Journal of Radiation Industry 4(1) : 39~45 (2010)

감마선과 UV 조사에 의한 항생제 분해

신지혜 · 남지현 · 유승호[1] · 이면주[1] · 이동훈*

충북대학교 미생물학과, [1]한국원자력연구원

Assays of Residual Antibiotics after Treatment of γ-ray and UV Irradiation

Ji-Hye Shin, Ji-Hyun Nam, Seungho Yu[1], Myunjoo Lee[1] and Dong-Hun Lee*

Department of Microbiology, Chungbuk National University,
[1]Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - The pollution of antibiotics is a major cause of spreading antibiotics resistant bacteria in the environment. Applications of ozonation, UV, and γ-ray irradiations have been introduced to remove antibiotics in the effluents from wastewater treatment system. In this study, we compared the chemical (HPLC) and biological (antimicrobial susceptibility test, AMS) assays in measuring of the concentrations of residual antibiotics after γ-ray and UV irradiation. Most samples were degraded by γ-ray irradiation (1～2 kGy). However, lincomycin and tetracycline were not degraded by UV irradiation. The concentration of residual antibiotics, that was treated with γ-ray and UV irradiation, measuring by bioassay was similar to HPLC. The concentrations of γ-ray irradiated cephradine measured by AMS test were 2 times higher than that of HPLC assay, indicating AMS test is more sensitive than HPLC assay. These results indicate that γ-ray irradiation technique is more useful than UV irradiation, and biological assay is more useful to detect the antibiotics and toxic intermediates in antibiotics degradation.

Key words : Antibiotics, Broth microdilution method, UV, γ-ray

서 론

축수산동물약품(항생제) 실태보고서(참여연대 2005)에 따르면, 우리나라의 항생제 사용량은 미국, 일본, 덴마크 등의 축산국가들에 비해 연간 축산물 생산량 대비 최고 수준이다. 이는 축수산업에서 무분별하게 이루어지고 있는 항생제 오남용에서 기인한 것으로, 결국 우리가 마시는 지표수 및 지하수에서 항생제가 발견되고 있을 뿐 아니라(국립환경과학원 2006), 이는 항생제 내성세균의 환경 확산으로 이어지게 된다. 식품의약품안전청의 연구보고서에 따르면, 전국 6개 도시(서울, 경기, 전주, 부산, 춘천, 청주)의 지역사회 일반인으로부터 분리된 황색포도상구균의 penicillin에 대한 내성은 84.7%에 달하고, methicillin에 내성인 황색포도상구균(Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)의 비율이 2.5%로 나타났다(정 등 2002). Schwartz *et al.*(2003)은 병원 하수 및 식수에 형성된 생물막에서 반코마이신 내성 유전자(*van*A)와, 베타

* Corresponding authors: Dong-Hun Lee, Tel. +82-43-261-3261, Fax. +82-43-264-9600, E-mail. donghun@chungbuk.ac.kr

락탐계 항생제 내성 유전자(*amp*C)를 검출해냄으로써, 항생물질처리가 미흡한 하수가 환경에 방류되면 세균의 항생제 내성 획득에 직접적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

Alexy *et al.* (2004)은 18 종류의 항생제에 대하여 closed bottle test 결과 생분해가 쉽게 일어나지 않는다는 것을 확인하였으며, 또한 생분해된 항생제가 완전히 무기화되지 않아 세균의 증식을 저해하는 것을 확인하였다. Reemtsma and Jekel (1997)은 호기성 과정과 혐기성 과정을 함께 거친 폐수는 용존유기탄소 및 방향족 화합물이 각 85%, 50% 제거되는 것을 보고하였고, 물리 화학적 산화 처리과정을 함께 거친다면 방류수의 질을 개선할 수 있다고 하였다. 그러므로 최근에는 항생물질을 비롯한 여러 난분해성 물질이 포함된 하폐수를 처리하기 위한 고도산화공정(advanced oxidation process: AOP)을 하폐수 처리 시설에 도입하고 있다. 고도산화공정은 산화제인 hydroxyl radical을 발생시켜 오염물질을 분해함으로써 폐수에 포함되어 있는 독성 오염물질을 감소시킬 수 있는 과정이다(Andreozzi *et al*. 1999). 최근에는 오존과 과산화수소를 이용한 화학적 산화(Balcioğlu and Ötker 2003), 역삼투압을 이용한 나노 여과막 방법(Nghiem *et al*. 2005), 감마선이나 전자빔을 이용한 이온화 방사선(ionizing radiation) 방법(Yu *et al*. 2008; Singh *et al*. 2009) 등 다양한 고도산화공정에 의한 항생제 분해 연구가 진행되고 있다.

오존처리공정은 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand: COD)을 감소시키고 폐수에 포함된 여러 항생제들의 생분해능을 증가시킨다고 보고되었으나(Balcioğlu and Ötker 2003), Andreozzi *et al.* (2005)은 오존을 단독으로 처리하였을 때 오랜 시간 처리하여도 항생물질이 완전히 무기화되지 않는다고 보고하였다. Gong *et al.* (2008)에 의하면 하·폐수 방류수에 UV와 오존을 처리하여 용존성 유기탄소 및 방향족 화합물의 농도 변화를 관찰한 결과, UV를 단독으로 처리하였을 때는 화학적 산소 요구량, 용존성 유기탄소, 방향족 화합물의 변화가 거의 없었으며, UV와 오존을 동시에 처리하였을 때 효과적인 분해가 일어난다고 보고하였다

감마선은 높은 투과성을 갖는 이온화 방사선의 일종으로 유기화합물을 제거하는데 탁월한 효과를 보이며, 병원균을 포함하는 미생물 살균 및 생물학적 산소요구량(biochemical oxygen demand: BOD)과, 화학적 산소요구량을 감소시키는 역할을 한다고 보고되었다(Al-Ani and Al-Khalidy 2006). Yu *et al.* (2008)은 고성능 액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography: HPLC) 분석 방법으로 cephalosporin계의 항생제인 cefaclor에 감마선을 조사시켜 90% 이상 분해되는 것을 확인하였다. Sanchez-Polo *et al.* (2009)은 항생물질인 metronidazole을 포함시킨 증류수, 지표수, 지하수 및 폐수에 감마선을 조사하였을 때 감마선량이 높아질수록 metronidazole이 제거되었으며, 증류수에 녹아있을 때 제거효율이 가장 높다고 보고하였다. 또한, 총 유기탄소(Total organic carbon: TOC)의 제거율은 지표수에서 가장 높게 관찰되었고, 감마선량이 높아질수록 독성이 감소됨을 확인하였다.

하지만 고도산화공정을 통해 분해된 항생제 부산물의 위험도 무시할 수 없다. Li *et al.* (2008)은 *Vibrio fischeri*를 이용한 bioluminescence assay를 통하여 오존처리시간이 길수록 oxytetracycline의 농도는 감소하지만 처리동안 생긴 부산물은 독성을 가진다는 것을 확인하였다. Kim *et al.* (2009)은 감마선 조사된 항생제가 생물에 미치는 독성효과를 EPA에서 제시한 방법인 *Pseudokirchneriella subcapitata*의 성장저해 시험을 통해 관찰한 결과 감마선 조사가 진행될수록 조류에 미치는 독성정도가 감소하였지만 분해된 부산물이 지속적으로 수계에서 검출될 가능성이 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 감마선 및 UV 조사에 의해 분해된 항생제의 활성을 생물학적인 방법인 액체배지 희석법과 화학적 방법인 HPLC로 측정하여 항생제 분해에 효과적인 방법을 조사하려고 한다. 또한, 두 방법으로 조사된 항생제의 잔류 항생제 또는 부산물이 미생물에게 미치는 영향을 관찰함으로써 세균을 이용한 bioassay 방법의 유용성을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

1. 미생물을 이용한 잔류 항생제 농도 측정

1) 균주 및 배양

항생제 감수성 시험 표준 균주인 *Staphylococcus aureus* KCTC 1621과 *Escherichia coli* KCTC 1682를 Mueller-Hinton broth (Difco™; beef extract powder 2.0 g l^{-1}, acid digest of casein 17.5 g l^{-1}, soluble starch 1.5 g l^{-1}) (Jenkins *et al*. 1985)에 37°C, 100 rpm에서 12시간 배양하여 실험에 사용하였다.

2) 시험 균주의 최소저해농도 측정

시험 균주의 최소저해농도 측정은 National Committee for Clinical Laboratory Standard (NCCLS)의 액체배지희석법을 이용하였다(Jorgensen and Hindler 2007). Amoxicillin, cephradine, lincomycin, tetracycline (Sigma-Aldrich, USA, 농도: 30 mg l^{-1})을 증류수에 1/2씩 단계적으로 희석하여

96 well plate에 120 µl씩 분주한 후 배양된 세균을 최종 세균농도가 1×10^5 CFU ml^{-1}가 되도록 각 well 마다 60 µl를 접종하였다. 접종한 96 well plate는 37°C, 100 rpm에서 18～20시간 배양시킨 후 Bio-Tek EL800 (BioTek, USA)을 이용하여 $O.D_{595\,nm}$를 측정함으로써 균주의 생장을 확인하였고, 10% 이하의 세균 성장을 보이는 가장 낮은 농도를 최소저해농도로 판단하였다.

3) 시료의 준비

Amoxicillin, cephradine, lincomycin, tetracycline (Sigma-Aldrich, USA) 4 종류의 항생제를 30 mg l^{-1}의 농도로 증류수에 녹인 후 한국원자력연구원 (Jeongeub, Korea)에서 감마선과 UV를 조사하였다. 감마선의 조사조건은 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2 kGy, UV는 0.89 Wl^{-1}의 강도로 처리하였으며 조사조건은 Table 1과 같다.

4) 액체배지 희석법을 이용한 시료의 잔류 항생제 농도 측정

실험 방법은 최소저해농도 측정방법과 동일하며 감마선과 UV가 조사된 시료를 증류수로 1/2씩 단계적으로 희석하여 120 µl씩 분주하여 사용하였다. 배양 후 세균의 생장을 10% 이하로 저해시키는 최대 희석시료를 최소저해농도 수준의 농도라고 판단하여 시료 원액의 잔류항생제 농도를 추정하였다.

5) HPLC 방법을 이용한 시료의 잔류 항생제 농도 측정

감마선 및 UV 조사 후의 항생제 잔류 농도는 Agilent 1200 Series HPLC (Agilent Technologies, USA)를 이용하여 측정하였다 (Table 2).

Table 1. UV irradiation dose (mJ cm^{-3}) for antibiotics degradation

Sample No.	Antibiotics			
	Amoxicillin	Lincomycin	Tetracycline	Cephradine
1	0	0	0	0
2	0.61			0.08
3	1.22			0.16
4	2.13			0.53
5	3.20	3.20	3.20	1.60

결과 및 논의

생물학적 분석법인 액체배지 희석법을 이용하여 항생제의 농도에 따른 *S. aureus* KCTC 621과 *E. coli* KCTC 1682의 성장저해효과를 조사하였으며, 10% 이하의 성장을 보이는 농도를 최소저해농도로 측정하였다 (Table 3). 실험에 사용된 항생제는 세포벽 합성을 저해하는 항생제인 amoxicillin과 cephradine, 단백질 합성을 저해하는 lincomycin과 tetracycline을 사용하였다 (Walsh 2003).

*S. aureus*의 경우 amoxicillin, cephradine, lincomycin, tetracycline의 농도가 각각 0.1, 1.96, 0.12, 0.11 mg l^{-1}일 때 최소의 성장을 보여 이 농도를 최소저해농도로 추정할 수 있었다. 그러나 *E. coli*의 경우 lincomycin에서는 세균생장 저해를 확인할 수 없었으며, amoxicillin, cephradine에서의 최소저해농도 역시 *S. aureus*에 비해 높은 최소저해농도 (10.00, 14.40 mg l^{-1})를 보여 감마선 및 UV를 조사한 항생제의 잔류농도를 측정하는 실험에 *S. aureus*를 이용하였다. Amoxicillin과 cephradine은 세균의 peptidoglycan 합성기작을 억제하는 항생제로 lipopolysaccharide를 포함하는 세포외벽을 갖는 그람 음성세균인 *E. coli*에 작용하지 못한 것이라 생각된다.

Table 2. Details of the high-performance liquid chromatography methods used in the antibiotics analysis

Antibiotics	Column	Injection volume (µl)	Flow rate (ml min^{-1})	UV detection (nm)	Eluent
Amoxicillin	C8[a]	50	1.0	230	25 mM Potassium phosphate pH 4.6: Methanol (95 : 5)
Cephradine	Polar RP[b]	50	1.0	254	20 mM Ammonium formate pH 3.5: Methanol (65 : 35)
Tetracycline	C8[a]	50	1.0	355	0.01 M Oxalic acid: Methanol: Acetonitrile (72 : 8 : 20)
Lincomycin	C18[c]	75	0.7	210	1 mM Ammonium formate: Acetonitrile (65 : 35)

[a]Luna 5 µ C8(2) 100A 150 × 4.6 mm (Phenomenex, USA); [b]Syrnergi 4 µ Polar-RP column 150 × 4.6 mm (Phenomenex, USA); [c]Zorbax sb-C18 250 × 3.0 mm (Agilent Technologies, USA)

Table 3. Minimal inhibitory concentrations (mg l^{-1}) of the antibiotics used in this study

Bacterial strain	Amoxicillin	Cephradine	Lincomycin	Tetracycline
E. coli KCTC 1682	10.00 (±0.00)	14.40 (±0.26)	– –	0.63 (±0.00)
S. aureus KCTC 1621	0.10 (±0.00)	1.96 (±0.04)	0.12 (±0.00)	0.11 (±0.00)

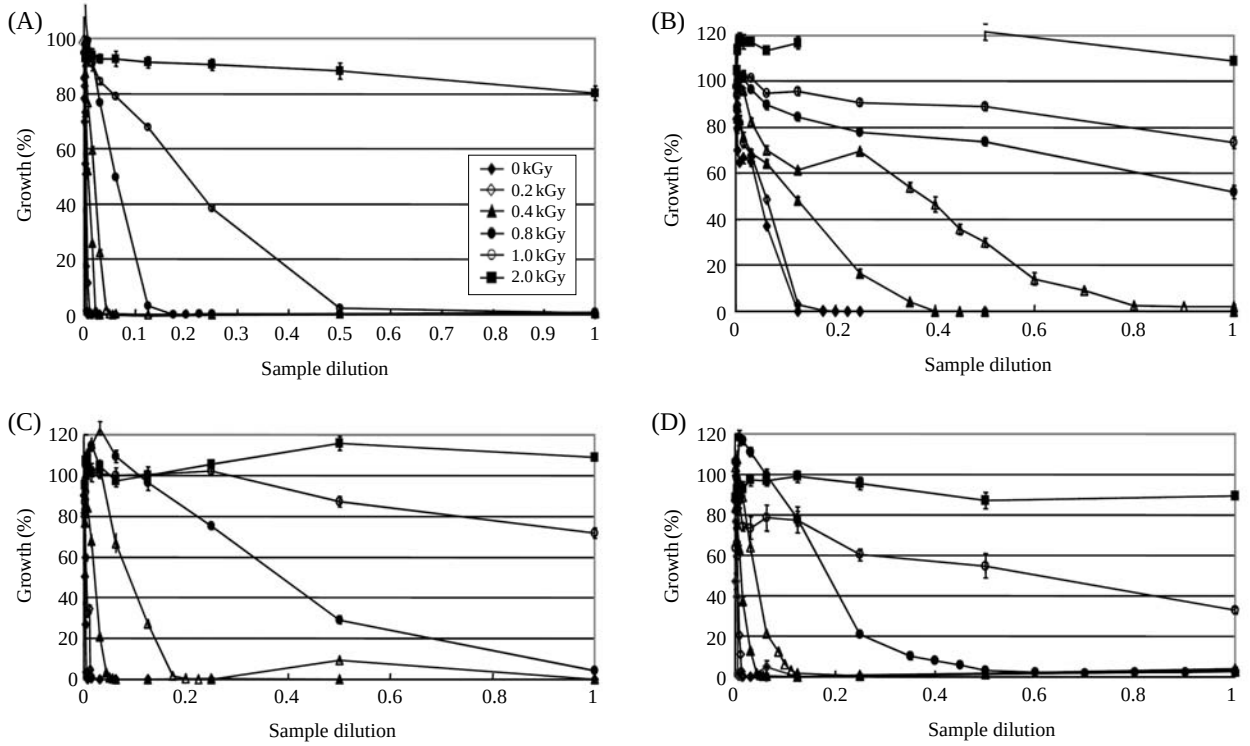

Fig. 1. Growth inhibition of *S. aureus* KCTC 1621 by antibiotics in the samples treated with 0 ~ 2 kGy of γ-ray irradiation. (A), (B), (C), and (D) represent amoxicillin, cephradine, lincomycin, and tetracycline, respectively.

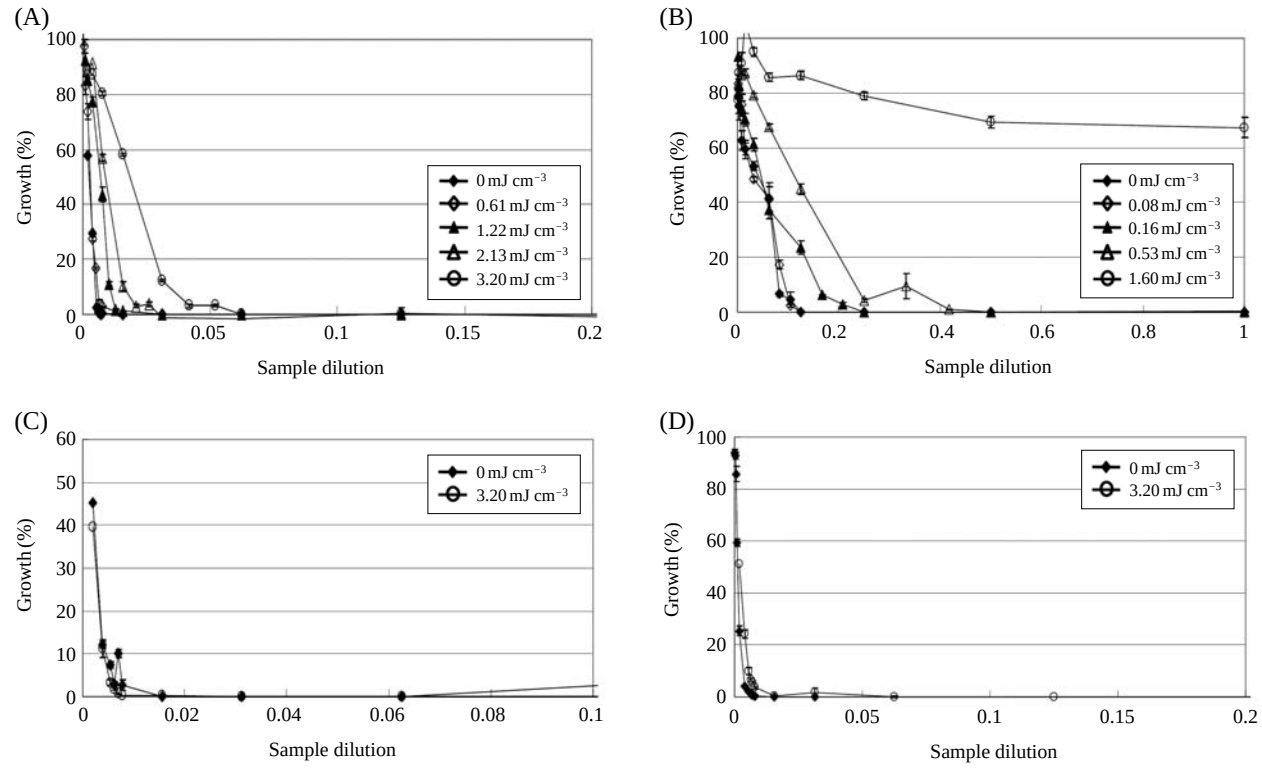

Fig. 2. Growth inhibition of *S. aureus* KCTC 1621 by antibiotics in the samples treated with 0 ~ 3.2 mJ cm^{-3} of UV irradiation. (A), (B), (C), and (D) represent amoxicillin, cephradine, lincomycin, and tetracycline, respectively.

액체배지 희석법으로 *S. aureus*의 성장이 저해되는 감마선 조사된 항생제 수용액의 최대 희석배수를 확인하는 실험을 진행한 결과는 Fig. 1과 같다. 대부분의 항생제에서 0.8～1 kGy의 감마선을 조사하였을 때 항생제의 세균 저해능이 감소하여 세균이 성장하는 것을 확인할 수 있었다. Amoxicillin은 다른 항생제보다 높은 감마선량인 2 kGy로 조사하였을 때 세균 성장 저해가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 감마선 조사 선량이 많아질수록 항생제 분해능이 증가하는 것을 반영하는 결과로, 감마선이 항생물질을 처리하는데 유용한 방법임을 알 수 있다. Yu *et al.* (2008)은 30 mg l^{-1}의 초기농도를 갖는 cephalosporin 계열 항생제인 cefaclor가 1.0 kGy의 감마선량에서 완전히 분해되는 것을 HPLC 방법을 통하여 확인하였다. 또한, 2.0 kGy의 감마선량에서 총 유기탄소가 높은 효율로 제거되는 것을 보고하였다. 본 연구에서 HPLC와 액체배지 희석법으로 측정한 amoxicillin, lincomycin, tetracycline의 잔류 항생제 농도는 대부분 비슷한 양상을 보였으나, 0.2～0.6 kGy의 선량으로 조사된 cephradine의 잔류 농도의 경우 HPLC 결과보다 2～2.5배 높게 측정되었다(Fig. 3). 이는 감마선 조사로 분해된 cephradine의 부산물이 세균 성장에 영향을 미쳐 나타난 결과라고 생각되며, cephradine을 감마선 조사하였을 때 생성되는 부산물이 생물에 미치는 독성 효과를 없애기 위해선 1 kGy 이상의 조사가 필요하다고 생각된다. 본 연구결과는 항생제 처리시설에서 화학적인 분석만을 적용하여 분해된 항생제의 잔류 여부를 판단한다면 처리 과정 중 생성된 부산물이 생물에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 수 없기 때문에 화학적인 방법뿐 아니라 생물에 미치는 영향을 알 수 있는 생물학적인 분석 방법의 도입이 필요하다는 점을 제시한다.

1.60 mJ cm^{-3}의 UV 선량으로 조사한 cephradine에서 60% 이상의 세균이 성장하는 것으로 UV 처리 방법도 감마선 처리방법과 마찬가지로 항생제 분해에 이용할 수 있는 방법임을 확인하였다(Fig. 2). UV 처리된 항생제의 부산물 효과는 나타나지 않았으나, amoxicillin과 tetracycline의 경우 1시간 동안 3.20 mJ cm^{-3}의 UV 선량을 조사하였음에도 불구하고 90%, 64%의 제거율을 보였고, lincomycin은 거의 분해가 되지 않았다(Fig. 4). Reyes *et al.* (2006)은 UV 단독 조사 및 광촉매인 TiO_2를 함께 처리하여 tetracycline을 분해하는 실험을 진행하였는데 UV와

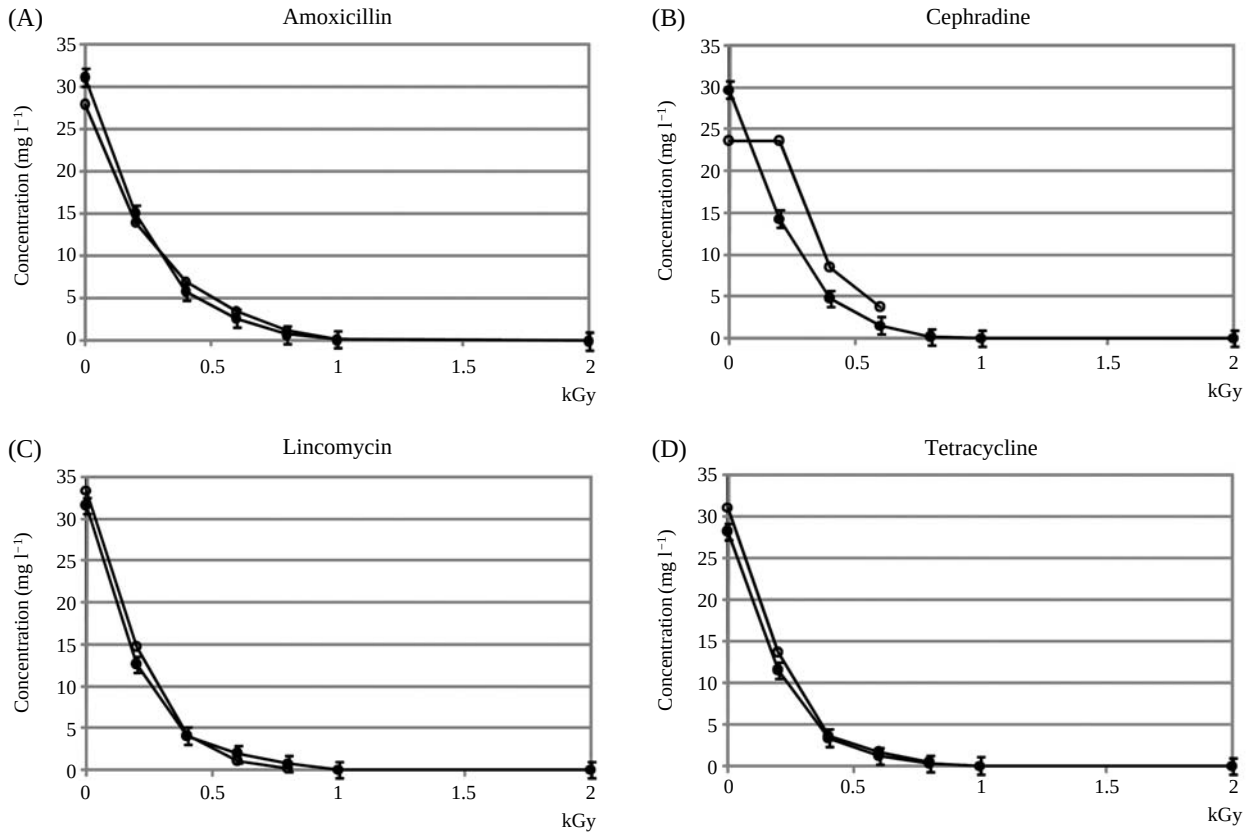

Fig. 3. Concentrations of antibiotics in the samples treated with γ-ray irradiation, measured by HPLC and Broth microdilution method. (A), (B), (C), and (D) represent amoxicillin, cephradine, lincomycin, and tetracycline, respectively. Filled shape: HPLC, empty shape: Broth microdilution method.

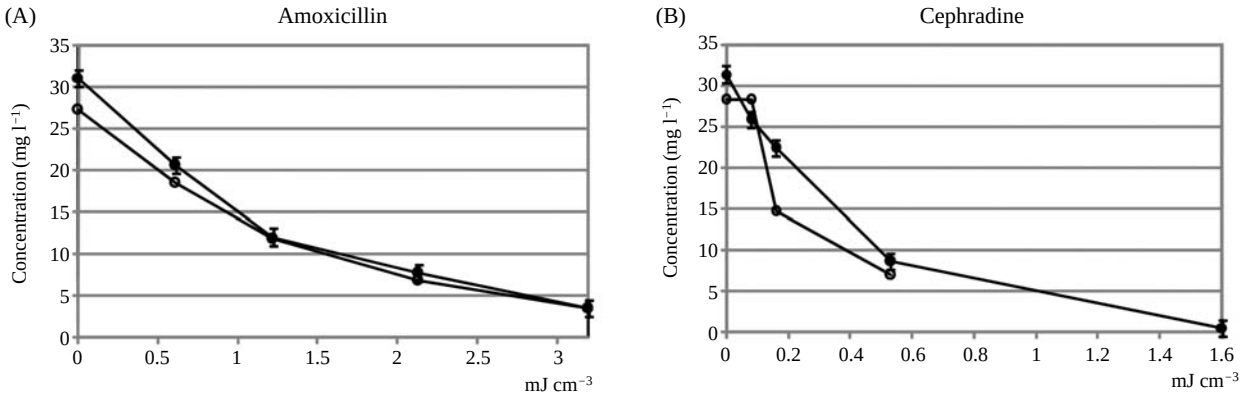

Fig. 4. Concentrations of antibiotics in the samples treated with UV irradiation, measured by HPLC and Broth microdilution method. (A) and (B) represent amoxicillin and cephradine, respectively. Filled shape: HPLC, empty shape: Broth microdilution method.

TiO_2를 함께 처리한 경우는 항생물질 활성이 감소하였으나, UV만을 조사하였을 때에는 100분 이상 조사하여도 tetracycline의 항생제 활성이 거의 감소하지 않는다고 보고하였다. 김 등(2008)은 sulfamethoxazole과 chlorotetracycline을 고도산화공정인 오존, UV, 감마선을 이용하여 분해 및 무기화 시킨 연구에서 오존과 UV는 항생제의 종류에 따라 분해능에 영향을 받으나, 감마선을 조사하였을 때는 항생제의 종류에 영향을 받지 않음을 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 상응하는 결과로, 감마선의 경우 1.0 kGy의 선량으로 조사하였을 때 대부분의 항생제가 분해된 것에 비하여 UV는 cephradine을 제외한 다른 항생제의 분해가 일어나지 않았다. 이처럼 감마선과 UV 조사에 따라 항생제 분해능의 차이가 나타나는 이유는 투과도의 차이에서 기인한 것이라고 생각된다. 감마선은 전리방사선의 일종으로 UV에 비하여 짧은 파장을 가져 투과도가 높기 때문에 수계에 포함된 항생물질을 분해하는데 더 유리하다. 따라서 항생제의 잔류 농도 및 분해가 가능한 항생물질의 종류를 감안할 때 감마선이 UV보다 다양한 종류의 항생제를 처리하는데 적합하다고 생각된다.

결 론

감마선 및 UV 조사한 항생제의 분해 정도를 생물학적인 방법인 액체배지 희석법을 통하여 관찰하였다. Amoxicillin, cephradine, lincomycin, tetracycline 네 항생제에 감마선을 조사하였을 경우, 대부분의 항생제가 1.0 kGy에서 분해되어 감마선이 항생제를 분해하는데 효과적인 방법이라는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 UV를 조사하였을 경우 cephradine을 제외한 나머지 항생제에서는 3.2 mJ cm^{-3}의 에너지량으로 조사하였음에도 최소저해농도 이상의 생장 저해를 받는 것을 확인하였다. 이를 통해 다양한 항생제의 분해에는 감마선이 UV에 비하여 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 감마선 조사한 cephradine의 잔류 항생제 농도를 액체배지 희석법과 HPLC로 측정하여 비교한 결과, 액체배지 희석법으로 측정하였을 때 좀 더 높은 농도로 측정되었다. 화학적인 측정방법으로는 잔류 항생물질의 농도가 생물에 영향을 미치지 않는 낮은 농도라 할지라도 생물에는 독성을 미치는 부산물이 존재할 수 있다는 결과이며 다양한 항생제 처리시설에 생물학적인 잔류항생제 분석법의 도입이 필요하다는 것을 시사한다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부 지원을 받아 2008년도 방사선기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

국립환경과학원. 2006. 환경 중 의약물질 분석방법 연구 및 노출 실태 조사.

김태훈, 최동규, 이면주, 유승호. 2008. 고도산화공정을 이용한 항생제 분해. 응용 화학. **12**(2):337-340.

정혜윤, 장성재, 이송득, 박승희, 민충식, 이소연, 이경희, 이정은, 이민석, 이경원. 2002. 세균의 항생제 내성 현황에 대한 모니터링III (모니터링사업). 식품의약품 안전청 연구보고서. **6**:222-229.

참여연대. 2005. 축 · 수산 동물약품(항생제) 실태보고서.

Al-Ani MY and Al-Khalidy FR. 2006. Use of ionizing radiation technology for treating municipal wastewater. *Int. J. Res. Pubic. Health*. **3**(4):360-368.

Alexy R, Kumpel T and Kummer L. 2004. Assessment of degradation of 18 antibiotics in the Closed Bottle Test. *Chemosphere*. **57**:505-512.

Andreozzi R, Caprio V, Insola A and Marotta R. 1999. Advanced oxidation process (AOP) for water purification and recovery. *Catal. Today*. **53**:51-59.

Andreozzi R, Canterino M, Marotta R and Paxeus N. 2005. Antibiotic removal from wastewaters: The ozonation of amoxicillin. *J. Hazard. Mater*. **122**:243-250.

Balcioğlu IA and Ötker M. 2003. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O_3 and O_3/H_2O_2 processes. *Chemosphere*. **50**:85-95.

Gong J, Liu Y and Sun X. 2008. O_3 and UV/O_3 oxidation of organic constituents of biotreated municipal wastewater. *Water Res*. **42**:1238-1244.

Jenkins RD, Stevens SL, Craythorn JM, Thomas TW, Guinan ME and Matsen JM. 1985. False susceptibility of enterococci to aminoglycosides with blood-enriched Mueller-Hinton agar for disk susceptibility testing. *J. Clin. Microbiol*. **22**(3): 369-374.

Jorgensen JH and Hindler JF. 2007. New consensus guidelines from the clinical and laboratory standards institute for antimicrobial susceptibility testing of infrequently isolated or fastidious bacteria. *Clin. Infect. Dis*. **44**:280-286.

Kim HY, Yu SH, Lee MJ, Kim TH and Kim SD. 2009. Radiolysis of selected antibiotics and their toxic effects on various aquatic organisms. *Radiat. Phys. Chem*. **78**:267-222.

Li K, Yediler A, Yang M, Schute-Hostede M and Wong MH. 2008. Ozonation of oxytetracycline and toxicological assessment of its oxidation by-productions. *Chemosphere*. **72**:473-478.

Ngihem LD, Schafer A and Elimelech M. 2005. Pharmaceutical retention mechanisms by nanofiltration membranes. *Environ. Sci. Tech*. **39**(19):7608-7705.

Reemtsma T and Jekel M. 1997. Dissolved organics in tannery wateswaters and their alteration by a combined anaerobic and aerobic treatment. *Water Res*. **31**(5):1035-1046.

Reyes C, Fernàndez J, Freer J, Mondaca MA, Zaror C, Malato S and Mansilla HD. 2006. Degradation and inactivation of tetracycline by TiO_2 photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. Chem*. **184**:141-146.

Sanchez-Polo M, Lopex-penalver J, Prados-Joya G, Ferro-Garcia MA and Rivera-Utrilla J. 2009. Gamma irradiation of pharmaceutical compounds, nitroimidazoles, as a new alternative for water treatment. *Water Res*. **43**:4028-4036.

Schwartz T, Kohnen W, Jensen B and Obset U. 2003. Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms. *FEMS. Microbiol. Ecol*. **43**:325-335.

Singh B, Parwate DV and Shukla SK. 2009. Radiosterilization of Fluoroquinolones and Cephalosporins : Assessment of radiation damage on antibiotics by changes in potical property and colorimetric parameters. *Pharm. Sci. Tech*. **10**(1): 34-43.

Walsh C. 2003. Antibiotics: Actions, Origins, Resistance. Washington, USA: ASM Press.

Yu S, Lee B, Lee M, Cho IH and Chang SW. 2008. Decomposition and mineralization of cefaclor by ionizing radiation: Kinetics and effects of the radical scavengers. *Chemosphere*. **27**:2106-2112.

Manuscript Received: February 10, 2010
Revision Accepted: February 22, 2010