

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미곡 도정공장의 적정설계 및 개발(I)⁺ -미곡 도정시스템의 시뮬레이션-

Optimal Design and Development of a Rice Mill Pilot Plant by Computer Simulation

-Simulation of a Rice Mill Pilot Plant-

정중훈*
정희원
J. H. Chung

김보곤*
정희원
B. G. Kim

ABSTRACT

Rice Processing Complex(RPC) have being constructed with a rice mill plant and a facility of drying and storage to overcome problems caused by UR and to produce good quality of rice. An optimal design of a rice mill plant was required to sucessfully construct and operate it. The development of a simulation model was essential to the design of a rice mill plant. So, all the objectives of this study were to develop a simulation model for the design of a rice mill plant and to develop and evaluate the rice mill system. In this study the simulation model was developed to design a rice mill plant using SLAMSYSTEM, one of simulation languages.

The results of this study were as followings :

1. A simulation model was developed with SLAMSYSTEM to represent the processes of a rice mill plant. The simulation model was used to design a rice mill pilot plant with the capacity of 0.5 ton per hour. The rice mill pilot plant was analyzed by the model with alternatives.
2. In the simulation the rice mill system was much influenced by the separating efficiency of a brown rice separator. Especially, the bottleneck of grain flow occurred at the buffer tank for brown rice separator under 50% separating efficiency of brown rice separator. Hence, as the alternative simulation was conducted under 60%, 70% separating efficiency of brown rice separator, the bottleneck of the system could be minimized at the 60% separating efficiency of brown rice separator.
3. In the alternatve simulation the bottleneck of the system was minimized under the hulling capacity of 1 t/h and 60% separating efficiency of brown rice separator with the capacity of 1 t/h. Under such a condition the max. weight of waiting entities at buffer tanks was less 250kg. So, the capacities of the buffer tanks were determined in the basis of simulation results.
4. The milled rice recovery and head rice recovery of the milling system were 74% and 92% in the simulation, respectively. These results of simulation almost corresponded to those of actual rice mill plants. The developed simulation model could be well applied to design a rice mill plant.

주요 용어(Key Words) : 시뮬레이션(Simulation, 미곡 도정공장Rice Mill Plant), 설계(Design)

+ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

* 전남대학교 농과대학 농공학과

1. 서 론

현재 우리나라에서는 식생활의 변화로 쌀의 1인당 소비량이 점차 줄어들고 있으며 또한 양질미를 선호하고 있다. 이에 누적된 쌀 재고량 처리 문제와 양질미를 생산하는 것이 하나의 현안 과제가 되고 있으며 미질의 품질을 저하시키는 낙후된 도정시설은 새로 개선되어야 한다. 그러나 현재 정부의 도정공장 가동률이 30% 이하임을 감안할 때 도정시설에 대한 지나친 과잉 투자는 막아야 하며 양질미 생산을 위한 새로운 도정 기술 및 첨단 도정설비를 개발함으로써 미곡의 손실을 방지하고 우리 미곡의 국제 경쟁력을 높여 우루과이라운드 파고에 슬기롭게 대처해 나가야 한다.

정부에서는 1992년부터 농어촌 구조개선 사업의 일환으로 추진하고 있는 미곡종합처리장(Rice Processing Complex, RPC)을 1997년까지 전국에 300개소를 설치할 예정이다. 미곡종합처리장에 설치되고 있는 도정공장은 1일 20톤(백미 기준) 가공을 기준으로 하고 있다. 현재 도정공장을 건립하고 있는 국내 업체들은 거의 모두 대부분의 설계 기술 및 설비 기계의 많은 부분을 경험과 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 이에 하루속히 우리나라 실정에 적합한 모델을 개발해야 하며 기계 설비도 국산 기계를 사용하거나 국산화를 서둘러야 한다.

현재 미곡종합처리장을 비롯한 정부 및 민간 임도정공장들이 그동안 도정공장 설치시 단지 경험만을 바탕으로 설치함에 따라 어느 시설에 대해선 불필요한 설비로 인하여 시설비가 높고 시설의 효율성이 떨어지므로 앞으로는 이론적 분석과 설계에 기초하여 미곡 도정시설을 설치해야 한다.

컴퓨터 시뮬레이션은 실제로 도정시설을 짓지 않고서도 여러가지 조건하에서 도정공장의 도정시스템을 효율적으로 분석하고 설계하는데 사용될 수 있는 중요한 수단으로써 이용될 수 있다. 이에 미곡의 투입단계에서부터 최종 제품의 포장에 이르기까지 도정공장의 모든 기계장치나 중요한 기계적 작업공정들을 슬랩시스템(SLA-

MSYSTEM)을 사용하여 모델화하고, 개발된 시뮬레이션 모델로 주요 장치의 활용도나 생산량 및 원료의 정체도와 같은 도정시스템의 성능을 분석하여 소형 미곡 도정시스템을 설계하고자 하였다.

추후 연구에서는 미곡 도정공장을 시뮬레이션의 결과에 기초하여 설계하고 도정시스템을 개발한 후 시스템을 평가하고 개발된 시뮬레이션 모델을 검증하고자 한다.

2. 미곡 도정공장의 시뮬레이션모델

가. 도정시스템의 공정

본 연구에서 개발할 미곡 도정공장은 정미가공 능력이 최소 시간당 0.5톤(백미 기준)으로서 1일 작업시간이 8시간 일 경우 4톤의 백미를 생산해 낼 수 있는 시설이다. 벼를 기준으로 했을 때 도정수율을 0.75로 한다면 1일 약 5.3톤에 달하는 양을 처리할 수 있다. 개발할 소형 미곡 도정공장의 주요기계 및 장치를 곡물의 공정 순서에 따라 나타내면 그림 1과 같다.

반입호퍼로 투입된 벼는 석탈과정을 거쳐 보조탱크에 임시 저장된다. 현미기를 거친 현미는 1차 스크린선별기(screen sorter)를 거친 뒤 보조탱크 2에 저장된다. 현미분리기를 거친 현미는 청치선별기를 거친 뒤 보조탱크에 저장된다. 현미에서 백미로 변화시키는 과정인 정미과정은 마찰식정미기 3대를 통과한다. 정미과정을 마친 백미는 백미 저장탱크에 대기한 다음 청결미를 생산하는 연미과정을 거친다. 연미과정을 마친 청결미는 청결미 저장탱크에 모인 뒤 자동 소포장 계량기를 통해 계량 및 비닐 포장된다.

나. 시뮬레이션 모델의 가정

본 연구에서 개발할 시스템은 정미능력 시간당 0.5톤 규모의 도정시스템으로 하였다. 곡물은 연속적으로 처리되기 위해 엔티티(entity, 개체) 단위로 표현되었으며 하나의 엔티티 값은 정규 분포 RNORM(5.5, 0.055)kg으로 모델화되었다.

곡물은 정규분포 RNORM(0.5, 0.03)분 간격으로 반입호퍼에 투입되고 시뮬레이션 기간(8일) 동안 반입된 곡물은 약 42톤 이었다.

총 시뮬레이션 시간은 10일간(14,400분)으로 하고, 처음 2일간(2,880분)의 자료는 컴퓨터에 의해 발생하는 오차를 줄이기 위해 자료 수집에서 제외시켰다. 즉 모든 자료의 통계량은 10일 중 처음 시뮬레이션 시작시간부터 2일간의 통계량을 제외시키고 8일간의 통계량을 수집하는 것으로 하였다.

하루 작업 시간은 오전 8시부터 12시까지 4시간 동안 작업을 한 뒤 12시부터 오후 1시까지는 점심 시간으로 작업을 중지하고 오후 1시에 다시 작업을 시작하여 오후 5시에 가동을 종료하는 것으로 하였다. 이와같이 하루 8시간 작업을 가정으로 도정 시스템을 모델화하였다. 그리고 도정작업의 초기와 말기에는 소량의 원료때문에

승강기 3번에서 수동으로 방향을 결정하여 원료를 현미탱크로 되돌리거나(feedback) 또는 현미분리기를 거치지 않고 소량의 원료를 바로 보내 주어야 하나 본 시뮬레이션에서는 도정작업의 초기와 말기를 고려치 않고 원료가 일정하게 반입된다고 가정하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 본 도정시스템에 사용된 승강기는 반송량이 많을 것으로 예상되는 승강기 3번을 제외하고는 나머지 승강기의 반송능력은 7개가 비슷한 것으로 가정하였다. 석발기의 용량은 벼의 반입능력을 고려하여 결정하도록 하였고, 석발기에서 먼지의 발생을 고려하여 도정실 밖으로 먼지를 집진하도록 설계하였다. 스크린선별기는 스크린의 경사각 조절로 현미의 분리효율을 조절할 수 있도록 되어 있다. 스크린선별기에서 현미로 분리되는 효율은 약 80%이며 벼로 분리되어 승강기 2번으로 가는 확률은 12%로 하였으며 벼와 현미가 미분리된 상태로 승강기 3번으로 가는 확률은 8%로 가정하였다.

현미분리기(brown rice separator of tray type)는 앞뒤 및 좌우 경사각 조절로써 현미의 분리효율을 조절할 수 있도록 되어 있다. 앞뒤 경사각이 약 25도이고 좌우 경사각이 약 20도일 때를 현미분리기의 초기상태로 설정하고 분리효율을 다음과 같이 설정했다. 현미분리기에서 벼로 분리되어 연결슈트를 통해 승강기 3번으로 가는 확률은 45%로 가정하였고, 승강기 4번으로 보내는 확률은 5%로 가정하였다. 따라서 각 엔티티의 50%만이 현미로 분리되어 정미 공정으로 가고 현미분리기의 분리효율을 50%로 가정하여 본 모델의 결과를 분석하였으며, 대체모델로서는 분리효율이 60%, 70%일 때 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 이때 공정에서의 각 보조탱크의 용량은 시뮬레이션에 의한 원료 정체정도를 분석하여 그 적정크기를 설계하고자 하였다.

청치선별기에서 선별되는 미숙립이나 현미의 싸래기 등은 약 0.5%로 가정하였다. 1, 2차 정미과정에서 발생한 미강의 양은 사이클론을 통해 집적되는데 그 양은 약 6%로 가정하였다. 3차 정미과정에서 발생한 미강의 양은 2%의 양으로 가정하였다. 연미기에서 발생한 미강의 양은 약

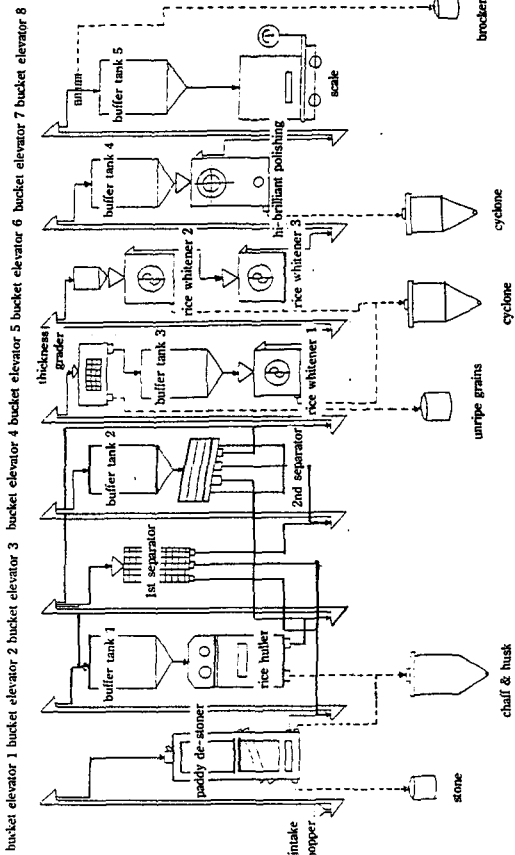


Fig. 1. Process flowchart of a rice mill pilot plant

1%의 양으로 가정하였다. 이같은 가정은 가능한 실제의 경우와 근사하도록 하였다. 현미기에 있는 고무로울러의 수명은 기초조사에 의하면 7,200~7,800분(120~130시간)으로 알려져 있어 로울러의 수명이 곧 로울러의 교체시간으로 보고 이 시간이 되면 로울러를 교체하는 것으로 하였다. 일반적으로 기계의 고장확률은 Weibull 분포 함수이나 현미기의 로울러는 일정 사용시간이 경과하면 교체하는 것으로 하여 로울러의 교체시간 간격을 정규분포 함수로 가정하였다. 또한 전자식 자동계량기는 거의 고장이 없으나 계속적인 안전작업을 위해 계량기의 점검이 필요하다. 그래서 네트워크 모델에서 계량기의 점검주기와 점검시간을 고려했는데 자동계량기의 점검주기는 정규분포의 RNORM(7200, 0.04)분으로 하였고, 점검시간은 정규분포 RNORM(30, 0.03)분 동안 하는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션의 네트워크 모델에서 시간의 단위는 '분'으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

다. 슬램시스템 네트워크 모델

공정도를 바탕으로 표현한 시뮬레이션 네트워크 모델을 그림 2에 나타내었다. 이 네트워크 모델은 시간당 0.5톤 규모의 정미능력(벼를 기준으로 0.67 t/h)을 갖춘 소형 도정공장을 모델화한 것이다. 반입호퍼를 통해 벼는 들어오고 반입호퍼에서 엔티티가 발생하는 것을 시작으로 모든 도정공정을 네트워크 모델화 하였다.

시뮬레이션 모델(그림 2)의 각 과정별 작업시간의 변수들은 선정된 기계들의 처리능력을 고려하여 다음과 같이 분포함수로 가정하였다. 벼는 정규분포의 평균 0.3분, 표준편차 0.01분인 RNORM(0.5,0.03)분 간격으로 반입호퍼를 통해 들어온다. 시간당 약 2톤처리 규모인 석발기에서의 1개의 엔티티를 처리하는 석발시간은 지수분포의 EXPON(0.122)분이고, 제현능력이 시간당 1톤 규모인 현미기의 1개의 엔티티를 처리하는 제현시간은 정규분포의 RNORM(0.404, 0.033)분으로 하였다. 선별능력이 시간당 1.5톤인 스크린선별기의 1개의 엔티티를 선별하는 시간

은 일양분포의 UNFRM(0.169,0.235)분이고, 분리능력이 약 시간당 1톤 규모인 현미분리기의 1개의 엔티티 처리시간은 정규분포의 RNORM(0.374, 0.033)분으로 하였다. 선별능력이 시간당 0.5~1톤 규모인 청치선별기의 1개의 엔티티 선별시간은 정규분포의 RNORM(0.347,0.033)분이고, 정미능력이 시간당 1톤 규모인 각 정미기의 1개의 엔티티를 처리하는 정미시간은 정규분포의 RNORM(0.330,0.03)분으로 하였다. 청결미를 생산하는 연미기의 연미능력은 시간당 약 1.5톤이며 1개의 엔티티를 처리하는 연미시간은 정규분포의 RNORM(0.733,0.03)분으로 하였다. 그리고 선별능력이 시간당 1톤인 쇄미선별기의 1개의 엔티티 처리시간은 정규분포의 RNORM(0.033,0.001)분으로 하였다. 또한 현미기 로울러의 교체간격은 정규분포의 RNORM(7500,0.04)분이고 교체시간은 정규분포의 RNORM(20,0.03)분으로 하였다.

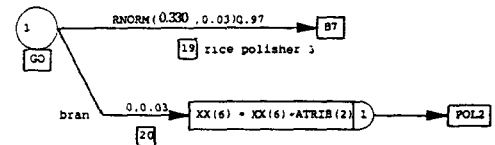
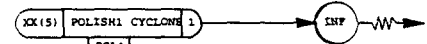
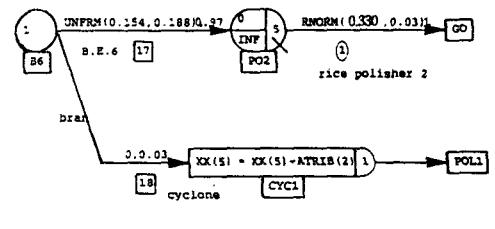
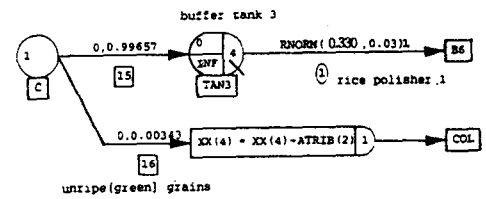
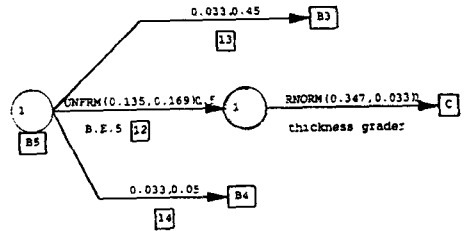
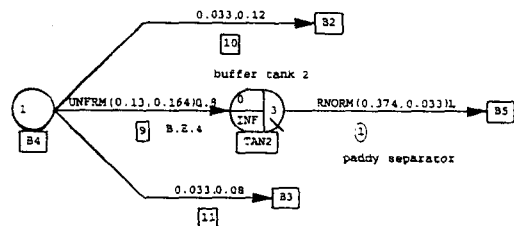
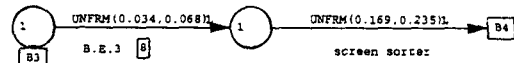
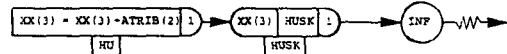
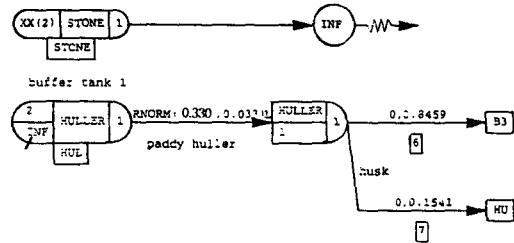
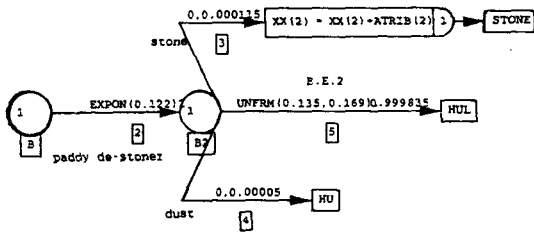
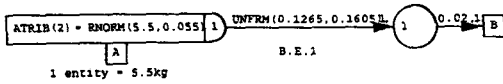
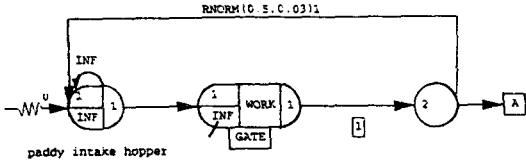
이처럼 도정시스템을 모델화한 본모델은 각 공정에서의 원료의 흐름정도 및 정체량, 정체시간, 시간당 제품의 생산능력, 주요장치 및 기계들의 활용도, 각 공정에서 빠져 나가는 원료의 양, 도정수율 등의 자료를 슬램시스템상에서 자동적으로 제시하여 주었다. 또한 대체모델에서 변수들의 값을 변화시키면서 도정시스템의 성능변화를 예측할 수 있었다.

3. 시뮬레이션의 결과 및 고찰

시뮬레이션 실행은 5회 반복하여 실시하였고 각 과정의 자료는 선정된 도정시설의 사양에 준했으며 실제 그 기계들을 제작하고 있는 제작회사에 직접 의뢰해 얻은 자료를 이용하였다. 그리고 모든 기계들의 처리시간과 성능 및 효율, 분기점에서의 확률값 등을 개발된 모델에 적용해 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같았다. 본 시뮬레이션을 수차에 걸쳐 수행한 결과 벼와 현미를 분리해내는 현미분리기의 분리효율(현미/현미와 벼의 혼합율×100)이 전체 시스템에 미치는 영향이 크게 나타났으며 정체(병목)지점

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미국 도정공장의 적정설계 및 개발(I)

*** SIMULATION MODEL OF A RICE MILL PILOT PLANT ***



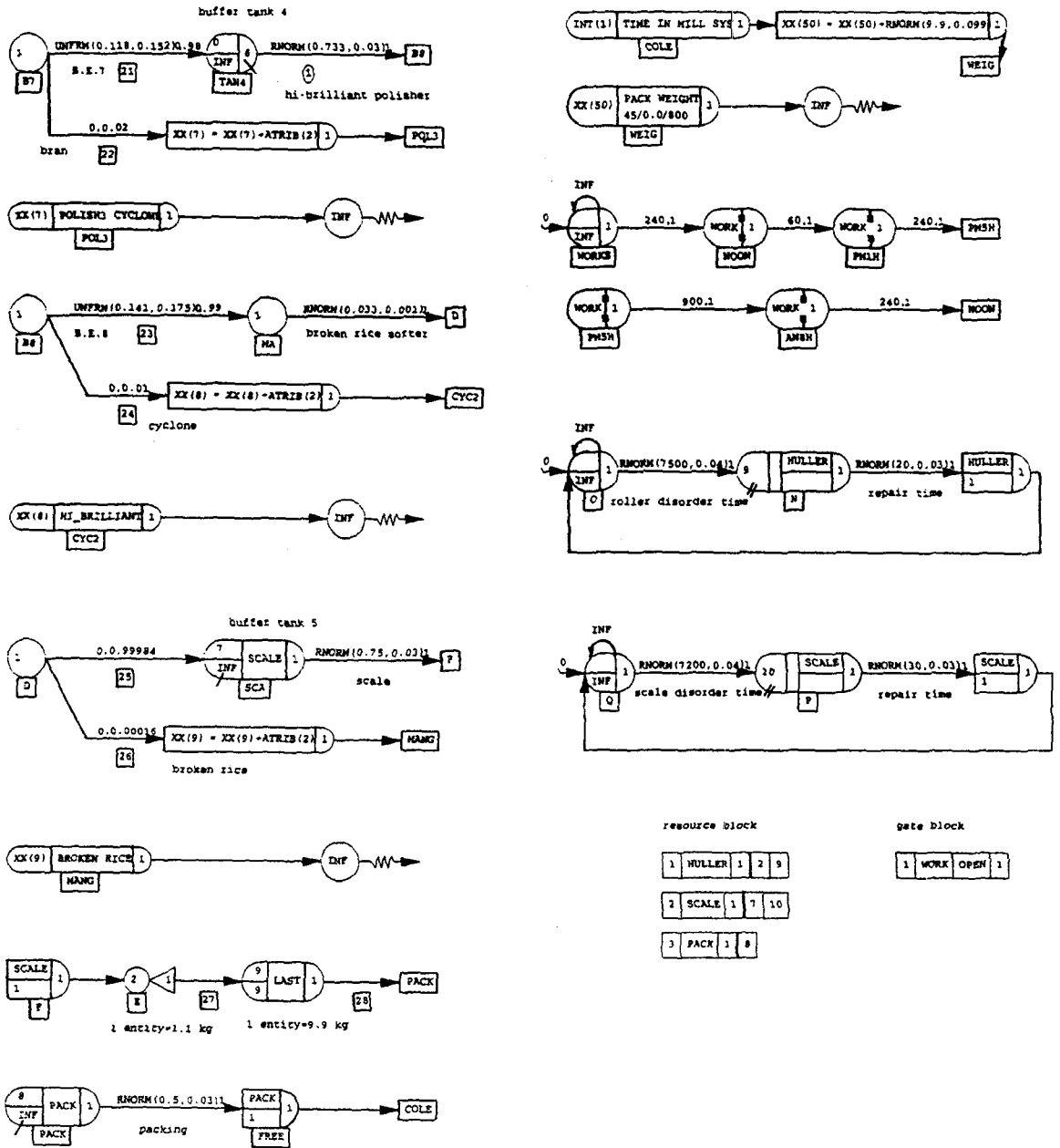


Fig. 2. Simulation model of a rice mill pilot plant

또한 현미분리기 앞 보조탱크에서 나타남을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 다른 도정기계들의 처리능력을 정미능력 시간당 0.5톤 이상으로 주요 기계들을 선정할 상태에서 다음과 같이 현미분리기 분리효율을 주 요인으로 하고 현미

기의 처리능력을 부요인으로 하여 원료 정체지점 등의 도정시스템의 성능변화를 분석함으로써 설계의 기초자료로 이용하고자 하였다. 특히 현미기는 소형이 시간당 약 1.6톤의 처리능력이므로 반입량을 조절하여 사용하도록 하였다. 현미

기 반입량이 1.6 t/h 일 때 모델 A, 1.0 t/h 일 때는 대체모델 B로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

가. 현미분리기의 효율이 50%인 경우

현미분리기에서 그 경사각의 정도에 따라 분리효율이 달라지므로 본 모델에서 현미 분리효율이 50%라 가정했을 경우 현미기의 처리능력이 시간당 1.6톤과 1.0톤의 두 수준에서 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 표 1은 현미분리기 분리효율이 50%일 때 현미기의 처리능력에 따라 각 공정에서 제거되는 들, 왕겨, 미강 등의 양과 최종 쌀의 양을 나타내고 있다. 석발과정에서 제거된 들의 양은 약 6~11kg이었고, 전체 반입량에 대해 약 0.01%~0.03%에 해당되었다. 제현

과정의 왕겨풍구에서 제거된 왕겨량은 모델 A에서 8.3톤이었고 전체반입량의 19.7%를 차지하였으며, 모델 B에서는 8.0톤이었고 전체 반입량의 18.9%를 차지했었다. 그러나 청치 선별기에서의 미숙립 제거량, 정미기에서의 미강 제거량, 연미기에서의 미강 제거량, 쌀미의 양 그리고 최종 생산된 백미의 양은 제현능력에 관계없이 거의 비슷하게 나타났다. 그 이유는 벼 반입량은 일정하므로 제현능력의 차이에 따라 제현과정과 현미분리기의 과정에서만 차이가 있을 것으로 사료된다. 최종적으로 생성된 백미는 계량을 거쳐 약 10kg 단위의 포장된 백미로 나오는데 최대로 생성될 수 있는 백미의 양은 약 31톤으로 도정수율은 현미기의 처리능력에 관계없이 약 73.6~73.8%로 나타났다.

Table 1. The number of total entities collected from each process under 50% separating efficiency of brown rice separator

Item	No.of total entities		Weight, kg		Portion vs input(%)	
	Hulling capacity		Hulling capacity		Hulling capacity	
	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h
STONE	2	1	11	5.5	0.03	0.01
HUSK	1,512	1,455	8,316	8,003	19.7	18.9
UNRIPE GRAINS	17	17	94	94	0.2	0.2
POLISHER 1 BRAN	179	191	985	1,051	2.3	2.5
POLISHER 2 BRAN	168	172	924	946	2.2	2.2
POLISHER 3 BRAN	88	112	484	616	1.2	1.5
BRAN from HI-BRILLIANT POLISHER	58	64	319	352	0.8	0.8
BROKEN WHITE RICE	1	2	5.5	11	0.01	0.03
CLEANED RICE	3,143	3,155	31,116	31,235	73.6	73.8
TOTAL			42,254.5	42,313.5	100	100

Note : 'Portion vs Input' means the ratio of materials obtained or removed from each process against the total input of rough rice.

Table 2. File statistics maximum number of waiting entities and average waiting time of entities at each buffer tank under 50% separating efficiency of brown rice separator

Buffer tank	Max. waiting entities(kg)		Ave. waiting time(min)	
	Hulling capacity		Hulling capacity	
	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h
TANK 1	226kg	226kg	0.1min	0.3min
TANK 2	484	534	13.2	14.4
TANK 3	66	55	1.1	1.0
TANK 4	61	50	0.9	0.7
TANK 5	143	138	0.7	0.7

각 공정에서의 원료 정체량과 정체시간은 각 공정을 위해 설치된 보조탱크들의 용량을 결정하는 데 있어서 매우 중요하다. 표 2에서 보는 바와 같이 보조탱크 2에서 높은 정체 현상을 보이고 있다. 보조탱크 2에서 원료 최대 대기량과 평균 대기시간은 제현능력 1.6t/h에서 484kg과 약 13분 이었고, 제현능력 1.0t/h에서 534kg과 약 14분으로 나타났다. 그러나 다른 보조탱크에서는 하나의 평균 대기시간이 2분이하로 원료 흐름에 별 문제가 없었다. 따라서 보조탱크 2에서 정체현상을 야기시키는 현미분리기의 효율을 증가시키므로써 정체현상을 해소하고자 현미분리기의 분리효율을 60%와 70%인 경우의 대체모델에 대한 분석이 요구되었다.

나. 현미분리기 분리효율이 60% 및 70% 인 경우

현미분리기 앞에 설치된 보조탱크 2에서의 병목현상은 현미분리기의 분리능력이 낮는데 원인을 찾을 수 있다. 현재 현미분리기에서 50% 만이 현미로 골라져 정미공정으로 향하고 나머지 45%는 벼와 현미가 혼합된 것으로 보조탱크 2번으로 되돌아가기 때문에 탱크 2에서 정체현상을 보이는 것으로 나타났다. 이에 좀더 효율적이고 안정적인 시스템을 구축하기 위해 대체모델을 개발하여 시뮬레이션 분석을 하였다. 현재 문제 시 되고 있는 현미분리기의 분리효율을 현재 50%에서 60%, 70%로 각각 변화시키면서 결과를 살펴보았다.

현미분리기 분리효율이 60%이고, 제현능력이 1t/h 일 때는 돌로 골라진 엔티티의 갯수는 1개이고 그 무게는 6kg 정도이었다. 왕겨로 배출된 엔티티의 양은 1,469개로서 약 8톤에 해당하는 양이고 투입된 전체 곡물양에 대해 약 19%가

Table 3. Average waiting time of entities at each tank under 50%, 60% and 70% separating efficiency of brown rice separator

Buffer tank	S.E. 50%		S.E. 60%		S.E. 70%	
	Hulling capacity		Hulling capacity		Hulling capacity	
	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h
TANK 1	0.1min	0.3min	0.1min	0.3min	0.1min	0.3min
TANK 2	13.2	14.2	4.3	3.7	1.0	0.8
TANK 3	1.1	1.0	6.0	5.7	9.7	11.6
TANK 4	0.9	0.7	2.9	4.1	4.0	4.7
TANK 5	0.7	0.7	2.8	2.8	3.6	3.3

왕겨로서 배출되었다. 청치선별기에서 골라진 청치의 양은 엔티티 갯수가 18개로서 약 99kg에 해당하는 양이고 3대의 마찰식 정미기에서 생산된 총 미강의 양은 438개의 엔티티로서 약 2.4톤에 해당하는 양이다. 또한 연미기에서 생산되는 미강의 양은 엔티티 갯수 58개로서 약 319kg에 해당된다. 전체 생산된 청결미의 양은 엔티티 갯수 3,167개로서 약 31톤에 해당되며 이는 도정수율이 74.2%임을 나타내었다.

현미분리기 분리효율이 70%이고, 체현능력이 1t/h 일 때는 들과 채미는 엔티티가 1~2개(6~11kg)로 나타났으며 왕겨의 양은 약 7.5톤으로 총 벼의 약 18%에 해당되었다. 3대의 정미기에서 나온 미강의 양은 약 2.3톤이며 연미기에서 생산된 미강의 양은 약 330kg을 나타냈다. 최종적으로 포장되어 생산된 청결미의 양은 약 32.1톤으로 도정수율이 75.9%로 나타났다.

표 3은 현미분리기 분리효율이 50%, 60%, 70%일 때 각 보조탱크에서의 원료의 정체정도를 나타냈는데 이같은 자료는 보조탱크의 용량을 결정하는 중요한 자료가 되었다. 탱크 1은 현미분리기 분리효율에 크게 영향을 받지 않으나 탱크 2는 현미분리기 분리효율 50%일 때는 평균 기다리는 시간은 약 14분이었으나 분리효율이 60%일 때는 약 4분으로 급격히 떨어지면서 정체현상이 줄어들어 가는 것으로 나타났다. 현미분리기 분리효율이 70%일 때는 탱크 2에서 기다리는 시간은 더욱 짧아져 약 1분으로 되지만 탱크 2에서의 대기시간 감소로 말미암아 탱크 4에서 현미분리기 분리효율 50%일 때는 평균 대기하는 시간이 약 1분이었던 것이 분리효율이 60%, 70%로 높아지면서 평균 대기시간도 약 4분, 5분으로 또 다른 병목현상이 생성됨을 알 수 있다. 또한 표 4는 현미분리기 분리효율에 따라 각 보조 탱크에서의 최대 정체량을 나타내고 있는데, 두 수준의 체현능력간에는 별차이가 없었으나 현미분리기의 분리효율에 따라 그 정체량이 다르게 나타났다. 표 4에서와 같이 현미분리기 분리효율이 60%일 때 보조탱크 2에서의 정체현상이 현저히 줄어들었으며, 특히 체현능력이 1.0t/h일 때 보다 원료의 최대 정체량이 적었다. 그러

나 현미분리기 분리효율을 70%로 증가하였을 때에는 오히려 보조탱크 4에서 원료의 정체현상이 크게 발생하였다. 따라서 현미분리기의 분리효율이 60%이고 체현능력이 1.0t/h 일 때의 원료의 최대 정체량에 기준하여 보조탱크의 용량을 약 300kg 이상으로 하는 것이 요구되었다. 그리고 시간당 1.6톤까지 처리가능한 소형현미기의 시간당 처리량을 약 1톤 정도로 조절하는 것이 원료의 정체도를 줄일 수 있었다. 또한 현미분리기의 경사각을 조절하여 분리효율이 60%수준을 유지할 수 있도록 하는 것이 요구되었다.

이같은 시뮬레이션 결과에 따라 백미를 시간당 0.5톤 생산할 수 있는 미곡 도정시스템의 개발을 위해 다음과 같이 기계를 선정하였다. 석발기는 2t/h의 처리능력, 현미기는 1t/h의 처리능력, 현미분리기는 1t/h 처리능력의 60% 분리효율, 정미기는 0.5t/h 처리능력, 연미기는 1t/h 처리능력을 갖도록 하였고, 모든 승강기의 벨트 속도는 약 1.2m/s로 하였다.

표 5는 현미분리기 분리효율이 50%, 60%, 70%일 때의 현미기, 계량기, 현미분리기, 정미기, 연미기의 평균활용도를 나타낸 것이다. 표 5에서 보는 바와 같이 현미분리기를 제외한 다른 주요 기계들은 활용도면에서 대체로 별차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 현미분리기는 분리효율이 좋아짐에 따라 평균 활용도가 40%에서 33%로 떨어지며 분리효율이 70%일 때는 29%를 나타냈다. 즉 여기서 평균 활용도가 낮아진다는 의미는 현미분리기 사용 시간이 짧아진다는 의미를 나타낸다. 분리효율이 50%일 때 현미분리기의 최대 사용시간은 약 579분 정도 사용한 것으로 나타났고 60%일 때는 최대 사용시간이 249분으로 줄어들었으며 분리효율 70%일 때는 130분으로 나타났다. 그리고 도정시스템은 총 시뮬레이션 시간 8일 중에서 약 33% 정도로 가동된 것으로 나타났다.

Table 4. Maximum waiting entities at each tank under 50%, 60% and 70% separating efficiency of brown rice separator

Item	S.E. 50%		S.E. 60%		S.E. 70%	
	Hulling capacity		Hulling capacity		Hulling capacity	
	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h
Buffer tank						
TANK 1	226kg	226kg	215kg	215kg	220kg	220kg
TANK 2	484	534	325	237	198	110
TANK 3	66	55	204	154	292	363
TANK 4	61	50	88	105	110	121
TANK 5	143	138	182	193	198	187

Table 5. Average utilization of each RESOURCE

Item	S.E. 50%		S.E. 60%		S.E. 70%	
	Hulling capacity		Hulling capacity		Hulling capacity	
	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h	1.6 t/h	1 t/h
Buffer tank						
RICE HULLER	17%	28%	17%	27%	16%	26%
BROWN RICE SEPARATOR	40	40	34	34	29	29
RICE POLISHER	36	36	36	36	36	36
HI-BRILLIANT POLISHER	37	37	37	37	37	37
SCALE	37	37	37	37	38	38

* Average utilization(%)=the time a Resource is operated×100/total simulation time.

4. 요약 및 결론

소형 미곡 도정시스템을 개발하고자 도정시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 슬램시스템을 사용하여 개발하였다. 개발된 모델을 사용하여 소형 미곡 도정공장에 대한 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미곡 도정공장의 공정을 분석한 후 SLAM-SYSTEM을 사용하여 도정공정에 관한 일반화된 시뮬레이션 모델을 개발하고, 이를 기초로 시간당 0.5톤의 가공능력을 가진 소형 미곡도정공장을 분석하고 설계하고자 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

2. 시뮬레이션 분석에서 현미분리기의 분리효

율에 따라 도정시스템의 원료흐름(정체현상)이 큰 영향을 받았다. 특히 현미분리기의 분리효율이 50%인 경우에 현미분리기 전의 보조탱크에서 정체현상이 발생하였다. 그래서 현미분리기 효율이 60%, 70%일 때 원료의 흐름 정도를 분석한 결과 현미분리기 분리효율이 60%일 때가 원료의 정체도가 가장 적게 나타났다. 이에 현미분리기의 분리효율이 60%에 준할 때의 원료정체도에 따라 보조탱크의 용량을 결정하는 것이 좋다고 사료되었다.

3. 현미기의 제현능력을 고려한 대체모델의 시뮬레이션에서 현미기의 제현능력이 1t/h이고, 벼와 현미의 혼합물을 시간당 1톤 처리하는 현미분리기의 분리효율을 60%일 때 원료의 정체

현상을 최소화 할 수 있으며, 이 조건이 적정조건이라 사료된다. 이때 각 공정에서 원료의 최대 정채량은 250kg 이하로 나타났으며, 보조탱크의 용량은 각 탱크에서의 정채량을 상회하는 수준으로 설계되는 것이 요구되었다.

4. 시뮬레이션에서 소형 미곡 도정시설의 도정수율은 약 74%로 나타나 약 73% 수준인 실제 도정공장의 도정수율과 거의 일치하였다. 또한 시뮬레이션에서 탈부율은 85%, 투입된 현미의 무게에 대한 생산된 백미중의 완전미 무게의 비인 완전미수율은 약 92%이었으며 쌀의 분도는 제거된 미강의 양이 8.3%로 약 11분도 쌀이었다.

참 고 문 헌

1. 고태균, 정종훈, 1991. 농작물의 운송시스템을 위한 슬램II 시뮬레이션 모델링(I)-운송시스템 모델개발-, 한국농업기계학회지 16(2), 159~166.
2. 고태균, 금동혁 외 5인, 1990. 농산가공기계학, 향문사
3. J.H.Chung, L.R.Verma, M.P.Mailander. 1991. SIMULATION OF A RICE DRYING SYSTEM. Transactions of the ASAE 34(5) : 2065~2072.
4. Pritisker A. Alan B., Introduction to Simulation and SLAMII, Third Edition, A Halsted Press Book, John Wiley & Sons, 1986