

바닥분수에서 물놀이를 하는 아동들의 *Legionella*균 감염 위험도 분석

이인섭 · 조영근*

경성대학교 생물학과

Quantitative Microbial Risk Assessment on *Legionella* Infection in Children Playing in Interactive Fountains

In-Sup Lee and Young-Gun Zo*

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

(Received December 3, 2013 / Accepted December 21, 2013)

Recently interactive water fountains are gaining popularity in making public facilities in South Korea. The total number of interactive fountains is rapidly growing at the rate of >50% annually. In this study, we performed quantitative microbial risk assessment to estimate infection risks in children by *Legionella* spp. while playing in interactive fountains. The exposure dose for a given concentration of *Legionella* in water was calculated using water-aerosol partition rate of *Legionella*, exposure duration, inhalation rate, and deposit rate of aerosols in the lungs following inhalation. The dose was converted to infection risk by using the dose-response function developed for *L. pneumophila*. High weight and/or old children, i.e., 12-year children, running around in fountains were the highest risk group by showing >0.05 infection probability for fountain waters containing $\geq 10^4$ CFU/L *Legionella*. The result supported the current guideline by Korea Centers for Disease Control and Prevention, which permits use of water with 10^3 CFU/L *Legionella* cells for all purposes. However, the results still warrant further evaluation of the guideline to accommodate risks for children because the dose-response relationship in the model was developed for healthy adults. Further risk assessment studies need to be conducted by employing dose-response model for children who generally carries weaker immune system than adults.

Keywords: *Legionella*, aerosol, children, interactive fountains, quantitative microbial risk assessment

근래 대중이 출입하는 곳에 경관과 위락을 용도로 하는 바닥분수를 설치 운영하는 경우가 급증하고 있다. 각급 지방자치단체들과 민간 기업에 의해 설치 운영되는 수경시설의 수가 2010년에 447개소에 이르는 것으로 보고된 바 있으며(Ministry of Environment Korea, 2010), 2013년 6월 10일자 환경부 보도자료에 따르면, 2011년 325개소로 파악된 바닥분수의 수가 2012년 506개소로 55.7%의 증가율로 급증하는 양상을 보였다(<http://www.me.go.kr>). 그러나 급증하는 바닥분수의 미생물학적 안전성에 대한 관리는 취약하여, 상기 보도자료는 약 17%의 바닥분수에서 적절한 수질관리가 수행되지 않는 것으로 보고하였다. 바닥분수의 물놀이 이용자는 대부분 12세 이하의 아동들인데, 자녀를 둔 시민들은 전반적인 수질의 양호도에 대하여 우려하는 인식을 보이고 있다(Kim *et al.*, 2009).

바닥분수에 대한 현행 수질관리 지침은 ‘물놀이형 수경시설의

수질관리 지침(환경부, 2010.8.26)’으로, 대장균이 100 ml 당 200 CFU 미만, *Legionella*균은 대장균이 검출된 수체에 대하여서만 검사를 실시하고 그 결과를 보관하는 하는 2개의 미생물학적 안전성 규정을 두고 있다. 이런 규정은 아동들이 바닥분수를 이용하면서 분수 용수를 피부에 접촉함은 물론, 용수와 분수에서 만들어지는 에어로졸을 입과 코로 흡입하면서 용수 중의 미생물을 체내로 받아들이는 과정이 발생하고, 용수 중의 병원체에 의하여 소화기 계통의 감염이나 호흡기 계통의 감염이 발생할 수 있기 때문에 마련되었다. 상기 지침은 소화기 계통을 감염할 수 있는 다양한 병원체들을 대장균을 지표 미생물로 사용하여 관리하며, 호흡기 계통의 감염할 수 있는 병원체의 경우, *Legionella* 균을 주된 관리 대상으로 삼아 관리하는 방안을 택하고 있다.

최근 보고된 어린이들의 물놀이 시설 행동 양식 분석 결과를 참조하면, 현행 수질관리 지침이 실질적으로 어린이들에게도 유효한지 검토해보아야 할 필요성이 제기 된다(Nett *et al.*, 2010). 수경시설의 수질을 현행 수질관리 지침에 따라 100 ml당 200 CFU 미만으로 관리할 경우, 노출량은 1,172 CFU 이하이며, 이

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

Table 1. Parameters and their estimates used in risk assessment of *Legionella* infection for individuals using interactive fountains

Parameter	Description	Best estimates	Unit	Distribution	Source
F_A	Fraction of cells partitioned into aerosols among total cells in water	2.3×10^{-5}	CFU/m ³ /CFU/L	$N[2.3 \times 10^{-5}, (3.6 \times 10^{-6})^2]$	Azuma <i>et al.</i> (2013), Rose <i>et al.</i> (1998)
h	Inhalation rate of Korean children	0.3-0.6	m ³ h ⁻¹	Monte Carlo simulation	http://SizeKorea.kats.go.kr Jang <i>et al.</i> (2007)
T_i	Time spend in fountains operating without a break	49.5 min		$N(49.5, 14.6^2)$	Swimming hours in Jang <i>et al.</i> (2007)
T_o	Duration of fountain operation	20-60 min		Discrete distribution $Pr(20) = 0.17, Pr(30) = 0.39$ $Pr(40) = 0.06, Pr(60) = 0.39$	This study
t	Apparent time spend in fountains	0.59 h		Minimum between T_i and T_o	This study
F_L	Fraction of aerosols deposited into lungs	0.5		constant	Azuma <i>et al.</i> (2013)
d	No. of cells to which lungs get exposed	~2.5	CFU by C_w	Monte Carlo simulation	This study
r	Coefficient in exponential dose-response model	0.06		constant	Armstrong and Haas (2007) Azuma <i>et al.</i> (2013)

정도의 노출량은 성인이 저병원성 대장균에 노출되는 경우 0.03 이하의 낮은 위험도를 유지하게 해주지만, 대장균이 고병원성인 경우, 면역력이 적은 아동에 가해지는 위험도는 <0.43 수준에 이를 수 있어, 현행 관리지침이 바닥분수의 주된 사용자인 아동들에 대한 위험성을 효과적으로 관리하지 못할 가능성이 제기되었다(Zo, 2012). 또한, 대장균 검출 시에만 *Legionella*균 농도를 조사하는 현행 관리지침은, 용수 중 대장균의 출현이 *Legionella*균의 출현에 상관도가 있다는 점이 확인되어야 유효한 관리규정이라 볼 수 있다. 즉, 현행 지침으로는 대장균이 검출되지 않은 용수가 바닥분수에서 물놀이를 하는 아동에게 레지오넬라증을 유발할 위험도를 관리하지 못할 가능성이 있다. 레지오넬라증 환자가 백만명당 11-12명 정도로 비교적 높게 발생하는 미국과 유럽의 경우, 호텔, 식당, 병원 등에 설치된 경관용 분수에 의한 *Legionella*균 감염환자 발생이 빈번히 보고 되고 있다(Fensterheib *et al.*, 1990; Hlady *et al.*, 1993; Jones *et al.*, 2003; Keababjian, 2003; O'Loughlin *et al.*, 2007; Palmore *et al.*, 2009; Haupt *et al.*, 2012). 이 점을 고려하면, 급증하는 바닥분수 물놀이 행위로 인하여 아동들이 *Legionella*균에 감염될 가능성을 보다 명확히 측정할 필요가 있다.

한국에서 레지오넬라증은 연간 약 20-30건 정도로 국가 감염병감시 통계에 보고 되고 있으며(http://is.cdc.go.kr), 썩질방 형태의 온수배관 용수를 많이 사용하는 공중시설이 급증하여 레지오넬라증 발생에 대한 예찰의 차원에서 전국에 걸쳐 공중시설의 배관용수 중 *Legionella*균의 분포조사가 수행되어온 바 있다(Lee *et al.*, 2008, 2010a, 2010b; Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2012; Park *et al.*, 2012). 그 결과에 따르면, 약 7% 정도의 다양한 배관 용수에서 *Legionella* spp.가 검출되며, 1.6%의 분수용수에서 *Legionella* spp.가 ~10⁵ CFU/L의 농도로 검출되고 있다(Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2012). 국내 배관용수에서 다양한 *Legionella* 종들이 발견되지만, *L. pneumophila* sg1 혈청형이 가장 빈번히 검출된다. 냉각탑

과 온수배관의 경우 각 환경에 특징적인 ecotype이 존재하며 (Park *et al.*, 2012), 유럽에 보고되지 않은 *L. pneumophila* ST-K1이라는 유전형이 전국에서 지속적으로 분포하는 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2010a, 2010b). 한편, 한국인 인체가 *Legionella* spp.에 노출된 정도를 항체보유 여부로 검사한 결과, 건강한 인구 중 약 15%가 *Legionella* spp.에 대한 항체를 보유한 것으로 나타나(Lee *et al.*, 2008), 병원에서 레지오넬라증(폰티악열병 포함)으로 진단하게 되지 않는 *Legionella* spp.에 대한 노출이 국내에서 광범위하게 진행되고 있는 것으로 보인다. 따라서, 바닥분수가 급증하고 있는 국내의 상황은 분수에서 형성되는 에어로졸에 의한 레지오넬라증 환자 발생 가능성을 높일 것으로 예상할 수 있으며, 바닥분수의 용수 중 *Legionella* spp.의 농도를 보다 철저히 정량적으로 관리할 필요성을 제기한다.

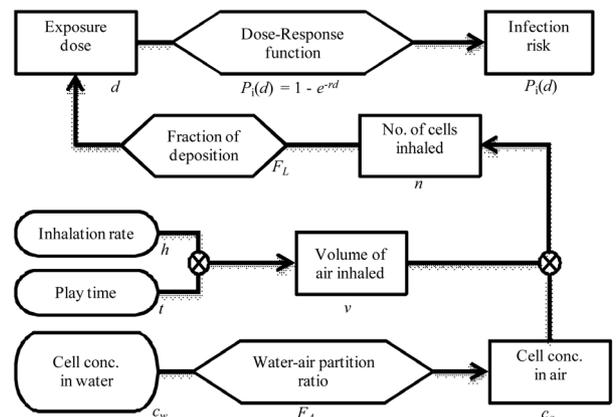


Fig. 1. Schematics of the compartment model used for quantitative microbiological risk assessment of *Legionella* infection from use of interactive fountains (symbols, parameters described in Table 1; ellipsoid, input quantities; rectangle, calculated quantities; hexagon, predetermined coefficients; X, multiplication).

본 연구는 정량적 미생물학적 위해성 평가(quantitative microbial risk assessment) 방법으로, 아동이 바닥분수에서 물놀이를 하는 동안 *Legionella* spp.에 의한 감염 위험도가 어느 정도인지 정량하는 것을 목표로 하였다. 용수 중 *Legionella*균의 농도별로 아동들이 에어로졸 흡입을 통해 *Legionella*균에 노출되는 정도를 산정하고, 감염 위험도를 산출하였다. 나아가, 산정된 위험도에 기초하여, 환경부와 질병관리본부에서 제정한 분수용수 수질 관리 지침이 바닥분수를 이용하는 아동의 안전성을 확보해 줄 수 있는지 여부를 고찰하였다.

재료 및 방법

위해도 평가 모델의 구성

사워 및 물놀이 활동 중 발생하는 *Legionella*균 감염을 조사한 문헌들을 참조하여(Egan *et al.*, 2011; Buse *et al.*, 2012; Azuma *et al.*, 2013; Bouwknecht *et al.*, 2013), 한 아동이 바닥분수에서 물놀이를 한차례 하면서 흡입하는 공기를 통하여 *Legionella*균이 아동의 폐로 들어가서 안착하는 과정을 시뮬레이션 하는 위해도 산정 모델을 설정하였다(Fig. 1). 특정 농도의 *Legionella*균(C_w)을 함유한 분수의 용수는 *Legionella*균이 분수로 분사되면서 용수의 일정 비율(F_A)이 에어로졸로 된다. *Legionella*균은 에어로졸에 함유되어 공기 중에 특정 농도(C_a)로 체류하게 된다. 아동은 자신의 신체 크기 또는 연령에 따라 단위 시간당 흡입하는 공기의 부피, 즉 호흡률(h)을 달리하며, 또한 바닥분수에서 물놀이를 하면서 보내는 시간(t)을 달리한다. 한 아동이 1회 바닥분수 물놀이를 하면서 입과 코로 들이마신 공기의 부피(v)는 물놀이 시간(t)과 호흡률(h)의 곱으로 결정된다. 한편, 한 아동이 1회 물놀이를 하는 동안 입과 코로 들이마신 공기 중 함유된 *Legionella*균 수(n)는 공기의 부피(v)와 공기 중의 *Legionella*균의 농도(C_a)의 곱으로 계산될 수 있다. 입과 코로 들이마신 공기 중 함유된 *Legionella*균의 일부만 호흡기관의 벽에 부착 및 침강하므로, 일부 비율(F_i)의 *Legionella*균이 최종적으로 폐에 안착하는 것으로 생각할 수 있으며, 그 양이 아동의 *Legionella*균에 대한 노출량(d)에 해당한다. 산정된 노출량은 dose-response function에 의하여 감염될 확률, 즉 위험도(P_i)로 최종 산정된다. P_i 값은 60,000명의 아동에 대하여 결정하였는데, Table 1에 표현된 각 변수의 분포에서 임의의 변수값이 생성되도록 Monte Carlo simulation을 실시하여 한 아동의 P_i 값을 결정하였다.

공기 중 *Legionella*균 농도 C_a 의 결정

용수 중 *Legionella*균의 농도는 독립변수로 간주하여 10^1 – 10^6 CFU/L의 농도를 갖는 것으로 설정하였다. 이는 *Legionella*균 농도가 특히 높을 수 있는 월풀에서 최대 농도가 약 10^6 CFU/L에 이른다는 해외 보고를 반영한 것이다(Bouwknegt *et al.*, 2013). 국내의 경우에도 2010년과 2011년에 각각 15개소와 14개소의 배관용수에서 10^6 CFU/L를 다소 상회하는 농도의 *Legionella*균이 검출됨이 보고된 바 있다(질병관리본부 보도참고자료, 2012년 5월12일; <http://www.cdc.go.kr>). 용수가 공기 중

으로 분사된 후 일부가 에어로졸을 형성하여 공기 중에 체류하게 되는 비율 F_A 는 Rose 등(1998)이 실내 수영장에서 endotoxin의 에어로졸 함유량 측정에 기초하여 산정하고, Azuma 등(2013)이 주거지 욕실에서 *Legionella* 감염된 위해성을 판정하기 위하여 사용한 정규분포 값 중 하나가 되도록 설정하였다(Table 1). 분수와 상황이 유사한 사워를 하는 상황에서 *Brevundimonas diminuta* 또는 *Serratia marcescens*가 *Legionella*를 대리하도록 설정하여 수행된 실험에서 10^6 – 10^5 CFU/m³/CFU/L의 F_A 값이 측정되어져(Schoen and Ashbolt, 2011), Table 1에서 사용된 정규분포는 분수에서 타당한 범위를 나타내는 것으로 판단되었다. C_a 는 Table 1의 정규분포를 따르는 임의의 F_A 값을 생성하여 $C_a = C_w F_A$ 의 관계로 결정하였다.

노출시간 t 의 산정

아동들이 분수에서 물놀이를 하는 시간 동안 *Legionella*균을 함유한 에어로졸에 노출되는 것으로 보아 물놀이 시간을 노출시간으로 산정될 수 있다. 아동들이 1회 물놀이를 하는 자연스러운 시간은 한국인 노출계수 상에 나타난 수영 시간(T_i)을 사용하였다(Jang *et al.*, 2007). T_i 는 49.5분을 평균으로 하는 정규분포로 생각할 수 있었으나(Table 1), 상당한 수의 바닥분수는 그보다 짧은 시간 동안을 운영하고 작동을 중지한 후, 한 시간 또는 두 시간 등을 순환 주기로 재작동하는 방식을 택하고 있기 때문에, 제약이 없는 상태에서 결정된 T_i 는 분수별 1회 연속 운영시간(T_o)에 따라 보정되어야 하였다. 본 연구에서 서울, 부산, 충남, 경남, 전남 지역에 위치한 108개의 바닥분수에 대하여 T_o 를 조사하였는데, Table 1에서 기술한 바와 같이 20, 30, 40, 60분으로 하는 이산분포를 갖는 것으로 측정되었다. 주로 30분과 60분의 운영시간을 가졌고, 소수가 20분 또는 40분 동안 바닥분수를 연속 운영하였다. 한 아동의 분수이용을 시뮬레이션 함에 있어 Table 1에 기술한 정규분포와 이산분포에서 무작위로 각각 하나씩의 T_i 와 T_o 를 결정하였고, 두 값 중 더 짧은 시간을 아동이 분수에서 만들어진 에어로졸에 노출되는 시간 t 로 결정하였다(Table 1).

호흡률 h 의 산정

호흡률은 단위시간당 아동이 입과 코로 흡입하는 공기의 부피이다. 호흡률은 아동의 신체 크기에 따라 달라질 수 있으며, 또한 아동의 활동 유형에 따라 달라질 수 있다. 한국인 노출계수는 한국인의 호흡률을 연령과 성별로 6개의 활동유형에 따라 구분된 분포를 조사하여 기록하고 있다. 활동유형을 휴식(resting), 천천히 걷기(light exercise), 빠르게 걷기(heavy exercise), 천천히 달리기(very heavy exercise)의 활동단계로 구분하고 있는데, 바닥분수에서 물놀이를 하는 아동들의 행동을 면밀히 관찰한 결과, 아동들은 주로 정지해 있거나, 천천히 걷기, 천천히 달리기를 하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 아동의 활동유형을 정치(standing), 걷기(walking), 뛰기(running)의 3개 유형으로 설정하고, 각각을 한국인 노출계수의 활동단계 중 휴식, 천천히 걷기, 천천히 달리기를 할 때의 호흡률을 사용하였다. 그러나, 한국인 노출계수(Jang *et al.*, 2007)에서는 20세 이상의 성인에 대한 호흡률만이

제공되므로, 12세 이하 아동에 대한 호흡률을 얻기 위하여, 20세 성인의 평균 호흡률을 아동의 신체 크기에 따라 보정하여 사용하였다. 상체 체적은 아동의 폐의 크기 및 폐활량을 결정한다고 볼 수 있으므로, 보정에 필요한 인체수치로 제6차 Size Korea (KATS, 2010) 인체수치 직접측정 자료에 나타난 7세 이상 한국인의 상체길이(trunk height)와 가슴둘레(girth) 실측치 분포를 활용하였다. 7-20세 남성과 여성의 상체길이와 가슴둘레를 비교한 결과, 14세 이하의 남성과 20세 이하의 여성이 일정한 상체길이와 가슴둘레의 비율을 보이므로, 12세 이하의 아동을 포함하는 이 집단에 속하는 두 인체의 경우 상체길이의 세계값의 비율로 두 인체의 상체체적의 비율이 결정될 수 있었다. 20세 여성의 평균 호흡률에, Size Korea에 나타나는 특정 연령의 한 아동의 상체길이의 세계값과 20세 여성의 평균 상체길이(638 mm)의 세계값과의 비율을 곱하여 7-12세 아동의 호흡률을 결정하였다. 한국인 노출계수(Jang *et al.*, 2007)에 따르면 20세 한국인 여성이 정치, 걷기, 뛰기를 할 때의 평균 호흡률은 각각 0.37, 0.74, 1.44 m³/h이었으며, 활동유형별 발생확률을 표현하는 이산화물 분포에서 시뮬레이션한 각 아동에 대하여 활동유형을 무작위로 결정하여 호흡률 보정에 사용할 20세 여성의 평균 호흡률을 선정하였다. 아동의 세가지 활동유형을 정하는 이산화물분포는 바닥분수에서 아동의 행동관찰을 통하여 결정되었다. 서울, 부산, 대구, 인천, 전주, 청주, 논산, 서산, 여수에 위치한 14개 바닥분수에서 물놀이를 하는 180명의 아동의 행동을 1분간 관찰하여 3개 활동유형 중 어느 것에 해당하는 활동을 하는 지 조사하였는데, 정치, 걷기, 뛰기 유형의 아동이 각각 32%, 35%, 33%로 균질함에 가까운 이산화물분포를 보였다. 결론적으로 한 아동의 호흡률은, 상기 활동유형 분포에 따라 무작위로 아동의 활동유형을 결정하여 보정비교 대상인 20세 여성 평균 호흡률을 결정하고, 또한 아동의 연령을 선정하여 Size Korea에 따른 연령별 상체길이의 분포를 얻었으며, 연령별 상체길이의 분포 값들 중 한 값을 무작위로 선정하여 20세 여성의 평균 상체체적과의 체적비율로 20세 여성 평균 호흡률을 보정하여 산정하였다.

노출량 d 의 산정

시간 당 흡입한 공기의 부피인 호흡률 h 와 노출시간 t 의 곱을 계산한 $v = ht$ 의 관계로 한 아동이 바닥분수를 1회 이용할 때 흡입하는 공기의 부피(v)를 산정하였다. 또한, 공기 중 Legionella 균의 농도 C_a 를 곱하여, $n = v C_a$ 의 관계로 아동이 입과 코로 흡입한 Legionella균의 총수(n)를 구하였다. 아동의 Legionella균에 대한 노출 정도는 폐에 도달하는 Legionella균 세포의 수(d)로 설정하였다(Armstrong and Haas, 2008; Schoen and Ashbolt, 2011; Buse *et al.*, 2012; Azuma *et al.*, 2013; Bouwknecht *et al.*, 2013). 노출량 d 는 n 개의 Legionella균 중 일정한 비율(F_L)이 폐에 도달할 수 있는 것으로 보아서, $d = n F_L$ 로 계산하였다. F_L 값은 0.5의 상수로 설정하였는데, 이는 동물과 사람에 대한 실험적 측정결과(Kliment, 1973)에 따른 것이고, Legionella균이 폐에 도달하는 비율로 활용된 바 있다(Azuma *et al.*, 2013). 샤워 중 Legionella균 감염에 위험도에 대한 한 연구(Schoen and Ashbolt, 2011)는 방사성 원소로 표지된 에어로졸이 폐에 도달 정도를 시

험한 Schlesinger (1995)의 결과를 활용하여 입으로 흡입하는 에어로졸들이 폐에 도달하는 비율을 결정하였는데, 그 비율은 0.10-0.65이었다. 본 연구와 Azuma 등(2013)이 F_L 값으로 사용한 0.5는 이 범위에 포함되며, 크기가 비교적 작은(< 6 mm) 에어로졸의 폐 안착 비율에 적합하였으며, 또한 모델의 계산을 단순화하는 이점이 있어, 아동의 입과 코로 흡입되는 모든 크기의 에어로졸에 적용하였다.

Legionella균 감염 위험도 P 의 산정

노출량 d 에 근거하여 감염 위험도를 계산하기 위하여 병원체에 따라 특이적인 dose-response function이 필요하다. Legionella spp.에 대한 dose-response 관계는 기니 피그의 폐에 도달하는 Legionella pneumophila의 수를 노출량으로 하고, 레지오넬라증 발생여부를 위험도로 하는 지수함수 모델(수식 1)이 2007년 개발되어 레지오넬라증 위해성 평가에 널리 이용되고 있다(Armstrong and Haas, 2007, 2008; Egan *et al.*, 2011; Schoen and Ashbolt, 2011; Buse *et al.*, 2012; Azuma *et al.*, 2013; Bouwknecht *et al.*, 2013). 본 연구에서도 노출량 d 에 대하여, 계수 r 을 0.06으로 하는 수식 1의 지수함수를 사용한 위험도 P_i 를 산정하였다.

$$P_i(d) = 1 - e^{-(r d)} \quad \text{수식 1}$$

한편, 한 아동이 연중 수 차례에 걸쳐 바닥분수에서 물놀이를 할 수 있으므로, 한 아동을 관찰대상으로 할 때, 여러 차례에 걸친 바닥분수 이용에 의한 위험도를 산정하여야 한다. 한 아동이 균질한 수질을 보이는 동일한 바닥분수에서 x 번의 물놀이를 한다면, 한 차례 물놀이에서 발생하는 감염 위험도 P_i 를 활용하여, 반복적 이용에 의한 위험도 P_m 을 수식 2와 같이 계산하였다(Haas *et al.*, 1999).

$$P_m = 1 - (1 - P_i)^x \quad \text{수식 2}$$

통계분석

본 연구에서 사용된 통계분석에서 유의수준은 0.05를 사용하였다. 위험도, 즉 감염확률, 또한 0.05 이상일 때 우려할 수준의 위험도가 있는 것으로 해석하였다. 두 가지 측정값의 차이를 분석하는 통계기법으로 비모수적 분석법인 Mann-Whitney U test를 사용하였다.

결 과

흡입되는 공기량 v 의 분포

노출시간(t), 즉 아동들이 바닥분수를 1회 이용하는 중 보내는 시간을, 7-12세의 각 연령 10,000명의 아동을 시뮬레이션하여 산정하였을 때, t 값은 주로 바닥분수의 운영시간에 의하여 결정되어, 20, 30, 40, 60분에 집중적으로 나타났다(Fig. 2). 호흡률(h)은 0.1-2.1 m³ h⁻¹의 범위를 보이면서, 각 연령별로 평균적으로 0.3-0.6 m³ h⁻¹을 보였다. 하지만, 연령별 호흡률은 단일 평균

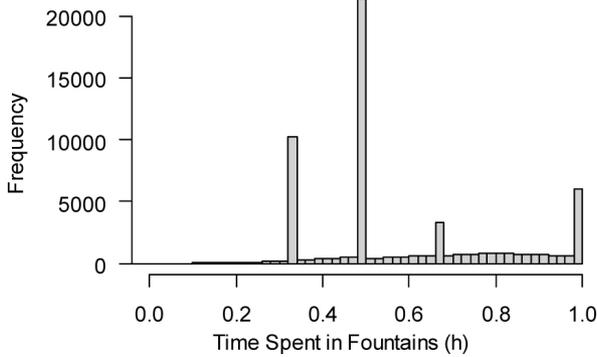


Fig. 2. Frequency distribution of time spent in fountains among children in 60,000 simulations.

또는 중앙값을 중심으로 분포하지 않고, 3개의 최빈값을 보이는 tri-modal 분포를 보였다. 각각의 최빈값은 아동들이 정치 (standing), 걷기(walking), 뛰기(running) 상태에서 측정되는 평균적 호흡률에 근접하여 형성되어, 아동들의 신체크기보다 활동의 유형이 호흡률 결정에 더 큰 영향을 주는 변수임을 시사하였다. 시뮬레이션된 각 아동별로 호흡률과 노출시간을 곱하여 분수에 체류하는 동안 흡입하는 공기량(v)을 산정하였다(Fig. 3). 바닥분수를 1회 이용하는 아동의 연령이 7-12세 사이로 균등하다고 가정하였을 때, 아동들은 평균 0.28 m^3 의 공기를 흡입하였으며, 절반의 아동들은 0.22 m^3 이하의 양을 흡입하였다(Fig. 3A). 최대 2.00 m^3 흡입량이 시뮬레이션되었고, 0.37 m^3 이상의 흡입량을 보인 아동은 25%로 소수였다. 아동의 연령과 활동 유형 중 흡입량 결정에 대한 영향이 큰 변수는, 호흡률과 마찬가지로, 활동유형이었다(Fig. 3B and 3C).

노출량 d 의 산정

바닥분수의 용수가 10^{-1} - 10^6 CFU/L 의 *Legionella*균에 의하

여 오염된 것으로 가정하고, 아동의 물놀이 중 흡입한 공기에 포함된 *Legionella* 균체 중 폐에 안착한 균체의 수를 위험요소 노출량(d)으로 산정하였다. 최고 26 CFU의 노출량이 관측되었지만, 10^6 CFU/L의 수질이 아닌 경우는 수개 CFU 이하에 불과하였다(Fig. 4A). 특히, 질병관리본부 레지오넬라증 관리지침 (Korea Centers for Disease Control and Prevention, 2012) 상 바람직치한 범위이며 특별한 조치가 불필요한 것으로 설정된 10^3 CFU/L 미만의 수질 범위의 노출량은 0.03 CFU 미만으로 미미하였다. 10^4 CFU/L와 10^5 CFU/L의 수질을 보이는 분수는 각각 0.24 CFU와 2.45 CFU의 최고 노출량을 보여, 측정 가능한 수준을 보였다. 아동의 연령과 활동형태가 노출량에 주는 영향을 비교하기 위하여, 10^4 CFU/L의 수질을 가진 분수를 이용하는 일반명의 아동을 대상으로 산정한 노출량의 분포를 Fig. 4B와 4C에 표시하였다. 아동의 연령에 따라 노출량이 점증하는 양상을 보였지만, 활동형태에 따른 노출량 차이는 확인하였다. 특히, 정지한 아동과 뛰는 아동의 노출량은 상당한 차이를 보였다(Fig. 4C; Mann-Whitney U test, $P < 0.001$).

바닥분수의 레지오넬라증 위해도 산정

위 결과에서 가장 높은 노출량을 보인 조건은 폐활량이 큰 연령인 12세와 뛰는 활동유형이었다. 노출량과 마찬가지로, 뛰어 다니면서 물놀이를 하는 12세 아동들이 10^6 CFU/L의 *Legionella* 오염도를 가진 분수를 이용하는 조건이 가장 높은 위해도를 보이는 조건이었으며, 최대 0.79의 위해도가 산정되었다(Fig. 5). 연령 분포가 균일하다고 가정하였을 때, 용수 중 *Legionella* 균 농도별 위해도는 10^6 CFU/L 농도에서 평균 0.169 (0.036-0.456, 95% CI)로 계산되어, 상당한 위해도가 있는 것으로 계산되었다(Fig. 5A). 10^5 CFU/L의 오염도를 가진 용수의 경우, 평균 0.019 (0.004 ~ 0.059)의 낮은 위해도가 있는 것으로 나타났다. 10^4 CFU/L 용수의 경우, 최대 0.014의 위해도를 보였고, 평균 위해도가 0.002로, 1천명의 이용자 중 평균 2명 정도가 감염증을 보

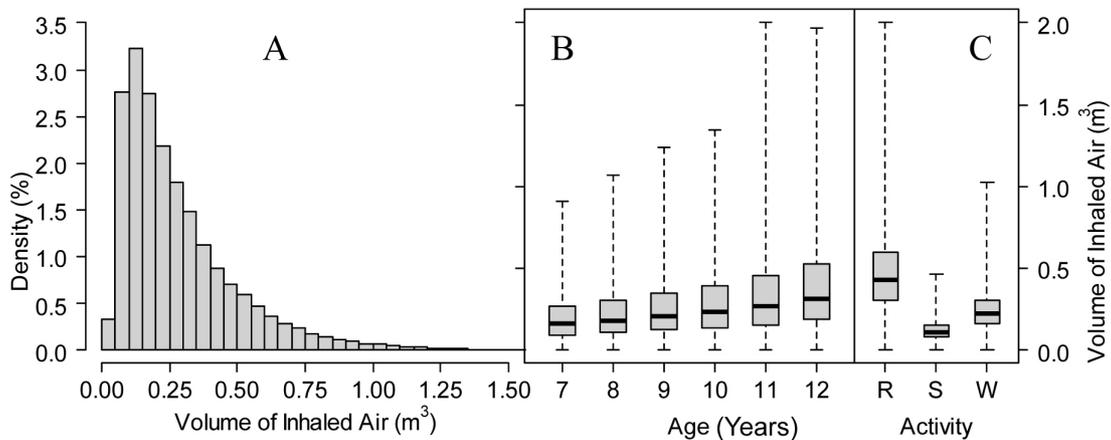


Fig. 3. Distributions of volume of air inhaled by children playing in interactive fountains. (A) density distribution of volumes, (B) box plot (1st, 25th, 50th, 75th, and 100th percentiles) by ages, (C) box plot by activities (code: R, running; S, standing; W, walking).

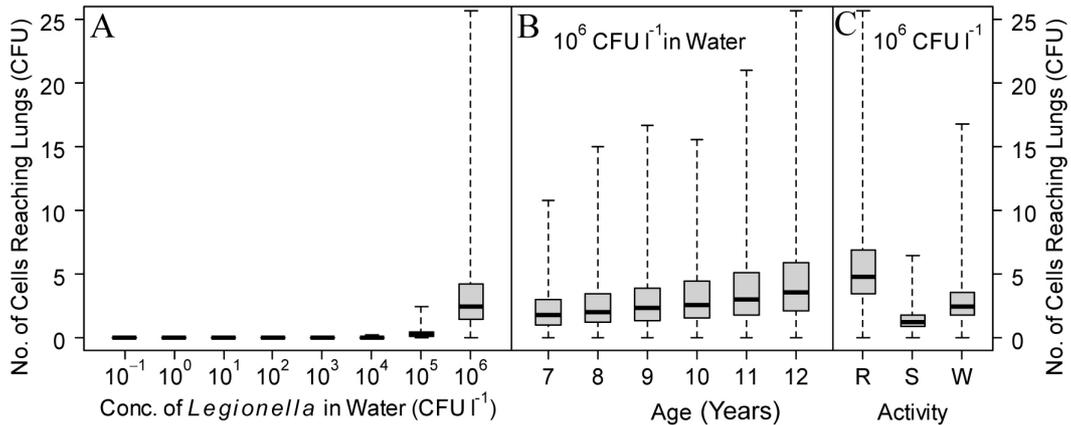


Fig. 4. Distributions of number of *Legionella* cells inhaled by children playing in interactive fountains. (A) box plot (1st, 25th, 50th, 75th, and 100th percentiles) by concentration of *Legionella* cells in a fountain water, (B) box plot by ages, (C) box plot by activities (code: R, running; S, standing; W, walking).

일 정도로 낮았다. 그러나, 10^4 CFU/L 정도의 낮은 오염도를 가진 용수의 경우, 최대 0.0016 또는 그 이하의 낮은 위험도 값만 계산되었다. 한편, 연령별 노출량은 연령에 따라 증가하는 관계를 보였는데, 위험도 또한 연령과 비례하는 양상을 보였다(Fig. 5B). 최고 위험군인 12세 아동의 경우, 10^6 CFU/L의 *Legionella* 농도에서, 평균 위험도는 0.224 (0.056-0.552, 95% CI)이었으며, 10^5 과 10^4 CFU/L 농도에서 각각 0.027 (0.006-0.077)와 0.003 (0.001-0.008)로, *Legionella* 농도의 10배 감소에 따라, 약 10배 정도 감소하는 것으로 나타났다. 아동의 활동 유형에 따라 노출량이 상당히 달랐고(Fig. 4C), 위험도 또한 같은 양상을 보

였다. 특히, 뛰는 아동이 정지한 아동에 비하여 현저히 높은 위험도를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 5C). 물놀이 아동들의 연령분포가 균일하고 *Legionella* 농도가 10^6 CFU/L인 경우, 위험도는 정지시 평균 0.080 (0.028-0.181, 95% CI)에 불과한 반면, 뛰며 물놀이 하는 아동은 0.272 (0.105-0.537)로 현저히 높았다. 걷는 아동의 경우, 평균 0.154 (0.056-0.329)로 중간 정도의 위험도를 보였다. 위 결과들에서, 가장 큰 위험도에 노출되는 최고 위험군은 뛰어나며 물놀이를 하는 12세 아동들이며, 용수 중 *Legionella* 농도가 10^4 , 10^5 , 10^6 CFU/L인 경우 해당 아동들은 각각 평균 0.005 (0.002-0.009, 95% CI), 0.045 (0.018-0.093), 0.355

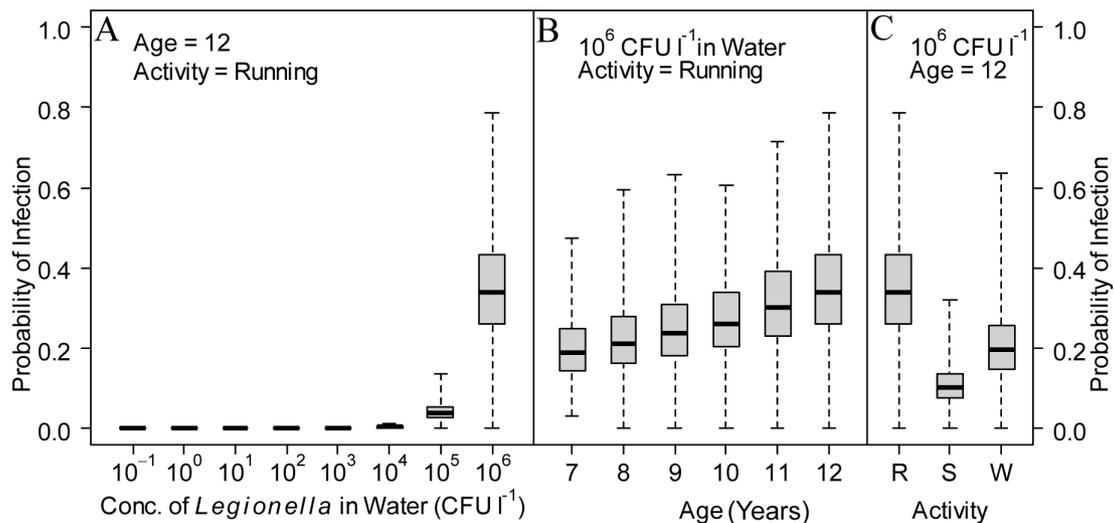


Fig. 5. Distributions of risk of infection by *Legionella* for the highest risk group. (A) box plot (1st, 25th, 50th, 75th, and 100th percentiles) by concentration of *Legionella* cells in a fountain water, (B) box plot by ages, (C) box plot by activities (code: R, running; S, standing; W, walking).

(0.163-0.626)의 위험도에 노출되었다. 따라서, 10^6 CFU/L의 *Legionella* 농도를 보이는 분수를 1회 이용하는 최고 위험군 아동들은 평균적으로 3분의 1이상이 *Legionella*에 감염되며, 10^5 CFU/L의 농도로 오염된 용수의 경우 백명 중 평균 4.5명이 감염될 수 있는 것으로 산정되었다. 10^4 CFU/L 농도로 오염된 용수의 경우, 1.4% 이하의 아동들이 위험도를 겪으며, 평균적으로 0.5%의 위험군 아동들이 감염되는 수준을 보였다. 용수 오염도가 10^3 CFU/L 이하인 경우, 최고 위험도는 0.15%로, 위험도는 미미한 수준이었다.

물놀이 횟수에 대한 민감도

위 결과들은 아동이 1회 바닥분수 물놀이를 할 때 *Legionella* 감염 위험도를 산정한 것들이다. 다수 아동들은 주거지 인근의 동일 바닥분수를 여러 차례 이용하므로, 최고 위험군 아동의 바닥분수 이용 횟수에 따른 위험도의 증가를 시뮬레이션 하였다(Fig. 6). 용수 오염도가 10^6 CFU/L인 경우, 분수 이용을 반복할 시 위험도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 4회 이용시, 약 절반의 아동들이 감염되는 위험도가 나타났으며, 10회 이용시 75%의 아동들에서 감염 확률이 60% 이상 되는 것으로 나타나서, 매우 높은 위험도를 보였다. 10회 이상의 횟수에서 위험도는 포화되는 양상을 보였다(Fig. 6). 용수 오염도가 10^5 CFU/L인 경우, 바닥분수 이용횟수에 따라 선형에 가까운 증가를 보였으며, 10^4 CFU/L인 경우는 증가 양상이 관찰되지만 위험도의 수준은 낮았다.

고찰

바닥분수 물놀이를 통한 *Legionella* 감염 위험도의 주요 결정인자

본 연구에서 적용된 위험도 산정 모델은 바닥분수 용수 중 *Legionella*균의 농도를 주요 독립변수로 사용하여 세균 농도별 감염위험도를 산정하였지만, 물놀이를 하는 아동들의 나이 또한 독립변수로 사용되었다. 개별 아동의 연령은 본 연구가 참고한 한국인 연령별 신체크기의 분포를 통하여, 폐활량, 즉 호흡률의 차이를 나타내도록 반영되었다. 나이를 독립변수로 사용하는 접

근법을 사용한 이유는 분수에서 물놀이를 하는 아동들의 호흡률 또는 신체크기에 대한 직접측정과 분포의 분석이 수행되기 힘든 사유 때문이었다. 물놀이 아동들의 신체크기와 호흡률은 측정하는 작업이 어려울 뿐만 아니라, 일별/시간별 변동성이 매우 높아 특정 분수에서 특정시간에 측정된 수치들의 분포로 일반화가 가능할 지 불확실하기 때문에, 불확실성(uncertainty)의 요소로 설정하고, 위험도 산정모델에서 해당 불확실성 요소를 제거하기 위하여, 용수 중 *Legionella* 농도와 마찬가지로, 아동의 연령을 독립변수로 적용하였다. 반면, 아동들의 물놀이 시간과 활동형태(뛰기, 걷기, 정치)는 행동관찰을 통하여 확률분포를 파악할 수 있었으므로, 불확실한 독립변수로서 보다, 정해진 변동성을 가진 변수(variability)로 적용하였다. 독립변수로 사용된, *Legionella* 농도와 아동의 연령이 위험도 산정에 미치는 영향을 비교하면(Fig. 5), 아동의 연령에 의한 영향은 *Legionella* 농도의 영향에 비하여 위험도에 큰 차이를 만들지 않으나, 개인별 위험도 차이를 만들어 내는 데는 유효한 것으로 사료된다. 아동의 활동유형의 경우, *Legionella* 농도의 10배 차이시 나타나는 위험도의 차이에 비교될 만큼 큰 차이를 만드는 요인으로 판단된다.

수질관리 지침의 적절성

현재 한국에서 분수 용수 중 *Legionella*균의 농도를 제한하는 규정은 환경부가 2010년 8월 제정한 ‘물놀이형 수경시설의 수질관리 지침’과 질병관리본부가 2009년 3월 제정하고, 2012년 4월 개정된 ‘레지오넬라증 관리지침’이 있다. 환경부 수질관리 지침의 경우, 대장균 기준이 초과된 분수 용수에 대하여만 *Legionella*균 농도를 측정하고 그 결과를 보관하는 정도로 규정하고 있다. 질병관리본부 레지오넬라증 관리지침의 경우, 보다 구체적인 기준과 관리를 제시하고 있다. 분수의 경우 연 1회 1개의 검체를 검사하여야 하며, 10^3 CFU/L 이상의 *Legionella*균 검출 시 해당 시설 관리자 및 공주위생 담당부서에 통보하여 청소 및 소독의 예방관리를 하도록 하고 있다. 또한, 10^3 - 10^6 CFU/L의 *Legionella*균 농도를 보이는 용수는 재검사를 통해 균 수의 증감을 주시하도록 하고 있으며, 10^6 CFU/L 이상의 농도에서는 즉시 시설의

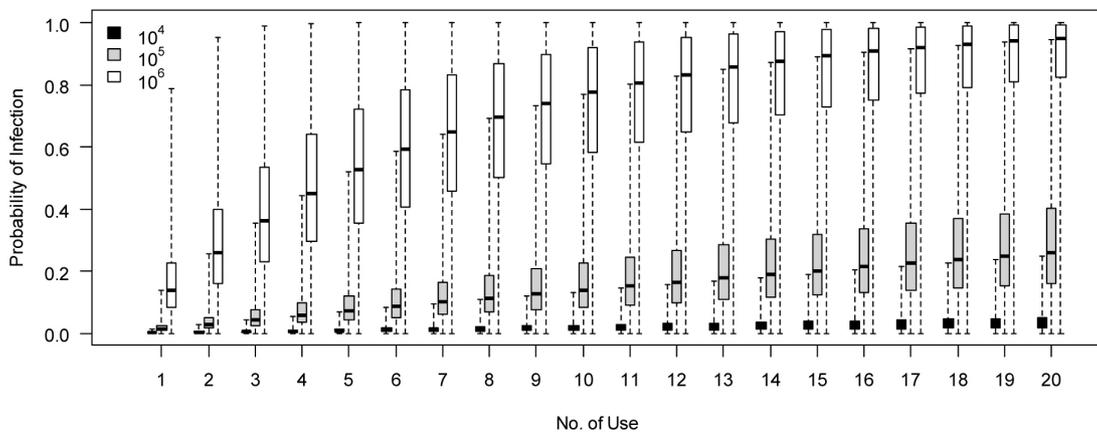


Fig. 6. Distributions of risk of *Legionella* infection when a child use the same fountain multiple times (box: black = risk when the concentration of *Legionella* is 10^4 CFU/L, gray, 10^5 CFU/L, and white, 10^6 CFU/L).

청소 및 소독처리를 하도록 하고 있다. 그러나 질병관리본부의 관리지침은 일반적인 관상용 분수를 포함하는 포괄적 의미로 분수를 정의하며, 환경부의 관리지침과 같이 물과 신체가 직접 접촉하는 정도의 물놀이 활동을 직접 규정하고 있지는 않다.

본 연구에서 산정된 *Legionella*균 농도별 위험도 값은, 현행 관리지침들이 바닥 분수에서 물놀이를 하는 아동들의 *Legionella*균 감염을 예방하는 데 어느 정도 적절한지 판정하는 근거가 될 수 있다. 10^3 CFU/L 미만의 *Legionella*균 농도의 분수 용수에 대하여, 최고 위험군인 12세의 뛰어다니는 아동이 1회 이용 시 감염될 위험도는 0.0005 (0.0002-0.0010, 95% CI)로 매우 낮았으며(Fig. 5A), 2차례 이상 이용 시 위험도는 거의 선형적으로 증가하기는 하지만, 10회 이용 시 위험도가 0.005 (0.002-0.010, 95%CI)로 반복적 이용에도 불구하고 위험도는 낮게 유지되었다. 따라서, 10^3 CFU/L 미만의 *Legionella*균 농도를 보이는 용수를 바닥분수 용수로 사용하도록 허용하는 것은 타당한 기준인 것으로 판단된다. 그러나, 10^4 CFU/L의 *Legionella*균 농도를 보이는 용수를 보이는 바닥분수에서 여러 번 물놀이를 할 경우, 최고 위험군 아동의 *Legionella*균 감염 위험도는 1회 이용 시 0.005 (0.002-0.009)에서, 10회 이용 시 0.044 (0.018-0.090)으로 점증하면서 >0.05 수준의 위험도를 보일 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 10^5 과 10^6 CFU/L의 경우 명확한 위험성을 보였다(Fig. 5A and 6). 따라서, 본 연구에서 산정된 위험도 값의 분포에 근거하면, 10^3 CFU/L 이하의 *Legionella*균 농도를 보이는 용수를 바닥분수에 사용하는 것은 타당하지만, 10^3 CFU/L를 초과하는 용수의 경우 아동들에게 에어로졸을 통하여 *Legionella*균 감염을 일으킬 수 있는 위험도가 있는 것으로 판정하여야 할 것이다. 관상용 분수를 주요 예찰 대상으로 상정한 것으로 사료되는 현행 질병관리본부의 관리지침은 *Legionella*균 농도가 10^3 CFU/L 이상에서 10^6 CFU/L 미만인 분수 용수를 ‘요관찰’ 또는 ‘주의’의 범위로 정하여 주의를 요청하긴 하지만, 용수의 사용을 허용하는 방식으로 규정되어 있다. 그러나 본 연구에서 산정되는 위험도는, 바닥 분수의 주요 이용자들이 아동들인 점을 감안하여, 즉시 용수 교체 등의 조치를 취하는 것이 공중보건을 위하여 바람직할 것으로 사료된다.

외국에서 사용되는 배관시설의 용수 중 *Legionella*균 관리 기준은 나라별로 유사한 수준을 보이면서도 구체적 기준값은 상이하게 설정되어 있다. 독일의 경우 한국의 질병관리본부 관리지침과 마찬가지로 10^3 CFU/L를 일괄적으로 기준농도로 정하고 있으며, 일본과 네덜란드의 경우 그 보다 낮은 10^2 CFU/L 미만을 일괄적 기준으로 하고 있다. 그러나, 프랑스의 경우 배관시설을 일반적인 공중시설 이용자, 병원 이용자, 병원 입원 중인 고위험 환자에 대하여 각각 <1,000, <100, <50 CFU/L로 다른 기준을 적용하고 있다. 이는 병원을 내원하는 환자들과 입원 중인 환자들이 건강한 사람들에 비하여 *Legionella*균의 감염에 취약한, 면역력이 저하된, 신체조건을 갖기에 *Legionella*균에 대한 dose-response 관계를 기술하는 지수모델(수식 1)에서 r 값이 더 크게 나타나기 때문이다. 바닥분수의 경우, 대부분의 이용자가 아동들인데, 본 연구에서 사용된 0.06의 r 값은 건강한 성인을 대상으로 측정된 값이므로, 아동 또는 내원/입원 환자의 경우처럼

면역력이 상대적으로 낮은 인구의 위험도를 과소평가한다고 보아야 할 것이다. 따라서, 바닥분수 이용시 아동이 *Legionella*균에 감염되는 경우를 철저히 예방하기를 기한다면, 프랑스의 경우처럼 <100 또는 <50 CFU/L의, 보다 강한 수질 기준을 적용할 필요가 있다. 앞으로의 연구에서 *Legionella*균의 아동에 대한 dose-response model이 수립된다면, 바닥분수를 이용하는 아동들의 *Legionella*균 감염을 예방할 수 있는 보다 정확한 위험도 산정이 가능할 것이다.

현행 환경부의 물놀이용 수경시설 수질관리 지침은 *Legionella*균 허용 농도를 구체적으로 규정하고 있지 않아서, 바닥분수 이용 아동들의 *Legionella*균 감염 예방 대책으로서 실효성이 불확실하다고 보아야 할 것이다. 대장균이 검출된 용수에 대하여서만 *Legionella*균의 농도를 측정하도록 한 현재의 규정은, 대장균이 검출되는 용수에서 *Legionella*균의 농도를 측정하고, 질병관리본부의 레지오넬라증 관리지침의 농도별 처치사항을 적용하는 방법으로 운용될 수 있다. 그러나, 이러한 관리 과정은 용수 중 대장균의 농도가 *Legionella*균의 농도와 비례관계에 있다는 가정을 필요로 한다. 따라서, 수중 대장균의 농도가 *Legionella*균의 농도와 비례관계에 있다는 점을 확인하는 추가적 연구가 필요하다.

결론

본 연구는 국내에 급증하고 있는 바닥분수에서 물놀이를 하는 아동들이 분수에서 발생하는 에어로졸의 흡입을 통하여 *Legionella*균에 감염될 수 있는 위험도를 물놀이 시간, 한국인의 활동유형별 공기 흡입률, *Legionella*균의 dose-response model 등에 근거하여 산출하였다. 최고 위험군은 뛰어다니면서 물놀이를 하는 신체가 큰, 혹은 연령이 높은, 아동이었다. 이들이 10^4 CFU/L 이상의 *Legionella*균이 존재하는 분수 용수를 1회 이상 이용 시 0.05 이상의 위험도가 발생하였다. 이 값에 따르면, 10^3 CFU/L 미만의 *Legionella*균 농도를 공중이용시설의 모든 배관 용수에 대하여 허용하는 현행 질병관리본부의 레지오넬라증 관리지침은 타당한 것으로 판정된다. 그러나, 이 기준은 건강한 성인 대상으로는 적합하나 아동의 면역력이 낮은 점을 감안하지 않았으므로 추가적인 연구에 의하여 더 낮은 값의 기준을 적용할 필요성이 있다.

적용

최근 국내의 각종 시설들에서 경관과 여름철 물놀이를 위한 바닥분수 설치가 선호되어, 그 수가 연간 50% 이상 급증하고 있다. 본 연구는, 정량적 미생물학적 위험성 평가 방법으로, 아동이 바닥분수에서 물놀이를 하는 동안 *Legionella* spp.에 의한 감염 위험도가 어느 정도인지 정량 하였다. 용수 중 *Legionella*균의 농도를 10^1 - 10^6 CFU/L로 상정하고, 공기 중으로 에어로졸과 함께 비산하게 되는 *Legionella*균의 농도와 노출시간, 호흡률의 분포, 폐까지 도달하는 에어로졸의 비율을 곱하여 아동들의 노출량을 산정하고, *Legionella pneumophila*의 위험도를 도출하는 것으로 알려진 지수함수 모델에 따라, 감염 위험도로 변환하였

다. 최고 위험군은 뛰어다니면서 물놀이를 하는 신체가 큰, 혹은 연령이 높은 아동이었으며, 이들이 10^4 CFU/L 이상의 *Legionella* 균이 존재하는 분수 용수를 1회 이상 이용 시 0.05 이상의 위험도가 발생하였다. 이 결과에 따르면, 10^3 CFU/L 미만의 *Legionella* 균 농도를 공중이용시설의 모든 배관용수에 대하여 허용하는 현행 질병관리본부의 레지오넬라증 관리지침은 타당한 것으로 판정된다. 그러나, 이 기준은 건강한 성인 대상으로는 적합하나 아동의 면역력이 낮은 점을 감안하지 않았으므로, 아동에게 적합한 감염위해도 모델을 연구하여, 보다 철저한 관리 기준을 적용할 필요성이 있다.

감사의 말

이 논문은 2013학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- Armstrong, T.W. and Haas, C.N.** 2007. A quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease: animal model selection and dose-response modeling. *Risk Anal.* **27**, 1581-1596.
- Armstrong, T.W. and Haas, C.N.** 2008. Legionnaires' disease: evaluation of a quantitative microbial risk assessment model. *J. Water Health* **6**, 149-166.
- Azuma, K., Uchiyama, I., and Okumura, J.** 2013. Assessing the risk of Legionnaires' disease: the inhalation exposure model and the estimated risk in residential bathrooms. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **65**, 1-6.
- Bouwknegt, M., Schijven, J.F., Schalk, J.A.C., and de Roda Husman, A.M.** 2013. Quantitative risk estimation for a *Legionella pneumophila* infection due to whirlpool use. *Risk Analysis* **33**, 1228-1236.
- Buse, H.Y., Schoen, M.E., and Ashbolt, N.J.** 2012. Legionellae in engineered systems and use of quantitative microbial risk assessment to predict exposure. *Water Res.* **46**, 921-933.
- Egan, J.R., Hall, I.M., Lemon, D.J., and Leach, S.** 2011. Modeling Legionnaires' disease outbreaks: estimating the timing of an aerosolized release using symptom-onset dates. *Epidemiology* **22**, 188-198.
- Fenstersheib, M.D., Miller, M., Diggins, C., Liska, S., Detwiler, L., Wemer, S.B., Lindquist, D., Thacker, W.L., and Benson, R.F.** 1990. Outbreak of Pontiac fever due to *Legionella anisa*. *Lancet* **336**, 35-37.
- Haas, C.N., Rose, C., and Gerba, C.P.** 1999. Quantitative microbial risk assessment. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., USA.
- Haupt, T.E., Heffernan, R.T., Kazmierczak, J.J., Nehls-Lowe, H., Rheineck, B., Powell, C., Leonhardt, K.K., Chitnis, A.S., and Davis, J.P.** 2012. An outbreak of Legionnaires disease associated with a decorative water wall fountain in a hospital. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* **33**, 185-191.
- Hlady, W.G., Mullen, R.C., Mintz, C.S., Shelton, B.G., Hopkins, R.S., and Daikos, G.L.** 1993. Outbreak of Legionnaire's disease linked to a decorative fountain by molecular epidemiology. *Am. J. Epidemiol.* **138**, 555-562.
- Jang, J.Y., Jo, S.N., Kim, S.Y., Kim, S.J., and Cheong, H.K.** 2007. Korean exposure factors handbook. Ministry of Environment, Seoul, Korea.
- Jones, T.F., Benson, R.F., Brown, E.W., Rowland, J.R., Crosier, S.C., and Schaffner, W.** 2003. Epidemiologic investigation of a restaurant-associated outbreak of Pontiac fever. *Clin. Infect. Dis.* **37**, 1292-1297.
- KATS.** 2010. The sixth size Korea report. Korean Agency for Technology and Standards, Gwacheon, Korea.
- Kebabjian, R.S.** 2003. Interactive water fountains: the potential for disaster. *J. Environ. Health* **66**, 29-30, 24, 30.
- Kim, I.H., Heo, H.C., and Huh, K.Y.** 2009. Evaluating user's behavior and satisfaction on pop-jet fountain of Namgaram Park in Jinju. *J. Kor. Society People, Plants and Environment* **12**, 53-67.
- Kliment, V.** 1973. Similarity and dimensional analysis, evaluation of aerosol deposition in the lungs of laboratory animals and man. *Folia Morphol (Praha)* **21**, 59-64.
- Korea Centers for Disease Control and Prevention.** 2012. Guideline for Management of Legionnaires' Disease. Korea Centers for Disease Control and Prevention, Osong, Korea.
- Lee, H.K., Kang, Y.H., and Yu, J.Y.** 2010a. Genomic diversity of *Legionella pneumophila* serogroup 1 from environmental water sources and clinical specimens using pulsed-field gel electrophoresis (PFGE) from 1985 to 2007, Korea. *J. Microbiol.* **48**, 547-553.
- Lee, H.K., Shim, J.I., Kim, H.E., Yu, J.Y., and Kang, Y.H.** 2010b. Distribution of *Legionella* species from environmental water sources of public facilities and genetic diversity of *L. pneumophila* serogroup 1 in South Korea. *Appl. Environ. Microbiol.* **76**, 6547-6554.
- Lee, H.K., Woo, M.K., Ju, Y.I., Baek, S.J., Song, H.J., Choi, J.S., Kweon, S.S., Jeon, D.Y., and Kang, Y.H.** 2008. Prevalence of antibodies in response to *Legionella* species, analysis of a healthy population from Jeollanam-do Province, Korea. *J. Microbiol.* **46**, 160-164.
- Ministry of Environment Korea.** 2010. Study on Measures for Management of Water Quality in Waterscape Facilities. Ministry of Environment, Korea, Gwacheon, Korea.
- Nett, R.J., Toblin, R., Sheehan, A., Huang, W.T., Baughman, A., and Carter, K.** 2010. Nonhygienic behavior, knowledge, and attitudes among interactive splash park visitors. *J. Environ. Health* **73**, 8-14.
- O'Loughlin, R.E., Kightlinger, L., Wery, M.C., Brown, E., Stevens, V., Hepper, C., Keane, T., Benson, R.F., Fields, B.S., and Moore, M.R.** 2007. Restaurant outbreak of Legionnaires' disease associated with a decorative fountain: an environmental and case-control study. *BMC Infect. Dis.* **7**, 93.
- Palmore, T.N., Stock, F., White, M., Bordner, M., Michelin, A., Bennett, J.E., Murray, P.R., and Henderson, D.K.** 2009. A cluster of cases of nosocomial legionnaires disease linked to a contaminated hospital decorative water fountain. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* **30**, 764-768.
- Park, C.G., Kim, B.J., Kim, H.Y., Yun, Y.J., Ko, K.S., Miyamoto, H., and Kook, Y.H.** 2012. Analysis of population structure among Korean and Japanese *Legionella pneumophila* isolates using *hsp60* sequences. *Microbiol. Immunol.* **56**, 572-578.
- Rose, C.S., Martyny, J.W., Newman, L.S., Milton, D.K., King, T.E.Jr., Beebe, J.L., McCammon, J.B., Hoffman, R.E., and Kreiss, K.** 1998. "Lifeguard lung": endemic granulomatous pneumonitis in an indoor swimming pool. *Am. J. Public Health* **88**, 1795-1800.
- Schlesinger, R.B.** 1995. Deposition and clearance of inhaled particles. In McClellan, R.O. and Henderson, R.F. (eds.), *Concepts in Inhalation Toxicology*, Taylor and Francis. Washington, D.C., USA.
- Schoen, M.E. and Ashbolt, N.J.** 2011. An in-premise model for *Legionella* exposure during showering events. *Water Res.* **45**, 5826-5836.
- Zo, Y.G.** 2012. Risk assessment of *Escherichia coli* infection from use of interactive waterscape facilities. *J. Environ. Health Sci.* **38**, 73-81.