

糧穀保管倉庫의 產物施設化를 위한  
穀物 乾燥貯藏施設의 開發<sup>+</sup>  
- 사각 사일로 시스템 -

Development of a grain drying and storage system  
for bulk facilities of grain custody warehouse  
- Square Silo System -

정 종 훈\*  
J. H. Chung

유 수 남\*  
S. N. You

## 1. 서론

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 재포장시 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 절감할 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 활성화 되어야 하며 기존의 정부, 농협 및 도정공장의 양곡 보관창고들은 산물 건조저장이 가능하도록 시설의 改造가 바람직하다. 따라서 이들 노후된 포대저장식의 재래식 보관창고를 과감히 산물식 乾燥貯藏施設 형태인 사각 사일로 시스템으로 대체하기 위해서, 보관창고의 產物 施設化에 대한 研究가 절실히 요청되어 이 사일로 시스템을 設計, 開發하였다.

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 산물 乾燥貯藏施設로서의 그 시스템의 건조성능을 구명하고자 하였다.

---

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

\* 全南大學校 農科大學 農工學科

## 2. 재료 및 방법

양곡보관창고의 산물시설화를 위해서 設計方案과 設計基準을 다음과 제시하였으며 이에 기초하여 배치도를 작성하고 사각사일로의 역학적 구조를 분석하였다. 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 설계하였다. 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

본 연구에서는 조립식 철제 사각 사일로 시스템을 산물 乾燥貯藏施設의 적정 형태로 선정하여 하나의 모델을 開發하였다. 기존 양곡창고의 산물저장시설화를 위해서 조립식 철제 사각 사일로 시스템(그림 1)을 100평 기준의 양곡창고에 알맞게 규격화하여 설계하였다. 開發된 조립식의 철제 사각 사일로 시스템은 가) 철제 사각 사일로, 나) 送風施設, 다) 입고고시설, 라) 計測 및 制御 施設, 마) 攪拌裝置 등 기타시설로 구성하였다. 특히, 사일로 벽철판의 두께는 벼의 물리적 특성과 Reimbert의 사일로 설계이론에 입각하여 결정하였다.

- 곡물의 수직압력(vertical pressure of grain on the bottom):

$$q_z = \{ Q_z - F_z \} / S = BD \{ z * (z/A + 1)^{-1} + H/3 \}$$

- 곡물의 측압(horizontal thrust of grain on the wall):

$$p_z = p_{z, \max} * [1 - ((z + A)/A)^{-2}]$$

$$p_{z, \max} = BD * r / \tan(\text{PIW})$$

A: 특성계수 (Value of Characteristic Abscissa)

$$A = L * [4 * 3.141592 * \tan(\text{PIW}) * \{\tan(45^\circ - \text{PII}/2)\}^2]^{-1} - H/3$$

- 곡물의 벽 저항력(friction force of grain on the wall)

$$F_z = BD * r * z^2 / (z + A)$$

- 사각 사일로의 벽 철판두께:

- 1) 곡물의 측압을 근거로 하여 철판두께를 계산할 경우

(보통 곡물의 깊이가 10 m 이하일때 유효)

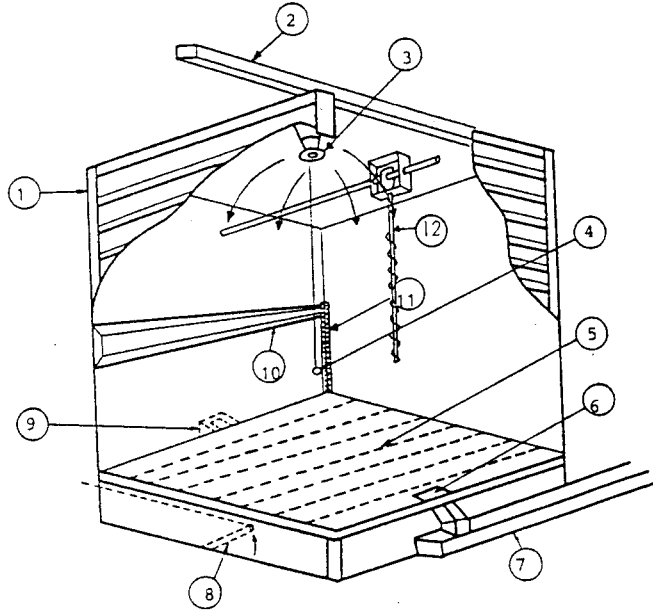
$$\text{철판 두께(cm), } e = p_z * R / (100 * \text{MS})$$

- 2) 곡물의 벽 저항력을 근거로 하여 벽 두께를 계산할 경우

(곡물의 깊이가 10 m 이상일 경우 유효)

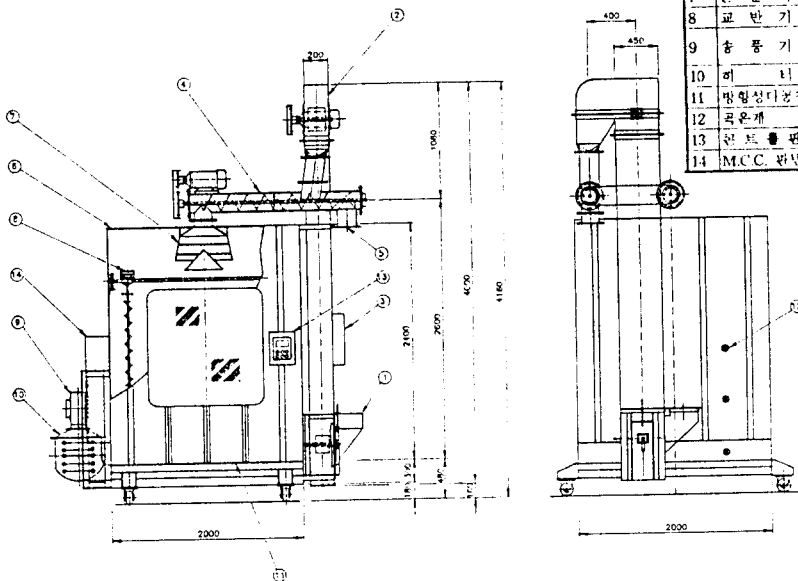
$$\text{철판 두께(cm), } e = F_z / (100 * \text{MS})$$

여기서,  $q_z$  : 곡물의 수직압력 ( $\text{kg/m}^2$ ),  $Q_z$  : 곡물의 총 수직하중 (kg)  
 $p_z$  : 곡물의 측압 ( $\text{kg/m}^2$ ),  $F_z$  : 곡물의 벽 저항력 (kg)  
 BD : 곡물의 산물밀도 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $z$  : 곡물의 깊이 (m)  
 S : 사각 사일로의 단면적 ( $\text{m}^2$ ), L : 사각 사일로의 둘레 (m)  
 $r = S / L$ ,  $H = R * \tan(\text{PIR})$ , R : 사일로 수력학적 반지름  
 PIR: 곡물의 안식각(deg), PII: 곡물의 내부마찰각(deg)  
 PIW: 곡물의 벽 마찰각(deg), A : 특성계수  
 MS : 철판의 최대 인장응력 ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 e : 철판의 두께 (cm)



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

Fig 1. A cross section of a square silo



NO	DESCRIPTION	MATL	SIZE	QTY	W-T	REMARKS
1	곡물받입구	SS41	8 m <sup>3</sup>	1		
2	곡물송장기	SS41	1HP×1/20	1		
3	수분측정기	SS41		1		
4	스피린베이어	SS41	0.5HP×1/10	1		
5	곡물받출구	SS41		1		
6	곡물저장파이프	SS41		1		
7	관 분기	SS41		1		
8	교반기	SS41	0.3HP×1/60	1		
9	송풍기	SS41	3HP×1750rpm	1		3대 40m <sup>3</sup> /min 45mmAq
10	리터	SS41	7Kw	1		0.7Kw - 10EA
11	방열실리콘절판	SS41		1		
12	곡온계		0℃ ~ 1750℃	3		
13	원트출판	SS41		1		
14	M.C.C. 판넬	SS41		1		

Fig. 2 A design drawing of a square silo system.

## 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 2). 이 모델 사각 사일로는 건조와 저장이 가능하도록 제작하였으며, 건조능력은 약 2톤/회 이고, 저장능력은 약 5톤/회 이다. 또한 기존의 사각빈 乾燥貯藏施設의 문제점을 보완하였다. 예를들어, 1) 사각 사일로의 뚜껑을 만들어 설치함으로써 기존 시설의 분진 현상을 없앴고, 2) 곡물의 균일한 건조와 안전 저장을 위해 곡물을 골고루 섞어 줄 수 있는 교반장치를 설치하였으며, 3) 원하는 含水率까지 버를 건조하고 저장중에도 곡물의 含水率을 자동 및 연속적으로 측정할 수 있는 곡물의 含水率 자동측정장치를 설치하였다.

이 모델 사각 사일로 시스템의 구성요소는 1) 철제 사각 사일로, 2) 송풍장치 및 가열장치, 3) 교반장치, 4) 含水率 자동측정장치, 5) 입,출고장치, 6) 計測 및 制御 장치, 7) PLC 동력 제어반 등 이었다.

## 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 含水率이 14%까지 계속해서 저온열풍 건조하였다. 자연풍통 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 꺼진다. 풍량은 가장 더운 오후 2시경에 최대로 하였으며, 밤에는 기온이 내려감에 따라 저풍량으로 건조하는 방법을 택했다. 또한 공기실, 사일로 상,하부의 온도는 사일로 내부에 설치한 온도 감지센서를 이용하여 측정하였다. 含水率 측정 방법으로 오븐 측정, Protimeter를 이용한 측정, 그리고 사일로의 벅킷 엘리베이터에 부착되어 있는 含水率 측정기에 의해서 자동측정 및 기외 수동측정을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 사각 사일로 시스템의 特徵

본 사각사일로 시스템은 양곡보관창고를 산물시설화로 개조하기 위해서 설계된 철판식 사각사일로의 1/2 규모로 제작되었으며 곡물의 건조와 저장이 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 含水率 자동측정장치를 부착하였기 때문에 곡물을 적정수준으로 건조할 수 있을 뿐 아니라 저장중에도 곡물의 含水率을 자동으로 측정할 수 있다. 3) 사각 사일로는 攪拌機를 설치하여 건조중에 곡물을 교반시켜 줌으로써, 상, 하층간의 含水率 차이를 최소화시키면서 곡물을 균일하게 건조할 수 있도록 하였다. 또한 곡물 저장중에도 필요시에 곡물을 골고루 섞어줌으로써 곡물을 안전하게 저장할 수 있도록 하였다. 4) 사각 사일로는 뚜껑을 설치함으로써 분진을 막고 집진이 가능하도록 하였다. 5) 사각 사일로 내부의 모서리는 각이 지지않도록 하여 곡물이 부패하지 않도록 하였다. 6) 사일로의 공기실과 내부에 온도 측정센서를 설치하여 건조공기의 온도와 곡물의 온도를 측정

하여 히터를 자동으로 制御할 수 있도록 하였다. 7) 온도센서와 함수율측정센서로부터 얻어지는 신호를 기초로 송풍기, 히터, 攪拌機 등의 장치들을 수동 또는 자동으로 制御할 수 있도록 하였다. 8) 사각 사일로로부터 곡물의 排出은 방향성 다공철판과 송풍기에 의해 풍력으로 이루지도록 되어 있다.

#### 나. 사각 사일로 시스템의 乾燥性能

開發된 사각 사일로에서 건조온도를 30 ℃로 고정하여 3회 반복하여 실시하였으며, 건조시간과 사일로내의 위치에 따라 곡물의 含水率이 CS-5H 자동함수율측정기와 전기오븐에 의해서 동시에 측정되어 비교되었다. 1차 건조실험에서 사용된 시료는 약 1.5톤으로 곡물 깊이는 약 63 cm이었다. CS-5H의 함수율측정기에 의해 측정된 곡물의 초기함수율은 19.4%이었으며 약 31시간 건조된 후 4의 최종함수율은 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 새벽에는 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 함수율측정기로 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 함수율측정기로 측정된 含水率은 편차가 약 0.5%이내로 곡물이 攪拌機에 의해 잘 교반되는 것으로 나타났다. CS-5H의 함수율측정기에 의해 측정된 含水率은 전기오븐에 의해 측정된 함수율과 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 최종함수율은 약 15%이었다. 이때 평균 含水率 건감률은 약 0.27 %/h 이었다

3차 건조실험에 사용된 시료의 무게는 약 1.5톤으로 전기오븐에 의해 측정된 초기함수율은 약 26%이었고 CS-5H로 함수율측정기로 측정된 초기함수율은 28%, Protimeter로 측정된 초기함수율은 약 24%로 나타내었다. 시료의 초기함수율은 측정방법에 따라 큰 편차를 나타냈는데 건조가 경과됨에 따라 전기오븐식과 CS-5H 함수율측정기에 의해 측정된 含水率은 거의 일치하였으며 protimeter에 의해 측정된 含水率은 이들 수치에 비해 낮게 나타났다. 최종 含水率은 약 24시간이 경과한 후에 약 15%의 含水率에 도달하였다. 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.

#### 4. 요약 및 결론

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 규모로 철제형의 모델 사각 사일로를 開發하였고, 이 사각 사일로 시스템의

性能評價를 위하여 벼 건조실험을 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 含水率에 기초한 장치들의 자동제어 등이다.

2. 開發된 사각 사일로 시스템을 사용한 3차의 벼 건조실험에서 건감률 약 0.2-0.3%/h으로 과건조 없이 곡물을 균일하게 건조할 수 있었다. 그리고 건조중 곡온과 곡물의 平衡相對濕度로서 곡물의 건조상태를 예측할 수 있었다. 곡물의 온도는 사일로가 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. 含水率 역시 건조 초기에는 상층과 하층간에 약 1% 수준의 含水率 차이가 있었으나 건조 중반기 이후부터는 상, 하층의 含水率 차이가 약 0.5% 내외로서 곡물이 손상되지 않고 균일하게 건조할 수 있었다.

4. 사각 사일로에 부착된 CS-5H 함수율측정기에 의해 측정된 含水率은 전기오븐식에 의해 측정된 含水率에 비해 건조초기에는 약 1% 정도의 편차가 있었으나 건조 중반이후에는 약 0.5%이내의 편차를 보여 곡물의 含水率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 모델로서 응용될 수 있으리라 생각된다.

## 5. 참고문헌

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 (IV) - 시험용 산물 저장고의 개발 및 운용.
8. 한국과학기술원, 1987. 미곡의 종합처리 가공기술 개발에 관한 연구.
9. M. L. Reimbert and A. M. Reimbert, 1976. Silos and Theory and Practice. Trans Tech Publication.