

## 랩 - 베일을 이용한 양돈용 TMR 발효사료 제조 시스템 개발

김혁주<sup>1\*</sup> · 유병기<sup>1</sup> · 이성현<sup>1</sup> · 유지수<sup>1</sup> · 서형덕<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원, <sup>2</sup>주식회사 라이브맥

### Development of a Fermented TMR for Pigs Using Bale-Wrapping System

Hyuck-Joo Kim<sup>1\*</sup>, Byeong-Kee Yu<sup>1</sup>, Sunghyoun Lee<sup>1</sup>, Ji-Su Yu<sup>1</sup>, Hyung-Duk Seo<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA., Wanju-gun 565-851, Korea  
<sup>2</sup>Livemac Co., LTD, Korea

#### ABSTRACT

In this study, we developed a fermented TMR producing system which could a continuous operation of baling and wrapping the mixed TMR. The baling part has fixed chamber of dia. 900 mm and width 900 mm. And the the turn-table type wrapping part is very compact compared to conventional one in market. The test result were: The absorbed power of the prototype in working was 9.0~15.7 kW. The combined baling and wrapping performance was over 20 bales/hr. The leakage in the process was around 1.9 kg for making a 350 kg TMR bale. The diameter of wrapped TMR bale was 900~950 mm, and its weight was 350 kg in average. Therefore the density was 718 kg/m<sup>3</sup>, and it was very high density to the inputted TMR. The pH of the fermented TMR was 5.0~5.6 which was similar to the fermented haylage, also the TMR had no butyric acid's odor.

(Key words : TMR(Total mixed ration), Pig, Baling, Wrapping, Fermentation)

#### 서 론

2012년 9월 현대 경제 연구원의 보고서 (Hyundai Research Institute)에 의하면 국내 옥수수 수입가가 2007년 157.47 \$/ton에서 2012년 9월 305.87 \$/ton로 증가하였다. 이에 따라 양돈농가의 사료비 상승과 한-EU·한미 FTA 등 대외 환경 악화로 축산농가의 생산성 향

상과 사료비 절감이 절실한 시점이다. 축산 경영의 주요부분을 차지하는 것은 사료비이며 젖소와 한우농가에는 일찍이 배합사료 이외에도 여러 가지 사료원을 활용하여 TMR (Total mixed ration, 완전혼합사료)을 제조하여 급이하고 있다.

특히 우리나라와 사정이 유사한 일본의 경우, 식료농업농촌기본계획과 식품 리사이클

\*Corresponding author : Hyuck-Joo Kim, National Academy of Agricultural Science, RDA, Jeon-ju, 560-500, Korea. Tel : +82-63-238-4053, E-mail : agrihj@korea.kr

2014년 9월 4일 투고, 2014년 9월 19일 심사완료, 2014년 9월 20일 게재확정

법(2001년 제정)에 근거하여 에코피드(Echo feed) 사업을 정부차원에서 추진 중이다. 특히 자원순환의 관점에서 농산부산물, 식품회사 부산물, 대형식당의 잔반 등을 사료화하고 있다(MAFF, 2012). 양돈분야에서도 부산물을 이용한 TMR 사료의 급이를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 지역 농산부산물을 이용하여 고품질의 돼지를 생산하기 위한 사료 제조기술 등에 대해 보고하고 있다(Shimazawa, 2009). 일본에서도 이와 같은 부산물을 활용한 Eco-feed에 관한 연구와 사업이 활발히 진행되고 있으나, TMR 제조용 기계시스템이 개발되어 있지 않아 확대에 어려움이 있는 것으로 판단된다(Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (Japan). 2012). 유럽에서도 부산물 사료를 적극 활용하고 있는데, 액상화하여 급이를 하거나 고수분의 옥수수 부산물을 육성비육돈에 관행적으로 급이하고 있다(F.GATEL, 1988). Cho (2009)의 연구결과에 의하면 배합사료에 원형베일 사일리지를 3 cm 이하로 분쇄한 사일리지를 30% 포함한 풀 발효사료를 임신돈에 급이시 일반사료를 먹인 돼지에 비해 새끼돼지 1마리를 더 생산하고 새끼돼지의 생시체중도 10% 높아져 생산성이 향상되므로 연간 1,380 억 원의 경제적 효과가 있다. 이외에도 변비 해소, 분노의 악취저감, 임신돈의 포만감 충족에 의한 스트레스 저감 효과 등이 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 현재 소에 적용하는 TMR 시스템은 조사료의 길이가 너무 길고 배합사료를 다량 적용하기에는 부적합하다. 이에 따라 본 연구에서는 양돈용으로 사용이 가능한 TMR 발효사료를 제조할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 조사료의 길이를 3 cm 이내로 매우 짧게 세절하고 연화한 후 배합사료 및 수분과 함께 TMR 원료를 제조한다. 이어서 베일-랩핑

복합기를 이용하여 압축성형 후 비닐 밀봉하여 혐기발효를 시키는 방안이다. 이 방법은 압축성형과 밀봉을 동시에 실행하도록 하여 TMR 원료의 손실이나 부패의 우려가 없고 경제성이 높게 발효 TMR을 제조하는 방안이 된다.

따라서, 본 연구에서는 양돈용의 발효 TMR 사료를 제조하기 위하여, 조사료를 3 cm 이내로 세절 연화한 후에 배합사료와 균일하게 혼합한 후 한 번에 압축성형과 밀봉과정을 수행할 수 있는 양돈용 랩-베일 제조시스템을 개발하고 성능시험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사료 위주의 발효 TMR 제조 시스템 고찰

관행의 발효 TMR 제조 장치는 소의 급이를 위하여 개발되었으며 농가에서는 주로 TMR 배합기를 이용하여 조사료와 농후사료 및 기타 사료를 배합하여 그대로 급이하거나, 별도의 발효기(Fig. 1)를 이용하여 급하게 된다. 그러나 대부분의 TMR 배합소에서는 TMR 배합 후 소포장(Fig. 2, 3)하거나 톤백(Fig. 4)에 받아서 일정기간 저장하여 농가에 보급하고 있습니다. 이 때, 조사료는 절단기로 절단한 후 배합기내의 오거에 부착된 칼날에 의하여 5~10 cm 정도의 길이로 농가에 공급되며, 발효 또한 충분히 이루어지지 못한 상태로 공급된다.

한편, 유우나 육우에 조사료를 급이하기 위해, 베일러를 이용하여 수확된 사료작물을 원통형태의 베일뭉치(Fig. 5)로 만들고, 피복기(래핑기)를 이용하여 다시 그 베일뭉치를 비닐로 밀봉 처리하여 베일사일리지를 조제하는 방법이 전 세계적으로 확산되고 있다.



Fig. 1. Fermenting machine. Fig. 2. TMR packing. Fig. 3. TMR for cattle. Fig. 4. TMR ton bag.

베일러는 베일을 성형하는 방법에 따라 벨트식, 체인바식, 롤러식으로, 베일성형체적의 가변여부에 따라 고정식(Fixed chamber)과 가변식(Variable chamber)으로, 또한 성형대상 사료작물의 형태에 따라서 세질 조사료용과 일반조사료용으로 구분된다. 구조가 간단하고 비용이 저렴한 고정식, 그리고 작은 입자에 적합한 체인바식이 본 연구의 모델로 적합한 것으로 판단된다.

피복기(래핑기)는 최적의 혐기 유산발효가

가능하도록 베일러가 만든 베일을 랩비닐로 완전 피복하여 밀봉하는 작업기로서, ① 내부의 사료작물을 오랜 기간 좋은 품질로 유지하여 보관하거나 ② 적정의 함수율을 가지는 사료작물을 유산발효를 촉진하여 양질의 담근먹이를 제조하고 오랜 기간 보관저장하면서 급이 가능토록 해주는 사일리지 제조 장치이다. 래핑 장치는 크게 래핑암 회전방식(Fig. 6-a)과 테이블 회전방식(Fig. 6-b)으로 구분된다. 본 연구에서는 래핑 장치를 베일

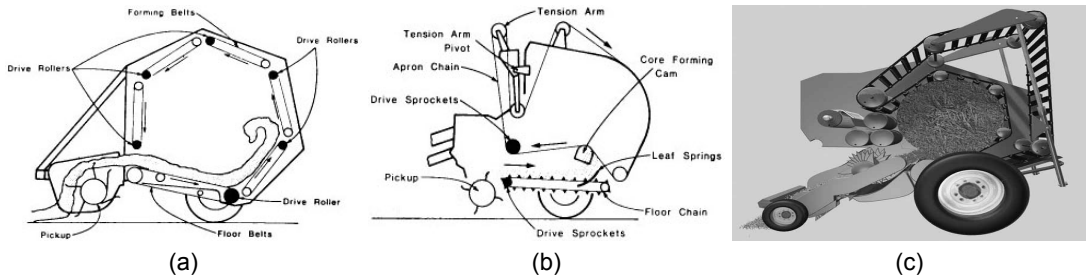


Fig. 5. Baler type(a)fixed chamber (b)variable chamber (c)variable chamber.

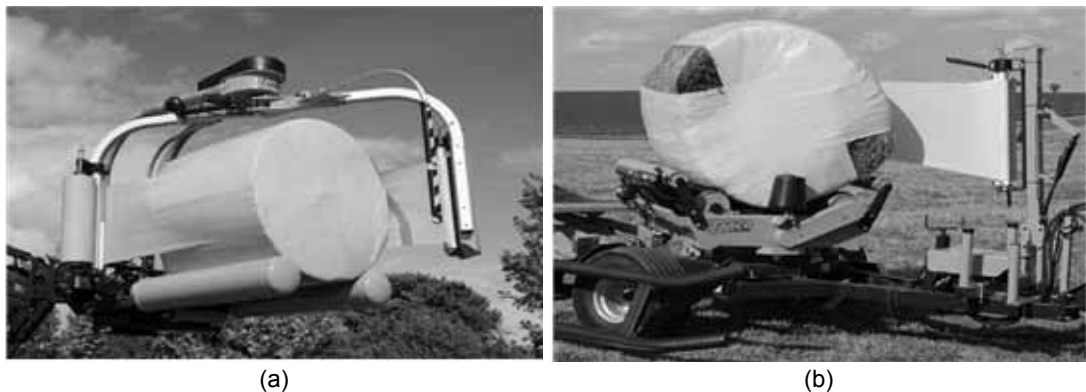


Fig. 6. Types of bale wrapper (a) rotating wrapping arm, (b) rotating turn-table.

러 후방에 탑재하여 네딩된 베일뭉치를 지면에 내리기 전에 바로 랩핑 작업이 수행할 수 있도록 테이블 회전 방식의 랩핑 장치를 선정하였다.

최근에는 이와 같은 베일링과 래핑을 동시에 실시하는 복합작업기가 수입되어 사용되어 지고 있다. Fig. 7에서는 일본에서 수입된 트랙터견인형의 복합기를 보여주고 있는데, 각기 단독으로 수행되던 베일링 작업 후 래핑작업을 연계하여 처리하므로 장비비가 고가임에도 불구하고 작업의 효율성과 용이성, 안정성 때문에 수요가 증가하는 추세이고, 특히 초핑 사료용 베일래핑작업의 경우 효율이나 조사료의 품질안정 측면에서 복합기가 훨씬 더 유리하다.

한편, 본 연구에서 개발될 발효 TMR 제조 시스템은 미리 세절연화기에서 잘게 세절되고 곡물사료와 함께 배합기에서 배합된 사료를 베일링하고 래핑해야 하므로, 2 mm 이하의 작은 알갱이 형태의 분쇄된 곡물사료가 포함된 원료를 베일링해야 하며 베일링 후 즉시 래핑이 가능하여야 한다. 따라서 배합

과 압축성형 및 래핑을 동시에 일관작업으로 수행되어야 한다.

## 2. 공시재료 준비 및 원형베일 사일리지 및 발효TMR 물성 조사

공시재료로는 2013년 봄에 수확된 Italian Rye Grass (IRG) 베일사일리지와 임신돈용 배합사료(제조사:우성사료, 한국)를 이용하였으며, 양돈용으로 적합한 TMR 사료를 제조하기 위하여 Fig. 8에 나타난 바와 같이 원형 베일 사일리지를 해체와 동시에 잘게 세절한 후 연화작업을 실시하였다(Hong et al., 2013).

배합사료와 조사료의 배합비율은 돼지의 종류와 농가별 요구수준에 따라 달라질 수 있지만, 본 연구에서는 축산과학원의 연구결과(Kim et al., 2012)에 따라 건물기준으로 조사료:배합사료를 3:7의 비율로 하였다. 이를 원물의 중량으로 환산할 경우에는 시험에 이용되는 곡물사료와 IRG 사일리지의 함수율에 따라 무게를 조절하여 배합하였다. 이렇게 배합된 원료를 베일러로 압축성형하고 래핑기로 밀봉하여 약 2주간 저장하면 발효가 완료된다.

## 3. 양돈용 발효 TMR 제조를 위한 랩-베일 제조 시스템 제작

본 연구에서는 배합기에서 세절조사료와



Fig. 7. Bale-wrapping combined machine.

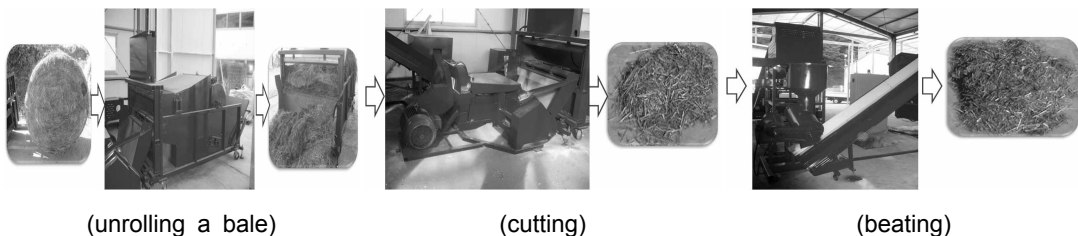


Fig. 8. Processes of unrolling a round bale, cutting, beating.

곡물사료를 혼합하여 베일 챔버에 공급하여 베일링하고 동시에 랩핑 작업을 수행하는 베일래핑시스템을 개발하였다. 특히 세질 조사료와 곡물 등 입자가 3 cm 이하 작은 대상물의 압축성형과 밀봉이 가능하도록 테이블형 래핑장치를 소형화하여 베일러 뒤에 부착하여 연속작업을 하는 단일시스템으로 개발하였다. 이러한 정치식의 베일래핑 복합시스템의 주요 구성은, ① 체인바를 촘촘히 설치한 베일링 챔버부, ② 성형된 베일 형상유지를 위한 네팅장치 및 네트유입메커니즘, ③ 베일러 후단에 연결되어 배출되는 베일을 밀봉하여 사일리지화한 후 지면으로 방출시키는 래핑장치부, ④ 전체적인 시스템의 실행제어를 행하는 마이컴 제어부, ⑤ 모터로부터 동력을 전달받아 베일링부를 구동하는 동력전달부와 ⑥ 래핑기와 구동용 유압동력 발생 및 유압 제어모듈로서 구성된다. Table 1에 개발된 시작기의 기본제원을 제시하였다.

(1) 베일링 장치

대상사료작물의 형상이 3 cm 이하의 작은 입자이기 때문에 가능한 마찰면의 틈새가 적어야 하고 진행방향(중 방향)으로의 틈새가 없는 것이 유리하다. 따라서 본 연구에서는 작은 크기(폭 900 mm, 직경 900 mm)의 고정 챔버형으로 하였다. 베일의 압축은 챔버 내에 체인으로 연결된 고강도의 steel bar를 약간의 틈새를 두고 촘촘히 하여 작은 크기의 원료의 베일링에 적합하고 베일전면에 균일한 압력을 가할 수 있도록 설계하였다. Fig. 9와 10에 나타낸 바와 같이, 공급된 TMR 원료 입자는 이송컨베이어에 의해 성형실 후방으로 공급되어 성형실내에서 지속적으로 다져지면서 점점 원통이 커지게 된다. 원통의 지름이 커져서 베일 성형실 내부를 채우면서 공급량의 유입에 따라 점진적으로 베일원통 외부의 체인바에서 베일에 가해지는 압력이 증가하여 고밀도의 베일성형이 완성된다. 베일의 압력을 결정하는 것은 체인의 인장력이

Table 1. Design specification of bale-wrapping combined machine.

Function	Specification	Remarks
Baling	Dia. 850-1050 mm, Width 850 mm	weight of a bale : over 300 kg
Wrapping	Rotation speed over 30 rpm	
Performance	Minimum 20 bales/h	
Absorbed power	Minimum 22 kW	electric motor

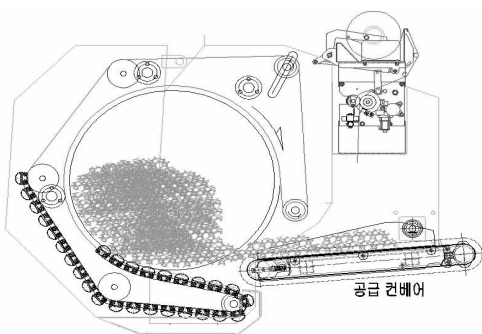


Fig. 9. Baling and netting mechanism.

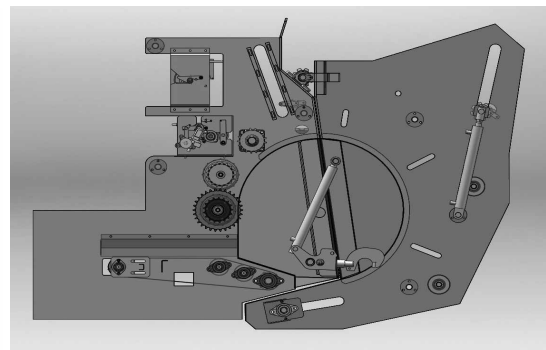


Fig. 10. The shape of a baler.

되며 일정 이상의 압력이 작용하게 되면 센서에 의하여 자동으로 네팅과 뒷문 개방이 이루어지게 된다.

(2) 래핑 장치

기본적으로 테이블래핑장치는 간단한 구조와 콤팩트한 동작이 가능하므로 복합기의 구현에 적합한 방식이다. 테이블래핑장치는 여러 기능부가 각각의 기능을 구현함으로써 전체적인 피복시스템으로 동작가능하게 되는데 그 형상과 베일배출을 위한 틸팅 작동을 각각 Fig. 11에 나타내었다. 래핑테이블을 회전

시키는 회전중심 중간축이 중심에 위치하는 메인프레임으로서 회전을 발생시키는 유압모터가 탑재되고 중간축에 베어링으로 래핑 테이블을 지지하여 회전시킨다. 베어링 장치의 후방에 탑재된 이송레일을 따라 움직이는 이송프레임에 힌지와 스윙작동을 행하는 스윙용 유압실린더를 연결하여 틸팅 기능을 가지도록 하였다. 본 연구에서는 테이블의 크기와 높이를 가능한 줄이고 동력전달구조도 간결화하고 피복비닐의 커팅과 홀더 장치도 테이블에 부착하는 형태를 취했다. 래핑장치의 사양은 아래의 Table 2와 같이 이루어져 있다.

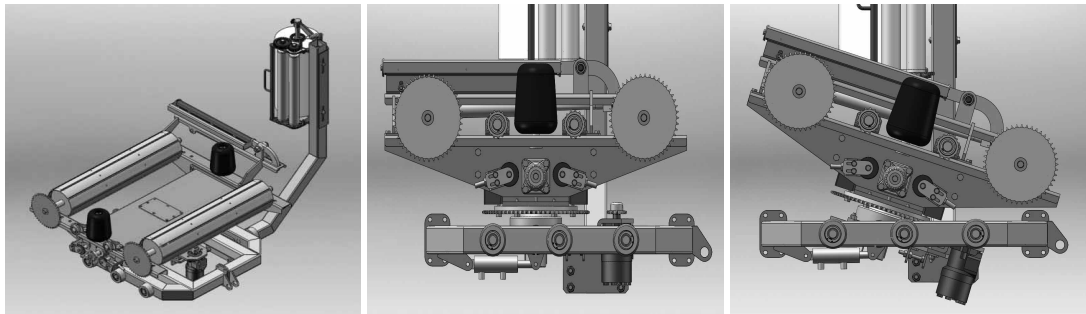


Fig. 11. Drawing of developing wrapper and tilting function.

Table 2. Specification of the wrapper.

	Length	Width	Height	Weight	Table Speed	Film Width	Bale Width	Max. Bale Dia.	Max. Bale Weight
Prototype	1.7 m	1.8 m	1.3 m	320 Kg	30 rpm	500 mm	900 mm	900 mm	1000 kg



Fig. 12. Controllers of baling and wrapping.

### (3) 제어시스템 개발

베일래핑복합기의 가동은 사람의 조작에 의해 가동하기에는 너무 복잡하고 여러 작업이 운전자가 보이지 않는 위치에서 동시에 일어나기 때문에 자동운전을 할 수 밖에 없다. 각 작동부의 개별동작이 우선 원활하고 효율적으로 진행되어야 하고 다음 개별동작 간의 연계성을 고려한 연결동작이나 안전 등이 고려된 통합제어가 필수적이다. 따라서 크게 3가지의 분산제어기능이 필요하고 그 기능은 네팅 장치의 작동 제어, 중량감응 베일가변장치의 성형실 가변작동 제어, 래핑장치의 래핑작업 제어로 구분된다. 통합제어는 이 모든 제어를 관장하고 동시작업이 가능하도록 개별기능 간의 모니터링과 제어도 행하도록 구축하였다. 전체 조작 판넬에서 전체를 제어할 수 있도록 지그비 적용 무선 리모콘을 별도로 개발하여 편의성을 부여하였고 수동운전조작도 가능하게 하였다. Fig. 12는 개발된 제어기의 구성을 나타내고 있다.

Fig. 13에서는 베일-랩핑 동시작업이 가능한 복합기의 작업과정을 나타내었다.

이상에서와 같이 설계하여 제작이 완성된 시작기의 동력전달구조를 Fig. 14에, 유압장치 및 제어장치를 Fig. 15에 나타내었으며, 배합기에서 배합된 재료가 복합기로 투입되도록 설치된 랩-베일 제조시스템을 Fig. 16에 나타내었다.

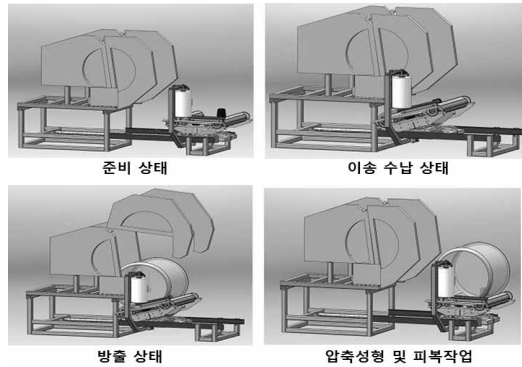


Fig. 13. The continuous operation of baling and wrapping.

### 4. 랩-베일 제조 시스템 성능시험

#### (1) 소요동력 측정

제조시스템의 소요동력은, 전체 시스템의 설계와 경제성 분석에 매우 중요한 자료를 제공하게 된다. 이에 따라 랩-베일 복합기에 대한 동력을 측정하였으며, 측정방법은 대형트랙터 PTO를 구동하면서 토크미터와 회전계를 이용하여 측정하였다 (Fig. 17).

#### (2) 기능별 적합성 시험 및 제조시스템 성능 및 제조된 랩-베일 품질평가

개발된 양돈 TMR 제조시스템 시작기는 핵심적인 여러 기능을 조합하여 복합적으로 연계하여 작동된다. 이들 장치의 성능을 측정하였는데, ① 원형의 베일 성형에 소요되는



Fig. 14. Prototype. (Power transmission)



Fig. 15. Prototype. (Hydraulic and controller)



Fig. 16. Photo of performance test with the prototype.



Fig. 17. Measuring the absorbed power in baling and wrapping process.



Fig. 18. Baling a TMR bale.



Fig. 19. Wrapping a TMR bale.

시간을 측정하는 베일처리성능(베일/분), ② 성형된 베일의 래핑에 소요되는 시간을 측정하는 래핑처리성능(피복처리성능, 겹/분), ③ 압축된 베일을 얼마나 효율적으로 결속하는가를 측정하는 결속작업 에러 (netting error, %), ④ 랩-베일 성형시의 사료의 손실을 측정하는 사료 누설률(%), ⑤ 제조된 베일의 품질을 측정하는 밀도( $\text{kg/m}^3$ )와 저장 후 pH 등을 측정하여 시작기의 랩-베일 제조성능을

평가하였다. Fig. 18와 19에서는 양돈 TMR 성형과 성형된 원형의 베일을 비닐로 밀봉하는 장면을 보여주고 있다.

### 결과 및 고찰

#### 1. TMR사료 물성조사 결과

공시재료인 TMR의 물성치를 조사한 결과를

Table 3. TMR (Concentrate 70% + cur IRG silage 30%, DM basis).

Replication	Moisture content (% w.b.)	Density ( $\text{kg/m}^3$ )	Angle of repose ( $^\circ$ )
1	38.1	400	53
2	37.8	380	49
3	39.1	380	51
Average	38.3	387	51
S. D.	0.7	11.5	2.0



Table 4. Absorbed power.

Types of load	Absorbed power (kW)	Remarks
No load	1.5	
Initial load	3.0~4.5	
Load in baling	6.7~8.2	
Load in wrapping	2.2~7.5	
Total absorbed power	9.0~15.7	

Table 3에 나타내었다. 함수율은 평균 38.3% (w.b.)으로 나타나 일반적인 헤일리지의 함수율인 40~60% (w.b.) (Cheong et al., 1997)에는 약간 못 미치는 것으로 나타났다. 밀도는 평균 387 kg/m<sup>3</sup>으로 나타났으며 조사료의 양이 많아짐에 따라 밀도가 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 재료의 안식각은 49~53°를 보이고 있다.

## 2. 소요동력 측정 결과

베일링시의 소요동력을 토크미터와 회전계로 실시간 측정하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 베일링시의 동력은 6.7~8.2 kW로 측정되며 예측치보다는 적게 사용되고 있음을 알 수 있다.

토크미터와 회전계에 의해서 측정된 측정값은 베일링초기, 압축기로 나누어 측정하였는데, 초기에는 3.0~4.5 kW, 압력을 받은 경

우에는 6.7~8.2 kW 범위의 소요동력을 보여주고 있다. 또한, 정치상태에서 원료를 공급함에 따라, 베일링 작업이 진행되면서 토크의 급격한 변화나 회전수의 급격한 변화는 없음을 확인할 수 있었다. 그러나 래핑장치 구동시 유압밸브의 작동으로 유압회로 상의 부하변동(압력변동)에 따라서 펌프구동에 의한 동력변화가 2.2~7.5 kW으로 꽤 큰 동력이 소요됨을 알 수 있었다. 그러나 이러한 최대 유압동력은 초기 구동시에만 간헐적으로 작용하는 것으로 전체 작업공정상에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 전체적으로 약 9.0~15.7 kW 정도가 소요된 것으로 측정되었다. 이로써, 동력원으로 22 kW 전기모터를 설정한 것은 타당한 것으로 판단되며, 실제로 베일링장치와 래핑장치의 유압펌프를 동시에 구동하여 과부하 없이 운전이 가능하였다.

## 3. 시작기 성능시험 및 품질 평가

성능 시험 결과를 Table 5에 나타내었는데, 조사료를 세절하여 조밀한 체인바를 이용하여 압축한 결과로 베일의 크기에 비하여 중량이 매우 무거움을 알 수 있었다. 사료작물을 베일성형실내로 공급하여 베일을 성형하여 네팅한 후 방출하는 일련의 처리과정을

Table 5. Performance testing result.

	Result	Average	Remarks
Baling (bale/h)	23/24/24	24	
Wrapping (bale/h)	22/20/22	22	
Bale-wrapping (bale/h)	21/19/19	20	
Bale weight (kg)	320/350/380	350	
Netting error (%)	3.3	—	1 error in 30 balings
Leakages (kg)	1.8/2.3/1.6	1.9	

Table 6. Measuring the property of the fermented TMR bale.

Replication	Moisture content (% , w.b.)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	pH
1	37.5	718	5.6
2	39.2	710	5.2
3	37.9	709	5.0
Average	38.2	387	5.3
S. D.	0.9	4.9	0.3

행하는 소요시간이 평균 2분 30초, 래핑 시간이 2분 42초로 공급이 원활한 것으로 나타났다. 이를 연속적으로 작업한 결과 시간당 20베일 이상을 작업할 수 있음을 확인하였다. 이 시험에서 처리속도에 가장 영향을 미치는 것은 원활한 공급과 균일한 공급임을 확인하였다. 한편 래핑기의 경우, 전체적으로 안정적인 래핑작업을 행하였으나, 커터장치의 자동작동시 에러가 1건 발생하였으나 조치후 계속 시험하였고, 이후 정상 작동하였다.

금번 개발된 래핑기는 현재 시판 중인 래핑장치보다 구조가 간단하며 콤팩트하고 경량으로 제작되어 베일링장치와 래핑장치를 같이 탑재한 베일래핑복합기에 있어서는 큰 장점이 됨을 확인되었다.

베일을 성형하거나 결속된 베일을 이송하여 래핑작업을 행하는 도중에 대상사료작물을 지표에 흘리는 누설이 발생하게 되는데, 이를 방지할 수 있는 방법으로 후방도어를 열 때 체인구동동력이 차단되도록 하여 시험 결과 350 kg 무게의 베일 제조시 누설량이 평균 2 kg 이하가 되는 것으로 나타났다. 이러한 누설량은 불가피한 것으로 보이며, 실제 운전시에는 누설되는 재료들을 회수하여 다시 TMR로 제조하므로 이 정도의 누설량은 지속적인 생산작업에 지장이 없는 것으로 판단하였다.

한편, 발효가 완료된 TMR의 물성치를 조

사한 결과를 Table 6에 나타내었다. 함수율은 평균 38.2% (w.b.)으로 나타났다. 폭 800~850 mm, 지름  $\Phi$ 900~950 mm의 베일이 형성되었는데, 형성 중량은 30% 사일리지 + 70% 배합 사료의 경우 400~450 kg를 보여, 평균 밀도는 718 kg/m<sup>3</sup>를 보였다. 이러한 결과로, 당초 베일성형전의 TMR의 밀도보다 약 1.86배의 압축이 가능하여 혐기발효와 운반저장에 유리함을 확인하였다. 아울러 함수율은 제조할 당시에 측정된 순준과 비슷한 평균 38% (w.b.)를 보이고 있어 예견하여 제조하는 헤일리지 수준이었으며, 약 5주후에 TMR 랩-베일을 개방하여 조사한 최종 pH가 5.0~5.6의 분포를 보이고 있으며, 낙산취 등은 전혀 나타나지 않았다. 따라서, 본 공정을 이용한 사일리지 제조는 성공적이었으며, 기존의 발효기 없이 비닐 밀봉만으로도 혐기발효가 가능함을 알 수 있었다.

## 결 론

최근 대외 환경 악화로 수입 곡물가가 급증하고 있으며 돼지에 TMR 발효사료 급이 시 생산성 향상, 분뇨 악취저감 및 면역력 증가 등의 효과가 있는 것으로 조사되었다. 그러나 국내에 양돈용 TMR 발효사료를 제조할 수 있는 시스템이 없는 실정으로, 본 연구에서는 조사료와 배합사료를 배합하여 랩-베일로 가공하는 TMR 발효사료 제조시

시스템을 개발하였으며 그 결과는 다음과 같다.

공시재료인 TMR 사료(세절 IRG 70%+ 곡물 배합사료 30%, 건물기준)를 이용한 시험 결과, 토크미터와 회전계에 의해서 측정된 복합기의 소요동력은 베일링 초기에는 3.0~4.5 kW, 압력을 받은 경우에는 6.7~8.2 kW 범위의 소요동력을 보여주고 있다. 토크의 급격한 변화나 회전수의 급격한 변화는 없음을 확인할 수 있었으며, 전체적으로 9.0~15.7 kW 정도가 소요된 것으로 측정되었다.

베일러의 경우 조밀한 체인바를 이용하여 입자가 3 cm 이하인 작은 원료를 압축성형하는 데에 이상이 없음을 확인하였다. 래핑기의 경우, 1건의 네팅에러 이외에 안정적인 래핑작업을 행하였고, 현재 시판 중인 제품과는 방식이 다르고 구조가 간단하여 베일링장치와 래핑장치를 같이 탑재한 베일래핑복합기에 있어서는 큰 장점이 됨을 확인하였다. 복합기의 성능시험 결과, TMR 원료의 베일링 소요시간이 평균 2분 30초, 래핑 시간이 2분 42초로 공급이 원활하였으며 시간당 20베일 이상을 작업할 수 있음을 확인하였다. 또한 베일일 전후의 누설량이 평균 2 kg 이하가 되는 것으로 나타나 문제가 없는 것으로 판단되었다.

베일-래핑이 완료된 TMR의 물성치를 조사한 결과, 함수율은 평균 38.2% (w.b.)으로 나타났다. 폭 800~850 mm, 지름  $\Phi$ 900~950 mm의 베일이 형성되었는데, 형성 중량은 400~450 kg를 보여, 평균 밀도는  $718 \text{ kg/m}^3$ 를 보였다. 이러한 결과로, 당초 베일성형전의 TMR의 밀도보다 약 1.86배의 압축이 가능하여 혐기발효와 운반저장에 유리함을 확인하였다. 약 5주 후에 TMR 랩-베일을 개방하여 측정된 결과, 최종 pH가 5.0~5.6의 분포를 보이고 있으며 낙산취 등은 전혀 나타나지 않았다. 따라서, 기존의 발효기 없이 비닐 밀봉

만으로도 혐기발효가 가능함을 알 수 있었다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제 번호: PJ907029)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

1. Cho, S.B., 2009. Making and using technology of winter barley silage for pigs. Annual report. National Institute of Animal Science, Suwon, Korea.
2. Cheong, T.Y., Hong, J.H., Oh, I.H., Kim, D.K., Yeon, J.W., Lee, J.B., Kang, C.W., Lee, J.S., Cho, I.H., Lee, M.J., 1997. Livestock facility and machinery. Hyang Moon Sa. pp. 308.
3. GATEL, F., GROSJEAN, F., CASTAING, J., 1988. Feeding Value of Ensiled High-Moisture Maize Grain with Cob for Growing-Finishing Pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 20, 145-153.
4. Hyundai Research Institute., 2012. International grain price increase and domestic price in Korea. Research report. Korea.
5. Hong, J.T., Kim, H.J., Yu, B.K., Hyun, C.S., Kim, S.K., Yoo, J.S., Hong, Y.S., Seo, H.D., 2013. A study on the integrated unrolling, cutting, and softening system of round bale silage for pig feeding(I). J. lives. Hous. & Env. 19(1), 9-18 (In Korean).
6. Ministry of agriculture, forestry and fisheries of Japan., 2012. Plan for echo

- feed. Japan
7. NIAS (National institute of animal science), 2009. TMR center Handbook in Korea.
  8. Kim, Y.H., Jeong, E.H., Lee, S.D., Jang, H.J., Kim, D.W., Sa, S.J. Park, J.C. and Kim., I.C., 2012. The effect of feeding IRG pellet for sow productivity. Proceeding of international symposium for Development engineering. (1):112. (In Korean).
  9. Kim, H.J., Hong, J.T., Chang., H.H., 2012. Development of an electronic sow liquid system using RFID (1). J. Biosystems Eng. 37(6), 373-384. (In Korean, with English abstract).
  10. Koichi., S., 2009. Studies of high-quality pork production using local agricultural by-product. ph-D thesis. United graduate school of agricultural science. Kagoshima university. Japan.