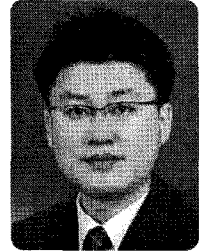


# 곰팡이독소에 대한 이해와 주요 국가의 규제 현황



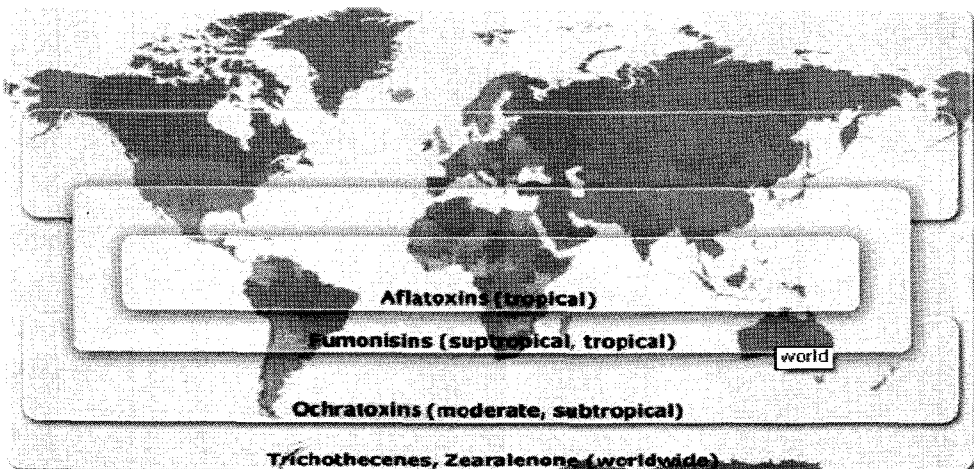
홍 현 진

본회 사료기술연구소  
과장

## 1. 곰팡이독소란?

곰팡이독소는 진균류에 속하는 *Aspergillus* 또는 *Penicillium*과 불완전균류에 속하는 *Fusarium* 등의 곰팡이 속에서 생성하는 이차 대사산물로 토양이나 공기 중 또는 동식물 체에서 항상 볼수 있으며 자연계에 널리 분포되어 있기 때문에 사료, 농작물 또는 식품 등을 오염시킨다.

곰팡이 독소는 곰팡이의 종류 및 생육조건에 따라 다르나 대체적으로 고온다습하거나 전기가 심한 경우 곰팡이에 오염된 곡류(보리, 옥수수, 귀리, 밀), 견과류(땅콩 등) 및 이것으로 만든 생산품의 저장 및 유통과정에서도 발생하며 아플라톡신(Aflatoxin), 오크라톡신(Ochratoxin), 보미톡신(Vomitoxin), 제랄레논(Zearalenone), 푸모니신(Fumonisin) 등의 곰팡이독소가 생성된다.



<참고 1> 기후대별 발생범위

대부분의 곰팡이독소는 열에 안정하여 조리 가공 후에도 분해되지 않으며 이에 오염된 식품이나 사료를 섭취한 가축 및 사람에게 여러 가지 장애를 일으키거나 또는 발암성과 관련이 있기 때문에 각 나라마다 안전성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

1960년대 아플라톡신이 밝혀진 이후 현재까지 약 300~400 여 종류의 곰팡이 독소가 알려져 있지만, 식품이나 사료 등에 존재하면서 잠재적으로 사람의 건강에 유해한 영

향을 줄 수 있는 곰팡이 독소에는 약 10~20 여 종류가 있다. 곰팡이독소는 일부 곰팡이에서만 생성되는 이차적인 대사산물이므로 곰팡이가 눈에 보인다고 곰팡이독소가 반드시 존재하는 것은 아니며, 또한 곰팡이가 눈에 보이지 않아도 곰팡이 독소에 오염될 수 있다. 곰팡이독소는 미량 존재하므로 검출하기가 어렵고 분석 또한 정밀하게 진행하여야 한다.



<참고 2> 곰팡이가 생긴 옥수수 및 땅콩

## 2. 곰팡이독소의 노출 경로

곰팡이독소의 발생정도는 계절적, 지리적 요인뿐만 아니라 경작, 추수, 저장 및 운송조건에 따라 다르다. 곰팡이 독소는 중독시 사람과 가축에 피부염, 심한 간 질환, 출혈, 유산, 경련, 신경장애를 유발할 수 있으며 심한 경우 폐사할 수 있다. 가시적인 임상 작용은 극히 드물고 장기간 축적에 의한 피해가 매우 심각하다. 곰팡이독소는 대부분 작물의

생육, 유통 저장 중에 생성되어 이를 섭취하는 사람과 가축에서 소화기관으로 노출되며, 흡입이나 피부를 통한 흡수는 드물다. 물론 곰팡이독소에 오염된 식품 등을 취급하는 작업환경에서 공기를 통하여 입자로 노출될 수 있다. 사람은 식물성 식품이나 오염된 사료를 먹은 가축의 젖, 치즈 및 육류와 같은 동물성 식품을 섭취하여 곰팡이독소에 노출된다.

곰팡이독소는 처음에는 가축에서 독성이



알려지기 시작했으며, 먹이사슬에 따라 육류, 우유 및 계란 등에 최종적으로 존재하여 사람에서 독성을 유발할 수 있기 때문에 관심이 증가하고 있다.

### 3. 곰팡이독소의 독성

현재까지 수많은 종류의 곰팡이독소가 알려져 있지만, 주로 발암성이 있거나 독성이 있는 몇 종류만이 과학적 및 공중보건학적 관심의 대상이 된다. 동물에 대한 독성자료가 비교적 많은데 비하여, 곰팡이독소의 인체작용 및 중독보고는 많이 없다. 그러나 동물에서도 반복노출에 의한 중독의 경우 진단이 곤란하여 경제적이나 건강측면에서 많은 문제가 해결되지 못하였으며 사람의 경우는 더욱 심한 편이다. 오래전부터 곰팡이는 중독을 유발한다고 알려져 왔는데, 사람에서 맥각(ergot) 중독과 1891년 일본에서는 *Penicillium* 곰팡이로 오염된 쌀에서 생성된 Citreoviridin이 독성을 유발했지만 현재는 엄격한 위생관리로 거의 보고 예가 없다.

#### 1) 아플라톡신(Aflatoxin)

*Aspergillus flavus*와 *parasiticus*에서 주로 생성하는 형광물질인 아플라톡신은 *Asp. flavus*+toxin(독성)에서 합성어이며 아플라톡신 종류에는 자외선아래에서의 색깔에 따라 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>(푸른색)와 G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>(녹색)가 있으며, 우유에서는 아플라톡신 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>의 대사산물인 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>가 있다. 아플라톡신은 옥수수, 땅콩 등을 오염시켜 암을 유발하는 물질로 널리

알려져 있으며, 발생빈도와 독성측면에서 위해도(hazard)가 매우 높다. 1960년 영국에서 곰팡이로 오염된 땅콩이 포함된 사료를 먹은 10만여 마리의 칠면조 새끼가 폐사되어 최소 수십만 달러의 경제적 손상을 주었다.

그러나 발병초기에는 원인규명을 못해 이 질병을 칠면조에서 발생한 원인불명의 질병이라는 의미로 “Turkey X disease”라고 불렀다. 이를 계기로 공중보건학적으로 중요한 곰팡이 독소에 대한 연구가 본격적으로 진행되었다.

그 중에서 아플라톡신 B<sub>1</sub>이 가장 강력한 간의 발암물질이며, 유전독성 물질이다. 아플라톡신에 의한 주요 손상 장기는 간이며, 역학조사 결과 사람에서 B형 간염환자가 그렇지 않은 그룹보다 아플라톡신에 더 민감함이 밝혀졌으며, 이것은 간 독성과의 밀접한 관련성을 설명해주고 있다. 이외에도 가축의 경우 곰팡이 중독이 일어나면, 생산성 저하, 증체율 감소, 면역기능 억제와 유전독성 및 암을 유발하는 것으로 보아 사람에서도 유사한 작용을 할 가능성이 있다.

#### 2) 오크라톡신(Ochratoxin)

오크라톡신은 주로 *Penicillium verrucosum*과 *Aspergillus ochraceus* 종으로 오염된 콩, 귀리, 보리와 밀 등에서 생성된다. 그 중 오크라톡신 A는 실험동물에서 신장독성, 면역억제, 발암성 및 기형을 유발한다. 역학적으로 발칸 지역에서 발생한 신장병(Balkan Endemic Nephropathy)과 밀접한 관련이 있으며, IARC

(국제암연구소)는 사람에서 발암가능물질 (Group 2B)로 분류하였다.

### 3) 푸모니신(Fumonisin)

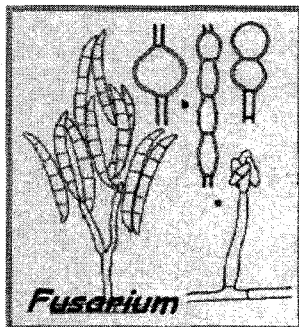
푸모니신은 주로 *Fusarium moniliforme* 종이 오염된 옥수수, 밀과 쌀 등에서 생성되며, 사람에서 식도암과 같은 일부 질병과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 독소의 종류는 6개(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>와 B<sub>4</sub>)가 있으며, 그 중 주요 대사산물인 B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>가 독성학적으로 중요하다. 역학적으로 인체에서 설사, 복통을 보이는 급성중독 예가 인도에서 보고되었다. *Fusarium moniliforme*으로 오염된 곡물섭취를 통하여 푸모니신에 장기간 노출되면, 식도암의 발생률이 매우 높은 것으로 알려져 있으며, IARC는 사람에서 발암가능물질(Group 2B)로 분류하였다.

### 4) Trichothecenes

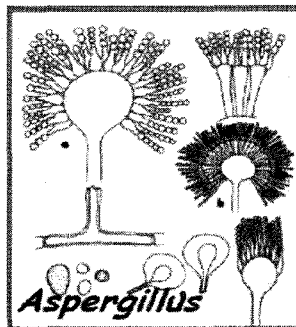
주로 *Fusarium* 종이 생성하는 곰팡이독소로 현재까지 약 148종의 독소가 분리되었으나, 그 중 deoxynivalenol, nivalenol, diacetoxyscirpenol 과 드물게 T-2 독소가 식품을 오염시켜 면역기능 억제, 오심과 구토 등의 증상을 유발한다. 사람에서는 1932년 구 소련연방에서 *Fusarium*에 오염된 추수가 안된 곡물을 먹은 사람에서 중독(Alimentary toxic aleukia)이 최초로 보고되었다.

### 5) 제랄레논(Zearalenone)

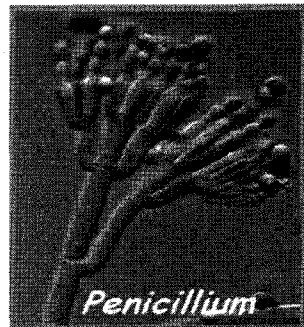
밀, 옥수수, 사탕수수과 보리 등이 *Fusarium graminearum*과 *culmorum*에 오염되어 생성되며, 요즘 문제되는 환경호르몬과 유사하게 여성호르몬인 에스트로겐의 작용을 한다. 동물은 주로 암컷에서 불임, 유선중대, 수컷에서 고환위축 및 유선확대 등 생식계통에서 독성을 유발한다.



Fumonisin  
Zeralenone  
Trichothecenes



Aflatoxin  
Ochratoxin



Ochratoxin  
Patulin  
Citrinin

<참고 3> 곰팡이 속에서 생성하는 이차 대사산물



#### 4. 곰팡이독소의 일반적인 분석법

현재 사료 공정서의 표준분석 방법으로는

##### 1) 정성분석

- 박층크로마토그래피(Thin Layer Chromatography : TLC)

##### 2) 정량분석

- Gas chromatography(GC)
- High Performance Liquid Chromatography(HPLC)
- 효소면역학적분석법(ELISA)

등의 방법으로 분석하며 Solid Phase Extraction(SPE) 또는 Immuno Affinity Column (IAC)로 추출·정제하여 HPLC 또는 GC로 정량분석을 한다.

최근에는 Mass Spectroscopy를 이용하여 더욱 정밀한 분석을 진행하고 있으며, 단백

질, DNA, 세포 등의생체물질 사이의 상호작용을 표지자 없이 금 박막과 결합된 곰팡이독소의 두께의 변화에 따른 굴절률 변화를 실시간으로 측정하는 분석법으로 Surface plasmon resonance(SPR)가 연구되고 있다.

#### 5. 국 내외 사료 중 곰팡이독소 규제 현황

##### 1) 국내 사료 중 곰팡이독소 관리현황

현재 사료관리법의 “사료 내 유해물질의 범위 및 허용기준”에 따라 배합사료 및 단미사료로 구분하여 아플라톡신(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>)은 어린가축용 및 비유젖소에 10ppb이하 기타 프리믹스를 제외한 배합사료는 20ppb, 오 크라톡신 A에 대하여는 배합 및 단미사료 모두 200ppb 허용기준으로 곰팡이독소를 관리하고 있다.

유해물질명	사료의 종류		허용기준
아플라톡신 B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	배합사료	어린송아지 및 어린병아리용, 젓먹이·젓뎀돼지용, 육계전기용, 비유젖소용	10ppb
		기타 배합사료(프리믹스사료를 제외한다)	20ppb
	단미사료	식물성단백질류, 곡물류, 곡물부산물, 남은음식물사료, 면실, 혼합류	50ppb
오크라톡신A	배합사료	전체 배합사료(프리믹스사료는 제외)	200ppb
		단미사료	곡물류, 곡물부산물류

##### 2) 미국의 사료 중 곰팡이독소 규제 현황

미국은 사료의 유해물질의 관리를 Action level(Aflatoxin), Guidance level(Fumonisin),

(유해사료의 범위와 기준 고시 중)

Advisory level(DON)의 3개 등급으로 구분관리 한다.

(Sum of) Mycotoxin(s)	Comodity	Limit (ug/kg)	Remark
Aflatoxins B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub>	corn and peanut products intended for finishing (i.e., feedlot) beef cattle	300	
	cottonseed meal intended for beef cattle, swine, or poultry	300	
	corn or peanut products intended for finishing swine of 100 pounds or greater	200	
	corn and peanut products intended for breeding beef cattle, breeding swine, or mature poultry	100	
	corn, peanut products, and other animal feeds and feed ingredients, excluding cottonseed meal, intended for immature animals	20	
	corn, corn products, cottonseed meal, and other animal feeds and feed ingredients intended for dairy animals, for animal species or uses not specified above, or when the intended use is not known	20	
Deoxynivalenol	grains and grain byproducts destined for ruminating beef and feedlot cattle older than 4 months and for chickens	10000	updated in 1993; not to exceed 50% of the diet
	grain and grain byproducts destined for swine	5000	updated in 1993; not to exceed 20% of the diet
	grain and grain byproducts for all other animals	5000	updated in 1993; not to exceed 40% of the diet
Fumonisin B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub>	corn and corn byproducts intended for equids and rabbits	5000	in force since 2001; guidance level for industry [no more than 20% of diet on dry weight basis]
	corn and corn byproducts intended for swine and catfish	20000	in force since 2001; guidance level for industry [no more than 50% of diet on dry weight basis]
	corn and corn byproducts intended for breeding ruminants, breeding poultry and breeding mink (includes lactating dairy cattle and hens laying eggs for human consumption)	30000	in force since 2001; guidance level for industry [no more than 50% of diet on dry weight basis]
	ruminants >3 months old being raised for slaughter and mink being raised for pelt production	60000	
	poultry being raised for slaughter	100000	
	all other species or classes of livestock and pet animals	10000	

(Global mycotoxin information resource)

3) EU의 사료 중 곰팡이독소 규제 현황  
EU는 1976년에 사료에 대한 Aflatoxin B<sub>1</sub>의 규제기준을 설정하였으며 Deoxynivalenol,

Zearalenone, Ochratoxin A, T-2 및 HT-2, Fumonisin에 대하여는 Guide value를 설정하고 있다.



▶ 허용기준

Mycotoxin	Comodity	Limit (ug/kg)	Remark
Aflatoxin B <sub>1</sub>	all feed materials	20	Maximum content relative to a feedingstuff with a moisture content of 12 %
	complete feedingstuffs for cattle, sheep and goats with the exception of: - complete feedingstuffs for dairy animals - complete feedingstuffs for calves and lambs	20	
	complete feedingstuffs for dairy animals	5	Maximum content relative to a feedingstuff with a moisture content of 12 %
	complete feedingstuffs for calves and lambs	10	
	complete feedingstuffs for pigs and poultry (except young animals)	20	
	other complete feedingstuffs	10	
	complementary feedingstuffs for cattle, sheep and goats (except complementary feedingstuffs for dairy animals, calves and lambs)	20	
	Complementary feedingstuffs for pigs and poultry (except young animals)	20	
	other complementary feedingstuffs	5	

▶ Guidance value

Mycotoxin	Products intended for animal feed	Guidance value in mg/kg (ppm) relative to a feedingstuff with a moisture content of 12 %
Deoxynivalenol	Feed materials (*)	
	Cereals and cereal products (**) with the exception of maize by-products	8
	Maize by-products	12
	Complementary and complete feedingstuffs with the exception of:	5
	Complementary and complete feedingstuffs for pigs	0.9
	Complementary and complete feedingstuffs for calves (< 4 months), lambs and kids	2

Mycotoxin	Products intended for animal feed	Guidance value in mg/kg (ppm) relative to a feedingstuff with a moisture content of 12 %
Zearalenone	Feed materials (*)	
	Cereals and cereal products (**) with the exception of maize by-products	2
	Maize by-products	3
	Complementary and complete feedingstuffs with the exception of:	
	Complementary and complete feedingstuffs for piglets and gilts (young sows)	0.1
	Complementary and complete feedingstuffs for sows and fattening pigs	0.25
	Complementary and complete feedingstuffs for calves, dairy cattle, sheep(including lamb) and goats (including kids)	0.5
Ochratoxin A	Feed materials (*)	
	Cereals and cereal products (**) 0,25	0.25
	Complementary and complete feedingstuffs:	5
	Complementary and complete feedingstuffs for pigs	0.05
	Complementary and complete feedingstuffs for poultry	0.1
Fumonisin B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub>	Feed materials (*)	
	Maize and maize products (***)	60
	Complementary and complete feedingstuffs for:	
	Pigs, horses ( <i>Equidae</i> ), rabbits and pet animals	5
	Fish	10
	Poultry, calves (< 4 months), lambs and kids	20
	Adult ruminants (> 4 months) and mink	50

(\*) Particular attention has to be paid to cereals and cereals products fed directly to the animals that their use in a daily ration should not

lead to the animal being exposed to a higher level of these mycotoxins than the corresponding levels of exposure where only the

complete feedingstuffs are used in a daily ration.

(\*\*) The term "Cereals and cereal products" includes not only the feed materials listed under heading 1 "Cereal grains, their products and

by-products" of the non-exclusive list of main feed materials referred to in part B of the Annex to Council Directive 96/25/EC of 29

April 1996 on the circulation and use of feed materials (OJ L 125, 23.5.1996, p. 35) but also other feed materials derived from

cereals in particular cereal forages and roughages.

(\*\*\*) The term "Maize and maize products" includes not only the feed materials derived from maize listed under heading 1 "Cereal grains,

their products and by-products" of the non-exclusive list of main feed materials referred to in the Annex, part B of Directive 96/25/EC


but also other feed materials derived from maize in particular maize forages and roughages.

(2006/576/EC)





#### 4) 일본의 사료 중 곰팡이독소 규제 현황

일본의 경우는 aflatoxin B<sub>1</sub>에 대하여 소와 어린가축은 10ppb, 그 외의 가축에 대하여 20ppb, deoxynivalenol은 3개월 령 이상의 소를 제외한 가축에 1ppm, 3개월령 이상의 소에는 4ppm, zearalenone은 모든 가축에 대하여 1ppm의 허용기준을 두고 있다. 

Mycotoxin	Comodity	Limit(ug/kg)
Aflatoxin B <sub>1</sub>	Compound feeds or mix feeds for adult animals (except cow feed)	20
	Compound feeds for cow and young animals	10
Deoxynivalenol	Feeds for livestock (except cattle aged older than three months)	1000
	Feeds for cattle aged older than three months	4000
Zearalenone	Feeds for livestock	1000

(<http://www.famic.go.jp>, Oct. 6, 2010)