

한국에 있어서 米穀의 乾燥 및 貯藏을 위한
시스템의 모델 개발 및 적정규모 선정에 관한 연구(I)

—모델 시스템의 Layout 및 설계—

朴 京 圭

慶北大學校 農工學科

Modeling and Optimization of Rice Drying
and Storage System in Korea(I)

—Layout and Design of Model System—

Kyung-Kyoo, Park

Summary

In order to improve the traditional post harvest system in Korea, a model for mechanized grain drying and storage facilities was developed. Also, a computer program for the model system was developed.

For the study, flat type steel bin and circulation type dryer were selected for the model and Fortran language was used for the computer program. This program was tested by using various practical data.

The following results were obtained from the study:

1. The general model developed can be used for designing a rough rice drying and storage facility within the range from 100 ton to 1000 ton capacity.
2. Major output of the computer program for designing a model system were as follow;
 - a. The dimension of the plant.
 - b. The storage bin size, dryer number and dryer size.
 - c. The dimension of individual equipment and its required HP.
 - d. Capital requirement and operating cost of the model system.

1. 序 論

現在 우리나라의 米穀 收護方法은 주로 논에서 벼를 機械 또는 人力으로 예취한 후 1 차로 논에서 태양熱로 乾燥하고 현장에서 탈곡하여, 집으로 운반해서 멩석위에서 含水率이 15% 정도까지 건조한 후 개인 農家別로 가마니에 넣어 貯藏한다. 또는 극히 일부이긴 하지만 콤바인으로 收護하여 건조기에서 乾

燥한후 가마니에 넣어 저장하기도 한다. 이후 農協에 수매하고, 수매된 곡물은 다시 平창고에 貯藏된 후 도정공장으로 옮겨져 도정이 되고 최종 소비자들에게 販賣가 된다. 그림(1)은 이와 같은 收護作業 시스템을 간략하게 도표로 나타낸 것이다.

이러한 관행작업 시스템에서는 우리가 잘 알고 있듯이 非合理的인 저장과 잦은 handling으로 상당량의 穀物 손실이 質的으로 또는 量的으로 일어나고

본 연구는 1983년 및 1984년도 한국과학재단 연구비 지원으로 수행된 것입니다.

있다. 또한 이 시스템은 많은 人力이 요구되고 있어 農民들의 農家 所得 증대를 위한 副業에 상당한 제약 가하고 있다. 이러한 곡물의 損失, 分散된 노동력 및 에너지의 손실을 줄이고 농민들에게 보다 많은 시간을 他生産으로 轉業할 수 있게 하기 위하여 그림(1)의 점선 부분에 상응하는 마을, 또는 지역단위의 종합적인 米穀의 건조 및 貯藏施設을생각할 수 있다(그림2 참조).

이와 같은 시스템은 미국등지에서는 이미 보편화

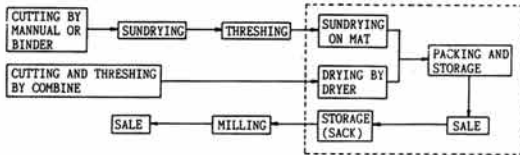


Figure 1. Process flow of traditional rice harvest, drying and storage system.

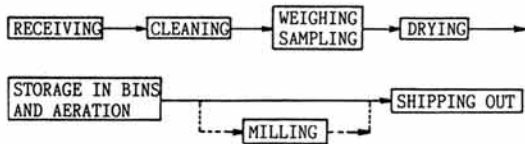


Figure 2. Process flow of mechanized grain drying and storage system.

되어 있고 이웃나라 일본에서도 상당히 普及되어 있다. 우리나라에서는 아직은, 자신이 收護한 것은 자신이 꼭 保管하여야 한다는, 남을 믿지 못하는 사고방식이 있어 實現되기에는 상당한 시간이 소요되리라 생각되지만 農業産業의 多變化에 따라 米穀의 복잡한 流通 과정을 단순화 시키고 농업기계화를 促進시키기 위해서는 하루 속히 이러한 機械化된 시스템으로 전환되어야 할 것이다. 그러나 이러한 시스템은 많은 施設物을 필요로 하며 상당한 投資費用이 든다. 또한 農家 또는 마을 단위 營農규모에 따라 시설물의 크기, 所要勞動力, 所要動力등이 다르며 또한 利用비용도 많은 차이가 있을 것이다. 그러나 아직 우리나라에서는 이러한 시스템에 대해서 연구가 되어 있지는 않고 있어 농업기계화 정책 수립에 많은 어려움을 주고 있다.

특히 관행시스템과 비교하여 경제성이 있는 규모의 결정은 매우 중요한 의미를 가진다 하겠다.

따라서 본연구는 우리나라의 米穀의 건조 및 저장 시스템의 적정규모 선정에 관한 前半部로

1) 우리나라의 마을 또는 지역단위의 종합적인 미곡건조 및 저장시설의 모델 시스템을 개발하고

2) 이 모델시스템을 근거로 이 시스템을 설계할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발함에 있다.

2. 乾燥 및 貯藏시스템 모델

2-1. 모델의 開發을 위한 假定

본 研究에서는 다음과 같은 몇가지 假定에 의하여 모델이 開發되었다.

1) 본 연구의 모델은 米穀의 건조 및 貯藏施設에 대한 것이지만 장래에 도정시설이 設置될 것을 고려하여 시스템을 설계하였다.

2) 곡물저장빈은 단위 體積당 설치비용이 低廉하고 장기간 저장에도 가능한 Flat type steel bin 을 선택하였다.

3) 곡물건조기는 우리나라 농가의 收護規模를 고려하여 循環式 乾燥機를 병렬로 설치하였다.

4) 본 모델에서 선택된 기기 및 시설들은 가능한 국내에서 生産되는 것으로 기준을 하였으나 國內 生産이 불가능한 것은 일본과 미국의 자료를 이용하였다.

5) 이러한 機械 및 施設의 規格, 容量, 所要갯수 및 所要動力등은 총 저장규모와 저장 빈의 수에 따라 변화되는 Variable Dimension 과 Fixed Dimension 으로 구분하였다.

표(1)은 모델의 개발에 인용된 주요기기의 제원과 제작회사이다.

2-2. 모델의 가공과정(Process Flow)

우리나라에서는 탈곡된 벼는 대략 18%내외의 含水率을 가지고 있으며 약간의 異物質들이 포함되어 있다. 따라서 搬入된 곡물은 장기간 저장에 알맞도록 精選하여 含水율과 무게를 정확히 測定하고 14% 정도로 건조를 하여야 한다.

그림(3)은 모델의 加工 공정을 나타낸 것이다.

포장에서 脫穀된 벼는 경운기 또는 트랙터로 운반되어 반입 hopper (item # 1)로 주입된다. 이 곡물은 버킷 엘리베이터(item # 2)를 통하여 정선기(item # 3)로 주입되고 여기에서 精選된 벼는 바로 아래 설치되어 있는 계량기(#4, 이하 item은 생략)로 投入되어 무게가 測定되며 水分測定機로 含水율이 측정되어지고 스크류 feeder (#5)와 버킷 엘리베이

Table 1. Source of system catalog and price quotation.

Item	Range of capacity and power requirement	Manufacturers
Receiving hopper	2-12 ton/hr	Hyupdong Engg Eunsung Ind. Co.
Receiving cleaner	2-12 ton/hr 0.56-3.75 Kw	Yanmar Agr. Equip. Co. Satake Co.
Bucket Elevator	2-12 ton/hr 0.19-3.75 Kw	Eunsung Ind. Co. Hyupdong Engg.
Screw conveyer	2-12 ton/hr 0.19-1.5 Kw	Eunsung Ind. Co. Hyupdong Ind. Co.
Drag conveyer	2-12 ton/hr 0.19-1.5 Kw	Eunsung Ind. Co. Hyupdong Engg.
Drier (circulation type)	2-12 ton/hr 0.19-1.5 Kw	Eunsung Ind. Co. Hyupdong Engg.
Storage Bin (Flat type steel bin)	27.5-449 M ³ 2.7-6.3 M. dia. 4.8-14.4 M. height	Butler Co.
Fan for areation	0.19-7.5 Kw	Butler Co.
Sweep Auger	2-12 ton/hr 0.56-3.75 Kw	Butler Co.

터(#6) 및 drag 콘베이어(#8)를 통하여 건조기로 투입되어 함수율이 15% 정도 될때까지 乾燥된다. 이때 건조기가 모두 作動중이면 holding bin(#7)에서 대기하게 된다. 건조가 完結된 곡물은 건조기 하부에 설치된 스크류 콘베이어(#10, #11)와 버킷 엘리베이터(#12)를 통하여 저장빈(#15)으로 투입되어 냉각 fan에 의해 냉각되어진 후 搬出될 때까지 저장되어진다(그림(3)의 실선 참조).

냉각 과정에서 곡물은 1%정도 含水率이 떨어지게 되어 최종적으로 함수율은 14%로 된다. 저장기간중 외부온도의 變化에 따라 fan에 의해 0.1cfm/bu (또는 0.08m³/m³-min)의 風量으로 공기 순환작업(aeration)이 수행된다. 이후 버는 곡물 소유자의 요청 또는 정부의 受買등에 의해 搬出되어지는데 반출 경로는 스크류 콘베이어(#19, #20), 버킷 엘리베이터(#12) 및 스크류 콘베이어(#21)를 통하여 정선기(#3)로 投入되어져 다시 정선되고, 계량기(#4)에 의해 무게가 測定되어진 후 버킷 엘리베이터(#6)를 통해 홀딩빈(#7)으로 보내진다. 홀딩 빈에서 최종적으로 包藏된후 搬出하게 된다(그림(3)의 파선 참조).

조).

2-3. 機械 및 施設의 basic layout.

곡물의 건조 및 저장용으로 設置되는 施設 및 기계들은 저장규모에 따라 規格과 數가 달라진다. 예를들면 저장빈의 직경, 높이, 갯수가 달라짐에 따라 저장빈의 위치, 저장빈으로 곡물을 올려주는 버킷 엘리베이터의 높이, 규격 그리고 콘베이어의 규격과 길이등이 달라진다. 따라서 본 모델은 컴퓨터를 이용하여 設計를 용이하게 하기 위하여 시설물의 配置를 X-Y-Z 좌표로 표시할 수 있게 하였다(그림(4)참조).

또한 저장빈이 2개 필요하면 그림(4)에서와 같이 Area(1)과 Area(2)에 bin이 설치되게 되고, 빈이 4개 필요하면 Area(1), (2), (3) 및 (4)에 빈이 設置되어진다. 그림(4)의 Building center에는 穀物の搬入호퍼, 정선기, 계량기, 건조기가 배치되어진다. 여기에서 정선기와 計量器는 저장규모가 달라져도 항상 1개가 설치되지만, 乾燥機는 건조될 곡물의 量에 따라 규격과 갯수가 달라진다. 따라서 저장빈과 마찬가지로 건조기가 1대 소요되면 건물내의 Dry-

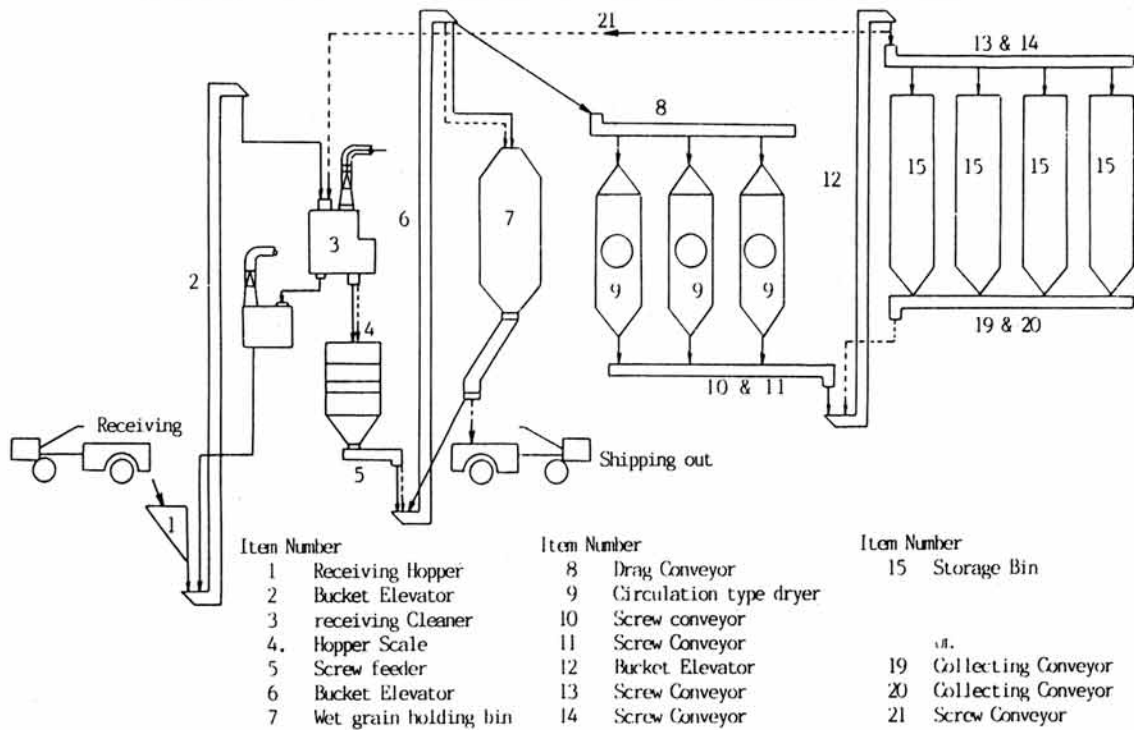


Fig. 3. Process flow diagram of grain drying and storage system of the model

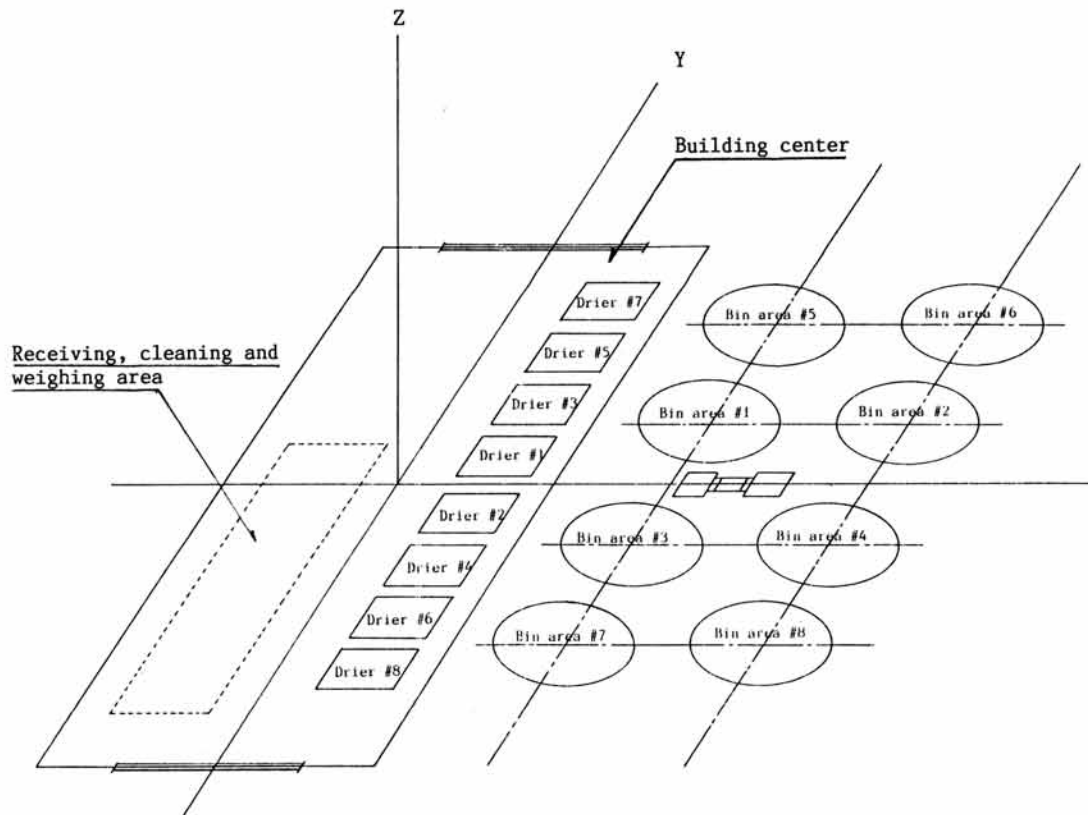


Fig. 4. Basic concept of system layout

er (1)에, 2개 소요되면 Dryer (1)과 Dryer (2)에 건조기가 配置된다. 또한 6개가 필요하면 dryer(1)에서 (6)까지 배치되게 된다. 乾燥機의 容量과 數는 모델의 설계용 컴퓨터 프로그램에 의해 決定되어진다(그림10 참조).

그림(5)는 벼가 搬入되어 精選, 計量 乾燥 및 貯藏이 될때의 흐름의 방향을 나타내고 그림(6)은 벼가 반출이 될 경우에 흐름의 방향을 보여주고 있다. 또한 그림(7)은 본 모델의 平面圖이고 그림(8)은 곡물의 반입 정선 및 계측되는 부분의 側面圖이다.

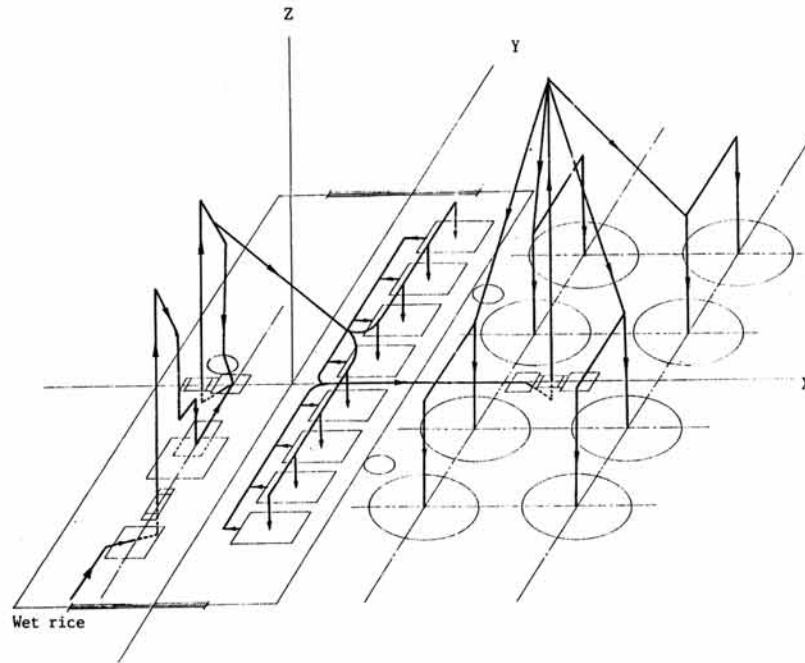


Fig. 5. Schematic flow of grain drying and storage of the model

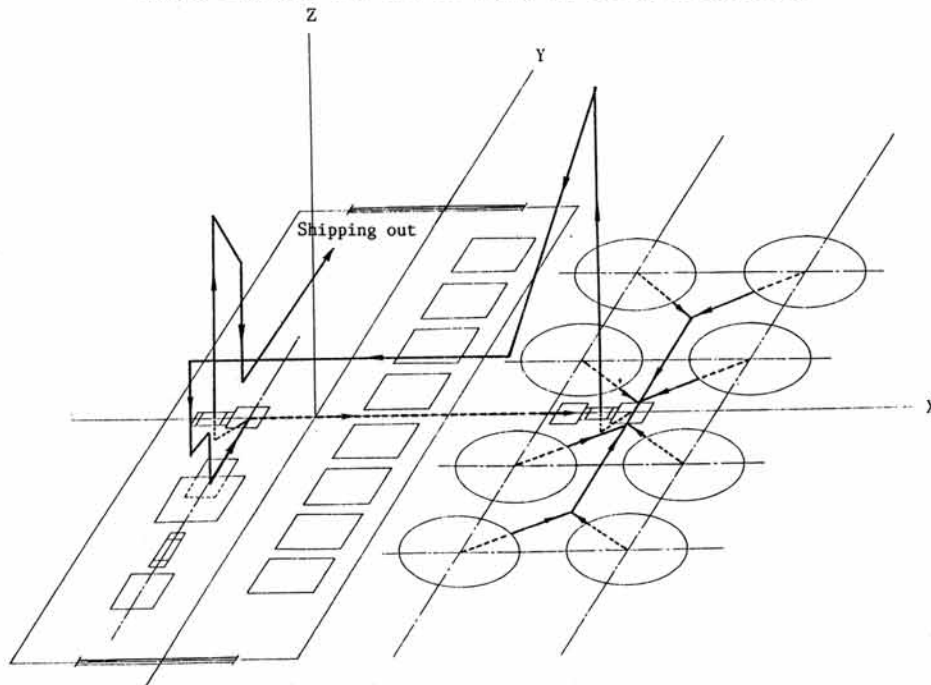


Fig. 6. Schematic flow of grain unloading system of the model

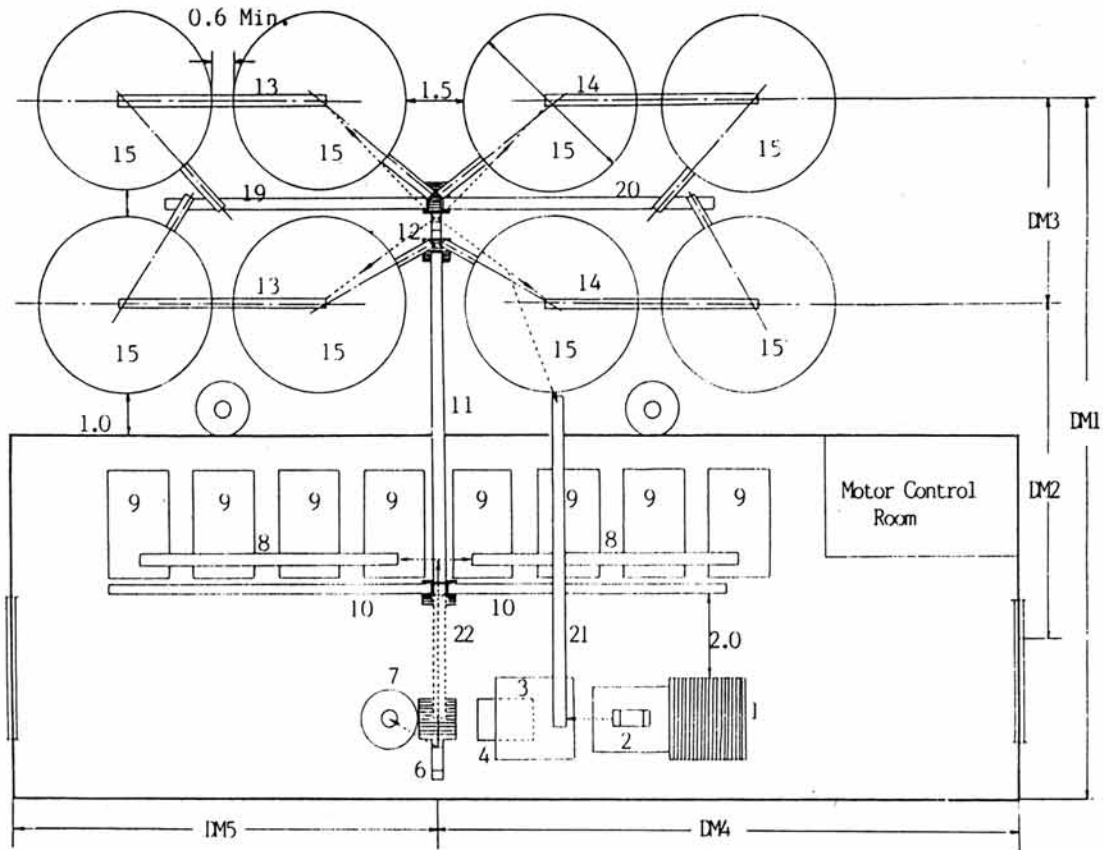


Fig. 7. Top view of the model

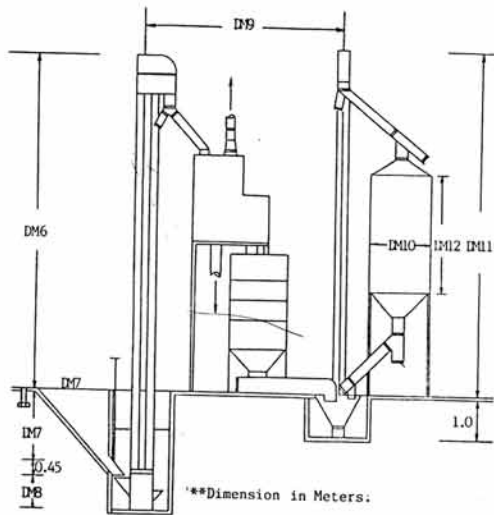


Fig. 8. Side view of grain receiving, cleaning and weighing system of the model.

3. 모델의 設計를 위한 Computer program

앞에서 개발된 모델은 실제 이용자들이 쉽게 設計할 수 있도록 FORTRAN을 이용하여 컴퓨터 프로그램을 開發하였다. 프로그램은 bin의 規格(높이, 직경), 각각 기기 및 시설의 規格, 所要動力, 전체적인 소요 燃料등이 output으로 나오게 개발되었다. 또한 주어진 input data에 대한 投資費用, 所要勞動費用, 作動費用 등 모든 비용이 산출되게 되어 있다. 費用算出 프로그램은 이후 모델의 이용비용분석(Part II)에서 개발된 비용산출의 수학적 모델을 프로그램화한 것이다. 이 프로그램에는 1개의 subprogram이 개발되어 있고 각각의 기기 및 시설의 자료가 기억되어 있다.

표(2)는 이상의 모델 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 要約한 것이다.

그림(9)은 이 프로그램의 대략적인 flow diagram이며 주 프로그램과 subprogram은 박(1985)를 참조 바란다. 그림(10)은 프로그램중의 일부인 건조기 規格 및 所要 갯수, 전기動力 및 燃料소모량 산출 프로그램이다.

Table 2. Program summary sheet.

Title	Computer Program for Grain Drying and Storage System Design
Program Language	Fortran IV
Author	Kyung-kyoo Park in collaboration with Hong-sun Yoon
Computer System	Cyber
Program Size	Object Code = 37000 Bytes Array area = 9100 Bytes No. of Cards = 1200
Estimate Run Time	0.84 seconds to compile 0.36 seconds to execute

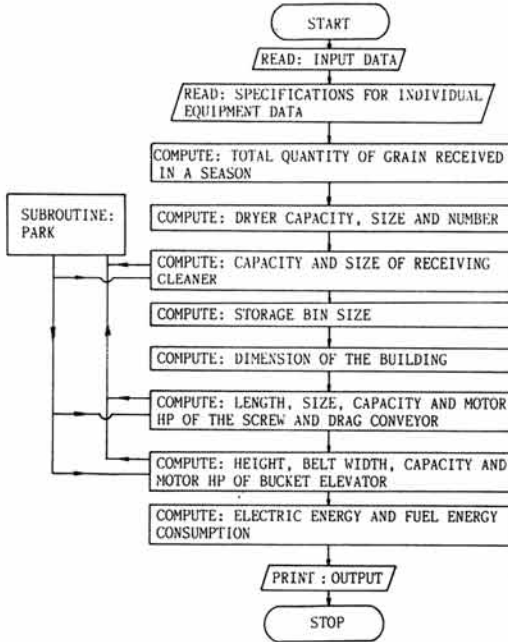


Fig. 9. Computer flow of model system design

3-1. Input data

9개의 input data가 모델의 설계 프로그램에 필요하며 그것은 다음과 같다.

CA : 대상지역 면적, ha

ALPA : 穀物乾燥 및 貯藏施設을 이용할 대상지역

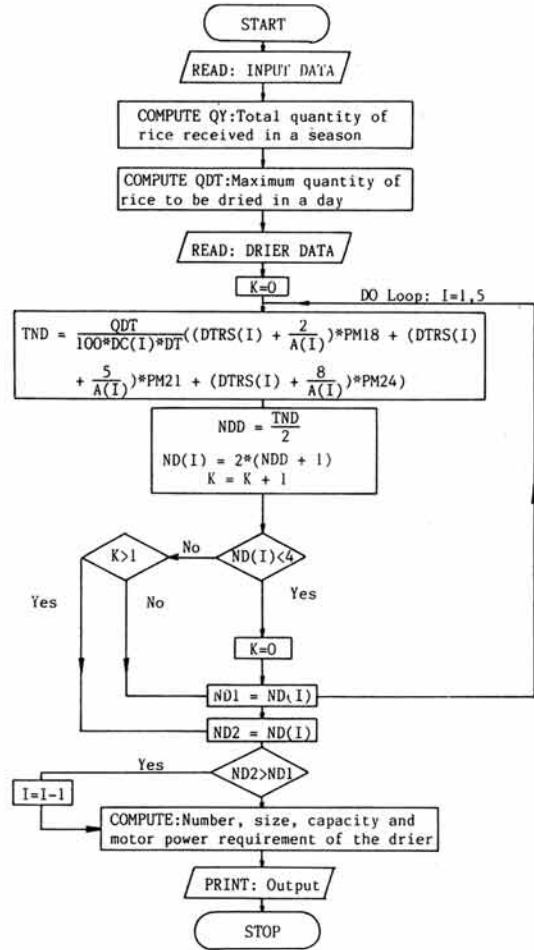


Fig. 10. Computer flow chart for dryer System design of the model

에 대한 %

PRPH : ha 당 생산량, ton/ha

DR : 收穫作業기간 (곡물이 모델 시스템에 搬入되어 오는 기간), 일(days)

DT : 모델의 1 일중 乾燥作業時間(hr)

PM24 : 搬入되는 곡물중 24% 내외의 含水율을 가진 곡물의 %.

PM21 : 반입되는 곡물중 21% 내외의 含水율을 가진 곡물의 %

PM18 : 반입되는 穀物中 18% 내외의 含水率을 가진 곡물의 %

NB : 저장 번의 數

3-2. Subprogram

모델의 설계용 프로그램을 보조하기 위해서 1개의 Subprogram이 개발되었다. 이 Subprogram은 "park"으로 명명되었다. 이 Subprogram의 主 기능은 모델의 주어진 容量에 알맞는, 소요되는 모든 기기 및 시설의 適正規格 선정과 所要動力을 선정하는 프로그램이다.

이외에 15개의 기기 및 기제의 자료가 모두 入力 되어 있어 앞에서 언급한 Subprogram "park"과 연 관되어 作動하게 되어 있다.

3-3. Program의 output

본 프로그램에 의한 주요 output은 다음과 같다.

- 1) 저장 bin의 배열, 직경, 높이.
- 2) Model에 소요되는 기기 및 시설물의 規格, 所要動力, 容量
- 3) 건물, 버킷 엘리베이터등의 높이

4) 주어진 input 자료에 의한 총 소요 투자 비용. 動力費用, 勞動費用, 作動費用, 여기에서 output 중 (4)는 Part II에서 수행된 비용분석 결과에 의해 算 出된 비용 계산의 수학적 모델을 본 프로그램에 입 력시킨 것이다.

3-4. 시스템 설계를 위한 컴퓨터 프로그램의 적용 예

벼의 경작면적이 약 110정보인 어느 지역에 곡물의 건조 및 저장을 위한 시설을 설계코자 한다. 단 위면적당 수확량은 4.5톤/정보이고 총수확기간이 30 일 정도이다. 24%의 함수율을 가진 벼가 총반입량 의 20% 정도이고, 21%의 함수율을 가진 벼는 30%, 18% 함수율을 가진 벼가 50% 정도이다. 저장빈의 수가 6개를 설치하려고 한다면 이 지역에 필요한 시스템의 설계를 위한 자료는 개발된 컴퓨터 프로그램에 의하여 산출할 수가 있으며 그 결과는 표(3) 과 같다.

Table 2. Computer output of the example problem

Item No.	Number	Specification
1	1	Receiving dump pit Capacity; 1.638 cu. m, Size; 1.7 x 1.7 sq. m
2	1	Bucket elevator Capacity; 4 ton/hr, Height; 10.2 m, Belt width; 145 mm, Motor Power; 0.56 Kw **Belt speed; 0.9 - 1.6 m/sec is recommended**
3	1	Receiving cleaner Capacity; 4 ton/hr, Height; 1.6 m, Motor power; 0.75 Kw
4	1	Receiving scale hopper Capacity; 100 kg/batch; 15 ton/hr, Height; 3.0 m
5	1	Screw feeder Length; 2.5 m, Screw diameter; 150 mm, Motor Power; 0.38 Kw
6	1	Bucket elevator Height; 10.45 m Belt width; 145 mm, Motor power; 0.56 Kw **2-way valve is mounted at the discharge spout**
7	1	Receiving grain holding bin Capacity; 2.5 ton/batch, Diameter; 1.5 m, Wall height; 3.0 m
8	2	Drag conveyer Length; 4.07 m, Flight diameter; 150 mm Motor power; 0.56 Kw **Grain is conveyed from bucket elevator(No. 7) to drag conveyer(No. 8) through gravity discharge spout and two way valve**
9	6	Dryer Capacity; 2.5 ton/batch, Length; 2930 mm, Width; 1535 mm, Height; 3460 mm Drying time; 1341.89 hours, Fuel consumption; 3925.04 litter/year Motor power; 1.88 Kw Electrical energy consumption; 2522.76 Kwh/year
10	2	Screw conveyer Capacity; 4 ton/hr, Length; 6.105 m, Screw diameter; 200 mm, Motor power; 0.56 Kw
11	1	Screw conveyer Capacity; 4 ton/hr, Length; 8.3 m, Screw diameter; 200 mm, Motor power; 0.56 Kw
12	1	Bucket elevator Height; 21.7 m, Belt width; 145 mm, Motor power; 1.1 Kw

Table 3. Computer output of the example problem.

		Screw conveyor Length; 5.1 m, Screw diameter; 200 mm	Motor power; 0.56 Kw
14	0	Screw conveyor ** Not necessary **	
15	6	Storage bin Type; Flat type bottom steel bin, Capacity; 152.604 cu. m, Diameter; 4.5 m, Wall height; 9.6 m	
16	6	Fan for aeration Type; Axial fan, Fan H.P.; 1.13 Kw ** Fan H.P. is calculated based on 0.2 CFM/BU. ** ** Static efficiency of 47 % is assumed **	
17	6	Sweep Auger Length; 2.2 m, Screw diameter; 150 mm	Motor Power; 3.75 Kw
18	6	Unloading auger Length; 3.6 m, Screw diameter; 200 mm	Motor power; 0.38 Kw
19	1	Unloading collecting conveyor Length; 7.4 m, Screw diameter; 200 mm	Motor power; 0.56 Kw
20	1	Same as item #19.	
21	1	Screw conveyor Length; 8.0 m, Screw diameter; 200 mm	Motor power; 0.75 Kw
22	1	Portable screw conveyor Length; 3.0 m, Screw diameter; 200 mm	Motor power; 0.75 Kw
		** Total electricity consumption for handling the grain; 4912 Kwh/year	
		** Total electricity consumption for fan operation; 1080 Kwh/year	
		** Total fuel energy consumption for dryer operation; 3925.04 litter/year	

4. 結 論

현재 우리나라에서 벼의 관행수확작업중에 發生되는 여러가지의 문제점 즉 노동력의 분산, 穀物の 손실, 그리고 動力의 낭비등의 문제점을 해결하기 위하여 ① 우리나라에 알맞는 마을 또는 지역단위의 穀物の 乾燥 및 저장시설의 모델은 개발하고 ② 이 모델의 設計를 누구나 쉽게할 수 있도록 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

본 研究에서 개발된 모델의 규모는 100톤에서 1000톤까지 약 20정보에서 200정보에 해당되는 경작처를 기계화로 된 시설에서 미곡을 건조 및 저장할 수 있게 되어 있다. 또한 컴퓨터 프로그램은 9개의 入力 자료를 입력하면 모델의 주요시설 및 기기의 규격 및 소요동력등이 산출되게 설계되어 있다. 그러나 本 研究는 단순히 시스템의 모델만을 언급하였으나 실제 관행시스템과 비교분석하여 경제성이 있는 적정 규모의 결정은 매우 의미있는 연구라고 할 수 있겠으며 이에 대한 연구는 Part II에서 다루기로 하였다.

參考文獻

1. 농업협동조합 중앙회, 1973, 미곡 마케팅조사보고, 조사자료 77(2).
2. 농업협동조합 조사과, 1977, 수확시 벼 손실에 관한 조사보고서.
3. 농촌진흥청, 1983, 농업경영연구보고 제20호.
4. 서상룡, 1975, 성주지방 관행 곡물건조작업의 작업별 소요노동력과 작업가능 일수에 관한 연구, 경상대학 농업연구소보, 9: 111-118.
5. 서상룡, 1977, 곡물 건조방법의 개선방안, 경상대학 논문집, 16(1): 165-171.
6. 서울대학교 농과대학 부설 농업개발연구소, 1976, 한국농업기계화의 촉진 대책에 관한 연구보고서.
7. 한국농촌경제연구원, 1980, 미국 유통에 관한 연구, 연구보고 21.
8. 한국농촌경제연구원, 1983, 정부양곡 관리체계의 개선방안에 관한 연구, 연구보고 58.

9. Bridgers, T.C. 1974. A computer model for evaluating selected method of corn harvesting, handling, drying and storage systems. MS Thesis, Agricultural Engineering Depart. University of Kentucky.
10. Chung, C.J. 1980. Post-production Rice systems in Korea. Final report of phase II. Dept. of Agr. Engg. Seoul National Univ.
11. Chung, C.J. and Lee, C.H. 1978. An analysis of operational characteristics of traditional paddy harvesting systems. The Journal of the Korean Society of the Agricultural Machinery. 3(2): 1-21.
12. James, E.W. 1983. Paddy rice postharvest industries in developing countries. International rice research institute.
13. Kang, W.S., Lee, C.H. and Chung, C.J. 1977. Determination of optimum timing of paddy harvesting based on grain loss and milling quality. The Journal of the Korean Society of Agricultural Machinery. 2(1): 55-80.
14. Loewer, O.J. and Bridges, T.C. 1976. Computer layout Design of grain storage facilities. ASAE. St. Joseph, Mi.
15. Loewer, O.J. and Bridges, T.C. 1976. Facilities costs of centralized grain storage system utilizing computer program. Transaction of ASAE. St. Joseph, Mi.
16. Park, K.K. and Chung, D.S. 1982. Modeling and Computer programming of feed mill. ASAE paper No. 82-3020. St. Joseph, Mi. 49085.
17. Park, K.K. and Chung, D.S. 1983. Computer programming of feed mill layout. The Journal of KSAM, 8(2); 86-98.
18. Park, K.K. 1984. Current status in use of silo for grain storage, Korean Society of animal nutrition and feedstuffs, Technical Bulletin No. 8(1) 26-31.
19. Park, K.K. Chung, D.S. K. Behnke and Hwang, C.L. 1985, Optimization of Feed Mill. Journal of the Korean Society of Agricultural Machinery, 10(2); 55-62.
20. Park, K.K. 1985. Modeling and Computer Programming for Grain Drying and Storage Facility Design in Korea. Research Report to Korea Science and Engineering Foundation.

▶ 原 稿 募 集 ◀

韓國農業機械學會誌에 掲載할 原稿를 아래와 같이 募集하오니 會員여러분의 많은 投稿바랍니다.

아 래

- 原稿의 種類: 投稿規定 第2項 參照
- 投 稿 要 令: 投稿規定 參照(改定內容은 當學會誌(11卷2號) 104P 參照)
- 原 稿 接 受: 隨時接受(단 원고접수마감은 1月 30日임)
- 送 付 處: 京畿道 水原市 西屯洞 103番地

서울대학교 農科大學 農工學科內 韓國農業機械學會