

해양으로 배출된 하수처리수내 총대장균군의 활성 평가

김종민[†] · 정원화 · 정현미 · 원성민

국립환경과학원

Total Coliforms Viability in Effluent of Wastewater Treatment Plant Discharged into the Ocean

Jongmin Kim[†] · Weonhwa Jheong · Hyenmi Chung · Sungmin Won

National Institute of Environmental Research

(Received 18 April 2006, Accepted 24 November 2006)

Abstract

Difference of total coliforms (TC) survival time of mixed samples (effluent were mixed by seawater or freshwater) were examined in various conditions. The time taken to achieve a 90% reduction in the TC concentration (T_{90}) of effluent, high initial TC concentration and low initial TC concentration samples indicated 143.9, 121.9 and 89.6 hours at 25°C, respectively. At 4°C, log removal rate after 336 hours were 0.96, 1.04, and 1.30. TC survival time of effluent-inoculated seawater sample was longer than that of effluent-inoculated freshwater sample in laboratory. At outdoor condition, TC inactivation curves of effluent-inoculated seawater or freshwater samples showed similar patterns. And both of them were greatly influenced by climate condition. There was not enough evidence that TC survived longer in freshwater than seawater. It was unlikely that the salinity of seawater contributed to the inactivation process of TC.

keywords : Effluent, Fresh water, Inactivation, Sea water, Total coliforms

1. 서론

하수처리장 배출수에는 인체 내에서 질병을 일으킬 수 있는 각종 세균이나 바이러스, 원생동물 등이 포함된다. 따라서 하수처리 후 방류수에 생존할 수 있는 병원성 미생물을 소독하여 일정치 이하로 방류하는 것은 공중보건학적인 측면에서 볼 때 매우 중요한 처리공정 중의 하나이다. 근래에는 하절기뿐만 아니라 봄, 가을에도 식중독, 세균성이질 등 후진국형 피해가 언론에서 자주 보도되는데 이것은 물론 우리 주변의 비위생적인 생활환경에서 비롯되지만, 특히 하수처리장에서 방류되는 배출수를 소독하지 않고 하천 혹은 바다에 그대로 방류시키는 것도 한 원인이 될 수 있다. 하수 중의 병원성 미생물은 자연수계에서 시간이 경과함에 따라 대다수가 사멸하여 그 수가 감소하지만 일부는 수역 조건에 따라 수개월 이상 생존하거나 번식 혹은 잠복하는 경우가 있으므로 하수처리장 배출수에 대한 소독은 필수적이라고 할 수 있다(서, 1999). 미국 플로리다 주에서는 모든 하수처리장 방류수는 최종방류된 미생물기준에 맞게 충분한 소독처리를 거치도록 규정되어 있으며, 해양 방류관을 통하여 해양으로 방류하는 경우 해양방류관에서 배출된 방류수가 해수와 충분히 희석되면서 혼합되는 수역 경계에서 미생물

학적 수질기준(Class III) 만족시키도록 정하고 있다(FAC 62-302). 유럽연합의 경우 불충분하게 처리된 도시하수처리가 인근 회원국간에 미치는 악영향 등을 방지하기위해 「도시하수처리훈령」을 제정하였는데 이 훈령에는 하수처리장 배출수 수질을 만족시켜야 하는 미생물학적 기준은 규정되어 있지 않으나 담수나 해수 등으로 배출되는 일정규모이상의 배출수의 경우 「적절한 처리」(배출수의 방류수역을 관장하는 다른 규정이나 훈령에 명시된 수질기준에 맞게 처리하는 것)를 거치도록 규정되어 있다(91/271/EEC).

해수에서 미생물들의 생존은 자외선이나 포식자에 의한 섭식 등 많은 물리적, 생물학적 요인에 의하여 영향을 받는다(Rozen et al., 2001). Bellair 등(1977)은 해수에서 분원성대장균군(Fecal coliform)의 T_{90} (원래농도의 90%가 제거되는데 필요한 시간값)을 낮에는 1.9시간, 밤에는 40시간이라고 하였으며, Feacham 등(1983)은 장관계바이러스(Enteric viruses, T_{90} : 15~17시간)가 해수에서 장내세균(Enteric bacteria, T_{90} : 0.6~8시간)보다 더 오래 생존하는 경향을 보였다고 보고하였다. 또한, 해수에서 enterococci의 농도는 장염감염의 위험성과 강한 상관성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Fattal et al., 1986).

하수처리장 배출수의 해양처리에 의한 수중에서의 미생물 활성과 관련하여 Yang 등(2000)은 해양 방류관을 통하여 해수 수중에 방류할 경우 희석, 분산되거나 태양복사에너지, 포식자 등에 의한 자연적 소독의 타당성을 보고하였

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

다. Soren(1991)은 해수에서의 대장균(*Escherichia coli* K12)생존을 조사에서 15°C 및 20°C에서 6일간 배양시 10⁶ CFU/mL에서 거의 0으로 감소하였으나, 7°C에서는 더 오래 생존하였으며, 포식자에 의해 영향을 받는다고 하였다. Aharon 등(1985)은 사해 해수내 대장균의 생존에 관한 연구에서 급격한 대장균의 사멸율은 고농도의 염분에 의한 영향보다는 고농도의 칼슘과 마그네슘이 주 요인이라고 하였다. Chandran 등(2003)은 마이크로코즘을 이용한 열대 하구에서의 대장균 사멸요인 실험에서 90% 사멸하는데 햇빛은 2시간이내, 생물학적 영향인자인 포식자에 의한 영향은 거의 24시간이었다고 보고하였다. Rozen 등(2001)은 해수내 *E. coli*균에 미치는 여러 환경요인을 복합적으로 고려하여 불 때 염도의 영향은 상대적으로 적은 것으로 보고하였다.

이 같은 여러 연구결과로 보면 해수에서 총대장균군 생존에 미치는 영향인자는 매우 다양한 것으로 판단된다. 본 연구는 이러한 여러 영향인자에 대한 개별적인 실험이나 조사를 행하는 대신, 하수처리수내 총대장균군의 시간에 따른 사멸율이 배출되는 수역(해수 또는 담수)에 따라 차이를 보이는지 비교하였다. 이 결과를 토대로 배출수역별로 사멸되는 정도가 현저한 차이를 보이는 경우, 미생물 기준도 배출수역별로 차등을 두어 설정될 필요가 있는지를 판단하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

총 3개의 실험군으로 나누어 2004년 11월과 2005년 4~6월에 수행하였다. 실험에 사용된 해수는 인천(37°22'05.92" N, 126°38'43.38" E)에서, 담수는 팔당호(37°31'24.26" N, 127°17'04.22" E)에서 각각 채수하였다. 접종물로는 하수처리수의 세균농도가 상이한 인천 및 부산소재 하수처리장 방류수를 사용하였으며, 각 실험군별로 총대장균군(Total coliforms)에 대한 해수와 담수에서의 사멸율을 측정하여 비교하였다. 실험실에서 수행한 2종의 실험군에서는 25°C 및 4°C를 대략적인 우리나라 여름철 및 겨울철 해수의 평균수온으로 간주하여 비교하였다. 25°C 수온은 항온 수욕조(Water Bath 20 L, Polyscience, USA)를, 4°C는 냉장고를 이용하여 유지하였다. 멸균방법은 고압멸균기(MLS-2400, SANYO, Japan)를 이용하였다. 정량 분석을 위하여 분석

방법은 수질오염공정시험법의 총대장균군 분석방법 중 막여과 시험방법(환경부, 2002)을 사용하였다. Table 1은 각 실험군의 실험조건을 요약한 것이다.

조사결과는 로그로 표기하였으며 로그 변형된 총대장균군 분석결과를 불활성화 계수(k_D , 시간당 log 단위)값을 구하기 위해 선형회귀분석을 적용하였다. 조사결과들을 비교하기 위해 총대장균군 농도가 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. 하수처리수와 해수혼합시료내 총대장균군 사멸을 조사

하수처리수와 해수 혼합시료는 혼합비율에 따라 세균농도를 고농도와 저농도로 구분하였고 하수처리수 원액을 대조군으로 하여 시간에 따른 시료내 총대장균군수의 변화를 조사하였다. 혼합시료의 구성은 고농도 시료의 경우 하수처리수 200 mL + 해수 800 mL 이었고, 저농도 시료는 하수처리수 2 mL + 해수 998 mL 이었다. 하수처리수는 1000 mL로 하였다. 각 실험군을 2004년 11월 2일부터 11월 15일까지 13일간 관찰하였으며 동 기간 중 7회 총대장균군수 변화를 조사하였다.

2.2. 하수처리수와 해수 및 담수와의 혼합시료내 총대장균군 사멸을 조사

하수처리수와 해수 및 담수 혼합시료는 억제인자(inhibitor)의 영향을 고려하여 해수 및 담수를 멸균처리한 실험군과 멸균처리하지 않은 실험군으로 나누었다.

멸균처리한 실험군의 경우, 접종하는 하수처리수의 세균수를 기준으로 고농도 및 저농도로 구분하고, 각각의 하수처리수에 해수 및 담수를 각각 400 mL씩 1:1 비율로 혼합하여 사용하였다. 2005년 4월 25일부터 5월 1일까지 6일간 관찰하였으며, 동 기간 중 6회 총대장균군수 변화를 조사하였다.

멸균처리하지 않은 실험군에서는 세균농도가 높은 하수처리수 100 mL에 해수 및 담수를 각각 1,900 mL 씩 혼합하여 사용하였다. 2005년 6월 8일부터 6월 14일까지 6일간 관찰하였으며, 동 기간 중 4회 총대장균군수 변화를 조사하였다.

Table 1. Experiment design

Exp.	Inoculant	Matrix	Sample composition	Location
1	Effluent	Seawater	Effluent 200 mL + seawater 800 mL (high conc.)	Lab.
			Effluent 2 mL + seawater 998 mL (low conc.)	
2	Effluent	Seawater, freshmeter (sterilization)	Effluent (high) 400 mL + seawater 400 mL	Lab.
			Effluent (high) 400 mL + freshwater 400 mL	
		Seawater, freshmeter	Effluent (low) 400 mL + seawater 400 mL	
			Effluent (low) 400 mL + freshwater 400 mL	
3	Effluent	Seawater, freshmeter	Effluent (high) 100 mL + seawater 1,900 mL	Outdoor
			Effluent (high) 100 mL + freshwater 1,900 mL	

2.3. 실외 환경조건에서 시료내 총대장균군 사멸을 조사

실외 환경조건에서 하수처리수와 해수 및 담수와의 혼합 시료내 시간에 따른 총대장균군수의 사멸을 조사하였다. 총대장균군 접종액은 하수처리수를 사용하였고 각 실험조는 국립환경과학원 건물 옥상에 설치하였다. 혼합시료의 구성은 하수처리수와 해수 또는 방류수를 각각 4,000 mL씩 1:1 비율로 혼합하여 전체를 8,000 mL로 하였다. 실험조는 불투명한 흰색 플라스틱 용기(400 × 320 × 180 mm)를 사용하였다. 2005년 5월 17일부터 5월 20일까지 총 4일간 관찰하였으며, 동 기간 중 10회 총대장균군수 변화를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하수처리수와 해수 혼합시료내 총대장균군 사멸을

총대장균군 사멸속도는 4°C 조건보다 25°C 조건에서 더 빠른 것으로 나타났다. Soren(1991)은 해수내 대장균(*E. coli*)에 대한 생존력 실험에서 7°C로 보관한 시료가 15°C 및 20°C로 유지시킨 시료보다 생존력이 더 오래 지속되었다고 보고하였으며, Oren 등(1985)도 유사한 실험에서 대장균의 생존력은 저온에서 더 나은 결과를 보였다고 보고한 바 있다.

25°C 온도조건에서 각 시료별 총대장균군 수가 90% 제거

되는 시간(T_{90})은 하수처리수의 혼합비율이 가장 낮은 저농도 시료가 89.6시간으로 가장 빠르게 불활성화되는 것으로 나타났으며, 그 다음이 고농도 시료(121.9시간), 하수처리수(143.9시간) 순이었다(저농도>고농도>하수처리수)(Table 2). Noble 등(2004)은 유사한 실험에서 총대장균군의 T_{90} 이 85.2시간이라고 하였는데, 본 실험에서는 하수처리수의 혼합비율이 가장 낮은 저농도 시료(89.6시간)의 경우와 비슷한 결과를 보였다.

4°C 온도조건에서는 3개의 시료 모두 대략 48~144시간 사이에 총대장균군수의 증가가 관찰되었으나 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 실험종료시점인 336시간 경과 후에는 원래 개수보다 하수처리수 0.96 log, 고농도 시료 1.04 log, 저농도 시료 1.30 log정도가 제거되는 것으로 나타났다(Fig. 1).

결과적으로 25°C 실험조건에서는 그 차이는 적지만 방류수의 혼합비율이 높고, 해수의 혼합비율이 낮을수록 순차적으로 총대장균군의 불활성화율이 더 낮은 경향을 나타내었다. 염도가 해수의 혼합비율이 높을수록 높으므로, 염도의 영향이 있을 수도 있으나, 이러한 현상이 4°C 조건에서는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

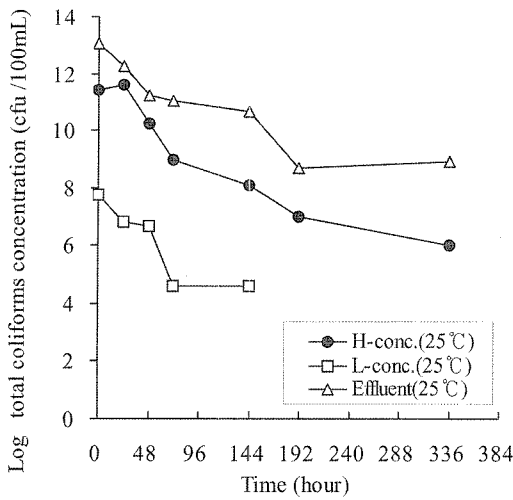
3.2. 하수처리수와 해수 및 담수와의 혼합시료내 총대장균군 사멸을

3.2.1. 멸균 처리한 해수 및 담수 사용 실험군

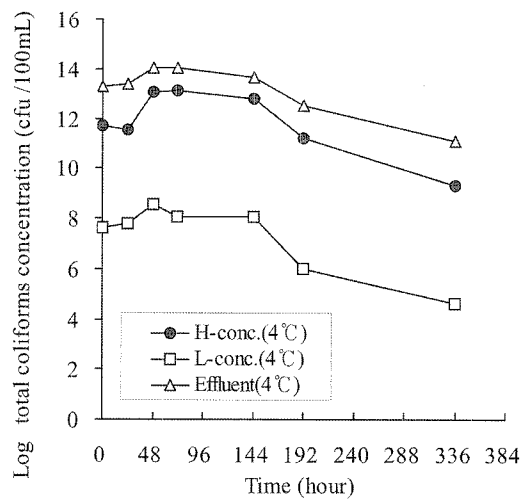
본 실험군은 접종하는 하수처리수의 세균수를 기준으로

Table 2. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce total coliforms (TC) density by 90% (T_{90}) in 3 samples

W.temp. condition	Sample composition (initial concentration)	k_D	T_{90} (h)	Remark
25°C	High initial TC concentration (92,500 cfu/100 mL)	0.019	121.9	
	Low initial TC concentration (2,300 cfu/100 mL)	0.026	89.6	
	Effluent (470,000 cfu/100 mL)	0.016	143.9	
4°C	High initial TC concentration (92,500 cfu/100 mL)	-	-	
	Low initial TC concentration (2,300 cfu/100 mL)	-	-	
	Effluent (470,000 cfu/100 mL)	-	-	



(a)



(b)

Fig. 1. Inactivation curves for total coliforms concentration in 3 samples(high and low initial TC concentration and effluent) at 25°C (a) and 4°C (b).

고농도(B-effluent, 30,000~37,000 cfu/100 mL)와 저농도(A-effluent, 1,600 cfu/100 mL)로 구분하고, 각각의 하수처리수에 해수 및 담수를 1:1 비율로 혼합하여 시간에 따른 총대장균군의 불활성화율을 비교, 평가하였다.

25°C 조건에서 하수처리수 종류별 T₉₀은 저농도(142~215 시간)보다는 고농도(68~70시간)에서 더 빠르게 불활성화되는 것으로 나타났으며, 동일한 농도별 시료와 온도조건에서 담수 혼합시료와 해수혼합시료는, 해수 혼합시(T₉₀ : 70시간, 215시간)보다 담수 혼합시(T₉₀ : 68시간, 142시간)에 사멸율이 더 높은 것으로 나타났다. 4°C의 경우 해수혼합시

료에서는 거의 세균수의 변동이 없었으나 담수혼합시료에서는 고농도 및 저농도 시료 모두 해수혼합시료의 경우보다 불활성화율이 큰 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 2).

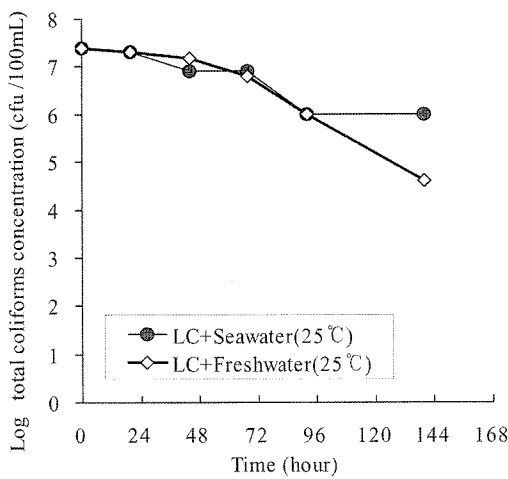
이 결과는 앞의 실험과 상반된 결과를 나타내고 있어 총대장균군의 시간에 따른 불활성화에 해수의 염분농도는 크게 기여하지 않는 것으로 사료되었다.

3.2.2. 멸균하지 않은 해수 및 담수 사용 실험군

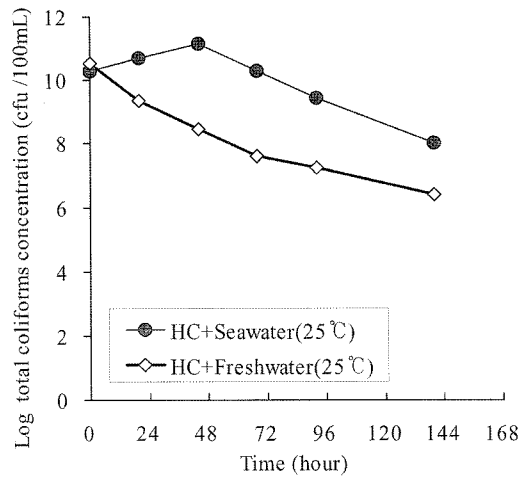
본 실험에서는 세균농도가 높은 하수처리수 100 mL에 해수 및 담수를 각각 1,900 mL씩 혼합하여 사용하였다. 혼

Table 3. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce total coliforms density by 90% (T_{90}) in mixed samples

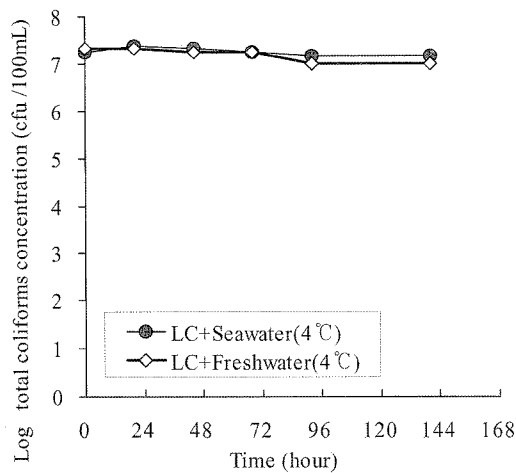
Condition	W.temp.condition	Sample composition	k_D	T_{90} (h)	Remarks
Sterilization (seawater & freshwater)	25°C	A-effluent (low conc.) + seawater	0.011	215	44~140 hour
		A-effluent (low conc.) + freshwater	0.016	142	
		B-effluent (high conc.) + seawater	0.033	70	
		B-effluent (high conc.) + freshwater	0.034	68	
	4°C	A-effluent (low conc.) + seawater	-	-	
		A-effluent (low conc.) + freshwater	0.002	1,047	
		B-effluent (high conc.) + seawater	-	-	
		B-effluent (high conc.) + freshwater	0.009	262	



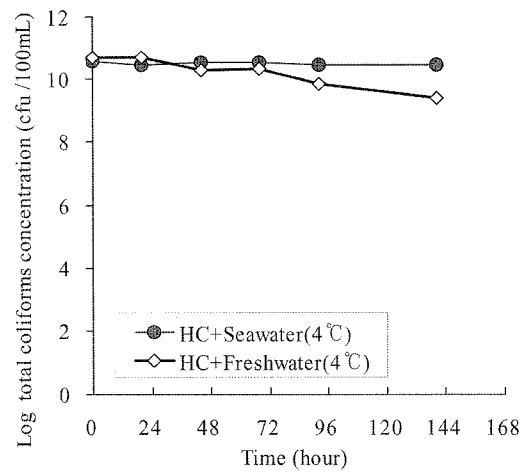
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. Inactivation curves for total coliforms (TC) concentration in mixed samples ((a) : low initial TC concentration at 25°C, (b) : high initial TC concentration at 25°C, (c) : low initial TC concentration at 4°C, (d) : high initial TC concentration at 4°C).

합시료의 초기농도는 해수혼합시료의 경우 98,000 cfu/ 100 mL, 담수혼합시료의 경우 103,200 cfu/100 mL였다.

25°C조건에서는 담수 혼합시료(T₉₀ : 96시간)보다 해수 혼합시료(T₉₀ : 55시간)에서 더 빨리 불활성화되는 것으로 나타났으나, 4°C에서는 해수 혼합시(T₉₀ : 75시간)보다 담수 혼합시(T₉₀ : 63시간)에 더 빠르게 불활성화되는 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 3).

평균하지 않은 해수와 담수를 사용하였을 때에도 온도조건별로 사멸되는 양상이 상반되게 나타나고 있고, 그 차이가 역시 크지 않아서 염분농도는 사멸율에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 다른 실험과는 달리 특이한 것은 25°C 온도조건과 4°C 온도조건에서의 불활성화 차이가 크지 않은 것이다. 일반적으로 저온에서의 불활성화율이 현저히 낮았던데 반하여, 본 실험에서는 상온과 유사하였다.

한편, 본 실험에서는 멸균한 시료를 사용하였을 때 보다 불활성화 정도가 전반적으로 높았는데, 일반적으로, 환경수 내에 서식 토착생물군은 새로 유입되는 미생물이나 생물군에 대해 적대적인 영향(antagonistic effect)을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 멸균시료에서는 이러한 토착생물군의 작용이 없으므로 멸균하지 않은 시료에서 보다 사멸율이 낮은 것으로 평가된다.

3.3. 실외 환경조건에서 시료내 총대장균군 사멸율

실외 환경조건에서는 하수처리수와 해수 또는 담수를 각각 4,000 mL씩 1:1 비율로 혼합하여 각 혼합시료에 대한 총대장균군 불활성화율을 측정하였다. Fig. 4에서 나타난 바와 같이 하수처리수와 해수 혼합시료 및 하수처리수와

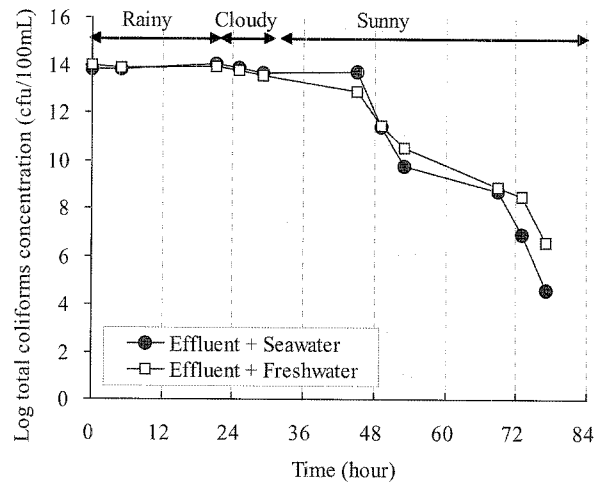


Fig. 4. Inactivation curves for total coliforms in mixed samples at outdoor condition.

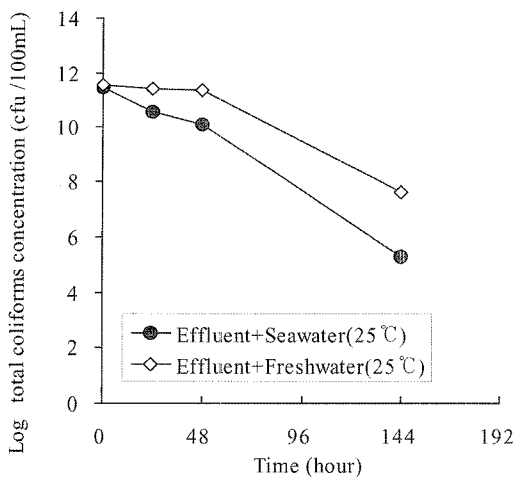
Table 5. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce total coliforms density by 90% (T_{90}) during outdoor experiment

Climate condition	Matrix	k_D	T_{90} (h)	Remark
Rainy-Cloudy	Seawater	-	-	
	Freshwater	0.019	124.5	
Sunny	Seawater	0.260	8.9	
	Freshwater	0.181	12.8	

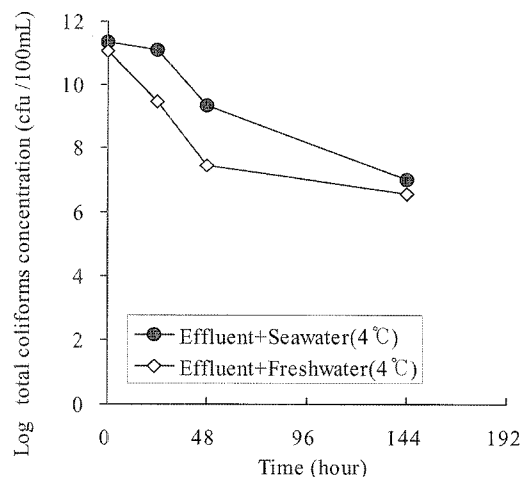
담수 혼합시료 모두 29~45시간정도가 경과 시까지는 큰 변화를 나타내지 않았으나 이후부터는 급격하게 잔존 총대장균군수가 감소하는 양상을 보였다. 이 결과를 당시의 기상

Table 4. Inactivation coefficients (k_D) and time to reduce total coliforms density by 90% (T_{90}) during experiment(not sterilized condition)

Condition	W.temp.condition	Sample composition	k_D	T_{90} (h)	Remarks
Untreated	25°C	effluent + seawater	0.042	55	
		effluent + freshwater	0.024	96	
	4°C	effluent + seawater	0.031	75	
		effluent + freshwater	0.036	63	



(a)



(b)

Fig. 3. Inactivation curves for total coliforms (TC) concentration in mixed samples at 25°C (a) and 4°C (b).

조건별로(비가 오거나 흐린 날과 맑은 날)로 구분하여 각각의 T_{90} 을 구한 결과는 Table 5와 같다. 비가 오거나 흐린 날(T_{90} : 담수 124.5시간)에 비해 맑은 날의 T_{90} 은 8.9시간(해수)-12.8시간(담수) 정도로 현저하게 차이를 보였으며, 맑은 날의 경우 담수보다는 해수에서 더 높은 사멸율을 나타냈다. 이것은 비가 오거나 흐렸던 날씨가 개이면서 일조시간의 증가에 의해 총대장균군의 사멸속도가 빨라졌기 때문으로 사료된다. Noble 등(2004)도 햇빛의 자외선이 총대장균군의 불활성화율에 유의한 영향을 미친다고 하였으며, 사멸율에 가장 크게 기여하는 요소라고 보고된 바 있다 (Gameson et al., 1975; Chamberlin et al., 1978; Fujioka et al., 1981; Siltan et al., 1994; Rozen et al., 2001; Yukselen et al., 2003). 또한 77시간 경과후에는 하수처리수와 해수 혼합시료는 4 log, 하수처리수와 담수 혼합시료는 3.23 log 정도가 제거되는 것으로 나타났다.

Fig. 4에서 나타난 바와 같이 2종의 혼합시료 모두 기상 조건에 따라 거의 유사한 불활성화 정도를 나타내고 있는 것으로 판단할 때, 햇빛의 자외선이 다른 어떤 영향인자보다 총대장균군의 불활성화에 가장 크게 기여하는 것으로 사료된다.

4. 결론

하수처리수내 총대장균군의 불활성화 정도를 해양으로 직접 방류되는 경우와 하천이나 호수와 같은 담수에 방류하는 경우로 나누어 여러 조건별로 수행하고, 그 결과를 평가하였다.

하수처리수와 해수와의 혼합시료의 경우 25°C 온도조건에서 각 시료별 총대장균군 수가 90%제거되는 시간(T_{90})은 하수처리수의 혼합비율이 가장 낮은 저농도 시료가 89.6시간으로 가장 빠르게 불활성화되는 것으로 나타났으며, 그 다음이 고농도 시료(121.9시간), 하수처리수(143.9시간) 순이었다. 4°C에서는 336시간 경과후 원래 개수보다 하수처리수 0.96 log, 고농도 시료 1.04 log, 저농도 시료 1.30 log 정도가 제거되는 것으로 나타났다

하수처리수의 담수 혼합과 해수 혼합시(해수 및 담수는 멸균처리) 활성을 비교한 결과 해수보다 담수 혼합시 더 높은 사멸율을 보였다. 이 결과는 앞의 실험과 상반된 결과를 보이고 있어 총대장균군의 시간에 따른 불활성화에 해수의 염분농도는 크게 기여하지 않는 것으로 사료되었다. 멸균하지 않은 해수 및 담수 사용 실험군의 경우에도 온도 조건별로 사멸되는 양상이 일정하지 않고 그 차이가 역시 크지 않았다.

실의 자연조건에서 하수처리수와 해수 또는 담수 혼합시료의 경우 비가 오거나 흐렸던 기간인 46시간째까지는 큰 변화가 없었으나, 이후 맑은 날씨가 지속되었던 기간에는 급격한 불활성화가 나타났다.

결론적으로 해수에 방류된 하수처리수내 총대장균군은 하천수 등에 방류된 경우보다 더 빨리 사멸한다는 뚜렷한 결과는 얻을 수 없었으며, 해수의 염분농도는 불활성화에

크게 기여하지 않는 것으로 판단된다. 또한 총대장균군의 불활성화 과정에는 햇빛의 자외선이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

참고문헌

- 서재홍, 하수처리장 방류수의 소독에 대한 제언, *대한토목학회지*, **47**(9), pp. 55-56 (1999).
- 환경부, *수질오염공정시험방법* (2002).
- Aharon, O. and Lea, V., Survival of *E. coli* and *Vibrio harveyi* in Dead Sea water, *FEMS Microbiology Letters*, **31**, pp. 365-371 (1985).
- Bellair, J. T., Parr-Smith, G. A. and Wallis, I. G., Significance of Diurnal Variations in Fecal Coliform Die-off Rates in the Design of Ocean Outfalls, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **49**, pp. 2022-2030 (1977).
- Chamberlin, C. E. and Mitchell, R., *A Decay Model for Enteric Bacteria in Natural Waters*, In: *Water Pollution Microbiology*, John Wiley and Sons, New York (Mitchell, R., Ed.), **2**, pp. 325-348 (1978).
- Chandran, A. and Mohamed Hatha, A. A., Survival of *Escherichia coli* in a Tropical Estuary, *S. Pac. J. Nat. Sci.*, **21**, pp. 41-46 (2003).
- Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment : 91/271/EEC.
- Fattal, B., Peleg-Olevsky, E., Y. and Shuval, H. I., The Association between Morbidity among Bathers and Microbial Quality of Seawater, *Water Sci. Technol.*, **18**, pp. 59-69 (1986).
- Feacham, R. G., Bradley, D. H., Garelick, H. and Mara, D. D., *Sanitation and Disease Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, New York: Wiley (1983).
- Florida Administrative Code 62-302, FAC 62-4.244(1)(h), FAC 62-4.244 & 62-600.520(2).
- Fujioka, R. S., Hashimoto, H. H., Siwak, E. B. and Young, R. H., Effect of Sunlight on Survival of Indicator Bacteria in Seawater, *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**, pp. 690-696 (1981).
- Gameson, A. L. H. and Gould, D. J., *Effect of Solar Radiation on the Mortality of Some Terrestrial Bacteria in Sea Water*, In: *Proceedings of the International Symposium on Discharge of Sewage from Sea Outfalls* (Gameson, A. L. H. Ed.), Pergamon Press, London, pp. 209-219 (1975).
- Noble, R. T., Lee, I. M. and Schiff, K. C., Inactivation of Indicator Micro-organisms from Various Sources of Faecal Contamination in Seawater and Freshwater, *Journal of Applied Microbiology*, **96**, pp. 464-472 (2004).
- Oren, A. and Vlodavsky, L., Survival of *E. coli* and *Vibrio harveyi* in Dead Sea water, *FEMS Microbiology Letters*, **31**, pp. 365-371 (1985).
- Rozen, Y. and Belkin, S., Survival of Enteric Bacteria in Seawater, *FEMS Microbiology Reviews*, **25**, pp. 513-529 (2001).
- Siltan, L. W., Davies-Colley, R. J. and Bell, R. G., Inactivation of Enterococci and Fecal Coliforms from Sewage and Meatworks Effluents in Seawater Chambers, *Appl. Environ.*

- Microbiol.*, **60**, pp. 2040-2048 (1994).
- Soren, J. S., Survival of *E. coli* K12 in Seawater, *FEMS Microbiology Letters*, **85**, pp. 161-167 (1991).
- Yang, L., Chang, W.-S. and Huang, M.-N. L., Natural Disinfection of Wastewater in Marine Outfall Fields, *Wat. Res.*, **34**, pp. 743-750 (2000).
- Yukselen, M. A., Calli, B., Gokyay, O. and Saatci, A., Inactivation of Coliform Bacteria in Black Sea Waters due to Solar Radiation, *Environment International*, **29**, pp. 45-50 (2003)