

환경수계 레지오넬라균 오염 지표의 메타분석

조영근

경성대학교 생물학과

Meta-Analysis of Risk Factors for Contamination of Environmental Waters by *Legionella*

Young-Gun Zo

Department of Biology, Kyungsoong University, Busan 608-736, Republic of Korea

(Received December 11, 2013 / Accepted December 24, 2013)

To identify risk factors for *Legionella* contamination, water quality variables routinely measured in examination of natural and city waters were meta-analyzed for significance of correlation to *Legionella* incidences. For evaluation of abundance of *Escherichia coli* as a risk factor, which is currently used as an indicator of *Legionella* contamination in an official guideline in Korea, odds ratio (OR) of above-cutoff total coliform counts for *Legionella* presence/absence was used as the effect size in the meta-analysis. The OR was estimated as 1.05 (0.36-3.12, 95% CI), and the probability of having identical odds reached 0.92. Also, ORs from individual studies showed significant heterogeneity ($P=0.008$), which contributed to 63% of total variance of the ORs. In the case of heterotrophic plate count (HPC), the OR for *Legionella* presence/absence was 2.72 (2.04-3.63) with highly significant deviation from identical odds ($P<0.0001$). ORs from different studies were seemingly homogeneous ($Q_{df=8}=12.7, P=0.12$). Turbidity and concentrations of chlorine, iron ion and copper ion were other routine variables that could be considered as risk factors. However, statistical measures from different studies were not uniform enough to develop an appropriate effect size while the number of studies reporting the variables was also small (3-5). In conclusion, HPC appeared to be appropriate as indicator of *Legionella* contamination, rather than fecal bacteria contamination. HPC may imply abundance of habitats (amoebas and biofilms) of *Legionella* in water. This result warrants further studies for standardizing protocols and cutoff values to infer *Legionella* risks from HPC.

Keywords: *Legionella*, heterotrophic plate count, indicator, meta-analysis, water quality

주로 폐렴과 폰티악증 증상으로 발병하는 레지오넬라균은 *Legionella* spp.가 호흡기 세포를 감염하면서 일으키는 질병으로, 한국의 경우 주로 50세 이상의 고령자를 중심으로 연간 20-30건 정도가 발생한다(감염병웹통계; <http://www.cdc.go.kr>). 레지오넬라균이 사람과 사람 사이에 전파되는 예는 보고되고 있지 않으나, 자연환경의 수체 또는 인공시설에서 사용되는 용수가 에어로졸을 형성할 때 수중 레지오넬라균이 에어로졸 내에 함유되어, 사람의 호흡기를 감염시키는 감염기작은 잘 알려져 있다(Diederer, 2008). 레지오넬라균은 수계에서 아메바 세포 속에서 기생하거나 생물막(biofilm) 속에서 생존 및 번식하는 특성이 있다. 따라서, 레지오넬라균은 자연환경의 수체에서 흔히 발견될 뿐만 아니라, 온도가 $>25^{\circ}\text{C}$ 로 재순환하는 각종 시설 용수에서 특히 잘 증식하기도 하여, 건물 냉방용 냉각탑 용수, 가정 및 공공시설에서 사용하는 배관 운수 등에 고농도로 서식할 수 있

다(Diederer, 2008).

최근 국내 인문 환경의 두드러진 변화들 중 찜질방/스파 등 온수급수 사용하는 시설이 급증한 현상, 물놀이용 바닥분수가 급증하는 현상, 그리고 인구구성의 빠른 고령화 현상은 앞으로 레지오넬라균 환자가 빈발할 수 있는 요인들이다(CDC Korea, 2012; Lee and Zo, 2013). 따라서, 앞으로 보다 면밀히 환경 수계의 레지오넬라균 함유 여부를 판정하고 수질을 관리할 필요가 있으며, 자연수 및 용수 중 레지오넬라균의 농도를 쉽게 측정하는 효율적 방법이 요구되고 있다.

한국에서 수중 레지오넬라균의 농도를 관리하도록 하고 있는 기준은 질병관리본부가 제정한 '레지오넬라균 관리지침'(CDC Korea, 2012)과 환경부가 제정한 '물놀이형 수경(水景)시설의 수질관리 지침'(Ministry of Environment Korea, 2010) 두 가지이다. 질병관리본부 지침의 경우 10^3 CFU/L 미만의 농도를 보이는 수체는 처리없이 사용이 가능한 수준의 수질로 평가하며, 10^6 CFU/L 이상의 농도의 용수는 즉시 청소 및 소독 처리를 하도록 하며, 그 사이의 농도를 보이는 용수는 지속적 검사 등 주의를 기

*For correspondence. E-mail: zoyful@gmail.com; Tel.: +82-51-663-4643; Fax: +82-51-627-4645

Table 1. Characteristics of studies in described the literatures subjected to meta-analysis in this study

SN	Source	Location	Water	Method	<i>n</i> ^a Variables measured
1	Bargellini <i>et al.</i> (2011)	Heated water; Italy	Heated water	Culture	408 HPC, Fe, Cu
2	Cho <i>et al.</i> (2011)	Rivers; Korea	River water	PCR	96 coliform, turbidity
3	Edagawa <i>et al.</i> (2008)	Public buildings; Japan	Heated water	PCR/Culture	130 HPC, turbidity, chlorine, Fe, Cu
4	Hsu <i>et al.</i> (2006)	Hot spring; Taiwan	Spring water	PCR/Culture	91 HPC, coliform
5	Hsu <i>et al.</i> (2009)	Mud spring, Taiwan	Spring water	PCR/Culture	34 HPC, coliform, turbidity
6	Huang <i>et al.</i> (2010)	Recreation facilities; Taiwan	Spring water	PCR/Culture	72 HPC, coliform, turbidity
7	Kim <i>et al.</i> (2003)	Cooling towers; Korea	Cooling water	PCR/Culture	68 turbidity, chlorine, Fe, Cu
8	Mouchtouri <i>et al.</i> (2007)	Hotels; Greece	Heated/cold water	Culture	385 HPC, coliform, chlorine
9	Park <i>et al.</i> (2007)	Rivers, Treated water; Korea	River/treated water	PCR	92 HPC, coliform, turbidity
10	Qin <i>et al.</i> (2013)	Spring water; China	Cooling water	Culture	96 HPC, coliform, chlorine
11	Serrano-Suárez <i>et al.</i> (2013)	Hotels, nursing homes; Spain	Heated water	PCR/Culture	231 HPC, Fe

^a*n* = no. of water samples used in each study

올이며 사용하도록 하고 있다. 환경부의 수경시설 관리지침의 경우, 레지오넬라균의 관리는 질병관리본부의 지침을 따르되, 100 ml당 200 CFU 이상의 대장균이 검출된 물놀이 용수에 대하여서만 농도를 검사하여 따르도록 하고 있다. 이는 환경부의 위락용수 수질관리 지침의 일반적인 경우들에서 분변성 오염의 지표로 대장균 농도를 사용하는 것과 마찬가지로, 레지오넬라균 함유여부의 지표로 대장균 농도를 사용하는 것이다. 그러나 분변성 오염의 정도가 레지오넬라균의 농도와 상관관계를 가지는 기작을 면밀히 검토한 연구는 아직 없다. 레지오넬라균 분포조사에서 수질항목으로 측정된 총대장균군 또는 대장균의 농도와 상관관계에 대한 해석한 보고들은 그 상관관계의 유무에 대하여 서로 상이한 결론을 제시하고 있다(Huang *et al.*, 2009; Qin *et al.*, 2013). 따라서, 대장균 농도가 레지오넬라균 농도에 대한 적절한 지표가 될 수 있을 지는 검토의 여지가 있다. 또한, 대장균 이외에 일반적으로 수질을 나타내는 지표로 자주 사용되는 항목들 중에서, 미생물학적 인과관계에 기반하여, 레지오넬라균 농도와 상관성이 더 높은 항목이 존재하는지도 검토하여야 할 필요가 있다.

본 연구는 자연수 또는 인공시설 용수의 수질을 평가하기 위하여 측정되는 일반적인 수질관리 항목들 중에서 레지오넬라균에 의한 오염도를 보여주는 위험지표로 사용될 수 있는 수질 항목을 탐색하는 것을 목표로 하였다. 레지오넬라균의 분포를 조사한 연구문헌들에서 레지오넬라균의 유무/농도와 다양한 수질 항목들의 측정치들을 수집하고, 메타분석을 통하여 각 수질항목이 레지오넬라균 검출을 예측하는 정도와 예측의 유의성을 검증하였다. 메타분석은 특정 변수들간의 관계에 대한 선행연구 결과들을 통계적으로 종합하여, 그 관계의 측정량(효과크기; effect size)의 크기와 유의성을 검증하는 방법이다(Borenstein *et al.*, 2005). 개별 실험에 의한 수질변수들 간의 상관도 분석은 특정한 수체만을 대상으로 할 수 밖에 없으므로, 측정결과와 해석은 동류의 수체에 대하여서만 유의한 해석이 가능하다. 반면, 메타분석은 다양한 환경에서 실시된 연구결과 마다 다소 상이한 결론이 도출되는 경우에 공통된 효과크기의 경향성과 이질성을 정량화해 줄 수 있기 때문에 본 연구의 목적에 적합한 것으로 판단되

었다.

메타분석을 위하여 레지오넬라균의 분포에 대한 논문 및 연구보고서들을 수집하고, 레지오넬라균의 유무/농도와 함께 측정된 수질항목들의 대비표를 만들었으며, 그 중 3개 이상의 연구에서 공통적으로 사용된 수질항목들을 메타분석 대상 항목으로 선정하였다. 그 결과, Table 1에 나열된 11개 연구가 공통된 수질항목을 다수 조사한 연구들로 선별되었다. 11개 연구에서 분석 대상이 된 수체들은 온천수, 건물배관 온수 및 냉수, 냉각탑 냉각수, 하천수 등으로 다양하였다. 가장 많은 빈도로 측정된 관계는 종속영양세균수(heterotrophic plate count; HPC)로 7개 연구에서 공통되었고, 2개 연구에서는 배양온도를 22°C와 37°C로 달리한 2개의 결과가 제시되었다. 대장균의 경우, 대장균(*Escherichia coli*) 농도를 측정할 경우와 총대장균군(total coliforms)을 측정할 경우들이 각각 3건과 6건이었다. 하지만, Mouchtouri *et al.* (2007)과 Park *et al.* (2007)의 논문은 한 항목 또는 두 항목 모두에 대하여 분석 가능한 수준의 정량적 결과가 제시되지 않아서, 대장균 농도 분석이 총 2건, 총대장균군을 측정할 분석이 총 4건으로 집계되어, 대장균 농도만으로는 분석대상 자료수가 충분하지 않아 메타분석이 불가능한 상황이었다. 대장균과 총대장균군은 분변성 오염이라는 동일한 종류의 지표로 활용되므로, 분변성균 오염과 레지오넬라균 오염의 상관성을 분석한다는 제한된 해석 범위를 염두에 두며, 하나의 항목으로 간주하고 6개 연구결과에 대한 분석을 실시하고, 4개 총대장균 항목을 제공한 경우는 따로 다시 한번 메타분석하는 접근법을 사용하였다. 편의상 추후의 기술에서, 별도의 서술이 없는 한, 총대장균과 대장균 항목을 총대장균군 항목으로 지칭하기로 하였다. 다음으로 많이 측정된 항목은 4개 연구에서 측정 및 보고된 탁도였다. 염소농도, Fe와 Cu 이온의 농도는 각각 3개 연구들에서 보고되어, 다양한 연구의 자료에서 발생하는 일반성과 이질성을 해석하는 메타분석을 수행하는 데 매우 부족한 자료 양이었다. 메타분석을 위한 통계적 계산은 통계프로그램밍 환경인 R에서 작동하는 ‘metafor’ 패키지를 활용하였다(Viechtbauer, 2010). 모든 통계적 검증에서 사용한 유의수준은 $P < 0.05$ 이었다.

환경부 물놀이용 수경시설 수질관리 지침에서 분변성균 오염

도를 레지오넬라균 오염도의 척도로 이미 사용하고 있는 실정이므로, 총대장균군 항목이 레지오넬라균을 검출한 여러 조사에서 레지오넬라균의 오염도와 유의한 상관도를 보이는 지가 본 연구의 가장 큰 분석 대상 가설이었다. Hsu *et al.* (2009)은 총대장균 농도를 결과로 제시하였고, 대부분의 다른 연구들은 대장균 농도가 어떤 경계값(cutoff)을 상회할 때 레지오넬라균이 검출된 경향성을 표현한 교차비(odds ratio; OR)를 결과로 제시하고 있어, 교차비를 효과크기로 사용하여 메타분석을 실시하였다. Figure 1A에서 자료의 분포와 메타분석 결과를 그래프로 표현하였다. Qin *et al.* (2013)의 결과를 제외하고는 교차비는 1과 유의하게 다르지 않아(Wald's test 또는 likelihood ratio test; $P>0.05$), 실험적 결과에서 이미 분변성균 오염이 레지오넬라균 오염도와 좋은 상관도를 보일 수 없다는 점을 시사하였다. 이질성(heterogeneity)을 random effect로 설정한 모델을 사용한 restricted maximum likelihood (REML) 회귀분석을 수행하여 산정된 총대장균군의 교차비는 1.05 (0.36-3.12)로, 1과 같은 확률이 0.92에 달하였다. 또한, 개별 총대장균군 자료 사이에는 유의한 수준의 자료간 이질성을 보였으며($P<0.01$), 무작위적인 자료간 이질성이 전체 교차비 변량의 63%를 차지하였다($I^2=63.4%$). 이상의 결과들을 고려하면, 분변성균 오염은 안정적으로 레지오넬라균의 오염도를 반영하지 못하는 항목이며, 평균적으로 레지오넬라균 오염도와 상관관계가 미흡하였다.

한편, Hsu *et al.* (2009)은 총대장균군 농도를 상세히 제시하

고 있었기 때문에, 이 자료를 대상으로 환경부 지침에서 사용하는 경계값의 유효성을 검토하였다. 환경부 지침은 100 ml당 200 CFU의 기준을 경계값으로 하므로, 이에 대한 교차비를 측정하고, 그 보다 강화된 기준들(≥ 10 , ≥ 50 , ≥ 100 CFU per 100 ml)을 적용하였을 때의 교차비를 측정하였다. 그 결과에 따르면, 모든 교차비는 1과 유의하게 다르지 않았다. 대장균의 경계값 이상 오염도가 확인된 후 레지오넬라균 농도를 측정하도록 한 현행 환경부 지침, 즉 분변성균 오염도로 레지오넬라균 오염도를 인지하는 접근법은, 유효하지 않는 것으로 사료된다. 결론적으로 인과관계, 상관도, 안정성 모두에서 분변성 오염도는 레지오넬라균의 오염도의 지표로 사용되기에 적절하지 않다고 판단되었다.

종속영양세균수의 경우, 총대장균군과 마찬가지로, 교차비를 보고하는 연구가 주류를 보여 교차비를 메타분석의 효과크기로 사용하였다. 분석에 사용된 각 연구들은 시료의 종류가 다양하였을 뿐만 아니라, 종속영양세균수의 측정에 사용된 배지의 종류(R2A, TGE, PC)와 배양온도(22~37°C)와 배양시간(24~72 h) 등이 다양한 상태로 하여 측정되었으므로, 개별 교차비 사이에 상당한 이질성이 예상되었다. 더욱이, 개별 연구들은 서로 다른 다양한 경계값을 사용하였다. 4개 연구는 해당 국가의 수질 기준을 적용하였는데, 400 CFU/L를 사용한 경우(Mouchtouri *et al.*, 2007; Qin *et al.*, 2013)와 대만의 500 CFU/L를 적용한 경우(Hsu *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2009)가 각각 2건씩 있었다. Bargellini *et al.* (2011)와 Serrano-Suárez *et al.*(2013)의 경우, 2개

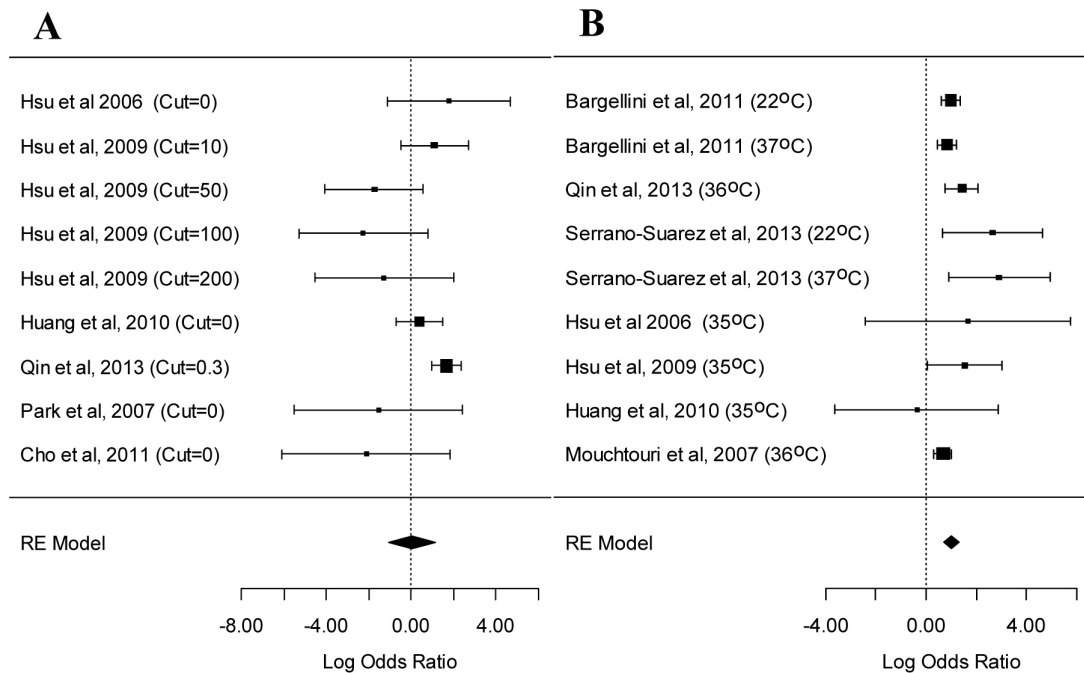


Fig. 1. Forest plot showing natural logarithms of odds ratios and their 95% confidence intervals for *Legionella* in water. (A) odds ratios for *Legionella*-positivity when concentration of coliform bacteria was above the cutoff values (CFU per 100 ml) shown in parentheses. The sources of data were presented with author name followed by year of publication at the left side of the plot. (B) odds ratios for *Legionella*-positivity, determined by heterotrophic plate counts.

의 배양온도를 사용하고, 관찰된 값들에서 교차비를 크게하는 경계값을 사용하였는데, 22°C에서 각각 27 CFU/L와 5,000 CFU/L를, 37°C에서 각각 150 CFU/L과 14,000 CFU/L의 매우 상이한 경계값을 사용하였다. Hsu *et al.* (2009)의 경우, 높은 농도의 종속영양세균수 측정값을 제공하였는데, 본 연구에서 교차비를 크게 하는 경계값인 30,000 CFU/L의 고농도를 사용하였다. 따라서, 본 연구의 종속영양세균수 메타분석에 사용된 개별 연구 결과들은 시료의 종류, 배지 종류, 배양 온도, 배양 시간, 경계값 등이 상당히 상이한 이질적 요소들을 함유하고 있었다. 하지만 교차비에 대한 메타분석의 결과, 자료간 이질성이 없다는 가설이 검정되었으며($Q=12.7, P=0.12$), 설사 이질성이 있다고 하더라도 전체 교차비 변량의 30% 이하($I^2=29.7%$)로 적은 양에 불과하였다. Random effect model을 사용하여 산정된 교차비는 2.72 (2.04-3.63; 95% CI)로 1 보다 매우 유의하게 높은 값이었다($P<0.0001$). 이 결과에 따르면, 다양한 경계값을 적용하였을 때, 그 경계값 보다 높은 종속영양세균수를 보인 수체들은 레지오넬라균을 함유하고 있을 확률이 함유하지 않을 확률에 비하여 평균적으로 약 2.7배 높게 측정되었다. 총대장균군과 달리 종속영양세균수는 서로 다른 연구에서 측정의 조건이 상이함에도 불구하고, 안정적으로 레지오넬라균의 오염 여부를 판정하였으므로, 오염도 지표로 사용함이 적절한 것으로 사료된다.

탁도는 진흙 온천수를 분석한 Hsu *et al.* (2009)의 논문과 Fig. 2에 표시된 4개 연구들에서 측정 및 보고 되었다. Hsu *et al.* (2009)와 Cho *et al.* (2011)의 경우, 시료별로 레지오넬라균 검출 유무와 함께 탁도를 제시하였고, Kim *et al.* (2003)의 경우, 레지오넬라의 두 가지 다른 검출법에 대하여 시료의 집단별로 탁도와 검출빈도를 제공하였다. 그러나 Edagawa *et al.* (2008)의 논문은 레지오넬라균 양성과 음성의 시료집단 각각에 대한 평균과 표준편차만을 제공하였으므로, 평균차(mean difference; MD)를 효과크기로 하는 메타분석만이 가능하였다. 한편, Hsu *et al.* (2009)의 연구는 진흙 온천 샘플과 처리 후 시설에서 사용하는 용수를 대상으로 하였으므로, 탁도의 변이도가 매우 심하게 나타났다. 이 연구의 탁도 자료에서 계산된 MD는 -5,490 (-12,500 -1,520; 95%CI)로 다른 4개 연구결과에 비하여 현저히 큰 규모의 MD를 보였다(Fig. 2). 따라서, 탁도에 대한 메타분석은 Hsu

et al. (2009)의 자료를 포함한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 진행하였다. 탁도의 MD를 5개 개별연구에 대하여 메타분석을 실시한 결과, MD 측정치 모두가 0과 유의하게 다르지 않았다($P>0.22$). 본 연구에서 확보된 자료의 양적 한계가 있긴 하지만, 관찰된 결과는 탁도를 레지오넬라균의 유무를 판정하는 지표로 삼을만한 상관성을 보여주지 않았다. 연구의 수가 3개로 최소한에 그친 염소 농도와 Fe, Cu 이온 농도의 경우, 공통된 효과크기를 결정하기 힘들었기 때문에, 메타분석이 용이하게 실시될 수 없었다.

이상의 결과에 따르면, 수계의 분변성 오염지표인 대장균과 레지오넬라균의 상관관계는 대부분의 개별연구와 메타분석에서 관찰되지 않았다. Qin *et al.* (2013)의 결과에서만 총대장균군의 수가 레지오넬라균 검출과 상관도가 있었다[5.3 (2.7-10.3)]. 그러나 이 연구에서 종속영양세균수의 교차비도 4.1 (2.1-8.0)으로 상당히 근접한 값이었다는 점을 주목할 필요가 있다. 만일 총대장균군이 레지오넬라균의 검출 유무와 상관성이 있다고 하더라도, 상시적인 수질검사에서 종속영양세균수가 더 저비용의 항목이므로, 종속영양세균수를 지표로 사용하는 것이 더 적절하다. 본 연구의 결과는 종속영양세균수가 레지오넬라균 검출유무와 전반적으로 좋은 상관도를 갖는 것으로 평가되었다. 본 연구에서 고찰한 2개의 연구에서 종속영양세균수는 레지오넬라균 오염의 유효한 지표가 되지 못하였는데, 두 연구가 모두 같은 연구원들에 의하여 유사한 온천샘물과 온천목욕수를 사용한 점에서 해당 연구만의 어떤 특성이 반영되었을 수 있다. 또한, 교차비가 높은 산포도를 보이는 점을 볼 때(Fig. 1B), 시료간 변이가 특히하게 높다는 특성이 종속영양세균수와 레지오넬라균 오염도 사이의 상관도를 저해한 특별한 경우로 간주될 수도 있다.

종속영양세균수는 사람에게 직접적인 건강위해성을 보이는 변수는 아니다(Allen *et al.*, 2004). 하지만, 종속영양세균수가 수질의 변동을 반영하는 조작적 수단(operational tool)이 됨은 다양한 연구에서 지속적으로 확인된다(Sartory, 2004). 수온이 상온 정도의 수준으로 유지된다면 세균의 빠른 생장 특성 때문에 종속영양세균은 짧은 시간에 수체의 수용능력(carrying capacity)에 근접하게 되어, 일정한 농도를 유지하게 된다. 즉, 생태학적으로 종속영양세균수는 수체의 세균 수용능력으로 해석될 수 있으며, 세균 수용능력이 높은 수체는 아메바의 생장을 촉진하고 생물막을 형성할 가능성이 높다. 따라서, 종속영양세균수와 레지오넬라균 사이에는 종속영양세균수가 증가할수록 레지오넬라의 서식처(아메바와 생물막)가 증가한다는 인과관계가 존재한다. 반면, 분변성 세균의 존재와 레지오넬라균의 오염은 이와 같은 보편적 인과관계가 존재할 것으로 생각되지 않는다.

종속영양세균수를 레지오넬라균 오염도 지표로 사용함에 있어 고려될 수 있는 단점은 종속영양세균수가 개별 조사별로 다양한 방법으로 측정된다는 점이다(Reasoner, 2004). 배지의 종류, 배양온도, 배양시간, 접종방법 등에서 여러 가지 선택가능성이 있기 때문이다. 본 연구의 메타분석 결과, 이런 차이점들은 레지오넬라균 오염도에 큰 이질성을 부여하지 않는 것으로 보이며, 레지오넬라균 오염도 지표로서 종속영양세균수 측정방법의 내용을 일정하게 표준화하여 사용한다면, 종속영양세균수는 더

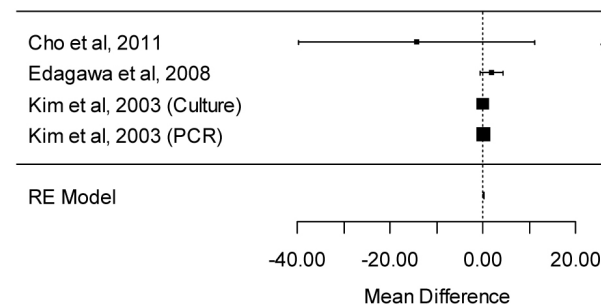


Fig. 2. Forest plot showing mean differences of turbidity and their 95% confidence intervals. Mean difference represents difference of mean turbidity of *Legionella*-positive samples from that of *Legionella*-negative samples.

육 안정성 높은 레지오넬라균 오염의 지표가 될 수 있을 것이다. 실험 방법의 표준화와 함께, 위해도 평가를 통한 종속영양세균 수 지표의 경제값을 설정하는 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

적 요

레지오넬라균에 의한 자연환경의 수체 및 각종 시설 용수의 오염도를 조사하는데 적용할 수 있는 오염도 지표를 통상적으로 측정되는 수질항목 중에서 선정하려는 목적으로, 다양한 수체에 적용된 수질항목들이 레지오넬라균 오염도와 어느 정도 유의한 상관관계를 맺는 지에 관한 메타분석을 실시하였다. 환경부의 수질관리 지침에서 레지오넬라균 오염도의 위험지수로 사용되고 있는 대장균의 경우, 총대장균군 항목과 레지오넬라균 검출여부의 교차비(odds ratio; OR)로 분석하였는데, 교차비는 1.05 (0.36-3.12, 95% CI)로, 오즈의 차이가 없을 확률이 0.92에 달하였다. 또한, 총대장균군 자료는 유의한 수준의 자료간 이질성을 보였으며($P=0.008$), 무작위적인 자료간 이질성이 전체 교차비 변량의 63%를 차지하였다. 종속영양세균수(HPC)의 교차비가 2.72(2.04-3.63)로 1 보다 매우 유의하게 높았고($P<0.0001$), 자료간 이질성이 없었다($Q_{df=8}=12.7$, $P=0.12$). 탁도와 염소농도, 철과 구리 이온의 농도 등이 레지오넬라균 검출여부와 함께 조사되는 통상적 수질항목이었으나, 자료수의 부족과 정량 자료의 통일성 부족으로 적절한 메타분석이 수행 될 수 없었다. 결론적으로, 분변균의 오염도 보다, 수중 레지오넬라균 서식지(아메바와 생물막)의 양을 표현하는 종속영양세균수가 레지오넬라균의 오염도 지표로 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 실험 방법의 표준화와 경제값을 판단하는 후속 연구가 필요하다.

감사의 말

이 논문은 2013학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- Allen, M.J., Edberg, S.C., and Reasoner, D.J. 2004. Heterotrophic plate count bacteria?-what is their significance in drinking water? *Int. J. Food Microbiol.* **92**, 265-274.
- Bargellini, A., Marchesi, L., Righi, E., Ferrari, A., Cencetti, S., Borella, P., and Rovesti, S. 2011. Parameters predictive of *Legionella* contamination in hot water systems: association with trace elements and heterotrophic plate counts. *Water Res.* **45**, 2315-2321.
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., and Rothstein, H. 2005. *Comprehensive Meta-Analysis*. Biostat, Englewood, NJ, USA.
- CDC Korea. 2012. Guideline for Management of Legionnaires' Disease. Center for Disease Control and Prevention, Korea, Osong, Korea.
- Cho, K.S., Kim, S.B., Park, D.S., Ahn, T.Y., and Yu, B.C. 2011. Development of Surveillance Technology for Harmful Microorganisms in Environments under Climate Change. National Institute of Environmental Research Korea, Incheon, Korea.
- Diederer, B.M.W. 2008. *Legionella* spp. and Legionnaires' disease. *J. Infect.* **56**, 1-12.
- Edagawa, A., Kimura, A., Doi, H., Tanaka, H., Tomioka, K., Sakabe, K., Nakajima, C., and Suzuki, Y. 2008. Detection of culturable and nonculturable *Legionella* species from hot water systems of public buildings in Japan. *J. Appl. Microbiol.* **105**, 2104-2114.
- Hsu, B.M., Chen, C.H., Wan, M.T., and Cheng, H.W. 2006. *Legionella* prevalence in hot spring recreation areas of Taiwan. *Water Res.* **40**, 3267-3273.
- Hsu, B.M., Lin, C.L., and Shih, F.C. 2009. Survey of pathogenic free-living amoebae and *Legionella* spp. in mud spring recreation area. *Water Res.* **43**, 2817-2828.
- Huang, S.W., Hsu, B.M., Ma, P.H., and Chien, K.T. 2009. *Legionella* prevalence in wastewater treatment plants of Taiwan. *Water Sci. Technol.* **60**, 1303-1310.
- Kim, K.Y., Kim, Y.S., Song, J.C., Lee, S.J., Kim, S.U., Choi, T.Y., Park, W.S., and Lee, C.M. 2003. Comparison of methods for identification and the effects on *Legionella pneumophila* of the cooling towers in Seoul. *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.* **13**, 1-19.
- Lee, I.S. and Zo, Y.G. 2013. Quantitative microbiological risk analysis of *Legionella* infection of children from recreational activities in interactive fountains. *Korean J. Microbiol.* **submitted**.
- Ministry of Environment Korea. 2010. Guideline for Management of Water Quality in Interactive Waterscape Facilities.
- Mouchtouri, V., Velonakis, E., Tsakalof, A., Kapoula, C., Goutziana, G., Vatopoulos, A., Kremastinou, J., and Hadjichristodoulou, C. 2007. Risk factors for contamination of hotel water distribution systems by *Legionella* species. *Appl. Environ. Microbiol.* **73**, 1489-1492.
- Park, H.K., Jung, E.Y., Jung, J.M., and Yu, P.J. 2007. Detection and distribution of bacterial pathogens in raw water and during water treatment process by polymerase chain reaction. *J. Life Sci. (Korea)* **17**, 1374-1380.
- Qin, T., Yan, G., Ren, H., Zhou, H., Wang, H., Xu, Y., Zhao, M., Guan, H., Li, M., and Shao, Z. 2013. High prevalence, genetic diversity and intracellular growth ability of *Legionella* in hot spring environments. *PLoS One* **8**, e59018.
- Reasoner, D.J. 2004. Heterotrophic plate count methodology in the United States. *Int. J. Food Microbiol.* **92**, 307-315.
- Sartory, D.P. 2004. Heterotrophic plate count monitoring of treated drinking water in the UK: a useful operational tool. *Int. J. Food Microbiol.* **92**, 297-306.
- Serrano-Suárez, A., Dellunde, J., Salvado, H., Cervero-Arago, S., Mendez, J., Canals, O., Blanco, S., Arcas, A., and Araujo, R. 2013. Microbial and physicochemical parameters associated with *Legionella* contamination in hot water recirculation systems. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **20**, 5534-5544.
- Viechtbauer, W. 2010. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *J. Stat. Software* **36**, 1-48.