

## 태양열과 농산물 건조

Solar Drying of Agricultural Products

고 학 균\*  
Hak Kyun Koh

### I. 서 론

1973년도 석유위기 아래 화석연료의 절약과 대체 에너지의 확보 방안의 하나로 태양에너지에 관한 연구가 활기를 띄우기 시작하면서, 태양열을 농작업에 효과적으로 이용하고자 하는 연구가 농업분야에서도 중요한 연구과제로 등장하게 되었다.

농업분야에서 태양에너지는 관개용 펌프의 동력, 축사 기타 농업 시설물의 난방, 온실 재배 등 여러 분야에서 그 이용이 가능하지만, 무엇보다도 농산물의 건조에 이용하는 것이 가장 효율적인 것으로 평가되고 있다. 그 이유로는 첫째, 농산물 건조는 저수준의 열투입으로 가능할 뿐만 아니라 변동적인 열투입이 허용되므로 비교적 효율이 높은 저렴한 집열기의 개발이 가능하며, 둘째, 피건조물 자체가 축열의 매체 역할을 할 수 있으며, 세째, 전체 농작업 공정 가운데서 건조 공정이 가장 에너지 집약적인 공정이 되고 있으므로 에너지 절약 효과를 가장 크게 기대할 수 있기 때문이다. 즉, Table 1<sup>(1)</sup>에서 보는 바와 같이 곡물 생산의 모든 작업공정에서 소비되는 에너지 가운데서 건조 작업이 차지하는 비율은 옥수수 재배의 경우, 약 70%, 벼 재배의 경우 약 60%라는 커다란 비중을 차지하고 있음을 감안

할 때 건조 작업이 모든 작업 가운데서 얼마나 에너지를 많이 필요로 하는 작업인가를 알 수 있다.

따라서, 여기서는 태양열 이용이 가능한 각종 농작업 가운데서 농산물 건조와 관련된 내용만을 살펴봄으로써 앞으로 이 분야의 연구를 발전시키는데 기여하고자 한다.

### II. 태양열 건조의 특성

건조란 농산물로부터 수분을 제거시키는 과정으로 여러가지 농산물의 저장방법 가운데서 가장 효과적인 방법으로 알려지고 있다. 또한 효과적인 건조기나 건조 시설이 마련되어 있으면 농산물의 수확시기를 조절할 수 있어 적기수확(optimum harvest)이 가능하고, 원시적인 건조방법으로 인하여 나타나기 쉬운 농산물의 각종 손상과 피해를 최대한 줄일 수가 있다.

특히 우리나라의 경우, 근래에 들어 농업노동력의 현격한 감소 추세에 따른 농업의 기계화에 발맞추어 수확작업의 기계화가 발전됨에 따라 수확 직후의 농산물의 손실을 줄이고 품질을 보전하기 위한 적절한 건조 시스템의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 그러나, 국내외에서 이용되고 있는 건조기는 모두 고온·고속·

\* 正會員: 서울대학교 농과대학 농공학과

Table 1. Energy requirement of corn and rice production operations.

| Operations                 | Estimated Fuel Consumption           |                                     |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|                            | Diesel Fuel for Corn<br>(gal / acre) | Diesel Fuel for Rice<br>(ℓ/ha)      |
| Tillage                    | 3.34( 16.4%)                         | 13.2( 8.8%), 20~30 PS Tractor       |
| Planting                   | 0.77( 3.8%)                          | 14.1( 9.4%), 4-row Transplanter     |
| Cultivating                | 1.54( 7.5%)                          | —                                   |
| Disease and Insect Control | —                                    | 8.5( 5.1%), Power Sprayer           |
| Harvesting                 | 0.88( 4.3%)                          | 28.3(18.9%), 4.3m width Combine     |
| Drying(high temperature)   | 13.9 ( 68.0%)                        | 85.9(57.3%), Circulation Type Dryer |
| Total                      | 20.43(100.0%)                        | 150.0(100.0%)                       |

Table 2. Estimated energy requirement for drying agricultural crops.

| Crops                 | Initial Moisture Content % w.b. | Final Moisture Content % w.b. | Water Removed kg/ton | Energy Requirement 10 <sup>6</sup> KJ/ton |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------|---|
| <b>GRAINS</b>         |                                 |                               |                      |   |
| wheat, barley, rhy    | 20 ~ 25                         | 14 ~ 16                       | 50 ~ 147             | 0.30 ~ 0.88                               |
| oats, paddy           |                                 |                               |                      |   |
| corn                  | 25 ~ 45                         | 12 ~ 14                       | 147 ~ 600            | 0.88 ~ 3.60                               |
| <b>VEGETABLES</b>     |                                 |                               |                      |   |
| peas, beans           | 60 ~ 70                         | 5 ~ 10                        | 1,250 ~ 2,157        | 7.50 ~ 13.06                              |
| onions, garlic        | 70 ~ 80                         | 5 ~ 10                        | 2,000 ~ 3,750        | 12.00 ~ 22.50                             |
| carrots, beets        | 80 ~ 90                         | 5 ~ 10                        | 3,500 ~ 8,500        | 21.00 ~ 51.00                             |
| cabbage, spinach      | 90 ~ 95                         | 5 ~ 10                        | 8,000 ~ 18,000       | 48.00 ~ 108.00                            |
| potatoes              | 65 ~ 85                         | 14                            | 1,458 ~ 4,733        | 8.75 ~ 28.40                              |
| <b>FRUITS</b>         |                                 |                               |                      |   |
| apples, apricots,     |                                 |                               |                      |   |
| peaches, prunes,      |                                 |                               |                      |   |
| grapes, figs, bananas | 75 ~ 80                         | 14 ~ 23                       | 2,080 ~ 3,300        | 12.48 ~ 19.80                             |
| <b>FORAGES</b>        |                                 |                               |                      |   |
| grass, alfalfa        | 80 ~ 90                         | 10 ~ 14                       | 3,300 ~ 8,000        | 19.80 ~ 48.00                             |
| hay                   | 40 ~ 60                         | 10 ~ 14                       | 433 ~ 1,250          | 2.60 ~ 7.50                               |

※ energy requirement 6,000 KJ per kg water to be removed.

화력 건조기(hight temperature, high speed drying system)로서 많은 양의 연료를 소비 할 뿐만 아니라 팬(fan)을 작동시키기 위한 동력이 필요하다. 보통 건조에 소요되는 에너지는 농산물로부터 제거되는 수분의 양과 직 접적인 관계가 있는데, Table 2<sup>22</sup>는 여러가지 농산물 건조에 관한 소요에너지를 보여주고 있다.

이와 같이 건조 작업은 막대한 에너지를 필요로 하는 작업이기 때문에 1973년과 1979년도의 에너지 위기 아래 건조기의 열효율을 향상시키기 위한 연구와 에너지 절약형 건조기의 개발에 박차를 가하게 되었고, 이에 따라 태양열을 이용한 농산물 건조에 관한 연구가 많은 국가에서 다양하게 수행된 바 있다.

곡물 건조 분야의 세계적인 권위자인 미국

Perdue대학의 Foster<sup>(3)</sup>교수는 곡물 건조 산업에서 앞으로 중점적으로 관심을 가져야 할 과제로서 에너지 문제, 환경 오염 문제 그리고 위생문제 및 곡물의 품질 문제라고 지적한 바 있으며, 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 역시 태양열 건조를 제시한 바 있다.

여기서 언급하고 있는 태양열 건조(solar drying)는 관행적으로 이용되고 있는 햇볕 건조(sun drying)와 다른 의미를 가진다. 태양열 건조는 태양열 집열기와 같이 일사량을 효과적으로 사용하기 위한 시설물을 사용하여 농산물을 건조시키는 방법을 말하며, 햇볕 건조는 농산물을 멍석이나 콘크리트 바닥에 깔아서 말리거나 논바닥에 세워서 말리는 등의 원시적인 방법을 말한다. 따라서, 태양열 건조에서는 햇볕 건조에 비하여 보다 높은 온도와 낮은 상대습도를 얻을 수 있어 건조가 빨리 진행될 뿐만 아니라, 피건조물의 최종 함수율을 낮출 수가 있다. 이 때문에 건조가 진행되는 동안은 물론 저장 중의 농산물의 손상을 감소시킬 수가 있다. 이 외에도 곤충이나 미생물 등에 의한 피해를 줄일 수 있으며, 건조 중에 먼지나 기타 해충, 동물의 침입이 불가능하기 때문에 이들로 인한 손상을 방지할 수 있다. 특히 농산물은 흡습성 재료(hygroscopic material)이기 때문에 햇볕 건조 과정에서 비가 내리거나 야간에 습도가 높으면 일단 건조된 농산물이 다시 수분을 흡수하게 되며, 이러한 현상이 계속되면 결국 품질의 저하를 가져온다. 실제로 벼에 관한 실험<sup>(4)</sup> 결과 건조중에 강우가 1~2회 나타나면 도정수율은 1~1.5%, 완전미수율은 25~35% 감소되는 것으로 보고된 바 있다.

물론 태양열은 저밀도의 불안정한 에너지원으로서 이를 효과적으로 사용하기에는 많은 기술적인 문제점이 있으나, 연료비의 상승을 감안하고 고온·고속 건조에 의한 피건조물의 품질 저하 내지 손실을 최소화시킬 수 있다는 측면에서 보면 태양열 건조는 계속 관심있는 연구의 대상이 될 것으로 생각된다. 이 외에도 특수한 기술이 없더라도 근처에서 쉽게 구할

수 있고 값이 싼 재료를 사용하여 태양열 건조 시설을 제작할 수 있으며, 또한 이 시설을 작동시키거나 유지 관리하기가 용이한 잇점을 지니고 있다.

### III. 태양열 건조 시스템

태양열을 이용한 농산물 건조 시스템은 태양 일사(solar insolation)에 대한 피건조물의 노출여부 및 건조기를 통한 송풍 방식에 따라 분류된다. 즉 피건조물이 태양일사에 노출되어 있으면 직접형(direct)이라고 하며, 노출되어 있지 않을 경우에는 간접형(indirect)이라고 부른다. 직접형일 경우에는 농산물로의 열전달은 대류와 복사에 의해 이루어지며, 따라서 건조 속도는 간접형에 비하여 빠르다. 간접형은 피건조물이 별도의 건조실에서 건조되기 때문에 태양 일사와 직접 접촉되지 않는다. 전포도와 같은 재료는 건조후 일정한 색깔을 유지하기 위하여 반드시 햇볕에 노출시켜야 하는 반면, 어떤 과실류는 햇볕에 노출되면 비타민 C 함량이 현저히 줄어들기 때문에 이와 같은 건조 특성을 미리 알고 필요한 형식을 선택·제작하여야 한다.

송풍 방식에는 자연 대류 방식과 강제대류 방식의 두 가지가 있다. 이 가운데서 강제대류 방식은 팬에 의하여 송풍이 되는 방식으로서, 이것은 다량의 공기를 건조실 내의 피건조물 사이로 통과시킬 수 있으며, 규모가 비교적 큰 건조 시설에 적합하며 특히 주위의 기상 조건에 영향을 받지 않기 때문에 송풍량 조절이 용이하고 정확한 송풍량을 마련할 수 있는 등의 잇점을 가지고 있다. 또한, 곡물 건조와 같이 건조층이 깊은 경우에는 반드시 강제적으로 송풍 작업이 이루어져야 한다. 그러나, 강제식은 팬을 가동시키기 위한 동력이 필요하기 때문에 운용비가 많이 드는 결점을 가지고 있다.

또한, 건조실에 들어가는 공기의 온도는 주위의 온도와 같을 수도 있고 약간 상승된 온도일 수도 있다. 전자의 경우는 건조실과 태양열 집열기가 일체로 되어 있는 형식으로부

터 얻을 수 있는 경우로서 이 형식은 구조가 간단하고 크기도 어느 정도 제한되어 있다.

후자의 경우는 건조실과 태양열 집열기가 분리되어 있을 때 가능하며, 바깥의 공기가 집열기를 통과하는 동안 온도가 상승되어 건조실로 들어가는 구조로 되어 있는데, 전자의 경우에 비하여 구조가 약간 복잡하다.

따라서, 위의 몇 가지 요인을 조합함으로써 태양열 건조 시스템을 여러가지 형식으로 제작할 수 있다. 그러나, 그동안 많은 시험 연구를 통해서 다음 세 가지 형식이 가장 실용성이 있는 것으로 평가되어 현재 이를 형식을 적용한 각종 건조 실험이 여러가지 방법으로 진행 중에 있다.

**A형** : 직접형으로서 태양열 집열기와 건조실이 일체로 되어 있으며, 자연 대류에 의하여 공기가 유통된다.

**B형** : A형과 동일하나, 태양열 집열기와 건조실이 분리되어 있다.

**C형** : 간접형으로서 태양열 집열기와 건조실이 분리되어 있으며, 강제대류에 의하여 공기가 유통된다.

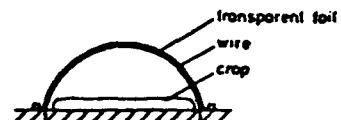
이 밖에 건조 공기의 가열 방식에 따라 두 가지 형식으로 나누어진다. 첫째는, 에너지의 주원 공급원은 태양열로서 낮 동안은 태양열에 의하여 공기가 가열되고, 일기가 불순한 낮 동안이나 습도가 높은 야간에는 연속 건조를 위하여 전기나 다른 연료를 사용하여 공기를 가열시키는 방법을 말한다. 둘째 형식은 위의 경우와는 반대로 에너지의 주된 공급원은 전기나 기타 연료이며, 태양열은 다만 보조열원 (supplementary heat source)으로만 사용되는 경우를 말하는데, 이 형식에 대하여는 미국의 곡물 생산 지역에서 많은 연구가 수행된 바 있다. 위의 두 가지 방식을 이용한 건조기를 혼합형 건조기(hybrid dryer)라고 부른다.

### (1) A형

이 형식에서는 얇은 층의 피건조물이 건조실 내에서 태양열에 직접 노출되어 있어 피건조물과 건조실 내면에 흡수되는 태양열에 의



flat cover



curved cover

Fig.1 Direct solar drying using flat or curved cover.

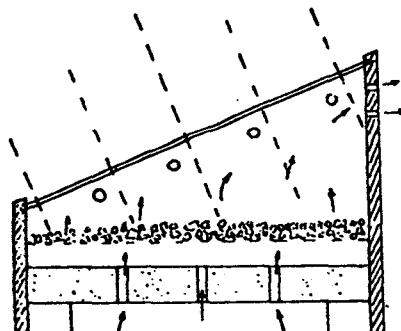


Fig.2 Direct absorption dryer.

하여 발생되는 열이 피건조물의 온도를 상승시켜 수분이 증발됨과 동시에 습한 공기는 자연 대류에 의하여 외부로 제거되면서 건조가 진행된다.

Fig.1은 A형의 가장 일반적인 형식으로서 피건조물을 덮고 있는 투명 필름은 열손실을 줄이고 건조 시간을 단축시키는 역할을 함과 동시에 먼지와 비에 의한 손상을 방지하기도 한다. 그러나, 심한 강우나 쥐 등에 의한 피해는 막을 수 없으며, 특히 습도가 높은 지역에서는 환기 작용이 불충분하여 피건조물이 건조가 완료되기 전에 손상되기가 쉽다.

Fig.2는 경사진 투명 덮개와 내부가 흑색으로 된 상자 모양의 건조기로서, 상하부에 환기 구멍이 있으며 보통 10kg 이하의 적은 양의 과일이나 채소를 건조시키는데 사용된다.

이것은 건조시간을 줄이고 비, 먼지, 곤충 등의 피해를 막고 양질의 건조물을 얻을 수 있는 잇점이 있으나, 건조용량이 적고 이것 역시 앞의 형식과 마찬가지로 환기 작용을 임의로 조절할 수 없기 때문에 피건조물이 부패되기 쉬운 결점을 가지고 있다.

이 형식을 이용하여 Szulmayer<sup>(5)</sup>가 포도를 대상으로 건조 실험을 실시한 결과, 건조기간은 관행 건조(햇볕 건조)의 15일에 비하여 여기서는 4일이 소요된 것으로 나타났다.

### (2) B형

이 형식은 피건조물이 태양 일사에 직접 노출되어 있을 뿐만 아니라, 태양열 집열기에 의하여 가열된 공기가 피건조물의 건조에 사용되는 형식으로서 태양열 집열기와 농산물을 얇게 펴 놓을 수 있는 여러 개의 선반(tray)을 갖추고 있는 건조실로 구성되어 있다.

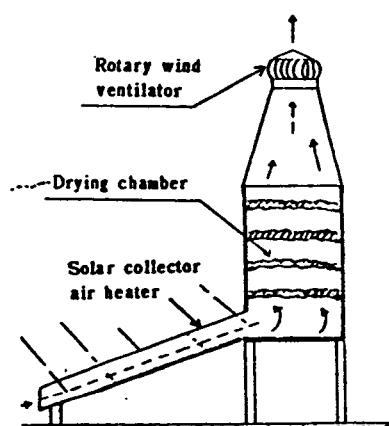


Fig.3 Wind ventilator dryer.

Fig.3에서 보는 바와 같이 태양열 집열기는 남향으로 설치되어 있으며, 설치 지역과 계절에 따라 적당한 각도를 유지한다. 공기는 집열기의 아래쪽 끝단에서 들어가며, 집열기를 통과할 때 온도가 상승되어 이것과 연결되어 있는 건조실의 하부로부터 상부로 통과한다. 이 밖에 건조실을 둘러싸고 있는 투명 재료를 통과하는 태양열에 의해서도 부가적인 열이 마련되어 건조에 이용된다.

이 형식에서도 역시 집열기와 건조실 내의 공기 순환은 자연 대류에 의하여 이루어지는 데, 건조실 내의 공기의 유속을 증가시키기 위하여 굴뚝이나 바람개비가 사용되기도 한다. 이 형식 역시 햇볕건조에 비하여 건조시간을 단축시킬 수 있고 비, 먼지, 곤충 등의 피해를 막을 수 있으며 과일, 채소, 곡물의 건조에 사용된다. 그러나, 선반의 수가 제한되기 때문에 건조 용량이 적으며, 피건조물이 너무 많으면 공기의 순환이 잘 안되어 손상되기 쉬운 결점을 가지고 있다. 또한 이 형식은 바람이 어느 정도 부는 지역이 아니면 효과적으로 사용할 수가 없다. 실험<sup>(2)</sup>에 의하면 일반적으로 건조실로 들어가는 공기의 온도는 50~60°C이며, 300kg의 포도를 80%에서 안전 저장 함수율까지 건조시키는데 일주일 정도 소요되는 것으로 나타났다.

### (3) C형

이 형식은 앞의 두 가지 형식보다 더 복잡하고 정교한 시설로서, 공기는 태양열 집열기에 의해서 가열되며, 가열된 공기는 배치(batch)형의 건조기 내의 피건조물을 통과하면서 건조가 진행된다. 이 때 사용되는 집열기는 평판형 집열기 또는 Fig.4에서 보여주고 있는 여러가지 모양의 플라스틱 튜브 집열기(inflated plastic tube collector)가 사용된다.

여기서 집열기의 효율을 높이기 위하여 플라스틱 튜브를 이중으로 하는 경우가 있는데, 이 때 집열기를 통과하는 공기의 90%는 중앙부를 통과하고, 나머지 10% 정도가 두 층의 필름 사이를 통과한다. 또한 열의 전달을

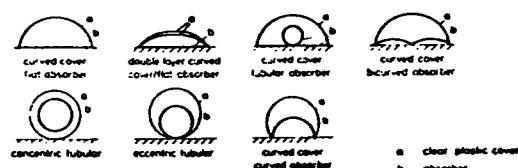


Fig.4 Designs of plastic film collectors for air heating purposes.

충분히 얻기 위해서는 공기의 유속은 5~7 m/sec가 적당하다.

Fig.5는 플라스틱 튜브 집열기와 여러 층의 배치 건조기로 구성되어 있는 태양열 건조기를 보여주고 있다. 일반적으로 이와 같은 집열기는 가격이 저렴하고 건조 작업이 중단되었거나 또는 바람이나 동물에 의하여 파손되었을 경우 새것으로 대체하기가 용이한 잇점을 가지고 있다. 또한 농산물은 태양열과 완전히 차단되어 있기 때문에 포도, 사과, 살구와 같은 과실류를 건조시킬 경우 변색을 방지 할 수 있으며 비, 먼지, 곤충, 동물 등에 의한 피해를 막을 수 있다. 이 밖에 선반을 일정한 시간을 두고 옮겨 줌으로써 아래층 부분의 과도한 건조를 방지할 수 있다.

Fig.6은 태양열 집열기를 이용한 곡물 전용 건조 시스템을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 태양열 집열기가 곡물 빙(bin)에 연결되어 있어 낮 동안에는 태양열에 의하여 건조 속도가 빨라지고 건조 시간이 단축된다. 이 때 태양열에 의하여 온도가 상승된 공기의 상대 습도는 보통 70% 이하가 되며, 이 조건은 곡물의 안전 저장에 필요한 함수율(14% 정도) 까지 건조시키는데 충분하다. 일반적으로 낮

동안에 가열된 공기가 곡물층을 통과하게 되면 곡물 상하층 간에 함수율의 차이가 나타나 야간에 습도가 높은 공기가 이 곡물층을 다시 통과하게 됨으로써 곡물 전체의 함수율은 다시 균일하게 분포된다. 또한 낮 동안 과건조된 곡물의 하층부는 야간의 습한 공기에 의하여 재흡습되어 함수율이 증가하며, 동시에 이 곡물에 저장된 에너지는 2~3시간 동안 상층부의 곡물을 건조시키는데 사용되기도 한다.

그러나, 주야간 계속해서 연속 건조를 실시하면 건조가 진행됨에 따라 야간의 습한 공기에 의하여 오히려 곡물 전체의 함수율이 다시 높아지게 되므로, 어느 정도 건조가 진행된 후에는 낮 동안만 팬을 가동시키는 간단 송풍방식(intermittent fan operation)을 택하든지, 아니면 낮 동안 태양열을 저장해 두었다가 이것을 다시 야간에 사용할 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

#### V. 우리나라에서의 태양열 건조 연구

우리나라에서의 태양열을 이용한 농산물 건조에 관한 연구는 1978년도 벼의 건조를 시작으로 출발하였다. 벼를 2~3년간 안전하게 저장할 수 있는 함수율은 13~14%이며, 우리나라의 벼 건조기간인 10월중 기후 조건은 전국 평균치로서 온도가 15°C, 상대습도가 70% 이기 때문에 이와 같은 조건은 벼를 안전 저장 함수율까지 충분히 건조시킬 수 있는 것으로 분석되고 있다. 따라서, 1970년대까지는 곡물 건조기가 필요없이 햅볕 건조에 의하여 벼의 건조 작업을 실시하여 왔으나, 노동력 부족에 따른 수확작업의 기계화로 말미암아 건조 시스템의 개선을 필요로 하게 되었다(현재 농가 인구는 전체 인구의 22% 정도임). 이에 따라 건조기에 의한 건조 작업이 늘어나는 한편, 일부 대학과 연구소에서는 곡물 빙을 이용한 상온 통풍 건조방법(in-bin natural air drying)에 관한 연구가 시도되었다.

이 방법은 곡물 빙에 팬을 연결시켜 상온의 공기를 그대로 곡물층에 송풍시킴으로써 건조가 이루어지는 방법으로서 연료비를 절약할 수

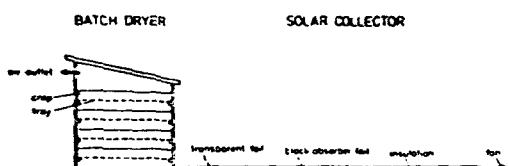


Fig.5 Indirect solar dryer.

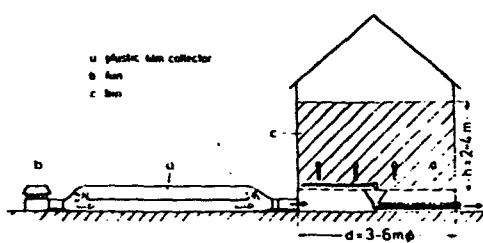


Fig.6 Low temperature in-bin grain dryer with plastic film collector.

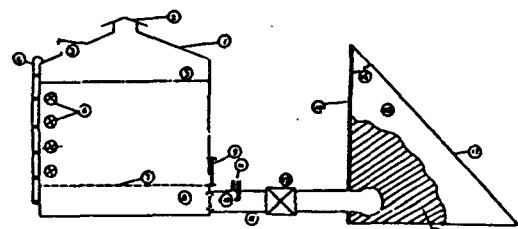
Table 3. Summary of rough rice drying experiments using solar-heated air.

| Experiment No.  | B                      | C                       | E                       |
|---|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Quantity of rough rice (M/T)  | 2.0                    | 1.7                     | 2.3                     |
| Amount of air flow ( $m^3/m^3$ )                                    | 4.0                    | 1.64                    | 3.6                     |
| Test period   | Oct. 1, 78<br>~Oct. 11 | Oct. 10, 78<br>~Oct. 24 | Oct. 15, 79<br>~Oct. 31 |
| Initial moisture content (% w.b.)                                   | 19.8                   | 21.9                    | 25.6                    |
| Ave. final moisture content (% w.b.)                                | 13.3                   | 13.7                    | 11.2                    |
| Total fan operation time (hrs.)                                     | 140                    | 130.4                   | 96                      |
| Average drying rate (%/hr)  | 0.046                  | 0.06                    | 0.15                    |
| Energy consumed per 1% M.C. reduction (Kwh)<br>(Natural air drying) | 7.69<br>(9.70)         | 6.29<br>(13.64)         | 5.33<br>(7.54)          |
| Final moisture content at top layer (% w.b.)                        | 13.4                   | 15.1                    | 14.4                    |
| Final moisture content at bottom layer (% w.b.)                     | 12.9                   | 10.2                    | 10.0                    |
| Daily fan operation hours   | 24 hours               | 08:00~20:30             | 10:00~17:00             |

있고, 일기 불순이나 쥐 등에 의한 피해를 줄일 수 있는 잇점이 있으나, 건조 기간이 2~3주 이상으로 너무 오랜 단점을 가지고 있다. 그러나, 이론적으로 상온의 공기를 4~5°C 정도 상승시켜 건조 작업에 사용하면 건조 시간을 절반 정도 단축시킬 수 있다는 판단 아래 태양열 집열기를 이용한 건조 실험이 여러가지 방법으로 시도된 바 있다.

Table 3<sup>(6)</sup>은 세 가지 형식의 태양열 건조 시스템을 이용하여 벼를 대상으로 건조 실험을 실시한 결과를 요약한 것이다.

여기서 사용된 태양열 건조 시스템은 Fig. 7에서 Fig. 9까지 나타나 있다. 실험 B에 사용된 시스템은 Fig. 7과 같이 검은 돌을 축열 매체로 사용한 태양열 집열기와 곡물 빈으로서 이루어져 있다. 약 7m<sup>2</sup>의 둘이 낮 동안 가열된 후 이 때 저장된 열이 야간의 곡물 건조에 사용되었다.



- |                                  |                     |
|----------------------------------|---------------------|
| ① Grain Bin                      | ② Ventilator        |
| ③ Manhole                        | ④ Outside Ladder    |
| ⑤ Grain Surface                  | ⑥ Sampling Hole     |
| ⑦ Perforated Tube                | ⑧ Anemometer        |
| ⑨ Outlet                         | ⑩ Pitot-static Tube |
| ⑪ Manometer                      | ⑫ Aeration Duct     |
| ⑬ Fan & Motor                    | ⑭ Insulation Wall   |
| ⑮ Tilted Angle(48°)              | ⑯ Rock-pile         |
| ⑰ Plate Covered with Vinyl Sheet | ⑱ Solar Collector   |

Fig. 7 Schematic diagram of solar collector-heat storage system connected to the grain bin (Experiment B).

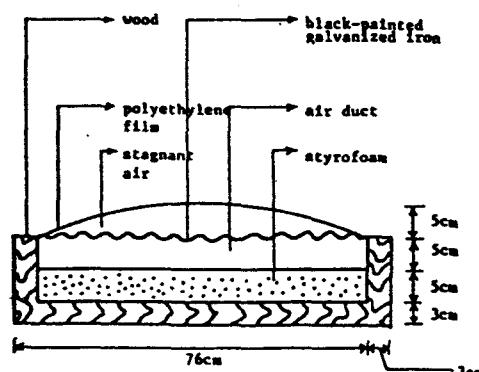


Fig.8 Cross section of solar collector (Experiment C).

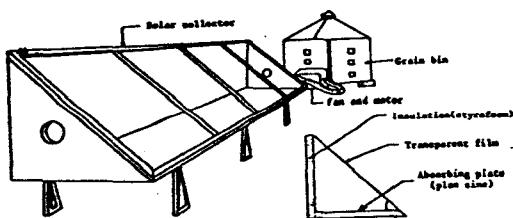


Fig.9 Schematic diagram of solar collector-grain bin system(Experiment E).

따라서, 이 실험에서 팬은 24시간 연속 가동되었으며, 이 때 이 시스템에서의 공기 온도 상승은 평균적으로 야간에는  $4^{\circ}\text{C}$ , 주간에는  $8^{\circ}\text{C}$  정도로 나타났다.

실험 C와 E에 사용된 태양열 집열기는 평판형 집열기의 일종으로서 건조 작업은 주간에 한하여 실시되었으며, 실험 B의 집열기에 비하여 건조 공기의 온도 상승 폭이  $6.5\sim21.8^{\circ}\text{C}$ 로서 매우 높았기 때문에 이 시스템에서는 빈 내의 곡물 상하층 간의 불균일 건조와 하층부의 과건조 현상이 심하게 나타났다. 그러나, 전체적으로 볼 때 태양열 건조는 상온 통풍 건조에 비하여 건조기간을 1주일 정도 단축시킬 수가 있었으며, 동시에  $20\sim50\%$ 의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

그러나, 높은 시설비, 불균일 건조와 과건조 현상, 오랜 건조 기간 등이 여전히 태양열

건조의 문제점으로 지적되고 있는 바, 보다 저렴하고 효과적인 축열 시스템을 갖춘 집열기를 개발하고 연간 이용 횟수를 증가시킴으로써 앞의 문제점은 어느 정도 해결될 수 있을 것으로 사료된다.

벼 이외의 농산물로서 고추 건조에 관한 연구가 일부 수행된 바 있다. 고추는 연간 생산량이 약 20만톤이며, 우리나라 전체 재배면적의 약 38%에 해당하는 12만 정보에서 재배되고 있는 중요한 경제 작물이다. 또한 생산된 고추의 대부분이 건조 과정을 거쳐 식품의 조미료 및 식품 재료로 사용되므로 고추 건조는 다량의 에너지 소비와 품질 보존의 측면에서 볼 때 매우 중요한 과정이라고 할 수 있다.

현행 고추의 건조 방법으로는 관행의 햅볕 건조와 건조 시설 또는 화력 건조기를 이용하는 인공건조 방법이 있다. 그러나, 햅볕 건조의 경우는 고추 건조 기간인 8~9월에 일기 불순이 잦기 때문에 품질이 좋은 고추를 얻기 어려우며, 인공 건조의 경우도 건조 능률만을 고려한 고온 건조가 이루어지고 있기 때문에 품질의 문제가 뒤따르며 막대한 연료비의 부담도 고려하지 않을 수가 없다. 따라서, 태양 열 집열기에 의한 고추 건조는 건조 능률이나 품질면에서 가장 효과적인 건조 방법으로 판단되고 있다.

본인<sup>(7)</sup>이 1980~1981년도의 2차에 걸쳐 세 가지 형식의 태양열 건조 장치를 이용하여 실시한 고추 건조실험 결과에 의하면, 건조실과 태양열 집열기가 분리된 자연대류 형식의 경우 햅볕 건조에 비하여 건조 기간을  $\frac{1}{2}$  정도 단축시킬 수가 있었다. 즉 햅볕 건조의 경우, 초기 함수율이 80%인 고추를 15%까지 건조시키는데 소요된 기간이 14일로 나타난 반면, 태양열 건조 시스템을 이용한 경우는 7일로 나타났다. 이 외에도 면지나 곤충 등에 의한 오염이 방지되어 보다 양질의 건조 고추를 얻을 수 있었다.

이 외에도 평판형 집열기<sup>(8)</sup>와 온실<sup>(9)</sup>을 이용한 고추의 건조 실험이 실시된 바 있으며 현재 KAIST에서는 독일에서 개발된 태양열

건조 시설을 이용하여 고추 건조에 관한 적용 시험을 실시 중에 있다.

#### N. 결 론

높은 농업 노임과 부족한 농업 노동력으로 인하여 농작업의 기계화가 고도로 발달된 국가나 지역에서는 농산물 건조에 필요한 연료비를 감소시키기 위한 태양열 건조 연구가 깊은 관심의 대상이 될 수 있다. 그러나, 태양 열에 의한 고온 건조는 경제적으로 타산이 맞지 않을 뿐만 아니라 고온 건조에 필요한 충분한 열량도 얻기가 어렵기 때문에 저온 건조가 실용적일 뿐만 아니라 경제적인 것으로 판단되고 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 저온 건조에 필요한 온도 상승은 간단한 태양열 집열기에 의해 쉽게 얻을 수 있으며, 관행 햅볕 건조에 비하여 건조 속도가 빠르고 건조 기간이 단축되는 잇점 이외에 건조중의 양적 손실과 질적 손실을 모두 줄일 수 있는 잇점이 있어, 앞으로 고추나 연초와 같은 경제 작물을 대상으로 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

그러나, 태양열 건조 실험에 앞서 건조 대상 작물에 관한 기초 연구, 예를 들면 건조 온도의 상한선의 규명, 온도와 품질 변화와의 관계, 건조 특성 등이 규명되어야 효과적인 태양열 건조 시스템을 개발할 수 있을 것이다. 예를 들면 곡물 건조에 필요한 최고 허용온도는 60°C이며, 고추의 경우는 건조 공기의 온도가 70°C를 초과해서는 품질에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다.

따라서, 이와 같은 기초 자료를 얻기 위한 실험과 병행해서 경제적이고 실용성이 있는 농산물 건조를 위한 태양열 건조 시스템에 관한 연구가 계속적으로 추진되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- Isaccs, G. W.(1973): An Overview of Energy Consumption in Corn Production and Marketing. Energy for Agriculture Conference at Purdue University.
- Mühlbauer, W.(1981): Solar Drying of Agricultural Products. Proceeding of the "Regional Workshop on Rural Development Technology", KAIST, Seoul, Korea.
- Foster, G. H. and R. M. Peart(1976): Grain Drying - Reflections and Perspective, ASAE Paper No.76-3005.
- 정창주, 전용운, 강화석(1979) : 벼의 재흡습이 도정미의 품질에 미치는 영향에 관한 연구. 한국농업기계학회지, 4권 1호
- Szulmayer, W.(1971) : From Sun Drying to Solar Dehydration, Food Technology in Australia, Vol. 23. No. 9~10.
- Koh, H. K. and C. J. Chung,(1981) : Technical Evaluation of Solar and Natural Air Drying of Rough Rice. Proceedings of Food Drying Workshop, Edmonton, Canada.
- 고학균, 금동혁(1981) : 농산물 건조를 위한 태양열 집열기의 제작 및 이용에 관한 연구, 한국농업기계학회지, 6권 2호.
- 김동만, 김만수, 장규섭(1979) : 평판형 집열기를 이용한 고추 건조에 관한 연구, 충남대 농업기술연구소 농업기술보고, 6(1).
- 김종기(1982) : 태양열을 이용한 고추의 건조방법 개발에 관한 연구, 석사학위논문 서울대학교.