

호퍼식급이기의 진동 저감을 위한 진동 특성 연구

이승주 · 장동일 · 소재광 · 장홍희* · 윤택진**

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

Study on Vibration Characteristics for Reducing Vibration of the Hopper-type Feeder

Lee, S. J., Chang, D. I., So, J. K., Chang, H. H.* and Yoon, T. J.**

Division of Bioresources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Daejeon Metropolitan City, 305-764, Korea

Summary

This study was carried out to measure and analyze the vibration levels and modes produced by a hopper type feeder used at laying hen farms, to prevent the vibration resonance and to reduce the vibration of the hopper type feeder(6-tier). The most vibration in a layer house were produced by hopper type feeder as shown the previous study. According to the measurement results, the ratio of transmissibility was as high as 100-638% for natural frequency of 170 Hz or less. And vibration simulations were taken by the results of vibration mode analysis and the weakest points to vibrations were determined accordingly. Then measurement and analysis were taken for those points. The quantities of vibration were 4.6354-4.9118 g($g=9.81 \text{ m/s}^2$) by axis. In this study, it was found that hopper type feeder generated vibration as much as to influence the ratio of laying eggs of layer. And by the analysis of vibration on the weakest points, design methods and equipment were suggested for isolating/reducing of vibration by each axis.

(Key words : Vibration modes, Vibration levels, Laying hen house, Hopper type feeder)

서 론

최근 한국의 경제적인 발전으로 인한 식생활의 변화에 따라 국민 1인당 육류 및 계란 소비량이 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 계란의 소비량 증가는 산란계 사육수수 증가를 유발하였으며, 5만수 이상을 사육하는 농가

수가 전체 산란계 농가수에서 차지하는 비율이 점차적으로 증가하였다^{1,2)}. 이로 인해 점차 자동화 시설을 갖춘 산란계사의 형태로 변화되고 있다. 산란계사 내의 대표적인 자동화 기계시스템은 강제 환기시스템, 자동 사료급이기, 벨트식 계분처리시설, 자동 집란 시스템, 사료분배기 등이다.

이 논문은 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

* 경상대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부 (Division of Animal Science and Technology, College of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, 900 Gazwadong, Chinju City, 660-701, Korea)

** (주)에그텍 (EggTec Co. Ltd., 1696-7 Shinil-dong, Daeduck-gu, Daejeon Metropolitan City, 306-230, Korea)
Corresponding author : Chang, D. I., Division of Bioresources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Daejeon Metropolitan City, 305-764, Korea, E-mail: dichang@cnu.ac.kr

가축을 둘러싼 축사 내 환경요인 중 다른 환경적 요인과 마찬가지로 가축의 생산능력에 직·간접적으로 영향을 미치는 소음과 진동요인의 국내·외 조사 자료는 건설 소음이 산란계의 생산성에 미치는 수준에 대한 연구^{4,6,7,9)}와 가축의 이동 간에 발생한 진동이 가축의 생육상태에 미치는 영향에 대한 연구^{12,13)}로 국한되어 있다. 그러나 이러한 연구들은 축사의 기계화로 인해 발생하는 축사 내 소음과 진동이 가축의 생산성에 미치는 영향에 대한 내용은 포함하고 있지 않는 수준이다.

선행연구에서 산란계사내 기계장치의 진동을 계측/분석한 결과, 호퍼식급이기가 산란계에게 직접적으로 진동을 전달하는 기계장치 중 진동의 발생량이 가장 크게 나타났었다⁵⁾. 이러한 선행연구의 결과를 근거로 하여, 본 연구에서는 호퍼식급이기의 진동 저감을 위해 호퍼식급이기의 진동모드 및 진동발생량을 계측/분석하여 진동특성을 구명하고, 호퍼식급이기의 공진방지를 위한 제진/방진 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험장소 및 사육현황

호퍼식급이기의 진동모드를 계측하고자 고단 직립식 산란계케이지에 호퍼식급이기를 사용하는 실제 계사에서 실험을 실시하였다. 실험계사의 기계화 연수는 7.2년이었고 산란계수는 6.4만수였으며, 측정 산란계사의 제원은 Table 1과 같다. 측정된 계사의 사진은 Fig. 1과 같고, 측정된 산란계사에서 사육중인 산란계는 모두 갈색 레그혼(Hi-Line Brown)종 성계였다. 계사 내 기계시설의 작동 스케줄 중 사료급이기는 매일 점등시간 동안에 8회 30분씩 작동을 하였고, 계사의 중간지점에 설치된 사료분배기는 급이기가

도착하면 약 10분씩 작동하여 급이기에 사료를 공급하였다. 계분벨트는 대부분 1~2일마다 오전 2시간씩 작동하였고, 집란시스템의 경우 대부분 정해진 시간대에 매일 2~3시간씩 작동하였다. 환기장치의 경우 24시간동안 산란계사내 온도를 일정하게 유지하고자 계속 작동을 하였고, 21시~05시에는 환기장치를 제외하고는 기계장치의 작동이 없었다.

Table 1. Specifications of surveyed laying hen farms for measuring vibration level and mode at feed supplier

Item	Specification
No. of layer (thousand head)	64
Years of mechanization (yr)	7.2
Type of feed supplier	Hopper type (6 tier)
Size of feed supplier (m)	1.3 × 0.3 × 3.3
Length of layer house (m)	90
Weeks of layer	30
Percent of laying (%)	85



Fig. 1. Picture of feed supplier in surveyed layer house.

2. 진동모드 계측 및 분석

중량별로 호퍼식급이기에서 발생하는 진동모드를 분석하기 위하여 사료충전율이 0, 25, 50, 75, 100% 지점에서 호퍼식급이기를 정지

시킨 후 각 지점별로 충격해머로 3회 가격하여 진동모드 계측을 실시하였다. 진동모드 계측을 위해 사용한 장비는 FFT Analyzer ZonicBook/618E (Somat Inc., 영국, 8채널), 충격해머 (9724A5000, Kistler Inc., 미국), 가속도센서 (8776A50, Kistler Inc., 미국) 1개였다 (Fig. 2). 한국표준규격 KS D0076에서 정의한 매달아서 하는 타격여진법⁸⁾을 응용, 호퍼식 급이기에 축별로 일정한 지점마다 충격해머로 가진하며 특정위치에 설치한 가속도센서에서 전달되는 진동을 계측하였다. 이때 X축은 급이기의 구동방향(전후방향, Fig. 3a), Y축은 좌우방향(케이시방향, Fig. 3b), Z축은 상하방향(Fig. 3c)이었다.

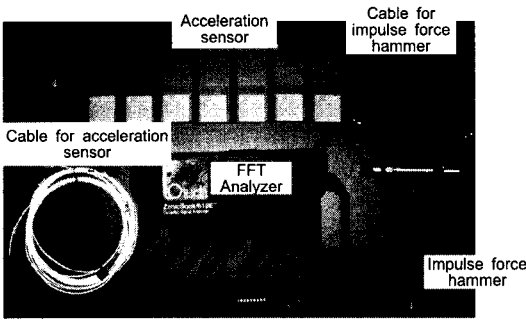
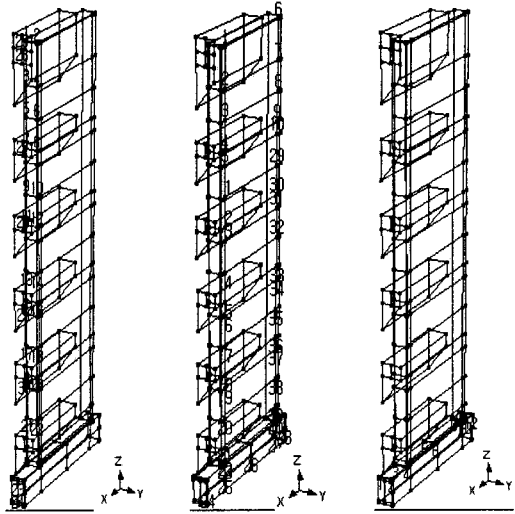


Fig. 2. Equipment for measurement and analysis for vibration.

계측한 데이터를 급이기의 개략도에 matching 시켜 진동모드 분석 프로그램인 Me'Scope VES Pro(Vibrant Technology Inc., 미국)을 이용하여 분석하였다(Fig. 4). 진동모드 분석 프로그램에서 나오는 결과는 진동모드별 공진주파수(Hz), damping coefficient percent (%), 각 지점별 magnitude 등 이었다. 측정/분석된 결과를 이용하여 modal mass(mk, 식 1), modal damping coefficient(ck, 식 2), modal stiffness(kk, 식 3)를 산출하고, modal damping coefficient 값이 가장 작은 지점의 가속도 값을 이용하여 진동모드별 mass(m), damping coefficient(c), stiffness(k) 값을 구하였다. 또한 m, c, k 값을 이용하여 감쇠비(ζ , 식 4)를 산



a : X axis b : Y axis c : Z axis

Fig. 3. Schematics of impact point for vibration analysis by axis.

출 후 전달율비(T.R., Transmissibility, 식 5)를 구하였다¹¹⁾. 분석한 결과를 토대로 하여 분석 프로그램의 시뮬레이션을 실시, 급이기의 축별·모드별 진동 취약지점을 파악하였다.

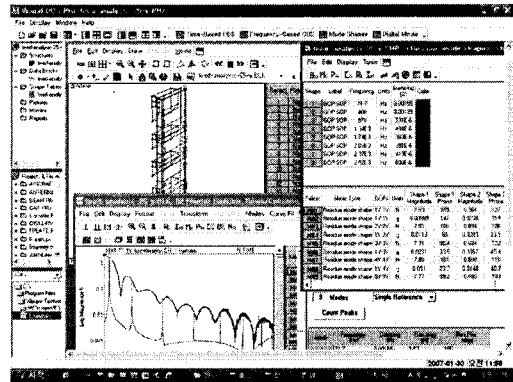


Fig. 4. Picture of program(Me'Scope VES Pro) for vibration analysis.

$$m_k = \frac{1}{A_k \omega_k} \dots \dots \dots (1)$$

where,

m_k = modal mass

A_k = a scaling constant for the k^{th} mode

ω_k = damped natural frequency of the k^{th} mode

$$c_k = \frac{2\sigma_k}{A_k\omega_k} \dots\dots\dots (2)$$

where,

c_k = modal damping

σ_k = damping coefficient of the k^{th} mode

$$k_k = \frac{\sigma_k^2 + \omega_k^2}{A_k\omega_k} \dots\dots\dots (3)$$

where,

k_k = modal stiffness

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \dots\dots\dots (4)$$

where,

ζ = damping coefficient ratio

$$T.R. = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \dots\dots (5)$$

where,

T.R.= Transmissibility

r = frequency ratio

ζ = damping coefficient ratio

3. 진동발생량 계측 및 분석

본 연구에서는 실제 산란계 농장에 설치된 호퍼식 급이기(Fig. 1)가 충전율별로 급이기 작동 시에 발생하는 진동을 일정지점마다 충전율별, 축별로 계측하였다. 이 때 사용한 장비는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 FFT Analyzer ZonicBook/618E와 접촉식 가속도 센서 8776A50 (Kistler Co. Ltd., U.S.A.) 6개였다. 가속도 센서의 경우 정육면체 강체에 3개의 가속도 센서를 축별로 부착한 후 급이기의 일정지점마다 부착하여 진동 발생수준을 계측하였다. 진동모드 시뮬레이션 분석시에 나타난 취약지점 중에 총 10개 지점(Fig. 5와 Table 2)을 선정·계측하였고, 충전율별로(0%, 25%, 50%, 75%, 100%) 호퍼식 급이기가 계사 안쪽

으로 이동할 때와 계사 입구쪽으로 이동시에 진동 발생수준을 계측하였다. 각 계측마다 3 반복 실험을 실시하였고, 계측한 데이터의 FFT 분석을 계측 프로그램에서 실시하여 데이터 변환 후 진동발생량과 그때의 구동 주파수를 구하였다.

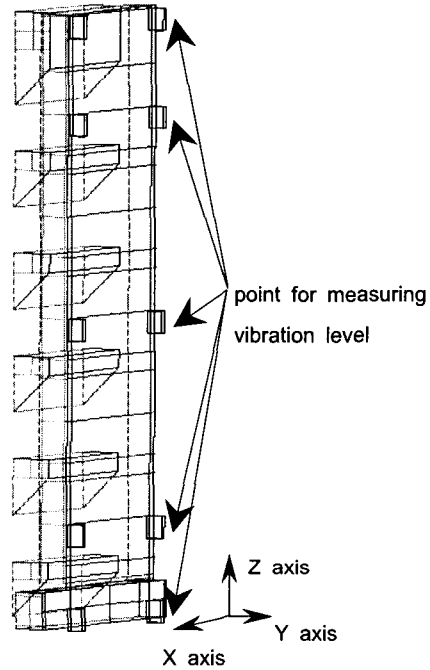


Fig. 5. Measuring points of vibration level test at feed supplier.

Table 2. The locations of measuring points for vibration level test at feed supplier

Point	X axis (m)	Y axis (m)	Z axis (m)
1	1.07	0.00	3.27
2	1.07	0.00	2.74
3	0.25	0.00	3.27
4	0.25	0.00	2.74
5	1.07	0.00	2.19
6	1.07	0.00	1.09
7	1.28	0.00	0.10
8	0.02	0.00	0.10
9	0.25	0.00	2.19
10	0.25	0.00	1.09

결과 및 고찰

1. 진동모드 계측 및 분석 결과

중량별로 호퍼식급이기에서 발생하는 진동 모드를 분석하기 위하여 사료 충전율이 0, 25, 50, 75, 100% 지점에서 호퍼식급이기를 정지시킨 후, 충격해머로 Fig. 3의 선정지점에 충격을 가하여 특정지점으로 전달되는 가속도 값을 계측하였다. 계측된 데이터를 이용하여 축, 사료 충전을 및 진동모드마다의 고유주파수(Table 1)를 구명하였고, mass(m), damping coefficient(c), stiffness(k) 값을 산출하여 전달율비(Table 2)를 분석하였다.

다음쪽 표 4에서 보는 바와 같이 호퍼식급이기의 축별, 충전율별 고유진동수 범위는 30~500 Hz이었고, 저주파수(300 Hz 미만)일 때의 전달율비는 각 축별, 사료 충전율별로

크게 나타났고, 고주파수(300 Hz 이상)일 때는 작게 나타났다. 또한 호퍼식 급이기에서 발생된 진동이 낮은 주파수 대역(170 Hz 이하)에서 직립식 케이지에 직접적으로 약 10~638% 전달됨이 분석되었다(Table 4)¹⁰⁾. 상기한 결과를 근거로 분석한 결과, 저주파수(170 Hz 이하)일 때의 공진주파수에 대한 제진/방진이 필요한 것으로 사료되었다. 따라서 진동모드 분석프로그램을 이용하여 저주파수대(30, 100, 170 Hz)의 진동모드 시뮬레이션을 실시하였다(Fig. 6).

그 결과 다음쪽 그림 6에서 보는 바와 같이 저주파 영역의 시뮬레이션 분석을 통해 호퍼식급이기의 축별로 진동 취약지점을 다음과 같이 파악할 수 있었다. 1) X축의 경우 급이기가 이동시에 발생하는 진동이며, 호퍼가 연결된 부분에 비해 호퍼간의 공간이 진동 취약지점으로 파악되었고, 2) Y축은 다른

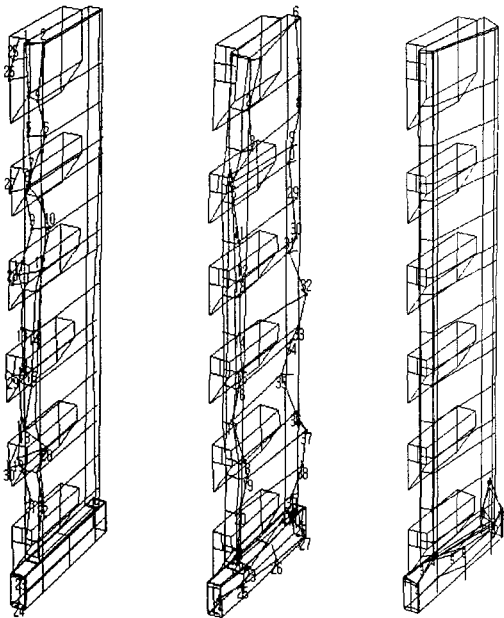
Table 3. Analyzed natural frequencies of hopper-type feed supplier for different percentages of fill of feed in feed supplier(ω_n)

(unit : Hz)

%	Axis	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
0	X	32	100	171	292	358	416	466	496
	Y	33	103	173	295	358	416	471	499
	Z	296	364	424	473				
25	X	33	101	171	289	356	414	462	492
	Y	33	103	174	295	358	416	469	498
	Z	33	103	174	298	362	419	466	496
50	X	33	100	169	287	353	410	460	492
	Y	33	101	169	290	352	409	464	493
	Z	33	103	172	296	360	416	463	496
75	X	291	358	417	468	499			
	Y	34	102	172	294	356	414	467	496
	Z	420	469						
100	X	31	95	165	281	349	417	471	497
	Y	31	96	167	278	343	415	471	497
	Z	410	472	497					

Table 4. Analyzed transmissibility of hopper-type feed supplier for different percentages of fill of feed in feed supplier (ζ)

(unit : %)									
%	Axis	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8
0	X	61	4	1	0	0	0	0	0
	Y	113	284	638	136	156	213	168	149
	Z	0	0	0	0				
25	X	60	4	1	0	0	0	0	0
	Y	422	532	486	294	284	210	169	150
	Z	26	2	1	0	0	0	0	0
50	X	60	4	1	0	0	0	0	0
	Y	142	222	352	133	224	220	173	153
	Z	26	2	1	0	0	0	0	0
75	X	0	0	0	0	0			
	Y	100	104	125	130	155	213	171	151
	Z	0	0						
100	X	72	5	1	1	0	0	0	0
	Y	184	145	274	282	242	215	168	151
	Z	0	0	0					



a : X axis b : Y axis c : Z axis

Fig. 6. Samples of vibration mode simulation of hopper-type feed supplier by axis.

축에 비해 호퍼식급이기에 차지하는 공간이 크고, 산란계 케이지에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 전면부에 사료의 충전 여부를 확인하기 위한 빈 공간이 있는 구조로 되어 있고, 호퍼 사이의 공간이 큰 구조를 가지고 있어 진동 발생 취약지점으로 판단되었다. 또한 케이지에 직접적으로 닿는 상단 롤러의 경우 완충을 위한 설비가 되어 있지 않는 구조로 되어 있어, 급이기에 발생된 진동이 케이지에 완충없이 직접 전달되는 것으로 판단되었다. 3) Z축의 경우 급이기의 구동부가 위치한 축으로서, 구동모터에 의해 발생된 진동이 하단 구동 롤러를 통하여 급이기 전체에 확산되는 구조되어 있어 진동 발생 취약지점으로 판단되었다.

2. 진동발생량 계측 및 분석 결과

가속도 센서를 3축으로 구성하여 실제 산

Table 5. Analyzed data of vibration levels on hopper-type feeder in a laying hen house

Axis	X	Y	Z
Driving frequency (Hz)	20~150	120~610	15~140
Vibration level (g, $g=9.81 \text{ m/s}^2$)	4.9118	4.6254	4.7970

란계 농장 호퍼식 급이기의 진동 취약예상지점마다 진동발생량을 계측하고 계측 프로그램에서 실시간으로 FFT를 실시하였다. 각 지점마다의 충전율별 데이터를 요약하여 정리하면 Table 5와 같다.

상기한 표에서 보는 바와 같이 각 축별로 나타난 진동 발생량은 4.6254~4.9118 g의 범위였고, 구동주파수의 경우 대부분 170 Hz 이하에서 나타났다. 특히 Y축의 경우 다른 축에 비해 진동발생량은 다소 작은 편이었으나 Table 4에서 보는 바와 같이 Y축 전달율이 다른 축에 비해 크게 나타남으로써, 급이기에 케이지로 전달되는 진동의 대부분은 Y축 진동에 의해 발생된다고 판단되었다. 농촌진흥청³⁾의 선행연구에서는 케이지에 발생하는 진동수준이 10.2 g(1.0 cm/s) 이상에서는 산란계의 산란율에 영향을 미치는 것으로 구명되었고, 이는 본 연구에서 분석한 호퍼식 급이기의 Y축에서 발생하는 진동이 100~638%만큼 산란계 케이지에 전달되는 것으로 구명되어 산란율에 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되었다.

3. 최적설계를 적용하기 위한 방진/제진 장치

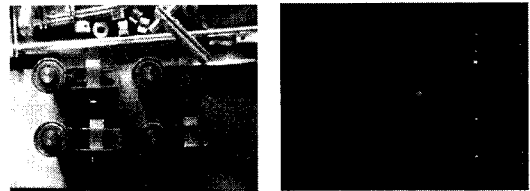
Fig. 6에서 보는 바와 같이 진동 모드 분석 시뮬레이션을 통하여 각 고유주파수별로 진동의 취약지점을 파악하였고, 급이기에 발생된 진동이 산란계 케이지에 전달되는 전달율을 분석하였다. 분석 결과, 다음과 같은 방진/제진 장치를 호퍼식 급이기에 설치할 필요성이 제기되었다.

1) Y 축에서 발생하는 진동이 산란계 케이지

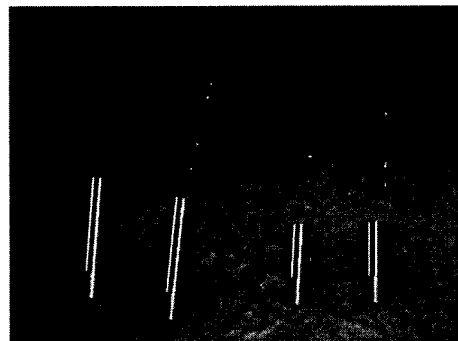
에 직접적인 영향을 미치는 것으로 선행연구를 통해 구명되었다. 따라서 진동 모드 분석 시뮬레이션을 통해 분석된 Y축 지점에 호퍼식 급이기에 사용하는 동일한 강판을 보강재로 설치할 필요가 있다.

2) 스프링 장치와 방진고무 볼트를 이용하여 직립식 케이지에 직접적인 진동을 전달하는 부분인 급이기 상단부 롤러의 구조변경을 실시할 필요가 있다(Fig. 7).

3) 하단 레일과 하단 롤러에서 발생하는 진동이 호퍼식 급이기에 전달되는 것을 방진/제진하기 위하여 하단부 구동 롤러를 강도 90 kgf/cm²의 우레탄 코팅을 실시하여 케이지 하단레일과 급이기 사이에 발생하는 진동을 저감시킬 필요가 있는 것으로 사료된다(Fig. 8).



(a) spring equipment



(b) vibration absorbing rubber bolts

Fig. 7. Absorbing/isolating equipment of upper end of hopper type feeder.

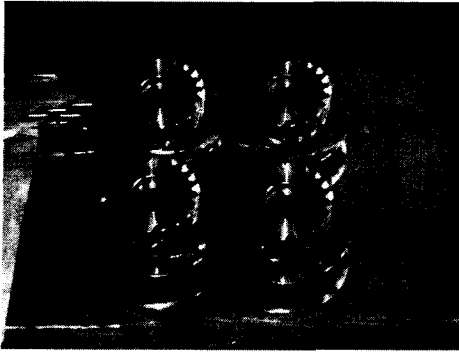


Fig. 8. The urethane coated roller manufactured in this study for lower end of hopper type feeder.

적 요

최근 한국의 국민 소득 증대로 인해 육류 및 계란의 소비량이 점차적으로 증가하여, 산란계사의 규모가 대형화됨에 따라 기계화되었고, 기계 시설의 소음/진동이 계사 내 가축의 생산능력에 직·간접적으로 영향을 미치는 영향에 대한 선행연구는 일부분에 국한되어 있다. 이에 본 연구에서는 계사내 기계장치 중 진동발생량이 가장 큰 호퍼식급이기의 진동으로 인한 공진을 미연에 방지하고자 진동모드 및 진동발생량을 계측·분석하였다. 이때 축은 급이기의 구동방향(X축), 케이 지 방향(Y축) 및 급이기의 상하방향(Z축)으로 설정하였으며, 사료 충전율 0, 25, 50, 75, 100%인 지점에서 매달아서 계측하는 타격여진법을 응용하여 진동모드를 계측하였다. 획득한 데이터를 분석프로그램을 이용하여 분석한 결과, 30~500 Hz의 호퍼식 급이기 고유주파수를 구명하였고, 특히 170 Hz 이하의 낮은 주파수대에서는 전달율이 대부분 높은 수준이었다. 이를 근거로 하여 30, 100, 170 Hz대의 호퍼식급이기 진동 시뮬레이션 분석을 실시하여 취약지점에 대한 분석을 실시하여 진동발생량 계측 지점으로 지정, 계측·분석을 실시하였다. 진동모드와 진동발생량 분석결과를 근거로 하여 호퍼식급이기가 산란계 산란율을 영향을 주는 수준의 진

동을 발생시킴을 구명하였고, 각 취약지점에 대한 분석을 통하여 각 축별로 공진 및 제진/방진을 위한 방안 및 장치를 제시하였다.

인 용 문 헌

1. 가축유전능력평가연구소. 2003. 축산 연구를 위한 통계자료집. 농촌진흥청 축산연구소.
2. 농림부. 2007. 2007 농림업주요통계. 농림부.
3. 농촌진흥청. 2007. 산란계사내의 소음 및 진동의 특성 분석을 통한 기계시설의 최적 설계 기술 개발에 관한 연구. 농촌진흥청.
4. 이덕수. 2004. 축사 환경제어 및 소음환경 개선 연구. 농촌진흥청.
5. 이승주, 장동일, 장홍희. 2006. 직립식 산란계사 내의 소음 진동 발생 현황 조사 연구. 축산시설환경학회지 12(1):21-28.
6. 이종길, 이희무, 김 신. 2003. 소음이 산란계의 스트레스 호르몬 분비에 미치는 영향. 대한환경공학회 2003 추계학술연구 발표회 논문집, 1776-1780.
7. 이희무, 김 신, 이종길. 2003. 소음이 산란계의 이상란 생산 및 코르티솔 호르몬 분비에 미치는 영향. 대한환경공학회지 25(7):860-865.
8. 한국표준규격협회. 2002. KS D0076 제진강판의 진동 감쇠 특성 시험 방법.
9. 환경부. 2001. 소음에 의한 가축피해 평가방안에 관한 연구. 환경부.
10. Dimiel, J. 2002. Engineering Vibration. Pearson Education Korea Inc.
11. Mark, H. 2000. Modal Mass, Stiffness and Damping. Richardson Vibrant Technology, Inc.
12. Stephen, J., G. Hall and Harry Bradshaw, R. 1998. Welfare aspect of the transport by road of sheep and pigs. J. of Applied Animal Welfare Science 1(3):235-254.
13. Warriss, P. D., Brown, S. N., Knowles, T. G., Edwards, J. E. and Duggan, J. A. 1997. Potential effect of vibration during transport on glycogen reserves in broiler chickens. The Veterinary Journal 153(2):215-219.