

Review Article

안전한 펫푸드의 설계와 생산: 원료 안전성에서 완제품 품질관리까지

**Safe pet food design and production: from raw material safety to finished product
quality control**

노수덕*

Soo-Duc Noh*

카길애그리퓨리나 뉴트리나 펫케어

Cargill Agri Purina, Nutrina Pet Care, Seongnam, Korea

***Corresponding author:** Soo-Duc Noh

Cargill Agri Purina, Nutrena PetCare, 7Fl HanRimWon B/D, 42 Dolma-ro Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do
13630, Korea

Tel: +82-31-710-6415

E-mail: soo-duc_noh@cargill.com

Running head: *Safe pet food design and production*

Abstract

Pet food differs fundamentally from livestock feed in that companion animals consume a single diet over extended periods, often for their entire lifespan. This characteristic amplifies the risk of cumulative exposure to both nutritional excesses and chemical contaminants. This review provides a comprehensive framework for designing and producing safe dry pet food, covering the entire value chain from raw material safety to finished product quality control. Raw material management addresses mycotoxins, biogenic amines, heavy metals, pesticide residues, and lipid oxidation, with particular emphasis on the stricter standards required for pet food compared with livestock feed. Nutritional design principles are discussed including metabolizable energy calculation using the modified Atwater method, the four-tier nutrient requirement system established by the National Research Council (NRC 2006), and the critical importance of daily dose-based formulation for functional ingredients. Production safety encompasses hazard analysis critical control point (HACCP) principles applied to weighing accuracy, mixing uniformity, extrusion parameters, contamination prevention through zoning, traffic flow management, environmental controls, and multi-stage foreign material detection. Traceability systems linking raw material lots through production to distribution are described as essential for rapid recall response. The review also examines major recall cases including the 2007 melamine contamination, the 2019 vitamin D overdose incident, and aflatoxin recalls, illustrating the severe health consequences of safety failures such as acute renal failure, hepatotoxicity, and Heinz body hemolytic anemia. This work aims to provide livestock feed industry professionals with a practical understanding of the unique safety requirements in pet food manufacturing.

Keywords: pet food safety, raw material quality, HACCP, nutritional design, traceability, contamination prevention

1 서론 (Introduction)

반려동물 사료(펫푸드)는 축산사료와 근본적으로 다른 급여 특성을 가진다. 축산 경제동물은 닭 30일~2년, 돼지 약 180일, 소 3~5년의 비교적 짧은 기간 동안 사료를 급여받지만, 반려동물은 단일 제품을 10~15년 이상 장기간 급여받는다 [1,2]. 이러한 특성은 영양소의 과부족뿐 아니라 미량 오염물질의 누적 노출(cumulative exposure) 위험을 크게 증가시킨다.

펫푸드 안전사고의 역사적 사례들은 이 문제의 심각성을 잘 보여준다. 2007년 중국산 밀글루텐에 멜라민이 혼입된 사건은 수천 마리의 반려동물 사망과 전 세계적 규제 강화를 초래하였다 [3]. 2019년에는 비타민 프리믹스 공급사의 오류로 의도 수준 대비 최대 70배의 비타민 D가 함유된 캔사료 약 2,200만 캔이 리콜되었으며, 비타민 D 과잉에 의한 고칼슘혈증(hypercalcemia)으로 급성 신부전 및 사망 사례가 다수 보고되었다 [4,5]. 또한 2020~2021년에는 옥수수 원료의 아플라톡신(aflatoxin B1) 오염으로 인한 대규모 리콜이 발생하여 FDA에 130건 이상의 사망이 보고되었다 [6].

이와 같은 사례들은 펫푸드의 안전이 원료 입고에서 완제품 출하까지 전 과정에 걸쳐 체계적으로 관리되어야 함을 시사한다. 본 총설에서는 축산사료 전문가를 대상으로, 펫푸드 안전성의 독특한 요구사항을 원료 안전성, 영양설계, 생산공정, 추적관리 및 완제품 검수의 관점에서 종합적으로 고찰하고자 한다.

17 원료 안전성 관리 (Raw material safety management)

18 1. 곰팡이독소 (Mycotoxins)

펫푸드는 축산사료 대비 2~5배 엄격한 곰팡이독소 기준을 적용한다. 이는 장기간 단일사료를 급여하는 펫푸드의 특성상 누적 노출 위험이 훨씬 높기 때문이다 [7,8]. Aflatoxin B1의 경우 한국 배합사료 기준 50 ppb 이하인 반면, FDA Action Level(조치 수준) 기준 펫푸드는 20 ppb 이하로 관리한다. DON(vomitoxin)은 돼지 사료 10 ppm 대비 펫푸드 권장 5 ppm, ZEA(zearalenone)는 돼지 사료 500 ppb 대비 펫푸드 권장 100 ppb로 각각 2배, 5배 엄격하다 [8,9]. 관리 방안으로는 원료 입고 시 성적서(CoA) 확인, ELISA 또는 LC-MS/MS를 활용한 다독소 동시 분석(multi-toxin analysis), 그리고 흡착제(mycotoxin binder) 활용이 권장된다 [10].

26 2. Biogenic amine

Biogenic amine은 아미노산이 미생물의 탈카복실화효소(decarboxylase)에 의해 분해되어 생성되는 물질로, 동물성 단백질 원료(육분, 어분 등)의 신선도 및 안전성 판단의 핵심 지표이다

[11,12]. Histamine은 개에서 침 흘림(salivation), 구토, 혈압 저하를 유발하며, tyramine은 혈압 상승 및 심박수 증가를, cadaverine과 putrescine은 histamine의 독성을 증폭(potentiating effect)시키는 것으로 알려져 있다 [13,14]. 특히 biogenic amine은 열에 안정적이어서 익스트루딩이나 레토르트 등의 가공 공정 후에도 잔류하므로, 원료 단계에서의 사전 관리가 유일한 해법이다 [12]. 자견, 자묘, 임신·수유 중인 개체 등은 해독 능력이 낮아 더 큰 위험에 노출된다.

3. 중금속 및 잔류농약 (Heavy metals and pesticide residues)

중금속은 EU Directive 2002/32/EC에 따라 납(Pb) < 5 mg/kg, 카드뮴(Cd) < 1 mg/kg, 비소(As) < 2 mg/kg, 수은(Hg) < 0.1 mg/kg으로 관리한다 [15]. 특히 참치·황새치 등 대형 어류 유래 어분에서는 먹이사슬 생물농축(bioaccumulation)에 의한 수은 과다가 빈발하며, 쌀 원료는 재배 특성상 타 곡류 대비 10배 높은 비소를 흡수하므로 별도 모니터링이 필요하다 [16]. 잔류농약은 GC-MS/MS 또는 LC-MS/MS를 활용한 300종 이상의 동시 분석이 가능하며, 글리포세이트(glyphosate)는 IARC(WHO)에서 2A 발암물질 추정으로 분류(2015)된 이후 주요 펫푸드 기업들이 자체 기준을 강화하는 추세이다 [17].

이들 화학적 위해물질에 만성적으로 노출될 경우, 개에서는 납에 의한 신경계 장애(경련, 운동실조), 카드뮴에 의한 만성 신부전, 비소에 의한 심근염 등이 보고되고 있으며, 고양이는 대부분의 중금속에 개보다 더 민감한 것으로 알려져 있다 [16,18].

4. 지방 산화 (Lipid oxidation)

지방 산화는 자동산화(autoxidation) 메커니즘에 의해 진행되며, 개시(initiation) → 전파(propagation) → 종결(termination)의 3단계를 거친다 [19]. 불포화도가 높은 지방(어유 > 식물유 > 동물유), 고온, 광선(UV), 수분, 금속이온(Fe^{2+} , Cu^{2+}) 등이 산화를 촉진한다. 산화도 측정은 과산화물가(peroxide value, POV < 5 meq/kg), 산가(acid value, AV < 3 mg KOH/g) 등을 활용하며, 산화가 심할 경우 산패취에 의한 기호성 저하, 비타민 A·D·E·K 및 필수지방산(EPA, DHA) 파괴, MDA·4-HNE 등 유해 알데히드 생성, 그리고 고양이에서의 황색지방증(steatitis) 등이 문제가 된다 [1,19,20].

영양설계 (Nutritional design)

1. 에너지 및 영양소 요구량 (Energy and nutrient requirements)

펫푸드의 영양설계는 NRC (2006), AAFCO (2024), FEDIAF (2024) 등의 가이드라인을 기반으로 한다 [1,2,21]. NRC (2006)은 기존 NRC (1985)의 단일 최소 요구량(minimum requirement)

체계에서 벗어나 MR(minimum requirement), AI(adequate intake), RA(recommended allowance), SUL(safe upper limit)의 4단계 요구량 체계를 도입하였다 [1]. 이 중 RA는 원료의 생체이용률(bioavailability)을 고려한 실용 배합 기준이며, SUL의 도입은 영양소 과잉의 위험성을 공식화한 것이다.

대사에너지(ME) 계산에는 AAFCO의 Modified Atwater 방법(단백질 3.5, 지방 8.5, NFE 3.5 kcal/g)을 적용한다 [2]. 기초 대사량(RER)은 $70 \times BW^{0.75}$ (kcal/일)로 산출하며, 생리 상태별 활동계수(일반 성견 1.8, 중성화 1.6, 비만경향 1.4 등)를 곱하여 일일 에너지 요구량(DER)을 결정한다 [1]. 영양소 요구량은 NRC (2006) 이후 건물(DM) 기준이 아닌 대사에너지 기준(per 1,000 kcal ME)으로 표현하며, 이는 사료의 에너지 밀도에 따른 급여량 변동을 자동으로 반영한다.

2. 기능성 원료의 첨가량 설계 (Functional ingredient dose design)

기능성 원료의 효능은 사료 내 함량(%)이 아니라, 동물이 하루에 실제로 섭취하는 절대량(mg/일)에 의해 결정된다. 따라서 사료의 에너지 밀도(ME)에 따라 달라지는 일 급여량을 기준으로 첨가량을 역산해야 한다 [1,22]. 예를 들어, 글루코사민의 일일 유효 섭취량이 100 mg/kg BW인 경우 5 kg 소형견(급여량 약 100 g/일)에서는 사료 내 0.5%, 25 kg 중형견(급여량 약 300 g/일)에서는 0.83%를 첨가해야 동일한 유효 용량을 달성할 수 있다. 프로바이오틱스의 경우 가공 중 생존율을 감안하여 초기 투입량을 유효 용량의 10~100배로 설정해야 하며 [23], 오메가-3(EPA+DHA)는 산화 방지를 위해 토코페롤 병행 첨가가 필수적이다 [24].

3. 배합설계와 안전성 (Formulation and safety)

펫푸드 배합설계에서는 영양 요구량의 충족과 안전 한도의 준수를 동시에 고려해야 한다. AAFCO 및 FEDIAF의 영양소 프로파일에서 제시하는 최소값과 최대값 사이에서 설계하되, 비타민 A, D 등 독성이 있는 영양소는 SUL 대비 여유를 반드시 확인해야 한다 [1,2,21]. 특히 비타민 프리믹스는 입고 검증, 계량 정확도, 최종제품 분석의 3중 안전장치를 통해 과투입을 방지해야 한다 [5].

생산 안전 (Production safety)

1. 생산공정 개요 및 CCP (Production process overview and CCPs)

건사료 생산공정은 원료 입고 → 저장 → 분쇄 → 계량 → 배합(conditioning) → 익스트루딩 → 건조 → 코팅 → 냉각 → 포장의 순서로 진행되며, 각 단계에서 HACCP(hazard analysis critical control point) 원칙에 따른 관리가 필요하다 [25,26]. 계량 단계에서는 프리믹스 투입의 $\pm 0.1\%$ 이내 정확도가 요구되며, 혼합 단계에서는 CV(coefficient of variation) < 10%의 균일도를 확보

1 해야 한다 [27]. 익스트루딩(120~150°C, 10~30초)은 전분 호화, 유해 미생물 사멸 및 영양소
 2 손실 최소화를 동시에 달성해야 하는 핵심 공정이며, 건조(90~120°C, 30~90분)는 최종 수분 함
 3 량 10% 이하를 목표로 한다 [28,29].

4 2. 오염 방지 관리 (Contamination prevention)

5 펫푸드 공장에서의 오염 방지는 구획화(zoning), 동선 관리(traffic flow), 환경 관리(environment)
 6 의 3대 축으로 운영된다 [25]. 구획화는 원료부(Zone 1), 가공부(Zone 2), 완제품부(Zone 3)를
 7 물리적으로 분리하여 재오염(recontamination)을 방지하는 것으로, 2012년 미국 D社 Pet Foods
 8 의 살모넬라 리콜 사례는 구획 미흡에 의한 재오염이 원인이었다 [30]. 동선 관리에서는 작업자,
 9 원료·완제품, 폐기물의 이동 경로를 분리하며, 환경 관리에서는 HVAC 시스템에 의한 차압 유지,
 10 온습도 관리(원료 창고 15~25°C, RH 60% 이하), 방충·방서 프로그램, 그리고 CIP/COP 세척 절
 11 차의 표준화가 포함된다 [25,26]. 이물질 관리는 마그넷(자석) → 시프터(체) → 금속검출기
 12 (Fe/Non-Fe/SUS) → X-ray 검출기의 다단계 방어 체계를 구축하며, 라인 전환(changeover)
 13 시에는 flush 운전과 알러젠 스왑(swab) 검사를 실시한다.

14 3. 추적 시스템 (Traceability system)

15 추적 시스템은 안전 문제 발생 시 원인을 신속히 파악하고 리콜 범위를 최소화하기 위한 필수 체
 16 계이다. 원료 Lot 관리(입고 추적), 생산 Lot 관리(공정 추적), 출하 Lot 관리(유통 추적)의 3대 축
 17 으로 구성되며, 각 단계 간 연결이 핵심이다 [25,31]. EU Regulation 178/2002는 1단계 전방/
 18 후방 추적을 의무화하고 있으며, FDA FSMA는 기록 보관 2년, 한국 사료관리법은 제조기록 3년
 19 보관을 요구한다 [31,32]. 실전 검증을 위해 연 1회 이상 모의 리콜 훈련(mock recall)을 실시하
 20 여 4시간 이내 100% 추적 완료를 목표로 시스템을 점검한다.

21 완제품 검수 (Finished product quality control)

22 완제품 출하 전에는 물리적 검사(수분 함량 $\leq 10\%$, 입자 크기·형태 균일성, 밀도 및 경도, 금속검
 23 출기/X-ray 이물질 검출), 영양 분석(조단백, 조지방, 조섬유, 조회분, ME 계산 확인, 보증성분
 24 대비 적합성), 안전성 검사(살모넬라, 대장균 등 미생물, 곰팡이독소 멀티독소 분석, 중금속, 과산
 25 화물가)를 실시한다 [21,33]. 모든 검사 항목이 적합 판정을 받은 후에만 출하를 승인하며, 부적
 26 합 시에는 격리·조사·처리 절차를 이행한다.

27 결론 (Conclusion)

1 펫푸드는 축산사료와 달리 장기간 단일사료를 급여하는 특성상, 원료 입고에서 완제품 출하까지
 2 전 과정에 걸친 체계적 안전관리가 필수적이다. 본 총설에서 고찰한 핵심 사항을 요약하면 다음
 3 과 같다. 첫째, 축산사료 대비 2~5배 엄격한 위해물질 기준(곰팡이독소, 중금속, 잔류농약 등)을
 4 적용해야 한다. 둘째, 기능성 원료는 사료의 에너지 밀도에 따른 일 급여량을 기준으로 일일 유효
 5 섭취량(daily dose)에 맞추어 첨가량을 역산해야 한다. 셋째, 생산공정에서는 HACCP 원칙에 따
 6 른 계량 정확도, 혼합 균일도, 열처리 관리와 함께 구획화·동선·환경의 3대 축에 의한 오염 방지
 7 가 중요하다. 넷째, 원료 Lot에서 생산 Lot, 출하 Lot까지 연결되는 추적 시스템을 구축하여 문제
 8 발생 시 48시간 이내에 영향 범위를 특정할 수 있어야 한다. 다섯째, 완제품 출하 전 물리적·영양
 9 적·안전성 검사의 다차원 검증을 통해 부적합 제품의 시장 유통을 차단해야 한다.

10 펫푸드 산업의 지속적 성장과 함께 소비자의 안전 요구 수준도 날로 높아지고 있다. 축산사료 분
 11 야의 전문가들이 펫푸드의 고유한 안전 요구사항을 이해하고 이를 실무에 적용함으로써, 반려동
 12 물의 건강과 보호자의 신뢰를 동시에 확보하는 것이 중요하다.

13 사사 (Acknowledgments)

14 본 총설은 한국축산학회 영양사료단기과정 발표 내용을 기반으로 정리하였다.

15 요약 (Korean Abstract)

16 펫푸드는 반려동물이 장기간 단일 사료를 급여받는 특성상 영양소의 과부족 및 위해물질의 누적
 17 노출 위험이 축산사료에 비해 현저히 높다. 본 총설에서는 안전한 건식 펫푸드를 설계·생산하기
 18 위한 체계적 관리 프레임워크를 원료 안전성, 영양설계, 생산공정, 추적관리, 완제품 품질관리의
 19 관점에서 종합적으로 고찰하였다. 원료 안전성 관리에서는 곰팡이독소 (Aflatoxin B1 FDA
 20 Action Level 20 ppb), biogenic amine, 중금속(생물농축 주의), 잔류농약, 지방산화(POV, AV,
 21 TBARS)를 다루고, 이들의 건강 피해를 개·고양이 종별로 정리하였다. 영양설계에서는
 22 NRC(2006)의 4단계 요구량 체계(최소 요구량, 적정 섭취량, 권장 허용량, 안전 상한)를 기반으
 23 로, Modified Atwater 대사에너지 계산법과 기능성 원료의 일일 유효 섭취량(Daily Dose) 기반
 24 첨가량 역산 원칙을 제시하였다. 생산 안전에서는 HACCP 기반 공정관리, 구획화·동선·환경 관
 25 리의 3대 오염 방지 체계, 원료-생산-출하 Lot를 연결하는 추적 시스템의 구축 방안을 기술하였
 26 다. 완제품 출하 전 물리적·영양적·안전성 검사의 다차원 검증 절차도 제시하였다. 본 총설은 펫
 27 푸드 산업의 안전관리 강화 및 관련 전문가 교육에 기여할 것으로 기대된다.

28 주제어: 펫푸드 안전, 원료 품질, HACCP, 영양설계, 추적성, 오염 방지

참고문헌 (References)

- [1] NRC. Nutrient requirements of dogs and cats. Washington, DC: National Academies Press; 2006.
<https://doi.org/10.17226/10668>
- [2] AAFCO. Official publication. West Lafayette, IN: Association of American Feed Control Officials; 2024.
- [3] FDA. Melamine pet food recall of 2007 [Internet]. U.S. Food and Drug Administration. 2007 [cited 2026 Mar 1].
<https://www.fda.gov/animal-veterinary/safety-health/melamine-pet-food-recall-2007>
- [4] FDA. Hill's Pet Nutrition voluntarily recalls select canned dog food for excessive vitamin D [Internet]. U.S. Food and Drug Administration. 2019 [cited 2026 Mar 1]. <https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts>
- [5] AVMA. Update: FDA says Hill's failed to follow own procedures. J Am Vet Med Assoc News. 2020 [cited 2026 Mar 1]. <https://www.avma.org/javma-news/2020-02-15>
- [6] FDA. Midland/Sportmix aflatoxin recall [Internet]. U.S. Food and Drug Administration. 2021 [cited 2026 Mar 1].
<https://www.fda.gov/animal-veterinary/outbreaks-and-advisories>
- [7] European Commission. Directive 2002/32/EC on undesirable substances in animal feed. Off J Eur Communities. 2002;L140:10-22.
- [8] European Commission. Recommendation 2006/576/EC on the monitoring of mycotoxins, amended by 2016/1319 (pet food). Off J Eur Union. 2006;L229:7-9.
- [9] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). Standards and specifications for feeds. Notification No. 2019-34. Sejong: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2019. [In Korean]
- [10] Buszewska-Forajta M. Mycotoxins, invisible danger of feedstuff with toxic effect on animals. Toxicon. 2020;182:34-53. doi:10.1016/j.toxicon.2020.04.101
- [11] Feddern V, Mazzuco H, Cunha A Jr, De Ledur MC, De Brum PAR. A review on biogenic amines in food and feed: toxicological aspects, impact on health and control measures. Anim Feed Sci Technol. 2019;250:86-97.
- [12] Plötz M, Steinhart H. Biogenic amines in pet food. Eur Food Res Technol. 2003;216:361-7.
- [13] Guilford WG, Jones BR, Markwell PJ, Arthur DG, Collett MG, Harte JG. Food sensitivity in cats with chronic idiopathic gastrointestinal problems. J Vet Intern Med. 2001;15(1):7-13.
- [14] Prester L. Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: a review. Food Addit Contam Part A. 2011;28(11):1547-60.
- [15] European Commission. Directive 2002/32/EC on undesirable substances in animal feed — maximum limits for heavy metals. Off J Eur Communities. 2002;L140.
- [16] Kim HT, Loftus JP, Mann S, Wakshlag JJ. Evaluation of arsenic, cadmium, lead and mercury contamination in over-the-counter available dry dog foods with different animal ingredients. Front Vet Sci. 2018;5:264.
- [17] IARC Working Group. Some organophosphate insecticides and herbicides. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2017;112:1-464.
- [18] Craig JM. Food intolerance in dogs and cats. J Small Anim Pract. 2019;60(2):77-85.

- 1 [19] Shahidi F, Zhong Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. Chem Soc Rev. 2010;39:4067-79.
- 2 [20] NRC. Mineral tolerance of animals. 2nd ed. Washington, DC: National Academies Press; 2005.
- 3 [21] FEDIAF. Nutritional guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs. Brussels: European
- 4 Pet Food Industry Federation; 2024.
- 5 [22] McCarthy G, O'Donovan J, Jones B, McAllister H, Seed M, Mooney C. Randomised double-blind, positive-
- 6 controlled trial to assess the efficacy of glucosamine/chondroitin sulfate for the treatment of dogs with
- 7 osteoarthritis. Vet J. 2007;174(1):54-61.
- 8 [23] Stercova E, Kumprechtova D, Auclair E, Novak J. Effects of live yeast dietary supplementation on nutrient
- 9 digestibility and fecal microflora in beagle dogs. J Anim Sci. 2016;94(7):2909-18.
- 10 [24] Bauer JE. Therapeutic use of fish oils in companion animals. J Am Vet Med Assoc. 2011;239(11):1441-51.
- 11 [25] FEDIAF. Guide to good practice for the manufacture of safe pet food. Brussels: European Pet Food Industry
- 12 Federation; 2020.
- 13 [26] Codex Alimentarius. General principles of food hygiene. CAC/RCP 1-1969, Rev.4. Rome: FAO/WHO; 2003.
- 14 [27] Herrman T, Behnke K. Testing mixer performance. Kansas State University, MF-1172; 1994.
- 15 [28] Singh S, Gamlath S, Wakeling L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. Int J Food Sci Technol.
- 16 2007;42(8):916-29.
- 17 [29] Riaz MN. Extruders in food applications. Boca Raton, FL: CRC Press; 2000.
- 18 [30] FDA. Diamond Pet Foods recall [Internet]. U.S. Food and Drug Administration. 2012 [cited 2026 Mar 1].
- 19 <https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts>
- 20 [31] European Parliament. Regulation (EC) No 178/2002 laying down the general principles and requirements of
- 21 food law. Off J Eur Communities. 2002;L31:1-24.
- 22 [32] FDA. Food Safety Modernization Act (FSMA) 21 CFR 1.352 — records for supply chain. Washington, DC:
- 23 U.S. Food and Drug Administration; 2015.
- 24 [33] AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 21st ed. Rockville, MD: AOAC
- 25 International; 2019.