

요 약 문

I. 제목

“ 경안천수계 하천수 및 하수·축산폐수처리 방류수 중 세균의 항생제 내성도 분포조사 ”

II. 연구의 목적 및 필요성

축산업 분야에서의 항생제 남용 감축의 시급성에 대한 과학적 근거를 제공하고 현재 하천수에서의 항생제 내성 문제점을 파악하기 위하여, 경안천 유역을 대상으로 수계 주요지점의 하천수와 축산폐수 및 하수처리시설 방류수 중의 세균에 대하여 형성된 항생제 내성도, 항생제의 종류 및 내성 분포 실태를 조사한다.

III. 연구의 내용 및 범위

- 하천수 세균 중의 항생제 내성분포 조사
- 하수처리장 방류수 중의 항생제 내성분포 조사
- 축산농가 폐수처리장 방류수 중의 항생제 내성분포 조사
- 주요 항생제가 축산폐수 처리시설의 효율에 미치는 영향

IV. 연구결과

조사한 하천수와 방류수는 대부분 10^4 cfu/mL 범위의 중속영양 일반세균 개체수를 나타내고 있다. 축산분야에 가장 많이 사용되는 테트라사이클린 계열의 세가지 항생제(TM, TC, CTC)에 대한 내성률은 매우 미약하였으며, 이 중에서는 oxytetracycline(TM)에 대한 내성률이 다른 두가지에 비해 비교적 큰 값을 나타내었다(10% 이하). 테트라사이클린계의 tetracycline(TC)과 chlorotetracycline(CTC), 그리고 quinolone계 enrofloxacin(BT)에 대한 내성률은 모든 조사 지점에서 미미하였다(TC 2% 미만, CTC 0.8% 미만, BT 2% 미만). 실제 항생제 내성문제가 상대적으로 큰 항생제는 페니실린계 항생제인 ampicillin(AMP), penicillin-G(PG)과 lincosamide계 복합항생제인 linsmycin(LM) 였다.

하천의 경우 하수처리장 방류수가 유입되기 전인 상류에 비해 유입 후의 하류에서 sulfadimethoxine(SDM), PG, AMP, LM 에 대한 내성률이 증가하였다. 전반적으로 하수처리장 방류수의 유입이 하천의 항생제 내성률 분포에 영향을 주고 있음을 나타내고 있다. 경안천 상류에서 하류로 진행함에 따라 내성균의 개체수는 큰 변화를 보이지는 않았으며 전반적인 내성률은 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

축산폐수에 대한 생물학적 처리시설의 운전효율에 미치는 영향에 대해서 실험해 본 결과, 페니실린계 항생제는 항생제의 농도가 증가할수록 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 제거효율이 낮아지는 경향이 있었으며 아질산성 질소의 산화에는 큰 영향을 미치지 않았다. Sulfonamide계 항생제(SULFA-40)와 페니실린계열인 amoxicillin(AMOXIL)의 경우는 암모니아성 질소의 산화에 큰 영향을 미치지 못하였다. 페니실린계와 설파계 항생제는 모두 생물학적 처리에 의한 분해 정도는 미약한 것으로 나타났다. 따라서 이들 항생제가 적정농도수준 이상으로 폐수처리장에 유입될 경우 효과적으로 처리되지 못하고 암모니아 및 COD 등의 처리효율이 불량하게 나타날 수 있다.

V. 기대효과, 활용방안 및 의견

- 축산업 분야에서의 항생제 오남용이 하천의 수질환경 및 생태계에 악영향을 미칠 수 있다는 점에 대한 근거를 제시하였음.
- 파악된 주요 내성 항생제 종 및 각각의 내성을 정보를 근거로 향후 축산업 정책수립 및 항생제 처방과 사용에 대한 규제 근거로 활용.
- 축산폐수 처리 시설에서 질소제거 효율의 저하 및 COD 제거율 불량 등의 비정상적인 운전이 발생할 경우, 가축분뇨에 존재하는 항생제가 원인이 될 수 있다는 실험적 근거 제공. 이런 영향을 고려하여 처리시설 문제시 강구 대책의 방향설정에 활용.
- 하수처리장 및 축산폐수처리장에서 처리되지 않고 방류될 수 있는 항생제와 항생제 내성균에 대한 방류전 완전분해 및 소독에 대한 기술적 대책마련 필요.
- 하수처리장 및 축산폐수처리장에서 처리되지 않은 잔류항생제 및 항생제 내성 세균이 처리장으로부터 주변 수계로 방출되는 것을 최대한 차단하는 기술적 조치가 시급히 필요하다. 본 연구진의 판단으로는, 생물학적 처리시설에서 완전히 분해되지 않은 잔류항생제의 추가적 분해를 위하여 항생제 등의 난분해성 유기물 분해에 적합한 적절한 고도산화공정(AOP; advanced oxidation process)을 선정하여 추가적으로 운용하는 것이 필요할 것으로 사료되고, 항생제 내성균의 방출을 차단하기 위해서는 보다 강화된 소독(disinfection)공정 및 강화된 소독기준의 설정이 요구된다. 만일 AOP와 강화소독을 한 처리단계에서 수행할 수 있다면 추가시설 설치에 따르는 경제적 부담을 줄이는데 도움이 될 것이라고 본다.

결 과 활 용 방 안

경안천수계 하천수 및 하수·축산폐수처리 방류수 중 세균의 항생제 내성도 분포조사 (명지대학교 이기세)

축산업 분야에서 무분별하게 남용되는 항생제 사용감축의 시급성에 대한 과학적 근거를 제공하고, 하천수에서의 항생제 내성 현황을 파악하기 위하여, 하천수와 축산폐수 및 하수처리시설 방류수 중의 세균에 대하여 형성된 항생제 내성도, 내성항생제의 종류 및 내성 분포 실태 조사

- 축산분야에 가장 많이 사용되는 테트라사이클린 계열의 세가지 항생제(TM, TC, CTC)과 퀴놀론계인 enrofloxacin(BT)에 대한 내성률은 모든 조사 지점에서 미미하였음.
- 내성문제가 상대적으로 큰 항생제는 페니실린계 항생제인 ampicillin(AMP), penicillin-G(PG)과 lincosamide계 복합항생제인 linsmycin(LM)
- 하수처리장 방류수가 유입되기 전의 하천상류에 비해 유입 후의 하류에서 내성을 증가. 전반적으로 하수처리장 방류수의 유입이 하천의 항생제 내성을 분포에 영향을 주고 있음.
- 경안천 상류에서 하류로 진행함에 따라 내성률은 약간 증가하는 경향
- 항생제의 농도가 증가할수록 생물학적 처리시설의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거효율이 저하되는 경향
- 항생제들은 생물학적 처리에 의한 분해 정도가 미약함. 항생제 고농도 유입시 암모니아 및 COD 등의 처리효율이 불량하게 나타날 수 있음.

- 축산업 분야에서의 항생제 오남용이 하천의 수질환경 및 생태계에 악영향을 미칠 수 있다는 점에 대한 근거를 제시하였음.
- 파악된 주요 내성 항생제 종 및 각각의 내성을 정보를 근거로 향후 축산업 정책수립 및 항생제 처방과 사용에 대한 규제 근거로 활용 가능.
- 축산폐수 처리 시설에서 질소제거 효율의 저하 및 COD 제거율 불량 등의 비정상적인 운전이 발생할 경우, 가축분뇨에 존재하는 항생제가 원인이 될 수 있다는 실험적 근거 제공. 이런 영향을 고려하여 처리시설 문제시 강구 대책의 방향설정에 활용.

- 축산업 분야에서의 항생제 사용량 감축
- 하천수 미생물의 항생제 내성을 감소로 생태계 복원 촉진

- 축산업 분야에서 항생제 구입시 의사 처방이 반드시 필요로 하도록 규제
- 현재 BOD, COD, SS, TN, TP, 대장균수로 되어 있는 하수종말처리시설의 방류수 수질기준에 향후 항생제 관련 해당항목을 추가하는 것을 검토해 볼 필요가 있음,
- 하수처리장 및 축산폐수처리장에서 처리되지 않은 잔류항생제 및 항생제 내성 세균이 처리장으로부터 주변 수계로 방출되는 것을 최대한 차단하는 기술적 조치가 시급히 필요함 : 잔류항생제의 추가적 분해를 위한 고도산화공정(AOP) + 내성균 사멸을 위한 강화된 소독
- 상기 두가지 목적을 한 unit에서 수행할 수 있는 공정의 추가가 바람직함

SUMMARY

I. Title

Study of the antibiotic resistant bacteria in river water and treated effluents in Kyongan River

II. Importance and Objectives

In order to grasp the current extent of antibiotic resistant bacteria (ARB) distribution and to provide a scientific evidence for prospective policy making against antibiotics abuse in livestock industries, the distribution of ARB in river water and discharges from wastewater treatment plants in Kyongan stream were investigated.

III. Scope of Research

- Analysis of ARB in river water
- Analysis of ARB in discharges from wastewater treatment plants
- Analysis of ARB in discharge from a stockbreeding facility
- Influence of antibiotics on the performance of biological wastewater treatment

IV. Results and Discussion

In river water samples investigated, heterotrophic bacteria was found in the order of 10^4 cfu/mL. The resistance against three types of tetracycline (TC) was not so high although they are consumed best in livestock industries. The resistance rate was less than 10% for oxytetracycline (TM) and less than 2% for TC, chlorotetracycline (CTC), and enrofloxacin (BT) which is one of quinolones. Higher resistance was turned out for ampicillin (AMP), penicillin-G (PG) and linsmycin (LM).

In many samples of riverwater, the resistance against sulfadimethoxine (SDM), PG, AMP and LM in downstream was increased after the introduction of discharged effluents. The discharged effluents from wastewater treatment are influencing the extent of antibiotic resistance of river water. The resistance rate was gradually increasing through the river from upstream to downstream.

Experiments regarding the influence of antibiotics on the performance of

biological wastewater treatment process showed that the extent of ammonia oxidation was lowered as antibiotic concentration increased. The oxidation of nitrite was not severely affected. The poor extent of ammonia oxidation was observed with penicillin, compared to amoxicillin and sulfonamide. The antibiotic compounds used in the tests were not easily biodegradable in biological treatment reactor, and thus final discharge quality, especially ammonia and COD, from treatment facility can not be satisfied if the content of antibiotics exceeds beyond certain limit.

V. Applications

- This study provided a solid foundation on that the abuse of antibiotics in livestock industries could contaminate natural water quality and ecosystem.
- The kinds of antibiotics and data of ARB rates and distribution can be used in making policies on livestock industry, antibiotics abuse and regulation.
- A high content of antibiotic compounds exceeding a certain limit could cause poor removal of ammonium nitrogen and soluble COD in biological wastewater treatment facilities.
- Any proper technological countermeasure is urgently required in order to prevent residual antibiotics and ARBs from slipping away to natural water system. For the purpose of complete degradation of residual antibiotics, a proper advanced oxidation process (AOP) should be selected and applied after biological treatment step and before final discharge. In order to prevent ARBs slipping out to river, the disinfection process and discharge regulation should be reinforced. It will be economically beneficial if single additional AOP unit can take charge effectively on complete degradation of antibiotic compounds and strengthening the disinfection capability.

CONTENTS

SUMMARY	iv
CONTENTS	vi
Chapter 1. Background and Objectives	1
1. Motivation of study	3
2. Objectives	5
Chapter 2. The Status Quo	7
1. Domestic	9
2. International	20
Chapter 3. Scope, Methods and Strategy	23
1. Goal	25
2. Scope	25
3. Sampling sites	26
4. Antibiotics	31
5. Biological treatment experiments	33
Chapter 4. Results and Discussion	39
1. Water quality	41
2. Antibiotic resistance rate in river water	45
3. Resistance distribution	48
4. Livestock farm facility	60
5. Influence of antibiotics on biological wastewater treatment	62
Chapter 5. Conclusions	79
1. Conclusions	81
2. Suggestions	84
Chapter 6. References	87

목 차

요약문	i
SUMMARY	iv
CONTENTS	vi
제 1 장 연구의 필요성 및 목적	1
1. 연구의 필요성	3
2. 연구의 목적	5
제 2 장 국내외 현황	7
1. 국내 현황	9
2. 국외 현황	20
제 3 장 연구의 범위 및 방법	23
1. 연구의 목표	25
2. 연구의 범위	25
3. 조사지점 및 시료채취	26
4. 항생제	31
5. 항생제가 생물학적 폐수처리에 미치는 영향	33
제 4 장 결과 및 고찰	39
1. 수질특성	41
2. 하천 지정별 세균의 항생제 내성 분포	45
3. 항생제별 항생제 내성분포 분석	48
4. 축산농가 처리시설 방류수	60
5. 항생제가 생물학적 폐수처리에 미치는 영향	62
제 5 장 결론	79
1. 결 론	81
2. 기대효과, 활용방안 및 의견	84
제 6 장 참고문헌	87