한국농업기계학회지 제23권 제4호. pp. 399~406. 1998

자 료

대만의 벼 수확 후 처리 신기술

Fu-ming Lu* 정 종 훈**

적 요

1990년 이래로 대만에서는 노동력 부족을 해결하고 작업환경을 개선하기 위해서 계량, 건조, 취급, 저장, 통풍, 제현, 도정 및 포장 등을 포함하는 벼 수확 후 처리 체계의 자동화를 진행시켜 왔다. 벼 수확 후 기계처리 체계의 자동화는 1990년을 시작으로 1995년에 완결된 5개년 연구계획으로 선정되었었다. 1995년 이후에는 21세기 초 대만의 벼 수확 후 처리 체계의 자동화를 한 등급 올리고 완결한다는 목표를 이루기 위해서 또 다른 5개년 진흥 프로젝트가 수행되고 있는 중이다.

벼 수확 후 처리에 있어서 완전한 자동화를 이루기 위해서는 관리체계, 벼의 수매체계, 그리고 처리체계 등이 효과적으로 통합되어져야만 한다. 이 논문은 대만의 벼 수확 후 처리체계의 자동화에 대한 최신의 정보를 기술하고 있다.

Ⅰ. 서 론

대만은 북동쪽에서 남서쪽으로 하나의 선을 연결하는 일본과 필리핀 사이, 그리고 중국 남동 해안으로부터 200 km 떨어져 있는 아열대 기후를 갖는 섬이다. 대만은 담배 잎과 같이 거친 모양을 하고 있으며 끝에서 끝까지의 길이가 385 km이고 가장 넓은 지점의 폭이 136 km이다. 대만의 면적은 36,179 km²를 약간 못 미치며 대략 네덜란드와 같은 크기이다. 대만의 지세는 산이 많으며 서쪽에 넓은 평야가 있고 동쪽은 아주 좁은 평야가 있다. 섬 지형의 약 1/3은 평야이다.

대만 인구는 2,100만 명이 약간 넘으며 그 중 농업의 인구는 대략 20.4 %에 달한다. 전업농가는 11만 호이고 이것은 전업농가와 부분업 농가를 합한 호수의 대략 14.1% 이다.

주곡물은 관개농법으로 재배되는 채소, 과일뿐만 아니라 벼, 사탕수수, 바나나, 담배, 고구마, 땅콩 및 옥수수 등이 있다. 또한 대만은 충분한 양의 가금육과 돈육을 생산하고 있다. 대만의 1/4 면적이 경작지이다(870,000ha). 최근에 농지의 일부분이 공업단지나 상업부지로 전용되어졌다. 현재, 농민이 소유하고 있는 땅의 대략 72% 정도가 1ha 이하이다. 소규모의 농장 관리체계는 (농가당 평균 1.07ha) 농업 효율을 낮출 뿐만 아니라 관리비용을 증가시키고 있다(Lu, 1994). 평균 1ha 정도의 농가를 기계화 하기에는 너무 작은 면적으로 생각된다. 모든 농작업을 기계화하는 것이 노동생산성을 증가시키는 주요 방법이지만 소규모 농사, 그 밖의 어떤 제한적 요인들을 극복하기 위해서는 적절한 계획과 조직이 선행되어져야만 한다. 그 수단에는 자원의 운용계획, 특산물 생산의 지역화, 전통농업 등이 포함된다.

대만의 농업기계화는 1970년 초 시작된 "전국 4개년 급진 농업기계화 계획", 그리고 1975년부터 시작된 "벼 건조기 확충 계획"의 추진 등을 통해서 발전되어졌다. 많은 국내 농업기계와 농기구들은 이 기간에 개발되어졌으며 특히, 벼농사에 대해서는 현재 거의 완벽한 기계화에 접근하고 있다. 벼 수확 후 기계처리 체계의 자동화는 1990년에서 시작하여 1995년에 끝나는 5개년 연구 프로젝트로써 정부에 의해서 선정되어졌다. 1995년 이후에는 21세기 초 대만의 벼 수확 후 체계의 자동화를 한 등급 올리고 완결한다는 목표를 이루기 위해서 또 다른 5개년 촉진 프로젝트가 수행되고 있는 중이다. 벼 수확 후 처리

* Department of Agricultural Machinery Engineering National Taiwan University 136 Chou-san Road, Taipei, Taiwan

** 전남대학교 농과대학 농공학과 부교수

기술의 자동화 수준을 개선하기 위해서, 대략 6개의 대표적인 농회가 건조장을 세우고 도정시설을 통합시키는데 있어 정부의 부분적 보조를 받고 있다 (Lee, 1996: Show, 1994). 1990년에 시작된 벼 수확 후 처리기술의 자동화에 대한 정부의 5개년 연구계획이 시작되기 전에, 몇몇 사 도정공장들은 벼 수확 후 처리의 자동화라는 선상에서 시설물에 많은 투자를 해 왔었다.

Ⅱ. 쌀 생 산

대만의 1년 쌀 생산량은 1995년에 대략 2,070,000톤 정도이다. 논은 (4,600만 ha) 전 농경지의 대략 12.8 %에 해당된다. 최근 정부의 벼작물 전환계획에 기인하여 논이 감소하고 있다. 연간 벼 생산량을 그림 1에 나타내었다(Anonyn, 1996). 대부분의 벼는 지역 농회에 의해서 운용되는 단조로운 철근 콘크리트 창고에 쌀자루로 또는 적하물로 저장되어지고 있다. 매년 500,000톤 이상의 벼가 저장되어지고 있으며 6개월부터 18개월까지에 걸쳐 장기 보관되어지고 있다.

Ⅲ. 가 공 체 계

벼의 수확 후 처리에는 벼의 건조, 저장 및 도정 등이 포함된다. 벼는 살아있는 생물학적 흡습성이 강한 요소이다. 그러므로, 벼의 어떤 안전한 저장은 주변조건에 쉽게 영향을 받는다. 장기저장을 위한 최적의 조건이란 벼의 낮은 온도와 낮은 함수율이

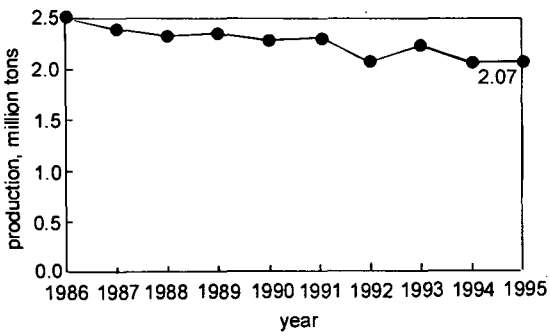

Fig. 1 Annual rice production in Taiwan.

다. 대만에서는 벼가 자유시장과 정부주도의 시장이라는 2가지 경로를 통해 판매되고 있다. 대만의 대부분 벼 도정공장은 벼를 현미와 백미로 가공하는 것과 더불어 도·소매 기능도 겸하고 있다.

건 조

서부 대만의 벼 초기 수확시기(6월)와 북부지역의 후기 수확시기(12월)가 보통 우기이므로, 비나 높은 습도에 의한 벼의 손실량이 매우 높다. 1976년 이전, 대부분의 벼는 천연 태양광으로 건조되었다. 1987년에는, 논의 약 63% 정도가 기계 건조기로 건조되었다. 1960년대 초기에 1톤형 빈형 건조기가 먼저 소개되었고, 일본제 순환형 곡물 건조기가 소개되어 건조기 선택이 다양해 졌었다. 1975년에는 "벼 건조기 확충 계획"의 실행과 더불어 농부가 소유하고 있는 건조기의 수는 급격히 증가되었다. 1983년 말까지 정부는 농민들에게 벼 건조기를 구입하도록 대략 4억 US $를 대부하여 주었다. 건조기 구입에 대한 보조의 비율은 여러 시기에 걸쳐 정부의 예산에 기준하여 융통성을 두었다(Fom, 1987; Lee, 1996; Wu, 1986).

1995년에 대만에서 사용중인 순환형 곡물 건조기의 수는 약 280,000대였으며, 일괄처리형 건조기(1톤)의 수는 120,000대였다. 이 건조기들은 옥수수와 사탕수수 그리고 콩의 건조에도 사용될 수 있다. 대만에서 제작된 순환형 건조기의 집하능력은 건조기당 6톤에서 30톤 사이이다. 가장 일반적인 모델의 건조, 집하능력은 벼의 경우 대략 10~20톤 정도이다. 1987년부터 1996년까지 지역농회에서 소유하고 있는 61개의 건조장에 대하여 벼 건조기의 증가와 변화가 그림 2에 보여지고 있다. 건조용량의 범위는 건조장에 따라 대략 48~556톤 정도이다. 각각의 건조장에 대한 평균 건조용량은 155.5톤이었고 표준편차는 88.4톤 정도이다. 건조장의 운용기간은 초기 수확기에는 약 1개월 정도이고 후기 수확기에 또한 1개월 정도이다.

건조장 설치에 적합한 바닥면적은 건조기가 6대, 10대, 20대인 경우에 각각 100m², 170m², 400m²이다. 농회와 대규모 개인 쌀 거래인이 운영하는 건조장들만이 농업 평의회(농업부, 대만 R.O.C)가 추진하는 농업 자동화 프로그램에 상응하여 건조, 도정시설을

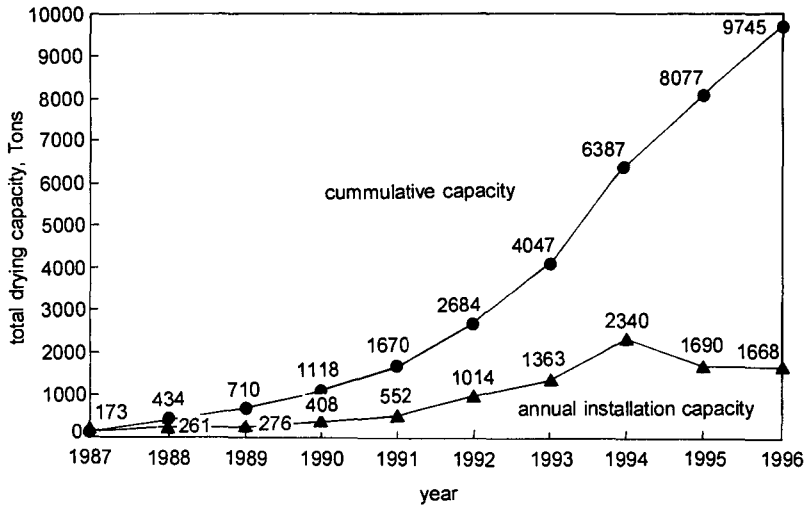

Fig. 2 Capacity of rice drying centers in Taiwan.

현대화하고 투자하는 것에 관심을 가지고 있다. 이들은 건조기의 용량 톤당 약 US$ 900-US$ 1,700의 보조금을 받을 수 있다.

지방 식품국은 장기저장을 위한 정부 보증가격을 위하여 공인 표준 곡물 함수율을 13%로 설정하였다. 그러나 쌀을 자유시장에서 판매하기 위해서는 14~15%의 최종 함수율이 바람직하다. 현재 농민들은 가공을 위해서 벼 건조장에 생벼를 직접 보내고 있다. 농민들은 건조장에 있는 품질검사소에서 검사한 함수율의 등급에 따라 벼를 판매하고 있다. 건조과정의 운용비용에 근거하여, 건조장은 여러 초기 함수율에서 표준 최종 함수율까지, 생벼 건조를 위한 무게 변환표와 수매가격표를 제공하고 있다. 예를 들면, 30%, 25%, 20% 함수율에서 벼의 1kg은 13.5% 함수율에서 건조된 벼의 0.7607kg, 0.815kg, 0.8694kg과 같다.

저 장

벼의 저장은 성수기 공급량을 비수기 수요에 맞추기 위한 중요한 기능이다. 정부의 벼는 농회 창고에 저장하며, 지방 농회 창고용량이 감소할 때만 저장을 개인 벼 도정공장에 위탁한다. 대부분의 생산자는 자신의 벼를 6개월 이상 저장하지만, 몇몇은 벼를 1년 이상 저장한다. 그러나, 정부의 벼는 12~18개월 동안에 이르는 훨씬 긴 기간 동안 저장된다. 평평한 창고에서는 쌀자루 저장이 지배적이지만, 높은 품질의 벼를 보존하기 위하여 최근에는 저온저장고가 인기를 끌고 있다.

대만에서는, 5m 높이의 벼 저장층을 가지는 평적하 저장창고에 있어서 12~4월 사이 상층부의 벼 온도는 항상 36℃~40℃에 도달한다. 저장창고의 종류에 따라 저장 손실은 0.165%~2.406% 범위이다. 저장벼의 도정수율은 약 77%이다(Lu 등, 1979). 대만의 평균 절기에 외기 온도는 15~30℃, 습도는 75~90%이다.

만약 건조된 벼를 몇 달 이상 저장한다면, 저장빈은 자연 통풍이나 강제통풍을 시켜 곡물의 호흡, 곰팡이, 미생물 또는 저장빈 주위의 기후조건에 의해 발생되는 열을 밖으로 운반하도록 해야 한다. 통풍은 저장곡물의 온도를 낮출 뿐 아니라 곡물 온도를 적하물 전체에 걸쳐 균일하게 하고 절기의 외기 온도 변화에 의한 열구배를 감소시켜, 결과적으로 습기이동을 막아준다. 또한, 통풍은 곰팡이 생장과 곤충의 활동을 감소시키고 훈증 소독 후의 유해한 향과 유독가스를 제거한다. 자연통풍이든 아니면 강압통풍이든, 곡물온도 조절량은 외기 조건에 영향을 받는다.

외기가 저장곡물보다 차가우면, 적은 송풍량의 통풍이 곡물을 서늘하게 하는데 매우 효율적이다. 팬을 사용하여 곡물온도를 안전저장에 맞는 수준으로 감소시키는 방법으로 적은 양의 외기를 저장곡물 아

래및 위의 방향으로 통풍시키는 것이다. 대만의 아열대 다습 기후조건이라는 제한조건 때문에, 냉각율과 저장기간 동안의 벼 품질보존이라는 선상에서, 벼의 냉각 저온저장이 자연 공기통풍보다 유리하다.

자연 공기에 의해 정기적으로 통풍된 1,000톤의 저장빈의 경우, 여러 다른 층에서 대부분 벼 온도가 35℃ 이하로 유지된다(Lu 와 Chen, 1988). 연속 통풍보다는 간헐통풍의 경우가 벼의 냉각율이 빨랐다. 벼의 상, 중, 하층에 대한 냉각율은 간헐통풍(36hr)의 경우 평균 −0.1151℃/hr에서 −0.0876℃/hr~−0.1331℃/hr 범위이며, 연속통풍(63hr)의 경우 평균 −0.0897℃/hr에서 −0.0380℃/hr~−0.1441℃/hr 범위로 나타났다.

Lu와 Lin(1995)은 1990년 초 500톤 강철 사일로에 저장되어 18%의 함수율로 부분 건조된 벼를 냉각 감온하는 것이 대만 벼 도정산업에서 인기를 끌고 있다고 보고하였다. 1등급 벼는 16~18% 함수율로 건조되어 1주일간 연속 또는 간헐 냉각 처리 후에 외기 온도보다 10~15℃ 낮게 감온된다. 몇몇 농회와 개인 벼 도정공장에서는 냉각 사일로에 새로 수확한 젖은 곡물 또는 부분 건조된 벼를 저장함으로써, 건조기가 벼 건조 준비상태에 들어가기 전에 임시 저장하는 수단으로 냉각 사일로를 사용하기도 한다. 현재 냉각 사일로는 벼 건조장에서는 필수 시설이 되고 있다. 적재 및 하역 컨베이어 용량은 약 시간당 50톤이다. 냉각 공기 온도 및 상대습도는 각각 10℃와 70% 정도이다.

도 정

대만의 벼 도정공장은 제현공장과 제강공장이라는 두 가지 종류의 가공설비로 구성되어 있다. 두 가지 설비중 한 가지만 가지고 있는 도정공장도 있고, 둘 다 구비하고 있는 가공공장도 있다. 벼 제현공장의 기계 및 장비는 보통 수직으로 설치되어 바닥 면적을 적게 차지하고 높은 지붕이 필요한 특징을 가지고 있다. 과거에 설립된 대부분의 농회 도정공장은 구형 고무 로울러 현미기를 가지고 있고 주로, 3층 건물에 설치된 다소 복잡한 폐회로 흐름 체계를 가지고 있다(Lu와 Su, 1976; Lee, 1986). 최근, 새로운 벼 도정공장의 시설물은 강철로 되어 있고 바닥면적을 적게 차지하며 지붕이 낮은 건물에 설치되어 있다.

현재 벼 제현공장의 표준 장비에는 벼 세척기, 돌 집는 기계, 제현기, 현미 분리기, 저장 탱크, 계량 및 포장기, 운반기 등이 포함된다. 10인치 제현기의 제현 용량은 시간당 약 3톤이다. 현미 도정공장은 보조 세척기, 돌 집는 기계, 비중 분리기, 도정기(수평 마찰식 벼 도정기), 쇄미 분리기, 정련기, 색채 선별기, 금속 탐지기, 자동 계량 및 포장기 등의 장비를 가지고 있다. 마찰식 수직 벼 도정기가 과거 몇 년 사이 대만에 도입되었다. 수직 도정기를 도입하는 이점은 재래적인 수평 제강기(Satake, 1994)에 대비하여 바닥공간의 감소를 들 수 있다. 자포니카 계열의 벼 도정량은 제현율 79.4%, 제강률 91.3%로서 도정율은 72.5%이다. 작은 인디카 벼의 도정량은 제현율 77.2%, 제강률 92.3%로서 도정율은 71.2%이다(Lee, 1986). 시판되는 쌀은 보통 플라스틱 자루에 3kg나 5kg의 양으로 포장된 것이다. 현미나 배가 있는 쌀을 진공 봉지에 포장한다.

Ⅳ. 벼 수확 후 처리의 자동화

1990년 이후로 농업 자동화의 수준을 증진하고 처리단가를 줄이는 데 있어 벼 수확 후 처리기계의 자동화와 체계화는 주요 관심사가 되어왔다. 다음은 그에 대한 몇 가지의 예를 보여주고 있다.

농회의 벼 가공관리에 대한 자동화의 대표적 구조는 그림 3에 나타내었다. 벼 수확 후 처리의 완전한 자동화를 이루기 위해서 관리체계, 벼 수매체계 그리고 가공체계 등은 효율적으로 통합되어야만 한다. 구매와 가공체계에서 얻어진 자료는 관리체계 내에서 처리되어진다. 자료의 흐름도는 그림 3에서 화살표로 지시되어져 있다. 그림 4는 농회에서 벼를 건조하고 저장하기 위하여 건조장에서 사용하고 있는 전형적인 결합체계를 보여주고 있다. 함수율 25~30%의 생벼는 트럭에 의해 운반되어져 채곡장에 적하된다. 함수율과 성숙도, 불순물 그리고 미숙곡들을 판단하기 위해서 벼의 견본이 수집장에서 얻어진다. 벼는 건조기(용량 6~30톤)가 작업 가능할 때까지 잠시동안 임시저장 탱크(T01-T02, 용량 50톤)에 저장된다. 건조된 벼는(함수율 13~15%) 작은 탱크(T03, 용량 30톤)나 혹은 냉각 사일로(T11-T14, 용량

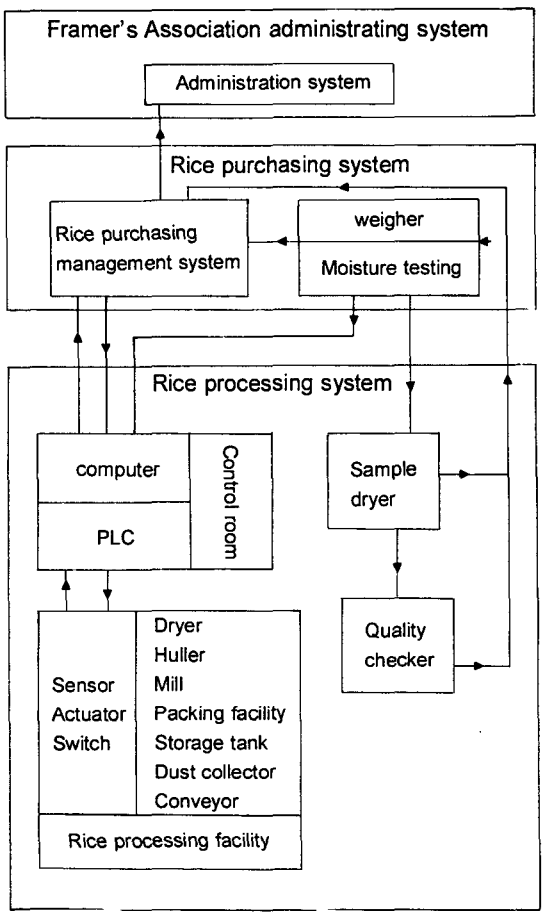

Fig. 3 Structure of automation in rice processing management.

사일로당 420톤)에 저장된다. 건조된 벼는 장기저장을 위하여 포장되어지며 창고로 운반되거나, 혹은 그림 5에 나타낸 공장 배치의 개략도 좌측에 있는 도정 공장으로 운반되어진다.

수확 집중기에 벼를 안전하게 처리하기 위하여 두 단계의 건조방법을 채택한 것은 일종의 선택적 처리 방법이다(그림4). 첫 번째 단계에서 생벼는 부분적으로 18%의 함수율로 건조되어지고 냉각 사일로에 적하되며, 10℃, 70%의 습도 상태의 냉각공기에 의해서 통풍 건조되어진다. 만약에 벼가 한 달 이상 사일로에 저장되어 진다면 그 냉각된 벼는 연속적으로 저 함수율 상태가 될 때까지 수분이 제거되어진다. 건조기가 사용가능 상태가 되면, 두 번째 단계의 건조를 위하여 냉각된 벼는 적하되어 건조기에 운반되어진다. 그리고 18%의 함수율에서 13~14.5%까지 최종 건조된다.

그림 6은 건조장의 감시 및 제어체계를 보여주고 있다. 컨베이어 속도 감시기, 막힘 조절스위치, 빈수준 조절스위치, 온도센서, 연기검출기 및 집진 감지기 등과 같은 몇몇 감시장치들이 건조장에 설치되어 있다. 작업자는 CCD 카메라, PLC 제어기 및 컴퓨터 제어판을 통하여 전 공장의 작업을 감시하고 제어할 수 있다.

그림 7은 기존의 단순 건조시설물이 자동감지 및 제어장치들이 장착된 현대적 건조장으로 변모되는 과정을 보여주고 있다. 그 건조장은 건조기당 6~10톤의 작은 건조기들과 추가적으로 장착된 건조기당

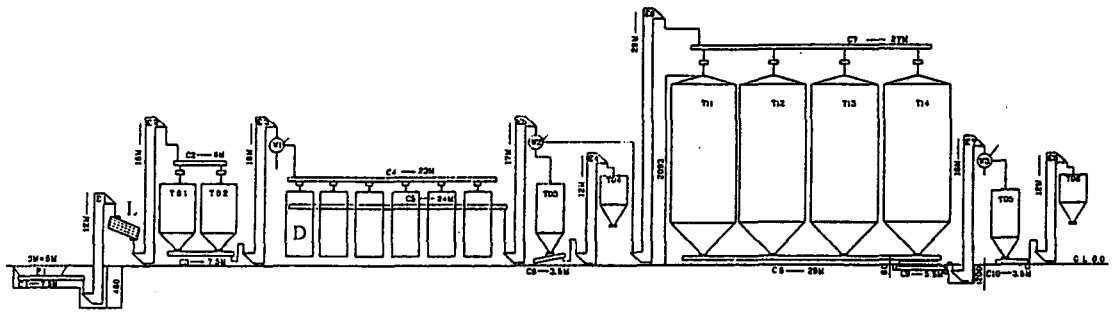

Fig. 4 Flow chart of a rice drying center (Chin-sei Farmers' Association).

C: chain conveyor	D: dryer	E: bucket conveyor	L: paddy sifter
P: dumping pit	T: tank	W: distributor	

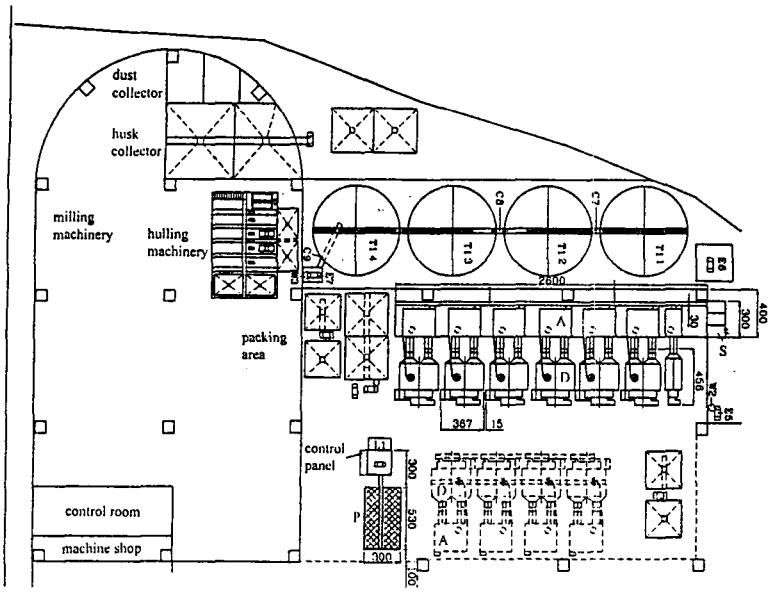

Fig. 5 Layout of rice drying center and milling facilities (Chin-sei Farmers' Association).

A : dust collector	C : chain conveyor	D : dryer
E : bucket conveyor	L : paddy sifter	P : dumping pit
S : slurry collector	T : tank	W : distributor

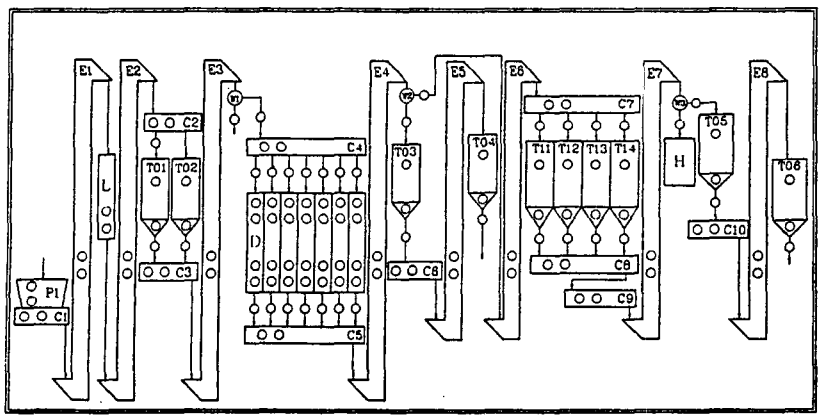

Fig. 6 Monitoring and controlling board of a rice drying center (Chin-sei Farmers' Association).

C : chain conveyor	D : dryer	E : bucket conveyor
H : huller	L : paddy sifter	P : dumping pit
T : tank	W : distributor	

20톤 용량의 대형 건조기 및 냉각사일로(T11-T13, 사일로당 용량 500톤) 등으로 구성되어 진다. 건조장의 곡물 운반 시스템의 표준용량은 시간당 50톤이다.

최신으로 설치된 벼 도정공장의 대표적인 흐름도가 그림 8에 보여지고 있다. 도정공장에 장착된 기본적인 기계류에는 도정기, 석발기, 정제기, 색채선별기, 금속검출기 및 포장기계 등이 포함된다. 그림 8에 8대의 수평 마찰형 백미기가 보여지고 있다. 도정능력은 대략 시간당 3톤이다.

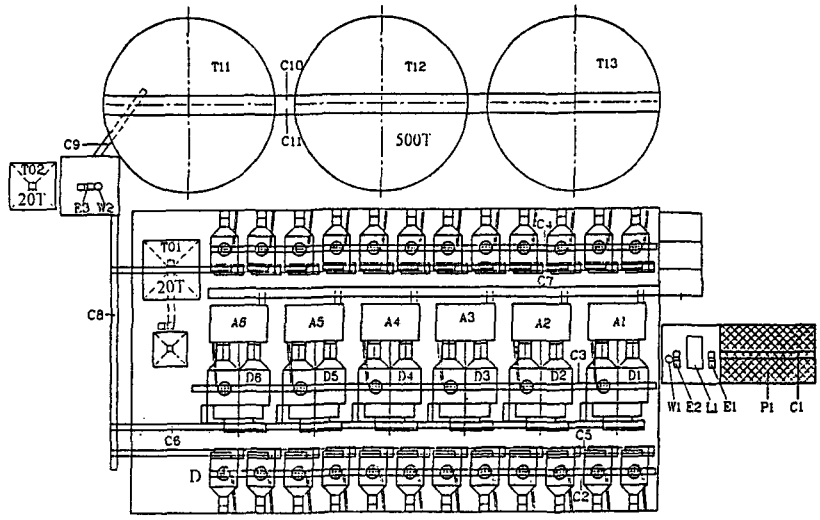

Fig. 7 Layout of rice drying center (Chin-sei Farmers' Association).

A : dust collector	C : chain conveyor : 50 T/h	D : dryer ; 20T & 6T
E : bucket conveyor ; 50 T/h	L : paddy sifter	P : dumping pit
S : slurry collector	T : tank	W : distributor

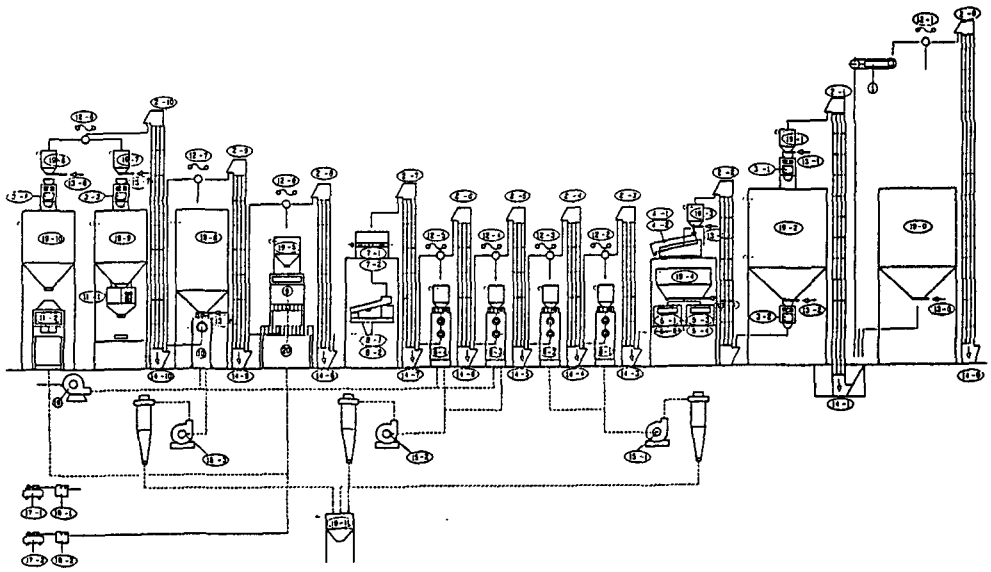

Fig. 8 Flow chart of a rice milling center (Hsin-ying Farmers' Association).

1. belt conveyor	8. separator	15. bran collector
2. bucket conveyor	9. color sorter	16. water pump
3. weigher	10. clean refiner	17. air compressor
4. sifter	11. weigher	18. dryer
5. destoner	12. two-way valve	19. tank
6. mill	13. discharage valve	20. dust collector
7. blower	14. auto-valve	

V. 결 론

벼 수확 후 기계처리 체계의 자동화라는 목표는 1990년에 시작하고 1995년에 완결된 5개년 연구 프로젝트로써 선정되었다. 1995년 이후에는 21세기 초 대만의 벼 수확 후 처리체계의 자동화를 한 등급 올리고 완결한다는 목표를 이루기 위해서, 또 다른 5개년 진흥 프로젝트가 수행되고 있는 중이다. 벼 수확 후 처리기술의 자동화 수준을 개선하기 위해서, 대략 6개의 대표적인 농회가 건조장을 세우고 도정시설을 통합시키는데 있어 정부의 부분적 보조를 받고 있다. 대만에서는 몇몇 실험적으로 운영중인 농회에서 벼 수확 후 처리에 있어서 완전한 자동화를 이루기 위하여 관리체계, 벼의 수매체계, 그리고 처리체계 등이 효과적으로 통합되어져 있다. 벼 건조장과 도정공장에 있는 작업자는 CCD 카메라, PLC 제어기 및 컴퓨터 제어판 등을 통하여 전 공장의 작업을 감시하고 조절할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Anonym. 1996. Taiwan agriculture year book. Department of Agriculture and Forestry, Taiwan Provincial Government, Taipei, Taiwan.
2. Fon, D. S. 1986. Rice drying. In: Post-harvest prevention of paddy/rice loss. Edited by Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C.
3. Lee, K. W. 1986. The rice mill industry in taiwan. In: Post-harvest prevention of paddy/rice loss. Edited by Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C.
4. Lee, K. W. 1996. Agricultural mechanization development in Taiwan. In: International course on farm mechanization on rice production in Taiwan. Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taipei, Taiwan.
5. Lu, F. M. and C. S. Su. 1976. Study of rice mill: I. flow chart analysis of new-build rice mill in taiwan. Journal of Chinese Agricultural Engineering(Taiwan) 22(4):14-19.
6. Lu, F. M., K. W. Lee, D. S. Fon and K. K. Muh. 1979. Study on the storage losses and processing characteristics of paddy warehouses in Taiwan. J. of Chinese Agricultural Engineering(Taiwan) 25(2) :40-57.
7. Lu, F. M. and P. Chen. 1988. Forced aeration of rice in warehouse. Journal of Chinese Agricultural Engineering(Taiwan) 34(2):27-36.
8. Lu, F. M. 1994. Mechanization of vegetable and fruit harvesting and processing in Taiwan. J. of Agricultural Machinery (Taiwan) 3(2):41-49.
9. Lu, F. M. and L. H. Lin. 1995. Analyzing and modeling the effects of bulk storage paddy aeration with refrigerated air. Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing vol.:3 pp. 133-140. Kobe University, Kobe, Japan.
10. Satake, R. S. 1994. New methods and equipment for processing rice. In: Rice science and technology. Edited by W. E. Marshall and J. I. Wadsworth, Marcel Dekker Inc., New York.
11. Shaw, J., J. Chou, Y. S. Ouyang and P. Peng. 1994. The development of automated rice post-harvest systems. Food Processing Automation III pp. 423-430. Proceedings of the FPAC III Conference, Orlando, Florida.
12. Wu, C. H. 1986. Utilization o rice dryers in Taiwan. In: Post-harvest prevention of paddy/rice loss. Edited by Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C.