

Research Paper

캄보디아 북서부 지역의 토양으로 제작된 정수용 중력식 필터 평가

김연권* · 김성필* · 조우석** · 황광택**

K-water-융합연구원*, 한국세라믹기술원 이천분원**

Evaluation of Gravity Ceramic Filter as Household Purifier: Using Clay & Red Soil in the Northwest of Cambodia

Younkwon Kim* · Sungpil Kim* · Wooseok Cho** · Kwangtaek Hwang**

K-water Research Institute*

Icheon Branch, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology**

요약 : 캄보디아는 동남아 지역에서 매우 유명한 관광국가임과 동시에 심각한 물 문제를 가지고 있는 대표적인 국가로 인식되고 있다. 공공위생의 관점에서 캄보디아의 물 문제는 대략 두가지 카테고리로 구분된다. 상당히 많은 수의 보고서들이 지표수와 지하수 문제에 대해 분원성 미생물과 비소 오염이 각각 가장 대표적인 문제인 것으로 보고하고 있다. 최근에 가정용 정수기 시스템으로서 생물-모래여과기, MF, RO 등 다양한 소재를 이용한 시스템들이 농촌지역에 보급/채택되었다. 그러나 BSF와 조합형 막여과 공정들은 신뢰하기 어려운 효율, 높은 멤브레인 교체비용과 유지관리의 문제점들로 인해 당초 기대에 미치지 못하는 기술로 인식되기 시작하였다. 금번 연구는 가정용 정수기로서 활용이 가능한 소형 세라믹 필터를 개발하기 위해 캄보디아 북서부의 점토와 황토를 이용하여 두 종류의 중력식 세라믹 필터를 만들었고, 이들에 대한 현지 적용성 여부를 평가하였다.

주요어 : 캄보디아, 농촌지역, 먹는물 수질, 분원성 미생물(TTC)

Abstract : Cambodia is a typical country that a very famous tourist destination in South Asian regions, but water has some serious problems. As a public hygiene point of view, water problems in Cambodia can be roughly classified into two categories. A numbers of the report revealed that thermotolerant coliform(TTC) bacteria and arsenic(As) pollution representative species as a representative pollutant for surface water and ground water problems, respectively. In recent years, home water purifier systems for various filter systems including BSF(Bio-Sand Filter), MF and RO

First Author & Corresponding Author: Younkwon Kim, K-water Research Institute, Daejeon 34045, Korea, Tel:+82-42-870-7554, E-mail: kyk90@kwater.or.kr

Co-Authors: Sungpil Kim, K-water Research Institute, Daejeon 34045, Korea, Tel:+82-42-870-7537, E-mail: pillsp@kwater.or.kr

Wooseok Cho, Icheon Branch, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Icheon 17303, Korea, Tel:+82-31-645-1405, E-mail: wscho@kicet.re.kr

Kwangtaek Hwang, Icheon Branch, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Icheon 17303, Korea, Tel:+82-31-645-1431, E-mail: kthwang@kicet.re.kr

Received: 30 August, 2017. Revised: 16 October, 2017. Accepted: 18 October, 2017.

have been spread and adopted in rural areas. However, BSF and composite membrane processes are recognized as an undesirable and representative method due to unreliable efficiency, high cost and maintenance issues. In order to develop a small-scale ceramic filter as a home water purifier, the applicability of two types of gravity ceramic filter using clay and red soil in the part of the Northwest was made and compared in this research.

Keywords : Cambodia, Rural area, Drinking water, Ceramic filter

I. 서론

동남아시아 지역에서도 대표적인 저개발 국가이자 농업형 국가로 평가받고 있는 캄보디아는 시아누크 빌 해변가, 톤레삽 호수와 앙코르와트의 세계문화유산 등재 등으로 유명세를 타면서 해마다 여행객들의 수가 증가하고 있다. 특히, 시엡립 지역을 중심으로 변화하고 있는 캄보디아 북부지역의 관광화 전략은 이 지역의 산업구조를 변화시키고 있으며, 이미 캄보디아의 주요 외화획득원이 되고 있다. 이러한 변화는 통계적으로 더욱 명확하게 확인되어 지는데, 2016년 기준 외국인 방문객의 수가 지난 10년전에 비해 약 295 % 증가하였고, 관광수입 역시 3,212백만불로 지난 10년간 약 306 % 증가한 것으로 나타났다(MOC 2016). 이렇듯 급속한 변화와 발전을 거두고 있는 캄보디아의 이면에는 대부분의 농촌지역에서 나타나는 낮은 생산성과 경제적 빈곤 등의 사회적 문제가 점차 그 무게를 가속화하고 있다는데 심각성이 있다. 통상적으로 국가의 경제력과 빈부격차의 심화는 물 문제와 개인 및 공중위생의 관점에서 사회적 문제로 이어지게 된다(Erick & Peter 2003). 캄보디아는 풍부한 물 자원에 비해 안전하지 못한 물 문제로 유명한 대표적 국가이다(Grandjean 2005; Darong 2008). 이미 환경분야의 많은 전문가들이 개인과 공중위생, 그리고 환경-정책적 관점에서 캄보디아의 심각한 물 문제에 대해 우려를 나타내었다(Aguilar 2010). 캄보디아 정부도 열악한 물사용 환경을 개선하고자 수자원관리부(MOWRAM)와 환경부(MOE)를 설립하여 체계화를 모색하고 있으나, 아직까지 큰 실효를 거두지 못하고 있다. 특히 사회기반 시설이 미비한 캄보디아의 농촌지역은 안전한 먹는 물의 확보로부

터 미처리된 하수에 이르기까지 모든 부분에서 위생적 문제점에 노출되어 있다. 이에 다양한 NGO와 국제기구를 중심으로 물 문제 해결을 위한 노력을 기울여 왔다(Dokko 2012; Jung 2014). 이들은 현지 주민들의 환경개선과 물 문제 해결을 위해 저비용 고효율의 적정기술을 현지에 적용, 보급하고자 범인류적 구호활동을 지속해 왔으나, 몇몇 기술들과 사례를 제외하고는 큰 실효를 거두지는 못하고 있다.

세계보건기구에 따르면(WHO 2004), 캄보디아 농촌지역은 물 공급능력의 제한으로 인해 평균 물소비량이 약 3.2 LPCD 수준인 것으로 보고하고 있다. 이렇게 낮은 수치는 수도공급 시설을 갖추지 못하고 있는 농촌지역의 특성 이외에도 다양한 수질문제로 인해 이용 가능한 안전한 물의 제한이 또 다른 원인으로 인식되고 있다. 안전한 물의 관점에서 캄보디아의 물 문제는 크게 두 가지로 구분되는데, 지표수의 경우는 분원성 미생물에 의한 오염문제가, 지하수의 경우는 캄보디아 중남부 지역의 비소 오염문제가 가장 대표적인 것으로 보고되고 있다(Kim 2016). 수도 공급이 제한적인 지역에서의 정수 시스템은 규모에 따라 크게 가정용과 공공용으로 구분 할 수 있는데, 먼저 생물-모래여과기(Bio-Sand Filter)나 단지형 여과기는 대표적인 가정용 정수기술로서 주로 농촌지역에 보급되어 있다(Elliott et al. 2008; CAWST 2011). 작은 소도시 형태의 지역에서는 침전공정, 막(Membrane) 모듈 및 활성탄으로 구성된 여과공정, 그리고 소독공정으로 구성된 물 공장(Water Station)이 운영되고 있다. 물 공장의 원수는 주로 지하수를 사용하므로 원수에 대한 사전조사 후 생산설비를 구축/가동하기 시작하는데, 통상 2~4 m³/일의 먹는물을 생산한다.

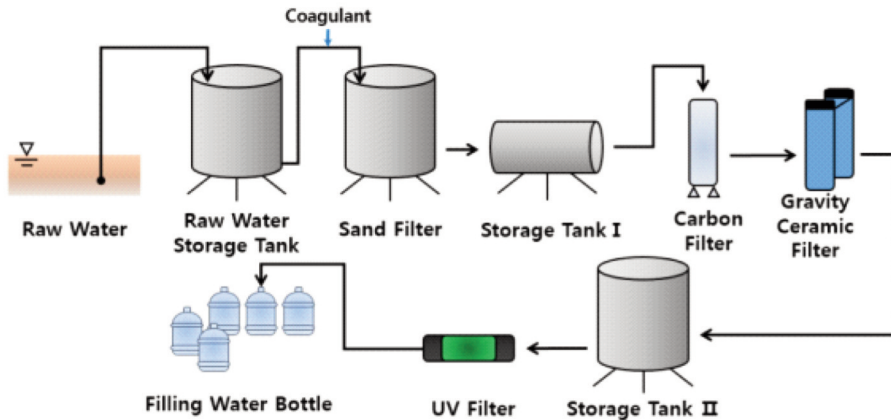


Figure 1. Schematics of typical water treatment procedure in water station

대부분의 적정기술이 현지에서 부딪히는 한계 중 하나가 바로 유지/관리의 문제이다. 운영 중인 정수 시스템의 성능변화를 확인 할 수 없고, 성능이 저하된 구성품을 교체하는데 필요한 비용마련과 제품수급의 용이성이 떨어지기 때문이다. 특히 안전한 물의 확보와 이용에 대한 이해가 낮고, 물 이용에 제한이 많은 농촌지역에서는 물 이용 패턴과 적정기술의 한계가 주민들의 위생문제에 직접적인 영향인자가 될 수 있음을 보고하고 있다(Kim et al. 2016).

이에 본 연구는 현지에서 소재확보가 용이하고, 저가이며, 적용효과를 기대할 수 있는 가정용 정수기를 개발/보급하고자 국내 옹기제작 기술을 적용한 중력식 세라믹 필터를 현지제작하고 그 성능을 평가하였다. 금번 연구성과는 캄보디아 북서부에 풍부한 점토와 황토를 이용한 중력식 세라믹 필터의 기술정보를 제공함과 동시에 수도 시스템이 구축되어 있지 못한 농촌지역의 가정용 정수기 보급과 기술의 현지전수 및 지역단위의 사회적 기업형성에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지역의 선정과 특성

금번 연구의 대상으로 선정된 캄보디아 북서부 지역은 행정구역상 반티민체이와 바탐방 주 일대를 의미하며, 동쪽으로 약 100km 지점에 앙코르와트와 폰

레삽 호수로 유명한 시엠립과 북쪽으로 약 40km 지점에 태국과의 국경이 위치하고 있다. 이 지역의 토양은 점토(Clay)와 황토(Red soil)가 매우 풍부한 지역으로 이 지역의 점토는 보통 적벽돌 제작에 사용되는 재료로 활용되고 입자의 크기는 황토 보다 큰 것으로 조사되었다. 이들 지역의 토양을 이용하여 옹기 형태의 중력식 세라믹 필터를 제작하고 가정용 정수기로서의 가능성을 평가하고자 하였다. 국내 황토와 옹기 소성기술은 옹기 표면에 충분한 미세기공을 형성시키는 것으로 알려져 있어(Cho 2016), 캄보디아 북서부 지역의 점토와 황토를 이용한 중력식 세라믹 필터는 저가의 가정용 정수기의 핵심기술이 될 수 있을 것으로 기대 되었다. 금번 연구는 현지화라는 궁



Figure 2. Map of research area

극의 목표달성을 위해 모든 소재와 제작 및 평가를 캄보디아 현지에서 실시하였다.

2. 실험 및 평가방법

1) 재료특성 및 제작방법

옹기제작 기술이 접목된 중력식 세라믹 필터를 제작하기 위해, Table 1에서 보는 바와 같이, 본 연구에서는 캄보디아 북서부 지역의 현지 점토와 황토를 주재료로 사용하였으며, 각각의 흙 반죽에 쌀겨분말을 8 : 1로 혼합(무게비)하여 성형을 하였다. 이렇게 성형된 중력식 세라믹 필터는 충분한 자연건조 후 옹기제작의 적정온도인 약 980~1,100 °C 조건의 가마에서 1시간의 소성을 통해 공극형성과 강도를 갖도록 만들었다(Kim et al. 2014; Wi et al. 2014). 이때 중요한 것은 가마 승온단계별 적정 지체시간인데, 혼합된 쌀겨분말과 유기물 등 이물질의 충분한 연소를 위해 400~500 °C 구간에서 약 30분간 지체운전을 실시하였으며, 이 구간을 제외한 나머지 구간은 3도/분의 속도로 승온 하였다. 이렇게 만들어진 세라믹 필터는 가정용 정수기의 필터로 사용되며, 세라믹 필터부, 어댑터부, 원수통(20 L)과 정수통(20 L)으로 구성된 수직형 정수기 형태로 조합하였다.

여과능 비교/평가에 사용된 원수는 식수용 옹덩이에서 직접 채수하여 사용한 물(Raw water)과, 암모니아-알람(Ammonia alum sulfate)을 이용하여 응집/침전 후 상등수를 전처리된 물(Supernatant after pretreatment)로 구분하여 사용하였다.

2) 물리적 특성평가 및 여과특성의 분석항목과 방법

점토와 황토를 사용하여 제작된 중력식 세라믹 필터의 물리적 특성과 이들을 이용한 여과능 평가를 실시

Table 1. Comparison of gravity ceramic sample composition

Raw materials	Composition
Clay	Clay (4kg) + Rice bran (0.5kg)
Red Soil	Red soil (4kg) + Rice bran (0.5kg)

Table 2. Experimental conditions for each samples

Samples	Base material	Pretreatment
S1	Clay + Rice bran	No
S2	Clay + Rice bran	Coagulation/Sedimentation
S3	Red soil + Rice bran	No
S4	Red soil + Rice bran	Coagulation/Sedimentation

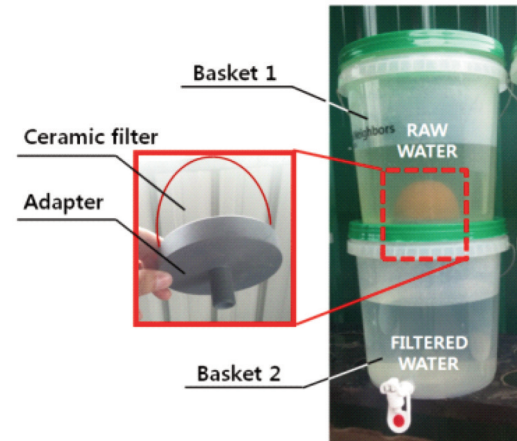


Figure 3. Schematics of gravity-ceramic filter as home purifier

하였다. 중력식 세라믹 필터의 물리적 특성평가를 위해 XRD 분석과 입경분포(Particle size distribution) 분석을 실시하여 각각의 조성특성을 비교/평가하였다. 이들 중력식 세라믹 필터의 여과능 비교/평가를 위해 미생물 평가, 일반항목 및 독성물질 항목으로 구분하여 수질분석이 이루어졌고, 모든 수질분석은 Standard Method에 준하여 실시하였다. 일반적인

Table 3. Items and species for sample analysis

Items		Species
Physical test	Particle size distribution	-
	XRD	-
Water quality test	Microorganism	E-Coli.
	General species	TCOD _{Cr} (PCOD _{Cr} , SCOD _{Cr}), TN, NH ₄ -N, NO ₃ -N, TP, PO ₄ -P, Mn
	Toxic species	Cr ⁶⁺ , Cd, Hg, As, CN ⁻ , Phenol

로 COD는 먹는 물의 지표는 아니나 다양한 오염물질에 노출된 먹는물 공급용 웅덩이를 이용하는 지역의 특성을 고려하여 금번 연구에서는 평가를 실시하였다. 총유기물의 양을 나타내는 TCOD는 용존성(Soluble-COD, SCOD) COD와 입자성(Particle-COD, PCOD) COD의 합으로 나타내는데, 유기물의 거동정보를 제공한다. 미생물 제거능 평가를 위해 분원성 미생물 노출지표인 대장균을 대상 미생물로 결정하였고, 현장여건을 고려하여 별도의 미생물 배양기 없이도 대장균 존재여부를 파악할 수 있는 미생물 분석 Kit를 사용하였다(Kim et al. 2016). 이 외에도 독성물질로 구분된 중금속 성분과 유해물질의 분석을 위해 Perkin Elmer(USA)의 ICP(유도결합플라즈마-Optima 2100DV, 검출한도 0.1 mg/L)와 Shimadzu(Japan)의 HPLC(LC2010AHT, 검출한도 0.02 mg/L)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양성분의 물리적 특성평가

1) XRD 분석결과

토양을 이용한 세라믹 제품은 원재료가 되는 토양의 조성성분에 따라 생산품의 개략적인 물리적 특성이 결정된다. 통상적으로 모래의 주성분인 Quartz 성분은 세라믹 필터의 골격(Frame)을 이루는 물질이

되며, 또 다른 주성분인 Kaolinite는 세라믹 제품의 형상이 잘 유지되도록 하는 기능을 하게 된다.

Figure 3에서 보는 바와 같이, 금번 실험에 사용된 캄보디아 북서부지역의 점토와 황토 성분의 원료에 대해 XRD 분석결과는 두 종류의 원료가 모두 Quartz와 Kaolinite의 결정상을 가지고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 조사대상지역의 토양이 세라믹 필터제작에 양호한 특성을 나타내고 있다고 할 수 있다.

2) 입도분석 결과

조사대상지역에서 세라믹 필터제작을 위해 채취한 점토와 황토의 입도분석 결과는 다음 Figure 4와 같다. 그림은 각각의 원료에 대해 입자의 크기별 중량 %를 나타내고 있는데, 점토가 황토에 비해 입도가 큰 입자들이 많이 존재하고 있어 세라믹 필터로 가공시 가공의 크기가 상대적으로 클 수 있음을 보여주고 있다.

2. 중력식 세라믹 필터 여과능 평가

1) 여과유량 평가결과

점토와 쌀겨로 제작된 세라믹 필터(S1, S2)와 황토와 쌀겨로 제작된 필터(S3, S4)에 식수용 웅덩이에서 채수된 원수 20 L와 전처리 후 상등수 20 L 이용하여 각 필터별 여과유량을 비교하였다. 평가결과 점토와 쌀겨로 제작된 세라믹 필터의 여과유량이 황토와

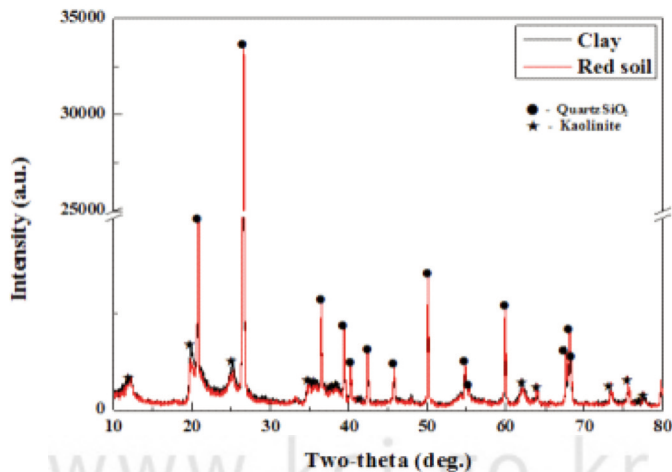


Figure 5. Result of XRD test for sample soil in research area

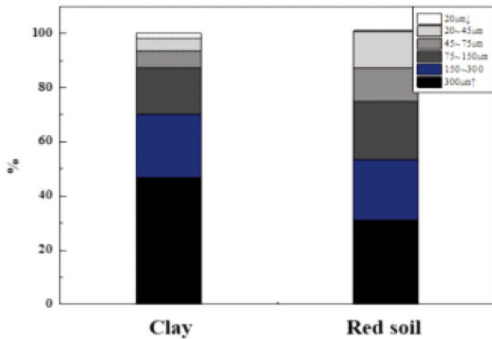


Figure 4. Result of particle size distribution of soil samples in the research area

Table 4. Weigh distribution of range of particle size for each samples (Unit:%)

Diameter (µm)	Soil	Clay	Red soil
> 300		46.75	31.31
150 ~ 300		23.49	21.89
75 ~ 150		17.20	21.54
45 ~ 150		5.89	12.65
20 ~ 45		4.90	13.50
20 >		1.73	0.10

쌀겨로 제작된 필터에 비해 약 1.3~2.5배 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 점토가 황토에 비해 큰 입자들이 많이 존재하고 있는 것으로 나타난 입도분석의 결과와 일치하는 것으로서, 쌀겨의 탄화에 의한 공극조건이 유사할 경우 여과유량은 토양성분에 특성에 지배됨을 알 수 있다. 또한 동일 성분의 세라믹 필터를 이용하여 여과를 실시 할 경우, 응집/침전 후 상등수를 사용하는 조건이 탁도가 높은 원수를 사용하는 조건에 비해 약 1.8~3.4배 여과유량 증가효과를 기대할 수 있었다. 이 경우 점토와 쌀겨로 제작된 세라믹 필터(S1, S2)에 비해 황토와 쌀겨로 제작된 세라믹 필터(S3, S4)에서의 여과유량 증대의 효과가 큰 것으로 나타났다.

2) 대장균 제거능 평가결과

캄보디아의 지표수 수질문제 중 분원성 미생물에 의한 먹는물 수원의 오염은 가장 대표적인 수질오염 문제로서 위생적인 하수처리 시스템의 미구축과 수원보호를 위한 오염원의 차단 미흡이 중요원인으로 꼽히고 있다. 금번 연구에서는 원수는 물론 종류별 세라믹 필터의 대장균 제거능을 평가하였으며, 그 결과는 S2를 제외한 모든 시료에서 대장균이 검출되는

것으로 나타났다. 이는 여과유량 확보를 위해 첨가되는 쌀겨의 탄화가 형성하는 거대공극의 문제로 추정되며, 실험결과를 바탕으로 세라믹 필터를 이용한 가정용 정수장치의 제작과 활용시 고려해야 할 중요사안으로 사료되었다.

3) 일반오염물질 처리능 평가결과

먹는물 응덩이 원수와 약품처리 후 상등수를 이용하여 세라믹 필터의 여과성능을 비교하고자 하였다. 각각의 세라믹 필터에서 여과된 처리수의 일반오염물질별 농도는 다음 Figure 5와 같다. 여과능을 평가하는데 있어 가장 중요한 지표 중 하나인 시료별 탁도는 원수의 경우 134 NTU 였고, 원수를 사용한 S1과 S3의 처리수는 각각 16 NTU와 4.6 NTU로 처리효율은 각각 88 %와 97 %를 보였다. 응집/침전 후 상등수를 여과시킨 S2와 S4의 처리수는 각각 0.6 NTU와 0.4 NTU로, 99.6 %와 99.7 %의 처리효율을 나타냈다. 이는 캄보디아의 NTU 기준이 5 이하, 국내 기준이 0.5임을 고려하면 매우 양호한 성능이며, 기존 BSF에 비해서도 우수한 여과능을 가진 것으로 사료되었다. 참고로 BSF에 적용가능 원수는 보통 50 NTU 이하를 권고하며, 85~95 % 효율로 1 NTU 이하

Table 5. Result of E-Coli. test for each samples

Characteristics	Samples	RW	S1	S2	S3	S4
Base material		-	Clay + Rice bran		Red soil + Rice bran	
Pretreatment		-	No	Yes	No	Yes
Result		+	+	-	+	+

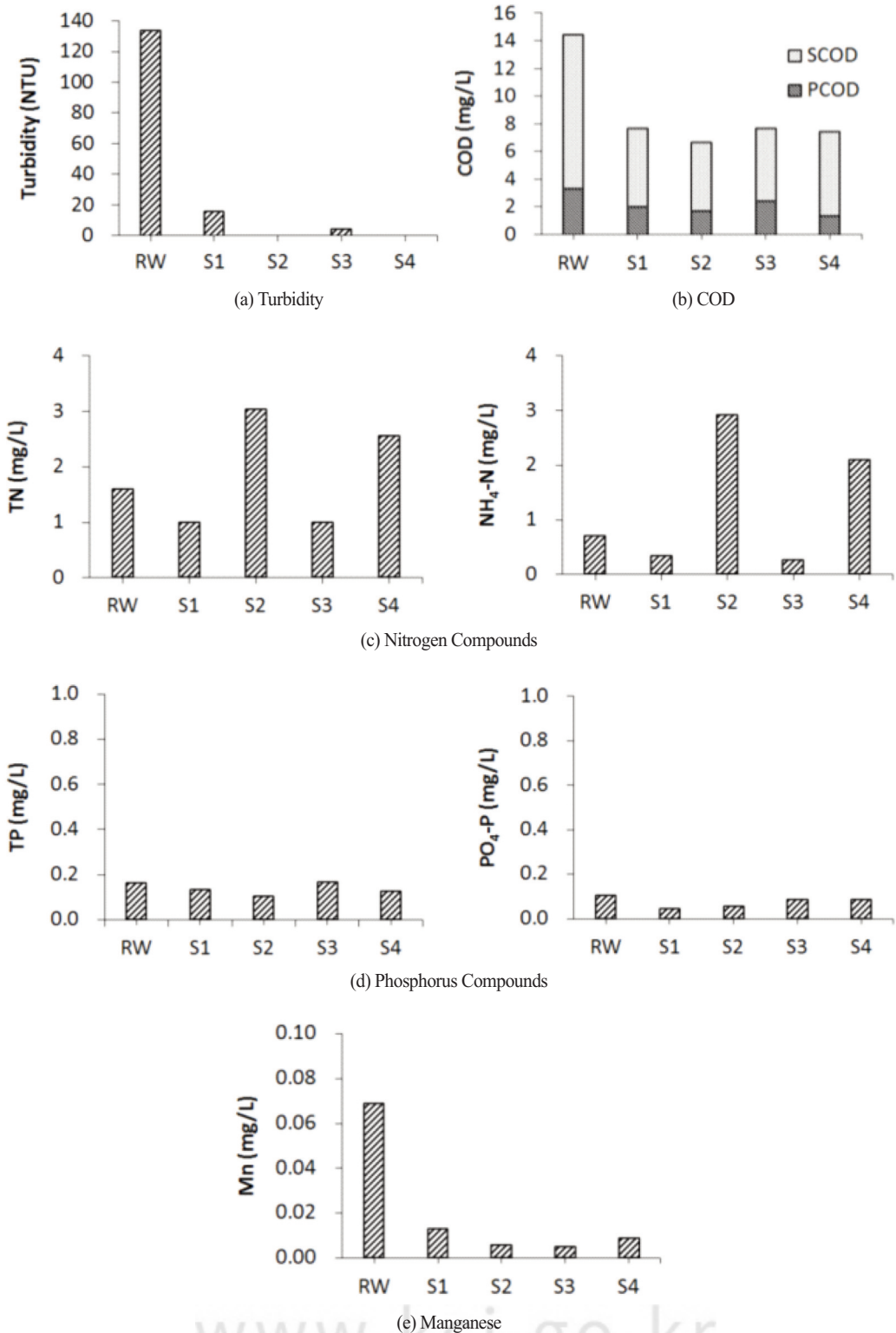


Figure 6. Concentration of general contaminants in filtered water

의 처리수 생산이 가능한 것으로 알려져 있다(Buzunis 1995; Duke & Baker 2005).

금번 연구에서는 유기물 성분을 파악하기 위해 총 유기물(TCOD_{Cr}) 분석을 실시했으며, 용존성과 입자성으로 구분하여 평가하였다. 그 결과 원수의 TCOD_{Cr}는 14.5 mg/L로 용존성과 입자성 COD가 각각 77 %와 23 %의 유기물 분율특성을 보였다. 이러한 결과는 뜯레삽 호수에서 조사된 수질특성에 1/3~1/5 수준에 해당하는 낮은 수준으로, 금번연구의 평가대상 수원이 빗물 웅덩이라는 특성으로 판단되었다. 전처리를 하지 않은 원수에 대해 S1과 S3의 TCOD_{Cr} 제거효율은 47 %로 동일하게 나타난 반면, 응집/침전 후 상등수를 여과시킨 S2와 S4의 TCOD_{Cr} 제거효율은 각각 53 %와 48 %로 S2가 다소 높은 제거효율을 갖는 것으로 나타났다. Figure 5에서 볼 수 있듯이, COD_{Cr} 중 중력식 세라믹 필터는 용존성과 입자성 COD의 농도를 모두 저감시킬 수 있는 것으로 확인 되었다. 질소 성분은 총질소(TN)과 암모니아성 질소(NH₄-N)로 구분하여 분석을 실시하였다. 원수의 TN과 NH₄-N의 농도는 각각 1.6 mg/L와 0.69 mg/L로 낮은 수치를 보였다. S1과 S3의 TN 제거효율은 37 %로 동일하게 나타난 반면, 응집/침전 후의 상등수에 대한 S2와 S4의 제거효율은 원수의 2배에 가까운 증가를 보였는데, 이러한 결과는 캄보디아 현지에서 응집/침전에 사용한 응집제가 암모니아 성분이 용출되는 암모니아-알룸을 사용했기 때문으로 확인되었다. 대표적인 용존성 물질 중 하나인 NH₄-N는 캄보디아 기준으로 1.5 mg/L 이하가 되어야 한다. S1과 S3의 제거효율은 각각 52 %와 63 %로 모두 수질기준을 충족시킬 수 있는 성능치를 보였으며, S3가 S1에 비해 다소 높은 제거효율을 갖는 것으로 나타났다. 질소 성분에 비해 인 성분은 원수와 처리수 모두 0.16 mg/L 미만의 매우 낮은 농도범위를 나타내어 큰 고려인자가 아님을 알 수 있었다. 먹는 물에서 중요한 고려인자 중 하나인 망간 성분의 경우도 원수의 농도가 0.069 mg/L로 캄보디아 기준인 0.5 mg/L에 크게 못 미치는 것으로 나타났으며, 실험에 사용된 모든 세라믹 필터는 최소 80 % 이상의 우수한 제거효율을 갖는 것으로 확인되었다.

4) 중금속 및 유해물질 처리능 평가결과

먹는물 웅덩이에서 직접 채수한 샘플과 채수된 샘플에 응집처리 후 상등수를 샘플로 하는 2종류의 원수에 대해 세라믹 필터의 중금속 성분(Cr⁶⁺, Cd, Hg, As, CN⁻, Mn)과 유해화학물질(Phenol)의 여과성능을 비교하였다. 분석결과 실험에 사용된 모든 샘플에서 전항목 불검출 결과(ND)를 얻었는데, 이러한 결과는 인공적으로 조성된 식수용 웅덩이의 주요 유입원이 빗물이라는 특성과 함께 해당 지역의 토양특성이 지표수와 지하수에 비소(Arsenic) 검출이 보고되지 않았던 특성이 반영된 것으로 사료되었다(Uy et al., 2010). 또한 현지 토양을 이용하여 성형과 소성 과정을 거쳐 생산된 중력식 세라믹은 자체 독성물질의 용출현상이 일어나지 않음을 확인하였다.

3. 경제성 평가

최근 유엔아동기금(UNICEF)은 캄보디아 인구의 42 %인 약 630만 명이 안전한 물을 구하지 못하고 있으며, 이 중 약 390만 명이 농촌지역의 빈곤층이라고 보고하고 있다. 경제력이 낮은 캄보디아의 특성상, 현안 물문제의 해결을 위한 조속한 재원확보와 정책 수립이 기대하기 어렵다고 볼 때, 농촌지역에서의 빗물을 이용한 안전한 물 확보나 오염된 지표수와 지하수를 각 가정의 간이 정수기를 이용하여 처리 후 사용하는 물이용 패턴은 당분간 지속 되리라 예상된다. 현지조사결과, 캄보디아 북서부 지역은 도심지를 중심으로 운영되는 물 공장은 매우 안전한 물을 저렴한 가격(20 L 한통에 약 0.5불)으로 공급할 수 있는 훌륭한 대안으로 사료되나 시설의 부족과 운송방법의 제한으로 인해 도심지내에서만 운영되고 있다. 이러한 환경에서 가격이 저렴하고 우수한 성능의 정수기 보급은 안전한 물 확보가 어려운 지역에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 금번 연구를 통해 제작 및 평가된 중력식 세라믹 필터는 설치와 유지관리가 용이하고 개당 단가가 17불 이하로 제작/보급(NGO 지원을 받는 사회기업일 경우, 8불 수준)이 가능하여 기존 BSF 가격의 1/2~1/4 수준(Buzunis 1995; Duke & Baker 2005; CAWST 2011)으로 캄보디아 농촌지역

에서의 가정용 정수기 조건을 충족하는 것으로 평가되었다. 다만, 금번 중력식 세라믹 필터의 여과속도가 기존 BSF의 최대 여과유량인 0.4 L/분에 크게 미치지 못한 부분과 중금속 제거능에 대한 평가는 기공 확보를 위한 소성방법 및 첨가제의 변화, 다중 세라믹 모듈의 채택 등의 제작방법의 다변화와 다양한 원수수질을 이용한 평가를 통해 개선해 나아갈 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

금번 연구는 캄보디아 북서부 지역의 현지 토양을 이용하여 제작한 중력식 세라믹 필터를 이용한 여과 특성과 수질항목별 정수능을 평가한 연구결과이다.

1. 현지 토양의 조성성분은 세라믹 필터의 골격과 형상유지를 위한 Quartz 성분과 Kaolinite 성분이 세라믹 필터제작에 양호한 특성을 갖고 있는 것으로 나타났으며, 점토로 제작된 세라믹 필터의 기공 크기가 황토에 비해 상대적으로 클 것으로 평가되었다. 원료가 상이한 세라믹 필터의 기공특징은 여과유량의 비교/평가를 통해서도 재확인 되었다.

2. 일반항목에 대한 여과능 비교결과, 점토와 황토로 제작된 두 개의 세라믹 필터 모두 탁도제거에 우수한 성능을 보였고, 전처리 공정으로서 응집/침전 공정이 적용될 경우 처리능 향상에 도움이 될 것으로 기대되었다. 토양의 성분별 특성은 여과유량의 경우, 점토로 제작된 세라믹 필터가 우수한 것으로 나타났으나 항목별 여과능은 황토로 제작된 세라믹 필터가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

3. 캄보디아 북서부지역의 토양특성과 원수의 특성으로 인해 실험에 사용된 원수에서는 중금속과 유해물질이 검출되지 않았으며, 세라믹 필터를 통과한 처리수에서도 이들 물질이 검출되지 않아 현지 토양으로 제작된 중력식 세라믹 필터에서 독성물질의 용출현상은 일어나지 않음을 확인 하였다. 반면 대부분의 세라믹 필터가 대장균 제거에는 효과적이지 않은 것으로 나타났는데, 이는 여과유량 확보를 위해 첨가되는 찰겨의 탄화로 형성되는 거대공극의 문제로 추정 되었다.

4. 이상의 결과를 종합하면, 점토와 찰겨를 이용한 중력식 세라믹 필터가 황토를 이용한 경우에 비해 유량확보와 오염물질 제거능에서 더 바람직한 것으로 판단되었다. 또한 경제적 관점에서 이들 필터를 이용하여 농촌지역의 가정용 정수기로 공급할 경우, 개당 가격을 17불 이하로 제작/공급이 가능한 것으로 평가되었는데, 이러한 결과는 중력식 세라믹 필터가 유지보수에 비용소요가 거의 없다는 점에서 높은 경제적 장점으로 판단되었다. 다만, 세라믹 필터의 단점인 느린 여과속도와 대장균 제거효율에 대한 개선방안의 마련도 필요한 것으로 나타났다.

캄보디아 북서부 지역의 대표적 토양성분인 점토와 황토에 국내 옹기제작 기술을 적용하여 제작된 중력식 세라믹 필터와 정수기는 가정용 간이 정수시설로서 캄보디아 농촌지역의 안전한 물 문제 해결에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 금번 연구의 목적이 단순한 기술개발에만 국한 되는 것이 아니라 현지여건을 고려한 적정기술의 개발과, 원천기술의 이전 및 교육을 통한 실질적인 기술 현지화에 있으므로 다양한 연구자들의 후속연구와 기술정보의 공유를 통해 범인류적 적정기술 개발에 일조 할 수 있기를 희망한다.

References

- Aguilar MF. 2010. Access to safe drinking water in Cambodia: Available sources and point-of use water treatment. JOSHUA. 7: 28-34.
- Buzunis B. 1995. Intermittently operated slow sand filtration: A new water treatment process. Department of civil engineering, University of Calgary. Canada.
- CAWST. 2011. Biosand filters knowledge base. Accessed [October 10, 2011] at: <http://biosandfilters.info/technical/fact-sheet-biosand-filter>.
- Cho WS. 2016. New material economy news paper. Accessed [December 12, 2016] at: http://www.amenews.kr/atc/view.asp?P_Index=

- 31960.
- Darong C. 2008. Drinking water quality in Cambodia. UNESCAP. Accessed [December 12, 2009] at: <http://www.unescap.org/esd/water/publications/cd/escapiwmi/waterquality/drinking%20water%20quality%20in%20cambodia.pdf>.
- Dokko S. 2012. Water appropriate technology. Engineering education. 19(3): 24-26 [Korean Literature]
- Duke W, Baker D. 2005. The use and performance of the biosand filter in the artibonite valley of Haiti: A field study of 107 households. University of Victoria. Canada.
- Elliott M, Stauber C, Koksall F, DiGiano F, Sobsey M. 2008. Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated 2 household-scale slow sand filter. Wat. Res. 42(10-11): 2662-2670.
- Grandjean AC. 2005. Water requirements, impinging factors, and recommended intakes. Nutrients in drinking water. WHO. 1-27.
- Jung YJ. 2014. National survey of Appropriate Technology – Cambodia. Research Report of Korea Research Institute Environment & Development. [Korean Literature]
- Kim SM, No HG, Kim US, Cho WS. 2014. Study on Sources of Pore Formation in Onggi via the Comparison with Porcelains. J. Kor. Ceram. Soc. 51(1): 8-11. [Korean Literature]
- Kim YK, Kim SP, Chae SH. 2016. Status of Drinking Water in Pproyap and Langthle. J. Environ. Impact Assess. 25(5): 357-368. [Korean Literature]
- Ministry of Tourism. Cambodia. 2016. Tourism statics report.
- Uy D, Hak SC, Hyuy C, Srey M, Chunhieng T, Phoeurng S, Hassan MN, Frecricks D. 2010. Comparison of tube-well and dug-well groundwater in the arsenic polluted areas in Cambodia. Southeast Asian Water Environment Book. IWA Publishing. London. UK.
- Wi IH, Shin DW, Han KS, Kim JH, Cho WS, Hwang KT. 2014. Characteristics of the non-electric water purification system using onggi filter. J. Kor. Ceram. Soc. 51(4): 332-336. [Korean Literature]
- World Health Organization. 2004. Water drinking guidelines. Accessed [December 12, 2009] at: <http://www.searo.who.int/EN/Section3144295.htm#bacteriology>.