

## 한우 및 낙농 단지용 소형 TMR 플랜트 모델 개발(I)

하유신 홍동혁 박경규

### Modeling of a Small Group Scale TMR Plant for Beef Cattle and Dairy Farm in Korea(I)

- Development of TMR Plant Model -

Y. S. Ha D. H. Hong K. K. Park

#### Abstract

Currently TMR feed produced in commercial plant is one of the major source to feed cattle for both beef and dairy farm. However, because of lack of cutting and mixing system for utilizing domestic produced firmly baled round roughage in commercial TMR plant, these commercial TMR feed can not satisfy to farmers both in quality and price points of view.

In order to solve these problems, a farm group size TMR plant model was developed in this study. The model plant was consist of round bale receiving and cutting system, pneumatic conveying system for transfer the roughage which was cut at the cutter to TMR mixer through pneumatic conveyor, TMR mixer enable to soften the stiff rice straw and to mix with other ingredients, finished feed bin which can be transfer to either packing system or individual farm, packing system by tycon bag which contains 400 kg unit and bulk unloading system to individual farmer. Also, a simulation model ARENA was applied to the model system in order to evaluate and check the production rate in each unit process and operation rate of total system and to find out if there are any clogged unit system obstructing the smooth flow of the total process flow.

Processing cycle for produce one batch of the model plant was less than 30 minutes. Thus, it will take less than four hours for producing 16 tons per day equivalent to 1,000 beef cattle's daily feed.

**Keywords :** TMR plant, TMR mixer, Baled round roughage, Roughage cutter, Simulation

#### 1. 서론

최근 바이오에너지 생산확대, 기상이변, 유가인상 등으로 수입조사료 및 배합사료 가격이 폭등하고 있어 축산농가는 사료비 절감이 최우선이 되었다. 국내에서는 원형베일 형태의 맥류 랩사일리지와 생볏짚 랩사일리지 등의 생산량과 재배면적이 증가하고 있으며 사료비 절감을 위하여 이를 완전 혼합사료(total mixed rations, TMR)로 이용하여야 하나 다음과 같은 문제점이 있다.

맥류 랩사일리지의 무게가 500 kg이나 되고 마른볏짚도

300 kg 내외로 단단하게 다져진 상태로 있기 때문에 개별 농가 또는 TMR 배합소에서 다시 풀어서 TMR 배합기에 적정량을 세절하여 투입하기는 매우 어렵다(Park, 2003b; Hong, 2005). 또한, 개별 농가에서 TMR 사료를 조제하는 경우 TMR 배합기 내의 오거에 칼날을 부착하여 볏짚 등의 조사료를 배합기 내에서 세절할 동안 다른 양질의 건초, 사일리지, 곡류, 박류 등의 사료와 함께 세절혼합하고 있어(Ki, 2003) 배합시간이 길고 여타의 다른 사료들의 투입 시 매우 짧은 시간만 배합토록 하므로 배합성능이 떨어지는 결과를 초래하게 된다.

This study was supported financially by the Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2009-07-29, reviewed on 2009-09-15, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-09-29. The authors are Yu Shin Ha, KSAM member, Graduate Student, Dong Hyuck Hong, KSAM member, Graduate Student, and Kyung Kyoo Park, KSAM member, Professor, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University. Corresponding author: K. K. Park, Professor, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea; Fax: +82-53-950-6780; E-mail: <kkpark@knu.ac.kr>.

이러한 원형베일 조사료를 손쉽게 세절하고 배합하기 위해 개발된 원형베일조사료 세절기와 TMR 배합기의 이용은 가격이 매우 비싸기 때문에 규모화 된 농가가 아니면 구입이 부담스럽고, 트랙터를 세절기와 TMR 배합기, 타 작업기의 탈부착 과정에서 많은 노동력이 소요된다(Park, 1998; Park, 2003; KAMICO, 2008). 또한, 전국에 약 200여 개소에 달하는 TMR 상업용 배합소에서도 원형베일 조사료 세절과 TMR 배합을 위한 시스템이 없으며 시설의 리엔지니어링이 매우 어렵게 되어있다(Park, 2006). 따라서 개별 농가에 의한 사용보다는 공동 사용이 바람직하지만 작업시간과 작업공간 제약에 따른 문제점 때문에 영세규모의 관행작업으로 TMR 사료를 조제하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 이와 같이 국내산 조사료가 거의 첨가되어 있지 않는 TMR 사료의 문제점을 개선하고, 규모화에 저해되는 노동력을 최소화하고, 사료생산비용을 절감시킬 수 있고, 10여 농가가 1,000 여두 내외 규모의 공동사육이 가능한 TMR 사료 일괄 조제를 위한 소형 플랜트의 농가 단지형 모델을 개발하는데 있다.

본 연구는 2단계로 나누어 보고되는데 1단계는 연구의 모델 개발 및 개발된 모델의 파일럿 플랜트의 시설이며 2단계는 파일럿 플랜트의 적응시험 및 최적작업 시스템의 선정이다.

## 2. 연구의 방법

본 연구에서는 앞서의 문제점을 해결하고자 모델에 소요되는 기계형식 선정, 작업공정 설계, 배치도(layout) 설계, 소요 기계 용량과 크기 결정, 제어시스템 설계의 순서로 모델을 개발하였고, 공정설계 후 이론적으로 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였고 시뮬레이션 모델링은 ARENA V12.0 (Rockwell Automation Inc., Pittsburgh, USA)을 이용하였다. 또한, 제작된 기계 및 시스템을 설치하여 각 공정별 작업 및 전체 공정에 대한 가동시험과 특성을 분석하였다.

### 가. 모델의 기계형식 선정

원형베일 조사료를 쉽게 처리할 수 있는 조사료 반입·세절기, 배합기, 포장기, 반송기로 구분하여 국내외에 보급된 여러 기종들을 조사하고, 장단점을 분석하여 적합한 기계를 선정하였다.

#### 1) 조사료 반입·세절기 선정

모델에 적용될 조사료 반입·세절기는 반입된 원형베일의 손쉬운 적재와 세절된 조사료의 배출 위치의 조절이 자유로워 다양한 환경에서의 작업이 가능하고, 원형베일에 혼입된

흙먼지 등 이물질을 분리해낼 수 있는 기능이 있어야 한다.

또한, 모델의 생산성을 위해 전동기로 구동되는 정치식 세절기(stationary cutter)를 사용하는 것이 좋으나 축산농가의 작업형태를 분석하여 본 결과 이동식 세절기(tractor attached cutter)로 선정하는 것이 다음과 같은 이유로 바람직한 것으로 나타났다. 세절되는 조사료가 원형 벧짚 베일, 랩사일리지 등과 같이 1가지 이상이고, 경우에 따라서는 1개의 원형 베일이 1회 투입에 모두 사용되는 않으며 1/3 또는 1/2 정도만이 세절되고 남은 베일은 다음 배합에 세절이 되어야 한다. 벧짚과 같은 건조 베일은 미리 세절을 하여 두면 너무 부피가 커서 정치식 세절기 부근에 저장할 공간이 적당하지 않을 뿐 아니라 배합기에 투입 할 경우 시간과 노력이 많이 소요된다. 배합 작업 후에는 다음날 작업할 랩사일리지와 같은 조사료는 미리 트랙터로 세절기를 옮겨서 사일리지 저장 칸에 미리 세절을 하고, 건조 베일은 배합 작업 중에 직접 세절을 하여 배합기에 투입할 수 있어야 한다.

국내에 보급된 기종들(Park, 2003a; Gemelli, 1985; Lucas, 2001; Trioliet, 1984)을 조사한 결과 부드러운 목초 등을 세절하는 외국기계를 개량한 것으로 벧짚과 같이 질긴 조사료와 함수율이 높은 베일 상태에서는 정상적인 작동이 되지 않아 국내의 조사료 여건에는 적합하지 않는 것으로 나타났다.

앞서 제시된 조사료 반입·세절기의 기능과 국내 조사료 여건에 부합하는 트랙터 견인형 조사료 원형베일 세절기를 개발하여 세절성능이 우수하다고 보고한 바 있으며(Hong et al., 2007), 이를 모델에 적용하였다.

#### 2) 배합기 선정

모델에 적용될 배합기의 기능은 배합시 조사료(특히 벧짚)를 반드시 배합기에 함께 투입하여 배합할 수 있어야 하며, 사료배합이 골고루 잘 되어야 하며, 농가의 사육규모에 맞게 배합탱크의 용량이 적당해야 하며, 투입된 조사료와 농후사료 등의 무게를 잴 수 있어야 하며, 배합된 사료를 배출할 수 있는 기능이 있어야 한다.

국내에서 TMR 배합기를 생산하거나 수입되고 있는 제품을 조사하여 본 결과 대부분 오거형(auger type) 배합기로 나타났다(KAMICO, 2008), 자가 TMR 농가에 주로 많이 보급되어 이용하고 있는 배합기 날 형태를 조사한 결과는 2오거는 55.7%, 4오거는 27.3%, 수직형 오거도 16.7%를 사용하고 있는 것으로 나타났다(Ki, 2003).

따라서 축산농가에서 널리 사용되고 있으며 조사료와 농후사료를 동시에 골고루 혼합할 수 있는 2개의 오거형과 배합기의 교반기 스크루에 원형칼날을 부착하여 길게 투입된 조사료(주로 벧짚)를 배합과정 중에 잘게 세절이 될 수 있으며, 고정으로 설치될 수 있도록 정지형(stationary)으로 모델에 적용하였다.

### 3) 포장기의 선정

작업자 1명이 시스템을 운영하여야 하기 때문에 계량-포장-적재 작업까지 1명의 인원이 1회 배합주기 동안 작업이 가능하도록 포장시스템이 구성되어야 한다. 톤백으로 계량과 포장이 가능하고, 백을 매달아 수평을 유지해 줄 수 있으며, 백을 2~3개 적재 대기시켜 놓을 수 있는 기능이 있어야 한다. 노동력을 줄이기 위하여 자동포장시스템을 구성하는 것이 유리하지만 비용이 많이 드는 단점이 있기 때문에, 생산적인 측면과 비용적인 측면을 다 고려하여 반자동 형태의 포장기로 선정하였다.

### 4) 반송기 선정

선정되어야 할 반송기는 크게 세절기를 통하여 세절된 볏짚을 배합기에 투입하는 시스템, 맥류 랩사일리지 등의 조사료를 배합기에 투입하는 시스템, 부산물사료, 강피류, 곡류 등의 사료를 배합기에 투입하는 시스템, 배합이 완료된 TMR 사료를 포장시스템에 연결하여 주는 시스템으로 구분하였다.

세절된 볏짚을 배합기에 투입하는 시스템은 흙먼지의 제거가 용이하고 배합기 상부에 투입이 용이한 사이클론 장치인 뉴메틱컨베이어를 이용하였다. 맥류 사일리지 등의 조사료는 세절기로 미리 세절하여 놓은 다음 배합기에 투입할 때 벌크 상태로 스킨드러를 이용할 수 있도록 하였다. 벌크 또는 톤백 상태의 부산물사료, 강피류, 곡류 등의 농후사료는 저장고에서 스킨드러를 이용하여 직접 배합기에 투입이 되도록 하며, 광물질, 소금 등과 같이 적은 양이 필요한 사료는 작업자가 간이 저울을 이용하여 정량 투입하도록 하였다. 최종적으로 배합기에서 배합이 완료된 TMR 사료의 반송은 일반적으로 TMR 배합소에서 사용하고 있는 마력당 운반능력이 높은 벨트 컨베이어로 선정하였다.

## 나. 모델의 작업공정 설계

각 작업공정별로 예비시험을 통하여 모델의 작업사이클 및 가공공정도(process flow diagram)를 작성하였다.

### 1) 원료의 저장작업

모델에서 사용이 되는 주원료는 사일리지 등 습조사료, 볏짚 등 건초, 맥주박 등 부산물 사료, 소맥피 등 강피류, 대두박, 면실박 등 박류, 옥수수 등 곡류사료, 소금, 비타민 등 첨가제 사료 등으로 구분된다.

이러한 원료는 모두 TMR 배합기 주위에 마련된 공간에 첨가제 사료는 포대상태로, 사일리지 등 습사료는 랩핑 상태로 플랜트 주변에, 건초와 소맥피, 박류 등은 배합기 주위의 칸막이로 설치된 공간에 저장하는 것으로 하였다.

### 2) 조사료 세절 및 원료의 배합기 투입작업

일단 저장이 된 원료는 배합기에 적정비율에 따라 투입이

되는데 투입되는 작업의 형태는 다음과 같다. 원형베일 상태로 반입된 조사료는 베일 세절기에서 세절이 된 후에 세절기의 배출구를 통하여 배합기의 상부에 설치된 사이클론 장치로 반송이 되고 세절된 조사료는 지하에 설치된 배합기로 낙하되고 흙먼지는 외부에 포집이 된다. 이에 소요되는 작업시간은 예비 실험 결과 약 10분 정도로 나타났다.

이 기간 중에 작업자는 버킷이 부착된 스킨드러로 사일리지 등 습사료, 기타 사각 베일 형태로 반입된 알팔파 및 등조사료, 옥수수 등 곡류사료, 맥주박 등 부산물 사료를 투입할 수가 있다. 이러한 사료는 전날 또는 작업 전에 미리 투입량을 정해 놓으면 작업이 편리해진다.

### 3) 배합작업

일반적으로 배합기의 배합작업은 10분이면 충분한 것으로 알려지고 있다(Park, 1998). 본 연구에서는 조사료 투입 후에 바로 배합기를 가동하기 때문에 원료 투입 기간 중인 10분과 투입이 완료된 10분 등 모두 20분간 배합작업을 할 수 있도록 하였다.

### 4) 배출작업

배합기 측면에 설치된 배출구를 통하여 경사진 벨트 컨베이어에 의해 제품 저장빈으로 투입이 된다. 농가에서 사용하고 있는 일반적인 2톤 용량의 트랙터 견인형 TMR 배합기를 이용하여 TMR 사료 배출에 소요되는 작업시간을 측정하였는데 7~8분으로 나타났다.

### 5) 포장작업

포장작업은 배합작업의 후반부 약 10분의 시간과 배출작업 기간의 10분의 시간으로 전체 20분의 시간에 이루어질 수 있다. TMR 배합소에서 예비 실험한 결과 1개의 톤백 포장작업에 약 3분 정도 소요가 되는 것으로 나타났다. 따라서 총 15분 정도면 포장작업은 충분한 것으로 나타났다.

### 6) 작업사이클 및 가공공정도

앞서 자료의 수집 및 분석에서 제시된 모델에 대한 공정도를 그림 1에 나타내었으며, 1회 2톤 작업의 경우 소요시간이

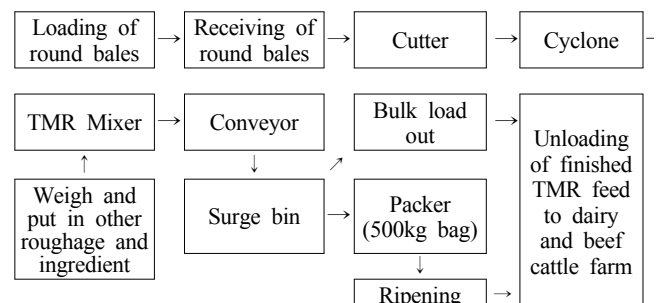


Fig. 1 Process block diagram in the model plant.

30분으로 나타났으며, 시간당 2 사이클인 약 4톤 배합이 가능할 것으로 나타났다.

**다. 모델의 배치도(layout) 설계**

모델의 배치도(layout) 설계에서는 한우-젖소 사육농가에 모두 적용할 수 있고, 노동량과 노동시간의 절약이 가능하도록 단순하게 배치되었다. 모델 플랜트의 핵심이 되는 배합기는 플랜트의 중심에 있으며 배합기의 한쪽은 원료의 반입 → 저장 → 세절 → 배합기에 투입되는 장소가 되고, 다른 한쪽은 배합이 완료된 TMR 사료가 배출 → 저장 → 포장 → 반출되는 장소가 되도록 배치하였다.

**라. 소요기계의 용량 및 크기 결정**

모델의 소요기계 용량 및 크기 결정은 볏짚 등 조사료의 배합비가 약 15% 정도가 되며, 250~300 kg 원형볏짚베일을 한 번에 세절하여 투입이 가능한 배합기의 용량과 크기를 결정한 후 배합기를 기준으로 기타 소요기계의 용량과 크기를 선정하였다.

**1) 배합기의 용량 및 크기**

일반적으로 볏짚과 같은 조사료의 배합비가 약 15% 정도가 되며 300 kg 원형 볏짚베일을 한 번에 세절하여 투입이 가능한 규모가 2톤의 용량이 되어 원형베일의 투입과 배합에 가장 적정비율이 된다. 또한 2톤은 한우 농가(20 kg/두 기준) 100두의 사양 규모에 해당되며 80두의 젖소농가(25 kg/두 기준)의 사양규모에 해당된다. 이러한 2톤의 배합 용량에 따른 배합기의 용량과 크기를 식 (1)을 이용하여 결정하였다.

$$TMC = \frac{DMI \times H}{BD \times DM \times F} \quad (1)$$

- Where, TMC : Mixer capacity (m<sup>3</sup>)
- DMI : Feed ration per day (kg-DM/head)
- H : Feeding head (head)
- BD : Bulk density of TMR feed (kg/m<sup>3</sup>)
- DM : Dry matter of TMR feed (DM-%)
- F : Filling rate of mixer (%)

대부분의 배합기는 충전율이 높을수록 배합성능이 떨어지고 원료를 적게 충전하여 배합하면 배합기의 효율을 저하시킬 수 있다. 따라서 적정량의 원료를 투입시켜 배합해야 하는데 일반적으로 배합기의 충전율은 70%로 하는 것이 적당하다고 보고되어 있다(Buckmaster, 2005).

또한 TMR 사료의 산물밀도는 0.24~0.32 kg/m<sup>3</sup> 정도로 매우 낮는데 본 연구에서는 일반적인 적용수치인 0.27 kg/m<sup>3</sup>을 적용하였다(Spain et al, 1993). TMR 사료의 건물량(DM-%)

은 60%를 적용하였다(Beede, 1990).

**2) 기타 소요기계의 용량 및 크기**

앞서 제시된 배합기를 기준으로 반송기, 제품저장빈 등의 용량과 크기를 결정하였다. 제품저장빈의 용량은 배합기 용량보다 15~20%가 더 크게 하였다.

배합기 → 제품저장빈 → 톤백 포장 또는 벌크반출을 연결하여 주는 반송기의 용량은 1일 TMR 생산량을 최대 늘리고 전체 배합주기를 줄이기 위하여 2톤 용량의 배합기에서 배합이 완료된 배합사료를 10분 내에 배출하도록 하였다. 벨트 컨베이어는 운반능력과 재료를 확실히 반송하기 위하여 트로프각이 20°인 트로프형의 아이들러를 이용하고 벨트를 30°까지 경사지게 할 수 있도록 하였으며, 벨트 컨베이어의 전체 길이는 약 10 m 내외가 될 수 있도록 벨트의 속도와 폭을 구한 다음 소요마력수를 계산하여 결정하였다(CEMA, 1966).

**마. 모델의 제어시스템 설계**

배합공정에서는 배합비율의 정확한 정보 제공과 배합원료의 정확한 계량이 품질과 경제적인 TMR 사료 제조에 매우 중요한 요소이며 계량포장공정에서도 정확하고 신속한 계량포장은 모델 플랜트의 생산성을 좌우할 수 있으며 반출 시에 타 농가의 신뢰에 있어서도 중요한 요소이다(Park et al., 1996). 이는 모델 플랜트의 공정을 제어하는 방법과 장치에 따라서 달라질 수 있으므로 제어장치를 최적 설계하는 것이 중요하다. 또한, 작업공정을 단순화시켜 작업자 1명이 운용이 가능하고 유지비용을 절감시킬 수 있는 제어장치가 필수적이다. 본 모델의 공정별 주요 제어인자를 표 1에 요약하였다.

**Table 1** Control factors of the model plant

Items	Parts	Set Factor and Value	Input device	Output device
Mixing process	Mixer	Mixing time (20 min)	Timer	Motor
	Weighing system	Weight (2,000 kg)	Load-cell	Indicator
	Discharger gate	Open: mixing end time (before 10 sec) Closed residual weight (±10 kg)	Solenoid valve	Air cylinder
	Belt conveyor	On: mixing end time (before 20 sec) Off: Weight (after 10 sec)	Relay	Motor
Packing process	Surge bin	On: mixing end time (before 30 sec) Off: Weight	Relay	Motor
	Discharger gate	Open: weight Closed: weight	Solenoid valve	Air cylinder
	Belt conveyor	On: weight Off: weight	Relay	Motor
	Weighing system	Weight (500kg)	Load-cell	Indicator
	Bag clamp	Manual	Solenoid valve	Air cylinder
Other processes	Belt conveyor (Bulk)	Manual	Relay	Motor
	Dust collecting Fan	Manual	Relay	Motor

### 바. 시뮬레이션 모델 개발

모델 개발에 사용된 기본적인 가정은 다음과 같다. 총 시뮬레이션 시간은 1일 4시간 365일로 하였으며, 단위시간은 분으로 가정하였다. 기계의 고장 및 기타의 지연 요인은 없다고 가정하였고, 분포함수는 일괄적으로 정규분포인 NORM 함수를 사용하고 표준편차는 평균값의 5%로 가정하였다.

처음 원료의 반입과정은 2개의 CREATE 모듈을 사용하여 세절기를 통한 조사료 반입과 농후사료 등의 벌크원료 반입으로 나누었으며, 조사료 반입은 300 kg을 1개체로 보고 25분의 시간간격으로, 벌크원료 반입은 1700 kg을 1개체로 보고 25분의 시간간격으로 반입이 된다. 반입되는 원료는 PROCESS 모듈을 이용하여 세절기에서 10분 동안 세절되어 배합기로 투입되고, 벌크원료는 스킨드러를 이용하여 5분 동안 배합기에 투입된다. 배합은 각각의 개체를 BATCH 모듈을 이용하여 2000 kg을 1개체로 묶은 다음 PROCESS 모듈을 이용하여 배합기로 20분 동안 배합되며, 7.5분간 컨베이어를 통해 저장빈에 임시저장된다. 각각의 컨베이어 이동은 ROUTE 모듈을 이용하였다. 임시저장은 저장빈에 대기하였다가 SEPARATE 모듈을 이용하여 400 kg의 5개체로 분리된다. 분리된 각각의 개체는 PROCESS 모듈을 이용하여 포장기에서 포장되며, 1개체의 포장시간은 3분으로 RECORD 모듈을 이용하여 개체를 카운트하였다. 포장된 개체는 PROCESS 모듈을 사용하여 스킨드러로 1분 동안 적재한 후 DISPOSE 모듈로 TMR 사료 생산을 완료하였다.

개발된 시뮬레이션으로 공정별 처리시간, 정체시간, 각각 단위기계의 가동률, 시간당 생산용량 등을 비교분석하였다.

### 사. 모델의 적응시험

완성된 모델은 한우를 사육하는 전라북도 정읍시 정우면의 보리마을에 설치하여 인근의 10농가가 공동으로 이용하여 실제 급여할 수 있도록 계속하여 적응시험을 실시하였다. 사용된 원료는 주로 부산물사료를 이용하였으며 조사료는 원형 배일벧짚과 총채보리 랩사일리지 등을 이용하여 생산작업을 실시하였다. 개발된 모델은 TMR 생산작업을 통하여 각 공정별 특성분석과 실작업소요시간을 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 표 2에 나타내었다. 각각 단위기계의 가동률은 배합기가 75.5%로 처리용량은 양호한 것으로 나타났다. 스킨드러, 세절기, 저장빈, 포장기의 가동률은 38~50%로 낮은 수준을 보이고 있어 설비의 처리용량은 부족하지 않은 것으로 나타났다. 각 공정별 총 처리시간은 배합기

는 179.7분, 저장빈은 81.9분, 포장기는 40.6분으로 나타났다. 각 공정별 대기시간은 저장빈에서 1개체 당 3.9분으로 가장 높게 나타났으며, 포장기 앞에서 대기하는 시간이 길어져 작업의 효율성을 제약하는 요인으로 나타났다. 이는 시뮬레이션 모델에서 저장빈에 임시 저장된 개체를 트럭이나 이동식 배합조 등을 이용하여 벌크로 반출하는 시스템을 공정에 추가시킬 경우 작업의 효율성은 높아 질 것으로 판단되었다. 발생된 개체수는 400 kg의 타이콘백이 40.7개 발생되어 생산용량은 4,070 kg/h로 나타났다.

이상의 결과에서 시뮬레이션 모델은 많은 가정과 제약의 전제하에서 이루어진 분석으로 최적해라고 하기 보다는 실제 모델과 비교해 볼 때 많은 유사성을 갖고 있어 유용성을 가지는 모델로 판단되었다.

Table 2 Simulation results of model plant

Resource	Utilization (%)	Processing time (min)	Waiting time per entity (min)
Loader	37.7	49.9	0.0
Cutter	41.9	99.1	0.0
Mixer	75.5	179.7	0.0
Surgebin	50.9	81.9	3.9
Packer	49.8	40.6	0.0

### 나. 개발 모델의 개요

개발된 모델의 제원은 표 3과 같다. 계산된 배합기의 용량은 약 10.6 m<sup>3</sup>으로 나타났는데 일반적으로 국내에 판매되고

Table 3 Specification of the model plant

Items	Quantity	Specification
Cutter	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacity: 10 min/bale</li> <li>Power: Tractor (40 kW) attached type</li> <li>Size: 2.0 (L)×1.3 (W)×1.3 (H) m</li> <li>Rotary blade (144 EA), Fixed blade (18 EA)</li> </ul>
Cyclone	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Power: 0.4 kW</li> <li>Size: φ1.3 (D)×2.1 (L) m</li> <li>Include axial flow fan system</li> </ul>
Mixer	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacity: 11 m<sup>3</sup></li> <li>Size: 5.2 (L)×2.1 (W)×2.6 (H) m</li> <li>Power: 37 kW</li> <li>Type : 2-auger, cutter attached</li> <li>Weighing system : Load cell</li> </ul>
Surge bin	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacity: 13 m<sup>3</sup></li> <li>Size: 6.3 (L)×2.5 (W)×3.0 (H) m</li> <li>Power: 11 kW × 2 EA</li> <li>Type : 2-auger,</li> </ul>
Packer	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacity: 30 bag/hr</li> <li>Bag size: φ1.1 (D)×1.1 (H) m</li> <li>Weighing system: Load cell</li> </ul>
Belt conveyor	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Power: 2.2 kW</li> <li>Belt Velocity: 0.75 m/s</li> <li>Belt width: 0.8 m</li> <li>Length: Mixer → Surge bin (10.8 m), Surge bin → Packer, Bulk load (7.1 m)</li> </ul>

있는 트랙터 견인형의 조사료용 TMR 배합기의 규격을 비교하여 1회 배합용량을 11 m<sup>3</sup>로 결정하였으며, 컨베이어의 벨트의 속도는 0.75 m/s, 벨트의 폭은 0.8 m로 결정하였다.

따라서 모델의 기계 배치 선정과 결정된 기계사양으로 모델의 완성된 도면을 나타내었다. 그림 2는 모델 플랜트의 가공 공정도로 좌측은 지하에 설치된 배합기에 투입되는 원료의 공정을 보여 주고 있으며 우측은 가공이 완료된 TMR 사료가 배출되는 공정을 보여 주고 있다. 배합기는 원료의 투입이 쉽게 되도록 지하에 설치하여 지상의 바닥이 배합기의 상부가 되도록 하였다. 그림 3은 모델 플랜트의 평면도를 나타내고 있다.

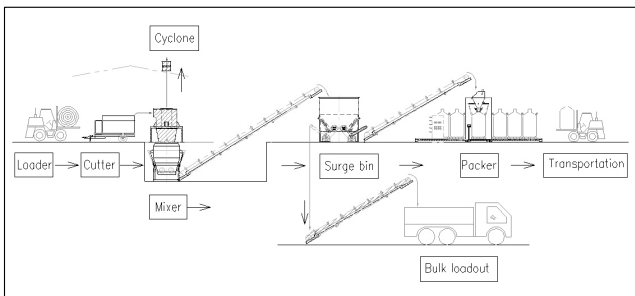


Fig. 2 Process flow diagram of the model plant.

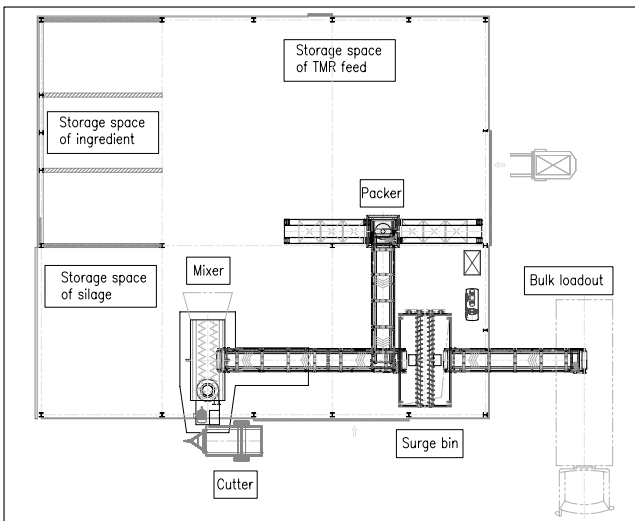


Fig. 3 Layout of the model plant.

모델의 작동 알고리즘은 그림 4와 같이 결정하였다. 배합기의 모터가 작동이 되고 설정된 배합시간에 도달되면 제품 저장빈 모터가 가동되고 그 다음으로 배출컨베이어1의 모터가 가동된 후 배합기 배출구의 에어실린더의 작동으로 배출구를 열어준다. 다음으로 배합기 내에 TMR 사료의 잔량유무를 판단하여 배출이 완료되면 배합기의 모터가 정지되고 배합기 배출구의 에어실린더의 작동으로 배출구가 닫힘 작동을 하게 되며 벨트컨베이어1의 모터가 정지하게 된다. 한편 제

품포장을 위하여 제품저장빈 모터는 계속 가동되고 배출컨베이어2의 모터가 작동을 하게 되며 그 다음으로 제품저장빈 에어실린더의 작동으로 배출구가 열려 제품포장이 시작된다. 제품포장이 완료되면 역순으로 작동이 멈추게 된다.

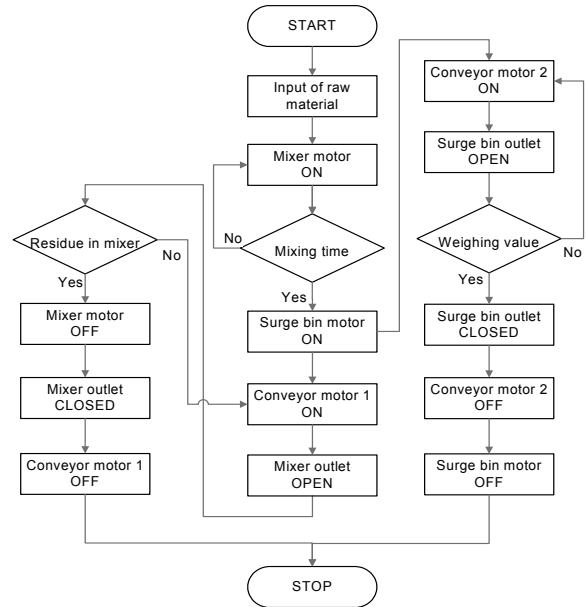


Fig. 4 An algorithm of integration process.

#### 다. TMR 생산작업 및 주요 작업공정별 특성

그림 5는 제작된 모델의 주요공정을 나타내고 있으며, 원료의 반입 → 저장 → 세절 → 배합 → 배출 → 임시저장 → 포장 → 반출 → 급여의 TMR 생산작업을 통하여 공정별 특성을 분석한 결과 개발 모델의 안정화를 위해서는 다음 사항을 잘 고려해야 할 것으로 판단된다.

원형베일 조사료의 경우 레이크 작업시 레이크 봉 또는 돌 등이 혼입될 수 있고 이는 세절기에 투입시 큰 부하로 인하여 손상을 줄 우려가 많다. 실제로 적용시험시에 원형베일 내부의 이물질에 의해 세절기의 세절날이 손상되었다. 따라서 세절기 설치시는 이러한 쇧조각 또는 돌 등의 큰 이물질을 분리할 수 있도록 원형베일을 풀면서 선별할 수 있는 시스템이 필요할 것으로 판단되었다. 또한 모델 플랜트에 적용된 세절기는 트랙터 견인형이기 때문에 트랙터의 탈부착시 작업자의 불편이 따른다. 따라서 이러한 불편한 점을 해소하기 위하여 이동이 가능한 자주식(self-propelled)의 세절기가 필요할 것으로 판단되었다.

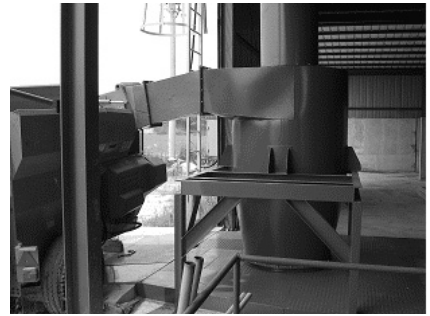
배합기내 원형벧짚베일을 세절하여 투입시 세절된 벧짚의 부피가 크기 때문에 사이클론 하단부의 배출구를 막아 이송이 불가능하거나 배합기가 넘치도록 공간을 차지하여 타 원료의 투입이 불가능하였다. 그러나 벧짚을 세절하여 배합기에 투입시에는 습사료를 동시에 투입하여 배합기를 가동하는



(a) Storing and receiving of ingredients



(b) Receiving and cutting of round bale



(c) Transporting roughage to TMR mixer



(d) Drop ingredients into TMR mixer



(e) TMR mixing process



(f) Conveying and storing TMR feed



(g) Weighing and packing



(h) Bulk unloading system



(i) Feeding to beef cattle

Fig. 5 TMR mixing process in the model plant.

것으로 해결되었다. 배합시에도 배합기의 스크류에 장착되어 있는 세절날의 마모와 손상으로 TMR 사료 급여시에 가축에게 치명적이므로 미 분리된 TMR 사료 안의 췌조각을 분리하기 위하여 TMR 배합기의 배출구와 벨트컨베이어에 마그네틱분리기를 설치하여 최대한 분리할 수 있도록 하여야 할 것으로 판단되었다.

TMR 사료를 직접 계량하여 무게를 측정하여 본 결과 실제로 톤백에 투입되는 무게는 약 400kg인 것으로 나타났다. TMR 사료가 습량기준 함유율이 약 40% 내외인 습사료이므로 안식각이 적어 계량용 호퍼빈에서 브리지(bridge)현상이 종종 발생하였다. 그러나 안식각을 45°로 수정한 후에는 브리지현상이 발생되지 않았으며 설치시에 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

### 라. 실 작업 소요시간

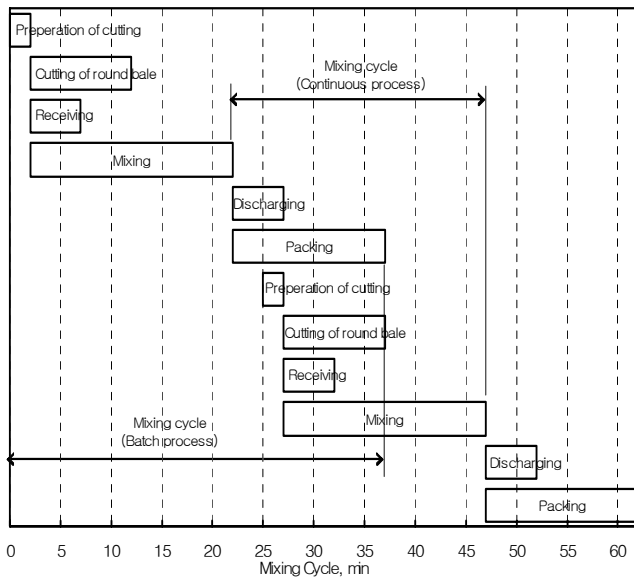
본 연구에서 작업시간의 측정은 개발 모델의 안정화와 작업자가 각 공정 작업에 숙달되었다고 판단되었을 때 측정하였다. 표 4에 모델의 적응시험 결과 각 공정별로 소요되는 시간을 요약하였다. 그림 6에서는 작업사이클을 나타내었다. 모델 플랜트에서는 단 1회의 작업에 소요되는 작업시간이 약 37분이었으나, 연속적인 작업을 수행 할 경우 작업 사이클은 25분으로 관행의 TMR 조제시보다 소요작업시간이 짧은 것으로 나타났다. 또한 연속적인 작업시 2 배치(batch)에는 62분이 소요되고 4 배치(batch)에는 112분으로 나타났다. 따라서 8 배치 즉 16 톤 생산에 소요 작업시간은 4시간 미만이며 이는 한우 약 1,000 두를 1일 급여 가능한 양이다.

**Table 4** Processing cycle for produce TMR feed

Process	Detail process	Mean (min)	Standard deviation (min)	Remark
Receiving	Transporting and stacking of Round bales	1*	0.5	Simultaneous working
	Cutting away wrap and ties form Round bales	1*	0.4	
	Receiving and cutting of round bales	10	1.2	
	Receiving ingredient in bulk and tycon-bag	4	0.6	
	Receiving ingredient in bag	1	0.2	
Mixing	Mixing of TMR feed	20*, **	0.0	
Discharging	Conveying of TMR feed	5**	0.5	
Packing	Preparation of packing	5*	0.9	Simultaneous working
	Weighing and packing of TMR feed	10*	1.6	
Total processing cycle		37* (25**)		

\* Batch process: 37min

\*\* Continuous process: 25min



**Fig. 6** Mixing cycle of the model plant.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 원형베일 조사료용 소형 TMR 플랜트를 개발하고자 모델에 소요되는 기계형식 선정, 작업공정 설계, 배치도(layout) 설계, 소요기계 용량과 크기 결정, 제어시스템 설계의 순서로 모델을 개발하였고, 공정설계 후 이론적으로 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 제작된 모델의 적용시험을 실시하여 각 공정별 특성분석과 실 작업소요 시간을 측정하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 모델 플랜트에 적용될 조사료 반입·세절기는 원형 베일을 적재하여 이송하고 원형베일을 세절한 후 세절된 조사료는 팬에 의해 송출되고 송출방향은 조절할 수 있는 회전커터형 원심배출방식의 트랙터 견인형 세

절기로 선정하였으며, TMR 배합기는 정치형의 조사료용 2 오거형 배합기로 용량은 11m<sup>3</sup>로 결정하였다.

- (2) 모델 플랜트의 배치도(layout)는 핵심이 되는 배합기를 플랜트 중심의 지하에 배치하고 배합기의 한쪽은 원료 반입 → 저장 → 세절 → 배합기 투입되는 장소이고, 다른 한쪽은 배합이 완료된 TMR 사료 배출 → 저장 → 포장 → 반출되는 장소가 되도록 하였다.
- (3) 시뮬레이션 결과를 살펴보면 가동률은 배합기가 75.5%로 양호하였으며, 대기시간은 저장빈에서 1개체 당 3.9분으로 높게 나타나 작업의 효율성을 제약하였으며, 생산용량은 4,070 kg/h로 나타났다.
- (4) 모델의 적용시험 결과 1회의 작업에 소요되는 작업시간이 약 37분이었으나, 연속적인 작업을 수행 할 경우 작업사이클은 25분으로 나타났으며, 2 배치(batch)에는 62분이 소요되고 4 배치(batch)에는 112분으로 나타났는데 한우 1,000 두의 급여를 위한 사료 생산에 소요되는 시간은 4시간 미만으로 나타났다.

#### 참고 문헌

1. Beede, D. 1990. High moisture feeds can affect dry matter intake. Southeast Dairy Outlook 29(1):6-7.
2. Buckmaster, Dennis R. 2005. TMR Delivery and Variability on the Farm. Dairy Cattle Nutrition Workshop. The Pennsylvania State University, USA.
3. CEMA. 1966. Belt Conveyors for Bulk Materials: A Guide to Design and Application Engineering Practices. Conveyor Equipment Manufacturers Association. Boston Cahners Books. Boston, USA.
4. Gemelli, B. 1985. An Agricultural Machine for Loading, Transporting, Chopping and Dispensing to the Fodder Box



- Fodder Picked up in Roll Bales. Europe Patent Publication number 0147670 A2.
5. Hong, D. H. 2005. Development of a Tractor Attached Roughage Cut-feeder for Round Bale. Ph.D. dissertation, Kyungpook National University, Daegu. (In Korean)
  6. Hong, D. H., K. K. Park, Y. S. Ha, H. J. Kim, J. K. Kwon and T. W. Kim. 2007. Development of a tractor attached roughage cut-feeder for round bale (I) - Development of a cutting mechanism and a performance test -. *Journal of Biosystems Engineering* 32(5):292-300. (In Korean)
  7. KAMICO. 2008. Agricultural Machinery in Korea. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative, Seoul, Republic of Korea.
  8. Ki, K. S. 2003. Studies on Effects of Feeding and Establishment of Optimal Condition of TMR in Dairy Cattle. Ph. D. dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea
  9. Lucas, G. and R. Jean-Claude. 2001. Device for Bale Grouping and Shredding of Fodder and Baled Products. Patent Cooperation Treaty 01/47345 A1.
  10. Park, J. B. 2003a. The Rice-Straw Cutter. Korean Patent Publication number 20-0318685.
  11. Park, K. K. 1996. Livestock Machinery and Facilities. Munwundang, Seoul, Republic of Korea.
  12. Park, K. K. 1998. Development of a Tractor Attached TMR Mixer. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Forestry. Daegu. (In Korean)
  13. Park, K. K. 2003b. Development of Tractor Attached Round Daled Roughage Cutter-feeder. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Forestry. Daegu. (In Korean)
  14. Park, K. K. 2006. Modeling of Integrated Farm Size TMR Plant for Both Dairy and Beef Cattle. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Forestry. Daegu. (In Korean)
  15. Rossetti, M. D. 2009. Simulation Modeling and Arena. TEXTBOOKS, Seoul, Republic of Korea.
  16. Spain, J., M. Bennett, D. Williams, and D. Osburn. 1993. Total Mixed Rations: Plans, Uses and Economics by Herd Size. Univ. of Missouri, USA.
  17. Triolliet, M. 1984. Silage Cutter and Conventional Agricultural Implement with such Silage Cutter. Europe Patent Publication number 0102437 A1.