

무인이송로봇기반 자동 소사료 공급 시스템 개발 및 검증

안성수¹, 이용찬², 유지훈², 이연정^{2*}

¹대구기계부품연구원 기계로봇연구본부, ²경북대학교 전자공학부

Development and Verification of the Automated Cow-Feeding System Driven by AGV

Sung-Su Ahn¹, Yong-Chan Lee², Ji-Hun Yoo², Yun-Jung Lee^{2*}

¹Machinery & Robot Research Division, Daegu Mechatronics & Materials Institute

²School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

요약 본 논문에서는 대형화되고 기업화되어가고 있는 국내 축산농가를 위한 AGV와 스크류컨베이어 기반의 자동 소사료 공급시스템에 대해 소개한다. 제안된 자동 소사료 공급시스템은 최상단에 펠렛형 혼합 사료가 적체되는 호퍼부, 호퍼부에서 펠렛형 혼합사료를 배출부로 이송시키는 스크류컨베이어를 장착한 이송부, 벨트컨베이어로 구성된 배출부 및 시스템 이동을 위한 전자 유도선 주행방식의 AGV로 구성되어있다. 적체된 사료 무게는 이송부의 하부에 위치한 로드셀에 의해 측정된다. 개별 우사 셀에 설치되는 RFID TAG에 미리 저장된 사료 배출정보를 시스템이 읽어 정해진 양만큼의 사료를 시스템이 주행 하면서 배출하게된다. 공급 배출 테스트시스템을 제작하여 사료의 공급 능력을 결정짓는 사료 이송부의 스크류 외경, 스크류 샤프트 외경, 스크류 피치 간격 등을 포함하는 스크류컨베이어 설계인자 도출을 하였으며 도출된 설계인자들을 최종 공급시스템 제작 시에 적용하였다. 사료 급이시스템을 제어하기 위해 DSP기반의 주제어기 및 공급시나리오에 따른 급이알고리즘도 함께 개발되었다. 실험을 통해 국내 우사에 사료공급조건을 만족시키기 위해 설정된 목표인 5 m의 거리를 0.1 m/sec의 속도로 주행하면서 7 마리가 수용되는 한 개의 우사에 필요한 총 21 kg의 사료를 초당 420 g으로 균일하게 공급이 가능함을 확인하여 개발된 축우용 무인사료공급시스템이 규격화된 국내 축산농가에 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

Abstract This paper presents an automated cow-feeding system based on an AGV and screw conveyor for domestic livestock farms, which are becoming larger and more commercialized. The system includes a hopper module for loading pellet-type mixed feed at the top of the system, a transfer module mounted with a screw conveyor to transfer feed from the hopper module to the outlet module, an outlet module composed of belt conveyors, and an electromagnetic guided driving-type AGV. The weight of the loaded feed is measured by a load cell located under the transfer module. The system reads the feed discharge information stored in RFID tags installed in each cowshed cell, and a predetermined amount of feed is discharged while the AGV is moving. A cow-feed test system was constructed to determine the design parameters of the screw conveyor in the transfer module that determine the feeding capacity. These parameters include the screw's outer diameter, the screw shaft outer diameter, and screw pitch. The parameters were applied to the finalized cow-feed system construction. A DSP-based main controller and cow-feeding algorithm for different scenarios were also developed to control the system. Experimental results confirmed that the system could supply a total of 21 kg of feed uniformly at 420 g/s for a cowshed cell which has 7 cows. The driving distance was 5 m and the speed was 0.1 m/s. Thus, the proposed system could be applied to standardized domestic livestock farms.

Keywords : Automatic feeding system, AGV, Cow-feeding, Mobile robot, RFID

본 논문은 시스템산업거점지원사업(로봇산업클러스터조성사업-과제번호: R0003943)에서 지원하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Yun-Jung Lee(Kyungpook National Univ.)

Tel: +82-53-950-6562 email: yjlee@ee.knu.ac.kr

Received November 15, 2016

Revised (1st December 9, 2016, 2nd December 12, 2016)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

1. 서론

현재 국내 한우농가는 경쟁력 제고를 위하여 기존 부업 중심에서 전업농, 기업·법인형 등으로 발전되고 점차 확대되고 있으며 이에 따라 사육규모도 1만 마리 이상을 기르는 대형 사육농가들이 점차 늘어나는 추세에 있다. 사육두수가 많아짐에 따라 축사 자동화 및 현대화는 필수적이지만 미국, 유럽등의 선진낙농국가들에 비해 상대적으로 현대화가 늦게 진행되고 있으며 여전히 사람의 노동력에 의존하는 비중이 높다고 할 수 있다. 특히 사료 공급 방식은 여전히 사람이 직접 관여를 하고 있기 때문에 시설 현대화 필요요소 중 자동화가 시급히 이루어져야 할 분야로 근래에 무인으로 사료를 공급할 수 있는 시스템에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 현재 국내 축산 농가에 보급된 사료 공급기 방식을 간략히 살펴보면 Fig. 1과 같이 레일방식, 전동방식, 트랙터 및 트럭 탑재방식으로 크게 분류해 볼 수 있고 이들 중 레일방식이 무인화에 근접한 방식이며 나머지 방식들은 사료를 공급하는 동안 여전히 사람의 노동력이 필요하다. 이들 공급기들도 축산업에 종사하는 인구의 노령화에 따른 인력난 문제를 근본적으로 해결하지는 못하고 있다.

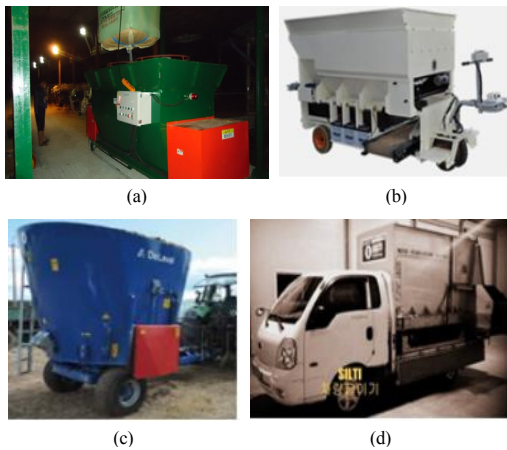


Fig. 1. Examples of cow-feeding systems (a) Rail type (b) Electric driven type (c) Tractor driven type (d) Car driven type

이러한 인력난을 해소하기 위한 방법으로 축산업에 로봇을 적용하기 위한 연구들이 다수 수행되어져 왔다. 국내의 경우 주로 젖소 착유 로봇들에 대한 연구들이 다수 진행되었고[1-4] 양돈농가를 위한 사료 공급 시스템

에 대한 연구도 진행되었다[5]. 국내 축산 농가에 비해 사육 두수 및 시설규모 등을 포함하여 상대적으로 대규모인 프랑스, 스페인, 네덜란드, 미국 및 캐나다와 같은 선진 낙농업 국가에서는 축산시설

의 현대화가 일찍부터 진행되어 왔고 착유로봇을 비롯하여 축산업 전반에 걸쳐 로봇을 적용하기 위한 연구들이 진행되고 있다[6-10]. 특히 유럽 축산기 전문가 기업들을 중심으로 무인로봇을 기반으로 하는 자동사료공급시스템(Automatic feeding system)을 상용화하여 이를 유럽등지의 축산농가에 적용하고 있다. 대표적으로 네덜란드 기업인 Lely 및 Trioliet, 그리고 프랑스의 Jeantil사의 제품들이 그 사례들이다. 해당제품들의 시스템은 대체로 사료를 적재하는 호퍼부, 사료를 배출하는 배출부 및 무인운반체로 구성되어 있다.

본 논문에서는 선진낙농국가에서 적용하고 있는 무인 사료공급시스템을 국산화하고 이를 통해 국내 축산시설 자동화 및 현대화에 기여하고자 개발된 AGV기반의 자동사료공급시스템에 대해 설명한다. 개발된 시스템은 펠렛형 혼합사료를 적재하도록 설계되었고 전자 유도방식을 이용한 무인 주행 방식으로 동작한다. 그리고 유럽등지에서 출시되는 제품들은 주로 호퍼부에 적재된 사료를 일정하게 끌고루 배출하는 방식이지만 국내의 경우 축사 내에서 소의 무게 즉, 체급별로 구분지어 사육을 하게됨으로 각 구간별로 배출하는 양을 달리해야 하는 사육환경을 가지고 있다. 따라서 이를 위해 각 축사 셀에 설치된 RFID의 정보를 읽어 셀별로 정해진 양만큼의 사료 공급을 수행하도록 제작되었고 이러한 RFID를 활용한 방식은 시스템에 적재된 사료를 일정하게만 배출시키는 유럽 제품들과 차이점을 지니고 있다. 적재된 사료는 스크류 컨베이어를 채용한 교반 및 이송시스템에 의해 벨트컨베이어로 제작된 배출부로 이송되어 공급 구역에 배출되게 된다. 또한 유럽 축사에 비해 좁은 면적의 축사 내에서 방향전환이 쉽도록 무인운반체의 구동부를 운반체 하부 중앙에 배치하고 주행 및 방향전환이 동시에 이루어질 수 있는 구조로 설계되었다

논문의 구성은 2장에서 시스템 컨셉과 운용에 대해 설명하고 3장에서는 각 구성모듈에 대한 설계 및 구현에 대해 논한다. 4장에서는 제작된 무인사료공급시스템의 성능 및 기능 실험결과를 제시하고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 공급시스템 및 운용컨셉

Fig. 2는 무인사료공급 시스템의 컨셉 모델링을 나타낸 것이다. 무인 공급 시스템의 구성은 크게 사료를 적재하는 호퍼부, 호퍼부에 적재된 사료를 공급구역에 배출하는 배출부 및 전체 시스템 이동을 위한 무인차량으로 이루어진다.

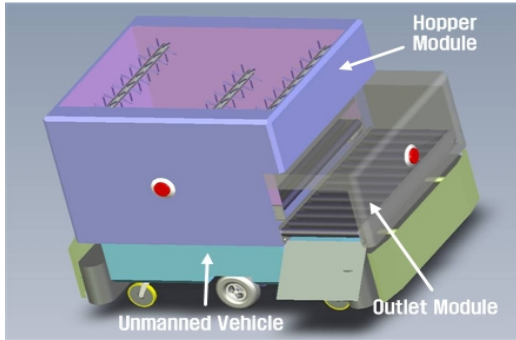


Fig. 2. Feeding system concept

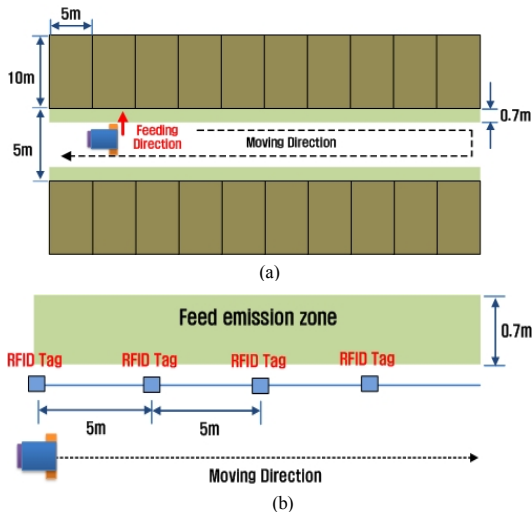


Fig. 3. Concept of feeding system operation (a) Cowshed standard size and feeding method diagram (b) RFID tag position according to the system moving direction in feed emission zone

국내 우사규격은 Fig. 3(a)와 같이 5 m(가로)×10 m(세로) 크기로 이루어지며 약 5 m의 넓이를 가지는 중앙 통로 양쪽으로 여러 개의 셀이 연속적으로 배치되는 구조이다. 1개의 셀 안에는 평균적으로 소 7 마리를 수용

하게되며 사료는 우사 앞부분에 약 0.7 m정도의 구역에 배출되게 된다. Fig. 3(b)와 같이 공급 시스템은 주행을 하면서 각 셀에 설치된 RFID를 읽어 해당 셀에 적당한 양의 사료를 배출하고 마지막 셀에 공급을 완료하면 반대편 셀로 방향전환하여 마찬가지로 방법으로 공급을 하게 된다.

하루 공급 횟수를 오전/오후 두 번으로 나누었을 때 한 번에 섭취하는 사료의 양은 평균 소 1 마리당 3 kg의 사료를 섭취함으로써 무인공급 시스템 사료 배출성능은 통로 바닥에 매설된 전자 유도선을 따라 약 0.1 m/sec의 속도로 주행하면서 1개 셀당 50초간 21 kg의 사료를 균일하게 배출하는 것을 목표로 한다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 사료 적재 및 배출 모듈

사료의 선정은 호퍼부의 배출성능에 가장 영향을 미치는 중요한 요소로 개발 초기 안동지역 및 대구 근교의 축사와 사료제조 회사를 방문하여 주로 공급되고 있는 사료 종류를 조사하였다. 아래 Fig. 4는 성장기 이후의 성숙기에 공급되는 사료들로서 사료제조회사에서 가장 많이 판매되는 섬유질형 TMR사료(Fig. 4(a))와 펠릿 및 후레이크 혼합형 사료(Fig. 4(b))이며 두 가지의 사료를 주 공급사료로 선정하여 호퍼부 개발을 진행하였다.

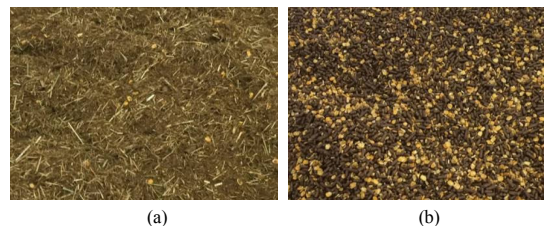


Fig. 4. Two feed types (a) TMR (b) Pellet

두 종류의 사료를 적재하고 배출하는 능력을 검증하기 위해 스크류컨베이어를 기반으로 Auto Feeding Test Module(AFTM)을 제작하였다. 우선적으로 펠릿형 사료에 대해 스크류컨베이어를 설계하였고 설계된 시스템이 TMR사료 배출에도 적용가능한지에 대한 검증도 수행하였다.

스크류컨베이어 이송능력은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다[11].

$$Q = 60 \times \Phi \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P \times N \times E \quad (1)$$

여기서 Q 는 이송능력(ton/hr), Φ 는 단면효율(%), D 는 스크류 날개 외경(m), d 는 스크류 축 외경(m), P 는 스크류 피치(m), N 은 스크류 RPM, 그리고 E 는 이송대상의 비중을 나타낸다.

Table 1. Cross section efficiency

Feed type	Φ
Pellet	80 % (estimated value)
Grains, such as rice & beans	45 %
Aluminous, Coal, Lime hydrate	38 %
Limestone, Lime	31 %
Cement, Zinc oxide, Sulfur	25 %

Table 1은 이송물의 종류에 따른 단면효율을 나타낸 것으로 펠렛형 사료의 단면 효율은 쌀, 콩 등의 곡류보다는 부피가 비교적 크기 때문에 약 80%정도로 추정하였다.

비중은 800 mm(L)×420 mm(W)×120 mm(H), 25 kg의 사료 포대 단위를 기준으로 약 0.62정도이다. 식(1)에 의거하여 설계된 스크류컨베이어 설계 사양, 설계도면 및 실제 제작된 AFTM 1호기를 Table 2, Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다.

Table 2. Screw conveyor design specifications for AFTM no. 1

Item	Value
External diameter of screw(D)	370 mm
External diameter of screw shaft(d)	140 mm
Screw pitch(P)	200 mm
Number of revolutions(N)	Max 40 RPM (Reduction gear ratio 50:1)
Cross section efficiency(F)	80 %
Specific gravity of feed(E)	0.62

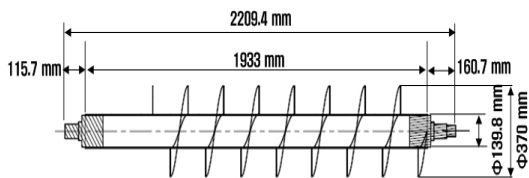


Fig. 5. Design drawing of AFTM no. 1 screw conveyor

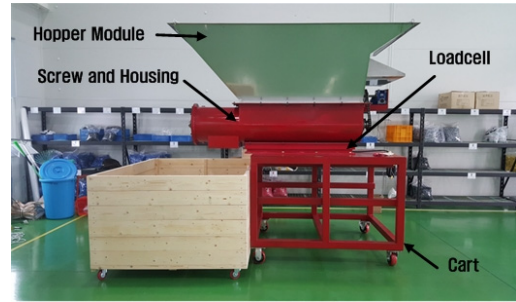


Fig. 6. Constructed AFTM no. 1

AFTM 1호기는 Table 2의 스크류컨베이어 2기가 장착되는 구조이며 이론적인 이송능력은 식(1)을 이용하여 계산해보면 21.9 ton/hr의 결과값이 도출된다. 실제 펠렛형 사료를 이용한 4번의 배출 반복실험을 통해 약 400 kg 사료를 적재하여 모두 배출하는데 총 약 67초가 소요되어 실제 이송능력은 약 6 kg/sec 정도이며 스크류 컨베이어가 2개이기 때문에 스크류 컨베이어 1개당 약 3 kg/sec 이송 능력을 가진다고 볼 수 있다. 시간당 이송되는 무게로 환산하면 21.6 ton/hr의 결과값이 도출되며 이론 계산치와는 약 0.3 ton의 차이를 보이지만 거의 흡사한 결과값을 보여주고 있다.

그러나 펠렛형 사료에 비해 점성이 높은 섬유질형 TMR사료에 대한 테스트에서는 스크류 날개와 호퍼부 하단부 하우징 사이에 사료가 적층되어 회전하고 있는 스크류 날개에 집중적인 로드가 걸려서 스크류 컨베이어 이송이 초반 2 사이클 정도 이루어지다가 배출이 정지되는 현상을 보였다[12]. 모터의 RPM을 단계적으로 올리는 반복실험 후에도 스크류컨베이어 배출정지현상이 지속되어 현재의 호퍼부 내부구조 및 스크류 컨베이어 기반 이송 메커니즘은 섬유질형 TMR사료를 원활하게 공급하기에는 다소 무리가 있으며 해당 사료의 높은 점성을 이기기 위해서는 고출력의 모터 사양과 이송을 위한 기구설계 메커니즘 수정을 고려해야할 것으로 판단된다. 따라서 시스템에 적재되는 대상은 펠렛형 사료에 국한하며 섬유질형인 TMR 사료에도 동시 적용될 수 있는 메커니즘은 추후 개발을 진행하는 것으로 결정하였다.

AFTM 1호기 제작으로 단면효율 80 %, 비중 0.62 정도의 펠렛형 사료에 대해 스크류 날개의 외경 사이즈, 스크류 축 외경 사이즈와 모터 RPM 등의 설계 인자 가변을 통해 배출능력에 대한 예상치를 도출할 수 있는 기초 데이터를 확보하였다. 개발의 공급 목표인 최소 50초간

21 kg(420 g/sec)을 배출하기 위해서는 Table 3과 같은 이론적인 데이터를 반영하여 설계를 해야 한다는 결론을 도출하였다.

Table 3. Design specifications to meet feed goal

Item	Value
External diameter of screw(D)	190-200 mm
External diameter of screw shaft(d)	70-80 mm
Screw pitch(P)	150-160 mm
Number of revolutions(N)	Max 20 RPM(Reduction gear ratio 100:1)
Cross section efficiency(F)	80 %
Specific gravity of feed(E)	0.62

AFTM 1호기의 데이터 결과값을 기반으로 AFTM 2호기는 스크류컨베이어 1개가 장착되는 구조로 설계되었다. 스크류의 날개 외경과 축의 외경을 기존 대비 절반으로 줄이고 피치 또한 30% 줄였으며 토크 및 초당 이송량을 조절하기 위해 AFTM 1호기에 사용된 회전수 2,000 RPM BLDC 모터에 100:1의 감속비를 적용하였다. 그리고 기존 AFTM 1호기의 스크류컨베이어가 사료 배출구역에 배출을 담당하던 것을 길이 가변이 가능한 평판 컨베이어구조의 배출부에서 담당함으로써 한쪽 우사라인의 공급을 마친 무인이송부가 직각으로 반대편 우사라인으로 방향전환없이 이동시에 사료 배출이 가능하도록 구조를 변경하였다.

Table 4는 무인이송부에 탑재하기 위해 Table 3의 설계 사양을 기초로 설계된 AFTM 2호기의 스크류컨베이어 설계 사양을 정리한 것이다. Fig. 8은 설계된 스크류컨베이어를 채용한 AFTM 2호기의 3D 모델링이며 실제 제작된 AFTM 2호기는 Fig. 9에서 볼 수 있다. Fig. 10은 벨트 컨베이어타입으로 제작된 배출부로 30:1의 감속비가 적용된 24 V, 2000 RPM의 BLDC모터로 구동이 된다.

Table 4. Design specifications of AFTM no. 2

Item	Value
External diameter of screw(D)	195 mm
External diameter of screw shaft(d)	75 mm
Screw pitch(P)	150 mm
Number of revolutions(N)	Max 25 RPM(Reduction gear ratio 100:1)

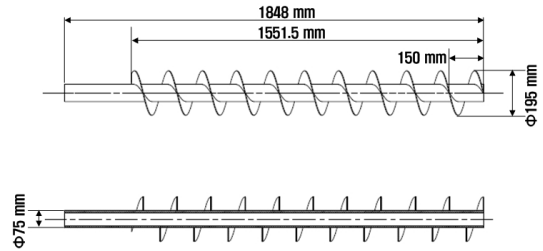


Fig. 7. Design drawing of AFTM no. 2 screw conveyor

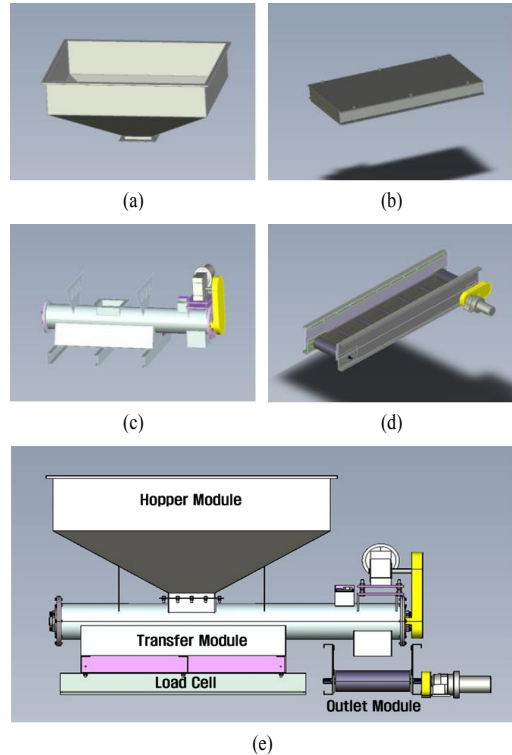


Fig. 8. 3D modeling of AFTM no. 2 (a) Hopper module (b) Load cell module (c) Transfer module (d) Outlet module (e) Assembly model

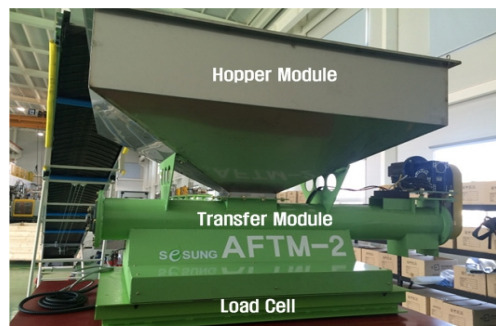


Fig. 9. Constructed AFTM no. 2

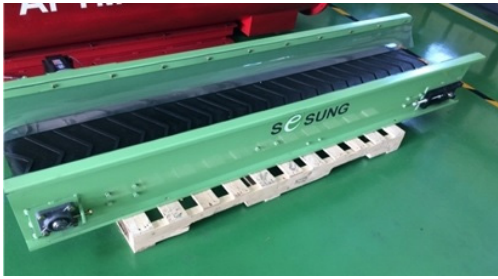


Fig. 10. Constructed feed outlet module

3.2 무인이송부

이송을 담당하는 AGV는 지표면에 매설된 자기유도선을 따라 주행하며 Fig. 11과 같이 주행 및 조향을 위한 모터가 각각 장착된 구동바퀴를 AGV 앞뒤 하부 중앙에 배치하고 각 구동바퀴 양쪽으로 보조바퀴들이 장착된 구조를 가지고 있다. 일반적인 AGV가 주행바퀴를 차체 좌우측에 위치시키는 것과는 다르게 차체 중앙에 앞뒤로 위치시킨 이유는 좌우측에 주행바퀴가 위치할 경우 각 바퀴의 회전차이로 인해 주행직진성이 확보가 어렵기 때문에 이를 보완하여 차체 주행직진성을 확보하기 위함이다. 또한 주행바퀴 자체에서 조향이 이루어지기 때문에 한쪽 우사열에 공급이 완료된 후 좁은 우사 이동공간에서 차체의 회전없이 주행방향에 대해 직각으로 빠르게 이동하여 반대편 우사열의 공급이 가능하다.

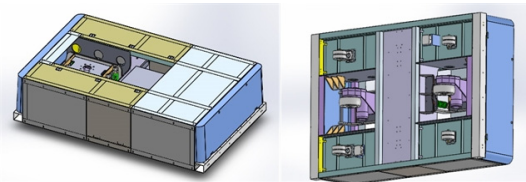


Fig. 11. 3D modeling of AGV

AGV는 400 kg의 사료를 포함하여 전체 하중 약 1 ton을 견디면서 주행해야하므로 주행 바퀴의 서스펜션 부는 스프링이 장착되는 구조를 가지도록 설계되었다. 서스펜션부에 적용을 위해 선정된 175 mm 길이의 경하중용 스프링(87.14 N/mm)과 고하중용 스프링(151.79 N/mm) 각각에 약 1 ton의 하중을 인가한 뒤 스프링 압축에 따른 차체 처짐에 대한 해석결과 두 가지 모두 차체가 지면과 닿지 않는 결과를 보였고 서스펜션 구조물의 변형에 대한 구조 해석 결과 두 가지에서 모두에서 구조적인 문제가 없는 것으로 나타났다[13]. 결론적으로

고하중용 스프링 적용 시 이송부 차체가 지면과 약 81 mm 정도의 여유간격을 가지면서 주행할 수 있는 것으로 나타나 고하중용 스프링을 실제 시스템 제작에 반영하였다.

무인이송부는 주행 제어 및 메인 제어기와 연동을 위해 ATMEGA128을 기반으로 제작된 자체 제어기를 내장하고 있으며 유도 가이드센서 인터페이스, 수동 제어를 위한 조이스틱 제어부, 그리고 기능 업그레이드를 위한 In System Programming 인터페이스부도 내장하고 있다. 이송부의 주행 및 자세제어에 대한 제어 블록도는 Fig. 12에서 볼 수 있다. AGV는 언급한대로 자기 유도선의 신호를 받아 주행하면서 주행방향에 대한 자세제어를 수행한다. 이때 주행속도 및 방향제어에 각각 PID 제어방법을 이용하며, PID 제어값이 아날로그 전압으로 출력됨으로 이를 DPM(Digital Pulse Modulation)을 거쳐 디지털화한 후 각각의 모터 드라이브에 입력되게 된다. 주 전원은 12V 납축전지 2개를 직렬로 연결하여 24 V를 사용하고 있다.

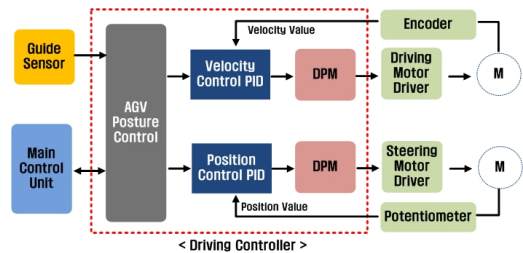


Fig. 12. Block diagram of AGV control

3.3 메인 제어기

메인 제어 회로는 32Bit 마이크로컨트롤러(DSP)를 기반으로 제작되었다.

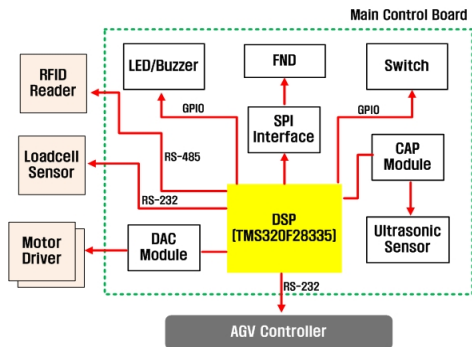


Fig. 13. The second version of controller structure diagram

시리얼 통신을 통해 하부의 상태를 전달받고 제어 명령을 내리고 로드셀에서 측정된 무게값을 받는 통신부, 스크류 컨베이어와 배출부 각각의 모터 드라이버에 속도 지령을 내리는 회로부, 장애물을 감지하는 초음파 센서 신호처리부, 현재 시스템 상태를 나타내는 CLCD(Character LCD)부, 디버깅을 위한 LED, FND 속도 조작 및 자동/수동 모드 조작을 위한 조작부 등으로 구성된 1차 버전을 제작하였다[14].

이후 2차 버전의 제어기를 설계 및 제작하였으며 Fig. 13은 2차로 제작된 메인 제어기에 대한 블록도를 나타내며 실제 제작된 보드는 Fig. 14에서 볼 수 있다. 1차 버전에서 사용된 CLCD가 AGV와의 통신채널확보를 위해 삭제되었고 RFID 인터페이스부가 추가되었다. 그리고 제어 성능 향상과 보다 간편한 조작을 위해 스위치 배치하였고 디버깅용 핀 홀 등이 추가되었다.

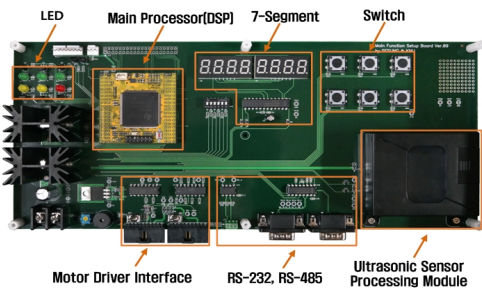


Fig. 14. The second version of controller

3.4 공급 알고리즘

메인 제어 알고리즘은 크게 자동모드, 수동모드로 구성되어 있으며 자동모드는 장애물, RFID 인식, 종료 신호 등을 고려하여 아래의 Fig. 15와 같이 구성되어져 있다.

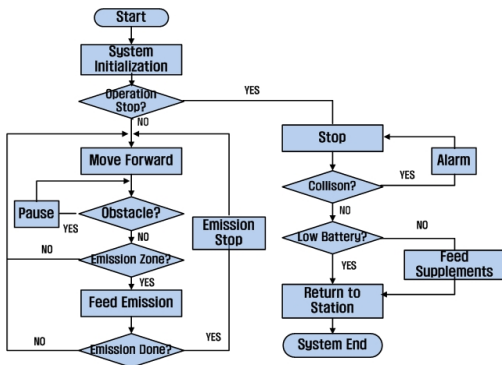


Fig. 15. Flow chart of feeding algorithm

각 RFID에 저장된 위치 정보, 해당 우사 셀로 배출해야 하는 사료 양 등의 정보를 바탕으로 공급 속도를 제어 하며 셀에 필요한 양의 사료가 배출되었을 경우 사료 배출을 정지한다. 또한 실시간으로 초음파 센서를 통해 시스템 주변에 장애물 여부를 파악하여 설정된 거리 내에 장애물이 있을 경우 사료 공급 및 시스템 주행을 정지하도록 설계되어 있다. 자동모드 종료는 프로세서의 interrupt 신호를 실시간으로 확인하여 신호가 발생할 경우 종료모드로 진입하여 시스템 종료를 수행하게된다. 종료 신호는 범퍼 센서에 충돌이 감지될 경우, 배터리가 부족할 경우 또는 모든 작업을 수행하였을 경우에 발생하며 수동모드의 경우에는 사용자가 직접 배출 컨베이어 속도 조작 등을 할 수 있도록 설계되어 있다.

Fig. 16은 상부에 AFTM 2호기, 평판 컨베이어기반의 배출구 및 AGV가 최종적으로 조립된 무인사료 공급 시스템을 보여주고 있다. 전체 사이즈는 2500 mm(L)×1600 mm(W)×2000 mm(H)정도이다.



Fig. 16. Assembled automatic feeding system

4. 시스템 성능검증

Fig. 17은 펠릿 사료 2 kg 배출추이를 보여주는 그래프이다. 점선은 배출량이 2 kg에 도달 시 스크류컨베이어를 정지시키는 온오프 제어를 수행한 결과이며 실선은 배출 목표값 2 kg에 대해 비례 제어를 적용한 결과이다.

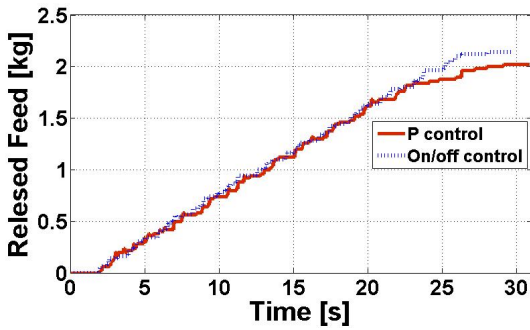


Fig. 17. Feed release test

온오프 제어 시에는 2 kg이 모두 빠져나간 약 25초 지점에서 모터를 정지시켰고 25초 이후에도 사료가 약 0.14 kg정도가 더 배출되어 목표대비 7 %를 초과하였다. 이는 스크류 컨베이어가 약간의 감속시간을 가지며 멈추지만 이후에도 스크류날 사이의 사료가 조금씩 흘러 내리기 때문이다. 반면에 목표값 2 kg과 현재 배출량의 오차에 비해 이득을 곱하여 비례 제어방법으로 동일한 테스트를 수행한 경우 초반에는 온오프 제어와 비슷하게 배출되지만 2kg 부근에서는 완만하게 배출되는 것을 확인할 수 있다. 최종 배출량도 2.02kg 으로 2 % 초과 배출되어 온오프 제어에 비해 목표량에 근접한 결과값을 나타내었다.

공급시스템 통합 주행시험 전 AFTM 2호기 사료 이송 능력 검증을 진행하였다. 아래 Fig. 18(a)는 400 kg의 펠릿형 사료를 적재했을 때 로드셀로부터 읽은 중량을 보여주고 Fig. 18(b)는 스크류컨베이어를 최대 회전수인 25 RPM 작동시켜 사료를 모두 배출시킨 후의 무게 및 배출 시간을 보여주고 있다.



Fig. 18. Experiment to verify feed transfer capacity of AFTM no. 2 assembled automatic feeding system (a) Before feeding (b) After feeding

25 RPM의 경우 약 400 kg 사료를 적재하여 모두 배출하는데 평균 약 508.43초가 소요되어 사료 이송 능력

은 약 786.73 g/sec이며 시간당 사료 이송량은 약 2.829 ton/hr로 식(1)과 Table 4의 설계사양에 의해 계산된 이론적 수치인 약 2.84 ton/hr와 거의 비슷한 결과를 보여주고 있다. 실제 공급 조건의 목표치인 420 g/sec의 이송을 위해서는 스크류컨베이어가 약 13 RPM 정도로 회전할 시에 만족시킬 수 있다는 실험 결과를 얻었다. Table 5에 각각의 경우에 대한 결과값을 정리하였다

Table 5. Experimental results for feed transfer capacity of AFTM no. 2

RPM	Discharge time(sec)	Transfer capacity(g/sec)
25	508.43	786.73
13	940	425.53

Fig. 19는 하나의 우사 셀을 가정하고 RFID의 정보를 공급시스템이 읽어 해당 셀에 사료를 공급하는 기능 성능을 검증하기 위한 시험환경을 나타낸 것이다. 바닥에 매설된 유도선을 구동바퀴부쪽에 장착된 가이드 안테나가 읽어 정속 직진주행을 하고 AGV 측면 하단부에 장착된 RFID 리더기가 셀 구역 시작점에 위치한 RFID를 읽어 사료를 공급하게 되며 셀 구역이 끝나는 점에 위치한 RFID를 읽으면 사료 공급이 중단되도록 구성하였다.

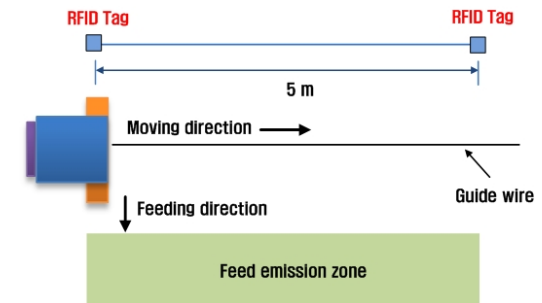


Fig. 19. Configuration of performance test

사료공급시스템이 5 m 이동하면서 사료를 공급하는 결과를 Fig. 20에 나타내었다. 이때 시스템의 기능동작 여부를 확인하기 위해 AGV의 속도는 약 0.1 m/sec 및 스크류컨베이어의 회전속도를 6 RPM으로 세팅하여 실험을 진행하였다. 5 m 구간을 약 50초간 주행하면서 10.4 kg을 배출하여 평균 200 g/sec의 배출속도를 보여주고 있으며 회전속도를 13 RPM으로 높일 시 목표치인 420 g/sec를 맞출 수 있을 것으로 판단된다. 그래프에서

나타나듯이 배출 시 다소 매끄럽지 못한 부분이 있으나 전반적으로 사료 공급이 무리없이 진행되는 것을 알 수 있다.

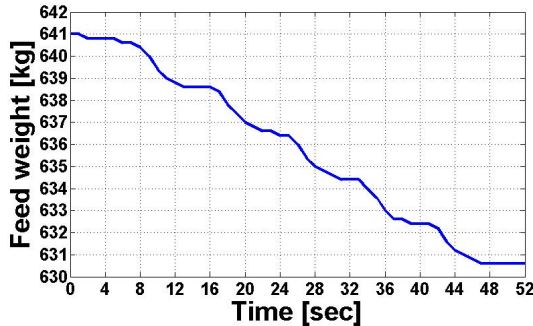


Fig. 20. Feed release performance test result

5. 결론

본 논문에서는 국내 축산농가 사료공급 자동화의 일환으로 개발진행중인 AGV기반의 무인사료공급시스템을 소개하고 사료공급능력에 대한 성능실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 목표한 5 m 우사에 420 g/sec 정도의 펠렛형 사료를 공급하기 위해 식(1)에 의거하여 1484 mm 길이의 스크류컨베이어 외경은 약 195 mm, 스크류 샤프트 외경은 75 mm, 그리고 스크류 피치 간격은 약 150 mm 정도로 설계되어야 한다.
2. 스크류컨베이어 회전을 위해서는 100:1의 감속비가 적용된 최대 25 RPM 사양정도의 BLDC 모터 적용이 무리가 없음을 확인하였고 13 RPM 정도의 회전수에서 420 g/sec 정도의 사료공급능력을 확인하였다.
3. 2 kg의 사료 배출량 제어 실험에서 목표 배출량 대비 온오프 제어 시 7 %, 피드백 제어인 비례제어 시 2 %의 초과 배출 오차를 각각 보여 피드백 제어 시 향상된 결과를 얻을 수 있었다.
4. 우사 1개의 넓이 5 m 사이를 주행속도 약 0.1 m/sec 정도로 시스템이 주행을 하면서 사료를 공급하였으며 주행속도에 대한 부분은 실제 축사를 운영하는 관계자들과의 검토가 필요하다고 판단된다.
5. TMR사료는 본 시스템으로 공급하기에 적절하지

않다는 실험결과에 비추어 향후 TMR 및 펠렛형 사료를 겸용하여 공급할 수 있는 사료 이송 메카니즘을 개발할 예정이며 실제 축산농가의 환경에서 실증을 통해 본 무인공급시스템의 완성도를 높여 나갈 계획이다.

References

- [1] D. W. Lee, D. Y. Choi, H. T. Kim, W. H. Kim, D. J. Kwon, J. D. Han, "Development of a Robotics Milking Cluster System", *Journal of Animal Environmental Science*, vol. 6, no. 2, pp. 113-119, Aug. 2000.
- [2] W. Kim, D. J. Kwon, K. W. Seo, D. W. Lee, "3D Image Processing System for an Robotic Milking System", *Journal of Animal Environmental Science*, vol. 8, no. 3, pp. 165-170, 2002.
- [3] W. Kim, D. W. Lee, "Development of Teat-cups Attachment Module for Robot Milking System", *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 179-184, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2005.30.3.179>
- [4] K. J. Shin, "Design of Driving Control Unit and Milking Robot Manipulator", *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 51, no. 9, pp. 2124-2133, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2014.51.9.238>
- [5] H. J. Kim, B. K. Yu, J. T. Hong, K. H. Choi, J. S. Yu, Y. S. Hong, Y. S. Ha, "A Study on Total Mixed Ration Feeding System for Feeding Pigs(1)", *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 38, no. 4, pp. 295-305, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2013.38.4.295>
- [6] C. Klomp, W. Jongkind, G. Honderd, J. Dessing, R. Paliwoda, "Development of an Autonomous Cow-Milking Robot Control System", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 10, no. 6, pp. 11-19, 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1109/37.60446>
- [7] S. Devir, H. Hogeveen, P. H. Hogewerf, A. H. Ipema, C. C. Ketelaar-de Lauwere, W. Rossing, A. C. Smits, J. Stefanowska. "Design and implementation of a system for automatic milking and feeding", *Canadian Agricultural Engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 107-113, 1996.
- [8] N. A. Andersen, I. D. Bratihwaite, M. Blanke, T. Sorensen, "Combining a Novel Computer Vision Sensor with a Cleaning Robot to Achieve Autonomous Pig House Cleaning", *Proc. of the 44th IEEE Conference on Decision and Control and the European Control Conference*, pp. 8331-8336, Seville, Spain, Dec. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CDC.2005.1583511>
- [9] B. Greenaway, "Robots run amuck [Automation Farming]", *IEEE Engineering & Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 36-40, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1049/et.2010.0308>
- [10] H. Durmuş, E. O. Güneş, M. Kırıcı, B. B. Üstündağ, "The design of general purpose autonomous agricultural

mobile-robot: AGROBOT", *Proc. of 2015 4th International Conference on Agro-Geoinformatics*, pp. 20-24, Istanbul, Turkey, July 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1109/agro-geoinformatics.2015.7248088>

- [11] Korea Energy Agency, 2009, Screw Conveyor. Available at: http://www.kemco.or.kr/iecenter/net/qna_list.asp
- [12] S. S. Ahn, Y. U. Kim, C. W. Nam, Y. J. Lee. "Development of the Autonomous Cow-Feeding System Based on Mobile Robot", *Proc. of ICROS 2016 Conference*. vol. 1, pp. 90-92, Mar. 2016.
- [13] S. S. Ahn, B. S. Kim, Y. U. Kim, S. H. Choi, Y. J. Lee, "Structural Analysis for Suspension Module of The Cow-Feeding System Driven by Unmanned Vehicle", *Proc. of KSPE 2016 Spring Conference*. vol. 5, pp. 174, May 2016.
- [14] J. H. Yoo, Y. C. Lee, Y. J. Lee, "Development of the intelligent unmanned feeding robot controller for livestock industry automation", *Proc. of ICROS 2016 Conference*. vol. 1, pp. 351-352, Mar. 2016

안 성 수(Sung-Su Ahn)

[정회원]



- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 1월 ~ 2002년 11월 : LG 산전 주임연구원

- 2002년 11월 ~ 2005년 10월 : LG전자 선임연구원
- 2005년 11월 ~ 현재 : 대구기계부품연구원 책임연구원

<관심분야>

서비스 로봇, 임베디드 시스템, 지능 제어, 센서 융합

이 용 찬(Yong-Chan Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 경북대학교 전자공학부 (석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학부 박사과정

<관심분야>

지능 제어, 임베디드 시스템, 서비스 로봇

유 지 훈(Ji-Hun Yoo)

[준회원]



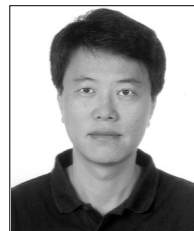
- 2015년 2월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학부 석사과정

<관심분야>

지능 제어, 임베디드 시스템, 서비스 로봇

이 연 정(Yun-Jung Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수

<관심분야>

생체모방 로봇, 서비스 로봇, 지능 제어, 임베디드 시스템