

해수 및 담수에서 장구균과 총대장균군의 불활성화

김종민[†] · 정원화 · 최희진

국립환경과학원 환경미생물과

Inactivation Rate of Enterococci and Total Coliforms in Fresh Water and Sea Water

Jongmin Kim[†] · Weonhwa Jheong · Heejin Choi

Environmental Microbiology Division, National Institute of Environmental Research
(Received 9 October 2008, Revised 19 November 2008, Accepted 3 January 2009)

Abstract

Inactivation rates between enterococci and total coliforms were compared in order to find the suitability of enterococci as an indicator microorganism under various experiment conditions - freshwater and/or seawater, indoor and/or outdoor conditions. In case of indoor laboratory experiments, inactivation rates of enterococci (k_D : 0.050~0.082) were faster than those of total coliforms (k_D : 0.034~0.045) in freshwater matrix. In seawater matrix, however, survival rate of enterococci was longer than that of total coliforms at two out of three experiments in indoor condition. When incubated in outdoor conditions, enterococci were inactivated significantly more rapidly than total coliforms both in freshwater and seawater matrices. With these results, enterococci appear to be less suitable than total coliforms in terms of inactivation rates.

keywords : Enterococci, *Enterococcus faecalis*, *E.coli*, Inactivation rate, Indicator microorganism

1. 서론

세계적으로 먹는 물을 비롯한 위락용수 등 사람과 직·간접적으로 관계가 있는 매질의 경우 질병의 발생을 예방하기 위하여 여러 가지 방법과 기준을 이용하여 관리되고 있다. 우리나라는 '60년대 수도법이 제정된 이후 총대장균군을 지표미생물로 하는 수질기준(먹는물 포함)이 도입되어 일부 개정을 거쳐 현재까지 사용되고 있으나, 현 기준치나 지표미생물이 적절인가에 대해서는 일부 논란이 있어 왔다. 또한 새로운 분석방법의 개발로 검출이 어려웠던 세균의 분석이 일부 가능하게 되고, 오염의 종류와 양이 증가하면서 기존에 중요시 되지 않았던 새로운 지표 미생물의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 그 동안 지표미생물의 적합성에 대한 아무런 검토 없이 관례적으로 사용되어 왔던 지표 세균들에 대하여 세계적인 사용 추세 등이 감안된 새로운 지표 미생물의 도입방안에 대하여 좀더 구체적으로 고찰할 필요성이 요구된다.

미국, 호주 등 일부 선진국에서는 일반적으로 분원성오염의 지표로 사용되고 있는 총대장균군이나 분원성대장균군 또는 대장균외에 NaCl 농도에 타 미생물보다 저항성이 큰 것으로 알려진 장구균(enterococci)을 주로 위락용수인 해수에서의 지표미생물로 설정하고 있다(ANZECC and ARM-CANZ, 2000; US EPA, 2003). enterococci는 장관계 질환

의 발병과 높은 상관관계를 나타내는 것으로 알려져 있으며(Fattal et al., 1986; McBride et al., 1998; US EPA, 1986) 실험방법도 총대장균군 실험방법과 유사한 정도의 난이도를 갖는다.

본 연구는 장구균과 총대장균군의 시간에 따른 불활성화 정도를 다양한 실험조건별로 비교, 평가하여, 선진국 등에서 지표미생물로 사용 중인 장구균이 수질관리 지표미생물로 적합한지 검토하고자 수행되었다.

2. 연구방법

실험의 기본구성은 실험용 배양매체의 경우 담수는 대장균(또는 enterococci)을, 그리고 해수는 enterococci를 지표 미생물로 정한 미국 및 캐나다 위락용수 기준을 고려하여 해수와 담수로 구분하였고, 비교대상 균주는 현재 우리나라를 비롯하여 여러나라에서 지표미생물로 사용하고 있는 총대장균군(또는 대장균)으로 정하였다. 또한 여러 환경조건에서도 유사한 결과가 도출되는지 검토하기 위하여 시료의 조성 및 접종물을 달리하여 실험실내에서 3회, 외부환경에서 2회 실험을 수행하고 시간에 따른 불활성화율을 측정하였다.

실험에 사용한 담수는 한강수계 경기도 구리시에 위치한 한강시민공원(37°34'41"N, 127°09'18"E)에서 채수하였고 해수는 인천시 송도신도시 인근 해안(37°21'51"N, 126°38'26"E)에서 채수하였다. 이때 해수의 염분농도는 28.1~30.8 p.s.u. (practical salinity unit)였다. 접종물은 인천 승기하수처리장

[†] To whom correspondence should be addressed.
jongm@dreamwiz.com

Table 1. Experimental design

No. of Exp.	Inoculant	Matrix	Sample composition	Place of Exp.
1, 2	Culture*	Seawater	culture 1 mL + seawater 2,000 mL	In laboratory
		Freshwater	culture 1 mL + freshwater 2,000 mL	
3	Effluent**	Seawater	effluent 300 mL + seawater 2,700 mL	
		Freshwater	effluent 300 mL + freshwater 2,700 mL	
4,5	Culture	Seawater	culture 20 mL + seawater 20,000 mL	Outdoor environment
		Freshwater	culture 20 mL + freshwater 20,000 mL	
		Seawater	culture 2 mL + seawater 20,000 mL	
		Freshwater	culture 2 mL + freshwater 20,000 mL	

* culture : Use of standard strain (*Escherichia coli*, KCTC 1039; *Enterococcus faecalis* ATCC 29212) for inoculation

** effluent : Use of effluent for inoculation

방류수와 표준균주(*Escherichia coli*, KCTC 1039, 한국생명공학연구원 및 *Enterococcus faecalis* ATCC 29212(American Type Culture Collection, USA))를 사용하였으며, 방류수는 원액 그대로, 그리고 표준균주는 Tryptic soy broth (Difco, USA) 배지에 35°C, 48시간 정치 배양하여 실험하였다.

Total coliforms 또는 *Escherichia coli*(*Esch. coli*) 정량분석은 수질오염공정시험법의 총대장균군 분석방법 중 막여과실험법(환경부, 2002)에 따라 실험을 수행하였으며 mEndo agar LES(difco, USA)배지를 사용하였다. Enterococci 또는 *Enterococcus faecalis*(*Ente. faecalis*)의 정량분석은 EPA 1600(US EPA, 2006) 방법에 따라 mEI agar배지를 사용하여 막여과법으로 분석하였다.

조사결과는 로그로 표기하였으며 로그 변형된 세균분석 결과는 불활성화 계수(k_D , 시간당 log 단위)값을 구하기 위해 선형회귀분석을 적용하였다. 조사결과들을 비교하기 위해 세균농도(cfu/100 mL로 표기)가 90%제거되는 시간(T_{90})을 구하였다. T_{90} 값은 k_D 값으로부터 얻었다($2.303/k_D$, $\ln(0.1) = -2.303$).

2.1. 실험실 조건에서 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도 조사

실험실 내 실험은 총 3회 수행하였다. 1차 및 2차 실험에서는 2 L 용량의 불투명한 polypropylene재질의 Nalgen bottle(Nalgen, USA)에 멸균하지 않은 해수와 담수를 각각 2 L씩 넣어 해수 실험수조와 담수 실험수조로 구분하고, TSB배지에서 배양된 *Esch. coli* 및 *Ente. faecalis* 표준균주 배양액 각 1 mL씩을 해수 및 담수 실험수조에 접종하였다. 이때 수온은 약 23°C를 유지하였으며, 실험 수조수는 실험 기간 중에 자석교반기(Super-Nuova multi-place, Barnstead, USA)를 이용하여 교반시키고, 1차 실험은 '06. 6. 27부터 '06. 7. 4까지 총 8일간 6회, 2차 실험은 '06. 7. 25부터 '06. 8. 7까지 총 14일간 9회 세균수의 변화를 조사하였다.

3차 실험에서는 1 gallon 용량의 dark glass bottle(Nalgen, USA)을 사용하여 2,700 mL 해수와 담수 각각에 승기하수 처리장 방류수 300 mL씩을 섞어 1, 2차 실험에서처럼 실험수조수를 교반시키고, '06. 9. 4부터 '06. 9. 11까지 총 8일간 9회 세균수의 변화를 조사하였다.

2.2. 실외 환경조건에서 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도 조사

햇빛에 노출된 실외조건 실험은 총 2회 수행하였다. 유리 재질의 투명한 실험수조(345 × 345 × 400 mm) 2개에 각각 해수와 담수 20 L를 넣고 각 수조의 물이 담겨진 부분까지 차양막을 부착하여 실험실 건물 옥상에 설치하였다. 수조아래에 자석교반기를 설치하여 실험기간 동안 약하게 교반시켰다. 각 수조에 TSB배지에 배양한 *Esch. coli*와 *Ente. faecalis* 표준균주 배양액을 1차 실험에서는 각 20 mL씩(고농도), 그리고 2차 실험에서는 각 2 mL씩(저농도) 접종하여 시간에 따른 세균수의 변화를 측정하였다. 1차 실험은 2006년 9월 25일부터 9월 28일까지 총 4일간 관찰하여 기간 중 9회 세균수의 변화를 조사하였으며, 2차 실험은 2006년 10월 30일부터 11월 6일까지 총 8일간 관찰하여 기간 중 11회 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험실 조건에서 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도 조사

3.1.1. 표준균주 접종

표준균주 접종에 의한 사멸속도 조사는 2회 반복하여 수행하였다. 세균의 90%가 불활성화되는데 걸리는 시간(T_{90})을 비교해보면, 1차 실험에서는 해수의 경우 *Ente. faecalis*가 41.1시간으로 *Esch. coli* (31.5시간)보다 오래 생존하는 것으로 나타났으며, 담수에서는 168시간 경과시까지 *Esch. coli* 수는 감소하지 않고 초기에 오히려 증가하는 추세를 보였으나 *Ente. faecalis*는 급격하게 감소하였다. 또한 일부 실험조에서 *Esch. coli*가 시간에 따라 재 증식하였는데, 김종민 등(2007)과 Noble 등(2004)의 실험에서도 유사한 결과가 관찰된 바 있다. 이와 관련하여, Hurst 등(2002)은 *Esch. coli*가 환경 중에 배출될 경우 생존률이 일정하지 않고, 열대나 우리나라 같은 중온 기후에서는 재성장 가능성이 있다고 보고한 바 있다(McFeters, 1990).

2차 실험에서는 해수의 경우 *Esch. coli*의 T_{90} 은 36.5시간으로 *Ente. faecalis*(25.3시간)보다 오래 생존하였으며, 담수에서도 *Esch. coli*(68.5시간)가 *Ente. faecalis*(45.9시간)보다 더 오래 생존하는 것으로 나타났다. 또한 2종의 지표세

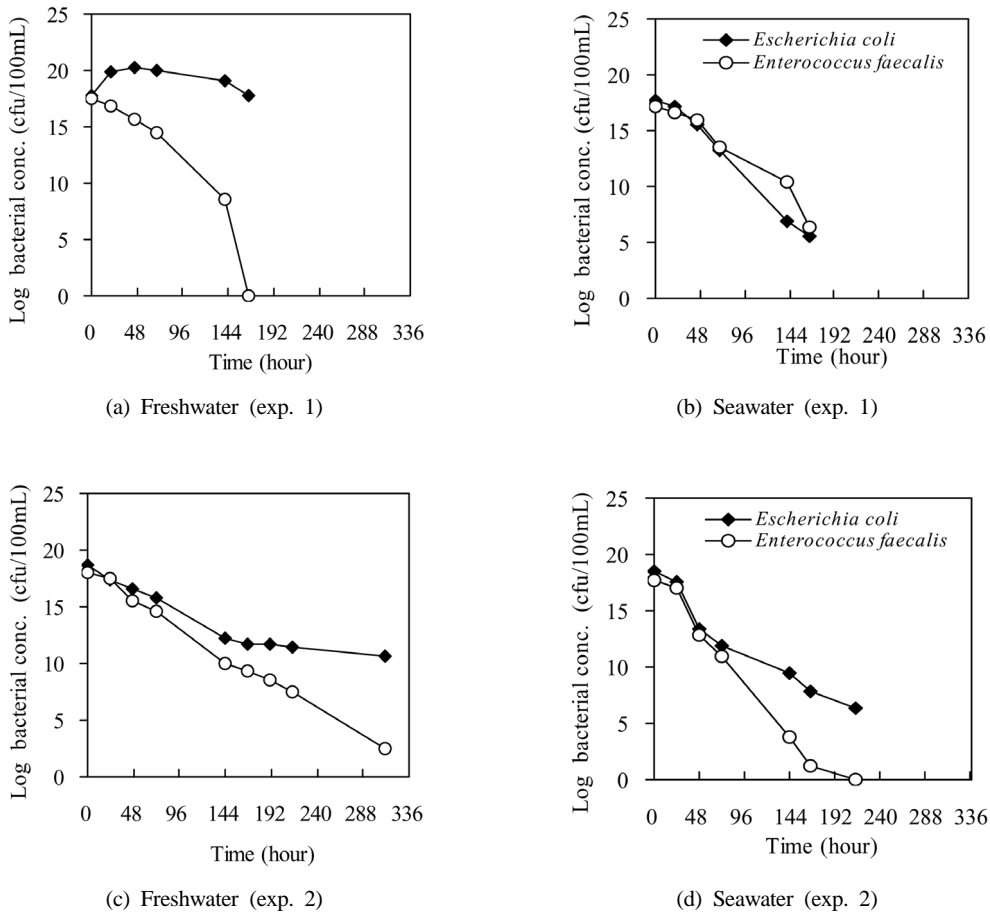


Fig. 1. Inactivation curves for *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* in freshwater and seawater at indoor experiment 1 and 2.

Table 2. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce bacteria density by 90% (T_{90}) during indoor experiment 1 and 2

Exp.	Matrice	Indicator bacteria	k_D	T_{90} (h)
1	Freshwater	<i>Escherichia coli</i>	-	-
		<i>Enterococcus faecalis</i>	0.082	28.2
	Seawater	<i>Escherichia coli</i>	0.073	31.5
		<i>Enterococcus faecalis</i>	0.056	41.1
2	Freshwater	<i>Escherichia coli</i>	0.034	68.5
		<i>Enterococcus faecalis</i>	0.050	45.9
	Seawater	<i>Escherichia coli</i>	0.063	36.5
		<i>Enterococcus faecalis</i>	0.091	25.3

균 모두 해수보다 담수에서 더 오래 생존하였다.

즉, 담수에서는 2회 모두 *Esch. coli*가 *Ente. faecalis*보다 더 오래 생존하는 것으로 나타났으며, 해수의 경우 1차 실험에서는 *Ente. faecalis*가 2차 실험에서는 *Esch. coli*가 상대적으로 더 오래 생존하는 것으로 나타났다(Fig. 1, Table 2).

3.1.2. 하수처리수 접종

실험실 조건에서 하수처리장 방류수를 접종물로 하여 해수 및 담수 실험조에 접종하고, 시간에 따른 total coliforms와 enterococci의 시간에 따른 불활성화율을 비교, 평가하였

Table 3. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce bacteria density by 90% (T_{90}) during indoor experiment 3

Matrice	Indicator bacteria	k_D	T_{90} (h)
Freshwater	Total coliform	0.045	51.6
	Enterococci	0.051	44.8
Seawater	Total coliform	0.051	45.0
	Enterococci	0.036	63.3

다. 하수처리수를 접종한 후 실험조내 수조수의 초기 total coliforms 농도는 $4.1\sim 4.3 \times 10^5$ cfu/100 mL이었으며, enterococci 농도는 $2.4\sim 2.5 \times 10^3$ cfu/100 mL 범위였다.

실험결과, 해수에서는 enterococci ($T_{90} = 63.3$ 시간)가 total coliforms ($T_{90} = 45$ 시간)보다 오래 생존하였으나, 담수에서는 total coliforms ($T_{90} = 51.6$ 시간)가 enterococci ($T_{90} = 48.8$ 시간)보다 오래 생존하는 것으로 나타냈다(Fig. 2, Table 3).

3.2. 실외 환경조건에서 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도 조사

실외환경에서 인천 해수와 한강 담수를 매질로 하여 각 수체내 지표세균들의 시간에 따른 생존율을 고농도 실험군과 저농도 실험군으로 구분하여 2회 측정하였다. 실험에 사용된 해수 및 담수시료내 세균수가 불활성화 정도를 측

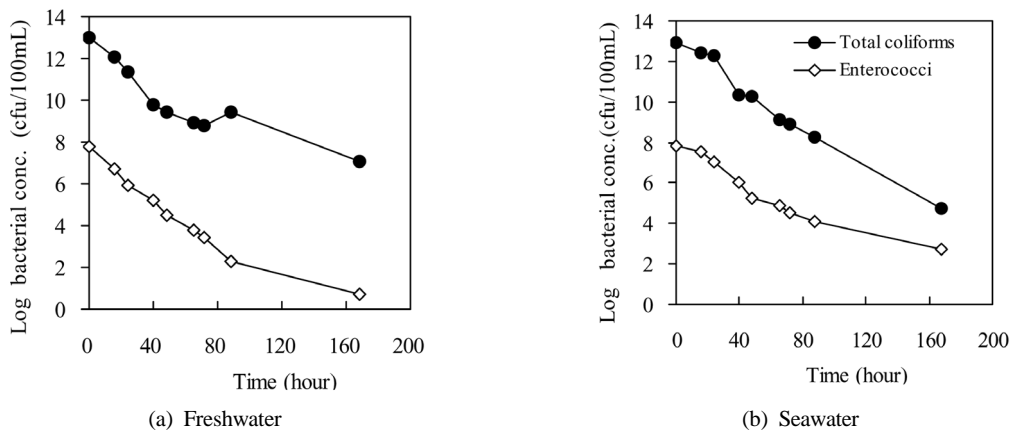


Fig. 2. Inactivation curves for total coliforms and enterococci in freshwater and seawater at indoor experiment 3.

정하기에는 너무 적어, 미리 배양한 각각의 표준균주(*Esch. coli* 및 *Ente. faecalis*)를 해수 및 담수매체에 접종하여 고농도(1차실험) 및 저농도(2차실험) 실험군으로 하였다. 표준균주를 접종한 후 각 실험조의 초기 지표세균 농도는 1차 실험의 경우 total coliforms(대부분 *Esch. coli*) $2.4\sim 2.5 \times 10^8$, enterococci(대부분 *Ente. faecalis*) $2.9\sim 3.2 \times 10^7$ 이었고, 2차 실험에서는 total coliforms $1.6\sim 1.9 \times 10^7$, enterococci $4.2\sim 5.4 \times 10^6$ 이었다.

고농도 및 저농도 실험군 모두 매체(해수 또는 담수)에 상관없이 total coliforms가 enterococci보다 뚜렷하게 오래 생존하는 것으로 나타났다. 고농도 실험군(1차 실험)의 경우, 해수에서 enterococci의 T_{90} 은 7.0시간으로 total coliforms(14.4시간)보다 2배 이상 빨리 사멸하였으며, 담수에서는 4배 이상 더 빨리 사멸하였다. 또한, total coliforms의 사멸 정도는 담수나 해수 모두 큰 차이를 보이지 않았으나(14.4~15.4시간), enterococci의 경우 해수(7.0시간)보다 담수(3.6시간)에서 더 빨리 사멸하는 것으로 나타났다.

1차 실험보다 상대적으로 초기세균농도가 낮은 실험군을 사용한 2차 실험결과를 보면, 해수에서 enterococci의 T_{90} 은 4.8시간으로 total coliforms(13.8시간)보다 2배 이상 빨리 사멸하였으며, 담수에서는 9배 이상 빨리 사멸하였다. 또한, total coliforms의 사멸 정도는 담수(39.7시간)보다 해수(13.8시간)에서 뚜렷하게 빨리 사멸되었으나, enterococci의 경우 해수(4.8시간)나 담수(4.0시간) 모두 유사한 양상을 보였다 (Table 4, Fig. 3).

햇빛은 세포의 배양능력에 커다란 손실을 야기하는 것으로 알려져 있는데(Davies and Evison, 1991), Noble 등(2004)은 해수와 담수에서 분원성 오염수내 지표미생물의 불활성화 실험에서, 실험실 내에서는 *Esch. coli*가 enterococci보다 높은 불활성화율을 나타냈으나, 실외 환경조건인 햇빛 하에서는 본 실험과 동일하게 *Esch. coli*보다 enterococci가 더 높은 불활성화율을 나타냈다고 보고한 바 있다. 그러나 Barcina 등(1990)은 enterococci가 *Esch. coli*보다 햇빛에 대한 저항성이 더 강하다고 본 실험과는 상반된 견해를 밝히고 있어 지속적인 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

Table 4. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce bacteria density by 90% (T_{90}) during outdoor experiment 1 and 2

Exp.	Matrice	Indicator organism	k_D	T_{90} (h)
1	Freshwater	Total coliforms	0.150	15.4
		Enterococci	0.648	3.6
	Seawater	Total coliforms	0.160	14.4
		Enterococci	0.331	7.0
2	Freshwater	Total coliforms	0.058	39.7
		Enterococci	0.579	4.0
	Seawater	Total coliforms	0.167	13.8
		Enterococci	0.477	4.8

3.3. 실험결과 평가

Enterococci는 여러 지표미생물중에서도 병원균, 혹은 수영 등 물과의 접촉시 발생한 위장염과의 상관관계가 매우 높다고 알려져 있으며(Fattal et al., 1986; McBride et al., 1998; Olga and Satoshi, 2006; US EPA, 2001) 검출방법도 별로 어렵지 않을 뿐만 아니라, mEI배지(Difco, USA), Enterolert(IDEXX, USA)등 시판되는 배지로 간편하게 검출이 가능하다. 또한 선행연구결과에서 enterococci가 6.5%의 NaCl농도와 40% bile salt에서도 생존한다고 보고된 바 있어(Schleifer and Kilpper-Balz, 1987), 해수에 대한 효율적인 지표미생물로서의 가능성을 시사한다. 미국, 호주 등 일부국가에서는 이러한 점을 반영하여 위락용수에 대한 지표미생물로 설정하고 있다.

그러나 총 5회에 걸친 total coliforms와 enterococci간의 사멸을 비교실험 결과, 상대적으로 total coliforms가 더 오래 생존하는 것으로 나타나, 불활성화율로만 판단할 때 enterococci가 현 지표세균인 total coliforms보다 지표생물로서 뚜렷하게 우세한 특징은 관찰할 수 없었다. 이러한 결과는 Noble 등(2004)의 결과와 유사하였는데, 다른 문헌에서는 enterococci가 수환경에서 더 오래 생존한다고(Davier-Colley et al., 1994; Sinton et al., 1994, 2002) 상반된 결과가 보고된 바 있어, 다양한 조건에 의한 실험 등 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

비교적 온도가 일정하고(25°C) 햇빛의 영향이 거의 없는

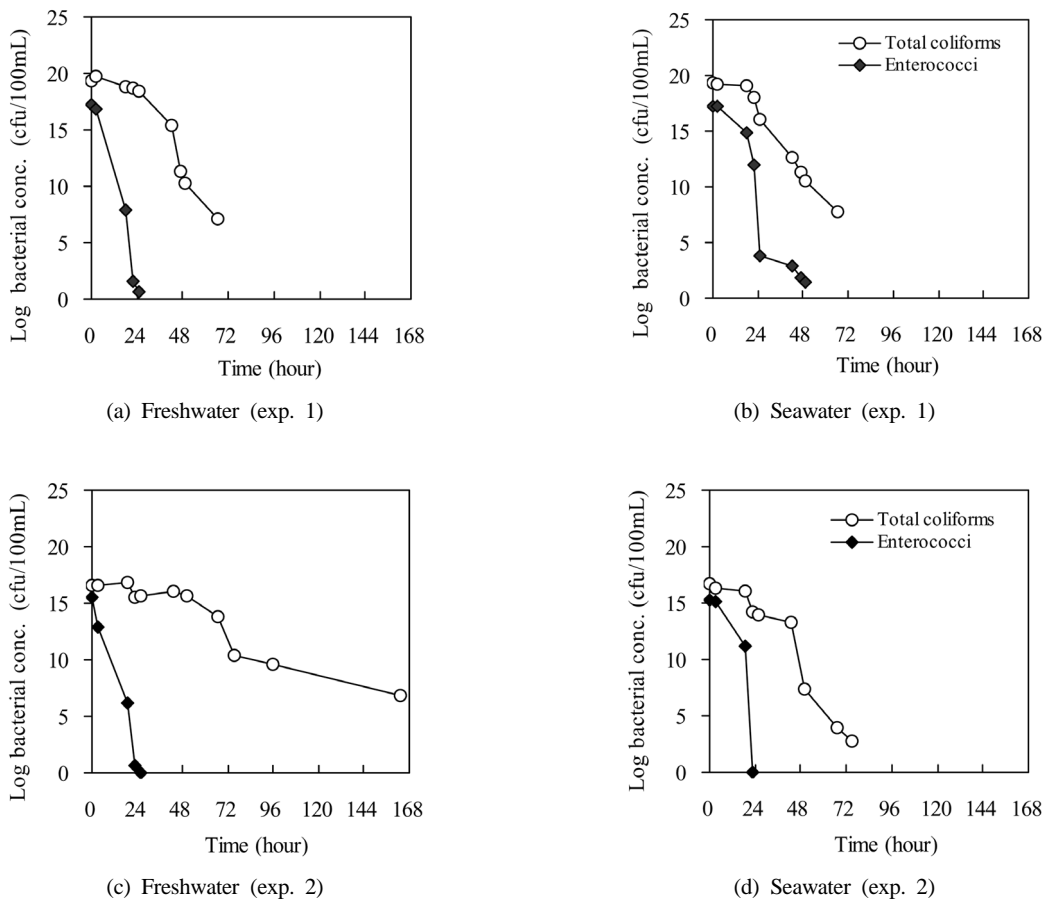


Fig. 3. Inactivation curves for total coliforms and enterococci in freshwater and seawater at outdoor experiment 1 and 2.

실험실 내에서는 두 지표미생물이 유사한 사멸정도(k_d 값)를 나타냈으나, 실외에서는 enterococci가 total coliforms보다 뚜렷하게 빠르게 사멸되는 것으로 나타났다. 물론 사멸에 가장 큰 영향을 미친 환경인자는 여러 논문에서 지적된 바와 같이 햇빛의 영향으로 사료된다(Davies and Evison, 1991; Noble et al., 2004). 또한 본 실험에서는 enterococci가 total coliforms보다 햇빛에 더 취약한 것으로 나타났으며, Noble 등(2004)도 유사한 결과를 보였다고 보고하였다. 그러나 Davies-colley 등(1994)은 enterococci가 fecal coliforms보다 해수에서 더 오래 생존하였다고 보고하고 있어 논란의 여지를 제공한다.

결론적으로 본 실험에 따른 불활성화율로만 판단해 볼 때 enterococci는 현재 국내 지표미생물로 사용되고 있는 total coliforms보다 지표미생물로 더 적합하다고는 보기 어려운 것으로 사료된다. 그러나 일부 해수에서의 실험결과에서는 더 오래 생존하는 것으로 나타난 바 있고, 미국에서 enterococci를 지표미생물로 도입하게 된 배경이 enterococci가 위락용수에서 수영자와 위장염과의 상관성이 다른 지표미생물에 비해 높았던 연구결과에 근거한 사례로 판단할 때 수년간 현 지표세균인 총대장균군(분원성대장균군)과 같이 모니터링을 수행하여 검출정도, 총대장균군(분원성 대장균군)과의 상대적인 검출율 등 비교, 검토하여 기준 도입여부를 결정하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 시험방법(막여과

법, US EPA)은 총대장균군 시험방법에 비해 결코 난이도가 높지 않으므로 지표미생물로서의 1차적인 조건은 충족하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 선진국 등에서 지표미생물로 사용 중인 enterococci에 대하여 불활성화율을 중심으로 기존의 지표인 총대장균군 등과 비교하여 민감성을 조사하고, 수질관리 지표미생물로서의 타당성을 평가해보고자 수행되었다.

실험실 조건(총 3회)에서 표준균주를 접종물로 하여 조사한 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도는 담수의 경우에는 2회 모두 *Esch. coli*가 *Ente. faecalis*보다 더 오래 생존하는 것으로 나타났으며, 해수의 경우 1차실험에서는 *Ente. faecalis*가 2차실험에서는 *Esch. coli*가 상대적으로 더 오래 생존하는 것으로 나타났다. 하수처리장 방류수를 접종물로 한 결과 해수에서는 enterococci가 total coliforms보다 오래 생존하였으나, 담수에서는 total coliforms가 enterococci보다 오래 생존하는 것으로 나타났다.

실외 환경조건에서 total coliforms 및 enterococci의 사멸속도 조사는 고농도 및 저농도 실험군으로 나누어 실험하였으며, 고농도 및 저농도 실험군 모두 매체(해수 또는 담수)에 상관없이 total coliforms가 enterococci보다 뚜렷하게

오래 생존하는 것으로 나타났다. 결론적으로 불활성화율로만 판단할 때 enterococci가 현 지표세균인 total coliforms보다 지표생물로서 뚜렷하게 우세한 특징은 발견할 수 없었다.

참고문헌

- 김종민, 정원화, 정현미, 원성민(2007). 해양으로 배출된 하수처리수내 총대장균군 활성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(1), pp. 12-18.
- 환경부(2002). 수질오염공정시험방법.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ) (2000). *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*, pp. 5-4.
- Barcina, I., Gonzalez, J., Iriberry, J., and Egea, I. (1990). Survival strategy of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* in illuminated fresh and marine systems. *Journal of Applied Microbiology*, **68**, pp. 189-198.
- Davies, C. M. and Evison, L. M. (1991). Sunlight and the survival of enteric bacteria in natural waters. *Journal of Applied Microbiology*, **70**, pp. 265-274.
- Davies-Colley, R. J., Bell, R. G., and Donnison, A. M. (1994). Sunlight inactivation of enterococci and fecal coliforms within sewage effluent diluted in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.*, **60**, pp. 2049-2058.
- Fattal, B., Peleg-Olevsky, E. Y., and Shuval, H. I. (1986). The association between morbidity among bathers and microbial quality of seawater. *Water Sci. Technol.*, **18**, pp. 59-69.
- Hurst, C. J., Crawford, R. L., Knudsen, G. R., McInerney, M. J., and Stetzenbach, L. D. (2002). *Manual of environmental microbiology*. second ed. ASM Press, Washington, D.C.
- McBride, G. B., Bandaranayake, D. R., Salmond, C. E., Turner, S. J., Lewis, G., Till, D., Hatton, C., and Cooper, A. B. (1998). Faecal indicator density and illness risk to swimmers in coastal waters: a preliminary study for New Zealand. *Proc. Ann. Conf. NZ Water and Waste Assoc.*, Havelock North, New Zealand, 1-3 September, pp. 43-49.
- McFeters, G. A. (1990). *Drinking water microbiology: Progress and recent developments*, Springer, New York.
- Noble, R. T., Lee, I. M., and Schiff, K. C. (2004). Inactivation of indicator microorganisms from various sources of faecal contamination in seawater and freshwater. *Journal of Applied Microbiology*, **96**, pp. 464-472.
- Olga, S. and Satoshi, O. (2006). Alternative indicators of fecal pollution: Relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water Research*, **40**, pp. 2463-2476.
- Schleifer, K. H. and Kilpper-Balz, R. (1987). molecular and chemotaxonomic approaches to the classification of streptococci, enterococci and lactococci: a review. *Systematics of Applied Microbiology*, **10**, pp. 1-19.
- Sinton, L. W., Davies-Colley, R. J., and Bell, R. G. (1994). Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers. *Appl. Environ. Microbiol.*, **60**, pp. 2040-2048.
- Sinton, L. W., Hall, C. H., Lynch, F. A., and Davies-colley, R. J. (2002). Sunlight inactivation of fecal indicator bacteria and bacteriophages from waste stabilization pond effluent in fresh and saline waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**, pp. 1122-1131.
- US EPA (1986). *Ambient water quality criteria for bacteria*. EPA/440/5-84/002.
- US EPA (2001). *National Primary Drinking Water Standards*. EPA 816-F-01-007, March, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- US EPA (2003). *Bacterial water quality standards for recreational waters(fresh and marine)*, status report. EPA-823-R-03-008.
- US EPA (2006). Method 1600: Enterococci in Water by Membrane Filtration Using membrane-Enterococcus Indoxyl- β -D-Glucoside Agar(mEI).