°C 높았는데 이는 고추의 붉은색이 태양열을 흡열하기 때문인 것으로 판단되며 건조 중기 이후는 흑색 2중의 온도가 다소 높아짐을 보였다. 건조후 품질에서 흑색 2중은 부패 및 불량율이 자연건조 13.9%에 비하여 2%에 불과하며 색택도 자연건조에 비하여 우수하였다.

태양열 집열에 의한 고추건조를 金<sup>(16)</sup> 및 崔<sup>(4)</sup> 등에 의해 자연건조 기간을 1/2로 줄일 수 있고 高<sup>(13)</sup>에 의한 흑색 2중 비닐하우스 건조에서 고추의 부패 및 불량율을 감소시키며 색택도 우수함을 보고한 바 있다. 이와같이 흑색 2중 비닐하우스에서의 고추건조는 자연건조에 비해 우수하며 경제성이 높다고 볼 수 있다.

요 약

일반농가에서 농작물을 손쉽게 저렴하게 건조시킬 수 있는 장치를 개발하기 위하여 기존 비닐하우스를 개량한 3가지 모델에서 온도 및 집열효율을 측정하고

이에 건조 실험시험으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 투명 PE(0.05 mm) 및 흑색 PVC(0.08 mm) 필름을 이용하여 투명 1중, 투명 2중 및 흑색 2중 비닐하우스에서의 내부온도 및 집열효율을 측정한 결과 흑색 2중, 투명 2중 및 투명 1중의 순으로 우수하였고 흑색 2중의 평균온도는 외기보다 18°C정도 높았고 집열효율은 31.5%였다.

2. 흑색 2중 비닐하우스의 집열효율은 내부순환 공기량을 증가시킴에 따라 5.6 m<sup>3</sup>/min에서 48.4%, 11.2 m<sup>3</sup>/min에서 60.2%였다. 또 내부공기를 약 1/3정도 재순환시킴으로 집열효율을 평균 16%정도 높일 수 있었다.

3. 흑색 2중 비닐하우스에서 고추건조는 재래식건조에 비해 건조를량 및 건조속도 대비에서 4.3배의 효과를 얻었다.

## 사 의

본 연구를 수행하는데 많은 조언과 지도를 해주신 고려대학교 이 철호 교수님께 감사말 드립니다.

## 문 헌

1. Szulmayer, N. W.: *Fd Technol in Australia*, Sep., 440 (1971)
2. 금동혁, 전용운: 농업기계학회, 4(2), 64 (1979)

3. 민영봉, 최규홍: 농업기계학회, 3(2), 114 (1979)
4. 최부들: 농산물 건조용 간이 태양열 집열기의 유형별 성능분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문 (1981)
5. Chang, H. S.: *Agr. Mech. in Asia*, Winter, 11 (1978)
6. Huang, B. K and EL-Shaik, N. M.: *ASAE paper* No. 79-3082 (1979)
7. Huang, B. K. and Dzisik, M. N.: *ASAE paper* No, 79-4044(1979)
8. Bhattacharyya, T. K. and Mazumdar, S. K.: *Mech. Eng. Bulletin*, 7(3), 89 (1976)
9. Lawand, T. A.: *Solar energy*, 3, 11 (1966)
10. Williams, C. N., Beeny, J. and Webb, B. H.: *Trop. Agr. Trin.*, 46(1) 47 (1969)
11. Exell, R. H. and Sommai, K.: *Agr. Mech. in Asia*, Autumn, 75 (1979)
12. Farrington, D.: Ballantine Books N.Y. 89 (1964)
13. 고태영, 신휴년, 박무현, 신동화: 식물연구 사업보고(농개공), 347 (1980)
14. 김진영, 고태영: 농업기계화 사업보고서, 257 (1980)
15. Willier, A.: *Manuscript reviewed*, 8(1), 31 (1963)
16. 김현구, 고태영, 박무현, 신동화: 식물연구 사업보고(농개공), 329 (1980)