

# 동물용 항생제 설파메톡사졸의 위해성 및 처리방안에 대한 고찰

모서연\* · 최재홍\*\* · 이도균\*\*

## A Review of the Risks and Treatment Options for the Veterinary Antibiotic Sulfamethoxazole

Mo, Seo Yeon\* · Choi, gae hong\*\* · Lee Do Gyun\*\*

**Abstract:** The purpose of this study is to explore the issue of antibiotic misuse and the associated environmental problems, focusing on the antibiotic sulfamethoxazole used in animal agriculture. Antibiotic resistance is currently a global problem, exacerbated by the misuse of antibiotics in agriculture and animal husbandry. This study emphasizes the importance of investigating the potential environmental toxicity of antibiotics and discovering efficient treatment technologies. It discusses the use of advanced oxidation processes and artificial wetlands as potential approaches to mitigate the environmental impact of antibiotics, particularly sulfamethoxazole. In conclusion, the study underscores the need for research, data collection, monitoring, and effective environmental protection policies to combat antibiotic misuse and environmental pollution. It also emphasizes the significance of raising awareness and implementing proactive measures to address these issues.

키 워 드 : 항생제, 위해성, 설파메톡사졸

Key words : antibiotic, risk, sulfamethoxazole

### 1. 서론

항생제가 처음 발견된 이후 감염병에 대한 항생제 치료로 많은 생명을 구할 수 있었다. 그러나 현재는 항생제 사용에 따른 내성의 발현으로 전 세계적으로 많은 사망자가 발생하고 있는 상황이다. 미국 질병통제예방센터(CDC)에 따르면, 매년 항생제 내성 세균과 곰팡이로 인하여 약 290만 명의 감염이 발생하고, 이로 인해 약 36,000명이 사망하였다고 분석하였다(CDC, 2019). 이러한 인간의 약물 내성에 기여할 수 있는 요인 중 하나로 농업과 축산업에서의 항생제 남용이 있다.

항생제는 동물의 성장 촉진, 질병 예방 및 치료로 사용되며 국내 항생제 사용량은 1년 동안 약 천 톤 가까이 된다. 유럽의약품청(EMA)가 발표한 2021년 유럽 동물용 항생제 판매 보고서에 따르면, EU 25개국의 경우 동물용 항생제 판매량이 100년 사이 약 47% 감소하였다(EMA, 2021). 이와 비교하여 우리나라는 증가하는 추세를 보이고 있다.

이와 같은 항생제 오남용은 직간접적으로 인체에게도 영향을 미친다. 가축과의 직접적인 접

촉으로 내성균이 전파될 수 있으며, 이는 전염된 사람을 통해 지역 사회로 확산할 수 있다. 또한, 식품의 적절한 처리 및 조리 과정을 거치지 않을 경우 항생제 내성균이 사람에게 전염될 수 있다. 항생제 내성균을 가진 가축의 분뇨 또는 물이 수자원을 오염시키고, 이를 통해 전염될 가능성도 있다.

이러한 항생제 오남용의 위험성에도 불구하고, 아직 항생제 사용에 대한 연구와 규제 등이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 항생제에서 주로 사용되는 sulfamethoxazole에 대해 검토하고, 항생제의 생태계 교란의 문제점과 내성이 강한 다른 잔류의약품질 처리방안에 대해 다루고자 한다.

### 2. 항생제 사용량

Table 1은 한국동물약품협회에서 발표한 축·수산업용 항생제 판매실적이다. 2020년 가축 및 수산에 판매된 항생제 및 항콕시들통제 총량은 919톤으로 이 중 항생제는 약 895톤, 항콕시들통제는 약 24톤으로 조사되었다. 연도별 항생제 판매량은 2013년 이후 점차 증가 추세를 나타내었다. 2020년 항생제 판매량은 2013년에 비해 약 17% 증가하였다.

\* 인천대학교 환경에너지공학과 석사과정

\*\* 인천대학교 환경공학 졸업

\*\* 인천대학교 도시환경공학부 환경공학전공 부교수,

교신저자 (dlee31@inu.ac.kr)

Table 1. 축·수산물용 항생제 및 항콕시들펀제 총 판매 실적

구분	항생제 판매량							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
항생제	765,120	840,541	866,411	920,862	1,003,678	960,664	903,476	894,999
항콕시들펀제	55,267	52,612	43,328	43,034	22,986	23,179	23,682	23,966
합계	820,387	893,153	909,739	963,896	1,026,664	983,843	927,158	918,995

일반적으로 항생제 판매량은 그 해 가축 사육 두수와 질병 발생 등에 따라 변동될 수 있다. 통계청에서 공개한 가축 사육 두수 동향(Fig 1)을 보면, 2020년에는 2011년에 비해 소는 약 10%, 돼지는 약 32%, 닭은 약 10% 증가한 것으로 나타난다.

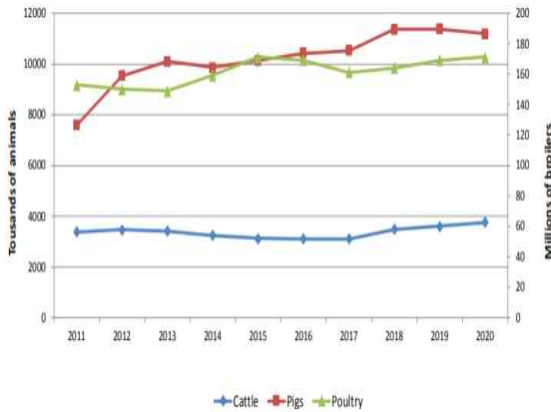


Figure 1. 가축 사육 두수 동향 (2011년~2020년)

항생제 계열별 판매실적을 보면, 가장 많이 판매되고 있는 항생제는 Penicillins 계열이고, 매년 약 100톤 이상이 판매되고 있다. 설파닐아마이드계열은 연간 약 20톤 이상 판매되고 있으며, 그 중 설파메톡사졸을 주로 사용하고 있다(한국동물약품협회). 설파메톡사졸은 투여가 쉽고, 가격이 저렴하여 세계적으로 동물용 항생제로 많이 사용하는 항생제이다. 하지만, 이는 분해가 어려운 잔류의약품물질로 내성이 강해 환경에 지속적으로 남아 환경오염을 야기한다.

### 3. 배출 경로

축산폐수는 자원으로서의 이용가치가 높지만, 관리 및 처리가 적절하게 이루어지지 않는다면, 수계에 심각한 오염을 야기한다. 축산폐수는 상시적으로 방류수 기준을 만족시키지 못하는 축산폐수처리장이나 축산폐수를 무단 투기하는 축사 등에 의해서 점오염원으로 작용하며, 관리부실로 인한 축사 주변에서 오염물질의 유출이나 농경지에 허용 사용량을 초과하여 살포된 액·퇴비 등은 강우 시 비점오염원으로 작용하게 된다. 축산에서 사용된 다량의 의약품물질들이 오염물 유출과 함께 하천으로 유입되고 있지만, 이에 대한 연구가 부족하고 비점오염원에 대한 해결책이 마련되어야 한다(김현욱 et.al, 2009).

특히 동물병원에서 사용하는 항생제의 경우에는 처분된 폐기물을 매립장에서 매립을 한 후 매립지 침출수를 통한 의약품물질이 지하수나 지표수로 유입된다. 이러한 배출원별 항생물질의 발생종류 및 발생량에 대한 지속적인 연구가 필요하고, 수계 및 토양 중 항생물질에 대한 모니터링의 자료가 필요한 실정이다.

주로 설파메톡사졸과 같은 동물용 항생제는 축산폐수처리장 또는 축산폐수처리시설에서 배출된다. 이렇게 배출되는 설파메톡사졸은 인근 하수처리장의 유입수와 방류수에서 검출되고 있으며, 오랫동안 잔류하는 성질을 가지고 있어 환경에 막대한 피해를 주고 있다.

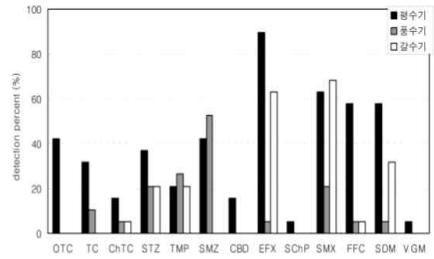
국내 한강, 낙동강 등 주요 하천에서도 환경생태계에 영향을 미치는 항생제를 비롯한 진통제, 호르몬제 등의 의약품물질이 다량 검출된 사례가 있다. 또한, 국립환경과학원을 통해 연구된 “환경 중 의약품물질 분석방법 연구 및 노출실태조사, 1차년도 보고서”에 따르면, 국내 하천 및 하수처리장 유입수, 방류수, 축산폐수처리시설의 유입수 및 유출수에서도 항생제 물질을 포함한 여러 가지 의약품물질이 잔류하는 것으로 보고하였다. 의약품물질 농도는 우기보다 건기에 높은 값을 나타냈으며, 축산폐수처리장의 경우, sulfathiazole이 유입수에 2.39ppm 검출되었으며, sulfamethazine은 0.66ppm 검출되었다(명승운 et al, 2007).

Table 2, 3에서 하천수의 의약품물질 검출현황을 보면, 급수원이 되는 하천에서도 항생제가 미량 검출되고 있음을 확인할 수 있다. 이는 하수에 존재하는 미생물의 항생제 내성을 야기할 수 있다.

아래 Fig 2는 조사 시기별 연구대상 의약품물질 검출빈도를 나타낸 그래프이다. 한강 유역 평수기에 가장 많은 검출빈도를 보인 물질은 플로르

페니콜(100%)과 설파디메속신(88%) 및 엔로플록사신(78%) 이었다. 특히 수계에서 검출된 엔로플록사신과 플로르페니콜은 동물에게만 사용되는 항생제로서 주로 닭과 돼지에게 사용되는 항생제이다(Ahn, 2008).

이러한 결과와 같이 동물용 항생제가 한강 본류에서 지속적으로 검출되는 것으로 보아 환경 중 잔류성이 높은 물질이라는 것을 알 수 있다. 동물전용 항생제의 예상발생원이 명확하지 않아 정확한 오염 경로를 확인하기 위해서 추가적인 조사가 이루어져야 한다.



OTC : Oxytetracyclin TC : Tetracycline ChTC : Chlorotetracyclin STZ : Sulfathiazole  
 TMP : Trimethoprim SMZ : Sulfamethazine CBD : Carbadox EFX : Enrofloxacin  
 SchP : Sulfachloropyridazine SMX : Sulfamethoxazole FFC : Florfenicol SDM : Sulfadimethoxine  
 VGM : Virginiamycin.

Figure 2. 한강 수계 조사시기별 연구대상 의약품질 검출빈도

Table 2. 축산폐수 처리장 유입수 및 방류수 중 의약품질의 검출현황 (국립환경과학원)

성분명	하수 하천수(ng/mL)		축산 하천수(ng/mL)	
	우기	건기	우기	건기
Acetaminophen	N.D.~0.147	N.D.	N.D.~0.195	N.D.~0.164
Sulfamethoxazole	N.D.~0.123	N.D.~0.224	N.D.~0.126	N.D.~0.272
Sulfathiazole	N.D.~0.122	N.D.~0.283	N.D.~0.656	N.D.~0.944
Carbadox	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sulfamethazine	N.D.	N.D.~0.518	N.D.~0.250	N.D.~1.546
Trimethoprim	N.D.	N.D.~0.005	N.D.	N.D.
Lincomycin	N.D.~0.085	N.D.~2.657	N.D.~0.316	N.D.~2.527
Naproxen	N.D.~0.052	N.D.~0.326	N.D.	N.D.~0.121
Ibuprofen	N.D.~0.944	N.D.~2.132	N.D.~0.157	N.D.~3.528
Diclofenac-Na	N.D.~0.085	N.D.~0.175	N.D.	N.D.
Erythromycin-H2O	N.D.	N.D.~0.080	N.D.	N.D.
Roxithromycin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tylosin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chlorotetracycline	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Oxytetracycline	N.D.	N.D.~0.239	N.D.	N.D.
Ciprofloxacin	N.D.~0.002	N.D.~0.140	N.D.	N.D.~0.324
Enrofloxacin	N.D.	N.D.~0.035	N.D.	N.D.~0.188

- N.D. : 불검출.

Table 3. 하천수 중 의약품질의 검출현황 (국립환경과학원)

성분명	축산 유입수(ng/mL)		축산 방류수(ng/mL)	
	우기	건기	우기	건기
Acetaminophen	N.D.~8.086	N.D.~9.797	N.D.	N.D.~0.913
Sulfamethoxazole	N.D.~4.667	N.D.~16.226	N.D.~0.522	N.D.~0.367
Sulfathiazole	0.193~1214.537	4.724~2293.934	0.131~4.077	N.D.~1.081
Carbadox	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sulfamethazine	N.D.~257.258	N.D.~658.511	N.D.~1.856	N.D.~1.199
Trimethoprim	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.~0.002
Lincomycin	N.D.~45.26	0.624~204.452	N.D.~4.385	0.214~1.983
Naproxen	N.D.~0.146	N.D.~0.519	N.D.~0.115	N.D.~0.185
Ibuprofen	N.D.~1.168	N.D.~1.289	N.D.~0.657	N.D.
Diclofenac-Na	N.D.~0.141	N.D.~0.603	N.D.~0.185	N.D.~0.516
Erythromycin-H <sup>2</sup> O	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Roxithromycin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tylosin	N.D.~1.289	N.D.	N.D.	N.D.
Chlorotetracycline	N.D.	N.D.~31.082	N.D.	N.D.
Oxytetracycline	N.D.~1.878	N.D.~24.795	N.D.~0.689	N.D.
Ciprofloxacin	N.D.~0.1	N.D.~0.318	N.D.~0.01	N.D.~0.026
Enrofloxacin	N.D.~0.552	N.D.~0.296	N.D.~0.146	N.D.~0.059

#### 4. 독성

항생제의 독성은 우리의 건강과 환경에 심각한 문제를 야기하고 있다. 특히 잔류항생제의 경우, 다양한 환경에서 내성 미생물이 검출되어 인간의 건강에 직접적인 영향을 미치고 있는 상황이다.

CDC(2013)의 보고서에 따르면, 연간 2백만 명의 환자와 2만 3천 명의 사망자가 항생제 내성 미생물로 인한 문제로 인해 발생하고 있다고 발표하였다. 이는 항생제의 과도한 사용이 인간의 건강에 미치는 부정적인 영향을 강조하고 있다. 뿐만 아니라, 동물용 항생제의 환경 유입은 생태계에도 치명적인 영향을 끼친다. 설파제 계열의 항생제는 식물의 성장을 저하시키는 독성을 가지고 있어 이는 생태계의 균형을 깨뜨리고 생물 다양성에 위협을 가하고 있다. 특히 하수처리장에서 방류되는 설파메톡사졸은 물고기의 내분비계를 교란시켜 수중 생태계에 심각한 피해를 초래하고 있다.

이러한 문제에 대응하기 위해 항생제 사용에 대한 엄격한 규제와 함께 처리 방법, 치료법 개발에 대한 연구가 필요하다.

#### 5. 처리 방법

하수처리장에서 처리되는 방류수는 그대로 하천으로 유입되어 환경오염의 문제가 된다. 위 독성에서 말했듯이 바다 또는 공공수역으로 유입되면 먹이사슬에 의해 되돌아오고 인간과 생태계에 위해성을 줄 수 있어 현재 하수처리 기술보다 고도화된 기술을 사용해야 한다.

설파메톡사졸과 같은 항생제 종류는 하수처리 시설을 사용하여 하수 정화를 통해 분해를 시킨다. 그러나 의약품과 같은 미량의 오염물질은 생

물학적 분해에 저항성을 가지고 있어 소규모 개인 하수처리시설에서는 완전히 제거하지 못하고 있다. 이러한 물질은 주변 하천으로 방류되고 자연 수생태계의 교란을 일으킨다.

이러한 의약품을 처리하기 위해 오존 및 고도산화공정에 대한 연구가 지속되고 있다(Huber M.M et al, 2003). 오존 및 고도산화 공정은 수처리 일반적인 공정에서 제거하기 어려운 복합적이고 결합력이 큰 구조의 화합물을 제거하는데 주로 사용된다. 오존의 강한 산화력이 이용되며, 산화력을 증가시키기 위해 과산화수소 또는 UV와 함께 적용되기도 한다(Vogna et al, 2003).

고도산화공정은 생물학적 공정과 비교하여 제거 기작이 단순하고 화학적 산화 반응을 통해 의약물질을 분해하기 위한 방안으로 주목을 받고 있다. 고도산화공정에서 의약물질의 모화합물은 산화제의 강력한 산화력에 의해서 분해되고, 모화합물에서 떨어져 나온 일부 작용기들이 수중의 다른 물질과 결합하여 새로운 물질을 형성할 수 있다. 특히 이렇게 형성된 물질들 중 일부는 모화합물보다 강한 독성을 나타낼 수도 있다. 따라서 의약물질을 처리하기 위한 방법으로 산화 공정을 이용할 경우 모화합물의 분해경로와 중간산물, 부산물에 대한 고찰이 필요하다.

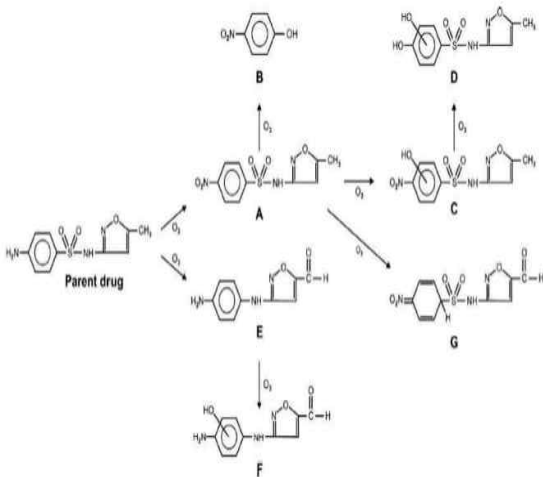


Fig 3. 오존 처리에 의한 sulfamethoxazole의 분해 (Abellan, 2008)

위와 같은 고도처리기술이 아닌 시설의 유지관리 또한, 에너지 절약 측면에서 효율적인 방법으로 인공습지가 있다. 고도처리기술이 아닌 자연 현상을 최대한 이용할 수 있는 저급기술로서 인공습지의 활용성은 좋다. 고도산화법과 같은 하수처리 기술은 여러 조건을 만족해야 처리할

수 있는 반면, 인공습지 같은 경우 처리시간이 길어진다는 단점이 있지만, 비용이 적고 유지관리가 용이한 장점을 가지고 있어 체계적으로 설계하고 운전기술을 높인다면, 동물용 항생제와 같은 의약물질을 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

## 6. 결론

설파메톡사졸 동물용 항생제는 환경에 유입되어 하, 폐수에서 검출되고 생태계나 사람, 동물들에게 영향을 미치는 화학물질인 PPCPs (pharmaceuticals & personal care products)에 포함되어 있다.

한국의 의약품 생산량은 OECD국가 중 생산량 및 판매량이 높은 국가이다. 의약품 중 진통제와 항생제의 비율이 높은 편이고 동물용 항생제는 많이 사용되고 있다. 동물용 항생제의 남용으로 인한 수의사가 직접적인 처방을 하는 규제가 있지만, 가축의 생산량을 늘리기 위해 항생제는 많이 사용되고 그대로 환경으로 유입되어 수질오염 및 생태계에 교란을 일으킨다.

이러한 설파메톡사졸은 설파제 계열 중 사용량과 검출 농도가 높다. 설파메톡사졸의 환경오염의 영향성은 다른 화학물질에 비해서는 높은 편은 아니지만 지속적인 사용과 배출은 환경에 축적되어 환경오염의 주범이 될 수 있다.

결론적으로 잔류의약물질은 일반적인 하수처리장, 축산폐수처리장에서 동물용 항생제를 처리하지만, 일부분만 분해되고 제거 효율이 높지 않아 환경으로 그대로 유입되어 하천수에서 다량으로 검출되고있다. 앞서 말한 내용 중 잔류의약물질의 제거 효율을 높이기 위한 여러 처리기술이 존재하고 처리공정 기술의 제거 효율 등 여러 데이터값을 저장하고 모니터링을 하여 설파메톡사졸 동물용 항생제를 효율적으로 처리하는 방법을 수립해야 한다.

## REFERENCE

농림축산검역본부.(2020). 「2020년도 축산 항생제내성균 감시체계 구축 보고서」  
 CDC. Antibiotic resistance threats in the United States, 2019 [Internet]. Atlanta (GA): CDC, c2019 [cited 2023 Jun 26].  
 김현욱 외 (2009), 「환경 중 의약물질 배출원 및 거동 연구(II)」, 국립환경과학원, pp.1~306.  
 명승운·조현우(2007), 「환경중 의약물질의 분

석방법 연구 및 노출실태조사(II)」, 국립환경과학원

안승구, 박찬구, 김민영, 김주형. (2008). 한강수계 상류지역의 동물용 항생제 및 합성항균제 잔류실태 파악. 한국환경분석학회지, 11(2), 109-118.

Huber, M. M., Canonica, S., Park, G. Y., & von Gunten, U. (2003). Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. *Environmental science & technology*, 37(5), 1016-1024.

Vogna, D., Marotta, R., Napolitano, A., Andreozzi, R., & d'Ischia, M. (2004). Advanced oxidation of the pharmaceutical drug diclofenac with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and ozone. *Water research*, 38(2), 414-422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.09.028>

Abellan, M. N., Gebhardt, W., and Schro, H. Fr., 2008. Detection and identification of degradation products of sulfamethoxazole by means of LC/MS and - MSn after ozone treatment. *Water Science & Technology*, 58(9). 1803-1812.

