



2021년도 배합사료 품질 모니터링 사업 최종보고서



2021. 12.

(주) 정 피 엔 씨 연구소
(사) 대한한돈협회

목 차

I. 연구개발 필요성	1
가. 연구개발의 필요성	1
1) 기술적측면	1
2) 경제·산업적측면	7
3) 사회·문화적측면	18
나. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점	21
다. 전세계 곰팡이독소 분석결과	28
라. 사료용 곡물별 곰팡이독소 분석결과	34
마. 미국산 옥수수의 수확 후 곰팡이독소 분석	38
II. 연구목표 및 내용	40
가. 연구개발의 목표	40
나. 연구개발 내용	40
다. 연구개발 방법 및 추진체계	41
III. 연구 결과 및 활용방안	49
가. 샘플채취 시기별 곰팡이독소 분석결과	49
나. 사료종류별 분석결과	56
다. 샘플채취 구간별 분석결과	60
라. 샘플채취 시기 및 구간에 따른 분석결과	64
마. 연도별 분석결과	64

바. 연도별 분석결과	85
사. 국내 곰팡이독소 저감제(흡착제) 제품	87
IV. 고찰	95
[별 첨]	78
1. 1차샘플 분석결과서-2021년 5월채취	
2. 2차샘플 분석결과서-2021년 7월채취	
3. 3차샘플 분석결과서-2021년 9월채취	

연구결과 요약

- 국내 대표 10개 양돈용 사료회사별 육성돈사료와 임신돈사료를 10개농장에서 사료차와 급이기에서 사료샘플을 채취하여 국제 사료분석 공인검정기관에서 곰팡이독소 6종에 대한 오염도 분석을 실시하였음. 분석은 사료회사(10개 처리구), 사료종류(임신돈, 육성돈사료), 채취장소(사료차, 급이기)에 따라 총 120개 샘플에 대하여 분석을 실시하였음.
- 2021년 5월(1차) 샘플채취는 본격적인 여름이 시작되기 전에 진행이 되었으며, 푸사리움 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%였고, 제랄레논은 65%의 검출율을 보였음. 이와 함께 여름철 고온다습한 시기에 농장에서 오염도가 증폭될 수도 있는 Aspergillus 계열의 아플라톡신과 오크라톡신도 각각 25%, 30% 검출율을 보였음. 곰팡이독소별 평균농도는 아플라톡신 0.3ppb, 오크라톡신 0.1 ppb, 보미톡신 284.2ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 357.5ppb, 제랄레논은 19.6 ppb로 나타났다. 2021년 1차로 진행한 본 샘플은 본격적인 여름이 시작되기 전에 진행이 되었으며, 2020년 1차 결과와 비교하였을 때 가장 큰 차이점은 Aflatoxin을 제외한 모든 곰팡이독소의 검출율과 평균오염치가 감소하였다는 점임. 이와 같은 결과는 여름철 온도와 습도에 따라 급증할 수 있는 곰팡이독소이기에 관리수준에 따라 상이한 수치를 나타낼 수도 있음. 그에 반해, Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소) 곰팡이독소의 오염수치는 전부 증가하였음. 이는 재배지에서 원료를 수확할 때 혹은 국내로 수입할 때 부터 오염도가 심했다는 것을 보여주는 단편적인 결과로써 수입된 원료들의 품질을 점검할 필요성이 있다고 할 수 있음.
- 2021년도 2차샘플 분석결과에서는 Fusarium 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%, 제랄레논은 100%의 검출율로 나타났다. 이와 함께 Aspergillus계열의 오크라톡신도 30%의 검출율을 보이고 있음. 분석을 진행한 총 40개 샘플의 결과서에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.28ppb, 보미톡신 261.6ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 408.6 ppb, 제랄레논 9.8 ppb로 나타났다. 2021년 2차 샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.12ppb, 오크라톡신 0.32ppb, 보미톡신 632.8ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 453.5 ppb, 제랄레논 62.3 ppb)를 바탕으로 금번 결과와 비교하면 모든 곰팡이독소의 농도가 20년대비 감소하였음.
- 2021년도 3차(9월)샘플 분석결과에서는 Fusarium 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 각각 100%, 95%, 제랄레논은 35%의 검출율로 나타났다. 이와 함께 Aspergillus계열의 오크라톡신도 15%의 검출율을 보이고 있음. 분석을 진행한 총 40개 샘플 분석 결과에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.2 ppb, 보

미톡신 184 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 774.6 ppb, 제랄레논 16.2 ppb로 조사되었음. 2020년 3차샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.1 ppb, 오크라톡신 0.5 ppb, 보미톡신 516 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 528 ppb, 제랄레논 67 ppb)를 바탕으로 2021년 3차 분석결과와 비교하면 퓨모니신을 제외한 곰팡이독소의 평균 농도가 20년대비 다소 감소하였음

- 2021년 1~3차로 샘플채취하여 분석을 진행한 결과 샘플채취 시기별 큰차이는 없었지만, 농장형 곰팡이 독소인 보미톡신, 제랄레논, 퓨모니신이 사료회사별 연속적으로 검출되었고, 특히 퓨모니신의 농도가 최소위험 수준이상으로 검출된 샘플이 나타났음.
- 국내의 사료 안전관리체계는 벤치마킹 대상국인 미국, 일본 및 EU 등 선진국에 비해 아직 매우 미흡한 수준일 뿐만 아니라 전문 인력도 부족하며, 사료 안전성에 관한 연구는 낮은 편이나, 본 조사를 통해 (사)대한한돈협회와 (사)대한사료협회가 공동으로 사료의 안전성 확보 및 품질관리 체계가 선진국과 대등한 수준으로 향상될 수 있을 것임. 추후 또한, 추가적인 연구를 통해 사료의 안전성 및 품질관리에 관한 제도적인 뒷받침을 지속적으로 해나간다면 사료 안전관리의 선진 시스템을 완전하게 구축하여 국민에게 안전한 축산물과 사료를 생산, 공급할 수 있음
- 본 연구분석 결과를 종합하면 국내에서는 Aspergillus계열(저장형 곰팡이독소)의 아플라톡신과 오크라톡신의 경우 농도에 대한 규제사항이 명확하여 사료회사별로 관리가 지속적으로 이루어지고 있지만, Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소)의 보미톡신, 제랄레논 및 퓨모니신은 국내 규정상 권고사항이므로 관리가 이루어지지 않는 것으로 사료됨. 추후 정부의 정책건의 사항으로 Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소)의 곰팡이독소도 규제사항으로 최소 위험수준을 고려하여 정책건의가 필요함

가. 연구개발의 필요성

1) 기술적 측면

- 곰팡이 독소(마이코톡신)는 「곰팡이 균이 생성하는 저분자의 2차 대사산물이며 인간, 가축, 집에서 키우는 새, 어류 등에 중독을 일으키는 유해물질」로 정의됨. 특히 돼지는 가축 중에서 곰팡이 독소에 가장 감수성이 높은 동물이어서 효과적인 대책이 요청되고 있음.
- 세계보건기구(WHO)가 규정하는 마이코톡신은 특정 유형의 곰팡이에 의해 자연적으로 생성되는 독성 화합물임. 곰팡이독소를 생성 할 수 있는 곰팡이는 곡물 유래 시리얼, 말린 과일, 견과류 및 향신료와 같은 수많은 식품에서 자람. 식품의 곰팡이는 곡물과 축산물에서도 유래할 수 있음. 특히 곡물 수확전이나 수확 후, 저장 중, 따뜻하고 다습한 조건에서 곡물 내외에서 발생할 수 있음. 대부분의 마이코톡신의 특징은 화학적으로 안정적이며 식품 가공 과정에서도 파괴되지 않음.



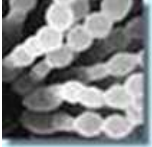


[그림 1-1] 곰팡이독소 발생 및 가축의 영향

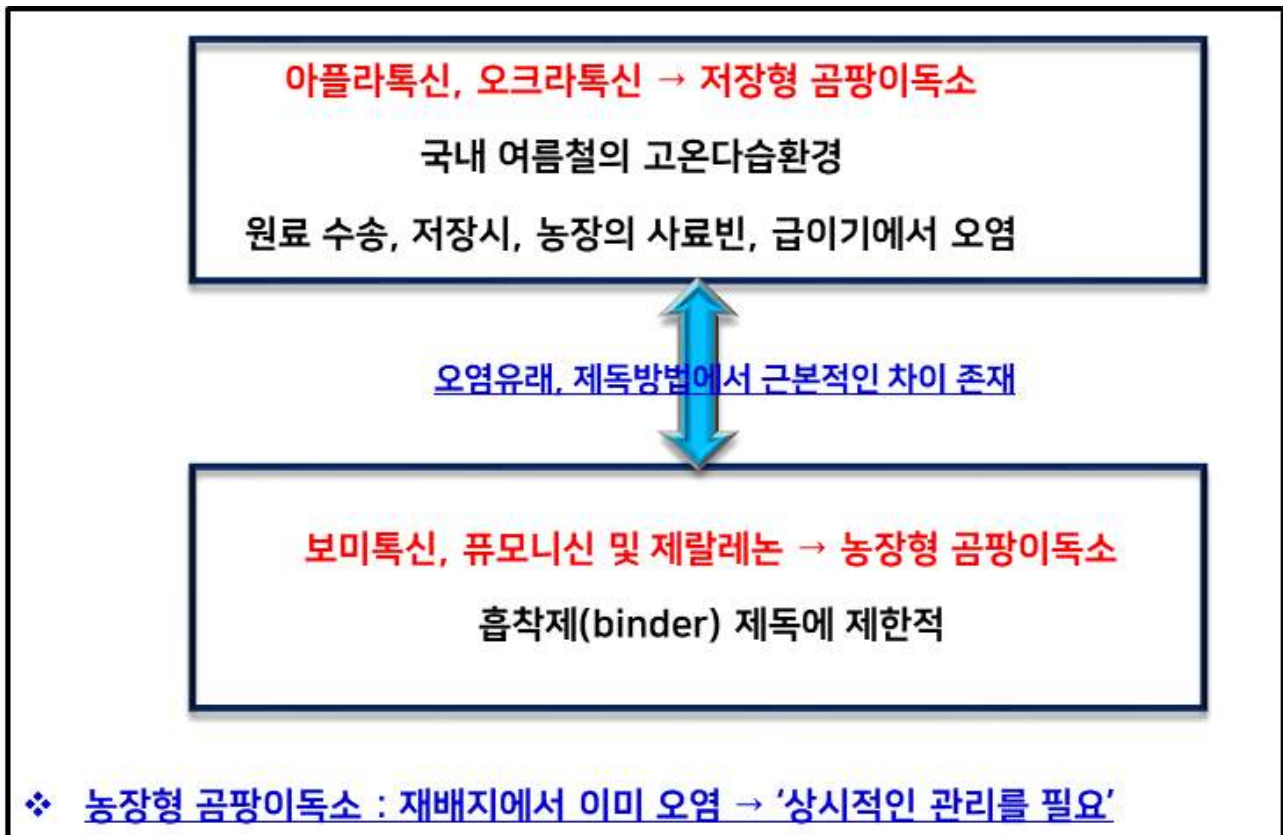
- 마이코톡신(Mycotoxin)이라는 용어는 1962년 영국에서 발생한 칠면조 100,000마리 폐사사건이 발생하면서 만들어 졌으며, 원인이 땅콩 박에 오염된 *Aspergillus flavus*의 2차 대사산물(Aflatoxins)로 밝혀졌음. 이후 수많은 곰팡이 유래 2차 대사산물에 대한 연구가 이루어져 현재까지 아플라톡신(Aflatoxin, AFs), 오크라톡신(Ochratoxin A, OTA), 퓨모니신(Fumonisin, FUM), 니발레놀(Nivalenol, NIV), 데옥

시니발레놀(Deoxynivalenol, DON), 제랄레논(Zearalenone, ZEN), T-2 toxin(T-2), HT-2toxin(HT-2) 등 약 400여종의 곰팡이독소가 밝혀졌음

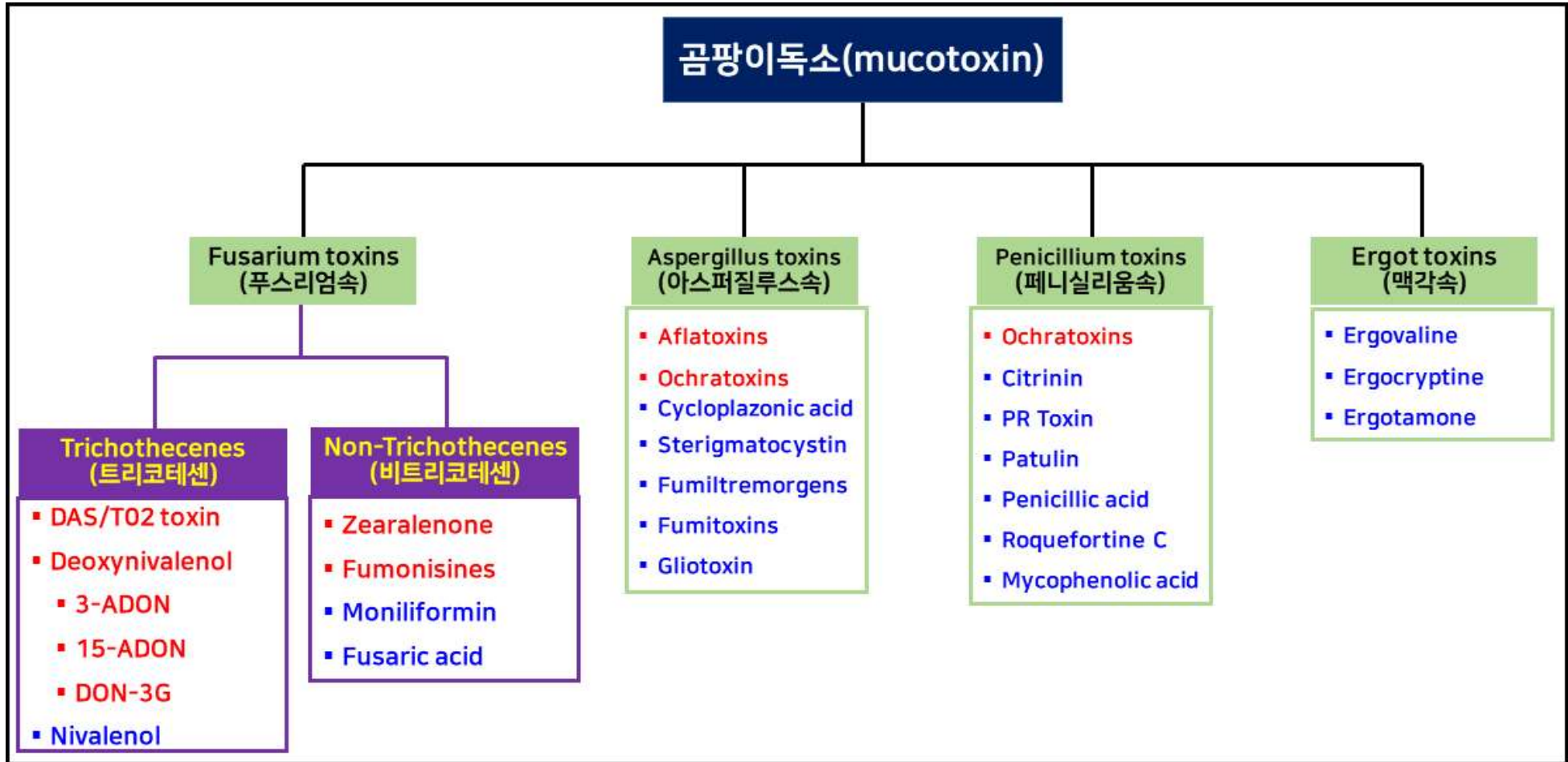
- 곡류, 두류, 서류 같은 농작물의 생산, 수확, 저장 과정에서 주로 발생하고, 열에 매우 안정하여 가공과정에서도 잘 파괴되지 않으며, 이들 곰팡이독소가 오염된 농식품과 사료를 사람 또는 가축이 섭취했을 경우 간장, 신장, 신경 등에 장애를 일으킴. 기후온난화로 최근 식물의 생산 환경이 곰팡이가 번식하기 좋은 고온다습한 조건으로 변화되고 있고, 옥수수 등 곡물의 에너지화에 따른 곡물가격 상승으로 곰팡이독소에 오염된 저급 농산물이 식품 및 사료 원료로 사용될 가능성이 높아지고 있는 실정임.
- 사료에 곰팡이가 발생하면 곰팡이 독소에 오염될 가능성이 높아지지만 모든 곰팡이가 곰팡이 독소를 생산하지는 않고 수확 전에 이미 곰팡이 독소에 오염이 되었을 가능성도 있음. 그리고 곰팡이 독소는 화학적으로 대단히 안정적인 물질로 열이나 산에도 강하기 때문에 열이나 항곰팡이제로 잘 처리 했다고 해도 그의 산출물인 곰팡이 독소는 사료 중에 용이하게 잔존할 수 있음. 현재 350종 이상의 곰팡이 독소 존재가 알려져 있고 이중에서도 특별히 돼지의 건강이나 생산성에 큰 영향을 주는 곰팡이 독소는 오크라톡신, 보미톡신, 퓨모니신, 제랄레논, 아플라톡신 A, T-2톡신 등임.

[표 1-1] 주요 곰팡이속에 따른 독소 분류

속 구분	종 류
[농장형 곰팡이 독소] 수분이 높은 환경 선호, 포장식물에서 기생, 병해충의 원인	
<i>Aspergillus</i> 속	아플라톡신(Aflatoxins) 오크라톡신(Ochratoxin) A 파툴린(Patulin) 
[저장형 곰팡이 독소] 수분이 낮은 환경 선호, 수확후 사료에서 증식	
<i>Penicillium</i> 속	오크라톡신(Ochratoxin) 파툴린(Patulin) 시트리닌(Citrinin) 푸사린(Fusarin) C Cyclopiazonic acid 
<i>Fusarium</i> 속	퓨모니신(Fumonisin) 제랄레논(Zeralenon) 트리코테센(Trichothecenes) (NIV, DON, T-2 toxin, HT-toxin) 푸사린(Fusarin) C 



[그림 1-2] 곰팡이독소별 특징

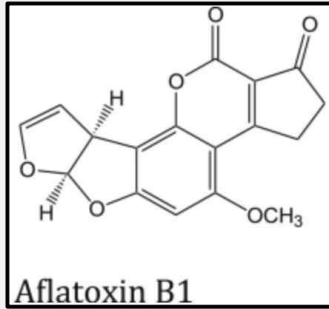


[그림 1-3] 주요 곰팡이독소의 속별 분류

[자료 : Swarm, 2018]

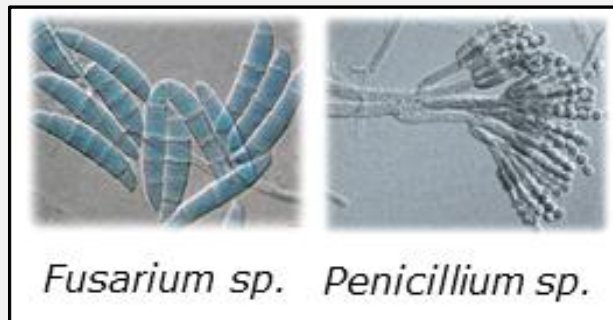
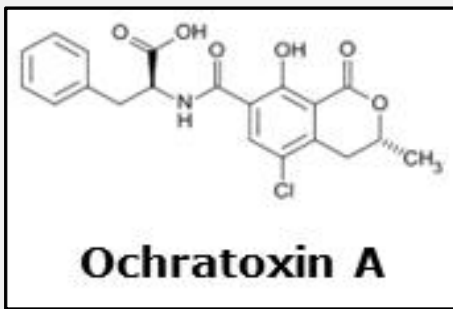
■ 돼지에게 유해한 주요 곰팡이 독소

- 아플라톡신(아스퍼질루스속) : 아플라톡신은 누룩 곰팡이의 친구인 아스퍼질루스속이 만드는 곰팡이독으로, 주로 옥수수나 낙화생 등을 오염시키며 10가지 이상의 종류가 있지만, 이 가운데 가장 중요한 것은 아플라톡신 B₁임. 아플라톡신은 번식능력, 성장능력 및 면역체계에 영향을 미침



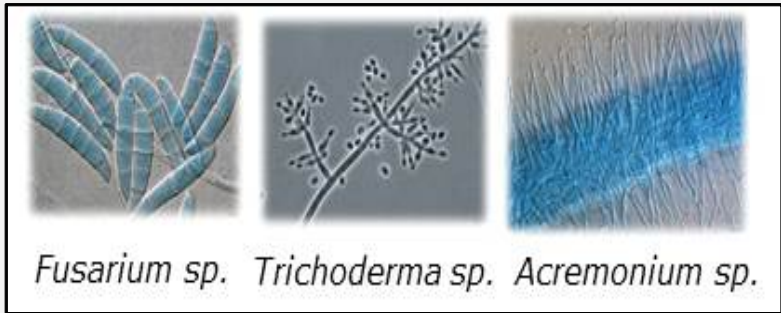
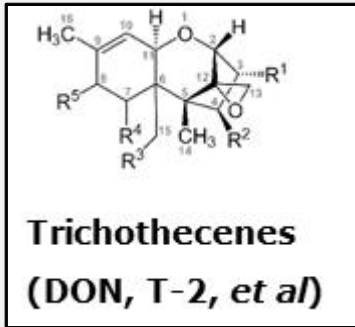
[그림 1-4] 아플라톡신의 구조

- 오크라톡신 A(아스퍼질루스속, 페니실리움속) : 주로 보리류나 옥수수를 오염시킴. 페니실리움속 곰팡이의 경우는 비교적 시원한 장소에서 증식하기 때문에, 북유럽, 캐나다 같은 한랭지에서 문제가 됨. 간 독성과 성장능력 저하, 콩팥독성 및 괴사임. 오크라톡신 A는 돼지에서 세포 매개 면역반응을 억제하는 것으로 관찰되었으며, 결과적으로 대식세포의 활동이 저하되고 림프구의 자극도 약화됨.



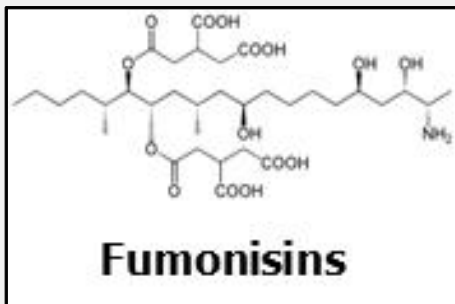
[그림 1-5] 오크라톡신-A의 구조

- T-2(푸사리움속) : T-2는 보리류에 붉은 곰팡이병을 일으키는 곰팡이독임. 보리류는 물론, 옥수수도 오염시킨다. 트리크티센이라고 불리는 곰팡이독은 화학구조가 닮은 100종류 이상의 곰팡이독소 그룹으로 나누어짐. 이들의 트리크티센은 식욕부진, 구토, 위장염, 피부염 등의 중독증상을 보이는 외에, 가축의 면역기능에도 영향을 끼침. 가축 중에서는 돼지가 트리크티센의 영향을 가장 받기 쉽고, 중독증상으로는 식욕부진이 가장 많이 나타남.



[그림 1-6] 트리크티센의 구조

- 니발레놀 : 니발레놀(Nivalenol)은 B Type trichothecene으로 수용성이며, DON의 화학구조에서 4번 탄소에 -OH기가 있는 것이 Nivalenol(NIV)로 보미톡신(DON)보다 그 독성이 더 강하며, 보통 다른 푸사리움속 곰팡이 생성 독소와 같이 나타남. 외국에서는 맥류에서 DON보다 오염도는 낮은 것으로 보고되고 있으나 국내에서는 더 높은 오염도를 보이는 것으로 보고되고 있음.
- 퓨모니신(푸사리움속) : 주로 옥수수를 오염시킴. 퓨모니신에는 화학구조의 님은 몇 가지의 종류가 있음. 돼지 폐부종(PPE)과 퓨모니신과의 관계에 대해서는 이미 많은 연구가 진행되었음. 심지어 적은 농도의 퓨모니신에 노출된 돼지도 심각한 폐부종, 간과 췌장의 손상 및 성장능력과 면역 기능이 저하되었음.



[그림 1-7] 퓨모니신의 구조

- 제랄레논(푸사리움속) : 주로 보리류나 옥수수를 오염시키고. 여성 호르몬과 같은 작용을 가지고 있고, 가축 중에서는 돼지가 가장 영향을 받기 쉽고 미성숙 암돼지의 첫 발정이 빨라지거나, 외음부가 비대해지거나 성숙 암돼지의 발정간격이 연장되거나, 임신돈에게는 유산 등도 일어남.
- 보미톡신(DON) : 빨강곰팡이병균(*Fusarium graminearum*)이 생산하는 유독대사산물로, 주로 보리류, 옥수수 등의 곡류가 오염된다. 미국에서 빨강곰팡이 피해옥수수에서 분리한 보미톡신(vomitoxin)과 동일한 화합물이다. 전 세계적으로 널리 분포하며 자연오염의 예가 알려져 있음.

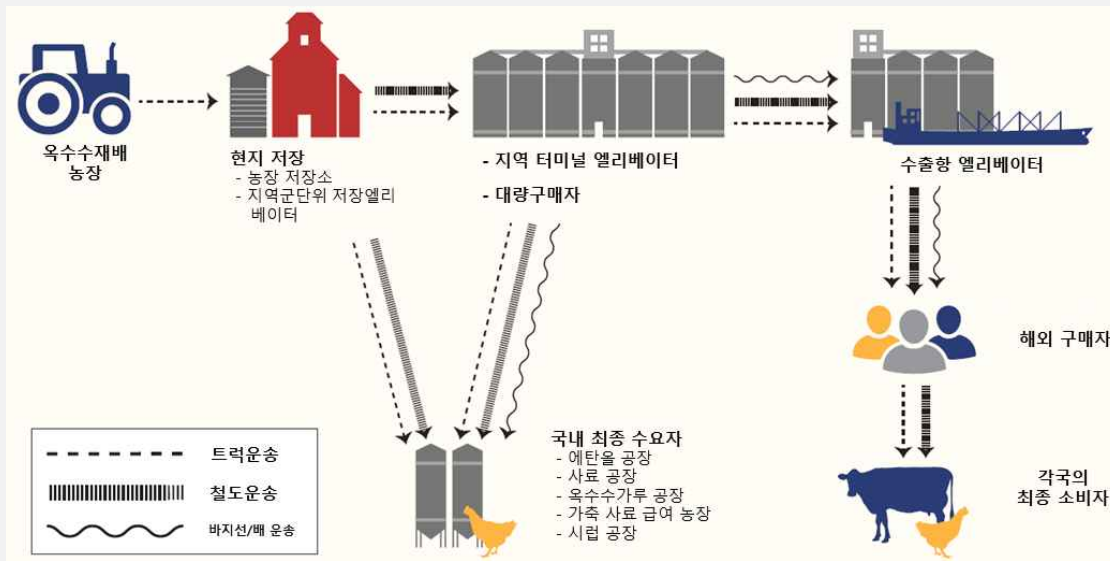
- 곰팡이독소는 장내 상피세포의 영양소 흡수와 장내 용모 및 내벽을 재생시키는 상피세포의 기능을 저해함. 보미톡신과 퓨모니신은 장내 용모의 길이와 면적을 감소시킴. 특히 보미톡신은 수송체 분자에 영향을 미치는 영양소흡수를 저해하고 상피세포의 회복을 감소시킴

2) 경제 · 산업적 측면

- 모든 곰팡이가 곰팡이 독소를 만드는 것은 아니고, 일부 종류가 인간이나 동물에게 중독을 일으키는 곰팡이 독소를 생성함. 곰팡이 독소를 만드는 주요 곰팡이는 푸사리움(*Fusarium*)속, 아스퍼질루스(*Aspergillus*)속, 페니실리움(*Penicillium*)속으로 분류되는 곰팡이다. 종류에 따라 증식에 적당한 조건들이 다름. 푸사리움속의 곰팡이(소위 붉은 곰팡이)는 비교적 수분이 많은 조건을 좋아하여, 포장 작물에 기생하여 병해를 일으키며 보리류의 붉은 곰팡이 독소로 유명함. 한편 아스퍼질루스속이나 페니실리움속의 곰팡이는 푸사리움속의 곰팡이보다 수분이 적은 조건을 좋아하여, 주로 수확 후의 사료에 증식함. 곰팡이는 증식하면 곰팡이독을 만들게 되지만, 푸사리움속의 곰팡이는 온도가 낮고 거의 증식할 수 없는 상태라도 곰팡이독을 만드는 것이 특징임.
- 사료는 공동경작, 제조, 이동, 저장 등의 과정에서 기후 조건에 따라 곰팡이로부터 쉽게 오염이 되며, 저장온도, 습도가 관리되는 최적 시스템에서도 곰팡이 오염은 지속적으로 문제를 일으키고 있음. 최근에도 사료에서 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속의 곰팡이 오염이 더욱 빈번하게 발생하고 있다고 보고되고 있음.
- 국내 사료제조 공장에서 사용하는 대부분의 원료는 외국에서 수입하고 있는 실정으로 최종 생산된 배합사료 및 단미사료에서 곰팡이의 오염이 의심 되고 있음. 그러나 사료에 대한 곰팡이독소의 오염현황에 대한 조사 실적은 현재까지 많지 않음. 즉, 우리나라에서는 사료 중 곰팡이독소의 오염실태에 대한 자료가 미흡하며, 오염실태조사가 진행된 것도 일부 단미사료에 대한 것이 대부분이고 가축이 실질적으로 섭취하는 축종별 배합사료에 대한 오염도 조사 자료는 거의 찾아볼 수 없는 실정임.
- 가축이 곰팡이독소에 오염된 사료를 섭취할 경우, 생산성 저하는 물론 질병 발생 위험성 증가 및 축산물 품질 저하 등의 문제를 유발할 수 있는데, 최근 발표된 메타분석 결과에 따르면, 육계 사료 내 곰팡이독소는 사료섭취량(약 12%) 및 증체량(약 14%)을 감소시키는 것으로 보고되었으며, 돼지의 경우에도 사료 내 곰팡이독소는 성장, 면역, 및 신경계에 부정적인 영향을 미친다고 보고되고 있음.

<미국의 옥수수 수확부터 수출까지의 과정>

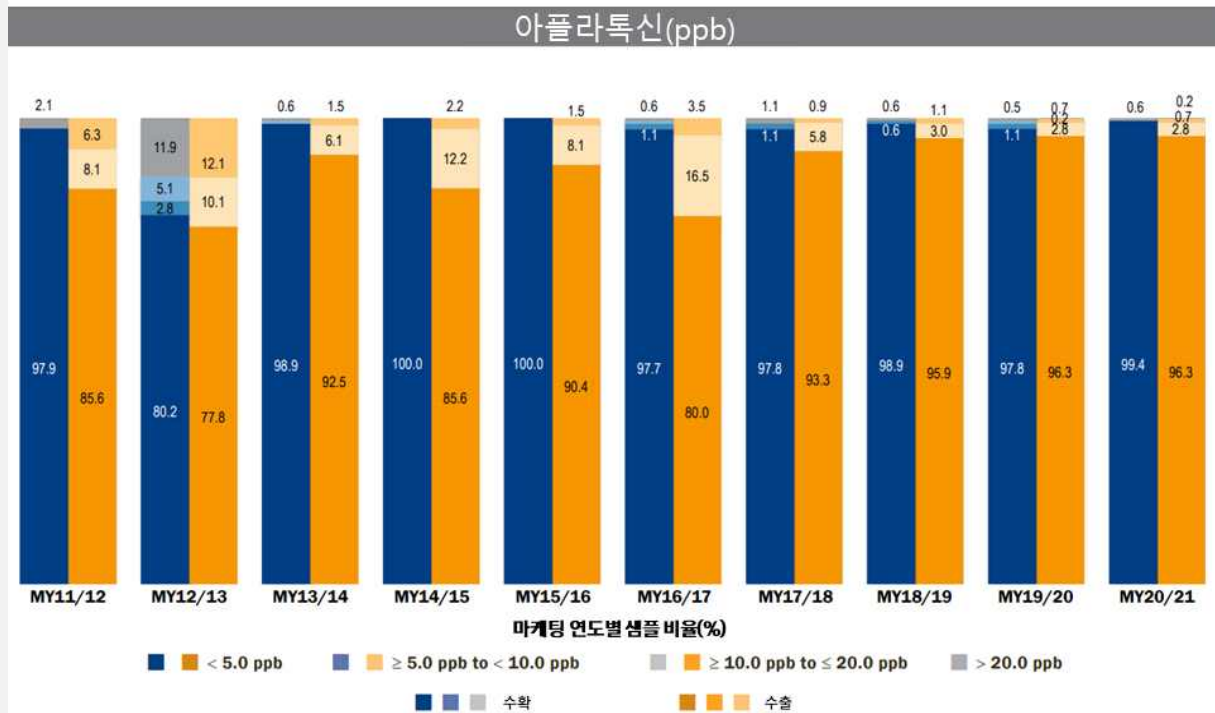
- **건조 및 조절** : 수확한 옥수수의 평균 수분함량은 약 18~30% 범위로 안전한 저장수준(13~14%)을 초과하기 때문에 수확후 바로 건조를 시켜야 저장 및 운송에서 안전성을 유지함.
- **저장 및 처리** : 미국에서 이용하는 주요 저장구조는 금속재질의 빈, 콘크리트 구조의 사일로, 창고 및 평지 등으로 구분됨. 취급 장비로는 버킷 엘리베이터, 벨트 및 컨베이어 등으로 취급과정에서 옥수수의 파손이 발생하며 파손된 부위로 곰팡이 및 곤충의 침입이 일어나게 됨
- **클리닝** : 이물질 제거 과정으로 큰 물질을 스킨(scraping)하거나 미세 입자를 시빙(sieving)하여 제거함으로써 파손된 낱알을 줄일 수 있음
- **운송** : 농부들은 마차, 트럭 등으로 현장에서 농장 저장고 또는 상업용 곡물시설로 운반하며, 저장된 옥수수는 트럭, 철도, 바지선으로 다음 목적지로 운송된 후 수출시설에서 선발이나 철도, 차량에 실리게 됨. 이 때 ① 통기가 장착된 운송수단이 거의 없음(열 및 수분 조절 불가) ② 기차, 바지선, 적재 차량 등의 하부에 미세물질이 축적으로 보관보다 운송 중에 품질관리가 더 어려움.



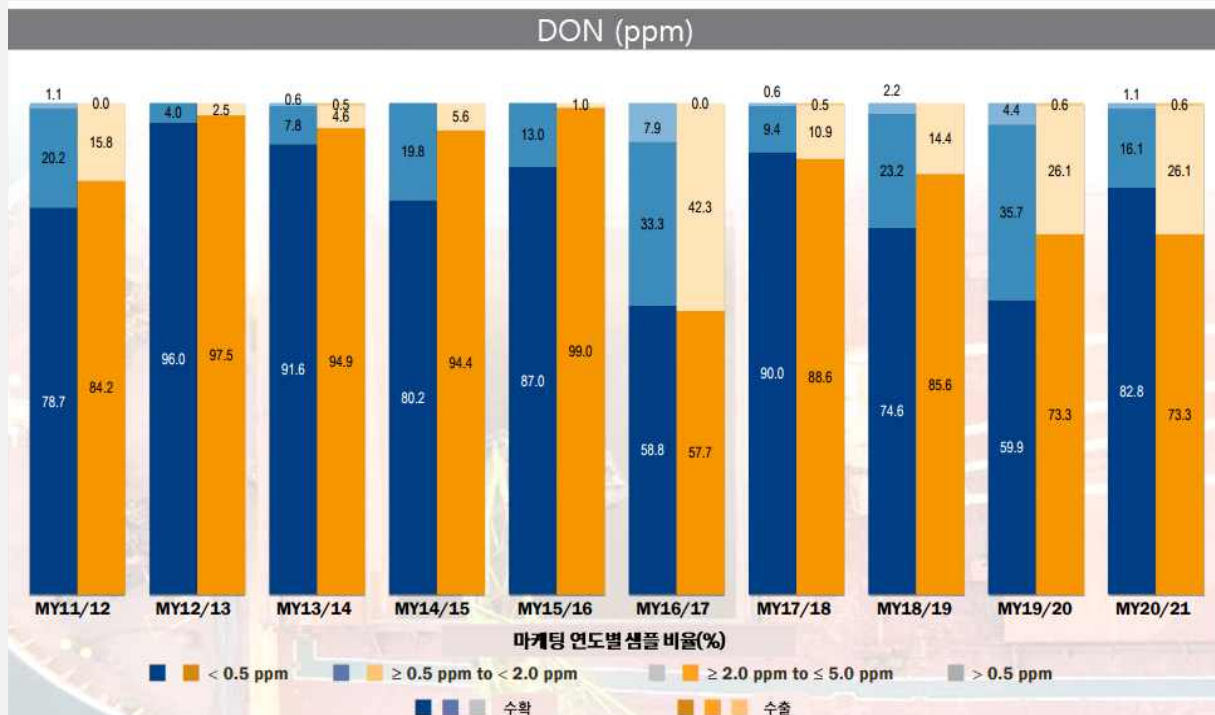
[그림 1-8] 미국의 옥수수 재배 및 저장, 수송, 출하시까지의 경로

- **품질에 미치는 영향** : 옥수수 낱알 자체의 품질 속성은 수확에서 수출까지 외부 요인을 무시할 경우 변하지 않음. 그러나 여러 지역의 옥수수가 섞이면서 고유 품질 특성의 평균은 지역 품질 수준에 따라 결정이 되며, 시험중량, 손상 낱알, 깨진 낱알, 알곡 균열 수준, 수분 함량, 변이, 이물질 및 곰팡이독소 등이 전체 품질에 영향을 끼치게 됨

<미국산 옥수수 연도별 수확기와 수출 화물의 곰팡이 독소 비교>



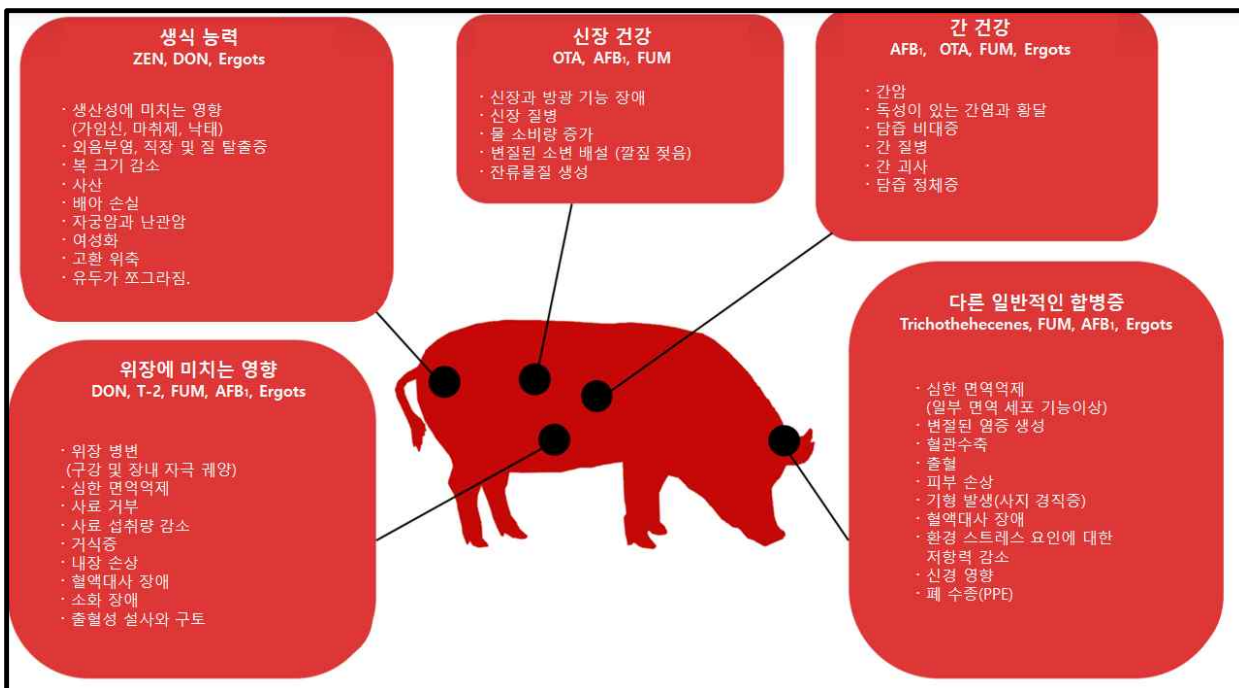
[그림 1-9] 연도별 수확기와 수출화물의 옥수수 샘플에 대한 아플라톡신 농도비교



[그림 1-10] 연도별 수확기와 수출화물의 옥수수 샘플에 대한 DON 농도비교

[표 1-2] 곰팡이독소가 돼지의 생리에 미치는 주요 피해

곰팡이독소	주요 피해
데 옥시니발레놀 Deoxynivalenol (DON)	구토, 설사, 사료섭취거부, 체중감소, 유생산량 감소
제랄레논 Zeralenone (ZEN)	번식돈의 생식장애를 일으켜 경제적 손실 유발 외음질염, 생시체중 및 산자 수 감소, 산란율 감소
퓨모니신 Fumonisin (FUM)	늑막부종, 호흡기질환 및 심장질환, 간 및 신장의 병변
아플라톡신 Aflatoxin (AFL)	사료섭취감소, 유생산량감소, 면역력저하, 간 손상 및 간암유발
오크라톡신 Orchratoxin (ORC)	성장 지연, 사료거부, 폐사율 증가, 신장질환, 신장 기능 장애



[그림 1-11] 다양한 곰팡이독소에 따른 돼지 생리에 미치는 영향

- 주요 곰팡이독소과 돼지에게 미치는 영향을 종합 정리하면 면역력 저하, 간장의 손상, 내장 출혈 등의 소화기관의 손상이 사료 섭취량 저하, 나아가서는 사료 섭취 거부 등의 결과를 초래함. 또한 번식성적에의 영향이 큰 곰팡이독소는 제랄레논인 것을 알 수 있음.
- 곰팡이독소 중독은 여러 가지 부작용을 보이지만 거의 대부분이 공통적으로 면역 기능장애(면역억제)를 초래함. 아플라톡신은 간 장애(간세포괴사), 출혈성 장염, 증체율 저하 및 면역 억제시키고, 오크라톡신은 신장장애와 간 장애, 퓨모니신은 폐수종, 간 장애, 심장비대 및 면역억제, T-2독신은 소화기장애(구토, 식욕저하, 출혈성 장염, 설사), 증체율 저하, 피부염, 면역억제, 제랄레논은 번식장애 (유산, 외음부비대)에 영향을 미침.

※ 곰팡이독소의 전이(carry-over)

- 1974년 독일에서 곰팡이독소에 대한 전이(carry-over)연구시작
- 유럽 : 아플라톡신, 오크라톡신, 제랄레논, DON, 파툴린, 퓨모니신 → 법적 제한치 설정(HT-2, T-2 및 맥각균 알칼로이드는 법적 규정 논의 중)

① **아플라톡신(Aflatoxin) 전이 : 0.005~0.02mg/kg**

- 전이(carry-over)의 증거 → 돼지고기 조직, 우유, 계란에서 발견
- 아플라톡신 B → 돼지의 간, 근육, 신장 및 지방조직에서 발생
- 흡착제(Aluminosilicate) 사용 → 아플라톡신 M1양 감소, 아플라톡신 B1은 근육조직 감소, 간과 신장조직에서 감소하지 않음
- 가금류에서는 전이를 검증(닭 →달걀, 젖소 →우유, 사람 →모유를 통해 전이)

② **오크라톡신(Ochratoxin) A 전이 : 0.05~0.25mg/kg(건물 88%)**

- 신장 및 근육조직에서 검출, 열에 매우 안정적
- 반감기가 길어 혈장에서 장기간 검출이 됨 . 혈청 내 알부민과 결합 → 온혈동물에서 채내 오래 잔류
- 덴마크에서는 돈육 내에 25ug/kg이상 검출을 규제

③ **제랄레논(ZEA) : 0.1~0.5mg/kg, 사료용 옥수수 2~3mg허용**

- 옥수수, 소맥, 보리, 귀리 및 수수에서 감염
- 트리크티센(Trichothecene)과 결합하여 시너지 효과 발생
- 에스트로겐과 유사 → 고에스트로겐 반응
- 간으로 전이율은 0.9%, 담즙은 3.6%

④ **보미톡신(Deoxynivalenol, DON) : 5mg/kg**

- Trichothecenes : T-2 독소, DON
- DON : 캐나다, 미국, 영국 및 남부 아프리카산 밀과 옥수수
- 세포독성, 면역독성 및 발암효과 → 단백질합성 억제(세포분열 및 mRNA, DNA 합성에서 부정적 작용)
- 돼지 전이율 : 담즙(10%), 신장(1.5%), 간(0.5%), 혈통(0.23%), 근육(0.16%), 지방(0.02%)

⑤ **퓨모니신 B(Fumonisin B) 전이 : 5mg/kg(돼지)**

- 옥수수에 자주 발생
- Fumonisin B₁, B₂, B₃ 독성, 간독성(독성 간염, 담관섬유증)
- 돼지는 장기간 노출될 경우 모유를 통해 전이

※ 사료 곰팡이 독소의 모돈과 포유자돈간 전이 연구

- 네덜란드의 Schothorst Feed Research 연구소는 모돈의 임신 및 포유기간동안 사려내 곰팡이 독소 제랄레논(ZEN), 디옥시니발레노(DON) 및 유도체의 전이에 대해 연구하였음. 이 연구에서 모돈과 자돈의 혈청뿐만 아니라 모돈의 초유와 젖의 곰팡이독소의 수준을 측정하였다. Schothorst Feed Research(SFR)의 연구 목적은 실제 양돈장에서 곰팡이독소가 성장과 수태에 미치는 위험성을 확인하기 위해 극도로 높은 수준의 곰팡이독소에 노출되지는 않지만 EU 규제 한계치에 근접해 있다는 것을 의미함



- 곰팡이 독소의 초유와 젖(상유)으로 전이 가능성 : 제랄레논(ZEN)과 디옥시니발레놀(DON)은 특히 옥수수과 비트펄프 기반 배합 사료에서 가장 일반적으로 발견할 수 있는 곰팡이독소임. ZEN과 DON은 높은 수준으로 오염된 사료를 젖소가 먹으면 우유로도 전이가 되는 것으로 알려져 있다. 비록 최종 사료내의 곰팡이 독소가 EU 지침에 따르는 값을 가질지라도 모돈으로부터 초유 및 상유로 그리고 자돈으로의 전이가 여전히 발생할 수 있음. 제랄레논과 α -ZEL 및 β -ZEL과 같은 유도체는 에스트로겐 수용체와 결합할 수 있는 에스트라디올과 유사한 형태를 가지고 있음. 또한 ZEN은 섭취후 빠르게 위장관에서 대사가 일어나서 α -ZEL과 같은 더욱 독성이 강한 대사산물을 생성하고, 이러한 사항들은 상유와 혈청에서 ZEN의 유도체 측정의 중요성을 이야기할 수 있음
- 곰팡이 독소 전이 시험을 위한 3가지 시험처리구 : 양돈사료를 2가지 다른 시험구로 비트펄프를 이용하여 ZEN 100ppb(LoZEN) 및 300ppb(HiZEN) 수준으로 오

염된 사료를 준비하였고, 비트펄프는 DON의 출처는 아니었지만 사료를 준비하는데 이용한 다른 사료 원료를 조합한 결과 최종 사료는 약 250ppb의 DON을 포함한 사료가 되었음. 이 수준은 EU의 권장수준(900ppb)보다 훨씬 낮으며, 양돈 사료의 통상 오염 수준으로 간주할 수 있음.

■ 시험구

- T1 : 임신 109일부터 포유 26일까지 LoZEN
- T2 : 임신 109일부터 분만시까지 LoZEN 및 분만후 포유 26일까지 HiZEN
- T3 : 임신 109일부터 포유 26일까지 HiZEN

[표 1-3] 사료내 곰팡이독소와 유도체 분석 결과(ppb)

곰팡이독소(ppb)	LoZEN 사료	HiZEN 사료
Zearalenone	118	318
Deoxynivalenol	259	255
Fumonisin B1+B2	83.1	84.0
Alternariol	26.9	29.5
Alternariol ME	68.5	68.6
Beauvericin	19.8	27.7
Enniatin A1	3.5	-
Enniatin A	32.6	28.9
Enniatin B1	9.2	8.6

모든 사료에서 검출 수준 이하 : Aflatoxin B1, B2, G1, and G2, 3+15 Ac-DON, DON-3-G, Nivalenol, Ochratoxin A, T2 & HT2 Toxin, Diacetoxyscirpenol, Cytochalasine E, Sterigmatocystin, Alternariol ME, Citrinin, Roquefortine C, Enniatin A, A1, B and B1, Moniliformin.

- 상유 내에서의 α -ZEL의 증가 : T3 사료를 섭취한 모돈, 즉 교배후 109일부터 분만 후까지 HiZEN 사료를 먹은 개체들의 초유에서 α -ZEL 수준은 유의성 있게 증가했다. 이유시에 우유를 평가했을 때, T2 및 T3 사료를 급여한 모돈, 즉 각각 분만부터 이유시까지 또는 교배후 109일부터 이유시까지 HiZEN 사료를 섭취한 개체들에서 α -ZEL 수준도 증가하였음. 이유시에 우유를 평가했을 때, 분만전 ZEN 수준과 관계없이 분만후 이유시까지 HiZEN 사료를 급여한 모돈에게서 α -ZEL의 유의성 있게 증가하였고, 초유와 상유에서의 DON수준은 모든 모돈에서 섭취하는 DON 수준이 같았기 때문에 시험구 간에 유사하게 나타났음

[표 1-4] 초유와 우유에서의 곰팡이독소 수치(ng/ml)에 대한 각 처리구의 효과

	T1	T2	T3	LSD	P-값
초유					
ZEN	0.053	0.048	0.075	0.0624	0.62
α-ZEL	0.094 ^a	0.066 ^a	0.218 ^b	0.0793	<0.01
DON	0.75	0.36	0.76	1.013	0.63
우유					
ZEN	0.120	0.130	0.115	0.0823	0.93
α-ZEL	0.062 ^a	0.176 ^b	0.156 ^b	0.0920	0.043
DON	2.98	3.19	2.37	1.932	0.64

a, b는 처리구간 유의한 차이를 나타낸다(P<0.05)

b-ZEL, ZAN, a-ZAL, b-ZAL 및 de-DON은 샘플에서 검출되지 않았음.

- 혈청수준에서의 곰팡이 독소의 유의적인 증가 : 시험을 시작할 때, 곰팡이독소의 혈청내 수준은 차이가 없었음. 그러나 시험이 끝나는 시점, 즉 포유 26일째에 대조구(T1)와 비교할 때, T2 및 T3를 급여한 모든 혈청내 ZEN, α-ZEL 및 β-ZEL의 수준이 유의성있게 증가했다. 자돈 혈청에서 ZEN 수준에는 유의한 차이가 없었지만 T3를 급여한 자돈에서는 혈청내 α-ZEL 수준이 증가와 함께 DON 및 de-DON의 혈청내 수준이 유의하게 높았음

[표 1-5] 모돈과 자돈으로부터 혈청에서의 곰팡이독소 수준(ng/ml)에 대한 처리 효과

	T1	T2	T3	LSD	P-값
모돈					
임신 109일					
ZEN	0.066	0.076	0.066	0.0443	0.84
α-ZEL	0.148	0.266	0.258	0.2960	0.64
β-ZEL	0.057	0.053	0.081	0.0378	0.27
DON	0.445	0.477	0.929	0.8210	0.11
de-DON	-	-	-	-	-
26일 이유시					
ZEN	0.43 ^a	1.08 ^b	1.11 ^b	0.281	<0.001
α-ZEL	0.94 ^a	3.09 ^b	3.42 ^b	0.984	<0.001
β-ZEL	0.23 ^a	0.37 ^b	0.53 ^c	0.131	<0.01
DON	3.07	3.21	2.10	1.919	0.42
de-DON	0.11	0.53	0.15	0.543	0.22
이유자돈					
ZEN	0.024	0.020	0.024	0.0232	0.91
α-ZEL	0.011	0.012	0.040	0.0279	0.08
β-ZEL	0.042	0.040	0.041	0.0035	0.59
DON	0.045 ^a	0.045 ^a	0.099 ^b	0.0469	0.05
de-DON	0.040 ^a	0.040 ^a	0.058 ^b	0.0160	0.05

a, b, c는 처리구간 유의한 차이를 나타냅니다(P<0.05)

ZAN, a-ZAL, b-ZAL 및 de-DON은 샘플에서 검출되지 않았음.

- ZEN과 DON을 사료에 노출시켜도 모돈과 자돈의 능력에 영향을 미치지 않는
 음. 더욱이 임신 마지막주 동안 300ppb ZEN에 노출된 모돈의 혈청의 렙틴
 (leptin) 호르몬 감소와 함께 등지방 두께가 감소하였음. 등지방은 물, 콜라겐과
 지방으로 구성되어 있으며 등지방두께와 양의 상관관계를 갖는 렙틴을 포함한
 다양한 호르몬의 공급원이라는 것에 주목됨
- 자돈에서 에스트라디올(oestradiol)의 혈청 수준 감소 : 에스트라디올의 혈청 수
 준은 임신 109일째부터 혹은 분만에서 이유까지 HiZEN 사료를 급이한 모돈과
 분만된 자돈에서 유의하게 감소하였음. 과거에, 포유기간동안 ZEN에 노출되면
 ZEN으로 인하여 에스트라디올이 고갈되기 때문에 암컷 자돈의 난소에 존재하는
 생식세포들이 감소한다는 연구 결과가 보고된 바 있음. 따라서 생산 능력이 손
 상되지는 않았지만 노출된 암컷 자돈들은 후보돈으로 선발되어서는 안된다는 것
 을 의미함. 수태율이 낮아지기 때문이다. 포유기간 동안만 곰팡이독소에 노출된
 경우와 비교했을 때, 임신 마지막 주와 포유기간 동안 노출된 자돈에서 혈청
 GLP1의 유의한 감소와 칼프로텍틴(calprotectin)의 혈청내 수준이 증가하였음. 혈
 청 내 칼프로텍틴 수치가 높아졌다는 것은 염증이 발생했음을 나타낸다. 장내
 항염증 효과도 있는 장내 호르몬 GLP1의 혈청수치 감소는 HiZEN과 DON 사료
 를 먹인 모돈과 태어난 자돈이 염증을 가지고 있을 가능성이 높음.

■ 결 론

- 결론적으로, EU에서 통상 관찰되는 수준의 곰팡이독소에 오염된 사료를 급여한
 모돈의 초유와 상유에서 ZEN, DON 및 유도체들을 분석 할 수 있다. HiZEN에
 노출되면 분만시 등지방 두께가 감소했으며, 이 효과는 모돈의 혈청 내 렙틴 수
 준의 감소를 초래하였음. 또한 이러한 노출은 모돈과 자돈의 혈청 에스트라디올
 수치를 감소시켰음. 곰팡이독소의 전이가 포유자돈의 능력에 영향을 끼치지
 않았을지라도 염증 발생이 일어나고 있었음. 더욱이 흥미로운 것은 임신 마지막
 주와 포유기간 동안 HiZEN 사료에 노출된 포유자돈 혈청에서 DON 및 de-DON
 수준이 증가하였음.

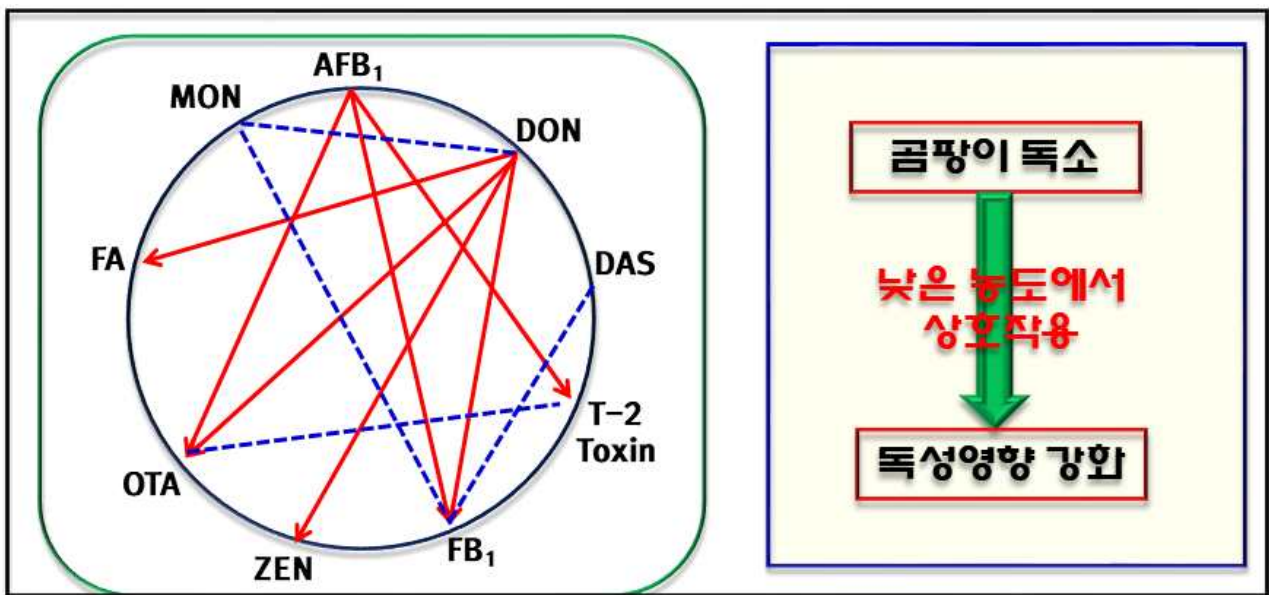
[자료 : All About Feed - Transmission of ZEN and DON from sows to piglets]

- 아스퍼질루스속, 페니실리움속 및 푸사리움속의 곰팡이는 동시에 2종 이상의 곰팡이독소를 생산할 수 있고 2종 이상의 곰팡이독소가 동시에 오염된 사료를 돼지가 섭취했을 경우는 곰팡이독소 독성이 서로 상승적인 작용을 함. 2009년도의 미국산 옥수수를 사용하는 양돈용 배합사료는 푸사리움(Fusarium)속의 곰팡이인 보미톡신(Vomitoxin, DON), 제랄레논(Zearalenone)독소에 오염된 비율이 높고 써코 바이러스 2타입 관련질병(PCV AD)이나 PRRS 그리고 대장균증과의 관련도 밝혀지고 있음.
- 오크라톡신(OTA)과 써코바이러스 2형(PCV2; porcine circovirus type-2) 관계에 있어서, 낮은 농도의 오크라톡신(OTA)은 써코바이러스 (PCV2) 복제를 촉진하고 조직 내에서 전이(carry-over)를 촉진함.
- 이러한 사료 중 곰팡이독소에 의한 문제를 감소시키기 위하여 다양한 종류의 곰팡이독소 저감제(clay, glucomannan, 및 활성탄소 등)가 개발되어 시중에 유통되고 있으나, 이들 곰팡이독소 저감제의 경우 아플라톡신이나 오크라톡신A에 대한 *in vitro/in vivo* 상에서 연구 보고되고 있고, 최근 문제가 되고 있는 다른 곰팡이독소들에 대한 독성 저감 효과에 관한 연구는 미흡한 실정임.
- 제랄레논은 mycoestrogen으로 17 β -에스트로젠과 동일한 수용체에 결합하여 생식기관의 기능을 손상시킴. 제랄레논에 오염된 사료 급여 시, 장 점막세포에 흡수되어 혈류로 들어감. 돼지의 제랄레논의 흡수율은 80%로 추정되고 있음. 제랄레논이 돼지에 미치는 영향은 독소 자체의 위해성 보다는 정상적인 에스트로겐 호르몬(17 β -oestradiol)과 유사한 화학구조로 돼지 체내 수용체가 A독소를 에스트로겐 호르몬으로 인식해 과도한 발정(Hyperestrogenism)증상을 보이면서 수태율과 산자수를 낮추고 유산, 조산 등의 부작용을 초래함. 따라서 암돼지의 외음부가 크게 붓고(부종), 사료 섭취량이 줄어드는 증상을 보임. 유럽의 모돈 및 성돈 배합사료 내 허용수준은 250ppb, 자돈사료는 100ppb임.

[표 1-6] 제랄레논(ZEA)의 오염 농도에 따른 모돈의 증상

돼지종류	제랄레논의 농도(ppb)	임상증상
1산차까지의 미경산돈	3,000	모유선, 자궁기관과 크기증대
모돈	3,000	자궁 및 요도기관 커지고 무발정
암돼지(20~30kg)	3,500	외음부 비정상적으로 커짐
암돼지(60kg 이상)	5,000	사료섭취량과 사료효율저하
분만 15일전 모돈	5,000	허약한 신생자돈, 암컷자돈 외음부 적색부종

- 돼지와 관련된 질병의 약 80%가 사료의 품질, 번식관리, 돈사 및 방역상의 문제점으로 인해 발생하고, 나머지 20%가 바이러스, 박테리아 또는 병원균 때문에 발생함. 곰팡이독소간의 상호작용은 낮은 농도에서도 독성 영향을 강화시킴.
- 붉은곰팡이(*Fusarium graminearum*)과 푸사리움 쿨모룸(*Fusarium culmorum*)은 돼지에게 시너지 작용을 하는 것으로 알려진 제랄레논과 보미톡신을 포함한 여러 가지 독소를 생산하는 것으로 나타남. 더욱이 보미톡신에 대한 분석에서 종종 trichothecenes (T-2 toxin, nivalenol, diacetoxyscirpenol), 제랄레논, 퓨모니신과 같은 다른 독소와 함께 작용하는 것으로 나타남. 돼지에서 곰팡이 독소간의 상호작용 효과에 대해 [그림 12]에 나타내었음.



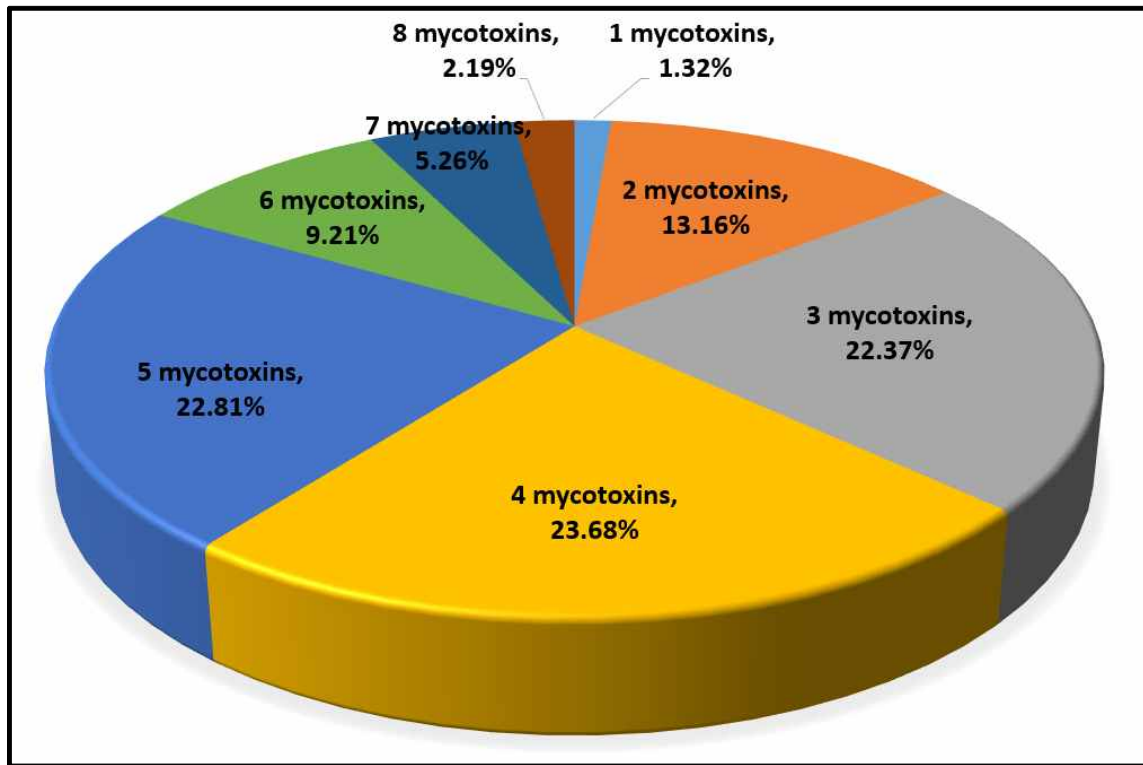
AFB₁:아플라톡신 B₁, FB₁:퓨모니신 B₁,DON:디옥시발레놀, OTA:오크라톡신 A, ZEN:제랄레논, FA:Fusaric acid, DAS:Diacetoxyscirpenol, CPA:Cyclopiazonic acid, MON:Moniliformin
붉은선: 시너지효과 **점선: 추가효과**

[그림 1-12] 돼지에서 곰팡이독소간 시너지 효과

- 돼지에서 곰팡이독소 증상은 곰팡이독소의 섭취 또는 피부접촉에 의해 발생함. 돼지에게 곰팡이독소로 인한 영향은 다양함. 면역기능 억제에서 독소(섭취한 곰팡이독소의 종류와 섭취량 및 기간), 동물(동물의 종, 성별, 연령, 품종, 건강 상태, 면역 체계, 영양 상태), 환경(농장 관리, 방역, 위생, 온도)요소에 따라 심각한 경우 폐사할 수도 있음.
- 제랄레논과 DON은 옥수수수와 비트펄프에 기반한 사료에서 가장 일반적으로 발견할 수 있는 곰팡이독소로서, 높은 수준의 제랄레논 및 DON에 오염된 사료를 모

돈이 섭취하였을 경우, 젓으로도 전이가 되는 것으로 알려져 있음. 높은 수준의 제랄레논의 경우 분만 시 등지방두께를 감소시키며, 모돈의 혈청 내 랩틴 수준의 감소와 관련이 있음. 이는 제랄레논과 DON 사료를 먹인 모돈으로부터 태어난 자돈이 능력에 영향이 거의 없을지라도 염증 발생 비율이 높았다는 가설을 뒷받침하고 있음

- 식품과 사료는 다양한 곰팡이독소에 오염되지만 과거 대부분의 연구에서 단일 곰팡이독소의 발생과 독성에 의한 효과 위주로 초점을 맞추고 있음. 전 세계적으로 곰팡이독소의 농도 규정은 곰팡이독소 간의 복합효과를 고려하지 않고 있음. 여러 연구에서 곡물이나 사료원료에서 곰팡이독소는 자연적으로 동시에 발생하고 있고, 그 대부분이 아플라톡신, 오크라톡신, 제랄레논, 퓨모니신, 보미톡신 등이 발생하고 있고, 특히 아플라톡신+퓨모니신, 보미톡신+제랄레논, 아플라톡신+오크라톡신, 퓨모니신+제랄레논이 동시에 발생하고 있음.



[그림 1-13] 양돈 배합사료에서 다양한 곰팡이독소의 공동 발생 비율

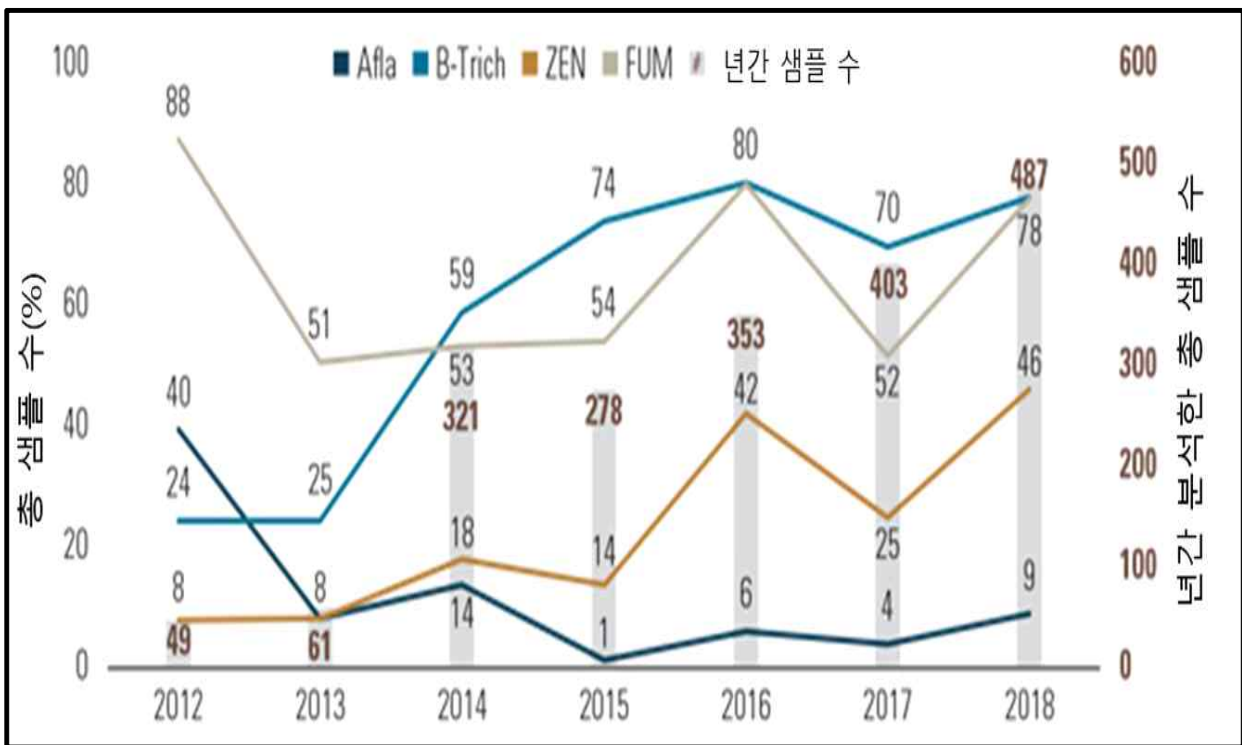
[자료 : Smith et al, Toxins(2016)]

3) 사회·문화적 측면

- 최근 기후 변화로 인해 사료의 생산·저장·운송 이용 과정에서 곰팡이독소에 오염될 가능성이 높아지고 있고 국제 곡물가격 상승, 국가 간 사료 수급 경쟁 심화 등의

여건 변화로 인한 수입 원료사료의 종류 및 수입국 다변화, 농식품 부산물 활용 빈도 증가 등으로 위험 요인이 가중되어 사료 내 곰팡이독소 안전 관리가 더욱 중요시되고 있음. 식품 및 농산물의 생산, 저장, 유통 등의 단계에서 오염 가능한 특정 곰팡이의 2차 대사산물인 곰팡이독소 중 아플라톡신은 가장 강력한 발암물질로, 국제암연구소에서 인체발암성이 확실한 '제1군 발암원'으로 분류하고 있음.

- 2012~2018년에 분석한 샘플에 대한 곰팡이독소의 발생추세를 [그림 15]에 나타내었음. 2012년 이후 푸모니신(FUM)과 아플라톡신(Afla)의 오염도는 감소하는 추세를 보이고 있지만, 보미톡신(DON)과 제랄레논(ZEN)은 점점 오염도가 증가하고 있음.

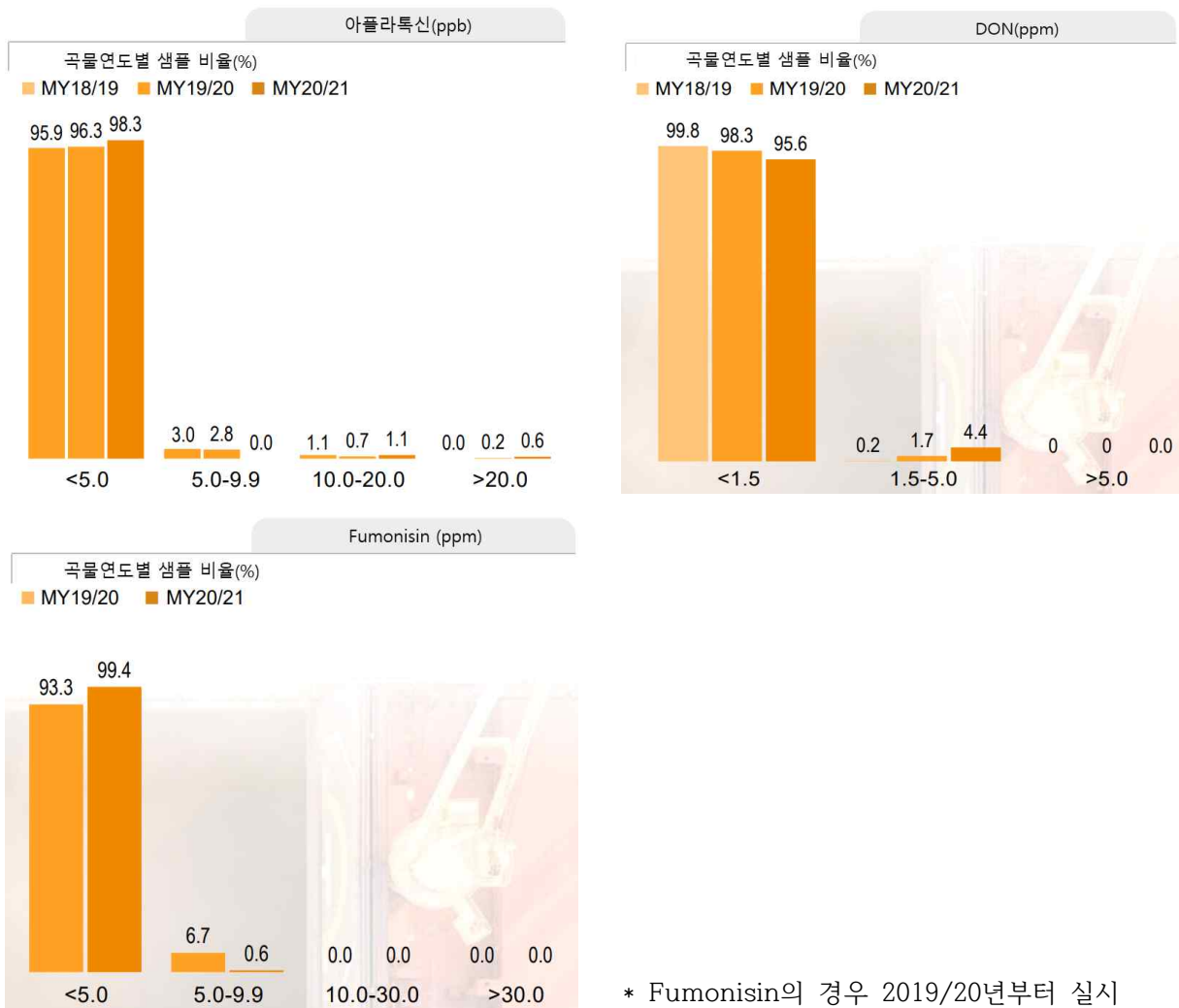


[그림 1-14] 2012~2018년까지 곰팡이 독소의 발생 추세

(자료:Hendel 등, 2019)

- 2018년에 수확된 돼지 배합사료용 옥수수에서 Type B trichothecene, nivalenol이 2017년에 비해 훨씬 높은 빈도로 검출되었음(2018년 바이오민 분석 결과). 보미톡신도 비슷한 경향으로 나타났지만, Type B trichothecene과 nivalenol의 독성이 더욱 강한 것으로 나타났음(Alassane-Kpembi 등, 2015, Payros 등, 2016).
- 2019년 기후조건과 사료작물의 품질 조건을 평가한다면, 2016년과 2017년 곰팡이 오염도가 낮은 경우보다는 오염도가 높았던 2018년 경우처럼 2019년에 수확한 사료작물도 곰팡이 오염도가 높을 가능성이 매우 큼.

- 국내 가축사료의 곰팡이독소의 현황을 파악하고, 다양한 곰팡이독소들 중 어떤 독소에 대한 중점적인 관리가 필요한지를 결정하는 것이 무엇보다 중요한데, 국내의 경우 유통 사료에 대한 곰팡이독소 오염 평가가 미진한 상태이고, 수입 후 건조와 저장이 불량하면 쉽게 곰팡이 및 총해가 발생하기 쉬우며, 특히 독소를 생산하는 곰팡이가 생성하는 곰팡이독소는 그 양이 미량이라도 독성이 강하며, 세척·가열 등의 일반적인 가공조건에서 제거하기가 어려우나 국내에서는 아플라톡신과 오크라톡신 A에 대해서만 관리를 하고 있어, 최근 문제가 되는 푸사리움계 곰팡이독소에 대한 유해성 평가 및 관리 기준이 추가적으로 마련되어야 할 필요가 있음.
- 미국 곡물 수출 화물 보고서(Export Cargo Report)에서 매년 수출용 옥수수를 샘플링하여 FGIS(Federal Grain Inspection Service)에서 검사한 결과를 [그림 15]에 나타내었음.



[그림 1-15] 곡물 연도별 곰팡이 독소 오염 결과

나. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

- 국내의 사료 안전관리체계에 관한 현행 제도를 보면 사료관리법에 따라 사료의 안전성 확보 및 품질 보장을 위하여 관리되고 있는 사료는 배합사료와 단미사료 및 보조사료로 구분하며, 그 사료 종류의 범위와 등록성분은 사료공정서에 구체적으로 정하고 있음. 또 단미·보조사료는 고유 성질이나 형태, 성상 및 영양성분 등에 따라, 그리고 배합사료는 축종별, 사용범위 등에 따라 그 종류의 범위와 등록 성분별 최소량과 최대량을 정하고 있음. 사료의 품질관리에 필요한 사료의 공정 및 시설기준, 용기나 포장의 표시사항, 혼합 가능한 단미사료의 종류, 사용 가능한 부형제의 범위 등을 정하고 있음.
- 사료의 우수제조관리기준(Good Manufacturing Practices : GMP)은 사료의 안전성 확보와 품질관리를 위하여 국제사회에서 권장되고 있는 매우 중요한 제도이나 국내에서는 사료제조업 부문에 아직 GMP 시스템을 적용하지 않고 있음
- 사료의 안전성 확보를 위해 사료관리법 및 사료공정서에 유해사료의 범위와 기준을 정하여 관리하고 있음. 이 기준에는 관리대상의 중금속, 곰팡이독소, 잔류농약, 사료 내 혼합가능 동물용의약품의 종류 및 허용기준, 그밖에 동물 등의 질병 원인이 우려되는 물질과 사료사용 제한물질을 구체적으로 정하고 있음. 또, 사료공장 위해요소중점관리기준에 따라 HACCP 적용 사료공장으로 지정하여 사료 내 위해 물질의 혼입이나 오염방지, 제거 등 준수사항을 정하고 있음. 그리고 생산, 유통 및 판매되는 사료가 사료공정에 적합한지, 성분등록 된 사항과 차이가 있는지, 유해사료의 범위와 기준에 저촉되는지 등 안전성 확보 및 품질관리에 필요한 사료검사와 검정, 수입사료 신고 등에 관한 사항을 정하고 있음.
- 국내의 사료 안전관리체계는 벤치마킹 대상국인 미국, 일본 및 EU 등 선진국에 비해 아직 매우 미흡한 수준일 뿐만 아니라 전문 인력도 부족하며, 사료 안전성에 관한 연구는 낮은 편이나, 본 연구 결과에서 나타난 여러 가지 문제점들에 대하여 제안하는 개선 방안들을 검토, 수용하여 정책과 제도개선에 반영하게 되면 국내 사료의 안전성 확보 및 품질관리 체계가 선진국과 대등한 수준으로 향상될 수 있음
- 다양한 형태의 곰팡이독소들이 가축의 건강 및 생산성을 저해할 수 있으며, 곰팡이독소의 오염도가 높은 옥수수를 가축사료에 많이 사용함에도 불구하고 국내에서는 아플라톡신과 오크라톡신만이 관리 대상임
- 곰팡이독소 샘플링 기술 : 배합사료의 경우 균일성이 보장될 경우 랜덤샘플링으로 대표적인 샘플링이 가능하며, 샘플링 오차, 샘플의 준비오차, 분석오차를 모두 감

안하여 최소한의 variation을 유지하는 기술은 확립된 상태임. 곰팡이독소의 특성 상 사료 곡물 종류, 저장 용기의 물리적 손상 여부 및 수분온도관리능력 등에 따라 비균일적으로 분포하기 때문에 효율적인 샘플링 기법이 중요하며, 세계적으로 공간분포 통계론적인 샘플링 기술을 개발 중임

[표 1-7] 국내·외 사료 내 곰팡이독소 허용 규제치

유해물질	사료구분	한국	미국(FDA)	EU(EFSA)	일본(FAMIC)
아플라톡신류 (Aflatoxins)	배합사료	0.01~0.02ppm	0.2ppm	0.005~0.05ppm	0.01~0.02ppm
	단미사료	0.05ppm	0.02~0.3ppm	0.02~0.10ppm	7~15ppm
오크라톡신A (OchratoxinA)	배합사료	0.2ppm	0.05~5ppm	0.05~5ppm	-
	단미사료	0.2ppm	0.25ppm	0.25ppm	-
데 옥시니발레놀 (Deoxynivalenol)	배합사료	-	2ppm	0.9~2ppm	1~4ppm
	단미사료	-	5~30ppm	8~12ppm	-
제랄레논 (Zearalenone)	배합사료	-	-	0.1~0.25pp	1ppm
	단미사료	-	-	2~3ppm	-
퓨모니신 (Fumonisin)	배합사료	-	5~50ppm	5~50ppm	-
	단미사료	-	5~100ppm	60ppm	-
맥각알칼로이드 (Ergot alkaloid)	배합사료	-	-	1,000ppm	-
	단미사료	-	-	1,000ppm	-

[자료 : 농촌진흥청 국립축산과학원(2015)]

- 곰팡이독소 모니터링 기술 : 미국과 유럽에서는 곰팡이독소의 공식표준 분석방법이 공시되어 있음(AOAC, IUPAC등이 공인). 각 곰팡이독소의 물리화학적 특성에 따라 추출, 클린업, 검출 방법이 상이하어 한 가지방법으로 한 종류의 독소검출만이 가능하며 면역항체법을 응용한 진균독소 검출 키트가 상품화 되어 판매되고 있음. LC-MS/MS 기기를 이용한 동시 다중 진균독소 검출법이 시도되고 있고 최근 biosensor를 이용한 검출법이 시도되고 있음. 진균독소에 대한 생체작용 기전 연구는 비교적 활성화 단계이나 기전에 기초한 리포터 모니터링법 등의 생물학적 검정 분석법은 매우 초기 단계 또는 단순한 세포활성 스크리닝의 수준에 머물러 있고 전혀 표준화 되지 못함
- 곰팡이독소 저감화 기술 : 예방적 제거 측면(preventive measures)으로 규명된 위해 인자(작물별 수분함량, 저장습도, 저장온도, 생물학적(pest), 물리적 손상)를 변

화 및 제어 시 산물의 독소 및 생성균의 억제를 모니터링 하여 최적 조건 구명이 시도됨. 사후 제거 측면(curative measures)으로는 주로 농산 가공이후의 조치로서 작물의 생산, 유통 및 가공과정에서의 독소, 균체 억제 및 제올라이트 등의 식용 점토 기반의 독소제거 기법이 도입됨

- 곰팡이독소 흡착제의 *in vitro* 검증 기술 : 곰팡이독소 흡착제들의 aflatoxin B1에 대한 흡착도를 *in vitro* 상에서 연구된 바 있으나, 실험시간, pH 등이 소화물이 돼지의 장을 통과하는 조건에 비해 상당한 차이를 보임. 곰팡이독소 흡착제들이 최근 문제가 되고 있는 다른 곰팡이독소들을 얼마나 효과적으로 흡착하는지에 대한 연구 미진함.
- 곰팡이독소 대책으로는 곰팡이의 발육을 억제하는 것으로 유기산이나 항곰팡이제 사료첨가도 곰팡이를 증식시키지 않는 관점에서 효과가 있음. 또한, 농장에서의 오염 확대를 막기 위해서는 사료 탱크나 급이기를 부지런히 청소하는 것도 중요하지만 수입되는 미국산 옥수수처럼 수확 전에 오염되는 경우에는 손쓸 수 있는 방법이 없음.
- 현재 효과적이고 경제적이라고 여겨지는 것이 돼지의 장관내의 곰팡이독소를 선택적으로 흡착해 배설시키는 「곰팡이독소 흡착제」임. 곰팡이독소 흡착제(binder)의 기본개념은 사료에 첨가했을 때 흡착제가 곰팡이독소와 결합해 독소의 기능을 상실하게 하고 분으로 배설시킨다는 것임. 주요 흡착제로 다공성을 지닌 숯가루(나무 등)로 독소를 흡수하는 기능을 가지고 있음. 또한, 제올라이트, 반도나이트 등 미분형태 진흙 종류인 알미늄실리카 성분으로 독소를 흡착하는 기능이 있는 것으로 알려지고 있음. 최근 이스트 세포벽이 곰팡이독소를 흡착하는 기능이 있는 것으로 알려지고 있음. 특히, 발효 미생물과 함께 혼합 시 그 기능이 높아짐. 그러나 가장 우선적 대책은 정기적으로 특히, 장마 전에 사료빈을 비운 후 고압수세기로 깨끗이 청소해 건조시키는 것임. 따라서 농장 내에서의 사료곰팡이 증식요인을 우선적으로 제거해야 할 것임.



[그림 1-16] 곰팡이독소별 곰팡이 저감제(binder) 흡착 효율성 비교

[표 1-8] 곰팡이독소 저감제별 흡착제 실험 결과

계 열	제품명	흡착도(%)	
		아플라톡신	데옥시니발레놀
벤토나이트	A	88.7	3.0
	B	83.6	0.0
	C	85.0	-4.2
	D	100.2	-6.4
	E	83.9	3.0
천연 셀룰로우스	F	-38.4	-2.1
	G	2.9	4.5
효모 세포벽	H	94.9	12.2
활성탄	I	103.2	5.4
혼합	J	97.8	-1.0

[자료 : 농촌진흥청 국립축산과학원, 2015]

- 국내에서 농촌진흥청 국립축산과학원(2015)에서 곰팡이독소 바인더는 벤토나이토계열 5종, 천연 셀룰로오스 2종, 효모세포벽 1종, 효모 및 혼합제 별로 흡착도를 조사한 결과 아플라톡신에 대한 흡착도는 천연 셀룰로오스 계열을 제외하고는 80%이상의 흡착도를 나타내었고, 데옥시니발레놀에 대한 흡착도는 전반적으로 낮은 수치로 조사되었음.
- 뉴욕 주립대 Maitree Suttajit 교수는 10가지 상용화된 첨가제의 곰팡이 독소 흡착비율을 조사한 결과를 [표 6]에 정리하였음. 가장 많이 발견되는 아플라톡신(AF, 보미톡신(DON), 제랄레논(ZEN), 오크라톡신(OTA), 푸모니신(FBI) 및 트리코테센 T2 독소가 인간과 가축의 건강 및 능력에 대해 부정적인 영향측면에서 경제적으로 중요한 곰팡이 독소로 여겨짐.

[표 1-9] 10가지 상업용 사료첨가제에 대한 곰팡이독소의 흡착 비율 비교

곰팡이독소 흡착 비율(%)(평균±표준편차)**							
범주	제품No	DON	ZEN	FB1	OTA	T-2	AFB1
무기 첨가제	알루미늄 실리케이트	55±3.1 ^b	40±2.2 ^b	30±3.6 ^c	25±2.5 ^c	26±1.3 ^c	51±2.9 ^b
	벤토나이트	39±1.3 ^d	29±2.6 ^d	20±1.9 ^d	18±3.2 ^d	4±1.4 ^d	53±2.1 ^b
	활성 점토	41±1.6 ^d	12±1.2 ^f	21±2.3 ^d	-	-	38±1.5 ^c
	몬모릴로나이트	31±1.7 ^e	18±2.2 ^e	20±3.1 ^d	-	2±0.4 ^d	42±1.2 ^c
유기 첨가제	글루코만난	47±1.9 ^c	40±2.4 ^b	45±2.1 ^b	29±1.5 ^b	28±1.3 ^c	54±2.2 ^b
	효모 세포벽	55±1.6 ^b	53±1.1 ^a	51±1.5 ^a	52±2.3 ^a	56±1.4 ^a	62±0.9 ^a
	에스테르화 글루코만난	36±2.2 ^e	41±2.5 ^b	19±0.6 ^d	26±0.9 ^c	-	39±1.4 ^c
혼합 첨가제	실리케이트, 효모세포벽	41±3.3 ^d	36±1.7 ^c	23±1.4 ^d	10±2.1 ^e	28±1.6 ^c	48±1.9 ^{b,c}
	실리케이트, 효소	61±2.4 ^a	53±1.4 ^a	35±2.6 ^c	32±1.2 ^b	35±0.7 ^b	58±3.2 ^a
	천연광물과 조류(algae)	22±1.8 ^f	8±1.9 ^f	-	-	-	29±0.8 ^d

* 사료첨가제가 없는 대조구와 비교하여 계산

** 세 차례 반복한 값의 평균

a~f 동일한 첨자로 표시된 값은 유의한 차이가 없음(P>0.05)

- (사)대한한돈협회에서 3년 동안 국내 대표 10개 양돈용 사료회사별 육성돈사료와 임신돈사료를 10개 농장에서 사료차와 급이기에서 사료샘플을 채취하여 두 검사기관(국내 사료 공인검정기관과 국제 공인검정기관)에서 일반성분 분석 및 곰팡이독소의 오염도 분석을 실시하였음. 분석은 사료회사(10개 처리구), 사료종류(임신돈, 육성돈사료), 채취장소(사료차, 급이기), 분석기관(농협경제지주 축산연구원, 바

이오민)에 따라 분석한 결과와 비교를 실시하였음. 일반성분 분석결과 사료회사별 구간별 샘플 모두 적절한 것으로 조사되었음. 사료회사별 육성돈사료의 2016~2018년 수분함량을 분석한 결과 2017년에 분석한 수분함량이 다소 높게 조사되었고, 임신돈사료에 대해서는 '16년 대비 '17년과 '18년에 다소 높게 조사되었음. 연도별 분석결과 육성돈사료의 단백질 함량은 '17년 대비 '18년에 대부분의 사료회사에서 높게 조사되었고, 임신돈사료의 단백질함량 또한 '18년에 높은 것으로 조사되었음. 사료회사별 총 아미노산함량은 육성돈사료와 임신돈사료 모두 '17년에 조사한 결과가 높게 조사되었음. 분석기관별 결과 곰팡이독소는 조사, 분석한 10개 사료회사 모두 푸사리움 독소인 퓨모니신(FUM)과 보미톡신(DON)들이 상대적으로 높은 양성률과 오염정도를 보였음. 그러나 아플라톡신(Afla)은 모두 100% 양성률로 조사되었지만 오크라톡신(OTA)은 조사한 대부분의 사료에서 오염된 것으로 조사되었음. 제랄레논(ZEN)의 경우 모든 사료회사에서 양성인 것으로 조사되었음. 퓨모니신(FUM)과 보미톡신(DON)의 평균 오염도는 각각 1,280ppb와 111ppb로 조사되었고, 사료구간별 평균오염도는 퓨모니신(FUM)은 육성돈사료와 임신돈사료에서 각각 774ppb와 1,785ppb로 조사되었고, 보미톡신(DON)은 각각 120ppb와 102ppb로 조사되었음. 보미톡신(DON)은 조사한 사료회사별 양성율은 85%로 조사되었음.

■ 배합사료 중 곰팡이독소의 농도 최대 허용치

○ 가축사료는 각종 곡물 원료의 배합으로 구성되어 있어서 축종별 사료에 따른 곰팡이독소(mycotoxin)의 최대한 허용치 농도를 추산하는 것은 쉽지 않음. 미국 Special Nutrients Inc.의 사료 곰팡이 전문가인 Alverto Gimeno씨의 추산치를 소개한다. Alberto Gimeno씨는 22년간 사료 내 곰팡이와 항곰팡이제를 연구한 전문가로 약 40년간의 연구결과를 취합하고 자기의 경험을 반영해 사료 내의 각종 곰팡이독소의 축종별 최대 허용 농도를 추산하였음.

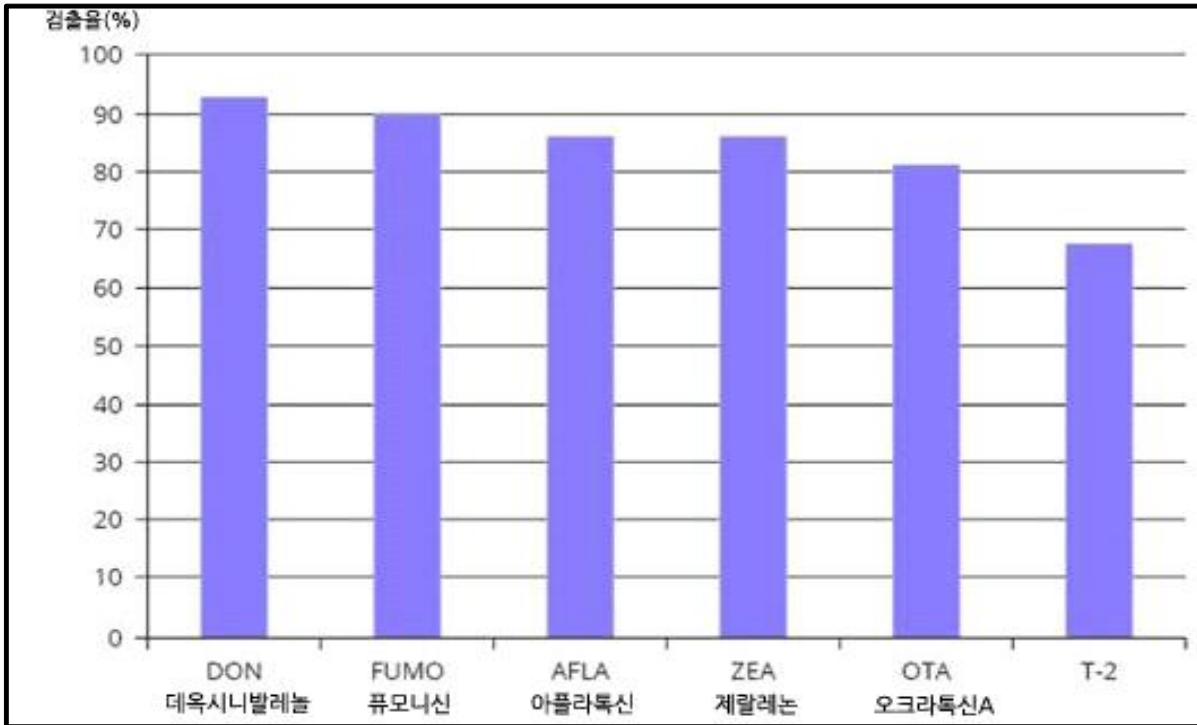
[표 1-10] 축종에 따른 각종 곰팡이 독소의 최대 허용치 추정(ppb, mg/kg)

동물	AFB1*	OTA*	ZEN*	DON*	T-2*	DAS*	MAS*	TAS*	STO*	FB1*
어린조류 (닭, 병아리, 오리, 칠면조)	10	50	30,000	15,000	150	150	200	1,500	500	5,000
성조류 (닭, 오리, 칠면조)	20	100	40,000	15,000	150	150	200	2,000	500	8,000
산란계	20	100	30,000	200	150	150	10,000	ND	ND	4,000
자돈 (<34kg 생체중)	20	50	100	200	150	150	ND*	ND	ND	1,500
육성돈 (체중 34-57kg)	50	50	200	250	200	200	ND	ND	ND	1,500
성돈 (>57kg 체중)	100	50	200	250	200	200	ND	ND	ND	1,500
번식모돈	25	50	50	250	200	200	ND	ND	ND	2,000
웅돈	25	50	50	250	200	200	ND	ND	ND	1,500
송아리, 어린양	10	ND	250	1,000	ND	ND	ND	ND	ND	15,000
성우, 양, 염소	25	ND	250	1,000	100	ND	ND	ND	ND	35,000
젖소	5~25	ND	250	250	100	ND	ND	ND	ND	35,000
말	50	ND	100	400	50	ND	ND	ND	ND	2,000

* AB1=아플라톡신 B1; OTA=오크라톡신 A; ZEN=제랄레논; DON=Deoxynivalenol 또는 Vomitoxin; T-2=독소 T-2; DAS=디아세톡시스피놀; MAS=Monoacetoxiscirpenol; TAS=트리아세톡시스피놀; STO=Escirpentriol; FB1=퓨모니신 B1; ND=밝혀지지 않음

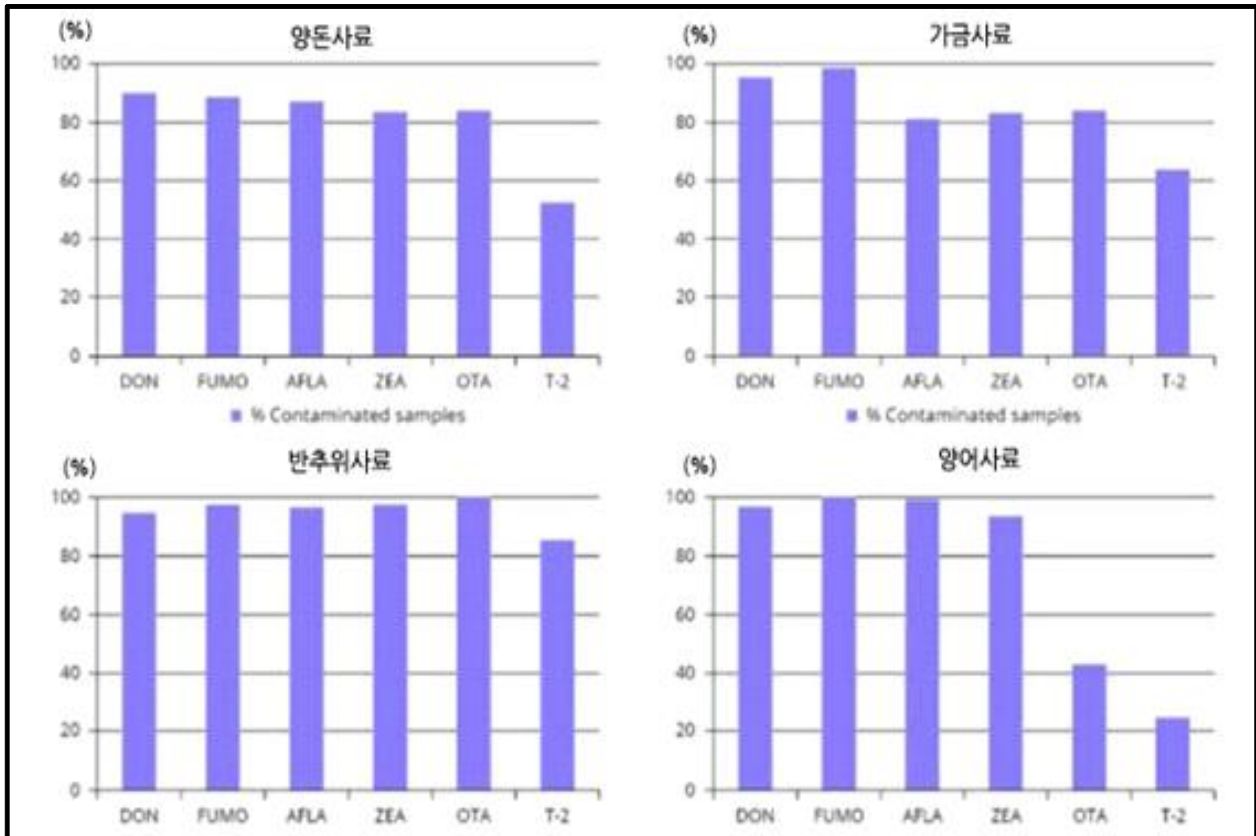
다. 전세계 지역별 곰팡이독소별 분석 결과

- 2019년에 수집된 전 세계 곡물 샘플 중 90% 이상에서 정량 가능한 데옥시니발레놀(DON)(>100ppb)이 검출되었음. 80~90%의 샘플에서 퓨모니신(FUM) 검출되었고, 아플라톡신(Afla), 오크라톡신-A(OTA)이 검출되었고, 제랄레논(ZEA)과 T2-톡신도 70% 정도로 검출되었음(그림 1-17).



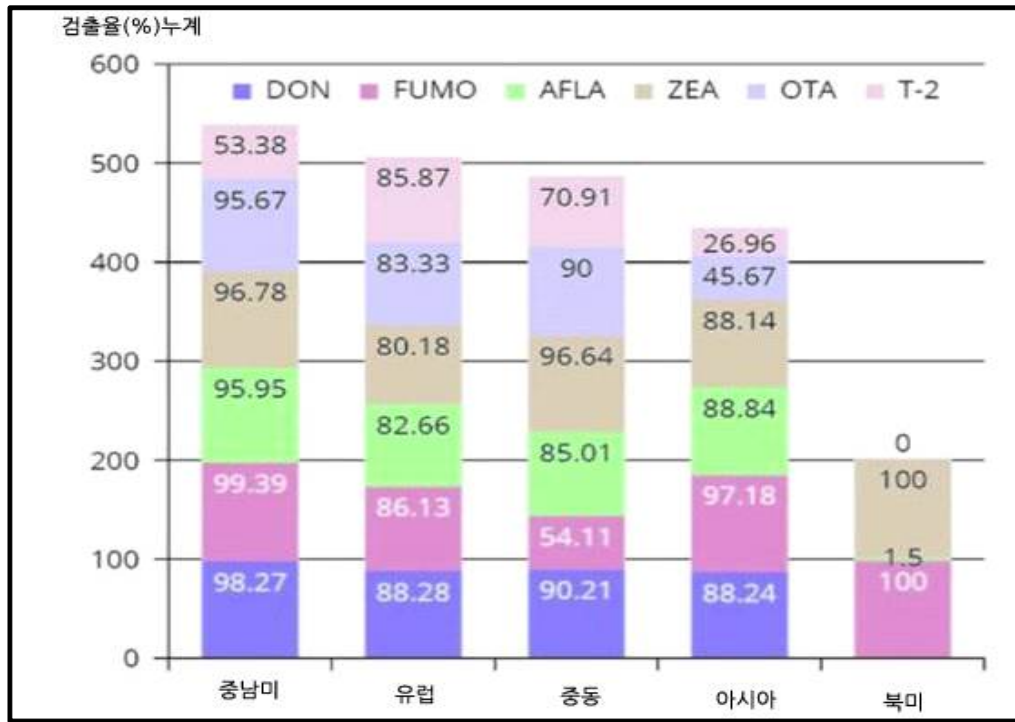
[그림 1-17] 세계 곡물 샘플의 다양한 곰팡이독소 검출 농도(%)

- 2019년 곰팡이독소 위험 분석에는 개별 원료 및 소량의 곡물(밀과 보리)이 포함된 배합사료와 사일리지가 포함되어 분석을 실시하였음. 분석샘플에서 곰팡이독소별 검출율은 보미톡신(DON)의 경우 88%, 아플라톡신(Afla)의 경우 59%로 높게 검출되었음. 부산물 사료원료 중 곡물주정박(DDGS)의 곰팡이독소 농도는 옥수수보다 훨씬 높았으며, 최고 농도는 5,000ppb까지 달했음. 대두박 등 단백질 원료의 곰팡이독소는 타 곡물에 비해 상대적으로 낮게 측정되었음. 그렇지만 대두박은 단위동물 사료의 25~30%정도 사용하기 때문에 최종 사료 내 곰팡이독소의 농도에 크게 영향을 끼칠 수 있음.



[그림 1-18] 축종별 사료에서 곰팡이독소별 검출율 비교

- 양돈, 가금, 반추동물 및 양어류의 배합사료 샘플의 약 84%가 오염된 것으로 나타났다. 양돈사료 샘플에서 보미톡신(DON)이 623ppb, 퓨모니신(FUM)이 1662ppb, 제랄레논(ZEA)이 52ppb로 나타났으며 이러한 수준은 돼지에게 여러 독소가 서로 상호작용 효과가 나타나 위협적인 수준임. 가금사료에서 보미톡신(DON)과 퓨모니신(FUM)은 각각 985ppb 및 2,110ppb로 가장 큰 위험요소임. 분석결과를 종합하면 곰팡이독소의 검출 농도는 가금류의 면역체계에 문제를 일으킬 수 있으며, 사료요구율에도 부정적인 영향을 미칠 수 있음.
- 반추동물의 사료 샘플에서 곰팡이독소의 평균 농도는 보미톡신(DON)과 제랄레논(ZEA)에서 각각 1,100ppb 및 53ppb가 검출되었으며, 이는 젖소의 건강과 능력을 손상시킬 수 있음. 반면에 아플라톡신(Afla)은 5.6ppb가 검출되었는데 이는 유럽연합 규정인 0.05ppb 미만보다 높아 우유 내에 아플라톡신 M1 수준을 유지하는 것을 어렵게 만들 수 있음.
- 전 세계 지역별 곰팡이독소의 위험도를 평가하기 위해 중남미, 유럽, 아시아, 중동, 아프리카 및 북미지역에서 일반적인 곰팡이독소를 분석하였음. 보미톡신(DON), 퓨모니신(FUM), 제랄레논(ZEA) 및 아플라톡신(Afla)의 농도 분석결과 아플라톡신(Afla)이 가장 낮은 북미를 제외하고 전 지역에서 비슷하게 나타났음(그림 19).



[그림 1-19] 전 세계 지역별 곰팡이독소 분석 결과(2019년)

[자료 : Nutreco, 2019]

- T-2 독소와 오크라톡신(OTA)의 농도는 지역마다 상당히 차이가 있었음. 중남미지역에서는 보미독소(DON), 퓨모니신(FUM) 및 제랄레논(ZEA)이 높은 위험수준으로 검출되었음(표 8). 아시아지역에서는 퓨모니신(FUM)과 아플라톡신(Afla)이 검출되었음. 그러나 아시아지역에서는 보미독소(DON)의 검출농도는 돼지에게는 위험요소가 되지만 가금류에서는 위험이 되지 않음. 북미지역에서는 보미독소(DON)과 제랄레논(ZEA)이 검출되었음. 중동과 아프리카지역에서는 보미독소(DON), 아플라톡신(Afla) 및 제랄레논(ZEA)이 주요 곰팡이독소이며 유럽지역에서는 보미독소(DON)과 제랄레논(ZEA)이 검출되었음

[표 1-11] 전 세계 지역별 곰팡이독소별 검출 농도(단위:ppb)

곰팡이독소	중남미	아시아	북미*	중동	유럽
보미독소(DON)	1011	409	1592	762	578
퓨모니신(FUM)	1842	2087	NA	924	815
아플라톡신(Afla)	5.7	12.4	0.2	12.3	2.9
제랄레논(ZEA)	93.5	51.3	319.8	91.5	37.8
오크라톡신(OTA)	3.7	1.8	0.0	13.5	2.0
T-2독소	4.2	1.6	NA	1.2	23.1

- 2019년에 지역적으로 기상조건은 다양한 곰팡이독소 위험도를 증가시켰음. 미국에서는 북부평원과 중서부지역의 봄철에 홍수로 인해 옥수수 파종과 수확이 지연되었고 이로 인해 작물 성장기간이 지연되면서 곰팡이독소 검출이 증가하였음. 텍사스 지역에서 캐롤라이나 지역까지 고온으로 인해 미국산 옥수수에서 아플라톡신(Afla)과 퓨모니신(FUM)의 농도가 증가하였음. 유럽에서는 고온으로 인해 토양에 수분부족으로 작물의 품질이 저하되었지만, 중국의 옥수수생산을 위한 기후조건은 일반적으로 양호하였음. 우크라이나의 밀 생산을 위한 기후조건은 양호하였고 캐나다 동부지방의 밀 생산을 위한 기후조건은 수분과다로 지연되었음.
- 미국의 2019년도 옥수수 수확이 진행되면서 축산업계에서는 옥수수의 곰팡이독소가 가축들에게 어떠한 위험을 미칠지 주목하고 있음. 2019년에 수확해서 나온 옥수수의 곰팡이독소에 대한 자료는 충분하지 않지만, 곰팡이독소의 위험도에 미치는 요인은 다양하고 복잡해서 농장 수준에서는 위험을 예측하기 어려움. 그러나 재배기간 동안의 기상변화 패턴과 농작물 상태 보고서로부터 정보를 유추해낼 수 있으며, 또한 장기적인 추세를 감안해서 판단할 수 있음. 돼지에게 급여되는 사료의 옥수수로 인한 잠재적인 곰팡이 오염원에 대해서, 생산 비용에 어떤 영향을 주는지에 대한 대응 방안의 정보들은 생산자들이 곰팡이독소의 영향을 최소화하기 위해 준비할 수 있는 동기가 됨.
- 옥수수에 대한 곰팡이독소 오염 요소 중 날씨로 요인은 월동 상태, 옥수수수염 발생 기간 동안의 강수량과 온도, 옥수수수염 출현 시부터 수확할 때까지 강수량과 온도 및 수확시기 등이 포함됨. 2019년 재배기간 동안 이러한 위험 요인에 대한 위험 요소는 [표 9]에 나타내었음
- 2019년 생산된 미국산 옥수수에서 곰팡이독소 위험도는 전반적으로 평균기온이 높은 지역에서 퓨모니신(FUM)의 위험도 증가와 수확이 지연된 지역에서 보미톡신(DON)과 제랄레논(ZEN)의 위험도가 증가하였음. 사료 작물은 가뭄과 높은 온도로 인해 곰팡이오염에 대한 위험도가 증가하였음.
- 이러한 기후 특징 외에도 몇몇 주에서 옥수수 성숙도가 과거 5년 평균보다 크게 떨어짐(미국에서 옥수수 재배가 많은 상위 18개주에서 58%에서 85%까지).
- 2019년 10월 중서부 일부 지역에서 옥수수의 성숙 지연과 습한 기상조건 때문에 수확 시기를 늦추었고, 추운 날씨에 노출되어 보미톡신(DON)과 제랄레논(ZEN)등 곰팡이독소 생성 가능성이 높아짐. 또한 최상급 품질의 옥수수 비율은 감소하고 보통의 품질과 불량률의 비율이 증가하면서 곰팡이독소에 대한 위험도가 높음(오하이오, 인디애나, 노스캐롤라이나, 미주리 및 일리노이 주).

[표 1-12] 미국의 2019년 옥수수 재배기간 동안 곰팡이 위험 요인 분석

날씨 요인	2019년 기후	위험요소	곰팡이 독소의 위험도 예측
월동기 기상변화	미국의 corn belt 지역의 1월 ~ 3월 온도는 전미평균보다 낮고, 동남부 지역은 평균보다 높음.	낮은 온도는 옥수수 오염 시 다른 곰팡이들과의 경쟁을 줄여줌.	중서부 지역에서는 증가하고, 동남부 지역에서는 감소할 가능성이 있음.
파종기간	중서부 지역의 홍수로 인해 파종이 지연됨.	잠재적으로 곰팡이 포자들은 퍼졌지만, 습한 토양으로 인해 옥수수는 Fusarium 속 곰팡이에 의한 줄기와 뿌리가 썩는 위험이 증가하고, 대두에서 Fusarium Graminarium (붉은 곰팡이)의 위험 감소 (옥수수는 확인 불가).	지역 전반에 걸친 확산, 곰팡이의 토지 침투 가능성이 높아지고, 잠재적으로 범람한 지역의 옥수수 사일리지 오염 위험도가 높아지고 대두의 곰팡이 위험은 감소
옥수수 수염발생기	평년보다 높은 토지 습도	DON, ZEN 그리고 퓨모니신(FUM)을 만들어내는 fusarium속 곰팡이들이 식물 오염 가능성 증가	평균보다 높은 강수량 지역 (S.D., Wyo., Minn., Wis., Ohio., Mo., Ark., Tenn., Miss.)에서 위험이 증가하고 낮은 강수량 지역(동남부, 서남부, 서부)에서 위험 감소.
온도 (옥수수 수염 발생기 ~ 수확)	대부분 재배지역에서의 평균보다 높은 온도	고온에서 퓨모니신(FUM) 곰팡이 증식 고위험, 가뭄에서 퓨모니신(FUM)과 아플라톡신(Afla)의 고위험, 그러나 수확시기의 고온은 ZEN의 위험도가 더 낮을 수도 있음.	평소보다 고온, 가뭄 지역에서 퓨모니신(FUM)과 퓨모니신(FUM)의 위험 증가
강수량 (옥수수 수염 발생기 ~ 수확)	많은 북부, 중서부 지역에서 평균보다 높은 역사적인 강수량을 보였다. 이는 곰팡이 증식 위험도를 높이고 수확시기를 지연시킴.	모든 종류의 곰팡이독소에서 위험도 증가	평균보다 높은 강수량의 지역에서 모든 곰팡이독소의 위험 증가
수확 지연	5년 평균보다 늦은 옥수수 성숙도	DON과 ZEN은 기온이 낮을수록 감염도가 증가함.	수확 지연으로 인한 중서부 지역에서 곰팡이 오염 위험도 증가

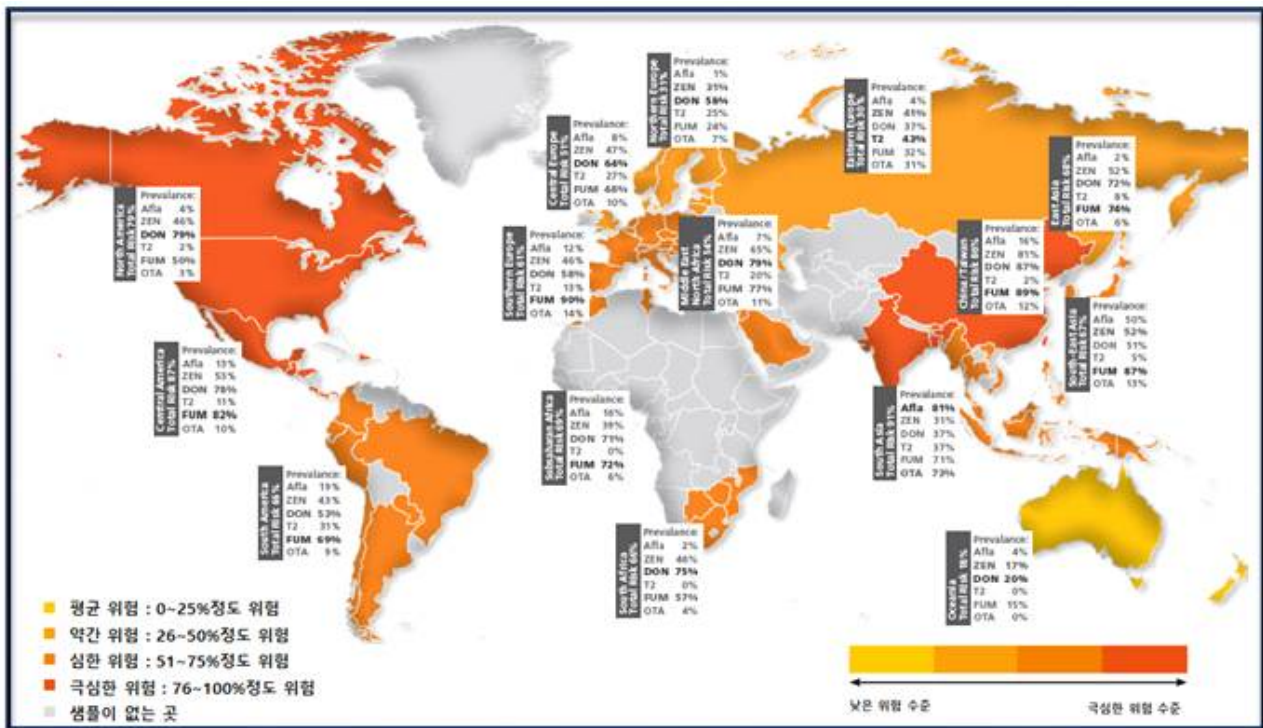
○ 2020년 1~3월 사이에 Mycomaster에서 샘플을 수집하고 분석한 결과, 곰팡이독소의 오염 수준이 2019년 대비 약간 낮았음(표 10). 보미톡신(DON)의 평균 농도는 557ppb로 돼지에게 위험 수준이 검출되었음. 아플라톡신(Afla)의 농도는 7.8 ppb로 유럽연합의 규정에서 상한선인 5ppb를 초과하였음.

[표 1-13] 2020년 1/4분기 곰팡이독소 분석 결과

구분	보미톡신 (DON)	푸모니신 (FUM)	아플라톡신 (Afla)	제랄레논 (ZEA)	오크라톡신 (OTA)	T-2톡신
샘플수(개)	589	436	871	470	168	148
검출율(%)	88	81	81	67	60	45
평균검출수준 (ppb)	557	1113	7.8	57	2.3	20
중간검출수준 (ppb)	200	250	3	25	1	0
최대검출수준 (ppb)	6000	32400	150	1400	17	800

[자료; Nutreco, 2019]

- 글로벌 사료첨가제 회사인 바이오민(Biomin)사는 2020년 1~9월 가축 사료 및 부산물과 관련된 옥수수, 밀, 콩 등에 존재하는 아플라톡신(aflatoxin, Afla), 지랄레논(zearalenone, Zen), 디옥시니발레놀(deoxynivalenol, Don), T-2 Toxin(T-2), 푸모니신(fumonisin, FUM), 그리고 오크라톡신 A(Ochratoxin A, OTA) 등 곰팡이독소를 15,544개 샘플에서 분석한 결과를 발표하였음.



[그림 1-20] 전 세계의 곰팡이독소 분포와 지역별 위험도

[자료 : Biomin, 2020]

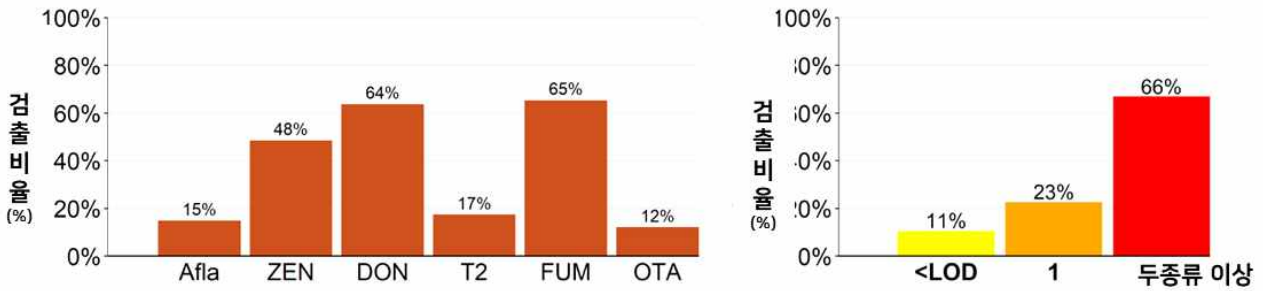
- 전체 시료 중 68%에서 두 종류 이상의 곰팡이독소가 판별되어 복합오염도가 높았음. 남아시아 지역은 아플라톡신(81%)의 평균 20ppb(최대 210 ppb)의 농도로 여전히 높은 오염율을 보였고, 중앙아메리카에서는 위험 수준이 심각 수준에서 극도로 심각한 수준으로 높았음. 퓨모니신과 보미톡신 모두 빈번하게 검출되지만, 특히 퓨모니신의 오염비율이 높았음. 북미에서 보미톡신은 가장 널리 오염된 곰팡이독소(79%)임. 남아메리카는 퓨모니신은 물론 보미톡신도 오염율이 높아 심각한 수준임(각각 69%, 53%). 유럽도 곰팡이독소의 위험도가 높음. 퓨모니신과 보미톡신이 제일 높았지만(각각 49%, 59%), 제랄레논도 심각하게 조사되었음(45%, 평균농도 72ppb, 최대 9,455ppb). 아프리카에서는 분석한 모든 시료에서 보미톡신이 높게 분석되었음(75%, 평균 농도 586ppb, 최대 7,254ppb).

라. 사료용 곡물별 곰팡이독소 분석 결과

- 바이오민사에서 2020년 1월~9월까지 전 세계 사료용 곡물의 곰팡이독소에 대해 분석한 결과 65%가 곰팡이독소가 검출되었으며, 곡물에 대한 곰팡이독소별 위험도 이상의 비율은 아플라톡신이 15%, 제랄레논이 48%, 보미톡신이 64%, 퓨모니신이 65%, 오크라톡신이 12%가 검출되었다고 보고하였음

[표 1-14] 전 세계 곡물의 곰팡이독소 분석 결과

총 위험도:65%	Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
샘플수	12,557	13,431	13,383	9,153	12,259	7,900
검출비율(%)	15	48	64	17	65	12
위험도이상비율(%)	11	24	52	3	38	2
평균(ppb)	18	136	629	37	1,429	12
중위수(ppb)	3	49	360	23	686	3
최대값(ppb)	2,495	43,854	43,517	3,153	66,588	571



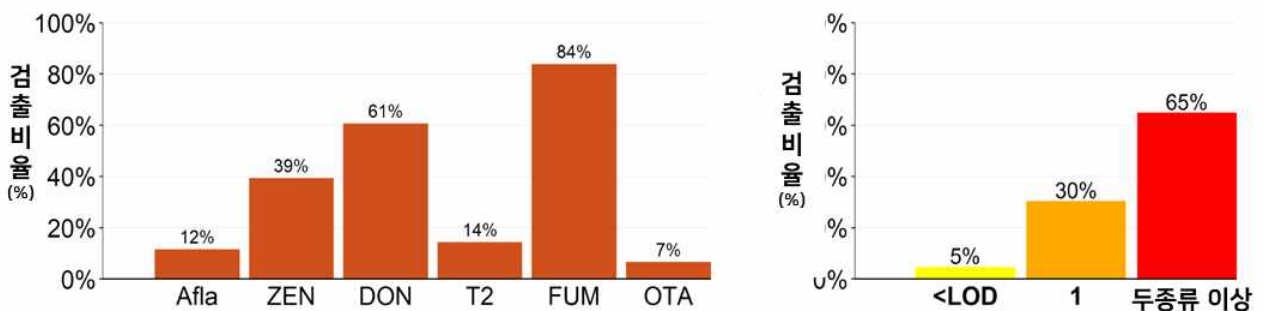
※ Afla:아플라톡신, ZEN:제랄레논, DON:보미톡신, T2:T2-toxin, FUM:퓨모니신, OTA:오크라톡신

[그림 1-21] 사료용 곡물의 곰팡이독소 분석 결과

- 옥수수 4,381샘플에 대해 곰팡이독소를 분석한 결과 75%가 곰팡이독소가 검출되었고, 곰팡이독소별 위험도 이상의 비율은 아플라톡신이 12%, 제랄레논이 39%, 보미톡신이 61%, 퓨모니신이 84%, 오크라톡신이 7%가 위험수준 이상으로 검출되었다고 보고하였음

[표 1-15] 옥수수의 곰팡이독소 분석 결과

총 위험도:75%	Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
샘플수	4,381	3,862	3,545	1,812	4,280	1,325
오염된샘플비율(%)	12	39	61	14	84	7
위험도이상비율(%)	9	19	55	3	64	1
평균(ppb)	27	156	577	48	1925	12
중위수(ppb)	4	48	370	28	1200	3
최대값(ppb)	2,495	13,351	5,978	470	56,000	571



※ Afla:아플라톡신, ZEN:제랄레논, DON:보미톡신, T2:T2-toxin, FUM:퓨모니신, OTA:오크라톡신

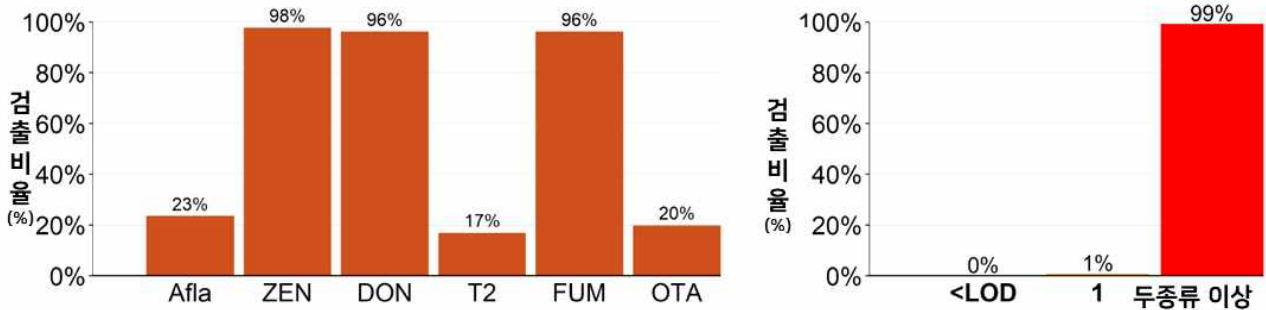
[그림 1-22] 옥수수에 대한 곰팡이독소 분석 결과

- 옥수수주정박 132샘플에 대해 곰팡이독소를 분석한 결과 99%가 곰팡이독소가 검출되었고, 곰팡이독소별 위험도 이상의 비율은 아플라톡신이 23%, 제랄레논이

98%, 보미톡신이 96%, 퓨모니신이 96%, 오크라톡신이 20%가 위험수준 이상으로 검출되었다고 보고하였음.

[표 1-16] 옥수수주정박의 곰팡이독소 분석 결과

총 위험도:99%	Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
샘플수	132	132	131	130	131	126
오염된샘플비율(%)	23	98	96	17	96	20
위험도이상비율(%)	19	92	95	2	78	4
평균(ppb)	13	518	2,697	26	2,968	9
중위수(ppb)	5	411	2,170	17	1,873	3
최대값(ppb)	139	1,928	26,320	99	35,445	65



※ Afla:아플라톡신, ZEN:제랄레논, DON:보미톡신, T2:T2-toxin, FUM:퓨모니신, OTA:오크라톡신

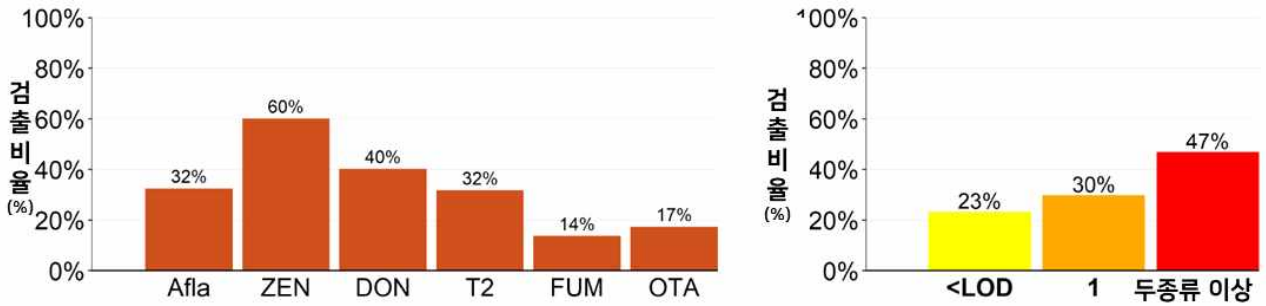
[그림 1-23] 옥수수주정박에 대한 곰팡이독소 분석 결과

- 대두 1,254샘플에 대한 곰팡이독소를 결과 47%가 곰팡이독소가 검출되었고, 곰팡이독소별 위험도 이상의 비율은 아플라톡신이 32%, 제랄레논이 60%, 보미톡신이 40%, 퓨모니신이 14%, 오크라톡신이 17%가 위험수준 이상으로 검출되었다고 보고하였음

[표 1-17] 대두의 곰팡이독소 분석 결과

총 위험도:47%	Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
샘플수	1,063	1,243	1,254	707	835	422
오염된샘플비율(%)	32	60	40	32	14	17
위험도이상비율(%)	16	25	36	7	1	6
평균(ppb)	3	118	612	40	168	28
중위수(ppb)	2	47	600	33	48	4
최대값(ppb)	51	43,854	2,510	159	2,140	392

※ Afla:아플라톡신, ZEN:제랄레논, DON:보미톡신, T2:T2-toxin, FUM:퓨모니신, OTA:오크라톡신



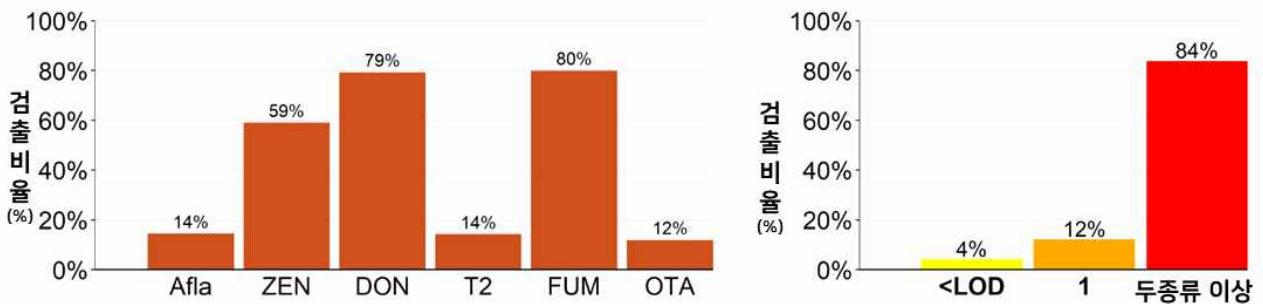
[그림 1-24] 대두에 대한 곰팡이독소 분석 결과

- 배합사료 총 3,990개 샘플에 대해 곰팡이독소를 분석한 결과 75%가 검출되었고, 배합사료에 대한 곰팡이독소별 위험도 이상의 비율은 아플라톡신이 14%, 제랄레논이 59%, 보미톡신이 79%, 퓨모니신이 80%, 오크라톡신이 12%가 위험수준 이상으로 검출되었다고 보고하였음

[표 1-18] 배합사료의 곰팡이독소 분석 결과

총 위험도:75%	Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
샘플수	3,705	3,931	3,990	3,563	3,812	3,382
오염된샘플비율(%)	14	59	79	14	80	12
위험도이상비율(%)	11	29	62	1	38	2
평균(ppb)	16	81	421	18	1,037	10
중위수(ppb)	4	48	310	12	465	3
최대값(ppb)	1,252	1,746	7,990	140	66,588	250

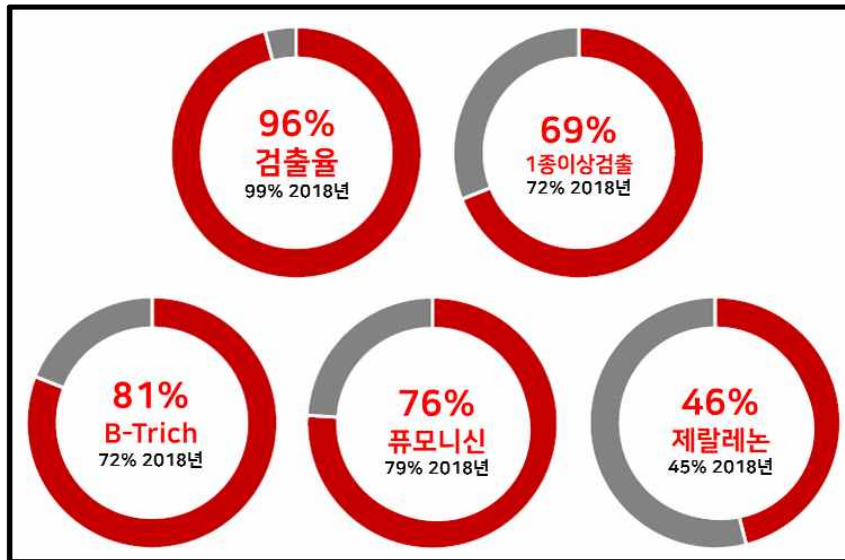
※ Afla:아플라톡신, ZEN:제랄레논, DON:보미톡신, T2:T2-toxin, FUM:퓨모니신, OTA:오크라톡신



[그림 1-25] 배합사료에 대한 곰팡이독소 분석 결과

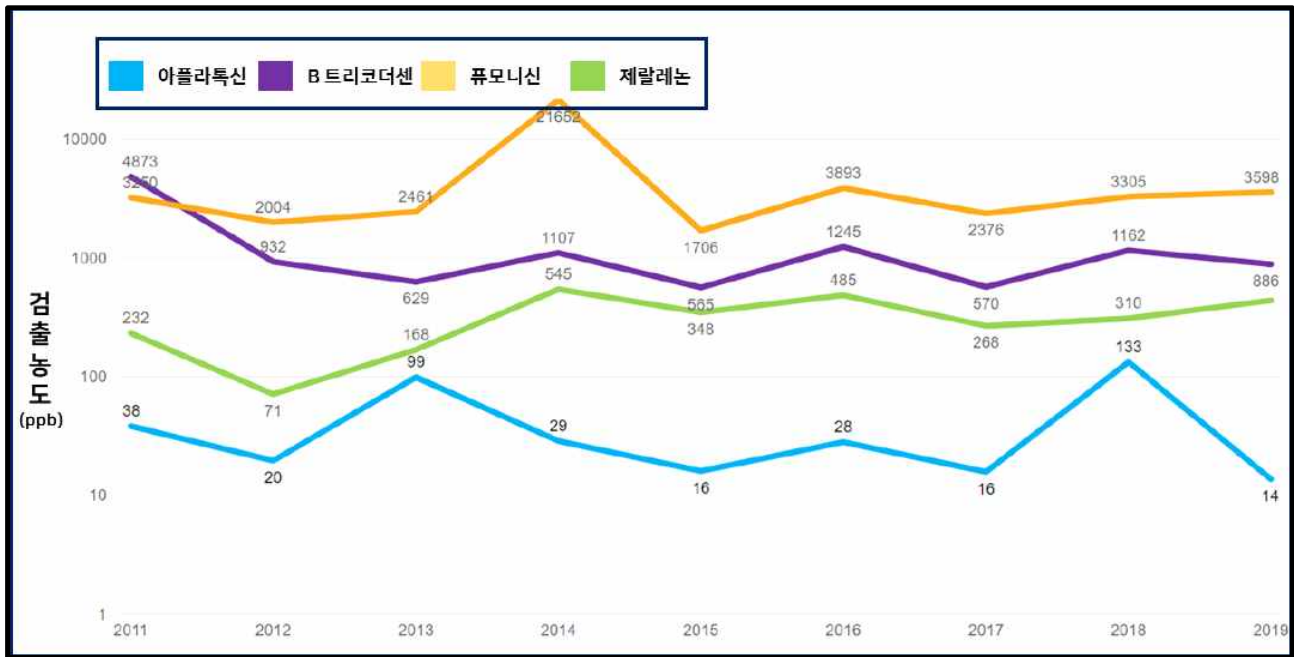
마. 미국산 옥수수의 수확 후 곰팡이독소 분석

- 곰팡이독소 위험 관리 프로그램의 일환으로 글로벌 기업 Biomin사는 미국의 2019년까지 새로 수확한 옥수수에 대한 mycotoxins 발생을 평가하기 위해 미국 전지역 23개주를 대상으로 조사를 실시하였음. 조사대상 곰팡이독소는 Alfatoxin(아플라톡신) (Afla), B 형 Trichothecene (B-Trich), Fumonisin(퓨모니신) (FUM), Zearalenone(제랄레논) (ZEN), Ochratoxin(오크라톡신) (OTA) 및 Type-A Trichothecenes (A-Trich, DON(보미톡신))을 분석하였음



[그림1- 26] 2019년 미국산 옥수수 곰팡이독소 분석결과(종합)

- 2019년 수확한 가축 사료용 옥수수에 대해 곰팡이독소를 분석한 결과 분석샘플의 96%에서 곰팡이독소가 검출되었고, 적어도 1개 이상의 곰팡이독소가 검출된 샘플은 69%를 보였음. 2019년 아플라톡신의 검출율은 3%로 과거 3년보다 낮았음. 제랄레논의 검출율은 46%로 나타났음. 퓨모니신의 농도는 2017년에 2,376 ppb에서 2019년에 3,598 ppb로 점차 증가추세에 있고, 제랄레논은 2017년에 268 ppb에서 2019년에 320ppb로 증가하였음



[그림 1-27] 미국산 옥수수의 연도별 곰팡이독소 분석 결과

- 미국의 각 주별 사료용 옥수수의 퓨모니신 분석 결과 미주리(평균 9,314 ppb), 캔자스(평균 4,333 ppb), 오클라호마(평균 4,271 ppb), 사우스캐롤라이나 주(평균 4,000 ppb), 앨라배마(평균 3,100 ppb), 뉴저지(평균 2,300 ppb), 텍사스(평균 2,225 ppb), 일리노이(평균 1,177 ppb), 조지아((평균 1,000 ppb)에서 100%검출율로 나타났고, 다음으로 네브래스카에서 97%(6,381 ppb), 알칸사스에서 86%(5,833 ppb) 검출되었음.
- 제랄레논 분석 결과 노스캐롤라이나에서 100% 검출되었고, 다음으로 위스콘신 74%, 펜실베이니아 60%순으로 검출되었음. 퓨모니신의 평균 검출농도는 미주리에서 1,494 ppb, 위스콘신에서 598ppb, 인디애나폴리스에서 363ppb, 네브래스카에서 327 ppb순으로 나타났음

가. 연구개발의 목표

- 국내 배합사료 원료는 대부분이 수입 곡물이므로 발생단계에서 조치가 불가능함. 이에 따라 수입 곡물 중심으로 위해요소를 배합사료 입고 직전(사료빈) 및 입고 후(급이기)에서 곰팡이독소 파악
- 사료비는 생산비에서 가장 큰 비중으로 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 요인이므로 생산 단계에서 정기적인 배합사료 품질검사를 통한 사료업체에 품질관리시스템 오픈
- 2016~2020년 분석결과와 연계하여 국내 주요 배합사료 10개 업체에 대한 사료입고 전 영양성분과 곰팡이독소, 사료 입고 후 곰팡이독소에 대한 품질을 점검하고 추적하여, 양돈농가에 배합사료 품질에 대한 공정한 정보를 제공하여 대책 수립

나. 연구개발 내용

- 대상 및 조사방법** : 주요 배합사료 제품에 대해 배합사료 업체별로 사용 농가를 선정하여 샘플을 채취하고 전문 검사기관에서 검사 실시

■ **주요 배합사료 생산업체**

- 선진사료, 천하제일사료, 도드람양돈농협 사료, CJ사료, 카길애그리퓨리나, 농협사료, 무지개사료, 팜스코 사료, 대한사료, 우성사료등 10개사
- ※ 선정배경 : 양돈용 배합사료생산실적 생산량 상위 업체로 우선 선정

조사 항목 : 제조사별 임신돈 및 육성돈 사료 검사

곰팡이 독소(6개)
오크라톡신, 데옥시니발레놀, 퓨모니신, 제랄레논, 아플라톡신 A, T-2톡신

검사시기 : 2021년 5월말(1차), 7월초(2차), 9월 말(3차) 3회 실시

- 고온다습한 하절기 및 환절기로 구분해서 추적조사

다. 연구개발 방법 및 추진체계

제조업체별 농장 : '21년 신규 4개농장 변경

연번	코드	농장지역	농장명	비고
1	A	강원 철원	송원농장	'20년 분석
2	B	전남 해남	남도농장	'20년 분석
3	C	경북 영천	명성농장	'20년 분석
4	D	강원 횡성	팜스텍농장	신규
5	E	경기 포천	호산농장	'20년 분석
6	F	전남 영광	불갑농장	'20년 분석
7	G	전북 정읍	보민영농조합법인	'20년 분석
8	H	전북 남원	농장	신규
9	I	전북 고창	행복한농장	신규
10	J	경남 의령	광웅농장	신규

샘플채취 방법

- '20년 5월(1차), 7월(2차) 및 9월(3차)에 3차에 걸쳐 농장에 입고된 1차 샘플 채취 2일후 농장내 사료라인 통과 후 급여직전 샘플 채취

※ 목적 : 벌크차에서 채취한 샘플 사료가 농장 내 라인 통과 후 급여 사료통에서 샘플을 다시 채취하여 농장 내 오염정도 파악

- 임신사 사료통에서 사료 채취 후 골고루 펼쳐 5곳 이상의 위치에서 500g 채취
 - ※ 원료가 한곳에 쏠려 있을 경우, 특정 곰팡이독소 검출이 높게 나타날 수 있음
- 지퍼백에 농장 및 사료구간을 기록하고, 아이스박스에 담아 발송
 - ※ 기록사항: 농장명, 구간, 채취일, 장소, 연락처
 - ※ 표기방법: 농장코드 - 임신돈(1), 육성돈(2) 로 표기
 - ※ 벌크차가 하치장에서 온건지, 공장에서 직송인지 확인

□ 추진체계



□ 분석절차



□ 분석기관 : 국내 사료검정공인기관 1개소 / 국제인증기관 1개소

구분	바이오민 (국제공인 분석기관)
항목	곰팡이독소(6개)
인증	국제인증기관



HPLC

Quantification of single toxins
at low concentrations

- + Fullfills legal requirements
- More time consuming
- More expensive

[그림 2-1] HPLC 기자재(농협경제지주 축산연구원)



LC-MS/MS: **Spectrum 380®**

Simultaneous detection of multiple toxins
(>380) in a wide variety of commodities

- + **Sensitive method**
- + **Suitable for various feed matrices**
- + **Detection of masked & emerging mycotoxins**
- Highly qualified operator needed
- More expensive

[그림 2-2] LC-MS/MS 기자재(바이오민)



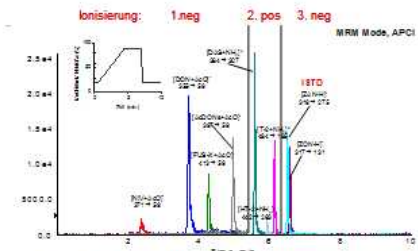
- LC-APCI-MS/MS
- **9 mycotoxins**
- LOD deoxynivalenol: **65 pg** on column
- Berthiller et al., JAFIC 2005



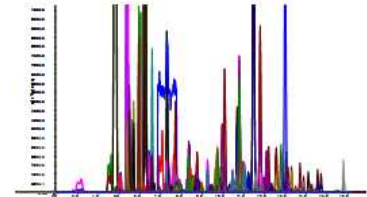
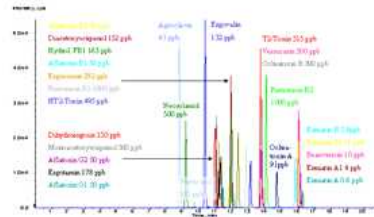
- LC-ESI-MS/MS
- **39 mycotoxins**
- LOD deoxynivalenol: **10 pg**
- Sulyok et al., RCM 2006



- LC-ESI-MS/MS
- **>380 fungal and bacterial metabolites**
- LOD deoxynivalenol: **0.3 pg**
- Malachova et al., 2014



extended to - **87 toxins** (Sulyok et al., 2007)
 - **186 metabolites** (Vishwanath 2009)



Courtesy: Franz Berthiller, IFA-Tulln

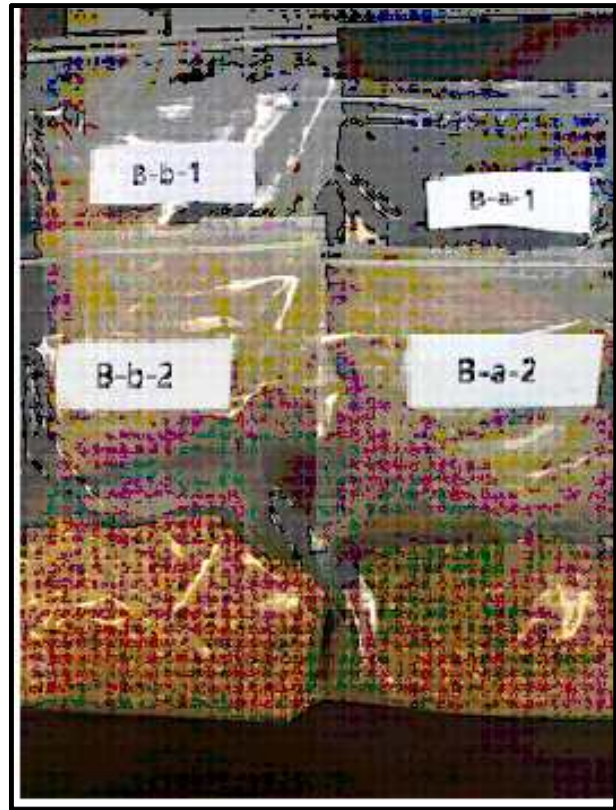
[그림 2-3] LC-MS/MS 기자재를 활용한 standard 설정

□ 분석 사료 표기

연번	코드	사료 구분	샘플 채취	분석 기관	샘플표기
1	A-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	A-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		A-b-1
2	B-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	B-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		B-b-1
3	C-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	C-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		C-b-1
4	D-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	D-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		D-b-1
5	E-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	E-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		E-b-1
6	F-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	F-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		F-b-1
7	G-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	G-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		G-b-1
8	H-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	H-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		H-b-1
9	I-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	I-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		I-b-1
10	J-사료	임신돈(a)	사료차(1)	바이오민	J-a-1
		육성돈(b)	급이기(2)		J-b-1



1. A-사료(철원) 분석샘플



2. B-사료(해남)



3. C-사료(해남)



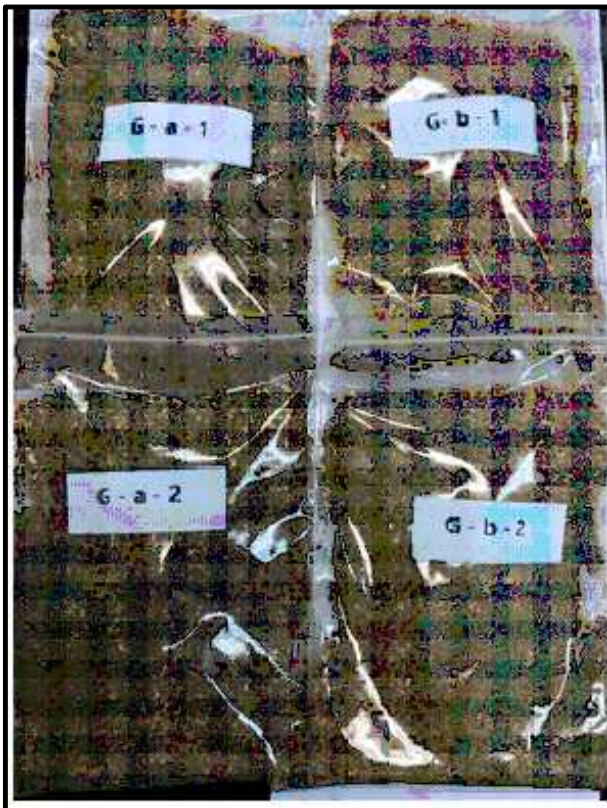
4. D-사료(익산)



5. E-사료(포천)



6. F-사료(영광)



7. G-사료(정읍)



8. H-사료(함양)



9. I-사료(정읍)



10. J-사료(의령)

- 국내 배합사료 원료는 100%수입에 의존하고 있고, 원료의 운송, 보관, 가공, 생산, 저장 및 운송의 과정 중에 곰팡이독소(mycotoxin)에 오염될 가능성이 매우 높고 있음. 또한 지구 온난화로 인한 기후 변화로 인해 국제 곡물가격 상승, 원료의 다변화로 인한 수급 경쟁 등 다양한 여건변화로 위해 배합사료 원료와 사료 내 곰팡이독소의 안전관리가 더욱 중요시 되고 있음.
- 곰팡이독소에 오염된 사료를 섭취한 돼지는 생산성 저하는 물론 다양한 질병 발생의 위험성이 증가하고, 돈육의 품질저하 등의 문제를 발생시킬 수 있음. 이러한 사료 중 곰팡이 독소에 의한 문제를 감소시키기 위해 사료회사 마다 다양한 곰팡이저감제(binder, 곰팡이독소 흡착제)를 활용하고 있음.
- 사료회사별로 원료의 운송, 보관 및 가공, 생산 등의 단계별로 곰팡이 독소에 대한 관리체계가 다양하여 정확한 정보를 양돈농가에게 제공하지 않으므로 농가별로 어떤 저감제를 활용해야 하는지에 대한 조사 및 분석이 이루지고 있지 않은 실정임. 본 조사에서는 국내 주요 10개 사료업체별로 양돈장에서 임신돈과 육성돈 사료로 구분하여 사료차와 급이기에서 샘플을 채취하여 국제 사료분석 공인인정기관에서 곰팡이독소에 대해 분석을 실시하였음

가. 샘플채취 시기별 곰팡이독소 분석결과

1) 1차 배합사료 분석결과(2021년 5월 채취)

- 사료회사별 10개 농장으로부터 수거한 40개 사료샘플에서 곰팡이독소 오염도를 조사한 결과 푸사리움 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%였고, 제랄레논은 65%의 검출율을 보였음. 이와 함께 여름철 고온다습한 시기에 농장에서 오염도가 증폭될 수도 있는 Aspergillus 계열의 아플라톡신과 오크라톡신도 각각 25%, 30% 검출율을 보였음
- 1차 분석을 진행한 총 40개 샘플의 결과서에서도 확인할 수 있듯이 평균농도는 아플라톡신 0.3ppb, 오크라톡신 0.1 ppb, 보미톡신 284.2ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 357.5ppb, 제랄레논은 19.6 ppb로 나타났음

[표 3-1] 1차 배합사료 샘플(5월)의 주요 곰팡이독소 검출율

독소명	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
검출율(%)	15	10	55	100	100
평균오염치 (ppb)	0.3	0.1	19.6	357.5	284.2
허용치	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
	관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

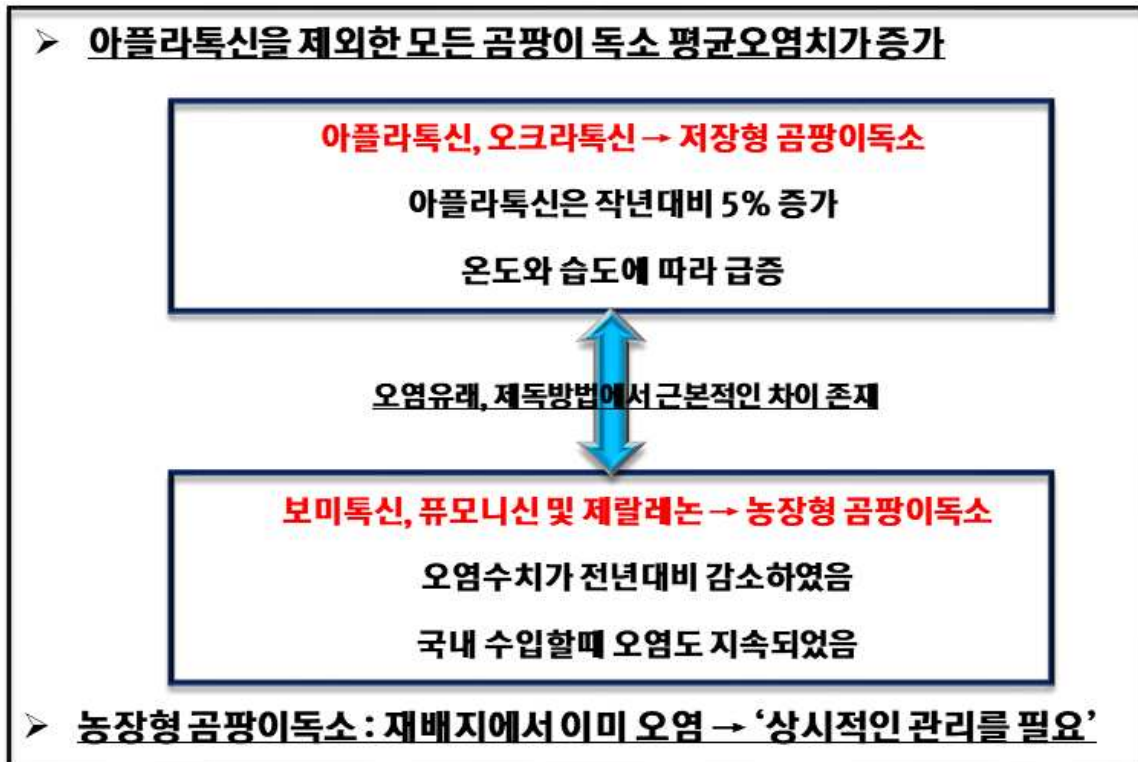
[표 3-2] 사료회사별 곰팡이독소 1차 샘플 분석결과

사료 회사	구분	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
A-사료	육성	0.0	0.0	0	88	181
	임신	0.0	0.0	0	50	60
B-사료	육성	0.0	0.0	0	305	161
	임신	0.0	0.0	0	315	102
C-사료	육성	0.5	0.5	19	191	392
	임신	0.0	0.0	24	144	456
D-사료	육성	2.5	0.0	48	163	306
	임신	0.0	0.0	38	159	313
E-사료	육성	0.5	0.0	19	283	184
	임신	0.5	0.0	19	396	155
F-사료	육성	0.0	0.0	38	361	379
	임신	0.0	0.0	19	548	279
G-사료	육성	0.5	1.0	106	1,717	888
	임신	0.0	0.0	38	767	390
H-사료	육성	0.0	0.5	24	388	280
	임신	0.0	0.0	0	117	171
I-사료	육성	0.0	0.0	0	217	227
	임신	0.5	0.5	0	648	228
J-사료	육성	0.0	0.0	0	90	225
	임신	0.0	0.0	0	208	308
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 낮음 [Afla<20, OTA<50, ZEN<50, FUM<750, Ergoy<200, Type A<50, Type B<150]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 중도 [Afla:20~100, OTA:50~400, ZEN:50~250, FUM:750~1000, Ergoy:200~900, Type A:50~100, Type B:150~200]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 높음 [Afla>100, OTA>400, ZEN>250, FUM>1000, Ergoy>900, Type A>100, Type B>200]						
허용치	-	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
		관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

- 2021년 5월에 채취한 배합사료의 곰팡이독소 분석결과는 2020년 진행하였던 분석치(퓨모니신 453.5.4 ppb, 제랄레논 62.3 ppb)보다 낮은 수치를 보이고 있음. 2020년 대비 큰 차이는 아플라톡신은 D-사료에서 2.5 ppb 검출되었고, 오크라톡신은 총 4개 샘플에서 검출이 되었다는 점을 들 수 있음. 이는 2020년 아플라톡신 4개, 오크라톡신 6개가 검출된 결과와 비교하였을 때 개수의 차이를 보이고 있지만 이와 같은 결과는 여름철 온도와 습도에 따라 급증할 수 있는 곰팡이독소이기에 관리수준에 따라 상이한 수치를 나타낼 수도 있음.

□ 1차 분석결과 종합

- 2021년 1차로 진행한 본 샘플은 본격적인 여름이 시작되기 전에 진행이 되었으며, 2020년 1차 결과와 비교하였을 때 가장 큰 차이점은 Aflatoxin을 제외한 모든 곰팡이독소의 검출율과 평균오염치가 감소하였다는 점임. 이와 같은 결과는 여름철 온도와 습도에 따라 급증할 수 있는 곰팡이독소이기에 관리수준에 따라 상이한 수치를 나타낼 수도 있음. 그에 반해, Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소) 곰팡이독소의 오염수치는 전부 증가하였음. 이는 재배지에서 원료를 수확할 때 혹은 국내로 수입할 때 부터 오염도가 심했다는 것을 보여주는 단편적인 결과로써 수입된 원료들의 품질을 점검할 필요성이 있다고 할 수 있음.



[그림 3-1] 2021년 1차 양돈배합사료 샘플 곰팡이독소 분석결과

2) 2차 배합사료 분석결과(2021년 7월 채취)

[표 3-3] 2차 배합사료 샘플(7월)의 주요 곰팡이독소 검출율

독소명	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
검출율(%)	0	30	30	100	100
평균오염치 (ppb)	0.0	0.3	9.8	408.6	261.6
허용치	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
	관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

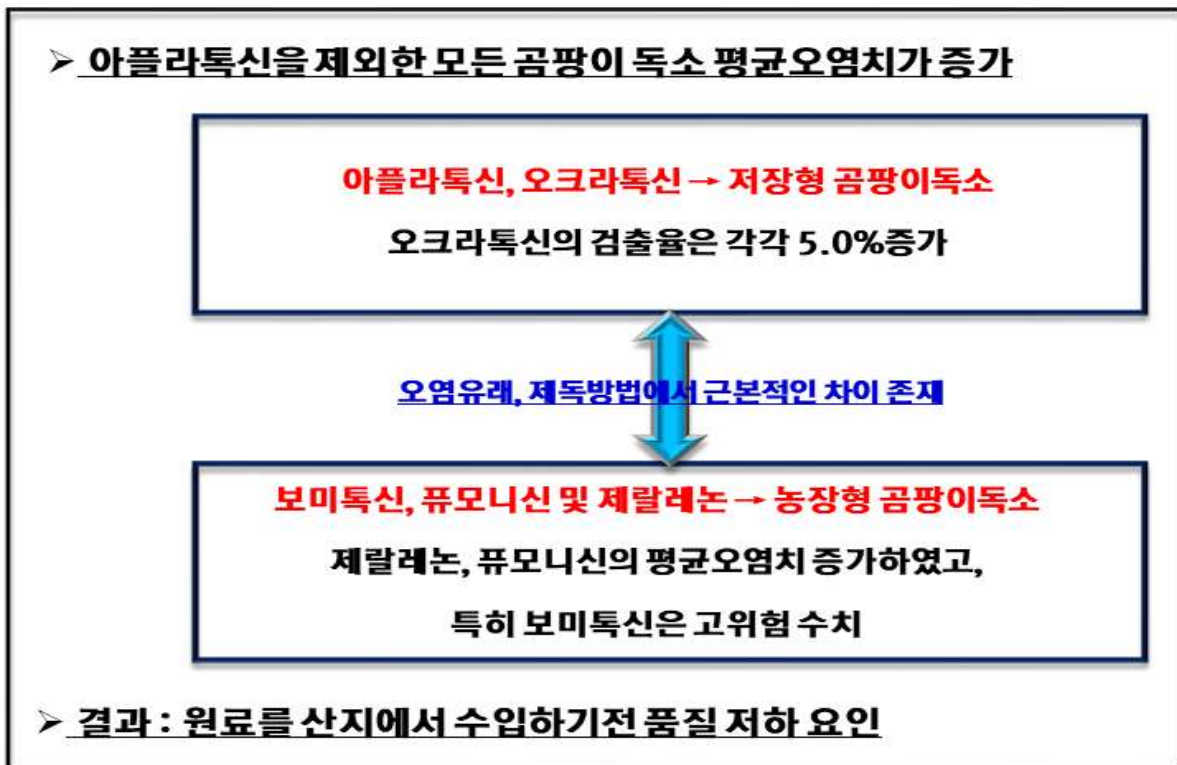
[표 3-4] 사료회사별 곰팡이독소 2차 샘플 분석결과

사료 회사	구분	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
A-사료	육성	0.0	0.0	0.0	277	60
	임신	0.0	0.0	0.0	331	60
B-사료	육성	0.0	0.0	0.0	263	162
	임신	0.0	0.0	0.0	559	104
C-사료	육성	0.0	0.0	43.0	538	312
	임신	0.0	0.0	19.0	621	274
D-사료	육성	0.0	0.5	38.0	183	214
	임신	0.0	0.0	38.0	623	429
E-사료	육성	0.0	0.5	0.0	383	380
	임신	0.0	0.0	0.0	639	276
F-사료	육성	0.0	0.0	19.0	259	180
	임신	0.0	0.0	0.0	288	200
G-사료	육성	0.0	1.0	38.0	681	811
	임신	0.0	0.0	0.0	502	287
H-사료	육성	0.0	2.5	0.0	173	360
	임신	0.0	0.0	0.0	200	200
I-사료	육성	0.0	0.5	0.0	354	241
	임신	0.0	0.5	0.0	738	253
J-사료	육성	0.0	0.0	0.0	434	144
	임신	0.0	0.0	0.0	131	285
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 낮음 [Afla<20, OTA<50, ZEN<50, FUM<750, Ergoy<200, Type A<50, Type B<150]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 중도 [Afla:20~100, OTA:50~400, ZEN:50~250, FUM:750~1000, Ergoy:200~900, Type A:50~100, Type B:150~200]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 높음 [Afla>100, OTA>400, ZEN>250, FUM>1000, Ergoy>900, Type A>100, Type B>200]						
허용치	-	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
		관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

- 2021년도 2차샘플 분석결과에서는 Fusarium 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%, 제랄레논은 100%의 검출율로 나타났음. 이와 함께 Aspergillus계열의 오크라톡신도 30%의 검출율을 보이고 있음.
- 분석을 진행한 총 40개 샘플의 결과서에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.3 ppb, 보미톡신 261.6 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 408.6 ppb, 제랄레논 9.8 ppb로 나타났음. 2021년 2차 샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.1 ppb, 오크라톡신 0.3 ppb, 보미톡신 632.8 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 453.5 ppb, 제랄레논 62.3 ppb)를 바탕으로 금번 결과와 비교하면 모든 곰팡이독소의 농도가 20년대비 감소하였음

□ 2차 분석결과 종합

- 2021년 2차로 진행한 본 샘플은 계절상 여름에 진행이 되었음에도 불구하고 1차 결과와 비교하였을 때 저장형 곰팡이독소인 아플라톡신과 오크라톡신은 검출율과 평균 농도가 다소 감소한 것으로 확인할 수 있음. 그리고 제랄레논과 보미톡신의 평균 농도는 모두 감소하였음. 금번 분석결과에서는 제랄레논, 퓨모니신 및 보미톡신의 경우 총 40개의 샘플 농도가 낮게 검출되었음. 1차, 2차의 분석결과 모두 2020년대비 낮은 수준의 오염치가 검출이 되었다는 점, 40개의 샘플 전부에서 높은 농도를 보이고 있다는 것은 원료를 수입하기 전, 산지에서부터의 품질저하가 의심이 되며 지속적인 관심이 필요할 것으로 사료됨



[그림 3-2] 2021년 1차 양돈배합사료 샘플 곰팡이독소 분석결과

3) 3차 배합사료 분석결과(2021년 9월 채취)

[표 3-5] 3차 배합사료 샘플(9월)의 주요 곰팡이독소 검출율

독소명	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
검출율(%)	7.5	15	35	100	95
평균오염치 (ppb)	0.1	0.2	16.2	774.6	184.0
허용치	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
	관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

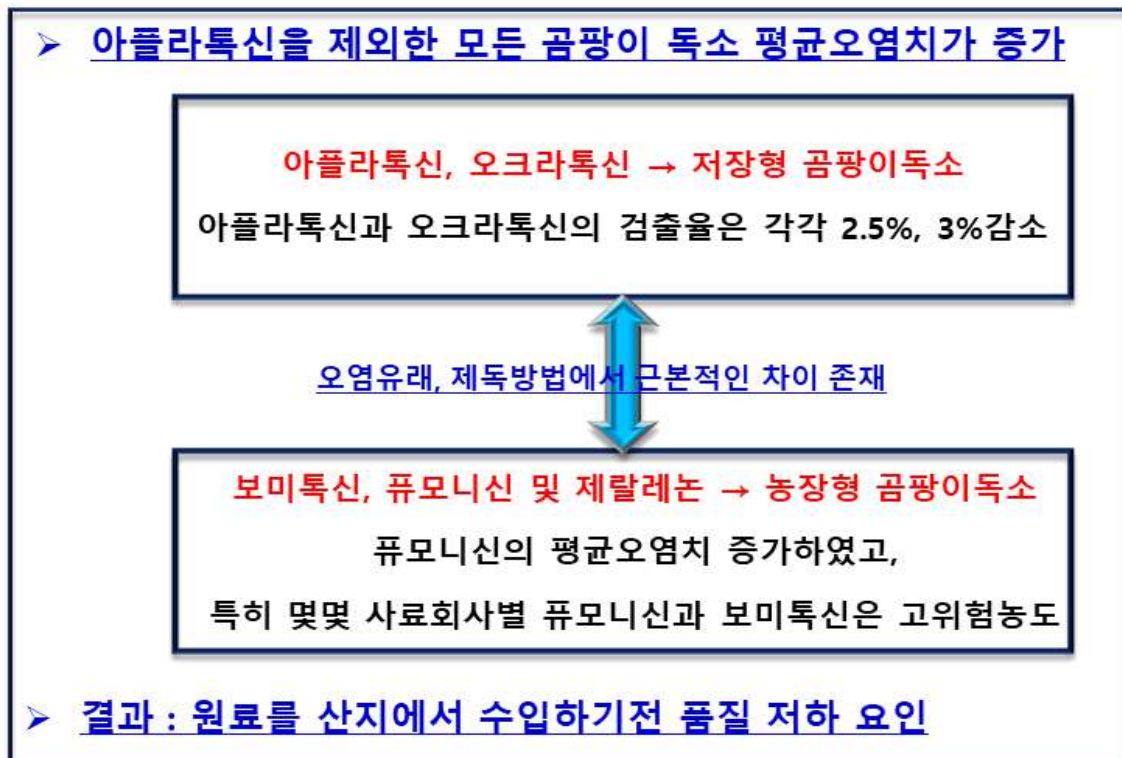
[표 3-6] 사료회사별 곰팡이독소 3차 샘플 분석결과

사료 회사	구분	아플라 독신(Afla)	오크라 독신(OTA)	제랄레논 (ZEN)	퓨모니신 (FUM)	보미독신 (DON)
A-사료	육성	0.0	0.0	0.0	212	60
	임신	0.5	0.0	19.0	1,468	155
B-사료	육성	1.0	0.5	19.0	666	60
	임신	0.0	0.0	0.0	481	0
C-사료	육성	0.5	0.5	38.0	878	439
	임신	0.0	0.0	38.0	1,178	252
D-사료	육성	0.0	0.0	38.0	364	194
	임신	0.0	0.0	38.0	564	143
E-사료	육성	0.0	0.0	38.0	1,369	253
	임신	0.0	0.0	38.0	1,188	247
F-사료	육성	0.0	0.0	0.0	414	214
	임신	0.0	0.5	0.0	806	158
G-사료	육성	0.0	1.0	38.0	599	554
	임신	0.0	0.5	0.0	373	140
H-사료	육성	0.0	0.0	0.0	800	60
	임신	0.0	0.0	0.0	662	239
I-사료	육성	0.0	0.0	0.0	786	151
	임신	0.0	0.0	0.0	569	60
J-사료	육성	0.0	0.0	0.0	1,373	178
	임신	0.0	0.0	19.0	745	124
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 낮음 [Afla<20, OTA<50, ZEN<50, FUM<750, Ergoy<200, Type A<50, Type B<150]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 중도 [Afla:20~100, OTA:50~400, ZEN:50~250, FUM:750~1000, Ergoy:200~900, Type A:50~100, Type B:150~200]						
○ 주요 곰팡이독소의 위험도가 높음 [Afla>100, OTA>400, ZEN>250, FUM>1000, Ergoy>900, Type A>100, Type B>200]						
허용치	-	10ppb	200ppb	100ppb	5,000ppb	900ppb
		관리대상		관리 대상을 추천하는 곰팡이		

- 2021년도 3차(9월)샘플 분석결과에서는 Fusarium 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 각각 100%, 95%, 제랄레논은 35%의 검출율로 나타났음. 이와 함께 Aspergillus계열의 오크라톡신도 15%의 검출율을 보이고 있음.
- 분석을 진행한 총 40개 샘플 분석 결과에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.2 ppb, 보미톡신 184 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 774.6 ppb, 제랄레논 16.2 ppb로 조사되었음. 2020년 3차샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.1 ppb, 오크라톡신 0.5 ppb, 보미톡신 516 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 528 ppb, 제랄레논 67 ppb)를 바탕으로 2021년 3차 분석결과와 비교하면 퓨모니신을 제외한 곰팡이독소의 평균 농도가 20년대비 다소 감소하였음

□ 3차 분석결과 종합

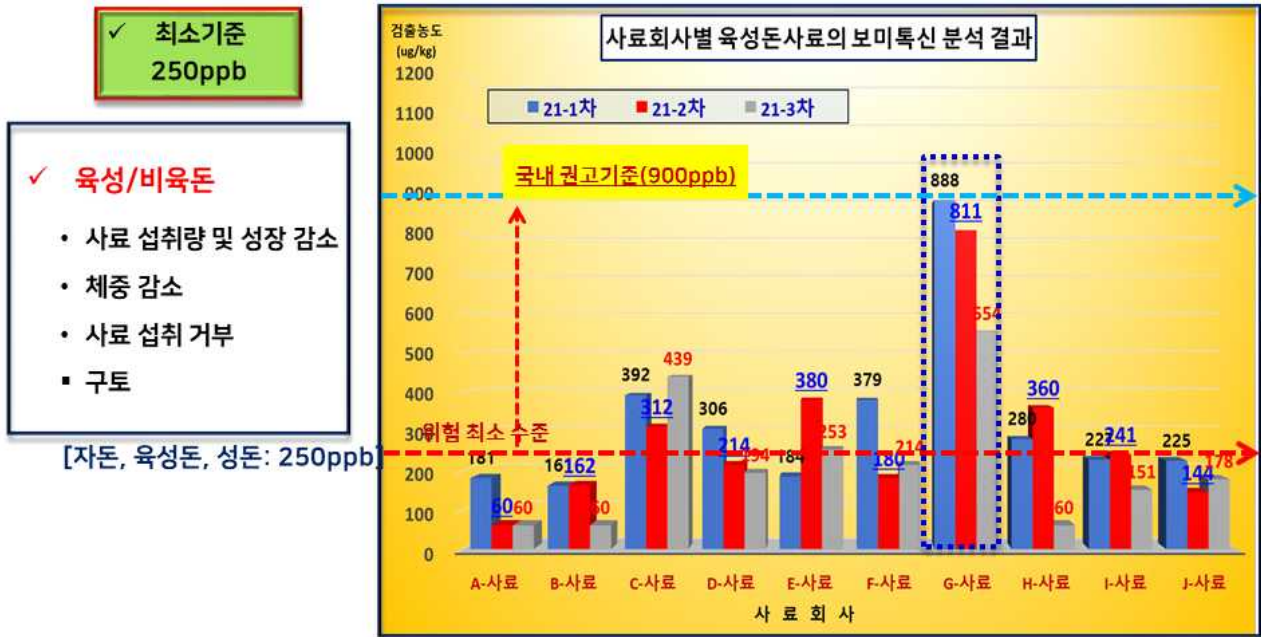
- 2021년 3차(9월)로 진행한 샘플은 계절상 여름에 진행이 되었음에도 불구하고 1차, 2차 결과와 비교하였을 때 저장형 곰팡이독소인 아플라톡신과 오크라톡신은 검출율과 평균농도는 변화가 거의 없었음. 그리고 제랄레논과 보미톡신의 평균농도 역시 차이가 없었음. 그러나 퓨모니신의 평균농도는 3차시기 샘플이 다소 높게 조사되었음. 1차, 2차 및 3차 분석결과 모두 2020년대비 낮은 수준의 평균 농도로 되었지만, 샘플채취 시기별 40개 샘플에서 2020년과 유사하게 거의 모든샘플에서 검출이 되었다는 것은 원료를 수입하기 전, 산지에서부터의 품질저하가 의심이 되며 지속적인 관심이 필요할 것으로 사료됨



[그림 3-3] 2021년 3차 양돈배합사료 샘플 곰팡이독소 분석결과

나. 사료종류별 분석결과

- 국내 사료회사별 육성돈사료의 보미톡신의 평균 검출량은 275 ppb로 조사되었고, 사료 회사별로는 G-사료, C-사료 및 E-사료가 각각 751 ppb, 381 ppb 및 2720 ppb순으로 검출 농도가 높게 조사되었고, A-사료가 100 ppb로 가장 낮게 조사되었음. 2020년 분석 결과와 비교해보면 모든 사료회사에서 검출 농도가 낮았음[그림 3-4]



[그림 3-4] 사료회사별 육성돈사료의 보미톡신(DON) 분석결과

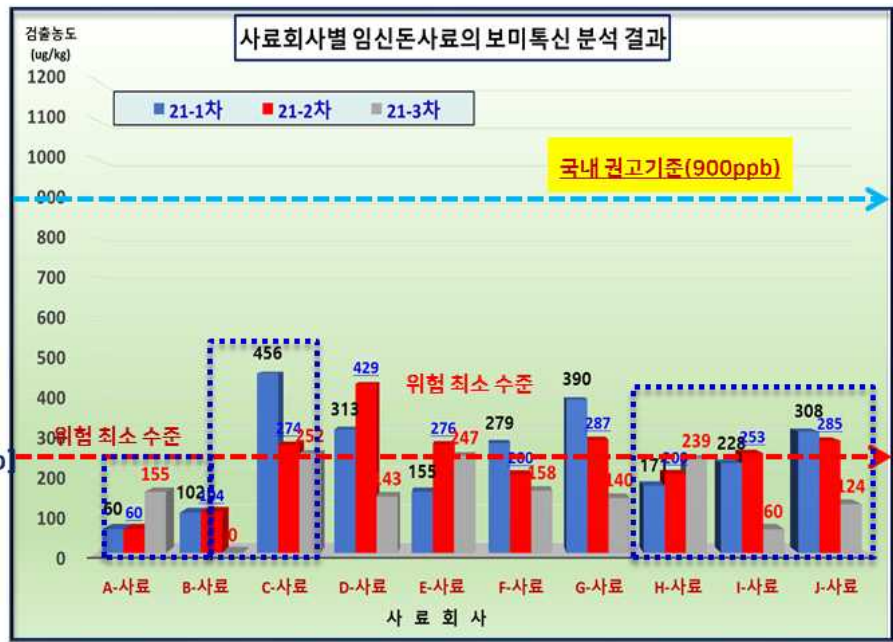
- 임신돈사료의 보미톡신의 평균 검출량은 212 ppb로 조사되었고, 사료회사별로는 G-사료, C-사료, G-사료가 각각 328 ppb, 295 ppb 및 272 ppb순으로 높게 검출되었고, B-사료에서 가장 낮게 검출되었음[그림 3-5]. 2020년 분석샘플과 비교해 모든 사료회사에서 임신돈사료의 보미톡신 검출농도가 낮게 조사되었음
- 보미톡신은 식욕부진, 성장을 저하, 구토등 성장능력을 지연시킬 수 있으므로 육성돈사료에 있어 관리가 필요하고, 또한 분만모돈의 유생산량을 감소시킬 수 있으므로 임신돈사료에 있어서 사전관리가 반드시 필요한 부분임. 본 조사에서는 육성돈과 임신돈사료에서 고위험 수준으로 검출이 되어, 반드시 체계적인 관리가 필요할 것으로 사료됨

✓ **최소기준**
250ppb

✓ **임신돈(모돈)**

- 사료섭취거부
- 성장지연
- 소화장애

[자돈, 육성돈, 성돈: 250ppb]



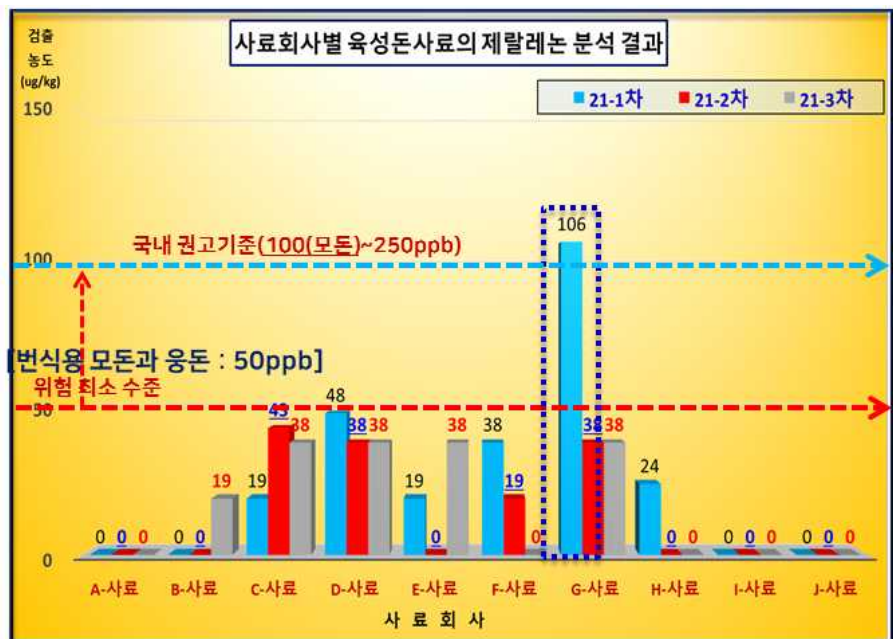
[그림 3-5] 사료회사별 임신돈사료의 보미톡신(DON) 분석결과

○ 사료회사별 육성돈사료의 제랄레논 평균오염도는 19 ppb로 조사되었고, 사료회사별로는 G-사료, D-사료 및 C-사료가 각각 61 ppb, 41 ppb 및 33 ppb가 검출되어 가장 높게 조사되었고, A-사료, I-사료 및 J-사료는 검출되지 않았음[그림 3-6].

✓ **최소기준**
50ppb

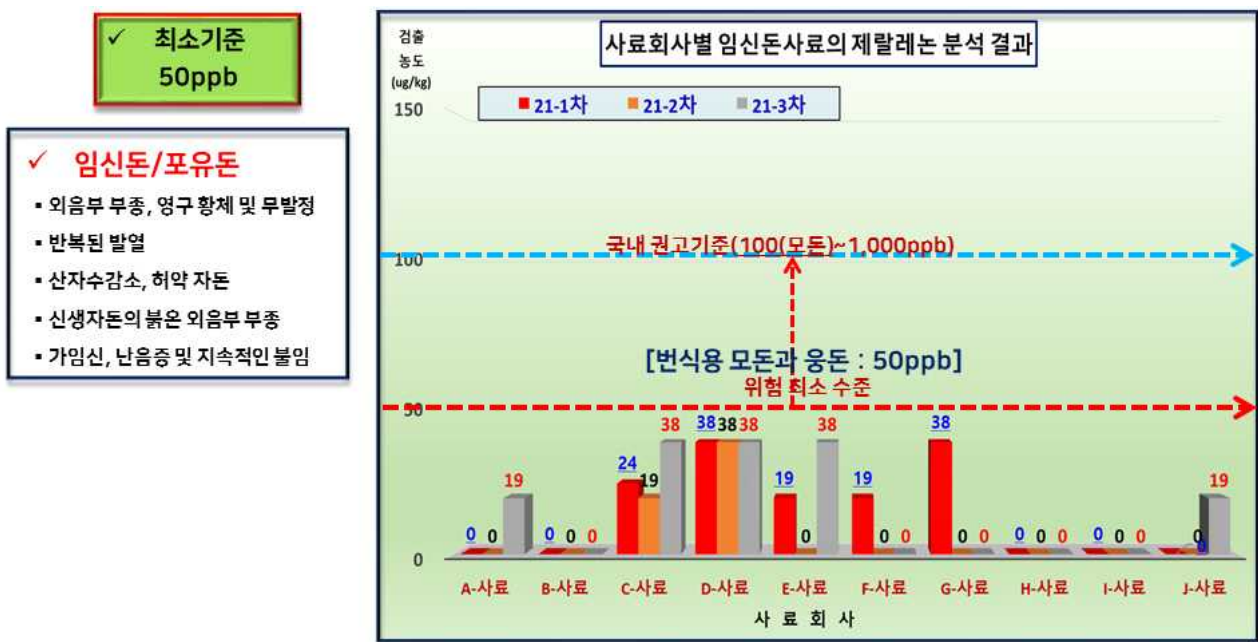
✓ **후보돈**

- 외음부 부종
- 붉게 탈구된 직장



[그림 3-6] 사료회사별 육성돈사료의 제랄레논(ZEN) 분석결과

- 사료회사별 임신돈사료의 제랄레논의 평균오염도는 15 ppb로 조사되었고, 사료회사별로는 D-사료, C-사료 및 E-사료가 각각 38 ppb, 27 ppb, 19 ppb순으로 검출되었고, 그 외 다른 회사의 사료는 농도가 매우 낮았음[그림 3-7].
- 제랄레논은 돼지의 경우 번식능력을 저하시킬수 있는 직접적인 원인이 될 수 있으므로 모돈(후보돈사료)의 번식능력에 문제를 야기할 수 있음. 본 조사에서 몇몇 사료회사에서 중도의 위험도 이상의 검출량을 기록하였고, 또한 다른 곰팡이 독소와 상호작용을 통한 시너지효과가 나타날 수 있으므로 주의를 기울여야 함.

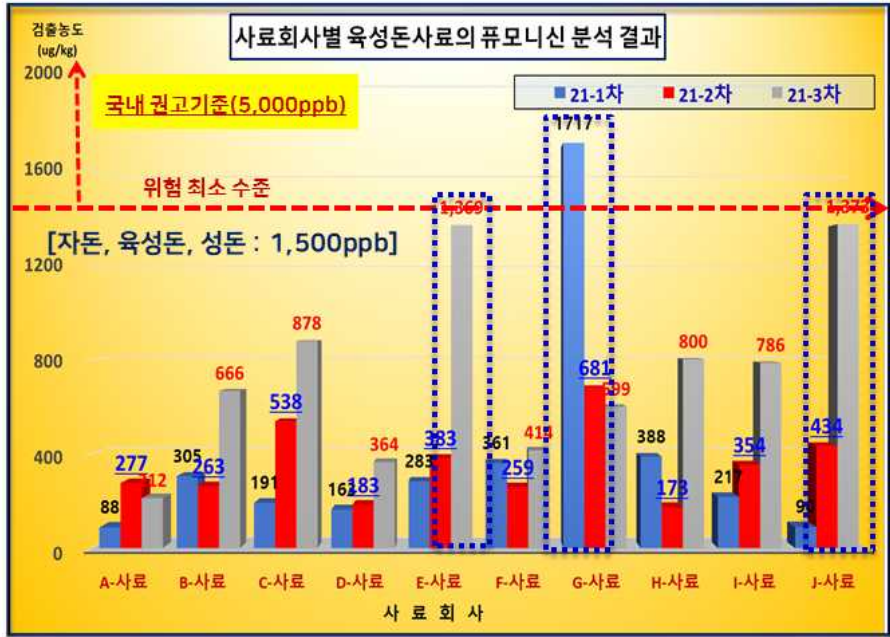


[그림 3-7] 사료회사별 임신돈사료의 제랄레논(ZEN) 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료의 퓨모니신 평균 검출량은 493 ppb로 조사되었고, 사료회사별로는 G-사료, E-사료 및 J-사료가 각각 999 ppb, 678 ppb 및 632 ppb가 검출되어 가장 높게 조사되었고, A-사료가 192 ppb로 가장 낮게 검출되었음. 임신돈사료의 퓨모니신의 평균검출량은 514 ppb로 조사되었고, 사료회사별로는 G-사료, C-사료, I-사료가 각각 741 ppb, 652 ppb 및 647 ppb로 높게 검출되었고, A-사료가 192 ppb로 가장 낮게 검출되었음[그림 3-8, 3-9].
- 퓨모니신은 돼지의 모든 성장단계별로 생산성 감소 및 사료섭취량을 야기시킬 수 있으며, 간장병, 종양 및 폐부종을 야기시킬 수 있으므로 관리가 필요한 곰팡이 독소임. 특히 육성돈사료의 경우 E-사료, G-사료, J-사료회사 제품의 검출농도가 매우 높았고, 임신돈사료의 경우 A-사료, C-사료, E-사료회사 제품의 검출농도가 높아 주의를 요함

✓ **최소기준**
750ppb

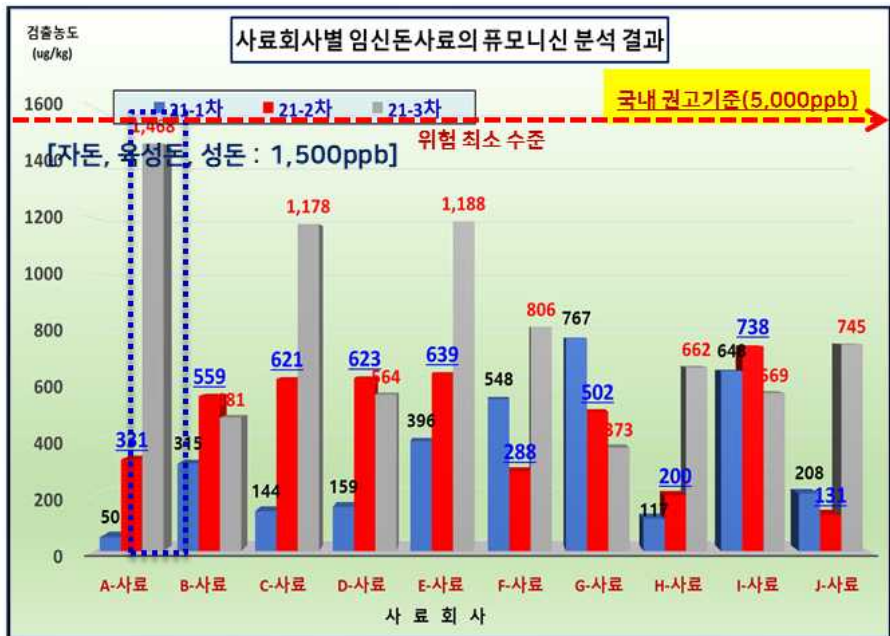
- ✓ **모든 구간 돼지**
- 간장병, 종양,
 - 생산성 감소, 심장 비대
 - 심한 폐부종, 간장병
 - 사료섭취량 저하



[그림 3-8] 사료회사별 육성돈사료의 퓨모니신(FUM) 분석결과

✓ **최소기준**
750ppb

- ✓ **모든 구간 돼지**
- 간장병, 종양,
 - 생산성 감소, 심장 비대
 - 심한 폐부종, 간장병
 - 사료섭취량 저하



[그림 3-9] 사료회사별 임신돈사료의 퓨모니신(FUM) 분석결과

다. 샘플채취 구간별 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대한 샘플채취 구간별 보미톡신의 분석 결과 대부분의 사료회사는 사료차대비 급이기 샘플에서 증가하는 경향으로 나타났지만 B-사료(사료차 195 ppb vs 급이기 40 ppb), C-사료(사료차 398 ppb vs 급이기 363 ppb), G-사료(사료차 838 ppb vs 급이기 664 ppb), J-사료(사료차 199 ppb vs 급이기 165ppb)는 감소하는 경향으로 나타남. 사료차대비 급이기의 오염도가 증가한 사료는 사료라인이나 급이기에 대해 점검 필요성이 있다고 사료됨[그림 3-10]



[그림 3-10] 사료회사별 육성돈사료의 샘플채취구간별 보미톡신 분석결과

- 사료회사별 임신돈사료의 샘플채취 구간별 보미톡신 분석결과 F-사료를 제외한 대부분의 사료회사에서 사료차대비 급이기에서 큰 차이가 없는 것으로 조사되었음. 그러나 급이기대비 사료차에서 낮게 나타난 A-사료(사료차 30 ppb vs 급이기 60 ppb)와 F-사료(사료차 121 ppb vs 급이기 357 ppb)를 제외하고 대부분의 사료샘플들이 사료공장에서부터 곰팡이독소가 발생한 것으로 판단되어 곰팡이 독소에 대한 흡착제를 고려해 보는 것이 바람직 할 것으로 사료됨[그림 3-11]

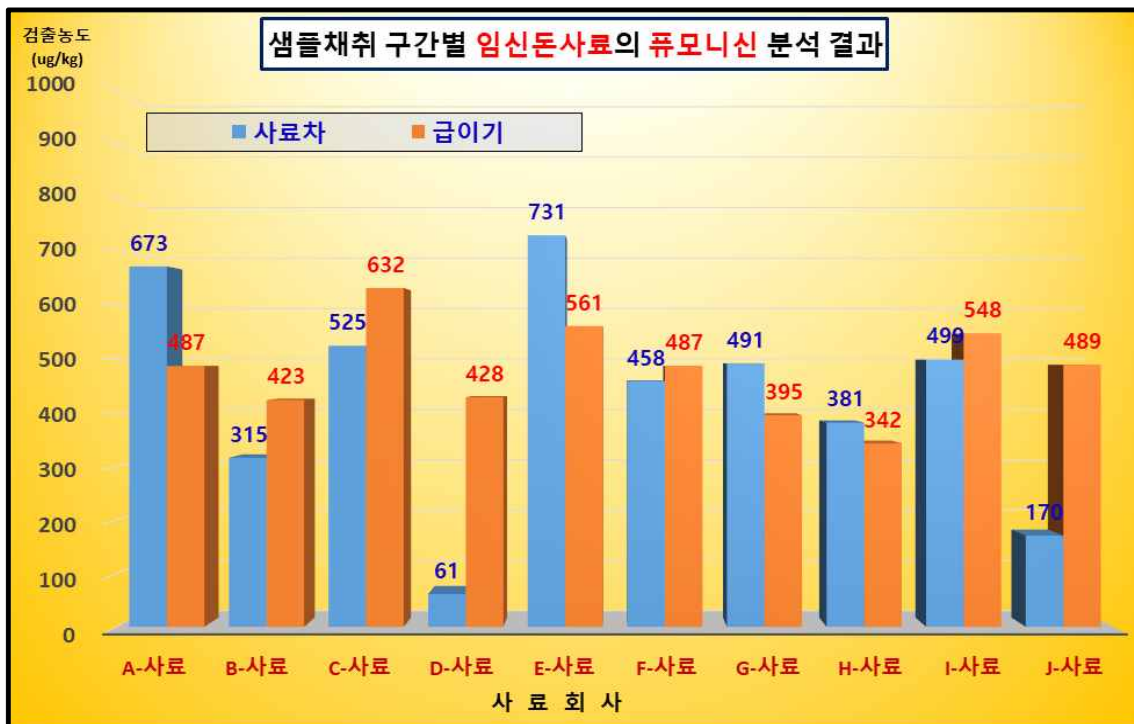


[그림 3-11] 사료회사별 임신돈사료의 샘플채취구간별 보미톡신 분석결과



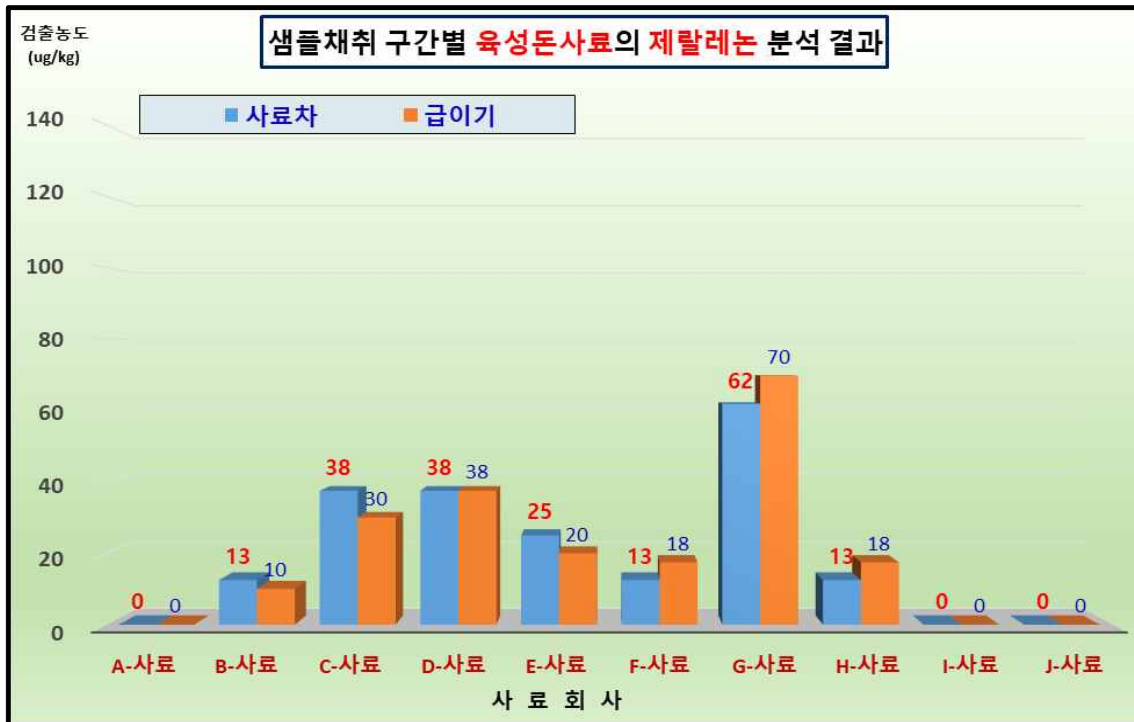
[그림 3-12] 사료회사별 육성돈사료의 샘플채취구간별 퓨모니신 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대한 샘플채취 구간별 퓨모니신의 분석 결과 A-사료와 E-사료는 사료차 대비 급이기에서 높은 것으로 조사되어 농장내 오염도 조사를 조사할 필요가 있고, 급이기대비 사료차에서 높은 D-사료와 G-사료는 사료공장에서 오염도를 조사할 필요가 있을 것으로 사료됨 결과를 종합하면 육성돈사료의 퓨모니신 오염도는 대부분의 사료원료측면에서 퓨모니신에 오염되었고, 사료원료에 대한 관리가 필요할 것으로 사료됨. [그림 3-12]
- 사료회사별 임신돈사료에 대한 샘플채취 구간별 퓨모니신 농도 분석결과 사료차대비 급이기에서 높은 농도로 조사된 샘플은 B-사료, C-사료, D-사료 및 J-사료로 조사되어 농장내 퓨모니신 오염도에 대해 조사할 필요가 있고, 그 외 A-사료, E-사료, H-사료는 급이기대비 사료차에서 높은 농도로 조사되어 사료공장에서 사료원료측면에서 재조사 할 필요가 있음[그림 3-13]



[그림 3-13] 사료회사별 임신돈사료의 샘플채취구간별 퓨모니신 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대한 샘플채취 구간별 제랄레논 분석결과 A-사료, I-사료, J-사료를 제외한 모든 사료샘플에서 검출되었고, 샘플채취 구간에 따른 검출농도는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었음[그림 3-14]. 임신돈사료에 대한 샘플채취 구간별 제랄레논 분석결과 D-사료, E-사료를 제외한 대부분의 사료샘플에서 검출되지 않았거나 미량 검출되었음 [그림 3-15].



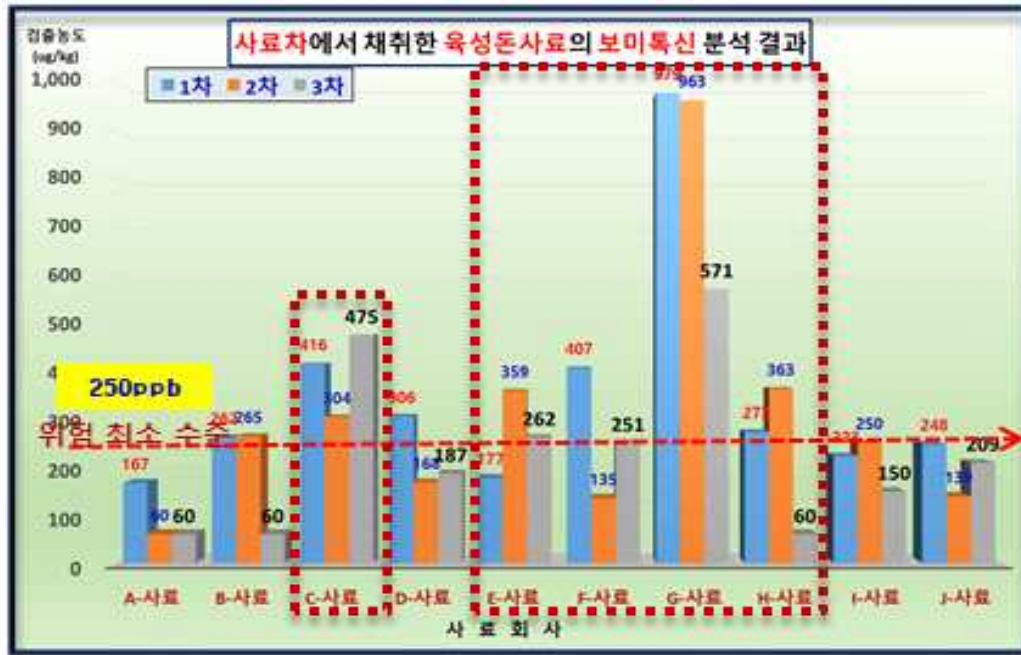
[그림 3-14] 사료회사별 육성돈사료의 샘플채취구간별 제랄레논 분석결과



[그림 3-15] 사료회사별 임신돈사료의 샘플채취구간별 제랄레논 분석결과

라. 샘플채취 시기 및 구간에 따른 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 보미톡신(DON)의 평균 농도는 각각 292 ppb, 258 ppb로 조사되었고, 또한 1차(5월)에 채취한 샘플이 모두 다소 높게 조사되었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 G-사료 평균농도가 가장 높았고, 다음으로 C-사료, F-사료순으로 보미톡신 농도가 높게 조사되었음[그림 3-16, 3-17].



[그림 3-16] 사료회사별 육성돈사료의 사료차샘플의 보미톡신 분석결과



[그림 3-17] 사료회사별 육성돈사료의 급이기샘플의 보미톡신 분석결과

- 사료회사별 임신돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 보미톡신(DON)의 평균농도는 각각 212 ppb, 204 ppb로 조사되었고, 또한 1차(5월)에 채취한 샘플이 모두 다소 높게 조사되었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 C-사료, D-사료 및 G-사료 평균농도가 가장 높았고, 다음으로 F-사료순으로 보미톡신 농도가 높게 조사되었음[그림 3-18, 3-19].

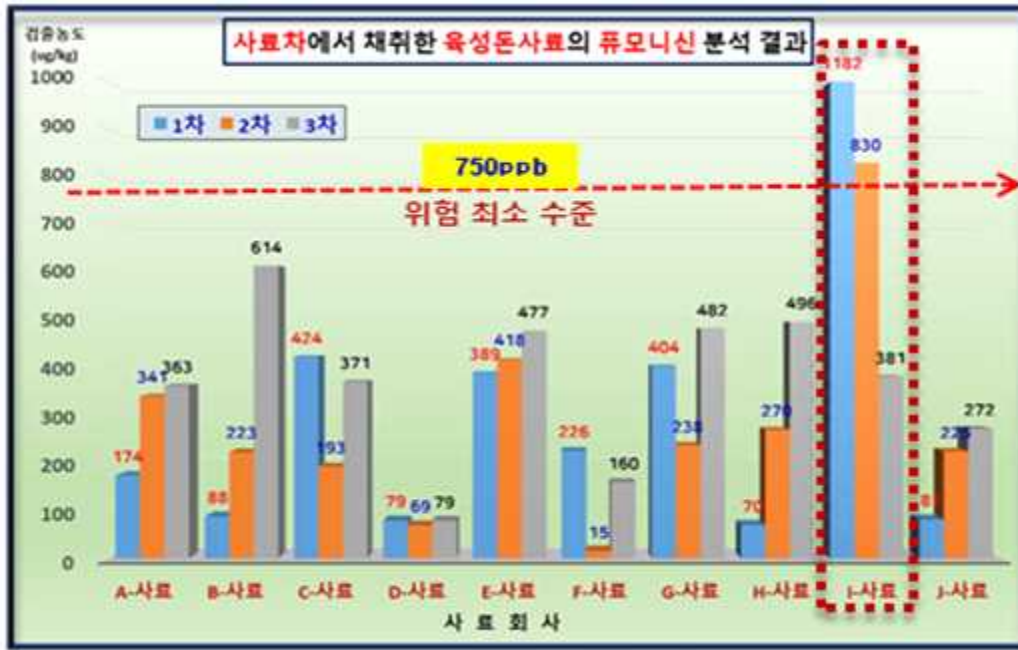


[그림 3-18] 사료회사별 임신돈사료의 사료차샘플의 보미톡신 분석결과

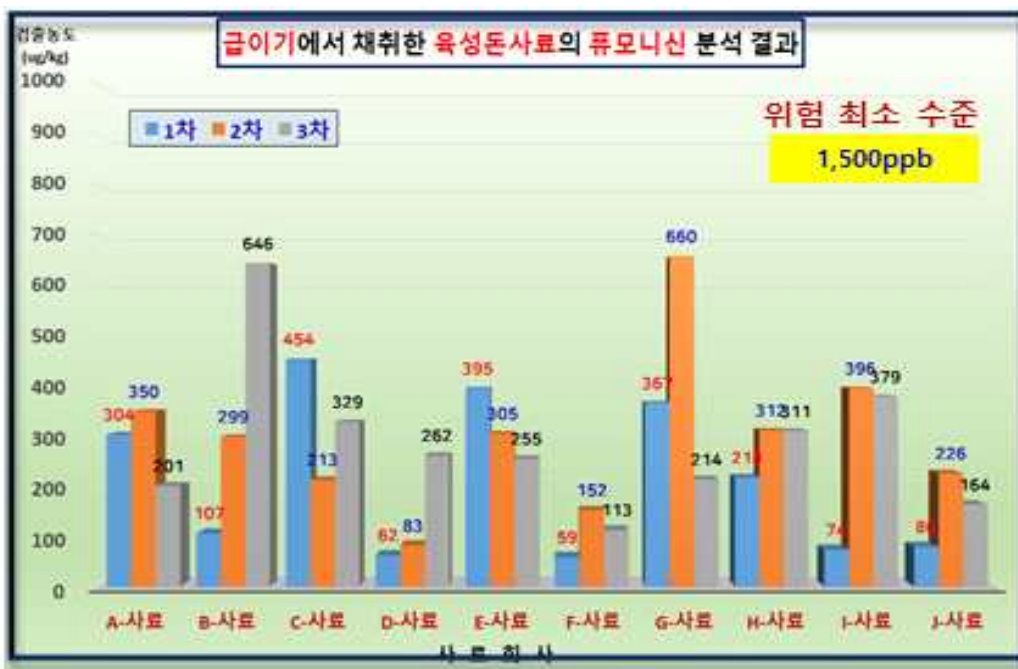


[그림 3-19] 사료회사별 임신돈사료의 급이기샘플의 보미톡신 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 퓨모니신의 평균농도는 각각 427 ppb, 732 ppb로 조사되었고, 또한 3차(9월)에 채취한 샘플(사료차와 급이기 평균 농도는 각각 760 ppb와 732 ppb)이 모두 높게 조사되었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 E-사료, G-사료 및 J-사료의 평균농도가 가장 높았고, 다음으로 C-사료순으로 보미톡신 농도가 높게 조사되었음[그림 3-20, 3-21].

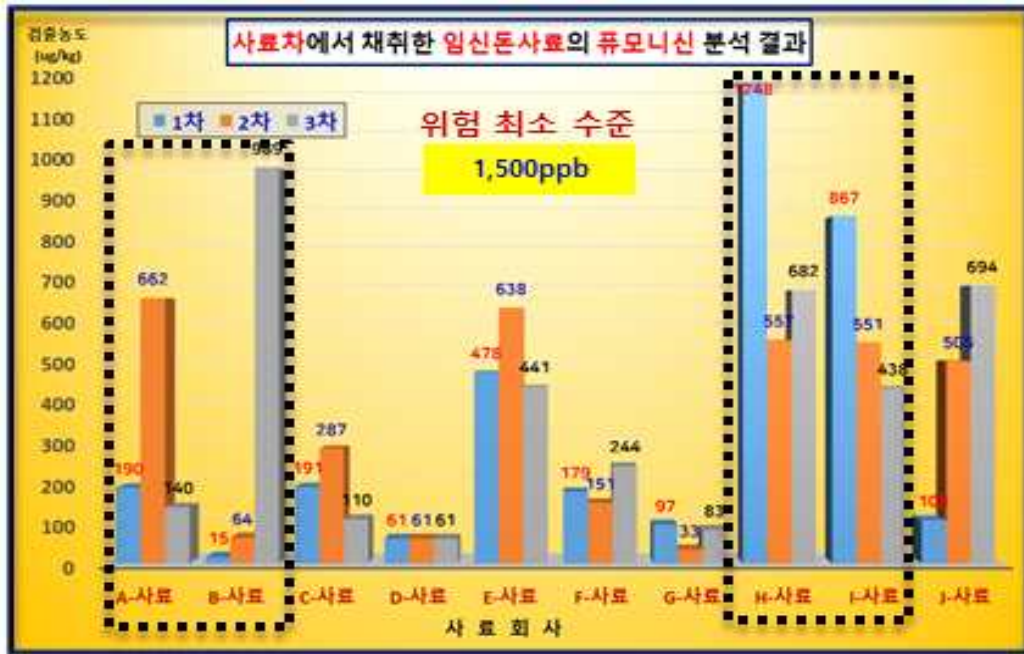


[그림 3-20] 사료회사별 육성돈사료의 사료차샘플의 퓨모니신 분석결과

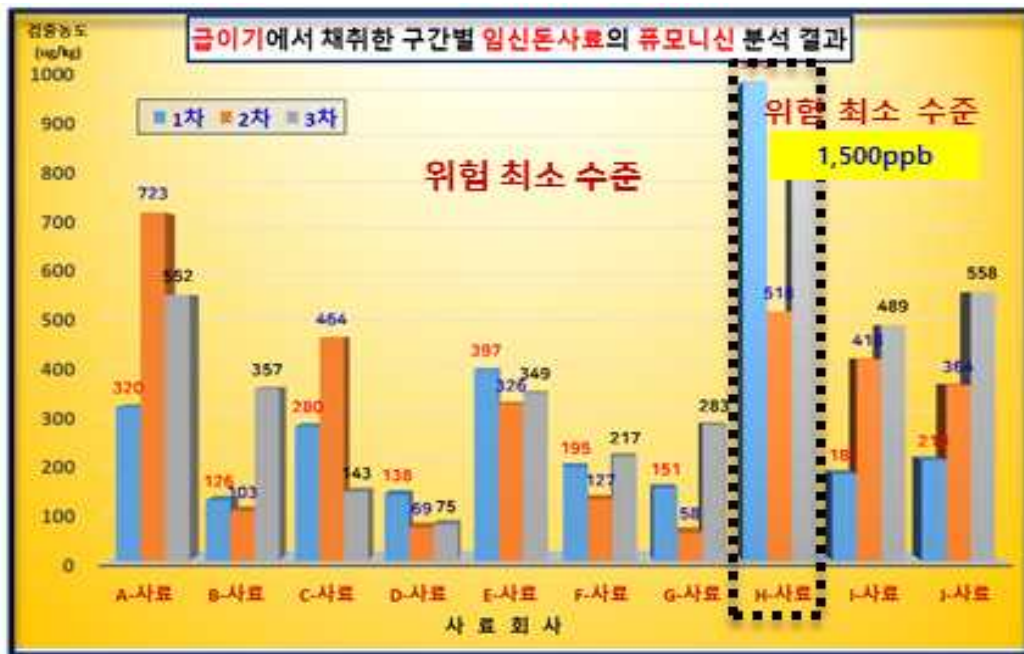


[그림 3-21] 사료회사별 육성돈사료의 급이기샘플의 퓨모니신 분석결과

- 사료회사별 임신돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 푸모니신의 평균농도는 각각 430 ppb, 479 ppb로 조사되었고, 또한 3차(9월)에 채취한 샘플(사료차와 급이기 평균농도는 각각 707 ppb와 861 ppb)이 모두 높게 조사되었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 E-사료, A-사료 및 C-사료의 평균농도가 가장 높았고, 다음으로 I-사료순으로 보미톡신 농도가 높게 조사되었음[그림 3-22, 3-23].



[그림 3-22] 사료회사별 임신돈사료의 사료차샘플의 푸모니신 분석결과



[그림 3-23] 사료회사별 임신돈사료의 급이기샘플의 푸모니신 분석결과

- 사료회사별 육성돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 제랄레논의 평균농도는 모두 20 ppb로 조사되었고, 샘플채취 시기별 차이는 없었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 G-사료, D-사료 및 C-사료는 모든시기에 검출되었고, A-사료, I-사료, J-사료 샘플에서는 제랄레논이 검출되지 않았음[그림 3-24, 3-25].

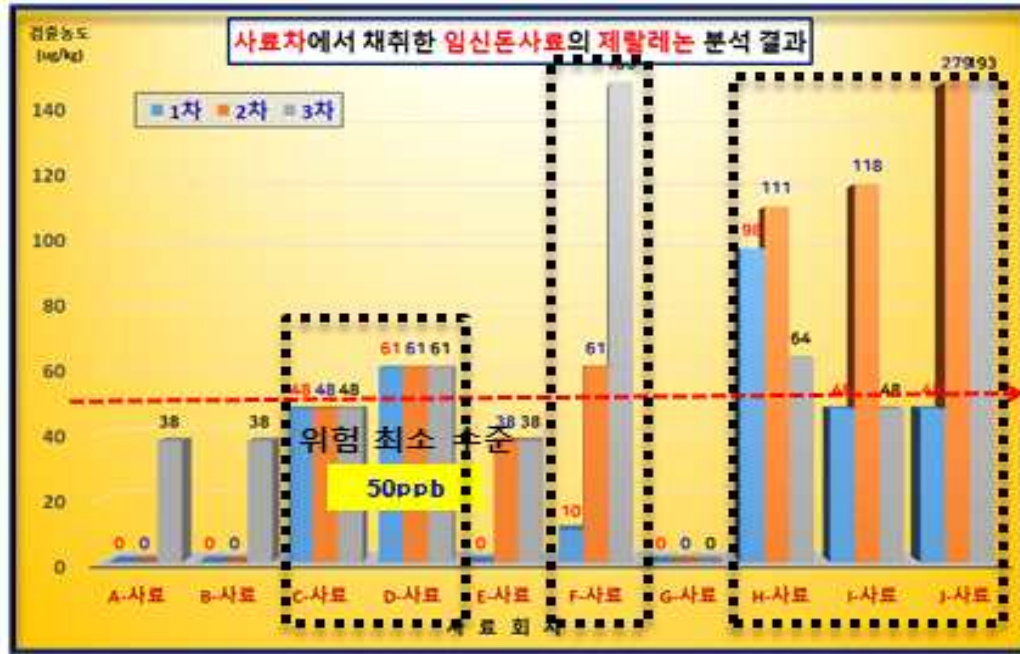


[그림 3-24] 사료회사별 육성돈사료의 사료차샘플의 제랄레논 분석결과



[그림 3-25] 사료회사별 육성돈사료의 급이기샘플의 제랄레논 분석결과

- 사료회사별 임신돈사료에 대해 사료차와 급이기에서 샘플채취시기별 제랄레논의 평균농도는 각각 12 ppb, 13 ppb로 조사되었고, 샘플채취 시기별 차이는 없었음. 사료회사별로는 샘플채취 구간에 관계없이 D-사료는 모든 시기에 검출되었고, B-사료, H-사료, J-사료 샘플에서는 제랄레논이 검출되지 않았음[그림 3-26, 3-27].



[그림 3-26] 사료회사별 임신돈사료의 사료차샘플의 제랄레논 분석결과



[그림 3-27] 사료회사별 임신돈사료의 급이기샘플의 제랄레논 분석결과

[표 3-7] 사료회사별, 사료종류별 구간별 1차(5월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Deoxynivalenol	3Acetyl Deoxynivalenol	15Acetyl Deoxynivalenol	Nivalenol	Fusarenon X
A-사료	육성	사료차	167	<10	<10	<10	<10
		급이기	194	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	60	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
B-사료	육성	사료차	262	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	60	<10	<10	<10	<10
		급이기	144	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	416	<10	<10	<10	<10
		급이기	368	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	476	<10	<10	<10	<10
		급이기	437	<10	<10	<10	<10
D-사료	육성	사료차	306	<10	<10	<10	<10
		급이기	366	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	296	<10	<10	<10	<10
		급이기	331	<10	<10	<10	<10
E-사료	육성	사료차	177	<10	<10	<10	<10
		급이기	191	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	179	<10	<10	<10	<10
		급이기	130	<10	<10	<10	<10
F-사료	육성	사료차	407	<10	<10	<10	<10
		급이기	351	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	182	<10	<10	<10	<10
		급이기	376	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	979	<10	75	<10	<10
		급이기	796	<10	75	<10	<10
	임신	사료차	445	<10	<10	<10	<10
		급이기	335	<10	<10	<10	<10
H-사료	육성	사료차	273	<10	<10	<10	<10
		급이기	286	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	221	<10	<10	<10	<10
		급이기	121	<10	<10	<10	<10
I-사료	육성	사료차	223	<10	<10	<10	<10
		급이기	231	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	263	<10	<10	<10	<10
		급이기	192	<10	<10	<10	<10
J-사료	육성	사료차	248	<10	<10	<10	<10
		급이기	201	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	319	<10	<10	<10	<10
		급이기	298	<10	<10	<10	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-7] 사료회사별, 사료종류별 구간별 1차(5월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	T-2 Toxin	HT-2 Toxin	Diacetoxyscirpenol	Neosolarid
A-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
B-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	<10	25	<10	<10
		급이기	<10	25	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
D-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
E-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
F-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
H-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
I-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
J-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	25	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)			
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)			
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)			

[표 3-7] 사료회사별, 사료종류별 구간별 1차(5월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Aflatoxin B1	Aflatoxin B2	Aflatoxin G1	Aflatoxin G2
A-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
B-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
C-사료	육성	사료차	1	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
D-사료	육성	사료차	4.6	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
E-사료	육성	사료차	1.0	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	1.0	<0.5	<0.5	<0.5
F-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
G-사료	육성	사료차	1.0	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
H-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
I-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	1	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
J-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)			
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)			
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)			

[표 3-7] 사료회사별, 사료종류별 구간별 1차(5월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Fumonisin B1	Fumonisin B2	Fumonisin B3	Ochratoxin A	Zearalenone
A-사료	육성	사료차	51	15	20	<0.5	<10
		급이기	55	15	20	<0.5	<10
	임신	사료차	15	15	20	<0.5	<10
		급이기	15	15	19	<0.5	<10
B-사료	육성	사료차	250	91	20	<0.5	<10
		급이기	156	73	20	<0.5	<10
	임신	사료차	244	86	40	<0.5	<10
		급이기	175	66	20	<0.5	<10
C-사료	육성	사료차	131	43	20	<0.5	37.5
		급이기	124	46	20	3.0	<10
	임신	사료차	96	37	20	<0.5	<10
		급이기	78	37	20	<0.5	37.5
D-사료	육성	사료차	88	39	20	<0.5	37.5
		급이기	115	44	20	<0.5	37.5
	임신	사료차	89	37	20	<0.5	37.5
		급이기	109	44	20	<0.5	37.5
E-사료	육성	사료차	189	74	20	<0.5	37.5
		급이기	190	75	20	<0.5	<10
	임신	사료차	299	100	48	<0.5	37.5
		급이기	241	85	20	<0.5	<10
F-사료	육성	사료차	229	79	20	<0.5	37.5
		급이기	252	98	45	<0.5	37.5
	임신	사료차	206	67	20	<0.5	<10
		급이기	555	169	78	<0.5	37.5
G-사료	육성	사료차	1,301	275	152	1.0	110.5
		급이기	1,305	254	146	1.0	101.3
	임신	사료차	658	145	76	<0.5	37.5
		급이기	479	110	67	<0.5	37.5
H-사료	육성	사료차	89	39	20	<0.5	37.5
		급이기	66	30	20	1.0	37.5
	임신	사료차	440	160	59	<0.5	<10
		급이기	94	33	20	<0.5	<10
I-사료	육성	사료차	144	55	20	<0.5	<10
		급이기	142	54	20	<0.5	<10
	임신	사료차	487	142	75	1.0	<10
		급이기	397	129	66	<0.5	<10
J-사료	육성	사료차	53	15	20	<0.5	<10
		급이기	58	15	20	<0.5	<10
	임신	사료차	150	63	20	<0.5	<10
		급이기	125	38	20	<0.5	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-8] 사료회사별, 사료종류별 구간별 2차(7월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Deoxynivalenol	3Acetyl Deoxynivalenol	15Acetyl Deoxynivalenol	Nivalenol	Fusarenon X
A-사료	육성	사료차	60	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
B-사료	육성	사료차	265	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	149	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	304	<10	<10	<10	<10
		급이기	319	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	355	<10	<10	<10	<10
		급이기	193	<10	<10	<10	<10
D-사료	육성	사료차	168	<10	<10	<10	<10
		급이기	260	<10	<10	61	<10
	임신	사료차	468	<10	<10	30	<10
		급이기	391	<10	<10	30	<10
E-사료	육성	사료차	359	<10	<10	<10	<10
		급이기	400	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	304	<10	<10	<10	<10
		급이기	247	<10	<10	<10	<10
F-사료	육성	사료차	135	<10	<10	<10	<10
		급이기	225	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	60	<10	<10	<10	<10
		급이기	339	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	963	<10	75	30	<10
		급이기	658	<10	75	30	<10
	임신	사료차	257	<10	<10	<10	<10
		급이기	317	<10	<10	<10	<10
H-사료	육성	사료차	363	<10	<10	<10	<10
		급이기	356	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	197	<10	<10	<10	<10
		급이기	204	<10	<10	<10	<10
I-사료	육성	사료차	250	<10	<10	<10	<10
		급이기	231	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	249	<10	<10	<10	<10
		급이기	258	<10	<10	<10	<10
J-사료	육성	사료차	139	<10	<10	<10	<10
		급이기	149	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	279	<10	<10	<10	<10
		급이기	292	<10	<10	<10	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-8] 사료회사별, 사료종류별 구간별 2차(7월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	T-2 Toxin	HT-2 Toxin	Diacetoxyscirpenol	Neosolarid
A-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
B-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
D-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
E-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
F-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	1.5
H-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
I-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
J-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	1.5
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-8] 사료회사별, 사료종류별 구간별 2차(7월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Aflatoxin B1	Aflatoxin B2	Aflatoxin G1	Aflatoxin G2
A-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
B-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
C-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
D-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
E-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
F-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
G-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
H-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
I-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
J-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-8] 사료회사별, 사료종류별 구간별 2차(7월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Fumonisin B1	Fumonisin B2	Fumonisin B3	Ochratoxin A	Zearalenone
A-사료	육성	사료차	153	41	<0.5	<0.5	<10
		급이기	282	77	<0.5	<0.5	<10
	임신	사료차	218	48	<0.5	<0.5	<10
		급이기	294	82	20	<0.5	<10
B-사료	육성	사료차	219	62	20	<0.5	<10
		급이기	182	43	<0.5	<0.5	<10
	임신	사료차	279	74	20	<0.5	<10
		급이기	555	170	20	<0.5	<10
C-사료	육성	사료차	398	106	20	<0.5	37.5
		급이기	375	158	20	<0.5	37.5
	임신	사료차	343	93	20	<0.5	<10
		급이기	598	137	51	<0.5	37.5
D-사료	육성	사료차	155	39	<0.5	1.0	37.5
		급이기	141	32	<0.5	<0.5	37.5
	임신	사료차	438	128	20	<0.5	37.5
		급이기	497	144	20	<0.5	37.5
E-사료	육성	사료차	276	80	20	1.0	<10
		급이기	275	95	20	<0.5	<10
	임신	사료차	569	141	51	<0.5	<10
		급이기	390	106	20	<0.5	<10
F-사료	육성	사료차	298	72	20	<0.5	<10
		급이기	113	15	<0.5	<0.5	37.5
	임신	사료차	375	79	20	<0.5	<10
		급이기	87	15	<0.5	<0.5	<10
G-사료	육성	사료차	502	106	40	1.0	37.5
		급이기	535	128	50	1.0	37.5
	임신	사료차	519	109	46	<0.5	<10
		급이기	258	53	20	<0.5	<10
H-사료	육성	사료차	127	15	<0.5	4.5	<10
		급이기	162	42	<0.5	<0.5	<10
	임신	사료차	223	52	20	<0.5	<10
		급이기	90	15	<0.5	<0.5	<10
I-사료	육성	사료차	263	67	20	<0.5	<10
		급이기	288	50	20	1	<10
	임신	사료차	479	111	41	<0.5	<10
		급이기	639	149	56	1	<10
J-사료	육성	사료차	316	87	20	<0.5	<10
		급이기	325	102	20	<0.5	<10
	임신	사료차	125	15	20	<0.5	<10
		급이기	87	15	<0.5	<0.5	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-9] 사료회사별, 사료종류별 구간별 3차(9월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	Deoxynivalenol	3Acetyl Deoxynivalenol	15Acetyl Deoxynivalenol	Nivalenol	Fusarenon X
A-사료	육성	사료차	60	<10	<10	<10	<10
		급이기	60	<10	<10	<10	25
	임신	사료차	250	<10	<10	<10	52
		급이기	60	<10	<10	<10	64
B-사료	육성	사료차	60	<10	<10	<10	25
		급이기	<10	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	475	<10	75	<10	89
		급이기	402	<10	75	<10	114
	임신	사료차	279	<10	<10	<10	71
		급이기	226	<10	<10	<10	104
D-사료	육성	사료차	187	<10	<10	<10	25
		급이기	200	<10	<10	61	56
	임신	사료차	142	<10	<10	30	25
		급이기	144	<10	<10	30	25
E-사료	육성	사료차	262	<10	75	<10	82
		급이기	244	<10	<10	<10	103
	임신	사료차	233	<10	<10	<10	95
		급이기	261	<10	<10	<10	25
F-사료	육성	사료차	251	<10	<10	<10	81
		급이기	178	<10	<10	<10	54
	임신	사료차	158	<10	<10	<10	25
		급이기	<10	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	571	<10	75	30	159
		급이기	537	<10	75	30	124
	임신	사료차	129	<10	<10	<10	25
		급이기	150	<10	<10	<10	25
H-사료	육성	사료차	60	<10	<10	<10	25
		급이기	60	<10	<10	<10	25
	임신	사료차	236	<10	<10	<10	51
		급이기	243	<10	<10	<10	56
I-사료	육성	사료차	150	<10	<10	<10	25
		급이기	152	<10	<10	<10	50
	임신	사료차	60	<10	<10	<10	25
		급이기	60	<10	<10	<10	25
J-사료	육성	사료차	209	<10	<10	<10	25
		급이기	146	<10	<10	<10	25
	임신	사료차	60	<10	<10	<10	25
		급이기	188	<10	15	<10	25
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-9] 사료회사별, 사료종류별 구간별 3차(9월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

사료 회사	사료 종류	구분	T-2 Toxin	HT-2 Toxin	Diacetoxyscirpenol	Neosolarid
A-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
B-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
C-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
D-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
E-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
F-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
G-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
H-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
I-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
J-사료	육성	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
	임신	사료차	<10	<10	<10	<10
		급이기	<10	<10	<10	<10
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-9] 사료회사별, 사료종류별 구간별 3차(9월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

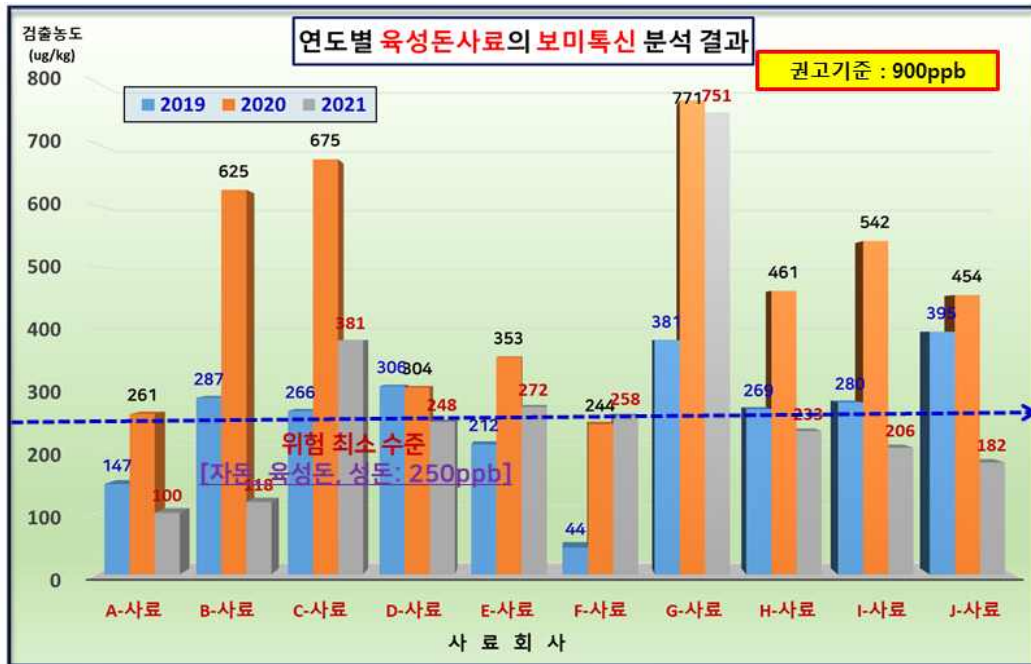
사료 회사	사료 종류	구분	Aflatoxin B1	Aflatoxin B2	Aflatoxin G1	Aflatoxin G2
A-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	1.0	<0.5	<0.5	<0.5
B-사료	육성	사료차	2.4	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
C-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	1.0	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
D-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
E-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
F-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
G-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
H-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
I-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
J-사료	육성	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	임신	사료차	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		급이기	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
		주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

[표 3-9] 사료회사별, 사료종류별 구간별 3차(9월)에서 곰팡이독소 분석결과(단위:ppb)

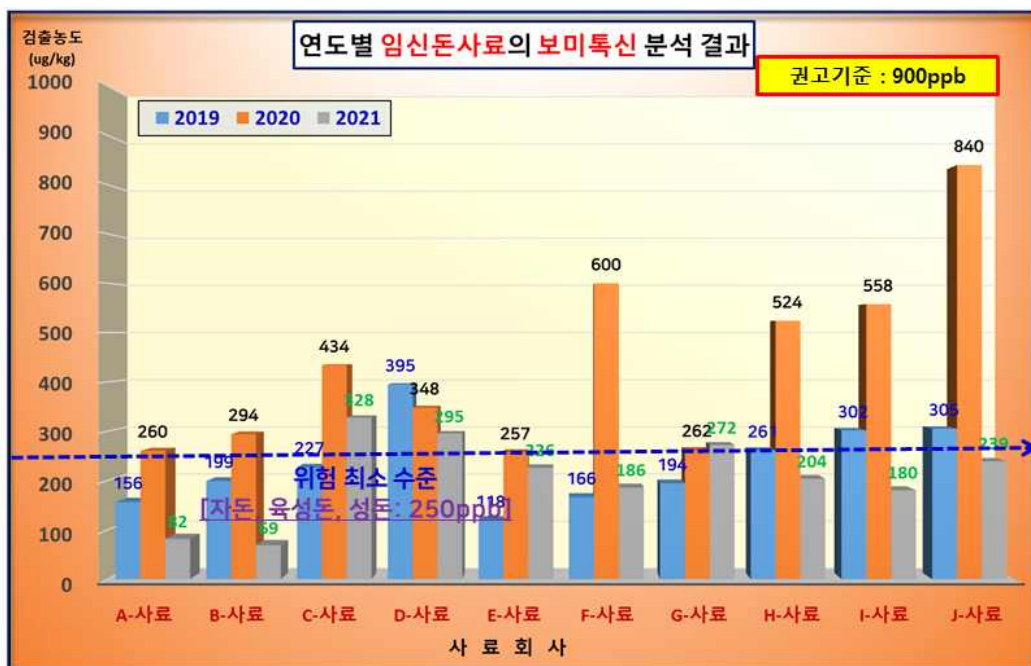
사료 회사	사료 종류	구분	Fumonisin B1	Fumonisin B2	Fumonisin B3	Ochratoxin A	Zearalenone
A-사료	육성	사료차	67	15	<0.5	<0.5	<10
		급이기	254	68	20	<0.5	<10
	임신	사료차	1,290	390	106	<0.5	38
		급이기	818	255	78	<0.5	<10
B-사료	육성	사료차	447	144	45	1.0	38
		급이기	496	181	20	<0.5	<10
	임신	사료차	295	109	20	<0.5	<10
		급이기	381	118	40	<0.5	<10
C-사료	육성	사료차	568	196	51	1.0	38
		급이기	657	226	58	<0.5	38
	임신	사료차	807	245	84	<0.5	38
		급이기	849	290	82	<0.5	38
D-사료	육성	사료차	321	112	20	<0.5	38
		급이기	186	69	20	<0.5	38
	임신	사료차	325	105	20	<0.5	38
		급이기	497	123	58	<0.5	38
E-사료	육성	사료차	768	278	80	<0.5	38
		급이기	1,162	351	98	<0.5	38
	임신	사료차	920	323	81	<0.5	38
		급이기	735	255	62	<0.5	38
F-사료	육성	사료차	263	68	20	<0.5	<10
		급이기	358	101	20	<0.5	<10
	임신	사료차	582	155	58	<0.5	<10
		급이기	589	168	61	1.0	<10
G-사료	육성	사료차	724	205	63	1.0	38
		급이기	146	40	20	1.0	38
	임신	사료차	215	63	20	1.0	<10
		급이기	330	98	20	<0.5	<10
H-사료	육성	사료차	592	152	49	<0.5	<10
		급이기	589	162	57	<0.5	<10
	임신	사료차	347	114	20	<0.5	<10
		급이기	589	204	49	<0.5	<10
I-사료	육성	사료차	601	229	45	<0.5	<10
		급이기	450	204	42	<0.5	<10
	임신	사료차	398	112	20	<0.5	<10
		급이기	439	129	39	<0.5	<10
J-사료	육성	사료차	1,016	367	91	<0.5	<10
		급이기	887	303	81	<0.5	<10
	임신	사료차	161	56	20	<0.5	<10
		급이기	886	290	78	<0.5	<10
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla <20, ZEN <50, FUM <750, OTA <50, DON <150)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 안 좋은 영향을 미칠 수 있는 농도 (20≤Afla<100, 50≤ZEN<250, 750≤FUM<1000, 50≤OTA<400, 150≤DON<200)				
			주요 곰팡이 독소에서 돼지에게 매우 위험한 영향을 미칠 수 있는 농도 (Afla ≥100, ZEN ≥250, FUM ≥1000, OTA ≥400, DON ≥200)				

마. 연도별 분석결과

- 2019년~2021년에 사료회사별 육성돈과 임신돈사료에 대해 보미톡신의 농도를 분석한 결과 연도별 큰 차이는 없는 것으로 조사되었지만 대부분의 사료회사 제품이 농장에서 발생할 수 있는 최소 위험농도(250 ppb) 이상으로 검출되었음. 국내에서는 보미톡신 농도에 대한 규정이 권고사항이기 때문에 대부분의 사료회사 보미톡신에 대한 관리가 이루어지지 않는 것으로 해석할 수 있음.[그림 3-28, 3-29]

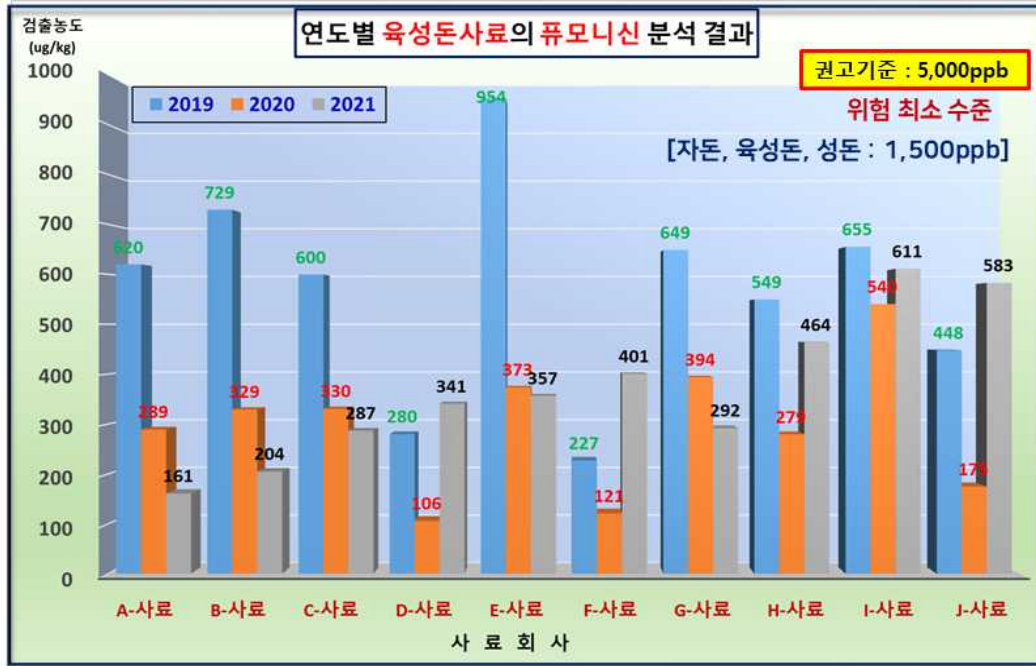


[그림 3-28] 사료회사별 육성돈사료의 보미톡신(DON) 분석결과

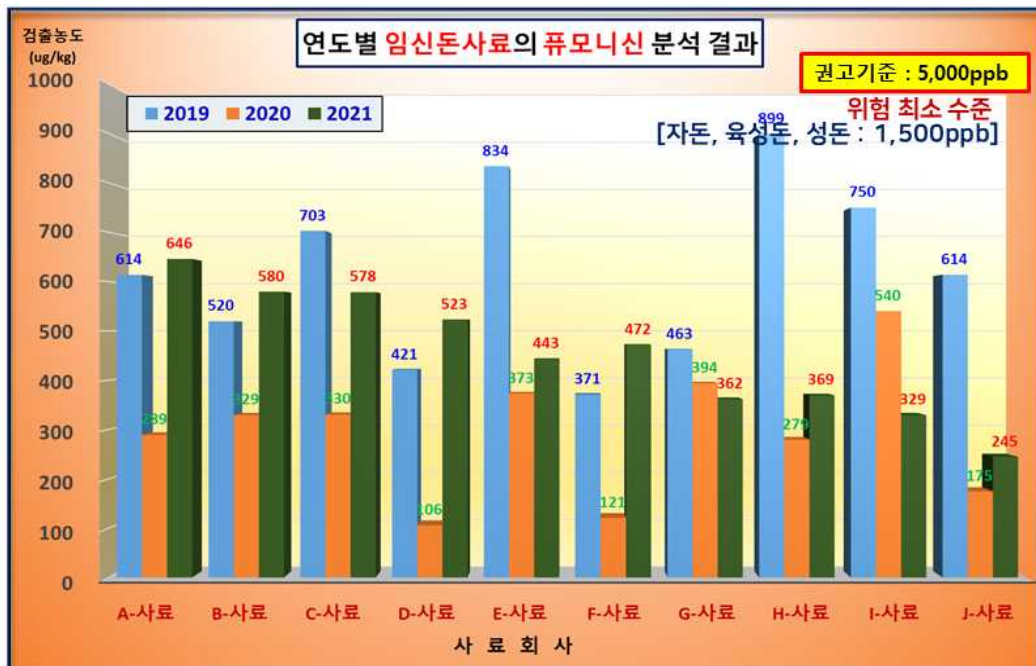


[그림 3-29] 사료회사별 임신돈사료의 보미톡신(DON) 분석결과

- 2019년~2021년에 사료회사별 육성돈과 임신돈사료에 대해 퓨모니신의 농도는 모든 검출에서 검출이 되었고, 그 이유는 국내의 퓨모니신 농도에 대한 규정이 권고사항이기 때문에 대부분의 사료회사 퓨모니신에 대한 관리가 이루어지지 않는 것으로 사료됨. 임신돈사료의 경우 2021년에 대부분의 사료회사 제품에서 농도가 다소 증가하였음[그림 3-30, 3-31]

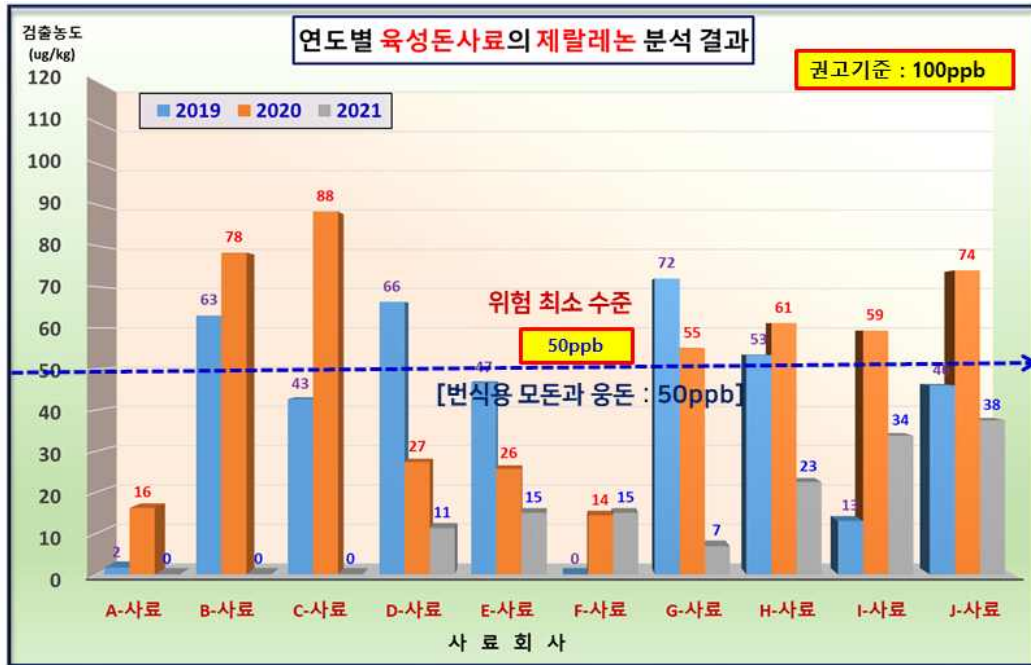


[그림 3-30] 사료회사별 육성돈사료의 퓨모니신 분석결과

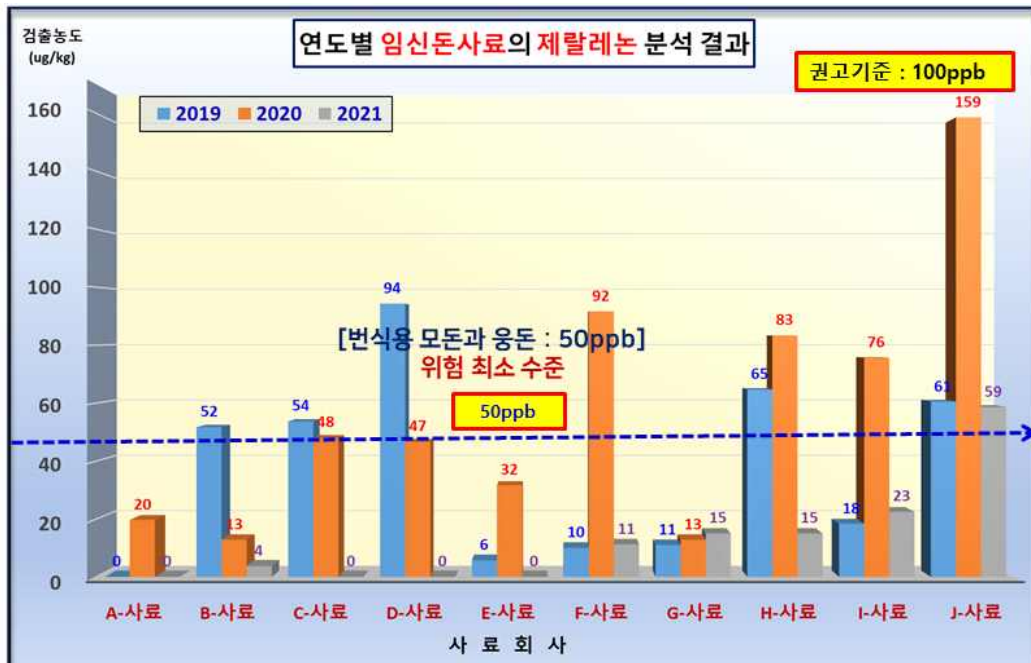


[그림 3-31] 사료회사별 임신돈사료의 퓨모니신 분석결과

- 2019년~2021년에 사료회사별 육성돈과 임신돈사료에 대해 제랄레논의 농도는 연도가 지남에 따라 대부분의 사료회사 감소하였음. 그러나 검출되는 농도의 차이는 다소 있었지만 꾸준히 검출되는 사료회사의 경우 큰 변화가 없었음. 제랄레논 역시 국내에서는 권고사항으로 되어 있어 관리가 이루어지지 않는 것으로 사료됨.[그림 3-32, 3-33]



[그림 3-32] 사료회사별 육성돈사료의 제랄레논 분석결과



[그림 3-33] 사료회사별 임신돈사료의 제랄레논 분석결과

바. 종합 분석결과

- 국내 대표 10개 양돈용 사료회사별 육성돈사료와 임신돈사료를 10개농장에서 사료차와 급이기에서 사료샘플을 채취하여 국제 사료분석 공인검정기관에서 곰팡이독소 6종에 대한 오염도 분석을 실시하였음. 분석은 사료회사(10개 처리구), 사료종류(임신돈, 육성돈사료), 채취장소(사료차, 급이기)에 따라 총 120개 샘플에 대하여 분석을 실시하였음.
- 2021년 5월(1차) 샘플채취는 본격적인 여름이 시작되기 전에 진행이 되었으며, 푸사리움 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%였고, 제랄레논은 65%의 검출율을 보였음. 이와 함께 여름철 고온다습한 시기에 농장에서 오염도가 증폭될 수도 있는 *Aspergillus* 계열의 아플라톡신과 오크라톡신도 각각 25%, 30% 검출율을 보였음. 곰팡이독소별 평균농도는 아플라톡신 0.3ppb, 오크라톡신 0.1 ppb, 보미톡신 284.2ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 357.5ppb, 제랄레논은 19.6 ppb로 나타났다음. 2021년 1차로 진행한 본 샘플은 본격적인 여름이 시작되기 전에 진행이 되었으며, 2020년 1차 결과와 비교하였을 때 가장 큰 차이점은 Aflatoxin을 제외한 모든 곰팡이독소의 검출율과 평균오염치가 감소하였다는 점임. 이와 같은 결과는 여름철 온도와 습도에 따라 급증할 수 있는 곰팡이독소이기에 관리수준에 따라 상이한 수치를 나타낼 수도 있음. 그에 반해, *Fusarium* 계열(농장형 곰팡이독소) 곰팡이독소의 오염수치는 전부 증가하였음. 이는 재배지에서 원료를 수확할 때 혹은 국내로 수입할 때 부터 오염도가 심했다는 것을 보여주는 단편적인 결과로써 수입된 원료들의 품질을 점검할 필요성이 있다고 할 수 있음.
- 2021년도 2차샘플 분석결과에서는 *Fusarium* 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 100%, 제랄레논은 100%의 검출율로 나타났다음. 이와 함께 *Aspergillus*계열의 오크라톡신도 30%의 검출율을 보이고 있음. 분석을 진행한 총 40개 샘플의 결과서에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.28ppb, 보미톡신 261.6ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 408.6 ppb, 제랄레논 9.8 ppb로 나타났다음. 2021년 2차 샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.12ppb, 오크라톡신 0.32ppb, 보미톡신 632.8ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 453.5 ppb, 제랄레논 62.3 ppb)를 바탕으로 금번 결과와 비교하면 모든 곰팡이독소의 농도가 20년대비 감소하였음.
- 2021년도 3차(9월)샘플 분석결과에서는 *Fusarium* 계열의 퓨모니신과 보미톡신의 검출율은 각각 100%, 95%, 제랄레논은 35%의 검출율로 나타났다음. 이와 함께 *Aspergillus*계열의 오크라톡신도 15%의 검출율을 보이고 있음. 분석을 진행한 총 40개 샘플 분석 결과에서도 확인할 수 있듯이 평균 농도는 오크라톡신 0.2 ppb, 보미톡신 184 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 774.6 ppb, 제랄레논 16.2 ppb로 조사

되었음. 2020년 3차샘플(동일시기)에 분석결과(아플라톡신 0.1 ppb, 오크라톡신 0.5 ppb, 보미톡신 516 ppb, 퓨모니신(B1, B2, B3 합산) 528 ppb, 제랄레논 67 ppb)를 바탕으로 2021년 3차 분석결과와 비교하면 퓨모니신을 제외한 곰팡이독소의 평균 농도가 20년대비 다소 감소하였음

- 2021년 1~3차로 샘플채취하여 분석을 진행한 결과 샘플채취 시기별 큰차이는 없었지만, 농장형 곰팡이 독소인 보미톡신, 제랄레논, 퓨모니신이 사료회사별 연속적으로 검출되었고, 특히 퓨모니신의 농도가 최소위험 수준이상으로 검출된 샘플이 나타났음.
- 국내의 사료 안전관리체계는 벤치마킹 대상국인 미국, 일본 및 EU 등 선진국에 비해 아직 매우 미흡한 수준일 뿐만 아니라 전문 인력도 부족하며, 사료 안전성에 관한 연구는 낮은 편이나, 본 조사를 통해 (사)대한한돈협회와 (사)대한사료협회가 공동으로 사료의 안전성 확보 및 품질관리 체계가 선진국과 대등한 수준으로 향상될 수 있을 것임. 추후 또한, 추가적인 연구를 통해 사료의 안전성 및 품질관리에 관한 제도적인 뒷받침을 지속적으로 해나간다면 사료 안전관리의 선진 시스템을 완전하게 구축하여 국민에게 안전한 축산물과 사료를 생산, 공급할 수 있음
- 본 조사분석 결과를 종합하면 국내에서는 Aspergillus계열(저장형 곰팡이독소)의 아플라톡신과 오크라톡신의 경우 농도에 대한 규제사항이 명확하여 사료회사별로 관리가 지속적으로 이루어지고 있지만, Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소)의 보미톡신, 제랄레논 및 퓨모니신은 국내 규정상 권고사항이므로 관리가 이루어지지 않는 것으로 사료됨. 추후 정부의 정책건의 사항으로 Fusarium 계열(농장형 곰팡이독소)의 곰팡이독소도 규제사항으로 최소 위험수준을 고려하여 정책건의가 필요함

사. 국내 곰팡이독소 저감제(흡착제) 제품

(1) Olmix – France 제품

① M TOX

○ 조성

- Montmorillonite(몬모릴로나이트:점토의일종), DiatomaceousEarth(규조토)

○ 효과

- 기술적이고 경제적인 능력의 향상(성장,건강관리)
- 소화 및 반추위 문제의 조절, 미네랄 공급, 사료로부터 곰팡이독소의 위험성감소

○ 급여방법

- 용량은 축종 및 사료의 오염도에 맞춰 적용, 가금류 : 0.5~2.5kg/톤

② M TOX+

○ 조성

- Montmorillonite(몬모릴로나이트 : 점토의 일종), Diatomaceous Earth(규조토)
- 이스트 등, 조류(algae)

○ 효과

- 기술적이고 경제적인 능력의 향상(성장, 건강 관리)
- 사료로부터의 곰팡이독소의 위험성 감소

○ 급여방법

- 용량은 축종 및 사료의 오염도에 맞춰 적용, 가금류 : 0.5~2.5kg/사료 1톤

③ M Feed

○ 조성

- Montmorillonite(몬모릴로나이트 : 점토의 일종)
- Diatomaceous Earth(규조토)
- Clinoptilolite(클리놉틸로라이트 : 천연 제올라이트)
- 황산구리, 이스트 등, 조류(algae). Essential oil

○ 효과

- 가금과 같은 단위동물, 이유전 송아지와 같은 반추동물
- 소화 효소 활동성 향상, 장내 미생물의 안정화
- 주요 성장기 동안의 장내 미생물 불균형 예방, 기술적인 능력의 최적화

○ 급여방법

- 반추류 : 1~2.5kg/사료 1톤
- 가금류 : 1~2.5kg/사료 1톤

④ MMiS-300

○ 조성

- Calcium carbonate, Sodium chloride, Pottassium Chloride, 이스트 등
- Diatomaceous Earth(규조토), Manganese sulphate, Copper sulphate
- Calcium and magnesium carbonate, Montmorillonite(몬모릴로나이트)
- Sugarcane molasses(당밀), - Iron sulphate heptahydrate, 조류(algae)
- Zinc oxide

○ 효과

- 미네랄 보충, 사료 내 곰팡이독소의 위험 감소
- 소화 및 반추위 문제 관리, 기술적이고 경제적인 능력의 향상(성장, 건강 관리)

○ 급여방법

- 가금류 : 0.5~1.0kg/비육기 사료 1톤
- 육우 : 0.5~1.0kg/비육기 사료 1톤
- 낙농 : 50~100g/cow/day
- 비육우, 어린 수소, 미경산우 : 200~300g/animal/day

2. MYCOAD-DF

○ 조성

- MYCOAD-DF는 가금류, 돼지, 소의 건강과 생산성에 영향을 미치는 곰팡이독소를 제어하기 위해 특별히 제조한 활성화된 광범위한 스펙트럼의 hydrated sodium/calcium aluminosilicate(HSCAS)

○ 용량

- 가금 및 돼지 : 사료 톤당 2.5kg
- 소 : 50g/cow/day

○ 호환성

- MYCOAD-DF는 모든 사료 원료와 호환성을 가지며, 사료 성분(아미노산, 비타민, 미네랄, 항생제 등)에 영향을 주거나 흡착하지 않음

3. MYCOAD-DZ

○ 조성

- MYCOAD-DZ는 표면 활성화 벤토나이트로, 가금류, 돼지, 소에 영향을 미치는 곰팡이독소를 흡착 및 흡착상태를 유지하도록 특별히 제조

○ 용량

- 가금 및 돼지 : 1kg/톤
- 소 : 20g/cow/day

○ 호환성

- MYCOAD-DF는 모든 사료 원료와 호환성을 가지며, 사료 성분(아미노산, 비타민, 미네랄, 항생제 등)에 영향을 주거나 흡착하지 않음

4. Mycofix Plus 3.0(바이오민)

○ 적용 대상

- 고도로 오염된 다양한 곰팡이독소
- 모돈, 후보돈, 자돈
- 낙농우
- 종축

○ 장점

- 곰팡이 독소와 관련한 완벽한 해결책
- 사료내 곰팡이독소로 야기된 간, 내장벽의 손상을 감소
- 다양한 곰팡이독소로 야기된 문제를 보상할 면역 체계의 증진
- 분만 문제와 관련된 곰팡이독소의 감소

○ 용량

- 모돈 : 1.5~2.5kg/MT of finish feed
- 자돈 및 후보돈 : 1.5~2.5kg/MT of finish feed
- 낙농 : 10~50g/cow/day
- 가금류 : 1.5kg/MT of finish feed
- 저농도로 오염된 경우 0.5~1kg/MT도 가능

5. Mycosorb A+ (Alltech)

○ 곰팡이독소 관리를 위한 광범위 스펙트럼 해결책

- 효모(yeast)와 조류(algae)를 모두 포함한 Mycosorb A+는 동물 체내에서 곰팡이 독소 흡수를 저감시키는 곰팡이독소 바인더로써, 곰팡이독소의 피해와 관련있는 건강 및 생산성 위험요소를 상쇄하는 것으로 입증됨.

○ 작용 원리

- Mycosorb A+는 흡착방식을 통해 동물의 체내에 곰팡이독소의 위험을 완화하는데 도움이 됨. 흡착은 효모와 조류 세포벽의 탄수화물 성분이 진균독에 결합하여 심각한 해를 입히고 건강과 능력에 부정적인 영향을 미치기 전에 동물의 소화관에서 제거하는 과정임

○ 장점

- 개별 곰팡이독소가 아닌 전체적인 곰팡이독소를 다룸
- 최대 섭씨 125도의 압출 온도에서 입증된 효능
- 넓은 범위의 pH에서 안정성
- 다른 미네랄 및 영양소와의 상호작용 방지

6. Novasil™ Plus Mycotoxin Binder (BASF)

○ 성분

- 벤토나이트

○ 제품소개

- Novasil Plus는 스멕타이트(smectite) 계열의 천연 점토로서 칼슘 몬모릴로나이트가 풍부한 2:1층 격자 엽상규산염 점토임
- 이 점토 광물은 혈소판에 음의 표면 전하를 띠는 특징을 가지고 있음. 이 음전하는 Ca²⁺ 양이온에 의해 중화됨. 양이온은 차례로 물이 점토의 중간영역에 들어가도록 하여 부풀게 함. 층간 영역 및 표면 특성은 Novasil plus가 아플라톡신과 결합하는데 기여하도록 함

○ 아플라톡신에 대한 Novasil Plus의 효과

- 28일간 수태지에 대한 성적 시험

Aflatoxin, ppm	Novasil™ Plus, %	BW gain*, kg	FCR	Relative liver wt, %	ALP [§] , IU/L	GGT [§] , IU/L
0	0	18.2 ^a	2.50	3.11 ^a	120 ^a	17 ^{bc}
0	0.5	19.6 ^a	2.50	3.30 ^a	138 ^a	14 ^c
0	2	18.4 ^a	3.24	3.13 ^a	126 ^a	16 ^{bc}
3	0	6.1 ^b	3.10	4.23 ^b	307 ^a	39 ^a
3	0.5	18.3 ^a	2.63	3.53 ^a	132 ^a	26 ^b
3	2	18.8 ^a	2.60	2.96 ^a	140 ^a	15 ^c

^{a,b,c} Means in column with different superscripts differ significantly at P < 0.05.
^{*} Body weight gain in 4 weeks. [§]Measured at day 28.

7. Toxisorb

○ 장점

- 다층 구조와 넓은 표면적을 가진 Toxisorb classic은 독소 분자가 동물에 해를 끼치기 전에 영구적으로 결합. 고정된 독소는 배설물과 함께 동물의 내장에서 제거되고 더 이상 먹이사슬에 남아있지 않음
- 개방형 공간 구조와 친수성 및 소수성 표면 특성의 조합으로 인해 알려진 곰팡이독소의 거의 90%가 Toxisorb premium에 흡착됨. 소화관에서 박테리아에 의해 생성되는 큰 내독소 및 장독소 분자도 제거가 가능함.

8. Notox LS (Cargill)

○ 장점

- 곰팡이독소의 위험을 제어하는 것으로 입증된 광범위 스펙트럼을 가진 곰팡이독소 바인더.
- Notox LS의 *in vitro* 상에서 5가지 곰팡이 독소에 대한 효율성 실험

Product Type						Efficiency Total
	Zearalen One	Ochratoxin A	Fumonisin	T2 Toxin	Aflatoxin B1	
Notox®LS	100.00	98.90	90.50	77.90	86.10	453.40
Modified Clay 1	98.50	95.50	98.00	39.80	95.30	427.10
Modified Clay 2	29.60	75.80	88.80	61.40	98.30	353.90
Clay 3	45.00	79.50	88.80	8.50	99.00	320.80
Clay 4	30.10	80.10	97.10	2.50	97.30	307.10
Clay 5	2.70	51.10	79.50	1.70	90.50	225.50
Esterified MOS 1	53.00	44.50	11.30	79.60	2.40	190.80
Clay 6	9.30	26.00	0.00	0.00	84.80	120.10
Clay 7	2.10	22.50	0.00	0.00	84.40	109.00
Clay 8	0.40	6.50	0.00	0.00	64.20	71.10
Clay 9	8.10	1.00	0.00	0.00	0.00	9.10

○ 주요 성분

- 알루미늄노실리케이트
- 오르가노실리케이트

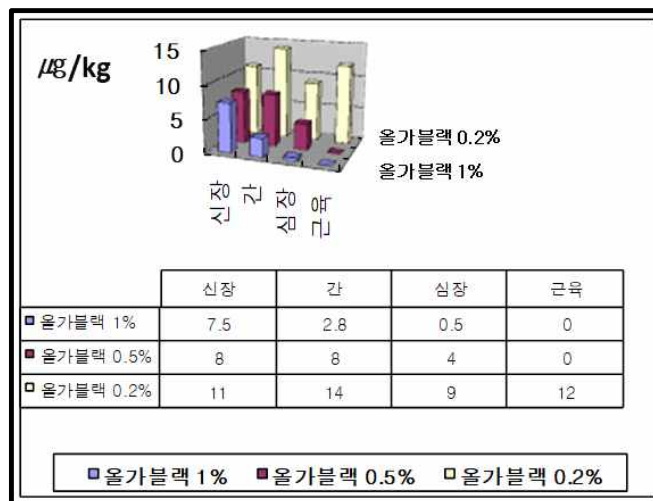
9. 올가블랙 (주)솔빛인터네셔널

○ 구성성분

- 유기농약용탄(Activated coconut shell) : 설사예방, 치료 및 육질개선, 특신, 유해 미생물 및 유해가스 흡착, 천연항생제

○ 각종 특신 흡착 효과

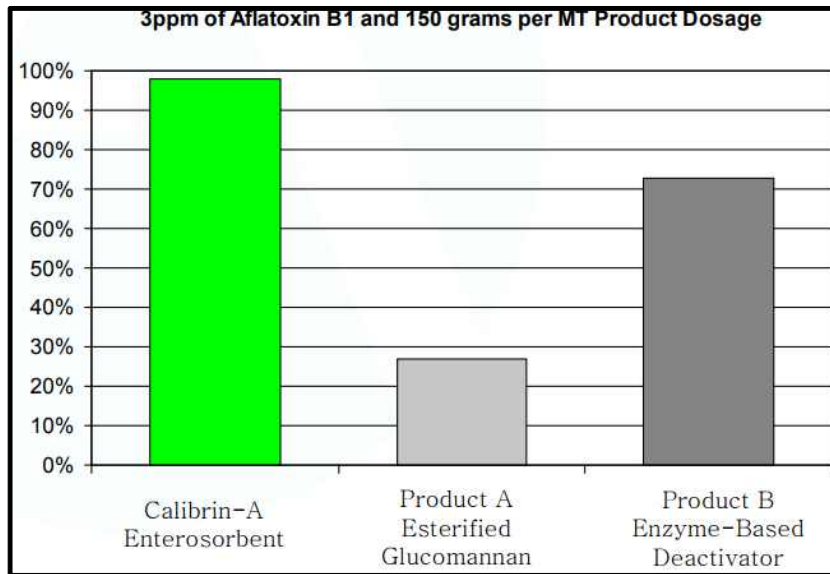
- 돼지(오크라톡신 오염된 사료에 올가블랙 첨가시 장기내 흡착 효과



9. Calibrin (CTCBIO)

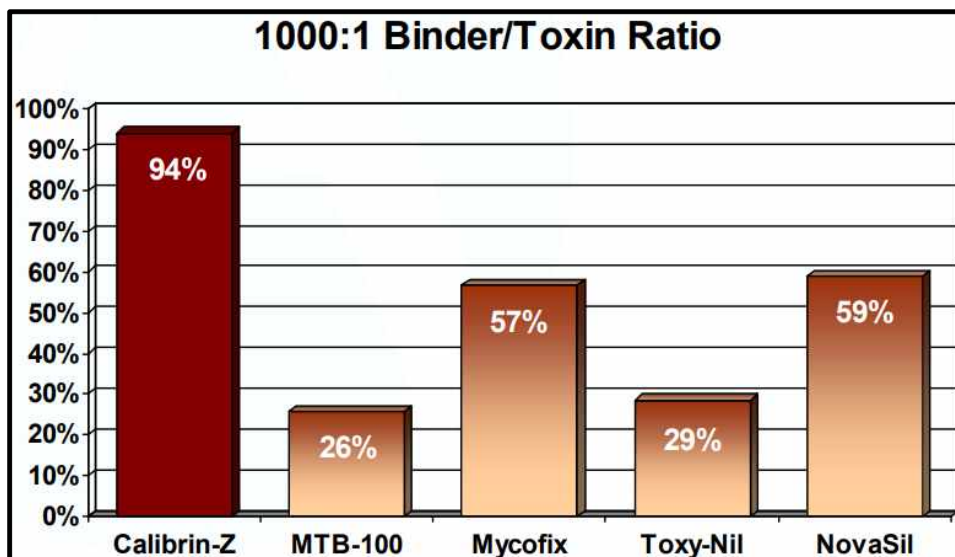
① Calibrin-A

- 제품 구성
 - 제조사 : 미국 Amlan사(수입완제품)
 - 주요 성분 : Montmorillonite(몬모릴로나이트)
 - 권장첨가량 : 사료톤당 0.5~1.0kg
- 장점
 - 다른 바인더들보다 빠르고 효과적으로 작용
 - 아플라톡신 B1 흡착률 비교실험

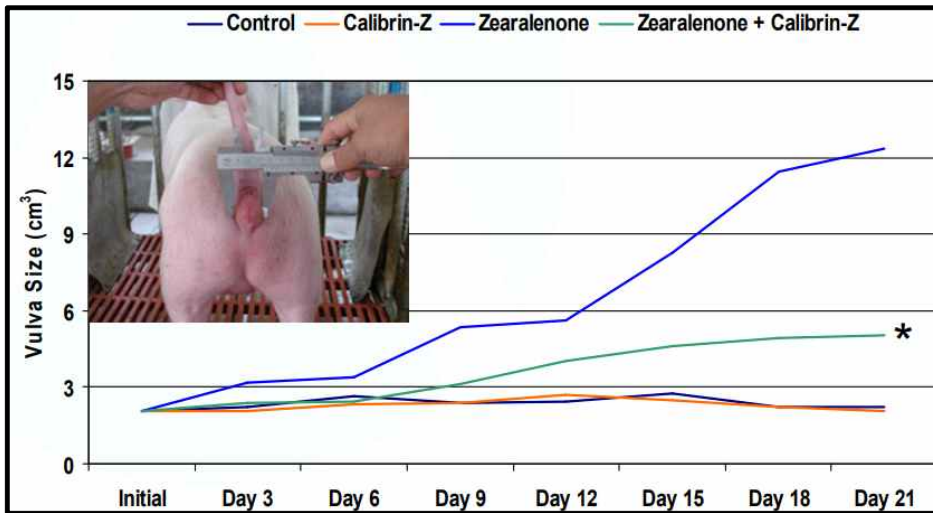


② Calibrin-Z

- 장점
 - 제랄레논 흡착률 비교 실험



- 제랄레논과 Calibrin-Z의 첨가에 따른 질 크기 변화



* Statistically different than zearalenone alone (P<0.05)

10. Toxfin (KEMIN)

○ 장점

- 곰팡이독소로부터 동물을 보호
- 동물에게 필요한 필수 영양소의 이용성을 유지
- 장관에서 사료 곰팡이독소의 생체이용률을 감소시키고 대변을 통한 곰팡이독소 배설을 촉진
- 곰팡이독소와 관련된 증상들의 감소
- 동물의 자연적인 방어체계를 강화하고 장기를 보호
- 곰팡이독소로 인한 성적 저하 방지

○ 사용량

INCLUSION TABLE: MYCOTOXIN CONTAMINATION OF FEED				
25kg bags	Low level	Medium level CO-presence	Medium to high level ZEA & T-2	High level
	TOXFIN Dry 1kg	TOXFIN Dry 2kg	TOXFIN XL 2kg	TOXFIN XL 2,5kg
	TOXFIN XL 1kg	TOXFIN XL 2kg	TOXFIN XL 2kg	TOXFIN XL 2kg
	TOXFIN Dry 1kg	TOXFIN Dry 2kg	TOXFIN XL 2kg	TOXFIN XL 1-2kg
	TOXFIN Dry 15g/h/d	TOXFIN Dry TOXFIN XL 25-50g/h/d	TOXFIN XL 50g/h/d	TOXFIN Dry TOXFIN XL 100g/h/d

TOXFIN per tonne of feed in monogastric or per head/day for ruminants

11. 크리노피드 (주)모닝바이오)

- 제품 설명
 - 스위스 Unipoint사가 개발한 톡신바인더
 - 천연 Heulandite(Clinoptilolite)를 2회에 걸쳐 열처리한 활성화된 제제
- 작용원리
 - 2개의 음이온이 곰팡이독소의 양이온과 결합 및 흡착하여 배설
 - 독소 이외 영양소는 흡수하지 않음
 - 강력한 이온교환능력을 가지며, 곰팡이 독소를 흡착 배설
 - 탁월한 암모니아 제거 능력
- 기대효과
 - 곰팡이독소의 흡착 배설에 특화
 - 축사의 암모니아 가스 저감
 - 일당증체량 증가
 - 번식능력 향상
 - 소화기관의 암모니아 감소로 간과 신장기능 저하 방지
 - 사료를 안전하게 보존
 - 사료의 다른 영양소를 흡착하지 않음

IV 고찰

- 곰팡이 독소(mycotoxin)는 「곰팡이 균이 생성하는 저분자의 2차 대사산물이며 인간, 가축, 집에서 키우는 새, 어류 등에 중독을 일으키는 유해물질」로 정의됨. 특히 돼지는 가축 중에서 곰팡이 독소에 가장 감수성이 높은 동물 이어서 효과적인 대책이 요청되고 있음.
- 모든 곰팡이가 곰팡이 독을 만드는 것은 아니고, 일부 종류가 인간이나 동물에게 중독을 일으키는 곰팡이독소를 생성함. 곰팡이 독소를 생산하는 주요 곰팡이는 푸사리움(Fusarium)속, 아스퍼질루스(Aspergillus)속, 페니실리움(Penicillium)속으로 분류되는 곰팡임. 종류에 따라 증식에 적당한 조건이 다름. 푸사리움속의 곰팡이(소위 붉은 곰팡이)는 비교적 수분이 많은 조건을 좋아하여, 포장 작물에 기생하여 병해를 일으킴. 한편 아스퍼질루스속나 페니실리움속의 곰팡이는 푸사리움속의 곰팡이보다 수분이 적은 조건을 좋아하여, 주로 수확 후의 사료에 증식함.
- 다양한 형태의 곰팡이독소들이 가축의 건강 및 생산성을 저해할 수 있으며, 곰팡이독소의 오염도가 높은 옥수수를 가축사료에 많이 사용함에도 불구하고 국내에서는 아플라톡신과 오크라톡신만이 관리 대상임. 대표적인 곰팡이 독소는 아플라톡신(Afla), 오크라톡신(OTA), 퓨모니신(FUM), 니발레놀(NIV), 보미톡신(DON), 제랄레논(ZEN), T-2 toxin(T-2)등이 있음.

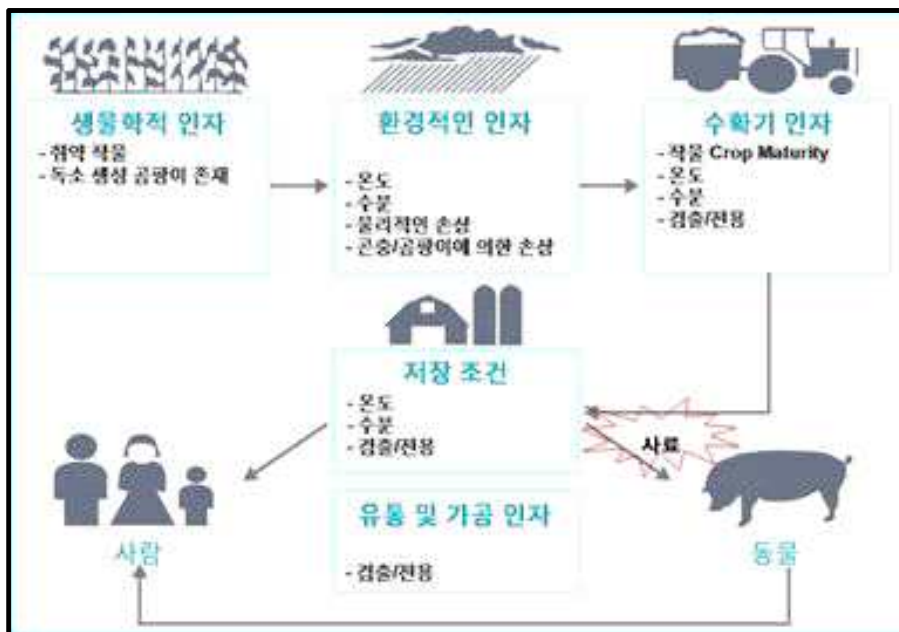
[표 4-1] 곰팡이 독소별 위험도 수준

곰팡이독소	구분	Low	Medium	High
보미톡신(DON)	모돈, 수돼지	<200	200-900	>900
	자돈	<150	150-200	>200
	육성 · 비육돈	<250	250-1000	>1000
T-2)	모돈, 수돼지	<100	100-400	>400
	자돈	<50	50-100	>100
	육성 · 비육돈	<150	150-400	>400
제랄레논(ZEN)	모돈, 자돈	<50	50-250	>250
	육성 · 비육돈	<100	100-250	>250
오크라톡신(OTA)	모돈, 자돈	<50	50-400	>400
	비육돈	<80	80-500	>500
퓨모니신(FUM)	모돈, 자돈	<750	750-1000	>1000
	비육돈	<1,000	1000-1500	>1500
아플라톡신(Afla)	모든단계	<20	20-100	>100

○ 현재 국내에 유통되고 있는 업체별 곰팡이독소 저감제 비교

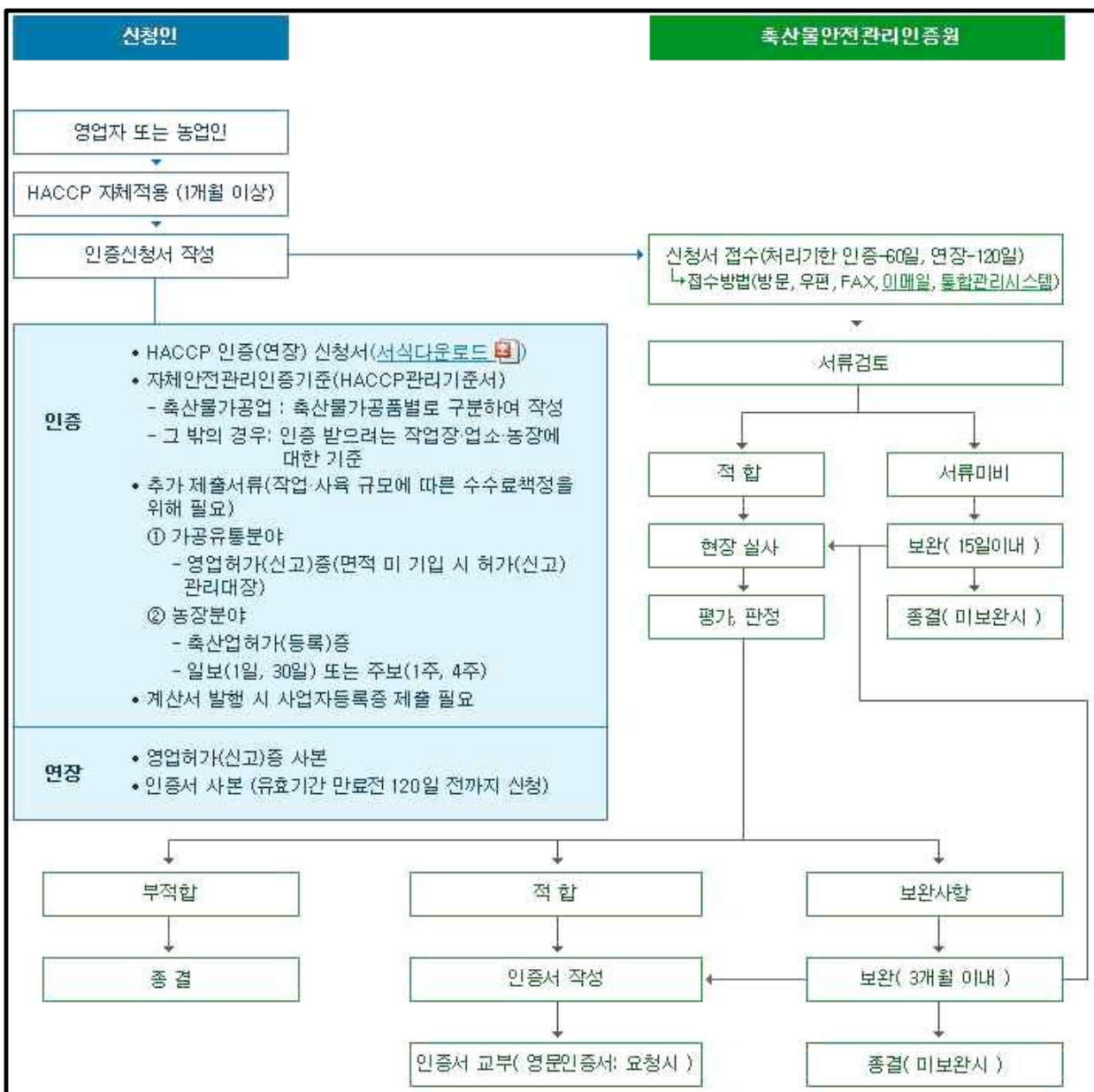
구분	Mycofix Plus-BIOMIN사	Toxfin-KEMIN사
성분	<ul style="list-style-type: none"> ○ BBSH797- 모든종류의 트리코테센 분해 미생물 ○ 생물학적 구성요소 - ZON 분해 효모 ○ 광물질 - EU연합이 인증한 유일한 Aflatoxin 흡착 광물질 ○ 식물추출제 - 간기능 강화 ○ 해조추출제 - 면역기능 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bentonite-montmorillonite (E558) ○ Sepiolite (E562) ○ Natural mixtures of stealites and chlorite (E560) ○ 식물추출제 - 간기능 강화 (= 90.3%) ○ Calcium propionate (E282) ○ Sorbic acid (E200) ○ Fumaric acid (E297) (=4.9%) ○ BHA (E320) (=0.1%) ○ Silica (E551) (=0.5%) ○ NaCl (=4.2%)
사용량	○ 사료 톤당 500g (예방) ~ 1.5 kg (위험감지)	○ 사료 톤당 1 ~ 5 kg
가격	○ 6,500원/kg (사료 킬로당 3.25원)	○ 2,500원/kg (사료 킬로당 2.5원)

○ FAO 보고에 의하면 세계 곡물 생산량의 약 51%가 사료로 사용되고 있으며, 전세계 유통되는 곡류의 약 25%가 곰팡이독소에 의해 영향을 받는 것으로 알려졌다. 곰팡이독소의 생성은 곡물 등의 재배과정 중 생물학적,환경적인자, 수확기 인자, 저장 조건 등 다양한 인자에 의해영향을 받음(전향숙, 2016). 특히 사료에 오염된 곰팡이독소는 가축의 증체, 번식, 사료효율 및 건강에 부정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 최종산물인 축산식품에 전이 및 잔류될 수 있어 결과적으로 사람에게까지 유해한 영향을 미침. 이처럼 안전성 측면에서 볼 때 사료 내 곰팡이독소는 중요한 유해요소이며 반드시 잘 관리되어야 함.



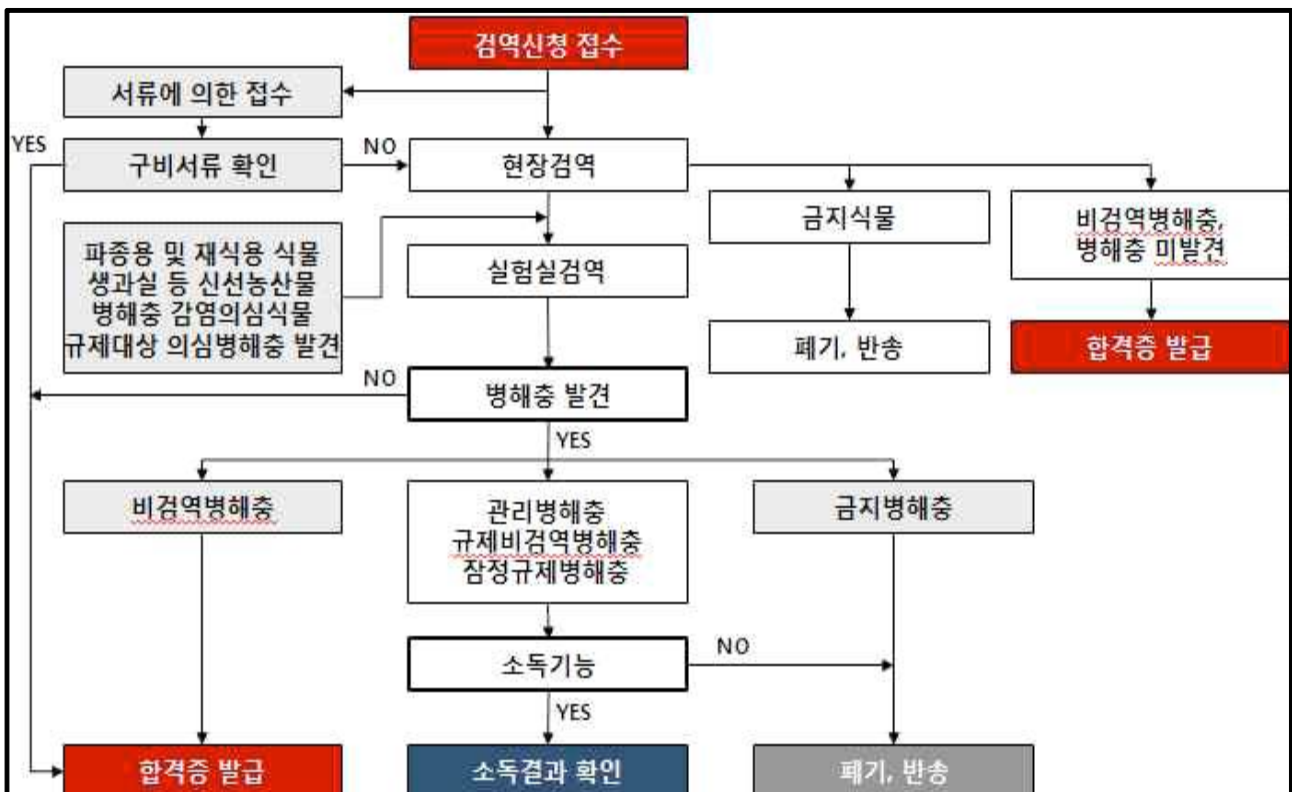
[그림 4-1] 곰팡이독소 생성 영향인자 및 인축에의 노출 경로

- 사료의 안전성 확보를 위해 사료관리법 및 사료공정서에 유해사료의 범위와 기준을 정하여 관리하고 있음. 이 기준에는 관리대상의 중금속, 곰팡이독소, 잔류농약, 사료 내 혼합가능 동물용의약품의 종류 및 허용기준, 그밖에 동물 등의 질병 원인이 우려되는 물질과 사료사용 제한물질을 구체적으로 정하고 있음. 또, 사료공장 위해요소중점관리기준에 따라 HACCP 적용 사료공장으로 지정하여 사료 내 위해물질의 혼입이나 오염방지, 제거 등 준수사항을 정하고 있음. 그리고 생산, 유통 및 판매되는 사료가 사료공정에 적합한지, 성분 등록된 사항과 차이가 있는지, 유해사료의 범위와 기준에 저촉되는지 등 안전성 확보 및 품질관리에 필요한 사료검사와 검정, 수입사료 신고 등에 관한 사항을 정하고 있음.



[그림 4-2] 사료 HACCP 인증절차

- 국내의 사료 안전관리체계는 벤치마킹 대상국인 미국, 일본 및 EU 등 선진국에 비해 아직 매우 미흡한 수준일 뿐만 아니라 전문 인력도 부족하며, 사료 안전성에 관한 연구는 낮은 편이나, 본 조사를 통해 (사)대한한돈협회(생산자단체)와 (사)대한사료협회(사료업계)가 공동으로 사료의 안전성 확보 및 품질관리 체계가 선진국과 대등한 수준으로 향상될 수 있을 것임. 추후 또한, 추가적인 연구를 통해 사료의 안전성 및 품질관리에 관한 제도적인 뒷받침을 지속적으로 해나간다면 사료 안전관리의 선진 시스템을 완전하게 구축하여 국민에게 안전한 축산물과 사료를 생산, 공급할 수 있음



[그림 4-3] 수입곡물 검역 절차

[별첨]

1. 1차샘플 분석결과서-2021년 1차샘플(5월)
2. 2차샘플 분석결과서-2021년 2차샘플(7월)
3. 3차샘플 분석결과서-2021년 3차샘플(9월)