

## 미곡 도정공장의 시뮬레이션과 자동화 (II) - 공정 자동화를 위한 대안모델 개발 -

정종훈 · 이종욱\* · 유수남

전남대학교 농과대학, 생물산업공학과, \*식품공학과

## Simulation and Automation of a Rice Mill Plant - Development of Alternative Models for Process Automation -

Jong-Hoon Chung, Chong-Ouk Rhee\* and Soo-Nam Yoo

*Department of Biosystems and Agricultural Engineering,*

*\*Department of Food Science & Technology, Inst. of Ag. Sci. and Tech., College of Agri.,  
Chonnam National University*

### Abstract

The pause of a brown rice separator and bottlenecks in the sorting process of the rice mill plant at CNU appeared in the simulation of the previous study. Alternative models for solving these problems and for process automation were required and developed using the basic model validated. The results of the alternative models (I, II) were as followings. An alternative model (I) was developed under conditions of increasing the grain color sorter capacity from 1.5 t/h to 2.0 t/h and of being capable of automatically finishing the milling operation with load cell signals from main tanks. These conditions in the model (I) could prevent the bottleneck in the color sorting process and finish the milling operation automatically. However, the increasement of auxiliary tank capacity for a huller and a brown rice separator was additionally needed from 250 kg to 500 kg for avoiding the bottleneck, and installment of levelers and air cylinder gates was still required for the process automation. An alternative model (II) was developed with adding some assumptions to model (I). The assumptions were 1) the increasement of the auxiliary tank capacity for a huller and a brown rice separator, 2) the additional installment of levelers and air cylinder gates on auxiliary tanks for two whiteners and a polisher, 3) development of a control logic for fully automatic operation. In the model (II) the pause of unit machine and the bottlenecks in the process could be perfectly removed, and the frequency of the opening and closing of tank cylinder gates was also minimized. The automatic system under such conditions of model (II) was needed to the rice mill plant at CNU for increasing the productivity and the quality in views of cracked and broken rice due to no bottlenecks of materials and with no pause of the machinery.

Key words: alternative model, control logic for automation, automatic system

### 서 론

전남대학교에 설치된 미곡 도정공장을 진단하고 분석하기 위해 전 연구에서 시뮬레이션 모델을 개발하

고 검증하였다(정종훈, 1999; 정종훈, 염기오, 2000). 그 공장을 시뮬레이션한 결과, 현미분리 공정에서 현미분리기의 처리용량 부족으로 곡물의 정체현상이 발생하였고, 현미분리기 보조탱크의 용량부족으로 현미분리기가 자주 멈추는 사례가 발생하였다. 또한, 색채선별기 공정에서도 처리 용량의 부족으로 곡물이 아주 정체하였다. 그리고 공정의 완전한 자동화를 위해 모든 보조탱크에 레벨센서와 자동배출장치의 설치가 필요하였고, 품질저하를 야기하는 단위기계의 빈번한 멈춤을

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

\*이 논문은 1998년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

줄이기 위해서도 공정의 자동화 로직 개발이 요구되었다(정중훈 등, 1995; 정중훈, 김보근, 1995). 이같은 도정공정 기본모델의 시뮬레이션 결과와 실제 도정공정에서 나타난 문제점을 개선하고, 공정의 자동화를 위해서는 SLAMSYSTEM (Prisker, 1986)을 이용한 시뮬레이션 대안모델의 개발이 필요하였다.

현 도정공정에서 즉시 처리가 가능한 최소한의 변화만으로 문제점을 해결하는 것으로 하여 첫번째 대안모델을 개발하고 그 개선결과를 분석하고자 하였다. 그리고 첫번째 대안모델에서의 조건외에 보조탱크에 레벨센서와 출구자동개폐장치 등을 추가로 설치하는 것을 가정하고, 곡물의 원활한 흐름과 품질을 고려한 도정공정의 자동화 로직을 개발해 모델화한 두번째 대안모델을 통해 그 개선안을 평가하고자 하였다.

이에 전남대 미국 도정공정에서의 곡물 정체를 없애고 단위기계의 작동정지 및 탱크출구의 빈번한 개폐 등을 최소화할 수 있는 효율적인 공정자동화를 위한 도정공장 시뮬레이션 대안모델을 개발하고자 하였다.

시뮬레이션 대안모델(I) 개발

대안모델(I)의 목적

① 기본모델의 시뮬레이션 결과 분석에서 나타난 문제점 중 색채선별기의 정체를 해소할 수 있는 모델을 개발한다. ② 자동운전시 원료탱크들의 무게들을 감지해 도정작업이 끝나면 도정시스템이 자동 종료되는 것을 모델화한다.

대안모델(I)의 가정

① 색채선별기의 피더의 속도를 하드웨어적으로 증가시킴으로써 현재 시간당 처리능력이 1.5톤인 것을 2톤으로 늘린 것으로 가정한다. ② 현재 주탱크에 설치

된 로드셀로부터 신호를 받아 주탱크의 용량에 따른 제어와 가능한 것으로 가정한다. 나머지 가정은 기본모델의 가정과 동일하다.

대안모델(II) 방법

기본모델에서 변화된 두 가지 조건을 모델하기 위해 기본모델 중 사용자 삽입문에서 색채선별기의 처리능력을 시간당 2톤으로 상향 조절하고, 주탱크의 잔량이 일정 수준 이하가 되면 도정공정에 도정이 끝난 것으로 보고 시스템을 종료시키는 네트워크 모델을 기본모델의 서브네트워크에 삽입하고 제어조건을 사용자 삽입문에 EVENT 문으로 삽입하였다.

시뮬레이션 대안모델(II) 개발

대안모델(II)의 목적

① 대안모델(I)에서 여전히 발생하는 현미분리기의 정지현상을 해소할 수 있는 모델을 개발한다. ② 주탱크에서 개체의 대기시간을 감소시키는 모델을 개발한다. ③ 단위기계 보조탱크 출구의 빈번한 개폐로 단위기계에의 원료공급 중단으로 인한 쇠미와 동할 발생과 같은 쌀의 품질 손실을 최대한 감소시킬 수 있는 모델을 개발한다. 즉, 쌀의 품질을 고려한 공정 자동화를 위한 대안모델을 개발한다.

대안모델(II)의 가정

① Fig. 1과 같이 하위 레벨러가 부착되지 않은 수평형정미기, 입형정미기들의 보조탱크와 벼탱크, 현미탱크, 백미탱크에 중간 레벨러(medium leveler)와 하위 레벨러(low leveler)를 부착하고, 기존의 상하위 레벨러의 위치를 적절히 조정한 것으로 가정한다. ② 콤플렉스정미기, 입형정미기와 연미기에 공압 실린더로 구동되는 자동출구장치를 부착해 자동으로 제어할 수 있는 것으로 가정한다. ③ 현미기와 현미분리기의 보조

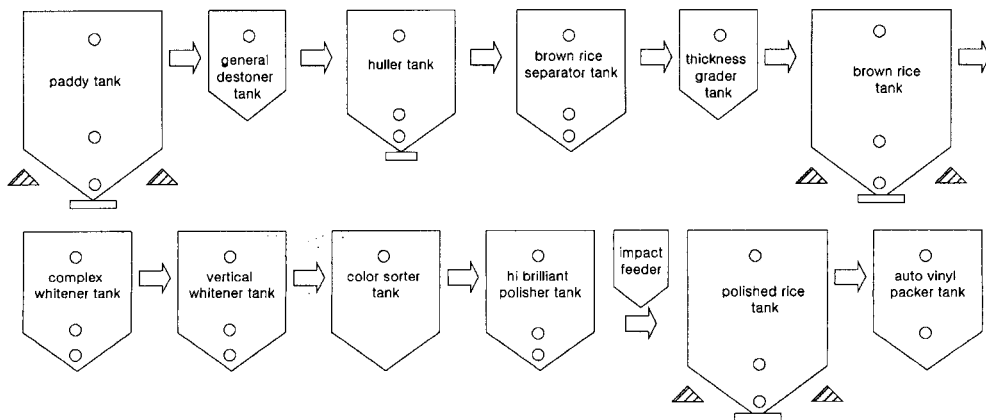
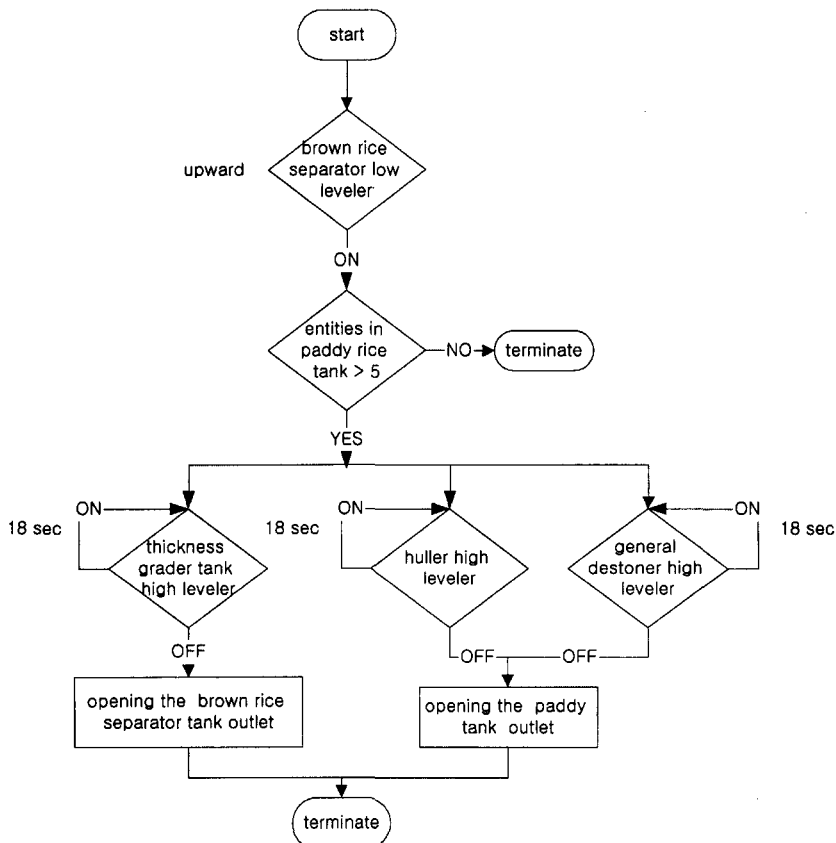


Fig. 1. Level sensors and air cylinder gates of tanks required in the alternative model II.

**Table 1. The comparison of equipments attached to tanks for automation in models**

Tank	Basic Model				Alternative Model (I)				Alternative Model (II)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Paddy tank	○			○	○			○	○		●	○
General de-stoner tank	○				○				○			
Huller tank	○		○	○	○		○	○	○	○	●	○
Brown rice separator tank	○		○		○		○		○	○	●	●
Thickness grader tank	○				○				○			
Brown rice tank	○			○	○			○	○	●	○	
Complex whitener tank	○				○				○	●	●	●
Vertical whitener tank	○				○				○	●	●	●
Color sorter tank	○				○				○			
Hi brilliant polisher tank	○				○				○	●	●	●
Polished rice tank	○			○	○			○	○		●	○
Auto vinyl packer tank	○		○		○		○		○	○		

A: high leveler B: medium leveler C: low leveler D: air cylinder gate, ○: already attached equipment ●: newly required equipment.



**Fig. 2. The flowchart on the control of the brown rice separator tank and paddy tank when the low leveler of brown rice separator tank is detected upwardly.**

탱크의 크기를 0.5톤으로 상향시킨 것으로 가정한다. 이상의 가정에서 현재 자동화 설비에 추가된 자동화

설비를 비교하면 Table 1과 같다. 대안모델(II) 방법

도정공정의 자동화를 위해서 각 탱크출구의 자동제어에 대한 순서도(flowchart)를 작성하였다. 모델의 기본 개념은 탱크출구를 열고 닫을 때 전후 단위기계 보조탱크의 용량을 고려해 조건이 만족할 때만 출구를 열고 닫는 것이다. 출구개폐 조건이 만족하지 않으면 탱크에서 빠져나가는 시간당 개체의 수를 고려해 일정 시간 후 조건을 재확인하게 된다. 그리고 탱크의 잔량이 최소 수준 이하가 될 때만 단위기계의 보조탱크 출구를 닫는 것으로 모델화하여 단위기계에 투입되는 곡물의 양을 균일하게 유지함으로써 동할 및 싸래기로 야기되는 쌀의 품질저하를 최소화하도록 하였다.

예를들어, 현미분리기의 하위레벨을 상향으로 감지하면 원료 벼탱크에 개체를 확인하여 5개 이하이면 더 이상 처리할 개체가 없는 것으로 보아 신호발생을 무시하고, 5개 이상이면 청치선별기의 상위레벨 상태를

확인해 켜져 있으면 탱크 레벨을 일정 간격(약 18초)으로 재확인하고 꺼져 있으면 현미분리기 보조탱크 게이트를 열도록 하였다. 이와 동시에 종합석발기와 현미기의 상위레벨 상태를 확인하여 두 탱크 중 하나의 탱크라도 켜져 있으면 탱크에 개체가 상위레벨 이상으로 쌓여 있는 것으로 보아 일정 간격(18초)으로 재확인하고, 두 탱크 모두 꺼져 있으면 원료 벼탱크의 게이트를 열도록 하였다(Fig. 2). 이에 대한 공정제어 네트워크 모델은 Fig. 3과 같다.

**결과 및 고찰**

**대안모델(1)의 결과 및 고찰**

도정공장의 시뮬레이션 기본모델(전 연구 참조)과 대안모델(1)간의 탈부율, 정백수율, 도정수율, 백미 생산

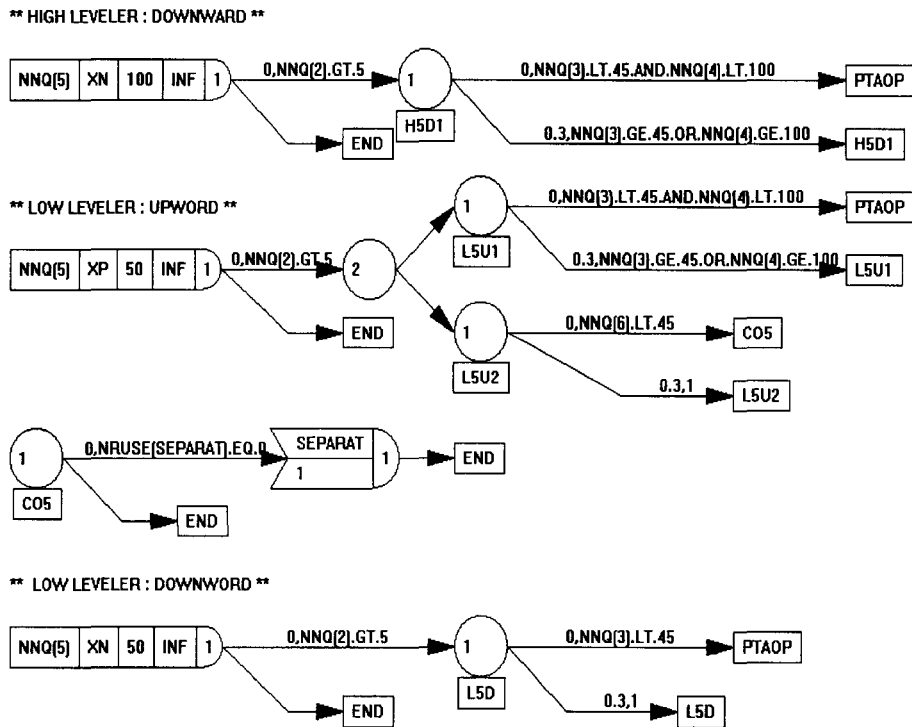


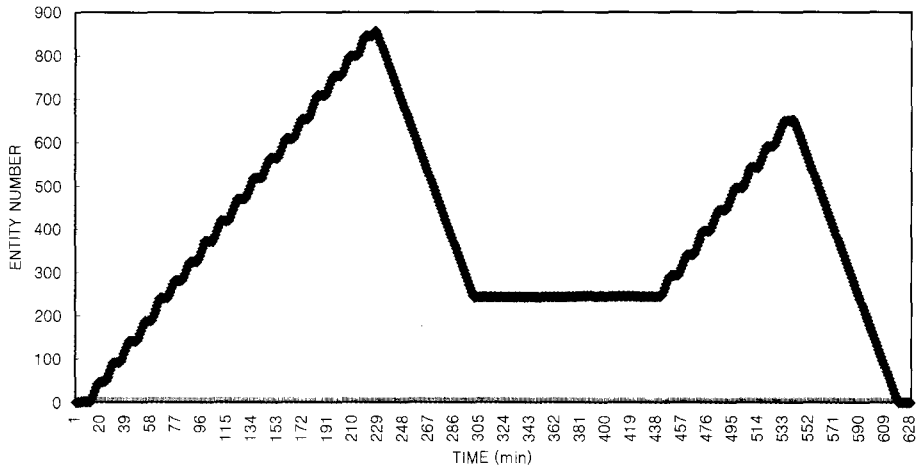
Fig. 3. The sub-network model detecting the level of the tank for the brown rice separator in the alternative model II.

Table 2. The comparison of milling efficiency between the basic model and the alternative model I

Model	Polished Rice (kg)	Hulling Efficiency (%)	Milling Efficiency (%)	Milled Rice Recovery (%)
Basic Model	14495	81.1	89.50	73.10
Alternative Model (1)	13995	81.7	89.30	73.00
Difference	-500	0.6	-0.20	-0.10

**Table 3. The comparison of quantity of foreign materials between the basic model and the alternative model I**

Machine/(Material)	Basic Model		Alternative Model I		Difference (%)
	Total entity no. : 4001	Percent (%)	Total entity no.: 3887	Percent (%)	
General De-stoner/(Stone)	10	0.25	13	0.334	0.084
Huller/(Husk)	698	17.45	676	17.4	-0.05
Thickness Grader/(Unripe Grain)	5	0.15	2	0.05	-0.1
De-Stoner/(Stone)	18	0.45	15	0.39	-0.06
Whitener/(Bran)	183	4.57	213	5.48	0.9
Rotary Sifter/(Broken Rice)	107	2.674	94	2.4	-0.274
Color Sorter/(Colored Rice)	48	1.2	43	1.11	-0.09
Polisher/(Bran)	8	0.12	8	0.21	0.112
Polisher/(Polished Rice)	2899	73.1	2807	73.0	-0.1



**Fig. 4. The entity change of the paddy tank in the alternative model I.**

량을 비교한 결과 Table 2처럼 거의 비슷한 것으로 나타났다. 대체모델(I)에서는 주탱크 및 보조탱크의 출구 제어로 정백수율에서 약 0.2%, 도정수율면에서 약 0.1% 낮게 나타났다. Table 3의 이물질 및 부산물 발생량에 있어서도 두 모델 결과간에 약간의 차이가 있는 것은 이물질 및 부산물 발생량이 확률로써 정해지고 특히 각 탱크에 약간의 잔량이 남아 있기 때문으로 판단되었다. 그리고 기본모델에 비해 대안모델(I)에서 단위 기계의 이용률은 크게 증가하였다. 이는 도정시스템의 자동 종료조건 삽입으로 인해 작업시간 즉 시뮬레이션이 628분만에 종료되었기 때문으로 나타났다.

Fig. 4에서는 원료반입이 중단되는 점심시간까지 벼 탱크에 원료량이 점차 누적되는 현상을 보이고 점심 시간에는 감소하며 그후에는 일정량을 유지하다가 다시 누적되는 현상을 보였는데, 이는 현미분리기 공정에서 여전히 정제현상이 존재하여 벼원료 탱크출구가

빈번히 닫히기 때문이었다. Fig. 5에서는 현미기 보조 탱크의 누적량이 5개(25 kg) 이하로서 현미기 용량이 충분해 정체되지 않음을 보여 주고 있다. 그러나 Fig. 6에서의 현미분리기 보조탱크에서는 보조탱크 용량부족, 현미분리기 처리용량 부족으로 인하여 여전히 보조 탱크의 상위 및 하위레벨러의 감지에 의한 벼원료 탱크 출구제어로 현미분리기 보조탱크의 원료량이 약 10과 45개체 사이에서 변화함을 알 수 있었다. 이에 근본적으로 보조탱크 용량의 확대와 현미분리기 처리 능력 증대가 요구됨을 알 수 있었다. Fig. 7에서는 색채선별기의 처리능력 증대로 색채선별기의 보조탱크에서 최대 대기 개체 수가 기본모델의 876개에서 대안 모델(I)에서는 약 7개로 색채선별 공정에서 정체를 완전히 해소할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 도정완료에 따른 도정시스템의 자동 종료조건 삽입으로 인해 도정기계들이 자동으로 정지함으로써 기계작동시

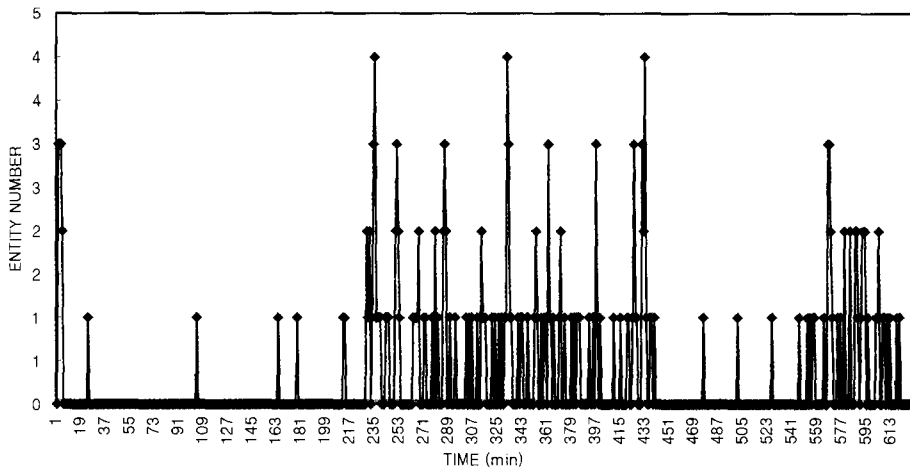


Fig. 5. The entity change of the huller auxiliary tank in the alternative model I.

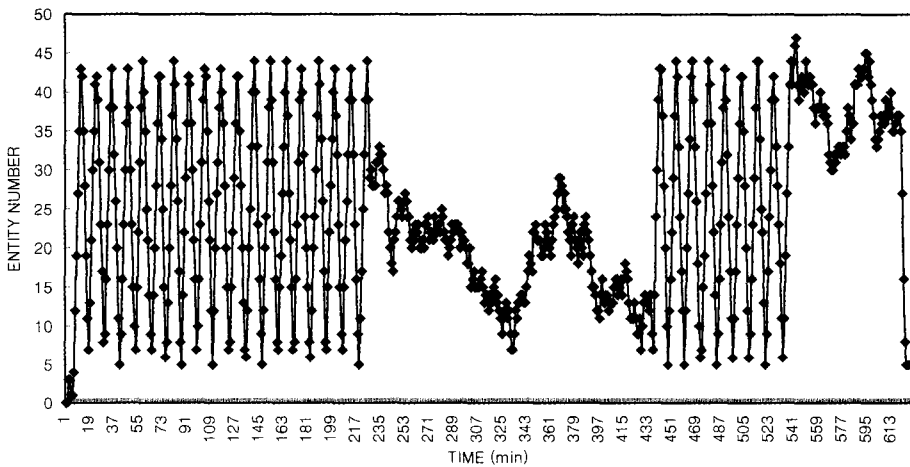


Fig. 6. The entity change of the brown rice separator auxiliary tank in the alternative model I.

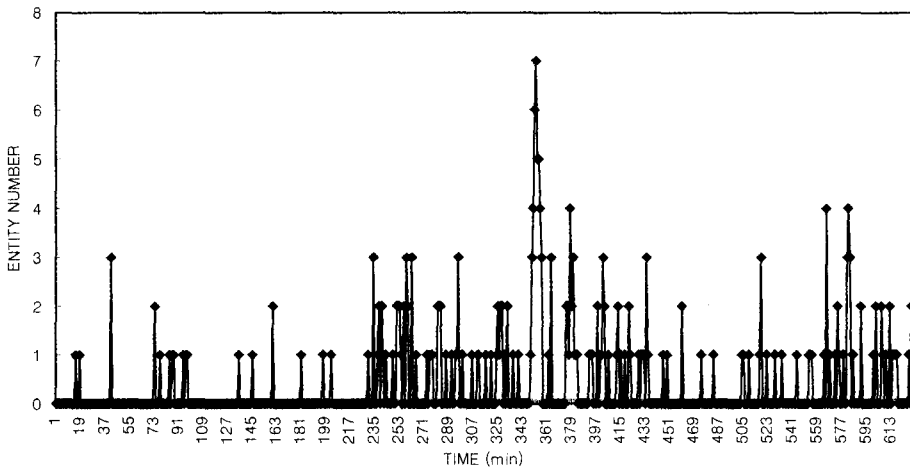


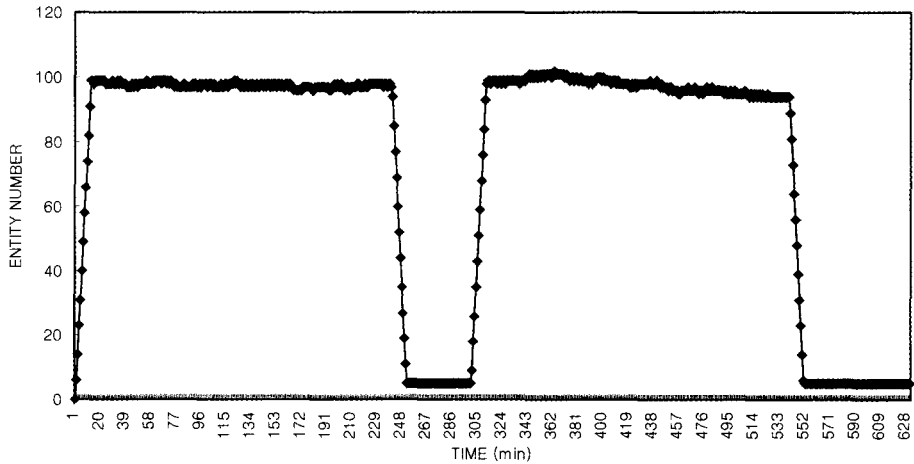
Fig. 7. The entity change of the color sorter auxiliary tank in the alternative model I.

**Table 4. The comparison of milling efficiency factors between the basic model and the alternative model II**

Model	Polished Rice (kg)	Hulling Efficiency (%)	Milling Efficiency (%)	Milled Rice Recovery (%)
Basic Model	14495	81.1	89.5	73.1
Alternative Model (II)	14560	81.1	90.8	73.5
Difference	65	0.0	1.3	0.4

**Table 5. The comparison of quantity of foreign materials between the basic model and the alternative model II**

Machine/(Material)	Basic Model		Alternative Model (II)		Difference (%)
	Total entity no.: 4001	Percent (%)	Total entity no.: 4000	Percent (%)	
General De-Stoner/(Stone)	10	0.25	15	0.375	0.125
Huller/(Husk)	698	17.45	733	18.325	0.875
Thickness Grader/(Unripe Grain)	5	0.15	8	0.2	0.05
De-Stoner/(Stone)	18	0.45	17	0.425	0.025
Whitener/(Bran)	183	4.57	268	6.7	2.13
Rotary Sifter/(Broken Rice)	107	2.674	71	1.775	-0.899
Color Sorter/(Colored Rice)	48	1.2	6	0.15	-1.05
Polisher/(Bran)	8	0.12	9	0.225	0.105
Polisher/(Polished Rice)	2899	73.1	2842	73.5	0.4



**Fig. 8. The entity change of the paddy tank in the alternative model II.**

간, 즉 시뮬레이션 시간이 단축됨을 알 수 있었다.

**대안모델(II)의 결과 및 고찰**

이미 검증된 기본모델과 대안모델(II)간의 탈부율, 정백수율, 도정수율, 백미생산량 비교는 Table 4와 같았다. 대안모델(I)을 보완하면서 더욱 정확하게 공정을 제어하는 대안모델(II)은 기본모델에 비해 탈부율은 같았고, 현백율은 약 1.3% 증가하였다. 백미생산량도 대안모델(II)에서 약 65 kg 많이 나와 도정수율은 0.4% 높게 나타났다. 이같은 사실을 볼 때 생산량은 대안

모델(II)에서 기본모델에 비해 증가함을 알 수 있었다.

기본모델과 대안모델(II)간의 이물질 및 부산물 발생량을 비교하였는데(Table 5), 두 모델간에 약간의 차이가 있는 것은 이물질 및 부산물 발생량이 확률로써 정해지고 특히 각 탱크에 잔량이 남아 있기 때문으로 판단되었다. Fig. 8에서처럼, 벼탱크에서는 작업 초기에만 누적되다가 최대 대기개체수가 100개 내외로 탱크 레벨이 일정 수준을 유지해 정체됨이 없이 안정됨을 보여주었는데, 이는 현미분리기 공정에서 정체현상이 발생하지 않았기 때문이었다. 또한 Fig. 9에서는 현미

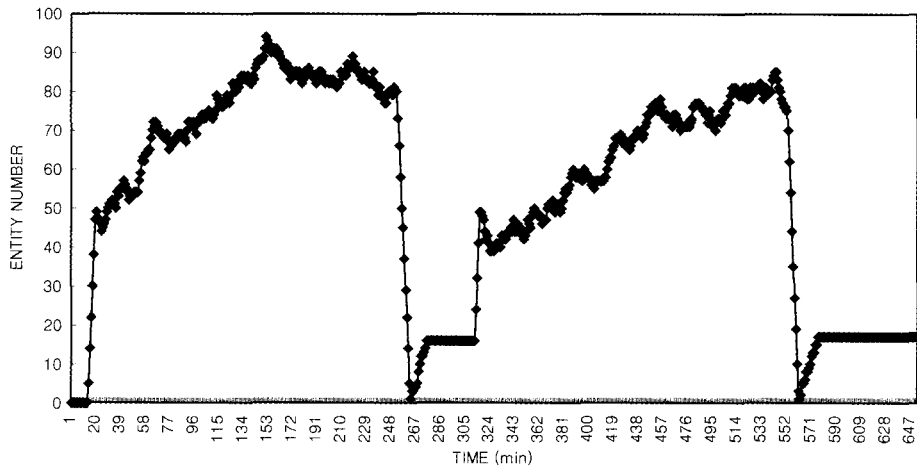


Fig. 9. The entity change of the huller auxiliary tank in the alternative model II.

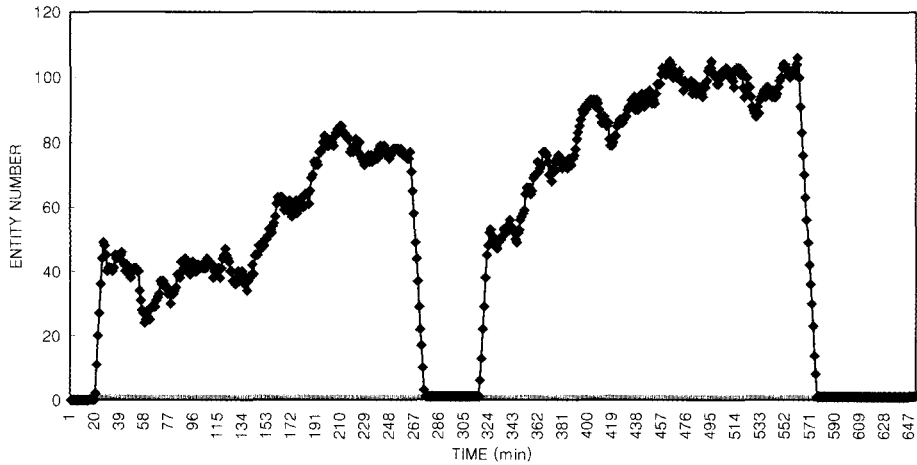


Fig. 10. The entity change of the brown rice separator auxiliary tank in the alternative model II.

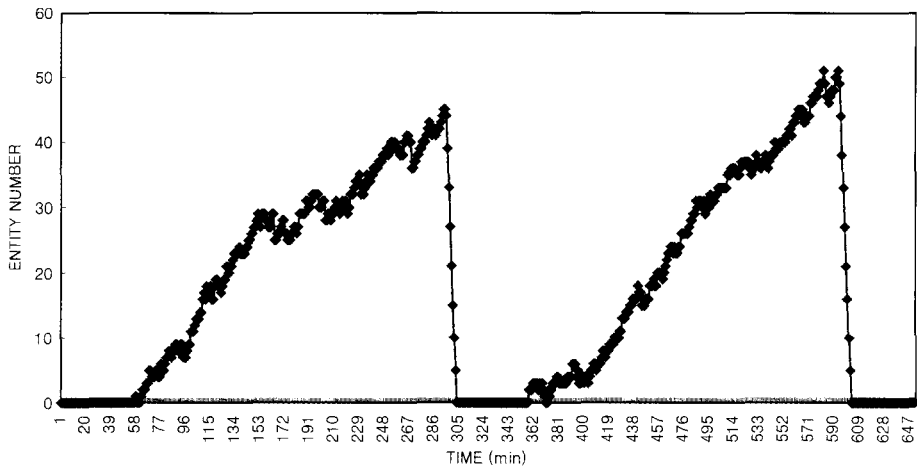


Fig. 11. The entity change of the color sorter auxiliary tank in the alternative model II.



기의 보조탱크, Fig. 10에서는 현미분리기의 보조탱크, Fig. 11에서는 색채선별기 보조탱크의 원료량 변화를 보여주고 있는데 모두 보조탱크 용량 범위내에 있기 때문 원료흐름에 있어 정체현상이 나타나지 않았다. 즉 각 보조탱크들의 출구 개폐가 2회, 점심시간과 종료시점에서만 발생하였음을 알 수 있었다. 따라서 현미기와 현미분리기의 보조탱크 용량을 500 kg로 증가시키고, 보조탱크에 레벨러를 추가 설치하며, 정미 및 연미 공정에 공압실린더의 자동 출구개폐장치를 설치하는 조건하의 대안모델(III)의 로직으로 단위기계 보조탱크 출구의 빈번한 개폐로 인한 생산성 감소를 줄이고, 썩미 및 동할 발생과 같은 쌀 품질 손실을 최대한 억제할 수 있을 것으로 기대되었다.

### 요약 및 결론

미국 도정공장에 대해 개발한 기본모델의 시뮬레이션 결과 분석에서 현미분리기의 정지현상과 색채선별기 공정에서의 정체현상, 공정 자동화의 문제점이 나타났다. 이에 본 연구에서는 기존 도정공정의 문제점 해결 및 공정자동화를 위한 로직 개발을 통해 시뮬레이션 대안모델 I, II를 개발하였으며 그 결과는 다음과 같았다.

1. 현재의 시스템에서 색채선별기의 최대 처리능력을 하드웨어적으로 1.5톤에서 2톤으로 향상시키고, 주탱크들의 무게를 나타내는 로드셀 신호를 자동화에 이용하여 자동운전시 도정시스템의 종료조건을 모델화한 대안모델(I) 개발을 통해 색채선별기의 정체현상을 해소할 수 있었고, 자동운전시 도정시스템을 자동 종료할 수 있었다. 그러나 현미분리기 공정에서 원료 정체 및 현미분리기의 정지현상을 완전히 없애기 위해서는 현미기 및 현미분리기 보조탱크의 용량을 500 kg로 증

가시킬 필요가 있었다. 또한, 공정의 자동화를 위해 보조탱크에 추가적으로 레벨러와 자동출구장치의 설치가 요구되었다.

2. 현미기 및 현미분리기 보조탱크 용량 증가, 정미기 및 연미기의 원료보조탱크에 레벨러 및 자동출구장치 추가 설치, 제어로직 개발 등의 시스템을 보완하는 가정하에 도정공정 자동화를 위한 시뮬레이션 대안모델 (II)을 개발하였다. 이 모델을 통해 연속적인 도정공정중에 현미분리기의 정지현상과 단위기계들의 보조탱크 출구의 단히는 횟수를 2회로 최소화시킴으로써, 원활한 원료의 흐름을 유지하며 정미기 및 연미기 등의 단위기계의 빈번한 정지를 방지할 수 있었다. 도정공정중에 야기되는 원료정체를 막아 생산성을 증대시키고, 썩래기와 동할미 발생을 최소화하여 쌀품질을 향상시키기 위해서는 상기에서 언급된 시스템의 보완이 요구되었다.

### 문 헌

1. 정종훈, 1999. 고품위 쌀 생산을 위한 도정공정의 시뮬레이션과 자동화, 연구보고서, 전남대학교.
2. 정종훈, 염기오, 2000. 미국 도정공장의 시뮬레이션과 자동화(I), 산업식품공학회지 4권 3호.
3. 정종훈, 김보곤, 최영수. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미국 도정공장의 적정 설계 및 개발(II) - 미국 도정시스템의 개발 및 성능평가 -. 한국농업기계학회지 20(3): 262-274.
4. 정종훈, 김보곤. 1995. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 미국 도정공장의 적정 설계 및 개발 (I) - 미국 도정시스템의 시뮬레이션 -. 한국농업기계학회지 20(1): 47-57.
5. Prisker, A. Alan B., 1986. Introduction to Simulation and SLAM (II), Third Edition, A Halsted Press Book, John Wiley & Sons.