

안전한 먹는물 확보 기술 지원을 위한 아프리카 환경기초시설 및 오염 현황 분석 - 에티오피아 중심으로

윤영한

한국건설기술연구원 환경연구본부

Analysis of Environmental Infrastructure and Pollution in Africa for securing safe drinking water; focusing on Ethiopia

Younghan Yoon

Dept. of Environmental Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 아프리카 신흥개도국은 최근 급속한 경제성장, 도시화 및 인구집중으로 먹는물의 수요가 급증하고 사용 후 미처 처리된 하폐수가 공공수역으로 방류되어 심각한 환경오염과 수인성 질병에 의한 높은 공중보건질병 발병률을 보이고 있다. 안전한 물의 접근성은 대상국의 국민복지와 밀접한 항목으로서 지속가능개발목표(SDGs)에도 주요지표로 사용되고 있다. 우리나라도 물순환 및 상하수도 분야의 환경개선을 위해서 중점협력국 지정을 통한 국가차원의 다양한 아프리카 공적개발원조 사업을 지원하고 있으나 현지의 인프라 정보, 오염원 정보, 하폐수 발생량, 오염부하량 현황 등의 정보부족으로 세부 전략수립이 어려운 상황이다. 최근에 수행되거나 조사된 아프리카 대상의 물 확보 및 관리에 관한 연구보고서와 문헌을 바탕으로 환경기초시설 현황 및 오염현황을 분석하고 이를 바탕으로 아프리카의 물환경 개선을 위한 전략을 제시하였다. 대아프리카 중점협력국을 대상으로 상하수도 부분 운영 현황을 살펴보고 최근 빠르게 성장하고 있는 에티오피아의 아디스 아바바를 중심으로 물환경 오염원인 및 환경기초시설 인프라 현황과 문제점을 분석함으로써 국내 상하수도 관련 기업의 아프리카 물이용 사업 진출을 위한 정보제공에 기여하고자 한다.

Abstract In most of the developing countries in Africa, there is a high demand for drinking water because of the recent rapid economic growth, urbanization, and population increase, which also resulted in serious environmental pollution and a high incidence of diseases affecting public health. Safe access to water is closely related to a nation's welfare and is also used as an important indicator to see the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). Korea has been supporting various African official development assistance projects by designating it as a priority partner. The purpose of this support is to improve the environment of the water circulation such as water and sewerage treatment, but it is difficult to establish specific strategies due to the lack of information on the local infrastructure status, pollution source, wastewater, and pollution loads. In this paper, based on research reports and related data on securing and managing water in Africa that are recently conducted or investigated, the current state of the environmental infrastructure and pollution was analyzed, and strategies for improving the water environment in Africa were presented. This study aims to contribute by providing information for Korean water and sewage companies to start relevant businesses in Africa by analyzing the current status, and problems of water pollution and treatment facilities in Addis Ababa, Ethiopia.

Keywords : Safe Water Assessment, Ethiopia, Official Development Assistance, Sustainable Development Goals, Water Treatment Infrastructure

본 논문은 한국건설기술연구원의 기관고유사업(2020-0562)과 환경부의 재원과 한국환경산업기술원의 환경시설 재난재해 대응기술개발사업(2019002870001)의 지원을 받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Younghan Yoon(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: yoyoon74@kict.re.kr

Received June 17, 2021

Revised August 23, 2021

Accepted September 3, 2021

Published September 30, 2021

1. 서론

지구촌 다수의 신흥 개도국은 농업관개용수 및 생활용수 등의 목적으로 수자원의 활용과 확보를 위하여 지난 수십 년 동안 국가차원의 다양한 노력에도 불구하고 많은 국민들은 아직까지 기본적인 안전한 용수공급 서비스를 받지 못하고 있고 열악한 공중보건위생으로 사망률이 높은 상황이다. WHO(2018)에 따르면 약 21억 명의 지구촌 사람들이 안전한 용수에 접근할 수 없고 약 45억 명의 사람들이 적합하지 못한 위생시설을 이용하고 있어 공중보건 및 국민위생이 열악한 것으로 보고하고 있다 [1-3]. 이러한 국가들은 대부분 아프리카 대륙에 있는 국가들로서 인적 및 재정적 제한과 수자원 관리 등과 공학 및 기술적 접근이 부족하여 상수공급 및 하수집수를 위한 관망, 수질개선을 위한 처리장과 같은 환경 인프라를 제공할 수 있는 정부의 능력이 제한되고 있어 국민들이 그 피해를 입고 있다. 그래서 아프리카 사하라 이남 국가 40%의 인구가 열악한 지표수와 오염가능성이 높은 식수 시설을 이용하고 있고 나머지 60%에 해당하는 국민들마저도 매우 기초적인 식수시설로 생활하고 있다[4,5].

아프리카 사하라 이남의 많은 신흥국가들은 다목적 댐 및 상하수도 관망 등의 시설이 미흡하여 부족한 수자원을 마을 및 지역단위 규모의 지하수로부터 대부분 얻고 있다. 그러나 무분별한 지하수 개발 및 고갈 이후 관정의 사후관리 미흡, 동 아프리카 대열곡 지대(East African Rift Valley)의 지반 특성에 의한 높은 불소에 의한 지하수 오염으로 많은 국민들이 안전한 용수확보에 어려움을 겪고 있다. 뿐만 아니라, 하수관거 시스템이 부족하여 발생 하수는 미처리된 상태로 주변 하천 및 호소로 방류되어 대부분의 하천이 수질오염과 부영양화 문제가 발생되고 있다[6,7,10].

최근 인도주의적 지원과 국가 차원의 전략적 목표를 위해서 아프리카와 같은 저개발국가로의 국제개발협력사업이 활발하게 지원되고 있다[7]. 특히 저개발국가에 대한 환경오염으로 인한 공중보건문제 등을 포함한 인도적 지원을 위해서 UN에서 채택한 새천년개발목표(Millennium Development Goals, MDGs)를 수정하여 2016년에 지속가능개발목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 제정하게 되었고 이를 기반으로 각 나라는 해외 공적개발원조(ODA)를 적극적으로 진행하고 있다. 우리나라도 한국수출입은행(EDCF) 및 한국국제협력단(KOICA) 중심으로 해외원조사업을 수행하여, Fig.1과 같이 2019년 규모는 총 국민소득대비 약 0.15%

(2,540백만 불)로서 29개국 회원국 중에서 25위를 차지하고 있고 2030년까지 OECD DAC 회원국의 평균수준인 0.3% 달성을 위하여 지속적인 규모의 확대를 위하여 노력중이다[8,9].

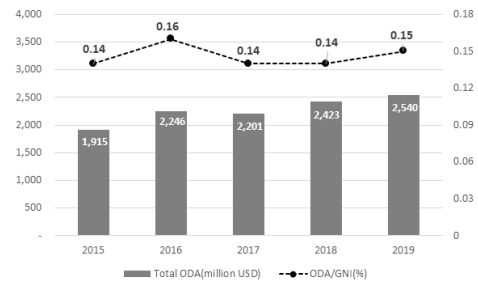


Fig. 1. Net ODA and ODA/GNI of Korea (2015-2019, Yoon, 2020)

아프리카 대륙 대상으로 SDGs의 목표 6(Clean Water and Sanitation)은 ‘모두를 위한 물과 위생의 이용가능성과 지속가능한 관리 보장’의 내용을 담고 있으며 해당 분야의 단독지원으로는 성과를 나타내기 어렵고 제도 및 법령의 정비, 개인위생교육 보급, 도로 및 관망 등 인프라 시설 지원 등 다각도의 노력이 필요하다. 미국을 포함한 많은 선진국은 다양한 형태의 국제공조에 노력하고 있으나 증가하는 인구증가 및 도시화에 따른 물 부족 및 환경오염은 효과적으로 해결되지 못하고 있다[9,10].

본 논문에서는 우리나라의 대아프리카 ODA 중점협력국 대상으로 상하수도 환경 인프라를 분석하고 아프리카 사하라 이남의 국가 중에서 높은 경제 성장률과 인구증가에 의한 용수활용 및 위생문제 해결이 필요한 에티오피아를 대상으로 안전한 물순환 시스템 도입을 위한 오염원과 인프라 현황을 분석함으로써 국제공조를 위한 진출 전략을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 아프리카 ODA 지원 현황과 물부족

대아프리카 지역 ODA 지원규모는 약 518억 달러 규모(2017년)로서 증가율은 낮지만 매년 상승하고 있는 것으로 나타났다. 최대 수원국은 에티오피아(41억 달러, 8%), 나이지리아(33억 달러, 6%), 탄자니아(25억 달러, 5%) 순이었으며 양자 공여국으로는 미국, 영국, 독일이, 다자기구로는 유럽연합, 세계은행(IDA), 글로벌펀드 순으

로 지원을 많이 한 것으로 나타났다[12,13]. 그 중에서 에티오피아는 높은 인구성장률, 자원보유량, 신재생에너지 개발 가능성 등으로 연평균 경제성장률이 약 7%로 유지되는 등 높은 성장 가능성을 보유한 시장으로 평가받고 있지만 최근에는 기후변화 및 지구온난화에 의해서 물 부족과 홍수, 태풍, 가뭄 등의 재난으로 생명과 재산을 잃게 되는 문제가 빈번하게 발생되고 빠른 인구증가 및 경제성장에 따른 도시화로 지역 및 주변 국가 간의 수자원의 불균형과 물이용의 불평등이 가중되고 있다[5,9-11]. 특히 세계보건기구(WHO)를 포함한 국제사회는 식수위생(Water, Sanitation and Hygiene, WASH)을 안전한 먹는물에 대한 보편적인 접근 향상과 공중위생 및 개인위생을 포괄하는 분야로서 지속가능한 지역사회 발전을 위한 지구촌의 핵심 도전과제 중 하나로 간주하고 있다[10-12].

아프리카의 기후변화는 가뭄, 홍수, 토질악화, 수자원 고갈 등의 환경재해를 유발하고 다시 환경오염, 질병확산, 식량생산 감소, 기아 및 영양실조 등의 빈곤으로 이어지고 있다. 많은 여성과 어린이가 필요한 물을 얻기 위하여 하루 평균 15 km 이상을 걸어서 얻고 있고 우간다, 케냐, 탄자니아 3개국과 접해있는 빅토리아 호수의 경우, 약 3,000여 명이 밀집되어 농업과 어업으로 살아가고 있지만 배설물 및 여러 오염물이 미처리되어 무단 방류되고 있어서 유아의 사망 원인 중 수인성 질병인 설사병과 말라리아가 차지하는 비중이 각각 18%, 16%에 이르고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 아프리카의 정부들은 다각도의 해외원조사업 및 다국적기업의 외부사업을 끌어들이고 있지만 물류이동 및 교통을 위한 인프라 구축 미비, 대국민 교육서비스 미흡, 해당국가의 민족간 갈등 등 해결해야할 문제들이 복합적으로 연계되어 빠른 성장이 늦고 있다[11-13].

2.2 아프리카 물순환 인프라 현황 및 문제점

WHO/UNICEF (2015) 보고서에 따르면, 전 세계적으로 개선된 식수를 이용할 수 없는 인구는 7.68억 명에 이르고 그 중에서 44.8%의 인구가 아프리카에 거주하고 있으며 이는 물에 대한 접근 측면에서 사하라 사막 이남 아프리카(Sub-Sahara Africa, SSA) 지역과 아프리카 전체가 세계의 다른 지역보다 뒤처져 있음을 의미하고 있다. 물 공급비율이 49%(1990년)에서 68%(2017년)으로 증가되었음에도 SSA지역은 인구 절반이 안전한 식수와 위생시설을 이용하지 못하고 있어서 도시화에 의한 인구집중과 용수활용을 위한 인프라 부족이 우선적으로

해결해야할 국가적 문제로 발생하고 있다[8,13].

아프리카는 식수의 75% 정도를 지하수로부터 얻고 있는데 위생적인 식수를 이용하는 인구비율은 약 58%로서 중동 및 북아프리카(89%), 남부아시아(87%)의 개도국에 비해서 매우 낮고 정수시설 마저도 부족하여 병원성 미생물 등에 오염된 물을 그대로 사용하고 있다[10,13]. 또한 인프라 시설은 매우 낙후되어 전력, 교통, 통신, 수자원, 위생 등의 인프라 서비스는 교육, 보건, 양성평등, 환경 등 사회적 편익으로 연결되고 도시간의 격차가 커져 결국 불평등 및 빈곤문제와 바로 연관된다. 전력설비의 약 25%는 심각하게 노후화되어 유지 및 보수가 진행되지 못해 전력생산을 추가로 끌어올리지 못하고 있으며 특히 인구의 70% 이상이 살고 있는 농촌지역이 특히 열악하여 전기를 사용할 수 있는 인구는 17%에 불과하고 상수도 및 수세식 화장실을 이용할 수 있는 인구는 매우 미미한 것으로 보고되고 있다[9,15,16].

우리나라의 유무상 공적개발원조 아프리카 중점협력대상국으로는 가나, 르완다, 모잠비크, 세네갈, 우간다, 에티오피아, 탄자니아 등 7개국이며 주요 국가별 상수도 분야에 대한 인프라 현황은 다음과 같다.

2.2.1 가나(Ghana)

서아프리카에서 나이지리아 다음으로 경제규모가 있는 가나는 사하라 이남의 국가들과 유사하게 비정기적인 상수공급, 상수관 노후로 인한 높은 누수율과 저수압, 농촌지역의 상수공급시설 부족 등의 문제가 해결되지 못하고 있으며 인구증가와 도시화에 따른 인구집중으로 상수도 보급문제가 이슈로 떠오르고 있다. 이후 정부의 노력으로 안전하게 관리된 물의 보급은 15.8% (2000년)에서 36.4%(2017년)으로 증가하였다. 그러나 급격한 도시화 및 인구증가로 상수도와 같은 기반시설이 뒷받침되지 못하고 있고 우물, 지하수 펌프, 우수 등 다양한 수자원 공급방안이 생겨 상수관로로 공급받는 비율은 42.8%(2000년)에서 32.6%(2017년)으로 감소하고 상수관로 이외로 공급받는 비율이 30.9%에서 57.3%로 증가하였다[9,14-18].

2.2.2 르완다(Rwanda)

아프리카 국가 중에서 두 번째로 인구밀도가 높은 르완다는 2010년대 초에 높은 경제성장률을 보였으나 2019년 경제성장률은 다소 낮은 3.5%로 전망되었다. 영토의 10%가 호수로 구성되어 있고 중앙과 동쪽으로는 나일강, 서쪽으로는 콩고강을 이웃 국가들과 공유하고

있어 수자원이 풍부한 편이다. 2000년에 수립한 정기 개발전략인 VISION 2020을 바탕으로 경제개발 및 빈곤감소 전략(Economic Development and Poverty Reduction Strategy, EDPRS)을 수립하여 분야별 전략 계획과 지역별 개발계획으로 구체화시켜 2010년 물 공급 및 위생 서비스에 관한 국가 정책 및 전략을 제시한 후에 많은 변화가 있었고 지속적인 노력으로 개선된 수원에 대한 접근성은 66.5%(2000년)에서 79.5%(2017년)로 증가하였다. 그러나 르완다의 지표수는 분변성 병원체에 의한 오염으로 5세 이하의 유아 사망률이 높고, 취수원의 30% 이상이 5 NTU 이상의 고탁도와 pH 5.5 이하의 높은 부식성을 보이고 있으며, 10 ppb 이상의 고농도의 비소가 검출되는 곳이 많아서 국민들의 피부병 또는 암을 유발하는 등의 해결해야할 문제점을 안고 있다[9,14-18].

2.2.3 모잠비크(Mozambique)

아프리카 동남부 해안에 위치한 모잠비크는 2019년 기준 국내 총생산(GDP) 149.3억 달러의 경제 규모를 갖고 있다. 2025년까지 도시의 개선된 수원에 대한 접근율을 80% 까지 증가시키는 것을 목표로 하여 2000년 23.5%에서 2017년 70.7%로 많은 개선이 이루어 졌으나 안전한 식수공급 및 위생시설 보급률은 매우 낮고 수도를 비롯한 주요도시에 비하여 특히 농촌지역으로 갈수록 문제가 심각한 것으로 나타났다. 상수도 공급시스템이 비교적 잘 갖춰진 13개 도시의 상수 생산량은 약 250,000 m³/일에 이르고 75%가 수도인 마푸투에서 생산되고 25%가 나머지 도시에서 생산되는 반면 외곽의 상수공급은 지하수로부터 소규모 펌프 및 우물시설로 공급중이거나 그마저도 가동이 중단된 곳이 많은 것으로 보고되고 있다. 하수도 시설은 상수시설에 비하여 매우 열악하여 공공 하수처리시설은 부족하고 도심지역은 정화조를 거쳐 인근 배수관로로 방류하거나 토양으로 침투시켜 처리하고 외곽지역은 침투정 또는 하천주변으로 무단방류하고 있다. 도시에 설치된 하수관로는 합류식 관로로서 오수배제 목적보다는 강우 시 빗물 배제를 위한 목적으로 설치되어 있고 정화조는 설치되어 있으나 관리주체가 정부 및 지자체가 아닌 개인이 운영하고 있어 실제 가동률은 매우 낮고 오염수가 공공수역으로 그대로 방류되어 심각한 환경오염이 지속되고 있다[9,14-18].

2.2.4 우간다(Uganda)

우간다는 아프리카 중부 내륙에 위치한 호수와 강이

많은 국가이다. 최근 6.1%의 높은 경제성장률을 유지하고 있으나 가뭄 등의 자연재해로 인한 농업부문의 소득 감소, COVID-19 등의 여파로 당분간 경제성장은 감소될 것으로 전망되고 있다. 전체 국토의 약 18%가 하천 및 호수로 구성되어 수자원이 풍부하고 빅토리아 호수와 나일 강을 주요 수자원으로 하고 있지만 물 공급 및 위생 시설 보급이 가장 낮은 국가에 속해 있다. 우간다 중기개발계획(National Development Plan, NDP)과 국가개발비전(Vision 2040)에 힘입어 상수도 접근성은 수도인 캄팔라가 95%로 매우 높으나 농촌지역은 25% 수준으로 지역간 편차가 매우 높다. 식수 및 위생시설 접근 가능 인구 비율은 미미하지만 매년 늘어나고 있어 개선된 식수를 사용하는 인구는 60.3%(2000년)에서 80.8%(2017년)로 증가하였다. 상수도 보급률은 11.4%에서 21.3%로 성장하였고 지하수, 우수, 하천수 직접 취수 등 상수관로 이외의 경로로 용수를 보급받는 비율은 48.9%에서 59.6%로 증가해 식수 접근성 증가와 함께 대장균, 장티푸스 등 오염가능성에 노출될 가능성도 늘어났다. 높은 인구성장률 및 급격한 도시화, 자원개발의 가속화, 상수도 보급보다 낮은 하수도 시설 도입 등도 환경오염문제를 가중시키고 있는 상황이다[9,14-18].

2.3 에티오피아 경제성장과 수자원

아디스아바바(Addis Ababa)를 수도로 하는 에티오피아는 나이지리아 다음으로 인구가 많고 농업이 경제성장에서 차지하는 비중이 높은 국가로서 한국전에 참전했던 아프리카 국가 중에서 유일하게 지상군을 파병한 국가이다. 그러나 정부의 빈곤감소전략(Growth and Transformation Plan, GTP)의 적극적인 이행과 대규모 인프라 프로젝트에 대한 투자 및 ODA 사업 지원 등에 힘입어 Table 1과 같이 사하라 이남 아프리카 내의 타국 대비 높은 GDP 규모와 경제 성장률을 보이고 있으며 우리나라 1차 중점협력국(2010년)으로 선정되어 지금까지 물관리 및 보건위생, 지역개발, 교통·에너지, 교육 분야에 중점지원을 받고 있다. [9,17-19]

기후 및 지형학적으로 비교적 풍부한 강수량을 보유하고 있으나 대부분의 강수가 국경지대 및 인접국가로 유입되고 있고 수자원이 지역적으로 불균등하게 공급되고 있어 용수공급에 문제점을 갖고 있다. 총 9개의 주요 하천과 12개의 큰 호수를 갖고 있으나 큰 강과 주요 지류를 제외한 해발 1,500 m 이하의 지역에서는 거의 흐름이 없고 연간 재생할 수 있는 잠재적 담수량은 1,200억 m³에 이르지만 오직 3% 만이 활용가능하고 545억 m³의

지표수와 26억 m³의 지하수가 개발을 통한 활용 가능한 수량으로 평가되고 있다[9,19-20].

Table 1. Economic indicators of SSA and Ethiopia

Spec.	Unit	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GDP	SSA	billion	1,719	1,538	1,430	1,544	1,645
	Ethiopia	USD	55	64	73	80	83
GDP per capita	SSA	USD	1,903	1,672	1,510	1,575	1,621
	Ethiopia	USD	628	720	802	872	890
Economic growth rate	SSA	%	5.14	3.27	1.39	2.74	3.06
	Ethiopia	%	10.3	10.4	8.0	10.9	7.5

에티오피아를 관통하고 있는 동 아프리카 대열곡 지대는 형석(CaF₂)이 많이 분포하는 화산지대로서 이 지역의 지표수 및 지하수에는 WHO 권장기준(1.5 mg/L 이하) 보다 높은 불소(평균 8.88 mg/L)가 측정되어 불소중독에 의한 불소증(fluorosis) 환자가 발견되고 있으며 사회경제적으로도 심각하여 정부에서도 국제원조를 통한 지하수로부터 불소를 제거하는 효과적인 기술 및 시스템 도입을 요구하고 있다[22].

2.4 에티오피아 물이용 인프라 구축 현황

2.4.1 정수시설 및 상수관망 시스템

안전한 물의 가용성은 도시성장의 주요 요소 중 하나로서 중요하고 또한 이상기후에 의한 온도 및 강수패턴의 변화는 홍수 및 가뭄으로 이어져 수자원에 영향을 주게 되어 농업중심의 아프리카 SSA지역 국가들의 경제 및 GDP 성장에 부정적인 영향을 미치게 된다. 아디스 아바바는 최근에 빠르게 성장하는 에티오피아의 행정 중심지이자 메가시티로 진화하고 있는 도시로서[9,21], 12개의 강이 흐르고 있고 수도인 아디스 아바바에는 Akaki의 지류인 많은 하천이 흐르고 있으며 하천에 의해서 생성된 Awash 분지에 인공저수지(Legedadi, Gefersa, Dire, Aba Samuel)가 조성되어 아디스 아바바로 가정 및 산업용 용수를 공급하고 있으며 각 시설에 대한 처리시설 정보는 Table 2와 같다. 정수시설의 단위공정은 Aba Samuel을 제외한 저수지에서 전염소, 응집/침전, 모래여과, 후염소처리 단위공정으로 구성되어 지표수로부터 고형물 및 용존성 오염물과 병원성 미생물의 제거를 목적으로 하고 있고 활성탄 및 오존 고도처리 공정이 없어 맛, 냄새, 잔류성 유기오염물질 등의 제거에는 취약한 것

으로 분석된다[9,22].

Table 2. The total water supply capacity of the reservoirs in Addis Ababa (Yoon (2020) and Arsiso et al.(2017))

Source of water supply	Treatment capacity(m ³ /d)	unit treatment process
Reservoirs of Legedadi and Dire	195,000	Pre-chlorination, coagulation/flocculation, sedimentation, sand filtration, post-chlorination
Reservoir of Gefersa	30,000	
Akaki groundwater aquifer	275,000	Chlorination
Reservoir of Aba Samuel	-	Electricity generation and reservoir for municipal and industrial effluents
Total	500,000	

도시의 팽창 속도가 가속화됨에 따라서 현재의 인프라와 지표수 용량만으로는 아디스 아바바의 물 수요를 충족시키는 것이 어렵기 때문에 Akaki 우물지대(well field)를 개발하여 지하수를 공급받고 있다. 지하수는 하천수에 비하여 외부 오염물의 유입에 안전하고 수온이 낮아서 비교적 수질이 안정하기 때문에 간단한 염소소독 공정만 거친 후에 생활용수로 공급되고 있다. 그러나 계속되는 기존 정수처리 및 관망시스템의 노후화와 처리용량 부족, 가증되는 지표수의 오염부하 증가, 도시팽창 및 인구증가 등으로 도시용수의 수요량 증가가 지속되자 정부는 사회기반시설의 부족과 경제난으로 다목적 댐 건설에 의한 하천 등의 지표수 활용보다는 관정개발에 의한 지하수 확보로 새로운 공급원 확보 계획을 Table 3과 같이 수립하였다[9,23].

Table 3. Present and futur plan for water supply source of Addis Ababa (AAWSA, 2014)

Source of water supply	Average daily production (m ³ /d)		
	2013	2016	2020
Reservoirs of Legedadi and Dire	165,000	165,000	165,000
Reservoir of Gefersa	30,000	30,000	30,000
Akaki groundwater aquifer	43,000	43,000	43,000
City spring & wells	62,000	62,000	62,000
Akaki deep wells	73,000	73,000	73,000
Legedadi Expansion	-	30,000	30,000
Legedadi deep wells	-	40,000	40,000
Gerbi Project	-	-	76,000
New Akaki deep wells	-	70,000	140,000
Total	373,000	513,000	659,000

아디스 아바바 서부의 Akaki 강에 Gefersa 댐이 1942년에 건설되어 수처리 시설을 통하여 하루 최대 30,000 m³을 생산하여 공급하고 있고 동부에 위치한 Legedadi 댐은 1970년대에 건설되어 초기에는 하루 50,000 m³을 생산했고 현재는 165,000 m³의 용수를 공급하고 있다. 그리고 Akaki 우물지대와 크고 작은 도시 내 우물을 통한 지하수 공급을 포함하면 약 373,000 m³/일의 양이 생산 및 공급되고 있다. 도시내 수도시설로는 총 327,996개가 설치되어 국민들이 용수를 공급받고 있고 총량에 대하여 65%는 지표수로부터, 35%는 지하수로부터 공급받고 있다. 시설의 유지관리 미흡으로 하루 약 110,058 m³의 누수손실이 발생하고 있으며 수도관망과 같은 인프라 시설의 노후와 기능장애로 최대 60%까지 변동되고 있다. 처리된 상수의 누수 및 도수에 의한 정기적인 비용회수가 어려워 상하수도 시설의 관리에 대한 국가운영에 문제가 발생되고 있다[21-24].

2.4.2 하수처리시설 및 하수관망 시스템

아디스아바바 지역의 지표수 및 지하수 모니터링에 대한 연구에서는 도시의 많은 하천 및 지천이 제조산업에서 배출되는 산업폐수, 가정에서 배출되는 생활폐수, 병원으로부터의 의료폐수, 고장난 정화조, 농지 등의 살충제, 비료와 같은 비점오염원 등으로부터의 중금속, 난분해성 물질, 유기물 등의 오염물에 의한 하천오염이 심각

하고 Akaki 하천의 부영양화에 상당한 기여를 하는 것으로 나타났다. Figure 2는 Akaki 강 지류의 오염된 하천변의 모습이다. 또한 도시 인프라의 7.5%를 차지하고 있는 하수도 시설로는 발생하는 오염수를 처리 및 정화하기에는 매우 어려운 상황이고 주변 환경오염과 주민들의 위생과 보건문제에도 위협이 되고 있다[9,23-25].

높은 도시화를 보이고 있는 아디스 아바바로부터 연간 약 4,900 만 m³의 하폐수가 발생되고 있다. 그러나 발생하는 하폐수 중에서 17.9% 만이 수집되어 처리 후 공공수역으로 방류되고 있고 나머지는 미처리되어 무단방류되고 있어 공공수역 수질오염이 심각하다[26]. 아디스 아바바 시의 하수처리 시설은 중앙집중식과 분산식으로서 Table 4와 같이 운영되고 있으며 정부에서 운영하고 있는 중앙집중식은 분뇨 슬러지와 하폐수처리 목적의 Kaliti 처리장이 있다. 아디스아바바의 남쪽에 위치하여 개방형 라군(Simple open Lagoon stabilization pond)의 형태로 운영되고 있고 초기에는 7,500 m³/일 규모(3,500 kg BOD/일)의 수리학적 체류시간은 30일로 설계되었다. 지속적으로 증가되는 유입하수 증가로 인한 처리용량 한계로 2018년에 100,000 m³/일 규모로 확장 및 개선되어 Akaki 하천으로 처리수가 배출되도록 운영되고 있으며 바이오 가스에 의한 전력생산과 슬러지의 비료화를 유도하는 처리장으로 변모되었다[9,23,26].

분산식 처리장은 사유지 및 관광지에 설치되어 운영되



Fig. 2. Riverside contaminated by municipal waste of Akaki river in Addis Ababa, Ethiopia (Yoon, 2020)

Table 4. Recent operating wastewater treatment plants in Addis Ababa (Yoon (2020) and Awash Basin Authority(2018))

Name of plant	Type	Treatment capacity (m ³ /d)	Main treatment process
Kaliti plant	centralized	100,000	Upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB), Trickling Filter based plant
Chefe plant	decentralized	12,500	Upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB),
		12,500	Trickling Filter based plant
Koye fecha Condominium sites	decentralized	9,260	Extended Aeration Activated Sludge plant
		10,796	Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) - Activated Sludge plant
		12,307	Conventional Activated Sludge (CAS) plant
12 condominium housing sites	decentralized	28,160	Membrane biological reactor (MBR)
Total		185,523	

는 처리장으로서 16개의 단독처리시설이 운영 또는 건설 중에 있고 대부분의 시설이 막여과 방식인 MBR(Membrane Bio reactor) 공정이 적용되어 처리되고 있다. 그러나 이러한 사유지의 하수처리시설은 정부나 지자체의 직접적인 관리와 규제에서 제외되어 있기 때문에 정확한 일 처리량과 처리수질을 확인하기 어려워 방류수역의 오염을 가중시키고 있다[27].

2.5 에티오피아의 환경오염 개선 전략

기후변화는 전 세계 모든 국가들에 공통으로 당면한 문제이지만 정보부족, 전문 인력 및 시스템 부재에 의한 대응방안 미비로 아프리카 개도국들의 기후변화에 대한 피해는 증가하고 있다[28]. 2004년에 시작된 가뭄으로 인해서 에티오피아, 케냐, 모잠비크 등 아프리카 동부지역의 주민들은 극심한 물부족으로 최악의 피해를 겪었고 적은 강수량과 지표수의 활용도가 제한되는 지형학적 특성이 있는 에티오피아 남부 지역 등은 심각한 용수활용 문제에 직면해 있다. 도시에 집중된 환경기초시설 등 인프라는 노후화로 인하여 수질정화능이 저하되었고 부족한 용수확보를 위해서 우리나라의 광역상수도과 같은 중앙집중식 공급보다는 지역단위의 지하수 개발을 통한 식수이용인구 확대를 정부에서 추진하고 있다[23,25].

그러나 정부의 노력에도 환경개선에 큰 효과가 나타나지 못하고 있어 새로운 개선전략이 요구된다. 첫째로 오염부하별 하폐수 처리공정 선정 지침 및 법적인 배출허용 기준의 마련이 필요하다. 에티오피아에는 먹는물 확보를 위하여 세계보건기구에서 권장하는 수질기준을 법적 기준으로 적용하고 있으나 물순환 체계에서 발생하는 하폐수에 대한 체계적인 방류수질기준이 법적으로 마련되지 않은 상황이다. 이를 위하여 아디스 아바바 공과대학(Addis Ababa Institute of Technology, AAiT)의 연구팀은 공중위생의 회복과 안전한 도시 물순환 체계를 수립할 수 있도록 하폐수 처리시설에 적용할 처리공법과 처리수질 항목 및 최대 허용농도를 포함한 가이드라인(안)을 아디스 아바바시의 환경 보호 및 녹색 개발위원회(Addis Ababa City Government Environmental Protection and Green Development Commission)에 제안하였다. 둘째로, 공식적인 처리장별 운영 및 발생 오염부하에 대한 정확한 실시간 정보를 제공할 수 있는 국가 물순환 정보 시스템의 구축이 요구된다. 기존의 환경기초시설은 자동화 및 전산화 시스템 미흡으로 유입되는 오염부하량 및 처리되는 하폐수량 등에 대한 공식적인 정보를 얻기 어려워서 효과적인 국가 환경오염부하의

모니터링과 관련 정책의 수립이 어려운 상황이다. 다음으로는 정수시설 및 하폐수처리시설의 운영을 위한 전문 인력과 오염부하 측정을 위한 전문장비의 확보가 필요하다. 많은 문헌을 통하여 지표수 및 지하수의 오염현황이 보고되고 있지만 국가에서 발표한 공식적인 자료는 부족하여 신뢰도가 낮고 환경기초시설에 구축된 수질분석장비의 노후화 및 전문인력의 부족으로 현장에서 분석할 수 있는 수질항목에 제한이 있으며 신뢰성 있는 측정결과도 확보하기 어렵다. 마지막으로 환경기초시설의 운영을 위한 인프라 확충과 국민의 위생교육 확대가 요구된다. 아프리카 대부분의 개도국들은 전력, 운송, 관망시설 등의 사회기반 인프라가 부족하여 환경기초시설의 기능과 처리능력이 저하되고 이에 따라 환경오염이 발생되고 있다. 국민들의 환경오염과 위생에 대한 의식 향상을 위한 교육의 확대도 환경개선에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 에티오피아의 환경문제를 해결하기 위해서는 이외에도 언급된 사안에 대한 세부적인 전략 수립, 강한 추진력 및 이를 뒷받침 할 수 있는 행정 시스템이 마련된다면 보다 안전한 물 확보가 가능할 것으로 판단된다.

3. 결론

UN 인권위원회 및 총회(2010)에서 안전하고 청정한 먹는물에 지속적으로 접근 가능한 것이 인간다운 생활의 기본이라는 물과 위생을 인간의 기본인권으로 선언하면서 아프리카의 개도국의 수자원 및 용수 확보는 매우 중요한 쟁점이 되었다[30]. 최근 신흥개도국의 급속한 인구증가, 경제발전, 도시화, 인구집중 등으로 물 수요가 급증하고 도시 난개발 및 환경기초시설 노후화로 오염물질에 의한 공공수역 수질악화 등으로 환경오염이 지속되고 있으며 최근에는 기후변화의 영향으로 아프리카 국민들의 물 인권이 위협받고 있다. 우리나라를 포함하여 많은 선진국들은 인도주의적 지원 및 국가자원의 전략적 목표를 위해서 아프리카의 신흥개도국들 대상으로 국제개발협력사업을 지원하고 있다. 우리나라의 아프리카 중점협력국으로 선정된 에티오피아는 정부의 강한 경제 정책 추진과 국제원조의 도움으로 최근 높은 경제 성장률을 보이는 동시에 물 수요 급증으로 인한 용수 부족, 생활환경오염, 관련 질병 발생 문제가 과거보다 개선되고 있지만 아직도 주요도시 이외의 지역은 공중위생과 국민건강이 낮은 수준을 보이고 있다. 이를 개선하기 위해서 다양한 국제협력사업 프로그램이 추진 중에 있으나 아프리카

신흥개도국의 환경기초시설 인프라 시설 및 현지 오염상 황에 대한 정보가 부족하여 국제적 지원을 위한 구체적 방안수립에 어려움이 있다. 이를 위하여 에티오피아의 아디스 아바바 중심으로 환경기초시설 중심으로 먹는물 원수와 하수처리 및 오염발생 현황 등을 조사하였고 이 를 바탕으로 적정기술 도입을 위한 최적 공정선정 등에 대한 검증 및 연구가 추진되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] World Health Organization, "2.1 billion people lack safe drinking water at home, more than twice as many lack safe sanitation", 2018. Retrieved from: <https://www.who.int/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- [2] A. Olagunju, G. Thondhlana, J.S. Chilima, A. Sène-Harper, W. N. Compaoré, E. Ohiozebau, "Water governance research in Africa: progress, challenges and an agenda for research and action", *Water International*, Vol.44, No.4, pp.382-407, 2019. DOI : <https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1594576>
- [3] M. Adem, N. Solomon, S. Movahhed Moghaddam, A. Ozunu, H. Azadi, "The nexus of economic growth and environmental degradation in Ethiopia: time series analysis", *Climate and Development*, Vol.12, No.10, pp.943-954, 2020. DOI : <https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1711699>
- [4] P. O. Kwon, Nation Entry Strategy: Ethiopia, Vol.21-050, KOTRA report, 2021, Korea.
- [5] B. Y. Song, J. H. Lee, D. M. Chun, I. S. Cho, "A study on effective project composition of drinking water sanitation projects in Africa by empirical cost-benefit analysis: comparative study of Ghana and Senegal", *Development & Issue*, Vol.48, pp.1-36, 2019. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08754122>
- [6] H. Demelash, A. Beyene, Z. Abebe, A. Melese, "Fluoride concentration in ground water and prevalence of dental fluorosis in Ethiopian Rift Valley: systematic review and meta-analysis", *BMC public health*, Vol.19, No.1, pp.1-9, 2019. DOI : <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7646-8>
- [7] World Health Organization & United Nations Children's Fund, State of the world's sanitation, an urgent call to transform sanitation for better health, environments, economies and societies, Analysis report, WHO, 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240014473>
- [8] Business support performance in Korea ODA, Korean Official Development Assistance, [cited 2021 May 24] Available From: http://www.odakorea.go.kr/ODAPage_2018/category02/L03_S02.jsp
- [9] Y. H. Yoon, A Study on Strategies to Disseminate Standard Technology for Sustainable Drinking Water Purification in Developing Countries of Africa, KICT Institutional Research Project final report (KICT 2020-125), Korea, pp. 6-70.
- [10] J. E. Lee, "Climate Change and Water Crisis: Water ODA Initiative for Disaster Reduction", *Journal of International Development Cooperation*, Vol.2, pp.75-88, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.34225/jidc.2015.2.75>
- [11] H. J. Choi, "A Study on Current Status and Development Direction of Korea ODA toward Africa", *The Journal of International Trade & Commerce*, Vol.9, No.1, pp.431-460, 2013. DOI : <http://dx.doi.org/10.16980/jitc.9.1.201303.431>
- [12] Korea International Cooperation Agency, KOICA's Africa Development Cooperation Strategy, 2019.
- [13] Y. H. Park, S. I. Kwak, J. M. Chang, H. L. Chun, J. S. Jung, "Analysis on Africa's Development Needs and Korea's Sectorial Plan for ODA". KIEP Research Paper No. Policy Analysis-12-40, 2013. DOI : <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2338331>
- [14] World Health Organization, 2019. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities. World Health Organization.
- [15] D. Sun, E. A. Addae, H. Jemmali, I. A. Mensah, M. Musah, C. N. Mensah, F. Appiah-Twum, "Examining the determinants of water resources availability in sub-Saharan Africa: a panel-based econometrics analysis", *Environmental Science and Pollution Research*, Vol.28, No.17, pp.21212-21230, 2021. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12256-z>
- [16] V. Foster, C. Briceno-Garmendia, Africa's Infrastructure: A Time for Transformation, Africa Development Forum, World Bank, Washington DC. 2010. DOI : <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8041-3>
- [17] ImFact, 2018 Water Industry Status and Business Prospects, p.648, ImFact book, pp.535-613.
- [18] International Development Cooperation Strategy of Korean ODA Priority Partner Countries(15 countries), Korean Joint ministries, Korea.
- [19] 2019 Global Market Entry Strategy II, China, Latin America, Africa, 18-078, KOTRA Global Market, Korea.
- [20] Korea Environmental Industry & Technology Institute, Water Industry Entry Strategy Report for Ethiopia: Focusing on small-scale water supply sector, Analysis report, KEITI, Korea pp.18
- [21] B. K. Ariso, G.M. Tsidu, G.H. Stoffberg, T. Tadesse, "Climate change and population growth impacts on

surface water supply and demand of Addis Ababa, Ethiopia", *Climate Risk Management*, Vol.18, pp.21-33, 2017

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.08.004>

- [22] H. Yohannes, E. Elias, "Contamination of rivers and water reservoirs in and around Addis Ababa City and actions to combat it", *Environ Pollut Climate Change*, Vol.1, No.116, p.8, 2017.
DOI : <https://doi.org/10.4172/2753-458X.1000116>
- [23] Water, A.A. and Authority, S., Environmental and Social Impact Assessment of the Wastewater Treatment Plant and Sewer Lines Expansion and Rehabilitation in The Kaliti Catchment. Addis Ababa Water and Sewerage Authority (AAWSA) Water, Sanitation Rehabilitation and Development Project Office: Addis Ababa, Ethiopia..
- [24] K. N. Mekonnen, A. A. Ambushe, B.S. Chandravanshi, M. R. Abshiro, R. I. McCrindle, "Potentially toxic elements in some fresh water bodies in Ethiopia", *Toxicological & Environmental Chemistry*, Vol.94, No.10, pp.1980-1994, 2012.
DOI : <https://doi.org/10.1080/02772248.2012.744024>
- [25] A. Mulu, T. Ayenew, S. Berhe, 2013. "Impact of slaughterhouses effluent on water quality of Modjo and Akaki river in Central Ethiopia", *International Journal of Science and Research*, Vol.6, pp.2319-7064, 2013.
- [26] K. Angassa, S. Leta, W. Mulat, H. Kloos, "Seasonal characterization of municipal wastewater and performance evaluation of a constructed wetland system in Addis Ababa, Ethiopia", *International Journal of Energy and Water Resources*, Vol.4, No.2, pp.127-138, 2020.
DOI : <https://doi.org/10.1007/s42108-019-00054-4>
- [27] G. Sahilu, E. Abate, D. Tadesse, The Study of Water Use and Treated Wastewater Discharge Charge. Treated Wastewater Discharge Charge Final Report(WP4), Federal Democratic Republic of Ethiopia Awash Basin Authority: Addis Ababa, Ethiopia. pp.8-41
- [28] H. T. Chang, "Implication about hindrance factor of Africa social integration -Consideration of Africa's Past, Present and Future". *Journal of the Korean Association of African Studies*, Vol.58, pp.193-223, 2019
DOI : <https://doi.org/10.35751/af.2019.58..006>
- [29] A. Misganaw, D.H. Mariam, T. Araya, K. Ayele, "Patterns of mortality in public and private hospitals of Addis Ababa, Ethiopia". *BMC Public Health*, Vol.12, No.1, pp.1-9, 2012
DOI : <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-1007>
- [30] J. Y. Hong, H. S. Sohn, "A Comparative Study of the local implementation of Humanitarian Assistance Framwork in WASH Projects of Kenya's Refugee Camp and Settlement", *OUGHTOPIA*, Vol.34, No.2, pp.81-119, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.32355/OUGHTOPIA.2019.08.34.2.81>

윤 영 한(Younghan Yoon)

[정회원]



- 2001년 2월 : 고려대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 광주과학기술원 환경공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 연세대학교 대학원 토목환경공학 (공학박사)

• 2002년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 환경연구본부 수석연구원

<관심분야>

환경공학, 상하수도 수처리, 오염물제거 소재개발 등