

트랙터 견인형 원형 베일 랩퍼의 개발(I)
— 랩핑 작업공정 분석 및 작업 시스템의 개발 —

Development of a Tractor Attached Round Bale Wrapper(I)
— Analysis of wrapping process and development of operating system —

박경규	김혁주	김창수	김재열	김진현	장 철
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
K. K. Park	H. J. Kim	C. S. Kim	J. Y. Kim	J. H. Kim	C. Jang

ABSTRACT

One of the major obstructing factors against managing dairy farm in Korea has been a shortage of roughage supply, which resulted in excessive abuse of concentrate feed. In order to solve this problem, production of the wrap silage by the winter cereal forages raised in the fallow paddy field is strongly recommended in Korea.

The main objective is to develop a tractor attached round bale wrapper which can process the silage by wrapping the round bales with thin plastic films. This is the first half of the study which is divided by two parts. In this first part, bale wrapping process was analyzed, and based on this results the followings were designed, developed and tested.

1. Bale wrapper which having the maximum capacity of 1 ton bale with various functions such as loading, wrapping, discharging the round bales and supplying and cutting wrap films was designed.
2. An actuator and its hydraulic circuit of each process were developed and tested.
3. Also, the variations of hydraulic pressure and engine speed were investigated by operating bale wrapper developed. In this test, maximum pressure of the hydraulic circuit for the bale wrapping was 130 kg/cm² when it raised the bale, which was quite below the relief pressure of 170 kg/cm² of hydraulic circuit. In the engine speed test, speed drop was 20~67 rpm, which meant that there was no over-load operation. Therefore, the experiment proved that developed hydraulic circuit and mechanism is stable in bale wrapping operation

Keywords : Round bale wrapper, Wrap silage, Winter cereal crop in paddy field, Wrapping.

1. 서 론

최근 우리나라의 젓소 및 한우의 사육두수는 계

속 증가 추세에 있으며 젓소와 비육우는 2000년 현재 약 200만여 두가 사육되고 있다(농림부, 2001). 반면 사육농가는 계속 줄어들어 호당 사육

This Study was Supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea and article was submitted for publication in February 2002; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2001. The corresponding author is K.K.Park, Professor, Dept. of Agricultural Machinery, Kyungpook National University, 1370 Sankyuck-dong, Daegu City, 702-701, Korea. e-mail: <kkpark@kyungpook.ac.kr>.

The authors: K. K. Park and H. J. Kim, Kyungpook National University; C. S. Kim, J. Y. Kim and J. H. Kim, Sangju National University; C. Jang, Institute of Asia industrial Co., Ltd.

두수가 꾸준히 증가하고 있음에도 불구하고, 아직은 축산 선진국에 비하여 규모가 영세한 탓에 많은 문제점을 안고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 겨울철에 논에서 재배 가능한 맥류를 랩-사일리지로 생산하는 단리작 맥류 랩-사일리지의 기계화 일관 생산 모델이 제시되었다(박경규 외, 1998).

랩-사일리지의 제조 공정은 맥류의 재배 → 예취 → 예건 → 집초, 반전 → 베일 생산 → 베일 랩핑(wrapping; 비닐 밀봉) → 운반, 저장의 순서로 이루어진다. 이러한 공정을 거치는 랩-사일리지는 생초상태인 맥류가 비닐 내부에서 젖산 발효하여 제조되는데, 비닐 밀봉은 발효중 산소를 차단하므로 양질의 젖산 발효가 가능하게 하고 장기간 저장에 있어서의 변패를 방지할 수 있게 한다(고영두 외, 1999).

이렇게 원형의 베일을 비닐로 피복, 밀봉하는 기계를 원형 베일 랩퍼(Round bale wrapper)라고 하는데, 이제까지 국내에서는 수입 기종을 이용하여 왔으며 따라서 이를 국산화할 필요성이 제기되었다.

따라서 본 연구의 목적은 조사료용 원형 베일의 랩핑을 위한 베일 랩퍼의 국산화 개발을 위하여 ①원형베일의 랩핑 작업의 공정을 분석하고, ②공정별 작업시스템을 개발하며, ③전체 작업공정의 제어를 위한 콘트롤러를 개발하여 시작기대를 완성하고, ④개발된 시작기를 이용하여 작업 능력 및 베일 밀봉 성능 시험을 실시함에 있으며, 본보는 제1보로서 위의 연구 내용 중에서 ①랩핑 작업의 공정분석과 ②공정별 작업시스템의 개발 결과에 대하여 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 개발 기대의 사양선정

현재 외국에서 널리 사용되고 있는 베일 랩퍼의 대표적인 종류로는 작업 형태에 따라 대체로 ①베일 랩퍼가 트랙터에 견인되어 작업하는 형태와 ②정지상태에서 작업하는 형태, ③베일러와 연결하여 베일-랩핑을 동시에 실시하는 형태, ④트랙터의 3점 히치부에 직접 연결하여 작업하는 형태 등이 있다.

본 연구에서의 개발 기종은 위와 같은 형태 중에서 일관 기계화작업에 유리한 트랙터 견인형이

Table 1 Specification of developed round bale wrapper

Descriptions	Specifications
Length × height × width (mm)	5,420 × 2,500 × 3,800
Weight(kg)	1,870
Max. hydraulic pressure (kg/cm ²)	170
Max. lift capacity(kg)	1,000
Attachment	Tractor hitch

며 국내에 많이 보급되어 있는 베일러와 함께 이용하기에 편리한 기종을 선택하였으며, 아일랜드의 M사의 기종을 벤치 마킹 대상으로 하여 국내 A사에서 시작품을 개발기로 하였다. 개발기대의 사양을 표 1에 나타내었는데, 기계의 작동은 모두 유압에 의하므로 동력은 트랙터의 유압취출 장치를 이용하였으며, 일반적인 범용의 트랙터에서 작동이 가능하도록 최고 작동 유압력은 170 kg/cm²로 하였다.

위의 사양은 현재 사용되고 있는 4 ton 트레일러와 크기, 중량면에서 유사하여 30~40 kW급의 트랙터에 적합할 것으로 판단되었다. 또한, 베일적재 아암의 최대 허용 승강 능력은 최대 1,000 kg으로 하였는데, 이는 현재 국내에서 많이 이용되는 원형 베일러에 의해 생산되는 베일의 규격을 기준으로 한 것이다. 국내에서는 약 40~50 kW급의 트랙터를 이용하여 주로 직경 1.2~1.3m 내외의 베일이 많이 생산되고 있으며 랩-사일리지로 이용할 수 있는 사료작물 생초를 함수율 50~70%(w.b.)로 예건하거나 생볏짚의 경우 약 500~800 kg을 상회하는 수준이기 때문이다(박경규 외, 2001).

이상과 같은 사양으로 개발될 베일 랩퍼의 전체 사양도를 그림 1에 나타내었다.

나. 랩핑 공정 분석 및 작업 시스템의 구성

원형 베일 랩핑 작업은 ①랩-비닐(Plastic film)의 준비→②포장에 방치된 원형 베일을 회전 테이블에 적재→③원형 베일이 완전히 밀봉되도록 원하는 두께로 랩핑→④밀봉완료 후 랩-비닐을 절

트랙터 견인형 원형 베일 랩퍼의 개발 (I)

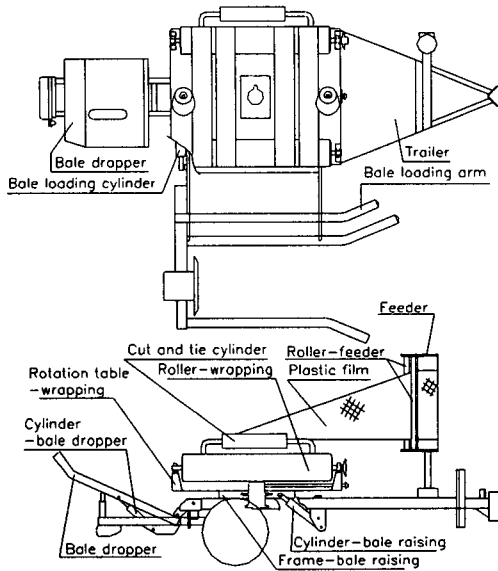


Fig. 1 Schematic diagram of developed round bale wrapper.

단→⑤밀봉된 랩-베일을 배출하는 공정으로 나눌 수 있다. 위와 같은 각 작업공정에 대하여 상세한 분석을 하였고 공정별 작업수행을 위한 유압시스템 및 기구장치를 설계하였다.

(1) 랩-비닐의 공급(Film feeding)

작업전에 원통형의 랩-비닐을 트레일러부에 설치된 랩-비닐 공급장치(feeder)에서 회전 가능하도록

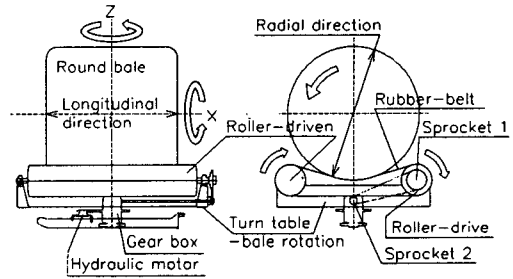


Fig. 2 Diagram of wrapping process.

록 걸어주고 2개의 롤러(Roller-feeder) 사이를 통과시켜 비닐의 끝단을 회전테이블에 고정하여, 회전테이블이 회전하면 베일이 비닐을 감으면서 회전하여 랩핑이 이루어진다.

(2) 베일의 적재(Bale loading)

베일러에 의해 압축 결속되어 포장으로 배출된 베일을 랩핑하기 위하여 작업자는 트랙터에 베일-랩퍼를 부착한 채로 운전하여 랩퍼 측면의 베일 적재아암(Bale loading arm)을 유압실린더로 상승시켜 베일을 회전 테이블에 올려 놓는다. 이에 대한 유압작동 회로를 그림 3의 ①부에 나타냈으며 회로에서는 베일의 상승시 역류 방지 및 원활한 하강 작업이 가능하도록 파일럿 체크 밸브를 설치하였다.

(3) 랩핑 공정(Bale wrapping)

랩핑은 그림 2에 나타난 바와 같이 유압모터와

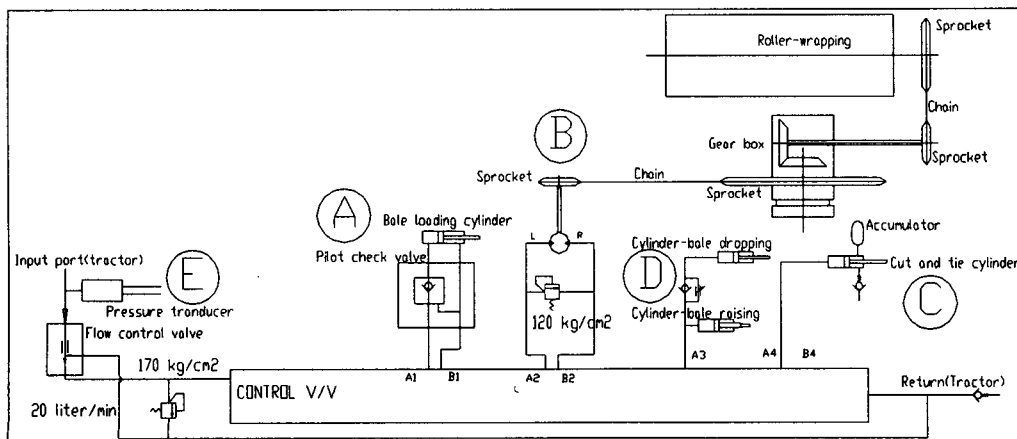


Fig. 3 Hydraulic circuit of developed bale wrapper.

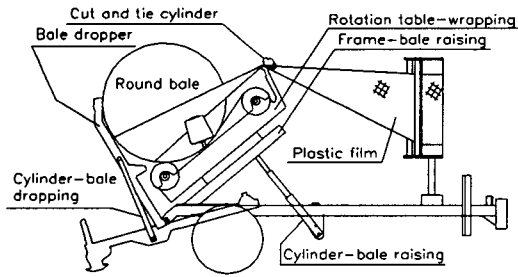


Fig. 4 Bale wrapper in fully raised position.

기어박스의 회전에 의해 회전 테이블이 z 축 중심으로 회전하면 적재된 베일의 길이 방향으로의 피복이 일어나게 되고, 동시에 톨러의 회전에 의해 회전테이블 위의 베일이 x축 방향으로 회전하여 반경방향으로도 비닐이 피복되어 베일 전체가 밀봉된다.

이와 같은 랩핑 작업을 위한 유압회로 및 기구를 그림 3의 ㉞부와 같이 구성하였다. 기어 박스는 회전테이블과 함께 회전하면서 톨러 회전을 위한 동력을 전달한다.

유압회로의 구성에서는 유압모터가 정회전하는 경우 관내의 이상 압력 방지를 위하여 릴리프 밸브를 120 kg/cm²로 설정하였다.

(4) 랩-비닐의 절단 공정(Film cutting)

랩핑 작업이 완료되면 랩-베일을 배출해야 하지만 그 전에 연결되어 있는 랩-비닐을 절단하여야 한다. 비닐의 절단은 랩-베일을 배출하기 위하여 회전테이블이 상승하여 최고점에 도달하였을 때 그림 4와 같은 상태가 되고, 이 때 비닐 절단용 유압실린더(Cut and tie cylinder)가 전진하여 비닐을 절단하면서 동시에 다음 작업을 위하여 비닐을 고정한다.

작동 유압회로를 그림 3의 ㉟부에 나타내었는데, 작동 실린더는 단동식으로 하였으며 유압이 실린더에 가해지면 실린더는 전진하게 되고 유압실린더의 후퇴는 축압기(Accumulator)의 팽창력에 의해 작동되도록 하였다.

(5) 랩-베일의 배출 공정(bale dropping)

피복이 완료된 랩-베일은 회전 테이블과 함께 상승 실린더(Cylinder-bale raising)에 의해 상승되고 일정 이상의 상승 각도가 되면 랩-베일은 자기 중량에 의하여 회전 테이블을 이탈하여 그림 4와 같이 배출판(Bale dropper)으로 이동한다. 이후, 랩

-비닐을 절단하고 난 후에 랩-베일의 중량에 의해 배출판이 하강하여 베일이 배출된다. 유압회로의 구성은 그림 3의 ㉞부와 같은데, 베일상승 실린더와 베일배출 실린더(Cylinder-bale dropping)를 직렬로 연결하였다.

따라서 베일 상승시는 부하가 없는 배출판이 먼저 상승하고 나서 베일이 올려진 회전 테이블이 상승하게 된다. 베일의 배출을 위한 하강시에는 이와 반대의 순서로 작업된다. 또한, 베일상승 실린더는 충분한 상승각도 유지를 위하여 2단 실린더를 사용하였다.

다. 전체 유압 및 기구 작동 회로의 구성

이상에서의 공정별 분석 및 회로 설계를 종합하여 전체 작동 회로를 구성하였으며 그림 3에서 나타난 바와 같다. 이들 작동장치는 모두 트랙터에서 공급되는 유압력과 유압밸브에 의하여 작동되도록 하였다. 유압회로 설계시 유압모터의 작동유량이 20 l/min 이내가 되도록 정유량 밸브를 장착하여 회전 테이블의 회전수를 30 rpm으로 제한하였는데, 그 것은 무거운 베일이 고속회전하여 베일이 이탈되는 현상이 발생했기 때문이다.

또한, 관내 릴리프 밸브 압력은 이상 압력 발생에 대비하여 170 kg/cm²로 설정하였다.

라. 공정별 작업성의 평가 방법

개발된 베일 랩퍼의 작업성을 평가하기 위하여 작업 중의 회로내 유압력과 엔진 회전수의 변화를 동시에 측정할 수 있도록 그림 5와 같은 계측시스템을 구성하였다

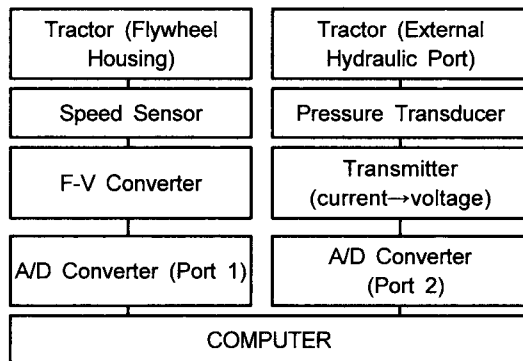


Fig. 5 Diagram of data acquisition system.

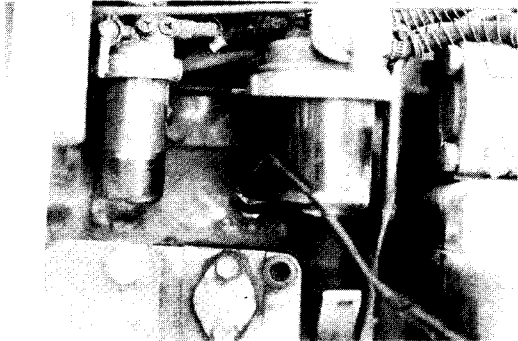


Fig. 6 Pick-up sensor threaded in the case around flywheel ring gear.

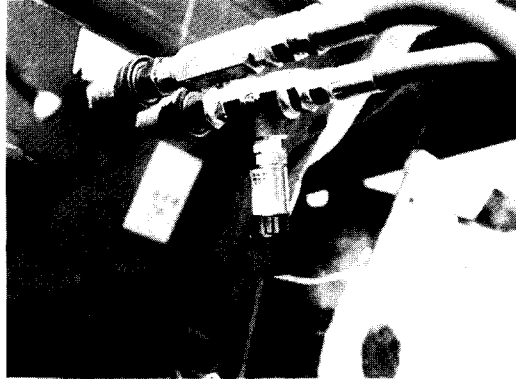


Fig. 7 Pressure transducer assembled in the input port of hydraulic circuit.

Table 2 Specification of pressure transducer

Maker	WIKA Inc.(Germany)
Model No.	891.23.510
Type	Thin-film strain gauge
Range	0 - 500 kg/cm ²

또한 랩핑 작업에 사용된 원형 베일은 눈에서 제배하여 수확적이인 유숙기(Soft dough stage)에 예취하고 함수율 50~60%(w.b.)로 예건된 호박을 직경 1.2m, 길이 1.2m가 되도록 베일링한 것이다. 베일 1개의 중량은 측정결과 약 500 kg 정도였으며 따라서 제조된 원형베일의 밀도는 약 370 kg/m³가 되었다.

(1) 공정별 엔진 회전수 변화의 측정방법

베일 랩퍼 작업에는 국내 D사의 32 kW급 트랙터를 이용하였고, 트랙터 엔진의 무부하 회전수를 1,740, 2,156, 2,344 rpm로 설정한 후 랩핑 과정에서 연속으로 작업부하에 의한 회전수 감소량을 측정하였다. 엔진 회전수의 측정은 트랙터 플라이휠 하우징에 Magnetic pick-up 센서를 설치하여 플라이휠 링기어의 골과 산의 반복에 의해 발생하는 사인파를 측정하도록 하였다.

그림 8에서는 엔진 회전수 측정을 위한 Magnetic pick-up 센서의 장착 장면을 나타내고 있다.

(2) 유압 작동 압력 측정방법

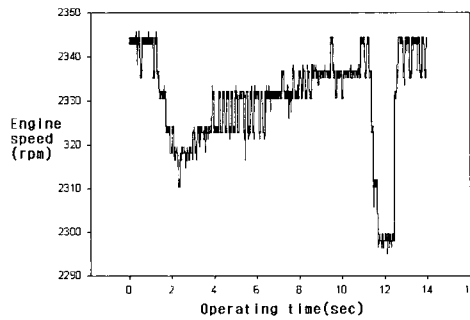


Fig. 8 Variation of engine speed in bale loading process.

베일의 랩핑 작업은 트랙터의 복동식 외부유압 포트에 유압을 연결하여 이루어지므로 압력의 측정은 strain gauge type의 압력 변환기를 유압 입구 측(그림 3의 (F))에 장착하여 베일 랩핑의 전공정에 있어 관내에 형성되는 압력을 측정하도록 하였다. 사용된 압력 변환기의 사양은 표 2와 같고 그림 7에 압력 센서 취부장면을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 작동 유압력 및 엔진 회전수 변화의 측정 결과

(1) 베일 적재 공정

그림 8은 베일 적재를 위한 상승 공정의 엔진 회전수 변화를 나타내었는데 작업 중의 엔진 회전

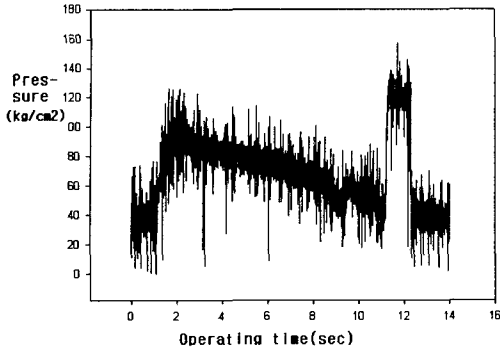


Fig. 9 Pressure variation of the hydraulic circuit in loading bale.

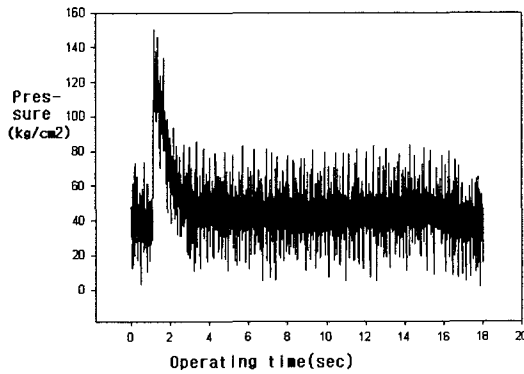


Fig. 10 Pressure variation of the hydraulic circuit in wrapping bale.

수 변화는 최대 25~45rpm 정도를 보였으며 이러한 정도는 적정 유량 공급에 영향을 미치지 못하는 수준으로 작업 부하가 매우 적은 것으로 판단되었다.

그림 9는 동일한 작업시의 유압회로 내에 형성된 압력을 측정된 것이다. 그림을 살펴보면 초기 관내의 압력은 약 40 kg/cm²를 유지하다가 베일의 상승과 함께 관내 압력이 약 100 kg/cm²까지 상승하였다. 이후 압력은 완만히 감소하여 초기 압력과 같아지는데, 후반부에 압력이 갑자기 130 kg/cm²까지 상승한 것은 베일 적재아암이 상승 후에 멈추게에 부딪히면서 일시적으로 발생한 압력이다.

(2) 베일 랩핑 공정

베일 랩핑시의 압력변화를 그림 10에 나타내었다.

본 작업에서는 정지해 있는 베일을 회전시키기 위하여 초반부의 짧은 시간동안에 관내 압력이 110 kg/cm²까지 상승하였으며 이후에는 초기의 관내 압력 40 kg/cm²을 유지하고 있다. 그 것은 베일 회전이 관성력에 의해 유지되고 있어 추가 회전력이 필요하지 않으며 오히려 회전 관성의 영향으로 인하여 회전 테이블의 정확한 위치에서의 정지가 어려웠으며 이에 대한 보완이 필요한 것으로 판단되었다. 회전수의 변화에 대한 고찰은 생략하며 공정별 최대 변화량의 데이터를 표 3에 정리하였다.

Table 3 Variations of engine speed, pressure and operating time

구 분	No-load speed (rpm)	Loading	Wrapping	Raising	Dropping
Max. pressure (kg/cm ²)	1740	120	110	120	80
	2156	120	120	130	90
	2344	130	120	130	100
Engine speed drop(rpm)	1740	67	40	55	20
	2156	44	35	42	20
	2344	46	32	46	20
Operating time (sec)	1740	14	19	14	20
	2156	12	18	10	21
	2344	12	18	8	20

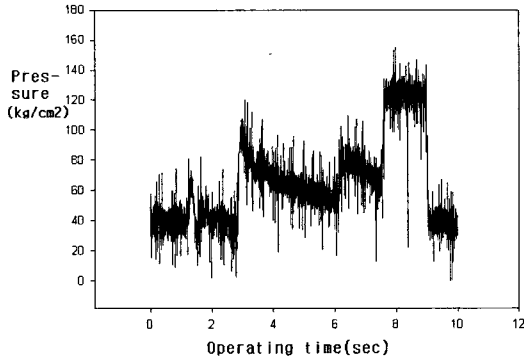


Fig. 11 Pressure variation of the hydraulic circuit in raising bale.

(3) 베일 배출을 위한 상승 공정

측정된 압력을 그림 11에 나타내었는데, 초기의 관내 압력은 40 kg/cm²로 유지되고 있으며 무부하 상태의 베일 배출 실린더가 상승 완료될 때까지 압력의 변화는 없다. 그런데, 시간이 3초일 때 베일이 탑재된 회전 테이블이 상승되면서 압력이 약 100 kg/cm²까지 상승하고 이후 압력이 감소하였다. 6초 때에 압력이 상승한 것은 2단으로 구성된 베일상승 실린더의 2번째 램(ram)이 작동하였기 때문이다. 이후 8 초에서는 무거운 베일이 베일 배출판으로 이동하면서 그 충격에 의하여 압력이 130 kg/cm²까지 급상승하였다.

(4) 베일 배출을 위한 하강 공정

측정된 압력을 그림 12에 나타내었다. 베일의 하강은 베일 무게에 의해 유압유가 드레인(drain) 되므로 관내 압력의 변화는 없으며 단지 유압작동 초반부의 순간적인 압력변화만 나타났다.

이상과 같이 작업 공정별 유압력과 엔진 회전수의 변화를 관찰하였으며 위와 같은 방법으로 측정된 무부하 회전수별 유압력과 엔진회전수의 변화를 표 3에 나타내었다. 또한 무부하 회전수에 대한 공정별 작업시간의 변화도 표 3에 나타내었다.

위에서 살펴본 엔진 회전수에 따른 유압력은 거의 같은 양상을 보이고 최고 압력이 베일을 상승시키는 경우 130 kg/cm² 정도가 형성되어 전체 유압 시스템의 릴리프 설정압력 170 kg/cm² 보다 낮게 형성되었으며 트랙터의 일반적인 유압 릴리

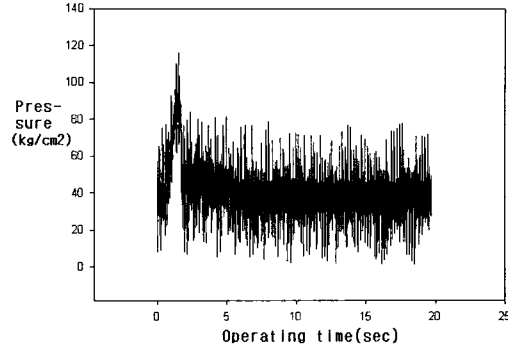


Fig. 12 Pressure variation of hydraulic circuit in dropping bale to the ground.

프 압력 220 kg/cm² 보다도 낮으므로 작업시 트랙터 및 베일 랩퍼의 유압 계통은 안정적으로 작업이 가능한 것으로 판단된다.

엔진 회전수 또한 전 공정에 걸쳐 최저 20~최고 67 rpm 정도로 나타났으며 이런 정도의 회전수 변화는 디젤엔진의 일반적인 조속 성능으로 보아 매우 정상적인 작업부하를 보이는 것으로 판단된다.

한편 공정별 작업 시간은 2,344 rpm과 2,156 rpm의 경우는 거의 유사하게 나타났으며 1,740 rpm의 경우는 작업속도가 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 램핑 및 베일 하강 공정의 작업시간은 거의 변화가 없었으며 램핑 작업시는 베일을 8 회전하는 데에 18~19초가 소요되어 회전 테이블의 회전 속도가 30 rpm 이하로 유지되고 있음을 확인하였다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 원형 베일을 램핑하기 위한 트랙터 견인형 베일 랩퍼의 국산화 개발을 위하여 실시되었으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 원형 베일의 램핑 공정을 분석하였으며 이를 토대로 각각의 유압 작동회로 및 기구를 설계하고 국산 시작품을 개발하였다.
- 2) 개발기계는 최대 1 톤의 원형 베일을 램핑할 수 있으며 트랙터에 의해 견인될 수 있는 이동식 트레일러형으로 구성하였다.
- 3) 램핑 작업중의 유압력을 조사한 결과 베일

배출을 위한 상승 공정에서 최대 127 kg/cm^2 로 나타나 본 연구에서 사용된 트랙터의 릴리프 조정압력인 220 kg/cm^2 과 베일 랩퍼 자체의 릴리프 조정압력인 170 kg/cm^2 보다 낮았다. 또한 전 작업 공정에 걸쳐 엔진 회전수의 변화도 $20 \sim 67 \text{ rpm}$ 으로 크지 않게 나타나 랩핑작업을 위해 설계된 유압시스템은 안정적인 것으로 판단되었다.

4) 유압 입구측에 정유량 밸브를 장착한 결과 엔진 회전수의 영향을 크게 받지 않으면서 베일의 속도가 30 rpm 정도로 유지되고, 따라서 무거운 베일이 안전하게 회전하고 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 고영두, 강우석, 김대진 외 7명. 1999. 반추 가축을 위한 사일리지 제조전략. 선진문화사. p 83~92.
2. 박경규. 2001. 담리작 조사료의 랩핑-사일리지 일관화 생산을 위한 모델 및 기계 개발. 농림기술개발 연구사업 최종보고서.
3. Ministry of Agriculture and Forestry. 2001. Statistical yearbook of agriculture and forestry.
4. K. K. Park, H. J. Kim, S. H. Seo, J. H. Seo. 1998. Modeling in mechanized production system for wrapped winter barley silage in Korea. Proceedings of the KSAM '98 summer conference. pp. 100~109.