

미곡 도정공장의 시뮬레이션과 자동화 (I) - 시뮬레이션 모델 개발

정종훈 · 염기오

전남대학교 농과대학 생물산업공학과

Simulation and Automation of a Rice Mill Plant (I) - Development of Simulation Model

Jong Hoon Chung and Gi O Youm

Department of Biosystems and Agricultural Engineering,
Chonnam National University

Abstract

A rice mill plant with a capacity of 2.5 ton/hr was constructed with automated facilities of PLC, load cells, tank levelers, air cylinder gates, etc at Chonnam National University. A simulation model was developed with SLAMSYSTEM for evaluating and analyzing the rice mill plant and its automation. The developed model was validated in the views of hulling efficiency, milling efficiency, milled rice recovery, other materials produced, and bottlenecks in the processes. The results of hulling efficiency, milling efficiency, milled rice recovery in the simulation were, respectively, 81.1%, 89.5%, and 73.1%, while those of the actual mill plant were 81.5%, 90.2%, and 73.5%. The simulation results including the rates of other materials(chaff, bran, broken rice, stone, etc) produced in the processes were almost similar to those of the actual process. In the simulation the bottlenecks were shown in the processes of separating brown rice and of sorting colored rice. These phenomena also appeared in the actual process. It needed to increase the hourly capacity of the brown rice separator and the rice color sorter. The developed model could well express the automated rice mill plant, but an alternative model needed to be developed for the control of the system more accurately and for increasing the rice quality.

Key words: simulation model, automation, rice mill plant, evaluation

서 론

미곡종합처리장의 도정공장 설치에 앞서 도정공정 및 시스템에 대한 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 곡물 선별, 제현 및 정백 공정 등에서 많은 문제점이 야기되고 있다. 특히, 미곡 도정공장의 문제점을 해결하기 위해서는 도정공정에 대한 이론적 분석뿐만 아니라 각 단위기계들의 성능을 개선하고 고성능의 단위기계들을 개발하며 도정라인을 자동화하는 연구가 절실히 요구되고 있다(정종훈, 1997). 이에 도정공정에 대한 이론적 분석 방법을 제시하며, 원료 흐

름의 정체를 막고 단위기계의 활용도를 최대화 하며 단위시간당 생산량을 증대시키고 도정수율도 향상시킬 수 있는 자동화된 미곡 도정시스템을 개발하기 위해서 전남대 미곡 도정공장에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고자 하였다. 원래는 이 도정공장을 설치하기 전에 미리 시뮬레이션을 수행해 적정 설계를 해야 했으나, 시간 관계상 하지 못하고 기존 도정공장 설치업체들의 경험적 설계에 기초하여 설치하였다. 이에 설치된 도정공장에 대한 진단과 공정 자동화 및 효율화 그리고 쌀품질 향상을 위해서 도정공정에 대한 이론적 분석이 요구되어 시뮬레이션을 수행하고자 하였다.

정종훈 등(1995)은 소형 도정공장(0.5 t/h)의 설계에 시뮬레이션을 적용하여 시뮬레이션 모델을 개발한

Corresponding author: Jong Hoon Chung, Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

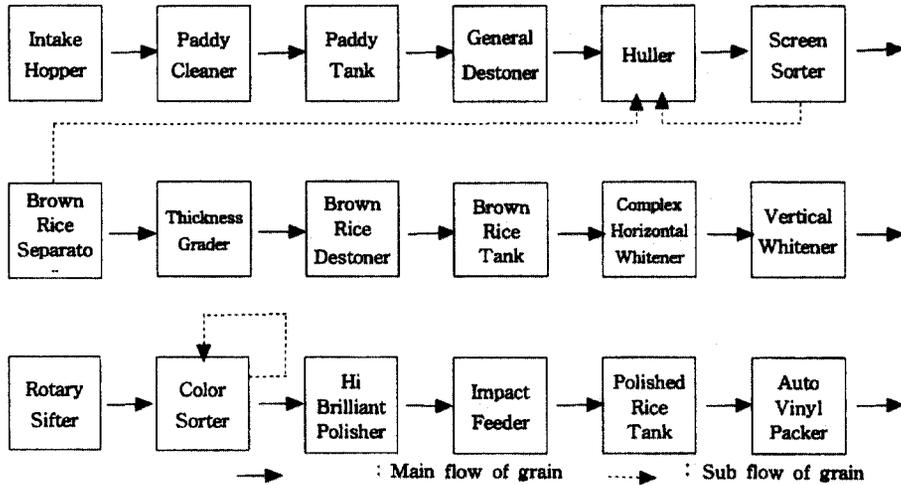


Fig. 1. The block diagram of the rice milling plant at CNU.

후, 요동식 현미분리기의 분리효율이 원료의 흐름에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 현미분리기의 현미분리효율이 50%일 때는 현미분리용 보조탱크에서 원료가 많이 정체되므로 병목현상이 발생하는데 현미분리기 분리효율을 60%-70% 수준으로 상승시킴으로써 원료 정체현상을 없앨 수 있다고 보고하였다. 특히 원료 곡의 수분 함량에 따라 벼 및 현미의 마찰, 비중 등의 물성이 달라지므로 현미분리기 경사각의 적정 조절이 요구되었다.

정중훈과 이종욱(1997)은 한국의 전통 쌀엿제조공장인 창평 쌀엿공장의 모든 공정들을 SLAMSYSTEM을 이용하여 모델화하였고, 공장에서 실측한 자료를 기초로 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 이 모델을 검증한 후 쌀엿제조공장의 생산성을 향상시키고자 대안 모델을 개발하여 공정의 개선책을 제시하였다. 여기서 일부 공정시간을 단축하고, 수작업 공정을 기계화로 전환시키고, 단위기계들의 활용도를 증대시킴으로써 쌀엿의 생산성을 증대시키는 방안을 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 미곡 도정공장을 진단, 분석하고, 도정공정의 효율화 및 자동화 측면에서 미곡 도정공장을 개선하는데 있다. 본 연구의 구체적 목적은 1) SLAMSYSTEM을 이용해 전남대 도정공장에 대한 시뮬레이션 기본모델을 개발 및 검증하고, 2) 개발한 모델을 통해 미곡 도정공정을 진단하고 문제점을 분석해 이에 대한 해결책을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

미곡 도정공장의 구성

본 연구에서 분석하고자 하는 전남대 미곡 도정공장의 도정능력은 벼기준 시간당 3톤 이상이다. 도정공장의 주요 시설에 대한 공정도는 Fig. 1과 같으며, 주요 도정기계들의 사양은 Table 1과 같다. 곡물 반입부에는 본 연구진이 개발한 20톤/시간 처리규모의 좌우요동식 곡물 조선키를 설치하였다. 체현부에는 시간당 3톤이상을 처리할 수 있는 종합석발기, 반자동 현미기, 현미분리용 체선별기 및 요동식 현미분리기, 청치선별기, 현미 석발기, 현미탱크 등의 순으로 설치하였다. 정미선별부에는 1차 정미기로 완패스정미기, 2차 정미기로 입형정미기, 로터리 시프터, 색채선별기, 연미기, 유량계(impact feeder), 백미탱크 등의 순으로 설치하였으며, 포장부에는 전자동 비닐포장기를 설치하였다.

도정공정의 자동화

도정공정은 Programmable Logic Controller (PLC)로 구성된 중앙제어반에서 수동 및 자동으로 제어하며, 현미기, 정미기, 색채선별기, 유량계, 포장기 등은 현장제어도 가능하도록 설치하였다. 단위기계는 순차적인 가동은 물론, 기계설비에 과부하나 이상이 발생하면 경보와 함께 순차적으로 작동이 중단되도록 하였다. 벼탱크, 현미탱크, 백미탱크의 주탱크는 다른 보조탱크에 비해 상대적으로 용량이 크기 때문에 기계설비의 고

Table 1. Machinery of a rice mill plant at Chonnam National University (CNU)

Machinery	Model	Maximum capacity	Capacity used
Paddy cleaner	Book Sung, batch type	20 t/h	2.5 t/h
General de-stoner	Kook Gwang	6.0 t/h	2.5 t/h
Huller	Myung Jin MJH-SBCA	4.5 t/h	3.0 t/h
Screen sorter	Book Sung	4.0 t/h	3.0 t/h
Brown rice separator	Daeryuk tray type	4.0 t/h	3.0 t/h
Thickness grader	Two Rotary screeners	4.0 t/h	3.0 t/h
Brown rice de-stoner	Kook Gwang	4.0 t/h	3.0 t/h
Complex whitener	Complex, Book Sung	4.0 t/h	2.1 t/h
Vertical whitener	HRW-4	4.0 t/h	2.0 t/h
Rotary sifter	HRS-400	4.0 t/h	2.0 t/h
Color sorter	DCS-98S40	2.7 t/h	1.2 t/h
Hi-brilliant polisher	Bo Chun BCPWJ-2400	3.0 t/h	2.0 t/h
Impact feeder	SI-20F, Se Jin Tech.	20 t/h	2.0 t/h
Auto vinyl packer	Se Jin Tech.	1.8 t/h	1.8 t/h

장이나 과부하등의 이상 발생시 충분한 완충 역할을 하므로 각 주탱크 사이를 독립적인 제어 블록으로 구성하였다. 각각의 주원료탱크 및 보조탱크에 근접 스위치(proximity switch, leveler)를 부착하여 탱크에 있는 원료의 유무를 감지할 수 있도록 하였으며, 곡물의 양에 따라 주탱크들의 출구를 제어하도록 하였다. 또한, 현미탱크 및 백미탱크 하부의 다리에 5톤 용량의 로드셀(CAS LS-5와, BS-5) 4개씩을 설치해 탱크내의 원료량을 자동으로 모니터링할 수 있도록 하였다. 각 탱크에 부착된 공압 실린더 개폐장치와 근접스위치 그리고 주탱크의 무게측정을 위한 로드셀 등의 자동화 장치의 부착현황은 Fig. 2와 같다.

단위기계 처리능력 분석

시뮬레이션 모델의 입력자료로 이용하기 위해 단위 기계의 처리능력 분석, 공정상에 발생하는 돌, 검불, 청치 등의 이물질과 왕겨, 미강 등의 부산물, 최종 백미 생산량을 분석하기 위해 기초 도정실험을 실시하였다. 주탱크와 단위기계 보조탱크의 용적은 직접 측정하였고, 이 때 곡물의 산물밀도 및 안식각은 농협 미곡종합처리장 설계기준(1998년)에서 현미와 백미에 대한 곡물빈의 용적계산식 적용되는 산물밀도 및 안식각을 적용하였다.

단위 도정기계들의 처리능력을 산정하는데 있어 단

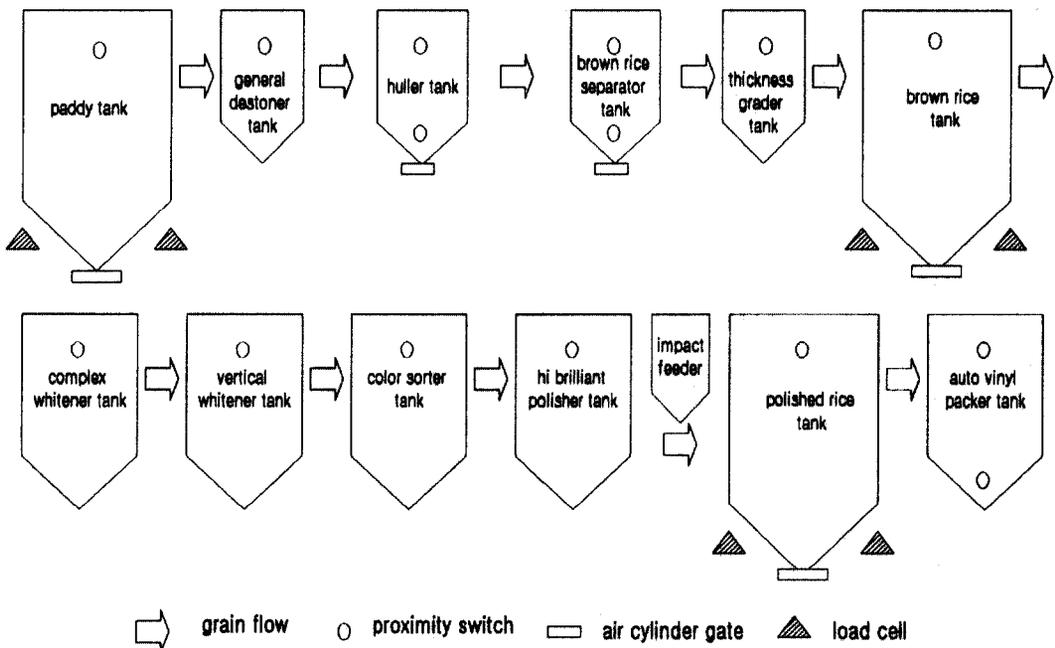


Fig. 2. The sensors and air cylinder gates attached to main and auxiliary tanks.

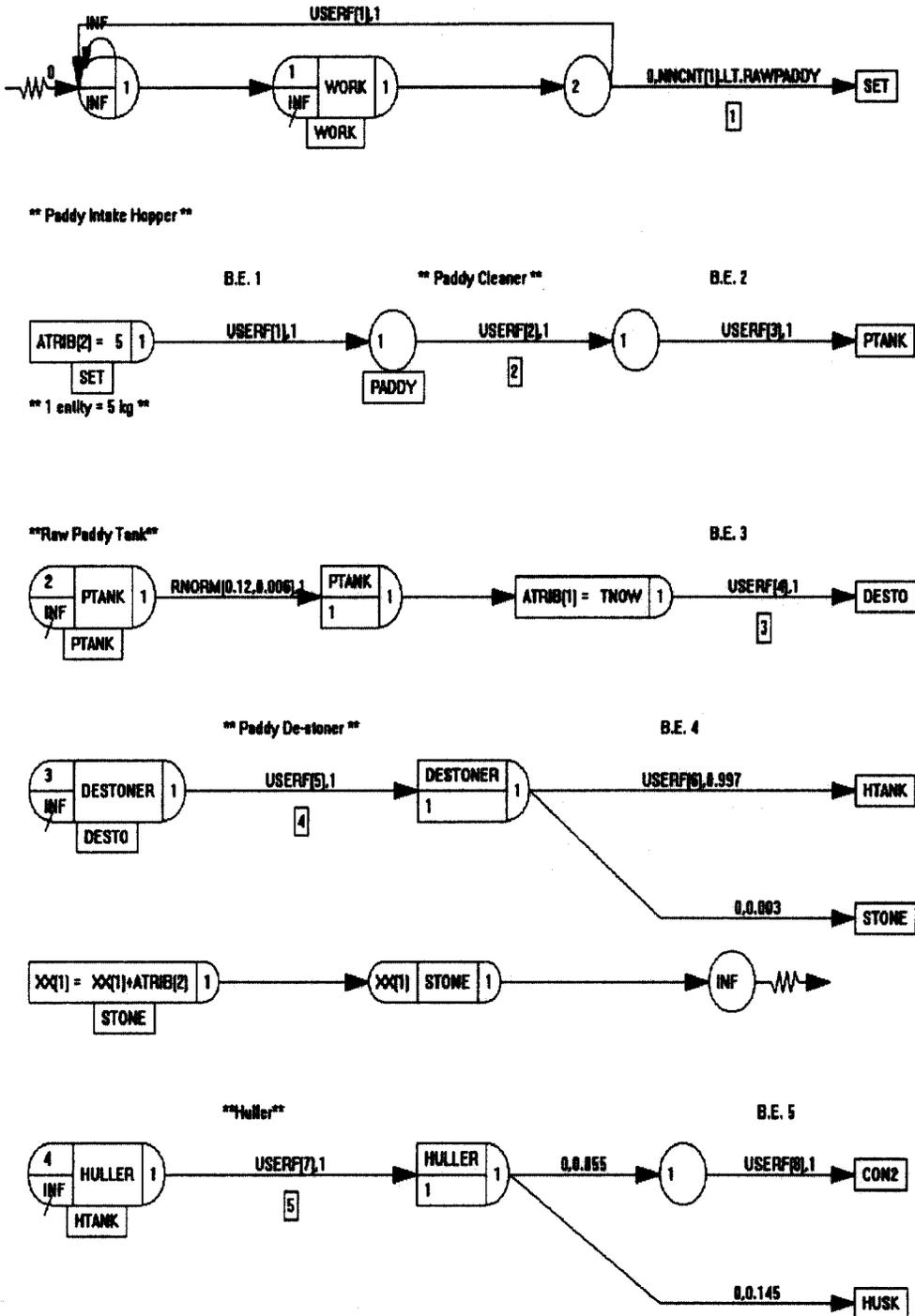


Fig. 3. A part of the main network in the basic model.

위기계 사양에 나타난 처리능력을 최대 처리능력으로 보았고, 실제 단위기계들의 현 처리능력은 단위기계

에 설치된 보조탱크 출력의 개폐 정도에 의해 결정되었다. 이에 일정량의 시료를 가지고 현재의 단위기계

의 처리시간을 5회 반복 측정하여 평균치를 현재의 실제 단위기계들의 처리능력으로 간주하였다.

공정상에 발생하는 이물질과 부산물의 비율, 현미 생산량, 최종 백미 생산량 등의 수율과 원료곡의 정제 정도를 측정하기 위해 도정실험을 실시하였다. 이 때 도정실험은 최종 청결미가 백도 39이상, 싸래기 함유율 2%이하가 되는 조건하에서 수행하였다. 이같은 도정실험을 위해 약 5000 kg 이상을 1회 시료로 5회 반복 실시하였다. 실험재료로는 1998년 전남대 농장에서 생산된 동진벼를 자체적으로 개발한 곡물냉각기와 PC 자동화 시스템을 갖춘 곡물사일로에서 15%(w.b.)로 건조하여 사용하였다. 실험방법은 벼원료탱크에서부터 백미탱크까지 연속적으로 도정공장을 가동시켜 정제와 정지현상이 발생하는 단위기계를 파악하였고, 단위기계에서 발생한 이물질 및 부산물 양, 현미 및 백미 생산량을 측정하여 총 원료곡 양에 대한 퍼센트로 나타냈다.

모델 검증

시뮬레이션 모델 검증을 위해 도정실험의 결과치와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 비교 분석한 주요 항목은 1) 탈부율, 정백수율, 도정수율, 2) 단위기계에서의 이물질 발생량, 3) 도정공정의 정제와 정지현상, 4) 단위기계 처리능력 등 이었다. 이들 항목들에 대해 시뮬레이션 결과와 도정실험 결과를 비교하여 개발한 모델과 전남대 미국도정공장간의 유사성을 검증하였다.

시뮬레이션 모델 개발

시뮬레이션 모델 개발에는 Pristker에 의해 개발된 SLAMSYSTEM을 사용하였다. 모델 개발에 사용된 기본적인 가정은 다음과 같았다. ① 원료 반입시간은 오전에 4시간, 오후에 4시간으로 하루 총 8시간으로 하고, 점심시간 1시간 동안은 원료가 반입되지 않는다. 그러나 반입외의 도정작업은 점심시간에 관계없이 계속적으로 이루어진다. 그리고 시뮬레이션의 단위시간은 분으로 가정하였다. ② 공정상에서 하나의 개체의 무게를 5 kg로 가정하였다. ③ 버킷엘리베이터의 이송시간에 슈트의 이송시간을 포함시켰다. ④ 함유율이 높은 원료곡의 경우 사각건조빈으로 반입되어 적정 함유율까지 건조되었다가 도정라인에 반입되는데 원료곡의 함유율을 기본모델에서 고려하지 않으므로 사각빈이 없는 것으로 가정하였다. ⑤ 기계의 고장 및 기타의 지연 요인은 없다고 가정하였다. ⑥ 분포함수는 일괄적으로 정규분포(RNORM())함수를 사용하고 표준편

차는 평균값의 5%로 가정하였다. ⑦ 각 단위기계에서 분리된 이물질에는 다른 물질이 섞여 있지 않다고 가정하였다. ⑧ 각 단위공정에서의 처리능력은 원료 반입공정에서 2.5 t/h, 현미가공공정 2.5 t/h, 백미가공공정 2.0 t/h, 포장공정 1.7 t/h으로 가정하였다.

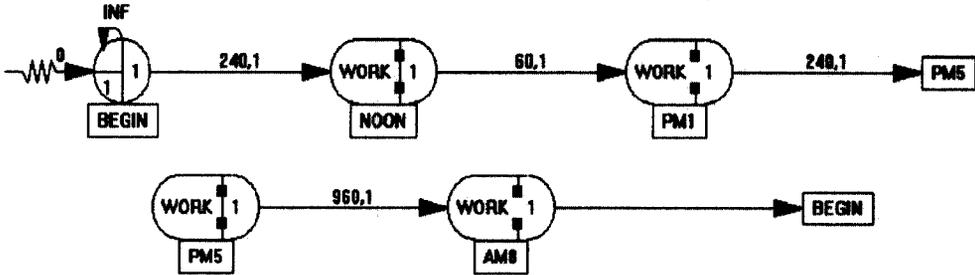
개발된 시뮬레이션 모델은 Fig. 3~5과 같으며, 모델은 네트워크(network) 모델과 사용자 모델(user insert model)로 구성하였다. PLC로 자동제어되는 도정공정은 네트워크 모델로 나타냈으며, 공정시간과 원료량 반입공정의 제어는 사용자 모델로 표현하였다. 곡물의 정제에 따른 탱크 출구들의 자동개폐 및 단위기계 작동의 자동제어가 SLAMSYSTEM의 노드(node)들으로써 모델화되었다. 개발된 네트워크 모델은 크게 주공정 네트워크(Fig. 3), 서브 네트워크(Fig. 4), 공정제어 네트워크(Fig. 5)으로 구성되었다.

주공정 네트워크는 자동화된 기본 도정공정을 모델화한 것이고, 서브 네트워크이란 주네트워크와는 별도의 개체 흐름을 생성해 주네트워크를 보조하는 네트워크를 말한다. 서브 네트워크(Fig. 4)에서는 시스템의 하루 8시간 반입을 모델화하기 위한 서브네트워크와 일정량의 원료 반입됨을 모델화하기 위한 서브네트워크로 구성되었다. 공정시간을 나타내는 서브네트워크는 GATE WORK를 일정시간 간격으로 OPEN과 CLOSE 노드를 이용하여 제어함으로써 하루 8시간 반입을 모델화하였다. 원료 반입량을 조절하기 위한 서브네트워크는 매 10초마다 개체를 발생시켜 ACTIVITY 1을 통과한 개체의 총 수를 감지하고 설정된 개체의 수를 초과한 경우 GATE WORK를 강제로 닫게 함으로써 더 이상의 개체 생성을 막는 것으로 모델화하였다.

공정제어 네트워크는 기본모델의 공정을 제어하기 위한 제어신호 발생과 탱크출구를 제어하는 네트워크를 말한다(Fig. 5). DETECT 노드, OPEN과 CLOSE 노드 및 ALTER 노드를 사용해 각 탱크의 용량을 감지하고 제어신호의 발생을 모델화하며 제어신호에 따라 ALTER 노드에서 RESOURCE 수를 0과 1로 변화시켜 탱크출구를 제어하는 것으로 모델화하였다. ACTIVITY 노드에 현재의 RESOURCE 수에 대한 조건을 주어 중복된 제어신호 발생에 의한 RESOURCE 제어 오류를 방지하였다.

사용자 삽입문을 통해 네트워크에서 제공하고 있지 않은 모델 요소 등을 사용자가 FORTRAN과 SLAM 내장함수를 이용해 모델화하고 네트워크에 삽입할 수 있는데, 본 연구에서는 사용자 삽입문을 이용하여 각 단위기계의 처리시간(duration time)을 네트워크에 삽입하였다. 그리고 사용자 삽입문에 원료곡 반입량을 제어하기 위해 SUBROUTINE EVENT문을 사용하였다. 제어

****Operating time of Rice Mill****



**** The Ending Condition of Mill Operation ****

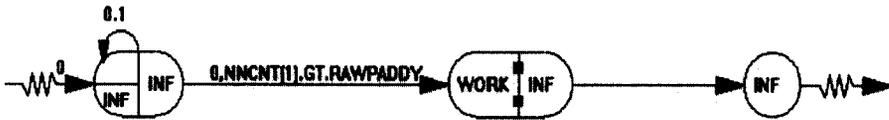


Fig. 4. The sub-network in the basic model.

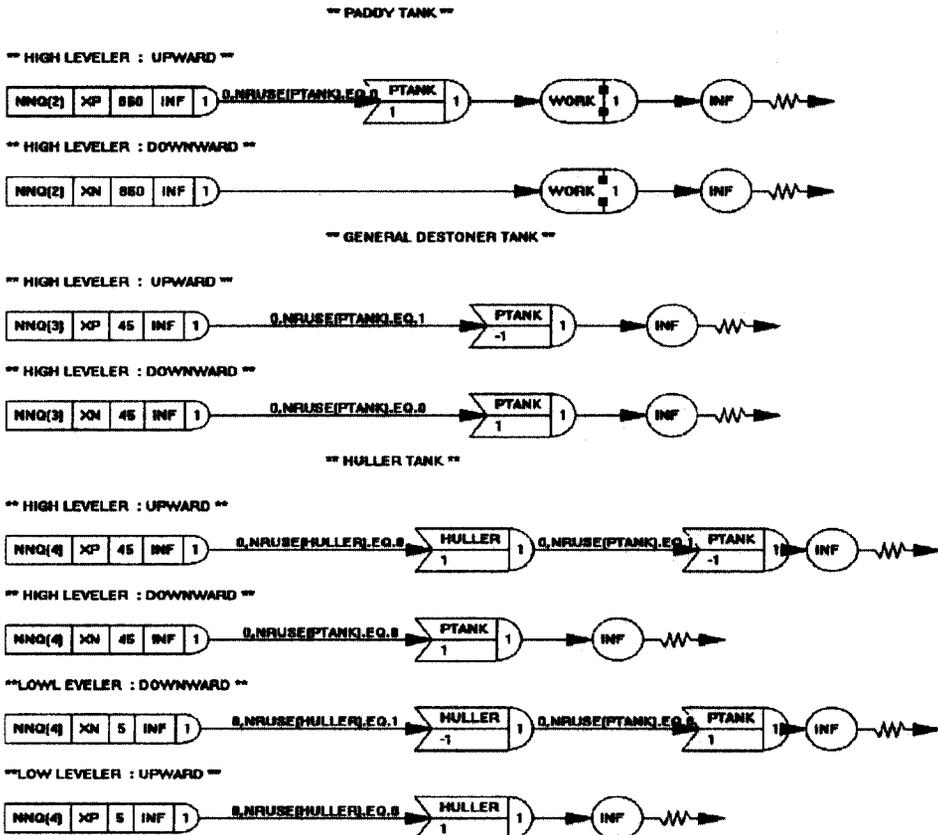


Fig. 5. A part of the control network in the basic model.

문에서는 네트워크 실행에 필요한 모델에 대한 일반 정보뿐만 아니라 변수 초기화, EQUIVALENCE 문, SEED 값, 출력 서식, 파일 수, 개체 속성 변수 수, 한번에 시스템 내에 머물 수 있는 개체 수, 프로그램 종료시간 등을 나타내었다.

결과 및 고찰

시뮬레이션 결과 및 고찰

투입된 곡물의 총 양은 조선키를 통과한 개체 수로

4001개(20,005 kg), 현미는 현미석탈기를 통과한 개체 수로 3245개(16,225 kg), 백미는 비닐포장기를 통과한 개체 수로 2899개(14,495 kg)임을 알 수 있었다. 따라서 탈부율은 투입한 곡물의 양에 대한 생산된 현미의 양에 대한 백분율로 탱크에 남아 있는 양을 감안하면 약 81.4%, 정백수율(현백률)은 투입한 현미의 양에 대한 생산된 백미 양에 대한 백분율로 90.1%, 도정수율은 투입된 곡물의 양에 대한 생산된 백미의 양에 대한 백분율로 탱크에 남아 있는 양을 감안하면 약 73.2%임을 알 수 있었다. 전체 시뮬레이션 시간 동안에 단

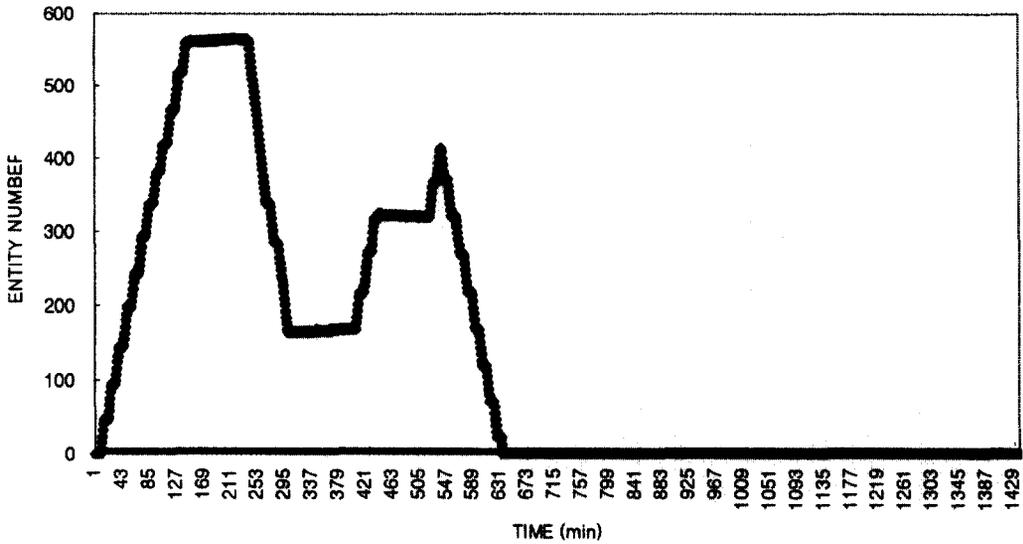


Fig. 6. The entity change of the paddy tank in the basic model.

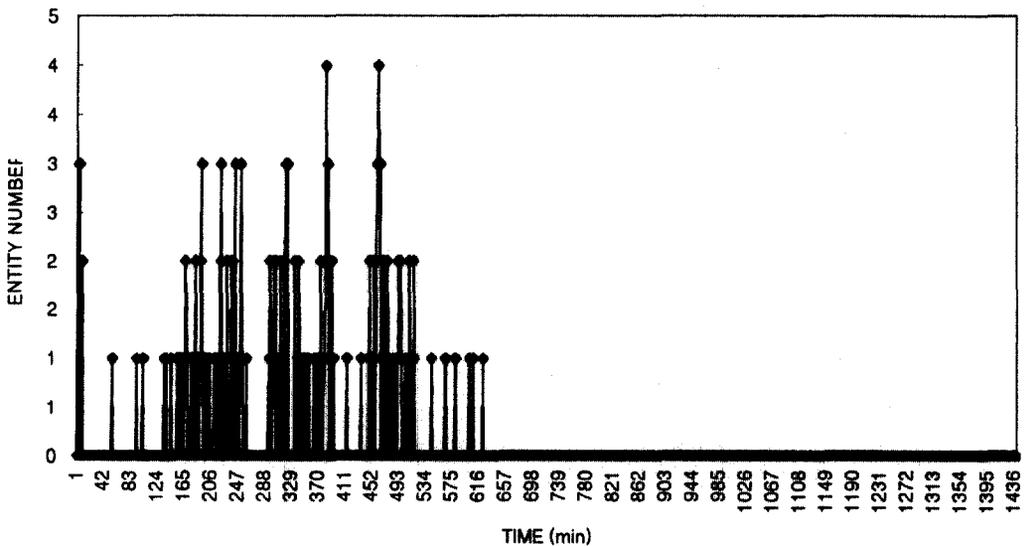


Fig. 7. The entity change of the huller auxiliary tank in the basic model.

위기계들의 평균활용도(average utilization)는 색채선별기를 제외하고 약 0.33 내외로 시뮬레이션 24시간중 작업시간 9시간(점심시간 포함) 동안에는 단위기계가 계속적으로 사용되었음을 알 수 있었다. 색채선별기의 평균활용도는 0.6으로서 작업시간외에도 계속해서 작동함을 알 수 있었는데, 이는 색채선별기의 처리능력 부족으로 인한 정체발생 때문에 작업이 지연됨을 보여 준다.

Fig. 6은 벼 원료탱크에서의 시간에 따른 원료량의 변화를 보여 주고 있다. 작업초기에는 하위레벨러가 부착된 현미기와 현미분리기의 보조탱크에 일정량의 원료가 누적될 때에 각 단위기계의 보조탱크가 열리게 되어 일정 시간후에 정상적으로 작동하게 된다. 즉 초기에는 불안정하기 때문에 벼원료탱크에서 최대 대기 개체수가 500개(2500 kg) 이상으로 개체가 상당히 많이 누적되고 있는데, 이는 현미분리기용 보조탱크의 용량 부족으로 이 탱크에 부착된 상위레벨러의 감지에 의해 벼탱크의 출구가 자주 닫히기 때문이었다. 그리고 약 2시간후에는 벼원료탱크의 반입과 반출이 거의 같아 일정 수준을 유지하였고, 4시간 경과후인 점심시간에는 원료가 반입되지 않기 때문에 벼원료탱크의 수준은 점차 감소하였다. 그후에는 점차 원료량이 안정적인 증가 추세를 나타내었으며, 하루 반입작업시간이 끝나는 시점에서부터 원료량이 점차 감소하였다. 이같이 벼 원료탱크의 최대용량이 약 5톤 이상이기 때문에 벼원료탱크에서는 문제가 되지 않았다.

Fig. 7은 현미기 보조탱크에서의 시간에 따른 원료량

의 변화를 보여 주고 있는데 현미기의 처리능력이 충분해 현미기 보조탱크에서는 최대 누적량이 개체 5개(25 kg) 이하로 전혀 정체현상이 일어나지 않았다. Fig. 8에서는 현미분리기 보조탱크의 상위레벨과 하위레벨이 빈번하게 감지되고 있음을 알 수 있는데 이는 현미분리기용 보조탱크 용량이 적기 때문이었다. 이에 현미분리기 보조탱크 상위레벨 감지로 벼원료탱크 게이트를 자주 닫히게 하고, 보조탱크의 하위레벨을 감지하게 되면 현미분리기가 자주 정지하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 샷(체)선별기와 현미분리기의 분리판의 경사각도와 처리능력을 적절히 조절해 선별효율과 처리하는 양을 조절해야 할 것으로 판단되었다. Fig. 9에서 색채선별기의 처리능력 부족으로 계속적인 정체가 약 890분까지 이어지고 있어 처리능력의 향상이 요구되었다.

기본모델 검증

탈부율, 정백수율, 도정수율

탈부율, 정백수율, 도정수율은 도정공정의 효율을 나타내는 중요한 지표로 이용되고 있다. 위의 세 가지

Table 2. The comparison of milling efficiency factors between experimental results and simulation results

Milling efficiency factors	Experimental results (%)	Simulation results (%)	Difference (%)
Hulling efficiency	81.5	81.1	-0.4
Milling efficiency	90.2	89.5	-0.7
Milled rice recovery	73.5	73.1	-0.4

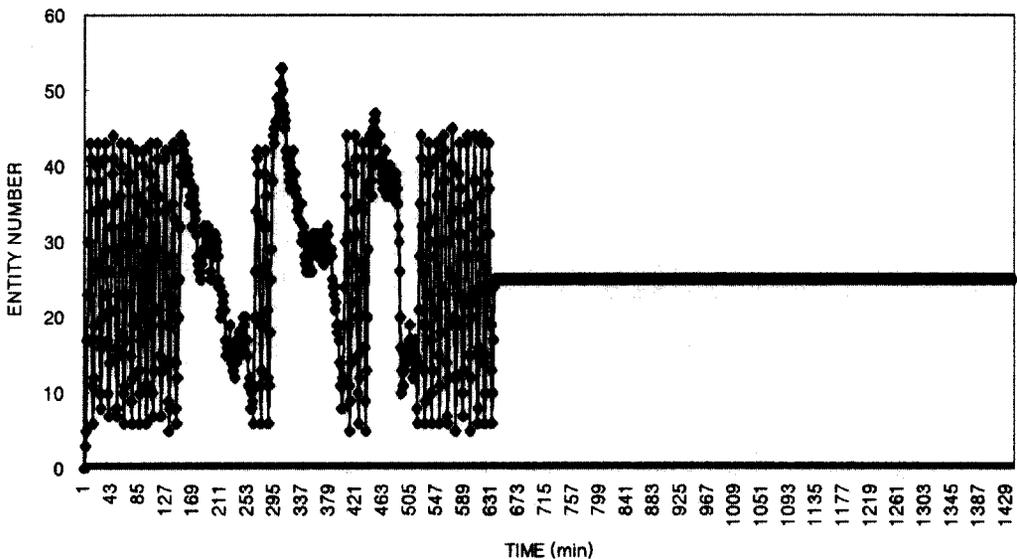


Fig. 8. The entity change of the brown rice separator auxiliary tank in the basic model.

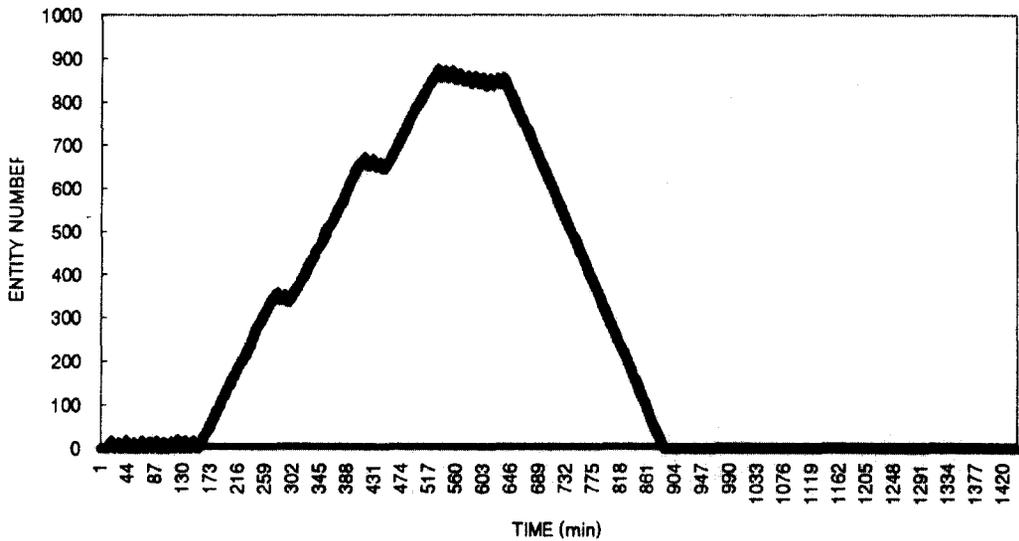


Fig. 9. The entity change of the color sorter auxiliary tank in the basic model.

Table 3. The comparison of quantity of materials between experimental results and simulation results

Machine/(Materials)	Experimental results		Simulation results		Difference (%)
	Quantity (kg)	Percent (%)	Quantity (kg)	Percent (%)	
General de-stoner/(Stone)	0.649	0.03	50	0.025	-0.05
Huller/(Husk)	390.9	17.8	3490	17.45	-0.35
Thickness grader/(Unripe grain)	12.379	0.58	90	0.45	-0.13
De-stoner/(Stone)	1.54	0.07	25	0.13	0.06
Whitener/(Bran)	98.78	4.5	915	4.58	0.08
Rotary sifter/(Broken rice)	54.9	2.5	535	2.68	0.18
Color sorter/(Colored rice)	15.37	0.7	240	1.20	0.5
Polisher/(Bran)	3.70	0.169	40	0.20	0.031
Polisher/(Polished rice)	1598	73.5	014495	73.1	-0.4
Total weight (kg)	2195	100	20000	100	

항목에 대한 모델검증을 위해 도정실험에서 측정된 결과와 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과를 비교 분석한 결과는 Table 2와 같다. 탈부율, 정백수율, 도정수율에서 그 차이가 각각 0.4%, 0.7%, 0.4%로 시뮬레이션 결과가 미소하게 낮게 나타났다.

그리고 도정실험에서 측정된 각 단위기계의 이물질 및 부산물 발생량과 시뮬레이션 결과에서 얻어진 이물질 및 부산물 발생량을 비교 분석한 결과는 Table 3과 같다. 두 결과간의 차이가 크지 않고 실제 도정실험에서도 곡물의 상태와 가공도에 따라 이물질 및 부산물 발생량이 있어 각 도정실험간에 약간의 차이가 있음을 감안할 때, 이물질 및 부산물 발생량을 시뮬레이션 기본모델로써 잘 예측할 수 있었다.

공정의 정체, 정지 현상

도정공정의 주요 공정인 석발, 제현, 정미 공정에서는 각 단위기계의 처리능력이 약 3톤이상이고, 연미 공정에서도 약 2.4톤 이상이 되어 이러한 공정에서는 원료의 정체나 단위기계의 정지현상은 없었다. 그러나 색채선별기에서는 백미의 품질을 고려해 착색립, 누 등의 이물질을 충분히 분리하기 위해 색채선별기의 감도(gain)를 높이고, 피드속도(feeding rate)를 낮춰 작동했기 때문에 이공정에서 가장 심한 정체가 발생하였는데, 시뮬레이션 결과에서도 색채선별기에서 최대 정체는 876개(4380 kg)의 개체로 색채선별기의 최대용량(133개)을 훨씬 초과하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 시뮬레이션에서 현미분리기 보조탱크에서 개체의 수가

하위레벨 이하로 빈번하게 내려가 현미분리기가 빈번하게 정지함을 알 수 있었으며 이러한 현미분리기의 정지현상은 도정실험에서도 동일하게 나타났다.

도정공정의 처리능력

전체 투입된 개체의 수 4001개(20,005 kg)를 현미가공공정의 작업시간 9시간으로 나누면, 시뮬레이션에서 현미가공공정의 처리능력은 약 2.2 (t/h)이 된다. 그리고 시뮬레이션에서 생산된 현미의 양은 3245개(16,225 kg)로 백미가공공정 작업시간 9시간으로 나누면 백미가공공정의 처리능력은 약 1.8 톤/시간으로 실제 도정공정의 처리능력과 근접함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 볼 때, 개발한 시뮬레이션 기본모델이 미곡 도정공장에 대한 문제점을 분석하고 도정시스템 개선과 공정자동화의 로직 개발에 대한 대안을 제시하기에 충분한 모델임을 알 수 있었다.

요 약

벼 기준 시간당 약 2.5톤을 처리할 수 있으며, 레벨 센서, 로드셀, 출구 자동개폐장치, 유량계 및 PLC 등으로 자동화된 미곡 도정공장을 설치하였다. 이 미곡 도정공장을 진단하고 분석하며 공정자동화를 위한 시뮬레이션 모델을 SLAMSYSTEM을 이용하여 개발하였다. 개발한 모델을 검증하기 위해 미곡 도정공장의 탈부율, 정백수율, 도정수율의 실측치와 시뮬레이션 결과치를 비교한 결과, 시뮬레이션에서 탈부율 81.1%, 정백수율 89.5%, 도정수율 73.1%으로 실측치에 비해 각각 0.4%, 0.7%, 0.4% 차이로 아주 미소하게 낮게 나타났다. 그리고 공정중에 발생되는 검불, 잔돌 등의 이물질과 왕겨, 미강, 싸래기 등의 부산물량에서도 그 차이가 아주 적게 나타났다. 시뮬레이션에서 공정의 정

체도를 분석한 결과 현미분리기의 처리용량이 낮고 현미분리기 보조탱크의 용량이 작아 빈번하게 벼원료탱크를 개폐하는 현상이 나타났으며, 이로 인해 종종 현미분리기가 정지하는 현상이 발생하였다. 이같은 현상은 실제 도정실험에도 나타나 현미분리기의 경사각 재조정, 현미분리기 4단 사용에서 5단 사용으로 처리능력 증대, 현미기 처리능력 조절 등이 요구되었다. 또한, 색채선별기에서도 정제현상이 나타나는 바, 색채선별기 피더 속도 증대, 피더 출구부 확대, 선별감도 감소 등으로 색채선별기의 최대 선별능력 2.4톤/시간에 근접할 수 있도록 재조정이 필요하였다. 개발한 시뮬레이션 모델로 자동화된 미곡 도정공장을 모델화하여 공정을 진단하고 분석할 수 있었다. 그리고 더욱 정확한 공정제어로 작업효율 및 품질 향상을 위해서는 개선된 대안 모델의 개발이 요구되었다.

문 헌

- 고학균. 1997. 농협미곡종합처리장 설계기준. 농업협동조합 중앙회
- 정종훈, 이종욱. 1997. 한국의 전통식 쌀엿 공장의 공정 개선을 위한 시뮬레이션. 산업식품공학 1(1): 29-34
- 정종훈, 유수남. 1997. 청결영양미 생산을 위한 미곡 도정기계의 개발. 농림부 현장애로사업 보고서
- 정종훈, 김보근. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미곡 도정공장의 적정 설계 및 개발(II) - 미곡 도정 시스템의 시뮬레이션. 한국농업기계학회지 20(1): 47-57
- 정종훈, 김보근, 최영수. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미곡 도정공장의 적정 설계 및 개발(I) - 미곡 도정시스템의 개발 및 성능평가. 한국농업기계학회지 20(3): 262-274
- Pritisker, A. and B. Alan. 1986. *Introduction to Simulation and SLAM (II)*, 3rd ed. A Halsted Press Book, John Wiley & Sons