

J 하수 처리장 방류수 중 세균의 성장 거동 및 염소 소독 효율 고찰

이운기 · 이윤진^{*,†} · 정규연^{**}

한국화학시험연구원 환경평가팀, *청주대학교 환경공학과, **명지대학교 환경공학과
(2007년 12월 21일 접수, 2008년 1월 3일 채택)

Study on Microorganism Multiplication Behavior and Efficiency of Chlorine Disinfection in the Sewage Effluent from J Municipal Waste Water Treatment Plant

Ungi Lee, Yoonjin Lee^{*,†}, and Kyuyeon Jeong^{**}

Environmental Assessment Team, Korea Testing and Research Institute, Gyeonggi 415-871, Korea

*Department of Environment, Chengju University, Chengju 360-764, Korea

**Department of Environment, Myungji University, Gyeonggi 449-728, Korea

(Received December 21, 2007; accepted January 3, 2008)

본 연구에서는 J 하수 처리장의 최종 방류수를 대상으로 중속영양세균의 증식과 수중 물리, 화학적 영향인자와의 관계를 고찰하였다. 하수 중의 용존 유기물질 농도는 중속영양세균의 성장과 가장 밀접한 관계를 보였다. 미생물의 영양원인 단백질, 지방, 전분, 섬유소, 펙틴의 분해 세균 분포를 파악한 결과 하수 중 단백질 및 지방세균의 비율은 전체의 81%로 가장 높았다. 중속영양세균은 연중 8월에 가장 높은 수치를 나타냈다. 하수 방류수에 대해 10 mg/L의 유리염소를 주입하여 15 min간 접촉시 THMs의 농도는 71 µg/L (< 100 µg/L- 먹는 물 수질기준)의 값을 나타내어 높지 않았다.

We evaluated the relationship between the multiplication of heterotrophic microorganisms and physicochemical factors in the final discharged sewage water from J municipal waste water treatment plants. Dissolved organic carbon (DOC) was the most crucial factor influencing multiplication of heterotrophic plate counts (HPC) among the water quality variables selected. Degrading bacteria, such as proteolytic bacteria, lipolytic bacteria, starch degrading bacteria, cellulolytic bacteria, and pectinolytic bacteria, were monitored to understand the condition of nutrients in finished sewage effluent. The percentages of lipid and protein combined occupied 81% in finished sewage water. The multiplication of HPC showed the highest value in August. The formation of trihalomethane (THM) was low in the finished discharge water during chlorine disinfection, which was 71 µg/L (which was less than 100 µg/L- the standard of drinking water quality) with 10 mg/L of chlorine during 15 min.

Keywords: disinfection, chlorine, indicator microorganism, DOC, sewage effluent

1. 서 론

국내에서는 아직까지 하수 성장 및 미생물의 성장에 대한 체계적인 연구가 부족하고 병원성 세균의 분포 및 소독제 적용시 소독효율에 대한 데이터가 미흡한 실정이다[1]. 따라서, 하수 방류수 내 위생학적 관리 및 오염물에 대한 체계적인 모니터링과 함께 소독방법에 대한 명확한 지침과 근본적인 평가를 실시하여 우리나라의 하수 성장에 맞는 소독시설에 대한 방안을 마련해야 할 것이다.

소독은 병원성 미생물 및 잠재적 위해성을 가진 미생물을 불활성화시키기 위한 공정이다[2-6]. 이중 염소 처리는 경제적이며 이용이 간편하고 수인성 전염병을 막는 수단으로 선진 외국에서는 하수 처리장에서 이미 널리 채택되고 있다[3,7]. 소독방법의 선정 및 최적화에는 원수의 특성, 처리장 규모, 경제성 등 다양한 요인들이 고려되고 있다.

최종 방류수에 대해 염소 투입 시 THMs, HAAs 등의 소독부산물의 생성 및 잔류염소에 의한 독성으로 인해 수생생물에 대한 피해와 환경생태계 파괴에 관한 우려를 낳고 있다[7-10]. 염소와의 반응으로 생성되는 소독부산물은 분자량의 분포, 유기물의 방향성 및 포화도, 물에 대한 친화도 등과 같은 수중 유기물의 특성에 따라 그 양과 종류가 달라진다[11]. 부적절한 위생관리로 인한 수인성 전염병의 발생은 현재까지 근절되지 않고 있어 전염성 질병 발생에 직·간접적으로 영향을 미치는 미생물학적 인자에 대한 체계적 관리가 시급한 실정이다.

수중 생태계에서 미생물은 환경에 존재하는 여러 가지 유기물을 분해하여 영양단계가 상이한 생물체에 무기영양물질을 공급하기도 하며 타생물의 먹이로도 이용될 수 있으며 유기물질을 합성하는 생산자로서의 역할도 하고 있다[12-15]. 중속 영양세균은 외부에서 받아들인 유기물질을 이용하여 세포의 활동을 유지하며 주변 환경의 변화에 크게 영향을 받기 때문에 수생태계의 생물학적 정보나 위생 상태에 관한 중요한 정보를 제공한다. 미생물의 유기물 이용은 수계 생태계에서 총 탄소의 흐름에 매우

† 교신저자(e-mail: yjlee@cju.ac.kr)

중요한 역할을 한다. 또한 중속영양세균은 세포 외 효소들을 생산하여 고분자 유기물질을 저분자 유기물질로 가수분해한다[16].

본 연구는 J 하수처리장 방류수 내 물리화학적 성분이 중속영양세균의 증식에 미치는 영향을 고찰하고, 대장균과 및 분변성 대장균과의 상관관계를 살펴보고 있다. 미생물의 영양원인 단백질, 지방, 전분, 섬유소, 펙틴을 분해하는 세균의 분포를 파악하여 간접적인 수중 영양 유기물의 분포를 검토하였다. 시료를 염소 소독할 경우 각 계절에 따른 총 대장균 및 분변성 대장균의 불활성도를 평가하였고 하수 처리장 방류수 중 염소 투입으로 인한 환경 생태학적인 영향을 고찰하기 위해 유리 잔류 염소 및 소독 부산물의 생성에 대해 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시료

본 실험에 이용된 시료는 J 하수 처리장 방류수를 대상으로 했으며 임의 채취방법을 이용하여 채취하였다. 수온과 같은 현장 분석 항목을 측정 한 후 시료를 실험실로 운반하여 각각의 해당 실험 항목들에 대해 분석을 수행하였다. Biochemical oxygen demand (BOD) 및 Chemical oxygen demand (COD)용 시료는 샘플 후 6 h 이내에 실험을 실시하였으며 세균 분석 항목은 실험실로 운반한 후 즉시 실험을 실시하였다. 실험에 이용할 모든 초차류는 24 h 동안 황산 원액에 처리한 후 증류수로 수회 세척하여 100 °C에서 건조한다. 미생물 실험에 이용할 초차류는 산세척 후 고압증기멸균기에서 멸균한 후 이용하였다.

2.2. 분석방법

2.2.1. 이화학적 수질 항목

소독 실험에 이용할 염소용액은 12% NaOCl용액을 희석하여 10000 mg/L 용액으로 조제한 후 실험에 적용하였다. Hach pocket colorimeter를 이용하여 유리잔류염소 및 총 잔류염소를 측정하였다. BOD는 Winkler azid법을 이용하여 시료채취 후 공기주입기로 산소를 포화시킨 후 BOD병에 담아 20 °C에서 5일간 배양하여 배양전 · 후의 산소 소모량을 측정하였다. COD는 중크로뮴산 칼륨 산화제를 이용하여 Standard method에 의해 측정하였다[17].

총인의 측정은 시료에 potassium persulfate를 넣고 고압 증기 멸균기에서 121 °C, 1.2기압으로 30 min간 멸균하여 불용성 무기 인을 용해성 무기 인산염으로 전환시킨 뒤에 stannous chloride법으로 측정하였다. 질산성 질소는 0.45 µm 공극의 Polyvinylidene fluoride (PVDF) filter로 여과한 후 ion chromatography (Dionex DX 500)를 이용하여 측정하였다. DOC는 시료를 0.45 µm 공극 PVDF로 여과한 후 combustion/non-dispersive detection 방식인 DOC-analyzer (DOC 5000 A, Shimadzu)로 측정하였다.

THM₅은 3 L 플라스크에 시료의 염소농도 1~20 mg/L를 주입하여 15 min간 반응 후 sodium sulfite용액을 가해 잔류염소를 중화시켰다. 황산용액을 넣어 pH를 2~3으로 조절한 후 XAD-2수지를 충전한 유리컬럼에 약 30 mL/min로 통과시킨 후 25 mL의 diethyl ether를 통과시켜 유기물을 추출하였다. 이를 gas chromatography (HP 5890 Series II)를 분석하여 CHCl₃, CHBrCl₂, CHBr₂Cl, CHBr₃를 정량하여 합하였다.

2.2.2. 기능기 분석

방류수 10 L를 n-hexane으로 추출한 후 진공 건조하여 용제를 제거하여 추출물을 casting하여 Fourier Transform Infra Red (FT-IR) Spectroscopy (Thermo Nicolet, USA)를 이용하여 수중 유기물질의 기능기를

파악하였다. Fourier transform-nuclear magnetic resonance (FT-NMR), (AC-200, Bruker)은 건조 시료를 CDCl₃에 용해 후 tetramethylsilane (TMS)를 기준으로 ¹H 200 MHz, ¹³C 50 MHz 조건에서 분석하였다. 또한 저분자 유기 화합물의 구조는 gas chromatography/mass (GC/MS), (HP 6890 Series II)를 이용하여 분석하였다.

2.2.3. 미생물학적 항목

본 연구에서 중속영양세균은 펩톤 희석용액으로 적절한 배율로 희석한 후 nutrient agar (Difco)에 접종하였으며 25 °C에서 5일간 배양한 후 집락수를 CFU/mL (colony forming unit)로 나타내었다. 단백질 분해세균은 peptone agar와 10% skim milk를 각각 멸균한 뒤에 혼합한 배지에 시료 0.1 mL를 접종하여 25 °C에서 3일간 배양한 후에 집락 주위에 투명부위를 형성하는 집락 수를 계수하였다.

지방분해세균은 peptone agar에 tween 80을 가한 배지에 시료 0.1 mL를 접종하여 25 °C에서 3일간 배양한 후에 집락 주위에 불투명한 halo를 나타나는 집락의 수를 확인하였다. 전분 분해 세균은 0.2% 전분이 포함된 nutrient agar (Difco)에 시료 0.1 mL를 접종하여 25 °C에서 3일간 배양한 후 Rugol's iodine 용액을 첨가하여 halo를 만드는 집락을 계수하였다.

섬유소 분해 세균은 1% carboxymethylcellulose가 포함된 nutrient agar (Difco)에 시료를 접종하여 25 °C에서 3일간 배양한 후 1% hexadecylmethylammonium bromide를 첨가하여 투명한 결정체를 형성하는 집락의 수를 계수하였다. 펙틴 분해 세균은 1% citrus pectin이 포함된 nutrient agar (Difco)에 시료 0.1 mL를 접종하여 25 °C에서 3일간 배양한 후 1% hexadecylmethyl-ammonium bromide를 첨가하여 집락주위에 투명 halo를 형성하는 집락의 수를 확인하였다.

총대장균군은 다음의 다중관 발효법을 적용하여 수행하였다. 추정실험에서는 Lauryl tryptose broth 배지에 시료를 접종한 후 35 ± 1.0 °C에서 24 ± 2 h 동안 배양한 후 가스 발생이 확인된 튜브에 대해 양성으로 판정하였다. 양성관에 대해 brilliant green lactose bile broth (BGLB)에 접종하여 35 ± 10 °C에서 48 ± 3 h 동안 배양한 후 gas가 발생되고 산반응이 나타나는 튜브에 대해 완전시험을 실시하였다. 양성으로 판정된 것에 대해 Mac conkey agar에 접종한 후 35 ± 1.0 °C에서 24 ± 2 h 동안 배양한 후 녹색 금속성 광택을 가지는 분홍색 및 붉은색 집락을 취하여 그람 염색을 실시하여 그람음성간균임을 확인하였다. 이를 다시 Lauryl tryptose broth에 접종하여 35 ± 1.0 °C에서 48 ± 3 h 동안 배양한 후 양성으로 판정된 튜브에 대해 MPN/100 mL 단위로 나타내었다.

분원성 대장균은 총대장균군 추정시험에서 양성으로 판정된 튜브로부터 멸균된 loop를 이용하여 EC 배지에 접종하여 44.5 ± 0.2 °C에서 24 ± 2 h 동안 배양하였다. 배양 후 gas가 발생된 튜브에 대하여 양성으로 판정한 후 MPN/100 mL 단위로 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 중속영양세균 및 영향인자 고찰

Figure 1에서 하수 방류수 중 중속영양세균 세균의 계절별 분포를 제시하였다. J 하수 처리장의 방류수 중의 중속영양 세균은 연간 평균 1.34 × 10⁶ CFU/mL의 값을 나타냈으며 수온이 분포가 낮았던 10월부터 4월까지는 낮은 값을 나타냈으며 수온이 증가 추세인 4월 이후부터는 그 수가 증가하는 경향을 나타냈다. 중속영양세균의 최대값은 최대 수온을 나타냈던 8월에 나타났으며 최소값은 수온이 연중 가장 낮았던 1월에 분포하였다.

Table 1. Seasonal Variation of Water Quality Variables in Finished Sewage Water (unit: mg/L)

	October	December	February	April	June	August
BOD	17.5	9.2	5.7	7.3	12.8	16.2
COD _{Cr}	33.6	30.2	15.6	21.5	18.2	32.4
DOC	6.3	5.9	5.9	6.4	8.3	10.1
T-N	16.3	1.5	12.6	12.2	21.5	31.5
NH ₃ -N	0.92	0.62	0.98	0.75	1.83	2.62
NO ₃ -N	14.3	4.8	7.6	6.2	2.8	6.8
Total-P	1.4	0.9	1.1	2.8	1.6	3.5

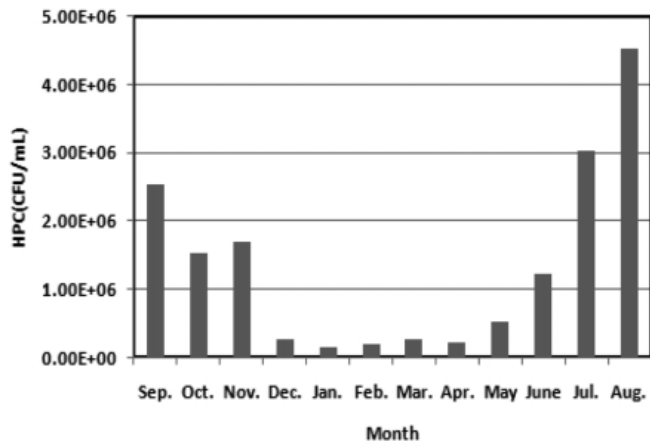


Figure 1. Seasonal variation of HPC.

화학적 인자 중 중속 영양 세균의 농도와 가장 밀접한 관계를 보이는 인자는 Figure 2에서와 같이 용존 유기물 및 총 질소의 농도였으며 이들은 일반세균의 분포와 선형적인 관계를 나타냈다. 특히 이들 중 용존 유기물질의 농도가 미생물의 성장에 대해 가장 큰 제한 인자로 작용하였다. 중속영양세균의 농도가 최대값인 4.52×10^6 CFU/mL를 나타냈을 때 총 질소 및 유기물의 농도가 가장 높았다.

방류 하수 중에 중속영양세균의 분포에 영향을 주는 질소 및 탄소와 관련된 수질인자의 연간 변화 추이를 Table 1에서 제시하였다. BOD, COD는 5.7~17.5, 15.6~33.6 mg/L의 범위에서 검출되어 비교적 계절적 변화가 컸으며 10월에 최고값을 보였으며 2월에 최저값을 나타냈다. 유 등[18]은 BOD는 계절에 영향을 많이 받는 항목이며 낙동강 유역 고령, 물금, 안동 및 구미지점별로 그 형태가 다르게 변화하였다고 제시하였다. 또한, 수질 평가시 계절 변화 등 자연적인 요인과 수질오염의 변동 추세를 분석하는 연구의 중요성에 대해 보고하였다.

용존 유기탄소의 농도는 8월 및 12월에 최대 및 최소값을 나타내어 5.9~10.1 mg/L 범위에서 검출되었으며 일반세균의 처리수 중 증감을 잘 반영하는 수질항목이었다. 그러나 DOC, BOD 및 COD의 항목의 계절에 따른 증감은 항상 일치하지 않는 것으로 나타났다.

질산성 질소는 타인자와 달리 여름철에 농도가 낮았고 6월에 최소값 2.8 mg/L를 나타냈다. Isaac과 Morris는[19] 본 하수 시료와 같이 질산성 질소의 농도가 암모니아성 질소보다 크며 암모니아성 질소의 농도가 2 mg/L보다 낮은 경우에 대해 질산화가 양호하게 이루어진 상태라고 분류하였다.

총 질소의 계절 변화는 DOC와 비교적 비슷한 경향을 나타내어 8월 및 12월에 최대 및 최소값을 나타냈으며 1.5~16.3 mg/L 범위에서 검출되

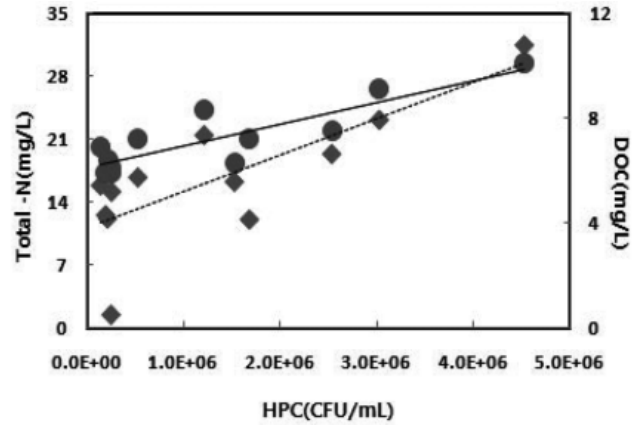


Figure 2. Factors influencing for the multiplication of HPC.

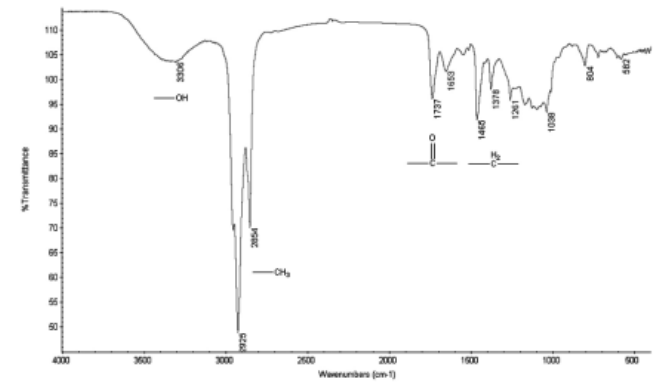


Figure 3. FT-IR spectrum of finished sewage water.

었다. 반면, 광 등[20]은 서울시 하수처리장 방류수를 대상으로 연구를 수행한 결과 본 연구와는 달리 총질소 항목이 BOD 및 COD 값에 비해 계절성이 비교적 뚜렷하지 못하다고 보고하였다.

3.2. 방류 하수 중의 성분 고찰

국내 하수 중의 유기물의 조성을 FT-IR, FT-NMR, GC/MS를 통해 Figures 3~5에서 고찰하였다. FT-IR으로 하수 내에 존재하는 기능기를 분석한 결과 수산화기(OH), 메탄기(CH₃), ketone (CO) 등의 존재를 확인하였다. FT-NMR 및 GC/MS를 통해 수산화기(OH), 카르복실기(COOH), methoxy (OCH₃), 방향족 탄화수소를 검출하였다. 이를 통해 토양 기원 난분해성물질인 fulvic acid 및 humic acid의 구조와 동일한 카르복실기, phenolic alcohol, methoxy 등을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 물질들은 미생물의 증식에 영향을 주며 자연 및 생활하수 중 지질, 단백질, 녹말 등에 의해 그 기원이 된 것으로 생각된다. Chost (1989)는 중속영양세균이 하수중의 유기물에 대해 수중의 고분자 유기물질을 저분자 물질로 전환시키는데 관여하고 있다고 보고하였다[16]. 유기물질의 성분 및 이를 분해하는 미생물의 분포에 관한 고찰은 시료의 유기물에 의한 오염 상태 및 미생물의 분해능을 반영한다.

3.3. 분해세균의 거동고찰

세포의 구성 성분이자 미생물의 성장에 요구되는 주요 요소인 단백질, 지방, 전분, 섬유소, 펙틴을 분해하는 세균에 대해 그 분포를 Figure 6에서 제시하였다. 이중 지방 분해 세균은 평균 6.68×10^5 CFU/mL로 가장 높게 검출되었다. 영양소 분해 세균은 지방, 단백질, 섬유소, 전분, 펙틴

Table 2. Correlation Coefficients between the Number of Degrading Bacteria and Water Quality Parameters in Finished Sewage Effluent

	Temp. (°C)	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	COD _{Cr} (mg/L)	DOC (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
PB (CFU/mL)	0.534	0.612	-	-	0.596	-	-	-	0.693	-
LB (CFU/mL)	0.628	0.791	0.700	0.622	0.879	0.702	-	0.692	0.856	-
SB (CFU/mL)	0.593	0.850	0.723	0.682	0.761	0.603	-	0.633	0.762	-
CB (CFU/mL)	0.593	0.794	0.696	-	0.884	0.728	-	0.677	0.848	-
PeB (CFU/mL)	0.784	0.633	0.584	-	0.895	0.773	-	-	0.848	0.787

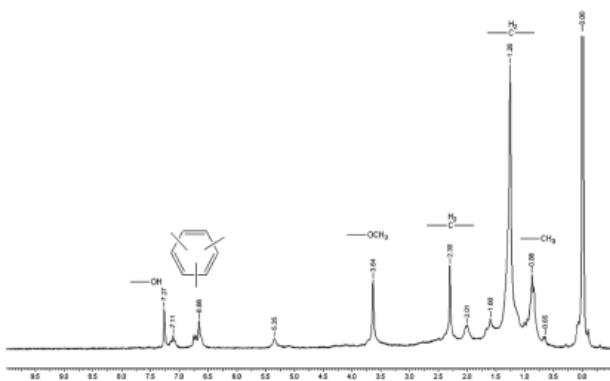


Figure 4. FT-NMR spectrum of finished sewage water.

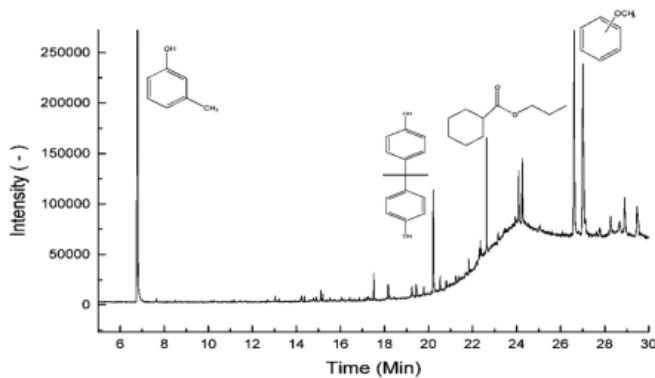


Figure 5. GC/MS chromatogram of finished sewage water.

분해 세균순으로 높게 나타났으며 이중 펙틴분해 세균의 수는 평균 2.02×10^3 CFU/mL로 가장 낮았다.

Flints (1982)는 하천에 유입되는 생활하수는 지질, 단백질, 섬유소, 전분, 리그닌, ash 성분이 각각 33, 25, 8, 8, 6, 25% 함유되어 있다고 보고하였다[21]. 본 시료에서도 이 결과와 유사하게 단백질 및 지질을 분해하는 세균의 분포가 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 2에서 단백질, 지방, 전분, 섬유소, 펙틴 분해 세균과 각 수질인자와의 상관 계수값을 제시하였다. 수온은 중속영양세균 및 모든 분해 세균들에 대해 밀접한 상관관계를 나타내 미생물 증식에 매우 유효한 인자이었다. 모든 분해세균에 대해 BOD, DOC, T-N, 수온은 상관관계수가 높았으며 세균 증식에 중요한 인자이었으나 T-P와 PO₄-P에 대한 상관계수

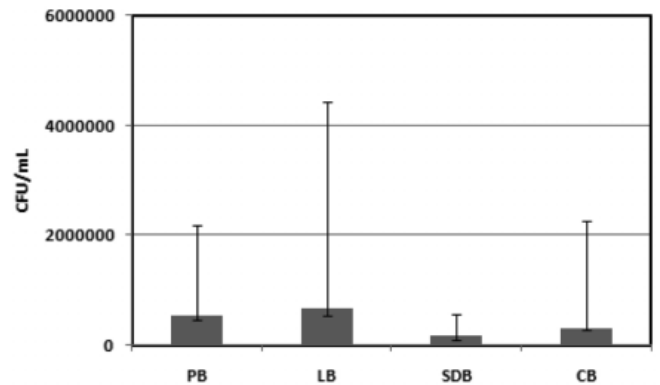


Figure 6. Distribution of proteolytic bacteria, lipolytic bacteria, starch degrading bacteria, and cellulolytic bacteria in finished sewage water.

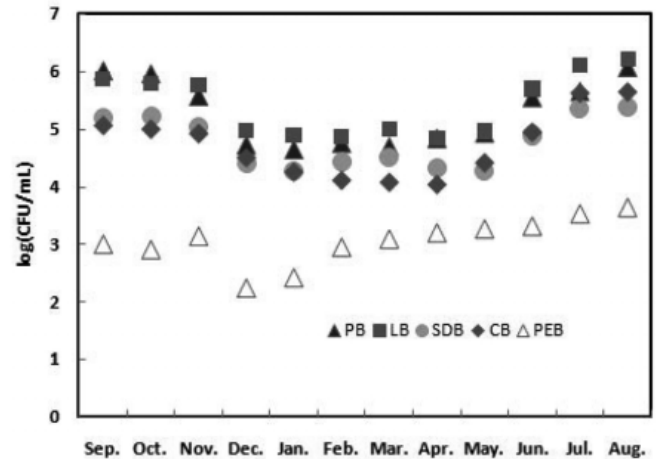


Figure 7. Seasonal variation of proteolytic bacteria, lipolytic bacteria, starch degrading bacteria, cellulolytic bacteria and pectolytic bacteria in finished sewage water.

는 0.5 이하의 값을 나타내 상관성이 낮았다.

단백질 분해 세균은 $4.3 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^6$ CFU/mL 범위에서 검출되었으며 계절에 따른 추이는 중속영양세균의 거동과 유사한 변화를 나타냈다. 수온이 증가하는 여름철에는 단백질 분해세균의 농도가 증가하였으며 그 수치가 가장 높은 달은 8월이었다 가을철을 거쳐 겨울철까지는 점차 감소하는 추세를 보였고 1월에는 가장 낮은 값을 나타냈다. 수중의

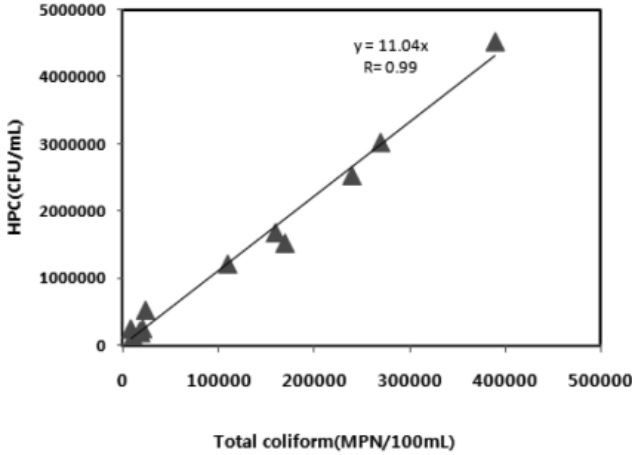


Figure 8. The relationship between total coliform and HPC.

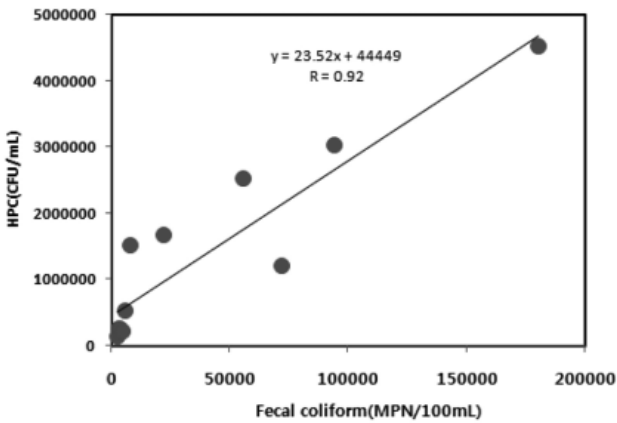


Figure 9. The relationship between fecal coliform and HPC.

화학적자로는 총 질소의 농도와 가장 높은 상관성을 나타냈다.

지방 분해세균은 $6.8 \times 10^4 \sim 1.6 \times 10^6$ CFU/mL로 최고값과 최저값은 각각 8월 및 4월에 나타났으며 그 차는 1.57×10^6 CFU/mL로 수온에 따른 개체수의 계절별 변화가 컸다. 지방분해세균은 수중 영양인자중 총 질소 및 용존 유기물의 농도와 높은 상관관계를 나타냈다.

전분 분해 세균은 최대값 및 최소값이 각각 8월 및 1월에 나타나 연간 $1.9 \times 10^4 \sim 2.4 \times 10^5$ CFU/mL 범위에서 검출되었다. 전분분해세균의 증감은 타세균의 거동과 유사하게 수중의 용존유기물 및 총질소의 농도 변화와 관련되어 있는 것으로 나타났으며 $PO_4\text{-P}$ 과도 0.69의 상관계수값을 나타냈다. 섬유소분해세균의 수는 4월 및 8월에 최대, 최소값을 보여 $1.1 \times 10^4 \sim 41.5 \times 10^4$ CFU/mL 범위를 검출되었으며 질소 및 유기물질이 미생물의 분포와 상관도가 높았다.

팩틴 분해 세균의 수는 8월 및 12월의 각각 최대값 및 최소값을 나타내 수온따라 개체군의 수가 변화하였다. 팩틴 분해 세균은 170~4220 CFU/mL 범위에서 검출되었으며 본 연구에서 선정된 분해 미생물중 가장 낮은 개체수를 나타냈다. 타 분해세균과 동일하게 수중 영양인자 중 총 질소 및 용존 유기물질과 상관계수 값이 상대적으로 높았으며 타 분해세균과 달리 총 인과도 0.79의 상관계수를 나타내었다.

3.4. 종속영양세균과 총대장균 및 분변성대장균과의 관계고찰

본 실험에서는 지표미생물로 많이 이용되고 있는 총대장균 및 분변성 대장균과 종속영양세균과의 관계를 고찰하기 수행되었으며 그 결과를

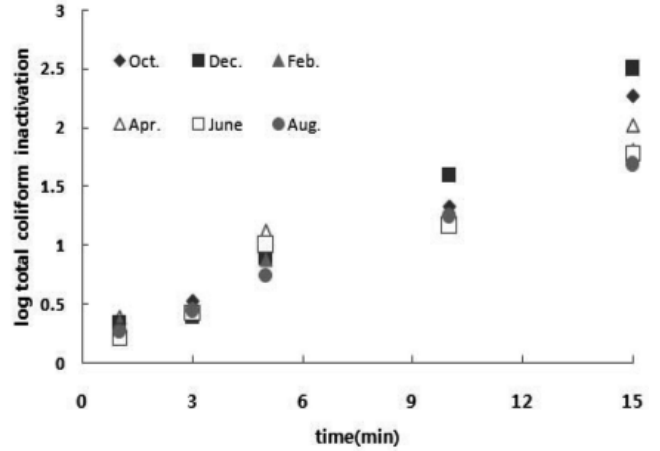


Figure 10. Variation of inactivation of total coliform with chlorine of 5 mg/L.

Figures 8~9에서 제시하였다. 본 하수처리장 방류수에 대해서는 종속영양세균(CFU/mL)은 총대장균수(Number/100 mL)와 비례관계로 나타났으며 상관계수 값은 0.99로 매우 높았다. 분변성 대장균도 종속영양세균의 분포와 선형관계를 나타냈으며 상관 계수값은 0.92로 비교적 높았다.

3.5. 지표미생물에 대한 소독 효과

J 하수처리장 방류수를 대상으로 염소 5 mg/L을 주입한 후 총대장균에 대한 2, 4, 6, 8, 10, 12월 시료에 대한 각각의 비활성화도 (-log(N_t/N₀))를 Figure 10에서 제시하였다. 접촉시간 1 min에 초기 비활성화도는 10, 12, 2, 4, 6, 8월달에 대해 각각 0.28, 0.33, 0.35, 0.39, 0.22, 0.27을 나타냈다. 15 min 동안의 접촉시간 동안 총대장균에 대한 소독효과는 10, 12, 2, 4, 6, 8월에 대해 각각 2.28, 2.50, 1.80, 2.02, 1.79, 1.69의 값을 나타냈다.

온도 조건이 낮은 12월달에 연구기간 중 최대의 소독효과를 나타냈으며 8월은 연구기간 중 가장 수질 온도가 높았음에도 불구하고 가장 낮은 소독효과를 나타냈다. 즉, 일정한 접촉시간 동안 반응 이후에는 하수방류수에 대한 비활성화도는 온도조건에 크게 영향을 받지 않음을 나타낸다. 반면, 총대장균에 대한 비활성화도는 접촉시간에 대해 선형의 관계를 보였으며 비례관계를 나타냈다.

5 mg/L의 염소 주입시 계절별 분변성 대장균의 소독 효율을 Figure 11에 제시하였다. 염소에 대한 분변성 대장균의 소독력은 계절에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으나 15 min의 접촉시간 후 온도가 가장 높은 8월에서 소독 효율이 가장 높았다. 염소의 소독 효율은 10, 12, 2, 4, 6, 8월에서 각각 1.77, 1.90, 1.98, 1.44, 1.82, 2.02를 나타냈다. 분변성 대장균의 염소 소독 반응은 총대장균군의 반응과 동일하게 시간의 함수에 대해 선형적인 관계를 나타냈다.

따라서 총대장균 및 분변성 대장균의 지표미생물에 대한 소독효율은 계절에 따른 수온변화보다 수중 타 영양인자에 영향을 받았으며 염소 접촉시간의 함수와 비례하는 소독효율을 나타냈다. 총대장균은 특히 방류수 중 여름철에 높은 개체수를 나타내어 방류수 수질관리기준(< 3000 개/mL) 이하로[22] 관리하기 위해 부합되는 방안이 요구된다. 또한 국내에는 분변성 대장균군에 대한 관련 방류수 기준은 없지만 분변성 대장균의 변화가 병원미생물의 존재와 보다 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있고[23] 연구 기간 중 USEPA 권고하는 개체 수를 초과하여 위생학적 관리가 이에 대한 관리가 요구된다.

하수처리장에서 방류 후 자연수를 수영 등 레크레이션 등의 목적으로

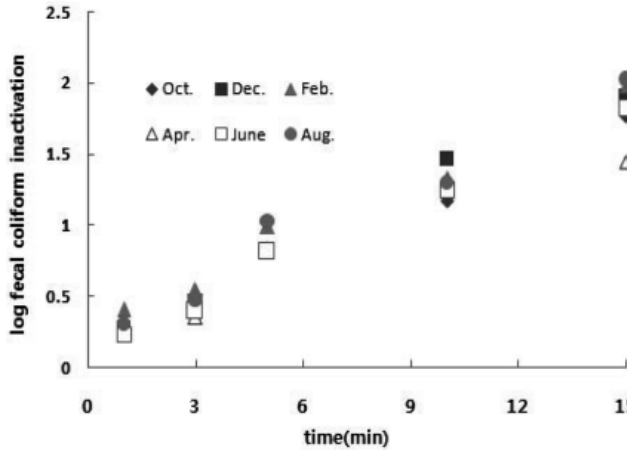


Figure 11. Variation of inactivation of fecal coliform with chlorine of 5 mg/L.

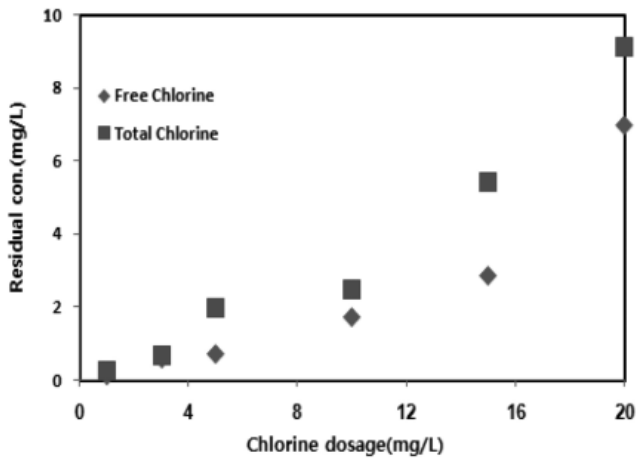


Figure 12. Relationship between chlorine dosage and residual chlorine.

피부의 접촉이나 음용이 이루어질 수 있으므로 안전성 등을 고려하여 총 대장균 및 분변성 대장균의 관리가 철저히 이루어질 것으로 요구되며 특히 여름철에는 연간 최고값을 나타내는 미생물에 대해 집중적으로 대처할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 특히 대규모 및 중소 하폐수 방류시설에서 처리 규모에 따른 염소처리 후 적절한 관리방법이나 명확한 잔류염소에 관한 기준이 마련되지 않아 이에 대한 대책이 요구되며 탈염장치 등과 같은 후속시설에 대해서도 고려되어야 할 것이다.

방류수 수질 기준 이상의 총 대장균수를 나타낸 8월에 채취한 방류수에 대해 염소 소독을 실시할 때 15 min간의 접촉시간 이후 잔류염소농도를 고찰하기 위해 1, 3, 5, 10, 15, 20 mg/L의 염소를 주입 후 잔류하는 유리 및 총 잔류염소의 농도를 Figure 12에 제시하였다. 주입 염소를 1~20 mg/L 주입 시 유리염소 0.11~0.35 mg/L, 총 잔류염소에 대해서는 0.25~9.1 mg/L가 잔류하였다. Brungs (1973)은 염소처리수가 연속적으로 방류되는 지역의 총 잔류염소는 대부분의 수생생물에 대해 0.002 mg/L, 저항성이 있는 수생생물의 경우 0.01 mg/L를 초과해서는 안되며 간헐적으로 방류되는 지역에서는 총 잔류염소는 저항성이 있는 어류에 대해 2 hr/day에 대해 0.2 mgCl₂/L, 특히 환경에 민감한 송어와 연어 등은 0.04 mgCl₂/L를 초과하지 않아야 한다고 보고하였다.

동일한 방류수에 대해 1~10 mg/L의 염소처리 후 THMs를 Figure 13

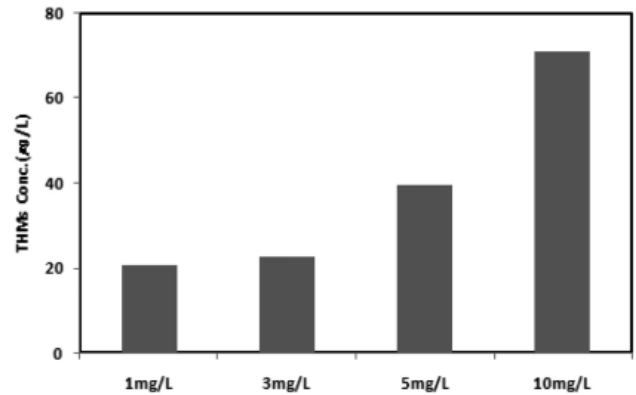


Figure 13. Formation of THMs after chlorination of the finished sewage effluent in August.

에 제시하였다. THM의 생성 농도는 1, 3, 5, 10 mg/L일 때 각각 20.5, 22.6, 39.5, 71.1 µg/L 생성되었다. 이는 김[24] 등의 연구결과와 유사하였으며 유기물의 농도가 상대적으로 높은(평균 7.2 mg/L) 본 하수 방류수에 염소 처리시 THMs의 생성농도는 71 µg/L 이하로 검출되었다. 방류수역에서의 희석효과를 고려하더라도 잔류염소의 농도는 수생태계에 독성을 나타낼 우려가 있으므로 하수처리장에서 염소처리를 할 경우에는 탈염처리를 고려하여 방류하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 국내 J 하수 처리장의 방류수를 대상으로 종속영양세균의 성장과 물리화학적 영향인자와의 관계를 고찰하고 지표 미생물에 대한 소독효과 및 부산물 생성을 파악하기 위해 수행되었다. 연구 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

종속영양세균의 증식을 좌우하는 주요 인자는 DOC, T-N, 수온이었으며 세 인자가 최대값을 나타내는 8월에 종속영양세균의 값은 최고값을 나타냈다. 종속영양세균과 총대장균 및 분변성 대장균의 분포는 높은 상관관계를 나타냈다.

하수중의 구성 성분을 분석하기 위해 단백질, 지방, 전분, 섬유소, 펙틴을 분해하는 세균을 분석한 결과 지방 및 단백질이 대부분을 차지하였으며 분해 세균의 계절별 거동은 종속영양세균과 유사한 경향을 나타냈다. 용존 유기물의 농도가 연간 평균 7.2 mg/L인 하수방류수에 대해 염소 처리를 해도 우려와 달리 THMs 생성율은 71 µg/L로 먹는 물 수질기준 이하로 검출되어 높지 않았다.

참 고 문 헌

1. J. H. Choi, Y. J. Lee, B. T. Myung, D. S. Woo, U. G. Lee, and S. H. Nam, *Kor. J. Env. Hlth.*, **27**, 92 (2001).
2. S. J. Lim and Y. J. Lee, *Korean Journal of Chemical Engineering*, **23**, 595 (2006).
3. G. Bitton, *Wastewater Microbiology* (2nd edition), Wiley-Liss, Inc, New York (1999).
4. T. H. Kim, Y. J. Lee, and S. J. Lim, *Kor. J. Env. Hlth.*, **32**, 431 (2006).
5. Y. J. Lee and S. H. Nam, *Kor. J. Env. Hlth.*, **29**, 65 (2003).
6. Y. J. Lee and T. H. Yoon, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, **14**, 262 (2004).

7. G. C. White, *The Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants* (3rd edition), Van Nostrand Reinhold, New York (1992).
8. H. T. Kim, Formation of Chloroform by Reaction of Linear Alkylbenzenesulfonate with Free Chlorine, Ph. D. Dissertation at Konkuk University, Seoul, Korea (1998).
9. W. A. Brungs, *J. WPCF*, **45**, 2180 (1973).
10. Ministry of Environment, *Standard of Sewer Facilities* (1998),
11. K. Y. Jeong, Y. S. Ko, and Y. J. Lee, *Kor. J. Env. Hlth.*, **33**, 158 (2007).
12. R. T. Wright, *Appl. Environ. Microbiol.*, **36**, 297 (1978).
13. J. Vives-Rego, D. Vaqué, and J. Martinez, *Water Research*, **20**, 1411 (1986).
14. E. R. Peeple, F. L. Singleton, J. W. Deming, B. Cavari, and R. R. Cowell, *Appl. Environ. Microbiol.*, **41**, 873 (1981).
15. C. A. Rimes and R. Goulder, *Freshwater Biology*, **16**, 633 (1986).
16. R. J. Chost, *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 660 (1989).
17. APHA, AWWA and WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (19th edition), Washinton, D. C. (1995).
18. J. J. Ryu, C. G. Lee, M. S. Kim, Y. S. Yoon, H. K. Kwon, J. K. Song, S. Y. Lee, and C. G. Shin, *Statistical Analysis of Long-term Water Quality Trend and Multi-variate in Nakdong River*, Environment Cooperative Proceeding (2007).
19. R. A. Issac and J. C. Morris, Modeling of Reactions between Aqueous Chlorine and Nitrogenous Compounds (in *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*), 4, Ann Arbor Science, MI.
20. M. A. Kwak, J. H. Jung, S. M. Eo, and H. K. Lee, *Korean J. Sanitation*, **19**, 1 (2004).
21. K. J. Flint, *Microbial Ecology of Domestic Wastes* (in *Experimental Microbial Ecology* by Burns, R. G and Slater, J. H.), Blackwell Scientific, London (1982).
22. Ministry of Environment, *Proposals to Amend the Sewer Law* (2007).
23. S. G. Ann, S. J. Kim, S. J. Kim, T. S. Ann, K. H. Lee, T. Y. Ann, K. S. Jo, O. S. Kwon, and S. J. Park, *Environmental Microbiology*, Sinkwang Publishing, 294 (2000).
24. C. K. Lee, B. W. Bae, H. S. Song, J. W. Kim, and B. C. Lee, *Effect of Chlorination on the DBPs Formation in the Discharged Wastewater*, 2004 Spring Conference Proceedings, 177 (2004).