

곡물보관창고의 산물시설화를 위한 곡물 건조저장시설의 개발⁺ -사각 사일로 시스템-

Development of a Grain Drying and Storage System for Bulk Facilities of Grain Custody Warehouse - Square Silo System -

정중훈*
정희원
J. H. Chung

유수남*
정희원
S. N. Yoo

ABSTRACT

A basic proposal on the design of a grain drying and storage system was suggested for the bulk facilities of grain custody warehouses. A model square silo system was designed and developed on the basis of the proposal. A square silo system made of steel plate was developed with a stirring device, an automatic moisture meter and an auto-control system of PLC. Then, the developed square silo system was evaluated through drying experiments with rough rice. The square silo system could dry grains uniformly with a stirring device and an auto-control system regardless of grain depth. The developed square silo system can be well adapted for the bulk facilities of grain custody warehouses.

1. 緒論

우리나라에서는 곡물의 전근대적인 貯藏 및 加工 시설로 말미암아 눈에 보이지 않은 막대한 손실을 감수하고 있다. 현재 정부에서 또는 민간인이 보관하고 있는 곡물의 저장 상태는 모두 포대 저장으로 비효율적이며 곡물의 품질의 변화가 크게 우려되는 것으로 판단되고 있는 바 이에 대한 대책이 시급하다. 특히 쌀의 과잉 재고에 따른 보관 창고의 부족은 물론, 기존 창고의 노후와 관리 소홀로 인한 보관미의 變質 및 病蟲害 발생에 대한 우려도 매우 심각한 실정이다. 그리고 포장유통 방법에 의한 해포 및 재포장이 추가 비용 발생, 포장 재료 파손으로 인한 양곡 손실, 복잡한 유통 체계에 의한 운송비 과다

등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 현대화된 산물 저장 시스템은 저장 관리 비용을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 곡물의 품질을 그대로 유지할 수 있기 때문에 앞으로 시급히 도입되어야 할 과제이다.

곡물의 건조, 저장을 산물화함으로써 입·출고 관리의 효율성을* 극대화하고 시설의 자동화를 꾀하며 저장중에 곡물의 손실을 최소화하고 곡물 품질을 유지할 수 있다. 그러므로 농협 단위의 산물 乾燥貯藏施設 보급이 더욱 활성화되어야 하며 기존의 정부, 농협 및 도정공장의 양곡 보관창고들은 산물 건조저장이 가능하도록 시설의 改造가 바람직하다. 따라서 이들 노후된 포대 저장식의 재래식 보관창고를 과감히 산물식 乾燥貯藏施設 형태인 사각 사일로 시스템으로 대

+ 본 研究는 韓國農業機械學會의 '93 産學協同研究費에 의하여 研究되었음.

* 全南大學校 農科大學 農工學科

체하기 위해서, 보관창고의 產物 施設化에 대한 研究가 절실히 요청되어 이 사일로 시스템을 기술적 측면에서 검토하여 개발하고자 하였다.

이에 본 연구의 구체적 목적은 다음과 같았다.

1) 糧穀 保管倉庫의 산물시설화를 위해서 조립식 철제 곡물 사각사일로를 設計하고, 이를 기초로 자동화된 모델 철제 사각사일로 시스템을 開發하였다.

2) 開發된 철제 사각 사일로 시스템에서 곡물 건조실험을 함으로써 그 시스템의 건조 성능을 구명하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

양곡보관창고의 산물시설화를 위해서 곡물의 물성과 구조물의 강도를 고려하여 철제 사각사일로를 설계하였고 또한 사각사일로의 부속설비로서 송풍시설, 가열장치, 입고 및 출고장치, 교반장치, 온도計測 및 制御장치 등을 포함하였다. 이에 설계기준에 기초하여 모델 철제 사각사일로 시스템을 設計, 開發하였고, 이 시스템의 性能 評價를 위해서 곡물 乾燥實驗을 3회 실시하였다. 본 실험에 사용된 시료는 1993년 11월에 전남대학교 농과대학의 농장과 나주의 봉황농장에서 재배, 수확된 일반벼 동진이었다.

가. 糧穀倉庫의 產物施設化를 위한 사각사일로 設計 方案

1) 산물 乾燥貯藏施設의 模型 選定

현재 農協이 가지고 있는 100평형의 창고의 크기는 가로 27 m, 세로 12 m, 높이 6 m(지붕높이 제외)로서 거의 규격화 되어 있고, 또한 정부미 도정공장의 창고들도 그 크기와 형태면에서 농협의 창고와 비슷하며 대개 100평형 또는 200평형이나 규격화는 되어 있지 않다. 따라서 이들 창고를 그 크기와 구조에 알맞게 산물식으로 개조하기 위해서는 기술적 검토 및 경제적 타당성이 고려되어 適正 模型이 선정되어야 한다. 또한 개조된 창고의 산물 저장용량이 적을 경우에는

이에 대한 대체방안으로 원형 철제 사일로를 창고 주변에 설치하여 그 저장용량을 높여야 한다. 이에 본 연구에서는 기존의 사각 사일로 시스템을 기술적으로 보완하여 설계, 개발하고자 하였다.

창고형의 산물 乾燥貯藏施設의 대표적인 형태로서 콘크리트식 사각 사일로의 조립식 철제 사각 사일로를 들 수 있다. 콘크리트식은 시설단가가 상대적 높고, 시설하기가 복잡하며 설치기간이 길고, 특히 양곡 건조 및 저장상의 관리면에서 많은 어려움이 따른다. 이에 반해 철제 사각 사일로는 시설단가가 낮고, 조립식으로 시설이 간단하며 이동이 가능하고 설치기간이 짧으며, 그 관리 또한 손쉽게 할 수 있다. 이에 현재 일부 米穀綜合處理場에는 창고형 乾燥貯藏施設로 철제 사일로를 채택되어 설치되고 있다. 따라서 본 연구에서는 조립식 철제 사각 사일로 시스템을 양곡창고 산물시설화를 위한 산물 乾燥貯藏施設의 한모델로서 開發하였다.

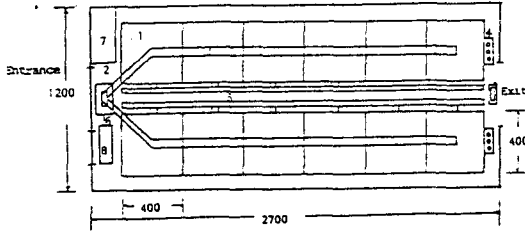
2) 철제 사각 사일로 시스템

기존 양곡창고의 산물저장시설화를 위해서 조립식 철제 사각 사일로 시스템을 100평 기준의 양곡창고에 알맞게 규격화하여 설계하였다. 조립식의 철제 사각 사일로 시스템은 가) 철제 사각 사일로, 나) 반입장치, 다) 입출고시설, 라) 計測 및 制御 施設, 마) 攪拌 裝置 등 기타시설로 구성되어 있다. 사각 사일로의 부속장치의 구조 및 특징은 다음과 같다.

가) 철제 사각 사일로

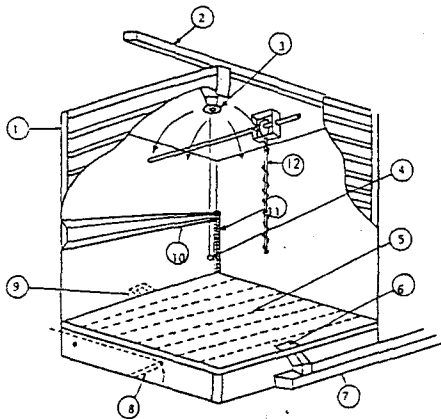
철제식 사각 사일로는 이 시스템에서 곡물을 산물 건조, 저장할 수 있어서 하나의 효율적인 산물 乾燥貯藏施設이다. 100평 규모의 양곡 1, 2급 보관창고에 준하여 開發한 철제 사각 사일로의 1기의 크기는 가로 4 m, 세로 4 m, 높이 5.5 m로서, 그 저장용량은 약 60톤이다. 이같은 사각 사일로를 2열로 6기씩 배열하면 총 저장용량은 약 700톤 이상에 달한다(그림 1). 각각의 조립식 철제 사각 사일로는 가열장치 등의 건조장치를 가지고 있어서 곡물을 균일하게 미질의 손상없이 효율적으로 건조시킬 수 있다. 그리고 이

사각 사일로의 1기의 크기는 양곡저장창고의 규모 및 구조에 따라서 쉽게 변경, 조절할 수 있도록 한다.



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Square silo | 5. Discharging Conveyor |
| 2. Bucket Elevator | 6. Bucket Elevator |
| 3. Overhead Fill Conveyor | 7. Control & Test Room |
| 4. Centrifugal Fan | 8. Cleaner and Scale |

Fig. 1. Layout of square silos in a grain warehouse.



- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. Silo wall | 7. Discharging conveyor |
| 2. Intake Conveyor | 8. Wind Controller |
| 3. Grain spreader | 9. Fan |
| 4. Temperature sensor | 10. Corrugated steel plate |
| 5. Floor | 11. Airway |
| 6. Grain outlet | 12. Stirring device |

Fig. 2. A cross section of a square silo.

사각 사일로의 특징으로서 사일로의 단면이 정사각형이어서 곡물에 의한 굽힘모멘트를 최소화하여 그 구조측면에서 직사각형보다도 더욱 강해 곡물에 의한 마찰력을 잘 견디도록 설계한다. 이 사일로에 사용되는 철판은 파형(corrugated type)으로 굴곡된 아연도금 철판(pressed,

galvanized steel sheet)으로 곡물의 수직압과 측압, 굽힘모멘트에 의한 변형, 그리고 철판의 허용 인장응력을 고려하여 설계한다. 그림 2는 건조 및 저장용 사각 사일로의 설계 단면도로서 사일로 내외부를 나타내고 있는데, 사일로 윗부분에는 곡물균분기를 설치하고 곡물 교반장치를 설치하며, 층별로 곡은 측정용 온도센서를 설치한다. 또한 밑부분에는 다공철판과 곡물 배출구를 설치하며 출고용 벨트컨베이어를 부착하도록 한다.

나) 부착장치

곡물 반입부에는 반입호퍼와 조전기 그리고 호퍼식 계량기를 설치한다. 그리고 사각 사일로의 출고시설은 다공철판의 출구와 출고용 덕트, 출구문 자동개폐장치, 곡물의 배출이 용이하도록 하는 풍향 조절장치, 벨트식의 반송컨베이어, 출고용 버킷엘리베이터로 한다. 다공철판의 출구부분은 정사각형으로 하며 한변의 길이를 50 cm 이하로 한다. 출구문의 자동개폐장치는 압축 공기식의 開閉式으로 하며 그 반송덕트는 45도의 각도로 출고용 벨트컨베이어에 연결되도록 설계한다. 다공철판 밑에는 풍향조절용 댐퍼장치를 설치하여 배출이 용이하도록 한다. 곡물의 입고는 버킷엘리베이터를 사용한다.

나. 모델 사각사일로 시스템의 開發

양곡보관창고를 산물시설로 개조하기 위해서 철제 사각 사일로 시스템을 설계하였다.

이 설계 기준에 기초하여 실제의 1/2 규모의 모델 사각 사일로를 설계, 제작하였다 (그림 3). 이 모델 사각 사일로는 건조와 저장이 가능하도록 제작하였으며, 건조능력은 약 2톤/회이고, 저장능력은 약 5톤/회이다. 또한 기존의 사각빈 乾燥貯藏施設의 문제점을 보완하였다. 예를들어, 1) 사각 사일로의 뚜껑을 만들어 설치함으로써 기존 시설의 분진현상을 없앴고, 2) 곡물의 균일한 건조와 안전 저장을 위해 곡물을 골고루 섞어 줄 수 있는 교반장치를 설치하였으며, 3) 원하는 습水率까지 벼를 건조하고 저장중에도 곡물의

습水率을 자동 및 연속적으로 측정할 수 있는 곡물의 습水率 자동측정장치를 설치하였다.

이 모델 사각 사일로 시스템(그림 3)의 구성 요소는 1) 철제 사각 사일로, 2) 송풍장치 및 가열장치, 3) 교반장치, 4) 습水率 자동측정장치, 5) 입·출고장치, 6) 計測 및 制御 장치, 7) PLC 동력 제어반 등이다. 開發된 모델 사각 사일로의 구성요소를 살펴보면 다음과 같다.

1) 철제 사각 사일로

모델 철제 사각 사일로는 SS41 재질의 3mm 철판으로 제작되었으며, 한변의 길이 2m인 정사각 단면에 높이가 2.7m 이고, 입·출고용 승강기와 이동용 바퀴까지 고려하면 총 높이가 4.16 m에 달한다. 이 사각 사일로는 1/2 규모의 모델 용이기 때문에 철판은 파형 철판을 사용하지 않았고 단순 철판을 사용하였다. 그리고 사일로의 내부구조를 볼 수 있도록 사일로 정면은 철판 대신에 한변이 1m인 정사각형의 투명한 아크릴 판을 설치하였다. 즉 교반장치의 움직임과 곡물의 입·출고 현상을 볼 수 있도록 하였다.

2) 送風裝置 및 加熱裝置

사각 사일로의 송풍장치는 1회에 비 약 3.5톤(약 6m³, 곡물깊이 1.5m)을 건조시킬 수 있도록 설치하였다. 이에 3마력의 원심식 송풍기를 사용하였으며, 그 송풍량은 50 cmm, 정압은 45 mmAq 이었다. 모터의 회전수는 1750 rpm 이었고 전원은 3상 220 볼트이었다. 또한 송풍량을 자유로이 조절할 수 있도록 송풍기 전면에 덤퍼를 설치하였다.

가열장치로는 전기히터를 사용하였으며 0.7 kW 전열선 10개를 설치함으로써 그 총 용량은 7 kW이다. 이 전기히터의 각 전열선은 制御판넬의 건조공기의 설정온도에 따라 차례로 자동적으로 켜지거나 또는 꺼지게 되어 있다. 송풍장치와 가열장치는 필요에 따라 수동 작동이 가능하도록 되어 있으며, 건조상태와 외기조건에 따라서 自動 制御되도록 설계되어 있다(그림 5).

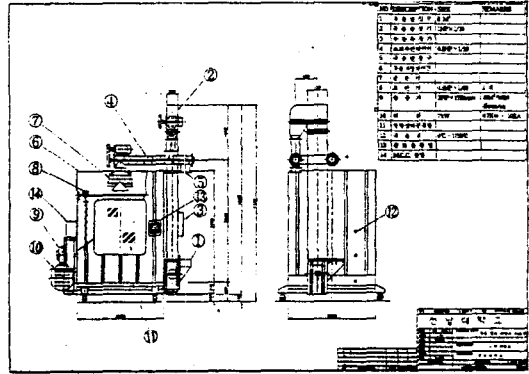


Fig. 3. A design drawing of a square silo system.

3) 교반장치

사각 사일로내에 1개의 오거가 자체적으로 저속 회전하며 양방향으로 움직이면서 곡물을 골고루 섞어주게 제작되었다. 따라서 攪拌機를 스크루우식으로 움직이기 하기 위해서 0.3마력의 모터 3개를 사용하였으며, 그림 4와 같이 일단 한방향(X방향)으로 전진한 후 끝부분에 도달하면 다른방향(Y방향)으로 약간 전진하면서 리미트 스위치에 의해 攪拌機는 X의 역방향으로 움직이도록 제작하였다. 攪拌機가 사각 사일로의 한쪽 끝에서 대각선 방향의 다른 쪽까지 도달하는데 약 2시간이 소요되게 제작되었으며, 攪拌機의 자체 회전속도는 약 10 rpm으로 설계되었다. 攪拌機는 다공철판 위 5 cm까지 도달하도록 제작되었으며 사일로내의 사다리에 닿지 않도록 하였다.

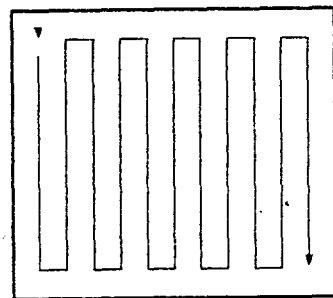


Fig. 4. Moving path of the stirring device in the square silo.

4) 습水率 自動測定裝置

곡물의 습水率을 자동으로 측정하기 위해서

모델 CS-5H의 자동 습수율측정기를 입,출고용 승강기에 부착하였다. 이 자동 함수율측정기는 벼, 현미, 보리 등의 습수율을 자동 또는 수동으로 측정할 수 있다. 즉 습수율 측정은 곡물을 버킷엘리베이터를 통해 이송 또는 순환시킬 때 버킷엘리베이터에서 떨어지는 낙곡을 측정기의 낙곡받이를 통해 시료로 채취해서 자동으로 5회 측정하는 방법과 자동측정이 끝난 후 외부에서 시료스폰에 시료를 투입하여 수동으로 측정기외에서 측정하는 수동방법을 동시에 사용하였다.

그리고 곡물 건조시 원하는 습수율을 설정해 놓으면 자동으로 5반복 습수율을 측정하여 평균값을 제시하며 그 측정된 습수율과 설정된 습수율의 차이 정도에 따라 함수율측정기는 자동으로 습수율을 측정한다. 또한 건조된 벼가 설정한 습수율에 도달하면 함수율측정기는 송풍기, 히터, 그리고 교반장치를 자동으로 멈추도록 함수율측정기로부터 신호를 제어장치부(PLC)에 보내게 하였다.

5) 입·출고 장치

곡물의 입·출고를 위하여 시간당 5톤을 처리할 수 있는 벨트식 버킷엘리베이터를 설치하였다. 또한 사각 사일로 윗부분에 스크루우퀸베이어를 설치하여 곡물을 사일로내에 입고시킬 수 있도록 하였고, 게이트를 조절하여 승강기에서 바로 반출시킬 수도 있도록 제작하였다.

6) 計測 및 制御 裝置

사일로내의 2지점의 온도와 공기실의 온도를 計測하도록 하였으며 공기실의 온도 및 설정온도에 따라 전기히터의 가열장치 및 기타 장치들을 자동 또는 수동으로 制御하도록 하였다(그림 5). 그리고計測판넬에서 사일로에서의 3지점의 온도를 모니터링하도록 하였다.

가열공기의 온도 制御方式은 2단 설정온도 制御方式을 채택하였다.

7) 동력 制御판넬

센서의 디지털 신호와 제어기준에 따라 사각

사일로의 모든 구동장치는 음성계전의 MASTER-K30의 PLC로서 制御하도록 하였다. 그리고 과부하에 대비하여 과부하 릴레이를 모두 설치하였다.

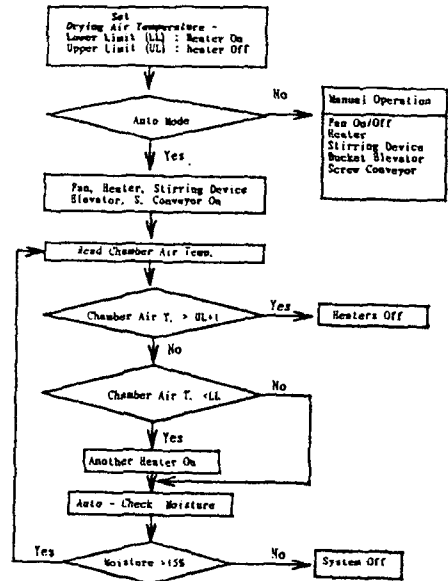


Fig. 5. Control logic of a programmable logic controller.

다. 벼 乾燥實驗 조건 및 방법

벼 건조실험은 3차에 걸쳐 실시하였는데, 각 실험은 1차-1.5 ton, 2차-1.0 ton, 3차-1.7 ton의 곡물을 사각사일로에 투입하여 습수율이 14%까지 계속해서 저온열풍 건조하였다. 자연통풍 상태의 건조와 비슷한 조건이 될 수 있도록 공기실, 사일로 하단, 사일로 중단의 온도를 모두 25~30℃로 설정하였고, 히터는 공기실 온도에 의해 制御될 수 있도록 프로그래밍 되어 있으며, 공기실의 온도가 25℃ 이하가 되면 히터가 작동하고 공기실 온도가 30℃가 될 때 자동으로 꺼지도록 하였다. 풍량은 가장 더운 오후 2시경에 최대 하였고, 밤에는 기온이 내려감에 따라 저풍량으로 건조하는 방법을 택했다. 또한 공기실, 사일로 상·하부의 온도는 사일로 내부에 설치한 온도 감지센서를 이용하여 측정하였다.

습수율 측정 방법으로 오븐 측정, Protimeter

수분측정기를 이용한 측정, 그리고 사일로로 버킷엘리베이터에 부착되어 있는 습수율 측정기에 의해서 자동측정 및 기의 수동측정을 하였다.

벼 건조실험의 구체적 건조조건 및 실험방법은 다음과 같았다.

① 1차 乾燥實驗

반입호퍼를 통해 반입된 고수분의 벼의 양은 약 1.5 ton 정도이었다. 습수율 측정은 실험 시작 (오전 9:30분경) 때부터 버킷엘리베이터를 이용하여 곡물을 반입시키면서 엘리베이터에 부착된 자동 습수율 측정기로서 자동으로 습수율을 5회 측정하였다. 이처럼 습수율 자동측정시에는 계속해서 버킷엘리베이터를 작동해 곡물을 순환시켜야 하나, 攪拌機의 성능을 평가하기 위해서 버킷엘리베이터로 곡물을 순환시키지 않고서 곡물의 습수율을 수동으로 측정하였다. 즉, 반입후부터는 습수율의 측정은 시료를 추출하여 버킷엘리베이터에 설치된 CS 함수율 측정기로서 手動式 機外 測定實驗을 5회 실시하였다. 시료채취는 시료채취기를 이용해서 시료를 시료추출구와 특정 위치에서 무작위로 추출, 이를 병행하여 시료를 채취하였으며, 이 시료를 가지고 오븐식 건조방법과 Protimeter 함수율 측정기를 사용하여 시료의 습수율의 측정을 병행하였다. 습수율 측정 시간은 초반에는 1시간마다 측정하였으나, 습수율 변화가 뚜렷하지 않아 저녁엔 2시간 간격, 밤에는 3시간 간격으로 측정하였다.

② 2차 乾燥實驗

반입호퍼를 이용하여 사일로 내에 투입된 물벼의 양은 약 1 ton 정도 였으며 전과정을 거쳐 버킷엘리베이터를 통해 순환시키지 않고 시료를 추출하여 기의 측정을 3회 실시하였으며 시료채취 또한 1차 실험과 달리 측정 지점을 일정하게 한 뒤 시료채취기를 이용해 사일로내의 상층, 중층, 하층의 세 지역에서 채취한 시료를 가지고 습수율 측정을 하였고, 각 층간의 습수율 차이와 변화를 분석하여 攪拌機의 성능과 건조특성을 조사하고자 하였다. 측정 시간은 주간과 야간 동일하게 3시간마다 습수율 변화를 측정하였다.

③ 3차 乾燥實驗

사일로 내에 투입된 곡물의 양은 약 1.5 ton 정도이고 미숙립을 많이 포함하고 있었다.

실험 방법은 2차 때와 동일하고 여기에 한가지의 실험항목을 추가하였다. 즉, 건조시간에 따라 靜電容量式 온습도 측정기를 이용하여 사일로 내부와 외기의 온도와 습도를 측정하여 송풍기내로 투입되는 공기와 사일로 밖으로 배출되는 배출공기의 온도와 습도를 측정하면서 건조 현상을 관찰해 보았다.

4. 結果 및 考察

가. 사각 사일로 시스템의 特徵

본 사각사일로 시스템은 양곡보관창고를 산물 시설화로 개조하기 위해서 설계된 철판식 사각 사일로의 1/2 규모로 제작되었으며 곡물의 건조와 저장에 가능하도록 開發되었다 (사진 1). 開發된 모델 사각사일로의 주된 특징들은 다음과 같다: 1) 콘크리트 대신에 철판으로 제작하였기 때문에 설치 및 관리가 용이하고 이동식으로 되어 있어서 사용하기가 편리하다. 2) 곡물의 습수율 자동측정장치를 부착하였기 때문에 곡물을 적정수준으로 건조할 수 있을 뿐 아니라 저장중에도 곡물의 습수율을 자동으로 측정할 수 있다. 3) 사각 사일리에 攪拌機를 설치하여 건조중에 곡물을 교반시켜 줌으로써, 상, 하층간의 습수율 차이를 최소화시키면서 곡물을 균일하게 건조할 수 있도록 하였다. 또한 곡물 저장중에도 필요시에 곡물을 골고루 섞어줌으로써 곡물을 안전하게 저장할 수 있도록 하였다. 4) 사각 사일리에 뚜껑을 설치함으로써 분진을 막고 집진이 가능하도록 하였다. 5) 사각 사일로 내부의 모서리는 각이 지지않도록 하여 곡물이 부패하지 않도록 하였다. 6) 사일로의 공기실과 내부에 御할 수 있도록 하였다. 7) 온도센서와 함수율 측정센서로부터 얻어지는 신호를 기초로 송풍기, 히터, 攪拌機 등의 장치들을 수동 또는 자동으로 制御할 수 있도록 하였다. 8) 사각 사일로로부터 곡

물의 배출은 방향성 다공철판과 송풍기에 의해 풍력으로 이루지도록 되어 있다.



Fig. 6. The developed square silo system.

나. 사각 사일로 시스템의 乾燥性能

1) 乾燥特性

開發된 사각 사일로에서 건조온도를 30℃로 고정하여 1차 건조실험을 3회 반복하여 실시하였으며, 건조시간과 사일로내의 위치에 따라 곡물의 含水率이 CS-5H 자동含水율측정기와 전기오븐에 의해서 동시에 측정되어 비교되었다. 1차 건조실험에서 사용된 시료는 약 1.5톤으로 곡물 깊이는 약 63 cm이었다. CS-5H의 含水율측정기에 의해 측정된 곡물의 초기含水율은 19.4%이었으며 약 31시간 건조된 후 1차의 최종含水율은 약 15.2%이었다. 곡물이 攪拌機에 의해 골고루 섞이기 때문에 곡물층 전체가 건조대를 형성하면서 서서히 건조되었고 건조 후반에 본격적으로 含水率이 감소하기 시작하였으며 평균 乾燥率은 0.14 %/h 이었다. 그리고 CS-5H에 의해 측정된 含水率의 편차는 약 0.5%내 이었으며 전기오븐에 의해 含水率을 측정한 경우에는 그 편차가 더 적었다. 모든 건조실험에서 야간과 새

벽에는 전기히터(7 kW)의 용량 부족으로 사일로 공기실의 열풍온도가 30℃에 도달하지 못하고 20~23℃에 도달하였다. 이에 히터의 용량 증가가 추가로 요구되었다.

2차와 3차 건조실험에는 건조중 攪拌機의 효과를 조사하기 위해서 일정시간 간격으로 CS-5H 含水율측정기로 곡물의 상층, 중층, 하층의 含水率을 측정하였으며 또한 전기오븐과 간이 전기저항식 Protimeter로 含水率을 측정하여 비교하였다. 곡물의 상층, 중층, 하층에서 CS-5H 含水율측정기로 측정된 含水率은 편차가 약 0.5%이내로 곡물이 攪拌機에 의해 잘 교반되는 것으로 나타났다. CS-5H의 含水율측정기에 의해 측정된 含水率은 전기오븐에 의해 측정된 含水율과 거의 일치하였으며 Protimeter에 의해 측정된 含水率은 이들 含水率에 비해 약 1%정도 낮게 나타내는 경향을 보였다. 2차 건조실험에 사용된 시료의 무게는 약 1톤 이었고, 초기 含水率은 약 20%이었으며 18시간후 최종含水율은 약 15%이었다. 이때 평균 含水率 乾燥률은 약 0.27 %/h 이었다.

3차 건조실험에 사용된 시료의 무게는 약 1.5톤으로 전기오븐에 의해 측정된 초기含水율은 약 26%이었고 CS-5H로 含水율측정기로 측정된 초기含水율은 28%, Protimeter로 측정된 초기含水율은 약 24%로 나타내었다. 시료의 초기含水율은 측정방법에 따라 큰 편차를 나타냈는데 건조가 경과됨에 따라 전기오븐식과 CS-5H 含水율측정기에 의해 측정된 含水率은 거의 일치하였으며 protimeter에 의해 측정된 含水率은 이들 수치에 비해 낮게 나타났다. 최종 含水율은 약 24시간이 경과한 후에 약 15%의 含水率에 도달하였다. 3차 건조실험에서 사일로내의 곡온과 상대습도의 변화 그리고 대기온과 대기 상대습도의 변화를 조사한 결과 건조중 곡물의 온도는 약 18~20℃에서 분포하였고 곡물의 平衡相對濕度는 주간에는 약 83% 야간에는 약 95%를 나타냈다. 건조 완료시(약 15%)에는 곡온이 20℃로 증가하였으며 곡물의 평형상대습도는 약 60% 수준으로 감소하였다. 이같은 결과로 볼때

곡물의 온도와 평형상대습도를 알음으로써 곡물의 건조 정도를 예측할 수 있었다.

2) 穀溫과 含水率의 變化

가) 穀溫의 變化

벼의 온도는 건조초기에는 약 13°C이나 건조시간이 지남에 따라 일정 수준까지 점차로 증가하였다. 건조중에는 등엔탈피 과정을 겪게 되므로 일정한 온도를 유지하면서 건조가 끝나면 열풍온도에 접근하였다. 3차에 걸친 건조실험에서 공통적으로 사일로가 외부에 설치되어 곡물의 온도는 낮에는 대기온의 영향을 받아 증가하였으나 건조중에는攪拌機에 의해 곡물이 골고루 섞이기 때문에 곡물 상층과 하층간에 곡온의 차이는 없었다.(그림 7에서 'middle'은 사일로의 중심부 위치를 나타낸 것으로서 곡물의 상층부를 뜻하며 'bottom'은 사일로 밑부분으로 곡물의 하층부를 뜻함).

그림 7은 1차 건조시 곡온의 변화와 사일로 공기실의 온도변화를 나타낸 것이다. 곡물의 온도는 사일로에 보조열원으로 설치된 전기히터에 의해 가온된 공기실 열풍의 온도에 비례하였으나 대체로 건조중에는 일정한 온도를 유지하였다. 2차 건조실험에서는, 건조실험을 낮에 시작하였기 때문에 곡온과 열풍온도가 초기에는 높다가 곡온은 점차로 일정하게 유지하였으며 열풍의 온도는 대기온의 영향을 받아 1차 건조때보다 약 2°C 정도 떨어졌다. 사각사일로에 보조열원으로 설치된 가열기(7 kW)는 약 5°C의 가온능력 뿐이므로 밤에 열풍의 온도를 높이기 위해서는 경유버너 등의 발열량이 높은 가열기를 필요로 했다. 벼의 3차 건조실험에서는 시료에 未熟粒이 많이 함유되어 있어서 곡온의 변화가 건조중 일정치 않았고 대기온의 영향을 많이 받았다. 3차 건조실험에서도 곡물의 상,하층간의 穀溫의 差異는 없었다.

나) 含水率 變化

곡물 건조중에 가장 중요한 요인으로 乾燥速度와 含水率이다. 적정 건조속도에서 過乾燥되지 않고 균일하게 일정수준으로 건조되는 것이

중요하다. 그러므로 사각 사일로에서 벼 건조중에 含水率의 變化를 조사하였다. 그림 8은 2차 건조실험에서 CS-5H 함수율측정기와 표준측정방법인 전기오븐식으로 곡물의 含水率을 건조시간에 따라 측정된 것이다. 건조초기에는 두 방법간에 含水率의 차이가 있었으나 건조가 됨에 따라 거의 일치하였다. 따라서 사각사일로에 부착된 CS-5H의 함수율측정기로 곡물 건조중에도 곡물의 含水率을 연속적으로 측정할 수 있으며, 설정된 含水率에 따라 팬, 히터 및攪拌機 등을 자동으로 制御할 수 있었다. 그리고 건조초기와 중반에는 건조후반에 비해 含水率이 완만하게 감소하였다. 건조속도는 1차 건조실험에서는 含水率이 약 20%인 벼 1.5톤을 약 26시간만에 含水率 15% 수준으로 건조하였고, 2차 건조실

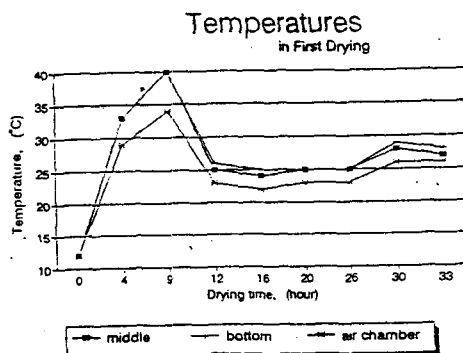


Fig. 7. Temperature changes at different locations in the first drying experiment of rough rice in square silo.

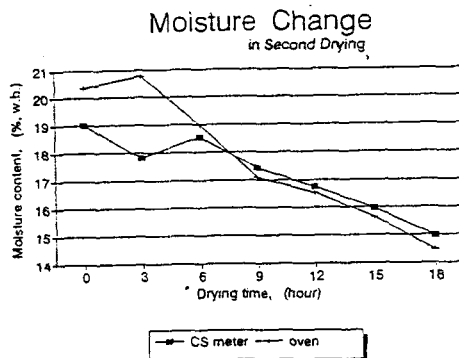


Fig. 8. Comparison of moisture content measured by a moisture meter and an oven method in the second drying experiment of rough rice.

험에는 약 20%의 벼 약 1톤을 18시간만에, 3차 건조실험에서는 미숙립을 많이 포함한 24%의 벼 1.5톤을 15% 수준으로 약 26시간만에 건조하였다. 이때의 습수율 乾減率은 모두 0.2~0.3%/h 내외로서 건조시 안전 건감률 1%보다 훨씬 낮았다.

다) 穀物 攪拌機의 效果

곡물 건조중에 攪拌機를 사용하여 곡물을 골고루 섞어주면서 과건조를 막고 곡물 전체가 건조대를 형성하면서 균일하게 건조할 수 있었다. 攪拌機의 오거는 약 10 RPM으로 저속 회전하면서, 약 2시간만에 사일로의 한쪽에서 대각선 방향의 다른 모서리쪽으로 이동하면서 교반하도록 되어 있다. 2차 건조실험에서 그림 9는 건조중에 CS-5H 습수율측정기를 사용하여 곡물의 상층, 중층, 하층의 습수율을 건조시간별로 측정 비교한 것이며, 그림10은 전기오븐 방식에 의해 곡물 상·중·하층의 습수율을 비교한 것이다. 세차례의 건조실험에서 공통적으로 건조 초기에는 상층과 하층간에 약 1% 수준의 습수율 차이가 있었으나 건조 중반기 이후부터는 상·하층의 습수율 차이가 약 0.5% 내외로서 곡물이 均一하게 건조되었다.

라) 습수율 測定器의 性能

곡물 건조중 습수율을 정확하게 측정하는 것은 매우 중요하다. 이에 2차 건조실험에서 곡물의 하층, 중층, 상층에서 채취한 시료의 습수율을 CS-5H 습수율측정기, Protimeter 그리고 전기오븐식에 의해 측정하여 그림 11, 12, 13과 같이 비교하였다.

일반적으로 CS-5H 습수율측정기에 의해 측정된 습수율은 전기오븐식에 의해 측정된 습수율에 비해 건조 초기에는 약 1% 정도의 偏差가 있었으며 건조 중반기후에는 약 0.5%의 偏差가 있었다. 그러나 Protimeter로 측정된 습수율은 전기오븐식에 의해 측정된 습수율에 비해 전반적으로 낮게 나타났다. 그림 11은 2차 건조실험에서 곡물 하층의 습수율을 측정된 것인데 건조 초기에는 전기오븐식에 의한 습수율이 CS-5H 습수율측정기와 Protimeter에 의해 측정된 습수

率보다 높게 나타났는데 이 이유로는 건조초기에 벼표면에 수분이 凝縮되어 전기오븐식의 습수율이 높게 나타나는 것으로 추정된다. 그러나 그림 11 뿐만 아니라 그림 12와 그림 13에서도 건조 중반기 이후부터는 CS-5H 습수율측정기에 의한 습수율은 전기오븐식에 의한 습수율과 거의 일치하였다.

이와같은 결과로 볼때, 사각 사일로에 설치한 CS-5H 습수율측정기로 곡물의 습수율을 건조중에 연속적으로 측정하여 부속장치들을 자동제어함으로써 곡물을 안전하게 건조할 수 있으리라 생각된다.

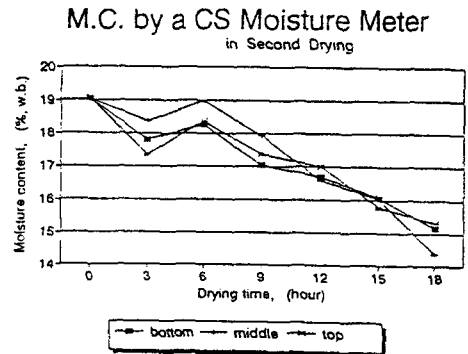


Fig. 9. Moisture content measured by a CS moisture meter at different locations in the second drying experiment.

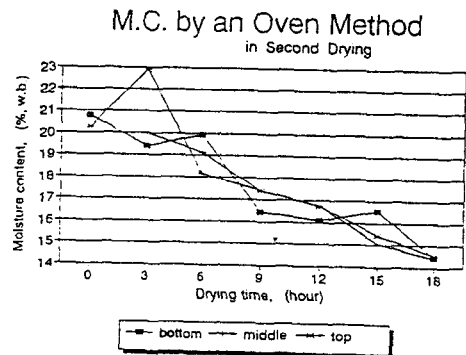


Fig. 10. Moisture content measured by an oven method at different location in the second drying experiment.

5. 要約 및 結論

양곡 보관창고의 산물시설화를 위한 곡물 乾燥貯藏施設의 기본 설계방안을 제시하였고 이 설계방안에 따라 철제 사각 사일로 시스템을 설계하였다. 이 설계를 기초로 하여 실제의 1/2 규 모로 철제형의 모델 사각 사일로를 開發하였고, 이 사각 사일로 시스템의 性能評價를 위하여 비건조실험을 실시하였다. 본 연구의 結論은 다음과 같다.

1. 糧穀保管倉庫의 산물시설화를 위해서 곡물 乾燥貯藏施設의 설계방안을 제시하였으며 그 설계안에 따라 모델식 철제 사각 사일로 시스템을 開發하였다. 開發된 모델식 사각 사일로의 特徵은 1) 攪拌機 설치, 2) 자동 함수율측정기 설치, 3) 열풍온도 자동제어장치 설치, 4) 곡물 순환 가능, 5) 사일로 뚜껑 설치로 집진 가능, 6) 사일로내 모서리부 굴곡화, 7) 풍력으로 곡물 자동배출, 7) 곡온과 습수率에 기초한 장치들의 자동제어 등이다.

2. 開發된 사각 사일로 시스템을 사용한 3차의 비건조실험에서 건감률 약 0.2~0.3%/h으로 과 건조 없이 곡물을 균일하게 건조할 수 있었다. 그리고 건조중 곡온과 곡물의 平衡相對濕度로서 곡물의 건조상태를 예측할 수 있었다. 곡물의 온도는 사일로그 외부에 설치되어 낮에는 대기온의 영향을 받아 약간 증가하였으나 건조중에는 일정한 곡온을 유지했으며 건조 후반기에는 穀溫은 증가하고 平衡相對濕度는 감소하였다.

3. 건조중에 곡물 攪拌機의 연속적 작동으로 인하여 곡온이 곡물 상층과 하층간에 거의 차이가 없었다. 습수率 역시 건조 초기에는 상층과 하층간에 약 1% 수준의 습수率 차이가 있었으나 건조 중반기 이후부터는 상·하층의 습수率 차이가 약 0.5% 내외로서 곡물이 손상되지 않고 균일하게 건조할 수 있었다.

4. 사각 사일로그에 부착된 CS-5H 함수율측정기에 의해 측정된 습수率은 전기오븐식에 의해 측정된 습수率에 비해 건조초기에는 약 1% 정도의 편차가 있었으나 건조 중반이후에는 약 0.5

M.C. at Bottom Layer
in Second Drying

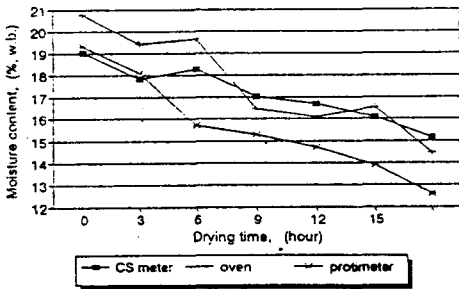


Fig. 11. Comparison of moisture content measured by a CS meter, an oven method and a protimeter at the bottom layer in the second drying experiment.

M.C. at Top Layer
in Second Drying

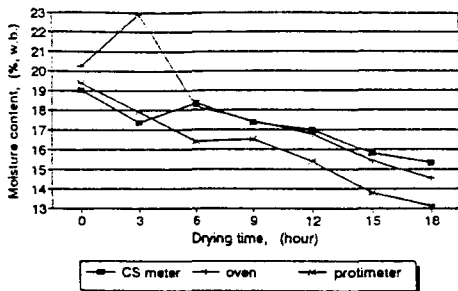


Fig. 12. Comparison of moisture content measured by a CS meter, an oven method and a protimeter at the middle layer in the second drying experiment.

M.C. at Middle Layer
in Second Drying

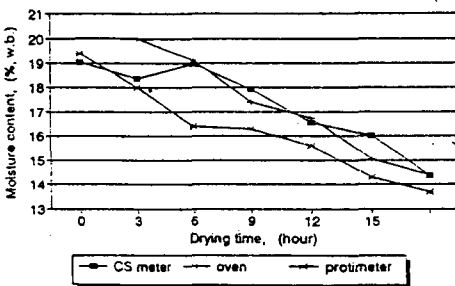


Fig. 13. Comparison of moisture content measured by a CS meter, an oven method and a protimeter at the top layer in the second drying experiment.

% 이내의 편차를 보여 곡물의 습水率을 비교적 정확하게 연속적으로 측정할 수 있었다.

5. 온도 센서와 함수율측정기의 신호에 따라 팬, 히터,攪拌機 등의 장치들이 수동 또는 자동으로 制御되도록 開發된 본 철제식 사각 사일로 시스템은 양곡보관창고를 개조하기 위한 산물식 곡물 乾燥貯藏施設의 기초모델로서 응용될 수 있으리라 생각되며, 이에 대한 경제성 분석이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 고헌균, 금동혁 외 5인, 1990. 농산가공기계학. 향문사
2. 농림수산부, 양정업무현황, 1991.
3. 농림수산통계연보, 1990. 농림수산부.
4. 농협연감, 1990. 농업협동조합.
5. 이봉진 외 6인, 1972. 미곡 Rice Center Plant의 기본설계. 한국과학기술연구소.
6. 정종훈 외 5인, 1992. 전라남도 농산물 가공산업 육성에 관한 조사연구. 전라남도 용역 연구보고서, 전남대학교 농과대학.
7. 한국과학기술연구소, 1980. 양곡 보관창고 개선 방안 연구(VI)-시험용 산물 저장고의 개발 및 운용.
8. 한국과학기술원, 1987. 미곡의 종합처리 가공 기술 개발에 관한 연구.
9. M. L. Reimbert and A. M. Reimbert, 1976. Silos and Theory and Practice. Trans Tech Publication.