



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

전산유체역학 기술을 이용한
육용 오리사 환기 설계 분석

Analysis on Ventilation Efficiency of Standard
Duck House using Computational Fluid
Dynamics

2016년 12월

서울대학교 대학원

생태조경 · 지역시스템공학부 지역시스템공학전공

김 용 희

전산유체역학 기술을 이용한 육용 오리사 환기 설계 분석

Analysis on Ventilation Efficiency of Standard
Duck House using Computational Fluid
Dynamics

지도 교수 이 인 복

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2016년 12월

서울대학교 대학원
생태조경 · 지역시스템공학부 지역시스템공학전공
김 용 희

김용희의 공학석사 학위논문을 인준함
2016년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

초 록

국내 육용 오리사의 69.4%가 플라스틱 간이 온실을 개량한 간이 형태를 띄고있다. 이러한 형태의 구조물은 외부환경에 의한 영향이 크게 작용하고 내부 환경제어에 어려움이 있어 적절한 생육환경을 제공하는데 어려움이 있다. 환기시스템의 부재와 적절한 설계 기준에 따르지 않은 밀집사육방식 또한 생육환경 제어에 어려움을 가중하게 되며, 그 결과로 사육 오리의 스트레스 유발 및 면역력 악화를 초래하게 된다. 간이온실 특성상 구조적으로 취약성을 띄고 있어 국내 실정에 적합한 표준 오리사 설계도면 및 사육설계안이 시급한 실정이다. 축산과학원에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 육용오리사의 표준설계지침서를 배포하였으며, 본 연구에서는 해당 지침서에 대한 실내 생육환경 적합성을 평가하기 위하여 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 기술을 이용하여 제공된 표준 설계도면의 정량적, 정성적 평가를 수행하였다. 구조적 특성에 따른 환기형태와 시설 내부의 균등한 환기능을 위하여 설계된 중계팬의 효과를 평가하기 위하여 추적가스법(Tracer Gas Decay Method)을 이용하여 오리군 위치에서의 국지적 환기효율을 정량적으로 측정하였다. 실험결과 자연환기 방식을 이용하는 개방형 오리사는 여름철 기준 환기율인 1 AER(min^{-1})에 비하여 164%의 환기율을 제공하였으며, 강제환기 방식을 이용하는 유창형 오리사는 기준 환기율 대비 81.2%의 환기율을 보여 적정 환기량 제공 기준에 못미치는 것으로 드러났다. 따라서, 적정 환기기준을 제공하는 표준 육용오리사 설계지침서의 제정이 필요하다고 할 수 있다.

주요어 : 전산유체역학, 환기, 생육환경, 오리사, 자연환기식, 강제환기식
학 번 : 2008-23070

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성	1
제 2 절 연구의 목적	9
제 2 장 재료 및 방법	10
제 1 절 대상지역	10
제 2 절 대상시설	11
1. 개방형 오리사 구조	11
2. 유창형 오리사 구조	16
제 3 절 전산유체역학(CFD)	20
제 4 절 질량교체환기율(MFR)	23
제 5 절 추적가스법(TGD)	24
제 6 절 실험 방법	25
1. 대상지역 기상 입력 데이터	25
2. 대상구조 환경조건	27
2.1 개방형 오리사 환경조건	27
2.2 유창형 오리사 환경조건	28
3. CFD 시뮬레이션 모델 설계	29
3.1 중계팬 작동 매커니즘 구현	31
3.2 오리의 발열량 특성 고려	33
3.3 시뮬레이션 모델 내 벽체온도 설정	35
4. 질량 체적 교환율을 이용한 환기량 분석	37
5. 추적가스 접근법을 이용한 환기량 분석	38
6. 오리사 내부열환경 분석 방법	40
제 3 장 결과 및 분석	43
제 1 절 개방형 오리사 모델별 평가	43
1. 개방 A형 오리사	46
1.1 오리군 높이에서의 공기유속	46
1.2 오리군 높이에서의 환기량	47
1.3 오리군 높이에서의 온도	48
2. 개방 B형 오리사	49
2.1 오리군 높이에서의 공기유속	49
2.2 오리군 높이에서의 환기량	50
2.3 오리군 높이에서의 온도	51
3. 개방 C형 오리사	52
3.1 오리군 높이에서의 공기유속	52
3.2 오리군 높이에서의 환기량	54

3.3 오리군 높이에서의 온도	55
4. 개방 D형 오리사	56
4.1 오리군 높이에서의 공기유속	56
4.2 오리군 높이에서의 환기량	58
4.3 오리군 높이에서의 온도	60
제 2 절 유창형 오리사 모델별 평가	61
1. 유창 A형 오리사	63
1.1 오리군 높이에서의 공기유속	63
1.2 오리군 높이에서의 환기량	64
1.3 오리군 높이에서의 온도	65
2. 유창 B형 오리사	66
2.1 오리군 높이에서의 공기유속	66
2.2 오리군 높이에서의 환기량	67
2.3 오리군 높이에서의 온도	68
3. 유창 C형 오리사	69
3.1 오리군 높이에서의 공기유속	69
3.2 오리군 높이에서의 환기량	70
3.3 오리군 높이에서의 온도	71
4. 유창 D형 오리사	72
4.1 오리군 높이에서의 공기유속	72
4.2 오리군 높이에서의 환기량	73
4.3 오리군 높이에서의 온도	74
 제 4 장 결 론	 75
 참고문헌	 78
 Abstract	 80

표 목차

[표 1] 오리 일령 별 권장 적정 온도(농촌진흥청 표준영농교본-99 축산기계이용)	4
[표 2] 고병원성 조류 인플루엔자로 인한 오리 사육수수의 감소(단위: 천마리, 통계청)	6
[표 3] 축산과학원에서 제시한 개방형 표준 오리사 설계안에 대한 설계조건	14
[표 4] 축산과학원에서 제시한 유창형 표준 오리사 설계안에 대한 설계조건	19
[표 5] 오리의 체중과 환경온도별 환기량 (농업기술길잡이 오리편)	28
[표 6] CFD 시뮬레이션 모델설계 조건	36
[표 7] 개방형 오리사 모델 별 완전히 환기되는 기준에 도달하는 연산시간	41
[표 8] 유창형 오리사 모델 별 완전히 환기되는 기준에 도달하는 연산시간	41
[표 9] 실험 조건 및 분석대상 조건	42
[표 10] 개방형 오리사에 대한 총괄적인 CFD 시뮬레이션 분석결과	43
[표 11] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수	46
[표 12] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	47
[표 13] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	48
[표 14] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수	49
[표 15] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	50
[표 16] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	51
[표 17] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수	53
[표 18] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높	

이에서의 지역별 환기율 및 변동계수	54
[표 19] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도분포 및 변동계수	55
[표 20] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수	57
[표 21] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기량 분포 및 변동계수	59
[표 22] 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도분포 및 변동계수	60
[표 23] 유창형 오리사에 대한 총괄적인 CFD 시뮬레이션 분석결과	61
[표 24] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수	63
[표 25] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	64
[표 26] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	65
[표 27] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수	66
[표 28] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	67
[표 29] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	68
[표 30] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수	69
[표 31] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	70
[표 32] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	71
[표 33] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수	72
[표 34] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수	73
[표 35] 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수	74

그림 목차

[그림 1] 오리농가 사육규모 변화 (한국오리협회, 2013)	2
[그림 2] 보온 덮개 형 오리사 및 밀폐형 오리사 시설 (최희철 등)	3
[그림 3] 국내 오리사농가의 시설환기방식 (국립축산과학원, 2013)	3
[그림 4] 환경온도 노출시간에 따른 육계 체온변화 (흑서기 극북을 위한 육계 사양관리요점, 축산과학원)	5
[그림 5] 오리의 바이러스성 간염의 발생건수.....	6
[그림 6] 대상지역 충청북도 음성군 (위도: 36° 49' ~37° 07', 경도: 127° 26' ~127° 42').....	11
[그림 7] 축산과학원에서 제시한 개방 A형 표준 오리사 구조 설계안	12
[그림 8] 축산과학원에서 제시한 개방 B형 표준 오리사 구조 설계안	12
[그림 9] 축산과학원에서 제시한 개방 C형 표준 오리사 구조 설계안	13
[그림 10] 축산과학원에서 제시한 개방 D형 표준 오리사 구조 설계안	13
[그림 11] 축산과학원에서 제시한 유창 A형 표준 오리사 구조 설계안	17
[그림 12] 축산과학원에서 제시한 유창 B형 표준 오리사 구조 설계안	17
[그림 13] 축산과학원에서 제시한 유창 C형 표준 오리사 구조 설계안	18
[그림 14] 축산과학원에서 제시한 유창 D형 표준 오리사 구조 설계안	18
[그림 15] 충청북도 음성군 7,8월 평균 온도분포 (2000-2009)	25
[그림 16] 충청북도 음성군 2000~2009년도 7, 8월 풍향 및 풍속에 대한 바람장미.....	26
[그림 17] 사용자정의함수에 대한 연산 절차 (ANSYS FLUENT UDF Manual)	32

[그림 18] 하절기(7월18일~7월30일)동안의 축산시설의 벽체온도 분포 (국립수의과학검역원, 2008)	35
[그림 19] 대기 중 이산화탄소 농도 변화(미국 해양대기청, 2014. 5)	39
[그림 20] 오리에서 발생하는 발열량 고려에 따른 유창-A형 오리사 내부의 오리군 높이에서의 연산시간에 따른 구역별 열환경 변화	40

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

축산 시설의 현대화와 가축 생육환경 조절 기술 등의 발전은 축산업에 있어 질적·양적 성장의 원동력으로 작용하였다. 2013년 기준 국내 축산업 총 생산액은 16.2조원에 육박하였으며 이는 농·축산업 총 생산액의 34.8%로 높은 비중을 차지하고 있다(농림축산식품부, 2014). 1970년대 국내 축산업 생산액은 1.2조원에 불과하였으나 생육환경 조절 기술과 축산업의 전문화와 대형화 등에 따라 2013년 기준 약 13.5배로 크게 성장하였다. 통계청에서 제시한 2013년 닭 및 오리 사육마리 수 동향 조사에 따르면 오리의 경우 국내에서 약 1억2천 마리가 사육되고 있는 것으로 나타났다. 타종의 사육 두수와 비교하여 높은 비중을 차지하지 않으나 전국적으로 꾸준히 사육되고 있으며 소고기 및 돼지고기의 불포화지방산보다 함유량이 높고 칼슘, 철, 인 등이 풍부하여 혈중 콜레스테롤을 낮추고 혈류 흐름을 도우며 풍부한 필수아미노산은 기력회복에도 좋은 것으로 알려져 있어 꾸준히 소비 비중이 증가하는 추세이다. 이에 2012년 기준 국내 오리 산업 규모는 1조 451억 원으로 성장하였으며 돼지, 한우, 우유, 닭, 계란에 이어 6위에 자리매김하였다(농림축산식품부, 2012). 그림 1은 연도 별 오리 농가의 사육 규모 변화를 나타내고 있다.

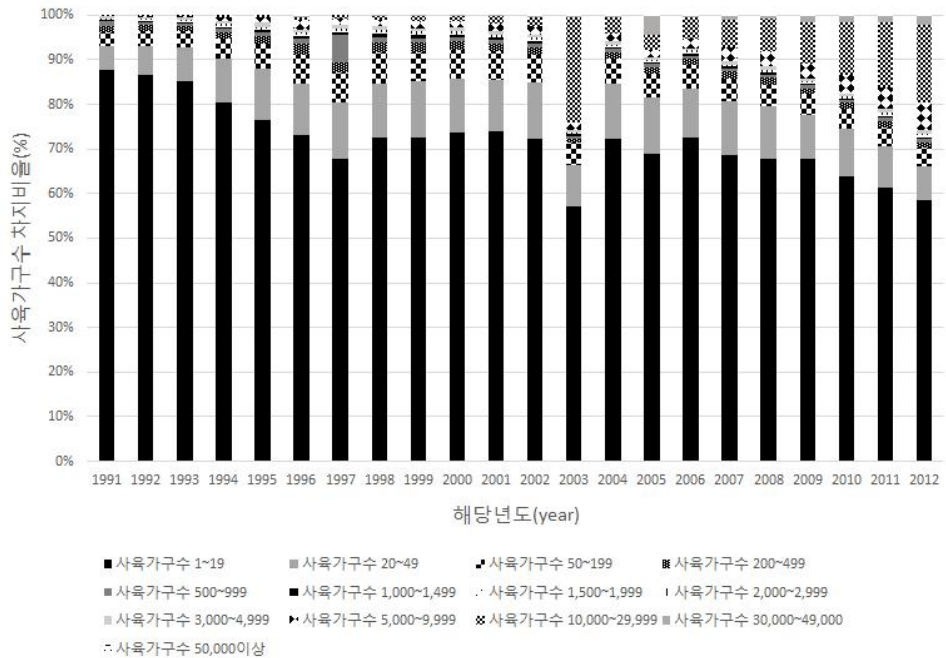


그림 1 오리농가 사육규모 변화 (한국오리협회, 2013)

국내 오리 사육농가의 69.4%는 그림 2의 좌측과 같이 플라스틱 온실 등을 계량하여 간이오리사 형태의 사육시설로 형태를 나타내고 있다 (품목별 농업소득 향상 운영 매뉴얼 [축산분야], 농촌진흥청, 2011). 유용희 (2013) 등은 실제 국내 오리사 시설 개선을 위하여 2012년 10월~12월 기간 동안 17지역 156농가 (충북 5지역, 53농가, 전남 12지역, 103농가)을 대상으로 오리 사육 시설 환기방식에 대한 집단 면담 조사를 실시하였다. 환기 방식을 조사한 결과, 전체 농가의 18.8%는 기계식 제어가 이루어지는 강제 환기 방식 (기계식 환기)을 채택하고 그 외 81.2%는 자연 환기 방식 또는 자연 환기와 중계팬을 동시에 이용하는 절충환기방식을 이용하고 있다고 보고된 바 있다 (오리사 시설 실태 조사와 시설개선, 국립축산과학원).



그림 2 보온 덮개 형 오리사 및 밀폐형 오리사 시설 (최희철 등)

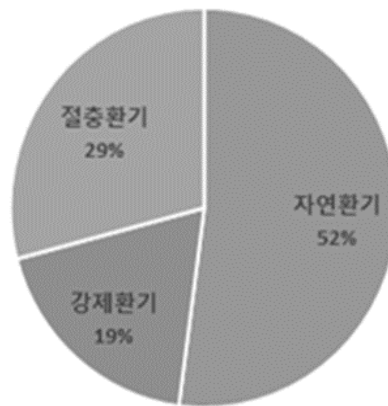


그림 3 국내 오리사농가의 시설환기방식 (국립축산과학원, 2013)

플라스틱 온실 등을 계량한 간이 오리사의 경우, 초기 설치비용이 적다는 이점이 있으나 태풍이나 폭설 등 기상 재해에 구조적인 취약점을 나타내고 있다. 또한 하절기에 폭염과 집중호우 시 시설 내부에 적절한 온도 및 습도를 유지시키기 위한 냉방 및 제습이 요구되며 동절기에는 침기로 인하여 난방을 위한 추가적인 에너지 투입이 필요하다. 또한 오리 사육에 있어 사육 시설 내부의 환기량, 온도, 공기 유동 등의 적정 생육 환경 조절에 한계점이 있어 안정적인 생산성 확보에 어려움이 있다. 앞서 조사된 바와 같이 다른 축종에 비교하여 현대화 사업이 미진한 오리 산업의 경우 대부분의 농가가 자연 환기 방식을 채택하고 있는 상황에서 그 문제점은 더욱 심각하다 할 수 있다. 실제 2013년 6월 말부터 충청·전라·경상도 등 남부지방에 최고 35도를 넘나드는

폭염이 지속되면서 닭 13만 수, 오리 2만 수 등이 집단 폐사한 바 있다(이코노미포스트, 2013).

표 1 오리 일령 별 권장 적정 온도(농촌진흥청 표준영농교본-99 축산기계이용)

일령	온도(℃)	
	육추기 아래	오리사 내부
1 ~ 3	32 ~ 35	27
3 ~ 7	30 ~ 32	23
8 ~ 14	25 ~ 30	20
15 ~ 21	22 ~ 25	18
21일 이상	—	15

농촌진흥청 표준영농교본 (표 0)에 따르면 갓 부화된 새끼 오리들은 35℃ 정도의 생육 온도가 권장되며 이후 일령에 따라 점차적으로 내부 온도 감소를 실시하고 21일령 이상부터는 15℃ 정도로 유지해야한다고 제시된 바 있다. 또한 시설 내부 온도가 35℃를 초과할 경우 가축의 열적스트레스가 크게 증가하게 되고 고온의 환경에 대한 노출 시간이 길어질수록 스트레스 강도와 영향이 커지게 된다. 육계 사양관리 요점에 의하면 여름철 43.3℃에서 계군이 3시간 이상 노출되면 폐사 수준에 도달하게 된다고 제시된 바 있다(혹서기 극복을 위한 육계 사양관리 요점, 축산과학원). 고온 다습한 우리나라의 하절기 기상 조건을 고려하면 자연광 및 풍환경을 이용하는 자연환기 방식 농가의 경우 생육 환경 조절에 있어 비효율적이며 에너지 소비 측면에서 비경제적일 수 있다. 이에 농가는 축산물의 안정적인 생산을 보장할 수 없게 된다.

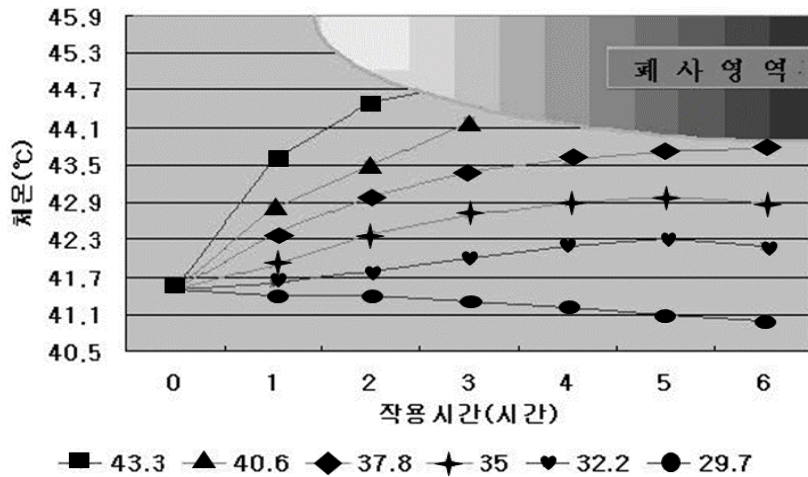


그림 4 환경온도 노출시간에 따른 육계 체온변화
(혹서기 극복을 위한 육계 사양관리요점, 축산과학원)

사육 시설 내부 적정 생육 환경 조건 조절을 위한 주요 요소 중의 하나가 바로 환기이다. 환기란 실내의 공기를 외부의 신선한 공기로 교체하는 작업을 말하며 환기를 통하여 시설 내부의 유해가스 및 오염된 공기를 제거할 수 있고 축사 내의 적정온도 유지 및 축사 내 습도를 조절할 수 있다. 시설 내 환기 성능이 적정 생육 환경을 결정하는데 주요 요소이며 이는 곧 가축의 생산성과 결부되는 요소이다. 일반적인 오리 사양관리 지침서 및 다수의 연구를 통하여 하절기 축산시설에 추천되는 환기량은 분당 1회 이상을 요구하고 있다. 간이식 오리사에서 오리의 적정 생육 환경 조건 (환기량, 온도 등)을 유지하는 것은 구조적으로 많은 한계가 존재한다. 적절한 용량의 환기시스템의 미설비와 밀집 사육 문제는 시설 내에 먼지와 유해가스 등의 오염물질이 과도하게 집적되는 현상을 야기하며 이는 가축의 면역력을 악화시키며 다양한 세균성 가축 전염병 등에 대한 노출 확률을 증가시킨다. 동시에 시설 내부에서 작업을 하는 근로자의 호흡기에 대한 주변 환경 또한 열악해짐으로써 산업 보건 측면에서도 문제점을 발생시킨다. 그림 5는 2011년 1/4분기 가축전염병협의회 자료로, 연도별 오리 바이러스성 감염 발생 건수가 증가하고 있는 추세를 나타내고 있다.

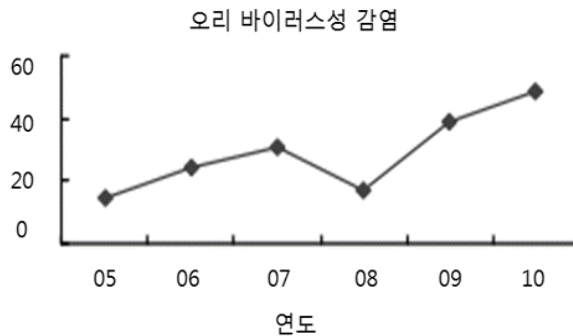


그림 5 오리의 바이러스성 감염의 발생건수

또한 2014년 1/4분기 가축동향조사(표 0) 결과에 따르면 2013년 국내에 발생한 고병원성 조류인플루엔자(HPAI)의 여파로 인하여 종오리 사육 두수의 경우 전분기 대비 35% 감소하였고 육용 오리의 경우 40.2%가 감소하였으며, 총 오리 사육수수는 이전 분기(2013년 4/4분기)와 비교하여 39.7%가 감소한 것으로 보고되었다.

표 2 고병원성 조류 인플루엔자로 인한 오리 사육수수의 감소(단위: 천마리, 통계청)

구분		'11.12	'12.12	2013				2014	증감
				3	6	9	12	3	전분기
오리	총 마릿수	12,735	11,161	11,207	13,287	12,246	10,899	6,577	-4,322 (-39.7%)
	종오리	1,527	1,231	1,170	1,368	1,143	1,064	692	-372 (-35%)
	육용 오리	11,209	9,930	10,037	11,920	11,103	9,835	5,885	-3,950 (-40.2%)

이러한 각종 재난성 전염병의 발발의 원인 중 하나로 외부 환경 조건 변화에 취약한 낙후된 사육시설로 인하여 가축의 면역력 약화가 발생하고 이로 인해 가축 질병에 대한 노출 확률이 증가되는 것을 꼽을 수 있다. 따라서 시설 내부 환경조절을 통한 생산성 증대, 동물 복지 달성, 농가의 경영 부담 및 피해액을 절감시키기 위하여 시설에 대한 적합한 설계 기준 마련과 최적 생육환경조건 설정의 중요성이 대두되고

있다.

환경조절시스템의 개선을 통한 농가 소득을 증대시키기 위하여 농촌진흥청 축산과학원에서 2008년 발간한 표준 육용오리사 설계도가 제공되고 있지만 굴뚝배기식과 지붕개폐식을 적용한 강제 환기 방식(기계식 환기)에 대한 설계 정보를 제공할 뿐 터널 배기방식의 강제 환기 방식(기계식 환기)의 표준설계도는 제시되지 않고 있다. 또한 기타 축종(한우, 젓소, 돼지, 닭)의 표준설계도는 각각 24, 25, 32, 24종으로 다양하나 오리 사육시설의 경우 그 선택의 폭이 좁고 환경친화형 축사 모델이 없는 실정이다(품목별 농업소득 향상 운영 매뉴얼 [축산분야], 2011). 따라서 적정 생육 환경 조건을 유지할 위한 추가적인 시설 설계기준마련이 필요한 실정이다.

설계 기준 제시에 있어서 설계 이전 단계에서 내부 공기 유동 양상, 열환경, 환기율 등에 대한 예측이 필수적이며 이로 인해 시공 및 유지관리 단계에서의 경제적 손실을 줄일 수 있다. 설계 기준 제시 및 적용에 따른 생육 환경 평가를 위하여 현장실험을 이용하여 오리사 내의 사육환경을 분석하는 데는 현실적으로 많은 비용과 시간이 요구되고 있으며 현재 기술로는 시시각각 변화하는 내부 환경 변인(온도, 습도 등)에 대한 제어의 어려움이 따른다. 또한 측정 장비 등의 문제로 점 측정에 의존해야 하며 이 경우 점 측정으로 공간 전체에 대한 대표성을 부여하는 데는 많은 한계가 따르며 눈에 보이지 않는 공기 유동에 대하여 정성적, 정량적으로 이해하고 분석하는데 어려움이 따른다. 반면 전산유체역학 기법 등과 같은 수치해석을 적용할 경우 실험을 위한 환경 변수 및 경계 조건을 일정하게 설정할 수 있어 현장 실험 시 발생하는 다양한 한계점을 보완할 수 있으며 연구자가 원하는 지점에서 얼마든지 다점측정이 가능하다는 점에서 관심영역에 대한 탄력적인 분석이 가능하다. 또한 비가시적인 공기 유동에 대하여 정성적, 정량적 분석이 용이하여 현상에 대한 이해에 유리하다. 이에 따라 농업 분야에서 전산유체역학을 이용한 환기 해석, 생육 환경 평가 등과 관련한 연구가 증가하고 있는 추세이다. Svidt et. al. (1998)은 현대식 축산시설 내부의

공기유동을 예측하기 위하여 CFD를 이용하였고 Norton et. al. (2010)은 CFD를 이용하여 자연 환기 방식 축산시설을 대상으로 환기 배열에 따른 내부 환경의 균일성을 평가하여 최적 환기 운영 방식을 도출하고자 하였으며 Lee et al.,(2005, 2007), Seo et al.,(2008) 등은 축산 시설 내에서의 공기유동과 열환경 그리고 환기효율성을 정량적·정성적으로 분석한 바 있다.

제 2 절 연구의 목적

본 연구에서는 현장 실험의 한계를 극복하고 표준설계도 작성을 위한 사전 연구로써, 설계 및 시공 이전에 예상되는 문제점을 도출하기 위하여 하절기(7~8월)를 대상으로 농촌진흥청 축산과학원에서 설계 중인 표준오리사 설계안에 대하여 전산유체역학기법을 이용하여 분석 대상 오리사 내부의 공기 유동과 열환경, 환기 효율성 등에 대한 정성적·정량적인 분석을 실시하고 환기구조 설계의 적합성 여부에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 대상지역

통계청에서 발간한 “가축동향조사 2013”에 따르면 시도별 오리 사육가구 수에 있어서 전라도 (사육가구 수 537 가구, 사육규모 732,2481 마리)가 전국에서 가장 큰 오리 사육규모를 보유하는 것으로 보고되고 있으나 농촌진흥청 축산과학원 요청에 따라 오리 사육가구 수와 사육규모에 있어 전국에서 두 번째 위치하는 충청북도 (사육가구 수 178 가구, 사육규모 210,4309 마리) 중 음성군을 연구 대상 지역으로 선정하였다. 기상자료의 경우 기상청에서 제공하는 음성 지역 AWS 자료를 활용하였다.

외부 기상환경 (풍속, 온도, 습도 등)은 시설 내부의 생육 상태에 영향을 미치는 주요 요소로 작용한다. 특히, 혹서기 중에는 가축의 열적 스트레스로 유발하여 폐사량 증가와 품질 저하 및 개체 수에 큰 영향을 미친다. 따라서 하절기(7~8월) 시기를 대상으로 시설 내부의 환기율, 열환경 및 유동 분석을 위하여 기상청에서 제공하는 충청북도 음성군 지역의 2000년부터 2009년의 하절기(7~8월) 시기의 일출 직후 (6시)부터 일몰 직전 (19시)까지의 10분 간격으로 측정된 기상청 AWS 기상자료를 이용하여 평균값을 취하여 경계 조건을 구축하고자 하였다. 산술평균으로 도출된 풍속 값은 윈치커튼을 사용하는 개방형 오리사 모델의 외부 풍환경 구현을 위하여 풍속 프로파일 설계에 활용되었다.



그림 6 대상지역 충청북도 음성군
(위도: 36°49 ~37°07 , 경도: 127°26 ~127°42)

제 2 절 대상시설

1. 개방형 오리사 구조

농촌진흥청 축산과학원에서 제시하고자 하는 표준 오리사의 설계 초안을 토대로 연구를 진행하였다. 분석 대상 오리사 모델은 크게 개방형과 유창형으로 구분된다. 개방형 오리사의 규격은 폭 12m × 길이 40m × 높이 5.2m (개방-A형), 폭 12m × 길이 80m × 높이 5.2m(개방-B형), 폭 24m × 길이 40m × 높이 6.8m (개방-C형) 그리고 폭 24m × 길이 80m × 높이 6.8m (개방-D형)의 총 4가지의 모델이다. 시설 내부 공간의 경우 전실과 오리 사육 공간으로 구분된다. 전실의 경우 입구로부터 길이 방향으로 4m 지점까지 시설 내부의 자동화 시스템의 제어 등을 목적으로 설계되었으며 그 외 영역의 경우 사육 공간으로 할당 되었다. 각 모델의 전면부에는 폭 1.2m, 높이 0.3m 크기의 입기 슬롯이 설치 되어있다. 전면부 입기 슬롯은 지면을

기준으로 3m 높이에 오리사 규격에 따라 2구 또는 4구가 설치되었다. 측벽에는 지면으로부터 0.7m 높이에 오리사 규격 별 높이 1.8m × 길이 40m, 높이 1.8m × 길이 80m의 원치커튼이 설치되어 있다. 또한 추가 환기량 확보를 목적으로 배면부에 6,900 CFM의 출력을 갖는 배기팬이 규격에 따라 2기, 4기, 8기가 설치되어있다. 시설 내부에는 내부 생육 환경의 균일성 향상을 목적으로 6,900 CFM의 성능을 갖는 폭 0.63m × 높이 0.63m × 깊이 0.1m 규격의 중계팬이 상향으로 10° 가량 기울인 상태로 10m, 15m 간격으로 동일하게 설치되어있다.

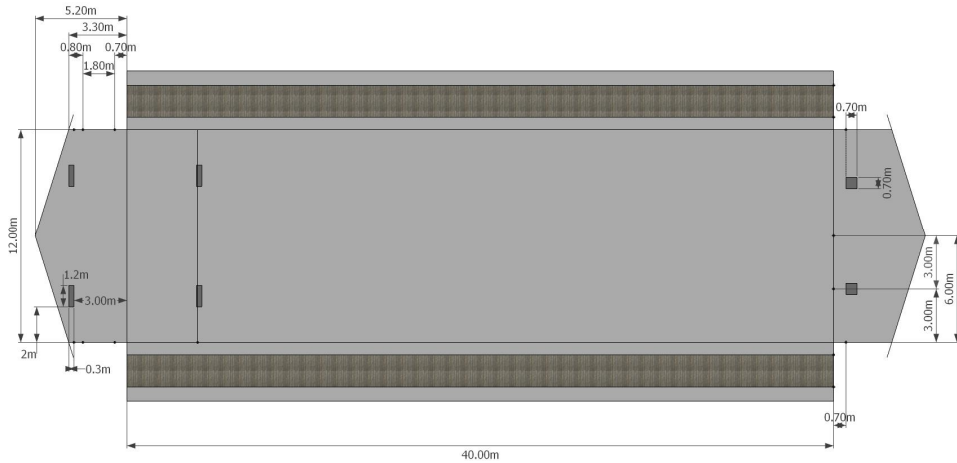


그림 7 축산과학원에서 제시한 개방 A형 표준 오리사 구조 설계안

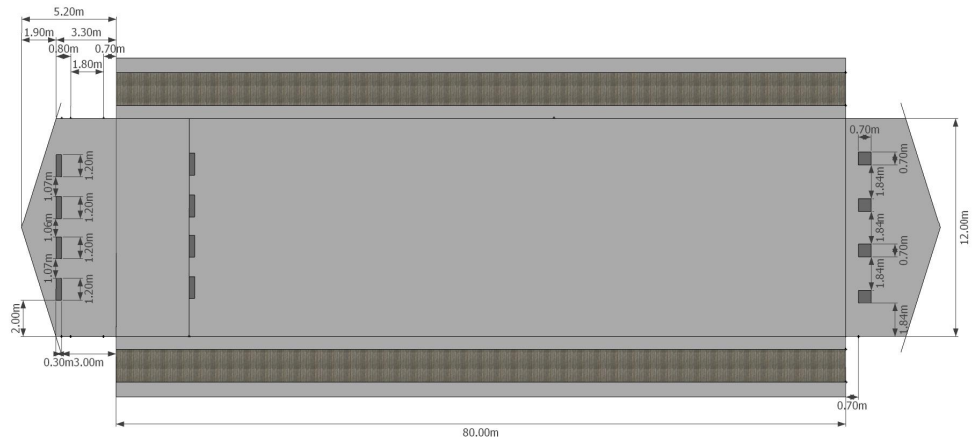


그림 8 축산과학원에서 제시한 개방 B형 표준 오리사 구조 설계안

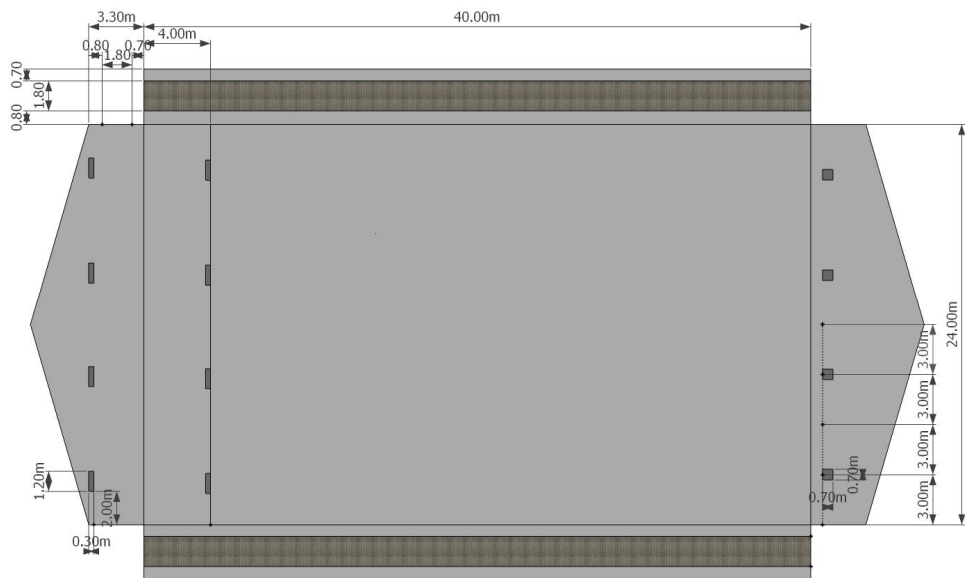


그림 9 축산과학원에서 제시한 개방 C형 표준 오리사 구조 설계안

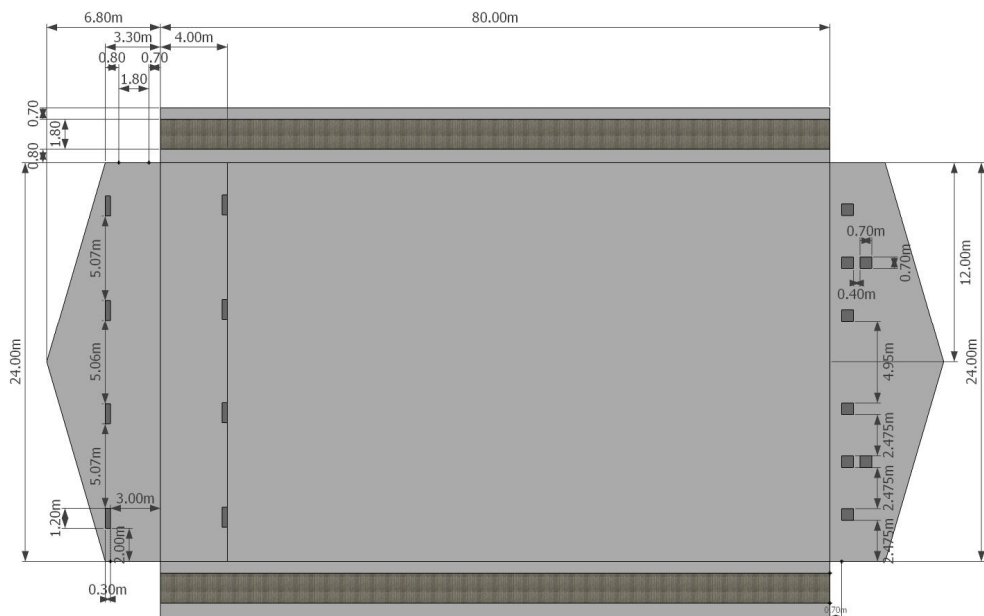


그림 10 축산과학원에서 제시한 개방 D형 표준 오리사 구조 설계안

4가지 모델별 설계조건에 따라 각각 4 가지의 하위모델을 설계하였으며 축산과학원에서 제시한 구조 설계안을 토대로 1) 중계팬과 배기팬이 없는 모델로써 윈치커튼만을 이용하여 개방형 오리사 내 자연 환기식 환기 시스템을 운영하는 모델 2) 중계팬이 없는 모델로써 윈치커튼과 배기팬을 이용하여 자연환기식과 강제 환기식 시스템을 이용하여 환기시스템 운영하는 모델, 3) 중계팬이 10m 간격으로 설치되어 있는 모델로써 윈치커튼, 배기팬, 중계팬을 10m 간격으로 설치하여 내부 유동의 균일성을 보완하고자 하는 모델, 4) 중계팬이 15m 간격으로 설치되어 있는 모델로써 윈치커튼, 배기팬, 중계팬을 15m 간격으로 설치하여 내부 유동의 균일성을 보완하고자 하는 모델 로 구분하여 연구를 수행하였으며 구조 설계안은 표 0 와 같다.

표 3 축산과학원에서 제시한 개방형 표준 오리사 설계안에 대한 설계조건

모델	개방-A형	개방-B형	개방-C형	개방-D형
폭	12 m	12 m	24 m	24 m
길이	40 m	80 m	40 m	80 m
축고	3.3 m	3.3 m	3.3 m	3.3 m
처마길이	0.9 m	0.9 m	0.9 m	0.9 m
동고	5.2 m	5.2 m	6.8 m	6.8 m
입기슬롯 크기	1.2m × 0.3m	1.2m × 0.3m	1.2m × 0.3m	1.2m × 0.3m
윈치커튼	1.8m × 40m	1.8m × 80m	1.8m × 40m	1.8m × 80m
입기슬롯 설치개수	2	4	4	4

중계 팬 규격	630mm × 630mm		630mm × 630mm		630mm × 630mm		630mm × 630mm	
중계 팬 CFM	6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM	
중계 팬 설치높이	2 m		2 m		2 m		2 m	
중계 팬 설치간격	—		—		—		—	
	10 m		10 m		10 m		10 m	
	15 m		15 m		15 m		15 m	
중계 팬 설치대수	10 m	3 대	10 m	6 대	10 m	6 대	10 m	12 대
	15 m	2 대	15 m	4 대	15 m	4 대	15 m	8 대
배기 팬 크기	630 mm		630 mm		630 mm		630 mm	
배기 팬 CFM	6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM	
배기 팬 설치간격 (중심기준)	3 m		3 m		3 m		3.175 m	
배기 팬 설치높이	0.7 m		0.7 m		0.7 m		0.7 m	
배기 팬 설치대수	6,900 CFM	2 대	6,900 CFM	4 대	6,900 CFM	4 대	6,900 CFM	8 대

2. 유창형 오리사 구조

유창형 오리사는 폭 12m × 길이 40m × 높이 5.2m (유창-A형), 폭 12m × 길이 80m × 높이 5.2m (유창-B형), 폭 24m × 길이 40m × 높이 6.8m(유창-C형) 그리고 폭 24m × 길이 80m × 높이 6.8m (유창-D형)의 규격을 갖는 총 4가지의 모델로 구성되어 있다. 개방형 오리사와 동일하게 시설 내부 공간의 경우 전실과 오리사육공간으로 구분되며 입구로부터 길이 방향으로 4m 지점까지 시설 내부의 자동화 시스템의 제어와 기타 목적을 위한 전실이 설계되었으며, 그 외에는 사육공간에 해당한다. 각 모델 양쪽 측벽에는 1.2m(폭) × 0.3m(높이) 크기의 입기 슬롯이 바닥면을 기준으로 2.7m 높이에 설치되어 있다. 반면 전면부에서는 출입문의 높이를 고려하여 바닥으로부터 3m 높이에 입기 슬롯이 설치되어있다. 6,900 CFM (0.63 m × 0.63 m)과 12,000 CFM (0.92 m × 0.92 m)의 성능을 갖는 배기팬이 입구의 배면에 설계 오리사의 규격에 따라 배기팬의 용량과 수량을 달리하여 표 4와 같이 설치되었다. 음압식으로 운영되는 시설 내부 배기를 목적으로 입구배면에 설치된 터널배기팬을 이용하여 양쪽 측면과 전면부에 설치된 입기 슬롯을 통하여 외부로부터 공기가 유입된다. 오리사의 입기 슬롯 개수는 각 시설물 (유창-A, B, C, D형) 규격에 따라 각각 10개, 20개, 20개 그리고 40개가 설치되었으며 출입문 상단과 측벽에 설치된 입기 슬롯은 일정한 간격으로 설치되었다. 시설 내부에는 내부 생육 환경의 균일성 향상을 목적으로 6,900 CFM의 성능을 갖는 가로 0.63m × 세로 0.63m × 깊이 0.1m의 중계팬이 상향으로 10° 기울어져 10m 간격으로 설치되었다.

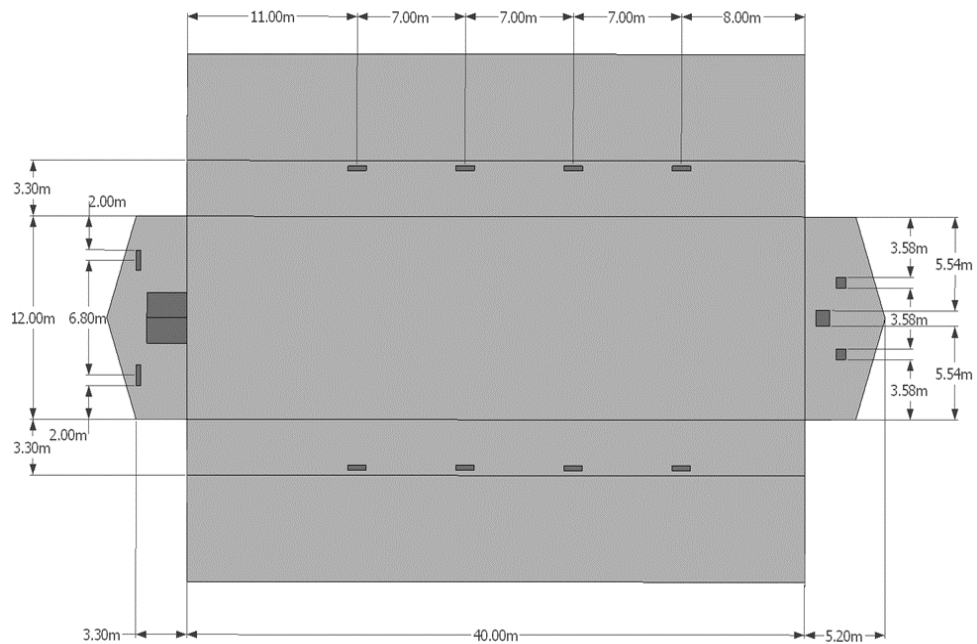


그림 11 축산과학원에서 제시한 유창 A형 표준 오리사 구조 설계안

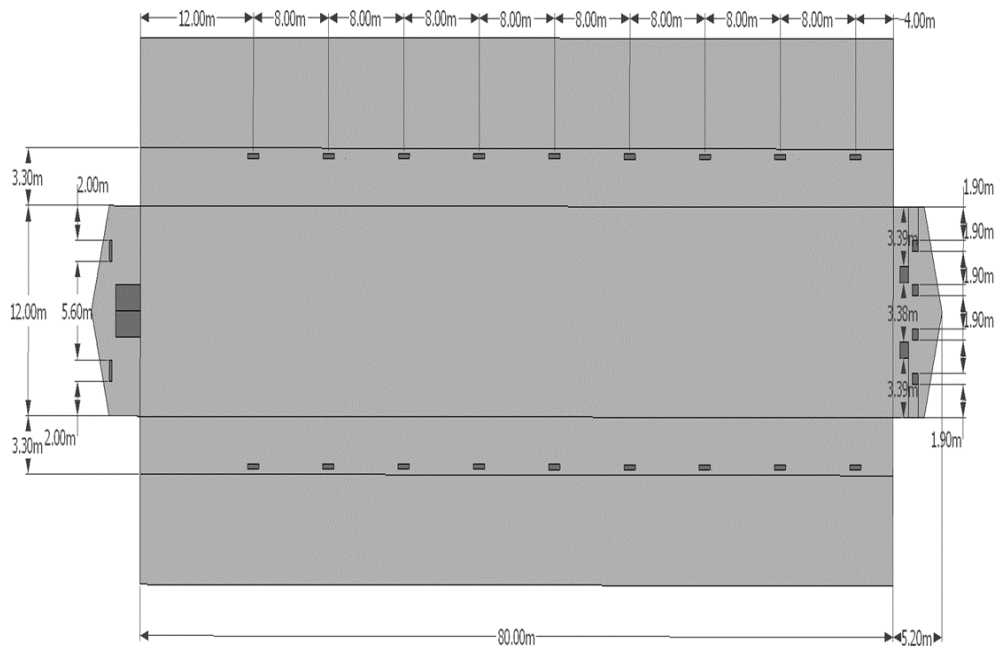


그림 12 축산과학원에서 제시한 유창 B형 표준 오리사 구조 설계안

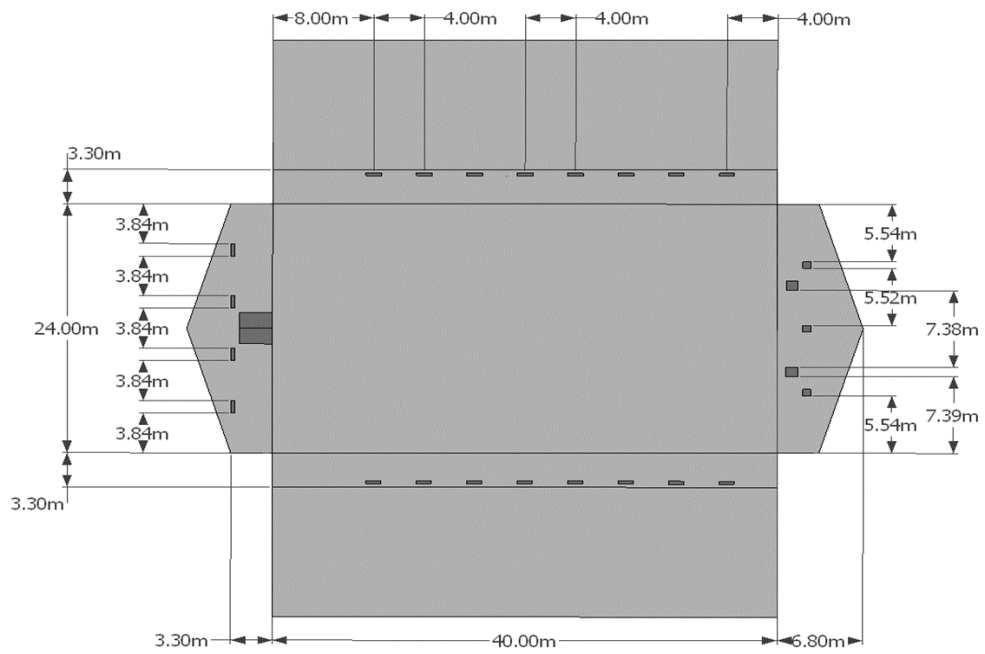


그림 13 축산과학원에서 제시한 유창 C형 표준 오리사 구조 설계안

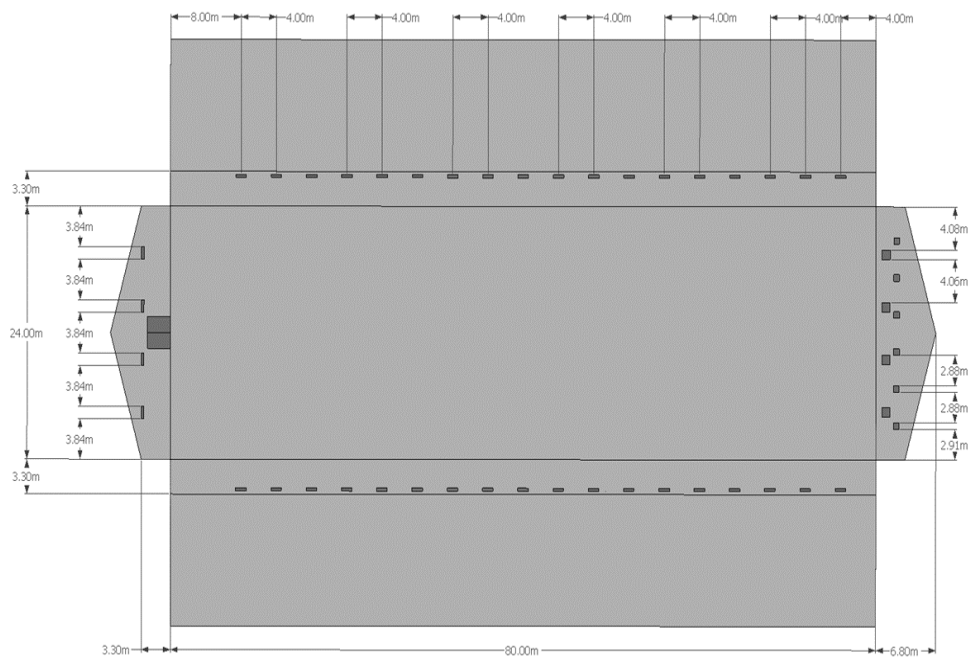


그림 14 축산과학원에서 제시한 유창 D형 표준 오리사 구조 설계안

표 4 축산과학원에서 제시한 유창형 표준 오리사 설계안에 대한 설계조건

모델	유창 A형		유창 B형		유창 C형		유창 D형	
폭	12 m		12 m		24 m		24 m	
길이	40 m		80 m		40 m		80 m	
축고	3.3 m		3.3 m		3.3 m		3.3 m	
동고	5.2 m		5.2 m		6.8 m		6.8 m	
입기슬롯 크기	1.2m × 0.3m		1.2m × 0.3m		1.2m × 0.3m		1.2m × 0.3m	
입기슬롯 설치간격	7 m		8 m		4 m		4 m	
입기슬롯 설치개수	10		20		20		40	
중계팬 규격	630mm × 630mm		630mm × 630mm		630mm × 630mm		630mm × 630mm	
중계팬 CFM	6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM		6,900 CFM	
중계팬 설치높이	2 m		2 m		2 m		2 m	
중계팬 설치간격	10 m		10 m		10 m		10 m	
중계팬 설치대수	3		6		6		12	
배기팬 크기	630 mm		630 mm		630 mm		630 mm	
	920 mm		920 mm		920 mm		920 mm	
배기팬 CFM	6,300 CFM		6,300 CFM		6300 CFM		6,300 CFM	
	12,000 CFM		12,000 CFM		12,000 CFM		12,0000 CFM	
배기팬 설치간격	그림 11 참고		그림 12 참고		그림 13 참고		그림 14 참고	
배기팬 설치높이	0.7 m		0.7 m		0.7 m		0.7 m	
배기팬 설치대수	6,900 CFM	2 대	6,900 CFM	4 대	6,900 CFM	3 대	6,900 CFM	6 대
	12,000 CFM	1 대	12,000 CFM	2 대	12,000 CFM	2 대	12,000 CFM	4 대

제 3 절 전산유체역학 (Computational Fluid Dynamics, CFD,)

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 기법은 유체 문제를 다루는데 있어서 지배 방정식인 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 SIMPLE, PISO 등 과 같은 수치 알고리즘에 기반을 두어 각 격자에 대한 질량, 운동, 에너지 방정식 등을 풀이하고 해석하는 기술이다. 전산유체역학 틀은 크게 세 가지로 구분된다. 모델의 외형을 설계하고 분석 대상 영역의 격자망을 구성하는 전처리 단계, 설계된 모델의 계산영역 (Computational Domain)으로 수치 해석 기법에 의거하여 방정식을 이산화하고 풀이하는 주 연산 과정과 시뮬레이션 결과를 가시적으로 분석하는 후처리 과정으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 전처리 단계의 툴로써 상용프로그램 중 하나인 GAMBIT (ver 2.3., ANSYS Inc., USA)을 사용하여 모델을 설계를 하였다. GAMBIT은 GUI (Graphical User Interface)를 기반으로 하여 기본적인 외형과 유한개의 격자망을 형성하고 경계 조건을 지정하는 등에 사용된다. 대상 영역을 3차원 부피를 가지는 모델로 설계한 후 시뮬레이션을 위한 격자망을 구성하게 되며 경계조건을 지정 후 FLUENT (ver 14.5., ANSYS Inc., USA)에서 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 유체 및 에너지의 이동과 관련된 질량, 에너지, 운동량 보존법칙을 각각의 격자에 적용하여 이산화 과정을 거친 후 풀이하며 이때 질량, 에너지, 운동량 보존방정식은 다음 식 (1) ~ (3)과 같다.

최근에는 컴퓨터 하드웨어 및 성능의 발전으로 해석대상에 대한 연산 시간의 단축과 적절한 난류모델 적용이 가능해짐으로써 해석 범위의 확장과 신뢰성 향상을 통하여 정교한 분석이 가능케 됨에 따라 농업, 선박, 항공우주 등의 다양한 연구 분야에 적용하는 사례가 증가하고 있는 추세이다. 농업분야의 경우, Seo et al. (2010)은 전산유체역학 시뮬레이션 기법을 이용하여 간척지에서 공기 중에 노출된 표면으로부터 발생하는 비산먼지의 확산 거리와 피해 면적을 예측한 바 있으며 Hong et al. (2011a)은 DEM자료를 이용하여 복잡 지형에 대한 시뮬레이션 모델을 구축한 후 축산시설에서 발생하는 악취의 확산

경향을 정성적, 정량적으로 예측하기 위한 연구를 수행한 바 있다. 또한 축산시설의 내부 환기 해석, 열 환경 예측 등의 중요성이 부각됨에 따라 CFD기법을 이용한 시뮬레이션 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Bjerg et. al., 2013, Norton et. al., 2010, etc.).

질량 보존방정식 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

에너지 보존방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + P)) = \nabla \cdot (K_{eff} \nabla T - \sum h \vec{J} + (\vec{\tau}_{eff} \vec{v})) + S_h \quad (2)$$

운동량 보존방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = - \nabla P + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

ρ : 밀도 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

\vec{u} : 속력 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

P : 정압 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)

S_m : 화학반응에 의한 질량 소스 항 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

τ : 응력 텐서 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)

\vec{g} : 중력 가속도 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

\vec{F} : 외력 ($\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

E : 총 에너지 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$)

K_{eff} : 유효 전도율 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$)

T : 온도 (K)

τ_{eff} : 유효 응력 텐서 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)

S_h : 화학반응이나 복사에 의한 엔탈피 증가 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$)

CFD 시뮬레이션의 정확도를 향상시키고 현실적인 모델을 구현하기 위해서는 적절한 난류 모델의 선택이 중요하다. 이번 연구에서 사용된 난류 모델은 RNG k- ϵ 모델로 Lee et al. (2007)이 축산 시설을

대상으로 풍동 및 PIV 실험을 통하여 도출한 시설 내 공기유동 데이터를 시뮬레이션 결과와 비교 분석함으로써 RNG $k-\epsilon$ 난류 모델을 이용했을 때 예측에 대한 신뢰도가 가장 높다고 제시한 바 있다. RNG $k-\epsilon$ 난류모델은 일반적으로 가장 많이 사용되는 Standard $k-\epsilon$ 난류모델의 수정방정식과 유사하나 추가적으로 변형속도에 대한 항을 고려함으로써 복잡한 전단흐름과 큰 변형율을 갖는 유동 등에서 더 정확한 제공하는 이점을 가지고 있다. RNG $k-\epsilon$ 난류모델의 수정방정식은 다음 식 (4) ~ (5)와 같다 (ANSYS FLUENT User's Guide).

난류 운동에너지 전달방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

소산율 전달방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (5)$$

k : 난류 운동 에너지

ϵ : 난류 운동에너지에 대한 소산율

G_k : 평균 속도 구배에 의한 난류 운동 에너지의 생성

G_b : 부력에 의한 난류 운동 에너지의 생성

Y_M : 전체 확산과정에서 압축성 난류의 변동하는 팽창 정도

a_k, a_ϵ : k, ϵ 의 inverse effective Prandtl 수

S_k, S_ϵ : UDF에 의한 소스 항

R_ϵ : RNG $k-\epsilon$ 방정식으로부터 얻은 결과 값

$C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}$: 상수

제 4 절 질량교환환기율 (Mass Flow Rate, MFR)

환기에 대한 효과를 정량화하기 위한 방법 중 질량체적 교체율 (Mass Flow Rate)은 유체의 밀도와 선형 속도를 곱한 값으로 산출된다. 질량 보존 법칙에 따라 유입된 공기와 유출된 공기의 양은 동일하며 이를 통해 시설 내부의 공기가 교체된다는 가정을 전제로 한다. 환기구에 대한 풍속 값, 공기 밀도 값, 유입구 면적, 배출구 면적, 시설체적 등을 토대로 환기율을 산정한다. 유입 구, 유출 구에서 작용하는 풍향에 따라 시설 내부로 유입되는 공기량이 결정되며 보다 정확한 질량 유량산정을 위하여 시설 내부로 향하는 x-velocity를 기준으로 계산하였다. 뿐만 아니라 eddy 기류, 압력 차에 따른 후류 등에 의하여 일정 영역에서 질량에 대한 유입과 유출이 동시에 발생하는 현상을 고려하고자 하였다.

$$G = v_x \times \rho_{air} \times A \quad (6)$$

v_x : x 성분에 대한 유속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

ρ_{air} : 공기 밀도 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

A : 입기구와 배기구의 면적 (m^2)

상기 식을 통해 질량 유량 값을 도출한 후 공기 밀도, 시설 내부 체적으로 나누어 환기율 형태로 환산을 실시하였다. 그러나 질량 유량을 통하여 시설 내부의 환기율을 산정할 경우 외부의 풍향 조건 등에 달라짐에 따라 실제 내부의 지역적 환기 효과가 달라지는 등의 효율적인 측면을 반영하지 못하는 등 대표성을 부여하는 데는 한계가 존재한다. 따라서 단순한 질량 유량 값의 비교를 통하여 환기 효과를 산정할 경우 실제 환기 효과에 대하여 과대 혹은 과소평가할 수 있으므로 적용에 있어 주의를 요한다.

제 5 절 추적가스 접근법(Tracer Gas Decay method, TGD)

추적가스법은 추적가스 확산에 의한 농도 변화를 통하여 환기량을 산정하는 방법론으로 ASTM E741, ASHRAE Standard 62 등에 제시되어 있으며, 그 활용도가 높은 방법 중 하나로 알려져 있다. 연구 대상이 되는 시설에 대한 내부 환기율을 산정하기 위하여 추적가스를 이용한 현장 실험이 필수적이거나 현장 실험에서 다점 측정의 한계와 추적가스 실험 시 초기의 균일한 내부 환경 조건을 유지하는 것이 어려워 큰 오차가 발생할 가능성이 높다. 반면 전산유체역학 기법 등과 같은 수치 해석 기법을 적용할 경우 해석영역 내의 환경 조건을 일정하게 유지시킬 수 있으며, 일련의 수식으로 대상 시설 전체에 균일하게 분포하고 있는 추적가스의 희석 추이를 통하여 다점에서의 농도 값을 정성적·정량적으로 산출할 수 있으며 시설 전체에 대한 환기량 뿐만 아니라 지역적 환기량을 산출할 수 있다는 장점이 있다.

$$AER_{TGD} = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{(t - t_0)} \quad (7)$$

AER_{TGD} : 추적가스 접근법을 통하여 산출된 환기율($AER \cdot \text{min}^{-1}$)

C_t : 특정시점의 추적가스 질량 분율

C_0 : 추적가스의 초기 질량 분율

t : 특정시점의 시간(s)

t_0 : 초기 연산 시간(s)

제 6절 실험방법

1. 대상지역 기상 입력 데이터

충청북도 음성군 지역을 대상으로 10분 간격으로 측정된 AWS자료를 활용하여 일출 직후(6시) 부터 일몰 직전 (19시) 이전의 기상을 분석한 결과 최고온도의 경우 34.9°C 평균온도 26.3°C 로 산출되었다. 풍속 값의 경우 바람장미 프로그램 (Enitech Inc.)을 이용하여 빈도 분석을 실시하였다. $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 미만의 풍 환경을 무풍으로 간주할 때 음성군의 경우 약 27.5%가 무풍에 해당하였으며 대부분의 풍속 범위는 $0.5 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 많이 형성되었다. 해석 대상 기간의 경우 평균 풍속은 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 산출되었으며 이는 CFD 시뮬레이션 모델의 경계 조건으로 활용하였다.

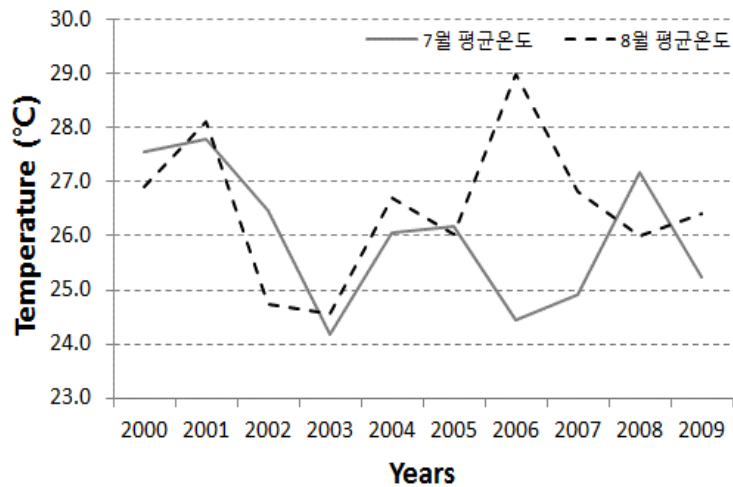


그림 15 충청북도 음성군 7,8월 평균 온도분포 (2000-2009)

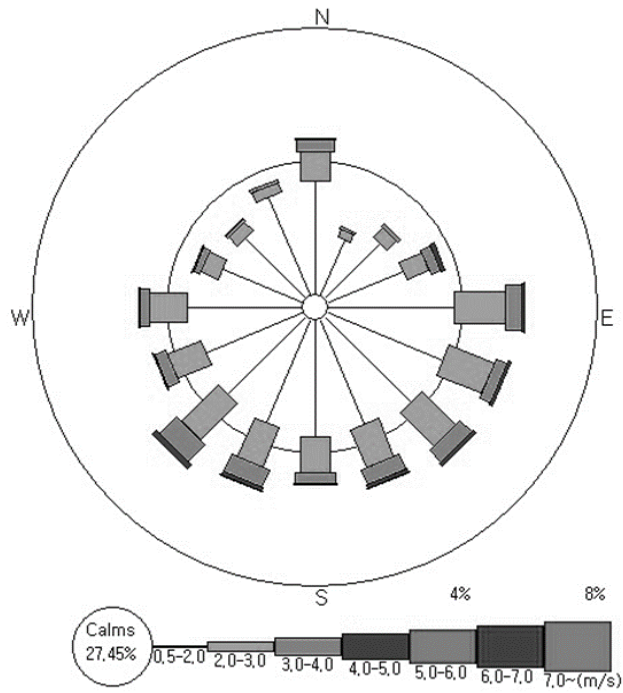


그림 16 충청북도 음성군 2000~2009년도 7, 8월 풍향 및 풍속에 대한 바람장미

2. 대상구조 환경조건

2.1 개방형 오리사 환경조건

농촌진흥청에서 발간한 농업기술길잡이 <표준영농교본>에 제시된 사육밀도 기준 (3.3 m^2 당 오리 13 수 사육)을 적용하여 각 규격 당 적정 사육 두수는 1,716, 3,432, 3,432, 6,864두로 산출되었으며 이는 CFD 기법을 이용하여 설계한 오리사에 대한 시뮬레이션 모델 내 오리군에 대한 발열량 경계 조건 산출에 활용하였다.

2.2 유창형 오리사 환경조건

유창형 오리사 내 오리 사육수수 산정은 개방형 오리사와 동일하게 농촌진흥청에서 발간한 농업기술길잡이 <표준영농교본>에 제시된 사육밀도 기준 (3.3 m² 당 오리 13 수 사육)을 적용하여 각 규격 당 적정 사육수수는 1,716, 3,432, 3,432, 6,864두가 적정 사육 두수로 산정하였으며 발열량 산정을 위한 변수로써 활용하였다. 필요 환기량의 경우 터널 배기팬의 수량 결정은 표 5을 참고하여 내부 초기 온도를 35℃로 가정하여 개체 당 체중에 대한 환기량을 산정하고 환기에 대한 안전율 1.5를 고려하여 실시하였다.

표 5 오리의 체중과 환경온도별 환기량 (농업기술길잡이 오리 편)

내부온도 (℃)	체중 1kg당 환기량 (CFM)	체중 1,000kg당 환기량 (CMM)
35	2.5	70
32	2.4	68
29	2.2	62
24	2.0	56
18	1.7	48
13	1.4	40
7	1.1	31
0	0.8	23

3. CFD 시뮬레이션 모델 설계

농촌진흥청 축산과학원에서 제시하고자 하는 표준 오리사 설계 구조 초안에 대한 환기 효율성, 열환경 분포, 내부 유동 등을 분석하기 위하여 CFD 기법을 활용하였다. 전처리 프로그램으로써 Gambit(ver 2.3., ANSYS Inc, USA)을 이용하여 오리사의 실제 규격을 기초로 골조와 환기 구조에 대한 설계를 실시하였다. 본 연구에서는 연산 시간을 고려하고 설계의 편의성을 위하여 유동에 큰 영향을 미치지 않는 합리적인 선에서 시설 내부의 급이기, 급수기 등에 대한 모델의 단순화 작업을 진행하였다. 또한 CFD 시뮬레이션 연산을 진행함에 있어서 공기 유동 및 가스 확산과 관련한 기본 가정은 다음과 같이 같다.

- 1) 공기는 비압축성 이상기체로 가정한다.
- 2) 오리사 내부에는 공기와 이산화탄소 이외의 가스는 존재하지 않는다.
- 3) 가스나 입자들 간의 물리적 또는 화학적 반응에 의한 응집체의 형성은 존재하지 않는다.

CFD 시뮬레이션 모델의 연산에 있어서 유동에 지배적인 영향을 미치는 난류 모델의 경우 Kacira et al. (2004), Lee et al. (2007)의 연구에서 온실, 축산 시설 등과 같은 농업 시설물의 공기 유동 구현에 가장 정확도가 높다고 제시한 바 있는 RNG $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.

개방형 오리사의 경우, 윈치커튼을 통하여 외부 기류가 유입되므로 시설 외부 실제 풍 환경을 고려하기 위하여 외부영역에 대한 설계를 실시하였으며 외부영역의 Inlet에 풍속에 대한 연직 프로파일을 적용하였다. 풍속의 연직 프로파일은 식 (8)과 같이 무차원 프로파일 함수를 적분하여 산정하게 되며 우변의 무차원 함수는 중립의 대기 안정도 상태에서 1의 값을 가진다는 가정 하에 식 (9)과 같은 로그 형태의 풍속 프로파일을 설계하였다.

$$\frac{kz}{u^*} \frac{du}{dz} = \phi_m \quad (8)$$

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln\left(\frac{z+z_0}{z_0}\right) \quad (9)$$

$u, u(z)$: 고도 $z(\text{m})$ 에서의 풍속 (m s^{-1})

k : von Karman 상수 (약 0.4)

ϕ_m : 무차원 풍속 프로파일 함수

z_0 : 지면 거칠기 길이 (m)

3.1 중계팬 작동 매커니즘 구현

개방형 오리사 내부의 중계팬은 오리사 규격에 따라 길이 방향으로 10m, 15m 간격으로 설치되었으며, 유창형 오리사 내부의 중계팬은 규격에 관계없이 10m 간격으로 일정하게 설치되었다. 설치된 중계팬은 6,900 CFM의 성능을 가지고 있으며 SI 단위로 환산을 하게 되면 $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 유속을 가진다. 또한 높은 풍속으로 인하여 바닥 분진이 갑자기 부유하는 현상을 방지하고 오리의 풍 스트레스를 방지하기 위하여 중계팬을 터널 환기팬 배기 방향으로 상향 10° 기울어진 상태로 설계하였다.

중계팬이 상향으로 기울어진 상태로 설치됨에 따라 내부에 균일한 정육면체의 격자를 생성하는 것이 불가능하여 사면체 구조의 격자망을 구성하였다. 이에 따라 전체적인 격자의 비틀림의 정도가 증가하게 되며 각 격자에서 연산된 값들의 신뢰도에 대한 확인이 필수적으로 실시되어야 한다. 또한 총 격자 개수가 증가하게 되어 연산 시간이 증가된다. 그러므로 시뮬레이션 모델 설계과정에서 시행착오를 통하여 가상의 공간을 만들어 비틀림 정도를 최소화하고자 하였으며 동시에 총 격자 개수 또한 과도하게 증가하는 것을 방지하고자 하였다. 폭 0.63m, 높이 0.63m, 깊이 0.1m의 중계팬을 가상공간에 배치함에 있어 중계팬 부피 내부의 격자는 만들지 않았다. 따라서 중계팬의 유전면과 배출면에서의 추적가스 농도 등을 매 연산마다 동일하게 적용하기 위하여 C언어를 이용하여 코드를 작성한 후 FLUENT 내의 사용자정의함수와 연결하여 매 연산마다 해당 모듈이 작동되도록 설계를 실시하였다. 작성된 코드의 해석절차는 그림 0과 같다.

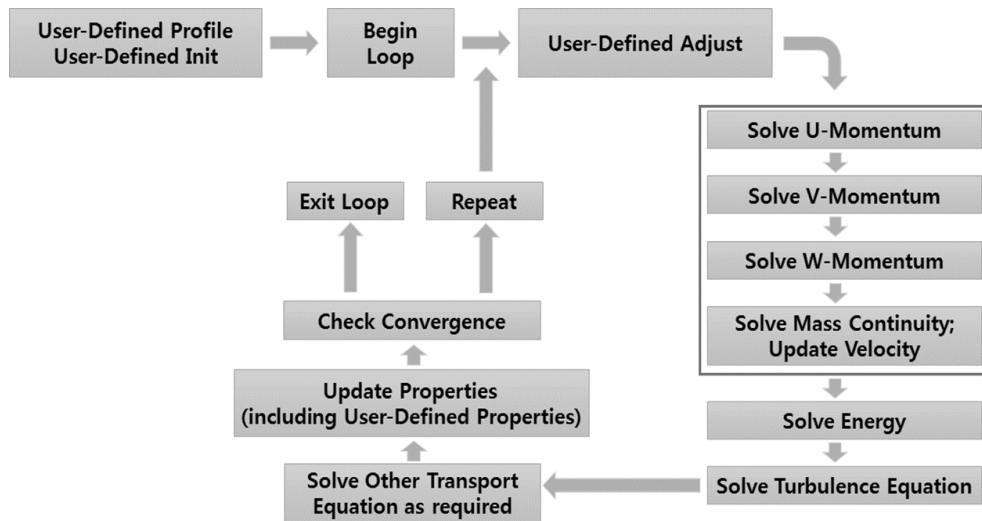


그림 17 사용자정의함수에 대한 연산 절차 (ANSYS FLUENT UDF Manual)

3.2 오리의 발열량 특성 고려

시뮬레이션 모델을 최대한 현실과 부합하도록 설계하기 위하여 오리 발열량에 대한 열적환경고려가 필수적이다. Strom (1978)은 육계 발열량을 산출하기 위하여 공기 온도 20℃를 기준으로 하여 발열량을 산정하는 식을 (10)와 같이 제시하였으며, 20℃ 이외의 공기 온도에 대한 발열량을 산출하기 위하여의 온도상관계수를 고려하여 수정된 식 (11)을 제시하였다.

$$Q_t = am^{0.5} \quad (10)$$

Q_t = 환경온도 20 도에서의 전열량 (W)

a = 생체중에 대한 무차원 상수

m = 생체중 (kg)

$$Q_T = 10m^{0.5}(4 \times 10^{-5}(20 - t)^3 + 1) \quad (11)$$

Q_t = 전열량 (W)

t = 온도 (℃)

이후 1984년 CIGR (Commission Internationale du Genie Rural)은 실험실 규모 실험에서 산소 소비량과 이산화탄소 생산량에 근거하여 전열량을 도출하였으며 식 (12)과 같다.

$$Q_T = 10m^{0.75}(4 \times 10^{-5}(20 - t)^3 + 1) \quad (12)$$

본 연구에서는 CIGR(1984)에서 제시된 식 (12)을 이용하여 오리 발열량을 산정하였으며, 농촌진흥청 축산과학원 요청에 따라

오리의 주령을 7주령으로 가정하였으며, 오리 사육의 적정 온도범위를 고려하여 오리사 내부의 초기 온도를 30℃로 가정하였으며 식 (12)에 의거하여 평균적인 7 주령 오리 무게 3.5kg을 적용하였으며 발열량을 계산한 결과 마리당 24.565 W로 산출되었다. 사육밀도를 고려하여 단위 면적 당 발열량으로 계산한 결과는 $99.7339 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 산출되었으며, 이를 시설내부 열환경 및 환기율 해석을 위한 경계 조건으로 이용하였다.

3.3 시뮬레이션 모델 내 벽체온도 설정

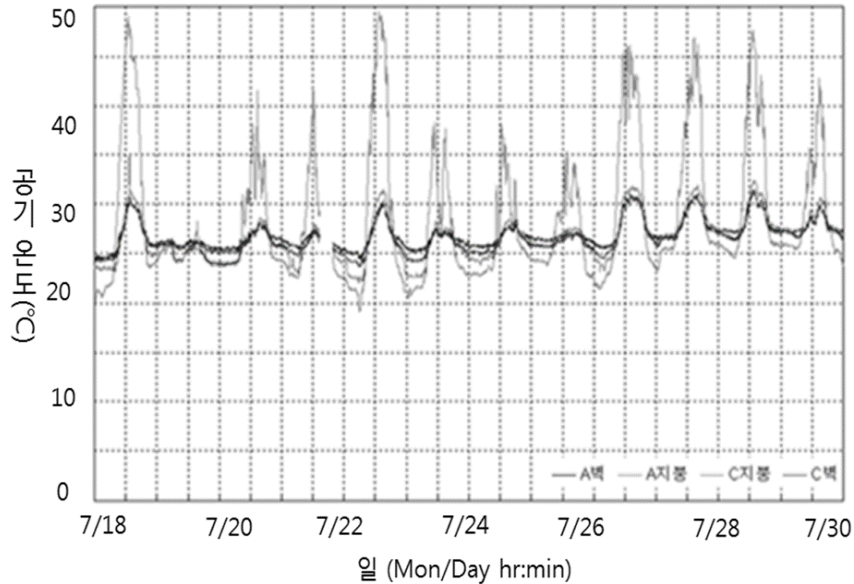


그림 18 하절기(7월18일~7월30일)동안의 축산시설의 벽체온도 분포
(돼지소모성질환 저감을 위한 현장 맞춤형 양돈 사육환경 개선방안,
국립수의과학검역원, 2008)

축산시설의 벽체온도가 강우와 일사에 따라서 다소 차이는 있으나 벽면에 우레탄 발포 처리를 하지 않는 경우 하절기 동안 50° 까지 상승한다고 현장실험을 통하여 제시된 바 있다(돼지소모성질환 저감을 위한 현장 맞춤형 양돈 사육환경 개선방안, 국립수의과학검역원, 2008). 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션 연구를 시행함에 있어서 하절기 맑은 날을 기준으로 하여 벽체 온도조건을 상기의 현장 실험 결과에서 발췌하여 50 °C로 설정하였다.

표 6 CFD 시뮬레이션 모델설계 조건

분류		입력 값				
		자연환기			강제환기	
난류 모델		RNG k-ε				
밀도		비압축성 이상기체				
풍속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		1.3			—	
외기온도 (℃)		26.3				
내부설정온도 (℃)		43.3				
벽체온도 (℃)		50				
중계팬 설치각도 (°)		10				
중계팬 설치간격 (m)		—	10	15	—	10
중계팬 유속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		8.2				
발열량 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)		99.7339				
터널 배기팬	용량 (CFM)	6,900			6,900	12,000
	유속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	8.2			8.2	5.7
	조건	Velocity inlet (Negative Pressure)				
입기슬롯		Pressure inlet				

4. 질량 체적 교체율을 이용한 환기량 분석

질량 체적 교체율 산정을 위하여 전산유체역학 시뮬레이션에서 시설 내부, 외부로의 질량유량 유입, 유출 산정을 실시하였다. 매 초당 유입되는 질량유량의 측정은 환기창을 구성하고 있는 면에서 계산해 낼 수 있으며 하나의 환기창에 있어 유입과 유출이 동시에 일어나는 현상 또한 고려하여야 한다. 풍상측에서 불어오는 바람에 의한 유입 환기창에서의 현상은 풍향, 난류 등에 의해 유입과 유출이 동시에 일어날 수 있으므로 이에 대한 고려가 중요하다. 환기창으로 정의된 면의 각 노드에서 질량 유량의 흐름에 대한 방향성을 판별해 유입과 유출을 구분하고 각각의 질량 유량을 산정한 후 시설 전체에 대한 유입량, 유출량을 도출하게 된다. 이는 유체의 유·출입이 발생하는 면에 대한 면적 가중 평균에 의해 합산된다.

$$\frac{1}{A} \int \Phi dA = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n v_{node_i} |A_i| \quad (13)$$

A : 입기구 및 배기구 면적 (m^2)

A_i : 노드 면적 (m^2)

v_{node_i} : 노드에서의 속도 ($m \cdot s^{-1}$)

n : 입기구 및 배기구에서의 노드의 개수

5. 추적가스 접근법을 이용한 환기량 분석

본 CFD 시뮬레이션에서 Trace Gas Decay 접근법을 통하여 정확한 시설 내부 전체 그리고 지역적 환기율을 산정하고자 오리사 내 이산화탄소(CO_2) 농도가 2,000ppm으로 가득 차있고 배면부에 설치된 터널 배기팬 또는 풍하측 윈치커튼에 의하여 오리사 전면부와 양쪽 측벽에 설치된 입기 슬롯 또는 풍상측 윈치커튼을 통하여 대기 중의 이산화탄소 400ppm 이 시설 내부로 유입된다고 가정하였다. 유입되는 이산화탄소의 농도는 미국 해양대기청에서 대기 중 이산화탄소 농도의 정확한 측정을 위하여 이산화탄소의 배출원이 없는 고산지대인 하와이 마우나로아 정상에 위치한 관측소에서 관측한 대기 중 이산화탄소 농도 값을 이용하였으며 미국 해양대기청에서 발표한 대기 이산화탄소 농도 변화추위는 그림 0와 같으며 2012년 현재 약 400ppm에 도달하는 것을 나타냈다.

추적가스법 을 이용하여 환기량을 산정할 경우 추적가스의 농도가 수렴되는 구간에 대한 기준 선정이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 오리사 내 이산화탄소의 초기농도(2000ppm)와 대기 중 이산화탄소 농도(400ppm) 차의 2% 값인 432ppm 이내의 값에 도달하였을 때 각 지점에서의 환기가 완전히 이루어진다고 가정하였다. FLUENT의 경우 가스 농도를 무차원 값으로 환산하여 다루므로 식 (14)을 이용하여 ppm단위의 농도 값을 질량 분율(Mass fraction)의 무차원 수치로 환산하였다.

$$Mass\ fraction_{CO_2} = \frac{C_{CO_2} \times \rho_{CO_2}}{(C_{air} \times \rho_{air}) + (C_{CO_2} \times \rho_{CO_2})} \quad (14)$$

C_{air} : 공기 농도 (ppm)

C_{CO_2} : 이산화탄소 농도 (ppm)

ρ_{air} : 공기 밀도 ($kg \cdot m^{-3}$)

ρ_{CO_2} : 이산화탄소 밀도 ($kg \cdot m^{-3}$)

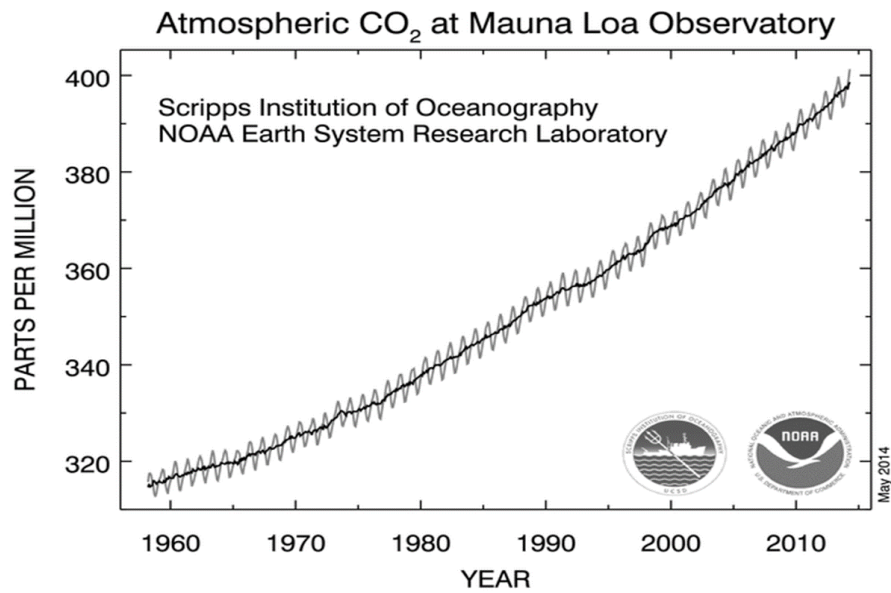


그림 19 대기 중 이산화탄소 농도 변화(미국 해양대기청, 2014. 5)

6. 오리사 내부 열환경 분석 방법

본 연구에서는 오리 사육 공간 내부를 $4\text{m} \times 4\text{m} \times 0.5\text{m}$ 의 가상 공간으로 분할하여 오리군 높이 (0.5 m)에서의 지역적 및 전체 열환경을 분석하고자 하였다. 오리의 생체중, 내부온도를 고려하여 오리에서 발생하는 발열량을 고려하기 위하여 CIGR에서 제시된 식을 토대로 발열량을 계산하고 이를 단위 면적당 열유량 (heat flux)으로 환산하여 시설 내부 바닥면에 경계 조건으로 반영하였다. Transient 시뮬레이션 결과 바닥면에서의 발열원의 영향으로 인하여 그림 오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.과 같이 시설 내부의 온도가 증가와 감소가 반복적으로 발생하였다.

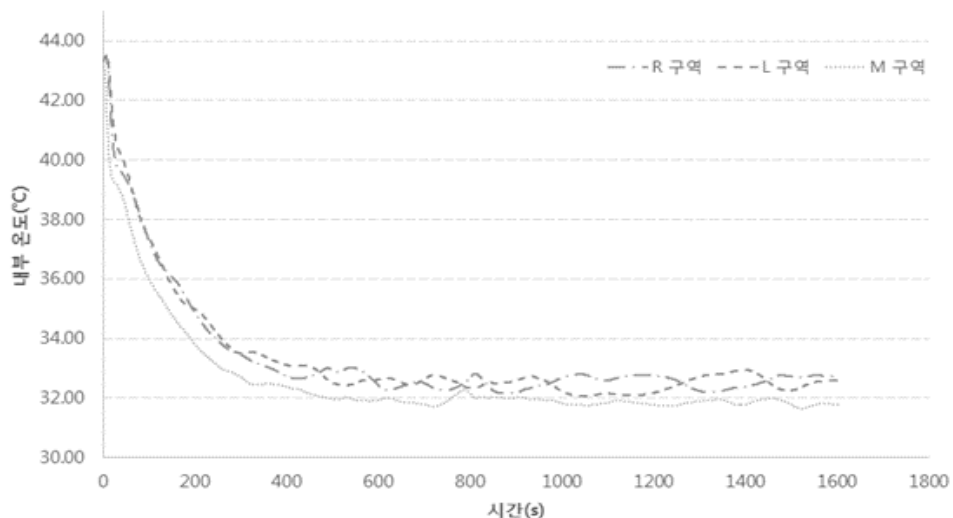


그림 20 오리에서 발생하는 발열량 고려에 따른 유창-A형 오리사 내부의 오리군 높이에서의 연산시간에 따른 구역별 열환경 변화

따라서 하절기동안 최대 환기를 수행한다는 가정하였을 때, 오리 사육 공간 내부에서 수렴되는 대표값을 산정하기 위하여 환기율을 산정하기 위하여 이용하였던 추적가스 농도가 완전히 환기되었다는 기준인 432ppm에 모든 지역에서 도달되었을 때의 시간에 해당하는 각 지역별 온도를 분석하였다. 각 케이스별 완전히 환기된 시간은 다음과 같다.

표 7 개방형 오리사 모델 별 완전히 환기되는 기준에 도달하는 연산시간

중계팬 설치				중계팬 미설치			
중계팬 10m 간격		중계팬 15m 간격		원치커튼		원치커튼+배기팬	
모델	연산시간	모델	연산시간	모델	연산시간	모델	연산시간
개방 A형	190	개방 A형	260	개방 A형	50	개방 A형	50
개방 B형	158	개방 B형	172	개방 B형	66	개방 B형	64
개방 C형	480	개방 C형	515	개방 C형	523	개방 C형	257
개방 D형	313	개방 D형	397	개방 D형	470	개방 D형	200

표 8 유창형 오리사 모델 별 완전히 환기되는 기준에 도달하는 연산시간

중계팬 설치		중계팬 미설치	
모델	연산시간	모델	연산시간
유창 A형	818	유창 A형	808
유창 B형	882	유창 B형	905
유창 C형	1005	유창 C형	1110
유창 D형	1088	유창 D형	1064

각 모델별로 오리군 높이에서 완전히 환기되는 기준에 도달하기까지의 소요되는 연산시간은 다르게 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 열환경의 경우 오리 사육 공간 내 발열량을 고려함에 따라 온도가 증가와 감소를 반복적으로 발생한다. 따라서 모든 모델에서 완전히 환기 기준에 도달하게 되는 연산시간 때를 기준으로 오리사 내부의 구역별 열환경 분포를 분석 하고자 하였다.

표 9 실험 조건 및 분석대상 조건

구분		개방형 오리사				유창형 오리사			
구조		A형	B형	C형	D형	A형	B형	C형	D형
실험 조건	풍속	1.3 m · s ⁻¹				—			
	풍향	측벽의 직각 (90°)				—			
	시설 내부 온도	43.3 ℃							
	시설 외부 온도	26.3 ℃							
	추적가스 초기농도	2000 ppm							
	추적가스 완전 환기 기준	432 ppm							
분석대상		오리 사육 공간 내 공기유속							
		오리 사육 공간 내 전체 및 오리군 높이 환기량							
		오리 사육 공간 내 열환경 분포							

제 3 장 결과 및 분석

제 1 절 개방형 오리사 모델별 평가

표 106 개방형 오리사에 대한 총괄적인 CFD 시뮬레이션 분석결과

모델		평균 공기 유속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)			평균 환기량 ($\text{AER} \cdot \text{min}^{-1}$)				평균 공기 온도 ($^{\circ}\text{C}$)		
		시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수(%)	질량 교체	시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수(%)	시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수(%)
개방 A형	A-1	0.48	0.70	30.7	1.51	0.08	2.45	17.0	30.9	28.7	2.6
	A-2	0.52	0.76	27.5	1.65	0.07	2.37	12.3	31.2	28.4	2.4
	A-3	0.80	0.64	35.5	1.40	0.52	1.75	62.4	28.7	29.0	2.9
	A-4	0.68	0.63	33.3	1.48	0.37	1.98	46.7	28.9	29.1	2.6
개방 B형	B-1	0.46	0.63	36.2	1.63	0.10	1.20	16.7	30.6	28.7	2.3
	B-2	0.53	0.74	38.4	1.78	0.14	2.02	16.7	30.1	28.4	2.2
	B-3	0.99	0.67	40.3	1.53	0.68	1.59	44.8	28.3	28.5	3.5
	B-4	0.88	0.66	44.1	1.58	0.57	1.85	39.6	28.5	28.7	2.8
개방 C형	C-1	0.43	0.88	29.5	0.68	0.20	1.49	55.7	33.3	28.9	2.6
	C-2	0.45	0.94	33.0	0.77	0.16	1.53	47.7	33.1	28.7	2.8
	C-3	0.75	0.69	37.7	0.65	0.18	1.57	68.0	30.2	29.9	4.6
	C-4	0.61	0.54	36.5	0.72	0.15	0.91	71.2	30.1	29.5	3.9
개방 D형	D-1	0.42	0.85	30.3	0.70	0.22	1.50	54.7	33.2	28.8	2.4
	D-2	0.48	0.84	36.4	0.80	0.26	1.53	26.4	33.1	28.7	2.8
	D-3	0.83	0.77	39.9	0.69	0.18	1.57	66.6	30.2	28.9	4.0
	D-4	0.70	0.73	36.0	0.72	0.16	0.90	54.9	30.3	29.5	3.8

표 10은 개방형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 분석 결과에 대한 총괄적인 표를 나타낸다. Dash 1(-1)의 경우 기계적 환기장치가 설치되지 않고 자연풍에 의존하는 윈치커튼만 존재하는 모델이며 Dash 2(-2)의 경우 윈치커튼이 측벽에 존재하고 있으며 배면부의 벽에 배기팬이 존재하고 있는 모델을 말한다. Dash 3(-3)의 경우 Dash 2의 모델에서 중계팬이 10m 간격으로 설치된 모델을 말하며 Dash 4(-4)의 경우 Dash 2의 모델에서 중계팬이 15m 간격으로 설치된 모델을 말한다.

평균 공기 유속, 평균 환기량 그리고 평균 공기 온도에 대하여 각 모델별로 평균화된 정량적인 값을 나타내고 있다. 평균 공기 유속의 경우 뚜렷한 경향성을 찾을 수 없으나 윈치커튼으로만 환기되는 구조와 중계팬의 설치됨에 따른 공기유속의 차이는 시설 내부의 전체공간에서는 약 1.5배에서 2배까지 차이가 발생하나 오리군 높이에서는 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났으며, 오리군 높이에서의 평균 공기 유속에 있어서 변동계수는 윈치커튼만 이용하는 환기방식보다 중계팬을 이용할 경우 오리군 높이에서의 공기유속에 대한 불균일성이 큰 것으로 나타났다.

환기율의 경우, 전체 환기율에 비하여 오리군 높이에서의 환기율이 높게 형성되는 것으로 나타났으며 이는 풍상측으로 유입되는 공기가 시설 내부의 상부층에 영향을 미치기 이전에 풍하측으로 기류가 빠져나감에 따라 환기율의 확연한 차이가 발생한 것으로 판단된다.

윈치커튼으로만 환기하는 방식과 중계팬이 설치된 모델을 비교하였을 때 윈치커튼으로만 배기하는 모델이 환기율이 높게 나타나거나 다소 비슷하게 형성되었으며, 환기율에 대한 오리군 높이에서의 불균일성은 공기유속과 마찬가지로 중계팬이 설치됨에 따라 윈치커튼만으로 환기하는 것 보다 오리군 높이에서 높은 불균일성을 나타냈지만 시설 내부 전체 환기율에 있어서는 환기율이 개선되는 것으로 나타났다.

평균 공기 온도의 경우, 풍상측으로 유입된 기류의 영향으로 인하여 오리군 높이에서 시설 전체 공간 공기온도보다 낮은 온도 분포를 나타냈다. 중계팬의 설치에 따라 시설 내부의 전체온도와 오리군 높이에서의 온도차이는 감소하는 경향이 나타났으며 오리군 높이에서의

불균일성은 중계판의 설치에 따라 증가하나 불균일성에 있어서는 그렇게 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다.

1. 개방 A형 오리사

1.1 오리군 높이에서의 공기유속

개방 A형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 각각 $0.64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며, 배기팬만 가동하며 중계팬이 설치되어있지 않은 원치커튼만 가동시와 원치커튼과 배기팬만 가동시에는 평균유속은 각각 0.70 , $0.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 형성되었다. 중계팬이 없는 형태의 두 형태에서는 배기팬이 함께 가동했을 때 오리군에서의 속도가 약 9%더 증가 하였으며 불균일성 또한 감소하여 배기팬을 설치할시 유속을 증여시키는데 도움이 되는 것으로 나타났다. 중계팬 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 없을때가 중계팬이 있을 때 보다 약 20 % 증가하여 형성되었다.

표 107 중계팬 설치 유무에 따른 개방 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (원치커튼)	0.54	0.99	0.56	0.70
		변동계수 (19.1%)			
	무 (원치커튼+배기팬)	0.58	1.00	0.69	0.76
		변동계수 (27.5%)			
	유 (10 m 간격)	0.6	0.7	0.5	0.64
		변동계수 (35.5%)			
	유 (15 m 간격)	0.57	0.80	0.52	0.63
		변동계수 (33.3%)			

1.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 각각 $1.75 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, $1.98 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때 $2.50 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되었다. 일반적으로 축산시설에서 내부 기류를 가이드 하거나 온도 또는 습도 등의 환경조건에 대한 균일성을 유지하기 위하여 중계팬이 사용됨에 따라 환기율 또한 높을 것으로 판단하였으나 중계팬이 설치할 경우 설치를 하지 않을 경우보다 오히려 환기율이 약 25 % 감소하는 것으로 나타났다. 이는 개방 A형 오리사 내 상향으로 10 도 기울어진 중계팬이 터널 배기팬의 6 m 앞에 설치됨에 따라 중계팬에서 생성되는 $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 기류가 오리사 배면의 벽체에 충돌하면서 후류가 발생하게 되고 이에 따라 빠른 유속으로 인해 시설 내부의 추적가스가 터널 배기팬으로 배기되지 못하여 발생한 결과로 판단된다.

표 108 중계팬 설치 유무에 따른 개방 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (원치커튼)	2.3	2.8	2.3	2.45
		변동계수(17.0%)			
	무 (원치커튼+배기팬)	2.1	2.7	2.3	2.37
		변동계수(12.2%)			
	유 (10 m 간격)	1.7	2.0	1.6	1.75
		변동계수(62.3%)			
	유 (15 m 간격)	1.9	2.2	1.8	1.98
		변동계수(46.7%)			

1.3 오리군 높이에서의 온도

CFD 시뮬레이션 연산 결과 개방 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도는 각각 29.0℃, 29.0℃이었으며, 중계팬을 설치하지 않을 경우 평균 온도는 28.4℃로 산출되었다. 일반적으로 축산시설에서 내부 기류를 가이드 하거나 온도 또는 습도 등의 환경조건에 대한 균일성을 유지하기 위하여 중계팬을 사용하나, 본 개방 A형 모델에서는 중계팬이 없을 때가 중계팬이 있을때보다 약 2% 정도 온도가 감소되는 것으로 나타냈다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 중계팬 설치에 따라 윈치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기류의 직진성을 저해하고 있으며 중계팬에 의한 상승 기류 역시 이에 일조하는 것으로 유추할 수 있으며 중계팬의 유무가 열적 환경의 개선효과에 크게 두드러지지 않는 것으로 나타나 이후 열적 개선 효과, 생육 환경의 균일성 향상을 위하여 환기구 구조 개선, 배기팬 설치 방향 조정, 중계팬의 설치 대수, 설치 방법 등의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

표 109 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (윈치커튼)	29.2	28.1	28.8	28.7
		변동계수(2.6%)			
	무 (윈치커튼+배기팬)	28.5	27.7	29.0	28.4
		변동계수(2.4%)			
	유 (10 m 간격)	29.1	28.6	29.4	29.0
		변동계수(2.9%)			
	유 (15 m 간격)	29.3	28.7	29.4	29.1
		변동계수(2.6%)			

2. 개방 B형 오리사

2.1 오리군 높이에서의 공기유속

개방 B형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 각각 $0.67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며, 원치커튼만 가동시 혹은 원치커튼과 배기팬만 가동하며 중계팬이 설치되어있지 않은 경우에 평균유속은 각각 0.59 , $0.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 형성되었다. 개방 A형 구조와 동일하게 원치커튼만 이용할 때보다 배기팬을 사용 시 무려 약 25%의 유속을 증가하여 유동에 주로 영향을 받는 열환경을 고려했을 시 온도 저감에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 중계팬 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 없을 때가 중계팬이 있을 때 보다 약 11 % 증가하여 형성되었다. 균일성의 경우 중계팬이 설치되어 있을 시 약간 상승하는 효과는 있으나 정성적 분포를 통해 중계팬의 설치가 균일성 향상에 크게 기여하지는 않는 것으로 판단할 수 있다.

표 110 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (원치커튼)	0.38	0.92	0.60	0.63
					변동계수(36.2%)
	무 (원치커튼+ 배기팬)	0.71	1.05	0.48	0.74
					변동계수(38.4%)
	유 (10 m 간격)	0.56	0.79	0.64	0.67
					변동계수(40.3%)
	유 (15 m 간격)	0.51	0.87	0.59	0.66
					변동계수(44.1%)

2.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정환 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 각각 $1.84 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, $1.59 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때 $2.02 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되었다. 본 구조에서 또한 A구조와 같이 중계팬을 설치할 경우 설치를 하지 않을 경우보다 오히려 환기율이 약 15% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 개방 A형 오리사 내 상향으로 10 도 기울어진 중계팬이 터널 배기팬의 6 m 앞에 설치됨에 따라 중계팬에서 생성되는 $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 기류가 오리사 배면의 벽체에 충돌하면서 후류가 발생하게 되고 이에 따라 역방향으로 발생하는 빠른유속으로 인해 시설 내부의 추적가스가 터널 배기팬으로 배기되지 못하여 발생한 결과로 판단된다. 따라서 중계팬 설치 각도, 설치 대수 등의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

표 111 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (원치커튼)	1.7	2.3	2.0	2.0
					변동계수(16.7%)
	무 (원치커튼 + 배기팬)	1.6	2.4	2.1	2.0
					변동계수(16.8%)
	유 (10 m 간격)	1.6	1.7	1.4	1.59
					변동계수(44.7%)
	유 (15 m 간격)	1.8	2.0	1.7	1.85
					변동계수(39.6%)

2.3 오리군 높이에서의 온도

CFD 시뮬레이션 연산 결과 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포는 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도는 각각 28.5℃, 28.7℃이었으며, 중계팬을 설치하지 않을 경우 원치커튼을 이용한 환기시에는 28.7℃로 중계팬이 설치되어 있을 시의 온도와 유사하였으나, 원치커튼과 배기팬이 함께 적용된 오리사에서의 평균 온도는 28.4℃로 산출되었다. 일반적으로 축산시설에서 내부 기류를 조절하거나 온도, 습도 등 환경조건의 균일성을 유지하기 위하여 중계팬을 사용하나, 본 개방 A형 모델에서는 중계팬이 없을 때가 중계팬이 있을때보다 약 2% 정도 온도가 감소되는 것으로 나타내었으며, 지역별 평균 온도 변동계수는 높게 나타내어 중계팬의 여부가 균일성을 향상시키는데 미비한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 중계팬 설치에 따라 원치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기류의 직진성을 저해하고 있으며 중계팬에 의한 상승 기류 역시 이에 일조하는 것으로 유추할 수 있으며 중계팬의 유무가 열적 환경의 개선효과를 저하하는 것으로 나타나 이후 열적 개선 효과 및 생육 환경의 균일성 향상을 위하여 환기 구조 개선, 배기팬 설치 방향 조정, 중계팬의 설치 대수, 설치 방법 등의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

표 16 중계팬 설치 유무에 따른 개방 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	무 (원치커튼)	29.3	28.1	28.9	28.7
		변동계수(2.3%)			
	무(원치커튼 +배기팬)	28.7	27.6	28.8	28.4
		변동계수(2.2%)			
	유 (10 m 간격)	28.9	28.1	28.7	28.5
		변동계수(3.5%)			
	유 (15 m 간격)	29.1	28.1	28.9	28.7
		변동계수(2.8%)			

3. 개방 C형 오리사

3.1 오리군 높이에서의 공기유속

개방 C형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 각각 $0.69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며, 윈치커튼만 설치하였을 시와 윈치커튼과 배기팬이 함께 가동하며 중계팬이 설치되어 있지 않은 경우 평균유속은 각각 0.88 , $0.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 가 도출되었다. 이는 앞선 A, B 형태의 오리사와 동일한 패턴의 결과로써 배기팬을 설치하였을 시 기본적인 윈치커튼만을 이용하였을 경우보다 훨씬 더 높은 유속이 발생하게 되며 지역적 변동계수는 감소 시킬 수 있어 배기팬을 이용하였을 시 윈치커튼만 사용했을 때 보다 내부를 균일하게 하고 열적 상황을 완화시키는데 긍정적인 작용을 할 수 있을 것으로 판단된다. 중계팬 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 있을 때가 중계팬이 없을 때 보다 약 52 % 낮게 형성하였다. 또한 지역별 유속의 균일성을 나타내는 지표로써 변동계수를 산정한 결과 중계팬이 없을 때 중계팬이 있을 때 보다 상대적으로 높은 유속분포를 나타내고 있으나 지역별 변동계수가 더 높은 것으로 나타나 균일성의 경우 중계팬이 설치되어 있을 시 약간 상승하는 효과는 있으나 중계팬의 설치 위치에 의거, 직접적인 영향을 받지 않는 영역이나 중계팬으로 인한 내부유동의 변화로 인해 위치별 유속분포가 크게 차이가 나타났으며, 정성적 분포를 통해 중계팬의 설치가 균일성 향상에 크게 기여하지는 않는 것으로 나타남으로써 길이 방향에 대한 생육 환경의 불균일성을 초래할 수 있을 것으로 판단된다.

표 113 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (원치커튼)	0.56	1.21	1.16	0.95	0.76	0.61	0.88
		변동계수(29.5%)						
	무 (원치커튼+배기팬)	0.59	1.32	1.22	1.11	0.84	0.55	0.94
		변동계수(33.0%)						
	유 (10 m 간격)	0.62	0.91	0.88	0.74	0.56	0.44	0.69
		변동계수(37.7%)						
	유 (15 m 간격)	0.52	0.55	0.48	0.61	0.57	0.49	0.54
		변동계수(36.5%)						

3.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 각각 $1.60 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, $0.90 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때 $1.53 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되었다. 본 구조에서는 10m 간격으로 중계팬이 설치되어 있을 때가 설치되지 않았을 때 보다 약 3% 정도 미소하게 균일한 생육환경을 조성할 수는 있으나 전체적인 환기효과는 감소하는 것으로 나타났으며, 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때 보다 중계팬이 설치되지 않았을 경우가 약 2배정도 높은 환기량을 보이는 것으로 나타났다. 이는 중계팬에 의하여 강한 기류가 길이 방향으로 형성되면서 윈치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기류의 직진성을 저해하는 것으로 나타났으며 또한 중계팬의 상향 설치로 인하여 신선한 공기의 오리군 내 유입을 저해시키기 때문으로 판단되었으며, 중계팬이 균일성을 향상시키는데에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되기 때문에 이후 중계팬 설치 각도, 설치 대수 등의 조정이 필요할 것으로 예측된다.

표 114 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (윈치커튼)	1.9	2.5	2.0	1.5	0.7	0.5	1.5
		변동계수(55.7%)						
	무 (윈치커튼 +배기팬)	1.8	2.5	2.0	1.4	0.9	0.7	1.5
		변동계수(47.7%)						
	유 (10 m 간격)	2.1	2.1	1.8	1.5	1.1	0.9	1.6
		변동계수(68.0%)						
	유 (15 m 간격)	0.8	1.3	1.2	0.9	0.7	0.5	0.9
		변동계수(71.2%)						

3.3 오리군 높이에서의 온도

CFD 시뮬레이션 연산 결과 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도는 각각 29.1℃, 29.2℃로 도출되었으며, 중계팬이 설치하지 않을 경우 평균 온도는 28.6℃가 산출되었다. 본 개방 C형 구조에서는 중계팬이 설치되어 있지 않을 때에 중계팬이 설치되어 있을 때 보다 약 1.89% 정도 온도가 감소하는 경향이 있으며, 지역별 온도에 대한 변동계수는 또한 윈치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기류의 직진성을 저해하고, 중계팬에 의한 상승 기류에 의해 오리군에 에 거의 영향을 미치지 못한 결과로 인해 상대적으로 배기팬에 의한 지역별 환기율 변동계수가 감소 한 것으로 나타나 중계팬이 설치되어 있을 시 균일성 측면에서 오히려 불리한 구조로 작용함을 확인할 수 있었다. 이후 열적 개선 효과, 생육 환경의 균일성 향상을 위하여 환기 구조 개선, 배기팬 설치 방향 조정, 중계팬의 설치 대수, 설치 방법 등의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

표 115 중계팬 설치 유무에 따른 개방 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (윈치커튼)	28.9	28.9	28.8	28.8	28.9	28.9	28.9
		변동계수(2.6%)						
	무 (윈치커튼 +배기팬)	28.6	28.6	28.7	28.6	28.7	28.7	28.7
		변동계수(2.8%)						
	유 (10 m 간격)	29.4	29.4	30.6	29.7	29.7	30.4	29.9
		변동계수(4.6%)						
	유 (15 m 간격)	29.3	29.6	29.5	29.4	29.8	29.5	29.2
		변동계수(3.9%)						

4. 개방 D형 오리사

4.1 오리군 높이에서의 공기유속

개방 D형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 각각 $0.77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.73 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며, 중계팬이 설치되지 않았을 때인 윈치커튼만 사용하였을 시와 배기팬을 함께 사용하였을 시 평균유속은 각각 0.85 $0.84 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 이 산출되었다. 배기팬을 설치하였을 시 윈치커튼만 사용했을 때 보다 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도 상승했지만 앞선 A, B, C 구조에 비해 큰 차이는 없기 때문에 배기팬의 영향력이 나머지 규격보다 미비한 것으로 판단된다. 중계팬 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 있을 때가 중계팬이 없을 때 보다 약 12 % 낮게 형성하였다. 또한 지역별 유속의 균일성을 나타내는 지표로써 변동계수를 산정한 결과 중계팬이 없을 시에 중계팬이 있을 때 보다 상대적으로 높은 유속분포를 나타내고 있으나 지역별 변동계수가 더 높은 것으로 나타나 균일성의 경우 중계팬이 설치되어 있을 시 약간 상승하는 효과는 있으나 중계팬의 설치 위치에 의거, 직접적인 영향을 받지 않는 영역이나 중계팬으로 인한 내부유동의 변화로 인해 위치별 유속분포가 크게 차이가 나타났으며, 정성적 분포를 통해 중계팬의 설치가 균일성 향상에 크게 기여하지는 않는 것으로 판단되어 추후 오리군의 생육환경의 불균일성이 야기될 것으로 예측된다.

표 20 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (원치커튼)	0.51	1.18	1.14	0.92	0.77	0.59	0.85
		변동계수(30.3%)						
	무 (원치커튼 +배기팬)	0.52	1.24	1.15	0.93	0.70	0.52	0.84
		변동계수(36.4%)						
	유 (10 m 간격)	0.65	0.96	0.99	0.86	0.65	0.52	0.77
		변동계수(39.9%)						
	유 (15 m 간격)	0.54	0.96	0.87	0.85	0.67	0.50	0.73
		변동계수(36.0%)						

4.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 각각 $1.20 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, $1.44 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때인 원치커튼만 사용하였을 시와 배기팬을 함께 사용하였을 시 각각 0.85 $1.85 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되었다. 본 구조에서는 10m 간격으로 중계팬이 설치되어 있을 때가 15m 간격으로 중계팬이 설치되었을 때보다 약 20% 정도 높게 균일한 생육환경을 조성하여 환기량 상승에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으나 전체적으로 중계팬이 있을 때 보다 중계팬의 설치 없이 배기팬만 설치되어 있을 시 약 12% 더 높은 환기율을 나타내었다. 이는 원치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기가 바닥으로 그대로 떨어지지 않고 중앙부 인근을 향해 뻗어나간 후 풍하측 방향으로 기류가 형성되고 일부 기류는 풍하측 지붕 아랫면을 타고 내부로 다시 순환되는 형태를 보이기 때문으로 판단된다. 또한 원치커튼으로부터 유입된 공기가 중계팬으로 인해 직진성을 저해받게 되며 중계팬의 상향설치로 인해 신선한 공기가 오리군 내 유입되는 것이 저해되기 때문으로 판단되어 지역별 변동계수는 미소하게 상승 하였지만 중계팬이 균일성을 향상시키는데 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 따라서, 중계팬 설치 각도, 설치 대수 등의 조정이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

표 21 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기량 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (원치커튼)	1.8	2.5	2.1	1.6	0.6	0.4	1.50
		변동계수(54.7%)						
	무 (원치커튼 +배기팬)	1.8	2.5	2.2	1.9	1.5	1.2	1.85
		변동계수(26.4%)						
	유 (10 m 간격)	1.5	1.9	1.5	1.1	0.7	0.5	1.20
		변동계수(66.6%)						
	유 (15 m 간격)	1.6	2.1	1.9	1.4	1.0	0.7	1.44
		변동계수(54.9%)						

4.3 오리군 높이에서의 온도

CFD 시뮬레이션 연산 결과 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 10m, 15m 간격으로 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도는 각각 29.0 ℃, 29.1 ℃로 도출되었으며, 중계팬이 설치하지 않는 경우 평균 온도는 28.5 ℃가 산출되었다. 본 개방 D형 구조에서는 중계팬이 설치되어 있지 않을 때에 중계팬이 설치되어 있을 때 보다 약 1.83% 정도 온도가 감소하는 경향이 있으며, 지역별 온도에 대한 변동계수 또한 윈치커튼으로부터 유입되는 신선한 외기류의 직진성을 저해하고, 중계팬에 의한 상승 기류에 의해 오리군에 에 거의 영향을 미치지 못한 결과가 나타났다. 열적 개선 효과, 생육 환경의 균일성 향상을 위하여 환기 구조 개선, 배기팬 설치 방향 조정, 중계팬의 설치 대수, 설치 방법 등의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

표 22 중계팬 설치 유무에 따른 개방 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	무 (윈치커튼)	29.0	27.9	28.3	28.8	29.2	29.9	28.8
		변동계수(2.4%)						
	무 (윈치커튼 +배기팬)	28.8	27.5	27.9	28.4	28.8	29.9	28.5
		변동계수(2.8%)						
	유 (10 m 간격)	29.0	28.2	28.5	28.9	29.4	30.1	29.0
		변동계수(4.0%)						
	유 (15 m 간격)	28.9	28.0	28.7	29.2	29.6	30.2	29.1
		변동계수(3.8%)						

제 2 절 유창형 오리사 모델별 평가

표 23 유창형 오리사에 대한 총괄적인 CFD 시뮬레이션 분석결과

모델		평균 공기 유속 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)			평균 환기량 ($\text{AER} \cdot \text{min}^{-1}$)					평균 공기 온도 ($^{\circ}\text{C}$)		
		시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수 (%)	설계 환기율	질량교체 환기율	시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수 (%)	시설 전체	오리군 높이	오리군 높이 변동계수 (%)
유창 A형	A-1	0.43	0.41	27.03	0.370	0.375	0.131	0.135	7.93	32.9	32.2	3.29
	A-2	0.65	0.56	35.97	0.370	0.373	0.124	0.127	4.72	34.7	34.4	2.76
유창 B형	B-1	0.48	0.37	28.17	0.351	0.356	0.119	0.124	6.74	33.3	32.6	2.67
	B-2	0.62	0.44	29.29	0.351	0.355	0.121	0.124	5.86	34.7	34.6	1.79
유창 C형	C-1	0.37	0.21	28.62	0.267	0.274	0.084	0.097	5.23	33.5	32.3	2.87
	C-2	0.60	0.14	58.96	0.267	0.290	0.095	0.099	2.98	34.6	34.6	2.10
유창 D형	D-1	0.37	0.24	42.05	0.253	0.260	0.096	0.11	4.56	32.9	31.8	1.96
	D-2	0.74	0.4	24.44	0.253	0.255	0.095	0.104	6.14	34.4	34.2	2.45

표 22는 개방형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 분석 결과에 대한 총괄적인 표를 나타낸다. Dash 1(-1)의 경우 중계팬이 설치되지 않은 모델을 말하며 Dash 2(-2)의 경우 중계팬이 시설 내부에 10m 간격으로 설치된 모델을 말하며, 평균 공기 유속, 평균 환기량 그리고 평균 공기 온도에 대하여 각 모델별로 평균화된 정량적인 값을 나타내고 있다. 평균 공기 유속의 경우 시설 전체에 있어서 중계팬을 설치함에 따라서 시설 전체 공간의 유속분포가 증가하는 것으로 나타났으며 이에 따라 오리군 높이에서도 평균 공기 유속이 증가하는 것으로 나타났다. 증가된 유속만큼 중계팬의 설치에 따라 오리군 높이에서의 유속에 대한 불균일성은 커지는 경향을 나타냈다. 또한 구조적인 설계단계에서의 환기율은 모델에 따라 $0.253 \sim 0.370 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로써 하절기동안에 권장되는 분당 환기회수가 1회 이상인 것을 고려하면 제공 환기량 설계단계에서부터 잘못된 구조라는 것으로 판단된다.

질량교체환기율을 통하여 환기율을 산정한 결과 설계환기량과 거의 유사한 값을 나타냈으며 추적가스법으로 산정한 환기율의 경우 하절기동안 권장되는 환기회수가 분당 1회임에도 불구하고 모델에 따라 오리군 높이에서 $0.097 \sim 0.135 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 인 것으로 나타났다. 이는 권장 환기량의 약 9~14% 정도에 불과하며 환기구조의 취약성을 나타낸다. 전체 환기율에 비하여 오리군에서의 환기율이 높게 형성되는 것으로 나타났으며 입기슬롯으로부터 유입되는 기류가 시설 내부의 온도보다 낮아 밀도차이에 의하여 가라앉으려는 성질이 강함에 따라 오리군에 영향을 미쳐 환기율이 더 높게 형성되는 것으로 판단된다.

중계팬을 설치함에 따라 환기율이 감소하는 경향이 나타났다. 이는 중계팬에서 생성되는 강한 기류가 양쪽 측벽에 위치한 입기슬롯으로부터 유입되는 기류를 차단하게 되고 일부의 입기슬롯으로부터 유입되는 기류는 중계팬에서 생성되는 기류를 타고 흘러감에 따라 오리군에서의 환기를 시키지 못하고 상부층의 환기에 도움을 주는 것으로 나타났다.

평균 공기 온도의 경우, 중계팬을 설치할 경우가 중계팬을 설치하지 않았을 경우보다 높은 온도분포를 나타내는 경향을 나타냈다. 이는 상향으로 10도 기울어진 중계팬으로 인하여 오리사 내 상층부에 형성된 고온의 공기와 혼합되었기 되었기 때문이라고 판단된다.

1. 유창 A형 오리사

1.1 오리군 높이에서의 공기유속

유창 A형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 $0.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며 설치되어있지 않은 경우 평균유속 $0.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 형성되었다. 중계팬 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 있을 때가 중계팬이 없을 때 보다 약 50 % 증가하여 형성되었다. 그러나 지역별 유속의 균일성을 나타내는 지표로써 변동계수를 산정한 결과 중계팬이 있을 때가 없을 때가 상대적으로 높은 유속분포를 나타내고 있으나 그만큼 지역적 불균일성이 커지는 것으로 나타났다.

표 24 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	유	0.52	0.62	0.50	0.56
		변동계수(36%)			
	무	0.32	0.47	0.32	0.37
		변동계수(27%)			

1.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추별가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 $0.127 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때 $0.135 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되었다. 일반적으로 축산시설에서 내부 기류를 가이드 하거나 온도 또는 습도 등의 환경조건에 대한 균일성을 유지하기 위하여 중계팬이 사용됨에 따라 환기율 또한 높을 것으로 판단하였으나 중계팬이 설치할 경우 설치를 하지 않을 경우보다 오히려 환기율이 6 % 감소하는 것으로 나타났다. 이는 유창 A형 오리사 내 상향으로 10 도 기울어진 중계팬이 터널 배기팬의 6m 앞에 설치됨에 따라 중계팬에서 생성되는 $8.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 기류가 배면의 벽체에 충돌하면서 후류가 발생하게 되고 이에 따라 시설 내부의 추적가스가 터널 배기팬으로 배기되기 위한 지체시간이 발생함에 따른 영향으로 판단된다.

환기율에 있어서는 중계팬을 설치할 경우 오히려 환기율이 낮아지는 결과가 나타났지만 중계팬을 설치할 경우 오리군 높이에서의 지역별 환기율의 변동계수는 중계팬을 설치함에 따라 환기율에 대한 지역별 균일성을 개선할 수 있는 것으로 판단된다.

표 25 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이				시설 내부 전체
		L	M	R	평균	
	유	0.127	0.129	0.127	0.127	0.124
		변동계수(4.7%)				
	무	0.134	0.136	0.134	0.135	0.131
		변동계수(7.9%)				

1.3 오리군 높이에서의 온도

유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도 34.4℃ 그리고 중계팬이 설치하지 않을 경우 평균 온도는 32.2℃가 CFD 시뮬레이션 연산 결과 산출되었다. 일반적으로 축산시설에서 내부 기류를 가이드 하거나 온도 또는 습도 등의 환경조건에 대한 균일성을 유지하기 위하여 중계팬이 사용됨에 따라 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 균일성은 중계팬을 설치함으로써 지역별 온도 변동계수를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났으나 중계팬에서 생성되는 강한 기류에 의하여 내부 기류를 따르기 보다는 후류를 발생시켜 오히려 시설 내부에서의 외부 공기의 지체시간을 증가시켜 오리군 높이에서의 온도를 약 7 % 증가시키는 것으로 나타났다.

표 122 중계팬 설치 유무에 따른 유창 A형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	유	34.7	33.8	34.8	34.4
		변동계수(2.8%)			
	무	32.1	31.9	32.6	32.2
		변동계수(3.3%)			

2. 유창 B형 오리사

2.1 오리군 높이에서의 공기유속

유창 A형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 $0.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며 설치되어있지 않은 경우 평균유속 $0.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 형성되었다. 중계팬 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 있을 때가 중계팬이 없을 때 보다 약 8 %의 유속이 오리군 높이에서 증가하는 것으로 나타났다. 지역별 유속의 균일성을 산정한 결과 중계팬이 있을 때 상대적으로 높은 유속분포를 나타내고 있으나 그만큼 지역적 변동계수는 더 증가하는 것으로 나타났다.

표 27 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	유	0.40	0.55	0.39	0.44
		변동계수(29.3%)			
	무	0.36	0.49	0.39	0.41
		변동계수(28.2%)			

2.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 평균 분당 환기율이 $0.124 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때 $0.124 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 환기율이 각각 산출되어 중계팬의 유무와 상관없이 동일한 환기율이 오리군 높이에서 발생하였다.

표 28 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이				시설 내부 전체
		L	M	R	평균	
	유	0.124	0.125	0.124	0.124	0.121
		변동계수(5.9%)				
	무	0.123	0.126	0.124	0.124	0.119
		변동계수(6.7%)				

2.3 오리군 높이에서의 온도

유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도 34.6℃ 그리고 중계팬이 설치하지 않을 경우 평균 온도는 32.6℃가 CFD 시뮬레이션 연산 결과 산출되었다. 중계팬의 설치 유무에 따라서 오리군 높이에서의 평균 온도를 약 6 % 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 지역별 온도에 대한 변동계수의 경우 중계팬에서 생성되는 강한 기류로 인하여 후류 및 정체구간이 발생함에 따라 상대적으로 오리군 높이에서 지역별 환기율 변동계수가 증가하는 것으로 나타났다.

표 29 중계팬 설치 유무에 따른 유창 B형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이			
		L	M	R	평균
	유	35.0	34.0	34.8	34.6
		변동계수(2.7%)			
	무	32.8	32.18	32.8	32.6
		변동계수(1.8%)			

3. 유창 C형 오리사

3.1 오리군 높이에서의 공기유속

유창 C형 오리사에 대한 CFD 시뮬레이션 결과 중계팬이 설치되었을 때 오리군 높이(0.5 m)에서의 평균유속은 $0.14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당하며 설치되어있지 않은 경우 평균유속 $0.21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 형성되었다. 중계팬 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 유속은 중계팬이 있을 때가 중계팬이 없을 때 보다 약 50 % 낮게 형성되었으며 중계팬의 설치에 따라 오히려 오리군 높이에서의 평균 풍속은 약 33 % 감소하는 것으로 나타났다. 이는 양쪽 측벽에 위치한 입기슬롯으로부터 유입되는 기류가 중앙부분에 직접적으로 영향을 미치는 것과 다르게 중계팬의 영향으로 인하여 유입되는 기류가 중계팬에서 생성되는 기류를 따라 거동함에 따라 오리군 높이에는 영향을 거의 미치지 못하는 것으로 판단된다. 지역별 유속에 대한 균일성 또한 배기팬에서 생성되는 강한 기류특성에 따라 지역별 변동계수가 상대적으로 중계팬이 없을 때 보다 증가하였다.

표 30 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	유	0.13	0.16	0.14	0.14	0.16	0.13	0.14
		변동계수(59%)						
	무	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.21
		변동계수(28.6%)						

3.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 중계팬을 설치시 유창 C형 오리사 내부 전체에 대한 환기량은 $0.095 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로, 중계팬이 설치되지 않은 유창 C형 오리사 내부 전체에 대한 환기량은 $0.084 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 산출되었다. 이를 통해 유창 C형 오리사의 경우 중계팬의 유무와 상관없이 오리군 높이에서의 환기가 오리사 오리군 높이 이상의 상부 지역보다 환기가 더 잘 이루어지는 것을 판단할 수 있다. 특히 유창 C형 오리사 내 환기율의 경우 중계팬의 설치에 따라 약 13 % 증가되었다. 오리군 높이에서의 중계팬 설치에 따른 환기율은 $0.099 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 나타났으며 중계팬을 설치하지 않은 경우보다 약 2 % 환기율이 증가하였다. 또한 중계팬의 유무에 따라 구역별 환기율도 서로 다르게 나타났다. 중계팬이 설치된 경우 입기슬롯으로부터 유입된 기류가 상향으로 10도 기울어진 중계팬의 강한 기류와 충돌함에 따라 기류방향이 B와 E 지역에 직접적인 영향에 기인하여 B와 E 구역에서 다른 구역과 비교하여 상대적으로 높은 환기율(B 구역: $0.100 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, E 구역: $0.101 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$)을 나타냈으며 중계팬이 설치되지 않은 유창 C형 오리사의 경우 측벽의 입기슬롯으로부터 중앙부분에 직접적으로 영향을 미침에 따라 C와 D 구역에 환기율이 높게 형성되었다. 지역별 환기율 변동계수의 경우 중계팬이 설치된 경우가 중계팬의 설치유무에 따라 지역별 환기율 변동계수가 감소하는 것으로 나타났다.

표 31 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이							시설 내부 전체
		A	B	C	D	E	F	평균	
	유	0.098	0.100	0.099	0.099	0.101	0.099	0.099	0.095
		변동계수 (3%)							
	무	0.093	0.097	0.099	0.100	0.098	0.093	0.097	0.084
		변동계수 (5.2%)							

3.3 오리군 높이에서의 온도

유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 평균 온도 34.6℃ 그리고 중계팬이 설치하지 않을 경우 평균 온도는 32.3℃가 CFD 시뮬레이션 연산 결과 산출되었다. 중계팬의 설치 유무에 따라서 오리군 높이에서의 평균 온도를 약 7 % 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 반면 지역별 온도에 대한 변동계수의 경우 측면의 입기슬롯으로부터 유입되는 외부기류가 중계팬의 기류에 흡수 또는 충돌함에 따라 기류방향이 달라져 중앙 부분에 영향을 거의 미치지 못한 결과 상대적으로 지역별 환기율 변동계수가 증가하는 것으로 나타났다.

표 32 중계팬 설치 유무에 따른 유창 C형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	유	34.8	34.4	34.8	34.7	34.0	35.0	34.6
		변동계수(2.1%)						
	무	33.2	32.0	31.8	31.8	32.0	33.2	32.3
		변동계수(2.9%)						

4. 유창 D형 오리사

4.1 오리군 높이에서의 공기유속

CFD 시뮬레이션을 통한 유창 D형 오리사의 오리군 높이에서의 공기유속을 산정한 결과 중계팬이 설치되었을 때 $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 그리고 중계팬이 설치되지 않았을 때가 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 나타냈다. 중계팬을 설치함에 따라 기존의 설계되지 않은 유창 D형 오리사 내 오리군 높이의 평균이 약 67 % 증가하였다.

표 33 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 유속분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	유	0.41	0.38	0.41	0.41	0.38	0.41	0.40
		변동계수(24.4%)						
	무	0.22	0.24	0.25	0.28	0.25	0.22	0.24
		변동계수(42.1%)						

4.2 오리군 높이에서의 환기량

CFD 시뮬레이션을 통한 추적가스법을 이용한 환기량을 산정한 결과 중계팬을 설치하였을 때 유창 D형 오리사 내부 전체에 대한 환기량은 $0.095 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 산출되었으며 중계팬이 설치되지 않은 유창 D형 오리사 내부 전체에 대한 환기량은 $0.096 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 산출되었다. 이를 통해 유창 D형 오리사의 경우 중계팬의 유무와 상관없이 오리군 높이에서의 환기가 오리사 오리군 높이 이상의 상부 지역보다 환기가 더 잘 이루어지는 것을 간접적으로 판단할 수 있다. 유창 D형 오리사 내 환기율의 경우 중계팬의 설치하지 않을 경우가 중계팬을 설치 할 때 보다 약 6 % 증가되었다. 또한 중계팬의 유무에 따라 구역별 환기율도 서로 다르게 나타났다. 중계팬이 설치된 경우 입기슬롯으로부터 유입된 기류가 상향으로 10도 기울어진 중계팬의 강한 기류와 충돌함에 따라 기류방향이 B와 E 지역에 직접적인 영향에 기인하여 B와 E 구역에서 다른 구역과 비교하여 상대적으로 높은 환기율(B 구역: $0.106 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$, E 구역: $0.104 \text{ AER} \cdot \text{min}^{-1}$)을 나타냈으며 중계팬이 설치되지않은 유창 D형 오리사의 경우 측벽의 입기슬롯으로부터 중앙부분에 직접적으로 영향을 미침에 따라 C와 D 구역에 환기율이 높게 형성되었다. 또한 중계팬의 유무에 따른 지역별 환기율 변동계수의 경우 중계팬이 설치된 경우가 중계팬을 설치하지 않았을 경우보다 높은 지역별 환기율 불균일성을 나타냈다.

표 34 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 환기율 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이							시설 내부 전체
		A	B	C	D	E	F	평균	
	유	0.105	0.106	0.102	0.102	0.104	0.103	0.104	0.095
		변동계수(6.1%)							
	무	0.106	0.110	0.113	0.113	0.110	0.106	0.110	0.096
		변동계수(4.6%)							

4.3 오리군 높이에서의 온도

유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 온도분포를 산정한 결과 중계팬을 설치 하였을 때 평균 온도 34.2℃ 그리고 중계팬이 설치하지 않을 경우 평균 온도는 31.8℃가 CFD 시뮬레이션 연산 결과 산출되었다. 중계팬의 설치 유무에 따라서 오리군 높이에서의 평균 온도를 약 7.5 % 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

표 35 중계팬 설치 유무에 따른 유창 D형 오리사 내 오리군 높이에서의 지역별 온도 분포 및 변동계수

중 계 팬 유 무	구역	0.5 m 높이						
		A	B	C	D	E	F	평균
	유	34.4	33.8	34.4	34.4	33.9	34.6	34.2
		변동계수(2.5%)						
	무	32.5	31.5	31.4	31.3	31.4	32.5	31.8
		변동계수(2.0%)						

제 4 장 결 론

본 연구에서는 농촌진흥청 축산과학원에서 준비 중인 오리사에 대한 표준 설계안 초안에 대하여 CFD 기법을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축한 후 하절기 예상되는 내부 환기 패턴 열환경 등을 분석하였다. 시뮬레이션 모델은 표준 설계 도면에 의거하여 설계를 실시하였으며 하절기를 대상으로 7주령의 오리 군이 시설 내에 사육되고 있는 상황을 가정하여 유창형 및 개방형 시설 각각에 대한 시뮬레이션 모의를 실시하였다. 연구 대상 구조는 각 오리사 유형별 규격에 따라 구분되며 추가적으로 내부 생육 환경의 균일성 향상을 위하여 중계팬 설치 방법에 따른 환경 변화에 대한 모의 또한 실시하였다.

축산과학원에서 제시한 오리사 표준 설계안 중 개방형 오리사의 경우 여름철 가장 기본구조인 측벽에 윈치커튼만을 이용한 자연환기식 환기운용시스템을 적용시 중계팬을 이용하여 내부의 온도저감 및 환기의 균일성을 향상시키기 위해 다양한 환기방식을 적용하여 효율성에 대한 분석을 실시하였으며 오리군 높이인 0.5m 에서의 환기율은 중계팬과 배기팬을 설치하지 않았을 경우가 중계팬이 있을 경우에 비해 약 37% 정도 더 높은 환기율을 나타내었으며, 특히 중계팬 간격이 15m 일 때보다, 10m간격으로 있을 때 10% 더 낮은 환기율을 보였다. 반면, 오리군 전체 부피에 대한 환기율은 중계팬을 설치하였을 경우가 중계팬과 배기팬을 설치하지 않았을 경우에 비해 약 82% 더 높은 환기율이 산정되어 중계팬의 유무에 따라 오리군 에서의 특성과, 오리사 내 전체부피에 대한 환기율에 대해 상반된 결과를 도출 할 수 있었다. 이는 중계팬이 바닥면으로부터 2m 높이에서 10도 상향되어 설치되어 있으며, 중계팬 간격과 유속이 과대 설계 되어 오리사 배면부에 기류가 부딪히게 되어 오리군으로 흘러 들어간 기류에 의해 와류가 형성됨으로써 단락이 구성되고 이로인해 추적가스의 배출이 용이하지 않다. 또한 열환경의 경우 7주령 기준 오리의 사육을 위한 권장 적정온도인 15℃와 비교하였을 때 대부분의 케이스에서 높은 열환경을 띄는 것으로 모의되었으며 앞서 언급한 기류와 환기량의 원인으로 인해

오리군내의 발열량이 축적되기 때문에 열적 개선효과는 두드러지게 나타나지 않고 오히려 불리하게 적용되기 때문에 오리군 내 열적 스트레스가 발생 하게 되며 이는 곧 오리 개체군에 대한 생산성 저하 등을 야기할 수 있을 것으로 판단된다.

유창형의 경우 시설 내 환기 구조에 의거하여 산출한 환기량이 오리 사양관리 지침서 및 선행 연구 등에서 제시하는 하절기 사육시 권장 환기량 즉, 분당 1회 이상을 충족시키지 못하는 것으로 판단되었다. 유창형 모델의 경우 출입구 반대쪽 측벽에 설치된 터널 환기팬을 이용한 음압식 환기 구조를 띄고 있는데 각 팬의 용량을 토대로 설계 환기량을 산출한 결과 분당 $0.26 \sim 0.37 \text{ min}^{-1}$ 수준으로 설계 단계에서부터 권장 환기량을 만족하지 못하는 것으로 판단되었다. 실제 시뮬레이션 모의를 통하여 산정한 유창형 오리사의 경우 오리군 내 환기량이 중계팬 설치유무에 $0.087 \sim 0.135 \text{ min}^{-1}$ 수준으로 권장 환기량을 만족하지 못하며 내부에서 발생하는 열 제거 성능도 다소 떨어지는 것으로 판별되었다. 내부 생육 환경에 대한 균일성 향상을 목적으로 설치되는 중계팬의 경우 오리군 내 유속 분포를 검토한 결과 공기 유속에 대한 균일성은 감소하는 것으로 판정되었으며 중계팬 설치에 따른 환기 영향 정도를 분석한 결과 균일성은 최대 40% 증가하나 오히려 환기율이 감소하는 현상이 발생하는 것으로 모의되었다. 이는 중계팬에서 지붕면을 향해 상향으로 배출되는 기류의 영향으로 오리사 길이 방향에 대하여 강한 기류가 형성됨에 따라 배기팬 인근 벽의 영향으로 강한 후류가 발생함에 따라 오리군 영역에서의 공기 교환 성능이 감소되는 것으로 나타났다. 열환경의 경우 외부 경계 조건이 이미 7주령 오리에 대한 권장 적정 온도 15°C 를 훨씬 상회하는 값으로 정의되어 있었으며 오리사 내 환기 시스템 또한 낮은 설계 환기량으로 인하여 오리군 내에서 발생하는 열량을 외부로 쉽게 배출하지 못하는 것으로 나타나 오리군 내 열적 스트레스가 발생할 것이라 예상되었다. 또한 중계팬 설치 시 중계팬에 의하여 길이 방향으로 형성되는 강한 직진성의 기류 및 끝벽 인근에서의 후류로 인하여 입기 슬롯을 통해 유입되는 신선한 외기가 오리군 내로 바로 도달하지 못하여 오히려 오리군 내 온도가 중계팬을 설치하지 않을 때보다 상승되는 현상이 모의되었다.

본 연구를 통하여 축산과학원에서 제시하고 있는 표준 설계안의 경우 하절기 오리군에 대한 적정 생육 환경 조성에는 다소 불리할 것으로 판단되었으며 배기팬의 용량 및 설치 대수의 조정이 필요하며 내부 생육 환경에 대한 균일성 향상을 위하여 중계팬의 설치 시 설치 용량, 설치 대수, 설치 각도 등에 대하여 다양한 환경 조건에 대한 모의가 추가적으로 요구되는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 권경석 등, 2012. 강제환기식 육계사 다중 입기슬롯에서의 입기류 도달거리 분석, 한국농공학회, 54 (2) 55-65.
2. 농림수산식품부. 2008. 2008년 축사 표준설계도(육오리사)
3. 농촌진흥청. 1997. 축산환경과 시설
4. 농촌진흥청, 1999, 표준영농교본-99 축산기계이용
5. 농촌진흥청, 2011, 품목별 농업소득 향상 운영 매뉴얼[축산분야]
6. 송준익, 2011, 혹서기 양계사양관리 포인트: 육계의 하절기 효과적인 환기방법, 대한양계협
7. 유용희, 2013, 오리사 시설 실태조사와 시설 개선, 농촌진흥청 축산과학원
8. 축산과학원, 2012, 오리 사양관리 매뉴얼
9. 최홍립, 2008, 돼지 소모성질환 저감을 위한 현장 맞춤형 양돈 사육환경 개선방안, 국립수의학검역원
10. 하중수, 2013, 혹서기 종계사 터널환기의 적정 풍속 유지로 산란율 저하 방지, 축산과학원
11. Bjerg B., K. Svidt, G. Zhang, S. Morsing, J. O. Johnsen, 2002. Modelling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34, 223-234.
12. Bjerg. B., P. Liberati, A. Marucci, G. Zhang, T. Banhazi, T. Bartzanas, G. Cascone, I. B Lee, T. Norton, 2013, Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings: Part 2, air change modelling *Biosystems Engineering*, 116, 246-258.
13. Bjerg. B., G. Cascone, I. B Lee, T. Bartzanas, T. Norton, S. W Hong, I. H Seo, T. Banhazi, P. Liberati, A. Marucci, G. Zhang, 2013, Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 3: CFD modelling *Biosystems Engineering*, 116, 259-275.
14. Blanes V. V., E. B. S Guijarro, A. G Torees, 2008, Application of computational fluid dynamics to the prediction of airflow in a mechanically ventilated commercial poultry building. *Biosystems Engineering*, 100, 105-116.
15. DRIVER E. A., 1981, Calorific values of pond invertebrate eaten by ducks, *Freshwater Biology*, 11, 579-581.
16. Fluent, 2011, *The manual of computational fluid dynamics(CFD)*, Version 6.3. Lebanon, N.H.: Fluent, Inc.
17. Hong S. W., I. B. Lee, H. K. Hong, I. H. Seo, H. S. Hwang, J. P. Bitog, J. I. Yoo, K. S. Kwon, T. H. Ha and K. S. Kim, 2008, Analysis of heating load of a naturally ventilated broiler house using BES simulation. *The Korean Society of Agricultural Engineers*, 50(1), 39-47.
18. Hong S. W., I. B. Lee, H. S Hwang, I. H Seo, J. P. Bitog, K. S Kwon, J.

- Song. O. K Moon, K. Kim, H. Ko, 2011, CFD modelling of livestock odour dispersion over complex terrain, part 1: Topographical modelling, *Biosystems Engineering*, 108, 253–264.
19. Hwangbo J., Song H. I, Cho S. B, Chung K. H, Lee B. S, Nam B. S, Chung C. S, Chung I. B, 2002, Environmental efficiency analysis of an enclosed experimental broiler house. *The Korean Society of Animal Sciences & Technology*, 44(4), 475–482.
20. Kacira. M., S. Sase, L. Okushima, 2004, Effects of side vents and span numbers on wind-induced natural ventilation of a gothic multi-span greenhouse, *JARQ*, 38 (4), 227–236.
21. Lee I. B., S. Sase and S. H. Sung, 2007, Evaluation of CFD Accuracy for the Ventilation Study of a Naturally Ventilated Broiler House. *JARQ*, 41 (1), 53–64.
22. Norton. T., J. Grant, R. Fallon, D. Sun, 2009, Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics, *Biosystems Engineering*, 103, 78–99.
23. Norton. T., J. Grant, R. Fallon, D. Sun, 2010, Optimising the ventilation configuration of naturally ventilated livestock buildings for improved indoor environmental homogeneity, *Building and Environment*, 45, 983–995.
24. Pedersen. S. & Sallvik. K., 2002, Climatization of Animal houses; Heat and moisture production at animal and house levels.
25. Seo I. H., I. B. Lee, O. K. Moon, H. T. Kim, H. S. Hwang, S. W. Hong, J. P. Bitog, J. I. Yoo, K. S. Kwon, Y. H. Kim, J. W. Han, 2009, Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulation, *Biosystems Engineering*, 104, 106–117.
26. Seo I. H., I. B. Lee, M. H. Shin, G. Y. Lee, H. S. Hwang, S. W. Hong, J. P. Bitog, J. I. Yoo, K. S. Kwon, Y. H. Kim, T. Bartzanas, 2010, Numerical Prediction of Fugitive Dust dispersion on Reclaimed land in Korea. *Transactions of the ASABE*, 53(3), 891–901.

Abstract

Analysis on Ventilation Efficiency of Standard Duck House using Computational Fluid Dynamics

Yonghee Kim

Major in Rural Systems Engineering

Department of Landscape Architecture and

Rural Systems Engineering

The Graduate School

Seoul National University

In Korea, 69.4 % of duck farms had utilized conventional plastic greenhouses. In this facilities, there are difficulties in controlling indoor environments for raising duck. High rearing density in duct farms also made the environmental control difficult resulting in getting more stressed making their immune system weaker. Therefore, a facility is needed to having structurally enough solidity and high efficiency on the environmental control. So, new design plans of duck house have recently been conducted by National Institute of Animal Science in Korea. As a study in advance to establish standard, computational fluid dynamics (CFD) was used to estimate the aerodynamic problems according to the designs by

means of overall and regional ventilation efficiencies quantitatively and qualitatively. Tracer gas decay (TGD) method was used to calculate ventilation rate according to the structural characteristics of duck houses including installation of indoor circulation fan. The results showed that natural ventilation rate was averagely 164 % higher

than typically designed ventilation rate, 1 AER (min^{-1}). Meanwhile, mechanically ventilated duck houses made 81.2 % of summer ventilation rate

requirement. Therefore, it is urgent to develop a new duck house considering more structural safety as well as higher efficiency of environmental control.

Keywords : Air exchange rate, CFD, duck house, tracer gas decay, ventilation rate

Student Number : 2008–23070