

축사 환기 시스템의 에너지 효율 향상을 위한 지능형 제어 기법에 관한 연구

송제호*, 박의준**, 김은찬**, 이영우**, 전은미**

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on Intelligent Control Methods for Improving the Energy Efficiency of Livestock Ventilation Systems

Je-Ho Song*, Eui-Jun Park**, Eun-Chan Kim**,

Young-Woo Lee**, Eun-Mi Jeon**

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Chonbuk National University

**Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약

국내 축산업은 대형화·밀집화로 인해 전력 사용량 증가, 온실가스 배출, 악취 및 유해가스 발생 문제가 심화되고 있다. 기존 수동식 환풍 시스템은 계절이나 환경 조건과 무관하게 정속 운전하여 불필요한 에너지를 낭비하고, 최적의 환기 환경을 유지하기 어렵다. 이로 인해 가축은 고온·다습 환경에서 열 스트레스와 위생 문제에 노출되며, 이는 생산성 저하와 질병 발생으로 이어진다. 본 논문에서는 이러한 한계를 해결하기 위해 인버터 기반의 자동 환풍 제어시스템을 개발하였다. 제안된 시스템은 축사 내부의 온도·습도·시간 조건에 따라 팬 속도를 조절하고, 강풍·과부하·무부하 상황에서 경보와 정지 기능을 제공한다. 또한, 소프트스타트 제어를 적용하여 초기 구동 소음을 줄이고 11~12kW 인버터용량을 지원하여 축사 한 동에 설치되는 다수 환풍기를 효율적으로 연동 제어할 수 있도록 설계하였다. 본 논문은 기존 환풍 시스템의 한계를 극복하며, 에너지 효율 향상과 가축 복지를 동시에 달성할 수 있는 지속 가능한 축사 환경 관리 방안을 제시한다.

1. 서론

국내 축산업은 최근 대형화·밀집화가 빠르게 진행되면서 전력 사용량 증가, 온실가스 배출, 악취 및 유해가스 발생과 같은 문제가 심화되고 있다. 특히 여름철 고온·다습한 환경에서는 가축이 열 스트레스(heat stress)를 받아 식욕 저하, 성장 지연, 산란율 및 유량감소, 심한 경우 폐사까지 초래하게 된다. 또한, 겨울철에는 환기 불량으로 이산화탄소, 암모니아 등 유해가스가 축적되어 위생 환경을 악화시키고 질병 발생 위험을 높인다. 이러한 문제는 축산업의 생산성 저하뿐만 아니라 환경오염과 사회적 비용 증가로 이어지기 때문에, 에너지 효율을 확보하면서도 가축의 복지를 보장할 수 있는 환기 제어 기술의 필요성이 대두되고 있다.[1-4]

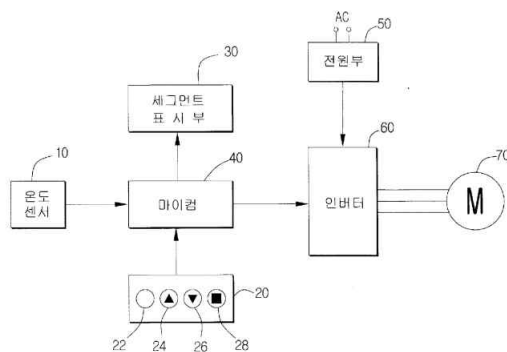
기존 축사 환풍 시스템은 대부분 수동식 스위치와 정속 3상 모터를 기반으로 하여, 외부 기후나 사육 환경 조건과 무관하게 일정 속도로 환풍기를 구동한다. 이로 인해 불필요한 전력 낭비가 발생하고, 최적의 환기 기능을 달성하기 어렵다. 또한, 초기 구동

시 발생하는 큰 소음은 가축에게 스트레스를 유발하여 생산성에 부정적인 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위해 컨트롤러와 센서를 활용한 모니터링 및 자동 제어 기술이 도입되었으나, 여전히 설정 온도 도달 지연, 온·오프 제어 특성에 따른 오버슈트(overshoot)·언더슈트(undershoot)와 헌팅(hunting), 다실 제어 한계, 팬 모터 소음문제 등 한계를 지닌다.

이에 본 논문에서는 전압주파수 제어 인버터를 기반으로 하는 자동 환풍 제어시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 축사 내부의 온도·습도·시간 조건에 따라 환풍기의 속도를 자동으로 조절하고, 강풍·과부하·무부하 상황에서 경보 및 정지 기능을 제공함으로써 안정성과 신뢰성을 강화한다. 또한, 소프트스타트(soft-start) 제어 기법을 도입하여 초기 구동 소음을 저감하고, 대규모 축사에 적용 가능한 다관 연동 제어가 가능하도록 설계하였다. 본 연구에서는 약 10%의 에너지 절감과 위생 환경 개선, 질병 예방 효과를 기대할 수 있으며, 에너지 효율 향상과 가축 복지를 동시에 달성할 수 있는 지속 가능한 축사 환경 관리 기술을 제시하는데 의의가 있다.

2. 본론

본 논문은 정속 구동과 수동 스위칭에 의존해 불필요한 전력 소모와 환기 품질 저하를 초래하던 기존 환풍 시스템의 한계를 넘어, 축사 환경 변화에 능동적으로 대응하는 인버터 기반 자동 환풍 제어시스템을 제안한다. 이 시스템은 전압/주파수(V/f) 제어 인버터를 적용하여 팬의 회전수를 연속적으로 조절하고, 온도·습도·시간(인터벌) 조건을 반영한 피드백 제어를 통해 축사 내부 환경을 신속하고 안정적으로 유지한다. 이러한 제어 방식은 열·습 스트레스와 유해가스 축적을 줄이고, 가축의 생육 환경을 개선하면서 동시에 에너지 사용을 약 10% 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 그림 1은 축사용 환기 제어장치를 나타내었다.

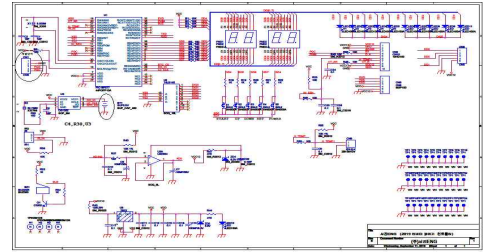


[그림 1] 축사용 환기 제어장치

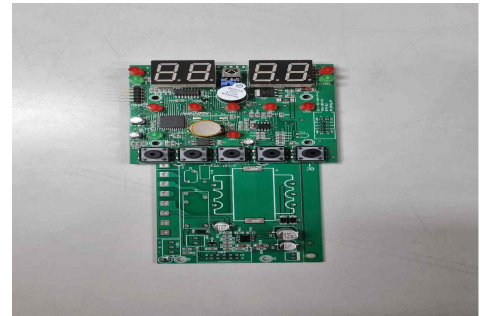
제안된 시스템은 축사 내부의 온도와 습도를 센서로 수집하고, 설정된 목표값에 따라 팬 속도를 자동으로 조절한다. 운전 모드는 자동, 수동, 인터벌 방식으로 구분되며, 각각 온도 기반 자동 제어, 사용자의 직접 조작, 주기적인 환기·정지 제어를 지원한다. 또한 저속, 고속, 환기, 고온 보정, 회전(스윙) 등 다양한 운전 기능을 제공하여 현장 상황에 맞는 유연한 제어가 가능하도록 구현하였다.[5,6]

강풍, 과부하, 무부하와 같은 특수 상황에서도 안전성을 확보하기 위해 보호 로직을 적용하였다. 강풍 및 과부하 발생 시 1초 이내에 경보와 제어가 이루어지고, 무부하 상태에서는 10초 이내에 안정화가 진행된다. 이러한 기능은 회로 및 PCB 설계와 제어 알고리즘을 통합하여 구현하였다.

하드웨어는 11~22 kW 인버터를 지원하며, 축사 한 동에서 10~15대의 환풍기를 연동 운전할 수 있도록 설계하였다. 디스플레이와 제어부는 일체형으로 구성되어 현재 온도, 설정 온도, 운전 모드, 회전을 등을 직관적으로 표시하고, 현장 관리자가 별도의 전문 지식 없이도 쉽게 활용할 수 있도록 설계되었다. 또한 초기 구동 시 소프트스타트 방식을 적용하여 소음을 줄이고 가축의 스트레스를 최소화하였다. 그림 2는 인버터 제어기 프론트 회로도를 나타내었고, 그림 3은 축사 환풍 제어부 PCB를 나타내었다.



[그림 2] 인버터 제어기 회로도



[그림 3] 축사용 환풍 제어부 PCB

3. 결론

본 논문은 국내 축산업에서 심화되고 있는 에너지 낭비와 가축 복지 저하 문제를 해결하기 위해, 인버터 기반 자동 환풍 제어시스템을 제안하였다. 기존 정속 구동 방식과 수동 제어 방식의 한계를 극복하기 위해 전압·주파수(V/f) 제어 인버터와 센서 피드백을 결합하여, 축사 내부의 온도·습도·시간 조건에 따라 환풍기의 속도를 능동적으로 조절할 수 있도록 설계하였다. 또한, 강풍·과부하·무부하 상황에서의 보호 로직과 소프트스타트 제어를 도입함으로써, 안정성과 신뢰성을 높이고 초기 구동 시 발생하는 소음을 줄여 가축의 스트레스를 완화하였다.

하드웨어 측면에서는 11~22kW 인버터를 지원하여 대규모 축사 내 다수의 환풍기를 연동 제어할 수 있도록 구현하였으며, 직관적인 디스플레이와 제어부를 통해 현장 관리가 쉽게 운용 가능하도록 설계하였다.

제안된 시스템은 기존 환풍 장치에 비해 약 10%의 에너지 절감 효과를 기대할 수 있으며, 동시에 위생 환경개선과 질병 발생 억제에 통해 생산성 향상에 기여할 수 있으며, 이러한 결과는 에너지 절감과 가축 복지 향상을 동시에 고려할 수 있는 새로운 관리 대안으로서 의의를 지닌다.

참고문헌

- [1] 농림축산식품부, “가축분뇨 문제? 맞춤형 처방으로 해결 나선다”, 보도자료, 농림축산식품부
- [2] 박정훈, 가축분뇨의 효율적 처리 방법, 농촌진흥청 국립축산

과학원

- [3] 유용희, 가축분뇨 처리 현황과 개선방안, 농촌진흥청 국립축산과학원
- [4] 정광화, 김중곤, 한덕우, 곽정훈, “국내 가축분뇨 처리시설 형태별 특성조사 분석”, *유기물자원화*, 22.4 (2014):28-44
- [5] 김상진, 송병근, 오세준, “최신 자동제어”, 북스힐, 2012
- [6] 김대성, “생생 자동제어 기초”, 성안당, 2010

본 논문은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC3.0)의 연구결과입니다.