



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사 학위논문

구제역 가축 매몰지 침출수에서
유래한 토양 및 지하수 중 항생제의
위해도 우선순위

2019년 2월

서울대학교 대학원

환경계획학과

문 산 유

구제역 가축 매몰지 침출수에서
유래한 토양 및 지하수 중
항생제의 위해도 우선순위

지도교수 이 동 수

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함
2018년 10월

서울대학교 대학원
환경계획학과
문 산 유

문산유의 석사 학위논문을 인준함
2018년 12월

위 원 장 오 능 환 (인)

부위원장 정 수 종 (인)

위 원 이 동 수 (인)

국문초록

국내에서는 가축전염병으로 인하여 2010년에서 2017년까지 6,068여 개에 이르는 가축 매몰지가 조성되었다. 가축 매몰지에서 발생한 침출수 유출로 인하여 토양, 지하수 및 하천의 2차 오염이 우려되고 있는 가운데 침출수에서 항생제가 검출되었다. 주변 환경으로 유입된 항생제는 독성 작용 및 내성 미생물 생성 등 인체와 생태계에 악영향을 줄 수 있다. 이러한 항생제가 매몰지 주변 토양 및 지하수에 미치는 영향이 적절하게 평가되기 위해서는 모니터링을 포함하여 위해성 평가가 필요한 상황이다. 하지만 국내 가축에 사용되는 항생제는 131여 종으로 다양하며 모든 항생제에 대해 모니터링이나 위해성 평가를 실시하는 것은 매우 큰 비용과 시간적 부담이 수반된다. 그러므로 국가적 차원의 매몰지 관리에 있어 조사 및 평가 대상이 될 항생제의 우선순위를 정하는 것은 필수적이다.

본 연구에서는 가축 매몰지 주변의 토양과 지하수의 모니터링 대상이 될 항생제를 결정하는 우선순위 체계를 구축하고, 그 결과를 평가하여 최종적인 우선순위 목록을 도출하였다.

연구의 범위는 구제역 매몰지가 조성되는 주변 지역의 토양 및 지하수이다. 소와 돼지에 사용되는 항생제 68종을 대상으로 하며, 매몰지가 가장 많이 조성된 2010년부터 2011년까지의 자료를 이용하였다. 연구의 주요과정 및 결과는 다음과 같다.

첫째, 우선순위 기법은 위해성 평가를 기반으로 하여 크게 지하수 음용으로 인한 인체 위해성과 토양 생태 위해성으로 나누었다. 각 위해성은 노출과 독성의 곱으로 평가된다. 연구의 목적과 범위에 맞게 7가지의 지표를 선정하였다. 노출에서는 지속성(잔류성, 생물농축)과 노출수준(배출량, 이동성(유기 탄소 분배계수, K_{oc}))으로 나누어 이 둘의 관계를 곱의 관계로 설정하였다. 독성으로는 급성독성, 아/만성독성, 발암성을 반영하였으며 이들은 합의 관계로 설정하여 우선순위 체계를 구성하였

다. 선정된 지표의 자료는 우선적으로 실험을 통한 값을 수집하고 자료가 부족한 경우 추정을 통하여 선정된 값을 사용하였다. 자료의 가용률은 인체 급성독성이 100%로 가장 높았으며, 생태독성이 가장 낮아 50% 이상의 결측치를 보였다. 결측치가 있는 지표에는 기본입력값을 최댓값, 85%값, 75%값, 65%값으로 설정하고 민감도 분석을 실시하여 최적의 값을 선정하였다. 그 결과 75%값이 최댓값, 85%값, 65%값 간의 순위 상관성이 높고 가장 민감도가 낮은 것을 확인하였다.

둘째, 구성된 우선순위 체계에 대해 순위 상관성 및 민감도 분석을 실시하였다. 초기의 체계는 인체와 생태위해성 간의 균형, 노출과 독성 간의 점수 비중이 균형을 이루지 못하는 문제점이 있었다. 이를 개선하기 위하여 노출의 세부 체계를 다양하게 수정한 결과, 배출량을 다른 노출 세부지표들과 곱의 관계로 설정하고, 노출과 독성이 합의 관계에 있을 때 인체와 생태 위해성이 최종 점수에 균형이 있게 반영되었고, 노출과 독성 역시 어느 정도의 균형을 유지하였다. 또한 이렇게 했을 때 배출량의 지표가 양의 상관성을 보이고, 기본입력값에 대한 민감도도 다른 방식의 체계에 비해 낮아 순위변동에 영향이 작은 것을 알 수 있었다.

셋째, 정립한 우선순위 선정 기법을 적용하여 68종의 항생제에 대해 최종점수를 도출하고 우선순위 목록을 작성하였다. 그 결과 2010년 소 매몰지는 Monensin, Florfenicol, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높게 나왔고, 2011년 소 매몰지의 경우 Monensin, Chlortetracycline, Enrofloxacin 순이었다. 소에서 2010년 2011년 모두 Monensin이 1위를 하여 가장 위해도가 큰 항생제로 추정되었다. 돼지 매몰지는 2010년과 2011년 모두 Tiamulin, Bacitracin, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높게 나왔다, 그 중 Tiamulin이 위해도가 가장 큰 항생제로 추정되었다. 상위권의 항생제들은 2010년과 2011년도에 조성된 매몰지 주변의 토양 및 지하수에 한정하여 최우선으로 모니터링되어야 할 대상이다.

정립된 우선순위 선정 기법은 Screening tool로써 차후에 매몰지가 조성된 연도와 축종에 따라 우선순위를 선정하는 방법론으로 이용될 수

있다. 그리고 항생제 제어 및 방어에 대한 대책 마련과 정량적인 평가가 어려운 위해성 평가 및 모니터링 연구에 기초 자료로 제공될 수 있을 것이다.

주요어 : 가축 매몰지, 가축용 항생제, 우선순위기법, 노출, 독성,
환경 관리

학 번 : 2015 - 24822

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	5
II. 선행연구	12
1. 가축 매몰지 침출수에서의 항생제	12
2. 화학물질 및 항생제 우선순위	15
3. 항생제의 물리 화학적 특성에 따른 환경 중 동태	18
III. 결과 및 고찰	21
1. 우선순위 기법 구성 및 지표 선정	21
2. 우선순위 지표값 수집 및 결정	27
3. 우선순위 배점 방식 및 기본입력값 선정	41
4. 우선순위 기법 평가	46
5. 우선순위 기법 정립 및 결정	64
IV. 요약과 결론	73
■ 참고문헌	76
■ 부록	88

표 목 차

<표 1-1> 2010년, 2011년 구제역 매몰지 및 매몰 현황	7
<표 1-2> 2010년, 2011년 소와 돼지에게 사용된 항생제	8
<표 2-1> 매몰지 침출수 및 주변 토양 항생제 검출농도와 환경 중 항생제 검출농도 비교	14
<표 2-2> 항생제 위해도 우선순위 평가 대상 및 지표 비교 ...	17
<표 2-3> 실험을 통한 가축용 항생제 분배 계수	19
<표 3-1> 인체 위해성 우선순위에 사용되는 지표 Database ·	29
<표 3-2> 생태 위해성 우선순위에 사용되는 지표 Database	30
<표 3-3> 수체와 토양 내 반감기 실험값 순위상관계수	31
<표 3-4> 동물안전사용기준을 고려한 항생제별 연간 사용량 계 산parameter	33
<표 3-5> 항생제 동물안전사용기준 사용량과 가축 항생제 판매 량 비교	34
<표 3-6> 매몰지 당 항생제별 총량 계산 parameter	34
<표 3-7> 항생제 Koc 실험값과 추정값의 상관계수 비교	38
<표 3-8> 항생제 Koc 실험값과 추정값의 순위상관계수 비교	38
<표 3-9> 우선순위 배점방식 간의 순위상관계수 비교	42
<표 3-10> 결측치가 존재하는 우선순위 지표값의 범위	44
<표 3-11> 결측치가 존재하는 지표의 최댓값, 85%값, 75% 값, 65%값, 평균값 순위상관계수 비교 및 결측치 기본 입력값 결 정	45
<표 3-12> 항생제 위해도 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지 표항목 점수와의 순위상관계수 비교	46

<표 3-13> 항생제 위해도 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목 점수와의 순위상관계수 비교	47
<표 3-14> 배출량과 이동성을 합의 관계로 조정 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	48
<표 3-15> 배출량과 이동성을 합의 관계로 조정 후 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	49
<표 3-16> 이동성을 제외한 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	50
<표 3-17> 이동성을 제외한 후 항생제 위해도 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	50
<표 3-18> 이동성과 배출량을 곱의 관계로 조정한 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교 ·	51
<표 3-19> 이동성과 배출량을 곱의 관계로 조정한 후 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	52
<표 3-20> 구성된 우선순위 체계와 조정된 우선순위 체계의 최종 점수간의 순위상관계수(rs) 비교	52
<표 3-21> Modify(2)와 Modify(3) 지표항목의 기본입력값에 따른 최종 점수 순위상관계수(rs) 비교	54
<표 3-22> 노출과 독성이 곱의 관계에서 Modify(2)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교	55
<표 3-23> 노출과 독성이 곱의 관계에서 Modify(3)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교	56
<표 3-24> 노출과 독성이 합의 관계에서 Modify(2)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교	57
<표 3-25> 노출과 독성이 합의 관계에서 Modify(3)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교	58

<표 3-26> Modify(2)와 Modify(3) 체계에서 생태위해성 지표 항목의 기본입력값에 따른 최종 점수 순위상관계수(rs) 비교	·60
<표 3-27> Modify(2)와 Modify(3) 체계에서 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목 점수와의 순위상관계수(rs) 비교	·62
<표 3-28> Modify(2)와 Modify(3) 체계에서 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교	·62
<표 3-29> 2010년, 2011년 소와 돼지 매몰지 항생제 위해도 우선순위 비교	·66
<표 3-30> 소 매몰지에서 최종 우선순위 상위권 항생제의 순위와 각 평가지표 항생제의 순위비교	·69
<표 3-31> 돼지 매몰지에서 최종 우선순위 상위권 항생제의 순위와 각 평가지표 항생제의 순위비교	·70

그림 목 차

<그림 1-1> 가축 매몰지를 통한 항생제 노출 경로	·6
<그림 1-2> 연구의 흐름도	·11
<그림 2-1> 환경 중 가축용 항생제 반감기 비교	·20
<그림 3-1> 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수 중 항생제 위해도 우선순위 Scheme	·22
<그림 3-2> Modify(2)와 Modify(3) 체계에서 기본입력값(최댓값-최솟값)에 따른 생태독성과 생태노출 순위상관계수 비교	·61
<그림 3-3> 최종적으로 정립된 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수 중 항생제 위해도 우선순위 기법	·65

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

구제역이나 조류인플루엔자 등 급성 가축전염병 발생으로 인하여 대규모 가축 사체 매몰이 전국적으로 이루어졌다. 가축 매몰지에서의 침출수 유출로 인해 토양, 지하수 및 하천의 2차 오염이 불거지며 주요한 환경 문제로 주목받고 있다(황상일 외, 2017). 국내의 가축 매몰지는 2010년부터 2017년까지 6,068개에 이르렀다(김지연 외, 2017). 이에 따라 가축 사체 매몰 기술 및 안전성, 환경적 영향, 보건 위험성 추정, 침출수 발생 특성 및 오염물질에 대한 모니터링 연구가 이루어지고 있다(김계훈 외, 2010., 김건하 외, 2012., 전상미 외, 2013; 최광준 외, 2011., 김용성, 2012., 황상일 외, 2017). Kim et al.(2012)은 항생제의 휴약 기간 및 항생제 사용 기준 등 안전성이 확보되지 않은 가축들이 매몰됨에 따라 침출수에 항생제가 포함될 가능성이 높은 것으로 보고하였다. 또한 매몰지로 인해 한 지점에 침출수가 다량으로 발생하여 항생제의 큰 점오염원으로 될 가능성이 높다고 판단하였다(박종은 외, 2013). 가축매몰 긴급행동지침(SOP)에 따르면 가축 사체는 100m²의 넓이로 깊이 5m를 넘지 않도록 하여 땅에 매몰하게 되어있다(환경부, 2018). 매몰이 지중에 이루어지기 때문에 다른 환경 매체보다는 직접 토양 매체에 영향을 주며, 이는 이차적으로 지하수 오염 발생시킬 가능성과 생태계 먹이사슬에 항생제 유입을 일으킨다(조호성 외, 2012). 토양과 지하수의 항생제 오염 가능성이 대두되고 있는 가운데 매몰지가 조성되는 곳의 대부분은 농어촌 지역이다. 이러한 농어촌 지역에서 면 단위 인구의 55%, 읍 단위 인구의 14%는 필요한 수자원을 전적으로 지하수 및 계곡수에 의존하고 있는 실정이다. 살처분 가축 매몰지 인근에 거주하며 지하수를 생활용수 또는 음용수로 의존하는 농어촌 주민의 경우 매몰지 침출수에 의한 지하수의 오염은 삶의 근간을 좌우하는 문제가 될 수 있다(최광준

외, 2011). 주변 환경으로 유입된 항생제가 장기간에 걸쳐 노출된다면 인체의 경우 면역체계의 이상 가능성이 있다. 또한 흡수된 항생제의 독성으로 인해 소아에게 알레르기를 유발할 수 있다고 알려져 있다 (Kumar et al., 2005). 생태계의 경우 미량의 항생제는 생물 종을 죽거나 번식하지 못하게 해 결국 생태계를 교란시킬 뿐만 아니라 미생물이 항생제에 대한 내성을 나타내어 치료제로써 역할을 무력하게 만들 수 있다(정석찬 외, 2008).

국내에서는 침출수 중 항생제 동태 특성을 확인하기 위하여 Lab scale의 연구가 이루어졌으며(박종은 외, 2013., 오길중 외, 2011~2014), 매몰지 및 주변 농경지 토양 대한 항생제 모니터링 연구가 수행되었다(임정은 외, 2014). 국외의 경우 침출수 내 오염물질을 파악하고 침출 특성을 보기 위하여 Field scale의 연구가 진행되었다(Yuan et al., 2013). 이러한 사체 매몰 실험을 통해 침출수로부터 항생제가 모두 검출되었으나 대체로 농도가 낮은 수준이며 종류 또한 적었다. 간접적인 영향으로 매몰지 침출수 내 항생제 내성 미생물 연구가 진행되었다. 매몰지 침출수 내 항생제와 고농도의 유기물 함량은 침출수 내 존재하는 미생물뿐만 아니라 주변 토양 미생물의 항생제 내성을 향상 및 전이시키고 항생제 저항성의 공급원이 될 수 있다고 하였다(Salcedo & Kim., 2017). 오길중 외 (2011~2014)는 이러한 이유로 항생제가 주 오염 지표라 할 수 없지만, 부수적인 오염 지표가 될 수 있다고 언급하였다. 또한 이러한 실험을 통한 항생제 검출은 수십 종에 달하는 항생제 항목 전체를 검사한 것이 아니며 실제 매몰 상황을 반영하지 않았다는 점을 고려해야 한다. 2018년 현재 우리나라에서 사용된 가축용 항생제는 총 131종으로(농림축산검역본부), 이들이 매몰지를 통해 주변 토양과 지하수에 미치는 영향에 대해서 제대로 평가된 적이 없다. 따라서 이들에 대한 모니터링이 우선적으로 필요한 상황이다. 하지만 현재 6,000여 개 이상의 매몰지에서 131종의 항생제 모두에 대한 모니터링을 실시하는 것은 매우 큰 비용과 시간적 부담을 수반하며 실제

로 그럴 필요도 없을 것이다. 따라서 국가적 차원의 매몰지 관리라는 측면에서 모니터링을 할 항생제를 잠재적 위해도의 크기에 따라 선별하는 것이 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

위해도가 큰 화학물질을 선별하는 연구로는 우선순위를 매기는 Chemical Ranking and Scoring(CRS) 기법이 있다. 화학물질을 지속적으로 모니터링하는 것은 큰 비용과 시간을 필요하므로 한정된 자원을 고려하여 우선순위가 높은 물질을 먼저 관리하는 것이 효과적이다(Gray et al., 1994). 여러 국가에서는 위해도에 따른 화학물질의 우선순위를 확립하기 위한 연구를 실행하였다. 첫 단계에서 우선순위가 높은 물질들을 크게 걸러내 고려 대상이 되어야 할 물질의 수를 일차적으로 줄인 다음 이들을 대상으로 필요한 세부적인 평가 작업을 진행하는 단계적 접근 방식을 사용하고 있다(안윤주 외, 2008). 이러한 우선순위 기법의 틀을 바탕으로 환경 중 항생제의 위해도 우선순위를 선정한 기존의 연구들(김명현 외, 2006., 서영호 외, 2007., Boxall et al., 2005., Capleton et al., 2006., Kim et al., 2008., Wang et al., 2014., Riva et al., 2015., Aubakirova et al., 2017)은 인체 위해성과 생태 위해성에 중점을 두었으며, 이때 가축 및 사람의 분뇨를 통한 배출 경로만을 가정하였다. 기존의 연구에서는 광범위한 환경에 대한 평가가 대부분이었으나 토양 및 지하수와 같은 특정 매체를 대상으로 한 연구는 없었다. 특히 가축 매몰지라는 국소적인 범위에서 대량 오염을 일으킬 수 있는 점오염원에 대한 우선순위 평가는 본 연구가 첫 시도라 할 수 있다. 본 연구에서는 매몰지의 안전한 관리를 위한 매몰지 주변의 토양과 지하수의 모니터링 대상이 될 항생제의 우선순위를 결정하는 체계적 기법을 개발하고자 한다. 개발된 우선순위 기법은 차후에 매몰된 가축의 축종에 따라 우선순위를 선정하는 방법론으로 이용될 수 있다. 그리고 항생제 제어 및 방어에 대한 대책 마련과 정량적인 평가가 어려운 매몰지로부터의 항생제 위해성 평가 및 모니터링 연구에 기초 자료로 제공할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 지하수 음용으로 인한 인체 위해성 및 토양 생태계 위해성으로 나누어 체계적 기법을 구축 및 평가하고 최종적으로 우선순위 체계를 정립한다. 정립된 체계를 가축 매몰지 침출수로부터 유래된 항생제 위해도 우선순위를 결정하는 방법론으로 제시하고자 한다. 구체적으로,

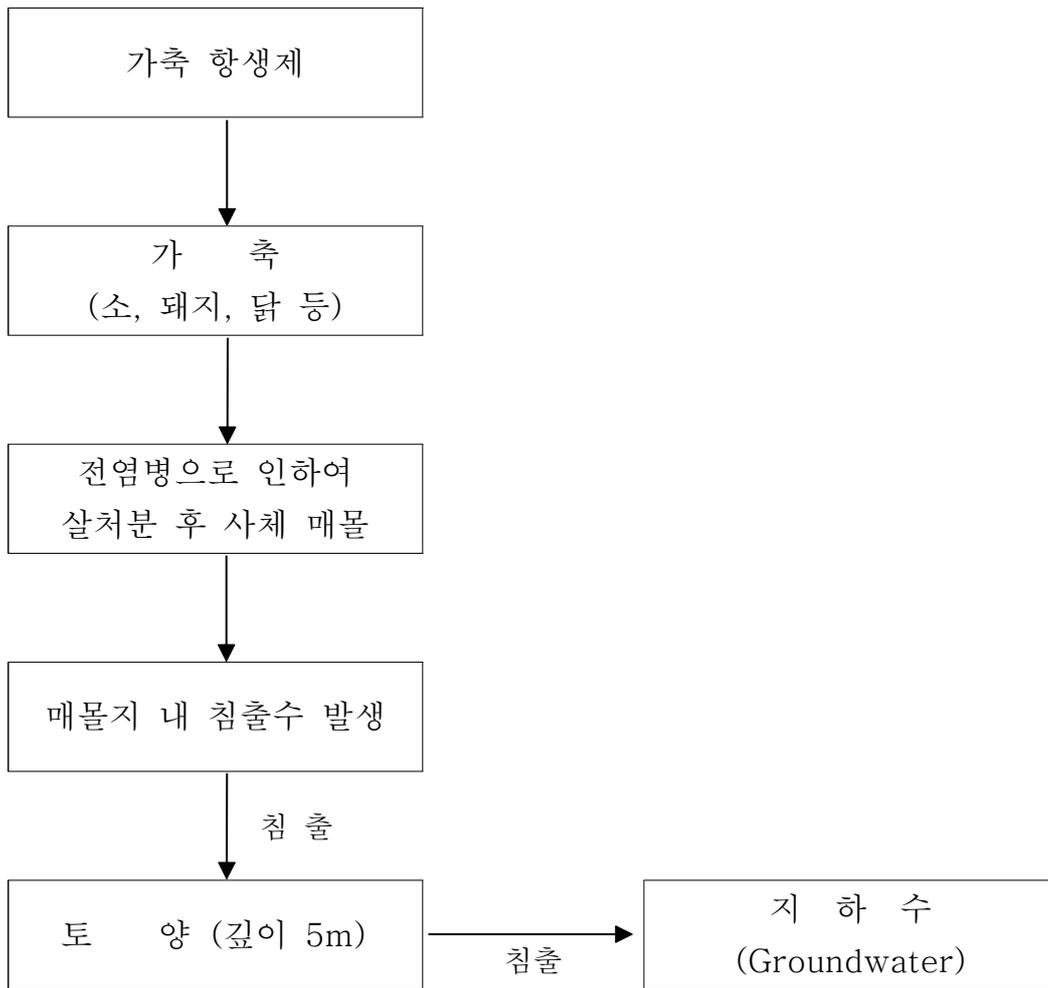
첫 번째, 가축 매몰지 침출수로 인한 항생제 위해도 우선순위 체계를 구성하고 연구의 목적에 맞는 지표를 선정한다. 선정된 지표들의 자료를 구축하고 결정하도록 한다. 두 번째, 구성된 우선순위 기법의 평가를 위해 지표 간의 상관성 및 민감도 분석을 한다. 세 번째, 정립된 우선순위 체계를 이용하여 먼저 관리가 필요한 항생제 목록을 도출하고 평가한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구 범위

본 연구의 공간적인 범위는 <그림 1-1>과 같은 경로에 따라 가축의 매몰지가 조성되는 주변 지역의 토양 및 지하수다. 대상지는 전국의 소, 돼지와 같은 우제류 동물이 걸리는 전염병인 구제역으로 인하여 발생한 매몰지이며, 그 피해가 가장 크고 매몰지 수가 많으며, 매몰 정보가 충실하게 기록된 2010년 11월부터 2011년 4월까지이다. 당시 매몰지의 수는 총 4,457개소이며, 매몰된 가축은 소 155,000 두수, 돼지 3,336,000 두수로 총 3,492,000두이다(<표 1-1>).

본 연구 대상 물질은 명시되어 있는 가축에게 사용된 17 계열 항생제 131종 중 해당 연도에 소와 돼지에게 사용된 16 계열 항생제 68종이다 (<표 1-2>, <부록 표 7-1>, <부록 표 7-2>).



<그림 1-1> 가축 매몰지를 통한 항생제 노출 경로

<표 1-1> 2010년, 2011년 구제역 매몰지 및 매몰 현황

	시 군	합계		소		돼지	
		매몰지	매몰두수	매몰지	매몰두수	매몰지	매몰두수
계	82	4,457	3,492,000	2,206	154,000	2,251	3,338,000
경기	19	2,145	1,762,000	956	71,000	1,189	1,691,000
경북	18	1,082	424,000	804	53,000	278	371,000
강원	14	465	419,000	287	20,000	178	399,000
충남	10	405	460,000	32	2,000	373	458,000
충북	8	225	331,000	90	6,000	135	325,000
인천	3	57	22,000	37	2,000	20	20,000
경남	3	65	56,000	-	-	65	56,000
전북	2	2	13,000	-	-	2	13,000
부산	1	2	1,000	-	-	2	1,000
대전	1	1	2,000	-	-	1	2,000
대구	2	2	1,000	-	-	2	1,000
울산	1	6	1,000	-	-	6	1,000

<농어촌공사, 2011>

<표 1-2> 2010년 ~ 2011년 소와 돼지에 사용된 항생제

	항생제 계열	항생제 성분		항생제 계열	항생제 성분
1	Aminoglycosides	Amikacin	35	Quinolones	Marbofloxacin
2	Penicillins	Amoxicillin	36	others	Methenamine
3	Penicillins	Ampicillin	37	Ionophores	Monensin
4	Aminoglycosides	Apramycin	38	Aminoglycosides	Neomycin
5	Orthosomycins	Avilamycin	39	others	Novobiocin
6	Polypeptides	Bacitracin	40	Quinolones	Orbifloxacin
7	Glycolipid	Bambermycin	41	Macrolides	Oleandomycine
8	others	Cefacetil	42	Tetracyclines	Oxytetracycline
9	Cephems	Cefazolin	43	Penicillins	Penicillin
10	Cephems	Cefquinome	44	others	Phthalylsulfathiazole
11	Cephems	Ceftiofur	45	others	Rifampicin
12	others	Cefuroxime	46	Ionophores	Salinomycin
13	Cephems	Cephalexin	47	Aminoglycosides	Spectinomycin
14	others	Cephalonium	48	Macrolides	Spiramycin
15	others	Cephapirin	49	Aminoglycosides	Streptomycin
16	Phenicols	Chloramphenicol	50	Sulfonamides	Sulfachlorpyridazine
17	Tetracyclines	Chlortetracycline	51	Sulfonamides	Sulfadiazine
18	Penicillins	Cloxacillin	52	Sulfonamides	Sulfadimethoxine
19	Polypeptides	Colistin	53	Sulfonamides	Sulfadoxine
20	Quinolones	Danofloxacin	54	Sulfonamides	Sulfaguandine
21	Penicillins	Dicloxacillin	55	Sulfonamides	Sulfamerazine
22	Aminoglycosides	Dihydrostreptomycin	56	Sulfonamides	Sulfamethazine
23	Tetracyclines	Doxycycline	57	Sulfonamides	Sulfamethoxazole
24	Polypeptides	Enramycin	58	Sulfonamides	Sulfamethoxy-pyridazine
25	Quinolones	Enrofloxacin	59	Sulfonamides	Sulfamonomethoxine
26	Macrolides	Erythromycin	60	Sulfonamides	Sulfanilamide
27	Ionophores	Fenbendazol	61	Sulfonamides	Sulfathiazole
28	Phenicols	Florfenicol	62	Phenicols	Thiamphenicol
29	Quinolones	Flumequine	63	Pleuromutilins	Tiamulin
30	Aminoglycosides	Gentamycin	64	Macrolides	Tilmicosin
31	Aminoglycosides	Kanamycin	65	Sulfonamides	Trimethoprim
32	Macrolides	Kitasamycin	66	Macrolides	Tulathromycin
33	Ionophores	Lasalocid	67	Macrolides	Tylosin
34	Lincosamides	Lincomycin	68	Streptogramins	Virginiamycin

<농림축산검역본부>

2) 연구 방법

화학물질 우선순위 선정을 위한 기법을 구성할 때에는 그 목적에 대해 명확히 정의하는 것이 매우 중요하다(Swanson et al., 1997). 또한 화학물질 우선순위 방법의 개발에는 세 가지 주요 연구가 필요하다(Swanson et al., 1997). 첫 번째로 이용 가능한 실험 자료를 수집하고 자료가 없으면 추정 방법을 선택한다. 두 번째로 개별적으로 또는 조합하여 화학 독성 또는 노출 가능성에 점수를 부여하는데 공식화 기준을 세운다. 세 번째로 각 화학물질에 대한 점수를 결합하여 점수를 수치로 계승하는 체계를 개발한다.

본 연구의 흐름은 크게 다섯 단계로 구분되며, 단계별 자세한 연구 방법은 다음과 같다.

첫 번째, 연구의 목적에 맞게 크게 인체위해성과 생태위해성으로 나눠 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수 중 항생제에 대한 우선순위 체계를 구성한다. 각 위해성에 대한 노출 및 독성 지표들을 선정한다. 지표는 가축 매몰지 주변의 지하수 및 토양 환경에 맞게 항생제의 물리 화학적 성질, 인체 및 생태 독성, 환경 중 거동 특성 및 항생제의 판매량 자료 등 주요 평가 인자들을 고려한다.

두 번째, 선정된 지표에 맞는 실험 자료를 수집하고 없는 경우 추정을 통해 값을 산출한다. 지표의 값이 여러 개 존재하는 경우 값들에 대해 상관분석을 실시하고 최적의 항생제의 대푯값을 결정한다.

세 번째, 선정된 지표의 값들을 점수로 전환하기 위하여 표준화가 필요하다. 우선순위 배점방식 간의 비교 평가를 통해 본 연구에 맞는 최적의 배점방식을 채택한다. 또한 지표에서 요구되는 자료들 가운데 흔히 결측치(missing data)가 존재하는데, 이러한 경우 주어지는 기본입력값(default value)의 설정에 따라 최종결과가 달라질 수 있다(최승필 외,

2005). 세부 지표값의 결측치를 설정하기 위하여 기본입력값의 범위를 다양하게 부여하고 그 차이에 대한 민감도 분석을 한다. 이를 통계적으로 평가하기 위해 순위상관분석을 실시하였다. 순위상관분석은 자료가 순위로서는 충분히 사용될 수 있는 정보인 경우에 사용된다. 도출한 최종 우선순위와 각 지표 간의 상관성을 비교하기 위하여 비모수적 상관계수인 스피어만 상관계수(Spearman correlation coefficient) 방법을 사용하였다(Eq. 1.). 이를 통해 가장 적절한 기본입력값 선정하고 적용한다.

$$r_s = 1 - 6\sum d_i^2/n(n^2-1) \quad (1)$$

r_s : 순위상관계수

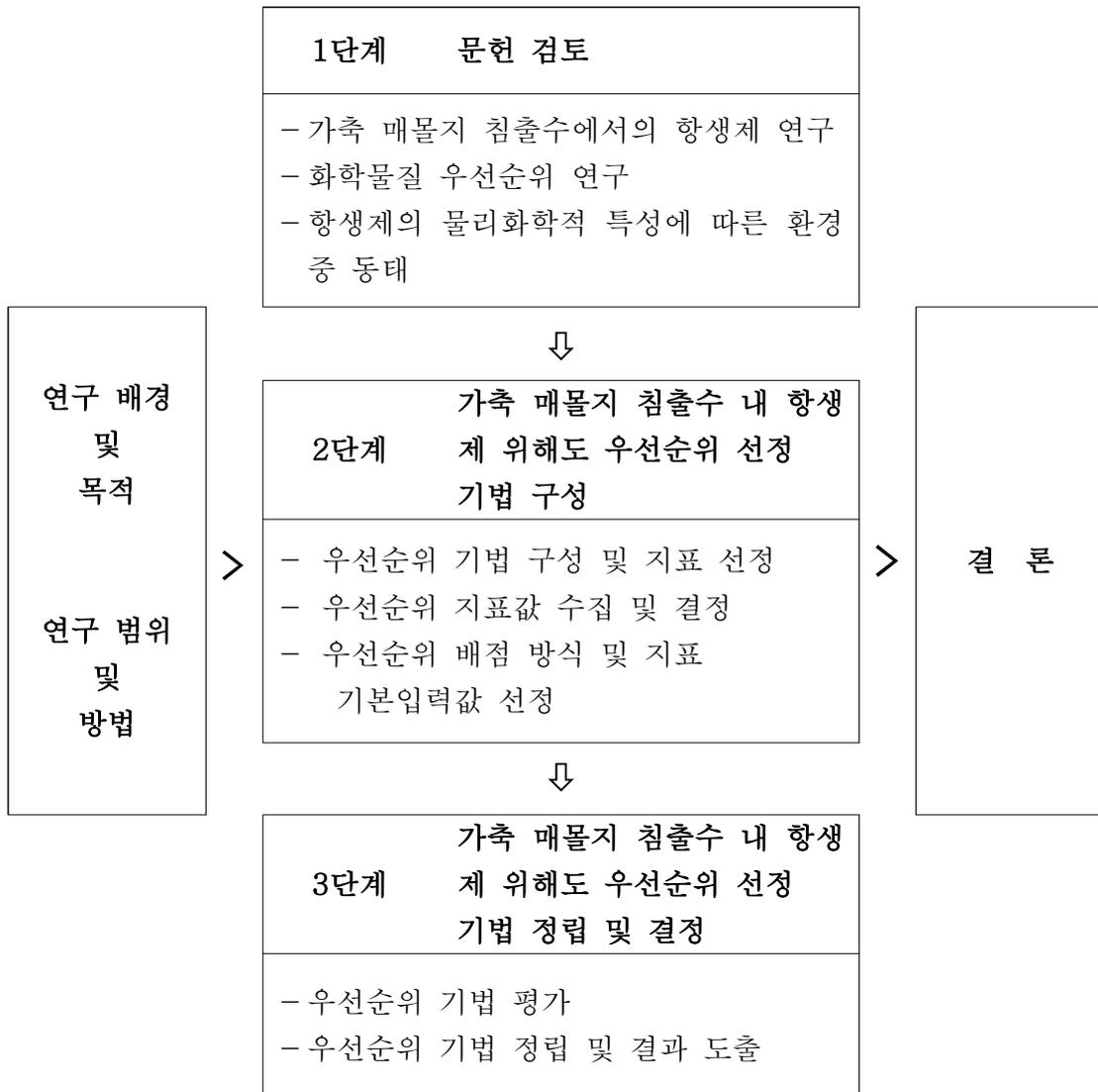
d_i : $x_i - y_i$ (x_i, y_i : 두 변수의 각각의 순위)

n : 관찰 쌍의 수

네 번째, 우선순위 기법을 평가하기 위하여 최종점수와 지표 점수 간의 상관성 분석 및 기본입력값에 따른 민감도 분석을 실시한다. 우선순위 선정 기법을 개발하는 목적 중 하나는 우선순위 목록 결정에 대해 하나의 지표가 결과를 과도하게 좌우하지 않도록 하는 것이다(박화성 외, 2004). 어떤 특정 지표가 최종 점수에 영향을 미치는지 알아보기 위해서 각 지표의 항목점수 및 최종 점수에 대한 상관성을 분석한다. 분석 결과 도출되는 상관계수 값이 극한으로 높거나 낮지 않게 하며, 부호를 무시하고 0.4~ 0.6으로 나오면 각 지표가 최종 점수에 대해 적절한 수준으로 반영되었다는 것으로 나타내는 것이다(Swanson et al., 1997). 결측치(missing data)에 대한 기본입력값을 다양하게 적용하여 최종순위 결과의 변화 차이를 분석하고 그 특징을 파악한다.

다섯 번째, 우선순위 기법의 민감도 분석을 통한 우선순위 체계 평가 결과들을 종합하여 문제점 및 보안점을 찾아 앞서 구성한 항생제 우선순

위 시스템을 재구성하여 정립한다. 정립된 우선순위 기법을 활용하여 전국적으로 2010년, 2011년 구제역으로 인한 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수의 항생제 위해도 우선순위 결과를 도출한다.



<그림 1-2> 연구의 흐름도

II. 선행연구

1. 가축 매몰지 침출수에서의 항생제

2010년에서 2011년까지 구제역 발생으로 인하여 다수의 매몰지가 조성되었다. 그 이후 매몰지의 침출수에 의한 오염이 우려되면서 침출수 내 항생제 모니터링과 검출 특성 파악을 위한 연구가 진행되었다. 국내 연구에서는 넓이 900cm², 깊이 45cm 크기의 실험실 규모(lab scale) 분해조를 제작하여 사체 분해 정도를 실시간으로 모니터링하고 침출수 내 항생제 발생 특성을 확인하였다(박종은 외, 2014). 11종의 항생제가 검출되었으며, sulfadimidine은 최대 17.5 μ g/L까지 검출되어 외국의 지하수 검출 수준에 비해 높다고 판단하였다. 이 연구의 경우 실험실 규모의 분해조에서 발생한 침출수를 대상으로 하였기 때문에 사용되는 돼지와 소에 따라 항생제 검출 수준이 달라질 수 있다고 하였다. 일부 동일한 항생제가 수 처리장 및 수계에서도 검출되는 것으로 보아 가축 매몰지 침출수를 통해 배출된 항생제도 수계에 영향을 줄 수 있다고 판단하였다. 오길중 외(2011)는 4년 동안 가축 매몰지 사체 분해 특성 및 2차 환경오염에 대한 연구를 진행하였다. 넓이 5m², 높이 2.2m 크기의 파일럿 스케일(pilot scale)의 분해조를 제작하여 사전 모의실험을 통해 27종의 가축 항생제를 검사하였다. 이것 중 5종의 항생제가 낮은 빈도로 검출되었다. 검출된 항생제는 이전에 가축에게 사용된 것으로 체내에 잔류하였다가 사체가 부식되면서 침출수와 함께 용출되는 것으로 판단하였다. 검출 농도가 낮고 가축에 따라 사용되는 종류가 달라서 항생제를 가축 매몰지의 지표로 활용할 수는 없으나, 매몰지 관리에 대한 추가적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단하였다(오길중 외, 2011~2014). 국내 연구 중 실제 매몰지 2개소를 선정하여 매몰지 및 인근 농경지로부터 항생제 모니터링 연구가 시도되었다(임정은 외, 2014). 돼지 1,235두, 돼지 1,587두 각각 매몰된 지점 부근과 농경지를 모니터링

한 결과 tetracycline과 sulfamethazin이 높은 수준으로 검출되었으며 이 중 sulfamethazin이 유의한 수준의 차이를 보였다. 연구 결과를 통해 단정할 수는 없으나 매몰된 가축 사체에 함유된 항생제가 매몰지 및 인근 토양에 축적될 가능성이 있는 것으로 판단되며 꾸준한 모니터링의 필요성을 요구하였다.

국외의 경우, 넓이 120m², 높이 5m 크기의 field scale 매몰지를 조성하여 침출수의 발생 특성을 파악하였다(Yuan et al., 2013). 가축의 사체를 매몰한 후 강수로 인해 생성되는 침출수의 화학적 조성을 더욱 잘 이해하기 위해 침출수 수집 시스템을 갖추어 2 년간 모니터링을 하였다. 이 연구에서는 17종의 항생제를 평가하였으며 이 중에서 8종의 항생제가 검출되었다. 특히 monesime이 높은 빈도로 검출되었으며, 환경 중에서 검출 농도와 비교해 보았을 때 결코 낮은 농도가 아니라는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 침출수 내 항생제에 대한 검출 및 주변 토양 모니터링 연구는 매우 부족한 실정이며, 환경 중에 검출된 항생제에 비해 그 검출 빈도 및 농도가 낮은 수준이다(<표 2-1>). 하지만 적은 양의 항생제는 생태계에 지속적인 영향을 줄 수 있다. 또한 침출수 내 항생제의 영향에 의해 토양 미생물의 항생제 내성 전이가 증폭될 수 있으므로(Salcedo and Kim., 2017; Grenni & Barra., 2018) 지속적인 주의가 필요하다.

<표 2-1> 매몰지 침출수 및 주변 토양 항생제 검출농도와 환경 중 항생제 검출농도 비교

항생제 명	침출수국내 ($\mu\text{g/L}$)	침출수국외 ($\mu\text{g/L}$)	매몰지 주변토양 ($\mu\text{g/kg}$)	환경 중 검출 연구 (Korea)		
				토양 ($\mu\text{g/kg}$)	수질 ($\mu\text{g/L}$)	지하수 ($\mu\text{g/L}$)
Tetracycline	-	0.049 - 3.64	134 - 350	17.09 - 35.56	0.500 - 0.580	0.003-0.115(China)
Oxytetracycline	-	1.12 - 2.69	-	65.4 - 75.5	0.05 - 0.32	0.002-0.029 (China)
Sulfathiazole	0.1 - 1.3	-	-	0.1	0.02- 10.57	0.001-0.002(China)
Sulafamerazine	0.2 - 1.4	-	-	-	0.011 (China)	0.001-0.745(Spain)
Sulfamethazine	0.1 - 6.2	0.099 - 0.394	6.48 - 44.94	20.30 - 28.38	0.01 - 9.6	0.025-0.616 (USA)
Sulfachloropyridazine	56 - 312	0.035 - 0.135	-	-	0.06	-
Sulfamethoxazole	-	0.026	-	0.77 - 5.43	0.36 - 0.38	0.001-0.04 (China)
Sulfadimethoxine	0.1	-	-	-	0.01 - 0.08	0.001-0.091(Spain)
Cephalexin	0.8	-	-	-	-	-
Cefadroxil	1.4-2.5	-	-	-	-	-
Penicillin	0.3	-	-	-	-	-
Clarithromycine	0.01 - 0.08	-	-	-	-	-
Triclosan	1.9 - 15.14	-	-	-	-	-
Tylosin	0.48 - 2.28	0.063 - 0.439	-	-	230 - 2190	0.05 (China)
Fenbendazol	0.02 - 0.09	-	-	-	0.007-0.086 (Poland)	-
Enrofloxacin	0.44 - 5.18	-	-	-	10 - 133	-
Monesin	-	0.191 - 11.98	-	0.1 - 6.9	0.3-5.13 (USA)	0.002-2.35 (USA)

Charuaud et al, 2018, Lee et al, 2016., Yuan et al., 2013, 임정은 외, 2014, 박종은 외, 2014

2. 화학물질 및 항생제 우선순위

1) 화학물질 우선순위 결정 기법

화학물질 CRS (Chemical ranking and scoring) 시스템은 독성 및 노출 가능성을 고려하여 우선순위를 정하는 방법으로 의사결정을 쉽게 하도록 분석하는 기법이다. CRS 시스템은 일반적으로 4가지의 기본적인 단계로 구성된다 (Swanson et al., 1997).

첫 번째는 ‘목표의 정의 및 범위 결정 (goal definition and scoping)’ 단계이다. 위해도 관리 목표나 결과 활용 목적에 따라 최종 목표가 달라질 수 있다. 두 번째는 ‘지표 선정 (indicator selection)’ 단계로 자료의 형태 및 양을 확인한다. 독성 및 노출에 관련된 정보는 scoping 단계에서 설정한 내용에 따라 달라지며, 위해도 관리자와 기타 의사 결정자에게 충분한 정보를 줄 수 있도록 자료의 양이나 형태를 적절하게 구성한다. 세 번째는 ‘순위 및 점수 부여 (ranking and scoping)’ 과정으로 정리된 자료를 이용하여 화학물질의 순위나 점수를 매기는 것으로 실제 분석이 수행되는 과정이다. 평가하는 단계의 수나 형태는 시스템의 범위나 목표에 따라 달라진다. 마지막으로, ‘결과 표현 (output presentation)’ 단계는 도출된 결과를 어떻게 효율적이고 유용하게 표현할 것인가 결정하는 단계이다.

국내에서 개발된 우선순위 시스템은 주로 독성과 노출을 동시에 고려하여 인체해성과 생태위해성을 평가하였다. 이 둘의 비중을 동일한 것으로 하고 각각의 점수를 합산하여 최종 점수 순위를 결정한다 (서민아, 2007; 박화성 외, 2005). 유해 화학물질을 대상으로 CRS 시스템을 개발하여 인체 및 환경에 대한 위해 우려 물질 106종을 선정한다. 화학물질 독성과 유통량, 배출량, 인체 및 환경으로의 노출 경로 등을 종합적으로 고려하여 CRS-Korea를 개발하였다 (안윤주 외, 2008). 이는 노출의 비중이 독성의 비중보다 상대적으로 높게 평가되었다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 CRS 시스템-1과 CRS 시스템-2를 제안하여 독성과

노출의 비중 문제를 해결하고자 하였다(서민아, 2007; 최승필, 2004).

2) 항생제의 우선순위 연구

생태계와 인체에 영향을 미칠 수 있다는 우려가 제기되면서 항생제는 새로운 환경오염물질로 인식되기 시작하였다(방정임, 2006). 그에 따라 환경 중 우선적으로 관리가 필요한 항생제의 목록을 작성하기 위한 연구들이 진행되었다(<표 2-2>). 국내의 연구에서 인체용 항생제를 대상으로 성분별 생산량 자료 구축 및 농도를 추정하여 관리가 필요한 항생제가 제시된 적이 있다(김명현 외, 2006). 인체용 항생제의 국내 생산량과 체내 대사율을 고려한 예상유입농도(EIC)를 단일 지표로 반영하여 우선순위를 정하였다. 가축 항생제를 통한 우선순위 연구는 항생제의 판매량과 배설물만을 고려하였다(서영호 외, 2007). 상위의 두 연구는 독성을 고려하지 않았으며, 단순히 항생제의 사용량과 배설을 통한 배출을 중점적으로 두어 우선순위를 선정하였다. Kim et al.(2008)과 Boxall et al.(2005)은 수질 환경에 한하여 가축 항생제 우선순위 연구를 진행하였다. 가축 의약품의 환경 유입 가능성과 생태계 및 인체 건강에 미치는 독성 영향을 모두 고려하여 우선순위를 도출하였다. Aubakirova et al.(2017)과 Riva et al.(2015)는 다른 연구들과 다르게 판매량만 고려하지 않고 예상 배출량을 산정하여 좀 더 현실적인 노출 지표를 사용하였다.

대부분 의약품 및 항생제 우선순위 연구는 인체 및 가축의 분뇨를 통한 배출 경로만을 고려하였다. 모두 지표값의 자료가 부족하다는 한계로 인해 뚜렷한 대상으로 한정하기보다는 자료의 가용률을 높이기 위하여 전체 생물에 대한 자료를 수집하였다. 또한 항생제의 환경 중 이동성을 대표할 수 있는 물리 화학적 특성에 대한 평가가 부족하다고 판단된다(<표 2-2>).

<표 2-2> 항생제 위해도 우선순위 평가 대상 및 지표 비교

	국 가	매체	위해 대상	우선순위 지표 항목	
				노출	독성
김명현 외, 2006	Korea	수체	인체	노출	판매량, 배출비율
				독성	x
서영호 외, 2007	Korea	토양 수체	생태계	노출	판매량, 배출비율
				독성	x
Kim et al., 2008	Korea	수체	인체 생태계	노출	사용패턴, 사용량, 배출비율, BCF
				독성	수생물 독성, 토양생물 독성
Boxall et al., 2005	UK	수체 토양	인체 생태계	노출	사용패턴, 사용량, 배출비율, BCF
				독성	수생물 독성, 토양생물 독성 인체 독성
Capleton et al., 2006	UK	전체	인체	노출	사용패턴, 사용량, 배출비율,
				독성	ADI, 인체 독성, 생체 내 반감기, BAF
Wang et al., 2014	China	수체 토양	인체	노출	사용패턴, 사용량, 배출비율
				독성	인체 독성
Aubakirova et al., 2017	Kazakhstan	수체	수생태	노출	의약성분 수, 일일 섭취량, 배출비율, WWTP 제거율
				독성	수생태 독성
Riva et al., 2015	Italy	수체	생태계	노출	사용량, 배출비율, STP 제거율
				독성	x

3. 항생제의 물리화학적 특성에 따른 환경 중 동태

항생제의 고유 특성으로 용해도, 광반응성, 생분해성, 산해리상수, 흡착계수(Kd), 유기탄소분배계수(Koc), 물-옥탄올 분배계수(Kow), 헨리 상수(henry's law constant) 등이 있다. 이러한 항생제의 물리 화학적 특성은 주변 환경의 온도, 산화환원반응 조건, pH, 미생물활동 지수 따라 그 동태가 달라질 수 있다(Kemper, 2008).

환경 중 Chlortetracycline은 30℃에서 30일 후 56% 분해되는 반면 20℃에서는 30일 후 22%가 분해되어 온도에 따라 분해 정도가 다르다는 것을 알 수 있었다(Gavalchin & Katz, 1994). 대표적으로 Tetracyclines는 토양 중의 높은 잔류특성을 보이는데 유기물에 강하게 흡착하며 이동성이 상대적으로 낮아 장기 축적 가능성이 높다. 또한 토양의 산성이 높을 경우 안정된 상태로 남아있지만, 염기성이 높을 경우 불안정한 상태로 주변과 반응하거나 이동성이 커진다(Kemper, 2008). Macrolides는 Tetracyclines와 마찬가지로 점토 및 유기물의 양이온에 강하게 흡착하며 빛이 없을 경우와 산성 조건에서 매우 안정적이다. Sulfonamides는 물에 잘 녹아 이동성이 크며 토양에 흡착되어 잔류되는 것보다 지하수로 유입될 가능성이 크다(Kemper, 2008). 이와 마찬가지로 Aminoglycosides 역시 물에 잘 녹으며 광분해에 매우 민감하다. Quinolones는 물과 높은 온도에 반응이 없으며 자외선(UV)에 약하다(Thiele-Bruhn, 2003, 이현용 외, 2010).

본 연구에서는 가축 사체가 지하 5m 지점에 매몰되는 경우를 다루므로 직접 우선 영향을 받는 매체는 토양이다. 토양에서의 동태를 고려하였을 때 가장 중요한 인자는 분배계수(Partition Coefficient, Kd)이다. 토양 침출수에서 오염 물질 방출을 평가하는데 사용되는 방법으로 Freundlich 방정식을 기반으로 계산된다. 이러한 분배계수는 물질의 Mobility, Availability를 판단하는 데 유용하다.

$$K_d = C_s/C_w$$

K_d : 분배계수, partition coefficient(Freundlich soil-water partition coefficient) (L/kg)

C_s : 토양에 흡착된 농도 (mg/kg)

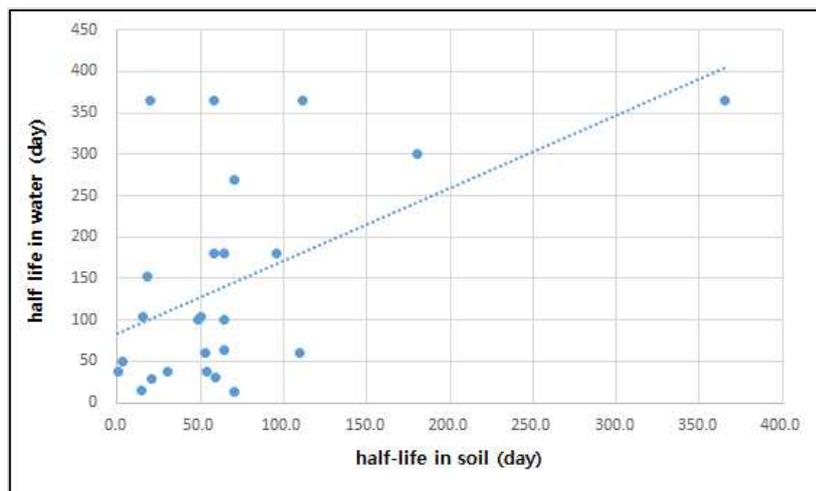
C_w : 용액의 농도 (침출수 내 농도) (mg/L)

<표 2-3> 실험을 통한 가축용 항생제 분배 계수

항생제 계열	항생제 성분	K_d (L/kg)	condition	reference	
Tetracyclines	oxytetracycline	1026	sandy loam pH5.6 OC1.1%	Rabølle and Spiild (2000)	
		417	sand pH6.3 OC1.5%		
	chlortetracycline	2386	Webster clay loam	Gupta, S., & Singh, A. (2003)	
		1280	Hubbard sandy loam		
Sulfonamides	sulfachlorpyridazine	15	pH 7.35 OC 2.6% Clay 11.2 %	Tomas L. L et al.(2006)	
		0.4	pH 6.33 OC 7% Clay 1.4 %		
	sulfamethazine	3.1	loamy sand / pH5.6OC 2.3%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	
		1.2	sand pH5.2 / OC0.9%		
	sulfadizine	2.8	clay-loam / 6.2 / 3.1	Thiele-Bruhn, S. (2003)	
		2.0	silt loam / 7.0 / 1.6		
	Sulfamethoxazole	1.05	pH7, sand75%, cly 5.5%	Park, J. Y., & Huwe, B. (2016)	
		0.95	pH7,sand 65.2% cly 8.1		
	Sulfaguanidine		30.99	oc 24.5 %, clay 94 % pH 5	Białk-Bielińska, et al (2012)
			1.03	oc 0.14 %, clay 0.2 %, pH 7	
Aminoglycosides	Monensin	78.6	pH 5.5, OC 1.38%, Clay 41%	SASSMAN & LEE. (2007)	
		1.09	pH 7, OC 0.87%, Clay 11%		
Macrolides	tylosin	387	pH 7.35 OC 2.6% Clay 11.2 %	Tomas L. L et al.(2006)	
		10	pH 4.55 OC 4.5% Clay 1.3 %		
Fluorquinolones	enrofloxacin	3037	sand 27.2%, silt 28.8% clay 41.7% 수분함량 23.1% pH 4.9	Burhenne, J., & Spittler, M. (1997)	
		260	sand 39.1% silt 36.3% clay 23.4% 수분함량 22.8% pH7.5		
Polypeptides	fenbendazol	0.91	silt loam, pH 7.0., OC 1.6%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	
		0.84	silt loam , pH 6.9, OC 2.4%		

항생제에 따라 다양한 범위의 분배계수를 보여주고 있다(<표2-3>). 같은 항생제이더라도 토양의 상태에 따라 분배계수의 값이 상당히 다르며, 특히 Clay의 함량이 많을수록 분배계수가 높다는 것을 확인할 수 있었다. 분배계수가 높은 물질일수록 토양에 흡착되어 잔류 되는 경향이 크며 지속해서 주변 생태계에 영향을 줄 수 있다. 항생제는 토양에서 축적되거나 수직적으로 전이되는 경향이 있다(Ostermann et al., 2013). 항생제의 분배계수(K_d)처럼 환경 중 반감기(half-life) 역시 대상 매체에 따라 다양하다. <그림 2-1>과 같이 수체에서의 반감기가 토양에서의 반감기보다 대체로 높은 경향을 보여줬다. 높은 용해도와 낮은 K_{ow} 의 특성을 가지고 있는 Sulfonamide 계열 항생제는 수체에서의 반감기 1년 이상으로 높게 나타났다(Charuaud et al., 2018).

Flumequine은 환경 중에서 가수 분해되는 작용기가 부족하여 환경에서 가수 분해이 가능성이 적은 것으로 보고되었다(HSDB). 또한 Flumequine은 토양에서의 반감기가 300일로 토양 내에서의 분해 역시 낮다(Boxall et al., 2006).



<그림 2-1> 환경 중 가축용 항생제 반감기 비교 (부록 표 1~2 참고)

Ⅲ. 결과 및 고찰

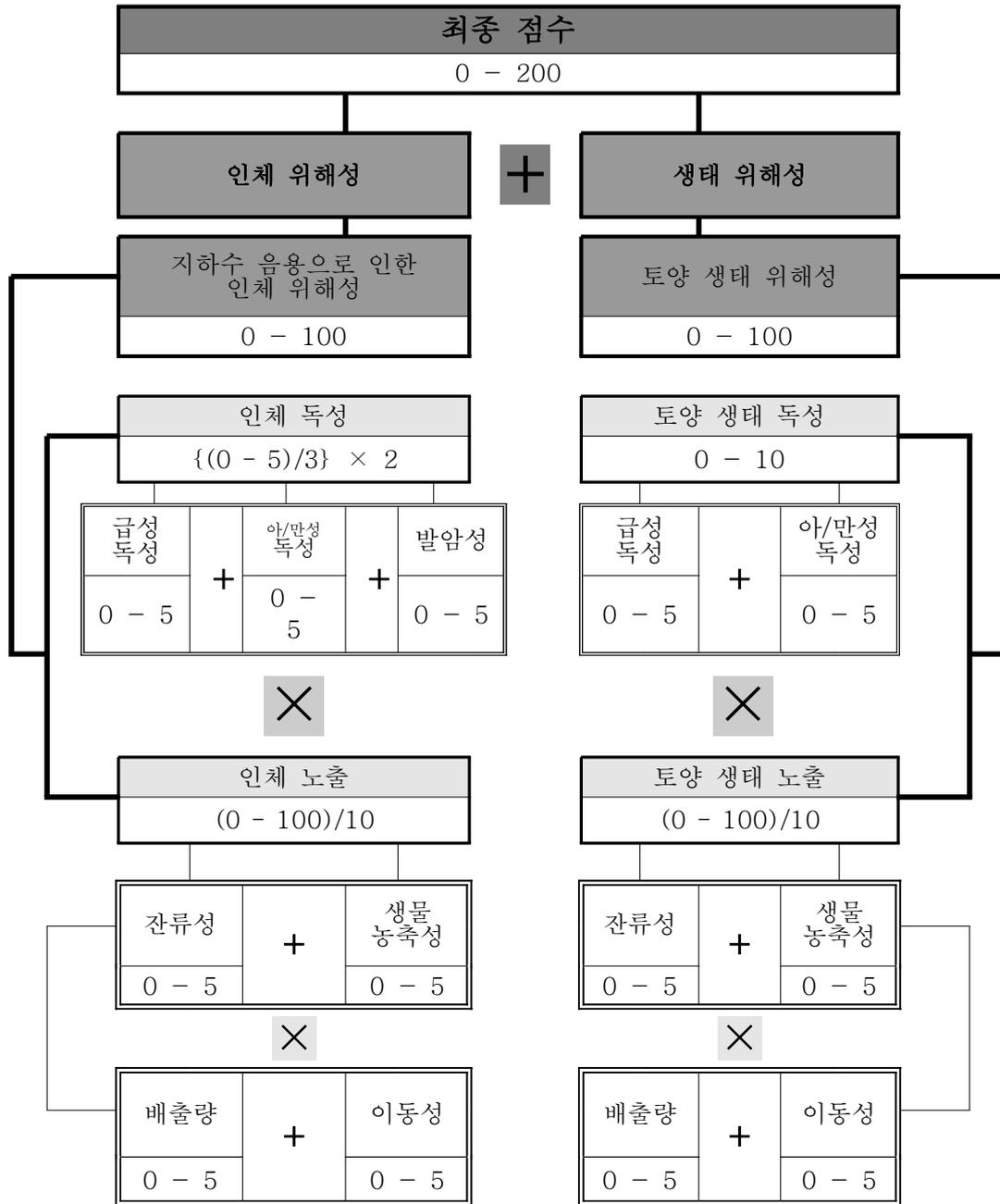
1. 우선순위 기법 구성 및 지표 선정

1) 우선순위 기법 구성

본 연구에서 우선순위 선정을 위한 전체 체계는 위해성 평가의 틀을 유지하여(박화성 외, 2005) <그림 3-1>과 같이 크게 인체위해성과 생태위해성으로 나누었다. 각각의 위해성 점수를 100점 만점으로 가중치를 동일하게 하였고, 그 두 점수를 종합하여 최종 점수가 200점 만점이 되도록 하였다.

각각의 위해성에 대한 점수를 산정하기 위해 크게 독성과 노출로 분리하였다. 독성과 노출의 관계는 매우 독성이 높은 물질일지라도 노출되지 않는다면 위해하다고 판단할 수 없다. 반대로 노출이 있다 하더라도 독성을 보이지 않는다면 이 또한 위해하다고 할 수 없다. 이러한 논리를 근거로 독성과 노출이 동일한 가중치를 두기 위해 곱의 관계를 기본 구조로 하여 각 지표의 최고 점수가 10점 만점이 되도록 하였다.

노출지표로는 잔류성, 생물농축성, 배출량, 이동성으로 4가지 세부항목으로 나누었다. 환경 중으로 도달하여 분해 및 잔류 되는 정도를 나타내는 잔류성과 생물에 농축되어 생체 내에 지속해서 잔류하는 정도를 나타내는 생물농축성은 합의 관계이며 환경 중 지속성을 대표하는 그룹으로 하였다. 환경 중 노출되는 가능성을 나타내는 배출량과 일단 환경 중으로 배출되었을 때 매체에 분배되어 남아있는 정도를 나타내는 물리 화학적 특성(이동성)을 합의 관계로 하여 환경 중 노출정도를 대표하는 그룹으로 하였다. 이 두 그룹 간의 관계는 노출 정도에 따라 지속적인 영향을 주기 때문에 곱의 관계를 기본으로 설정하여 최종 노출지표점수로 산정하였다.



<그림 3-1> 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수 중 항생제 위해도 우선 순위 Scheme

독성지표로는 항생제의 과도한 노출로 인하여 즉각적인 반응을 나타내는 급성독성과 미량이 지속적으로 노출되었을 경우의 독성을 나타내는 아/만성독성 그리고 발암성으로 나누었다. 이들은 각각의 독성요소이며 합의 관계를 기본구조로 설정하여 최종 독성지표점수를 산정하였다. 단, 생태 독성에서는 발암성을 제외하였다.

2) 우선순위 지표 선정

(1) 인체 위해성

본 연구에서는 지중 5m 이내 매몰 지점에서 토양을 통해 지하수로의 침출 가능성을 고려하였으므로 인체 위해성 범위는 지하수 음용으로 인한 인체 위해로 한정하였다. 인체 위해성은 노출과 독성의 곱으로 평가하여 총 100점을 만점으로 하고, 인체독성과 인체노출은 각각 10점을 만점으로 비중을 같게 하였다.

① 인체 노출

인체노출 평가는 기본적으로 환경으로부터의 노출을 고려하므로 그 세부 지표는 잔류성, 생물 농축성, 배출량, 이동성 4가지 항목이다. 이는 각각 5점을 만점으로 비중을 같게 하였다. 잔류성과 생물 농축성은 서로 합의 관계이며, 배출량과 이동성 역시 서로 합의 관계로 두어 이 두 합의 곱을 10점 만점으로 조정하여 총 인체 노출 점수로 산정하였다. 잔류성의 경우 항생제의 지속성에 대한 지표로 대상 매질이 수체(water)라는 점을 고려하여 수체에서의 항생제 반감기(Half-life in water)로 선정하였다. 생물농축성의 지표로는 생물 농축 인자(Bioconcentration factor, BCF)를 선정하였다. 이는 계수가 높을수록 생체 내에 축적정도가 크다는 의미가 있다.

BCF (Bioconcentration factor)

$$= \text{생체 내의 오염물질농도} / \text{환경 내의 오염물질 농도}$$

배출량의 경우 토양 중으로의 배출을 고려하였으며, 단순히 항생제의 사용량을 대리지표로 사용하지 않고 매몰지로부터 배출되는 항생제의 양을 추정한 매몰지 당 항생제 총량(BQ_i, mg/burial) 값을 산정하여 사용하였다. 이동성 지표는 물리 화학적 특성으로 토양 이동성의 중요 결정 인자이며 토양을 통해 지하수 및 지표 유출수로 이동하는 잠재력을 나타내는 분배계수(Partition Coefficient, K_d)를 고려하고자 하였다 (Hashmi et al., 2017).

$$K_d = K_{oc} \times f_{oc}$$

K_d : 분배계수, partition coefficient (L/kg)

K_{oc} : 유기 탄소 분배계수, soil organic carbon partition (L/kg)

f_{oc} : 토양의 유기 탄소비율, fraction of organic carbon (%)

하지만 분배계수의 경우 토양의 유기탄소 비율(f_{oc})에 따라 달라질 수 있으므로 대리지표로 유기 탄소 분배계수(Organic Carbon-water partition coefficient, K_{oc})를 선정하였다. 인체 노출의 경우 항생제의 이동성이 높을수록 지하수에 유입이 크므로 K_{oc}값이 작을수록 높은 점수를 부여받는다.

② 인체 독성

본 연구는 독성의 세부지표로 급성독성(Acute toxicity), 아/만성독성(Sub/chronic toxicity)과 발암성(Carcinogenicity) 3가지 항목으로 정하였다. 각각 5점을 만점으로 비중을 같게 하였고, 이들의 합을 10점 만점으로 조정하여 총 인체 독성 점수를 산정하였다. 지하수 음용으로 인한 인체에 미치는 독성이므로 급성독성의 경우 포유류에 대한 경구 급성

의 반수치사량 LD₅₀(Lethal dose) 혹은 LC₅₀(Lethal concentration)을 선정하였다. 아/만성 독성은 포유류에 대한 무영향관찰용량 (No observed Adverse Effect Level, NO(A)EL)으로 선정하여 평가하였다. 발암성에 대한 지표로는 화학물질의 발암성을 평가하는 기관에서의 발암등급을 지표로 선정하였다(박화성 외, 2004).

(2) 생태 위해성

본 연구에서의 생태 위해성 범위는 지중 5m 이내 매몰 지점에서 항생제 배출이라는 점을 고려하여 토양 생태계로 한정하였다. 인체 위해성과 함께 노출과 독성의 곱으로 평가하여 총 100점을 만점으로 한다. 생태 독성과 생태 노출은 각각 10점을 만점으로 비중은 같게 하였다.

① 생태 노출

생태노출 평가에서는 인체노출과 함께 잔류성, 생물농축성, 배출량, 이동성 4가지 항목으로 평가하였다. 이는 각각 5점을 만점으로 비중을 같게 하였다. 잔류성과 생물농축성은 서로 합의 관계이며, 배출량과 이동성 역시 서로 합의 관계로 두어 이 두 합의 곱을 10점 만점으로 조정하여 총 토양생태노출 점수로 산정하였다. 잔류성은 대상 매질이 토양(soil)이라는 점을 고려하여 토양에서의 항생제 반감기(Half-life in soil)로 선정하였다. 생물농축성은 생물 농축 인자(Bioconcentration factor, BCF)로 인체위해성과 같다. 배출량은 인체노출과 마찬가지로 매몰지 당 항생제 총량 (BQ_i, mg/burial)을 사용하였다. 이동성 지표로 인체노출과 같이 유기탄소 분배계수(Organic Carbon-water partition coefficient, K_{oc})로 선정하였다. 생태노출의 경우 토양에 흡착하는 정도가 커 이동성이 낮을수록 주변 토양환경에 영향성이 지속되므로 K_{oc} 값이 클수록 높은 점수를 부여받는다.

② 생태 독성

본 연구는 토양생태계 독성을 고려하였으며 위의 인체 위해성과 마찬가지로 급성독성(acute toxicity)과 아/만성독성(sub/chronic toxicity) 2가지 항목으로 정하였다. 각각 5점을 만점으로 비중을 같게 하였고, 이들의 합을 10점 만점으로 조정하여 총 토양생태독성 점수로 설정하였다. 급성독성의 경우 토양에 서식하는 지렁이의 반수치사량 LC₅₀(lethal concentration)을 선정하였다. 아/만성독성의 경우 지렁이에 대한 무영향관찰농도(No observed Effect Concentration, NOEC)를 사용하였다.

2. 우선순위 지표값 수집 및 결정

본 연구의 목적에 따라 정립한 지표를 적용하여 68종의 항생제에 대한 우선순위를 도출하고자 <표 3-1>, <표 3-2>와 같이 자료를 수집하였다.

모든 지표에 대해서 최대한 실험을 통한 자료를 수집하고 자료가 부족한 경우 추정을 통하여 산정된 값을 사용하였다. 또한 각 지표에 대한 실험값 및 추정값이 여러 개일 경우 그 값들의 상관성 분석을 통해 최적의 값을 선정하도록 하였다.

1) 노출 지표값 수집 및 결정

(1) 잔류성

① 수체에서의 반감기(Half-life in water)

수체에서 잔류성의 세부지표인 수체 반감기(half-life in water) 자료는 선행 연구의 실험값을 사용하였다. 다양한 작용기(functional group)를 가지고 있는 항생제와 같은 의약품의 경우 반감기를 예측하기 어려워 추정을 통한 자료 수집은 하지 않았다. 그 결과 68종의 항생제 중 수체에서의 반감기 자료는 26종으로 32%의 결측치(missing value)가 있었다(<부록 표 1>). 수체에서의 항생제 반감기 임계값(threshold value)에 따라 수집된 42종의 항생제 중 24종의 항생제가 Very High로 잔류성이 높은 것으로 분류되었다. 대부분 Sulfonamide 계열의 항생제가 그에 속하였다. Sulfonamide 계열의 항생제는 용해도가 대체로 높으며 옥탄올-물 분배계수(Octanol-Water Partition Coefficient, Kow)가 매우 낮아 물에 분해되기보다는 용해된 상태로 잔류하며 미생물의 분해 정도가 낮은 것으로 보인다. 특히 이 계열의 항생제는 환경 중 지표수로 이동하거나 토양 중 용탈을 통한 지하수로의 유입 가능성이 높은 것으로

알려져 있다(임정은 외, 2009).

의약품과 같은 항생제의 분해는 온도 및 pH와 같은 환경 조건과 환경에 존재하는 미생물의 존재에 영향을 받는다(Ingerslev & Halling-Sørensen., 2001; Gilbertson et al., 1990). 이러한 이유로 실험 조건에 따라 반감기 값들이 다양하다는 것을 확인할 수 있었다. 이 중 최적의 값을 선정하여 점수를 매기기 위하여 결측치를 제외한 항생제의 실험값을 최댓값, 최솟값, 평균값으로 구분하여 순위 상관성 분석을 하였다.

그 결과 순위상관계수는 <표 3-3>과 같이 모두 순위상관성이 0.95 이상으로 높은 것을 알 수 있다. 다중의 실험값을 가지는 항생제는 4종 밖에 존재하지 않아 전체적인 항생제의 순위 변동에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 보인다. 최댓값과 최솟값의 순위비교에서 Ampicillin은 순위 변동이 거의 없었으나 Erythromycin 순위의 경우 20위 정도 차이는 것을 알 수 있었다. 비록 한 종의 항생제가 큰 순위 변동차를 보였으나 이를 보완하기 위하여 수체 내 반감기의 값을 평균값으로 선정하였다.

② 토양에서의 반감기(Half-life in soil)

토양에서 잔류성의 세부지표인 토양에서의 반감기(half-life in soil)의 자료는 선행 연구의 실험값을 사용하였다. 이 역시 수체에서의 반감기와 같이 추정을 통한 자료 수집은 하지 않았다. 토양 반감기의 경우 28종으로 41%의 결측치(missing value)가 있었다(<부록 표 2>).

토양에서의 항생제 반감기 임계값(threshold value)에 따라 수집된 40종의 항생제 중 18종의 항생제가 Very persistent로 높은 잔류성을 보였다. 특히 물과 토양에서 공통으로 Amikacin, Chlortetracycline, Dicloxacillin, Enrofloxacin, Flumequine, Oxytetracycline, Sulfadimethoxine, Tiamulin, Tylosin 9종의 반감기가 긴 것으로 나타났다. 수체 내 반감기와 마찬가지로 실험 조건에 따라 토양 내 반감기

<표 3-1> 인체 위해성 우선순위에 사용되는 지표 Database

평가 항목	평가 지표	세부 평가 지표		단위	수집 방법	조 건	Data Source	자료 가용률
인체 위해성	인체 노출	잔류성	수체내 반감기 (Half-life in water)	day	실험 data	수체에서의 hydrolysis와 biodegradation을 통한반감기	실험 data(논문), VSDB, TOXNET	42/68 (62%)
		생물 농축성	Bioconcentration factor (BCF)	L/kg	EPISuit_ BCFBAF (Q)SAR 추정값	LogKow를 통한 추정값 산정 LogKow값의 경우 data수집	실험data(논문), VSDB, TOXNET, EPISuit_KOWWIN, BCFBAF (Q)SAR	65/68 (96%)
		배출량	배출량	mg/Burial	배출량 추정식을 통한 산정	매물지 당 항생제 총량 (연간 항생제 판매량, 연간 축종수, 제외배출비율(실험data), 매물지수,매물 두수)	농림축산검역본부, 환경부 실험data(논문)	68/68 (100%)
		이동성 (흡착성)	유기탄소 분배계수 (Koc)	L/kg	실험data, EPISuit_KOCWIN (Q)SAR	토양에서의 항생제 이동성의 척도 정보 부족시-LogKow를 통한 추정값 산정	실험data(논문), VSDB, TOXNET, EPISuit_KOCWIN, (Q)SAR	66/68 (97%)
	인체 독성	급성 독성	LD50	mg/kg	실험 data	포유류 (Rats) 경구급성독성	VSDB, TOXNET, EMEA	68/68 (100%)
		아/만성 독성	NOEL	mg/kg	실험 data, 추정식	포유류 무독성량(NOAEL) (인체에게 영향을 미치지 않는 최대투여량) 정보 부족시 - 일일허용섭취량(ADI) 고려하여 아래의 식을 통해 산정 ADI=NOAEL/불확실성 계수 (UF,100)	EMEA	63/68 (93%)
			ADI	ug/kg				
	발암성	발암등급				각 기관의 발암등급 확인	IARC, EPI IRIS, NTP	5/68 (7%)

VSDB : Hertfordshire university Veterinary substances database, TOXNET - HDBS : Hazardous Substances Data Bank (Peer-reviewed toxicology data for over 5,000 hazardous chemicals), ChemIDplus : Dictionary of over 400,000 chemicals (names, synonyms, and structures), EPI suit (version 4.1), EMEA : European Medicines Agency - 의약품평가 보고서, (Q)SAR : (Quantitative) Structure-Activity Relationships from EU, IARC: International Agency for Research on Cancer, EPI IRIS : U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Risk Information System, NTP : National Toxicology Program

<표 3-2> 생태 위해성 우선순위에 사용되는 지표 Database

평가 항목	평가 지표	세부 평가 지표	단위	수집 방법	조 건	Data Source	자료 가용률	
생태 위해성	토양 태출 노출	잔류성	토양내 반감기 (Half-life in soil)	day	실험 data	토양에서의 biodegradation을 통한 반감기 (지중이라는 점을 고려하여 최 대한 혐기성 상태의 자료를 수집)	실험 data(논문), VSDB, TOXNET	40/68 (59%)
		생물 농축성	Bioconcentration factor (BCF)	L/kg	EPISuit_ BCFBAF (Q)SAR 추정값	LogKow를 통한 추정값 산정 LogKow값의 경우 data수집	실험data(논문), VSDB, TOXNET, EPISuit_KOWWIN , BCFBAF (Q)SAR	65/68 (96%)
		배출량	배출량	mg/ Burial	배출량 추정식을 통한 산정	매몰지 당 항생제 총량 (연간 항생제 판매량, 연간 축종수, 체 외배출비율(실험data), 매몰지수,매몰 두수)	농림축산검역본부, 환경부 실험data(논문)	68/68 (100%)
		이동성 (흡착성)	유기탄소 분배계수 (Koc)	L/kg	실험data, EPISuit_ KOCWIN (Q)SAR	토양에서의 항생제 이동성의 척도 정보부족시-LogKow값을 통한 추정값 산정	실험data(논문), VSDB, TOXNET, EPISuit_KOCWIN, (Q)SAR	66/68 (97%)
	토양 독성	급성 독성	LC50	mg/kg	실험 data	지렁이 (earthworms) 급성독성	실험data(논문)	19/68 (30%)
		아/만성 독성	NOEC	mg/kg	실험 data	지렁이 (earthworms) 무독성농도	실험data(논문)	14/68 (21%)

VSDB : Hertfordshire university Veterinary substances database, TOXNET - HDBS : Hazardous Substances Data Bank (Peer-reviewed toxicology data for over 5,000 hazardous chemicals), ChemIDplus : Dictionary of over 400,000 chemicals (names, synonyms, and structures), EPI suit (version 4.1), EMEA : European Medicines Agency - 의약품평가 보고서, (Q)SAR : (Quantitative) Structure-Activity Relationships from EU

<표 3-3> 수체와 토양 내 반감기 실험값 순위상관계수

수체	최댓값	평균값	최솟값	토양	최댓값	평균	최솟값
최댓값	1.00			최댓값	1.00		
평균값	0.99	1.00		평균	0.98	1.00	
최솟값	0.96	0.98	1.00	최솟값	0.87	0.94	1.00

값들이 다양하다. 이중 최적의 값을 선정하기 위하여 순위상관성 분석하였다. 그 결과 순위상관계수는 <표 3-3>과 같이 대체로 모두 높은 편이지만 최댓값과 최솟값 간의 상관성이 그 중 낮은 것을 확인할 수 있었다. 토양의 경우 다종의 실험값을 가지는 항생제는 20종으로 수체보다는 많다. 최댓값과 최솟값을 비교하여 상위권을 유지하고 있는 Flumequine 경우 모두 순위변동이 없었으며 그 외 5종의 항생제가 10위 정도의 순위 변동 차이를 보였다. 가장 큰 순위변동을 보인 항생제는 Salinomycin으로 19위 정도 차이 나는 것을 알 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 값에 따른 순위 변동 차를 보완할 수 있는 평균값을 사용하는 것이 적절하다고 판단하였다.

(2) 생물농축성 (BCF)

생물농축성의 지표인 BCF의 자료는 단일 생물 중에 대한 자료수집의 어려움이 있어 미국 환경 보호국(EPA)의 EPI Suit (version 4.1) BCFBAF 추정 프로그램의 BCF값을 우선적으로 사용하였다. 자료가 부족한 경우 (Q)SAR 의 Bioconcentration factor를 추정하는 식(Eq. 2.)을 사용한다.

$$\log BCF = 0.85 \log K_{ow} - 0.70 \quad (\log K_{ow} < 6) \quad (2)$$

그 결과 68종의 항생제 중 BCF자료는 3종으로 4%의 결측치 (missing value)가 있었다(<부록 표 3>). BCF값을 도출하기 위해서 옥탄올-물 분배계수(Octanol-Water Partition Coefficient, Kow)가 입력값으로 사용된다. Kow는 옥탄올과 물에서의 용질 분포를 나타내는 계수로 비극성 화합물의 소수성 정도를 나타내는 척도이다(<부록 표 4>). 대부분 항생제는 $\log Kow < 0$ 으로 매우 낮은 Bioaccumulation을 보였으며 그 중 Lasalocid, Monensin, Rifampicin, Salinomycin, Tiamulin, Tilmicosin 6종의 항생제는 임계값 4를 초과하여 비교적 높은 Bioaccumulation을 보였다. 그에 반해서 BCF 추정값의 결과는 Fenbendazol, Tiamulin, Tilmicosin이 주의 단계의 임계값 범위(100~5000)에 속하였고 나머지 항생제는 BCF 100 이하로 생물농축성이 낮은 것으로 나타났다. BCF의 입력값인 Kow와 순위상관계수 비교 결과 0.45로 낮은 순위상관성을 보였다. 이는 추정을 통한 계산에서 BCF값은 Kow만으로 좌우되는 것이 아니라는 것을 보여주며 앞에서 언급한 것과 같이 항생제의 다양한 작용기에 의한 차이가 있는 것으로 보인다. 이와 같은 결과는 향후 연구에서의 지표 선정에 있어 고려되어야 할 부분이라고 판단된다.

(3) 배출량

노출량의 경우 환경 중으로 배출되는 항생제의 양으로서 매몰지 당 발생하는 항생제 총량(BQ_i, mg/burial) 값을 추정하여 사용하였다. 기존의 연구에서는 환경 중 항생제 농도를 추정하는 방법으로 미국 식품의약처에서 제시하고 있는 환경으로 들어가는 예상유입농도(Expected Introduction concentration; EIC)와 유럽연합의 European Medicines Agency, EMEA에서 하고 있는 환경 중 예상 농도(Predicted Environmental concentration; PEC) 방법이 있다(김명현 외, 2006). 전자인 EIC에서는 실제 연간 생산량을 고려하는 반면 후자인 PEC의 경우 일일 최대허용량으로 계산되었다. 본 연구에서는 연간 판매량과 일일

최대허용량 중 타당성이 높은 것을 선정하기 위하여 실제 항생제 판매량과 동물용의약품안전사용기준을 각각 고려하여 계산하였다.

동물의약품안전사용기준은 농림축산검역본부에서 정한 기준을 따랐다. 자료가 부족한 경우 그다음으로는 동물의약품 부표의 용량·용법, EMEA, 일일허용섭취량(ADI) 순으로 활용하였다(<부록 표 5>).

<표 3-4>의 parameter에 따라 소와 돼지(j)의 항생제별(i) 휴약 기간(Free_i)을 고려한 연간 항생제의 투여 일(In_i, day)을 계산하였다(Eq. 3.).

$$In_i = 365 \text{ day} / Free_i \quad (3)$$

가축의 표준체중(BM_j, kg)(국립축산과학원)과 항생제 종류에 따른 안전사용기준 투여량(AD_i, mg/kg), 그리고 앞서 계산한 항생제별 투여 일(In_i, day)을 계산하고, 해당 연도 전체 축종 수(N_j, ea)를 고려하여 축종당 항생제별 연간 사용량(YD_i, kg)을 계산하였다(Eq. 4.)(<부록 표 6>).

$$YD_i = BM_j \times AD_i \times In_i \times N_j \quad (4)$$

<표 3-4> 동물안전사용기준을 고려한 항생제별 연간 사용량 계산 parameter

terms	description	단위
YD _i	동물용의약품안전사용기준_가축 당 항생제별 연간 사용량	kg
AD _i	동물용의약품안전사용기준_가축 당 항생제별 1일 용량	mg/kg
Free _i	가축 당 항생제 별 휴약 기간-day	day
In _i	가축 당 항생제별 연간 투여일	day
BM _j	가축의 표준체중 (소 : 400 kg, 돼지 : 60 kg)	kg
N _j	연간 가축 두수 (소 : 2,163,056 마리, 돼지 : 1,943,719)	ea

동물안전사용기준에 따라 1년 동안 축종 당 연간 사용량을 산정한 결과 <표 3-5>와 같이 실제 판매량과 수습 배 차이를 보였다. 2010년 소의 안전사용량과 실제 판매량의 경우 약 75배로 나타났다. 이러한 차이는 동물안전사용기준의 모호함과 수습 종의 항생제 중 일부만 사용기준이 제시되었다는 점에 있다. 또한 시장에서의 항생제 사용비율에 대한 정보 부족으로 인해 위의 계산식에 반영할 수 없었다. 동물안전사용기준을 고려하여 산정한 연간 항생제 사용량은 불확실성이 높으므로 항생제 연간 판매량을 이용하여 매몰지 당 총량을 산정하는 것이 타당하다고 판단된다.

<표 3-5> 항생제 동물안전사용기준 사용량과 가축 항생제 판매량 비교

	축종	동물안전사용기준에 의한 사용량 (kg)	판매량 (kg)	비교
2010년	소	4,302,401	57,447	75 배
	돼지	18,400,875	584,015	32 배
2011년	소	3,626,181	57,726	63 배
	돼지	16,527,337	459,320	36 배

<표 3-6> 매몰지 당 항생제별 총량 계산 parameter

terms	description	단위
SV _i	가축 항생제별 연간 판매량	kg
N _j	연간 가축 수 (소 : 2,163,056 마리, 돼지 : 1,943,719)	ea
DY _i	가축 한 마리당 연간 항생제별 사용량	kg/ea
Ex _i	항생제별 분뇨배출 비율	
RQ _i	가축 생체 내 항생제 잔여량	mg/ea
CB _j	매몰지 당 가축별 매몰 두수 (소 : 100 마리, 돼지: 550마리)	ea/burial
BQ _i	매몰지 당 항생제 양	mg/burial

항생제 판매량을 고려한 계산을 위하여 항생제의 판매량은 농림축산검역본부에서 제공하는 국가 항생제 판매량 자료를 활용하였다(<부록 표 7 1~2>).

예측배출량을 산정하기에 앞서 보수적인 평가를 위해 최악의 시나리오 2가지를 설정하였다. 첫째, 해당 연도에 판매되는 가축 항생제는 모두 가축에게 사용된다. 둘째, 대사된 후 남아있는 가축 내 잔류 항생제는 더 이상 분해되지 않고 축적된다.

<표 3-6>의 parameter에 따라 항생제별 연간 판매량(SV_i, kg)을 고려하여, 최종적으로 축종별 매몰지 하나당 항생제 총량(BQ_i, mg/burial)을 산출하였다. 축종당 항생제별 연간 판매량(SV_i, kg)과 연간 축종 수(N_i, ea)를 고려하여 가축 한 마리당 연간 항생제별 사용량(DY_i, kg)을 계산하였다(Eq. 5.).

$$DY_i = SV_i / N_j \quad (5)$$

가축 체내에 남아있는 항생제량을 추정하기 위하여 가축의 항생제 배출비율(Ex_i)을 고려하였다. 가축의 배설물로 배출되는 항생제의 비율은 체내의 다양한 경로와 장기 내에서 반감기를 거쳐 결정되며 항생제의 종류에 따라 다르다(Kim et al, 2008). 동물실험을 통한 가축의 배출비율을 데이터를 이용할 수 없는 경우 사람의 배출비율을 사용하였다(<부록 표 8>).

항생제 복용 후 체외로 배출되는 항생제별 비율(Ex_i)과 앞서 계산된 DY_i을 통해 체내의 항생제 잔여량(RQ_i, mg/ea)을 계산하였다 (Eq. 6.).

$$RQ_i = DY_i \times (1 - Ex_i) \quad (6)$$

가축매몰 매뉴얼(환경부)에 따르면 매몰지 당 매몰 두수(CB_j, ea/burial)는 소의 경우 100두이며 돼지의 경우 550두이다. 이를 이용하여 가축별 매몰지 하나당 항생제 총량(BQ_i, mg/burial)을 계산하였다(Eq. 7.)(<부록 표 9 1~4>).

$$BQ_i = RQ_i \times CB_j \quad (7)$$

본 연구에서는 매몰지 당 항생제 총량(BQ_i)을 배출량의 대리지표로 사용함으로써 표적 축종과 항생제의 용도 그리고 배출 비율을 고려하였다. 하지만 체내 잔여 비율의 대사를 통한 분해를 생략하였기 때문에 불확실성이 남아있다. 산정된 BQ_i값과 계산에 사용된 parameter들과 상관성을 분석한 결과 순위상관계수 0.94 이상으로 판매량(SV_i)이 배출량 순위를 좌우한다는 것을 알 수 있었다. 가축 생체 내 배출비율(Ex_i)은 순위상관계수 0.2 이하로 낮은 상관성을 보였다. 하지만 Apramycin, Avilamycin, Gentamycin, Kitasamycin, Kanamycin 5종의 항생제 경우 배출비율(Ex_i)을 고려함으로써 순위가 10위 이상 차이 나는 것을 알 수 있었다.

(4) 이동성

이동성의 지표인 유기 탄소 분배계수(Koc)의 자료는 선행 연구의 실험값을 우선적으로 사용하였다. 자료가 부족한 경우 EPI Suit (version 4.1) KOCWIN 추정 프로그램의 Koc값을 사용하였다. KOCWIN에서 logkow값으로부터 계산된 값과 분자의 위상배치에 따른 Molecular Connectivity Index(MIC)로부터 계산된 값이 존재한다. 이 둘은 값간의 상관관계수 0.18, 순위상관계수 0.66으로 상관성이 낮아 또 다른 추정 방식인 (Q)SAR의 사용하여 이들과의 상관성을 비교하였다. (Q)SAR의 Koc 추정식은 Chemical class에 따라 다르기 때문에 항생제와 같은 의약품을 포괄적으로 포함할 수 있는 Nonhydrophobics 추정

식을 이용하였다(Eq. 8.).

$$\log K_{oc} = 0.52 \log K_{ow} + 1.02 \quad (8)$$

그 결과 68종의 항생제 중 2종으로 3%의 결측치가 있었다(<부록 표 10>). Apramycin, Bacitracin, Chlortetracycline, Doxycycline, Enrofloxacin, Flumequine, Lasalocid, Oxytetracycline, Salinomycin, Tiamulin, Tylosin, Virginiamycin 12종 항생제의 Koc가 임계값 4000L/kg 이상으로 토양에 흡착하는 정도가 강하여 이동성이 낮은 것을 알 수 있다. 대부분 항생제가 낮은 Kow를 가지고 있어 토양의 유기물 흡착 정도가 낮은 것으로 예상되었지만, 항생제의 작용기들이 토양에 존재하는 이온들과 쉽게 결합하여 안정적인 복합체를 형성하기 때문에 이동성이 낮다(Hirsch et al., 1999).

위에서 언급한 것과 같이 토양의 물리 화학적 특성에 따라 Koc의 값은 상당히 달라지는 것으로 나타났다. 이에 따라 수집한 실험값이 여러 개 존재하였고 몇몇 항생제는 그 값들의 차이가 크게 나타났다.

이 중 최적의 값을 선정하기 위해 결측치가 존재하는 항생제는 제외하고 실험값과 3가지의 추정값이 모두 존재하는 항생제 32종에 한하여 순위 상관성 분석을 하였다. 실험값이 여러 개로 존재하는 경우 최댓값과 최솟값, 평균값으로 구분하였다.

그 결과 <표 3-7>, <표 3-8>과 같이 실험값과 추정값의 결과는 매우 다른 것으로 나왔으며, 그중 실험값과 (Q)SAR의 추정값이 순위상관계수가 0.45 이상으로 다른 추정값에 비해 크게 나타났다.

실험을 통한 Koc값의 경우 최댓값, 최솟값을 각각 비교한 결과 평균값 간의 순위상관계수가 가장 높게 나왔다. 이를 근거로 실험값이 존재하는 항생제의 경우 평균값을 사용하는 것이 적절하다고 판단되었다. 추정값은 logKow를 기반으로 한 EPI-suit Kow와 (Q)SAR간의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다.

<표 3-7> 항생제 Koc 실험값과 추정값의 상관계수 비교

	실험 최대값	실험 평균값	실험 최솟값	EPI Suit Kow	EPI Suit MIC	(Q)SAR
실험 최대값	1.00					
실험 평균값	0.73	1.00				
실험 최솟값	0.55	0.97	1.00			
EPI Suit Kow	-0.08	-0.08	-0.06	1.00		
EPI Suit MIC	-0.09	-0.08	-0.07	0.18	1.00	
(Q)SAR	-0.05	-0.04	-0.03	0.91	0.01	1.00

<표 3-8> 항생제 Koc 실험값과 추정값의 순위상관계수 비교

	실험 최대값	실험 평균값	실험 최솟값	Kow	MIC	(Q)SAR
실험 최대값	1.00					
실험 평균값	0.96	1.00				
실험 최솟값	0.86	0.95	1.00			
EPI Suit Kow	0.41	0.37	0.31	1.00		
EPI Suit MIC	0.33	0.33	0.36	0.66	1.00	
(Q)SAR	0.50	0.50	0.45	0.73	0.69	1.00

하지만 Streptomycin의 경우 EPI-suit Kow를 통해 추정된 Koc가 0.0000032L/kg, (Q)SAR를 통해 추정된 Koc가 0.0013L/kg으로 다른 항생제의 실험값들과의 차이가 컸다. EPI-suit Kow값 보다는 값 간의 차이가 작은 (Q)SAR을 통한 추정값을 우선적으로 사용하는 것이 적절하다고 판단되었다.

2) 독성 지표값 수집 및 결정

(1) 인체 독성

인체급성독성의 지표인 포유류 경구 급성독성은 생물 종을 Rats로 선정하여 Hertfordshire University에서 제공하는 Veterinary substances database(VSDB)를 우선적으로 사용하였으며, 다음으로는

TOXNET의 HDBS와 ChemIDplus 자료를 사용하였다. 그 결과 68종 항생제에 대한 값을 모두 수집하여 결측치가 존재하지 않았다(<부록 표 11>). Salinomycin이 임계값 100mg/kg 미만인 5mg/kg 으로 대체로 높은 독성을 보였으며, 나머지 67종의 항생제는 2000mg/kg 이상으로 매우 낮은 독성을 나타냈다.

인체아/만성독성은 EMEA의 의약품 평가 보고서를 통하여 우선적으로 수집하였고 정보가 없으면 독성학적 일일 섭취허용량(toxicological acceptable daily intake(ADI))을 사용하였다(Kim et al., 2008). ADI는 NOAEL을 불확실성 계수(UF)로 나누어서 계산하는데 NOAEL이 동물실험으로부터 유도된 경우에는 일반적으로 UF, 100을 적용한다(Eq. 9.)(최찬웅 외, 2009). 그 결과 68종의 항생제 중 5종으로 7%의 결측치가 존재하였다(<부록 표 12>).

$$ADI = NOAEL / \text{불확실성 계수 (UF, 100)} \quad (9)$$

발암성의 경우 IARC, NTP, IRIS를 통해 자료를 수집하였으나 Ampicillin, Chloramphenicol, Rifampicin, Sulfamethazine, Sulfamethoxazole 5종을 제외한 나머지의 항생제는 정보가 없었다. Chloramphenicol은 IARC에서 지정한 2A군 발암물질로 암을 일으킨다고 추정되는 물질로 분류되었고, 나머지 4종의 항생제는 3군으로 암과 연관 짓기 어려운 물질로 분류되었다. Chloramphenicol을 제외한 67종의 항생제는 발암성이 없거나 자료가 존재하지 않으므로 우선순위 결정 단계에서 발암성 지표는 제외했다.

(2) 생태 독성

생태급성독성의 지표인 지령이 급성독성(LC50)은 우선적으로 기존 연구의 실험값을 사용하였다. 하지만 자료가 부족하여 68종의 항생제 중 49종으로 70%의 결측치가 존재하였다. 아/만성 독성(NOEC) 역시

68종 중 52종으로 79%의 결측치가 존재하였다(<부록 표 13>).

급성독성의 경우 임계값 10mg/kg 이하로 높은 독성을 갖는 항생제는 없었으나 Lasalocid, Monensin, Penicillin, Salinomycin, Sulfadiazine, Tilmicosin 6종은 중간 정도의 급성독성을 나타냈다. 아/만성독성은 Chlortetracycline, Fenbendazol, Florfenicol, Lasalocid, Monensin, Oxytetracycline, Streptomycin, Sulfanilamide 8종이 0.1~100 mg/kg 범위에 속해 중간 정도의 아/만성독성을 보였다.

3. 우선순위 배점 방식 및 기본입력값(default) 선정

1) 우선순위 배점 방식 선정

각 지표 항목의 값들을 점수로 전환하기 위하여 표준화가 필요하다. 기존의 우선순위 기법은 범위를 설정하여 구간을 나누고 점수를 매기는 구간 배점 방식을 사용하였다. 또 다른 방법으로는 각 지표의 값에 최댓값, 최솟값의 차를 이용하여 10점 만점이 되도록 정규화하였다(Eq. 10.)(Shin et al, 2014).

$$\text{표준화 값}(IV_i) = (NV_i - NV_{\min}) / (NV_{\max} - NV_{\min}) \times 10 \quad (10)$$

NV_i : 각 지표의 값

NV_{\max} : 지표의 최댓값

NV_{\min} : 지표의 최솟값

본 연구는 최적의 배점 방식을 적용하기 위하여 구간 배점과 최댓값·최솟값을 이용한 배점 그리고 추가로 Z값(Z-value)을 이용한 배점 방식을 비교하였다. Z값은 지표값의 평균과 표준편차 이용한 차원이 없는 수치로 표준점수(S)를 매기는 방법에 사용된다(Eq. 11). 이는 각각의 값들이 전체 순위 중 어디쯤 위치하는지 알 수 있도록 상대평가 하는 것이다. 이 방법은 평균편차 일치법이라 불리며 시험 및 평가 등 우선순위를 결정하는 데 사용되고 있다(송방원 외, 2015).

$$S = z\sigma + m \quad (11)$$

$$z = (x - m_0) / \sigma_0$$

S : 표준점수

x = 원점수

z : z값

m : 평균

σ : 표준편차

비교를 위해 결측치가 거의 존재하지 않은 배출량과 이동성 지표 간의 관계를 이용하여 배점 방식에 대한 상관성 분석하였다. 노출량과 이동성 간은 합의 관계로 각각의 점수 배점방식을 적용 후 최종 점수를 비교하였다. 그 결과 <표 3-9>를 보면 Z값을 이용한 표준점수 방식과 최댓값·최솟값을 이용한 배점 방식의 순위상관계수는 0.99로 거의 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 최댓값·최솟값을 이용한 배점 방식은 지표의 값 간의 차이가 클 경우 최솟값이 지나치게 낮은 배점을 받는다는 것을 알 수 있었으며 가장 하위(68위)인 최솟값을 갖는 항생제의 경우 0점을 받아 의음성(false negative) 영향을 받게 된다. 이는 지표 간 곱의 관계가 있을 경우 최종 점수가 0점을 받을 가능성이 있다.

<표 3-9> 우선순위 배점방식 간의 순위상관계수 비교

	최대최소	구간점수	표준 점수
최대최소	1.00		
구간점수	0.82	1.00	
표준점수	0.99	0.84	1.00

구간 배점방식 역시 다른 배점 방식들 간의 순위상관계수가 0.84로 높았다. 그러나 범위를 나누는 정확한 틀이 없으면 자의적 판단의 오류가 있을 수 있으며 항생제의 고윳값에 대해 과대평가 및 과소평가가 될 우려가 있다. 예를 들어 이동성 지표인 Koc의 범위는 0.000008 ~ 500,755L/kg으로 차이가 크다. 최고점수인 5점의 범위를 10,000mg/kg 이상으로 하면 5점을 받는 점수 범위 역시 18810.91 ~ 500,755.00L/kg으로 그 차이가 26배가 나는 것을 알 수 있었다. 종합적으로 판단한 결과 Z값(Z-value)을 이용한 배점방식인 평균편차 일치법으로 채택하였다. 또한 이 방법은 여러 표준화 방법 중 성능 및 안정성이 가장 우수하다고 평가되었다(민대기 외, 2012).

2) 우선순위 세부지표항목 기본입력값 민감도 분석 및 선정

우선순위의 지표값 선정에서 실험값을 우선적으로 사용하며, 실험값이 없을 경우 추정값을 사용하도록 하였다. 실험값과 추정값 모두 없으면 우 결측치가 존재하게 되는데 이러한 결측치에는 기본입력값(default value)을 사용하도록 하였다. 기본입력값은 우선순위 결정 방식과 목적에 따라 그 부여 방법이 다르며, 이에 따라 결과 또한 달라질 수 있다. EURAM(에서는 최댓값을 부여함으로써 알 수 없는 것은 가장 위험한 것으로 처리한다는 사전 예방의 원칙을 바탕으로 하였으며(Hansen et al., 1999; 최승필 외, 2005), 기존의 의약품 우선순위에서 또한 최악의 시나리오를 적용하여 결측치에 가장 높은 점수를 부여하였다(Kim. Y., et al, 2008). CRS-Korea와 CHEMS-1에서는 기본입력값을 유연하게 적용하여 그 민감성을 분석하였다(최승필 외, 2005).

본 연구에서 결측치가 존재하는 지표 항목은 수체 내 반감기, 토양 내 반감기, BCF, Koc, 인체 아/만성 독성, 생태 급성 독성, 생태 아/만성 독성으로 총 7가지 항목이다. 이들 항목의 기본입력값을 유연하게 조정하기 위하여 전체 지표 값의 범위를 나누어 적용 후 각 값의 민감도 분석을 통해 최적값을 선정하고자 하였다. 크게 최댓값, 최솟값, 평균값으로 나누어 평가할 수 있으나, 최솟값의 경우 항생제의 위험 가능성에 대한 저평가를 막기 위하여 배제하였다. 기존의 의약품 우선순위의 방식과 같이 보수적으로 최댓값을 고려하되 지나친 고평가의 가능성을 염두에 두어 전체 범위의 85%, 75%, 65%해당하는 값을 이용하였다. 이렇게 최댓값, 평균값이 포함된 총 5가지의 값으로 나누어 평가하도록 하였다 (<표 3-10>).

<표 3-11>과 같이 비교한 결과 대부분 순위상관계수 0.8 이상으로 모두 높은 것을 알 수 있었다. 이는 값의 평균에서 85%에 해당하는 값들은 최댓값과 가깝기 때문으로 판단된다.

<표 3-10> 결측치가 존재하는 우선순위 지표값의 범위

지표	단위	지표값의 범위	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값
수체반감기 (half-time)	day	1000~0.58	1000	520	390	290	148
토양반감기 (water-time)	day	365~0.3	365	105	82	63	36
생물농축성 (BCF)	L/kg	637~0.01	637	90	61	36	3.69
이동성 (Koc)	L/kg	500755~ 0.00000843	500755	72000	47000	27000	90
인체아/만성독성 (NOEL)	mg/kg	0.03~1000	0.03	3.99	7.95	11.89	15.84
생태급성독성 (LC50)	mg/kg	56~25000	56	286	517	784	979
생태아/만성독성 (NOEC)	mg/kg	0.1~5000	0.1	8.78	17.46	26.14	34.81

또한 결측치가 5개 이하로 존재하는 지표 항목의 경우 결측치 조정에 따른 순위변동 차이가 거의 없기 때문에 0.99이상이 많았다. 결측치가 많이 존재하는 생태 독성의 지표 항목들은 최댓값과 평균값의 순위상관계수가 0.6으로 결측치가 존재하는 항목들이 고윳값을 가지고 있는 항목의 순위를 크게 바꾸었기 때문이다. 결측치가 50% 정도 존재하는 토양반감기의 경우 최댓값과 평균값의 순위상관계수가 0.41로 가장 낮았는데 이는 결측치가 골고루 분포하게 되어 변동 차이를 크게 보이는 것으로 나타났다. 결과적으로 거의 비슷한 수준의 순위 상관을 보였지만 그중에서도 값 간에 가장 큰 순위상관계수를 보이는 값을 각 항목의 기본입력값으로 채택하였다.

<표 3-11> 결측치가 존재하는 지표의 최댓값, 85%값, 75%값, 65%값, 평균값 순위상관계수(r_s) 비교 및 결측치 기본 입력값 결정

수체 반감기	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					85%값
85%값	1.00	1.00				
75%값	1.00	1.00	1.00			
65%값	1.00	1.00	1.00	1.00		
평균값	0.95	0.96	0.96	0.96	1.00	
토양 반감기	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					75%값
85%값	0.87	1.00				
75%값	0.85	0.98	1.00			
65%값	0.66	0.85	0.87	1.00		
평균값	0.41	0.66	0.69	0.87	1.00	
BCF	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					65%값
85%값	1.00	1.00				
75%값	1.00	1.00	1.00			
65%값	1.00	1.00	1.00	1.00		
평균값	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	
Koc	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					85%값
85%값	1.00	1.00				
75%값	1.00	1.00	1.00			
65%값	1.00	1.00	1.00	1.00		
평균값	0.95	0.96	0.96	0.96	1.00	
인체 아/만성	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					75%값
85%값	0.99	1.00				
75%값	0.93	0.97	1.00			
65%값	0.92	0.97	1.00	1.00		
평균값	0.90	0.95	1.00	1.00	1.00	
생태 급성	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					75%값
85%값	0.90	1.00				
75%값	0.85	0.95	1.00			
65%값	0.85	0.95	1.00	1.00		
평균값	0.80	0.90	0.95	0.95	1.00	
생태 아/만성	최댓값	85%값	75%값	65%값	평균값	기본입력값 결정
최댓값	1.00					75%값
85%값	0.88	1.00				
75%값	0.76	0.88	1.00			
65%값	0.70	0.82	0.94	1.00		
평균값	0.70	0.82	0.94	1.00	1.00	

4. 우선순위 기법 평가

1) 초기 구성한 우선순위 체계의 지표와 우선순위의 상관성 분석

초기에 구성한 우선순위 기법을 평가하기 위하여 2011년 소의 매몰지를 대상으로 각 지표의 순위와 최종순위와의 상관관계를 비교하였다. 우선순위 체계에는 다양한 지표들이 구성되어 있다. 이 가운데 어느 한 분야 혹은 일부 지표들에 의해 우선순위가 지나치게 편중된 영향을 받지 않도록 하는 것이 대단히 중요하다(최승필 외, 2005). 우선 <부록 표 14>와 같이 2011년 소 매몰지를 대상으로 각 지표의 점수를 배점하여 최종점수순위를 도출하였다.

도출된 최종점수순위와 노출과 독성의 각 세부지표 항목들의 점수순위와의 상관관계를 비교해 보았다. 그 결과 <표 3-12>와 같이 인체위해성과 생태위해성의 최종점수가 독성 항목점수보다는 노출 항목점수와 큰 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 노출지표가 최종점수를 좌우하며 독성의 가중치가 낮은 것을 알 수 있었다. 노출과 독성의 각 세부항목의 점수와 최종점수의 상관관계를 비교해 보았다.

<표 3-12> 항생제 위해도 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표항목 점수와의 순위상관계수 비교

	인체 위해성 (r_s)	생태위해성 (r_s)
노출 최종점수	0.74	0.92
간류성	0.49	0.65
생물농축성	0.13	0.41
배출량	-0.07	0.18
이동성	-0.07	0.32
독성 최종점수	0.51	0.11
급성독성	0.34	0.16
아만성독성	0.43	-0.02

<표 3-13> 항생제 위해도 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와
의 순위상관계수 비교

	최종점수 상관계수 (rs)
인체위해성	0.79
생태 위해성	0.59
인체노출	0.56
생태노출	0.57
수체 반감기	0.33
토양 반감기	0.34
생물농축성	0.29
배출량	0.06
Koc (인체)	-0.35
Koc (생태)	0.36
인체 독성	0.46
인체 급성 독성	0.33
인체 아/만성 독성	0.41
생태독성	-0.05
생태 급성 독성	-0.07
생태 아/만성 독성	-0.10

그 결과 <표 3-13>와 같이 인체 위해성이 생태 위해성 보다 최종점수에 더 큰 상관성을 보여 최종순위를 좌우하였다. 또한 노출의 세부지표인 배출량의 경우 각 위해성 부분과 상관계수가 낮았고 특히 인체 위해성에서는 음의 상관성을 보였다. 노출 지표들의 관계에서 배출량이 이동성과 합의 관계에 놓여 있기 때문으로 판단된다. 배출량 지표는 환경중에 노출 가능성과 그 정도를 나타내는 중요한 부분이다. 배출량을 포함하고 있는 노출이 독성보다 상관성이 높다 하더라도 배출량의 영향을 높이는 것이 필요하다.

독성의 경우 인체와 생태 모두 상관성이 낮게 나타났다. 특히 생태독성에서 음의 상관성을 보였는데 이는 다른 세부지표 항목들에 비해 자료가 부족(결측치 50% 이상)하여 대부분 같은 값으로 설정되었기 때문으로 보인다.

2) 우선순위 체계 수정과 상관성 분석

우선순위의 체계는 기본적으로 위해성평가를 기반으로 하고 있다(박화성 외 2005). 위해성평가의 기본 구조인 인체 위해성과 생태 위해성의 균형을 유지하는 것이 중요하며, 이와 함께 노출과 독성의 비중이 같아 지도록 하는 것 또한 중요하다. 앞서 초기에 구성하였던 우선순위 체계 평가에서 인체 위해성이 생태 위해성보다 상관계수가 높아 최종점수를 좌우한다는 것을 알 수 있었다. 특히 노출의 세부지표인 배출량은 이동성과 합의 관계에 놓여있어 최종점수에 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 종합적으로 초기 구성한 우선순위 체계에 문제점은 이동성과 배출량의 관계에 있다고 판단된다. 이를 개선하기 노출지표의 관계를 수정하여 상관성을 분석하였다.

(1) 배출량과 이동성을 합의 관계로 조정하여 순위상관관계비교

$$(\text{노출} = \text{잔류성} + \text{생물농축성} + \text{배출량} + \text{이동성})$$

노출의 세부지표를 모두 합의 관계로 수정하여 각 지표의 순위상관계수를 비교하였다(<표 3-14>, <표 3-15>).

초기에 구성한 우선순위 체계와 비교하였을 때 대체로 인체위해성과 생태위해성의 균형이 개선되었다.

<표 3-14> 배출량과 이동성을 합의 관계로 조정 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교

	인체 위해성 (r _s)	생태위해성 (r _s)
노출 최종점수	0.37	0.89
잔류성	0.19	0.57
생물농축성	0.13	0.38
배출량	0.08	0.22
이동성	-0.29	0.31
독성 최종점수	0.82	0.13
급성독성	0.61	0.17
아만성독성	0.56	0.01

<표 3-15> 배출량과 이동성을 합의 관계로 조정 후 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교

	최종점수 상관계수 (rs)
인체위해성	0.79
생태 위해성	0.66
인체노출	0.29
생태노출	0.55
수체 반감기	0.07
토양 반감기	0.25
생물농축성	0.25
배출량	0.15
Koc (인체)	-0.39
Koc (생태)	0.39
인체 독성	0.67
인체 급성 독성	0.49
인체 아/만성 독성	0.53
생태독성	0.0018
생태 급성 독성	-0.01
생태 아/만성 독성	-0.06

하지만 인체 위해성에서 초기체계보다 독성과의 상관성은 높아졌지만, 노출과의 상관성이 반대로 낮아져 전체적으로 개선되었다고 보기 어렵다. 배출량에서도 역시 양의 상관성을 보였지만 0.08로 다른 지표들과 비교했을 때 낮은 수치를 보였다. 결과적으로 노출의 세부항목이 모두 합의 관계일 때 위해성 간의 균형은 초기의 체계보다 보완이 되었지만, 독성과 노출에서는 여전히 한 지표에 상관성이 편중되어 균형을 이루지 못하였다.

(2) 이동성을 제외한 순위상관관계 비교

$$\text{(노출 = (잔류성 + 생물농축성)*배출량)}$$

배출량 지표와 합의 관계에 놓여 있는 이동성 지표를 노출분야에서 제외한 후 각 지표의 순위상관계수를 비교하였다(<표 3-16>, <표 3-17>).

초기에 구성한 우선순위 체계와 비교하였을 때 대체로 인체위해성과 생태위해성의 균형이 어느 정도 개선되었으나, 인체 위해성에서 노출과 독성에서의 균형은 초기체계와 비슷하게 나타났다. 그러나 배출량 지표와 인체 위해성 간의 순위상관계수가 0.42로 초기체계에서의 -0.07에 비해 상관성이 크게 높아졌다. 이를 통해 이동성은 배출량의 상관성에 영향을 미치는 요소로 작용한다는 것을 알 수 있었다.

<표 3-16> 이동성을 제외한 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교

	인체 위해성 (rs)	생태위해성 (rs)
노출 최종점수	0.78	0.92
잔류성	0.26	0.37
생물농축성	0.19	0.30
배출량	0.42	0.53
독성 최종점수	0.51	0.08
급성독성	0.35	0.05
아만성독성	0.46	-0.03

<표 3-17> 이동성을 제외한 후 항생제 위해도 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교

	최종점수 상관계수 (rs)
인체위해성	0.81
생태 위해성	0.79
인체노출	0.73
생태노출	0.82
수체 반감기	-0.04
토양 반감기	0.17
생물농축성	0.32
배출량	0.57
인체 독성	0.32
인체 급성 독성	0.21
인체 아/만성 독성	0.33
생태독성	-0.08
생태 급성 독성	-0.08
생태 아/만성 독성	-0.09

결과적으로 노출의 세부항목인 이동성을 제외했을 때 위해성 간의 균형이 보완되었으며, 노출과 독성의 가중치는 크게 달라지지 않았지만, 배출량 지표의 상관계수가 높아졌다.

(3) 이동성을 배출량과 곱의 관계로 조정 후 순위상관관계비교

$$(\text{노출} = (\text{잔류성} + \text{생물농축성} + \text{이동성}) * \text{배출량})$$

배출량 지표와 합에 놓여 있는 이동성 지표를 곱의 관계로 조정 한 후 각 지표의 순위상관계수를 비교하였다(<표 3-18>, <표 3-19>).

초기에 구성한 우선순위 체계와 비교하였을 때 대체로 인체 위해성과 생태 위해성의 균형이 개선되었으며 다른 수정된 체계들에 비해 인체 위해성과의 상관성이 0.9 이상으로 높아졌다. 이는 배출량 지표의 상관성이 0.72로 초기 0.06에 비해 몇 배로 높아져 전체적으로 인체 위해성의 상관성에 영향을 준 것으로 보인다. 그러나 반대로 잔류성의 지표가 음의 상관성을 보였으며 이는 배출량의 상관성이 높아지면서 잔류성의 결측치(38%)로 인해 영향이 낮아진 것으로 보인다. 독성과 노출의 지표는 초기에 구성한 우선순위와 비슷한 수준으로 나타났다. 결과적으로 위해성 간의 균형과 배출량의 상관성이 보완되었으나 노출과 독성의 가중치는 크게 달라지지 않았다.

<표 3-18> 이동성과 배출량을 곱의 관계로 조정한 후 우선순위의 위해성 최종점수와 각 지표 항목점수와 순위상관계수 비교

	인체 위해성 (r _s)	생태위해성(r _s)
노출 최종점수	0.80	0.91
잔류성	-0.12	0.32
생물농축성	0.12	0.29
배출량	0.70	0.55
이동성	-0.31	0.31
독성 최종점수	0.49	0.07
급성독성	0.37	0.09
아/만성독성	0.39	-0.04

<표 3-19> 이동성과 배출량을 곱의 관계로 조정 한 후 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와 의 순위상관계수 비교

	최종점수 상관계수 (rs)
인체위해성	0.92
생태 위해성	0.76
인체노출	0.76
생태노출	0.81
수체 반감기	-0.19
토양 반감기	-0.02
생물농축성	0.24
배출량	0.72
Koc (인체)	-0.39
Koc (생태)	0.39
인체 독성	0.39
인체 급성 독성	0.09
인체 아/만성 독성	0.34
생태독성	-0.11
생태 급성 독성	-0.13
생태 아/만성 독성	-0.11

<표 3-20> 구성된 우선순위 체계와 조정된 우선순위 체계의 최종 점수 간의 순위상관계수(rs) 비교

	Initialization	Modify (1)	Modify (2)	Modify (3)
Initialization	1.00			
Modify (1)	0.89	1.00		
Modify (2)	0.78	0.81	1.00	
Modify (3)	0.61	0.72	0.95	1.00

Initialization : 처음에 구성한 우선순위 체계

Modify (1) : 배출량과 이동성 지표 모두 합의 관계로 조정

Modify (2) : 이동성 지표 제외

Modify (3) : 이동성 지표와 배출량 지표가 곱의 관계

초기에 구성한 우선순위 체계와 수정된 우선순위 체계 간의 최종점수 순위상관계수를 비교하였다(<표 3-20>). 비교 결과 초기 구성 체계 (Initialization)와 Modify (3)의 최종순위 상관성이 0.61로 가장 낮았으

나 이를 제외한 나머지는 0.7 이상으로 노출분야에서의 관계변화에 따라 순위 변동이 크게 달라지지 않는다는 것을 알았다. Modify(2)와 Modify(3)의 순위상관계수는 0.95로 가장 크게 나타났는데 이는 배출량 지표가 독립적으로 곱의 관계에 있을 때 그 상관성이 큰 것으로 보인다. 결과적으로 인체 위해성과 생태 위해성의 균형을 유지하고 배출량의 영향성을 높이기 위하여 초기에 구성한 우선순위 체계보다는 노출의 세부지표인 이동성과 배출량 간의 관계를 수정한 Modify(2)와 Modify(3)가 더 적합한 체계이다.

3) 기본입력값에 대한 민감도 분석

우선순위 체계에서 노출지표 간의 관계를 수정하여 인체위해성과 생태 위해성의 균형은 개선되었지만 여전히 독성과 노출의 균형에 대한 문제가 남아있다. 이는 결측치가 다수 존재하는 지표인 독성이 항생제와 관계없이 같은 기본입력값으로 부여되어 독성의 차이를 구분하지 못하기 때문으로 판단된다. 차후 적절한 활용과 평가를 위해 독성자료의 보충이 필요하다. 또한 노출의 과도한 영향을 완화하기 하기 위해 체계의 변경을 고려해야 한다. 이러한 영향을 줄이는 방법으로 곱의 관계에 있는 노출과 독성을 합의 관계로 바꾸는 것이다(최승필 외, 2005).

본 연구에서는 인체위해성과 생태위해성의 균형을 유지할 수 있는 Modify(2)와 Modify(3) 체계를 토대로 노출과 독성의 곱의 관계를 합의 관계로 조정하여 기본입력값에 따른 민감도 분석 그리고 지표 점수와 최종 점수 간의 상관성 분석을 하였다.

기본입력값에 대한 Modify(2)와 Modify(3) 최종결과의 민감도를 평가하기 위해 최댓값에서 최솟값까지 범위 내에서 유연하게 점수를 부여하였다. 이전의 연구 단계에서 결측치가 존재하는 세부지표 항목들의 기본입력값에 대한 민감도 분석을 수행한 결과(<표 3-11>)를 보면 최댓값과 평균 사이에 있는 값(65%~85%)은 모든 값과 상관성이 높게 나와 어떠한 값을 넣어도 크게 변하지 않는 것을 알 수 있었다. 이러한 근

거를 바탕으로 최댓값, 평균값, 최솟값 그리고 65% ~ 85%값의 중간값인 75%를 부여하여 최종 우선순위 결과를 도출한 후 기본입력값의 변화에 따른 최종점수순위의 민감도를 평가하였다(<표 3-21>).

<표 3-21> Modify(2)와 Modify(3) 지표항목의 기본입력값에 따른 최종 점수 순위상관계수(r_s) 비교

노출과 독성이 곱의 관계									
Modify(2)					Modify(3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.79	1.00			75%값	0.92	1.00		
평균값	0.53	0.91	1.00		평균값	0.78	0.95	1.00	
최솟값	0.28	0.72	0.90	1.00	최솟값	0.60	0.80	0.91	1.00

노출과 독성이 합의 관계									
Modify(2)					Modify(3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.90	1.00			75%값	0.95	1.00		
평균값	0.75	0.95	1.00		평균값	0.88	0.97	1.00	
최솟값	0.33	0.56	0.70	1.00	최솟값	0.47	0.61	0.88	1.00

그 결과 합의 관계와 곱의 관계 모두에서 평균값과 75%값 간의 순위상관계수가 90 이상으로 가장 높았으며 최댓값과 최솟값 간의 순위상관계수는 가장 낮았다. Modify(2)보다 Modify(3)에서 상관계수가 높아 어떠한 기본입력값을 부여하더라도 민감성이 낮아 순위변동성에 영향이 적다는 것을 알 수 있다. Modify(3)에서 곱의 관계보다 합의 관계에서 값 간의 상관성이 높아 보이나 최솟값 간의 비교에서 곱의 관계가 합의 관계보다 좀 더 높은 것을 확인하였다. 자세하게 살펴보기 위하여 <표 3-22>, <표 3-23>, <표 3-24>, <표 3-25>와 같이 상위 30개 물질의 목록을 비교하였다.

<표 3-22> 노출과 독성이 곱의 관계에서 Modify(2)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교

곱의 관계=우선순위최종점수(수체반감기,토양반감기,생물농축성,이동성(인체),이동성(생태), 인체아/만성독성, 생태급성, 생태아/만성독성)				
순위	Modify (2)			
	기본입력값 = 최댓값	기본입력값 = 75%값	기본입력값 = 평균값	기본입력값 = 최솟값
1	Ampicillin	Enrofloxacin	Enrofloxacin	Chlortetracycline
2	Penicillin	Monensin	Monensin	Enrofloxacin
3	Chlortetracycline	Penicillin	Chlortetracycline	Monensin
4	Cephalonium	Chlortetracycline	Oxytetracycline	Oxytetracycline
5	Enrofloxacin	Ampicillin	Penicillin	Florfenicol
6	Monensin	Oxytetracycline	Florfenicol	Tylosin
7	Neomycin	Florfenicol	Ceftiofur	Amoxycillin
8	Danofloxacin	Tiamulin	Tilmicosin	Penicillin
9	Sulfamethoxyipyridazine	Sulfadimethoxine	Sulfadimethoxine	Tilmicosin
10	Florfenicol	Tilmicosin	Ampicillin	Tiamulin
11	Oxytetracycline	Ceftiofur	Tiamulin	Fenbendazol
12	Sulfadoxine	Sulfamethoxyipyridazine	Dihydrostreptomycin	Lasalocid
13	Dihydrostreptomycin	Sulfamethazine	Tylosin	Ceftiofur
14	Tiamulin	Dihydrostreptomycin	Sulfamethazine	Dihydrostreptomycin
15	Ceftiofur	Tylosin	Sulfamethoxyipyridazine	Sulfamethoxazole
16	Novobiocin	Neomycin	Fenbendazol	Sulfadimethoxine
17	Gentamycin	Danofloxacin	Amoxycillin	Sulfamethazine
18	Cefquinome	Cephalonium	Neomycin	Erythromycin
19	Kanamycin	Fenbendazol	Lasalocid	Sulfamethoxyipyridazine
20	Tilmicosin	Dicloxacillin	Chloramphenicol	Ampicillin
21	Thiamphenicol	Lasalocid	Dicloxacillin	Trimethoprim
22	Colistin	Rifampicin	Bacitracin	Bacitracin
23	Apramycin	Apramycin	Sulfachlorpyridazine	Apramycin
24	Spectinomycin	Sulfadoxine	Rifampicin	Sulfachlorpyridazine
25	Cefazolin	Bacitracin	Sulfamethoxazole	Neomycin
26	Phthalylsulfathiazole	Amoxycillin	Amikacin	Sulfadiazine
27	Sulfamethazine	Sulfachlorpyridazine	Trimethoprim	Rifampicin
28	Sulfadimethoxine	Colistin	Apramycin	Salinomycin
29	Sulfamonmethoxine	Chloramphenicol	Colistin	Spiramycin
30	Rifampicin	Novobiocin	Danofloxacin	Sulfanilamide

<표 3-23> 노출과 독성이 곱의 관계에서 Modify(3)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교

곱의 관계=우선순위최종점수(수체만감기,토양만감기,생물농축성,이동성(인체),이동성(생태), 인체아/만성독성, 생태급성, 생태아/만성독성)				
순위	Modify (3)			
	기본입력값 = 최댓값	기본입력값 = 75%값	기본입력값 = 평균값	기본입력값 = 최솟값
1	Ampicillin	Monensin	Monensin	Chlortetracycline
2	Penicillin	Enrofloxacin	Chlortetracycline	Monensin
3	Chlortetracycline	Chlortetracycline	Florfenicol	Oxytetracycline
4	Monensin	Florfenicol	Enrofloxacin	Enrofloxacin
5	Florfenicol	Penicillin	Oxytetracycline	Florfenicol
6	Dihydrostreptomycin	Oxytetracycline	Penicillin	Amoxycillin
7	Enrofloxacin	Ampicillin	Dihydrostreptomycin	Tylosin
8	Oxytetracycline	Dihydrostreptomycin	Ceftiofur	Penicillin
9	Cephalonium	Ceftiofur	Ampicillin	Dihydrostreptomycin
10	Neomycin	Neomycin	Sulfadimethoxine	Lasalocid
11	Ceftiofur	Sulfadimethoxine	Tilmicosin	Ceftiofur
12	Sulfamethoxyipyridazine	Tilmicosin	Amoxycillin	Tilmicosin
13	Amoxycillin	Tylosin	Tylosin	Sulfamethoxazole
14	Danofloxacin	Sulfamethoxyipyridazine	Neomycin	Tiamulin
15	Sulfadoxine	Amoxycillin	Sulfamethazine	Fenbendazol
16	Sulfadimethoxine	Tiamulin	Tiamulin	Ampicillin
17	Tilmicosin	Sulfamethazine	Chloramphenicol	Sulfadimethoxine
18	Chloramphenicol	Chloramphenicol	Lasalocid	Neomycin
19	Colistin	Lasalocid	Sulfamethoxyipyridazine	Trimethoprim
20	Tylosin	Cephalonium	Sulfamethoxazole	Sulfamethazine
21	Sulfamethazine	Danofloxacin	Trimethoprim	Sulfamethoxyipyridazine
22	Tiamulin	Sulfamethoxazole	Fenbendazol	Sulfadiazine
23	Novobiocin	Colistin	Bacitracin	Erythromycin
24	Gentamycin	Sulfadoxine	Dicloxacillin	Bacitracin
25	Lasalocid	Dicloxacillin	Colistin	Sulfachlorpyridazine
26	Cefquinome	Bacitracin	Sulfachlorpyridazine	Salinomycin
27	Kanamycin	Sulfachlorpyridazine	Rifampicin	Apramycin
28	Sulfamethoxazole	Fenbendazol	Sulfadiazine	Sulfanilamide
29	Thiamphenicol	Rifampicin	Sulfathiazole	Colistin
30	Apramycin	Trimethoprim	Apramycin	Spiramycin

<표 3-24> 노출과 독성이 합의 관계에서 Modify(2)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교

합의 관계=우선순위최종점수(수체만감기, 토양만감기, 생물농축성, 이동성(인체), 이동성(생태), 인체아/만성독성, 생태급성, 생태아/만성독성)				
순위	Modify (2)			
	기본입력값 = 최댓값	기본입력값 = 75%값	기본입력값 = 평균값	기본입력값 = 최솟값
1	Cephalonium	Enrofloxacin	Monensin	Chlortetracycline
2	Chlortetracycline	Monensin	Enrofloxacin	Monensin
3	Penicillin	Chlortetracycline	Chlortetracycline	Enrofloxacin
4	Monensin	Oxytetracycline	Oxytetracycline	Oxytetracycline
5	Neomycin	Tilmicosin	Florfenicol	Florfenicol
6	Danofloxacin	Florfenicol	Tilmicosin	Lasalocid
7	Sulfamethoxy pyridazine	Penicillin	Tiamulin	Tylosin
8	Ampicillin	Tiamulin	Penicillin	Tilmicosin
9	Florfenicol	Sulfamethoxy pyridazine	Lasalocid	Fenbendazol
10	Enrofloxacin	Neomycin	Ceftiofur	Amoxicillin
11	Cefquinome	Danofloxacin	Sulfadimethoxine	Tiamulin
12	Novobiocin	Lasalocid	Sulfamethoxy pyridazine	Sulfanilamide
13	Tilmicosin	Cephalonium	Dihydrostreptomycin	Penicillin
14	Sulfadoxine	Sulfadimethoxine	Neomycin	Trimethoprim
15	Tiamulin	Ceftiofur	Chloramphenicol	Sulfamethoxazole
16	Oxytetracycline	Ampicillin	Dicloxacillin	Salinomycin
17	Rifampicin	Rifampicin	Salinomycin	Sulfadiazine
18	Kanamycin	Dicloxacillin	Rifampicin	Apramycin
19	Lasalocid	Chloramphenicol	Bacitracin	Ceftiofur
20	Thiamphenicol	Cefquinome	Danofloxacin	Dihydrostreptomycin
21	Colistin	Dihydrostreptomycin	Trimethoprim	Erythromycin
22	Gentamycin	Novobiocin	Ampicillin	Sulfadimethoxine
23	Dihydrostreptomycin	Bacitracin	Sulfamethazine	Sulfamethoxy pyridazine
24	Tulathromycin	Tulathromycin	Tulathromycin	Neomycin
25	Apramycin	Salinomycin	Sulfadiazine	Streptomycin
26	Marbofloxacin	Apramycin	Sulfachlorpyridazine	Bacitracin
27	Chloramphenicol	Colistin	Cefquinome	Lincomycin
28	Ceftiofur	Sulfachlorpyridazine	Apramycin	Rifampicin
29	Spectinomycin	Sulfadoxine	Fenbendazol	Sulfamethazine
30	Bacitracin	Sulfathiazole	Colistin	Danofloxacin

<표 3-25> 노출과 독성이 합의 관계에서 Modify(3)의 기본입력값에 따른 최종점수 순위 비교

합의 관계=우선순위최종점수(수체만감기,토양만감기,생물농축성,이동성(인체),이동성(생태), 인체아/만성독성, 생태급성, 생태아/만성독성)				
순위	Modify (3)			
	기본입력값 = 최댓값	기본입력값 = 75%값	기본입력값 = 평균값	기본입력값 = 최솟값
1	Monensin	Monensin	Monensin	Chlortetracycline
2	Chlortetracycline	Chlortetracycline	Chlortetracycline	Monensin
3	Florfenicol	Enrofloxacin	Florfenicol	Florfenicol
4	Penicillin	Florfenicol	Enrofloxacin	Oxytetracycline
5	Ampicillin	Oxytetracycline	Oxytetracycline	Enrofloxacin
6	Cephalonium	Penicillin	Penicillin	Lasalocid
7	Neomycin	Dihydrostreptomycin	Dihydrostreptomycin	Amoxicillin
8	Dihydrostreptomycin	Ceftiofur	Ceftiofur	Tylosin
9	Enrofloxacin	Neomycin	Tilmicosin	Penicillin
10	Oxytetracycline	Ampicillin	Lasalocid	Tilmicosin
11	Sulfamethoxyipyridazine	Tilmicosin	Neomycin	Fenbendazol
12	Ceftiofur	Lasalocid	Ampicillin	Sulfanilamide
13	Danofloxacin	Sulfamethoxyipyridazine	Tiamulin	Tiamulin
14	Lasalocid	Tiamulin	Chloramphenicol	Sulfamethoxazole
15	Cefquinome	Chloramphenicol	Sulfadimethoxine	Trimethoprim
16	Chloramphenicol	Cephalonium	Sulfamethoxyipyridazine	Salinomycin
17	Tilmicosin	Danofloxacin	Salinomycin	Sulfadiazine
18	Novobiocin	Sulfadimethoxine	Trimethoprim	Dihydrostreptomycin
19	Sulfadoxine	Rifampicin	Rifampicin	Ceftiofur
20	Rifampicin	Cefquinome	Dicloxacillin	Apramycin
21	Colistin	Salinomycin	Bacitracin	Neomycin
22	Tiamulin	Dicloxacillin	Danofloxacin	Ampicillin
23	Kanamycin	Bacitracin	Sulfadiazine	Erythromycin
24	Marbofloxacin	Novobiocin	Sulfamethazine	Sulfadimethoxine
25	Tulathromycin	Colistin	Tulathromycin	Streptomycin
26	Bacitracin	Tulathromycin	Cefquinome	Sulfamethoxyipyridazine
27	Salinomycin	Trimethoprim	Colistin	Lincomycin
28	Thiamphenicol	Marbofloxacin	Amoxicillin	Bacitracin
29	Dicloxacillin	Sulfachlorpyridazine	Sulfachlorpyridazine	Bambermycin
30	Sulfathiazole	Sulfadoxine	Cephalonium	Rifampicin

음영 표시한 물질은 기본입력값이 달라져도 상위 30위 목록 내에 공통으로 포함되는 것이다. Modify(2) 곱의 관계, Modify(2) 합의 관계, Modify(3) 합의 관계는 공통으로 포함되는 17개의 항생제를 제외하고 13개의 물질이 기본입력값에 따라 상위 30위 목록 내에 포함여부가 달라지며, Modify(3) 곱의 관계는 공통적으로 포함되는 항생제가 20개로 가장 많아 10개의 물질만이 기본입력값에 따라 포함 여부가 달라진다. 앞서 상관계수를 확인한 결과와 같이 Modify(3) 곱의 관계가 최댓값과 최솟값 간의 상관계수가 다른 체계들보다 높아 공통으로 포함되는 물질의 수가 더 많은 것이다. 모든 체계에서 공통으로 포함되는 항생제는 총 12개로 Ceftiofur, Chlortetracycline, Dihydrostreptomycin, Enrofloxacin, Florfenicol, Monensin, Neomycin, Oxytetracycline, Penicillin, Sulfamethoxypyridazine, Tiamulin, Tilmicosin 이다. 체계 및 기본입력값 변동에 상관없이 12개의 항생제는 항상 상위 30위권에 포함된다. 12개의 항생제 중 Neomycin, Penicillin, Sulfamethoxypyridazine의 순위 경향을 보면 기본입력값이 작아질수록 순위가 점차 낮아졌다. 그와 반대로 Oxytetracycline, Florfenicol은 기본입력값이 작아질수록 순위가 오르는 것을 확인하여 몇몇 항생제 순위가 기본입력값의 크기에 따라 영향을 받았다. Ceftiofur, Chlortetracycline, Dihydrostreptomycin, Enrofloxacin, Monensin, Tiamulin, Tilmicosin은 기본입력값의 크기에 상관없이 순위가 변동되었다. 순위변동의 폭을 보면 Modify(3) 합의 관계가 다른 체계들에 비해 기본입력값에 따른 그 변화의 폭이 작았다. 앞서 설명한 것과 같이 최솟값을 제외하고 순위상관계수가 가장 크게 나타났기 때문이다.

Cephalonium은 상위 30위권에 공통적으로 포함되지 않았지만 모든 체계에서 기본입력값에 따라 10위 이상씩 가장 큰 순위변동 폭을 보였다. Cephalonium는 평가되는 지표에서 인체독성(인체급성, 인체아/만성)을 제외하고 8개의 세부지표 모두 값이 존재하지 않았기 때문에 기본입력값에 따라 순위의 변동이 크게 좌우는 되는 것으로 확인하였다.

결측치가 다수 존재함에 따라 순위 변동성에 큰 영향을 주는 것을 알

수 있었다. 결측치가 다수 존재하는 지표가 최종순위에 미치는 영향을 좀 더 자세히 살펴보기 위해 결측치가 50% 이상인 지표에 대한 민감도 분석을 하였다. 50% 이상 결측치를 가지고 있는 지표는 생태급성독성, 생태아/만성독성으로 이 지표가 포함된 생태위해성 부분만 한정하여 기본입력값 변화에 따른 민감성을 비교하였다. 기본입력값 간의 순위상관계수를 종합적으로 살펴보면 <표 3 - 26>와 같다.

<표 3 - 26> Modify (2)와 Modify (3) 체계에서 생태위해성 지표항목의 기본입력값에 따른 최종 점수 순위상관계수(r_s) 비교

생태위해성 최종 점수 - 노출과 독성이 곱의 관계									
Modify (2)					Modify (3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.80	1.00			75%값	0.88	1.00		
평균값	0.54	0.87	1.00		평균값	0.66	0.88	1.00	
최솟값	0.03	0.43	0.72	1.00	최솟값	0.19	0.48	0.73	1.00

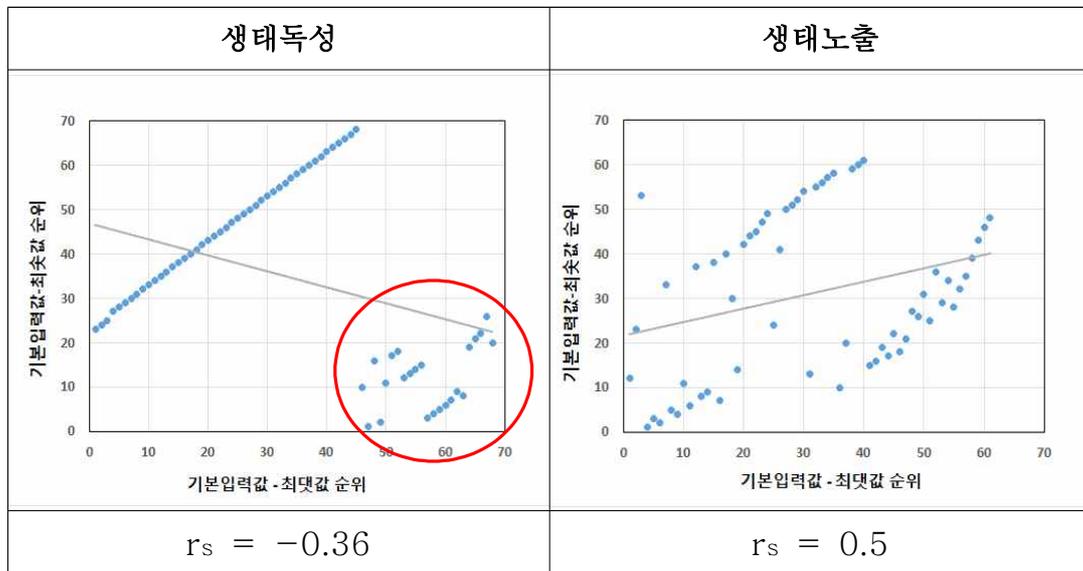
생태위해성 최종 점수 - 노출과 독성이 합의 관계									
Modify (2)					Modify (3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.70	1.00			75%값	0.84	1.00		
평균값	0.41	0.88	1.00		평균값	0.62	0.90	1.00	
최솟값	-0.32	0.29	0.54	1.00	최솟값	0.02	0.60	0.88	1.00

생태독성									
Modify (2)					Modify (3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.78	1.00			75%값	0.78	1.00		
평균값	0.61	0.87	1.00		평균값	0.61	0.87	1.00	
최솟값	-0.36	-0.03	0.18	1.00	최솟값	-0.36	-0.03	0.18	1.00

생태노출									
Modify (2)					Modify (3)				
	최댓값	75%값	평균값	최솟값		최댓값	75%값	평균값	최솟값
최댓값	1.00				최댓값	1.00			
75%값	0.81	1.00			75%값	0.88	1.00		
평균값	0.56	0.89	1.00		평균값	0.67	0.90	1.00	
최솟값	0.30	0.70	0.91	1.00	최솟값	0.50	0.77	0.96	1.00

생태위해성 부분에서도 곱의 관계 보다는 합의 관계에서 상관계수가 높아 기본입력값에 따른 민감성이 낮다. 그리고 Modify(2) 보다 Modify(3)에서 역시 기본입력값에 따른 상관계수가 높았다.

결측치가 50% 이상인 생태독성은 최댓값과 최솟값 간의 상관계수가 음의 값이 나왔다. <그림 3-2>과 생태독성 그래프에서 표시(원)된 부분은 지표값을 보유하고 있는 항생제로 결측치로 존재하는 항생제의 기본입력값에 영향으로 순위 변동 폭이 커지면서 상관관계를 악화시키는 것으로 확인되었다. 이러한 이유로 생태독성과 생태위해성 간의 상관관계가 낮아 그 영향력이 작은 것을 알 수 있었다.



<그림 3-2> Modify(2)와 Modify(3) 체계에서 기본입력값(최댓값-최솟값)에 따른 생태독성과 생태노출의 순위상관계수 비교

Modify(2)와 Modify(3) 체계 모두 곱의 관계보다 합의 관계에 있을 때 기본입력값에 따른 민감도가 낮은 것을 확인하였다. <표 3 - 27>와 <표 3 - 28>은 Modify(2)와 Modify(3) 모두 합의 관계에서 지표 점수와 최종점수 간의 상관성 분석을 한 결과이다. Modify(2)와 Modify(3) 모두 곱의 합의 관계일 때 최종점수와 인체위해성과 생태위해성 점수 간의 상관관계가 0.68 ~ 0.86으로 곱의 관계일 때인 0.76 ~ 0.92 보다

<표 3-27> Modify (2)와 Modify (3) 체계에서 우선순위의 위해성 최종 점수와 각 지표 항목 점수와의 순위상관계수(r_s) 비교

Modify (2) 노출과 독성 합의 관계			Modify (3) 노출과 독성 합의 관계		
	인체 위해성	생태위해성		인체 위해성	생태위해성
노출 최종점수	0.42	0.85	노출 최종점수	0.52	0.84
잔류성	0.01	0.40	잔류성	-0.20	0.28
생물 농축성	0.19	0.29	생물 농축성	0.19	0.31
배출량	0.27	0.44	배출량	0.47	0.52
이동성	-	-	이동성	-0.38	0.31
독성 최종점수	0.85	0.21	독성 최종점수	0.79	0.18
급성독성	0.69	0.16	급성독성	0.65	0.19
아만성 독성	0.57	0.05	아만성 독성	0.51	0.01

<표 3-28> Modify (2)와 Modify (3) 체계에서 우선순위의 최종 점수와 각 지표 항목점수와의 순위상관계수 비교

Modify (2) 노출과 독성 합의 관계		Modify (3) 노출과 독성 합의 관계	
	최종점수 상관계수		최종점수 상관계수
인체위해성	0.82	인체위해성	0.86
생태 위해성	0.68	생태 위해성	0.71
인체노출	0.46	인체노출	0.54
생태노출	0.58	생태노출	0.60
수체 반감기	-0.16	수체 반감기	-0.26
토양 반감기	0.08	토양 반감기	-0.03
생물농축성	0.20	생물농축성	0.17
배출량	0.39	배출량	0.49
Koc (인체)	-	Koc (인체)	-0.39
Koc (생태)	-	Koc (생태)	0.44
인체 독성	0.68	인체 독성	0.64
인체 급성 독성	0.55	인체 급성 독성	0.53
인체 아/만성 독성	0.53	인체 아/만성 독성	0.49
생태독성	0.09	생태독성	0.11
생태 급성 독성	0.06	생태 급성 독성	0.07
생태 아/만성 독성	-0.01	생태 아/만성 독성	0.02

낮게 나왔지만, 그 균형은 크게 달라지지 않고 비슷한 수준을 유지하였다. 노출과 독성의 부분에서는 곱의 관계일 때 독성 부분이 위해성간의 상관성이 합의 관계일 때에 비해 크게 오른 것을 알 수 있었다. 인체위해성에서는 인체노출의 상관성이 낮아져 개선된 상황이 없어 보이나 생태위해성의 생태독성의 상관성이 이전의 합의 관계에 비해 소폭 오른 것을 확인하였다. 또한 음의 상관성을 보였던 생태독성이 합의 관계에서 양의 상관성으로 나타나 어느 정도 개선되었다고 판단된다. 배출량 지표에서는 위해성 간의 상관성이 Modify(3) 곱의 관계에서 상관계수 0.7로 가장 높았으나 합의 관계로 조정 후 0.47로 낮아졌다. 이는 독성 부분에서 상관성이 높아지면서 영향을 준 것으로 보인다.

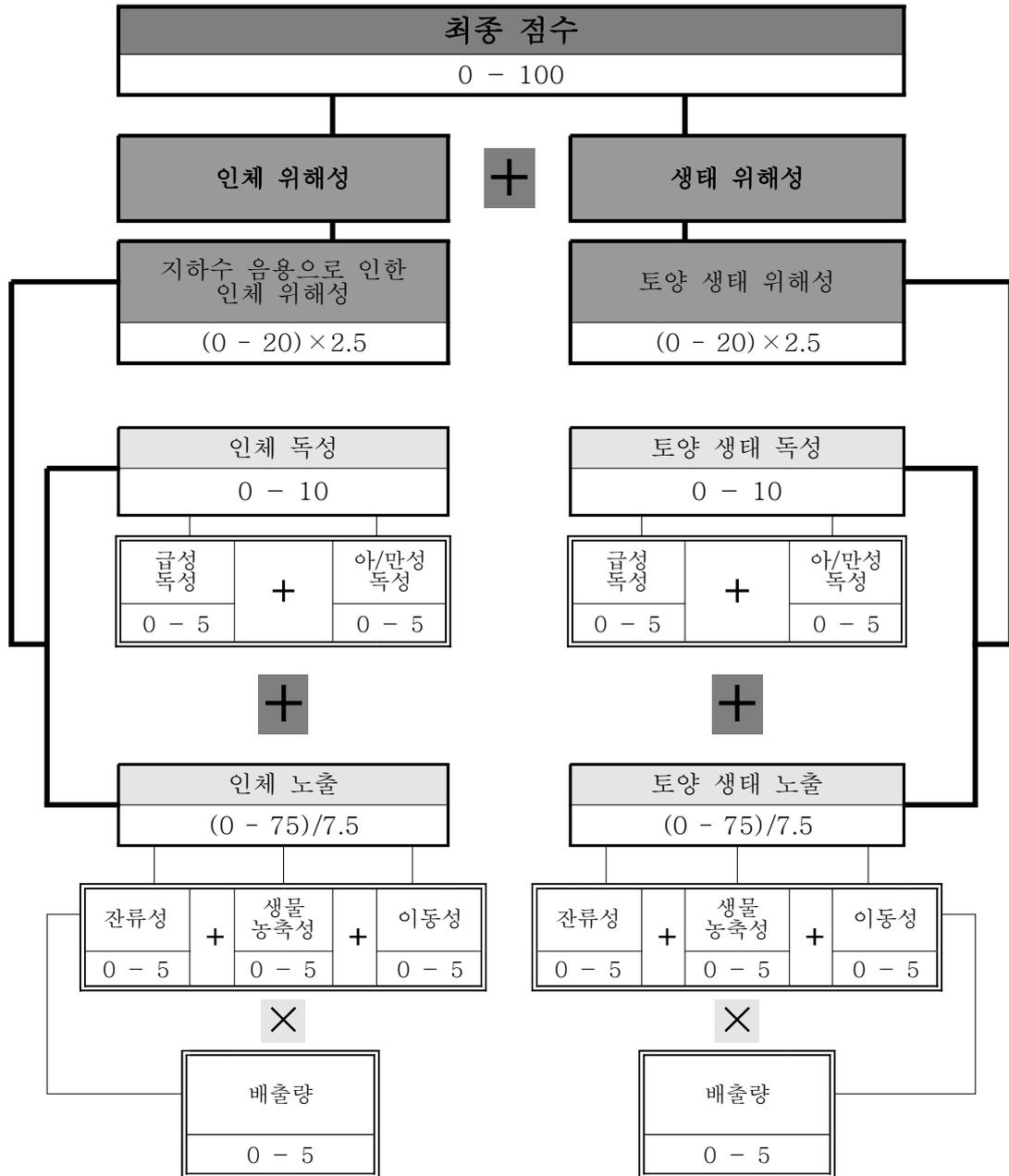
5. 우선순위 기법 정립 및 결정

1) 우선순위 기법 정립

우선순위 기법 평가를 종합한 결과 노출과 독성의 체계가 곱의 관계보다 합의 관계에 있을 때 기본입력값에 따른 민감도가 낮게 나왔으므로 최종 우선순위 기법에서 노출과 독성은 합의 관계로 조정하는 것이 적합하다. 노출의 세부지표 관계를 수정한 Modify(2)와 Modify(3)를 비교하였을 때 Modify(3)가 Modify(2)보다 인체위해성과 생태위해성 그리고 노출과 독성의 균형이 유지되었고, 기본입력값에 대한 민감도가 낮았다. 또한 Modify(3)는 토양에서의 물질 거동을 확인 할 수 있는 이동성의 지표를 제외하지 않고 유지하고 있다는 것에 의미가 있다. 따라서 본 연구에서는 초기에 구성한 우선순위 체계를 개선하여 노출의 세부지표 관계는 배출량만을 단독 곱의 관계((잔류성 + 생물 농축성 + 이동성)*배출량)로 하고, 독성과 노출을 합의 관계로 수정한 Modify(3)-합의 관계를 가축 매몰지 침출수 내 항생제 위해도 우선순위 체계로 결정한다(<그림 3-3>).

2) 우선순위 목록 도출

앞서 결정한 Modify(3)-합의 관계 우선순위 체계를 이용하여 구제역으로 인해 형성된 매몰지의 침출수 내 항생제 위해도 우선순위 목록을 결정하고자 한다. 매몰이 가장 많이 이루어진 2010년과 2011년 자료(환경부, 국립축산검역본부)를 이용하여 소와 돼지의 매몰지 각각 우선순위의 최종점수를 도출한다(<부록 표 14~17>). 결측치는 <표 3-11>와 같이 각 지표 마다 결정된 기본입력값을 사용하였다.



<그림 3-3> 최종적으로 정립된 가축 매몰지 주변 토양 및 지하수 중 항생제 위해도 우선순위 기법

<표 3-29> 2010년, 2011년 소와 돼지 매몰지 항생제 위해도 우선순위 비교

분류	2010 소 (56개 항생제 사용)		2011 소 (61개 항생제 사용)		2010 돼지 (55개 항생제 사용)		2011 돼지 (55개 항생제 사용)	
	순위	항생제	순위	항생제	순위	항생제	순위	항생제
Very High	1	Monensin	1	Monensin	1	Tiamulin	1	Tiamulin
	2	Florfenicol	2	Chlortetracycline	2	Bacitracin	2	Bacitracin
	3	Chlortetracycline	3	Enrofloxacin	3	Chlortetracycline	3	Chlortetracycline
	4	Penicillin	4	Florfenicol	4	Sulfathiazole	4	Sulfathiazole
	5	Enrofloxacin	5	Oxytetracycline	5	Florfenicol	5	Florfenicol
	6	Oxytetracycline	6	Penicillin	6	Tilmicosin	6	Tilmicosin
	7	Lasalocid	7	Dihydrostreptomycin	7	Tylosin	7	Sulfamethazine
	8	Dihydrostreptomycin	8	Ceftiofur	8	Sulfamethazine	8	Tylosin
	9	Ampicillin	9	Neomycin	9	Virginiamycin	9	Colistin
	10	Neomycin	10	Ampicillin	10	Danofloxacin	10	Enrofloxacin
	11	Tilmicosin	11	Tilmicosin	11	Flumequine	11	Danofloxacin
	12	Ceftiofur	12	Lasalocid	12	Sulfamethoxy pyridazine	12	Virginiamycin
High	13	Sulfamethoxy pyridazine	13	Sulfamethoxy pyridazine	13	Cefquinome	13	Flumequine
	14	Tiamulin	14	Tiamulin	14	Enrofloxacin	14	Sulfamethoxazole
	15	Chloramphenicol	15	Chloramphenicol	15	Orbifloxacin	15	Sulfamethoxy pyridazine
	16	Danofloxacin	16	Cephalonium	16	Salinomycin	16	Fenbendazol
	17	Sulfadimethoxine	17	Danofloxacin	17	Tulathromycin	17	Cefquinome
	18	Cefquinome	18	Sulfadimethoxine	18	Fenbendazol	18	Sulfadiazine
	19	Orbifloxacin	19	Rifampicin	19	Apramycin	19	Salinomycin
	20	Salinomycin	20	Cefquinome	20	Enramycin	20	Penicillin
	21	Dicloxacillin	21	Salinomycin	21	Marbofloxacin	21	Tulathromycin
	22	Novobiocin	22	Dicloxacillin	22	Sulfadiazine	22	Neomycin
	23	Colistin	23	Bacitracin	23	Neomycin	23	Trimethoprim
	24	Tulathromycin	24	Novobiocin	24	Kanamycin	24	Marbofloxacin
Medium	25	Methenamine	25	Colistin	25	Trimethoprim	25	Apramycin
	26	Trimethoprim	26	Tulathromycin	26	Colistin	26	Spectinomycin
	27	Sulfamethazine	27	Trimethoprim	27	Spectinomycin	27	Kanamycin
	28	Sulfadiazine	28	Marbofloxacin	28	Thiamphenicol	28	Enramycin
	29	Sulfadoxine	29	Sulfachlorpyridazine	29	Sulfachlorpyridazine	29	Ampicillin
	30	Sulfathiazole	30	Sulfadoxine	30	Sulfadoxine	30	Oxytetracycline
	31	Apramycin	31	Sulfathiazole	31	Sulfanilamide	31	Thiamphenicol

<표> 계 속

분류	2010 소 (56개 항생제 사용)		2011 소 (61개 항생제 사용)		2010 돼지 (55개 항생제 사용)		2011 돼지 (55개 항생제 사용)	
	순위	항생제	순위	항생제	순위	항생제	순위	항생제
Medi um	32	Kanamycin	32	Apramycin	32	Penicillin	32	Sulfachlorpyridazine
	33	Sulfachlorpyridazine	33	Sulfamethazine	33	Gentamycin	33	Sulfanilamide
	34	Gentamycin	34	Kanamycin	34	Sulfamethoxazole	34	Sulfadoxine
	35	Thiamphenicol	35	Sulfadiazine	35	Oxytetracycline	35	Gentamycin
	36	Amoxycillin	36	Thiamphenicol	36	Amikacin	36	Amikacin
Low	37	Sulfanilamide	37	Gentamycin	37	Avilamycin	37	Sulfadimethoxine
	38	Spectinomycin	38	Sulfanilamide	38	Sulfadimethoxine	38	Streptomycin
	39	Sulfamethoxazole	39	Spectinomycin	39	Streptomycin	39	Spiramycin
	40	Spiramycin	40	Amoxycillin	40	Ampicillin	40	Dihydrostreptomycin
	41	Amikacin	41	Amikacin	41	Sulfamonomethoxine	41	Sulfamonomethoxine
	42	Fenbendazol	42	Fenbendazol	42	Spiramycin	42	Ceftiofur
	43	Phthalylsulfathiazole	43	Sulfamethoxazole	43	Phthalylsulfathiazole	43	Phthalylsulfathiazole
	44	Bambermycin	44	Spiramycin	44	Dihydrostreptomycin	44	Avilamycin
	45	Tylosin	45	Oleandomycine	45	Ceftiofur	45	Cefazolin
	46	Streptomycin	46	Tylosin	46	Cefazolin	46	Doxycycline
	47	Cefazolin	47	Phthalylsulfathiazole	47	Doxycycline	47	Amoxycillin
	48	Doxycycline	48	Sulfamonomethoxine	48	Bambermycin	48	Bambermycin
	Very Low	49	Sulfamerazine	49	Streptomycin	49	Sulfaguanidine	49
50		Sulfaguanidine	50	Cefazolin	50	Kitasamycin	50	Kitasamycin
51		Cephapirin	51	Bambermycin	51	Sulfamerazine	51	Sulfamerazine
52		Cloxacillin	52	Doxycycline	52	Cloxacillin	52	Cloxacillin
53		Cefuroxime	53	Sulfamerazine	53	Amoxycillin	53	Lincomycin
54		Cephalexin	54	Cephapirin	54	Cephalexin	54	Cephalexin
55		Erythromycin	55	Sulfaguanidine	55	Lincomycin	55	Erythromycin
56		Lincomycin	56	Cloxacillin				
			57	Cephalexin				
			58	Cefuroxime				
			59	Erythromycin				
		60	Cefacetril					
		61	Lincomycin					

<표 3-29>과 같이 도출한 점수를 이용하여 순위를 나열한 결과 2010년 소 매몰지는 Monensin, Florfenicol, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높게 나왔고, 2011년 소 매몰지의 경우 Monensin, Chlortetracycline, Enrofloxacin 순이었다. 소에서 2010년 2011년 모두 Monensin이 1위를 하여 가장 위해도가 큰 항생제로 추정된다. 돼지 매몰지는 2010년과 2011년 모두 Tiamulin, Bacitracin, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높게 나와 그 중 Tiamulin이 가장 위해도가 큰 항생제로 추정된다. 도출된 항생제 우선순위는 위해도 정도에 따른 분류기준이 없어 앞서 평가하였던 기본입력값에 따른 민감도 분석의 결과를 이용하여 결정하고자 하였다. Cephalonium은 기본입력값 설정에 따라 순위 변화의 폭이 평균 12위 정도로 가장 크고 뚜렷하게 나타났었다. 이 변화의 폭을 이용하여 항생제 우선순위 항목을 Very High, High, Medium, Low, Very Low 이렇게 5등급으로 나누었다.

그 결과 소 매몰지에서 2010년과 2011년 Very High 등급의 항생제는 Ampicillin, Ceftiofur, Chlortetracycline, Dihydrostreptomycin, Enrofloxacin, Florfenicol, Lasalocid, Monensin, Neomycin, Oxytetracycline, Penicillin, Tilmicosin으로 12종으로 연간 판매량과 상관없이 모두 동일하다. 2010년과 2011년 돼지 매몰지에서 Bacitracin, Chlortetracycline, Danofloxacin, Florfenicol, Sulfamethazine, Sulfathiazole, Tiamulin, Tilmicosin, Tylosin, Virginiamycin으로 10종의 항생제가 공통으로 Very High 등급이다. 단, 2010년은 Flumequine, Sulfamethoxypyridazine이 2011년은 Colistin, Enrofloxacin이 12위(Very High 등급) 안에 들었다. 하지만 이들은 2010년과 2011년 각각 High 그룹에 포함되어 큰 차이로 순위가 달라지지 않는 않았다. Chlortetracycline, Florfenicol, Tilmicosin은 축종, 연간 판매량과 상관없이 동일하게 포함되어 소와 돼지 매몰지 모두에서 주요한 항생제로 추정된다. 이러한 상위권의 항생제는 매몰지 주변 토양 및 지하수 환경 관리 결정에서 최우선으로 고려되어야 한다.

<표 3-30 > 소 매몰지에서 최종 우선순위 상위권 항생제의 순위와 각 평가지표 항생제의 순위비교

2010년 소 매몰지 (순위)												
상위권 항생제	최종	사용량	배출량	토양 koc	인체 koc	수질 반감기	토양 반감기	bcf	인체급성	인체만성	생태급성	생태만성
Monensin	1	7	5	21	50	67	39	15	2	44	1	4
Florfenicol	2	8	4	41	30	51	60	63	15	6	62	2
Chlortetracycline	3	5	7	3	66	50	42	28	25	1	63	60
Penicillin	4	2	1	38	33	27	51	44	16	67	4	37
Enrofloxacin	5	13	10	2	67	8	5	34	40	10	57	65
Oxytetracycline	6	4	9	4	65	44	45	43	35	2	64	1
Lasalocid	7	18	16	17	54	58	67	10	3	4	3	61
Dihydrostreptomycin	8	6	6	66	5	65	61	32	53	14	23	23
Ampicillin	9	3	3	40	31	62	10	21	38	65	6	7
Neomycin	10	9	14	54	19	66	26	41	24	34	33	33
Tilmicosin	11	27	21	15	56	54	43	3	6	3	54	56
Ceftiofur	12	10	8	13	58	53	50	25	52	47	13	13

2011년 소 매몰지 (순위)												
상위권 항생제	최종	사용량	배출량	토양 koc	인체 koc	수질 반감기	토양 반감기	bcf	인체급성	인체만성	생태급성	생태만성
Monensin	1	7	6	21	50	67	39	15	2	44	1	4
Chlortetracycline	2	5	7	3	66	50	60	28	25	1	63	60
Enrofloxacin	3	12	10	2	67	8	5	34	40	10	57	65
Florfenicol	4	10	4	41	30	51	60	63	15	6	62	2
Oxytetracycline	5	3	8	4	65	44	45	43	35	2	64	1
Penicillin	6	2	3	38	33	27	51	44	16	67	4	37
Dihydrostreptomycin	7	6	5	66	5	65	61	32	53	14	23	23
Ceftiofur	8	8	9	13	58	53	50	25	52	47	13	13
Neomycin	9	7	12	54	19	66	26	41	24	34	33	33
Ampicillin	10	4	2	40	31	62	10	21	38	65	6	7
Tilmicosin	11	26	20	15	56	54	43	3	6	3	54	56
Lasalocid	12	22	17	17	54	58	67	10	3	4	3	61

<표 3-31> 돼지 매몰지에서 최종 우선순위 상위권 항생제의 순위와 각 평가지표 항생제의 순위비교

2010년 돼지 매몰지 (순위)												
상위권 항생제	최종	사용량	배출량	토양 koc	인체 koc	수질 반감기	토양 반감기	bcf	인체급성	인체만성	생태급성	생태만성
Tiamulin	1	7	3	8	63	43	3	1	22	25	59	55
Bacitracin	2	1	1	10	61	2	56	66	29	32	9	8
Chlortetracycline	3	2	5	3	66	50	60	28	25	1	63	60
Sulfathiazole	4	6	6	29	43	42	36	59	32	37	50	53
Florfenicol	5	5	2	41	30	51	60	63	15	6	62	2
Tilmicosin	6	17	12	15	56	54	43	3	6	3	54	56
Tylosin	7	3	4	20	51	48	44	4	44	53	66	68
Sulfamethazine	8	9	7	34	37	9	46	55	68	20	47	49
Virginiamycin	9	25	16	14	57	36	4	17	18	54	53	59
Danofloxacin	10	54	55	12	59	18	6	7	13	9	21	21
Flumequine	11	39	37	11	60	5	2	35	19	42	26	27
Sulfamethoxypyridazine	12	43	41	48	23	7	34	18	21	22	48	51

2011년 돼지 매몰지 (순위)												
상위권 항생제	최종	사용량	배출량	토양 koc	인체 koc	수질 반감기	토양 반감기	bcf	인체급성	인체만성	생태급성	생태만성
Tiamulin	1	7	4	8	63	43	3	1	22	25	59	55
Bacitracin	2	6	2	10	61	2	56	66	29	32	9	8
Chlortetracycline	3	1	3	3	66	50	60	28	25	1	63	60
Sulfathiazole	4	5	7	29	43	42	36	59	32	37	50	53
Florfenicol	5	3	1	41	30	51	60	63	15	6	62	2
Tilmicosin	6	21	13	15	56	54	43	3	6	3	54	56
Sulfamethazine	7	11	6	34	37	9	46	55	68	20	47	49
Tylosin	8	4	5	20	51	48	44	4	44	53	66	68
Colistin	9	9	12	64	7	46	20	30	46	33	20	20
Enrofloxacin	10	23	17	2	67	8	5	34	40	10	57	65
Danofloxacin	11	55	55	12	59	18	6	7	13	9	21	21
Virginiamycin	12	26	21	14	57	36	4	17	18	54	53	59

Very High 등급으로 분류된 상위 12종의 항생제와 각각의 지표들에
서의 상위권 항생제를 비교하였다(<표 3-30 >, <표 3-31>).

소 매몰지에서 위해도가 가장 큰 Monensin은 10개의 평가지표 중 5
개의 항목에서 상위권을 차지하였다. 노출분야에서는 배출량과 BCF를
제외한 나머지 항목에서 하위권에 속하며, 독성분야에서는 인체만성을
제외하고 모두 상위권을 차지하고 있다. 이를 토대로 Monensin은 다른
항생제들과 비교하였을 때 매몰지를 통해 다량으로 배출되고 환경 중 반
감기는 짧으나 생물에 축적되는 정도가 큰 것으로 추정된다. 또한 인체
독성과 생태독성이 모두 높아 즉각적인 주의가 필요하다고 판단된다.

돼지 매몰지에서 위해도가 가장 큰 Tiamulin은 10개의 평가지표 중
4개의 항목에서 상위권을 차지하였다. 노출분야에서는 배출량과 토양에
서의 이동성, 토양에서의 반감기, BCF에서 상위권에 속하며, 독성분야에
서는 생태독성은 하위권이지만 인체독성은 중위권이다. 이를 토대로
Tiamulin은 다른 항생제에 비해 독성의 정도는 약하지만, 환경 중으로
배출되는 양이 많다고 추정된다. 일단 환경 중으로 배출되면 토양에 강
하게 흡착하고 반감기가 길어 주변 생태계에 지속적인 영향을 줄 것으로
보인다. 또한 BCF의 순위가 1위로 토양생물에 축적되는 정도가 매우 클
것으로 추정된다.

Monensin, Tiamulin를 제외한 나머지 11개 항생제를 종합하여 보면
배출량이 최종점수를 크게 좌우한다는 것을 알 수 있다. 예외적으로 몇
몇의 항생제는 배출량이 하위권이지만 최종순위에서 상위권에 속하였다.
대표로 돼지 매몰지에서 Danofloxacin이 판매량 54위, 배출량 55위로
낮았지만 최종순위 10위를 차지하였다. Danofloxacin은 노출분야에서
토양에서의 이동성과 반감기, BCF가 독성분야에서는 인체독성이 모두
상위권이다. 이러한 결과는 한 지표에 과도하게 편중되지 않고 노출이나
독성에 의해 고르게 영향을 받는 것을 보여주고 있다.

기존 연구의 항생제를 포함한 동물용 의약품질 최우선순위 목록과 본
연구의 상위 24위 이내의 목록을 비교하였다. Kim et al.(2008)은 가
축의 분뇨를 통한 유입 경로로 한정하여 한국에서의 동물약품의 사용

패턴과 사용량, 배출비율, BCF, 독성을 고려해 우선순위 목록을 작성하였다. 인체 및 수생태계에 위험 가능성을 두고 최우선 관리 대상으로 20개의 의약품질을 선정하였다. 이 중 Apramycin, Dihydrostreptomycin, Enramycin, Fenbendazol, Florfenicol, Monensin, Oxytetracycline, Tylosin, Virginiamycin 8개의 항생제가 본 연구의 최우선목록과 일치하였다. 서영호 외 (2007)은 단순히 동물용 항생제의 판매량과 배출비율을 고려하여 가축의 분뇨를 통한 토양 유입으로 한정해 토양 및 수 생태계 위해도 우선순위 목록을 작성하였다. 총 20개의 항생제가 최우선 관리 대상으로 선정되었으며 이 중 Apramycin, Chlortetracycline, Dihydrostreptomycin, Enrofloxacin, Neomycin, Oxytetracycline, Penicillin, Salinomycin, Sulfadiazine, Sulfadimethoxine, Sulfamethazine, Sulfamethoxypyridazine, Sulfathiazole, Tylosin 14개의 항생제가 본 연구의 최우선목록과 일치하였다. 본 연구는 기존의 연구와 비교하였을 때 분뇨를 통한 환경 유입이 아닌 사체의 침출수로 인한 환경 유입을 고려하고 세부 평가 지표들과 우선순위 체계가 다르다. 하지만 전반에 가까운 최우선순위 목록이 같은 이유는 배출량을 산정하는 변수인 판매량의 영향인 것으로 보인다. 기존의 두 연구에서 최우선순위에 공통으로 Amoxicillin을 포함하고 있다. 이는 인체에도 사용되고 있어 주목해야 하는 항생제로 언급되었다. 하지만 본 연구에서는 Amoxicillin은 최종순위 45위로 Low 등급에 속한다. 이유는 배출량을 제외한 나머지 평가지표들에서 모두 하위권을 차지하고 있기 때문이다.

결론적으로, 가축 매몰지 침출수로 인한 항생제 위해도 우선순위의 체계는 노출의 세부지표 관계를 배출량만 단독 곱의 관계((잔류성 + 생물농축성 + 이동성)*배출량)로 하고, 독성과 노출을 합의 관계로 수정한 Modify(3)-합의 관계로 정립하였다. 정립한 우선순위 체계를 토대로 도출한 우선순위 목록은 매몰지 주변 환경 내 영향을 파악하고, 우선적으로 모니터링 대상이 될 항생제를 결정하고 관리 목표를 수립하는 데 도움을 줄 것이다.

IV. 요약과 결론

본 연구에서는 가축 매몰지 주변의 토양과 지하수의 모니터링 대상이 될 항생제를 결정하는 우선순위 체계를 구축하고, 그 결과를 평가하여 최종적인 우선순위 목록을 도출하였다.

연구의 범위는 구제역 매몰지가 조성되는 주변 지역의 토양 및 지하수이다. 소와 돼지에 사용되는 항생제 68종을 대상으로 하며, 매몰지가 가장 많이 조성된 2010년부터 2011년까지의 자료를 이용하였다.

본 연구의 목적과 범위에 적합한 지표를 선정하고 우선순위 기법을 구성하였다. 우선순위 기법은 위해성 평가를 기반으로 크게 지하수 음용으로 인한 인체 위해성과 토양 생태 위해성으로 나누었다. 각 위해성은 노출과 독성의 곱의 관계로 평가된다. 채택한 지표는 7가지로, 노출에서는 지속성(잔류성, 생물농축성)과 노출수준(배출량, 이동성(유기물 흡착계수, K_{oc}))으로 나누어 이 둘의 관계를 곱의 관계로 설정하였다. 독성에서는 급성독성, 아/만성독성, 발암성을 반영하였으며 이들은 합의 관계로 설정하여 우선순위 체계를 구성하였다.

선정된 지표의 자료는 우선적으로 실험을 통한 값을 수집하고 자료가 부족한 경우 추정을 통하여 산정된 값을 사용하였다. 또한 각 지표에 대한 실험값 및 추정값이 여러 개 존재할 경우 수집한 값 간의 상관성 분석을 통해 최적의 값을 선정하였다. 배출량의 경우 항생제 판매량과 매몰 매뉴얼, 배출 비율 등을 고려하여 산정하였다. 인체 급성독성이 100%로 가용률이 가장 높았으며, 결측치(missing value) 50% 이상으로 생태독성이 가장 낮은 가용률을 보였다.

우선순위를 도출하기 위해 각 지표 항목의 값들을 표준화하여 점수로 전환하였다. 최적의 배점방식을 선정하기 위해 3가지의 배점방식을 평가하여 최종적으로 평균편차 일치법으로 채택하였다. 본 연구에서 결측치가 존재하는 지표 항목은 수체 내 반감기, 토양 내 반감기, BCF, K_{oc} ,

인체 아/만성 독성, 생태 급성 독성, 생태 아/만성 독성으로 총 7가지 항목이다. 이러한 결측치에는 기본입력값을 설정하여 최종점수에 반영되도록 하였다. 기본입력값을 최댓값, 85%값, 75%값, 65%값으로 설정하여 민감도 분석을 실시한 결과 대체로 값 간의 순위상관계수가 0.8 이상으로 높게 나타나 순위가 크게 변하지 않는다는 것을 확인하였다. 이 중 특히 75%값이 최댓값, 85%값, 65%값 간의 상관성이 높고 가장 민감도가 낮은 것으로 확인되었다.

구성된 우선순위 체계에 대해 상관성 및 민감도 분석을 실시하였다. 초기에 구성된 체계는 인체와 생태위해성 간의 균형, 노출과 독성 간의 점수비중이 균형을 이루지 못하는 문제점이 나타났다. 또한 노출의 중요한 변수인 배출량과의 상관성이 음의 상관관계($r_s = -0.07$)로 나타났다. 이를 개선하기 위하여 노출의 세부 체계를 다양하게 수정하였다. 수정된 체계에 대해 상관성 분석을 실시하고 기본입력값에 따른 민감도 평가를 하였다. 그 결과, 다른 체계들에 비해 노출의 세부 체계 중 배출량이 다른 노출 세부지표들과 곱의 관계로 설정하고, 노출과 독성이 곱의 관계가 아닌 합의 관계에 있을 때 인체와 생태 위해성이 최종 점수에 균형이 있게 반영되었고, 노출과 독성 역시 어느 정도의 균형을 유지하였다. 또한 이렇게 했을 때 배출량의 지표가 양의 상관성($r_s = 0.47$)을 보이고, 기본입력값에 대한 민감도도 다른 방식의 체계에 비해 낮아 순위변동에 영향이 작은 것을 알 수 있었다.

정립한 우선순위 선정 기법을 적용하여 68종의 항생제에 대해 최종점수를 도출하고 우선순위 목록을 작성하였다. 그 결과 2010년 소 매몰지는 Monensin, Florfenicol, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높게 나왔다. 2011년 소 매몰지의 경우 Monensin, Chlortetracycline, Enrofloxacin 순이었다. 소에서 2010년 2011년 모두 Monensin이 1위를 하여 가장 위해도가 큰 항생제로 추정되었다. 돼지 매몰지는 2010년과 2011년 모두 Tiamulin, Bacitracin, Chlortetracycline 순으로 우선순위가 높으며 그 중 Tiamulin이 가장 위해도가 큰 것으로 추정되었다. 상위권의 항생제들은 2010년과 2011년도에 조성된 매몰지 주변의 토양

및 지하수에 한정하여 최우선적으로 모니터링되어야 할 대상이다.

따라서 본 연구를 통해 정립된 우선순위 선정 기법은 screening tool 로써 차후에 매몰지가 조성된 연도와 축종에 따라 우선순위를 선정하는 방법론으로 이용될 수 있다. 그리고 항생제 제어 및 방어에 대한 대책 마련과 정량적인 평가가 어려운 위해성 평가 및 모니터링 연구에 기초 자료로 제공될 수 있을 것이다.

본 연구는 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 자료의 정보가 제한적이다. 생태독성의 결측률은 70% 이상으로 자료가 매우 부족한 실정이다. 결측치에 기본입력값을 설정하여 최종점수를 도출하였다. 하지만 앞서 민감도 평가를 통해 알 수 있듯이 기본입력값에 따라 순위변동이 크다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 작업에서는 이러한 포괄적이고 신뢰할 수 있는 우선순위 선정을 위해서 더 많은 데이터가 필요하다.

둘째, 배출량 산정 부분에서 체내에 남아있는 항생제는 분해되지 않는다는 최악의 시나리오를 적용하였다. 체내에 분해과정 및 분해산물을 고려하지 않아 불확실성이 있지만, 이에 대한 자료 역시 부족하며 이를 고려할 경우 지표값을 선정하는데 있어 복잡한 부분이 발생한다. 물질(항생제) 우선순위 연구는 가능한 적은 수의 지표를 가지고 평가할 수 있도록 복잡함 없이 실용적일 필요가 있다.

셋째, 각 매몰지가 조성된 주변 토양 및 지하수의 물리 화학적 특성이 고려되지 않았다. 앞서 고찰한 것과 같이 항생제는 주변 환경(토양 및 지하수)의 특성에 따라 그 동태가 달라질 수 있다. 하지만 우선순위 연구의 목적은 물질(항생제) 우선순위를 선정하는 것으로 Site 별 차이와 특성을 반영하지 않는 범위에 있다. 개별적 site에 준하는 것이 아닌 표준화된 site를 전제로 한다. 표준화된 site는 지역적 개별 단위가 아닌 나라 전체의 관점에서 일반화한 것이다. 이러한 부분이 우선순위의 불확실성으로 남겠지만 항생제를 빠르게 선정하는 tool로써 screening 수준에서 효율적이라고 판단한다.

■ 참고 문헌

- 김건하, 유승호(2012), 「가축매몰지역 지하수 오염평가기법 및 오염저감 처리기술개발에 관한 연구 보고서」, 환경부.
- 김용성(2012), 토사계 혼합차수재를 이용한 가축 매몰지 침출수 대책공법 연구 보고서, 농림축산식품부.
- 김지연, 김종진, 배기철(2017), 「가축매몰지 정밀조사 착수 및 AI 재발생선제적 대응 보도자료」, 환경부.
- 방정임(2006), 「의약물질의 환경위해성 평가 체계 구축방안」, 한국환경정책평가연구원.
- 오길중, 신선경, 전태완, 강영렬, 정요우, 김용준, (Eds.).(2011), 「가축매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합 연구(I) 보고서」, 환경부.
- 오길중, 신선경, 전태완, 정미정, 정성경, 박종은, (Eds.).(2012), 「가축매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합 연구(II) 보고서」, 환경부.
- 오길중, 신선경, 전태완, 정미정, 정성경, 박종은, (Eds.).(2013), 「가축매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합 연구(III) 보고서」, 환경부.
- 오길중, 신선경, 전태완, 정미정, 정성경, 박종은, (Eds.).(2014), 「가축매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합 연구(IV) 보고서」, 환경부.
- 이호중, 임성재, 양명석 (2012), 「가축 매몰지 관련 자료집」, 환경부.
- 최광준, 김경호(2011), 「긴급 살처분 매몰지 침출수에 의한 오염지하수 확산방지 연구 보고서」, 한국농어촌공사.
- 황상일, 이정호, 유가영, 김현미(2006), 「Improving Coherence between Soil and Groundwater Quality Standards」, 한국환경정책·평가연구원.

- 황상일, 현윤정(2017), 「농촌지역 환경복지 증진을 위한 가축매물지 피해 관리방안 연구 (Ⅱ) 보고서」, 한국환경정책·평가연구원.
- Boxall, A. B. A., Fogg, L., Blackwell, P. A., Kay, P., & Pemberton, E. J. (2002). 「Review of veterinary medicines in the environment」, Bristol: Environment Agency.
- Gavalchin, J., & Katz, S. E. (1994). 「The persistence of fecal-borne antibiotics in soil」, Journal of AOAC International (USA).
- Hashmi, M. Z., Strezov, V., & Varma, A. (Eds.). (2017). 「Antibiotics and Antibiotics Resistance Genes in Soils: Monitoring, Toxicity」 Risk Assessment and Management (Vol. 51). Springer.
- Park, J., Choi, K., Kim, Y.-H., Kim, C.-S., Kim, N.-H., & Kim, M.-H. (2006). 「An Approach for Developing Aquatic Environmental Risk Assessment Framework for Pharmaceuticals in Korea」, Korea Environment Institute.
- Pope, L. J.(2009). *Fate and effects of parasiticides in the pasture environment*, Ph. D. Dissertation. York Univ.
- 김명현, 박정임, 김영희 & 최경호.(2006). 인체용 항생제의 우선관리대상 선정과 물환경 중 오염농도 추정. 한국환경위생학회지, 32(5), 462-468.
- 김계훈, 김권래, 김혁수, 이군택 & 이근화.(2010). 가축 사체 매물지 주변 토양 및 지하수의 오염도 평가. 한국토양비료학회지, 43(3), 384-389.
- 박중은, 전태완, 정미정, 신선경, 정용우, 오길중 & 신호상.(2014). Lab scale 매물지의 침출수 중 항생제 검출특성. 한국폐기물자원순환

- 학회지, 31(1), 53-60.
- 박화성, 김예신, 이동수 & 신동천.(2004). 대기중 유해 화학 물질의인체 위해도우선순위 선정 연구. 한국환경독성학회지, 19(1), 81-91.
- 민대기 & 정지현.(2012). 원점수 순위와 표준점수 순위 비교를 통한 표준화 방법비교. 한국데이터정보과학회지, 23(1), 113-120.
- 박화성, 김예신, 이동수, 신용승, 최승필, 박성은, ... & 신동천.(2005). 화학물질 우선순위 선정 기법(CRS-Korea) 의 개발과 적용. 한국환경독성학회지, 20(2), 109-121.
- 송방원, 김원식 & 강석증.(2015). 우선순위를 이용한 점수 표준화 방법 연구. 한국정보통신학회논문지 , 19(10), 2500-2506.
- 안윤주, 정승우, 김태승, 이우미, 남선화 & 백용욱.(2008). 국내외 Chemical Ranking and Scoring 체계 비교분석을 통한우선순위 토양오염물질 선정을 위한 평가인자 도출. 한국지하수토양환경학회지, 13(6), 62-71.
- 임정은, 김성철, 이현용, 권오경, 양재의 & 옥용식.(2009). 국내 우분 퇴비화 시설 인근 농경지 및 수계 중 Tetracycline 및 Sulfonamide 계열 항생물질의 분포특성. 대한환경공학회지, 31(10), 845-854
- 임정은, 아누쉬카 라자팍샤, 정세희, 김성철, 김계훈, 이상수 & 옥용식.(2014). 가축매물지 및 인근 농경지의 축산용 잔류 항생제 모니터링. 한국응용생명화학회, 57(3), 189-196
- 전상미, 박재현 & 박창근.(2013). 구제역 매물지 현황 및 입지특성 분석을 통한 매물지 관측정 설치 기준 연구. 한국위기관리논집, 9(11), 221-238.
- 조호성.(2012). 시험 가축 매물지 토양 및 침출수 내에서의 구제역 바이러스 검출. 한국가축위생학회지, 35(4), 255-261.
- 최승필, 박화성, 이동수, 신용승, 김예신 & 신동천.(2005). 개선된 화학 물질 우선순위 선정 기법 (CRS-Korea II) 과 그 활용을 통한 지역별 유독물 우선순위의 도출. 환경독성보건학회 , 20(4),

311–325.

- Al-Ahmad, A., Daschner, F. D. & Kummerer, K.(1999). Biodegradability of cefotiam, ciprofloxacin, meropenem, penicillin G, and sulfamethoxazole and inhibition of waste water bacteria. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 37(2), 158–163.
- Aubakirova, B., Beisenova, R. & Boxall, A.(2017). Prioritization of pharmaceuticals based on risks to aquatic environments in Kazakhstan. *Integrated environmental assessment and management*, 13(5), 832–839.
- Baguer, A. J., Jensen, J., & Krogh, P. H.(2000). Effects of the antibiotics oxytetracycline and tylosin on soil fauna. *Chemosphere*, 40(7), 751–757.
- Białk-Bielińska, A., Maszkowska, J., Mroziak, W., Bielawska, A., Kołodziejska, M., Palavinskas, R., ... & Kumirska, J. (2012). Sulfadimethoxine and sulfaguanidine: their sorption potential on natural soils. *Chemosphere*, 86(10), 1059–1065.
- Bjorklund, H., Bondestam, J. & Bylund, G.(1990). Residues of oxytetracycline in wild fish and sediments from fish farms. *Aquaculture*, 86(4), 359–367.
- Bohn, P., Bak, S. A., Bjorklund, E., Krogh, K. A., & Hansen, M. (2013). Abiotic degradation of antibiotic ionophores. *Environmental pollution*, 182, 177–183.
- Boxall, A. B., Johnson, P., Smith, E. J., Sinclair, C. J., Stutt, E. & Levy, L. S.(2006). Uptake of veterinary medicines from soils into plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6), 2288–2297.
- Carballo, M., Aguayo, S., Gonzalez, M., Esperon, F. & de la

- Torre, A.(2016). Environmental assessment of tetracycline' s residues detected in pig slurry and poultry manure. *Journal of Environmental Protection*, 7(01), 82-92.
- Charuaud, L., Jarde, E., Jaffrezic, A., Thomas, M.-F. & Le Bot, B.(2018). Veterinary pharmaceutical residues from natural water to tap water: Sales, occurrence and fate. *Journal of Hazardous Materials*, 361, 169-186.
- Di Nica, V., Menaballi, L., Azimonti, G. & Finizio, A.(2015). RANKVET: a new ranking method for comparing and prioritizing the environmental risk of veterinary pharmaceuticals. *Ecological indicators*, 52, 270-276.
- Frade, V. M. F., Dias, M., Teixeira, A. C. S. C. & Palma, M. S. A.(2014). Environmental contamination by fluoroquinolones. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50(1), 41-54.
- Gilbertson, T. J., Hornish, R. E., Jaglan, P. S., Koshy, K. T., Nappier, J. L., Stahl, G. L., ... & Kubicek, M. F.(1990). Environmental fate of ceftiofur sodium, a cephalosporin antibiotic. Role of animal excreta in its decomposition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(3), 890-894.
- Grenni, P., Ancona, V. & Caracciolo, A. B.(2018). Ecological effects of antibiotics on natural ecosystems: A review. *Microchemical Journal*, 136, 25-39.
- Grung, M., Kallqvist, T., Sakshaug, S., Skurtveit, S. & Thomas, K. V.(2008). Environmental assessment of Norwegian priority pharmaceuticals based on the EMEA guideline. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(2), 328-340.

- Gupta, S., Singh, A., Kumar, K., Thompson, A. & Thoma, D. (2003). Antibiotic losses in runoff and drainage from manure-applied fields. 29-33.
- Hansen, M., Krogh, K. A., Bjørklund, E., Halling-Sørensen, B. & Brandt, A. (2009). Environmental risk assessment of ionophores. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 28(5), 534-542.
- Halling-Sørensen, B., Nielsen, S. N., Lanzky, P. F., Ingerslev, F., Lützhøft, H. H. & Jørgensen, S. (1998). Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment—A review. *Chemosphere*, 36(2), 357-393.
- Halling-Sørensen, B., Sengeløv, G. & Tjørnelund, J. (2002). Toxicity of tetracyclines and tetracycline degradation products to environmentally relevant bacteria, including selected tetracycline-resistant bacteria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42(3), 263-271.
- Havelkova, B., Beklova, M., Kovacova, V., Hlavkova, D. & Pikula, J. (2016). Ecotoxicity of selected antibiotics for organisms of aquatic and terrestrial ecosystems. *Neuroendocrinol. Lett*, 37, 38-44.
- Hektoen, H., Berge, J. A., Hormazabal, V. & Yndestad, M. (1995). Persistence of antibacterial agents in marine sediments. *Aquaculture*, 133(3-4), 175-184.
- Hirsch, R., Ternes, T., Haberer, K. & Kratz, K. L. (1999). Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *Science of the Total environment*, 225(1-2), 109-118.
- Holten Lützhøft, H. C., Vaes, W. H., Freidig, A. P., Halling-Sørensen, B. & Hermens, J. L. (2000). Influence

- of pH and Other Modifying Factors on the Distribution Behavior of 4-Quinolones to Solid Phases and Humic Acids Studied by “Negligible-Depletion” SPME– HPLC. *Environmental science & technology*, 34(23), 4989–4994.
- Ingerslev, F., Torang, L., Loke, M. L., Halling-Sørensen, B. & Nyholm, N.(2001). Primary biodegradation of veterinary antibiotics in aerobic and anaerobic surface water simulation systems. *Chemosphere*, 44(4), 865–872.
- Jagnow, G., Haider, K. E. P. C. & Ellwardt, P. C.(1977). Anaerobic dechlorination and degradation of hexachlorocyclohexane isomers by anaerobic and facultative anaerobic bacteria. *Archives of microbiology*, 115(3), 285–292.
- Kay, P., Blackwell, P. A. & Boxall, A.(2004). Fate of veterinary antibiotics in a macroporous tile drained clay soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(5), 1136–1144.
- Kim, H. S. & Kim, K.(2012). Microbial and chemical contamination of groundwater around livestock mortality burial sites in Korea—a review. *Geosciences Journal*, 16(4), 479–489.
- Kim, Y., Jung, J., Kim, M., Park, J., Boxall, A. B. & Choi, K. (2008). Prioritizing veterinary pharmaceuticals for aquatic environment in Korea. *Environmental toxicology and pharmacology*, 26(2), 167–176.
- Knabel, A., Bundschuh, M., Kreuzig, R. & Schulz, R.(2016). Runoff of veterinary pharmaceuticals from arable and grassland—A comparison between predictions from model simulations and experimental studies. *Agriculture*,

- Ecosystems & Environment, 218, 33–39.
- Kreuzig, R., Blumlein, K. & Holtge, S.(2007). Fate of the benzimidazole antiparasitics flubendazole and fenbendazole in manure and manured soils. CLEAN–Soil, Air, Water, 35(5), 488–494.
- Kuhne, M., Ihnen, D., Moller, G. & Agthe, O.(2000). Stability of tetracycline in water and liquid manure. Journal of Veterinary Medicine Series A, 47(6), 379–384.
- Lee, Y.–J., Choi, J.–H., Chung, H. S., Lee, H. S., Park, B.–J., Kim, J.–E. & Shim, J.–H.(2016). Monitoring of Veterinary Antibiotics in Agricultural Soils using Liquid Chromatography Coupled with Tandem Mass Spectrometry. Korean Journal of Environmental Agriculture, 35(3), 166–174.
- Lai, H. T., Liu, S. M. & Chien, Y. H.(1995). Transformation of chloramphenicol and oxytetracycline in aquaculture pond sediments. Journal of Environmental Science & Health Part A, 30(9), 1897–1923.
- Lin, K. & Gan, J.(2011). Sorption and degradation of wastewater–associated non–steroidal anti–inflammatory drugs and antibiotics in soils. Chemosphere, 83(3), 240–246.
- Lunestad, B.T., Hansen, P.K., Samuelsen, O.B. & Ervik. A., (1993) Proceeding of the Euroresidue II Confercnce. Veldhoven, The Netherland. 460–464.
- Mitchell, S. M., Ullman, J. L., Teel, A. L. & Watts, R. J.(2014). pH and temperature effects on the hydrolysis of three β –lactam antibiotics: ampicillin, cefalotin and cefoxitin. Science of the total environment, 466, 547–555.

- Nowara, A. Burhenne. J. & Spiteller. M.(1997). Binding of Fluoroquinolone Carboxylic Acid Derivatives to Clay Minerals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1459-1463.
- Ostermann, A., Siemens, J., Welp, G., Xue, Q., Lin, X., Liu, X., & Amelung, W.(2013). Leaching of veterinary antibiotics in calcareous Chinese croplands. *Chemosphere*, 91(7), 928-934.
- Pan, M. & Chu, L. M.(2016). Adsorption and degradation of five selected antibiotics in agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 545, 48-56.
- Park, J. Y. & Huwe, B.(2016). Effect of pH and soil structure on transport of sulfonamide antibiotics in agricultural soils. *Environmental pollution*, 213, 561-570.
- Qiao, T., Yu, Z., Zhang, X. & Au, D. W.(2011). Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products in drinking water in southern China. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(11), 3097-3103.
- Rabølle, M. & Spliid, N. H.(2000). Sorption and mobility of metronidazole, olaquinox, oxytetracycline and tylosin in soil. *Chemosphere*, 40(7), 715-722
- Richardson, M. L. & Bowron, J. M.(1985). The fate of pharmaceutical chemicals in the aquatic environment. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 37(1), 1-12.
- Riva, F., Zuccato, E. & Castiglioni, S.(2015). Prioritization and analysis of pharmaceuticals for human use contaminating the aquatic ecosystem in Italy. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 106, 71-78.
- Sassman, S. A. & Lee, L. S.(2007). Sorption and degradation in

soils of veterinary ionophore antibiotics: monensin and lasalocid. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(8), 1614–1621.

- Sarmah, A. K., Meyer, M. T. & Boxall, A. B.(2006). A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, 65(5), 725–759.
- Schafer, S., Buchmeier, G., Claus, E., Duester, L., Heininger, P., Korner, A., ... & Redel, H.(2015). Bioaccumulation in aquatic systems: methodological approaches, monitoring and assessment. *Environmental Sciences Europe*, 27(1), 5.
- Schlusener, M. P. & Bester, K.(2006). Persistence of antibiotics such as macrolides, tiamulin and salinomycin in soil. *Environmental Pollution*, 143(3), 565–571.
- Shin, S., Moon, H. I., Lee, K. S., Hong, M. K. & Byeon, S. H. (2014). A chemical risk ranking and scoring method for the selection of harmful substances to be specially controlled in occupational environments. *International journal of environmental research and public health*, 11(11), 12001–12014.
- Song, W. & Guo, M.(2014). Residual veterinary pharmaceuticals in animal manures and their environmental behaviors in soils. In *Applied Manure and Nutrient Chemistry for Sustainable Agriculture and Environment* (pp. 23–52). Springer, Dordrecht.
- Strom Jr, J. G. & Jun, H. W.(1980). Kinetics of hydrolysis of methenamine. *Journal of pharmaceutical sciences*, 69(11), 1261–1263.

- Swanson, M. B., Davis, G. A., Kincaid, L. E., Schultz, T. W., Bartmess, J. E., Jones, S. L. & George, E. L.(1997). A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(2), 372–383.
- Thiele–Bruhn, S. & Leinweber, P.(2000). Bedeutung der Huminstoffe für Bindung und Umsatz organischer Fremdstoffe–am Beispiel ausgewählter veterinorantibiotika. *Rostocker Agr. Umweltwiss. Beitr*, 8, 265–273.
- Ter Laak, T. L. & Gebbink, W. A.(2006). Estimation of soil sorption coefficients of veterinary pharmaceuticals from soil properties. *Environmental toxicology and chemistry*, 25(4), 933–941.
- Thiele-Bruhn, S.(2003). Pharmaceutical antibiotic compounds in soils–a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(2), 145–167.
- Thiele–Bruhn, S., Bloem, J., de Vries, F. T., Kalbitz, K. & Wagg, C.(2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 523–528.
- Tolls, J.(2001). Sorption of veterinary pharmaceuticals in soils: a review. *Environmental science & technology*, 35(17), 3397–3406.
- Wang, N., Guo, X., Shan, Z., Wang, Z., Jin, Y. & Gao, S.(2014). Prioritization of veterinary medicines in China's environment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(5), 1313–1328.

- Weerasinghe, C. A. & Towner, D.(1997). Aerobic biodegradation of virginiamycin in soil. *Environmental toxicology and chemistry*, 16(9), 1873–1876.
- Yang, S. F., Lin, C. F., Wu, C. J., Ng, K. K., Lin, A. Y. C. & Hong, P. K. A.(2012). Fate of sulfonamide antibiotics in contact with activated sludge–sorption and biodegradation. *water research*, 46(4), 1301–1308.
- Yuan, Q., Snow, D. D. & Bartelt–Hunt, S. L.(2013). Potential water quality impacts originating from land burial of cattle carcasses. *Science of the Total Environment*, 456, 246–253.
- Žižek, S., Dobeic, M., Pintarič, Š., Zidar, P., Kobal, S. & Vidrih, M.(2015). Degradation and dissipation of the veterinary ionophore lasalocid in manure and soil. *Chemosphere*, 138, 947–951.

■ 부 록

<부록 표 1> 가축용 항생제 수체에서의 반감기 database 및 Class

항생제 성분	수질 반감기(Day) hydrolysis	Condition	Reference	Class
Amikacin	365	Amikacin was not considered readily biodegradable.	EMEA	VH
Amoxycillin	38	Predict	Boxall et al (2002)	L
Ampicillin	36	25℃,pH4	Mitchell,S.M. et al (2014)	L
	27	25 ℃, pH 7		VL
Apramycin	1,000	Predict	Boxall et al (2002)	VH
Avilamycin	28	24℃,pH7	APVMA	VL
Bacitracin	No degradation		HSDB	VH
Bambermycin	ND			U
Cefacetril	ND			U
Cefazolin	ND			U
Cefquinome	ND			U
Ceftiofur	100	pH 5	Gilberstson.T. J et al (1990)	H
Cefuroxime	No degradation		HSDB	VH
Cephalexin	ND			U
Cephalonium	ND			U
Cephapirin	180	Predict	Boxalletal(2002)	VH
Chloramphenicol	60		Kim Y et al (2008)	M
Chlortetracycline	180		Köhne et al. (2000)	VH
	1,000	Predict	Boxall et al(2002)	VH
Cloxacillin	ND			U
Colistin	180		Park J et al (2006)	VH
Danofloxacin	ND			U
Dicloxacillin	No degradation		VSDB	VH

<표> 계속

항생제 성분	수질 반감기 (Day) hydrolysis	Condition	Reference	Class
Dihydrostreptomycin	15	–	Park J et al (2006)	VL
Doxycycline	30	–	KDhne et al. (2000)	L
Enramycin	ND	–		U
Enrofloxacin	696	Predict	Boxall et al(2002)	VH
Erythromycin	180	–	HSDB	VH
	No degradation	–	Richardson,M.L. & BowronJ.M.(1985)	VH
Fenbendazol	38	20℃	KnDbel, A. et al (2016)	U
Florfenicol	103	Predict	Boxall e tal(2002)	H
Flumequine	No degradation	Flumequine is not expected to undergo hydrolysis in the environment due to the lack of functional groups that hydrolyze under environmental conditions	HSDB	VH
Gentamycin	ND	–		U
Kanamycin	ND	–		U
Kitasamycin	ND	–		U
Lasalocid	49	–	Boxalletal(2002)	L
Lincomycin	38	–	Park J et al (2006)	L
Marbofloxacin	ND	–		U
Methenamine	0.58	37.5 °C, pH 5	Strom,J.G., &Jun,H.W.(1980)	VL
Monensin	13	25 °C, pH 4	Bohn. P. et al (2013)	VL
Neomycin	15	–	Park J et al (2006)	VL
Novobiocin	ND	–		U
Orbifloxacin	ND	–		U
Oleandomycine	ND	–		U
Oxytetracycline	270	–	Halling-Sorensen.B. et al (1998)	VH

<표> 계속

항생제 성분	수질 반감기 (Day) hydrolysis	Condition	Reference	Class
Penicillin	ND	–		U
Phthalylsulfathiazole	ND	–		U
Rifampicin	180	–	Kim Y et al (2008)	VH
Salinomycin	64	–	Boxall et al(2002)	M
Spectinomycin	ND	–		U
Spiramycin	365	–	Charuaud.L.et al(2018).	VH
Streptomycin	ND	–		U
Sulfachlorpyridazine	No degradation	–		VH
Sulfadiazine	103	–	Boxall et al (2002)	H
Sulfadimethoxine	365	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
Sulfadoxine	ND	–		U
Sulfaguanidine	365	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
Sulfamerazine	365	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
Sulfamethazine	365	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
	No degradation	–	VSDB	VH
Sulfamethoxazole	153	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
Sulfamethoxypyridazine	No degradation	–		VH
Sulfamonomethoxine	ND	–		U
Sulfanilamide	ND	–		U
Sulfathiazole	365	–	Charuaud.L.et al (2018)	VH
Thiamphenicol	ND	–		U
Tiamulin	301	–	Boxall et al (2002)	VH
Tilmicosin	100	–	Boxall et al (2002)	H

<표> 계속

항생제 성분	수질 반감기 (Day) hydrolysis	Condition	Reference	Class
Trimethoprim	60	-	Kim Y et al (2008)	M
Tulathromycin	ND	-		U
Tylosin	180	-	Ingerslev. F. et al (2001)	VH
Virginiamycin	ND	-		U

threshold value of Halfe-life in water (Kim Y., et al 2008)

Very High (VH) : > 150 (day)

High (H) : 90 - 150 (day)

Medium (M) : 60 - 90 (day)

Low (L) : 30 - 60 (day)

Very Low (VL) : 0 - 30 (day)

<부록 표 2> 가축용 항생제 토양에서의 반감기 database 및 Class

항생제 성분	토양 반감기(Day)	Condition	Reference	Class
Amikacin	365.0		EMEA	VP
Amoxycillin	0.3		Al-Ahmad et al (1999)	IP
Ampicillin	ND			U
Apramycin	ND			U
Avilamycin	21.0	sandy roam, pH 7	APVMA	SP
Bacitracin	22.5	soil and chicken, 20℃	Gavalchin & Katz(1994)	SP
Bambermycin	30.0	soil and chicken 30 ℃	Gavalchin & Katz(1994)	MP
Cefacetril	ND			U
Cefazolin	ND			U
Cefquinome	ND			U
Ceftiofur	49.0	Soil(clayloam, sand, silty clayloam)	Gilberstson.T. J et al (1990)	MP
	37.5		VSDB	MP
Cefuroxime	ND			U
Cephalexin	ND			U
Cephalonium	ND			U
Cephapirin	ND			U
Chloramphenicol	53.3	anaerobic, 0-20cm depth, pH6.45, OC 0.80%	Pan, M., & Chu, L. M. (2016)	MP
	43.3	aerobic, 0-20cm depth pH6.45, OC 0.80%		MP
Chlortetracycline	64.0	Soil and chicken manure, 30 ° C	Gavalchin & Katz(1994)	VP
Cloxacillin	ND			U
Colistin	ND			U
Danofloxacin	115.0		VSDB	VP
	143.0		Boxall et al(2004)	VP
	87.0		Boxall et al(2004)	VP

<표> 계속

항생제 성분	토양 반감기 (Day)	Condition	Reference	Class
Dicloxacillin	86.6	aerobic, 0-20cm depth pH6.45, OC0.80%	Pan, M., & Chu, L. M. (2016)	VP
Dihydrostreptomycin	15.0		Gavalchin & Katz(1994)	SP
Doxycycline	59.0		Carballo, M. et al (2016)	MP
	76.0			VP
Enramycin	ND			U
Enrofloxacin	123.0		VSDB	VP
Erythromycin	57.8	anaerobic, 0-20cm depth pH6.45, OC0.80%	Pan, M., & Chu, L. M. (2016)	MP
	40.8	aerobic, 0-20cm depth pH6.45, OC0.80%		MP
Fenbendazol	54.0	20 °C	Kreuzig, R., et al (2007)	MP
	174.0		Kreuzig, R., et al (2007)	VP
Florfenicol	15.5		VSDB	SP
	5.0		Lunestad,B.T. et al(1993)	SP
	27.0		Boxall et al(2006)	MP
Flumequine	150.0	surface sediment	Lunestad,B.T.et al(1993)	VP
	300.0		Boxall et al (2006)	VP
Gentamycin	ND			U
Kanamycin	ND			U
Kitasamycin	ND			U
Lasalocid	3.6	pH7.3, OC 2.2 %, Clay 33%	StephenA.S & LindaS.L.(2007)	IP
	1.5	pH7, OC 0.87 %, Clay 11%		IP
Lincomycin	30.0		Boxall et al (2006)	MP
Marbofloxacin	9.0		Frade, V. M. F., et al (2014)	SP
Methenamine	ND			U
Monensin	70.0	anaerobic	Halling-Sorensen.B. et al (1998)	VP

<표> 계속

항생제 성분	토양 반감기 (Day)	Condition	Reference	Class
Neomycin	ND			U
Novobiocin	ND			U
Orbifloxacin	9.0		Frade, V. M. F., et al (2014)	SP
Oleandomycine	27.0	Clay5%, silt23% ,sand72%, pH7	Schllsener,M.P.,&Bester,K.(2006)	MP
	23.0		VSDB	MP
Oxytetracycline	70.0		LaiHTetal(1995)	VP
	43.8	sediment	Ingerslev. F. et al (2001)	MP
Penicillin	40.0		Al-Ahmad et al (1999)	MP
Phthalylsulfathiazole	ND			U
Rifampicin	ND			U
Salinomycin	64.0		VSDB	VP
	6.0	Manure	Schllsener,M.P.&Bester,K(2006)	SP
Spectinomycin	ND			U
Spiramycin	20.0	anaerobic	Jagnow,G.etal(1977)	SP
Streptomycin	15.0		Gavalchin&Katz(1994)	SP
Sulfachlorpyridazine	17.0		VSDB	SP
	3.5		Kay. P et al (2004)	IP
Sulfadiazine	50.0		HektoenHetal(1995)	MP
Sulfadimethoxine	111.0		Yang, S. F. et al (2012)	VP
Sulfadoxine	ND			U
Sulfaguanidine	ND			U
Sulfamerazine	ND			U
Sulfamethazine	57.8	anaerobic,0-20cm depth pH6.45, OC0.80%	Pan, M., & Chu, L. M. (2016)	MP
	49.5	aerobic, 0-20cm depth pH6.45, OC0.80%		MP

<표> 계속

항생제 성분	토양 반감기 (Day)	Condition	Reference	Class
Sulfamethoxazole	18.3	anaerobic, 31% silt, 44% clay, 25% oc, 0.33% pH 8.73	Lin K & Gan J (2011)	SP
	15.3	anaerobic, sand 91%, silt 5%, clay 4%, oc 0.16%, pH 9.23		SP
Sulfamethoxypyridazine	ND			U
Sulfamonomethoxine	ND			U
Sulfanilamide	14.0		Gavalchin & Katz (1994)	SP
	13.4		VSDB	SP
Sulfathiazole	ND			U
Thiamphenicol	ND			U
Tiamulin	180.0	under anaerobic conditions tiamulin was not biodegraded	Schlössener, M.P., & Bester, K. (2006).	VP
	79.0		VSDB	VP
Tilmicosin	64.0		VSDB	VP
Trimethoprim	110.0	sediment	VSDB	VP
	26.1	anaerobic, sand 91%, silt 5%, clay 4%, oc 0.16%, pH 9.23	Lin K & Gan J (2011)	MP
Tulathromycin	72.0		APVMA	VP
Tylosin	96.0		VSDB	VP
	30.0		Gavalchin & Katz (1994)	MP
Virginiamycin	87.0	sand pH 7	Weerasinghe & Towner (1997)	VP
	116.0	silty sand pH 6.3		VP
	173.0	silty and loam pH 5.4		VP

value of Half-life in soil threshold (Boxell. B., et al 2002)

- Very Persistent (VP) : > 60 (day)
- Moderately Persistent (MP) : 22 - 60 (day)
- Slightly Persistent (SP) : 5 - 20 (day)
- Impersistent (IP) : < 5 (day)

<부록 표 3> 가축용 항생제 BCF database 및 Class

항생제 성분	Log kow	Reference	class
Amikacin	3.16	EPI suit	LP
Amoxycillin	3.16	EPI suit	LP
Ampicillin	3.16	EPI suit	LP
Apramycin	3.16	EPI suit	LP
Avilamycin	20.00	EPI suit	LP
Bacitracin	0.04	(Q)SAR	LP
Bambermycin	3.16	EPI suit	LP
Cefacetril	0.07	(Q)SAR	LP
Cefazolin	3.16	EPI suit	LP
Cefquinome	0.01	(Q)SAR	LP
Ceftiofur	3.16	EPI suit	LP
Cefuroxime	0.06	(Q)SAR	LP
Cephalexin	3.16	EPI suit	LP
Cephalonium	ND		U
Cephapirin	3.16	EPI suit	LP
Chloramphenicol	1.46	EPI suit	LP
Chlortetracycline	3.16	EPI suit	LP
Cloxacillin	3.16	EPI suit	LP
Colistin	3.16	EPI suit	LP
Danofloxacin	ND		U
Dicloxacillin	3.16	EPI suit	LP
Dihydrostreptomycin	3.16	EPI suit	LP
Doxycycline	3.16	EPI suit	LP
Enramycin	ND		U
Enrofloxacin	3.16	EPI suit	LP
Erythromycin	49.00	EPI suit	LP
Fenbendazol	161.00	EPI suit	TC
Florfenicol	0.41	(Q)SAR	LP
Flumequine	3.16	EPI suit	LP
Gentamycin	3.16	EPI suit	LP
Kanamycin	3.16	EPI suit	LP
Kitasamycin	60.90	EPI suit	LP
Lasalocid	56.20	EPI suit	LP
Lincomycin	3.16	EPI suit	LP
Marbofloxacin	3.16	EPI suit	LP
Methenamine	3.16	EPI suit	LP
Monensin	10.00	EPI suit	LP

<표> 계속

항생제 성분	Log kow	Reference	class
Neomycin	3.16	EPI suit	LP
Novobiocin	19.40	EPI suit	LP
Orbifloxacin	3.16	EPI suit	LP
Oleandomycine	22.10	EPI suit	LP
Oxytetracycline	3.16	EPI suit	LP
Penicillin	3.16	EPI suit	LP
Phthalylsulfathiazole	3.16	EPI suit	LP
Rifampicin	76.40	EPI suit	LP
Salinomycin	10.00	EPI suit	LP
Spectinomycin	3.16	EPI suit	LP
Spiramycin	3.16	EPI suit	LP
Streptomycin	3.16	EPI suit	LP
Sulfachlorpyridazine	3.16	EPI suit	LP
Sulfadiazine	3.16	EPI suit	LP
Sulfadimethoxine	3.16	EPI suit	LP
Sulfadoxine	3.16	EPI suit	LP
Sulfaguanidine	3.16	EPI suit	LP
Sulfamerazine	3.16	EPI suit	LP
Sulfamethazine	3.16	EPI suit	LP
Sulfamethoxazole	3.16	EPI suit	LP
Sulfamethoxypyridazine	3.26	EPI suit	LP
Sulfamonomethoxine	3.16	EPI suit	LP
Sulfanilamide	3.16	EPI suit	LP
Sulfathiazole	3.16	EPI suit	LP
Thiamphenicol	3.16	EPI suit	LP
Tiamulin	637.00	EPI suit	TC
Tilmicosin	149.00	EPI suit	TC
Trimethoprim	3.16	EPI suit	LP
Tulathromycin	0.01	(Q)SAR	LP
Tylosin	82.60	EPI suit	LP
Virginiamycin	5.00	EPI suit	LP

BCF threshold value for veterinary medicines : > 5000 (Schafer, S. et al., 2015)

High potential (HP) : > 5000

Threshold for concern (TC) : 100 - 5000

Low potential (LP) : < 100

<부록 표 4> 가축용 항생제 log Kow database 및 Class

항생제 성분	Log kow	Reference	class
Amikacin	-8.78	HSDB	LB
Amoxicillin	0.87	HSDB	LB
Ampicillin	1.35	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
Apramycin	-8.12	ChemIDplus	LB
	-3.30		LB
Avilamycin	2.49	HSDB	LB
Bacitracin	-0.8	Drugbank	LB
Bambermycin	-11.72	ChemIDplus	LB
Cefacetril	-0.52	Drugbank	LB
Cefazolin	-0.58	VSDB	LB
Cefquinome	-1.49	VSDB	LB
Ceftiofur	0.54	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
Cefuroxime	-0.61	Drugbank	LB
Cephalexin	0.65	VSDB	LB
Cephalonium	ND		U
Cephapirin	-0.80	ChemIDplus	LB
Chloramphenicol	1.14	Tolls, J. (2001)	LB
	-0.68	ChemIDplus	LB
Chlortetracycline	-0.62	VSDB	LB
Cloxacillin	3.22	ChemIDplus	LB
	2.48	VSDB	LB
Colistin	-2.4	ChemIDplus	LB
	-2.4	VSDB	LB
Danofloxacin	ND		U
Dicloxacillin	2.91	HSDB	LB
Dihydrostreptomycin	-7.51	ChemIDplus	LB
Doxycycline	-0.02	Drugbank	LB
Enramycin	ND		U
Enrofloxacin	2.53	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
	4.7	VSDB	MB
Erythromycin	3.06	VSDB	LB
Fenbendazol	3.85	VSDB	MB
Florfenicol	0.37	VSDB	LB
	-0.12	Zhao, L & Ball, C.H (2009)	LB
Flumequine	1.71	Tolls, J. (2001)	LB
	1.6	HSDB	LB
	2.56	VSDB	LB

<표> 계속

항생제 성분	Log kow	Reference	class
Gentamycin	-1.88	HSDB, VSDB	LB
	-3.1	Drugbank	LB
Kanamycin	-6.70	VSDB	LB
	-6.3	HSDB	LB
Kitasamycin	2.72	Drugbank	LB
Lasalocid	6.74	Drugbank	HB
Lincomycin	0.86	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
	0.29	VSDB	LB
	0.2	HSDB	LB
Marbofloxacin	3.41	HSDB	LB
Methenamine	-4.15	ChemIDplus	LB
Monensin	5.43	ChemIDplus	HB
Neomycin	-3.70	Sarmah,A.K.etal(2006) VSDB	LB
	-7.8	Drugbank	LB
Novobiocin	2.45	ChemIDplus	LB
	3.07	Drugbank	LB
Orbifloxacin	3.42	EPI suit	LB
Oleandomycine	1.69	ChemIDplus, VSDB	LB
Oxytetracycline	-1.22	Tolls, J. (2001)	LB
	-0.9	ChemIDplus	LB
Penicillin	1.67	Sarmah,A.K.etal(2006) VSDB	LB
Phthalylsulfathiazole	0.88	ChemIDplus	LB
Rifampicin	4.24	ChemIDplus	HB
	2.7	Drugbank	LB
Salinomycin	8.53	HSDB, VSDB	HB
Spectinomycin	-0.82	ChemIDplus	LB
	-2.3	HSDB	LB
Spiramycin	2.5	Drugbank	LB
	1.87	HSDB	LB
Streptomycin	-7.53	VSDB	LB
Sulfachlorpyridazine	0.31	VSDB , Drugbank	LB
Sulfadiazine	-0.09	Sarmah,A.K.etal(2006) VSDB	LB
Sulfadimethoxine	0.42	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
	0.63	VSDB	LB
	1.63	HSDB	LB
Sulfadoxine	0.72	HSDB, ChemIDplus	LB
Sulfaguanidine	-1.22	ChemIDplus	LB

<표> 계속

항생제 성분	Log kow	Reference	class
Sulfamerazine	0.14	HSDB	LB
Sulfamethazine	0.80	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
	0.14	HSDB	LB
Sulfamethoxazole	0.89	HSDB	LB
Sulfamethoxypyridazine	0.32	ChemIDplus	LB
Sulfamonomethoxine	0.20	ChemIDplus	LB
Sulfanilamide	-0.62	Sarmah,A.K.etal(2006) HSDB	LB
Sulfathiazole	0.05	HSDB	LB
	0.88	drug bank	LB
Thiamphenicol	-0.27	HSDB	LB
	-0.33	VSDB	LB
Tiamulin	4.75	HSDB	HB
Tilmicosin	5.09	Sarmah, A. K. et al (2006)	HB
	3.8	HSDB	MB
Trimethoprim	0.91	HSDB	LB
Tulathromycin	-1.41	Zoetis safety data	LB
Tylosin	3.41	Sarmah, A. K. et al (2006)	LB
Virginiamycin	1.52	VSDB, HSDB	LB

Log Kow threshold value for veterinary medicines : > 4.0 (Schafer, S. et al., 2015)

High Bioaccumulation (H) : > 4.0

Medium Bioaccumulation (M) : 0 - 3

Low Bioaccumulation (L) : < 0

<부록 표 5> 항생제별 동물안전사용기준

항생제	동물용의약품의약품안전사용 기준					References
	소 (mg/kg)	휴약기간 (day)	돼지 (mg/kg)	휴약기간 (day)	ADI (mg/kg)	
Amikacin	2		2			APQA_S
Amoxycillin	10	20	10	15	0.2	APQA
Ampicillin	10	28	8	7	0	APQA
Apramycin	20		9		0.04	APQA
Avilamycin	10		10		0.0028	EMPA
Bacitracin	5.7		5.7		0.0039	EMPA
Bambermycin					0.3	EMPA
Cefacetril	250	91	250	91	0.0035	EMPA
Cefazolin	250	91	250	91	0.6	EMPA
Cefquinome	1.5		1.9		0.225	EMPA
Ceftiofur	2	5	5	3	0.02	EMPA
Cefuroxime	250	91	250	91	0.0153	EMPA
Cephalexin	250	28	10		0.0544	EMPA
Cephalonium	250	91	10		0.0153	EMPA
Cephapirin	250	91	10		0.001	EMPA
Chloramphenicol	20		20			APQA_S
Chlortetracycline	20	10	30	15	0.003	APQA
Cloxacillin					0.2	EMPA
Colistin	19.7	28	19.7	21	0.005	APQA_S
Danofloxacin	1.25	5	1.25	25	0.0006	
Dicloxacillin	500	30				APQA
Dihydrostreptomycin	8	28	40	28	0.08	APQA
Doxycycline	10	5	15	5	0.003	EMPA
Enramycin			20			APQA_S
Enrofloxacin	5	20	5	20	0.0062	APQA
Erythromycin	8	14	20	7	0.005	APQA

<표> 계속

항생제	동물용의약품의약품안전사용 기준					References
	소 (mg/kg)	휴약기간 (day)	돼지 (mg/kg)	휴약기간 (day)	ADI (mg/kg)	
Fenbendazol	5		5		0.007	APQA_S
Florfenicol	10		10	0	0.003	EMPA
Flumequine	9.8		20		0.00825	APQA_S
Gentamycin	5	14	5	14		APQA
Kanamycin	10	30	20	30	0.008	APQA
Kitasamycin			30	7	0.5	APQA_S
Lasalocid	1		1		0.0025	APQA_S
Lincomycin	5	14	5	14	0.01	APQA
Marbofloxacin	3.6		2		0.0045	EMPA
Methenamine	37.5		37.5			APQA_S
Monensin	200 mg/두				0.01446	APQA_S
Neomycin	20	30	20	20	0.06	APQA
Novobiocin	100 mg/두					APQA_S
Orbifloxacin						
Oleandomycine	100	3				EMPA
Oxytetracycline	10	28	10	26	0.003	APQA
Penicillin	10.5		10.5		0.03	APQA_S
Phthalylsulfathiazole	16	7	16	7		APQA_S
Rifampicin	10		10			EMPA
Salinomycin	30 mg/두		20 mg/두		0.00491	APQA_S
Spectinomycin	10	14	10	14	0.04	APQA
Spiramycin	203.1	28	203.1	28	0.05	APQA
Streptomycin	8		10		0.08	APQA_S

<표> 계속

항생제	동물용의약품의약품안전사용 기준					References
	소 (mg/kg)	휴약기간 (day)	돼지 (mg/kg)	휴약기간 (day)	ADI (mg/kg)	
Sulfachlorpyridazine	20		20			APQA_S
Sulfadiazine	4.2	14	4.2	14	0.02	APQA_S
Sulfadimethoxine	50	14	100	14		APQA
Sulfadoxine	12	10	12	9	0.05	APQA_S
Sulfaguanidine	4500 mg/두		1200 mg/두			APQA_S
Sulfamerazine	8	14	14			APQA_S
Sulfamethazine	115.5	15	115.5	15		APQA_S
Sulfamethoxazole	400	14	400	14		APQA
Sulfamethoxypyridazine	20	4	30	4		APQA_S
Sulfamonomethoxine	5000 mg/두		1000 mg/두			APQA_S
Sulfanilamide	10 mg/두		10 mg/두			APQA_S
Sulfathiazole	3.2	14	2.8	14		APQA_S
Thiamphenicol	24	7	24	7	0.0025	APQA_S
Tiamulin	30	21	30	21	0.032	APQA
Tilmicosin	10	28	10	7	0.004	APQA
Trimethoprim	80	14	80	14	0.0042	APQA
Tulathromycin	2.5	49	2.5	33	0.01097	APQA
Tylosin	10	28	10	28	0.00606	APQA_S
Virginiamycin	52	7	52	7	0.02123	APQA_S

농림축산검역본부 (APQA), 농림축산검역본부-동물의약품관리시스템 (APQA_S), European Medicines Agency (EMPA)

<부록 표 6> 동물안전사용기준을 고려한 축종 당 항생제 별 연간 사용량

항생제	2010년 YD_ij(소)	2010년 YD_ij(돼지)	2011년 YD_ij(소)	2011년 YD_ij(돼지)
Amikacin	24,040	94,742	20,263	85,135
Amoxycillin	6,010	31,581	5,066	28,378
Ampicillin	4,293	54,138	3,618	48,649
Apramycin	240,401	426,338	202,628	383,107
Avilamycin	120,200	473,709	101,314	425,674
Bacitracin	68,514	270,014	57,749	242,634
Bambermycin	3,606	14,211	3,039	12,770
Cefacetril	33,022	130,140	27,833	116,944
Cefazolin	33,022	130,140	27,833	116,944
Cefquinome	18,030	90,005	15,197	80,878
Ceftiofur	4,808	78,952	4,053	70,946
Cefuroxime	33,022	130,140	27,833	116,944
Cephalexin	107,322	473,709	90,459	425,674
Cephalonium	33,022	473,709	27,833	425,674
Cephapirin	33,022	473,709	27,833	425,674
Chloramphenicol	240,401	947,419	202,628	851,349
Chlortetracycline	24,040	94,742	20,263	85,135
Cloxacillin	2,404	9,474	2,026	851
Colistin	8,457	44,438	7,128	39,932
Danofloxacin	3,005	2,369	2,533	2,128
Dicloxacillin	200,334	0	168,856	0
Dihydrostreptomycin	3,434	67,673	2,895	60,811
Doxycycline	24,040	142,113	20,263	127,702
Enramycin	0	947,419	0	851,349
Enrofloxacin	3,005	11,843	2,533	10,642
Erythromycin	6,869	135,346	5,789	121,621
Fenbendazol	60,100	236,855	50,657	212,837
Florfenicol	120,200	473,709	101,314	425,674
Flumequine	117,796	947,419	99,288	851,349
Gentamycin	4,293	16,918	3,618	15,203
Kanamycin	4,007	31,581	3,377	28,378
Kitasamycin	0	203,018	0	182,432
Lasalocid	12,020	47,371	10,131	42,567
Lincomycin	4,293	16,918	3,618	15,203

<표> 계속

항생제	2010년 YD_ij(소)	2010년 YD_ij(돼지)	2011년 YD_ij(소)	2011년 YD_ij(돼지)
Marbofloxacin	43,272	94,742	36,473	85,135
Methenamine	450,751	1,776,410	379,927	1,596,279
Monensin	6,010	0	5,066	0
Neomycin	8,013	47,371	6,754	42,567
Novobiocin	3,005	0	2,533	0
Orbifloxacin	240	947	0	851
Oleandomycine	400,668	0	337,713	0
Oxytetracycline	4,293	18,220	3,618	16,372
Penicillin	126,210	497,395	106,379	446,958
Phthalylsulfathiazole	27,474	108,276	23,157	97,297
Rifampicin	120,200	473,709	101,314	425,674
Salinomycin	902	15,790	760	14,189
Spectinomycin	8,586	33,836	7,237	30,405
Spiramycin	87,188	343,608	73,489	308,766
Streptomycin	96,160	473,709	81,051	425,674
Sulfachlorpyridazine	240,401	947,419	202,628	851,349
Sulfadiazine	3,606	14,211	3,039	12,770
Sulfadimethoxine	42,929	338,364	36,183	304,053
Sulfadoxine	14,424	63,161	12,158	56,757
Sulfaguanidine	135,225	947,419	113,978	851,349
Sulfamerazine	6,869	663,193	5,789	595,944
Sulfamethazine	92,554	364,756	78,012	327,769
Sulfamethoxazole	343,430	1,353,455	289,468	1,216,213
Sulfamethoxypyridazine	60,100	355,282	50,657	319,256
Sulfamonomethoxine	150,250	789,515	126,642	709,457
Sulfanilamide	301	7,895	253	7,095
Sulfathiazole	2,747	9,474	2,316	8,513
Thiamphenicol	41,212	162,415	34,736	145,946
Tiamulin	17,171	67,673	14,473	60,811
Tilmicosin	4,293	67,673	3,618	60,811
Trimethoprim	68,686	270,691	57,894	243,243
Tulathromycin	613	3,589	517	3,225
Tylosin	4,293	16,918	3,618	15,203
Virginiamycin	89,292	351,898	75,262	316,215

<부록 표 7-1> 2010년 축종별 68종 항생제 판매량

항생제 종	판매량 (kg)			항생제 종	판매량 (kg)		
	소	돼지	합계		소	돼지	합계
Amikacin	12	36	48	Marbofloxacin	0	35	35
Amoxicillin	15,710	59,007	74,717	Methenamine	37	0	37
Ampicillin	3,986	15,907	19,893	Monensin	2,954	0	2,954
Apramycin	360	15,342	15,702	Neomycin	2,338	5,146	7,484
Avilamycin	0	4,214	4,214	Novobiocin	16	0	16
Bacitracin	0	80,616	80,616	Orbifloxacin	2	4	6
Bambermycin	357	642	999	Oleandomycine			
Cefacetril				Oxytetracycline	3,964	7,831	11,795
Cefazolin	54	39	93	Penicillin	7,220	18,906	26,126
Cefquinome	11	32	43	Phthalylsulfathiazole	39	56	95
Ceftiofur	2,016	1,404	3,420	Rifampicin			
Cefuroxime	3	0	3	Salinomycin	97	630	727
Cephalexin	169	311	480	Spectinomycin	41	6,469	6,510
Cephalonium				Spiramycin	218	1,837	2,055
Cephapirin	6	0	6	Streptomycin	81	2,588	2,669
Chloramphenicol	363	0	363	Sulfachlorpyridazine	142	426	568
Chlortetracycline	3,806	79,462	83,268	Sulfadiazine	252	4,815	5,067
Cloxacillin	204	12	216	Sulfadimethoxine	474	723	1,197
Colistin	560	5,336	5,896	Sulfadoxine	189	237	426
Danofloxacin	2	5	7	Sulfaguanidine	65	48	113
Dicloxacillin	37	0	37	Sulfamerazine	229	169	398
Dihydrostreptomycin	3,372	6,415	9,787	Sulfamethazine	602	16,042	16,644
Doxycycline	12	683	695	Sulfamethoxazole	601	11,888	12,489
Enramycin	0	4,268	4,268	Sulfamethoxypyridazine	240	84	324
Enrofloxacin	687	2,844	3,531	Sulfamonomethoxine	0	26	26
Erythromycin	118	0	118	Sulfanilamide	11	19	30
Fenbendazol	32	6,699	6,731	Sulfathiazole	177	48,282	48,459
Florfenicol	2,380	49,342	51,722	Thiamphenicol	21	61	82
Flumequine	0	239	239	Tiamulin	16	34,330	34,346
Gentamycin	804	1,796	2,600	Tilmicosin	212	5,791	6,003
Kanamycin	181	2,813	2,994	Trimethoprim	342	4,166	4,508
Kitasamycin	0	1,953	1,953	Tulathromycin	3	100	103
Lasalocid	454	0	454	Tylosin	1,124	65,537	66,661
Lincomycin	44	4,804	4,848	Virginiamycin	0	3,548	3,548

농림축산검역본부 (2010, 2011)

<부록 표 7-2> 2011년 축종별 68종 항생제 판매량

항생제 종	판매량 (kg)			항생제 종	판매량 (kg)		
	소	돼지	합계		소	돼지	합계
Amikacin	11	29	40	Marbofloxacin	16	145	161
Amoxicillin	17,901	62,551	80,452	Methenamine			0
Ampicillin	4,709	14,009	18,718	Monensin	2,202	0	2,202
Apramycin	322	5,505	5,827	Neomycin	2,343	5,475	7,818
Avilamycin	0	1,261	1,261	Novobiocin	12	0	12
Bacitracin	95	29,254	29,349	Orbifloxacin			0
Bambermycin	204	398	602	Oleandomycine	1	0	1
Cefacetril	4	0	4	Oxytetracycline	4,761	9,970	14,731
Cefazolin	52	34	86	Penicillin	6,387	17,612	23,999
Cefquinome	12	31	43	Phthalylsulfathiazole	26	39	65
Ceftiofur	2,203	1,836	4,039	Rifampicin	3	0	3
Cefuroxime	2	0	2	Salinomycin	159	881	1,040
Cephalexin	220	301	521	Spectinomycin	27	6,028	6,055
Cephalonium	59	0	59	Spiramycin	170	1,799	1,969
Cephapirin	11	0	11	Streptomycin	62	3,136	3,198
Chloramphenicol	394	0	394	Sulfachlorpyridazine	285	470	755
Chlortetracycline	3,472	78,537	82,009	Sulfadiazine	175	5,068	5,243
Cloxacillin	165	42	207	Sulfadimethoxine	454	723	1,177
Colistin	534	14,700	15,234	Sulfadoxine	176	225	401
Danofloxacin	1	3	4	Sulfaguanidine	29	29	58
Dicloxacillin	28	0	28	Sulfamerazine	150	92	242
Dihydrostreptomycin	3,051	5,871	8,922	Sulfamethazine	521	13,285	13,806
Doxycycline	12	616	628	Sulfamethoxazole	507	12,036	12,543
Enramycin	0	1,582	1,582	Sulfamethoxypyridazine	209	58	267
Enrofloxacin	775	3,247	4,022	Sulfamonomethoxine	8	27	35
Erythromycin	83	16	99	Sulfanilamide	12	20	32
Fenbendazol	45	5,664	5,709	Sulfathiazole	177	32,206	32,383
Florfenicol	1,686	43,366	45,052	Thiamphenicol	35	67	102
Flumequine	0	148	148	Tiamulin	32	22,059	22,091
Gentamycin	646	1,353	1,999	Tilmicosin	195	4,990	5,185
Kanamycin	188	2,101	2,289	Trimethoprim	305	3,785	4,090
Kitasamycin	0	1,363	1,363	Tulathromycin	4	115	119
Lasalocid	259	0	259	Tylosin	1,094	38,017	39,111
Lincomycin	45	5,250	5,295	Virginiamycin	0	1,895	1,895

농림축산검역본부 (2010, 2011)

<부록 표 8> 동물용 항생제 생체 내 잔류 비율과 순위

순위	항생제명	Ex _i	순위	항생제명	Ex _i
1	Novobiocin	0.03	35	Monensin	0.50
2	Tiamulin	0.04	36	Thiamphenicol	0.50
3	Avilamycin	0.08	37	Tylosin	0.50
4	Phthalylsulfathiazole	0.09	38	Enramycin	0.51
5	Bacitracin	0.10	39	Ceftiofur	0.60
6	Chloramphenicol	0.10	40	Cloxacillin	0.60
7	Erythromycin	0.10	41	Dicloxacillin	0.60
8	Oleandomycine	0.10	42	Dihydrostreptomycin	0.60
9	Lasalocid	0.12	43	Penicillin	0.60
10	Sulfadimethoxine	0.15	44	Streptomycin	0.60
11	Sulfamethoxazole	0.15	45	Sulfanilamide	0.60
12	Tilmicosin	0.15	46	Orbifloxacin	0.61
13	Enrofloxacin	0.17	47	Sulfachlorpyridazine	0.62
14	Sulfamethazine	0.18	48	Colistin	0.63
15	Florfenicol	0.20	49	Sulfamonomethoxine	0.66
16	Spiramycin	0.20	50	Sulfathiazole	0.67
17	Virginiamycin	0.20	51	Chlortetracycline	0.70
18	Bambermycin	0.25	52	Doxycycline	0.70
19	Cefazolin	0.25	53	Tulathromycin	0.70
20	Sulfadoxine	0.25	54	Danofloxacin	0.78
21	Sulfamethoxypridazine	0.25	55	Cephalexin	0.79
22	Lincomycin	0.30	56	Neomycin	0.80
23	Sulfaguanidine	0.37	57	Oxytetracycline	0.80
24	Cefuroxime	0.40	58	Spectinomycin	0.80
25	Flumequine	0.40	59	Salinomycin	0.81
26	Marbofloxacin	0.40	60	Cefquinome	0.83
27	Sulfamerazine	0.43	61	Amoxicillin	0.85
28	Trimethoprim	0.43	62	Cefacetril	0.85
29	Sulfadiazine	0.44	63	Kanamycin	0.85
30	Ampicillin	0.45	64	Gentamycin	0.90
31	Cephapirin	0.48	65	Rifampicin	0.92
32	Fenbendazol	0.48	66	Amikacin	0.94
33	Cephalonium	0.49	67	Apramycin	0.97
34	Methenamine	0.50	68	Kitasamycin	0.98

A. L. Donoho, T. D et al.,1992, Capleton et al.,2006, D.J. MEVIUS et al.,1990, Hirsch et al., 1999, Marc-Oliver Aust et al.,2008, Naoko Watanabe et al., 2008, Rex E. Hornish et al.,2002, Younghee Kim et al., 2008, Young-Ho Seo et al.,2008

<부록 표 9-1> 2010년 소_매몰지당 항생제별 총량 순위

순 위	항생제 종	BQ _i (kg)	순 위	항생제 종	BQ _i (kg)
1	Penicillin	3,507,877	29	Gentamycin	97,657
2	Amoxycillin	2,862,296	30	Sulfathiazole	70,947
3	Ampicillin	2,662,853	31	Sulfachlorpyridazine	66,404
4	Florfenicol	2,312,672	32	Sulfaguanidine	49,739
5	Monensin	1,794,022	33	Cefazolin	49,193
6	Dihydrostreptomycin	1,638,305	34	Phthalylsulfathiazole	43,108
7	Chlortetracycline	1,386,875	35	Cephalexin	43,108
8	Ceftiofur	979,485	36	Streptomycin	39,354
9	Oxytetracycline	962,966	37	Lincomycin	37,411
10	Enrofloxacin	692,599	38	Kanamycin	32,977
11	Tylosin	682,627	39	Methenamine	22,696
12	Sulfamethoxazole	620,498	40	Salinomycin	22,386
13	Sulfamethazine	599,594	41	Fenbendazol	20,212
14	Neomycin	567,965	42	Novobiocin	18,851
15	Sulfadimethoxine	489,378	43	Tiamulin	18,657
16	Lasalocid	485,273	44	Dicloxacillin	17,977
17	Chloramphenicol	396,823	45	Apramycin	13,118
18	Bambermycin	325,220	46	Thiamphenicol	12,754
19	Colistin	251,673	47	Spectinomycin	9,960
20	Trimethoprim	236,782	48	Sulfanilamide	5,344
21	Tilmicosin	218,878	49	Doxycycline	4,373
22	Sulfamethoxypyridazine	218,635	50	Cephapirin	3,790
23	Spiramycin	211,833	51	Cefquinome	2,271
24	Sulfadoxine	172,175	52	Cefuroxime	2,186
25	Sulfadiazine	171,410	53	Tulathromycin	1,093
26	Sulfamerazine	159,381	54	Orbifloxacin	947
27	Erythromycin	128,995	55	Amikacin	875
28	Cloxacillin	99,115	56	Danofloxacin	534

<부록 표 9-2> 2010년 돼지_매몰지당 항생제별 총량 순위

순위	항생제 중	BQ_i (kg)	순 위	항생제 중	BQ_i (kg)
1	Bacitracin	18,448,399	29	Ceftiofur	142,798
2	Florfenicol	10,036,948	30	Bambermycin	122,431
3	Tiamulin	8,379,922	31	Apramycin	117,030
4	Tylosin	8,332,043	32	Kanamycin	107,289
5	Chlortetracycline	6,061,438	33	Doxycycline	52,100
6	Sulfathiazole	4,051,297	34	Gentamycin	45,667
7	Sulfamethazine	3,344,778	35	Sulfadoxine	45,196
8	Sulfamethoxazole	2,569,346	36	Sulfachlorpyridazine	41,703
9	Amoxicillin	2,250,555	37	Flumequine	36,462
10	Ampicillin	2,224,569	38	Salinomycin	30,436
11	Penicillin	1,922,891	39	Sulfamerazine	24,623
12	Tilmicosin	1,251,605	40	Cephalexin	16,606
13	Avilamycin	987,917	41	Sulfamethoxypyridazine	16,019
14	Fenbendazol	885,744	42	Phthalylsulfathiazole	12,958
15	Lincomycin	855,059	43	Kitasamycin	12,415
16	Virginiamycin	721,720	44	Thiamphenicol	7,755
17	Sulfadiazine	685,613	45	Sulfaguanidine	7,689
18	Dihydrostreptomycin	652,457	46	Tulathromycin	7,628
19	Trimethoprim	603,794	47	Cefazolin	7,437
20	Enrofloxacin	600,209	48	Marbofloxacin	5,340
21	Enramycin	531,760	49	Sulfamonomethoxine	2,261
22	Colistin	502,010	50	Sulfanilamide	1,932
23	Oxytetracycline	398,237	51	Cefquinome	1,383
24	Spiramycin	373,675	52	Cloxacillin	1,220
25	Spectinomycin	328,974	53	Amikacin	549
26	Streptomycin	263,220	54	Orbifloxacin	397
27	Neomycin	261,695	55	Danofloxacin	280
28	Sulfadimethoxine	156,262			

<부록 표 9-3> 2011년 소_매몰지당 항생제별 총량 순위

순위	항생제 중	BQ_i (kg)	순 위	항생제 중	BQ_i (kg)
1	Amoxicillin	3,869,483	32	Sulfathiazole	84,173
2	Ampicillin	3,732,293	33	Cephalexin	66,577
3	Penicillin	3,681,639	34	Cefazolin	56,202
4	Florfenicol	1,943,712	35	Lincomycin	45,394
5	Dihydrostreptomycin	1,758,679	36	Tiamulin	44,270
6	Monensin	1,586,615	37	Salinomycin	43,535
7	Chlortetracycline	1,501,016	38	Cephalonium	43,362
8	Oxytetracycline	1,372,185	39	Kanamycin	40,638
9	Ceftiofur	1,269,869	40	Streptomycin	35,738
10	Enrofloxacin	926,967	41	Phthalylsulfathiazole	34,096
11	Tylosin	788,264	42	Fenbendazol	33,721
12	Neomycin	675,284	43	Sulfaguanidine	26,328
13	Sulfamethoxazole	621,028	44	Thiamphenicol	25,219
14	Sulfamethazine	615,653	45	Novobiocin	16,774
15	Sulfadimethoxine	556,108	46	Dicloxacillin	16,140
16	Chloramphenicol	511,003	47	Apramycin	13,921
17	Lasalocid	328,448	48	Marbofloxacin	13,834
18	Colistin	284,726	49	Cephapirin	8,243
19	Trimethoprim	250,530	50	Spectinomycin	7,782
20	Tilmicosin	238,857	51	Sulfanilamide	6,917
21	Sulfamethoxypyridazine	225,887	52	Doxycycline	5,188
22	Bambermycin	220,483	53	Sulfamonomethoxine	3,943
23	Spiramycin	195,985	54	Cefquinome	2,940
24	Sulfadoxine	190,221	55	Tulathromycin	1,729
25	Sulfachlorpyridazine	158,121	56	Cefuroxime	1,729
26	Sulfadiazine	141,225	57	Oleandomycine	1,297
27	Sulfamerazine	123,860	58	Amikacin	951
28	Bacitracin	123,211	59	Cefacetril	865

<부록 표 9-4> 2011년 돼지_매몰지당 항생제별 총량 순위

순위	항생제 종	BQ_i (kg)	순위	항생제 종	BQ_i (kg)
1	Florfenicol	9,816,769	29	Sulfadimethoxine	173,895
2	Bacitracin	7,450,012	30	Kanamycin	89,176
3	Chlortetracycline	6,666,913	31	Bambermycin	84,464
4	Tiamulin	5,992,199	32	Doxycycline	52,292
5	Tylosin	5,378,697	33	Sulfachlorpyridazine	51,202
6	Sulfamethazine	3,082,511	34	Sulfadoxine	47,750
7	Sulfathiazole	3,007,322	35	Salinomycin	47,365
8	Sulfamethoxazole	2,894,878	36	Apramycin	46,731
9	Amoxicillin	2,654,940	37	Gentamycin	38,285
10	Ampicillin	2,180,214	38	Flumequine	25,127
11	Penicillin	1,993,416	39	Marbofloxacin	24,618
12	Colistin	1,539,034	40	Cephalexin	17,886
13	Tilmicosin	1,200,186	41	Sulfamerazine	14,917
14	Lincomycin	1,039,888	42	Sulfamethoxypyridazine	12,309
15	Fenbendazol	833,404	43	Phthalylsulfathiazole	10,042
16	Sulfadiazine	803,071	44	Tulathromycin	9,762
17	Enrofloxacin	762,587	45	Kitasamycin	9,642
18	Dihydrostreptomycin	664,510	46	Thiamphenicol	9,479
19	Trimethoprim	610,478	47	Cefazolin	7,216
20	Oxytetracycline	564,228	48	Sulfaguanidine	5,170
21	Virginiamycin	428,971	49	Cloxacillin	4,754
22	Spiramycin	407,240	50	Erythromycin	4,075
23	Streptomycin	354,948	51	Sulfamonomethoxine	2,613
24	Spectinomycin	341,140	52	Sulfanilamide	2,264
25	Avilamycin	328,984	53	Cefquinome	1,491
26	Neomycin	309,844	54	Amikacin	492
27	Enramycin	219,347	55	Danofloxacin	187
28	Ceftiofur	207,808			

<부록 표 10> 가축용 항생제 Koc database 및 Class

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Amikacin	33.80		VSDB	M
	10.00		HSDB	VM
	0.000001	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	0.00026	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Amoxycillin	866.00		VSDB	SM
	865.50		Boxall et al (2006)	SM
	100.00		HSDB	MM
	108.40	kow	EPI suit	MM
	5.12	MIC	EPI suit	VM
	29.68	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Ampicillin	84.40	kow	EPI suit	MM
	6.42	MIC	EPI suit	VM
	49.60	amides	(Q)SAR	M
	110.79	triazoles	(Q)SAR	MM
	52.72	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Apramycin	500,755.00		VSDB	IM
	0.0000023	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	0.0005	organicacid	(Q)SAR	VM
	0.0022	alcohols	(Q)SAR	VM
	0.00063	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Avilamycin	2,744.00		HSDB	SM
	1,802.00	sandyroam,loam,clay	APVMA	SM
	3,685.00	sandyroam,loam,clay	APVMA	SM
	206.44	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Bacitracin	4,760.00		Song W & Guo M (2014)	IM
	6,600.00			IM
	4.02	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Bambermycin	0.000000022	kow	EPI suit	VM
	30,420.00	MIC	EPI suit	IM
	0.000027	phosphate	(Q)SAR	VM
	0.000038	agricultural	(Q)SAR	VM
	0.000008	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Cefacetril	11.98	amides	(Q)SAR	VM
	22.08	triazines	(Q)SAR	M
	5.62	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Cefazolin	12.00		VSDB	VM
	1.71	kow	EPI suit	VM
	55.59	MIC	EPI suit	MM
	5.23	non hydrophobic	(Q)SAR	VM

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Cefquinome	11.30	triazines	(Q)SAR	VM
	1.76	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Ceftiofur	3,700.00		VSDB	SM
	19.99	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Cefuroxime	1.19		Grung, M. et al(2008)	VM
	0.42	kow	EPI suit	VM
	345.80	MIC	EPI suit	MM
	11.19	amides	(Q)SAR	VM
	5.04	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Cephalexin	0.48	kow	EPI suit	VM
	104.30	MIC	EPI suit	MM
	49.55	triazines	(Q)SAR	M
	29.14	amides	(Q)SAR	M
	22.80	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Cephalonium	ND			U
Cephapirin	0.66	kow	EPI suit	VM
	44.80	MIC	EPI suit	M
	1.33	organicacid	(Q)SAR	VM
	4.02	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Chloramphenicol	99.00		VSDB	MM
	0.83	kow	EPI suit	VM
	13.04	MIC	EPI suit	VM
	41.00	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Chlortetracycline	42,506.00		Rabølle & Spiild (2000)	IM
	76,423.00			IM
	1.77	kow	EPI suit	VM
	72.18	MIC	EPI suit	M
	4.64	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Cloxacillin	16.95	kow	EPI suit	M
	645.70	MIC	EPI suit	SM
	103.13	organicacid	(Q)SAR	MM
	4.02	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Colistin	0.0000254	kow	EPI suit	VM
	537,900,000.0	MIC	EPI suit	IM
	0.08	organicacid	(Q)SAR	VM
	0.59	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Danofloxacin	4,000.00		Pope. L. J (2009)	IM
Dicloxacillin	1,060.00		HSDB	SM
	29.30	kow	EPI suit	M
	1,057.00	MIC	EPI suit	SM
	341.35	non hydrophobic	(Q)SAR	MM

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Dihydrostreptomycin	0.0000055	kow	EPI suit	VM
	17.00	MIC	EPI suit	M
	0.0037	alcohols	(Q)SAR	VM
	0.0013	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Doxycycline	36,448.00		Carballo, M., et al (2016)	IM
	10.22	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Enramycin	ND			U
Enrofloxacin	392,600.00		VSDB	IM
	186,342.00	sand27.2%,silt28.8%,clay4 1.7%,수분함량23.1%,pH4.9	Nowara, A., et al (1997)	IM
	768,740.00	sand39.4%,silt42.9%,clay1 7.2%,수분함량24.9%, pH5.3		IM
	99,975.00	sand84.0%,silt8.4%,clay7. 2%,수분함량11.7%,pH6.0		IM
	16,506.00	sand39.1%,silt36.3%,clay2 3.4%,수분함량22.8%,pH7.5		IM
	70,914.00	sand80.1%,silt16.7%,clay2 .5%,수분함량18.3%,pH5.3		IM
	1.61	kow		EPI suit
	14.930	MIC	EPI suit	VM
	2,910.72	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Erythromycin	570.00		VSDB HSDB	SM
	499.00		Pope. L. J (2009)	SM
	25.49	kow	EPI suit	M
	566.90	MIC	EPI suit	SM
	408.51	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Fenbendazol	46.00		VSDB	M
	57.00	silt loam, pH 7.0, OC 1.6%	Thiele, S., & Leinweber, P. (2000)	M
	35.00	siltloam,pH6.9, OC 2.4%		M
	1,100.00	sandy roam, soil : water = 1:1.4		SM
	2,347.00	kow	EPI suit	SM
	24,110.00	MIC	EPI suit	IM
	1,051.96	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Florfenicol	38.00		VSDB	M
	52.00		Boxall et al (2006)	M
	16.31	non hydrophobic	(Q)SAR	M

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class	
Flumequine	180.00		VSDB	MM	
	2,754.23	pH 3	Llitzh ø ft, H. C. H., et al (2000)	SM	
	4,466.84	pH 4		IM	
	16,982.44	pH 5		IM	
	24,547.09	pH 6		IM	
	16,982.44	pH 7		IM	
	14.83	kow		EPI suit	VM
	38.23	MIC	EPI suit	M	
	224.49	non hydrophobic	(Q)SAR	MM	
Gentamycin	10.00		HSDB	VM	
	0.00083	kow	EPI suit	VM	
	10.00	MIC	EPI suit	VM	
	1.10	non hydrophobic	(Q)SAR	VM	
Kanamycin	0.000019	kow	EPI suit	VM	
	10.00	MIC	EPI suit	VM	
	0.01	alcohols	(Q)SAR	VM	
	0.0034	non hydrophobic	(Q)SAR	VM	
Kitasamycin	298.10	kow	EPI suit	MM	
	154.10	MIC	EPI suit	MM	
	241.43	esters	(Q)SAR	MM	
	60.03	organicaacid	(Q)SAR	MM	
	271.89	non hydrophobic	(Q)SAR	MM	
Lasalocid	323.00		VSDB	MM	
	1,065.00	pH 7.5, OC 2.91%, Clay 21%	StephenA.S&LindaS.L. (2007)	SM	
	732.00	pH 7.3, OC 2.2%, Clay 33%		SM	
	1,460.00	pH 6.2, OC 1.35%, Clay 24%		SM	
	2,640.00	pH 6.2, OC 1.35%, Clay 24%		SM	
	15,700.00	pH 4.2, OC 1.35%, Clay 21%		IM	
	1,300.00	pH 4.2, OC 1.35%, Clay 21%		SM	
	8,560.00	pH 4.7, OC 0.52%, Clay 8%		IM	
	1,620.00	pH 7, OC 0.87%, Clay 11%		SM	
	4,120.00	pH 5.5, OC 1.38%, Clay 41%		IM	
	1,688.00	pH 6.8, OC 0.64%, Clay 5%		SM	
	1,747.00	kow		EPI suit	SM
	4,138.00	MIC		EPI suit	IM
	33,481.12	non hydrophobic		(Q)SAR	IM
Lincomycin	59.00		VSDB	M	
	31.00		HSDB	M	
	1.08	kow	EPI suit	VM	
	68.67	MIC	EPI suit	M	
	30.39	non hydrophobic	(Q)SAR	M	

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Marbofloxacin	232.27	organicacid	(Q)SAR	MM
	621.16	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Methenamine	10.00		HSDB	VM
	0.002	kow	EPI suit	VM
	10.000	MIC	EPI suit	VM
	0.07	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Monensin	1,160.00	pH 7.5, OC 2.91%, Clay 21%	StephenA.S&LindaS.L. (2007)	SM
	182.00	pH 7.3, OC 2.2%, Clay 33%		MM
	491.00	pH 6.2, OC 1.35%, Clay 24%		MM
	1,430.00	pH 6.2, OC 1.35%, Clay 24%		SM
	4,050.00	pH 4.2, OC 1.35%, Clay 21%		VM
	894.00	pH 4.2, OC 1.35%, Clay 21%		SM
	2,423.00	pH 4.7, OC 0.52%, Clay 8%		SM
	125.00	pH 7, OC 0.87%, Clay 11%		MM
	5,700.00	pH 5.5, OC 1.38%, Clay 41%		VM
	143.00	pH 6.8, OC 0.64%, Clay 5%		MM
	62.05	kow	EPI suit	M
	365.80	MIC	EPI suit	MM
	6,975.90	non hydrophobic	(Q)SAR	IM
Neomycin	10.00		HSDB	VM
	0.0000004	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	0.12	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Novobiocin	12.58	kow	EPI suit	VM
	134.60	MIC	EPI suit	MM
	114.42	amides	(Q)SAR	MM
	196.79	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Orbifloxacin	140.00		VSDB	MM
	628.64	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Oleandomycine	200.00		VSDB	MM
	61.02	kow	EPI suit	M
	74,820.00	MIC	EPI suit	IM
	79.21	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
	537,900,000.0	MIC	EPI suit	IM
	0.08	organicacid	(Q)SAR	VM
	0.59	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Oxytetracycline	47,880.00	sand, pH5.6, OC 1.4%	Rab ølle & Spiild (2000)	IM
	93,320.00	sandy loam, pH5.6, OC 1.1%		IM
	27,790.00	sand, pH6.3, OC1.5%		IM
	42,500.00	loamysand, pH6.1, OC1.6%		IM
	52,875.00		Carballo, M., et al (2016)	IM
	1.24	kow	EPI suit	VM
	73.65	MIC	EPI suit	M
	3.56	non hydrophobic	(Q)SAR	VM

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Penicillin	0.017	kow	EPI suit	VM
	68.11	MIC	EPI suit	M
	77.34	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Phthalylsulfathiazole	3.23	kow	EPI suit	VM
	67.73	MIC	EPI suit	M
	179.64	dinitroanilines	(Q)SAR	MM
	30.03	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Rifampicin	691.90	kow	EPI suit	SM
	155,100.00	MIC	EPI suit	IM
	3,725.63	phenol	(Q)SAR	SM
	1,678.03	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Salinomycin	6,050.00		HSDB	IM
	6,218.00	kow	EPI suit	IM
	6,052.00	MIC	EPI suit	IM
	285,495.98	non hydrophobic	(Q)SAR	IM
Spectinomycin	0.0065120	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	1.51	alcohols	(Q)SAR	VM
	3.92	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Spiramycin	140.00		HSDB	MM
	98.27	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
Streptomycin	0.0000032	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	0.0037	alcohols	(Q)SAR	VM
	0.0013	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfachlorpyridazine	43.00		VSDB	M
	129.00		Tolls, J. (2001)	MM
	41.04	kow	EPI suit	M
	119.20	MIC	EPI suit	MM
	15.18	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Sulfadiazine	81.00		VSDB	MM
	81.00	clay-loam, pH 6.2, OC 3.1%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	MM
	124.00	silt loam, pH 7.0, OC 1.6%		MM
	24.66	kow	EPI suit	M
	74.31	MIC	EPI suit	M
	9.40	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfadimethoxine	1,672.00		VSDB	SM
	143.00	silt loam, pH 7.0, OC 1.6%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	MM
	323.00	clay-loam pH 6.2, OC 3.1%		MM
	285.20	kow	EPI suit	MM
	30.51	MIC	EPI suit	M
	73.72	non hydrophobic	(Q)SAR	M

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Sulfadoxine	87.25	kow	EPI suit	MM
	31.77	MIC	EPI suit	M
	156.17	dinitroanilines	(Q)SAR	MM
	24.80	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Sulfaguanidine	2.22	kow	EPI suit	VM
	49.92	MIC	EPI suit	M
	28.60	dinitroanilines	(Q)SAR	M
	2.43	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfamerazine	33.05	kow	EPI suit	M
	119.20	MIC	EPI suit	MM
	94.02	dinitroanilines	(Q)SAR	MM
	12.38	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfamethazine	127.00		VSDB	MM
	174.00	sand, pH 5.2, OC 0.9%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	MM
	125.00	loamy sand, pH 5.6, OC 2.3%		MM
	208.00	sandy loam, pH6.3, OC 1.2%		MM
	82.00	clay silt, pH6.9, OC 1.1%		MM
	35.23	kow	EPI suit	M
	191.30	MIC	EPI suit	MM
	27.29	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Sulfamethoxazole	72.00		HSDB	M
	34.67		TiejunQiaoetal(2011)	M
	1,531.00		Knabel, A. et al (2016)	SM
	34.33	kow	EPI suit	M
	258.30	MIC	EPI suit	MM
	30.39	non hydrophobic	(Q)SAR	M
	Sulfamethoxypyridazine	47.28	kow	EPI suit
47.62		MIC	EPI suit	M
110.05		dinitroanilines	(Q)SAR	MM
15.36		non hydrophobic	(Q)SAR	M
Sulfamonomethoxine	76.71	kow	EPI suit	MM
	47.62	MIC	EPI suit	M
	99.08	dinitroanilines	(Q)SAR	MM
	13.30	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfanilamide	11.00		HSDB	VM
	106.00	sand, pH 5.2, OC 0.9%	Thiele-Bruhn, S. (2003)	MM
	5.27	kow	EPI suit	VM
	24.28	MIC	EPI suit	M
	4.98	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Sulfathiazole	200.00		HSDB	MM
	200.00		Tolls, J. (2001)	MM
	11.78	kow	EPI suit	VM
	161.00	MIC	EPI suit	MM
	11.12	non hydrophobic	(Q)SAR	VM

<표> 계속

항생제 성분	Koc (L/kg)	Condition	Reference	class
Thiamphenicol	0.89	kow	EPI suit	VM
	10.00	MIC	EPI suit	VM
	7.58	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Tiamulin	36,000.00		HSDB	IM
	1,621.81		TiejunQiaoetal(2011)	SM
	1,606.00	kow	EPI suit	SM
	35,980.00	MIC	EPI suit	IM
	3,090.30	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Tilmicosin	2,800.00		HSDB VSDB	SM
	45.69	kow	EPI suit	M
	10,900.00	MIC	EPI suit	IM
	990.83	non hydrophobic	(Q)SAR	SM
Trimethoprim	2,835.00		VSDB	SM
	75.00		HSDB	MM
	205.00		Halling-Sørensen, B., et al (2002)	MM
	79.43		TiejunQiaoetal(2011)	MM
	78.61	kow	EPI suit	MM
	718.80	MIC	EPI suit	SM
	31.13	non hydrophobic	(Q)SAR	M
Tulathromycin	0.08	alcohols	(Q)SAR	VM
	0.11	esters	(Q)SAR	VM
	1.94	non hydrophobic	(Q)SAR	VM
Tylosin	3,744.00		VSDB	SM
	7,988.00		HSDB	IM
	7,988.00	sand, pH5.6, OC 1.4%	Rabølle & Spiild (2000)	SM
	771.00	sandy loam, pH5.6, OC 1.1%		IM
	5,664.00	sand, pH6.3, OC1.5%		SM
	553.00	loamysand, pH6.1, OC1.6%		SM
	1.61	kow	EPI suit	VM
	746.00	MIC	EPI suit	SM
621.16	non hydrophobic	(Q)SAR	SM	
Virginiamycin	980.00		HSDB	SM
	4,760.00		SongW&GuoM(2014)	IM
	6,600.00			IM
	64.62	non hydrophobic	(Q)SAR	MM
	0.59	non hydrophobic	(Q)SAR	VM

Koc threshold value for veterinary medicines (Boxall, B. et al., 2002)

- Immobile (IM) : > 4000
- Slightly Mobile (SM) : 500 - 4000
- Moderately mobile(MM) : 75 - 499
- Mobile (M) : 15 - 74
- Very Mobile (VM) : < 15

<부록 표 11> 가축용 항생제의 Rats Acute oral LD50 database 및 Class

항생제 성분	Mammals- Acute oral LD50 (mg/kg)	Reference	Classification
Amikacin	6,000	ChemIDplus	L
Amoxicillin	15,000	VSDB	L
Ampicillin	5,000	VSDB	L
Apramycin	4,160	VSDB	L
Avilamycin	4,640	VSDB	L
Bacitracin	3,751	VSDB	L
Bambermycin	2,000	VSDB	L
Cefacetril	11,600	EMEA	L
Cefazolin	11,000	VSDB	L
Cefquinome	980	보고서	M
Ceftiofur	7,760	VSDB	L
Cefuroxime	10,000	ChemIDplus	L
Cephalexin	20,000	VSDB	L
Cephalonium	2,750	VSDB	L
Cephapirin	14,000	VSDB	L
Chloramphenicol	2,500	ChemIDplus	L
Chlortetracycline	3,000	ChemIDplus	L
Cloxacillin	5,000	VSDB	L
Colistin	5,450	VSDB	L
Danofloxacin	2,000	VSDB	L
Dicloxacillin	3,579	VSDB	L
Dihydrostreptomycin	9,000	VSDB	L
Doxycycline	2,000	VSDB	L
Enramycin	10,000	ChemIDplus	L
Enrofloxacin	5,000	VSDB	L
Erythromycin	4,600	VSDB	L
Fenbendazol	10,000	VSDB	L
Florfenicol	2,000	VSDB	L
Flumequine	2,210	In-Chem	L
Gentamycin	6,600	VSDB	L
Kanamycin	5,000	VSDB	L
Kitasamycin	4,965	VSDB	L
Lasalocid	122	VSDB	M
Lincomycin	4,000	VSDB	L
Marbofloxacin	1,781	VSDB	M
Methenamine	569	VSDB	M
Monensin	100	VSDB	M
Neomycin	2,750	VSDB	L

<표> 계속

항생제 성분	Mammals- Acute oral LD50 (mg/kg)	Reference	Classification
Novobiocin	3,200	EMEA	L
Orbifloxacin	283	VSDB	M
Oleandomycin	6,700	VSDB	L
Oxytetracycline	4,800	ChemIDplus	L
Penicillin	2,000	ChemIDplus	L
Phthalylsulfathiazole	10,000	VSDB	L
Rifampicin	1,570	ChemIDplus	M
Salinomycin	50	VSDB	H
Spectinomycin	5,000	VSDB	L
Spiramycin	4,850	VSDB	L
Streptomycin	9,000	VSDB	L
Sulfachlorpyridazine	6,000	VSDB	L
Sulfadiazine	1,500	VSDB	M
Sulfadimethoxine	10,000	ChemIDplus	L
Sulfadoxine	5,200	VSDB	L
Sulfaguanidine	20,000	ChemIDplus	L
Sulfamerazine	25,000	ChemIDplus	L
Sulfamethazine	50,000	ChemIDplus	L
Sulfamethoxazole	6,200	ChemIDplus	L
Sulfamethoxypyridazine	2,739	ChemIDplus	L
Sulfamonomethoxine	10,000	ChemIDplus	L
Sulfanilamide	3,700	VSDB	L
Sulfathiazole	4,500	VSDB	L
Thiamphenicol	5,000	VSDB	L
Tiamulin	2,740	EMEA	L
Tilmicosin	800	VSDB	M
Trimethoprim	1,850	EMEA	M
Tulathromycin	2,000	VSDB	L
Tylosin	5,000	VSDB	L
Virginiamycin	2,100	VSDB	L

Rats acute oral LD50 (mg/kg) threshold value for veterinary medicines (VSDB)

High (H) : < 100

Moderate (M) : 100 - 2000

Low (L) : > 2000

<부록 표 12> 가축용 항생제의 Rats NOEL database

항생제 성분	Mammals- NOEL (mg/kg)	Reference	toxicologicalADI (μ g/kg)_EMEA
Amikacin	100	Foodsafetykorea	50
Amoxicillin	200	APVMA	0.2
Ampicillin	750	보고서	ND
Apramycin	25	EMEA	250
Avilamycin	108	APVMA	115
Bacitracin	11	EMEA	5.5
Bambermycin	29	APVMA	300
Cefacetil	750	EMEA	ND
Cefazolin	20	EMEA	100
Cefquinome	1.5	EMEA	3.8
Ceftiofur	30	EMEA	300
Cefuroxime	400	EMEA	400
Cephalexin	160	EMEA	500
Cephalonium	4	EMEA	20
Cephapirin	20	EMEA	100
Chloramphenicol	ND		ND
Chlortetracycline	0.03	APVMA	3
Cloxacillin	500	APVMA	200
Colistin	12.5	EMEA	62.5
Danofloxacin	2.4	EMEA	20
Dicloxacillin	ND		ND
Dihydrostreptomycin	5	EMEA	25
Doxycycline	250	EMEA	3
Enramycin	ND		ND
Enrofloxacin	3	EMEA	30
Erythromycin	370	EMEA	ND
Fenbendazol	15	EMEA	7
Florfenicol	1	EMEA	10
Flumequine	25	EMEA	25
Gentamycin	25	EMEA	100
Kanamycin	0.8	EMEA_C	8
Kitasamycin	1000	APVMA	500
Lasalocid	0.5	EMEA	2.5
Lincomycin	300	EMEA	300
Marbofloxacin	4	EMEA	0.04
Methenamine	15	EMEA_C	150
Monensin	25	EMEA	14.46
Neomycin	12.5	EMEA	60

<표> 계속

항생제 성분	Mammals- NOEL (mg/kg)	Reference	toxicologicalADI (μ g/kg)_EMEA
Novobiocin	2	EMEA	20
Orbifloxacin	20	보고서	ND
Oleandomycin	ND		ND
Oxytetracycline	0.033	APVMA	3
Penicillin	750	보고서	30
Phthalylsulfathiazole	ND		ND
Rifampicin	25	EMEA	0.25
Salinomycin	3	EMEA	ND
Spectinomycin	50	EMEA	250
Spiramycin	140	EMEA	750
Streptomycin	5	EMEA	25
Sulfachlorpyridazine	5	JECFA	50
Sulfadiazine	37.5	JECFA	20
Sulfadimethoxine	5	JECFA	50
Sulfadoxine	50	JECFA	50
Sulfaguanidine	5	JECFA	50
Sulfamerazine	5	JECFA	50
Sulfamethazine	5	JECFA	50
Sulfamethoxazole	5	JECFA	50
Sulfamethoxypyridazine	5	JECFA	50
Sulfamonomethoxine	5	JECFA	50
Sulfanilamide	5	JECFA	50
Sulfathiazole	18	In-chem	50
Thiamphenicol	30	EMEA	45
Tiamulin	5	EMEA	0.03
Tilmicosin	0.4	EMEA	4
Trimethoprim	50	EMEA	12.5
Tulathromycin	5	EMEA	50
Tylosin	50	EMEA	500
Virginiamycin	50	EMEA	500

<부록 표 13> 가축용 항생제의 Earth worms LC50과 NOEC database

항생제 성분	earthworms LC50 (mg/kg)	Reference	class	earthworms NOEC (mg/kg)	Reference	class
Amikacin	ND		U	ND		U
Amoxycillin	1,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	182	Di Nica, V. et al (2015)	L
Ampicillin	ND		U	ND		U
Apramycin	ND		U	100	Di Nica, V. et al (2015)	L
Avilamycin	ND		U	100	Di Nica, V. et al (2015)	L
Bacitracin	ND		U	ND		U
Bambermycin	25,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	ND		U
Cefacetril	ND		U	ND		U
Cefazolin	ND		U	ND		U
Cefquinome	ND		U	ND		U
Ceftiofur	ND		U	ND		U
Cefuroxime	ND		U	ND		U
Cephalexin	ND		U	ND		U
Cephalonium	ND		U	ND		U
Cephapirin	ND		U	ND		U
Chloramphenicol	ND		U	ND		U
Chlortetracycline	1,116	Di Nica, V. et al (2015)	L	20	Di Nica, V. et al (2015)	M
Cloxacillin	ND		U	ND		U
Colistin	ND		U	ND		U
Danofloxacin	ND		U	ND		U
Dicloxacillin	ND		U	ND		U
Dihydrostreptomycin	ND		U	ND		U
Doxycycline	ND		U	ND		U
Enramycin	ND		U	ND		U
Enrofloxacin	1,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	125	Di Nica, V. et al (2015)	L
Erythromycin	6,456	Di Nica, V. et al (2015)	L	ND		U
Fenbendazol	1,068	Di Nica, V. et al (2015)	L	56	Di Nica, V. et al (2015)	M
Florfenicol	1,068	Di Nica, V. et al (2015)	L	1.95	Di Nica, V. et al (2015)	M
Flumequine	ND		U	ND		U
Gentamycin	ND		U	ND		U
Kanamycin	ND		U	ND		U
Kitasamycin	ND		U	ND		U
Lasalocid	72	Žižek, S., et al (2015)	M	41	Žižek, S., et al (2015)	M
Lincomycin	ND		U	1,000	Di Nica, V. et al (2015)	L

<표> 계속

항생제 성분	earthworms LC50 (mg/kg)	Reference	class	earthworms NOEC (mg/kg)	Reference	class
Marbofloxacin	ND		U	ND		U
Methenamine	ND		U	ND		U
Monensin	56	HansenM.,etal(2009)	M	10	HansenM.,etal(2009)	M
Neomycin	ND		U	ND		U
Novobiocin	ND		U	ND		U
Orbifloxacin	ND		U	ND		U
Oleandomycine	ND		U	ND		U
Oxytetracycline	1,954	Di Nica, V. et al (2015)	L	0.10	Di Nica, V. et al (2015)	M
Penicillin	348	Havelkova, B.et al(2016)	M	ND		U
Phthalylsulfathiazole	ND		U	ND		U
Rifampicin	ND		U	ND		U
Salinomycin	71	HansenM.,etal(2009)	M	ND		U
Spectinomycin	ND		U	ND		U
Spiramycin	ND		U	ND		U
Streptomycin	ND		U	10	Di Nica, V. et al (2015)	M
Sulfachlorpyridazine	ND		U	ND		U
Sulfadiazine	984	Di Nica, V. et al (2015)	M	ND		U
Sulfadimethoxine	ND		U	ND		U
Sulfadoxine	ND		U	ND		U
Sulfaguanidine	ND		U	ND		U
Sulfamerazine	ND		U	ND		U
Sulfamethazine	ND		U	ND		U
Sulfamethoxazole	4,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	ND		U
Sulfamethoxypyridazine	ND		U	ND		U
Sulfamonomethoxine	ND		U	ND		U
Sulfanilamide	1,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	3.75	Di Nica, V. et al (2015)	M
Sulfathiazole	ND		U	ND		U
Thiamphenicol	ND		U	ND		U
Tiamulin	1,000	Di Nica, V. et al (2015)	L	ND		U
Tilmicosin	918	Di Nica, V. et al (2015)	M	ND		U

<표> 계속

항생제 성분	earthworms LC50 (mg/kg)	Reference	class	earthworms NOEC (mg/kg)	Reference	class
Trimethoprim	1,017	Di Nica, V. et al (2015)	L	ND		U
Tulathromycin	ND		U	ND		U
Tylosin	4,530	Angel J. Baguera et al (2000)	L	5,000	Angel J. Baguera et al (2000)	L
Virginiamycin	ND		U	ND		U

Earth worms acute LC50 (mg/kg) threshold value for veterinary medicines (VSDB)

High (H) : < 10
 Moderate (M) : 10 - 1000
 Low (L) : > 1000

Earth worms NOEC (mg/kg) threshold value for veterinary medicines (VSDB)

High (H) : < 0.1
 Moderate (M) : 0.1 - 100
 Low (L) : > 100

<부록 표 14> 2011년 전국 소 매물지를 대상으로 한 항생제 위해도 우선순위 지표 배점(초기 구성 체계)

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL		Half-life in water	BCF	BQ _i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc					
1	Amikacin	3.56	3.46	7.02	2.22	2.00	1.49	4.44	2.51	17.61	3.90	3.80	7.71	5.00	2.00	1.49	2.06	2.48	19.15	36.76		
2	Amoxicillin	1.57	2.54	4.11	0.51	2.00	5.00	4.43	2.37	9.76	3.59	3.27	6.87	0.45	2.00	5.00	2.07	1.73	11.90	21.65		
3	Ampicillin	3.83	1.00	4.84	0.49	2.00	5.00	4.44	2.36	11.40	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	5.00	2.06	3.49	26.87	38.27		
4	Apramycin	4.06	4.17	8.23	4.90	2.00	1.52	1.50	2.08	17.13	3.90	3.54	7.44	2.94	2.00	1.52	5.00	3.22	23.96	41.09		
5	Avilamycin	3.93	3.39	7.32	0.48	2.41	ND	4.36			3.90	3.54	7.44	0.86	2.41	ND	2.14					
6	Bacitracin	4.16	4.30	8.46	4.90	1.93	1.74	4.27	4.10	34.72	3.90	3.80	7.71	0.90	1.93	1.74	2.23	1.12	8.64	43.36		
7	Bambermycin	4.60	4.14	8.73	3.26	2.00	1.94	4.44	3.36	29.37	1.00	3.80	4.80	1.10	2.00	1.94	2.06	1.24	5.96	35.33		
8	Cefacetril	2.15	1.00	3.15	3.26	1.93	1.49	4.44	3.08	9.71	3.90	3.80	7.71	2.94	1.93	1.49	2.06	1.73	13.31	23.02		
9	Cefazolin	2.28	4.22	6.49	3.26	2.00	1.60	4.44	3.18	20.67	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.60	2.06	1.81	13.93	34.60		
10	Cefquinome	4.82	4.38	9.20	3.26	1.93	1.50	4.44	3.08	28.39	3.90	3.80	7.71	2.94	1.93	1.50	2.06	1.73	13.32	41.71		
11	Ceftiofur	3.08	4.13	7.21	0.73	2.00	4.07	4.33	2.30	16.55	3.90	3.80	7.71	1.51	2.00	4.07	2.17	2.19	16.88	33.43		
12	Cefuroxime	2.51	1.36	3.86	4.90	1.93	1.49	4.44	4.05	15.67	3.90	3.80	7.71	2.94	1.93	1.49	2.06	1.73	13.31	28.98		
13	Cephalexin	1.14	2.90	4.04	3.26	2.00	1.62	4.44	3.19	12.91	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.62	2.06	1.82	14.01	26.92		
14	Cephalonium	4.42	4.36	8.78	3.26	2.80	1.58	2.42	2.42	21.25	3.90	3.80	7.71	2.94	2.80	1.58	4.08	3.25	25.03	46.28		
15	Cephapirin	1.71	4.22	5.93	1.09	2.00	1.51	4.44	1.84	10.92	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.51	2.06	1.76	13.56	24.48		
16	Chloramphenicol	4.48	4.32	8.80	0.58	1.96	2.58	4.44	1.79	15.75	3.90	3.80	7.71	1.68	1.96	2.58	2.06	1.69	13.03	28.78		
17	Chlortetracycline	4.35	4.39	8.75	3.68	2.00	4.38	2.76	4.06	35.51	3.52	3.80	7.32	2.25	2.00	4.38	3.74	3.45	25.28	60.79		
18	Cloxacillin	3.83	1.13	4.96	3.26	2.00	1.68	4.44	3.23	16.00	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.68	2.06	1.85	14.22	30.23		
19	Colistin	3.71	4.28	7.99	1.09	2.00	2.08	4.44	2.02	16.15	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	2.08	2.06	2.04	15.76	31.90		
20	Danofloxacin	4.60	4.37	8.97	3.26	2.80	1.49	4.32	3.53	31.62	3.90	3.80	7.71	4.02	2.80	1.49	2.18	2.50	19.28	50.90		
21	Dicloxacillin	4.21	4.32	8.53	4.90	2.00	1.52	4.41	4.09	34.94	3.90	3.80	7.71	3.11	2.00	1.52	2.09	1.84	14.22	49.16		
22	Dihydrostreptomycin	2.75	4.35	7.10	0.45	2.00	4.63	4.44	2.22	15.78	3.90	3.80	7.71	0.72	2.00	4.63	2.06	1.82	14.03	29.81		
23	Doxycycline	4.60	2.15	6.74	0.49	2.00	1.50	3.32	1.20	8.11	3.90	3.80	7.71	2.39	2.00	1.50	3.18	2.05	15.83	23.93		
24	Enramycin	2.51	4.32	6.83	3.26	2.80	ND	2.42			3.90	3.80	7.71	2.94	2.80	ND	4.08					
25	Enrofloxacin	3.83	4.37	8.20	4.21	2.00	3.47	1.64	3.17	26.01	3.59	3.46	7.05	4.21	2.00	3.47	4.86	5.18	36.53	62.54		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
26	Erythromycin	3.94	1.47	5.41	3.68	3.11	1.71	4.43	4.17	22.54	1.22	3.80	5.02	1.71	3.11	1.71	2.07	1.82	9.15	31.69		
27	Fenbendazol	2.51	4.26	6.77	0.51	4.77	1.56	4.44	3.17	21.45	3.55	3.68	7.23	3.99	4.77	1.56	2.06	3.17	22.90	44.35		
28	Florfenicol	4.60	4.39	8.98	0.74	1.94	4.75	4.44	2.46	22.14	3.55	3.85	7.41	0.74	1.94	4.75	2.06	1.82	13.50	35.63		
29	Flumequine	4.55	4.17	8.72	4.90	2.00	ND	4.29			3.90	3.80	7.71	4.99	2.00	ND	2.21					
30	Gentamycin	3.39	4.17	7.57	3.26	2.00	1.68	4.44	3.22	24.39	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.68	2.06	1.84	14.21	38.60		
31	Kanamycin	3.83	4.39	8.22	3.26	2.00	1.57	4.44	3.17	26.04	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.57	2.06	1.79	13.81	39.84		
32	Kitasamycin	3.84	1.00	4.84	3.26	3.38	ND	4.44			3.90	3.80	7.71	2.94	3.38	ND	2.06					
33	Lasalocid	5.00	4.39	9.39	0.55	3.28	2.18	4.38	2.51	23.56	4.18	3.73	7.91	0.48	3.28	2.18	2.12	1.62	12.77	36.33		
34	Lincomycin	4.10	1.82	5.91	0.51	2.00	1.58	4.44	1.52	8.96	3.90	1.37	5.27	1.10	2.00	1.58	2.06	1.13	5.94	14.91		
35	Marbofloxacin	4.65	4.36	9.00	3.26	2.00	1.52	4.43	3.13	28.19	3.90	3.80	7.71	0.60	2.00	1.52	2.07	0.93	7.20	35.39		
36	Methenamine	4.91	4.26	9.17	0.41	2.00	ND	4.44			3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	ND	2.06					
37	Monensin	5.00	4.17	9.17	0.44	2.17	4.47	4.42	2.32	21.27	4.19	3.83	8.02	2.48	2.17	4.47	2.08	3.05	24.42	45.68		
38	Neomycin	4.42	4.28	8.70	0.45	2.00	2.95	4.44	1.81	15.75	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	2.95	2.06	2.47	19.05	34.81		
39	Novobiocin	4.30	4.38	8.68	3.26	2.40	1.52	4.44	3.37	29.29	3.90	3.80	7.71	2.94	2.40	1.52	2.06	1.91	14.73	44.03		
40	Orbifloxacin	4.96	4.32	9.29	3.26	2.46	ND	4.44			3.90	3.80	7.71	0.96	2.46	ND	2.06					
41	Oleandomycine	3.37	4.22	7.58	3.26	2.00	1.49	4.44	3.12	23.70	3.90	3.80	7.71	0.60	2.00	1.49	2.06	0.92	7.12	30.83		
42	Oxytetracycline	3.89	4.39	8.28	1.60	2.00	4.22	2.97	2.59	21.44	2.99	3.86	6.85	1.99	2.00	4.22	3.53	3.09	21.16	42.60		
43	Penicillin	4.60	1.00	5.60	3.26	2.00	5.00	4.44	4.97	27.85	4.01	3.80	7.81	1.40	2.00	5.00	2.06	2.40	18.77	46.61		
44	Phthalylsulfathiazole	2.51	4.32	6.83	3.26	2.00	1.56	4.44	3.16	21.59	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.56	2.06	1.79	13.76	35.35		
45	Rifampicin	4.69	4.17	8.87	1.09	3.71	1.49	4.39	2.82	25.04	3.90	3.80	7.71	2.94	3.71	1.49	2.11	2.39	18.43	43.47		
46	Salinomycin	5.00	4.37	9.37	0.60	2.17	1.58	4.26	1.61	15.11	4.18	3.80	7.98	1.24	2.17	1.58	2.24	1.30	10.40	25.51		
47	Spectinomycin	3.83	3.94	7.77	3.26	2.00	1.51	4.44	3.13	24.36	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.51	2.06	1.76	13.56	37.92		
48	Spiramycin	3.87	3.08	6.96	2.23	2.00	1.89	4.44	2.68	18.63	3.90	3.80	7.71	0.84	2.00	1.89	2.06	1.12	8.64	27.27		
49	Streptomycin	2.75	4.35	7.10	3.26	2.00	1.56	4.44	3.16	22.47	3.90	3.83	7.73	0.72	2.00	1.56	2.06	0.99	7.62	30.09		
50	Sulfachlorpyridazine	3.56	4.35	7.91	4.90	2.00	1.81	4.44	4.31	34.13	3.90	3.80	7.71	0.62	2.00	1.81	2.06	1.02	7.83	41.96		

<표> 계 속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
51	Sulfadiazine	4.71	4.06	8.77	0.74	2.00	1.77	4.44	1.71	14.97	3.61	3.80	7.41	1.74	2.00	1.77	2.06	1.43	10.63	25.59		
52	Sulfadimethoxine	2.51	4.35	6.86	2.22	2.00	2.68	4.43	3.01	20.61	3.90	3.80	7.71	3.91	2.00	2.68	2.07	2.81	21.65	42.26		
53	Sulfadoxine	3.78	3.94	7.72	3.26	2.00	1.88	4.44	3.33	25.70	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.88	2.06	1.94	14.98	40.69		
54	Sulfaguanidine	1.14	4.35	5.49	2.22	2.00	1.54	4.44	2.53	13.89	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.54	2.06	1.78	13.70	27.59		
55	Sulfamerazine	1.02	4.35	5.37	2.22	2.00	1.74	4.44	2.61	14.03	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.74	2.06	1.87	14.45	28.49		
56	Sulfamethazine	1.00	4.35	5.35	4.15	2.00	2.82	4.44	4.46	23.88	3.90	3.80	7.71	1.87	2.00	2.82	2.06	1.89	14.56	38.44		
57	Sulfamethoxazole	3.50	4.35	7.85	0.96	2.00	2.83	4.44	2.15	16.92	1.89	3.80	5.70	0.76	2.00	2.83	2.06	1.35	7.70	24.61		
58	Sulfamethoxypyridazine	4.42	4.35	8.77	4.90	2.01	1.95	4.44	4.42	38.73	3.90	3.80	7.71	2.94	2.01	1.95	2.06	1.98	15.28	54.01		
59	Sulfamonomethoxine	2.51	4.35	6.86	3.26	2.00	1.50	4.44	3.13	21.46	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.50	2.06	1.76	13.53	34.99		
60	Sulfanilamide	4.18	4.35	8.53	3.26	2.00	1.50	4.44	3.13	26.71	3.59	3.85	7.44	0.69	2.00	1.50	2.06	0.96	7.15	33.86		
61	Sulfathiazole	3.97	4.24	8.20	2.22	2.00	1.66	4.44	2.57	21.12	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.66	2.06	1.84	14.16	35.28		
62	Thiamphenicol	3.83	4.13	7.96	3.26	2.00	1.54	4.44	3.15	25.08	3.90	3.80	7.71	2.94	2.00	1.54	2.06	1.78	13.69	38.77		
63	Tiamulin	4.42	4.35	8.77	1.80	5.00	1.58	4.21	3.93	34.48	3.59	3.80	7.40	4.35	5.00	1.58	2.29	3.62	26.77	61.25		
64	Tilmicosin	4.86	4.39	9.25	0.73	4.69	1.98	4.36	3.44	31.80	3.65	3.80	7.45	2.25	4.69	1.98	2.14	2.86	21.34	53.15		
65	Trimethoprim	4.63	3.94	8.57	0.58	2.00	2.01	4.44	1.67	14.29	3.58	3.80	7.39	2.41	2.00	2.01	2.06	1.80	13.27	27.56		
66	Tulathromycin	4.60	4.35	8.95	3.26	1.93	1.49	4.44	3.08	27.58	3.90	3.80	7.71	2.56	1.93	1.49	2.06	1.59	12.28	39.86		
67	Tylosin	3.83	3.94	7.77	1.09	3.83	3.19	4.42	3.74	29.09	1.69	1.00	2.69	2.22	3.83	3.19	2.08	3.19	8.56	37.65		
68	Virginiamycin	4.57	3.94	8.51	3.26	2.05	ND	4.35			3.90	3.80	7.71	4.27	2.05	ND	2.15					

<부록 표 14> 2010년 전국 소 매물지를 대상으로 한 항생제 위해도 우선순위 지표 배점(Modify(3)-합)

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_	급성		아/만 성	sub_s	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL	score (10)	Half-life in water	BCF	BQ _i	koc	score (10)	Earth worm LC50		Earth worm NOEC	core (10)	Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc	score (10)				
1	Amikacin	3.56	3.46	7.02	2.61	1.98	1.41	4.38	1.69	21.77	3.90	3.80	7.71	5.00	1.98	1.41	2.07	1.70	23.52	45.30		
2	Amoxicillin	1.57	2.54	4.11	0.65	1.98	4.99	4.37	4.66	21.93	3.59	3.27	6.87	0.45	1.98	4.99	2.09	3.01	24.68	46.61		
3	Ampicillin	3.83	1.00	4.84	0.63	1.98	4.99	4.38	4.65	23.71	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	4.99	2.08	4.65	30.89	54.60		
4	Apramycin	4.06	4.17	8.23	4.95	1.98	1.43	1.50	1.61	24.61	3.90	3.54	7.44	2.94	1.98	1.43	5.00	1.90	23.35	47.95		
5	Avilamycin	3.93	3.39	7.32	0.61	2.38	ND	4.30			3.90	3.54	7.44	0.86	2.38	ND	2.16					
6	Bacitracin	4.16	4.30	8.46	4.95	1.91	ND	4.21			3.90	3.80	7.71	0.90	1.91	ND	2.25					
7	Bambermycin	4.60	4.14	8.73	2.79	1.98	2.17	4.38	2.65	28.45	1.00	3.80	4.80	1.10	1.98	2.17	2.07	1.49	15.74	44.19		
8	Cefacetril	2.15	1.00	3.15	2.79	1.91	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	ND	2.07					
9	Cefazolin	2.28	4.22	6.49	2.79	1.98	1.51	4.38	1.85	20.85	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.51	2.07	1.41	22.80	43.65		
10	Cefquinome	4.82	4.38	9.20	2.79	1.91	1.41	4.38	1.71	27.28	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.41	2.07	1.30	22.53	49.80		
11	Ceftiofur	3.08	4.13	7.21	0.92	1.98	3.73	4.27	3.57	26.93	3.90	3.80	7.71	1.51	1.98	3.73	2.19	2.82	26.33	53.27		
12	Cefuroxime	2.51	1.36	3.86	4.95	1.91	1.41	4.38	2.12	14.95	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.41	2.07	1.30	22.53	37.48		
13	Cephalexin	1.14	2.90	4.04	2.79	1.98	1.50	4.38	1.83	14.68	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.50	2.08	1.40	22.77	37.45		
14	Cephalonium	4.42	4.36	8.78	2.79	3.36	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	ND	3.51					
15	Cephapirin	1.71	4.22	5.93	1.35	1.98	1.41	4.38	1.46	18.46	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.41	2.07	1.32	22.57	41.02		
16	Chloramphenicol	4.48	4.32	8.80	0.74	1.94	2.35	4.38	2.21	27.53	3.90	3.80	7.71	1.68	1.94	2.35	2.08	1.78	23.73	51.27		
17	Chlortetracycline	4.35	4.39	8.75	1.17	1.98	4.41	2.69	3.43	30.45	3.52	3.80	7.32	2.25	1.98	4.41	3.77	4.70	30.04	60.49		
18	Cloxacillin	3.83	1.13	4.96	2.79	1.98	1.63	4.38	1.98	17.37	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.63	2.07	1.52	23.06	40.43		
19	Colistin	3.71	4.28	7.99	1.35	1.98	1.99	4.38	2.04	25.10	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.99	2.07	1.85	23.90	49.00		
20	Danofloxacin	4.60	4.37	8.97	2.79	3.36	1.41	4.26	1.95	27.30	3.90	3.80	7.71	4.02	3.36	1.41	2.20	1.80	23.76	51.07		
21	Dicloxacillin	4.21	4.32	8.53	4.95	1.98	1.45	4.35	2.17	26.77	3.90	3.80	7.71	3.11	1.98	1.45	2.11	1.39	22.74	49.50		
22	Dihydrostreptomycin	2.75	4.35	7.10	0.57	1.98	4.67	4.38	4.31	28.54	3.90	3.80	7.71	0.72	1.98	4.67	2.07	2.97	26.70	55.24		
23	Doxycycline	4.60	2.15	6.74	0.62	1.98	1.42	3.25	1.11	19.62	3.90	3.80	7.71	2.39	1.98	1.42	3.20	1.43	22.84	42.46		
24	Enramycin	2.51	4.32	6.83	2.79	3.36	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	ND	3.51					
25	Enrofloxacin	3.83	4.37	8.20	4.47	1.98	3.09	1.62	3.33	28.81	3.59	3.46	7.05	4.21	1.98	3.09	4.87	4.56	29.02	57.84		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
26	Erythromycin	3.94	1.47	5.41	4.04	3.08	1.70	4.37	2.60	20.01	1.22	3.80	5.02	1.71	3.08	1.70	2.09	1.56	16.44	36.45		
27	Fenbendazol	2.51	4.26	6.77	0.65	4.76	1.45	4.38	1.89	21.66	3.55	3.68	7.23	3.99	4.76	1.45	2.08	2.09	23.31	44.97		
28	Florfenicol	4.60	4.39	8.98	0.93	1.91	4.95	4.38	4.78	34.39	3.55	3.85	7.41	0.74	1.91	4.95	2.08	3.12	26.32	60.71		
29	Flumequine	4.55	4.17	8.72	4.95	1.98	ND	4.23			3.90	3.80	7.71	4.99	1.98	ND	2.23					
30	Gentamycin	3.39	4.17	7.57	2.79	1.98	1.62	4.38	1.98	23.87	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.62	2.07	1.51	23.05	46.92		
31	Kanamycin	3.83	4.39	8.22	2.79	1.98	1.48	4.38	1.80	25.06	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.48	2.07	1.38	22.72	47.77		
32	Kitasamycin	3.84	1.00	4.84	2.79	3.35	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.35	ND	2.08					
33	Lasalocid	5.00	4.39	9.39	0.69	3.25	2.57	4.32	2.84	30.55	4.18	3.73	7.91	0.48	3.25	2.57	2.14	2.01	24.81	55.36		
34	Lincomycin	4.10	1.82	5.91	0.65	1.98	1.49	4.38	1.39	18.27	3.90	1.37	5.27	1.10	1.98	1.49	2.08	1.02	15.74	34.00		
35	Marbofloxacin	4.65	4.36	9.00	2.79	1.98	ND	4.37			3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	ND	2.09					
36	Methenamine	4.91	4.26	9.17	0.52	1.98	1.46	4.38	1.34	26.26	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.46	2.07	1.36	22.66	48.93		
37	Monensin	5.00	4.17	9.17	0.56	2.14	4.78	4.36	4.50	34.17	4.19	3.83	8.02	2.48	2.14	4.78	2.10	4.28	30.75	64.92		
38	Neomycin	4.42	4.28	8.70	0.57	1.98	2.78	4.38	2.57	28.18	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	2.78	2.07	2.59	25.75	53.93		
39	Novobiocin	4.30	4.38	8.68	2.79	2.37	1.45	4.38	1.84	26.30	3.90	3.80	7.71	2.94	2.37	1.45	2.08	1.43	22.83	49.14		
40	Orbifloxacin	4.96	4.32	9.29	2.79	2.44	1.41	4.38	1.80	27.73	3.90	3.80	7.71	0.96	2.44	1.41	2.08	1.03	21.84	49.57		
41	Oleandomycine	3.37	4.22	7.58	2.79	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	ND	2.08					
42	Oxytetracycline	3.89	4.39	8.28	1.93	1.98	3.70	2.90	3.36	29.10	2.99	3.86	6.85	1.99	1.98	3.70	3.56	3.71	26.39	55.50		
43	Penicillin	4.60	1.00	5.60	2.79	1.98	5.00	4.38	6.10	29.25	4.01	3.80	7.81	1.40	1.98	5.00	2.08	3.64	28.63	57.88		
44	Phthalylsulfathiazole	2.51	4.32	6.83	2.79	1.98	1.50	4.38	1.83	21.65	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.50	2.08	1.40	22.77	44.42		
45	Rifampicin	4.69	4.17	8.87	1.35	3.68	ND	4.33			3.90	3.80	7.71	2.94	3.68	ND	2.13					
46	Salinomycin	5.00	4.37	9.37	0.76	2.14	1.46	4.20	1.38	26.86	4.18	3.80	7.98	1.24	2.14	1.46	2.26	1.10	22.70	49.56		
47	Spectinomycin	3.83	3.94	7.77	2.79	1.98	1.43	4.38	1.74	23.79	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.43	2.07	1.33	22.60	46.39		
48	Spiramycin	3.87	3.08	6.96	2.62	1.98	1.89	4.38	2.26	23.05	3.90	3.80	7.71	0.84	1.98	1.89	2.08	1.23	22.36	45.41		
49	Streptomycin	2.75	4.35	7.10	2.79	1.98	1.49	4.38	1.82	22.31	3.90	3.83	7.73	0.72	1.98	1.49	2.07	0.95	21.71	44.02		
50	Sulfachlorpyridazine	3.56	4.35	7.91	4.95	1.98	1.55	4.38	2.34	25.63	3.90	3.80	7.71	0.62	1.98	1.55	2.08	0.97	21.69	47.32		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_score (10)	급성		아/만 성	sub_score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_score (10)				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL		Half-life in water	BCF	BQ _i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc					
51	Sulfadiazine	4.71	4.06	8.77	0.93	1.98	1.79	4.38	1.75	26.28	3.61	3.80	7.41	1.74	1.98	1.79	2.08	1.39	21.99	48.27		
52	Sulfadimethoxine	2.51	4.35	6.86	2.61	1.98	2.58	4.37	3.09	24.86	3.90	3.80	7.71	3.91	1.98	2.58	2.09	2.75	26.14	51.00		
53	Sulfadoxine	3.78	3.94	7.72	2.79	1.98	1.80	4.38	2.19	24.78	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.80	2.08	1.67	23.46	48.24		
54	Sulfaguanidine	1.14	4.35	5.49	2.61	1.98	1.52	4.38	1.81	18.27	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.52	2.07	1.41	22.80	41.07		
55	Sulfamerazine	1.02	4.35	5.37	2.61	1.98	1.77	4.38	2.11	18.72	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.77	2.07	1.65	23.39	42.11		
56	Sulfamethazine	1.00	4.35	5.35	4.43	1.98	2.86	4.38	4.11	23.66	3.90	3.80	7.71	1.87	1.98	2.86	2.08	2.26	24.92	48.59		
57	Sulfamethoxazole	3.50	4.35	7.85	1.19	1.98	2.91	4.38	2.93	26.97	1.89	3.80	5.70	0.76	1.98	2.91	2.08	1.87	18.92	45.89		
58	Sulfamethoxypyridazine	4.42	4.35	8.77	4.95	1.98	1.91	4.38	2.88	29.12	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.91	2.07	1.78	23.72	52.84		
59	Sulfamonomethoxine	2.51	4.35	6.86	2.79	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07					
60	Sulfanilamide	4.18	4.35	8.53	2.79	1.98	1.42	4.38	1.73	25.64	3.59	3.85	7.44	0.69	1.98	1.42	2.08	0.90	20.85	46.50		
61	Sulfathiazole	3.97	4.24	8.20	2.61	1.98	1.56	4.38	1.87	25.18	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.56	2.08	1.46	22.91	48.09		
62	Thiamphenicol	3.83	4.13	7.96	2.79	1.98	1.43	4.38	1.75	24.27	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.43	2.07	1.34	22.61	46.89		
63	Tiamulin	4.42	4.35	8.77	2.15	5.00	1.45	4.14	2.18	27.37	3.59	3.80	7.40	4.35	5.00	1.45	2.31	2.25	24.13	51.50		
64	Tilmicosin	4.86	4.39	9.25	0.92	4.68	1.91	4.30	2.52	29.42	3.65	3.80	7.45	2.25	4.68	1.91	2.16	2.31	24.42	53.84		
65	Trimethoprim	4.63	3.94	8.57	0.74	1.98	1.95	4.38	1.85	26.05	3.58	3.80	7.39	2.41	1.98	1.95	2.08	1.68	22.68	48.73		
66	Tulathromycin	4.60	4.35	8.95	2.79	1.91	1.41	4.38	1.71	26.63	3.90	3.80	7.71	2.56	1.91	1.41	2.07	1.23	22.34	48.97		
67	Tylosin	3.83	3.94	7.77	1.35	3.80	3.07	4.36	3.89	29.15	1.69	1.00	2.69	2.22	3.80	3.07	2.10	3.32	15.01	44.16		
68	Virginiamycin	4.57	3.94	8.51	2.79	2.02	ND	4.29			3.90	3.80	7.71	4.27	2.02	ND	2.17					

<부록 표 15> 2010년 전국 돼지 매몰지를 대상으로 한 항생제 위해도 우선순위 지표 배점(Modify(3)-합)

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL		Half-life in water	BCF	BQ _i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc					
1	Amikacin	3.56	3.46	7.02	2.61	1.98	1.64	4.38	1.97	22.48	3.90	3.80	7.71	5.00	1.98	1.64	2.07	1.98	24.23	46.71		
2	Amoxicillin	1.57	2.54	4.11	0.65	1.98	3.00	4.37	2.80	17.29	3.59	3.27	6.87	0.45	1.98	3.00	2.09	1.81	21.69	38.97		
3	Ampicillin	3.83	1.00	4.84	0.63	1.98	2.99	4.38	2.78	19.05	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	2.99	2.08	2.79	26.24	45.29		
4	Apramycin	4.06	4.17	8.23	4.95	1.98	1.71	1.50	1.92	25.38	3.90	3.54	7.44	2.94	1.98	1.71	5.00	2.26	24.26	49.64		
5	Avilamycin	3.93	3.39	7.32	0.61	2.38	2.23	4.30	2.17	23.71	3.90	3.54	7.44	0.86	2.38	2.23	2.16	1.60	22.61	46.33		
6	Bacitracin	4.16	4.30	8.46	4.95	1.91	5.00	4.21	7.38	39.60	3.90	3.80	7.71	0.90	1.91	5.00	2.25	3.37	27.69	67.29		
7	Bambermycin	4.60	4.14	8.73	2.79	1.98	1.71	4.38	2.09	27.06	1.00	3.80	4.80	1.10	1.98	1.71	2.07	1.18	14.95	42.01		
8	Cefacetril	2.15	1.00	3.15	2.79	1.91	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	ND	2.07					
9	Cefazolin	2.28	4.22	6.49	2.79	1.98	1.65	4.38	2.01	21.26	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.07	1.54	23.11	44.37		
10	Cefquinome	4.82	4.38	9.20	2.79	1.91	1.64	4.38	1.99	27.98	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.64	2.07	1.52	23.06	51.05		
11	Ceftiofur	3.08	4.13	7.21	0.92	1.98	1.72	4.27	1.65	22.14	3.90	3.80	7.71	1.51	1.98	1.72	2.19	1.30	22.53	44.67		
12	Cefuroxime	2.51	1.36	3.86	4.95	1.91	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	ND	2.07					
13	Cephalexin	1.14	2.90	4.04	2.79	1.98	1.65	4.38	2.02	15.15	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.08	1.54	23.12	38.27		
14	Cephalonium	4.42	4.36	8.78	2.79	3.36	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	ND	3.51					
15	Cephapirin	1.71	4.22	5.93	1.35	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07					
16	Chloramphenicol	4.48	4.32	8.80	0.74	1.94	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	1.68	1.94	ND	2.08					
17	Chlortetracycline	4.35	4.39	8.75	1.17	1.98	4.62	2.69	3.60	30.87	3.52	3.80	7.32	2.25	1.98	4.62	3.77	4.93	30.62	61.49		
18	Cloxacillin	3.83	1.13	4.96	2.79	1.98	1.64	4.38	2.01	17.42	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.64	2.07	1.53	23.10	40.52		
19	Colistin	3.71	4.28	7.99	1.35	1.98	1.93	4.38	1.99	24.96	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.93	2.07	1.80	23.78	48.74		
20	Danofloxacin	4.60	4.37	8.97	2.79	3.36	1.64	4.26	2.28	28.12	3.90	3.80	7.71	4.02	3.36	1.64	2.20	2.10	24.52	52.64		
21	Dicloxacillin	4.21	4.32	8.53	4.95	1.98	ND	4.35			3.90	3.80	7.71	3.11	1.98	ND	2.11					
22	Dihydrostreptomycin	2.75	4.35	7.10	0.57	1.98	2.02	4.38	1.87	22.44	3.90	3.80	7.71	0.72	1.98	2.02	2.07	1.29	22.49	44.93		
23	Doxycycline	4.60	2.15	6.74	0.62	1.98	1.67	3.25	1.31	20.12	3.90	3.80	7.71	2.39	1.98	1.67	3.20	1.69	23.49	43.61		
24	Enramycin	2.51	4.32	6.83	2.79	3.36	1.95	4.38	2.74	23.93	3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	1.95	3.51	2.55	25.65	49.58		
25	Enrofloxacin	3.83	4.37	8.20	4.47	1.98	1.99	1.62	2.14	25.86	3.59	3.46	7.05	4.21	1.98	1.99	4.87	2.94	24.98	50.84		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성										생태위해성								최종 점수 (100)
		인체 독성			인체노출					Score (20)	생태독성			생태노출					Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)		급성	아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)		
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc			Earth worm LC50	Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc			
26	Erythromycin	3.94	1.47	5.41	4.04	3.08	ND	4.37			1.22	3.80	5.02	1.71	3.08	ND	2.09			
27	Fenbendazol	2.51	4.26	6.77	0.65	4.76	2.17	4.38	2.83	23.99	3.55	3.68	7.23	3.99	4.76	2.17	2.08	3.13	25.90	49.89
28	Florfenicol	4.60	4.39	8.98	0.93	1.91	4.98	4.38	4.80	34.46	3.55	3.85	7.41	0.74	1.91	4.98	2.08	3.14	26.37	60.82
29	Flumequine	4.55	4.17	8.72	4.95	1.98	1.66	4.23	2.48	27.99	3.90	3.80	7.71	4.99	1.98	1.66	2.23	2.04	24.38	52.36
30	Gentamycin	3.39	4.17	7.57	2.79	1.98	1.67	4.38	2.04	24.01	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.67	2.07	1.56	23.16	47.17
31	Kanamycin	3.83	4.39	8.22	2.79	1.98	1.70	4.38	2.08	25.75	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.70	2.07	1.59	23.24	48.99
32	Kitasamycin	3.84	1.00	4.84	2.79	3.35	1.65	4.38	2.32	17.89	3.90	3.80	7.71	2.94	3.35	1.65	2.08	1.84	23.88	41.77
33	Lasalocid	5.00	4.39	9.39	0.69	3.25	ND	4.32			4.18	3.73	7.91	0.48	3.25	ND	2.14			
34	Lincomycin	4.10	1.82	5.91	0.65	1.98	2.15	4.38	2.01	19.81	3.90	1.37	5.27	1.10	1.98	2.15	2.08	1.47	16.87	36.68
35	Marbofloxacin	4.65	4.36	9.00	2.79	1.98	1.65	4.37	2.01	27.53	3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	1.65	2.09	1.03	21.84	49.36
36	Methenamine	4.91	4.26	9.17	0.52	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07			
37	Monensin	5.00	4.17	9.17	0.56	2.14	ND	4.36			4.19	3.83	8.02	2.48	2.14	ND	2.10			
38	Neomycin	4.42	4.28	8.70	0.57	1.98	1.79	4.38	1.66	25.89	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.79	2.07	1.67	23.45	49.34
39	Novobiocin	4.30	4.38	8.68	2.79	2.37	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	2.37	ND	2.08			
40	Orbifloxacin	4.96	4.32	9.29	2.79	2.44	1.64	4.38	2.11	28.49	3.90	3.80	7.71	0.96	2.44	1.64	2.08	1.20	22.27	50.76
41	Oleandomycine	3.37	4.22	7.58	2.79	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	ND	2.08			
42	Oxytetracycline	3.89	4.39	8.28	1.93	1.98	1.87	2.90	1.70	24.95	2.99	3.86	6.85	1.99	1.98	1.87	3.56	1.88	21.81	46.77
43	Penicillin	4.60	1.00	5.60	2.79	1.98	2.81	4.38	3.42	22.55	4.01	3.80	7.81	1.40	1.98	2.81	2.08	2.04	24.64	47.19
44	Phthalylsulfathiazole	2.51	4.32	6.83	2.79	1.98	1.65	4.38	2.01	22.11	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.08	1.54	23.12	45.23
45	Rifampicin	4.69	4.17	8.87	1.35	3.68	ND	4.33			3.90	3.80	7.71	2.94	3.68	ND	2.13			
46	Salinomycin	5.00	4.37	9.37	0.76	2.14	1.66	4.20	1.57	27.35	4.18	3.80	7.98	1.24	2.14	1.66	2.26	1.25	23.09	50.44
47	Spectinomycin	3.83	3.94	7.77	2.79	1.98	1.83	4.38	2.24	25.03	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.83	2.07	1.71	23.54	48.57
48	Spiramycin	3.87	3.08	6.96	2.62	1.98	1.86	4.38	2.22	22.95	3.90	3.80	7.71	0.84	1.98	1.86	2.08	1.21	22.30	45.25
49	Streptomycin	2.75	4.35	7.10	2.79	1.98	1.79	4.38	2.19	23.23	3.90	3.83	7.73	0.72	1.98	1.79	2.07	1.14	22.19	45.42
50	Sulfachlorpyridazine	3.56	4.35	7.91	4.95	1.98	1.67	4.38	2.52	26.06	3.90	3.80	7.71	0.62	1.98	1.67	2.08	1.04	21.87	47.93

<표> 계 속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
51	Sulfadiazine	4.71	4.06	8.77	0.93	1.98	2.04	4.38	1.99	26.89	3.61	3.80	7.41	1.74	1.98	2.04	2.08	1.58	22.47	49.36		
52	Sulfadimethoxine	2.51	4.35	6.86	2.61	1.98	1.73	4.37	2.07	22.32	3.90	3.80	7.71	3.91	1.98	1.73	2.09	1.84	23.87	46.19		
53	Sulfadoxine	3.78	3.94	7.72	2.79	1.98	1.67	4.38	2.04	24.39	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.67	2.08	1.56	23.16	47.55		
54	Sulfaguanidine	1.14	4.35	5.49	2.61	1.98	1.65	4.38	1.97	18.67	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.07	1.54	23.11	41.78		
55	Sulfamerazine	1.02	4.35	5.37	2.61	1.98	1.66	4.38	1.98	18.40	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.66	2.07	1.55	23.13	41.53		
56	Sulfamethazine	1.00	4.35	5.35	4.43	1.98	3.62	4.38	5.21	26.39	3.90	3.80	7.71	1.87	1.98	3.62	2.08	2.86	26.42	52.81		
57	Sulfamethoxazole	3.50	4.35	7.85	1.19	1.98	3.19	4.38	3.21	27.67	1.89	3.80	5.70	0.76	1.98	3.19	2.08	2.05	19.37	47.04		
58	Sulfamethoxypyridazine	4.42	4.35	8.77	4.95	1.98	1.65	4.38	2.49	28.16	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.07	1.54	23.12	51.28		
59	Sulfamonomethoxine	2.51	4.35	6.86	2.79	1.98	1.65	4.38	2.01	22.16	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.07	1.53	23.10	45.27		
60	Sulfanilamide	4.18	4.35	8.53	2.79	1.98	1.65	4.38	2.01	26.34	3.59	3.85	7.44	0.69	1.98	1.65	2.08	1.04	21.21	47.55		
61	Sulfathiazole	3.97	4.24	8.20	2.61	1.98	3.96	4.38	4.74	32.35	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	3.96	2.08	3.70	28.51	60.85		
62	Thiamphenicol	3.83	4.13	7.96	2.79	1.98	1.65	4.38	2.01	24.93	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.65	2.07	1.54	23.11	48.04		
63	Tiamulin	4.42	4.35	8.77	2.15	5.00	4.92	4.14	7.41	40.46	3.59	3.80	7.40	4.35	5.00	4.92	2.31	7.66	37.64	78.10		
64	Tilmicosin	4.86	4.39	9.25	0.92	4.68	2.39	4.30	3.15	31.01	3.65	3.80	7.45	2.25	4.68	2.39	2.16	2.90	25.88	56.89		
65	Trimethoprim	4.63	3.94	8.57	0.74	1.98	2.00	4.38	1.89	26.15	3.58	3.80	7.39	2.41	1.98	2.00	2.08	1.72	22.77	48.92		
66	Tulathromycin	4.60	4.35	8.95	2.79	1.91	1.65	4.38	2.00	27.35	3.90	3.80	7.71	2.56	1.91	1.65	2.07	1.44	22.86	50.22		
67	Tylosin	3.83	3.94	7.77	1.35	3.80	4.92	4.36	6.24	35.03	1.69	1.00	2.69	2.22	3.80	4.92	2.10	5.33	20.03	55.06		
68	Virginiamycin	4.57	3.94	8.51	2.79	2.02	2.07	4.29	2.51	27.55	3.90	3.80	7.71	4.27	2.02	2.07	2.17	2.33	25.10	52.65		

<부록 표 16> 2011년 전국 소 매물지를 대상으로 한 항생제 위해도 우선순위 지표 배점(Modify(3)-합)

	항생제 성분	인체위해성										생태위해성								최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출							Score (20)	생태독성			생태노출					Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성	아/만 성		sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL		Half-life in water	BCF	BQ _i	koc		Earth worm LC50	Earth worm NOEC			Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc					
1	Amikacin	3.56	3.46	7.02	2.61	1.98	1.49	4.38	1.78	22.02	3.90	3.80	7.71	5.00	1.98	1.49	2.07	1.80	23.77	45.80		
2	Amoxicillin	1.57	2.54	4.11	0.65	1.98	5.00	4.37	4.67	21.94	3.59	3.27	6.87	0.45	1.98	5.00	2.09	3.01	24.69	46.63		
3	Ampicillin	3.83	1.00	4.84	0.63	1.98	5.00	4.38	4.66	23.74	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	5.00	2.08	4.66	30.92	54.66		
4	Apramycin	4.06	4.17	8.23	4.95	1.98	1.52	1.50	1.71	24.84	3.90	3.54	7.44	2.94	1.98	1.52	5.00	2.01	23.62	48.46		
5	Avilamycin	3.93	3.39	7.32	0.61	2.38	ND	4.30			3.90	3.54	7.44	0.86	2.38	ND	2.16					
6	Bacitracin	4.16	4.30	8.46	4.95	1.91	1.74	4.21	2.56	27.56	3.90	3.80	7.71	0.90	1.91	1.74	2.25	1.17	22.20	49.76		
7	Bambermycin	4.60	4.14	8.73	2.79	1.98	1.94	4.38	2.37	27.76	1.00	3.80	4.80	1.10	1.98	1.94	2.07	1.33	15.35	43.10		
8	Cefacetril	2.15	1.00	3.15	2.79	1.91	1.49	4.38	1.81	12.39	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.49	2.07	1.38	22.71	35.10		
9	Cefazolin	2.28	4.22	6.49	2.79	1.98	1.60	4.38	1.95	21.12	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.60	2.07	1.49	23.00	44.12		
10	Cefquinome	4.82	4.38	9.20	2.79	1.91	1.50	4.38	1.81	27.53	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.50	2.07	1.38	22.72	50.25		
11	Ceftiofur	3.08	4.13	7.21	0.92	1.98	4.07	4.27	3.89	27.74	3.90	3.80	7.71	1.51	1.98	4.07	2.19	3.08	26.97	54.70		
12	Cefuroxime	2.51	1.36	3.86	4.95	1.91	1.49	4.38	2.24	15.26	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.49	2.07	1.38	22.71	37.97		
13	Cephalexin	1.14	2.90	4.04	2.79	1.98	1.62	4.38	1.98	15.05	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.62	2.08	1.51	23.05	38.10		
14	Cephalonium	4.42	4.36	8.78	2.79	3.36	1.58	4.38	2.21	27.47	3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	1.58	3.51	2.06	24.42	51.88		
15	Cephapirin	1.71	4.22	5.93	1.35	1.98	1.51	4.38	1.55	18.69	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.51	2.07	1.40	22.78	41.47		
16	Chloramphenicol	4.48	4.32	8.80	0.74	1.94	2.58	4.38	2.43	28.09	3.90	3.80	7.71	1.68	1.94	2.58	2.08	1.96	24.18	52.26		
17	Chlortetracycline	4.35	4.39	8.75	1.17	1.98	4.38	2.69	3.41	30.39	3.52	3.80	7.32	2.25	1.98	4.38	3.77	4.67	29.96	60.35		
18	Cloxacillin	3.83	1.13	4.96	2.79	1.98	1.68	4.38	2.05	17.53	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.68	2.07	1.57	23.18	40.71		
19	Colistin	3.71	4.28	7.99	1.35	1.98	2.08	4.38	2.14	25.34	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	2.08	2.07	1.94	24.12	49.46		
20	Danofloxacin	4.60	4.37	8.97	2.79	3.36	1.49	4.26	2.07	27.59	3.90	3.80	7.71	4.02	3.36	1.49	2.20	1.90	24.03	51.62		
21	Dicloxacillin	4.21	4.32	8.53	4.95	1.98	1.52	4.35	2.29	27.05	3.90	3.80	7.71	3.11	1.98	1.52	2.11	1.46	22.92	49.97		
22	Dihydrostreptomycin	2.75	4.35	7.10	0.57	1.98	4.63	4.38	4.27	28.45	3.90	3.80	7.71	0.72	1.98	4.63	2.07	2.94	26.63	55.08		
23	Doxycycline	4.60	2.15	6.74	0.62	1.98	1.50	3.25	1.17	19.78	3.90	3.80	7.71	2.39	1.98	1.50	3.20	1.51	23.06	42.84		
24	Enramycin	2.51	4.32	6.83	2.79	3.36	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	ND	3.51					
25	Enrofloxacin	3.83	4.37	8.20	4.47	1.98	3.47	1.62	3.74	29.84	3.59	3.46	7.05	4.21	1.98	3.47	4.87	5.12	30.43	60.27		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
26	Erythromycin	3.94	1.47	5.41	4.04	3.08	1.71	4.37	2.61	20.05	1.22	3.80	5.02	1.71	3.08	1.71	2.09	1.57	16.47	36.52		
27	Fenbendazol	2.51	4.26	6.77	0.65	4.76	1.56	4.38	2.03	22.00	3.55	3.68	7.23	3.99	4.76	1.56	2.08	2.25	23.70	45.70		
28	Florfenicol	4.60	4.39	8.98	0.93	1.91	4.75	4.38	4.58	33.90	3.55	3.85	7.41	0.74	1.91	4.75	2.08	3.00	26.00	59.91		
29	Flumequine	4.55	4.17	8.72	4.95	1.98	ND	4.23			3.90	3.80	7.71	4.99	1.98	ND	2.23					
30	Gentamycin	3.39	4.17	7.57	2.79	1.98	1.68	4.38	2.04	24.03	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.68	2.07	1.56	23.18	47.20		
31	Kanamycin	3.83	4.39	8.22	2.79	1.98	1.57	4.38	1.92	25.34	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.57	2.07	1.46	22.93	48.27		
32	Kitasamycin	3.84	1.00	4.84	2.79	3.35	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.35	ND	2.08					
33	Lasalocid	5.00	4.39	9.39	0.69	3.25	2.18	4.32	2.40	29.46	4.18	3.73	7.91	0.48	3.25	2.18	2.14	1.70	24.03	53.49		
34	Lincomycin	4.10	1.82	5.91	0.65	1.98	1.58	4.38	1.48	18.48	3.90	1.37	5.27	1.10	1.98	1.58	2.08	1.08	15.89	34.37		
35	Marbofloxacin	4.65	4.36	9.00	2.79	1.98	1.52	4.37	1.85	27.13	3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	1.52	2.09	0.94	21.63	48.76		
36	Methenamine	4.91	4.26	9.17	0.52	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07					
37	Monensin	5.00	4.17	9.17	0.56	2.14	4.47	4.36	4.21	33.45	4.19	3.83	8.02	2.48	2.14	4.47	2.10	4.01	30.06	63.51		
38	Neomycin	4.42	4.28	8.70	0.57	1.98	2.95	4.38	2.72	28.56	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	2.95	2.07	2.75	26.14	54.70		
39	Novobiocin	4.30	4.38	8.68	2.79	2.37	1.52	4.38	1.94	26.54	3.90	3.80	7.71	2.94	2.37	1.52	2.08	1.50	23.02	49.56		
40	Orbifloxacin	4.96	4.32	9.29	2.79	2.44	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	0.96	2.44	ND	2.08					
41	Oleandomycine	3.37	4.22	7.58	2.79	1.98	1.49	4.38	1.82	23.51	3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	1.49	2.08	0.93	21.59	45.10		
42	Oxytetracycline	3.89	4.39	8.28	1.93	1.98	4.22	2.90	3.83	30.28	2.99	3.86	6.85	1.99	1.98	4.22	3.56	4.23	27.69	57.96		
43	Penicillin	4.60	1.00	5.60	2.79	1.98	5.00	4.38	6.10	29.25	4.01	3.80	7.81	1.40	1.98	5.00	2.08	3.64	28.63	57.87		
44	Phthalylsulfathiazole	2.51	4.32	6.83	2.79	1.98	1.56	4.38	1.90	21.83	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.56	2.08	1.45	22.90	44.73		
45	Rifampicin	4.69	4.17	8.87	1.35	3.68	1.49	4.33	1.86	26.82	3.90	3.80	7.71	2.94	3.68	1.49	2.13	1.74	23.62	50.43		
46	Salinomycin	5.00	4.37	9.37	0.76	2.14	1.58	4.20	1.49	27.14	4.18	3.80	7.98	1.24	2.14	1.58	2.26	1.19	22.93	50.07		
47	Spectinomycin	3.83	3.94	7.77	2.79	1.98	1.51	4.38	1.84	24.03	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.51	2.07	1.40	22.78	46.81		
48	Spiramycin	3.87	3.08	6.96	2.62	1.98	1.89	4.38	2.26	23.05	3.90	3.80	7.71	0.84	1.98	1.89	2.08	1.23	22.35	45.40		
49	Streptomycin	2.75	4.35	7.10	2.79	1.98	1.56	4.38	1.90	22.52	3.90	3.83	7.73	0.72	1.98	1.56	2.07	0.99	21.81	44.33		
50	Sulfachlorpyridazine	3.56	4.35	7.91	4.95	1.98	1.81	4.38	2.73	26.60	3.90	3.80	7.71	0.62	1.98	1.81	2.08	1.13	22.09	48.69		

<표> 계 속

	항생제 성분	인체위해성								생태위해성								최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출					Score (20)	생태독성			생태노출					Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)		급성	아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성			sub_ score (10)
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc			Earth worm LC50	Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc			
51	Sulfadiazine	4.71	4.06	8.77	0.93	1.98	1.77	4.38	1.73	26.23	3.61	3.80	7.41	1.74	1.98	1.77	2.08	1.37	21.95	48.19
52	Sulfadimethoxine	2.51	4.35	6.86	2.61	1.98	2.68	4.37	3.21	25.16	3.90	3.80	7.71	3.91	1.98	2.68	2.09	2.85	26.41	51.57
53	Sulfadoxine	3.78	3.94	7.72	2.79	1.98	1.88	4.38	2.29	25.03	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.88	2.08	1.75	23.65	48.68
54	Sulfaguanidine	1.14	4.35	5.49	2.61	1.98	1.54	4.38	1.84	18.35	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.54	2.07	1.44	22.86	41.21
55	Sulfamerazine	1.02	4.35	5.37	2.61	1.98	1.74	4.38	2.08	18.64	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.74	2.07	1.62	23.32	41.96
56	Sulfamethazine	1.00	4.35	5.35	4.43	1.98	2.82	4.38	4.05	23.50	3.90	3.80	7.71	1.87	1.98	2.82	2.08	2.23	24.84	48.34
57	Sulfamethoxazole	3.50	4.35	7.85	1.19	1.98	2.83	4.38	2.85	26.76	1.89	3.80	5.70	0.76	1.98	2.83	2.08	1.82	18.78	45.54
58	Sulfamethoxypyridazine	4.42	4.35	8.77	4.95	1.98	1.95	4.38	2.95	29.30	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.95	2.07	1.82	23.83	53.12
59	Sulfamonomethoxine	2.51	4.35	6.86	2.79	1.98	1.50	4.38	1.83	21.71	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.50	2.07	1.40	22.76	44.47
60	Sulfanilamide	4.18	4.35	8.53	2.79	1.98	1.50	4.38	1.83	25.91	3.59	3.85	7.44	0.69	1.98	1.50	2.08	0.95	20.99	46.89
61	Sulfathiazole	3.97	4.24	8.20	2.61	1.98	1.66	4.38	1.98	25.46	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.66	2.08	1.55	23.14	48.60
62	Thiamphenicol	3.83	4.13	7.96	2.79	1.98	1.54	4.38	1.88	24.59	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.54	2.07	1.43	22.86	47.45
63	Tiamulin	4.42	4.35	8.77	2.15	5.00	1.58	4.14	2.38	27.86	3.59	3.80	7.40	4.35	5.00	1.58	2.31	2.45	24.63	52.49
64	Tilmicosin	4.86	4.39	9.25	0.92	4.68	1.98	4.30	2.62	29.66	3.65	3.80	7.45	2.25	4.68	1.98	2.16	2.40	24.64	54.30
65	Trimethoprim	4.63	3.94	8.57	0.74	1.98	2.01	4.38	1.90	26.18	3.58	3.80	7.39	2.41	1.98	2.01	2.08	1.73	22.80	48.98
66	Tulathromycin	4.60	4.35	8.95	2.79	1.91	1.49	4.38	1.81	26.88	3.90	3.80	7.71	2.56	1.91	1.49	2.07	1.30	22.53	49.41
67	Tylosin	3.83	3.94	7.77	1.35	3.80	3.19	4.36	4.04	29.54	1.69	1.00	2.69	2.22	3.80	3.19	2.10	3.45	15.35	44.89
68	Virginiamycin	4.57	3.94	8.51	2.79	2.02	ND	4.29			3.90	3.80	7.71	4.27	2.02	ND	2.17			

<부록 표 17> 2011년 전국 돼지 매몰지를 대상으로 한 항생제 위해도 우선순위 지표 배점(Modify(3)-합)

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mammals oral LD50	Mammals oral NOEL		Half-life in water	BCF	BQ _i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half-life in soil	BCF	BQ _i	koc					
1	Amikacin	3.56	3.46	7.02	2.61	1.98	1.48	4.38	1.77	21.98	3.90	3.80	7.71	5.00	1.98	1.48	2.07	1.78	23.73	45.71		
2	Amoxicillin	1.57	2.54	4.11	0.65	1.98	3.82	4.37	3.56	19.19	3.59	3.27	6.87	0.45	1.98	3.82	2.09	2.30	22.91	42.10		
3	Ampicillin	3.83	1.00	4.84	0.63	1.98	3.45	4.38	3.21	20.12	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	3.45	2.08	3.21	27.30	47.42		
4	Apramycin	4.06	4.17	8.23	4.95	1.98	1.52	1.50	1.70	24.83	3.90	3.54	7.44	2.94	1.98	1.52	5.00	2.00	23.61	48.45		
5	Avilamycin	3.93	3.39	7.32	0.61	2.38	1.76	4.30	1.71	22.57	3.90	3.54	7.44	0.86	2.38	1.76	2.16	1.26	21.76	44.33		
6	Bacitracin	4.16	4.30	8.46	4.95	1.91	4.99	4.21	7.37	39.57	3.90	3.80	7.71	0.90	1.91	4.99	2.25	3.36	27.68	67.25		
7	Bambermycin	4.60	4.14	8.73	2.79	1.98	1.55	4.38	1.89	26.55	1.00	3.80	4.80	1.10	1.98	1.55	2.07	1.06	14.67	41.22		
8	Cefacetril	2.15	1.00	3.15	2.79	1.91	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	ND	2.07					
9	Cefazolin	2.28	4.22	6.49	2.79	1.98	1.48	4.38	1.81	20.76	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.48	2.07	1.38	22.73	43.49		
10	Cefquinome	4.82	4.38	9.20	2.79	1.91	1.48	4.38	1.79	27.48	3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	1.48	2.07	1.36	22.68	50.16		
11	Ceftiofur	3.08	4.13	7.21	0.92	1.98	1.65	4.27	1.58	21.96	3.90	3.80	7.71	1.51	1.98	1.65	2.19	1.25	22.39	44.35		
12	Cefuroxime	2.51	1.36	3.86	4.95	1.91	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.91	ND	2.07					
13	Cephalexin	1.14	2.90	4.04	2.79	1.98	1.49	4.38	1.82	14.66	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.49	2.08	1.39	22.75	37.41		
14	Cephalonium	4.42	4.36	8.78	2.79	3.36	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	ND	3.51					
15	Cephapirin	1.71	4.22	5.93	1.35	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07					
16	Chloramphenicol	4.48	4.32	8.80	0.74	1.94	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	1.68	1.94	ND	2.08					
17	Chlortetracycline	4.35	4.39	8.75	1.17	1.98	4.98	2.69	3.88	31.56	3.52	3.80	7.32	2.25	1.98	4.98	3.77	5.31	31.57	63.13		
18	Cloxacillin	3.83	1.13	4.96	2.79	1.98	1.48	4.38	1.81	16.92	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.48	2.07	1.38	22.72	39.65		
19	Colistin	3.71	4.28	7.99	1.35	1.98	2.88	4.38	2.96	27.38	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	2.88	2.07	2.68	25.97	53.36		
20	Danofloxacin	4.60	4.37	8.97	2.79	3.36	1.48	4.26	2.05	27.55	3.90	3.80	7.71	4.02	3.36	1.48	2.20	1.89	23.98	51.53		
21	Dicloxacillin	4.21	4.32	8.53	4.95	1.98	ND	4.35			3.90	3.80	7.71	3.11	1.98	ND	2.11					
22	Dihydrostreptomycin	2.75	4.35	7.10	0.57	1.98	2.06	4.38	1.90	22.52	3.90	3.80	7.71	0.72	1.98	2.06	2.07	1.31	22.55	45.06		
23	Doxycycline	4.60	2.15	6.74	0.62	1.98	1.52	3.25	1.19	19.82	3.90	3.80	7.71	2.39	1.98	1.52	3.20	1.53	23.11	42.93		
24	Enramycin	2.51	4.32	6.83	2.79	3.36	1.66	4.38	2.33	22.91	3.90	3.80	7.71	2.94	3.36	1.66	3.51	2.17	24.70	47.61		
25	Enrofloxacin	3.83	4.37	8.20	4.47	1.98	2.15	1.62	2.31	26.28	3.59	3.46	7.05	4.21	1.98	2.15	4.87	3.17	25.55	51.83		

<표> 계속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
26	Erythromycin	3.94	1.47	5.41	4.04	3.08	1.48	4.37	2.27	19.19	1.22	3.80	5.02	1.71	3.08	1.48	2.09	1.36	15.95	35.14		
27	Fenbendazol	2.51	4.26	6.77	0.65	4.76	2.21	4.38	2.89	24.15	3.55	3.68	7.23	3.99	4.76	2.21	2.08	3.20	26.07	50.22		
28	Florfenicol	4.60	4.39	8.98	0.93	1.91	5.00	4.38	4.82	34.50	3.55	3.85	7.41	0.74	1.91	5.00	2.08	3.15	26.40	60.90		
29	Flumequine	4.55	4.17	8.72	4.95	1.98	1.50	4.23	2.23	27.37	3.90	3.80	7.71	4.99	1.98	1.50	2.23	1.84	23.87	51.23		
30	Gentamycin	3.39	4.17	7.57	2.79	1.98	1.51	4.38	1.84	23.52	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.51	2.07	1.41	22.79	46.31		
31	Kanamycin	3.83	4.39	8.22	2.79	1.98	1.55	4.38	1.89	25.28	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.55	2.07	1.45	22.89	48.16		
32	Kitasamycin	3.84	1.00	4.84	2.79	3.35	1.49	4.38	2.08	17.31	3.90	3.80	7.71	2.94	3.35	1.49	2.08	1.66	23.42	40.73		
33	Lasalocid	5.00	4.39	9.39	0.69	3.25	ND	4.32			4.18	3.73	7.91	0.48	3.25	ND	2.14					
34	Lincomycin	4.10	1.82	5.91	0.65	1.98	2.41	4.38	2.25	20.42	3.90	1.37	5.27	1.10	1.98	2.41	2.08	1.65	17.32	37.74		
35	Marbofloxacin	4.65	4.36	9.00	2.79	1.98	1.50	4.37	1.82	27.07	3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	1.50	2.09	0.93	21.60	48.67		
36	Methenamine	4.91	4.26	9.17	0.52	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	ND	2.07					
37	Monensin	5.00	4.17	9.17	0.56	2.14	ND	4.36			4.19	3.83	8.02	2.48	2.14	ND	2.10					
38	Neomycin	4.42	4.28	8.70	0.57	1.98	1.74	4.38	1.61	25.77	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.74	2.07	1.62	23.32	49.10		
39	Novobiocin	4.30	4.38	8.68	2.79	2.37	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	2.94	2.37	ND	2.08					
40	Orbifloxacin	4.96	4.32	9.29	2.79	2.44	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	0.96	2.44	ND	2.08					
41	Oleandomycine	3.37	4.22	7.58	2.79	1.98	ND	4.38			3.90	3.80	7.71	0.60	1.98	ND	2.08					
42	Oxytetracycline	3.89	4.39	8.28	1.93	1.98	1.97	2.90	1.79	25.17	2.99	3.86	6.85	1.99	1.98	1.97	3.56	1.97	22.05	47.21		
43	Penicillin	4.60	1.00	5.60	2.79	1.98	3.29	4.38	4.01	24.02	4.01	3.80	7.81	1.40	1.98	3.29	2.08	2.39	25.51	49.53		
44	Phthalylsulfathiazole	2.51	4.32	6.83	2.79	1.98	1.49	4.38	1.81	21.61	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.49	2.08	1.38	22.73	44.34		
45	Rifampicin	4.69	4.17	8.87	1.35	3.68	ND	4.33			3.90	3.80	7.71	2.94	3.68	ND	2.13					
46	Salinomycin	5.00	4.37	9.37	0.76	2.14	1.52	4.20	1.43	27.00	4.18	3.80	7.98	1.24	2.14	1.52	2.26	1.14	22.82	49.82		
47	Spectinomycin	3.83	3.94	7.77	2.79	1.98	1.77	4.38	2.16	24.83	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.77	2.07	1.65	23.39	48.21		
48	Spiramycin	3.87	3.08	6.96	2.62	1.98	1.83	4.38	2.18	22.85	3.90	3.80	7.71	0.84	1.98	1.83	2.08	1.19	22.25	45.10		
49	Streptomycin	2.75	4.35	7.10	2.79	1.98	1.78	4.38	2.17	23.19	3.90	3.83	7.73	0.72	1.98	1.78	2.07	1.13	22.16	45.35		
50	Sulfachlorpyridazine	3.56	4.35	7.91	4.95	1.98	1.52	4.38	2.29	25.50	3.90	3.80	7.71	0.62	1.98	1.52	2.08	0.95	21.64	47.15		

<표> 계 속

	항생제 성분	인체위해성									생태위해성									최종 점수 (100)		
		인체 독성			인체노출						Score (20)	생태독성			생태노출						Score (20)	
		급성	아/만 성	sub_ score (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)	급성		아/만 성	sub_s core (10)	잔류 성	생물 농축 성	노출 량	흡착 성	sub_ score (10)				
		Mam mals oral LD50	Mamm als oralN OEL		Half- life in water	BCF	BQ_i	koc		Earth worm LC50		Earth worm NOEC		Half- life in soil	BCF	BQ_i	koc					
51	Sulfadiazine	4.71	4.06	8.77	0.93	1.98	2.19	4.38	2.13	27.23	3.61	3.80	7.41	1.74	1.98	2.19	2.08	1.69	22.75	49.98		
52	Sulfadimethoxine	2.51	4.35	6.86	2.61	1.98	1.62	4.37	1.94	21.99	3.90	3.80	7.71	3.91	1.98	1.62	2.09	1.72	23.58	45.57		
53	Sulfadoxine	3.78	3.94	7.72	2.79	1.98	1.52	4.38	1.85	23.93	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.52	2.08	1.41	22.81	46.73		
54	Sulfaguanidine	1.14	4.35	5.49	2.61	1.98	1.48	4.38	1.77	18.17	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.48	2.07	1.38	22.72	40.89		
55	Sulfamerazine	1.02	4.35	5.37	2.61	1.98	1.49	4.38	1.78	17.89	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.49	2.07	1.39	22.74	40.63		
56	Sulfamethazine	1.00	4.35	5.35	4.43	1.98	4.11	4.38	5.90	28.14	3.90	3.80	7.71	1.87	1.98	4.11	2.08	3.24	27.38	55.52		
57	Sulfamethoxazole	3.50	4.35	7.85	1.19	1.98	3.99	4.38	4.01	29.67	1.89	3.80	5.70	0.76	1.98	3.99	2.08	2.56	20.64	50.31		
58	Sulfamethoxypyridazine	4.42	4.35	8.77	4.95	1.98	1.49	4.38	2.24	27.54	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.49	2.07	1.39	22.74	50.27		
59	Sulfamonomethoxine	2.51	4.35	6.86	2.79	1.98	1.48	4.38	1.81	21.66	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.48	2.07	1.38	22.72	44.37		
60	Sulfanilamide	4.18	4.35	8.53	2.79	1.98	1.48	4.38	1.81	25.83	3.59	3.85	7.44	0.69	1.98	1.48	2.08	0.94	20.95	46.78		
61	Sulfathiazole	3.97	4.24	8.20	2.61	1.98	4.06	4.38	4.85	32.64	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	4.06	2.08	3.79	28.74	61.37		
62	Thiamphenicol	3.83	4.13	7.96	2.79	1.98	1.49	4.38	1.81	24.43	3.90	3.80	7.71	2.94	1.98	1.49	2.07	1.38	22.73	47.16		
63	Tiamulin	4.42	4.35	8.77	2.15	5.00	4.95	4.14	7.45	40.55	3.59	3.80	7.40	4.35	5.00	4.95	2.31	7.69	37.73	78.28		
64	Tilmicosin	4.86	4.39	9.25	0.92	4.68	2.56	4.30	3.38	31.57	3.65	3.80	7.45	2.25	4.68	2.56	2.16	3.10	26.39	57.96		
65	Trimethoprim	4.63	3.94	8.57	0.74	1.98	2.01	4.38	1.90	26.18	3.58	3.80	7.39	2.41	1.98	2.01	2.08	1.73	22.80	48.98		
66	Tulathromycin	4.60	4.35	8.95	2.79	1.91	1.49	4.38	1.80	26.86	3.90	3.80	7.71	2.56	1.91	1.49	2.07	1.30	22.51	49.37		
67	Tylosin	3.83	3.94	7.77	1.35	3.80	4.89	4.36	6.20	34.93	1.69	1.00	2.69	2.22	3.80	4.89	2.10	5.29	19.94	54.87		
68	Virginiamycin	4.57	3.94	8.51	2.79	2.02	1.84	4.29	2.24	26.88	3.90	3.80	7.71	4.27	2.02	1.84	2.17	2.08	24.47	51.35		

Abstract

Risk based Prioritization of
Veterinary Antibiotics in Soil
and Groundwater from the
Leachate of Livestock Burial
Sites

Moon, San-Yu

Department of Environmental Planning

Environmental Management Major

The Graduate School of Environmental Study

Seoul National University

In Korea, 6,068 livestock burial sites were created from 2010 to 2017 due to the livestock epidemic. Secondary contamination of soil, groundwater and rivers is a concern due to leakage of the leachates from the livestock burial sites. Veterinary antibiotics were detected in the leachates. Antibiotics introduced into the surrounding environment can

adversely affect the human and ecosystems, including toxic action and generation of resistant microorganisms. Monitoring and risk assessment of the antibiotics are a priority to properly manage the soil and groundwater around the buried sites. However, since 131 veterinary antibiotics are used in Korea, monitoring or risk assessment for all the antibiotics is very costly and time-consuming. At the national level, therefore it is essential to prioritize the antibiotics for the monitoring and risk assessment.

This study presents a ranking and scoring system to determine the priority of the antibiotics on a basis of health risk assessment frame of human and ecosystem. The ranking and scoring system was evaluated and a final list of priorities was derived.

The scope of the study is soil and groundwater around the foot-and-mouth burial sites. The target substance is 68 antibiotics used in cows and pigs, based on the sales data 2010 and 2011. The main process and results of the study are as follows.

Firstly, the ranking and scoring system consists of human risk from drinking groundwater and soil ecological risk. Each risk is assessed by the product of exposure and toxicity. The exposure indicators are persistence, bioconcentration and level of exposure (emissions, mobility (organic carbon partition coefficient)). Toxicity is covered by the indicators of acute toxicity, acute / chronic toxicity,

and carcinogenicity. They are summed up to represent toxicity to construct a priority scheme. The data for the selected indicators were collected from literature. Experimental values were preferred to estimated ones. The available rate of human acute toxicity was the highest at 100%, and the ecotoxicity was the lowest, showing more than 50% missing. For the missing data maximum, 85, 75, and 65 percentiles of the range were tested as the default value. From sensitivity analysis, the 75 percentile value was chosen.

Secondly, correlation and sensitivity analyzes were performed to evaluate the balance of the indicators weight in the priority system. The initial system was found to heavily depend on the exposure score. To improve this, emission was changed to be multiplied by other exposure indicators. Furthermore, exposure and toxicity were changed from the multiplication relationship to the summation relationship. By introducing the changes, the priority system became more balanced between human and ecosystem and among the indicators.

Thirdly, the final priority was derived for the selected 68 antibiotics using the developed antibiotics ranking and scoring system. As a result, in 2010, Monensin, florfenicol ,and chlortetracycline were of the highest priority for the cow burial sites. In the case of cows burial site in 2011, the priority was in the order of chlortetracycline and enrofloxacin. Monensin was ranked at first for cow in both

2010 and 2011. In the case of pigs burial sites, tiamulin, bacitracin and chlortetracycline were ranked as the antibiotics of the highest priority both in 2010 and 2011 in the order of priority. The top-ranked antibiotics should be monitored in the soil and groundwater around the burial sites created in 2010 and 2011.

The present work demonstrates that the antibiotics ranking and scoring system can be used as a screening tool to set the priorities among the veterinary antibiotics. The system can be used to support taking measures for antibiotic management. Also, it can be provide a basis for a screening level risk assessment of antibiotics from burial sites quantitative assessment for diverse management purposes.

keywords : Livestock burial site, Veterinary antibiotics,
Chemical ranking and scoring system, Exposure,
Toxicity, Environment management

Student Number : 2015 – 24822