

Research Paper

캄보디아 뽀로얍 지역과 랭뜰 지역 거주민의 먹는물 현황

김연권 · 김성필 · 채선하

K-water연구원

Status of Drinking Water in Pproyap and Langthle, Cambodia

Younkwon, Kim · Sungpil, Kim · Seonha, Chae

K-water Research Institute

요약 : 캄보디아는 동남아시아 지역에서 대표적인 저개발 국가이다. 수자원의 관점에서 캄보디아는 풍부한 수량을 갖고 있지만, 농촌지역에서는 안전하지 않은 식수와 처리되지 않은 분뇨에 의하여 공중 보건의 문제가 이어지고 있다. 본 연구는 캄보디아 지역에서의 물 원조 프로그램을 위한 신전략수립과 준비를 위해 현지조사, 검토 및 농촌지역에서의 물 오염현황분석, 그리고 해당지역의 물 순환을 분석하였다. 조사 대상지역은 푸르사트주에 있는 뽀로얍과 랭뜰을 조사 대상으로 정하였다. 연구대상 농촌지역의 사람들은 식수전용 웅덩이, 빗물 항아리, 관리되지 않은 우물물 등 지표수에 의존하고 있었다. 분석은 분원성 미생물(TTC)과 일반항목으로 크게 두 가지로 하였으며, 대상지역에서 채수한 시료들을 분석/평가하였다. TTC는 수인성 배설물 오염의 세균 지표인데 26개의 시료중 단 한개만이 WHO가 규정한 TTC 허용한계인 불검출/100 mL의 기준을 충족시켰다.

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

Abstract : Cambodia is the representative of developing country in Southeast Asia region. As a view point of water resource, Cambodia has in abundance but public sanitation problems persist in rural areas due to unsafe drinking water and untreated human waste. The purpose of this research is to prepare and develop new strategies for the water aid program in Cambodia by assessing, reviewing, and analyzing the present situation of water pollution for rural areas and the existing water use cycle in these regions. Pproyap and Langthle regions in Pursat province are selected as research areas. Cambodian's rural population in research areas relies on surface water stored in drinking-detention swamps, rain-water jars, and unprotected wells. The two types of main measures, thermotolerant coliform(TTC) bacteria and general pollutants, were conducted to assess the quality of selected water samples for research areas. TTC is a bacterial indicator of waterborne

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

Co-Author: Seonha Chae, K-water Research Institute, Daejeon 34045, Korea, Tel:+82-42-870-7524, E-mail: shchae@kwater.or.kr

Received: 13 September, 2016. Revised: 19 October, 2016. Accepted: 21 October, 2016.

fecal contamination. For the 26 water samples, only one of the samples met the WHO standard for safe drinking water of 0 TTC colony forming units/100 mL.

Keywords : Cambodia, Rural area, Drinking water quality, Thermotolerant coliform(TTC)

I. 서론

2000년대에 들어와서 캄보디아에 대한 물 문제와 환경, 위생의 심각성을 언급하는 다양한 형태의 국제 보고서들이 출간되고 있다(Grandjean 2005; Darong 2008; Aguilar 2010). 캄보디아는 동남아시아 지역에서 대표적인 저개발 국가이며, 낙후된 농촌지역에서의 환경문제는 지역주민의 위생문제와 더불어 매우 열악한 것으로 보고되고 있다. 이러한 상황에 대해 다양한 국제기구와 NGO가 현지 주민들의 환경 개선과 물 문제 해결을 위한 다양한 지역에서의 현지 조사와 적정기술들을 현지적용 하고자 노력해 왔으나, 몇몇 기술들을 제외하고는 큰 실효를 거두지는 못하고 있는 실정이다.

캄보디아의 환경문제 중 물과 관련된 현황과 문제점을 살펴보면, 활용가능 수자원으로 메콩강과 톤레삽 호수를 꼽을 수 있다. 이들의 잠재적 활용 가능성은 다양한 환경사업의 관점에서 매우 큰 것으로 평가 받고 있는데(Jung 2010), 메콩강 유역은 캄보디아 전체 면적의 86 %에 해당하며, 우기시 범람하여 아시아 최대 호수인 톤레삽 호수를 건기대비 최대 4배 (15,000 km²)까지 증가 시키는 것으로 알려져 있다.

반면, 풍족한 수자원에 비해 캄보디아의 실제 물 이용량과 수질현황은 열악한 것으로 보고되고 있다. 캄보디아의 용수 사용량은 연간 약 8억 m³ 규모로 그 중 약 60~80 %가 농업용수로 사용되고 있으며, 식수로 사용되는 물은 약 76 %가 우물, 하천, 개울 등을 사용하나 별도의 전처리 설비 없이 음용함으로써 수인성 질환에 노출되어 있다(Engineering Total Information system 2008). 먹는물과 하수처리로 구분하여 도심과 농촌의 현황을 비교해 보면, 먹는물과 관련된 정수시설은 프놈펜을 중심으로 Phum Prek 정수장(150,000 m³/d), Chroy Cahng War 정수장(130,000 m³/d), Chamkar Morn 정수장(20,000 m³/d) 등 3개소와 Siem Reap 정수장(8,000 m³/d), Shianoukville 정수장(8,000 m³/d)이 존재하고 있어 도시인구의 약 66.5 %가 안전한 물을 공급받고 있다. 반면 인구의 80 %가 거주하는 농촌지역 거주민 중 50 % 이상이 안전하지 못한 물을 음용하고 있는 것으로 보고되고 있다. 최근 지하수 사용도 크게 늘고 있는데, 프놈펜 인근은 15 % 정도가 우물물을 이용하고 있는 반면 별도의 중앙집중형 물이용 시설이 없는 농촌지역은 60 % 이상이 지하수를 이용하고 있는 것으로 보고 되었다(KEITI 2014a). 하

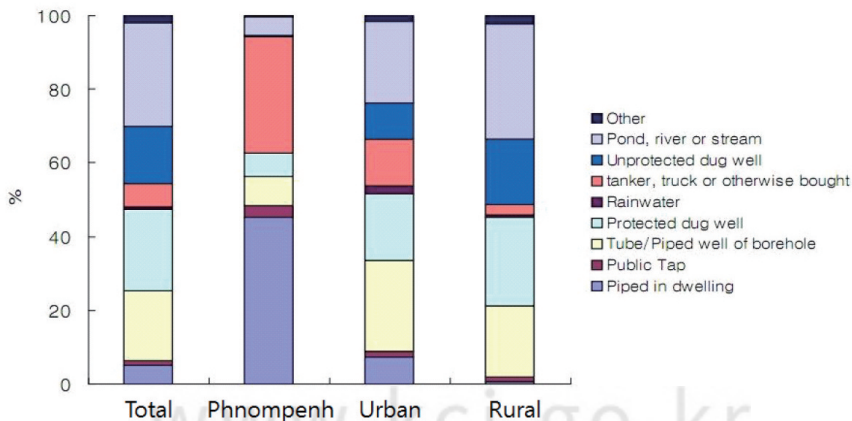


Figure 1. Status of water usage in Cambodia[5]

수처리시설의 상황은 더욱 열악하여 전국 평균 16%의 보급률을 보이고 있는데, 프놈펜과 같은 도심지의 경우 약 69%에 육박하는 보급률을 보이고 있지만, 농촌지역은 10%에도 미치지 못하는 실정으로 이 또한 관광지를 중심으로 국제기구의 원조를 받아 건설, 운영 중인 사례이다(KEITI 2014b).

캄보디아 정부는 풍부한 수량에 비해 열악한 물사용 환경을 개선하고자 수자원관리부(MOWRAM)와 1996년 환경부(MOE)의 설립하여 체계화를 모색하였다. 2004년부터 수자원관리부는 21개 지점에 대한 수질관리 모니터링을 실시하고 있으며, 환경부 캄보디아 4대강 7개 지점에서 매달 10개 항목에 대한 분석을 실시하고 있다. 이 외에도 농촌개발부(MRD), 산업자원부(MINE), 프놈펜 물공급공사(PPWASA) 등에서 먹는물 공급을 책임/관리하고 있다.

그럼에도 불구하고, 캄보디아는 여전히 분원성 미생물 오염과 비소 문제로 대표되는 심각한 물 문제를 가지고 있다. 세계보건기구에 따르면, 캄보디아의 가

구당 어린이 숫자는 약 4.2명으로 세계 평균 2.6명보다 많다. 또한 이들 가족의 적정 물소비량은 약 19.8 L/d로 평균 물소비량 약 3.2 LPCD로 보고되었다(WHO 2004). 풍부한 수량에 비해 위생적으로 안전한 물이 절대적으로 부족한 캄보디아 농촌지역에 안전하고 풍족한 물공급과 이용을 위해 다양한 적정기술들이 시도되고 있다(Aguilar 2010; Dokko 2012; Jung 2014). 물 문제로 인한 지역 거주민의 위생과 건강의 악화는 더 이상 지역적 사회현상으로만 인식되지 않고, 다양한 경제적 가치로 재평가되고 이를 개선시키기 위한 노력들이 시도되어지고 있다(Erick & Peter 2003). 실제로 캄보디아의 5세 이하 어린이 사망률 중 2위에 해당하는 질환이 세균성 이질(Bacillary dysentery)로, 설사로 인한 비타민과 미네랄 결핍증은 캄보디아 국내총생산(GDP) 중 해마다 1억4600만 달러의 손실을 유발하고 있는 것으로 보고되고 있다. 하지만 아직도 현지 주거민의 생활특성과 환경간의 분석자료나 수질현황 자료, 개인

Table 1. Comparison of Water Quality Standards(WQS) for drinking water (Unit : mg/l)

Items	Type of use	Cambodia Drinking	Korea			
			Drinking	Domestic	Agriculture	Industrial
General (5)	pH		5.8-8.5	5.8-8.5	6.0-8.5	5.0-9.0
	E. Coli	0/100 mL	0/100mL	5,000 >(MPN/100mL)	—	—
	NO ₃ N	50 >	10 >	20 >	20 >	40 >
	Cl		250 >	250 >	250 >	500 >
	Bacteria		> 100CFU/mL	> 100CFU/mL	—	—
Specific Hazardous Material (15)	Cd	0.003 >	0.005 >	0.01 >	0.01 >	0.02 >
	As	0.05 >	0.01 >	0.05 >	0.05 >	0.1 >
	CN	0.07 >	0.01 >	ND	ND	0.2 >
	Hg	0.001 >	0.001 >	ND	ND	ND
	Organic Phosphorus			ND	ND	ND
	Phenol		0.005 >	0.005 >	0.005 >	0.01 >
	Pb	0.01 >	0.01 >	0.1 >	0.1 >	0.2 >
	Cr ⁶⁺	0.05 >	0.05 >	0.05 >	0.05 >	0.1 >
	Trichloroethylene		0.03 >	0.03 >	0.03 >	0.06 >
	Tetrachloroethylene		0.01 >	0.01 >	0.01 >	0.02 >
	1,1,1-trichloroethane		0.1 >	0.15 >	0.3 >	0.5 >
	Benzene	0.01 >	0.01 >	0.015 >	—	—
	Toluene		0.7 >	1.0 >	—	—
	Ethylbenzene		0.3 >	0.45 >	—	—
	Xylene		0.5 >	0.75 >	—	—

위생 자료 등 신뢰성 있는 현지정보의 확보가 매우 부족한 실정이다. 이는 그동안의 캄보디아 관련 보고서가 환경산업의 관점에서 국제기구의 통계 및 보고 자료를 토대로 재취합된 목적형 자료로 만들어져 왔기 때문이다.

본 논문은 현지에 대한 보다 정확한 현황자료를 확보하고 분석하여 현지에 적합한 신전략을 수립하는데 기여하고자, 캄보디아 농촌지역 중 대표적인 내륙지역과 톤레삽 호수인근 대표지역을 조사대상지로 선정하고, 다양한 수원과 먹는물에 대해 분원성 미생물(TTC, Thermotolerant coliform) 발현특성 조사와 수질오염물질 현황에 대한 조사를 실시하였다. 분석된 결과는 현지 주거민과의 인터뷰를 통해 물이용 특성을 고려한 안전한 물이용 신전략의 기초를 마련하고자 하였다. 금번 연구성과는 캄보디아 내륙 농촌지역과 톤레삽 호수지역에 대한 정보제공과 함께 적정기술 연구자와 물산업 추진 의사결정권자들에게 실질적 정보를 제공 할 것으로 기대한다.

II. 연구방법

1. 조사대상 지역의 선정과 특성

캄보디아 농촌지역 중 내륙지역과 톤레삽 호수인근 지역의 물이용 특성과 수질현황을 분석하기 위해 수도 프놈펜으로부터 북서쪽으로 5번 국도를 따라 약

240 km 떨어진 뿌로얍과 랭뜰을 조사대상지로 정하였다. 농촌지역 중 내륙지역을 대표하는 뿌로얍과 호수인근 지역을 대표하는 랭뜰은 캄보디아에서 가장 낙후된 지역 중 하나로 평가되고 있다. 뿌로얍 지역 거주민들은 대부분이 쌀 농사와 목축에 의존한 경제 활동을 하고 있으며, 크게 선상 거주민과 수변 육상 거주민으로 나뉘는 랭뜰 지역 거주민들은 주로 톤레삽 호수에서 어업을 통해 생계를 꾸려가고 있다.

금번 연구는 캄보디아 현황분석, 대상지역과 조사 우선순위를 결정하고 현지조사와 함께 다양한 수원과 먹는물을 채수하여 분석을 실시하였다. 대상지역 선정은 ‘물 인프라 미구축 지역’, ‘지역특성 대변지역(육상거주와 수상거주)’, ‘2개 이상의 이용가능 수원 존재 유무’, ‘30가구(100인) 이상의 거점마을’, ‘거점마을 반경 10km(도보이동 3시간) 이내 복수개의 위성마을 형성’ 등을 5대 고려사항(Criteria)을 기준으로 선정하였다. 조사우선순위는 UNEP와 K-water에서 제안한 보고서(UNEP & K-water 2006)의 Decision support tool을 참고하여 Table 2와 같이 조사우선순위를 결정하였다. 금번 논문에서는 다양한 조사우선순위 중 환경적 관점에서의 조사우선순위를 따라 수행, 분석된 결과를 다루었다.

환경적 관점에서의 조사우선순위에 따라 조사대상 지역에 대한 지역적 특성분석과, 수원별 오염현황에 대해 수질분석을 실시하였다. 수질분석은 크게 TTC

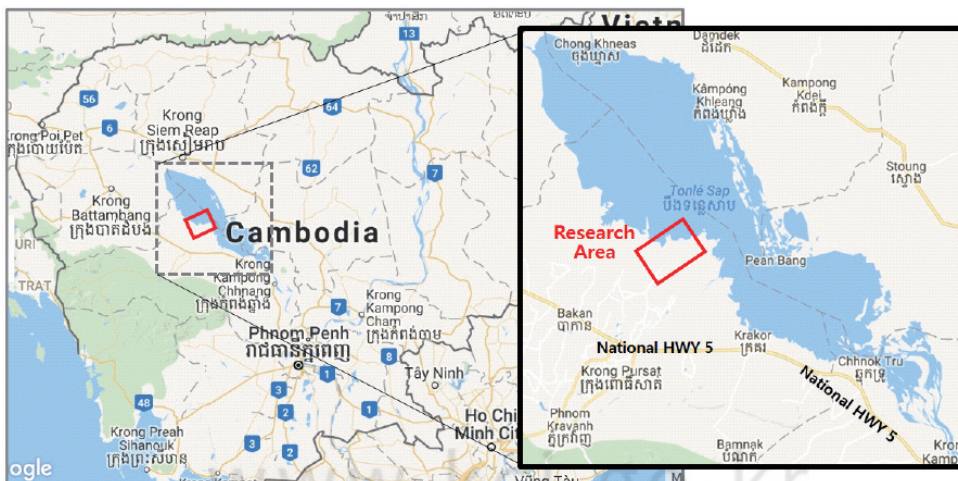


Figure 2. Map of research area

Table 2. Categories of the priority for field assessment

Category	Priority					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
1 Environmental Aspect	Regional characteristics	Contamination	Hygiene	Water related living cycle		
2 Systematical Aspect	Law & Policy	Regular	Master plan	Decision maker	Stakeholder	
3 Social & Economical Aspect	Potential	Financial resource	Cost & Benefit	Market	Social agreement	Education & Campaign
4 Technical Aspect	Resource	Supply & Distribution	Appropriate technology & treatment	Maintenance		

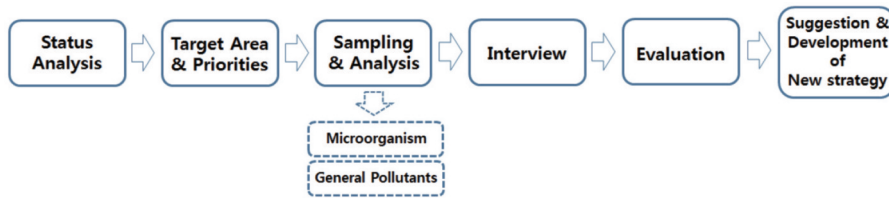


Figure 3. Procedures of this research

분석과 일반항목 분석으로 나뉘며, 수질특성과 위생과의 관계성을 조사하였다. 특히 물과 관련된 생활패턴에 대한 분석을 위해 지역 거주민과의 인터뷰를 실시하였으며, 이렇게 획득된 결과에 기초하여 종합적인 평가와 물이용 기초전략수립이 이루어 졌다.

2. 실험 및 평가방법

1) 시료특성

뿔로얍 지역에서 시료는 10 km 이내 4개 마을 (Ppomtrong, Pproyap, Ppromppuap, Ppompou)

에 대해 현재 음용중인 각 가정에서의 먹는물을 대상으로 조사를 하였으며, 식수용 웅덩이(P-S)와 지하 59 m 지점에서 양정한 지하수(P-Sam), 그리고 반경 10km 이내 4개 마을(P1~P4, P5~P8, P9~P12, P13)에 대해 시료를 수집하였다. 랭틀의 경우, 수상 가옥이 밀집한 지역의 뜰레삽 호수물(L)과 500 m 거리의 호수물(L-500), 그리고 수상 거주민(L1~L4)과 인근 육상 거주민(L6~L9)으로 구분하여 시료를 수집 하였다. 이렇게 수행된 지역별 표본조사 시료별 특성을 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Characteristics of sample for research area

Regions	Items	Representative Samples	No. of Samples
Pproyap	Surface Water	Drinking Swamp	P-S
	Ground Water	Well	P-Sample (P-Sam)
	Drinking Water	Ppomtrong	P1, P2, P3, P4
		Pproyap	P5, P6, P7, P8
		Ppromppuap	P9, P10, P11, P12
Ppompou		P13	
Langthle	Tonlesap Lake	Near the boat-town	L
		500m from the boat-town	L-500
	Drinking Water	Purified Water	L-Aid
		Boat-town	L1, L2, L3, L4
		Lakeside-town	L5, L6, L7, L8

Table 4. Items and species for sample analysis

Items	Species
Microorganism	Thermotolerant coliform(TTC)
General contaminant	COD, SCOD, TN, NH ₄ ⁻ N, NO ₃ ⁻ N, TP, PO ₄ ⁻ P, Mn

2) 수질분석 방법 및 항목

금번 수질분석은 현지특성을 분석하고, 그 결과에 따라 조사대상지역의 세분화 과정을 거쳐 최종 조사 지역을 선정, 시료를 확보 하였다. 획득된 시료는 우선적으로 TTC 검사를 시행하였고 그 결과에 따라 일반 오염물질에 대한 분석을 실시하였다. 일반 오염물질의 분석항목은 다음 Table 4와 같다. TTC 검사는 사용자의 체온을 이용하여 24시간 배양 후 노란색 발색여부에 따라 Positive(+)와 Negative(-) 구분/판정이 가능한 미생물 분석 Kit를 이용하였다. 이들 대장균군은 특정효소(β -galactosidase)를 가지고 있는데, 미생물 분석 Kit 내 기질(ONPG; O-Nitrophenyl- β -D-galactopyranoside)이 이 효소에 의해 가수분해가 되면 노란색을 나타내게 되는 원리를 가지고 있다. 세계보건기구는 TTC 허용한계를 100 mL 당 불검출로 규정하고 있다(WHO 2004). 이외 일반 오염물질의 분석은 Standard Method에 준하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물이용 특성분석 결과

1) 뽕로얍 지역 물이용 특성분석

농촌지역 중 내륙지역을 대표하는 뽕로얍 지역에서의 대표적 물이용 특성은 크게 두가지로 나뉜다. 먼저 상당수 가정의 대표적 물이용 특성은 지표수를 활용하는 것으로서 인공수로를 이용하여 인근 하천의 물을 마을 지근거리까지 유도하고 이후 식수전용 웅덩이(Drinking Swamp)로 이송 후 취수/이용하는 방법을 들 수 있다. 다른 방법으로 우기시 각 가정별로 비치된 빗물 항아리(Jar)를 이용하는 방법이 있는데, 우기시 지붕으로 모인 빗물은 연성 파이프를 통해 지상에 비치된 약 0.3 ~0.5 m³ 전후의 빗물 항아리로 이송되어지고, 이들 빗물 항아리는 별도의 뚜껑을 두어 외부오염과 증발을 방지하고 있었다. 뽕로얍 지역도 일부 지하수를 이용하기도 하지만 전통적으로 사용해 오던 마을단위의 공동우물은 지하수층의 하강으로 대부분 폐기되어 있었고, 지하 50 m 이내에서는 수맥을 찾기 어려운 것으로 확인 되었다.

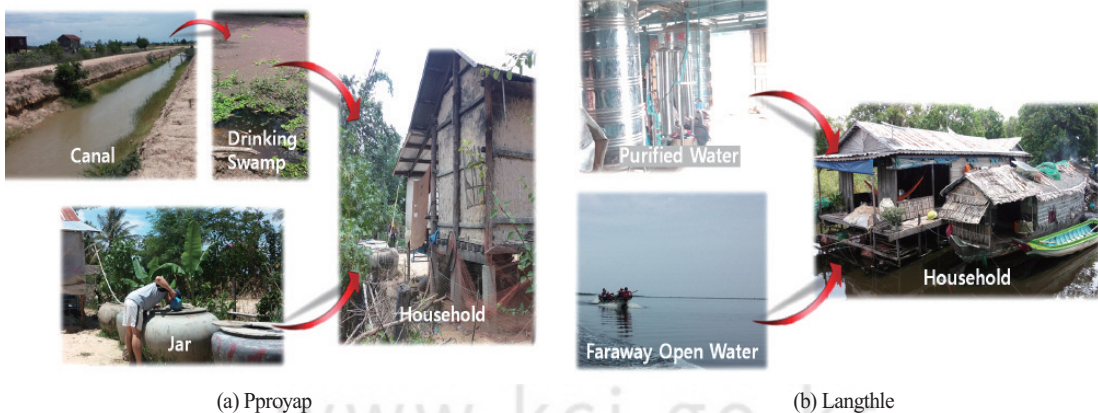


Figure 4. Comparison of type of water usage in research area

2) 랭틀 지역 물이용 특성분석

뽀레삽 호수인근 지역인 랭틀은 호수 인근 육상 거주민과 호수내 수상 거주민으로 구분되는데 육상 거주민은 뽀로얍 지역 주민과 유사한 물이용 방법을 이용하고 있었으며, 수상 거주민은 뽀레삽 호수물을 이용하거나 외부 기관에서 제공한 정수시설의 물을 구매하고 있었다. 물을 사먹는다는 개념이 미약한 이들 지역의 주거민들은 대부분 비교적 수질이 양호한 식수전용 웅덩이나 주거지역으로부터 상당한 거리에 위치한 비교적 깨끗한 지역의 호수물을 활용하고 있었다. 이들 지역의 대표적인 물이용 특성을 정리하면 다음 Figure 4와 같다.

2. TTC 분석 결과

시료 채취와 함께 이루어진 분원성 미생물 존재여부의 시료별 분석결과는 다음과 같다.

1) 뽀로얍 지역 TTC 발현특성 분석

뽀로얍 지역은 지표수와 지하수, 그리고 실제 가정에서 음용 중인 먹는물에 대해 TTC 검사를 실시하였다. Table 5에서 보는 바와 같이, TTC 검사결과는 식수전용 웅덩이(P-S)와 지하수(P-Sam), 그리고 13개 먹는물에 대해, 회수되지 못한 2개 시료를 제외하고 모두 양성반응을 보였다. 이는 해당지역내 모든 거주민들이 마시는 다양한 종류의 먹는물이 모두 분원성 미생물에 노출되어 있음을 의미한다.

2) 랭틀 지역 TTC 발현특성 분석

캄보디아의 대표적 호수인 뽀레삽은 짙은 갈색을

띄고 있다. 랭틀 지역은 뽀레삽 호수물 시료(L, L-500)와 Lien Aid에서 구축해 준 정수시설의 생산수(L-Aid) 그리고 수상 거주민의 먹는물(L1~L4)과 인근 육상 거주민이 먹는물(L6~L9) 등 총 11개의 시료에 대해 TTC 검사를 실시하였다. 그 결과 정수시설 생산수와 2개의 발색실패 시료(L5, L6)를 제외한 나머지 전 시료에서 양성반응이 나타났다.

3. 일반 오염항목 분석결과

1) 뽀로얍 지역의 일반오염물질 발생특성

랑틀 지역에서 채수된 시료의 일반오염물질 발생 특성은 다음 Table 7과 같다. TCOD는 용존성(Soluble-COD, SCOD)과 입자성 COD(Particle-COD, PCOD)의 합으로 나타내며, 유기물질의 거동 특성을 파악하는데 중요한 자료이다. 통상 먹는물에는 적용하지 않는 지표이나 본 연구의 특성상 지역위생 수준이 낮은 환경을 고려하여 평가를 실시하였다. 단, 본 논문에서 언급되는 모든 COD는 CODCr을 의미 하므로, 망간법(CODMn)이 적용되는 국내 COD 기준 또는 실험 결과값의 직접적인 비교나 연계해석은 불가능함을 밝힌다. 먹는물의 중요 수원인 지표수와 지하수내 COD는 각각 54.9 mg/L와 85.6 mg/L로 국내 하수처리장의 일반적인 방류수 수질 보다도 높은 수준을 나타내고 있었다. 또한 이들 시료의 용존성 COD(SCOD)는 TCOD에 대해 각각 약 51%와 약 55%를 차지하는 것으로 나타났다. 반면 질소와 인 성분의 농도는 매우 낮은 수준을 나타내었다.

Table 5. Result of TTC test in Pporoyap region

Results \ Samples	P-S	P-Sam	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Pporoyap	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	NR	+	NR	+

Note) NR : No return

Table 6. Result of TTC test in Langthle region

Results \ Samples	L	L-500	L-Aid	L-1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Langthle	+	+	-	+	+	+	+	F	F	+	+

Note) F : Failure

Table 7. Result of general analysis in Pproyap region

Species	Samples	Ground water	Underground Water	Drinking Water			
		P-S	P-sam	P-4	P-5	P-6	P-11
TCOD		54.9	85.6	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
SCOD		27.9	47.3	< 10.0	< 10.0	< 10.0	< 10.0
TN		1.08	1.26	1.17	1.56	1.03	1.20
NH ₄ ⁺ -N		0.43	0.49	0.23	< 0.2	< 0.2	0.23
NO ₃ ⁻ -N		< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
TP		0.95	0.07	0.11	0.07	0.10	0.29
PO ₄ ³⁻ -P		0.58	0.02	0.10	0.06	0.08	0.26
Mn		0.16	0.90	0.01	0.01	0.01	0.01

Table 8. Result of general analysis in Langthle region

Species	Samples	Tonle Sap Lake		Drinking Water		
		L	L-500	L-1	L-8	L-Aid
TCOD		88.9	53.0	34.3	< 10.0	26.6
SCOD		54.2	22.3	20.3	< 10.0	21.6
TN		2.75	< 1.0	2.14	< 1.0	1.01
NH ₄ ⁺ -N		0.87	0.27	0.38	0.23	0.58
NO ₃ ⁻ -N		< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
TP		0.36	0.07	0.06	0.01	0.04
PO ₄ ³⁻ -P		0.09	0.03	0.02	0.02	0.02
Mn		0.69	0.06	0.05	0.00	0.03

2) 랭틀 지역의 일반오염물질 발생특성

톤레삽 호수의 수질은 유기물의 관점에서, 수상 거주민 지역에서 채수한 시료(L)와 약 500m 떨어진 호수 중앙부 시료(L-500)이 성상이 많은 차이를 보였다. 수상 거주민의 주요 활동지역인 선상마을은 TCOD 88.9 mg/L, SCOD 54.2 mg/L의 수질을 나타냈고, 수상 주거지역에서 약 500 m 떨어진 호수 중심부에서는 TCOD 53.0 mg/L, SCOD 22.3 mg/L을 나타냈다. 이러한 결과는 주거지역과 인근한 호수의 수질은 각종 생활오수와 화장실, 쓰레기 투기 등의 생활오염으로 인해 호수 중심부 방향에 비해 약 1.7배 높은 TCOD 수준과 약 2.4배 높은 SCOD 수준을 보인 것으로 사료 되었다. 질소와 인 성분도 동일한 추이를 보였는데, 주거지역이 호수 중앙부에 비해 각각 2.7배, 5배 높은 것으로 나타났고, 망간 농도 역시 주거지역이 호수 중앙부에 비해 약 11.5배 높은 것으로 나타났다. 유기물의 구성을 보면, 입자성 COD(PCOD)가 상당부분을 차지하고 있음을 확인 할

수 있었는데, 수상 주거지역은 PCOD의 분율이 약 39 %에서 호수 중앙부는 이동 할수록 약 58 % 수준으로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 톤레삽 호수 인근 주거민들의 생활오염과 정체수역의 특성이 반영된 결과로 추정할 수 있다. 특이한 점은 호수에서 먹는물을 구하는 경우에 비해 호수 인근 육상 주거민 지역의 먹는물이 현격하게 낮은 COD 수준을 보였다. 또한 TTC가 검출되지 않았던 정수시설의 생산수에서도 높은 COD 농도가 나타남을 확인할 수 있었다. 반면 질소와 인 성분의 농도는 뽀로얍의 경우와 같이 매우 낮은 수준을 보였다.

4. 캄보디아 농촌지역의 물이용 특성과 수질오염 관계성 분석

1) 조사대상지역의 물이용 특성 분석

내륙지역을 대표하는 뽀로얍 지역의 수질분석 결과와 지역 주민과의 인터뷰를 토대로 현지 물이용 특

성과 과 문제점을 요약하면 다음 Figure 5 (a)와 같다. 물이용 패턴은 3개의 이용가능 원수(지하수, 지표수, 빗물)를 먹는물과 생활용수로 사용하고 있는데, TTC 오염의 관점에서 중요 원인은 비위생적인 화장실에서 기인한다(검은색 점선-볼드). 여느 저개발국의 화장실과 마찬가지로 고액분리가 되지 않는 저장조에서 방수능이 떨어지는 재질의 벽면을 통한 분뇨의 유출은 인근 토양과 지하수를 오염시킬 뿐만 아니라, 용량을 초과하는 분변은 인근 하천으로 유입되거나 심지어 강우시 지표유출을 통해 식수전용 웅덩이로 유입된다(Kim et al, 2007). 뽀로얍 지역의 화장실은 구덩이형(Latrine)으로 침출수의 지하수 침입은 물론 우기시 하천으로의 직접유입이 이루어지고 있었고, 가축의 이동과 분변을 통한 웅덩이와 하천오염이 이루어지고 있음을 확인 할 수 있었다. 빗물을 이용한 식수활용은 화장실 오염으로부터 가장 안전해야만 함에도 불구하고 모든 시료에서 TTC 양성반응이 나타났는데, 이는 이들의 물 생활 패턴에서 원인을 찾을 수 있었다. 먹는물은 빗물을

이용한 식수를 사용하더라도 각종 식기와 먹는물 관련 용기의 세척과 보관의 과정에서 사용되는 물이 비위생적인 물을 사용함으로써 TTC에 노출되고 있는 것으로 확인 되었다. 랭틀 지역은 뽀로얍 지역에 비해 위생적으로 더욱 열악한 환경으로 물이용 특성과 문제점을 가지고 있는데 요약하면 다음 Figure 5 (b)와 같다. 랭틀 지역은 화장실과 각종 생활폐수와 쓰레기를 툰레삽 호수에 직접 방류/폐기함으로써 생활용수로 사용되는 툰레삽 호수의 직접적인 오염원이 되고 있다(검은색 점선-볼드). 특히, 툰레삽 호수로 직접 배출되는 화장실의 분변은 가장 심각한 문제로 판단되었는데 이는 뽀로얍 지역과 달리 툰레삽 호수를 이용하여 생활용수와 먹는물로 사용하기 때문이다.

2) 안전한 물이용 신전략 수립

최근 유엔아동기금(UNICEF)은 캄보디아 인구 전체의 42%에 달하는 630만 명이 안전한 물을 못 구하고 있으며, 이 중 390만 명은 농촌 지역의 빈곤층

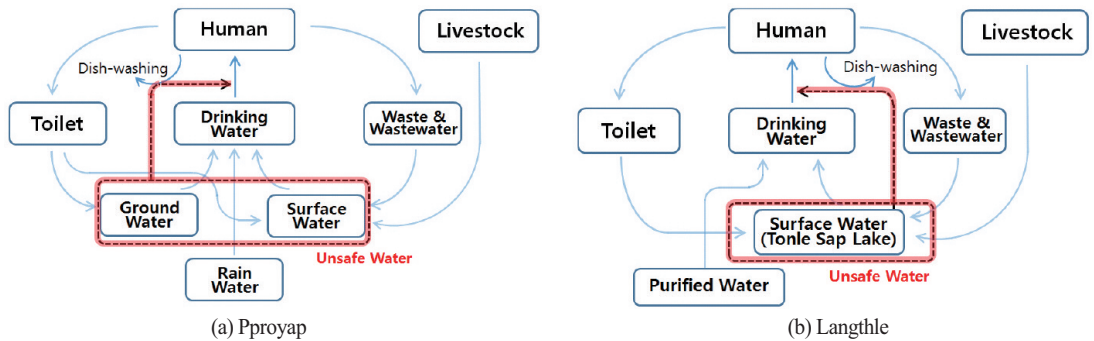


Figure 5. Cycle of water usage and contamination in research area

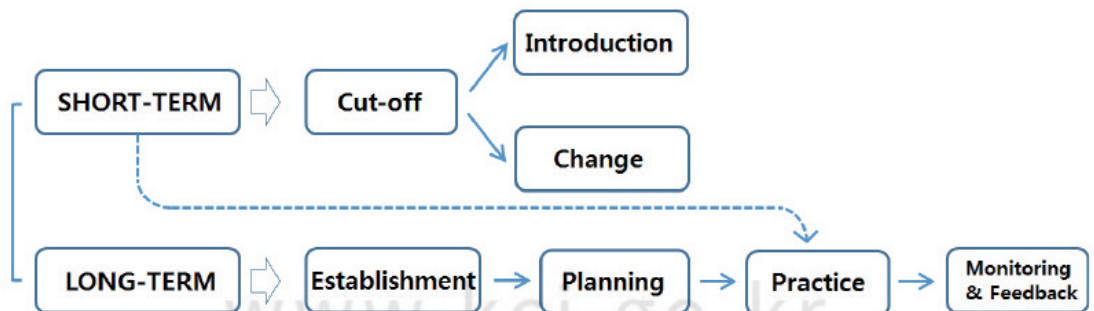


Figure 6. Procedures of new strategic framework for drinking water in rural area, Cambodia

으로 안전한 식수를 구하지 못해 41 %인 어린이들의 수인성 질환에 노출되어 있다고 밝혔다. 그럼에도 불구하고 캄보디아의 물 문제는 쉽사리 해결책을 찾기 힘든데, 이는 국가의 경제수준이 매우 낮아 물공급과 처리에 필요한 인프라 구축에 필요한 자체 예산과 제도마련이 어렵기 때문이며, 그 결과 선택의 여지없이 오염된 지하수와 지표수를 먹는 물로 이용해야만 하는 농촌지역에서는 위생적, 환경적으로 더욱 큰 문제가 되고 있다. 금번 연구에서는 다음 Figure 6과 같이, 조사대상지역에서의 안전한 물이용 신전략을 수립하였다. 신전략은 단기 전략과 중장기 전략으로 나누어지며, 단기 전략은 현지에서의 우선적 조치행위를 대표하며 이는 중장기 전략에서의 실행(Practice)에 해당한다.

본 연구에서 제안하는 ‘단기전략’은 크게 단절(Cut-off), 도입(Introduction), 변화/전환(Change)로 구분된다. 먼저 ‘단절’은 오염원의 차단/격리, 오염원으로부터 식수원의 이격, 오염된 물 순환으로부터의 분리를 포함하며, ‘도입’은 적정기술의 선정과 적용, 관련 제도와 절차/규모/재원의 확보방안, 운영관리의 주체설정 등을 포함한다. ‘변화’는 지역주민의 물 순환 방식의 개선, 환경문제에 대한 인식과 사고의 변화 등을 포함하고, 이외에도 지역주민들의 자발적 참여와 지속을 유도할 수 있는 장치를 고려할 수 있다. ‘중장기전략’의 구성요소 중 첫 번째인 ‘설립’은 법과 제도, 조직, 재원마련 방안 및 조달 등을 포괄하며, ‘계획’은 중/장기 조사계획, 지역별 개발/보완 계획, 재원조달 및 분배 우선순위, 기타 시장창출 등을 포함한다. 이후 수행되는 ‘실행’은 기술도입, 재정투입, 개발 및 관리방안 등 ‘단기전략’에서 수행된 절차를 포괄적으로 포함하며, ‘사후관리’에서는 Feedback과 지속적인 모니터링을 의미한다.

신전략의 수행절차에 따라 금번 연구에서 고려하는 조사대상 지역에서의 시급한 조치는 우선적으로 화장실 침출수와 먹는물 간의 ‘순환고리의 단절’이다. 즉, 건기와 우기를 통해 먹는물로 유입되는 직접적인 이동경로의 차단으로부터 화장실 구조개선과 수거 및 위생적 최종처리를 포괄하며, 더불어 안전한 수질의 설거지 물을 이용방법의 모색 등 먹는물에서의

TTC 차단활동을 위한 모든 단절을 의미한다. 다음으로 해당 지역에 적합한 ‘적정기술의 도입’을 제안할 수 있다. 금번 조사대상지역은 판매용 병물을 구매하여 먹는물로 사용하지 않는 지역으로서, 최근 적정기술로 각광받고 있는 가정용 완속모래 여과기(BSF, Biosand Filter)나 세라믹 여과기(CWP, Ceramic water purifier) 조차 보급되지 못한 지역이다. 먹는물 인프라가 갖추어져 있지 못한 이곳에서 BSF나 CWP와 같은 설비는 가정용 규모로 설치가 가능하고, 가격도 매우 낮을 뿐만 아니라 TTC와 비소제거에 각각 90 % 이상의 성능을 갖는 것으로 알려져 있어 적용가능성이 매우 높은 기술들로 평가된다(Aguilar 2010). 마지막으로 환경과 위생, 그리고 공공재의 이용과 경제활동에 대한 ‘생활패턴과 개념의 변화와 전환’을 교육하고, 제도화 하여 실행해야 할 필요가 있다. 특히 마지막 단계에서의 활동이 현지 주민들에게 전해지지 않을 경우, 현재의 낮은 위생의식과 생활방식으로 인해 현재 위생환경과 삶의 질 개선을 위한 노력들이 이루어지지 않을 것이기 때문이다.

IV. 결론

금번 연구는 캄보디아 농촌지역을 대상으로 내륙과 뜰레삽 호수 인근으로 구분하여 현지 거주민들이 실제 사용하는 다양한 수원별 특성과 실제 먹는물의 수질에 대한 연구결과와 이를 토대로 수립된 신전략의 현지적용에 관한 제언이다.

1. 캄보디아 농촌지역 중 내륙지역인 삿로얍과 뜰레삽 호수 인근 랭틀 지역의 물 이용특성은 매우 상이 했는데, 삿로얍은 지표수와 지하수, 빗물 등 다양한 취수원을 활용하는 반면 랭틀 지역은 주로 뜰레삽 호수의 물을 이용하고 있었다. 특이한 점은 이들 지역 모두 가정용 소규모-정수장치는 사용되지 않고 있었다.

2. 해당지역별 먹는물 수원과 실제 먹는물에 대한 수질분석을 실시한 결과, 원조사업으로 설치된 랭틀 지역의 정수시설을 제외한 모든 먹는물 시료에서 TTC 양성반응이 나타났다. 유기물과 질소, 인, 망간 등의 성분들을 분석한 결과 질소와 인 등의 영양염류

성분은 비교적 낮은 수치를 보인 반면, 유기물인 COD 항목은 지표수, 지하수, 호수물, 심지어 정수시설에서도 높게 나타났다.

3. 이들 지역에서 확인된 TTC 분석결과와 수질현황을 현지 인터뷰를 통해 확인된 물이용 특성과 연계시킨 결과, 우선적으로 화장실 시스템의 과감한 개선을 통해 먹는물 수원에 대한 TTC 노출을 차단하고 단절해야 할 필요를 확인 할 수 있었다. 또한 TTC 노출의 관점에서 설거지용 물의 위생적 관리와 활용에 대한 인식의 재고가 필요하다.

4. 이런 필요성을 토대로 조사대상지역에 적용 가능한 안전한 물이용 신전략을 수립하였으며, 단기전략의 절차에 따라 먹는물로 유입되는 TTC 차단활동과 물 인프라 미구축 지역에 적용 가능한 적정기술의 도입과 생활패턴과 위생개념의 전환을 위한 활동을 제안하였다.

대부분의 저개발국가는 4M(system, Money, Man, Method)의 부족이라는 공통분모를 가지고 있다. 본 논문의 연구대상인 캄보디아 역시 대표적인 저개발 국가로서 풍부한 수량에 비해 열악한 물환경을 가지고 있으며 이로 인한 다양한 환경, 위생적 피해가 일어나고 있다. 본 논문은 효과적인 물원조 사업과 후속지원 조치를 마련함에 있어 현지 상황에 대한 실질적인 이해와 정보를 제공하고자 노력하였고, 이러한 노력이 장래 캄보디아의 환경과 위생개선에 기여할 수 있기를 희망한다.

References

- ADB. 2012. Water supply and sanitation sector assessment, strategy, and road map.
- Aguilar MF. 2010. Access to safe drinking water in Cambodia: Available sources and point-of use water treatment. JOSHUA. 7: 28-34.
- Cook PA, Bellis MA. 2001. Knowing the risk: relationships between risk behavior and health knowledge. Public Health. 115: 54-61.
- 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]
- Engineering Total Information system. 2008. Present Condition Survey and expansion strategy of environment industry market for Cambodia. [Korean Literature]
- Grandjean AC. 2005. Water requirements, impinging factors, and recommended intakes. Nutrients in drinking water. Water Health Organization. 1-27.
- Jung YJ. 2014. National survey of Appropriate Technology - Cambodia. Research Report of Korea Research Institute Environment & Development. [Korean Literature]
- Jung YK. 2010. Environment Cooperation and Approach for Cambodia, No.32. Report of KEITI. [Korean Literature]
- KEITI. 2009. Cambodia environment management master plan. [Korean Literature]
- KEITI. 2014(a). Report of foreign country environment industry information market strategy for water industry of cambodia. [Korean Literature]
- KEITI. 2014(b). Analysis report of foreign country environment market-Cambodia. [Korean Literature]
- Kim YK, Seo IS, Jung NC, Kim JY, Byun JH. 2007. Status analysis and strategic framework for sanitation management in Asia and Africa. Water Sci. and Tech. 56(5): 25-31.
- UNEP & K-water. 2006. Guidelines for sanitation

management in Asia and Africa.

World Health Organization. 2004. Water drinking guidelines. Accessed [December 12, 2009]

at: <http://www.searo.who.int/EN/Section3144295.htm#bacteriology>