

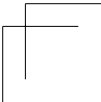
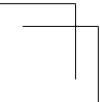
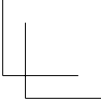
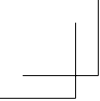
# 한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

2017년 6월 29일

주최:  한돈자조금

주관:  **사육** 대한한돈협회

(사)한국축산학회 한돈연구회

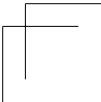
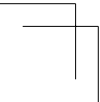
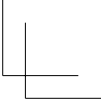
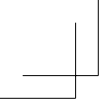


## 국제 경쟁력 확보를 위한 초석



김성훈 회장  
한돈연구회

지금 현재도 많은 것들이 변화하고 있다.  
우리는 그 와중에서 국제 경쟁력을 확보해야만 살아남을 수 있다.  
현재 세계는 어떻게 변화하고 있는지, 각 분야별로 중심으로 관심을 가지고 있는 부분이 무엇인지를 알아야 우리의 현 상황과 비교하고 그것을 바탕으로 우리가 앞으로 나아갈 방향을 제시할 수 있을 것이다.  
이번 세미나에서는 7개 분야에서 세계의 연구동향을 포함하여 현재 양돈업계가 관심을 가지고 있는 부분에 대해서 같이 알아보고 다음을 준비하는 기본 틀로 활용할 수 있기를 기대해 본다.  
이를 위해 애써 주신 많은 분들께 감사를 드립니다. 한돈자조금과 한돈협회도 이러한 역할을 실행하는데 일익을 감당해 준 것에 감사를 드립니다.  
오늘 세미나에서 발표한 내용들이 우리나라 한돈업계가 국제 경쟁력을 확보하는데 필요한 기본적인 초석이 되어 앞으로 우리 한돈산업의 나아갈 방향과 정책을 만들고 실행하는데 밑거름이 될 수 있을 것으로 확신한다.  
또한 산재되어 있는 양돈산업 관련 단체나 기관들이 힘을 합쳐야만 우리가 원하는 것을 얻을 수 있을 것이다. 한돈자조금과 한돈협회, 양돈연구회, 양돈수의사회, 한돈연구회 등이 모두 머리를 맞대고 한 가지 방향과 주제를 놓고 5인6각 경주를 훌륭히 수행할 수 있는 날을 기대해 본다.



# 세계 양돈산업 최신 연구동향 세미나

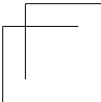
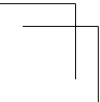
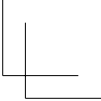
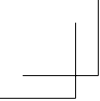
- ▣ 일시 : 2017년 6월 29일 09:30-12:00
- ▣ 장소 : 전남대학교 자연과학대학 3호관 301호
- ▣ 주최 : 한돈자조금
- ▣ 주관 : (사)대한한돈협회, (사)한국축산학회 한돈연구회
- ▣ 세미나 일정

09:00 ~ 09:30	등 록
09:30 ~ 09:40	개회 / 회장인사 / 안내말씀 김성훈 한돈연구회장 [피그진코리아(주)]

## 연사 및 제목

좌장 : 송대섭 한돈연구회 총무 [고려대학교 약학대학 교수]

09:40 ~ 10:20	안희권 교수 [충남대학교]	시설/환경-마이크로 환경
10:20 ~ 11:00	한병우 대표 [대녕농장]	동물복지, 밀사
11:00 ~ 11:40	문성실 이사 [(주) 선진 Meat&Processing 연구센터]	돼지고기 가공 및 유통
11:40 ~ 11:55	종합토론	
11:55 ~ 12:00	폐 회	



## 목 차

### 세계 양돈산업 현황 ..... 11

[김성훈 박사 / 피그진코리아(주) 대표이사]

1. 사육두수
2. 돼지고기 생산
3. 돼지고기 소비
4. 돼지고기 교역
5. 생산비
6. 생산성적
7. 변화를 주도하는 주요 양돈 생산국
8. 종돈산업
9. ISSUES

### 동물복지의 이해와 농장에서 평가 방법 ..... 45

[한병우 수의사 / 대녕농장 대표]

1. 개요
2. 동물복지에 이르는 과정 속에서 축산의 발전(historical developments)
3. 동물복지의 역사적 흐름 : 학대에서 복지까지
4. 동물복지의 개념의 이해와 정의
5. 동물복지의 다른 견해(different views of animal welfare)
6. 동물의 자연적 삶과 복지
7. 동물복지의 딜레마
8. 동물복지 과학(animal welfare science)의 태동
9. 동물복지학의 적용
10. 동물복지의 평가
11. 행동
12. 생산과 복지
13. 농장에서 동물복지 평가 방법(Welfare Quality® assessment protocol)
14. 결론

**동물복지와 감염성 질병 : 구제역을 중심으로 ..... 70**

[한병우 수의사 / 대녕농장 대표]

1. 2010~2011 구제역
2. 2014년 5월 29일 구제역 종식 선언은 적절한 것인가?
3. 2010년 안동 구제역 바이러스의 근원은 과연 베트남일까?
4. 안동에서 파주로 전파되었을까?
5. 현재 구제역 바이러스 유입 차단 대책은 적절한가?
6. 현재 방역 대책은 적절한가?
7. 결론

**예방 접종을 새로운 도전 :**

**피부 면역과 예방 접종 장기로서의 피부 ..... 81**

[한병우 수의사 / 대녕농장 대표]

1. 면역 장기로서의 피부
2. SALT(skin associated lymphoid tissue)의 개념
3. 외부 항원들에 대한 면역반응
4. 피부 장벽 기능과 피부 면역 간의 상호작용
5. 돼지에서 피내 예방 접종 연구

**마이크로환경 ..... 89**

[안희권 교수 / 충남대학교 동물자원과학부]

**I. 서론**

1. 마이크로환경과 매크로환경의 정의
2. 마이크로환경과 매크로환경의 특성

**II. 열환경(Thermal environment)**

1. 돼지의 적온
2. 온습도지수(Temperature-Humidity Index)
3. 돼지로부터 발생하는 열
4. 돼지로부터 발생하는 수분
5. 돼지와 주변환경 간의 에너지 교환
6. 고온 스트레스



- 7. 전도에 의한 열손실
- 8. 대류에 의한 열손실
- 9. 복사에 의한 열손실
- 10. 호흡에 의한 열손실
- 11. 피부표면 수분 증발에 의한 열손실

III. 물리적 환경(Physical environment)

- 1. 돈방 바닥
- 2. 가스/먼지 농도

**한돈의 소비자 품질 향상을 위한**

**도축·가공·유통의 현안 및 연구과제 ..... 113**

[문성실 센터장 / (주)선진 Meat&Processing연구센터]

- 1. 서론
- 2. 신선도 향상을 위한 연구동향
- 3. 돈육의 맛 개선을 위한 연구동향
- 4. 육색 및 지방의 특성 개선을 위한 연구동향
- 5. 적색육 섭취가 인체건강에 대한 연구동향

**양돈 FCR에 대한 과학적인 접근과 개선방향 ..... 133**

[박진성 영양학박사 / 천하제일사료]

- 1. FCR의 정의와 측정
- 2. FCR에 대한 생물학적 이해
- 3. FCR에 대한 유전적/생물학 접근
- 4. FCR에 영향을 미치는 외부적인 요인
- 5. FCR 개선을 위한 실용적인 접근

**국외 돼지 육종 동향 ..... 163**

[오상현 교수 / North Carolina A&T State University]

- 1. 서론
- 2. 업계 동향
- 3. 기술 동향

#### 4. 기타 동향

### 돼지 호흡기 질병의 특징 및 국내외 연구동향 ..... 185

[김재훈 교수 / 제주대학교 수의과대학]

1. 돼지 호흡기 계통의 특징 및 방어기전
2. 돼지 호흡기 질병의 주요 원인
3. 국내 호흡기 질병 발생 양상에 대한 연구
4. 돼지생식기호흡기증후군(PRRS)
5. 돼지씨코바이러스관련질병(porcine circovirus associated disease, PCVAD)
6. 주요 세균성 호흡기 질병 분석
7. 호흡기 감염의 촉발 인자 관련 연구 : 곰팡이 독소와 호흡기 질병

한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

세계 양돈산업

# 세계 양돈산업 현황



김성훈 박사  
피그진코리아(주) 대표이사

우리나라가 앞으로 나아갈 길을 설정하고 추진 전략을 세우기 위해서는 현재 우리의 경쟁자들이 어디에 있는지를 확인하는 작업이 필요하다. 세계적인 양돈 흐름과 세계의 양돈을 리드하는 주요 국가의 현황을 정리하여 공유하는 것이 목표이다.

돼지고기 생산량이나 소비량, 수출, 수입량은 통계에 따라 기준(생체, 도체, 정육, 도체기준 등)이 상이하여 수치에 차이가 있음을 미리 밝힌다. 각 통계의 원래 취지를 살리기 위해서 기준을 통일하지 않고 있는 그대로 인용했다. 각 자료 안에서의 비교는 가능하지만 다른 자료와의 비교는 경향치를 확인하는 것에 만족할 수밖에 없음을 밝혀 둔다.

## 1. 사육두수

세계의 주요 국가별 2016년 초 기준 돼지 사육두수는 7억8,483만두이었으며, 그 중 중국의 돼지두수는 4억5,113만두로 전 세계 사육두수 중 57.5% 차지하였고, 유럽은 1억4,872만두로 18.9%, 미국은 6,892만두로 8.8%를 차지하였다(표 1).

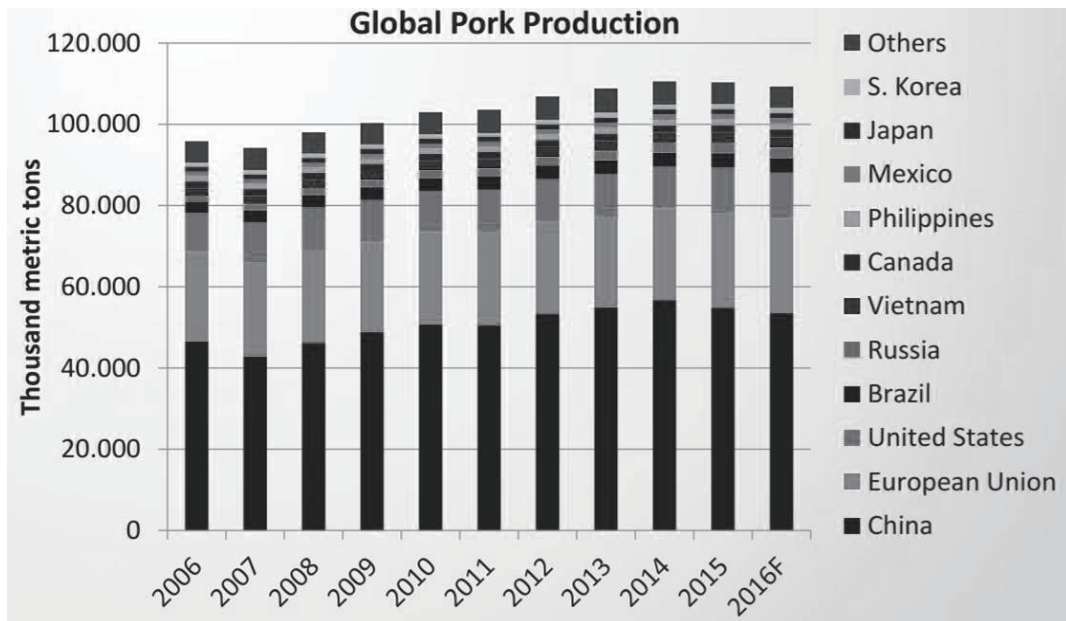
(표 1) 주요 국가의 돼지 사육두수(매년 초 기준, 천두)

	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년(E)
세계 합계	793,743	802,200	798,436	795,852	784,827	768,821
중국	468,627	475,922	474,113	465,830	451,130	435,040
EU	149,809	146,982	146,172	148,341	148,724	147,248
미국	66,259	66,224	64,775	67,776	68,919	71,500
브라질	38,336	38,577	38,844	39,395	39,422	39,233
러시아	17,258	18,816	19,081	19,405	21,267	21,885
캐나다	12,625	12,610	12,940	13,150	13,240	13,725
한국	8,171	9,916	9,912	10,090	10,187	10,367

※ 자료 : USDA-FAS, 2017

## 2. 돼지고기 생산

지난 10년간 돼지고기 생산 추이를 보면, 중국이 지속적으로 생산량이 증가하다가 최근 2년간 증가가 주춤한 것으로 나타났는데, 최근 중국 정부의 양돈장 현대화에 따른 구조조정과 강력한 환경정책에 의한 영향을 받은 것으로 나타났다. 그 이외의 EU와 미국을 포함한 나라들의 돼지고기 생산은 큰 변동이 없는 것으로 나타났다(그림 1).



※ 자료 : Borrer, 2016

(그림 1) 주요 국가의 돼지고기 생산량 비율

2016년 세계 돼지고기 생산량은 110백만톤이었으며, 주요 국가별 돼지고기 생산량은 중국이 53.0백만톤이었고, EU는 23.4백만톤이었다. 미국은 2014년의 PED 피해에서 회복하면서 11.3백만톤, 브라질은 3.7백만톤, 러시아는 2.9백만톤을 생산하였다(표 2).

(표 2) 주요 국가의 돼지고기 생산량

	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년(E)
세계 합계	108,851	110,652	110,614	109,853	111,011
중국	54,930	56,710	54,870	52,990	53,750
EU	22,359	22,540	23,249	23,400	23,350
미국	10,525	10,368	11,121	11,319	11,739
브라질	3,335	3,400	3,519	3,700	3,825
러시아	2,400	2,510	2,615	2,870	2,900
베트남	2,357	2,431	2,572	2,675	2,575
캐나다	1,822	1,805	1,899	1,955	1,980

### 3. 돼지고기 소비

돼지고기 소비량은 중국과 EU가 40.9kg과 40.8kg으로 가장 많이 소비하는 것으로 조사되었다. 일부 EU의 단일 국가가 이보다 더 소비하는 경우도 있지만, 이들을 EU로 묶었을 경우 중국과 비슷하게 소비하는 것으로 나타났으며 대만, 한국, 베트남 등 아시아 국가도 돼지고기 소비량이 많은 것으로 나타났다(표 3).

(표 3) 주요 국가별 1인당 돼지고기 소비량(지육 kg)

	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
중국	38.2	40.0	41.0	42.3	40.9
EU	41.5	40.6	40.1	42.1	40.8
대만	39.4	38.8	38.2	37.5	39.7
세르비아	38.4	35.9	37.7	37.1	36.9
한국	29.8	30.9	32.4	35.4	36.9
미국	26.3	26.4	27.4	27.1	29.2
베트남	24.9	24.4	25.8	25.6	25.5
캐나다	23.3	24.0	22.8	23.2	24.9
칠레	23.6	24.6	24.8	23.1	22.4
러시아	21.1	22.7	22.8	21.2	21.2
일본	19.7	20.0	20.0	20.0	20.2

※ 출처 : USDA FAS, 2016

돼지고기 생산량이나 1인당 돼지고기 소비량은 돼지고기 범주에 무엇을 포함하는가에 따라 통계량에 많은 차이가 있을 수 있어 단일 출처에서 제공된 수치를 비교하는 것이 필요하다. 이 표는 USDA FAS(Foreign Agricultural Service)에서 수집된 자료의 일부를 인용한 것으로 지육중량이 파운드로 조사된 것을 kg으로 환산하였다.

1인당 소비량 이외에 주요 국가의 돼지고기 국내 소비량을 별도로 조사했는데, 중국이 가장 많은 돼지고기를 소비하고 있는 가운데, 미국과 러시아는 꾸준히 돼지고기 소비량이 증가하고 있는 몇 안 되는 나라이며, 최근에 돼지고기 소비량이 감소하고 있는 EU를 제외한 중국, 베트남, 브라질, 일본 등은 소비가 크게 변하지 않는 상황이다(표 4).

(표 4) 주요 국가의 돼지고기 국내 총 소비량

	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년(E)
중국	55,456	57,194	55,668	54,848	55,870
EU	20,147	20,390	20,872	20,286	20,062
미국	8,665	8,545	9,341	9,477	9,811
러시아	3,267	3,024	3,016	3,192	3,280
브라질	2,751	2,846	2,893	2,870	2,886
베트남	2,341	2,414	2,550	2,650	2,556
일본	2,549	2,543	2,568	2,626	2,585

#### 4. 돼지고기 교역

돼지고기 교역은 꾸준히 증가할 것으로 예측된다. Bruinsma(2003년)은 FAO(UN 세계식량농업기구)의 관점에서 예측한 결과 세계 돼지고기 생산은 2030년에는 124.5백만톤으로 매년 0.8%씩 증가할 것으로 예상하고 있다. 또한 사육두수도 2030년에는 1,062백만두로 예상하는 등 세계적으로 돼지고기 생산과 소비가 지속적으로 증가할 것으로 예측하였다. 그리하여 돼지고기 포장, 수송, 정보 등 돼지고기 교역에 주요 요인으로 작용하는 이들 기술의 발달로 품질에 영향 받지 않고 냉동, 냉장 상태로 교역이 가능해 질 것이다. 또한 수출비용 중 많은 비중을 차지하는 상하차 비용이 container 등의 사용으로 수송비용과 과정효율이 개선되어 교역이 증가할 것이며,

돼지고기를 수입하는 개도국의 인프라 발달도 교역량 증가에 영향을 미칠 것이다. 포장 등의 기술 발달로 유통 기한의 증가가 가능하여 유통비용을 줄여 줄 것이며, 수입국이 원하는 특정 스펙으로 1차 가공하는 기술이 발달하여 원하는 대로 서로 다른 모양의 고기를 공급할 수 있어 수입 수요가 증가하여 돼지고기 교역은 현재보다 증가할 것으로 예상된다.

더욱이 돼지고기 교역이 정치적인 요인에 의해 영향을 받으면서 세계 돼지고기 교역에 많은 변수로 작용하고 있다. EU의 대 러시아 돼지고기 수출은 2014년의 수입 금지로 인해 지속적으로 감소하여 2000년 이후 최저 수준인 30만톤 이하를 기록하였다. 러시아는 EU의 Belarus에서 발생한 ASF(African Swine Fever)로 EU 전역으로부터의 돼지고기 수입을 금지하여 EU에 의해 WTO에 제소된 바 있다. 러시아의 수입금지조치는 러시아 남부 일부 주에서 발생한 문제로 EU가 러시아 농식품의 수입을 금지한 것에 뿌리를 두고 있다. 당시 미국과 캐나다산 농식품도 수입이 금지되었었다.

또한 미국 트럼프 대통령의 공정무역과 관련해서 NAFTA(North American Free Trade Agreement)에 대한 재고를 시사했는데, 이에 대한 반발로 멕시코가 미국산 돼지고기의 수입을 금지하게 되면 미국 돼지고기 수출의 35%를 차지하고 있는 멕시코로의 돼지고기 수출에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 미국과 멕시코가 관세 등을 재협의를 할 때 멕시코로 수출되는 돼지고기에 관세가 적용될 수 있다. 이 경우 미국의 돼지고기는 멕시코 이외의 수출 대상국을 찾게 될 것이고, 극동 아시아 등에서 EU 등과 경쟁이 심화될 것이다. 또한 미국으로 수출의 1/3인 320,000톤을 수출하고 있는 캐나다도 영향을 받을 것이고, 이것이 세계 돼지고기 시장에 전반적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. EU로서는 새로운 멕시코 시장에 대한 FTA 등을 체결하는 등의 기회로 작용할 수도 있지만, 극동지역에 속해 있는 한국은 낮은 가격으로 무장한 미국산 돼지고기의 공략 대상이 될 수도 있다. 미국의 TPP 탈퇴도 변수이다. 미국의 두 번째 수출대상국인 일본이 포함되어 있기 때문이다.

결론적으로 세계 돼지고기 시장은 지속적으로 물량이 증대되겠지만 앞을 예측할 수 없는 상황에 처해 있다. 새로운 역학관계가 형성될 것으로 예측하고 있다.



### 가. 돼지고기 수출

2016년에 세계에서 돼지고기를 가장 많이 수출한 나라는 EU(3,126천톤), 미국(2,374천톤), 캐나다(1,319천톤), 브라질(832천톤) 순이며, 이들 4개 수출국의 수출량은 7,651천톤으로 전체 수출물량의 90% 이상을 차지하고 있어 세계적으로 돼지고기 물동량에 지대한 영향을 미치고 있다(표 5). 이들 주요 수출국의 수출물량은 2015년에 비해 증가하였으며, 미국의 경우 2016년 초 수출 가격이 \$2.31/kg으로 낮아 지난 6년간 최저치를 기록했지만 10월에는 몇몇 주의 생산증가와 중국의 수입 증가로 돼지고기 수출가격이 \$2.66/kg로 상승하였다(AHDB, 2017 Mar.).

(표 5) 주요 국가의 돼지고기 수출

	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년(E)
EU	2,227	2,164	2,389	3,126	3,300
미국	2,262	2,309	2,272	2,374	2,449
캐나다	1,246	1,220	1,239	1,319	1,300
브라질	585	556	627	832	940
칠레	164	163	178	173	180
중국	244	277	231	191	180
멕시코	111	117	128	141	160

※ 자료 : USDA-FAS, 2017

### 나. 돼지고기 수입

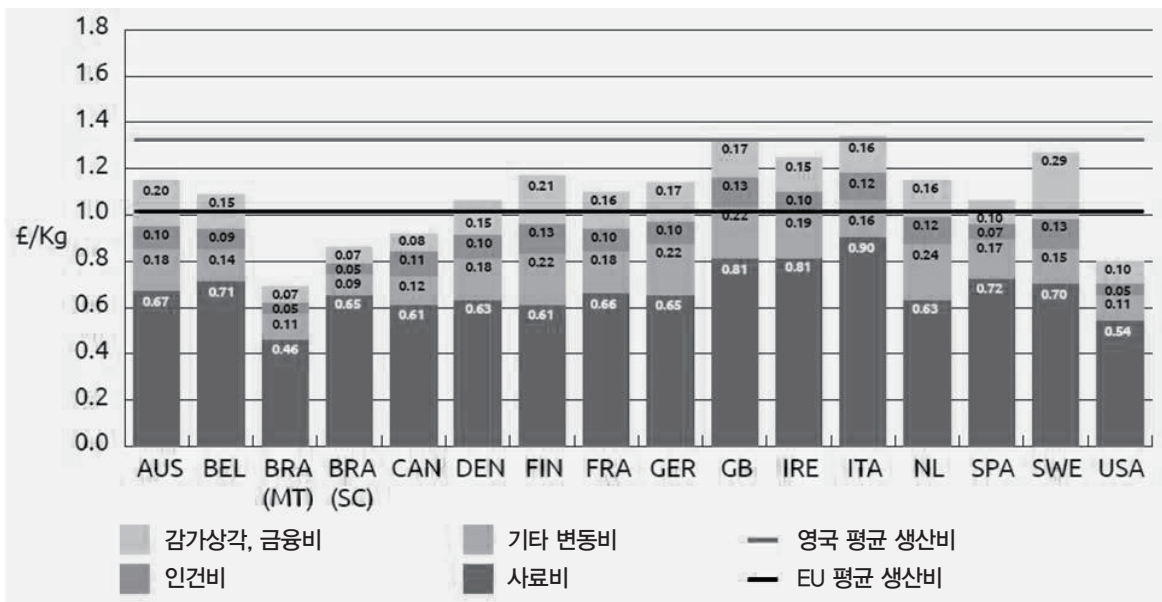
세계에서 돼지고기를 가장 많이 수입하는 나라는 중국으로 연간 돼지고기 수입량은 2012년도에 730천톤, 2016년도에 2,400천톤으로 폭발적인 증가로 수입하고 있으며, 2016년 현재 전 세계 수입량의 29% 정도를 차지하고 있어 세계 돼지고기 수급에 많은 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 중국에 이어 일본의 경우 2012년 이후 꾸준히 1,200천톤 이상을 매년 수입하고 있으며, 그 뒤를 멕시코와 미국, 홍콩, 러시아가 차지하고 있다. 중국과 홍콩을 같이 합할 경우 3백만톤에 육박하는 돼지고기를 중국에서 수입하는 것으로 조사되었다. 필리핀의 경우 같은 기간 1.8배 증가하기도 했다(표 6).

(표 6) 주요 국가의 돼지고기 수입량

	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년(E)
중국	770	761	1,029	2,181	2,300
일본	1,223	1,332	1,270	1,361	1,320
멕시코	783	818	981	1,021	1,050
한국	388	480	599	615	630
미국	399	459	506	495	526
홍콩	399	347	397	429	475
러시아	868	515	408	347	400

## 5. 생산비

2015년 세계 주요 양돈 생산국가의 비육돈 지육 kg당 생산비는 사료비, 인건비, 건물감가상각비를 포함한 고정비, 기타 변동비의 4개 항목으로 구분하여 비교한 결과 EU 회원국의 평균 지육 kg당 생산비는 1.61유로(2,040원, 1유로=1,267원)이었고, 2014년의 1.67유로보다 3.6% 낮아졌다. EU에서 가장 낮은 생산비를 보인 국가



※ 출처 : AHDB, 2016

(그림 2) 2015년 주요 국가의 비육돈 지육 kg당 생산비 비교

는 덴마크와 스페인으로 1.46유로(1,850원)이었고, 3위는 프랑스로 1.50유로(1,900원)이었다. 한편 미국은 1.10유로(1,397원)였으나 북부 브라질이 0.96유로(1,216원)로 모든 비교 국가 중 생산비가 가장 낮았다(그림 2). 우리나라 비육돈 생산비는 지육 kg당 3,641원(2.87유로)으로 유럽 평균보다 178%, 미국보다는 260% 높았으며, 가장 생산비가 낮은 브라질보다는 거의 3배나 높은 생산비를 나타내고 있다.

주요 국가의 연도별 생산비 추세는 곡물가격이 급등했었던 2008년 이후 2009년에는 일시 생산비가 낮아졌으나 2013년까지 매년 상승세를 보였으며, 그 이후에는 생산비가 감소하는 추세를 보였는데 유럽 각국의 사료비가 낮아졌기 때문이다. 사료비 비중이 낮은 브라질, 미국, 캐나다가 상대적으로 생산비가 낮은 것으로 나타났다(표 7).

(표 7) 연도별 주요 국가의 비육돈 지육 kg당 생산비 변화

	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	변화
브라질(MT)	1,265	1,481	1,366	1,380	1,207	1,006	-17
미국	1,394	1,452	1,553	1,495	1,193	1,150	-4
브라질(SC)	1,366	1,696	1,711	1,624	1,495	1,251	-16
캐나다	1,366	1,624	1,696	1,725	1,409	1,322	-6
EU 평균	1,912	2,157	2,113	2,228	1,941	1,696	-13
덴마크	1,754	1,998	1,970	2,070	1,783	1,524	-15
스페인	1,754	2,013	1,926	1,998	1,725	1,524	-12
프랑스	1,754	2,070	1,998	2,142	1,855	1,581	-15
네덜란드	1,754	2,013	1,955	2,157	1,898	1,639	-14
독일	1,912	2,228	2,142	2,243	1,912	1,653	-14
영국	2,027	2,171	2,228	2,315	2,027	1,912	-6

※ 출처 : AHDB, 2016, 파운드를 원화로 환산(1파운드=1,438원)

최근 2~3년간 생산비의 감소는 원료 사료비의 가격 하락에 기인한 것으로 브라질과 네덜란드, 이탈리아 등의 순으로 2014년에 비해 사료비의 비중이 많이 낮아졌다(그림 3).



(그림 3) EU와 주요 양돈 생산국의 2014년 대비 2015년의 사료비 변화 추이

## 6. 생산성적

유럽 각국의 번식성적을 분석해 보면, 모든 두당 연간 출하두수는 덴마크가 29.17두로 가장 우수했으며, 모든 두당 연간 생산 도체중은 비육돈 출하체중이 상대적으로 높으면서 출하성적도 나쁘지 않은 독일과 네덜란드가 더 많이 생산하는 것으로 나타났다.

사료효율은 브라질과 네덜란드가 2.6으로 출하체중이 높음에도 불구하고 우수한 성적을 나타냈으며, 연간 모든 회전율도 브라질과 미국이 우수한 것으로 나타났다 (표 8).

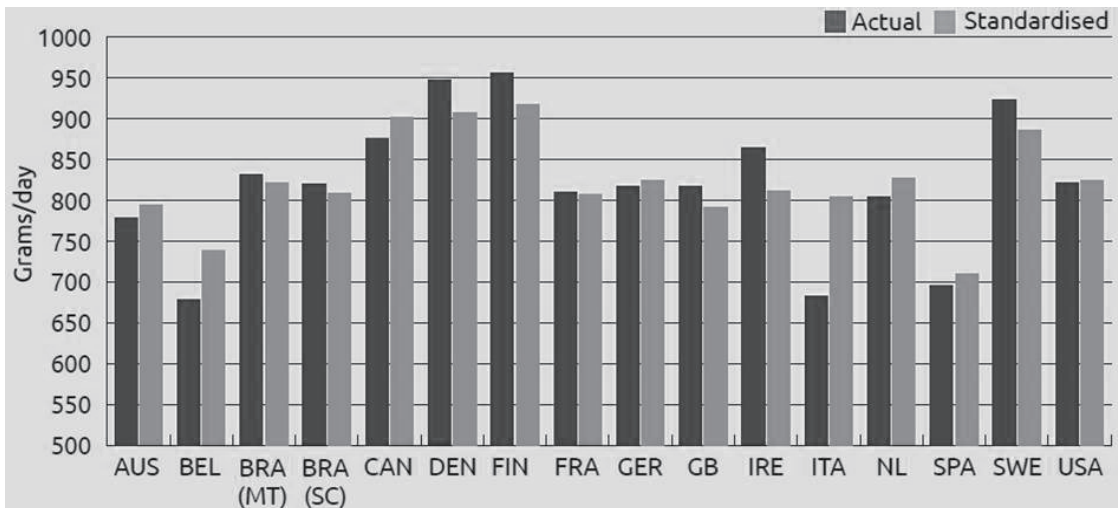
세계 주요 국가의 2015년 비육돈(30kg~출하체중) 일당증체중을 비교한 결과 덴마크가 947g으로 가장 높았고, 이탈리아가 682g으로 가장 낮았다. 표준화 일당증체중(각국의 데이터를 자돈사 입식체중 8kg, 전출체중 30kg, 출하체중 120kg으로 표준화해서 조정)의 경우 캐나다와 덴마크의 일당증체중이 약 900g으로 가장 우수하였고, 상위그룹은 830g이상 대, 하위그룹은 600g대로 약 35%의 격차를 보였다 (그림 4).

2015년 세계 주요 양돈 생산국가의 비육돈 사료요구율을 비교한 결과 네덜란드와 브라질의 사료요구율이 2.60으로 가장 우수하였고, 덴마크는 실제로는 2.70이었으나

(표 8) 2015년 주요 국가의 번식성적

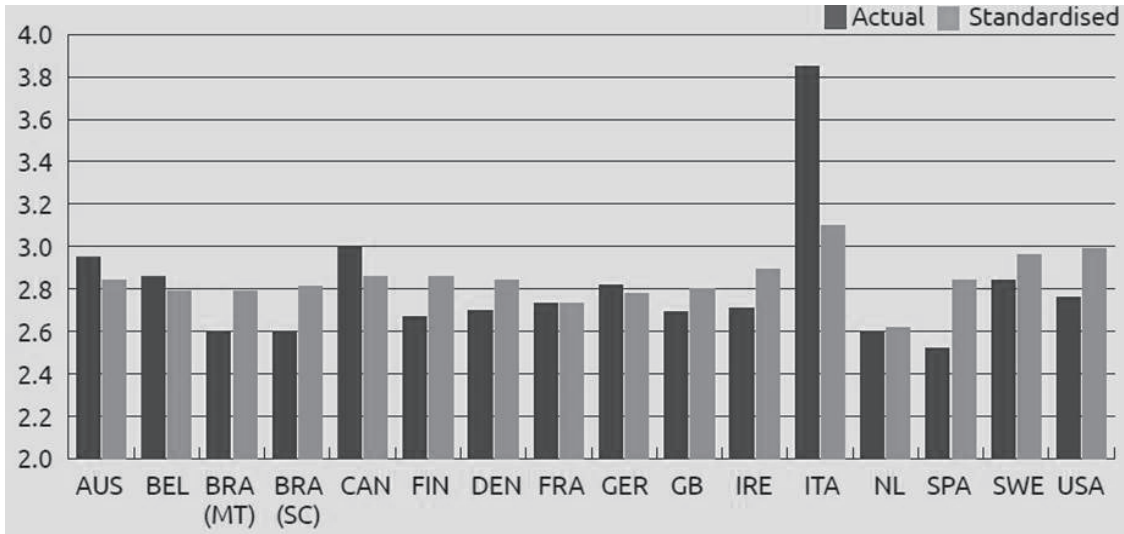
국가	모든 두당 연간 두수(두)			연간 모든 회전율	폐사율(%)		비육기간		출하 생체중 (kg)	모든 두당 연간 생산 도체중 (kg)
	이유	자돈	판매		자돈	비육	일당 증체	사료 효율		
브라질(MT)	25.36	24.85	24.31	2.41	2.00	2.20	831	2.60	122	2,215
미국	25.26	24.15	22.95	2.41	4.38	5.02	821	2.76	128	2,172
브라질(SC)	26.66	26.13	25.55	2.30	2.00	2.20	820	2.60	120	2,289
캐나다	23.97	23.49	22.66	2.30	2.00	3.50	876	3.00	126	2,241
EU 평균	26.81	26.07	25.38	2.29	2.74	2.62	814	2.83	120	2,336
덴마크	31.26	30.29	29.17	2.27	3.10	3.70	947	2.67	110	2,429
네덜란드	29.52	28.76	28.09	2.36	2.60	2.30	804	2.60	119	2,601
독일	28.64	27.90	27.17	2.34	2.60	2.60	817	2.82	122	2,556
프랑스	27.86	27.17	26.19	2.38	2.48	3.59	810	2.73	120	2,398
스페인	26.29	25.40	24.42	2.34	3.38	3.85	695	2.52	108	1,984

※ 자료 : AHDB, 2016



※ 출처 : AHDB, 2016(각국의 데이터를 자돈사 입식체중 8kg, 전출체중 30kg, 출하체중 120kg으로 표준화해서 조정)

(그림 4) 2015년 주요 국가의 실제 및 표준화된 비육돈 일당증체중(g)



※ 출처 : AHDB, 2016(각국의 데이터를 자돈사 입식체중 8kg, 전출체중 30kg, 출하체중 120kg으로 표준화해서 조정)

(그림 5) 2015년 주요 국가별 비육돈 사료요구율

일당증체량과 동일한 방법으로 표준화한 경우 2.90이었다. 출하체중이 166kg인 이탈리아의 표준화 사료요구율 3.23을 제외하고는 유럽 각국의 표준화 사료요구율은 차이가 크게 줄었으며, 표준화할 경우 브라질의 사료요구율은 소폭 상승하여 네덜란드의 사료효율이 가장 우수한 것으로 나타났다(그림 5).

## 7. 변화를 주도하는 주요 양돈 생산국

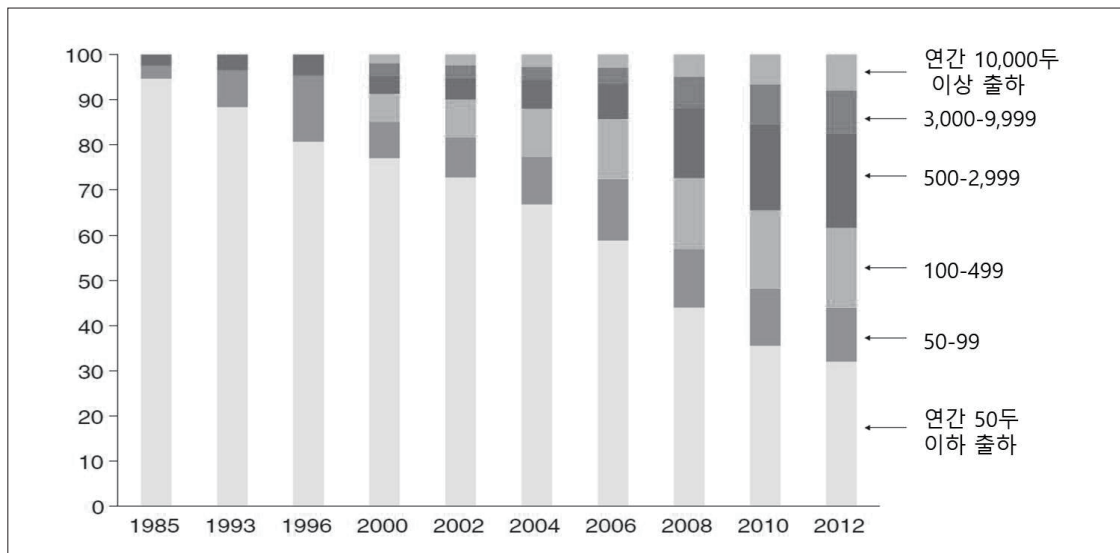
세계 양돈산업의 변화를 주도하는 양돈 국가로 중국과 스페인을 꼽을 수 있다. 중국은 최근의 중국 정부의 주도하에 시설현대화 등 구조조정과 소득증대로 인한 돼지고기 소비 증가로 이미 세계 최대의 돼지고기 생산국이며 소비국이지만 앞으로 더욱 크게 세계 양돈산업의 변화에 기여할 것으로 보여진다. 또한 EU의 스페인은 지난 2015년을 기점으로 독일을 제치고 EU에서 가장 돼지를 많이 사육하는 나라로 부상하였으며, 수적으로 감소하거나 약보합세를 보이고 있는 다른 EU의 주요 돼지고기 생산국가와 다르게 지금도 지속적으로 양돈산업이 성장을 하고 있는 나라이다. 이들 두 나라의 현황을 파악하는 것이 우리의 국제 경쟁력 확보에 도움이 될 수 있을 것이다.

## 가. 중국

최근에 성장속도가 느려졌지만 중국 내부에서 산업 변화는 지속적으로 진행되고 있다. 이에 따른 생산과 소비의 증가는 중국 생산자는 물론 세계적인 유통업체에도 기회로 작용되고 있다. 성장속도가 낮아져 동물성 단백질의 수요증가 추세도 낮아졌지만 추가되는 수요의 절대량은 매우 크며, 중국의 육류 수입은 소폭이지만 지속적으로 증가할 것이고 세계 시장에서 수입국으로 역할을 지속할 것이다.

### 1) 양돈산업

중국의 양돈산업은 재 구성중이며, 정부가 주도하는 구조조정이 성공할 경우 앞으로 생산성이 향상되어 수입을 대체할 수도 있다. 중국 정부는 2016~2020년 기간 동안 양돈장의 현대화 목표를 설정했다. 규모가 작고 가족중심의 농장을 규모화하면 생산성이 향상되고 최신 시설이나 능력이 우수한 종돈을 사육하기가 쉬워질 것으로 예상된다. 중국 내부에서도 강과 호수가 산재해 있는 남부보다는 북부나 북동부에서 추가 생산이 가능할 것이다. 또한 규모화와 지역적인 유리함으로 인해 농장의 위생수준도 지금보다는 향상될 것으로 기대하고 있다.



※ 출처 : China Ministry of Agriculture, 2014

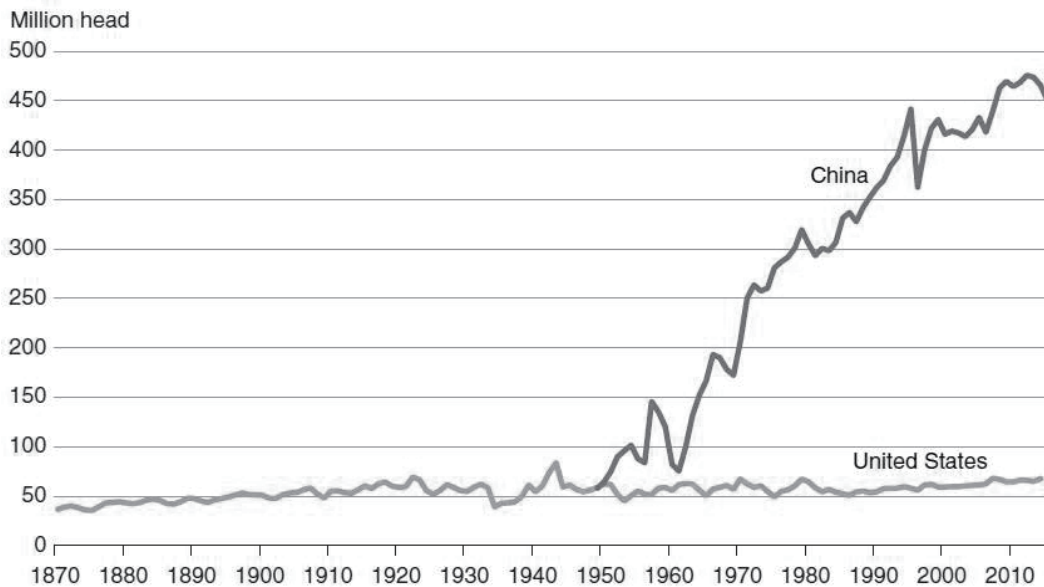
(그림 6) 중국의 양돈장 구조조정 현황

환경에 대한 영향을 줄이는 것도 다른 목표이다. 북경 등 대도시 근처의 농장 수 천 곳을 폐쇄하는 등의 조치가 실행되고 있어 현대화된 신규 농장의 증가가 이를 따라가지 못해 2016년에는 2014년의 최정점의 생산량에 9% 감소한 51.9백만톤을 생산했다.

최근에는 농장 규모가 증가하여 연간 10,000두 이상 출하하는 농장의 비중이 지속적으로 증가하고 있으며, 돼지 사육형태도 전문화와 현대화되어 생산이 실내로 이동하고 있는 중이다(그림 6).

## 2) 사육두수

중국의 돼지 사육두수는 지난 1950년경에는 미국과 비슷한 50백만두 수준이었다(그림 7). 그 이후 중국의 돼지 사육두수는 기하학적으로 증가하여 1970년대에는 2억 마리, 1980년대에는 3억마리를 돌파하고, 2000년 전후하여 4억마리를 넘어서 현재에 이르고 있다. 최근에는 증가 속도가 주춤거리기는 하지만 지속적으로 4.7억마리를 사육하고 있는 것으로 조사되었다.



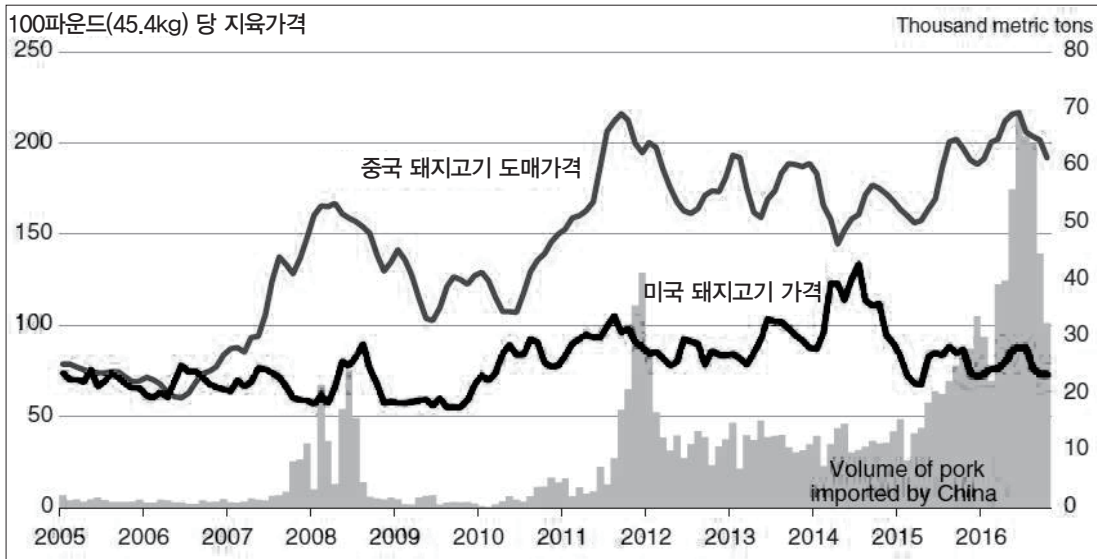
※ 출처 : Gale, 2017

(그림 7) 중국과 미국의 돼지 사육두수 변화



### 3) 돼지고기 가격

중국의 돼지고기 가격은 정부의 구조조정과 사육밀집지 이동, 환경정책 강화 등에 의해 사육두수가 증가하지 못했고, 결과적으로 생산량의 증가가 거의 없는 상태에서 소비가 증가하여 강세를 유지하고 있다. 미국과의 돼지고기 가격 비교에 의하면, 지난 2007년까지는 돼지고기 가격이 중국과 미국이 비슷하였지만, 2008년 이후에는 중국의 도매시장 돼지고기 가격이 미국의 돼지고기 가격보다 높아졌으며, 2016년에는 미국의 60~70달러에 비해 중국은 100파운드(45.4kg) 지육당 가격이 200달러에 육박하는 등 3배 이상 차이를 나타내고 있는데, 이 경향은 당분간 지속될 것으로 예측되고 있다(그림 8).

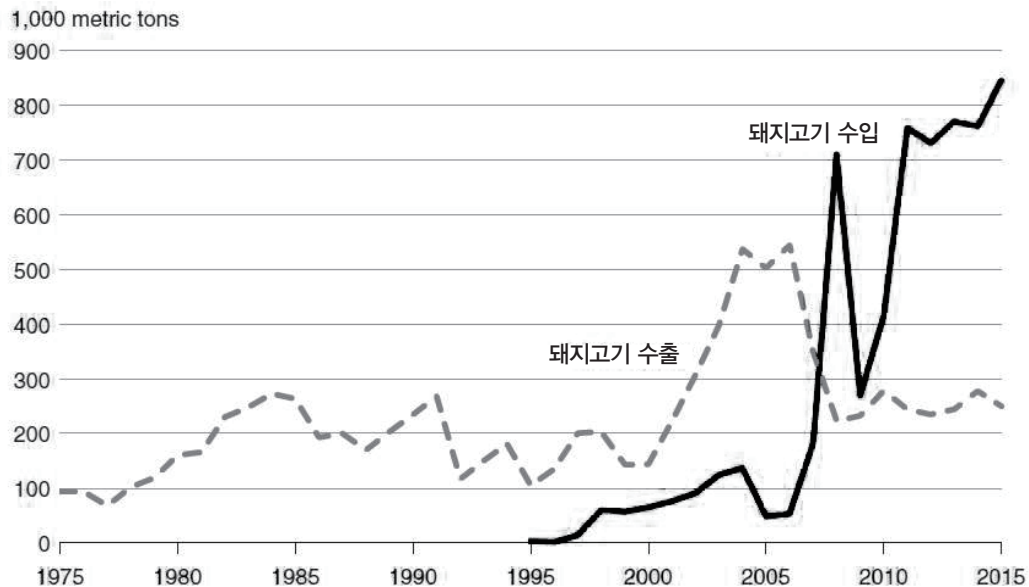


※ 출처 : Gale, 2017

(그림 8) 미국과 중국의 돼지고기 가격 비교

### 4) 돼지고기 수출입

중국은 2000년대 중반까지만 해도 돼지고기를 수출하는 나라였다. 2007년과 2008년 중국 내부의 돼지 질병으로 인한 생산성 감소에 따라 돼지고기 수입이 일시적으로 증가한 이후에도 수입이 다시 감소하였으나 최근 몇 년 동안 돼지고기 수입량의 증가는 급속도로 증가하였다(그림 9). 중국의 돼지고기 수입은 지난 2년 동안 2배



※ 출처 : Gale, 2017

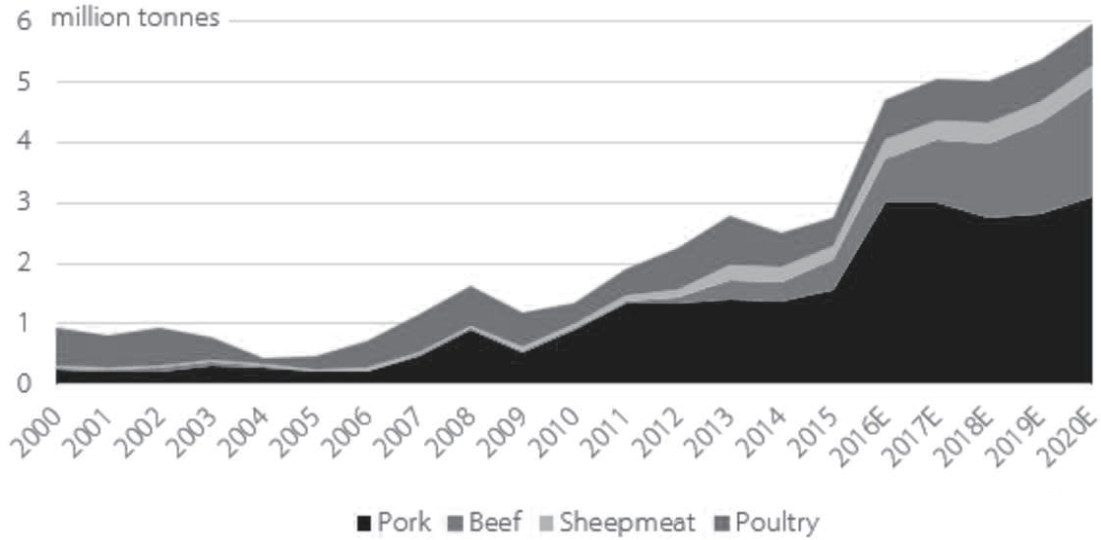
(그림 9) 중국의 연도별 돼지고기 수출입(1975~2015년)

증가하여 2016년에는 2.5백만톤을 수입하였다.

전체 소비되는 양에 비해 중국에 수입되는 양이 아직은 많은 비중을 차지하지 않는다. 중국 육류협회는 2020년 육류 소비량은 1억톤에 달할 것으로 추정하고 있으며, 이 중 돼지고기가 전체 소비 육류의 2/3을 차지할 것으로 추정해서 67백만톤을 국내에서 소비할 것인데 2020년 돼지고기 생산목표는 55백만톤으로 12백만톤이 수입에 의해서 채워야 할 것으로 추정되지만, 중국 정부는 수출까지도 염두에 있다고 계획을 발표했다. 중국 정부의 계획대로 구조조정이 이루어 질 수 있는가가 관건이기는 하지만 당분간 중국의 돼지고기 수입은 지속될 것이다.

중국의 돼지고기, 소고기, 닭고기 모두 수입이 지속적으로 증가해서 2020년에는 중국본토에 수입되는 육류 총량이 6백만톤에 이를 것이다(그림 10).

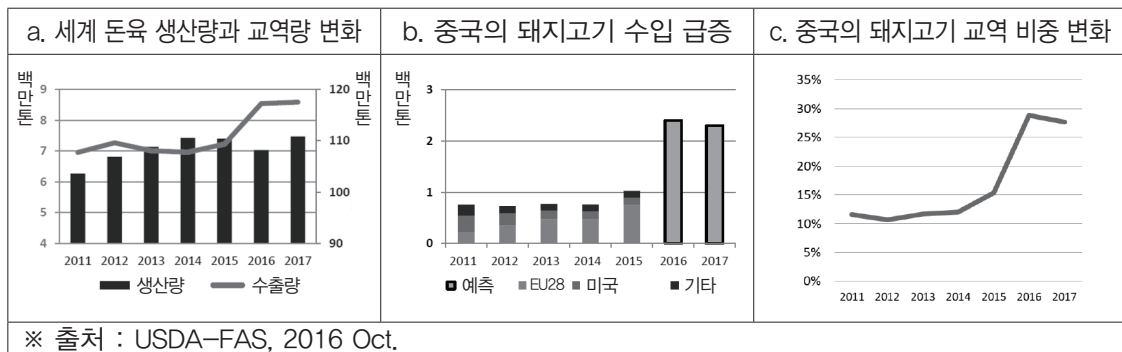
세계 돼지고기 수출입 시장에서 중국이 차지하는 비중이 급격히 증가하고 있다. (그림 11a)에는 세계 돼지고기 생산량과 교역량이 표시되어 있는데, 전반적인 생산량에는 변동이 없으나, 돼지고기 수출량은 2016년 이후 급격하게 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 중국의 돼지고기 수입량이 급증한데서 기인한 것으로 볼 수 있는데, (그림



※ 출처 : Rabobank, 2017

(그림 10) 중국의 동물성 단백질 수입

11b)에서와 같이 중국의 돼지고기 수입이 2016년에는 2백만톤을 넘었으며, 앞으로도 그 추세는 지속될 것으로 보여 세계 돼지고기 교역량에서 중국이 차지하는 비중이 30% 가까이 상회할 것으로 예측하고 있다(그림 11c).



(그림 11) 중국의 돼지고기 교역비중

#### 나. 스페인

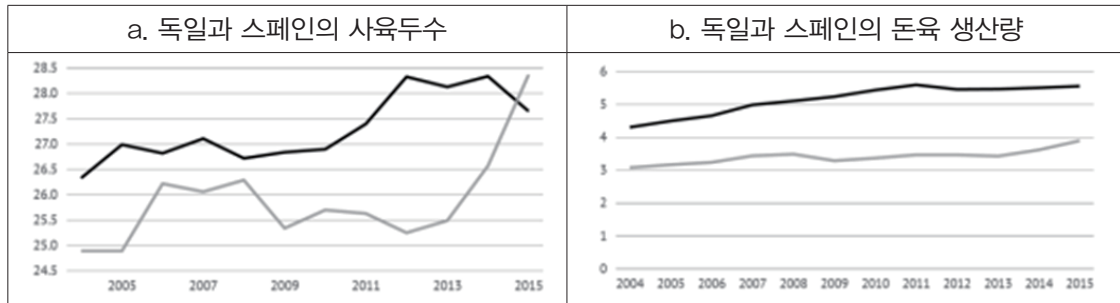
스페인 은 낮은 인건비와 좋은 기후조건, 그리고 아직까지는 환경적인 부담이 적은 것 등의 요인에 의해 EU의 다른 나라들이 양돈을 점차 축소하는데 반하여 규모를 확

장하고 있다. 정부로부터의 별도의 지원이나 간섭 없이 EU 내에서 독자적인 경쟁력을 구축하고 있다. 특히 양돈산업의 전문화와 계열화에 의해 질적인 성장도 지속하고 있다.

### 1) EU와 스페인

스페인의 양돈산업은 그동안 줄곧 1위를 고수했던 독일을 제치고 사육두수에서 1위를 차지하였다.

2015년부터 독일보다 사육두수가 많아졌으나 생산량이 적은 것은 독일의 경우 인근 덴마크나 네덜란드로부터 비육돈이 많이 유입되기 때문이다(그림 12).



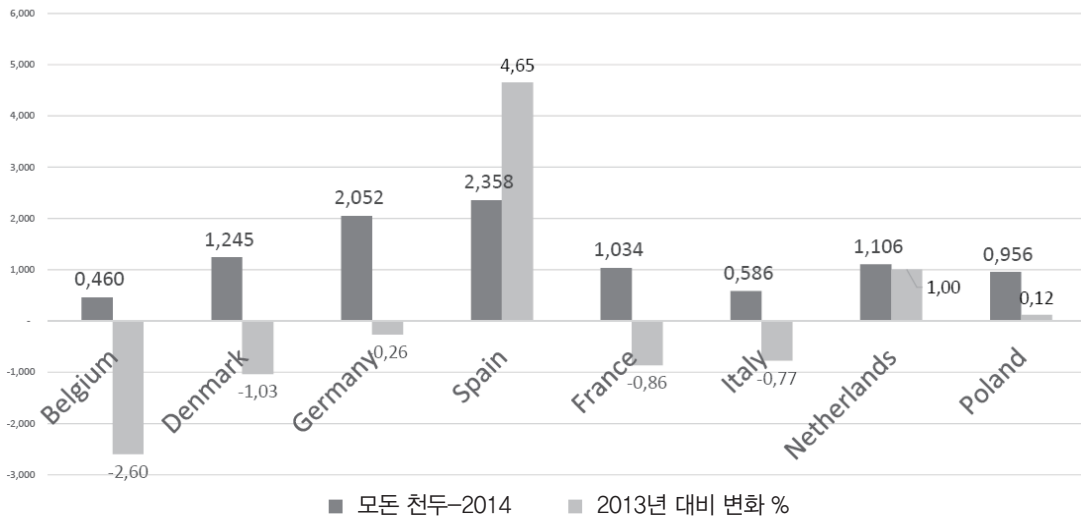
(그림 12) 독일과 스페인 비교

(표 9) EU 국가별 연도별 사육두수(천두)

	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	% change 2014~2015년
Denmark	12,348	12,281	12,402	12,709	12,702	-0.1%
France	13,967	13,778	13,428	13,300	13,307	+0.1%
Germany	27,402	28,331	28,133	28,339	27,652	-2.4%
Ireland	1,553	1,493	1,468	1,506	1,475	-2.1%
Italy	9,351	8,662	8,561	8,676	8,683	+0.1%
Netherlands	12,103	12,104	12,013	12,065	12,453	+3.2%
Poland	13,056	11,132	10,994	11,266	10,590	-6.0%
Spain	25,635	25,250	25,495	26,568	28,367	+6.8%
EU TOTAL	149,809	146,955	146,241	148,330	148,724	+0.3%

EU의 주요 돼지고기 생산국의 사육두수는 지난 6년 동안 거의 변화가 없는 가운데 2014년에 비해 2015년에 스페인과 네덜란드가 소폭의 증가를 나타냈다(표 9). 2011년을 대비해 보면 스페인이 10% 이상 증가하였는데, 이것은 다른 EU 국가와는 다른 경향을 보이고 있다.

모든 사육두수도 스페인이 2,358천두로 가장 많았는데 2위인 독일의 2,052천두보다 14.9% 많이 사육하고 있다. 이 통계는 2014년도 것으로 2013년보다 스페인이 4.65%, 네덜란드가 1.00% 증가한 것을 제외하면 EU의 주요 양돈 생산국가의 모든 사육규모가 감소하는 것을 알 수 있다(그림 13).



※ 출처 : Pineiro, 2017

(그림 13) 스페인과 EU 주요 양돈국의 모든두수 변화

## 2) 양돈산업

2015년에 스페인은 유럽의 독일, 덴마크를 넘어서 중국, 미국에 이어 세계 3위의 돈육 수출국이 되었고 28.3백만두를 생산하여 EU 최대 생산국이 되었다.

2016년 12월 통계에 의하면, 스페인의 돼지 사육두수는 모든 2,415천두를 비롯하여 29,232천두를 사육하고 있다(표 10).

(표 10) 스페인의 돼지 사육두수

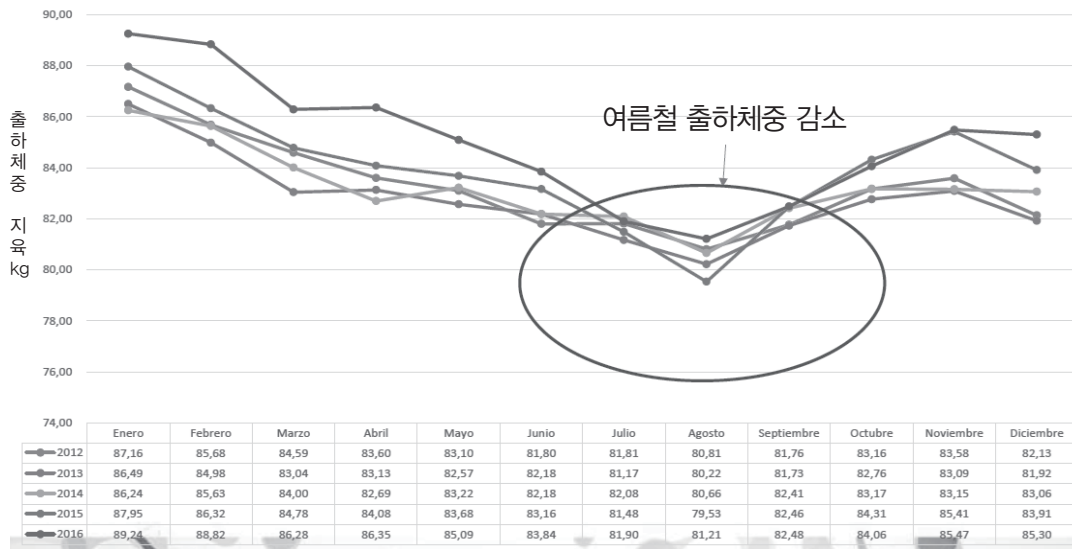
(x1,000)	2015.12	2016.12	증감 %
Total	28,367.34	29,231.64	3.05
총 모든	2,466.27	2,414.98	-2.08
그중 모든	1,657.14	1,577.09	-0.11
후보돈	251.10	246.56	-5.77
자돈 > 20kg	7,909.64	8,100.12	2.41
비육돈 20~50kg	6,595.20	6,397.48	-3.00
비육돈 50~80kg	4,881.72	5,146.16	5.42
비육돈 80~110kg	5,038.63	5,576.91	10.68

동북쪽의 2개 주(Llerida 등이 속해 있는 Agagon과 Catalonia) 지역에 전체 돼지의 43.9%가 사육되고 돼지고기의 51.5%가 생산된다. Lerida에만 443천두가 사육되어 주민 1인당 10두를 사육하고 있다. 소비지나 생산지에 가까운 5개 주(Barcelona, Gerona, Murcia, Lerida, Malaga)에서 전체 도축의 54.4%가 이루어지고 있다. 2015년에는 2014년보다 3백만두 증가한 46.4백만두를 도축하여 스페인 인구수와 같은 수가 도축되었다. 스페인에는 700여개의 도축장이 있는데, 이중 20%는 돼지만 도축한다. Catalonia에서만 스페인에서 생산되는 모든 고기의 42.2%를 생산하였다 (2015년).

전통적인 스페인 Iberia 품종은 주로 서쪽인 Andalucia, Castilla y León과 Extremadura 지역에서 사육되는데 전통돈사에서 백만두, 집약돈사에서 3백만두가 사육되고 있다.

스페인의 돼지고기 가격은 Mercolleida meeting에서 결정되는데 매주 목요일 생산자(8명)와 packer(8명)가 Lleida에서 만나 가격을 결정한다. 생산자와 packer는 자신들이 생각하는 가격의 이유를 미리 회의장 테이블에 제출한다. 계열화 주체와 packer가 같이 연합하여 가격을 결정하는 collaboration이 반영되는 시스템은 북미의 가격결정체계와는 확연히 다르다.

도축체중은 비육돈을 생산하는 체계에 따라 수태지를 다르게 사용하는데, Piertain으로 생산된 비육돈은 105kg에 도축하여 거세하지 않지만, 생햄을 사용하기 위해서 Duroc으로 생산되는 비육돈은 115~120kg에 도축하여 화학적 거세를 주로 한다. 도



※ 출처 : Arenillas, 2017

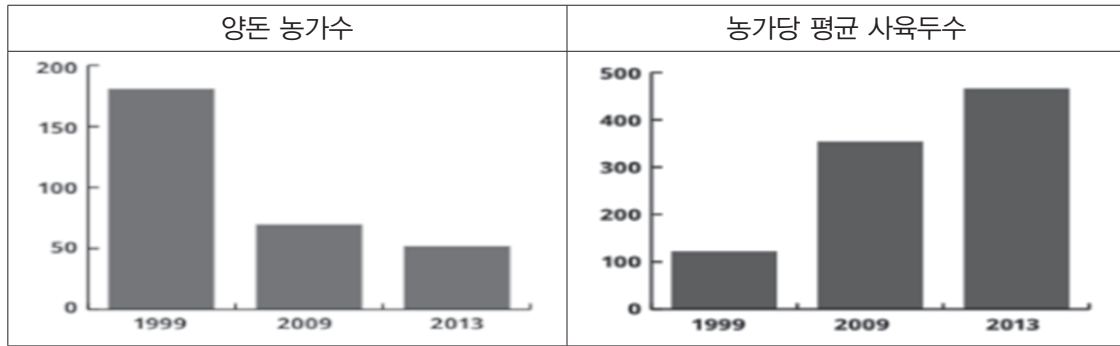
(그림 14) 스페인의 연중 출하체중-지육 kg

축두수는 연중 동일하지만 Pietrain 비육돈이 여름에는 잘 자라지 않기 때문에 도축 체중이 작아서 계절에 따른 변화가 있다(그림 14).

스페인의 양돈산업 중 Iberian 생햄은 별도의 생산체계를 가지고 있는데, 전체 모돈 2.3백만 두 중에 Iberian 생햄을 만들기 위해 사육되는 모돈이 약 520천두이며, 그중 320천두는 Iberian 햄을 생산하고 약 200천두의 모돈은 돈육 품질에 중점을 두고 생산한다. 100% Iberian 품종으로 생산하는 것은 GGP에서 부산물로 생산되는 5% 정도이며, 나머지는 이베리아 피가 50%(Iberian암×Duroc) 섞인 비육돈으로 생산한다. 이 외에도 Duroc 비육돈으로 white ham을 생산한다.

### 3) 양돈농가

동쪽의 Catalonia와 Aragon 지역 농가 수는 각각 7.1%, 4.3%인데 도축두수는 43.1%를 차지하고 있다. 농가 수는 지속적으로 감소하고 있지만 3Group은 증가하고 있다. 여기에서 3Group은 분뇨 발생량을 기준으로 구분하는데 가장 큰 규모이다. 모돈 번식농장(이유)은 모돈 3,000두, 자돈생산농장(20kg)은 모돈 2,400두, 일관생산농장은 모돈 800두 이상인데 일관생산농장은 거의 없다. 비육농장의 경우 7,200두이다.



(그림 15) 스페인의 양돈농가 호수 및 사육두수

사육농가 수는 1999년 17만호에서 2013년에는 50만호로 감소하였다. 그에 따라 호당 사육두수는 100여두에서 500두 가까이까지 증가하였다(그림 15).

#### 4) 계열화

여타 EU 국가들은 감소하는데 스페인은 높은 산업계열화(industry integration)와 EU 최저 생산비에 힘입어 생산과 수출을 증가시키고 있다. 전체 양돈 생산의 63%가 계열화 체제에서 생산되고 있으며, 20%가 조합에서, 17%가 독립적으로 생산되고 있어 전문화된 계열화 체제에서 전체의 83%가 생산되고 있다. 계열화 시스템이란 시장가격과 상관없이 수매가격이 정한 계약 상태를 뜻한다.

사육가는 계약에 의해 미리 정해진 가격에 돼지를 기르고 있으며, 양돈업계는 사료, 종돈, 생산표준과 방식을 제공하는 수직계열화 회사에 의해 움직이고 있다. 10대 계열화 회사가 32.52%를 보유하며, 이중 상위 4개 회사의 돼지고기 관련 산업을 포함한 매출 점유율은 2014년의 45.5%에서 2015년에는 59.2%로 증가하는 추세이다(표 11).

스페인의 생산모델은 상대적으로 효율성이 높으며, 계열주체가 모든 것을 소유하는 것에 비해 자본과 자산이 많이 들지 않는다. 계열화 주체가 지불하는 비용은 이유자돈 당 \$13, 자돈 두당 \$4, 출하돈 두당 \$14이며, 위탁장은 노동, 전기, 분뇨처리, 폐사에 대해 책임을 진다. 관리자는 대부분 외국 노동자이며, 돈사 근로자의 인건비는 시간당 \$13 내외이다.

스페인의 주요 계열화 회사는 Batalle와 Vall Companys인데 Batalle는 Duroc 모



(표 11) 스페인의 양돈계열화 회사의 시장 점유율

4대 계열화 회사 (백만유로)	총 매출 (2014년)	비중	총 매출 (2015년)	비중
Vall Companys Group	1,353.67	23.0%	1,400.00	24.7%
El Pozo Alimentacion	941.76	16.0%	965.28	17.0%
Jorge S.L. Group	537.31	9.1%	627.00	11.0%
Frigorificos Costa Brava	373.98	6.3%	367.78	6.5%
기타 계열화 회사	2,679.48	45.5%	2,312.64	40.8%
4개 회사 합계	3,206.72	54.5%	3,360.06	59.2%
스페인 합계	5,886.20		5,672.70	

※ 출처 : Barrigas, 2016

돈 2,000두를 보유하여 Duroc을 모계로 활용하고 있는 등 Duroc이 강한데 2개 라인으로 육질과 햄 라인을 육성하고 있으며, 수퇘지는 외부로 판매하지 않는다. Vall Companys는 모든 200만두의 계열화 회사로 사료공장 등을 소유하고 있다. 종돈은 Danbred, PIC, Topigs, Hermitage와 거래하고 있으며, 본사가 스페인 양돈산업의 중심인 Lleida에 위치하고 있다.

### 5) 종돈시장

스페인은 다국적 종돈회사들이 진출해 있으며, 이들 메이저 회사들의 시장 점유율은 Danbred가 25%, Hypor(20%), Topigs(15%), PIC(15%) 등을 점유하고 있으며, 스페인 국내 종돈장은 Batalle, Gepork를 포함하여 5~10곳이 있으나 점유율은 미미하다.

계열화 회사의 경우 2~4개 종돈을 사용하고 있는데, Vall Companys는 Danbred, PIC, Topigs, Hermitage와 종돈을 거래하고 있다. Topigs와 Danbred 등의 영향력이 크고 Nucleus도 스페인에 진출해 있다.

AI센터는 스페인에 90개의 회사가 있는데 AIM Iberica가 Topigs 관련 회사로서 7개 센터에 수퇘지 1,400두를 보유하고 있으며, Semen Cardona(수퇘지 1,400두 보유)와 같이 스페인에서 가장 큰 2개의 회사이다. 대부분 모든 종돈회사의 수퇘지를

보유하고 있으며, 고객이 원하는 정액을 공급한다. 일반 정액은 90ml, 심부주입용 정액은 45~60ml를 사용하여 심부주입용 정액의 경우 주입되는 정액량은 감소하지만 가격은 동일하다.

## 6) 돼지고기

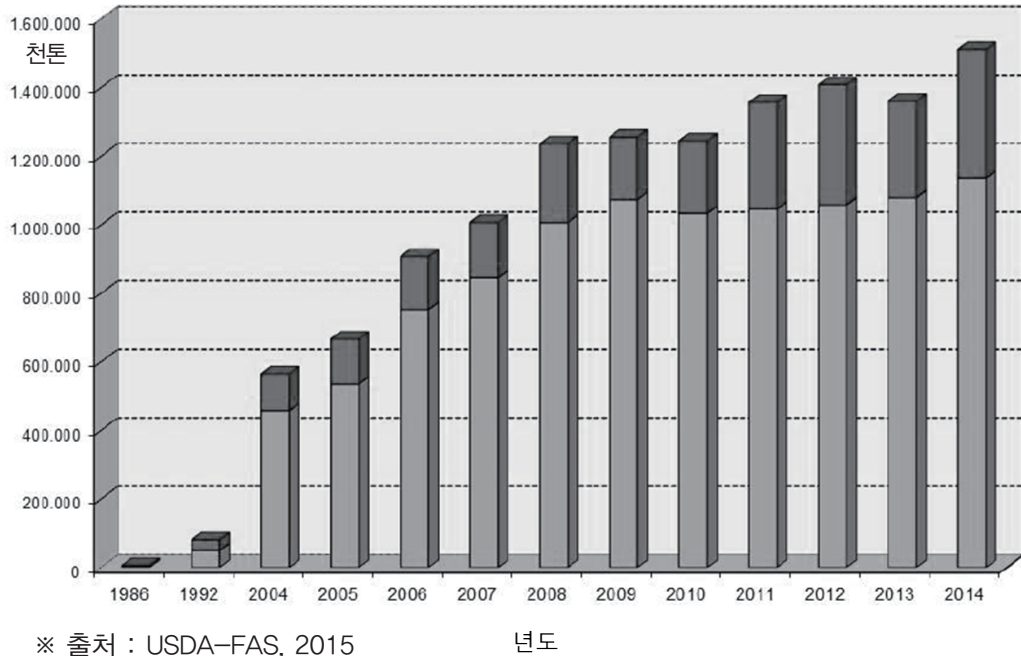
스페인인 EU에서 돼지고기 생산비가 가장 낮은 나라이다(그림 앞의 그림). 낮은 생산비를 기본으로 하여 돼지고기 생산량이 지속적으로 증가하고 있으며, 전체 소비량의 161%를 생산하고 있어 돼지고기를 수출해야 하는 나라이다. 2015년에는 3,895천톤을 생산하여 2,413천톤을 소비하여 1인당 돼지고기 소비량이 51.5kg을 기록하였으며, 생산량의 61.5%가 넘는 1,725천톤을 수출하였다(표 12).

(표 12) 스페인의 돼지고기 수급

	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
생산량	3,369	3,469	3,466	3,431	3,631	3,895
수입량	208	183	182	223	226	242.5
수출량	1,244	1,357	1,408	1,360	1,510	1,725
국내소비	2,291	2,278	2,221	2,272	2,284	2,413
1인당 소비(kg)	48.7	48.3	47.0	48.2	48.8	51.5
자급률(%)	147.1	152.3	156.1	151.0	157.6	161.5

스페인이 처음부터 돼지고기를 수출한 것은 아니었다. 2000년 이전에는 자급자족하는 수준으로 돼지고기를 생산하고 소비하였으나 2000년대 중반부터 돼지고기 수출이 증가하기 시작했다. 2014년까지만 해도 가장 많이 수출하는 나라는 바로 이웃에 있는 프랑스였으나 2015년부터 중국으로 수출을 가장 많이 하게 되었다(그림 16).

2016년 스페인의 돼지고기를 포함한 육류 생산은 4.7%(290,822톤) 증가한 6,419,960톤이었다. 돼지고기는 전체의 63%로 4,058,913톤(도축두수 : 47,703,641)이었는데, 이중 카탈로니아 주에서 566,817톤을 생산하고, 다음이 아라곤주의 463,098톤이었다(MAPAMA, 2017).

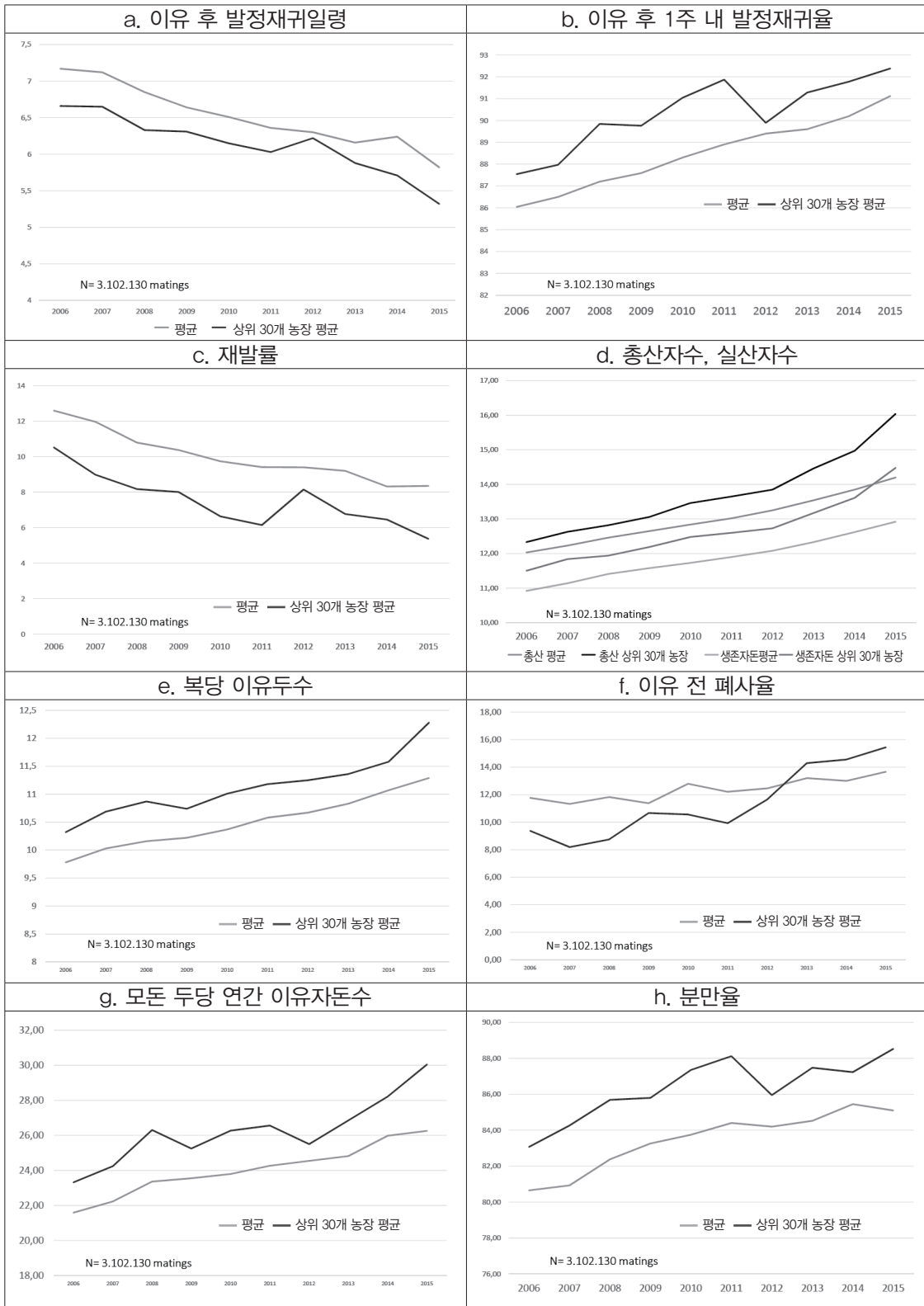


(그림 16) 스페인의 연도별 돼지고기 수출

스페인의 주요 돼지고기 수출 대상국은 중국, 프랑스, 이탈리아, 포르투갈, 일본, 폴란드, 한국, 독일 순으로 EU내에서도 증가하고 있지만 아시아 지역으로의 수출이 급격히 증가하고 있다. 2015년에 242만톤을 수출하여 자급률이 160%에 달했으며, 2016년에는 2,041천톤을 수출하였다.

#### 7) 스페인의 주요 생산성적 변화(출처 : Pineiro, 2017)

스페인에서 Pigchamp를 사용하는 350천두 이상의 모돈이 생산한 3,102천개의 번식 데이터를 분석하여, 상위 30개 농장과 전체 평균을 비교한 자료로 지난 10년간 발정재귀일령은 상위 30개 농장은 6.7일에서 5.4일로 감소하였고(그림 17a), 1주내 발정재귀율은 87.6%에서 92.3%로 증가하였다(그림 17b).



(그림 17) 스페인의 생산성(2006~2015년) : 전체 평균과 상위 30개 농장성적

이 외에도 재발률, 총산자수, 생존산자수, 복당 이유두수, 이유 전 폐사율, 모돈 두당 연간 이유자돈수, 분만율 등이 꾸준히 개선되고 있는 것을 알 수 있다(그림 17c-h). 스페인은 양적인 성장과 질적인 향상을 통하여 국제 경쟁력을 높여서 세계 양돈생산기지로서의 역할을 수행할 준비를 갖추고 있다.

## 8. 종돈산업

세계 종돈시장은 메이저 육종회사인 PIC, Hypor, PIGS-Online(네덜란드 ; Monsanto, 미국 ; Topigs, 네덜란드)이 전 세계에서 5대 품종 종돈의 42% 시장 점유하고 있다. 이들 육종회사는 2016년 초에 PIC가 아일랜드의 Hermitage를 병합하는 등 지속적으로 몸집을 불려가고 있다. 최근에 이루어진 병합은 Topigs와 노르웨이의 Norsvin이 병합하여 Topigs Norsvin으로 출범하면서 기존에 Topigs의 부족한 부분이었던 Duroc을 보강하여 북미 시장과 세계 시장을 넘보고 있다.

종돈의 경쟁력은 우수한 능력에 있는데 능력의 개량에 가장 중요한 사항이 개량 돈군의 규모이다. 이들 주요 종돈장이 병합을 거듭하는 것은 육종돈군의 규모를 늘려 개량 효율을 극대화하는데 목적이 있다. 대부분 육종회사들은 GGP 돈군으로 모계는 품종당 2,000~6,000두를 보유하고 있으며, 부계는 적게는 300두에서 많게는 수천두의 모돈을 개량 돈군으로 활용하고 있다.

또한 각 육종회사가 개량한 종돈의 지적재산권을 강화하는 경향이 있어 그동안 아무 제약 없이 종돈을 수입하여 활용하였던 관행이 위협을 받고 있다. 특히 간단한 DNA 검사로 혈연관계를 추정할 수 있어 더 이상 모르쇠로 돌파할 수 없는 상황이 되었다. 우리나라도 이들 육종회사에 로열티 명목으로 육종자문료를 지불하고 종돈을 수입하는 비율이 증가하고 있다.

최근에는 유전체 정보를 활용하여 육종가를 추정하면 선발당시 자기 성적이 없는 번식성적의 경우 선발의 정확도가 2.4배 증가하는 것으로 보고되어(Park, 2016) 유전체를 활용해서 종돈을 선발 개량할 경우 개량 속도가 2.4배 이상 증가할 것으로 예상하고 있다. 다만 유전체 분석가격이 걸림돌로 되어 있는데 최근에는 두당 유전체 분석 가격이 12만원 정도로 많이 낮아져서 시도할 수는 있겠으나 아직은 분석 가격이

더 떨어질 것을 기대하고 있다.

우리나라에서도 종돈의 국제 경쟁력을 확보하여 더 이상 외국으로부터의 종돈 수입에 의존하지 않겠다는 의지를 돼지개량네트워크 사업과 GSP(Golden Seed Project)로 나타내고 있어 결과가 주목되고 있다.

## 9. ISSUES

### 가. 동물복지

세계 17개국의 90개 식품회사를 대상으로 동물복지에 관련한 사항을 벤치마킹한 결과 농장의 동물복지에 대한 상업적인 적용이 미흡하기는 했지만 점진적으로 평가 결과가 향상되는 것으로 나타나서 농장에서 사육되고 있는 가축의 복지에 대한 관심과 대응이 좋아지고 있는 것으로 보고되었다(Amos and Sullivan, 2015). 앞으로의 과제는 소비자와 투자자의 인식개선을 통한 실제적인 성과를 내는 것이다.

동물복지의 세무 내용으로는 꼬리자르기, 외과적 거세, 스톨 등을 줄이거나 없는 것을 포함하고 있다. 꼬리를 자르는 것이 육성기 동안 꼬리를 무는 등의 스트레스를 방지할 수 있어 사용되어 왔으나 최근에는 꼬리를 자를 때 고통과 신경의 손상으로 인한 지속적인 스트레스의 원인이 될 수도 있으므로 자르지 않는 것이 좋다는 결론이다.

#### 1) 거세

2010년 EU는 2012년부터는 외과적으로 거세할 경우 무통증 수술이나 전신마취 수술만 허용하고 2018년부터는 외과적인 거세를 전면 금지하도록 결정한 바 있다. 유럽의 경우 전통적으로 거세를 하지 않는 아일랜드, 포르투갈, 스페인과 영국을 제외하면 18개국에서 수탉지의 80% 이상을 거세하고 있다. EU 수탉지 중 5%가 마취 후 수술을 하고 있으며, 41%는 무통증 거세, 2.7%가 화학적 거세를 실시하고 있다. 그럼에도 불구하고 실제 적용하기가 어려워 국가별로 일정이나 내용이 상이하다(표 13).

(표 13) 일부 국가의 거세 관련 일정

국가	연도	내용
덴마크	2009, 2011	무통증 수술을 이용하지 않는 거세 금지 2009년부터 권고사항, 2011년부터 실시
독일	2019	마취 없는 외과적 거세 금지
네덜란드	2009	마취 없는 외과적 거세 금지
노르웨이	2002	마취 없는 외과적 거세 금지 무통증 수술을 이용하지 않는 거세 금지
스웨덴	2016	무통증 수술을 이용하지 않는 거세 금지
스위스	2010	마취 없는 외과적 거세 금지

※ 출처 : De Briyne 등

거세의 대안으로 수태지를 사육하는 것도 검토되고 있다. 스페인 등이 80% 이상 거세하지 않는다. 거세를 하는 이유는 웅취 때문인데, 이에 대한 국제적인 공감대가 형성되어 있지 않아 기준이 필요한 상황이다. 일부에서는 거세하지 않는 것이 도축 일령이 너무 늦지 않을 경우 좋은 대안이라고 생각한다. 거세를 하지 않아도 되는 경제적인 경계는 도축 돼지의 2.5% 이하에서 웅취가 나온다면 경제적인 대안으로 작용 가능하다(de Roest K 등, 2009).

## 2) 임신스톨, 분만틀

이미 EU에서는 임신스톨이나 분만틀의 사용이 금지되었으며, 북미의 일부 주에서도 스톨의 사용을 금지하는 법안이 시행되고 있다. 또한 농장을 신축할 경우 스톨을 금지하는 등 동물복지를 위한 실질적인 움직임이 실행되고 있다. Coleman(2016)는 임신모돈을 그룹으로 사육하더라도 생산성적으로는 차이가 없고, 사료섭취에 방해되지 않도록 배치한다면 사회적인 스트레스 등을 감소할 수 있고, 인력활용 측면에서도 유리하다고 발표했다. 다만 전자사료급이기를 처음 대하는 후보돈을 훈련하는 기술을 각 농장에 맞도록 개발하여 새로운 환경에 적응할 수 있도록 하는 것이 성공의 열쇠라고 밝혔다.

## 나. Traceability

traceability의 원래의 취지는 질병이나 관리해야 할 상황이 발생했을 때 그 배경을 추적하여 원인을 밝혀내고 예방하는데 목적이 있었으나, 기본적인 목적 이외에도 우리나라에서와 같이 원산지를 확인하는 도구로 사용되고 있다. EU에서는 2015년 4월부터 아직 가공육에 대한 적용에 대해서는 여러 가지 의견이 분분한 가운데 생산국 표시 라벨(COOL, Country of Origin Labelling)을 돼지고기, 닭고기, 양고기, 염소고기의 신선육과 냉동육에 도입하도록 되어 있다(EU No. 1337/2013). 아직은 맛이나 제조일자, 외관, 가격 등에 우선순위가 밀려 있지만 원산지도 소비자가 알기 원하는 중요한 요인 중에 하나이다.

이를 위해서 농장을 등록하고 개체를 등록하는 등 이동에 대비하는 시스템을 구축하고 있다(Alberta Pork, 2015).

## 다. 안전한 항생제 사용(무항생제)

2016년 말부터 미국 FDA는 식량을 생산하는 가축의 농장에서의 항생제 사용에 대한 새로운 정책을 시행함으로써 농장에서의 항생제 사용이 없어지지는 않겠지만 농장에서의 사용방법이 변화되고 있다. FDA는 먹거리를 생산하는 가축에 대한 성장촉진과 질병의 치료를 위한 항생제의 사용을 수의사의 감독 하에 생산현장에서 사용하지 않도록 하는 것을 목표로 삼고 있다(Pork Checkoff, 2015). 동일한 내용이지만, 2017년 1월 1일부터는 미국 FDA의 새로운 규칙에 의해 인체에 영향을 미칠 수 있는 중요한 항생제에 대해서는 사료나 음수에 투약 여부 등을 명시한 표식을 부착하도록 하고 있다. 의학적으로 중요한(인체에 영향을 미치는) 항생제의 사용은 전면적으로 금지되나 수의사의 처방(VFD, Veterinary Feed Directive)에 의해서만 일정 기간 동안 사용이 가능하다(Pork Checkoff, 2016).

최근 연구 발표된 것으로 브라질이나 러시아, 중국과 같은 중진국의 소득이 증가하고, 그에 따른 축산물 소비가 증가할 경우 지금과 같은 항생제 사용 추세라면 2030년에는 지금보다 항생제 사용량이 67% 이상 증가할 것으로 예측하고 있다(Van Boeckel 등, 2015). 반면에 덴마크의 항생제 사용량은 지난 2010년 이후 지속적으로 감소하는 추세에 있으며, 2020년까지는 추가로 5% 사용량을 감소할 것을 목표로 하



고 있다.

또한 덴마크는 1994년부터 시행해 오던 수의사의약품판매 금지를 바탕으로 2010년에는 옐로카드와 레드카드 시스템을 운영하여 정착 중에 있다. 최근에는 cephalosporins과 flouoroquinolones의 사용을 중지하였으며, 2014년에는 tetracyclins 사용을 50% 감소하고 colistin의 사용을 줄이고 있으며, 출생부터 출하까지 무항생제로 사육하는 실험을 Bornholm섬에서 실시하고 있다. 여기에서 생산되는 돼지고기는 고가에 판매하고 있다.

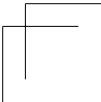
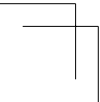
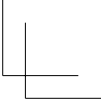
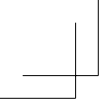
이들 이외에도 온실가스 저감, 소비자가 원하는 투명성 확보, 돼지 최대 수송시간을 8시간, 고기에 대한 이산화탄소 세금부과, CO<sub>2</sub> 전살 등 우리가 직면하고 풀어야 할 과제들이 산재해 있다. 우리가 국제 경쟁력을 확보하기 위해서는 넘어야 할 산들이다.

## Reference

- AHDB, 2016, 2015 PIG COST OF PRODUCTION IN SELECTED COUNTRIES, ISBN: 978-1-904437-99-4
- AHDB Pork, 2017 Mar. RECORD EXPORTS & ROLLER COASTER PRICES- THE GLOBAL PORK MARKET IN 2016 by Bethan Wilkins, Analyst
- Alberta pork, 2015, Traceability and swine industry, Traceability in Alberta
- Amos, Nicky and Rory Sullivan, 2015, 2015 Report, The Business Benchmark on Farm Animal Welfare.
- Arenillas Alfonso, 2017, Spanish pigmeat sector, International Technical Meeting presentation, Topigs Norsvin
- Barrigas, Raul Fernandez, 2016, THE SPANISH PIG OUT: A CRITICAL ANALYSIS OF CORPORATE POWER IN SPAIN'S PORK INDUSTRY, Thesis, International Institute of Social Studies.
- Borrer, Erin, 2016, Global Pork Market 'Perspectives from the U.S.' Challenges & Opportunities, USMEF presentation, Lleida, Spain Sept 21, 2016
- China Ministry of Agriculture. 2014. Livestock Industry Yearbook. Beijing: China Agricultural Press.
- Coleman, Larry L, 2016, Achieving High Productivity in Group Housed Sows, Advances in Pork Production (2016) Volume 27, page 83, Proceedings for BPS
- De Briyne, Nancy, Charlotte Berg, Thomas Blaha and Déborah Temple, 2016, Pig castration: will the EU manage to ban pig castration by 2018?, Porcine Health Management (2016) 2:29
- de Roest K, Montanari C, Fowler T, Baltussen W. Resource efficiency and economic implications of alternatives to surgical castration without anaesthesia. Animal. 2009;11:1522-31.
- Gale, Fred, 2017, China's Pork Imports Rise Along with Production Costs, LDPM-271-01 Economic Research Service/USDA
- China Ministry of Agriculture. 2014. Livestock Industry Yearbook. Beijing: China Agricultural Press.
- Bruinsma, Jelle, 2003, World agriculture: towards 2015/2030, AN FAO PERSPECTIVE, Earthscan Publications
- MAPAMA, March 2017, Livestock slaughtering survey (Statistics Service of the MAPAMA), Spain. <http://www.mapama.gob.es>
- Park, KD, 2016, 유전체선발의 정확도, unpublished, personal communication
- Piñeiro Carlos, 2017, 12th International Technical Meeting presentation, INTERNET OF THE (SWINE) THINGS, Pigchamp pro europa
- Pork Checkoff, May/june 2015, Antibiotic Changes: 18 months and Counting, Report

Newsletter Vol 11 No 3

- Pork Checkoff, 2016, Youth Swine Exhibitor's Guide to New Antibiotic Rules, Pork Checkoff.
- Rabobank, 2017, China's Animal Protein Outlook to 2020: Growth in Demand, Supply and Trade
- USDA Foreign Agricultural Service, 2015, Spain's Swine and Pork Production Report 2015, Gain Report Number: SP1527
- USDA-FAS, 2015, Gain Report: Spain, Global Agricultural Information Network
- USDA-FAS, 2016 Oct., Livestock and Poultry : World Markets and Trade
- USDA Foreign Agricultural Service, 2016 July,  
<http://www.pork.org/pork-quick-facts/home/stats/u-s-pork-exports/world-per-capita-pork-consumption-2/>
- USDA-FAS, 2017 Apr., Livestock and Poultry : World Markets and Trade
- Van Boeckela, Thomas P., Charles Brower, Marius Gilbert, Bryan T. Grenfell, Simon A. Levin, Timothy P. Robinson, Aude Teillant, and Ramanan Laxminarayan, 2015, Global trends in antimicrobial use in food animals, Proceedings of the National Academy of Science of the United States(PNAS) vol. 112, no. 18, pp5649 – 5654



한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

동물복지와 질병 및 예방 접종

- 동물복지의 이해와 농장에서 평가 방법
- 동물복지와 감염성 질병 : 구제역을 중심으로
- 예방 접종의 새로운 도전 :  
피부 면역과 예방 접종 장기로서의 피부



한 병우 수의사  
대녕농장 대표

# 동물복지의 이해와 농장에서 평가 방법

## 1. 개요

가축은 우리에게 식량, 털, 가죽, 그리고 양모 등과 같은 다양한 산물을 우리에게 제공한다. 반려 동물들은 우리에게 동료애를 제공한다. 이 외 개는 다양한 방법으로 사람을 도울 수 있고, 고양이는 집에서 쥐를 쫓아내며, 말은 우리가 일부 종목의 스포츠를 할 수 있게 한다. 모든 경우에 있어 야생 상태의 그들 조상들이었을 때 보다 수 배 만큼 다양한 일을 수행할 수 있도록 번식, 육성 그리고 훈련시킬 수 있다. 젖소들은 우유 생산량이 많은 것으로 선발하여 자연계에서보다 더 장기간에 걸쳐 더 많은 양의 우유를 생산할 수 있고 그 생산량에 따라 사료를 급여한다. 분만틀 안의 모돈들은 야생 멧돼지들보다 더 많은 자돈들을 생산 양육한다. 가축화된 말은 야생 말들보다 더 먼 거리를 더 빨리 달릴 수 있거나 더 높게 점프할 수 있다. 개들은 사람들과 쉽게 어울릴 수 있고 늑대보다 훈련을 덜 시켜도 더 많은 학습을 한다.

그러나 고도의 생산 성적은 비용을 치르게 된다. 유방염의 발생 빈도는 고 능력 착유소에서 증가하고 이로 인해 착유 기간이 단지 수일간으로 줄이는 결과를 초래한다. 돼지에서 MMA 증후군은 자돈 생산에서 가장 큰 제한 인자이며 번식 주기 말미에 모돈을 도태시키는 “쓸모 없는 모돈”은 보통 애달픈 광경이다. 말들은 적절치 못한 수용 시설이나 운동 형태 때문에 파행이나 호흡기 문제가 발생할 수 있다. 높은 비율의 개들이 분리 불안이나 공격과 같은 행동적 문제 때문에 죽게 된다. 이환율이나 사고율이 특정 수준에 도달하였을 때 고 성적을 얻기 위한 노력은 동물의 생물학적 요구 사항들의 적절한 고려가 심하게 위태롭게 되면 가축의 요구 사항을 인정할 것인지에 대한 윤리적 문제를 야기한다.<sup>1)</sup>

이와 같은 상황에서 지속적 육류 생산은 생태학적으로 확고하고, 경제적으로 성장할 만하며, 사회적으로 적절(just)하고 그리고 인도적인 생산 형태로 규정되고 있다. 이는 동물의 건강, 환경 보호, 생산성, 식품 안전성, 식품 품질 그리고 소비자들이 가격 대비 합당한 가치가 있는 것으로 제품을 인지하는 것과 같은 생산비 관점의 효율

성 등의 측면을 망라한다. 동물복지는 유럽 시민들에 의해 “공익(public good)”으로 여기며 지속적 축산의 필수적 요소로 간주되고 있다. 동물복지는 윤리적 문제일 뿐 아니라 시장을 유지하고 확대하기 위한 필수적 방편이기도 하며 지속성에 유리한 사양 관리 방법들은 동물복지를 극대화하고 잠재적인 장애 요소를 피해야 한다. 육류 생산 시스템의 지속성에 관한 윤리적 측면을 강조하는 한편, 동물복지에서의 진전은 확고한 과학적 배경을 바탕으로 해야 한다.<sup>2)</sup>

실제 생산 현장에 동물복지 향상과 관련된 권장 사항들이 일상적 관리 방법으로 적용되고 있다. 가령 동물 질병을 예방하고 생산성을 높이기 위해 밀사 시키지 말 것을 권장하고 있는데 그 밀사의 기준이 대부분 유럽의 동물복지 규정에 있는 권장 사항이다. 여기에서는 동물복지에 이르기까지의 역사적 변화와 동물복지가 어떻게 정의되고 있으며, 동물복지에 관한 여러 관점 및 농장에 동물들의 복지 상태를 평가가 어떻게 되고 있는지 살펴보도록 한다.

## 2. 동물복지에 이르는 과정 속에서 축산의 발전(historical developments)

사회적으로 동물복지에 대한 인식이 확대되는 과정 속에서 축산은 그 사회적 역할 즉 양질의 식량 생산의 측면에서 현실적 발전을 거듭해 왔다. 이러한 동물복지의 변화 과정을 Fraser(2004)는 역사적으로 3개의 발전 단계로 세분하여 동물복지 표준들에 대한 조치와 동물복지의 과학적 연구에 영향을 주었던 것으로 분류하였다.<sup>7)</sup> 이러한 발전 과정을 보면 다음과 같다.

첫 째는 선진국에서 1950년대 이래, 생산 효율성 극대화의 철학을 바탕으로 한 축산업의 대변혁이다. 대 변화는 특히 양계와 양돈에서 집약적 시스템(intensive systems)의 적용이 관련되었으며, 동물들이 전혀 또는 거의 외부에 노출되지 않고 종종 이동이 심각하게 제한되게 된다. 축사의 이러한 변화는 생산적 특성에 따른 집중적인 유전적 선발, 과학적 사료 배합 비율, 그리고 생산성 향상을 위한 화학 약품의 사용이 동반되었다. 기술적인 이러한 변화들 이외, 변혁은 소규모, 복합 농장으로부터 훨씬 대규모의 단일 품목을 생산하는 전문화 농장으로 전환되는 것으로 또한 나타났다. 일부 지역 특히 미국과 이전 소련 일부 지역에서, 많은 소규모의 가족 소유 농

장들을 법인 조직 또는 집단적 소유의 구성 단위로 전환되는 농장 소유에서의 변화가 있었다. 새로운 방법들이 경제적 압력에 의해 그리고 일부 주창자들에 의해 강력하게 조장되었다고 할지라도, 변화들은 동물의 사육 상태, 대규모화한 농장들의 환경적 영향 및 기타 문제들에 관한 철저한 조사와 관심을 불러 일으켰다.

두 번째 추세는, 1950년대 이래, 특히 유럽과 영어권 세계에서 보여준, 동물에 대한 인도주의적인 인식의 빠른 상승이다. 이는 동물의 삶의 질을 도덕적 문제의 정당한 사안으로 보게 되는 적어도 1700년대에까지 오랜 역사적 전통 위에 구축된다. 인식에서의 이러한 변화들은 생물학적인 연구, 오락용 및 야생 생물 관리를 포함한 모든 분야에서 동물 보호에 대한 표준과 보호 수단에 대한 요구를 유발하게 되었다. 가축에 대한 복지 표준에 대한 요구는 부분적으로 유사한 수준의 축산에 대한 감시와 기대를 제시한다.

제 3의 추세는 사람들의 일상 생활과 자연적 추세를 침범하였을 때 많은 소비자들이 특히 과학기술화, 산업화, 그리고 집단적인 힘에 대하여 보여준 증가 일로의 회의적인 자세이다. 이러한 징후들은 무역의 세계화와 유전자 조작 식품에 대한 반대들도 포함한다. 전통적으로 축산(animal agriculture)은 인간, 동물 및 자연 사이의 밀접하게 연관성이 포함되는 독립적인 산업(enterprise)의 형태로 광범위하게 간주하였다. 축산업의 변혁으로 동물 생산은 올바르게나 잘못되었거나, 더욱 산업화, 기술 집약화 및 법인 소유화로서 인지되기에 이르렀다. 대중적 인식의 이러한 변혁은 식품 생산의 윤리적 감시의 더 강화와 산업에 가해지는 표준에 대해 알고 싶어하는 욕구를 더 커지게 하는 결과를 초래하게 되었다.

### 3. 동물복지의 역사적 흐름 : 학대에서 복지까지

초기 동물복지와 관련된 규정들은 주로 영국을 배경으로 하고 있으며, 1822년 소의 학대와 부적절한 처치를 예방하기 위한 규정으로 일명 마틴법(Martin's Act)이 제정되었다. 이 법은 1849년 동물 학대에 관한 법(the cruelty to animal act)이 제정되면서 폐기되었다. 특히 동물 학대에 관한 법은 동물에 매질, 학대(ill-treating), 혹사 시킴, 남용 및 심한 고통을 가함을 불법으로 규정하였으며 벌칙금(최대 5파운



드)까지 명시되었다. 이 법은 1876년 수정 확대를 거쳐 1911년 동물 보호법(the protection of animals act)에 의해 대체 폐지되었다. 이후 1964년 영국의 가정 주부인 “Ruth Harrison”은 집약적 농업의 문제를 제기한 책 “Animal Machine”이 발간되었다. 이 책은 동물의 안녕(wellbeing)에 관한 집약적 사양의 유해한 영향을 강조한 수의, 농장 및 과학적 전문가들의 글을 인용하였다. 이 책에서 저자는 1911년 법으로 통제 또는 예기치 못한 내인성 방법으로 가축들이 고통받고 있다고 주장하였다. 이 책은 언론의 주목을 받고 신문 “Observer”에 연재되게 되었다. 이는 곧 동물복지단체(animal welfare societies)들에 조치를 위해 로비하도록 영감을 주었다. 사양가들은 이들이 동물을 학대하고 사양관리 방법들이 외부 규정을 필요로 한다는 주장에 대하여 분노하였으며 “농장에서 동물 학대는 수익을 낼 수 없으며, 만일 가축들이 행복하지 못하다면 잘 자랄 수 없을 것이다.”라는 주장하였고 이것이 이들이 가진 최상의 방어였다. 1968년 새로운 규정이 제정되게 되었으며 여기에서 처음으로 “복지(welfare of livestock)”란 단어가 동물들에 적용되게 되었다.<sup>3)</sup>

동물복지란 용어의 선택은 “학대” 또는 “고통”이라 함은 이미 이러한 상태가 동물에게 가해짐을 의미할 수 있으며 따라서 누군가에 그 책임이 전가될 수 있다. 그러나 “복지”는 잘 자람, 성장 및 생산과 관련하여 긍정적인 의미를 함축하고 있으며 정치적으로 동물 보호론을 주장하는 농업 관련 단체를 진정시키고 대중적 비판을 줄이는데 도움이 되었다.

#### 4. 동물복지의 개념의 이해와 정의

동물복지는 많은 사람들에게 의해 특히 중요한 것으로 간주되고 동물과 관련된 시스템이나 방법들이 지속 가능한지를 결정할 때 중요한 인자가 된다. 그러나 복지란 용어는 실제로 또는 일관성 있게 사용되기 위해서는 엄격한 정의가 필요하다. 복지의 명확하게 정의된 개념은 엄밀한 과학적 평가, 법적 서류 그리고 공개 보고서나 토론에서 적용하기 위해 필요하다. 만일 동물복지가 다른 환경에서 비교되거나 특정 상황에서 평가된다면, 객관적인 방법으로 평가되어야 한다. 복지의 평가는 모든 윤리적 판단으로부터 분리되어야 하나 일단 평가가 종료되면 상황의 윤리성에 관한 결정에

적용될 수 있도록 정보를 제공해야 한다.

동물복지의 유용한 정의는 사람에 의해 동물에게 제공되는 것들이 아닌 동물 개체의 특성을 나타내야 한다. 한 개체의 복지는 그에게 제공되는 것의 결과로 개선될 수 있으나 제공되는 것 자체가 복지는 아니다. 가난한 사람에게 지불금과 관련하여 복지의 부정확한 적용은 과학적 또는 법적 의미와 무관하다. 그러나 지불금을 식품을 구입하는데 사용하고 그 식품을 먹은 애초 배고픈 사람의 복지가 변화되었다고 지칭하는 것이 정확하다. 우리는 위와 같이 사람이나 야생 또는 농장, 동물원, 실험실 및 가정에 포획된 동물들과 관련하여 복지란 용어를 사용할 수 있다. 기술될 수 있는 복지의 영향은 질병, 상해, 기아, 유익한 자극, 사회적 상호 작용, 수용 상태, 계획적 이거나 우발적인 질병 치료, 인도적 처리, 이동, 실험실적 방법들, 다양한 불구, 수의학적 처치 또는 일상적인 교배나 유전자 조작에 의한 유전적 변화를 포함한다.<sup>4)</sup>

복지는 식물 또는 무생물에 대하여는 사용하지 않고, 사람과 동물에만 사용되는 용어이다. 특정 시기에 각 동물이 주어진 환경에 대처하는데 문제가 없다면, 해당 개체는 좋은 감정과 관련될 수 있는 양호한 상태일 것이고 신체 생리적, 뇌 상태 및 행동학적으로 나타나게 될 것이다. 다른 개체는 살아있는 동안 대처가 어렵거나 불가능할 것 같은 문제점에 직면할 수도 있다. 대응은 정신적 및 신체적 안정성의 조절함을 함축하고 장기간 대처에 실패함은 성장이나 번식에 실패하거나 폐사의 결과를 초래한다. 각각의 개체들은 대처가 어렵거나 대처에 잠재적으로 실패함의 직접적인 징후를 보여 주게 되고 또한 그 상황과 관련하여 나쁜 느낌을 가질 가능성 있다. 개체의 복지는 그 환경에 대처하기 위한 시도와 관련된 상태이다. 복지 정의에서 환경은, 개체에 대하여는, 해당 개체에게 외부로부터 영향을 주는 것들을 의미하고, 또는 특정 반응 시스템에 대하여는, 시스템에 외부로부터 영향을 미치는 것을 의미한다. 잠재적인 손상성 공격은 신체 외부 즉 병원체, 조직 손상의 요인들, 또는 동종의 공격 등 신체 외부로부터 또는 걱정, 권태나 좌절, 아마도 주요 자극의 결핍 때문이거나 전반적인 촉진 부족 등과 같이 신체 내부로부터 유래될 수 있다. 기타 환경적 영향은 긍정적일 수 있으며 더 향상된 복지를 가져올 수 있다.<sup>5)</sup>

1960년대 동물복지에 관한 논쟁이 활기를 띤 이래 정확하게 동물복지가 무엇이며 어떻게 정의해야 하는가에 대하여 많은 논란이 있었다. 1983년 Duncan과 Dawkins

는 여러 조사자들이 제시한 복지의 정의를 포함한 동물복지의 전체적인 주제를 검토하였다. 복지의 정확한 과학적 정의를 내리기 불가하다고 결론을 내리면서 할 수 있는 최상으로 육체적 및 정신적으로 건강한 동물, 주어진 환경과 조화를 이루고 고통 없이 주어진 환경에 적응할 수 있는 동물, 그리고 동물의 감정(feeling)을 고려 해야 하는 동물의 개념을 망라하는 광범위한 서술 작업으로 결론 지었다. 문제점은 복지가 동물의 삶의 질을 지칭하고 삶의 질은 건강, 만족감, 수명 그리고 사람에 따라 다른 가치관을 가지는 것과 같이 많은 다른 요소들로 구성되어 있다는 점이다. 정의가 불가할 뿐 아니라 이러한 사실은 복지의 평가를 위한 단순한 척도가 있을 수 없음을 의미한다.<sup>6)</sup>

이러한 정의들은 여러 가지를 함축하고 있다.

1) 복지는 개체에게 제공되는 것이 아니라 개체의 특성이다. 최근 구어적 미국식 표현에서 복지는 개인에게 제공되는 서비스나 기타 재원을 지칭할 수 있으나 과학적 사용에서 전적으로 다르다. 인간 행동이 동물복지를 개선할 수 있으나 제공된 조치나 자원이 복지로 지칭되지 않아야 된다.

2) 만일 복지를 존재하였거나 존재하지 않았던 절대적인 상태로 본다면 복지의 개념은 삶의 다양한 상태나 잠재적으로 유익하거나 유해한 절차의 개체에 대한 영향을 검토할 때 거의 무용한 것이 될 수 있다. 개념은 복지가 평가될 수 있는 것과 같은 방법으로 규정되어야 함이 필수적이다. 일단 평가 가능성을 인정할 때 복지는 그 범주의 영역이 넓다. 만일 복지 등급이 있고 개체의 복지가 등급으로 개선될 수 있다면 등급이 낮아지는 것이 가능할 수 있다. 복지가 개선될 수도 있고 더 열악해 질 수도 있다고 인정하고 동물복지를 평가하는 많은 과학자들이 있다. 따라서 복지를 절대적 상태로 보려고 하거나 등급의 제일 좋은 면으로 제한하려고 시도하는 것은 비논리적이다. 복지는 좋을 수도 나쁠 수도 있다.

연관되어 기쁘거나 행복한 좋은 복지는 복지 개념의 필수적 부분이나 복지를 좋거나 선호하는 삶에 도움이 되거나 좋은 것만을 주목하는 견해는 만일 개념이 실질적이고 과학적으로 유용하기 위해서라면 유지될 수 없다. 동물의 상태를 안녕(well-being)으로 지칭한 Fraser는 상해나 영양 실조, 고통의 정도, 그리고 긍정적 경험 양과 같은 생물학적 기능 수준의 견지에서 복지를 평가함을 지지하였다. 그는 동물의

상태가 얼마나 좋은지 정도를 나타내기 위하여 “안녕(well-being)”을 사용하였다.

3) 복지는 도덕적 고려 사항들 없이 과학적 방법으로 평가될 수 있어야 한다. 복지 평가는 축종의 생물학적 지식과 특히 대처 시도가 실패한 징후와 어려움에 대처하기 위한 시도로 동물이 이용하는 것으로 알려진 것을 바탕으로 하여야 한다. 평가와 그 해석은 객관적이어야 한다. 일단 복지가 서술된 다음 도덕적 결정을 할 수 있다.

4) 동물복지는 대처하는데 어려움이 있거나 대처하지 못했을 때 열악한 것이다. 대처함에 실패는 체력저하와 이에 따른 스트레스를 의미한다. 그러나 생물학적 적합도에 어떠한 영향을 미치지 않으면서 복지가 열악한 많은 경우가 있다. 예로 만일 (a) 좌절감, (b) 중요한 자극의 부재, (c) 부족한 자극(insufficient stimulation), (d) 과다한 자극(overstimulation), 또는 (e) 과다한 예측 불가능성 때문에 동물들이 고통을 받고 있거나, 공포를 느끼거나 또는 동물들이 그들의 환경과의 상호 작용을 조절함에 어려움이 있다면 일어나게 된다.

두 상황을 비교하는데 한 상태의 개체들은 약간의 고통을 받고 있으나 다른 상황에 처한 개체들은 심한 고통을 받고 있다면 고통이나 그 요인들이 건강 저하와 같은 어떠한 장기적인 결과를 초래하지 않는다 할지라도 복지 상태는 2번째 상황이 더 열악하다. 고통이나 위에서 언급한 다른 인자들의 영향이 성장, 번식, 병리 및 기대 수명에 영향을 미치지 않을 수 있으나 이것은 열악한 복지를 의미한다.<sup>4)</sup>

동물복지의 정의 내리기가 어려운 상황일지라도 동물복지 제도가 확대되고 있는 현실에서 동물복지를 정의하는 것이 불가피하다. 여기에서는 편의상 OIE에 규정된 동물복지의 정의를 살펴보고자 한다.

OIE는 동물복지 부분에서 동물복지를 “동물들이 살고 있는 조건하에서 어떻게 대처해 가는지를 의미한다고 규정하였다. 만일 과학적 근거들에 의해 나타나는 것으로 건강하고, 안락하며, 영양 상태가 좋고, 안전하고, 타고난 행동을 표출할 수 있고 고통, 공포 또는 괴로움과 같은 불편한 상태로 고통 받고 있지 않다면 복지가 좋은 상태이다.”고 규정하고 있다.

좋은 동물복지는 질병 예방과 적절한 수의학적 처치, 쉼터(shelter), 관리와 영양, 인도적인 동물의 다룸과 인도적 안락사를 필요로 한다. 동물복지는 동물의 상태를 지칭한다.<sup>7)</sup>

## 5. 동물복지의 다른 견해(different views of animal welfare)

현대식 축산에 관련되어 있는 많은 동물 생산가, 수의사, 동물 과학자들은 그 복지의 주요 항목으로 동물의 “생물학적 기능성”을 강조하는 경향이 있다. 이 견해에 따르면, 훌륭한 동물복지는 높은 수준의 건강, 성장 생산 효율 및 관련된 특성으로 기술하고 있다. 이러한 견해의 옹호론자들은 아무리 부자연스럽게 보일지라도 집약적 생산 시스템이 동물들이 건강하고, 잘 크고, 그리고 생산을 잘 영위하는 한 좋은 상태의 동물복지로 보아야 한다고 생각한다. 사실 이러한 견해에 따르면, 외관상 더 자연스러운 시스템이 만일 건강, 성장 및 생산 수준이 더 떨어짐을 야기한다면 좋은 복지를 증진시키는 것으로 보지 말아야 한다.

인도주의적 사고론자들과 동물복지 학자들 중에서 일반적인 두 번째 견해는 동물의 정서적 상태(고통, 통증, 기타 느낌과 정서)를 강조한다. 이러한 견해에 따른 동물복지 기준은 가능한 한 싫어하는 정서적 상태를 최소로 줄여주고 집약적 시스템이건 비집약적 시스템이건 간에 생활의 정상적인 만족감을 즐기게 해 주도록 보장해야 한다는 입장이다.

세 번째 견해는 동물들은 과도한 속박 없이, 상당히 자연스러운 환경 속에서 이들의 정상적인 행동을 영위함으로 상당히 자연스러운 삶을 영위할 수 있도록 해 주어야 한다고 주장한다. 이러한 견해는 소비자들과 많은 현대 축산에 비판자들에서 일반적이다. 이러한 견해를 가진 사람들에 따르면, 동물복지 기준은 동물의 자연적인 대부분의 행동을 제약하는 동물의 장기간 가둠을 없애야 한다.

이러한 각각의 견해는 정당한 주장이고 합당한 비판을 야기한다. 건강과 영양 상태를 개선시킴으로 달성할 수 있는 성장과 생산성 개선(생물학적 기능)의 추구는 아마 틀림없이 동물복지도 증진되었을 것이라는 입장이나, 지제의 견고성을 대가로 빠른 성장으로의 육종 또는 정상 수준이상으로 생산을 증가시키기 위한 약물의 사용은, 생산성과 동물복지간의 어떠한 긍정적인 상관 관계가 깨뜨릴 수 있다. 고통스러움과 불편함 등의 정서적 상태를 줄여줌은 동물복지와 다소간 연관 있으나 얼마나 정확하게 그와 같은 상태를 알아내고 동물복지 기준으로 이들을 적용할 수 있는 것에 대하여 논란이 일고 있다. 더 자연스러운 조건의 추구는 일부 측면에서 어쩌면 동물복지

를 개선시키나 때로는 혹독한 기후와 포식에 노출이 커지는 것과 같은 다른 문제점들을 야기한다.

이러한 견해들 중 어느 것인가를 생각한 사람들은 때론 3가지 견해들이 잘 어울려 진행되어야 한다고 생각한다. 따라서 만일 동물들이 생산성을 유지한다면 이들이 또한 행복할 것이라고 생산자들은 생각할 수 있으며, 반면 소비자들은 동물들을 자연적인 환경에서 사육한다면 이들이 필수적으로 더 건강하고 생산적일 것이라고 추정할 수도 있다. 때로는 두 가지 견해들이 실제 일치하기도 한다. 예로, 더운 날 진흙에 모돈을 뒹굴게 함이 열 스트레스 예방에 도움이 되기 때문에 생물학적 기능 항목과 모돈들이 더 편안해 하기 때문에 정서적 상태의 항목에 의해, 모돈들이 자연스러운 행동을 할 수 있기 때문에 자연적 삶의 항목으로 동물복지에 좋다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 3가지 견해들은 아주 다른 분야를 강조하고 있으며 가끔 상반된 결론을 도출할 수 있다.<sup>8)</sup>

## 6. 동물의 자연적 삶과 복지

다른 과학자들은 동물에 대한 자연적 행동과 자연적 삶의 조건에 집중함으로써 동물복지 개선을 시도하였다. 예로 돼지에 대한 개선된 수용 시설의 설계를 바탕으로 Alex Stolba and David Wood-Gush는 나무가 우거진 언덕에 방목된 돼지를 관찰하기 시작하였다. 이들은 특징적인 형태의 행동을 돼지들이 보여줌을 관찰하였다. 돼지들은 땅을 파헤치고, 쓰러진 나무를 지레로 사용하여 목 근육 운동을 하고, 분만하기 직전에 한적한 곳에 둥지를 틀고, 돼지들의 휴식처로부터 떨어진 곳에 똥 자리를 형성하였다. Stolba and Wood-Gush는 동물들이 이러한 행동을 할 수 있도록 하는 복합적 돈방을 설계하였다. 땅을 파헤치는 행동을 위해 물이끼 낀 곳과 지레 작용용 막대기, 마사지 말뚝이 설치된 활동지역, 분리된 똥 자리, 그리고 모돈이 분만을 위해 담장으로 둘러싸일 수 있는 뒤편의 한적한 지역들이 포함되었다. 저자들은 복합적인 돈방은 동물복지를 상당히 개선시킬 것이라고 주장하였다.

그러나 일부 기본적 건강 측면(특히 신생 자돈 생존)들이 잘 운영되는 가두어 사육하는 시스템에서만큼 좋지 않아 일부 사람들은 이러한 결론에 동의를 하지 않는다.

우리가 단지 자연스러움만 추구하면 어떨까? 방목 사육 시스템의 다양한 연구들은 동물들이 풍부한 신선한 공기를 접할 수 있고 자연스러운 행동을 행할 수 있도록 함에는 자유스러울 수 있으나 더 인위적 조건하에서 통제될 수 있는 기생충, 포식동물 및 혹독한 기후 조건을 견뎌내야 한다. 문제의 예들은 방목 사육 농장에서 높은 신생자돈 사고율과 유기농 농장에서 닭들은 높은 수준의 기생충 증이 포함된다.<sup>9)</sup>

## 7. 동물복지의 딜레마

위에서 동물복지의 정의와 이에 영향을 미치는 다양한 견해들을 살펴 보았다. 동일한 동물복지를 말하면서 서로 다른 결론을 보여 동물복지 과학을 혼란에 빠뜨린 딜레마를 살펴 보자.

1997년 유럽 연합의 과학위원회(scientific committee)는 집약적으로 사육되는 돼지들의 복지에 관한 문헌을 검토한 결과를 발표하였다.<sup>10)</sup> 여러 가지 질문 중에서, 위원회는 돼지들이 대부분의 임신 기간 중 견고, 사회적 활동을 하고, 그리고 다른 자연스러운 행동을 할 수 없는 “임신 스톨(gestation stalls)”에 임신돈을 수용함이 동물복지의 문제 요인이 되는지에 의문 가졌다. 이 검토는 “모돈들에 대하여 일부 심각한 복지 문제들이 최상의 스톨 수용 시설에서조차 지속된다.”고 결론을 내렸고 이러한 검토로 유럽 연합(EU)은 2013년 현재 임신 스톨을 금지하는 지시 규정(directive)을 통과시켰다.

이후 얼마 되지 않아 호주 과학자 그룹은 대부분 동일한 문헌을 재검토하였고 많은 동일한 의문 사항들에 질문하였으나 근본적으로 반대의 결론을 내놓았다.<sup>10)</sup> 이들은 “개체 별(예, 스톨) 수용과 그룹 수용 모두 돼지의 복지 요구 사항들을 충족시킬 수 있다.”고 결론을 지었다. 이들은 또한 “대중 인식이 감금 수용 시설의 개념에 어려움을 초래할 수 있다.”고 하였으며 “대중 인식의 문제는 복지와 혼돈하지 말아야 한다.”고 주의를 환기시켰다. 미국의 양돈 업계는 임신 스톨을 없애기 위한 과학적 바탕이 없다고 주장하기 위해 위 검토와 유사한 것을 이용하였다.<sup>9)</sup>

이들은 감정 상태(정서적 상태)가 동물복지에 관련됨을 부정하지는 않았으나 동물 복지에 중요한 모든 위험 인자들이 건강과 기능성 변수들에 영향을 미치게 된다는 견

해를 취하고 있다. 따라서 스톤에 수용된 모돈들이 생존성, 증체, 산자수, 질병 빈도 및 그와 같은 변수들에 있어 다른 형태로 수용된 모돈들 보다 일반적으로 저조하지 않다는 근거를 제시함으로써 “개체 별 및 그룹 수용 모두 돼지의 복지 요건에 적합할 수 있다.”고 결론을 내렸다.

## 8. 동물복지 과학(animal welfare science)의 태동<sup>12)</sup>

동물복지의 과학적 연구는 초기에 그 영향을 오늘날 아직 볼 수 있는 역사적 사건의 형태를 취하였다. “animal machines”에 의해 야기된 논란에 뒤이어, 영국 정부는 “집약적으로 가축 사육 시스템하의 동물복지”를 조사하기 위한 위원회를 구성하였다.

과학자들 중 한 사람이 동물 행동학자인 William Thorpe였으며 그는 동물복지의 이해를 증진하기 위해 과학을 어떻게 적용할 것인가에 대한 사려 깊은 글을 썼다. 그는 스트레스의 생리학적 지시 인자들, 고통과 불편함의 행동적 지시 인자들, 감금 상태에서 좌절된 동기 연구들, 동물의 지능과 인지력의 연구들, 사람에 대해 익힌 공포감을 발전시키기 위한 동물의 능력 연구, 그리고 다른 환경에서 동물들이 보여주는 선호도 연구들을 언급하였다. 그에 맞춰 위원회는 수의학, 스트레스 생리, 축산학, 그리고 특히 실제적 방법으로 부분적 동물 생산을 개선하고 부분적으로 다른 생산 방법이 동물복지에 어떻게 영향을 주는지를 확인하기 위하여 동물 행동학에서 시행되었던 연구를 필요로 했다. 이러한 권고를 바탕으로 영국에서 동물복지 연구의 초기 자금 지원은 특별히 강력한 역할을 할 동물 행동학의 여러 학문 분야에 걸친 접근 방법을 만들어 냈다.

일부 경우에 있어, 복지 문제들은 수의학의 병리, 역학 및 기타 분야의 전통적인 적용을 통하여 자체의 연구와 개선을 하게 되었다. 수의 병리학자로서 Ernest Samford는 사후 검사에서 외관상 건강한 상태이나 치명적인 위, 비장의 염전을 보인 많은 수의 모돈들을 접하게 되었다. 사례들의 조사에서 많은 수가 격일로 사료를 급여하는 가두어 사육하는 농장에서 유래됨을 파악하게 되었다. 방목하는 모돈들에 대하여 생산가들은 가끔 격일로 풍부한 양의 사료를 제공함으로써 동물의 사료 섭취량을 제한하



게 되고, 따라서 동물들은 제한된 공급 사료에 경쟁 없이 충분한 양을 섭취할 수 있고 격일로 건초나 조사료를 주었다. 그러나 격일 사료 급여를 임신스톨에 가둔 상태의 모돈에 일부 생산가들에 의해 적용되었다. 이러한 조건하에서 동물들은 사료 급여 시 격하게 흥분하게 되었고 향후 2일 동안 견뎌내기 위해 많은 양의 사료를 급하게 먹어야 했다. Samford는 위비 염전(gastro-splenic torsion)이 주말 즉 관리자가 줄어 한 사람의 관리자가 많은 모돈들에게 사료를 급여하여 사료를 먹기 위해 평소보다 더 오랫동안 기다려야 하는 때에 가장 빈번하게 발생함을 인지하였다. 이러한 소견들을 종합하여 Samford는 문제가 지나친 굶주림, 과도한 흥분 및 빠른 사료 섭취들이 종합적으로 기인한 것으로 결론지었다. 가두어 사육하는 모돈들에 대하여 격일 사료 급여를 그만두고 스위치를 돌림으로 모든 모돈들에게 동시에 사료를 줄 수 있게 함으로 모돈들이 사료 급여 시기에 비교적 차별하게 있게 하는 자동 급여 시스템을 이용함으로써 개선시킬 수 있었다.

다른 연구들은 동물 생산 과학(animal production science)으로부터 얻은 방법들을 적용하였다. 네델란드에서 12개의 소규모 양돈장에 대한 전통적 연구에서 Paul Hemsworth와 그 공동 연구자들은 동일한 사료, 동일한 종돈, 유사한 축사에서 사육함에도 불구하고 농장에 따라 번식 성적의 차이가 크게 나는 것을 관찰하였다. 동물들을 관찰하여 Hemsworth는 번식 성적이 우수한 농장에서 낫선 방문자가 접근했을 때 모돈들이 거의 공포심을 보이지 않는 반면 번식 성적이 낮은 농장에서는 모돈들이 피하는 경향이 있음을 발견하였다. 이는 관리자들에 의해 동물이 적대적으로 다루어 짐은 많은 축종에서 성장 및 번식 성적 저하와 관련되는 사람에 대한 만성적인 공포를 유발할 수 있음을 보여준 광범위한 연구의 몸체가 되었다.

생리학자 John Barnett와 그 동료들은 모돈에 대한 수용 방법을 평가함에 있어 생리학적 “스트레스 반응들”을 광범위하게 이용하였다. 일련의 연구에서 Barnett와 공동 연구자들은 모돈들을 개체 별 스톨, 밧줄로 매어둠(tether) 그리고 다양한 형태의 개방식 수용 등으로 수용하고 그들은 혈액 시료로부터 유리 코티코스테로이드를 조사하였다. 한 연구는 밧줄로 매어둔 모돈들을 다른 수용 시스템의 모돈들과 비교했을 때 유리 코티코스테로이드 수준에서 상당히, 만성적으로 증가됨을 보여 주었다. 이것과 그 외 근거를 바탕으로 연구팀은 매어 두는 시스템은 ‘만성 스트레스 반응과 상당

한 대사적 비용(metabolic cost)'의 요인이 된다고 결론지었다. 이후 관찰 소견들은 문제의 요인으로 명백해졌다. 이 연구를 위해 이용된 밧줄로 매어두는 시스템은 인접 모돈들과 머리 부위를 분리하는 짧은 칸막이는 비교적 개방 형태로 이웃한 개체간에 상당한 공격이 가능하였다. 후속 연구에서 칸막이로 가리었다. 이러한 조건하에서 다행스럽게 공격성은 없었고, 혈중 코티코스테로이드의 수준은 다른 수용시스템보다 높지 않았다. 저자는 밧줄로 매어두는 시스템에서 보여준 더 낮은 복지는 지속적인 공격의 발생을 가능하게 하는 설계의 결과로 결론지었다.

동물 행동에 관한 연구는 동물복지의 이해와 개선에 있어 중요한 역할을 한다. 경우에 따라 행동적 소견들은 유해한 행동의 요인들을 이해하여 개선시키게 된다. 모돈들에 의한 압사 또는 내리 밟히는 자돈들의 외상성 부상은 심각한 동물복지 문제와 중요한 일상적 손실 요인이다. Peter English와 William Smith는 약 1,000 마리 자돈들의 초기 행동을 조사하였고 이들 중 236두는 이유 전에 폐사하였다. 많은 폐사가 압사에 의해 발생하였지만 거의 절반의 희생 자돈들은 치명적 사고 이전에 이미 영양실조의 징후를 보였다. 아마도 영양 상태가 불량한 자돈들은 모돈의 갑작스러운 움직임에 피하는 능력이 더 떨어지고 이들은 모돈에 깔리게 될 위험성이 더 높게 수유가 끝나고 다음 수유 시까지 유방 주위에 머무르게 된다. 압사의 예방은 모돈의 움직임 조절할 뿐 아니라 위험성을 높이는 영양 불량을 예방하기 위한 교차 양자나 보조 급여와 같은 관리를 필요로 함을 현실화하였다.

위의 예들은 동물복지 연구 범주의 다양성을 보여주나, 이러한 아주 다양함은 해석에 문제점을 야기하였다. 격리 초기 이유(segregated early weaning)와 같은 방법들은 동물들에 대하여 거의 틀림없이 아주 비정상적인 방법이고 지속적인 격리의 고충 결과를 초래할 수 있으나 감염성 질병을 예방하는데 효과적일 수 있다. 놓아 기르거나 개방식 우사 시스템으로 사육되는 동물들은 외관상 더 자연스러울 수 있으나 질병과 갓 태어난 동물들의 폐사의 문제점을 야기할 수 있다. 따라서 연구의 다른 형태들은(모두가 동물복지의 이름으로 시행된) 다른 결론을 도출시킬 여지가 있다. 예로 일부 과학자들은 부분적으로 이들이 동물복지의 다른 견해를 채택하고 다른 과학적 척도들을 강조함으로써 임신 스톱의 복지 영향에 관하여 다른 결론에 도달하였다. 동물복지 연구의 해석에서 어려움 중 하나는 과학자들이 동물복지에 관한 다른 견해에 대해

여 스스로의 연구를 바탕으로 할 때 야기되는 의견 차이의 기술적, 사실적 문제에 관하여 실수적 의견 충돌을 피하는 것이다.

## 9. 동물복지학의 적용

동물복지학(animal welfare science)은 동물과 생산가 모두에게 유익한 실질적인 방법으로 동물의 사육, 다룸, 이동 및 도축을 개선시키는 잠재력이 있다. 그러나 대부분의 과학과 마찬가지로 연구와 그 적용간에 격차가 있다. 소수의 동물복지 과학자들과 세계적으로 동물을 사육하는 많은 수의 사람들간에 있어, 과학과 그 궁극적 사용자간의 의사 소통은 거대한 도전이다.

다행스럽게도, 종종 동물복지를 개선하는 실질적 동기가 있다. Paul Hemsworth의 연구에서 본 것과 같이 돼지를 긍정적으로 다루는 것이 만성적인 공포심을 없애주어 동물복지를 개선시킬 뿐 아니라 일상적 생산성을 향상시키게 된다. 영양 실조와 압사 방지를 피하기 위한 자돈 관리는 동물복지뿐만 아니라 생산가에게 생산 비용 절감에 도움을 줄 수 있다. 이동 중 스트레스를 감소시킴과 도축 전 관리는 동물에도 좋을 뿐 아니라 육질의 커다란 문제를 피하는데 도움이 될 수 있다. 이러한 부분 이외 많은 점에서 실질적 이익이 동물복지의 개선에 대한 주요 보상이 될 수 있다. 동물복지에 관하여 일반적 관심이 고도로 야기되지 않은 문화적 상황에서 훌륭한 동물복지 방법의 실질적인 장점들을 통해 소통하는 것이 중요하다.

그러나 동물복지 연구의 실질적 이익은 난처한 문제를 야기하기도 한다. 동물 생산에서 현대적 변화들이 과학을 바탕으로 한 것이라고 하면서 왜 과밀, 부정적 동물의 취급, 유해한 동물 행동과 같은 기본적 문제점들이 그렇게 오랫동안 해결되지 않거나 연구가 미약한 것일까? 아마도 이러한 질문에 대한 부분적인 답은 “동물 농사(animal husbandry)”로부터 “동물 과학(animal science)”로의 변환에 의한 것이 될 수 있다. 1900년대 초기에 많은 농업 및 수의 학도들은 “animal husbandry”라는 과목을 공부하였다. 이는 동물의 사료 급여(feeding), 번식(breeding), 건강 관리(health care), 동물 다루기(handling), 관리(management) 그리고 수용 시설(housing)이 포함되었다. 생명 과학이 발달하게 됨에 따라, 동물 농사(animal husbandry)는 ‘동

물 과학(animal science)'으로 대체되었다. 동물의 사료는 영양 과학이 되었고 동물의 번식학은 육종(genetics)과 번식 생리가 되었다. 그러나 동물 농사의 다른 구성 요소-다름, 관리 및 수용 시설-들은 과학적 연구의 주제로서 무시되었다. 이러한 주제들에 관한 체계적인 조사를 적용함에 의해 동물복지가 현재 동물 농사가 축산학이 될 때 남겨두었던 큰 공백의 일부를 채우는데 도움이 되고 있다. 그리고 영양학, 번식 생리 및 기타 관련 분야에서 이미 진행되어온 진전이 제공되면서 동물복지 과학은 축산(animal production)에서 개선의 새로운 세대를 맞고 있다.

그러나 접근 방법은 전통적 축산학(animal science)에서 사용되었던 것과 다를 것이다. 전통적으로 축산학은 동물 자체가 변화로부터 이로운지 어떨지 모르겠지만 축산의 생산성, 효율성 그리고 수익성 개선을 추구하여 왔다. 따라서 예로 축산학 연구는 동물에게 명백하게 유해할 정도의 돼지 과밀(crowding)이 축사와 시설에 대한 생산가의 투자 대비 최고의 수익성이 되고 위 궤양 정도를 더 심화시킨다고 할지라도 고운 곡물 가루가 돼지의 사양 성적을 향상시킬 수 있음을 보여 주었다. 위와 같은 경우 이외에도 전통적인 축산학(animal science)은 동물 자체에 해로울 수 있는 방법들을 장려하고 있다. 동물복지 연구들은 가장 우선적으로 동물 자체에 대한 혜택-건강, 안락, 정서 그리고 동기들-에 초점을 두기 때문에 동물의 사육과 다름에 실질적 개선을 제공해야 하나 동물복지에 관한 대중의 우려에 더 적합한 방법이 되고 있다.

## 10. 동물복지의 평가<sup>13)</sup>

복지는 근본적으로 동물의 내외부 환경과 연관된 것으로 개체의 주관적 심리적 상태를 지칭한다. 우리는 아직 직접 동물의 감정과 느낌을 읽을 수 있는 단계에 도달하지 못했기 때문에 그러한 것과 관련된 것으로 밝혀졌거나 관련된 것으로 추정되는 측정 가능 항목으로 추론을 시도한다. 행동, 생물학, 생산 추이 및 병리를 포함하는 이러한 대부분 측정 방법들은 감정(emotion)/스트레스(stress)/적응(adaptation) 정신생리학(psychophysiology)과 병리의 연구에서 유래된다.

자율신경계(autonomic nerve system;ANS)와 시상하부 뇌하수체 부신피질 축(hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis;HPA)은 스트레스 연구의 제 1선에

있다. 그러나 이러한 신경 내분비계(neuroendocrine system)는 우선적으로 특히 에너지 유동의 조절과 대사적 항상성에 관련되어 있다. 목적론적 관점에서 이러한 계통이 스트레스 유발 인자들에 의해 활성화 되는 이유는 이들이 에너지 저장 조직(ANS는 지방 조직으로부터 지방과 간으로부터 글리코젠을 동원한다.)으로부터 또는 단백질을 왕성한 대사산물로의 전환(새로운 포도당 생성이 글루코코티코이드 호르몬에 의해 증진됨)에 의해 에너지 대사산물을 생성할 수 있기 때문이다. 이러한 에너지 공급은 스트레스 인자에 대처하기 위한 방어기전에 의한 것이다. 따라서 HPA 축이나 ANS 기능성 변수에서 어떠한 변화는 스트레스 자극에 대한 반응에는 필수적이지 않으나 항상성 대사 과정에 이들이 관련됨으로 반영될 수 있다. 최상의 예는 보통 스트레스 요인으로 생각되지 않는 식사에 의해 유도되는 코티솔 수준의 상승이다. 게다가 대사적 적응 변화는 필수적으로 이러한 시스템의 활성화를 필요로 하지 않으나 상황의 특정 요구에 따라 이를 가끔 멈추게 할 수 있다. 예로 자돈의 조기 이유에 대한 ANS의 반응은 뇨 중 카테콜라민 수준의 저하에서 볼 수 있는 억제이다. 이는 이유에 의해 유도된 기아 상태의 결과로 결핍에 적응하기 위한 에너지 보상 기전이다. 신경 내분비의 변화에 관한 이러한 대사적 영향은 실험 자료를 해석할 때 고려되어야 한다.

검토의 두 번째 초점은 자극의 지속 기간이다. 이러한 차원의 반응은 놀람(alarm), 저항(resistance), 그리고 극도의 피로(exhaustion)의 연속된 3단계로 Selye에 의해 기술된 “전체적 적응 증후군(general adaptation syndrome)”에서 중추적인 개념의 역할을 한다. 급성 공격(분만, 거세, 이유, 다른 사회적 그룹의 동물들과 합사, 보정, 운반, 도축과 같은)에 대한 생물학적 반응들은 광범위하게 연구되었고 대부분의 스트레스 인자들과 같이 표준화된 방법(놀람 단계)으로 생물학적 스트레스 시스템을 활성화한다. 이러한 일반적 반응 형태는 신체의 어떠한 요구에 대한 신체의 비특이적 반응으로 Selye에 의해 정의된 스트레스 개념의 기원이 되었다.

스트레스는 신체에 발생하는 모든 요구에 대한 신체의 비특이적 반응이다. 이 정의를 이해하기 위해서는 먼저 “비특이적”이 의미하는 것을 이해해야 한다. 우리 신체에서 발생하는 각각의 요구는 어느 정도 유일성, 즉 특이성이 있다. 추위에 노출되었을 때 더 많은 열을 생산하기 위하여 떨게 되고 체표면으로 열 손실을 줄이기 위하여 피부의 혈관이 수축한다. 고온에 노출되었을 때 체 표면에서 땀의 증발은 냉각 효과가

있기 때문에 우리는 땀을 흘린다. 정상 수준 이상으로 혈당 수준이 상승하도록 섭취하였을 때 이 중 일부는 배설하고 혈당 수준이 정상 수준으로 되돌아 올 수 있도록 나머지는 저장하거나 소모하도록 화학 반응을 활성화 시킨다. 전속력으로 많은 계단을 뛰어 오르는 것과 같은 많은 근육의 힘은 근육계와 심맥관계에 수요를 증가 시킨다. 근육은 이러한 특정적 일을 수행하기 위해 더 많은 에너지를 필요로 하고 따라서 심장은 더 빠르고 강하게 박동하여야 하고 혈압은 근육의 혈액을 흐름을 가속화하기 위하여 상승하게 될 것이다.<sup>14)</sup>

이러한 비특이성은 일반적으로 HPA축 반응의 독특한 결과 즉 그 성질과 강도가 어찌되었든 ‘어떠한 요구’에 대하여 정교하게 민감한 순환 코티솔 수준의 증가임을 인지해야 한다. 그러나 만일 자극이 얼마 동안 계속된다면, HPA축의 지속적 활성화가 동적 시험과 같은 다른 접근 방법으로 탐지될 수 있다고 할지라도 혈중 코티솔은 조절 수준으로 되돌아온다. 동물복지에 영향을 주는 많은 인자들은 장기간 지속되기 때문에 – 이는 대부분의 영향의 경우 동물의 육체적 그리고 사회적 환경으로부터 유래된다 – 더 많은 관심을 적응 과정의 만성적 재조정에 조사를 기울여야 한다.

세 번째 문제는 적응 기전의 기본적 기능과 환경적 변화에 대한 이들의 반응에서 나타난 엄청난 개체별 차이이다. 이러한 변이성은 유전적, 발육, 그리고 경험적 등 근원이 다양하다.

## 11. 행동<sup>13)</sup>

행동은 동물이 환경과 상호작용하는 1차적인 방법이다. 대부분의 생리학적 조절 과정은 조정된 행동학적이고 생물학적인 기전을 통해 항상성을 유지한다. 이는 또한 스트레스와 적응 과정들에서도 그렇다. 게다가 행동 연구는 외과적이 아니고 주제에 어떠한 어려움 없이 할 수 있다. 보통(능숙한 과학자들에게는) 최소한의 장비만 필요하고, 훌륭한 시간 해결성이 있다. 또한 자체가 사회적 그리고 인간-동물 상호 작용에서와 같이 어려움의 근원이 되거나 또는 행동적 요구들이 충족될 수 없을 수 있다. 이러한 모든 이유들이 복지 연구에서 1차적인 접근 방법으로 행동을 내세운다.

행동(behaviour)은 동물의 생리적 상태의 민감한 지표(index)이다. 예로 돈방에서

돼지들을 다시 구분됨을 단순히 관찰함은 동물의 온도 조절 상태를 반영하고 따라서 유일하고 단순한 방법을 통하여 환경(온도, 습도, 풍속, 영양 수준)과 동물(생리적 상태, 기초 대사)의 관련된 여러 가지 기여 인자들을 통합하게 된다.

따라서 행동은 환경적 요구(needs) 또는 선호도를 분석하기 위해 광범위하게 적용되어 왔다. 일부는 급수기 형태(spouts)와 급이기의 배치와 설계, 바닥의 물리적 특성 그리고 동물의 편리한 이동을 가능하게 하는 통로의 설계와 같이 동물 삶의 공학과 관련된 것과 같이 아주 분명하다. 선호도 시험은 유용하나 동물복지의 견지에서 해석이 더 어렵고 동물들이 만족할 수 없었을 때 정신적 그리고/또는 생리적 장애를 유발할 수 있는 요구들을 구성하는 것으로 말할 수 있는 것인지를 알아보기 위해 선호도의 강세를 측정하는 것이 필요하다. 모든 이러한 행동적 연구는 동물의 적절한 환경 설계를 위하여 중요하다.

행동은 또한 발열을 동반하고(이동 감소, 사회적 활동 저하 그리고 사료 섭취 저하) 질병 행동으로 알려진 전체적 행동 저하 또는 운동 장애와 통증 관련을 나타내는 파행과 같이 건강 문제의 진단을 위한 전통적 징후이다.

소위 비정상적 행동들의 중요성과 해석에 관하여 많은 검토가 있었다. 이들은 여러 부류로 분류할 수 있다.

1) 궁극적으로 사료와 물 섭취 저하를 동반하는 행동적 활성/반응도 저하(무관심)는 새로운 환경에 대한 적응에서 흔한 징후이다.

2) 공격적 행동들은 1차적으로 돼지들의 사회적 행동의 표출이다. 사실 공격적 행동들은 사료 경쟁 또는 이유 시나 출하를 위한 상차직전이나 계류장에서 다른 돈방으로부터의 돼지들과 섞였을 때와 같이 낯선 돼지들과 합사 되었을 때 빈번하다. 이러한 공격적 상호작용은 흔히 상처와 탈진의 근원이 되고 결국에는 리아노딘 수용체(ryanodine receptor)의 스트레스 감수성 대립 형질을 가지고 있는 것과 같이 예민한 개체들에서 폐사의 결과를 초래한다. 이러한 것들은 또한 저하된 pH로 PSE 돈육의 결과를 초래하여 육질을 저하시킬 수 있다. 따라서 다른 사회적 그룹의 동물들과 합사를 가능한 한 제한시켜야 한다. 이러한 기간 이외에 공격적 행동은 예로 사료에 경쟁이 없을 때 또는 그룹의 크기를 정상적, 사회적 행동의 발현시키기에 충분히 작은 규모일 때 보통 빈도가 낮다. 공격적 상호작용은 동물복지가 위협받게 되는 상황에서

증가되는 것으로 나타났다. 개체별로 큰 차이가 일어날 수 있음을 또한 고려되어야 한다. 유전적 차이들이 실험 동물에서 잘 입증되었으나 돼지에서는 시행된 것이 거의 없다.

3) 정형화된 행동의 발현은 비록 비 정상적 행동의 발현에 개체의 취약성에 큰 차이가 있을 수 있다고 할 지라도 열악한 복지의 증상이라는데 일반적으로 일치하고 있다. 비정상적 행동의 극단적 형태는 보통 꼬리와 귀에 대한 무는 행동이고 때로는 폐사를 유발하기도 한다.

결론적으로 대부분의 행동적 변화는 스트레스와 복지와 단순한 관계가 없고 항상성 기전들(정신생리학적 차원)에서 특정 역할과 개체별 차이의 맥락에서 해석되어야 한다.

## 12. 생산과 복지<sup>13)</sup>

생산 수준과 복지와의 관계는 단순하지도 일방적이지도 않다. 사실 코티코스테로이드 호르몬들과 카테콜아민들은 이화 작용(체분해성)이 있고 이러한 신경 내분비계의 활성화는 생산과 연관된 동화 과정에 대하여 서로 상반된다. 글루코코티코이드 호르몬들은 성 신경 내분비계의 활성을 저하시켜 번식 효율을 저하시킨다. 행동적 조정은 또한 에너지 소모적이다.

피부 병변 즉 상처로 인한 반복적 통증, 과밀과 같은 불리한 환경 조건, 나쁜 공기 상태들과 같은 건강 문제들은 보통 증체와 전반적인 생산성을 저하시킴에 의심의 여지가 없다. 그러나 그 역 즉 생산의 극대화가 필수적으로 적절한 복지로 반영되지는 않는다. 유전적 선발과 성장 촉진제의 사용을 통한 생산성 향상 방법은 이들이 복지에 부정적 영향을 줄 수 있고 생산 성적에 관하여 부정적 영향이나 열악한 복지를 감추게 할 수 있기 때문에 시비가 일고 있다.

영양, 질병 예방 등에 관하여 가축의 생물학적 요구 사항들을 일반적으로 많이 알고 있다 할지라도 동물들의 행동적 요구 사항들에 대한 이해는 충분하지 못하다. 가축에서 정형화된 행동의 발현율은 이러한 요구들이 충족되지 못하고 있음을 명백하게 보여준다. 여러 종에서 더 특이적 행동적 문제 뿐만 아니라 가축과 말에서의 정형



적 행동의 발현율은 우리가 동물에게 좋을 것이라고 생각하는 것과 동물이 그에 대해 생각하는 것 간의 차이를 명백하게 나타낸다.

지난 20~30여년 간에 걸쳐 가축 행동 연구는 동물의 행동 과학(behavioural biology)의 이해를 뚜렷하게 높였으나 만성적 스트레스, 불안, 또는 좌절과 같은 동물의 다양한 상태를 진단할 수 있는 적절한 방법은 아직도 없다. 그 결과는 우리가 개선이 필요한 수용 및 관리 상태의 측면을 정확히 찾아내기 어렵다는 것이다. 행동적이든 생리적이든 객관적 방법은 기껏해야 무엇인가 잘못되었다는 암시만 우리에게 제시한다.

만일 최종적으로 특정 측면(예로 그룹 수용이 사회적 동물들에게 좋다, 깔짚은 정형적 행동보다 더 적절한 행동 형태를 보여주게 할 수 있다, 섬유질이 더 많은 사료는 제한 급여 동물에게 배고픔을 덜 느끼게 한다.)에 대하여 의견을 간신히 같이한다면, 아주 빈번하게 변화에 대한 “업계”로부터의 커다란 저항에 직면하게 된다. ‘깔짚은 사용하기에 너무 비싸다’, ‘부피가 큰 사료는 너무 노동 집약적이다’, 또는 ‘군사는 동물들간의 공격의 요인이 된다’, 와 같은 주장이 모든 진전을 늦춘다. 현대형 집약적 상태는 오로지 이들이 최소의 투입으로 가장 높은 수익을 주기 때문에 개발되었다. 현재 시스템에서 다른 대안(즉 더 동물 친화적) 시스템으로 어떠한 변경은 더 높은 생산 비용과 결과적으로 수익 감소를 의미한다. 누가 추가 비용을 지불할 것인가? 라는 의문을 남긴다.

가축에서 복지의 평가는 수많은 인자들이 복합적 현상인 “복지”에 영향을 주기 때문에 분명 많은 요소로 이루어져야 한다.

### 13. 농장에서 동물복지 평가 방법(Welfare Quality® assessment protocol)

동물복지 평가 방법의 개발은 사양가들에게 사육중인 동물들의 복지 개선을 위해 자문을 제공하기 위해서도 필요한 것으로 보고 있다.<sup>15)</sup> 세계적으로 돼지의 복지 평가 방법으로 유럽에서 시행 중인 방법(Welfare Quality® assessment protocol)과 미국에서 적용되고 있는 방법(swine welfare assurance program)이 있다. 이들은 운영에서도 차이를 보이고 있다. 즉 유럽에서는, 정부(국가적 그리고 유럽 연합모두)가 대

부분의 축산물에 대하여 일련의 엄격한 동물복지 규정을 제정하였다. 정부는 거의 개입하지 않은 북미에서는, 식품 가공 회사와 소매상들이 중추적인 역할을 하여, 맥도날드와 버거킹과 같은 회사들이 그 원료 공급자들이 충족시켜야 하는 표준을 제정하였다.<sup>8)</sup>

Welfare quality®의 경우 그 평가 방법을 공개하고 객관적으로 적용할 수 있도록 추구하고 있다.

(표 1) welfare Quality 평가방법의 항목들과 원리<sup>16)</sup>

훌륭한 사양	1.장기간 굶주리지 않음 2.장기간 갈증 없음
훌륭한 수용 시설	3. 휴식 중 안락성 4. 쾌적한 온도 5. 행동의 용이성
양호한 건강	6. 상처 없음 7. 질병에 걸리지 않음 8. 관리 방법에 의한 고통 없음
적절한 행동	9. 사회적 행동 표현 10. 기타 행동적 표출 11. 건전한 인간-동물 관계 의식 12. 긍정적 감정적 상태

(표 1)은 유럽 연합에서 적용하고 있는 동물복지 평가 방법의 기본적 항목들로 이러한 항목들에 대한 현장 평가 시 구체적 방법은 시설을 근거로 한 평가(resource-based measures), 관리 근거의 평가(management-based measures) 및 돼지를 근거로 한 평가(pig-based measures)로 구분하고 있다. 가령 수용 밀도 등은 시설을 근거로 한 평가에 속하며 이유 일령, 거세 및 꼬리 자르기 등은 관리를 바탕으로 한 평가이다. 돼지들의 건강은 돼지를 근거로 한 평가 방법으로 평가하게 된다. 그 결과는 각 부분별로 평가하여 우수한 부분과 개선이 필요한 부분들로 나타낼 수 있게 된다.

국내에서 Anriansyah Renggaman 등(2015)이 welfare quality 방법에 일부 평

가 항목을 조정하여 한국 내 2개의 육성 비육 농장을 대상으로 동물복지 평가를 실시하였다.<sup>15)</sup> 이들은 육성 비육돈에 대하여만 동물복지 상태를 평가하였다.

문 등(2014)은 동물복지의 평가에 중요한 돼지들의 행동을 조사하여 정상 행동과 비정상 행동으로 구분하고 이들 중 동물복지 평가에 적용하기 위해 활용 가능한 행동형을 선별 보고하였다.<sup>17)</sup>

이외 국내에서는 동물 관련 법률과 관련된 연구들이 이뤄졌으며 이들은 용어 선택에 있어 동물복지보다 동물 보호를 사용하고 있었으며 이러한 것으로 미루어 국제적으로 사용되는 “동물복지”에 대한 의미를 다르게 해석하고 있는 것으로 보인다.<sup>18, 19)</sup>

## 14. 결론

과학적으로 해결하지 못하는 동물복지의 다른 개념이 존재하고, 이러한 것들이 뿌리 깊은 문화적 세계관과 가치관을 바탕으로 함이 제시된 상황에서, 높은 수준의 동물복지를 확보하기 위한 실질적 프로그램과 정책을 입안하기 위해 어떻게 진행해야 할까? 가장 단순한 메시지는 동물복지를 향상시키기 위해 만들어진 조치들이 어느 정도 다른 개념의 동물복지를 고려하지 않는다면 광범위한 지지를 받지 못할 수 있다는 것이다.<sup>9)</sup>

동물복지는 우리 축산 업계가 새로이 도입하여야 하는 부분으로 판단된다. 다른 한편으로 아직 동물복지에 관한 개념 또한 모호성이 많고 아예 동물복지란 용어에 대한 반감까지 있다. 가장 합리적이고 단 시간 내에 개념을 정립하고 동물복지의 적용과 관련된 모든 분야의 종사자들로부터 적극적 호응을 얻기 위해서 유럽 연합과 같은 과정이 필요한 것으로 판단된다. 즉 동물을 대상으로 연구하고 있는 전문가들 중심으로 가칭 “동물복지 실무 과학 위원회”를 구성하고 이 위원회에서는 동물복지 관련 문헌을 바탕으로 보고서를 작성하도록 하는 것이다. 또한 아직 필요한 부분이 있다면 이 위원회에서 실험을 설계 이행하여 결론을 얻을 수도 있다. 이후 이 보고서를 바탕으로 동물복지 적용과 연관된 관계자들로 구성된 관계자 회의에서 현실적 문제점을 검토하여 보고서의 기본 틀 안에서 최종 시행 안을 제정하는 것이다. 이러한 과정 속에

서 동물복지에 관한 전문가가 탄생할 수 있으며 모두가 참여함에 따른 동물복지에 대한 합리적 이해를 바탕으로 현장 적용도 호응을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 1) Jan Ladewig, Welfare of domestic animals: Is it possible to keep them without exploiting them? Animal welfare and animal health: proceedings of workshop 5 on sustainable animal production, organized by the Institute for animal science and animal behavior, FAL Mariensee, held Sep 4–5 2000
- 2) Antonio Velarde, Emma Fàbrega, Isabel Blanco–Penedo, Antoni Dalmau. Animal welfare towards sustainability in pork meat production. Meat science 2015 109 13–17
- 3) Abigail Woods. From cruelty to welfare: the emergence of farm animal welfare in Britain, 1964–71. Endeavour 2012 36 1 14 –22
- 4) D.M. Broom. Welfare concepts. in Welfare of pigs from birth to slaughter 2008 15–
- 5) Donald M Broom. Welfare assessment and relevant ethical decisions key concepts. ARBS annu Rev Biomed Sci 2008; 10; T79–T90
- 6) I.J.H. Duncan. Pain, fear and distress, in Global conference on animal welfare: an OIE initiative 2004. animal-welfare.oie.int/proceedings.pdf 2017 2 8 contact
- 7) Animal welfare chapter 7. 1 Introduction to the recommendations for animal welfare. www.oie.int/fileadmin/home/eng/Health\_standards/tahc/current/chapitre\_aw\_introduction.pdf
- 8) D. Fraser. Applying science to animal welfare standards. 2004. in Global conference on animal welfare; an OIE initiative
- 9) David Fraser. Understanding animal welfare. Acta veterinaria scandinavica 2008 50(suppl 1) S1
- 10) Report of the scientific veterinary committee. The welfare of intensively kept pigs. 1997 Doc XXIV/B3/ScVC/005/1997 final [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/aw\\_arch\\_1997\\_intensively\\_kept\\_pigs\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/aw_arch_1997_intensively_kept_pigs_en.pdf)
- 11) J.L. Barnett, P.H. Hemsworth, G.M. Cronin, E.C. Jongman, and G.D. Huston. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. 2001 Aust. J. Agri. Res. 52, 1–28
- 12) D. Fraser The welfare of pigs : a social, ethical and scientific issue In “welfare of pigs from birth to slaughter” 2008
13. P. Mormède. Assessment of pig welfare, in Welfare of pigs from birth to slaughter cp 2 2008 Wageningen academic publishers
- 14) Hans Selye. the evolution of the stress concept: The originator of the concept traces its development from discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic

applications of symtoxic and catatoxic hormones, American scientist 1973 vol 61 No 6  
692-699

- 15) Anriansyah Renggaman, Hong L Choi, Sartika IA Sudiarto, Laura Alasaaerla and Ok S Nam. Development of pig welfare assessment protocol integrating animal-, environment-, and management-based measures. J anim sci tech 2015 57;1
- 16) Welfare Quality. Welfare quality assessment protocol for pigs. [www.welfarequality.net/downloadattachment/45627/21651/pig\\_protoccol.pdf](http://www.welfarequality.net/downloadattachment/45627/21651/pig_protoccol.pdf)
- 17) 문영길, 하덕민, 전중환, 김두환. 동물복지 평가를 위한 돼지의 특정 행동 선별에 관한 연구. 농업생명과학연구 2014 48(5) 63-42
- 18) 함태성. 학술연구논문 : 우리나라 동물 보호법제의 문제점과 개선방안에 관한 고찰. 2016. 이화여자대학교 법학논집
- 19) 채형복, 김석수, 박영식, 김태균, 김승준. 우리나라 동물보호법 중 농장 동물의 보호에 관한 법적 쟁점 - EU 사례와의 비교를 중심으로. 2016 경상대학교 법학 연구소 법학 연구 24; 4

## 동물복지와 감염성 질병 – 구제역을 중심으로

질병 대책의 일환으로 건강한 동물의 살처분이 시행되고 있다. 현재도 조류독감을 이유로 가축화 조류들이 수난을 겪고 있으며, 이러한 살처분은 구제역의 경우도 예외는 아니다. 따라서 감염성 질병의 발생 예방은 생산유지 차원에서 중요하지만 동물복지 차원에서도 중요성이 인정된다.

2000년에 해방 후 처음 발생한 구제역이 2011년을 정점으로 “구제역 청정국”이란 지위를 상실하였다. 전국적으로 구제역에 대한 예방 접종으로 대처하고 있으며, 임상적 구제역 발생 시 예방 접종 실시 여부로 그 요인을 돌리고 있다. 또한 2011년 이후 임상적 구제역 발생에 대하여 사회적 반응 또한 이전과 달라지고 발생도 산발적으로 지속되고 있다. 여기에서는 방역 대책 당국이 구제역에 대하여 적절하게 대처하고 있는가를 2010년 발생 시 이행된 대책과 정부 분석 자료들을 중심으로 살펴보기로 한다.

### 1. 2010~2011 구제역

2010년 들어 우리는 3차례에 걸쳐 구제역 발생을 경험한다. 2010년 초, 즉 2010년 1월, 2010년 4~5월 및 2010년 11월 발생이 있었다. 다행스럽게 2010년 상반기 발생은 근절되었으나 11월 발생은 2011년에도 지속되며 대책으로 예방 접종을 실시하면서 상시 발생의 빌미를 남겨두고 있다. 2017년 농협중앙회에서 발간한 “축산 관련 종사자 교육 교재”를 보면 2010년 11월 시작된 구제역은 2014년 5월 29일 OIE로부터 “구제역 백신 접종 청정국” 지위 획득으로 종식된 것으로 되어 있다. 2010년 11월 발생한 구제역으로 인한 재정 소요는 2조 7,383억원(국고)으로 추정되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 이 비용이 2010년 11월부터 2011년 4월 21일까지 소요된 비용인지 아니면 2014년 5월 29일 종식 시까지 소요된 비용인지는 명확하지 않다. 또한 소요 재정은 국고로 한정된 것으로 지방비는 포함되어 있지 않은 것으로 표기되어 있다.

## 2. 2014년 5월 29일 구제역 종식 선언은 적절한 것인가?

2016년 한국양돈수의사회 포럼에서 농림축산검역본부 발표에 따르면, 2015년 4월 185차 구제역 발생 이후에도 지속적으로 구제역 NSP가 검출되었으며, 2016년 3월 마지막 구제역 발생 이후에도 구제역 바이러스의 NSP 항체가 검출되고 있다고 하였다. 양돈농가에서 구제역 NSP 항체 검출은 농장 내 야외주 바이러스가 유입된 것을 의미하며, 국내 구제역 바이러스가 잔존하는 것으로 추정할 수 있다고 하였다.<sup>2)</sup>

OIE 구제역에 대한 규정에서 구제역 발생을 어떻게 규정하고 있는지 살펴볼 필요가 있다.<sup>3)</sup> OIE의 구제역 바이러스 감염 발생을 아래와 같이 규정하고 있다.

구제역(FMD)은 우제류 목(order)의 ruminantia 아목(suborder)의 동물과 멧돼지와 동물, 그리고 쌍봉 낙타(Camelus bactrianus)가 구제역 바이러스에 감염으로 규정하고, 아래와 같은 경우를 구제역 바이러스에 감염이 일어난 것으로 규정하고 있다.

- 1) 위에서 언급된 동물의 시료로부터 구제역 바이러스가 분리되거나
- 2) 구제역과 동일한 임상증상을 보이거나, 또는 구제역의 의심 또는 확인 사례와 역학적으로 연계되어 있거나, 또는 구제역 바이러스와 이전 연관 또는 접촉의 의심의 요인이 있는 위 언급 동물의 시료에서 바이러스성 항원이나 구제역 바이러스의 RNA가 확인되었거나, 또는
- 3) 예방 접종을 받은 결과 아닌 구조 단백질(SP) 또는 비구조 단백질(NSP)에 대한 항체가, 구제역과 일치된 임상증상을 보이거나, 또는 의심 또는 확인된 구제역 발생과 역학적으로 연관되거나, 또는 구제역 바이러스와 이전 연관 또는 접촉의 의심 요인이 있는, 위 언급 동물의 시료에서 확인된 경우로 규정하고 있다.

위 내용을 토대로 보면, 2014년 5월 29일 이후 임상적 구제역이 아닌 구제역 바이러스의 확산이 지속되고 있었는지, 아니면 2014년 5월 29일 전국적으로 NSP 항체 음성이었다가 이후 2015년 4월부터 다시 NSP 항체가 검출되기 시작한 것인지는 명확하지 않았으나, 구제역은 2016년 3월 이후에도 지속적으로 발생하고 있음을 추정할 수 있다.

예방 접종을 전국적으로 실시하고 있는 상황에서 NSP 항체의 지속 검출로 구제역 바이러스가 국내에 지속적으로 전파되고 있음은 백신의 문제가 아닌 구제역 백신의 효과의 한계로 보아야 한다. 즉 구제역 바이러스에 감수성 있는 동물들이 구제역 예

방 접촉을 맞았더라도 이후 구제역 바이러스에 노출되면 증상을 보일 수도 또는 보이지 않을 수 있으며, 바이러스를 다른 개체에게도 전파시킬 수 있는 것으로 보고되었다.<sup>4)</sup> 따라서 2014년 5월 29일 구제역 종식 선언은 많은 의문점을 야기하고 있다.

### 3. 2010년 안동 구제역 바이러스의 근원은 과연 베트남일까?

2010년 11월 안동에서 양돈장에서 구제역 확진 후 역학조사 결과 농장주가 발생 전 베트남 여행을 다녀왔음이 확인되었고, 방역 당국은 이로 인하여 사람으로 인해 구제역 바이러스가 베트남으로부터 유입되었다고 발표하였다. 이는 전파경로를 이미 결정하고 그 근원지를 추정하는 순서를 취한 것이다.

안동 바이러스가 베트남에서 유래되었다고 발표하자 일부에서 거세게 반발하였다. 그러나 방역 당국은 안동 바이러스가 2010년 초 베트남에서 확인된 바이러스와 유전적 관련성 분석 결과 98.44%의 일치율을 보임을 바탕으로 베트남 유래를 고집하였다.<sup>5)</sup>

일반적으로 감염성 질병의 가장 가까운 근원지를 추정할 때 유전적 일치율이 높은 것으로 추정한다. 퍼브라이트 구제역표준연구소의 2010년 11월 30일 보고서에 의하면, 안동 바이러스와 가장 염기서열 일치율이 높은 바이러스는 바이러스의 VP1 부위 639개 염기 중 633개 염기가 일치(99.06%의 일치율)한 홍콩 바이러스로 밝혀졌다.<sup>6)</sup> 홍콩 바이러스의 경우 중국에서 유래된 바이러스이며, 중국이 보고를 철저히 하지 않는 점을 감안한다면 안동 바이러스의 근원이 중국일 가능성이 애초부터 배제하기 어려웠다.

2010년 5월 David J. Paton 등이 *veterinary record*에 기고한 글에서 2010년 4월 한국에서 O형 SEA Mya-98 계통의 구제역 바이러스에 의한 구제역이 확인됨을 주지시키면서 1999~2000년 O PanAsian 바이러스에 의한 세계적 유행이 남아프리카와 유럽에서 발생 이전에 중국, 한국과 일본에서 발생하였음을 상기시켰다. 2010년 4월 경기도 강화에서 O SAE Mya-98에 의한 구제역 발생을 확인하였고, 이 계통의 바이러스가 2010년 2월 중국(Guangdong province and Hong Kong SAR)에서 이미 확인된 바 있었다. 또한 2000년 이래 처음으로 일본에서도 2010년 4월 20일 동일한 형의 O형 구제역 바이러스가 확인되었다. 구제역이 동남아시아 국가들로부터



중국 사이의 국경의 허술한 점을 이용하여 국경을 넘는 질병으로 지속적 위협 요인이 되고 있음을 지적하였으며, 1999~2000년의 전례를 들었다. 특히 이러한 내용은 2010년 동남아시아 구제역 회의에서 발표한 것으로 되어 있다.<sup>7)</sup> 영국의 구제역 전문가들은 2010년 2월 중국에 이어 2010년 4월 한국에서 구제역 바이러스가 확인됨을 유행의 위험인자로 인지하고 있었음을 알 수 있다.

농림축산검역본부 이광녕 박사가 2013년 OIE 아시아 지역 회의에서 발표한 연구 논문 초록에서 2010~2011 한국 구제역의 경우 복수의 바이러스 유입 가능성을 처음 언급하였다.<sup>8)</sup> 이는 2010년 안동에서 시작된 구제역이 전국적으로 확산된 것이 아닐 수 있다는 점에서 주목할 만하다. 이러한 발표는 OIE/FAO FMD reference



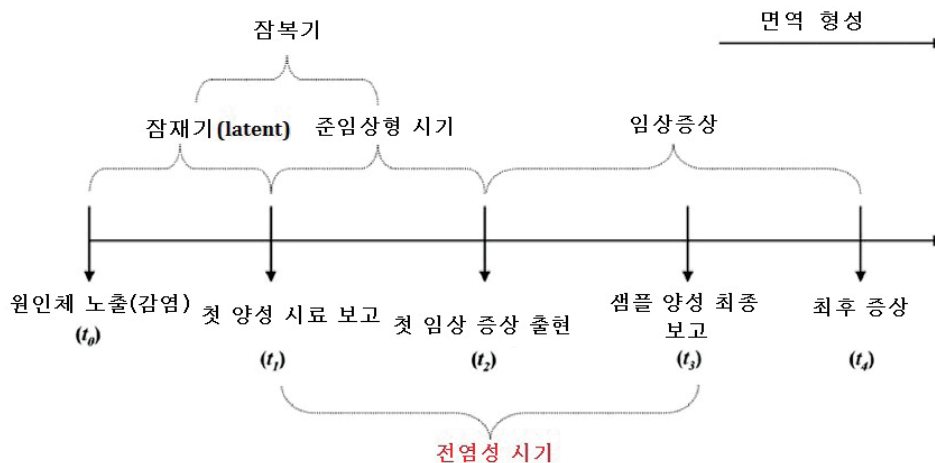
(그림 1) 2010-2011 한국 구제역 발생에서 확인된 구제역 바이러스의 계통도 (OIE/FAO FMD reference laboratory network annual report 2012)

laboratory network annual report 2012의 O형 Mya-98 구제역 바이러스의 계통수와 일치된다. 즉 2010~2011년 한국 구제역 바이러스는 구제역표준연구소의 2012 연례 보고서에서는 계통수에서 4개의 클러스터(cluster)를 형성하고 있으나, 이광녕 등의 보고서에는 5개 클러스터로 구분되었으며, 이들 클러스터간 VP1 부위에서 약 1% 정도의 차이를 보이는 것으로 보고되었다. 2000년도 발생한 구제역의 경우에도 한국에서 분리된 바이러스는 2개의 클러스터를 형성하였으며, 이들간 염기서열 차이가 커(2.76%) 복수의 바이러스가 유입되었던 것으로 추정하였다.<sup>9)</sup> 따라서 2010~2011년 한국 구제역의 경우 5개의 바이러스가 유입되어 근절에 성공하지 못하는 중요한 요인으로 작용한 것으로 추정할 수 있다.

#### 4. 안동에서 파주로 전파되었을까?

안동에서 시작된 구제역이 한수 이북으로, 강원도로 확산되었고 각각 발생에 대한 구제역표준연구소의 분석 자료도 발표되었다. 특히 파주에 위치한 돈분처리 기계 개발업자에 의해 11월 17일 경기 지역으로 전파되었다고 발표하였다. 안동에서 최초 구제역 의심 신고일은 11월 23일이었다.<sup>10)</sup> 안동으로부터 경기 북부지역으로 전파를 주장하기 위해 안동 양돈단지에서 11월 28일 이후 항체가 검출된 것으로 미루어 11월 중순경에 임상적 구제역 발생을 추정하였다. 결론적으로 11월 17일 안동 농장에서 분뇨를 통해 경기도로 전파되었다고 발표하였다. 이러한 주장을 위해 구제역은 잠복기(2주) 동안 특별한 증상 없이 바이러스가 배출된다고 하였다.

이러한 발표에 많은 의문점이 남는다. 첫째 방역 당국이 최초 신고 농장에서 실시한 역학조사 방법은 적절하였는가? 둘째 역학조사 결과 확실한 첫 증상을 보인 시점을 발표하지 않음으로 신고를 바탕으로 미루어 11월 23일 첫 의심 신고보다 하루 빠른 11월 22일부터 구제역 증상을 보이기 시작한 것으로 가정하였을 때 11월 17일 안동에서 파주로 구제역 바이러스의 확산이 가능한가? 셋째 방역 당국의 발표대로 증상을 보이기 시작하기 2주 전부터 전파될 수 있는 전염성이 빠른 질병에 살처분 대책이 적절한가?



(그림 2) 병원체 노출 후 감수성 동물에서의 잠재적 감염 단계  
(Fernando Mardones et al., vet res 2010 41:45)

감염성 질병에 감수성 동물이 감염되게 되면 (그림 2)와 같은 경과를 취하게 된다. 병원체 노출 후 임상증상을 보이기 시작하는 시점까지를 잠복기라 하며, 질병의 전파와 관련하여 이를 병원체에 노출되었으나 전파력이 없는 잠재기(latent period)와 다른 개체에 질병을 전파시킬 수 있는 전염성기로 세분할 수 있다.

고도로 감수성 동물 집단이 밀집된 지역에서 구제역 발생에 효과적으로 대처할 수 있는 능력은 감염원에 노출되었을 수 있는 동물, 동물군, 그리고 농장을 효과적으로 추적 및 확인할 수 있는 능력뿐만 아니라 질병의 침입을 조기 색출할 수 있는 능력에 달려 있다. 첫 노출시부터 첫 사례가 인지할 때까지의 경과된 시간을 “고도 위험 기간 (high risk period)”이라 불린다. 발생 초기 단계의 대책을 복잡하게 하는 2가지 주요 인자들은 구제역을 의심할 수 있는 임상증상이 발현되기 이전, 즉 잠복기 중 일어나는 질병의 전파뿐만 아니라 분명하지 않은 임상증상을 들 수 있다.

Charleston et al.에 의한 연구에서 감염 소와 직접 접촉으로 구제역 바이러스에 노출된 소는 임상을 보인 후 평균적으로 0.5일 후까지 전염성이 없다고 결론지었다. 따라서 잠복기 단계 중 구제역 바이러스의 전파는 질병 발생 상황에서 질병 전파에 상당한 영향을 미치지 못하는 것으로 결론지었다.<sup>11)</sup>

돼지의 경우 전파의 개시는 독혈증의 인지와 일치하나 구제역 임상증상의 첫 출현 약 24시간 이전이다. 따라서 감염 잠재기는 잠복기 종료 약 24시간 전에 끝나게 된다. 이는 감염 잠복기 중 돈군 내에서 구제역이 전파됨을 보여 주었으며, 구강인두 액으로 구제역 바이러스 배설이 구제역 임상증상보다 구제역 바이러스의 전염성에 더 근접한 대용물임을 제시하고 있다.<sup>12)</sup> 감염 바이러스에 영향을 받는 잠재기와 잠복기는 각각 1~7일, 1~9일이었으며 전염성이 있는 준임상기는 시료 채취 방법에 의해서만 영향을 받는 것으로 분석되었으며, 1~6일 범주로 보고되었다.<sup>13)</sup>

돼지에서 밝혀진 구제역 바이러스 노출 후 준임상형 전염성 기간은 증상을 보이기 전 보통 2일, 최대 6일 이내이며, 또한 구제역 바이러스에 감염된 돼지들에 의한 분변으로의 배설은 소량에 불과하며, 구제역 바이러스에 분변의 오염은 임상증상을 보인 후 배설되는 바이러스에 의함<sup>14)</sup>을 고려한다면 구제역 바이러스의 돼지 분변을 통한 확산은 임상증상을 보인 후로 보아야 한다.

결론적으로 안동에서 파주지역으로 11월 17일 운반된 분뇨를 통한 확산은 과학적

사실을 바탕으로 하지 않았으며, 이는 구제역표준연구소의 바이러스 염기 서열 분석 결과도 뒷받침하고 있다.<sup>15)</sup> 이러한 사실은 2010~2011 한국 구제역의 경우 복수의 바이러스가 유입에 의한다는 논리를 뒷받침하고 있다.

또한 구제역과 같이 전염성이 높은 질병이 증상을 보이기 이전 12일간 병원체 노출 동물의 이동이 아닌 분변으로 전파된다면 살처분 방법을 적용한 근절 대책 자체가 성립되지 않을 수 있다. 이와 같이 준임상기에 전파 기간이 길어 특별한 대책을 세우지 못하는 대표적 질병으로 AIDS를 들 수 있다.<sup>16)</sup>

## 5. 현재 구제역 바이러스 유입 차단 대책은 적절한가?

2011년 이래 예방 접종을 실시하고 있는 상황에서 2016년은 물론 2017년에도 구제역이 발생하였다. 2016년 보고된 구제역은 원인 바이러스의 지역형이 O SEA Mya-98인 반면, 2017년 구제역의 경우에는 O ME-SA Ind-2001d형과 A ASIA Sea-97형으로 보고되었다.<sup>17, 18)</sup> 이는 2011년 예방 접종을 실시하면서 상재되어 온 것으로 추정되어온 것과 다른 형의 바이러스의 유입을 의미한다.

우리 나라는 반도이지만 북쪽은 휴전선으로 이동이 차단되어 있어 실질적으로 섬과 유사한 상황에서 지속적인 구제역의 발생은 근본적 대책에 문제가 있음을 시사하고 있다.

이미 2010년 경험한 것과 같이 한국 방역 당국은 감염성 질병 유입에 사람에 의한 기계적 경로를 가장 빈번하게 언급되고 있다. 2000년 해방 후 처음 구제역 발생 시에도 일본에서 건초<sup>19)</sup>를 유입 경로로 추정한 반면 한국 방역 당국은 수입 건초와 해외 여행객(신발, 휴대축산물)<sup>5)</sup>을 유입경로로 추정하였다.

특히 일본의 경우 당시 동시에 수입한 밀짚을 먹인 23개 농장에서 구제역이 발생하지 않았음에도 구제역 발생 농장에서 중국으로부터 수입한 밀짚을 사용함을 확인하였고, 1999년 5월 중국 본토에서 3건의 구제역에서와 동일한 형의 바이러스임을 확인하고 중국산 밀짚을 일본 구제역 발생 요인으로 판단하였다. 만일 오염된 육류나 잔반이 유입 경로일 경우 돼지가 첫 감염동물이었을 것이라고 추정하였으며, 기타 수입 동물, 사람, 차량 또는 공기 전파 등의 경로는 근거 없음으로 판단하였다.<sup>19)</sup>

구제역의 사람에 의한 전파시험에서 인위적으로 구제역을 감염시킨 돼지들과 45분 동안 채혈 등의 방법으로 접촉한 다음 샤워와 청결한 작업복으로 교체한 다음 돼지와 양과 접촉한 결과 구제역 바이러스를 전파시키지 않는 것으로 밝혀졌다. 그러나 구제역 감염동물과 접촉 후 어떠한 조치를 취하지 않거나 손을 씻고 작업복 교체한 경우 구제역 바이러스를 양에게는 전파시켰으나 돼지에서는 전파시키지 않는 것으로 나타났다.<sup>20)</sup> 샤워를 하지 않고 손만 씻고 작업복만 교체한 경우 양에서 전파 결과를 보이고 돼지에서 전파시키지 않음은 돼지가 양보다 구제역 바이러스에 더 저항성이 있음을 보여주는 것으로 다른 실험 결과와 일치하는 것으로 보고되었다.<sup>21)</sup>

사람에 의한 구제역 바이러스의 전파는 기계적 전파 방법에 의하며, 질병 전파를 위해 구제역에 걸린 개체들과 직접 접촉 등의 방법으로 오염됨이 전제 조건일 수 있다. 또한 현재와 같이 여행 중 샤워하는 문화가 일반화 되어 있음은 사람에 의한 구제역 바이러스의 확산 가능성을 낮추고 있다.

이러한 실험 결과는 특히 한국 방역 당국이 구제역 발생시마다 관리자들 사람을 중요한 경로로 추정함에 경종을 울리는 것으로 보아야 한다.

사람에 의한 전파 가능성이 낮음에도 불구하고 빈번하게 구제역이 발생하는 요인을 무엇일까? 2017 축산관련 종사자 교육 자료를 보면, 주변국에서 구제역 발생 시 관심(blue) 단계에 해당되며 농림축산식품부는 다양한 차단 대책을 시행한다. 그러나 그 활동 내용에 식물에 의한 전파 차단은 없다. 2000년 일본에서 구제역 발생 시 일본이 수입 건초를 경로로 판단하였을 때 한국 방역 당국도 건초를 가능 경로로 추정하였음에도 불구하고 정작 주변국 특히 중국에서 구제역이 발생한 경우 예방 대책의 일환으로 신선한 채소, 건초 등에 의한 전파 경로 차단은 전혀 언급되어 있지 않다.

구제역 바이러스가 식물을 매개로 전파될 수 있음은 1954년 처음 제시되었으며, 청정 상태를 유지하기 위해 구제역 발생국으로부터 수입 금지 품목에 건초, 밀짚 및 채소를 포함시켜야 한다고 권고하고 있다.<sup>22, 23)</sup>

2010년 한국은 중국으로부터 신선한 김장용 배추를 대량 수입하였다. 2010년 봄부터 중국에서 구제역이 발생하고 있었고, 또한 위에서 언급한 바와 같이 하나의 바이러스가 전국으로 확산 것이 아닌 여러 개의 바이러스가 유입되었음이 분자 역학적으로 확인되었으며, 국내 구제역 발생 상황 역시 경북 북부, 강원도, 경기 북부 지역

에서 주로 분포하였다. 따라서 수입 배추가 유력한 바이러스 유입 경로로 판단되고 있다. 또한 향후 구제역 바이러스의 유입을 차단하기 위해 구제역 발생국으로부터 식물의 수입 금지도 적용됨이 필요하다.

## 6. 현재 방역 대책은 적절한가?

구제역 발생시 대책은 이미 구제역 바이러스가 있는 것으로 파악된 동물군, 농장으로부터 원인체가 탈출하지 못하게 하는 것으로 규정한다. 따라서 구제역 발생 시 모든 조치는 발생지를 중심으로 이루어지게 된다. 발생지로부터 구제역 바이러스가 탈출할 수 있는 경로는 감염동물의 이동, 감염동물 유래 제품(축산물, 우유 등)으로 인한 방법 및 감염 농장 출입차량, 사람 등에 의한 기계적 탈출로 구분할 수 있다.

구제역 발생이 인지되면 해당 농장은 물론 발생 농장을 중심으로 일부 지역에 대한 이동 제한 조치가 취해지면서 감염동물의 이동에 의한 원인체 확산을 차단하게 된다. 사람, 차량들에 의한 구제역 바이러스의 확산을 차단하기 위해 발생 농장 출입구에서 소독을 통해 가능성을 낮추게 된다.

그러나 현재와 같이 예방 접종을 전면적으로 실시하고 있는 상황에서 구제역 발생을 인지하지 못할 수 있다. 즉 예방 접종으로 임상증상을 보이지 않아 발생을 인지하지 못한 상태에서 바이러스가 확산될 수 있다. 이러한 상태를 색출하기 위하여 혈청을 이용한 비구조 단백질(NSP) 항체 검사를 실시하게 된다. 특히 구제역의 경우 구제역 백신의 효과는 완벽한 멸균적 면역을 유도하지 못해 예방 접종되었다 해도 구제역 바이러스에 노출되면 증상을 보이거나 보이지 않으면서 구제역 바이러스에 감염되어 전파 시킬 수 있다.

이러한 배경 때문에 예방 접종 후 예방 접종 가축 유래의 축산물로 인한 구제역 바이러스의 확산을 예방하기 위한 추가 조치가 필요하다. 국가적으로 예방 접종을 실시하고 있는 경우 적어도 NSP 양성 농장 유래의 축산물만이라도 유통시키기 이전에 구제역 바이러스에 대한 사전 조치를 하는 대책이 필요하다.

소독의 경우에도 모든 농장, 시도 경계지역의 거점 소독시설을 설치하는 것보다 구제역 바이러스에 의한 오염이 예상되는 지역의 출입구에서 해독시켜 도로상에 다니

는 축산관련 차량이나 축산관련 인력이 전파 매체로 작용하지 않도록 하여야 한다. 특히 소독의 경우 원인체의 수를 줄이는 것이지 멸균적 조치가 아니므로 실험실 검출 수준 이하로 원인체가 검출되도록 세차를 먼저 실시하여 소독 효과를 높일 수 있는 방법을 강구함이 추가로 요구된다.

## 7. 결론

식량의 안정적 공급으로 사회적 안정을 도모하기 위해 구제역과 같은 질병에 적절하게 대처하여야 함이 사회적 요구이다. 현재와 같이 국내 수의 업계의 일부 의견만으로 정책으로 반영되는 상황에서 하루빨리 탈피하여야 한다.

우선 “구제역 과학 위원회”를 구성함을 제의한다. 이 위원회는 현재까지 보고된 문헌을 검토하여 보고서를 작성하고 보고서의 객관적 내용을 바탕으로 방역 대책이 수립되어야 한다. 또한 이러한 과정을 거쳐 구제역 전문가의 탄생도 기대할 수 있다. 유럽연합에서 주로 시행되는 이러한 대처 방법은 오류를 줄일 수 있는 방법이 될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 1) 농협중앙회 컨설팅부, 축산관련 종사자 교육 교재, 2017
- 2) 강용명, 2016 구제역 NSP 역학 사항, 2016 한국양돈수의사회 포럼
- 3) chapter 8.8 infection with foot and mouth disease virus, 2016 [http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health\\_standards/tahc/current/chapitre\\_fmd.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/current/chapitre_fmd.pdf)
- 4) K. Orsel, M.C.M. de Jong, A. Bouma, J.A. Stegeman and A. Dekker, Foot and mouth disease virus transmission among vaccinated pigs after exposure to virus shedding pigs, 2007 vaccine 25 34
- 5) 2010-2011 구제역 백서, 한국농촌경제연구원, 2011
- 6) FAO World Reference Laboratory for foot-and-mouth disease(WRLFMD) genotyping report, [http://www.wrlfmd.org/fmd\\_genotyping/2010/WRLFMD-2010-0000V%200%20south%20Korea%202010.pdf](http://www.wrlfmd.org/fmd_genotyping/2010/WRLFMD-2010-0000V%200%20south%20Korea%202010.pdf)
- 7) David J. Paton, Donald P. King, Nick J. Knowles, Jef Hammond, Foot-and-mouth disease recent spread of fmd in the far east, 2010, vet rec 166 569-570

- 8) Kwang–Nyung Lee et al., Molecular epidemiology of recent FMD outbreaks in the Republic of Korea, 2013 [http://www.rr-asia.oie.int/fileadmin/Regional\\_Representation/Programme/G\\_GFTADs/FMD/2013\\_Meetings\\_under\\_OIE\\_JTF\\_Project\\_for\\_FMD\\_Control\\_in\\_Asia/3.\\_Scientific\\_Mtg/Abstract\\_RO\\_Korea\\_KNLee.pdf](http://www.rr-asia.oie.int/fileadmin/Regional_Representation/Programme/G_GFTADs/FMD/2013_Meetings_under_OIE_JTF_Project_for_FMD_Control_in_Asia/3._Scientific_Mtg/Abstract_RO_Korea_KNLee.pdf)
- 9) P.W.Madson et al., Comparisons of the complete genomes of Asian, African and European isolates of a recent fmd virus type O pandemic strain(PanAsia), 2003 J gen. virol 84 1583
- 10) 참고자료, 구제역 확산 원인 및 전파 경로 분석 결과, 2011 1 24, 국립수의과학검역원 역학조사과
- 11) Charleston B, Bankowski BM, Gubbins S, Chase–Topping ME, Schley D, Howey R, et al., Relationship between clinical signs and transmission of an infectious disease and the implications for control, 2011 science 332
- 12) Carolina Stenfeldt et al., Transmission of foot–and–mouth disease virus during the incubation periods in pigs, 2016 Frontiers vet sci 3 105
- 13) Amy C. Kinsley et al., Parameter values for epidemiological models of foot–and–mouth disease in swine, 2016 Frontiers vet sci 3 44
- 14) S. Alexandersen et al., The pathogenesis and diagnosis of foot–and–mouth disease, 2003 J comp path 129 1–36
- 15) FAO WRLFMD genotyping report, reporting date 16 dec 2010
- 16) Christophe Fraser et al., Factors that make an infectious disease outbreak controllable, 2004 PNAS 101 16
- 17) FAO WRLFMD genotyping report 23rd Feb 2017
- 18) FAO WRLFMD genotyping report 23rd Feb 2017
- 19) K Sakamoto and K. Yoshida, Recent outbreaks of FMD in countries of east asia, 2002 Rev sci tech Off Int Epiz, 21(3) 459–463
- 20) S.F. Amass et al., Procedures for preventing the transmission of foot–and–mouth disease virus to pigs and sheep by personel in contact with infected pigs, 2003 vet rec Aug 2
- 21) Donaldson, A.I et al., Relative resistance of pigs to infection by natural aerosols of FMD virus, 2001 Vet rec 148 600–602
- 22) D.C. Blood et al., Veterinary Medicine sixth edition 1983 Baillière Tindall
- 23) Otto M. Radostits et al., Veterinary Medicine 10th edition 2007 Saunders
12. Nick Juleff, FMD epidemiology and tracing dangerous contacts, 2009 [http://www.fao.org/ag/againfo/commissions/docs/training/material/FMD\\_epidemiology/FMD\\_epidemiology.pdf](http://www.fao.org/ag/againfo/commissions/docs/training/material/FMD_epidemiology/FMD_epidemiology.pdf)



## 예방 접종의 새로운 도전 : 피부 면역과 예방 접종 장기로서의 피부

의생명과학의 주요 발전 중 하나는 다양한 감염성 질병의 빈도와 사고율을 낮추거나 근절할 수 있게 했던 예방 접종 분야에서 일어났다. 천연두 근절이 백신 효과의 최상의 예이다.

다양한 백신들이 개발 적용되고 있으며, 이들은 크게 2종류로 구분할 수 있다. 첫 번째 형태의 백신은 천연두, 홍역, 소아마비 및 황열 등의 질병에 대하여 성공적으로 사용하여 왔던 것으로 약독화 라이브 병원체로 구성된다. 이러한 백신들은 자연 감염을 모방하나, 약화된 비병원성 방법이다. 두 번째 그룹은 불활화 독소(inactivated toxins: diphtheria, tetanus), 서브 유닛 제제(B형 간염), 탄수화물 혼합체(carbohydrate cocktail : 폐염 구균) 및 결합 백신(conjugate vaccine : 뇌척수막염균)들을 포함하는 광범위한 백신들로 구성된다. 일생 기억하는 약독화 라이브 백신들과 달리 두 번째 그룹은 방어적 면역을 유지하는 보강접종 전략뿐 아니라 유도된 면역반응을 증진시키기 위해 보조제(adjuvants)를 보통 필요로 한다. 빠르게 진화하는 병원체 세계에서 예방 접종은 새로운 도전에 직면하고 있다.

예방 접종에서 주요 시도 중 하나는 방어를 제공하는 면역계 반응을 겨냥하는 것이다. 어떻게 강력한 항체 반응을 유도할 수 있을까? 어떻게 Th1/Th2/Th17 반응들의 균형을 이룰 수 있을까? 어떻게 장기간 지속적인 기억 세포들을 유도할 수 있을까?

명백한 것은 선천성 면역반응이 적응 면역반응의 진행과 결과적인 방어적 면역반응을 진행하는데 중추적인 역할을 한다는 것이다. 여러 단계에서 선천성 면역을 조절함은 예방 접종에 의한 방어의 결과에 영향을 줄 수 있다.

1) 보조제(adjuvants). 보조제들은 여러 가지 측면이 있다. 보조제들은 백신 유도 면역반응 지속 기간의 증진, 그리고/또는 항체 역가, CD4 T 세포의 빈도의 상승을 통하여 백신의 효과를 개선시키기 위하여 비 약독화 백신(사균백신, 불활화 백신)들에

사용된다. 이들은 항체의 동기준 표본 부류 변환(isotype class switching)에 영향을 줄 수 있고 Th 균형 반응(Th1/Th2/Th17)을 조절할 수 있다. 백신 제조와 대량 생산의 견지에서 보조제의 사용은 방어에 필요한 항원량과 접종 횟수를 감소시킴을 가능케 한다. 그러나 많은 새로운 보조제들이 임상전 단계 또는 임상 개발 단계 및 시험 과정에 있다.

2) 벡터(vectors). 복제 능력이 있거나 없는 수많은 벡터들이 예방 접종을 위해 개발되어 왔으며 임상전 모델과 임상 시험에서 특성을 밝혀졌다. 이들은 항체 반응 이외 세포 독성 T 세포 반응들을 유도할 수 있다. 감염 인자에 따라 하나의 벡터가 방어에 필요한 면역반응의 자연 성질에 따라 다른 것에 비해 선호될 것이다. 그러나 극복해야 할 큰 장애물은 일부 벡터들에 대한 잠재적 기존 면역으로, 이것은 병원체에 대한 원하는 면역반응의 유도를 제한할 수 있다.

3) 예방 접종 경로. 근육과 피하 예방 접종 경로가 주된 처치 방법이다. 그러나 항원제시 세포(APC)가 근육에 저조하게 나타나고 근육 세포는 주 조직 적합 복합체(MHC: Major histocompatibility complex)와 공동 자극 분자들이 결핍되어 있기 때문에 T 세포들의 직접적인 기폭이 제 기능을 발휘할 수 없다. 따라서 근육내 주사 부위와 그 주위로 APC의 활성화와 침윤을 가 시키기 위해 보조제가 필요하다. 이외 이 경로들은 점막 조직 관련 면역반응이 아닌 전신성(systemic) 면역을 촉진한다.

새로운 전략들은 점막 조직(경구, 비강, 혀 밑, 직장내 또는 질내)과 피부 조직(피내, 피부를 통한)을 경유한 대체 처치 방법을 개발 중에 있다. 피부 외피(epidermis)(랑게르한스 세포)와 진피(dermis)(수지상 세포)에 고밀도의 항원 제시 세포들이 존재하기 때문에 피부에 특별한 관심을 갖게 되었다. APC가 면역반응의 유도와 구현하는 데 있어 중추적인 역할을 하기 때문에 예방 접종의 목표 장기로 피부가 매력적이다. 피부 백신 면역은 근육 처치와 비교하여 배수 임프절로 지속적 APC 보충과 더 개선된 항원 분포의 결과를 가져온다. 결과적으로 생성된 면역반응의 양상들이 처치 경로에 따라 차이가 있다. 이외 사람에서의 많은 연구들은 피내(intradermal vaccination)예방 접종은 더 소량의 항원으로 근육 주사와 유사한 면역원성을 유도함

을 보여 주었다.<sup>1)</sup>

여기에서는 임상적으로 가치 높은 예방 접종 경로로 피부의 면역학적 특성을 살펴 보기로 한다.

## 1. 면역 장기로서의 피부<sup>2)</sup>

피부는 생명체와 환경 사이의 장벽으로 물리적 및 화학적 스트레스, 건조 자외선 노출, 세균, 곰팡이, 바이러스, 기생충, 합텐(부착소; haptens), 그리고 단백질 항원들을 포함한 외부 자극에 대하여 방어 역할을 한다. 이러한 방어 활성화 중 일부는 면역 시스템을 통해 이루어진다. 피부에는 랑게르한스 세포(LCs), 진피 수지상 세포(DCs), 내피 세포, 케라티노사이트(keratinocytes), 비만세포, 호염구(basophil), 그리고 다른 세포들 모두 특정 환경하에서 참여한다.

성인 피부에 피부 표적 기억 T 세포(skin homing memory T cell; CD45RO/CLA/CCR4)로서 확인 표식을 한 세포들이 약 200억개가 존재함이 최근 입증되었다. 피부에 혈중에서 보다 2배 많은 T 세포들이 존재할 뿐 아니라 피부 표적 표현형을 가진 기억 T 세포들의 수가 혈중에 있는 것들보다 20배 이상 많다. 이외 랑게르한스 세포(LCs)들은 1,000/mm<sup>2</sup>의 밀도로 항원 제시 세포로 외피에 배치되어 있어, 피부가 중요한 면역 장기임을 제시하고 있다.

외부 항원에 대한 면역반응의 결과로 염증성 피부 질환들이 유도될 수 있다. 즉 계란과 어류를 포함하는 알러지 유발 항원의 경구 섭취에 의해 두드러기(urticarial), 금속과 우루시올(옷의 주성분)을 포함한 합텐(부착소:hapten)에 의한 접촉성 피부염, 그리고 진드기, 집 먼지 및 꽃가루를 포함한 단백질에 의한 아토피성 피부염 등이 있다.

## 2. SALT(skin associated lymphoid tissue)의 개념

면역 기능은 피부로 제한되지 않는다. 예로 점막 하 부위에서 점막관련 림프 조직(mucosa-associated lymphoid tissues: MALT)으로 불리는 특별 감시 면역 조직들

은 말초 항원 제시 부위로 작용한다. 유사하게 피부관련 림프 조직(skin-associated lymphoid tissue)이<sup>1)</sup> 피부의 미세 환경은 항원을 받아들이고, 처리하며 제시할 수 있고,<sup>2)</sup> 말초 림프절들이 피부 유래의 면역원성 신호들을 받아들일 수 있으며,<sup>3)</sup> T 세포 아형들이 피부에 대하여 부분 친화성을 보이고, 그리고<sup>4)</sup> T 세포들에 의한 이러한 친화성의 포착이 상재 피부 세포들에 의해 결정된다는 것이 발견됨을 바탕으로 1980년대 초에 제시되었다.

다른 한편으로, SALT와 MALT 사이에 뚜렷한 기능적 차이가 있다. MALT는 상당수의 B 세포를 함유하고 있으며 이들이 림프 여포(Lymphoid follicle)를 형성하는 반면 피부 내 거의 모든 임파구들은 T 세포들이다. MALT 림프 여포들은 고내피 소장맥(HEVs; high endothelial venules)들이 묻히고 원시 T 세포들의 입구로 작용하는 T 세포가 많은 부위(T-cell-rich)로 둘러 싸여 있다. 따라서 MALT는 다른 2차 림프 기관 뿐만 아니라 원시 T 세포에게 항원을 제시하는 싸움터를 제공한다. 대조적으로 SALT는 고 내피 소장맥을 함유하고 있지 않으며, 피부의 T 세포들은 원시 T 세포들과 달리 기억 T 세포들이다. 따라서 피부 배수 임프절(skin-draining lymph node)들은 피부를 통해 침입한 외부 항원들에 원시 T 세포들의 감작을 위해 필요하다.

T 세포 표적을 향한(homing) 시스템은 접합 분자(adhesion molecule)의 발현과 어드레신(addressin)이라는 케모카인 수용체들에 의해 엄격하게 조절된다. 일부 T 세포 아류들은 2차 림프 기관에 대하여 뿐만 아니라 장과 피부에 높은 친화성이 있다. 따라서 피부와 장과 같은 가장 바깥쪽 막을 방어함에 면역 시스템에 높은 우선권이 있음이 명백하다.

### 3. 외부 항원들에 대한 면역반응

T 세포에게로 항원 제시는 적응 면역의 유도를 위해 필수적이다. 이러한 것은 원시 T 세포들이 준비되어 있는 임프절 뿐 아니라 기억 T 세포들이 활성화되는 피부에서도 일어난다.

단백질 항원에 노출됨에 따라 수지상 세포들은 항원을 포착하고 외부 병원체에 대한 뚜렷한 T 도움 세포(T helper cell)의 반응을 유도하기 위해 T 세포의 증식을 촉진

한다. 쥐의 피부에서 적어도 3종류의 수지상 세포들이 있다. : 외피의 LCs(랑게르한스 세포), 진피내의 랑게린(랑게르한스 세포에 의해 생성되는 항원) 양성 및 음성 수지상 세포들

#### - 합텐에 대한 면역반응

합텐은 진피로 쉽게 침투할 수 있는 외부 항원이다. 잘 알려진 바와 같이 한 합텐의 적용은 접촉성 피부염(CHS)이라 하는 전통적 지연형 과민증을 유발하고 이는 인터페론 감마 생성 CD8+(Tc1)과 CD4+(Th1) 세포들에 의해 중재된다.

랑게르한스 세포들(LCs)은 오랫동안 합텐 유도 CHS에서 감작을 일으키기 위해 필수적 항원 제시 세포로 간주되어 왔으나 이러한 개념이 LC 제거 쥐 모델을 이용한 최근 분석으로 공격을 받고 있다. 랑게린 양성 진피 수지상 세포들이 보상 역할을 하는 반면 랑게린 음성 진피 수지상 세포들은 주요 역할을 한다.

한편 합텐(2,4,6-trinitrochlorobenzene: TNCB)의 반복적 도포는 상승된 IL-4 발현, 피부에 호산구(eosinophil) 침윤, 그리고 합텐 특이 혈청 IgE 수준의 상승으로 Th1-으로부터 Th2-중재 피부 염증으로 전환(shift)됨으로 인하여 아토피성 피부염 유사 병변들이 유도된다. 현재, Th1으로부터 Th2로의 전환에 어떠한 부류의 세포들이 관련되는지는 논란의 주제로 남아 있다. 후보 부류 중 하나는 호염구(basophil)인 것으로 보이며, 이들은 배수 임프절에서 MHC II 부류와 IL-4 를 발현한다.

접촉성 과민증(CHS) 중 피부에 조절 T 세포(Treg)가 축적되고 Treg는 CHS 반응의 감작(sensitization)과 유도함(elicitation) 모두를 억제하는 것으로 또한 보고되었다. 이외 IL-10은 반복 합텐 도포 유도 만성 CHS 모델에서 유도되었다. 이러한 소견들은 만성적 항원 노출은 피부에 Treg 축적을 유도함을 입증하고 있다. 임상적으로 SADBE(squaric acid dibutylester)로의 국소적 면역 치료가 원형 탈모증의 치료에 효과적이다.

#### - 단백질 항원에 대한 면역반응들

합텐들과 달리, 아토피성 피부염과 관련된 통례적 알러지 유발 인자들은 보다 더 크다. 따라서 LCs들은 아토피성 피부염의 발현에 있어 집 먼지 진드기들과 같은 피부

알러지 유발인자들을 포착함과 관련 있는 것은 DCs 아류들이므로 판단된다.

단백질 항원 난백 알부민(OVA)의 피부 도포는 OVA에 특이 특이성 있는 IgE와 IgG1의 상승을 유도하며 이들 모두는 Th2 의존 방법으로 유도되고 CD3+ T 세포, 호산구 및 호중구의 침윤과 시토카인 IL-4, IL-5 그리고 흥미를 자아내는 IFN- $\gamma$ 에 대한 mRNA의 국소적 발현이 특징적인 피부염증을 야기한다. 특히 단백 분해 활성이 있는 단백질 항원에 만성 노출은 외피(epidermis)에 T 세포성숙에 작용하는 시토카인 단백질(TSLP: Thymic Stromal Lymphopoietin)의 발현을 일으킨다. 이러한 소견들은 다양한 형태의 국부 항원들이 다른 형태의 피부 면역반응들을 유도할 수 있고 항원 노출 지속 기간이 동적으로 피부 Th1/Th2 환경을 조절함을 제시한다.

#### 4. 피부 장벽 기능과 피부면역 간의 상호작용

각질층의 갑작스런 제거는 외피 세포들에 의한 시토카인과 케모카인 생성을 조절하는 것으로 제시되어 왔다. 테이프 박리(tape stripping)는 피부에서 TSLP 수준을 상향 조절하고, 이는 Th2 반응을 이끌어 내기 위해 피부 DCs가 극성을 갖게 한다. 따라서 장벽의 손상은 피부 환경을 Th2로 치우치게 하는 것처럼 보인다. 이외 테이프 박리는 생쥐에서 호산구의 진피 침윤을 야기했다. 이러한 소견들은 급성 장벽의 제거는 Th2 환경과 외피 세포들에 의한 호산구 케모카인 생성을 야기하고 항원 공격에 대한 응답으로 말기 단계 반응을 쉽게 일으킴을 제시한다. 따라서 장벽 기능 장애는 피부 환경이 Th2 왜곡 조건에 빠지기 쉽게 하고 항원에 내부 피부의 노출을 더 취약하게 한다.<sup>2)</sup>

#### 5. 돼지에서 피내 예방 접종 연구

돼지에서 피내 예방 접종은 2004년 Elzbieta Mikulska-Skupien 등에 의한 기존의 오제스키병 백신으로 무침 주사기(SERENA)를 이용하여 근육 주사량의 1/10(IM 2.0ml, ID 0.2ml)을 피내 주사 후 면역반응 유도를 평가하여 피내 경로가 대안이 될 수 있다고 보고하였다.<sup>3)</sup> 이후 2006년 백신의 피내 주입용으로 개발된 도구(IDAL)

을 이용한 오제스키병 백신의 피내 접종에 결과가 추가로 보고되었다.<sup>4)</sup> 이후 2007년 PRRS<sup>5)</sup>, 2008년에는 흉막 폐염 백신<sup>6)</sup>, 2009년에는 구제역 백신<sup>7)</sup>의 피내 주입에 대한 시험 결과가 보고되었다. 특히 이러한 보고들은 기존의 근육 주사용 백신을 이용하였다. 피내 주입시 용량을 줄여(근육 주사량의 1/10) 근육 주사에 상응하는 결과를 보고하였다.

P.L. Eblé, 등(2009)은 구제역에 대한 피내 접종이 기존 적용되는 근육 경로에 대한 대안으로 적절한지를 조사하였다. 이 실험에서 백신의 유효 함량, 처치 용량 및 처치 경로에 차이를 두어 백신 효력을 비교하였다.

표준 항원량으로 권장량을 근육 주사한 돼지들과 비교했을 때 동일한 백신을 1/10 양을 피내 주사한 돼지들도 준입상형 바이러스 배설과 임상적 질병에 대하여 동일하게 방어되었다. 특히 근육으로 예방 접종한 돼지들과 비교했을 때, 피내 주사한 돼지들이 상당히 더 낮은 바이러스 중화 항체 역가에서 바이러스 배설에 대하여 방어적이었다. 이는 중화 항체와 다른 면역반응들이 방어에 기여함을 시사한다.

최근 돼지에서 피내 예방 접종은 유럽의 특정 회사를 중심으로 이루어지는 경향을 보이고 있다. 특히 피내 예방 접종을 적절한 주입기를 자체적으로 개발하여 적용 시험을 거쳐 2016년에는 피내 주사 전용 백신을 소개하였다.<sup>8)</sup>

PCV2 항원을 함유한 새로운 피내 1회 접종 백신(porcilis PCV ID)의 안전성과 효과가 실제 야외 상황 및 실험실 연구에서 평가되었다. Porcilis PCV2 ID 백신으로 예방 접종은 체온 상승 없이 높은 비율의 접종된 돼지들에서 작은 일시적 국소 반응의 결과가 초래되었다. 면역 시작과 면역 지속 기간 모두에 대하여 PCV2 또는 유행성 폐염 원인균으로 인공 감염연구에서 임프 조직, 폐, 혈청 및 분변 시료에서 PCV2 바이러스 양과 *M. hyopneumoniae* 유도 폐 병변의 감소 소견을 보였다. 유행성 폐염과 PCV2 양성인 2개의 농장에서 야외 실험에서, 3주령 돼지에 PCV2 ID 와/또는 M hyo ID ONCE로 예방 접종함은 PCV2 독혈증, 사고율 및 도축 시 폐병변 평가 점수의 상당한 감소의 결과를 보였다.<sup>8)</sup>

## 참고문헌

- 1) Mireille Centilvre and Béhazine Combadière, New challenges in modern vaccinology, 2015 BMC immunology 16:18
- 2) Kenji Kabashima, Over view : immunology of the skin, in Immunology of the skin 2016 springer
- 3) Elzbieta Mikulska-Skupien et al., Indices of non-specific cellular immune response in pigs after intradermal vaccination with deleted Aujeszky's disease vaccine and after experimental infection. Bull vet Inst Pulawy 2004 48 347-354
- 4) S Gozio, L. Ferrari, P. Borghetti, E. De Angelis, J. Smeets, A. Blanchaert, P. Martelli, Specific humoral and cell-mediated immune response in pigs vaccinated intradermally against Aujeszky's disease 2006 IPVS proceedings vol 2 152
- 5) Paolo Martelli et al., protection and immune response in pigs intradermally vaccinated against PRRS and subsequently exposed to a heterologous European(Italian cluster) field strain vaccine 2007 25 3400-3408
- 6) J. Bernardy et al., Comparison of different doses of antigen for intradermal administration in pigs : The Actinobacillus pleuropneumoniae model. Vaccine 2008 26 6368-6372
- 7) P.L. Eblé, et al Intradermal vaccination of pigs against FMD with 1/10 dose results in comparable vaccine efficacy as intramuscular vaccination with a full dose Vaccine 2009 27 1272-1278
- 8) M. Sno, E. Cox, H. Holtslag, T. Nell, Pel, R. Segers, V. Fachinger, M. Witvliet. Efficacy and safety of a new intradermal PCV2 vaccine in pigs. Trials in vaccinology 2016 5 24-31



한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

시설 · 환경

# 마이크로환경



안 희 권 교수

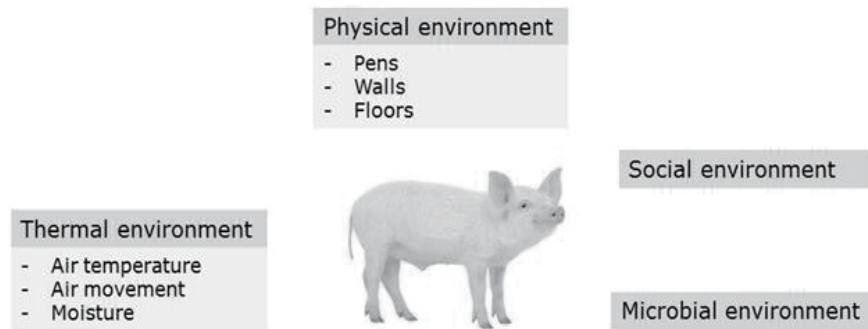
충남대학교 동물자원과학부

## 1. 서론

### 1. 마이크로환경과 매크로환경의 정의

마이크로환경(Microenvironment)이란 돼지를 직접 둘러싸고 있는 온도, 습도, 가스 및 입자성 물질 등의 물리적인 환경을 의미하는 반면, 매크로환경(Macroenvironment)이란 돈방, 돈사, 야외 서식지 등과 같은 물리적 환경으로 마이크로환경에 비해 광의의 개념으로 이해된다고 볼 수 있다.

Ag Guide(2010)에 의하면, 마이크로환경은 열환경(온도, 습도, 기류), 물리적 환경(격벽, 벽체, 바닥), 사회적 환경, 미생물학적 환경 등으로 구성되어 있다고 한다(그림 1). 이와 같이 마이크로환경은 전문가나 서적에 따라 약간 다르게 정의되기도 하나, 돼지를 직접 둘러싸고 있는 요소들은 마이크로환경에 모두 포함된다고 볼 수 있다.



(그림 1) 돼지의 마이크로환경 구성 요소

### 2. 마이크로환경과 매크로환경의 특성

마이크로환경과 매크로환경은 돈사 내 환기에 의해 서로 연계되어 있지만 동일한 매크로환경 내에서 서로 상이한 마이크로환경이 조성되기도 하며, 마이크로환경과 매크로환경이 서로 완전히 상이한 특성을 보이기도 하므로 돼지 사육에 적합한 환경을 조성하기 위해서는 매크로환경 내 균일한 마이크로환경을 만들어 주는 것이 무엇보다 중요하다.

많은 연구자들이 마이크로환경의 특성을 이해하기 위한 연구를 오래 전부터 시도해 오고 있으나 다양한 첨단기술이 발달된 현대에도 활동성이 높은 돼지를 둘러싸고

있는 마이크로환경의 특성을 현장에서 정밀하게 측정하는 것은 여전히 어려움이 있는 것으로 알려져 있다. 기존 연구자들의 보고에 의하면, 돼지를 직접 둘러싸고 있는 마이크로환경의 온도, 습도, 가스 및 입자성 물질의 농도는 돈방이나 돈사와 같은 매크로환경에 비해 일반적으로 높다고 한다(Besch 1980 ; Flynn 1959 ; Gamble and Clough 1976 ; Murakami 1971 ; Serrano 1971). 이러한 마이크로환경은 돼지의 질병 감수성 및 대사·생리적 특성에 직접적인 영향을 미치므로 마이크로환경 관리에 주의를 기할 필요가 있다(Broderson and others 1976 ; Schoeb and others 1982 ; Vesell and others 1976).

## II. 열환경(Thermal environment)

### 1. 돼지의 적온

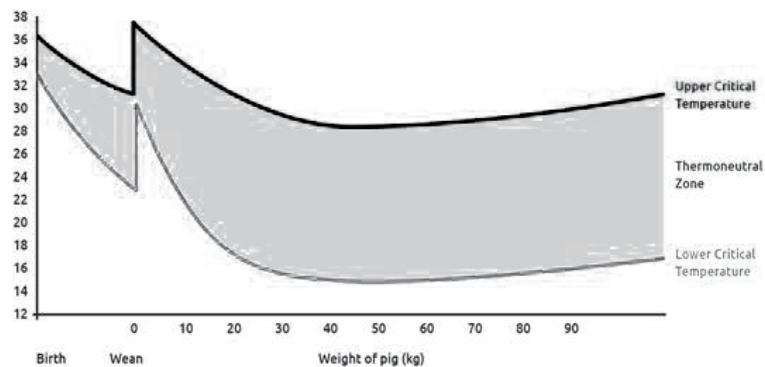
돼지의 적온은 성장단계에 따라 각각 다르므로 다양한 사육단계의 돼지를 사육하고 있는 돈사 내에서 열환경을 적절히 관리하는 것은 쉽지 않다. 돼지의 체온은 성장단계에 따라 다소 차이가 있기는 하나 38.7~40℃ 범위를 유지한다. 돼지는 18~20℃에서 편안함을 느끼는 것으로 알려져 있으며, 20~25℃ 범위에도 적응할 수 있으나 그 이상의 온도에서는 고온 스트레스를 받는 것으로 알려져 있다. Ag Guide (2010)에서 제시한 돼지의 적정 사육온도는 (표 1)에 정리된 바와 같다.

(표 1) 돼지의 적정 사육온도

	적정온도	최저온도	최고온도
	15~26℃(sow)	15℃(sow)	32℃(sow)
	32℃(piglets)	25℃(piglets)	-
3~15kg	26~32℃	15℃	35℃
15~35kg	18~26℃	5℃	35℃
35~70kg	15~25℃	-5℃	35℃
70~100kg	10~25℃	-20℃	35℃
Sow or Boar, >100kg	10~25℃	-20℃	32℃

자료 : Ag Guide (2010)

어린 돼지는 성돈에 비해 최저 임계온도가 높으므로 성돈보다는 돈사의 온도를 높게 유지해 줄 필요가 있으며, 돈사의 온도를 돼지의 사육단계에 적합한 열중립대 (Zone of thermal neutrality) 수준으로 유지해 주는 것이 바람직하다(그림 2 ; 자료 AHDB Pork, 2016). 돼지의 열중립대(Zone of thermal neutrality)는 사육단계에 따라 차이를 보인다. National Pork Board(2002)의 자료에 의하면, 안락함을 느끼는 열중립대(Zone of thermal neutrality)는 어린 돼지 26.6~32.2℃, 비육돈 10.0~23.9℃, 모돈 15.6~23.9℃라고 한다.



(그림 2) 돼지 사육단계(체중)에 따른 적온

어린 돼지는 낮은 온도에 민감한 반면 성돈은 높은 온도에 민감한 특성이 있다. 75kg 이상의 성돈은 어린 돼지에 비해 고온 스트레스에 더 민감하므로 혹서기 관리에 주의할 필요가 있다.

## 2. 온습도지수(Temperature-Humidity Index)

온습도지수(THI ; Temperature-Humidity Index)는 온도와 습도를 조합해 표현한 것으로 아래의 수식을 이용해 구할 수 있다.

$$THI = T_{db} + 0.36 * T_{wb} + 41.5$$

$T_{db}$  = dry-bulb temperature (°C)  
 $T_{wb}$  = wet-bulb temperature (°C) (Thom, 1958)

$$THI = (0.8 * Ta) + RH \left[ \frac{Ta - 14.3}{100} \right] + 46.3$$

$T_a$  = air temperature (°C)  
 $RH$  = relative humidity (%) (Buffington et al., 1982)

습도가 높을 경우 상대적으로 낮은 온도에서도 돼지는 고온 스트레스를 느낄 수 있으므로 습도가 높은 여름철 우기에 돈사 온도관리에 주의를 기할 필요가 있다(그림 3 ; 자료 ONswine, 2017).

Room temp.	Relative humidity												
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
35°C													
34°C													
33°C													
32°C													
31°C													
30°C													
29°C													
28°C													
27°C													
26°C													
25°C													
24°C													
23°C													
22°C													
21°C													

(그림 3) THI를 기준으로 한 돼지의 고온 스트레스 수준

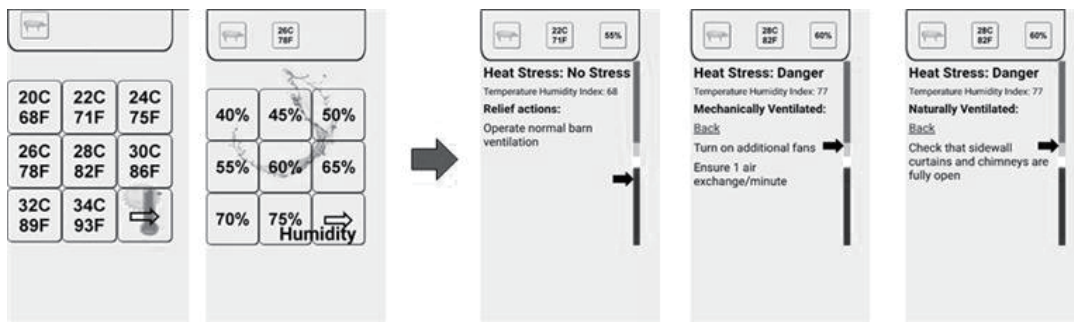
모든의 경우 THI 61~65 수준에서 안락함을 느끼며, THI 69 이상에서는 고온 스트레스를 받는 것으로 보고된 바 있다(Thom, 1958). 포유모돈의 경우 THI 60~67(온도 : 15~20°C, 상대습도 : 50~70%) 수준에서 안락함을 느낀다고 한다(Pointer, 1978 ; Muller, 1982).

최근 들어 가축의 고온 스트레스에 적절히 대처하기 위한 수단으로 각 축종별 THI 계산 및 THI에 따른 적절한 조치 사항들을 알려주는 스마트폰 어플(Smartphone App)들이 개발·보급되고 있다. 일례로, 캐나다 Ontario Ministry of Agriculture 와 Guelph대학에서는 돼지를 포함한 소, 닭 등의 가축을 대상으로 RH는 5%, 온도는 2°C 단위로 입력할 수 있도록 해 THI를 계산하는 “Heat stress”라는 스마트폰 어플을 개발한 바 있다(그림 4 ; 자료 Free smartphone App Jointly developed by University of Guelph & Ontario Mministry of Agriculture, 2017).



(그림 4) 기후 조건에 따른 각 축종별 THI 계산용 스마트폰 어플

“Heat stress” 어플은 THI 수준에 따라 사용자에게 No heat stress 단계에서부터 Emergency 단계까지 알려주고, 이에 따른 적절한 조치를 취하도록 지침을 제시해 주기도 한다. 우리나라에서도 이와 유사한 스마트폰 어플을 개발·보급할 필요가 있다고 본다.



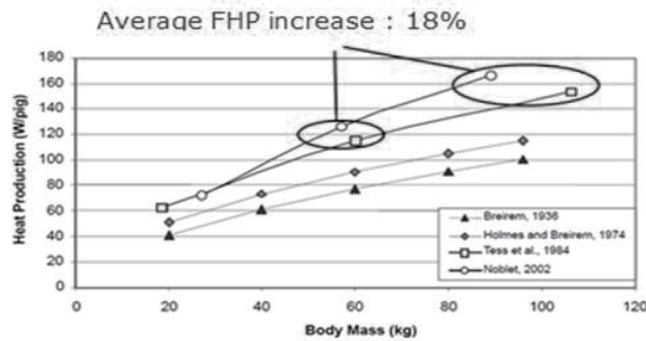
(그림 5) THI에 따른 조치 사항(스마트폰 어플 예)

### 3. 돼지로부터 발생하는 열

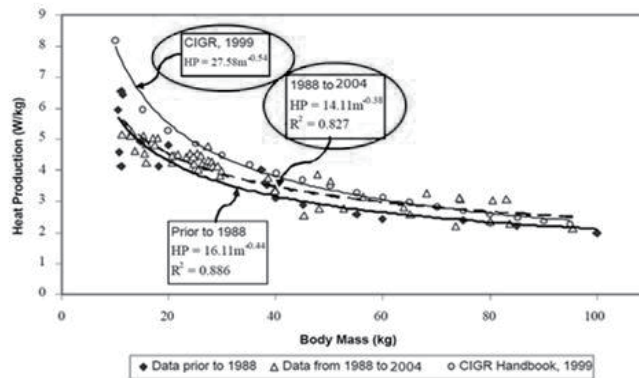
Brown-Brandl 등(2004)은 1991년에서 2001년 사이 돼지의 절식중 열발생량(Fasting heat production ; FHP)이 약 15% 증가하였다고 보고한 바 있다. 돼지의 FHP(절식중 열발생량)는 적육률(Body lean tissue rate)과 밀접한 관련이 있으므로 사양기술의 발달에 따른 적육률 증가는 궁극적으로 돼지의 FHP(절식 중 열발생량)를 증가시키는 요인으로 작용한다고 볼 수 있다. 돼지 품종별 평균 적육률은 1991년에서 2001년 사이 10년간 약 1.55% 증가(표 2)하였으며, 1984년에서 2002년 사이에 약 18% 증가(그림 6)한 것으로 보고된 바 있다.

(표 2) 돼지 4개 품종의 114kg 도달일령 및 등지방, 적육률 변화

	Change Reported from 1991 to 2001		
	Days to reach 114kg	Backfat (mm)	Lean (kg/pig)
Duroc	-3.8	-4.8	1.77
Landrace	-2.2	-4.6	1.41
Hampshire	-4.3	-3.6	1.64
Yorkshire	-4.2	-6.1	2.23
Average change	-3.6	-4.8	1.76



(그림 6) 1984년에서 2002년 사이 FHP(절식 중 열발생량) 변화



(그림 7) 돼지 성장단계에 따른 단위 체중당 발생되는 열

(그림 7)(자료 Brown-Brandl et al., 2004)에 나타난 바와 같이 돼지가 성장함에 따라 체중 1kg당 발생되는 열은 점차 감소하는 경향을 보인다. 체중 40kg의 돼지는 kg당 3.5~3.8W, 체중 60kg의 돼지는 kg당 3.0W, 체중 100kg의 돼지는 kg당

2.3~2.5W의 열을 발생시킨다. 어린 돼지가 단위 무게당 더 많은 열을 발생시킨다고 하지만, 돼지가 성장함에 따라 체중은 증가하므로 두당 총 열발생은 성돈이 가장 많다. 체중 40kg 돼지는 총 140~152W, 체중 60kg 돼지는 총 180W, 체중 100kg 돼지는 총 230~250W의 열을 발생한다.

#### 4. 돼지로부터 발생되는 수분

돈사 내 돼지로부터 발생되는 수분은 겨울철 습기제어 전략 수립 및 환기 시스템 설계 시 매우 중요한 자료로 활용된다. 돼지의 수분 발생률(Moisture production rate : MP)은 아래의 식을 이용해 계산된다(Chrisianson et al., 2002).

$$MP - \frac{V \cdot (W_e - W_o)}{v} = 0$$

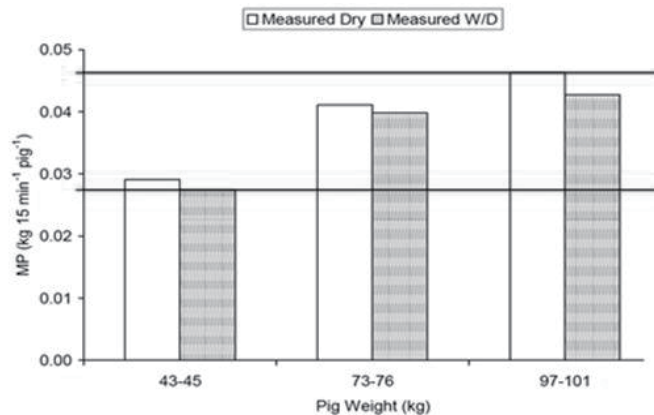
MP = moisture production rate, kg/s,

V = ventilation rate, m<sup>3</sup>/s,

W<sub>e</sub>, W<sub>o</sub> = humidity ratio of exhaust and outside air, respectively, kg<sub>water</sub>/kg<sub>dry air</sub>

v = specific volume of dry air, m<sup>3</sup>/kg<sub>dry air</sub>.

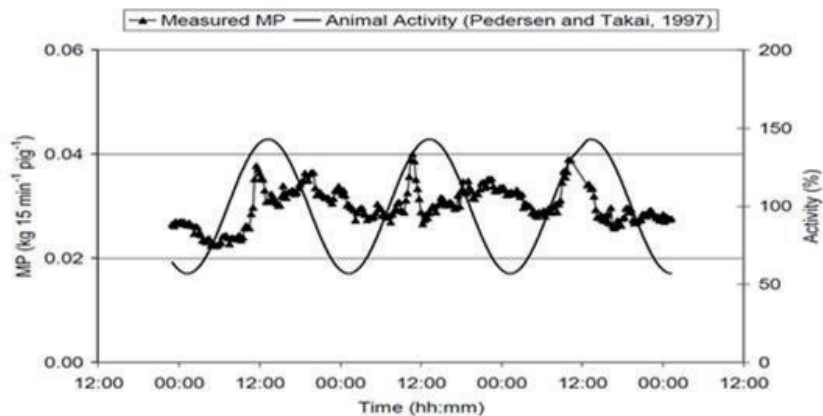
Chrisianson 등(2002)에 의하면, 체중 43~110kg의 돼지 한 마리당 15분 동안 평균 0.026~0.043kg의 수분을 발생시킨다고 한다(그림 8). 사료 급이방법(건식 : 건습식)은 돼지의 수분 발생률에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.



(그림 8) 건식과 건습식 급이 방법에 따른 돼지의 평균 수분 발생률(MP)



돼지의 수분 발생률은 돼지의 활동 변화에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다(그림 9 ; 자료 Chrisianson et al., 2002). 일반적으로 활동량이 많은 정오에 수분 발생률은 약 0.04kg/15 min · pig 수준으로 증가하고 활동량이 적은 자정 경에 수분 발생률은 최소 수준으로 감소하는 경향을 보인다. 돼지의 활동량에 따른 수분 발생률 변화를 고려해 야간에 비해 주간을 위한 수분제거에 더 많은 노력을 기할 필요가 있다.



(그림 9) 돼지의 활동에 따른 수분 발생률 변화(건식급이기, 체중 43~45kg)

돼지의 활동성은 아래의 식을 이용해 구할 수 있다.

$$A_{100} = 100 - 100 \times b/a \cdot \sin[(2 \cdot \pi / 24) \cdot (h + 6 - h_{\min})]$$

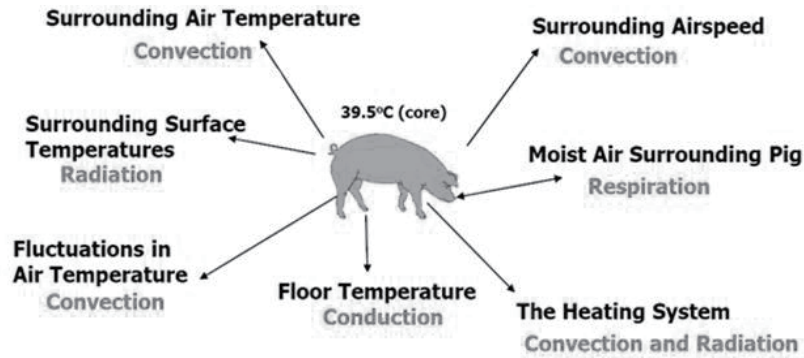
$A_{100}$  = relative activity (average = 100)

$b/a$  = amplitude (43)

$h_{\min}$  = time of day with minimum activity (hours after midnight) (1.3).

## 5. 돼지와 주변환경 간의 에너지 교환

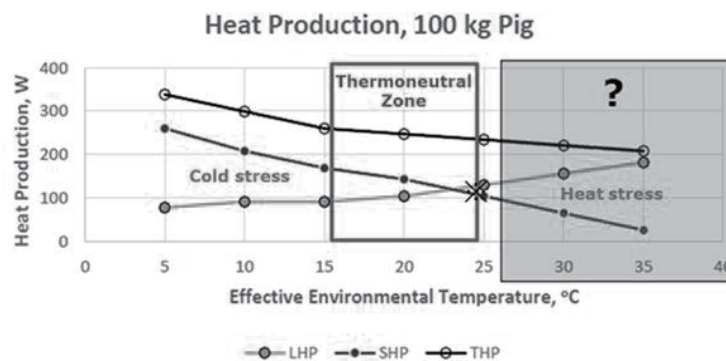
돼지와 주변환경 간의 에너지 교환은 전도(conduction), 대류(convection), 복사(radiation), 호흡(respiration) 등에 의해 이루어진다. 일반적인 조건에서 대류와 복사는 돼지 열에너지 교환의 약 90%를 차지하고 있을 정도로 돈사 내 열환경에 매우 큰 영향을 미치는 요소들이다(그림 10 ; 자료 Hoff, 2016).



(그림 10) 돼지와 주변환경 간의 열교환 형태

## 6. 고온 스트레스

체중 100kg 비육돈의 경우 25℃ 이하에서는 총열 발생량 중 현열 발생량이 잠열 발생량보다 많으나, 25℃를 넘어서면서 총열 발생량 중 잠열 발생량이 현열 발생량을 초과하는 현상을 보인다. 일반적으로 고온 스트레스는 총열 발생량 중 잠열 발생량이 현열 발생량을 초과하는 시점부터 나타나기 시작한다(그림 11 ; 자료 Hoff, 2016). 저온 스트레스는 상대적으로 저렴한 난방기를 이용해 해결할 수 있는 반면, 고온 스트레스는 현장에서 쉽게 해결되지 않는 특성이 있으므로 생산성을 높이기 위해서는 고온 스트레스를 극복하기 위한 노력을 적극적으로 할 필요가 있다.

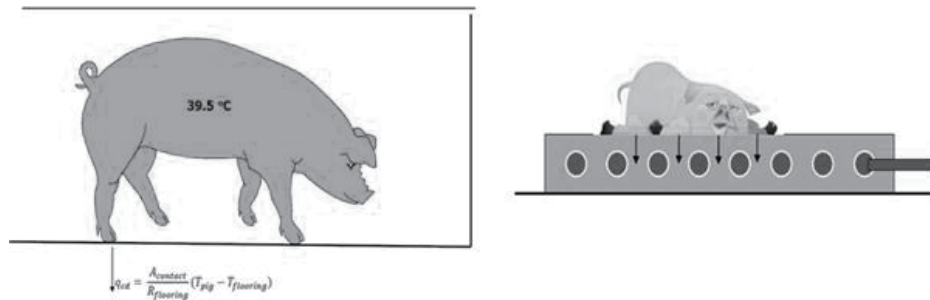


(그림 11) 외기온에 따른 비육돈(체중 100kg)의 총열 발생량 변화

## 7. 전도에 의한 열손실

전도(Conduction)는 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 열이 매체를 통해 이동하는 현상을 의미한다. 돈사 내에서 돼지의 발굽 4개만 바닥에 접하고 있으므로 전도를 통

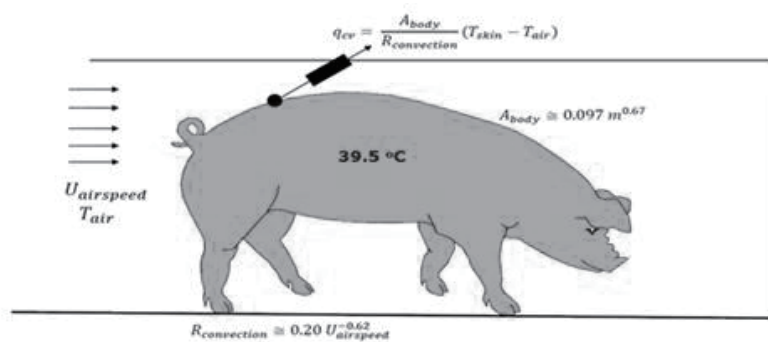
한 에너지 손실은 아주 미미하다. 혹서기에 돈사 냉방이 원활하지 않은 돈사의 경우 대부분의 돼지들이 돈사 바닥에 누워 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 상대적으로 낮은 온도의 바닥과 돼지 몸체의 접촉면을 늘여 전도 열손실을 극대화해 체온을 낮추려는 본능적인 행동에서 기인한다(그림 12 ; 자료 Hoff, 2016).



(그림 12) 돼지의 전도 열손실 형태 (좌 : 일반적 전도 열손실, 우 : 여름철 전도 열손실)

### 8. 대류에 의한 열손실

대류(Convection)는 유체 내에서 분자들이 확산이나 이류를 통해 이동하는 현상을 의미하며, 온도 차에 의해 차가운 물질은 가라앉고 뜨거운 물질이 떠오르는 자연대류(Natural convection)와 압력 차에 의해 고압에서 저압의 방향으로 물질이 이동하는 강제대류(Force convection)로 구분된다. 돼지의 대류 열손실 계산식 및 대류 열손실에 영향을 미치는 요소들은 아래의 (그림 13)(Hoff, 2016)과 같다.



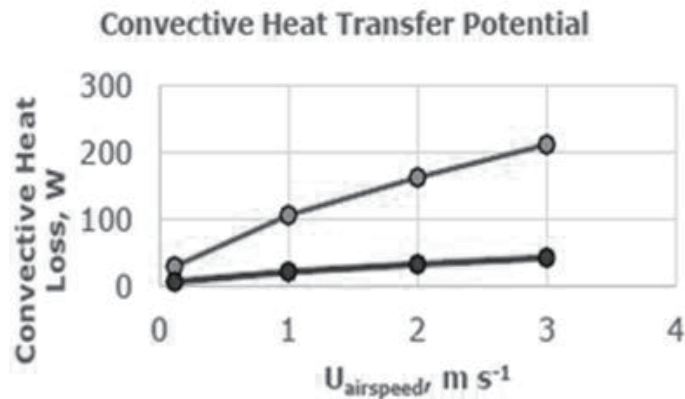
(그림 13) 돼지의 대류 열손실 계산식 및 대류 열손실에 영향을 미치는 요소

돼지의 대류 열손실은 돈사 내 풍속이 높을수록 많이 발생된다. 체온 39.5℃인 돼지가 주변 온도가 25℃로 일정할 때 풍속을 0.12m/s에서 1m/s로 높이면 대류 열손실은 29W에서 106W로 약 3.7배 증가하며, 풍속을 2m/s와 3m/s로 높이면 대류 열손실은 각각 5.6배(163W), 7.3배(212W) 증가하게 된다(표 3 ; 자료 Hoff, 2016).

(표 3) 풍속 및 돈사 내부 온도에 따른 돼지의 대류 열손실 변화

$U_{\text{air speed}}$ (m/s)	$R_{\text{convection}}$ ( $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ )	$Q_{\text{cv}}(\text{W})$ (돈사 온도 25℃)	$Q_{\text{cv}}(\text{W})$ (돈사 온도 30℃)
0.12	0.74	29	6
1.00	0.20	106	21
2.00	0.13	163	33
3.00	0.10	212	42

동일 풍속 조건에서 돼지의 대류 열손실은 주변 온도에 따라 많은 영향을 받는다. 돼지의 체온과 주변 온도의 차가 높을수록 전도 열손실은 많아지므로 겨울철 대류에 의한 돼지의 열손실을 줄여주기 위해 일반적으로 겨울철에는 최소 환기가 적용되고 있다. 돈사 내 풍속을 0.12m/s로 동일하게 유지한 상태에서 체온 39.5℃인 돼지의 주변 온도가 25℃에서 30℃로 증가하면 대류 열손실은 29W에서 6W로 약 80% 감소한다(그림 14 ; 자료 Hoff, 2016).

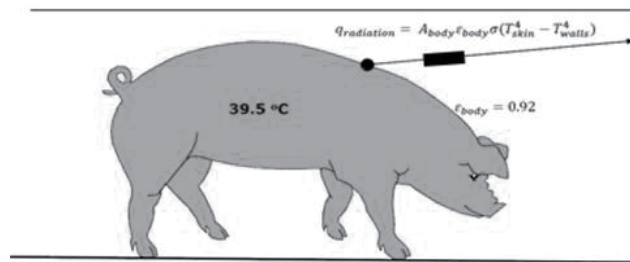


(그림 14) 풍속 및 돈사 내부 온도에 따른 돼지의 대류 열손실 변화

주변 온도가 25℃에서 30℃로 5℃ 높아진 상태에서 환기에 의해 돈사 내 풍속을 0.12m/s에서 1m/s로 약 8.3배 높인다고 하더라도 대류 열손실은 21W로 25℃(0.12m/s) 조건에 비해 약 72%에 수준 밖에 안 되므로 여름철 고온 스트레스를 줄여주기 위해서는 환기량을 높이는 것과 더불어 주변 온도를 낮추기 위한 노력을 병행하는 것이 무엇보다 중요하다.

### 9. 복사에 의한 열손실

복사(Radiation)는 물질의 원자나 분자의 구조가 변하면서 전자파 또는 광자의 형태로 방출되는 에너지 전달을 의미한다. 복사는 중간매체가 필요 없는 것이 특징이며, 돈사 환경과 돼지의 에너지 전달에서는 온도에 의해 방출되는 열복사(Thermal radiation)가 주로 고려된다. 돼지의 복사 열손실 계산식 및 복사 열손실에 영향을 미치는 요소들은 아래의 (그림 15)(Hoff, 2016)와 같다.



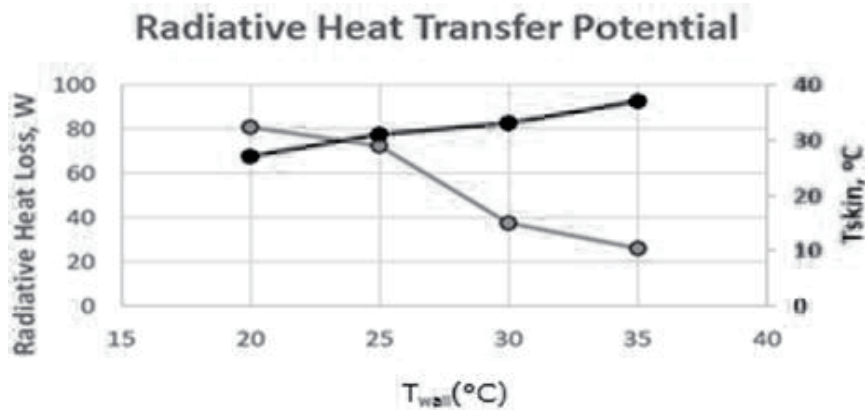
(그림 15) 돼지의 복사 열손실 계산식 및 복사 열손실에 영향을 미치는 요소

돼지의 복사 열손실은 돈사 내 온도가 낮을수록 많이 발생되며, 돈사 내 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 돈사 내벽의 온도가 20℃일 때 돼지(체온 39.5℃)의 피부표면 온도를 27℃로 가정하면 복사에 의한 에너지 손실은 81W이다. 돈사 내벽의 온도를 25℃, 30℃, 35℃, 돼지의 피부표면 온도를 31℃, 33℃, 37℃라고 가정한 조건의 복사 에너지 손실은 72W, 37W, 26W로 감소하게 된다. 돈사 내벽의 온도가 20℃에서 25℃로 5℃ 증가함에 따라 복사 에너지 손실은 약 87% 수준으로 감소하며, 돈사 내벽의 온도가 30℃로 10℃ 증가함에 따라 복사 에너지 손실은 20℃ 조건에 비해 약 46% 수준으로 감소하게 된다(표 4 ; 자료 Hoff, 2016).

(표 4) 풍속 및 돈사 내부 온도에 따른 돼지의 대류 열손실 변화

$T_{\text{walls}}$ (°C)	$T_{\text{skin}}$ (°C)	$Q_{\text{rad}}$ (W)
20	27	81
25	31	72
30	33	37
35	37	26

앞에서 언급한 바와 같이 돈사 내벽의 온도가 20°C에서 35°C로 증가함에 따라 돼지의 복사 에너지 손실은 온도와 뚜렷한 반비례 관계를 보인다. 돈사 내벽의 온도가 20°C에서 35°C로 증가함에 따라 돼지의 복사 에너지 손실은 81W에서 26W로 약 32% 수준으로 감소하게 된다(그림 16 ; 자료 Hoff, 2016).

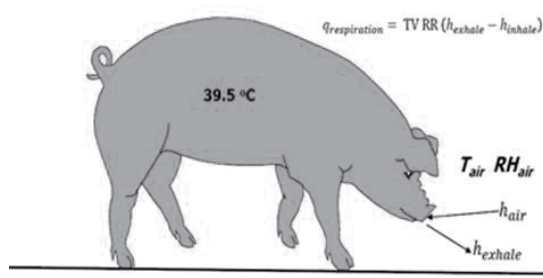


(그림 16) 돈사 내벽 온도에 따른 돼지의 복사 열손실 변화

## 10. 호흡에 의한 열손실

호흡(Respiration)은 체내에 산소를 받아들이고 이산화탄소를 배출하는 생명활동을 의미한다. 호흡과정 중 체내의 열이 수분과 함께 증발하면서 열손실이 발생된다. 돼지의 호흡 열손실 계산식 및 호흡 열손실에 영향을 미치는 요소들은 아래의 (그림 17)(Hoff, 2016)과 같다.

돼지의 호흡 열손실은 건조한 조건(상대습도 40~60%)에서 돈사 온도가 증가함에



(그림 17) 돼지의 호흡 열손실 계산식 및 호흡 열손실에 영향을 미치는 요소

따라 비례적으로 증가하는 현상을 보이나, 다습한 조건(상대습도 60~80%)에서는 온도 증가와 무관하게 큰 변화가 없는 특성을 보인다(표 5; 자료 Hoff, 2016).

(표 5) 돈사 내부 온도 및 습도에 따른 돼지의 호흡 열손실 변화

$T_{air}$ (°C)	TV* (ml/RR**)	RR (BPM***)	m-dot**** (kg/hr)	Dry conditions		Humid conditions	
				$RH_{air}$ (%)	$Q_{resp}$ (W)	$RH_{air}$ (%)	$Q_{resp}$ (W)
20	700	32	1.6	60	43	80	39
25	700	36	1.6	50	43	70	38
30	700	45	2.3	40	50	65	38
35	700	60	3.0	40	55	60	38

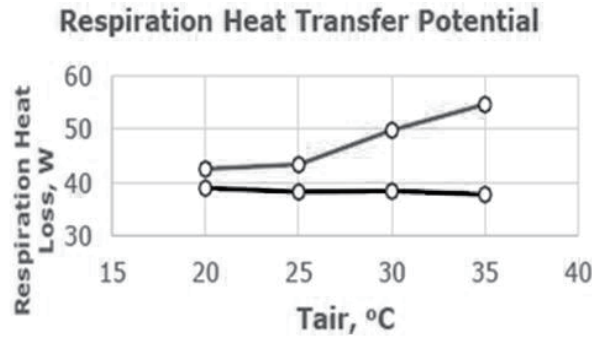
\* TV : Total volume(총부피)

\*\* RR : Respiration rate(호흡률)

\*\*\* BPM : Breathing per minute(분당 호흡수)

\*\*\*\* m-dot : mass flow rate(시간당 총량)

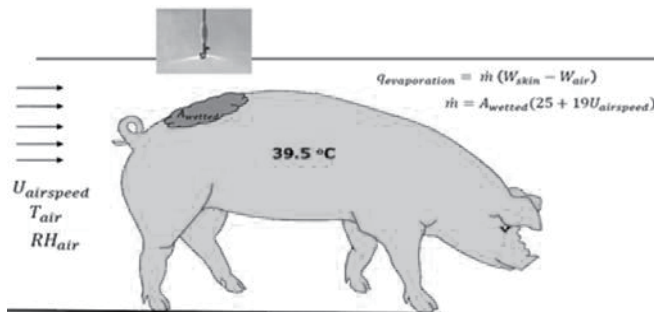
건조한 조건(상대습도 40~60%)에서 돈사 내부 온도가 20°C에서 30°C로 올라가면 호흡에 의한 열손실은 43W에서 50W로 약 16% 증가하는 반면, 다습한 조건(상대습도 60~80%)에서 돈사 내부 온도가 20°C에서 30°C로 올라갈 경우 호흡에 의한 열손실은 39W에서 38W로 큰 변화를 보이지 않는다고 보고된 바 있다(그림 18 ; 자료 Hoff, 2016).



(그림 18) 돈사 내부 온도 및 습도에 따른 돼지의 호흡 열손실 변화

### 11. 피부표면 수분 증발에 의한 열손실

돼지는 땀샘이 발달되지 않아 체온조절 능력이 다른 가축에 비해 떨어지는 특성이 있다. 특히 고온 시 땀을 흘릴 수 없어 땀 증발을 통해 잠열의 형태로 체열을 발산하는 것이 불가능해 고온환경에 매우 민감하다. 피부표면 수분증발에 의한 냉각(Skin water evaporative cooling)은 고온 시 인위적으로 돼지의 피부를 물로 적셔 물의 증발을 유도해 잠열의 형태로 체열을 발산하는 방법을 의미한다. 돼지의 피부표면 수분 증발에 의한 열손실 계산식 및 계산인자에 관한 내용은 아래의 (그림 19)(Hoff, 2016)와 같다.



(그림 19) 돼지 피부표면 수분 증발에 의한 열손실 계산식 및 계산인자

돈사 내 온도 및 습도가 동일한 조건에서 환기에 의해 풍속이 증가함에 따라 돼지 피부표면 수분 증발에 의한 열손실은 비례적으로 증가하는 특성이 있다. 돈사 내부 온도 25°C, 상대습도 60%인 조건에서 풍속을 0.12m/s에서 0.5, 1.0, 2.0, 3.0m/s



로 높이면 돼지의 피부표면 수분 증발에 의한 열손실은 80, 102, 146, 189W로 증가한다(표 6 ; 자료 Hoff, 2016).

(표 6) 돈사 내부 온도, 풍속, 피부표면 수분 살포면적에 따른 돼지 피부표면 수분 증발에 의한 열손실 변화

T (°C)	RH* (%)	U** (m/s)	A <sub>wetted</sub> *** (m <sup>2</sup> )	m <sub>evap</sub> (kg/hr)	Q <sub>evap</sub> (W)
25	60	0.12	0.212	0.09	63
25	60	0.50	0.212	0.12	80
25	60	1.00	0.212	0.15	102
25	60	2.00	0.212	0.22	146
25	60	3.00	0.212	0.28	189
35	60	0.12	0.212	0.04	24
35	60	0.50	0.212	0.05	31
35	60	1.00	0.212	0.06	39
35	60	2.00	0.212	0.08	56
35	60	3.00	0.212	0.11	73

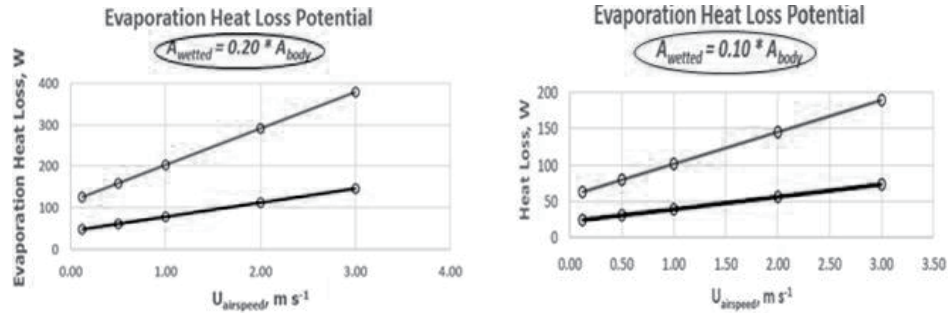
\* RH : 상대습도

\*\* U : 풍속

\*\*\* Awetted : 돼지 피부표면 수분 살포면적

동일한 풍속과 습도 조건에서 돈사 내부 온도가 높으면 돼지의 피부표면 수분 증발에 의한 열손실은 줄어들게 된다. 풍속 1m/s, 상대습도 60% 조건에서 돈사 내부 온도를 25°C에서 35°C로 높이면 피부표면 수분 증발에 의한 열손실은 80W에서 31W로 25°C 조건에 비해 약 39% 수준으로 줄어든다(표 6 ; 자료 Hoff, 2016).

돼지의 피부표면 수분 증발에 의한 열손실은 돼지의 체표면 중 물로 적셔지는 면적과 밀접한 관련이 있다. 돈사 내부 온도, 상대습도, 풍속 등의 조건이 동일한 조건에서 물로 적시는 체표면의 비율을 돼지의 전체 체표면의 10%에서 20%로 넓히면 수분 증발에 의한 열손실은 2배 증가한다(그림 20 ; 자료 Hoff, 2016).



(그림 20) 돈사 내부 온도, 풍속, 피부표면 수분 살포면적에 따른 돼지 피부표면 수분 증발에 의한 열손실 변화

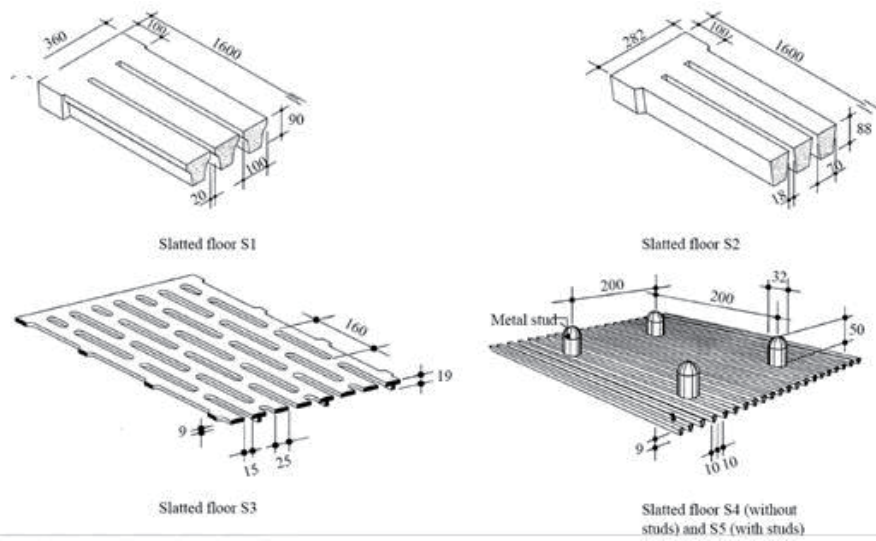
### III. 물리적 환경(Physical environment)

#### 1. 돈방 바닥

##### 1) 바닥 유형이 돈방 청결도 및 암모니아 발생에 미치는 영향

틈바닥(Slatted floor)의 유형은 돈방 내 돼지의 배변·배뇨 및 잠자리 위치뿐만 아니라 돈방에서 발생하는 암모니아 휘산과 밀접한 관련이 있다. Aarnink 등(1997)은 부분슬랫(slatted floor 면적 25%, solid floor 면적 75%)을 적용하는 비육사에서 틈바닥 유형이 돈방의 청결도 및 암모니아 휘산에 미치는 영향을 평가한 바 있다. Aarnink 등(1997)은 slat의 폭과 slat간 gap이 서로 다른 콘크리트 틈바닥(S1 ; slats 10cm wide, 2cm gaps, S2 ; slats 7cm wide, 1.8cm gaps)과 주철 무쇠 틈바닥(S3 ; slats 2.5cm wide, 1.5cm gaps), 단면을 삼각형으로 처리한 금속 틈바닥(S4 ; slats 1cm wide, 1cm gaps, S5 ; 틈바닥 중 0.8×0.7m의 면적에 지름 3.2cm 높이 5cm인 돌출물을 20cm 간격으로 설치) 등 틈바닥 유형을 총 5가지로 구분해 돈방의 청결도 및 암모니아 휘산을 평가하였다(그림 21).

Aarnink 등(1997)의 연구에 의하면, 단면을 삼각형으로 처리한 금속 틈바닥(slats 1cm wide, 1cm gaps)에 지름 3.2cm 높이 5cm인 돌출물을 20cm 간격으로 설치한 바닥(S5)은 돼지가 틈바닥 부분에 눕는 비율을 줄여주는 대신 틈바닥 부분에 배뇨·배분하는 비율을 높여주는 효과가 있었다고 한다(표 7 ; 자료 Aarnink et al, 1997).



(그림 21) Aarnink 등(1997)이 평가한 돈방 틈바닥 유형

(표 7) 틈바닥 부분에 눕거나 배분·배뇨하는 비율

Slats	Lying pigs(%)	Excreting pig(%)	
		Urinations	Defecations
S1	9.0	69.4	85.6
S2	10.5	72.9	86.7
S3	10.5	62.8	81.7
S4	11.2	65.9	85.2
S5	6.1	76.2	95.1

단면을 삼각형으로 처리한 금속 틈바닥(slats 1cm wide, 1cm gaps)에 지름 3.2cm 높이 5cm인 돌출물을 20cm 간격으로 설치한 바닥(S5)의 경우 평바닥(Solid floor)에 분뇨를 배설하는 횟수가 가장 적은 것으로 나타났다. 평바닥 부분에 분뇨를 배설하는 빈도를 줄여줌으로 인해 오줌에 의해 젖어있는 평바닥(Solid floor)의 면적을 자연스럽게 줄여주는 효과를 얻을 수 있었다고 본다. 돼지가 평바닥 부위에 분뇨를 배설하지 못하게 함으로써 궁극적으로 돈방의 청결도를 개선하고 돈사 내 암모니아 발생을 저감시키는 효과를 기대할 수 있었다.

(표 8) 배뇨로 인해 젖어있는 평바닥 면적 및 평바닥에 배분·배뇨하는 빈도

Slats	Wetted area solid floor(m <sup>2</sup> )*	Frequency of excretion on solid floor	
		Urinations	Defecations
S1	0.07	24.2	10.7
S2	0.10	19.4	7.9
S3	0.11	28.9	14.4
S4	0.09	25.2	9.9
S5	0.04	19.1	3.5

\* m<sup>2</sup> per pig place

단면을 삼각형으로 처리한 금속 틈바닥(S4, S5)의 경우 콘크리트 틈바닥(S1, S2)에 비해 암모니아 휘산을 줄여주는 효과가 있다. 금속 틈바닥(S4, S5)을 사용할 경우 암모니아 휘산은 콘크리트 틈바닥(S1, S2)보다 약 27% 줄어든다고 한다(표 9 ; 자료 Aarnink et al, 1997).

(표 9) 틈바닥 유형별 비육돈사에서 휘산되는 암모니아

Slats	Ammonia emission (% of S1)
S1	100
S2	96
S3	85
S4	73
S5	73

## 2) 바닥 유형과 돼지의 생산성 간의 관계

Stansbury 등(1987)은 콘크리트 틈바닥과 플라스틱 틈바닥이 모돈과 자돈의 생산성에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 플라스틱 바닥은 콘크리트 바닥에 비해 복당 이 유체중을 약 10~25% 개선시키며 자돈 폐사율을 31~57% 감소시키는 효과를 보였다고 한다(표 10 ; 자료 Stansbury et al., 1987).

(표 10) 틈바닥 바닥재 유형에 따른 모돈과 자돈의 생산성

	초산돈		경산돈	
	Concrete floors	Plastic floors	Concrete floors	Plastic floors
복당 이유시 체중(kg)	50.3	63.3	55.2	60.8
이유자돈수(두)	8.4	9.2	8.2	8.8
두당 이유시 체중(kg)	6.0	6.9	6.7	7.0
자돈 폐사율(%)	14	6	16	11
모돈 사료섭취량(kg/day)	5.8	5.7	6.6	6.6
이유 후 발정재귀(일)	6.3	7.0	5.2	4.8

Stansbury 등(1987)이 틈바닥 바닥재의 유형은 모돈 및 자돈의 생산성에 많은 영향을 미친다고 보고한 바 있으나, Cornio 등(2003)은 전면슬랏, 부분슬랏, 평바닥 등의 서로 다른 바닥 조건에서 비육돈을 90일간 사육한 결과 돈방의 바닥 유형이 비육돈의 생산성에 미치는 영향은 거의 없다고 결론을 내린 바 있다(표 11; 자료 Stansbury et al., 1987).

이와 같이 돈방 바닥재 및 바닥 유형이 돼지의 생산성에 미치는 영향과 관련된 견해는 연구자들마다 다소 차이를 보이기는 하나, 분뇨 배설장소와 잠자리 구분에 도움

(표 11) 바닥 유형에 따른 비육돈의 생산성

		Partially slatted	Totally slatted	Solid floor
실험초기 체중(kg)		90	90	90
90일 경과 후 체중(kg)		146	147	146
일당증체량(kg)	0-46일	643	663	644
	46-90일	609	603	609
	0-90일	623	634	621
사료 요구율		4.76	4.62	4.56

을 주며 분뇨에서 기인한 유기물들이 덜 부착될 수 있는 특성을 구비한 바닥 구조 및 재료를 사용하면 돼지의 생산성에는 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 가스/먼지 농도

돼지로부터 배설된 분뇨가 밀폐된 돈사 내에 일정기간 체류하는 동안 다양한 종류의 가스가 발생하게 된다. 일부 가스는 사람이나 돼지에게 독성을 띄고 있거나 질식을 초래하기도 한다. 겨울철 화석연료용 가열장치를 이용해 난방할 경우 돈사 내에 일산화탄소, 이산화탄소, 탄화수소 등의 가스 농도가 증가하게 돼 환기가 불량한 조건에서 돼지의 건강에 부정적인 영향을 주게 된다.

건조한 상태의 분뇨, 사료, 돼지의 털이나 비듬 등에서 기인한 먼지는 돼지의 호흡기 질환을 초래할 뿐만 아니라 돈사 내 악취를 가중시키는 원인으로 작용하기도 한다.

연구자들 마다 다소 차이를 보이기는 하지만 암모니아, 황화수소, 이산화탄소, 호흡 가능한 먼지의 돈사 내 추천 가능한 최대 농도는 각각 10~11ppm, 5ppm, 1,500~3,000ppm, 0.23mg/m<sup>3</sup>이라고 한다(Donham et al., 2010 ; Pederson et al, 2000 ; Meyer et al., 1991).

(표 12) 돈사 내 가스 및 먼지 추천 농도

	NH <sub>3</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Total dust (mg/m <sup>3</sup> )	Respirable dust (mg/m <sup>3</sup> )
최대 추천농도	10 <sup>c</sup> ~ 11 <sup>ab</sup>	5 <sup>abc</sup>	1,500 <sup>a</sup> ~ 3,000 <sup>c</sup>	2.5 <sup>a</sup> ~ 3.7 <sup>b</sup>	0.23 <sup>ab</sup>
돈사 내 농도 (겨울철 / 일반적인 농도)	20	<5	3,500	6.0	1.0

a Donham 등(2010)

b Pederson 등(2000)

c Meyer 등(1991)

일반적으로 겨울철 돈사 내 암모니아, 황화수소, 이산화탄소, 호흡 가능한 먼지의 농도는 각각 20ppm, <5ppm, 3,500ppm, 1.0mg/m<sup>3</sup> 수준으로 보고된 바 있다. 겨울철 돈사 내 암모니아 농도는 최대 추천농도의 약 2배를 초과하며, 이산화탄소 농도는 1.2~2.3배 초과하고 호흡 가능한 먼지의 농도는 약 4.3배 초과하므로 겨울철 최소환기 적용 시 유해가스 및 먼지 제어에 주의를 기할 필요가 있다.

#### IV. 참고문헌

- AHDB Pork, 2016. Ventilating pig buildings, Agricultural and Horticultural Development Board
- National Pork Board. 2002. Swine Care Handbook Pork Checkoff.
- Thom, E.C., 1958. Cooling degrees–days air conditioning, heating, and ventilating. Transactions of the ASAE, 55(7): 65–72
- Buffington, D.E.; Collier, R.J.; Canton, G.H. Shed management systems to reduce heat stress for dairy cows. St. Joseph: ASABE, 1982
- ONswine, 2017 <https://onswine.wordpress.com/tag/humidity>
- Pointer, C.G., 1978. The pig requirements. Agricultural Engineering, St. Joseph, 27(3), p.78–81
- Muller, P.B., 1982. Bioclimatologia Aplicada aos Animais Domesticos. 2nd ed. Editora Sulina, Porto Alegre, 158p.
- Brown–Brandl et al., 2004. A literature review of swine heat production. Transactions of the ASAE, 47(1): 259–270
- Christianson et al., 2002. Moisture production from grower–finisher pigs–field measurements compared with theoretical values. ASAE Annual International Meeting, Paper Number 024183
- Hoff, 2016. ventilating for heat stress mitigation
- Aarnink, A.J.A., Swierstra, D., van den Berg, A.J., Speelman, L., 1997. Effecto fo type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. J. Aric. Engng Res., 66: 93–102.
- Cornino, C., Rossi, R., Pastorelli, G., Different types of flooring and space allowance in heavy pigs: effects on growth performances. Italian Journal of Animal Science, 2:sup1, 388–390.
- Stansbury, W.F., McGlone, J.J., Tibble, L.F., Effects of season, floor type, air temperature and snout coolers on sow and litter performance, Journal of Animal Science, 65:1507–1513.

Donham, K., Aherin, R., Baker, D., Hetzel, G., 2010. Safety in swine production systems (Originally published as PIH-104), Fact sheet, Pork Information Gateway.

Pedersen, S., Nonnenmann, M., Rautiainen, R., Demmers, T.G.M., Banhazi, T., Lyngbye, M., 2000, Dust in pig buildings, *Journal of Agricultural Safety and Health* 6:261–274.

Meyer, V.M., Driggers, L. B., 1991. Swine growing–finishing units, *Pork Industry Handbook*, PIH-11. Purdue University Cooperative Extension Service.



한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

도축 · 가공 · 유통

# 한돈의 소비자 품질 향상을 위한 도축·가공·유통의 현안 및 연구과제



문성실 센터장

(주)선진 Meat&Processing연구센터

## 1. 서론

한돈과 수입산 돼지고기의 차이는 신선도와 지방품질로 말할 수 있다. 한돈의 경우 도축에서 소비시점까지 10일 내 소요되지만, 수입산 돼지고기의 경우 도축, 운송, 통관, 검역, 소비시점까지 30~40일까지 소요된다. 또한 소비시점에서의 미생물수는 평균 100배 이상 차이가 나며, 지방산패도 역시 2배 차이가 발생한다.

국내 소비자는 맛있고 안전한 고기를 원하고 있다. 축산물 소비행태 변화 조사결과(한국소비자연맹, 2016)를 살펴보면, 소비자는 식육의 원산지를 제일 중요하게 생각한다. 또한 국내산 돼지고기 선호 이유를 맛, 신선도, 위생, 안전이라는 비율이 98%를 나타내고 있으며, 수입산 돼지고기를 선호하는 이유는 저렴한 가격이라는 비율이 87%를 차지하고 있다.

소비자들이 생각하는 축산물의 가치에 대해 보고한 Lind L. W.(2007)의 연구결과에서 수단-목적 사슬이론에 따라 소비자는 상품을 구매하고 그에 따른 보상이나 성취감을 느끼게 된다고 한다. 수입산 축산물을 구매하는 소비자는 돈을 절약하기 위하기 때문이며, 수입산 축산물에서 보상이나 성취감을 기대하지 않는다. 하지만 국내산 축산물의 구입을 통해 고품질과 좋은 맛을 가진 축산물을 구입하기 위함이며, 이로 인해 안전하고 신뢰할 수 있는 축산물을 구매하여 최종적으로 행복과 즐거움을 느낀다고 하였다.

우리나라 소비자는 구이에 적합한 삼겹살과 목심에 대한 소비비중이 크고 삼겹과 목심의 가격이 가장 높다. 또한 소비자가 육류를 구매 시 가장 중요하게 고려하는 사항으로는 원산지와 품질인데, 품질에서도 신선도 52.5%, 맛 24.6%, 육색 13.2%로 중요하게 고려한다고 한다(한국축산경제연구원, 육류유통실태조사, 2015년 4분기). 이와 대조적으로 소비자의 불만사항을 살펴보면, 원료돈에서는 지방과다, 주사흔적, 응취 순으로 소비자 불만이 발생하고 있으며, 도축·가공에 대해서는 스펙·선별불량, 포장불량, 이취·변질 순으로 고객 불만이 발생하고 있다. 최종 소비자의 불만으로는 이취·변질, 육질, 스펙, 지방 순으로 고객 불만이 발생하고 있다. 종합적으로 생각해 볼 때 소비자는 육류 구매 시 신선도, 맛, 육질, 지방의 양과 질을 중요하게 생각하고 있다. 따라서 돈육의 신선도, 맛, 육질, 지방의 품질을 연구한 해외 사례를 바

탕으로 도축, 가공, 유통에 대해서 연구동향과 함께 축산물의 오해에 대한 연구동향을 살펴보고자 한다.

## 2. 신선도 향상을 위한 연구동향

### 1) 신선도 개선 연구

Yi-Tao Liao et al.(2010)는 Vis/NIR 분광기를 이용하여 신선한 돼지고기의 근육 내 지방, 단백질 및 물의 함량, pH 및 전단력의 품질 특성을 예측했다. 측정에 이용된 Vis/NIR 파장은 350~1100nm이며, 부분 최소 제곱 회귀(PLSR) 모델을 이용하여 제시하였다. 근육 내 지방, 단백질 및 수분 함량, pH, 전단력의  $R^2$ 를 산출했으며, 전단력을 제외한 각 측정치의  $R^2=0.757$  이상을 나타냈다(Table 1).

도체의 신속한 냉각은 근육의 온도를 빠르게 하강시켜 사후 해당과정 속도를 늦

(Table 1) Prediction statistics of calibration and validation data sets.

Item	Mathematical treatment	Factors	Calibration		Validation	
			$R^2$	RMSEC	$R^2$	RMSEV
Fat	None	8	0.170	0.175	0.154	0.146
	MSC	5	0.158	0.177	0.166	0.145
	1st der	6	0.839	0.077	0.760	0.085
	MSC + 1st der	6	0.852	0.074	0.767	0.087
Protein	None	6	0.074	1.064	0.047	0.700
	MSC	6	0.144	1.023	0.056	0.740
	1st der	5	0.771	0.528	0.719	0.429
	MSC + 1st der	5	0.821	0.469	0.757	0.405
Water	None	12	0.415	1.424	0.306	1.329
	MSC	11	0.416	1.421	0.317	1.342
	1st der	6	0.815	0.800	0.707	0.871
	MSC + 1st der	6	0.832	0.762	0.794	0.776
pH	None	12	0.821	0.106	0.696	0.139
	MSC	9	0.789	0.116	0.560	0.164
	1st der	3	0.814	0.109	0.792	0.114
	MSC + 1st der	3	0.865	0.093	0.824	0.104
Shear force	None	12	0.446	0.324	0.217	0.362
	MSC	9	0.321	0.358	0.152	0.376
	1st der	4	0.686	0.244	0.147	0.385
	MSC + 1st der	4	0.723	0.229	0.278	0.360

추어 근육단백질의 변성을 억제하는 효과가 있어 돈육의 품질을 향상시킬 수 있다. 현재 도체냉각은  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 급냉터널을 통과시켜  $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각하는 방법이 사용되어지고 있다. Artur Rybarczyk et al.(2015)에 따르면,  $1^{\circ}\text{C}$ 에서 22시간 50분 (Conventional chilling) 냉각된 도체와  $-24^{\circ}\text{C}$ 에서 70분(Blast chilling) 냉각된 도체를 비교하였을 때 Blast chilling의 경우 2시간 이후 도체온도가 급강하 하였으며 (Table 2), pH와 electrical conductivity에서 Conventional chilling과 유의적인 차이가 없었다. Blast chilling 후 돈육의 Lightness, Yellowness, Chroma가 유의적으로 증가하였으며, Redness에서는 유의적인 차이는 없었다. 또한 Blast chilling은 유의적으로 Drip loss를 감소시켰다(Table 3).

(Table 2) Temperature in the longissimus lumborum muscle depending on chilling method and conformation class.

Traits	Chilling system		EUROP carcass class			Significance of interaction
	Blast chilling n = 60	Conventional n = 60	S n = 40	E n = 40	U n = 40	
Temp <sub>35min</sub>	39.16 ± 1.33		39.51 ± 1.35	38.71 ± 1.40	39.27 ± 1.11	-
Temp <sub>2h</sub>	16.26 <sup>B</sup> ± 4.14	30.27 <sup>A</sup> ± 3.56	22.93 ± 8.34	23.03 ± 7.95	23.83 ± 7.92	n.s.
Temp <sub>6h</sub>	8.27 <sup>B</sup> ± 1.86	15.17 <sup>A</sup> ± 1.95	11.23 <sup>b</sup> ± 4.14	11.63 <sup>ab</sup> ± 4.03	12.30 <sup>a</sup> ± 3.69	n.s.
Temp <sub>24h</sub>	2.29 ± 0.71	2.51 ± 0.56	2.32 ± 0.63	2.42 ± 0.63	2.45 ± 0.69	n.s.

Results in the table are given as Least Squares Quadratic mean ± standard deviation.

<sup>A,B</sup>Mean values signed by different capital letters differ significantly at  $p \leq 0.01$  ( $p \leq 0.01$ ).

<sup>a,b</sup>Mean values signed by different small letters differ significantly at  $p \leq 0.01$  ( $p \leq 0.05$ ).

Significance: n.s.: not significant ( $p \leq 0.05$ ;  $p \leq 0.01$ ).

(Table 3) Color characteristics and drip loss in the longissimus lumborum muscle depending on chilling method and conformation class.

Traits	Chilling system		EUROP carcass class			Significance of interaction
	Blast chilling n = 60	Conventional n = 60	S n = 40	E n = 40	U n = 40	
Lightness (L*)	55.06 <sup>B</sup> ± 3.34	57.32 <sup>A</sup> ± 3.56	56.56 ± 4.23	55.96 ± 2.98	56.05 ± 3.61	n.s.
Redness (a*)	6.46 ± 1.20	6.45 ± 1.49	6.28 ± 1.59	6.76 ± 1.20	6.32 ± 1.20	n.s.
Yellowness (b*)	13.63 <sup>B</sup> ± 1.10	14.46 <sup>A</sup> ± 1.32	14.10 ± 1.55	14.19 ± 1.24	13.84 ± 0.99	n.s.
Chroma (C*)	15.11 <sup>B</sup> ± 1.29	15.88 <sup>A</sup> ± 1.63	15.47 ± 1.87	15.76 ± 1.49	15.26 ± 1.07	n.s.
Hue angle (h°)	65.06 ± 4.16	66.18 ± 4.22	66.51 ± 4.51	64.64 ± 3.11	65.70 ± 4.72	n.s.
Drip loss <sub>48</sub> (%)	2.98 <sup>b</sup> ± 1.62	3.72 <sup>a</sup> ± 2.10	3.29 ± 2.15	3.53 ± 1.85	3.23 ± 1.71	n.s.
Drip loss <sub>72</sub> (%)	5.04 ± 2.35	5.68 ± 2.84	5.30 ± 3.11	5.65 ± 2.12	5.14 ± 2.56	n.s.

Results in the table are given as Least Squares Quadratic mean ± standard deviation.

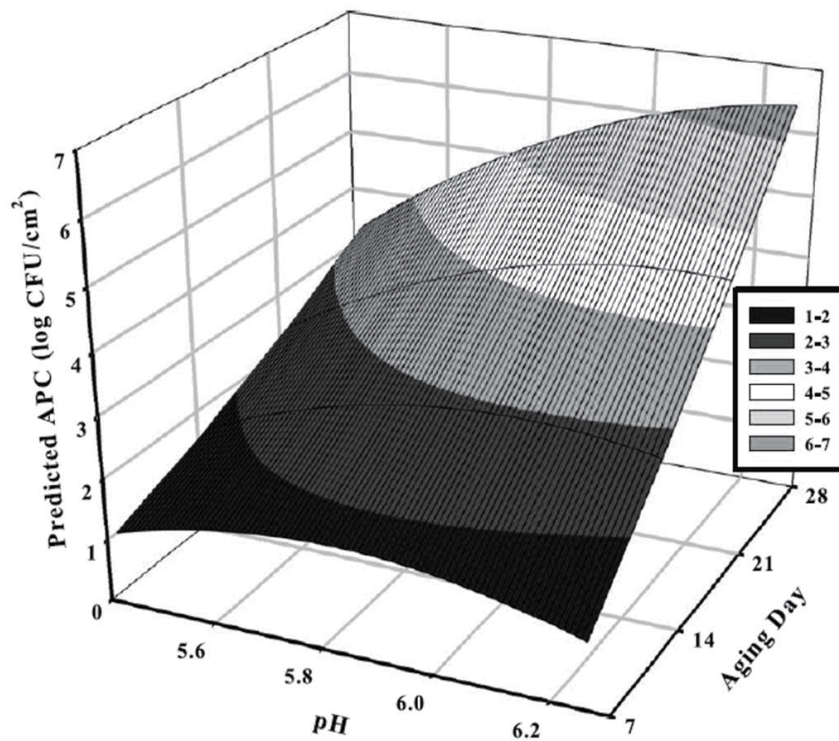
<sup>A,B</sup>Mean values signed by different capital letters differ significantly at  $p \leq 0.01$ .

<sup>a,b</sup>Mean values signed by different small letters differ significantly at  $p \leq 0.05$ .

Significance: n.s.: not significant ( $p \leq 0.05$ ;  $p \leq 0.01$ ).

## 2) 신선도 예측 모델 연구

돈육의 신선도를 판별하는 방법은 육색, 보수력, pH, VBN, TBARS(Thiobarbituric acid reactive substance), 미생물 수를 측정하는 방법이 있다. 미생물 수는 돈육의 섭취와 직접적인 관련이 있으며, 소비자는 안전한 축산물을 소비하기 위해 신선도에 관심을 나타내고 있다. Holmer et al.(2005)는 돈육의 저장기간과 pH를 이용하여 미생물수를 예측하기 위한 모델을 제시하였다. 진공포장된 돈육을 28일 동안 저장하였을 때 예측된 산술식은  $\text{Aerobic plate counts(APC)} = -105.0832 - (0.9071 * \text{Aging Day}) + (0.0014 * \text{Aging Day}^2) + (37.5674 * \text{pH}) - (3.3300 * \text{pH}^2) + (0.1775 * [\text{Aging Day} * \text{pH}])$ 이며,  $R^2 = 0.87$ 로 나타났다(Figure 1).



(Figure 1) Predicted aerobic plate counts

### 3. 돈육의 맛 개선을 위한 연구동향

#### 1) 도축 시 기절 방식이 돈육 품질에 미치는 영향

돼지를 도축할 때 기절 방법에는 Electrical stunning, CO<sub>2</sub> stunning이 상업적으로 이용되고 있다. 돈육의 품질은 기절 방법에 따라 골절, 근출혈, PSE육이 발생할 수 있으며, 이로 인하여 돈육의 품질이 저하된다. 또한 PSE육 특징을 나타낼수록 Drip loss가 증가하여 돈육의 식감에 부정적인 영향을 미치는 것은 이미 널리 알려진 사실이다. 일반적으로 Electrical stunning으로 생산된 돈육은 CO<sub>2</sub> stunning으로 생산된 돈육보다 pH 감소가 빠르고 낮은 보수력을 나타낸다. Channon et al.(2003)은 CO<sub>2</sub> stunning과 다양한 Electrical stunning(1.3A, 4s, 0.9A, 19s, 1.3A, 19s, 2.0A, 4s, 2.0A, 19s)을 통해 생산된 돈육의 품질을 비교하였다. Electrical stunning에서 0.9A, 19s의 조건일 때 CO<sub>2</sub> stunning과 동일한 Drip loss를 보였으나 높은 수준으로 PSE육이 발생하는 문제점이 있었다. Electrical stunning 중 가장 낮은 PSE육 발현율을 보인 조건은 1.3A, 4s이었으며, Electrical stunning의 시간과

(Table 4) Effect of stunning treatment on pH 24h, muscle lightness (L\*), drip loss, Warner-Bratzler (WB) shear force and the incidence of pale, soft and exudative (PSE) pork of the M. longissimus thoracis etlumborum (LTL) and M. biceps femoris (BF), the amount of ecchymosis-affected meat removed from the shoulder and middle primals and the incidence of bone fractures.

Attribute	CO <sub>2</sub> stunning (n=12)	Electrical stunning treatment					S.E.D. (range) <sup>a</sup>	P
		1.3 A, 4 s (n=8)	0.9 A, 19 s (n=7)	1.3 A, 19 s (n=7)	2.0 A, 4 s (n=7)	2.0 A, 19 s (n=7)		
<b>LTL muscle</b>								
pH 24 h								
Site 1	5.56	5.52	5.48	5.49	5.50	5.50	0.05-0.06	0.60
Site 2	5.56	5.49	5.43	5.45	5.48	5.52	0.05-0.06	0.079
Site 3	5.60	5.53	5.47	5.44	5.48	5.52	0.07-0.08	0.31
Muscle lightness (L*)	50.90	50.65	51.29	53.92	51.96	51.98	1.29-1.46	0.24
Drip loss (%)	4.48	6.71	5.10	9.53	7.06	7.14	1.08-1.21	0.001
WB shear force (kg)	5.47	5.20	5.80	5.24	5.59	5.99	0.77-0.87	0.93
Incidence of PSE <sup>b</sup> (%)	42	38	86	100	71	86		<0.05
<b>BF muscle</b>								
pH 24 h	5.60	5.59	5.54	5.60	5.59	5.58	0.04-0.05	0.82
Muscle lightness (L*)	49.22	49.41	49.41	51.79	50.73	50.57	1.26-1.43	0.35
Drip loss (%)	3.15	5.48	3.44	5.07	4.15	5.10	0.75-0.84	0.53
WB shear force (kg)	7.72	8.35	7.77	7.72	8.28	8.17	0.65-0.73	0.87
Incidence of PSE <sup>b</sup> (%)	8	0	57	71	14	43		<0.05
<b>Ecchymosis (g tissue/primal)</b>								
Shoulder	0	208	99	137	103	134	57.8-64.9	0.018
Middle	0	16.2	15.8	54.5	30.6	40.9	15.8-17.8	0.022
Incidence of bone fractures (%) <sup>b</sup>	0	25	0	14	43	0		<0.05

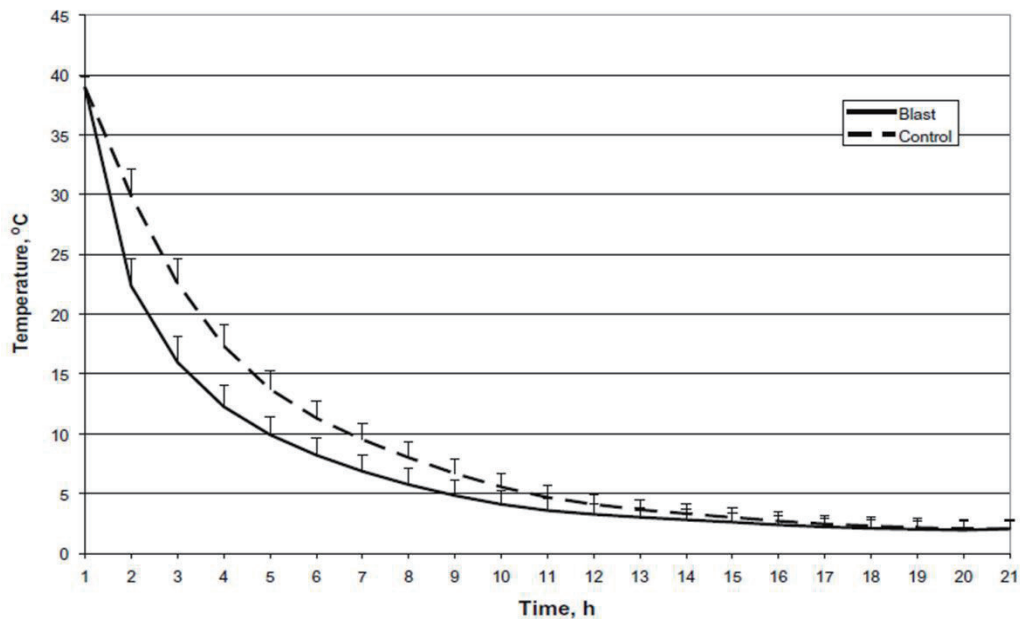
<sup>a</sup> Range in S.E.D.s for each attribute given due to differences in numbers of animals in each treatment.

<sup>b</sup> Chi-square analysis.

전류량이 증가할수록 Drip loss가 증가하였다(Table 4). 또한 Electrical stunning는 CO<sub>2</sub> stunning보다 낮은 pH, 높은 muscle lightness, cooking loss, drip loss, PSE 육 발생률을 보였다.

## 2) 맛 향상 연구

도축 후 돈육의 품질에 영향을 미치는 요인은 냉각과정에 있다. 냉각이 잘 이루어지지 않으면 높은 도체온도와 급격한 pH 변화로 인해 PSE육을 발생시키거나 높은 Drip loss가 발생하며, 보수력이 저하된다. 최종 돈육 품질은 도체 내 온도변화, 사후 강직이 일어나는 환경에 의한 근육 pH의 감소에 영향을 받는다. Juarez et al,(2009)는 Conventional chilling 방법(2°C, 24h)과 Blast chilling 방법(-25°C, 2.5m/s wind speed, 1h and cooler room : 2°C, 23h)을 통해 도체의 온도변화와 육색, 관능특성을 비교하였다. 도축 후 Blast chilling은 Conventional chilling 보다 도체 온도가 7.5°C 낮았으며(Figure 2), purge loss, drip loss를 감소시켰다. 또한 Blast chilling 방법은 Hue angle을 증가시켰다(Table 5). 관능평가에서는 Conventional,



(Figure 2) Temperature changes in the longissimus muscle from half-carasses chilled by conventional or blast-chilling methods.

(Table 5) Pork quality characteristics of longissimus muscle from barrows differing in genotype, chilling method and ageing time.

	Genotype		SEM	Chilling		SEM	Day			SEM	P value		
	Duroc	LW		Blast	Conv.		2	7	14		Genotype	Chilling	Day
pH	5.65	5.61	0.02	5.63	5.63	0.02	5.57 <sup>b</sup>	5.55 <sup>c</sup>	5.76 <sup>a</sup>	0.02	0.0040	0.6752	<0.0001
Purge loss (mg g <sup>-1</sup> )	23.92	25.15	1.40	21.91	27.16	1.40	10.59 <sup>c</sup>	28.55 <sup>b</sup>	34.48 <sup>a</sup>	1.72	0.5362	0.0086	<0.0001
Moisture (mg g <sup>-1</sup> )	731.16	742.24	0.96	737.57	735.83	0.96	740.07 <sup>a</sup>	736.46 <sup>b</sup>	733.58 <sup>c</sup>	1.12	<0.0001	0.1350	<0.0001
Fat (mg g <sup>-1</sup> )	31.81	18.85	2.24	25.18	25.47	2.24	24.31	25.15	26.52	2.32	<0.0001	0.8122	0.3344
Protein (mg g <sup>-1</sup> )	236.98	237.55	2.10	236.34	236.18	2.10	234.88 <sup>b</sup>	238.60 <sup>a</sup>	238.31 <sup>a</sup>	2.16	0.5508	0.0545	0.0022
Soluble protein (mg g <sup>-1</sup> )	190.14	185.85	3.79	188.31	187.68	3.79	188.18	189.46	186.34	3.98	0.0780	0.7970	0.5730
Drip loss (mg g <sup>-1</sup> )	40.73	38.44	3.76	37.48	41.69	3.76	45.27 <sup>a</sup>	40.85 <sup>b</sup>	32.63 <sup>c</sup>	3.81	0.0670	0.0009	<0.0001
Shear (kg)	4.59	4.78	0.25	4.65	4.72	0.25	5.08 <sup>a</sup>	4.69 <sup>b</sup>	4.28 <sup>c</sup>	0.26	0.0848	0.5229	<0.0001
L*	56.12	54.85	0.78	55.34	55.63	0.78	54.20 <sup>b</sup>	54.91 <sup>b</sup>	57.34 <sup>a</sup>	0.80	0.0003	0.4170	<0.0001
Chroma	11.54	11.55	0.45	11.42	11.66	0.45	10.37 <sup>c</sup>	11.46 <sup>b</sup>	12.80 <sup>a</sup>	0.46	0.9762	0.2296	<0.0001
Hue	35.21	34.02	0.31	34.11	35.12	0.31	31.23 <sup>c</sup>	35.08 <sup>b</sup>	37.54 <sup>a</sup>	0.38	0.0071	0.0222	<0.0001

LW = Large White; SEM = standard error of least square means; Conv. = conventional.  
No two- or three-way interaction was observed ( $P > 0.1$ ).

Blast chilling간 차이는 없었다.

냉각과정 이외에도 돈육의 맛에 영향을 미치는 요인으로는 마블링이 있다. 마블링은 돈육의 식감에 가장 중요한 요인이며, 근내 지방이 증가할수록 관능특성에 긍정적인 영향을 미친다. 근내 지방이 관능특성에 긍정적인 영향을 미치는 이유는 지방이 증가

(Table 6) Effect of marbling on fatty acid composition (% of total fatty acids) (visual marbling as a treatment; group = producer as block) (mean  $\pm$  SEM).

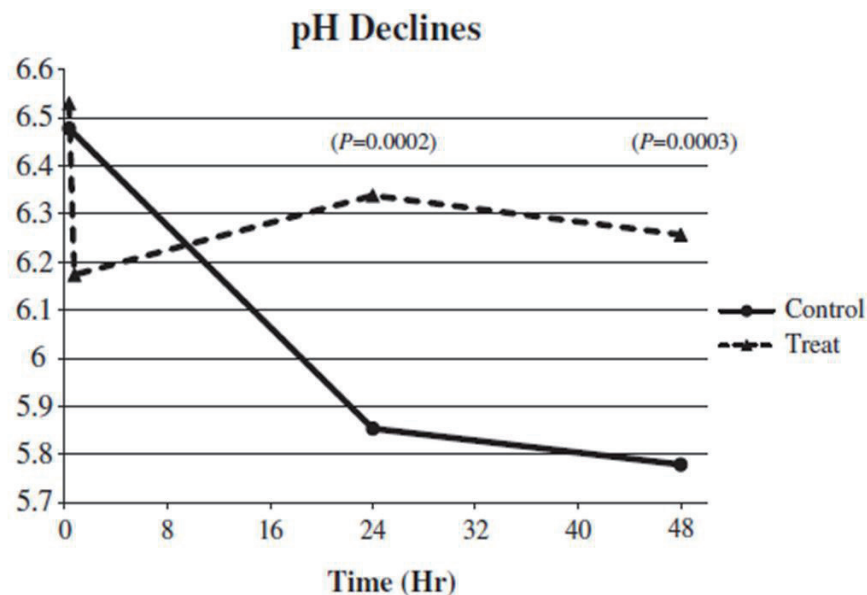
Fatty acids <i>n</i>	Marbling 1 26	Marbling 2 11	Marbling 3 15	<i>P</i>
<i>Raw samples</i>				
C14:0 myristic	1.73 $\pm$ 0.22	1.71 $\pm$ 0.27	1.28 $\pm$ 0.28	0.511
C16:0 palmitic	30.30 $\pm$ 0.64	31.23 $\pm$ 0.80	31.47 $\pm$ 0.80	0.559
C18:0 stearic	12.26 $\pm$ 0.77	13.90 $\pm$ 0.95	13.67 $\pm$ 0.96	0.395
C18:1c9 oleic	36.11 $\pm$ 1.52	35.28 $\pm$ 1.89	39.53 $\pm$ 1.89	0.287
C18:1t9 elaidic	4.93 $\pm$ 0.47	4.96 $\pm$ 0.59	5.37 $\pm$ 0.67	0.889
C18:2c9c12 linoleic	12.61 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	10.26 $\pm$ 0.70 <sup>ab</sup>	8.90 $\pm$ 0.70 <sup>b</sup>	0.003
C20:4 arachidonic	3.09 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	2.32 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	1.72 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	0.001
<i>Cooked samples</i>				
C14:0 myristic	1.45 $\pm$ 0.15	1.73 $\pm$ 0.18	1.84 $\pm$ 0.18	0.316
C16:0 palmitic	30.91 $\pm$ 1.42	31.10 $\pm$ 1.86	36.61 $\pm$ 1.78	0.067
C18:0 stearic	9.62 $\pm$ 0.96	10.73 $\pm$ 1.19	14.55 $\pm$ 1.33	0.070
C18:1c9 oleic	37.95 $\pm$ 1.66	39.93 $\pm$ 2.03	40.48 $\pm$ 2.19	0.669
C18:1t9 elaidic	3.58 $\pm$ 0.31	3.88 $\pm$ 0.38	3.88 $\pm$ 0.38	0.810
C18:2c9c12 linoleic	13.10 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	10.50 $\pm$ 1.01 <sup>ab</sup>	9.18 $\pm$ 1.01 <sup>b</sup>	0.032
C20:4 arachidonic	3.00 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	2.34 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>	1.82 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	0.009

<sup>a,b</sup> Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).



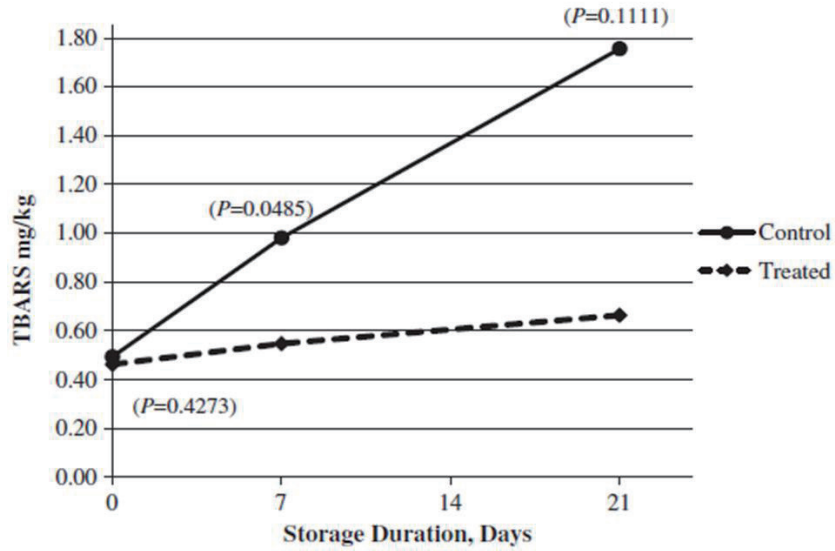
함에 따라 texture, tenderness, flavour, juiciness가 증가하기 때문이다. Cannata et al.(2010)은 돈육 등심의 마블링 수준이 증가함에 따라 pH, tenderness, juiciness가 증가하며, 마블링 수준이 증가할수록 PUFA 비율이 유의적으로 낮아진다고 보고하였다(Table 6). 왜냐하면 근내 지방의 구성은 주로 Triglyceride로 구성되어 있으며, phospholipids가 적어 PUFA 비율이 감소한다. 결과적으로 돈육 등심 내 마블링 수준이 증가할수록 linoleic acid와 arachidonic acid 비율이 유의적으로 감소하는 경향을 나타냈다.

도축 후 고압처리로 돈육의 식감과 품질을 향상시킬 수 있는데 고압처리는 다양한 제품에서 광범위하게 사용된 기술이며, 식품 내 병원균을 감소시킨다. 돈육에서 고압처리는 풍미, 사후 대사과정, 유통기한에 긍정적인 영향을 미친다. 고압처리는 근육의 pH를 감소시키며, 근섬유단백질의 붕괴로 근육을 부드럽게 만든다. Souza et al.(2011)은 33°C, 215MPa, 15s 조건에서 고압처리된 돈육의 근육 내 젖산농도가 낮아지고 pH를 상승시켰으나(Figure 3), 대조구보다 낮은 TBARS 값(Figure 4)과

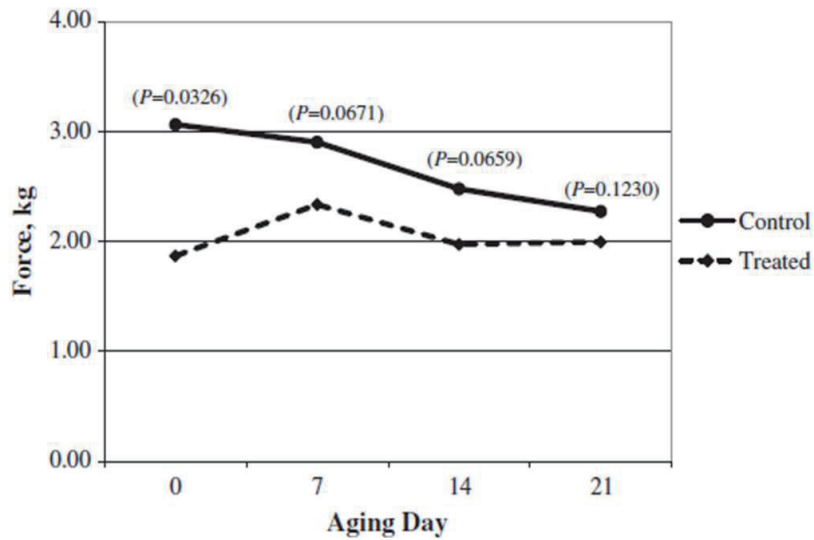


(Figure 3) Effect of HPP on pH decline of longissimus muscles. <sup>1</sup>pH for the designated treated side was taken before and after treatment; pH for the control side was taken before treatment. <sup>2</sup>P-values representative of the difference between treated and controls at corresponding time points.

전단력(Figure 5)을 나타내었다고 보고하였다. 또한 고압처리는 가열 감량과 육즙 손실량을 감소시켰다.



(Figure 4) Effect of HPP on TBARS. <sup>1</sup>P-values representative of differences between treated and controls at the corresponding time point.



(Figure 5) Effect of HPP on Warner-Bratzler shear force values of Longissimus chopsa after aging. <sup>1</sup>Longissimus chops were cooked to an endpoint internal temperature of 71°C. <sup>2</sup>P-values representative of differences between treated and controls at the corresponding time points.

냉동 돈육의 맛 향상을 위한 연구 또한 보고되었다. Ngapo et al.(2016)은 냉장, 냉동조건에서의 우마미 맛 성분 변화에 대하여 연구하였는데, 4℃에서 5일 보관된 돈육 등심과 -1.7℃에서 43일 보관된 돈육 등심에서 유의적으로 동등한 수준의 우마미 맛 성분이 나타났다고 보고하였다(Table 7).

(Table 7) Equivalent umami concentration (EUC) of the 40 pork loins according to ageing and meat type (means with standard deviations in parentheses below; significant differences, P b 0.05, shown in bold).

	Overall	Ageing time (5 d 4.0 °C or 13-58 d at -1.7 °C) <sup>A</sup>						Meat type		P-value ageing	P-value type
		0	5	13	28	43	58	Domestic	Export		
EUC (g MSG/100 g dry weight)	2.02 (0.55)	1.37 <sup>c</sup> (0.32)	2.42 <sup>a</sup> (0.50)	1.94 <sup>b</sup> (0.45)	2.11 <sup>b</sup> (0.40)	2.18 <sup>ab</sup> (0.43)	2.10 <sup>b</sup> (0.56)	2.04 (0.51)	1.99 (0.59)	< 0.001	0.628
EUC (g MSG/100 g wet weight)	0.540 (0.146)	0.366 <sup>c</sup> (0.085)	0.649 <sup>a</sup> (0.135)	0.519 <sup>b</sup> (0.118)	0.564 <sup>b</sup> (0.106)	0.582 <sup>ab</sup> (0.113)	0.561 <sup>b</sup> (0.146)	0.546 (0.136)	0.534 (0.156)	< 0.001	0.660
Number of animals	40	40	40	40	40	40	40	20	20		

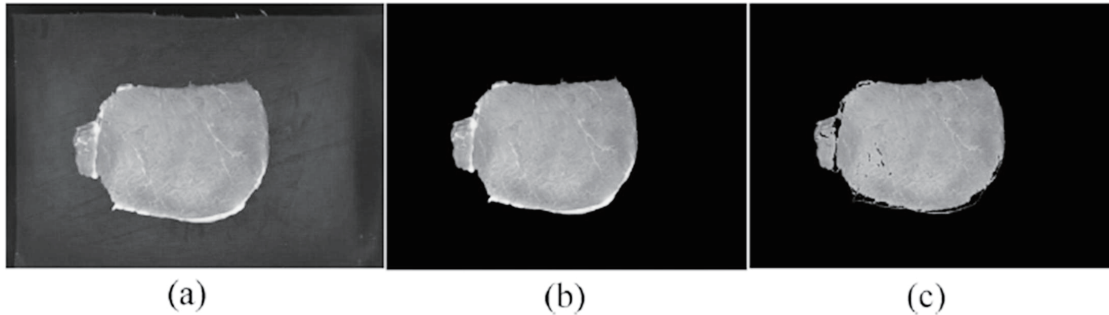
<sup>A</sup> Means in a row without a common superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ) for ageing time.

#### 4. 육색 및 지방의 특성 개선을 위한 연구동향

##### 1) 도축단계에서의 육색 측정 기술 개발

일반적으로 소비자는 돈육을 구입할 때 육색으로 품질을 판단한다. 육색은 미오글로빈 양에 의해 결정되며 축종, 연령, 성별, 부위에 따라 다르다. 같은 부위의 근육이라고 할지라도 육색은 미오글로빈의 화학적 상태에 따라 다르다. Xin Sun et al.(2016)은 Computer vision system을 이용해 회귀분석법을 통해 돈육 등심의 색을 평가하였다(Figure 6). 분석을 위한 추출 항목은 RGB(red, green, blue) 값, HSI(hue, saturation, intensity)값, L\*, a\*, b\* 값이다. Minolta colorimeter와 Computer vision system의 L\*, a\*, b\* 값은 유의적인 연관성을 나타내었으며, R<sup>2</sup>=0.83으로 높은 값을 나타내었다. Computer vision system을 이용한 돈육의 육색 특성을 평가하는 하나의 도구로 사용될 수 있음을 시사하였다. 또한 Chmiel et al.(2011)은 Computer image analysis(CIA)를 이용하여 돈육의 pH, 전기전도율, L\*값을 이용하여 PSE육을 판별할 수 있도록 하였다. PSE육 표본사진을 CIA를 통해 분석하여 돈육의 RGB, HSV/HSB, HSL 3가지 값을 비교/이용하여 PSE육을 사진으

로 식별할 수 있다고 하였다(Table 8).



(Figure 6) Pork color image segmentation results.

(Table 8) Value of RGB(red, green, blue), HSV/HSB(hue, saturation, value/brightness), HSL(hue, saturation, lightness) color models and CIE LAB color space for PSE and RFN meat.

Meat quality class		Color model Computer image analysis			CIE LAB		
		R	G	B	L*	a*	b*
PSE	X	93.8 <sup>a</sup>	69.7 <sup>a</sup>	63.9 <sup>a</sup>	56.01 <sup>a</sup>	9.87 <sup>a</sup>	2.88 <sup>a</sup>
	SD	2.9	2.6	2.4	1.6	2.7	1.7
RFN	X	81.1 <sup>b</sup>	56.5 <sup>b</sup>	54.4 <sup>b</sup>	48.44 <sup>b</sup>	8.84 <sup>a</sup>	0.18 <sup>b</sup>
	SD	3.4	4.0	5.8	0.5	0.9	0.9
		H	S	V/B			
PSE	X	11.7 <sup>a</sup>	32.1 <sup>a</sup>	36.6 <sup>a</sup>			
	SD	2.5	1.5	1.2			
RFN	X	72.7 <sup>a</sup>	33.6 <sup>a</sup>	32.2 <sup>b</sup>			
	SD	140.0	3.7	1.4			
		H	S	L			
PSE	X	11.7 <sup>a</sup>	19.9 <sup>a</sup>	30.7 <sup>a</sup>			
	SD	2.5	1.8	1.1			
RFN	X	72.7 <sup>a</sup>	21.1 <sup>a</sup>	26.7 <sup>b</sup>			
	SD	140.0	2.4	1.8			

X – average.

SD – standard deviation.

<sup>a, b</sup> – values, in columns, with different letters are significantly different at  $p \leq 0.05$ .

## 2) 지방의 특성

지방산은 돈육의 품질에 다양하게 영향을 미치는데, 이는 지방산의 구성 비율에 따라 근간, 근내, 피하 지방의 품질에 가장 큰 영향을 미친다. 일반적으로 경지방은 연지방에 비해 단단하며 백색도가 높게 나타난다. 또한 근육 내 총 지방산의 함량

(Table 9) Effects of growth rate, sex and slaughter weight on dorsal fat thickness, firmness score and fatty acid profile (percent of total fatty acids) of pork bellies.

	107 kg				115 kg				125 kg				Significance <sup>a</sup>			Interactions			SEM
	A		B		A		B		A		B		GR	S	W	GR+S	GR+W	S+W	
	B	G	B	G	B	G	B	G	B	G	B	G							
Fat thickness (mm)	25.9	19.0	21.7	19.0	23.1	23.2	24.7	20.7	32.1	20.9	28.6	20.4	NS	***	**	NS	NS	**	1.79
Fat firmness <sup>b</sup>	2.4	2.0	1.8	2.0	2.0	2.1	2.4	1.9	2.5	2.1	2.3	1.8	NS	*	NS	NS	NS	NS	0.07
<i>Fatty acid composition of total fat (%)</i>																			
C14:0	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	NS	**	NS	NS	NS	NS	0.04
C16:0	23.3	22.3	22.7	22.1	23.1	22.3	23.0	22.3	23.4	22.1	22.6	21.9	*	NS	NS	NS	NS	NS	0.30
c-7 C16:1	2.3	2.3	2.7	2.5	2.6	2.5	2.6	2.4	2.5	2.5	2.4	2.5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.10
r-7 C16:1	0.33	0.39	0.37	0.41	0.34	0.36	0.37	0.41	0.30	0.40	0.34	0.43	***	***	NS	NS	NS	NS	0.02
C18:0	12.1	11.4	11.0	10.6	11.4	10.9	11.3	11.1	11.7	10.9	11.1	10.5	**	**	NS	NS	NS	NS	0.34
c-7 C18:1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.08
c-9 C18:1	39.4	39.5	38.6	39.6	39.2	39.6	39.2	39.5	39.9	39.1	40.3	39.7	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.43
c-6 C18:2	13.6	14.7	15.4	15.4	14.1	14.9	14.2	15.1	13.0	15.3	14.1	15.6	**	**	NS	NS	NS	NS	0.43
C18:3 n-3	0.68	0.74	0.75	0.72	0.72	0.73	0.69	0.68	0.65	0.75	0.70	0.72	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.03
C18:3 n-6	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.01
C20:1	0.88	0.89	0.82	0.83	0.91	0.87	0.85	0.87	0.92	0.95	0.92	0.91	NS	NS	*	NS	NS	NS	0.04
C20:2 n-6	0.64	0.69	0.66	0.69	0.66	0.70	0.64	0.69	0.64	0.77	0.69	0.76	NS	*	NS	NS	NS	NS	0.03
C20:3 n-6	0.13	0.15	0.14	0.15	0.13	0.14	0.15	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	NS	*	NS	*	NS	NS	0.01
C20:4 n-6	0.37	0.44	0.44	0.46	0.42	0.44	0.41	0.40	0.35	0.43	0.42	0.45	NS	**	NS	NS	NS	NS	0.02
SFA <sup>c</sup>	37.6	35.8	35.9	34.8	36.7	35.4	36.5	35.4	37.3	35.2	35.7	34.5	**	***	NS	NS	NS	NS	0.58
MUFA	46.6	46.9	46.3	47.3	46.8	47.2	46.9	47.1	47.5	46.8	47.8	47.4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.50
PUFA	15.9	17.2	17.8	17.9	16.5	17.5	16.6	17.5	15.2	17.9	16.5	18.1	***	***	NS	NS	NS	0.06	0.48
Iodine value	66	69	69	71	68	69	68	70	66	70	68	72	***	***	NS	NS	NS	NS	0.38
Trans fatty acids <sup>d</sup>	0.61	0.74	0.70	0.74	0.65	0.67	0.66	0.71	0.56	0.71	0.59	0.69	0.09	***	***	NS	NS	*	0.03
<i>Ratios</i>																			
PUFA:SFA	0.42	0.48	0.50	0.52	0.45	0.49	0.46	0.50	0.41	0.51	0.47	0.53	***	***	NS	NS	NS	NS	0.02
n-3: Total FA	0.89	0.94	0.92	0.90	0.92	0.93	0.88	0.88	0.83	0.94	0.88	0.92	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.04
n-6: Total FA	14.9	16.3	16.8	16.9	15.5	16.5	15.6	16.5	14.3	16.9	15.6	17.1	**	***	NS	NS	NS	NS	0.46
n-6:n-3 <sup>e</sup>	16.9	17.5	18.5	18.9	17.1	17.9	17.9	19.0	17.3	18.1	17.8	18.8	***	**	NS	NS	NS	NS	0.53

W, slaughter weight. GR, growth rate; A, fast; B, slow; S, sex; B, barrows; G, Gilts.

<sup>a</sup> NS: not significant; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

<sup>b</sup> Firmness: 1 = soft and 3 = firm.

<sup>c</sup> SFA, saturated fatty acids. MUFA, monounsaturated fatty acids. PUFA, polyunsaturated fatty acids.

<sup>d</sup> Sum of i-7 C16:1 + i-9 C18:1 + i-6 C18:2.

<sup>e</sup> n-6:n-3 = (C18:2 n-6 + C18:3 n-6 + C20:2 n-6 + C20:3 n-6 + C20:4 n-6 + C22:4 n-6); (C18:3 n-3 + C20:3 n-3 + C20:5 n-3 + C22:5 n-3 + C22:6 n-3).

(Table 10) Effects of temperature and spatial allocation on lean content and cooking characteristics of bacon slices<sup>1</sup>

Item	23.9°C		32.2°C		SEM	P-value		
	0.93 m <sup>2</sup>	0.66 m <sup>2</sup>	0.93 m <sup>2</sup>	0.66 m <sup>2</sup>		T <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	T × S <sup>4</sup>
Belly weight, <sup>5</sup> kg	4.48	4.57	4.41	4.56	0.06	0.57	0.03	0.58
Lean, %	51.6	53.53	55.72	57.85	1.14	<0.01	0.06	0.93
Fat, %	48.4	46.47	44.28	42.15	1.14	<0.01	0.06	0.93
Lean:fat	1.12	1.22	1.33	1.46	0.06	<0.01	0.03	0.75
Raw slice score <sup>6</sup>	1.75	1.85	2.07	2.29	0.10	<0.01	0.09	0.53
Raw weight, g	32.54	34.53	29.41	28.87	1.11	<0.01	0.50	0.24
Cooked weight, g	10.03	10.94	9.41	9.1	0.47	<0.01	0.50	0.17
Raw length, cm	24.95	24.72	25.70	23.35	1.17	0.78	0.25	0.34
Cooked length, cm	15.39	15.59	14.94	14.98	0.20	<0.01	0.53	0.67
Collagen content, g/100 g	0.99	1.05	1.19	1.17	0.05	<0.01	0.74	0.35

<sup>1</sup>Pigs were housed at either the thermal neutral zone (23.9°C) or at 32.2°C and 0.66 or 0.93 m<sup>2</sup>/pig for 35 d.

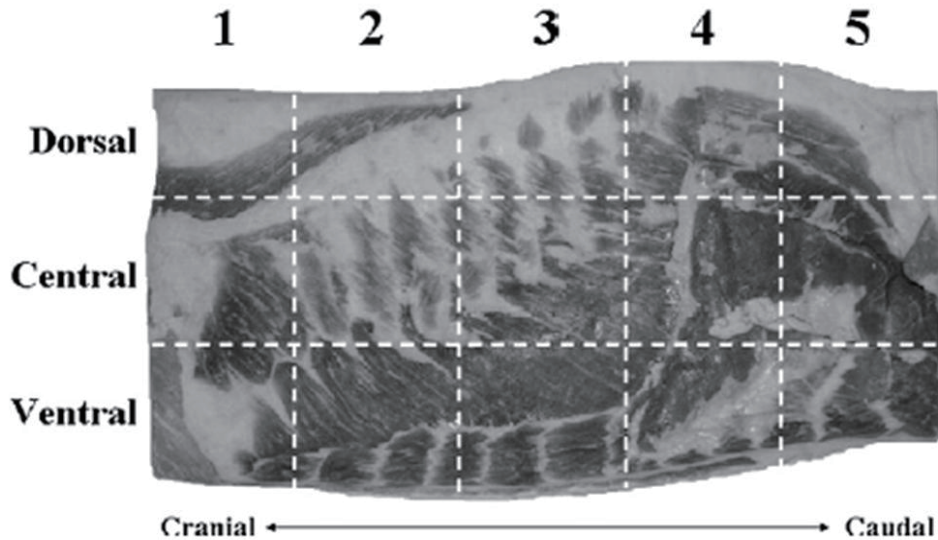
<sup>2</sup>T = temperature effect.

<sup>3</sup>S = spatial allocation effect.

<sup>4</sup>T × S = temperature × spatial allocation effect.

<sup>5</sup>Belly weight was analyzed with carcass measurements using HCW as a covariate.

<sup>6</sup>Bacon slices were classified as 1, 2, or 3 as described in Person et al. (2005). Slices with thickness greater than or equal to 1.9 cm at all points and greater than 50% lean were classified as grade 1 slices, slices with thickness less than 1.9 cm at any point or less than 50% lean were classified as grade 2 slices, and slices that could not be categorized as a grade 2 slice or came from the ends were classified as ends and pieces or grade 3 slices.



(Figure 7) Division of fresh pork bellies into 3 rows (dorsal, central, and ventral) and 5 columns (labeled 1, 2, 3, 4, and 5 from cranial to caudal).

은 돈육의 품질에 큰 영향을 미치는 요인이며, 다즙성과 연도에 크게 관여하게 된다. Correa et al,(2008)은 Table 9에서 성별에 따라 지방의 경도에 차이가 발생한다고 하였으며, 또한 성장률이 빠른 거세돈의 경우 삼겹 부위의 stearic acid와 SFA 비율이 높다고 하였다. 반대로 성장률이 느린 암돼지는 SFA 비율이 낮고 linoleic acid, PUFA 비율이 높다고 하였다. White et al,(2014)는 사양온도와 밀도에 따라 삼겹 부위의 근육과 지방 비율이 달라지며, 32.2℃에서 사양된 돈육의 oleic acid 함량이 감소되고 linoleic acid, linolenic acid 함량이 증가한다고 보고하였다(Table 10).

Seman et al,(2013)은 지방경도 측정을 통해 삼겹 부위의 무게별 지방 품질에 대한 척도를 측정하였으며, 또한 Trusell et al,(2011)은 삼겹의 부위에 따라 지방 비율과 지방산 비율을 측정하였다(Figure 7). 삼겹 부위에 따라 지방 비율과 지방산 비율이 다르며, 등쪽으로 갈수록 PUFA 비율이 증가한다고 하였다(Table 11). 따라서 같은 삼겹에서도 위치에 따라 지방산 조성이 다르며, 이는 위치에 따른 삼겹의 연도가 달라질 수 있음을 의미한다.

Free fatty acid가 분해되면서 많은 휘발성물질이 발생하는데 Free fatty acid 종류에 따라 aldehyde, ketone, alcohols 등이 생성되며, 이는 가열시 좋은 풍미물

(Table 11) Variation in the MUFA and PUFA composition (weight percentages) within fresh pork bellies.

Rows	Cranial				Caudal	Rows	Cranial				Caudal			
	1	2	3	4			1	2	3	4		5		
<b>Total MUFA<sup>1</sup>,% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.333)</b>					<b>Total PUFA<sup>1</sup>,% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.751)</b>									
Dorsal	44.09 <sup>g</sup>	43.68 <sup>h</sup>	44.30 <sup>g</sup>	45.10 <sup>de</sup>	44.89 <sup>ef</sup>	Dorsal	20.61 <sup>a</sup>	20.25 <sup>b</sup>	19.39 <sup>de</sup>	19.10 <sup>cd</sup>	19.44 <sup>c</sup>			
Central	44.92 <sup>ef</sup>	44.65 <sup>f</sup>	46.03 <sup>bc</sup>	46.84 <sup>d</sup>	45.07 <sup>de</sup>	Central	19.24 <sup>cde</sup>	19.07 <sup>e</sup>	18.16 <sup>g</sup>	17.35 <sup>f</sup>	17.67 <sup>h</sup>			
Ventral	46.06 <sup>b</sup>	45.72 <sup>c</sup>	46.00 <sup>bc</sup>	45.34 <sup>d</sup>	44.94 <sup>ef</sup>	Ventral	18.42 <sup>g</sup>	18.54 <sup>f</sup>	17.87 <sup>h</sup>	17.27 <sup>i</sup>	17.34 <sup>i</sup>			
<b>Oleic acid (18:1c9),% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.278)</b>					<b>Linoleic acid (18:2n6),% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.699)</b>									
Dorsal	38.25 <sup>gh</sup>	38.06 <sup>h</sup>	38.48 <sup>fg</sup>	39.06 <sup>c</sup>	38.96 <sup>cd</sup>	Dorsal	18.43 <sup>a</sup>	18.13 <sup>b</sup>	17.38 <sup>c</sup>	17.07 <sup>d</sup>	17.34 <sup>c</sup>			
Central	38.89 <sup>cde</sup>	38.74 <sup>de</sup>	39.67 <sup>b</sup>	40.23 <sup>a</sup>	38.86 <sup>cdde</sup>	Central	17.16 <sup>cd</sup>	17.05 <sup>d</sup>	16.17 <sup>fg</sup>	15.38 <sup>f</sup>	15.69 <sup>hi</sup>			
Ventral	39.65 <sup>b</sup>	39.43 <sup>b</sup>	39.57 <sup>b</sup>	39.01 <sup>c</sup>	38.67 <sup>ef</sup>	Ventral	16.37 <sup>ef</sup>	16.50 <sup>e</sup>	15.91 <sup>gh</sup>	15.38 <sup>f</sup>	15.44 <sup>hi</sup>			
<b>Vaccenic acid (18:1c11),% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.050)</b>					<b>Linolenic acid (18:3n3),% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.015)</b>									
Dorsal	2.67 <sup>g</sup>	2.57 <sup>h</sup>	2.67 <sup>g</sup>	2.76 <sup>f</sup>	2.72 <sup>fg</sup>	Dorsal	0.67 <sup>a</sup>	0.65 <sup>b</sup>	0.62 <sup>cd</sup>	0.62 <sup>de</sup>	0.63 <sup>c</sup>			
Central	2.78 <sup>f</sup>	2.70 <sup>g</sup>	2.94 <sup>bc</sup>	3.06 <sup>a</sup>	2.85 <sup>e</sup>	Central	0.63 <sup>c</sup>	0.62 <sup>d</sup>	0.59 <sup>f</sup>	0.57 <sup>f</sup>	0.58 <sup>gh</sup>			
Ventral	2.98 <sup>b</sup>	2.90 <sup>cde</sup>	2.98 <sup>b</sup>	2.92 <sup>bcd</sup>	2.87 <sup>de</sup>	Ventral	0.61 <sup>e</sup>	0.61 <sup>e</sup>	0.59 <sup>gh</sup>	0.57 <sup>f</sup>	0.57 <sup>hi</sup>			
<b>Total minor MUFA<sup>2</sup>,% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.103)</b>					<b>Total minor PUFA<sup>2</sup>,% (P&lt;0.001 &amp; SE=0.031)</b>									
Dorsal	5.84 <sup>gh</sup>	5.62 <sup>f</sup>	5.82 <sup>h</sup>	6.04 <sup>f</sup>	5.93 <sup>fg</sup>	Dorsal	1.21 <sup>a</sup>	1.18 <sup>b</sup>	1.12 <sup>c</sup>	1.13 <sup>c</sup>	1.17 <sup>b</sup>			
Central	6.03 <sup>f</sup>	5.91 <sup>gh</sup>	6.36 <sup>bcd</sup>	6.61 <sup>a</sup>	6.21 <sup>e</sup>	Central	1.12 <sup>d</sup>	1.10 <sup>de</sup>	1.07 <sup>f</sup>	1.04 <sup>g</sup>	1.03 <sup>g</sup>			
Ventral	6.40 <sup>bc</sup>	6.29 <sup>de</sup>	6.43 <sup>b</sup>	6.33 <sup>cd</sup>	6.28 <sup>de</sup>	Ventral	1.08 <sup>ef</sup>	1.08 <sup>ef</sup>	1.04 <sup>g</sup>	1.00 <sup>h</sup>	0.99 <sup>h</sup>			
<sup>1</sup> Total MUFA = [16:1c] + [16:1t] + [18:1c9] + [18:1c11] + [18:1t] + [20:1], where brackets indicate concentration.					<sup>1</sup> PUFA:SFA (P<0.001 & SE=0.029)									
<sup>2</sup> Total minor MUFA = [16:1c] + [16:1t] + [18:1t] + [20:1], where brackets indicate concentration.					Dorsal					0.61 <sup>a</sup>	0.59 <sup>b</sup>	0.56 <sup>cd</sup>	0.56 <sup>cd</sup>	0.57 <sup>c</sup>
<sup>a-1</sup> Within a row × column interaction, least squares means lacking a common superscript letter differ, P<0.05.					Central					0.57 <sup>c</sup>	0.55 <sup>de</sup>	0.53 <sup>f</sup>	0.51 <sup>gh</sup>	0.50 <sup>hi</sup>
					Ventral					0.54 <sup>e</sup>	0.54 <sup>e</sup>	0.52 <sup>g</sup>	0.48 <sup>ij</sup>	0.48 <sup>j</sup>
					<sup>1</sup> Total PUFA = [18:2n6] + [18:2c9t11] + [18:3n6] + [18:3n3] + [20:2] + [20:3n6] + [20:3n3] + [20:4n6] + [22:5n3] + [22:6n3], where brackets indicate concentration.					<sup>2</sup> Total minor PUFA = [18:2c9t11] + [18:3n6] + [20:2] + [20:3n6] + [20:3n3] + [20:4n6] + [22:5n3] + [22:6n3], where brackets indicate concentration.				
					<sup>a-2</sup> Within a row × column interaction, least squares means lacking a common superscript letter differ, P<0.05.									

(Table 12) Effect of the dry-curing process on the lipid composition.

Phospholipids	mg kg <sup>-1</sup> of fat	
	Raw	Dry-cured
CL	0.106 ± 0.048	<0.017
PE	0.167 ± 0.017	<0.016
PI	0.076 ± 0.005	<0.019
PS	0.135 ± 0.016	<0.039
PC	0.321 ± 0.034	<0.040
SPH	0.108 ± 0.014	<0.021
Total PLs	0.913 ± 0.0109	-
SFA	253,551.8 ± 19,251.6	233,175.7 ± 27,419.8
MUFA <sup>d</sup>	528,015.1 ± 18,209.2	360,181.0 ± 33,468.1
PUFA <sup>d</sup>	85,924.4 ± 6246.1	47,871.0 ± 6356.0
Total FA <sup>c</sup>	867,491.3 ± 36,213.9	641,227.7 ± 66,207.3
DBN0 <sup>a</sup>	6976.1 ± 2375.6	11,289.3 ± 2001.0
DBN1	99,836.6 ± 21,882.0	72,061.8 ± 44,379.7
DBN2 <sup>c</sup>	285,386.3 ± 34,857.5	164,601.1 ± 20,019.8
DBN3 <sup>b</sup>	141,249.0 ± 31,296.6	74,241.6 ± 11,582.3
DBN4 <sup>e</sup>	51,542.5 ± 2375.3	18,060.6 ± 3916.9
DBN5 <sup>e</sup>	8813.7 ± 612.7	1801.0 ± 363.8
Total TGs <sup>c</sup>	593,804.1 ± 70,932.1	342,055.3 ± 44,630.5
Total 1,2 <sup>c</sup>	623.0 ± 99.8	11,499.7 ± 4580.9
Total 1,3 <sup>b</sup>	182.8 ± 31.1	15,741.8 ± 6942.1
Total DGs <sup>d</sup>	805.8 ± 130.1	27,241.5 ± 8199.5
Total MGs <sup>c</sup>	255.3 ± 24.39	6396.1 ± 2256.3
Palmitic acid <sup>b</sup>	47.7 ± 13.4	1319.3 ± 782.88
Oleic acid <sup>b</sup>	157.8 ± 49.7	5365.5 ± 3609.5
Total FFAs <sup>b</sup>	205.5 ± 63.0	6684.8 ± 4391.5

Data are the means ± standard deviation (n = 5). Different letters indicate significant differences between raw and dry-cured data (a for p < 0.05, b for p < 0.01, c for p < 0.001, d for p < 0.0001 and e for p < 0.00001). DBN = double bond number in TGs.

질을 형성하게 된다. Narváez-Rivas et al,(2013)은 숙성이 진행됨에 따라 Total fatty acid, tri-acylglycerol, phospholipid은 감소하였으며, di-acylglycerol, monoacylglycerol, free fatty acid는 증가하였다고 보고하였다(Table 12).

## 5. 적색육 섭취가 인체건강에 대한 연구동향

소비자들은 적색육의 지방이 건강에 부정적인 영향을 미친다는 이유로 피하고 있다. 이러한 배경으로는, 서구권의 Keys 박사의 주장이 대표적인데 적색육의 포화지방이 비만과 콜레스테롤의 주범이라는 것이다. 이에 따라 미국 정부는 1980년대 중반부터 저지방 식단 정책을 시행하였으나 실질적으로 미국인의 비만율이 감소하는 효과는 없었다. 또한 소비자들은 적색육이 심혈관계 질환과 고혈압을 발생하는 주원인으로 생각하고 있으나, Hoenselaar(2012)에 따르면, 포화지방이 심혈관계 질환을 유발한다는 명확한 증거는 없다고 하였으며, 2010년 Dietary Guidelines Advisory Committee는 동물성 식품의 섭취가 고혈압을 유발한다는 명확한 인과관계가 없다고 하였다. 또한 McNeill et al,(2012)에 따르면, 적색육은 체중 감소를 위한 에너지 제한식으로서 활용될 수 있다고 하였다. 최근 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서 적색육과 가공육을 섭취하는 것이 대장암, 췌장암, 전립선암을 유발할 수 있다는 보고서를 발표하여 소비자의 혼란을 초래하였으나 Alexander et al,(2010)는 적색육과 대장암, 직장암과의 연관성은 없다고 하였다.

적색육이 혈관 건강에 미치는 영향에 대해 보고한 Klaus et al,(2011)은 돈육을 매일 200g씩 섭취한 집단과 식육과 육가공품이 배제된 식단을 섭취하는 두 그룹으로 나누어 4주간 섭취하였을 때 혈중 콜레스테롤과 중성지방을 비교하였다. 돈육을 매일 200g씩 섭취한 집단의 혈중 LDL과 중성지방량은 식육과 육가공품을 배제한 식단을 섭취한 집단과 차이가 발생하지 않았다고 보고하였다(Table 13). 또한 Kim Y et al,(2017)는 적색육, 육가공품, 정제된 곡물을 4주간 섭취하는 집단과 정제되지 않는 곡물, 견과류, 유제품, 콩을 4주간 섭취한 집단의 혈중 HDL의 유의적인 차이는 없었다(Table 14, 15).



(Table 13) Plasma metabolite concentrations, urinary excretion of nitrogen, urea, and 3-methylhistidine of women at baseline and after 4 weeks periods of either additional meat consumption (M, 200 g pork fillet/d) or exclusion of meat products (NOM).<sup>1</sup>

		Baseline	M	NOM
<i>Plasma concentration</i>				
Urea	(mmol/L)	3.96 ± 1.22	5.32 ± 1.03 <sup>b</sup>	3.48 ± 0.65 <sup>a</sup>
Total cholesterol	(mmol/L)	4.86 ± 0.93	4.59 ± 0.87	4.84 ± 0.81
HDL-cholesterol	(mmol/L)	1.65 ± 0.24	1.61 ± 0.23	1.62 ± 0.21
LDL-cholesterol	(mmol/L)	2.75 ± 0.75	2.60 ± 0.57	2.72 ± 0.6
Triacylglycerol	(mmol/L)	1.00 ± 0.27	0.84 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.35 <sup>b</sup>
NEFA	(mmol/L)	0.36 ± 0.17	0.31 ± 0.12	0.35 ± 0.18
Glucose	(mmol/L)	4.65 ± 0.37	4.46 ± 0.31	4.56 ± 0.28
Insulin	(mU/L)	6.09 ± 3.54	6.17 ± 2.7	5.07 ± 1.46
Total homocysteine	(μmol/L)	6.93 ± 1.50	9.77 ± 2.75	9.91 ± 1.74
3-Methylhistidine	(μmol/L)	3.20 ± 0.70	5.80 ± 1.7 <sup>b</sup>	2.60 ± 0.4 <sup>a</sup>
<i>Urinary excretion</i>				
Nitrogen	(g/d)	10.1 ± 2.8	15.9 ± 3.7 <sup>b</sup>	8.8 ± 2.2 <sup>a</sup>
Urea	(mmol/d)	296 ± 77	440 ± 105 <sup>b</sup>	248 ± 74 <sup>a</sup>
3-Methylhistidine	(μmol/d)	229 ± 93	427 ± 99 <sup>b</sup>	133 ± 41 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Values are means ± SD, n = 14. The dietary intakes at baseline did not differ significantly between subjects starting intervention with either M or NOM.  
<sup>a,b</sup> Within a row different superscripts indicate P < .05 between M and NOM (paired t-test).

(Table 14) The recommended menus for each of the diets.

HMD		HWD	
Food	Daily Goal	Food	Daily Goal
Red meat	200–300 g	Chicken	80–150 g
		Fish	70–150 g
		Cooked legumes	150–225 g (1 cup–1½ cups)
Processed meat	≥50 g	Nuts	60–90 g
Refined grains	4–6 serves	Whole grains	3–4 serves
Dairy products	minimal	Dairy products	4 serves
Potato	200–300 g		
Vegetables	1–2 serves	Vegetables	1–2 serves
Fruits	1–2 serves	Fruits	1–2 serves
Oil/spread	3–9 serves	Oil/spread	2–7 serves
Jam or marmalade	1 serve	Jam or marmalade	≤ 1 serve
Wine/Alcohol	Optional	Wine/Alcohol	Optional
Indulgence food	3–4 serves		
	To replace refined grains or potato if desired		

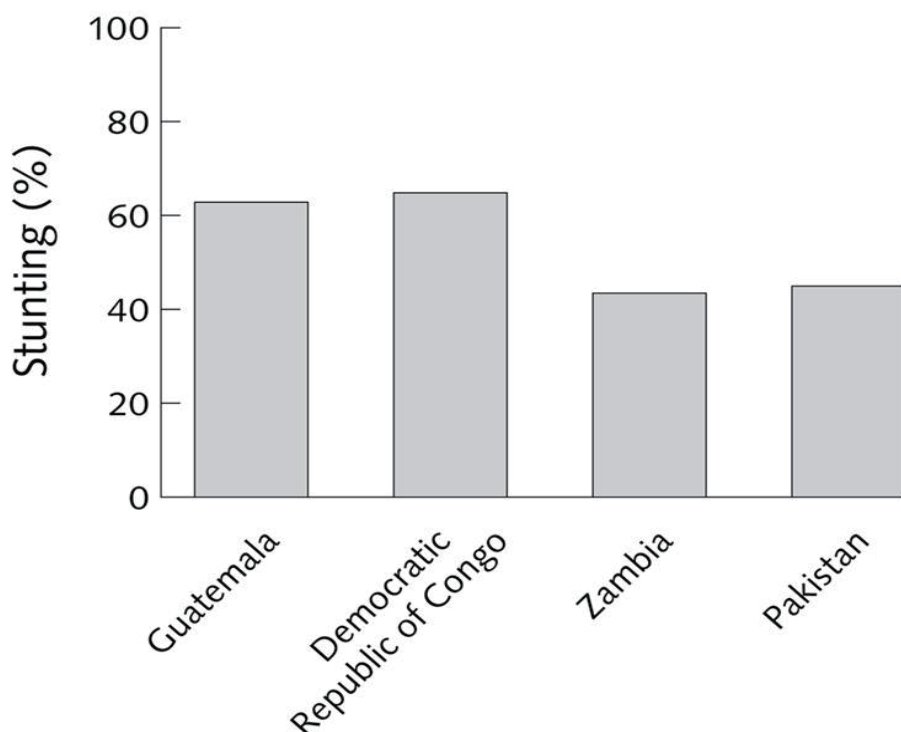
HMD, a high red and processed meat and refined grains diet; HWD, a high whole grain, nuts, dairy and legumes diet.

소비자의 적색육에 대한 부정적인 인식과 달리 영양적으로 우수한 적색육은 양질의 단백질의 훌륭한 공급원이며, 다량의 필수 아미노산이 포함되어 있다. 또한 아연, 철, 셀레늄, 인 마그네슘, 칼륨, 구리 등 많은 미네랄의 풍부한 공급원이다. 2011년 Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO)는 5세 미만 아동 사망자 중 약 49%의 아동이 단백질 영양실조로 사망하였다고 발표하였

(Table 15) Effects of diets on fasting glucose, fasting insulin and C-peptide measured at the end of each diet period.

	All (n = 49)			P Group by time	Group 1 (n = 24)			Group 2 (n = 25)		
	HMD	HWD	P value		HMD	HWD	P value	HMD	HWD	P value
Fasting glucose (mmol/L)	5.29, 0.61	5.28, 0.61	0.7	0.2	5.26, 1.03	5.25, 0.8	0.7	5.37, 0.5	5.34, 0.7	0.3
Fasting insulin (pmol/L)	11.4, 15.02	8.67, 11.24	0.5	0.1	5.5, 14.6	7.1, 13	0.9	16.4, 19.4	9.2, 13.4	0.3
HOMA-IR	0.49, 0.63	0.36, 0.44	0.4	0.2	0.21, 0.54	0.29, 0.47	0.98	0.65, 0.8	0.39, 0.5	0.3
Fasting C-peptide (nmol/L)	0.64, 0.45	0.63, 0.45	0.4	0.6	0.47, 0.27	0.54, 0.3	0.9	0.76, 0.5	0.88, 0.5	0.2
Average C-peptide (5-30min) (nmol/L)	1.11, 0.62	1.24, 0.78	0.64	0.5	0.87, 0.46	0.79, 0.61	0.9	1.37, 0.92	1.49, 0.78	0.3
iAUC for C-peptide (0-30min) (nmol/L/min)	27.7, 19.8	32.8, 20.9	0.37	0.7	23.5, 16.6	21.6, 18.3	0.86	34.6, 27.2	40.5, 25.3	0.2
Triglyceride (mmol/L)	0.95 ± 0.47	0.87 ± 0.43	0.05	0.9	0.8 ± 0.46	0.72 ± 0.35	0.19	1.1 ± 0.44	1.0 ± 0.46	0.2
HDL-C (mmol/L)	1.4 ± 0.43	1.39 ± 0.42	0.46	0.9	1.63 ± 0.38	1.6 ± 0.38	0.6	1.19 ± 0.35	1.17 ± 0.34	0.6
hsCRP(mg/L)	0.79, 2.77	0.58, 1.86	0.73	0.2	0.35, 1.31	0.15, 1.18	0.44	1.9, 3.7	1.3, 3.1	0.8

P values for fasting glucose, fasting insulin, HOMA-IR, iAUC for C-peptide (0-30min) and hsCRP were obtained from nonparametric tests. P values for fasting C-peptide, average C-peptide (5-30min), triglyceride and HDL-C were determined by paired samples t tests. Fasting C-peptide and average C-peptide (5-30min) were log transformed. Values for triglyceride and HDL are means ± SDs. Fasting glucose, fasting insulin, HOMA-IR, fasting C-peptide, average C-peptide (5-30min), iAUC for C-peptide (0-30min) and hsCRP are presented as medians and interquartile ranges. HMD, a high red and processed meat and refined grains diet; HWD, a high whole grain, nuts, dairy and legumes diet; iAUC, incremental AUC, area under the curve; HDL-C, high density lipoprotein cholesterol; hsCRP, high sensitivity C-reactive protein.



(Figure 8) Rates of stunting

다. 또한 유럽 소아소화기영양학회(European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition, ESPGHAN)는 적색육은 철의 훌륭한 공급원이며, Anderson et al,(2008)는 곡물 기반의 식단을 소비하는 캄보디아의 어린이들은 에너지, 칼슘, 철, 아연의 섭취량이 낮다고 보고하였으며, McNeill et al,(2012)는 적은 양의 적색육의 섭취로 임신부와 어린이들의 영양 상태를 개선할 수 있다고 하였다. 또한 Krebs et al,(2011)는 Zambia, Pakistan, Guatemala, Congo 4개국 1,500명의 5~9개월 아동에서 식육 섭취 정도에 따른 발육부전 발생 비교분석에서 식육 섭취에 따라 발육부전 비율이 최대 36% 감소할 수 있다고 보고하였다.

## 6. 참고문헌

- Alexander, D. D., P. J. Mink, C. A. Cushing and B. Scurman (2010). "A review and meta analysis of prospective studies of red and processed meat intake and prostate cancer." *Nutrition Journal* 9: 50.
- Artur Rybarczyk, Tadeusz Karamucki, Arkadiusz Pietruszka, Kinga Rybak and Beata Matysiak (2010). "The effects of blast chilling on pork quality." *Meat Science* 101: 78–82.
- Cannata, S., T. E. Engle, S. J. Moeller, H. N. Zerby, A. E. Radunz, M. D. Green, P. D. Bass and K. E. Belk (2010). "Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin." *Meat Science* 85(3): 428–434.
- Correa, J.A., C. Gariépy, M. Marcoux and L. Faucitano (2008). "Effects of growth rate, sex and slaughter weight on fat characteristics of pork bellies." *Meat Science* 80(2): 550–554.
- Heather A. Channon, Ann M. Payne and Robyn D. Warner (2003). "Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO<sub>2</sub>." *Meat Science* 65(4): 1325–1333.
- Hoenselaar, R. (2012). "Saturated fat and cardiovascular disease: The discrepancy between the scientific literature and dietary advice." *Nutrition* 28: 118–123.
- Holmer, S. F., R. O. McKeith, D. D. Boler, A. C. Dilger, J. M. Eggert, D. B. Petry, F. K. McKeith, K. L. Jones and J. Killefer (2009). "The effect of pH on shelf-life of pork during aging and simulated retail display." *Meat Science* 82(1): 86–93.
- Keely A. Trusell, Jason K. Apple, Janeal W. S. Yancey, Tim M. Johnson, Douglas L. Galloway and Ryan J. Stackhouse (2011). "Compositional and instrumental firmness variations within fresh pork bellies." *Meat Science* 88(3): 472–480.
- Kim, Y., J. B. Keogh and P. M. Clifton (2017). "Consumption of red and processed meat and refined grains for 4weeks decreases insulin sensitivity in insulin-resistant adults: A

- randomized crossover study.” *Metabolism* 68: 173–183.
- Klaus, J., Petzke, Susen Lemke and Susanne Klaus (2011). “Increased Fat-Free Body Mass and No Adverse Effects on Blood Lipid Concentrations 4 Weeks after Additional Meat Consumption in Comparison with an Exclusion of Meat in the Diet of Young Healthy Women,” *Journal of Nutrition and Metabolism*.
- Lind, L. W (2007). “Consumer involvement and perceived differentiation of different kinds of pork – a Means-End Chain analysis.” *Food Quality and Preference* 18: 690–700.
- Manuel Juárez, William R. Caine, Ivy L. Larsen, Wayne M. Robertson, Mike E. R. Dugan and Jennifer L. Aalhus (2009). “Enhancing pork loin quality attributes through genotype, chilling method and ageing time.” *Meat Science* 83(3): 447–453.
- Marta Chmiel, Mirosław Słowiński and Krzysztof Dasiewicz (2011). “Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat.” *Meat Science* 88(3): 566–570.
- Mónica Narváez-Rivas, Emerenciana Gallardo and Manuel León-Camacho (2013). “Changes in polar and non-polar lipid fractions of subcutaneous fat from Iberian ham during dry-curing process. Prediction of the curing time.” *Food Research International* 54(1): 213–222.
- Ngapo, T. M. and L. Vachon (2016). “Umami and related components in “chilled” pork for the Japanese market.” *Meat Science* 121: 365–374.
- Seman, D.L., W. N. G. Barron and M. Matzinger (2013). “Evaluating the ability to measure pork fat quality for the production of commercial bacon.” *Meat Science* 94(2): 262–266.
- Shalene McNeill and Mary E. Van Elswyk, (2012). “Red meat in global nutrition.” *Meat Science* 92(3): 166–173.
- Souza, C. M., D. D. Boler, D. L. Clark, L. W. Kutzler, S. F. Holmer, J. W. Summerfield, J. E. Cannon, N. R. Smit, F. K. McKeith and J. Killefer (2011). “The effects of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products.” *Meat Science* 87(4): 419–427.
- White, H. M., B. T. Richert, A. P. Schinckel, J. R. Burgess, S. S. Donkin and M. A. Latour (2008). “Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities.” *J. Anim Sci* 86(8): 1789–1798.
- Xin Sun, Jennifer Young, Jeng Hung Liu, Laura Bachmeier, Rose Marie Somers, Kun Jie Chen and David Newman (2016). “Prediction of pork color attributes using computer vision system.” *Meat Science* 113: 62–64.
- Yi-Tao Liao, Yu-Xia Fan and Fang Cheng (2010). “On-line prediction of fresh pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy.” *Meat Science*, 86(4): 901–907.
- 한국소비자연맹 (2016). 축산물소비형태변화 조사결과
- 한국축산경제연구원 (2015). 육류유통실태조사 2015년 4분기

한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

영양 · 사양

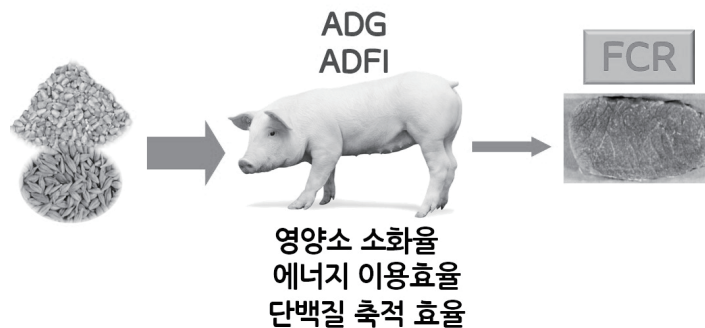
# 양돈 FCR에 대한 과학적인 접근과 개선방향



박진성 영양학박사  
천하제일사료

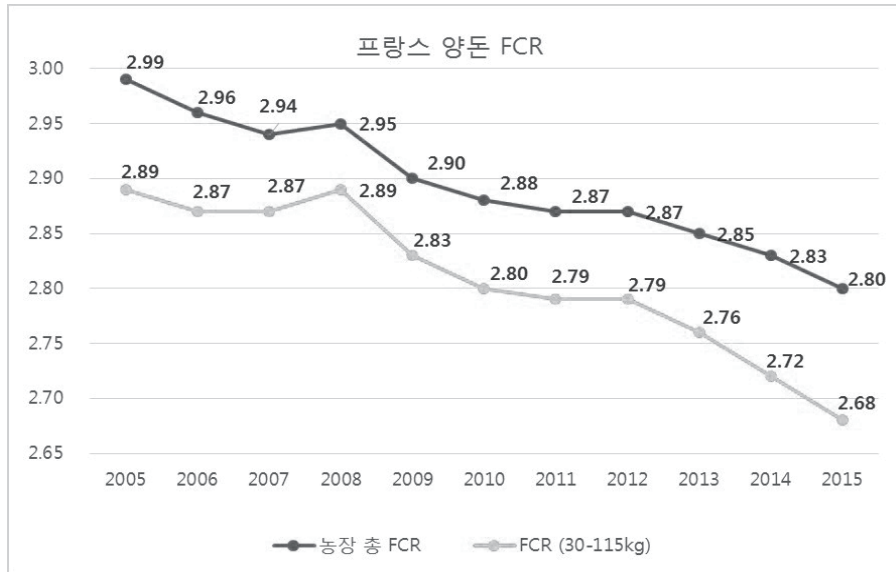
## Introduction

양돈 생산비에서 가장 큰 비용을 차지하고 있는 사료비를 절감할 수 있는 농장 관리가 중요하게 인식되고 있으며, 사료요구율(사료효율)은 양돈산업에서 중요한 관리 지표가 되고 있다. 사료비는 돼지고기 생산비의 약 60~70%를 차지하고 있다. 그중 사료 내 에너지 비용은 50% 이상을 차지하고 있다. 사료 내 탄소를 함유하고 있는 영양소(지방, 탄수화물 및 단백질)가 체내에서 이용되면서 에너지를 방출하고, 생성된 에너지는 체단백질, 뼈 및 지질의 합성과 돼지의 유지에너지, 영양소 흡수를 위한 에너지 및 기계적 활동에 사용된다. 사료 내 에너지는 돼지의 성장뿐만 아니라 유지에너지를 지원하는 중요한 영양소 구성 요소이며, 에너지 대사 및 성장에 대한 생물학적인 지식은 사료효율을 이해하고 개선하는데 필수적인 지식이다.



성장단계에 있는 돼지는 유지와 성장에 필요한 에너지 요구량에 도달하기 위해 사료를 섭취하려고 한다. 하지만 실제 농장의 상황에서는 여러가지 환경적인 제한으로 인해 최대 잠재성장을 위한 요구량 만큼의 섭취량에 도달하지 못하는 경우가 많다. 에너지 섭취량과 사료효율은 상호 밀접한 관계가 있으므로, 이를 제대로 이해하는 것은 사료요구율(FCR)을 이해하는데 도움이 된다.

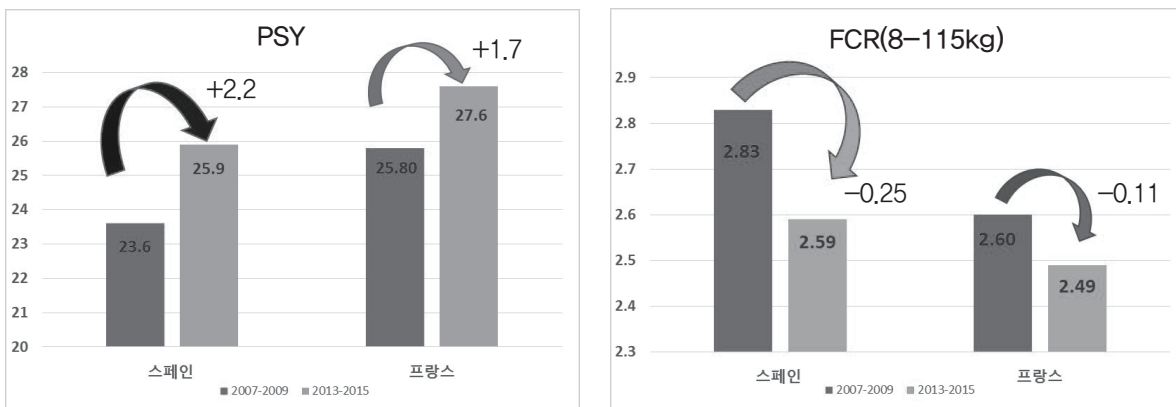
프랑스의 경우, 매년 양돈장의 FCR이 개선되고 있다. 하지만 한국의 경우 양돈장의 생산성과 FCR은 2016년 기준 FCR 3.2로 나타나고 있으며, 개선이 아주 더디게 이루어지고 있다. 상위 20% 농장의 경우, 생산성 및 FCR의 많은 개선이 이루어지고 있지만, 국가적 차원의 개선에는 한계를 보이고 있다.



(그림 1) 프랑스의 양돈 FCR 변화(2005년~)

최근 10년 스페인의 FCR은 2.83에서 2.59로 0.25가 개선되었으며, 세계 최고 수준을 보이고 있는 프랑스도 여전히 0.11 포인트가 개선되었다. 스페인의 이러한 주목할 만한 생산성 개선과 FCR의 향상의 요인으로 (1)돈사시설의 현대화, (2)사양기술의 개선, (3)우수한 종돈 도입에 의한 것으로 분석되고 있다.

세계적으로 양돈장의 FCR은 중요한 지표로 인식되고 있으나, 한국의 양돈 FCR은 아직 국제적인 수준에 미치지 못하고 있으며, 최적의 FCR에 도달하기 위한 생물



(그림 2) 스페인과 프랑스의 생산성과 FCR 개선(2007년 vs 2015년)

학적, 영양학적인 이해도는 부족한 상태이다. 그러므로 이번 문헌조사를 통해 FCR에 대한 과학적인 이해와 FCR에 영향을 미치는 요인들을 분석하고 이를 개선하기 위한 과학적이고 체계적인 방안을 모색하고자 한다.

## 1. FCR의 정의와 측정

사료요구율(FCR)을 측정하는 가장 보편적이고 간단한 방식은 사료 1kg당 돼지의 증체량 또는 1kg 증체에 필요한 사료량으로 측정한다. 또는 총 사료량(kg) 대신 총 에너지 섭취량(Kcal)을 기준으로 측정할 수도 있다.

$$FCR1 = \frac{\text{사료급여량(사료섭취량 + '허실'), kg (Kcal)}}{\text{증체량, kg}}$$

하지만 농장에서 실제 사료섭취량을 측정하기에는 어려움이 있다. 그래서 사료 급여량을 사용하여 계산되고 있으며, 여기에는 사료허실에 포함되어 있기 때문에 실제 사료의 이용률은 왜곡된다. 농장의 급이기 종류나 관리에 따라서 사료허실이 10~30% 발생하고 있으며, 이로 인해 농장의 총 FCR 차이가 발생할 수 있다(Baxter 1986). 돼지의 체중은 FCR 측정의 아주 중요한 요소로 작용한다(Gaines et al., 2012). 그러므로 개시체중, 종료체중을 보정하여 표준화 시키는 공식이 적용되기도 한다(Gaines et al., 2012). 하지만 서로 다른 체중과 사료의 FCR을 객관적으로 비교하기에는 여전히 한계가 있다.

사료 내 에너지 함량은 FCR에 중요한 요소로 작용한다. 하지만 사료 내 에너지 함량측정 방법에 대한 오류 발생과 에너지 평가시스템(대사에너지ME, 정미에너지NE)의 에너지 측정에 따라 FCR 계산에 오류와 변이가 발생할 수 있다. 보다 정확한 FCR을 측정하기 위해 체조성 축적량(단백질, 지방, 골격)을 기준으로 할 수 있으며, 이는 유전적 요인, 암수의 차이에 의해 영향을 받는다(Noblet et al., 1993). 산업적으로 가장 유용한 FCR 측정법은 출하체중이 아닌 실제 생산된 고기, 즉 경제적 가치를 기준으로 측정할 수도 있다. FCR은 유전적인 요인에 많은 영향을 받으며, FCR 개선을 위한 육종 프로그램이 진행되어 오고 있으며, 최근 섭취량을 기준으로 품종 선발이



활발이 이루어 지고 있다. 상대적으로 측정이 쉽고, 산업적으로 의미있는 FCR 측정은 생돈 체중이 아닌 지육량을 기준으로 측정하는 것이다. 지육량은 사료효율을 측정하는데 보다 정확한 지표가 될 수 있다. 지육률은 사료 원료 및 섬유소 함량에 영향을 받는다.

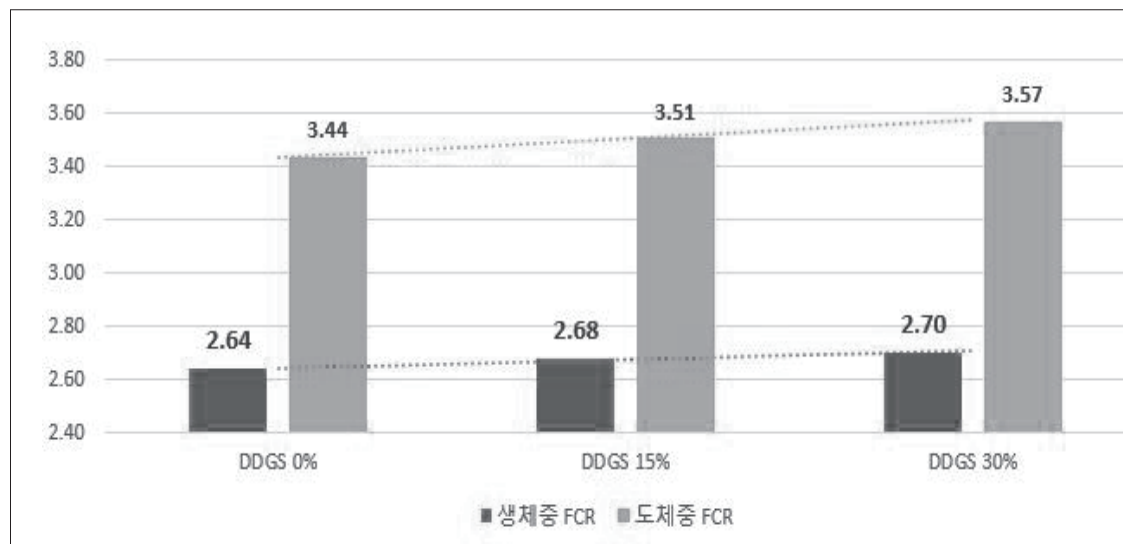
$$FCR2 \text{ (지육)} = \frac{\text{사료섭취량, kg (Kcal)}}{\text{지육량, kg}}$$

섬유소가 높은 사료를 급여 시 소화기의 용적과 무게가 증가하게 되어 지육률을 감소시키며 (Jorgensen et al., 1996), 에너지와 아미노산 요구량에도 영향을 미쳐 FCR에는 악영향을 미친다(Yen et al, 1997; Nyachoti

(표 1) DDGS 함량이 체중과 도체중에 미치는 영향

	DDGS, %		
	0	15	30
개시체중	5.86	5.86	5.81
종료체중	123.6	123.7	124.2
도체중	94.1	93.5	93.0

et al., 2000). 사료 내 DDGS의 함량이 증가함에 따라 도체중이 감소하였다(Gaines et al., 2012). 그러므로 도체중을 기준으로 한 FCR 측정은 섬유소가 많이 포함된 사료를 급여한 경우 경제적인 가치를 측정할 수 있는 좋은 기준이 될 수 있다.



(그림 3) DDGS 함량이 FCR에 미치는 영향

산업적인 측면에서 총 사료비를 기준으로 한 FCR도 의미 있는 지표가 될 수 있다. 1kg 고기를 생산하는데 들어가는 비용을 측정하는 생산비 개념의 FCR 측정 방식이다.

$$\text{FCR3 (비용)} = \frac{\text{사료비용, ₩}}{\text{지육량, kg}}$$

FCR의 측정은 사료, 품종, 환경에 의해 변이와 오류가 발생할 수 있으며, 이로 인해 시험간, 농장간 FCR의 절대평가와 해석에 어려움이 발생하고 있다. 입식 및 종료 체중에 따른 보정을 통해 30~115kg 또는 8~115kg을 기준으로 하는 보정 FCR이 보편적으로 사용되고 있으며, 추가적으로 암수, 사료 내 에너지 함량, 가공형태, 입자도, 폐사율을 보정하여 FCR을 평가할 수도 있다(표 2).

(표 2) 보정 FCR 측정 테이블(Kansas State University)

### Feed efficiency (FG) adjustment calculator: Examples

Close out parameters	Factor	Baseline values	Close out						
			1	2	3	4	5	6	7
Observed FG		3.00	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
Initial Weight, kg		25	22	25	22	22	22	22	22
Final weight, kg		115	130	130	135	130	130	130	130
Weighted SID Lys, %		0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Weighted Energy, kcal NE/kg		2527	2527	2527	2527	2653	2527	2527	2527
Mortality, %		2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	7.5%	2.5%	2.5%
Average mortality, d		60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Pelleting, Y or N	5.0%	N	N	N	N	N	N	Y	N
If pelleted, % fines	0.00286	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%
Particle size, microns	1.1%	700	700	500	500	500	500	500	500
Ractopamine dose, ppm		0	0	0	0	0	0	0	0
duration, d		0	0	0	0	0	0	0	0
Single gender over mixed gender	1.7%	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Barrows
Immunocastration, Y or N	4.0%	N	N	N	N	N	N	N	N
<b>Adjusted F/G*</b>			<b>2.83</b>	<b>2.87</b>	<b>2.86</b>	<b>2.97</b>	<b>2.76</b>	<b>3.09</b>	<b>2.84</b>

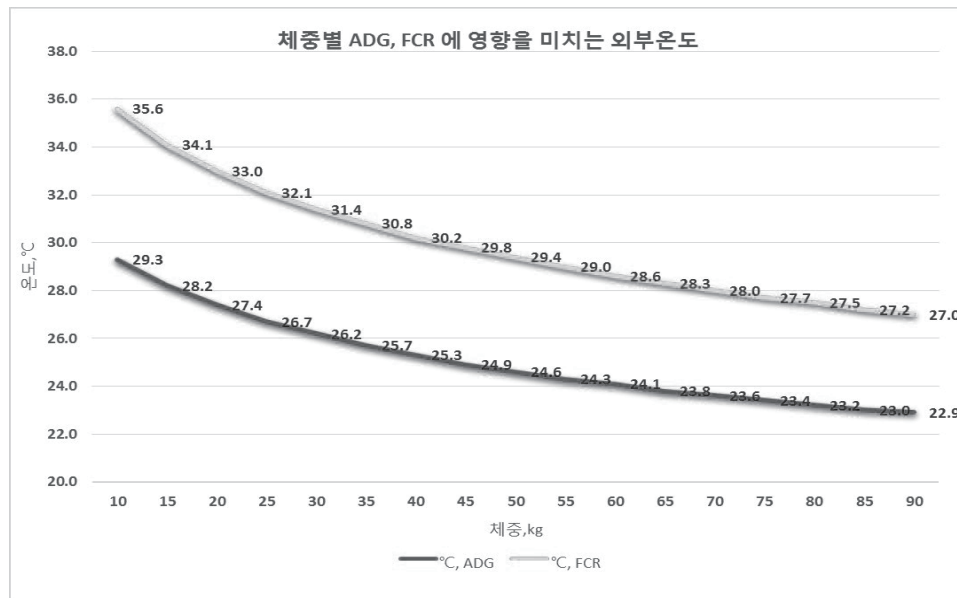
(<http://www.asi.k-state.edu/research-and-extension/swine/calculators.html>)

## 2. FCR에 대한 생물학적 이해

### 1) 유지에너지와 성장

돼지의 유지에너지는 섭취하는 총 에너지에서 중요한 부분을 차지한다. 일반적으로 체중 70kg 돼지가 무제한 섭취를 한다고 하면 약 34%가 유지에너지로 사용된다 (Patience et al., 2012). 유지에너지는 외부환경(온도, 사육환경) 및 질병 등에 의해 증가하게 된다. 그러므로 유지에너지 감소는 성장에 사용되는 에너지의 증가를 의미함으로 사료효율 개선에 기본이 된다. 돼지의 성장을 극대화 하기 위해 단백질 축적량이 높은 품종의 개량과 선발이 이루어져 왔으며, 보다 효율적 에너지 이용과 체내 단백질 축적을 위한 첨가제 사용(somatotropin, nutrient partitioning agent)과 유지 에너지를 낮춤으로써 추가적인 FCR 개선을 이루었다(Dunshea et al., 2005).

외부 기온은 돼지의 체온 유지를 위한 에너지 대사에 많은 영향을 미친다. 체온 유지를 위한 대사활동은 총 열 발생량(Heat production)의 70~72%를 차지한다 (Noblet et al., 1999). 그러므로 외부 온도는 돼지의 성장성에 큰 영향을 준다. 외부 기온이 적정 온도 이하(최저 임계온도)로 떨어지면 사료섭취량이 1.5%/°C 증가하

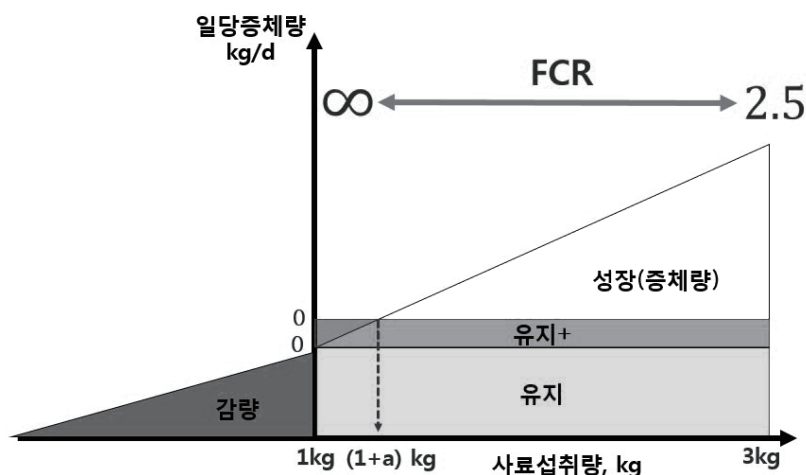


(그림 4) 체중별 ADG, FCR에 영향을 미치는 최고 임계온도

며, 그만큼 비례적으로 FCR은 나빠진다(Renaudeau et al., 2011). 체중별로 증체량 및 FCR에 영향을 미치는 임계온도는 다르다(그림 4). 또한 품종개량에 따른 돼지의 환경 적응력에도 변화가 발생하였다. 연구결과에 의하면, 50kg 돼지 기준, 돈사 온도가 상승할 경우( $20^{\circ}\text{C}\rightarrow 30^{\circ}\text{C}$ ), 1990년대에는  $-12\text{g}/^{\circ}\text{C}$  감소하였으나, 2009년에는  $-25\text{g}/^{\circ}\text{C}$  감소하였다. 이는 현재의 계량 품종들이 더위스트레스에 더 약하다는 것을 의미한다. 반대로 더위 스트레스 상황(최고 임계온도)이 발생하는 경우,  $1\sim 2\%/^{\circ}\text{C}$ 의 섭취량 감소가 발생한다(Patience et al., 1995). 하지만 FCR 변화는 유의적 차이가 발생하지 않았다(Renaudeau et al., 2011).

## 2) 에너지 섭취량과 FCR

사료섭취량은 돼지의 증체량(단백질 축적+지방 축적)에 아주 중요한 요소로 작용한다(Whittemore et al., 1986). 단백질의 축적량은 섭취량에 비례하여 단백질 최대 축적량(PDmax)까지 증가한다(Whittemore et al., 1986; Campbell et al., 1985). 최대 단백질 축적량은 성별에 따라 차이가 있다. 비거세돈이 암컷과 거세돈보다 단백질 축적 잠재력이 높다(Elsbernd et al., 2014). 이러한 차이는 비거세돈의 높은 섭취량에 기인한 것이다(Whittemore et al., 1976). 이러한 현상은 가금 및 반추동물에

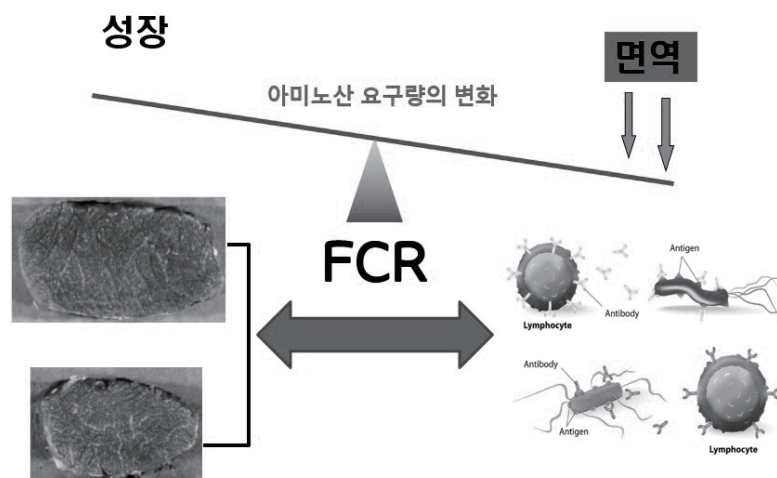


(그림 5) 사료섭취량과 FCR의 상관관계

서도 나타났다. 그러므로 사료섭취량(에너지 섭취량)은 돼지의 성장에 있어 아주 중요한 요소임을 알 수 있다. 에너지 섭취량에 따라 단백질 축적량은 PDmax에 도달 시 까지 비례적으로 증가하며, 그 후에는 체지방 축적량이 증가하게 된다(de Lange et al., 2000 ; NRC 2012). 그러므로 일일 평균 단백질 축적량을 기준으로 체중별 요구량과 예상 섭취량을 예측하여 영양소 함량을 결정하는 것이 필요하다.

### 3) 면역반응과 성장

돼지가 병원균에 노출되면 섭취량이 감소하고 성장성이 떨어지는 결과가 나타난다(Johnson et al., 2012 ; Kyriazakis et al., 1998). 병원균의 감염은 체내 대사를 면역 시스템 쪽으로 우선 전환시키게 된다. 병원균과 싸우기 위한 체내 대사와 영양소의 이용이 면역작용에 적합하도록 변화한다. 체내에서 동원되는 면역항체의 주 공급원은 단백질이므로 질병감염 상황에서는 단백질이 제일 제한 영양소가 된다(Kyriazakis et al., 2006). 또한 면역반응에 따라 체온이 상승하여 열 발생(Heat Production)이 증가하여 유지에너지 요구량이 증가하게 된다. 동시에 성장을 위한 에너지 요구량은 감소하게 된다(van Heugten et al., 1996). 농장의 질병 정도에 따라 성장성과 FCR에 막대한 영향을 미치기 때문에 주기적인 질병(소화기, 호흡기) 모니터링을 실시하는 것이 필요하다.



(그림 6) 면역과 성장과의 관계

세계적으로 돼지 질병은 큰 이슈가 되고 있으며, 돼지의 성장성과 사료효율에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 그에 따른 연구들이 많이 진행되고 있으나, 질병에 대처할 수 있는 영양적인 해결책은 찾기 어렵다. 질병에 노출될 경우, 면역 시스템이 가동되고, 체내 단백질이 면역항체를 위해 동원되며, 성장을 위한 단백질 축적량은 감소하게 되어 FCR이 급격하게 나빠지는 현상이 발생하게 된다(Gabler, 2015). 영양학적인 접근을 위해서 면역시스템을 위한 아미노산 요구량에 대한 보다 많은 연구가 필요하다. 현재 질병에 감염된 돼지를 위한 특효약(사료)은 없으며, 차단방역이 최선의 수단이다.

(표 3) 질병이 성장과 FCR에 미치는 영향

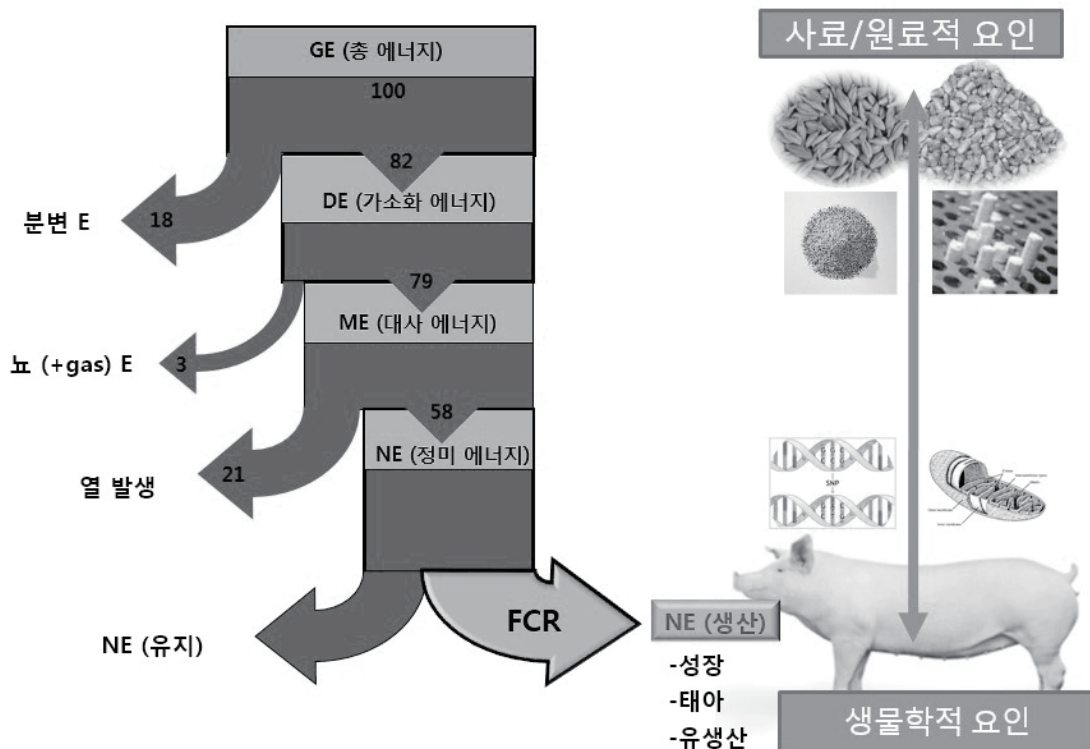
질병	급성		만성	
	FCR	90 kg 도달일령	FCR	90 kg 도달일령
홍막폐렴	0.1 - 0.4	+ 7 - 30	0.1 - 0.3	+ 4 - 15
위축성비염	0.1 - 0.2	+ 4 - 15	0.1 - 0.2	+ 4 - 15
만성호흡질병	0.1 - 0.4	+ 7 - 30	0.1 - 0.3	+ 7 - 28
유행성 폐렴	0.1 - 0.4	+ 10 - 21	0.05 - 0.1	+ 3 - 21
외부기생충	0.1	+ 7 - 18	0.1	+ 5 - 8
연쇄상구균	0.05	+ 1 - 3	0.05	0
돈적리	0.1 - 0.3	+ 5 - 20	0.3	+ 4 - 5
TGE	0.1	+ 4 - 10	0 - 0.15	+ 0 - 3

(표 4) 호흡기 및 소화기 질병 발생이 성장에 미치는 영향

	대조구	PRRS	PED	PRRS + PED
ADG, kg	0.63	0.44	0.51	0.34
ADFI, kg	1.04	0.78	0.92	0.73
FCR	1.65	1.77	1.80	2.15

### 3. FCR에 대한 유전적/생물학 접근

FCR은 대사돼지의 체중에 의해 영향을 받으며(Noblet et al., 2004), 돼지가 성장하여 출하체중에 도달하기까지 사료효율은 나빠진다. 하지만 같은 체중에서도 돼지의 유지에너지, 체조성 축적효율, 면역상태에 따라 FCR의 차이가 발생한다. 그중 체조성의 축적비율과 축적속도는 FCR의 변수 중 약 33%를 차지한다(Knap et al., 2012). FCR에 영향을 미치는 유지대사량, 체단백질 합성과 분해 속도 등은 일정부분 품종에 의해 결정된다(Knap et al., 2012). 돼지의 성장에서 체조성의 축적 비율 및 속도는 체내 에너지 효율에 영향을 미치게 되고 결과적으로 사료효율로 나타나게 된다. 이러한 현상은 기본적으로 품종, 암수에 따라 차이가 발생하며, 비거세돈이 암컷이나 거세돈보다 사료효율이 더 좋은 결과를 보였다(NRC, 2012). 하지만 육질의 문제(Skatole ; 옹치)로 산업적으로 적용에 어려움이 있다(Zamaratskaia et al., 2008).

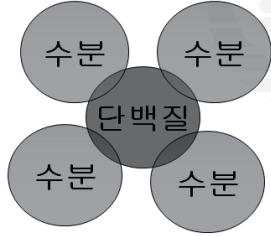
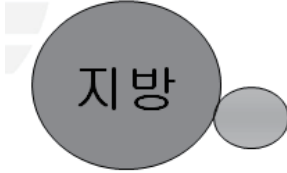


(그림 7) FCR에 영향을 미치는 에너지 효율과 영양적/생물학적 관계

### 1) 에너지 효율(Energetic Efficiency)

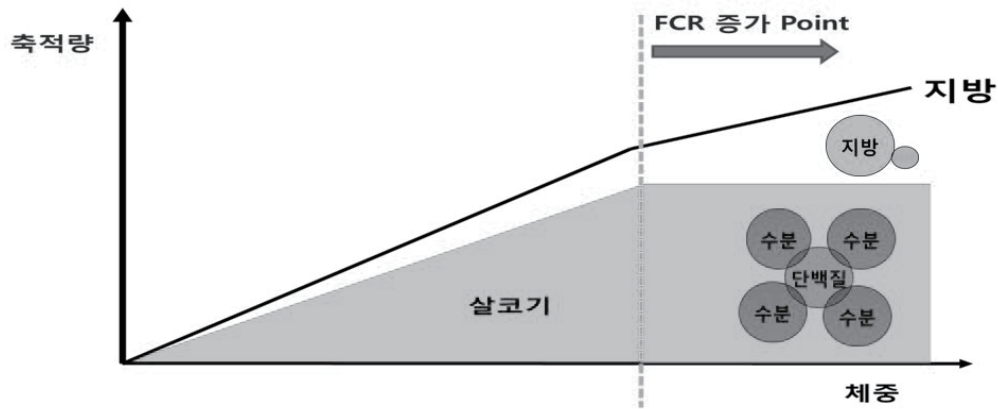
지난 수십 년간 이루어진 품종개량의 결과로 FCR이 놀라울 만큼 개선되었다. 과거 30kg에서 100kg 도달에 필요한 사료량은 266kg였으나, 현재는 162kg의 사료만 급여하면 될 정도로 개량되었다. 즉 FCR이 3.8에서 2.3로 개선된 것이다. 종돈회사(PIC) 자료에 의하면, 현재 FCR에 대한 유전적 잠재력은 평균 2.0 정도이며, 상위 10%는 FCR 1.6~1.7까지 도달해 있다. 이처럼 FCR이 아주 우수할 수 있는 이유는 체내 단백질 축적량의 변화와 체지방 축적 비율의 차이에 의해 발생한다. 단백질로 만들어지는 살코기(Lean tissue)의 축적효율이 체내 지방조직(Adipose tissue) 축적 효율보다 좋기 때문이다. (그림 8)과 같이 체내 살코기 축적 시 수분이 관여하는 비율 때문에 살코기 축적효율은 지방조직 축적효율보다 약 4배나 높다. 그래서 단백질 축적량이 많은 품종의 FCR이 우수하다.

(표 5) 단백질과 지방의 체내 축적효율

단백질 축적 에너지 요구량 = 10.03kcal ME/g	지방 축적 에너지 요구량 = 11.65kcal ME/g
살코기 축적 (Lean Tissue) = 단백질(20%) + 수분(80%)	지방조직 축적 (Adipose Tissue) = 지방(90%) + 수분(10%)
	

사료 내 영양소의 종류에 따라 에너지 효율에 차이가 발생한다(Patience et al., 2012 ; Gutierrez et al., 2012). 단백질과 같은 열발생이 많은 영양소는 아미노산의 균형을 잘 유지하여, 사료 내 조단백질 함량을 최소화하는 것이 FCR 개선에 도움이 된다.





(그림 8) 체중 변화에 따른 체조성 축적 변화와 FCR 증가 시점

(표 6) 영양소별 에너지 함량과 에너지 효율

영양소	총에너지 (Mcal/kg)	정미에너지 (Mcal/kg)	열발생 (Mcal/kg)	에너지 효율 (%)
단백질	5.64	2.58	3.06	46
지방	9.46	8.63	0.83	91
전분	4.21	3.27	0.84	78
섬유소	4.21	2.29	1.92	54

## 2) 체내 에너지 및 영양소 축적효율

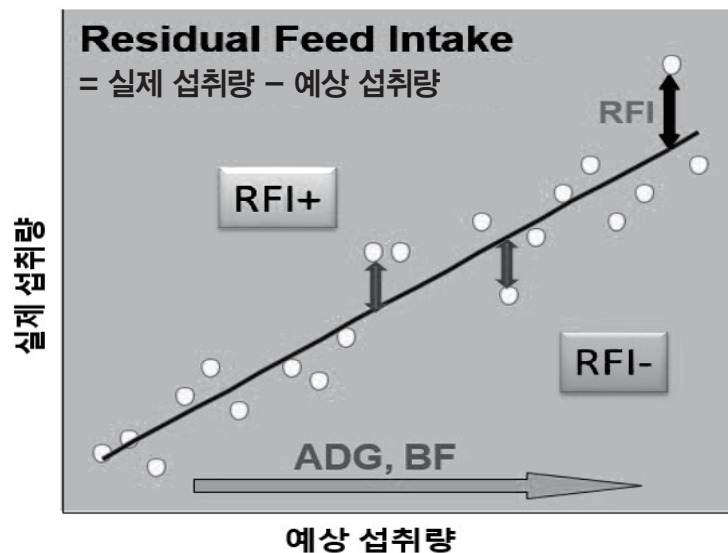
유럽과 미국과 같이 체지방이 낮고 살코기가 많이 축적되는 품종일수록 사료효율이 좋다. 하지만 한국의 경우 상대적으로 두꺼운 등지방을 요구하고 있기 때문에 같은 품종이라도 최고의 FCR을 실현하기에는 현실적으로 어려움이 있다. 하지만 여전히 좋은 품종의 선택은 중요하다. 개량이 되지 않은 품종일 경우, 후기 단백질 축적량이 낮고, 후기 성장에서 지방이 과도하게 축적되어 사료효율이 나빠진다. 하지만 단백질 축적량이 높고 후기증체가 좋은 개량된 돼지는 사료요구율이 우수하여 사료비를 절감할 수 있다. FCR이 우수하고 항병력이 우수한 품종을 선택하는 것이 중요하다. 번식성적이 우수하여 모돈 출하두수를 증가시키고, 비육돈의 사료효율이 우수하다면 최고의 FCR을 실현할 수 있다.

(표 7) 최신 품종의 FCR과 일당증체량(30~100kg)

PIC Line	FCR		ADG(kg)	
	평균	Top 10%	평균	Top 10%
L15	2.06	1.71	0.970	1.179
L27	1.93	1.58	0.957	1.152
L65	1.89	1.57	1.007	1.207

### 3) 잔존 사료섭취량 Residual Feed Intake(RFI):

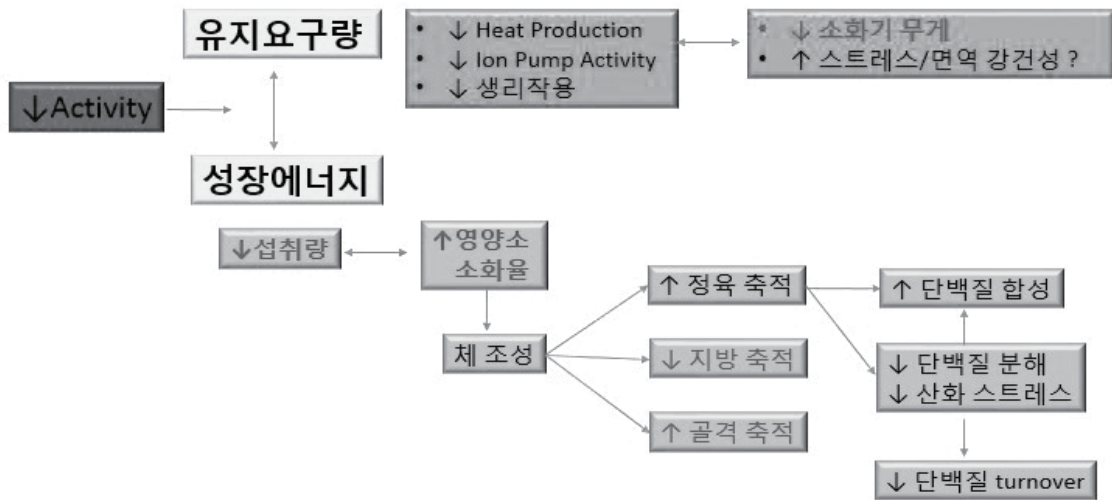
최근 FCR이 우수한 품종을 선택하는 도구로서 Residual Feed Intake(RFI)라는 섭취량을 품종 선발의 지표로 사용되고 있다. RFI란 돼지의 유지와 성장에너지를 근거로 한 예측 섭취량을 기준으로 실제 섭취량과 차이를 나타내는 것으로 예상보다 낮은 섭취량을 보이는 개체는 Low RFI (RFI-), 높은 섭취량을 보이는 개체는 High RFI(RFI+)로 분류된다. 연구결과에 의하면, 예상보다 낮은 섭취량(RFI-)을 보이는 개체들의 FCR이 더 좋은 것으로 나타났다(Kennedy et al., 1993 ; Boddicker et al., 2011 ; Cai et la., 2008 ; Harris et al., 2012 ; Rakhshandeh et al., 2012 ; Cruzen et al., 2013).



(그림 9) Residual Feed Intake(RFI)의 의미

예상 섭취량보다 실제 섭취량이 낮은 품종(RFI-)의 생리학적 특성은 유지에너지 요구량이 낮고, 체내 영양소 이용효율과 단백질 축적효율이 높은 것으로 나타났다(Young et al., 2012). 특히 소화기의 무게가 적고, 유지요구량이 낮아 더 많은 에너지가 성장에 사용된다(Knap et al., 2009 ; Boddicker et al., 2011; Cai et al., 2008 ; Harris et al., 2012).

RFI- 돼지의 근육 내 Calpain과 ubiquitin-proteasomal system과 같은 단백질 가수분해 대사량이 낮았다(Harris et al., 2012). 또한 근육과 간에 존재하는 미토콘드리아에서 발생하는 활성산소(reactive oxygen species)량이 적게 나타났다(Grubbs et al., 2013). 결과적으로 RFI- 돼지들은 상대적으로 느린 체내 단백질 분해작용과 상대적으로 낮은 체내 산화스트레스 작용으로 인해 상대적으로 높은 사료 효율을 보이는 것으로 유추할 수 있다.



(그림 10) FCR이 우수한 돼지 (RFI-)의 생리학적 특성

Low RFI 품종들의 도체중 판정결과를 보면 상대적으로 낮은 등지방 두께를 보였으며(Cai et al., 2008; Lefaucheur et al., 2011; Faure et al., 2013), 도체 후 pH 측정 결과가 낮고, 고기의 보수력(water holding capacity)이 낮은 결과를 보였다(Gilbert et al., 2007, 2017). 하지만 다른 연구에서는 RFI가 육질(Drip loss, 육

색)에 영향을 미치지 않았다(Smith et al., 2011). 연구결과를 종합해 보면, RFI-로 선발된 품종들은 FCR은 우수하나 육질에는 다소 부정적인 측면이 있음을 알 수 있다. 추가적인 연구도 필요할 것으로 보인다.

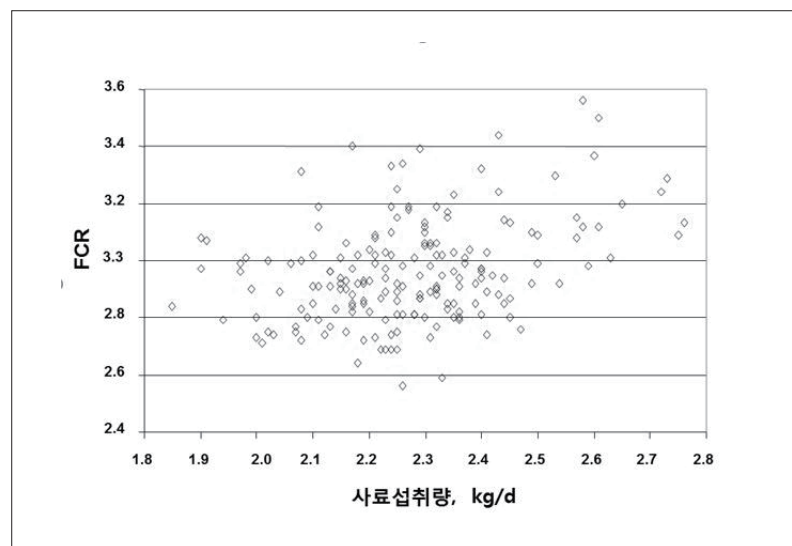
(표 8) RFI 선발 품종간 차이점

	RFI+	RFI-
RFI	73.88	-91.03
FCR	0.15	-0.17
ADFI	146.22	-123.67
지육률	-0.5	0.45
보수력	3.08	-3.11

#### 4. FCR에 영향을 미치는 외부적인 요인

##### 1) 사료 내 에너지 함량

많은 연구결과에 의하면, 일반적으로 사료 내 에너지 함량이 높을수록 FCR이 개선되는 결과를 보였다(Beaulieu et al., 2009 ; De la Llata et al., 2001). 하지만 이러한 상관관계는 사양시험간, 농장간 비교에서는 아주 낮게 나타났다. 또한 사료섭취량과 FCR의 상관관계( $r$ )는 0.12-0.14로 아주 낮게 나타났다(Oresanya et al., 2008).

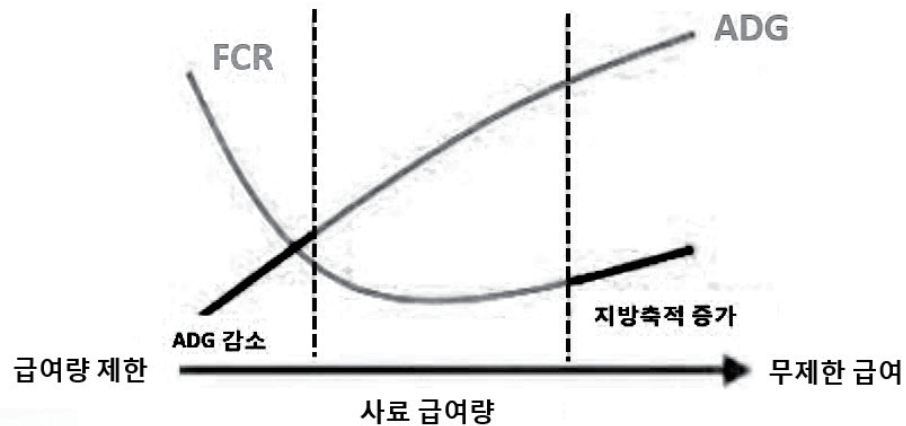


(그림 11) 사료섭취량과 FCR의 상관관계

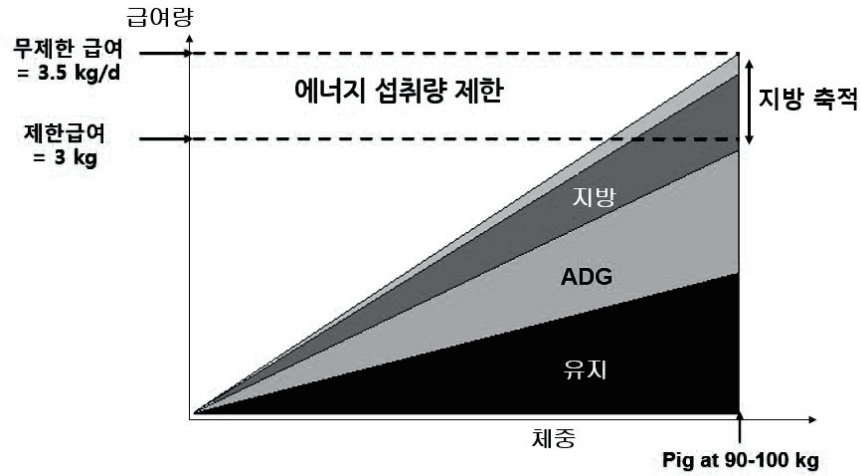
이러한 결과로 FCR은 단순히 사료 내 에너지 함량 뿐만 아니라 농장의 많은 변수들에 의해 영향을 받고 있음을 유추할 수 있다. 또한 돼지의 변이, 에너지 평가법의 차이에 의해서도 발생할 수 있다.

## 2) 급여 프로그램

사료급여 프로그램은 지육률 향상 또는 사료효율을 극대화를 위해 적용된다. 이러한 목적을 달성하기 위해 유럽에서는 제한급여(Restricted feeding program)가 적용되기도 한다. 제한급여를 통해 에너지의 섭취량을 제한하여 체내 지방축적량을 감소시킴으로써 FCR을 개선할 수 있다. 단백질과 지방 축적에 동원되는 에너지는 각각 10.03kcal ME/kg과 11.65kcal ME/kg(Patience, 2012)으로 지방 축적을 위한 에너지 요구량이 단백질보다 16% 높다. 하지만 단백질은 4:1 비율로 수분을 동반하여 살코기 형태로 축적되므로 10%의 수분을 동반하는 지방보다 4배 이상 효율적이다(Whittemore et al., 2006). 제한급여 프로그램의 적용은 성장속도, 농장의 회전율, 지육 품질의 요구도에 따라 제한적으로 적용되고 있다. 제한급여에 의한 FCR 개선의 효과는 사료허실량 감소에 따른 외부적인 영향도 있다.

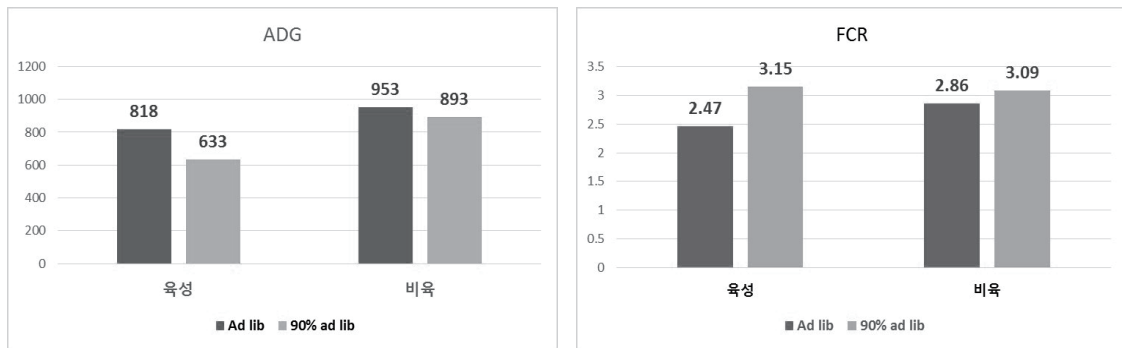


(그림 12) 최적 ADG와 FCR 달성을 위한 급여 프로그램 설정



(그림 13) 제한급여를 통한 등지방 두께 조절과 FCR 개선

사료의 허실을 방지하고 FCR을 개선하기 위해 제한급여를 실시하는 농장들이 있다. 하지만 실제로 사료급여량 제한은 증체량과 FCR에 악영향을 주기 때문에 주의할 필요가 있다. 특히 육성기 동안 사료급여량 제한의 효과는 더 크다(그림 14).



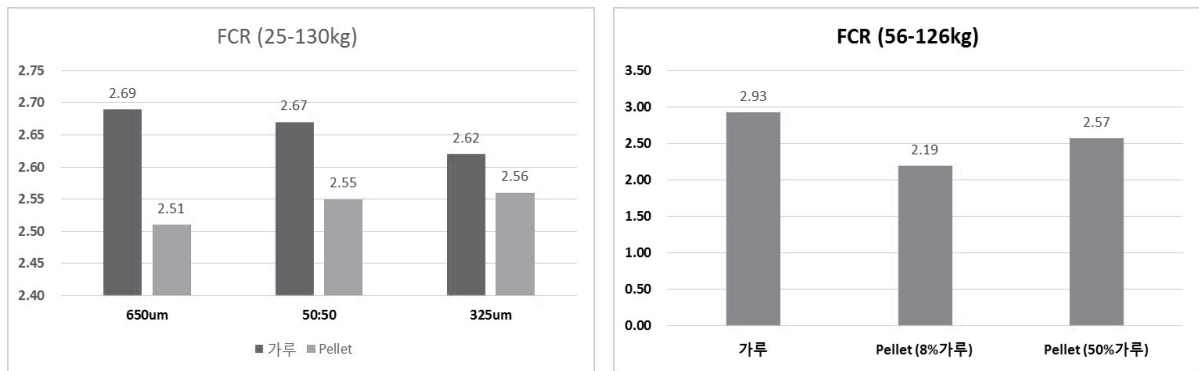
(그림 14) 제한급여가 육성-비육돈의 성장과 FCR에 미치는 영향

### 3) 사료 가공

원료의 가공 사료효율에 직접적인 영향을 미친다. 연구결과에 의하면, 사료의 입자와 입자도의 균일성이 FCR에 영향을 미쳤다(Stark 1994; Healy et al., 1994 ; Wondra et al., 1995 ; Mavromichalis et al., 2000). 사료입자도 감소와 입자의 편차가 줄어들수록 소화율이 개선되었다. 하지만 600micron 이하의 입자는 흐름성

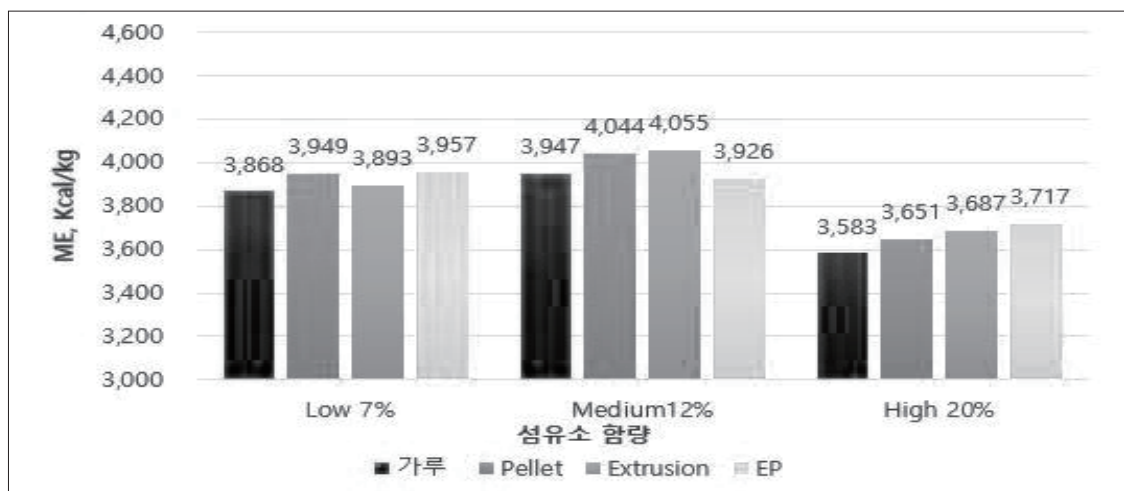
문제와 위궤양 발생을 유발할 수 있다.

펠릿가공으로 FCR을 개선하는 효과가 있으며, 이는 원료의 입자도 감소 효과에서 기인한 것으로 보여진다(Patience et al., 1995, Nemechek et al., 2013). 펠릿의 품질도 FCR에 영향을 미친다. 펠릿 내 가루 함량이 높을수록 펠릿사료의 급여 효과는 떨어졌다(Myers et al., 2013).



(그림 15) 입자도에 따른 펠릿의 효과와 펠릿품질에 따른 FCR 차이

사료가공(열처리)에 의해 전분과 아미노산의 회장 소화율이 증가하였으나, 사료가공방법에 따른 (pellet vs extrusion) 차이는 나타나지 않았다(Rojas, et al 2016).

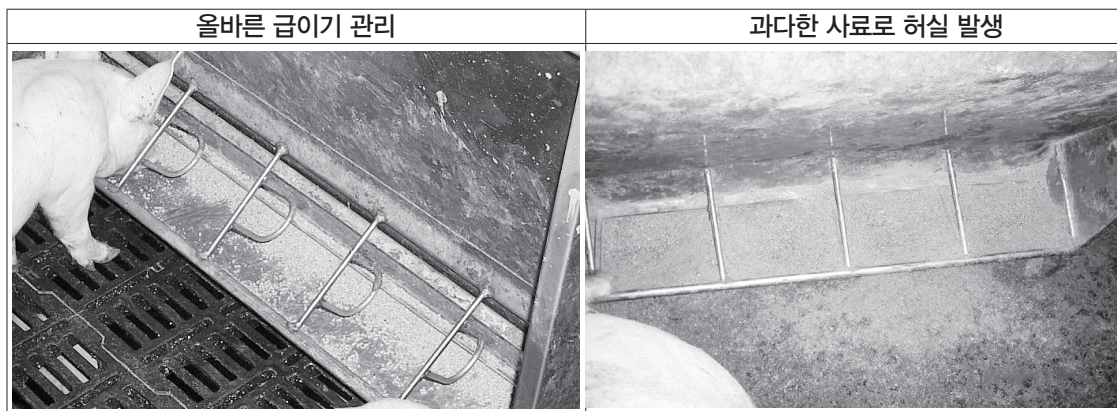


(그림 16) 사료가공 형태에 따른 에너지 이용률(ME, kcal/kg)의 차이

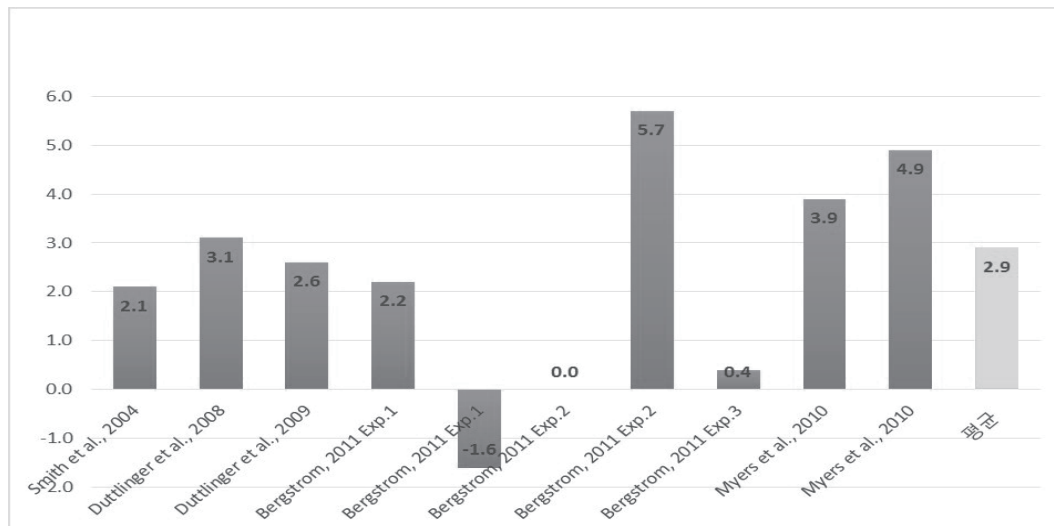
펠릿가공은 섬유소가 7~12% 포함된 사료의 에너지 소화율을 향상시켰으나, 높은 섬유소를 함유한 사료에서는 익스트루딩이나 익스트루딩 펠릿과 같은 보다 심도 있는 열처리에 의해서 소화율을 향상시킬 수 있었다(Rojas, et al 2016). 하지만 높은 수준의 섬유소를 함유한 사료는 열처리에 의해 향상시킬 수 있는 에너지가 제한적임을 알 수 있다.

#### 4) 급이기 관리

사료요구율 개선을 위해서는 물리적으로 낭비되는 사료가 없는지 점검하고 올바른



(그림 17) 급이기 조절 차이에 의한 사료허실



(그림 18) 급이기 관리에 따른 FCR 개선 효과



른 급이기 관리 및 선택이 필요하다. 실제 농장의 사료허실량이 많게는 15%가 넘는다. 또한 경쟁 없이 충분한 사료를 섭취할 수 있도록 급이 공간을 확보해 주고 충분한 급수기를 설치해야 한다. 단순히 급이기의 관리만으로도 FCR의 개선 효과(평균 2.9%)를 볼 수 있다(Whittemore et al., 2006 ; Smith et al., 2004 ; Healy et al, 1994). 두당 급이기의 허용공간도 FCR에 영향을 미친다(Weber et al., 2015).

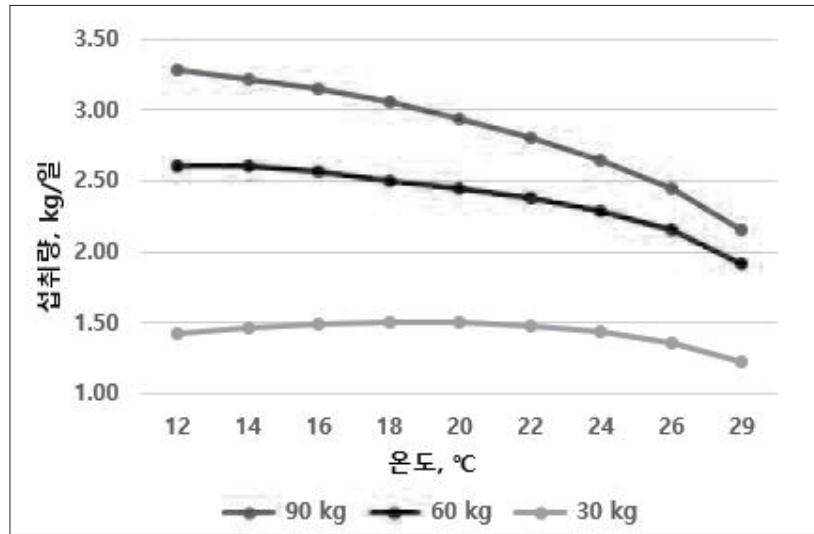
### 5) 사육밀도, 돈사 온도

돼지에게 적절한 사육밀도를 조성해 주는 것은 증체량과 FCR 개선에 도움이 된다. 특히 하절기에는 섭취량 감소와 성장지연으로 출하일령이 지연되어 밀사가 더 심하게 발생하게 된다. 하절기에 고온과 밀사, 높은 습도가 같이 발생할 경우, 돼지의 섭취량 감소, 성장지연은 더욱 악화됨으로 적극적인 돈사관리, 비육돈 출하관리가 필요하다.

(표 9) 사육밀도에 따른 FCR 차이

두당 사육밀도(m <sup>2</sup> )	0.65	0.75	0.85
FCR	2.86	2.73	2.62
출하일령, 일	178	174	170
출하체중, kg	112	112	112

돈사의 온도가 상승함에 따라 돼지의 일당 섭취량은 감소하며, 체중이 높을수록 온도 상승에 따른 섭취량 감소량이 더 많아진다(Quiniou et al 1997, 1998). 온도가 20℃에서 29℃까지 상승 시, 체중 30kg 돼지의 섭취량이 약 19% 감소한 반면 체중 90kg 돼지의 경우 30%의 섭취량 감소가 발생하였다. 그러므로 체중에 따른 비육돈사의 온도관리가 더 중요하다.



(그림 19) 돈사 온도 변화에 따른 체중별 섭취량 변화

#### 6) 출하관리

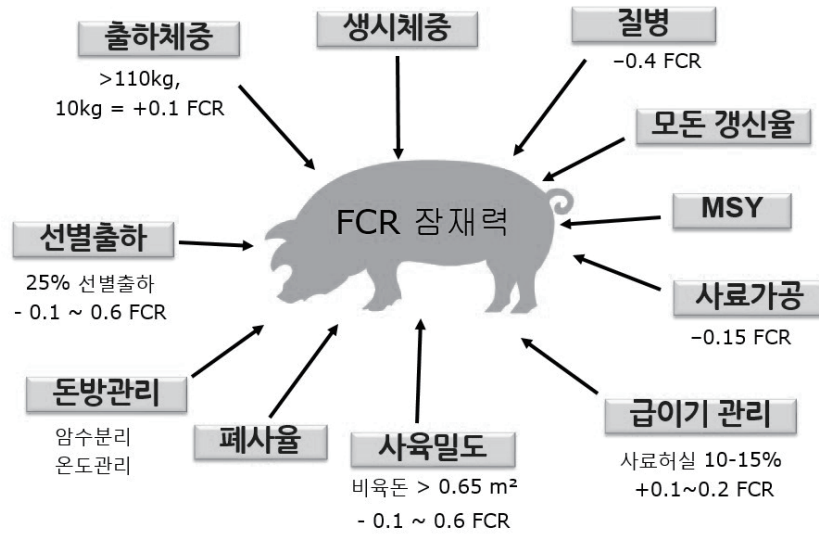
품종에 따라 정도의 차이는 있으나, 출하체중이 증가할수록 FCR이 증가하게 된다 (Latorre et al., 2004). 그러므로 농장에 최적화된 출하체중 관리가 필요하다. 돈방별 출하체중에 도달한 개체를 선별하여 미리 출하하는 관리를 통해 체중의 균일도를 높일 수 있으며, 동시에 비육돈의 밀사를 방지하는 효과를 볼 수 있기 때문에 성장성 및 FCR의 개선 효과를 동시에 볼 수 있다. 특히 하절기에는 조기 출하를 적극적으로 실시할 것을 권장한다. 농장의 상황이 허락한다면 암수 분리 사육을 권장한다. 거세돈과 암컷의 섭취량 차이로 인한 성장성 차이, 출하일령의 차이가 발생하기 때문에 별도의 사료, 별도의 출하관리를 권장한다.

(표 10) 출하체중과 FCR의 관계

출하체중, kg	116	124	133
개시체중, kg	74.9	74.7	74.8
ADG	843	788	769
ADFI	2.69	2.56	2.68
FCR	3.19	3.24	3.48

(표 11) 선별 출하에 따른 FCR 개선 효과

선별 출하	0%	-25%	-50%
두수	52	52	52
조기출하두수	0	13	26
개시체중	113	113.7	113.3
출하 후 체중	113	110.5	105.8
종료체중	126	126.5	122.2
ADG	659	829	834
FCR	4.24	3.76	3.63
돈방당 출하체중, kg	6,536	6,566	6,334
사료량 차이/돈방	-	-401	-1,244
사료량 차이/두	-	-7.7	-23.9



(그림 20) FCR에 영향을 미치는 요인들

## 5. FCR 개선을 위한 실용적인 접근

### 1) 유지에너지 요구량 최소화를 위한 돼지와 돈사 관리

유지에너지는 돼지의 대사체중을 기본적으로 변화하지만, 돼지의 활동량, 면역상태, 외부의 환경(기온, 질병, 스트레스)에도 영향을 많이 받으므로, 이를 최소화할 수 있는 돼지 및 돈사 관리가 필요하다.

### 2) 사료의 에너지(DE/ME) 이용률 극대화(가공사료 급여)

소화율 높은 사료를 급여하여도 섭취한 에너지의 약 15%는 분으로 배출된다. 사료내 에너지 이용을 극대화하기 위해서 원료의 가공 및 효소제를 사용할 수 있다. 곡물의 가격이 상승함에 따라 권장하는 곡물의 입자도가 더 작아지고 있다. 연구결과에 의하면 1,200micron에서 400micron까지 입자도를 줄인 결과, 100micron당 FCR이 4포인트씩 감소하였다. 원료의 입자도 편차를 2.33에서 1.88micron로 감소함에 따라 에너지 소화율이 81%에서 85%로 증가하였다.

### 3) 원료의 정확한 에너지 평가(정미 에너지 적용)

사료 내 ME(NE) 함량은 원료의 변이, 돼지의 연령에 따른 소화율, 입자도, 가공형태 등에 따라 차이가 발생하므로 정확한 에너지 평가가 요구된다.

### 4) 대사열(Heat Increment)을 최소화할 수 있는 영양소 관리 : Heat Stress 최소화

사료의 소화 및 대사과정에서 열이 발생한다. 일반적인 상황에서 발생된 열은 체온유지에 사용된다. 하지만 돈사의 온도가 상승하게 되면 체내 발생하는 대사열들은 돼지의 성장을 저해하는 요소로 작용한다. 더위 스트레스가 발생하면, 체내 열발생량을 줄이기 위한 생리적 반응으로 섭취량이 감소하게 된다. 그러므로 더위 스트레스 상황에서는 체내 열발생을 최소화할 수 있는 영양소(단백질, 지방, 탄수화물) 설계가 필요하다.

### 5) 면역 시스템 작용 최소화(차단방역/청결)

체내 면역 시스템 발동은 유지에너지 요구량을 증가시킨다. 질병 발생은 섭취량을

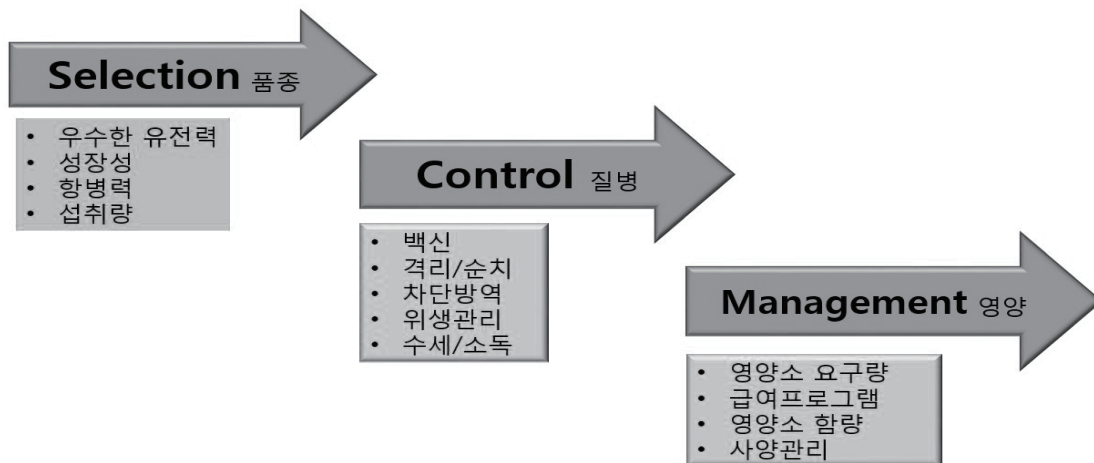
감소시키고, 소화율이 저하되어 결과적으로 FCR이 악화된다. 그러므로 차단방역을 통한 질병 예방은 사료효율 개선에 필수적이고 중요한 사항이다.

#### 6) 에너지 효율이 높은 품종의 선택

에너지 효율이 뛰어난 품종의 선택은 성장 및 FCR 개선을 위한 바탕이 된다. 유지 에너지가 낮고, 성장성이 우수한 품종을 선택하는 것이 중요하다.

#### 7) 사료섭취량 극대화

돼지의 성장을 극대화하기 위해서는 요구량에 도달할 수 있는 섭취량이 필요하다. 단백질 축적이 최대로 이루어질 수 있는 요구량만큼 사료를 섭취할 수 있도록 환경을 개선해 주어야 한다. 충분한 사육밀도와 급이공간을 제공해 주어야 한다.



(그림 21) FCR 개선을 위한 3단계 전략

## Conclusion

사료요구율(FCR)은 양돈산업에서 매우 중요한 관리 지표이며, 농장의 종합적인 관리 상태의 결과물이다. FCR은 사료뿐만 아니라 많은 내외부적인 요인에 의해 결정된다. 우선 섭취한 사료의 에너지를 어떻게 효율적으로 체내에서 이용되는지가 FCR을 결정짓는 기본이 되며, 이를 극대화하기 위한 농장의 사양관리가 중요한 요인으로 작용한다. 돼지의 체조성, 개시 및 종료체중, 섭취량, 성장속도, 돈사 온도, 환기, 면역수준, 질병의 상태, 사료의 가공 및 급여 방법 등 모든 변수가 FCR에 영향을 미친다. 농장 FCR은 쉽게 계산되지만, 이 단순한 지표에는 복잡한 농장의 변수가 반영되어 있으며, 농장 경영의 결과물이며, 농장의 종합적인 관리 상태를 알 수 있는 중요한 지표이다. 본문에 언급한대로 FCR에 영향을 미치는 요인들은 매우 다양하며, 최고의 FCR에 도달하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 양돈장의 FCR 개선을 통해 경쟁력 있고, 지속 가능한 양돈사업이 될 수 있도록 전략적이고 체계적인 접근이 필요하다. 우리의 한돈산업이 선진국 수준의 FCR에 도달하기 위해서는 지속적인 연구와 노력이 필요하다.

## References

- Agyekum AK, Slominski BA, Nyachoti CM. 2012. Organ weight, intestinal morphology and fasting whole-body oxygen consumption in growing pigs fed diets containing distillers dried grains with solubles alone or in combination with a multienzyme supplement. *J Anim Sci*. 90:3032 – 40.
- Baxter MR. 1986. The Design of the Feeding Environment for the Pig. PhD Thesis. University of Aberdeen.
- Boddicker N, Gabler NK, Spurlock ME, Nettleton D, Dekkers JCM. 2011. Effects of ad libitum and restricted feed intake on growth performance and body composition of Yorkshire pigs selected for reduced residual feed intake. *J Anim Sci*. 89:40 – 51.
- Beaulieu AD, Williams NH, Patience JF. 2009. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal-grain based diets. *J Anim Sci*. 87:965 – 76.
- Cai W, Casey DS, Dekkers JCM. 2008. Selection response and genetic parameters for residual feed intake in Yorkshire swine. *J Anim Sci*. 86:287 – 98.
- Cruzen SM, Harris A, Hollinger JK, Punt RM, Grubbs JK, Selsby JT. 2013. Evidence of decreased muscle protein turnover in gilts selected for low residual feed intake. *J Anim Sci*. 91:4007 – 16.
- Davey AWF, Grainger C, Mackenzie DDS, Flux DS, Wilson GF, Brookes IM. 1883. Nutritional and physiological studies of differences between Friesian cows of high or low genetic merit. *Proc New Zealand Soc Anim Prod*. 43:67.
- de Lange CFM, Birkett SH, Morel PCH. Protein, Fat, and Bone Tissue Growth in Swine. In: Lewis A, Southern LL, editors. *Swine nutrition*. Boca Raton: CRC Press; 2000. p. 65 – 81.
- De la Llata M, Dritz SS, Tokach MD, Goodband RD, Nelssen JL. 2001. Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *J Anim Sci*. 79:2643 – 50.
- Dritz S. Influence of Health on Feed Efficiency. In: Patience JF, editor. *Feed Efficiency in Swine*. Wageningen: Wageningen Academic Press; 2012. p. 183 – 210.
- Dunshea FR, D'Souza DN, Pethick DW, Harper GS, Warner RD. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci*. 71:8 – 38.
- Elsbernd AJ. Nutrient utilization, Pork Quality, and Lysine Requirement of Immunological Castrates. Masters Thesis. Ames, Iowa, US: Iowa State University; 2014.
- Faure J, Lefaucheur L, Bonhomme N, Ecolan P, Météau K, Coustard KM, et al. Consequences of divergent selection for residual feed intake in pigs on muscle energy metabolism and meat quality. *Meat Sci*. 2013;93:37 – 45.
- Gutierrez NA, Patience JF. 2012. The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine. In *Proc AI Leman Conference*. Veterinary Continuing Education, University of Minnesota. St. Paul, MN; 19 – 26.
- Gaines AM, Peterson BA, Mendoza OF. Herd management factors that influence whole

- herd feed efficiency. In: Patience JF, editor. Feed efficiency in swine. Wageningen: Wageningen Academic Press; 2012. p. 15–39.
- Gilbert H, Bidanel JP, Gruand J, Caritez JC, Billon Y, Guillouet P, 2007. Genetic parameters for residual feed intake in growing pigs, with emphasis on genetic relationships with carcass and meat quality traits. *J Anim Sci.* 85:3182–8.
- Gilbert, H., Y. Billon, L. Brossard, J. Faure, P. Gatellier, F. Gondret, E. Labussière, B. Lebreton, L. Lefaucheur, N. Le Floch, I. Louveau, E. Merlot, M.–C. Meunier–Salatün, L. Montagne, P. Mormede, D. Renaudeau, J. Riquet, C. Rogel–Gaillard, J. van Milgen, A. Vincent and J. Noblet, 2016. Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig, *Animal Consortium*. pp1–13
- Gabler. N. 2015. Impact of nutrition on disease susceptibility and impact of disease on nutrient utilization. ICEES. Omaha. NE
- Grubbs JK, Fritchen AN, Huff–Lonergan E, Dekkers JCM, Gabler NK, Lonergan SM. 2013. Divergent genetic selection for residual feed intake impacts mitochondria reactive oxygen species production in pigs. *J Anim Sci.* 91:2133–40.
- Harris AJ, Patience JF, Lonergan SM, Dekkers JM, Gabler NK. 2012 Improved nutrient digestibility and retention partially explains feed efficiency gains in pigs selected for low residual feed intake. *J Anim Sci.* 90:164–6.
- Healy BJ, Hancock JD, Kennedy GA, Bramel–Cox PJ, Behnke KC, Hines RH. 1994. Optimum particle size of corn and soft sorghum for nursery pigs. *J Anim Sci.* 72:2227–36.
- <http://www.asi.k-state.edu/research-and-extension/swine/calculators.html>
- Jorgensen H, Zhao XQ, Eggum BO. 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind–gut and energy metabolism in pigs. *Br J Nutr.* 75:365–78.
- Johnson RW. Fueling the Immune Response: What’s the Cost. In: Patience JF, editor. Feed Efficiency in Swine. Wageningen: Wageningen Academic Press; 2012. p. 211–24.
- Kyriazakis I, Sandberg FB. The problem of predicting the partitioning of scarce resources during sickness and health in pigs. In: Gous R, Morris T, Fischer C, editors. Mechanistic Modeling in Pig and Poultry Production. Wallingford: CAB International; 2006. p. 117–42.
- Kennedy BW, Vanderwerf JHJ, Meuwissen. THE 1993. Genetic and statistical properties of residual feed–intake. *J Anim Sci.* 71:3239–50.
- Knap PW. Allocation of Resources to Maintenance. In: Rauw WM, editor. Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal Production. Wallingford: CAB International; 2009. p. 118–36.
- Knap PW, Wang L. Pig Breeding for Improved Feed Efficiency. In: Patience JF, editor. Feed Efficiency in Swine. Wageningen: Wageningen Academic Press; 2012. p. 167–81.
- Lefaucheur L, Lebert B, Ecolan P, Louveau I, Damon M, Prunier A. 2011. Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *J Anim Sci.* 89:996–1010.



- Latorre, M.A, R, Lazaro, D.G, Valencia, P, Medel, and G.G. Mateos. 2004. The effect of gender and slaughter weight in the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 82:526–533
- Mavromichalis I, Hanck JD, Senne BW, Ggugle TL, Kennedy GA, Hines RH, 2003. Enzyme supplementation and particle size of wheat in diets for finishing pigs. *J Anim Sci.* 78:3086 – 95.
- Myers AJ, Goodband RD, Tokach MD, Dritz SS, DeRouchey JM, Nelssen JL. 2013. The effects of diet form and feeder design on the growth performance of finishing pigs. *J Anim Sci.* 91 :3420 – 8.
- Noblet J, Karege C, Dubois S, van Milgen J. 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: Effects of sex and genotype. *J Anim Sci.* 77:1208 – 16.
- Noblet J, Fortune H, Dupire C, Dubois S. 1993. Digestible, metabolisable and net energy values of 13 feedstuffs for growing pigs: effect of energy system. *Livestock Prod Sci.* 42:131 – 49.
- Nyachoti CM, de Lange CFM, McBride BW, Leeson S, Schulze H. 2000. Dietary influence on organ size and in vitro oxygen consumption by visceral organs of growing pigs. *Livestock Prod Sci.* 65:229 – 37.
- NRC. Nutrient Requirements of Swine. 2004. 10th ed. Washington, DC: Nat'l Acad Press; 2012.
- Noblet J, van Milgen J. Energy value of pig feeds: effect of pig body weight and energy evaluation system. *J Anim Sci.* 82(E–Suppl):229 – 38.
- Oresanya TF, Beaulieu AD, Patience JF. 2008. Investigations of energy metabolism in weanling barrows: The interaction of dietary energy concentration and daily feed (energy) intake. *J Anim Sci.* 86:348 – 63.
- Patience JF 2012. The Influence of Dietary Energy on Feed Efficiency in Grow–Finish Swine. In: Patience JF, editor. *Feed Efficiency in Swine*. Wageningen: Wageningen Academic Press; pp. 101 – 29.
- Patience JF, Beaulieu AD, Zijlstra RT, Nyachoti M, Gillis DA, Boyd RD. 2002. Performance and Body Compositional Responses to Changes in Dietary Energy Intake by Offspring of line 65 sires. Saskatoon: Monograph 02 – 09, Prairie Swine Centre.
- Patience JF, Thacker PA, de Lange CFM. 1995. *Swine Nutrition Guide*. 2nd ed. Saskatoon: Prairie Swine Centre.
- Rakhshandeh A, Dekkers JCM, Kerr BJ, Weber TE, English J, Gabler NK. 2102. Effect of immune system stimulation and divergent selection for residual feed intake on digestive capacity of the small intestine in growing pigs. *J Anim Sci.* 90:233 – 5.
- Rojas., O. J. and H. H. Stein, 2016. Use of feed technology to improve the nutritional value of feed ingredients, *Animal Production Science* 56(8) 1312–1316
- Renaudeau D, Gilbert H, Noblet J. 2012. Effect of Climatic Environment on Feed Efficiency in Swine. In: Patience JF, editor. *Feed Efficiency in Swine*. Wageningen: Wageningen Academic Press; p. 183 – 210.

- Renaudeau D, Gourdine JL, St-Pierre NR. 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *J Anim Sci.* 89:2220–30.
- Smith RM, Gabler NK, Young JM, Cai W, Boddicker NJ, Anderson MJ, 2011. Effect of selection for decrease residual feed intake on composition and quality of fresh pork. *J Anim Sci.* 89:192–200.
- Smith LF, Patience JF, Gonyou HW, Beaulieu AD, Boyd RD. 2004. The impact of feeder adjustment and group size/floor space allowance on the performance of nursery pigs. *J Swine Health Prod.* 12:111–8.
- Stark CR, 1994. : Pellet quality I. Pellet quality and its effects on swine performance. PhD Thesis, Kansas State University, Grain Sciences Department.
- van Heugten E, Coffey MT, Spears JW. 1996. Effects of immune challenge, dietary energy density, and source of energy on performance and immunity in weanling pigs. *J Anim Sci.* 74:2431–40.
- Weber EK, Patience JF, Stalder KJ. 2015. Wean-to-finish feeder space availability effects on nursery and finishing pig performance and total tract digestibility in a commercial setting when feeding dried distillers grains with solubles. *J Anim Sci.*;93:1905–15.
- Whittemore CT. 1986. An approach to pig growth modeling. *J Anim Sci.*;63:615–21.
- Whittemore CT, Fawcett RH. 1976. Theoretical aspects of a flexible model to simulate protein and lipid growth in pigs. *Anim Prod.*22:87–96.
- Whittemore C, Kyriazakis I. 2006. Growth and Body Composition Changes in Pigs. In: Kyriazakis I, Whittemore CT, editors. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. Oxford: Blackwell Publishing; p. 65–103.
- Woodworth, J. C., S. S. Dritz, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, C. R. Stark, and C. K. Jones. 2015. Optimal particle size for grain and other ingredients: What the research is telling us. ICFES, Omaha, NE
- Wondra KJ, Hancock JD, Behnke KC, Hines RH, Stark CR. 1995. Effect of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology. *J Anim Sci.* 73:757–63.
- Young JM, Dekkers JCM. 2012. The Genetic and Biological Basis of Residual Feed Intake as a Measure of Feed Efficiency. In: Patience JF, editor. *Feed Efficiency in Swine*. Wageningen: Wageningen Academic Press; p. 153–66
- Yen JT. 1997. Oxygen consumption and energy flux of porcine splanchnic tissues. In Proc. of the VII International symposium on digestive physiology in pigs. *EAAP Publ.* 88:260–9.
- Zamaratskaia G, Squires EJ. 2008. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal.* 3:1508–21.

한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

유전 · 육종

# 국외 돼지 육종 동향



오 상 현 교수

North Carolina A&T State University

## 1. 서론

돼지 육종은 지난 30년 동안 animal model을 이용하여 이전보다 획기적이고 체계적인 분석을 이루었고, 이를 통해 돼지의 개량에 크나큰 성과를 이루었다. 이제 새로운 기술, 유전체 선발(genomic selection)의 도입이 현실화되면서 돼지뿐 아니라 모든 농업에 이용되는 종(種)들에 대한 선발이 진일보하고 있다. 이러한 유전체 선발은 지난 30년간 발전된 통계 유전학과 분자 유전학의 성과를 성공적으로 통합하는데서 비롯한다. 현재 세계적인 돼지 육종회사들은 유전체 선발의 가능성을 확인하고 현실에 맞게 적용하는 노력을 기울이고 있다. 더불어 시대의 흐름과 고객의 요구에 맞게 육종목표를 설정하고, 선발지수에 반영하고 있다. 이 글에서는 육종회사들의 육종목표를 살펴보는 동시에 새로운 기술이 어디까지 발전되었는지, 현실 적용에 문제점은 무엇인지 파악하고, 돼지 육종연구에서 일어나는 새로운 연구들은 어떤 것이 있는지에 대해서도 언급해 보고자 한다.

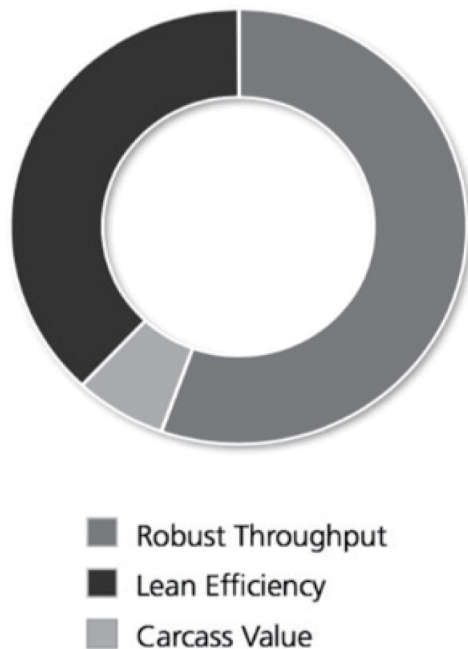
## 2. 업계 동향

세계의 돼지 육종회사는 2000년 이후 큰 회사들의 인수와 합병이 심심치 않게 이어져 왔다. 2005년에는 Genus가 PIC를 인수하였고, 2008년에는 Gepork와 Hermitage Genetics가 협업 협약을 맺은 바 있으며, 2014년 6월에는 Topigs International과 Norsvin International AS가 한 회사인 Topigs Norsvin으로 합병된 바 있다. Topigs Norsvin는 이 합병으로 Hypor를 제치고 PIC에 이어 세계에서 두 번째로 큰 돼지 육종회사가 되었다. 각 회사의 육종목표는 시대의 흐름과 고객의 요구에 발맞춰 조금씩 달라지고 있는데, 전체적인 흐름은 사료효율에 초점이 맞춰지고 있는 양상이다. 또한 대부분의 육종회사들은 선발의 정확도를 극대화하기 위해, 전통적인 선발방법으로부터 유전체 선발방법을 적용하고 있거나, 적용을 심각하게 고려하고 있는 모습이다.

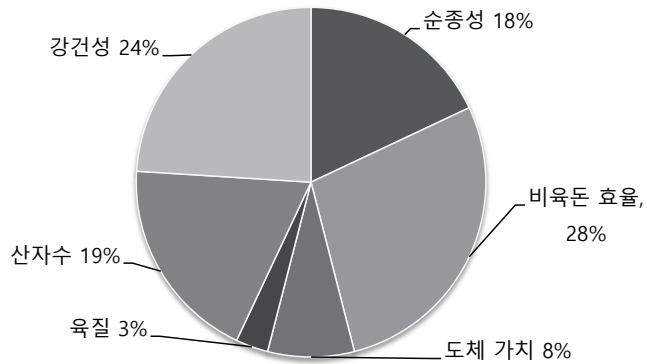
선발방법은 최신의 기술을 도입할 수 있지만, 육종목표는 여전히 고민의 대상이다. PIC는 강건성, 사료효율, 도체 가치 등의 세 가지 부분에 초점을 맞추어 선발을 하

고 있다(그림 1). Topigs Norsvin은 비육돈 효율과 도체 가치, 강건성 등에 더 가중을 하고 있는데, 모계라인의 경우 비육돈 효율(28%)과 강건성(24%), 산자수(19%) 등의 순으로 선발지수에 가중을 두고 있으며(그림 2), 부계라인 역시 비육돈 효율(47%)과 도체 가치(33%), 강건성(16%) 등을 중요한 형질로 여기고 있다(그림 3). Hypor의 경우, 모계라인 중 하나를 예로 보면, 번식(29%), 자돈 품질(20%), 효율(14%), 성장(14%) 등에 상대적으로 고른 가중을 두고 있으며(그림 7), 부계라인도 사료효율(31%), 성장(23%), 도체(15%) 등으로 가중을 두어(그림 8), 타사와 다소 다른 육종 전략이 보인다. Hermitage Genetics의 모계라인은 산자수와 복체중(그림 11, 12)에, 부계라인은 사료효율과 정육률(그림 13, 14)에 상당한 가중을 두고 있다. 그 밖의 여러 회사들의 육종목표들은 해당사의 웹사이트에서 확인할 수 있으나, 편의를 위해 글 말미에 그림으로 정리해 놓았다. 각 회사들이 보여주고 있는 라인들을 동시에 게재하여, 각 회사가 추구하는 육종목표를 한 눈에 비교할 수 있을 것이다.

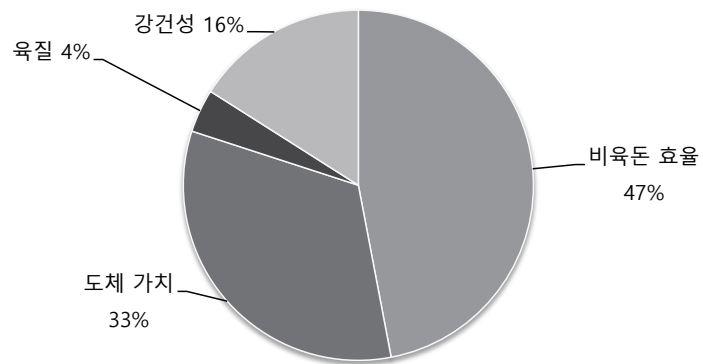
#### 4 Terminal Lines



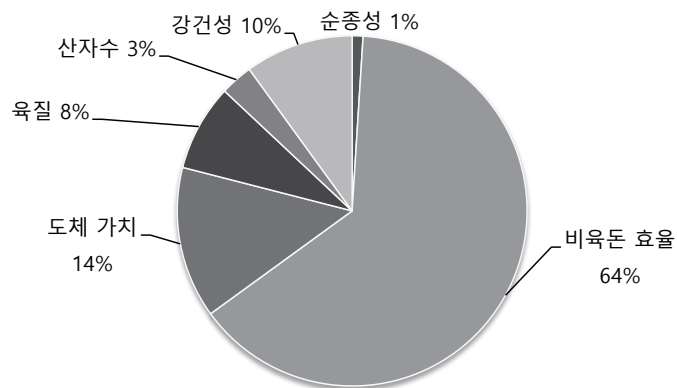
(그림 1) PIC의 선발지수 구성(웹사이트의 정보를 그대로 인용하였음)



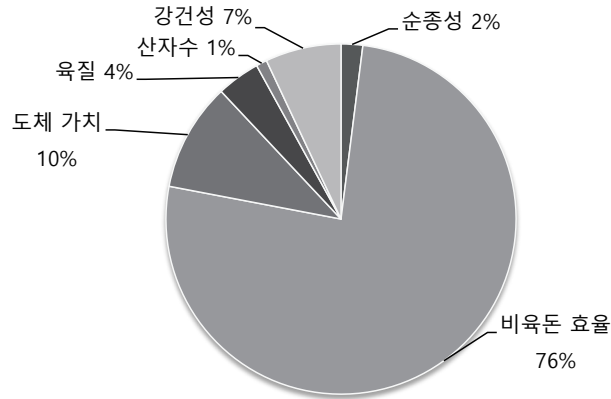
(그림 2) Topigs Norsvin 모계라인 중 하나인 TN70 라인의 선발지수 구성



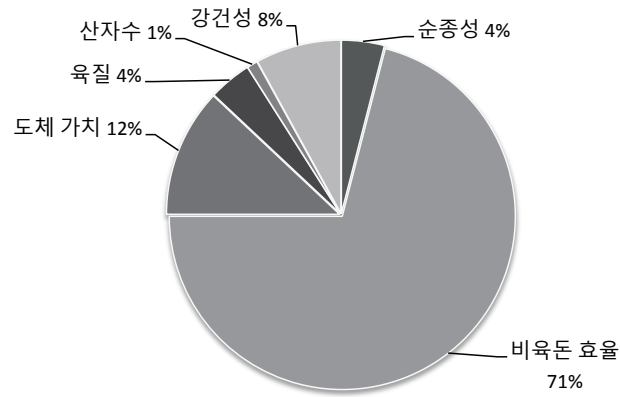
(그림 3) Topigs Norsvin 부계라인 중 하나인 Norsvin Duroc 라인의 선발지수 구성



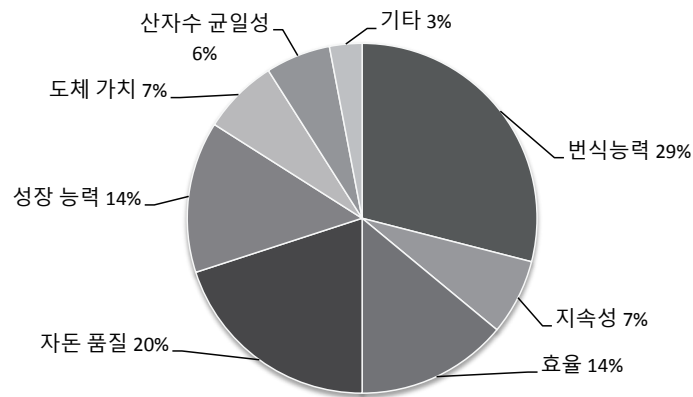
(그림 4) Topigs Norsvin 부계라인 중 하나인 Top Pi 라인의 선발지수 구성



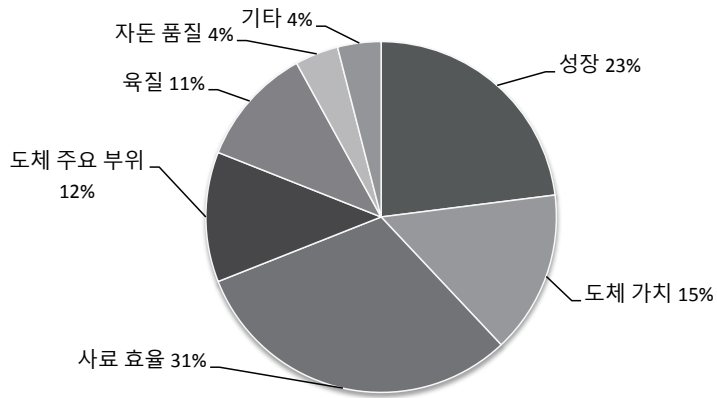
(그림 5) Topigs Norsvin 부계라인 중 하나인 Tempo 라인의 선발지수 구성



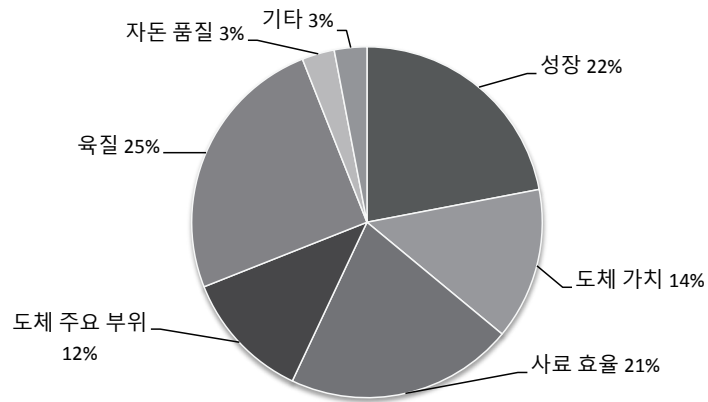
(그림 6) Topigs Norsvin 부계라인 중 하나인 Talent 라인의 선발지수 구성



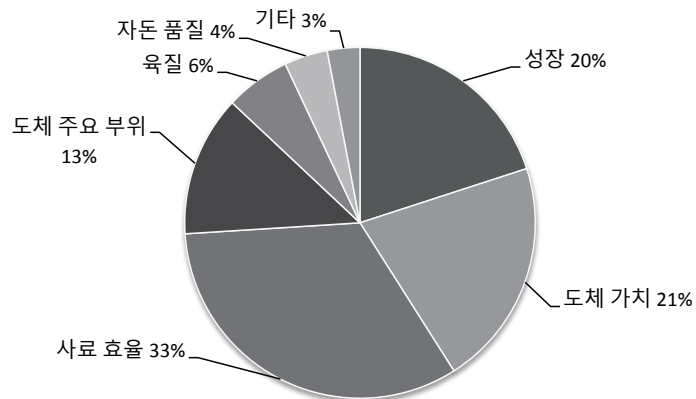
(그림 7) Hypor 모계라인 중 하나인 Libra 라인의 선발지수 구성



(그림 8) Hypor 부계라인 중 하나인 Magnus 라인의 선발지수 구성

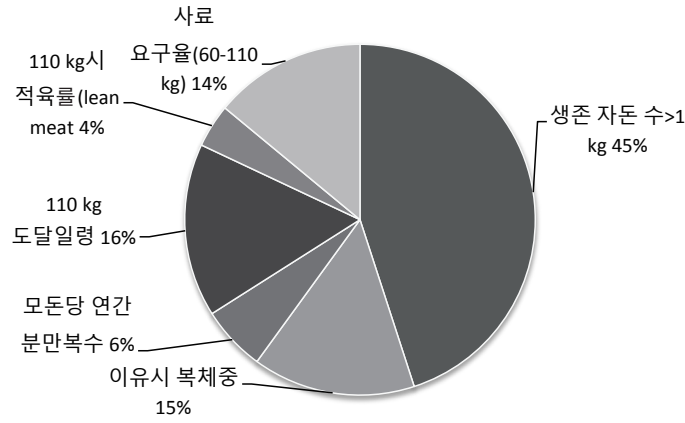


(그림 9) Hypor 부계라인 중 하나인 Kanto 라인의 선발지수 구성

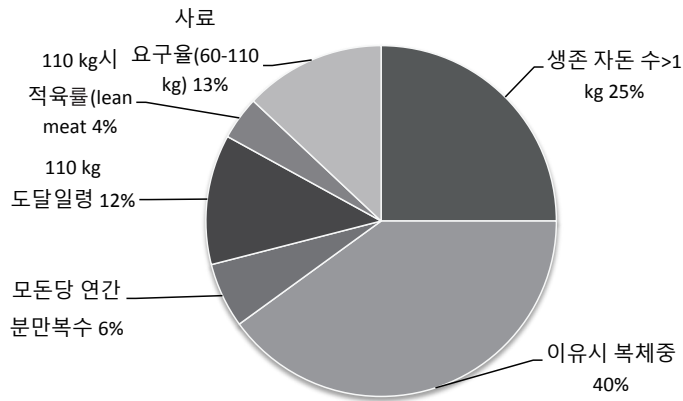


(그림 10) Hypor 부계라인 중 하나인 Maxter 라인의 선발지수 구성

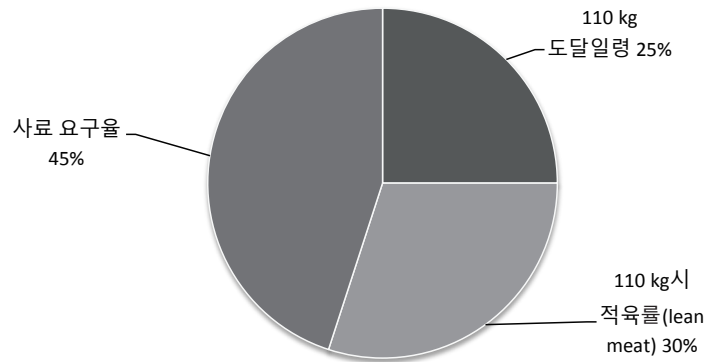




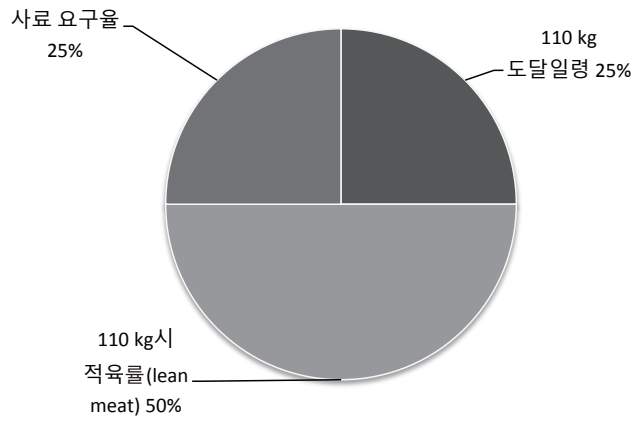
(그림 11) Hermitage Genetics 모계라인 중 산자수를 강조한 선발지수



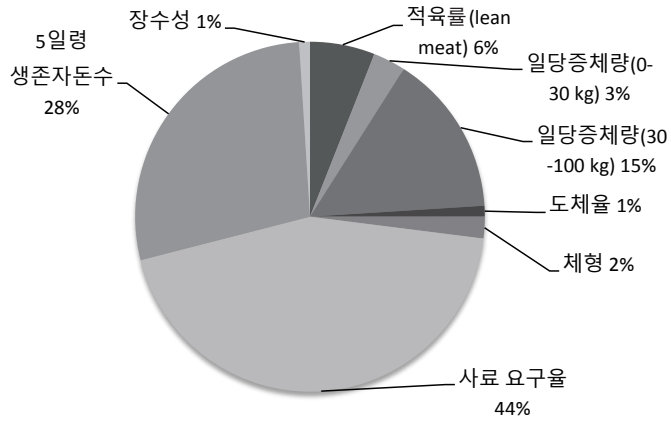
(그림 12) Hermitage Genetics 모계라인 중 복체중을 강조한 선발지수



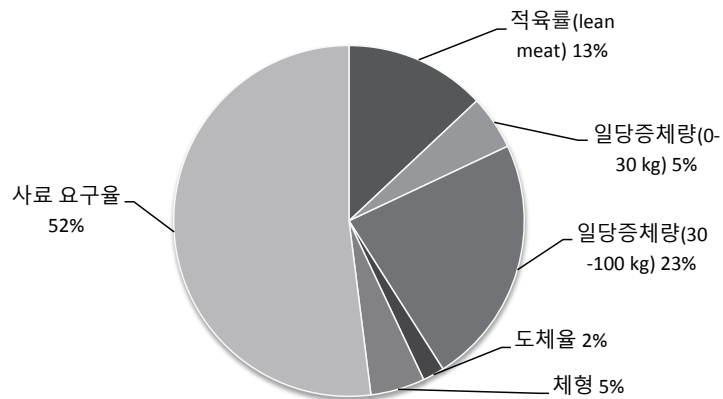
(그림 13) Hermitage Genetics 부계라인 중 사료요구율을 강조한 선발지수



(그림 14) Hermitage Genetics 부계라인 중 정육률을 강조한 선발지수



(그림 15) DanBred International 모계라인의 선발지수 구성



(그림 16) DanBred International 부계라인의 선발지수 구성

그렇다면 육종목표에 포함시킬 형질들은 어떤 기준으로 결정하는 것이 맞을까? Knap(2014)은 목표 형질들을 언제, 어떤 이유로 선택해야 하는지에 따라 6 개 그룹으로 분류하고 있다.

**그룹 1** : 복잡하지 않은 유전적 개량을 추구하면서 일반적으로 오래 전부터 수익 모델의 명백한 부분을 형성하는 형질들. 즉 중도 내지 고도의 유전력을 가지는 고전적인 생산 형질들과 기록이 쉬운 형질들이 여기에 속한다. 이들은 전형적인 저(低) 기술 육종 프로그램에서 진지하게 선발되는 형질들이라고 기술하고 있다. 돼지의 경우, 성장률과 등지방 두께가 이 그룹에 해당된다.

**그룹 2** : 수익 모델에서 그룹 1에 속하는 형질들과 똑같이 중요한 부분을 차지하지만, 개량을 위해서는 전문적인 기술이 필요한 형질들이다. 돼지에서는 BLUP(모수를 추정하기 위한 통계기법)이 필요한 산자수와 같은 유전력이 낮은 생산형질, 또는 사료섭취와 같은 복잡한 데이터 기록을 가지는(장비가 필요한) 형질들이 이 그룹에 속한다고 할 수 있다. 이러한 형질들은 1970년대 후반부터 일부 유럽 국가의 육종 시스템에서 심각하게 고려되었던 목표 형질들인데, 능력검정을 위해 개개의 축사도 필요하고, 전체적으로 정교한 계획이 필요하여 상당한 노력을 필요로 한다고 기술하고 있다. 이 형질들에 대한 실질적인 유전적 개량 역시 적절한 기술이 도입된 10년에서 20년 후에야 달성되었다고 한다. 초창기에는 몇몇 회사들만 시도하였는데, 주목할 만한 유전적 개량을 달성하자 시장에서의 반응이 좋아졌고, 나머지 회사들도 국제 경쟁을 고려하여 따라 해야만 했다고 한다.

**그룹 3** : 그룹 2와 같은 형질들이지만, 적대적 형질이면서 수익성에 영향을 미치는 형질들이 여기에 속한다. 예를 들면, 수익 모델에 포함되면 수익성에 바로 영향을 미치게 되는 치사율 같은 형질들이다. 이 그룹에 속하는 형질은 1990년대 초부터 고려되기 시작했지만, 아주 많은 양의 혈통 기록과 다양한 관리 조건을 필요로 하기 때문에, 실제 생산 환경에서는 적용되기 쉽지 않았다. 앞서 봤듯이 일부 회사는 강건성을 중요하게 여기고 있는데, 일반적으로 생산성과 강건성은 부(否)의 상관관을 보인다. 따

라서 앞으로는 이러한 생산성과 강건성 사이의 관계같이 형질들간의 경제적 가치를 최적화할 수 있는 방법을 찾는 것이 육종의 핵심 요소가 될 것이다.

**그룹 4** : 새로운 정책으로 인해 시장에서 갑작스러운 경제적 가치를 창출하는 수익 모델의 일부를 형성하는 형질(예 : 응취)이 여기에 속한다. 유럽연합은 2018년까지 외과적 거세에 대한 금지 조치를 준비하고 있다. 이러한 형질들은 생산자 수익에 실제 어떤 영향을 미치는지 측정하기 어렵기 때문에, 초기에는 경제적 가치를 산정하기 어렵다고 한다.

**그룹 5** : 그룹 4와 같은 형질들이지만, 수익성에 미치는 영향이 발생하기 전에 미래의 기대에 의해, 그리고 분명히 요구되는 측면에서 채택되는 형질들을 이 그룹으로 분류하고 있다. pH나 근내 지방함량, 지방산 조성 등과 같은 육질 형질들은 실제 육가공 업체로부터 수익이 분배되지 않지만 육종업체들은 그 형질들을 고려하고 있다.

**그룹 6** : 시장에서 가치를 지니기 때문에 유전적 개량이 필요한 오래된 형질들이 여기에 속한다. 생산자 수준에서 수익성에 대한 기여를 정량화하기 어렵기 때문에 적절한 수익 모델을 적용하기 힘든 형질들로, 예를 들면 지제 및 유두수, 근육의 형태 등이 여기에 속한다고 한다.

위에 나열한 6개의 그룹을 살펴보면, 현재 자신이 어떤 육종을 하는지 가늠할 수 있는 좋은 잣대가 될 수 있을 것 같다. 수직 계열화된 기업의 한 부분으로써 작동하는 육종회사는 이러한 분류에 사실상 크게 영향을 받지 않겠지만, 그렇지 않은 경우라면 어떤 형질을 왜, 어떻게 개량할 것인가를 고민해야 할 시점이 아닌가 생각해 본다.

### 3. 기술 동향

양적 유전학(quantitative genetics)을 기반으로 한 육종전략은 지난 40~50년 동안 돼지의 유전적 개량을 주도했다. 1980년대 후반부터 동물 모델(Animal Model)의 도입으로 본격적인 유전적 개량이 시작되었다. 대부분의 종에서 동물 모델이 공통적으로 도입되었지만, 돼지 육종 프로그램에서는 1990년대 초에 분자 유전학 기술의 도입으로 또 다른 새로운 기술의 적용이 가능하게 된다. 돼지스트레스증후군(PSS)을 일으키는 PSE 돈육의 보인자를 확인하기 위한 DNA 검사의 개발로, 대부분의 돼지 집단에서 이 돌연변이를 관리하거나 제거할 수 있게 되었다. 이를 시작으로 후보 유전자와 양적 형질 유전자좌(QTL)를 확인한 많은 다른 연구들이 생산 형질과 관련된 잠재적으로 흥미로운 다른 DNA 마커들을 찾아내었으나, 몇 가지 예를 제외하고 경제적으로 중요한 형질에서 유전적 다양성을 그다지 많이 설명하지 못하여 실제 현장에서 완전히 활용되지는 못했다(Samore와 Fontanesi, 2016).

이러한 문제는 마커 또는 유전자 보조 선발의 향상된 버전으로 간주될 수 있는, 유전체 선발 개념의 도입으로 새로운 전환기를 맞는다. Meuwissen 등(2001)은 유전체 선발을 처음으로 제안하였는데, 유전체를 모두 포함하는 수천 개의 단일 염기 다형성(single nucleotide polymorphism ; SNP)에서의 유전자형에 기초하여, 개체의 유전자(genetic value) 예측을 시도하였다. 이들의 방법은 각 마커의 개별적인 중요성을 고려하지 않고 GEBV(genomic estimated breeding value)를 계산하는 것이다. 즉 이 방법에서는 6만여개의 마커 효과 추정치가 포함되므로, 대부분의 중요하지 않은 효과는 서로 상쇄될 것이라고 가정한다. 따라서 유전체 선발은 유전체에 대한 모든 SNP 대립 유전자의 효과를 합산하여, 각 개체의 육종가(유전체 육종가 또는 GEBV)를 예측한다. 이것은 유전체 차원의 연관성 연구(GWAS)에서 일반적인 관행처럼 유의성 검정을 매우 엄격하게 수행하였던 초기 방법과는 현저한 대조를 이룬다.

Nielsen 등(2010)은 BLUP 평가에 SNP 정보를 더하면, genotyping(譯註: 유전자형이 무엇인지 파악하는 과정)된 개체 및 그렇지 않은 개체 모두에서 육종가 추정치의 신뢰도를 높일 수 있다는 사실을 보여주었다. 이 SNP 마커의 효과는 훈련 자료(training data set), 즉 표현형 자료와 유전체 정보가 모두 있는 집단에서 유전자형

에 대한 표현형의 회귀로써 추정된다. 여기서 구한 추정치들을 가지고 표현형 정보가 없지만 유전체 자료만 있는 개체에 대해 GEBV를 예측한다. 이는 어린 연령에서 경제 동물을 선발하는 것을 가능케 하고, 더불어 세대 간격을 줄이게 되어 유전적 개량량을 빠르게 증가시킬수 있게 된다. 또한 유전체 정보로 인한 선발 정확도의 상승으로 개량량을 더욱 높이게 된다.

유전체 선발의 개념이 처음 정의되었을 때는 필요한 기술과 정보가 충분치 않았지만, 이후 수백만개의 다형성(SNP)이 파악됨과 동시에 비용이 낮아지고, 새로운 통계적 방법이 개발되면서 유전체 선발의 수행 가능성이 한층 높아졌다. 이러한 진보는 2009년 미국에서 젓소 평가를 통해 유전체 선발의 첫번째 실용적이고 광범위한 구현을 이루어냈다(VanRaden 등, 2009). 그 이후로 세계 대부분의 젓소 개량 기관들은 유전체 선발 프로그램에 동참하고 있다. 유전체 선발은 기존의 방법으로는 개량하기 어려운 형질에 대해 많은 정보를 제공한다. 개량하기 어려운 형질이라 함은 대개 측정하기 어렵고, 생애 주기에서 후기에 나타나며, 때로는 한쪽 성별에서만 측정이 가능하고, 심지어 유전력이 낮은 경우를 말한다(Knol 등, 2016). 따라서 유우의 개량에서는 유전력이 낮지만 경제적으로 유의미한 번식능력 개량(예 : 딸소의 임신율)에서 소기의 성과를 거둔 것으로 평가받고 있다(Adriana 등, 2016).

### 1) 돼지 유전체 선발에서 고려되는 형질

돼지에서도 유우에서와 같은 시도가 이루어지고 있다. 돼지 유전체 선발을 위해 고려되는 형질은 능력 또는 번식 형질과 같은 전통적으로 선발된 형질에서부터 웅취, 장수성, 건강 및 질병에 관련된 형질에까지 다양하다. 돼지 육종에서 모계라인의 번식 및 기능 형질은 모계라인의 상업적 경쟁력을 위해 중요하며, 효율적이고 지속 가능한 생산을 보장해야 한다. 그러나 일반적으로 낮은 유전력으로 인해, 이러한 형질들에 대한 유전적 개량은 매우 느리고, 이전에 사용해 왔던 BLUP 예측은 친척 기록에 큰 비중을 두고 있으며, 친척들 간의 유사한 육종가 추정치를 양산하여 근친도 상승에 대한 문제를 야기한다. 반면 유전체 선발은 후보 개체들의 보다 정확한 선발과 근친도의 감소를 어느 정도 방지할 수 있으며, 표현형 기록이 없는 후보 개체들의 정확한 육종가 추정을 가능하게 한다. 이에 따라 등지방 두께 및 도체중, 일당증체량 등

과 같은 생산 형질(Akanno 등, 2014 ; Jiao 등, 2014), 지체 및 건강 형질 등과 같은 장수성에 관한 형질(Boddicker 등, 2014), 육질에 관한 형질(Miar 등, 2014), 총산자수 및 사산, 이유 전 치사율, 자돈 생존율 등과 같은 모체 번식 형질(Lillehammer 등, 2011 ; Tusell 등, 2013) 등에서 유전체 선발에 대한 연구가 발표된 바 있다. 이 후 치사율은 양돈에서 경제적으로 아주 중요한 형질 중 하나이지만, 측정하기 쉽지 않은 형질이다. 낮은 발생률(약 5%)과 낮은 유전력(약 0.05)을 보이면서, 이진으로 표현(0 또는 1)되고, 환경 효과에 많이 좌우된다(Knap, 2014). 따라서 이러한 형질이 유전체 선발에 잘 활용되려면 표현형을 정확하게 수집해야 하고, 그와 더불어 합리적인 통계력(statistical power)을 얻기 위해 매우 많은 자료의 양을 필요로 한다(Knol 등, 2016).

유전적 개량량은 유전적 변이, 선발 강도, 세대 간격, 육종가 추정치의 정확도 등에 좌우된다. 보통 가장 정확한 육종가 추정은 후대 검정에서 비롯된다. 유전체 선발이 도입되기 전에 유우에서는 후대 검정을 통해 높은 정확도를 유지하여 유전적 개량량을 실현한 반면, 돼지에서는 세대 간격이 짧다는 점을 이용하여 유전적 개량의 실현을 추구해 왔다. 그럴 수 밖에 없는 것이 소의 경우는 세대 간격이 상대적으로 길고, 인공수정의 파급력이 돼지보다 훨씬 강하기 때문에, 그와 같은 방법을 통해 수컷의 선발강도를 높일 수 있었던 것이다. 따라서 유전체 선발의 장점 중 하나인 어린 연령에서 육종가 추정의 정확도를 향상시키는 것은, 유우에서 세대 간격을 획기적으로 단축시키는 한 방안이 되지만, 돼지에서는 그것이 그다지 큰 장점이 될 수 없다. 대신 돼지의 경우는 이전과 동일한 선발 연령대에서 정확도가 상당히 높아지는 이점으로 대체된다(Knol 등, 2016).

## 2) 참조 집단(reference population)

유전체 선발을 위해서는 표현형 기록 또는 후대 검정을 통해 높은 정확도의 육종가를 가진 개체들이 genotyping되어 참조 또는 훈련 집단으로 구성되어야 한다. 이를 통해 마커 효과 추정치를 구하고, genotyping된 선발 후보 개체에 적용하여 GEBV를 계산한다. 이 후보 개체들은 중복 계산을 피하기 위해, 참조 집단의 일부로 하지 않으며, 표현형 기록을 가질 필요가 없다. 참조 집단 구성의 핵심은 선발 후보군과의

유전적 관계에 있어야 하고, 이것은 GEBV의 신뢰도와 직접적으로 연결된다(Clark 등, 2012). GEBV의 정확도는 세대에 걸쳐 급속히 감소할 수 있기 때문에, 특히 선발 후보 개체들과 관련해서 세대에 따라 표현형을 지속적으로 수집하여 유전체 선발 예측 모델을 업데이트해야 한다. 따라서 참조 집단은 정기적으로 업데이트되어야 마커 효과 추정치를 다음 세대의 육종 집단과 일치시킬 수 있다. 이러한 이유로 참조 집단과 주요 육종 집단은 동일하지 않다. 따라서 돼지의 경우, 높은 생물학적 보안이 유지되는 핵돈군보다 질병이나 영양, 환경 등 “현장”에 더 가까운 출하용 양돈장에서 참조 집단 그룹을 유지함으로써 그 효과를 극대화할 수 있다(Knol 등, 2016). 또한 마커 효과 추정치를 충분히 신뢰할 수 있는 참조 집단에서 충분한 genotyping을 해야 하고, 적절한 선발강도를 얻을 수 있도록 선발 후보 개체에서도 충분한 genotyping을 진행해야 하는 한편, genotyping 하는 데는 비용이 적지 않게 들기 때문에, 비용 문제를 최적화하기 위한 전략적 시스템도 필요하다.

### 3) 단일단계(single-step) 모델과 다단계(multistep) 모델

유전체 평가를 계산하는 방법은 단일 단계 방법과 다단계 방법으로 분류된다. 단일 단계 방법에서는 실제 기록을 분석하고, 마커 효과와 마커 효과에 포함되지 않는 상가적 유전변이가 추정된다. 축군-연도-계절 또는 성별과 같은 효과도 모델에 포함된다. 단일단계 방법에는 몇 가지 단점이 있다.

- ① 분석 모델에 포함된 방대한 수의 방정식 때문에 광범위한 컴퓨팅이 필요하다.
- ② 대다수의 기록이 있는 동물이 유전자형을 가지고 있지 않다는 문제를 해결해야 한다.
- ③ 방대한 양의 방정식 때문에 솔루션은 반복(iteration)을 통해서만 유도될 수 있으며, 여기에 수렴에 대해 문제가 제기될 수 있다.

다단계 방법에서는 먼저 표현형 자료와 혈통에 기초하여 계산된다. 그 다음 유전자형을 가진 개체의 유전 평가가 유전자 마커의 함수로 분석된다. 다단계 방법의 장점은 정기적인 평가에 변화를 가져오지 않고, genotyping된 어린 개체에 대한 유전체가(genomic value)를 예측하는 것이 간단하다는 것이다. 또한 전체 컴퓨팅 시간은 단일단계 방법보다 훨씬 적게 든다. 단점에는 분산 성분(Guillaume 등, 2008) 또는 선발지수(VanRaden 등, 2009)에서 가중치에 대한 문제, 정보의 손실, 편의(biased)



된 평가(Misztal 등, 2009 ; Aguilar 등, 2010)등이 언급되고 있다. 또한 다형질 평가나 test-day model과 같은 분석 모델로의 확장이 분명치 않다. 따라서 전반적인 추세는 단일단계 모델을 사용하는 방향으로 진행되고 있다. 단일단계 방법이 이론적인 고려 사항에서 우위에 있는 것처럼 보이지만, 실제 데이터에 대한 두 가지 방법 간의 예측 정확도 차이는 미미한 수준이라고 한다(Weller, 2016).

#### 4) 경제적 측면

육종가 추정의 정확도를 높이기 위해서 유전체 선발이라는 도구가 도입되고 있지만, 비용에 대한 문제는 여전히 의문점으로 남아 있다. 유전체 선발을 하더라도 여전히 표현형 수집에는 비용이 들고, 무엇보다도 genotyping 하는데 비용이 들기 때문에 유전체 선발을 구현하는데 드는 비용 정도는 회수할 수 있을 만큼 정확도가 향상되어야 하는 것은 기업의 입장에서는 당연한 이치다. Genotyping의 비용은 1990년부터 10,000배 이상 감소했고 여전히 감소하고 있지만, 유전체 선발에서 요구되는 자료의 수는 그만큼 증가하고 있다. 따라서 이러한 접근 방식은 여전히 상당한 비용이 발생할 수 밖에 없는 구조이다. 이러한 문제는 Habier 등(2009)에 의해 제안된 imputation 방법, 즉 저밀도 칩에서 얻어진 유전자형을 고밀도 칩에서의 유전자형으로 확대하는 방법을 통해 해결될 수 있다. 초기 집단은 집단의 일배체형(haplotype)을 결정하기 위해 필요한데, imputation을 통해 저밀도 칩으로부터 유전자형을 추론할 수 있기 때문이다. Imputation이 사용되면 선발 후보 개체들은 저밀도 칩을 사용하여 genotyping 되고, 그 이후 선발된 개체들은 고밀도 칩으로 다시 genotyping된다. 비용 절감을 위해서 육종회사는 수컷만 genotyping 하는 것으로 방향을 정할 수도 있다. 이 방법으로 비용을 절감할 수 있지만, 한쪽 성(性)에만 제한되어 있는 형질이나, 표현형 자료가 정기적으로 수집되지 않는 형질의 경우, GEBV의 정확도가 감소될 수 있다고 한다.

Abell 등(2014)은 시뮬레이션을 통해 유전체 선발에 필요한 비용을 살펴본 바 있다. 이들은 저밀도 SNP 칩을 사용하는 것이 genotyping 비용을 줄이는 효과적인 방법이 될 수 있다고 말한다. 시뮬레이션에서 가정한 조건이 모두에 적용될 수는 없고, 유전체 선발에 투자한 육종회사가 수익을 어떤식으로 달성하는지에 따라 계산이 달

라지겠지만, 이들의 결과에 의하면, 출하단계의 이유자돈을 기준으로 로열티를 받는 것으로 가정했을 때, 연간 비용은 모계라인 및 터미널 라인의 정액 팩당 \$3.68(약 4000원) 및 \$0.18(약 200원)의 비용이 발생한다고 한다. 이유자돈 당으로 계산했을 때는 모계라인에서 \$0.083(약 90원), 터미널 라인에서 \$0.047(약 50원)의 비용을 산정하였다. 각 회사마다 다양한 전략이 있겠지만, 계열화된 생산자는 출하부분에서 개량된 생산효율로부터 이익을 얻거나, 소비자에 대한 소매가격을 올림으로써 유전체 선발 비용을 만회할 수 있을 것으로 기술하고 있다. 반면 육종회사는 시장 점유율을 높이거나, 자신들의 유전자원에 프리미엄을 더 붙여서 유전체 선발의 비용을 회수해야 할 것이다. 한가지 더 생각해야 할 사항은 위에서 계산된 비용은 모두 예상된 유전적 개량량을 바탕으로 산정된 것이라는 문제이다. 출하단계에서의 환경요인은 유전체 선발 시의 생산환경과 다르기 때문에, 실제로 실현되는 유전적 개량량은 예상보다 작아질 수 있다. 따라서 이러한 경우 선발 시의 생산환경, 즉 핵돈군 수준에서 더 많은 유전적 개량이 요구될 수 있다. 반면 이들은 유전체 선발로 인한 마케팅 가치에 대한 요인도 언급하면서, 투자금을 회수하기 위한 최소한의 유전적 개량이 꼭 그만큼 되지 않을 수도 있다고 기술하고 있다.

전체적으로 볼 때 표현형에 따라 자료를 수집하는데 필요한 인프라와 관련된 비용이 상당히 높게 발생할 수 있기 때문에, 유전체 선발이 육종가의 정확도를 높이는 것은 사실이지만, 드는 비용을 상쇄할 수 있을만큼의 유전적 개량량의 증가도 필수적이므로 회사 운영진의 현명한 판단이 필요할 것으로 보인다.

##### 5) 고려해야 할 측면

유우에서의 성공 사례는 홀스타인 종인데, 모두 순종으로 쓰이며, 혈통적인 면에서 밀접하게 관련된 소들이 전 세계에 엄청난 수로 존재한다. 이들 모두가 잠재적으로 표현형을 참조 집단에 기여할 수 있고, 또한 여러 국가와 기관이 협력하여 16,000두 이상의 숫소를 참조 집단으로 확보해 놓아 유전체 선발의 적용을 최적화시키고 있다. 하지만 돼지 육종의 경우는 각 육종회사와 순종협회들이 별도로 조직 운영되기 때문에 표현형 가용성은 매우 단편적이다. 전형적인 대형 순종 돼지 집단은 약 2,000두의 모돈을 가지고, 1년에 약 50두의 옹돈을 선발하며, 대략 평균 40두의

딸을 생산한다. 홀스타인 종에서 유전체 선발 초기에 설정했던 1,500두의 보증 종모우에서 각각 100두가 넘는 딸의 표현형이 있었던 상태와 비교하면 30년의 누적 자료가 필요한 것이다.

돼지에서 또 다른 문제로 제기되는 것 중 하나는, 소와 다르게 출하 시 사용되는 품종이 대부분 교잡종이어서, 순종이 대부분 포함되어 있는 핵돈군에서 일어나는 유전체 선발이 실제 생산환경에서는 그 결과를 장담할 수 없다는 것이다. 더욱이 질병 저항성과 같은 중요한 형질은 핵돈군에서 측정할 수 없는 것이 일반적이다. 유전체 모델을 사용하면 표현형 자료와 유전자형 자료를 모두 가진 교잡종 개체에 대해 마커 효과를 추정하여 유전체 정보가 있는 순종라인을 평가할 수 있기는 하다. 하지만 잡종강세는 교잡종 돼지 생산에서 많은 형질에 중요한 역할을 하기 때문에 GEBV가 교잡종 능력 자료에 기초하게 된다면 통계 모델 내에 잡종 강세를 설명할 수 있는 비상가적 유전 효과를 포함해야 GEBV의 신뢰도를 높이고 편의(bias)를 줄일 수 있다. GEBV 예측에서 비상가적 효과를 설명하는 것은 이론적으로나 계산상으로 복잡할 수 있으며, 추가 연구를 통해 이러한 유전적 구성 요소를 분석하여, 이로부터 이점을 취할 필요가 있다(Su 등, 2012 ; Zeng 등, 2013 ; Boysen 등, 2013). 유전체 선발의 도입에 대한 전망은 일반적으로 유전력이 낮은 형질 또는 집단 일부에서만 기록되는 형질, 즉 암컷에서만 기록되는 산자수나 건강 형질에 대해서 이점이 클 것으로 보인다. 대조적으로 중도에서 고도의 유전력을 지닌 능력 형질이나 돼지 검정 프로그램의 일부를 사용하여 기록된 형질에 대해서는 이점이 크지 않을 것으로 생각된다 (Samore 와 Fontanesi, 2016).

#### 4. 기타 동향

육종가의 중요한 역할 중 하나는 끊임없이 경제적으로 중요한 새로운 형질을 발굴하는 것이다. 경제적으로 중요한 새로운 형질을 육종에 사용하기 위한 시도는 인류의 경제동물 생산의 역사 이래 꾸준히 이어지고 있다. 이미 수차례 보고된 바 있지만, 공격성에 대한 육종 시도가 꾸준히 진행되고 있다. 지난 2016년 12월에 열린 NSIF(National Swine Improvement Federation ; 譯註 : 미국에서 열리는 돼지

육종학회)에서도 돼지 행동 연구에 대한 보고가 많이 있어 새로운 연구 방향의 하나로 여겨지고 있다. 그룹 사육(group housing)은 여러 단계에서 이뤄질 수 있는데, 이 유후나 육성·비육단계에서도 이뤄질 수 있다. 문제는 그룹화된 후 첫 3일 동안은 싸움이 심하게 발생하여 신체에 상해를 입거나 그로 인한 질병 또는 사료섭취의 저하로 이어지게 된다고 한다(Siegford, 2016).

다시 말해 이러한 싸움이 면역계를 억압하고 질병 발생의 가능성을 증가시키며, 사료섭취량을 낮추기 때문에 공격성에 주의해야 한다고 한다. 육성돈과 비육돈을 따로 사육했을 때, 같이 사육했을 때보다 육성돈은 일일 사료섭취량이 15% 이상 증가했으며, 비육돈은 적어도 10% 이상 증가했다고 한다. 분만전 스트레스도 공격성의 전초가 된다. 임신돈이 같이 있으면 싸움을 통해 종속과 지배 관계의 서열화를 진행한다. 스트레스를 겪은 어미로부터 생산된 자돈은 더 공격적인 행동을 보이고, 통증에 대한 반응도 과민한 것으로 관측되었다고 한다. 이유후 성장률도 모돈을 같이 키운 그룹의 자돈에서 더 낮았다고 한다. 이렇게 생산된 자돈이 미경산돈으로 교체되면 또 다시 어미로서의 역할을 제대로 하지 못하여 자신의 자돈에게 더 공격적이 되기 때문에 생존율도 낮아진다고 한다(Turner, 2016). 미시건대학 연구팀은 돼지 신체에 발생한 상처를 바탕으로 주관적인 점수를 계산해 GBLUP 모델에 적용한 바 있다. 대상은 1079두의 요크셔 순종이었고, 절반은 미경산돈, 절반은 거세돈이었다. 혈액을 채취해 70K SNP 칩을 이용하여 분석한 결과, 혼합 후 첫 24시간 동안의 유전력은 0.17에서 0.42였고, 3주 동안의 유전력은 0.05에서 0.27이었다고 한다(Siegford, 2016).

때로 공격성은 육종을 할 수 없거나 하기 힘든 형질일 것이라고 생각하기 쉬우나, 그와 정반대 성격의 형질인 온순함 또는 순종성, 길들이기 쉬움의 정도 등으로 육종에 성공한 사례가 있다. 러시아의 한 연구팀은 여우를 50여년간 위와 같은 형질을 기준으로 선발 실험을 진행한 바, 여우에서 개와 같이 꼬리를 치며, 사람에게 순종적으로 변하는 모습을 볼 수 있었다고 한다(Trut, 1999). 연구팀은 공격성이 어떤 면에서 지적으로 뛰어난, 즉 영리함을 반영하는 것이라고 연결짓기도 했다. 이것은 인류가 반려동물로 손꼽는 개가 어떻게 회색 늑대종(種)로부터 유래되었는지 설명하는 한 단서가 되었다. 따라서 돼지의 공격성도 거시적인 측면에서 보았을 때 분명히 육종이가

능할 것이지만 그것이 생산형질과 또 어떻게 어떠한 형태로 상관을 보일지는 또 다른 연구의 대상일 것이다.

돼지에서 또 다른 육종 시도는 장내 미생물과 성장의 관계를 알아보려는 것이다. 미네소타대학 연구팀은 가축의 여러 품종에서 장내 미생물을 측정하여 다른 품종 간에 미생물 조성이 다르다는 것을 발견하였다. 또 최근의 한 연구에서는 사료효율이 좋은 암소와 그렇지 않은 암소의 미생물 조성이 다르다는 것을 보고한 바 있다. 흔히 언급되고 있는 장내 좋은 박테리아와 나쁜 박테리아의 비율이 성장에 어떤 영향을 미치는지 알아낸다면, 이는 돼지의 건강 증진과 질병 예방을 동시에 추구할 수 있을 뿐 아니라 돼지 육종의 주된 목적인 성장률 극대화과 사료효율 증진에 직결되는 해결책이 될 수 있을 것이라고 한다(Maltecca, 2016).

## 참고문헌

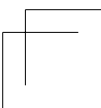
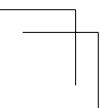
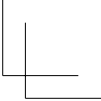
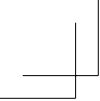
- Abell, C. E., J. C. M. Dekkers, M. F. Rothschild, J. W. Mabry, and K. J. Stalder. 2014. Total cost estimation for implementing genome-enabled selection in a multi-level swine production system. *Genetics Selection Evolution* 46:32-39
- Adriana, G.-R., J. B. Cole, P. M. VanRaden, G. R. Wiggans, F. J. Ruiz-López, and C. P. Van Tassell. 2016. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113(28):E3995-E4004.
- Aguilar, I., I. Mistzal, D. L. Johnson, A. Legarra, S. Tsuruta, and T. J. Lawlor. 2010. Hot topic: a unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score. *J. Dairy Sci.* 93:743-752.
- Akanno, E. C., F. S. Schenkel, M. Sargolzaei, R. M. Friendship, and J. A. Robinson. 2014. Persistency of accuracy of genomic breeding values for different simulated pig breeding programs in developing countries. *J. Anim. Breed. Genet.* 131:367-378.
- Boddicker, N. J., A. Bjorkquist, R. R. Rowland, J. K. Lunney, J. Reecy, and J. C. M. Dekkers. 2014. Genome-wide association and genomic prediction for host response to porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection. *Genet. Sel. Evol.* 46:18.
- Boysen, T. J., C. Heuer, J. Tetens, F. Reinhard, and G. Thaller. 2013. Novel use of derived genotype probabilities to discover significant dominance effects for milk production traits in dairy cattle. *Genetics.* 193:431-442.

- Clark, S. A., J. M. Hickey, H. D. Daetwyler, and J. H. J. van der Werf. 2012. The importance of information on relatives for the prediction of genomic breeding values and the implications for the makeup of reference data sets in livestock breeding schemes. *Gen. Sel. Evol.* 44(1):4.
- Guillaume, F., S. Fritz, D. Boichard, and T. Druet. 2008. Estimation by simulation of the efficiency of the French marker-assisted selection program in dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 40:91 – 102.
- Habier, D., R. L. Fernando, and J. C. M. Dekkers. 2009. Genomic selection using low-density marker panels. *Genetics.* 182:343 – 353.
- Jiao, S., K. Maltecca, and J. P. Cassady. 2014. Feed intake, average daily gain, feed efficiency, and real-time ultrasound traits in Duroc pigs: II. Genome-wide association. *J. Anim. Sci.* 92:2846 – 2860.
- Knap, P.W. 2014. Pig breeding goals in competitive markets. In: *Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production.*
- Knol, E. F., B. Nielsen, and P. W. Knap. 2016. Genomic selection in commercial pig breeding. *Animal Frontiers* 6(1):15–22.
- Lillehammer, M., T. H. E. Meuwissen, and A. K. Sonesson. 2011. Genomic selection for maternal traits in pigs. *J Anim Sci.* 89:3908 – 3916.
- Maltecca, C. 2016. From host to guest and back: re-defining growth efficiency accounting for the interaction between host genome and commensal gut bacteria. National Swine Improvement Federation conference.
- Meuwissen, T. H. E., B. J. Hayes and M. E. Goddard. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics.* 157:1819 – 1929.
- Meuwissen, T., B. Hayes and M. Goddard. 2016. Genomic selection: A paradigm shift in animal breeding. *Animal Frontiers.* 6(1):6–14.
- Miar, Y., G. S. Plastow, H. L. Bruce, R. A. Kemp, P. Charagu, C. Y. Zhang, A. E. Huisman, and Z. Wang. 2014. Genomic selection of pork pH in purebred pigs for crossbred performance. *Proceedings of the 10th World Congress Genet. Appl. Livest. Prod.*
- Misztal, I., A. Legarra, I. Aguilar. 2009. Computing procedures for genetic evaluation including phenotypic, full pedigree, and genomic information. *J. Dairy Sci.* 92:4648 – 4655.
- Nielsen, B., T. Ostensen, G. Su, O. F. Christensen, M. Henryon. 2010. Use of genomic SNP information in pig breeding. *Proceedings of the 9th World Congress Genet. Appl. Livest. Prod.*
- Samore, A. B. and L. Fontanesi. 2016. Genomic selection in pigs: state of the art and perspectives. *Italian J. Anim. Sci.* 15(2):211 – 232.
- Siegford, J. 2016. Relating Behavioral Phenotypes to Genotypes to Improve Genetic Selection in Pigs. National Swine Improvement Federation conference.
- Su G, Christensen OF, Ostensen T, Henryon M, Lund MS. 2012. Estimating additive and

- non-additive genetic variances and predicting genetic merits using genome-wide dense single nucleotide polymorphism markers. *PLoS One*. 7(9):e45293.
- Trut, L. N. 1999. Early candid domestication: the farm-fox experiment. *American Scientist* 87:160-169.
- Turner, S. 2016. The heritability of aggression in pigs and implications for welfare and breeding. National Swine Improvement Federation conference.
- Tusell, L., P. Perez-Rodriguez, S. Forni, X. L. Wu, and D. Gianola. 2013. Genome-enabled methods for predicting litter size in pigs: a comparison. *Animal*. 7:1739-1749.
- VanRaden, P. M., C. P. Van Tassel, G. W. Wiggans, T. S. Sonstegard, R. D. Schnabel, J. F. Taylor, F. Schenkel. 2009. Invited review: reliability of genomic predictions for North American Holstein bulls. *J Dairy Sci*. 92:16-24.
- Weller, J. I. 2016. *Genomic Selection in Animals*. Wiley Blackwell.
- Zeng, J., A. Toosi, R. L. Fernando, J. C. M. Dekkers, and D. J. Garrick. 2013. Genomic selection of purebred animals for crossbred performance in the presence of dominant gene action. *Genet. Sel. Evol.* 45:11.

## 참고 웹사이트

- [http://na.picgenus.com/sites/genuspic\\_com/Uploads/Resources/Brochures/Sire%20Line%20Brochure\\_ENG.pdf](http://na.picgenus.com/sites/genuspic_com/Uploads/Resources/Brochures/Sire%20Line%20Brochure_ENG.pdf)
- <http://topignorsvin.com/tn70/#>
- <http://topignorsvin.com/wp-content/uploads/2016/06/WeMag2016geneticprogress-2.pdf>
- <http://www.hypor.com/en/pig-genetics/download-product-information/>
- <http://www.hermitagegenetics.ie/wp-content/themes/hermitage/images/pdf/HermIntMag15F.pdf>
- <http://www.danbredint.dk/breeding-goal>





한돈업계 현안도출을 위한 양돈산업 최신 연구동향

질병 · 방역

# 돼지 호흡기 질병의 특징 및 국내외 연구동향

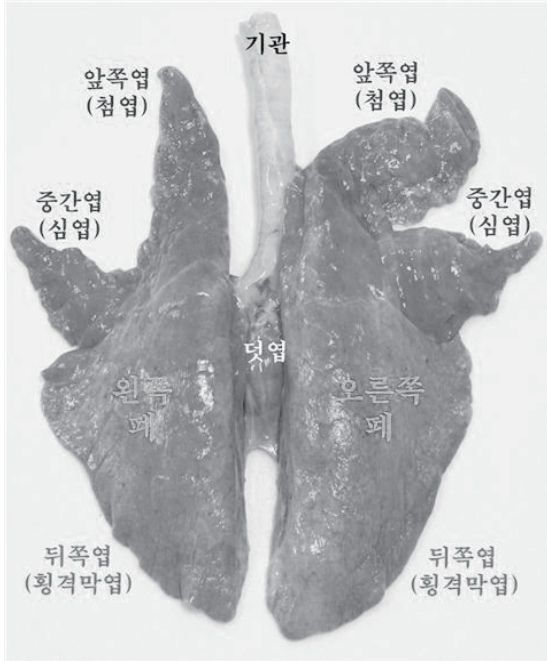


김재훈 교수  
제주대학교 수의과대학

국내 양돈산업은 육류 소비량의 증가 추세와 더불어 매년 사육두수가 증가해 왔으며, 우리나라 농업에서 가장 중요한 산업 중 하나로 자리매김 하고 있다. 2017년 1/4 분기 가축전염병 중앙예찰협의회 자료에 따르면, 2016년 12월 돼지 사육두수는 1,036만 7천두로 전년 동기 대비 18만 두(1.8%) 증가하였다. 이는 모돈두수 증가에 의한 생산성 증가 등이 주요 원인으로 분석되고 있다. 하지만 2016년 12월 양돈 가구수는 4,574호로 2013년 12월 5,636호에 비해 매년 지속적으로 감소하고 있다. 이러한 경향은 우리나라뿐 아니라 미국이나 중국 등 양돈 규모가 큰 국가에서도 공통적으로 나타나고 있으며, 농장 당 사육두수가 증가함으로써 보다 대형화되고 전문화된 농장 중심의 산업 구조로 발전하고 있다. 이러한 돼지 사육 시스템의 발전은 한정된 공간에 다수의 돼지를 집약적으로 생산·관리함으로써 경제적 이익을 극대화시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 사육밀도 증가에 따른 여러 문제점도 안고 있다. 이러한 사육밀도의 증가로 인한 대표적인 문제점 중 하나는 돈군 내 질병의 전파가 더욱 쉽고 광범위하게 이루어질 수 있다는 것이다. 특히 돈군 간 공기를 통해 전파가 가능한 호흡기 질병은 국경을 초월하여 양돈 생산성 저하의 주요 요인 중 하나로 크게 문제시 되고 있다.

## 1. 돼지 호흡기 계통의 특징 및 방어기전

호흡은 외부에서 유입된 공기로부터 산소를 받아들이고 체내에서 생성된 이산화탄소를 배출하는 과정을 말한다. 호흡기 계통은 비강, 비인두, 후두, 기관, 폐장(기관지, 세기관지, 폐포) 등으로 구성되어 있다. 이 중에서 폐는 직접적으로 호흡이 이루어지는 중추기관으로 돼지에서 호흡기 질병은 주로 폐에서 발생한 다양한 질병 상태를 의미한다. 해부학적으로 돼지 폐는 사람과 달리 총 7개의 엽으로 구분되며, 좌우 각각 앞쪽엽(첨엽), 중간엽(심엽), 뒤쪽엽(횡격막엽)으로 구분되고 한 개의 덧엽이 있다(그림 1). 부검과정에서 관찰되는 폐렴 소견은 원인체에 따라 폐엽별로 병변의 분포가 다르게 관찰될 수 있으며, 이러한 차이는 폐렴의 원인 감별에 도움이 된다. 또한 각 폐엽은 소엽사이결합조직이라는 구조물에 의해 보다 작은 단위인 소엽(lobule)으로 구분된다. *Pasteurella (P) multocida* 등에 의한 세균성 기관지폐렴 사례를 부검해 보면, 앞쪽엽과 중간엽을 중심으로 소엽 단위의 병변을 확인할 수 있다. 소엽의 구



(그림 1) 돼지 폐의 해부학적 구분

조직 특성상, 이러한 소엽 단위의 병변은 주변 정상조직과의 경계가 비교적 뚜렷하게 나타나는 특징이 있다.

호흡기 계통은 외부의 공기가 출입하는 기관이므로 고도로 특수화된 방어체계를 갖추고 있다(표 1). 이러한 방어체계를 통해 미생물을 비롯한 외부로부터 유입되는 다양한 물질들의 침입을 방지할 수 있다. 외부로부터 유입된 공기는 기도에 존재하는 다양한 방어기전에 의해 정화되어 폐에 도달하게 된다. 우선 비강의 모세혈관망은 차가운 공기를 따뜻하게 하고 점액층은 건조한 공기를 습윤하게

변화시키는 기능이 있다. 또한 점액은 점액섬모청소기전(mucociliary clearance mechanism)이라는 전문화된 방어기전을 통해 들어온 입자를 잡아내어 외부로 배출하는 기능도 수행한다. 돼지 위축성비염이 발병한 돼지의 경우, 이러한 비강의 점액섬모청소기전이 파괴되어 다양한 호흡기 병원체의 중복 감염이 더욱 쉬워질 수 있다. 점액섬모청소기능에 의해 제거되지 못하고 폐에 도달한 작은 입자들은 폐에 존재하는 폐포큰포식세포(alveolar macrophage)에 의해 제거된다. 병원성 미생물은 탐식작용과 더불어 다양한 화학물질과 항체 등에 의해 중화된다. 만일 침입한 병원체가 큰포식세포의 작용으로 중화되지 못하면 탐식과 관련된 일련의 세포들이 활성화되어 폐에 심한 염증반응이 발생하거나 정상적인 폐 조직의 손상이 초래된다. 이처럼 호흡기 질병과 관련된 다양한 병원체들은 돼지가 가지고 있는 방어기전을 직접 무력화시킬 수 있으며, 돼지의 방어능력이 저하된 틈을 이용해 감염됨으로써 질병을 야기하고 다양한 호흡기 증상을 나타내게 된다. 돈사 내에서 발생하는 과도한 먼지 및 유해가스 또한 호흡기 방어기전에 악영향을 미치게 되어 질병에 대한 감수성을 증가시킬 수 있으므로 돈사의 환경관리는 호흡기 질병 예방에 매우 중요한 요소이다.

(표 1) 호흡기계통의 방어기전(VanAlstine, 2012)

구분	주요 방어기전
물리/화학적 방어기전 (physical/chemical)	① 콧털 ② 기침 ③ 비갑개(nasal turbinate) ④ 섬모상피세포(ciliated epithelium) ⑤ 점액(mucus)
체액성 방어기전 (humoral)	① 점액 내 함유성분 및 면역반응 조절인자 예) 림포카인(lymphokines), 사이토카인(cytokines)
세포성 방어기전 (cellular)	① 폐포큰포식세포(alveolar macrophage) ② 혈관내 큰포식세포(intravascular macrophage) ③ 단핵구(monocyte) ④ 호중구(neutrophil) / ⑤ 호산구(eosinophil) ⑥ 형질세포(plasma cell) / ⑦ T 림프구(T lymphocyte)

## 2. 돼지 호흡기 질병의 주요 원인

비강부터 후두에 이르는 상부 호흡기 계통에서는 정상적으로 다양한 미생물이 존재하고 있다. *Mycoplasma (M) hyorhinis* 및 글래서씨병의 원인체인 *Haemophilus (H) parasuis* 등과 같은 세균은 건강한 돼지에서도 상재하는 대표적인 정상 세균총 중 하나이다. 이처럼 건강한 돼지에서 자연적으로 서식하는 미생물 중에는 잠재적인 병원성을 가진 미생물도 포함되어 있다. 그러므로 돼지가 정상적인 면역상태를 유지하고 있으면 문제가 되지 않지만, 호흡기 방어기전이 저하되면 과잉으로 증식하여 2차 감염 병원체로 작용할 수 있다. 대표적으로 *M. hyorhinis*, *Streptococcus (S) suis*, *Staphylococci*, *P. multocida*, *Trueperella pyogenes*, *Actinobacillus (A) suis*, *Bordetella (B) bronchiseptica*, *H. parasuis*와 같은 세균들이 이에 해당된다.

양돈 농장에서 주로 문제시 되는 호흡기 질병은 병원체에 의한 감염성 질병으로 크게 바이러스성 및 세균성 질병으로 구분되며, 최근에는 사양방식의 개선으로 발병이 급격하게 감소한 일부 기생충성 질병도 포함되어 있다(표 2). 일반적인 농장의 돼지 호흡기 감염의 진행양상은 1차로 바이러스 감염이 진행되어 돼지의 전반적인 면역력이 저하되면 폐에 2차 호흡기 세균의 감염이 진행된다.

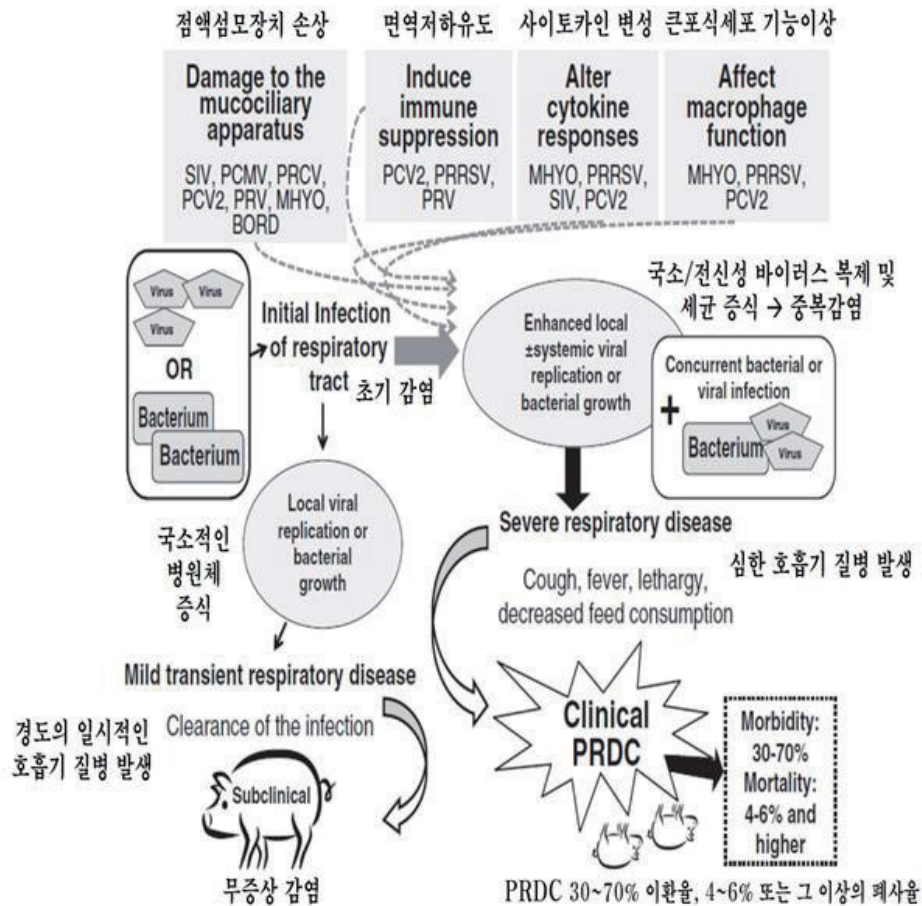
(표 2) 돼지의 주요 호흡기계 감염 병원체

구분	병원체
바이러스	① 돼지생식기호흡기증후군바이러스 (porcine reproductive and respiratory syndrome virus, PRRSV) ② 돼지싸코바이러스 2형(porcine circovirus type 2, PCV2) ③ 돼지인플루엔자바이러스(swine influenza virus, SIV) ④ 돼지호흡기코로나바이러스(porcine respiratory coronavirus) ⑤ 돼지열병바이러스(classical swine fever virus) ⑥ 오제스키병바이러스(Aujeszky's disease virus) ⑦ 돼지사이토메갈로바이러스(porcine cytomegalo virus) ⑧ 아프리카돼지열병바이러스(African swine fever virus)
세균	① 스트렙토코커스 수이스 2형( <i>S. suis</i> type 2) ② 파스튜렐라 멀토시다( <i>P. multocida</i> ) ③ 액티노바실러스 플루로뉴모니아( <i>A. pleuropneumoniae</i> ) ④ 액티노바실러스 수이스( <i>A. suis</i> ) ⑤ 보데텔라 브론키셉티카( <i>B. bronchiseptica</i> ) ⑥ 마이코플라즈마 하이오뉴모니아( <i>M. hyopneumoniae</i> ) ⑦ 마이코플라즈마 하이오라이니스( <i>M. hyorhinis</i> ) ⑧ 헤모필러스 파라수이스( <i>H. parasuis</i> )
기생충	① 톡소플라즈마 곤디( <i>Toxoplasma gondii</i> ) ② 돼지폐충( <i>Metastrongylus elongatus</i> ) ③ 돼지회충( <i>Ascaris suum</i> )

### 3. 국내 호흡기 질병 발생 양상에 대한 연구

국내 호흡기 질병의 특징은 다양한 병원체가 복합적으로 감염되어 치료 및 증상의 개선이 어렵고 출하에 이르기까지 만성적인 질병으로 진행되는 돼지호흡기질병 복합체(porcine respiratory disease complex, PRDC)가 널리 퍼져 있다는 점이다. PRDC는 (그림 2)와 같이 다양한 병원체의 상호작용에 의하여 정상적인 호흡기 방어 기전이 저해됨으로써 발생한다. 이러한 중복 감염에서 이루어지는 호흡기 병원체 사이의 상호작용은 감염을 더욱 쉽게 유도하고 유발된 병변을 더욱 심화시킴으로써 단독 감염에 비해 보다 심한 임상적 경과를 나타내게 된다(Opriessnig 등, 2011). 예를 들어 *M. hyopneumoniae*는 단독으로 감염되면 비교적 경미한 임상증상과 폐 병변을

유발하지만, *P. multocida* 등과 같은 호흡기 세균과 중복으로 감염되면 보다 심한 임상증상을 야기할 수 있다. 또한 PCV2 감염은 PRRSV에 의한 간질성폐렴을 더욱 심화시킬 수 있음이 실험을 통해 증명되기도 하였다(Opriessnig 등, 2011).



(그림 2) 호흡기 계통의 바이러스 및 세균 감염에 의한 PRDC 발생 (Opriessnig 등, 2011)

국내의 PRDC와 관련한 연구에서 Lee 및 Song(2014)은 2005년부터 2006년까지 전국 16개 시도에서 PRDC로 진단된 461개 검체를 분석한 결과, 75.5%가 2종 이상의 혼합 감염이었다. PRDC 발생상황을 주령별로 분석하여 보면, PRDC를 정의할 때의 기준이 되는 연령대인 10주~20주령 구간은 18.7%였으며, 이보다 앞선 3주~10주령 미만 구간은 73.4%로 나타나 가장 높은 빈도로 보고하였다. 혼합감염 양상은 2

중 또는 3종의 혼합감염이 62.4%로 가장 많았으며, 2종 혼합감염은 PRRSV/PCV2가 44.6%, 3종 혼합감염은 PRRSV/PCV2/*H. parasuis*가 34.8% 가장 높았다(Lee 및 Song, 2014).

도축돈을 대상으로 PRDC 감염상을 조사한 보고를 살펴보면 다음과 같다. 경남 북부 12개 농가 120두의 도축돈에서 PRRSV, PCV2, SIV, *M. hyopneumoniae* 및 *A. pleuropneumoniae*의 감염정도를 조사한 결과, PCV2(100두, 83.3%), PRRSV(90두, 75.0%), MH(80두, 66.7%), SIV(50두, 41.7%) 순으로 확인되었으며, *A. pleuropneumoniae*는 검출되지 않았다. 혼합감염은 PRRSV/PCV2/*M. hyopneumoniae*/SIV가 41.7%로 가장 높고, 그 다음으로 PCV2/*M. hyopneumoniae*가 16.7%로 확인되었다(김 등, 2011). 전북 남원지역 도축장에 출하된 200두의 돼지를 대상으로 PRRSV, PCV2, SIV, *M. hyopneumoniae*, *A. pleuropneumoniae* 및 *P. multocida*에 대한 항원검사서 바이러스는 PCV2가 153두(76.5%)로 가장 많이 검출되었으며, SIV(12두, 6.0%), PRRSV(10두, 5.0%) 순으로 확인되었다. 세균은 *M. hyopneumoniae*가 18두(9.0%)로 가장 높았으며, *P. multocida*(12두, 6.0%), *A. pleuropneumoniae*(9두, 4.5%) 순으로 확인되었다(강 등, 2013). 또한 230개의 혈청을 대상으로 호흡기 질병 8종에 대한 혈청 항체가를 측정된 결과, 위축성비염을 제외한 PRRSV, PCV2, *M. hyopneumoniae*, *A. pleuropneumoniae* 2형 및 5형, *H. parasuis*, *P. multocida*는 항체형성률이 93.0% 이상으로 높게 확인되었다(강 등, 2013).

최근 돈군 모니터링에 대한 관심이 증가하고 있는 가운데 검체 채취 과정에서 돼지에게 스트레스를 적게 주면서 비교적 검체 채취가 쉬운 구강액에 대한 검사가 주목을 받고 있다. 최근 Cheong 등(2016)은 3주령부터 26주령까지의 자돈 총 214두에서 채취한 구강액을 이용하여 PRDC와 연관된 호흡기 8종 병원체에 대한 중합효소연쇄반응(PCR)을 수행하였다(표 3). 또한 자돈의 연령대별로 3~7주령, 8~12주령, 13~16주령 및 17~26주령 네 단계로 구분하여 병원체의 양성률을 살펴본 결과, PCV2와 *M. hyopneumoniae*는 연령이 증가함에 따라 양성률이 증가하였으나, 반대로 *S. suis*는 연령이 증가하면서 양성률이 감소하였다(Cheong 등, 2016).

(표 3) 돼지 구강액을 이용한 PCR 결과(Cheong 등, 2016)

병원체*		검체수(총 214개)		농장수(총 56개소)	
		양성수	양성률(%)	양성수	양성률(%)
바이러스	PRRSV	112	52.3	48	85.7
	PCV2	63	29.4	29	51.8
세균	PM	26	12.2	18	32.1
	HPS	149	69.6	51	91.1
	APP	53	24.8	26	46.4
	MHP	145	67.8	49	87.5
	MHR	97	45.3	37	66.1
	SS	120	56.1	45	80.4

\* *P. multocida* (PM) ; *H. parasuis* (HPS) ; *A. pleuropneumoniae* (APP) ; *M. hyopneumoniae* (MHP) ; *M. hyorhinis* (MHR) ; *S. suis* (SS).

#### 4. 돼지생식기호흡기증후군(PRRS)

1980년 후반 북미지역에서 심한 번식장애, 자돈의 호흡기 증상, 성장지연 및 폐사율 증가를 특징으로 하는 새로운 질병이 발병한 이후, 1991년 네덜란드에서 최초로 PRRSV(Lelystad virus)가 분리되었다(Zimmerman 등, 2012). PRRSV는 PRDC에 관여하는 주요 바이러스 병원체로 우리나라를 비롯하여 세계적으로 분포하고 있다. 미국의 경우, PRRSV에 의해 백신, 치료, 진단, 방역과 관련된 간접비용을 제외하고도 연간 약 6.64억 달러 정도의 경제적 손해가 발생하여 감염에 의한 경제적 피해가 심각한 것으로 보고되고 있다(Holtkamp 등, 2013). 국내에서는 PRRSV에 의한 경제적 피해가 대략 1천억 원 정도의 수준에 달하는 것으로 파악되어(서 등, 2014) PRRS 개선에 대한 지속적인 대책이 요구되고 있다.

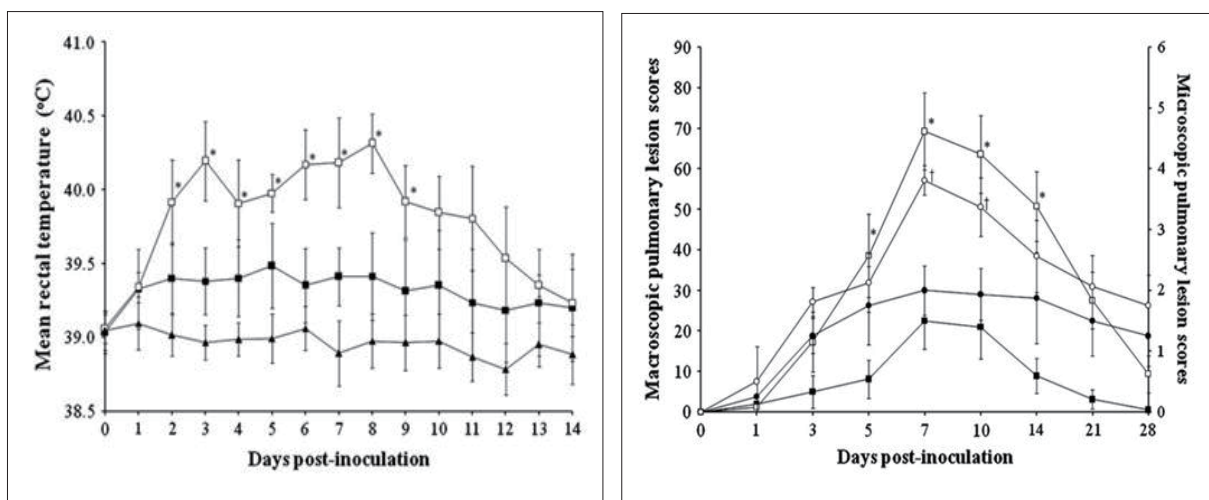
##### 1) PRRSV의 종류 및 국내 발생 관련 연구

PRRSV는 유전자 분석에 따라 type 1 및 type 2의 2가지 유전형으로 구분된다. PRRSV type 1은 유럽에서 type 2는 북미지역에서 분리되었으며(Zimmerman 등, 2012), 일반적으로 지역에 따라 각각 유럽형 및 북미형으로 부르기도 한다. 대개 type 1은 유럽지역에 type 2는 북미와 아시아 지역을 중심으로 우세하게 검출되



나 최근에는 두 바이러스가 혼재되어 있는 경우도 점차 증가하고 있다. 국내의 경우, 2002년부터 2003년 사이에 전국 97개 농장을 대상으로 실시한 PRRSV 관련 연구에서는 북미형인 type 2만 검출되었다(Cha 등, 2006). PRRSV type 1은 Kim 등(2006)이 2005년 유산태아의 폐장 조직에서 처음 확인하였다. 이후 Kim 등(2010)은 2006년부터 2009년 사이에 총 119개 농장에서 의뢰된 193개 장기 조직을 검사한 결과, 25개 검체에서는 type 1, 58개 검체에서는 type 2 및 9개 검체에서는 두 바이러스를 모두 확인하였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 국내에도 type 1 바이러스가 광범위하게 분포하고 있음을 알 수 있었다.

국내에서 분리된 type 1 및 type 2 바이러스에 대한 병원성 평가와 관련하여 Han 등(2013)은 실험 감염시킨 돼지에서 임상증상, 혈액 내 바이러스, 폐장과 림프절 병변지수 및 바이러스 배출정도를 분석한 결과, type 2 바이러스의 병원성이 더 강한 것으로 보고하였다(그림 3). 반면 Kim 등(2011, Virol J)은 type 1 바이러스를 실험 감염시킨 돼지의 폐장 병변이 type 2 바이러스에 비하여 더욱 심하게 나타나 서로 상반된 결과를 보이기도 하였다. 유럽의 경우, 이전의 European subtype 1 바이러스와는 다르게 병원성이 강한 East European subtype 3 (Lena) 바이러스가 출현하여 유행 지역에서는 심한 임상증상을 나타내기도 하였다(Karniychuk 등, 2010). 이차



(그림 3) 바이러스 실험 감염 후 직장온도 변화(왼쪽; ■ : type 1; □ : type 2; ▲ : negative) 및 폐장 병변에 대한 분석 결과(오른쪽; ■ : type 1 육안소견; □ : type 2 육안소견; ● : type 1 병리조직소견; ○ : type 2 병리조직소견)

럼 국내에서 분리된 바이러스에 대한 병원성 평가는 바이러스 변이 등을 고려하여 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

## 2) 고병원성 PRRSV(highly pathogenic PRRSV)의 출현

2006년 중국 동부 지역 농장에 40℃ 이상의 고열, 피부 발적, 식욕부진, 호흡곤란 및 심한 청색증(cyanosis) 증상을 가진 돼지들이 관찰되었다. 증상은 매우 빠르게 확산되는 경향을 나타내었으며, 90%에 육박하는 높은 폐사율로 마치 돼지열병과 같은 양상으로 전개되었다. 질병 분석 결과, 원인은 기존 type 2 바이러스의 비구조 단백질(NSP2)의 아미노산 서열 30개가 결여된 변이주 바이러스 감염으로 확인되었다(Li 등, 2007 ; Tian 등, 2008). 최초 중국에서 확인된 바이러스는 (그림 4)와 같이 인접 국가인 부탄을 비롯하여 캄보디아, 라오스, 말레이시아, 미얀마, 태국, 필리핀, 싱가포르와 같은 동남아 국가로 확산되었으며, 발병 국가에서의 피해는 심각한 실정이다(An 등, 2011). 최근 Han 등(2014)은 특정병원체부재(SPF) 돼지에 고병원성 PRRSV를 접종하여 병변을 살펴본 결과, 저병원성 바이러스에 비하여 심한 급성의 폐 병변을 확인하였다. Wei 등(2013)은 기존의 type 2 바이러스 유래 PRRSV 생

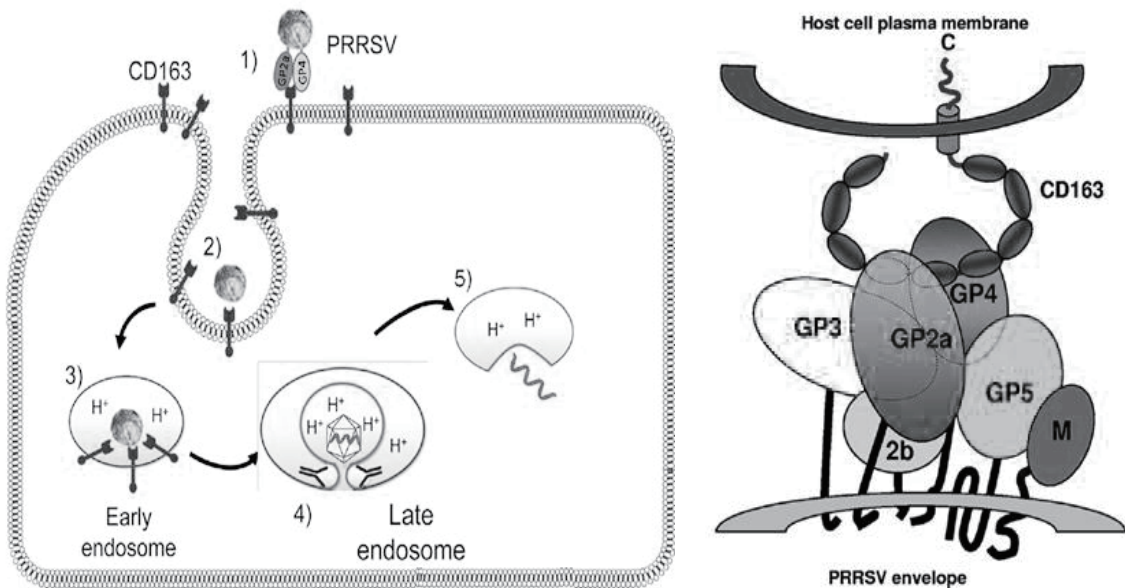


(그림 4) 아시아 대륙에서 고병원성 PRRSV의 분포 상황(An 등, 2011)

독백신을 접종한 뒤 고병원성 PRRSV를 실험 감염하여 백신에 의한 방어효과를 확인하였다. 아울러 고병원성 PRRSV를 이용한 백신 개발이 꾸준히 진행되고 있으며, 현재 미국에서 유행하는 type 2 바이러스에 대한 방어능 평가 또한 연구되고 있다 (Gallier-Beckley 등, 2015).

### 3) PRRSV와 숙주세포 수용체에 대한 연구

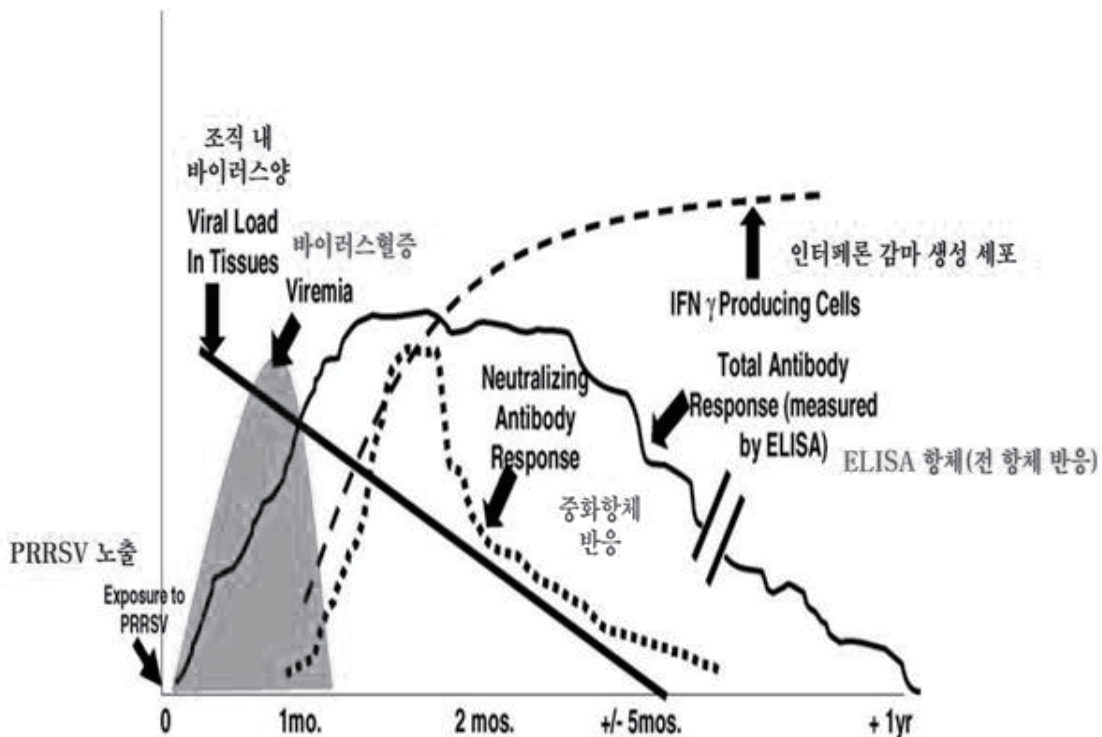
PRRSV는 주로 돼지의 폐포큰포식세포를 비롯한 여러 장기의 큰포식세포 계열에 감염되는 것으로 알려져 있다. 큰포식세포의 막표면에는 CD163이라는 수용체가 존재한다. 이 수용체는 PRRSV의 외막 단백질과 상호작용하여 바이러스가 숙주 세포로 유입하는데 결정적인 기능을 하는 것으로 보고되었다(Das 등, 2010 ; 그림 5). 이와 같은 사실이 밝혀짐에 따라 CD163과 PRRSV와의 상호관계 및 수용체 변환 등을 이용한 바이러스 감염 억제 관련 연구가 다각도로 진행되고 있다(Zhang 및 Yoo, 2015). 아울러 최근에는 CD163이 발현되지 않도록 돼지의 유전자를 조정하여 PRRSV의 감염을 원천적으로 차단하는 돼지를 만들어내기도 하였다(Whitworth 등, 2016).



(그림 5) 숙주세포로 PRRSV가 유입되는 과정(왼쪽; Zhang 및 Yoo, 2015) 및 숙주 세포의 CD163 인자에 PRRSV GP2a와 GP4가 결합 모식도(오른쪽; Das 등, 2010)

#### 4) PRRSV의 실험실적 검사와 관련된 이슈

PRRSV 감염을 진단하기 위해서는 병리학적 병변 평가, 바이러스 분리, 바이러스 항원검출 외에도 혈청 내 특이 항체 검출법 등을 활용할 수 있다. PRRSV의 혈청학적 진단법으로는 효소면역법(enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)을 비롯하여 간접형광항체법(indirect fluorescent antibody test), 혈청중화시험(virus neutralization) 등이 있다(Zimmerman 등, 2012). 이 중에서 ELISA는 다량의 검체를 처리할 수 있으며, 민감도와 특이도가 높아 세계적으로 PRRSV에 대한 혈청학적 검사에서 가장 많이 활용되고 있다. PRRSV ELISA와 관련하여 해외에서 생산된 상용화된 키트(HerdCheck<sup>®</sup> X3 PRRS ELISA, IDEXX Laboratories Inc.)가 검사표준 키트로 받아들여지고 있으며(Zimmerman 등, 2012), 국내에도 대부분의 실험실에서 이용하고 있는 실정이다. 서 등(2014)은 상기 ELISA 키트와 국내 생산 키트(Bionote PRRSV antibody ELISA kit, BioNote Inc.)의 성능을 비교 검사한 결과, 보다 경제



(그림 6) PRRSV 감염에 따른 기간별 면역반응(Lopez 및 Osorio, 2004)

적이고 의양성 등 결과에 문제가 되는 검체에 대한 보정법을 확립하는데 국내 상용화 키트의 병용이 도움이 될 것으로 판단하였다. (그림 6)을 참고하여 ELISA 검사에 의한 항체 검출은 감염 후 9일부터 검출될 수 있으며, 30~50일 사이에 최고로 상승한 다음, 4~12개월 사이에 점차 감소하면서 소실된다(Zimmerman 등, 2012).

ELISA 결과 해석과 관련하여 만약 어느 시점에서 음성 결과가 나오게 되면 다음과 같은 경우를 고려할 수 있다(Yoon 등, 2003).

- ① 돼지가 PRRSV에 감염되지 않을 경우
- ② 비교적 최근에 감염되어 혈청변환(seroconversion)이 이루어지지 않은 경우
- ③ 지속감염(persistent infection)된 돼지에서 혈청 반응 음성의 경우
- ④ 감염이 종료되고 혈청 항체가 음성으로 전환된 경우
- ⑤ 낮은 검사 민감도에 의한 음성 결과 도출의 경우

바이러스의 구조를 살펴보면, DNA 또는 RNA라는 고유한 유전물질과 이를 싸고 있는 단백질 막으로 구성되어 있다. PRRSV는 비교적 변이가 쉽게 일어나는 바이러스이며, 실제로 현장의 가검물을 검사해 보면 유전자 염기서열이 서로 다른 바이러스가 다양하게 검출될 수 있다. 달리 말하면 농장별로 감염된 바이러스가 서로 다를 수 있고, 동일한 농장 내에서도 시기에 따라 다른 유형의 바이러스가 유행할 수 있다. 이러한 PRRSV의 변이 특성을 파악하기 위해 수행하는 실험실적 기법 중 하나가 유전자 염기서열분석법이다. PRRSV의 유전물질에는 9개의 열린해독틀(open reading frame, ORF)을 포함하는데, 이 중 ORF5는 바이러스 표면 단백질을 발현시키는 유전자로 바이러스 사이에 유전자 변이가 높아 유전자 염기서열 분석에 주로 사용된다(Key 등, 2001). 반면, 유전자 변이가 낮은 것으로 알려진 ORF7은 PRRSV 감염 유무를 판단하는 항원 검사에서 주로 이용되고 있다. 최근에는 농장에서 유행하는 바이러스와 상용화 된 백신에 포함된 바이러스와의 비교를 위한 용도로 염기서열 분석이 이용되고 있다.

##### 5) PRRSV 백신 관련 최신 연구 사례

현재 PRRSV에 대한 명확한 치료법이 없는 개발되지 못한 상태에서 백신에 의한 예방적 대책은 PRRSV를 제어하는 방법 중 하나이다. 현재 사용하는 백신은 약독화 생

독백신(MLV)과 불활화 사독백신을 사용하고 있는데, 약독화 생독백신은 사독백신에 비해 효과적인 면역반응이 유도되지만 감염과 야외주 바이러스와의 재조합 가능성의 위험이 있어 안전성에 대한 문제가 남아 있다. 또한 바이러스간 유전형이 다른 이종 간 교차면역이 제한적이다. 불활화 사독백신은 이전에 바이러스에 감염된 돼지에 접종하면 중화항체 형성이 증가하지만, 감염 경험이 없는 돼지에서는 면역반응이 미흡한 단점이 있다(Zimmerman 등, 2012). 이러한 백신의 한계를 극복하기 위하여 역유전학(reverse genetics) 기법 등을 이용한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 예를 들어 비병원성의 PCV1을 운반벡터로 하여 PRRSV의 항원결정부위(antigenic epitope)를 발현시킨 키메라 바이러스(chimeric virus)를 개발하여 생독 백신 접종에 의한 위험성을 감소시키거나 이미 개발된 PCV1-2a 키메라 바이러스에 PRRSV 항원결정부위를 발현시켜 한 번의 접종으로 PCV2와 PRRSV를 동시에 방어할 수 있는 키메라 바이러스 백신주 개발 등이 여러 연구진에 의해 이루어지고 있다(Piñeyro 등, 2015 ; Piñeyro 등, 2016).

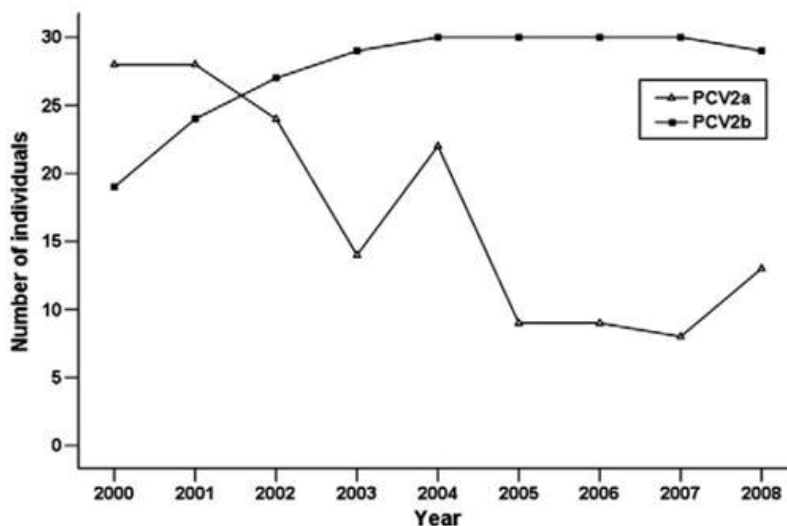
## **5. 돼지써코바이러스관련질병 (porcine circovirus associated disease, PCVAD)**

1990년대 말 이유후전신소모성증후군(postweaning multisystemic wasting syndrome, PMWS) 증상을 보이는 자돈에서 PCV2가 분리된 이래, PCV2는 PRRSV와 함께 자돈 호흡기 질병의 주요 원인바이러스로 대두되었고 전 세계적으로 관련 연구가 진행되고 있다. 2006년 이전에는 PCV2가 유발하는 호흡기 질병명을 PMWS로 사용하였으나, 위축(wasting)이라는 용어의 부적절성과 PCV2가 연관된 다양한 질병들이 점차 늘어나게 되었다. 따라서 2006년 American Association of Swine Veterinarian (AASV)에서는 PMWS를 비롯한 PCV2 감염에 의한 질병군을 통칭하여 써코바이러스관련질병(PCVAD)으로 제안하였으며(Gillespie 등, 2009; Opriessnig 등, 2007), 현재 PCV2 감염증에 대한 대표 질병명 중 하나로 사용되고 있다.

### 1) PCV2의 유전자형에 대한 연구

바이러스 유전자를 이용한 계통발생분석 연구에서 PCV2는 PCV2a와 PCV2b로 분류되었다(Gagnon 등, 2007). 이후 덴마크에서 보관된 1980, 1987 및 1990년 혈청 검체에서 PCV2c를 확인하였다(Dupont 등, 2008). PCV2a 및 PCV2b가 분류되면서 두 유전자형에 대한 다양한 병원성 비교 연구가 진행되었으며, 국내(Kim 등, 2011, Korean J Vet Res)를 비롯한 대부분의 나라에서 PCV2b가 PCV2a에 비해 병원성이 강한 것으로 보고되었다. 1996년부터 2000년 초반에 이르기까지 PCVAD에 이환된 돼지에서는 PCV2a가 가장 일반적인 유전자형으로 알려졌으나, 2003년 이래 PCV2a 대신 PCV2b가 전 세계적으로 유행하는 유전자형이 되었다. PCV2b의 유행은 북미지역과 유럽에서 임상적으로 더욱 심한 PCVAD가 나타난 경향과도 관련이 있는 것으로 판단하고 있다(Segalés 등, 2012; Meng, 2013). 이러한 경향은 (그림 7)과 같이 국내에서도 유사하게 진행되었다(Kim 등, 2011, Vet J).

이후 중국에서 PCV2d 및 PCV2e가 첫 보고되었으나, 두 유전자형들은 분석기법에 따라 각각 PCV2b 및 PCV2a의 아형에 속하는 것으로 알려졌다(Cortey 등, 2011). 2010년에는 Guo 등(2010)이 독특한 염기서열을 가진 PCV2를 확인하면서 PCV2d



(그림 7) 국내 PMWS 돼지에서 연도별 PCV2 유전자형의 발생률  
(Kim 등, 2011, Vet J)

로 분류하였다. 이와 유사한 바이러스는 북미 지역에서도 확인되었으며, mutant PCV2b로 보고되었다(Opriessnig 등, 2013, Vet Microbiol). Xiao 등(2015)은 PCV2에 대한 1680종의 ORF2 염기서열을 분석한 결과, 분석기법에 따라 PCV2a는 16.5~17%, PCV2b는 59.9%~63%, PCV2c는 0.2% 및 PCV2d는 19.2%의 비율로 확인되었다. 아울러 현재 중국에서 퍼져있는 PCV2d는 1999년 스위스 검체에서 처음 검출되었으며, 북미지역에서도 PCV2b에서 PCV2d로의 전환이 진행되고 있는 것으로 예측하였다(Xiao 등, 2015).

## 2) PCVAD의 질병 유형 및 병리조직학적 연구

지금까지 알려진 바에 따르면, PCV2 감염증은 준임상형을 포함하여 여러 장기에서 다양한 질병 유형을 나타낸다(표 4, Segalés, 2012, Virus Res). PCVAD에 의한 임상증상은 항상 나타나는 것이 아니므로 PCVAD 진단을 위해서는 임상증상의 관찰과 함께 내부 장기의 병리조직학적 변화와 병변 내 PCV2 항원의 검출이 이루어져야 한다(Meng, 2013). 최근 미국에서는 PCV2와 관련한 신종 질병으로 급성폐부종(acute pulmonary edema)에 의해 건강한 자돈들이 호흡 곤란으로 폐사하는 사례가 보고되기도 하였다(Cino-Ozuna 등, 2011).

림프절은 전신에 분포하며 면역반응에 관여하는 림프구가 들어있어 림프를 타고 들어온 항원에 대한 항체생성 등의 면역반응을 유도한다. PCVAD 돼지에서는 림프절을 구성하는 림프구의 고갈(lymphoid depletion) 및 조직구 대체(histiocytic replacement)가 특징적인 병변이다. PCV2의 감염 및 복제로 인하여 림프구가 고갈되면서 정상적인 림프여포 구조가 소실된다. 따라서 림프구고갈과 백혈구감소증은 이환된 돼지의 면역억제를 유도하게 되고 2차 호흡기 감염을 더욱 용이하게 한다. 이러한 림프구고갈의 형성 정도는 감염된 PCV2 항원량과 상관성이 있는 것으로 알려져 있다(Meng, 2013). 유전자형에 따른 PCV2 감염 병변에 대한 비교 분석에서는 PCV2a와 PCV2b 두 유전자형 간 유의적인 병변의 차이는 확인되지 않았다. 이러한 결과는 야외감염 및 실험감염 사례에서 모두 확인되었다(Opriessnig 및 Langohr, 2013).



(표 4) PCVAD 유형별 주요 임상증상 및 실험실 검사 소견

질병명	주요 임상증상	실험실 검사 소견
PCV2 무증상감염 PCV2 subclinical infection	임상증상 없이 평균 일일증체량(ADG) 감소	① 병리조직학적 변화 거의 없음 ② 일부 장기에 소량의 항원 검출
PCV2 전신질환 (PCV2 systemic disease, PMWS)	위축, 체중감소, 증체율의 현저한 감소, 피부 창백, 황달 등	① 전신 림프조직의 림프구 고갈 및 육아종성 염증 ② 손상 조직 내 다량의 항원 검출 ③ 다양한 장기의 림프구 조직구성 (육아종성) 염증
PCV2 폐 질환 (PCV2 lung disease, PCV2-associated respiratory disease)	호흡곤란 등 관련증상	① 간질성폐렴, 기관지간질성폐렴 ② 세기관지 주위 섬유세포 증생 ③ 괴사성 세기관지염 ④ 증식성괴사성폐렴(PNP) ⑤ 림프절 병변 없음(전신감염 구별)
PCV2 장 질환 (PCV2 enteric disease, PCV2-associated enteritis)	설사	① 육아종성 장염 ② 파이어판의 림프구 고갈 (다른 림프절 병변 없음) ③ 점막층 및 파이어판에 항원 검출
PCV2 번식 질환 (PCV2 reproductive disease, PCV2-associated reproductive failure)	유산, 미이라화	① 임신말기 번식장애 ② 태아 심장의 섬유성 또는 괴사성 심근염 ③ 심장에서 다량의 항원 검출
	잡은 발정재귀	① PCV2 혈청전환 (seroconversion) ② PCV2 항원 양성
돼지 피부염 및 신증 증후군 (porcine dermatitis and nephropathy syndrome, PDNS)	피부의 암적색 반점, 구진 (주로 엉덩이, 뒷다리 및 회음 부)	① 출혈성 괴사성 피부 병변 ② 피질부 점상출혈을 동반하며 종대되고 창백한 신장 ③ 전신성 괴사성 혈관염 ④ 괴사성 섬유소성 사구체신염

### 3) PCVAD와 돼지 품종별 유전적 감수성에 대한 연구

돼지에 대한 유전학적 연구는 병원체에 대한 감수성을 판단하는 도구가 되기도 한다. PCVAD의 경우, 랜드레이스(Landrace) 품종의 돼지가 듀록(Duroc)이나 라지화이트(Large White) 돼지에 비해 PCV2 감수성이 더 높은 것으로 보고되었다

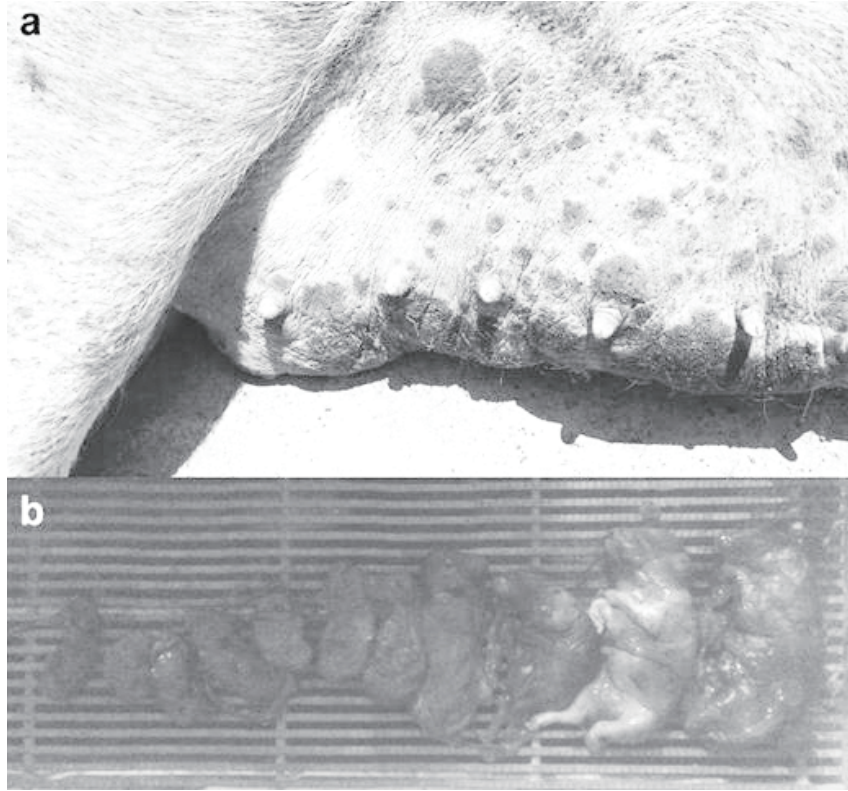
(Opriessnig 등, 2006). 병리학적 병변 또한 렌드레이스종이 피어트레인(Pietrain) 품종보다 더 심한 것으로 보고되었다(Opriessnig 등, 2009). 이러한 돼지의 품종별 특성에 따른 PCV2에 대한 유전적 저항성에 대한 연구는 PCVAD의 제어와 향후 PCV2 저항성을 가진 돼지 품종의 개발에 도움이 될 수 있을 것이다(Meng, 2013).

#### 4) PCV2 백신에 대한 연구

PCV2 유전자형의 종류가 새롭게 규명됨에 따라 기존 백신에 대한 교차방어능에 대한 연구도 다양하게 진행되고 있다. 현재 시판 중인 PCV2 백신은 PCV2a 기반으로 제조된 백신으로 다른 유전자형에 의한 PCVAD 돼지에서도 방어능이 있는 것으로 알려져 있다. 최근 북미지역에서 검출된 2012 mutant PCV2와 2013 PCV2d에 대한 PCV2a 기반 백신에 대한 예방효과를 분석한 결과, 두 바이러스에 대하여 방어 효과가 있음을 확인하였다(Opriessnig 등, 2014; Opriessnig 등, 2017). 비록 위의 연구 결과와 같이 PCV2a 기반 백신이 다양한 유전자형에 대해 방어능이 있는 것으로 알려지고 있지만, 이와 더불어 PCV2b 유전자형을 기반으로 한 백신 연구도 함께 진행되고 있다(Opriessnig 등, 2013, Vaccine).

#### 5) 새로운 PCV의 출현인가? PCV3 검출 보고

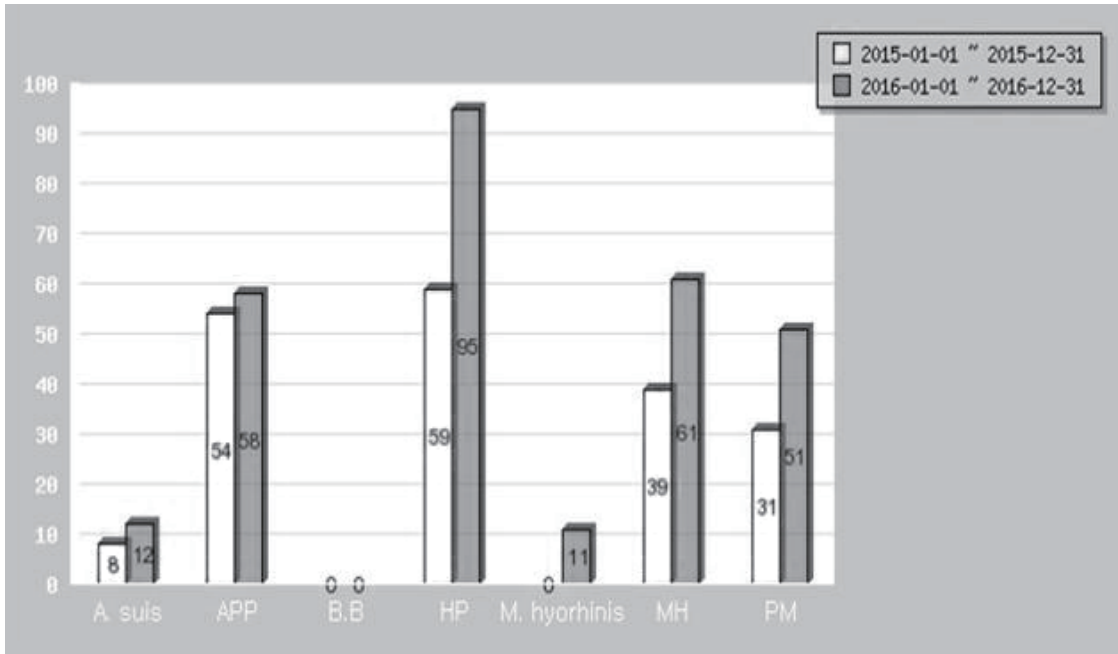
2015년 만성적인 번식장애 문제를 보인 미국 노스캐롤라이나 소재 농장의 모돈에서 기존에 알려진 PCV1 및 PCV2와는 유전적으로 다른 유형의 PCV가 검출되었다. 해당 농장의 모돈은 번식장애뿐 아니라 피부에 돼지피부염 및 신증증후군 유사 병변을 나타내었다(그림 8). 검출된 새로운 바이러스는 유산된 태자에서도 높은 수준으로 확인되었으며, 기존의 PCVAD의 원인체인 PCV2와 상동성이 낮아 PCV3로 제안되었다(Palinski 등, 2016). 아시아 지역에서는 중국의 Ku 등(2017)이 PCV3 검출을 보고하였다. 최근에 확인된 바이러스이므로 아직 PCV3의 감염 정도, 기존 PCV2와의 병원성 차이 및 모돈에서의 특이적인 감수성 여부 등 PCV3에 대한 구체적인 특징은 명확히 밝혀지지 않은 상태이다. 현재 국내에서도 PCV3에 대한 관련 연구가 진행되고 있으므로 추후 결과가 주목되고 있다.



(그림 8) 미국 노스캐롤라이나 소재 농장의 PCV3 감염 사례(Palinski 등, 2016). PCV3가 검출된 모돈의 피부병변(a) 및 다양한 크기의 유산 태자(b).

## 6. 주요 세균성 호흡기 질병 분석

2015년부터 2년간 (주)옵티팜 평가센터에 의뢰된 호흡기 세균 병원체에 대한 검사 결과를 살펴보면 (그림 9)와 같다. 가장 많이 검출된 병원체는 글래서씨병의 원인체인 *H. parasuis*, 돼지흉막폐렴의 원인체인 *A. pleuropneumoniae* 및 돼지유행성폐렴의 원인체인 *M. hyopneumoniae* 순으로 나타났다. 이 중 글래서씨병은 주로 이유 초기 자돈을 중심으로 한번 감염되면 근절이 어렵고 만성적인 경과를 취하면서 지속적인 위축이 발생한다. 돼지흉막폐렴은 국내 환절기 급사의 대표적인 원인 중 하나로 육성 및 비육구간에서 폭발적으로 발병하는 특징이 있다. 상기 두 질병은 모두 농장에서 체감하는 경제적 손실이 큰 질병으로 발생을 제어하기 위해서는 집단사육에 의한 스트레스 요인 개선 및 적절한 사양관리가 요구된다.



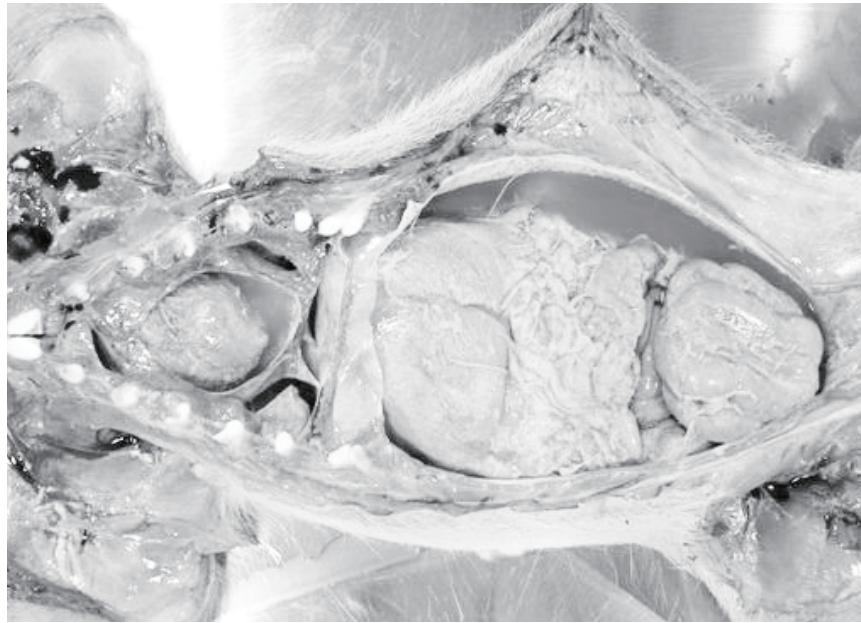
(그림 9) 2015년~2016년 옹티팜 호흡기 세균 병원체 검출 결과

*A. suis*, *Actinobacillus suis* ; *APP*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* ; *BB*, *Bordetella bronchiseptica* ;  
*HP* : *Haemophilus parasuis* ; *M. hyorhinis*, *Mycoplasma hyorhinis* ; *MH* : *Mycoplasma hyopneumoniae* ;  
*PM*, *Pasteurella multocida*.

### 1) 세균성 다발성장막염(Bacterial polyserositis)

다발성장막염은 여러 내부 장기의 장막면에 발생하는 염증성 변화를 의미한다(그림 10). 국내에서 다발성장막염과 연관된 질병으로는 글래서씨병(Gläsner's disease)이 대표적이다. 급성의 전신성 감염에서는 섬유소성 혹은 섬유소화농성 다발성장막염, 다발성관절염 및 뇌막염이 나타난다. 섬유소성 삼출물은 흉막, 심낭, 복강, 관절 활막 및 뇌막에서 주로 관찰된다(Aragon 등, 2012). 다발성장막염과 연관된 병원체는 글래서씨병의 원인체인 *H. parasuis* 외에도 *S. suis*와 *M. hyorhinis*가 있으며, 포유시기에 배꼽을 통하여 대장균(*Escherichia coli*)이 기회 감염되면 다발성장막염 소견이 나타나기도 한다. 최근 국내의 여러 진단 실험실에서 *M. hyorhinis*에 대한 진단 사례가 꾸준히 의뢰되고 있어 글래서씨병과 주요 감별 대상이다. 정상적으로 *M. hyorhinis*는 양돈장에 상재하는 세균 중 하나로 앞서 언급한 바와 같이 상부 호흡기계의 정상세균총 중 하나로 여겨지고 있다. 정확한 발병기전은 아직 규명되지 않

았으나 다른 병원체의 혼합감염이나 스트레스성 요인 등에 의해 전신감염이 유발될 수 있는 것으로 알려져 있다(Thaker 등, 2012). 최근 Lee 등(2016)은 PRRSV와 *M. hyorhinis*에 대한 혈청검사와 실험감염 후 폐장 병변분석을 통하여 *M. hyorhinis*가 PRDC의 잠재적인 원인체가 될 수 있음을 확인하기도 하였다.



(그림 10) 만성으로 진행된 심한 다발성장막염(심낭염 및 복막염) 사례

## 2) 돼지 흉막폐렴(porcine pleuropneumonia)

돼지 흉막폐렴은 심한 출혈성 괴사성 흉막폐렴이 특징인 호흡기 질병으로 전 세계적으로 발병한다(Gottschalk, 2012). 원인체인 *A. pleuropneumoniae*는 단독 감염에도 높은 폐사율을 나타낼 수 있으나, 다른 호흡기 바이러스 및 세균과 복합 감염되어 PRDC를 유발하는 원인체 중 하나이다. 돼지 흉막폐렴은 계절별로 보면, 가을에서 겨울로 바뀌는 환절기부터 발생이 증가하는 경향이 있다. *A. pleuropneumoniae*는 총 15개의 혈청형이 보고되어 있으며, 유행하는 혈청형은 국가나 지역에 따라 다르다. 이에 국내에서 보고된 혈청형을 (표 5)와 같이 정리해 보았으며, 혈청형의 변화에 따라 질병 발생 양상 또한 달라질 수 있으므로 국내 발생 혈청형에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다(김 등, 2013; 신 등, 2011; 정 및 장, 2012).

(표 5) 국내 *A. pleuropneumoniae* 혈청형 분포 보고 현황

혈청형(serovar)	신 등(2011)	정 및 장(2012)	김 등(2013)
1	4 (10.8%)	7 (21.9%)	3 (6.3%)
2	2 (5.4%)	5 (15.6%)	20 (41.7%)
3	0	0	0
4	0	0	1 (2.1%)
5	31 (83.8%)	16 (50.0%)	16 (33.3%)
6	0	0	0
7	0	0	1 (2.1%)
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	1 (3.1%)	5 (10.4%)
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
미동정	0	3 (9.4%)	2 (4.2%)
총 계	37	32	48

## 7. 호흡기 감염의 촉발 인자 관련 연구 : 곰팡이 독소와 호흡기 질병

곰팡이 독소는 사료 내 곰팡이가 발육과정에서 생성하는 대사산물로 (표 6)처럼 다양한 종류가 알려져 있다. 곰팡이 독소에 따른 임상증상은 오염된 독소의 종류, 섭취량과 기간, 돼지연령과 건강상태에 따라 달라진다. 주요 증상으로는 사료섭취량과 증체량 감소가 수반되며, 2차적으로 독소에 의한 면역작용 억제에 의한 백신 효과 감소 및 각종 전염성 질병의 감수성 증가가 나타날 수 있다(김형린, 월간 한돈 2008년 6월호).

(표 6) 돼지의 주요 곰팡이 독소 및 중독증상

종류	곰팡이(속)	무증상수준	중독수준	주요증상
아플라톡신 (Aflatoxin, AF)	아스퍼질루스	< 0.1 ppm	0.3~2.0 ppm	① 증체율, 사료섭취율 감소 ② 간손상, 황달, 출혈 ③ 면역기능 저하
오크라톡신 (Ochratoxin, OTA)	아스퍼질루스	< 0.1 ppm	0.2~4.0 ppm	① 증체율, 사료섭취율 감소 ② 신기능 장애 ③ 갈증(물섭취 증가)
보미톡신 (Vomitoxin, DON)	푸사리움	< 2 ppm	4~20 ppm	① 증체율, 사료섭취율 감소 ② 구토, 식욕감퇴 ③ 면역기능 저하
T-2 독신	푸사리움	< 2 ppm	4~20 ppm	① 증체율, 사료섭취율 감소 ② 림프염, 림프조직괴사 ③ 모든 다산성 감소
제랄레논 (Zearalenone, ZEN)	푸사리움	< 0.05 ppm	1~30 ppm	① 번식장애(불임, 무발정) ② 외음부부종, 질염 ③ 무유증
푸모니신 (Fumonisin, FB)	푸사리움	< 10 ppm	20~175 ppm	① 증체율, 사료섭취율 감소 ② 폐부종, 호흡기 증상 ③ 유산
맥각 (Ergot)	클래비세프스	< 0.05%	0.1~1.0%	① 사료섭취율 감소 ② 사지 괴저 ③ 무유증, 자돈악습

곰팡이 독소 및 호흡기 질병과 관련된 최근 연구를 살펴보면, Gan 등(2015)은 시험관 내에서 저용량의 오크라톡신 A가 들어있는 조건에서 PCV2의 복제와 감염 세포 수가 증가함을 확인하였다. 또한 생체 내 실험에서도 75 $\mu$ g/kg의 오크라톡신 A를 섭취한 돼지에서 혈청과 조직 내 PCV2 복제능이 증가함을 확인하였다. DON (deoxynivalenol)은 PCV2 복제 증가와 관련하여 시험관 및 생체 내 연구 모두 뚜렷한 연관성을 찾지 못하였다(Savard 등, 2015, Vet Microbiol). Ramos 등(2010)은 실험적으로 fumonisin B1이 PRRSV 감염 위험성을 증가시키는 것으로 확인하였다. Fumonisin B1을 투여한 뒤 PRRSV를 공격접종한 시험군에서는 폐장, 간 및 신장의 조직병변이 더욱 심하게 관찰되었다(Ramos 등, 2010). 세균성 호흡기 병원체의 경우에도 실험적으로 fumonisin B1에 노출된 돼지의 경우, *M. hyopneumoniae* (Pósa 등, 2013)와 위축성비염의 원인인 *B. bronchiseptica* 및 *P. multocida* (Pósa 등,

2011)에 의한 병변이 심화되는 것으로 보고되었다.

(표 7) 돼지 전염성 질병에 대한 곰팡이 독소의 영향(Pierron 등, 2016)

독소	노출농도	노출기간	병원체/ 질병*	주요 영향	참고문헌
AFB1	0.07 및 0.14mg/kg	32일	돈적리균	질병 잠복기↓, 설사↑, 폐사↑	Jones 등, 1981
AF	1.3mg/kg feed	25일	돈단독균	세균 감염력↑	Cysewski 등, 1978
DON	2.5mg/kg feed	21일	PCV2	바이러스혈증 및 폐 바이러스 수치↑, 임상적인 영향은 없음	Savard 등, 2015
DON	3.5mg/kg feed	21일	PRRSV	체중 증가↓, 폐병변과 폐사율↑, 바이러스 복제와는 관련 없음	Savard 등, 2014
DON	1µg/mL	6시간	ST	유전자 발현↑ IL-12, TNF-α, IL-1β, IL-8, MCP-1, IL-6	Vandenbroucke 등, 2011
T-2	15 and 83 µg/kg feed	23일	ST	맹장 균 집락화↓	Verbrugghe 등, 2012
FB1	10mg/kg feed	3일	BB+PMD	병리학적 병변 세기↑	Pósa 등, 2011
FB1	0.5mg/kg BW	6일	대장균 (SEPEC)	장 집락화↑, 장간막림프절, 폐, 간, 비장 이동↑	Oswald 등, 2003
FB1	1mg/kg BW	10일	대장균 (ETEC)	소화기 감염 연장, 장 항원제시 세포의 기능 손상	Devriendt 등, 2009
FB1	25.4mg/kg feed	42일	MH	병리학적 변화↑	Pósa 등, 2013
FB1	0.5mg/kg BW	7일	PMA	성장률↓, BALF의 세포수↑, 기침↑, 폐 육안 및 조직병변↑	Holloy 등, 2005
FB1	12mg/kg BW	18일	PRRSV	폐 조직병변↑	Ramos 등, 2010
FB1	11.8mg/kg feed	63일	살모넬라	미생물총 변화	Burel 등, 2013
OTA	3mg/kg feed	21일	돈적리균 캠필로박 터	살모넬라 발생(오염 사료섭취) 혈액학적 및 생물학적 지표변화	Stoev 등, 2000
OTA	75µg/kg feed	42일	PCV2	혈청 및 조직 내 PCV복제↑	Gan 등, 2015z

\* ST : *Salmonella Typhimurium* ; BB, *Bordetella bronchiseptica* ; PMD, *Pasteurella multocida* type D ; MH : *Mycoplasma hyopneumoniae* ; PMA, *Pasteurella multocida* type A.



(표 8) 돼지에서 백신 효과에 대한 곰팡이 독소의 영향(Pierron 등, 2016)

독소	노출농도	병원체/질병	주요 영향	참고문헌
AF	1.3 mg/kg feed	돈적리균	획득면역 저해	Cysewski 등, 1978
AFB1	385-1807 µg/kg feed	난백알부민(OVA)	세포매개성 면역반응의 저하	Meissonnier 등, 2008
DON	3.5 mg/kg feed	OVA	OVA 일차 IgG 항체 반응 증진	Lessard 등, 2015
DON	2.5-3.5 mg/kg BW	PRRSV	접종 백신주의 바이러스혈증 감소 백신효과 감소	Savard 등, 2015
DON	2.5-3.5 mg/kg feed	OVA	OVA 특이적 IgA 및 IgG 증가	Pinton 등, 2008
DON	0.6-4.7 mg/kg feed	사람혈청알부민 면양적혈구 요네병 백신 파상풍 변성독소 디프테리아 변성 독소	파상풍 변성독소에 대한 2차 항체반응의 현저한 용량 의존성 감소	Overnes 등, 1997
DON+ZEN	2.1-3.2 + 0.06-0.25 mg/kg diet	파보바이러스	영향 없음	Gutzwiller 등, 2007
DON 또는 FB1	3 또는 6 mg/kg feed	OVA	림프구 증식 감소를 동반한 OVA 항체생산 감소	Grenier 등, 2011
T-2	1324-2102 µg/kg feed	OVA	특이 림프구 증식에 대한 변화를 동반하지 않은 OVA 항체생산 감소	Meissonnier 등, 2008
FB1	8 mg/kg BW	M. agalactiae	특정 항체가 감소	Taranu 등, 2005
OTA	1 mg/kg feed	S. Cholreasuis	면역저하 및 면역반응 지연	Stoev 등, 2000
OTA 또는 FB1	0.5 또는 10 mg/kg feed	오제스키병	백신접종 후 오제스키병 항체 형성 감소	Stoev 등, 2012

PRRSV 생독백신의 면역반응과 관련하여 사료에 DON을 첨가하여 급여한 돼지에 PRRSV 생독백신을 접종하고 혈청 내 바이러스를 검사한 결과, 바이러스혈증이 현저하게 감소함을 확인하였다. 이는 DON에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 백신 접종을

하더라도 체내에서 적절한 백신바이러스의 증식에 문제가 생겨 백신 효능이 저해될 수 있는 것으로 판단하였다(Savard 등, 2015, Vaccine). 상기 결과들을 포함하여 그동안 연구된 곰팡이 독소 노출에 따른 돼지 감염성 질병 및 백신접종 효과에 대한 영향은 (표 7) 및 (표 8)과 같다(Pierron 등, 2016).

## 참고문헌

- An TQ, Tian ZJ, Leng CL, et al. Highly pathogenic porcine reproductive and respiratory syndrome virus, Asia. 2011. *Emerg Infect Dis* 17: 1782–1784.
- Aragon V, Segalés J, Oliveira S. Glässer's disease. In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.760–769, Wiley–Blackell, 2012.
- Cha SH, Choi EJ, Park JH, et al. Molecular characterization of recent Korean porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) viruses and comparison to other Asian PRRS viruses. 2006. *Vet Microbiol* 117: 248–257.
- Cheong Y, Oh C, Lee K, et al. A survey of porcine respiratory disease complex (PRDC) associated pathogens among commercial pig farms of Korea via oral fluid method. *J Vet Sci*. Epub 2016 Sep 1.
- Cino–Ozuna AG, Henry S, Hesse R, et al. Characterization of a new disease syndrome associated with porcine circovirus type 2 in previously vaccinated herds. 2011. *J Clin Microbiol* 49: 2012–2016.
- Cortey M, Olvera A, Grau–Roma L, et al. Further comments on porcine circovirus type 2 (PCV2) genotype definition and nomenclature. 2011. *Vet Microbiol* 149: 522–523.
- Das PB, Dinh PX, Ansari IH, et al. The minor envelope glycoproteins GP2a and GP4 of porcine reproductive and respiratory syndrome virus interact with the receptor CD163. 2010. *J Virol* 84: 1731–1740.
- Dupont K, Nielsen EO, Baekbo P, et al. Genomic analysis of PCV2 isolates from Danish archives and a current PMWS case–control study supports a shift in genotypes with time. 2008. *Vet Microbiol* 128: 56–64.
- Gagnon CA, Tremblay D, Tijssen P, et al. The emergence of porcine circovirus 2b genotype (PCV–2b) in swine in Canada. 2007. *Can Vet J* 48: 811–819.
- Gallihier–Beckley A, Li X, Bates JT, et al. Pigs immunized with Chinese highly pathogenic PRRS virus modified live vaccine are protected from challenge with North American PRRSV strain NADC–20. 2015. *Vaccine* 33: 3518–3525.
- Gan F, Zhang Z, Hu Z, et al. Ochratoxin A promotes porcine circovirus type 2 replication in

- vitro and in vivo. 2015. *Free Radic Biol Med* 80: 33–47.
- Gillespie J, Opriessnig T, Meng XJ, et al. Porcine circovirus type 2 and porcine circovirus-associated disease. 2009. *J Vet Intern Med* 23: 1151–1163.
- Gottschalk M. Actinobacillosis. In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.653–669, Wiley–Blackell, 2012.
- Guo LJ, Lu YH, Wei YW, et al. Porcine circovirus type 2 (PCV2): genetic variation and newly emerging genotypes in China. 2010. *Virology* 7: 273.
- Han D, Hu Y, Li L, et al. Highly pathogenic porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection results in acute lung injury of the infected pigs. 2014. *Vet Microbiol* 169: 135–146.
- Han K, Seo HW, Oh Y, et al. Comparison of the virulence of European and North American genotypes of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in experimentally infected pigs. 2013. *Vet J* 195: 313–318.
- Hesse R, Kerrigan M, Rowland RR. Evidence for recombination between PCV2a and PCV2b in the field. 2008. *Virus Res* 132: 201–207.
- Holtkamp DJ, Kliebenstein JB, Neumann E, et al. Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on United States pork producers. 2013. *J Swine Health Prod* 21: 72–84.
- Karniychuk UU, Geldhof M, Vanhee M, et al. Pathogenesis and antigenic characterization of a new East European subtype 3 porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolate. 2010. *BMC Vet Res* 6: 30.
- Key KF, Haqshenas G, Guenette DK, et al. Genetic variation and phylogenetic analyses of the ORF5 gene of acute porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolates. 2001. *Vet Microbiol* 83: 249–263.
- Kim D, Ha Y, Oh Y, et al. Prevalence of porcine circovirus types 2a and b in pigs with and without post-weaning multi-systemic wasting syndrome. 2011. *Vet J* 188: 115–117.
- Kim HK, Lee CS, Kang BK, et al. Experimental infection of a newly emerging Korean type 1 porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolate in colostrum-deprived pigs. 2011. *Virology* 8: 177.
- Kim HK, Lou Y, Moon HJ, et al. Quantification and genotyping of PCV2 DNA in the tissues of PCV2-infected conventional pigs with different clinical signs. 2011. *Korean J Vet Res* 51: 7–14.
- Kim JY, Lee SY, Sur JH, et al. Serological and genetic characterization of the European strain of the porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolated in Korea. 2006. *Korean J Vet Res* 46: 363–370.
- Kim SH, Roh IS, Choi EJ, et al. A molecular analysis of European porcine reproductive and respiratory syndrome virus isolated in South Korea. 2010. *Vet Microbiol* 143: 394–400.
- Ku X, Chen F, Li P, et al. Identification and genetic characterization of porcine circovirus type 3 in China. 2017. *Transbound Emerg Dis* 64: 703–708.

- Lee JA, Oh YR, Hwang MA, et al. *Mycoplasma hyorhinis* is a potential pathogen of porcine respiratory disease complex that aggravates pneumonia caused by porcine reproductive and respiratory syndrome virus. 2016. *Vet Immunol Immunopathol* 177: 48–51.
- Lee KH, Song JH. Prevalence and expression pattern of cytokines in porcine respiratory disease complex (PRDC). 2014. *J Life Sci* 24: 1118–1124.
- Li Y, Wang X, Bo K, et al. Emergence of a highly pathogenic porcine reproductive and respiratory syndrome virus in the Mid–Eastern region of China. 2007. *Vet J* 174: 577–584.
- Lopez OJ, Osorio FA. Role of neutralizing antibodies in PRRSV protective immunity. 2004. *Vet Immunol Immunopathol* 102: 155–163.
- Meng XJ. Porcine circovirus type 2 (PCV2): pathogenesis and interaction with the immune system. 2013. *Annu Rev Anim Biosci* Jan; 1: 43–64.
- Opriessnig T, Fenaux M, Thomas P, et al. Evidence of breed–dependent differences in susceptibility to porcine circovirus type–2–associated disease and lesions. 2006. *Vet Pathol* 43: 281–293.
- Opriessnig T, Gerber PF, Xiao CT, et al. Commercial PCV2a–based vaccines are effective in protecting naturally PCV2b–infected finisher pigs against experimental challenge with a 2012 mutant PCV2. 2014. *Vaccine* 32: 4342–4348.
- Opriessnig T, Giménez–Lirola LG, Halbur PG. Polymicrobial respiratory disease in pigs. 2011. *Anim Health Res Rev* 12: 133–148.
- Opriessnig T, Langohr I. Current state of knowledge on porcine circovirus type 2–associated lesions. 2013. *Vet Pathol* 50: 23–38.
- Opriessnig T, Meng XJ, Halbur PG. Porcine circovirus type 2 associated disease: update on current terminology, clinical manifestations, pathogenesis, diagnosis, and intervention strategies. 2007. *J Vet Diagn Invest* 19: 591–615.
- Opriessnig T, O’Neill K, Gerber PF, et al. A PCV2 vaccine based on genotype 2b is more effective than a 2a–based vaccine to protect against PCV2b or combined PCV2a/2b viremia in pigs with concurrent PCV2, PRRSV and PPV infection. 2013. *Vaccine* 31: 487–494.
- Opriessnig T, Patterson AR, Madson DM et al. Difference in severity of porcine circovirus type two–induced pathological lesions between Landrace and Pietrain pigs. 2009. *J Anim Sci* 87: 1582–1590.
- Opriessnig T, Xiao CT, Gerber PF, et al. Emergence of a novel mutant PCV2b variant associated with clinical PCVAD in two vaccinated pig farms in the U.S. concurrently infected with PCV2. 2013. *Vet Microbiol* 163: 177–183.
- Opriessnig T, Xiao CT, Halbur PG, et al. A commercial porcine circovirus (PCV) type 2a–based vaccine reduces PCV2d viremia and shedding and prevents PCV2d transmission to naïve pigs under experimental conditions. 2017. *Vaccine* 35: 248–254.
- Ramos CM, Martínez EM, Carrasco AC, et al. Experimental trial of the effect of fumonisin B1

- and the PRRS virus in swine. 2010. *J Anim Vet Adv* 9: 1301–1310.
- Palinski R, Piñeyro P, Shang P, et al. A Novel Porcine Circovirus Distantly Related to Known Circoviruses Is Associated with Porcine Dermatitis and Nephropathy Syndrome and Reproductive Failure. 2016. *J Virol* 91: e01879–16.
- Pierron A, Alassane-Kpembé I, Oswald IP. Impact of mycotoxin on immune response and consequences for pig health. 2016. *Animal Nutrition* 2: 63–88.
- Piñeyro PE, Kenney SP, Giménez-Lirola LG, et al. Expression of antigenic epitopes of porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) in a modified live-attenuated porcine circovirus type 2 (PCV2) vaccine virus (PCV1–2a) as a potential bivalent vaccine against both PCV2 and PRRSV. 2015. *Virus Res* 210: 154–164.
- Piñeyro PE, Kenney SP, Giménez-Lirola LG, et al. Evaluation of the use of non-pathogenic porcine circovirus type 1 as a vaccine delivery virus vector to express antigenic epitopes of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. 2016. *Virus Res* 213: 100–108.
- Pósa R, Donkó T, Bogner P, et al. Interaction of *Bordetella bronchiseptica*, *Pasteurella multocida*, and fumonisin B1 in the porcine respiratory tract as studied by computed tomography. 2011. *Can J Vet Res* 75: 176–182.
- Pósa R, Magyar T, Stoev SD, et al. Use of computed tomography and histopathologic review for lung lesions produced by the interaction between *Mycoplasma hyopneumoniae* and fumonisin mycotoxins in pigs. 2013. *Vet Pathol* 50: 971–979.
- Savard C, Gagnon CA, Chorfi Y. Deoxynivalenol (DON) naturally contaminated feed impairs the immune response induced by porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) live attenuated vaccine. 2015. *Vaccine* 33: 3881–3886.
- Savard C, Provost C, Alvarez F, et al. Effect of deoxynivalenol (DON) mycotoxin on in vivo and in vitro porcine circovirus type 2 infections. 2015. *Vet Microbiol* 176: 257–267.
- Segalés J. Porcine circovirus type 2 (PCV2) infections: clinical signs, pathology and laboratory diagnosis. 2012. *Virus Res* 164: 10–19.
- Segalés J, Allan GM, Domingo M. Porcine circoviruses. In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.405–417, Wiley–Blackell, 2012.
- Thaker EL, Christopher Minion F. Mycoplasmosis. In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.779–797, Wiley–Blackell, 2012.
- Tian K, Yu X, Zhao T, et al. Emergence of fatal PRRSV variants: unparalleled outbreaks of atypical PRRS in China and molecular dissection of the unique hallmark. 2007. *PLoS One* 2: e526.
- VanAlstine WG. Respiratory system. In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.348–362, Wiley–Blackell, 2012.
- Wei Z, Zhang J, Zhuang J, et al. Immunization of pigs with a type 2 modified live PRRSV vaccine prevents the development of a deadly long lasting hyperpyrexia in a challenge study with highly pathogenic PRRSV JX143. 2013. *Vaccine* 31: 2062–2066.
- Whitworth KM, Rowland RR, Ewen CL, et al. Gene-edited pigs are protected from porcine

- reproductive and respiratory syndrome virus, 2016. *Nat Biotechnol* 34: 20–22.
- Xiao CT, Halbur PG, Opriessnig T. Global molecular genetic analysis of porcine circovirus type 2 (PCV2) sequences confirms the presence of four main PCV2 genotypes and reveals a rapid increase of PCV2d, 2015. *J Gen Virol* 96: 1830–1841.
- Yoon KJ, Christopher–Hennings J, Nelson EA. Diagnosis. In: *The PRRS compendium*. 2nd ed. p.59–74, National Pork Board, 2003.
- Zhang Q, Yoo D. PRRS virus receptors and their role for pathogenesis, 2015. *Vet Microbiol* 177: 299–241.
- Zimmerman JJ, Benfield DA, Dee SA, et al. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus (porcine arterivirus). In: *Diseases of swine*. 10th ed. p.461–486, Wiley–Blackell, 2012.
- 강미선, 강민우, 정세호 등. 남원지역 도축돈에 대한 돼지호흡기 복합감염증에 관한 연구. 2013. *Korean J Vet Serv* 36: 139–145.
- 김경언, 구경녀, 고재형 등. 도축돈에서 *Actinobacillus pleuropneumoniae* 분리, 동정 및 감염률 조사. 2013. *Korean J Vet Serv* 36: 181–186.
- 김민희, 박종식, 이민권 등. 경상남도 북부지역 돼지 사육농가에 대한 돼지호흡기복합감염증 양상 조사. 2011. *Korean J Vet Serv* 34: 133–138.
- 김형린. 고온다습기 사료관리 요령과 곰팡이 독소의 문제점과 대책. 월간 한돈 2008년 6월호. 농림축산검역본부. 2017년 1/4분기 가축전염병 중앙예찰협의회 자료. 2017. 발간등록번호 11-1541745-000008-01.
- 서병주, 김현일, 김원일. 다양한 PRRSV 감염상태에 있는 돼지 혈청을 이용한 PRRS 항체 ELISA 키트들의 비교 평가. 2014. *Korean J Vet Serv* 37: 151–156.
- 신동호, 변재원, 김하영 등. 돼지 흉막폐렴균의 유행 혈청형과 biofilm 분포도. 2011. *Kor J Vet Publ Hlth* 35: 7–12.
- 정지열, 장현. 돼지에서 분리한 *Actinobacillus pleuropneumoniae*의 혈청형 분포 및 항생제 감수성. 2012. *Korean J Vet Res* 52: 177–181.

