

## 낙동강에서 엔테로코커스의 분포특성 및 항생제별 내성률

성진욱 · 차순배 · 유광현<sup>1</sup> · 최광순<sup>2</sup> · 박제철\*

(금오공과대학교 환경공학과, <sup>1</sup>삼성서울병원 진단검사의학과, <sup>2</sup>K-water 연구원)

**Distribution Characteristics and Antibiotics Resistance of *Enterococcus* spp. in Nakdong River. Seong, Jin-Uk, Soon-Bae Cha, Kwang-Hyun Ryu<sup>1</sup>, Kwang-Soon Choi<sup>2</sup> and Je-Chul Park\* (Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-710, Korea; <sup>1</sup>Department of Laboratory Medicine, Samsung Medical Center, Seoul 135-710, Korea; <sup>2</sup>K-Water Research Institute, Daejeon 305-730, Korea)**

This study was it conducted on effluent or river water close to discharge locations from a treatment plant, which were analyzed for the presence, phenotype and antibiotic resistance rates of Vancomycin Resistant Enterococci (VRE). The test results for isolation and identification of *Enterococcus* spp. showed that they all were VRE positive, with a total of 32 strains detected. Multiplex PCR was conducted for 32 strains, each of which were identified as *E. faecium*, and the results indicated that they were all confirmed as VRE, corresponding to the Van A phenotype. The results of *E. faecium* concentrations measured at various locations indicated that they were, on average, higher at the location of sewage treatment plants. The frequency of positive tests as well as the number of colonies was higher downstream of treatment plants. The minimum inhibitory concentration was inspected for 26 strains of discharged water samples from sewage water treatment plants, and 6 strains of river samples. Out of 19 antibiotics, 14 and 5 species showed resistance and sensitivity, respectively.

**Key words :** *Enterococcus*, Vancomycin Resistant Enterococci, antibiotics

### 서 론

엔테로코커스(*Enterococcus* spp.)는 사람의 장에서 발견되는 그람양성 구균 중 하나로, 10~50°C, 6.5% NaCl, pH 4.8~10.5의 환경에서도 생육하기 때문에 하천이나 호소, 해수 등 다양한 물 환경에 분포하고 있다(Lee, 2002; Klein, 2003). 엔테로코커스는 주로 병원 내 감염이 빈번

한 병원성세균으로(Kang *et al.*, 2001; Jung *et al.*, 2006), 이 중 *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. avium*, *E. durans* 등이 주로 병원성을 나타내며, 건강한 사람이 감염된 경우 통상 무해하거나 무증상이지만 면역력이 저하된 환자에서는 복막염, 패혈증 등을 일으키는 원인이 된다(Mundy *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2005).

엔테로코커스는 포유류와 조류의 장에 존재하는 일반적인 세균으로 알려져 있지만, 각종 질병치료를 위하여 항

\* Corresponding author: Tel: +82-54-478-7633, Fax: +82-54-478-7859, E-mail: pjc1963@kumoh.ac.kr, krbkim@kangwon.ac.kr

생제 사용이 증가함에 따라 다양한 항생제에 내성을 가지게 되었고, 특히 beta-lactam계, aminoglycoside계 항생제에 대하여 높은 내성을 갖는 것으로 보고되고 있다 (Krogstad and Parquette, 1980).

엔테로코커스에 의한 감염증 치료에는 반코마이신 (vancomycin)이 유일한 치료제로 사용되어 왔는데, 반코마이신 내성 장알균 (vancomycin-resistant enterococci; VRE)는 1988년 영국에서 처음으로 보고된 후 우리나라를 포함한 유럽, 미국 등 여러 국가에서 VRE가 계속 분리되어 보고되고 있다 (Nachamkin *et al.*, 1988; Cetinkaya *et al.*, 2000). VRE는 일부 항생제 (반코마이신, 테이코플라닌)에 대한 내성 정도와 항생제 내성 유전형의 유래 및 전이성에 따라 VanA, VanB, VanC, VanD, VanE 표현형으로 구분되며, Van A, B, D 표현형은 반코마이신에 대한 내성이 높지만 Van C, E 표현형은 상대적으로 내성이 낮은 것으로 알려져 있다 (Leclercq *et al.*, 1992). 최근 각 균종의 계발발생이나 유행균주 (epidemic strain)의 유래를 추적하기 위하여 PFGE나 PCR 등의 band-based typing 방법이 이용하며, 이를 보완하기 위한 multilocus sequence typing (MLST) 방법이 고안되기도 하였다 (Homan *et al.*, 2002).

항생제는 축산업 등 질병의 치료, 예방 및 성장 촉진의 목적으로 오랫동안 사용되어 왔지만 지금까지 개발된 모든 항생제에 대해서도 강한 내성을 가지고 있는 소위 슈퍼박테리아가 출현하여 사람과 각종 동물들에게 심각한 위협이 되고 있으므로 (Kühn *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2006; Lim *et al.*, 2007), 다양한 환경으로부터의 엔테로코커스의 분포 양상과 각 표현형에 따른 내성 양상에 대한 현황들을 지속적으로 파악할 필요성이 있다.

국내에서의 엔테로코커스를 대상으로한 선행연구는 임상가검물의 항균제 내성에 관한 연구 (Oh *et al.*, 2008b), 칼럼실험에 의한 엔테로코커스 부착 연구 (Kim *et al.*, 2009a), 반코마이신 내성 엔테로코커스 검출을 위한 PCR의 적용 연구 (Kim *et al.*, 2009b), 양식장에서의 엔테로코커스 분리와 감수성 비교 연구 (Oh *et al.*, 2008a)가 있었지만, 수계 환경 및 대표적인 점오염원인 하수 및 축산분뇨처리장 방류수에 대해서는 아직까지 충분한 연구가 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 경북지역의 하수처리장 방류수, 축산분뇨처리장 방류수를 비롯한 낙동강 수계 하천 시료를 채취하여, 엔테로코커스를 분리 및 동정하고, 다중중합효소연쇄반응 (Multiplex PCR)을 이용하여 반코마이신 내성 장구균의 검출여부를 확인하였다. 또한 임상과 축산업에서 질병의 예방과 치료에 널리 사용되고 있는 항생제에 대한 내성률을 조사하여, 항생제 내성 연구의 기초 자료로 활용함은 물론 처리장 방류수의 엔테로코커스 세균이

하천환경에 미치는 영향을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사시기 및 조사대상지의 개요

본 연구는 엔테로코커스 세균의 분포특성 및 항생제별 내성률을 분석하기 위해 2011년 6~11월까지 총 5회에 걸쳐 수행되었으며, 조사대상지는 경북지역 하수처리장 방류수 6개 지점, 가축분뇨 처리장 방류수 2개 지점, 낙동강 본류를 포함한 처리장 방류수가 방류되는 하천 6개 지점으로 총 14개 지점을 선정하였다 (Fig. 1).

### 2. 엔테로코커스의 분리, 동정 및 Multiplex PCR을 이용한 유전형 확인

시료 100 mL를 여과장치를 이용하여 막 (pore size 0.45 μm, ADVANTEC)에 여과하고 이때 여과한 여과지를 VRE chrom agar plate와 VRE broth (vancomycin 6 mg mL<sup>-1</sup>, 한일코메드)에 접종하여 35°C incubator에 24시간 배양하였다. VRE chrom agar plate의 배양결과 엔테로코커스로 의심되는 violet 및 blue color의 colony의 집락수를 계수하여 100 mL당 집락수 (CFU, Colony Forming Unit 100

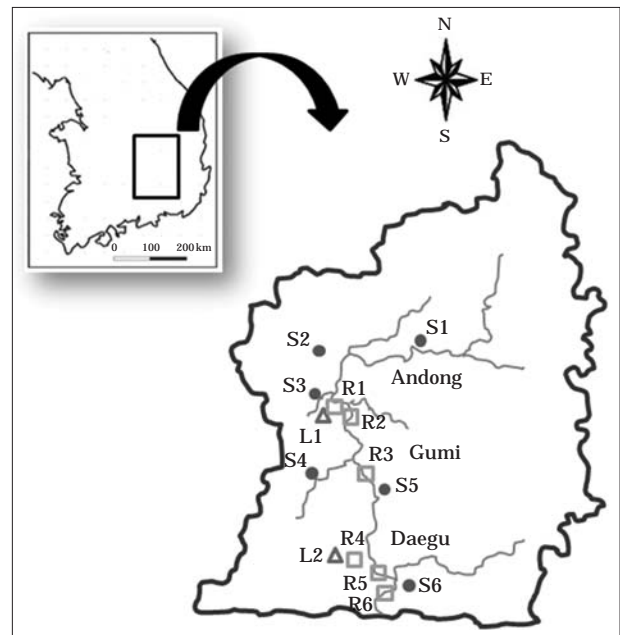


Fig. 1. Study area and the locations of survey sites (□: River, ●: Sewage treatment plant, △: Livestock waste treatment facility).

mL<sup>-1</sup>)를 산출하였다. 또한 그람염색을 통해 그람양성균을 확인하였고, PYR (L-Pyrrolidonyl-β-Naphthylamide) 검사를 시행하여 양성을 확인한 후, 단일 colony를 취하여 sub culture를 하였다. VRE broth (vancomycin 6 mg, 한일코메드) 배양에서 검은색으로 변하며 자란 결과를 보이면 VRE가 자란 것으로 잠정 판단하고 VRE chrom agar plate에 재접종하여 엔테로코커스를 확인하였다. *Enterococci*의 동정은 pure sub-culture 한 배지에 단독 집락을 취하여 McFarland No 0.5 탁도로 현탁시켜 VITEK GP card와 AST600 card (BioMerieux, U.S.A)를 사용하여 동정하였다.

Multiplex PCR 반응을 시행하기 위하여 우선 VRE broth에 배양한 후 virus DNA 분리를 위해 tube에 DNA extraction solution을 100 μL씩을 분주하여 시료와 각각의 양성 대조와 음성대조를 세웠으며 DNA extraction solution안에 있는 resin은 쉽게 가라앉으므로 사용직전에 잘 mix한 후 사용하였다. 우선 pipette으로 *Enterococcus* broth 50 μL를 조심스럽게 분주한 후 가볍게 혼합 후 caplock 덮고 heat block에서 95°C에서 10분간 가열한 후 상온에 5분 방치하여 13,000 rpm에서 5분 원심 분리한 후 새 tube에 70 μL의 상층액을 옮긴 후, 3 μL를 취하여 VRE PCR에 사용한다. Seeplex VRE ACE Detection kit (Seegene사)를 이용하였고, VRE PCR master mixture의 제조는 5 X VRE PM 4 μL, 8-MOP solution 3 μL, 2 X multiplex master Mix 10 μL를 혼합하여 17 μL 만들고, PCR tube에 mixture를 각각 17 μL씩 분주하고 sample DNA와 양성대조, 음성대조를 각각 3 μL씩 분주한 후 PCR tube의 뚜껑을 조심히 닫고 tapping으로 mix하고 원심 분리기에서 spin down한다. PCR과정으로 생성된 물질의 크기를 알아내기 위하여 전기영동이 이용되는데 전기영동은 별도의 agarose 대신 고밀도 screen tape (Seegene kit)을 사용하는 전기영동장비인 Automated Gel Electrophoresis장비 (Lab 901)를 이용하여 PCR band 분석을 하였다. 검사의 신빙도를 위하여 대조물질을 사용하는데 Internal control은 520 bp를 사용하였고 Van A 검체는 360 bp, Van B 검체는 250 bp, Van A 양성 컨트롤은 1,010 bp, Van B 양성 컨트롤은 750 bp의 amplicon sizes를 사용하였다.

### 3. 항생제별 내성률 분석

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) 권장에 따른 디스크 확산법에 따라 최소억제농도 검사를 하였으며, 표준균주는 *E. faecalis* ATCC 29212와 ATCC 51299를

**Table 1.** Colony count of *E. faecium*.

(Unit : CFU100 mL<sup>-1</sup>)

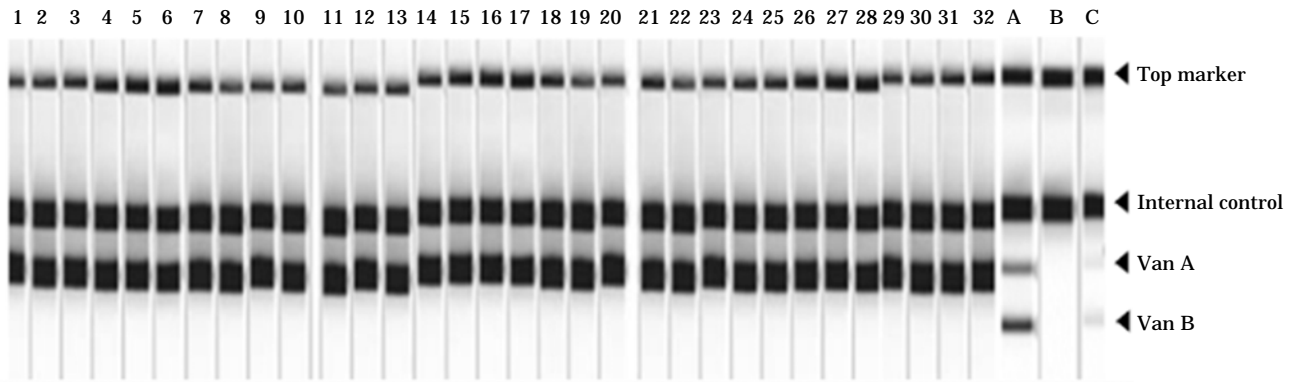
Site	Date				
	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Nov.
S1	100	80	80	20	60
S2	10	0	60	5	30
S3	120	0	20	10	13
S4	128	4	3	15	7
S5	120	0	0	30	40
S6	140	120	64	40	8
L1	0	0	0	0	0
L2	0	0	0	0	0
R1	0	0	0	0	0
R2	0	0	40	0	0
R3	0	30	0	0	0
R4	0	0	0	0	0
R5	0	0	5	0	0
R6	0	41	5	7	0

사용하였다. 디스크확산법은 pure sub-culture 한 배지에 단독 집락을 취하여 McFarland No 0.5로 현탁시켜 VITEK GP card와 AST600 card (Biomerieux, U.S.A)를 이용하였고, 배양은 35±2°C에서 18~24시간 배양하여 clear zone으로 항생제 감수성을 판정하였다. 또한 최소성장억제농도(Minimum Inhibition Concentration)는 CLSI 기준에 의해서 판정하였다. 항생제는 임상 및 축산업에서 질병의 예방과 치료용으로 널리 사용하고 있는 Beta-lactam계 (Benzylpenicillin, Ampicillin, Ampicillin/Sulbactam, Imipenem), Aminoglycosides계 (Gentamicin High Level (synergy), Streptomycin High Level (synergy)), Quinolone계 (Ciprofloxacin, Levofloxacin, Norfloxacin), Macroride계 (Erythromycin), Lincosamide계 (Clindamycin), Streptogramin계 (Quinupristin/Dalfopristin), Oxazolidinone계 (Linezolid), Glycopeptide계 (Teicoplanin, Vancomycin), Tetracycline계 (Tetracycline, Tigecycline), 기타(Nitrofurantoin), Sulfonamide계 (Trimethoprim/Sulfamethoxazole)의 총 19종을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 엔테로코커스의 분리 및 동정

엔테로코커스의 분리 및 집락수를 Table 1에 나타내었다. 하수처리장 방류수의 경우 S1, 4, 6 지점에서 채취한 시료가 5회, S2, 3 지점은 4회, S5 지점은 3회 검출되었다. 가축분뇨처리장에서는 L1, 2 지점에서 모두 검출되지 않



**Fig. 2.** Electrophoresis of Van A gene PCR product from vancomycin resistant *E. faecium* (lane A: Van A, Van B positive control, lane B: Negative control, lane C: Sensitivity).

았다. 하천지점의 경우 R1, 4 지점에서는 조사기간 중 검출되지 않은 반면 R2, 3, 5 지점에서는 1번, R6 지점에서는 3회가 검출되었다.

엔테로코커스의 집락수는 S1 지점은 20~100, S2 지점은 0~60, S3 지점은 0~120, S4 지점은 3~128, S5 지점은 0~120, S6 지점은 40~140 CFU100mL<sup>-1</sup> 범위를 보였다. S6 지점에서 가장 높은 집락수를 보였고, S2 지점에서 가장 적은 집락수로 조사되었다. 하수처리장에서 집락수의 차이를 보이는 것은 처리용량이나 처리공정, 유입수의 특성에 따라 결과가 다양하게 나타나는 것으로 판단된다. 하천의 경우 R2 지점은 0~40, R3 지점은 0~30, R5 지점은 0~5, R6 지점은 0~41 CFU100mL<sup>-1</sup> 범위로 나타났고, R1, 4 지점에서는 5회 조사에서 모두 불검출로 조사되었다. 하천의 상류에서 하류로 특정한 패턴을 발견할 수는 없었으나, R6 지점의 검출빈도와 검출량이 R1~5 지점보다 높은 것으로 나타났다. 이는 Kim *et al.* (2009)의 연구에서 한강 수계 11~61, 금강 19, 섬진강 58, 낙동강 1~4 CFU100mL<sup>-1</sup> 범위로 조사되어 조사시기에 따라 차이는 있지만 비교적 유사한 범위를 보였다. 계절별 변동을 살펴보면 하수처리장의 경우 6월에, 하천의 경우 강우가 비교적 많은 7, 8월에 가장 많은 집락수를 보이는 것으로 조사되었다. 하천에서 하수처리장 방류수에 비해 집락수가 적게 나타났지만, 하수처리장 방류수에서 가장 많은 세균 집락수가 검출되었다는 것은 방류수가 합류한 하천에서도 세균수가 많아질 수 있으며 면역력이 약한 사람들에게 감염될 수 있는 가능성이 있으므로 향후 하수처리장 방류수의 소독공정에 대한 검토 및 보완이 필요하며 세균에 대한 공공처리시설방류수 기준도 고려하여야 할 것으로 판단된다.

조사 지점에서 엔테로코커스가 검출된 32개의 시료에

서 pure sub-culture 한 배지에 단독 집락을 취하여 동정한 결과, 32개 집락이 모두 *E. faecium*으로 동정되었다. 어류 및 사육용수를 대상으로 연구한 결과 *E. faecalis*가 44.1%, *E. faecium*이 32.4%로 나타났고(Oh *et al.*, 2008a), Devriese *et al.* (1992)은 임상검체에서 *E. faecalis*가 80~90%, *E. faecium*이 5~10%로 보고하였다. 또한 한강 유역 4개 정체를 대상으로 한 46주의 세균을 동정한 결과 *E. faecalis*가 57%, *E. faecium*이 33%로 조사되어(Kim and Kwon, 2008), 기타문헌에서는 *E. faecalis*가 많이 검출되었지만 본 연구에서는 32균주가 모두 *E. faecium*으로 동정되어 다른 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이는 사용한 검체의 대상이 다르고 특히 하천의 경우 유역의 특성이 다르기 때문에 동정 결과가 다르게 나타난 것으로 판단된다.

## 2. Multiplex PCR을 이용한 유전형 확인

Multiplex PCR 검사 시 전기영동 상에서 Internal Control은 520 bp의 크기로 관찰되며 VRE가 존재하면 Van A는 360 bp, Van B는 250 bp 크기의 band가 관찰된다. 조사기간 중 동정된 *E. faecium* 32균주는 모두 Van A표현형에 해당하는 반코마이신 내성 장구균으로 확인되었다(Fig. 2). Kim *et al.* (2009b)의 연구에서는 엔테로코커스 양성 집락에 대한 VRE 검출률은 48%로 본 연구의 100%보다는 비교적 낮은 비율을 보였고, 표현형의 경우에도 Van C-2/3으로 다른 것으로 나타났다.

## 3. 항생제별 내성률

하수처리장 방류수 시료의 26균주에 대한 항생제별 내성률 분석 결과, 19개의 항생제 중 내성, 감수성을 보인

**Table 2.** Various antimicrobial susceptibility of *E. faecium* isolated from sewage plant and stream.

Site	Antimicrobial agents	No. of isolates (%)		
		Resistance	Intermediate	Susceptibility
Sewage plant (n=26)	Benzylpenicillin	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Ampicillin	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Ampicillin/Sulbactam	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Imipenem	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Gentamicin High Level (synergy)	15 (57.7)	0 (0.0)	11 (42.3)
	Streptomycin High Level (synergy)	9 (34.6)	0 (0.0)	17 (65.4)
	Ciprofloxacin	24 (92.3)	0 (0.0)	2 (7.7)
	Levofloxacin	24 (92.3)	0 (0.0)	2 (7.7)
	Norfloxacin	24 (92.3)	0 (0.0)	2 (7.7)
	Erythromycin	24 (92.3)	2 (7.7)	0 (0.0)
	Clindamycin	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Quinupristin/Dalfopristin	0 (0.0)	0 (0.0)	26 (100.0)
	Linezolid	0 (0.0)	0 (0.0)	26 (100.0)
	Teicoplanin	23 (88.5)	0 (0.0)	3 (11.5)
	Vancomycin	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Tetracycline	19 (73.1)	0 (0.0)	7 (26.9)
	Tigecycline	0 (0.0)	0 (0.0)	26 (100.0)
Nitrofurantoin	15 (57.7)	10 (38.5)	1 (3.8)	
Sulfamethoxazole/Trimethoprim	26 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Stream (n=6)	Benzylpenicillin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Ampicillin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Ampicillin/Sulbactam	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Imipenem	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Gentamicin High Level (synergy)	5 (83.3)	0 (0.0)	1 (16.7)
	Streptomycin High Level (synergy)	2 (33.3)	0 (0.0)	4 (66.7)
	Ciprofloxacin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Levofloxacin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Norfloxacin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Erythromycin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Clindamycin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Quinupristin/Dalfopristin	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (100.0)
	Linezolid	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (100.0)
	Teicoplanin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Vancomycin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Tetracycline	2 (33.3)	0 (0.0)	4 (66.7)
	Tigecycline	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (100.0)
Nitrofurantoin	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Sulfamethoxazole/Trimethoprim	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	

항생제 수는 각각 14, 5종으로 내성을 보이는 항생제의 수가 약 70% 이상으로 대부분을 차지하였다. 100% 내성을 보인 항생제는 7종(Benzylpenicillin 외 6종), 90% 이상의 내성을 보인 항생제는 5종(Ciprofloxacin 외 4종), 50% 이상의 내성을 보인 항생제는 2종(Gentamicin High Level (synergy) 외 1종)으로 나타났다. 100% 감수성을 보인 항생제는 3종(Quinupristin/Dalfopristin 외 2종)이며, 70% 이상의 감수성을 보인 항생제는 2종(Streptomycin High Level (synergy) 외 1종)으로 조사되었다(Table 2). 하천 시료의 6균주에 대한 항생제별 내성률 분석 결과,

19개의 항생제 중 내성, 감수성을 보인 항생제 수는 각각 14, 5종으로 내성을 보이는 항생제의 수가 약 70% 이상으로 하수처리장 방류수 시료의 검사 결과와 유사한 것으로 나타났다. 100% 내성을 보인 항생제는 12종(Benzylpenicillin 외 11종)으로 나타났고, 80% 이상의 내성을 보인 항생제는 1종으로 Gentamicin High Level (synergy), 60% 이상의 내성을 보인 항생제는 1종으로 Nitrofurantoin으로 조사되었다. 100% 감수성을 보인 항생제는 3종(Quinupristin/Dalfopristin 외 2종), 60% 이상의 감수성을 보인 항생제는 2종(Streptomycin High Level (synergy)

의 1종)으로 조사되어 감수성을 보인 항생제는 하수처리장 방류수 시료의 결과와 항생제 종류가 완전히 일치하는 것을 알 수 있었다(Table 2). Oh *et al.* (2008a)의 연구에서는 어류 및 해수에서 분리된 *E. faecium*의 내성률은 각각 85, 100%, Lynette (2004)이 야채류에서 분리한 *E. faecium*의 내성률은 91%로 보고하였다. 또한 Martins da Costa *et al.* (2006)은 축산폐수 및 생활하수 처리장에서 분리한 983주의 *Enterococcus*속 세균을 대상으로 항생제 감수성을 조사한 결과 Tetracycline 34.6%, Ciprofloxacin 13.9%, Vancomycin 0.6%의 내성이 나타나, 본 연구와 수치의 차이는 있지만 내성률의 분포 양상은 유사한 것으로 조사되었다.

하수처리장 방류수 시료와 하천 시료에서 내성 및 감수성을 보이는 항생제의 종류는 동일한 것으로 나타났으며, 특히 Beta-lactam계, Glycopeptide계 항생제에서 강한 내성을 보이는 것으로 조사되었다. 이처럼 *E. faecium*는 항생제에 대체로 내성을 보이는 경우가 많기 때문에 항생제 내성균이 사람의 몸 속에 존재할 경우 여러 가지 문제점을 야기할 수 있는 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 장구균은 인체 병원균으로서 중요성이 부각되고 있는 균종이 수계에서 일부 검출되고 있고 다제내성균의 검출도 증가하고 있는 추세를 보이기 때문에 향후 항생제 내성균에 대한 모니터링의 확대 및 내성균 저감화 대책 수립이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 하수 및 가축분뇨 처리장 방류수, 하천수를 이용하여 반코마이신 내성 장구균(Vancomycin Resistant Enterococci, VRE)의 검출여부를 확인하고 검출된 장구균의 표현형을 분석함으로써 하천에 대한 공공처리시설의 방류수에 포함되어있는 엔테로코커스의 영향을 파악하여 항생제 내성균이 환경에 미치는 영향 및 항생제 내성 연구에 기초 자료가 되고자 하였다. 엔테로코커스의 동정시험 결과 모두 32균주가 검출되었고 이는 모두 *E. faecium*으로 동정되었다. Multiplex PCR 시행한 결과 32균주 모두 Van A 표현형에 해당하는 반코마이신 내성 장구균으로 확인되었다. 조사지점별 세균의 *E. faecium* 집락수의 측정 결과 하수처리장 지역에서 평균적으로 가장 높게 나타났고, 하천 지역의 경우 상류지점에서 하류 지점으로 갈수록 세균의 colony 숫자도 늘어나는 것으로 조사되었다. 하수처리장 방류수 시료 26균주에 대한 최소억제농도 검사 결과, 19개의 항생제 중 내성, 감수성을 보인

항생제 수는 각각 14, 5종으로 내성을 보이는 항생제의 수가 약 70% 이상으로 대부분을 차지하였다. 하천 시료 6균주에 대한 최소억제농도 검사 결과, 19개의 항생제 중 내성, 감수성을 보인 항생제 수는 각각 14, 5종으로 내성을 보이는 항생제의 수가 약 70% 이상으로 대부분을 차지하여 하수처리장 방류수 시료의 검사 결과와 동일하였다.

## 인 용 문 헌

- Cetinkaya, Y., P. Falk and G. Mayhall. 2000. Vancomycin resistant enterococci. *Clinical Microbiology Reviews* **13**(4): 686-707.
- Devriese, L.A., M.D. Collins and R. Wirth. 1992. The genus *Enterococcus*, p. 1465-1481. *In: The Prokaryotes*. 2 Ed. (Balows, A., H.G. Truper, M. Dworkin, W. Harder and K.H. Schleifer, eds.). Springer Verlag, New York.
- Homan, W.L., D. Tribe, S. Poznanski, M. Li, G. Hogg, E. Spalburg, J.D. Van Embden and R.J. Willems. 2002. Multilocus sequence typing scheme for *Enterococcus faecium*. *Journal of Clinical Microbiology* **40**: 1963-1971.
- Jung, W.K., J.Y. Lim, N.H. Kwon, J.M. Kim, S.K. Hong, H.C. Koo, S.H. Kim and Y.H. Park. 2006. Vancomycin-resistant enterococci from animal sources in Korea. *International Journal of Food Microbiology* **330**: 45-53.
- Kang, H., D.I. Yuk, Y.J. Kwak, Y.S. Kang, K.S. Song and H.H. Lee. 1990. Susceptibility of *Enterococcus* to ampicillin and other antimicrobial agents. *Journal of Microbiology and Biotechnology* **25**(5): 393-398.
- Kang, H.M., B.Y. Jung, J.S. Moon, H.S. Lee, G.C. Jang, J.M. Kim and C.I. Chung. 2001. Rapid detection of *Enterococcus* species by polymerase chain reaction (PCR) and prevalence in livestock. *Korean Journal of Veterinary Public Health* **25**(4): 213-219.
- Kim, H.J., S.J. Park, C.G. Lee, Y.U. Han and S.B. Kim. 2009a. Analysis of *Enterococcus faecalis* attachment to granular activated carbon with a column experiment. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **31**(2): 119-124.
- Kim, J.K., C.H. Kim, S.Y. Han, H.W. Byun, W.J. Park, H.J. Woo, I.K. Hyun, J.J. Lee and K.M. Lee. 2005. Original Articles : Clinical Characteristics in Patients with Vancomycin-Resistant Enterococci Colonization or Infection during 5 years in a Private General Hospital. *Korean Society of Critical Care Medicine* **20**: 54-62.
- Kim, M.J., B.H. Lim, S.H. Nam, S.B. Kwon, G.D. Kim, Y.Y. Kim and S.T. Lee. 2009b. Application of multiplex PCR

- to detect vancomycin resistant *Enterococcus* (VRE) in environmental water in Korea. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* **12**(3): 177-184.
- Kim, M.N. and O.M. Kwon. 2008. Antimicrobial susceptibility of *Enterococcus* spp. isolated from Han-river area in Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **26**(3): 240-246.
- Klein, G. 2003. Taxonomy, ecology and antibiotic resistance of enterococci from food and the gastro-intestinal tract. *International Journal of Food Microbiology* **88**: 123-131.
- Krogstad, D.J. and A.R. Parquett. 1980. Defective killing of enterococci: a common property of antimicrobial agents acting on the cell wall. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* **17**: 965-968.
- Kühn, I., A. Iverson, L.G. Burman, B. Olsson-Liljequist, A. Franklin, M. Finn, F. Aarestrup, A.M. Seyfarth, A.R. Blanch, X. Vilanova, H. Taylor, J. Caplin, M.A. Moreno, L. Domingues, I.A. Herrero and R. Mølby. 2003. Comparison of enterococcal populations in animals humans, and the environmental European study. *International Journal of Food Microbiology* **88**: 133-145.
- Leclercq, R., S. Dutka-Malen, J. Duval and P. Courvalin. 1992. Vancomycin resistance gene vanC is specific to *Enterococcus gallinarum*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* **36**(9): 2005-2008.
- Lee, G.H. 2002. Indicator microorganisms used as fecal contamination in aquatic environments. *Korean Journal of Environmental Biology* **20**(3): 189-196.
- Lim, S.K., H.S. Lee, J.Y. Byun, S.Y. Park and S.C. Jung. 2007. Antimicrobial resistance of commensal bacteria isolated from food-producing animals II. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. isolated from pig fecal samples. *Korean Journal of Veterinary Public Health* **31**(1): 31-39.
- Lynette, M., M. Johnston and L.A. Jaykus. 2004. Antimicrobial resistance of *Enterococcus* species isolated from produce. *Applied and Environmental Microbiology* **70**: 3133-3137.
- Martins da Costa P., P. Vaz-pires and F. Bernardo. 2006. Antimicrobial resistance in *Enterococcus* spp. isolated in inflow, effluent and sludge from municipal sewage water treatment plants. *Water Research* **40**: 1735-1740.
- Mundy, L.M., D.F. Sahm and M. Gilmore. 2000. Relationship between enterococcal virulence and antimicrobial resistance. *Clinical Microbiology Reviews* **13**: 513-522.
- Nachamkin, I., P. Axelrod, G.H. Talbot, S.H. Fischer, C.B. Wennersten, R.C. Moellering and R.R. Macgregor. 1988. Multiply high-level-aminoglycoside-resistant enterococci isolated from patients in a university hospital. *Journal of Clinical Microbiology* **26**(7): 1287-1291.
- Oh, E.G., K.T. Son, H.S. Yu, J.H. Kim, T.S. Lee and H.J. Lee. 2008a. Antimicrobial susceptibility pattern of *Enterococcus faecalis* and *E. faecium* from fish farms in the southern coast of Korea. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science* **41**(6): 435-439.
- Oh, J.Y., S.H. Her, S.Y. Seol, Y.C. Lee, J.C. Lee, J.M. Kim and D.T. Cho. 2008b. Antimicrobial resistance and multilocus sequence typing of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* isolated from clinical specimens. *Journal of Bacteriology and Virology* **38**: 19-27.

(Manuscript received 22 February 2013,  
Revised 15 March 2013  
Revision accepted 28 June 2013)