

미곡 도정공장의 시뮬레이션과 자동화 (I)⁺

- 시뮬레이션 모델 개발 -

Simulation and Automation of a Rice Mill Plant

- Development of Simulation Model -

정종훈 *

정회원

J. H. Chung

염기오 *

정회원

G. O. Youm

1. 서론

미곡종합처리장의 설치에 앞서 도정시스템에 대한 충분한 기술적 검토가 이루어지지 않아 곡물 선별, 제현 및 정백공정 등에서 많은 문제점이 야기되고 있으며 미곡종합처리장의 문제점들을 해결하기 위해서는 도정시스템에 대한 체계적 연구뿐만 아니라 각 단위기계들의 성능을 개선하고 고성능의 단위기계들을 개발하며 도정라인을 자동화하는 연구가 절실히 요구되고 있다(정종훈, 1998). 이에 본 연구에서는 이러한 미곡종합처리장의 도정공정에 대한 체계적 접근 방법을 제시하고 곡물의 흐름에 있어 도정 라인의 자동화 시스템을 개선하기 위해 전남대 미곡 도정공장에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구의 목적은 1) SLAMSYSTEM을 이용해 전남대 도정공장에 대한 시뮬레이션 기본 모델을 개발하고 검증한다. 2) 대안모델 개발을 통해 분석된 도정공정의 문제점에 대한 해결책을 제시한다. 3) 도정공정의 자동화를 위한 제어로직을 개발하고 대안모델을 제시한다.

2. 재료 및 방법

가. 도정공장 구성

본 연구에서 모델하고자 하는 전남대 미곡 도정공장은 벼기준 시간당 2.5톤 이상의 도정 능력을 갖추고 있다. 주요시설에 대한 공정도는 그림 1과 같다. 도정공장은 중앙제어반에서 제어되며, 현미기, 정미기, 색채선별기, 연류계, 포장기 등은 현장제어도 가능하도록 구성되어 있다. 단위기계는 순차적인 가동은 물론, 기계설비에 과부하나 이상이 발생하면 경보와 함께 순차적으로 작동이 중단된다. 벼탱크, 현미탱크, 백미탱크는 상대적으로 용량이 크기 때문에 기계설비에 고장이나 과부하등의 이상 발생시 충분한 완충 역할을 하므로 각 탱크 사이가 독립적인 제어 블록으로 구성되어 있다. 각 탱크에 근접 스위치를 부착하여 보조탱크의 양을 감지할 수 있도록 구성되어, 곡물의 양에 따라 주탱크의 출구를 제어한다. 자동화 설비의 부착현황은 그림 2와 같다.

* : 전남대학교 농공학과

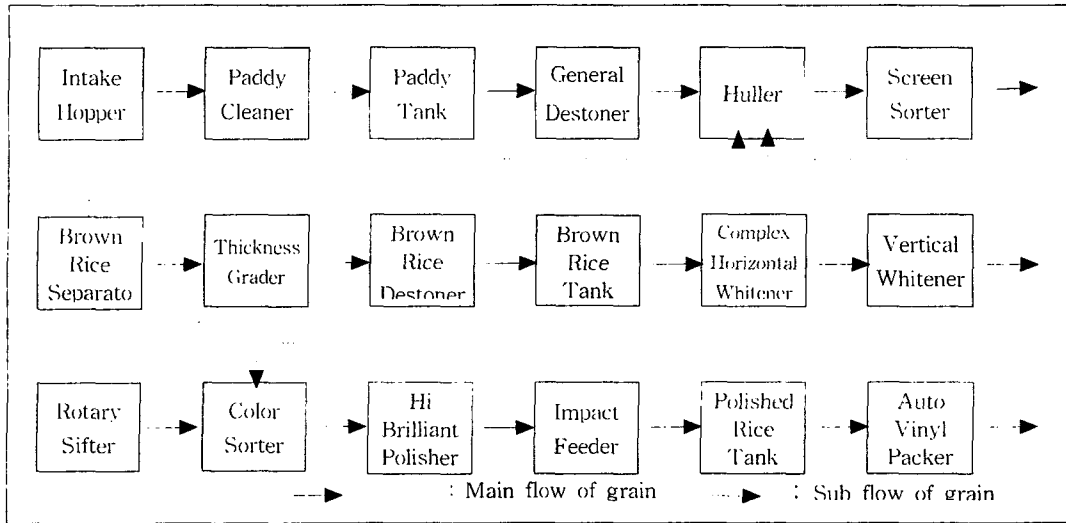


Fig 1 The block diagram of the rice milling plant at CNU

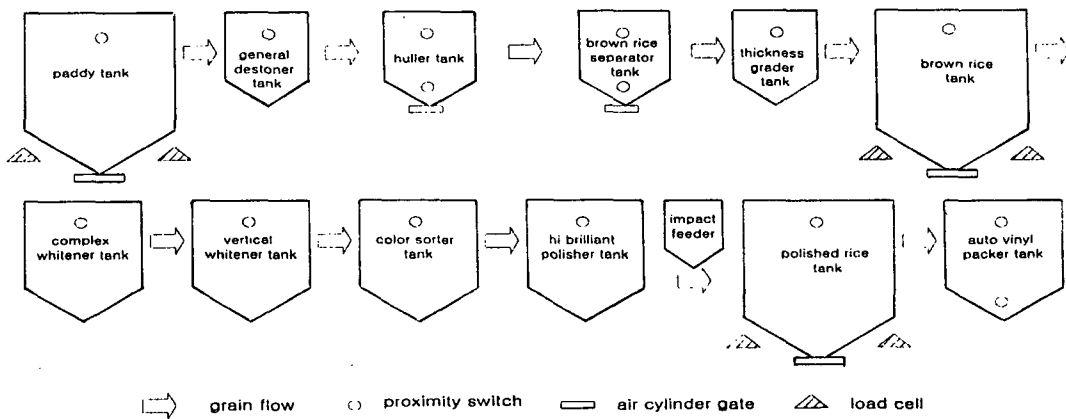


Fig. 2 The sensors and air cylinder gates attached to main and auxiliary tanks

나. 단위기계 처리능력 분석

시뮬레이션 모델의 입력 자료와 모델검증(validation)에 이용하기 위해 단위기계의 처리능력 분석, 이물질 및 부산물 발생량 분석 및 도정실험을 실시하였다.

1) 주탱크와 단위기계 보조탱크의 용적

탱크의 용적은 직접 측정하였고 산물밀도 및 안식각(angle of repose)은 농협 미국종합처리장 설계기준(1998년)에서 현미와 백미에 대한 곡물빈의 용적계산시 적용되는 산물밀도 및 안식각을 적용하여 각 탱크의 최대용량을 계산하였다.

2) 도정기계 처리능력

도정기계의 처리능력을 산정하는 데 있어 단위기계 사양에 나타난 처리능력을 최대 처리능력으로 보고, 현미 공정의 단위기계의 보조탱크가 최대용량이 270 kg인 점을 감안해 시료 250 kg를 처리하는 시간을 5회 측정하여 평균치를 현재의 실제 처리능력으로 간주하였다.

3) 이물질 및 부산물 발생량

도정실험은 도정공정의 정체와 정지현상 및 이물질 및 부산물 발생량을 측정하기 위해 약 5000 kg 이상을 1회 시료로 5회 실시하였다. 실험재료로는 1998년 전남대 농장에서 생산된 동진벼(함수율 24% w.b.)를 자체적으로 개발한 곡물냉각기와 PC 자동화 시스템을 갖춘 사일로에서 15%(w.b.)로 건조하여 사용하였다. 실험방법은 원료탱크에서부터 백미탱크까지 연속적으로 도정공장을 가동시켜 정체와 정지현상이 발생하는 단위기계를 파악하고 단위기계에서 발생한 이물질 및 부산물을 수거하여 양을 측정하고 총 원료곡 양에 대한 퍼센트로 나타냈다.

바. 모델검증 방법

시뮬레이션 모델 검증 방법은 도정실험을 통해 도정공정의 주요 평가항목인 1) 탈부율, 정백수율, 도정수율, 2) 단위기계의 이물질 발생량, 3) 도정공정의 정체와 정지현상, 4) 처리능력 항목에 대해 기본모델의 시뮬레이션 결과와 도정실험 결과를 비교하여 기본모델과 전남대 비곡도정공장 간의 유사성을 검증하였다.

4. 시뮬레이션 모델 개발

가. 기본모델 개발

시뮬레이션 모델 개발에는 Pegden과 Pristker에 의해 개발된 SLAM을 사용하였다.

1) 가정

① 원료 반입시간은 하루 8시간으로 하고 시뮬레이션의 단위시간은 분으로 가정한다. ② 공정상에서 하나의 개체의 무게를 5kg로 가정한다. ③ 버킷엘리베이터의 이송시간에 슈트의 이송시간을 포함시킨다. ④ 함수율이 높은 원료곡의 경우 사각건조빈으로 반입되어 적정 함수율까지 건조되었다가 도정라인에 반입되는데 원료곡의 함수율을 기본모델에서 고려하지 않으므로 사각빈이 없는 것으로 가정한다. ⑤ 기계의 고장 및 기타의 지연 요인은 없다고 가정한다. ⑥ 분포함수는 일괄적으로 정규분포(RNORM())함수를 사용하고 표준편차는 평균값의 5%로 가정한다. ⑦ 각 단위기계에서 분리된 이물질에는 다른 물질이 섞여 있지 않다고 가정한다. ⑧ 각 단위공정에서의 처리능력은 원료 반입공정에서 2.5 (t/h), 현미가공공정 2.5(t/h), 백미가공공정 2.0 (t/h), 포장공정 1.7 (t/h)으로 가정한다.

5. 결과 및 고찰

가. 시뮬레이션 결과 및 고찰

투입된 곡물의 총 양은 조선키를 통과한 개체 수로 4001(20,005 kg), 현미는 현미석발기를 통과한 개체 수로 3245(16,225 kg)개, 백미는 비닐포장기를 통과한 개체 수로 2899(14,495 kg)개임을 알 수 있다. 따라서 탈부율은 투입한 곡물의 양에 대한 생산된 현미의 양에 대한 백분율로 탱크에 남아 있는 양을 감안하면 약 81.4 %, 정백수율은 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 있다. 전체 시뮬레이션 시간에 대한 게이트의 열린 시간에 대한 단위기계의 활용도인, 평균활용도

(average utilization)에 있어 색채선별기를 제외하고 약 0.33 내외로 시뮬레이션 24시간 동안 8시간 동안 단위기계가 사용되었음을 알 수 있다. 색채선별기의 평균활용도는 0.6으로 색채선별기의 처리능력 부족으로 인한 정체발생과 작업지연을 보여주고 있다. 그림 3에서 주탱크 중 벼탱크에서 최대 대기개체수가 500개 이상으로 개체가 상당히 많이 대기하고 있는데, 이는 현미가공공정 중 현미분리기에서 빈번한 상위레벨 감지에 의한 벼탱크 게이트 제어 때문에 특히 현미분리기 전 과정의 단위기계인 종합석발기와 현미기 보조탱크의 상태가 5개 이하로 여유가 있음에도 불구하고, 벼탱크의 게이트를 닫기 때문으로 판단되었다.

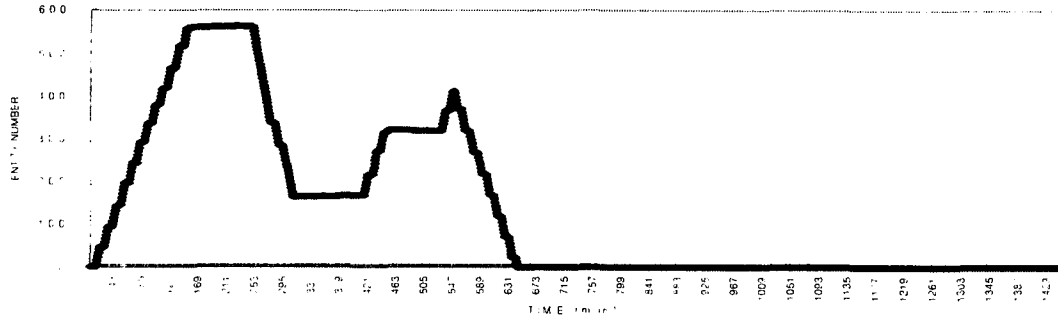


Fig. 3 The entity change of the paddy tank in the basic model

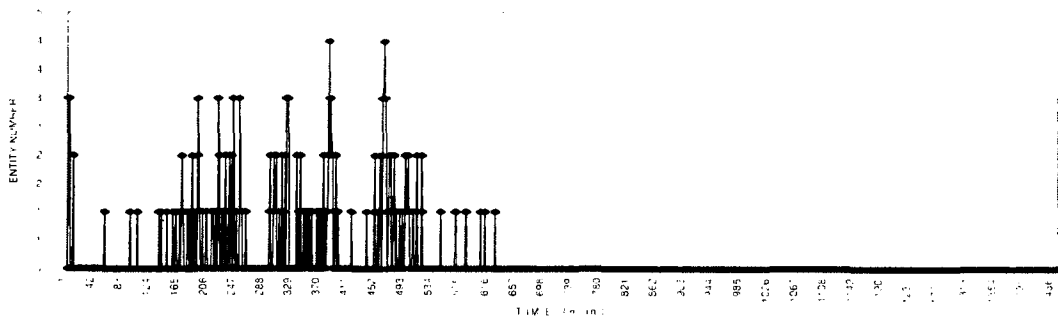


Fig. 4 The entity change of the huller auxiliary tank in the basic model

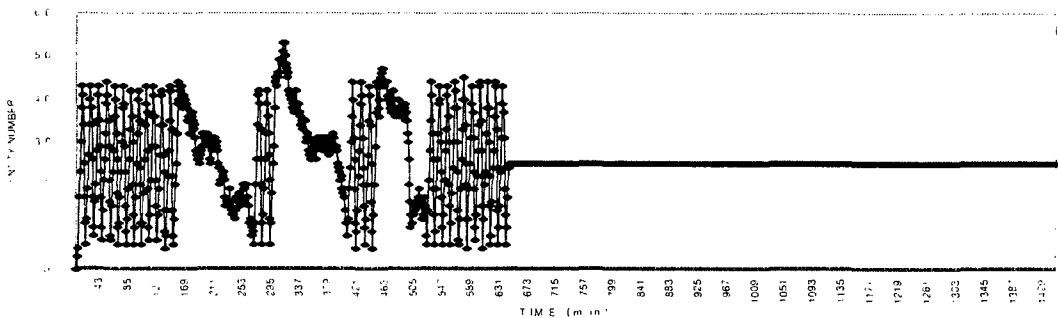


Fig. 5 The entity change of the brown rice separator auxiliary tank in the basic model

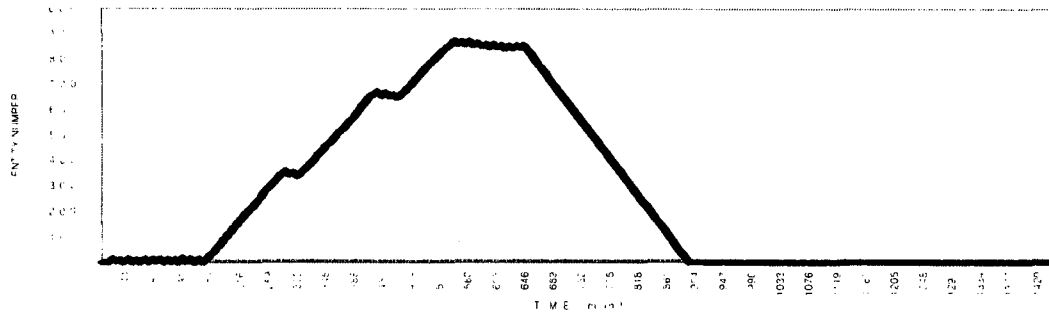


Fig. 6 The entity change of the color sorter auxiliary tank in the basic model

그림 4, 5에서 현미분리기 보조탱크의 상위레벨과 하위레벨이 빈번하게 감지되고 있음을 알 수 있다. 따라서 현미분리기가 벼탱크 게이트를 자주 닫고, 현미분리기가 자주 정지하게 되는데 이를 해결하기 위해서는 색채선별기와 현미분리기의 분리판의 경사각도와 처리능력을 적절히 조절해 선별효율과 처리하는 양을 조절해야 할 것으로 판단되었다. 그림 6에서 색채선별기의 처리능력 부족으로 인한 정체가 약 890분까지 이어지고 있어 처리능력 향상이 요구되었다.

나. 기본모델 검증

1) 탈부율, 정백수율, 도정수율

탈부율, 정백수율, 도정수율은 도정공정의 효율을 나타내는 중요한 지표로 이용되고 있다. 위의 세 가지 지표에 대한 검증을 위해 도정실험에서 측정된 결과와 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과를 비교 분석하였다(표 1). 탈부율, 정백수율, 도정수율에서 그 차이(difference)가 각각 0.4, 0.7, 0.4로 시뮬레이션 결과가 미소하게 낮게 나타났다.

2) 단위기계의 이물질 및 부산물 발생량

도정실험에서 측정된 각 단위기계의 이물질 및 부산물 발생량과 시뮬레이션 결과에서 얻어진 이물질 및 부산물 발생량을 비교 분석하였다(표 2).

Table 1 The comparison of milling efficient factors between experimental results and simulation results

Milling Efficient Factor	Experimental Result (%)	Simulation Result (%)	Difference
탈 부 율	81.5	81.1	0.4
정 백 수 율	90.2	89.5	0.7
도 정 수 율	73.5	73.1	0.4

두 결과간의 차이가 크지 않고, 실제 도정실험에서도 곡물의 상태와 가공정도에 따라 이물질 및 부산물 발생량에 있어 각 도정실험간에 차이가 있었음을 감안할 때 이물질 및 부산물 발생량에 있어 실제 도정공정을 시뮬레이션 기본모델로써 충분히 정확하게 모델화하였음을 알 수 있었다.

3) 공성의 정제, 정지 현상

색채선별기에서 백미의 품질을 고려해 착색립, 누 등의 이물질을 충분히 분리하기 위해

색채선별기의 감도(gain)와 피드속도(feeding)를 조절하기 때문에 가장 심한 정체가 발생하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 색채선별기에서 최대 정체는 876개로 색채선별기의 최대용량(133개)을 훨씬 초과하고 있음을 알 수 있었다. 시뮬레이션에서 현미분리기 보조탱크에서 개체의 수가 하위레벨 이하로 빈번하게 내려가 현미분리기가 빈번하게 정지함을 알 수 있었으며 이러한 현미분리기의 정지현상은 도정실험에서도 동일하게 나타났다.

Table 2 The comparison of quantity of materials between experimental results and simulation results

Machine/(Materials)	Experimental result		Simulation result		Difference
	Total weight 2195 kg	Percent(%)	Total weight 20000 kg	Percent(%)	
General De-Stoner/(Stone)	0.649	0.03	50	0.25	-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
Hi Brilliant Polisher/(Bran)	3.70	0.169	40	0.20	-0.031
Polished Rice	1598	73.5	14495	73.1	0.4

4) 도정공정의 처리능력

전체 투입된 개체의 수 4001개를 무게로 환산하고 현미가공공정의 작업시간 약 9시간으로 나누면, 시뮬레이션에서 현미가공공정의 처리능력은 약 2.23 (t/h)이 된다. 그리고 시뮬레이션에서 생산된 현미의 양은 3245개로 무게로 환산하고 백미가공공정 작업시간 14시간으로 나누면 백미가공공정의 처리능력은 약 1.2 톤/시간으로 실제 도정공정의 처리능력과 동일함을 알 수 있었다.

이상의 결론을 통해, 전남대 도정공정에 대한 시뮬레이션 기본모델의 검증결과 기본모델이 도정공장에 대한 문제점을 분석하고 도정 시스템 개선과 자동화 시스템 및 로직 개발에 대한 대안을 제시하기에 충분한 모델임을 검증할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 고태관, 정종훈, 1991. 농작물의 운송시스템을 위한 SLAM (II) 시뮬레이션 모델링((I))-운송시스템 모델개발-, 한국농업기계학회지 16(2) : 159-166
2. 정종훈, 라리 알 버어마, 1991. Simulation of rice drying in a bin system with an automatic gas-modulating burner, 한국농업기계학회지 16(2) : 167-177
3. 김보권, 1995. 시뮬레이션에 의한 미곡 도정공장의 적정설계 및 개발, 전남대 석사학위논문
4. 미곡종합처리장 자문단, 1997. 농협미곡종합처리장 설계기준
5. Syed A. Shah, Martin R. Okos, G. V. Reklaitis, 1985. Production shceduling in Food Processing Plants, Transaction of the ASAE 28(6) : 2078-2082
6. William T. Proctor P.E, Toni M. arms, 1996. Food processing automation IV : 339-347
7. Pritisker A. Alan B., 1986. Introduction to Simulation and SLAM (II), Third Edition, A Halsted Press Book, John Wiley & Sons