

남해안 어류양식장에서 분리된 *Escherichia coli*에 대한 항균제 감수성

손광태·오은경¹·박큰바위*·권지영·이희정¹·이태식²·김지희²
국립수산과학원 남해수산연구소 증식과, ¹국립수산과학원 식품안전연구단,
²국립수산과학원 양식환경연구소

Antimicrobial Susceptibility of *Escherichia coli* Isolated from Fish Farms on the Southern Coast of Korea

Kwang Tae SON, Eun Gyoung OH¹, Kunbawui PARK*, Ji young KWON,
Hee Jung LEE¹ Tae Seek LEE² and Ji Hoe KIM²
South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
¹Food Safety Research Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea
²Aquaculture Environment Institute, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea

Three-hundred and sixteen *Escherichia coli* strains from seawater, and a variety of farmed fishes, including oliver flounder (*Paralichthys olivaceus*), black rock fish (*Sebastes schlegeli*), red sea bream (*Pagrus major*) and sea bass (*Lateolabrax japonicus*) between May to October in 2004, were tested by agar dilution method to determine their susceptibility patterns to 17 antimicrobial agents. Overall, 92.1% of *Escherichia coli* isolates from samples showed antimicrobial resistance to at least one antimicrobial agent and the multiple resistance was seen in 173 isolates (54.7%). The resistance of *E. coli* isolates to tetracycline (74.1%) was highest, followed by cephalothin (69.9%), doxycycline (66.5%), streptomycin (47.2%), ampicillin (46.2%), cefazolin (31.6%), enrofloxacin (31.0%), norfloxacin (28.2%). The most frequent resistance pattern was TE-D-CF-CIP-ENO-NOR-AM-S-C-SXT-AmC-CZ (14.7%), followed by CF (6.2%), TE (5.1%), TE-CF (4.5%) in 177 isolates from fishes and TE-D-CF (7.2%) followed by TE-D-CF-S (5.8%), CF and TE-D-S (3.6%) in 139 isolates from seawater.

Key words: *Escherichia coli*, Antimicrobial susceptibility, Farmed fish, Seawater

서 론

항균제는 사람이나 동물의 질병을 예방하거나 치료하기 위하여 광범위하게 사용되어지고 있다. 항균제의 종류만 해도 독일의 경우 250종이 넘는 항균제가 상용화되어 있으며 (Kümmerer and Henninger, 2003). 세계적으로 소비되는 항균제의 소모량도 100,000~200,000톤에 이를 정도로 많이 사용되어지고 있다 (Wise, 2002). 근년 국내에서 축산이나 수산분야에서 2002년부터 2006년까지 사용된 항균제를 살펴보면 매년 1,500톤 정도의 항균제가 사용되었으며, 이들 항균제 중 축종별로는 돼지가 54~57%로 가장 많이 사용되었고, 다음으로 닭이 19~24%이었으며, 수산용으로는 11.5~17.7% 정도로 사용되어졌다 (KFDA, 2007). 이처럼 항균제와 다른 화학제제들은 가축 뿐 만 아니라 양식 어류에서의 질병 예방이나 치료를 목적으로 널리 사용되고 있을 뿐 아니라 이들 항균제 중 일부는 동물의 생산성을 증가시키기 위한 성장 촉진제로 사료와 혼합하여 사용되기도 한다 (Tollefson et al., 1997; Gaskins et al., 2002). 그러나 이러한 목적으로 사용되는 항균제는 적절하게 사용되기도 하지만 오남용으로 인하여 축산 및 수산분야에 있어서 항균제 내성균이 발생함은 물론 다제내성균의

증가를 초래하게 되었다.

최근 세균에 대한 항균제 내성은 세계적으로 문제가 되고 있으며, 이들 내성균의 대부분은 여러 가지 항균제에 동시에 내성을 지니고 있어 사람에게 적절한 치료제 부재로 인한 사회적 문제로 대두되고 있다 (Beam and Buckley, 2006; Frieden et al., 1993; Glynn et al., 1998). 이에 따라 세계 각국에서는 이러한 항균제 내성에 있어서 안전관리를 위한 방안을 모색하게 되었고, 1990년대 중반부터 국가 차원의 항균제 내성균 모니터링 시스템을 구축하여 매년 항균제 사용실태 및 내성 양상을 조사해 오고 있으며, 모니터링 결과를 토대로 체계적인 항균제 사용 전략으로 대응을 함으로써 점차 내성균의 분포가 낮아지고 실정이다 (Aaestrup et al., 1998; Marano et al., 2000). 이처럼 범국가적인 추세에 따라 국내에서도 2003년부터 국가 항생제 안전관리 사업의 일환으로 의료, 축산 및 수산분야 등에 대한 항균제 내성조사를 실시하게 되었다.

한편 대장균은 사람이나 동물의 장내에 상재하는 정상 세균총으로 빈번하게 투여되는 항균제에 노출되어 있기 때문에 이들 세균총은 숙주에서 항균제에 의한 내성 획득 과정을 이해하고 내성균을 모니터링함에 있어 매우 유용한 세균으로 알려져 있다 (Levin et al., 1997). 국내에서도 대장균의 항균제 내성에 관한 연구들이 일부 이루어져 있는데, 주로 가축으로

*Corresponding author: bkbwtear@nfrdi.go.kr

부터 분리한 대장균에 대한 연구가 대부분이다. 또한 수산분야에 있어서도 인체 감염 시 식중독을 일으키거나 어류에 질병을 유발시키는 비브리오에 관한 항균제 내성에 관한 연구는 많이 이루어져 있으나 (Heo et al, 2002; Lee et al., 2007; Son et al., 2005), 육상으로부터 유래하여 직·간접적으로 해양세균에 영향을 미칠 가능성이 높은 대장균에 관한 보고는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 남해안 주요 어류 양식장의 해수 및 양식어류로부터 분리된 대장균의 항균제 내성 현황을 파악함으로써 육상으로부터 유입되어 해양세균에 직·간접적으로 영향을 미칠 가능성과 더불어 어류를 양식함에 있어 적절한 항균제 사용을 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시험지역

2004년 5월부터 10월까지 우리나라 남해안 연안에서 어류양식업이 성행하고 있는 부산, 거제, 통영, 여수, 완도, 제주 등 6개 지역의 어류양식장 11개소를 대상으로 하였다. 각 지역의 어류양식장은 양식환경, 지역적 특성 등을 고려하여 부산, 거제, 제주, 완도지역의 육상 수조식 넙치양식장과, 거제, 통영, 여수, 완도지역의 해상 가두리식 조피볼락, 참돔, 농어양식장을 대상으로 하였다.

시험어

실험에 사용된 어류는 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 참돔(*Pagrus major*), 농어(*Lateolabrax japonicus*) 등 양식어류 4종과 이들 양식어류가 서식하고 있는 해수를 매월 1회씩 채취하였다. 각 어류양식장에서는 5~10개체의 어류를 채취하여 죽살시킨 후 폴리에틸렌 주머니에 담아 얼음을 채운 스티로폼 용기에 넣고, 실험실로 운반한 후 아가미와 내장을 무균적으로 채취하여 분석시료로 하였다. 또한, 양식어류가 서식하고 있는 해수는 1 L용량의 멸균된 병에 채수하여 어류시료와 같은 방법으로 실험실로 운반하고, pore size가 0.8, 0.45 및 0.2 μm 인 멸균된 membrane filter (Millipore, Ireland)로 순차적으로 여과한 다음, filter를 모아서 세균 검출을 위한 각각의 증균배지에 접종배양한 후 분리를 실시하였다.

대장균시험

대장균시험은 Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish (A.P.H.A., 1970)에 준하여 시험하였다. 추정시험에는 Lauryl Tryptose broth (Difco, USA)를, 확정시험에는 EC broth (Difco, USA)를 사용하였다. EC broth의 양성 시험관으로부터 균을 분리하여 EMB agar (Difco, USA)에 도말한 후 금속성 광택집락의 의심균주는 IMViC test 및 API kit를 이용하여 *Escherichia coli*로 확정하였다.

항균제 감수성 시험

분리동정된 각 비브리오 균주의 항균제 감수성은 Acar and Goldstein (1991)의 디스크 확산법과 미국 NCCLS (National

Committee for Clinical Laboratory Standards, 2004)에 준하여 시험하였다. 즉, 분리된 각 균주는 Muller Hinton Broth (Merck, Germany)에서 35°C, 18~24시간 배양한 다음 균주 배양액의 농도를 McFarland No. 0.5로 희석 조정하였다. 각 희석된 균액은 미리 1% 농도가 되도록 NaCl를 첨가한 두께 4 mm의 Muller Hinton Agar (Merck, Germany) 평판에 도말하였다. 균액이 접종된 Muller Hinton Agar 평판은 5분간 방치하여 균액을 흡수시킨 후 항균제 디스크 (ϕ 8 mm)를 평판에 고착시켰다. 이 때 항균제 디스크는 균 접종 후 15분 이내에 고착시켰으며, 시험 항균제는 amikacin (30 μg ; AN), ampicillin (10 μg ; AM), amoxicillin/clavulanic acid (30 μg ; AmC), cefazolin (30 μg ; CZ), cefotaxime (30 μg ; CTX), ceftiofloxacin (30 μg ; FOX), cephalothin (30 μg ; CF), chloramphenicol (30 μg ; C), ciprofloxacin (5 μg ; CIP), doxycycline (30 μg ; D), enrofloxacin (5 μg ; ENO), gentamicin (10 μg ; GM), imipenem (10 μg ; IPM), norfloxacin (10 μg ; NOR), streptomycin (10 μg ; S), tetracycline (5 μg ; TE), sulfamethoxazole/trimethoprim (25 μg ; SXT) 등 17종으로 BBL사 제품을 사용하였다. 항균제 디스크를 고착시킨 Muller Hinton Agar 평판은 35°C, 16~18시간 배양한 다음 균의 증식 저해대 (inhibition zone)의 크기를 calipers로 측정하여 감수성 유무를 판별하였으며, 감수성 결과의 정도관리를 위하여 E. coli ATCC 25922를 표준균주로 사용하여 각 항균제 디스크에 대한 역가를 확인하였다.

결과 및 고찰

*Escherichia coli*의 분리 및 항균제 내성률

2004년 5월부터 10월까지 남해안 6개 지역의 어류양식장 11개소에서 양식어류 66점 및 해수 60점을 대상으로 *E. coli*를 분리하였는데, 해수에서 139균주, 어류에서 177균주로 모두 316균주를 분리하였다. 지역별 분리현황은 완도에서 152균주로 가장 많이 분리되어 48.1%를 차지하였으며, 다음으로 거제에서 70균주, 여수에서 50균주, 부산에서 23균주, 제주에서 16균주, 통영에서 5균주의 순으로 나타났다 (Table 1).

분리된 316균주를 대상으로 1종 이상의 항균제에 대하여 내성을 나타내는 내성균 (Antimicrobial resistant bacteria; ARB)과 4종 이상의 항균제에 내성을 나타내는 다제내성균 (Multiple antimicrobial resistant bacteria; MARB)으로 구분하여 Table 1에 나타내었다. 시험에 사용된 17종의 항균제에 대하여 분리균주 중 25균주 (7.9%)에서만 감수성을 나타내었고, 291균주(92.1%)에서 최소 1종 이상의 내성을, 그리고 4종 이상의 다제내성균은 173균주 (54.7%)로 비교적 높은 내성율을 나타내었다. 분리원별로 구분하여 내성율을 살펴보면 내성균은 해수에서 129균주 (41%), 어류에서 162균주 (51%)를 나타내었으며, 다제내성균은 해수에서 72균주 (23%), 어류에서 101균주 (32%)로 분리원에 따른 내성율과 다제내성율은 해수에서보다 어류에서 다소 높은 것으로 나타났다.

Lee et al. (2003)에 의하면 시중에서 유통되고 있는 다양한 수산물로부터 분리한 *E. coli*를 대상으로 12종의 항균제 내성

Table 1. Number of antimicrobial resistant bacteria and multiple antimicrobial resistant bacteria of *Escherichia coli* strains isolated from seawater and fishes by sampling area

Sampling area	No. of samples		Isolates	No. of strains			
	Fish	Seawater		ARB ¹⁾		MARB ²⁾	
				Fish	Seawater	Fish	Seawater
Busan	6	6	23	6	14	6	5
Geoje	12	12	70	14	53	8	32
Tongyeong	12	6	5	2	2	0	1
Yeosu	12	12	50	37	7	15	4
Wando	12	12	152	90	50	59	27
Jeju	12	12	16	13	3	13	3
Sub total				162	129	101	72
Total	66	60	316	291		173	

1) ARB; Antimicrobial resistant bacteria.

2) MARB; Multiple antimicrobial resistant bacteria.

시험을 실시한 결과 51%의 내성율과 6.1%의 다제내성율을 나타내어 본 연구결과보다 훨씬 낮은 내성율을 나타내었다 그러나 이러한 결과는 실험에 사용된 시료가 어패류, 갑각류, 연체류 등 바다에서 자연의 상태로 주로 서식하는 수산물을 대상으로 한 반면 본 연구에서 시료로 채취한 양식어류와 해수는 항균제의 직접적인 사용에 노출되어 있을 뿐 아니라 육상으로부터 유입되는 각종 항균제 혹은 내성세균에 의한 간접적인 영향으로 내성의 정도가 높아졌을 충분한 가능성을 가지고 있다. Tendencia and Pena (2001)은 새우양식장에서 항균제 사용이력에 따라 전혀 사용하지 않은 경우, 얼마 전까지 사용한 경우, 그리고 최근에도 사용하고 있는 경우 등으로 구분하여 각 양식장에서 분리한 비브리오속 등 그람 음성세균에 대한 항균제 내성시험을 실시한 결과, 최근에도 항균제를 사용하고 있는 양식장에서의 다제내성균의 비율이 다른 양식장에 비하여 훨씬 높았다고 보고하였다. 그리고 Longlois et al. (1988)은 TE의 사용이 중단된 이후에도 몇 년간 지속적으로 내성이 존재한다고 하였으며, TE를 사료첨가제로 사용하지 않았던 농가에서도 TE에 대한 내성율이 90%로 보고되고 있어 배합사료나 치료 목적으로 사용된 TE에 이미 내성을 획득한 균은 항균제의 사용이 중단된 이후에도 지속적으로 농가에 존재하는 것으로 추정된다.

또한 Kümmerer (2009)에 의하면 축산동물이나 사람에게 투여한 항균제는 소화기관에서 완전히 소화 흡수되지 않고, 섭취한 항균제의 약 70% 정도가 성분의 변화없이 그대로 배설된다고 보고하였는데, 동물이나 사람의 분변에 포함되어 배출되는 각종 항균제와 내성세균들은 대부분 정화시설을 거치지 않고 일부는 그대로 바다로 유입됨으로써 어류양식장에 간접적인 영향을 미치게 될 것이다.

한편, 국내에서 유통되고 있는 동물용 항균제 중 대부분을 차지하는 축산용 항균제의 경우 축종별 판매실적을 살펴보면 돼지에 대해서 53.5~57.3%로 가장 많이 판매되었으며, 다음으로 닭에 대해서 19.3~24.2%, 그리고 소에 대해서 7.1~8.2%로 사용되었다. 이에 따라 국내에서 사용되고 있는 가축들 중에서 주종을 이루는 소, 돼지, 닭의 분변으로부터 분리된 *E. coli*에 대한 항균제 내성 연구결과에서도 높은 내성을 나타내었는

데, 각 축종별 내성율은 닭과 돼지에서 97-98%, 소에서 50%를 나타내었으며, 다제내성율은 닭과 돼지에서 모두 68%를, 그리고 소에서는 9%를 나타내어 닭과 돼지의 분변으로부터 분리된 *E. coli*의 내성율과 다제내성율은 우려할 정도로 높은 것으로 나타났다 (Lim et al., 2007a; Lim et al., 2007b; Kim et al., 2007).

분리균주의 항균제 내성 경향

해수 및 어류에서 분리된 *E. coli* 316균주를 대상으로 한 17종의 항균제에 대한 감수성 시험결과를 Fig. 1에 나타내었다. 항균제들 중에서는 tetracycline 계열의 TE에서 74.1%로 가장 높은 내성율을 나타내었으며, 같은 계열의 D에서도 66.5%의 높은 내성율을 나타내었고, 다음으로 cephalosporine 계열의 CF에서 69.9%의 내성율을 나타내었다. Lee et al. (2003)이 보고한 각종 수산물로부터 분리한 *E. coli*에서의 TE

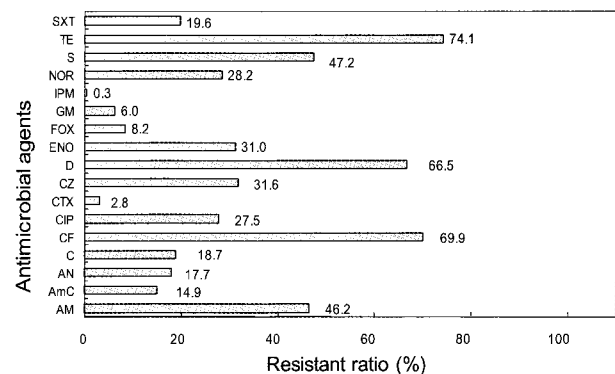


Fig. 1. Antimicrobial resistant pattern of *Escherichia coli* isolates from seawater and farmed fishes (SXT, Sulfamethoxazole / trimethoprenem; TE, Tetracycline; S, Streptomycin; NOR, Norfloxacin; IPM, Imipenem; GM, Gentamicin; FOX, Cefoxitin; ENO, Enrofloxacin; D, Doxycycline; CZ, Cefazolin; CTX, Cefotaxime; CIP, Ciprofloxacin; CF, Cephalothin; C, chloramphenicol; AN, Amikacin; AmC, Amoxillin/clavulanic acid; AM, Ampicillin).

및 CF의 내성율은 각각 38%와 25%로 나타났으며, Cho and Kim (2008)이 보고한 도축장 중사자 및 소, 돼지의 분변으로부터 분리한 *E. coli*에서는 TE와 CF의 내성율이 각각 48~52% 및 30~43%로 나타났는데, 이들은 모두 본 결과보다도 훨씬 낮은 내성율을 나타내었다. 그러나 Cho et al. (2006)은 실제 소, 돼지, 닭을 사육하고 있는 사육장에서 각 가축의 분변을 시료로 하여 분리한 *E. coli*에서의 TE의 내성율이 닭과 돼지에서 각각 93% 및 98%, 그리고 소에서 32%로 보고하고 있어 닭과 돼지의 경우 본 결과보다 훨씬 높았으며 소에서는 조금 낮은 것으로 나타났다. CF의 내성율은 닭과 돼지에서 26~30%로 큰 차이를 나타내지 않았으나 소에서는 1%로 매우 낮은 것을 알 수 있었다.

TE는 수산 및 축산분야에 있어서 예로부터 질병예방 및 사료 첨가제로 오랜 기간동안 사용되어져 오고 있는데, TE의 내성은 대부분의 경우 다른 균으로부터 혹은 균종간의 내성을 획득함으로써 내성을 나타낸다 (Von Baum and Marre, 2005). 국내에서도 전체 항균제 판매량의 약 50% 이상이 tetracycline 계열의 항균제로 보고되고 있어 사용량에 비례하여 내성율도 높은 것으로 사료된다 (KFDA, 2007).

한편 본 결과에서의 항균제별 내성율에 있어서 TE, D, CF를 제외하고도 S, ENO, AM, CZ에서 31.0~47.2%의 다소 높은 내성율을 나타내었으며, NOR, CIP, SXT, C, AN, AmC에서는 14.9~28.2%의 내성율과 FOX, GM, CTX, IPM에서는 0.3~8.2%의 낮은 내성율을 나타내었다.

17종의 항균제 중 가장 감수성이 높은 항균제는 β -lactam계 중 carbapenem계 항균제인 IPM이었는데, 이는 제주의 넙치 양식장에서 분리한 한 균주를 제외하고는 모든 균주에서 감수성을 나타내었다. β -lactam계열에 속하는 IPM은 소나 돼지의 축사 주변에 존재하는 분변, 퇴비, 지하수 등 환경에서 유래한 *E. coli*의 항균제 내성 시험결과에서도 모든 분리균주에서 감수성을 나타내었다는 여러 보고가 있다 (Choi et al., 2006; You et al., 2006).

β -lactam계열에 속하는 IPM, FOX, CZ, CTX, CF, AmC 중에서는 CZ와 CF를 제외하고는 내성율이 0.3~14.9%로 전반적으로 낮은 내성을 나타내었는데, 이는 축산의 경우에도 유사한 결과를 나타내었다. Lee et al. (2005)은 닭의 분변으로부터 분리한 *E. coli*의 항균제 내성시험결과 IPM, FOX, CZ, CTX, AmC에서 0.7~1.4%의 내성율을, 그리고 Choi et al. (2006)은 돼지 분변, 퇴비로부터 분리된 균주에서도 동일 항생제에 대해서 0~16.2%로 비교적 낮은 내성율을 나타내었다고 보고하였다.

한편 국내의 2006년도 동물용 항균제 판매실적을 살펴보면, 총 1,457,808 kg의 항균제가 생산 판매되었는데, 이 중 tetracyclines 계열의 항균제가 전체의 43.2%를 차지하였으며, 다음으로 penicillines 계열이 15.4%, sulfonamides 계열이 12.6%, aminoglycosides 계열이 5.6% 등의 순이었다 (KFDA, 2007). 이를 본 연구결과와 비교해 보았을 때 CF를 제외하고는 tetracyclines 계열인 TE와 D, aminoglycosides 계열의 S, 그리고 penicillins 계열의 AM에서 항균제 내성이 높게 나타나 항균제

사용과 내성율과는 밀접한 상관관계가 있다는 것을 시사해 주고 있다. 어류양식장에서 사용하는 항균제는 양식어류로부터 유래하거나 자연환경에 존재하는 세균의 내성에 영향을 줄 수 있다는 보고는 많이 이루어져 있다. Herwig et al. (1997)은 항균제를 많이 사용한 어류양식장의 침전물로부터 분리된 세균의 내성율은 항균제를 거의 사용하지 않은 어류양식장의 침전물로부터 분리한 세균의 내성율에 비하여 매우 높았다고 보고하였다. 또한 낮은 농도의 항균제라도 장기간 사용할 경우 세균에 대한 약제 내성을 증가시킬 뿐 만 아니라 세균이 다제내성균으로 발전될 가능성도 있으며 내성인자들이 병원 세균으로 전이됨으로써 항균제의 처리효과가 감소할 수 있다는 보고도 있다 (Tendencia and De la Pena, 2001).

축산의 경우에도 마찬가지로 소, 돼지, 닭으로부터 분리한 *E. coli*를 대상으로 11종의 항균제에 대한 내성시험을 실시한 결과 돼지에서 AmC와 AN을 제외한 9종의 항균제에서 내성율이 높았다는 보고와 밀접한 상관성을 보여주고 있다 (Cho et al., 2006). 또한 3종류의 가축에서 TE에 대하여는 소에서 31.5%, 돼지에서 97.8%, 닭에서 93.0%의 내성율, 그리고 AM에 대하여는 소에서 16.9%, 돼지에서 89.1%, 닭에서 58.1%의 내성율을 나타내어 소와 돼지에서 TE 및 AM의 높은 내성율을 나타내었는데, 본 연구에서도 TE와 D에서 각각 74.1%와 66.5%, 그리고 AM에서 46.2%의 높은 내성을 나타내어 국내에서의 축산이나 수산분야 모두 판매된 항균제와 밀접한 관계를 나타내고 있으므로 항생제 오남용으로 인한 내성균의 발생을 억제하기 위해서는 향후 항균제를 사용함에 있어 적절한 사용 지침이나 계획에 준하여 사용되어야 할 것이다.

내성균주의 다제내성 패턴

어류양식장의 양식어류와 해수에서 분리된 *E. coli* 316균주를 대상으로 17종의 항균제에 대한 내성경향을 분리원별로 구분하여 어류에서 분리된 *E. coli* 177균주의 내성패턴을 Table 2에, 그리고 해수에서 분리된 *E. coli* 139균주의 내성패턴을 Table 3에 나타내었다.

어류에서 나타난 항균제 내성패턴 중에서 1제 내성이 14.7%로 가장 많았으며, 다음으로 2제 내성이 13.0%, 9제 내성이 9.6%, 12제 내성이 8.5%, 3제 및 11제 내성이 7.3%, 그리고 5제, 8제, 10제 내성이 6.2%를 나타내었으며, 13제~16제 내성은 0.6~1.1%를 나타내었다. 그리고 시험에 사용된 17종의 항균제 중 모든 항균제에 감수성을 나타낸 균주는 15균주 (8.5%)로 나타났다. 이들 내성균들의 내성양상은 매우 다양하여, 84종의 상이한 내성유형을 나타내었는데, 그 중 TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ의 12제 내성이 13균주 (14.7%)로 가장 빈번한 양상을 나타내었으며, 다음으로 1제 내성인 CF와 TE에서 11균주 (6.2%) 및 9균주 (5.1%)에서 많은 내성빈도를 나타내었다.

해수에서 나타난 항균제 내성패턴 중에서는 3제 내성이 23.0%로 가장 많았으며, 다음으로 4제 내성이 15.8%, 2제 내성이 10.1%, 그리고 1제, 5제, 6제, 7제, 8제 내성이 6.5~7.9%를 나타내었으며, 9제~14제 내성은 0.7~2.9%를 나타내었다. 그

리고 모든 항균제에 감수성을 나타낸 균주는 10균주 (7.2%)로 나타났다. 해수에서의 내성균들의 내성유형은 65종으로 어류 보다는 적었는데, 내성유형 중에서는 TE, D, CF의 3제 내성이 10균주 (7.2%)로 가장 많았으며, 다음으로 TE, D, CF, S의 4제 내성이 8균주 (5.8%)인 것으로 나타났다.

Sung et al. (2008)의 보고에 의하면 16종의 각 항균제에 대해 내성을 가진 *E. coli*를 대상으로 접합에 의한 내성 전달을

Table 2. The antimicrobial resistance profiles of *E. coli* isolates from fishes

No. of antimicrobials	Most frequent patterns	No. of isolated strain	Total (%)
0		15	8.5
1	TE	9	14.7
	CF	11	
2	Others	6	13.0
	TE, CF	8	
	TE, D	5	
	CF, S	2	
	Others	8	
3	TE, D, CF	5	7.3
	TE, D, S	3	
	CF, CZ, AN	2	
	Others	3	
4	TE, D, CF, AN	2	3.4
	TE, D, CF, AM	2	
	Others	2	
5	TE, D, CF, AM, CZ	5	6.2
	Others	6	
6	TE, D, CF, AM, S, CZ	1	2.3
	CF, AM, CZ, GM, AN, FOX	1	
7	Others	2	3.4
	TE, D, CIP, ENO, NOR, S, SXT	1	
8	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, S, SXT	4	6.2
	Others	7	
9	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, CZ	6	9.6
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, FOX	3	
10	Others	8	6.2
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT	5	
11	Others	6	7.3
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC	3	
12	Others	10	8.5
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ	13	
13	Others	2	0.6
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ, GM	1	
14	Others	1	0.6
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ, FOX, CTX	1	
15	Others	2	1.1
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ, GM, AN, FOX	2	
16	Others	1	1.1
	TE, D, CF, CIP, ENO, NOR, AM, S, C, SXT, AmC, CZ, GM, AN, FOX, CTX	1	
Total		177	100

시험을 실시한 결과 CTX, FOX는 모두 내성이 전달되었으며, AM, S, CIP의 내성 전달율은 각각 36.3%, 35.5%, 33.7%로 나타났다. 이처럼 *E. coli*는 사람이나 동물의 장내에 상재하는 정상세균총으로 직간접적으로 항균제에 항상 노출되어 있어 이들 균이 보유하고 있는 내성유전자는 다른 사람이나 동물에 내성을 전달하는 주요한 원인이 되기도 한다.

특히 장내세균에서의 다제내성균이 존재할 경우 내성인자를 encoding하고 있는 이동성 인자인 plasmids, transposons 그리고 integrons 등의 수평적 전이 (horizontal transfer)에 의해 내성이 전파된다고 보고되고 있다 (Lau and Ingham, 2001). 그러나 Son et al. (2005)이 보고한 국내 어류양식장의 양식어류 및 해수에서 분리한 *Vibrio parahaemolyticus*와 *V. alginolyticus*에서 4제 이상의 다제내성율이 각각 7.2% 및 20.8%로 본 연구결과에서의 *E. coli*의 다제내성율보다 훨씬 낮은 것으로 나타나 장내세균에서의 다제내성 인자가 해양세균인 비브리오균으로의 균종간 내성 전이 정도는 비교적 낮은 것으로 추정되었다.

Table 3. The antimicrobial resistance profiles of *E. coli* isolates from seawater

No. of antimicrobials	Most frequent patterns	No. of isolated strain	Total (%)
0		10	7.2
1	CF	5	7.9
	TE	2	
2	Others	4	10.1
	TE, D	3	
	CF, CZ	3	
	TE, SXT	2	
	Others	6	
3	TE, D, CF	10	23.0
	TE, D, S	5	
	TE, D, SXT	2	
	CF, AM, GM	2	
4	Others	13	15.8
	TE, D, CF, S	8	
	TE, D, CF, AN	4	
	TE, D, S, AN	2	
5	Others	8	7.2
	TE, D, CF, S, AM	3	
6	Others	7	7.9
	TE, D, CF, S, AM, CZ	4	
7	Others	3	6.5
	TE, D, CF, S, AM, SXT	3	
8	Others	4	7.2
	TE, D, CF, S, AM, AmC, CZ, FOX	3	
9	Others	2	2.9
	TE, D, S, AM, CIP, ENO, NOR, SXT	2	
10	Others	5	0.7
	TE, D, CF, S, AM, CIP, ENO, NOR, SXT	3	
11	Others	1	1.4
	TE, D, CF, S, AM, CIP, ENO, NOR, CZ, SXT	1	
12	Others	1	1.4
	TE, D, CF, S, AM, CIP, ENO, NOR, AmC, CZ, SXT, C	2	
14	Others	1	0.7
	TE, D, CF, S, AM, CIP, ENO, NOR, AmC, C, CZ, FOX, AN, SXT, C	1	
Total		139	100

최근 일부 연구보고에서는 사람과 동물에서 유래한 살모넬라와 대장균이 같은 내성 유전자를 가지고 있는 것으로 보고하였으며 (Fey et al., 2000), 항균제가 투여되지 않은 상태에서도 진화적으로 무관한 세균간에 내성 유전자의 전이가 이루어졌을 뿐 아니라 사람, 동물, 어패류, 생활하수 등 다양한 시료에서 분리된 세균간에도 내성 유전자의 전이가 이루어진다는 것을 보고하였다 (Kruse and Sorum, 1994). 따라서 국내에서도 축산이나 환경분야로부터 분리한 대장균의 항균제 내성에 대한 관심을 넘어서 수산분야에서도 항균제 내성균의 출현이나 내성전이를 줄이기 위해서는 지속적인 모니터링이 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 2004년도 식품의약품안전청 기관지정용역과제 (과제번호-04062항내안677) 연구비 지원에 의해 국립수산물학원 (RP-2009-FS-010)에서 수행한 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Acar, J.F. and F.W. Goldstein. 1991. Disk susceptibility test. In: Antibiotics in Laboratory Medicine, Lorian, V. Ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 17-52.
- Aaestrup, F.M., F. Bager, N.E. Jesen, M. Madsen, A. Meyling and H.C. Wegener. 1998. Surveillance of antimicrobial resistance in bacteria isolated from food animals to antimicrobial growth promoters and related therapeutic agents in Denmark. APMIS, 106, 606-622.
- A.P.H.A. 1970. Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish. 4th ed., American Public Health Association, Washington, D.C., 105 pp.
- Von Baum, H. and R. Marre. 2005. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and therapeutic implications. Int. J. Medic. Microbiol., 295, 503- 511.
- Beam, J.W. and B. Buckley. 2006. Community acquired methicillin resistant *Staphylococcus aureus*: Prevalence and risk factors. J. Athl. Train., 41, 337-340.
- Cho, J.K. J.S. Ha and K.S. Kim. 2006. Antimicrobial drug resistance of *Escherichia coli* isolated from cattle, swine and chicken. Kor. J. Vet. Publ. Hlth., 30, 9-18.
- Chio, S.H., Y.J. Lee, B.H. Kim, K.S. Kim, C.K. Park, D.H. Bae, J.K. Cho, J.W. Kim, B.H. Kim and M.S. Kang. 2006. Antibiotic resistance and genotypic characterization of *Escherichia coli* isolated from pig farm environment. J. Bacteriol. Virol., 36, 159-165.
- Fey, P.D., T.J. Safraneck, M.E. Rupp, E.F. Dunne, E. Ribot, P.C. Iwen, P.A. Bradford, F.J. Angulo and S. Hinrichs. 2000. Ceftriaxone-resistant salmonella infection acquired by a child from cattle. N. Engl. J. Med., 27, 1242-1249.
- KFDA (Korean Food and Drug Administration). 2007. Monitoring of antimicrobial resistance on the food animals and meats. Seoul, 1-110.
- Frieden, T.R., S.S. Munsiff, D.E. Low, B.M. Willey, G. Williams, Y. Faur, W. Eisner, S. Warren and B. Kreiswirth. 1993. Emergence of vancomycin resistant enterococci in New York City. Lancet, 342, 76-79.
- Gaskins, H.R., C.T. Collier and D.B. Anderson. 2002. Antibiotics as growth promotants: mode of action. Anim. Biothechnol., 13, 29-42.
- Heo, J.H., M.H. Jung, M.H. Cho, G.H. Kim, K.C. Lee, J.H. Kim and T.S. Jung. 2002. The study on fish disease with reference to bacterial susceptibility to antibiotics in the southern area of Kyeongnam. J. Vet. Clin., 19, 19-22.
- Herwig, R.P., J.P. Gray and D.P. Weston. 1997. Antibacterial resistant bacteria in surficial sediments near salmon net-cage farms in Puget Sound, Washington. Aquaculture, 149, 263-283.
- Kim, A.R., Y.M. Cho, S.K. Lim, M. Her, W.S. Jeong, S.C. Jung and J.H. Kown. 2007. Antimicrobial resistance of commensal bacteria isolated from food-producing animals. I. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. isolated from chicken faecal samples. Kor. J. Vet. Publ. Hlth., 31, 41-49.
- Kruse, H. and H. Sorum. 1994. Transfer of multiple drug resistance plasmids between bacteria of diverse origins in natural microenvironments. Appl. & Environ. Microbiol., 60, 4015-4021.
- Kümmerer, K. 2009. Antibiotics in the aquatic environment: a review-part I. Chemosphere, 417-434.
- Kümmerer, K. and A. Henninger. 2003. Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluents. Clin. Microbiol. Infec., 9, 1203-1214.
- Lau, M.M. and S.C. Ingham. 2001. Survival of faecal indicator bacteria in bovine manure incorporated into soil. Lett. Appl. Microbiol., 33, 131-136.
- Lee, H., Y.H. Oh, S.G. Park and S.M. Choi. 2007. Antibiotic susceptibility and distribution of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from the seafood. Kor. J. Env. Hlth., 33, 16-20.

- Lee, J.I., G.Y. Han and H.H. Park. 2003. Characteristics and antibiotics susceptibility of *Escherichia coli* isolated from fishery products. Korean J. Food & Nutr. 16, 111-115.
- Levin, B.R., M. Lipsitch, V. Perrot, S. Schrag, R. Antia, L. Simonsen, N.M. Walker and F.M. Stewart. 1997. The population genetics of antibiotic resistance. Clin. Infect Dis., 24, Suppl, S9-16.
- Lim, S.K., H.S. Lee, J.R. Byun, S.Y. Park and S.C. Jung. 2007a. Antimicrobial resistance of commensal bacteria isolated from food-producing animals. I. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. isolated from cattle faecal samples. Kor. J. Vet. Publ. Hlth., 31, 21- 29.
- Lim, S.K., H.S. Lee, J.R. Byun, S.Y. Park and S.C. Jung. 2007b. Antimicrobial resistance of commensal bacteria isolated from food-producing animals. I. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. isolated from pig faecal samples. Kor. J. Vet. Publ. Hlth., 31, 31- 39.
- Longlois, B.E., K.A. Dawson, I. Leak and D.K. Aaron. 1988. Antimicrobial resistance of fecal coliforms from pigs in a herd not exposed to antimicrobial agents for 126 months. Vet. Microbiol., 18, 147-153.
- Marano, N.N., S. Rossiter, K. Stamey, K. Joyce, T.J. Barrett, L.K. Tolldfson and F.J. Angulo. 2000. The national antimicrobial resistance monitoring system (NARMS) for enteric bacteria, 1996-1999: surveillance for action. J. Am. Vet. Med. Associ., 217, 1829-1830.
- NCCLS. 2004. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. NCCLS document M100-S14. National Committee for Clinical Laboratory Standards, Wayne, PA.
- Son, K.T., E.G. Oh, T.S. Lee, H.J. Lee, P.H. Kim and J.H. Kim. 2005. Antimicrobial susceptibility of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio alginolyticus* from fish farms on the southern coast of Korea. J. Kor. Fish. Soc., 38, 365-371.
- Sung, M.S, J.H. Kim, J.S. Ha, J.K. Cho, S.Y. Seol and K.S. Kim. 2008. Biochemical properties and serotypes of pathogenic *Escherichia coli* isolated from poultry in Korea. Kor. J. Vet. Res., 48, 145-151
- Tendencia, E.A. and L.D. Pena. 2001. Antibiotic resistance of bacteria from shrimp ponds. Aquaculture, 195, 193-204.
- Tollefson, L., S.F. Altekruise and M.E. Potter. 1997. Therapeutic antibiotics in animal feeds and antibiotic resistance. Rev. Sci. Tech. 16, 709-715.
- Wise, R. 2002. Antimicrobial resistance: priorities for action. J. Antimicrob. Chemoth., 49, 585-586.
- You, J.Y., B.M. Moon, I.G. Oh, B.K. Baek, L.G. Li, B.S. Kim, B.D. Stein and J.H. Lee. 2006. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* O157 from cattle in Korea.. Int. J. Food Microbiol., 106, 74-78.

2009년 6월 2일 접수

2009년 6월 26일 수정

2009년 7월 2일 수리